

ポンツーン型海洋構造物の初期計画法に  
関する基礎的研究

平成 28 年 1 月

佐藤 千昭

# 目 次

目次

図一覧

表一覧

<b>第 1 章：序論</b> .....	1
<b>第 2 章：研究の背景と目的</b> .....	3
2.1 研究の背景.....	4
2.2 研究の目的.....	6
2.3 研究の進め方と対象とする浮体概要の想定.....	7
2.3.1 研究の進め方.....	7
2.3.2 医療浮体の概要の想定.....	10
2.3.3 石炭浮体の概要の想定.....	15
2.4 計画に関わるメガフロート研究の成果と整理.....	20
2.4.1 基本計画フロー.....	20
2.4.2 弾性応答を示す浮体の剛性と大きさについて.....	21
2.4.3 メガフロートの基本特性について.....	21
<b>第 3 章：全体配置に関する初期計画</b> .....	24
3.1 全体配置に関連する項目の整理（医療浮体）.....	25
3.1.1 考慮すべき項目と内容.....	25
3.1.2 関係要素の整理.....	26
3.1.3 医療浮体の初期計画の流れ.....	27
3.1.4 医療浮体の特性.....	28
3.2 全体配置に関連する項目の整理（石炭浮体）.....	30
3.2.1 考慮すべき項目と内容.....	30
3.2.2 必要な荷役装置と運用法.....	31
3.3 配置図の作成手順と配置図.....	33
3.3.1 医療浮体の配置図（東京湾や岸壁に設置する場合）.....	33
3.3.2 荒川に設置することを想定した場合の医療浮体の初期計画.....	39
3.3.3 石炭浮体.....	44
3.3.4 貨物艀のサイズおよび浮体全体大きさの検討.....	49
3.4 設置海域の自然環境条件.....	52
3.4.1 医療浮体.....	52

3.4.2	石炭浮体 .....	52
<b>第4章</b>	<b>構造強度の初期計画 .....</b>	<b>58</b>
4.1	検討の方針と手順.....	59
4.2	全体強度検討の流れ .....	60
4.2.1	局部材の設定 .....	64
4.2.2	全体強度算定 .....	64
4.3	初期計画における安全性検討の考え方 .....	64
4.3.1	安全率の設定法 .....	64
4.3.2	超大型浮体の構造安全性に関する規則，基準について.....	65
4.4	初期計画に必要な波浪特性の整理.....	69
4.4.1	深海波の場合 .....	69
4.4.2	浅海波の場合 .....	70
4.4.3	日本周辺の波浪状況の概要 .....	75
4.5	医療浮体の初期構造計画 .....	76
4.5.1	検討する浮体の規模.....	76
4.5.2	初期計画における構造検討の流れ .....	77
4.5.3	板壁構造におけるスチフナーと等価板厚について.....	77
4.5.4	3 浮体の中央断面図.....	78
4.5.5	Model1 の断面係数と板厚 .....	80
4.5.6	Model2 の断面係数と板厚&構造重量 .....	82
4.5.7	Model3 の断面係数と板厚 .....	87
4.5.8	3 種類の医療浮体の構造重量，喫水のまとめ.....	87
4.6	石炭浮体の初期構造計画 .....	88
4.6.1	構造の構想.....	88
4.6.2	構造形式 .....	88
4.6.3	単位ユニットでの構造部材寸法の初期設定方法 .....	90
4.6.4	単位ユニットの設定 .....	91
4.6.5	1 貨物艙満載時の縦通隔壁の横強度の確認 .....	93
4.6.6	全体剛性検討のための構造断面の決定と断面図の作成 .....	95
4.6.7	各構造部材の断面性能計算（全体剛性計算のための準備） .....	106
4.6.8	全体剛性 $I_x$ , $I_y$ の計算.....	107
4.6.9	MSC/NASTRAN による強度解析 .....	109
4.6.10	弾性応答解析による波浪応答解析 .....	147
4.6.11	2 つの解析結果の比較と評価 .....	164
4.6.12	構造重量の推定 .....	167
4.6.13	大型浮体に関する新しい展望 .....	172

<b>第5章：係留装置の初期計画</b> .....	174
5.1 係留装置一般.....	175
5.1.1 様々な係留システム.....	176
5.1.2 単杭式およびドルフィン式係留の適用例.....	179
5.1.3 チェーンカタナリー係留の適用例.....	181
5.2 計画フロー .....	182
5.3 定常係留外力の求め方.....	184
5.3.1 係留に係わる医療浮体要目の設定 .....	184
5.3.2 係留に係わる石炭浮体要目の設定 .....	184
5.4 自然環境条件の設定 .....	187
5.4.1 医療浮体の自然環境条件の設定.....	187
5.4.2 石炭浮体の自然環境条件の設定.....	187
5.4.3 定常係留外力の算定式.....	188
5.4.4 外力の方向と受圧面積.....	189
5.5 定常係留外力の算定と係留装置要目の選定.....	189
5.5.1 医療浮体の定常係留外力の算定.....	189
5.5.2 医療浮体の単杭式係留装置の強度算定式.....	191
5.5.3 医療浮体のカタナリー係留の計算式 .....	191
5.5.4 医療浮体の係留装置の配置検討.....	192
5.5.5 浮体の水平変位および装置の強度に関する許容値の設定.....	194
5.5.6 医療浮体の単杭式係留の初期計画 .....	195
5.5.7 医療浮体のチェーンカタナリー係留の初期計画 .....	196
5.6 石炭浮体の係留装置.....	198
5.6.1 石炭浮体の定常係留外力の算定.....	198
5.6.2 石炭浮体の係留システムの選定（形式，基数，配置） .....	202
5.6.3 石炭浮体のチェーンカタナリー係留の初期計画 .....	203
5.6.4 石炭浮体のドルフィン係留の初期計画.....	207
5.6.5 係留装置の全体配置.....	213
5.6.6 課題と評価.....	213
<b>第6章：浮体建造法の検討</b> .....	214
6.1 大型浮体の一般的な建造法 .....	215
6.2 洋上接合方法の概要.....	215
6.2.1 引き寄せ・固着 .....	215
6.2.2 接合部分の溶接方法.....	216
6.3 石炭浮体のユニットへの分割.....	220
6.3.1 ユニットの強度 .....	220



6.3.2	洋上接合時のユニットの仮係留.....	220
<b>第7章</b>	<b>全体の考察および成果と課題の整理.....</b>	<b>222</b>
7.1	全体の考察.....	223
7.1.1	全体の成果.....	223
7.1.2	初期計画のフローとブラシアップの手順.....	224
7.1.3	構造計画について.....	226
7.2	成果と課題.....	226
7.2.1	全体の課題.....	226
7.2.2	医療浮体の課題.....	226
7.2.3	石炭浮体の課題.....	227
7.3	浮体システムの計画と海洋工学への期待.....	227
<b>第8章</b>	<b>結論.....</b>	<b>228</b>
	謝辞.....	230
	参考文献.....	232

## 図目次

図 2.1 初期設計の位置付 .....	5
図 2.2 各計画の互換性 .....	9
図 2.3 Model1 .....	11
図 2.4 Model2 .....	11
図 2.5 Model3 .....	12
図 2.6 災害対策図 .....	14
図 2.7 石炭浮体のイメージ .....	15
図 2.8 インドネシアの大河で石炭を山積みして上流から海へ運搬するバージ(1) .....	16
図 2.9 インドネシアの大河で石炭を山積みして上流から海へ運搬するバージ(2) .....	16
図 2.10 インドネシアから日本まで石炭を運ぶ石炭運搬船 .....	17
図 2.11 日本の火力発電所の埠頭で貯蔵されている石炭 .....	17
図 2.12 全体概要 (1,貯蔵量他) .....	18
図 2.13 全体概要 (2,荷役装置) .....	18
図 2.14 石炭浮体の特長 .....	19
図 2.15 メガフロートの基本計画フロー .....	20
図 2.16 振動波形 (弾性波長と水面波長) .....	22
図 2.17 鉛直運動特性 .....	22
図 2.18 付加水重量 .....	23
図 3.1 要素項目の関係図 .....	26
図 3.2 医療浮体の初期検討の流れ .....	27
図 3.3 トリアージのイメージ .....	29
図 3.4 浮体への安全要求 .....	30
図 3.5 浮体の区画割安全要求 .....	31
図 3.6 上甲板に設置されたバックホーのイメージ (石炭バージから石炭を掬い取る. クレーンよりも速い) .....	32
図 3.7 上甲板に設置された <b>Ship Loader</b> のイメージ (ベルトコンベアーから搬入された石炭をジブ先端のグラブまで移動させて 石炭船に積み込む. クレーンより速い) .....	32
図 3.8 医療浮体全体図 (上甲板下) .....	35
図 3.9 医療浮体全体図 (上甲板上) .....	36
図 3.10 医療浮体全体図 (2 階) .....	37
図 3.11 浮体姿勢 (4 点の喫水) 計算モデル .....	38
図 3.12 医療浮体設置候補地 (墨田区四ツ木橋付近) .....	40
図 3.13 各地点での時系列水位変化 .....	41

図 3.14 医療浮体のユニット編成イメージ図 .....	42
図 3.15 病棟ユニット医療施設 .....	43
図 3.16 診療ユニット医療施設 .....	43
図 3.17 病棟ユニット浮体基盤部 .....	43
図 3.18 診療ユニット浮体基盤部 .....	43
図 3.19 フラットバージ型 .....	45
図 3.20 石炭浮体一般配置図（貨物艙形式(1)） .....	46
図 3.21 石炭浮体一般配置図（貨物艙形式(2)） .....	47
図 3.22 石炭浮体一般配置図（貨物艙形式(3), 以後 Model-4 と呼ぶ） .....	48
図 3.23 石炭浮体の積荷, 喫水, バラストの関係 .....	50
図 3.24 バラストタンク配置 .....	51
図 3.25 大型洋上貯炭出荷設備の設置海域（案） .....	53
図 3.26 最大波高の方向分布図 .....	55
図 3.27 月海の波高観測データ（有義波高&最大波高） .....	56
図 4.1 検討方針と流れ .....	59
図 4.2 弾性構造体の設計フロー（案） .....	61
図 4.3 初期計画における全体強度検討の流れ .....	62
図 4.4 最大波高と波周期の関係 .....	63
図 4.5 超大型浮体の構造安全に関連する既存基準 .....	66
図 4.6 限界状態設計法を適用する場合の破損モード .....	67
図 4.7 限界状態設計法における荷重の組合せと安全係数 .....	68
図 4.8 日本周辺の限界波浪状況 .....	75
図 4.9 Model1 イメージ .....	76
図 4.10 Model2 イメージ .....	76
図 4.11 Model3 イメージ .....	76
図 4.12 初期構造検討のフロー図 .....	77
図 4.13 スチフナーのイメージ .....	78
図 4.14 Model1 の中央断面図 .....	78
図 4.15 Model2 の中央断面図 .....	79
図 4.16 Model3 の中央断面図 .....	79
図 4.17 Model1 の中央断面切断図 .....	81
図 4.18 単底構造浮体の中央断面図 .....	82
図 4.19 医療浮体の中央断面図 .....	84
図 4.20 スチフナーを考慮した板厚 .....	84
図 4.21 甲板および底板の等価板厚 .....	86
図 4.22 甲板および底板の板厚 .....	86

図 4.23	部材寸法の初期設定の流れ.....	90
図 4.24	石炭浮体のユニット分割図および接合順序 .....	92
図 4.25	静的横強度計算書 .....	93
図 4.26	静的横強度計算結果.....	94
図 4.27	部材計算書(1).....	96
図 4.28	部材計算書(2).....	97
図 4.29	部材計算書(3).....	98
図 4.30	部材計算書(4).....	99
図 4.31	構造断面図( $L_1$ ) .....	101
図 4.32	構造断面図( $L_2$ ) .....	102
図 4.33	構造断面図( $T_1$ ) .....	103
図 4.34	構造断面図( $T_2$ ) .....	104
図 4.35	構造断面図( $T_3$ ) .....	105
図 4.36	部材の断面性能計算書 .....	106
図 4.37	全体の断面 2 次モーメント (横方向, x 軸周り) .....	107
図 4.38	全体の断面 2 次モーメント (縦方向, y 軸周り) .....	108
図 4.39	NASTRAN を使う場合の流れ.....	110
図 4.40	剛体復原性計算と弾性体浮体変形計算の比較.....	111
図 4.41	浮体の傾斜と変形解析 (弾性体) .....	112
図 4.42	端部の 1 貨物艙のみ半載した場合.....	112
図 4.43	端部貨物艙のみ半載した場合 .....	113
図 4.44	波高, 周期, 波長の関係 .....	114
図 4.45	NASTRAN への入力モデル(1).....	115
図 4.46	NASTRAN への入力モデル(2).....	115
図 4.47	NASTRAN への入力モデル(3).....	116
図 4.48	NASTRAN への入力モデル(4).....	116
図 4.49	NASTRAN への入力モデル(5).....	117
図 4.50	NASTRAN への入力モデル(6).....	117
図 4.51	荷重の組合せ-1(No.1~14) .....	118
図 4.52	荷重の組合せ-2(No.15~28) .....	119
図 4.53	荷重の組合せ-3(No.29~42) .....	120
図 4.54	Model-10, 荷重の組合せ-1(NO.1~10) .....	121
図 4.55	Model-10, 荷重の組合せ-2(No.11~20) .....	122
図 4.56	Model-10, 荷重の組合せ-3(No.31~40).....	123
図 4.57	Model-10, 荷重の組合せ-4(No.41~50).....	124
図 4.58	Model-10, 荷重の組合せ-5(No.51~55).....	125

図 4.59 貨物艙の番号.....	134
図 4.60 貨物艙拡大図(11) .....	135
図 4.61 積付 1 の最大応力を示した要素配置図 .....	136
図 4.62 積付 2 の最大応力を示した要素配置図 .....	137
図 4.63 積付 3 の最大応力を示した要素配置図 .....	138
図 4.64 積付 4 の最大応力を示した要素配置図 .....	139
図 4.65 積付 5 の最大応力を示した要素配置図 .....	140
図 4.66 積付 6 の最大応力を示した要素配置図 .....	141
図 4.67 積付 7 の最大応力を示した要素配置図 .....	142
図 4.68 積付 8 の最大応力を示した要素配置図 .....	143
図 4.69 積付 9 の最大応力を示した要素配置図 .....	144
図 4.70 積付 10 の最大応力を示した要素配置図 .....	145
図 4.71 積付 11 の最大応力を示した要素配置図 .....	146
図 4.72 浮体中心線の変形モード .....	149
図 4.73 浮体中心線の鉛直変位応答分布 .....	150
図 4.74 縦方向規則波を受ける石炭浮体 .....	151
図 4.75 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(1) .....	152
図 4.76 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(2) .....	154
図 4.77 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(3) .....	156
図 4.78 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(4) .....	158
図 4.79 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(5) .....	160
図 4.80 浮体中心点の喫水毎、波周期毎の曲げモーメント分布 .....	161
図 4.81 浮体中心点の喫水毎、各波周期の最大波高に対する曲げモーメント分布 .....	162
図 4.82 $x=-70\text{m}$ 横断面縦曲げモーメント .....	163
図 4.83 横断面応力分布図 .....	163
図 4.84 NASTRAN での荷重・応力図.....	164
図 4.85 縦曲げモーメントの横断方向分布 .....	165
図 4.86 中古船を活用した浮体配置の例 .....	172
図 4.87 六角形浮体の平面図.....	173
図 5.1 単杭式係留を用いた浮棧橋.....	179
図 5.2 ドルフィン式係留を用いたメガフロートの実験浮体.....	179
図 5.3 水平耐力 1000t 大型ジャケット・ドルフィン構造の例 (水深 21.0m) .....	180
図 5.4 チェーンカタナリー係留を用いた洋上風力発電.....	181
図 5.5 チェーンカタナリー係留を用いた浮消波堤 .....	181
図 5.6 係留装置要目の初期検討フロー .....	183
図 5.7 浮体規模モデル .....	184

図 5.8 石炭浮体の喫水状態.....	185
図 5.9 石炭浮体の石炭積付け状態（満載） .....	185
図 5.10 外力の方向 .....	189
図 5.11-1 チェーンカタナリー係留初期配置の例 .....	192
図 5.11-2 医療浮体の杭式係留配置の例 .....	193
図 5.11-3 石炭浮体の杭式またはドルフィン係留配置の例.....	193
図 5.12 医療浮体のドルフィン係留の配置図 .....	195
図 5.13 チェーン形状.....	196
図 5.14 係留索配置図.....	197
図 5.15 チェーン形状.....	203
図 5.16 係留索配置図.....	204
図 5.17 係留索にかかる張力の差 .....	206
図 5.18 ジャケットタイプの係留ドルフィンの例.....	207
図 5.19 セル型防舷材の外形図 .....	208
図 5.20 セル型防舷材の性能曲線モデル .....	208
図 5.21 セル型.....	209
図 5.22 フェンダー配置図 .....	209
図 5.23 メーカーカタログの例（ブリジストン， SUC1600H） .....	211
図 5.24 喫水の変化と上下ストローク .....	212
図 5.25 石炭浮体配置図 .....	213
図 6.1 浮体の 1 次引き寄せ .....	215
図 6.2 インチ台船による 1 次引き寄せ .....	216
図 6.3 圧気排水法 .....	216
図 6.4 日照による変形の制御 .....	217
図 6.5 洋上接合の難しさ .....	218
図 6.6 洋上接合技術の確立.....	218
図 6.7 開発された溶接法の例.....	219
図 6.8 ユニット接合手順とドルフィン配置 .....	221
図 7.1 初期計画のフロー .....	224
図 7.2 医療浮体のイメージスケッチ .....	225

## 表目次

表 2.1 2つの浮体の特徴	8
表 2.2 医療浮体の規模	10
表 2.3 船舶と浮体の比較	14
表 3.1 浮体規模 1	38
表 3.2 浮体規模 2	38
表 3.3 喫水	38
表 3.4 荒川に隣接する 8 区の人的被害想定	40
表 3.5 荒川内の各地点の水深	41
表 3.6 各ユニットの重量	42
表 3.7 ユニットサイズ	49
表 3.8 浮体全体の主要目	51
表 3.9 東京湾の自然条件	52
表 3.10 荒川の自然条件	52
表 3.11 有義波高の方向分布	54
表 3.12 最大波高の方向分布	55
表 3.13 月毎の最大波高	56
表 3.14 自然条件(1)	57
表 3.15 自然条件(2)	57
表 4.1 水深・周期・波長および波速の関係(1)	71
表 4.2 水深・周期・波長および波速の関係(2)	72
表 4.3 水深・周期・波長および波速の関係(3)	73
表 4.4 水深・周期・波長および波速の関係(4)	74
表 4.5 構造を検討する医療浮体の規模	76
表 4.6 Coefficient $C$	80
表 4.7 要求断面係数表	83
表 4.8a) 側板の板厚 22.0mm 時のスチフナーを考慮した要求断面係数表	85
表 4.8b) 側板の板厚 25.0mm 時のスチフナーを考慮した要求断面係数表	85
表 4.9 スチフナーを考慮した甲板および底板の板厚表	85
表 4.10 医療浮体の重量および喫水	86
表 4.11 構造重量の比較表	87
表 4.12 鋼材重量および喫水	87
表 4.13 医療浮体の主要目と構造重量まとめ	87
表 4.14 Model-6 応力評価表, 二重底(1)	126
表 4.15 Model-6 応力評価表, 二重底(2)	127

表 4.16 Model-6 応力評価表, 上甲板表面(1) .....	128
表 4.17 Model-6 応力評価表, 上甲板表面(2) .....	129
表 4.18 Model-10 応力評価表, 二重底(1).....	130
表 4.19 Model-10 応力評価表, 二重底(2).....	131
表 4.20 Model-10 応力評価表, 上甲板表面(1) .....	132
表 4.21 Model-10 応力評価表, 上甲板表面(2) .....	133
表 4.22 モデルの計算条件 .....	148
表 4.23 曲げモーメントデータ .....	166
表 4.24 構造重量集計表(1).....	167
表 4.25 構造重量集計表(2).....	168
表 4.26 構造重量集計表(3).....	169
表 4.27 構造重量集計表(4).....	170
表 4.28 構造重量集計表(5).....	171
表 5.1 各種係留方法 3-1 .....	176
表 5.2 各種係留方法 3-2 .....	177
表 5.3 各種係留方法 3-3 .....	178
表 5.4 医療浮体規模.....	184
表 5.5 浮体の喫水状態 .....	186
表 5.6 自然条件 .....	187
表 5.7 自然条件(1) .....	187
表 5.8 自然条件 (2: 実際の設計条件) .....	187
表 5.9 浮体の規模 .....	189
表 5.10 自然環境条件.....	189
表 5.11 定常風抗力 .....	190
表 5.12 水流抵抗力 .....	190
表 5.13 全体係留外力.....	190
表 5.14 単杭式ドルフィン係留許容値.....	194
表 5.15 チェーンカタナリー係留 .....	194
表 5.16 鋼管規格.....	195
表 5.17 杭の特性値および根入れ長さ .....	195
表 5.18 単杭式ドルフィン係留の計算結果.....	195
表 5.19 使用するチェーンの規格 .....	196
表 5.20 チェーン本数およびチェーン長さ .....	196
表 5.21 定常波漂流外力の算定 .....	198
表 5.22 定常風抗力の算定 .....	199
表 5.23 潮流力の算定.....	200



表 5.24 全体係留外力の算定.....	201
表 5.25 石炭浮体にかかる最大定常係留外力(Case3).....	201
表 5.26 チェーンの規格 .....	203
表 5.27 チェーン本数およびチェーン長さ .....	203
表 5.28 係留索にかかる張力の変化.....	205

## 第 1 章：序論

大型浮体式海洋構造物の研究や提案は、メガフロート技術研究プロジェクト（平成7年から始まり平成12年度に終了した）や平成13年度の羽田沖浮体式空港の提案を頂点としてその後は次第に衰退してきている。当時羽田沖浮体式空港の提案では、メガフロート技術研究の成果を生かして世界で初めての浮体式構造であるが故の、膨大な検討を要求されたが、見事にそれに応えて技術的な成立性が公式な委員会で認められた。この様に要求機能が確定している場合は、建築物や海洋構造物であっても、作業時間の多寡は別にしても、要求機能を織り込んだ設計、建設計画、全体費用概算見積もりなどの検討を含むプロジェクト提案が比較的容易に進めることができると思われる。

しかし、浮体を活用するプロジェクト提案はマリンフロート研究会を中心に種々実施されてきたが、なかなか実現に結びつかず、次第に衰退していった。

その理由は種々考えられるが、大きくは造船業界の受注が増加し始め、少ないエンジニアを手間暇のかかる新規開発案件に向けることは経営判断から難しいことであったと思われる。それ以外にも、第一に大学や研究機関での実現可能性のある浮体式プロジェクトの提案が少なくなったためと思われる。なぜ少なくなったのかと言えば、

- 1) それらの提案を作るには海洋工学的に創造的なエンジニアリング作業が必要であった。
- 2) また諸学会や団体から種々の構想が発表されたが、それらの全貌が把握した提案を作るのが一般的には労力を要する難しいものと思われた。
- 3) あるいは新規提案は、ベテランのエンジニアにしかできないと一般に思い込まれたためと考えられる。
- 4) また大型浮体では流力弾性応答というかなり難しい現象を解析する必要があり、更には浮体を活用するアイデアは種々生み出せても、それを社会に実現可能と思わせるまでの基本的な技術の裏付けに基づいた計画書を作成することは大変労力を要すると思われているのでないかとも考えられる。

しかし、平成23年3月の東日本大震災の発生を契機にして、災害に強いインフラストラクチャーを日本社会が必要とする状況が生まれつつあり、埋め立てをせずに地震に強い新しい浮体プロジェクトに関する多くの提案が望まれている。

また一方では地球規模で温暖化が進行しこのままで行けば今世紀末には海面の高さが現状より90.0cmも上昇する旨の予測がIPPCより出されている。大都市圏では埋め立てを含む沿岸部に工場や人家、街並みが集中しており、その影響は小さくないと思われる。潮位変動に対応し易い浮体は今後の都市計画で再考される日も遠くないと思われる。

そのような状況を踏まえて本研究は、特性の異なる複数浮体の初期計画の具体例を示し、今後新しい浮体の構想が出て来た時に、その取り組みの参考となることを期待し、それにより浮体プロジェクトの実現が促進されることを企図するものである。

## 第 2 章：研究の背景と目的

## 2.1 研究の背景

メガフロートの技術研究の目的は、世界で初めての超大型浮体構造および浮体空港の実現であるが故に、安全照査が **Design by analysis** という基本スタンスで実行可能であることを証明するため、浮体空港に特化した解析ツールである諸ソフト、実証実験、強度解析、建造手法の研究・開発に重点が置かれた。そのためメガフロートとは言えない中小型浮体の計画に対して有効かつ初期計画的な視点での技術開発は少なかったと言える。

今後、浮体普及を目指すためには創造的な浮体構造物の計画が比較的容易に実行できることを誰かが示す必要があり本研究の目的とするところである。検討作業が比較的簡便であるということは計画スパイラルを速く回すことに繋がり、より良い提案を作ることに関わると思われる。なお、「計画」や「設計」という用語は一般用語で種々の場面で種々の意図で使用されている。従ってこれらの用語は人によって抱くイメージが異なり誤解が生じやすい。ここではそれらを下記のように仮に定義して使用する。

「計画」：全く新しい浮体的な構造物の要目を具体的に設定すること。あるいは新しい浮体的なイメージを具体化する作業を言う。その作業の内容や範囲は浮体によって大きく異なることがあるので、ここでは特定できない面がある。そのため本論では特性の異なる2つの浮体の検討例を示した。

なお、計画作業を実施している最中には、後工程である「設計」に関する注意点や設計段階で必ず検討すべき項目が多々生じるので、参考のためそれらも記述した。「計画」作業の重要な役割の1つである。

本論でも「初期計画」の範疇から外れるが気が付く範囲で記述した。

「設計」：基本的には設定された要目に基づき実際に製造できるように図面を作成すること。更にはその安全性を具体的に確認する作業であり、客先や発注主の要望を織り込んでいるかを確認する作業でもあり、またコストダウンを図るための図面や仕様書を作成する作業を言う。

そこで、本研究では、2つの大きさや特性の異なる浮体について初期計画例を具体的に示し、それらを総括することにより、浮体に関する初期計画作成時に必要な工学的な考え方と海洋工学エンジニアであれば誰でも実行できる簡便な浮体の初期計画技術や使用すべき解析ツールを具体的に示すことを目的とする。

なお、本論文では種々の文献や資料を引用しているので末尾に参考文献として記載するが、後日トレースするのに便利のように出来るだけ関連する部分を直接本論に取り入れて表示した。

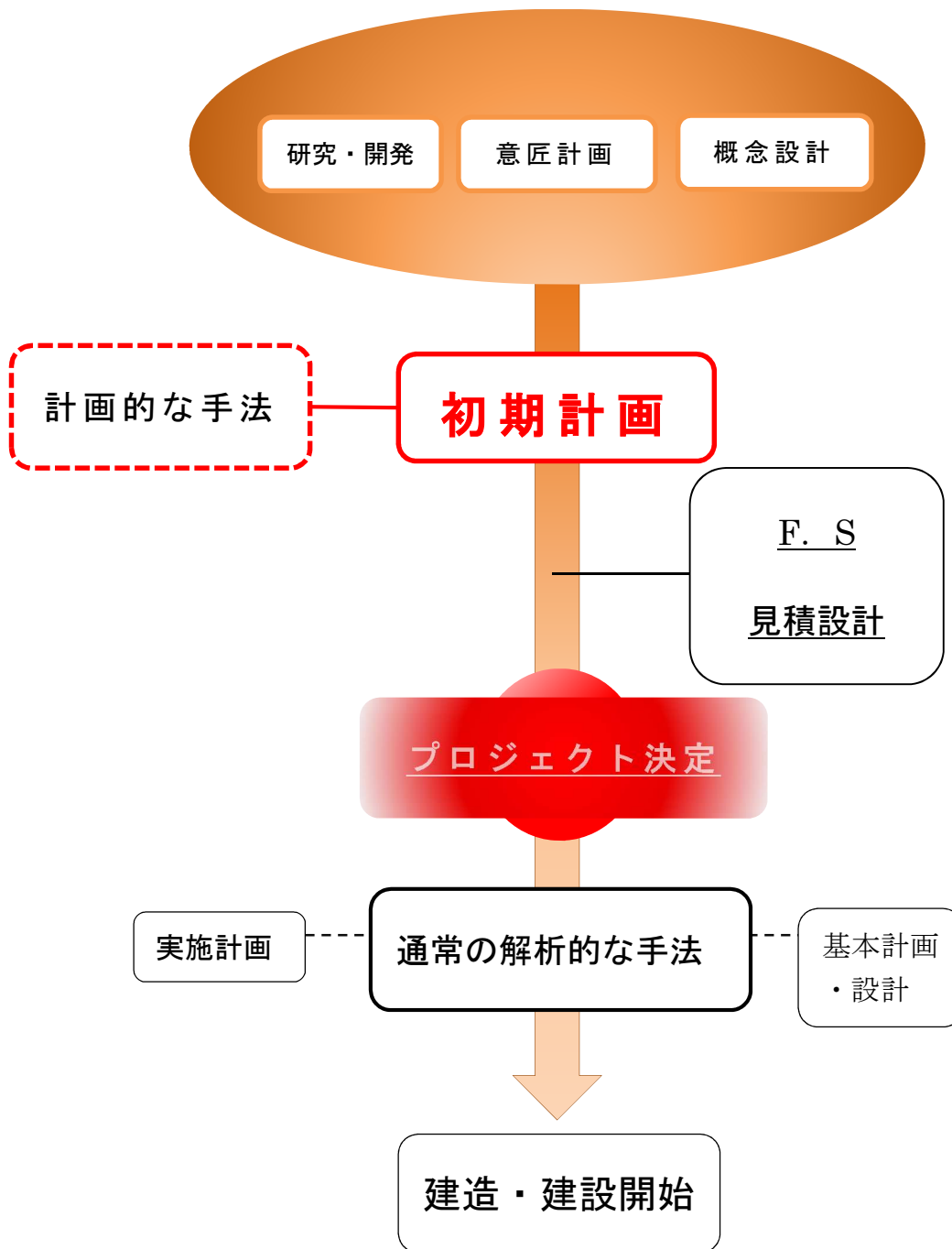


図 2.1 初期設計の位置付

## 2.2 研究の目的

本研究では、大きさや用途、さらには設置海域が全く異なる、2つの特性の異なる浮体の初期計画の具体例を示し、それらを評価・総括することにより、一般的な浮体初期計画時に必要な計画的な手順と海洋工学エンジニアであれば誰でも実行できると思われる簡便な浮体の初期計画技術と手法を具体的に示すことを目的とする。

なお、対象としている浮体はメガフロートのような超大型浮体ではなく、1つは中規模浮体でありもう1つは常時人間が滞在するバージと呼ばれるような長さが100.0m以下の小型浮体である。しかしこれらの計画においてもメガフロート研究の成果の一部が有効であることを示すのも目的の一つである。以下に補足説明を述べる。

- 1) プロジェクト成立前の提案型の初期計画と、予算を含むプロジェクトのスタートが決定した後の基本計画および設計では当然その性格、目的が異なる。本研究ではプロジェクト成立前の初期計画に焦点を当て、合理的な初期計画を行うための要点と注意点を具体的な初期計画例を示して整理する。例えば石炭浮体の場合は、石炭の積み付け状態（荷重の分布）が種々変化するが、どんな積み付け状態が危険なのかを探し出し、初期計画に反映することが重要であり、また医療浮体の場合は小型ではあるが常時人間が活動する場所であるから浮体としての安全・居住性能の確保と医療活動に使うのであるから、どんな使い方をすべきかの運用上のソフト的な検討が計画時の重要なポイントになる。
- 2) 上記の重要なポイントを押さえた浮体計画手法を具体的に示し、海洋工学エンジニアが誰でも自分の発想を具体的な新しい浮体式構造物システムとして計画ができるようにする。浮体の種類によって検討すべき内容が大きく異なるが、計画検討にどのような実用的な解析ツールまたは手法を使うべきかを検討することも初期では重要であることを示す。
- 3) 特に大型浮体システムの計画で初期に検討すべき項目と検討手段および注意すべき点を抽出して新しい計画に容易に取り組めるようにする。
- 4) 本研究の目次がそのまま浮体初期計画のチェックリストになるように配慮した。

## 2.3 研究の進め方と対象とする浮体概要の想定

### 2.3.1 研究の進め方

- 1) 最初にメガ研究の成果から，弾性応答を示すと思われる浮体の初期計画，特に全体強度（構造剛性）の推定に使えるような資料を抜粋して掲載した．ただし，今回対象とする浮体の検討作業を実施した時期の状況ではかなり緊急性があったと思われるので，以下に述べる浮体の初期計画の検討では安全性を考慮して上記資料からの推定をせず，直接計算や解析を行って計画を進めた．
- 2) 石炭浮体については，平成 22 年に本学理工学部が三菱商事より「三菱商事シンガポール支店，研究・調査委託事業，インドネシアの石炭輸送における大型浮体構造物の活用に関する調査」<sup>1)</sup>の委託を受けたのが検討を始めた最初の契機である．この検討では全く新しい浮体の概念である大型石炭浮体をイメージするため，陸上の石炭貯蔵埠頭を見学し，またインドネシアで実際石炭を運搬している大型バージなどを見学した．それらの知見からいくつかの全体配置図を作成しておおまかな評価をして初期計画案を決定した．この委託事業では検討期間が約 6 ヶ月と極めて短かったので，あるべき計画手順の検討などを省いて，すぐ使える設計ツール，例えば構造解析用 NASTRAN などを使って候補の配置図に対して概略検討（FS）を行った．その後不足していた流力弾性応答解析を実施した．ここではそれらで実施した検討内容を具体的に記述しながら，計画論的観点からの評価と整理を行い，大型浮体に対する実際的な初期計画の取り組み方を示唆するものである．なお，委託を受けて始まる初期計画では，通常の研究とは異なりそれを要求される状況では極めて時間の制約があることが多いと思われるので，初期計画法の確立の必要性を実感した 1 つの事例になった．なお，通常初期計画では時間制約は少ないと思われるが，それでも 1 つのケースの検討に時間を十分掛けるより，1 ケースの検討時間を短くしてより多くのケースを検討する方がより良い提案ができるものと愚考される．
- 3) 医療浮体の構造大きさについては，石炭浮体程大きくないので，構造的には弾性応答が支配的になることは予想できなかった．しかし，その医療浮体としての目的から現在の社会システムの中で有効に使われるのだろうか？あるいは本当に需要（社会的な要請）があるのだろうか？というポイントが重要になると思われたので，初期計画で考えるべき項目は何かという点と具体的な構造と係留の検討に重点を置いた．
- 4) そこで本論では，上記のポイントについてはある仮定（前提条件）を定め，その条件の下ではどんな浮体になるのかを具体的に計画し，その過程と結果を評価し，課題の抽出を行う．これにより前提条件が変化した場合の新しい浮体の全体像を容易に推定できるようになると思われる．新しい浮体ではその前提条件・仕様を定めるのに多くの時間をかけるより，極めて大まかな条件を先に決めて初期計画を実施・評価してその前提条件・仕様そのものを見直す検討が必要であると思われる．



5) 今回検討する特性の異なる 2 つの浮体の特徴を表 2.1 に示す.

表 2.1 2 つの浮体の特徴

項目	石炭貯蔵積出用浮体 (以下,石炭浮体とする)	救急医療支援浮体 (以下,医療浮体とする)
用途・機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 荷役装置による石炭の貯蔵・積み出し</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 平時：透析センター,患者と人が対象</li> <li>✓ 災害時：災害医療支援,クラッシュ症候群への対応,広域搬送拠点,物資搬送拠点</li> </ul>
一般配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 浮体上に石炭貯蔵艙を区画する隔壁を格子状に配置</li> <li>✓ 広大な面積と容積</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 診療施設,設備を配慮した配置計画</li> <li>✓ 曳航を考慮した浮体寸法</li> </ul>
構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 石炭貯蔵艙の隔壁による部分的な剛性の変化</li> <li>✓ 石炭貯蔵状態に対応した重量分布の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 一般的な構造</li> <li>✓ 一般配置に対応した構造</li> </ul>

6) 医療浮体, 石炭浮体ともに検討は, 全体配置, 構造, 係留の 3 つの項目に分けて記述する. ただし, 実際にはそれらはお互いに影響があり, 関連している. これは初期計画といえども設計スパイラルを回す必要があることを示している.

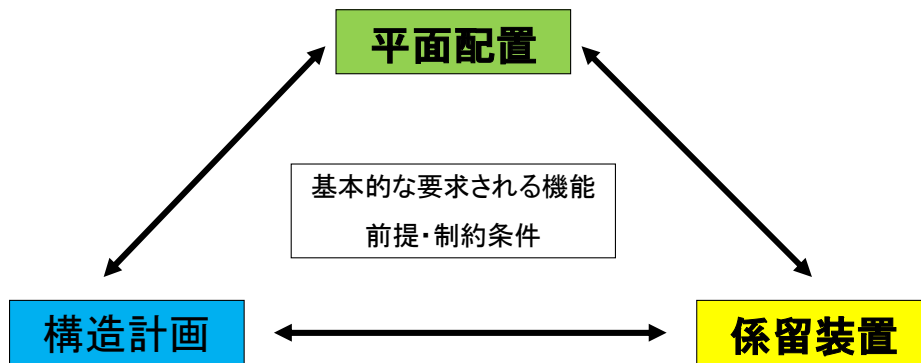


図 2.2 各計画の互換性

なお、初期計画では多くの参考資料を活用する必要がある所以他们は引用文献として巻末にリストアップするが、検討作業中には何度も参照せねばならないことが多いので、効率を上げるため引用した部分を全て直接本論に掲載している。

## 2.3.2 医療浮体の概要の想定

### 1) 全体イメージ

本研究における「医療浮体」とは浮体構造形式の医療関連施設である。この施設は浮体式構造物の免震性を活かし、災害時に被害を受けた陸上の病院に代わり、またはその補完を目指し、発生すると予想される多数の傷病者に効率よく医療行為を行うことのできる洋上の医療施設である。その機能・役割は緊急医療を行う救命救急センターと同等なものと考え、陸上の病院のような恒久的な病院ではなく、一時的な施設とする。しかし、諸条件が整えば恒久的な平時でも活動する医療施設や緊急時の物資の供給も目的とする物流センターの役割を果たすこともできるものである。尚、災害時医療支援については、症状が軽度と見られる、あるいは回復に向かう症状の患者は随時後方施設へと搬送されるものとする。

活動期間については、災害時の救命救急活動は発生から 72 時間（3 日間）が最も重要であるとされていることから最低でも 3 日間、さらに応急処置後は症状が軽度の患者から後方施設への搬送を行うため、その期間として 4 日、計 7 日間を補給無しで稼働できるような装備を備えるものとする。

以下に本研究で研究対象としている 3 種類の医療浮体を挙げる。河川での運用を検討している医療浮体を Model1、医療用コンテナを活用して支援活動を実施する医療浮体を Model2、海上で支援活動を実施する医療浮体を Model3 とする。上記の医療浮体の規模とモデルのイメージ図をそれぞれ表 2.2, 図 2.1, 2.2, 2.3 に示す。

表 2.2 医療浮体の規模

	Model1	Model2	Model3
浮体長さ[m]	85.0	100.0	180.0
浮体幅[m]	28.0	33.0	100.0
構造深さ[m]	4.0	6.0	12.0
喫水[m]	2.5	2.1	2.5

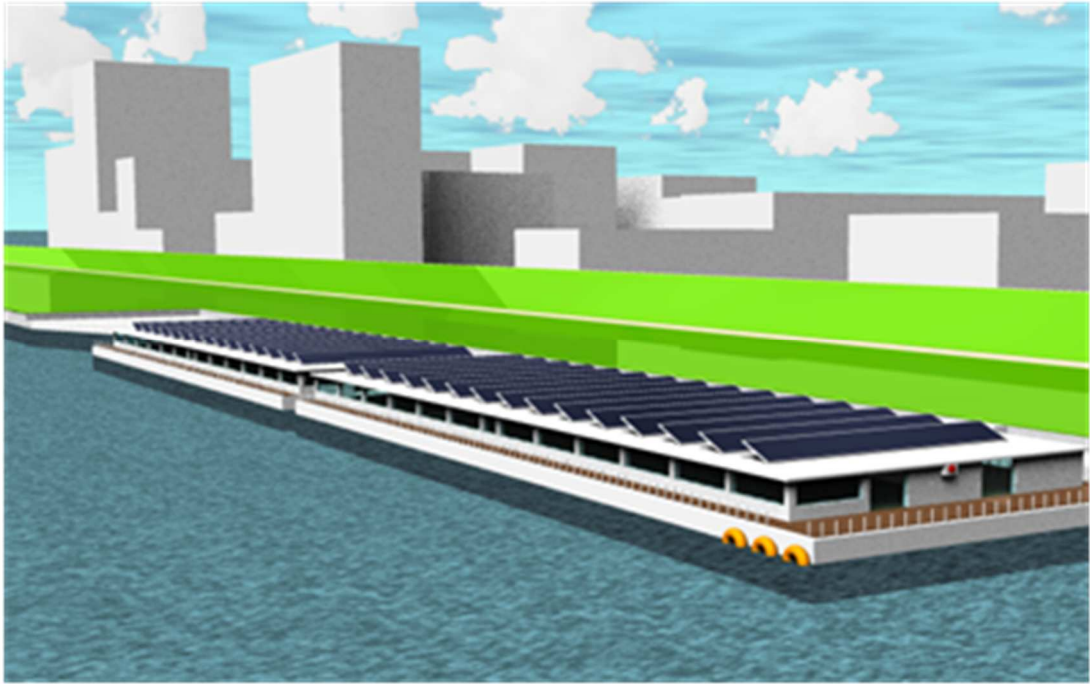


图 2.3 Model1



图 2.4 Model2

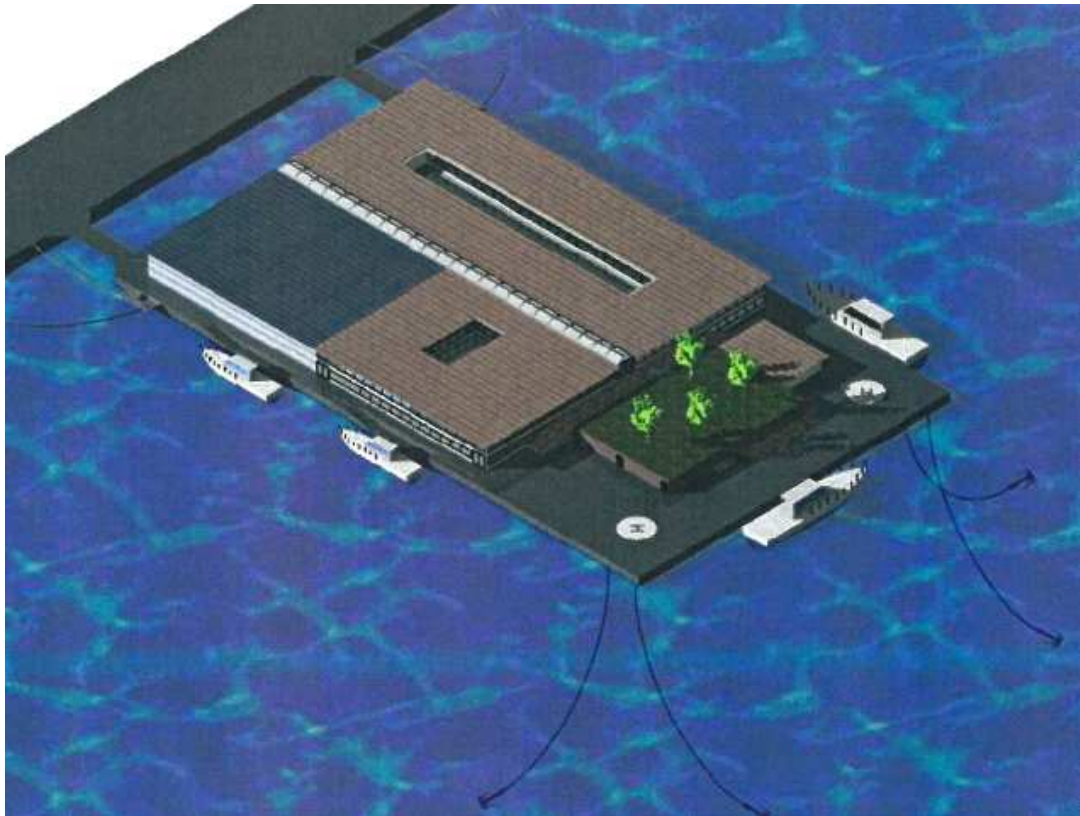


図 2.5 Model3

## 2) 目的

大災害時に発生すると予想される多数の負傷者を救命治療するために病院へ搬送する場合、阪神淡路地震の例から次の3つが予想される。

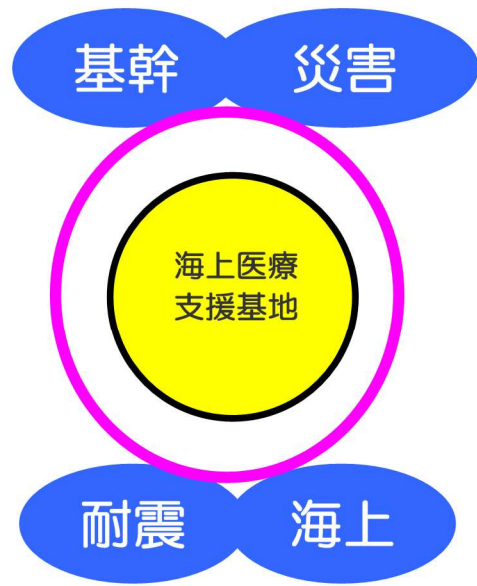
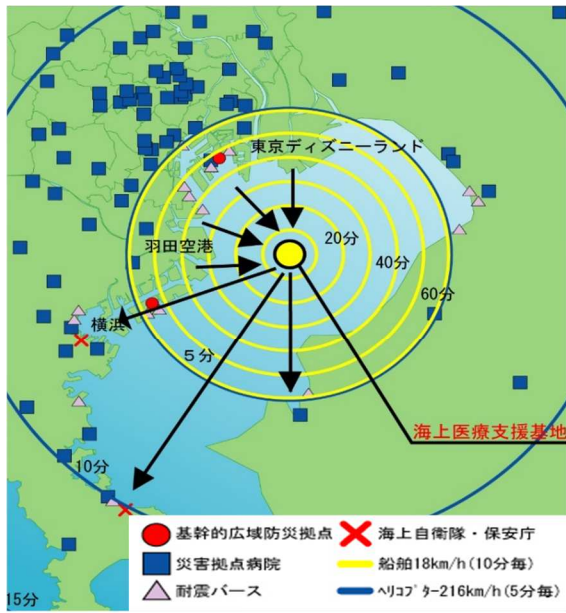
- 2.1) 既設の陸上病院施設も地震のため何らかの損傷を受け治療機能が低減する。  
また、既に平均して80%の入院患者を収容しており、緊急に新しい患者を受け入れる余裕は少ないと思われる。
- 2.2) 震災時陸上の病院へ負傷者を搬送する場合、手段として殆どは、救急車など車両によると思われるが、陸上の交通網はかなり損害を受け寸断されていると予想されるので、治療を受けられる負傷者はかなり制約されると思われる。  
このような状況を改善し多数の命を救うため、早急に地震災害を受けにくい海上に救急医療支援基地を設置することが必要と思われる。また、この場合、負傷者搬送については陸上交通網の寸断を予想し、河川・水路と海上沿岸を航行できる小型舟艇による搬送システムが有効と考えられる。  
なお、ヘリコプターによる搬送も有効であるが、一度に搬送できる人数は4～5人と少なく、かつ費用も高額であることから、舟艇の活用が適切と思われる。
- 2.3) 大災害時の救急救命に関する情報の統括が行えるように情報・通信システムも備えて救急活動の効率化を図る。

### 3) 全体概要

最初に、1日で約300人（3日間で1,000人）の患者を収容し治療を施す施設を想定した。その場合の全体の概念を次頁に示すが、医療区画や病室は現存の大病院とほぼ同じで新たな開発要素はないと思われる。ただし、浮体基盤上にあるため波浪による微小な揺れ、風浪による微小な水平移動などが医療活動に影響を及ぼさないかの検証は必要である。また、多数の患者の搬送については、救急車、ヘリコプター以外にも河川、水路を航行する小型舟艇の利用を想定しているため、この施設の設置場所は静穏な湾内で、耐震岸壁に隣接する水域が最適である。その場合、例えば搬送時間を30分以内とした場合の救援可能な地域面積と居住者数、1時間とした場合の面積と居住者数などをマップにして把握しておく必要がある。さらに必要な舟艇数と現在利用可能な舟艇数とその所在なども、利用可能な河川、水路などと一緒にマップしておく必要がある。また、それらを利用する場合の行政上の緊急手続きなども関係組織と一緒に予め整備しておく必要がある。医療スタッフは緊急時故、被害を受けていない近隣の病院からヘリコプターで搬送するしか方法はないが、その手続きなども関係組織と一緒に整備する必要がある。この施設の平常時の運営法なども維持管理費用との関連で大きな課題であるが、経済性を無視すれば解決するので、プロジェクトの実現が近くなった時に具体的に検討すれば良いと思われる。なお、経済性に関しては一人の人命は自動車事故では1億円相当を想定している事を考えれば、1,000人程度の無駄死を防止できるシステムであれば、30年程度の耐用期間としてもその建設（初期投資）費用もかなりの額になっても十分ペイするものと考えられる。

このような実状でそれぞれの災害を一体化する海上医療支援基地としての災害対策が提案されている。災害対策図を図2.6に示す。また、医療浮体と類似した施設としては、病院船構想があるが、船舶と浮体の違いを表2.3に示す。世界に類を見ない上記のシステムを構築するためには、浮体式医療基地や大都市圏に適合した搬送システムの構築など多くの課題があり、それらを早急に実現するためには現状の調査・分析を始めとし、多岐に亘る分野での数多くの研究が必要である。





海上医療支援基地がそれぞれの災害対策を一体化する

図 2.6 災害対策図

表 2.3 船舶と浮体の比較

船舶	浮体式構造物
<ul style="list-style-type: none"> <li>船舶の航行, 維持管理に人員や費用が必要</li> <li>航行水深に限度があり, 大型岸壁にしか停泊できない</li> <li>最大面積が限られていて, 大きな面積が確保しにくい</li> <li>乾舷が高く, 小型船舶から担架で搬送されてきた患者を素早く収容するのが難しい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>移動する場合のみ費用がいる</li> <li>船舶と比較して喫水が小さいため, 浅水域でも設置可能である</li> <li>大きな面積が確保しやすく, かつ小規模な浮体を接合することでより多くの人を収容できる</li> <li>乾舷が低く, 小型船舶から担架で搬送された患者を素早く収容することが可能</li> </ul>

### 2.3.3 石炭浮体の概要の想定

#### 1) イメージ

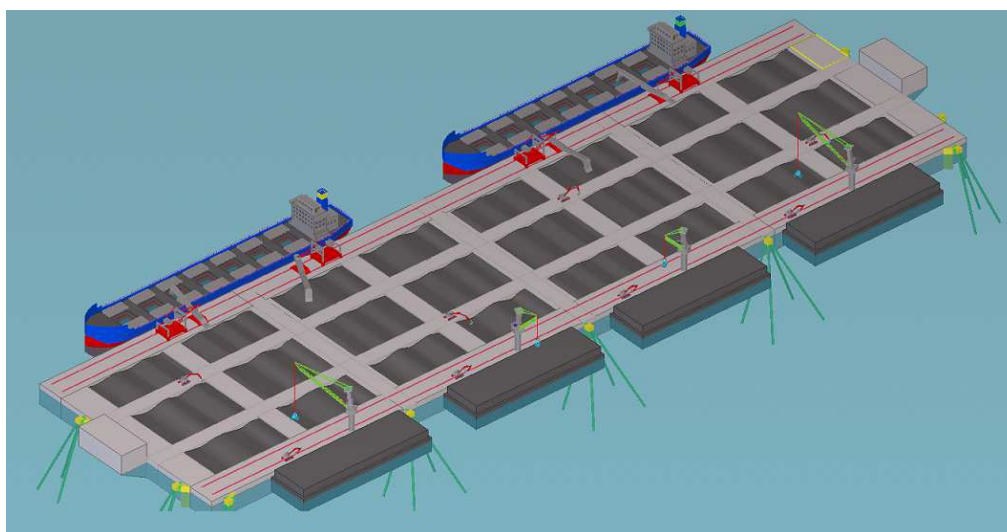


図 2.7 石炭浮体のイメージ

#### 2) 目的

そもそも石炭浮体とはどんなものであろうか？この課題が出てきた経緯は省略するが、インドネシアから日本へ輸入される石炭は年間 3,000 万 t に達する将来は自国消費が増加して日本へ輸出する枠が小さくなる恐れがある。そこでインドネシアの石炭輸出業務での最大のネックである効率的な港湾の不足に対して、沖合でバージから大型石炭運搬船に積み替える非効率的な荷役を、メガフロートを活用して大量の石炭を貯蔵、積出しができる浮体式港湾施設を日本から提案することで石炭荷役の全体の効率を上げ、結果として日本向けの石炭輸出の低減を防ぐことであった。浮体式港湾や浮体式コンテナターミナルは過去何例かのアイデアが提案されたことがあるので、全く不可能でないと考えた。それではまだ世界に前例のない石炭浮体はどんなものになるだろうか？参考にすべきモデルは、陸上の石炭火力発電所での石炭貯蔵状態、港湾の石炭貯蔵埠頭、インドネシアの河川で実際に石炭を運搬している大型バージまたは大型石炭運搬船のみであった。それらを図 2.8～2.11 に示す。





図 2.8 インドネシアの大河で石炭を山積みして上流から海へ運搬するバージ(1)

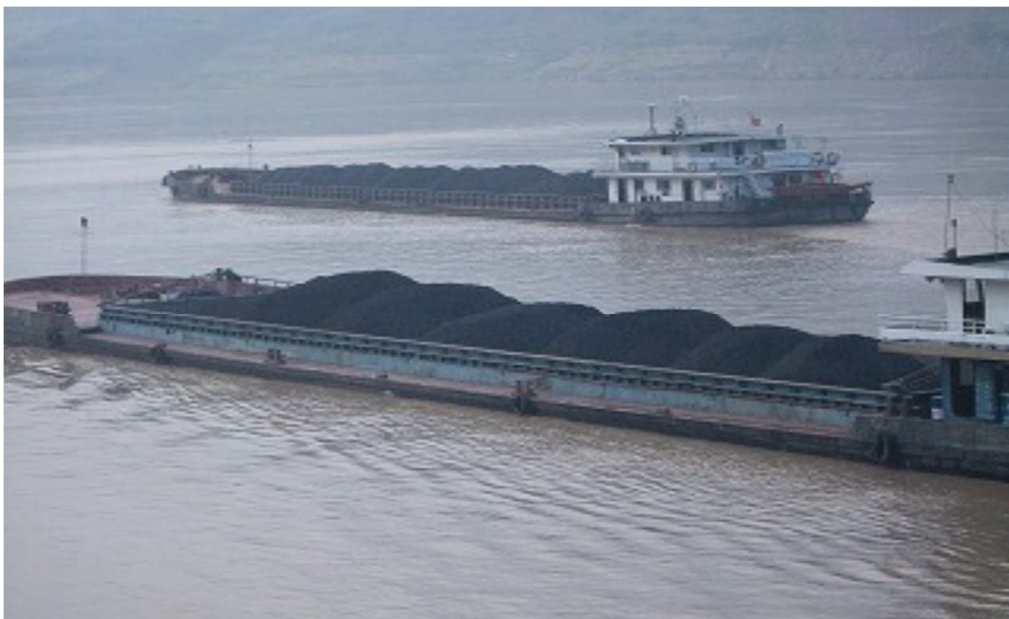


図 2.9 インドネシアの大河で石炭を山積みして上流から海へ運搬するバージ(2)



出典：商船三井 HP,  
<http://www.mol.co.jp/pr/2014/14043.html>

図 2.10 インドネシアから日本まで石炭を運ぶ石炭運搬船<sup>2)</sup>



出典：中部電力 HP, <http://dna.chuden.jp/admin.html>

図 2.11 日本の火力発電所の埠頭で貯蔵されている石炭<sup>3)</sup>

### 3) 全体概要

現地インドネシアでの説明に使用した資料を使い全体概要を示す資料を下記に示す。

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. PRICIPAL PARTICULARS<ul style="list-style-type: none"><li>・ Storage capacity:abt500,000t</li><li>・ length overall:590.0m</li><li>・ breadth:160.0m</li><li>・ structural depth:15.0m</li><li>・ maximum draft:11.2m</li><li>・ minimum draft(ballast cond.):1.2m</li><li>・ minimum free board:4.0m</li></ul></li><li>2. PIER FACILITY<ul style="list-style-type: none"><li>・ open side:1-cape size bulk carrier or 2-panamax can be moored</li><li>・ shore side:4~5 river barges can be moored</li></ul></li><li>3. POSITION KEEPING<ul style="list-style-type: none"><li>・ 8~10 sets of jacket dolphin type</li></ul></li></ol> |
|---|

図 2.12 全体概要 (1, 貯蔵量他)

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>4. COAL HANDLING APPARTUS<ul style="list-style-type: none"><li>・ FOR BULK CARRIER<br/>4sets of ship loaders(spreaders):abt4,000~5,000t/hr,each</li><li>・ FROM COAL RIVER BARGES</li><li>・ 8-10sets of unloader (back hoes and/or cranes) : abt1,000-1,500t/hr,each</li><li>・ Necessary numbers of spreaders for each hold</li><li>・ Necessary conveyer system on deck and under bottom of holds in order to transfer coal from barges to each hold and also to transfer coal from each hold to bulk carrier.</li><li>・ Loading and unloading operation can do simultaneously without interference</li></ul></li></ol> |
|---|

図 2.13 全体概要 (2, 荷役装置)

1. Loading and unloading efficiency are highly up.  
for inst.
  - conventional, 6 days →1~2 day per 1 ship
  - performance of each bulk carrier and barges goes up
2. Operation of bulk carries and river barges is independent,  
so, simple operation system for both is possible.
3. Due to the many holds on floating coal center, many kinds  
of coal can be handled without possibility of contamination.

図 2.14 石炭浮体の特長

## 2.4 計画に関わるメガフロート研究の成果と整理

### 2.4.1 基本計画フロー

第1章では、メガの研究では浮体空港に特化している旨を述べたが、良く調査すると一般的な浮体計画にも適用できると思われる内容もあるので以下にそれらを紹介する。

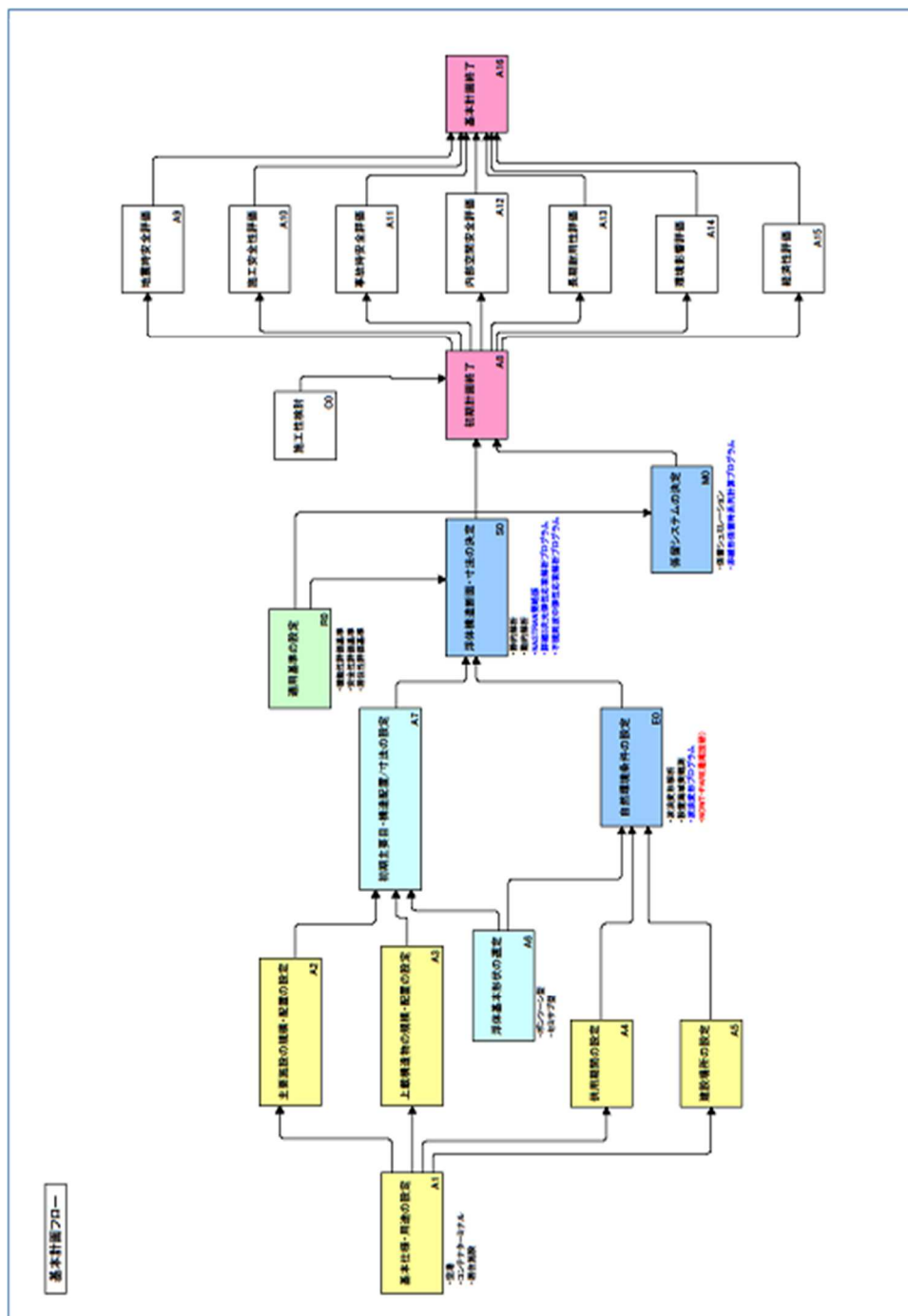


図 2.15 メガフロートの基本計画フロー

図 2.15 はメガ研究の中で示された基本計画フロー④で、解かりやすくまとまっている。しかし、具体的には今回対象にする石炭浮体に適用しようとする時、特に上流部では簡

単ではないことが解る。即ち図 2.15 の A6 の「浮体基本形状の選定」では全く新しい形状も想定されるので、この選定作業では可能性のある多くの形状に対して主要寸法の設定、構造計画、運用方法の設定、超概算見積りなどを実施して初期段階でのより好ましい形状を選定せねばならない。

例えば浮体の長さが 500.0m を超える大型浮体の構造主要目を決定（選定）するために、図 2.15 に従い流力弾性応答の解析プログラムを使用すると、大変な手間がかかり、納期（時間）と検討作業の費用が設定されていて作業時間が限られている初期計画の段階では事実上不可能という状況になる。大型浮体を採用したプロジェクト提案が少ないのはこのような状況にも一因があると思われる。

そこで本論文では、第 3 章で詳述するように、より簡便なまた構造解析で良く使われている NASTRAN プログラムを使った静解析により初期計画を行って構造要目を決定したので、その手順を紹介しプロジェクトのスタートのために必要な初期計画では有効であることを示す。その場合の検討のフローを「第 4 章 構造強度の初期計画」の項目で示す。また、その場合の解析精度を検証するために別途実施した流力弾性応答プログラムを使った計算結果との比較・検証を第 3 章の最後に述べる。

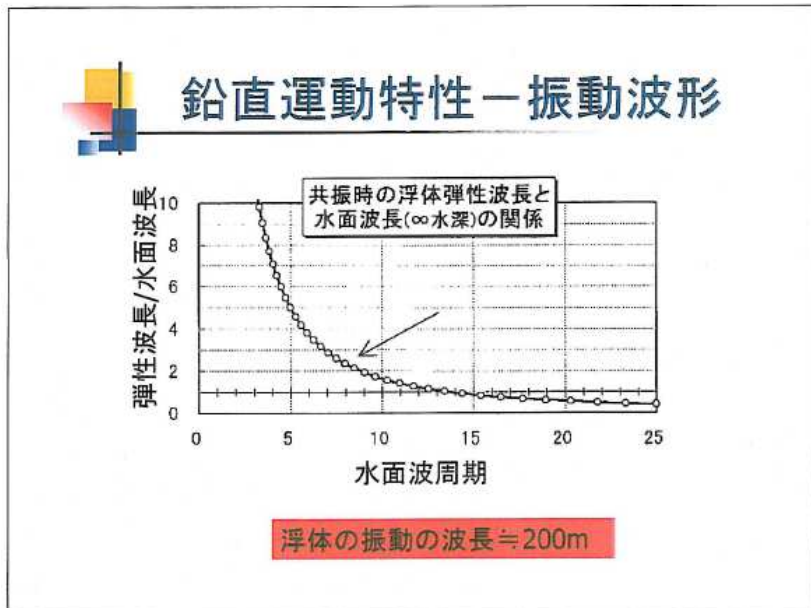
なお、以下にはメガ研究の成果から流力弾性応答の一般特性を示す部分を抜粋し、NASTRAN プログラムによる静解析でも初期計画段階での弾性応答状態を安全側で解析できる根拠を示す。

#### **2.4.2 弾性応答を示す浮体の剛性と大きさについて**

H10 年度自主研究「メガフロート設計用基礎的データベース整備 第 C 編 弾性応答計算のデータベース化」<sup>5)</sup>を参照。

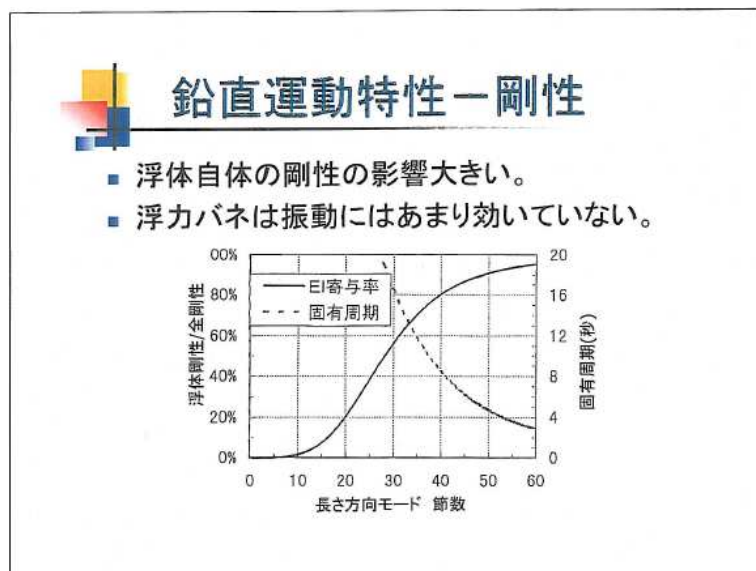
#### **2.4.3 メガフロートの基本特性について**

メガフロート技術研究組合では弾性応答という複雑な現象を一般の人にも理解してもらおう為の資料<sup>6)</sup>を作成したので、参考までに図 2.16~2.18 に紹介する。



上図より弾性波長が水面波長の5倍となる水面波周期は5秒。一方、周期5秒の水面波の波長は39m。弾性波長は39m×5でだいたい200m  
 出典：メガフロート技術研究組合，メガフロートの基本特性

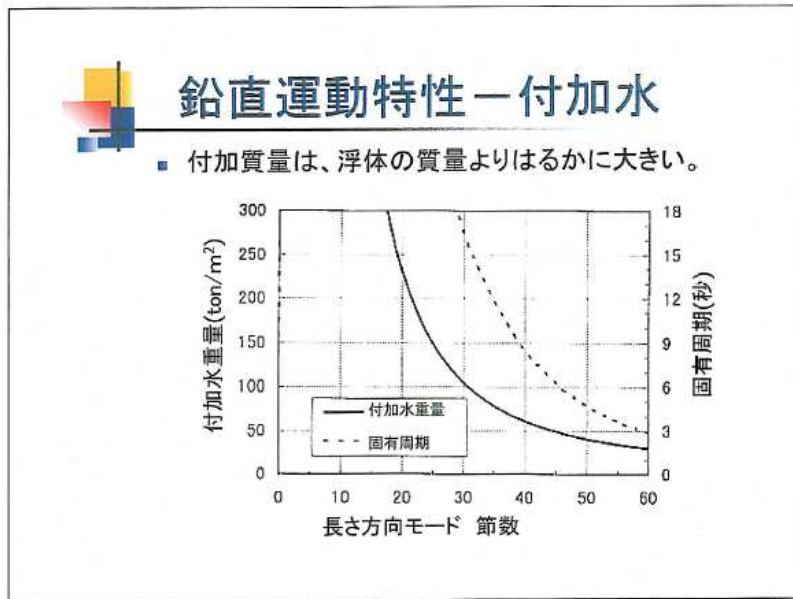
図 2.16 振動波形（弾性波長と水面波長）<sup>7)</sup>



固有周期6秒の時の節数は約45。対応する浮体剛性寄与率は約90%。  
 出典：メガフロート技術研究組合，メガフロートの基本特性

図 2.17 鉛直運動特性<sup>7)</sup>





- 物体の海中での運動を考えた場合、物体は質量が増加したような運動をする。この増分が付加質量である。感覚的には、海水中で手のひらを広げ、一定のスピードで動かしたときに受ける力が減衰項、加速するときに重く感じるのが付加質量による効果である。
- 上のグラフで固有周期6秒の時の節数は、約45。これに対応する付加重量は、約50t/m<sup>2</sup>。メガフロートの重量は、通常1 t/m<sup>2</sup>より小さい。付加質量の影響の大きいことがわかる。メガフロートは、自重の何十倍もの重さのある物体として振動する。見かけよりはるかにどっしりとしている。

出典：メガフロート技術研究組合、メガフロートの基本特性

図 2.18 付加水重量<sup>7)</sup>

何故上記を引用したのか？それは大型石炭浮体の構造がメガフロートのような単純な箱型構造でなく、多数のばら積船を平面的に寄せ集めたような形状になることが予想されたからである。その場合今まで開発された異方性一様平板を対象に開発された弾性応答プログラムを適用して構造検討するのは膨大な時間と費用が掛かり注文主の要求に応えられない恐れがあった。更に石炭浮体は一様平板とは言い難く、単純にメガフロート用の弾性応答プログラムを適用するには相当無理があると思われた。

そこで比較的扱い易く、かつ構造特性を適切にモデル化できる既存の構造解析プログラムである MSC/NASTRAN の使用を想定した。その場合 NASTRAN による解析結果が安全側に出るかどうかが、検討する必要があった。勿論それぞれで解析して比較すれば判定できるのであるが、そのための検討時間はさらに膨大になるので、簡易的に安全側かどうかを上記弾性応答の一般特性から推定した。即ち NASTRAN では、計画上の最大波高の水波をサイン波でモデル（浮力バネ）化して、その上に浮体に乗っている状態を静的に解いて各部の応力や撓みを算出する。

一方実際の弾性応答状態では波と浮体が一体化して運動（振動）状態に入るが、その時の浮体構造の振動状態での振動波長（弾性波長）は本来の水面波長よりはるかに長いので（図 2.16：振動波形参照）、変形の曲率半径は水波よりはるかに大きくなり、従って表面応力は NASTRAN でのモデル化状態より小さくなると思われる。なお、最終的には比較計算を実施して安全側であることの確認を行う。



### 第 3 章 : 全体配置に関する初期計画

### 3.1 全体配置に関連する項目の整理（医療浮体）

#### 3.1.1 考慮すべき項目と内容

初期計画の難しさと特徴は、目的である大災害時の救急医療支援（および救命）活動の具体的内容が社会的にまだ確定していない、あるいは誰もイメージできていないことである。更に言えば浮体式医療支援施設というこれまでサンプルとなる事例がない浮体システムを活用および運用して医療支援を行う具体的な活動がどのようなものであるかイメージできないことである。そこへ焦点を合わせて浮体を計画するのであるから、種々の状況が想定され 100 人 100 色の意見が発生してもおかしくない。これは貨物を早く安価に運ぶという明確な経済的な目的が明らかな、新型船舶の開発や石油掘削という作業を行う経済活動がベースの海洋構造物の開発・設計とは、要素技術の難しさは別にして、全く状況が異なるということである。即ちこれまで誰もやったことない浮体を活用した大災害時の大量救命支援という、全く新しい緊急時の救命活動の内容をある程度定義または提案してからでない、初期計画も進まないことである。

従って本浮体システムの提案では、現在の社会システムの中で可能な、浮体を活用した救急救命活動の内容を提案し、その目的に適合する医療浮体の初期計画を計画工学的に如何に進めるかを示すことも大きな意義があると考え。またこの F.S は、すぐにも実現させるための提案でなく、広く関係する人と組織から、さらに具体的な批判やアドバイスを得るための所謂叩き台的な性格であるから、出来るだけ簡便な工学的な方法を模索して実行するものであり、さらに多くの人により良い案を容易に且つ短期間に提案できることを期待するものである。

現在の社会システムの多くの要素が本浮体の計画に関係する。それらを思いつくまま列記すると下記の項目がすぐ考えられる。

- 1) 大災害時かつ非常時の救命、救急活動として現状の関係者に容易に受け入れられるか。
- 2) 大災害としては、どんな状態を想定しているのか？
- 3) 医療スタッフは迅速に集合できるのか。
- 4) 災害時の救急救命のため新しい特別な組織が必要か。
- 5) 誰が運用するのか。所有者は誰か。誰が費用を負担するのか。
- 6) 平時にも何らかの社会貢献が可能か。
- 7) 設置海域&水域は浮体にとって安全か。
- 8) 災害時に多数の患者は容易に搬入されてくるか。
- 9) 既存の病院と並立できるか。
- 10) どれだけの期間でどれだけの人命を救命するのか。その根拠はあるのか。
- 11) 浮体であることのメリットは本当にあるのか。

### 3.1.2 関係要素の整理

前項の項目を少し分野ごとに分けて大雑把に整理すると下記のような関係になる。

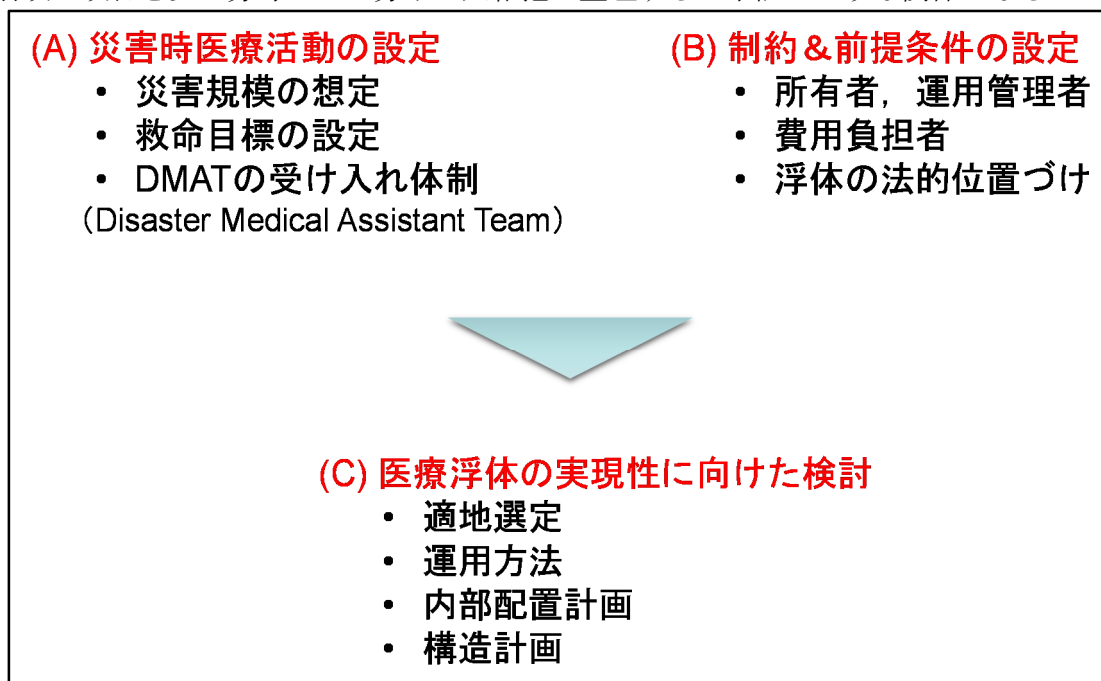


図 3.1 要素項目の関係図

上記 (A), (B), (C) はお互いに関連するが、ハードである浮体システム (C) を先に決定しておいて、既存の社会システム (制度) で運用されている現状の救急医療活動を新しい医療浮体 (C) に合わせよう社会に要求することは極めて難しいと思われる。

(B) の制約&前提条件とは浮体を計画する場合、現状の社会システムや法的制約など変更のできない条件を意味するが、結局、(A), (B) それぞれに対して、浮体計画に必要なあるいは関係する項目を適当に想定して初期計画の出発点とした。この想定した諸条件に対して計画途中の段階で不具合が見つければ元に戻って計画内容を修正するという計画スパイラルを実行するのが流れである。それを下記に示す。

また (B) にはその時の計画作業で自分たちがすぐ使用できる設計ツール、プログラムなども含めて考える柔軟性が必要である。そうしないと新しい設計ツールの開発までも計画作業に含まれ多くの時間とマンパワーが必要になり計画作業が極めて重くなりなかなか着手できなくなるというジレンマに陥る可能性があり、十分注意を要する。

### 3.1.3 医療浮体の初期計画の流れ

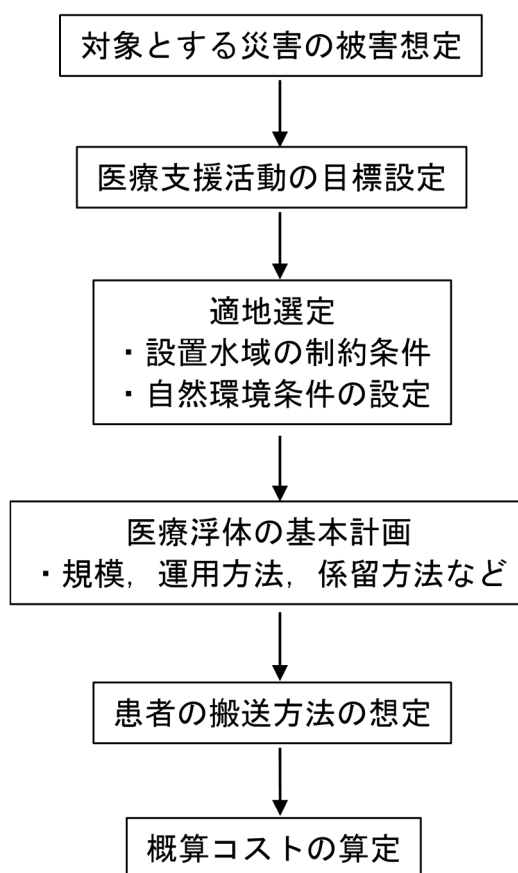


図 3.2 医療浮体の初期計画の流れ

上記の流れで注意すべきことは、検討中に疑義が生じた場合は常に上流に戻って再検討する必要があることである。即ち、初期計画でも常にスパイラル的に見直していくことが必要である。

以下に各項目への補足を下記に述べる。

- 1) 国や東京都から首都圏の地震被害について多くの調査報告書が出ておりそれらを参考にする。
- 2) 目標は医療関係者など誰かが決めてくれるものでなく、医療浮体を計画する人が設定する必要がある。初期計画の出発点であるから重要な項目である。想定する患者搬送法もこの項目であるが。
- 3) 前提&制約条件：医療浮体は大災害時への対応を目的としているので、平常時は不要ではないかという疑問を出される可能性が強い。この疑問に対しての回答を準備して前提または制約条件として計画に織り込む必要がある。回答は当然複数ある。
- 4) 設置場所は 1), 2), 3) を勘案して、いくつかの候補を設定する。
- 5) 1), 2), 3), 4) を勘案して、係留方式、患者収容&居住面積、乾舷高さ、医療面積、機械室面積、種々のタンク容積などを仮決めする。
- 6) 設置場所の波浪、風、水深などを調査して設定する。安全性確認のための severe condition や平常時の状態を分けて把握する。
- 7) 4) とも関連するが、浮体計画の前提として仮決めしておく。
- 8) 5) とも関連するが 1)~7) をすべて勘案して、浮体全体の大きさ、区画配置、構造計

画、係留方式などを目に見える形にして平面計画に織り込む。またその結果を受けて構造安全性や居住性などの確認作業を行う。

- 9) 医療関連機器以外の浮体関連項目の概略コストの推定を行う。概略で良いので関連資料を調査して推定することも可能である。

### 3.1.4 医療浮体の特性

上記の流れのさらに前に、医療浮体の特性を把握しておく必要がる。

- 1) 河川、海域を活用し、埋め立て方式を補完できる全く新しいタイプの社会インフラであり、沿岸域を含めた日本国土の有効活用に繋がる。
- 2) 従来の災害時の救急救命活は、災害拠点病院を中心とした個別病院の能力と自衛隊、ドクターヘリによる広域搬送に頼る方式であるが、浮体方式は災害場所の近くに存在することによって、患者のアクセスがより容易になり救急活動が効率的になる。また災害時にも健全な浮体式医療施設が存在することにより、多くの関係組織との連携を密に行うことが可能となり、広域的かつ組織的な活動が可能となる。その結果、患者が極端に集中する（サージ需要）既存病院の救急救命活もが全体として効率的になり、多くの **preventable death**（無駄死）を防ぐと思われる。
- 3) 新しい医療浮体を活用するためには、当然現存組織との連携が必要であるが、どのような連携が望ましいかなどは医療浮体というハードの検討とは別にソフトの検討を繰り返し、現存の組織運営に混乱を与えずにより良いものへと逐次改良できると思われる。
- 4) 万一設置地域から離れた地域で災害が発生した場合は、当該医療浮体を国または自治体の所有するタグボートにより災害地域まで曳航移動させ救急活動に参加させることが可能である。
- 5) 医療浮体を活用する場合には、「トリアージ」という医療診断が重要であり、それを救急関係者が常に実施することが前提になるので、トリアージの内容を図 3.3 に紹介する。

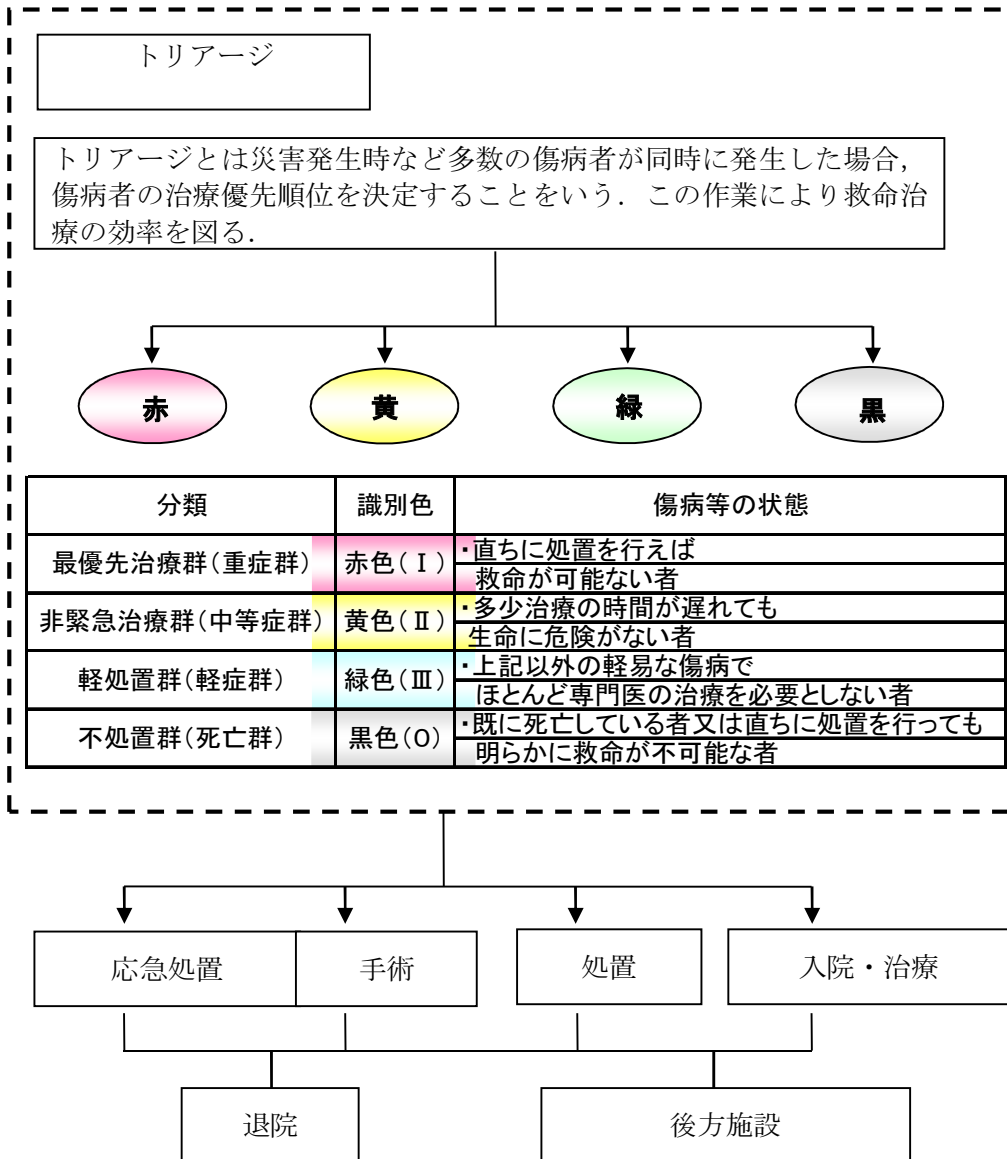


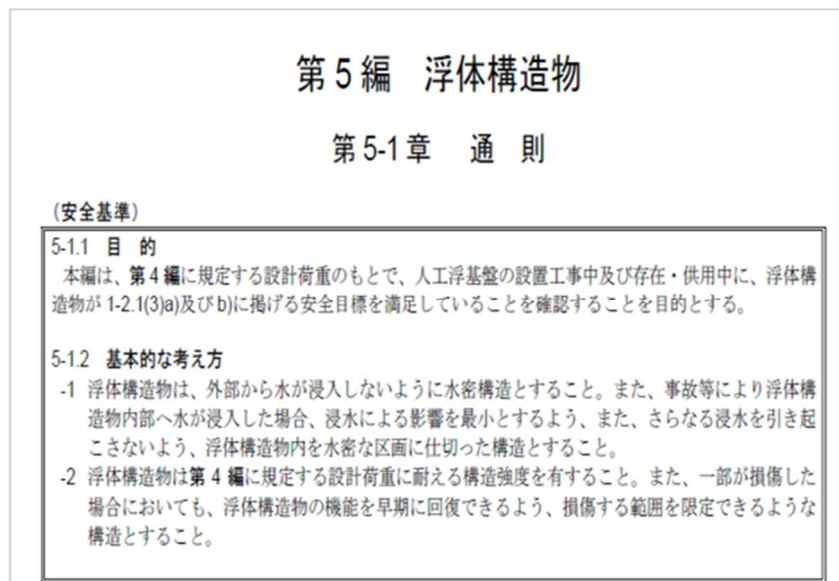
図 3.3 トリアージのイメージ

## 3.2 全体配置に関連する項目の整理（石炭浮体）

### 3.2.1 考慮すべき項目と内容

第2章を参照すると勘案すべき項目は下記のとおりである。

- 1) 石炭最大貯蔵量. 出発時点では何らかの仮の数値を決めないと検討は進まない. 目標最大貯蔵量については F.S の結果再調整する必要が出てくる場合がある.
- 2) 浮体の大きさ ( $L, B, D, d$ ).  
 $d$ は浮体の喫水であり, それは浮体の上でどの程度の高さまで石炭を積みかき左右され, 浮体が設置される海域の水深と潮位変動で制約される. また仮に最大貯蔵量を 50.0 万 t に設定すれば浮体構造にとっては例えば 0.0~50.0 万 t という大きな荷重変動即ち喫水変化が発生するので重要な要素である.
- 3) 積出のため多くのバルクキャリアが接舷する浮体式埠頭であるから  $L$  (浮体長さ) は一度に何隻を同時に接舷させ荷役するかで決まる.
- 4)  $B$  (浮体幅) は搭載するクレーンなどの荷役装置のアウトリーチで決まる. ベルトコンベアーなどを採用すると岸壁から離れた貨物艙にも容易に荷役ができ, 自由度が大きくなるのでその制約は小さくなる. ベルトコンベアーは浮体内部の二重底および隔壁内部に設置可能であり, 貨物艙の底部に開閉式の開口を設けて石炭をベルトコンベアーに乗せて舷側まで流すことが可能である. ただし, 石炭を横持ち移動させる時間や掛かる費用などは事業採算性を検討する場合に重要な要素になるので, 基本計画に入る場合には最初に検討すべき項目である.
- 5)  $D$  (浮体構造深さ) は必要な強度や石炭貯蔵の方法・配置で決まるが, 初期計画といえども参考データがないので, 仮定の値に対し概算の貯蔵量や強度を検討してからの決定になる. かなりの試行錯誤が必要である.
- 6) 前項目と関連するが石炭の積み方, 荷役時間.  
石炭の貯蔵配置, 荷役順序が浮体構造と浮体姿勢に大きな影響が出る.
- 7) 設置海域の気象・海象の自然条件の把握.
- 8) 大型浮体に関する安全基準を満足する構造様式であること.  
例えば超大型浮体式構造物「技術基準案・同解説」(平成 11 年 3 月)には図 3.4 のような浮体への安全要求<sup>8)</sup>が述べられている.



出典：メガフロート技術研究組合，超大型浮体式構造物「技術基準案・同解説」

図 3.4 浮体への安全要求<sup>8)</sup>

### 5-1.3 浮体の区画割

浮体の区画割については、次のような設計思想に基づく計画を行う。

- 1 浮体構造物は、一部損傷時の復原性および浸水時の一部沈下による構造の安全性を確保すること。
- 2 浮体の周縁部は、船舶の衝突等による浸水量を限定する為に水密区画で分離する。
- 3 浮体周縁部には、船舶の衝突による浸水や海上火災時の熱の影響が周縁部の内側に波及しない様な奥行きをもつ緩衝区画を設ける。
- 4 浮体構造物の区画は、損傷区画または取り替え工事範囲での浮力喪失または構造強度欠損に対応できる大きさとする。
- 5 浮体構造物の内部空間は、防食仕様や防災仕様および点検作業についての考慮が必要な内部空間利用区画と、それらを必要としない空所区画に分類して効率的な設備配置に配慮すること。
- 6 内部空間利用区画には、二重底構造の採用を必要に応じて検討する。

#### 【解説】

1. 火災原因となる電線、ガス、燃料パイプ及び漏洩の可能性のあるパイプ類を配置する内部空間は、共同溝スペースとしてその他の区画と分離する。
2. 内部空間利用区画には、配置された機器などの重量の支持、配管スペースの確保、その他不測の浸水に備えて人命や機器設備保護が要求されるので、二重底構造が有利な場合が多い。
3. 浮体周縁部の区画は水密区画と緩衝区画の両方を兼用した区画割りが有効である。

### 5-1.4 用語の定義

#### (1) 水密

水密とは、周囲の構造が設計された水圧の下で、いかなる方向にも水がその構造を通過しないことをいう。

#### (2) 風雨密

風雨密とは、浮体構造物の水面より上部の構造から風雨及び海水が浸入しないことをいう。

#### (3) 気密

気密とは、周囲の構造が想定される最大気圧の下で、いかなる方向にも空気がその構造を通過しないことをいう。

#### (4) 海水流入

海水流入とは、浮体構造物に設けられる開口のうち、水密又は風雨密でない開口、又は、水密又は風雨密の開口であって、浮体構造物の供用中に開放する計画のあるものから、浮体構造物の浮力を確保している内部に水が浸入することをいう。

#### 【解説】

##### (1) 水密

水密とは、周囲の構造が設計された水圧の下で、いかなる方向にも水がその構造を通過しないことをいう。例えば、浮体構造物の底板に穴があき、浮体構造物の喫水まで、内部に水が浸水した場合においても波浪等の影響を考慮し、仕切りの上部に設けられた開口から水が通過しないような仕切りとなっている場合は、当該仕切りを水密仕切りと見なす事が出来る。

##### (2) 風雨密

風雨密とは、いかなる海象状態においても、浮体構造物に風雨及び海水が浸入しないことをいう。

出典：メガフロート技術研究組合，超大型浮体式構造物「技術基準案・同解説」

図 3.5 浮体の区画割安全要求<sup>8)</sup>

浮体構造の損傷や溶接部のクラックなどにより浸水が発生しても、沈没までに至らないように浮力を確保する必要がある。今回の浮体の場合は、外板部や底部を多くの区画に分割して、どの区画に浸水しても沈没に至らないように配慮した。

### 3.2.2 必要な荷役装置と運用法

#### 1) プッシャーバージからの積込み

現在のインドネシアにおける沖合荷役ではクレーンにグラブバケットを装備した方式が採用されているが、バケットの操作はワイヤロープを介するため操作に時間が掛かる。そこで今回はストロークの大きなバックホーを採用する。下図参照。

バックホーは上甲板の舷側に設置された回転台に乗せるため、回転速度も速く積込速度も効率的になっている。また回転台は舷側を前後に移動でき、バージを移動させずに、効率的に石炭を積み込むことができる。上甲板の舷側にはその設置のためのスペースを設けねばならない。また海面からの高さは荷役効率に大きく影響するので、浮体側での喫水調整が必要であり、浮体にバラストタンクを設ける理由の一つである。



## 2) バラ積み船への積出

まず積出効率は荷役装置の能力に左右されるが、一方バラ積み船自身のバラスト調整能力などの受け入れ能力にも制約される。従って今回対象とする 10.0 万 t クラスのバルクキャリアの受け入れ能力と同等の能力の荷役設備を装備することにした。即ち 3,000.0t/Hr の SHIPLOADER(SPREADER) を合計 4 基設置して 2 隻のバルクキャリアに同時に荷役できるようにした。1 隻への荷役時間は約 15 時間程度で着舷から 1 日半で荷役が完了できる計画になっている。装置の外形図を下に示す。

この装置も舷側に配置され、前後に移動するので、その設置のための十分なスペースを確保せねばならない。なお、この装置のアウトリーチはバルクキャリアの船幅を考慮して決定せねばならない。

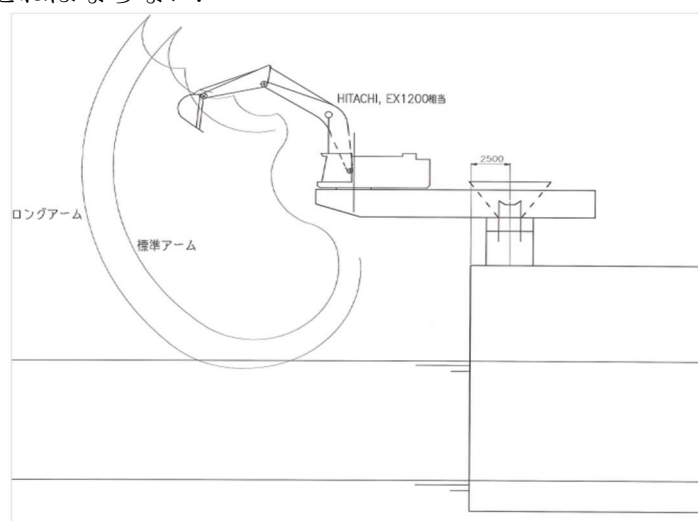


図 3.6 上甲板に設置されたバックホーのイメージ  
(石炭バージから石炭を掬い取る。クレーンよりも速い)

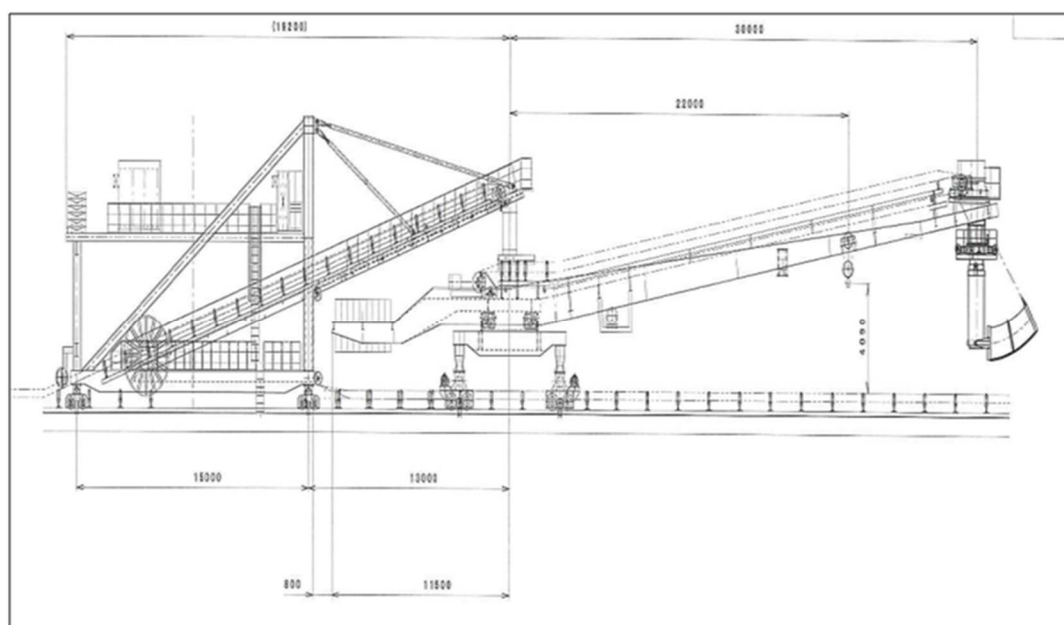


図 3.7 上甲板に設置された Ship Loader のイメージ  
(ベルトコンベアから搬入された石炭をジブ先端のグラブまで移動させて石炭船に積み込む。クレーンより速い)

### 3.3 配置図の作成手順と配置図

#### 3.3.1 医療浮体の配置図（東京湾や岸壁に設置する場合）

湾内や岸壁への設置を想定する場合を下図に示す。

浮体高さや幅に制約がないので概算された必要な面積を浮体内部、上甲板上、2層甲板などに分けて配置した。エネルギーセンターを大きく確保したのは、災害時に周辺地域に電力や飲料水の供給も考えたためである。また広い平面を確保しやすいのでドクターヘリなどの発着が容易である。1日で約300人（3日間で1,000人、図3.8参照）の患者を収容し治療を施す施設を想定した場合の全体の配置図の一例を図3.9に示す。また、多数の患者の搬送は河川、水路を航行できる小型舟艇の利用を想定しているため、医療施設の設置場所は河口から近い静穏な湾内で、耐震岸壁に隣接する水域が最適である。

1) 所要面積（一例を示す。客船の資料などを参照）

1.1) 収容人数：患者1,200人・医療関係者1,200人 → 合計2,400人  
無補給稼働日数：7日間

1.2) 各室の面積：

- ・受け入れオープンスペース：2,500.0m<sup>2</sup>,
- ・シャワー室（30人が同時に利用可）60.0m<sup>2</sup>
- ・病室：一般病棟1, 100床（1床あたり4.3m<sup>2</sup>）→合計4,730.0m<sup>2</sup>
- ・ICU40床（1床あたり4.3m<sup>2</sup>）→合計172m<sup>2</sup>
- ・人工透析室60床（1床あたり4.3m<sup>2</sup>）→合計258.0m<sup>2</sup>

合計5,160.0m<sup>2</sup>

1.3) 医療区画：

- ・診察室20.0m<sup>2</sup>・検査室50.0m<sup>2</sup>・X線室50.0m<sup>2</sup>
- ・手術室30.0m<sup>2</sup>→4室で1ブロック、1ブロック150.0m<sup>2</sup>→30ブロック  
4,500.0m<sup>2</sup>,

3ブロックに1室ずつ熱傷治療室50m<sup>2</sup>を設ける→10室500.0m<sup>2</sup>, 調剤200.0m<sup>2</sup>  
合計5,200.0m<sup>2</sup>

1.4) 管理部門：

- ・総司令室200.0m<sup>2</sup>
- ・当直室（病室と同様1床あたり4.3m<sup>2</sup>と考える）1,200人で5,160.0m<sup>2</sup>
- ・ロッカールーム400.0m<sup>2</sup>
- ・休憩室400.0m<sup>2</sup>
- ・シャワー室（30人が同時に利用可）60.0m<sup>2</sup>

合計6,220.0m<sup>2</sup>

1.5) ベッドセンター（リネン）：230.0m<sup>2</sup>

1.6) 霊安室：60人分（病室と同様に考える）258.0m<sup>2</sup>

1.7) 電気施設：

- ・常用発電機（1,000kVA）2基・無停電電源装置（200kVA）1基
- ・1,000kVA発電機（W6,610×D2, 350×H2,950）
- ・200kVA発電機（W1,000×D800×H1,930）は作業空間として各面から10.0mを取ると考え、2基で400.0m<sup>2</sup>。無停電電源装置は作業空間として各面から5.0mとると考え36.0m<sup>2</sup>・燃料タンク（7日分）50.0t→50.0m<sup>3</sup>

合計486.0m<sup>2</sup>

1.8) 給水施設：

- ・飲料水（7日分）50.0t→50.0m<sup>3</sup>, ・医療用水（7日分）100.0t→100.0m<sup>3</sup>
- ・その他の清水（7日分）1,500.0t→1,500.0m<sup>3</sup>
- ・汚水タンク（7日分）1,000.0t→1,000.0m<sup>3</sup>

合計 2,650.0m<sup>2</sup>

1.9) 倉庫：耐寒衣類用倉庫 20.0m<sup>2</sup>，資材倉庫 30.0m<sup>2</sup>

1.10) 給食施設：調理室 400.0m<sup>2</sup>

- ・ 2400 人分の 7 日間の必要食料→6.8t

- ・ 患者：米飯 1.2t，肉類 630.0kg，魚類 630.0kg，野菜類 770.0kg→3.2t

- ・ 職員：米飯 1.6t，肉類 630.0kg，魚類 630.0kg，野菜類 770.0kg→3.6t

- ・ 米飯→2.8m<sup>3</sup>，肉類→1.2m<sup>3</sup>，魚類→1.2m<sup>3</sup>，野菜類→1.4m<sup>3</sup>

- ・ 冷凍庫 170.0m<sup>2</sup>，冷蔵庫 380.0m<sup>2</sup>，ドライルーム（乾物，飲み物）190.0m<sup>2</sup>

合計 1,140.0m<sup>2</sup>

上記の数値を大きくまとめて作成した配置の例を図 3.9，図 3.10 に示す。

## 2) 全体配置図

配置上の一番の特徴は、集中的に多くの患者が搬送されてくるので、その受け入れのため上甲板に広いスペースを確保しまた小型船からの患者搬入がスムーズに行われるよう小型船の舷側高さに合わせた数種類の栈橋などを浮体側に設けたことである。当然ヘリコプター用の着陸場所も複数確保している。どうしても乾舷が高くなる病院船に対し有利な面である。

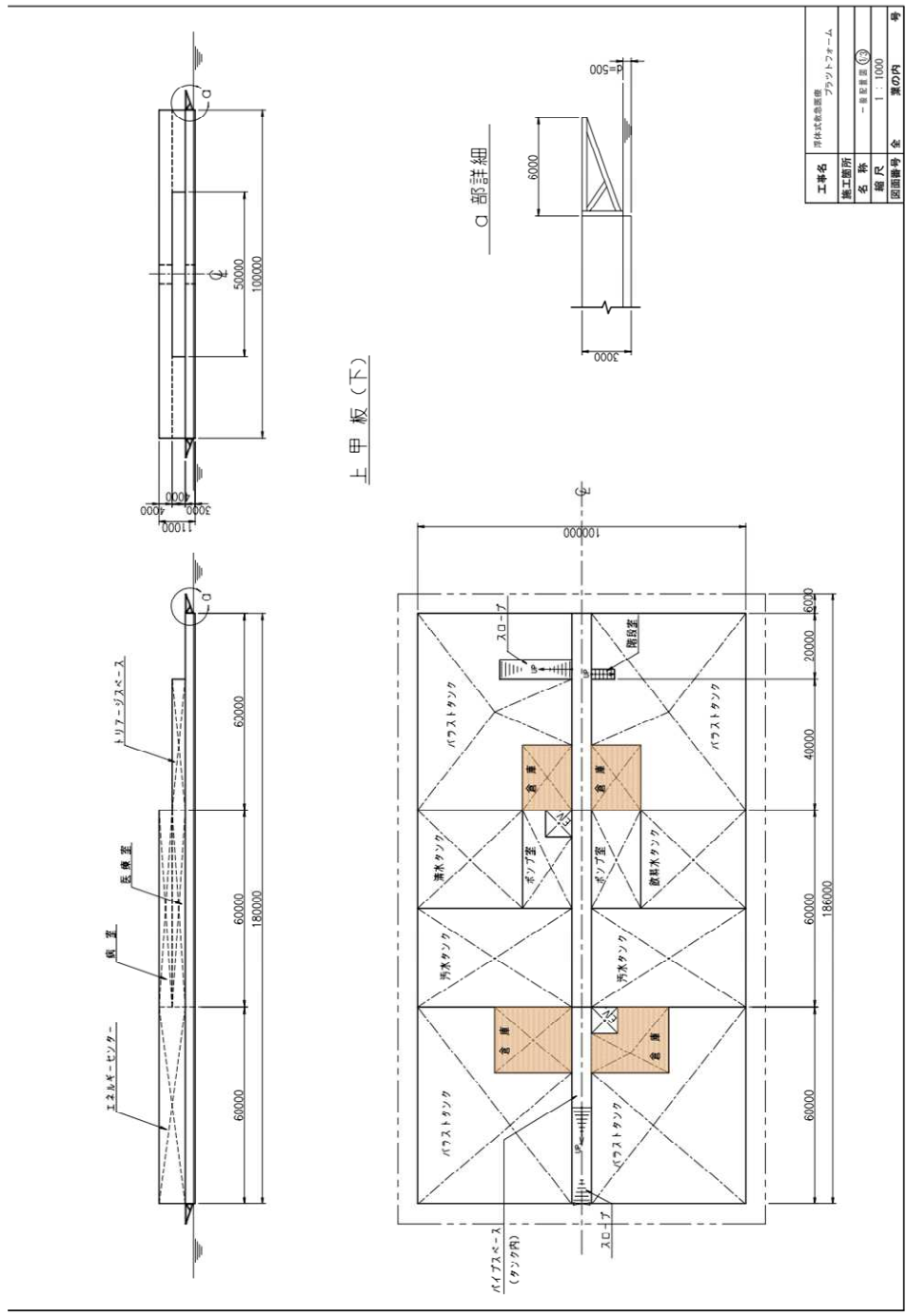


図 3.8 医療浮体全体図（上甲板下）

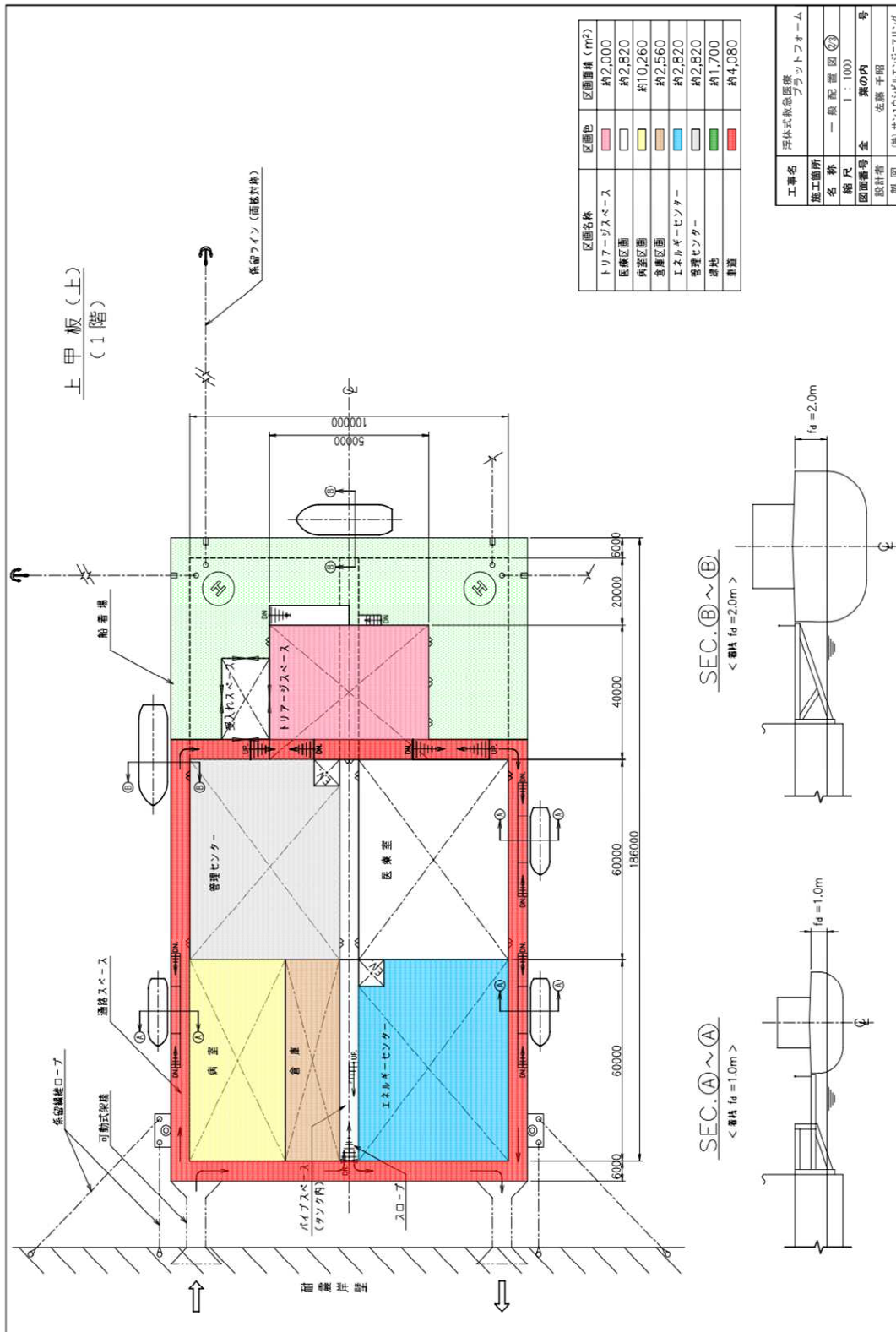


図 3.9 医療浮体全体図 (上甲板)

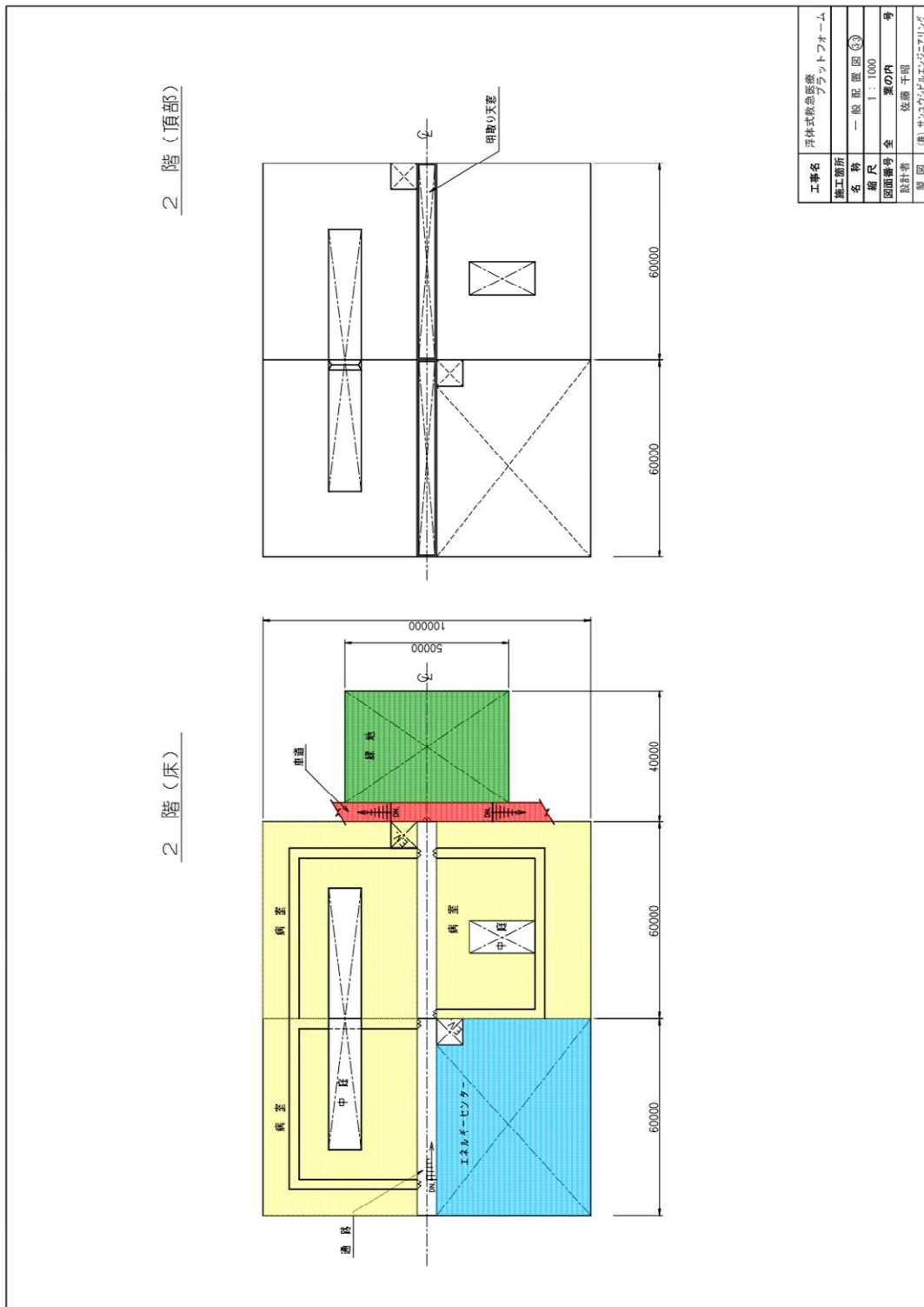


図 3.10 医療浮体全体図 (2 階)

表 3.1 浮体規模 1

名称	主要寸法
全長： $L$	180.0[m]
全幅： $B$	100.0[m]
面積： $S$	18,000.0[m <sup>2</sup> ]
1層の高さ： $H$	3.0[m]

表 3.2 浮体規模 2

名称	施設重量
浮体重量	0.388[t/m <sup>2</sup> ]
$W_1$	2,500.0[t]
$W_2$	3,100.0[t]
$W_3$	920.0[t]

浮体重量は構造高さが 3.0m であるメガ実証浮体の実績から流用している。初期計画では信頼をおける類似した資料からデータを流用して時間セーブを図ることも重要である。

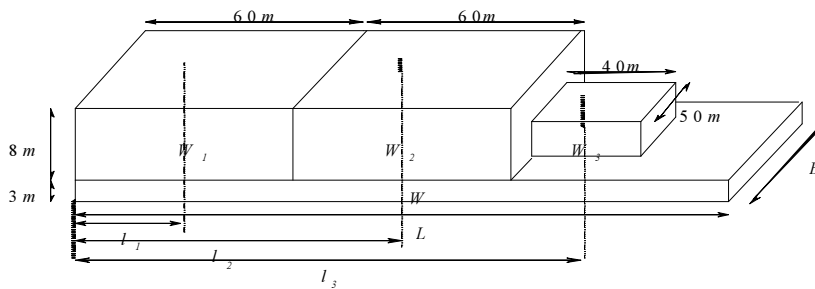


図 3.11 浮体姿勢（4 点の喫水）計算モデル

上図において前喫水および後喫水を  $df$ ,  $da$  とすると下記式で与えられる。

$$df = \frac{wS + W_1 + W_2 + W_3}{\rho g S} + \frac{6W_1(l_2/2 - l_1) - 6W_3(l_3 - L/2)}{\rho g L S} \quad (3.3.1-1)$$

$$da = \frac{wS + W_1 + W_2 + W_3}{\rho g S} - \frac{6W_1(L/2 - l_1) - 6W_3(l_3 - L/2)}{\rho g L S} \quad (3.3.1-2)$$

各区画の固定施設の重量と浮体姿勢を等喫水に保つための必要バラスト水重量を推定した結果を下記に示す。

表 3.3 喫水

	前後端喫水[m]
$df$	0.7
$da$	0.86
平均喫水	0.78

### 3.3.2 荒川に設置することを想定した場合の医療浮体の初期計画

#### 1) 荒川を選定した根拠など

東京には荒川や隅田川、多摩川など多くの川が流れており、特に荒川は下流部の人口密度が約 9,150 人/km<sup>2</sup> と全国 1 級水系中最も人口密度が高く、公共機能が集中している。また図 1 に示した東京湾北部地震による被災状況をみても荒川沿いを中心に建物の崩壊が確認され、火災による焼失、液状化による大きな被害も予想されている。また荒川は隅田川や中川への放水路が多数存在し、大型台風や集中豪雨などの異常気象と満潮時が同時に発生しない限り氾濫は起きにくいと考えられる。また荒川の河口部から笹目橋までにリバーステーションや防災栈橋が点在しており、荒川沿いには災害時の復旧活動にも利用可能な緊急用河川敷道路も整備されていて一般道路とも接続しており、災害時に緊急車両などが通行可能である。そこで本研究では、首都直下地震発生した際、必要に応じて荒川内および東京湾内を移動して医療活動が行える荒川に、平常時、医療浮体を設置することとした。

#### 2) 荒川周辺の被災予測と設置水域選定

中央防災会議地震対策強化地域指定専門委員会が発生についてある程度の切迫性を有していることを報告した南関東地域直下における M7 クラスの地震について東京都防災会議地震部会<sup>9)</sup>は首都直下地震として東京湾北部地震 (M7.3)、多摩直下地震 (M7.3)、海溝型地震として元禄方関東地震 (M8.2)、活断層で発生する地震の立川断層帯地震 (M7.4) の 4 タイプに分類している。これら 4 タイプの地震の中で特に東京湾沿岸部に多大な被害を引き起こすと予想される地震は東京湾北部地震であり、地震発生時が冬季の 18 時で風速が 8.0m/s であった場合、荒川に隣接する各区の人的被害想定は表 3.4 に示すとおりとなる。表 3.4 の人的被害想定の結果から負傷者数の多い区を確認し、およそその中心部分は墨田区四ツ木橋付近となる。また四ツ木橋付近には図 3.12 に示すように復旧・復興関連仮置場や臨時のヘリポート、堀切リバーステーションが設けられており、他にも大規模救出救助活動拠点候補地や中央防災会議拠点が整備されている。そこで本研究では墨田区四ツ木橋付近を、平常時に医療浮体を設置する設置水域として選定した。



表 3.4 荒川に隣接する 8 区の人的被害想定<sup>9)</sup>

	死者数	負傷者数（重傷者数）	
墨田区	666 人	7,121 人	(1,311 人)
江東区	450 人	10,164 人	(1,654 人)
北区	126 人	2,836 人	(268 人)
荒川区	421 人	4,485 人	(752 人)
板橋区	81 人	2,657 人	(226 人)
足立区	712 人	9,034 人	(1,293 人)
葛飾区	499 人	5,516 人	(852 人)
江戸川区	600 人	7,706 人	(1,209 人)

出典：東京都防災会議地震部会；「首都直下地震等による東京の被害想定」報告書<sup>9)</sup>



図 3.12 医療浮体設置候補地（墨田区四ツ木橋付近）

## 2.1) 荒川の河川調査

医療浮体を墨田区四ツ木橋付近の荒川上に設置することとしたため荒川に架かる橋梁の桁下高さに関する調査および水深計測を実施した。橋梁の桁下高さは医療浮体の基本計画を進める上で規模設定に関わる重要項目となる。計測はレーザー距離計を用いて水面から荒川に架かる橋梁の径間中央部までの距離および径間を計測し、計測時刻から干満差を考慮して桁下高さを算出しており、最低桁下高さは総武線鉄橋の H.W.L. + 5.0m, 最狭径間は小松川橋の 34.0m であった。

また測深ロープを用いて計測された水深を表 3.5 に示す。ここで示す水深の値は計測時刻における干満差も考慮しており基準面からの水深の値となる。本結果から河川中央部では水深が 4.9m 以上である河口から戸田橋付近までの通航可能最大船型で定められている喫水 3.0m 以上が十分に確保されていることを確認した。また荒川に点在する複数リバーステーション付近においても水深を計測したところ、多くは 2.5m 以上の水深は確保していたが、今後医療浮体の接岸を考える際には定期的な水深計測と浚渫作業を実施する必要があると考えられる。

表 3.5 荒川内の各地点の水深

測位地点	水深[m]
葛西橋下	7.2
平井大橋下	5.2
荒川四ツ木橋緑地付近	5.9
荒川大橋下	7.0
西新井橋下	6.8
荒川区少年運動場野球場付近	4.9

2.2) 荒川の津波伝播計算

ここでは荒川上で医療浮体の設置水域として選定した墨田区四ツ木橋付近に対して津波遡上の影響を検証するため津波伝播計算を行い津波による水面変動量および流速場の解析を行った。ここで設定条件は中央防災会議でも採用されている断層パラメータを適用した。津波伝播計算における陸域との境界条件は完全反射境界として計算をし、海域の水深データは日本水路協会<sup>10)</sup>が取りまとめた東京湾内の水深データを用い、河川の水深データは著者らによって船上計測したデータを用いて計算を行った。津波伝播計算により得られた各地点の水面変動の結果を図 3.13 に示す。計算結果より河口付近では高い流速により沿岸域の建築物の倒壊が予想されるが、四ツ木橋付近では 1.0m に近い水面変動があっても緩やかに水面が変動する状況になることが予想されることから係留杭の高さを十分に確保すれば津波により生じる波圧を上下動によって受け流すと考えられる。

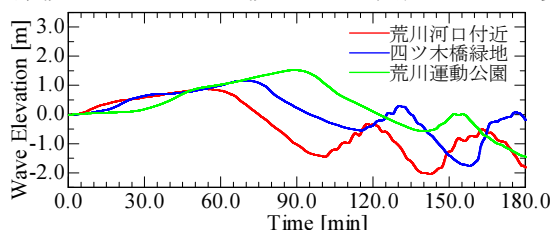


図 3.13 各地点での時系列水位変化

2.3) 規模計画および構造形式

今回提案する医療浮体の規模は東京湾や遠隔地において災害が発生した場合に被災地へ派遣可能なかたちで運用することを考えているため荒川に架かる橋梁の最低桁下高さの 5.0m、最狭径間の 34.0m が規模に関する制約条件となる。

本研究で提案する医療浮体は前述の通り平常時は主に透析センターとしての運用を考えているが、災害時には被災地における救急医療に対応できるよう小規模総合病院に当たる 100 床規模の病院と同等の機能を有するものとして提案することとする。全国公私病院連盟<sup>11)</sup>の資料から既存の病院の平均的な病院内の部門ごとの面積比率、病棟の面積比率を算出し、100 床の病院の延べ床面積を算定した。その延べ床面積と医療浮体の運用方法より図 3.14 に示すとおり病棟ユニットと診療ユニットの 1 層 2 ユニット連結型で構成する形式を採用した。病棟ユニットは主に入院患者のための病室を多く配置し全 100 床のうち 80 床、診療ユニットに 20 床を割り当て、双方のユニットに診療スペースを設けるが病棟ユニットの方に診療室 2 室、診療ユニットに 5 室を配置した。このように病棟と診療の 2 つのユニットで医療浮体を構成することで、災害が発生した場合、入院患者を他の病院などへ移すことなく病棟ユニットを活用し、診療ユニットだけを被災地へ派遣するなどの運用を可能とした。このように 1 層 2 ユニット連結

型で構成される医療浮体の病棟ユニットと診療ユニットのサイズは 100 床の延べ床面積を満足させることと長手方向の長さを 90m 未満にして鋼船規則 Q 編<sup>12)</sup>の船体横断面係数に関して厳しい制限が適用されないようにする点に注意し、浮体の水平方向のサイズを 85m×28m、浮体に上載する医療施設のサイズは 80m×24m とした。河川への病棟ユニットおよび診療ユニットの配置を図 3.14 に示す。

また医療浮体の重量は浮体および医療施設の固定荷重および積載荷重を算定し診療ユニット、病棟ユニットそれぞれの総重量・喫水を算出した。医療浮体の浮体基盤部の構造深さは 4.0m である。固定荷重は医療浮体に使われる部材から重量を算出し、積載荷重は建築基準法で定められている積載荷重から算出している。また医療浮体の重量計算にはライフラインの 1 週間分の自己完結性を持たせるための設備についても考慮した。表 3.6 に診療ユニット、病棟ユニットの総重量、喫水を示す。ここで病棟ユニット、診療ユニットの喫水がそれぞれ 1.2m、1.0m となったが、鈎滓を活用した固定バラストやバラスト水などで重量の調節を行い、両ユニットともに喫水 2.5m、乾舷を 1.5m として調整することとする。

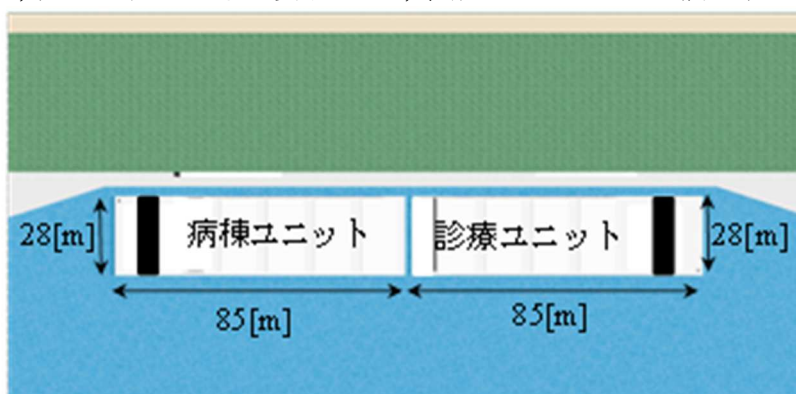


図 3.14 医療浮体のユニット編成イメージ図

表 3.6 各ユニットの重量

	病棟ユニット	診療ユニット
上載医療施設（固定）	358.9[t]	335.4[t]
上載医療施設（積載）	443.8[t]	460.7[t]
浮体基盤部（固定）	1,097.6[t]	1,097.6[t]
浮体基盤部（積載）	680.3[t]	399.1[t]
収容人数	36.0[t]	36.0[t]
食料	1.7[t]	1.7[t]
清水・汚水	377.0[t]	106.7[t]
発電機	7.6[t]	7.6[t]
軽油	12.1[t]	12.1[t]
総重量	3,015.0[t]	2,456.9[t]
喫水	1.2[m]	1.0[m]

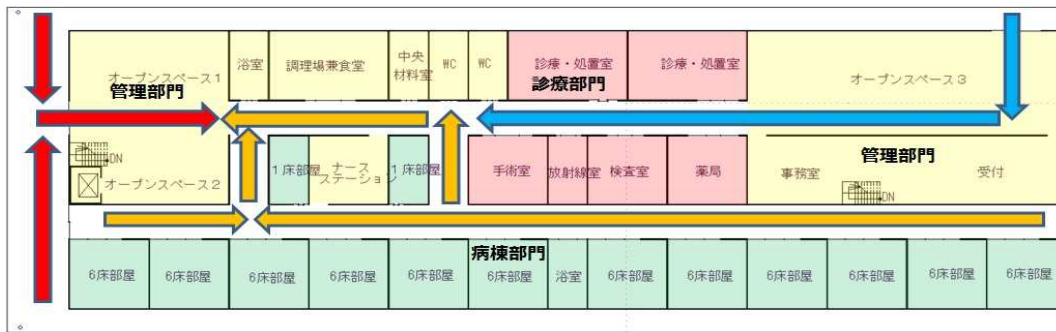


図 3.15 病棟ユニット医療施設

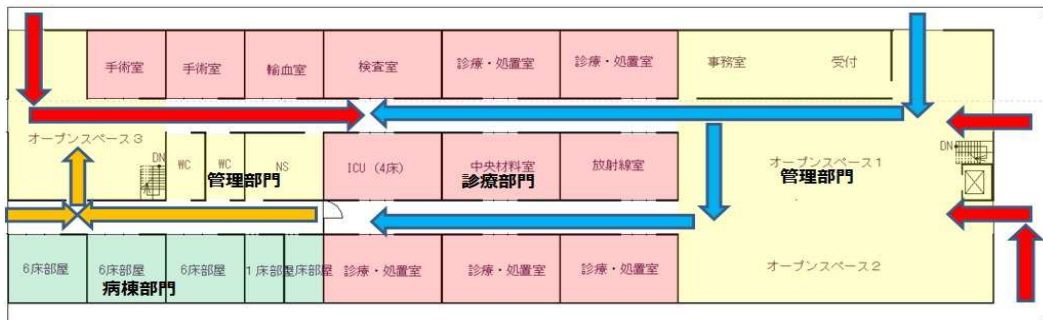


図 3.16 診療ユニット医療施設

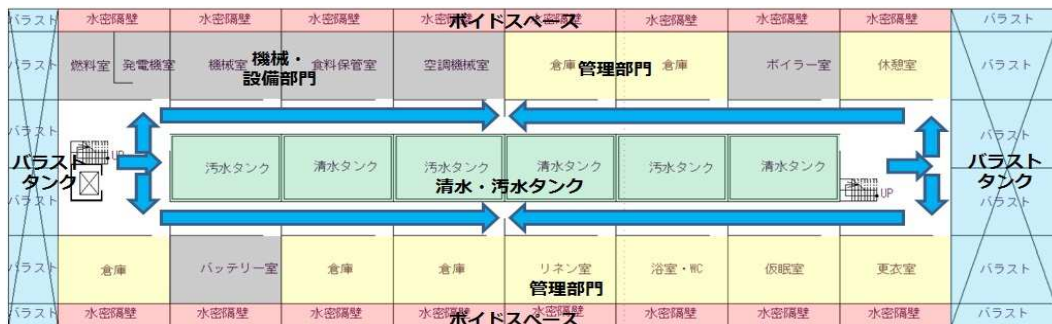


図 3.17 病棟ユニット浮体基盤部

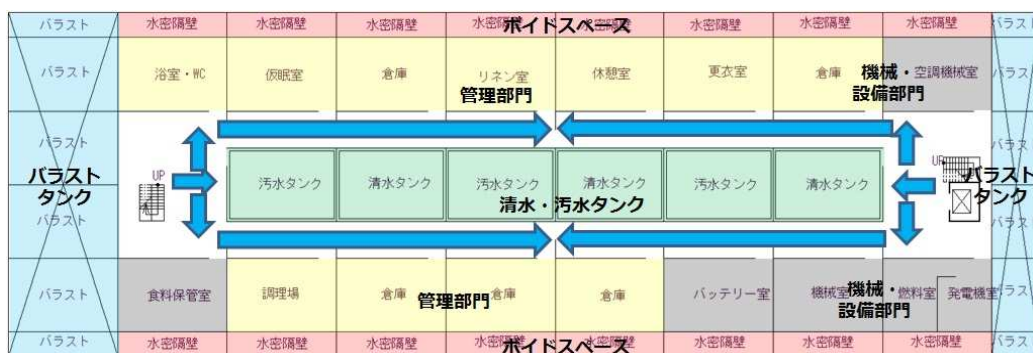


図 3.18 診療ユニット浮体基盤部

### 3.3.3 石炭浮体

全体配置図の作成過程は下記のとおりである。

#### 1) 全体形状および構造の検討

海面上にどんな石炭貯蔵用の浮体式人口島を考えるかが課題である。建造コストが単純に面積に比例すると考えると円形が最も効率が良いが、大型貨物船の接舷のための舷側長さが必要であり、場合によっては移動することも有り得るので、基本的には矩形形状を検討した。また円や多角形状の場合、ユニット分割の方法や洋上接合の方法など、メガ実証実験の成果を活用でないのでゼロからの検討課題が多すぎ、与えられた時間制約のなかでは解決でないと考えた。

例え矩形でも種々の形状と構造形式が考えられるが、目標として最低限の 50 万 t の貯蔵を確保するため、まずは下記の 2 種類が思い浮かぶ。

#### 2) 単純なフラットバージ型

これは日本の火力発電所の陸上石炭ヤードからも類推できるもので、単純な構造形式である。下図にその例を示す。またカリマンタン島のマハカム河を行き来するバージもこのタイプである。石炭混載の可能性も大きいので 3 列の間に何らかの仕切り壁が必要と思われる。風による飛散対策が必要である。波による横揺れが発生した場合荷崩れが生じないように、また浮体の姿勢を水平に保つため、石炭の山の形状を制御する必要があり、荷役に時間が掛かるとと思われる。浮体は浮力により積載重量を支えるためその容積は積載する石炭とほぼ同じ容積が必要である。石炭のかさ比重が 0.8 と水に近いので、浮体構造の深さは最低石炭の積み高さと同じ程度必要である。その構造でどの程度の荷重の偏在に耐えるのか諸条件を想定して検討する必要があるが、積載状態の予想はかなり難しい。

さらに横方向での中央部列への積み込み、取り出しの場合、そこから直接石炭運搬船に積み込めるか、クレーンのアウトリーチが足りるのかなど課題は多いと思われる。



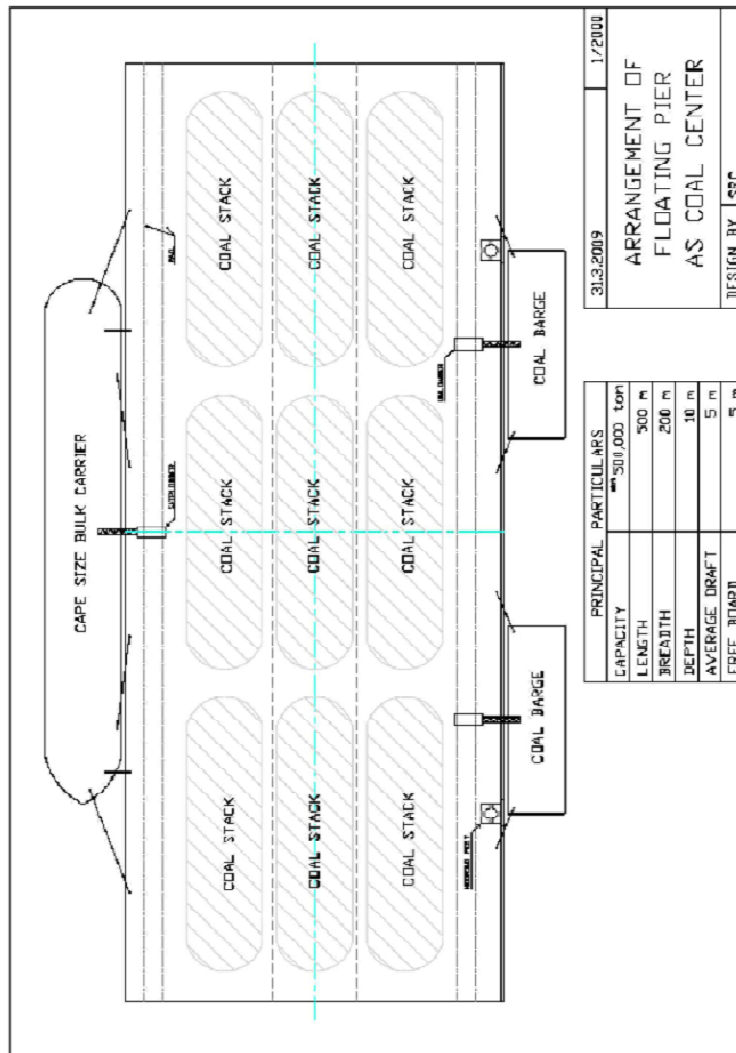


図 3.19 フラットバージ型

### 3) 貨物艙形式

#### 3.1) 貨物艙形式(1)

フラットバージ式では単純に浮力支持しているが、浮体上甲板周囲に土手を設けると浮体表面（上甲板）が水面下に沈下しても浸水しない空間（浮力）を確保できるので、石炭の積み高さは自由に設定できるメリットでくる。またその土手や内部の仕切りを構造隔壁として計画すれば、構造強度に寄与できると考えられる。フラット式の浮力体部分をえぐり船舶の貨物艙（ホールド）形式として石炭を積載する方式である。バルクキャリアの貨物艙を寄せ集めた感じになるが、横強度や捩じり強度に対する検討が必要である。

なお、貨物艙を仕切る隔壁は、内部を配管やベルトコンベヤの配置あるいは内部点検用のため、また船側の損傷により貨物艙への浸水を防ぐため、ある程度厚くする必要がある。またその頂部（上甲板）はクレーンなどの荷役設備の設置のためある程度の面積は必要となる。基本的な配置を下図に示す。

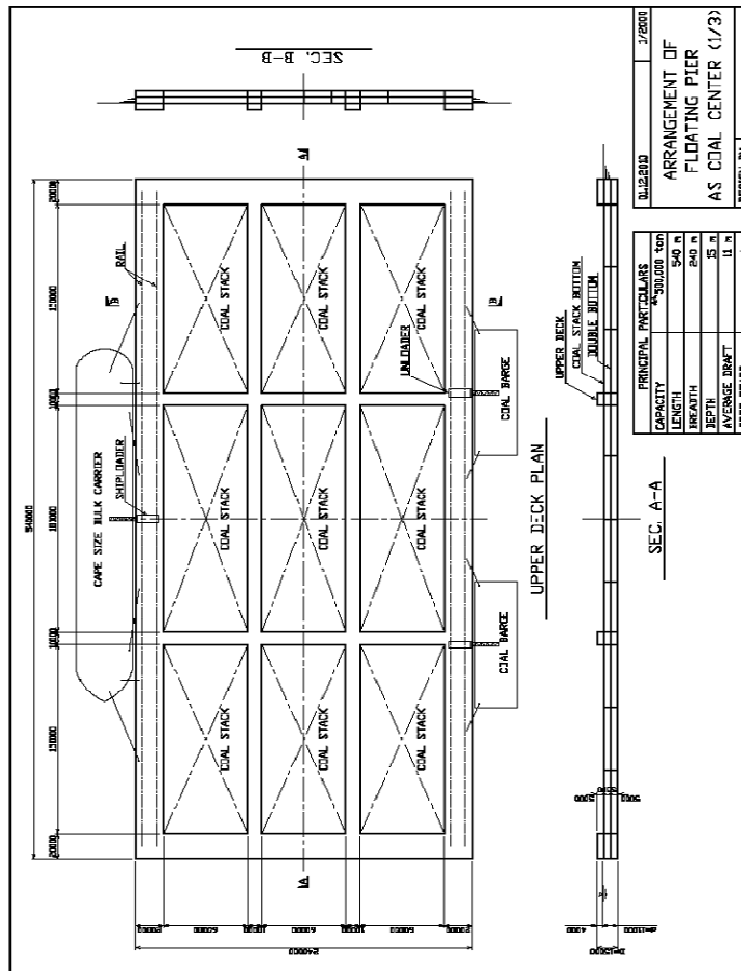


図 3.20 石炭浮体一般配置図（貨物艙形式(1)）

### 3.2) 貨物艙形式(2)

貯蔵量を多くするため全体の長さを大きくし、かつ貨物艙の数を増やした場合を下図に示すが、幅方向に貨物艙が4列になり、石炭の横持ちが長くなり荷役効率が落ちると思われる。なお、舷側長さが長くなったので、バルクキャリアが同時に2隻接舷できるようになった。多くの種類の石炭を貯蔵できるメリットがあるが、荷役効率は少し落ちると思われる。また建造時のユニット分割が難しいと思われる。

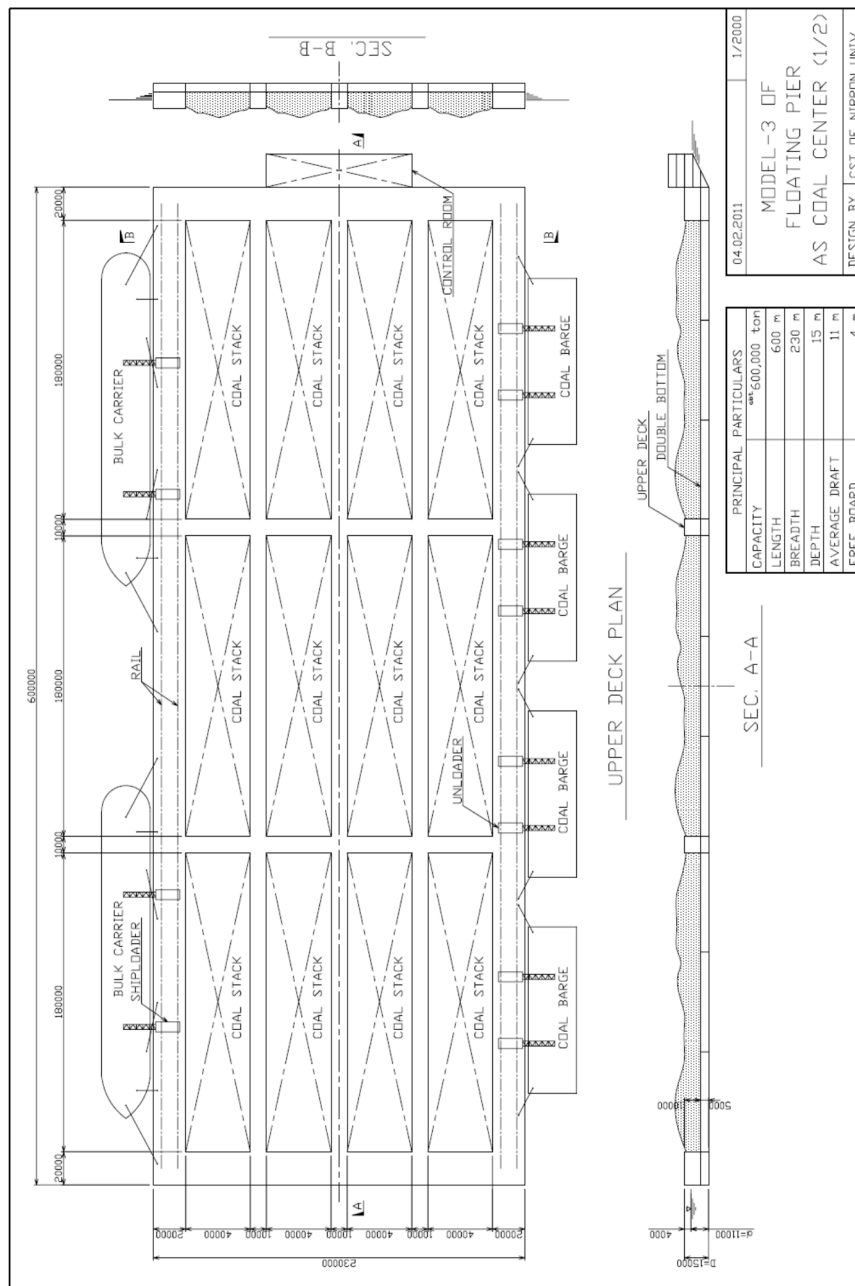


図 3.21 石炭浮体一般配置図（貨物艙形式(2)）

3.3) 貨物艙形式(3) : 造船の建造能力も考慮した配置

前記の配置と似ているが、建造時のユニット分割も考慮した配置である。最終的にはこの案を検討対象とした。



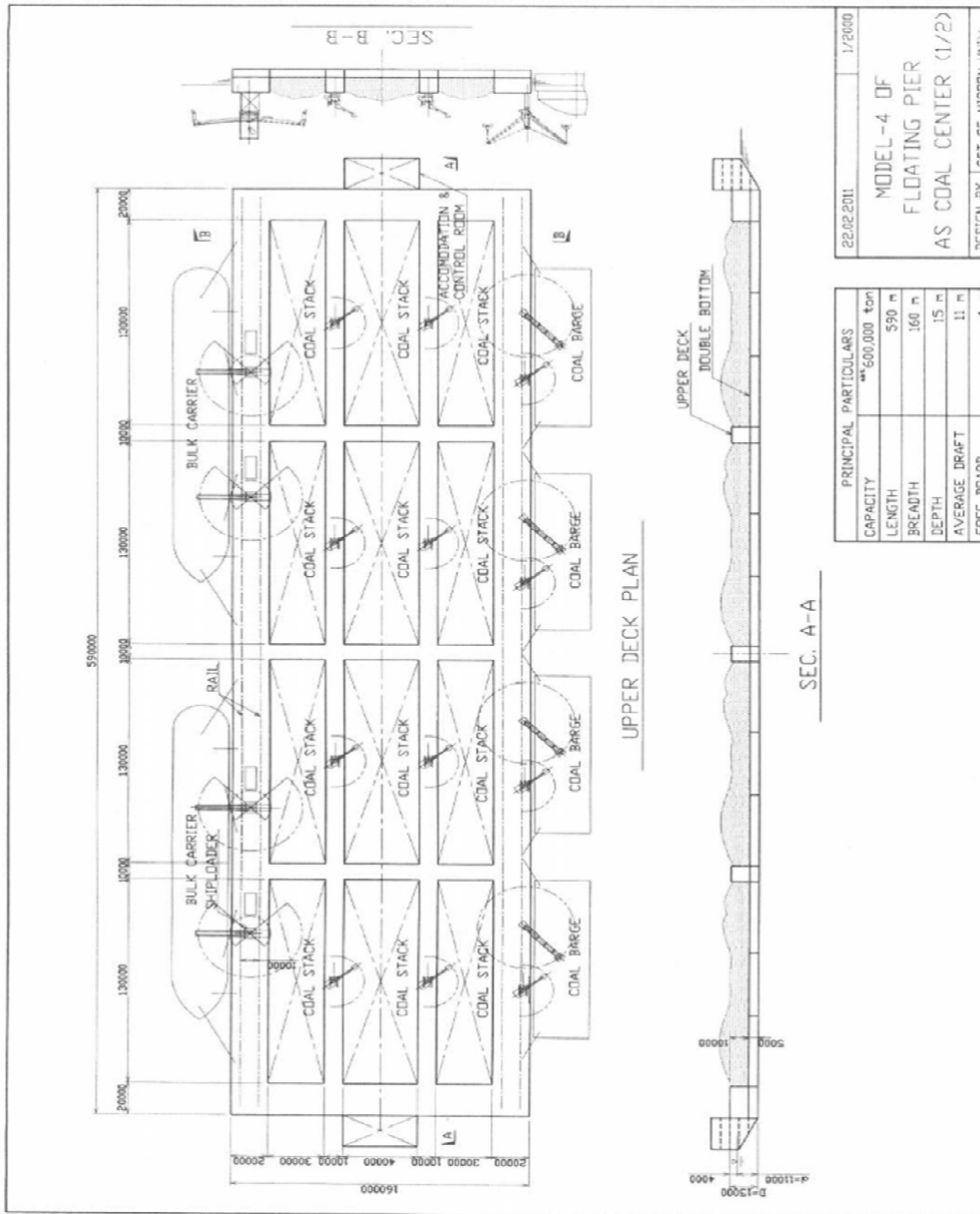


図 3.22 石炭浮体一般配置図（貨物艙形式(3)，以後 Model-4 と呼ぶ）

なお、これ以降の石炭浮体に関する構造、係留などの検討を上図の Model-4 をベースとしているが、検討過程において、配置は変更無いが、構造を改良訂正したものを Model-6 として扱う。また万一の強度不足を考慮して、貨物艙の長さを半分にして区画数を 2 倍にした配置図を Model-10 として強度の検討に加えた。後の章(4.6.9)に示す。

### 3.3.4 貨物艙のサイズおよび浮体全体大きさの検討

#### 1) 長手方向の長さ

曳航中のユニットとしての強度をNKバージ規則に基づいて、長手方向強度（必要断面係数）の計算結果から、長手方向の貨物艙の長さは130mとし、長手方向区画数を4とする。その場合、全体長さは

$$20.0\text{m}+130.0\text{m}+10.0\text{m}+130.0\text{m}+10.0\text{m}+130.0\text{m}+10.0\text{m}+130.0\text{m}+20.0\text{m}=590.0\text{m}$$

となる。

#### 2) 幅方向の長さ

建造時のユニット大きさは、造船所のドックに入渠できるサイズにする必要がある。故にユニット幅の最大を60.0mとする。また、全体のホールド容積として石炭50.0万tを貯蔵するため、石炭嵩比重を仮に10t/m<sup>3</sup>、ホールド積込み深さを10.0mとすると、必要なホールド面積は約50,000m<sup>2</sup>となる。また必要なホールドの幅方向大きさは

$$50,000\text{m}^2/130.0\text{m}/4=96.2\text{m}\Rightarrow 100.0\text{m}$$

これを3列に配分する必要があるが、建造ユニット幅を考慮して、各々は

$$30.0\text{m} + 40.0\text{m} + 30.0\text{m} = 100.0\text{m}$$

幅全体では

$$20.0\text{m}+30.0\text{m}+10.0\text{m}+40.0\text{m}+10.0\text{m}+30.0\text{m}+20.0\text{m}=160.0\text{m}$$

と配分する。

#### 3) 全体の大きさは

$$L: 590.0\text{m}, B: 160.0\text{m}$$

#### 4) 分割された時の各ユニットの大きさ（建造ユニットサイズ）

表 3.7 ユニットサイズ

160.0m×60.0m 全周ガーダー有	140.0m×60.0m 前方ガーダー無	130.0m×60.0m 長手ガーダー有	160.0m×60.0m 全周ガーダー有
150.0m×40.0m 長手ガーダー無	140.0m×40.0m 後方ガーダー有	130.0m×40.0m 全ガーダー無	150.0m×40.0m 長手ガーダー無
160.0m×60.0m 全周ガーダー有	140.0m×60.0m 前方ガーダー無	130.0m×60.0m 長手ガーダー有	160.0m×60.0m 全周ガーダー有

※（ガーダーとは上甲板まである深さ15.0mの垂直隔壁を指す）

5) 喫水, 乾舷, バラストタンク容積の検討

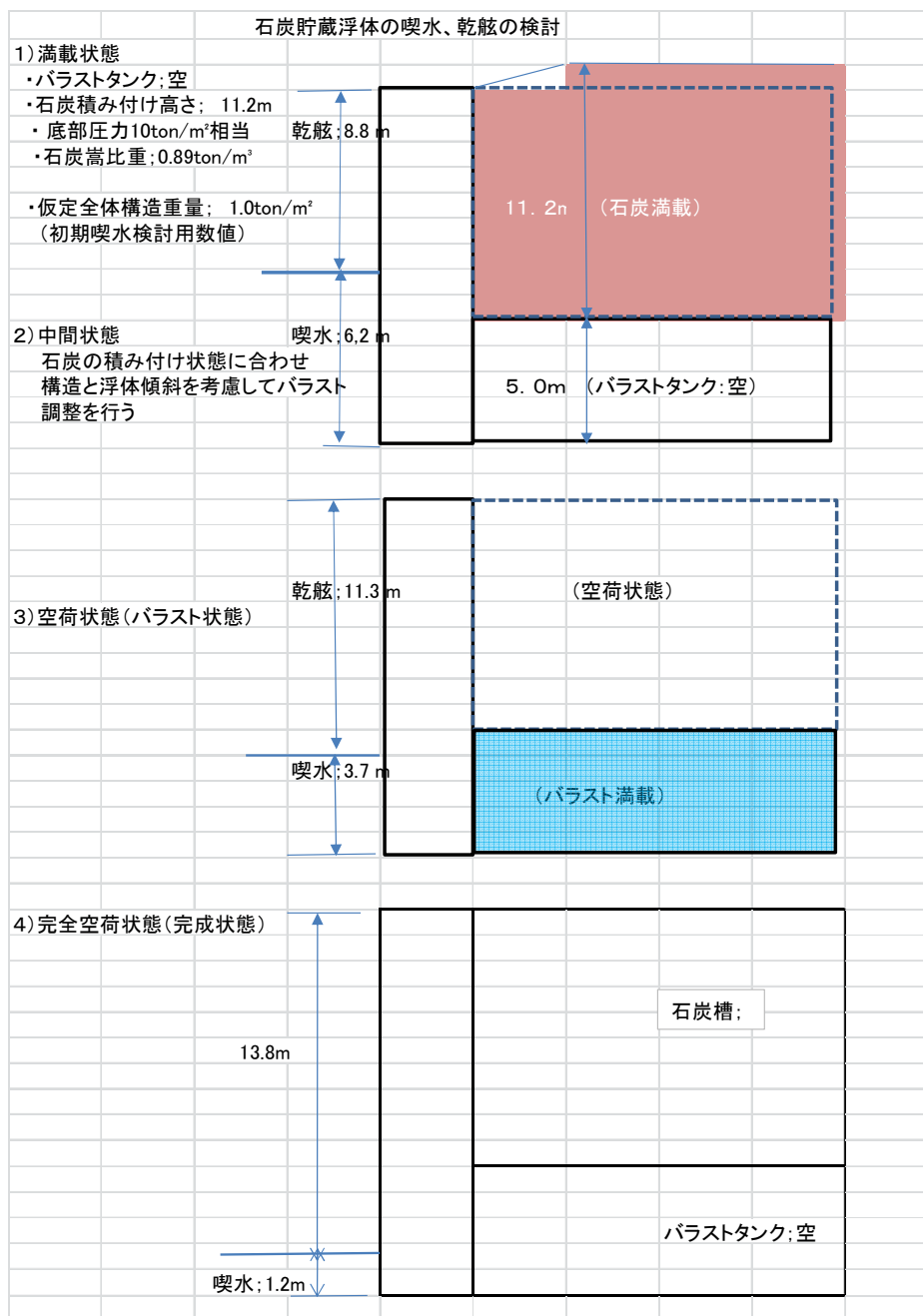


図 3.23 石炭浮体の積荷, 喫水, バラストの関係

6) 全体の主要目

第1段階としては、上記検討の結果から下記の表にまとめた。

表 3.8 浮体全体の主要目

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
主要目と喫水など	満載状態	バラスト状態	空荷状態
長さ： $L$	590.0[m]	590.0[m]	590.0[m]
幅： $B$	160.0[m]	160.0[m]	160.0[m]
構造深さ： $D$	15.0[m]	15.0[m]	15.0[m]
二重底高さ： $h$	5.0[m]	5.0[m]	5.0[m]
喫水： $d$	6.2[m]	3.7[m]	1.2[m]
乾舷： $f$	8.8[m]	11.3[m]	3.8[m]
上甲板石炭積高： $h$	1.2[m]	--	--
水面上側面積 $A_w$	2,950.0[m <sup>2</sup> ]	6,667.0[m <sup>2</sup> ]	8,142.0[m <sup>2</sup> ]
水面下側面積 $A_r$	5,900.0[m <sup>2</sup> ]	2,183.0[m <sup>2</sup> ]	708.0[m <sup>2</sup> ]

7) バラストタンク配置の検討

上記 5) に示したように貨物艙の下部は全てバラストタンクとした。その理由は

- 7.1) 浮体の喫水変化を出来るだけ小さくして荷役効率を上げるため
- 7.2) 石炭積載状態は様々に変化するがその時でも構造に働く荷重変動をできるだけ小さくするためである

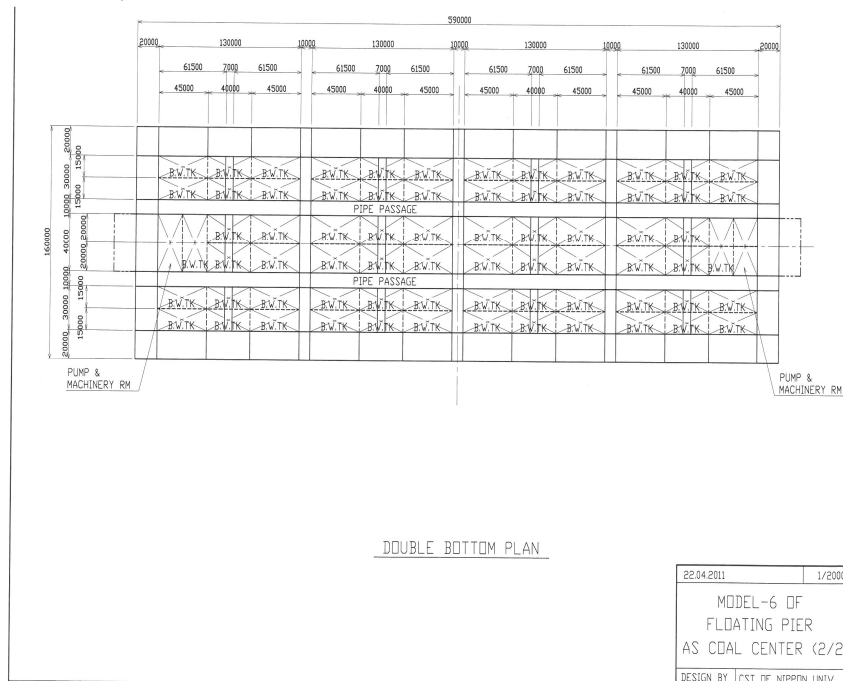


図 3.24 バラストタンク配置

### 3.4 設置海域の自然環境条件

#### 3.4.1 医療浮体

##### 1) 東京湾の場合

表 3.9 東京湾の自然条件

再現期間	確立風速		確立波高	
	実験海域	東京灯標	実験海域	東京灯標
5年	29.8[m/s]	29.1[m/s]	2.40[m/s]	2.40[m/s]
10年	31.7[m/s]	31.1[m/s]	2.64[m/s]	2.69[m/s]
30年	34.6[m/s]	34.3[m/s]	3.03[m/s]	3.11[m/s]

##### 2) 荒川へ設置した場合の自然条件を下記に示す。

表 3.10 荒川の自然条件

$U$ [m/s]	$V$ [m/s]	$C_d$	$h$ [m]	$n$
34.0	2.5	1.5	3.5	10.0

ただし、 $U$ : 風速,  $V$ : 水の流速,  $C_d$ : 流体の効力係数,  $h$ : 水深,  $n$ : 地盤の平均値

#### 3.4.2 石炭浮体

##### 1) 設置海域の検討

大型洋上貯炭出荷設備の設置海域については、大型石炭船（最大ケーブサイズ）の着岸を可能とするためには水深が 20.0m 以上必要となる。また、Mahakam 川河口域には、TOTAL 社が石油・ガスの開発を進めるリグなどの掘削・生産設備、そしてパイプラインなどの出荷設備が多く存在する。そのため、パイルを打って位置を固定する大型洋上貯炭出荷設備が設置可能な海域は大きく限定される。

本調査にて開催した Samarinda および Jakarta でのセミナーにおいては、調査団の考えた OPTION 1 および OPTION 2 と、現地調査においてパイロットより推奨された OPTION 3 を設置海域として提案した。セミナーでは、河口から近いことを理由に OPTION 3 を推す意見がバージ運航会社などから多かったものの、OPTION 1 と OPTION 2 の中間海域と言った意見や、最終的な設置海域はユーザー（民間）の要望を踏まえた上で Port Authority Samarinda が判断すべきとの意見も得られた。

従って、実際に実務を担うパイロットやバージ運航会社の意見を勘案すると OPTION 3 が最適と思われるものの、最終的な設置海域の検討にあたっては今後の検討の中で行われていくことになる。

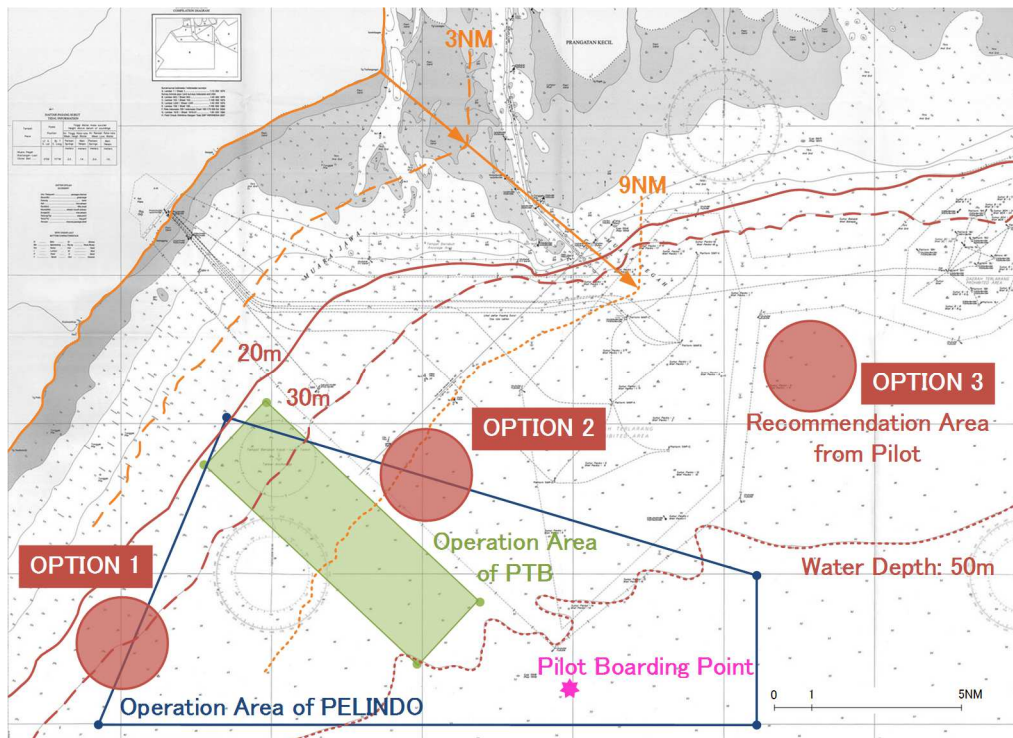


図 3.25 大型洋上貯炭出荷設備の設置海域 (案)

2) 自然環境条件と設計条件

サマリダ海域の自然条件，特に波浪状態については下記のようなデータが現地の気象情報から得られた。

## (1) 通年（有義波高）

表 3.11 有義波高の方向分布

	Up to 0.49 m	0.50 - 0.99 m	1.00 - 1.49 m	1.50 - 1.99 m	2.00 - 2.49 m	2.50 - 2.99 m	3.00 - 3.49 m	Total
North								0 0.0%
NNE								0 0.0%
NE	419 28.7%	94 6.4%						513 35.1%
ENE	68 4.7%	6 0.4%						74 5.1%
East	1 0.1%							1 0.1%
ESE	1 0.1%	2 0.1%						3 0.2%
SE	1 0.1%							1 0.1%
SSE	64 4.4%	31 2.1%	14 1.0%	1 0.1%				110 7.5%
South	295 20.2%	261 17.9%	96 6.6%	6 0.4%	3 0.2%			661 45.3%
SSW	86 5.9%	11 0.8%						97 6.6%
SW								0 0.0%
WSW								0 0.0%
West								0 0.0%
WNW								0 0.0%
NW								0 0.0%
NNW								0 0.0%
Total	935 64.0%	405 27.7%	110 7.5%	7 0.5%	3 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	1,460 100.0%
Cumulative Sum	935 64.0%	1,340 91.8%	1,450 99.3%	1,457 99.8%	1,460 100.0%	1,460 100.0%	1,460 100.0%	

(2) 通年（最大波高）

表 3.12 最大波高の方向分布

	Up to 0.49 m	0.50 - 0.99 m	1.00 - 1.49 m	1.50 - 1.99 m	2.00 - 2.49 m	2.50 - 2.99 m	3.00 - 3.49 m	Total
North								0 0.0%
NNE								0 0.0%
NE	262 17.9%	241 16.5%	10 0.7%					513 35.1%
ENE	60 4.1%	12 0.8%	2 0.1%					74 5.1%
East	1 0.1%							1 0.1%
ESE	34 2.3%	3 0.2%						37 2.5%
SE		1 0.1%						1 0.1%
SSE		52 3.6%	17 1.2%	6 0.4%	1 0.1%			76 5.2%
South	181 12.4%	251 17.2%	179 12.3%	42 2.9%	4 0.3%	3 0.2%	1 0.1%	661 45.3%
SSW	63 4.3%	33 2.3%	1 0.1%					97 6.6%
SW								0 0.0%
WSW								0 0.0%
West								0 0.0%
WNW								0 0.0%
NW								0 0.0%
NNW								0 0.0%
Total	601 41.2%	593 40.6%	209 14.3%	48 3.3%	5 0.3%	3 0.2%	1 0.1%	1,460 100.0%
Cumulative Sum	601 41.2%	1,194 81.8%	1,403 96.1%	1,451 99.4%	1,456 99.7%	1,459 99.9%	1,460 100.0%	

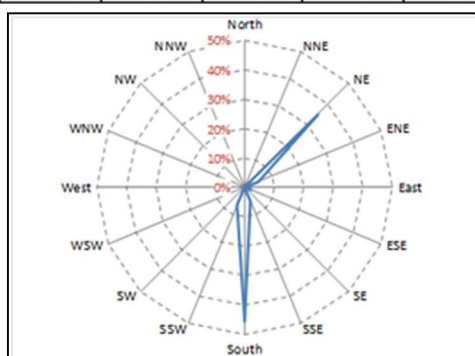
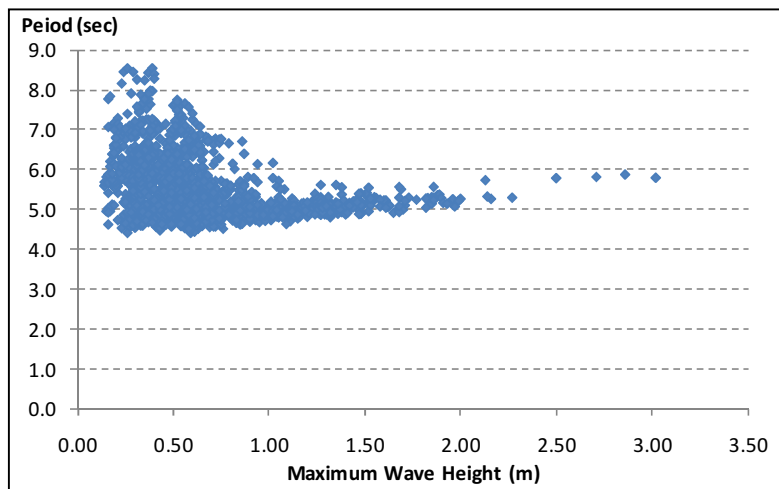


図 3.26 最大波高の方向分布図

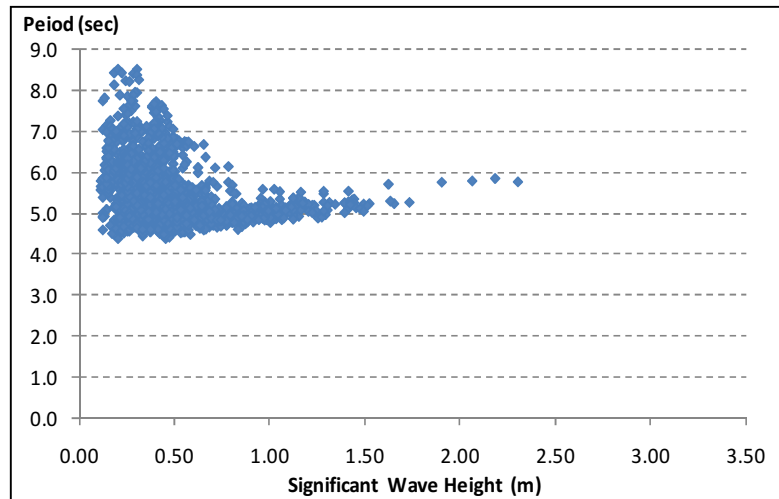


表 3.13 月毎の最大波高

	Sig. Wave Height				Max. Wave Height				Wave Period			
	Ave. (m)	Max. (m)			Ave. (m)	Max. (m)			Ave. (sec)	Max. (sec)		
Jan	0.40	0.96	1/11	0800	0.53	1.27	1/11	0800	6.4	8.0	1/7	0800
Feb	0.41	0.76	2/16	1400	0.54	1.00	2/16	1400	6.2	8.5	2/18	0800
Mar	0.31	0.53	3/2	0800	0.41	0.69	3/2	0800	6.1	7.3	3/14	0800
Apr	0.35	0.82	4/7	2000	0.46	1.08	4/7	2000	5.4	6.6	4/28	0200
May	0.28	0.80	5/4	0200	0.36	1.05	5/4	0200	5.4	7.8	5/20	0200
Jun	0.50	0.98	6/15	1400	0.66	1.28	6/15	1400	4.9	5.3	6/19	0200
Jul	0.81	2.30	7/28	0200	1.07	3.02	7/28	0200	5.0	5.9	7/28	0800
Aug	0.85	1.52	8/1	2000	1.11	2.00	8/1	2000	5.0	5.6	8/19	2000
Sep	0.88	1.65	9/5	2000	1.15	2.16	9/5	2000	4.9	5.4	9/3	0800
Oct	0.49	1.17	10/7	0200	0.64	1.53	10/7	0200	4.9	5.7	10/30	0800
Nov	0.38	0.99	11/12	0200	0.49	1.30	11/12	0200	5.4	8.2	11/30	2000
Dec	0.34	0.88	12/20	2000	0.44	1.15	12/20	2000	6.2	8.5	12/1	0800
Total	0.50	2.30	7/28	0200	0.66	3.02	7/28	0200	5.5	8.5	2/18	0800



a.最大波高



b.有義波高

図 3.27 月毎の波高観測データ (有義波高&最大波高)

上記項目は構造強度検討や係留システムの検討には欠かせない重要な条件である。第3章で示したように、マハカム河河口（サマリダ海域）の自然環境条件は、最終的な位置が確定していなかったため確定的な設定ができていなかったため、これまで得られたデータから概略的な設計条件は表 3.14 のとおり、3通りの条件を想定して係留検討を実施する予定であった。しかし、その後の現地調査の結果が得られたので、総合的に勘案して、条件 1 を主体に表 3.15 を採用することにした。このように初期計画時には自然環境条件を確定するのが難しい場合が多いと思われる。その場合は楽観ベース、悲観ベース、そしてその中間ベースの3通りを想定して検討しておくのが望ましい。

特に新しい浮体、または新しいプロジェクトの場合は自然条件の設定を待っていると初期計画が遅れてプロジェクトそのものの成立を難しくする可能性があると思われるので、リスクはあるが留意すべきである。

表 3.14 自然条件(1)

項目	◎条件 1	条件 2	条件 3
最大有義波振幅： $\zeta_{1/3}$	2.5[m]	3.0[m]	3.5[m]
最大平均風速： $v$	15.0 [m/s]	20.0 [m/s]	20.0 [m/s]
潮流速度： $C_v$	1.0[knot]	1.5[knot]	2.0[knot]

当然第2次の検討では環境条件のデータに基づいて再検討する必要がある。

表 3.15 自然条件(2)

外力	設計値	入射方向	備考
風速	12.0[m/s]	0.0°~360.0°	10分間平均 再現期間：50年
最大波高	4.0[m]	90.0°（左右方向）	再現期間：50年
有義波高	2.5[m]		
潮流	1.5[knot]	45.0°	
水深	40.0[m]		

## 第 4 章：構造強度の初期計画

#### 4.1 検討の方針と手順

海洋構造物や浮体式海洋構造物では概略計画図が作成され、設置海域の自然環境条件が設定されると、構造検討がスタートできる。構造形式としては、建築で多く採用されているトラスやラーメン構造ではなく、浮体は海に浮いているので、浮力を確保するために水密性を要求される船舶と同様な板壁構造にするのが妥当と思われる。初期計画においては計画作業を効率的に行うことはプロジェクトを実現するために極めて重要である。その手順は大きく言えば図 4.1 のようになる。

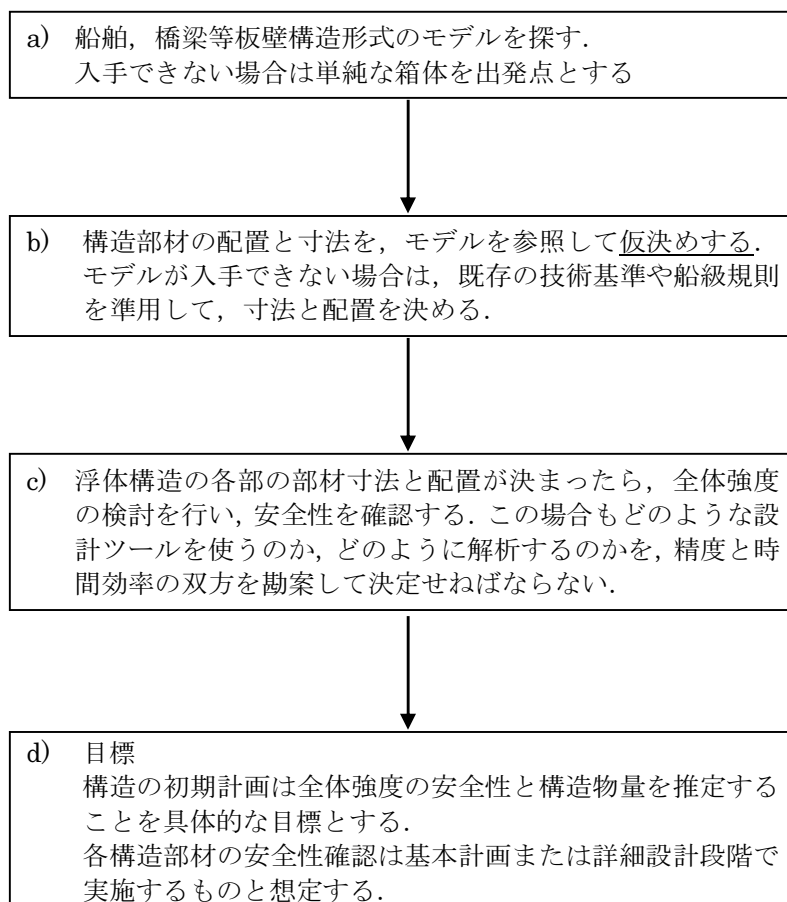


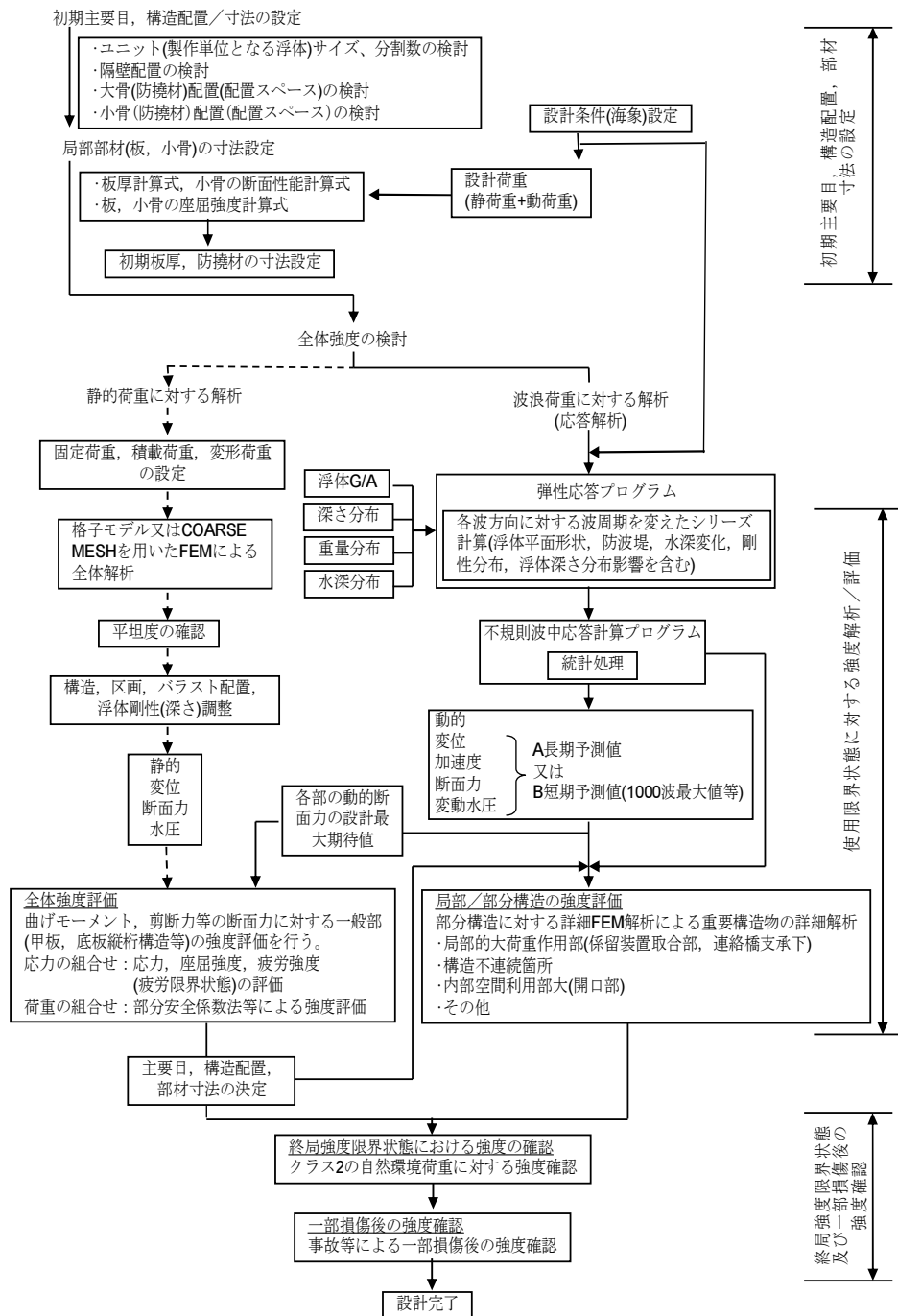
図 4.1 検討方針と流れ

なお，医療浮体と石炭浮体では，大きさや形状が大きく異なり，構造特性が大きく異なるので，手順は同じでもその検討作業内容は大きく異なるので，以下に分けて論ずる。

## 4.2 全体強度検討の流れ

一般に、船舶は浮いている場合は剛体的な特性が強く、その強度は船体にとって最も厳しい状態を想定して設定されているので、疲労強度の確認をする場合は別として、全体強度の設定では海域の波浪データは必要がない。しかし海洋構造物の場合は設置海域の波浪条件に応じて必要強度が設定される。注意すべきことは、最も激しい波浪状態が最も厳しい応力状態を発生させるとは限らないことである。即ち海洋構造物の大きさや形状特性それぞれに応じて最も危険な波浪が存在することがあるからである。それを設計波と称しており、特に半潜水式海洋構造物の場合が顕著である。もはや剛体としては扱えない規模の大型浮体の場合も流力弾性応答という現象が発生し、設計波が存在する場所がある。従って大型浮体の場合はその海域で発生する最大波高に耐えるだけでなく、さらに設計波の有無を確認して強度を設定する必要がある。

大型浮体の設計波の有無を確認する解析手法がいわゆる弾性応答解析と称するがその手順がメガフロート技術研究の成果である「超大型浮体式構造物，技術基準案・同解説」<sup>8)</sup>に示されているので下図に示す。



出典：(財) 沿岸開発技術研究センターメガフロート技術研究組合，超大型浮体式構造物「技術基準案・同解説」

図 4.2 弾性構造体の設計フロー (案) 8)

なお、このフローは第 2 章の基本計画フローの中の「A7」と「S0」を合わせて表現したものである。本論文ではこのフロー中の左上部分の、初期主要目、構造配置/寸法の設定、局部材(板、小骨)の寸法設定、およびその後工程である全体強度の初期検討に関してできるだけ簡便な方法を模索するものである。強度検討の流れとしては下記のようになる。

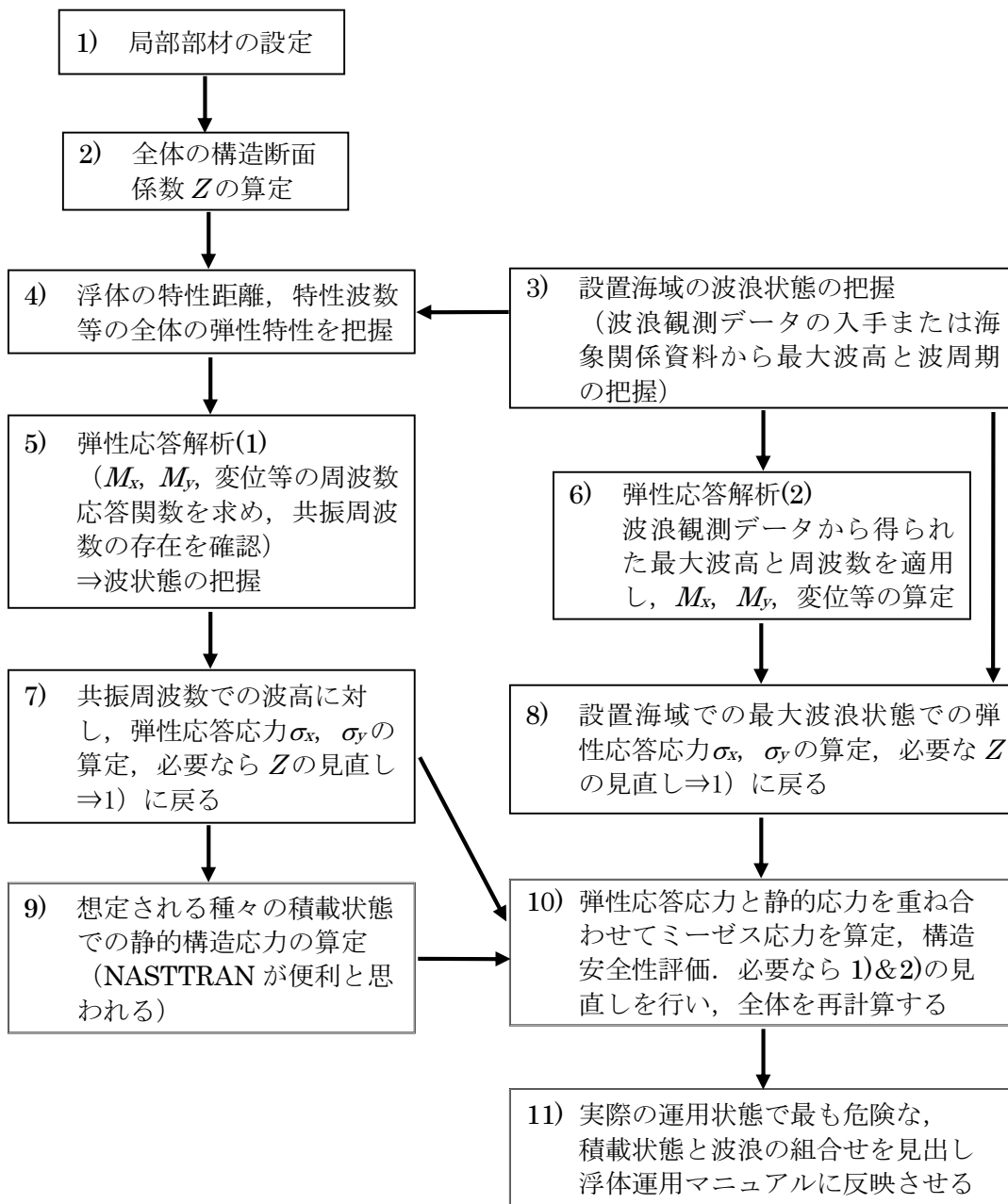


図 4.3 初期計画における全体強度検討の流れ

上記の目的は、無駄のない合理的な構造を見出すことであるが、実際の実行では気の遠くなる程多くのケースを検討せねばならない。しかし最も危険な波浪（設計波）を見つけることができれば、それ以降の設計展開はその状態に絞って検討を進めることができるので効率的に進めることができると思われる。

例えば、一般の海象では最大波浪は波周期も長くなり、下図のような傾向があるが、

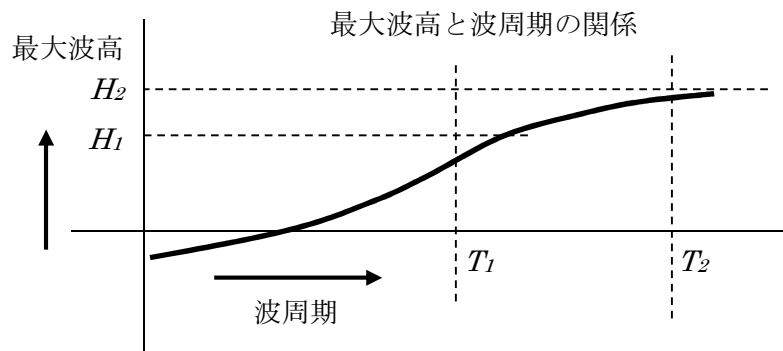


図 4.4 最大波高と波周期の関係

即ち、ある海域での最大波高  $H_2$  では波周期が  $T_2$  とすると、通常では  $(H_2, T_2)$  の状態で構造安全性を確認するが、弾性応答を示す浮体の波浪応答は、波周期  $T_1$  で共振状態が発生し、曲げモーメントが  $(H_2, T_2)$  点より大きくなること有り得るので丁寧な確認作業が必要である。特に積載重量が大きく変化する石炭浮体では各積載状態で応答関数を求めて確認する必要がある。

また、上記のフローで重要なことは全体構造応力が過大で、仮定された断面係数  $Z$  では安全性を満足していないときは、局部材寸法と配置を見直し、新しい  $Z$  を求める必要があることである。第 2 章でのべたように、 $Z$  が変化すると弾性応答状態も変化するので、5&6) を新しい条件で再計算をやる必要がある。即ち安全性を満足するまで繰り返しが必要であり初期計画といえども弾性応答計算は何度も実行せねばならない。従って初期計画には出来るだけ簡便な解析ツールが必要となり本論文ではその目的に叶う当大学で開発された弾性応答プログラムを使用している。

メガ研究では多くの弾性応答解析プログラムが開発されたが、初期計画ではどんなプログラムを使用すべきは別途検討と整理が必要と思われる。

なお、初期計画が終わって実際の構造計画が始まったら、図 4.3 内の 10) で得られた最終的な曲げモーメントをベースに、全体強度検討とは別に局部構造解析を行い局部材寸法と配置の再確認を行い、詳細な構造モデルを使って構造解析を行うのが構造計画の最初のステップである。



#### 4.2.1 局部材の設定

局部材の寸法設定は、多くの実績と長い歴史を持つ船体構造（板壁構造）をモデルとして検討する。

- 1) 例えば船底外板については、最も標準的なパネルを設定し、喫水や浮体運動により発生する最大水深に対してもそのパネルに亀裂や座屈が発生しないように部材寸法と補剛材などの配置を決定する。また浮体空港の滑走路については、航空機の輪荷重に対して同じ考えで寸法と配置を決定する。
- 2) 浮体外側壁は最大波高での波圧に耐える必要がる。
- 3) また、バラストタンクがある場合は最大水頭について同じ考えで部材を設定する。バラストタンクにはバラスト水の出し入れが容易なように空気抜き管が装備されその管頭は上甲板上に設置される。そこまでバラスト水が溢れる場合もあるので、想定されるタンク底部への圧力はタンクの上端部からの圧力とは限らないので注意を要する。石炭浮体の検討で実例を示す。
- 4) 更に、大型浮体を建造する場合は、まず浮体をドック等で建造可能な小さいユニットに分割して建造し、最後に洋上でユニット同士を接合して完成させることが想定される。その場合ユニットは海上を曳航して集合させるので、曳航中の強度を保持せねばならない。そこでユニットを箱型バージと見做し、NK規則のバージ規則を準用して局部材を設定することができる。医療浮体の項で実例を示す。

#### 4.2.2 全体強度算定

全体強度の算定については、石炭浮体については MSC/NASTRAN による波も考慮した準静的な解析と 4.2 で述べた弾性応答解析プログラムによる動的解析を行い、比較評価を実施した。

MSC/NASTRAN を使ったのは現在多くの構造解析で使用されており、比較的扱いが容易であると考えたからであるが、後章で詳述するが、結果としては弾性応答が顕著な浮体では誤差が大きいことが判明した。

大型浮体では初期計画の段階でも弾性応答解析プログラムが必要であることが明らかになったのは浮体の計画法の確立のために大きな意義がある。

なお、医療浮体については主要目が小さいので弾性応答が発生する可能性は小さいと思われるが、平面積に比べ構造深さが小さく、弾性変形も予想される確認のため石炭浮体と同様な弾性応答解析も実施した。

初期計画における構造強度検討はそれ自身のアウトプットも重要であるが、その過程で課題や問題点を抽出しておく、そのプロジェクトが実現した場合、基本計画、詳細設計をどのように進めるかを定める場合に大いに参考になり、効率的なプロジェクトの進行に役立つと思われる。

### 4.3 初期計画における安全性検討の考え方

#### 4.3.1 安全率の設定法

船舶や海洋構造物に採用されている板壁構造では、その強度は部材の引張り強度だけでなく、部材やパネルの座屈強度にも影響される。本来は、補剛材が取り付けられた板壁構造の中で典型的なある寸法のパネルを設定してその座屈強度を算定してその許容応力を浮体構造の強度判定に使うのが妥当であるが、一般的な船舶の構造設計方法では、スチフナーや縦桁という補剛材を適切に配置することにより、座屈強度を高めて座屈を防ぎ、究極強度は部材の引張り強度のみで簡単に判定するようにしている（許容応力度法）。

本研究の強度検討もこの方法に倣った。

安全率の設定では、部材の強度のみでなく荷重を発生させる波浪等の外力に関しては、波浪外力で発生する荷重に安全係数を考慮して許容応力を設定するなど、かなり高度な手順になっている（限界状態設計法）。しかし短期間で結果を出すことが要求される初期計画の段階では、許容応力法を採用して、簡単に入力としての設計条件に十分な余裕を取り、部材の許容応力は例えば部材の引張り降伏応力の 0.8 倍として判定する。また波浪条件は設置海域の極大一波を想定し、また波向きなども最も厳しい方向で検討する。風なども同じ考えで取り扱う。

#### 4.3.2 超大型浮体の構造安全性に関する規則、基準について

なお、現在では超大型浮体での構造安全の検討に関してはまだ実績がないため、既存の規則や基準を準用して進めるしかない。メガフロート技術研究組合が設定した「超大型浮体式構造物、技術基準案・同解説」<sup>8)</sup>（平成 11 年 3 月）が最も参考になるが、それ以外でも参考になる資料があるので、参考までに以下に紹介する。

超大型浮体式海洋構造物の構造設計において考慮すべき荷重の種類は表 3.1-7 に示した通りである。このような荷重の下に構造の安全性および機能性の評価がなされる。安全性の評価に関しては、まず実績の多い既存の海洋構造物の評価基準の適用性を検討し、超大型浮体式海洋構造物に特徴的な荷重条件および構造応答については、本プロジェクトにおける研究・開発の成果を利用した詳細な解析および信頼性解析により安全性を評価、確認していくことが適当と考える。図-3.1.2 には荷重の種類と各種解析および安全性評価、さらに最終的な構造設計におけるアウトプットとしての図書の関係を示した。超大型浮体式海洋構造物の構造設計においては、荷重としては、長周期の波、防波堤が設置される場合の波浪荷重の評価、津波と地震、使用目的に対応して考慮すべき荷重、例えば航空機の離着陸などが重要となり、また構造応答としては波浪中の弾性応答、係留装置を含めたシステム全体の挙動などが重要となる。

(6) 今後の課題

本年度には既存の各種構造物の構造設計における荷重の種類とその評価法について調査をし、超大型浮体式海洋構造物の構造設計法における取扱い方について検討した、次年度には本プロジェクトにおいて開発される各種の評価手法による試算を実施し、具体的な構造設計法の策定を行う予定である。

表 3.1-1 調査対象規準一覧

①海洋構造物関係
a. 日本海事協会：「鋼船規則P編（海洋構造物及び作業船等）」（1996）
b. 日本建築学会：「海洋建築物構造設計指針（浮遊式）・同解説」（1990）
c. 日本建築学会：「海洋建築物構造設計指針（固定式）・同解説」（1987）
d. 沿岸開発技術センター：「浮体構造物技術マニュアル」（1991）
e. DET Norske Veritas Classification AS, "Fixed Offshore Installation" (1996)
f. DET Norske Veritas Classification AS, "Mobile Offshore Units" (1995)
②その他陸上構造物
g. 日本道路協会：「道路標示方書」（1996）
h. 日本建築学会：「鋼構造物設計規準」（1995）
i. 日本建築学会：「鋼構造限界状態設計規準案」（1990）
j. 日本建築学会：「建築物荷重指針・同解説」（1993）
k. 土木学会：「鋼構造物設計指針」（1987）

出典：メガフロート技術研究組合，超大型浮体式構造物「技術基準案・同解説」

図 4.5 超大型浮体の構造安全に関連する既存基準<sup>8)</sup>

表 3.1-2 構造物の状態に関する調査結果

構造物の状態	構造物の種類	適用規則*1	超大型浮体式構造物
1) 稼動状態	全ての建築物	a~k	○
2) 建造または設置状態	固定式海洋構造物、橋梁	e, f, g	○
3) 移動状態	可動式海洋構造物	a, e, f	○ (ユニットの曳航時)
4) 改造・補修状態	固定式海洋構造物	e,	○
5) 一時または仮保留状態	浮遊式海洋構造物	a,	○ (設置時)
6) 異常荷重(サバイバル)状態	浮遊式海洋構造物	a, f	○

\*1: 表 3.1-1 における規則、規準の符号を表わす。

○: 超大型浮体式海洋構造物で考慮すべき構造物の状態

表 3.1-3 限界状態において想定される破損モード

限界状態	定義	破損モード
a. 終局強度限界状態	構造物またはその主要部材が破壊したり、転倒、座屈、大変形等により安定性や機能をなくする状態	1) 弾性設計法 ・骨組構造にける部材断面の降伏、座屈 ・板骨構造構造における降伏、座屈 2) 塑性設計法 適切な塑性崩壊解析による
b. 使用限界状態	構造物に要求される通常の使用ができなくなる状態	使用目的により設定
c. 疲労限界状態	主要構造部材が繰返し荷重を受けて疲労破壊する状態	疲労
d. 漸増崩壊限界状態	事故等により一部の主要構造部材の破壊によって構造物全体が漸増的に崩壊する状態	事故の規模により適宜設定される

出典：メガフロート技術研究組合，超大型浮体式構造物「技術基準案・同解説」

図 4.6 限界状態設計法を適用する場合の破損モード<sup>8)</sup>

表 3.1-4 荷重の分類と種類

分類	定義	荷重の種類
固定荷重 (P)	変化しない固定の荷重で、静水中の水圧、保留力なども含まれる。	構造物、固定バラスト、固定装置の重量、一定の静水圧、一定の保留力
活荷重 (L)	通常のアペレーティングにより生じる荷重	人間、貯蔵している資材、機器、ガス、液体、クレーン荷重、ヘリコプター、フェンダー、保留荷重、曳航荷重、装置稼働時の荷重、変動バラスト、《着底時の荷重》
変形荷重 (D)	構造の機能上および環境条件により生じる変形荷重	初期応力 (Prestressing)、温度、クリープと弛緩、収縮、吸収、調整荷重 (Differential Settlement)、不等沈下
環境荷重 (E)	自然現象により構造物に作用する外力	風、波、潮流、氷、積雪および着氷、潮位、生物付着、地震、地盤の影響
偶発荷重 (A)	異常なアペレーティングや不慮の事故などにより生じる荷重	落下物、爆破と火災、差圧の変化、衝突 (船舶、冰山)、浸水、予期しないバラスト分布の変化

表 3.1-5 既存規則、規準における許容応力法による荷重の組合せと安全係数

限界状態	規則	荷重の組合せ					安全係数 $\eta$	備考	
		固定荷重 P	活荷重 L	変形荷重 D	環境荷重 E	偶発荷重 A			
*1 終局強度	静荷重	a, f	○	○				0.6	
		e	○	○	○			0.58	
		g	○	○	○*			0.667	*4 温度
	組合荷重	a, f	○	○		○		0.8	
		e	○	○		○*		0.725	*5 風
		g	○	○	○*	○*		0.783	*6 温度 *7 風
		○	○		○*		0.696	*8 地震	
*2 漸増崩壊	健全状態	e	○	○	○	○		1.0	
		f	○	○			○	0.8	
		g	○	○			○*	0.986	*9 衝突
	損傷状態	e	○	○	○		○	1.0	
		f	○	○		○		1.0	
	浸水状態	f	○	○			○	0.75	
使用	e	○	○	○	○		1.0		

\*1: 部材の降伏、圧屈強度に対する評価      \*2: 偶発事故、損傷状態の評価

\*3: 表 3.1-1 における規則、規準の符号を表わす。

出典：メガフロート技術研究組合，超大型浮体式構造物「技術基準案・同解説」

図 4.7 限界状態設計法における荷重の組合せと安全係数<sup>8)</sup>

#### 4.4 初期計画に必要な波浪特性の整理

初期構造計画には設置海域の波浪観測データが必要であり、当然それをベースに検討するが、初期計画段階ではそのデータも十分でない場合も多いと思われる。そこで海洋波についてのこれまでの知見を活用してその不足を補う必要がある。また弾性応答を示すと予想される大型浮体の場合は、その解析と波浪は密接に関連するので十分吟味する必要がある。

本来の海洋波は不規則波であり、設計段階ではその性質を考慮して波浪エネルギーをベクトル表示して統計的に扱い、構造強度検討も確率的に検討する必要があるが、本論は初期計画がテーマであり、簡便な手法を模索するので、波浪を決定論的に扱い、規則波として扱う。従って、後工程になる設計段階では不規則波ベースの解析が当然必要である。

また深海波と浅海波の境界については別途波浪に関する各種の資料を参考にして扱う必要がある。

なお、浮体は移動して活用する場合もあるので、曳航中強度と移動先の波浪状態での安全性も確認する必要があることも忘れてはならない。あるいは提案する浮体がどの程度の波浪にも耐えるのか限界波浪（海域）も示すのが望ましい。

扱う波の基本的な性質は、微小振幅波として扱い下記の式で表せる。

$$\lambda = (gT^2 / 2\pi) \cdot \tanh(2\pi h / \lambda) \quad (4.4-1)$$

ただし、 $\lambda$ ：波長[m]， $T$ ：波周期[s]， $h$ ：水深[m]

##### 4.4.1 深海波の場合

1) 最大波高に関する参考式<sup>13)</sup> (DnVによる)

$$H = 0.22T^2 \quad (T \leq 6s) \quad (4.4.1-1)$$

$$H = T^2 / (4.5 + (0.02(T^2 - 36))) \quad (6 < T \leq 18.3s) \quad (4.4.1-2)$$

$$H = 32 \quad (18.3s < T) \quad (4.4.1-3)$$

上記の式は厳しい海象で知られる北海 (North Sea, ノルウエーとイギリスの間に存在する海域、海上石油生産を進めていることで有名) をベースにした経験式と思われるが、非常に荒い海域の最大波高を推定するのに便利である。

2) 波長 ( $\lambda$ )、波周期 ( $T$ ) に関する近似式は

$$\lambda_n = gT^2 / 2\pi = 1.56T^2 \quad (4.4.1-4)$$

#### 4.4.2 浅海波の場合

浅海波は海域の海底地形と風況に影響されるので、複雑であるが、海象データが不足している場合、種々の理論と知見から推測せねばならない。水深、波長、周期の関係で定義されるので以下に紹介する。

##### 1) 最大波高と周期の関係

Bretshneider の観測結果<sup>14)</sup>から見ると、十分に発達した浅海においては、周期と波高に次の関係が最も良く成立することが報告されている。

$$T_s = 3.86 \sqrt{H_s} \dots\dots\dots (4.4.2-1)$$

ただし、 $T_s$  : 有義周期[s],  $H_s$  : 有義波高[m]

(出典 ; 論文 ; 浅海風波のスペクトルにおける波高と周期の相関係数について ; 井島武士, 運輸省港湾技術研究所)

DnV の式と比べるため変換すると  $H_s = 0.067 T_s^2$  となって十分小さいので適用する場合は浅海波状態であることを確認する必要がある。

##### 2) 合田の耐波設計より<sup>15)</sup>, 波周期, 波長, 波速, 水深の関係を参考とした。

表 4.1 水深-周期-波長および波速の関係(1)<sup>15)</sup>

水深 (m)	周期 (s)	2.0		2.5		3.0		4.0		5.0	
		波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)
0.1		1.95	0.97	2.45	0.98	2.95	0.98	3.94	0.99	4.94	0.99
0.2		2.71	1.35	3.42	1.37	4.14	1.38	5.55	1.39	6.96	1.39
0.3		3.26	1.63	4.15	1.66	5.03	1.68	6.77	1.69	8.50	1.70
0.4		3.69	1.85	4.74	1.89	5.76	1.92	7.79	1.95	9.79	1.96
0.5		4.05	2.03	5.24	2.09	6.39	2.13	8.67	2.17	10.92	2.18
0.6		4.36	2.18	5.67	2.27	6.95	2.32	9.45	2.36	11.93	2.39
0.7		4.62	2.31	6.05	2.42	7.45	2.48	10.17	2.54	12.85	2.57
0.8		4.85	2.42	6.40	2.56	7.90	2.63	10.82	2.71	13.70	2.74
0.9		5.04	2.52	6.70	2.68	8.31	2.77	11.43	2.86	14.49	2.90
1.0		5.21	2.61	6.98	2.79	8.69	2.90	11.99	3.00	15.23	3.05
1.1		5.36	2.68	7.23	2.89	9.04	3.01	12.52	3.13	15.93	3.19
1.2		5.49	2.74	7.46	2.99	9.36	3.12	13.02	3.26	16.59	3.32
1.3		5.60	2.80	7.67	3.07	9.66	3.22	13.50	3.37	17.22	3.44
1.4		5.70	2.85	7.87	3.15	9.95	3.32	13.94	3.49	17.82	3.56
1.5		5.78	2.89	8.04	3.22	10.21	3.40	14.37	3.59	18.40	3.68
1.6		5.85	2.93	8.20	3.28	10.46	3.49	14.77	3.69	18.95	3.79
1.8		5.96	2.98	8.48	3.39	10.90	3.63	15.53	3.88	19.98	4.00
2.0		6.05	3.02	8.72	3.49	11.30	3.77	16.22	4.05	20.94	4.19
2.2		6.11	3.05	8.91	3.56	11.65	3.88	16.85	4.21	21.84	4.37
2.5		6.16	3.08	9.14	3.66	12.09	4.03	17.71	4.43	23.08	4.62
3.0		6.21	3.11	9.40	3.76	12.67	4.22	18.95	4.74	24.92	4.98
3.5		6.23	3.11	9.55	3.82	13.09	4.36	19.98	5.00	26.52	5.30
4.0		6.23	3.12	9.64	3.86	13.39	4.46	20.85	5.21	27.93	5.59
4.5		6.24	3.12	9.69	3.88	13.60	4.53	21.57	5.39	29.18	5.84
5.0		6.24	3.12	9.72	3.89	13.75	4.58	22.18	5.55	30.29	6.06
6.0		6.24	3.12	9.74	3.90	13.91	4.64	23.11	5.78	32.17	6.43
7.0		6.24	3.12	9.75	3.90	13.99	4.66	23.75	5.94	33.67	6.73
8.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.02	4.67	24.19	6.05	34.86	6.97
9.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.03	4.68	24.47	6.12	35.81	7.16
10.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.03	4.68	24.65	6.16	36.56	7.31
11.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.77	6.19	37.15	7.43
12.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.84	6.21	37.60	7.52
13.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.89	6.22	37.95	7.59
14.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.91	6.23	38.22	7.64
15.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.93	6.23	38.42	7.68
16.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.94	6.23	38.57	7.71
17.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.95	6.24	38.68	7.74
18.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.95	6.24	38.77	7.75
19.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.95	6.24	38.83	7.77
20.0		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.95	6.24	38.87	7.77
深 海 波		6.24	3.12	9.75	3.90	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80

出典：合田良寛，耐波工学—港湾・海岸構造物の耐波設計—



表 4.2 水深-周期-波長および波速の関係(2)<sup>15)</sup>

水深 (m)	周期 (s)		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0	
	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)
0.5	13.16	2.19	15.39	2.20	17.62	2.20	19.84	2.20	22.06	2.21		
1.0	18.43	3.07	21.61	3.09	24.78	3.10	27.94	3.10	31.09	3.11		
1.5	22.36	3.73	26.29	3.76	30.19	3.77	34.08	3.79	37.95	3.80		
2.0	25.57	4.26	30.14	4.31	34.67	4.33	39.18	4.35	43.68	4.37		
2.5	28.31	4.72	33.46	4.78	38.56	4.82	43.62	4.85	43.62	4.85		
3.0	30.71	5.12	36.39	5.20	42.01	5.25	47.58	5.29	53.13	5.31		
3.5	32.84	5.47	39.02	5.57	45.13	5.64	51.18	5.69	57.19	5.72		
4.0	34.75	5.79	41.42	5.92	47.98	6.00	54.48	6.05	60.92	6.09		
4.5	36.49	6.08	43.61	6.23	50.61	6.33	57.53	6.39	64.40	6.44		
5.0	38.07	6.34	45.63	6.52	53.05	6.63	60.38	6.71	67.64	6.76		
6.0	40.48	6.81	49.24	7.03	57.47	7.18	65.57	7.29	73.58	7.36		
7.0	43.19	7.20	52.39	7.48	61.37	7.67	70.20	7.80	78.92	7.89		
8.0	45.19	7.53	55.16	7.88	64.86	8.11	74.38	8.26	83.77	8.38		
9.0	46.91	7.82	57.61	8.23	68.01	8.50	78.19	8.69	88.22	8.82		
10.0	48.37	8.06	59.78	8.54	70.85	8.86	81.68	9.08	92.32	9.23		
11.0	49.62	8.27	61.72	8.82	73.44	9.18	84.89	9.43	96.12	9.61		
12.0	50.69	8.45	63.44	9.06	75.80	9.48	87.85	9.76	99.67	9.97		
13.0	51.60	8.60	64.98	9.28	77.96	9.74	90.59	10.07	102.98	10.30		
14.0	52.38	8.73	66.35	9.48	79.93	9.99	93.14	10.35	106.07	10.61		
15.0	53.03	8.84	67.58	9.65	81.73	9.65	95.51	10.61	108.98	10.90		
16.0	53.58	8.93	68.66	9.81	83.39	10.42	97.71	10.86	111.71	11.17		
17.0	54.04	9.01	69.63	9.95	84.90	10.61	99.77	11.09	114.29	11.43		
18.0	54.42	9.07	70.49	10.07	86.29	10.79	101.68	11.30	116.71	11.67		
19.0	54.74	9.12	71.25	10.18	87.56	10.95	103.47	11.50	119.00	11.90		
20.0	55.00	9.17	71.92	10.27	88.72	11.09	105.14	11.68	121.16	12.12		
22.0	55.39	9.23	73.03	10.43	90.76	11.35	108.14	12.02	125.12	12.51		
24.0	55.65	9.28	73.89	10.56	92.46	11.56	110.76	12.31	128.66	12.87		
26.0	55.83	9.30	74.54	10.65	93.86	11.73	113.04	12.56	131.83	13.18		
28.0	55.94	9.32	75.03	10.72	95.02	11.88	115.01	12.78	134.66	13.47		
30.0	56.02	9.34	75.40	10.77	95.97	12.00	116.72	12.97	137.19	13.72		
35.0	56.11	9.35	75.96	10.85	97.64	12.20	120.03	13.34	142.38	14.24		
40.0	56.14	9.36	76.22	10.89	98.61	12.33	122.26	13.58	146.25	14.63		
45.0	56.15	9.36	76.33	10.90	99.16	12.39	123.75	13.75	149.10	14.91		
50.0	56.15	9.36	76.39	10.91	99.46	12.43	124.71	13.86	151.16	15.12		
55.0	56.15	9.36	76.41	10.92	99.63	12.45	125.32	13.92	152.64	15.26		
60.0	56.15	9.36	76.42	10.92	99.72	12.46	125.71	13.97	153.68	15.37		
65.0	56.15	9.36	76.42	10.92	99.77	12.47	125.95	13.99	154.41	15.44		
70.0	56.15	9.36	76.42	10.92	99.79	12.47	126.10	14.01	154.91	15.49		
75.0	56.15	9.36	76.43	10.92	99.81	12.48	126.19	14.02	155.25	15.53		
80.0	56.15	9.36	76.43	10.92	99.81	12.48	126.25	14.03	155.49	15.55		
深 海 波	56.15	9.36	76.43	10.92	99.82	12.48	126.34	14.04	155.97	15.60		

出典：合田良寛，耐波工学—港湾・海岸構造物の耐波設計—

表 4.3 水深-周期-波長および波速の関係(3)<sup>15)</sup>

水深 (m)	11.0		12.0		13.0		14.0		15.0	
	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)
1.0	34.2	3.11	37.4	3.12	40.5	3.12	43.7	3.12	46.8	3.12
2.0	48.2	4.38	52.6	4.39	57.1	4.39	61.6	4.40	66.0	4.40
3.0	58.6	5.33	64.2	5.35	69.6	5.36	75.1	5.37	80.6	5.37
4.0	67.3	6.12	73.7	6.14	80.1	6.16	86.5	6.18	92.8	6.19
5.0	74.9	6.81	82.0	6.84	89.2	6.86	96.3	6.88	103.4	6.90
6.0	81.5	7.41	89.4	7.45	97.3	7.48	105.1	7.51	113.0	7.53
7.0	87.6	7.96	96.1	8.01	104.7	8.05	113.2	8.08	121.6	8.11
8.0	93.1	8.46	102.3	8.52	111.4	8.57	120.6	8.61	129.6	8.64
9.0	98.1	8.92	108.0	9.00	117.7	9.05	127.4	9.10	137.1	9.14
10.0	102.8	9.35	113.2	9.44	123.6	9.50	133.8	9.56	144.1	9.60
11.0	107.2	9.75	118.2	9.85	129.1	9.93	139.9	9.99	150.6	10.04
12.0	111.3	10.12	122.8	10.24	134.2	10.33	145.6	10.40	156.8	10.45
13.0	115.2	10.47	127.2	10.60	139.1	10.70	151.0	10.78	162.7	10.85
14.0	118.8	10.80	131.3	10.95	143.8	11.06	156.1	11.15	168.3	11.22
15.0	122.2	11.11	135.3	11.27	148.2	11.40	161.0	11.50	173.7	11.58
16.0	125.5	11.41	139.0	11.58	152.4	11.72	165.7	11.83	178.8	11.92
17.0	128.5	11.68	142.6	11.88	156.4	12.03	170.1	12.15	183.8	12.25
18.0	131.4	11.95	145.9	12.16	160.3	12.33	174.4	12.46	188.5	12.57
19.0	134.2	12.20	149.2	12.43	163.9	12.61	178.6	12.75	193.0	12.87
20.0	136.8	12.44	152.3	12.69	167.5	12.88	182.5	13.04	197.4	13.16
22.0	141.7	12.89	158.1	13.17	174.1	13.39	190.0	13.57	205.7	13.72
24.0	146.2	13.29	163.4	13.61	180.3	13.87	197.0	14.07	213.5	14.23
26.0	150.2	13.66	168.3	14.02	186.0	14.31	203.5	14.53	220.8	14.72
28.0	153.9	13.99	172.8	14.40	191.3	14.72	209.6	14.97	227.6	15.17
30.0	157.3	14.30	176.9	14.74	196.2	15.10	215.3	15.38	234.1	15.60
35.0	164.4	14.95	186.0	15.50	207.2	15.94	228.1	16.29	248.7	16.58
40.0	170.1	15.46	193.5	16.12	216.5	16.65	239.1	17.08	261.4	17.43
45.0	174.5	15.86	199.6	16.64	224.4	17.26	248.7	17.76	272.6	18.17
50.0	178.0	16.18	204.7	17.06	231.0	17.77	256.9	18.35	282.5	18.83
55.0	180.7	16.42	208.8	17.40	236.6	18.20	264.1	18.86	291.1	19.41
60.0	182.7	16.61	212.1	17.68	241.4	18.57	270.3	19.31	298.8	19.92
70.0	185.5	16.86	216.9	18.08	248.7	19.13	280.3	20.02	311.6	20.77
80.0	187.0	17.00	220.0	18.33	253.7	19.52	287.7	20.55	321.5	21.43
90.0	187.8	17.07	221.9	18.49	257.2	19.78	293.1	20.93	329.1	21.94
100.0	188.3	17.11	223.0	18.58	259.5	19.96	297.0	21.21	334.9	23.32
120.0	188.6	17.15	224.1	18.67	261.9	20.15	301.6	21.54	342.5	22.83
140.0	188.7	17.15	224.4	18.70	262.9	21.70	303.8	21.70	346.6	23.11
160.0	188.7	17.16	224.5	18.71	263.3	20.26	304.9	21.78	348.7	23.25
180.0	188.7	17.16	224.6	18.72	263.5	20.27	305.3	21.81	349.8	23.32
200.0	188.7	17.16	224.6	18.72	263.6	20.27	305.5	21.82	350.4	23.36
深 海 波	188.7	17.16	224.6	18.72	263.6	20.28	305.7	21.84	350.9	23.40

出典：合田良寛，耐波工学—港湾・海岸構造物の耐波設計—

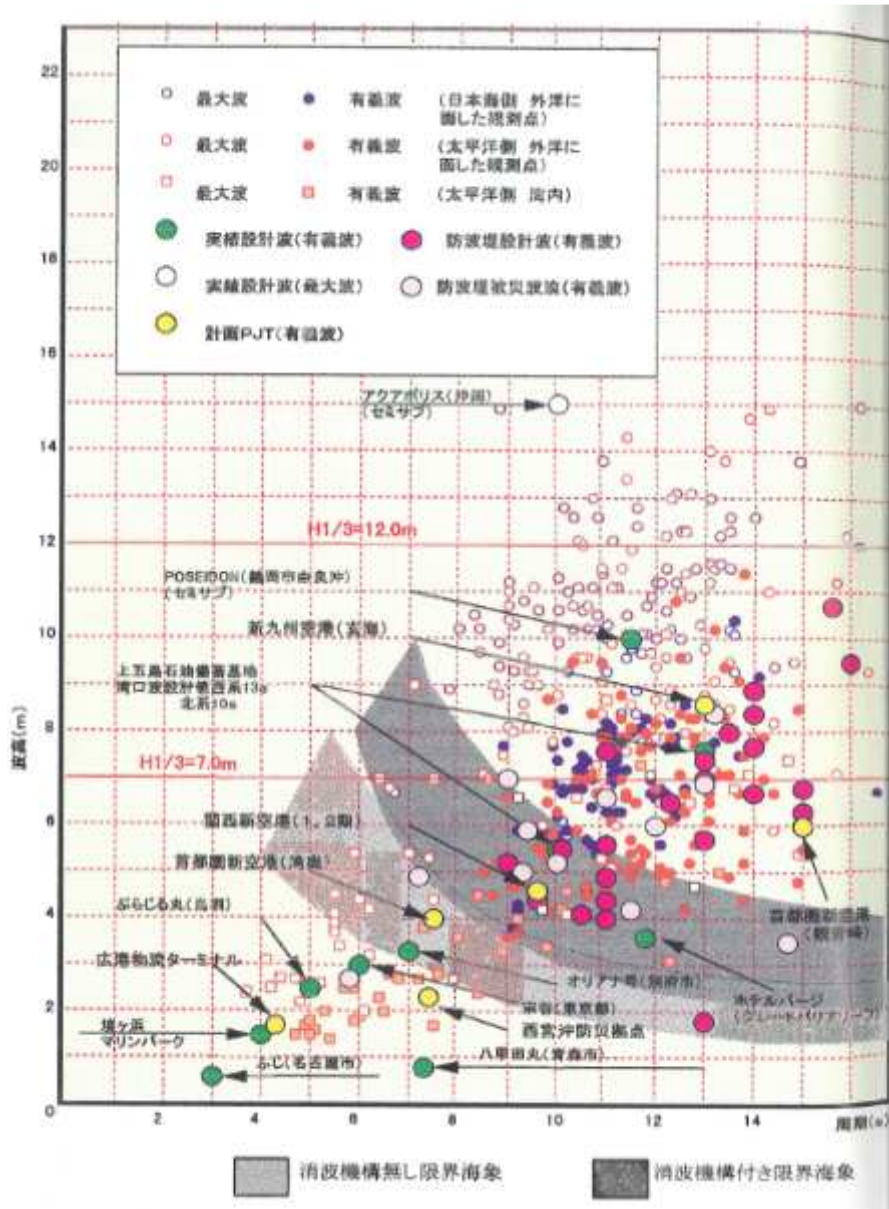
表 4.4 水深-周期-波長および波速の関係(4)<sup>15)</sup>

水深 (m)	周期 (s)	16.0		17.0		18.0		19.0		20.0	
		波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)
1.0		50.0	3.12	53.1	3.12	56.2	3.12	59.4	3.12	62.5	3.13
2.0		70.5	4.40	74.9	4.41	79.4	4.41	83.8	4.41	88.2	4.41
3.0		86.1	5.38	91.5	5.38	97.0	5.39	102.4	5.39	107.9	5.39
4.0		99.1	6.20	105.4	6.20	111.8	6.21	118.1	6.21	124.4	6.22
5.0		110.5	6.91	117.6	6.92	124.7	6.93	131.8	6.93	138.8	6.94
6.0		120.8	7.55	128.5	7.56	136.3	7.57	144.1	7.58	151.8	7.59
7.0		130.1	8.13	138.5	8.15	146.9	8.16	155.3	8.17	163.7	8.19
8.0		138.7	8.67	147.7	8.69	156.7	8.71	165.7	8.72	174.7	8.74
9.0		146.7	9.17	156.3	9.19	165.9	9.22	175.4	9.23	185.0	9.25
10.0		154.2	9.64	164.4	9.67	174.5	9.69	184.6	9.72	194.7	9.73
11.0		161.3	10.08	172.0	10.12	182.6	10.15	193.2	10.17	203.8	10.19
12.0		168.0	10.50	179.2	10.54	190.3	10.57	201.4	10.60	212.5	10.63
13.0		174.4	10.90	186.1	10.95	197.7	10.98	209.3	11.01	220.8	11.04
14.0		180.5	11.28	192.6	11.33	204.7	11.37	216.7	11.41	228.7	11.44
15.0		186.3	11.65	198.9	11.70	211.4	11.75	223.9	11.79	236.4	11.82
16.0		191.9	11.99	204.9	12.06	217.9	12.11	230.8	12.15	243.7	12.18
17.0		197.3	12.33	210.7	12.40	224.1	12.45	237.5	12.50	250.8	12.54
18.0		202.4	12.65	216.3	12.72	230.1	12.78	243.9	12.84	257.6	12.88
19.0		207.4	12.96	221.7	13.04	235.9	13.11	250.1	13.16	264.2	13.21
20.0		212.2	13.26	226.9	13.35	241.5	13.42	256.1	13.48	270.6	13.53
22.0		221.3	13.83	236.8	13.93	252.2	14.01	267.5	14.08	282.8	14.14
24.0		229.9	14.37	246.1	14.48	262.3	14.57	278.3	14.65	294.3	14.72
26.0		237.9	14.87	254.9	14.99	271.8	15.10	288.6	15.19	305.3	15.26
28.0		245.5	15.34	263.2	15.48	280.8	15.60	298.3	15.70	315.7	15.78
30.0		252.7	15.79	271.1	15.95	289.4	16.08	307.5	16.19	325.6	16.28
35.0		269.0	16.81	289.1	17.01	309.1	17.17	328.9	17.31	348.6	17.43
40.0		283.4	17.71	305.2	17.95	326.7	18.15	348.1	18.32	369.3	18.46
45.0		296.2	18.51	319.5	18.80	342.6	19.03	365.5	19.23	388.1	19.41
50.0		307.6	19.23	332.4	19.56	357.0	19.83	381.3	20.07	405.4	20.27
55.0		317.8	19.86	344.1	20.24	370.1	20.56	395.8	20.83	421.3	21.06
60.0		326.9	20.43	354.7	20.86	382.0	21.22	409.1	21.53	435.9	21.80
70.0		342.4	21.40	372.9	21.94	403.0	22.39	432.7	22.77	462.1	23.10
80.0		354.9	22.18	387.9	22.82	420.5	23.36	452.8	23.83	484.6	24.23
90.0		364.9	22.80	400.3	23.55	435.3	24.19	470.0	24.73	504.2	25.21
100.0		372.8	23.30	410.4	24.14	447.8	24.88	484.7	25.51	521.2	26.06
120.0		383.9	23.99	425.4	25.03	466.9	25.94	508.0	26.74	548.8	27.44
140.0		390.6	24.41	435.2	25.60	480.1	26.67	524.9	27.63	569.5	28.48
160.0		394.4	24.65	441.4	25.96	489.1	27.17	537.0	28.26	585.0	29.25
180.0		396.6	24.79	445.2	26.19	495.0	27.50	545.5	28.71	596.4	29.82
200.0		397.8	24.87	447.5	26.32	498.8	27.71	551.4	29.02	604.6	30.23
深 海 波		399.3	24.96	450.8	26.52	505.3	28.07	563.1	29.63	623.9	31.19

出典：合田良寛，耐波工学—港湾・海岸構造物の耐波設計—

### 4.4.3 日本周辺の波浪状況の概要

日本周辺の限界波浪状況 ④図 4.8 が体を把握するのに参考になる。



出典：メガフロート技術研究組合，メガフロートの空港利用に関する実証的研究

図 4.8 日本周辺の限界波浪状況 ④

なお、世界の各海域の概況を把握するには、気象情報や各種資料があるので、必要に応じて入手して参照することが必要である。

## 4.5 医療浮体の初期構造計画

### 4.5.1 検討する浮体の規模

本論文で検討する浮体は、3種類の医療浮体それぞれを Model1~3 とする。それぞれの医療浮体の規模とモデルのそれぞれのイメージを以下に示す。

表 4.5 構造を検討する医療浮体の規模

	Model1	Model2	Model3
浮体長さ : $L$ [m]	85.0	100.0	180.0
浮体幅 : $B$ [m]	28.0	33.0	100.0
構造深さ : $D$ [m]	4.0	6.0	12.0
喫水 : $d$ [m]	2.5	2.1	2.5
水線面積 : $A_w$ [m <sup>2</sup> ]	2,380.0	3,300.0	18,000.0



図 4.9 Model1 イメージ



図 4.10 Model2 イメージ<sup>16)</sup>

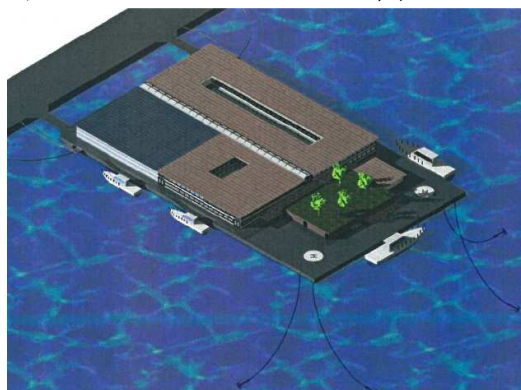


図 4.11 Model3 イメージ

#### 4.5.2 初期計画における構造検討の流れ

浮体は海に浮かんでいるものであるから、その喫水がどの程度あるかを把握しないと全体計画が進まない。故に、初期構造検討の目的は構造重量を推定することである。

本論文で検討する Model1~3 の医療浮体は NK 鋼船規則 Q 編に沿って板厚や二重底の調節し、初期構造検討を行う。特に、長大な平面を有するのに対し構造深さが小さいため、鋼船規則 Q 編内の船体横断面係数という項目を満足する必要がある。また板厚などを調節する際に必要な断面係数や断面二次モーメントは材料力学の知識を活用する。本検討では、甲板と底板を補強材（以下、スチフナーとする）で補強しない場合と補強する場合での甲板と底板の厚さおよび鋼材重量を比較して検討を行う。

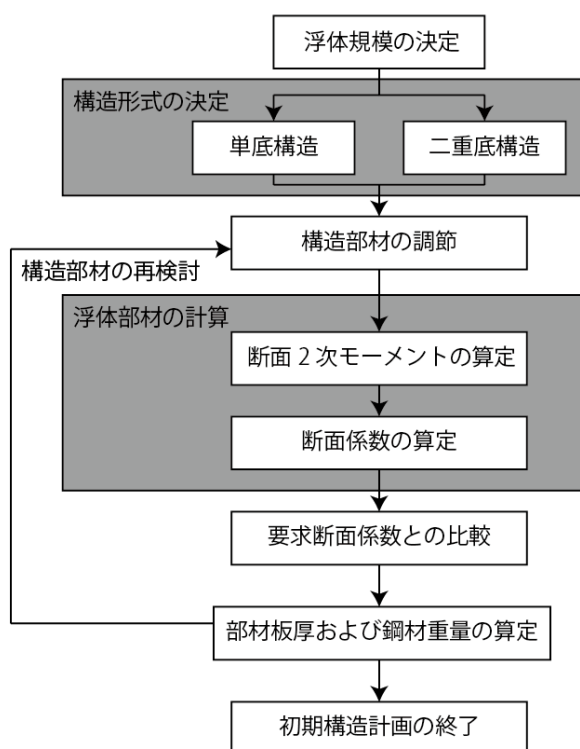


図 4.12 初期構造検討のフロー図

上記フロー中の二重底に関しては、鋼船規則 Q 編により、浮体長さが 90.0m 以上のはしけ（バージ）は二重底構造としなければならないため、二重底を設けなければいけない。浮体長さは Model2 が 100.0m、Model3 が 180.0m で 90.0m を超えるため二重底を設ける必要がある。

#### 4.5.3 板壁構造におけるスチフナーと等価板厚について

初期構造検討で対象にしているのは、板壁構造を構成している外板（甲板，底板，左右外板，前後外板），水密隔壁，二重底（長さが 90.0m 以上の浮体のみ），スチフナーである。最初に、補強材として使用するスチフナーについて説明する。

##### 1) スチフナーによる板壁構造の補強

本検討では甲板および底板をスチフナーで補強しない単純等価板厚の場合と補強する場合での甲板および底板の板厚を算定し、両方での全体の鋼材重量を算出し比較



する。

通常、板壁構造を採用している船体構造ではスチフナー付の構造を採用している。その方が効率の良いことを解っているからである。しかし、時間に制約がある初期計画の段階では、強度解析により必要な全体強度(Required Z)が解った段階で早急に概略の構造重量を推定してその他関連した検討を進めねばならない場合が出てくると思われる。構造重量を簡単に推定する方法として、Required Z 満足する断面係数を持つ単純な平板で構成された箱体構造を求める方法が思い付く。その場合最終的な設計で採用されるスチフナー付構造と重量的にどの程度差異があるのかさえ事前に把握しておけば、簡便な重量推定法を安心して採用できる。上記理由により今回はスチフナー有無の両方のケースを検討した。

なお、ここでは必要な断面係数を持ちスチフナーで補剛されていない鋼板の板厚のことを等価板厚と呼んでおく。

甲板および底板をスチフナーで補強しない等価板厚の場合は、スチフナーで補強した場合と同等の強度を満足しなければいけないため、甲板および底板の板厚はスチフナーで補強する場合と比べて厚くなる。

## 2) スチフナー補強の場合のイメージ

スチフナーとは甲板、柱、プレートガーダーなどの部材のウェブ部分の座屈を防止するために、ウェブに添えて取り付けられる補強用の鋼板のことである。スチフナーのイメージを図 4.13 に示す。

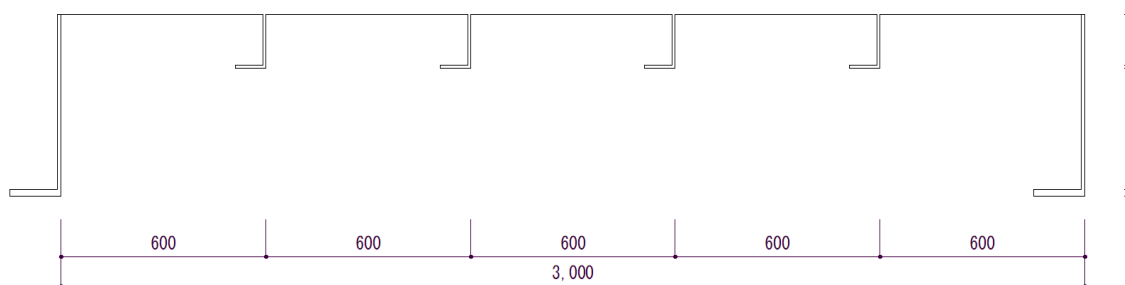


図 4.13 スチフナーのイメージ

上図では、500.0mm×150.0 mm の大きいスチフナーを 1 つ、150.0mm×90.0mm の小さいスチフナーを 4 本配置した構造パネルを甲板や底板に適用するものとして必要な板厚を求め等価板厚の場合と重量について比較する。(Model2 について)

## 4.5.4 3 浮体の中央断面図

### 1) Model1

Model1 の中央断面図を図 4.14 に示す。



図 4.14 Model1 の中央断面図

2) Model2

Model2 の中央断面図を図 4.15 に示す.

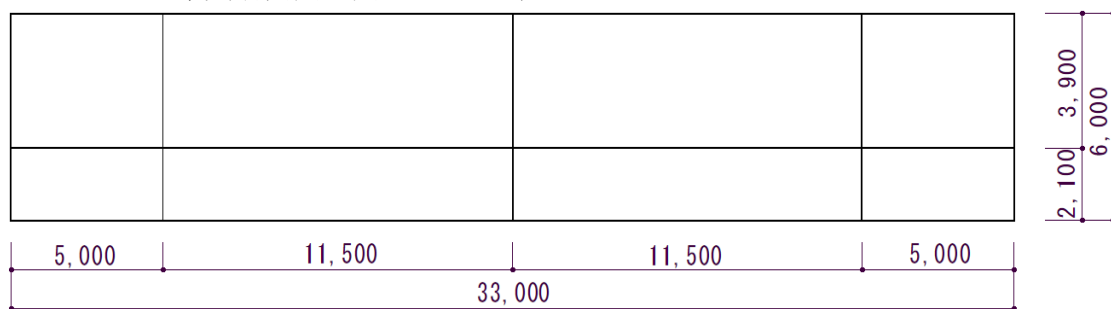


図 4.15 Model2 の中央断面図

3) Model3

Model3 の中央断面図を図 4.16 に示す.

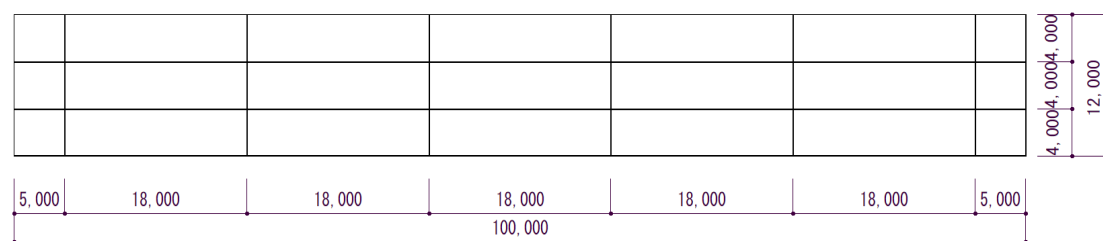


図 4.16 Model3 の中央断面図



#### 4.5.5 Model1 の断面係数と板厚

##### 1) 断面係数の算定

本研究で提案する医療浮体は国内であればどこへでも派遣可能な運用を想定し、沿海区域での航行も可能とする条件下で強度検討を実施した。そのため本来であれば河川へ医療浮体を設置するのであれば鋼船規則 Q 編<sup>12)</sup>における「“Smooth Water Service”として登録を受ける浮体」としての部材寸法の低減が可能だが、特に部材寸法の低減をせずに規則に基づき、単底構造として外板や肋骨、甲板、梁、甲板桁、水密隔壁などの構造寸法の決定を行った。ここで本医療浮体は構造深さが 4.0m であるにもかかわらず 85.0m×28.0m という長大な平面を有しているため、特に縦強度を満足させる点で注意が必要となる。縦強度は鋼船規則でも取り上げられている項目であり、ここでは船体横断面係数を満足させるために、浮体の甲板、底板、および船側部の外板を調整することで必要な縦強度を満足させることとした。ここで船体横断面係数は次に示す 2 つの算式による値のうち大きいもの以上で設定される必要がある。

$$Z_1 = 0.95 K_1 L^2 B (C_b + 0.7) \quad [\text{m}^3] \quad (4.5.5-1)$$

$$Z_2 = 6.63 C [1.28 K_2 L^2 B C_b (1 + 0.04 L / B + M_s)] \quad [\text{m}^3] \quad (4.5.5-2)$$

ただし、 $L$ : 浮体長さ[m]、 $B$ : 浮体幅[m]、 $K_1$ :  $0.03L+5$ [m] ( $L$ が 90.0m 未満である場合)、 $C_b$ : 方形係数、 $K_2$ :  $0.0028L+0.46$ [m]、 $C$ : Table 5 による、 $M_s$ : 静水中縦曲げモーメント

表 4.6 Coefficient  $C$

	サギング状態	ホギング状態
上甲板	1.00	1.03
船底	1.06	1.03

医療浮体の寸法および形状より必要とされる船体横断面係数は、(1)式より  $Z_1$  は  $2.5\text{m}^3$ 、(2)式より  $Z_2$  は  $1.6\text{m}^3$  と算出され、大きい値の  $Z_1$  が船体横断面係数の要求値となる。

##### 2) 等価板厚の算定

板厚を設定する際に必要な式を以下に示す。

- ・断面 2 次モーメント  $I$

$$I = \frac{BD^3}{12} - \frac{(B-2t)(D-2t)^3}{12} \quad [\text{m}^4] \quad (4.5.5-3)$$

- ・断面係数  $Z_{DK}$  (上)

$$Z_{DK} = \frac{I}{h_{DK} \cdot 1000} \quad [\text{m}^3] \quad (4.5.5-4)$$

ただし、 $h_{DK}$ : 中立軸から甲板までの距離[m]

- ・断面係数  $Z_{BM}$  (下)

$$Z_{BM} = \frac{I}{h_{BM} \cdot 1000} \quad [\text{m}^3] \quad (4.5.5-5)$$

ただし、 $h_{BM}$ ：中立軸から底板までの距離[m]

この要求値を満足させるため医療浮体の甲板の等価板厚を 17.5 mm、底板および外板の等価板厚を 16.0mm と決定した。鋼船規則を満足した医療浮体の浮体基盤部の断面図を図 4.17 に示す。ただし、この図は等価板厚ベースでなくスチフナーで補剛した最終的な設計図である。

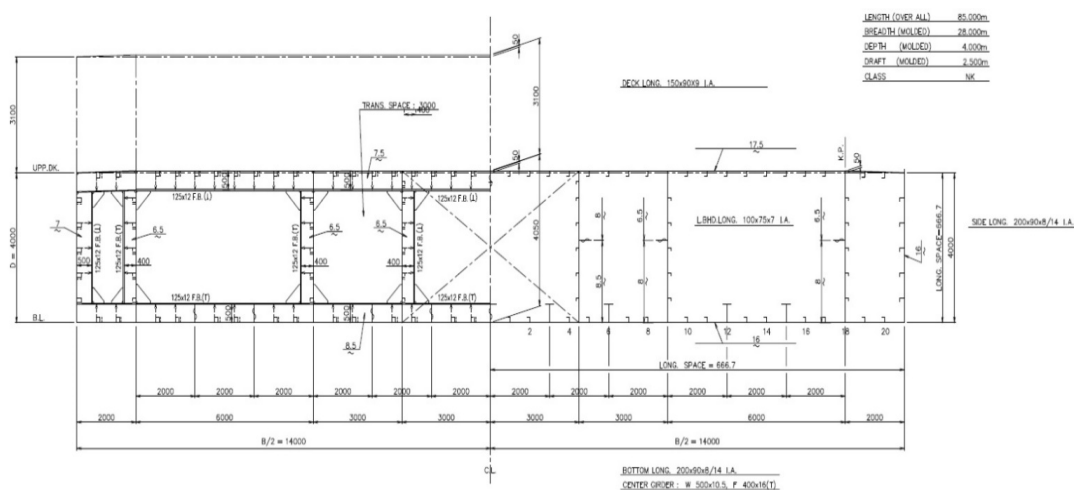


図 4.17 Model1 の中央断面切断図

#### 4.5.6 Model2 の断面係数と板厚&構造重量

畔柳研究室が提案する医療浮体（以下、医療浮体という）の構造検討を日本海事協会の定める鋼船規則 Q 編を基に行う。医療浮体の規模は全長 100.0m、全幅 33.0m、構造深さ 6.0m である。本浮体は、主に海岸付近での活動を検討しているため、全長 100.0m と本研究室の医療浮体より比較的大きな規模となった。90.0m 以上の長さを有する場合、二重底を設ける必要がある。二重底の高さである中心線桁板の高さを、B/16 および 700.0mm 以上としなければならない。

##### 1) 単底構造・等価板厚での検討

まず二重底を有せず、外板を等価板厚とした単底構造浮体の板厚の検討を行う。単底構造浮体の中央断面図を図 4.18 に示す。

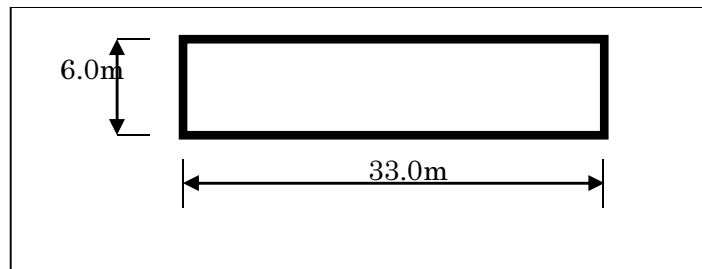


図 4.18 単底構造浮体の中央断面図

鋼船規則より、板厚を設定する場合は上下の断面係数を要求断面係数で除した値が 1.0 以上でなければならない。板厚を設定する際に必要な式を以下に示す。

・断面 2 次モーメント  $I$

$$I = \frac{BD^3}{12} - \frac{(B-2t)(D-2t)^3}{12} \quad [\text{m}^4] \quad (4.5.6-1)$$

ただし、 $L$ : 全長[m],  $B$ : 全幅[m],  $D$ : 構造深さ[m],  $t$ : 甲板[m]

・断面係数  $Z_{DK}$  (上)

$$Z_{DK} = \frac{I}{h_{DK} \cdot 1000} \quad [\text{m}^3] \quad (4.5.6-2)$$

ただし、 $h_{DK}$ : 中立軸から甲板までの距離[m]

・断面係数  $Z_{BM}$  (下)

$$Z_{BM} = \frac{I}{h_{BM} \cdot 1000} \quad [\text{m}^3] \quad (4.5.6-3)$$

ただし、 $h_{BM}$ : 中立軸から底板までの距離[m]

・要求断面係数  $reqZ$

$$reqZ = 0.95K_1 L^2 B (C_b + 0.7) \quad [\text{m}^3] \quad (4.5.6-4)$$

$$K_1 = 10.75 - \left( \frac{300-L}{100} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (L \text{ が } 90.0\text{m} \text{ 以上の場合}) \quad \leftarrow \text{採用}$$

$$K_1 = 0.03L + 5 \quad (L \text{ が } 90.0\text{m} \text{ 未満の場合})$$

$$C_b = 1$$

甲板，底板，側板の板厚を 25.0mm とする場合，

$$\begin{aligned}
 I &= 1.56 \times 10^5 \quad [\text{m}^4] \\
 Z_{DK} &= 5.2 \quad [\text{m}^3] \\
 Z_{BM} &= 5.2 \quad [\text{m}^3] \\
 reqZ &= 4.22 \quad [\text{m}^3] \\
 Z_{DK}/reqZ &= 1.232 \\
 Z_{BM}/reqZ &= 1.232
 \end{aligned}$$

以上より，甲板，底板，側板の板厚が 25.0mm であれば要求断面係数を満たす．また，板厚が最低 21.0mm 以上であれば要求断面係数を満たす．

## 2) 二重底を考慮した場合

鋼船規則 Q 編の「二重底構造」より，浮体の全長が 90.0m を超える場合は底板に加え内底板を設ける必要があり二重底構造にしなければならない．内底板の高さは中心線桁板の高さが  $B/16$  以上としなければならないということから，33/16m 以上となり，底板から 2.06m 以上とする必要がある．構造深さが 6.0m であるので，内底板から甲板までの距離は 3.94m 以内となる．二重底構造の場合は内底板の断面 2 次モーメントや断面係数を考慮する必要がある．構造深さと板厚を変数とした場合に要求断面係数を満足する値を表 4.7 に示す．

表 4.7 要求断面係数表

板厚 [mm]	構造深さ [mm]					
	5000	6000	7000	8000	9000	10000
13	0.53	0.64	0.76	0.88	0.99	1.12
14	0.57	0.69	0.82	0.94	1.07	1.20
15	0.61	0.74	0.87	1.01	1.15	1.29
16	0.65	0.79	0.93	1.08	1.22	1.37
17	0.69	0.84	0.99	1.14	1.30	1.46
18	0.73	0.89	1.05	1.21	1.37	1.54
19	0.77	0.94	1.11	1.28	1.45	1.63
20	0.81	0.99	1.16	1.34	1.53	1.71
21	0.85	1.04	1.22	1.41	1.60	1.80
22	0.89	1.09	1.28	1.48	1.68	1.88
23	0.93	1.13	1.34	1.54	1.75	1.97
24	0.98	1.18	1.40	1.61	1.83	2.05
25	1.02	1.23	1.45	1.68	1.91	2.14
26	1.06	1.28	1.51	1.74	1.98	2.22

表 4.7 より，構造深さが 6.0m の場合は甲板，底板，側板の板厚が 21.0mm 以上であれば要求断面係数を満足する．

## 3) スチフナー付きと等価板厚の比較

これまで甲板，底板，側板の板厚を 1 枚の等価板厚として調節してきた．しかし，実際は様々な補強材を考慮する必要があるため本検討では補強材の 1 種であるスチフナーを考慮した場合の板厚の調節を図 4.19 のように行った．スチフナーは甲板および底板のみ考慮するものとして検討する．

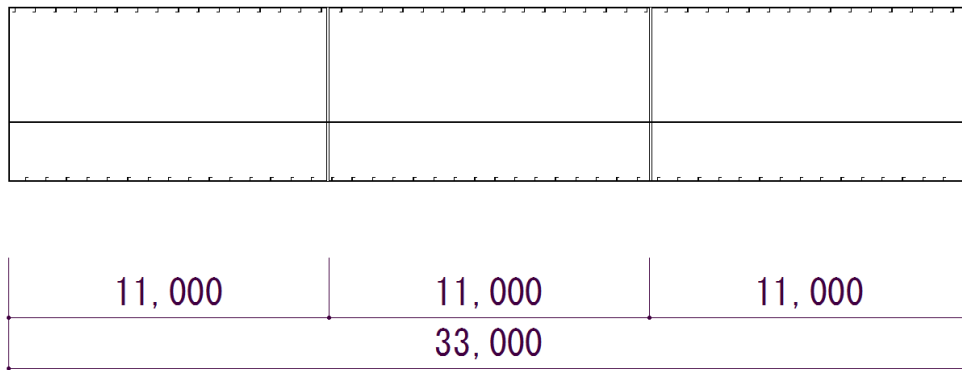


図 4.19 医療浮体の中央断面図

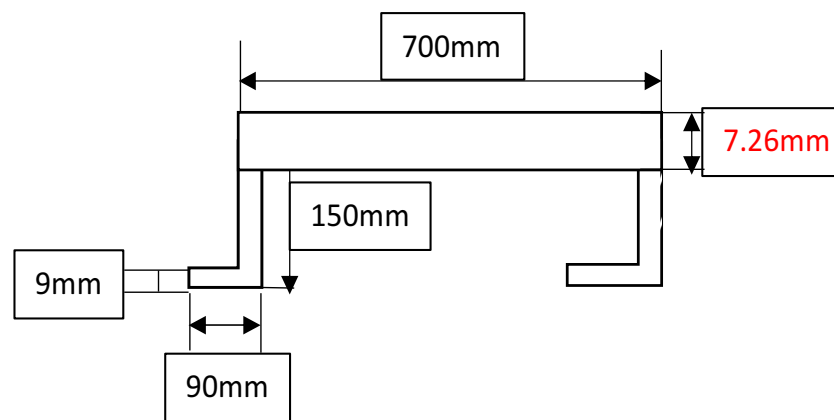


図 4.20 スチフナーを考慮した板厚

図 4.20 よりスチフナー間の距離を 700.0mm，ウェブ長さ 150.0mm，フランジ長さ 90.0mm，ウェブおよびフランジ厚さ 9.0mm，とした．甲板および底板の板厚は適宜変化させるものとする．側板の厚さは 22.0mm および 25.0mm とする．ただし板厚を算出する際は，スチフナーのウェブやフランジによる中立軸の変化も考慮するものとする．その結果，甲板および底板のスチフナーを考慮した場合の等価板厚はそれぞれ 17.0mm，18.5mm となった．表 4.8 にスチフナーを考慮した場合の要求断面係数表を示す．

また，スチフナーを考慮した場合の甲板および底板の板厚はそれぞれ 14.0mm，15.5mm となった．表 4.9 にスチフナーを考慮した場合の甲板および底板の板厚表を示す．

表 4.8a) 側板の板厚 22.0mm 時のスチフナーを考慮した要求断面係数表

	面積	$A \times zG$	$I$	中立軸 高さ	下端 長さ	上端 長さ	下端	上端	底板	上甲板
	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	安全率	安全率
15.97	17,471	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	287.7	287.7	312.3	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	0.969	0.893
16.47	17,801	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	287.9	287.9	312.1	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	0.992	0.915
16.97	18,131	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.1	288.1	311.9	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.015	0.937
17.47	18,461	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.3	288.3	311.7	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.037	0.959
17.97	18,791	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.5	288.5	311.5	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.060	0.982
18.47	19,121	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.7	288.7	311.3	5.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.082	1.004
18.97	19,451	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.9	288.9	311.1	5.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.105	1.026
19.47	19,781	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	289.1	289.1	310.9	5.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.127	1.048
19.97	20,111	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	289.3	289.3	310.7	5.0×10 <sup>6</sup>	5.0×10 <sup>6</sup>	1.150	1.071

b) 側板の板厚 25.0mm 時のスチフナーを考慮した要求断面係数表

	面積	$A \times zG$	$I$	中立軸 高さ	下端 長さ	上端 長さ	下端	上端	底板	上甲板
	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	安全率	安全率
7.26	112,061	3.0×10 <sup>6</sup>	7.0×10 <sup>8</sup>	282.1	282.1	317.9	2.0×10 <sup>6</sup>	2.E+06	0.573	0.508
14.97	17,170	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	287.4	287.4	312.6	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	0.932	0.857
15.47	17,500	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	287.7	287.7	312.3	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	0.955	0.880
15.97	17,830	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	287.9	287.9	312.1	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	0.977	0.902
16.47	18,160	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.1	288.1	311.9	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.000	0.924
16.97	18,490	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.3	288.3	311.7	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.023	0.946
17.47	18,820	5.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.5	288.5	311.5	4.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.045	0.968
17.97	19,150	6.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.7	288.7	311.3	5.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.068	0.991
18.47	19,480	6.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	288.9	288.9	311.1	5.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.090	1.013
18.97	19,810	6.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	289.1	289.1	310.9	5.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.113	1.035
19.47	20,140	6.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	289.3	289.3	310.7	5.0×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>	1.136	1.057
19.97	20,470	6.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>	289.5	289.5	310.5	5.0×10 <sup>6</sup>	5.0×10 <sup>6</sup>	1.158	1.080

表 4.9 スチフナーを考慮した甲板および底板の板厚表

スチフナーを考慮した等価板厚	板厚
[mm]	[mm]
10.23	7.26
14.97	12.0
15.47	12.5
15.97	13.0
16.47	13.5
16.97	14.0
17.47	14.5
17.97	15.0
18.47	15.5
18.97	16.0
19.47	16.5

表 4.9 に示すスチフナー付の板厚とは、補強材のスチフナーを考慮した甲板および底板の等価板厚を示した。板厚とはスチフナー付の板厚の甲板および底板の板厚を示した。以下にそれぞれの図を示す。



図 4.21 甲板および底板の等価板厚

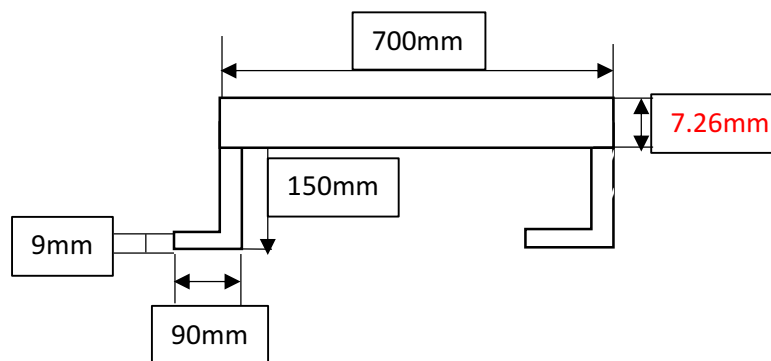


図 4.22 甲板および底板の板厚

#### 4) 喫水の検討

スチフナーを考慮した場合の医療浮体の重量および喫水を以下に示す。また喫水を算出する際には浮体上部に医療用コンテナを積載する。コンテナは 20 フィートコンテナを採用し、1 個の重量は 1.79t であり、コンテナの数を 100 個、30 個、20 個、10 個に場合分けをして喫水を算出した。

表 4.10 医療浮体の重量および喫水

甲板	底板	側板	鋼材重量	喫水 (100 個)	喫水 (30 個)	喫水 (20 個)	喫水 (10 個)
[mm]	[mm]	[mm]	[t]	[m]	[m]	[m]	[m]
18.47	16.97	22.0	1,563.3	0.87	0.83	0.83	0.82
18.47	16.47	25.0	1,600.8	0.88	0.84	0.84	0.83

船員室を満載喫水線以下に配置する満載喫水線条約を満たす場合には、満載喫水を少なくとも 2.06m 以下に抑えなければならない。表 4.10 に示した喫水は浮体基盤部、医療施設の積載重量、コンテナの重量を考慮したものである。しかし人やバラストなどを考慮していないので、2.06m に対し余裕が必要である。その結果、積載するコンテナの数は 100 個であっても余裕があるといえる。しかし、浮体上に搭載できるコンテナの数に限界があるので、今回は 100 個までの提案を行った。

#### 5) 鋼材重量の比較

医療浮体の鋼材重量を，等価板厚の場合とスチフナーを考慮した場合で比較し，どの程度の誤差が生じるのかを検証した．検証した結果を以下の表に示す．

表 4.11 構造重量の比較表

	甲板	底板	側板	鋼材重量
	[mm]	[mm]	[mm]	[t]
等価板厚	22.0	22.0	22.0	1,594.6
	25.0	25.0	25.0	1,787.0
スチフナー 考慮	18.47	16.97	22.0	1,563.3
	18.47	16.47	25.0	1,600.8

表 4.11 より，等価板厚の場合よりスチフナーを考慮した場合の方が鋼材重量は軽くなることが分かった．またスチフナーを考慮した場合に側板の板厚が 22.0mm の方が軽く 1563.3t となることが分かった．側板の板厚が 22.0mm の場合，スチフナーを考慮した方が約 70.0t 軽く，25.0mm の場合はスチフナーを考慮した方が約 190.0t 軽いことが分かった．

上記より箱型浮体の初期計画における構造および重量検討では，簡便な等価板厚ベースの検討で十分であることが判明した．

#### 4.5.7 Model3 の断面係数と板厚

この浮体モデルは甲板が 3 層，全体の構造高さは 12.0m になっているが，前項と同じ要領で各層甲板の等価板厚および全体の構造重量を求めることが出来た．結果だけを下記に示す．

表 4.12 鋼材重量および喫水

鋼材重量	18,336.8	[t]
喫水	0.99	[m]

#### 4.5.8 3 種類の医療浮体の構造重量，喫水のまとめ

表 4.13 医療浮体の主要目と構造重量まとめ

	Model1	Model2	Model3
浮体長さ： $L$ [m]	85.0	100.0	180.0
浮体幅： $B$ [m]	28.0	33.0	100.0
構造深さ： $D$ [m]	4.0	6.0	12.0
計画喫水： $d$ [m]	2.5	2.1	2.5
構造重量： $w_d$ [t]	1,075	1,595	18,337
構造分の喫水： $d_s$ [m]	0.44	0.47	0.99



## 4.6 石炭浮体の初期構造計画

### 4.6.1 構造の構想

まず、先に設定した一般配置図からどんな構造にすべきかを構想を練らねばならない。参照にすべきモデルがないのでゼロベースからのスタートである。

大型浮体の設計例としては、メガフロート研究用実験浮体やメガフロート空港試設計、また羽田沖新空港用浮体などがあったが、いずれも空港を主な使用目的としているので、滑走路として使用するため浮体挙動に大きな制約条件があったが、局部荷重変動（航空機輪荷重）は大きい全体での荷重変動は小さい、また形状も細長くまた上甲板は面一という特徴があった。一方石炭浮体の場合は石炭の積込や積出の状態を考慮すると、荷重の変動が大きくまた面的な荷重の配置もかなり大きな偏りが発生することも予想された。更に貯蔵量によっては広大な面積が要求されるといった特徴がある。このような浮体構造はいかにあるべきかまたまたどのような構造形式と強度が必要なのか全く新しい課題があった。このような場合、

- 1) メガ研究成果を活用して最初から全体形状で想定される強度（例えば中央部の断面係数 I）を予測して案をつくる方法と
- 2) 全体を小さなユニットに分割して、そのユニットに必要なと思われる強度を満足する構造を考えて、その後全体強度を何らかの方法で確認する方法の二通りの方向があったが、1)を採用することにした。

その理由は、大きな前提条件として、このプロジェクトにおいては日本で建造し、現地まで曳航して全体を完成させるという条件があった。長距離の曳航ではユニット単位でないと現実的ではない。そのためユニット単位での構造強度は最低限曳航に耐える強さにする必要があった。1)の場合、ユニットを直接曳航するのではなく、多くの海洋構造物の曳航に採用されている曳航用特殊バージに乗せて運ぶことも可能であるが、ユニットの分割法、バージ本体の計画や曳航計画、現地での接合手順、コスト算定まで必要になり、初期計画の範疇を越え、計画スパイラルの第2ステップになると判断した。

1)、2)どちらにしても建造工程を考えると、日本の建造ドックで建造できるサイズに分割して建造し、またそのサイズで運搬する必要がある。曳航中の強度も保持する必要がある。1)の場合全体強度として最適な構造断面を採用できても、ユニットとして曳航強度を保持できていない場合は曳航のための補強等再検討が必要になり多くの手間が掛かることが予想されたからである。

曳航中の強度は船体強度と同じように自身にとって最も厳しい波浪に耐えるように設定される。そのようなユニットが集合、溶接結合されて完成する大きなマット状の構造体の弾性応答特性としては、第2章で示したように大きな運動減衰予想され、また、荒天時に発生する弾性振動の波長（浮体波）も海洋波の波長よりはるかに長くなり（即ち変形の曲率半径は曳航強度検討時のそれよりはるかに大きい）発生する構造応力も小さくなり、安全側になっていると思われるからである。

### 4.6.2 構造形式

浮体の構造形式として骨組構造や船舶で採用されている板骨構造等種々の形式が考えられるが、水面に浮かぶ浮体であること、また喫水や浮体姿勢を制御するためバラスト水が必要となることを勘案して、水圧や積載貨物からの内圧を受け止める構造として長い間船体構造に採用されてきた板骨構造を採用することにした。また鋼板の補剛材としてフレームが取り付けられるが、船体構造に倣い船体の長手方向に水平に配置することにし、その間隔は約 800.0mm とした。

広大な石炭浮体であるが、いずれにしても陸上またドックで分割建造して海上で順次各ユニットを接続して完成させるしか方法がないと思われたので、ユニット単位で最初の構造部材寸法や配置を仮定する。即ちユニットは外洋を曳航されるバージと見なし、その構造部材の寸法と配置は NK 規則（日本海事協会のバージ構造安全規則）を満足するように決定した。

この後全体強度を確認する必要があるが、全体構造は NK 規則を適用できる一般船舶のサイズをはるかに超える大きな浮体なので、いわゆる流力弾性応答の特性を持つ可能性がある。このような浮体構造の強度解析にはいわゆる流力弾性応答プログラムを適用して安全性の確認を行う必要があるが、メガフロートのようなポンツーン型とは異なる複雑な構造なので、また荷役状態を考えると非常に多くの積載状態が想定されるので、現在開発されている流力弾性応答プログラムを単純に適用するのは問題があると想定された。そこで構造特性も考慮でき且つ簡便に安全上要求される多くのケースを計算できるプログラムが必要となる。そこで初期計画段階なので有限要素プログラム (MSC, NASTRAN) をカスタマイズし、準静的に弾性応答を模擬し安全性を確認する方法を採用した。準静的とは、入力波を浮体の供用期間 (30~50 年) に受ける極限最大波を単純サイン波 (規則波, 計画最大波高) とし、浮体各部の変位と応力を算定して各部材が許容範囲に入っているかを確認する方法である。なお、プログラムの適用に当たっては、計算作業を簡易化するため構造のモデル化から検討から始めねばならない。以下にそのフローを示す。

#### 4.6.3 単位ユニットでの構造部材寸法の初期設定方法

検討の流れを下記に示す。

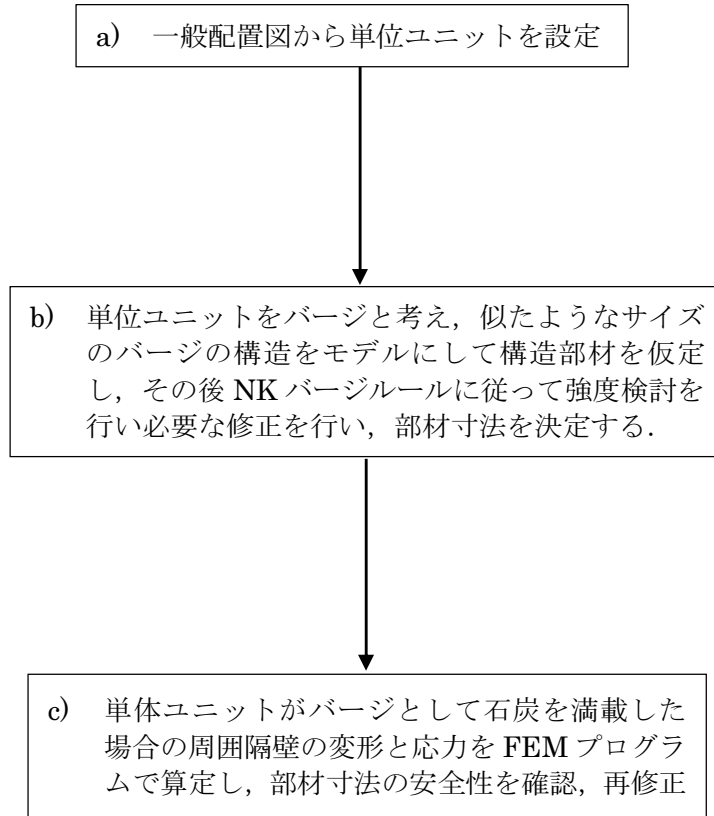


図 4.23 部材寸法の初期設定の流れ

#### 4.6.4 単位ユニットの設定

石炭浮体の当初の計画では、浮体全体を建造ドッグに入る大きさのユニットに分割して日本で建造して現地へ曳航し、現地でユニットを接合して全体を完成させるという条件（計画フローの中では制約条件に相当）になっていたため、長期曳航も考慮せねばならなかった。このような曳航では様々な方法が考えられるが、ユニットを直接海に浮かべてバージのように曳航するのが最も合理的と考えた。単位ユニットは建造ドッグに入る最大のサイズが、ユニットの総数が少なくなり好ましいが、ユニットの曳航中の強度が不十分であれば強度補強や水密区画の確保等曳航のための工事が必要となり不要なコストが大きくなる。そこで今回はユニットの大きさは、遠洋航海用バージ並みの強度を確保できるサイズに設定にした。従って単位ユニットは単体で曳航できるように1つの貨物艙を囲むようなサイズとし、それぞれが海上で浮かびかつ洋上接合を施工する場合、部材の突合せが単純になるよう設定した。

構造強度の検討がユニットの強度検討から始まったのは上記理由によるものである。ユニットの大きさをどのように設定するかは、石炭浮体のような大型浮体の初期計画において重要な要素である。（医療浮体で一体建造が可能）、またユニットへの分割の仕方は洋上接合の手順と洋上施工のコストにも大きく関係するが「第6章：浮体建造法の検討」で説明する。なお、ユニットのサイズについては3.3.4に述べているので参照のこと。最終的なユニット分割図を図4.24に示す。

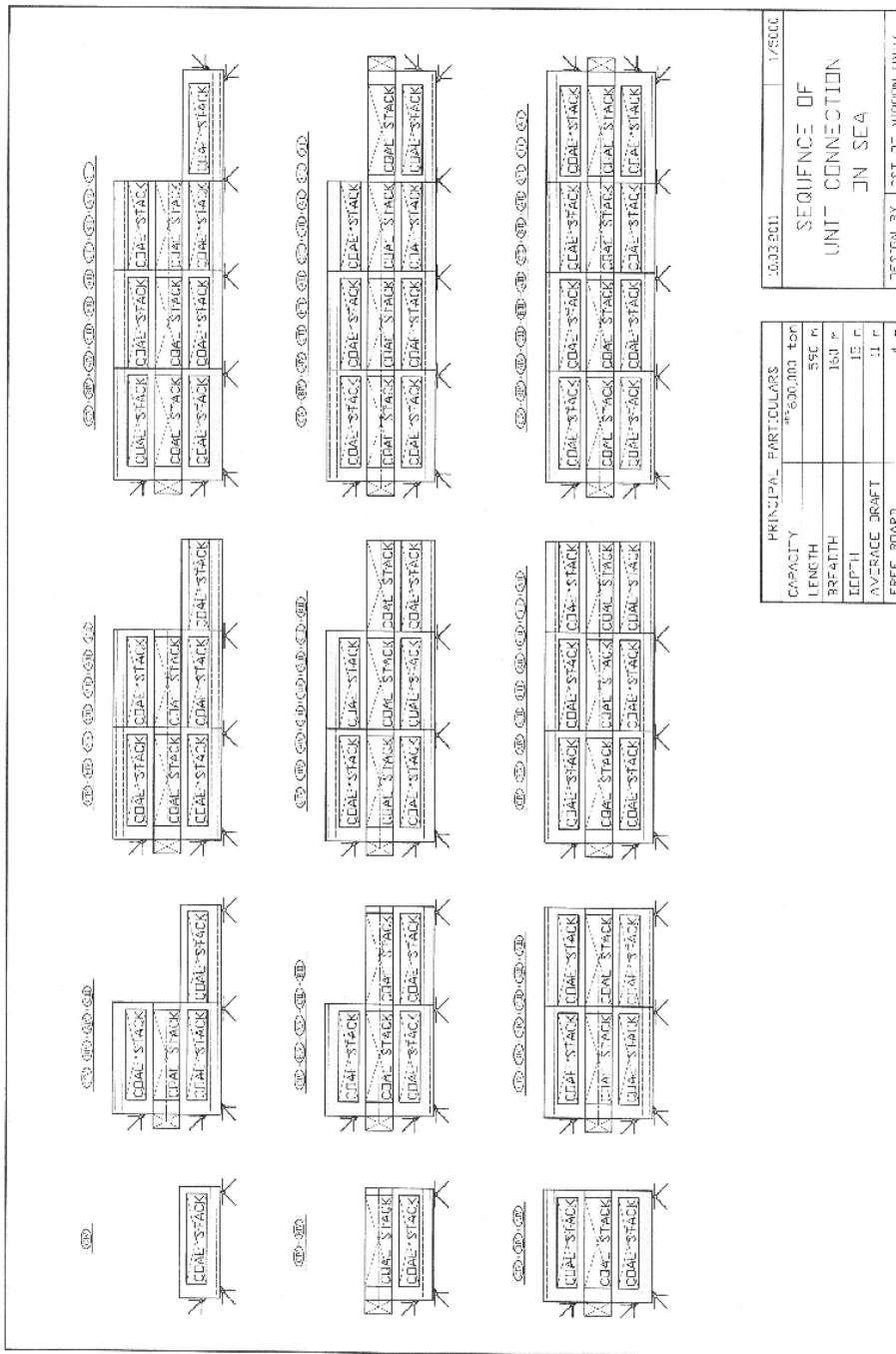


図 4.24 石炭浮体のユニット分割図および接合順序

#### 4.6.5 1 貨物艙満載時の縦通隔壁の横強度の確認

1 貨物艙に石炭を満載した状態では、隣接した貨物艙は空なので、130.0m と縦方向に長い縦通隔壁に大きな横方向への圧力が掛かる(3.3.3 石炭浮体, 一般配置図(Model-4) 参照)。その時の静水中の水平方向の変位(静的横強度解析)と応力を3次元FEMモデルで直接強度計算を実施し応力状況を確認した。

計算条件等を下記にしめす。なお、各部の部材詳細は、次節を参照。入力モデル図は省略した。

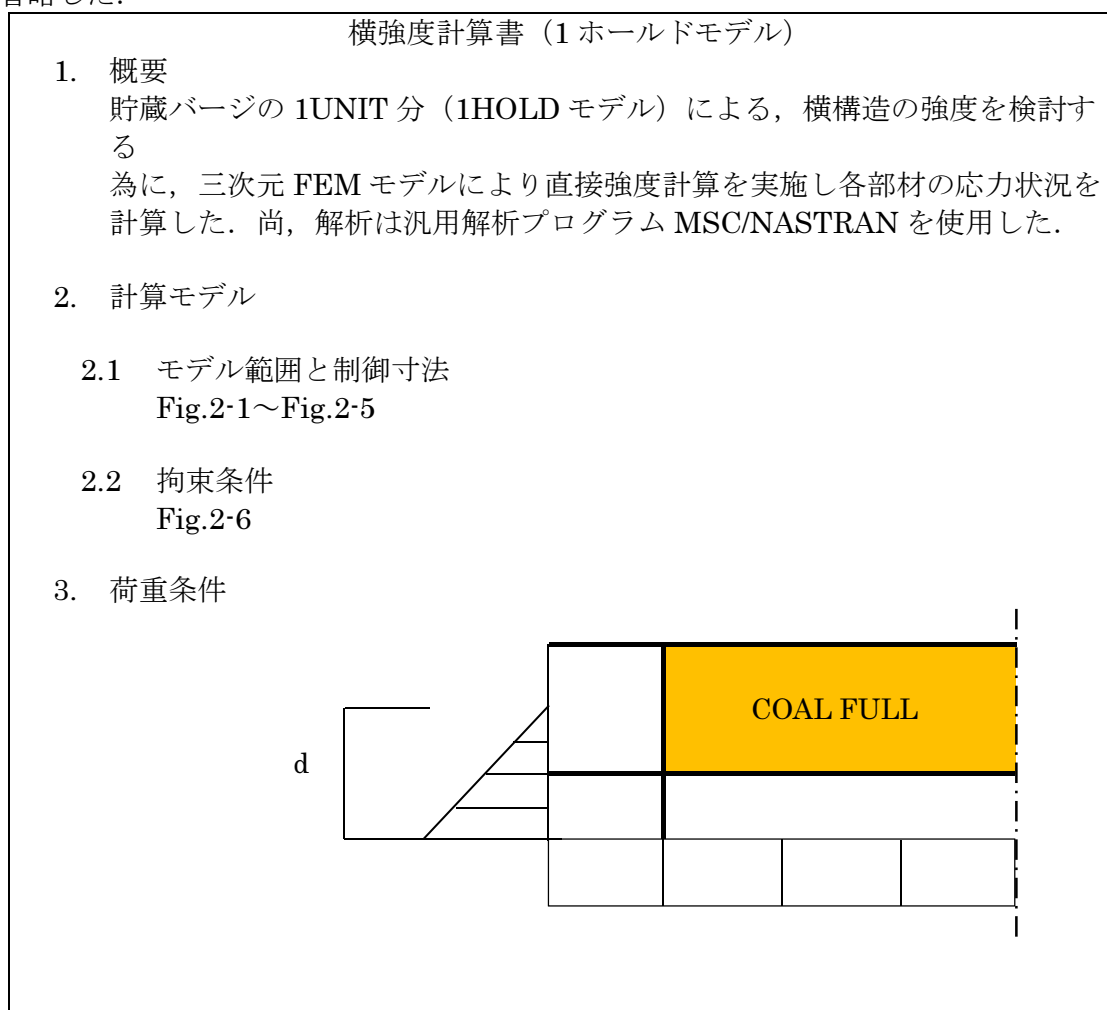


図 4.25 静的横強度計算書

4. 許容値				
4-1 応力度評価				
各部材の許容応力を下記に示す。				
板構造モデルの許容応力				
	対象部材	$\sigma_l$	$\sigma_t \cdot \sigma_v$	$\sigma_e$
縦強度部材	外板、内底板、縦通隔壁板	100/k	145/k	145/k
	ガーダ	-	-	175/k
横強度部材	スツール斜板、横隔壁板	-	145/k	175/k
	フロア、クロスデッキ、クロスデッキ桁材	-	-	175/k
(備考)				
1. 単位 : N/mm <sup>2</sup>				
2. $\sigma_e = \sqrt{(\sigma_l^2 - \sigma_l \cdot \sigma_t + \sigma_t^2 + 3\tau^2)}$ (縦強度部材)				
: $\sqrt{(\sigma_v^2 - \sigma_v \cdot \sigma_t + \sigma_t^2 + 3\tau^2)}$ (横強度部材)				
$\sigma_l$ : 船長方向における直応力 $\sigma_t$ : 船幅方向における直応力				
$\sigma_v$ : 船の深さ方向における直応力				
$\tau$ : 船長船幅方向における面内のせん断応力				
3. 各応力の検出位置は、要素中心とする。				
4. Kは、使用する鋼材の種類に応じた係数で以下による。				
MS・・・1.0、HT32・・・0.78、HT36・・・0.72				
5. モデル構成上で出来る、微小な要素には適用しない。				
5. 計算結果				
	項目	単位 : mm, N/mm <sup>2</sup>		
		結果		
	UPPER DECK			
	・変形図	72.1 mm	Fig. 5 - 1	
	・等価応力分布図	175.4 N/mm <sup>2</sup>	Fig. 5 - 2	
	・せん断応力図	81.7 N/mm <sup>2</sup>	Fig. 5 - 3	
	全体TRANS	Fig. 5 - 4		
	中央TRANS①			
	・変形図	80.7 mm	Fig. 5 - 5	
	・等価応力分布図	120.9 N/mm <sup>2</sup>	Fig. 5 - 6	
	・せん断応力図	52.4 N/mm <sup>2</sup>	Fig. 5 - 7	
	中央TRANS②			
	・変形図	80.4 mm	Fig. 5 - 8	
	・等価応力分布図	108.3 N/mm <sup>2</sup>	Fig. 5 - 9	
	・せん断応力図	53.2 N/mm <sup>2</sup>	Fig. 5 - 10	

図 4.26 静的横強度計算結果

最大応力は当然であるが上甲板に発生しており、その値は約 175.4 N/mm<sup>2</sup> であり、許容応力範囲内であるが、波浪中での状態も別途検討する必要があることが判った。

#### 4.6.6 全体剛性検討のための構造断面の決定と断面図の作成

##### 1) 前提条件

今回の様な大きく且つ複雑な形状を持つ浮体の構造はどのようなものがよいのか、似たような参考にすべきモデルがないことが一番の問題であった。全体を捉えて大きな梁を縦横に組み立てた格子型構造をまず仮定して全体強度から検討を開始する方法も1つの方法として考えられた。しかし今回は、この浮体は大きいため全体をドック建造するのは無理であり、ドックまたは船台で各ユニットを建造して海上で繋ぎ合せて浮体を完成させる方法しか思い浮かばなかったため、各ユニット単位で構造部材を仮定してその後完成状態での全体強度を確認する方法を採用した。即ち、ユニットは1つのバージとみなしNKバージ規則を適用して部材寸法と配置を決定することにした。ただしこの作業は曳航状態の安全確認作業でないことを銘記しておく必要がある。

例えば各ユニットは運搬されて所定の海域で接続されるが、曳航時の強度確認は、各ユニットの曳航時の状態に合わせて行う必要があり、場合によっては運搬用バージに乗せて運ぶ必要がある。

NK規則の適用においては、スチフナー（補剛材）の間隔を現在造船業界で通常採用されている800.0mmとし、また全周に配置された縦横の隔壁の内部は内圧の掛かるバラスタタンク扱いとしている。

また貨物槽の底部および側壁に掛かる石炭の圧力は、石炭の嵩比重は約0.8以下であるが、安全側にとって比重1.0の液体荷重扱いとしている。なお、鋼材は通常の軟鋼を想定した。

##### 2) 部材計算

以下に一般配置図（Model-4&6, 3.3.3 石炭浮体, 参照）を対象にした部材計算書を示す。



Scantling Calculation			
1-1 Double Bottom (Chapter 4)			
1) Center girder (4.2)			
a) Depth (4.2.3)			
$h_{req} = B / 16 = 60 / 16 =$	3.75	(m)	ship 5.00 (m)
$B =$ 60		m	
b) Thickness amidships (4.2.4)			
$t_{req} = 0.05L + 6 =$	13.50	(mm)	ship 13.5 (mm)
$L =$ 150		m	
2) Side girders (4.3)			
a) Spacing (4.3.1)			
Spacing $\leq$ 4.6m			ship 4.00 (m)
b) Thickness (4.3.2)			
$t_{req} = 0.6\sqrt{L} + 2.5$	9.85	(mm)	ship 10.0 (mm)
$L =$ 150		m	
3) Floor (4.4)			
a) Spacing (4.4.1)			
Spacing < 3.5 m			ship 3.5 (m)
b) Thickness (4.4.2)			
$t_{req} = 0.7\sqrt{L} + 2.5$	11.07	(mm)	ship 11.0 (mm)
$L =$ 150		m	
4) Bottom and inner bottom longitudinals (4.6)			
a) Bottom longitudinals (4.6.2-1)			
$Z_{BTM} = chsl^2$ (cm <sup>3</sup> )	1255.8	(mm <sup>3</sup> )	ship 450*125*11.5/18 1A (Z=1570)
$l =$ 3.5		m	
$s =$ 0.8		m	
$h = d + 0.026L =$ 14.9		m	
$c =$ 8.6			
b) inner bottom longitudinals (4.6.2-2)			
$Z_{INN} = Z_{BTM} * 0.85$ (cm <sup>3</sup> )	1067.4	(cm <sup>3</sup> )	
(for D.TK) $Z_{INN} = 7chsl^2$ (cm <sup>3</sup> )	583.1	(cm <sup>3</sup> )	ship 400*100*11.5/16 1A (Z=1120)
$l =$ 3.5		m	
$s =$ 0.8		m	
$h = D - 5.0 =$ 10		m	
$c =$ 0.85			

図 4.27 部材計算書(1)

5) Inner bottom plating (4.7)

a) Thickness

$$t_{req} = 3.8s\sqrt{d} + 2.5 + 2.5 \quad (grabs) \quad 15.08 \text{ (mm)}$$

ship  
15.0 (mm)

$s = 0.8 \text{ m}$   
 $d = 11 \text{ m}$

---

1-2 Shell plating (Chapter 13)

1) Bottom shell plating (13.3)

a) Thickness

$$t_{min} = 0.044L + 5.6 \quad (\text{mm}) \quad 12.20 \text{ (mm)}$$

$L = 150 \text{ m}$

$$t_{req} = 4.0s\sqrt{(d + 0.035L)} + 2.5 \quad (\text{mm}) \quad 15.40 \text{ (mm)}$$

$s = 0.8 \text{ m}$   
 $d = 11 \text{ m}$   
 $L = 150 \text{ m}$

(for Deep Tk)

$$t_{req} = 3.6s\sqrt{h} + 3.5 \quad (\text{mm}) \quad 14.65 \text{ (mm)}$$

$s = 0.8 \text{ m}$   
 $h = (D) = 15 \text{ m}$

ship  
15.5 (mm)

---

2) Side shell plating (13.3)

a) Thickness

$$t_{min} = 0.044L + 5.6 \quad (\text{mm}) \quad 12.20 \text{ (mm)}$$

$L = 150 \text{ m}$

$$t_{req} = 4.1s\sqrt{(d + 0.04L)} + 2.5 \quad (\text{mm}) \quad 16.02 \text{ (mm)}$$

$s = 0.8 \text{ m}$   
 $d = 11 \text{ m}$   
 $L = 150 \text{ m}$

(for Deep Tk) (11. 2. 1)

$$t_{req} = 3.6s\sqrt{h} + 3.5 \quad (\text{mm}) \quad 14.65 \text{ (mm)}$$

$s = 0.8 \text{ m}$   
 $h = (D) = 15 \text{ m}$

ship  
16 (mm)  
ship  
15 (mm)

図 4.28 部材計算書(2)

b) Side longitudinals (11.2.2)			
$Z_{req} = 7chs^2$	$(cm^3)$	583.1	$(mm^3)$
$l =$	3.5 m		
$s =$	0.8 m		
$h =$	(D) = 10 m		
$c =$	0.85		
c) Side trans (11.2.3)			
$Z_{req} = 7.13Sh^2$	$(cm^3)$	7948.2	$(mm^3)$
$S =$	3.5 m		
$l =$	7 m		
$h =$	$15 - 5 - 7/2 =$ 6.5 m		
$I_{req} = 30hl^4$	$(cm^4)$	468195	$(cm^4)$
$l =$	7 m		
$h =$	$15 - 5 - 7/2 =$ 6.5 m		
$t_{web} = 10s_1 + 3.5$	(mm)	11.50	(mm)
$s_1 =$	0.8 m		
			ship 350*100*12/17 I.A. (Z=930)
			ship 2000*150*12.5/12 BT (Z=16220 / I=2253000)

図 4.29 部材計算書(3)

2 Longitudinal strength (Chapter 12)

2-1 Section modulus of Hull (12.1.1)

$$Z_1 = 0.95K_1L^2B(C_b + 0.7)$$

$$K_1 = 10.75 - ((300-L)/100)^{3/2} \quad L = 150 \text{ m}$$

$$= 10.75 - ((300-150)/100)^{3/2} \quad B = 60 \text{ m}$$

$$= 8.913 \quad C_b = 1.0$$

$$= 0.95 * 8.913 * 150^2 * 60 * (1.0 + 0.7)$$

$$= 19,432,312 \text{ cm}^3$$

2-1 Section modulus of Hull (12.1.1)

$$Z_1 = 0.95K_1L^2B(C_b + 0.7) \quad Z_2 = 6.63C[1.28K_2L^2BC_b(1 + 0.04L/B) + M_S]$$

$$K_1 = 10.75 - ((300-L)/100)^{3/2} \quad L = 160 \text{ m}$$

$$= 10.75 - ((300-160)/100)^{3/2} \quad B = 40 \text{ m}$$

$$= 9.093 \quad C_b = 1.0$$

$$= 0.95 * 9.093 * 160^2 * 40 * (1.0 + 0.7)$$

$$= 15,038,463 \text{ cm}^3$$

2 Longitudinal strength (Chapter 12)

2-1 Section modulus of Hull (12.1.1)

$$Z_1 = 0.95K_1L^2B(C_b + 0.7) \quad Z_2 = 6.63C[1.28K_2L^2BC_b(1 + 0.04L/B) + M_S]$$

$$K_1 = 10.75 - ((300-L)/100)^{3/2} \quad L = 160 \text{ m}$$

$$= 10.75 - ((300-160)/100)^{3/2} \quad B = 60 \text{ m}$$

$$= 9.093 \quad C_b = 1.0$$

$$= 0.95 * 9.093 * 160^2 * 60 * (1.0 + 0.7)$$

$$= 22,557,694 \text{ cm}^3$$

2 Longitudinal strength (Chapter 12)

2-1 Section modulus of Hull (12.1.1)

$$Z_1 = 0.95K_1L^2B(C_b + 0.7)$$

$$K_1 = 10.75 - ((300-L)/100)^{3/2} \quad L = 160 \text{ m}$$

$$= 10.75 - ((300-160)/100)^{3/2} \quad B = 75.5 \text{ m}$$

$$= 9.093 \quad C_b = 1.0$$

$$= 0.95 * 9.093 * 160^2 * 75.5 * (1.0 + 0.7)$$

$$= 28,385,098 \text{ cm}^3$$

図 4.30 部材計算書(4)

### 3) 構造断面図

上記計算によって決定した各部材の板厚等を、縦梁と横梁の断面を示す TYPICAL TRANS SEC の図中に示す。なお、図中の板厚寸法の下に示す(番号)は該当する規則中の章・項を示す。また梁の断面の位置 ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ) を下図に示す。部材計算書中の番号部材と部材名称の対応を下記に示す。

- ・ 4.2 ; 中心桁板 (高さ, 板厚)
- ・ 4.3 ; 側桁板 (配置, 板厚)
- ・ 4.4 ; 実体肋板 (配置, 板厚)
- ・ 4.6 ; 船底&内底縦通肋骨 (寸法, 断面係数)
- ・ 4.7 ; 内底板 (板厚)
- ・ 5.4.1 ; 船側縦通肋骨 (断面係数)
- ・ 5.4.2 ; 特設肋骨 (船側縦通肋骨の支持)
- ・ 7.2.3 ; 縦通梁の断面係数
- ・ 9.2.1 ; 甲板縦桁 (断面係数)
- ・ 11.2.1 ; 深水タンク隔壁 (板厚)
- ・ 11.2.2 ; 深水タンク隔壁 (防撓材)
- ・ 11.2.3 ; 深水タンク隔壁 (防撓桁)
- ・ 13.3 ; はしけ中央部の外板 (舷側&船底板厚)
- ・ 14.4 ; 甲板の厚さ (板厚)

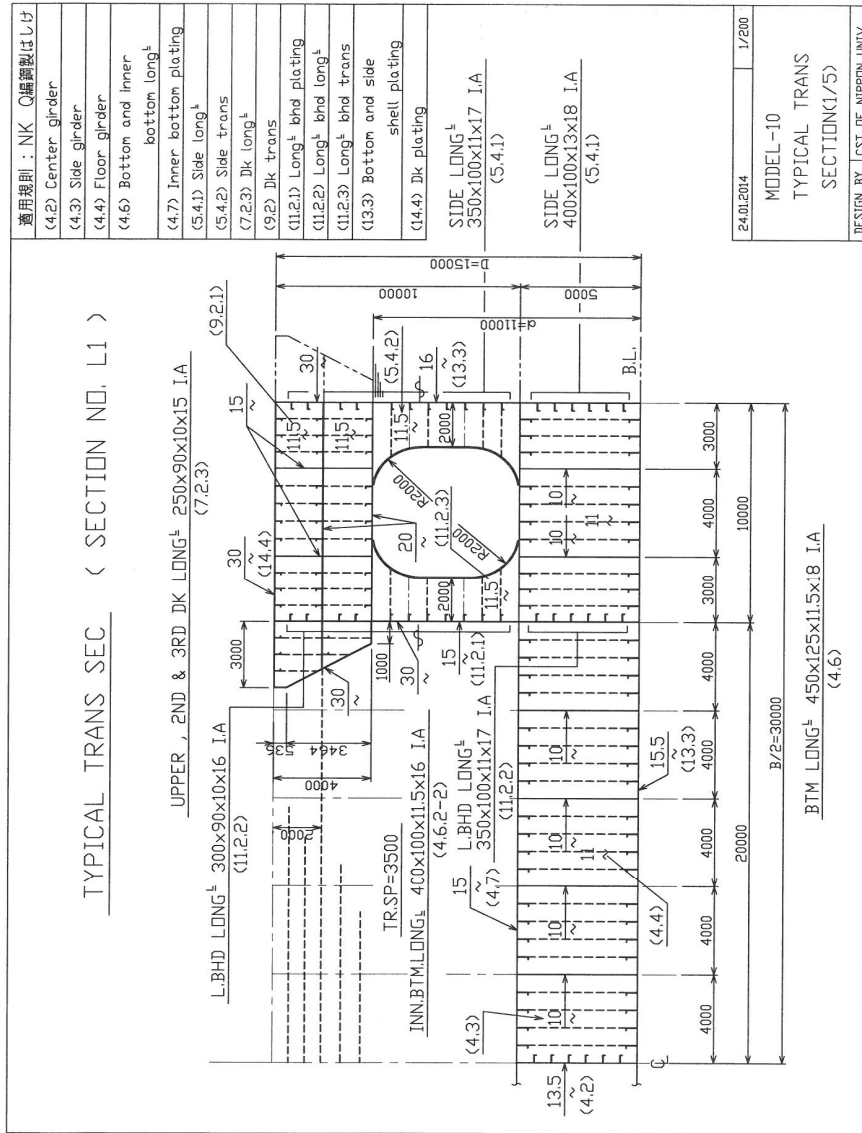


図 4.31 構造断面図(L1)

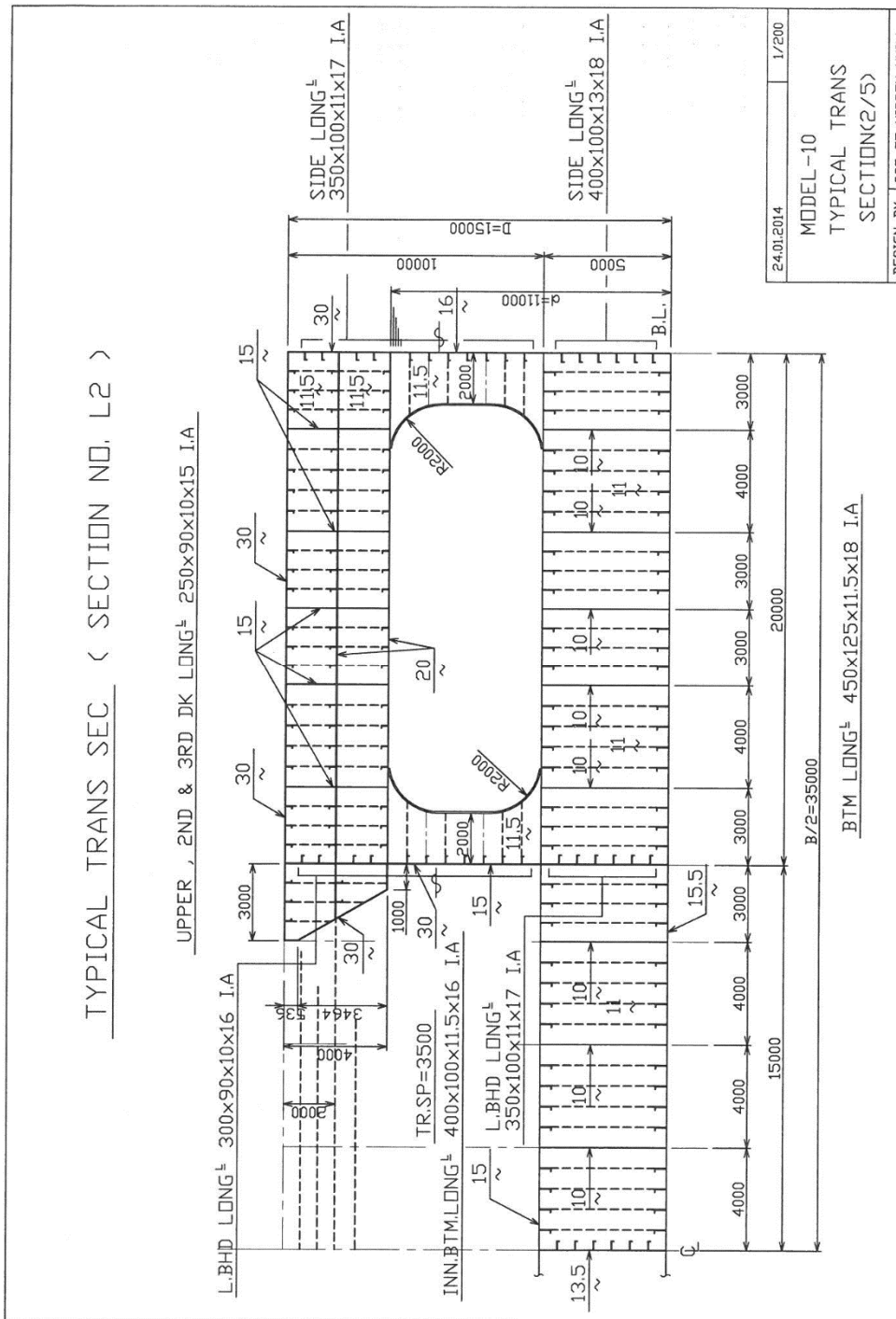


图 4.32 構造断面図(L<sub>2</sub>)

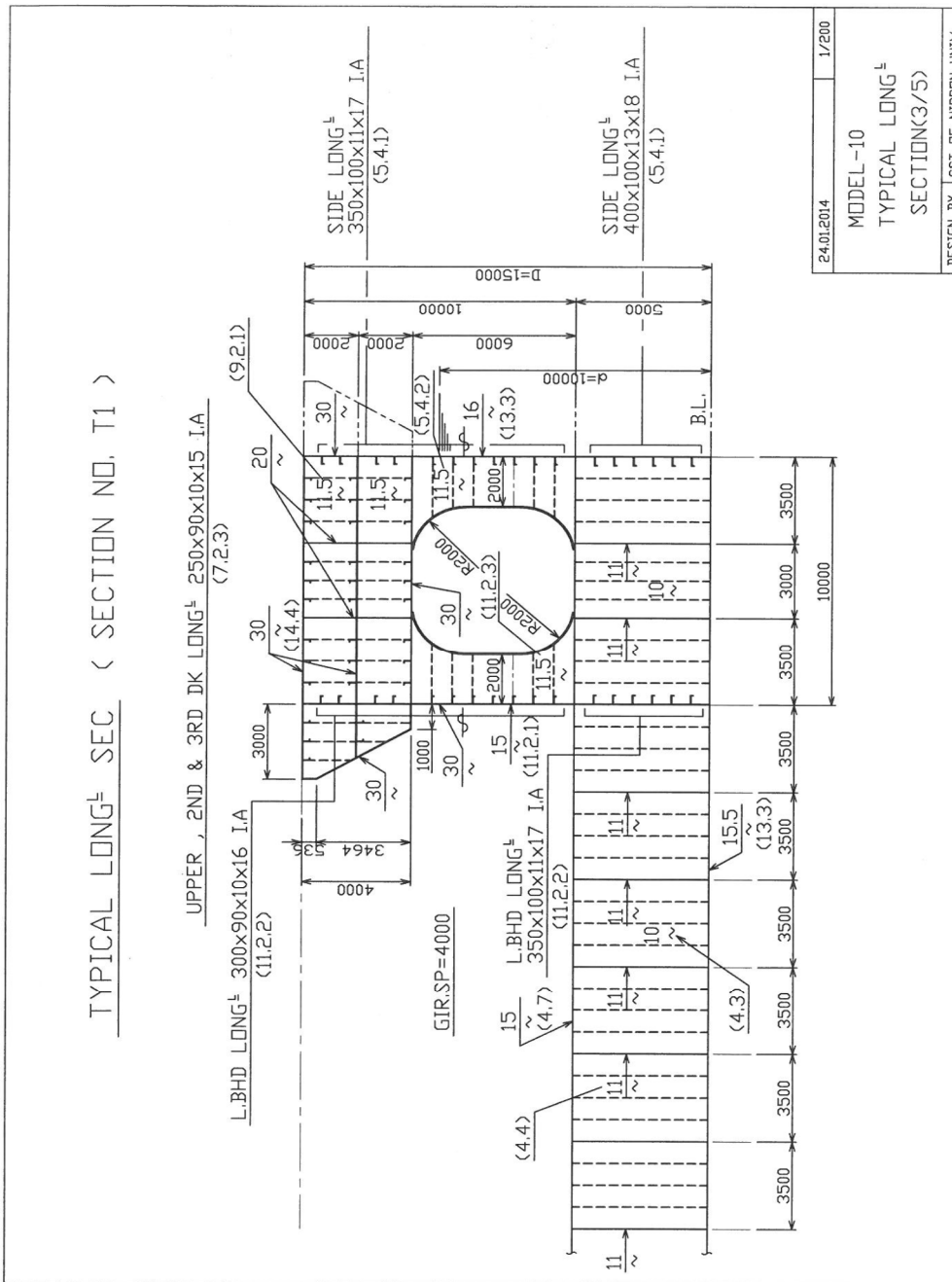


図 4.33 構造断面図(T1)







#### 4.6.7 各構造部材の断面性能計算（全体剛性計算のための準備）

部材の断面性能計算結果を以下に示す。

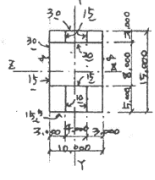
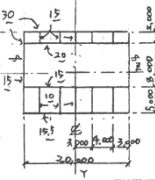
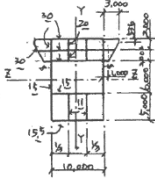
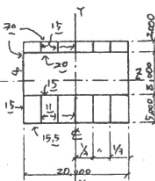
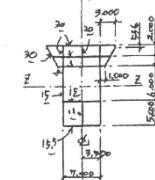
部材名	断面番号	材型（材質）	断面特性
中間縦フレーム	L1	(MS) 	$A_x = 1.575E+04\text{cm}^2$ $A_y = 7.700E+03\text{cm}^2$ $A_z = 8.050E+03\text{cm}^2$ $I_x = 3.090E+09\text{cm}^4$ $I_y = 2.560E+09\text{cm}^4$ $I_z = 5.530E+09\text{cm}^4$ $S_y = 5.060E+06\text{cm}^3$ $S_z = 6.320E+06\text{cm}^3$ $i_y = 4.070E+02\text{cm}$ $i_z = 8.750E+02\text{cm}$
舷側縦フレーム	L2	(MS) 	$A_x = 2.620E+04\text{cm}^2$ $A_y = 1.010E+04\text{cm}^2$ $A_z = 1.610E+04\text{cm}^2$ $I_x = 9.240E+09\text{cm}^4$ $I_y = 1.300E+10\text{cm}^4$ $I_z = 1.020E+10\text{cm}^4$ $S_y = 1.290E+07\text{cm}^3$ $S_z = 1.170E+07\text{cm}^3$ $i_y = 9.960E+02\text{cm}$ $i_z = 8.710E+02\text{cm}$
中間横フレーム	T1	(MS) 	$A_x = 2.684E+04\text{cm}^2$ $A_y = 1.110E+04\text{cm}^2$ $A_z = 1.574E+04\text{cm}^2$ $I_x = 3.090E+09\text{cm}^4$ $I_y = 4.290E+09\text{cm}^4$ $I_z = 5.930E+09\text{cm}^4$ $S_y = 8.580E+06\text{cm}^3$ $S_z = 5.560E+06\text{cm}^3$ $i_y = 5.000E+02\text{cm}$ $i_z = 1.066E+03\text{cm}$
前後端フレーム	T2	(MS) 	$A_x = 2.645E+04\text{cm}^2$ $A_y = 1.035E+04\text{cm}^2$ $A_z = 1.610E+04\text{cm}^2$ $I_x = 9.240E+09\text{cm}^4$ $I_y = 1.300E+10\text{cm}^4$ $I_z = 8.950E+09\text{cm}^4$ $S_y = 1.290E+07\text{cm}^3$ $S_z = 9.660E+06\text{cm}^3$ $i_y = 9.960E+02\text{cm}$ $i_z = 9.260E+02\text{cm}$
中間横フレーム	T3	(MS) 	$A_x = 1.883E+04\text{cm}^2$ $A_y = 8.550E+03\text{cm}^2$ $A_z = 1.028E+04\text{cm}^2$ $I_x = 1.340E+09\text{cm}^4$ $I_y = 1.780E+09\text{cm}^4$ $I_z = 4.250E+09\text{cm}^4$ $S_y = 4.260E+06\text{cm}^3$ $S_z = 4.100E+06\text{cm}^3$ $i_y = 4.170E+02\text{cm}$ $i_z = 1.035E+03\text{cm}$

図 4.36 部材の断面性能計算書

#### 4.6.8 全体剛性 $I_x$ , $I_y$ の計算

全体剛性算定の結果を以下に示す。

全体横曲げ( $I_x$ )HULL Z

日大向け 貯炭バージ

L\*B\*D\*d = 590\*160\*15.0\*11.0

(DK=MS,BM=MS)      D(m)= 15.000

Members	姿	度	t (mm)	b (mm)	n	A (mm <sup>2</sup> )	l (mm)	A*l (mm <sup>2</sup> *m)	A*l <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> *m <sup>2</sup> )	i <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> *m <sup>2</sup> )	
KEEL PL	H		0.0	0	0	0	0	0	0	0	
BM SHELL PL	H		15.5	295000	1	4572500	-7.75	-35437	275	0	
BILGE SHELL PL	R		0.0	0	0	0	0	0	0	0	
SIDE SHELL PL	V		16.0	10000	1	160000	5000	800000	4000000	1333333	
SIDE SHELL PL	V		30.0	5000	1	150000	12500	1875000	23437500	312500	
SHEER STRAKE	V		0.0	0	0	0	0	0	0	0	
INN. BM PL	H		15.0	295000	1	4425000	5008	22158188	110957124	0	
FLOOR	V		11.0	5000	74	4070000	2500	10175000	25437500	8479167	
T. FLOOR	V		15.0	5000	4	300000	2500	750000	1875000	625000	
NO.2 S. GIR	V		0.0	0	0	0	0	0	0	0	
TRANS. BHD PL	V		15.0	10000	8	1200000	5000	6000000	30000000	10000000	
TRANS. BHD PL	V		30.0	5000	8	1200000	12500	15000000	187500000	2500000	
UPP. DK PL	H		30.0	70000	1	2100000	15015	31531500	473445473	0	
UPP. DK C. GIR(w)	V		20.0	4000	10	800000	13000	10400000	135200000	1066667	
UPP. DK C. GIR(F)	H				0	0	0	0	0	0	
2ND DK PL	V		30.0	44085	1	1322550	13000	17193150	223510950	214196586	
3RD DK PL	V		30.0	36000	1	1080000	11000	11880000	130680000	116640000	
OVERHANG	V		30.0	536	7	112560	14732	1658234	24429102	2695	
OVERHANG	V		30.0	3464	7	727440	12732	9261766	1179220806	727397	
						0	0	0	0	0	
						0	0	0	0	0	
						0	0	0	0	0	
BM.LONGL	V	22		450*125*11.5/18	0	0	288	0	0	0	
INN. BM LONGL	V	19		400*100*11.5/16	0	0	4753	0	0	0	
UPP. DK LONGL	V	12		250*90*10/15	67	249175.5	14836.1	3696793	54845985	1623	
2ND. DK LONGL	V	12		250*90*10/15	60	222946.5	13163.9	2934845	38634012	1452	
3RD. DK LONGL	V	12		250*90*10/15	26	95548.5	11163.9	1066694	11908464	622	
TOTAL								22787721	146345733	1593782190	355887041
HULL1								I <sub>y</sub> = 2019635449(mm <sup>2</sup> *m <sup>2</sup> )			
DK. I/Y(mm <sup>2</sup> *m)								S <sub>y</sub> = 235447232			
BM. I/Y(mm <sup>2</sup> *m)								Y(DK)m	8.578		
								Y(BM)m	6.422		

L/2=295,000      D=15,000

X

図 4.37 全体の断面 2 次モーメント (横方向,  $x$  軸周り)

全体横曲げ(Iy)HULL Z

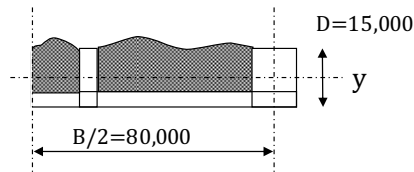
日大向け 貯炭バージ

L\*B\*D\*d = 590\*160\*15.0\*11.0

(DK=MS;BM=MS)

D(m)= 15.000

Members	姿	度	t (mm)	b (mm)	n	A (mm <sup>2</sup> )	I (mm <sup>4</sup> )	A*I (mm <sup>2</sup> *m)	A*I <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> *m <sup>2</sup> )	i <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> *m <sup>2</sup> )
KEEL PL	H		0.0	0	0	0	0	0	0	0
BM SHELL PL	H		15.5	80000	1	1240000	-7.75	-9610	74	0
BILGE SHELL PL	R		0.0	0	0	0	0	0	0	0
SIDE SHELL PL	V		16.0	10000	1	160000	5000	800000	4000000	1333333
SIDE SHELL PL	V		30.0	5000	1	150000	12500	1875000	23437500	312500
SHEER STRAKE	V		0.0	0	0	0	0	0	0	0
INN. BM PL	H		15.0	80000	1	1200000	5008	6009000	30090068	0
BM CENT. GIR	V		13.5	5000	0.5	33750	2500	84375	210938	70313
NO.1 S. GIR	V		10.0	5000	18	900000	2500	2250000	5625000	1875000
						0		0	0	
NO.2 S. GIR	V		0.0	0	0	0	0	0	0	0
LONGL. BHD PL	V		15.0	10000	3	450000	5000	2250000	11250000	3750000
LONGL. BHD PL	V		30.0	5000	3	450000	12500	5625000	70312500	937500
						0		0	0	
UPP. DK PL	H		30.0	30000	1	900000	15015	13513500	202905203	0
UPP. DK C. GIR(w)	V		15.0	2000	7	210000	14000	2940000	41160000	70000
UPP. DK C. GIR(F)	H					0	0	0	0	0
						0		0	0	
NO.2 S. GIL. M.H.	V		0.0	0	0	0	0	0	0	0
CENT. GIR. M.H.	V		0.0	0	0	0	0	0	0	0
2ND DK M.H.	H		0.0	0	0	0	0	0	0	0
2ND DK PL	H		20.0	30000	7	600000	13000	7800000	101400000	0
						0		0	0	
						0		0	0	
						0		0	0	
						0		0	0	
BM.LONGL	V	22		450*125*11.5/18	80	584880	288	168445	48512	12560
INN. BM LONGL	V	19		400*100*11.5/16	80	488720	4753	2322886	11040678	8240
UPP. DK LONGL	V	12		250*90*10/15	30	112410	14836.1	1667726	24742550	732
2ND. DK LONGL	V	12		250*90*10/15	30	112410	13163.9	1479754	38634012	732



TOTAL						7592170		48776077	545702356	8370910
HULL1										
DK. I/Y(mm <sup>2</sup> *m)							Sy = 56139203	Y(DK)m	8.578	
BM. I/Y(mm <sup>2</sup> *m)							74934800	Y(BM)m	6.425	

図 4.38 全体の断面 2 次モーメント (縦方向, y 軸周り)

#### 4.6.9 MSC/NASTRAN による強度解析

##### 1) MSC/NASTRAN を適用した理由と解析の流れ

今回の構造の初期計画を行うのに何故 NASTRAN を適用したのか？一番の理由は与えられた時間が約 6 か月と短くまた予算の制約もあり，長い間船舶の船体構造の解析に使用されてきて比較的手軽に扱える NASTRAN がすぐ適用できると判断したためと，石炭浮体の構造も船体構造と類似したものにならざるを得ないと思われたからである．勿論大型浮体であるから流力弾性応答現象の発生も予想されたが，全体剛性はかなり大きくなるのでその影響は小さいだろうと推測できたからである．時間のかかる弾性応答解析は NASTRAN による解析が終了後，時間の余裕があれば実施する予定であった．今後，各種浮体の初期計画を実施する場合に参考となるように，この章ではその二つの解析の流れとその結果を紹介する．

なお，NASTRAN での波浪中の強度解析は準静的解析であり，波浪を浮力バネとして入力するだけなので，実際の構造と波浪の相互干渉を考慮した動的解析ではないので，弾性応答解析の結果とは大きく異なることは予想された．ただし，NASTRAN 解析では船体または浮体構造をかなり詳細にモデル化するので，種々の積み付け状態で発生する石炭荷重のみによる初期応力の把握には役に立つと予想された．

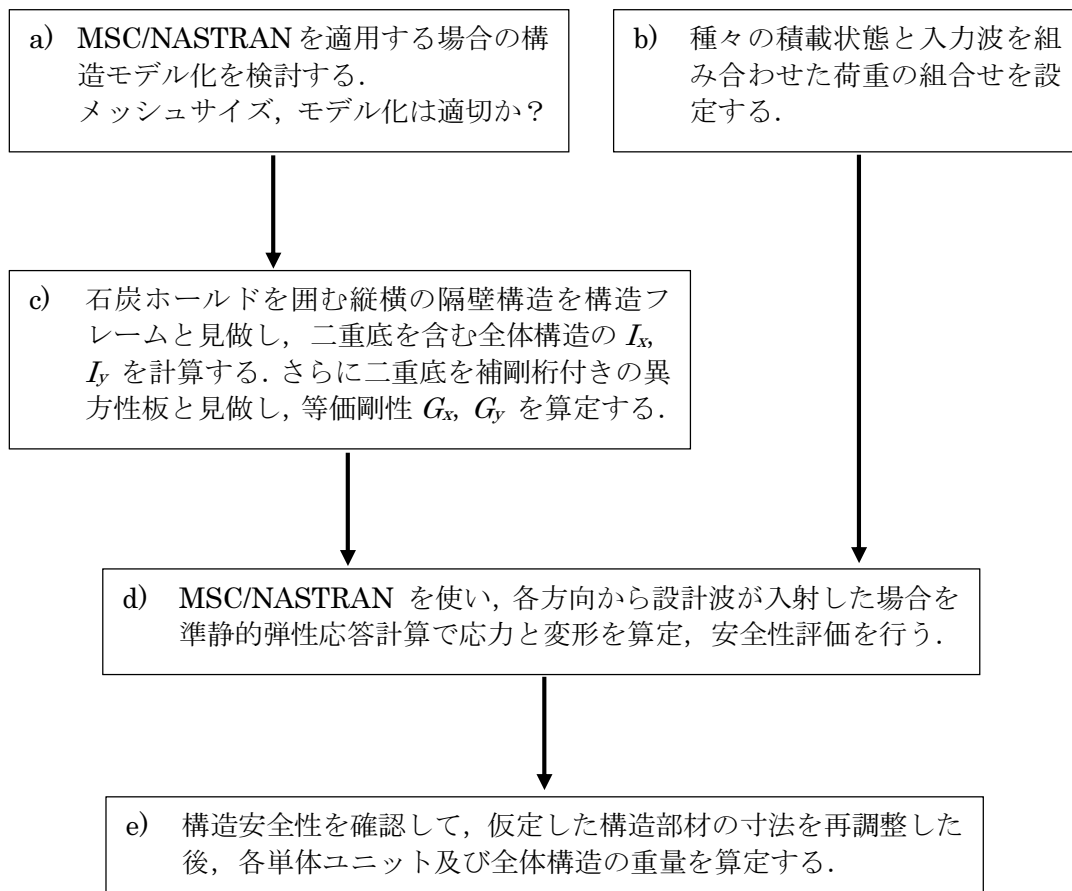


図 4.39 NASTRAN を使う場合の流れ

ただし, 上記は初期計画の検討であるから, 必ずしも浮体の最適構造になっていないことを認識しておく必要がある。要は基本計画または設計段階で, 最初にフォローする必要ある。

## 2) 全体剛性の静的特性の把握

NASTRAN による詳細解析の前に設定された構造の全体の強度特性を把握する必要がある。即ち、広大な面積を持つ浮体なので、中央部での石炭による部分的な鉛直荷重に対して構造強度と浮力が有効に働き、荷重点の鉛直変位は小さく、変位は広く分散するのでないか、あたかも荷重が分散された状態になると予想された。一方、荷重が偏在する場合はその効果が低減される筈なので、かなり極端な場合を検討した。

基本的にこのような大きなサイズの浮体では、例え大きな波浪を受けても大きな復元性があり剛体運動をする船のような転覆や沈没の危険性は極めて小さい。本浮体を剛体として仮定した場合の浮体の姿勢と弾性体として解析した結果を図 4.41 に示す。

注意すべきはやはりこの規模の浮体は弾性体の特性を示すことである。また石炭の積載荷重のアンバランスにより生ずる全体の傾きよりも局所的な構造変形が極めて大きいことが判明したが、実際の作業中では危険な石炭積載分布になっていないか十分な注意が必要である。

### 2.1) 中央部への集中荷重の場合

#### 概算のトリムスタビリティ計算とNASTRAN計算との比較表

1 1/2 HOLD FULL CONDITION

概算のトリムスタビリティ計算		NASTRAN計算	
喫水		喫水(鉛直変異量)	
FP(m)	=1.18	FP(m)	=1.09
FS(m)	=1.18	FS(m)	=1.09
AP(m)	=1.76	AP(m)	=1.47
AS(m)	=1.76	AS(m)	=1.47

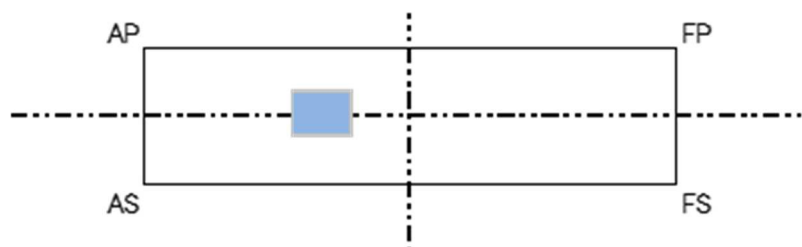


図 4.40 剛体復元性計算と弾性体浮体変形計算の比較

(中央部貨物艙の石炭：20,000t、他の貨物艙とバラストタンクはすべて空、最初の喫水：1.2m)



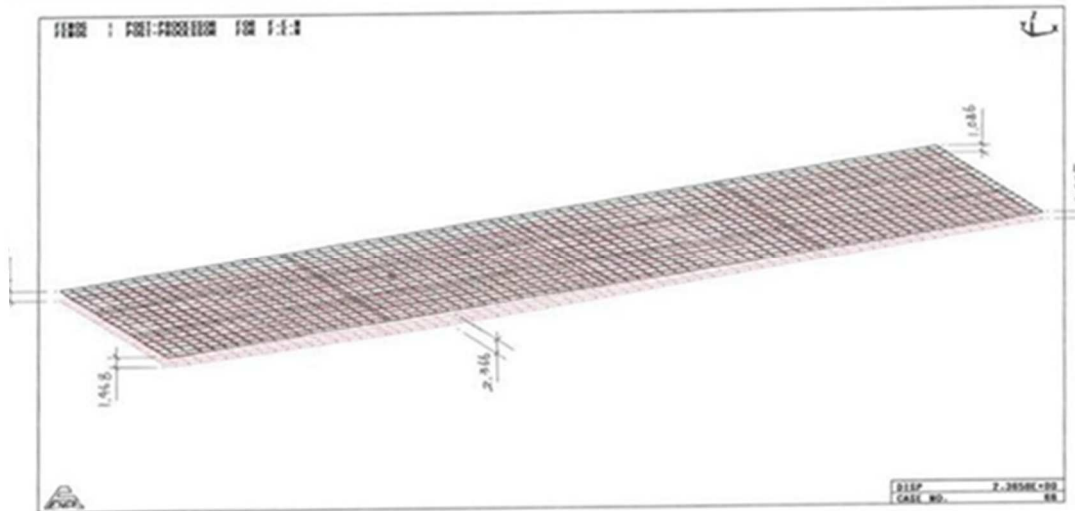


図 4.41 浮体の傾斜と変形解析（弾性体）

貨物槽の部分の舷側での喫水は 2.37m となっているが，中央部ではさらに沈下していると思われる．前後傾斜は剛体ベースの計算より小さくなっている．

2.2) 端部への集中荷重の場合

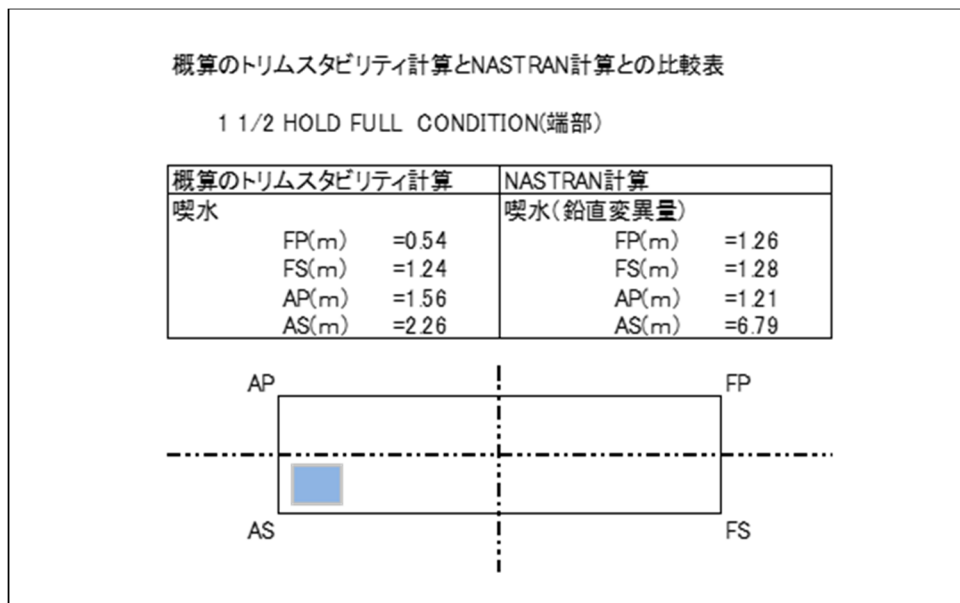


図 4.42 端部の 1 貨物槽のみ半載した場合

(端部貨物艙の石炭：20,000.0t，他の貨物艙とバラストタンクはすべて空，最初の喫水：1.2m)

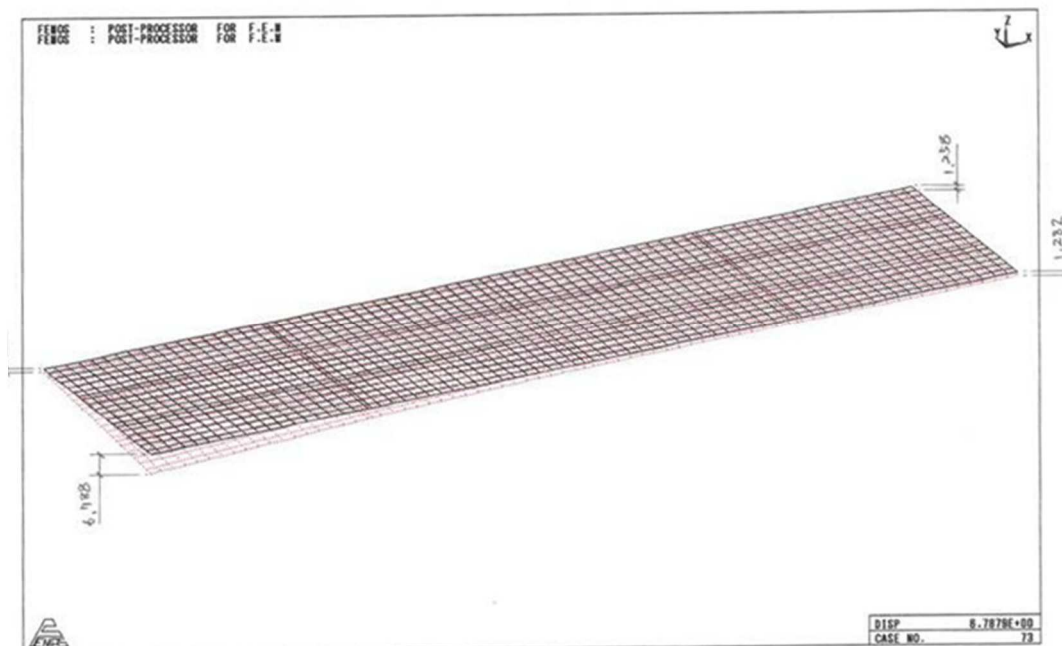


図 4.43 端部貨物槽のみ半載した場合

上図を見ると、端部の撓みが大きいですが、全体傾斜は小さいことが分る。浮体の端部で 6.79m という大きな沈下が生じており、即ち波により発生する変位より荷重の偏在による変位はるかに大きいことがこのような浮体の強度特性と思われる。このような特性を踏まえて実際の計画では慎重にローディングマニュアルを作成する必要がある。

### 3) NASTRAN への入力波の設定

NASTRAN 解析を開始する時に入手していた波条件は、本章：3.5 で示したように最大波高で約 4.0m であったが、計算上入力波としてはその場合の波長も必要であった。波周期は準静的解析なので本来必要はない。波長の推定は厳密ではないが、本章：4.4 で示している井島の式を準用して、最大波高の周期を推定し、その周期を深海波の式に適用して波長を推定した。

#### 波高 周期 波長の推定

波高 ( $H$ ) を中心に、周期( $T$ )、波長( $\lambda$ )を求める.

$$T = 3.86 \sqrt{H}$$

$$\lambda = 1.56 \times T^2$$

波高( $H$ ) [m]	周期( $T$ ) [s]	波長( $\lambda$ ) [m]
3.0	6.7	70.0
3.5	7.2	81.0
4.0	7.7	93.0
4.5	8.2	105.0
5.0	8.6	115.0
5.5	9.1	129.0
6.0	9.5	141.0
6.5	9.8	150.0
7.0	10.2	162.0
7.5	10.6	175.0
8.0	10.9	185.0
8.5	11.3	199.0
9.0	11.6	210.0

図 4.44 波高、周期、波長の関係

結果としては、波高 4.0m、波長 93.0m の sin 波とした。また、波の位相関係は浮体の中心点で波の山または谷になるような設定にしている。

なお、初期計画後の設計段階での波浪条件は設置海域の観測データをベースに設定する必要があるので、上記の推定式が当てはまるとは限らない。また弾性応答解析では応答現象が波周期に敏感なので周期の範囲を広くかつ刻みを小さく取った解析を行い、危険な波周期を見出し評価せねばならない。

- 4) NASTRAN への入力モデル  
 NASTRAN への入力モデルを下記に示す.

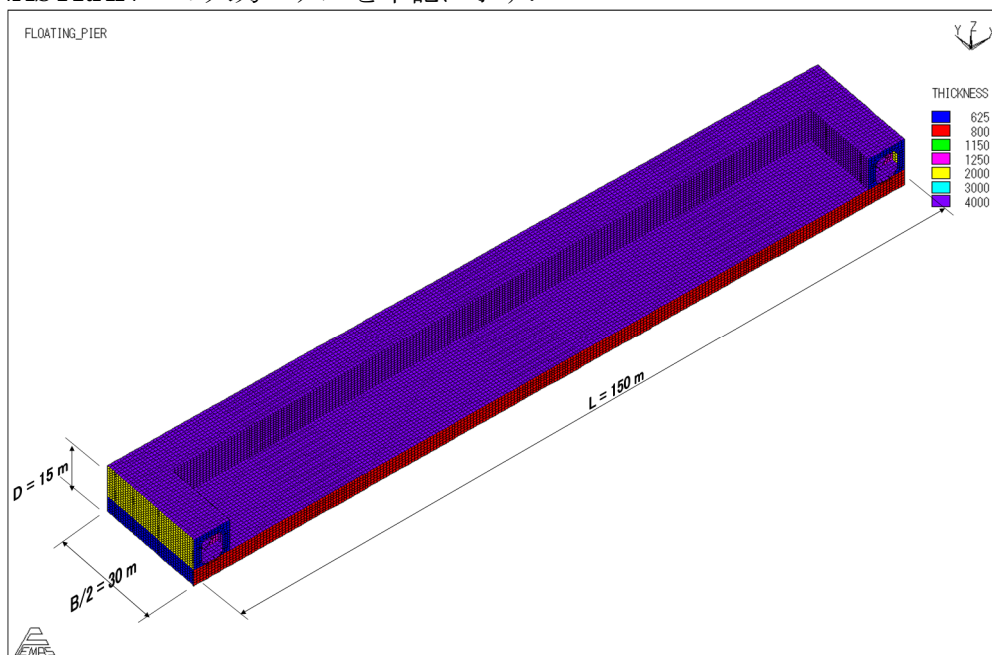


図 4.45 NASTRAN への入力モデル(1)

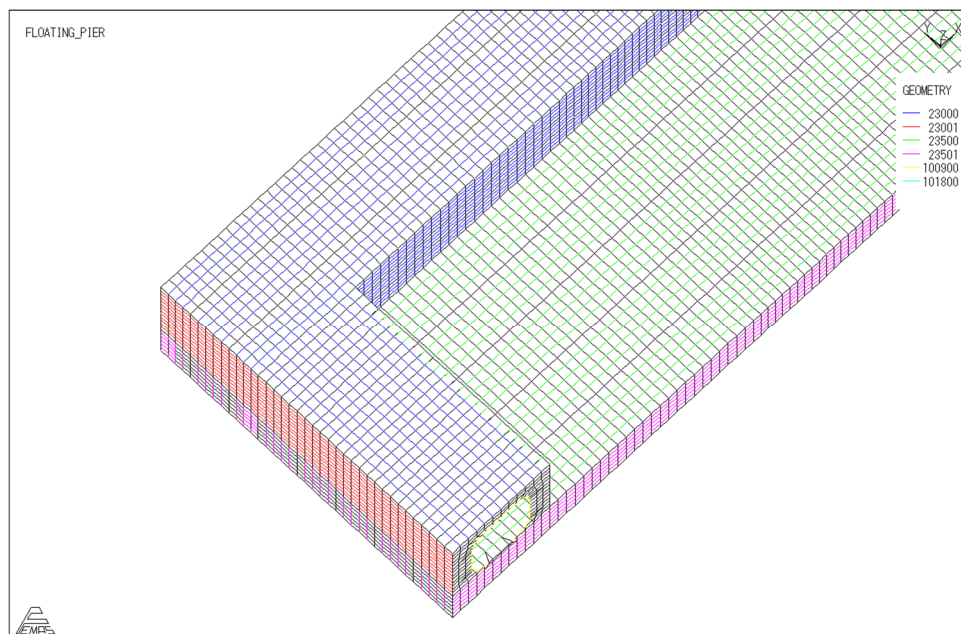


図 4.46 NASTRAN への入力モデル(2)

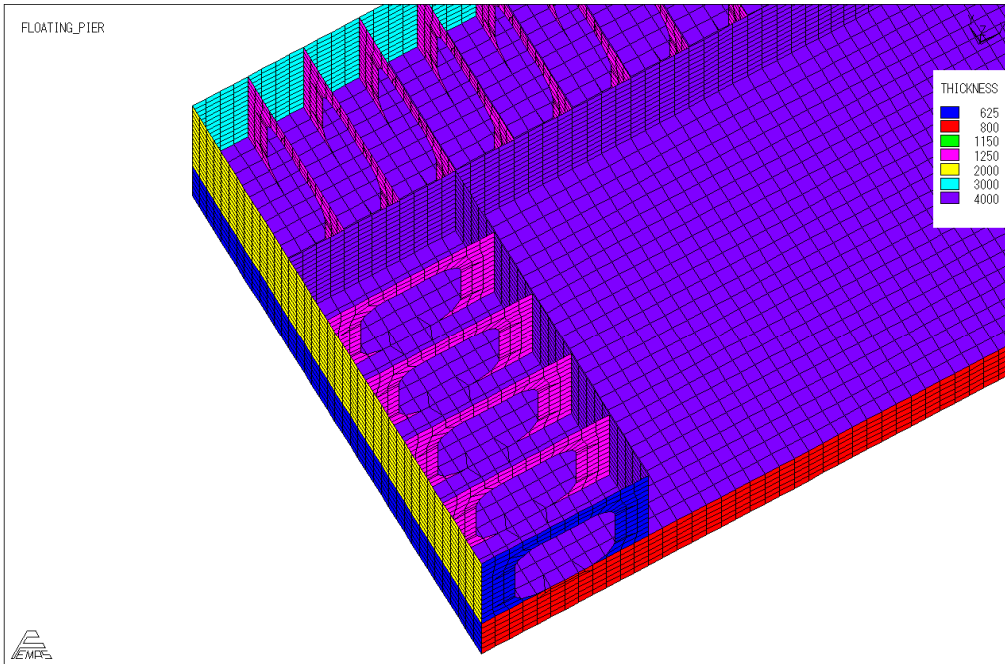


図 4.47 NASTRAN への入力モデル(3)

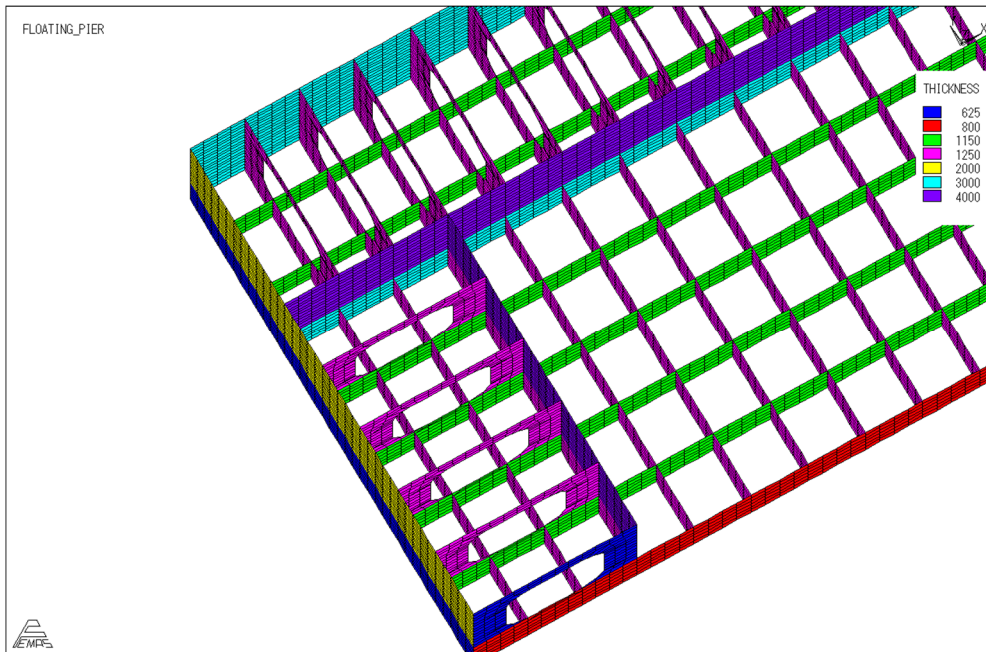


図 4.48 NASTRAN への入力モデル(4)



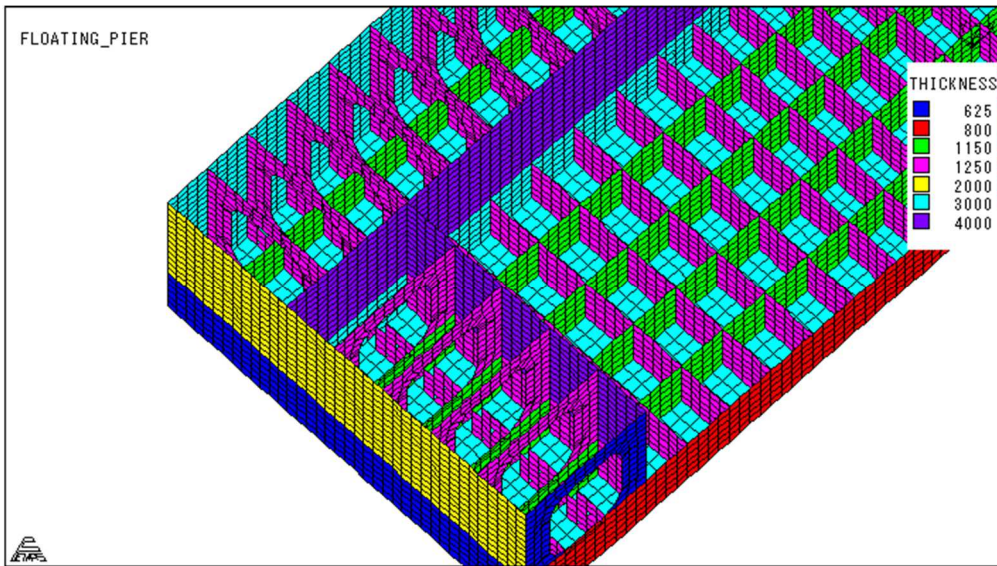


図 4.49 NASTRAN への入力モデル(5)

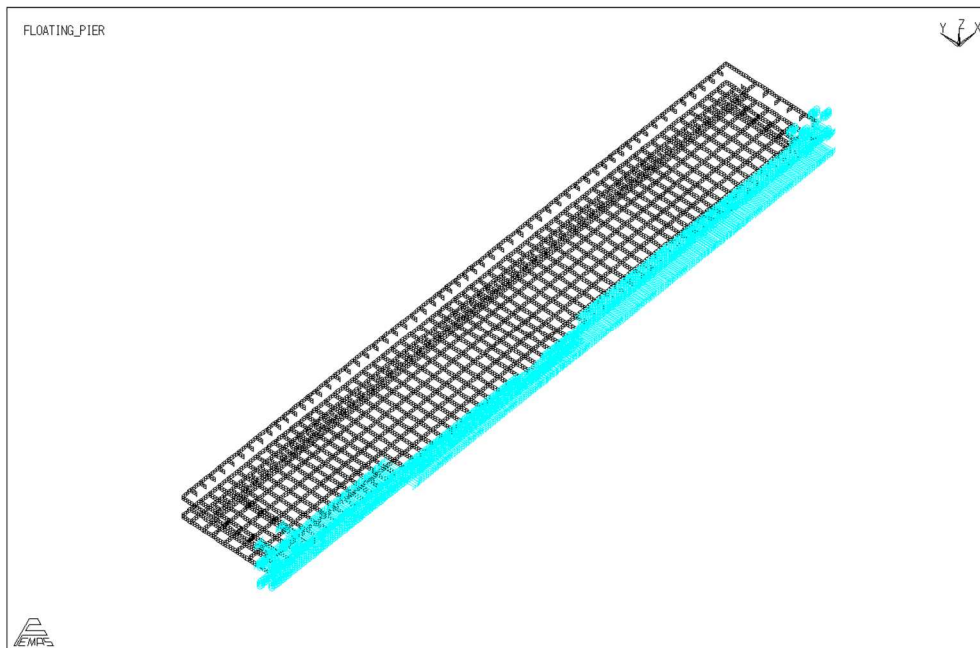


図 4.50 NASTRAN への入力モデル(6)

5) 荷重の組合せ (Model-4&6)

一般配置図 (Model-4&6) の貨物艙配置に対し種々の積載状態を設定して全体強度への影響を検討した。積載状態の組合せを以下に示す。

なお貨物艙を満載 (Full) にした場合はその下部のバラストタンクは空にしている。

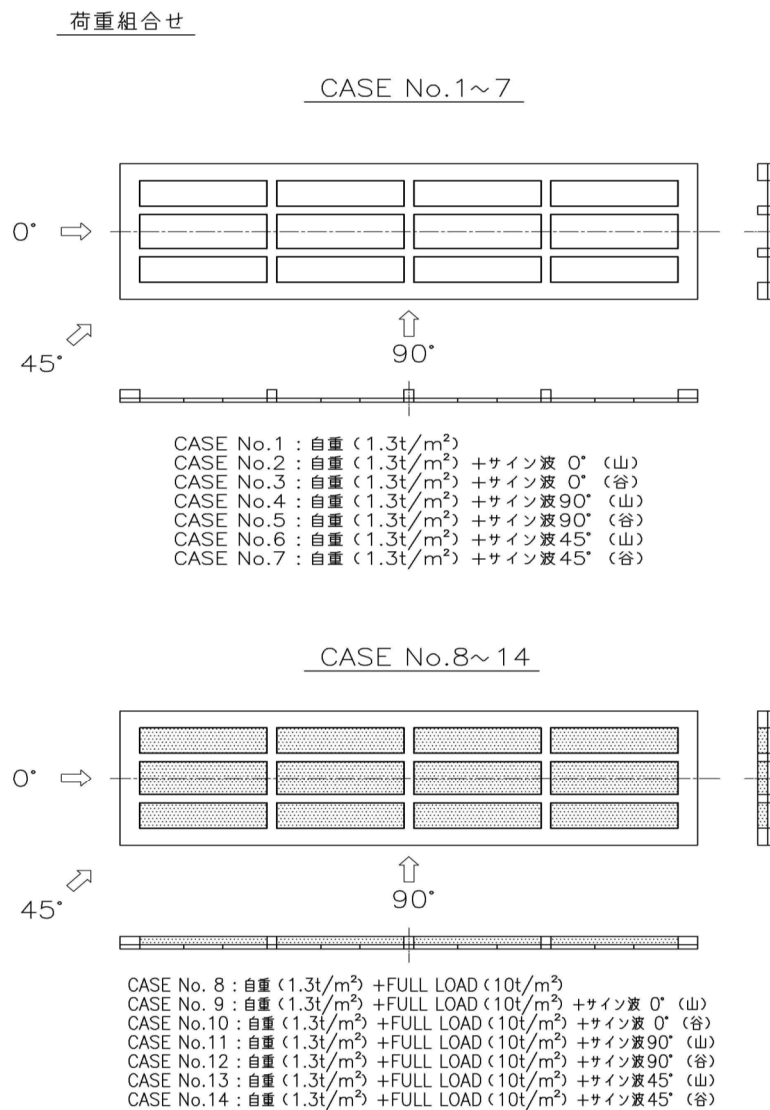
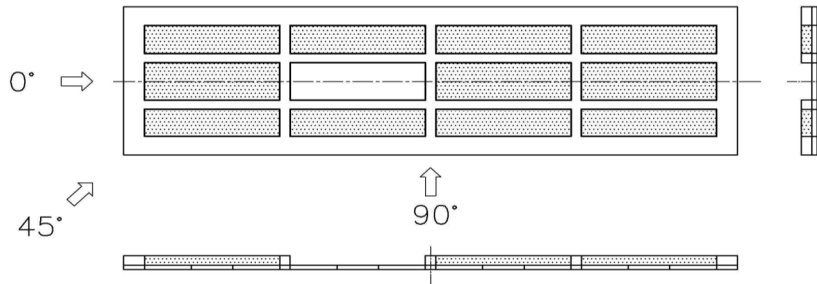


図 4.51 荷重の組合せ-1(No.1~14)

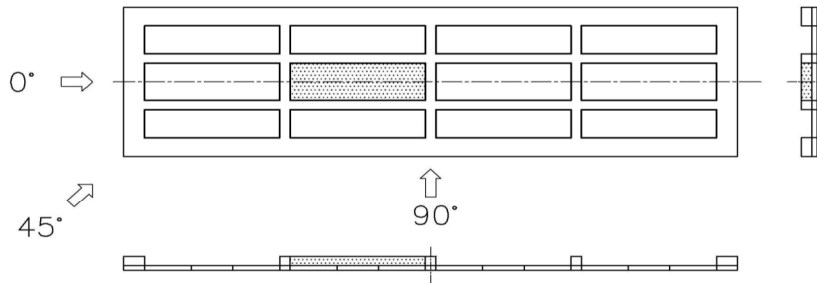
荷重組合せ

CASE No.15~21



- CASE No.15 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD EMPTY
- CASE No.16 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD EMPTY+サイン波 0° (山)
- CASE No.17 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD EMPTY+サイン波 0° (谷)
- CASE No.18 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD EMPTY+サイン波 90° (山)
- CASE No.19 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD EMPTY+サイン波 90° (谷)
- CASE No.20 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD EMPTY+サイン波 45° (山)
- CASE No.21 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD EMPTY+サイン波 45° (谷)

CASE No.22~28



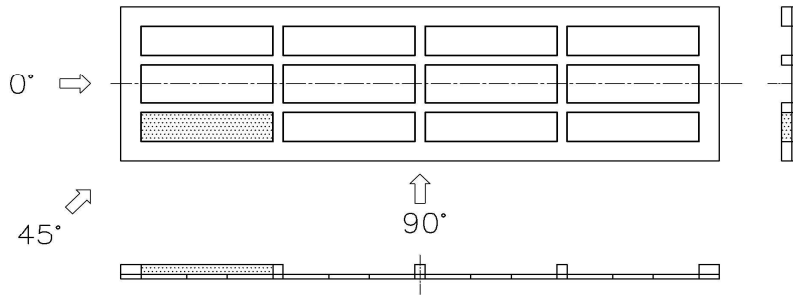
- CASE No.22 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL
- CASE No.23 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (山)
- CASE No.24 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (谷)
- CASE No.25 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 90° (山)
- CASE No.26 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 90° (谷)
- CASE No.27 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 45° (山)
- CASE No.28 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 45° (谷)

図 4.52 荷重の組合せ-2(No.15~28)



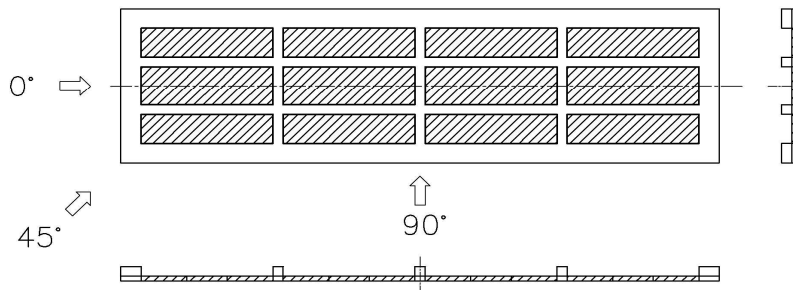
荷重組合せ

CASE No.29~35



- CASE No.29 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部)
- CASE No.30 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (山)
- CASE No.31 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (谷)
- CASE No.32 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 90° (山)
- CASE No.33 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 90° (谷)
- CASE No.34 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 45° (山)
- CASE No.35 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 45° (谷)

CASE No.36~42



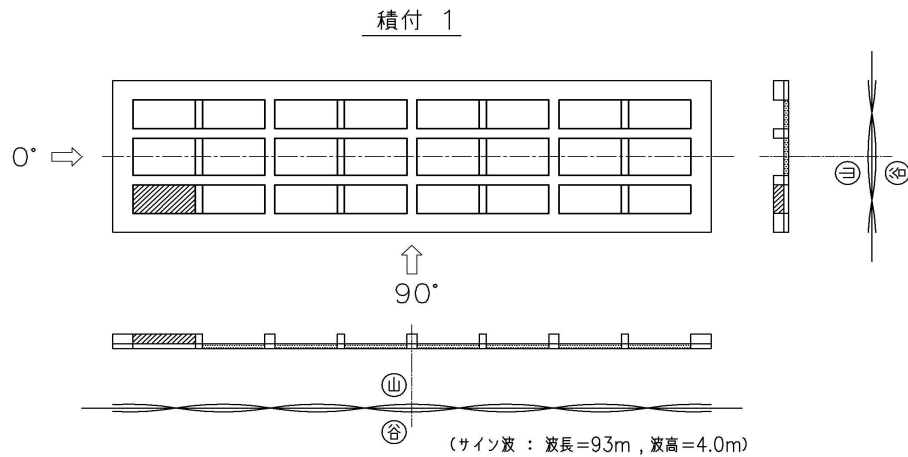
- CASE No.36 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +バラスト LOAD (4.92t/m<sup>2</sup>)
- CASE No.37 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +バラスト LOAD (4.92t/m<sup>2</sup>) +サイン波 0° (山)
- CASE No.38 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +バラスト LOAD (4.92t/m<sup>2</sup>) +サイン波 0° (谷)
- CASE No.39 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +バラスト LOAD (4.92t/m<sup>2</sup>) +サイン波 90° (山)
- CASE No.40 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +バラスト LOAD (4.92t/m<sup>2</sup>) +サイン波 90° (谷)
- CASE No.41 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +バラスト LOAD (4.92t/m<sup>2</sup>) +サイン波 45° (山)
- CASE No.42 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +バラスト LOAD (4.92t/m<sup>2</sup>) +サイン波 45° (谷)

図 4.53 荷重の組合せ-3(No.29~42)

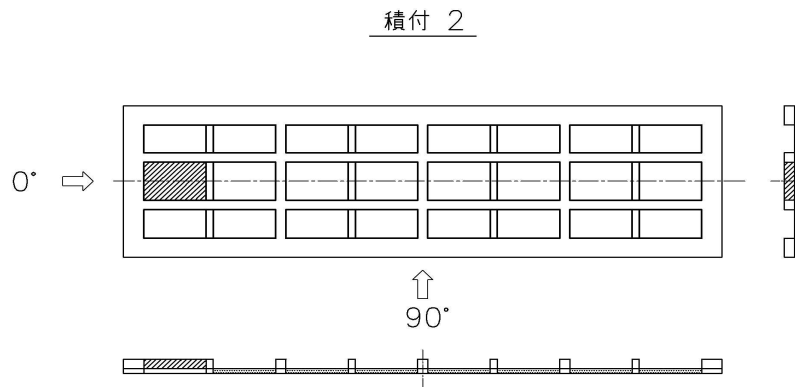
6) 荷重の組合せ (Model-10)

最初の検討段階ではモデル 4&6 の配置では強度不足が予測されたので貨物艙を小さくして石炭を積載することも検討したので以下に紹介する.

荷重組合せ表 (その2)



- CASE No.1 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL
- CASE No.2 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (山)
- CASE No.3 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (谷)
- CASE No.4 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 90° (山)
- CASE No.5 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 90° (谷)

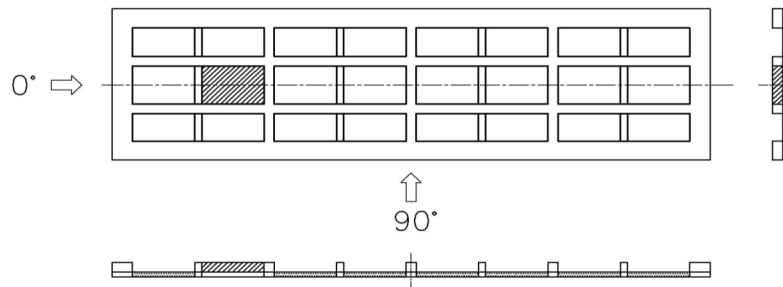


- CASE No.6 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部)
- CASE No.7 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (山)
- CASE No.8 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (谷)
- CASE No.9 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 90° (山)
- CASE No.10 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 90° (谷)

図 4.54 Model-10, 荷重の組合せ-1(No.1~10)

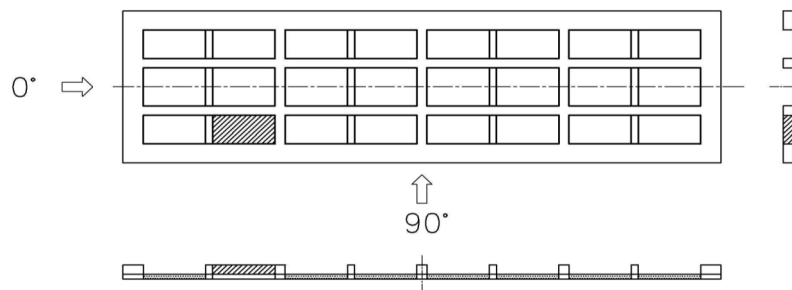
荷重組合せ表 (その2)

積付 3



- CASE No.11 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL  
 CASE No.12 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (山)  
 CASE No.13 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (谷)  
 CASE No.14 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 90° (山)  
 CASE No.15 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 90° (谷)

積付 4

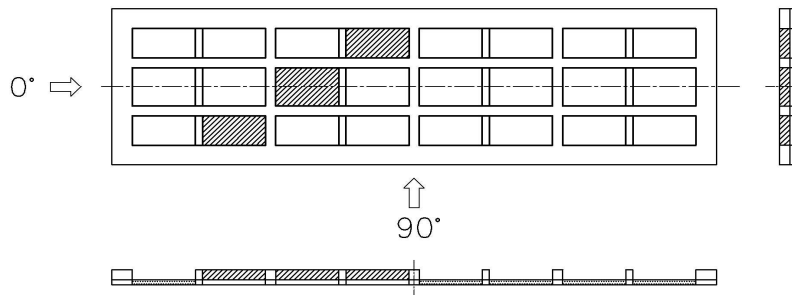


- CASE No.16 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部)  
 CASE No.17 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (山)  
 CASE No.18 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (谷)  
 CASE No.19 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 90° (山)  
 CASE No.20 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 90° (谷)

図 4.55 Model-10, 荷重の組合せ-2(No.11~20)

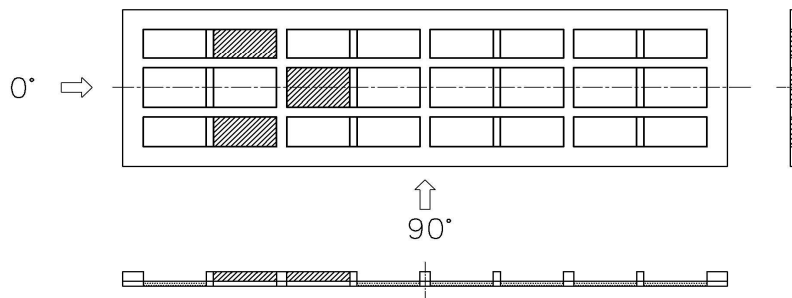
荷重組合せ表 (その2)

積付 7



- CASE No.31 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL
- CASE No.32 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (山)
- CASE No.33 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (谷)
- CASE No.34 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波90° (山)
- CASE No.35 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波90° (谷)

積付 8

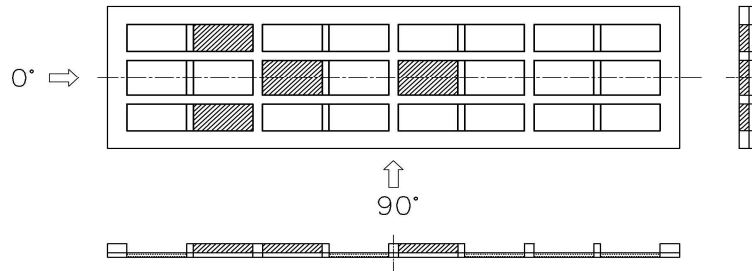


- CASE No.36 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部)
- CASE No.37 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (山)
- CASE No.38 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (谷)
- CASE No.39 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波90° (山)
- CASE No.40 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波90° (谷)

図 4.56 Model-10, 荷重の組合せ-3(No.31~40)

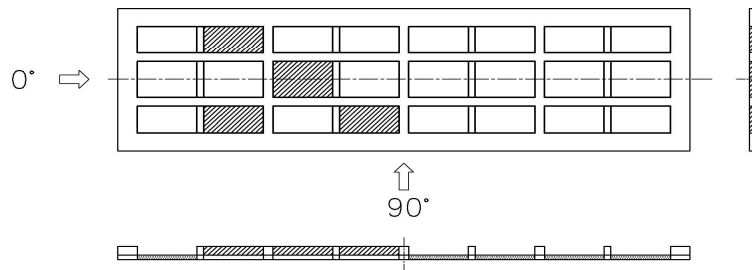
荷重組合せ表 (その2)

積付 9



- CASE No.41 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL
- CASE No.42 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (山)
- CASE No.43 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波 0° (谷)
- CASE No.44 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波90° (山)
- CASE No.45 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL+サイン波90° (谷)

積付 10



- CASE No.46 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部)
- CASE No.47 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (山)
- CASE No.48 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波 0° (谷)
- CASE No.49 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波90° (山)
- CASE No.50 : 自重 (1.3t/m<sup>2</sup>) +1 HOLD FULL (端部) +サイン波90° (谷)

図 4.57 Model-10, 荷重の組合せ-4(No.41~50)

荷重組合せ表 (その2)

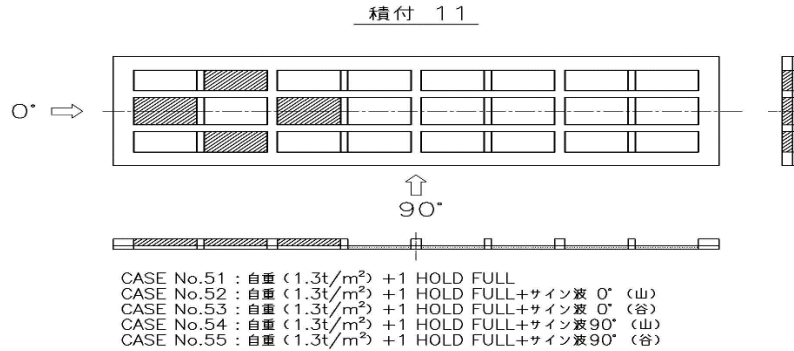


図 4.58 Model-10, 荷重の組合せ-5(No.51~55)

7) Model-4&6 の解析結果 (応力評価) 表

解析結果は、二重底を 1 枚の等方性板にモデル化した部分の最大応力と、縦横の隔壁をガーダー (フレーム) としてモデル化した部分の最大応力を分けて表示している。当然ながら、中立軸から近い二重底部分の応力は小さく、中立軸から離れているフレームの頂部 (上甲板) 部分に最大応力が出ている。

また、最初に解析した Model-4 では強度不足が予想されたので、貨物艙を細分化した Model-10 についても解析した。当然応力は十分小さいので構造安全性は確保されているが、過剰設計になっている可能性があるので設計段階では合理化の検討が大きな目標になると思われる。

表 4.14 Model-6 応力評価表, 二重底(1)

応力評価表 (MODEL-6)

○等方性板 + フレーム

offset有り

CASE NO.	ELEM NO.	MOMENT -MXX (kN・m/m)	MOMENT -MYY (kN・m/m)	MOMENT -MXY (kN・m/m)	Zz / 3.5m (cm <sup>3</sup> )	$\sigma_z$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{eq}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{allow.}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{eq}/\sigma_{allow.}$
DEAD LOAD	1 (ELEM 3790)	-6.52E-01	-5.30E-01	-3.69E-01	8.88E+04	0.0	0.0	235	0.00 OK
	2 (ELEM 3903)	-1.56E+03	-1.47E+03	-8.26E+02	8.88E+04	-16.5	16.5	235	0.07 OK
	3 (ELEM 3945)	-1.62E+03	-2.39E+03	-8.26E+02	8.88E+04	-27.0	27.0	235	0.11 OK
	4 (ELEM 3790)	-2.02E+03	-2.83E+03	-1.25E+03	8.88E+04	-31.8	31.8	235	0.14 OK
	5 (ELEM 3895)	-6.69E+03	-2.55E+03	-1.25E+03	8.88E+04	-28.7	28.7	235	0.12 OK
	6 (ELEM 3790)	-1.96E+03	-2.28E+03	-1.40E+03	8.88E+04	-25.7	25.7	235	0.11 OK
	7 (ELEM 3945)	-5.52E+03	-3.45E+03	-1.40E+03	8.88E+04	-38.8	38.8	235	0.17 OK
FULL LOAD	8 (ELEM 3834)	-7.60E+02	-1.46E+03	-4.53E+02	8.88E+04	-16.4	16.4	235	0.07 OK
	9 (ELEM 1344)	-2.16E+03	-2.02E+03	-1.21E+03	8.88E+04	-22.8	22.8	235	0.10 OK
	10 (ELEM 3834)	-1.64E+03	-2.92E+03	-1.09E+03	8.88E+04	-32.9	32.9	235	0.14 OK
	11 (ELEM 3834)	-2.58E+03	-3.59E+03	-1.52E+03	8.88E+04	-40.4	40.4	235	0.17 OK
	12 (ELEM 3930)	-5.52E+03	-3.06E+03	-9.94E+02	8.88E+04	-34.5	34.5	235	0.15 OK
	13 (ELEM 3874)	-2.70E+03	-3.03E+03	-1.63E+03	8.88E+04	-34.1	34.1	235	0.15 OK
	14 (ELEM 3889)	-4.05E+03	-3.08E+03	-1.20E+03	8.88E+04	-34.7	34.7	235	0.15 OK
1 HOLD EMPTY	15 (ELEM 3834)	-4.42E+03	-5.20E+03	-3.87E+03	8.88E+04	-58.5	58.5	235	0.25 OK
	16 (ELEM 3874)	-5.24E+03	-5.89E+03	-4.42E+03	8.88E+04	-66.3	66.3	235	0.28 OK
	17 (ELEM 3834)	-5.36E+03	-6.66E+03	-4.51E+03	8.88E+04	-74.9	74.9	235	0.32 OK
	18 (ELEM 3834)	-5.21E+03	-7.33E+03	-4.85E+03	8.88E+04	-82.5	82.5	235	0.35 OK
	19 (ELEM 3903)	-5.81E+03	-3.69E+03	-2.89E+03	8.88E+04	-41.6	41.6	235	0.18 OK
	20 (ELEM 3874)	-5.26E+03	-7.16E+03	-4.94E+03	8.88E+04	-80.6	80.6	235	0.34 OK
	21 (ELEM 3834)	-4.71E+03	-4.72E+03	-3.63E+03	8.88E+04	-53.1	53.1	235	0.23 OK
1 HOLD FULL	22 (ELEM 3853)	-1.42E+04	-9.56E+03	-3.62E+03	8.88E+04	-107.6	107.6	235	0.46 OK
	23 (ELEM 3848)	-1.49E+04	-1.07E+04	-4.17E+03	8.88E+04	-120.8	120.8	235	0.51 OK
	24 (ELEM 3860)	-1.48E+04	-1.11E+04	-4.21E+03	8.88E+04	-125.0	125.0	235	0.53 OK
	25 (ELEM 3853)	-7.48E+03	-7.01E+03	-2.66E+03	8.88E+04	-78.9	78.9	235	0.34 OK
	26 (ELEM 3853)	-2.09E+04	-1.21E+04	-4.59E+03	8.88E+04	-136.3	136.3	235	0.58 OK
	27 (ELEM 3848)	-9.91E+03	-8.56E+03	-3.28E+03	8.88E+04	-96.4	96.4	235	0.41 OK
	28 (ELEM 3859)	-1.92E+04	-1.23E+04	-4.73E+03	8.88E+04	-138.8	138.8	235	0.59 OK
1 HOLD FULL (端部)	29 (ELEM 1058)	-6.25E+03	-4.06E+03	4.18E+02	8.88E+04	-45.7	45.7	235	0.19 OK
	30 (ELEM 1233)	-7.15E+03	-4.87E+03	-1.39E+02	8.88E+04	-54.8	54.8	235	0.23 OK
	31 (ELEM 1047)	-6.63E+03	-5.04E+03	-1.89E+02	8.88E+04	-56.7	56.7	235	0.24 OK
	32 (ELEM 3790)	-8.09E+03	-5.32E+03	-6.36E+02	8.88E+04	-59.9	59.9	235	0.25 OK
	33 (ELEM 1231)	-6.72E+03	-3.32E+03	-7.19E+02	8.88E+04	-37.4	37.4	235	0.16 OK
	34 (ELEM 1059)	-8.12E+03	-5.12E+03	-7.20E+02	8.88E+04	-57.7	57.7	235	0.25 OK
	35 (ELEM 1220)	-5.74E+03	-3.97E+03	-7.88E+02	8.88E+04	-44.6	44.6	235	0.19 OK

表 4.15 Model-6 応力評価表, 二重底(2)

BALLAST LOAD	36 (ELEM 3834)	-4.70E+02	-8.97E+02	-2.80E+02	8.88E+04	-10.1	10.1	235	0.04	OK
	37 (ELEM 1344)	-1.93E+03	-1.59E+03	-1.05E+03	8.88E+04	-17.9	17.9	235	0.08	OK
	38 (ELEM 3835)	-1.54E+03	-2.38E+03	-9.63E+02	8.88E+04	-26.8	26.8	235	0.11	OK
	39 (ELEM 3790)	-2.33E+03	-3.22E+03	-1.41E+03	8.88E+04	-36.2	36.2	235	0.15	OK
	40 (ELEM 3931)	-5.87E+03	-2.83E+03	-1.09E+03	8.88E+04	-31.8	31.8	235	0.14	OK
	41 (ELEM 3790)	-2.42E+03	-2.67E+03	-1.54E+03	8.88E+04	-30.1	30.1	235	0.13	OK
	42 (ELEM 3889)	-4.59E+03	-3.09E+03	-1.28E+03	8.88E+04	-34.8	34.8	235	0.15	OK
1 HOLD EMPTY + BALLAST	43 (ELEM 3834)	-1.91E+03	-2.90E+03	-1.70E+03	8.88E+04	-32.6	32.6	235	0.14	OK
	44 (ELEM 3874)	-2.95E+03	-3.35E+03	-2.23E+03	8.88E+04	-37.7	37.7	235	0.16	OK
	45 (ELEM 3834)	-3.04E+03	-4.36E+03	-2.39E+03	8.88E+04	-49.1	49.1	235	0.21	OK
	46 (ELEM 3834)	-3.17E+03	-5.03E+03	-2.68E+03	8.88E+04	-56.7	56.7	235	0.24	OK
	47 (ELEM 3930)	-5.64E+03	-3.29E+03	-1.43E+03	8.88E+04	-37.0	37.0	235	0.16	OK
	48 (ELEM 3874)	-3.12E+03	-4.62E+03	-2.73E+03	8.88E+04	-52.0	52.0	235	0.22	OK
	49 (ELEM 3890)	-4.03E+03	-3.29E+03	-1.60E+03	8.88E+04	-37.1	37.1	235	0.16	OK
1 HOLD FULL + BALLAST	50 (ELEM 3853)	-1.01E+04	-1.20E+04	-3.44E+03	8.88E+04	-134.6	134.6	235	0.57	OK
	51 (ELEM 3848)	-1.10E+04	-1.31E+04	-3.88E+03	8.88E+04	-147.8	147.8	235	0.63	OK
	52 (ELEM 3860)	-1.09E+04	-1.34E+04	-4.03E+03	8.88E+04	-150.6	150.6	235	0.64	OK
	53 (ELEM 3832)	-5.00E+03	-9.85E+03	-3.66E+03	8.88E+04	-110.9	110.9	235	0.47	OK
	54 (ELEM 3853)	-1.68E+04	-1.45E+04	-4.41E+03	8.88E+04	-163.3	163.3	235	0.70	OK
	55 (ELEM 3848)	-6.01E+03	-1.10E+04	-3.79E+03	8.88E+04	-123.4	123.4	235	0.53	OK
	56 (ELEM 3859)	-1.53E+04	-1.46E+04	-4.55E+03	8.88E+04	-164.8	164.8	235	0.70	OK
1 HOLD FULL(50% )	57 (ELEM 3853)	-7.10E+03	-4.79E+03	-1.81E+03	8.88E+04	-53.9	53.9	235	0.23	OK
	58 (ELEM 3848)	-7.99E+03	-6.09E+03	-2.44E+03	8.88E+04	-68.5	68.5	235	0.29	OK
	59 (ELEM 3860)	-7.96E+03	-6.50E+03	-2.44E+03	8.88E+04	-73.2	73.2	235	0.31	OK
	60 (ELEM 3832)	-2.03E+03	-4.09E+03	-1.82E+03	8.88E+04	-46.1	46.1	235	0.20	OK
	61 (ELEM 3853)	-1.38E+04	-7.34E+03	-2.78E+03	8.88E+04	-82.6	82.6	235	0.35	OK
	62 (ELEM 3876)	-3.06E+03	-3.99E+03	-1.98E+03	8.88E+04	-44.9	44.9	235	0.19	OK
	63 (ELEM 3860)	-1.23E+04	-7.71E+03	-2.94E+03	8.88E+04	-86.8	86.8	235	0.37	OK



表 4.16 Model-6 応力評価表, 上甲板表面(1)

応力評価表 (MODEL-6) 等方性板 + Oフレーム offset有り

CASE NO.	ELEM NO.	SHEAR Y	TORQUE	MOMENT XY	Ay (cm <sup>2</sup> )	Zz (cm <sup>3</sup> )	$\tau_{xy}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_z$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{eq}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{allow.}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{eq}/\sigma_{allow.}$
DEAD LOAD	1 (ELEM 60)	4.85E+00	1.83E+01	3.14E+02	1.01E+04	1.17E+07	0.0	0.0	0.0	235	0.00 OK
	2 (ELEM 123)	9.32E+03	3.20E+04	2.77E+05	1.01E+04	1.17E+07	0.9	23.6	23.7	235	0.10 OK
	3 (ELEM 7627)	9.32E+03	3.21E+04	2.76E+05	1.11E+04	5.56E+06	0.8	49.7	49.7	235	0.21 OK
	4 (ELEM 4048)	1.76E+04	1.08E+05	6.70E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.6	120.5	120.5	235	0.51 OK
	5 (ELEM 3875)	1.76E+04	1.08E+05	6.70E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.6	120.4	120.5	235	0.51 OK
	6 (ELEM 4006)	1.42E+04	9.91E+04	4.88E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.3	87.8	87.8	235	0.37 OK
	7 (ELEM 3917)	1.42E+04	9.91E+04	4.88E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.4	41.7	41.7	235	0.18 OK
FULL LOAD	8 (ELEM 7621)	5.96E+03	2.20E+04	3.74E+05	1.01E+04	1.17E+07	0.6	32.0	32.0	235	0.14 OK
	9 (ELEM 7641)	1.43E+04	5.31E+04	2.75E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.3	49.5	49.5	235	0.21 OK
	10 (ELEM 7627)	1.13E+04	4.15E+04	6.33E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.0	113.8	113.8	235	0.48 OK
	11 (ELEM 4048)	2.20E+04	1.30E+05	8.65E+05	1.11E+04	5.56E+06	2.0	155.5	155.6	235	0.66 OK
	12 (ELEM 3917)	1.38E+04	8.65E+04	5.12E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.2	92.1	92.1	235	0.39 OK
	13 (ELEM 4048)	1.85E+04	1.21E+05	6.36E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.8	54.4	54.5	235	0.23 OK
	14 (ELEM 7627)	9.91E+03	7.75E+04	6.53E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.0	55.8	55.8	235	0.24 OK
1 HOLD EMPTY	15 (ELEM 2476)	2.48E+04	1.90E+05	1.10E+06	1.01E+04	1.17E+07	2.5	93.8	93.9	235	0.40 OK
	16 (ELEM 2480)	3.14E+04	2.07E+05	1.22E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.1	104.5	104.7	235	0.45 OK
	17 (ELEM 2473)	3.23E+04	2.01E+05	1.07E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.2	91.5	91.6	235	0.39 OK
	18 (ELEM 4048)	4.14E+04	2.29E+05	1.58E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.1	134.6	134.8	235	0.57 OK
	19 (ELEM 2476)	2.15E+04	1.61E+05	1.04E+06	1.01E+04	1.17E+07	2.1	88.8	88.9	235	0.38 OK
	20 (ELEM 4006)	3.79E+04	2.29E+05	1.35E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.8	115.3	115.5	235	0.49 OK
	21 (ELEM 2473)	2.76E+04	1.81E+05	1.03E+06	1.01E+04	1.17E+07	2.7	88.2	88.3	235	0.38 OK
1 HOLD FULL	22 (ELEM 2474)	2.37E+04	1.83E+05	1.26E+06	1.01E+04	1.17E+07	2.4	107.4	107.4	235	0.46 OK
	23 (ELEM 2471)	2.98E+04	1.99E+05	1.25E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.0	106.5	106.6	235	0.45 OK
	24 (ELEM 43)	3.07E+04	2.00E+05	1.39E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.0	119.0	119.1	235	0.51 OK
	25 (ELEM 2474)	2.04E+04	1.59E+05	1.20E+06	1.01E+04	1.17E+07	2.0	102.5	102.5	235	0.44 OK
	26 (ELEM 3702)	3.73E+04	2.22E+05	1.38E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.7	117.9	118.0	235	0.50 OK
	27 (ELEM 2471)	2.51E+04	1.79E+05	1.21E+06	1.01E+04	1.17E+07	2.5	103.1	103.2	235	0.44 OK
	28 (ELEM 7628)	3.36E+04	2.23E+05	1.41E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.3	120.3	120.5	235	0.51 OK
1 HOLD FULL (端部)	29 (ELEM 76)	3.92E+04	7.94E+05	1.59E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.9	135.9	136.1	235	0.58 OK
	30 (ELEM 72)	4.17E+04	7.85E+05	1.75E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.1	149.1	149.3	235	0.64 OK
	31 (ELEM 82)	4.04E+04	8.15E+05	1.55E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.0	132.1	132.2	235	0.56 OK
	32 (ELEM 82)	4.32E+04	7.92E+05	1.71E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.3	145.8	146.0	235	0.62 OK
	33 (ELEM 71)	4.06E+04	7.97E+05	1.61E+06	1.11E+04	5.56E+06	3.7	290.3	290.4	235	1.24 NG
	34 (ELEM 77)	4.40E+04	7.83E+05	1.68E+06	1.11E+04	5.56E+06	4.0	302.9	303.0	235	1.29 NG
	35 (ELEM 76)	4.22E+04	8.11E+05	1.50E+06	1.11E+04	5.56E+06	3.8	269.2	269.3	235	1.15 NG

表 4.17 Model-6 応力評価表, 上甲板表面(2)

	36 (ELEM 7 621)	3.68E+03	1.34E+04	2.30E+05	1.11E+04	5.56E+06	0.3	4.1.4	4.1.4	235	0.18 OI
	37 (ELEM 2 429)	1.20E+04	4.46E+04	2.45E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.2	2.0.9	2.1.0	235	0.09 OI
	38 (ELEM 7 627)	1.04E+04	3.65E+04	4.95E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.0	4.2.3	4.2.4	235	0.18 OI
BALLAST LOAD	39 (ELEM 4 048)	2.03E+04	1.21E+05	7.89E+05	1.01E+04	1.17E+07	2.0	6.7.4	6.7.5	235	0.29 OI
	40 (ELEM 3 917)	1.52E+04	9.50E+04	5.69E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.5	4.8.6	4.8.7	235	0.21 OI
	41 (ELEM 4 006)	1.68E+04	1.12E+05	5.76E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.7	4.9.3	4.9.3	235	0.21 OI
	42 (ELEM 7 627)	1.16E+04	8.60E+04	5.15E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.1	4.4.1	4.4.1	235	0.19 OI
	43 (ELEM 4 048)	1.18E+04	7.74E+04	4.68E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.2	4.0.0	4.0.1	235	0.17 OI
	44 (ELEM 2 481)	1.72E+04	9.39E+04	4.81E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.7	4.1.1	4.1.2	235	0.18 OI
	45 (ELEM 7 708)	1.92E+04	9.15E+04	7.29E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.9	6.2.3	6.2.4	235	0.27 OI
1 HOLD EMPTY + BALLAST	46 (ELEM 4 048)	2.95E+04	1.38E+05	1.14E+06	1.01E+04	1.17E+07	2.9	9.7.3	9.7.4	235	0.41 OI
	47 (ELEM 7 707)	1.42E+04	8.87E+04	5.96E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.4	5.0.9	5.1.0	235	0.22 OI
	48 (ELEM 4 048)	2.60E+04	1.29E+05	9.10E+05	1.01E+04	1.17E+07	2.6	7.7.7	7.7.9	235	0.33 OI
	49 (ELEM 7 707)	1.43E+04	8.27E+04	7.50E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.4	6.4.1	6.4.1	235	0.27 OI
	50 (ELEM 60)	3.81E+04	2.07E+05	3.10E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.8	26.4.6	26.4.7	235	1.13 NC
	51 (ELEM 59)	4.27E+04	2.11E+05	3.01E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.2	25.6.9	25.7.0	235	1.09 NC
	52 (ELEM 63)	4.31E+04	2.20E+05	3.22E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.3	27.5.2	27.5.3	235	1.17 NC
1 HOLD FULL + BALLAST	53 (ELEM 7 646)	3.70E+04	1.79E+05	3.20E+06	1.01E+04	1.17E+07	3.7	27.3.1	27.3.2	235	1.16 NC
	54 (ELEM 60)	4.28E+04	2.41E+05	3.00E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.2	25.6.3	25.6.4	235	1.09 NC
	55 (ELEM 7 644)	4.07E+04	1.91E+05	3.10E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.0	26.4.8	26.4.9	235	1.13 NC
	56 (ELEM 63)	4.37E+04	2.41E+05	3.11E+06	1.01E+04	1.17E+07	4.3	26.5.7	26.5.8	235	1.13 NC
	57 (ELEM 2 474)	1.19E+04	9.17E+04	6.29E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.2	5.3.8	5.3.8	235	0.23 OI
	58 (ELEM 2 470)	1.91E+04	1.09E+05	6.33E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.9	5.4.1	5.4.2	235	0.23 OI
	59 (ELEM 43)	1.92E+04	1.09E+05	8.30E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.9	7.0.9	7.1.0	235	0.30 OI
1 HOLD FULL (50%)	60 (ELEM 4 090)	1.81E+04	1.11E+05	6.78E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.8	5.8.0	5.8.0	235	0.25 OI
	61 (ELEM 3 875)	2.74E+04	1.32E+05	1.03E+06	1.01E+04	1.17E+07	2.7	8.7.6	8.7.7	235	0.37 OI
	62 (ELEM 2 470)	1.56E+04	1.02E+05	5.93E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.5	5.0.7	5.0.8	235	0.22 OI
	63 (ELEM 7 628)	2.39E+04	1.31E+05	8.46E+05	1.01E+04	1.17E+07	2.4	7.2.3	7.2.4	235	0.31 OI

8) Model-10 解析結果 (応力評価) 表

表 4.18 Model-10 応力評価表, 二重底(1)

応力評価表 ( MODEL-10 )      ○等方性板 + フレーム      offset有り

CASE NO.	ELEM NO.	MOMENT -MXX (kN・m/m)	MOMENT -MY (kN・m/m)	MOMENT -MXY (kN・m/m)	Zz / 3.5m (cm <sup>3</sup> )	$\sigma_z$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{eq}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{allow.}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{eq}/\sigma_{allow.}$
	1 (ELEM 1041)	-1.54 E+03	-1.10E+03	-1.46E+02	8.8 8E+04	-12.3	12.3	235	0.05 OK
	2 (ELEM 3930)	-1.76 E+03	-1.56E+03	-7.18E+02	8.8 8E+04	-17.6	17.6	235	0.07 OK
積付1	3 (ELEM 1218)	-2.73 E+03	-2.90E+03	-6.84E+02	8.8 8E+04	-32.6	32.6	235	0.14 OK
	4 (ELEM 3790)	-2.81 E+03	-3.16E+03	-8.46E+02	8.8 8E+04	-35.6	35.6	235	0.15 OK
	5 (ELEM 3927)	-3.81 E+03	-2.41E+03	-6.38E+02	8.8 8E+04	-27.1	27.1	235	0.12 OK
	6 (ELEM 3801)	-1.84 E+03	-1.11E+03	-4.91E+02	8.8 8E+04	-12.4	12.4	235	0.05 OK
	7 (ELEM 3930)	-1.76 E+03	-1.56E+03	-8.41E+02	8.8 8E+04	-17.6	17.6	235	0.07 OK
積付2	8 (ELEM 3804)	-3.21 E+03	-3.34E+03	-1.06E+03	8.8 8E+04	-37.6	37.6	235	0.16 OK
	9 (ELEM 3960)	-1.46 E+03	-2.53E+03	-1.02E+03	8.8 8E+04	-28.4	28.4	235	0.12 OK
	10 (ELEM 3801)	-5.85 E+03	-3.11E+03	-1.22E+03	8.8 8E+04	-35.1	35.1	235	0.15 OK
	11 (ELEM 3823)	-2.86 E+03	-3.16E+03	-8.97E+02	8.8 8E+04	-35.6	35.6	235	0.15 OK
	12 (ELEM 3821)	-3.63 E+03	-4.07E+03	-1.34E+03	8.8 8E+04	-45.8	45.8	235	0.19 OK
積付3	13 (ELEM 3828)	-2.67 E+03	-3.66E+03	-1.31E+03	8.8 8E+04	-41.2	41.2	235	0.18 OK
	14 (ELEM 3834)	-1.44 E+03	-3.37E+03	-1.25E+03	8.8 8E+04	-38.0	38.0	235	0.16 OK
	15 (ELEM 3823)	-6.74 E+03	-5.06E+03	-1.32E+03	8.8 8E+04	-56.9	56.9	235	0.24 OK
-----									
	16 (ELEM 1237)	-2.63 E+03	-3.14E+03	-5.96E+02	8.8 8E+04	-35.4	35.4	235	0.15 OK
	17 (ELEM 1235)	-3.36 E+03	-3.81E+03	-9.61E+02	8.8 8E+04	-42.9	42.9	235	0.18 OK
積付4	18 (ELEM 1242)	-2.43 E+03	-3.64E+03	-8.37E+02	8.8 8E+04	-41.0	41.0	235	0.17 OK
	19 (ELEM 1237)	-3.63 E+03	-3.78E+03	-1.21E+03	8.8 8E+04	-42.5	42.5	235	0.18 OK
	20 (ELEM 1248)	-3.77 E+03	-2.87E+03	-7.21E+02	8.8 8E+04	-32.3	32.3	235	0.14 OK
-----									
	21 (ELEM 3843)	-2.66 E+03	-3.02E+03	-7.77E+02	8.8 8E+04	-34.0	34.0	235	0.14 OK
	22 (ELEM 3846)	-3.65 E+03	-4.23E+03	-1.23E+03	8.8 8E+04	-47.7	47.7	235	0.20 OK
積付5	23 (ELEM 3838)	-2.51 E+03	-3.67E+03	-1.11E+03	8.8 8E+04	-41.3	41.3	235	0.18 OK
	24 (ELEM 3832)	-1.46 E+03	-3.30E+03	-1.10E+03	8.8 8E+04	-37.1	37.1	235	0.16 OK
	25 (ELEM 3843)	-6.72 E+03	-4.97E+03	-1.31E+03	8.8 8E+04	-55.9	55.9	235	0.24 OK
	26 (ELEM 1238)	-2.68 E+03	-3.44E+03	-5.69E+02	8.8 8E+04	-38.8	38.8	235	0.16 OK
	27 (ELEM 3846)	-3.38 E+03	-4.11E+03	-1.02E+03	8.8 8E+04	-46.3	46.3	235	0.20 OK
積付6	28 (ELEM 1242)	-2.58 E+03	-4.20E+03	-8.65E+02	8.8 8E+04	-47.2	47.2	235	0.20 OK
	29 (ELEM 1238)	-3.68 E+03	-4.07E+03	-1.03E+03	8.8 8E+04	-45.8	45.8	235	0.19 OK
	30 (ELEM 3843)	-6.43 E+03	-4.93E+03	-7.07E+02	8.8 8E+04	-55.5	55.5	235	0.24 OK
	31 (ELEM 1238)	-2.74 E+03	-3.57E+03	-4.04E+02	8.8 8E+04	-40.2	40.2	235	0.17 OK
	32 (ELEM 3846)	-3.45 E+03	-4.38E+03	-9.53E+02	8.8 8E+04	-49.3	49.3	235	0.21 OK
積付7	33 (ELEM 6448)	-3.56 E+03	-4.81E+03	-1.12E+03	8.8 8E+04	-54.2	54.2	235	0.23 OK
	34 (ELEM 1238)	-3.74 E+03	-4.20E+03	-1.20E+03	8.8 8E+04	-47.2	47.2	235	0.20 OK
	35 (ELEM 3843)	-6.20 E+03	-5.09E+03	-8.83E+02	8.8 8E+04	-57.3	57.3	235	0.24 OK

表 4.19 Model-10 応力評価表, 二重底(2)

	36 (ELEM 1238)	-2.52E+03	-3.55E+03	-1.08E+03	8.88E+04	-39.9	39.9	235	0.17	OK
	37 (ELEM 1235)	-3.22E+03	-4.12E+03	-1.45E+03	8.88E+04	-46.3	46.3	235	0.20	OK
積付8	38 (ELEM 3832)	-2.43E+03	-4.62E+03	-1.17E+03	8.88E+04	-52.0	52.0	235	0.22	OK
	39 (ELEM 3832)	-3.52E+03	-4.60E+03	-1.44E+03	8.88E+04	-51.7	51.7	235	0.22	OK
	40 (ELEM 3842)	-6.15E+03	-4.91E+03	-1.36E+03	8.88E+04	-55.2	55.2	235	0.23	OK
	41 (ELEM 1238)	-2.46E+03	-3.43E+03	-1.06E+03	8.88E+04	-38.6	38.6	235	0.16	OK
	42 (ELEM 1235)	-3.16E+03	-4.01E+03	-1.43E+03	8.88E+04	-45.2	45.2	235	0.19	OK
積付9	43 (ELEM 3832)	-3.17E+03	-4.49E+03	-1.18E+03	8.88E+04	-50.5	50.5	235	0.22	OK
	44 (ELEM 3832)	-3.46E+03	-4.47E+03	-1.46E+03	8.88E+04	-50.3	50.3	235	0.21	OK
	45 (ELEM 3842)	-6.18E+03	-4.71E+03	-1.25E+03	8.88E+04	-53.0	53.0	235	0.23	OK
	46 (ELEM 6410)	-2.59E+03	-3.67E+03	-1.38E+03	8.88E+04	-41.3	41.3	235	0.18	OK
	47 (ELEM 3846)	-3.29E+03	-4.26E+03	-1.74E+03	8.88E+04	-47.9	47.9	235	0.20	OK
積付10	48 (ELEM 3832)	-3.18E+03	-4.81E+03	-1.62E+03	8.88E+04	-54.2	54.2	235	0.23	OK
	49 (ELEM 3832)	-3.56E+03	-4.79E+03	-1.85E+03	8.88E+04	-54.0	54.0	235	0.23	OK
	50 (ELEM 3843)	-5.92E+03	-5.05E+03	-1.58E+03	8.88E+04	-56.8	56.8	235	0.24	OK
	51 (ELEM 6410)	-2.30E+03	-2.82E+03	-8.36E+02	8.88E+04	-31.7	31.7	235	0.13	OK
	52 (ELEM 6407)	-3.02E+03	-3.46E+03	-1.28E+03	8.88E+04	-38.9	38.9	235	0.17	OK
積付11	53 (ELEM 3832)	-2.37E+03	-3.73E+03	-1.13E+03	8.88E+04	-42.0	42.0	235	0.18	OK
	54 (ELEM 3832)	-3.29E+03	-3.71E+03	-1.32E+03	8.88E+04	-41.8	41.8	235	0.18	OK
	55 (ELEM 3842)	-5.89E+03	-4.07E+03	-1.29E+03	8.88E+04	-45.8	45.8	235	0.20	OK

表 4.20 Model-10 応力評価表, 上甲板表面(1)

応力評価表 (MODEL-10) 等方性板 + Oフレーム offset有り

CASE NO.	ELEM NO.	SHEAR Y	TORQUE	MOMENT X	Ay (cm <sup>2</sup> )	Zz (cm <sup>3</sup> )	τy (N/mm <sup>2</sup> )	σz (N/mm <sup>2</sup> )	σeq (N/mm <sup>2</sup> )	σall.ow. (N/mm <sup>2</sup> )	σeq/σall.ow.
積付1	1 (ELEM 62)	1.03E+04	2.14E+05	2.89E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.0	24.7	24.8	235	0.11 OK
	2 (ELEM 42)	1.15E+04	2.23E+05	5.16E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.1	44.1	44.2	235	0.19 OK
	3 (ELEM 770 7)	1.26E+04	2.30E+05	5.37E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.1	96.6	96.6	235	0.41 OK
	4 (ELEM 430 8)	1.81E+04	2.46E+05	6.06E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.6	109.0	109.0	235	0.46 OK
	5 (ELEM 391 7)	1.10E+04	2.29E+05	4.08E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.0	73.4	73.5	235	0.31 OK
6 (ELEM 771 3)	5.22E+03	3.38E+04	2.17E+05	1.11E+04	5.56E+06	0.5	39.1	39.1	235	0.17 OK	
積付2	7 (ELEM 43)	9.84E+03	5.19E+04	3.44E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.0	29.4	29.4	235	0.13 OK
	8 (ELEM 770 7)	1.05E+04	4.41E+04	4.79E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.0	41.0	41.0	235	0.17 OK
	9 (ELEM 404 8)	1.46E+04	6.60E+04	5.43E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.3	97.6	97.7	235	0.42 OK
	10 (ELEM 378 9)	1.42E+04	7.36E+04	6.12E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.3	110.1	110.2	235	0.47 OK
	11 (ELEM 762 5)	8.12E+03	4.47E+04	4.28E+05	1.11E+04	5.56E+06	0.7	77.0	77.0	235	0.33 OK
積付3	12 (ELEM 520 3)	1.49E+04	5.66E+04	3.66E+05	1.11E+04	5.56E+06	1.3	65.9	65.9	235	0.28 OK
	13 (ELEM 762 7)	1.45E+04	6.98E+04	7.02E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.4	60.0	60.0	235	0.26 OK
	14 (ELEM 404 8)	1.47E+04	6.55E+04	5.59E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.5	47.8	47.9	235	0.20 OK
	15 (ELEM 383 3)	1.57E+04	8.89E+04	5.76E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.6	49.2	49.3	235	0.21 OK
	16 (ELEM 33)	1.22E+04	1.32E+05	8.22E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.2	70.3	70.3	235	0.30 OK
積付4	17 (ELEM 32)	1.56E+04	1.49E+05	6.67E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.5	57.0	57.0	235	0.24 OK
	18 (ELEM 36)	1.73E+04	1.50E+05	1.01E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.7	86.2	86.3	235	0.37 OK
	19 (ELEM 33)	1.72E+04	1.51E+05	8.63E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.7	73.7	73.8	235	0.31 OK
	20 (ELEM 34)	1.38E+04	1.47E+05	7.83E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.4	67.0	67.0	235	0.29 OK
	21 (ELEM 762 8)	6.13E+03	4.20E+04	5.26E+05	1.01E+04	1.17E+07	0.6	45.0	45.0	235	0.19 OK
積付5	22 (ELEM 522 6)	1.16E+04	5.43E+04	4.48E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.1	38.3	38.3	235	0.16 OK
	23 (ELEM 42)	1.21E+04	5.73E+04	7.94E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.2	67.8	67.9	235	0.29 OK
	24 (ELEM 404 8)	1.42E+04	6.61E+04	5.36E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.4	45.8	45.9	235	0.20 OK
	25 (ELEM 383 3)	1.57E+04	6.72E+04	5.72E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.6	48.9	48.9	235	0.21 OK
	26 (ELEM 35)	1.41E+04	1.61E+05	1.01E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.4	86.7	86.7	235	0.37 OK
積付6	27 (ELEM 33)	1.75E+04	1.72E+05	8.38E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.7	71.6	71.7	235	0.30 OK
	28 (ELEM 39)	1.76E+04	1.74E+05	1.24E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.7	106.0	106.0	235	0.45 OK
	29 (ELEM 34)	1.46E+04	1.62E+05	1.05E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.4	89.5	89.5	235	0.38 OK
	30 (ELEM 38)	1.57E+04	1.78E+05	9.95E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.6	85.0	85.1	235	0.36 OK
	31 (ELEM 765 4)	1.36E+04	1.91E+05	1.08E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.3	92.2	92.3	235	0.39 OK
積付7	32 (ELEM 764 7)	1.70E+04	2.01E+05	9.06E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.7	77.4	77.4	235	0.33 OK
	33 (ELEM 39)	1.81E+04	2.17E+05	1.29E+06	1.11E+04	5.56E+06	1.6	232.7	232.8	235	0.99 OK
	34 (ELEM 34)	1.79E+04	1.96E+05	1.11E+06	1.11E+04	5.56E+06	1.6	198.9	198.9	235	0.85 OK
	35 (ELEM 765 1)	1.52E+04	2.02E+05	1.06E+06	1.11E+04	5.56E+06	1.4	190.8	190.8	235	0.81 OK

表 4.21 Model-10 応力評価表, 上甲板表面(2)

	36 (ELEM 35)	1.42E+04	6.63E+04	1.02E+06	1.11E+04	5.56E+06	1.3	184.0	184.0	2.35	0.78	OK
	37 (ELEM 33)	1.82E+04	8.07E+04	8.46E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.8	72.3	72.4	2.35	0.31	OK
積付8	38 (ELEM 38)	1.64E+04	6.04E+04	1.25E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.6	106.4	106.4	2.35	0.45	OK
	39 (ELEM 761 9)	1.57E+04	7.08E+04	1.06E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.6	90.3	90.3	2.35	0.38	OK
	40 (ELEM 762 3)	1.59E+04	8.78E+04	1.00E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.6	85.6	85.6	2.35	0.36	OK
	41 (ELEM 35)	1.38E+04	6.39E+04	9.85E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.4	84.2	84.2	2.35	0.36	OK
	42 (ELEM 33)	1.77E+04	7.84E+04	8.09E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.8	69.2	69.2	2.35	0.29	OK
積付9	43 (ELEM 38)	1.56E+04	5.82E+04	1.21E+06	1.18E+04	1.17E+07	1.3	102.9	102.9	2.35	0.44	OK
	44 (ELEM 761 9)	1.58E+04	6.85E+04	1.02E+06	1.18E+04	1.17E+07	1.3	86.8	86.8	2.35	0.37	OK
	45 (ELEM 762 3)	1.55E+04	8.46E+04	9.63E+05	1.18E+04	1.17E+07	1.3	82.1	82.1	2.35	0.35	OK
	46 (ELEM 762 0)	1.59E+04	1.33E+05	1.08E+06	1.18E+04	1.17E+07	1.4	92.2	92.2	2.35	0.39	OK
	47 (ELEM 761 8)	1.93E+04	1.46E+05	9.07E+05	1.18E+04	1.17E+07	1.6	77.3	77.3	2.35	0.33	OK
積付10	48 (ELEM 762 3)	1.71E+04	1.38E+05	1.30E+06	1.18E+04	1.17E+07	1.4	110.8	110.9	2.35	0.47	OK
	49 (ELEM 761 9)	1.77E+04	1.37E+05	1.12E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.7	95.3	95.3	2.35	0.41	OK
	50 (ELEM 762 2)	1.67E+04	1.42E+05	1.06E+06	1.01E+04	1.17E+07	1.7	90.3	90.3	2.35	0.38	OK
	51 (ELEM 761 9)	1.28E+04	3.18E+04	7.54E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.3	64.5	64.5	2.35	0.27	OK
	52 (ELEM 761 7)	1.63E+04	4.70E+04	5.92E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.6	50.6	50.6	2.35	0.22	OK
積付11	53 (ELEM 762 3)	1.63E+04	4.51E+04	9.61E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.6	82.2	82.2	2.35	0.35	OK
	54 (ELEM 761 8)	1.47E+04	6.51E+04	7.92E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.5	67.7	67.7	2.35	0.29	OK
	55 (ELEM 36)	1.45E+04	7.35E+04	7.23E+05	1.01E+04	1.17E+07	1.4	61.8	61.8	2.35	0.26	OK

<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>
<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>

図 4.59 貨物艙の番号

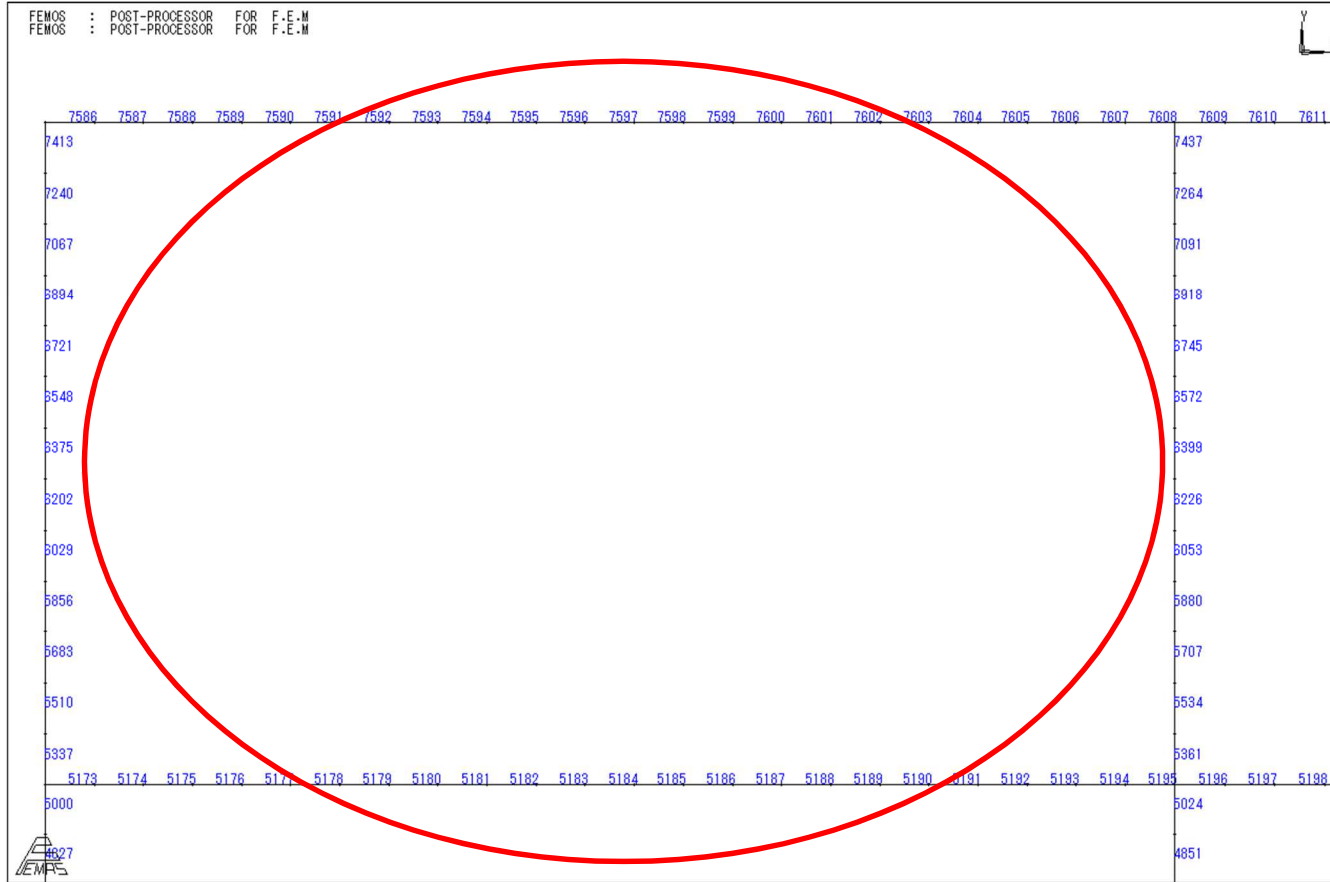


图 4.60 貨物艙拡大図(11)



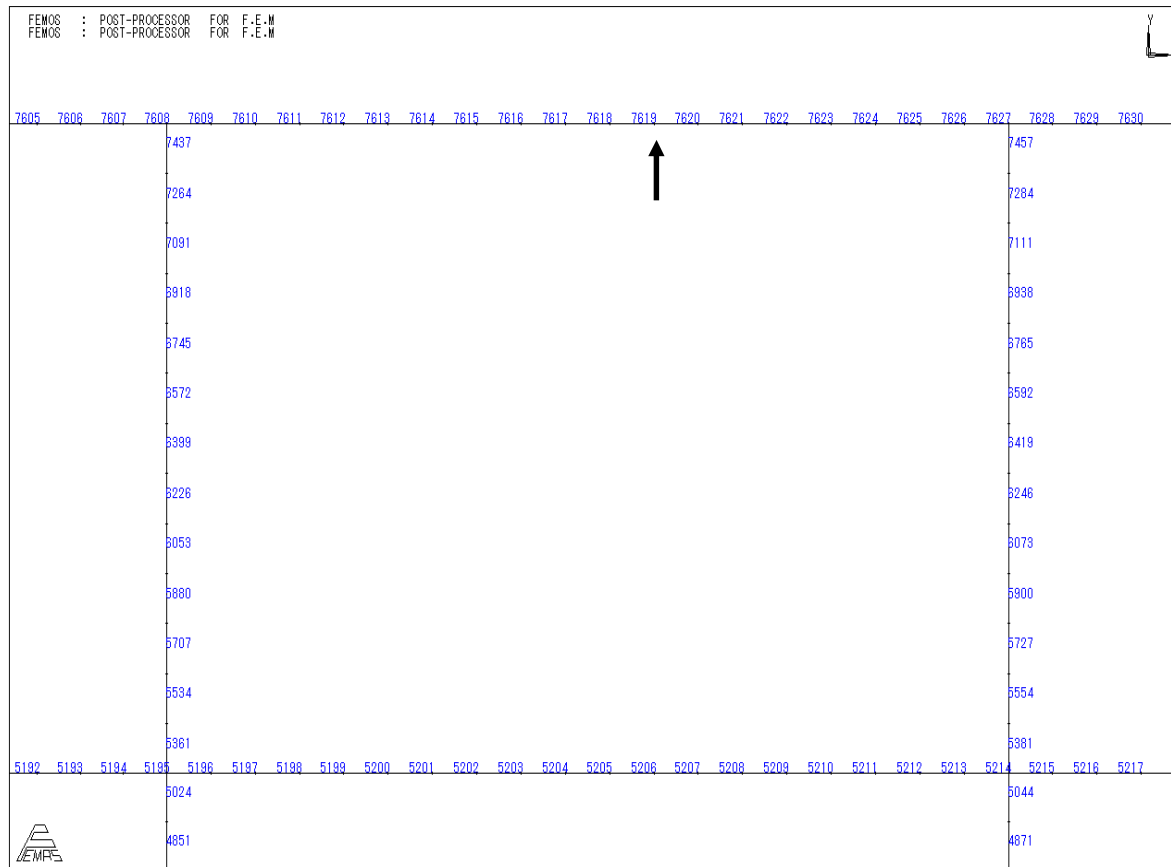


図 4.61 積付 1 の最大応力を示した要素配置図



図 4.62 積付 2 の最大応力を示した要素配置図

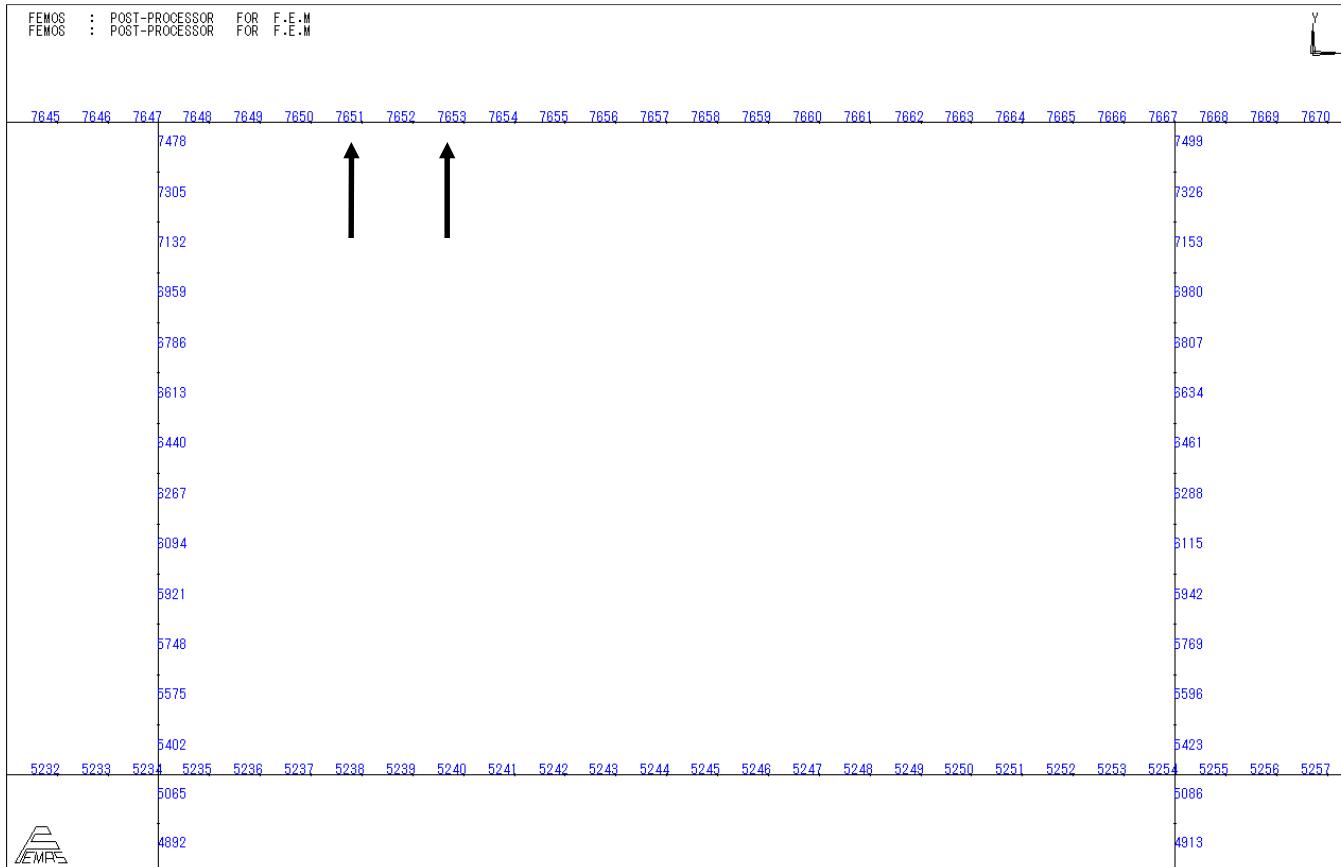


図 4.63 積付 3 の最大応力を示した要素配置図

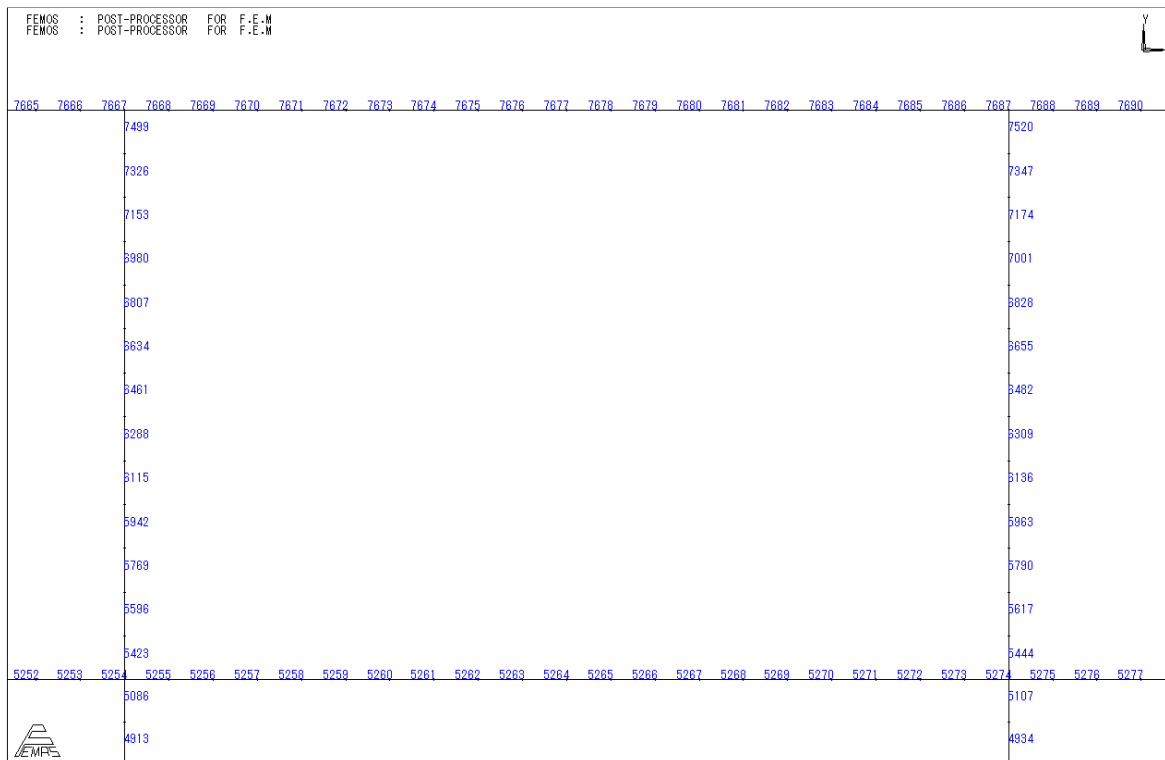


図 4.64 積付 4 の最大応力を示した要素配置図



図 4.65 積付 5 の最大応力を示した要素配置図

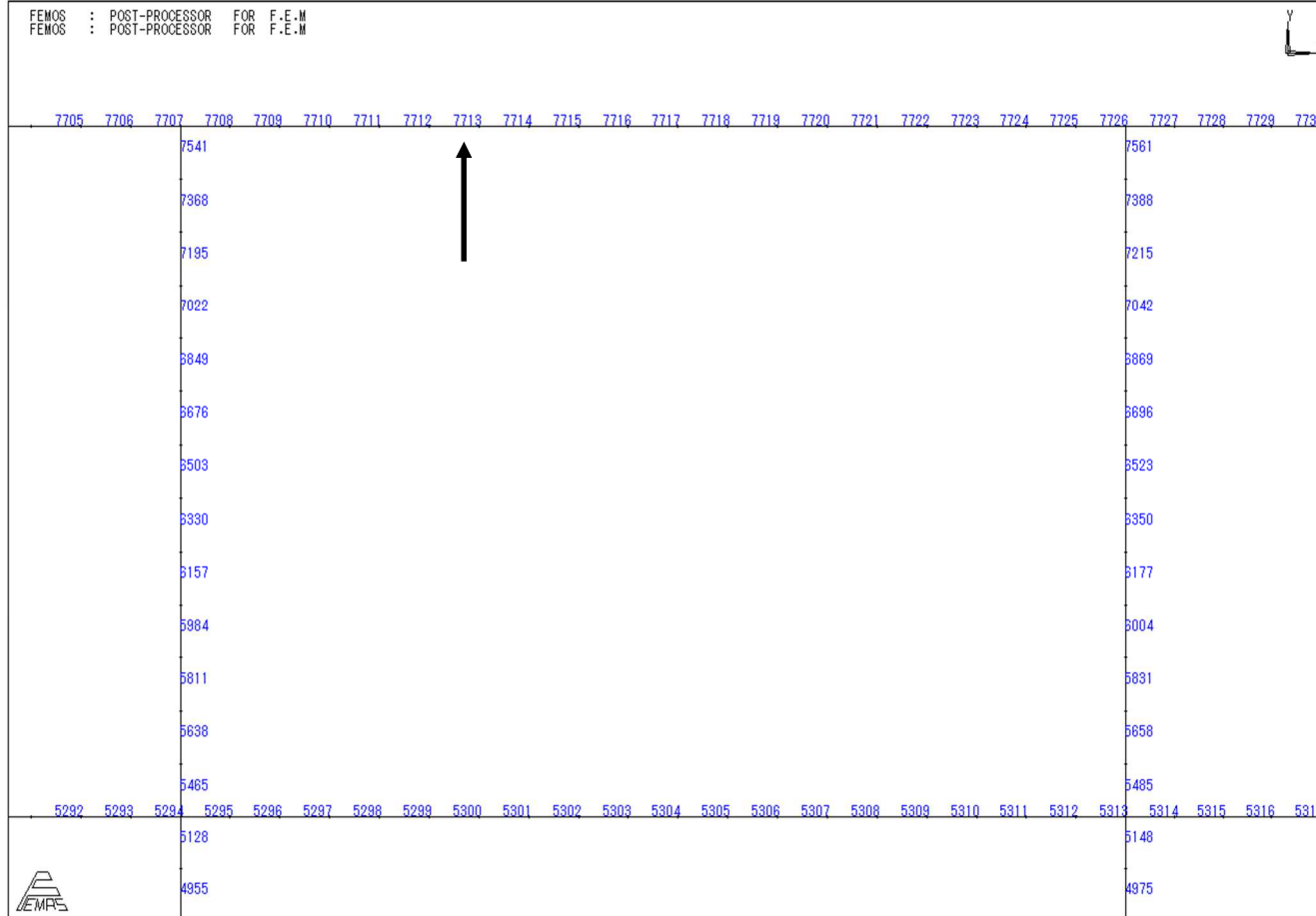


図 4.66 積付 6 の最大応力を示した要素配置図



図 4.67 積付 7 の最大応力を示した要素配置図

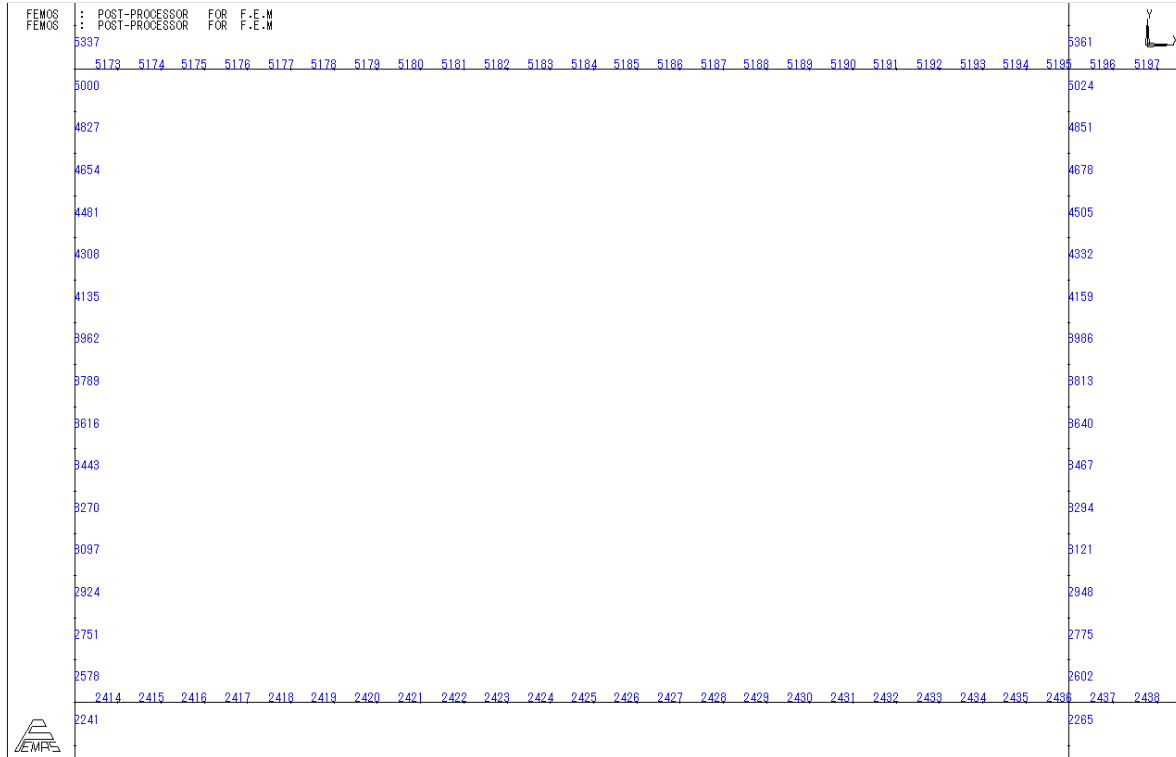


図 4.68 積付 8 の最大応力を示した要素配置図



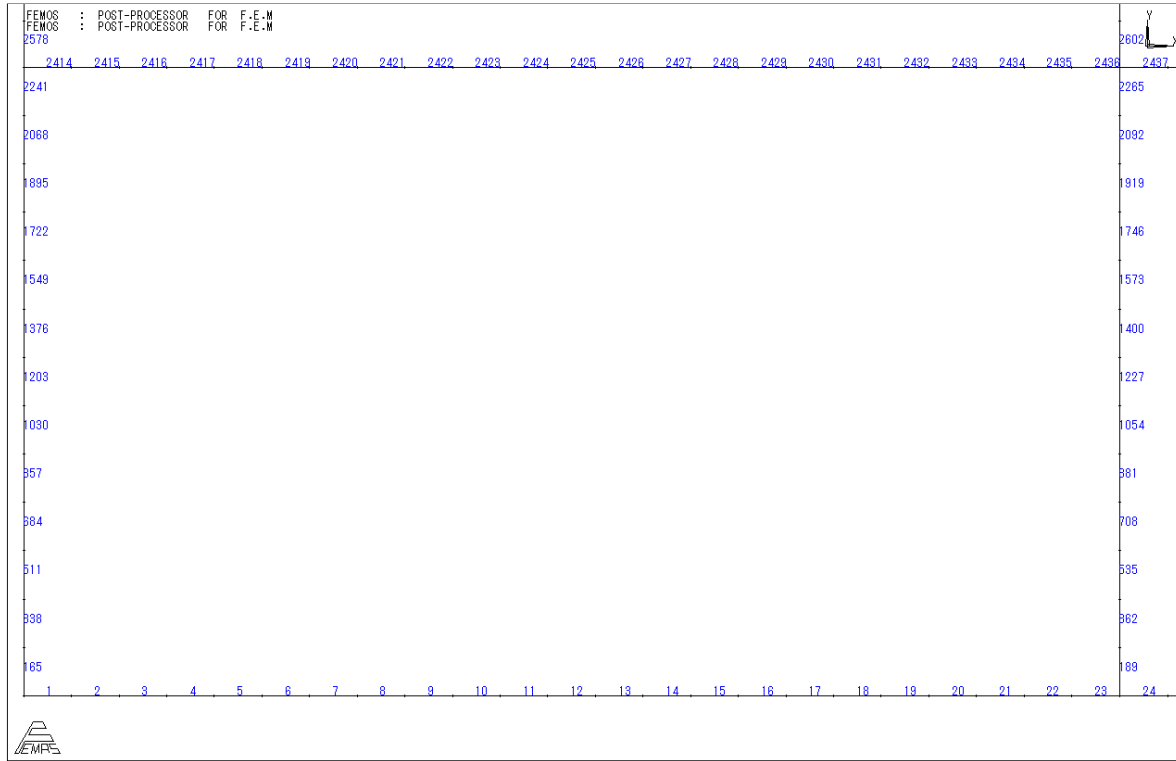


図 4.69 積付 9 の最大応力を示した要素配置図

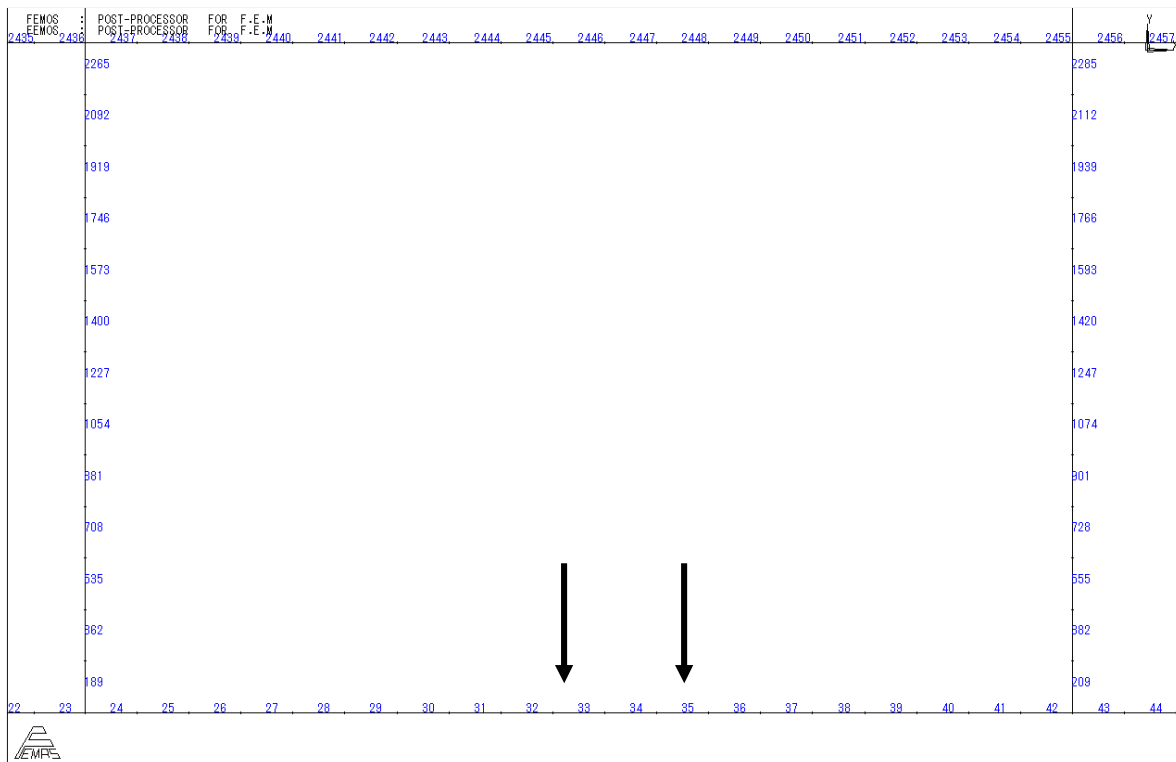


図 4.70 積付 10 の最大応力を示した要素配置図



#### 4.6.10 弾性応答解析による波浪応答解析

##### 1) 浮体全体の弾性応答特性の把握

弾性応答計算を実施する前にメガフロート研究の成果を整理して出版された「超大型浮体構造物の構造設計」を参照して、特性把握のための算定を行った。

##### 動的応答判定曲線

上記を参照して動的応答判定曲線について概算する。

石炭浮体の  $EI$  は第 3 章に記載している全体剛性から長さ方向に対しては

$$I_y = 481,420,404.0 \text{ [mm}^2 \times \text{m}^2]$$

$$E = 2.0 \times 10^4 \text{ [kg/mm}^2]$$

$$EI_y = 9.63 \times 10^9 \text{ [tf} \cdot \text{m}^2]$$

$$ed = EI/B \div (D^2 L^2) = 12.3 > 3$$

上記結果からは明らかに剛体運動が卓越すると推定されるが、特殊な桁構造である浮体構造の  $EI$  の算定にはかなり無理に平準化しおておりこれだけでは結論を出すのは少し無理があると思われる。

##### 特性距離の算定 (p45~47 参照)

$$\lambda_q = 2\pi/k_p = 2\pi \sqrt[4]{EI/k_c} \quad (4.6.10-1)$$

$$k_c = \rho_w g B \quad (4.6.10-2)$$

ただし、 $\lambda_q$ : 特性距離 [m],  $k_p$ : 特性波数,  $k_c$ : 浮体の単位長さあたりのばね定数  
 $\rho_w$ : 海水密度 [kN/m<sup>3</sup>],  $g$ : 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>],  $B$ : 浮体幅 [m]

そこで、上記諸概略計算からメガフロートの弾性応答に関する一般特性をメガフロート技術研究組合がグラフに表した「メガフロートの基本特性」より石炭浮体に適用できそうな 3 つのグラフを下記に示し考察する。

##### 2) 使用するプログラムの概要

本研究では前田・居駒の周波数応答プログラムを適用した。プログラムの概要を以下に示す。

定常波漂流力は、運動理論によって得られ、コチン関数は次の式により定義される。

$$H_i(k, \theta) = \iint_{SH} p_i e^{-ik(x \cos \theta + y \sin \theta)} ds \quad (4.6.10-3)$$

ここでのサブスクリプトの  $i$  は解析成分または発散成分を表す。弾性挙動の場合、全定常波漂流力は、弾性挙動の完全なモードの合計を表し、入力波のための力である。

$$A(k, \theta) = H_D(k, \theta) + \sum_{r=1}^N q_r H_r(k, \theta) \quad (4.6.10-4)$$

式(4.6.10-4)を用いて定常波漂流力は次の 2 つの方程式から得られる。

$$F_{zii} = \rho_w g a^2 \frac{K \cdot k}{4\pi} \bar{k} \int_0^{2\pi} |A(k, \phi)|^2 (\cos \theta - \cos \phi) d\phi \quad (4.6.10-5)$$

$$F_{yiii} = \rho_w g a^2 \frac{K \cdot k}{4\pi} \bar{k} \int_0^{2\pi} |A(k, \phi)|^2 (\sin \theta - \sin \phi) d\phi \quad (4.6.10-6)$$

ただし,  $a$ : 振幅 [m],  $k$ : 波数

$$\bar{k} \begin{cases} K/2 \dots \dots \dots \text{for deep water} \\ \frac{hcosh^2 kh}{2kh + 2sinhkh} \dots \dots \dots \text{for shallow water} \end{cases} \quad (4.6.10-7)$$

とする.

### 3) 構造のモデル化

石炭浮体は, 浮体上に石炭を区分けする隔壁を有し, 部分ごとに剛性や重量分布が異なる構造となる. しかし本研究では先ず全体的な応答特性の把握に努めることを目的としているため, 石炭浮体を一様平板としてモデル化し解析を行う. 実構造物の一様平板へのモデル化は, 双方のモデルの曲げ剛性を一致させることで実施する. 浮体の断面形状から計算される実構造の断面二次モーメントを  $I$ , 鉄のヤング係数を  $E$ , 一様平板のモデルの断面二次モーメント  $I'$  とすると(4.6.10-8)式より等価ヤング係数  $E'$  が算出される.

$$E' I' = EI \quad (4.6.10-8)$$

モデルの計算条件を表 4.22 に示す.

表 4.22 モデルの計算条件

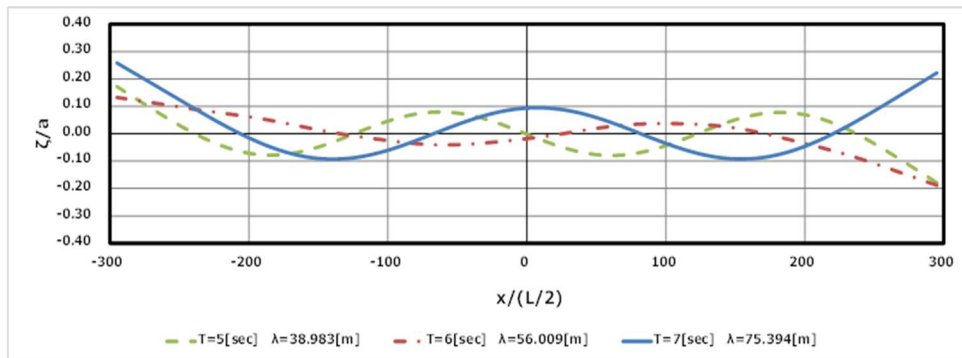
鉄のヤング係数 : $E$ [N/m <sup>2</sup> ]	2.06×10 <sup>11</sup>
実構造の断面二次モーメント : $I$ [m <sup>4</sup> ]	4.81×10 <sup>2</sup>
一様平板の断面二次モーメント : $I'$ [m <sup>4</sup> ]	4.5×10 <sup>4</sup>
等価ヤング係数 : $E'$ [N/m <sup>2</sup> ]	2.20×10 <sup>9</sup>
ポアソン比	0.300

実構造の断面二次モーメントは図 4.38 より, 一様平板の断面二次モーメントは構造高さを 15.0m として算出した. ここで得た等価な  $E'$  を用い, 具体的に一様平板へモデル化を行う.

### 4) 解析結果のグラフ表示

- 4.1) 浮体の中心線の, 波周期および浮体の喫水(重量)を変化させた場合の変形モード(瞬時値)を下記に示す. 水深は 30.0m のケース. 波の位相は浮体端部が最大変位を示す位置とした.

1. 喫水(2.0m)



2. 喫水(10.0m)

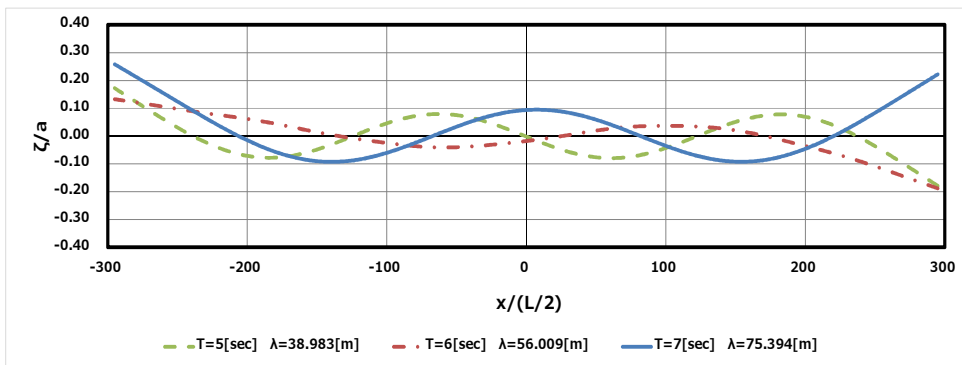
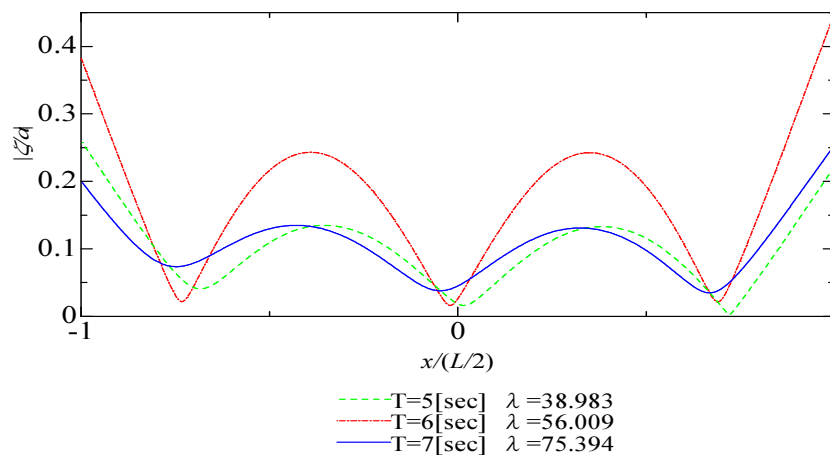


図 4.72 浮体中心線の変形モード

4.2) 浮体中心線の波周期，喫水毎の鉛直変位応答の計算結果

2.0m(浮体重量 188,800t) 各周期の鉛直変位応答分布



4.0m(浮体重量 : 377,600t) 各周期の鉛直応答分布

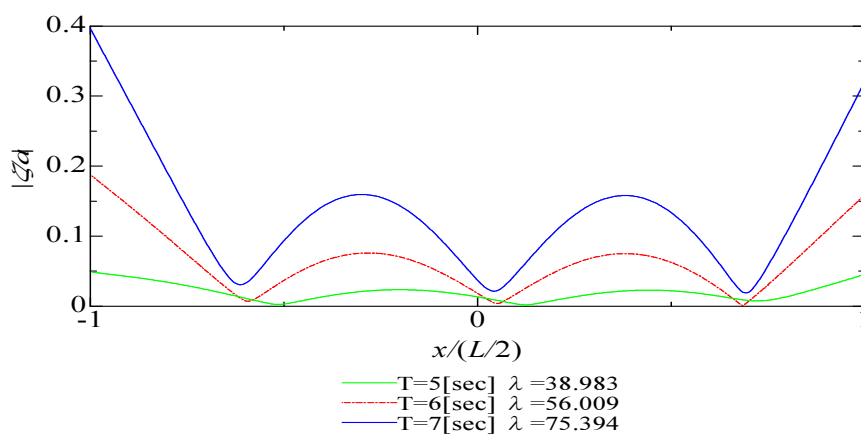


図 4.73 浮体中心線の鉛直変位応答分布

4.3) 縦方向規則波を受ける石炭浮体, 浮体中心線上の波周期, 喫水毎の曲げモーメントの応答分布を下記に示す. 水深は 30.0m とした.

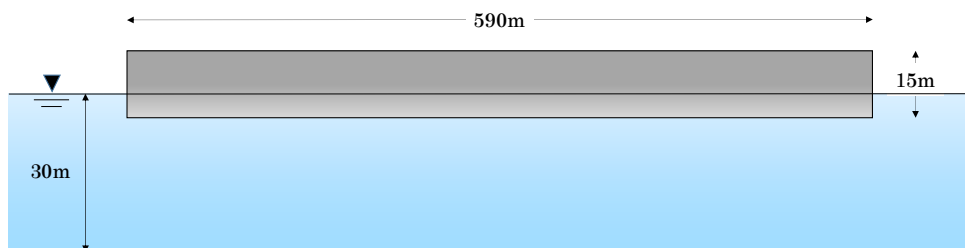
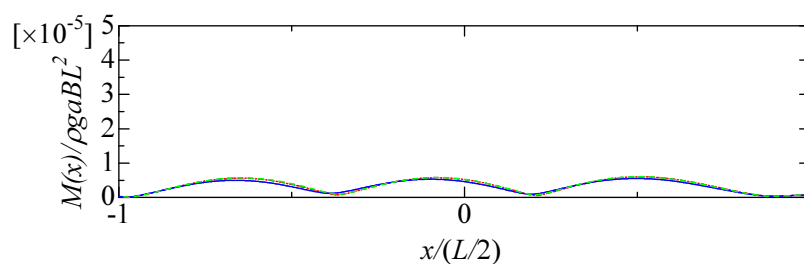
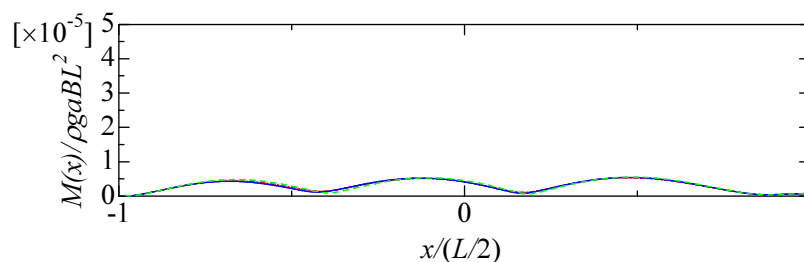


図 4.74 縦方向規則波を受ける石炭浮体

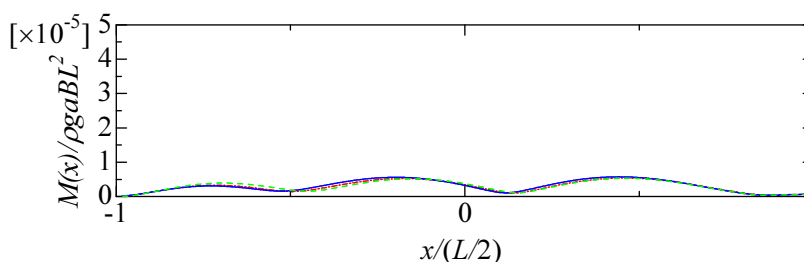
2.0m(浮体重 : 188,800t) 各周期のモーメント分布



- - - T=5.0[sec] L/λ = 15.135 λ = 38.983  
 ——— T=5.1[sec] L/λ = 14.548 λ = 40.556  
 - - - T=5.2[sec] L/λ = 13.995 λ = 42.158

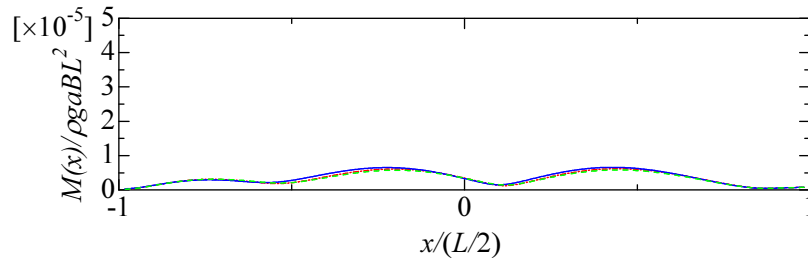


- - - T=5.3[sec] L/λ = 13.473 λ = 43.791  
 ——— T=5.4[sec] L/λ = 12.981 λ = 45.453  
 - - - T=5.5[sec] L/λ = 12.515 λ = 47.144

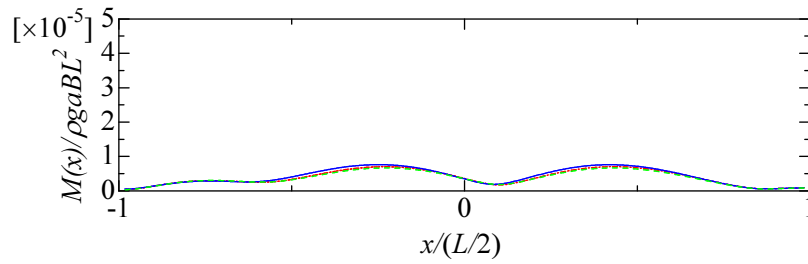


- - - T=5.6[sec] L/λ = 12.075 λ = 48.863  
 - - - T=5.7[sec] L/λ = 11.658 λ = 50.610  
 ——— T=5.8[sec] L/λ = 11.263 λ = 52.384

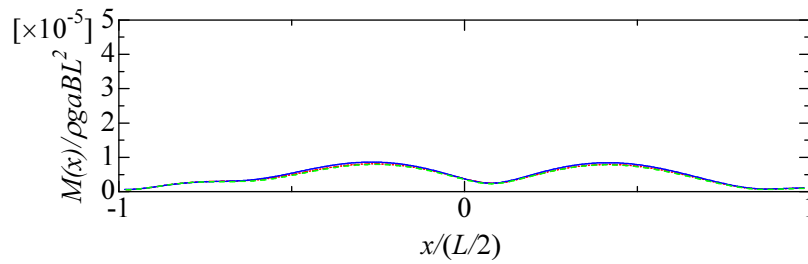




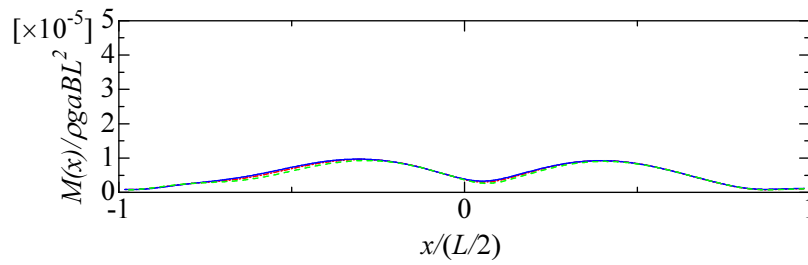
- - - T=5.9[sec] L/λ = 10.889 λ = 54.184  
 - - - T=6[sec] L/λ = 10.534 λ = 56.009  
 — T=6.1[sec] L/λ = 10.197 λ = 57.858



- - - T=6.2[sec] L/λ = 9.878 λ = 59.731  
 - - - T=6.3[sec] L/λ = 9.574 λ = 61.625  
 — T=6.4[sec] L/λ = 9.285 λ = 63.540



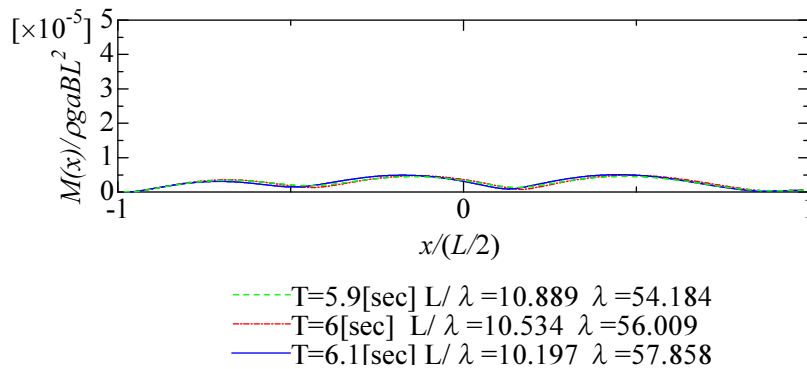
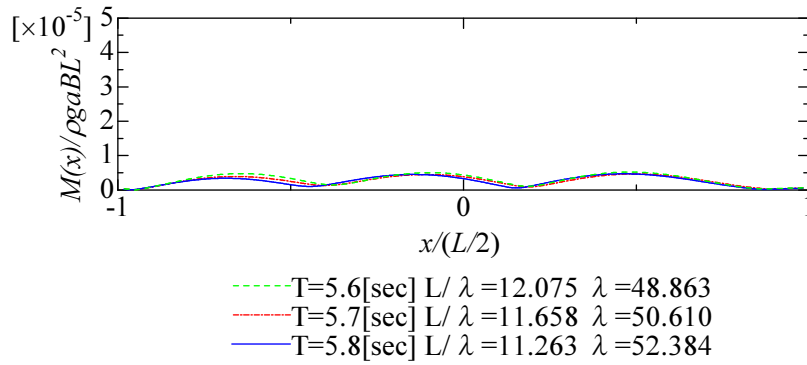
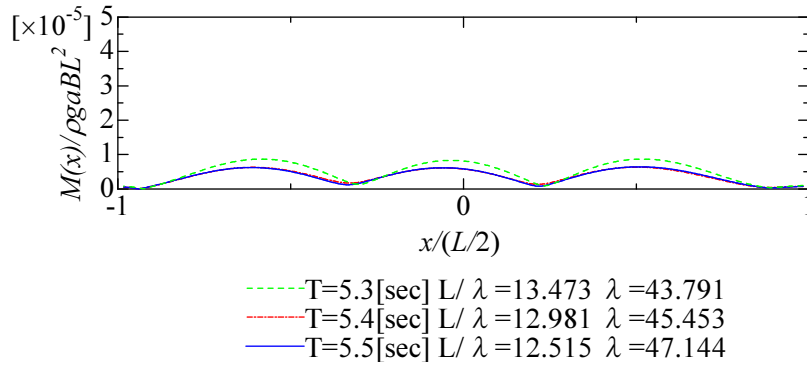
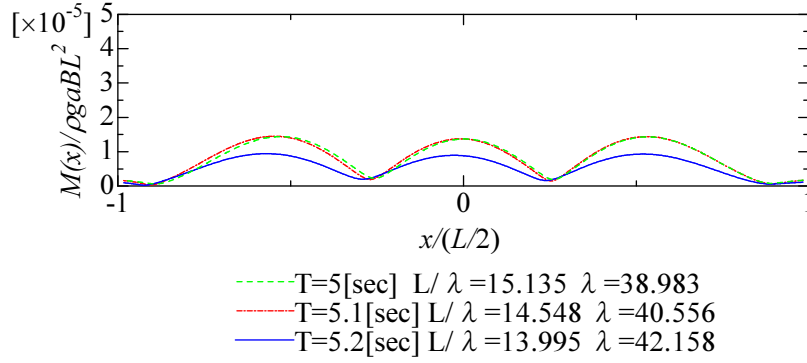
- - - T=6.5[sec] L/λ = 9.011 λ = 65.475  
 - - - T=6.6[sec] L/λ = 8.750 λ = 67.428  
 — T=6.7[sec] L/λ = 8.502 λ = 69.398



- - - T=6.8[sec] L/λ = 8.265 λ = 71.383  
 - - - T=6.9[sec] L/λ = 8.040 λ = 73.382  
 — T=7[sec] L/λ = 7.826 λ = 75.394

図 4.75 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(1)

4.0m(浮体重量 : 377,600 t) 各周期のモーメント分布



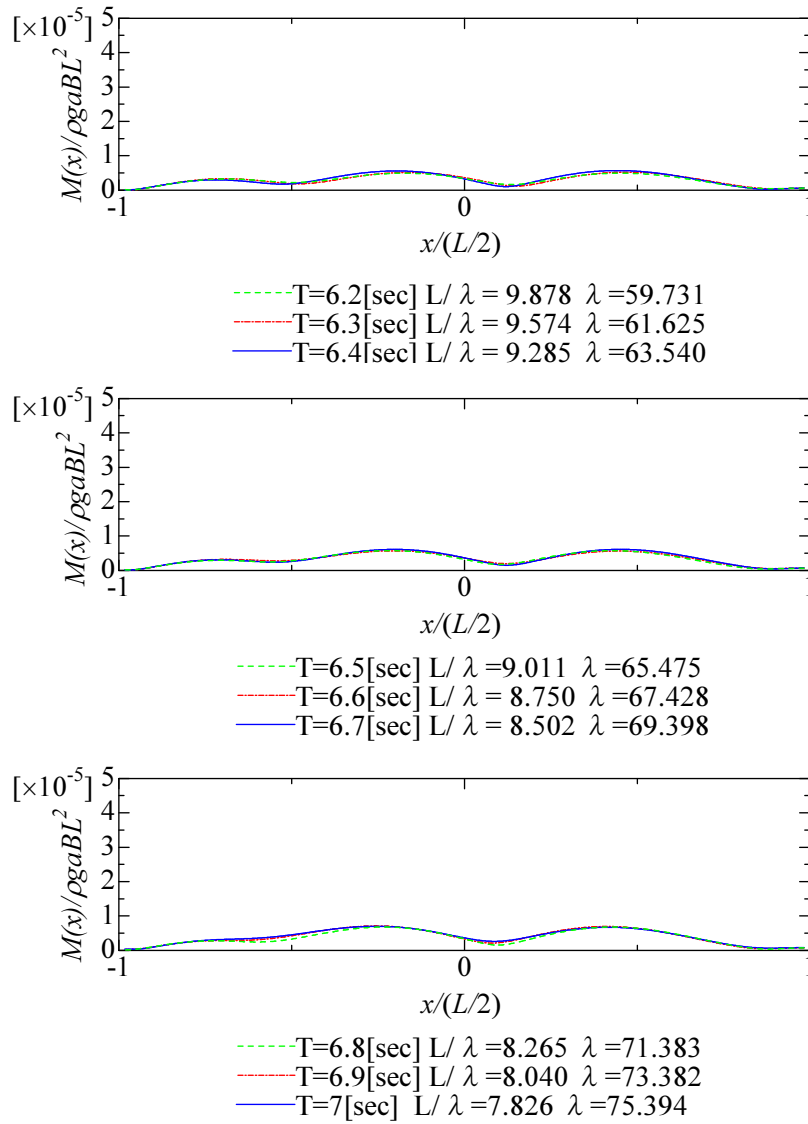
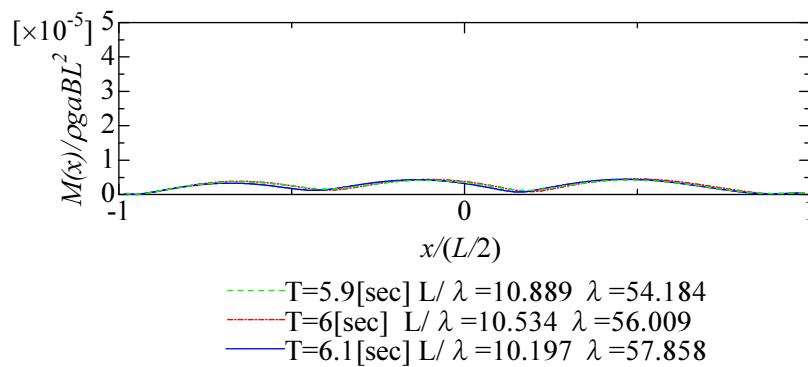
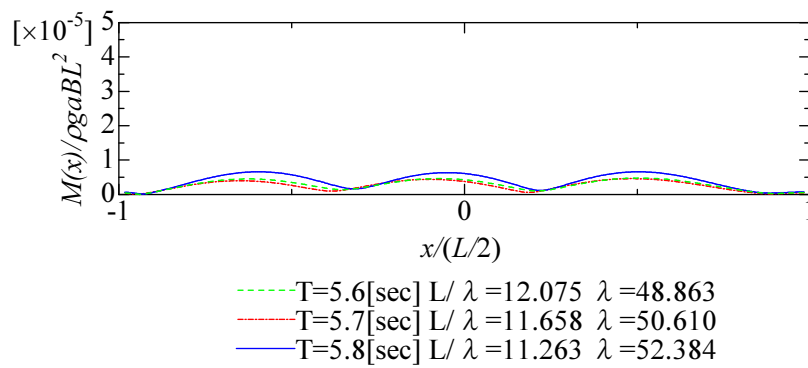
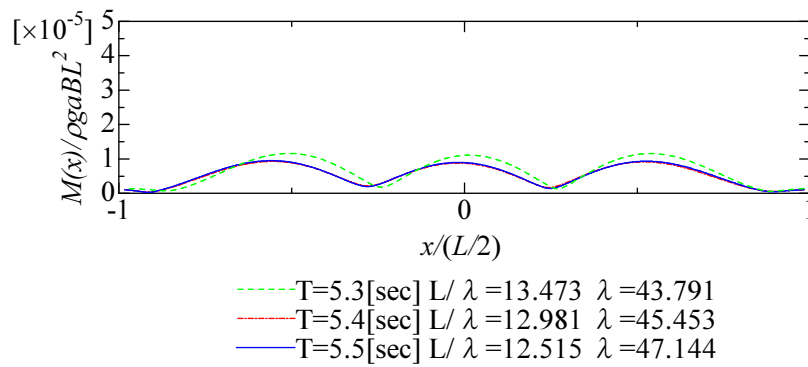
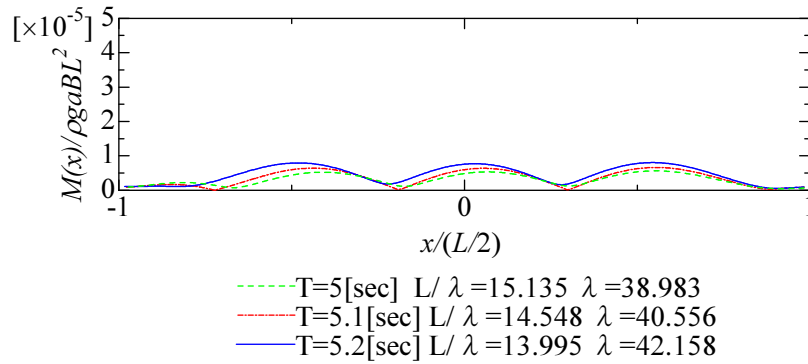


図 4.76 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(2)

6.0m(浮体重量 : 566,400t) 各周期のモーメント



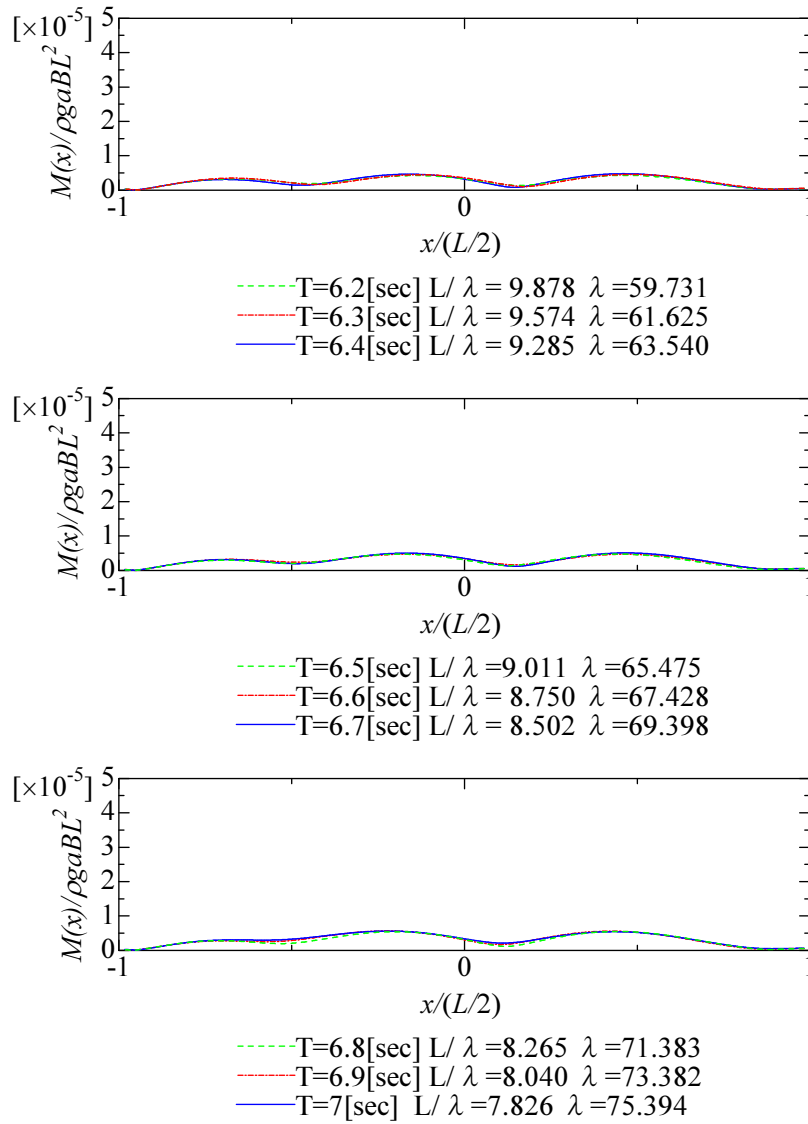
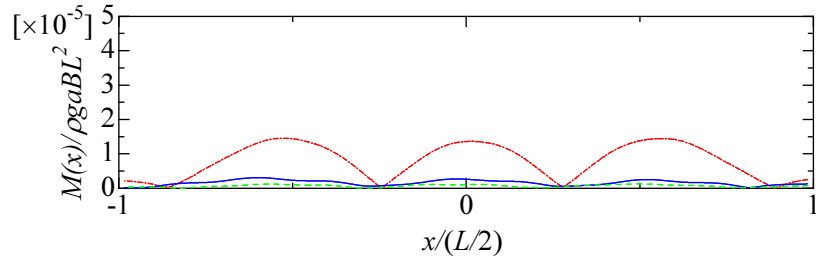
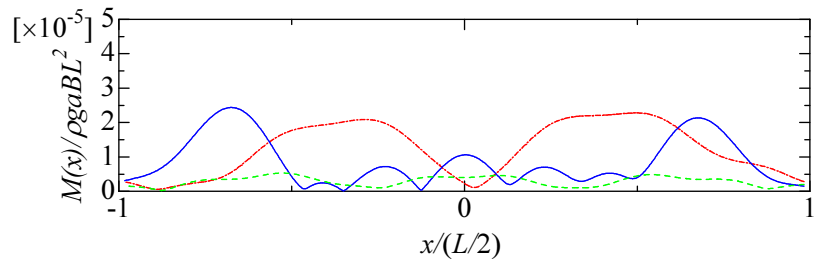


図 4.77 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(3)

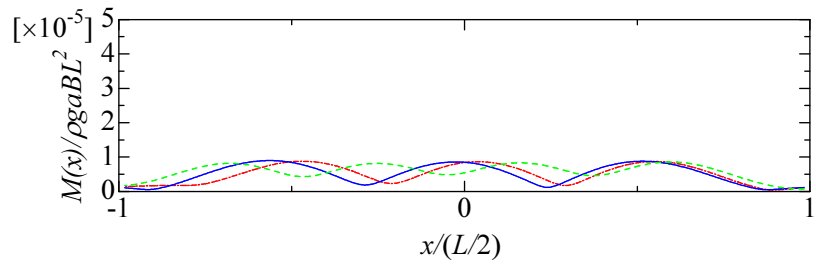
8.0m(浮体重量 : 755,200t) 各周期のモーメント分布



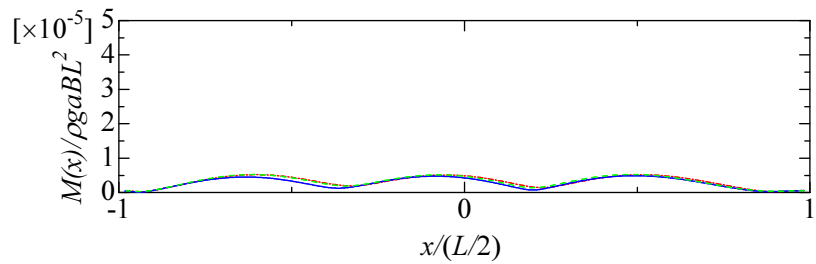
- - - T=5[sec] L/λ=15.135 λ=38.983  
 - · - T=5.1[sec] L/λ=14.548 λ=40.556  
 — T=5.2[sec] L/λ=13.995 λ=42.158



- - - T=5.3[sec] L/λ=13.473 λ=43.791  
 - · - T=5.4[sec] L/λ=12.981 λ=45.453  
 — T=5.5[sec] L/λ=12.515 λ=47.144



- - - T=5.6[sec] L/λ=12.075 λ=48.863  
 - · - T=5.7[sec] L/λ=11.658 λ=50.610  
 — T=5.8[sec] L/λ=11.263 λ=52.384



- - - T=5.9[sec] L/λ=10.889 λ=54.184  
 - · - T=6[sec] L/λ=10.534 λ=56.009  
 — T=6.1[sec] L/λ=10.197 λ=57.858

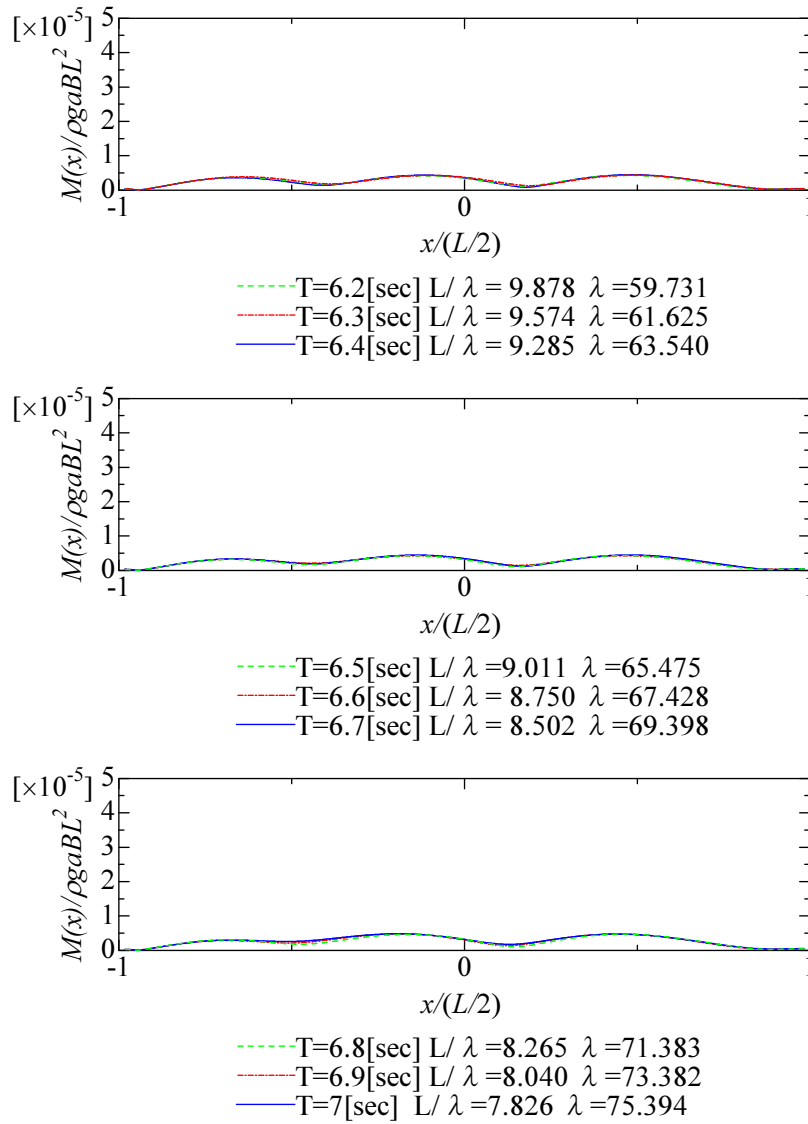
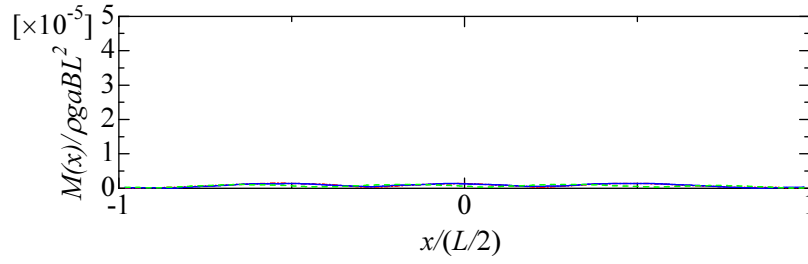
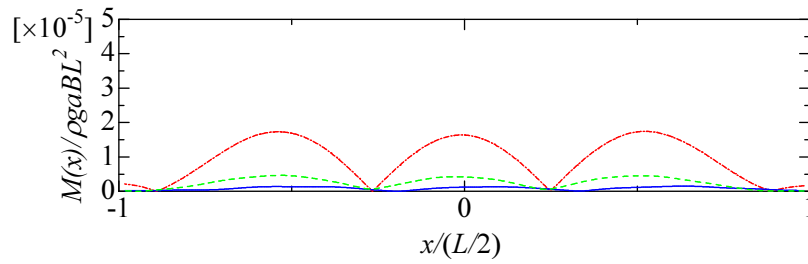


図 4.78 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(4)

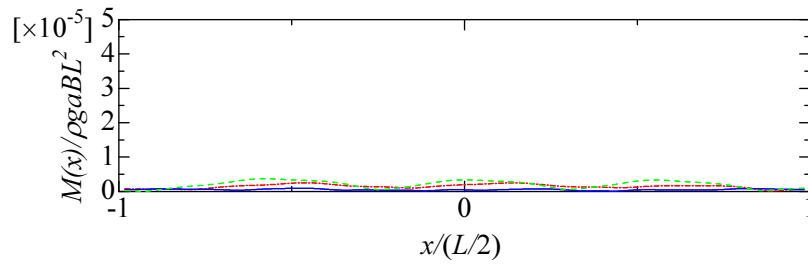
10.0m(浮体重量：944,000t) 各周期のモーメント分布



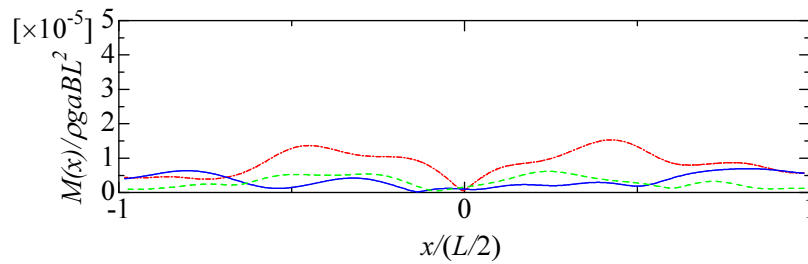
--- T=5[sec]  $L/\lambda = 15.135$   $\lambda = 38.983$   
 --- T=5.1[sec]  $L/\lambda = 14.548$   $\lambda = 40.556$   
 --- T=5.2[sec]  $L/\lambda = 13.995$   $\lambda = 42.158$



--- T=5.3[sec]  $L/\lambda = 13.473$   $\lambda = 43.791$   
 --- T=5.4[sec]  $L/\lambda = 12.981$   $\lambda = 45.453$   
 --- T=5.5[sec]  $L/\lambda = 12.515$   $\lambda = 47.144$



--- T=5.6[sec]  $L/\lambda = 12.075$   $\lambda = 48.863$   
 --- T=5.7[sec]  $L/\lambda = 11.658$   $\lambda = 50.610$   
 --- T=5.8[sec]  $L/\lambda = 11.263$   $\lambda = 52.384$



--- T=5.9[sec]  $L/\lambda = 10.889$   $\lambda = 54.184$   
 --- T=6[sec]  $L/\lambda = 10.534$   $\lambda = 56.009$   
 --- T=6.1[sec]  $L/\lambda = 10.197$   $\lambda = 57.858$



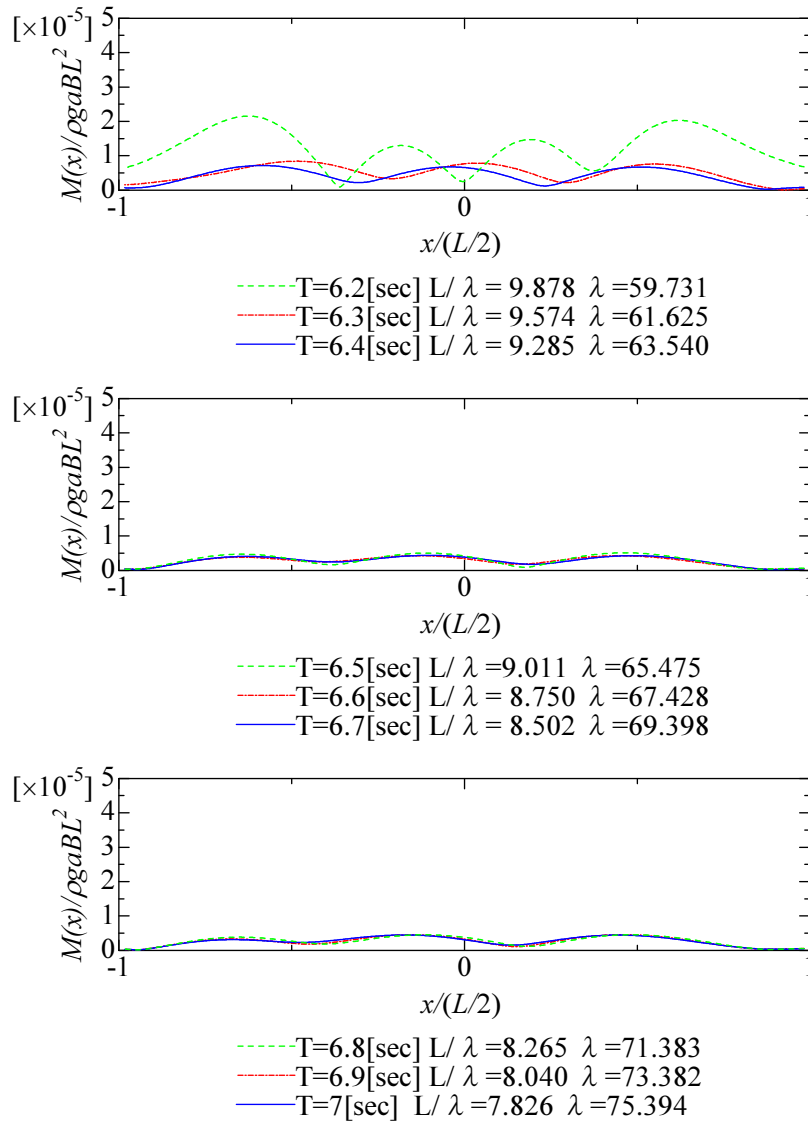


図 4.79 浮体中心上の曲げモーメント応答分布(5)

4.4) 浮体中心点での喫水毎, 波周期毎の最大曲げモーメント振幅(単位波振幅当り)

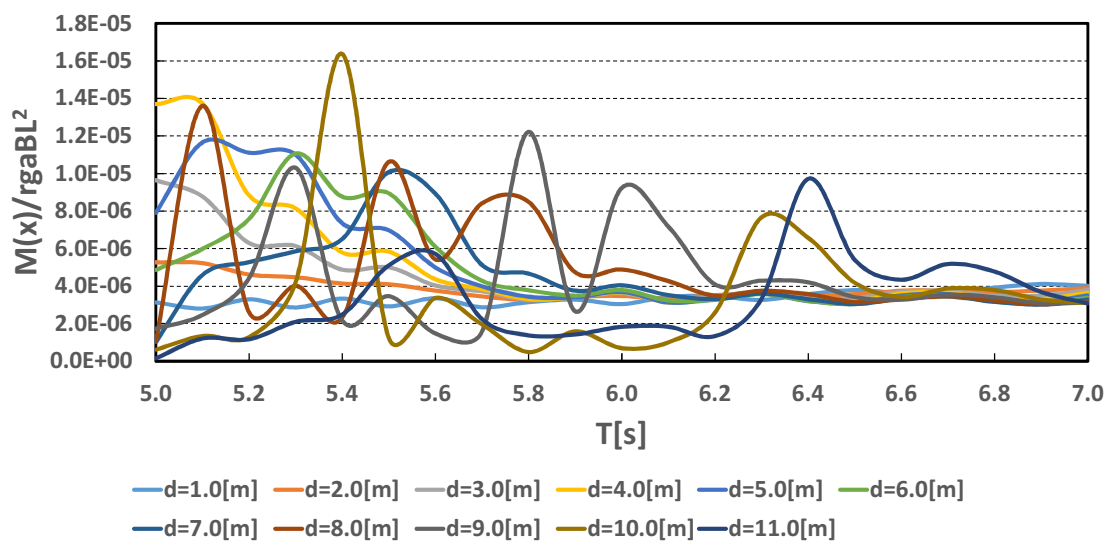


図 4.80 浮体中心点の喫水毎, 波周期毎の曲げモーメント分布

図 4.80 は単位波振幅当たりの値であるが, 周期毎に想定される最大波高を適用すると下図のようになる. 周期が長い(大きい)波で最大曲げモーメントが発生するとは限らないことに注意が必要である. 即ち海域の最大波高が発生する波条件だけで解析しても安全とは言えないことである. 特に喫水が深くなり, 即ち積載重量が大きくなるにつれ短周期の波にも同調する場合が出てくる可能性もあるので, 作業中の様々な石炭積載状態について弾性応答解析をして最も危険な状態を把握しておく必要がある.

4.5) 海域での波周期毎の予想最大波高に対する曲げモーメントの応答分布  
(浮体中心点)

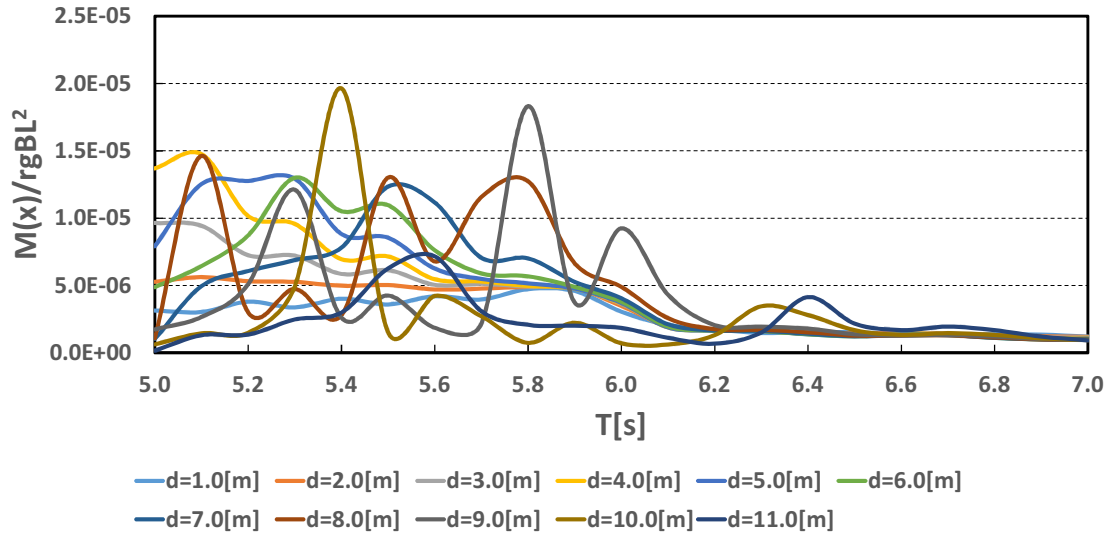


図 4.81 浮体中心点の喫水毎，各波周期の最大波高に対する曲げモーメント分布

今回設定した周期帯の範囲では低周期で重量変化に伴うモーメントに差が見られたが高周期になるにつれて一定値に収束している。曲げモーメントは当然のことながら，変位応答の曲率の大きい部分で高い値を示しており，この曲げモーメントと浮体の断面二次モーメントより  $\sigma = M / (I/y)$  式で応力を算出する。ここで最大波高と周期の関係から(喫水: 10.0m) で  $T=5.4s$  のときの波高を 6.42m として応力計算を行うと，石炭を区分けする隔壁の上部で最大応力振幅  $4.623N/mm^2$  が得られ，通常使用される鋼材の許容応力度を満足する結果となり，今回検討した計算条件の範囲内では十分な強度を有していることが確認された。ただし最終的には静水中での初期応力を重ね合わせての評価が必要である。

#### 4.6) 浮体中央部付近の弾性応答状態

石炭浮体は、長手方向に 4 本の逆 T 字型梁モデルで構成されていると考えられるが、流力弾性応答状態とは底板を含む外板と海水の相互干渉の結果の運動と考えて、石炭浮体を等価な剛性を持つ一様平板としてモデル化している。流体力と平板の運動が曲げモーメントを発生させている。浮体中央部(x=-70.0m)の縦曲げモーメントの横方向断面の応答分布図（周期 T=7.0sec，喫水 d=2.0m の縦方向規則波・単位振幅波当り，単位幅長さ当り）を下図に示す。弾性応答計算を使った一様平板モデルの中立軸の位置と全体の断面 2 次モーメントを使って概略の上甲板および底板の表面応力を求める。

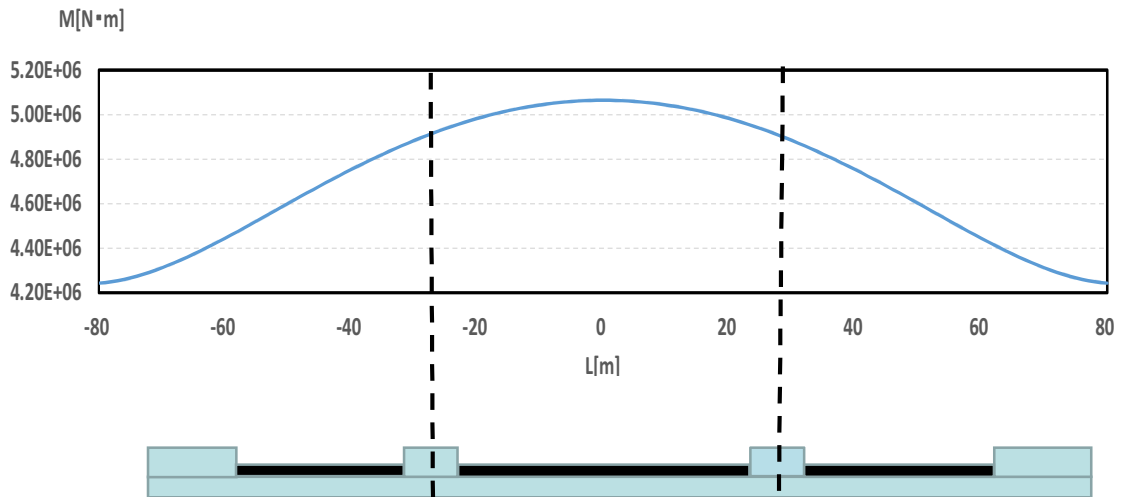


図 4.82 x=-70m 横断面縦曲げモーメント

（全体としてのモーメント合計値： $7.885 \times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}$ ，波高 4.0m の場合はこの 2 倍）

上甲板表面と底板の推定応力（周期 T=7.0sec，喫水 d=2.0m の縦方向規則波による単位振幅波当り）を(4.6.10-9)式により求め，図 4.83 に示す。

$$\sigma = \frac{M \cdot \eta}{I} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (4.6.10-9)$$

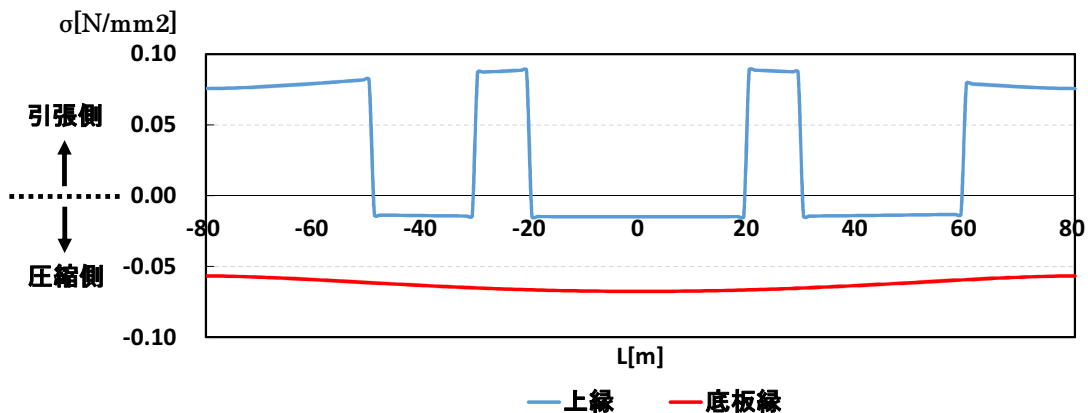


図 4.83 横断面応力分布図

以上のことから、計算コストのかかる弾性応答・構造解析プログラムを使用せずに概略応力を推定できるため浮体を計画する際の大きな力になると思われる。

#### 4.6.11 2つの解析結果の比較と評価

##### 1) 全体的な変形モード形状

NASTRAN の結果の方が当然であるが大きく出ている。弾性応答効果を考慮していない単なる浮力バネを入力しているためである。しかし、構造の入力はかなり精度が上がっているの波のない平水中の荷重による変形と応力を把握するに便利である。

##### 2) 曲げモーメントと応力

これも同じく NASTRAN の方が大きく出ている。弾性応答解析では構造を一様平板モデルに等価変換しての解析ではあるが、喫水が大きく（積載重量が重くなる）なると上下変形は小さくなるが変形モードも短くなる。

積載重量の効果により運動しにくくなるが変形の形状も小さく（短く）なっている。今回は一様荷重での応答振幅分布の検討のみであるので、最終的な応力評価は静水中での偏荷重分布による初期応力も重ね合わせて評価する必要がある。NASTRAN 計算では荷重の組合せ表で示している波無しの場合がこの状態である。従って設計段階では NASTRAN による解析と弾性応答弾性応答解析（一様平板モデル）の双方を行い、結果を重ね合わせて評価する必要がある。弾性応答解析で応力振幅が小さいから安心してはいけない。設計段階ではかなり詳細な解析を行ってさらに安全性を確認する検討作業が必要である。

##### 3) 横断方向の曲げモーメント分布の比較と応力評価

等価一様平板モデルでの弾性応答状態の曲げモーメント分布は図 4.85 に示す通りであるが、これは格子状の隔壁が配置された構造特性は反映していない。即ち格子状の縦隔壁のある部分は当然大きな曲げモーメントを受け持ち、その他の部分は負担が軽い筈である。そこで全体構造を梁とシェルでモデル化して NASTRAN での曲げモーメント分布を求めて比較した。その状態を下記に示す。

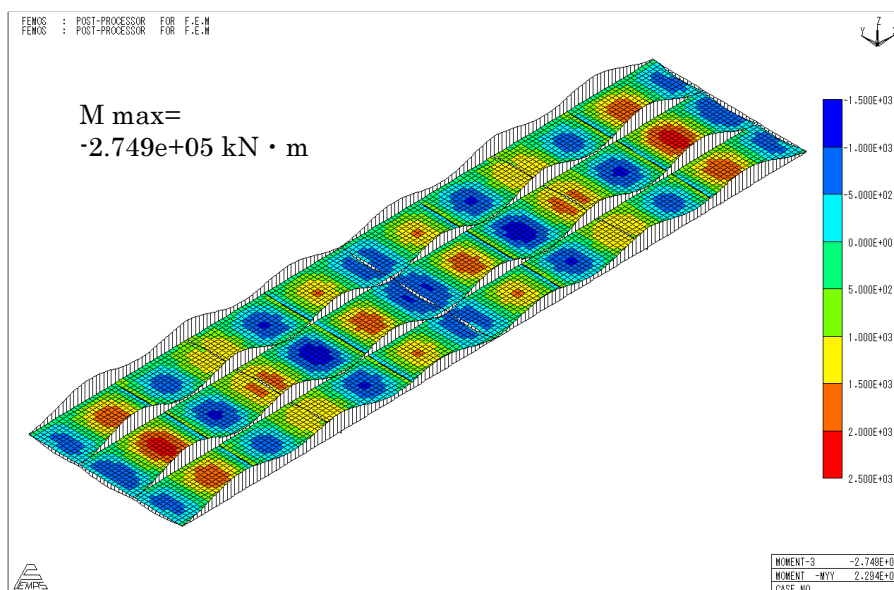


図 4.84 NASTRAN での荷重・応力図

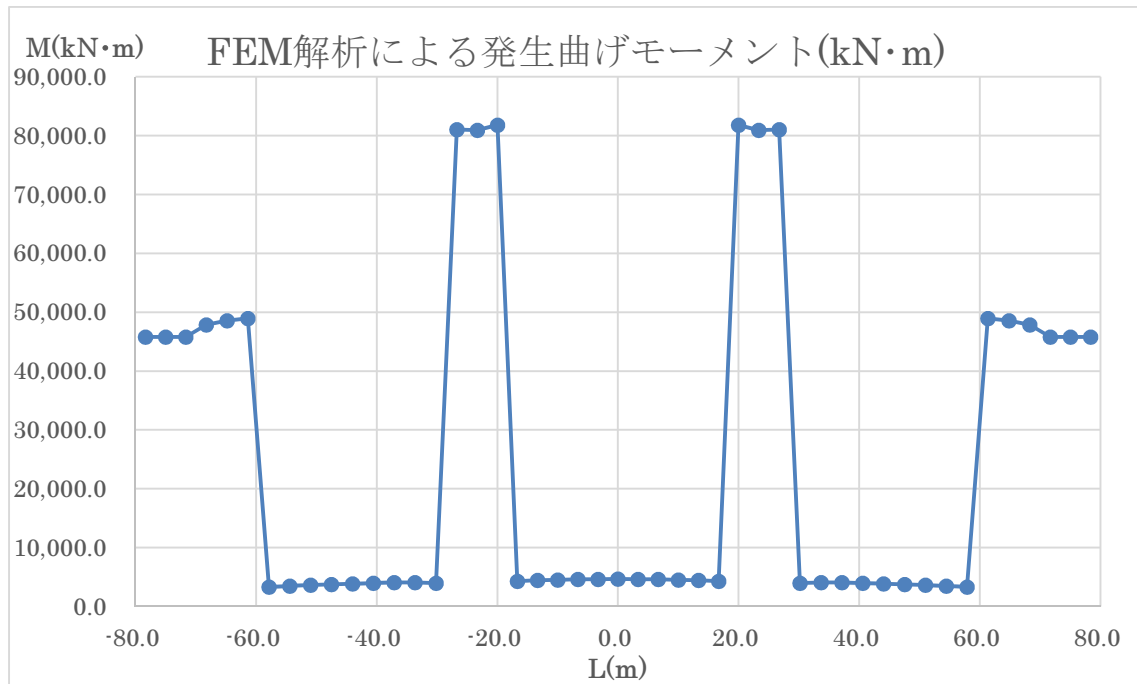


図 4.85 縦曲げモーメントの横断方向分布

(全体では  $1.17 \times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ , 図 4.82 に比べ桁違いに大きくなっている.)

表 4.23 曲げモーメントデータ

発生モーメント (kN・m)								
2.749E+05	20	m						
2.333E+05	10	m						
2.333E+05	10	m						
2.749E+05	20	m						
発生モーメント (kN・m)						梁要素+板要素の曲げモーメント (グラフ作成用データ)		
発生値①	発生値②	平均	要素長	板1要素あたり のモーメント	梁要素分	座標	合計	
FEMLEEG出力 (kN・m/m)	FEMLEEG出力 (kN・m/m)	(kN・m/m)	(m)	(kN・m)	(kN・m)	(m)	(kN・m)	
			3.33333		4.582E+04	-78.333	4.582E+04	
			3.33333		4.582E+04	-75.000	4.582E+04	
			3.33333		4.582E+04	-71.667	4.582E+04	
6.14E+02	5.79E+02	5.97E+02	3.46150	2.065E+03	4.582E+04	-68.269	4.788E+04	
8.33E+02	7.54E+02	7.94E+02	3.46159	2.747E+03	4.582E+04	-64.808	4.856E+04	
9.39E+02	8.59E+02	8.99E+02	3.46150	3.112E+03	4.582E+04	-61.346	4.893E+04	
1.00E+03	9.26E+02	9.63E+02	3.46160	3.334E+03		-57.885	3.334E+03	
1.05E+03	9.80E+02	1.02E+03	3.46150	3.513E+03		-54.423	3.513E+03	
1.09E+03	1.03E+03	1.06E+03	3.46150	3.669E+03		-50.962	3.669E+03	
1.13E+03	1.06E+03	1.10E+03	3.46159	3.790E+03		-47.500	3.790E+03	
1.16E+03	1.09E+03	1.13E+03	3.46150	3.894E+03		-44.038	3.894E+03	
1.19E+03	1.12E+03	1.16E+03	3.46150	3.998E+03		-40.577	3.998E+03	
1.22E+03	1.14E+03	1.18E+03	3.46160	4.085E+03		-37.115	4.085E+03	
1.23E+03	1.14E+03	1.19E+03	3.46149	4.102E+03		-33.654	4.102E+03	
1.20E+03	1.11E+03	1.16E+03	3.46156	3.998E+03		-30.192	3.998E+03	
9.56E+02	9.14E+02	9.35E+02	3.46154	3.237E+03	7.777E+04	-26.731	8.100E+04	
9.63E+02	9.18E+02	9.41E+02	3.33334	3.135E+03	7.777E+04	-23.333	8.090E+04	
1.26E+03	1.16E+03	1.21E+03	3.33331	4.033E+03	7.777E+04	-20.000	8.180E+04	
1.35E+03	1.25E+03	1.30E+03	3.33334	4.333E+03		-16.667	4.333E+03	
1.39E+03	1.29E+03	1.34E+03	3.33334	4.467E+03		-13.333	4.467E+03	
1.41E+03	1.32E+03	1.37E+03	3.33331	4.550E+03		-10.000	4.550E+03	
1.43E+03	1.34E+03	1.39E+03	3.33334	4.617E+03		-6.667	4.617E+03	
1.44E+03	1.36E+03	1.40E+03	3.33334	4.667E+03		-3.333	4.667E+03	
1.45E+03	1.37E+03	1.41E+03	3.33331	4.700E+03		0.000	4.700E+03	
1.44E+03	1.36E+03	1.40E+03	3.33334	4.667E+03		3.333	4.667E+03	
1.43E+03	1.34E+03	1.39E+03	3.33333	4.617E+03		6.667	4.617E+03	
1.41E+03	1.32E+03	1.37E+03	3.33334	4.550E+03		10.000	4.550E+03	
1.39E+03	1.29E+03	1.34E+03	3.33333	4.467E+03		13.333	4.467E+03	
1.35E+03	1.25E+03	1.30E+03	3.33333	4.333E+03		16.667	4.333E+03	
1.26E+03	1.16E+03	1.21E+03	3.33334	4.033E+03	7.777E+04	20.000	8.180E+04	
9.63E+02	9.18E+02	9.41E+02	3.33333	3.135E+03	7.777E+04	23.333	8.090E+04	
9.56E+02	9.14E+02	9.35E+02	3.46154	3.237E+03	7.777E+04	26.731	8.100E+04	
1.20E+03	1.11E+03	1.16E+03	3.46154	3.998E+03		30.192	3.998E+03	
1.23E+03	1.14E+03	1.19E+03	3.46154	4.102E+03		33.654	4.102E+03	
1.22E+03	1.14E+03	1.18E+03	3.46153	4.085E+03		37.115	4.085E+03	
1.19E+03	1.12E+03	1.16E+03	3.46154	3.998E+03		40.577	3.998E+03	
1.16E+03	1.09E+03	1.13E+03	3.46154	3.894E+03		44.038	3.894E+03	
1.13E+03	1.06E+03	1.10E+03	3.46154	3.790E+03		47.500	3.790E+03	
1.09E+03	1.03E+03	1.06E+03	3.46154	3.669E+03		50.961	3.669E+03	
1.05E+03	9.80E+02	1.02E+03	3.46154	3.513E+03		54.423	3.513E+03	
1.00E+03	9.26E+02	9.63E+02	3.46154	3.333E+03		57.885	3.333E+03	
9.39E+02	8.59E+02	8.99E+02	3.46153	3.112E+03	4.582E+04	61.346	4.893E+04	
8.33E+02	7.54E+02	7.94E+02	3.46154	2.747E+03	4.582E+04	64.808	4.856E+04	
6.14E+02	5.79E+02	5.97E+02	3.46154	2.065E+03	4.582E+04	68.269	4.788E+04	
			3.33333		4.582E+04	71.667	4.582E+04	
			3.33333		4.582E+04	75.000	4.582E+04	
			3.33333		4.582E+04	78.333	4.582E+04	
								1.172E+06

この場合の最大曲げモーメントは  $1.17 \times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 、一方弾性応答での全体での最大曲げモーメントは図 4.85 より  $1.516 \times \text{kN}\cdot\text{m}$  なので、 $1.17 / 0.015156 = 77.2$  すなわち桁違いに NASTRAN 計算のほうが大きい。観点を変えると、この石炭浮体は弾性体というより船体構造のような剛体に近い特性を持っていると言える。

なお今回の検討では弾性応答による応力は比較的に小さく、石炭荷重による応力が主要であるが、波周期と石炭荷重分布によっては弾性応答による応力が大きくなる場合も想定されるので、実施設計段階では多くのケースを丁寧に算定する必要がある。

また、検討期間が短い場合の初期計画としては、弾性応答計算でなく単純に最大波を入力とする MSC/NASTRAN による算定が安全側であることも判明した。

さらに言えば、石炭浮体のような複雑な構造の場合は、その特性を把握するための構造解析が重要であり、また、構造解析のための適切なモデル化が重要である。

#### 4.6.12 構造重量の推定

4.7.4 で設定した各ユニットに部材重量を集計してユニット毎の重量を集計して全体の構造重量を推定した。結果を下記に示す。

表 4.24 構造重量集計表(1)

1.4 船体部重量「B II」							
部材名	Mark	Mat.	t(mm)	b(m)	l (m)	n	WT (t)
<b>1.Longl Member</b>							
Btm pl	PL	MS	15.5	40.00	130.00	1	632.710
Btm longl ( 450*125*11.5/18 I.A. )	I.A.	MS	57.4		130.00	40	298.480
Inn Btm pl	PL	MS	15	40.00	130.00	1	612.300
Inn Btm longl ( 450*125*11.5/18 I.A. )	I.A.	MS	57.4		130.00	40	298.480
Btm center girder ( w )	PL	MS	16	5.00	130.00	1	102.050
Btm side girder ( w )	PL	MS	11.5	5.00	130.00	8	586.788
<b>2.Trans Member</b>							
Floor	PL	MS	12.5	5.00	40.00	35	858.594
T Bhd pl for Floor	PL	MS	14.5	5.00	40.00	2	45.530
stiff on T Floor ( 400*100*11.5/18I.A )	I.A.	MS	53.8		4.10	80	17.646
<b>Sub total ( one side )</b>							<b>3452.578</b>



表 4.25 構造重量集計表(2)

1.5 船体部重量「AⅢ」							
部材名	Mark	Mat.	t(mm)	b(m)	l (m)	n	WT (t)
<b>1.Longl Member</b>							
Upper deck pl	PL	MS	30	60.00	140.00	1	1978.200
Upper deck pl	PL	MS	30	30.00	130.00	-1	-918.450
Upper deck longl ( 250*90*9/15 I.A. )	I.A.	MS	27.6		140.00	30	115.920
2nd deck pl	PL	MS	20	60.00	140.00	1	1318.800
2nd deck pl	PL	MS	20	30.00	130.00	-1	-612.300
2nd deck longl ( 250*90*9/15 I.A. )	I.A.	MS	27.6		140.00	30	115.920
Dk side girder ( w )	PL	MS	15	3.00	140.00	7	432.731
Side Shell pl	PL	MS	30	5.00	140.00	2	329.700
Side Shell pl	PL	MS	16	10.00	140.00	2	351.680
Side longl ( 300*90*10/16 I.A. )	I.A.	MS	34.1		140.00	16	76.384
Side longl ( 350*100*12/17 I.A. )	I.A.	MS	45.3		140.00	10	63.420
L Bhd pl	PL	MS	30	5.00	140.00	2	329.700
L Bhd pl	PL	MS	15	10.00	140.00	2	329.700
L Bhd longl ( 300*90*10/16 I.A. )	I.A.	MS	34.1		140.00	16	76.384
L Bhd longl ( 350*100*12/17 I.A. )	I.A.	MS	45.3		140.00	10	63.420
Btm pl	PL	MS	15.5	60.00	140.00	1	1022.070
Btm longl ( 450*125*11.5/18 I.A. )	I.A.	MS	57.4		140.00	60	482.160
Inn Btm pl	PL	MS	15	60.00	140.00	1	989.100
Inn Btm longl ( 450*125*11.5/18 I.A. )	I.A.	MS	57.4		140.00	60	482.160
Btm center girder ( w )	PL	MS	16	5.00	140.00	1	109.900
Btm side girder ( w )	PL	MS	11.5	5.00	140.00	13	1026.878
<b>2.Trans Member</b>							
Dk trans for side parts ( 10m )	PL	MS	12.5	3.00	10.00	41	150.867
Dk trans for side parts ( 20m )	PL	MS	12.5	3	20.00	41	301.734
Side trans ( w )	PL	MS	12.5	2	7.50	37	68.074
Side trans ( f )	PL	MS	12	0.15	8.00	37	4.182
Vert. Web on L Bhd ( w )	PL	MS	12.5	2	7.50	37	68.074
Vert. Web on L Bhd ( f )	PL	MS	12	0.15	8.00	37	4.182
Floor	PL	MS	12.5	5.00	60.00	37	1361.484
T Bhd pl for side parts ( 10m )	PL	MS	14.5	10	15.00	4	68.295
stiff on T Bhd ( 300*90*10/16 I.A. )	I.A.	MS	34.1		10.00	20	6.820
stiff on T Bhd ( 350*100*12/17 I.A. )	I.A.	MS	45.3		10.00	32	14.496
T Bhd pl for side parts ( 20m )	PL	MS	14.5	20	15.00	4	136.590
stiff on T Bhd ( 300*90*10/16 I.A. )	I.A.	MS	34.1		20.00	20	13.640
stiff on T Bhd ( 350*100*12/17 I.A. )	I.A.	MS	45.3		20.00	32	28.992
T Bhd pl for Floor	PL	MS	14.5	5.00	30.00	4	68.295
stiff on T Floor ( 400*100*11.5/18I.A. )	I.A.	MS	53.8		4.10	120	26.470

表 4.26 構造重量集計表(3)

Aft & Fore Shell pl	PL	MS	30	5.00	60.00	1	70.650
Aft & Fore Shell pl	PL	MS	16	10.00	60.00	1	75.360
stiff on Aft & Fore Shell ( 350*100*11/17 I.A )	I.A.	MS	42.7		60.00	11	28.182
stiff on Aft & Fore Shell ( 400*100*12/18 I.A )	I.A.	MS	50.8		60.00	5	15.240
Aft & Fore T Bhd for Hold part	PL	MS	30	5.00	30.00	1	35.325
Aft & Fore T Bhd for Hold part	PL	MS	15	5.00	30.00	1	17.663
stiff on T Bhd ( 300*90*10/16 I.A )	I.A.	MS	34.1		30.00	3	3.069
stiff on T Bhd ( 350*100*11/17 I.A )	I.A.	MS	42.7		30.00	8	10.248
Dk Girders for Aft & Fore parts ( 10m )	PL	MS	12.5	3.00	10.00	7	25.758
Vert. Web on aft & fore shell ( w )	PL	MS	12.5	2	7.50	7	12.879
Vert. Web on aft & fore shell ( f )	PL	MS	12	0.15	8.00	7	0.791
Vert. Web on T Bhd ( w )	PL	MS	12.5	2	7.50	7	12.879
Vert. Web on T Bhd ( f )	PL	MS	12	0.15	8.00	7	0.791
Upper deck beams ( 250*90*9/15 I.A. ) 10m	I.A.	MS	27.6		30.00	12	9.936
2nd deck beams ( 250*90*9/15 I.A. )	I.A.	MS	27.6		30.00	12	9.936
Sub total ( one side )							10814.381

表 4.27 構造重量集計表(4)

1.6 船体部重量「BⅢ」							
部材名	Mark	Mat.	t(mm)	b(m)	l (m)	n	WT (t)
<b>1.Longl Member</b>							
Upper deck pl	PL	MS	30	40.00	140.00	1	1318.800
Upper deck pl	PL	MS	30	40.00	130.00	-1	-1224.600
2nd deck pl	PL	MS	20	40.00	140.00	1	879.200
2nd deck pl	PL	MS	20	40.00	130.00	-1	-816.400
Btm pl	PL	MS	15.5	40.00	140.00	1	681.380
Btm longl ( 450*125*11.5/18 I.A. )	I.A.	MS	57.4		140.00	40	321.440
Inn Btm pl	PL	MS	15	40.00	140.00	1	659.400
Inn Btm longl ( 450*125*11.5/18 I.A. )	I.A.	MS	57.4		140.00	40	321.440
Btm center girder ( w )	PL	MS	16	5.00	140.00	1	109.900
Btm side girder ( w )	PL	MS	11.5	5.00	140.00	8	631.925
<b>2.Trans Member</b>							
Floor	PL	MS	12.5	5.00	40.00	37	907.656
T Bhd pl for Floor	PL	MS	14.5	5.00	40.00	4	91.060
stiff on T Floor ( 400*100*11.5/18IA )	I.A.	MS	53.8		4.10	160	35.293
Aft & Fore Shell pl	PL	MS	30	5.00	40.00	1	47.100
Aft & Fore Shell pl	PL	MS	16	10.00	40.00	1	50.240
stiff on Aft & Fore Shell ( 350*100*11/17 I.A )	I.A.	MS	42.7		40.00	11	18.788
stiff on Aft & Fore Shell ( 400*100*12/18 I.A )	I.A.	MS	50.8		40.00	5	10.160
Aft & Fore T Bhd for Hold part	PL	MS	30	5.00	40.00	1	47.100
Aft & Fore T Bhd for Hold part	PL	MS	15	5.00	40.00	1	23.550
stiff on T Bhd ( 300*90*10/16 I.A )	I.A.	MS	34.1		40.00	3	4.092
stiff on T Bhd ( 350*100*11/17 I.A )	I.A.	MS	42.7		40.00	8	13.664
Dk Girders for Aft & Fore parts ( 10m )	PL	MS	12.5	3.00	10.00	9	33.117
Vert. Web on aft & fore shell ( w )	PL	MS	12.5	2	7.50	9	16.559
Vert. Web on aft & fore shell ( f )	PL	MS	12	0.15	8.00	9	1.017
Vert. Web on T Bhd ( w )	PL	MS	12.5	2	7.50	9	16.559
Vert. Web on T Bhd ( f )	PL	MS	12	0.15	8.00	9	1.017
Upper deck beams ( 250*90*9/15 I.A. ) 10m	I.A.	MS	27.6		40.00	12	13.248
2nd deck beams ( 250*90*9/15 I.A. )	I.A.	MS	27.6		40.00	12	13.248
<b>Sub total ( one side )</b>							<b>4225.953</b>

表 4.28 構造重量集計表(5)

区分		重量	重量 (1ブロック当たり) [t]	重量 [t]
船 体 部	1.1	A I ,C I ,AIV ,CIV	12,832	52,329
	1.2	B I ,BIV	5,421	10,842
	1.3	A II ,C II	9,486	18,972
	1.4	B II	3,453	3,453
	1.5	A III ,C III	10,814	21,629
	1.6	B III	4,226	4,226
総合計				110,450

#### 4.6.13 大型浮体に関する新しい展望

- 1) これまでの構造強度の検討過程で船体構造をベースにした大型浮体の構造はかなりの強度をもつことが判った。そうすると全く新しく浮体構造を建造しなくとも、中古船の船体構造を活用してコストの安い大型浮体を建造できるのではという展望が出てくる。中古船の活用は資源に制約がある日本にとってもおおきなメリットもあり、世界的環境問題への寄与も考えられる。

例えば 8 万 t クラスのバルクキャリア（パナマックス）7 隻分の貨物艙のみを集合させて、新設される中央部の貨物艙底部（二重底）周囲を囲み構成した大型浮体なども考えられる。周囲を囲んだ貨物艙構造は当然その構造強度を活用し、荷役装置の設置も可能である。概略全形図を下記に示す。

勿論これが成立するかどうかは、中古船（または廃船）の価格と改造&接合工事費用にかかっており、本論では扱わないが別途の初期計画的な検討である。

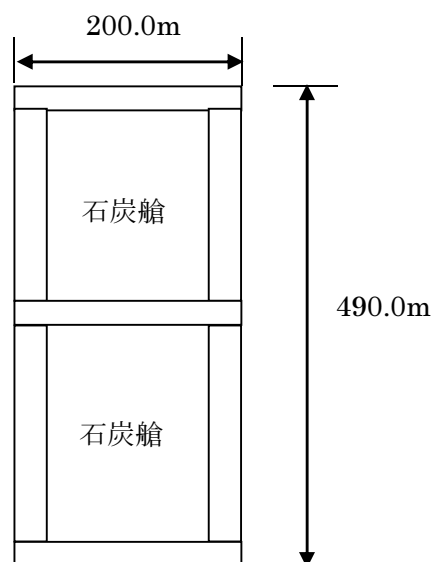


図 4.86 中古船を活用した浮体配置の例

2) 矩形以外の全体形状の可能性

3.2.2 で述べたように移動する必要がない場合には矩形以外の形状も可能性はある。例えば下図のような多角形である。例えば1辺 200.0m の六角形浮体を考えると面積的には第4章で検討した浮体と同程度であり、最大積載重量も同程度にすることができる。

この成立性を確認するのに、貨物艙の区画割、荷役装置配置、バージや石炭運搬船の接舷方法、係留装置等本論と同じ程度の検討作業は必要だが可能性は否定できない。

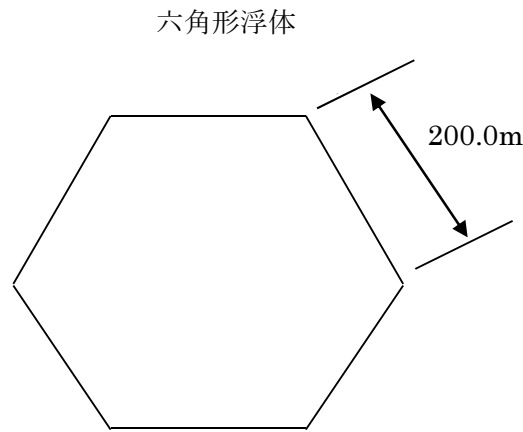


図 4.87 六角形浮体の平面図

## 第 5 章 : 係留装置の初期計画

## 5.1 係留装置一般

浮体の係留方式には多種多様な方式があり、各々特徴があるのでそれらの5.1.1に概要を示す。それらを計画する場合、浮体規模、周辺施設、環境条件、使用条件を考慮して、係留方式とその要目、緩衝機構、配置を選定せねばならない。ここでは前章で述べた特性の異なる浮体に対してそれらを簡便に選定する具体的な方法を示すことを目的とする。

また、後述する計画フローには経済性の検討が入っているが、その検討は初期計画の後に実施される基本計画あるいは詳細設計での大きな目標であると考えている。

初期計画とその後の基本計画の内容をどのように仕分けするかはどこにも参考とすべき資料は無く明確な線引きは難しいが、出来るだけ時間を掛けずにキーポイントだけは把握する作業が初期計画であるとする。



### 5.1.1 様々な係留システム

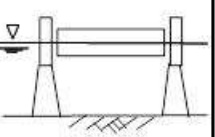
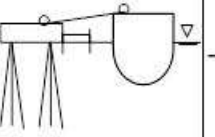
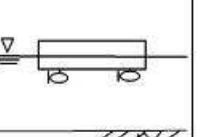
係留システムには様々な種類があるので、その概要を下表 17) に示す。

表 5.1 各種係留方法 3-1<sup>17)</sup>

係留方式	ワイヤ式	チェーン式	ワイヤ/チェーン式	中間シンカー式
特性				
適応海域	港湾内または通常の開放海域	港湾内または通常の開放海域	港湾内または通常の開放海域	港湾内または通常の開放海域
主要機器	大型ウインチ	大型ウインドラス	大型ウインチ・ウインドラス	大型ウインチ又は大型ウインドラス 中間シンカ
適応する浮体構造物	あらゆる種類の単体および複合体	あらゆる種類の単体および複合体	あらゆる種類の単体および複合体	あらゆる種類の単体および複合体
適正水深	50~200m	50~500m	400~1000m	20~100m
水平移動	大	大	大	中
実績	実績多	実績多	実績有	実績有
コスト	普通	普通	やや高価	高価
問題点	ワイヤーロープ切断の危険性、浅海域に適さない。	水深が非常に浅い水域においては十分な緩衝効果が得られない。	ワイヤーロープ切断の危険性がある。	シンカーが海底面より持ち上がる時ショックロードが作用することがある。
実施例	FPSO	浮消波堤・洋上風力発電	FPSO	

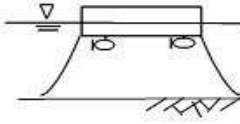
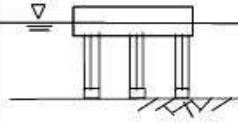
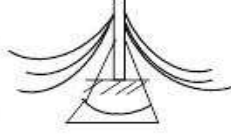
出典：(財) 沿岸開発技術研究センター，浮体構造物技術マニュアル

表 5.2 各種係留方法 3-2<sup>17)</sup>

係留方式	中間ブイ式	ドルフィン式	棧橋岸壁式	DPS
特性				
適応海域	港湾内または通常の開放海域	平穏な海域	港内または閉囲海域	通常の開放海域
主要機器	大型ウインチ又は大型ウインドラス 中間ブイ	ドルフィン杭, 防舷材	係留索, 防舷材	位置検出, 制御装置, スラスタ
適応する浮体構造物	あらゆる種類の単体および複合体	細長い大型単体または複合体	あらゆる種類の単体および複合体	あらゆる種類の単体および複合体
適正水深	20~100m	15~50m	10~50m	200m~
水平移動	中	小	小	大
実績	実績有	実績多	実績多	実績やや少
コスト	やや高価	高価	やや高価	高価
問題点	係留装置の占有海域が広い。	水深が深くなるに従って,ドルフィン建設コストが著しく高価なものとなる。	棧橋または岸壁に設置された防舷材と係船柱にとる係留索で係留する。また,係留索の代わりにブームと緩衝材で係留する方式もある。波向が法線に直角であると同様及び係留力が大きい。	制御限界に問題がある。
実施例		ぶかり棧橋・上五島石油備蓄基地	港湾での船舶係留	掘削作業船

出典：(財) 沿岸開発技術研究センター，浮体構造物技術マニュアル

表 5.3 各種係留方法 3-3

係留方式	多点係留方式+スラスタ	TLP	Guyed tower方式
特性			
適応海域	通常の開放海域	通常の開放海域	通常の開放海域
主要機器	大型ウインチおよびウインドラス位置検出, 制御装置, スラスタ	高品質の係留脚	大型ウインチ
適応する浮体構造物	あらゆる種類の単体および複合体	あらゆる種類の単体および複合体	あらゆる種類の単体および複合体
適正水深	200~1000m	300~700m	~500m
水平移動	中	中	小
実績	実績やや少	実績少	実績少
コスト	高価	高価	高価
問題点	水深に制限があり浅海域では不経済である.	水深に制限があり浅海域では不経済である.	水深に制限があり浅海域では不経済である.
実施例		主にメキシコ湾の石油プラント	石油プラント (Peteronius)

上記のように浮体の大きさや用途に対応する様々な係留装置があるが、本研究で対象とする浮体の大きさや用途では、下記3つの基本的な型式が適合すると考えて初期計画を実施した。

- 1) 作用する係留外力が比較的小さい浮体に適合する単杭式
- 2) 最も多くの場合に採用されているチェーン・カタナリー式
- 3) 大型浮体に適合する組杭式（いわゆるジャケット・ドルフィン式、ただし水深に制約がある）。ただしその構造計画には踏み込まず、大きな外力に適合するジャケット・ドルフィンがどの程度の大きさになるのか、またその外形図の例を示すに留めている。

### 5.1.2 単杭式およびドルフィン式係留の適用例

杭式係留は、鋼管杭と防舷材を用いた係留方法である。防舷材は杭と浮体の間に設置され、杭にかかる衝突力を吸収する。浮体の動揺を比較的拘束しやすい係留方法で、揺れを抑制したい場合に有効的な係留方法である。

しかし、水深が深い海域では杭の本数が多くなることや、杭の打ち込みにかかる費用が増すことなどの問題がある。大型浮体では、浮体にかかる外力が大きくなることから単杭式係留よりも組杭（ドルフィン・ジャケット）式係留の検討が必要になる。

図 5.1, 5.2 に杭式とジャケット&ドルフィン式係留の使用例を示す。



出典：宮古毎日新聞社，<http://www.miyakomainichi.com/2012/04/32925/>

図 5.1 単杭式係留を用いた浮栈橋<sup>18)</sup>



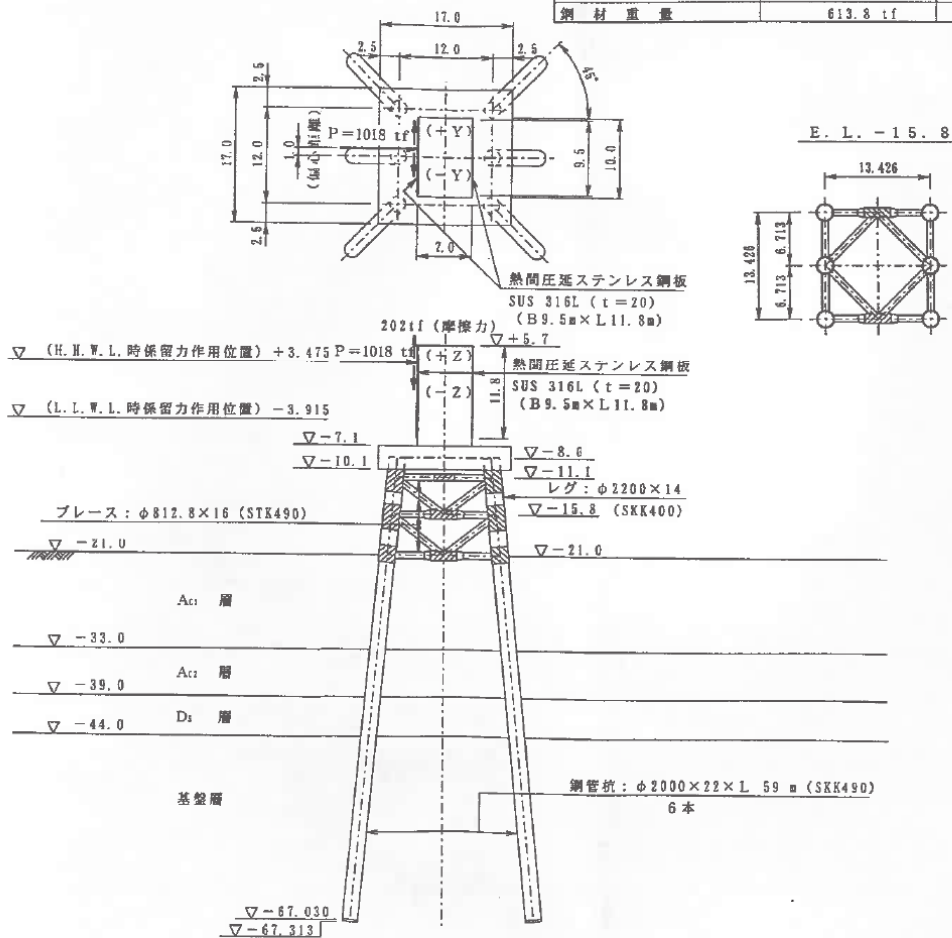
出典：メガフロート技術研究組合，メガフロートの空港利用に関する実証的研究

図 5.2 ドルフィン式係留を用いたメガフロートの実験浮体<sup>19)</sup>

設計結果一覧

		値	ケース	
最大値	ドルフィン耐力	$P=1018 \text{ tf}$	—	
	係留点変位	$\delta=0.132 \text{ m}$	1	
	地盤支持力	押し込み	$1536.0 \text{ tf} < 2234.0 \text{ tf}$	1
		引抜き	$603.9 \text{ tf} < 605.8 \text{ tf}$	1
	応力	杭	曲げと軸力	$0.96 < 1.00$
			曲げとせん断	$0.99 < 1.00$
		ワレ	曲げと軸力	$0.73 < 1.00$
			曲げとせん断	$0.74 < 1.00$
		ブレース	曲げと軸力	$0.77 < 1.00$
			曲げとせん断	$0.80 < 1.00$
荷重-変位特性 H. H. W. L時		$7655 \sim 7821 \text{ tf/m}$	—	
$P/\delta$ L. L. W. L時		$12062 \sim 12387 \text{ tf/m}$	—	
固有周期 (1次)		$0.919 \sim 0.976 \text{ sec}$	—	
鋼材重量		$613.8 \text{ tf}$	—	

部位	レベル (m)	キャン サイズ (mm)	長さ (m)	材質
レグ	コーナー中央	$\phi 2252 \times 40$	2.9	SM490YB
	中央		2.2	
	コーナー中央	$\phi 2260 \times 44$	3.2	SM570
	中央		3.3	
ブレース	コーナー中央	$\phi 2258 \times 42$	2.1	SM570
	中央		3.1	
	コーナー中央	$\phi 812.8 \times 19$	2.6	STK490
	中央	$\phi 1200 \times 28$	3.4	SM490YB
	コーナー中央	$\phi 1200 \times 34$	3.5	SM490YB



ガイドフレーム式・長辺側ジャケット 構造図

出典：住友金属工業株式会社，ドルフィン特性の検討

図 5.3 水平耐力 1000t 大型ジャケット・ドルフィン構造の例 (水深 21.0m) <sup>20)</sup>



### 5.1.3 チェーンカタナリー係留の適用例

チェーンカタナリー係留は、チェーンと海底のシンカーを用いた係留方法である。チェーンカタナリー係留はチェーンの自重とチェーンの初期張力によって浮体を係留する方法である。大水深にも適用できる。しかし、水深が十分でない場合では十分な弛緩が得られず、水深に対して長い係留索が必要になる場合がある。占有面積が広範囲なため、周辺環境にも配慮する必要がある。図 5.4、5.5 にチェーンカタナリー係留の使用例を示す。



出典：福島洋上風力コンソーシアム；洋上の 2MW ダウンウィンド型浮体式洋上風力発電設備「ふくしま未来」

図 5.4 チェーンカタナリー係留を用いた洋上風力発電<sup>21)</sup>



出典：水産工学研究所，<http://nrife.fra.affrc.go.jp/research/uki/uki.html>

図 5.5 チェーンカタナリー係留を用いた浮消波堤<sup>22)</sup>

## 5.2 計画フロー

大型浮体構造物の係留設備に関する初期計画においては、設計検討において重要な浮体運動および係留装置（カテナリー、組杭・ドルフィン式両方）の水平動揺運動で発生する慣性力も考慮した複雑な係留運動解析（シミュレーション）を行う前に、係留設備の初期要目を設定する必要がある。それにはまず定常係留外力（荷重）の大きさを大雑把に把握し、それに見合う装置を1次選定して浮体に合わせて配置する必要がある。それらを一般的なフローで表すと図 5.6 のようになる。

現在のフローでは全体を 4Step に区分している。最も詳細なフローが必要なのは Step2 で、係留システム毎のフローが必要になる。例えば初期条件とはカテナリーの場合はチェーンサイズや初期展張張力であり、単杭やドルフィンの場合は杭径のサイズや組杭の形状やサイズである。これらを仮設定する場合でもかなりの繰り返しの試算が必要となる。

Step4 は許容変位に関する確認であるが、装置がどんな時にも働くか等の機能性の検討も含むものである。例えば浮体を移動させ別の設置海域で稼働させる場合も十分に考えられるので、係留装置を簡単に離着脱できるのか、アンカーやシンカーが十分海底に潜って必要な把駐力を発揮できるのか等も考慮せねばならない。またチェーンの操作には通常ウインチが必要である。

経済性に関しては、大まかな計画を行うことで鋼材量や施工費用から予算の概算が可能になる。このことから経済性の検討を行う。以上を踏まえて、機能性と経済性の面からも係留システムの選定が可能なフローを作成する。

なお、設計段階では、上記でほぼ満足した装置要目を得られた後、変動外力との共振が発生しないことを確認するため、波浪、風等の変動外力、装置のばね定数等を考慮した運動による慣性力と固有周期を算定（シミュレーション解析）し、共振を回避できていること等安全性を確認する必要がある。初期計画では簡単にフェンダー等のバネ定数を設定して水平運動の固有周期を確認し、どんな天候でも水平同調運動が生じないことを確認する必要がある。

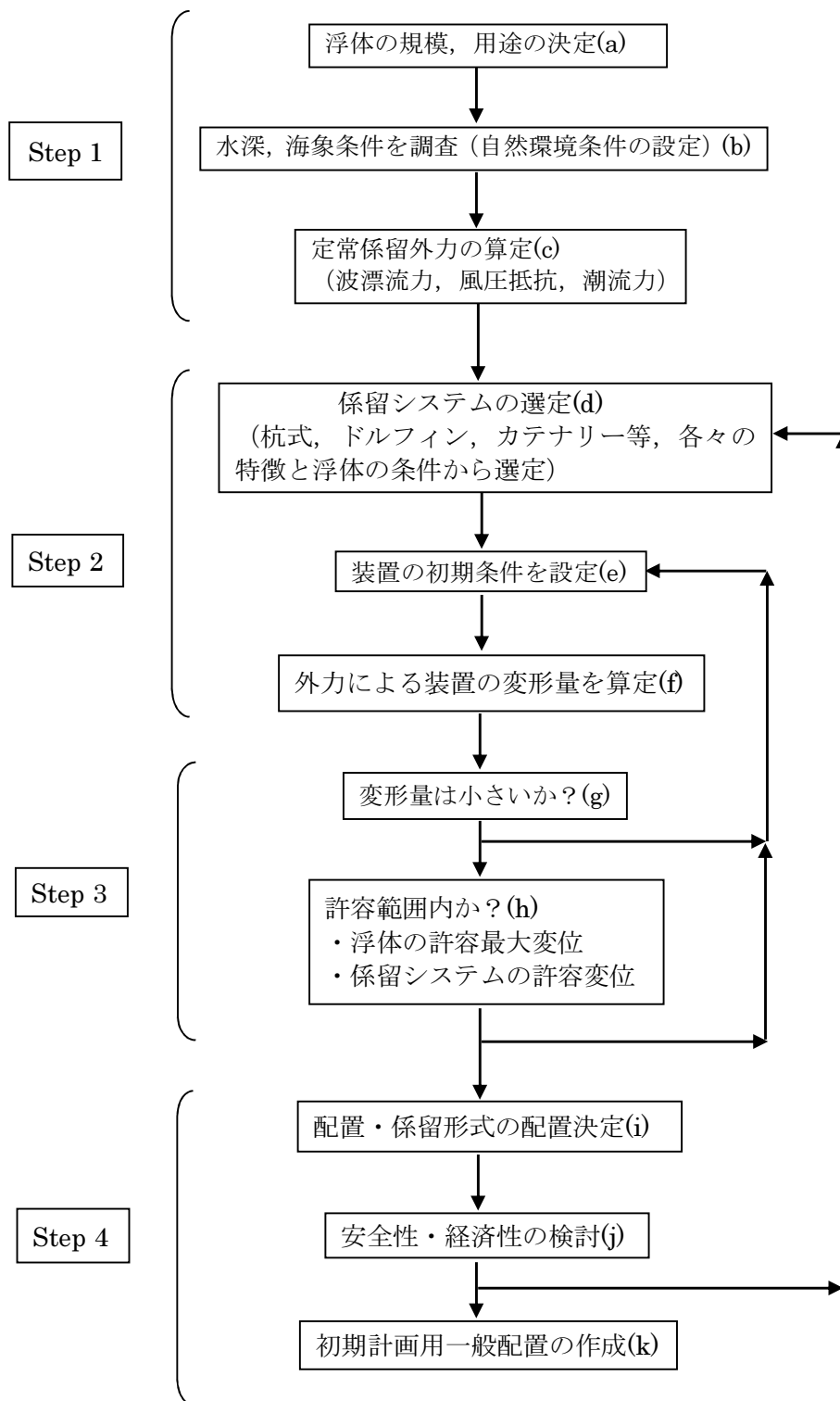


図 5.6 係留装置要目の初期計画フロー



### 5.3 定常係留外力の求め方

フローの中 (c) の定常係留外力の求め方を下記に整理した。

#### 5.3.1 係留に係わる医療浮体要目の設定

医療浮体は、河川への設置を想定している。そのため、海波は除外し想定する外力は風抗力と漂流力（川の流れ速さ）とする。医療浮体の規模を表 5.4 に示す。浮体規模に対応する図を図 5.7 に示す。

表 5.4 医療浮体規模

$L$ [m]	$B$ [m]	$D$ [m]	$d$ [m]
85.0	28.0	4.0	2.5

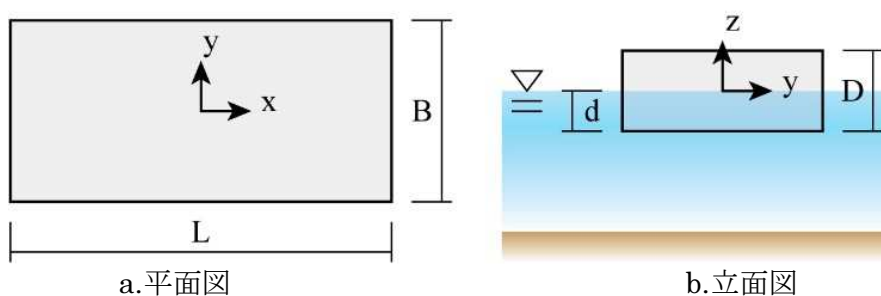


図 5.7 浮体規模モデル

#### 5.3.2 係留に係わる石炭浮体要目の設定

まず係留に係る浮体要目としては浮体の平面形状と断面形状がある。平面形状は（図 3.20～23）に示す一般配置図を参照する。次に断面形状については、石炭浮体の実際の運用状況では喫水が変化するので、下記に示すように 3 ケースが考えられる。

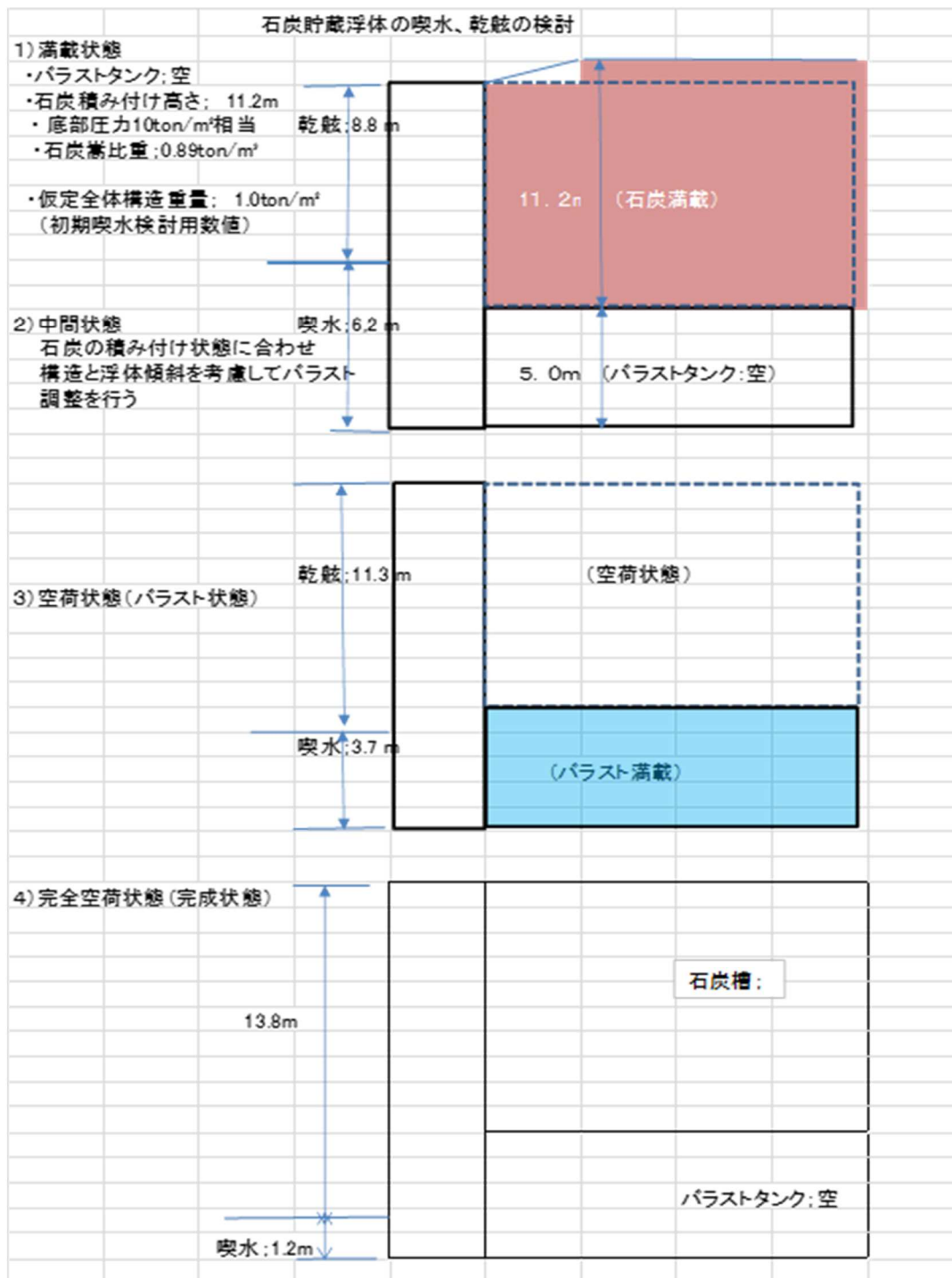


図 5.8 石炭浮体の喫水状態

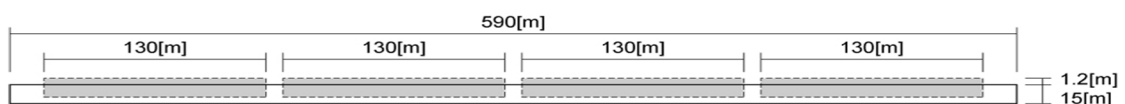


図 5.9 石炭浮体の石炭積み付け状態 (満載)

表 5.5 浮体の喫水状態

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
主要目と喫水等など	満載状態	バラスト状態	空荷状態
長さ ; $L$	590.0[m]	590.0[m]	590.0[m]
幅 ; $B$	160.0[m]	160.0[m]	160.0[m]
構造深さ ; $D$	15.0[m]	15.0[m]	15.0[m]
二重底高さ ; $h$	5.0[m]	5.0[m]	5.0[m]
喫水 ; $d$	6.2[m]	3.7[m]	1.2[m]
乾舷 ; $f$	8.8[m]	11.3[m]	13.8[m]
上甲板上石炭積高 ; $h$	1.2[m]	--	--
水面上側面積 ; $A_w$	5,816.0[m <sup>2</sup> ]	6,667.0[m <sup>2</sup> ]	8,142.0[m <sup>2</sup> ]
水面下側面積 ; $A_r$	3,658.0[m <sup>2</sup> ]	2,183.0[m <sup>2</sup> ]	708.0[m <sup>2</sup> ]

上記のように喫水変化が大きいため、どのケースで最大係留外力が発生するのかを見極めるには全てのケースを算定する必要がある。

## 5.4 自然環境条件の設定

### 5.4.1 医療浮体の自然環境条件の設定

設置水域候補での条件を表 5.6 とした。

表 5.6 自然条件

$U$ [m/s]	$V$ [m/s]	$C_d$	$h$ [m]	$N$
34.0	2.5	1.5	3.5	10.0

ただし、 $U$ : 風速、 $V$ : 流速、 $C_d$ : 流体の効力係数、 $h$ : 水深、 $N$ : 地盤の平均N値

### 5.4.2 石炭浮体の自然環境条件の設定

当初では現地の波浪・風の観測データが入手できていなかったため、想定で3つの条件を設定した。その後データを入手でき結果的には一番緩い条件1で十分であることが判明したので以後の検討は条件1を採用することにした。

初期計画段階では結果を素早く出す必要があるため、観測データが得られていない場合でも種々の資料から自然条件を推定して検討を進める必要がある。

表 5.7 自然条件(1)

項目	◎条件：1	条件：2	条件：3
最大有義波振幅; $\zeta_{1/3}$	2.5[m]	3.0[m]	3.5[m]
最大平均風速; $v$	15.0[m/s]	20.0[m/s]	20.0[m/s]
潮流速度; $C_v$	1.0[knot]	1.5[knot]	2.0[knot]

当然第2次の検討では環境条件のデータに基づいて再検討する必要がある。

なお、観測データベースで設定した設計条件を参考までに下記に示す。

表 5.8 自然条件 (2: 実際の設計条件)

外力	設計値	入射方向	備考
風速	12.0[m/s]	0.0°~360.0°	10 分間平均 再現期間：50 年
最大波高	4.0[m]	90.0° (左右方向)	再現期間：50 年
有義波高	2.5[m]		
潮流	1.5 [knot]	45.0°	
水深	30.0[m]		

### 5.4.3 定常係留外力の算定式

定常係留外力は、仮に浮体が固定されているという条件で、風抵抗力（風圧）、波浪による漂流力および潮流力の合力として静的に求めることができる。その場合力の方向は（図 3.6.2）に示すように安全側にするためすべて同一方向とし、大きさは、設置海域の最も厳しい自然環境条件、例えば 100 年再現期間の環境条件などを採用する。検討の手順としては、まず浮体の長さ、幅、喫水、乾舷の値を設定する。次に、自然環境を調査した文献等から、最大風速、最大波高、最大潮汐流の値を読み取って、検討のベースデータを設定する。その後、下記の手順で算定する。

1) まず、風による抵抗値は次の式による。

$$\text{風抵抗力} : F_a = \frac{1}{2} \rho_a C_d V_a^2 A \text{ [kN]} \quad (5.4.3-1)$$

ただし、 $\rho_a$  : 空気密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $C_d$  : 風圧係数、 $V_a$  : 風速[m/s]、 $A$  : 風圧側面積[m<sup>2</sup>]

2) 次に、波浪外力（定常波漂流力）は最大波高から推定するが、この場合、波周期、浮体の大きさで変化する波漂流力係数を、過去の論文を参照して推定する。漂流力係数が決まるとあとは下記式から漂流力がきまる。

$$\text{漂流力} : F = \frac{1}{2} R \rho_w L \left( \zeta \frac{1}{3} \right)^2 \text{ [kN]} \quad (5.4.3-2)$$

ただし、 $R$  : 漂流力係数(今回は  $R=0.5$ )、 $\rho_w$  : 海水密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $L$  : 浮体の長さ[m]、

$\zeta \frac{1}{3}$  : 有義波高[m]

3) さらに、潮流による潮流力は次式による。

$$\text{潮流力} : F_C = \frac{1}{2} \rho_w C_D V_w^2 A_w \text{ [kN]} \quad (5.4.3-3)$$

ただし、 $\rho_w$  : 海水密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $C_D$  : 水中側面積抵抗係数、 $V_w$  : 潮流[m/s]、 $A_w$  : 水中側面積[m<sup>2</sup>]

#### 5.4.4 外力の方向と受圧面積

上記により風抵抗，波浪による漂流力抵抗，潮汐流による抵抗力が得られるが，初期検討時には通常これらの力は，安全側にとって同時に同一方向または抵抗が最も大きくなる方向に働くものとしてまず全体係留外力を算定する．ただし浮体の配置（海上での位置）により，例えば潮汐流のように流れの方向がほぼ一定の場合は，風波の方向と同じにする必要はない．上記3種類の係留外力を重ね合せ（単純に加算し）全体としての定常作用外力を算出する．

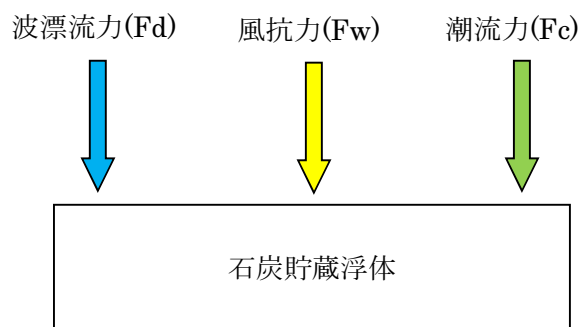


図 5.10 外力の方向

### 5.5 定常係留外力の算定と係留装置要目の選定

#### 5.5.1 医療浮体の定常係留外力の算定

表 5.9 浮体の規模

項目	Case 1
長さ：L[m]	85.0
幅：B[m]	28.0
構造深さ：D[m]	4.0
喫水：d[m]	2.5
乾舷：f[m]	1.5
水面上側面積[m <sup>2</sup> ]	127.5
水中側面積[m <sup>2</sup> ]	212.5

表 5.10 自然環境条件

項目	条件 1
最大平均風速：U[m/s]	34.0
水流速度：Cv[m/s]	2.5

1) 算定

1.1) 定常風抗力

$$Fwr = 1/2 \cdot \rho a \cdot U^2 \cdot Ar \cdot Cd [kN] \quad (5.5.1-1)$$

ただし,  $\rho a$ : 空気密度(0°C) 1.293 [kg/m<sup>3</sup>]=0.001293 [t/m<sup>3</sup>], U: 最大平均風速 [m/s], Cd: 風抗力係数 (単純矩形版, 1/d=∞, Cd=1.96 造波設計便覧 p.146 「各種物体の抵抗」<sup>23)</sup> より), Ar: 風圧側面積 [m<sup>2</sup>]

表 5.11 定常風抗力

$\rho a$	g	U	Ar	Cd	Fwr	Fwr
[t/m <sup>3</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m <sup>2</sup> ]	[-]	[t]	[kN]
0.001293	9.8	34.0	127.5	1.96	19.0	187.0

1.2) 水流抵抗抗力

$$Fc = 1/2 \cdot \rho w \cdot v^2 \cdot Aw \cdot Cd [kN] \quad (5.5.1-2)$$

ただし,  $\rho w$ : 水密度 0.999 [t/m<sup>3</sup>], V: 流速 [m/s], Cd: 抵抗係数, Aw: 水中側面積 [m<sup>2</sup>]

表 5.12 水流抵抗抗力

$\rho w$	g	v	Aw	Cd	Fc	Fc
[t/m <sup>3</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m <sup>2</sup> ]	[-]	[t]	[kN]
0.999	9.8	2.500	212.5	1.50	102.0	995.0

2) 全体係留外力 (超概算, 設計荷重は合計の 70%と仮定)

表 5.13 全体係留外力

Fwr	Fc	合計	設計荷重	設計荷重
[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[t]
187.0	995.0	1182.0	827.0	84.4

### 5.5.2 医療浮体の単杭式係留装置の強度算定式

単杭式係留の杭強度に関する計算式を式(5.5.2-1)～(5.5.2-4)に示す<sup>24)</sup>。ここからは、フローに従って検討を行う。係留装置の要目の決定は条件を変えて何度も計算を繰り返すことで、適切な係留装置要目を導く。なお、これらの式等は石炭浮体でも同じである。

作用点変位[m]

$$\delta_p = \frac{(1 + \beta h)^2}{3EI\beta^3} H \dots\dots\dots (5.5.2-1)$$

海底面変位[m]

$$f = \frac{1 + \beta h}{2EI\beta^3} H \dots\dots\dots (5.5.2-2)$$

杭の特性値(m<sup>-1</sup>)

$$\beta = \sqrt[4]{kh/4EI} \dots\dots\dots (5.5.2-3)$$

根入れ長さ[m]

$$\text{根入れ長さ} = \pi / \beta \dots\dots\dots (5.5.2-4)$$

ただし、 $E$ ：ヤング係数， $H$ ：水平外力， $I$ ：断面二次モーメント， $h$ ：作用点高さ  
 $k_h$ ：地盤の平均  $N$  値  $\times 0.15$

### 5.5.3 医療浮体のカタナリー係留の計算式

カタナリー係留の計算式を式(5.5.3-1)～(5.5.3-1)に示す。なお、これらの式等は石炭浮体でも同じである。

チェーン長さ[m]

$$S = \sqrt{Z^2 + 2aZ} \dots\dots\dots (5.5.3-1)$$

水深[m]

$$Z = a(\cosh(x/a) - 1) \dots\dots\dots (5.5.3-2)$$

張力(kN)

$$T = \sqrt{S^2 w^2 + T_h^2} \dots\dots\dots (5.5.3-3)$$

$$a = T_h / w \dots\dots\dots (5.5.3-1)$$

ただし、 $X$ ：水平距離， $T_h$   $T$ ：水平引張力， $w$ ：チェーンの単位長さ重量(tf/m)



#### 5.5.4 医療浮体の係留装置の配置検討

##### 1) チェーンカタナリーの配置

初期計画を行うにあたり、係留設備をどのように配置するのか明確にする必要がある。本研究では、係留設備を図 5.11-1～5.11-3 のように設定した。

なお、この段階では必要な係留装置の其数は明確ではない。フロー中 d～h の検討を繰り返すことで、必要な係留装置基数を計算する。

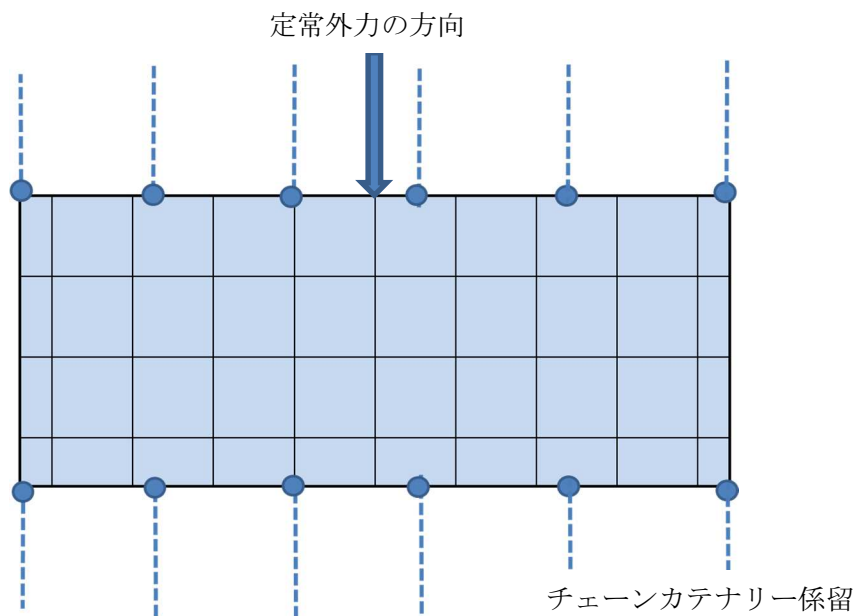


図 5.11-1 チェーンカタナリー係留初期配置の例

チェーンカタナリー係留は、浮体の長さ方向（舷側）に等間隔および両側に配置する。設定する初期チェーン張力の大きさにより外力による水平変位が変わるので、許容水平変位と初期張力が関連する。このチェーンカタナリー係留配置は、医療浮体、石炭浮体も同様とする。

2) 単杭式またはドルフィンの配置

図 5.11-2 は初期計画時のイメージであり、実際の配置，基数の決定法は後述する.

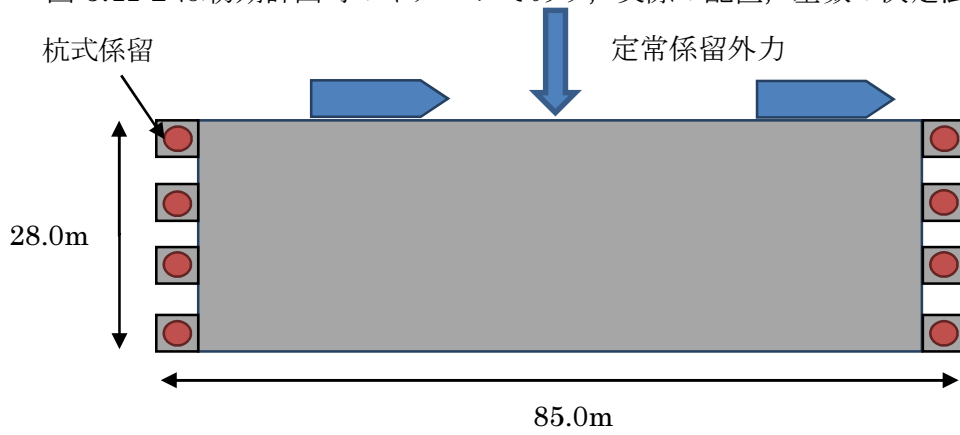


図 5.11-2 医療浮体の杭式係留配置の例

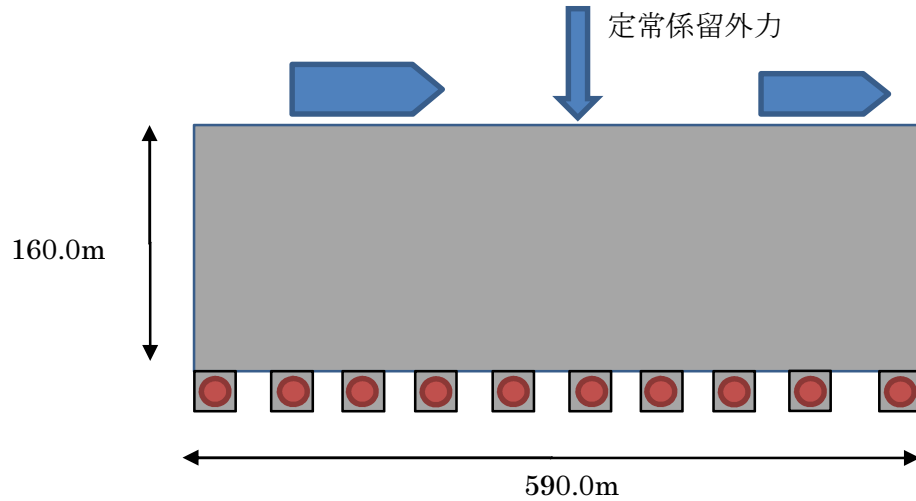


図 5.11-3 石炭浮体の杭式またはドルフィン係留配置の例

### 5.5.5 浮体の水平変位および装置の強度に関する許容値の設定

水平変位の許容値は係留装置の強度や基数に関する重要な要素である。初期計画では標準的な値を設定して検討を行うが、実際の設計においては多くの要素を勘案して設定せねばならない。また強度に関しては係留装置形式に対応して諸基準で設定されていることも多い。

今回の各係留方法に対する許容値の設定は水深の 10%を仮の基準下として下記のように表 5.14, 5.15 にまとめた。許容値は、フロー中の d~h の検討を行う上で重要で、ここで設定する値を満たすように計算を行う。

単杭式係留は、変位による許容値を設定した。チェーンカタナリー係留は、チェーンの切断荷重とチェーンにかかる張力から安全率<sup>25)</sup>を計算し許容値とした。安全率の式を式(8)に示す。

ドルフィン係留の許容値に関しては、採用するフェンダー等の緩衝装置の特性も合わせて考慮せねばならないが、初期計画としては設定せずに進めることが可能である。

表 5.14 単杭式ドルフィン係留許容値

作用点変位[m]	0.3
海底面変位[m]	0.03

表 5.15 チェーンカタナリー係留

安全率	3.0 未満
-----	--------

安全率

$$S_f = t_f / T \dots\dots\dots(5.5.5-1)$$

ただし、 $S_f$  : 安全率  $t_f$  : 切断荷重  $T$  : 張力

### 5.5.6 医療浮体の単杭式係留の初期計画

単杭式係留の計算過程および計算結果を以下に示す。

医療浮体では、図 5.11-2 に示すように配置する。杭を浮体の前後端に配置する。これは、浮体長さ方向（舷側）に船が接岸することを想定しているためである。また、各杭にかかる外力は均等に分散するものとする。

#### 1) 鋼管の規格

鋼管規格は、表 5.16 に示すものを使用する。

表 5.16 鋼管規格

杭径[m]	1.2
杭厚み[m]	0.022
断面二次モーメント(m <sup>3</sup> )	0.0109
ヤング係数(kN/m <sup>2</sup> )	2,058,000

#### 2) 杭の特性値および根入れ長さ

杭の特性値を計算した結果を表 5.17 に示す。

表 5.17 杭の特性値および根入れ長さ

杭の特性値	根入れ長さ[m]
0.00197	15.9

杭の全長は、この値に海底から天端高さまでの長さを足したものである。

#### 3) 杭の変形

杭の変形を許容値内に収めるために、杭の本数を調整する。杭の本数は左右均等に配置するために偶数にする。計算結果を表 5.18 に示す。

表 5.18 単杭式ドルフィン係留の計算結果

$n_s$	$D$ [m]	$\delta_p$ [m]	$f$ [m]
8	1.2	0.06	0.03

ただし、 $n_s$  : ドルフィン本数、 $D$  : 杭径、 $\delta_p$  : 杭頭変位、 $f$  : 海底面変位

#### 4) 杭の配置図

上記の計算から、必要なドルフィン杭の本数が分かった。ドルフィンは幅方向に設置する。理由は医療浮体を当該地以外で災害発生した場合に移動することを想定しているからである。即ち、防舷材を取り外した後、曳航船などにより沖側へ離岸する場合に障害物がないようにするためである。配置図を作成し、配置図を図 5.12 に示す。

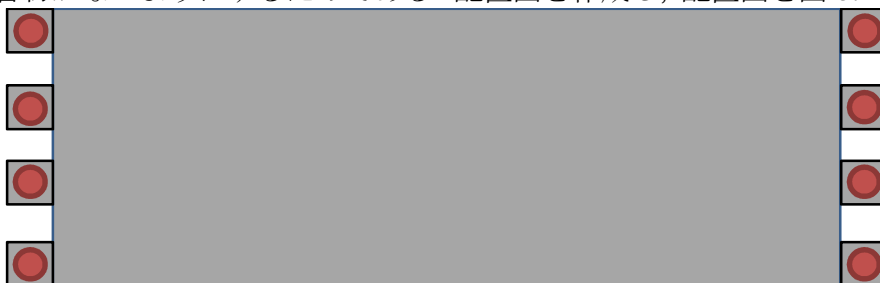


図 5.12 医療浮体のドルフィン係留の配置図

係留杭の太さは、1.2m で防舷材などのスペースを考慮しても十分余裕のある計画であることがわかる。

### 5.5.7 医療浮体のチェーンカタナリー係留の初期計画

チェーンカタナリー係留の初期計画の流れを以下に示す。係留索は、浮体の長さ方向に配置する。これは、外力が長さ方向に作用することを想定しているためである。係留索と同じ方向に外力が作用する場合が最も効果的に係留できる。

#### 1) チェーンの規格

使用するチェーンの規格を表 5.19 に示す。このチェーンの規格は、フロー中の c~e の検討を繰り返すことによって得られたものである。

表 5.19 使用するチェーンの規格<sup>26)</sup>

$d_c$ [mm]	$w$ [kN/m]	$t_f$ [kN]
84.0	1.5	5,160.0

ただし、 $d_c$ : チェーンリンク呼び径、 $w$ : 単位長さ重量、 $t_f$ : 切断荷重

#### 2) チェーン本数およびチェーン長さ

チェーンの本数およびチェーンの長さなどをまとめたものを表 5.20 にまとめる。

表 5.20 チェーン本数およびチェーン長さ

$n_c$	$s$ [m]	$y$ [m]	$T$ [kN]	$S_f$
6	106.0	105.0	1,670.0	3.1

ただし、 $n_c$ : チェーン本数、 $t_f$ : 切断荷重、 $s$ : チェーン長さ

$y$ : カテナリー曲線部分の水平距離、 $T$ : 張力

#### 3) チェーンカタナリーの形状

水中のチェーンの形状を図 5.13 に示す。

この結果から、浮体から 18.0m の距離まで、水上に係留索が出ていることがわかる。浮体から約 50.0m のところでチェーンが水深 3.0m となり、近くを航行する船舶への影響が考えられる。

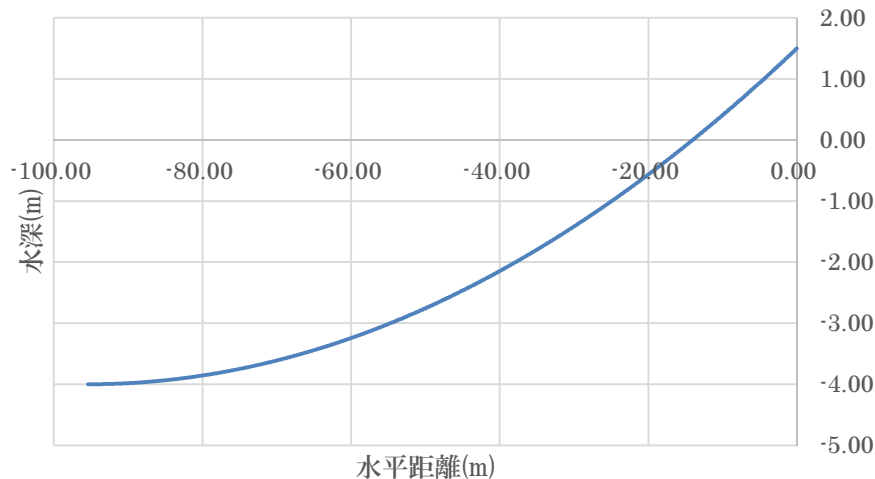


図 5.13 チェーン形状

#### 4) 係留索鎖の配置図

係留索の配置図を図 5.14 に示す。係留索の配置図から接舷やチェーンの間隔が適当であるか確認する。

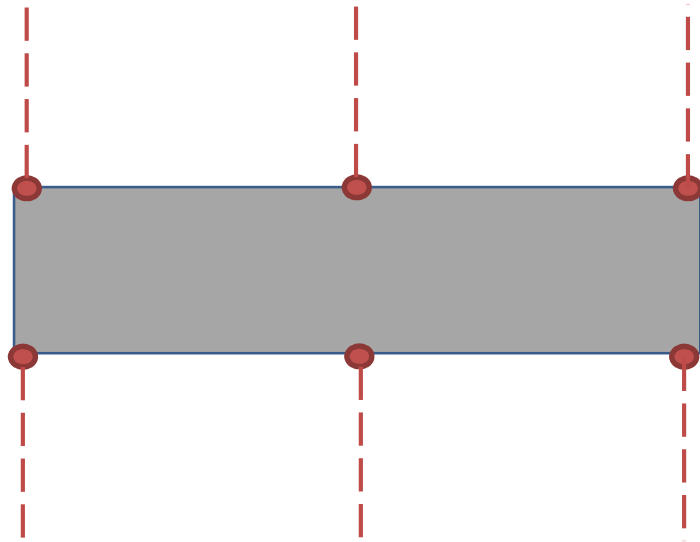


图 5.14 係留索配置図

## 5.6 石炭浮体の係留装置

### 5.6.1 石炭浮体の定常係留外力の算定

#### 1) 定常波漂流外力

$$Fd = 1/2 \cdot R \cdot (\rho_w g) \cdot L \cdot (\zeta_{1/3})^2 [kN] \quad (5.6.1-1)$$

ただし、 $R$ ：漂流力係数， $\rho_w$ ：海水密度 1.025 [t/m<sup>3</sup>]， $g$ ：重力加速度[m/s<sup>2</sup>]， $L$ ：浮体長さ[m]， $\zeta_{1/3}$ ：有義波高[m]  
喫水は関係しないため Case ごとに変化なし

表 5.21 定常波漂流外力の算定

条件	R [-]	$\rho_w$ [t/m <sup>3</sup> ]	L [m]	$\zeta_{1/3}$ [m]	F <sub>d</sub> [t]	F <sub>d</sub> [kN]
条件 1	0.5	1.025	590.0	2.5	945.0	9260.0
条件 2	0.5	1.025	590.0	3.0	1361.0	13335.0
条件 3	0.5	1.025	590.0	3.5	1852.0	18150.0

2) 定常風抗力

$$Fwr = 1/2 \rho a \cdot U^2 \cdot Ar \cdot Cd [kN] \quad (5.6.1-2)$$

ただし,  $\rho a$ : 空気密度(0°C)  $1.293[\text{kg}/\text{m}^3]=0.001293 [\text{t}/\text{m}^3]$ ,  $U$ : 最大平均風速[m/s],  $Cd$ : 風抗力係数 (単純矩形板,  $1/d=\infty$ ,  $Cd=1.96$  造船設計便覧 p.146[各種物体の抵抗]<sup>23)</sup> より),  $Ar$ : 風圧側面積[m<sup>2</sup>]

表 5.22 定常風抗力の算定

条件		$\rho a$ [t/m <sup>3</sup> ]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$U$ [m/s]	$Ar$ [m <sup>2</sup> ]	$Cd$ [-]	Fwr [t]	Fwr [kN]
Case1	条件 1	0.001293	9.8	15.0	5,816.0	1.96	169.0	1,658.0
	条件 2	0.001293	9.8	20.0	5,816.0	1.96	301.0	2,948.0
	条件 3	0.001293	9.8	20.0	5,816.0	1.96	301.0	2,948.0
Case2	条件 1	0.001293	9.8	15.0	6,667.0	1.96	194.0	1,901.0
	条件 2	0.001293	9.8	20.0	6,667.0	1.96	345.0	3,379.0
	条件 3	0.001293	9.8	20.0	6,667.0	1.96	345.0	3,379.0
Case3	条件 1	0.001293	9.8	15.0	8,142.0	1.96	237.0	2,321.0
	条件 2	0.001293	9.8	20.0	8,142.0	1.96	421.0	4,127.0
	条件 3	0.001293	9.8	20.0	8,142.0	1.96	421.0	4,127.0



3) 潮流力

$$F_c = 1/2 \cdot \rho_w \cdot v^2 \cdot A_w \cdot C_d [kN] \quad (5.6.1-3)$$

ただし,  $\rho_w$ : 海水密度 1.025 [t/m<sup>3</sup>],  $v$ : 流速[m/s],  $C_d$ : 抵抗係数 (仮に 1.2 とする),  $A_w$ : 水中側面積[m<sup>2</sup>]

表 5.23 潮流力の算定

条件		$\rho_w$	$g$	$v$	$A_w$	$C_d$	$F_c$	$F_c$
		[t/m <sup>3</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m <sup>2</sup> ]	[-]	[t]	[kN]
Case 1	条件 1	1.025	9.8	0.514	3,658.0	1.20	61.0	594.0
	条件 2	1.025	9.8	0.771	3,658.0	1.20	136.0	1337.0
	条件 3	1.025	9.8	1.028	3,658.0	1.20	243.0	2377.0
Case 2	条件 1	1.025	9.8	0.514	2,183.0	1.20	36.0	355.0
	条件 2	1.025	9.8	0.771	2,183.0	1.20	81.0	798.0
	条件 3	1.025	9.8	1.028	2,183.0	1.20	145.0	1419.0
Case 3	条件 1	1.025	9.8	0.514	708.0	1.20	12.0	115.0
	条件 2	1.025	9.8	0.771	708.0	1.20	26.0	259.0
	条件 3	1.025	9.8	1.028	708.0	1.20	47.0	460.0

4) 全体係留外力（超概算，設計荷重は合計の70%と仮定）

表 5.24 全体係留外力の算定

条件		Fd	Fwr	Fc	合計	設計荷重	設計荷重
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[t]
Case 1	条件 1	9260.0	1,658.0	594.0	11,513.0	8,059.0	822.3
	条件 2	13,335.0	2,948.0	1,337.0	17,620.0	12,334.0	1,258.6
	条件 3	18,150.0	2,948.0	2,377.0	23,475.0	16,433.0	1,676.8
Case 2	条件 1	9,260.0	1,901.0	355.0	11,516.0	8,061.0	822.6
	条件 2	13,335.0	3,379.0	798.0	17,512.0	12,258.0	1,250.9
	条件 3	18,150.0	3,379.0	1,419.0	22,948.0	16,064.0	1,639.1
Case 3	条件 1	9,260.0	2,321.0	115.0	11,697.0	8,188.0	835.5
	条件 2	13,335.0	4,127.0	259.0	17,720.0	12,404.0	1,265.7
	条件 3	18,150.0	4,127.0	460.0	22,737.0	15,916.0	1,624.1

石炭浮体の各状態(Case 1,2,3)では，定常波漂流力の値は大きい，各ケースでは変化が無く，また潮流抵抗も各ケースで比較的に小さい．結局，風の影響が一番大きい Case 3 で最大定常係留外力は発生することになる．実際の運用状態で空荷状態になるのは，初期の設置作業中や，操業年数が経過して構造の安全検査（中間検査）を行う場合でありその状態の持続時間は短い，係留設備の計画としては浮体の寿命内での最大外力に耐えるものにする必要がある．最大定常係留外力をまとめると下表のようになる．

表 5.25 石炭浮体にかかる最大定常係留外力（Case 3）

波漂流力(kN)	風抗力(kN)	潮流力(kN)	合計値(kN)	最大定常係留外力(kN)
9,260.0	2,321.0	115.0	11,697.0	8,188.0

ここまでで，フロー中のステップ 1 の(C)について検討が終了し，次の Step2 の係留システムの選定に進む．

### 5.6.2 石炭浮体の係留システムの選定（形式、基数、配置）

定常係留外力が算定できると、次にそれに見合う係留装置の概略要目を設定する必要がある。特に、石炭浮体は大型であり、初期計画の段階においても考慮すべき項目は多い。

それらを下記に列記する。

- 1) 外力の大きさとその荷重を分散して受け止められること。逐次崩壊を避けるためにも重要である。
- 2) 水深と海底土質。ドルフィン・ジャケット形式では通常水深は 50.0m が限度と考えられている。また海底が岩礁である場合はアンカーの使用は危険である。
- 3) 建造方法。特に大型浮体は海面上でユニット同士を洋上接合するので、建設中でも位置保持する必要がある。即ち接合手順も考慮する必要がある。
- 4) 完成後の浮体の運用方法。特に荷役を行う場合、積み込み、積出しに支障のない形式と配置にする必要がある。用途に応じて許容水平変位が異なる。
- 5) 安全上冗長性を確保できること。例えば 1 基が損傷しても残りの装置で通常的环境条件に耐えることが必要である。また運用開始後であっても補修が必要な場合があるので、運用しながらでも補修ができることが必要である。このような配慮は逐次崩壊を防ぐことにも繋がる。
- 6) 浮体の移動、撤去ができること。
- 7) 喫水の変化と潮位変動に対応できること。空港として使用する場合はその上裁荷重の変化が小さいので喫水変化は小さいが、石炭浮体などでは積載荷重が大きく変化するので、喫水変化が大きい。その場合、浮体の上下変位に対応できるように緩衝材の位置を設定する必要がある。カテナリー係留の場合では同一の外力でも、チェーンに発生する張力が異なる。
- 8) 運用中の水平位置のズレはどの程度許容されるのか？今回の荷役はバージや貨物船が浮体に接舷しての荷役であり、少しの位置の変動は許容されが、例えば浮体式石油掘削装置浮体のように、用途によっては位置のずれが許されない場合もある。
- 9) 基数を決める場合、少ない基数では 1 基の負担荷重は大きくなり巨大なドルフィンになり、基数が多ければ小さなドルフィンで済むが、ドルフィン間隔が小さくなり、バージまたはバルクキャリアーが浮体への接舷するときに障害になる場合が多い。多点係留方式を採用する場合、係留装置に懸かる力が偏り一部の係留装置にのみ過大な力が懸かり、逐次崩壊が発生することがないことを確認しておく必要がある。

### 5.6.3 石炭浮体のチェーンカタナリー係留の初期計画

チェーンカタナリー係留の初期計画を以下に示す。係留チェーンは浮体の長さ方向に配置する。また、初期張力の大きさは、定常係留外力の半分の大きさに設定した。ただし、最終的には許容変位が設定された後に再確認する必要があるので設計フローに従い何回かの試算が必要である。

#### 1) チェーンの規格

使用するチェーンの規格を表 5.26 に示す。このチェーンの規格は、フロー中の c～e の検討を繰り返すことによって得られたものである。

表 5.26 チェーンの規格<sup>26)</sup>

$d_c$ (mm)	$w$ (kN/m)	$t_f$ (kN)
120.0	3.1	9,720.0

ただし、 $d_c$ : チェーンリンク呼び径、 $w$ : 単位長さ重量、 $t_f$ : 切断荷重

#### 2) チェーン本数およびチェーン長さ

チェーンの本数およびチェーンの長さなどをまとめたものを表 5.27 にまとめる。

表 5.27 チェーン本数およびチェーン長さ

$n_c$	$s$ [m]	$y$ [m]	$T$ (kN)	$S_f$
8	262.0	259.0	3,180.0	3.1

ただし、 $n_c$ : チェーン本数、 $t_f$ : 切断荷重、 $s$ : チェーン長さ  
 $y$ : カテナリー曲線部分の水平距離、 $T$ : 張力

#### 3) チェーン形状

水中のチェーンの形状を図 5.15 に示す。水中のチェーン形状を周囲に与える影響と運用面に問題がないか検討する。

また、図 5.15 に示すチェーンの状態は定常状態のチェーン形状である。

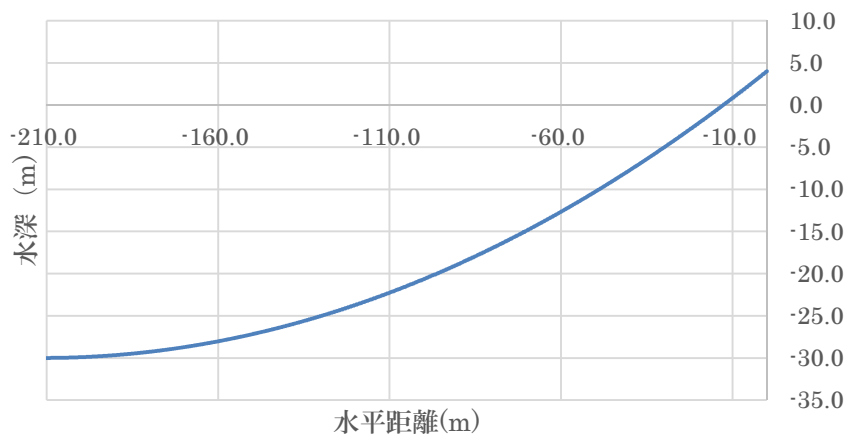


図 5.15 チェーン形状

石炭浮体には大型船の接舫が想定されている。この場合、浮体から 100.0m 付近でも大型船の接舫作業に影響がでる可能性がある。今後は、係留索が接舫作用に及ぼす影響についても検討する必要がある。

4) 係留索鎖の配置図

係留索の配置図を図 5.16 に示す。係留索の配置図から接舷やチェーンの間隔が適当であるか確認する。

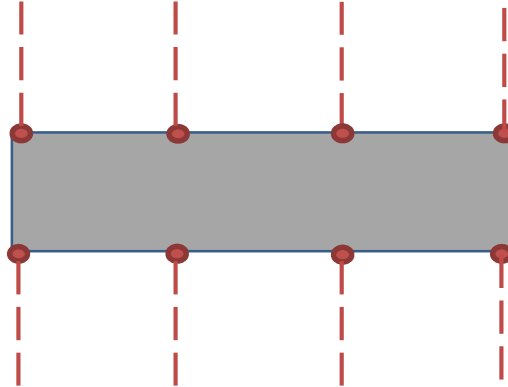


図 5.16 係留索配置図

5) 係留索鎖にかかる張力の変化

初期張力をかけた状態(初期状態)に、定常係留外力が作用し定常状態になるまで、係留索にかかる張力の変化と初期状態から定常状態になるまでの浮体の移動量を計算した。

初期状態から定常状態までになるまでの緊張側と弛緩側の係留索にかかる張力変位を表 5.28 に示す。

表 5.28 係留索にかかる張力の変化

荷重(kN)	緊張側張力(1本あたり) (kN)	弛緩側側張力(1本あたり) (kN)
0.0	1,129.4	1,129.4
200.0	1,179.4	982.3
500.0	1,254.4	922.5
800.0	1,329.4	872.6
1,100.0	1,404.4	830.3
1,400.0	1,479.4	794.0
1,700.0	1,554.4	762.5
2,000.0	1,629.4	734.9
2,300.0	1,704.4	710.5
2,600.0	1,779.4	688.8
2,900.0	1,854.4	669.3
3,200.0	1,929.4	651.7
3,500.0	2,004.4	635.7
3,800.0	2,079.4	621.2
4,100.0	2,154.4	601.8
4,400.0	2,229.4	590.1
4,700.0	2,304.4	579.2
5,000.0	2,379.4	569.1
5,300.0	2,454.4	559.7
5,600.0	2,529.4	551.0
5,900.0	2,604.4	542.7
6,200.0	2,679.4	535.1
6,500.0	2,754.4	527.9
6,700.0	2,804.4	523.3
6,900.0	2,854.4	518.9
7,100.0	2,904.4	514.7
7,300.0	2,954.4	510.6
7,500.0	3,004.4	506.7
7,700.0	3,054.4	502.9
7,900.0	3,104.4	499.3
8,100.0	3,154.4	495.7
8,200.0	3,179.4	494.0

弛緩側と張力の差によって、チェーンカタナリー係留は浮体を拘束する。すなわち、緊張側と弛緩側の張力の差が外力と等しくなった場合に浮体は静止する。図 5.17 に係留索にかかる張力の変化を示す。ここで、緊張側の張力を  $T$  とし弛緩側の張力を  $T'$  とする。係留索は 4 対あるので  $T$  と  $T'$  の差を 4 倍したものと定常係留外力が釣り合った場所で浮体は静止する。図より、浮体は約 1.8m 移動することがわかる。

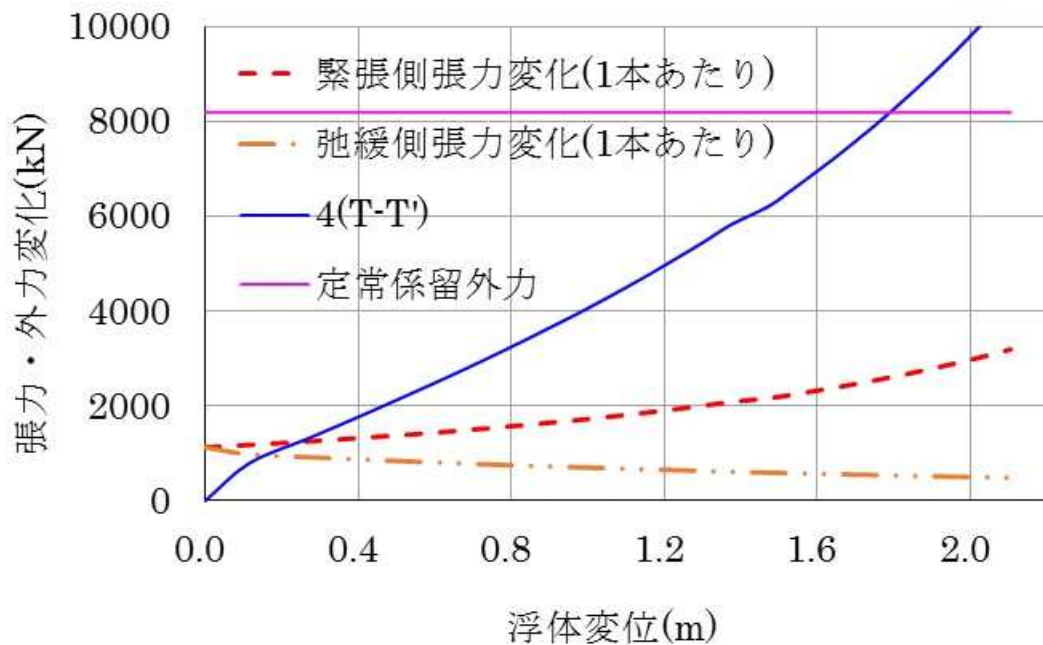


図 5.17 係留索にかかる張力の差

6) 全体評価

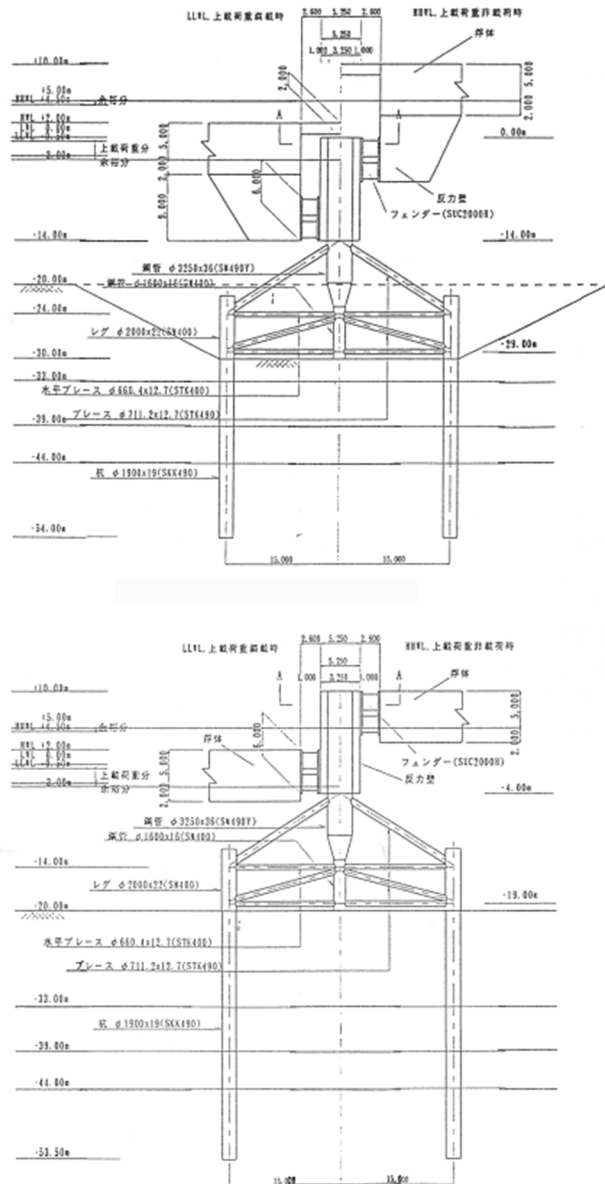
石炭浮体に対してカタナリー・チェーン係留が可能であることが判ったが、下記の理由でドルフィン係留の採用が適切と考えられる。

- 6.1) 荷役のため石炭バージや大型バルクキャリアが浮体に接触してくるが索鎖を上手に避けて浮体の所定位置に接触する作業が極めて困難と思われること。
- 6.2) 海底のアンカーの状態は常に安定しているとは限らないので時々打ち直しが必要である。また嵐が過ぎた後、例え漂流は発生しなくとも、浮体の位置がずれている可能性もあり、所定の位置保持するためには常時アンカーハンドリングボートが待機していねばならないので、維持費が多く掛かると思われる。また浮体上にはチェーン操作のためウインチ (ウインドラス) を装備する必要がある。
- 6.3) 数十年単位で使用する場合、チェーンの維持管理に大きな費用と時間が掛かる。
- 6.4) 大型浮体を建設する場合、どうしても小さなユニットに分割して建造し、洋上で接合して完成させる工程になる。ユニット同士を接合する場合、相互運動を完全に抑制しないと溶接が難しい。チェーン係留の場合その抑制が不可能である。

### 5.6.4 石炭浮体のドルフィン係留の初期計画

#### 1) 選定理由

今回の浮体は医療浮体に比べはるかに大型であり、現地での建造・施工は前章のユニット分割図に示すように、洋上接合方式となる。従って接合過程を見ると解るように、接合途中段階、特にユニット同士を溶接接合する場合しっかりと浮体ユニットを固定する必要がある。また水深は約 30.0m とドルフィン・ジャケット形式が可能なので、図 5.18 のようなドルフィン・ジャケット形式とした。



出典：メガフロート技術研究組合，メガフロートの空港利用に関する実証的研究

図 5.18 ジャケットタイプの係留ドルフィンの例<sup>4)</sup>



## 2) 配置

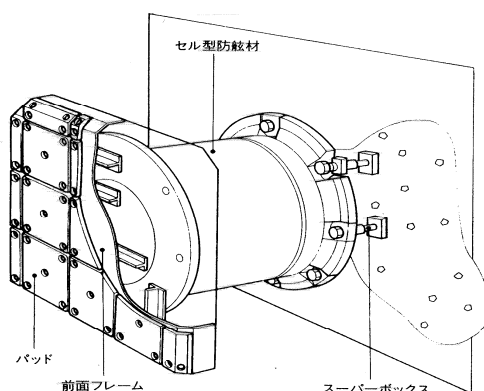
ユニット分割図をみると解るように長手方向で5基、短辺方向で前後4基が必要である。長手方向では片側だけに配置されているが、洋上接合する場合、運びこまれたユニットが固定された浮体に容易に近づけることが必要であり、片側配置となる。片側配置であっても、緩衝材の形状および取付け部の形状を工夫することにより、圧縮だけでなく引っ張り方向の力を止めることも可能である。

また長辺側に片側配置することによって、ドルフィンが無い側には大型貨物船の接舷が容易になり、ドルフィンが有る側ではバージが接舷可能である。

## 3) 係留装置の強度と荷重の分散方法

今回の概算では全体では静的係留荷重は800.0t程度になるが、これを9基ドルフィンで受けるので、1基約90.0tの荷重がかかる。ただし荷重を分散して受けるためには工夫が必要である。即ちドルフィンと浮体の間には通常フェンダーと呼ぶ緩衝材を浮体またはドルフィンのどちらかに設置する必要がある。そのフェンダーの材質およびサイズをドルフィン1基当たりの分担荷重に耐えられるものにする必要がある。今回はメガフロート実証試験でもでも採用された、大容量、高エネルギー吸収型のセル型ゴムフェンダーの採用を想定して検討した。

## 4) セル型フェンダーの特性



出典：ブリジストン；スーパーセル型防舷材製品カタログ

図5.19 セル型防舷材の外形図<sup>27)</sup>

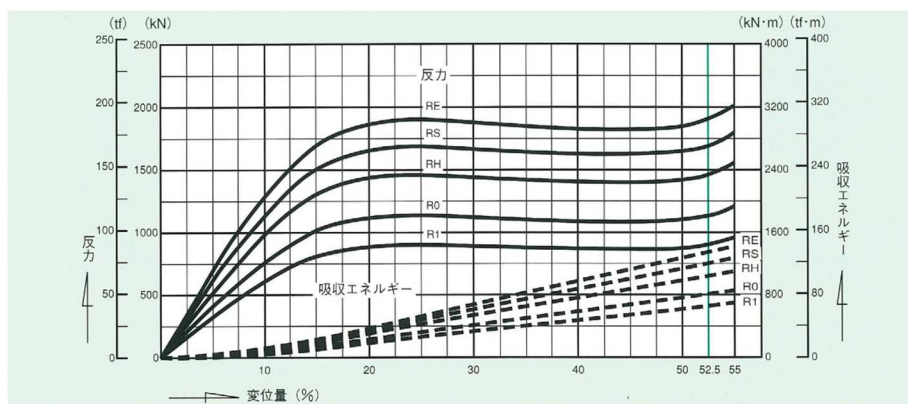


図 5.20 セル型防舷材の性能曲線モデル

### 5) 荷重分散効果

図 5.21 を見ると解るように、セル型では、定反力型とも言われるように、歪みが行っても反力が変化しない部分がある。この特性は多点係留方式の場合、係留荷重の分散化に効果的であり、多点係留の場合最も注意を要する逐次崩壊を防ぐのに効果がある。以下に図で説明する。

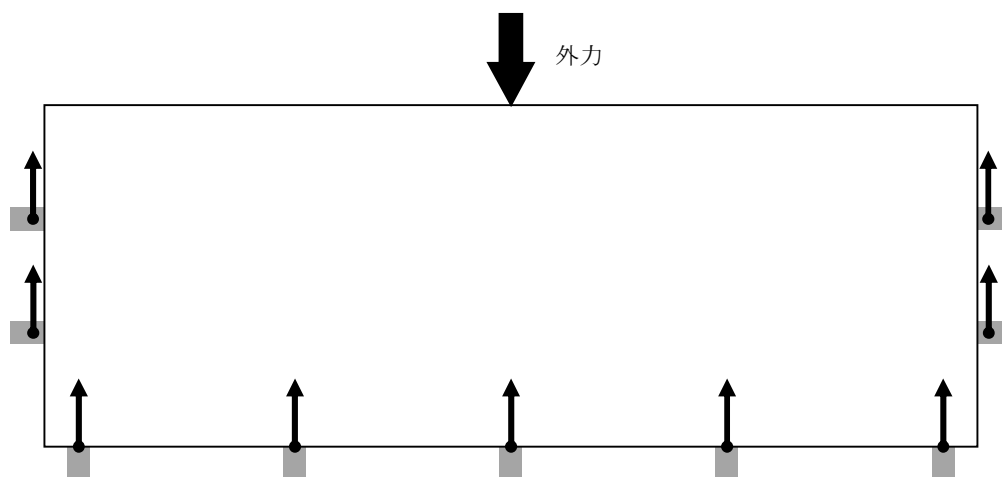


図5.21 セル型

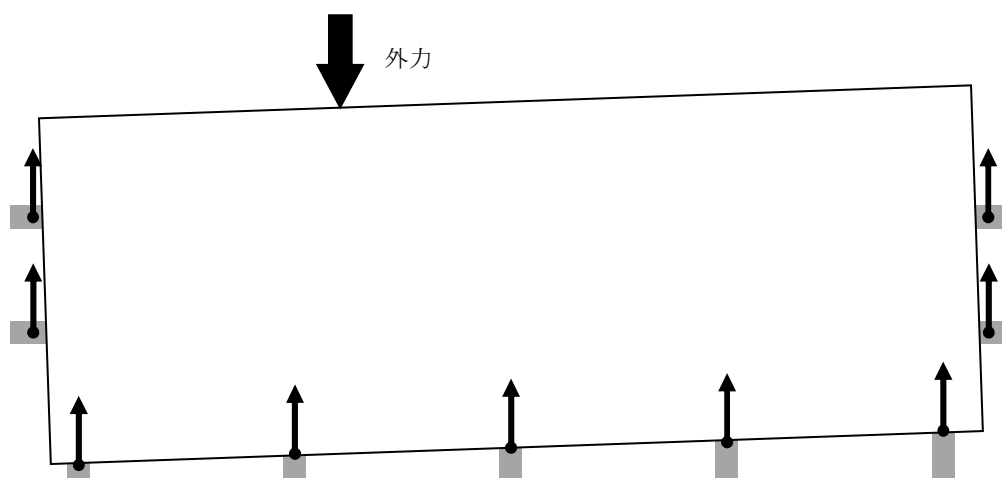


図5.22 フェンダー配置図

即ち浮体が外力の回転モーメントにより少し水平回転しても各フェンダーの歪みが定反力部分に収まるときは、どの係留点でも係留反力が一様であり、大きな回転モーメントが発生せず、水平回転 (yaw 運動) が発生しにくい。ただし実際の設計検討では自然環境条件に合わせ動的な水平運動シミュレーションを行い上記の状態を確認する必要がある。なお、図 5.22 のフェンダー配置は浮体が完成した状態でのモデルであるが、浮体の分割ユニットを接合していく場合に、ユニットがドルフィンにアプローチしてゆくが、浮体側から突き出ているフェンダー受け止めブラケットが邪魔に

ならぬような機構とするような工夫が設計時には必要である。

6) フェンダーの選定

石炭浮体の場合、係留ドルフィンの基数が別の要件で9基と決まっているので、全体係留外力を9基で分担できる大きさにせねばならない。今回は最大で1基約100.0tの荷重に耐えるものを選定せねばならないが、メーカーのカタログ等から各フェンダーの性能カーブを確認して100.0tの静荷重が作用した場合の圧縮歪みが10%以下にする必要がある。なお、設計を開始したら最初に動的シミュレーションを行い、変動荷重状態での最大歪みが38.5%以下になることを確認する必要がある。

7) 係留システムの水平運動の固有周期の推定

7.1) フェンダー仕様；SUC1600H (R0型)，標準変位における反力 114tf

7.2) バネ定数の算定；フェンダー1個分，実際は両側から挟まれていると考える。  
性能曲線の中央部の1次直線より読み取り

$$k_0 = (90 - 55) / \text{圧縮量} = (90 - 55) / (1600 \times 5.0\%) = 5.63 [\text{tf/cm}] = 5,517 [\text{t/s}^2]$$

$$\text{全体では9基で分担 } k = 9 \times k_0 = 49,656 [\text{t/s}^2]$$

7.3) 振動モデル；

浮体質量[m]は満載状態を想定して

$$m = 6.2 \times 590 \times 160 \times 1.03 / g = 6146.7 [\text{t}]$$

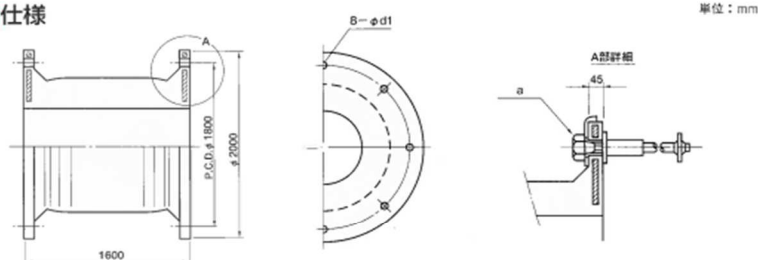
浮体側とフェンダーは固着されておらず、摺動板を介しているため、片側フェンダーのみで外力を支持している状態を想定する。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 6.27 [\text{s}]$$

実際は摺動板と浮体側構造の間には、浮体の制作誤差等も考慮して10.0～30.0cm程度の間隙が設定されるので、さらに長い周期になると思われるが、浮体重量も軽い場合もあり、安全を考えるならもう少し柔らかいフェンダーを選定する必要がある。設計段階では精密な運動モデルを設定して変動外力を入力としてシミュレーションにより確認することが必要である。

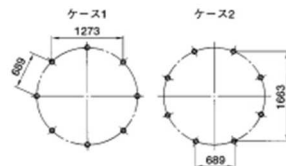
# SUC1600H

## 仕様



性能グレード	標準					オプション
	RE	RS	RH	R0	R1	全グレード
ボルトサイズa	M42		M36		M48	
d1	53		46		61	

## ボルト穴の位置

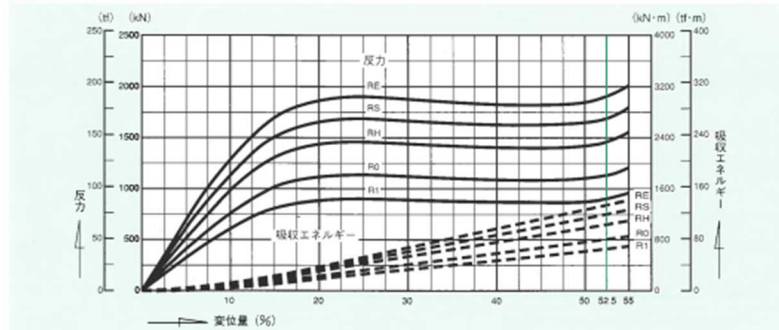


## 性能表

ゴム質	反力 (kN/t)		吸収エネルギー (kN-m/t-m)	
	設計標準変位量	設計限界変位量	設計標準変位量	設計限界変位量
RE	1890	2010	1330	1410
	193	205	136	144
RS	1680	1790	1180	1250
	171	182	120	127
RH	1450	1540	1020	1080
	148	157	104	110
R0	1120	1190	787	833
	114	121	80.1	84.8
R1	894	950	628	665
	91.1	96.8	64.0	67.7

(1kN-m=1kJ) 性能公差: 反力+10%以下 / 吸収エネルギー-10%以上

## 性能曲線



11

出典：ブリジストン；スーパーセル型防舷材製品カタログ

図5.23 メーカーカタログの例（ブリジストン，SUC1600H）<sup>27)</sup>

## 8) 緩衝材の高さ方向(作用点の高さ)の位置

緩衝材をドルフィン側につけるか、浮体側につけるかという問題がある。ここで石炭浮体の特性として、満載状態、バラスト状態および空荷状態で喫水が大きく変わる点を考慮せねばならない。更に設置候補海域では潮の干満差が **2.6m** と大きい。また浮体の上下位置は海底（または基準海面）に対し最大 **12.5m** も変動する。これを下図に示す。

- 8.1) 空荷状態でフェンダー高さが浮体底面から外れないように設定すると、浮体が最も沈んだ状態ではフェンダー位置(高さ)は浮体の上甲板高さを超えるので、

フェンダーを受け止めるブラケットが必要である。

- 8.2) 従ってドルフィン・ジャケットの要目（構造強度，地中杭の深さ等）を決定する場合に必要な係留外力作用点の位置(高さ)は，上図より海底面から約 36.0m である。

また，最大定常外力に基づいたフェンダーを選定して水平耐力約 100.0t のドルフィン構造を選定する必要がある。

なお，今回の場合，満載状態と空荷状態での浮体の喫水変化が大きいので，浮体空荷の場合と状況が異なり，フェンダーはドルフィン側に取付けることによりドルフィンの高さ（作用点高さ）を最小にしている。

- 8.3) 石炭浮体にバラストタンクを設けたことにより，石炭積込み，積出し荷役を行っている間の浮体の喫水変化を小さくして，荷役時の石炭の上下移動のストロークを小さくして荷役時間を短縮することが可能となった。

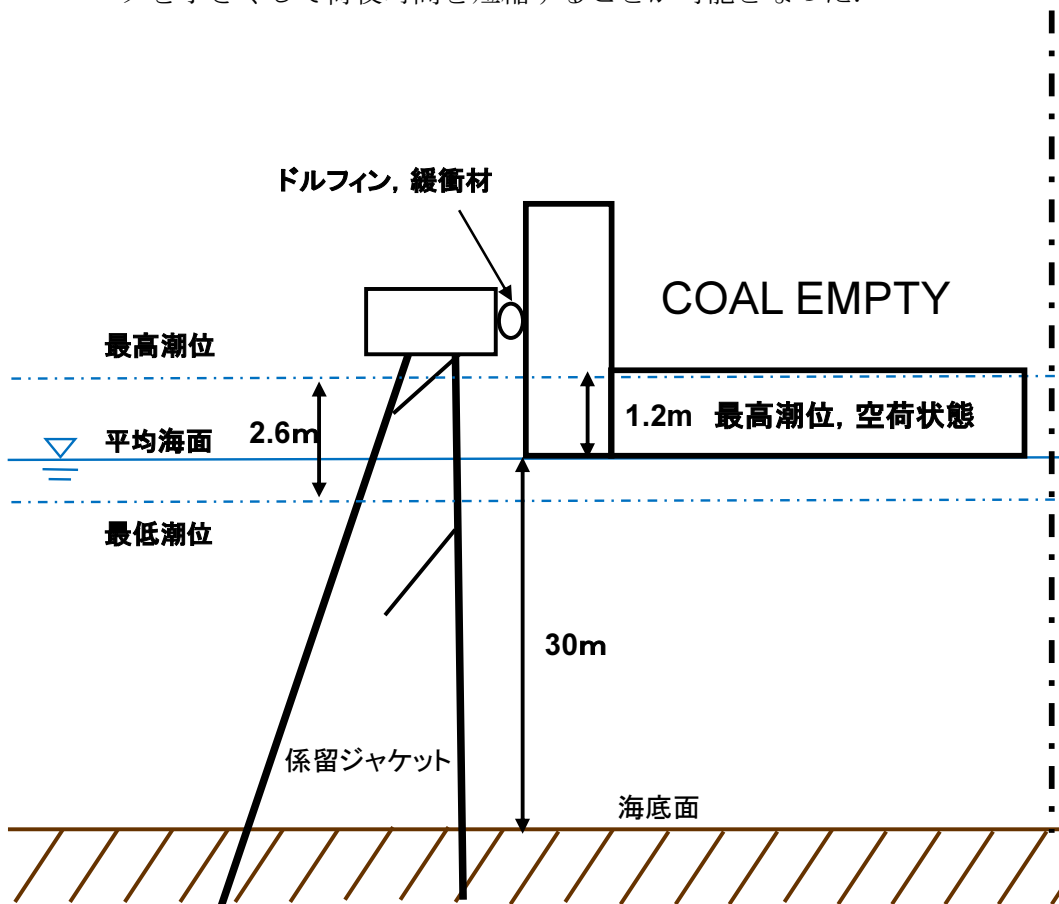


図 5.24 喫水の変化と上下ストローク

### 5.6.5 係留装置の全体配置

最終的な係留装置の配備を図5.25に示す。

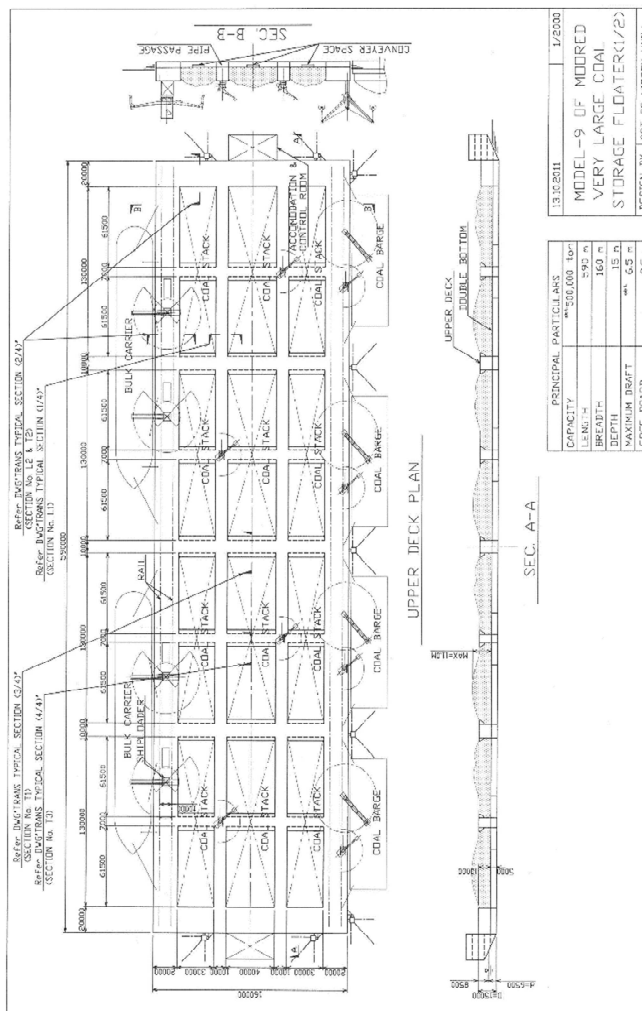


図 5.25 石炭浮体配置図

### 5.6.6 課題と評価

上記に示した手順と方法によりメガフロートは勿論、メガフロートとは異なる大型浮体についても、複雑なプログラムを使わなくとも、初期の係留要目を決定できることが判明した。

初期計画と基本設計の線引きは微妙な問題であり、確定された定義等はない。一番大切な要素は結果を出すまでの時間であり、状況に応じて許される検討時間も変わるが、ここでは必要最小限の検討作業を示した。また時間が許せばさらに検討すべき項目や内容も示唆した。

## 第6章：浮体建造法の検討

## 6.1 大型浮体の一般的な建造法

浮体の建造法は、船体の建造と全く同じであるが、大型になると建造ドッグに入らないのでユニットに分割して建造する必要がある。その後ドッグから引き出して洋上でユニット同士を引き寄せ溶接接合する。この洋上での溶接接合が技術を要するのでメガフロートの技術開発の1項目になったので、その概要を下記に紹介する。

## 6.2 洋上接合方法の概要

### 6.2.1 引き寄せ・固着

引き寄せ固着作業は次のステップで行う。

- 1) 1次引き寄せ：新設ユニットを最終位置から既存ユニットの数 10.0cm 以内まで引き寄せる。
- 2) 2次引き寄せ：2浮体を接触させ、所定の位置に設置する。
- 3) 固着：接合部分を溶接するため、浮体間の相互動揺を抑制する。

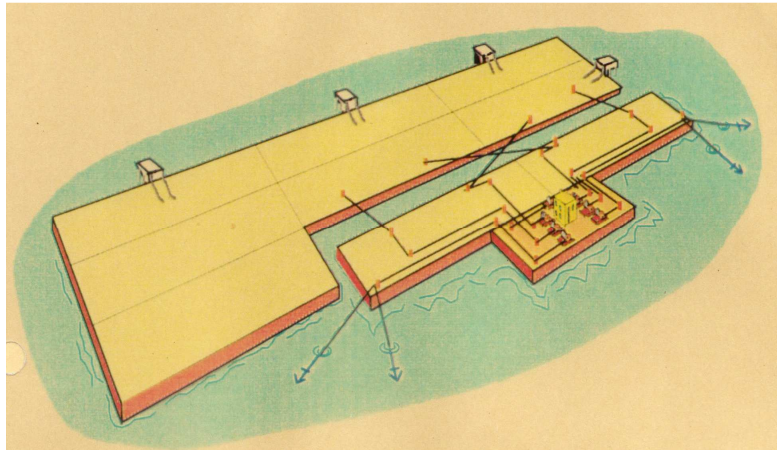
上記の作業は中断すると種々の危険が生じるので平穏な天候（波高が 0.5m 以内）が 12 時間以上続く日を選定して決行せねばならない。



出典：出典：メガフロート技術研究組合，メガフロートの空港利用に関する実証的研究

図 6.1 浮体の 1 次引き寄せ<sup>28)</sup>



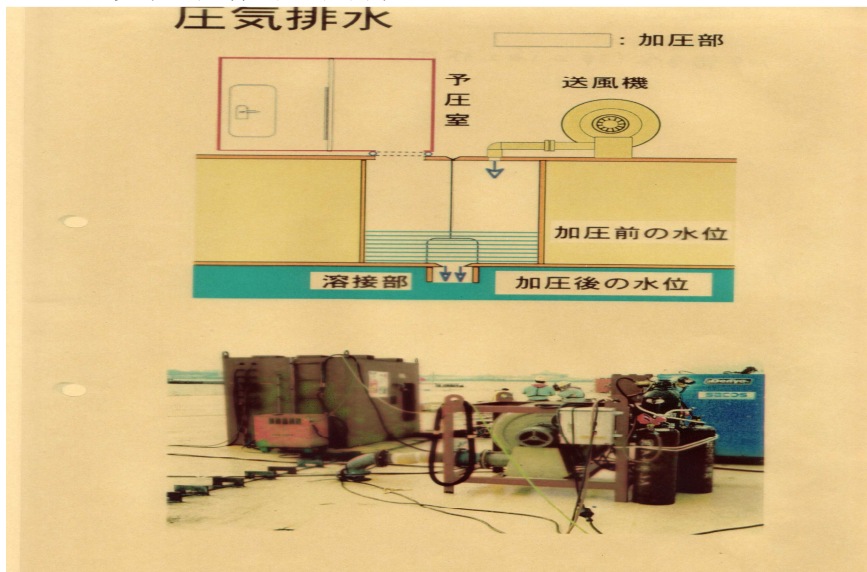


出典：メガフロート技術研究組合，メガフロートの空港利用に関する実証的研究

図 6.2 インチ台船による 1 次引き寄せ<sup>18)</sup>

### 6.2.2 接合部分の溶接方法

接合部分の下部は水中にあるため、溶接は単純には行えない。選択肢としては水中溶接または下部から海水を除去して空気中で溶接を行う。水中溶接は海底油田の補修工事などに採用されているが、作業効率が悪いので、最終的には海水を除去して空気中での溶接法が採用される。ユニット同士を接合する場合、溶接線長はかなり長いので当然なことと思われる。以下に具体的に説明する。

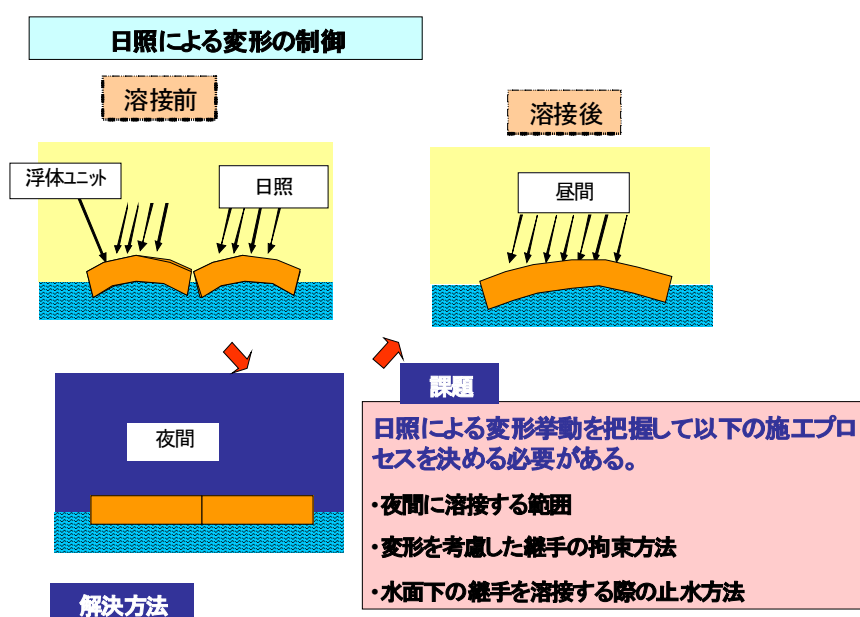


出典：メガフロート技術研究組合，メガフロートの空港利用に関する実証的研究

図 6.3 圧気排水法<sup>18)</sup>

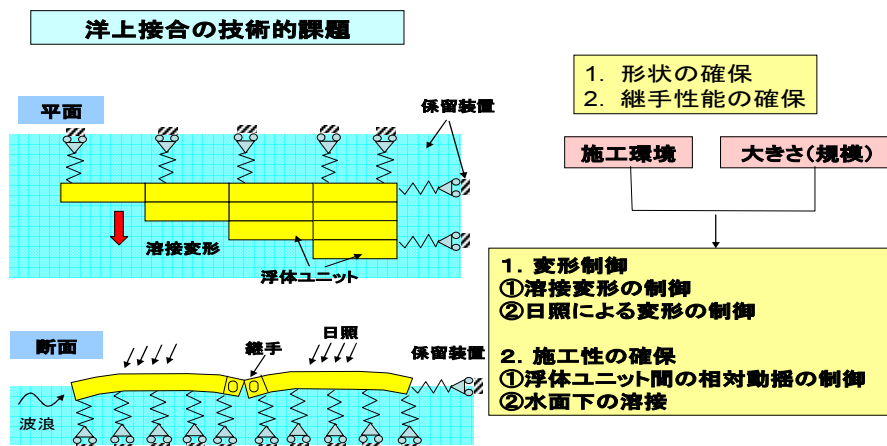
排水は、海水を直接ポンプ等で排水するのでなく、接合部分の空間へ送風機で空気を圧入してその圧力で海水をユニットの底から下に向けて方向へ排出する。僅かな圧力差で海水は自然に排出され、なお且つ接合部分をドライにする。勿論溶接する前には付着した塩分を除去するため真水で洗浄する。海水排出後には接合部の下に防水治具をセットして溶接準備が終了。あとは自動溶接機を設置して溶接を行う。

手順は以上だが、実は溶接ができる状態にするのはかなりの準備が必要である。即ち、接合はユニット同士の部材を溶接で繋ぐ作業なため、部材同士の芯がある基準内に一致している必要がある。このため両ユニットの形状が全く一致していないと、接合部材同士に空隙ができて溶接ができない。ここに洋上接合の難しさがある。実際は現場で種々の工夫を施して溶接のできる状態を保っている。例えばユニットおの上面は日中太陽光線を受けて僅かに膨張するが、その結果ユニットの形状は変形して接合部分が離れる状態になる。それらを簡単に下図で示す。



出典：メガフロート技術研究組合；接合圧縮による浮体変形解析

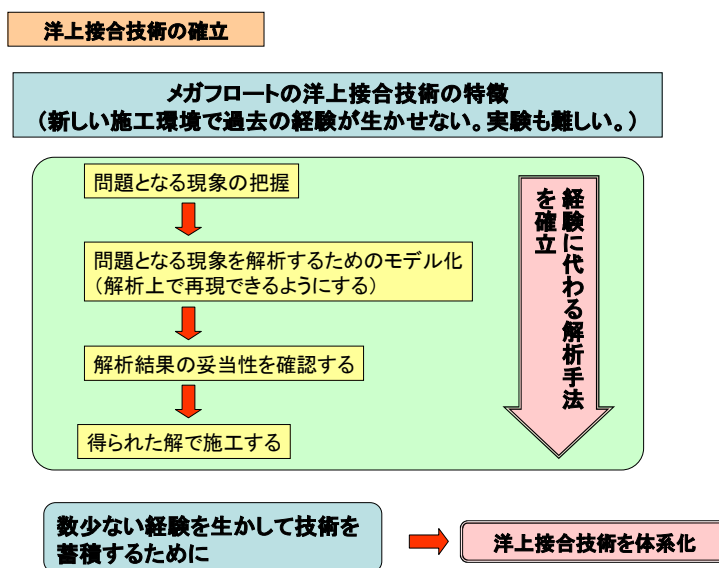
図 6.4 日照による変形の制御<sup>29)</sup>



出典：メガフロート技術研究組合；接合圧縮による浮体変形解析

図 6.5 洋上接合の難しさ<sup>29)</sup>

なお、上図の課題は全てメガフロート研究で解決され、下図のようにまとめられた。

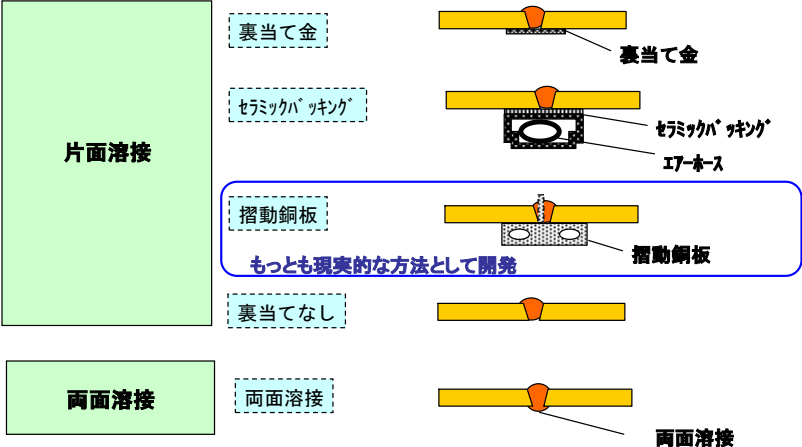


出典：メガフロート技術研究組合；接合圧縮による浮体変形解析

図 6.6 洋上接合技術の確立<sup>29)</sup>

溶接方法

- ・片面溶接
- ・溶接速度が速い
- ・開先精度に鈍感
- ・裏当ての取付、取り外しが容易



出典：メガフロート技術研究組合；接合圧縮による浮体変形解析

図 6.7 開発された溶接法の例 29)

## 6.3 石炭浮体のユニットへの分割

### 6.3.1 ユニットの強度

石炭浮体の当初の計画では日本でユニットを建造して現地へ曳航し、現地でユニットを接合して全体を完成させるという条件（計画フローの中では制約条件に相当）になっていたため、長期曳航も考慮せねばならなかった。このような曳航では様々な方法が考えられるが、ユニットを直接海に浮かべてバージのように曳航するのが最も合理的と考えた。ユニットの曳航中の強度が不十分であれば強度補強や水密区画の確保等曳航のための工事が必要となり不要なコストが大きくなる。そこで今回はユニットの強度は遠洋航海用バージ並みの強度に設定することにした。

第4章で述べた構造強度の検討がユニットの強度検討から始まったのは上記理由によるものである。ユニットの大きさをどのように設定するかは、初期計画において重要な要素である。

### 6.3.2 洋上接合時のユニットの仮係留

洋上接合はユニット同士の部材を突き合わせて溶接する。この時、部材同士が完全に密着していないと溶接ができない。そのため、溶接前にユニット同士の相体運動が発生しないように相互を固着させる必要がある。そのため種々の治具を使って固着はするが、最も重要なことは出発点になるユニットが洋上で定点に留ることである。そこで接合工事のための仮係留が重要になる。定点に留めるためにはチェーン・カタナリーよりもドルフィン係留の方が優れているので、接合工事時の仮係留用にも使用できるドルフィン係留を採用した。その配置も接合手順を考慮して配置した。結果を下記に示す。

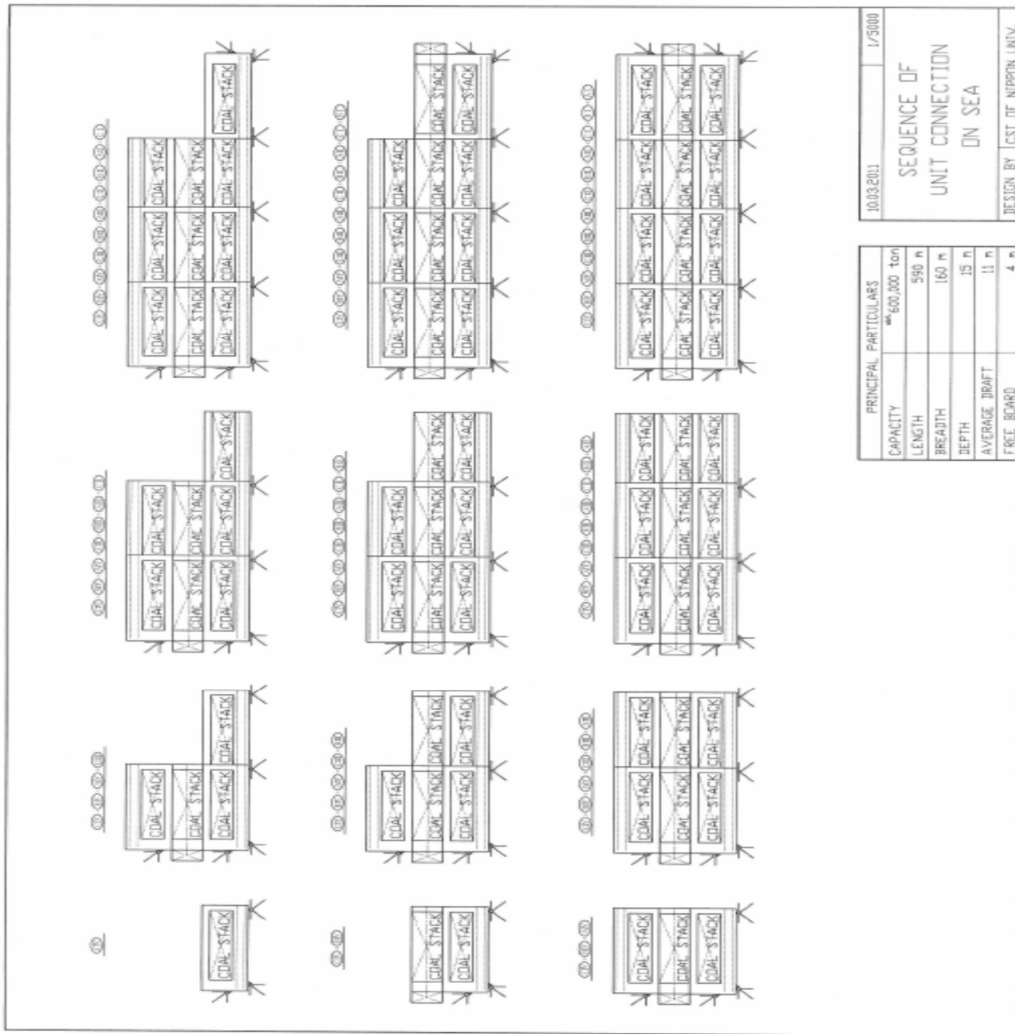


図 6.8 ユニット接合手順とドルフィン配置

## 第7章：全体の考察および成果と課題の整理

## 7.1 全体の考察

### 7.1.1 全体の成果

全く特性の異なる医療浮体と石炭浮体に関して、

- 1) ゼロベースからの初期計画を具体的に実施して、考え方、検討の手法等を示した。
- 2) また初期計画と基本計画や設計作業との間に明確な線引きはないが、特性の異なる各浮体それぞれに対して初期計画では最低限どの程度までやるべきかを明確に示すことができた。
- 3) 初期計画の意義：新しい浮体を提案する場合は、まずイメージパースが出発点になるが、イメージだけでは種々の安全性や必要な物量、さらには概略コストなどの推定は難しく、その実現性を容易に感じる事が難しい。一方、それらを明確にするために通常の設計を開始すると不明確な事項が多く結果を得るまでには膨大な時間がかかると思われる。そこで初期計画という新しい概念と検討ステップを導入してより簡便に概略の全体像を把握することは、社会的にも意味あることと思われる。新しい浮体では、当然設計に関係する要素が多いので、初期計画を実行することによりどのような要素が後工程の設計に関係してくるのか（問題点）を明確にすることができる。
- 4) また浮体の特性が異なれば、その目的に合わせて検討内容も大きく異なることも示せた。
- 5) 検討作業で使用する設計ツールは、自分達が利用できる既存のツールをベースに出発し、その結果を考察することにより、その浮体の概略特性を把握することができることを示した。それにより新たなツール等を開発せずに短期間で初期計画に取り組めることを示した。今回は MSC/NASTRAN であり、弾性応答解析プログラムである。
- 6) その結果、大学の工学系大学院生であれば、箱型式浮体全体の初期計画を実行できる可能性を示せた。即ち基本的な工学技術を用いた全体システムの概要把握できることを示した。



### 7.1.2 初期計画のフローとブラシアップの手順

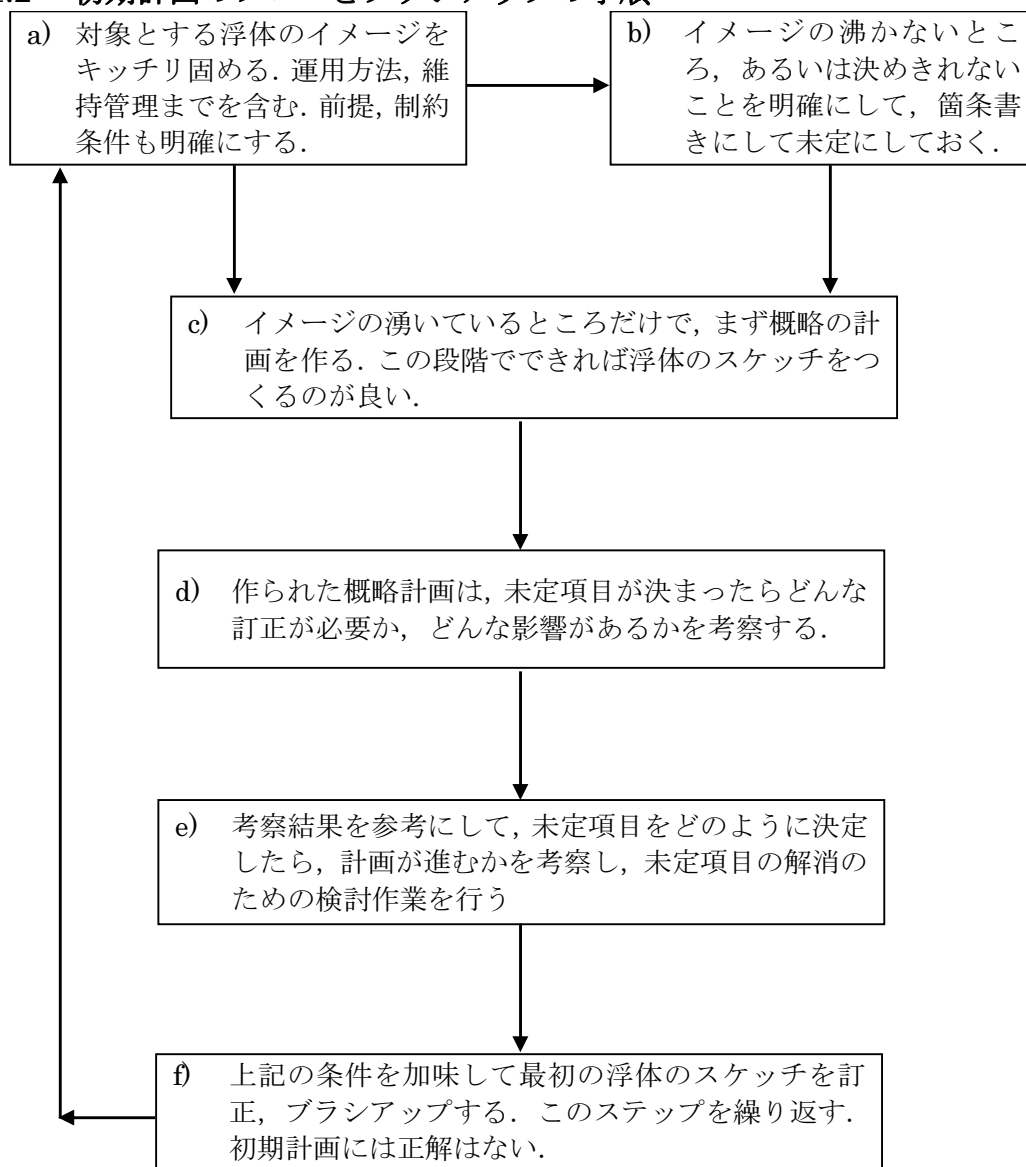


図 7.1 初期計画のフロー

- 1) 浮体の用途および運用と機能要求の把握と整理
- 2) 不明確な事項を箇条書きにしておくことにより、その後の検討方針を立て易くなる。
- 3) この段階でも、概略の構造強度解析を開始するのが良い。簡単に使える設計ツールを使って大きな傾向、全体の強度特性を把握することが重要である。また、概略検討によって、さらに解析の精度を上げるにはどんな手法&設計ツールが良いかを考えるヒントも出てくる。例えば医療浮体の出発点になったスケッチを参考までに下記に示す。

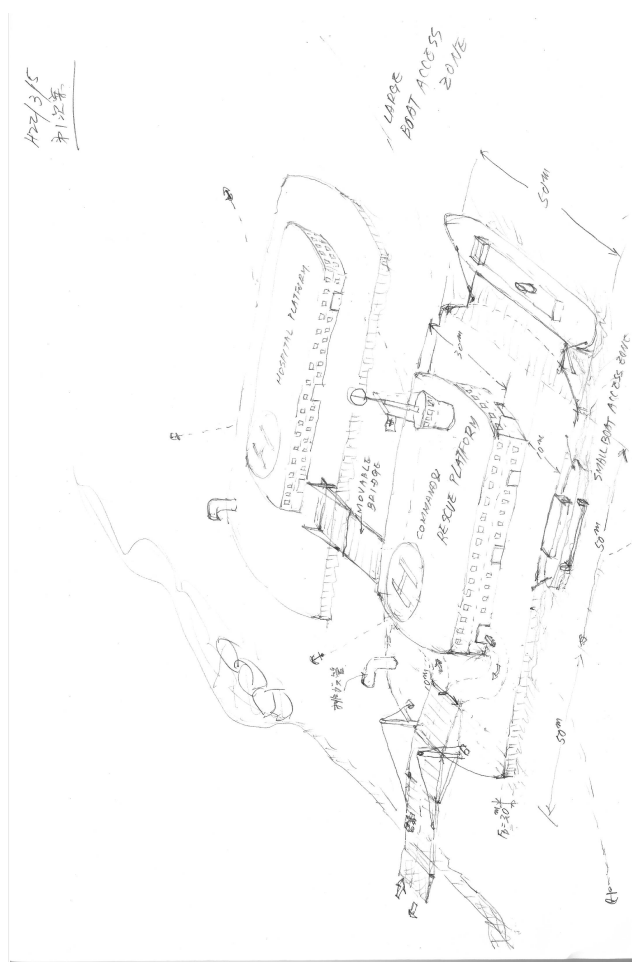


図 7.2 医療浮体のイメージスケッチ

- 4) 概略の浮体計画とイメージスケッチを勘案しながら、未定項目の中ではどれが最も影響が大きいかを考察する。
  - 5) 未定項目を解消するための検討であるが、すぐに解消できず先に進まない場合は、根拠はないが自分で想像して仮の解決案を前提条件しても良い。あくまでも検討を先に進めることが初期計画では重要である。
- 以下に、配置検討，構造，係留に分けて論じる。

### 7.1.3 構造計画について

- 1) 箱型浮体構造について、必要強度が  $I$  または断面係数  $Z$  などと表現されると等価板厚ベースの板壁構造での板厚が算定できるので、構造重量が初期計画段階でも推定可能になった。またこの等価板厚ベースの重量は実際のスチフナベースよりも重いので詳細設計での最適化目標になると思われる。
- 2) 2.4 で紹介したメガフロートの研究成果は、弾性応答の特性を  $EI$ ,  $D$  (構造深さ) をベースに整理しているが、そこから必要な  $I$  が判定出来ると、浮体サイズを仮定して  $Z$  を求め等価板厚ベースで安全側に構造重量を推定できることが分かった。

## 7.2 成果と課題

### 7.2.1 全体の課題

浮体の法的位置付けと安全性に関する課題

医療浮体についてはいわゆる「係留船」扱いになると思われる。しかし、詳細に見ると、火災安全に対する考え方は、建築基準法、消防法と船舶安全法では思想が異なる部分があるので、どちらのコンセプトを選ぶかによって配置や使う材料が異なってくる。

例えば耐火構造、スプリンクラーの設置方法、消火栓の配置など設計に係わる多くの項目がある。逆にこれらの課題をクリアしていないので本研究は初期計画に範疇に入るのである。

また医療浮体が岸壁に係留して使用される場合と沖合に係留して使用される場合でも、乗船者に対する避難経路や救命装置の内容が異なると思われる。

他にも、浮体は何らかの原因で損傷して浸水が発生した場合の対策即ち区画浸水に対する検討が本研究ではなされていない。構造配置的には船底部には多くの区画があり浸水対策は容易と思われるが、医療浮体については初期計画が終了して基本計画を始める時に真っ先に検討すべきことである。

### 7.2.2 医療浮体の課題

医療浮体は多勢の人が居住する空間である。浮体は法規的には、係留船扱いとなると思われる。そうすると救命筏や救命ボートが要求される。その時、対象人員をどのように設定するのか、客船などを参考にした検討が必要である。また岸壁に係留して使用する場合と沿岸域に係留して使用する場合には状況が異なる。救命装置の対象となる人数はいくらにすべきか？いくらになるのか？実際に設計する場合にはまずこの問題を解決せねばならない。そのため関係官庁との折衝と協議が大切であり、正式に申請して判断を仰がねばならない。申請には設計図も必要である。設計スパイラルを迅速に回すための最初のステップと考えて取り組む必要がある。

居住空間の防火、消火、避難経路の設定は場合により、居室配置とも関連する。初期計画ではそれらを見越しての概略計画であるが、設計段階では最重要課題になる。また、防火に関しては排煙の問題がある。陸上建築物での要求と船舶での考え方は異なるのでどのようなコンセプトで設計するのか、これも関係官庁へ申請・協議して承認してもらう必要がある。

患者をどのように搬送してくるのか？患者は担架、ストレッチャー、車椅子等の乗せられて運ばれてくると予想されるが、それを浮体の中までに運び込む時に陸岸、または小型船からの乗り移りは容易にできるのか、可動式栈橋、リフトアップ方式、小型船からは傾斜路等を試設計して運搬能力などを検証せねばならない。その時は予想される浮体の揺れも考慮せねばならない。救急車で直接浮体内部までに運び込む場合は、その救急車が浮体上または内部をスムーズに流れるような配置も重要な設計項目である。

### 7.2.3 石炭浮体の課題

石炭浮体の場合は医療浮体とは異なり、構造、係留と荷役効率が主題になる。

構造に関しては、貨物艙への積み付け状態（配置）と関連して、構造にとって最も危険な状態を設定して、操作側へマニュアルとして周知させる必要がある。多数の貨物艙に石炭をどのような順番で収納し、どのような順番で積出しするのか？陸側の石炭出荷の状態とも関連し、また積み込みと積出しが両舷で同時に行われる場合も多いと思われるので簡単ではない。構造強度への負担を減らすために、バラストの調整により荷重の分散を図るためにバラストタンクも配置されているが、荷役中の構造安全性の確認のため何らかのモニタリング装置も必要になるかも知れない。

さらに現在の初期計画では多くの角部（コーナー部）が存在する。ここへの応力集中度合いが最大でどの程度になるのか、強度解析が最初に必要になる。

上記を勘案すると設計での検討作業量は膨大になると予想されるので、着手前に設計作業を合理的かつ効率的に進めるための計画が必要であろう。

係留装置では外洋から伝播して来るウネリに対して同調・共振が発生しないかの検討が必要である。その場合、フェンダーのバネ定数だけでなく、ドルフィン構造の水平変位に関するバネ特性も配慮せねばならない。貨物艙の下部にバラストタンクを配置して、石炭荷役の状況に合わせてバラストを調整できるようになっている。バラストを調整することはバラストポンプを稼働させることであり、電力を消費する。バラスト調整を最小にするには、どのような石炭積み付けまで構造強度上許されるのか明確に把握する必要がある。更に石炭荷役中は荷役装置がフルに稼働する。これも電力を消費する。石炭浮体に一時貯蔵することは、大きな石炭流通のシステムの中では効率が上がるメリットがあるが、これまで一度で済む石炭荷役が二度行う勘定になるので、エネルギー消費が増える。石炭浮体の事業採算を見極める場合に重要な要素である。従って浮体の構造強度をどのように設定するかは単なる構造安全性だけの問題でなく、事業採算性にも関連する重要な要素である。

石炭浮体のような構造的に複雑かつ大型浮体の構造強度の検討には MSC/NASTRAN という解析プログラムと弾性応答解析というプログラムは有効であることが判った。また二つとも必要である。NASTRAN 解析での変形表示は、解析を外注したところの標準手法により 3 次元のカラー表示であったが、単純な 2 次元のグラフにすべきであった。弾性応答解析との比較がより判りやすかったと思われる。

### 7.3 浮体システムの計画と海洋工学への期待

浮体の初期計画とは、視点を変えると、提案する浮体をシステムとして活用するシステムの提案である。従って既に確立されているシステムや、或いは新しいシステムの提案があり、その中に浮体も含まれている場合は浮体の役割は明確になっているので、事業が開始されると浮体の設計はすぐスタートできる筈で、初期計画は不要な状況と思われる。故に初期計画が必要な場合は、浮体を活用する新しいシステムを要求されていると考えるのが妥当と思われる。新しいシステムなので当然未確定項目や前提条件が出てくる。そこで、これまで述べてきた種々の計画フローのなかで前提条件や未確定項目を明確にする必要を示しているが、前提条件や未確定項目を確定する検討作業も、医療浮体の場合のように浮体の初期計画に含まれる場合も多いので注意を要する。その検討作業は必ずしも設計的な或いは工学的な作業とは限らない。そこに新しい浮体実現の難しさがあると筆者は考えている。建築業界&学会の場合は取り組んでいる範疇が広いので例えば都市計画といった社会システムと密接な分野があるのでこのような課題はないと推察しているが、海洋工学の場合は「工学」がエンジニアリングともの作りと解釈されやすいので、新しい浮体の取り組む姿勢は偏り易いと思われる。その解決法の一つとして当然広く他分野の人、例えば建築、土木、エネルギー、医療関係者等との協調・協同を目指して取り組むのが新しい浮体の実現に早道と愚考される。

## 第 8 章：結論

- 1) 初期計画とは、与えられた制約条件と前提条件の下で浮体の  
イ) 主要寸法を決定し、  
ロ) 全体配置を作成し、  
ハ) 概略構造重量と係留装置要目までを算定する  
検討作業のことと再定義することができる。
- 2) 従って初期計画は所謂 F.S (Feasible study, 実現可能性検討) や事業採算性検討  
を行う場合の基礎資料となる。
- 3) 新しい海洋構造物を設計する場合、参照すべきサンプルやモデルがないため、  
**Design by Analysis** なる手法が採用されるが、**Analysis**(解析) は場合によっては  
高度な技術が必要であり、また通常非常に時間がかかる。その解析をすこしでも効  
率良くするためにも、初期計画を実行しておくことにより、解析すべき項目が絞ら  
れるので、設計スパイラルを短くすることができ、トータルとしての設計時間が低  
減できるメリットがある。
- 4) 海外では海洋構造物の設計に非常に役立つ下記の参考書がある。「**Handbook of  
Off-shore Engineering**」  
残念ながらこの本が対象にしている海洋構造物は固定式ジャケット、半潜水プラッ  
トフォームだけで箱型浮体は含まれていない。  
本研究は箱型浮体に対する具体的な初期計画例を示し、今後の新しい浮体の計画に  
取り組む場合の参考となるよう心掛けたので、大学、企業、設計会社等からさらに多  
くの浮体計画が発表されて、新浮体の実現が早まることに寄与する。

## 謝辭

## 謝 辞

本論文は、本学が大型箱体式石炭貯蔵積出用浮体の初期計画を委託研究として三菱商事から受託し、著者が担当してまとめた結果と、本学が以前から研究していた医療浮体の研究成果の双方を初期計画という切り口から纏めたものである。

本論文作成に当たっては、本学理工学部海洋建築工学科 増田光一教授、同居駒知樹教授、日本大学総合科学研究所前田久明教授の多大なご指導と御教示き、深甚なる謝意を表します。

また、本学理工学部海洋空間利用研究室の恵藤浩朗准教授を始め、同研究室の村田一城、清水研、岸田智之、中島麻悠美、山本卓の各氏に大変お世話になりました。改めて御礼を申し上げます。

また、本論文の作成に当りとても参考になったメガフロート技術研究組合の研究成果については、現在その管理を任されている(財)日本造船技術センターの御好意により自由に参照させて頂きました。改めて御礼申し上げます。

最後に、MSC/NASTRANによる解析では(株)サンユーシビルエンジニアリング構造設計部の方々には大変お世話になりました。改めて御礼申し上げます。



## 参考文献

## 参考文献

- 1) 三菱商事株式会社；インドネシアの石炭輸送における大型浮体構造物の活用に関する調査，三菱商事シンガポール支店，研究・調査委託事業，2010
- 2) 株式会社商船三井；東北電力向け石炭船”SOMA MARU(相馬丸)”が竣工，<http://www.mol.co.jp/pr/2014/14043.html>，2014.7
- 3) 中部電力ホームページ；でんきのあした，<http://dna.chuden.jp/admin.html>，2016.1
- 4) メガフロート技術研究組合；メガフロートの空港利用に関する実証的研究—概要—，平成10年度研究成果報告書，1999.3
- 5) 三井造船昭島研究所；メガフロート設計用基礎的データベース整備，H10年度自主研究，1999
- 6) メガフロート技術研究組合；平成9年度超大型浮体式海洋構造物の試験研究（浮体設計技術の研究）D.不規則波中弾性応答解析報告書，1998
- 7) メガフロート技術研究組合；メガフロートの基本特性，2000.2
- 8) （財）沿岸開発技術研究センターメガフロート技術研究組合；超大型浮体式構造物「技術基準案・同解説」，1999.3
- 9) 東京都防災会議地震部会；「首都直下地震等による東京の被害想定」報告書，2012.4.
- 10) 日本水路協会；海底地形デジタルデータ M7001, Ver.2.1（関東南部），2011
- 11) 全国公私病院連盟；平成24年 病院運営実態分析調査の概要，全国公私病院連盟・日本病院会，2013
- 12) 日本海事協会；鋼船規則，Q編，鋼製はしけ，2013
- 13) 吉田宏一郎，海洋工学の基礎知識，成山堂書店，1999
- 14) 井島武士；浅海風波のスペクトルにおける波高と周期の相関係数について，運輸省港湾技術研究所，1962
- 15) 合田良寛；耐波工学—港湾・海岸構造物の耐波設計—，鹿島出版会，2008
- 16) 畔柳昭雄，山口順子，増田光一，佐藤千昭，惠藤浩朗，小林昭男，坪井塑太郎，居駒知樹，登川幸生，丹正勝久，木下浩作，斉藤俊克，高田昌子，谷米温子；浮体式災害時医療支援システムの計画構想について—構想概念について，第24回海洋工学シンポジウム，2014.3
- 17) （財）沿岸開発技術研究センター；浮体構造物技術マニュアル，1991.3
- 18) 宮古毎日新聞社；<http://www.miyakomainichi.com/2012/04/32925/>，2012.4
- 19) メガフロート技術研究組合；メガフロートの空港利用に関する実証的研究，平成11年度成果報告書，2000.3
- 20) 住友金属工業株式会社；ドルフィン特性の検討，メガフロート係留討論会，1993.1
- 21) 福島洋上風力コンソーシアム；洋上の2MWダウンウィンド型浮体式洋上風力発電設備「ふくしま未来」，2016.1
- 22) 水産工学研究所；<http://nrife.fra.affrc.go.jp/research/uki/uki.html>，2016.1
- 23) 日本マリーナ・ビーチ協会；プレジャーボート用浮体橋設計マニュアル，2009
- 24) 日本海事協会；係留システムの設計指針，1983
- 25) 新日鉄住金株式会社；一般構造用鋼管，<http://www.nssmc.com/>，2015.8
- 26) メガフロート技術研究組合；メガフロートの空港利用に関する実証的研究—フェーズⅡ成果概要及び平成12年度研究成果—，メガフロート技術研究成果報告書，2001.3
- 27) 関西造船協会編；造船設計便覧 p.146 [各種物体の抵抗]，海文堂，1983
- 28) ブリジストン；スーパー　　ーセル型防舷材製品カタログ，2011.11
- 29) メガフロート技術研究組合；接合圧縮による浮体変形解析，H9年度報告書，1998.3