

合板を用いた壁型枠における  
コンクリートの側圧と変形に関する研究

平成29年1月

日本大学大学院理工学研究科博士後期課程

建築学専攻

荒 卷 卓 見

## 目次

## 第1章 序論

1.1	本研究の背景と目的	1
1.2	本論文で用いる用語の定義	3
1.3	鉄筋コンクリート工事における型枠の位置付け	4
1.3.1	型枠工事の役割	
1.3.2	型枠に要求される性能	
(1)	型枠の強度と剛性	
(2)	構造体および部材の位置・断面寸法	
(3)	コンクリートの仕上がり状態	
(4)	せき板の存置期間	
1.4	合板を用いた在来型枠工法の変遷	8
1.4.1	型枠工事の変遷	
1.4.2	型枠材料および型枠工法	
(1)	框(かまち)式パネルの誕生(戦前)	
(2)	型枠工法の移り変わり(戦後)	
1.5	既往の研究	13
1.5.1	日本建築学会における型枠の変形量と応力度の考え方	
1.5.2	型枠の構造計算方法に関する既往の研究	
(1)	型枠の構成材料の力学的性質に関する研究	
(2)	型枠の設計に関する研究	
1.6	本研究で対象とした壁型枠の構成材料とその構成方法	17
1.6.1	型枠の構成材料	
(1)	コンクリートに接する「せき板」	
(2)	せき板を所定の位置に固定する「支保工」	
(3)	せき板と支保工を緊結する「締付け金物」	
1.6.2	壁型枠の構成方法	
(1)	せき板に用いる合板の向き	
(2)	内端太の構成	
(3)	セパレータの割付け	
1.7	本論文の構成	24
【第1章の参考文献】		

## 第2章 合板を用いた在来型枠工法の実態に関するアンケート調査

2.1	研究の目的	26
2.2	アンケート調査の概要	27
2.2.1	調査対象および調査期間	
2.2.2	調査項目および設問項目	

## 目 次

2.2.3	アンケートの配布および回収件数	
2.3	回答者の属性	30
2.4	調査結果および考察	31
2.4.1	型枠工事の契約形態および施工計画	
2.4.2	在来型枠工法における型枠の構成材料	
2.4.3	在来型枠工法における柱・壁型枠の強度と剛性	
2.4.4	在来型枠工法における壁型枠の構成	
2.5	まとめ	50

### 【第2章の参考文献】

## 第3章 支点間距離が型枠の構成材料における合板および栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響

3.1	研究の目的	52
3.2	内端太の間隔を考慮した支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響	53
3.2.1	実験概要	
(1)	合板の種類と水準	
(2)	曲げ試験の方法	
3.2.2	実験結果および考察	
(1)	含水率が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響	
(2)	支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響	
3.2.3	内端太の間隔を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数	
3.2.4	まとめ	
3.3	セパレータの長さ方向の間隔を考慮した支点間距離が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響...	62
3.3.1	実験概要	
(1)	栈木の樹種と水準	
(2)	曲げ試験の方法	
3.3.2	実験結果および考察	
(1)	含水率が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響	
(2)	支点間距離が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響	
3.3.3	セパレータの長さ方向の間隔を考慮した栈木の曲げヤング係数の低減係数	
3.3.4	まとめ	

### 【第3章の参考文献】

## 第4章 合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

4.1	研究の目的	71
4.2	実験概要	73
4.2.1	実験の要因と水準	
4.2.2	合板の転用に関する実験フロー	
4.2.3	コンクリートの使用材料および調合	
4.2.4	合板の曲げ試験の方法	

4. 3	実験結果および考察	79
4. 3. 1	コンクリートの種類が転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響	
4. 3. 2	合板の含水率の変化が転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響	
4. 3. 3	剥離剤の塗布が転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響	
4. 3. 4	合板の転用回数と $pEb_{(r1-10)} / pEb_{(r0)}$ の関係	
4. 4	転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数	85
4. 5	まとめ	86

## 【第4章の参考文献】

## 第5章 在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案

5. 1	簡易設計方法の提案の目的	88
5. 2	在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法	89
5. 2. 1	適用範囲	
5. 2. 2	型枠の構成材料	
5. 2. 3	壁型枠の構成	
5. 2. 4	簡易設計方法のフロー	
(1)	フレッシュコンクリートのヘッドと単位容積質量から求めたコンクリートの側圧	
(2)	コンクリートの側圧に対応するせき板のたわみ	
(3)	コンクリートの側圧に対応する内端太のたわみ	
(4)	コンクリートの側圧に対応する外端太のたわみ	
(5)	セパレータの種類を選択	
(6)	型枠の総変形量の確認	

## 【第5章の参考文献】

## 第6章 合板を用いた壁型枠の変形に関する実験的検討と本簡易設計方法の有用性の検証

6. 1	研究の目的	106
6. 2	実験概要	107
6. 2. 1	壁型枠の構成および実験の組合せ	
6. 2. 2	試験体の概要	
6. 2. 3	型枠の構成材料	
6. 2. 4	コンクリートの使用材料および調合	
6. 2. 5	測定項目および測定方法	
(1)	型枠の変形	
(2)	コンクリートの側圧	
6. 3	実験結果および考察	115
6. 3. 1	コンクリートの側圧	
6. 3. 2	コンクリートの側圧による型枠の変形と本簡易設計方法の有用性の検証	



## 目 次

(1) せき板のたわみ	
(2) 内端太のたわみ	
(3) 外端太のたわみ	
(4) 本簡易設計方法の有用性	
6.3.3 壁型枠の剛性とコンクリートの打込みの条件の関係	
6.4 まとめ	129
【第6章の参考文献】	

## 第7章 結 論

7.1 各章の要約	131
7.2 今後の課題と展望	135

## 付 録

- 本研究に関連する発表論文
- 研究業績
- 謝辞

第 1 章  
序 論

## 第1章 序論

### 1.1 本研究の背景と目的

鉄筋コンクリート工事は、設計図書に示される鉄筋コンクリート造建築物の構造体および部材に要求される性能を満足するように、鉄筋工事、型枠工事およびコンクリート工事が主体となって施工が進められる。このうち、型枠工事は、所定のかぶり厚さおよび所要の性能を有した鉄筋コンクリート部材を所定の位置に、所定の形状・寸法となるように施工するための重要な工程であり、構造部材のみならず、非構造部材にもその位置・断面寸法の精度およびコンクリート表面の仕上がりなどが型枠に要求される。このため、古くは大正12(1923)年に日本建築学会から刊行された「建築工事仕様書」<sup>1)</sup>の鉄筋「こんくりーと」仮(假)枠として、材料の転用、木材の樹種、せき板の品質、型枠の強度と精度の確保および型枠の検査などが記述され、鉄筋コンクリート工事の中の重要な工事の一つであることは言うまでもない。

型枠の構成材料と工法は、生産性や品質の向上および合理的な施工を指向した多様な型枠工法が提案され実施されているが、せき板にコンクリート型枠用合板(以下、合板とする)を用いた在来型枠工法が最も広く普及しており、型枠工事の条件や躯体の部位を問わずに汎用工法として定着している。この型枠は、直接コンクリートに接する「せき板」と、せき板を所定の位置に固定する「支保工」およびせき板と支保工を緊結する「締付け金物」で構成され、まだ固まらないコンクリートを所定の形状・寸法に保つための鑄型としての役割を持ち、コンクリートが適切な強度に達するまで支持する仮設構造物でもある。型枠工事が仮設的な工事であるが故に、工期の短縮や経済性などを重視する傾向にあるが、型枠の設計および施工に欠陥があるとコンクリートの漏出事故やひいては型枠の破壊や倒壊などの大事故につながるおそれがあるため、施工時の安全性を確保しなければならない。そのため、労働安全衛生法施行令(第6条)および労働安全衛生規則(第237条～第247条)では、型枠支保工の組立てまたは解体の作業が作業主任者を選定すべき作業に位置付けられており、型枠支保工の材料・構造、許容応力の値、組立て・解体およびコンクリートの打込みなどについて、具体的な規定や注意事項が挙げられている。すなわち、型枠の基本的な性能として、コンクリートの打込みによるコンクリートの荷重や側圧、その他の施工時の外力に対して破壊することのない強度と、所定の位置において、許容差を超える移動や変形を生じない剛性が求められる。この点については、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2015」<sup>2)</sup>(以下、JASS 5とする)の9節「型枠工事」において、「型枠は、コンクリートの施工時の荷重、コンクリートの側圧、打込み時の振動・衝撃などに耐え、かつコンクリートが2.7に定める寸法許容差を超えるたわみ、または誤差などを生じないように設計し、必要に応じて強度および剛性について構造計算を行う。」と記述されている。

このため、日本建築学会「型枠の設計・施工指針」<sup>3)</sup>(以下、型枠指針とする)では、合板を用いた在来型枠工法(合板型枠工法)が最も一般的な型枠工法として位置付けられており、型枠の強度と剛性についての構造計算の方法および型枠の加工・組立て・取外しなどの具体的な作業の内容について記述されている。この中の構造計算については、型枠に作用するコンクリートの荷重や側圧に対して、型枠を構成する各部材ごとに算出した応力度および変形量などが各構成材料の許

容応力度以下であり、かつ許容変形量以下であることを確認する方法が解説されているものの、具体的な型枠の設計方法については示されておらず、構造計算の一例が示されるに留まっている。一方で、型枠工事の本来のあり方は、施工者の責任のもとで鉄筋コンクリート部材の要求性能を満足するように施工管理が行われるべきである。しかし、型枠工事において材料の調達から労務供給までを一式で型枠工事業者が請け負う契約形態が一般化しており、施工者から特段の指示がない場合、型枠に要求される性能の確保が型枠工事業者に委ねられ、施工現場における技能者の経験則によって施工が進められている部分が多く生じていることは否めない。このため、型枠の強度と剛性についての構造計算の実施の有無が型枠工事業者に委ねられていると思われ、施工現場における型枠大工の経験則に基づく型枠の構成材料の選定および加工・組立てが行われていることが懸念される。また、型枠の構成材料とその構成方法は、型枠の強度と剛性を決定づける要因であるにもかかわらず、施工現場の実態に関する資料が乏しく、不明な点が残される。さらには、型枠の設計にあたり、JASS 5<sup>2)</sup>および型枠指針<sup>3)</sup>では、型枠を構成する各部材の構造計算上のたわみまたは変形量と、これらを合計した型枠の総変形量の許容値が目安として示されているものの、実施工における型枠の変形について調査あるいは実験的に検討した例は筆者の把握する限り見当たらない。

そこで、本研究は、せき板に合板を用いた在来型枠工法に主眼を置き、せき板(合板)、内端太(栈木および単管)、外端太(単管)および締付け金物(本体、座金、コーン、セパレータ)で構成される壁型枠を対象とした簡易に設計・施工管理できる方法を提案することを目的として、コンクリートの側圧と壁型枠の変形に関する一連の調査および実験的検討を行ったものである。本論文では、型枠工事業者を対象とした施工現場の実態に関するアンケート調査と、型枠の構成材料における合板および栈木の曲げヤング係数に及ぼす含水率と支点間距離の影響、合板の曲げヤング係数に及ぼす転用の影響に関する実験的検討を踏まえた壁型枠の簡易設計方法を提案している。さらに、アンケート調査の結果をもとに実施工を模擬した壁型枠を作製し、コンクリートの側圧による壁型枠の変形について実験的に明らかにするとともに、提案した簡易設計方法との比較検討を行い、その有用性について検証している。

## 1.2 本論文に用いる用語の定義

本論文に用いる用語は次のように定める。なお、用語の定義は、主として日本建築学会「型枠の設計・施工指針」<sup>3)</sup>に則っている。

型 枠	: 打ち込まれたコンクリートを所定の形状・寸法に保ち、コンクリートが適切な強度に達するまで支持する仮設構造物の総称
支保工	: 型枠の一部で、せき板を所定の位置に固定するための仮設構造物(水平型枠において支柱, 根太および大引きなど、鉛直型枠において内端太および外端太などを指す)
せき板	: 型枠の一部で、コンクリートに直接接する木, 金属, プラスチックなどの板類
内端太	: 支保工の一部で、せき板に接してせき板を補強するための構成材料に用いられる栈木および鋼管などの総称(柱型枠および壁型枠)
外端太	: 支保工の一部で、せき板に接する内端太を直交方向で支持するものであり、一般的に鋼管(丸パイプまたは角パイプ)を用いられる
締付け金物	: せき板と支保工を緊結し、型枠を寸法どおりに組み立て、コンクリート打込み時に作用する荷重に耐えるための金物の総称
合 板	: ロータリーレースまたはスライサーにより切削した単板3枚以上を主としてその繊維方向を互いにほぼ直角にして接着したもので、コンクリートを打ち込み、所定の形に成形するための型枠として使用するもの
塗装合板	: 合板の表面または表裏面に塗装またはオーバーレイを施したもの
無塗装合板	: 合板の表面に塗装またはオーバーレイを施していない板面が素面のもの
セパレータ	: 締付け金物の一部で、相対するせき板を所定の間隔に保つために用いる主として鋼製の部品

### 1.3 鉄筋コンクリート工事における型枠の位置付け

#### 1.3.1 型枠工事の役割

鉄筋コンクリート造(コンクリート構造物)は、設計の主旨を尊重しつつ所要の品質を満足するように、契約において定められた工期内で経済的かつ安全に施工される。そのため、それぞれの工事だけでなく工事間の調整も含めた綿密な施工計画を立案し、工事を円滑に進めていく必要がある。鉄筋コンクリート造は、主要な材料である鉄筋とコンクリートで構成される構造であるが、これに加えてコンクリートを成形するための型枠が必ず必要であり、鉄筋コンクリート工事の主体となる鉄筋工事、型枠工事およびコンクリート工事が三位一体となって施工を行うことが品質の確保に重要である。すなわち、**図1.3.1**に示すように、三位一体の工事の連携が品質の良い鉄筋コンクリート構造物につながると言っても過言ではない。

鉄筋コンクリート工事の中の重要な工事の一つである「型枠工事」は、コンクリートを所定の形状・寸法に成形するための鋳型としての役割を持ち、コンクリートが所要の強度に達するまでの仮設的な構造物でもある。よって、型枠の施工が鉄筋コンクリート造建築物の構造体および部材の位置および形状・寸法に大きく反映される。また、型枠は、コンクリートの強度が十分発現するまで、コンクリートの打込みによって生じる荷重や施工時の外力などに対して、移動や変形が生じないように支持する必要がある。

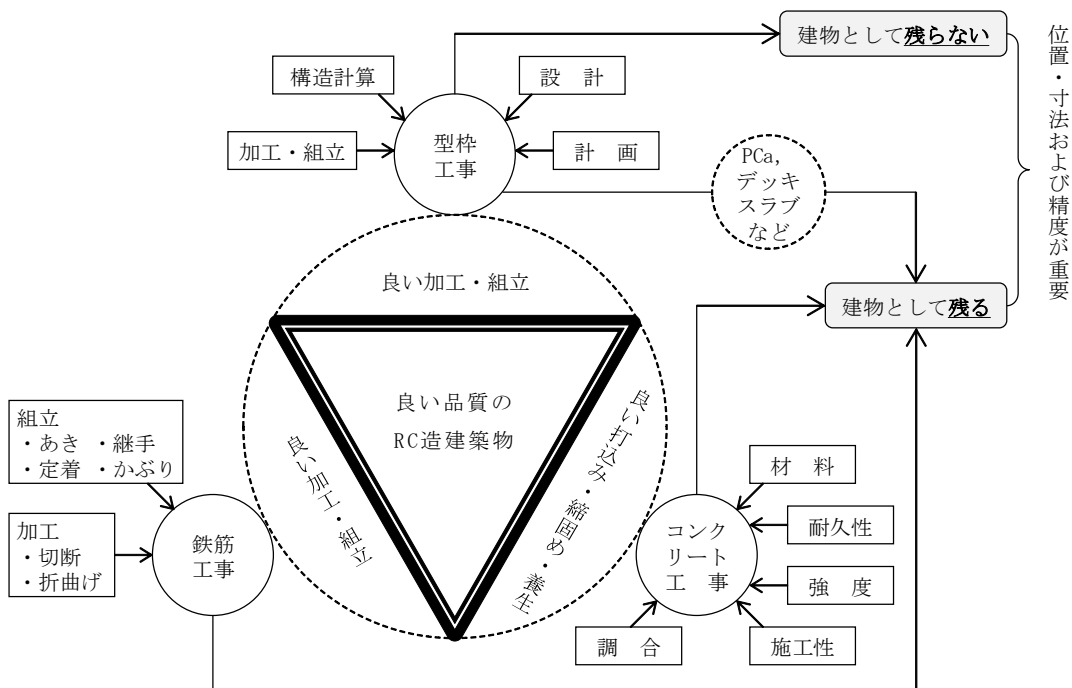


図1.3.1 鉄筋コンクリート工事における三位一体の模式図

#### 1.3.2 型枠に要求される性能

JASS 5<sup>2)</sup>における9節「型枠工事」の「9.1 総則」において、「型枠は、所定の形状・寸法、所定のかぶり厚さおよび所要の品質を有する構造体コンクリートが、所定の位置に成形できるものでなければならない。」ことが記述されている。すなわち、型枠に要求される性能は、型枠の強度

と剛性，構造体および部材の位置・断面寸法，コンクリートの仕上がり状態，コンクリートの保護が主な項目としてあげられる。

### (1) 型枠の強度と剛性

型枠には、コンクリートの打込みによるコンクリートの自重や側圧、施工に伴う衝撃や振動などが作用するほか、風や地震などの外力も作用するため、これらの荷重や外力などに対して型枠が破壊することのない十分な強度が要求される。また、型枠の移動や変形を許容差の範囲内に抑え、打ち込まれたコンクリートが所定の位置に所定の形状・寸法となるように、十分な剛性を有するものでなければならない。型枠工事の不適切な施工や欠陥は、写真1.3.1に示すようなコンクリートの漏出事故やひいては型枠の倒壊・崩壊などの大事故の原因となるため、型枠の強度と剛性について十分に検討することが重要であることは言うまでもない。この型枠の強度と剛性については、日本建築学会「JASS 5」<sup>2)</sup>において、必要に応じて構造計算を行うことが記述されており、また、同学会「型枠の設計・施工指針」<sup>3)</sup>において、合板を用いた在来型枠工法における型枠の構造計算の方法とその一例が示されている。



写真1.3.1 コンクリートの側圧が過大となり型枠からコンクリートが漏出（パンク）した事故

### (2) 構造体および部材の位置・断面寸法

JASS 5<sup>2)</sup>では、鉄筋コンクリート造建築物の構造体および部材に要求される基本的な性能の一つとして「部材の位置・断面寸法および仕上がり状態」が規定されており、構造体の位置および断面寸法の許容差の標準値が表1.3.1のとおり示されている。これは、打ち上がったコンクリート部材において、構造部材のみならず、非構造部材にも要求される基本的な性能であることが解説

表1.3.1 構造体の位置および断面寸法の許容差の標準値<sup>2)</sup>

項 目		許容差(mm)
位 置	設計図に示された位置に対する各部材の位置	±20
構造体および部材の断面寸法	柱・梁・壁の断面寸法	-5, +20
	床スラブ・屋根スラブの厚さ	
	基礎の断面寸法	-10, +50

されている。すなわち、型枠工事では、コンクリート部材が表1.3.1に示される許容差の範囲内となるように、型枠を設計・施工することが要求される。型枠の設計は、コンクリートの打込みによる型枠のたわみや変形に対して、所定の位置に、所定の形状および断面寸法が得られるように、十分な剛性を確保する必要がある。また、型枠の組立ては、コンクリート構造体および部材が所定のかぶり厚さを確保できるように、鉄筋工事や設備工事との連携が不可欠である。

**(3) コンクリートの仕上がり状態**

コンクリートの仕上がり状態とは、表面の平たんさ(凹凸)、色むらおよび気泡などのコンクリート表面の肌合い(テクスチャー)に関するものと、豆板やコールドジョイントなどの打込みに伴う欠陥部を含むコンクリートの打上がりの表面状態のことであり、構造体のみならず、非構造部材にも要求される事項である。このうち、コンクリート表面のテクスチャーに関する平たんさは、前項の構造体および部材の位置・断面寸法と同様に、JASS 5<sup>2)</sup>において、鉄筋コンクリート造建築物の構造体および部材に要求される基本的な性能の一つとして、コンクリートの仕上がり平たんさの標準値が表1.3.2のとおり示されている。すなわち、型枠には、コンクリート表面の変色や硬化不良などのコンクリートの品質に有害な影響を及ぼすことがなく、コンクリート表面を所定のテクスチャーおよび品質に仕上げる性能が要求される。このコンクリートの仕上がり状態に影響を及ぼすのは、主に直接コンクリートに接するせき板およびはく離剤の種類と品質であり、コンクリートの仕上がり平たんさは、コンクリートの打込みによるせき板の変形が大きく反映されるものである。そのため、型枠の設計は、コンクリートの打込みによる型枠の変形に対して、表1.3.2に示される所定のコンクリートの仕上がり平たんさが得られるように、十分な剛性を確保する必要がある。また、せき板に一般的に用いられる合板は、転用に伴い合板の品質が変化するため、適切な転用回数を定めて使用することが不可欠である。

表1.3.2 コンクリートの仕上がり平たんさの標準値<sup>2)</sup>に加筆

コンクリートの内外装仕上げ	平たんさ (凹凸の差) (mm)	参考	
		柱・壁の場合	床の場合
仕上げ厚さが7mm以上の場合, または下地の影響をあまり受けない場合	1mにつき 10以下	塗 壁 胴縁下地	塗 床 二重床
仕上げ厚さが7mm未満の場合, その他かなり良好な平たんさが必要な場合	3mにつき 10以下	じか吹付け タイル圧着	タイルじか張り じゅうたん張り じか防水
コンクリートが見え掛りとなる場合, または仕上げ厚さがきわめて薄い場合, その他良好な表面性状が必要な場合	3mにつき 7以下	打放しコンクリート じか塗装 布じか張り	樹脂塗床 耐摩耗床 金ごて仕上床



#### (4) せき板の存置期間

型枠は、コンクリートの形状を成形するだけでなく、若材齢のコンクリートを寒気や外力から保護する役割がある。強度が十分に発現していない若材齢のコンクリートは、寒気などによる初期凍害や、外力による変形およびひび割れが生じるおそれがあるほか、材齢初期に急激な乾燥を受けると構造体コンクリートの品質に影響を及ぼす可能性もある。そのため、型枠には、材齢初期のコンクリートを保護および養生できる役割を有することが要求される。なお、建築基準法施行令第76条(建設省告示第110号)およびJASS 5<sup>2)</sup>において、若材齢のコンクリートが初期凍害を受けることなく、また、容易に傷つけられることのない最低限の強度の基準値が定められており、セメントの種類および外気温に応じたせき板の存置期間が示されている。

### 1.4 合板を用いた型枠工事の変遷

#### 1.4.1 型枠工事の変遷<sup>3)</sup>

鉄筋コンクリート造が、わが国で造られ始めたのは明治の末頃からであり、明治39年に初めて建てられたとされる鉄筋コンクリート造の設計と施工<sup>4)</sup>の詳細が竹山謙三郎博士によって紹介されている。以来、型枠工事は、コンクリートを所定の形状に成型するための鋳型の製作に相当する作業として、鉄筋コンクリート造(コンクリート構造物)の躯体性能を支えてきた。特に、型枠は、躯体および部材の位置・形状・寸法・表面仕上がり等の性能が要求されるため、鉄筋コンクリート工事の中の重要な役割を担うことは言うまでもない。

当初のコンクリート工事および鉄筋コンクリート工事は、明治期において伝統木造建築や石造・れんが造の建築物が主流であったため、これらの工事の経験を活かした施工方法であった。したがって、明治期の鉄筋コンクリート造導入期の型枠は、厚さが50～90mmのばら板(厚板)を本実組方式で組み立てたものをせき板としており、それ自体の剛性で精度を確保していた。その後、

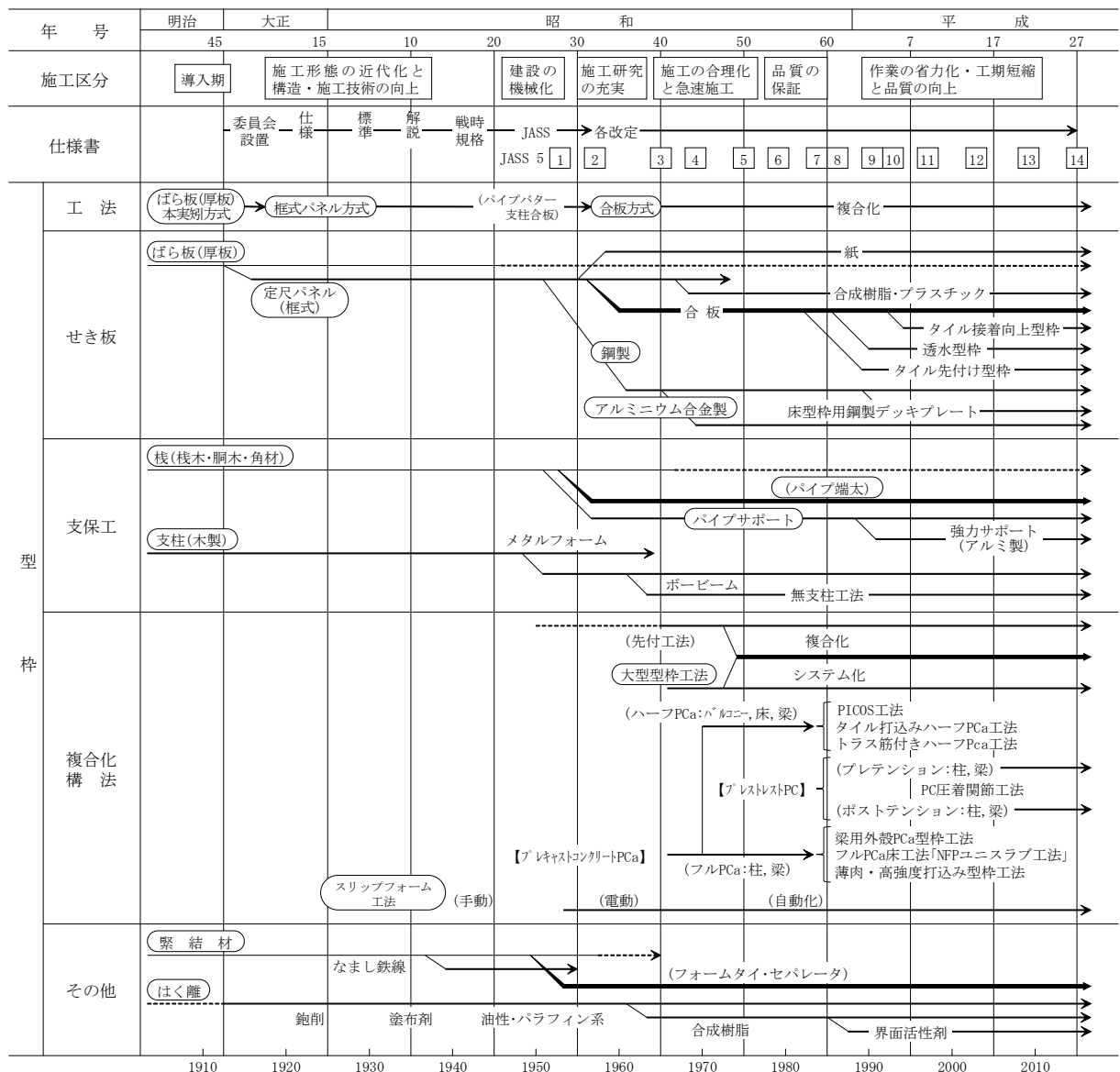


図 1.4.1 型枠工事の変遷<sup>3)</sup>の抜粋

ばら板の現場加工から製材工場での加工、さらに型枠のパネル化が行われた。戦後からの高度経済成長にかけて、現在使用されている型枠の材料はほとんどが出そろい、昭和40年代から合板を用いた素板工法が急速に普及し始め、現在の形へと近づいていく。型枠工事の変遷<sup>3)</sup>をまとめると図1.4.1に示すとおりである。

1.4.2 型枠材料および型枠工法<sup>3)</sup>

型枠工事でせき板に合板が広く用いられるようになるのは、昭和40年(1965年)代に入ってからからである。この合板の普及は、農林省林業試験場、建設省建築研究所を中心に、大学、合板メーカーおよび総合建設会社研究所その他が加わった「合板強度利用研究委員会」による合板に関する総合的な研究成果<sup>5)</sup>が大きく貢献している。それまでは、框(かまち)式パネル(木製定尺パネル)が主流であり、鉄筋コンクリート造導入期のばら板(厚板)を用いた型枠が使用されてきた。

(1) 框(かまち)式パネルの誕生(戦前)

ばら板(厚板)による現場加工の型枠は、大正期に入って製材工場で作る型枠パネルに変化しはじめた。これは、清水組(現清水建設株式会社)の小島弥三久氏が開発した図1.4.2および写真1.4.1に示すような框式パネル(木製定尺パネルともいう)による影響が大きい。なお、大正11年(1922年)に「框式混凝土堰板」が實用新案として出願<sup>6)</sup>されており、大正2年(1913年)に芝浦電機製作所工場<sup>7)</sup>と大正6年(1917年)に富士瓦斯紡績小山工場<sup>8)</sup>において框式パネルが使用されたことが記録に残されている。本工法は、パネルをどのように配置するかという工夫だけで、材料の加工、組立て、整理が非常に効率的であり、それまでのばら板(厚板)を本実矧にして現場で組み立てていく方法に比べて施工スピードが飛躍的に向上した。以来、この框式パネルは、次の合

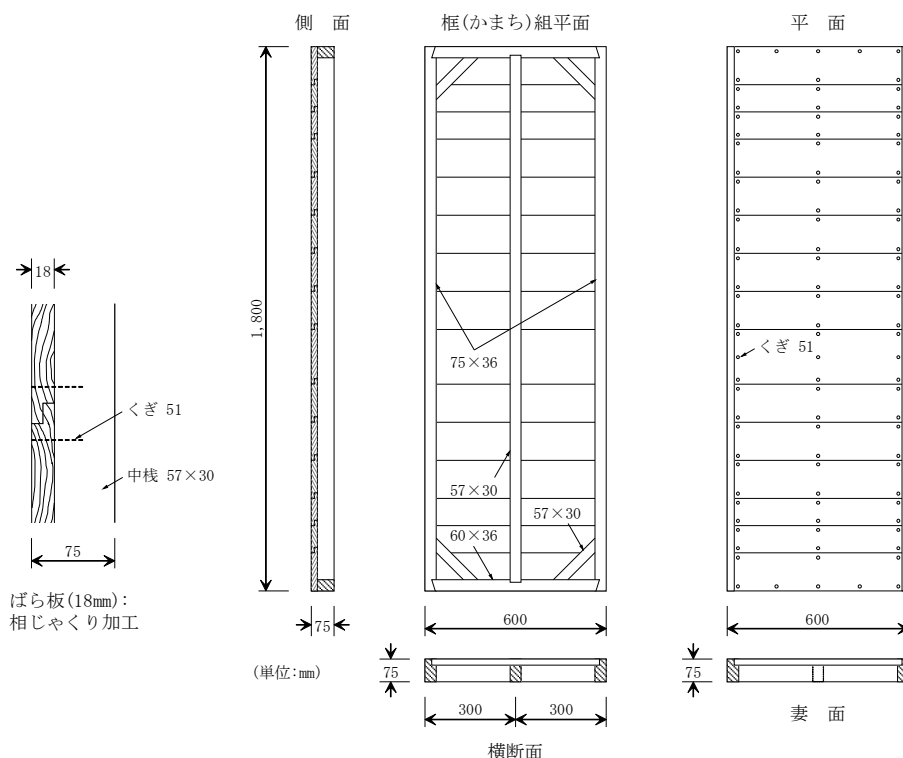


図1.4.2 框(かまち)式パネルの標準図<sup>9)</sup>



写真1.4.1 框(かまち)式パネル(毛見虎雄先生撮影)

板が普及する昭和40年(1965年)代までの半世紀にわたって使用され続けた。型枠の加工・組立てのプレハブ化が大正期に進められていたことの意義は大きく、いかにこのパネルが優れていたかを示すものである。

## (2) 型枠工法の移り変わり(戦後)

鉄筋コンクリート造が本格的に普及し始めた昭和25年(1950年)から昭和40年(1965年)の約15年間は、型枠に関する新しい材料の開発が盛んに行われた時代であり、現在使用されている型枠材料のほとんどが出そろい、また、名前もそれまでの仮設的な意味合いが強い「仮(假)わく」からコンクリートを成型する目的で造られるものとして「型わく」に変わった。

戦前から引き継いだ框式パネルの増加は昭和40年(1965年)頃まで続き、ばら板を利用した型枠も建物の一品製品に合わせて使用されたため、躯体の精度は依然として向上が見られなかった。さらに、昭和30年(1955年)～40年(1965年)にかけての工事量の増加は、型枠の精度の低下やはらみ、パンクなどの事例が増加し、精度の良くない躯体に対して、はつり作業やモルタル塗りがコンクリート工事に欠かせない工程となっていた。

一方で、昭和26年(1951年)4月に竣工したリーダースダイジェスト東京支社(設計:A.レーモンド)をはじめとするコンクリート打放し仕上げ用の型枠は一定の精度を保ち、躯体図・加工図・組立図によって慎重な工事をしなければならないことを教え、型枠工事自体のあり方を変えた。また、昭和25年(1950年)頃より型枠の締付け方式も図1.4.3に示すようななまし鉄線からフォームタイおよびセパレータが使用されるようになった。昭和26年(1951年)8月に岡部鉄工所(現岡部株式会社)がフォームタイの製品化に成功し、製造販売の開始とともに、日本相互銀行本店(設計:前川國男)、愛媛県民館(設計:丹下健三・坪井喜勝)、神奈川県立図書館(設計:坪倉準三・前川國男・吉村順三)の打放しコンクリート用の型枠で相次いで採用された。このフォームタイによる締付け方式は、なまし鉄線による締付け方式やクサビ止め方式に比べて、型枠の建込み精度がよく、型枠のはらみやパンクが少なくなることから、締付け金物の創意工夫・改良が行われ躯体の精度の向上につながった。

合板のせき板は、欧米ではすでに古くから使われていたが、日本では昭和27年(1952年)頃から使われ始め、框式パネル(木製定尺パネル)に代わる耐久性の高い合理的で経済的な型枠の代替品として徐々に注目されるようになった。しかし、昭和34年(1959年)頃から合板を使用した型枠によるコンクリート表面の硬化不良などが問題になり始め、一時的なこの問題が合板の普及を妨げたことで全面的な使用には至らなかった。その後、昭和37年(1962年)9月に、農林省林業試験場、建設省建築研究所を中心に、大学、合板メーカーおよび総合建設会社研究所その他が加わった「合板強度利用研究委員会」による合板に関する総合的な研究<sup>9)</sup>が行われた。その成果は、昭和39年(1964年)と40年(1965年)に「コンクリート型枠用合板に関する研究報告」として発表され、この内容が「建築技術」において昭和41年(1966年)4月号～9月号に連載されたことで反響を呼び、国内での合板の生産も盛んに行われた。この各研究機関による総合的な研究成果が、そ

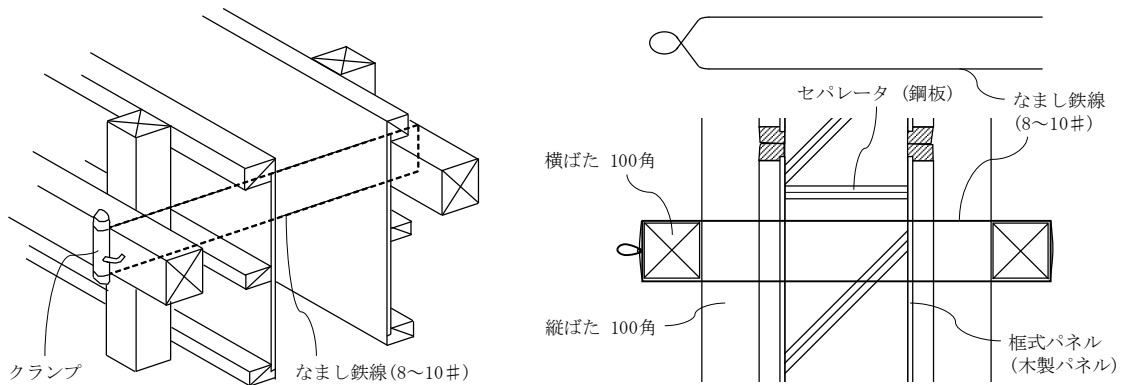


図1.4.3 なまし鉄線を用いた締付け方式<sup>8), 10)</sup>

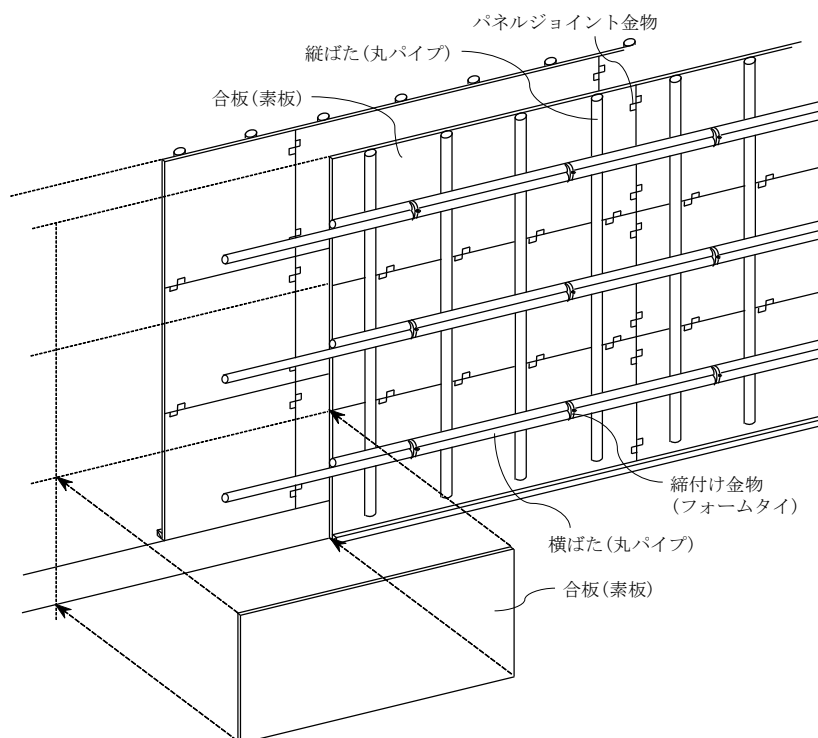


図1.4.4 せき板に合板を用いた素板工法<sup>10)</sup>

の後の合板の普及に大きく貢献し、框式パネル(木製定尺パネル)に代わって合板が圧倒的に増加していき、**図1.4.4**に示すような合板を単板のまま面材として組み立てる「素板工法」が急速に広がり主流となった。また、当初は総合建設会社が経済性や転用回数を考慮して型枠工事業者に合板を貸与していたが、この頃から、型枠工事業者が労務費だけでなく、材料費まで一式で請け負う工事形態に変化していった。

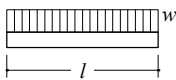

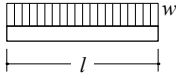

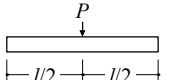
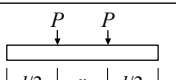
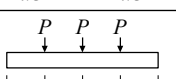
なお、昭和42年(1967年)に「コンクリート型わく用合板」の日本農林規格<sup>11)</sup>が公布されており、合板を用いた型枠工事が汎用工法として今日に至っている。

1.5 既往の研究

1.5.1 日本建築学会における型枠の変形量と応力度の考え方

ここでは、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」<sup>2)</sup> および同学会「型枠の設計・施工指針」<sup>3)</sup>における型枠の設計に際しての型枠の変形量と応力度の考え方について述べる。変形量および応力度は、支持条件の仮定方法によって結果が大きくことなるものの、型枠の支持条件は複雑な支持条件であり正確に解析するのは困難である。そこで、実際の型枠架構は、単純支持と両端固定の間にあると考えて、根太、大引および端太材のたわみおよび応力度は、単純支持および両端固定から計算した値の平均値とすることを基本としている。また、せき板に合板を用いる場合は、劣化による剛性低下を考慮して、安全側となる単純支持でたわみおよび応力度を計算することとしている。これらの関係式を示したのが表 1.5.1 となる。なお、JASS 5<sup>2)</sup>および型枠指針<sup>3)</sup>における構造計算上のたわみまたは変形量の許容値は、型枠を構成する各部材それぞれのたわみまたは変形量が 2mm 以下、各部材のたわみまたは変形量を合計した型枠の総変形量が 5mm 以下を目安とすることを推奨している。

表 1.5.1 荷重条件・支持条件とモーメント・たわみの関係式の例<sup>3)</sup>

型枠の種類	荷重状態	支持条件	最大モーメント	最大たわみ
せき板 (合板)		単純梁	$M = \frac{wl^2}{8}$	$\delta = \frac{5wl^4}{384EI}$
			$M = \frac{wl^2}{9\sqrt{3}}$	$\delta = 0.00652 \frac{5wl^4}{EI}$
せき板(合板以外), 内端太あるいは根太		単純梁と両端固定 の平均	$M = \frac{wl^2}{12}$	$\delta = \frac{wl^4}{128EI}$
			$M = 0.0428$	$\delta = 0.00391 \frac{wl^4}{EI}$
外端太あるいは大引		単純梁と両端固定 の平均	$M = \frac{3Pl}{16}$	$\delta = \frac{5Pl^3}{384EI}$
			$M = \frac{2Pl}{9}$	$\delta = \frac{7Pl^3}{324EI}$
			$M = \frac{11Pl}{32}$	$\delta = \frac{23Pl^3}{324EI}$

[注] \*単純支持と両端固定では最大値を示す位置が多少異なるが、おおむねこの値でよい。

1.5.2 型枠の構造計算方法に関する既往の研究

(1) 型枠の構成材料の力学的性質に関する研究

1) コンクリート型枠用合板

山井<sup>12), 13)</sup>は、合板表板の繊維方向に対して平行方向(長さ方向)および直交方向(幅方向)に区別し、合板の含水率を変化させて曲げ試験を行い、表 1.5.2 に示す合板の曲げ強さおよび曲げヤング係数の値を報告している。この結果は、現在の型枠指針<sup>3)</sup>における型枠の構造計算方法におい

てせき板に用いる合板の曲げヤング係数および許容応力度の基となっている。しかし、この研究は、合板が国内で普及し始めた1966年に発表されたものであり、当時使用された合板と現在一般的に普及している合板とでは、接着剤の性能の違いや製造技術の進歩などによって、品質が大きく変化していることが考えられる。

表 1.5.2 合板の曲げヤング係数および曲げ強さの試験結果<sup>12)</sup>

公称厚さ (mm)	水分条件	曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )		曲げ強さ(N/mm <sup>2</sup> )	
		長さ方向	幅方向	長さ方向	幅方向
12	気乾状態 (含水率 12%)	7.73	2.63	54.3	28.6
	湿潤状態 (3ヵ月間浸水)	7.13	2.61	42.0	24.5
15	気乾状態 (含水率 12%)	6.43	3.50	45.2	34.0
	湿潤状態 (3ヵ月間浸水)	5.99	2.64	32.2	22.9
18	気乾状態 (含水率 12%)	6.87	3.86	47.6	35.4
	湿潤状態 (3ヵ月間浸水)	6.28	3.28	36.3	27.1

2) 合板パネル(合板+栈木)

小柳ら<sup>14)</sup>は、内端太として使用される栈木(48×24mm)単体の曲げ試験に加えて、図1.5.1に示すような2'×6'合板に栈木を組み合わせた標準的な合板パネル(栈木付きパネル)の曲げ試験を行い、栈木単体よりも合板パネルの栈木1本あたりの曲げ強さの方が大きくなる傾向を示している。また、栈木単体と合板パネルの栈木1本あたりのたわみは、ほぼ同等である傾向を示している。しかし、栈木の間隔が200mmの検討に留まっており、栈木の間隔や内端太材の種類、支点間距離となるセパレータの長さ方向の間隔を変化させた検討は見当たらない。

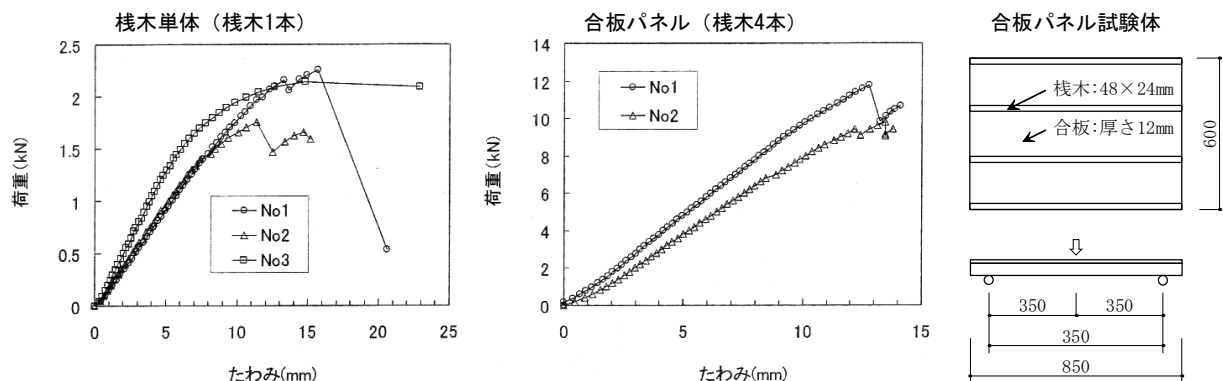


図 1.5.1 栈木および合板パネルの曲げ試験結果<sup>14)</sup>



(2) 型枠の設計に関する研究

佐藤<sup>15)</sup>は、コンクリートの打込み高さごとの側圧上昇の機構に基づいて、板(せき板)のたわみが0.3mm以下となる栈木間隔と使用板厚の関係について図1.5.2のように示している。さらに、栈木(内端太)のたわみが0.3mm以下となる栈木間隔と押え端太間隔の関係を図1.5.3、端太(外端太)のたわみが0.2mm以下となる押え端太間隔と緊結器(締付け金物)間隔の関係を図1.5.4、使用するボルト(締付け金物の一部)の荷重が許容耐力以下となる押え端太間隔と緊結器(締付け金物)間隔の関係を図1.5.5のように示し、型枠の設計のための目安を示している。しかし、この検討に用いられているコンクリートの側圧は、最も大きい値で30.0kN/m<sup>2</sup>であり、現状の型枠の設計で考慮される側圧に対して著しく小さい値となっているため、この目安をそのまま使用することは不適切であると考えられる。

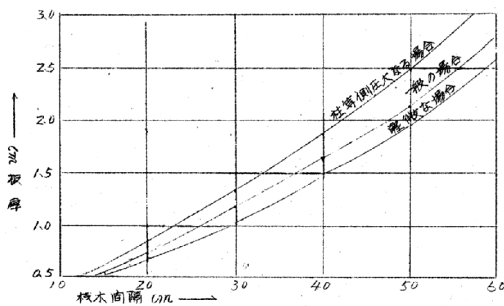


図1.5.2 栈木間隔と使用板厚の関係<sup>15)</sup>

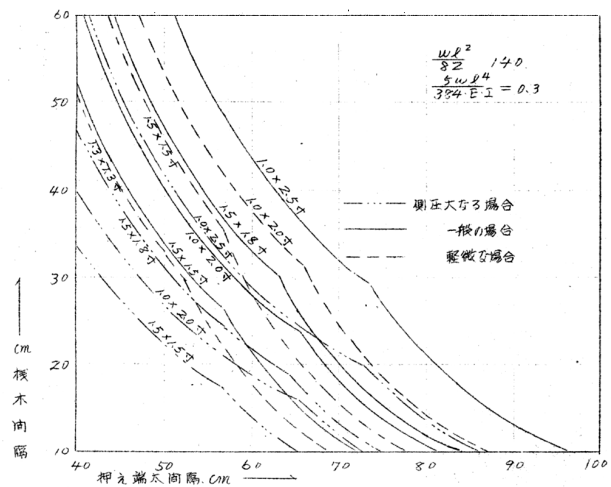


図1.5.3 栈木間隔と押え端太間隔の関係<sup>15)</sup>

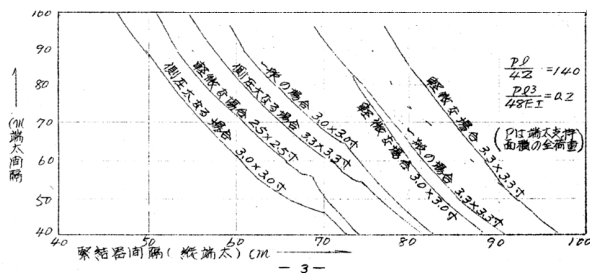


図1.5.4 押え端太間隔と緊結器の間隔<sup>15)</sup>

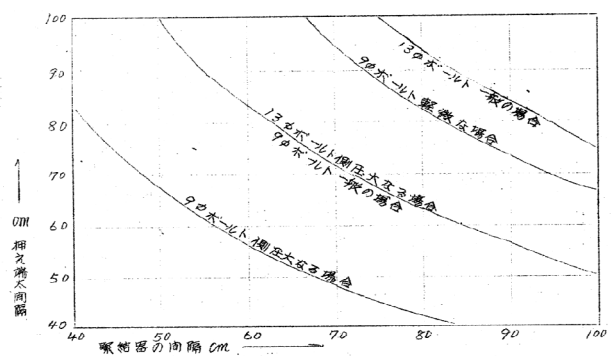


図1.5.5 押え端太間隔と緊結器の間隔<sup>15)</sup>

山井<sup>12), 13)</sup>は、JASS 5の型枠の設計方法に一定の曲げヤング係数を用いて15mm厚合板の場合の側圧、栈木の間隔およびたわみの関係を図1.5.6のように示している。さらに、合板パネル(15mm合板, 57×27mm 栈木:3本)を設定し、側圧、栈木の間隔およびたわみの関係を図1.5.7のように示し、せき板に合板を用いた型枠の設計例を示している。しかし、この検討に用いられている

合板や栈木などの型枠の構成材料は、前述のように、現在の型枠工事に使用されているものと異なり、現在の型枠の構成に即した研究は見当たらない。

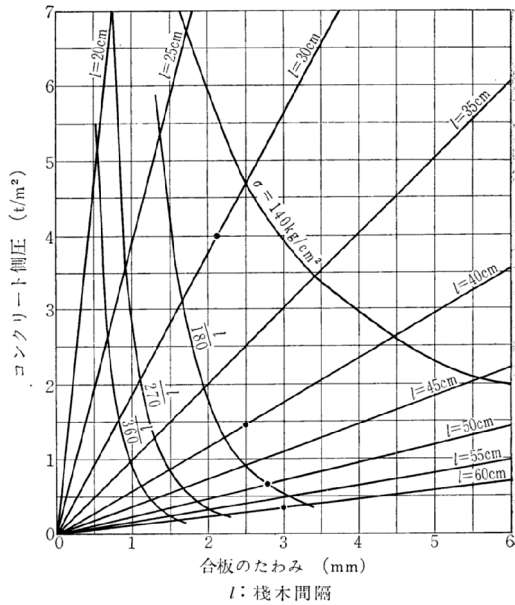


図 1.5.6 15mm 合板の側圧とたわみ<sup>12), 13)</sup>

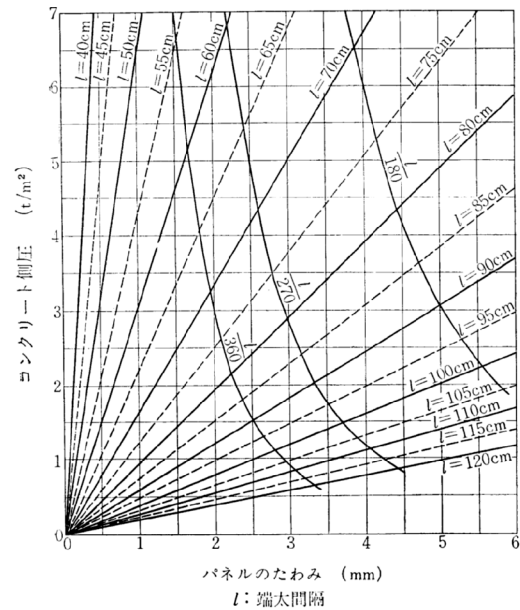


図 1.5.7 接着合板パネルの側圧とたわみ<sup>12), 13)</sup>

コンクリート工学ハンドブック<sup>16)</sup>には、壁型枠の計算方法として、型枠の構成が「せき板:12mm厚合板, 内端太:50mm角パイプ, 外端太:50mm角パイプ2本使い」のときの計算図表が図1.5.8のように示されている。この計算図表は、側圧から簡易的に内端太の間隔, 緊結材(締付け金物)の間隔(セパレータの間隔)および外端太の間隔が算定できる一方で、型枠の構成材料や構成方法が異なる場合は適用できないため、新たに計算図表を作成する必要がある。

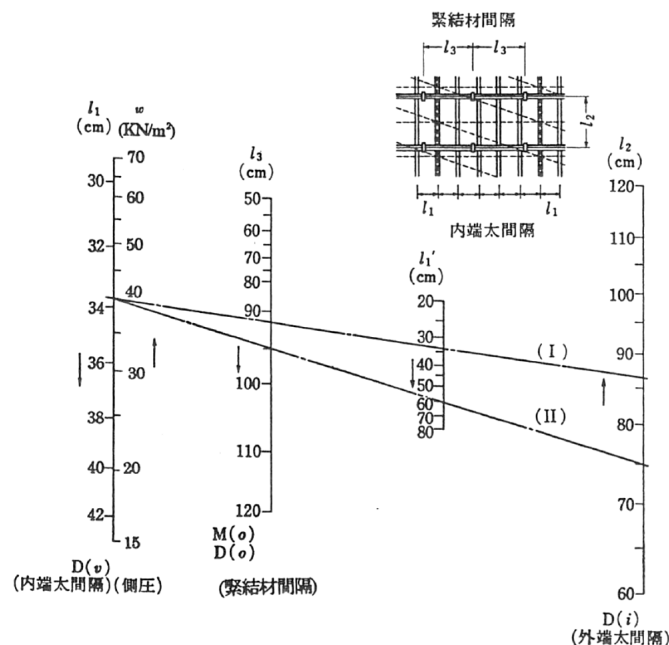


図 1.5.8 壁型枠の設計図表<sup>16)</sup>

## 1.6 本研究で対象とした壁型枠の構成材料とその構成方法

### 1.6.1 型枠の構成材料

在来の一般的な型枠工法における組立て例<sup>3)</sup>を図1.6.1に示す。これは、一般的な建築工事で使用される柱、壁、梁、床スラブのコンクリートを打ち込むために組み立てられる合板を用いた在来型枠工法による型枠の構成材料とその組立て例である。このうち、合板を用いた在来型枠工法における柱および壁型枠に用いる構成材料には、せき板(合板)、内端太(栈木および鋼管)、外端太(鋼管)および締付け金物(本体、座金、コーン、セパレータなど)が一般的に使用されており、この構成材料を用いて組み立てた壁型枠を本研究の対象としている。このように、型枠は、多くの構成材料から形成されており、これらを分類すると次の3つの役割に大別される。

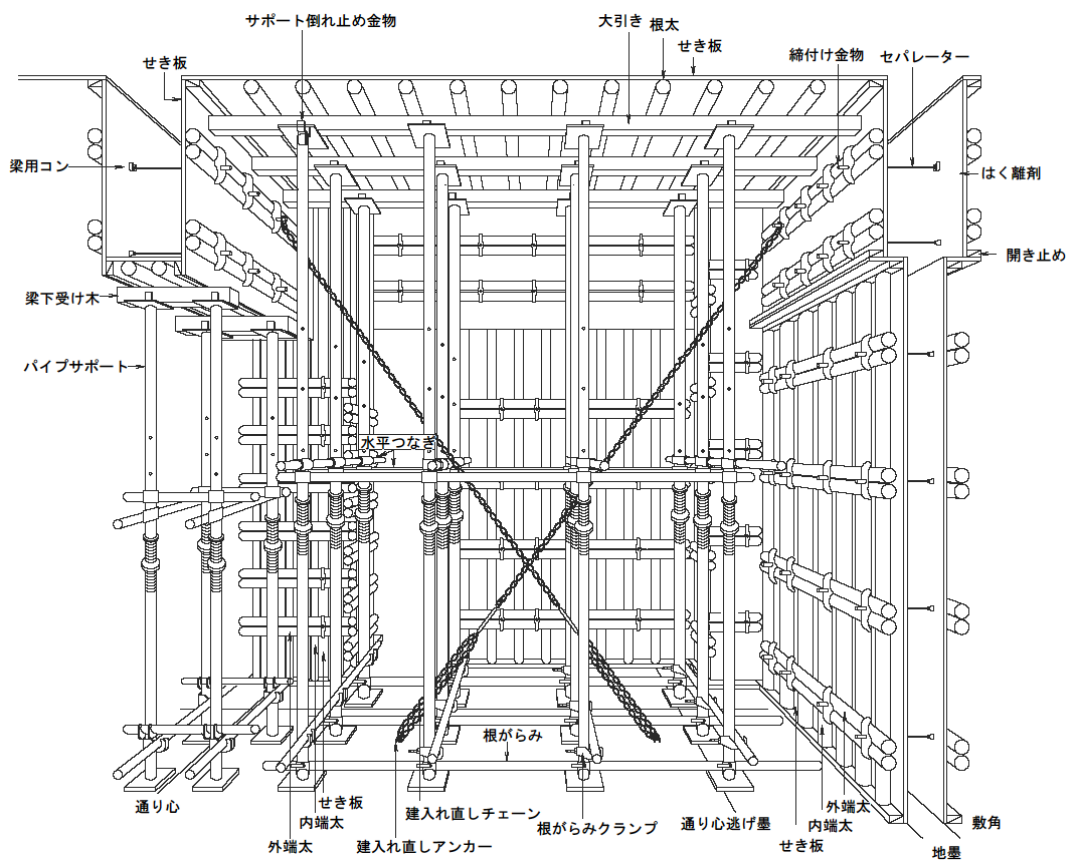


図1.6.1 在来の一般的な型枠工法における組立て例<sup>3)</sup>

#### (1) コンクリートに接する「せき板」

コンクリートと接するせき板は、コンクリートの形状や表面性状を決める重要な役割を担っており、コンクリートが打ち込まれた際のせき板の形状がすわわちコンクリート部材の形状となり、せき板を精度良く組み立てることが重要となる。また、せき板の品質がコンクリートの表面ないしは表層の品質に影響を及ぼすことは想像に難しくない。そのため、せき板に使用する合板は、一定の品質を有している必要があり、「合板の日本農林規格」<sup>12)</sup>(以下、合板のJASとする)の「コンクリート型枠用合板の規格」に適合するものを用いることが規定されている。

コンクリート型枠用合板(以下、合板とする)には、板面が素面のもの(以下、無塗装合板とす

る)と、表面または表裏面に塗装またはオーバーレイを施したもの(以下、塗装合板とする)がある。また、合板のJASに規定される標準寸法は、表1.6.1に示す種類があり、この中でも厚さ12.0mmで、幅600×長さ1,800mm(以下、2'×6'合板とする)および幅900×長さ1,800mm(以下、3'×6'合板とする)の2種類が一般的に使用され、国内における流通量の多くを占めている。

表1.6.1 合板のJAS<sup>12)</sup>におけるコンクリート型枠用合板の標準寸法

厚さ(mm)	幅(mm)	長さ(mm)
12.0, 15.0, 18.0, 21.0, 24.0	500	2,000
	600	1,800, 2,400
	900	1,800
	1,000	2,000
	1,200	2,400

合板のJASに規定されるコンクリート型枠用合板の品質には、単板同士の接着の程度、含水率、曲げ剛性、ホルムアルデヒド放散量、板面の品質や寸法などの項目があり、それぞれの適合基準を満足する必要がある。このうち、曲げ剛性については、表1.6.2に示す長さ方向および幅方向の曲げヤング係数の基準が示されている。

なお、昭和42年(1967年)に日本農林規格「コンクリート用型枠用合板」<sup>17)</sup>が制定された時の合板の曲げヤング係数は、合板の表面木理に平行方向(長さ方向)の曲げ剛性試験を行い、そのたわみ量の基準によって最小値を保証していた。その後、平成9年(1997年)の改正で、合板の曲げヤング係数そのものを基準として示すこととし、また、長さ方向だけでなく方向性による影響を考慮して、幅方向についても基準が示された。また、平成26年(2014年)の改正において、合板の曲げヤング係数の基準における幅方向スパン用については、従来表示厚さごとに異なる基準となっていたものが、表示厚さにかかわらず $2.5 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ に統一され、一般的に用いられる厚さ12mmの合板では、従来の $5.5 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ から大幅に低減された。このため、平成26年の改正後に製造された合板は、従来の規格時に製造されていた合板よりも曲げヤング係数が小さい可能性があり、型枠指針<sup>3)</sup>などに示される従来の型枠の設計方法を適用した場合、危険側の設計となることが示唆される。

表1.6.2 合板のJAS<sup>17)</sup>におけるコンクリート型枠用合板の曲げヤング係数の基準

表示厚さ(mm)	曲げヤング係数(Gpaまたは $10^3 \text{N/mm}^2$ )	
	長さ方向スパン用	幅方向スパン用
12	7.0	2.5
15	6.5	
18	6.0	
21	5.5	
24	5.0	

注 この表と異なる厚さのものについては、長さ方向スパン用にあつては比例計算(1mm当たり0.5/3(GPa)を加えまたは減じ、小数点以下2位を四捨五入する。)した値を基準値とし、幅方向スパン用にあつては2.5GPa(または $10^3 \text{N/mm}^2$ )を基準値とする。

## (2) せき板を所定の位置に固定する「支保工」

支保工は、せき板を所定の位置に保持・固定するための重要な構成材料であり、JASS 5<sup>2)</sup>において、コンクリートが打ち込まれて所定の強度を発現するまで、倒壊・破損・有害な変形が生じないものでなければならないことが解説されている。この支保工は、型枠指針<sup>3)</sup>において、在来型枠工法における型枠で一般的に使用される支保工の用途、性能、諸基準によって分類したものが図1.6.2のように示されている。在来型枠工法における壁型枠では、内端太を縦方向とし、外端太を横方向として用いることが一般的に多く、本研究に用いる内端太・外端太は、栈木(48×24mm)および丸パイプ(φ48.6mm)としている。

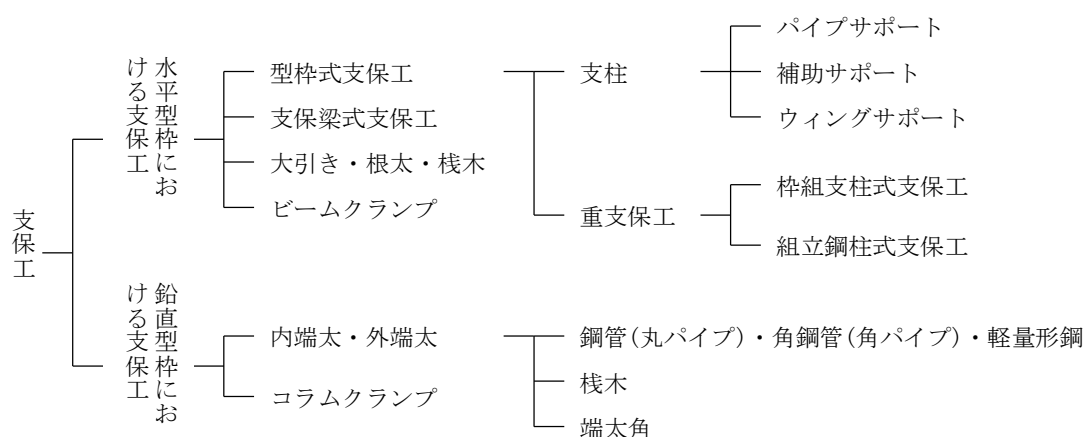


図1.6.2 支保工の分類<sup>3)</sup>

### 1) 内端太

内端太は、せき板に接してせき板を補強する構成材料であり、栈木(48×24mm)および丸パイプ(φ48.6mm)などが使用される。また、内端太に用いる栈木は、せき板に用いる合板の枠材として使用される場合も多い。これは、栈木付きパネルや合板パネルと呼ばれるもので、せき板である合板と内端太である栈木が一体となった材料である。

### 2) 外端太

外端太は、せき板に接して補強する内端太を直交方向で支持するものであり、せき板および内端太の変形を防ぐために、一般的に丸パイプや角パイプなどが使用される。なお、JASS 5において、丸パイプはJIS G 3444(一般構造用炭素鋼鋼管)に、角パイプはJIS G 3466(一般構造用角形鋼管)にそれぞれ規定されるものを用いることが示されている。

(3) せき板と支保工を緊結する「締付け金物」

型枠の締付け金物は、せき板と支保工を緊結して型枠を寸法どおりに組み立て、コンクリート打込み時に作用する荷重(側圧)に耐えるための金物であり、本体、座金、コーンおよびセパレータからなるものである。締付け金物本体、座金、コーンおよびセパレータの組合せによる締付け金物の構成例は、図1.6.3に示すとおりである。締付け金物の組立例を写真1.6.1に示す。

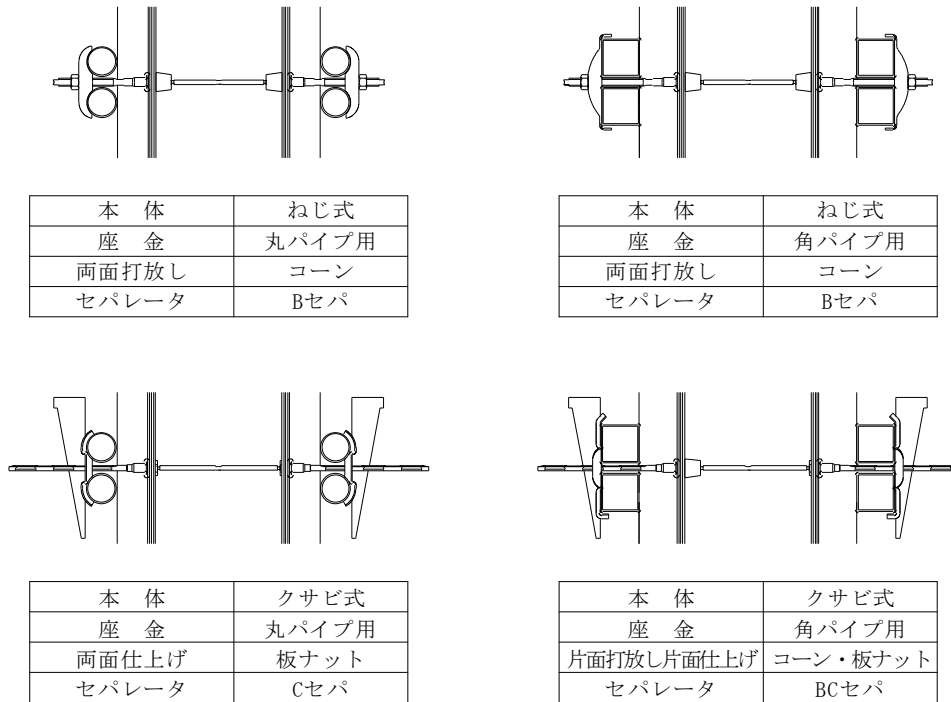


図1.6.3 締付け金物の構成例(本体、座金、コーン、セパレータの組合せ)<sup>3)</sup>の抜粋

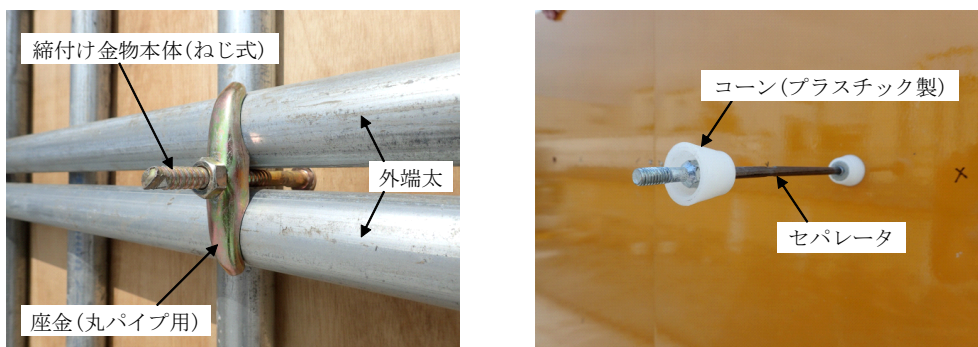


写真1.6.1 締付け金物の組立例

1) 締付け金物本体

締付け金物本体(通称、フォームタイ)の役割は、セパレータとコーンを介して、外端太をせき板および内端太に固定するもので、せき板と支保工(内端太・外端太)を緊結することで型枠として一体化させるためのものである。締付け金物の外端太の締付け方式は、ねじ式およびクサビ式の2種類があり、また、セパレータの太さに応じてW5/16とW3/8がある。

## 2) 座金

座金は、**図 1.5.3** に示すように外端太の形状に応じて丸パイプ用と角パイプ用の2種類があり、また、締付け金物本体がねじ式とクサビ式の締付け方式に対応したものがある。

## 3) コーン

コーンの役割は、コンクリート表面が打放し仕上げの場合に、かぶり厚さの確保とセパレータの端部がコンクリート表面に露出しないようにするために取り付ける材料である。一般的には、**写真 1.5.2** に示すようなプラスチック製のコーンが多く使用されている。

## 4) セパレータ

セパレータの役割は、相対するせき板の間隔を一定の寸法に保持することに加え、型枠に生じるコンクリートの側圧を支持するためのものである。セパレータ直径は、 $\phi 7\text{mm}$ (W5/16)および $\phi 9\text{mm}$ (W3/8)の2種類がある。一般的なセパレータの引張強度は、**表 1.6.3** に示すとおりである。

表 1.6.3 セパレータの引張強度<sup>3)</sup>

規格サイズ	最大引張強度(kN)	許容引張強度(kN)
$\phi 7\text{mm}$ (W5/16)	20以上	14
高強度 $\phi 7\text{mm}$ (W5/16)	30以上	21
$\phi 9\text{mm}$ (W3/8)	30以上	21

### 1.6.2 壁型枠の構成方法

本研究で対象とする合板を用いた在来型枠工法の壁型枠は、せき板(合板)、内端太(栈木および単管)、外端太(単管)および締付け金物(本体, 座金, コーン, セパレータ)で構成したものとし、一般的に関東地方で使用される構成材料を用いて組み立てた型枠の構成とした。

#### (1) せき板

せき板は、厚さ12mmの2'×6'合板(幅600×長さ1,800mm)および3'×6'合板(幅900×長さ1,800mm)の2種類とし、いずれの合板のJAS<sup>17)</sup>の規格品を用いた。また、合板の向きは、縦使いとしている。なお、写真1.6.2に示すように、合板に枠材として栈木(48×24mm)を接合した栈木付きパネルとして使用した。

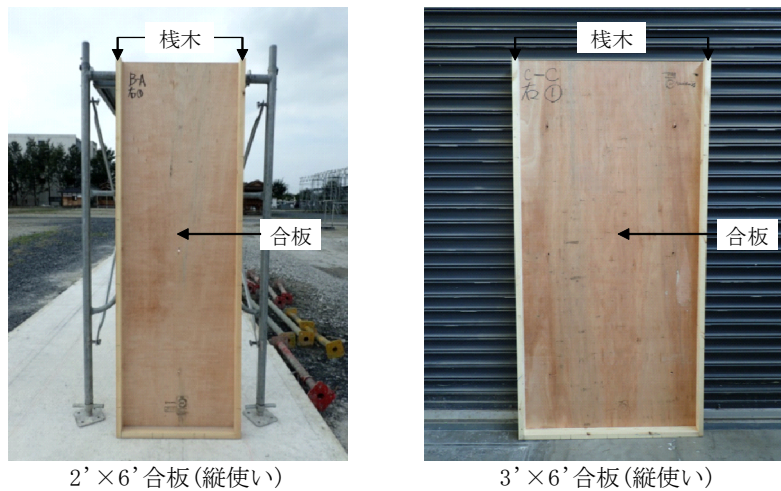


写真1.6.2 栈木付きパネル(合板+栈木)

#### (2) 内端太の構成

内端太の構成は、せき板を2'×6'合板(幅600×長さ1,800mm)または3'×6'合板(幅900×長さ1,800mm)の縦使いとした場合に、各々の合板の寸法から想定されるものとし、表1.6.4に示すとおりとした。同表に示すように、内端太の間隔は、合板の幅方向に等間隔となるようにす

表1.6.4 壁型枠の内端太の構成

合板の寸法	内端太の本数*3	内端太の間隔	内端太の構成*4		
			栈木のみ	栈木+単管	単管のみ
2'×6'合板*1	2本	200mm		—	
	3本	150mm			
3'×6'合板*2	3本	225mm			
	4本	180mm		—	
	5本	150mm			

\*1 幅600×長さ1,800mm    \*2 幅900×長さ1,800mm    \*3 栈木付きパネルとした際の枠材を除く内端太材の本数  
\*4 内端太材の凡例: □ 栈木(48×24mm), ○ 単管(φ48.6mm)

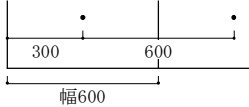
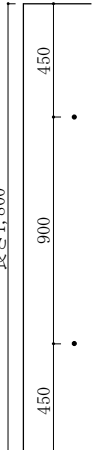
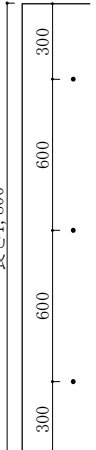
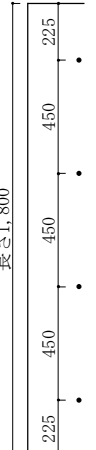
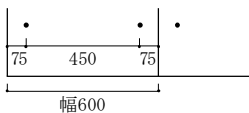




ると、2' × 6' 合板の場合、200mm および 150mm となり、3' × 6' 合板の場合、225mm, 180mm および 150mm となる。また、この内端太材は、栈木のみ、栈木+単管、単管のみの3種類とした。

(3) セパレータの割付け

セパレータの割付けは、内端太の構成と同様に、せき板を2' × 6' 合板(幅600 × 長さ1,800mm) または3' × 6' 合板(幅900 × 長さ1,800mm)の縦使いとした場合に、各々の合板の寸法から想定されるものとし、表1.6.5に示すとおりとした。同表に示すように、セパレータの間隔は、2' × 6' 合板および3' × 6' 合板ともに、幅方向の間隔が600mm および450mm とし、長さ方向の間隔が900mm, 600mm および450mm とした。

表 1. 6. 5 壁型枠のセパレータの割付け

合板の寸法	セパレータの本数*3	セパレータの幅方向の間隔(横間隔)*4	セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔)*4		
			2段:900mm	3段:600mm	4段:450mm
2' × 6' 合板*1	3本(1列3段) 4本(1列4段)	1列:600mm 			
	4本(2列2段) 6本(2列3段) 8本(2列4段)	2列:450mm 			
3' × 6' 合板*2	4本(2列2段) 6本(2列3段) 8本(2列4段)	2列:600mm   2列:450mm 			

\*1 幅600 × 長さ1,800mm    \*2 幅900 × 長さ1,800mm    \*3 縦使いとした定尺の合板1枚に対するセパレータの本数  
\*4 ・:締付け金物(セパレータ)の取付け位置

## 1.7 本論文の構成

本論文は、全7章から構成される。以下に各章の概要を示す。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的を述べるとともに、鉄筋コンクリート工事における型枠工事の役割、合板を用いた在来型枠工法の変遷、および既往の研究について整理し、本研究で対象とした壁型枠の構成材料とその構成方法および本論文の構成を示している。

第2章「合板を用いた在来型枠工法の実態に関するアンケート調査」では、合板を用いた在来型枠工法による型枠工事の実態を把握することを目的とし、主に型枠の構成材料、型枠の強度と剛性の構造計算および壁型枠の構成方法について、関東地方および近畿地方の型枠工事業者を対象にアンケート調査した結果を示している。

第3章「支点間距離が型枠の構成材料における合板および栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響」では、せき板に用いる合板および内端太に用いる栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響として、型枠の構成方法を考慮した支点間距離に加え、型枠工事の施工上避けられない含水率の変化について変化要因とした曲げ試験を行い、実験結果に基づく型枠の構造計算に用いる合板および栈木の曲げヤング係数の低減係数を示している。

第4章「合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響」では、せき板に用いる合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響について、合板の種類および型枠工事の施工条件に関する合板の含水率と剥離剤の塗布を変化要因とした合板の転用回数が10回までの曲げ試験を行い、実験結果に基づく型枠の構造計算に用いる合板の転用による曲げヤング係数の低減係数を示している。

第5章「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案」では、せき板に合板を用いた在来型枠工法における壁型枠を対象に、せき板に用いる合板および内端太に用いる栈木の含水率および支点間距離が曲げヤング係数に及ぼす影響、合板の転用が曲げヤング係数に及ぼす影響を考慮した簡易設計方法を提案している。

第6章「壁型枠の変形に関する実験的検討と本簡易設計方法の妥当性の確認」では、内端太の構成およびセパレータの割付けが異なる壁型枠(高さ1.8m)を作製し、せき板に合板を用いた在来型枠工法における壁型枠のコンクリートの側圧による変形について実験的に検討した結果を示している。また、本論文で提案した「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」の有用性について述べている。

第7章「結論」では、本研究で得られた成果を集約して示し、今後の課題と展望について言及している。

## 【第1章の参考文献】

- 1) 建築學會：建築工事仕様書，建築雑誌，1923.6
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，2015
- 3) 日本建築学会：型枠の設計・施工指針，2011
- 4) 竹山謙三郎：わが国最初の鉄筋コンクリート造の設計と施工－神戸港東京倉庫－，建築技術，No.202，pp.135-141，1968.6
- 5) 亀田泰弘監修：新版合板型わく工法，建築技術社，1988.2
- 6) 志岐祐一：型枠、セパレーターからみた同潤会アパートメントの変遷，日本建築学会大会学術講演梗概集 F-2 分冊，pp.311-312，2005.9
- 7) 戸田建設社史，1981
- 8) 東京建設工業協同組合，日本建設大工工事業協会：型枠施工必携，2011
- 9) 近藤基樹：コンクリートと施工法－その移り変わり－(その13)建築における型わく技術の移り変わり，コンクリート工学，Vol.19，No.8，1981.8
- 10) 畑中和穂：図説 建築の型わく工事，理工学社，1998.10
- 11) コンクリート型枠用合板の日本農林規格(昭和42年6月30日 農林省告示第932号)
- 12) 山井良三郎：型わく用標準合板の強度的性質，建築技術，No.177，pp.159-175，1966.4
- 13) 山井良三郎：素材および合板の強度的性質について，コンクリートジャーナル，Vol.4，No.5，pp.9-14，1966.5
- 14) 小柳光生，松山英雄，中田善久：合板パネルとセパレータの強度に関する一考察，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.9-12，2008.3
- 15) 佐藤泰次：コンクリートの側圧と型枠の設計，日本建築學會研究報告，No.23，pp.76-79，1953.8
- 16) 西林新蔵，小柳洽，渡邊史夫，宮川豊章編：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，2009.10
- 17) 合板の日本農林規格(平成26年2月25日 農林水産省告示第303号)

## 第 2 章

合板を用いた在来型枠工法の実態に関する

アンケート調査

## 第2章 合板を用いた在来型枠工法の実態に関するアンケート調査

### 2.1 研究の目的

従来の建築工事における役割は、総合建設会社(以下、元請業者とする)が施工計画や工程管理、品質管理などのマネジメントを主とする一方、専門工事業者が施工現場への労務供給を主として工事の直接的な生産行為を担ってきた。しかし、近年では、古阪ら<sup>1),2)</sup>が指摘しているように、元請業者から提示される工程や品質管理の基準に対して、専門工事業者として具体策の選定や管理能力が要求される状況が頻出してきている。このように、近年、専門工事業者に求められる業務内容は、従前に比してより拡大しつつあると言える。

さらには、建築工事における元請業者と専門工事業者との契約形態において、材料費と労務費の一式請負(以下、材工共とする)が一般化<sup>3)</sup>している。その中で、型枠工事は、材料の調達から施工に至るまで型枠工事業者が一貫して担う材工共の典型である。そのため、元請業者から型枠工事業者に特段の指定がない場合、型枠の構成材料の選定や施工方法が型枠工事業者に委ねられているのが実状と思われる。故に、型枠工事業者に依存せざるを得ない部分が生じることとなり、その実態について把握することが型枠工仕事の品質向上には不可欠である。

また、既往の研究において、(社)建設業協会(以下、BCSとする)による型枠工事の実態に関する報告<sup>4),5)</sup>がされている。この既往の報告は、主にせき板の存置期間やコンクリートの躯体精度などの仕様書や指針類における基準について施工管理者への調査を行ったものであり、型枠工事の施工現場において直結する型枠工事業者の作業に関する実態については触れられていない。また、型枠には、構造部材のみならず、非構造部材にもその形状・寸法の精度が要求されるため、必要に応じて型枠の強度と剛性について構造計算を行うことがJASS 5<sup>6)</sup>に記述されており、在来型枠工法における型枠の構造計算の方法が型枠指針<sup>7)</sup>に解説されている。この型枠の構造計算は、本来、コンクリート構造体に要求される性能を満足するように施工者が確認すべき事項であるが、施工現場において構造計算による確認が行われているかは不明である。また、構造計算を行う上で、型枠を構成する各部材に生じる応力と変形量などを算出する際に、使用する型枠の構成材料のヤング係数などの他に、内端太の構成やセパレータの割付けなどの型枠の構成方法を把握する必要がある。しかしながら、型枠の構成材料とその構成方法は、型枠の強度と剛性を決定づける要因であるものの、施工現場の実態に関する資料が乏しく、不明な点が残される。

そこで、本章は、関東地方および近畿地方の型枠工事業者を対象とした型枠工事の実態に関するアンケート調査によって、合板を用いた在来型枠工法における型枠の構成材料とその構成方法および強度と剛性についての構造計算に関する施工現場の実態を把握することを目的としている。

ここでは、合板を用いた在来型枠工法における壁型枠を主な対象とし、想定する型枠工事を31mを超えない10階建て程度の一般的な鉄筋コンクリート造集合住宅として行った2回のアンケート調査結果を取りまとめている。

## 2.2 アンケート調査の概要

ここでは、せき板に合板を用いた在来型枠工法による型枠工事の実態について把握するために、型枠工事業者を対象とした2回のアンケート調査を行った。なお、本章は、2回のアンケート調査の結果を再構成し取りまとめている。

### 2.2.1 調査対象および調査期間

アンケートの調査対象および調査期間を表2.2.1に示す。調査対象は、シリーズⅠが関東地方の型枠工事業者、シリーズⅡが関東地方および近畿地方の型枠工事業者とし、主に、(一社)日本型枠工事業者協会(以下、(社)日本型枠とする)の加盟社とした。また、調査期間は、シリーズⅠが2012年11月上旬から12月中旬の約1ヶ月間、シリーズⅡが2016年2月下旬から5月上旬の約2ヶ月間とした。

表2.2.1 アンケートの調査対象および調査期間

	調査対象	アンケートの配布先	調査期間
シリーズⅠ	関東地方の型枠工事業者	(一社)日本型枠工事業者協会の茨城地区、栃木支部、群馬支部、埼玉支部、千葉支部、東京支部および神奈川支部に属する型枠工事業者	2012年 11月上旬～12月中旬
シリーズⅡ	関東地方および近畿地方の型枠工事業者	(一社)日本型枠工事業者協会の茨城地区、栃木支部、群馬支部、埼玉支部、千葉支部、東京支部、神奈川支部および近畿支部に属する型枠工事業者	2016年 2月下旬～5月上旬

### 2.2.2 調査項目および設問項目

調査項目および設問項目を表2.2.2に示す。調査項目は、型枠工事の契約形態および施工計画に関する事項、在来型枠工法における型枠の構成材料に関する事項、在来型枠工法における柱・壁型枠の強度と剛性に関する事項および在来型枠工法における壁型枠の構成に関する事項に大別した4項目とした。各設問の回答を得たアンケート調査のシリーズは、表2.2.2に示すとおりである。なお、シリーズⅠのアンケート調査におけるせき板に用いる合板に関する設問は、施工現場において直接作業に従事している型枠大工の方にも回答して頂き、回答結果を加味している。この型枠大工は、後述する回答頂いた型枠工事会社のいずれかに属している方である。

本アンケート調査の回答にあたって想定する型枠工事は、31mを超えない10階建て程度の一般的な鉄筋コンクリート造集合住宅(以下、RC造集合住宅とする)としている。また、在来型枠工法とは、せき板(合板)、内端太(栈木・鋼管)、外端太(鋼管)および締付け金物(本体、座金、コーン、セパレータなど)で型枠を構成する型枠工法と定義した。設問は、択一式、複数選択式または記述式にて回答する形式とした。

表 2.2.2 調査項目および設問項目

調査項目		設問項目
型枠工事の契約形態および施工計画	契約形態	型枠工事の契約形態 <sup>*1</sup>
	施工計画	型枠工法および型枠材料の選定 <sup>*2</sup> 型枠工事における在来型枠工法の割合 <sup>*2</sup>
在来型枠工法における型枠の構成材料	せき板に用いる合板	合板の寸法 <sup>*1</sup> と厚さ <sup>*2</sup>
		合板の材料置場における保管状態 <sup>*1</sup>
		合板の転用回数 <sup>*1</sup>
		合板の転用する限界を決める要因 <sup>*1</sup>
	内端太・外端太に用いる栈木および鋼管	栈木の断面寸法と樹種 <sup>*2</sup>
		鋼管の形状と寸法 <sup>*2</sup>
締付け金物	セパレータの種類 <sup>*2</sup>	
	締付け金物の締付け方式 <sup>*2</sup>	
在来型枠工法における柱・壁型枠の強度と剛性	型枠の強度と剛性についての構造計算	構造計算を行う主体 <sup>*2</sup>
		構造計算の実施の有無と実施する要因 <sup>*2</sup>
		構造計算を行う型枠の構成部材 <sup>*2</sup>
型枠の崩壊や破損	型枠の崩壊や破損の発生の有無とその頻度 <sup>*2</sup>	
在来型枠工法における壁型枠の構成	合板の割付け	せき板に用いる合板の向き <sup>*2</sup>
	内端太の構成	内端太の構成を選定する主体 <sup>*2</sup>
		合板を縦使いとした栈木付きパネルの内端太の構成 <sup>*2</sup>
		内端太の構成の選定要因 <sup>*2</sup>
	セパレータの割付け	セパレータの割付けを選定する主体 <sup>*2</sup>
		合板を縦使いとした栈木付きパネルのセパレータの割付け <sup>*2</sup>
		セパレータの割付けの選定要因 <sup>*2</sup>
	構成方法に起因する不具合	内端太の構成による不具合 <sup>*2</sup>
セパレータの割付けによる不具合 <sup>*2</sup>		

\*1 シリーズⅠのアンケート調査における設問項目

\*2 シリーズⅡのアンケート調査における設問項目

## 2.2.3 アンケートの配布および回収件数

アンケートの配布および回収件数を表2.2.3に示す。アンケートの配布は、シリーズⅠが(社)日本型枠の茨城地区、栃木支部、群馬支部、埼玉支部、千葉支部、東京支部および神奈川支部に属する関東地方の型枠工事業者116社とし、シリーズⅡが同様に関東地方の型枠工事業者117社と、近畿支部に属する近畿地方の型枠工事業者38社とした。また、シリーズⅡでは、この他に(社)日本型枠の加盟社以外の一部の型枠工事業者にもアンケートを配布した。

アンケートの回収率は、調査対象とした(社)日本型枠に加盟する型枠工事業者において、シリーズⅠで回答社数34社の29%であり、シリーズⅡで関東地方が回答社数40社の34%、近畿地方が回答社数12社の32%であった。また、シリーズⅡでは、(社)日本型枠の加盟社以外に、関東地方で6社と近畿地方で1社の型枠工事業者から回答を得た。なお、シリーズⅠでは、施工現場において直接作業に従事している型枠大工の方に、型枠工事の施工現場において直結する作業に関する設問項目について回答をして頂いた。後述する調査結果には、設問ごとの回答者数(n)を図中に付記した。

表2.2.3 アンケートの配布および回収件数

		シリーズⅠ					シリーズⅡ					
		関東地方の型枠工事業者 (一社)日本型枠工事業協会 加盟社					関東地方および近畿地方の型枠工事業者 (一社)日本型枠工事業協会 加盟社 加盟社以外					
調査対象	配布・ 回収件数	配布 社数 (社)	回答 社数 (社)	回収 率*1 (%)	回答者数*2(件)		配布 社数 (社)	回答 社数 (社)	回収 率*1 (%)	回答 者数 (件)	回答 社数 (社)	回答 者数 (件)
					型枠工 事業者	型枠 大工						
関東 地方	茨城県	2	0	-	0	0	2	2	-	3	1	1
	栃木県	12	2	-	2	2	12	2	-	2	0	0
	群馬県	9	3	-	3	3	9	3	-	3	0	0
	埼玉県	19	6	-	6	7	19	4	-	4	1	1
	千葉県	10	4	-	4	5	10	5	-	7	1	1
	東京都	33	13	-	13	11	34	16	-	18	1	1
	神奈川県	31	6	-	6	4	31	8	-	10	2	2
	計	116	34	29	34	32	117	40	34	47	6	6
近畿 地方	京都府						1	0	-	0	0	0
	大阪府						20	9	-	9	1	1
	兵庫県						13	2	-	2	0	0
	奈良県						2	1	-	1	0	0
	和歌山県						2	0	-	0	0	0
	計						38	12	32	12	1	1
合計		116	34	29	34	32	155	52	34	59	7	7
	回答者数(件)	66					66					

\*1 回収率(%)=回答社数/配布社数×百分率

\*2 型枠工事業者:元々は型枠大工であった方であり、主に経営や管理業務に従事する方を指す。

型枠大工:主に施工現場において直接的な生産行為を担う技能者の方を指す。(型枠工事の施工現場において直結する作業に関する設問項目について回答をして頂いた。)



### 2.3 回答者の属性

#### (1) 経験年数

回答者の経験年数を図2.3.1に示す。回答者の経験年数は、シリーズⅠおよびシリーズⅡのアンケート調査においても、「30年以上」が最も多く、「20年以上30年未満」と合わせると経験年数20年以上が全体の70%前後を占めており、実務経験が豊富な熟練者からの回答が得られた。

#### (2) 保有資格

回答者の保有資格を図2.3.2に示す。回答者の保有資格は、「建築施工管理技士」を除くと、「型枠支保工の組立て等作業主任者」が最も多く、続いて「型枠施工技能士」、「登録型枠基幹技能者」の順であった。これは、労働安全衛生規則第246条において、型枠工事の作業を行う際に、型枠支保工の組立て等作業主任者講習を修了した者から作業主任者を選定する必要があることと、JASS 5<sup>6)</sup>に型枠施工技能士や登録型枠基幹技能者の資格を有する者が望ましいことが記述されているためと思われる。これより、回答者の多くが型枠工事に関する一定の知識と技能を有しており、施工現場において中核的な立場にあることが伺える。

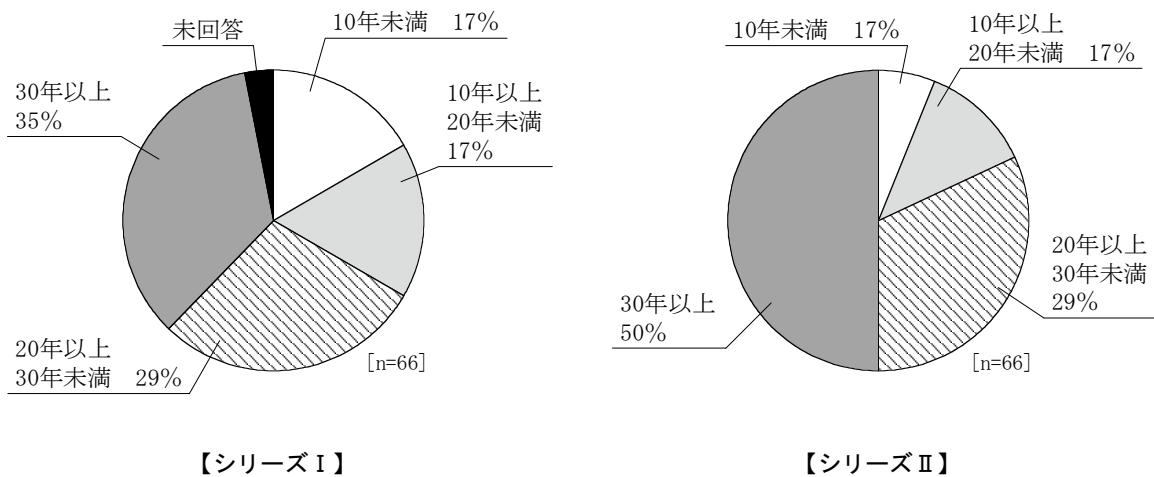


図2.3.1 回答者の経験年数

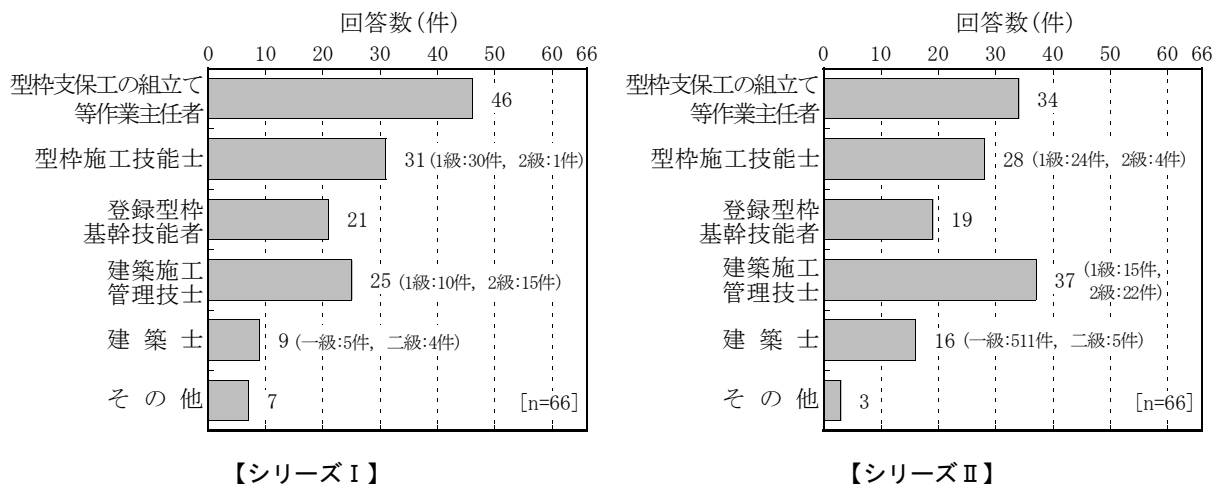


図2.3.2 回答者の保有資格

2.4 調査結果および考察

2.4.1 型枠工事の契約形態および施工計画

(1) 契約形態

型枠工事業者と元請業者との契約形態を図2.4.1(1)に示す。型枠工事業者と元請業者との契約形態は、「材料費と労務費の一式請負(材工共)での契約」が95%を占めていた。これは、全国建設労働組合総連合および建設政策研究所による建設工事全般の契約形態に関する調査報告<sup>3)</sup>が64%であることと比べると、型枠工事では材工共での請負が顕著に多いことが分かる。このことから、材工共での契約形態であることにより、元請業者は型枠工事業者へ材料の調達や施工などを任せていることが示唆される。なお、型枠工事において材工共での一式請負による契約形態が多い要因として、他の一般外注工事と比べて工事費のうち材料費が占める割合が比較的少ない<sup>7)</sup>こと、また、他の労務系外注工事と比べて仮設性の転用資材と消費材料が混在しており複雑<sup>8)</sup>であるためと思われる。

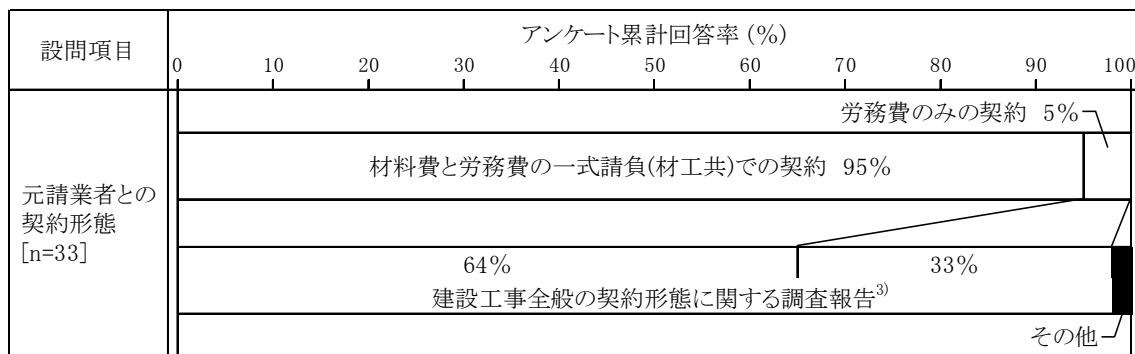


図2.4.1(1) 型枠工事業者と元請業者との契約形態

(2) 型枠工事の施工計画

型枠工事の施工計画を図2.4.1(2)に示す。

1) 型枠工法および型枠材料の選定

型枠工法および型枠材料の選定は、「元請業者と自社(型枠工事業者)とで協議して選定」が36%と最も多く、続いて「自社(型枠工事業者)が選定」が34%と同程度であった。一方で、「元請業者が選定」が17%と少なかった。これより、型枠工法および型枠材料を選定する際の施工計画の立案には、型枠工事業者が関与する機会が多いことがうかがえる。また、これらの選定が型枠工事業者に委ねられる場合もあり、これは、前述した型枠工事の契約形態が材料費と労務費の一式請負が一般化していることも起因すると思われる。

2) 型枠工事における在来型枠工法の割合

型枠工事における在来型枠工法の割合は、「9割以上10割未満」が62%と最も多く、「10割」と合わせると全体の70%を占めた。これより、本調査で想定している規模の型枠工事は、在来型枠工法によって施工される場合が多いことが伺える。また、型枠工事の多くは、元請業者から特段の指定が無い限り、せき板に合板を用いて型枠を構成する在来型枠工法が多く採用されていると思われる。

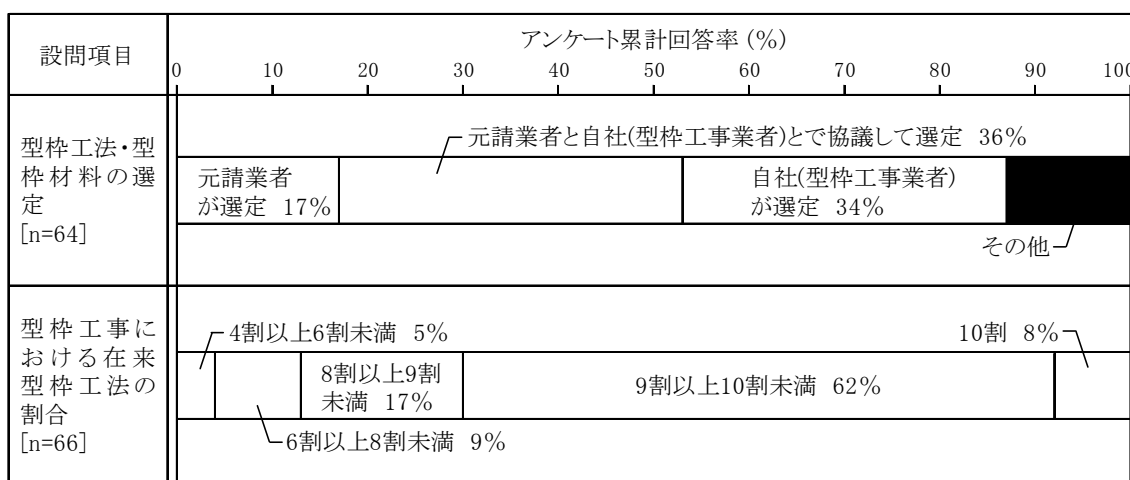


図2.4.1(2) 型枠工事の施工計画

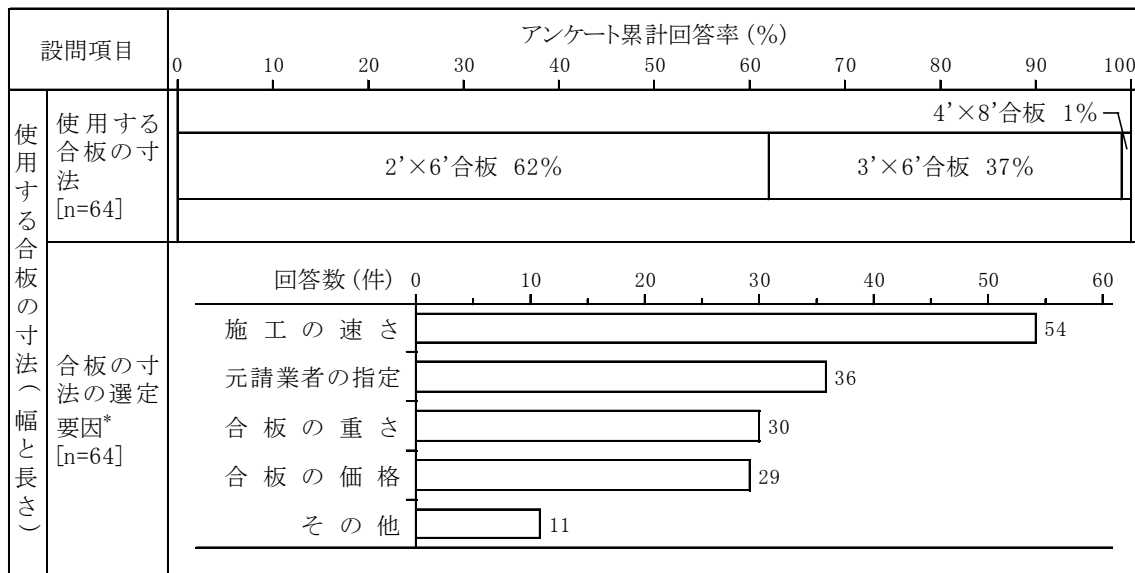
2.4.2 在来型枠工法における型枠の構成材料

(1) せき板に用いる合板

ここでは、合板の寸法が幅600×長さ1,800mmを2'×6'合板、幅900×長さ1,800mmを3'×6'合板、幅1,200×長さ2,400mmを4'×8'合板とそれぞれ略称している。

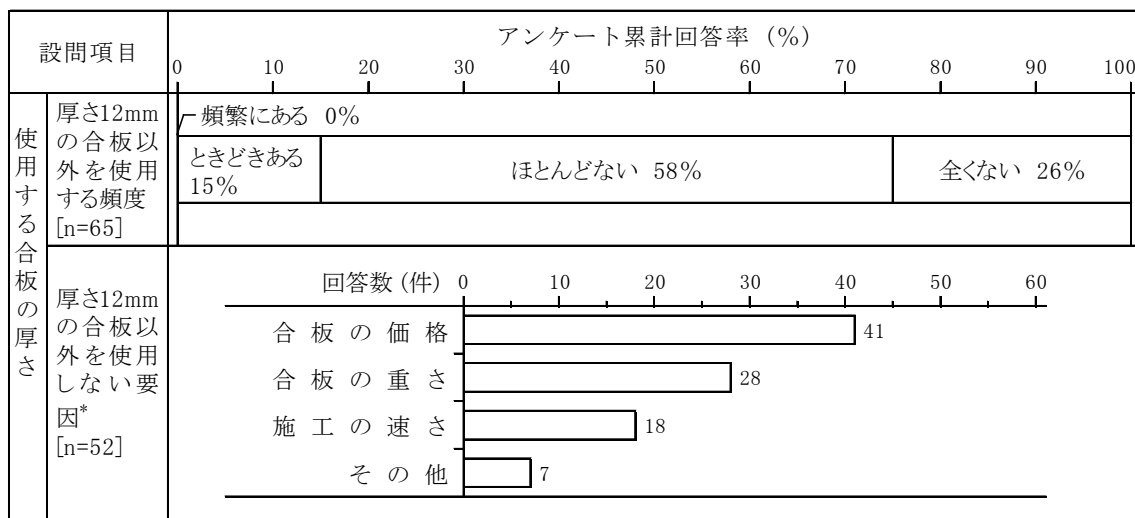
1) 合板の寸法(幅と長さ)および厚さ

使用する合板の寸法(幅と長さ)を図2.4.2(1)に示す。使用する合板の寸法は、「2'×6'合板」が62%と最も多く、「3'×6'合板」と合わせると概ね100%を占めていた。一方で、「4'×8'合板」は、1%と極めて少なく、ほとんど使用されていないことが分かる。この合板の寸法を選定する要因は、「施工の速さ」が54件と最も多く、続いて「元請業者の指定」、「合板の重さ」の順であった。このことから、合板の寸法は、施工現場における作業性を重視して選定していること



\*:複数回答

図2.4.2(1) 使用する合板の寸法(幅と長さ)



\*:複数回答

図2.4.2(2) 使用する合板の厚さ

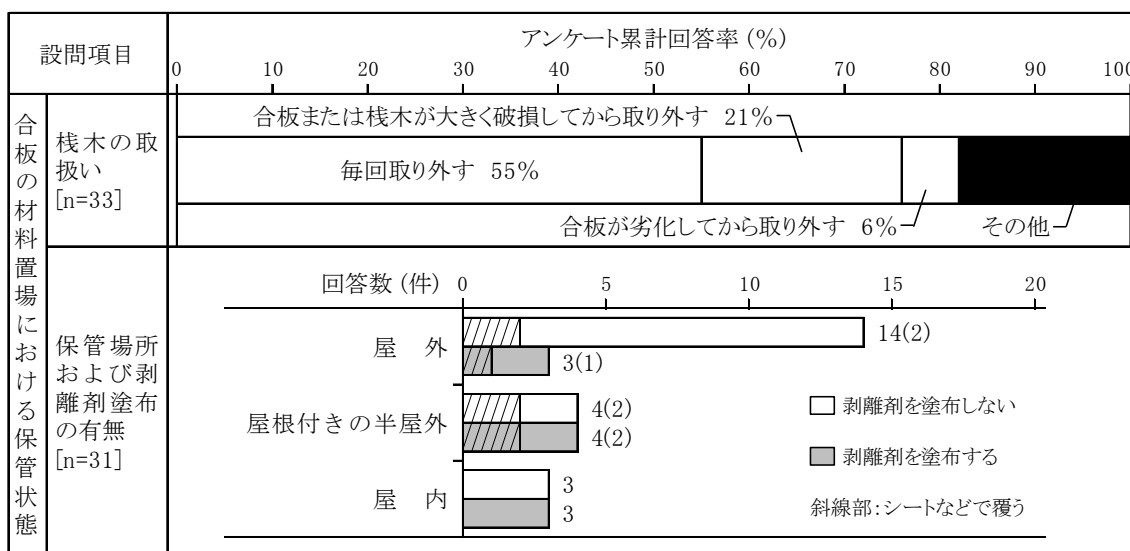
が示唆される。

使用する合板の厚さを図2.4.2(2)に示す。厚さ12mmの合板以外を使用する頻度は、関東地方および近畿地方においても、「ほとんどない」が最も多く、「全くない」と合わせると全体の80%以上を占めていた。これより、在来型枠工法における型枠のせき板に用いる合板は、厚さ12mmのものがほとんどであることが示唆される。なお、厚さ12mmの合板以外を使用しない要因は、関東地方と近畿地方の累計で「合板の価格」が41件と最も多く、続いて「合板の重さ」の順であった。

2) 合板の材料置場における保管状態

合板の材料置場における保管状態を図2.4.2(3)に示す。使用した栈木付きパネルの自社の材料置場における保管時の栈木の取扱いは、「毎回取り外す」が55%と最も多かった。これは、保管する際に合板を積層し省スペース化を図ることに加え、釘の腐食による合板の劣化を防ぐためと思われる。一方で、毎回栈木を取り外すことは、釘穴の拡大や水分の浸透などによる合板の劣化を助長することが懸念される。

使用した合板の自社の材料置場における保管場所は、「屋外」が最も多く、保管場所にかかわらずシートなどで覆うことは少なかった。このことから、JASS 5<sup>6)</sup>や型枠指針<sup>7)</sup>において、できるだけ雨水および直射日光にさらされないように配慮するとの記載に相反し、大半が野ざらしの状態であることが示唆される。これにより、風雨や紫外線などの影響によって合板の劣化や変質を助長している可能性があり、コンクリート表面の品質の低下を招く要因となることが懸念される。使用した合板の保管時における剥離剤の塗布の有無は、保管場所が屋外の場合、「剥離剤を塗布しない」が顕著に多く、屋根付きの半屋外および屋内の場合、回答数に差がなかった。これは、保管場所が屋外の場合、剥離剤を塗布すると粉じんの付着や雨水による流出の可能性があることに加え、保管場所の内外を問わず、保管時において合板を積層していることから、実質的に剥離剤を塗布するのが困難であり、型枠の組立て直前に剥離剤を塗布するのが合理的であるためと思われる。



\*: 複数回答

図2.4.2(3) 合板の材料置場における保管状態

3) 合板の転用回数

ここで、本調査における合板に接するコンクリート表面の仕上げの種類による用語と定義は、次に示すとおりとした。仕上げあり：コンクリート表面をタイルや石張りなどにより仕上げるこ  
と、仕上げなし：コンクリート素地をそのまま仕上げ面として用いる意匠性を考慮していない仕  
上げのこと、化粧打放し：コンクリート素地を意匠性のある仕上げ面として用いるコンクリート  
打放し平滑仕上げのこと

せき板に用いる合板の転用回数を図2.4.2(4)に示す。合板の転用回数は、いずれの施工部位お  
よび仕上げの種類においても、「無塗装合板」より「塗装合板」の方が多く、特に、施工部位が  
「一般部位」および「階段」の場合に顕著であった。これは、合板表面の塗膜の有無に起因する差  
と思われ、無塗装合板より塗装合板の方が転用に伴う合板表面の劣化およびコンクリート表面の  
仕上がり状態に及ぼす影響が小さいためと思われる。

仕上げの種類が「仕上げあり」および「仕上げなし」における合板の転用回数は、合板の種類  
にかかわらず「一般部位」、「階段」、「基礎」の順で多かった。これは、同一の施工現場において  
柱や壁などの一般部位の方が、階段や基礎と比べて施工面積が多いことに加え、合板を切断加工  
して用いることが少なく、比較的転用し易いためと思われる。一方で、「化粧打放し」の場合、施  
工部位の相違による転用回数の差が小さかった。このことから、コンクリート素地を仕上げ面と  
してそのまま用いる化粧打放しは、施工部位および合板の種類にかかわらず、仕上がり状態を考  
慮して転用回数を減じていることが示唆される。

また、BCSによる既往の調査結果と比較すると、「仕上げあり」の場合、概ね同等であるのに対  
して、「化粧打放し」においては既往の調査<sup>4)</sup>による転用回数の方が2倍以上多かった。このこと

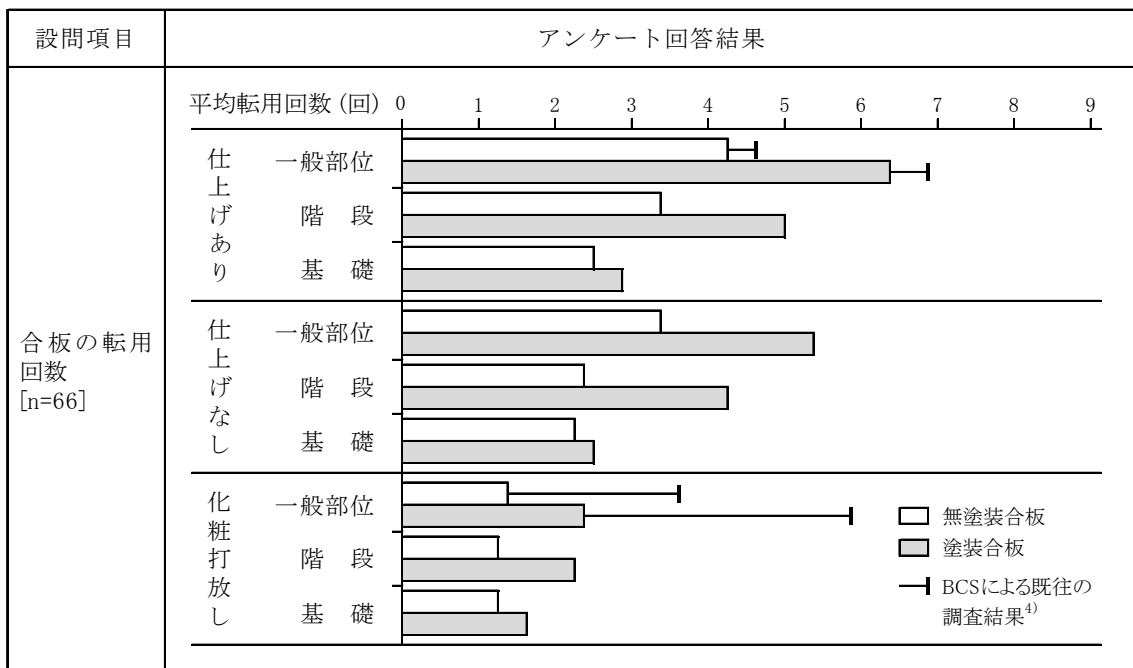
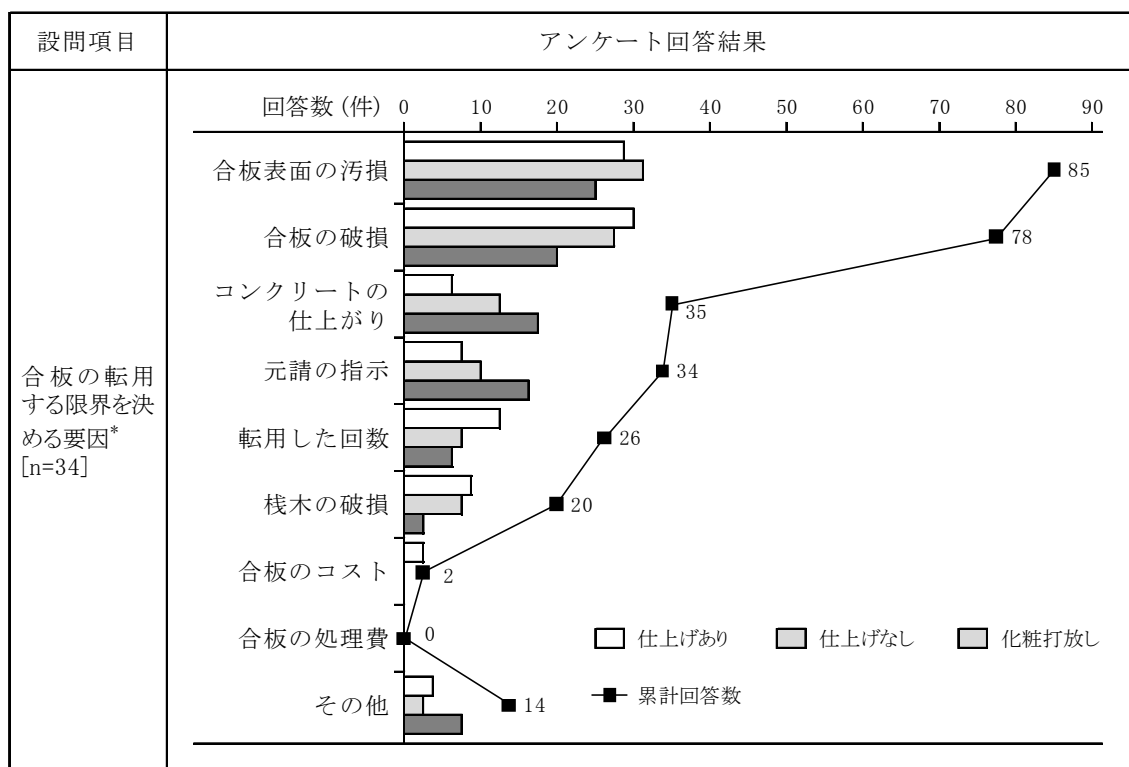


図2.4.2(4) せき板に用いる合板の転用回数

から、当時と比べて、現在の化粧打放しによるコンクリート表面の仕上がり状態への要求品質が高まっている可能性が予見される。

4) 合板の転用する限界を決める要因

合板の転用する限界を決める要因を図2.4.2(5)に示す。合板の転用する限界を決める根拠となる要因は、仕上げの種類による差異が少なく、「合板表面の汚損」が累計で85件と最も多く、続いて「合板の破損」、「コンクリートの仕上がり」の順であった。なお、仕上げの種類ごとでは、仕上げありおよび仕上げなしにおいて、「合板表面の汚損」および「合板の破損」が顕著に多く、化粧打放しにおいて、「コンクリートの仕上がり」が比較的多かった。このことから、合板の転用する限界となる要因は、合板自体の目視で確認できる物理的な品質の低下度合によって決定されていることが大半であり、化粧打放しの場合、コンクリート表面の仕上がり状態における視覚的な要因が複合していることが伺える。

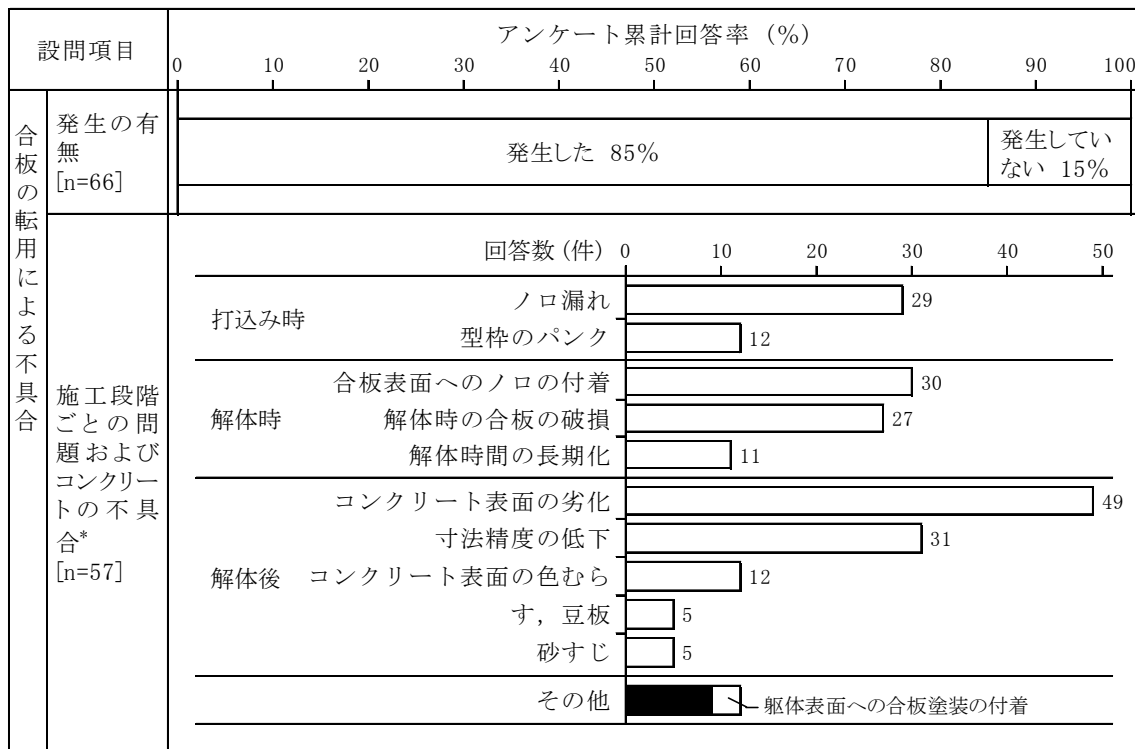


\*:複数回答

図2.4.2(5) 合板の転用する限界を決める要因

5) 合板の転用による不具合

合板の転用による不具合を図2.4.2(6)に示す。合板を転用して用いたことで施工中に何らかの不具合が発生した割合は、85%と回答者の大半が経験していることが分かる。特に、解体後におけるコンクリートの仕上がりに関する事項が顕著であり、施工段階ごとの内訳は、打込み時において「ノロ漏れ」、解体時において「合板表面へのノロの付着」、解体後において合板の木片や塗装の付着による「コンクリート表面の劣化」が多かった。このことから、合板の転用に伴って施工中的問題およびコンクリートの不具合が顕在化される可能性が示唆される。



\*:複数回答

図2.4.2(6) 合板の転用による不具合



(2) 内端太・外端太に用いる栈木および鋼管

1) 内端太に用いる栈木

内端太に用いる栈木の種類を図2.4.2(7)に示す。内端太に用いる栈木の断面寸法は、関東地方において「48×24mm」が全体の94%を占め、近畿地方において「60×30mm」と「60×27mm」を合わせると全体の約90%を占めた。これは、栈木付きパネルを固定するための内端太に鋼管を用いる場合に、後述する型枠工事業者が資材として保有する鋼管の外径に対応した栈木の断面寸法とする必要があるためである。これより、関東地方と近畿地方では、内端太に用いる栈木の断面寸法が異なることが確認された。

栈木の樹種は、関東地方と近畿地方の関東地方と近畿地方の回答数の累計で、「ベイマツ」が最も多く、続いて「アカマツ」、「ラワン」の順であった。この他に、「スギ」および「ベイツガ」とする回答も少なからず見られ、内端太に用いる栈木の樹種は、数種類にわたることがうかがえる。これは、栈木が間伐材を活用して製材されたものであり、地域によって流通する栈木の樹種が異なるためと思われる。

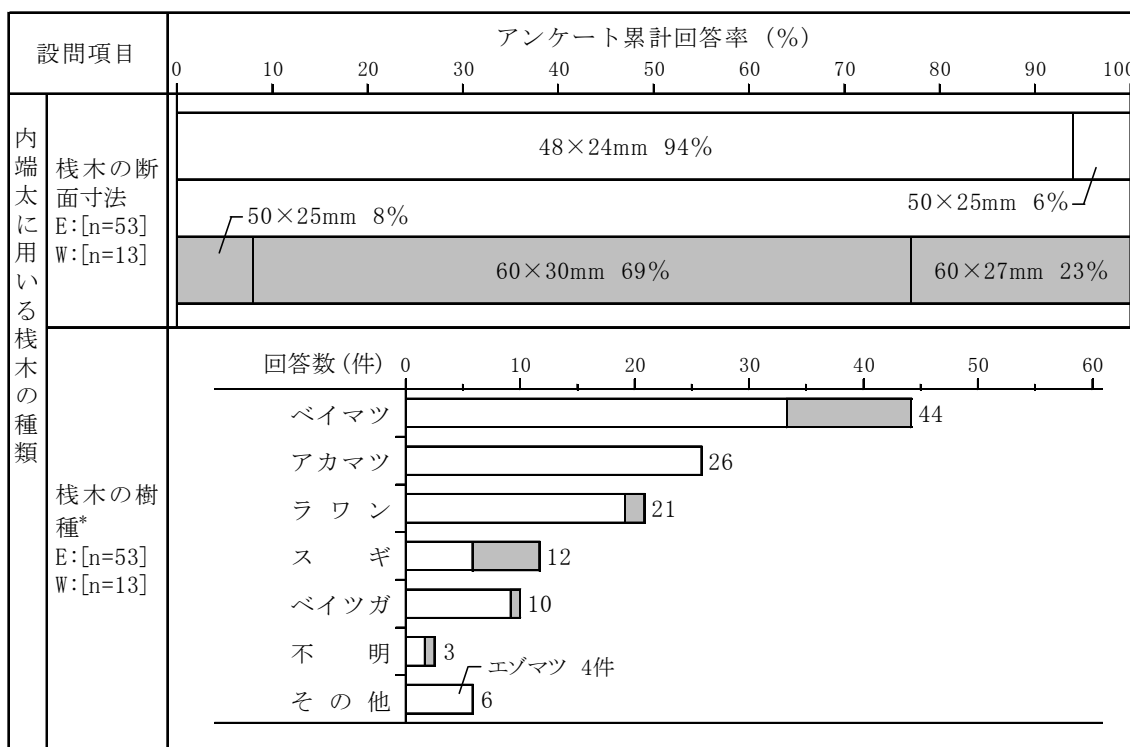
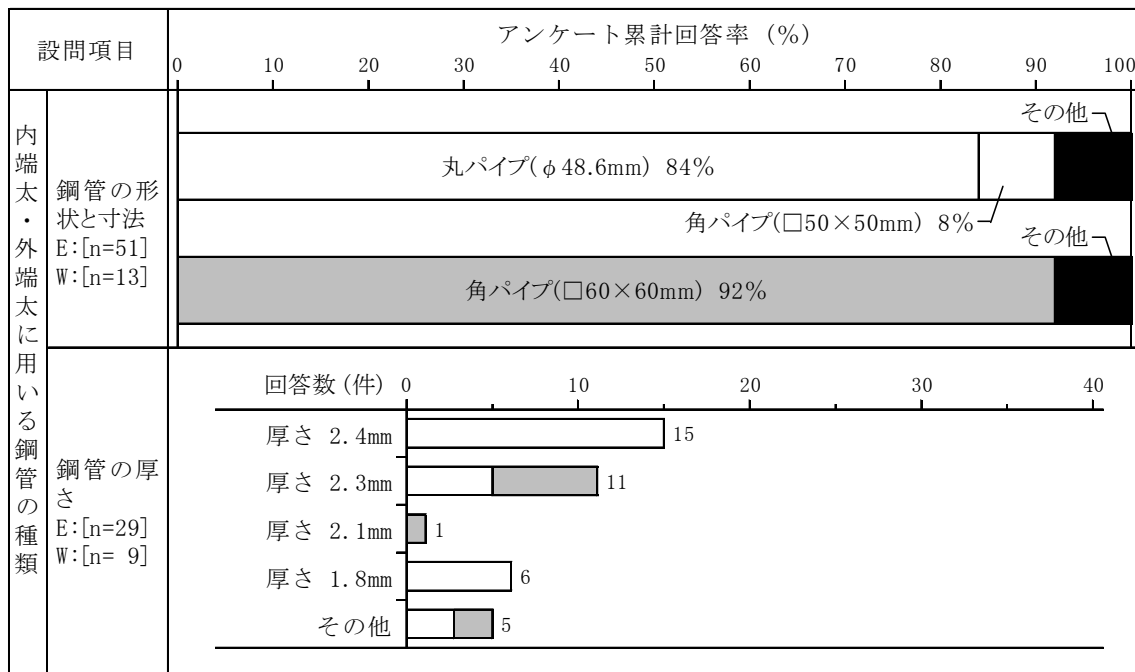


図2.4.2(7) 内端太に用いる栈木の種類

2) 内端太・外端太に用いる鋼管

内端太または外端太に用いる鋼管の種類を図2.4.2(8)に示す。内端太または外端太に用いる鋼管の形状と寸法は、関東地方において「丸パイプ(φ48.6mm)」が全体の84%を占め、近畿地方において「角パイプ(□60×60mm)」が全体の92%を占めた。これより、関東地方と近畿地方では、内端太または外端太に用いる鋼管の形状と寸法が異なることが確認された。また、鋼管の厚さは、関東地方と近畿地方の回答数の累計で、「厚さ2.4mm」が15件と最も多く、続いて「厚さ2.3mm」が11件であった。



\*:複数回答 □部分:関東地方(E) ■部分:近畿地方(W)

図2.4.2(8) 内端太または外端太に用いる鋼管の種類

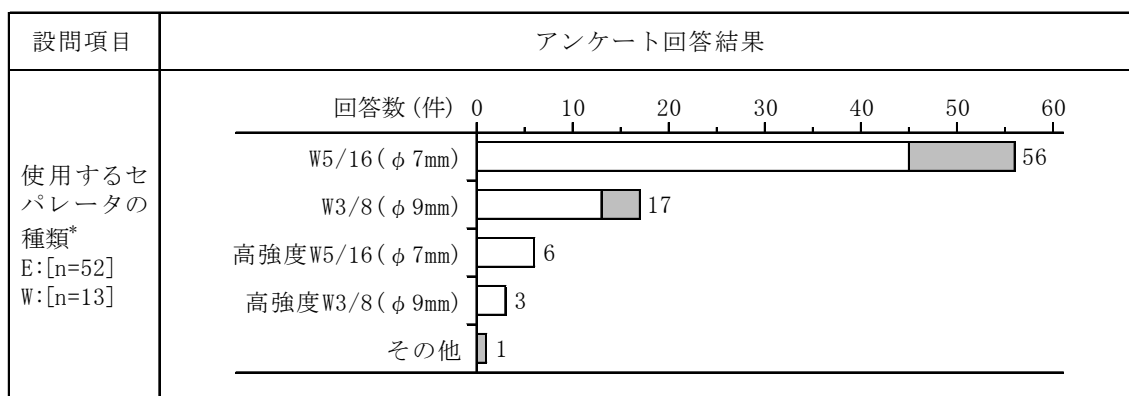
(3) 締付け金物

1) セパレータの種類

使用するセパレータの種類を図2.4.2(9)に示す。使用するセパレータの種類は、関東地方と近畿地方の回答数の累計で、「W5/16(φ7mm)」が56件と最も多く、続いて「W3/8(φ9mm)」が17件であった。一方で、「高強度W5/16(φ7mm)」および「高強度W3/8(φ9mm)」は、回答数が極めて少なかった。

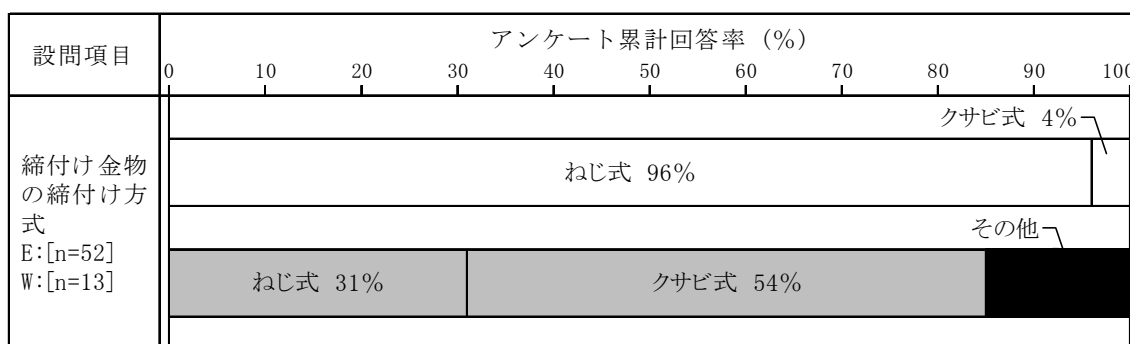
2) 締付け金物の締付け方式

締付け金物の締付け方式を図2.4.2(10)に示す。締付け金物の締付け方式は、関東地方において「ねじ式」が全体の96%を占め、近畿地方において「クサビ式」が全体の54%と最も多いものの、「ねじ式」も31%と比較的多かった。これより、使用する締付け金物の種類には地域性があり、型枠工事業者によっても異なることが確認された。



\*:複数回答 □部分:関東地方(E) ■部分:近畿地方(W)

図2.4.2(9) 使用するセパレータの種類



\*:複数回答 □部分:関東地方(E) ■部分:近畿地方(W)

図2.4.2(10) 締付け金物の締付け方式

2.4.3 在来型枠工法における柱・壁型枠の強度と剛性

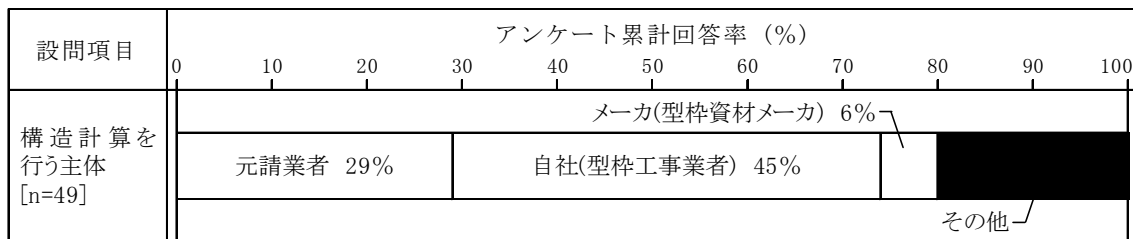
(1) 型枠の強度と剛性についての構造計算

1) 型枠の構造計算を行う主体

型枠の構造計算を行う主体を図2.4.3(1)に示す。型枠の強度と剛性についての構造計算を行う主体は、「自社(型枠工事業者)」が45%と最も多く、この他に元請業者以外の「メーカー(型枠資材メーカー)」と合わせると全体の50%以上を占めた。これに対して、「元請業者」が29%と少なかった。これより、型枠の構造計算には、型枠工事業者が関与している場合が多いことが伺える。

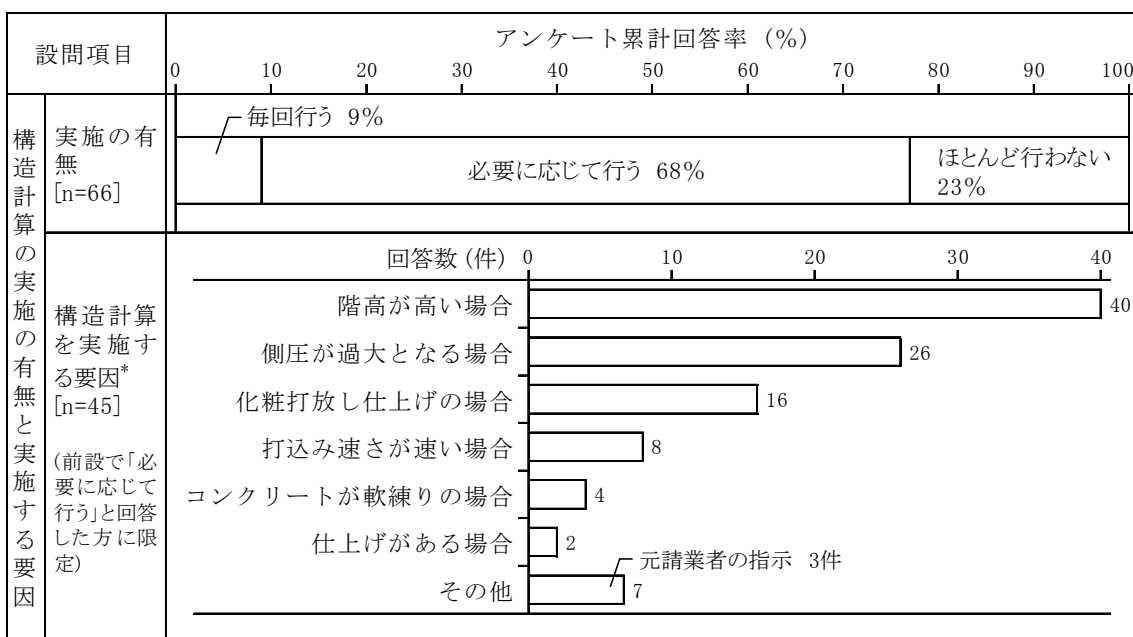
2) 構造計算の実施の有無と実施する要因

柱・壁型枠の構造計算の実施の有無と実施する要因を図2.4.3(2)に示す。構造計算の実施の有無は、「必要に応じて行う」が全体の68%を占めた。また構造計算を行う要因は、「階高が高い場合」が40件と最も多く、続いて「側圧が過大となる場合」が26件であった。これより、型枠の強度と剛性についての構造計算すなわちコンクリートの側圧の算定および型枠の各構成部材に生じる応力や変形量などの確認は、型枠に作用する外力が過大となる可能性が高い場合に行っていることが示唆される。一方で、JASS 5<sup>6)</sup>や型枠指針<sup>7)</sup>において、型枠の強度と剛性を構造計算によって確認することの重要性が記述されているものの、「ほとんど行わない」が23%と比較的



\*:複数回答

図2.4.3(1) 型枠の構造計算を行う主体



\*:複数回答

図2.4.3(2) 柱・壁型枠の構造計算の実施の有無と実施する要因

かった。これは、後述する型枠の強度と剛性を左右する内端太の構成やセパレータの割付けが、施工現場における技能者の経験則に基づき施工される場合が多いことに関係していると思われる。

3) 構造計算を行う型枠の構成部材

構造計算を行う型枠の構成部材を図2.4.3(3)に示す。構造計算を行う型枠の構成部材は、締付け金物(セパレータ)が回答者数の約90%で44件と最も多く、この他のせき板(合板)、内端太(栈木・鋼管)および外端太(鋼管)が回答者数の約70%の回答数であった。これより、型枠の構造計算を行う際は、型枠の構成部材のうちせき板(合板)、内端太および外端太(栈木・鋼管)よりも締付け金物(鋼管)を重視しており、多くの型枠工事業者がセパレータに作用する荷重と変形量の確認を行っていることが示唆される。これは、後述する型枠の構成方法に起因する不具合が、内端太の構成よりもセパレータの割付けによって発生する場合が多いことに関与していると思われる。

4) 型枠の崩壊や破損

型枠の崩壊や破損の発生の有無とその頻度を図2.4.3(4)に示す。型枠の崩壊や破損の発生の有無は、「発生したことがある」が全体の70%を占めており、多くの型枠工事業者がコンクリートの打込みにおいて、型枠の崩壊や破損を経験していることが伺える。型枠の崩壊や破損が発生する頻度は、柱型枠および壁型枠のいずれも「1回/年」が全体の50%以上を占めており、壁型枠の方がわずかに多かった。



\*:複数回答

図2.4.3(3) 構造計算を行う型枠の構成部材

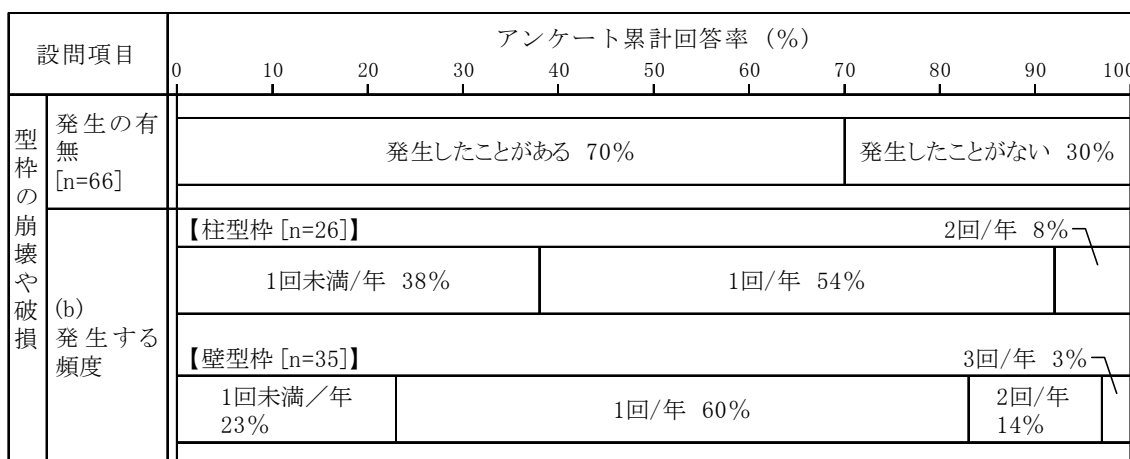


図2.4.3(4) 型枠の崩壊や破損の発生の有無とその頻度

2.4.4 在来型枠工法における壁型枠の構成

(1) 合板の割付け

せき板に用いる合板の向きを図2.4.4(1)に示す。せき板に用いる合板の向きは、「縦使いのみ」が34%と最も多く、この他に「(縦使い)9割:(横使い)1割」および「(縦使い)8割:(横使い)2割」と合わせると全体の85%を占めていた。一方で、「横使いのみ」が0%であり、横使いとして使用する割合も少なかった。これより、在来型枠工法における壁型枠のせき板に用いる合板の向きは、縦使いとして使用する場合がほとんどであることが示唆される。

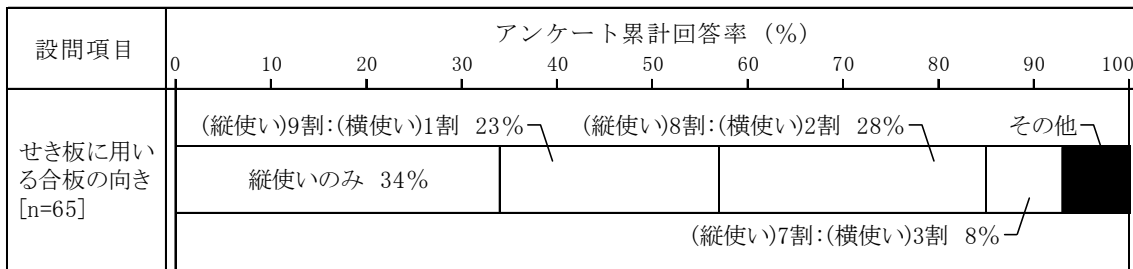


図2.4.4(1) せき板に用いる合板の向き

(2) 内端太の構成

1) 内端太の構成を選定する主体

内端太の構成を選定する主体を図2.4.4(2)に示す。内端太の構成を選定する主体は、「自社(型枠工事業者)」が92%と最も多く、「自社の下請業者」と合わせると全体の95%を占めた。これより、在来型枠工法における型枠の内端太の構成は、型枠工事業者に委ねられていることが伺える。

2) 合板を縦使いとした栈木付きパネルの内端太の構成

合板を縦使いとした栈木付きパネルの内端太の構成を図2.4.4(3)に示す。2'×6'合板を縦使いとした栈木付きパネルの内端太の構成は、関東地方と近畿地方の回答数の累計で、内端太の間隔が200mmの「栈木のみ(A)」および「鋼管のみ(B)」とする回答が多かった。この他の内端太の間隔が150mmの「栈木のみ(C)」,「栈木+鋼管(D)」および「鋼管のみ(E)」は、内端太の間隔が200mmの内端太の構成と比べて回答数が少なかった。また、同様に、3'×6'合板を縦使いとした栈木付きパネルの内端太の構成は、内端太の間隔が225mmの「栈木のみ(F)」,「鋼管のみ(H)」

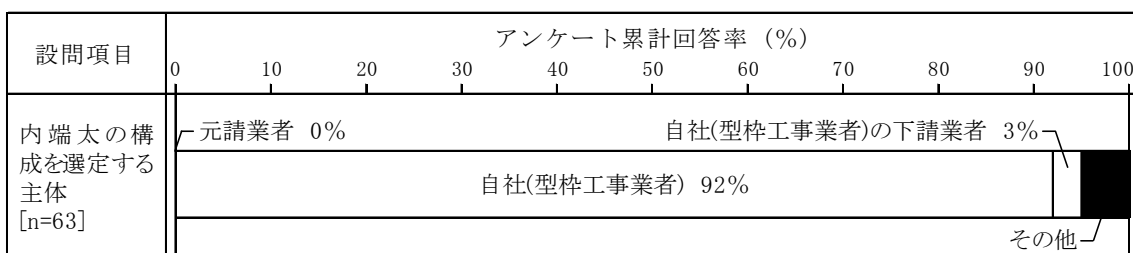
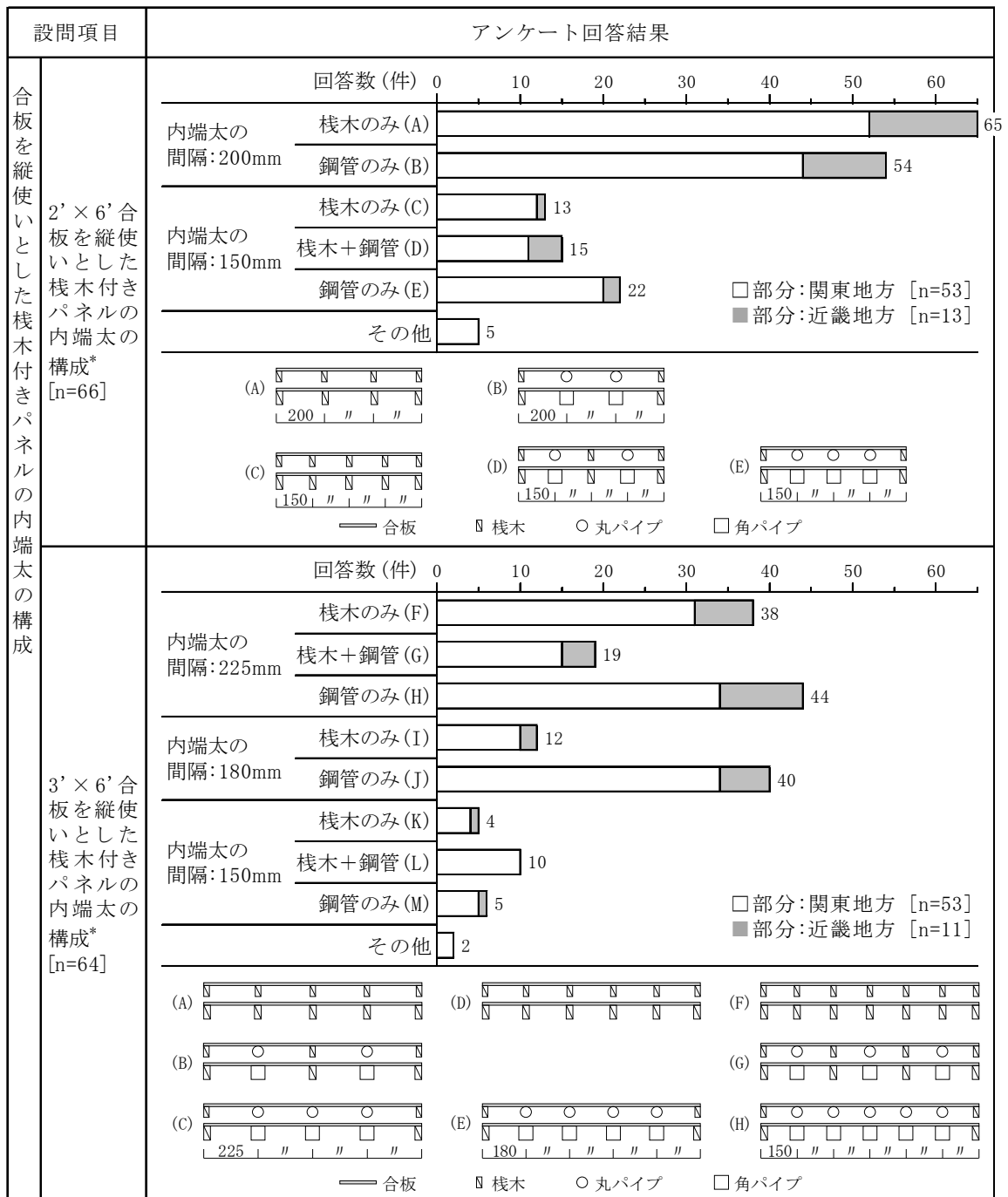


図2.4.4(2) 内端太の構成を選定する主体

および内端太の間隔が180mmの「鋼管のみ(J)」とする回答が多く同程度であった。この他の内端太の間隔が150mmの「栈木のみ(K)」、「栈木+鋼管(L)」および「鋼管のみ(M)」は、内端太の間隔が225mmおよび180mmの内端太の構成と比べて回答数が少なかった。なお、関東地方と近畿地方で壁型枠の構成方法に明確な相違は見られなかった。

ここで、2'×6'合板を縦使いとした栈木付きパネルの内端太の構成において、回答数が多かった内端太の間隔が200mmの「栈木のみ(A)」とした場合、栈木の断面寸法を48×24mm、栈木の許容力度を10.3N/mm<sup>2</sup>、セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔)を600mm、コンクリートの単位容積



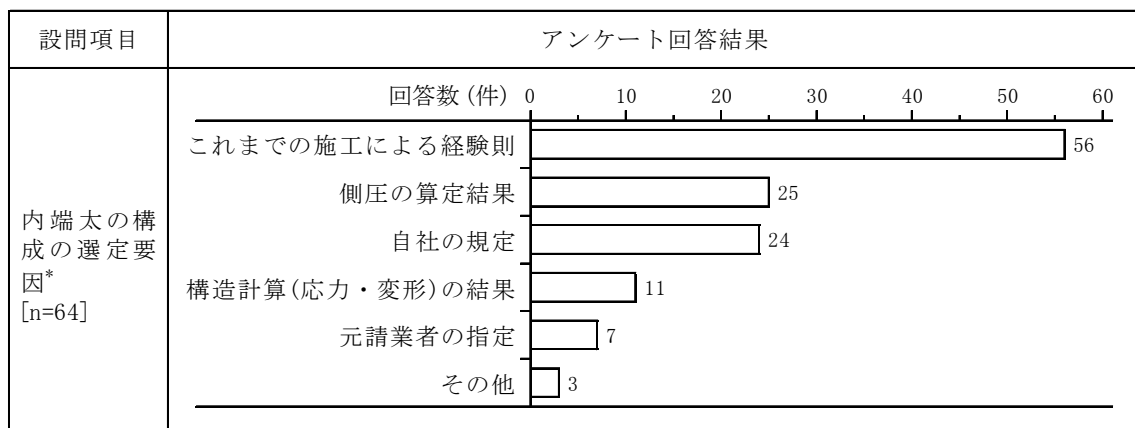
\*:複数回答

図2.4.4(3) 合板を縦使いとした栈木付きパネルの内端太の構成

質量を2.3t/m<sup>3</sup>、コンクリートの打込み速さを20m/hr(3.33/10min)と仮定すると、型枠指針<sup>7)</sup>の構造計算の方法に基づき求めた内端太に用いる栈木の曲げ応力は、コンクリートの側圧が約22kN/m<sup>2</sup>となるフレッシュコンクリートのヘッドが約1.0mで許容曲げ応力度を超える計算となる。そのため、コンクリートの打込み方法やセパレータの割付けによっては、内端太(栈木)の破損のみならず型枠の崩壊などにつながる危険性もあり、前述した型枠の崩壊や破損の発生に関与している可能性があると思われる。

3) 内端太の構成の選定要因

内端太の構成の選定要因を図2.4.4(4)に示す。内端太の構成の選定要因は、「これまでの施工による経験則」が56件と最も多く、続いて「側圧の算定結果」が25件、「自社の規定」が24件の順であった。一方で、「構造計算(応力・変形)の結果」は、11件と極めて少なかった。このように、在来型枠工法における型枠の内端太の構成は、コンクリートの側圧によるせき板および内端太の曲げ応力とたわみを構造計算で確認して選定することよりも、施工現場における技能者の経験則に基づき施工条件に応じて選定している場合多いと思われる。また、この他に、コンクリートの側圧の算定結果を配慮している場合もある。



\*:複数回答

図2.4.4(4) 内端太の構成の選定要因



## (3) セパレータの割付け

## 1) セパレータの割付けを選定する主体

セパレータの割付けを選定する主体を図2.4.4(5)に示す。セパレータの割付けを選定する主体は、「自社(型枠工事業者)」が67%と最も多く、「自社の下請業者」と合わせると全体の約80%を占めた。これより、前述した内端太の構成と同様に、在来型枠工法における型枠のセパレータの割付けは、型枠工事業者に委ねられることが多いことが伺える。なお、図2.4.4(2)に示したように、内端太の構成を元請業者が選定する回答が無かったことに対して、セパレータの割付けは、「元請業者」が6%と少数ながらも関与する場合があり、元請業者もセパレータの割付けに対する意識が高いと思われる。

## 2) 合板を縦使いとした栈木付きパネルのセパレータの割付け

合板を縦使いとした栈木付きパネルのセパレータの割付けを図2.4.4(6)に示す。2'×6'合板を縦使いとした栈木付きパネルのセパレータの割付けは、関東地方と近畿地方の累計で、セパレータ3本/合板1枚の「横600×縦600(A)」およびセパレータ4本/合板1枚の「横600×縦450(B)」とする回答が多く同程度であった。この他のセパレータの割付けとする回答も見られたが、2'×6'合板1枚に対するセパレータの本数を6本以上とするセパレータの割付けは、回答数が少なかった。また、同様に、3'×6'合板を縦使いとした栈木付きパネルのセパレータの割付けは、セパレータ8本/合板1枚の「横450×縦450(L)」とする回答が最も多く、続いてセパレータ6本/合板1枚の「横450×縦600(J)」の順であった。この他のセパレータの割付けとして、セパレータ6本/合板1枚の「横600×縦600(I)」およびセパレータ8本/合板1枚の「横600×縦450(K)」とする回答も比較的多かった。なお、前述した内端太の構成と同様に、関東地方と近畿地方で壁型枠のセパレータの割付けに明確な相違は見られなかった。

ここで、2'×6'合板を縦使いとした栈木付きパネルのセパレータの割付けにおいて、回答数が多かったセパレータ3本/合板1枚の「横600×縦600(A)」とした場合、セパレータの種類をW5/16(φ7mm)、セパレータの許容引張荷重を14kN、コンクリートの単位容積質量を2.3t/m<sup>3</sup>、コンクリートの打込み速さを20m/hr(3.33m/10min)と仮定すると、型枠指針<sup>7)</sup>の構造計算の方法に基づき求めたセパレータ1本に作用する荷重は、コンクリートの側圧が約38kN/m<sup>2</sup>となるフレッ

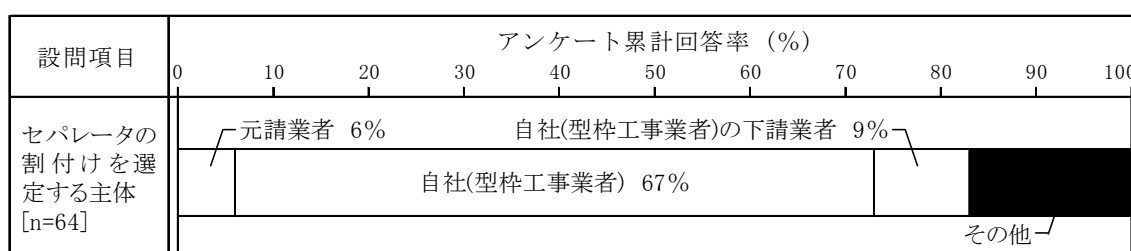
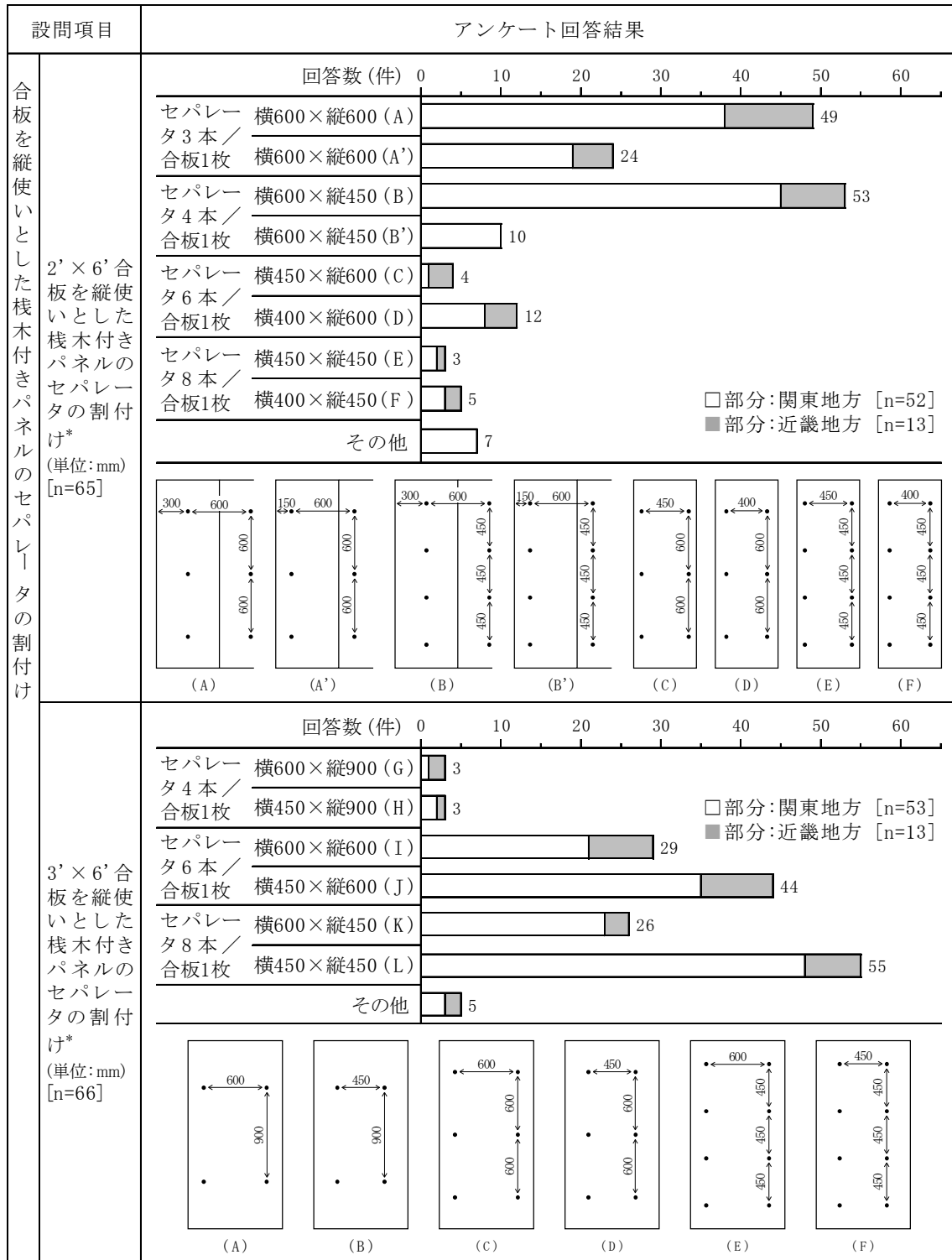


図2.4.4(5) セパレータの割付けを選定する主体

シュコンクリートのヘッドが約1.7mで許容引張荷重を超える計算となる。そのため、コンクリートの打込み方法によっては締付け金物(セパレータ)の破断のみならず型枠の崩壊などにつながる危険性があり、前述した型枠の崩壊や破損の発生に関与している可能性があると思われる。

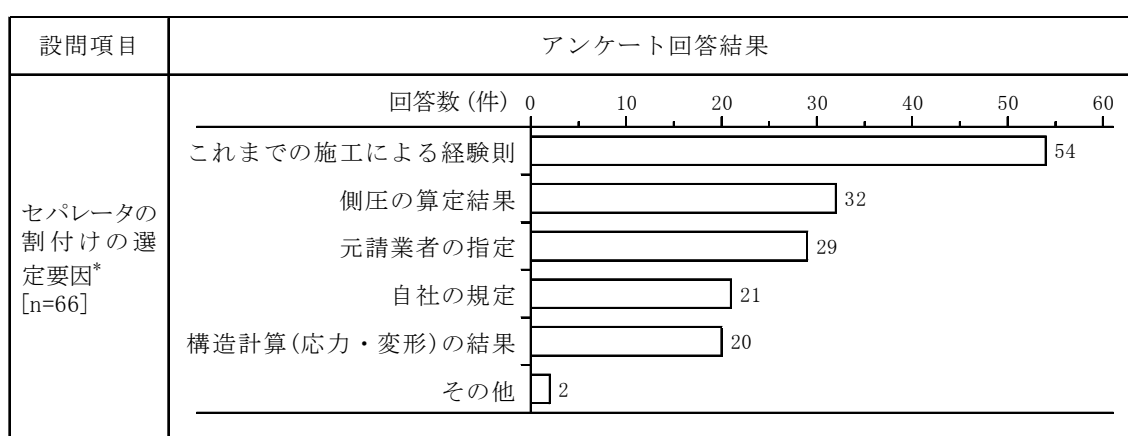


\*:複数回答

図2.4.4(6) 合板を縦使いとした栈木付きパネルのセパレータの割付け

## 3) セパレータの割付けの選定要因

セパレータの割付けの選定要因を図2.4.4(7)に示す。セパレータの割付けの選定要因は、前述した内端太の構成の選定と概ね同様の傾向を示し、「これまでの施工による経験則」が54件と最も多かった。このことから、セパレータの割付けは、内端太、外端太および締付け金物(セパレータ)に生じる応力や変形などを構造計算で確認して選定することよりも、施工現場における技能者の経験則に基づき施工条件に応じて選定していると思われる。この他に、コンクリートの側圧の算定結果を加味して選定する場合も多かった。また、2'×6'合板も3'×6'合板もセパレータの割付けの回答があるところに集約されていることが、型枠工事が技能者の経験と一般に言われることに関与していると思われる。



\*:複数回答

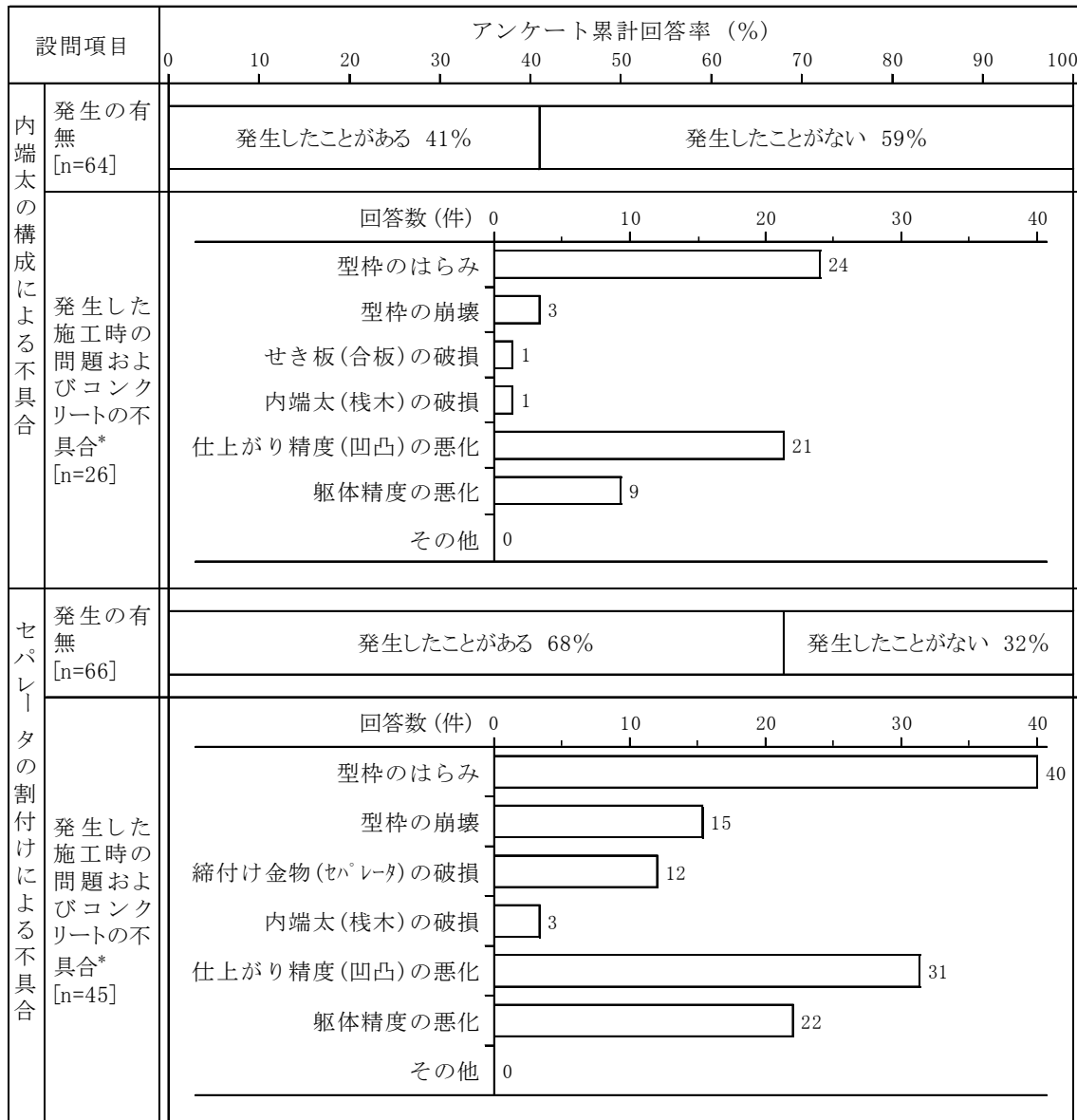
図2.4.4(7) セパレータの割付けの選定要因

## (4) 型枠の構成方法に起因する不具合

型枠の構成方法に起因する不具合を図2.4.4(8)に示す。型枠の構成方法に起因する不具合の発生の有無は、内端太の構成において「発生したことがある」が全体の41%を占め、セパレータの割付けにおいて「発生したことがある」が全体の68%を占めており、型枠工事業者の大半が何らかの不具合を経験していることが伺える。この型枠の構成方法による不具合は、セパレータの割付けの方が、内端太の構成よりも不具合の要因として捉えられていると思われる。

型枠の構成方法に起因する施工時の問題およびコンクリートの不具合は、内端太の構成とセパレータの割付けのいずれも、「型枠のはらみ」が最も多く、続いて「仕上がり精度の低下」、「躯体精度の低下」の順であった。この他に、セパレータの割付けによる不具合については、「型枠の崩壊」が15件、「締付け金物(セパレータ)の破損」が12件の回答が見られた。これは、セパレータの割付けに対して、前述したセパレータ1本に作用する荷重が、セパレータの許容引張荷重を超えるコンクリートの打込み方法によって施工された可能性が考えられる。これらのことから、型枠の構成方法に起因する施工時の型枠のはらみやコンクリートの仕上がり精度の低下などの不具合を多くの型枠工事業者が経験しており、特に、セパレータの割付けについては、型枠の崩壊に

つながる危険性が高い事項であることが示唆された。これより、型枠の構成を選定する際に、型枠の強度と剛性について構造計算を行い、型枠を構成する各部材に生じる応力や変形などを確認する必要性が高いことが確認された。



\*:複数回答

図 2.4.4(8) 型枠の構成方法に起因する不具合

## 2.5 まとめ

本章では、せき板に合板を用いた在来型枠工法に関する施工現場の実態について、型枠工事業者を対象にアンケート調査を行った。その結果、得られた知見を以下に要約する。

### 2.5.1 型枠工事の契約形態および施工計画

- (1) 型枠工事の契約形態は、材料費と労務費の一式請負(材工共)での契約がほとんどである。
- (2) 型枠工法および型枠材料を選定する際の施工計画の立案には、型枠工事業者が関与するケースが多い。

### 2.5.2 在来型枠工法における型枠の構成材料

- (1) せき板に用いる合板は、施工現場における作業性を考慮して、厚さ12mmの2'×6'合板(幅600×長さ1,800mm)および3'×6'合板(幅900×長さ1,800mm)が選定されることが大半である。また、使用した合板の保管状態は、屋外において野ざらしの状態であることが多い。
- (2) 合板の転用回数は、施工部位および仕上げの種類によらず、無塗装合板よりも塗装合板の方が多い。また、合板の転用による不具合は、型枠工事業者の大半が経験しており、コンクリートの仕上がりに関する事項が多く発生している。
- (3) 内端太または外端太に用いる栈木および鋼管の形状と寸法は、関東地方において栈木の断面寸法が48×24mmで、鋼管が丸パイプの使用が多く、近畿地方において栈木の断面寸法が60×30mmで、鋼管が角パイプの使用が多いことが確認された。また、栈木の樹種は、ベイマツおよびアカマツが多く使用されている。
- (4) セパレータの種類は、W5/16(φ7mm)が多く使用されている。また、締付け金物の締付け方式は、関東地方においてねじ式の使用が多く、近畿地方においてクサビ式の使用が多い。

### 2.5.3 在来型枠工法における柱・壁型枠の強度と剛性

- (1) 型枠の構造計算は、型枠工事業者が関与しているケースが多く、型枠に作用するコンクリートの側圧が過大となる可能性が高い場合などに行っている。
- (2) 型枠の崩壊や破損は、半数以上の型枠工事業者が1年間に1回以上の頻度で経験している。

### 2.5.4 在来型枠工法における壁型枠の構成

- (1) 壁型枠における内端太の構成およびセパレータの割付けは、型枠工事業者に委ねられることがほとんどであり、施工現場における技能者の経験則に基づき選定されることが多い。
- (2) 内端太の構成は、縦使いとした栈木付きパネルの場合、2'×6'合板において内端太の間隔を200mmとし、3'×6'合板において内端太の間隔を225mmまたは180mmとすることが多く、この内端太材は、栈木のみまたは鋼管のみとするケースが多い。
- (3) セパレータの割付けは、縦使いとした栈木付きパネルの場合、2'×6'合板においてセパレータの本数が3本の「横600×縦600(A)」または4本の「横600×縦450(B)」とし、3'×6'合板においてセパレータの本数が6本の「横450×縦600(J)」または8本の「横450×縦450(L)」とすることが多い。
- (4) 内端太の構成およびセパレータの割付けに起因する不具合は、半数程度の型枠工事業者が経験しており、型枠のはらみやコンクリートの仕上がり精度の低下が多く発生している。

【第2章の参考文献】

- 1) 吉田知憲, 古阪秀三, 金多 隆: 一式請負方式での専門工事業者の工事編成と企業行動の変化, 日本建築学会計画系論文集, No. 577, pp.143-150, 2004.3
- 2) 吉田知憲, 古阪秀三, 金多 隆: 建築工事における専門工事業者の担当範囲の分析と考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1分冊, pp.1301-1302, 2009
- 3) 全国建設労働組合総連合, 建設政策研究所: 建設産業の重層下請構造に関する調査・研究報告書, p.4, 2008.9
- 4) 松浦光男, 小柳光生, 田中久雄: 型枠に関する実態調査報告(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A分冊, pp.621-622, 1987.10
- 5) 末吉康一, 前田義一, 横須加誠一: 型枠に関する実態調査報告(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A分冊, pp.623-624, 1987.10
- 6) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2015
- 7) 日本建築学会: 型枠の設計・施工指針, 2011
- 8) 東京建設工業協同組合, 日本建設大工工事業協会: 型枠施工必携, 2011

## 第 3 章

支点間距離が型枠の構成材料における  
合板および栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響

### 第3章 支点間距離が型枠の構成材料における合板および栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響

#### 3.1 研究の目的

型枠の構造計算は、JASS 5<sup>1)</sup>および型枠指針<sup>2)</sup>において、型枠を構成する各部材それぞれの変形量の許容値を2mm程度とし、各部材の変形量を合計した総変形量の許容値として5mm以下を目安とすることが解説されている。この型枠の変形量の構造計算方法は、在来型枠工法における構造計算の一例が型枠指針<sup>2)</sup>に示されているに過ぎない。在来型枠工法における壁型枠の構造計算は、せき板(合板など)、内端太(栈木など)、外端太(鋼管など)および締付け金物(セパレータなど)により構成した型枠について、コンクリートの側圧を等分布荷重とし、型枠の構成方法から各型枠材料のヤング係数などを用いて求めた各部材の変形量(たわみ量)や曲げ応力などが許容値を満足していることを確認する方法が示されている。

しかしながら、本来、木質構造材料は、日本建築学会「木質構造設計規準・同解説」<sup>3)</sup>における構造材料の弾性係数(曲げヤング係数)のように、特に荷重条件が標準荷重条件より短いスパン(支点間距離)で設計する場合に基準弾性係数を低減して用いることの必要性が解説されているにもかかわらず、仮設的な型枠の構造計算では、内端太およびセパレータの間隔すなわち支点間距離に伴うせき板および内端太に用いる木質材料の曲げヤング係数を低減して用いていないため危険側の構造計算となっている。そのため、JAS<sup>3)</sup>の基準値などのヤング係数などを用いて型枠の構造計算を行うと、せき板(合板)および内端太(栈木)の実際のたわみ量が構造計算上の値よりも大きくなり、JASS 5<sup>1)</sup>および型枠指針<sup>2)</sup>に解説されている変形量の許容値を満足していない可能性がある。

さらに、平成26年に「合板の日本農林規格」<sup>4)</sup>(以下、合板のJASとする)が改正され、この中の「コンクリート型枠用合板」の合板の曲げヤング係数の基準値における幅方向スパン用が $5.5 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ から合板の厚さにかかわらず $2.5 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ に大幅に低減された。しかし、実際に用いる合板の曲げヤング係数は、この基準値よりも大きくなると推察できるが不明な点が残る。また、栈木の曲げヤング係数は、実際に用いられる栈木の樹種が多様であるものの、型枠指針<sup>2)</sup>において一部の樹種の値が示されているのみである。このように、型枠の構成材料および構成方法の選定・設計する際の構造計算に用いる合板および栈木の曲げヤング係数の取扱いが不明確となっている。

そこで、本章では、在来型枠工法における型枠において、せき板に用いる合板の支点間距離となる内端太の間隔が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響および内端太に用いる栈木の支点間距離となるセパレータの長さ方向の間隔が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響について明らかにすることを目的としている。また、型枠工事の施工上避けられない雨水などによる木質材料の含水率の変化が、合板および栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響についても検討している。

ここでは、在来型枠工法における壁型枠の構成方法において想定される内端太の間隔を考慮して支点間距離を変化させた合板の曲げヤング係数と、同様に想定されるセパレータの長さ方向の間隔を考慮して支点間距離を変化させた栈木の曲げヤング係数について実験的に検討を行い、合板のJAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値および「木質構造設計規準・同解説」<sup>3)</sup>の普通構造材の繊維方向特性値における基準弾性係数との関係についても言及している。これらの実験結果を基に、在来型枠工法における型枠の構造計算に用いる合板および栈木の曲げヤング係数の低減係数を示している。



### 3.2 内端太の間隔を考慮した支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

#### 3.2.1 実験概要

ここでは、せき板に用いる合板の内端太の間隔を考慮した支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響を明らかにするために、合板の種類と厚さ、水分条件および支点間距離が異なる合板の曲げヤング係数を調べた。また、塗装合板および無塗装合板の厚さ12mmの合板を対象とし、含水率が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響についても検討した。合板の種類と水準および曲げ試験の概要を表3.2.1に示す。

##### (1) 合板の種類と水準

本実験に用いた合板は、厚さが12mmおよび15mmの塗装合板と、厚さが12mm、15mmおよび18mmの無塗装合板の計5種類とした。いずれの合板も合板のJASの規格品を用いた。合板の水分条件は、厚さ12mmの塗装合板および無塗装合板において気乾状態および湿潤状態の2水準とし、それ以外は気乾状態の1水準とした。なお、合板の水分条件は、気中乾燥または水中浸漬によって調節し、曲げ試験直後の質量と全乾質量の測定結果による合板の含水率は、気乾状態が15%以下、湿潤状態が30～40%であった。

表3.2.1 合板の種類と水準および曲げ試験の概要

合板の種類と水準	合板の種類	塗装合板		無塗装合板		
	厚さ( $h$ )	12mm	15mm	12mm	15mm	18mm
	水分条件*1	A, W	A	A, W	A	A
コンクリート型枠用合板の試験方法により求めた合板の曲げヤング係数	繊維方向に対する荷重方向*2	長さ方向(∥)			幅方向(⊥)	
	支点間距離( $l$ )	1,500mm			750mm	
	試験体の寸法	$b:600 \times L:1,800\text{mm}$			$b:1,800 \times L:900\text{mm}$	
	試験方法	合板のJAS別記の3の(7)の「曲げ剛性試験」に準拠 (合板の曲げヤング係数の表記: ${}_pE_{b(l)}$ )				
構造用合板の試験方法により求めた合板の曲げヤング係数	繊維方向に対する荷重方向*2	長さ方向(∥), 幅方向(⊥)				
	支点間距離( $l$ )	450, 300, 250*3, 200, 180, 150mm				
	試験体の寸法	$b:100 \times L:l+50 \text{ mm}$				
	試験方法	合板のJAS別記の3の(11)のアの「1級の曲げ試験」の方法を準用 (合板の曲げヤング係数の表記: ${}_pE_{b(s)}$ )				

\*1 A(気乾状態):含水率15%以下, W(湿潤状態):含水率30~40%

\*2 長さ方向(∥):合板の表板の繊維方向に平行方向の曲げ試験, 幅方向(⊥):合板の表板の繊維方向に直角方向の曲げ試験

\*3 塗装合板および無塗装合板の厚さが12mmの水準のみ実施

(2) 曲げ試験の方法

本実験では、合板の種類と水準ごとに繊維方向に対する荷重方向が長さ方向および幅方向における合板の曲げヤング係数について、2種類の曲げ試験を行った。

1) 「コンクリート型枠用合板の試験方法により求めた合板の曲げヤング係数」の曲げ試験

「コンクリート型枠用合板の試験方法により求めた合板の曲げヤング係数」は、合板のJAS<sup>4)</sup>におけるコンクリート型枠用合板に規定された試験方法(合板のJAS別記の3の(7)の曲げ剛性試験)により求めた合板の曲げヤング係数(以下、 $pE_{b(t)}$ とする)である。JASS 5<sup>1)</sup>や型枠指針<sup>2)</sup>で記述されている合板の曲げヤング係数は、この試験方法で求められた値であり、比較的大きな寸法の合板によって求められたものである。

合板のJAS<sup>4)</sup>別記の3の(7)の曲げ剛性試験の方法を図3.2.1に示す。曲げ試験の方法は、実大の試験合板の表面を上面とし、支点間の中央に直交して置いた荷重棒の有効長さ(合板の長さまたは幅)の上に、荷重を加えて支点間の中央のたわみ量を1/1000精度の変位計を用いて測定した。

2) 「構造用合板の試験方法により求めた合板の曲げヤング係数」の曲げ試験

「構造用合板の試験方法により求めた合板の曲げヤング係数」は、合板のJAS<sup>4)</sup>における構造用合板に規定された試験方法(合板のJAS別記の3の(11)のアの1級の曲げ試験)により求めた合板

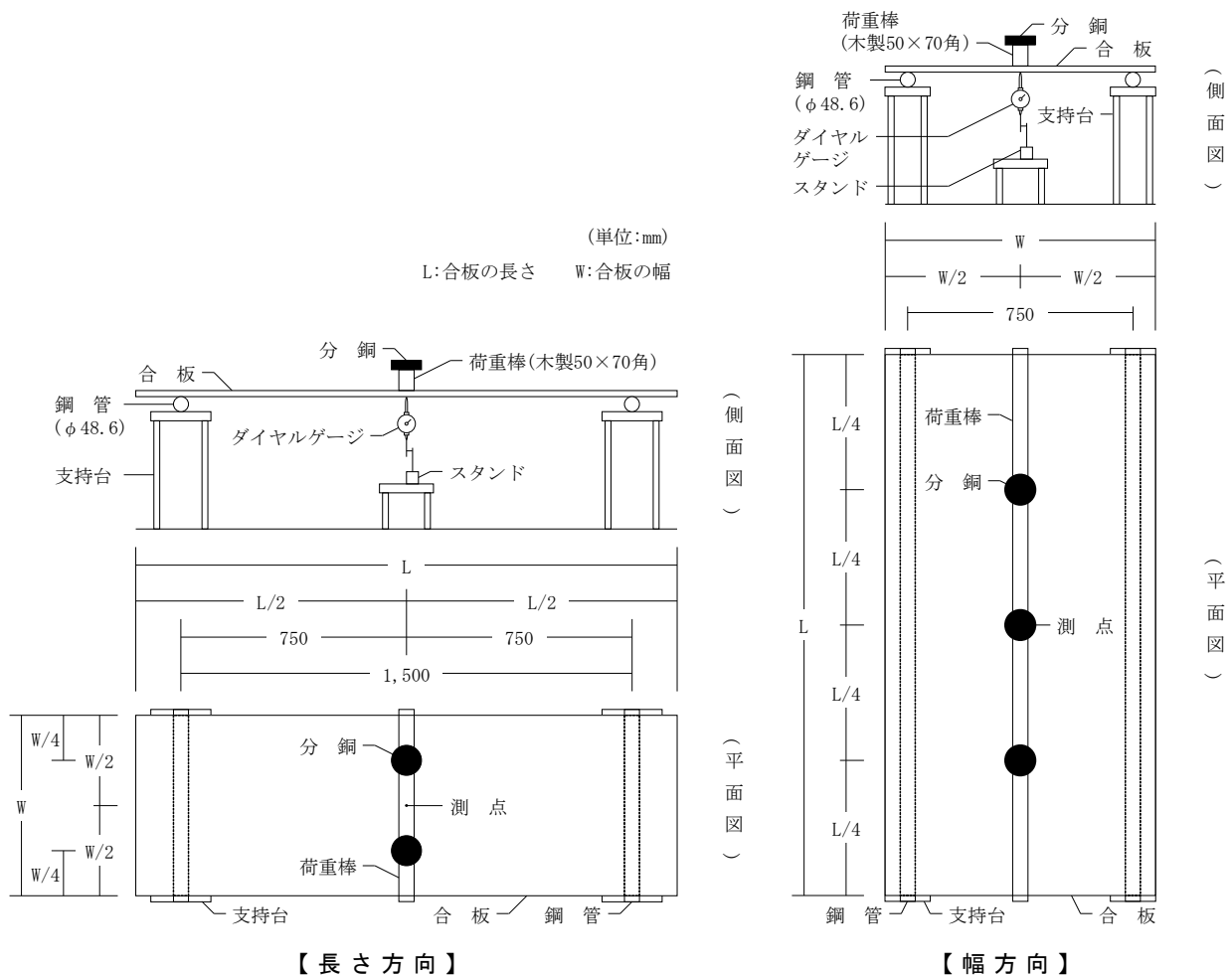


図3.2.1 合板のJAS別記の3の(7)の曲げ剛性試験の方法

の曲げヤング係数(以下、 $pEb(s)$ とする)であり、内端太の間隔を考慮して支点間距離を変えたものである。ここでは、合板の種類と水準および繊維方向に対する荷重方向ごとに支点間距離を450mm, 300mm, 250mm, 200mm, 180mmおよび150mmと変えた合板の曲げヤング係数について、各々 $pEb(s450)$ ,  $pEb(s300)$ ,  $pEb(s250)$ ,  $pEb(s200)$ ,  $pEb(s180)$ および $pEb(s150)$ とした。

合板のJAS<sup>4)</sup>別記の3の(11)のアの1級の曲げ試験の方法を図3.2.2に、繊維方向に対する荷重方向が長さ方向および幅方向の試験体を図3.2.3に示す。曲げ試験の方法は、支点間の方向と試験片の表板の繊維方向が平行な場合(長さ方向)と直角な場合(幅方向)について、試験合板の表面を上面とし、支点間の中央に直交方向となる荷重点で荷重を加えて支点間の中央のたわみ量を1/1000精度の変位計を用いて測定した。荷重は、荷重点の移動速度が一定となるように加え、平均荷重速度を毎分14.7N/mm<sup>2</sup>とした。

3) 曲げヤング係数の算出

合板の曲げヤング係数は、いずれの曲げ試験においても(3.2.1)式によって算出した3個の平均値とした。

$$pEb = \frac{\Delta P \cdot l^3}{48 \cdot I \cdot \Delta y} \quad \dots (3.2.1)式$$

ここで、 $pEb$  : 合板の曲げヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)

$l$  : 支点間距離(mm)

$I$  : 断面2次モーメント( $bh^3/12$ )(mm<sup>4</sup>)

$\Delta P$  : 比例域における上限荷重と下限荷重との差(kN)

$\Delta y$  :  $\Delta P$ に対応する支点間中央のたわみ量(mm)

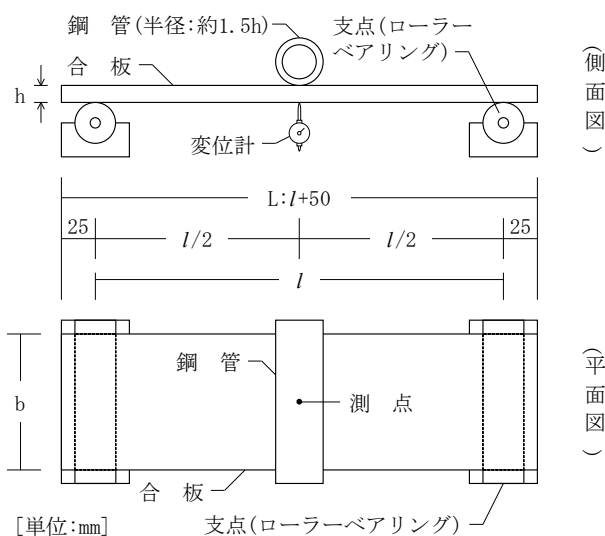


図3.2.2 合板のJAS別記の3の(11)のアの1級の曲げ試験の方法

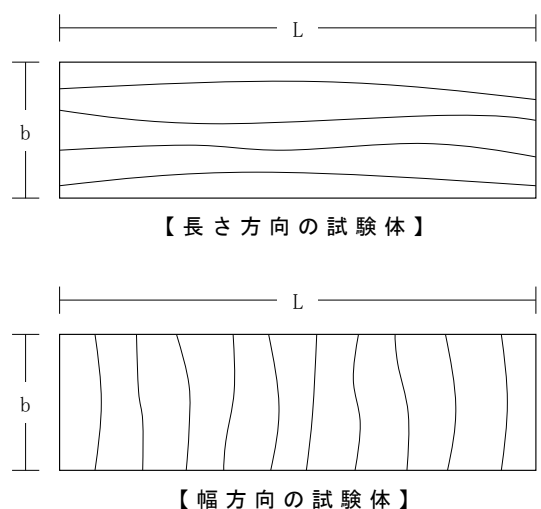


図3.2.3 繊維方向に対する荷重方向が長さ方向および幅方向の試験体

### 3.2.2 実験結果および考察

#### (1) 含水率が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

含水率が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は、塗装合板および無塗装合板の厚さ 12mm の合板を対象として検討した。合板の含水率の測定結果を表 3.2.2 に、気乾状態における合板の曲げヤング係数 ( $\rho E_{b(A)}$ ) と湿潤状態における合板の曲げヤング係数 ( $\rho E_{b(W)}$ ) の関係を図 3.2.4 に示す。湿潤状態における合板の曲げヤング係数 ( $\rho E_{b(W)}$ ) は、塗装合板および無塗装合板ともに、繊維方向に対する荷重方向の長さ方向および幅方向にかかわらず、気乾状態における合板の曲げヤング係数 ( $\rho E_{b(A)}$ ) に比べ平均値として約 10% 小さくなる傾向を示した。この両者の関係は、1 次式で密接な関係となり、高い相関性を示した。また、山井博士の既往データ<sup>5), 6)</sup>も本結果の回帰直線の付近に分布しており、概ね同様の傾向であった。これは、合板の含水率の影響であり、型枠指針<sup>2)</sup>の構造計算において湿潤状態の合板の曲げヤング係数は、気乾状態の 80% 近くになることから、この湿潤状態を考慮して安全側に定めることが述べられており、本結果もばらつきを考慮すると概ね同様の割合といえる。さらに、内端太の間隔を考慮して支点間距離を変えた合板の曲げヤング係数も同様な傾向を示した。このように、含水率が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は、施工環境を考慮すると避けられない要因となるため、第 5 章で述べる内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案において、合板の曲げヤング係数は、含水

表 3.2.2 合板の含水率の測定結果

	合板の水分条件	塗装合板(厚さ12mm)		無塗装合板(厚さ12mm)	
		長さ方向	幅方向	長さ方向	幅方向
含水率の測定結果 (%)	気乾状態(A)	7.9 (7.0-8.4)	8.8 (7.6-9.7)	8.5 (7.8-9.4)	8.7 (8.2-9.1)
	湿潤状態(W)	34.7 (30.9-38.1)	31.4 (30.3-34.2)	37.1 (34.2-38.4)	36.0 (34.3-37.2)

※( )内の数値は(最小値-最大値)を示す

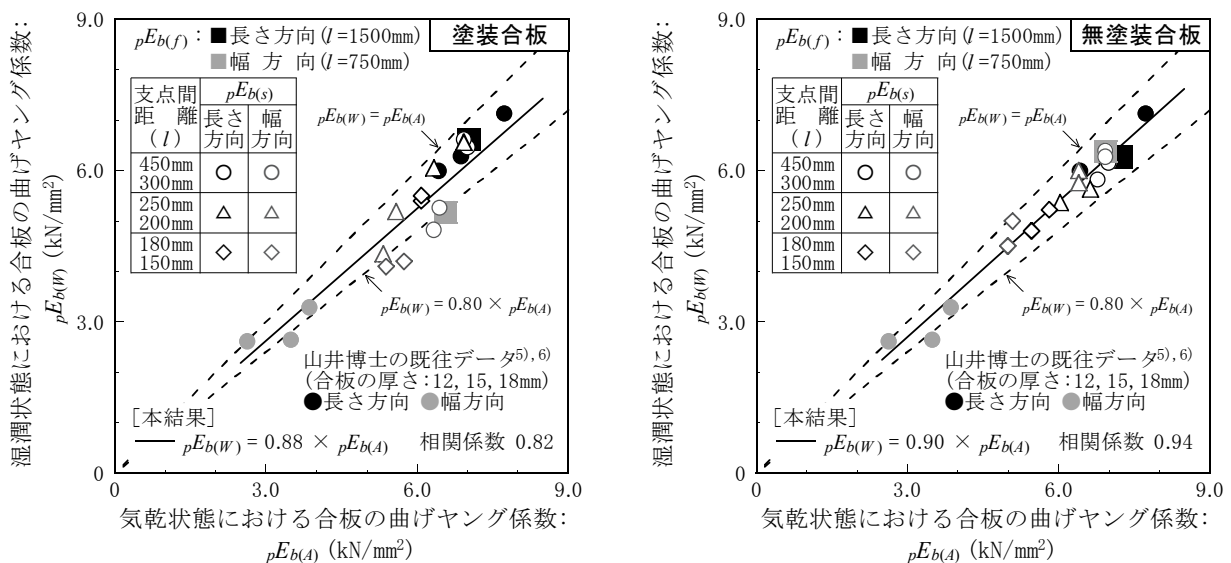


図 3.2.4 気乾状態における合板の曲げヤング係数 ( $\rho E_{b(A)}$ ) と湿潤状態における合板の曲げヤング係数 ( $\rho E_{b(W)}$ ) の関係

(2) 支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

1) 支点間距離と合板の曲げヤング係数の関係

支点間距離と合板の曲げヤング係数の関係を図3.2.5に示す。ここでは、合板の厚さおよび繊維方向に対する荷重方向ごとに支点間距離と合板の曲げヤング係数の関係を図示しており、図中には、合板のJAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値を併記した。合板の曲げヤング係数は、いずれの合板の種類と水準および繊維方向に対する荷重方向においても、支点間距離が短くなると低下する傾向を示した。すなわち、合板も「木質構造設計規準・同解説」<sup>3)</sup>に示されているように、普通構造材と同様で、支点間距離が短くなると曲げヤング係数が小さくなる結果を示している。コンクリート型枠用合板の試験方法により求めた $pE_{b(f)}$ は、いずれの合板の種類と厚さおよび繊維方向に対する荷重方向においても、水分条件が気乾状態の場合、合板のJAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値を満足していた。一方で、湿潤状態における厚さ12mmの合板の長さ方向の $pE_{b(f)}$ は、

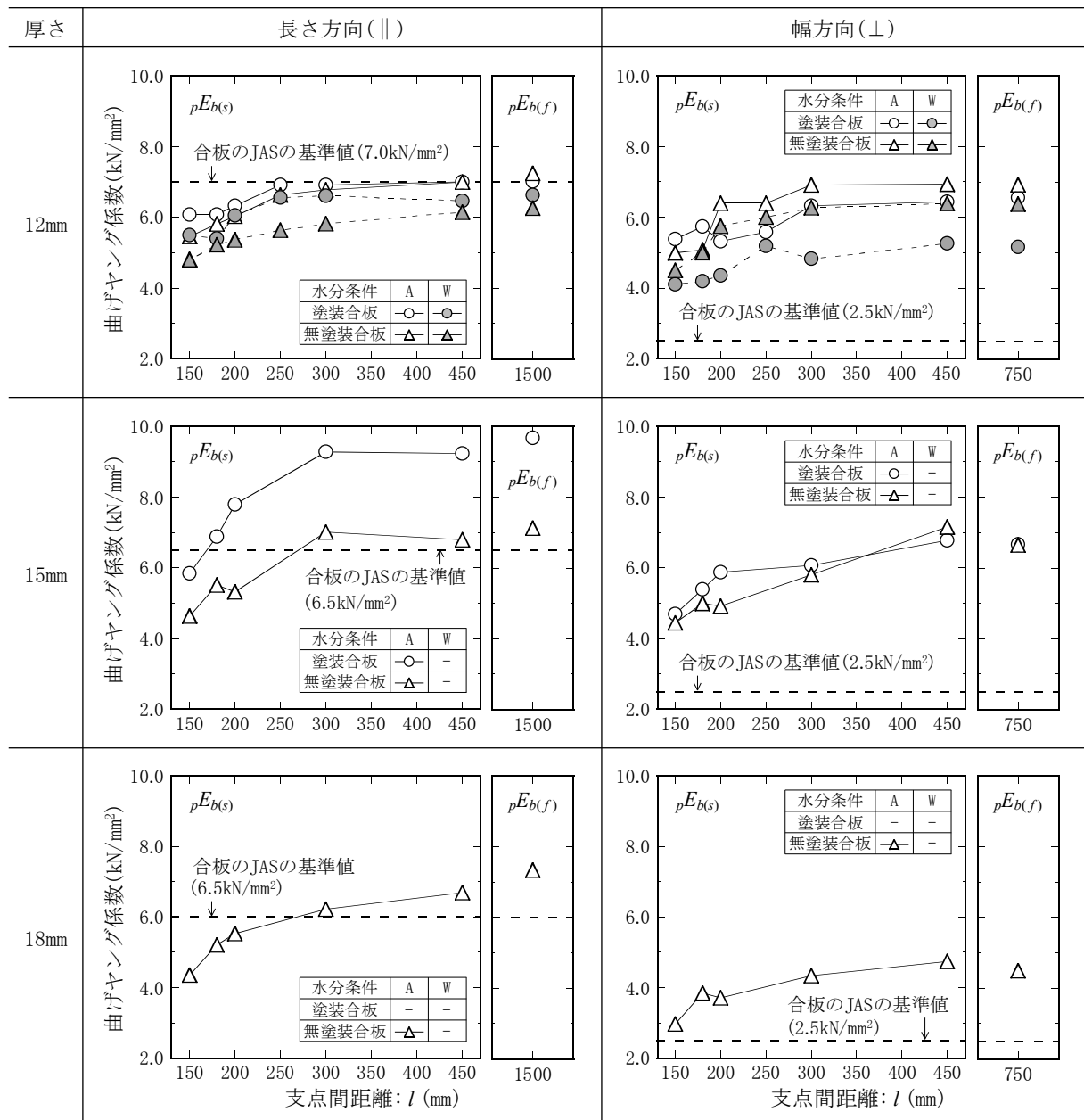


図3.2.5 支点間距離と合板の曲げヤング係数の関係

合板の JAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値を下回っていたが、これは前述の含水率の影響で 10%程度低下したことによるものである。また、支点間距離を変化させた  $pE_{b(s)}$  は、合板の種類と水準によって傾向が異なるものの、繊維方向に対する荷重方向が幅方向の場合、いずれの支点間距離においても、合板の JAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値を満足していたが、長さ方向の場合、支点間距離が短くなると合板の JAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値を下回る水準が見られた。なお、 $pE_{b(s)}$  は、支点間距離が 450mm の場合、いずれの合板の種類と水準および繊維方向に対する荷重方向においても、 $pE_{b(f)}$  と概ね同等であった。

2)  $l/h$  と  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  の関係

ここでは、合板の種類と水準および繊維方向に対する荷重方向ごとに支点間距離を変化させた各々の  $pE_{b(s450)}$ ,  $pE_{b(s300)}$ ,  $pE_{b(s250)}$ ,  $pE_{b(s200)}$ ,  $pE_{b(s180)}$  および  $pE_{b(s150)}$  をコンクリート型枠用合板の試験方法により求めた  $pE_{b(f)}$  で除した値 ( $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$ ) を求め、 $l/h$  (支点間距離/合板の厚さ) を指標<sup>7)</sup>として検討した。なお、本実験における合板の種類と水準の  $l/h$  は、表 3.2.3 に示すとおりである。

表 3.2.3 本実験における合板の種類と水準の  $l/h$

合板の厚さ ( $h$ )	合板の 水分条件	$l/h$ (支点間距離/合板の厚さ)					
		支点間距離( $l$ )					
		450mm	300mm	250mm	200mm	180mm	150mm
12mm	気乾状態	37.5	25.0	20.8	16.7	15.0	12.5
	湿潤状態						
15mm	気乾状態	30.0	20.0	—	13.3	12.0	10.0
	湿潤状態						
18mm	気乾状態	25.0	16.7	—	11.1	10.0	8.3
	湿潤状態						

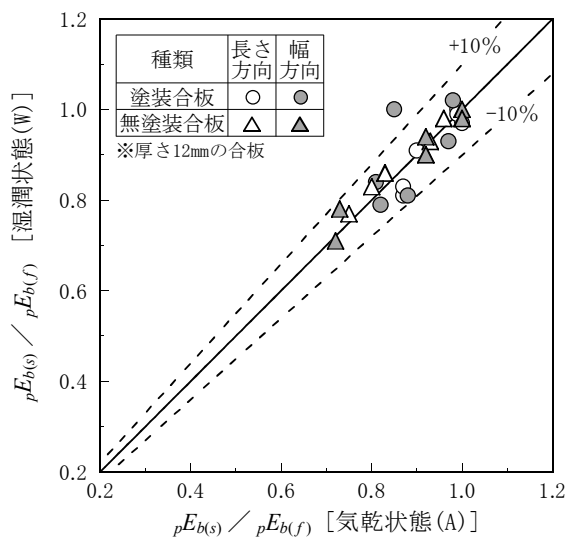


図 3.2.6 気乾状態の合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  と  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  の関係

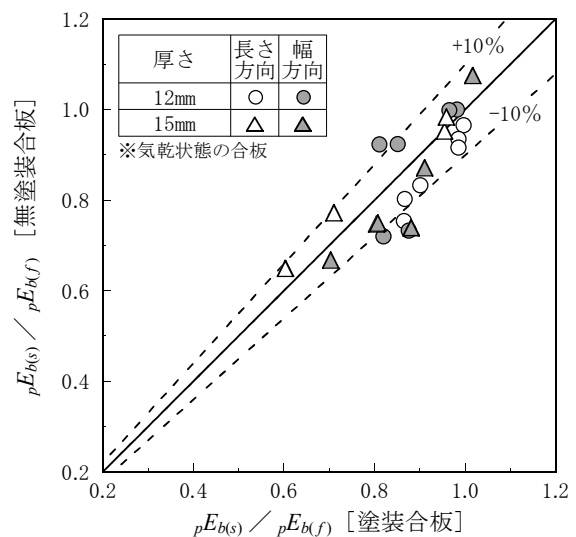


図 3.2.7 塗装合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  と無塗装合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  の関係

気乾状態の合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  と湿潤状態の合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  の関係を図 3.2.6 に、塗装合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  と無塗装合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  の関係を図 3.2.7 に示す。湿潤状態の合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  は、合板の種類および繊維方向に対する荷重方向にかかわらず、気乾状態の合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  に対して概ね  $\pm 10\%$  の範囲内であり、対象とした厚さ 12mm の合板において、水分条件が  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  に及ぼす影響は見られなかった。また、無塗装合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  は、合板の厚さおよび繊維方向に対する荷重方向にかかわらず、塗装合板における  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  に対して概ね  $\pm 10\%$  の範囲内であり、対象とした厚さが 12mm および 15mm の気乾状態における合板において、合板の種類が  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  に及ぼす影響は見られなかった。

$l/h$  と  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  の関係を図 3.2.8 に示す。ここで、 $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  は、前述の結果から、合板のの種類および水分条件にかかわらず取扱うこととした。 $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  は、合板の種類、厚さ、水分条件および繊維方向に対する荷重方向にかかわらず、 $l/h$  が 21 以上の場合、概ね 1.0 となり、支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は小さいものと考えられる。しかし、 $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  は、 $l/h$  が 21 未満の場合、 $l/h$  が小さくなると小さくなる傾向を示した。これは、既往の研究<sup>7)</sup>と同様な傾向を示し、 $l/h$  が小さくなるほど、せん断たわみの比率が大きくなるため<sup>8)</sup>と考えられる。この両者の関係は、 $l/h$  が 21 未満の場合、密接な関係となり、比較的高い相関性を示した。この長さ方向の  $pE_{b(f)}$  は、厚さが 12mm の場合、合板の JAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値を辛うじて満足している結果となっているため、合板を横使いとして  $l/h$  が小さくなる時は注意が必要である。また、幅方向の  $pE_{b(f)}$  は、いずれの厚さも合板の JAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値を満足していたものの、型枠指針の構造計算において  $l/h$  が 21 未満の合板の曲げヤング係数を用いていないため、内端太の間隔によって計算値よりも実際のたわみが大きくなる可能性が示唆された。そこで、後述する内端太の間隔を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数 ( $K_p$ ) は、 $l/h < 21$  のとき本実験の検討範囲で得られた図 3.2.8 に示す回帰曲線により求

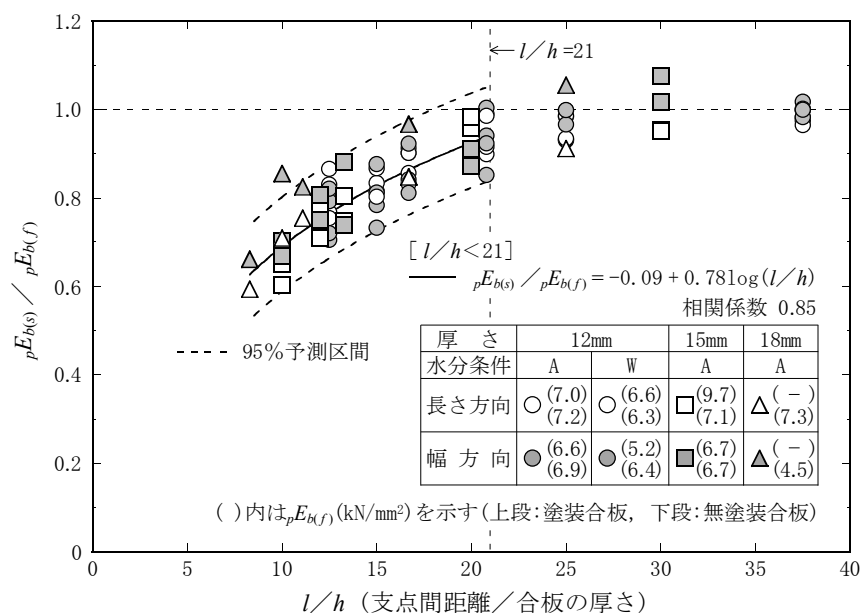


図 3.2.8  $l/h$  と  $pE_{b(s)}/pE_{b(f)}$  の関係

## 3.2.3 内端太の間隔を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数

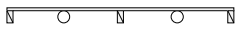

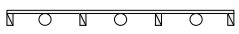
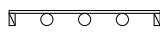
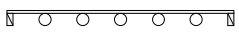
前項の実験結果に基づき、後述する第5章における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案において、せき板に用いる合板の曲げヤング係数は、せき板の支点間距離となる内端太の間隔を考慮して低減係数( $K_p$ )を乗じた値を用いることとした。内端太の間隔を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数を表3.2.4に示す。在来型枠工法における壁型枠において想定される内端太の構成ごとの $K_p$ の値を計算すると表3.2.5に示すとおりとなる。なお、型枠の設計における構造計算に用いる合板の曲げヤング係数は、合板のJAS<sup>4)</sup>における曲げヤング係数の基準値から、この低減係数を用いると極めて小さな値となるため、試験成績書の値または合板のJAS別記の3の(7)の曲げ剛性試験によって得られた値に低減係数( $K_p$ )を乗じた値とするとよい。



表3.2.4 内端太の間隔を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数

$l/h$ (内端太の間隔/合板の厚さ)	内端太の間隔を考慮した 合板の曲げヤング係数の低減係数( $K_p$ )
21以上の場合( $l/h \geq 21$ )	$K_p = 1.00$
21未満の場合( $l/h < 21$ )	$K_p = -0.09 + 0.78 \log(l/h)$

$l$ :内端太の間隔(支点間距離)(mm)  $h$ :合板の厚さ(mm)

表3.2.5 内端太の構成ごとの $K_p$ の値

内端太の間隔 ( $l$ )	内端太の構成*1			内端太の間隔を考慮した 合板の曲げヤング係数の低減係数( $K_p$ )の値		
	内端太材	2'×6'合板	3'×6'合板	合板の厚さ( $h$ )		
				12mm	15mm	18mm
225mm	栈木のみ	—		0.90 ( $l/h = 18.8$ )	0.83 ( $l/h = 15.0$ )	0.77 ( $l/h = 12.5$ )
	栈木+単管	—				
	単管のみ	—				
200mm	栈木のみ		—	0.86 ( $l/h = 16.7$ )	0.79 ( $l/h = 13.3$ )	0.73 ( $l/h = 11.1$ )
	栈木+単管	—	—			
	単管のみ		—			
180mm	栈木のみ	—		0.83 ( $l/h = 15.0$ )	0.75 ( $l/h = 12.0$ )	0.69 ( $l/h = 10.0$ )
	栈木+単管	—	—			
	単管のみ	—				
150mm	栈木のみ			0.77 ( $l/h = 12.5$ )	0.69 ( $l/h = 10.0$ )	0.63 ( $l/h = 8.3$ )
	栈木+単管					
	単管のみ					

\*1 第1章の表1.6.4を参照(内端太材の凡例:  栈木,  単管)



## 3.2.4 まとめ

本節では、せき板に用いる合板の内端太の間隔を考慮した支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響および含水率が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響について、合板の種類と厚さ、水分条件および支点間距離を変化要因とした合板の曲げヤング係数を実験的に検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 湿潤状態における合板の曲げヤング係数( ${}_pE_{b(w)}$ )は、合板の種類、繊維方向に対する荷重方向および支点間距離にかかわらず、気乾状態における合板の曲げヤング係数( ${}_pE_{b(A)}$ )に比べ平均値として約10%小さくなる傾向が確認された。
- (2) 合板の曲げヤング係数は、合板の種類と水準および繊維方向に対する荷重方向にかかわらず、木質構造に用いられる普通構造材などの木材と同様に支点間距離が短くなると小さくなる傾向を示した。
- (3) 合板の種類と水準および繊維方向に対する荷重方向ごとに支点間距離を変化させた ${}_pE_{b(s)}$ をコンクリート型枠用合板の試験方法により求めた ${}_pE_{b(t)}$ で除した値( ${}_pE_{b(s)}/{}_pE_{b(t)}$ )は、本実験の検討範囲において、合板の種類および水分条件による相違が見られなかった。
- (4)  ${}_pE_{b(s)}/{}_pE_{b(t)}$ は、合板の種類と厚さ、水分条件および繊維方向に対する荷重方向にかかわらず、 $l/h$ が21以上の場合、概ね1.0となり、支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は小さいものと考えられる。しかし、 ${}_pE_{b(s)}/{}_pE_{b(f)}$ は、 $l/h$ が21未満の場合、 $l/h$ が小さくなるほど、せん断たわみの比率が大きくなることで小さくなる傾向を示した。

以上のことより、第5章で述べる内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案において、せき板に用いる合板の曲げヤング係数は、含水率の影響を考慮した曲げヤング係数の低減係数( $K_w=0.80$ )および表3.2.4に示す内端太の間隔を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数( $K_p$ )を乗じた値を用いることとした。

### 3.3 セパレータの間隔を考慮した支点間距離が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響

#### 3.3.1 実験概要

ここでは、内端太に用いる栈木のセパレータの長さ方向の間隔を考慮した支点間距離が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響を明らかにするために、栈木の樹種、水分条件および支点間距離が異なる栈木の曲げヤング係数を調べた。また、含水率が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響についても検討した。栈木の種類と水準および曲げ試験の概要を表3.3.1に示す。

##### (1) 栈木の樹種と水準

栈木の樹種は、第2章で述べた型枠工事業者を対象としたアンケート調査結果<sup>9)</sup>で、関東地方および近畿地方で使用されることの多いベイマツ、アカマツ、ラワンおよびスギの4種類を対象とし、栈木の断面寸法は、関東地方で使用されることの多い48×24mmとした。実験に用いた栈木の樹種の標準的な気乾密度<sup>8)</sup>は、表3.3.2に示すとおりである。また、栈木の水分条件は、気乾状態および湿潤状態の2水準とし、前節3.2の合板と同様に、気中乾燥または水中浸漬によって調整し、曲げ試験直後の質量と全乾質量の測定結果による栈木の含水率は、気乾状態が15%以下、湿潤状態が35～45%であった。

表3.3.1 栈木の樹種と水準および曲げ試験の概要

栈木の樹種と水準	樹種	アカマツ	スギ	ベイマツ	ラワン
	水分条件*	A, W	A, W	A, W	A, W
曲げ試験	支点間距離( $l$ ) ( )内は $l/h$ を示す	1800mm(37.5), 750mm(15.6), 600mm(12.5), 450mm(9.4), 360mm(7.5)			
	試験体の寸法	$h:48 \times b:24 \times L:l+100$ mm			
	試験方法	JIS Z 2101:2009の曲げ試験の方法を準用 (栈木の曲げヤング係数の表記: $E_b$ )			

\* A(気乾状態):含水率15%以下, W(湿潤状態):含水率35~45%

表3.3.2 実験に用いた栈木の樹種の標準的な気乾密度<sup>8)</sup>

分類	産地	樹種	科名	気乾密度(g/cm <sup>3</sup> )
針葉樹	日本	アカマツ	マツ科	0.51 (0.37~0.68)
		スギ	スギ科	0.41 (0.29~0.53)
	北米	ベイマツ	マツ科	0.51 (0.35~0.75)
広葉樹	熱帯	ラワン <sup>*1</sup>	フタバガキ科	0.50~0.65

\*1 フタバガキ科のサラノキ(Shorea), パラショレア(Parashorea), ペンタクメ(Pentacme)各属に属する樹種のうち、木材が比較的軽軟なもの。

(2) 曲げ試験の方法

本実験では、樹種が4種類で水分条件を気乾状態および湿潤状態とした栈木を用いて、セパレータの長さ方向の間隔を考慮した支点間距離を変化させた栈木の曲げ試験を行った。栈木の曲げ試験の方法を図3.3.1に示す。栈木の曲げ試験は、JIS Z 2101:2009<sup>10)</sup>の曲げ試験の方法を準用して行い、荷重点を内端太として用いる際の木口の短辺側の面とし、支点間の中央のたわみを1/1000mm精度の変位計を用いて測定した。荷重点は曲率半径30mmの鋼管とし、荷重は試験体が荷重負荷開始から1～2分で破壊するように一定の荷重速度で曲げ荷重を負荷した。なお、栈木の曲げヤング係数は、(3.3.1)式によって算出した3個の平均値とした。

ここでは、栈木の樹種および水分条件ごとに支点間距離を1800mm, 750mm, 600mm, 450mmおよび360mmと変えた栈木の曲げヤング係数について、各々  $iE_{b(1800)}$ ,  $iE_{b(750)}$ ,  $iE_{b(600)}$ ,  $iE_{b(450)}$  および  $iE_{b(360)}$  とした。

$$iE_b = \frac{\Delta P \cdot l^3}{48 \cdot I \cdot \Delta y} \quad \dots (3.3.1) \text{式}$$

ここで、 $iE_b$  : 栈木の曲げヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)

$l$  : 支点間距離(mm)

$I$  : 断面2次モーメント( $bh^3/12$ ) (mm<sup>4</sup>)

$\Delta P$  : 比例域における上限荷重と下限荷重との差(kN)

$\Delta y$  :  $\Delta P$ に対応する支点間中央のたわみ量(mm)

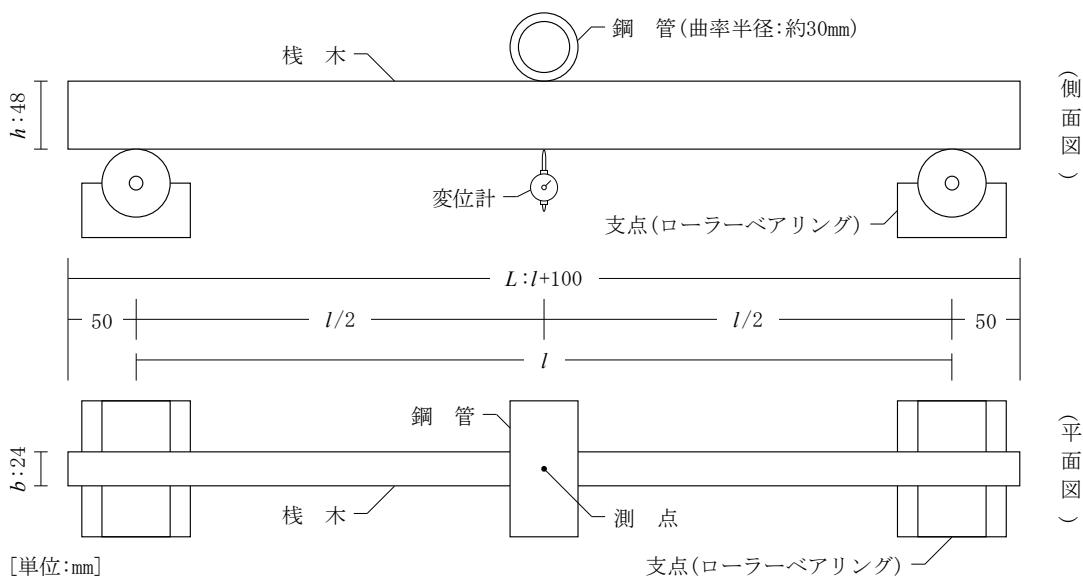


図3.3.1 栈木の曲げ試験の方法

3.3.2 実験結果および考察

(1) 含水率が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響

栈木の含水率の測定結果を表3.3.3に、気乾状態における栈木の曲げヤング係数( $tE_{b(A)}$ )と湿潤状態における栈木の曲げヤング係数( $tE_{b(W)}$ )の関係を図3.3.2に示す。ここでは、栈木の樹種を区別せずに図示している。湿潤状態における栈木の曲げヤング係数( $tE_{b(W)}$ )は、栈木の樹種およびセパレータの長さ方向の間隔を考慮して変化させた支点間距離にかかわらず、気乾状態における栈木の曲げヤング係数( $tE_{b(A)}$ )に比べ平均値として約10%小さくなる傾向を示した。また、湿潤状態の栈木の曲げヤング係数は、ばらつきを考慮すると気乾状態の80%近くであり、前節3.2.2(1)の合板と同様の割合といえる。これは、前節3.2.2(1)の合板と同様に含水率の影響であり、型枠指針<sup>2)</sup>における構造計算において内端太として用いられる栈木の含水率の影響が考慮されておらず、計算値よりも実際のたわみが大きくなる危険側の構造計算となっている。このことから、第5章で述べる内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案において、栈木の曲げヤング係数は、前節3.2.2(1)の合板と同様に、含水率の影響を考慮して曲げヤング係数の低減係数( $K_w=0.80$ )を乗じた値を用いることとした。

表3.3.3 栈木の含水率の測定結果

	栈木の水分条件	栈木の樹種			
		アカマツ	スギ	ベイマツ	ラワン
含水率の測定結果 (%)	気乾状態(A)	13.4 (12.8-14.2)	14.2 (13.3-14.7)	14.3 (13.8-14.6)	14.2 (13.3-14.7)
	湿潤状態(W)	38.9 (35.0-44.3)	42.5 (40.7-44.8)	39.0 (37.8-40.6)	35.0 (34.7-35.5)

※( )内の数値は(最小値-最大値)を示す

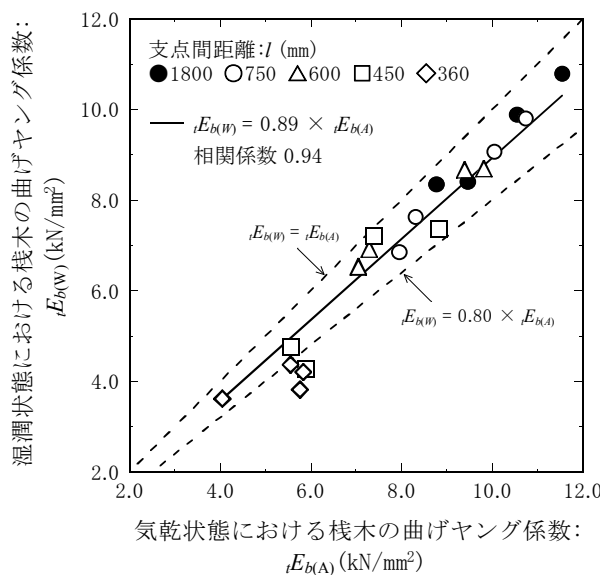


図3.3.2 気乾状態における栈木の曲げヤング係数 ( $tE_{b(A)}$ ) と湿潤状態における栈木の曲げヤング係数 ( $tE_{b(W)}$ ) の関係

(2) 支点間距離が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響

1) 支点間距離と栈木の曲げヤング係数の関係

支点間距離と栈木の曲げヤング係数の関係を図3.3.3に示す。ここでは、栈木の樹種ごとに支点間距離と栈木の曲げヤング係数の関係を図示しており、図中には、日本建築学会「木質構造設計規準・同解説」<sup>3)</sup>の普通構造材の繊維方向特性値における基準弾性係数(曲げヤング係数)を併記した。栈木の曲げヤング係数は、いずれの樹種および水分条件においても、支点間距離が短くなると低下する傾向を示した。樹種がアカマツ、スギおよびベイマツの栈木の曲げヤング係数は、セパレータの長さ方向の間隔を考慮した支点間距離が600mm程度で、普通構造材の繊維方向特性値における基準弾性係数<sup>3)</sup>を下回っていた。ここで、型枠指針<sup>2)</sup>における型枠の構造計算は、一般的に使用される栈木の曲げヤング係数として示される値を用いて内端太のたわみ量を求めており、この曲げヤング係数は、「木質構造設計規準・同解説」<sup>3)</sup>の普通構造材の繊維方向特性値における基準弾性係数などの支点間距離を考慮していない標準的な荷重条件での試験により求めた値である。そのため、型枠の構造計算において、内端太(栈木)の支点間距離となるセパレータの長さ方向の間隔が小さくなる場合、普通構造材の繊維方向特性値における基準弾性係数を用いて求めた内端太(栈木)のたわみ量よりも実際のたわみ量が大きくなる可能性が示唆される。なお、支点間距離が1800mmの栈木の曲げヤング係数は、水分条件が気乾状態の場合、いずれの樹種においても、普通構造材の繊維方向特性値における基準弾性係数を満足していた。

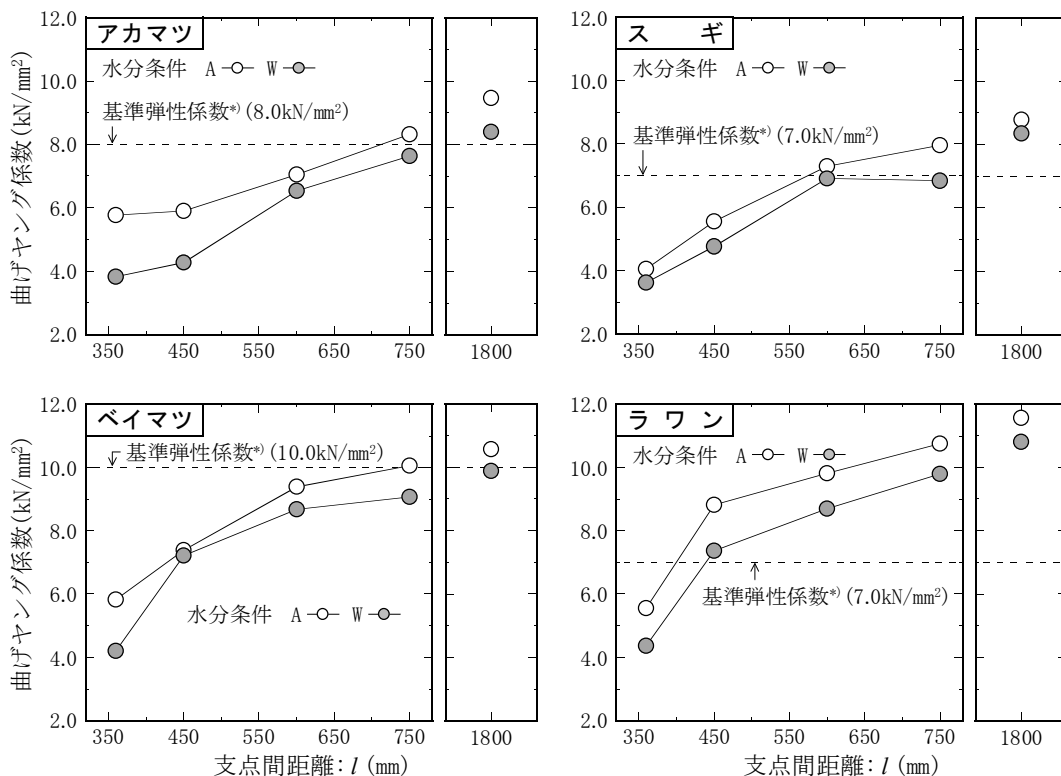


図3.3.3 支点間距離と栈木の曲げヤング係数の関係

2)  $l/h$  と  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  の関係

ここでは、栈木の樹種および水分条件ごとに  $l/h$  が 21 未満の各々の  $tE_{b(750)}$ ,  $tE_{b(600)}$ ,  $tE_{b(450)}$  および  $tE_{b(360)}$  を  $l/h$  が 21 以上の  $tE_{b(1800)}$  で除した値 ( $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$ ) を求め、 $l/h$  を指標<sup>11)</sup>として検討した。

気乾状態および湿潤状態の栈木における  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  を図 3.3.4 に、気乾状態の栈木における  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  と湿潤状態の栈木における  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  の関係を図 3.3.5 に示す。 $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  は、栈木の水分条件が気乾状態および湿潤状態においても、同一の支点間距離における栈木の樹種の相違による差異が小さく概ね同等であった。また、湿潤状態の栈木における  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  は、気乾状態の栈木における  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  に対して概ね ±15% の範囲内であり、栈木の樹種および水分条件が  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

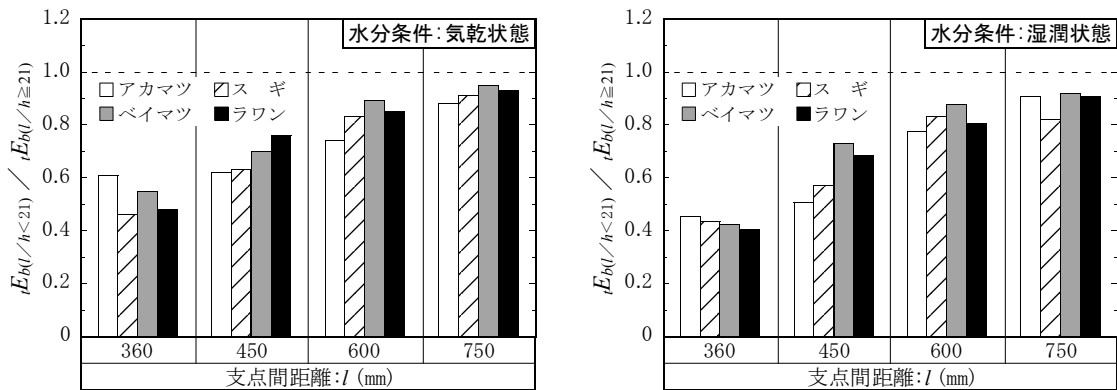


図 3.3.4 気乾状態および湿潤状態の栈木における  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$

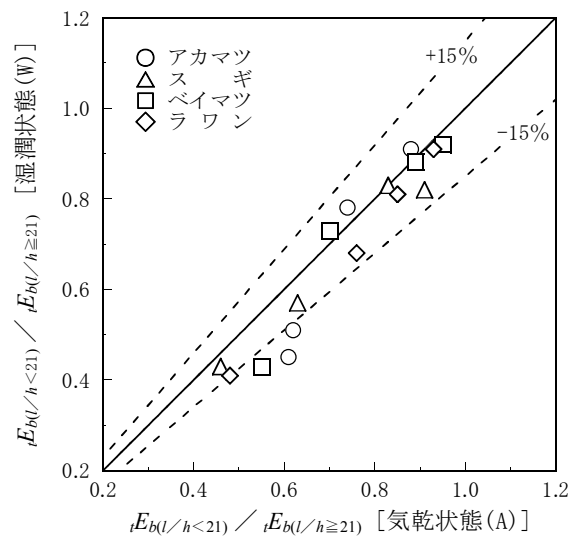


図 3.3.5 気乾状態の栈木における  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  と湿潤状態の栈木における  $tE_{b(l/h < 21)} / tE_{b(l/h \geq 21)}$  の関係

$l/h$  と  $iE_{b(l/h < 21)} / iE_{b(l/h \geq 21)}$  の関係を図 3.3.6 に示す。 $iE_{b(l/h < 21)} / iE_{b(l/h \geq 21)}$  は、 $l/h$  が小さくなると、樹種および水分条件によってばらつきがあるものの小さくなる傾向を示した。これは、既往の研究<sup>11)</sup>と同様な傾向を示し、 $l/h$  が小さくなるほどせん断たわみの比率が大きくなるため<sup>8)</sup>と考えられる。この両者の関係は、密接な関係となり、比較的高い相関性を示した。このことは、内端太に用いる栈木の長さ(L=1800mm)の曲げヤング係数より実際の側圧を受けるセパレータの長さ方向の間隔における曲げヤング係数が小さくなることを示している。なお、 $iE_{b(l/h \geq 21)}$  は、既往の研究<sup>11)</sup>において支点間距離の影響が小さいと考えられる  $l/h \geq 21$  のときの曲げヤング係数であり、「木質構造設計規準・同解説」<sup>3)</sup>の普通構造材の繊維方向特性値における基準弾性係数などの木材の標準的な荷重条件での試験により求めた曲げヤング係数と同等程度の値と考えられる。そのため、型枠指針<sup>2)</sup>の構造計算において、支点間距離の影響を考慮した栈木の曲げヤング係数を用いておらず、セパレータの長さ方向の間隔によって計算値よりも実際のたわみが大きくなる可能性が示唆された。そこで、後述するセパレータの長さ方向の間隔を考慮した栈木の曲げヤング係数の低減係数( $K_l$ )は、本実験の検討範囲で得られた図 3.3.6 に示す回帰曲線により求めた値を用いることとした。

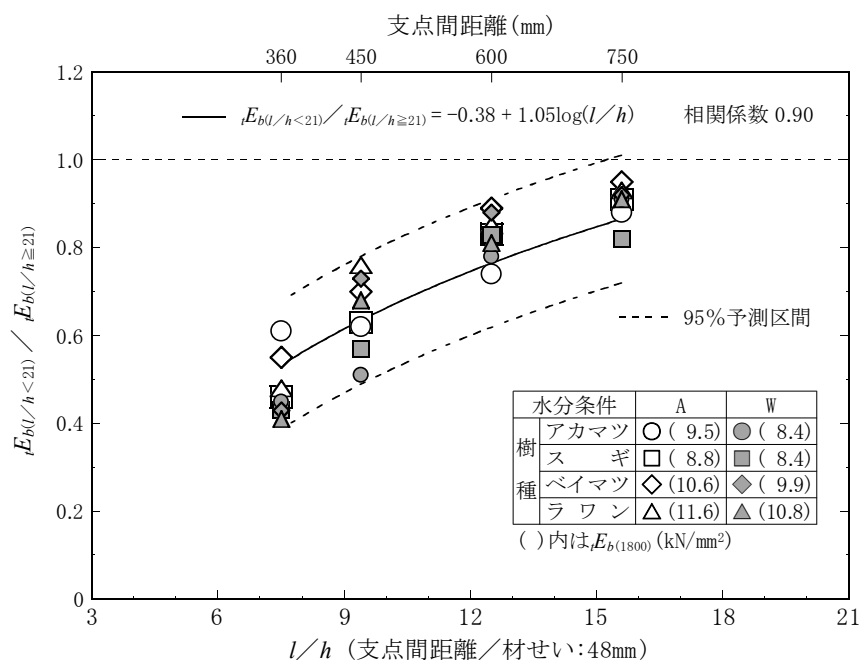


図 3.3.6  $l/h$  と  $iE_{b(l/h < 21)} / iE_{b(l/h \geq 21)}$  の関係

### 3.3.3 セパレータの長さ方向の間隔を考慮した栈木の曲げヤング係数の低減係数

前項の実験結果に基づき、第5章で述べる内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案において、内端太に用いる栈木の曲げヤング係数は、内端太の支点間距離となるセパレータの長さ方向の間隔を考慮して低減係数( $K_t$ )を乗じた値を用いることとした。なお、樹種によって栈木の曲げヤング係数に若干の差が見られるが、安全側の構造計算となるスギの値を用いることとした。セパレータの長さ方向の間隔を考慮した栈木の曲げヤング係数の低減係数を表3.3.4に示す。在来型枠工法における壁型枠において想定されるセパレータの長さ方向の間隔ごとの $K_t$ の値を計算すると表3.3.5に示すとおりとなる。なお、 $K_t$ は、本実験で対象とした断面寸法が48×24mmの栈木の結果を基に定めたものであるが、断面寸法が異なる栈木にも適応できるものと推察されるため、断面寸法が50×25mmおよび60×30mmの栈木を用いた場合の $K_t$ を参考までに示した。

表3.3.4 セパレータの長さ方向の間隔を考慮した栈木の曲げヤング係数の低減係数

$l/h$ (セパレータの長さ方向の間隔/材せい)	セパレータの長さ方向の間隔を考慮した 栈木の曲げヤング係数の低減係数( $K_t$ )
21以上の場合( $l/h \geq 21$ )	$K_t = 1.00$
21未満の場合( $l/h < 21$ )	$K_t = -0.38 + 1.05 \log(l/h)$

$l$ :セパレータの長さ方向の間隔(支点間距離)(mm)  
 $h$ :材せい(栈木の木口の長辺)(mm)

表3.3.5 セパレータの長さ方向の間隔ごとの $K_t$ の値

セパレータの長さ方向 の間隔*1 ( $l$ )	セパレータの長さ方向の間隔を考慮した 栈木の曲げヤング係数の低減係数( $K_t$ )の値		
	栈木の断面寸法(mm)		
	$h:48 \times b:24$	$h:50 \times b:25$	$h:60 \times b:30$
900mm	0.96 ( $l/h = 18.8$ )	0.94 ( $l/h = 18.0$ )	0.85 ( $l/h = 15.0$ )
600mm	0.77 ( $l/h = 12.5$ )	0.75 ( $l/h = 12.0$ )	0.67 ( $l/h = 10.0$ )
450mm	0.64 ( $l/h = 9.4$ )	0.62 ( $l/h = 9.0$ )	0.54 ( $l/h = 7.5$ )

\*1 セパレータの割付けは第1章の表1.6.5を参照



## 3.3.4 まとめ

本節では、内端太に用いる栈木のセパレータの長さ方向の間隔を考慮した支点間距離が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響および含水率が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響について、栈木の樹種、水分条件および支点間距離を変化要因とした栈木の曲げヤング係数を実験的に検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 湿潤状態における栈木の曲げヤング係数 ( ${}_tE_{b(w)}$ ) は、いずれの樹種においても、支点間距離にかかわらず、気乾状態における栈木の曲げヤング係数に比べ平均値として約10%小さくなる傾向が確認された。
- (2) 栈木の曲げヤング係数は、栈木の樹種と水準にかかわらず、支点間距離が短くなると小さくなる傾向を示した。
- (3)  ${}_tE_{b(l/h < 21)} / {}_tE_{b(l/h \geq 21)}$  は、支点間距離が同一の場合、いずれの樹種も概ね同等であり、本実験の検討範囲において、栈木の樹種および水分条件が  ${}_tE_{b(l/h < 21)} / {}_tE_{b(l/h \geq 21)}$  に及ぼす影響は見られなかった。
- (4)  ${}_tE_{b(l/h < 21)} / {}_tE_{b(l/h \geq 21)}$  は、栈木の樹種および水分条件によってばらつきはあるものの、 $l/h$  が小さくなるほど、せん断たわみの比率が大きくなることで小さくなる傾向を示した。

以上のことより、第5章で述べる内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法において、内端太に用いる栈木の曲げヤング係数は、含水率の影響を考慮した曲げヤング係数の低減係数 ( $K_w=0.80$ ) および表3.3.3に示すセパレータの長さ方向の間隔を考慮した栈木の曲げヤング係数の低減係数 ( $K_l$ ) を乗じた値を用いることとした。

## 【第3章の参考文献】

- 1) 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2015, 2015.7
- 2) 日本建築学会:型枠の設計・施工指針, 2011.2
- 3) 日本建築学会:木質構造設計規準・同解説 ー許容応力度・許容耐力設計法ー, 2013.10
- 4) 合板の日本農林規格(平成26年2月25日農林水産省告示第303号)
- 5) 山井良三郎:型枠用標準合板の強度的性質, 建築技術, No.177, pp.159-175, 1966.4
- 6) 山井良三郎:素材および合板の強度的性質について, コンクリート・ジャーナル, Vol.4, No.5, pp.9-14, 1966.5
- 7) 三谷一, 小田一幸, 堤壽一:静的曲げヤング率におよぼすスパンとはりせいの影響, 日本林学会九州支部研究論文集, pp.197-198, No.49, 1996.8
- 8) 岡野健, 祖父江信夫:木材科学ハンドブック, 朝倉書店, pp.164-168, 2006.2
- 9) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典:型枠工事業者を対象とした在来型枠工法における型枠の構成材料とその構成方法に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.23, No.53, pp.19-24, 2017.2
- 10) JIS Z 2101:2009, 木材の試験方法
- 11) Hiroshi Yoshihara, Yoshitaka Kubojima, Tomonori Ishimoto:Several examination on the static bending test methods of wood using todomatsu (Japanese fir), Forest Products Journal, Vol.53, No.2, pp.39-44, 2003.2

## 第 4 章

合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

第4章 合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

4.1 研究の目的

在来型枠工法における型枠は、コンクリートと直接接するせき板と、せき板を所定の位置に保持するための支保工(内端太・外端太)およびせき板と支保工を緊結する締付け金物で構成される。この構成材料は、ほとんどが仮設性のもので繰り返し転用されることが多い。そのため、型枠は、工事の経済性や合理性の面からも転用して使用することが一般的である。鉄筋コンクリート造建築物における型枠の転用は、図4.1.1に示すように、集合住宅のような躯体の部位の寸法・形状が標準化された建物において、各階または各工区の躯体工事で使用した型枠を次工程でそのまま再使用することである。この他に、工事現場内における型枠の転用は、型枠材料のうち合板や栈木などの木質材料を切断などの加工を加えて転用する場合もあり、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説」<sup>1)</sup>において、型枠工事では型枠材料の転用回数が多くなるように、工事計画を適切に実施することが環境配慮の観点から求められている。また、型枠工事業者が所有する型枠材料は、材料の損傷や劣化の程度を確認し、複数の工事現場において転用または再利用して使用される。

また、型枠の転用を積極的に図るには、型枠の構成を標準化することが有効であり、壁型枠のよ

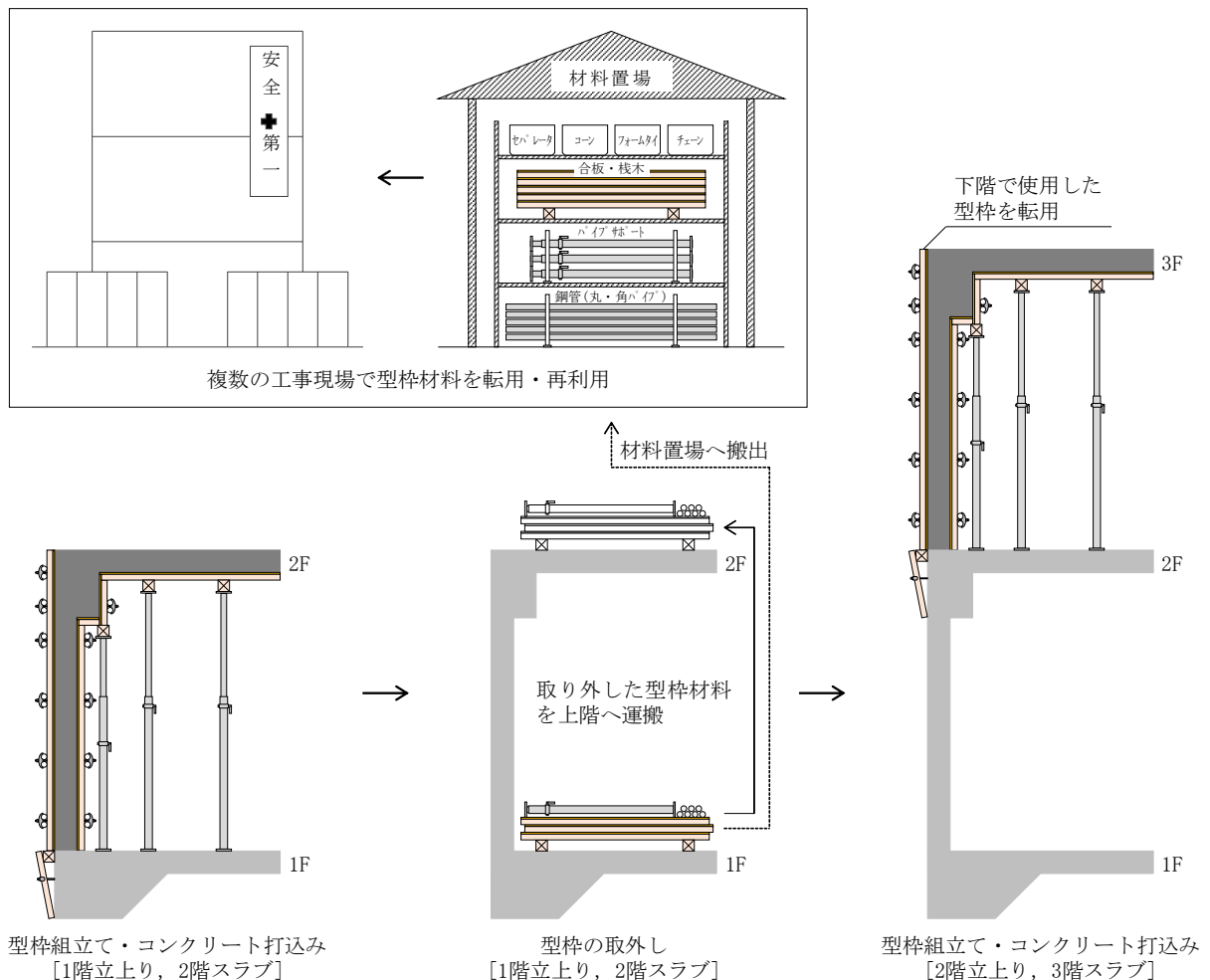


図4.1.1 鉄筋コンクリート造建築物における型枠の転用

うな標準化が容易な部位の場合、図4.1.2に示すように、在来型枠工法における型枠において、せき板に用いる合板をできるだけ定尺のもの(2'×6'合板(幅600×長さ1,800mm)や3'×6'合板(幅900×長さ1,800mm)など)で割り付けるように型枠を構成することが一般的である<sup>2)</sup>。

一方で、型枠工事の経済性を重視するあまり、型枠材料の転用回数が過多となると材料の損傷や劣化の程度によってはコンクリートの品質や躯体の寸法精度・形状およびコンクリートの仕上がり状態などの要求性能を満足することができない可能性がある。特に、せき板に用いる合板は、コンクリートに直接接してコンクリートの仕上がり状態の形成を大きく左右する型枠材料の一つであり、転用に伴う合板の損傷や剛性の低下による影響が懸念される。また、第2章の型枠工事業者を対象としたアンケート調査の結果で示したように、合板の転用に伴うコンクリートの不具合を型枠工事業者の大半が経験しており、コンクリートの仕上がりに関する事項が多く発生しているのも実状である。そのため、型枠指針<sup>2)</sup>では、型枠の構造計算において、「せき板に合板を用いる場合は転用などによる劣化のため、剛性低下を考慮する」ことが解説されている。しかしながら、転用に伴う合板の剛性(曲げヤング係数)の低下に関する解説は、定性的な記述に留まっており多くの不明な点が残る。また、せき板に用いる合板の転用が合板の品質およびコンクリート表面の品質に及ぼす影響について検討した例は、筆者の把握する限り見当たらない。

そこで、本章では、在来型枠工法の型枠において、せき板に用いる合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響について明らかにすることを目的としている。また、合板の転用に伴う合板の曲げヤング係数の変化に及ぼす合板の含水率の影響および合板表面への剥離剤の塗布の影響について検討している。

ここでは、合板の種類、コンクリートの種類、合板の水中浸漬の有無および合板表面への剥離剤の塗布の有無を変化要因として、転用回数が10回までの合板の曲げヤング係数の変化について実験的に検討を行っている。また、この実験結果を基に、在来型枠工法における型枠の構造計算に用いる転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数を示している。

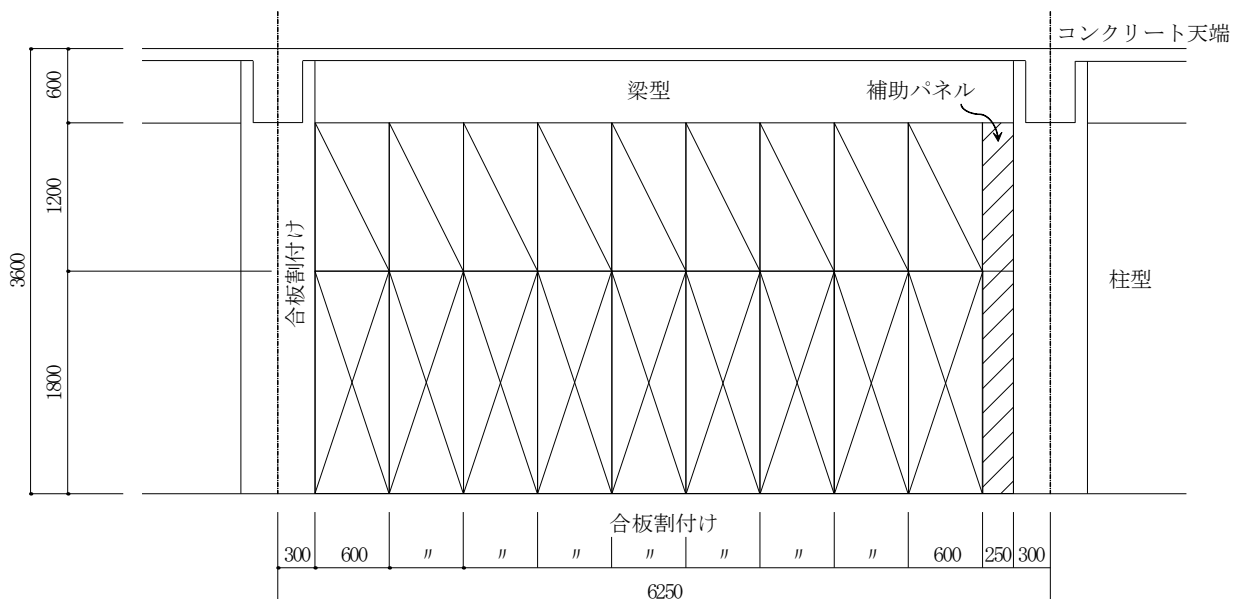


図4.1.2 在来型枠工法における壁型枠の合板の割付けの例<sup>2)</sup>

## 4.2 実験概要

ここでは、せき板に用いる合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響を明らかにするために、合板の種類、コンクリートの種類および合板の施工条件に関する事項を変えて転用した合板の曲げヤング係数を調べた。また、本実験は、コンクリート小試験体を10回繰り返して作製し、これに用いた合板は厚さ12mmの塗装合板および無塗装合板とした。

### 4.2.1 実験の要因と水準

合板の転用に関する実験の要因と水準を表4.2.1に示す。本実験で対象とした合板は、厚さ12mmの塗装合板および無塗装合板の2種類とし、合板のJAS<sup>3)</sup>における「コンクリート型枠用合板」の規格に適合するものを用いた。コンクリートの種類は、水セメント比およびスランプ(スランプフロー)を変化要因とした計6種類とした。水セメント比(以降、W/Cとする)は、普通強度から高強度までのコンクリートを網羅するように、30%、40%および50%の3水準とした。スランプ(以降、SLとする)またはスランプフロー(以降、SFとする)の目標値は、W/C=30%がSF:60cm、SF:50cmおよびSL:21cmの3水準、W/C=40%がSF:50cmおよびSL:21cmの2水準、W/C=50%がSL:21cmの1水準とした。また、合板の施工条件に関する事項は、転用による合板の曲げヤング係数に及ぼす合板の水中浸漬の有無すなわち合板の含水率の違いによる影響および合板表面への剥離剤の塗布の有無による影響について検討し、ここでは、W/C=30%のSF:60cm、W/C=40%のSF:50cmおよびW/C=50%のSL:21cmの3種類のコンクリートを対象としている。なお、本実験では、合板の種類、コンクリートの種類、合板の水中浸漬の有無および合板表面への剥離剤の塗布の有無を変化要因とした計24水準ごとにコンクリート小試験体(W:300×H:306×D:100mm)を10回繰り返して作製することで、合板の転用を10回まで行った。

表4.2.1 合板の転用に関する実験の要因と水準

要因	合板の種類	合板の転用回数	コンクリートの種類		合板の施工条件に関する事項	
			水セメント比	SL*1・SF*2	合板の水中浸漬の有無	合板表面への剥離剤の塗布の有無
水準	塗装合板 (厚さ12mm)	10回	30%	SF:60cm	有*3, 無	有, 無
				SF:50cm	—	—
				SL:21cm	—	—
	無塗装合板 (厚さ12mm)		40%	SF:50cm	有*3, 無	有, 無
				SL:21cm	—	—
				50%	SL:21cm	有*3, 無

\*1 SL:スランプの目標値

\*2 SF:スランプフローの目標値

\*3 含水率の目標値:25%

#### 4.2.2 合板の転用に関する実験フロー

本実験で用いた型枠の形状、コンクリート小試験体および曲げ試験に用いる合板は、**図4.2.1**に示すとおりであり、コンクリート小試験体のW:300×H:306mmの面に接する合板を曲げ試験に用いた。ここで、本実験で作製したコンクリート小試験体(300×306×100mm)は延べ120体に及び、本実験の結果は、コンクリートの合計練り量約1m<sup>3</sup>(約1000kg)から得られたものである。

合板の転用に関する実験フローを**図4.2.2**に示す。合板の転用に関する実験フローは、①型枠の組立て、②コンクリートの打込み・締固め、③型枠の脱型および④合板の清掃を1サイクルとし、1サイクルを7日間として合板の転用を10回まで行った。転用した合板の曲げ試験は、転用回数が1, 3, 5, 7および10回に行った。コンクリートの打込み・締固めは、型枠にコンクリートを1層で打込み、直径28mmのバイブレータ(振動数:200Hz)を用いて5秒間加振した後、型枠の両側面(W:300×H:306mmの面)を木槌による叩き作業を10回ずつ行った。コンクリートの打込み・締固めを行った試験体は、温度20±2℃、相対湿度60±5%の恒温恒湿室において静置し、打込みから48時間後に型枠を脱型した。型枠の脱型は、合板に損傷を与えないように十分注意して作業を行った。合板の清掃は、合板の木繊維の剥がれや合板表面に付着したセメントペーストが削れることのないよう乾布による簡易な拭き作業とし、型枠の脱型直後に行った。なお、合板の水中浸漬の有無について検討する水準の合板は、型枠の組立てを行う前に、**図4.2.3**に示す合板の含水率の経時変化に関する予備実験の結果から定めた**表4.2.2**に示す合板の水中浸漬および乾燥によって合板の含水率を調節した。また、剥離剤の塗布の有無について検討する水準の合板は、型枠の組立てを行う前に、刷毛を用いて合板表面に剥離剤を塗布した。剥離剤の種類は、油性系の化学反応型コンクリート剥離剤を使用しており、塗布量は、塗装合板が110g/m<sup>2</sup>、無塗装合板が230g/m<sup>2</sup>とした。

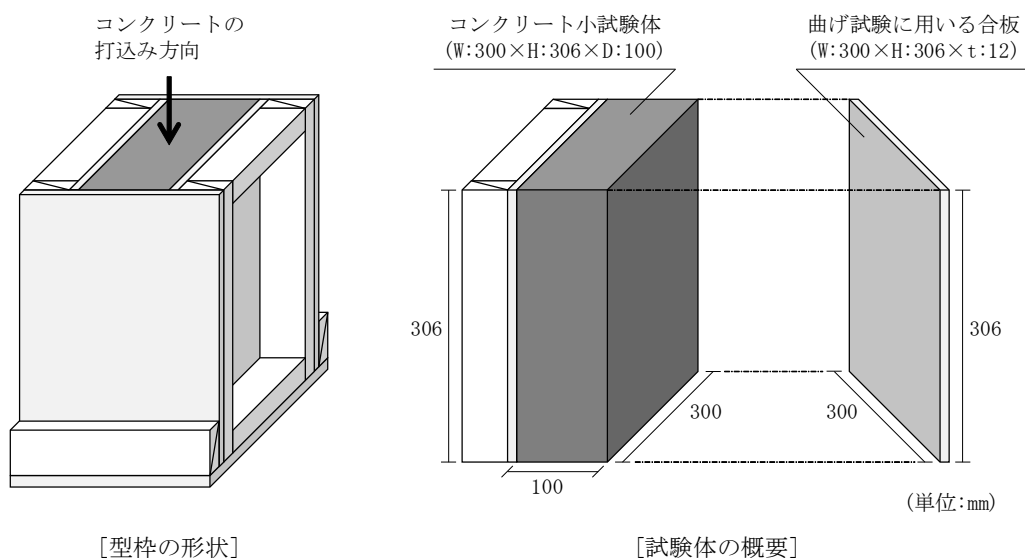


図4.2.1 型枠の形状および試験体の概要

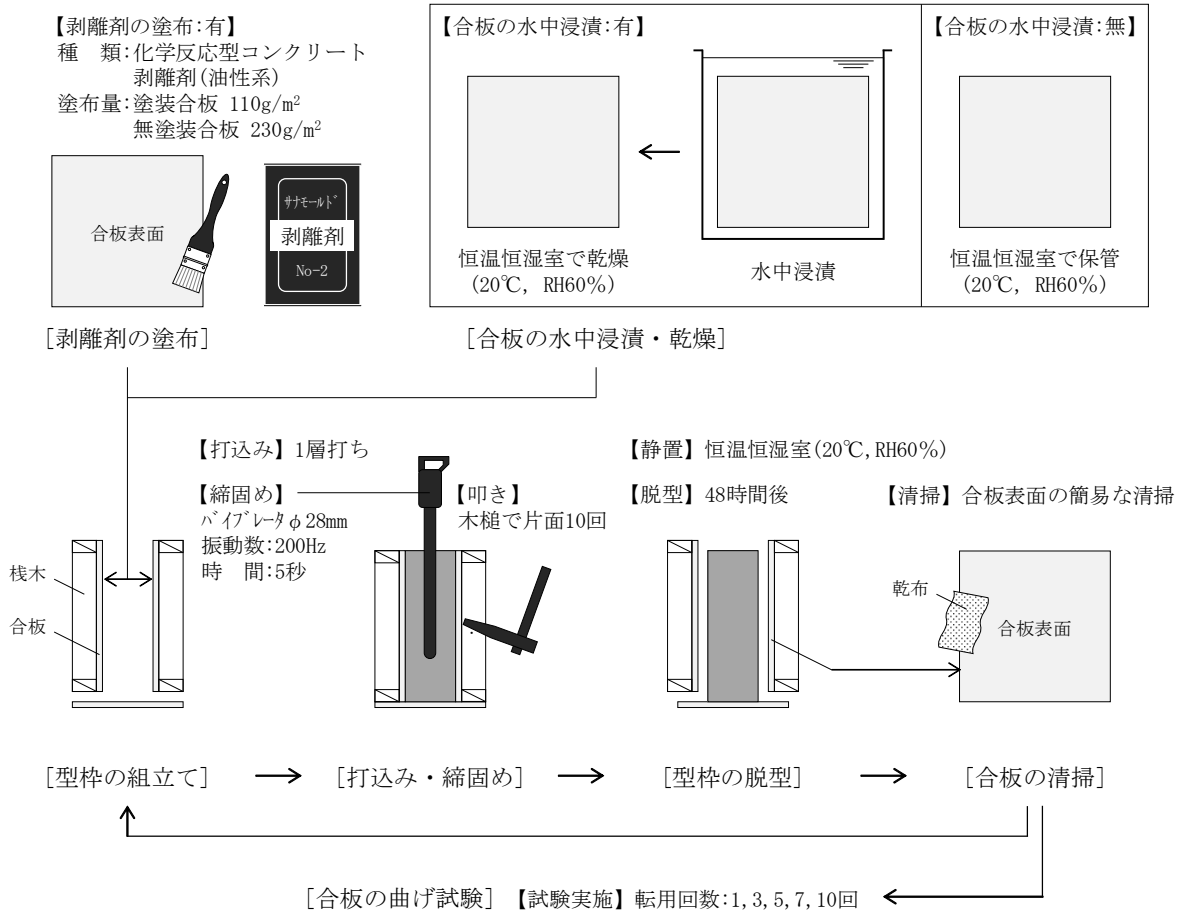


図 4.2.2 合板の転用に関する実験フロー

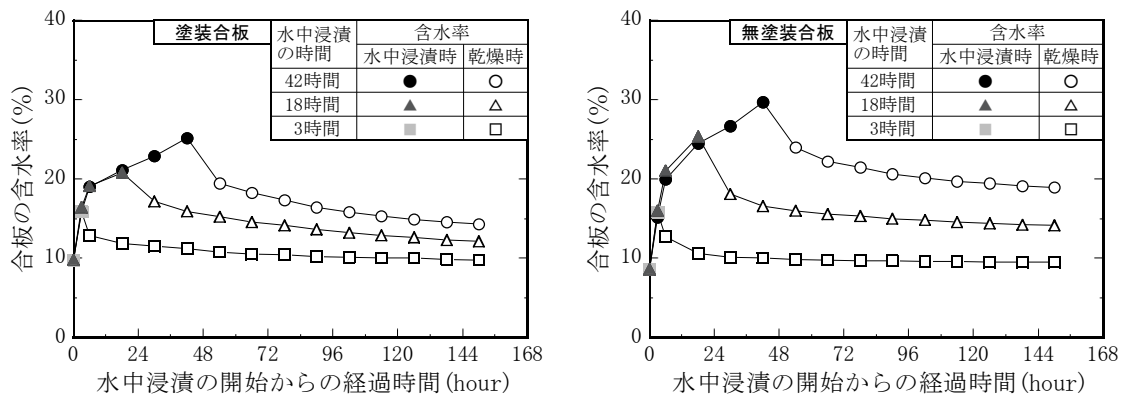


図 4.2.3 予備実験における水中浸漬の開始からの経過時間と合板の含水率の関係

表 4.2.2 合板の水中浸漬の有無における合板の含水率の調節方法

合板の種類	合板の水中浸漬の有無	合板の含水率の目標値	合板の含水率の調節方法		
			水中浸漬	乾燥または保管*1	合計
塗装合板 (厚さ12mm)	有	25%	48時間(2日間)	72時間(3日間)	120時間 (5日間)
	無	-	-	120時間(5日間)	
無塗装合板 (厚さ12mm)	有	25%	24時間(1日間)	96時間(4日間)	
	無	-	-	120時間(5日間)	

\*1 恒温恒湿室(20±2°C, RH60±5%)において乾燥または保管



4.2.3 コンクリートの使用材料および調合

コンクリートの使用材料を表4.2.3に、コンクリートの調合およびフレッシュコンクリートの目標値を表4.2.4に、コンクリートの練混ぜ回数とスランプ、スランプフローおよび空気量の関係を図4.2.4に示す。本実験において合板の転用を10回まで行うために練り混ぜたコンクリートは、いずれの調合条件においても、練上がり直後のフレッシュコンクリートの品質がJIS A 5308:2012<sup>4)</sup>に規定されるスランプまたはスランプフローの許容差および空気量の許容差を満足するも

表4.2.3 コンクリートの使用材料

使用材料	記号	種類	品質・主成分
水	W	上水道水	埼玉県行田市
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm <sup>3</sup> 比表面積:3,280cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S	陸砂 栃木県栃木市尻内町産	表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup> 粗粒率:2.75 吸水率:2.30%
粗骨材	G	石灰岩砕石2005 栃木県佐野市会沢町産	表乾密度:2.70g/cm <sup>3</sup> 粗粒率:6.64 吸水率:0.63%
化学混和剤	Ad	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物

表4.2.4 コンクリートの調合およびフレッシュコンクリートの目標値

W/C*1 (%)	s/a*2 (%)	単位粗骨材かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					フレッシュコンクリートの目標値	
			W	C	S	G	Ad	SL*3・SF*4 (cm)	空気量 (%)
30	46.5	0.53	170	567	736	875	8.98	SF:60±10.0	4.5±1.5
	46.5	0.53	170	567	736	875	7.58	SF:50±7.5	
	46.0	0.55	170	567	728	863	6.24	SL:21±1.5	
40	60.0	0.55	170	460	861	867	-	SF:50±7.5	
	50.0	0.53	170	425	853	863	4.68	SL:21±1.5	
50	51.0	0.55	170	340	914	863	3.74	SL:21±1.5	

\*1 W/C:水セメント比 \*2 s/a:細骨材率 \*3 スランプ \*4 スランプフロー

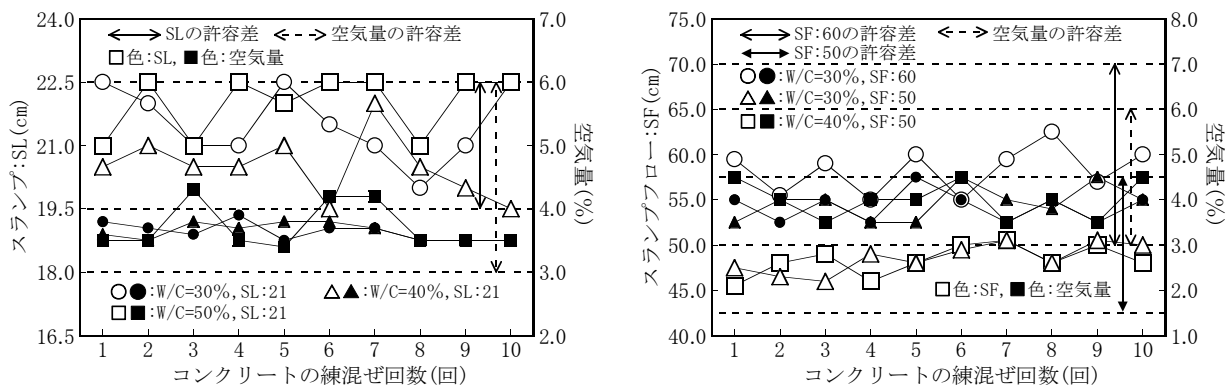


図4.2.4 コンクリートの練混ぜ回数とスランプ、スランプフローおよび空気量の関係

### 4.2.4 合板の曲げ試験の方法

曲げ試験の概要を表4.2.5に、曲げ試験に用いる合板および曲げ試験の方法を図4.2.5に示す。合板の曲げ試験は、合板の転用を10回まで行なうなかで、転用回数が1, 3, 5, 7および10回に行い、転用した合板の曲げヤング係数を各々 $pEb(r1)$ ,  $pEb(r3)$ ,  $pEb(r5)$ ,  $pEb(r7)$ および $pEb(r10)$ とした。曲げ試験の試験片は、型枠の脱型後に図4.2.1に示した曲げ試験に用いる合板(300×306mm)を $b:100 \times L:300\text{mm}$ の寸法に切断して作製した。曲げ試験は、前章3.2と同様に、合板のJAS<sup>3)</sup>における構造用合板に規定される試験方法(合板のJAS別記の3の(1)のアの1級の曲げ試験)により行い、繊維方向に対する荷重方向を幅方向とし、支点間距離を250mmとした。試験の方法は、支点間の方向と試験片の表板の繊維方向を直角として、試験合板の表板を上面とし、支点間の中央に直交方向となる荷重点で荷重を加えて支点間の中央のたわみ量を1/1000精度の変位計を用いて測定した。また、未使用の厚さ12mmの塗装合板および無塗装合板の曲げヤング係数(以降、 $pEb(r0)$ とする)についても同様に曲げ試験を行った。なお、合板の曲げヤング係数は、(4.2.1)式によって算出した3個の平均値とした。

表4.2.5 合板の曲げ試験の概要

曲げ試験の実施	転用回数:1回, 3回, 5回, 7回, 10回
繊維方向に対する荷重方向	幅方向(⊥) (合板の表板の繊維方向に直角方向の曲げ試験)
支点間距離( $l$ )	250mm ( $l/h = 20.8$ )
試験片の寸法	幅:100×長さ:300×厚さ:12mm
試験方法	合板のJAS別記の3の(11)のアの「1級の曲げ試験」の方法を準用 (合板の曲げヤング係数の表記: $pEb(r)$ )

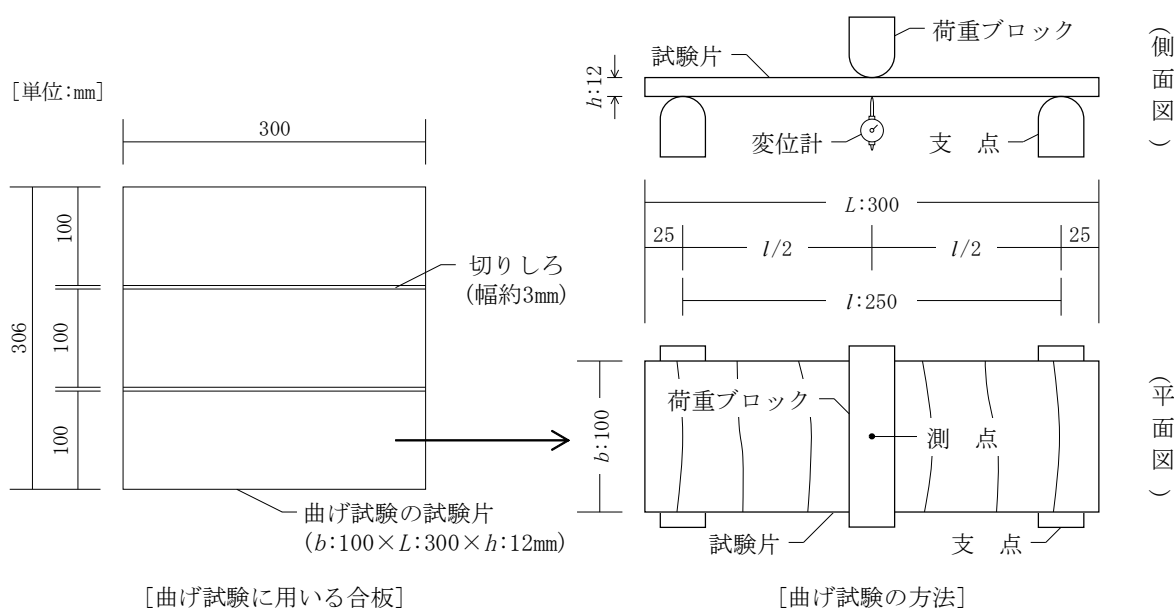


図4.2.5 曲げ試験に用いる合板および曲げ試験の方法

$${}_pE_b = \frac{\Delta P \cdot l^3}{48 \cdot I \cdot \Delta y} \quad \dots (4.2.1) \text{式}$$

ここで、 ${}_pE_b$  : 合板の曲げヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)

$l$  : 支点間距離(mm)

$I$  : 断面 2 次モーメント( $bh^3/12$ )(mm<sup>4</sup>)

$\Delta P$  : 比例域における上限荷重と下限荷重との差(kN)

### 4.3 実験結果および考察

#### 4.3.1 コンクリートの種類が転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

転用回数と曲げヤング係数の関係を図4.3.1に示す。図中には、合板のJAS<sup>3)</sup>における幅方向スパン用の曲げヤング係数の基準値を併記した。合板の曲げヤング係数は、塗装合板および無塗装合板ともに、コンクリートの種類にかかわらず、転用に伴い小さくなる傾向を示した。この傾向は、特に塗装合板に比べて無塗装合板において顕著であった。このことから、実際の型枠工事でせき板に用いる合板を転用して用いる場合、型枠の構造計算は、転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下を考慮する必要があると考えられる。転用に伴う合板の曲げヤング係数は、塗装合板および無塗装合板ともに、コンクリートの種類にかかわらず、転用回数が7回までは合板のJAS<sup>3)</sup>における幅方向スパン用の曲げヤング係数の基準値を満足していた。しかし、転用回数が10回で基準値を下回る結果の水準も見られた。なお、転用に伴う合板の曲げヤング係数の傾向は、塗装合板および無塗装合板ともにばらつきが大きく、本実験に用いたコンクリートの種類における水セメント比およびスランプまたはスランプフローの違いによる明確な傾向が見られなかった。これより、転用による合板の曲げヤング係数の変化は、型枠に打ち込むコンクリートの水セメント比およびスランプまたはスランプフローの相違にかかわらず同様であることが示唆された。

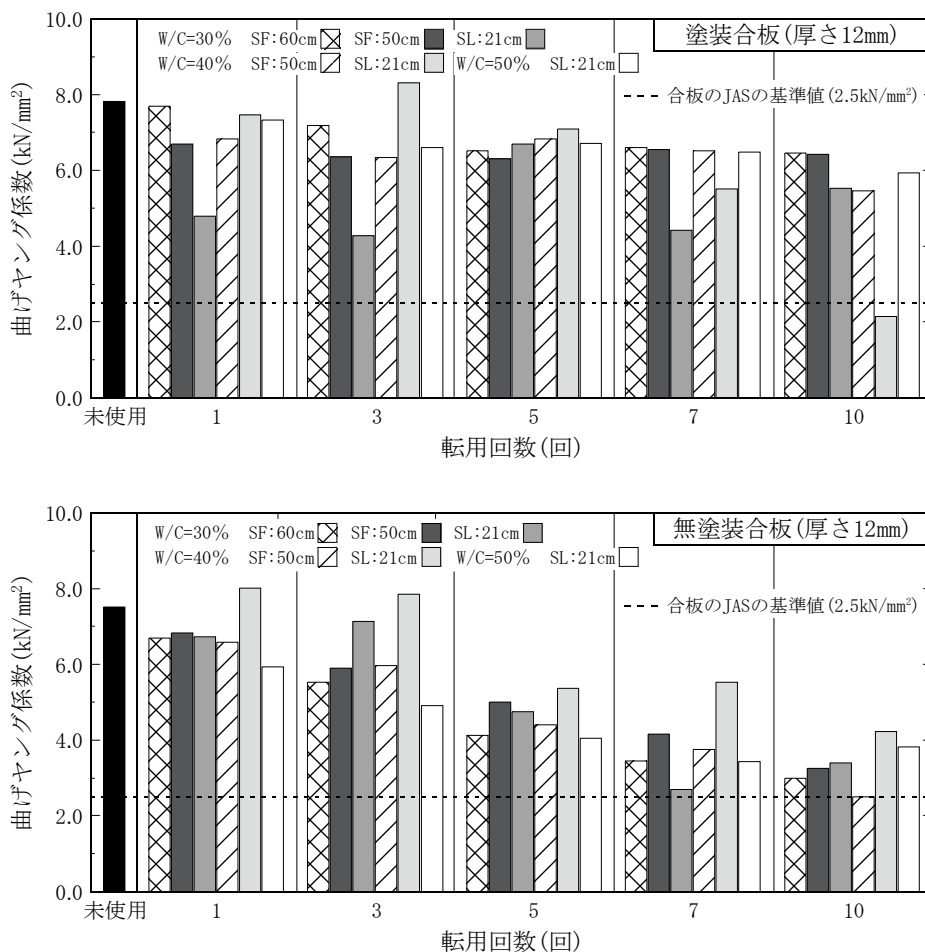
















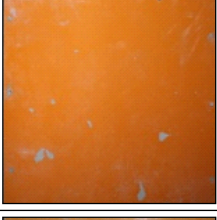



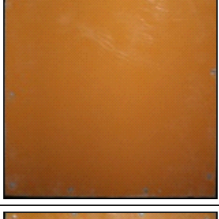
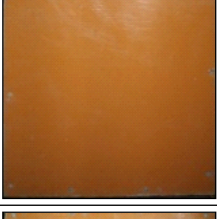

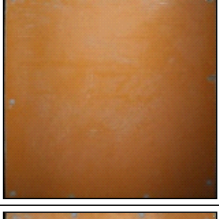
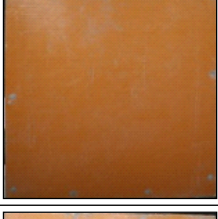


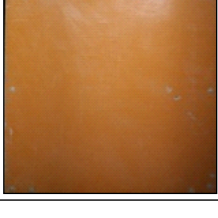




図4.3.1 転用回数と曲げヤング係数の関係

転用した塗装合板の表面状態を表4.3.1に示す。転用した塗装合板の表面状態は、転用に伴い合板表面へのセメントペースの付着が若干見られた。これは、合板表面に塗布されている塗膜によってセメントペーストの付着や水分の吸収が抑制されたことによるものと考えられる。合板表面へのセメントペーストの付着は、調合条件がスランプフローの水準においてわずかに多いものの、コンクリートの種類による明確な相違は見られなかった。また、塗装合板において、転用による合板の木繊維の剥離が生じることは無く、本実験の検討範囲で転用回数が10回程度であれ

表4.3.1 転用した塗装合板の撮影画像













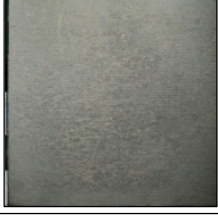
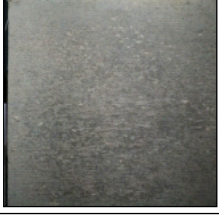

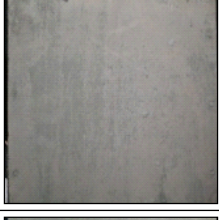

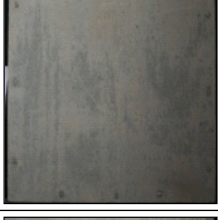

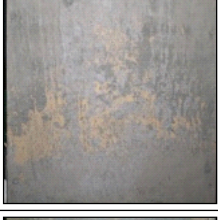
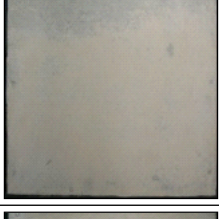
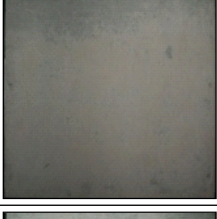
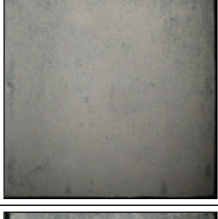
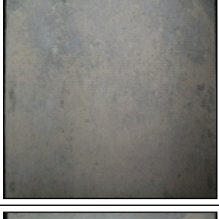






W/C(%) SL, SF (cm)	合板の転用回数				
	1回	3回	5回	7回	10回
W/C=30% SF:60cm					
W/C=30% SF:50cm					
W/C=30% SL:21cm					
W/C=40% SF:50cm					
W/C=40% SL:21cm					
W/C=50% SL:21cm					



ば合板の損傷の程度は小さいものと考えられる。なお、後述する  $l/h$  と  $pEb_{(r1-10)} / pEb_{(r0)}$  の関係において、塗装合板における相関係数が小さい点は、転用に伴う合板の劣化や曲げヤング係数(剛性)の低下よりも、合板自体の品質のばらつきが大きいためと考えられる。

転用した無塗装合板の表面状態を表4.3.2に示す。転用した無塗装合板の表面状態は、転用に伴い合板表面へのセメントペーストの付着が塗装合板と比べて顕著であり、合板の木繊維の剥離が生じる部分も見られた。これは、合板表面の塗膜の有無によるものであり、塗装合板と比べて

表 4. 3. 2 転用した無塗装合板の撮影画像

W/C(%) SL, SF (cm)	合板の転用回数				
	1回	3回	5回	7回	10回
W/C=30% SF:60cm					
W/C=30% SF:50cm					
W/C=30% SL:21cm					
W/C=40% SF:50cm					
W/C=40% SL:21cm					
W/C=50% SL:21cm					

無塗装合板の表面は平滑度が劣るため、セメントペーストが合板表面の凹凸に入り込むことでセメントペーストの付着が多くなったものと考えられる。また、転用に伴う無塗装合板の表面状態は、コンクリートの種類による明確な相違は見られなかった。なお、後述する  $l/h$  と  $pEb_{(r1-10)} / pEb_{(r0)}$  の関係において、無塗装合板における相関係数が高くなったことは、塗装合板と比べて無塗装合板の転用に伴う合板の劣化や曲げヤング係数(剛性)の低下が著しく、ばらつきが小さかったためと考えられる。

#### 4.3.2 合板の水中浸漬の有無が転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

転用した合板の曲げヤング係数における合板の水中浸漬の有無の関係を図4.3.3に示す。ここでは、前項4.3.1の結果から、転用した合板の曲げヤング係数は、合板の水中浸漬の有無について検討したコンクリートの種類にかかわらず取り扱うこととした。合板の水中浸漬有りの水準における転用した合板の曲げヤング係数は、塗装合板および無塗装合板ともに、合板の水中浸漬無し的水準における転用した合板の曲げヤング係数に対して±30%の範囲に大きくばらつく傾向を示し、合板の水中浸漬の有無による明確な傾向を示さなかった。これは、合板の水中浸漬無し的水準において、コンクリートの打込みの際にコンクリートの表層の水分を合板が吸水したことで、水中浸漬有りの水準に近い含水率となったことが考えられる。これより、合板の水中浸漬の有無すわなち合板の含水率の違いが転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は小さいものと考えられる。このことから、実際の型枠工事でせき板に用いる合板を転用して使用する場合の型枠の構造計算において、転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下を考慮した曲げヤング係数の低減係数は、合板の保管状態や施工環境による合板の含水率の変化にかかわらず取り扱うことができると考えられる。

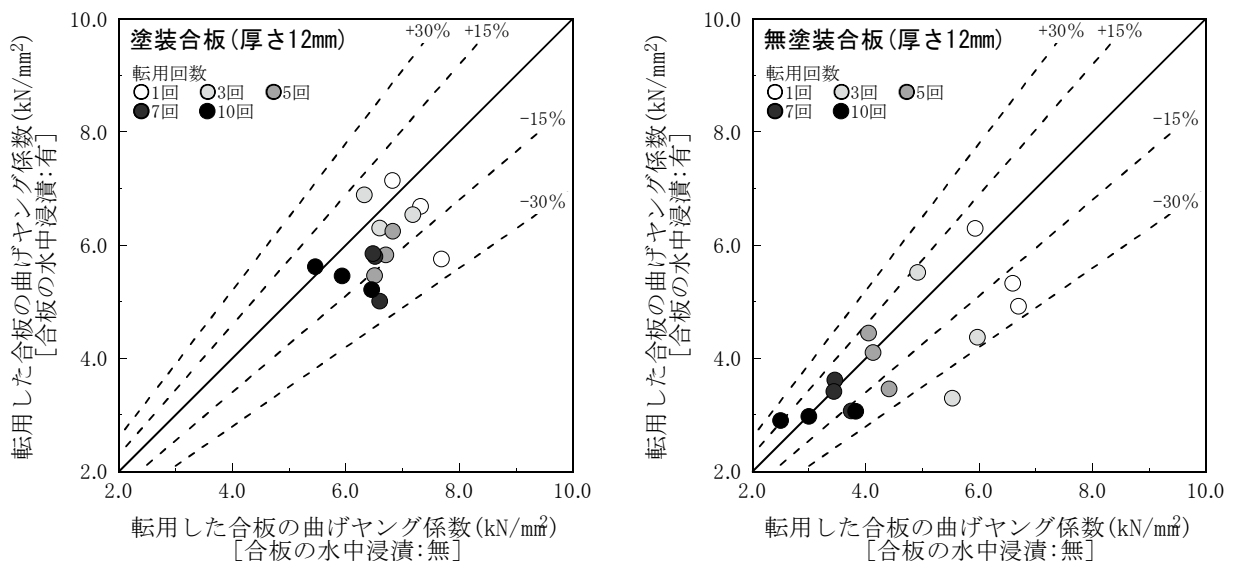


図4.3.2 転用した合板の曲げヤング係数における合板の水中浸漬の有無の関係

4.3.3 剥離剤の塗布の有無が転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

転用した合板の曲げヤング係数における剥離剤の塗布の有無の関係を図4.3.4に示す。ここでは、前項4.3.1の結果から、転用した合板の曲げヤング係数は、剥離剤の塗布の有無について検討したコンクリートの種類にかかわらず取り扱うこととした。剥離剤の塗布有りの水準における転用した合板の曲げヤング係数は、塗装合板の場合、剥離剤の無しの水準における転用した合板の曲げヤング係数に対して±15%の範囲と概ね同等であり、剥離剤の塗布の有無による相違は見られなかった。一方で、無塗装合板の場合、剥離剤の塗布有りの水準における転用した合板の曲げヤング係数は、剥離剤の塗布無しの水準における転用した合板の曲げヤング係数に対して、ばらつきはあるものの概ね15%程度大きくなる傾向を示した。これは、剥離剤を塗布した合板は、コンクリートの打込みの際にコンクリートの表層の水分の吸水が剥離剤によって抑制されたため、転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下が小さくなったものと考えられる。これより、合板表面への剥離剤の塗布は、塗装合板の場合、転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は小さいものの、無塗装合板の場合、転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下を若干ではあるが軽減できることが確認された。このことから、実際の型枠工事でせき板に用いる合板を転用して使用する場合の型枠の構造計算において、転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下を考慮した曲げヤング係数の低減係数は、合板表面への剥離剤の塗布の有無にかかわらず取り扱うことができると考えられる。

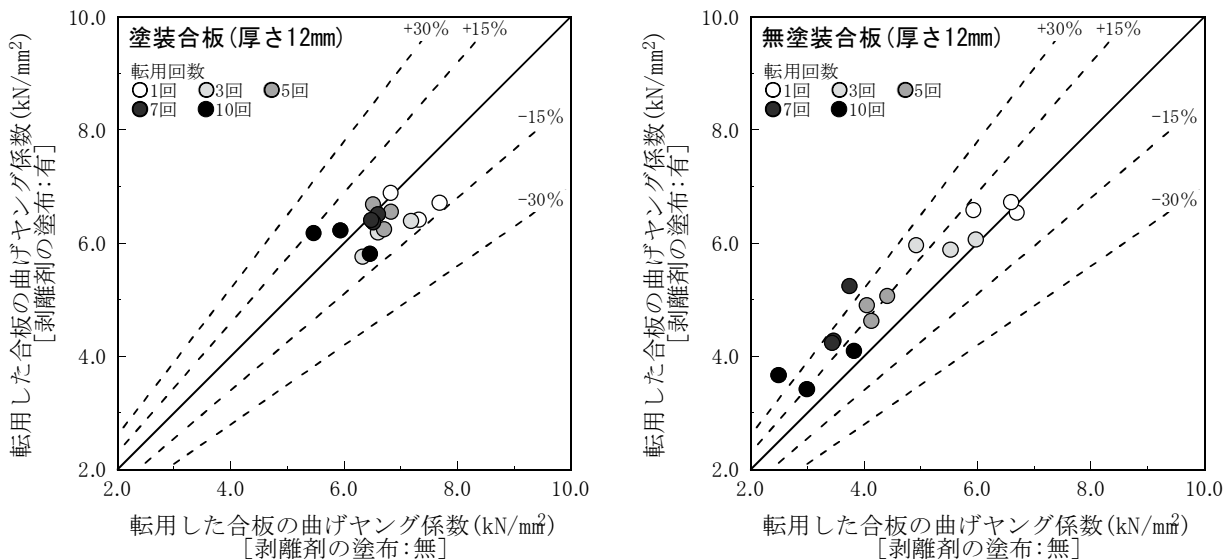


図4.3.3 転用した合板の曲げヤング係数における剥離剤の塗布の有無の関係



#### 4.3.4 合板の転用回数と $pE_{b(r1-10)} / pE_{b(r0)}$ の関係

ここでは、塗装合板および無塗装合板ごとに、コンクリートの種類、合板の水中浸漬の有無および剥離剤の塗布の有無を変化させた各々の転用した合板の  $pE_{b(r1)}$ ,  $pE_{b(r3)}$ ,  $pE_{b(r5)}$ ,  $pE_{b(r7)}$  および  $pE_{b(r10)}$  を未使用の塗装合板および無塗装合板の  $pE_{b(r0)}$  で除した値 ( $pE_{b(r1-10)} / pE_{b(r0)}$ ) を求め、転用回数による影響について検討した。

合板の転用回数と  $pE_{b(r1-10)} / pE_{b(r0)}$  の関係を図4.3.5に示す。ここでは、前項4.3.1の結果から、転用した合板の曲げヤング係数は、コンクリートの種類にかかわらず取り扱うこととした。 $pE_{b(r1-10)} / pE_{b(r0)}$  は、いずれの合板も転用回数が多くなると小さくなる傾向を示した。特に、この傾向は、塗装合板に比べて無塗装合板の方が顕著であった。これは、合板表面における塗装の有無が合板の吸水性や木繊維の剥離に相違を生じさせたことによるものである。この両者の関係は、無塗装合板の場合、密接な関係となり比較的高い相関性を示した。しかし、塗装合板の場合、転用回数が多くなると低下する傾向が見られるものの、高い相関性が見られなかった。この転用による合板の曲げヤング係数が低下する傾向が明確であることから、構造計算上の値よりも実際のたわみが転用に伴い大きくなる可能性が示唆された。そこで、後述する転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数 ( $K_{pr}$ ) は、本実験の検討範囲で得られた結果を基に定めた推奨値を用いることとした。

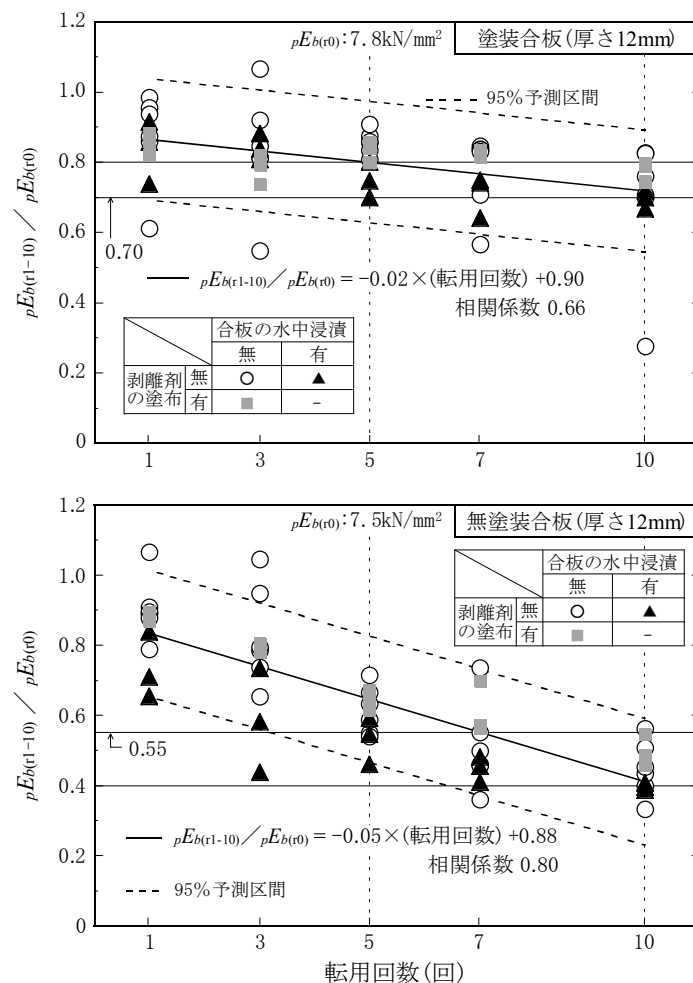


図4.3.5 合板の転用回数と  $pE_{b(r1-10)} / pE_{b(r0)}$  の関係

#### 4.4 転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数

前節の実験結果に基づき、後述する第5章における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案において、せき板に用いる合板の曲げヤング係数は、合板の転用を考慮して低減係数( $K_{pr}$ )を乗じた値を用いることとした。転用を考慮した合板の曲げヤング係数の推奨値を表4.4.1に示す。ここでは、本結果に基づき、転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数( $K_{pr}$ )を転用回数に応じた値を用いることとしているが、合板を何回転用されているかが不明な場合が多い。そのため、 $K_{pr}$ を小さくした方が安全な構造計算となるが、転用回数が不明なときは6～10回までのを用いるべきと考える。ただし、転用した合板の曲げヤング係数は、合板の水中浸漬の有無すなわち合板の含水率の違いにかかわらず概ね同等であることから、転用した合板の曲げヤング係数は、前章3.2で述べた含水率の影響(約20%の低減)が含まれているため $K_{pr}$ のみを乗じた値を用いることとした。なお、型枠の設計における構造計算に用いる合板の曲げヤング係数は、合板のJAS<sup>3)</sup>における曲げヤング係数の基準値から、この低減係数を用いると極めて小さな値となるため、試験成績書の値または合板のJAS<sup>3)</sup>別記の3の(7)の曲げ剛性試験によって得られた値とするとよい。

表4.4.1 転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数の推奨値

合板の種類	転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数( $K_{pr}$ )		
	未使用の合板の $K_{pr}$	転用回数に応じた $K_{pr}$	
		転用回数1～5回	転用回数6～10回
塗装合板	1.00	0.80	0.70
無塗装合板		0.55	0.40

#### 4.5 まとめ

本章では、せき板に用いる合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響について、合板の種類、コンクリートの種類、合板の施工条件に関する事項として合板の水中浸漬の有無および合板表面への剥離剤の塗布の有無を変化要因とし、転用を10回まで行った合板の曲げヤング係数を実験的に検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 合板の曲げヤング係数は、塗装合板および無塗装合板ともに、転用に伴い小さくなる傾向を示した。また、コンクリートの種類および合板の含水率の違いが、転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は小さい。
- (2) 合板表面への剥離剤の塗布は、合板の種類が無塗装合板の場合、転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下を若干ではあるが軽減することができる。
- (3)  ${}_pE_{b(t-10)} / {}_pE_{b(t0)}$  は、塗装合板および無塗装合板ともに、ばらつきは大きいものの転用回数が多くなると小さくなる傾向を示し、無塗装合板において転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下が顕著である。

以上のことより、第5章で述べる内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法において、合板の曲げヤング係数は、表4.4.1に示す転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数( $K_{pr}$ )を乗じた値を用いることとした。ただし、この $K_{pr}$ には含水率の影響が含まれているので、転用した合板の曲げヤング係数は、前章3.2で述べた含水率の影響を考慮した曲げヤング係数の低減係数( $K_w=0.80$ )を除き、 $K_{pr}$ のみを乗じた値を用いることとした。

【第4章の参考文献】

- 1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説, 2008.9
- 2) 日本建築学会:型枠の設計・施工指針, 2011.2
- 3) 合板の日本農林規格(平成26年2月25日農林水産省告示第303号)
- 4) JIS Z 5308:2009, レディーミクストコンクリート

## 第 5 章

在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および  
合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案

## 第5章 在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案

### 5.1 簡易設計方法の提案の目的

型枠は、打ち込まれるコンクリートの鑄型であり、鉄筋コンクリート造構造物が設計図書に示される所定の位置に所定の形状・寸法が得られるよう十分な強度と剛性を有する必要がある。JASS 5<sup>1)</sup>には、「型枠は、コンクリートの施工時の荷重、コンクリートの側圧、打込み時の振動・衝撃などに耐え、かつコンクリートが2.7に定める寸法許容差を超えるたわみ、または誤差などを生じないように設計し、必要に応じて強度および剛性について構造計算を行う。」ことが記述されている。この構造計算は、型枠指針<sup>2)</sup>において在来型枠工法における型枠の計算方法が解説されている。一方で、仮設構造物である型枠は、構造設計者が設計するのではなく、本来、施工者が構造体および部材の要求性能を満足できるように設計・施工管理すべき事項である。しかし、型枠工事は、材料費と労務費の一式請負契約となることが多く<sup>3)</sup>、型枠の構成方法の選定や加工・組立てが型枠工事業者に委ねられる場合があり、型枠大工の経験則によって施工が進められることも少なくない。この点については、本論文の第2章に述べたように、2'×6'合板および3'×6'合板をせき板とした壁型枠の内端太の構成およびセパレータの割付けが、施工現場における技能者の経験則によって選定されることが多い<sup>4)</sup>こともその一つである。そのため、JASS 5<sup>1)</sup>に記述される「必要に応じて強度および剛性について構造計算を行うこと」が疎かになっていることは否めない。これは、JASS 5<sup>1)</sup>および型枠指針<sup>2)</sup>のいずれも、型枠の構造計算の重要性が記述されているものの、型枠の構造計算の一例が示されるに留まっており、具体的な型枠の構成方法や設計方法などが示されていないことも一因と思われる。

そこで、本章は、在来型枠工法における壁型枠を対象とした、コンクリートの側圧に対応する型枠の各構成部材のたわみと許容応力度などが図から簡易に求めることができる型枠の設計方法を提案することとした。ここでは、第3章および第4章で実験的に明らかにしたせき板に用いる合板および内端太に用いる栈木の含水率および支点間距離が曲げヤング係数に及ぼす影響、合板の転用が曲げヤング係数に及ぼす影響を考慮した「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」を提案している。本簡易設計方法は、本章5.2に示す。

本簡易設計方法は、壁型枠に作用するコンクリートの側圧から各構成部材のたわみとその許容応力度などを図から求められ、JASS 5<sup>1)</sup>および型枠指針<sup>2)</sup>における型枠を構成する各部材それぞれの変形量の許容値として2mm程度と、各部材の変形量を合計した総変形量の許容値として5mm以下を目安とすることが簡易に確認できる。そのため、設計のみならず施工管理にも用いることが可能である。なお、本簡易設計方法で対象とした壁型枠の構成において、型枠の総変形量を5mm以下とすれば、JASS 5<sup>1)</sup>に示されるコンクリートの仕上りの平たんさが1mにつき10mm以下を構造計算上満足することができる。

## 5.2 在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した 壁型枠の簡易設計方法

### 5.2.1 適用範囲

本簡易設計方法は、在来型枠工法における壁型枠のフレッシュコンクリートのヘッドが4.0m以下のものに適用する。この壁型枠は、せき板(合板)、内端太(栈木および単管)、外端太(単管)、締付け金物(本体、座金、コーンおよびセパレータなど)で構成したものとする。

本簡易設計方法は、在来型枠工法における壁型枠のフレッシュコンクリートのヘッドすなわちコンクリートの打込み高さが4.0m以下のものに適用する。この壁型枠の構成は、せき板(合板厚さ12mm)、内端太(栈木48×24mmおよび単管φ48.6mm)、外端太(単管φ48.6mm)および締付け金物(本体、座金、コーン、セパレータなど)を用いたものとする。この構成材料は、主に関東地方で使用されるもの<sup>2),4)</sup>であるが、関西地方で使用される角パイプ(□60×60mm)や栈木(60×30mm)などに対しても安全側の設計となるため、適用することが可能である。

### 5.2.2 型枠の構成材料

- a. せき板に用いる合板は、「合板の日本農林規格」<sup>5)</sup>の「コンクリート型枠用合板の規格」に適合するもので、寸法が幅600×長さ1,800mm(以降、2'×6'合板とする)および幅900×長さ1,800mm(以降、3'×6'合板とする)の厚さが12mm以上のものを用いる。この合板の種類は、板面が素面の合板(以降、無塗装合板とする)あるいは表面に塗装またはオーバーレイを施した合板(表面加工コンクリート型枠用合板)(以降、塗装合板とする)とする。なお、使用する合板は、転用回数が10回以下のものとする。
- b. 内端太に用いる栈木は、断面寸法が48×24mmのもので、樹種がアカマツ、スギ、ベイマツまたはラワンのものを用いる。
- c. 内端太および外端太に用いる丸パイプ(単管)は、JIS G 3444「一般構造用炭素鋼鋼管」<sup>6)</sup>に規定されるもので、断面寸法がφ48.6mmの厚さ2.3mmのものを用いる。
- d. 締付け金物に用いるセパレータは、許容引張力が14kN以上のφ7mm(W5/16)または許容引張力が21kN以上のφ9(W3/8)およびφ7mm(W5/16)の太さでφ9mm(W3/8)の太さに相当する強度を有するもの(以降、高強度φ7mmとする)とし、製造業者が許容引張力を保証しているものを用いる。

a. 合板は、「合板の日本農林規格合板」<sup>5)</sup>(以降、合板のJASとする)の「コンクリート型枠用合板の規格」に示される標準寸法のうち、型枠工事業者を対象とした既往のアンケート調査<sup>3)</sup>において、せき板に一般的に用いられる合板の寸法として、幅600×長さ1,800mm(2'×6'合板)および幅900×長さ1,800mm(3'×6'合板)のものとする。合板の厚さは、施工現場における作

業性などから、一般的に用いられる厚さ12mmのものを標準とするが、コンクリートの仕上がり精度を高めるために、厚さ15mmおよび18mmなどの厚さ12mm以上のものを使用してもよい。合板の樹種は、広葉樹、針葉樹またはこれらを複合したものとする。また、合板の種類は、板面が素面の合板(無塗装合板)と、表面に塗装またはオーバーレイを施した合板(塗装合板)があり、転用して合板を用いることを考慮すると、転用に伴う強度および剛性の低下が比較的小さい塗装合板を用いることが望ましい。

本簡易設計方法における壁型枠の構造計算に用いた合板の断面性能、許容曲げ応力度および曲げヤング係数の基準値は、表5.2.1に示すとおりである。合板の曲げヤング係数の基準値は、合板のJAS<sup>5)</sup>の「コンクリート型枠用合板の規格」における幅方向スパン用の基準値2.5kN/mm<sup>2</sup>を用いている。

表5.2.1 合板の断面性能・許容曲げ応力度・曲げヤング係数の基準値

型枠の構成材料		形状・寸法	Z* <sup>1</sup> (mm <sup>3</sup> )	I* <sup>2</sup> (mm <sup>4</sup> )	許容曲げ 応 力 度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲 げ ヤ ン グ 係 数 の 基 準 値 (kN/mm <sup>2</sup> )
せき板	塗 装 合 板	2'×6'合板(幅600×長さ1,800mm), 厚さ12mm	24* <sup>3</sup>	144* <sup>3</sup>	$pfb:7.8$	$pEb:2.5$
	無塗装合板 (縦使い)					
		3'×6'合板(幅900×長さ1,800mm), 厚さ12mm				

\*1 Z:断面係数 \*2 I:断面2次モーメント \*3 単位幅1mm

b, c. 内端太に使用される栈木の断面寸法は、型枠工事業者を対象とした既往のアンケート調査<sup>4)</sup>によると、関東地方において断面寸法48×24mmのもの、関西地方において断面寸法60×30mmのものが一般的に多く使用されている。この栈木の断面寸法は、内端太および外端太として使用される鋼管の断面寸法に合致するものを用いるためであり、関東地方において断面寸法φ48.6mmの丸パイプ(単管)、関西地方において断面寸法60×60mmの角パイプが一般的に多く使用されている。このように、型枠に使用される材料には地域性がある。

本簡易設計方法における内端太および外端太に用いる材料は、主に関東地方において一般的に使用される型枠の構成材料を対象とすることとし、内端太に用いる栈木を断面寸法48×24mmのもの、内端太および外端太に用いる鋼管を断面寸法φ48.6mmの丸パイプ(単管)とした。なお、主に関西地方において一般的に使用される、断面寸法60×30mmの栈木および断面寸法60×60mm

表5.2.2 栈木および単管の断面性能・許容曲げ応力度・曲げヤング係数の基準値

型枠の構成材料		形状・寸法	Z* <sup>1</sup> (mm <sup>3</sup> )	I* <sup>2</sup> (mm <sup>4</sup> )	許容曲げ 応 力 度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲 げ ヤ ン グ 係 数 の 基 準 値 (kN/mm <sup>2</sup> )
内端太	栈 木	48×24mm(樹種:アカマツ, スギ, ベイマツ, ラワン)	9,216	221,184	$tfb:10.3$	$tEb:6.9$
	単 管					
外端太	単 管 (2丁使い)	φ48.6mm, 厚さ2.3mm	3,698	89,867	$sfb:156.9$	$sEb:205$

\*1 Z:断面係数 \*2 I:断面2次モーメント



の角パイプに対しても安全側の設計となるため使用することが可能である。

本簡易設計方法における壁型枠の構造計算に用いた栈木および丸パイプの断面性能，許容曲げ応力度および曲げヤング係数の基準値は、表5.2.2に示すとおりである。栈木の曲げヤング係数の基準値は、型枠指針<sup>2)</sup>において一般的に使用される材料(樹種:スギ)として示される6.9kN/mm<sup>2</sup>を基準値として用いている。これは、樹種がアカマツ，ベイマツおよびラワンなどの栈木を用いる場合も、スギに比べて曲げヤング係数および許容応力度が大きく安全側の設計となるためである。

d. 本簡易設計方法における締付け金物に用いるセパレータは、型枠指針<sup>2)</sup>において一般的に使用される材料として示される有効断面積および許容引張力が異なる3種類としている。締付け金物は、本体，座金，コーンおよびセパレータなどからなり、せき板と支保工(内端太および外端太)を緊結し、コンクリートの側圧を支えて型枠の精度を確保するために重要なものであり、製造業者が耐力を保証しているものを選定する。この締付け金物の本体および座金の形状は、外端太に使用する鋼管の種類および締付け方式によってそれぞれ異なるため、使用する型枠の構成材料に対応するものを選定する。本体の種類は、締付け方式がねじ式とクサビ式の2種類で、セパレータの太さに応じたW5/16とW3/8のものがある。座金の種類は、丸パイプ用と角パイプ用の2種類で、それぞれ本体の締付け方式に対応したものがある。

本簡易設計方法における壁型枠の構造計算に用いたセパレータの有効断面積，許容引張力およびヤング係数は、表5.2.3に示すとおりである。

表5.2.3 セパレータの有効断面積，許容引張力およびヤング係数

型枠の構成材料		種類	有効断面積(mm <sup>2</sup> )	許容引張力(kN)	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )
締付け 金物	セパレータ	φ7mm(W5/16)	34.0mm <sup>2</sup>	14	205
		高強度φ7mm(W5/16)	34.0mm <sup>2</sup>	21	
		φ9mm(W3/8)	50.3mm <sup>2</sup>	21	

5.2.3 壁型枠の構成

- a. せき板は、2'×6'合板または3'×6'合板を栈木付きパネルとして縦使いとする。
- b. 壁型枠の内端太の構成は、表5.2.4に示すものとする。内端太の構成は、せき板に用いる合板が、2'×6'合板の場合、内端太の間隔を200mmまたは150mm、3'×6'合板の場合、内端太の間隔を225mm、180mmまたは150mmとし、この内端太材は、栈木のみ、栈木+単管または単管のみとする。
- c. 壁型枠セパレータの割付けは、表5.2.5に示すものとする。セパレータの間隔は、せき板に用いる合板が2'×6'合板および3'×6'合板ともに、幅方向の間隔(横間隔)を600mm

表5.2.5 壁型枠の内端太の構成

合板の寸法	内端太の本数*3	内端太の間隔	内端太の構成*4		
			栈木のみ	栈木+単管	単管のみ
2'×6'合板*1	2本	200mm		—	
	3本	150mm			
3'×6'合板*2	3本	225mm			
	4本	180mm		—	
	5本	150mm			

\*1 幅600×長さ1,800mm \*2 幅900×長さ1,800mm \*3 栈木付きパネルとした際の枠材を除く内端太材の本数  
\*4 内端太材の凡例: ▮ 栈木(48×24mm), ○ 単管(φ48.6mm)

表5.2.5 壁型枠のセパレータの割付け

合板の寸法	セパレータの本数*3	セパレータの幅方向の間隔(横間隔)*4	セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔)*4		
			2段:900mm	3段:600mm	4段:450mm
2'×6'合板*1	3本(1列3段) 4本(1列4段)	1列:600mm 			
	4本(2列2段) 6本(2列3段) 8本(2列4段)	2列:450mm 			
	3'×6'合板*2	4本(2列2段) 6本(2列3段) 8本(2列4段)			
		2列:450mm 			

\*1 幅600×長さ1,800mm \*2 幅900×長さ1,800mm \*3 縦使いとした定尺の合板1枚に対するセパレータの本数  
\*4 ・:締付け金物(セパレータ)の取付け位置

または450mm、長さ方向の間隔を900mm，600mmまたは450mmとする。

d. 外端太は、単管を2丁使いとする。

a. せき板は、合板に内端太として用いる栈木を枠材として接合した栈木付きパネルとして使用される場合が多い。本簡易設計方法における壁型枠のせき板は、この栈木付きパネルを縦使いとすることとした。

b, c. 本簡易設計方法における壁型枠の内端太の構成およびセパレータの割付けは、せき板を2'×6'合板または3'×6'合板を縦使いとした場合に、各々の合板の寸法から想定されるものであり、型枠工事業者を対象とした既往のアンケート調査<sup>\*)</sup>の結果から定めたものである。この型枠の構成方法は、型枠の強度および剛性を左右する重要な事項であり、本項5.2.4の「簡易設計方法のフロー」に従い、コンクリートの側圧に対して、各構成部材のたわみまたは変形量が許容変形量以下となり、かつ各構成材料が許容応力度以下または許容引張力以下となる型枠の構成を選定する必要がある。

d. 外端太は、単管を2丁使いとして用いることが一般的である。この外端太の構成方法において、単管を継ぎ足して用いる場合、単管の接合部が同一の位置とならないように注意が必要である。

## 5.2.4 簡易設計方法のフロー

簡易設計方法のフローを図5.2.1に示す。本簡易設計方法のフローは、Step(1)～(5)の手順を図から求め、Step(6)において型枠の総変形量( $\Sigma \delta \leq 5\text{mm}$ )の確認を行い、満足できない場合は、Step(1)、Step(2)またはStep(3)より再検討することとする。

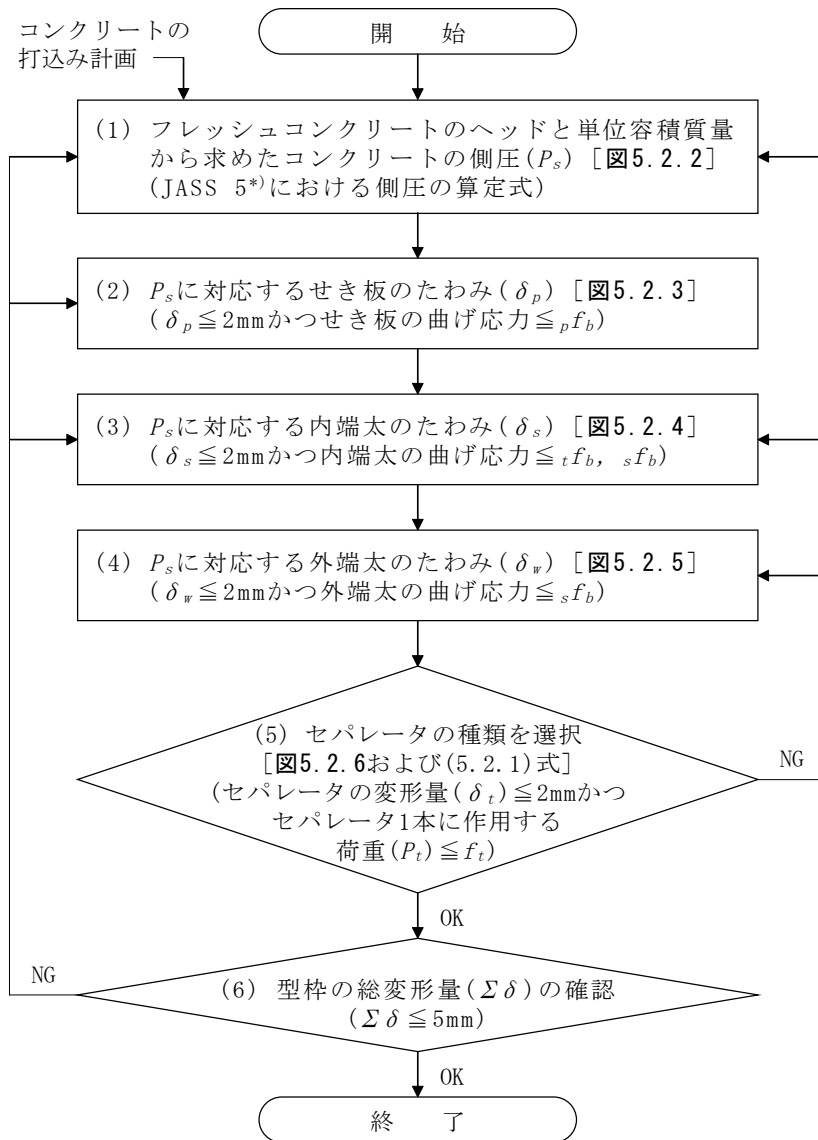


図5.2.1 簡易設計方法のフロー

本簡易設計方法は、コンクリートの側圧に対応するせき板、内端太、外端太の曲げ応力とたわみおよびセパレータ1本に作用する荷重を図5.2.3～図5.2.6に示しており、各構成部材のたわみまたは変形量が2mm以下となり、かつ各構成部材の変形量を合計した総変形量が5mm以下となるように型枠の構成材料とその構成方法を選定するものである。なお、壁型枠の構成部材のうちせき板、内端太および外端太の構造計算は、型枠指針<sup>2)</sup>の計算方法と同様に支持条件を単純支持と両端固定の中間とし、荷重条件をコンクリートの側圧の等分布荷重として、曲げ応力を(5.2.1)

式、たわみを(5.2.2)式によって算出している。この(5.2.2)式における合板および栈木の曲げヤング係数については、本論文の第3章および第4章で述べた、含水率、支点間距離および合板の転用を考慮した曲げヤング係数の低減係数として $K_w$ ,  $K_p$ ,  $K_{pr}$  および  $K_t$  を乗じた値を用いている。

$$\sigma = \frac{w \cdot l^2}{12 \cdot Z} \quad \dots (5.2.1) \text{式}$$

ここで、 $\sigma$  : 曲げ応力 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $w$  : コンクリートの側圧の等分布荷重 (N/mm)  
 $l$  : 支点間距離 (mm)  
 $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$\delta = \frac{w \cdot l^4}{128 \cdot E \cdot I} \quad \dots (5.2.2) \text{式}$$

ここで、 $\delta$  : たわみ (mm)  
 $w$  : コンクリートの側圧の等分布荷重 (N/mm)  
 $l$  : 支点間距離 (mm)  
 $E$  : 曲げヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)  
 $I$  : 断面2次モーメント (mm<sup>4</sup>)

(1) フレッシュコンクリートのヘッドと単位容積質量から求めたコンクリートの側圧 ( $P_s$ )

Step (1) では、コンクリートの打込み計画に基づき、JASS 5<sup>1)</sup>における型枠設計用の算定式によってコンクリートの側圧 ( $P_s$ ) を設定する。この算定式によって求めたコンクリートの側圧 ( $P_s$ ) とフレッシュコンクリートのヘッド ( $H$ ) の関係は、図 5. 2. 2 に示すとおりである。

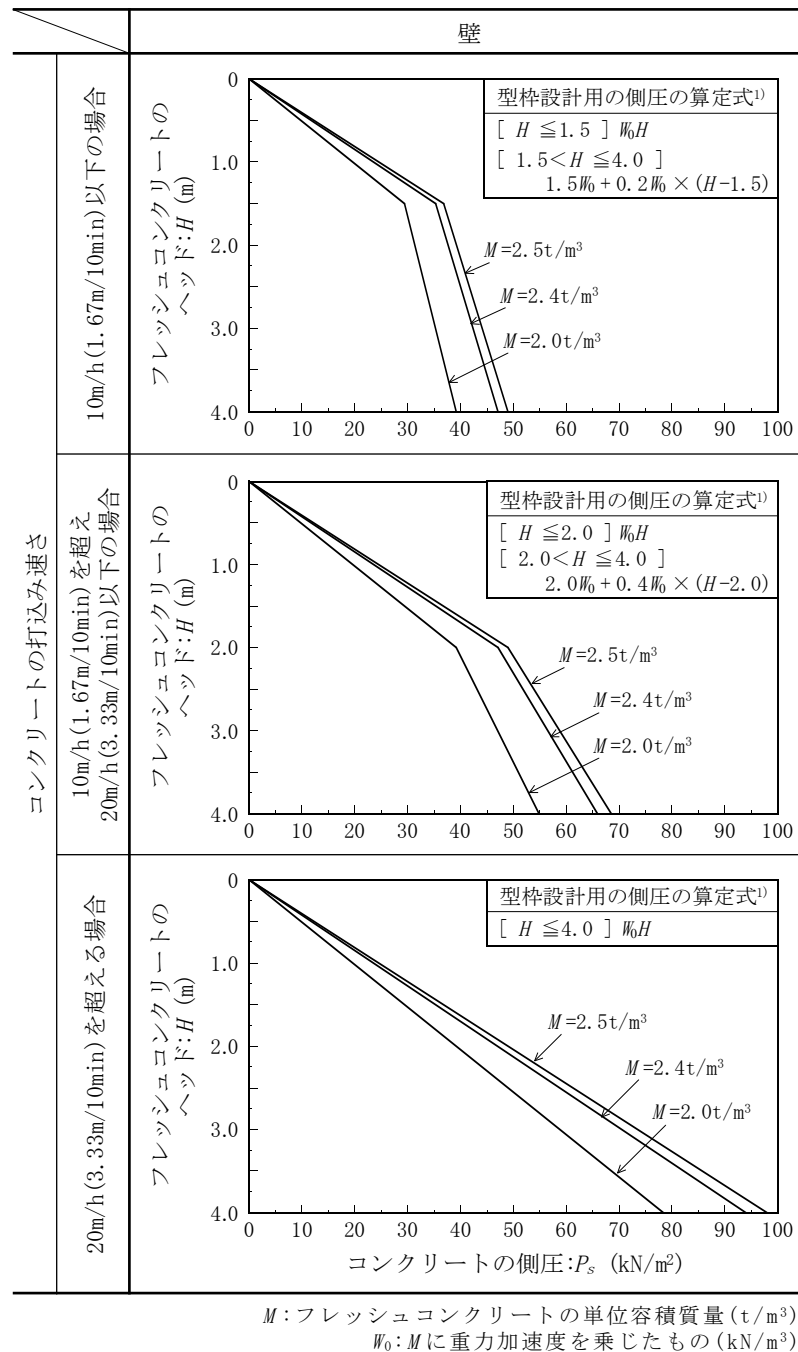


図 5. 2. 2 コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) とフレッシュコンクリートのヘッド ( $H$ ) の関係 (JASS 5<sup>1)</sup>における側圧の算定式)

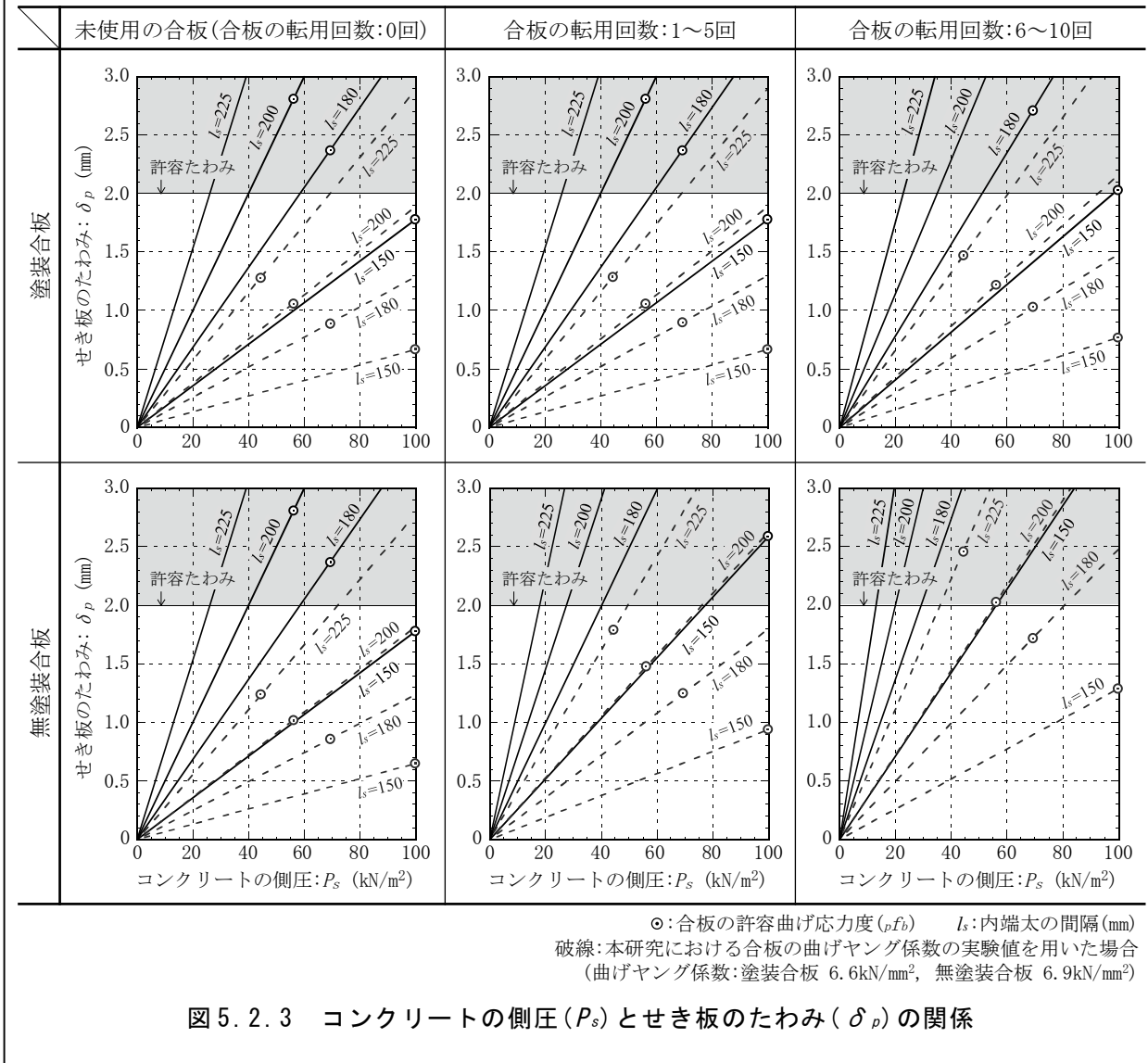
コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) は、JASS 5<sup>1)</sup>における型枠設計用の算定式によって設定することとし、フレッシュコンクリートの単位容積質量 ( $M$ ) に重力加速度を乗じた値 ( $W_0$ ) とフレッシュコンクリー

トのヘッド(H)の積とした。コンクリートの側圧は、層分けして打ち込むことで見かけ上の打込み速さを小さくし、緩和することができる。そのため、各構成部材のたわみまたは変形量2mm以下と総変形量5mm以下を満足できない場合、コンクリートを回し打ちすることでコンクリートの側圧を緩和して対応することも可能である。ただし、回し打ちを行う場合、コールドジョイントが生じないように打重ね時間に留意しながら、打重ね面に十分な締固めを行う必要がある<sup>1)</sup>。また、高強度コンクリートや高流動コンクリートは、打込み速さにかかわらず流動性が高いため、このコンクリートの側圧は液圧( $\gamma_0 H$ )として構造計算することが望ましい。

また、コンクリートの単位容積質量は、コンクリートの側圧に影響する要因の一つであり、単位容積質量が大きいほど、側圧が大きくなる。そのため、コンクリートの側圧の算定に用いるコンクリート単位容積質量は、打込むコンクリートの種類に応じた値を用いるべきであり、普通コンクリートの場合 $2.4\text{t/m}^3$ 、高強度コンクリートの場合 $2.5\text{t/m}^3$ 、軽量コンクリートの場合 $2.0\text{t/m}^3$ を用いるとよい。

(2) コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) に対応するせき板のたわみ ( $\delta_p$ )

コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) とせき板のたわみ ( $\delta_p$ ) の関係を図 5.2.3 に示す。Step (2) では、合板の種類および合板の転用回数ごとに内端太の間隔が 225mm, 200mm, 180mm および 150mm におけるコンクリートの側圧に対応するせき板のたわみ ( $\delta_p$ ) を示しており、Step (1) で設定したコンクリートの側圧 ( $P_s$ ) に対するせき板のたわみが 2mm 以下となり、かつ許容曲げ応力度 ( $\sigma_{fb}$ ) 以下となる合板の種類と寸法および内端太の間隔から  $\delta_p$  の値を求める。



本簡易設計方法における合板の曲げヤング係数は、合板の JAS<sup>5)</sup> の基準値から含水率の影響、内端太の間隔および合板の転用を考慮して低減させた極めて小さな値となるため、使用する合板の試験成績書または合板の JAS<sup>5)</sup> 別記の 3 の (7) の曲げ剛性試験によって得られた値を基準値として構造計算に用いることが望ましい。このことから、図 5.2.3 では、本論文の第 3 章における合板の JAS<sup>5)</sup> 別記の 3 の (7) の曲げ剛性試験の結果による合板の曲げヤング係数を基準値として用いたコンクリートの側圧とせき板のたわみの関係を破線で併記している。



(3) コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) に対応する内端太のたわみ ( $\delta_s$ )

コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) の関係を図 5.2.4(1)～図 5.2.4(4) に示す。Step (3) では、内端太の間隔および内端太の構成ごとにセパレータの長さ方向の間隔が 900mm, 600mm および 450mm における側圧に対応する内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) 示しており、Step (2) の条件となる合板の寸法および内端太の間隔において Step(1) で設定したコンクリートの側圧 ( $P_s$ ) に対する内端太のたわみが 2mm 以下となり、かつ許容曲げ応力度 ( $tfb, sfb$ ) 以下となる内端太の構成およびセパレータの長さ方向の間隔から  $\delta_s$  の値を求める。

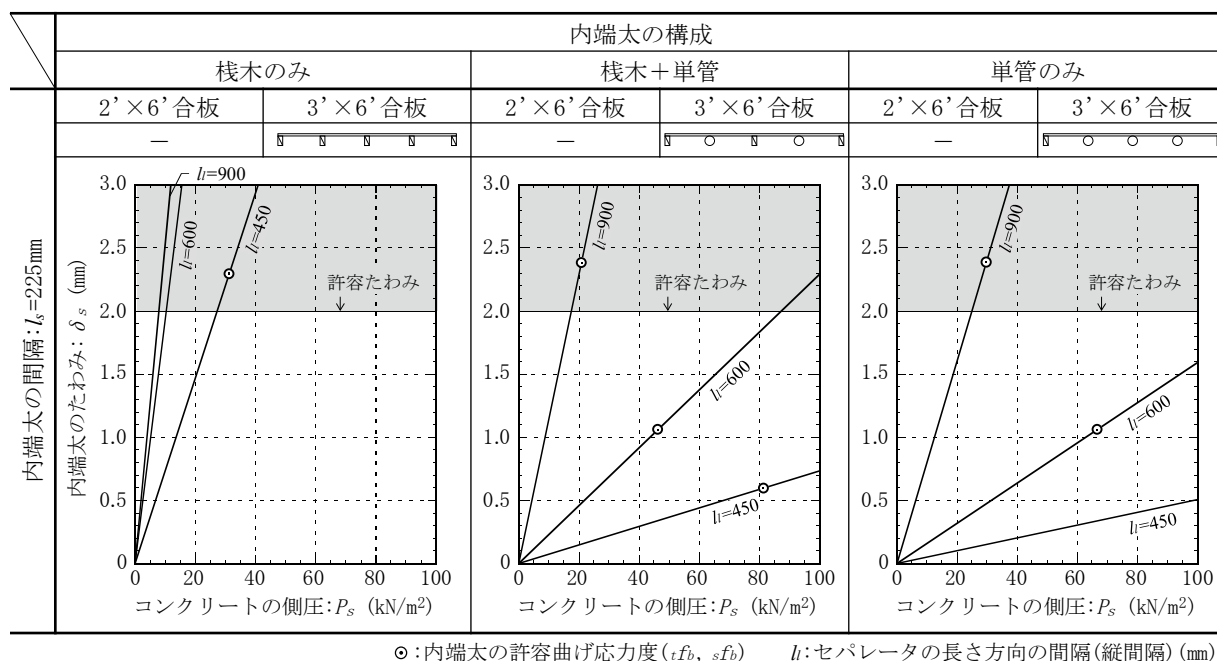


図 5.2.4(1) コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) の関係 【 $l_s=225\text{mm}$ 】

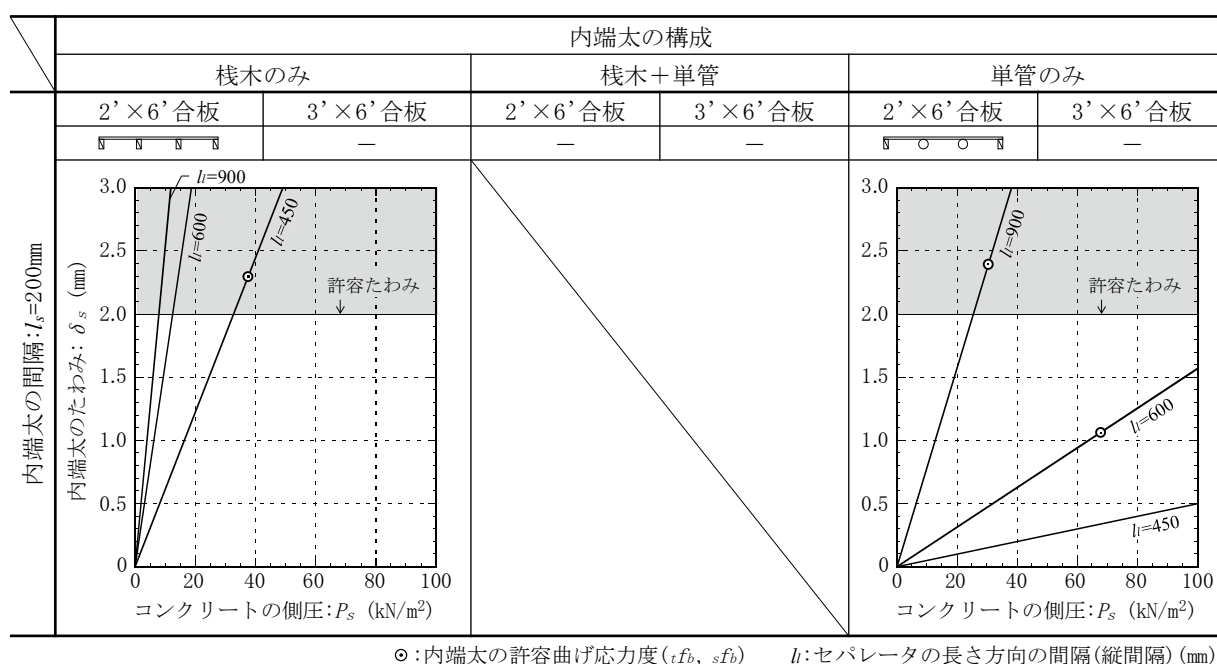


図 5.2.4(2) コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) の関係 【 $l_s=200\text{mm}$ 】

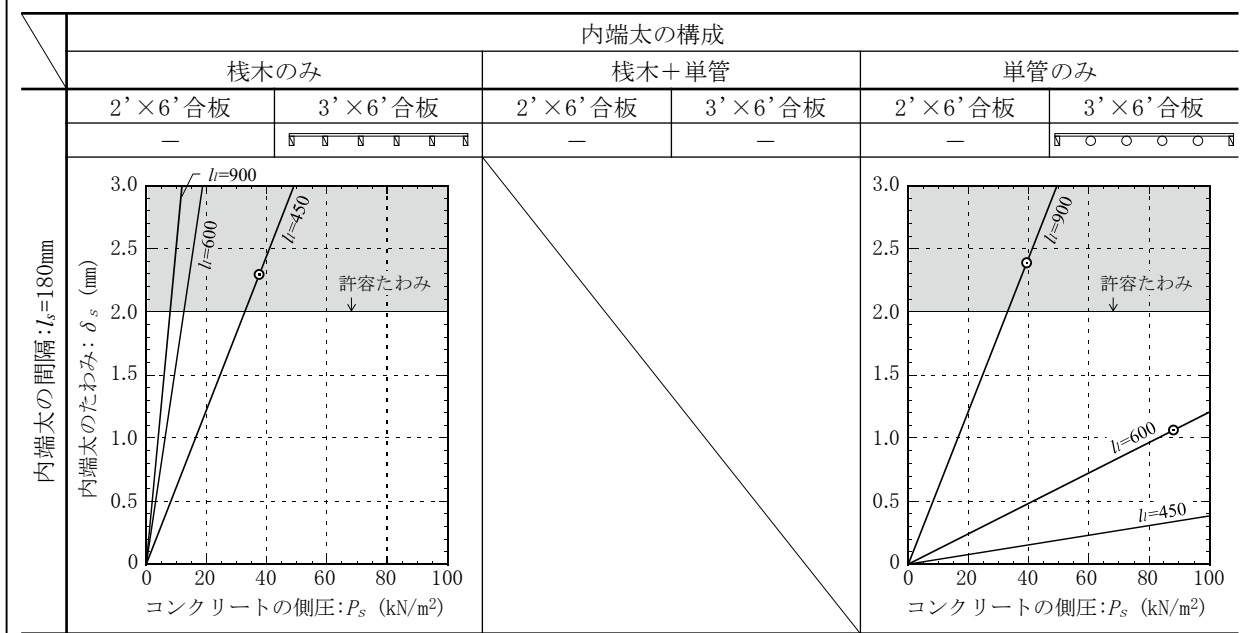


図 5.2.4(3) コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) の関係【 $l_s=180\text{mm}$ 】

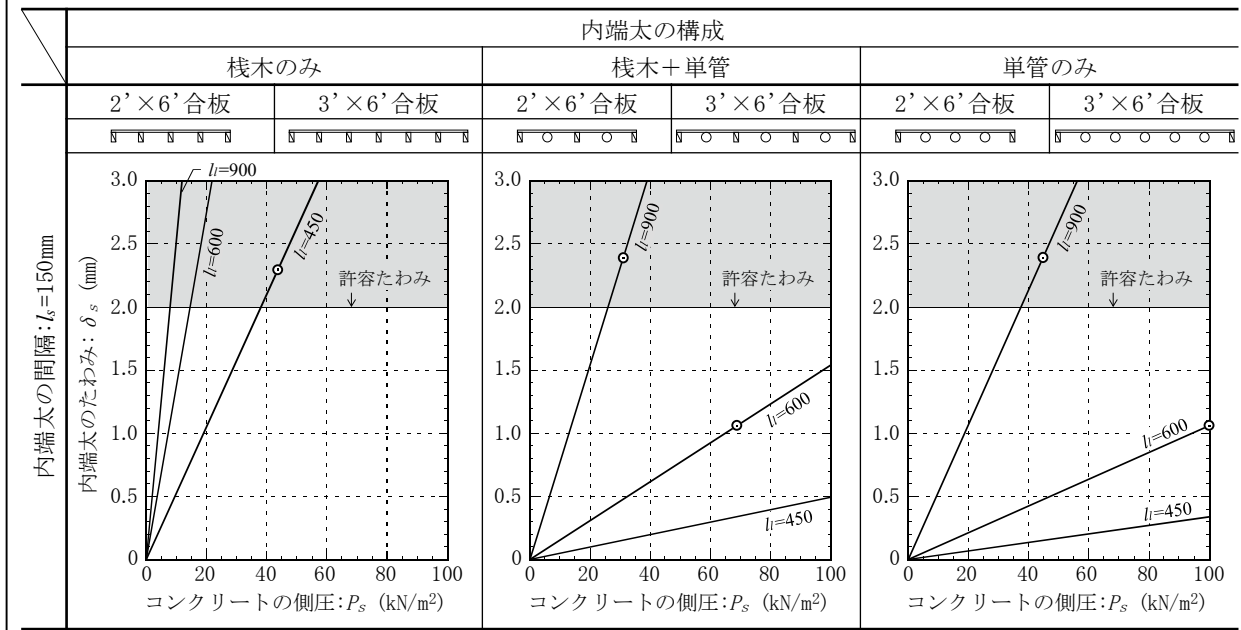


図 5.2.4(4) コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) の関係【 $l_s=150\text{mm}$ 】

コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) の関係において、内端太の間隔が 150mm の場合、2' × 6' 合板と 3' × 6' 合板では、内端太の構成が異なるものの内端太のたわみおよび曲げ応力に大きな差が見られないことから安全側の値を用いることとして図示している。

(4) コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) に対応する外端太のたわみ ( $\delta_w$ )

コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と外端太のたわみ ( $\delta_w$ ) の関係を図 5.2.5 に示す。Step(4)では、セパレータの長さ方向の間隔ごとにセパレータの幅方向の間隔が 600mm および 450mm における側圧に対応する外端太のたわみ ( $\delta_w$ ) を示しており、Step(3)の条件となるセパレータの長さ方向の間隔において Step(1) で設定したコンクリートの側圧 ( $P_s$ ) に対する外端太のたわみが 2mm 以下となり、かつ許容曲げ応力度 ( $sfb$ ) 以下となるセパレータの幅方向の間隔から  $\delta_w$  の値を求める。

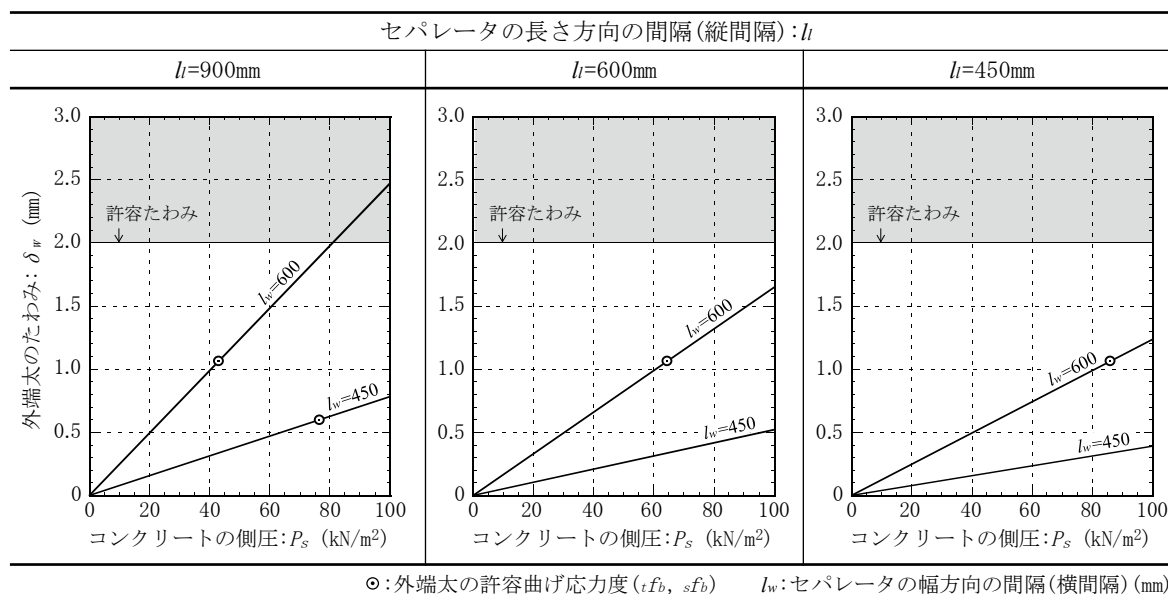


図 5.2.5 コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と外端太のたわみ ( $\delta_w$ ) の関係

セパレータの幅方向の間隔は、型枠工事業者を対象とした既往のアンケート調査<sup>4)</sup>において、せき板に用いる合板が 2' × 6' 合板の場合 600mm、3' × 6' 合板の場合 450mm とすることが多く一般的である。

また、セパレータの幅方向の間隔が支点間距離となる外端太のたわみは、せき板のたわみおよび内端太のたわみに比べて小さくなることがほとんどであり、型枠を設計する際の構造計算において、外端太のたわみおよび応力度が問題となることは少ない。そのため、型枠の総変形量が許容値の 5mm 以下を満足できない場合の再検討において、Step(4)の外端太のたわみは、再検討の優先順位が低い項目である。

(5) セパレータの種類を選択

コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) とセパレータ 1 本に作用する荷重 ( $P_t$ ) の関係を図 5. 2. 6 に示す。Step (5) では、合板の寸法ごとにセパレータの長さ方向および幅方向の間隔の組合せにおける側圧に対応するセパレータ 1 本に作用する荷重 ( $P_t$ ) を示しており、Step (3) および Step (4) の条件となるセパレータの長さ方向および幅方向の間隔において Step (1) で設定したコンクリートの側圧 ( $P_s$ ) に対するセパレータ 1 本に作用する荷重が許容引張力 ( $f_t$ ) 以下となり、かつ (5. 2. 3) 式によって算出したセパレータの変形量が 2mm 以下となるセパレータの種類を選択する。なお、許容引張力および変形量 2mm 以下が満足できない場合は、Step (3) および Step (4) におけるセパレータの長さ方向および幅方向の間隔を変更し、合板 1 枚に対するセパレータの本数を増やすことでセパレータ 1 本に作用する荷重および変形量を小さくする必要がある。

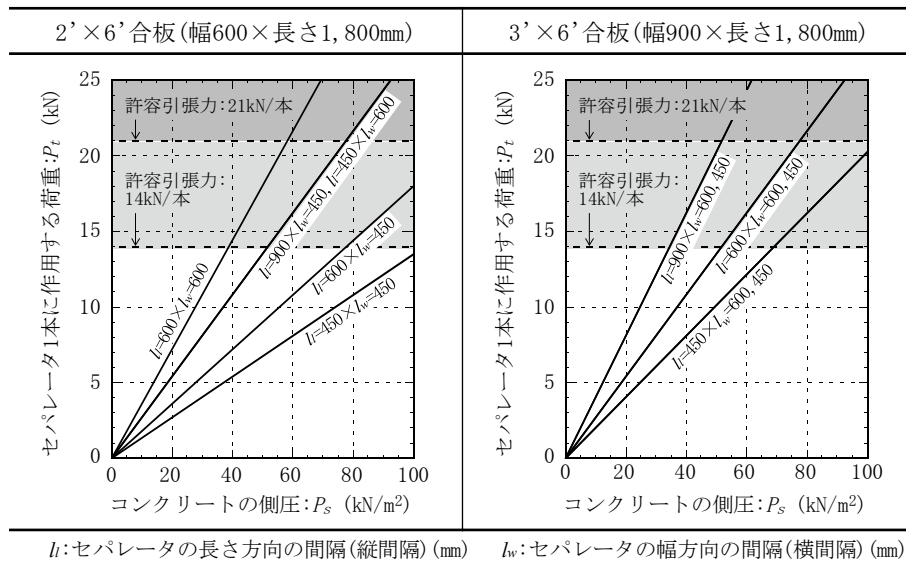


図 5. 2. 6 コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) とセパレータ 1 本に作用する荷重 ( $P_t$ ) の関係

$$\delta_t = \frac{t \cdot 0.5 \cdot P_t}{sA \cdot E} \quad \dots (5. 2. 3) \text{式}$$

ここで、 $\delta_t$ :セパレータの変形量(mm)

$t$ :壁厚(mm)

$P_t$ :セパレータ 1 本に作用する荷重(kN)

$sA$ :セパレータの有効断面積(mm<sup>2</sup>)

$E$ :セパレータのヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)

締付け金物は、せき板と支保工を緊結し、コンクリートの側圧を支える重要な構成材料の一つであり、コンクリートの側圧に対して、セパレータの許容引張力を超えるようなセパレータの割付けとならないように注意が必要である。セパレータの破断は、コンクリートの漏出事故や型枠の倒壊・崩壊などの大事故に直結するため、適切な選定と施工を行うことが重要である。

(6) 型枠の総変形量(  $\Sigma \delta$  )の確認

型枠の総変形量(  $\Sigma \delta$  )は、せき板のたわみ、内端太のたわみ、外端太のたわみおよびセパレータの変形量の合計であり、(5.2.4)式によって算出し、JASS 5<sup>1)</sup>および型枠指針<sup>2)</sup>に準じて許容総変形量を5mm以下とする。この総変形量(  $\Sigma \delta$  )が5mm以下を満足できない場合は、**図5.2.1**に示すように満足するまで繰り返し行うこととし、Step(2)またはStep(3)における内端太の間隔、内端太の構成およびセパレータの間隔等を変更し、各構成部材のたわみまたは変形量が小さくなるように型枠を構成する。

$$\Sigma \delta = \delta_p + \delta_s + \delta_w + \delta_t \quad \dots (5.2.4) \text{式}$$

ここで、 $\Sigma \delta$  : 型枠の総変形量(mm)

$\delta_p$  : **図5.2.3**により求めたせき板のたわみ(mm)

$\delta_s$  : **図5.2.4**により求めた内端太のたわみ(mm)

$\delta_w$  : **図5.2.5**により求めた外端太のたわみ(mm)

$\delta_t$  : **図5.2.6**および(5.2.3)式により求めたセパレータの変形量(mm)

型枠の総変形量は、型枠の構成方法によって型枠の剛性を高めることで変形量を小さくすることができる他に、コンクリートの側圧を小さくすることで型枠全体の変形量を小さくすることも可能である。コンクリートの側圧は、コンクリートを層分けして回し打ちすることで、打込み速さを小さくし緩和することが可能である。

なお、本簡易設計方法で対象とした壁型枠の構成において、型枠の総変形量を5mm以下とすれば、JASS 5<sup>1)</sup>に示されるコンクリートの仕上りの平たんさが1mにつき10mm以下を計算上満足することができる。また、コンクリートの仕上りの平たんさが3mにつき10mm以下あるいは3mにつき7mm以下の場合は、構造計算上満足する型枠の各許容変形量を既往の計算方法<sup>7)</sup>に準じて求めて設定すれば、この方法を準用することも可能である。すなわち、コンクリートの仕上がり精度を高めるためには、許容総変形量を5mm以下より厳しい小さな値を定めて設計することが一つの有用な方法である。

【第 5 章の参考文献】

- 1) 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2015, 2015.7
- 2) 日本建築学会:型枠の設計・施工指針, 2011.2
- 3) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 手島基, 宮田敦典:関東地方における型枠工事業者の作業の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第 20 巻, 第 44 号, pp.13-18, 2014.2
- 4) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典:型枠工事業者を対象とした在来型枠工法における型枠の構成材料とその構成方法に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.23, No.53, pp.19-24, 2017.2
- 5) 合板の日本農林規格(平成 26 年 2 月 25 日農林水産省告示第 303 号)
- 6) JIS G 3444:2010, 一般構造用炭素鋼鋼管
- 7) 日本建築学会:型枠の設計・施工指針案, 1988.7

## 第 6 章

合板を用いた壁型枠の変形に関する実験的検討と  
本簡易設計方法の有用性の検証



## 第6章 合板を用いた壁型枠の変形に関する実験的検討と本簡易設計方法の有用性の検証

### 6.1 研究の目的

型枠に要求される性能は、コンクリートの打込みによって作用する荷重や側圧などの外力に対して破壊することない強度に加え、打ち上がったコンクリートが所定の位置に所定の形状・寸法および要求されるコンクリート表面の仕上がり精度となるように、十分な剛性を有する必要がある。この部材の位置・断面寸法の精度および仕上がり状態は、JASS 5<sup>1)</sup>において鉄筋コンクリート造建築物の構造体および部材の要求性能の一つとして規定されており、部材の位置・断面寸法の許容差の標準値およびコンクリートの仕上がりの平たんさの標準値が示されている。また、型枠は、これらの要求性能を満足するように設計し、必要に応じて強度および剛性について構造計算を行うことが記述されており、型枠の構造計算における変形量は、JASS 5<sup>1)</sup>および型枠指針<sup>2)</sup>において、型枠を構成する各部材それぞれたわみまたは変形量が2mm以下を目安とすること解説されている。しかしながら、型枠の変形について実験的に検討した例は筆者の把握する限り見当たらない。そのため、コンクリートの打込みによって作用する外力による型枠を構成する各部材のたわみまたは変形量には不明な点が残る。

そこで、本章は、実構造物を模擬した打込み高さが1.8mの壁部材に用いる壁型枠を対象とし、内端太の構成およびセパレータの割付けが異なる壁型枠のコンクリートの側圧による各構成部材のたわみまたは変形について実験的に明らかにすることを目的としている。また、本論文の第5章で提案した「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」の有用性を検証した。

## 6.2 実験概要

ここでは、コンクリートの側圧による壁型枠の変形を明らかにするために、打込み高さが1.8mの壁部材に用いる壁型枠の内端太の構成およびセパレータの割付けが異なる型枠の変形を調べた。また、本論文の第5章で提案した「内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」の妥当性について検討した。

### 6.2.1 壁型枠の構成および実験の組合せ

せき板に2'×6'合板を用いた壁型枠の構成および実験の組合せを表6.2.1に、せき板に3'×6'合板を用いた壁型枠の構成および実験の組合せを表6.2.2に示す。壁型枠の構成は、せき板を2'×6'合板および3'×6'合板の縦使いとした場合に、各々の合板の寸法から想定される壁型枠の構成方法のうち、本論文の第2章における型枠工事業者を対象としたアンケート調査<sup>3)</sup>において、回答数の多かった内端太の構成およびセパレータの割付けで組み合わせられる計12水準とした。また、型枠に打ち込むコンクリートの種類は、呼び強度が57、39および24の3水準とし、型枠の構成とコンクリートの種類における実験の組合せは、表6.2.1および表6.2.2に示すとおりである。

表6.2.1 せき板に2'×6'合板を用いた壁型枠の構成および実験の組合せ

せき板に用いる合板		2'×6'合板（幅600×長さ1,800mm）の縦使い				
セパレータの割付け		セパレータの本数*1: ・ 3本/合板1枚  セパレータの幅方向の間隔(横間隔): $l_w=600\text{mm}$  セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔): $l_l=600\text{mm}$			セパレータの本数*1: ・ 4本/合板1枚  セパレータの幅方向の間隔(横間隔): $l_w=600\text{mm}$  セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔): $l_l=450\text{mm}$	
		内端太の本数*2: 2本 内端太の間隔: $l_s=200\text{mm}$			内端太の本数*2: 2本 内端太の間隔: $l_s=200\text{mm}$	
内端太の構成	内端太材	栈木のみ 	単管のみ 	栈木のみ 	単管のみ 	
		2×6(A-A)	2×6(B-A)	2×6(A-B)	2×6(B-B)	
コンクリートの種類	呼び強度 57	○	○	○	○	
	呼び強度 39	○		○		
	呼び強度 24	○		○		

\*1 縦使いとした定尺の合板1枚に対するセパレータの本数    \*2 せき板を栈木付きパネルとした際の枠材を除く内端太の本数

表 6. 2. 2 せき板に 3' × 6' 合板を用いた壁型枠の構成および実験の組合せ

せき板に用いる合板		3' × 6' 合板 (幅900 × 長さ1,800mm) の縦使い				
セパレータの割付け	<p>2列3段</p>	セパレータの本数*1: 6本/合板1枚  セパレータの幅方向の間隔(横間隔): $l_w=600\text{mm}$  セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔): $l_l=600\text{mm}$		<p>2列4段</p>	セパレータの本数*1: 8本/合板1枚  セパレータの幅方向の間隔(横間隔): $l_w=600\text{mm}$  セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔): $l_l=450\text{mm}$	
		内端太の本数*2	3本		3本	
内端太の構成	内端太の間隔	$l_s=225\text{mm}$		$l_s=225\text{mm}$		
	内端太材	栈木のみ 	単管のみ 	栈木のみ 	単管のみ 	
型枠の構成の水準記号		3 × 6 (A-C)	3 × 6 (C-C)	3 × 6 (A-E)	3 × 6 (C-E)	
コンクリートの種類	呼び強度 57	○	○	○	○	
	呼び強度 39	○		○		
	呼び強度 24	○		○		
せき板に用いる合板		3' × 6' 合板 (幅900 × 長さ1,800mm) の縦使いの縦使い				
セパレータの割付け	<p>2列3段</p>	セパレータの本数*1: 6本/合板1枚  セパレータの幅方向の間隔(横間隔): $l_w=450\text{mm}$  セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔): $l_l=600\text{mm}$		<p>2列4段</p>	セパレータの本数*1: 8本/合板1枚  セパレータの幅方向の間隔(横間隔): $l_w=450\text{mm}$  セパレータの長さ方向の間隔(縦間隔): $l_l=450\text{mm}$	
		内端太の本数*2	4本		4本	
内端太の構成	内端太の間隔	$l_s=180\text{mm}$		$l_s=180\text{mm}$		
	内端太材	栈木のみ 	単管のみ 	栈木のみ 	単管のみ 	
型枠の構成の水準記号		3 × 6 (D-D)	3 × 6 (E-D)	3 × 6 (D-F)	3 × 6 (E-F)	
コンクリートの種類	呼び強度 57	○	○	○	○	
	呼び強度 39					
	呼び強度 24					

\*1 縦使いとした定尺の合板1枚に対するセパレータの本数 \*2 せき板を栈木付きパネルとした際の枠材を除く内端太の本数

### 6.2.2 試験体の概要

壁部材試験体の概要を図6.2.1に、作製した壁型枠の一例を写真6.2.1に示す。壁部材試験体の寸法は、定尺の合板を縦使いとして3枚並べた幅および高さの寸法であり、せき板に2'×6'合板を用いた壁型枠の場合、幅1,800×高さ1,800×厚さ205mmとし、せき板に3'×6'合板を用いた壁型枠の場合、幅2,700×高さ1,800×厚さ205mmとした。この壁部材試験体に用いる壁型枠を表6.2.1および表6.2.2に示す構成としている。コンクリートの打込み状況を写真6.2.2に示す。コンクリートの打込み方法は、コンクリートバケットとたて型シュートを併用して運搬し、自由落下高さが1.0m以下となるように打込みを行った。コンクリートの打込み・締固めは、図6.2.2に示すように、2層に分けて打ち込み、各層ごとにコンクリート棒形振動機(公称直径30mm, 振動数200~240Hz)を用いて10~15秒間加振した。

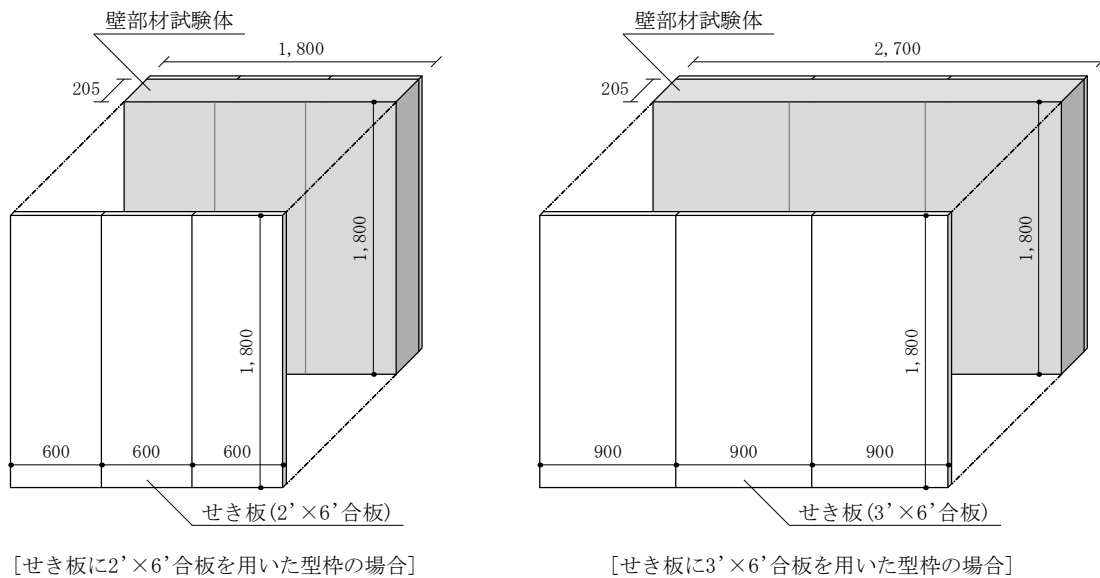
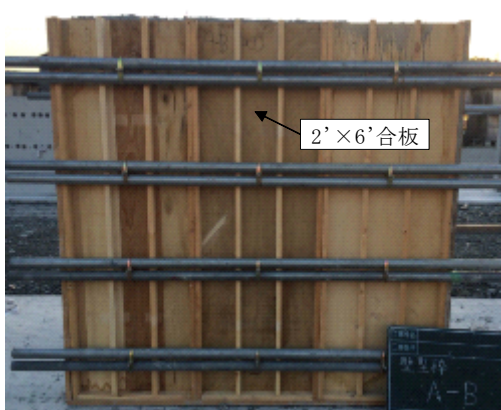
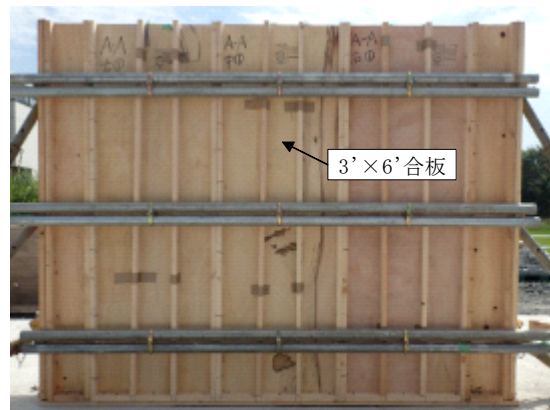


図6.2.1 壁部材試験体の概要



[せき板に2'×6'合板を用いた型枠]



[せき板に3'×6'合板を用いた型枠]

写真6.2.1 作製した壁型枠の一例



写真 6. 2. 2 コンクリートの打込み状況

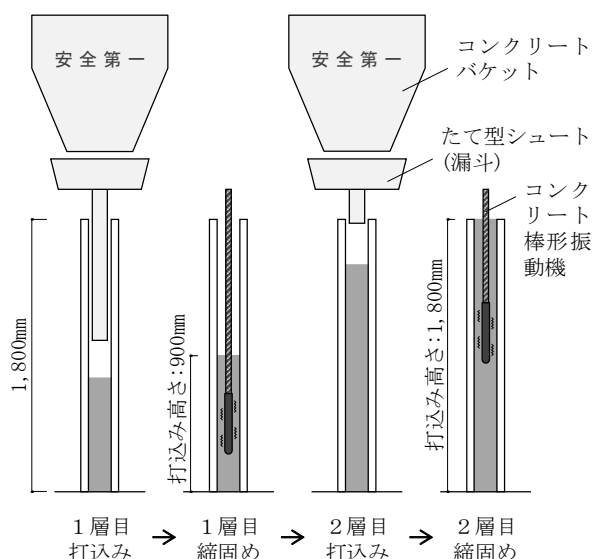


図 6. 2. 2 コンクリートの打込み・締め

### 6. 2. 3 型枠の構成材料

型枠の構成材料を表 6. 2. 3 に示す。型枠の構成材料は、外端太に単管(φ 48. 6mm)を2丁使いとする一般的に関東地方で多く行われる型枠の構成方法に使用されるものとし、本論文の第2章におけるアンケート調査の結果をもとに選定した。

表 6. 2. 2 型枠の構成材料

型枠の構成材料		形状・寸法	規格	曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
せき板	塗装合板 (縦使い)	2'×6' 合板(幅 600×長さ 1800mm), 厚さ12mm	「合板の日本農林規格」*)の コンクリート型枠用合板の規格の 適合品	6. 5*1
		3'×6' 合板(幅 900×長さ 1800mm), 厚さ12mm		6. 1*1
内端太	栈木	48×24mm(樹種:ベイマツ)	—	8. 6*2
	単管	φ 48. 6mm, 厚さ2. 3mm	JIS G 3444 「一般構造用炭素鋼 鋼管」*)の規格品	205
外端太	単管 (2丁使い)			
締付け 金物	本体	締付け方式:ねじ式(W5/16)	—	
	座金	ねじ式の単管用座金	—	
	コーン	直径30mm, 長さ25mm(かぶり 厚さ25mm), ねじ径W5/16	—	
	セパレータ	W5/16(φ 7mm), 有効断面積 34. 0mm <sup>2</sup>	許容引張力(製造会社が保証する値):14. 0kN, ヤング係数:205kN/mm <sup>2</sup>	

\*1 「合板の日本農林規格」別記の3の(7)の曲げ剛性試験の結果による合板の幅方向の曲げヤング係数

\*2 JIS Z 2101:2009の曲げ試験の結果による栈木の曲げヤング係数

## 6.2.4 コンクリートの使用材料および調合

コンクリートの使用材料を表6.2.3に、コンクリートの調合条件および調合を表6.2.4に示す。本実験に用いたコンクリートの種類は、呼び強度およびスランプまたはスランプフローが異なる計3水準とした。荷卸し地点におけるフレッシュコンクリートのスランプまたはスランプフローおよび空気量(目標値4.5%)は、いずれのコンクリートの種類においても、JIS A 5308:2014<sup>4)</sup>に規定される許容差を満足していた。

表6.2.3 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・性状・主成分
セメント(C)	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積:3,320cm <sup>2</sup> /g
水(W)	地下水	懸濁物質の量:0.0g/l, 溶解性蒸発残留物質の量:0.2g/l, Cl <sup>-</sup> 量:8mg/l
細骨材(S)	陸砂(栃木県栃木市尻内町産)	表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率:2.75
粗骨材(G)	石灰岩碎石(栃木県佐野市会沢町)	表乾密度:2.70g/cm <sup>3</sup> , 実績率:60.0
化学混和剤(Ad)	高性能AE減水剤(標準形I種)	ポリカルボン酸系化合物
	AE減水剤(標準形I種)	リグニンスルホン酸塩・特殊界面活性剤

表6.2.4 コンクリートの調合条件および調合

コンクリートの調合条件				コンクリートの調合						単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	
呼び強度	SL*1・SF*2 (cm)	粗骨材の 最大寸法(mm)	セメント の種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	S	G		Ad
57	SF:60	20	N	32.4	49.1	170	524	793	851	7.598*3	2.34
39	SL:21	20	N	42.5	47.4	175	412	804	923	3.708*3	2.31
24	SL:18	20	N	58.4	49.4	181	310	872	923	3.720*4	2.29

\*1 SL:スランプ \*2 SF:スランプフロー \*3 高性能AE減水剤 \*4 AE減水剤

6.2.5 測定項目および測定方法

測定項目および測定方法を表 6.2.6 に示す。測定項目は、型枠の変形およびコンクリートの側圧に関する 2 項目とし、コンクリートの打込みを開始した時点から 10 秒間隔で測定を行い、コンクリートの打込み・締固めが終了した後に測定値が安定したことを確認して測定を終了した。

表 6.2.6 測定項目および測定方法

測定項目		測定方法
型枠の変形	せき板のたわみ	変位計を用いて測定
	内端太のたわみ	
	外端太のたわみ	
	セパレータの変形量	ひずみゲージを用いて測定
コンクリートの側圧		セパレータのひずみから求める方法

(1) 型枠の変形

型枠の変形に関する測定は、コンクリートの側圧によるせき板のたわみ、内端太のたわみ、外端太のたわみおよびセパレータの変形量の 4 項目とした。型枠の変形に関する測定方法の一例を図 6.2.2 に示す。せき板、内端太および外端太のたわみは、1/1000mm 精度の変位計を用いて図 6.2.2 に示すように変位計を型枠に取り付けて型枠の変位量を測定し、せき板のたわみを(6.2.1)式、内端太のたわみを(6.2.2)式、外端太のたわみを(6.2.3)式により算出した。なお、せき板、内端太および外端太のたわみは、各々 2～3 点で同様に測定を行い算出した値の平均値とした。また、セパレータの変形量は、セパレータの上下面にひずみゲージを貼り付けてセパレータのひずみを測定し、(6.2.4)式により算出した 3～4 点の平均値とした。

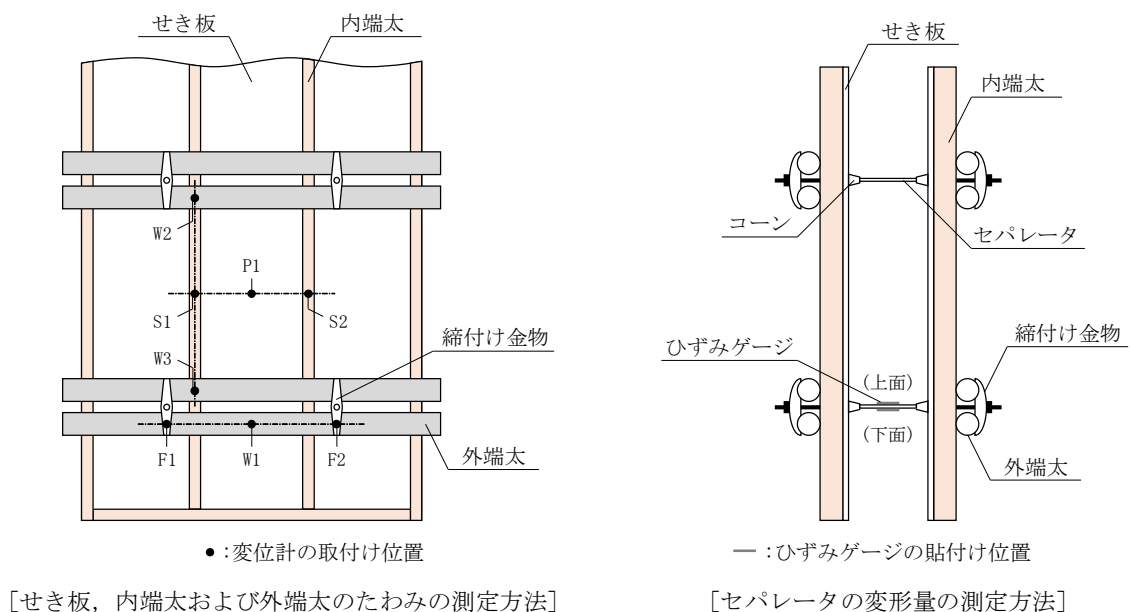


図 6.2.2 型枠の変形に関する測定方法の一例

$$\delta_p = \Delta_{P1} - \frac{\Delta_{S1} + \Delta_{S2}}{2} \quad \dots (6.2.1) \text{式}$$

ここで、 $\delta_p$  : せき板のたわみ(mm)  
 $\Delta_{P1}$  : 図6.2.2のP1の変位量(mm)  
 $\Delta_{S1}$  : 図6.2.2のS1の変位量(mm)  
 $\Delta_{S2}$  : 図6.2.2のS2の変位量(mm)

$$\delta_s = \Delta_{S1} - \frac{\Delta_{W2} + \Delta_{W3}}{2} \quad \dots (6.2.2) \text{式}$$

ここで、 $\delta_s$  : 内端太のたわみ(mm)  
 $\Delta_{S1}$  : 図6.2.2のS1の変位量(mm)  
 $\Delta_{W2}$  : 図6.2.2のW2の変位量(mm)  
 $\Delta_{W3}$  : 図6.2.2のW3の変位量(mm)

$$\delta_w = \Delta_{W1} - \frac{\Delta_{F1} + \Delta_{F2}}{2} \quad \dots (6.2.3) \text{式}$$

ここで、 $\delta_w$  : 外端太のたわみ(mm)  
 $\Delta_{W1}$  : 図6.2.2のW1の変位量(mm)  
 $\Delta_{F1}$  : 図6.2.2のF1の変位量(mm)  
 $\Delta_{F2}$  : 図6.2.2のF2の変位量(mm)

$$\delta_t = \frac{\varepsilon \cdot L}{2} \quad \dots (6.2.4) \text{式}$$

ここで、 $\delta_t$  : セパレータの変形量(mm)  
 $\varepsilon$  : セパレータのひずみ  
 $L$  : 壁厚(mm) (205mm)



(2) コンクリートの側圧

コンクリートの側圧は、既往の研究<sup>5)</sup>で用いられる測定方法のうち、セパレータにひずみゲージを貼り付けて測定したセパレータのひずみから求める方法とし、(6.2.5)式により算出した3～4点の平均値とした。なお、セパレータのひずみの測定位置は、図6.2.3に示すとおりである。

$$P_s = \frac{\varepsilon \cdot E \cdot sA}{A} \quad \dots (6.2.5) \text{式}$$

- ここで、  $P_s$  : コンクリートの側圧 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\varepsilon$  : セパレータのひずみ  
 $E$  : セパレータのヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)  
 $sA$  : セパレータの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $A$  : セパレータの1本が負担する面積 (m<sup>2</sup>)

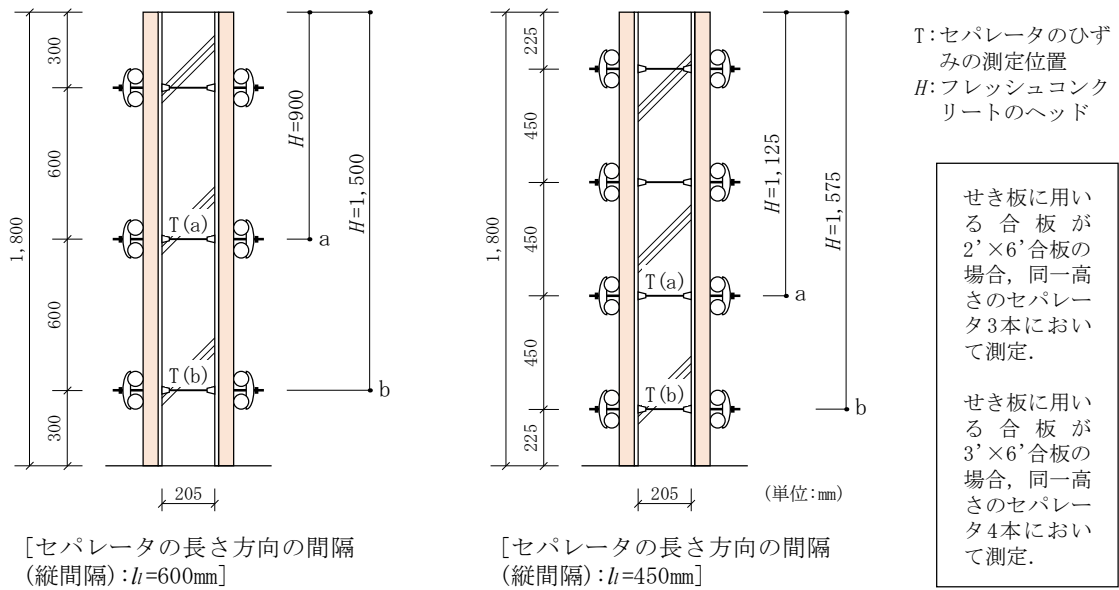


図 6. 2. 3 セパレータのひずみの測定位置

### 6.3 実験結果および考察

#### 6.3.1 コンクリートの側圧

本実験におけるコンクリートの側圧の測定位置を図6.3.1に示す。コンクリートの側圧の測定位置は、本実験におけるコンクリートの側圧の測定方法がセパレータのひずみから求める方法であるため、壁型枠の構成方法においてセパレータの長さ方向の間隔が600mmの場合、打込み高さが1,800mmの壁型枠におけるフレッシュコンクリートのヘッドが900mmおよび1,500mmの2点となり、同様に、セパレータの長さ方向の間隔が450mmの場合、フレッシュコンクリートのヘッドが1,125mmおよび1,575mmの2点となる。

フレッシュコンクリートのヘッド( $H$ )とコンクリートの側圧( $P_s$ )の関係を図6.3.2に示す。同図に示すコンクリートの側圧は、コンクリートの打込みが終了した後の測定値が安定した時の値

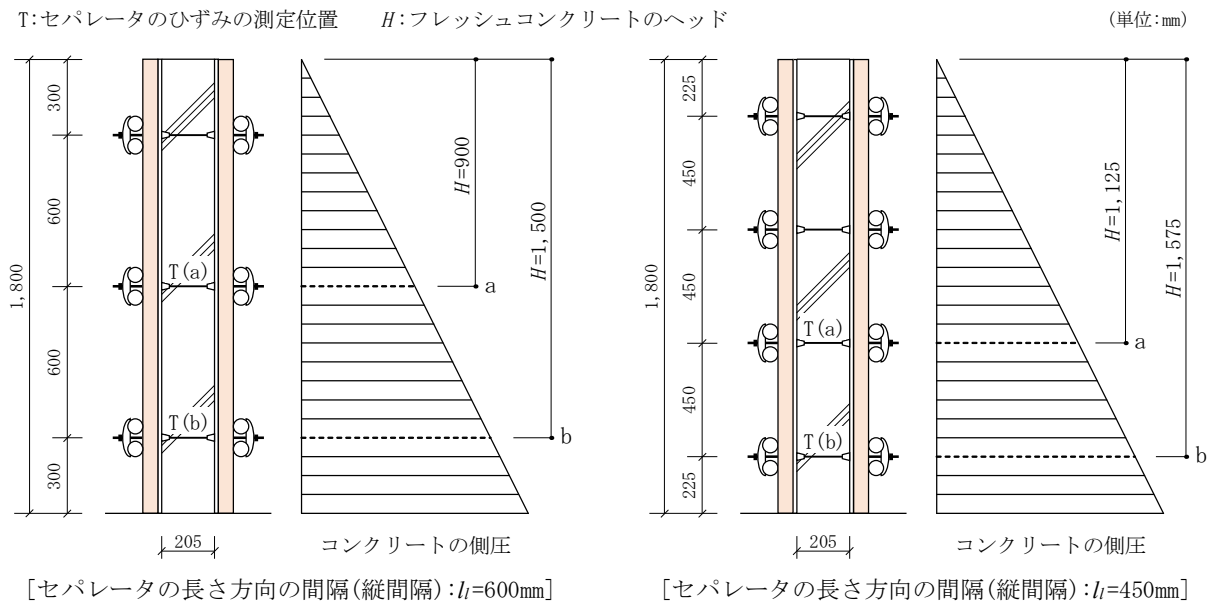


図6.3.1 本実験におけるコンクリートの側圧の測定位置

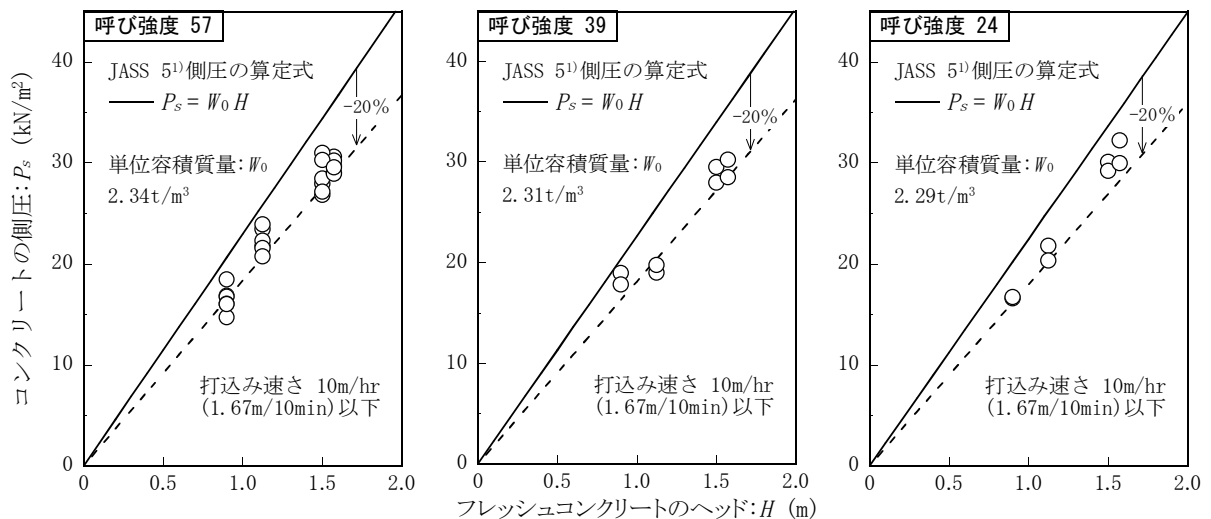


図6.3.2 フレッシュコンクリートのヘッド( $H$ )とコンクリートの側圧( $P_s$ )の関係

である。また、図中には、JASS 5<sup>1)</sup>における型枠設計用の側圧の算定式(打込み速さ20m/hrを超える場合)により求めた値、すなわち液圧としてコンクリートの側圧が作用する場合の値を併記した。コンクリート側圧は、いずれのコンクリートの種類においても、本実験の検討の範囲内でフレッシュコンクリートのヘッド(H)が1.5m程度まで概ね直線的に大きくなる傾向を示した。また、本実験の型枠に作用したコンクリートの側圧は、液圧として作用する場合の計算上の側圧と比べて小さく、概ね液圧として作用する側圧から-20%の範囲内であった。これは、コンクリートの打込み速さやせき板の摩擦、粗骨材のアーチ効果<sup>5)~7)</sup>などの影響により小さくなったものと考えられ、この他にも、コンクリートの側圧に影響する要因として、コンクリートの温度、打込み時の気温、コンクリートのコンシステンシーおよび鉄筋量などがある。なお、本実験におけるコンクリートの打込み速さの測定結果は、表6.3.1に示すとおりである。コンクリートの打込み速さは、いずれの壁型枠の構成の水準およびコンクリートの種類においても、JASS 5<sup>1)</sup>の型枠設計用の側圧における打込み速さの区分で10m/hr(1.67m/10min)以下の場合に該当するものであり、打込み速さの平均値が6.9m/hr(1.15m/10min)であった。これは、本実験のコンクリートの打込みがコンクリートバケットを用いた方法であり、建築工事において一般的に多く採用されるコンクリートポンプ工法を用いた場合に比べてコンクリートを連続的に打ち込むことができないため、打込み速さが遅かったものである。

表6.3.1 コンクリートの打込み速さの測定結果

せき板に用いる合板	型枠の構成の水準記号	コンクリートの打込み速さ(m/hr)		
		呼び強度 57	呼び強度 39	呼び強度 24
2'×6'合板 (幅600×長さ1,800mm)	2×6(A-A)	7.1 (1.19m/10min)	7.8 (1.30m/10min)	9.0 (1.50m/10min)
	2×6(A-B)	8.7 (1.45m/10min)	8.7 (1.45m/10min)	8.1 (1.35m/10min)
	2×6(B-A)	6.2 (1.03m/10min)	—	—
	2×6(B-B)	7.1 (1.18m/10min)	—	—
3'×6'合板 (幅900×長さ1,800mm)	3×6(A-C)	5.3 (0.88m/10min)	8.1 (1.35m/10min)	9.7 (1.61m/10min)
	3×6(A-E)	6.4 (1.06m/10min)	3.4 (0.57m/10min)	7.4 (1.24m/10min)
	3×6(C-C)	7.4 (1.23m/10min)	—	—
	3×6(C-E)	6.2 (1.04m/10min)	—	—
	3×6(D-D)	6.8 (1.13m/10min)	—	—
	3×6(D-F)	6.2 (1.03m/10min)	—	—
	3×6(E-D)	3.1 (0.51m/10min)	—	—
	3×6(E-F)	6.4 (1.06m/10min)	—	—
平均値, 標準偏差, 最大値, 最小値		平均値:6.9(1.15m/10min), 標準偏差:1.7(0.28m/10min), 最大値:9.7(1.61m/10min), 最小値:3.1(0.51m/10min)		

6.3.2 コンクリートの側圧による壁型枠の変形と本簡易設計方法の妥当性の確認

ここでは、コンクリートの側圧とせき板、内端太および外端太のたわみの関係について検討しており、せき板、内端太および外端太に対応するコンクリートの側圧は、図6.3.3に示すとおりである。せき板および内端太のたわみに対応するコンクリートの側圧は、図6.3.3に示すセパレータの位置aとbの中間の位置cに作用するコンクリートの側圧であり、位置aおよび位置bのセパレータのひずみから求めたコンクリートの側圧の平均値( $c = (a+b) / 2$ )とした。また、外端太のたわみに対応するコンクリートの側圧は、図6.3.3に示すセパレータの位置bに作用するコンクリートの側圧であり、位置bのセパレータのひずみから求めた値とした。以降のコンクリートの側圧とせき板、内端太および外端太のたわみの関係における図中には、壁型枠の構成方法の条件に応じた構造計算上の値として、本論文の第5章で提案した簡易設計方法<sup>8)</sup>の計算方法による値(以下、簡易設計方法の値とする)および日本建築学会「型枠の設計・施工指針」<sup>2)</sup>の計算方法による値(以下、型枠指針の値とする)を併記している。

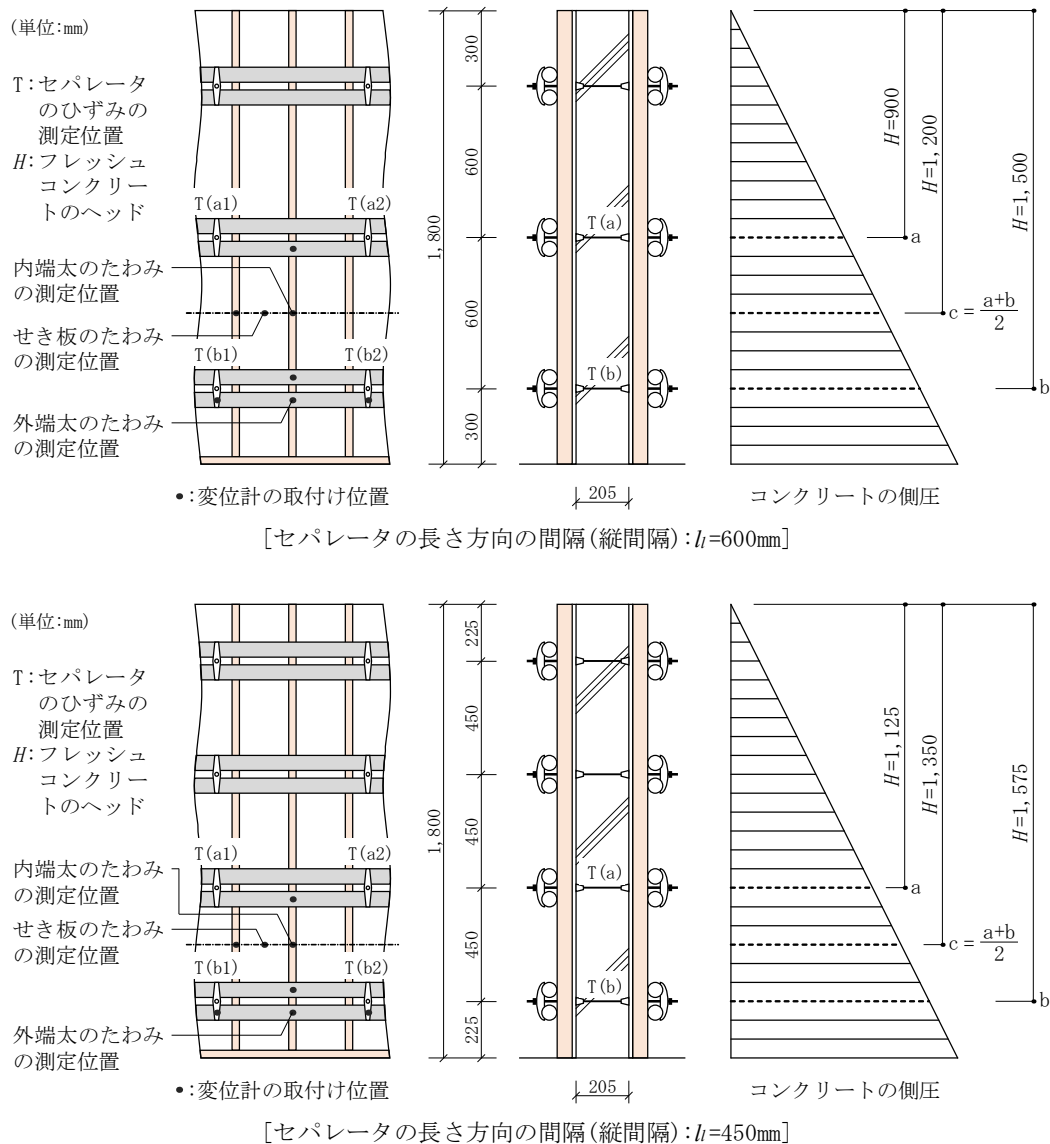


図6.3.3 せき板、内端太および外端太のたわみに対応するコンクリートの側圧

なお、コンクリートの側圧とセパレータの変形量の関係は、本実験のコンクリートの側圧が前述したようにセパレータのひずみから求めた値であるため、コンクリートの側圧に対する測定したセパレータの変形量と構造計算上のセパレータの変形量が同値となることから、図示していないことを付記する。

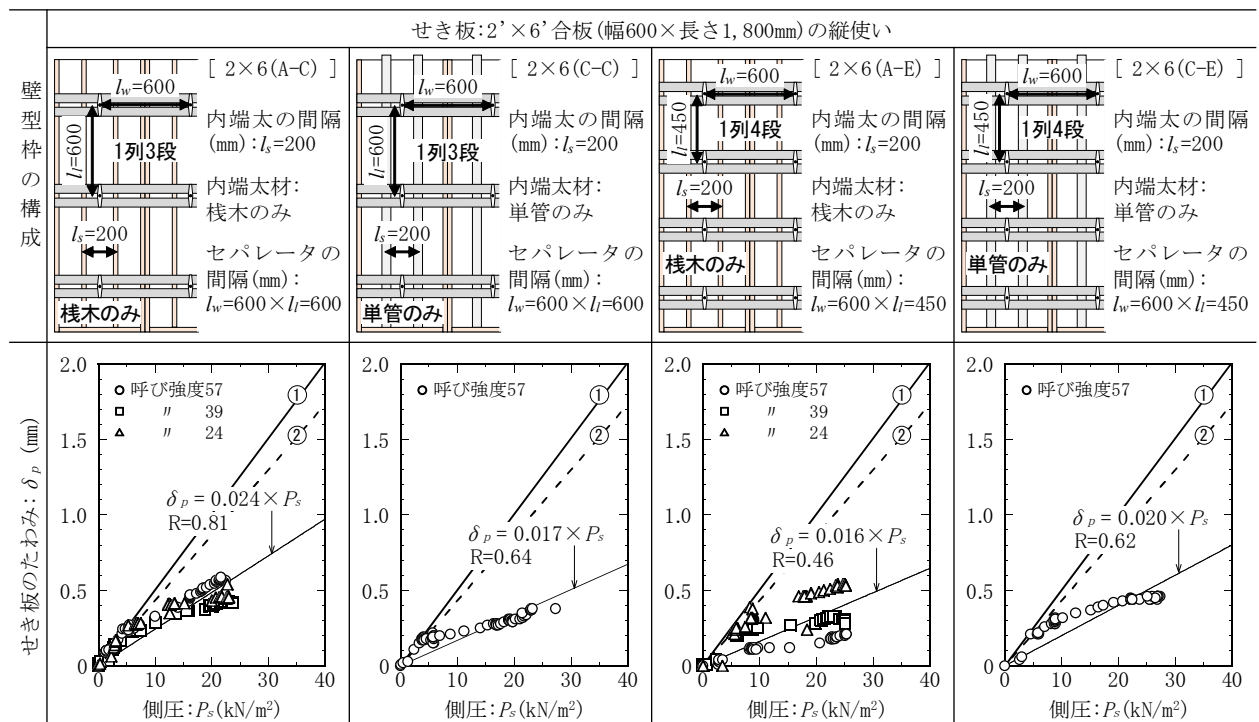
(1) せき板のたわみ

コンクリートの側圧( $P_s$ )とせき板のたわみ( $\delta_p$ )の関係を図6.3.4(1)および図6.3.4(2)に示す。せき板のたわみは、いずれの壁型枠の構成においても、コンクリートの種類によらずコンクリートの側圧に対して概ね比例的に大きくなる傾向を示した。このコンクリートの側圧( $P_s$ )とせき板のたわみ( $\delta_p$ )との関係は、測定結果に基づき1次回帰式を求めると、原点を通る式とはならないが、工学的な処理として(6.3.1)式で表せるものとして、最小二乗法により傾きを求め相関係数を算出した。

$$\delta_p = a \times P_s \quad \dots (6.3.1) \text{式}$$

ここで、 $\delta_p$ :せき板のたわみ(mm)、 $P_s$ :コンクリートの側圧(kN/m<sup>2</sup>)

コンクリートの側圧とせき板のたわみとの関係は、最小二乗法により求めた(6.3.1)式の傾きに対して相関係数の低い水準がせき板に2'×6'合板を用いた壁型枠の構成において一部見られるものの、概ね両者の関係は原点を通る1次式で密接な関係となり高い相関性を示した。この傾きは、壁型枠の構成方法における内端太材の種類およびセパレータの間隔によらず、ばらつきはあるものの内端太の間隔が狭くなると小さくなる傾向を示した。これは、せき板に内端太の間隔



$l_s$ :内端太の間隔(mm),  $l_w$ :セパレータの幅方向の間隔(mm),  $l_l$ :セパレータの長さ方向の間隔(mm)  
 実線 ———:①簡易設計方法の値(本論文の第5章で提案した簡易設計方法<sup>8)</sup>の計算方法による値)  
 破線 - - - - -:②型枠指針の値(日本建築学会「型枠の設計・施工指針」<sup>2)</sup>の計算方法による値)

図6.3.4(1) コンクリートの側圧( $P_s$ )とせき板のたわみ( $\delta_p$ )の関係【2'×6'合板】

を支点間としたコンクリートの側圧が作用するためであり、内端太の間隔が狭いほどコンクリートの側圧に対するせき板のたわみが小さくなったことによるものである。

本実験におけるせき板のたわみの測定値は、いずれの壁型枠の構成においても、図中に併記した簡易設計方法の値と比べて小さくなる傾向を示した。これは、本簡易設計方法では、構造計算

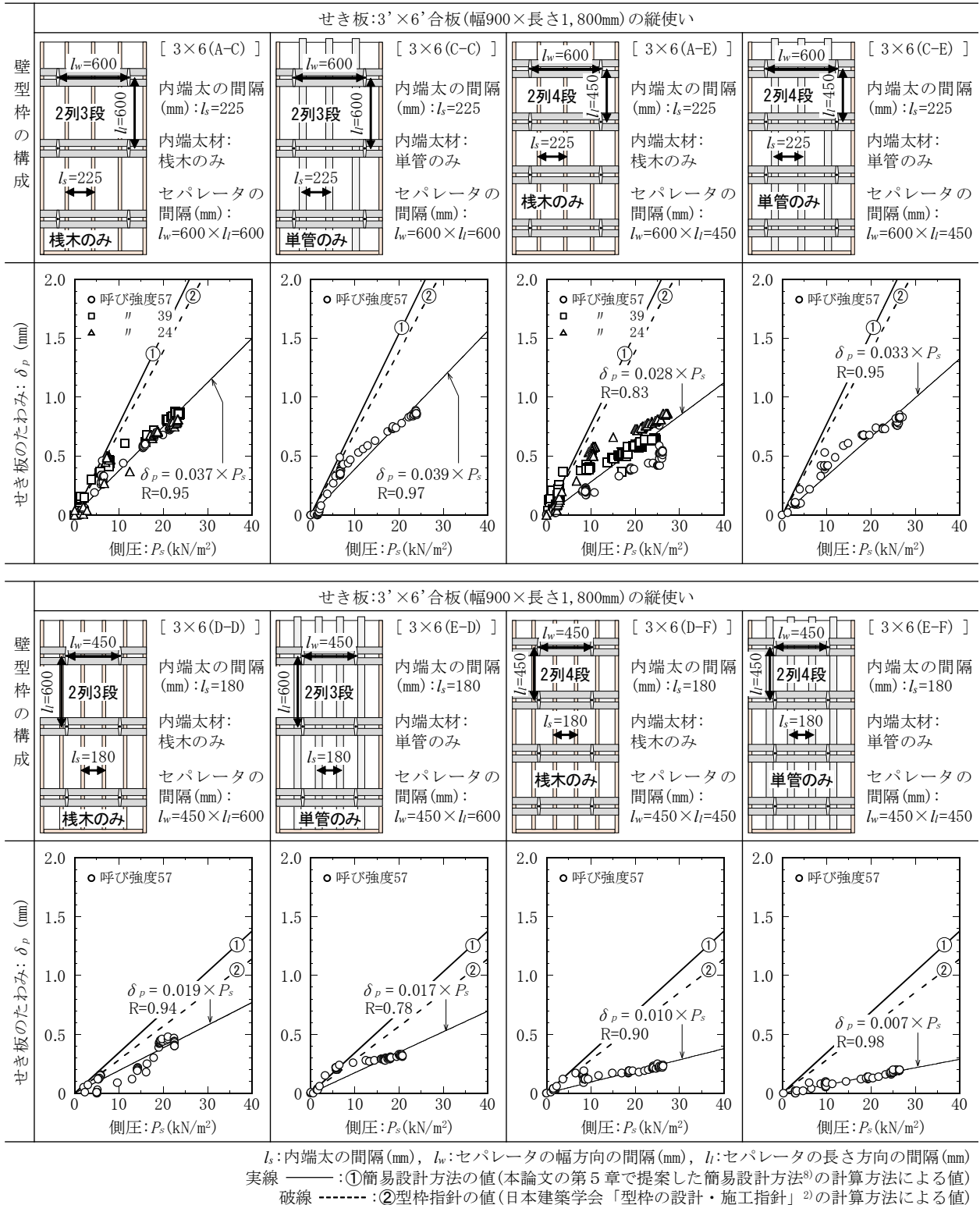


図 6. 3. 4 (2) コンクリートの側圧( $P_s$ )とせき板のたわみ( $\delta_p$ )の関係【3'×6'合板】

の際に合板の曲げヤング係数を、合板の JAS<sup>9)</sup>における曲げヤング係数の基準値 ( $2.5 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ ) から含水率の影響 ( $K_w=0.8$ ) を考慮して低減させた値を用いて型枠の設計が安全側となるように設定しているためである。これに対して、本実験に使用した合板の曲げヤング係数は、表 6. 2. 2 に示したように合板の JAS<sup>\*)</sup>における曲げヤング係数の基準値を大きく上回る値であり、また、施工時に合板が湿潤状態となるような環境下ではなかったため、簡易設計方法の値よりも大幅に小さくなったものと考えられる。以上のことから、本論文の第5章で提案した本簡易設計方法におけるコンクリートの側圧とせき板のたわみの関係は、壁型枠の設計に際して妥当性があることが確認された。

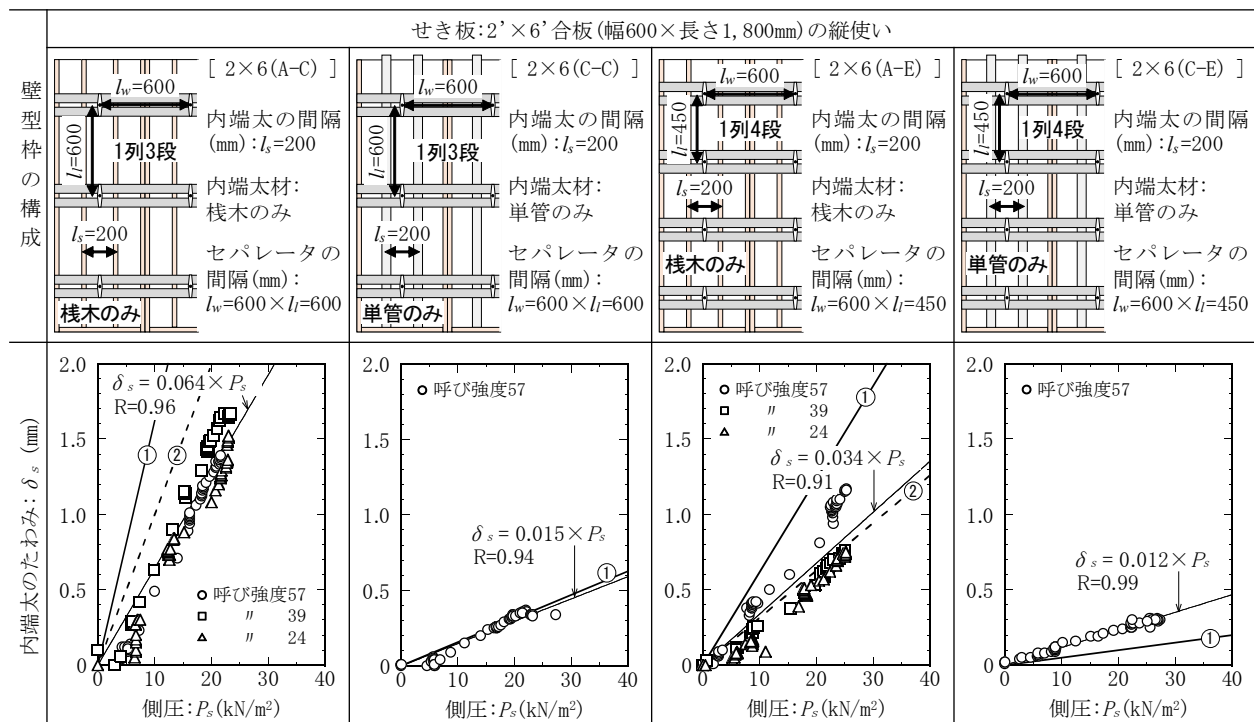
(2) 内端太のたわみ

コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) の関係を 図 6. 3. 5 (1) および 図 6. 3. 5 (2) に示す。内端太のたわみは、前述したせき板のたわみと同様に、いずれの壁型枠の構成においても、コンクリートの種類によらずコンクリートの側圧に対して概ね比例的に大きくなる傾向を示した。このコンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) との関係は、同様に (6. 3. 2) 式で表せるものとして、最小二乗法により傾きを求め相関係数を算出した。

$$\delta_s = a \times P_s \quad \dots (6. 3. 2) \text{式}$$

ここで、 $\delta_s$ : 内端太のたわみ (mm),  $P_s$ : コンクリートの側圧 (kN/m<sup>2</sup>)

コンクリートの側圧と内端太のたわみとの関係は、いずれの壁型枠の構成においても、最小二乗法により求めた (6. 3. 2) 式の傾きに対して相関係数が高く、両者の関係は原点を通る 1 次式で密



$l_s$ : 内端太の間隔 (mm),  $l_w$ : セパレータの幅方向の間隔 (mm),  $l_l$ : セパレータの長さ方向の間隔 (mm)  
 実線 ———: ①簡易設計方法の値 (本論文の第5章で提案した簡易設計方法<sup>8)</sup>の計算方法による値)  
 破線 - - - - -: ②型枠指針の値 (日本建築学会「型枠の設計・施工指針」<sup>2)</sup>の計算方法による値)

図 6. 3. 5 (1) コンクリートの側圧 ( $P_s$ ) と内端太のたわみ ( $\delta_s$ ) の関係【2' x 6' 合板】



接な関係となることが分かる。この傾きは、内端太の間隔およびセパレータの間隔が同一の壁型枠の構成において、内端太材が栈木のみ比べて単管のみの方が大幅に小さくなる傾向を示しており、これは、材料の曲げヤング係数と断面2次モーメントの積である曲げ剛性( $EI$ )の違いによるものである。また、内端太の構成(内端太の間隔と内端太材の種類)が同一の壁型枠の構成にお

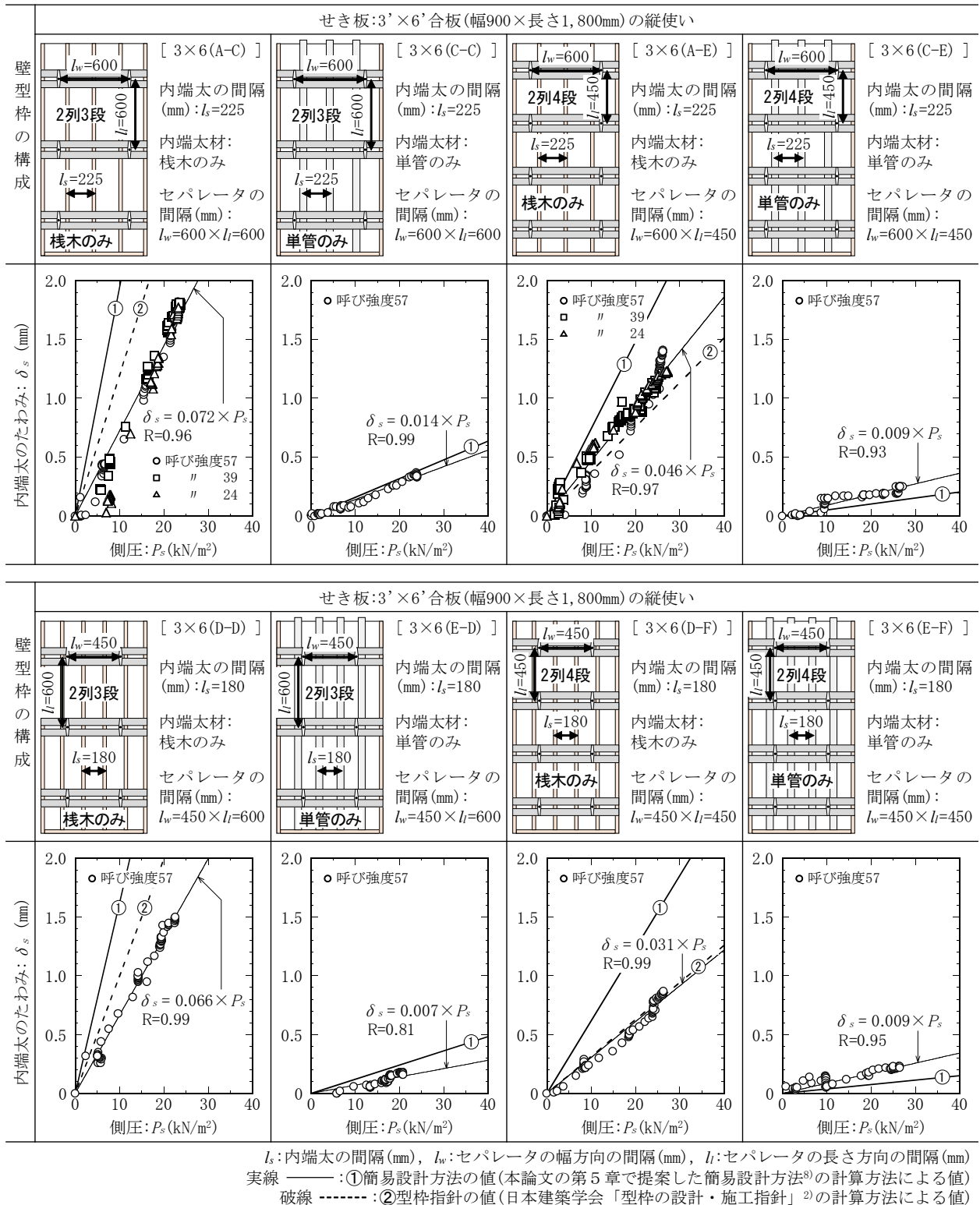


図 6.3.5 (2) コンクリートの側圧( $P_s$ )と内端太のたわみ( $\delta_s$ )の関係【3'×6'合板】



いて、一部の水準を除きセパレータの長さ方向の間隔( $l_i$ )が600mmに比べて、セパレータの本数が1段多いセパレータの間隔( $l_i$ )が450mmの方が傾きは小さくなる傾向を示した。さらに、せき板に3'×6'合板を用いた壁型枠で内端太材の種類およびセパレータの長さ方向の間隔が同一の壁型枠の構成において、内端太の間隔( $l_s$ )が225mmに比べて、内端太材の本数が1本多い内端太の間隔が180mmの方が傾きは小さくなる傾向を示した。いずれの傾向も、内端太材の種類が桧木のみで壁型枠において顕著であった。これらは、内端太にセパレータの長さ方向の間隔( $l_i$ )を支点間としたコンクリートの側圧が作用するためであり、セパレータの長さ方向の間隔が狭いほど、また、内端太の間隔が狭く内端太材の本数が多いほど内端太材1本に作用する荷重が減少するため、コンクリートの側圧に対する内端太のたわみが小さくなったものである。これらのことから、内端太のたわみを小さくするためには、内端太材に単管(丸パイプ)などの鋼管を用いて型枠の剛性を高めるか、あるいは内端太の間隔およびセパレータの長さ方向の間隔を小さくなるように型枠を構成し、内端太材1本に作用する荷重を小さくする必要がある。特に、セパレータは再利用ができない消費材料である一方、型枠の構成材料の中で安価なものであるため、型枠の強度と剛性の面だけでなく、施工時の安全性の面においてもセパレータの本数を増やし、セパレータ1本に作用する荷重が小さくなるように型枠を構成することが有効な手段の一つである。

本実験における内端太のたわみの測定値は、壁型枠の構成における内端太材が桧木の場合、図中に併記した簡易設計方法の値と比べて小さくなる傾向を示した。これは、前述した合板と同様に、本簡易設計方法と本実験に用いた桧木の曲げヤング係数の違いによるものと考えられる。一方で、内端太材が単管の場合、内端太のたわみの測定値は、簡易設計方法の値と比べてわずかに大きくなる水準が見られるものの同等程度であった。この点については、内端太材を単管のみとした構成の壁型枠は、内端太材が桧木の場合の壁型枠に比べて内端太のたわみが極めて小さいことと、型枠の設計に際しての構造計算において、内端太に単管を用いた場合、内端太のたわみおよび単管の応力度で型枠の構成が決まることは少ないため、本実験の測定値は許容範囲内のばらつきであると考えられる。以上のことから、本論文の第5章で提案した本簡易設計方法におけるコンクリートの側圧と内端太のたわみの関係は、壁型枠の設計に際して妥当性があることが確認された。

### (3) 外端太のたわみ

コンクリートの側圧( $P_s$ )と外端太のたわみ( $\delta_w$ )の関係を図6.3.6(1)および図6.3.6(2)に示す。外端太のたわみは、前述したせき板および内端太のたわみと同様に、いずれの壁型枠の構成においても、コンクリートの種類によらずコンクリートの側圧に対して概ね比例的に大きくなる傾向を示した。このコンクリートの側圧( $P_s$ )と外端太のたわみ( $\delta_w$ )との関係は、同様に(6.3.3)式で表せるものとして、最小二乗法により傾きを求め相関係数を算出した。

$$\delta_w = a \times P_s \quad \dots (6.3.3) \text{式}$$

ここで、 $\delta_w$ :外端太のたわみ(mm)、 $P_s$ :コンクリートの側圧(kN/m<sup>2</sup>)

コンクリートの側圧と外端太のたわみとの関係は、最小二乗法により求めた(6.3.3)式の傾きに対して相関係数の低い水準が一部見られるものの、概ね両者の関係は原点を通る1次式で密接

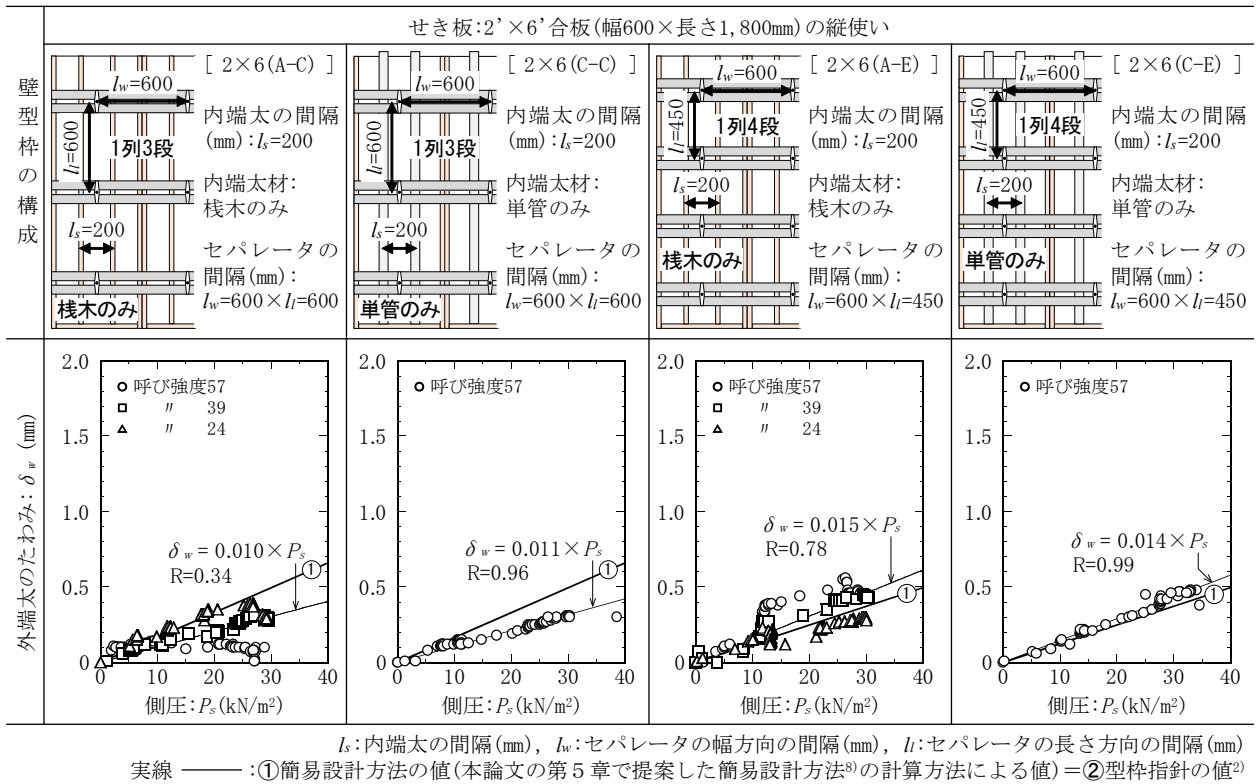


図 6.3.6(1) コンクリートの側圧( $P_s$ )と外端太のたわみ( $\delta_w$ )の関係【2'×6'合板】

な関係となり高い相関性を示した。この傾きは、壁型枠の構成方法におけるせき板に用いる合板の寸法、内端太の構成およびセパレータの長さ方向の間隔によらず、セパレータの幅方向の間隔( $l_w$ )が600mmに比べて、セパレータの幅方向の間隔( $l_w$ )が450mmの方が小さくなる傾向を示した。これは、外端太にセパレータ(締付け金物)の幅方向の間隔を支点間としたコンクリートの側圧がせき板および内端太を介して作用するためであり、セパレータの幅方向の間隔が狭いほど、コンクリートの側圧に対する外端太のたわみが小さくなったものである。一方で、せき板に2'×6'合板または3'×6'合板を用いた壁型枠で内端太の構成およびセパレータの幅方向の間隔が同一の壁型枠の構成において、セパレータの長さ方向の間隔が600mmと450mmでは傾きに明確な差異が見られなかった。これは、型枠の構成部材の中でも、単管(丸パイプ)などの鋼管を2丁使いとして用いる外端太は、変形量が比較的小さい部材であり、コンクリートの打込みに伴う衝撃などの外力により型枠自体の移動や倒れなど多少生じたことが影響し、本実験の検討の範囲内では明確な傾向を示さなかったものと考えられる。

本実験における外端太のたわみの測定値は、内端太材が単管のみの壁型枠における内端太のたわみと同様に、図中に併記した簡易設計方法の値と比べて同等程度あるいはわずかに大きくなる傾向が見られた。この点については、前述したように外端太は、一般的に単管(丸パイプ)などの鋼管を2丁使いとして構成するため、型枠の構成部材において変形量が小さい部材であり、型枠の設計に際しての構造計算において、外端太に用いる単管のたわみおよび応力度で型枠の構成が決まることは少ないため、本実験の測定は許容範囲内のばらつきと捉えても問題ないと考えられる。以上のことから、本論文の第5章で提案した本簡易設計方法におけるコンクリートの側圧と

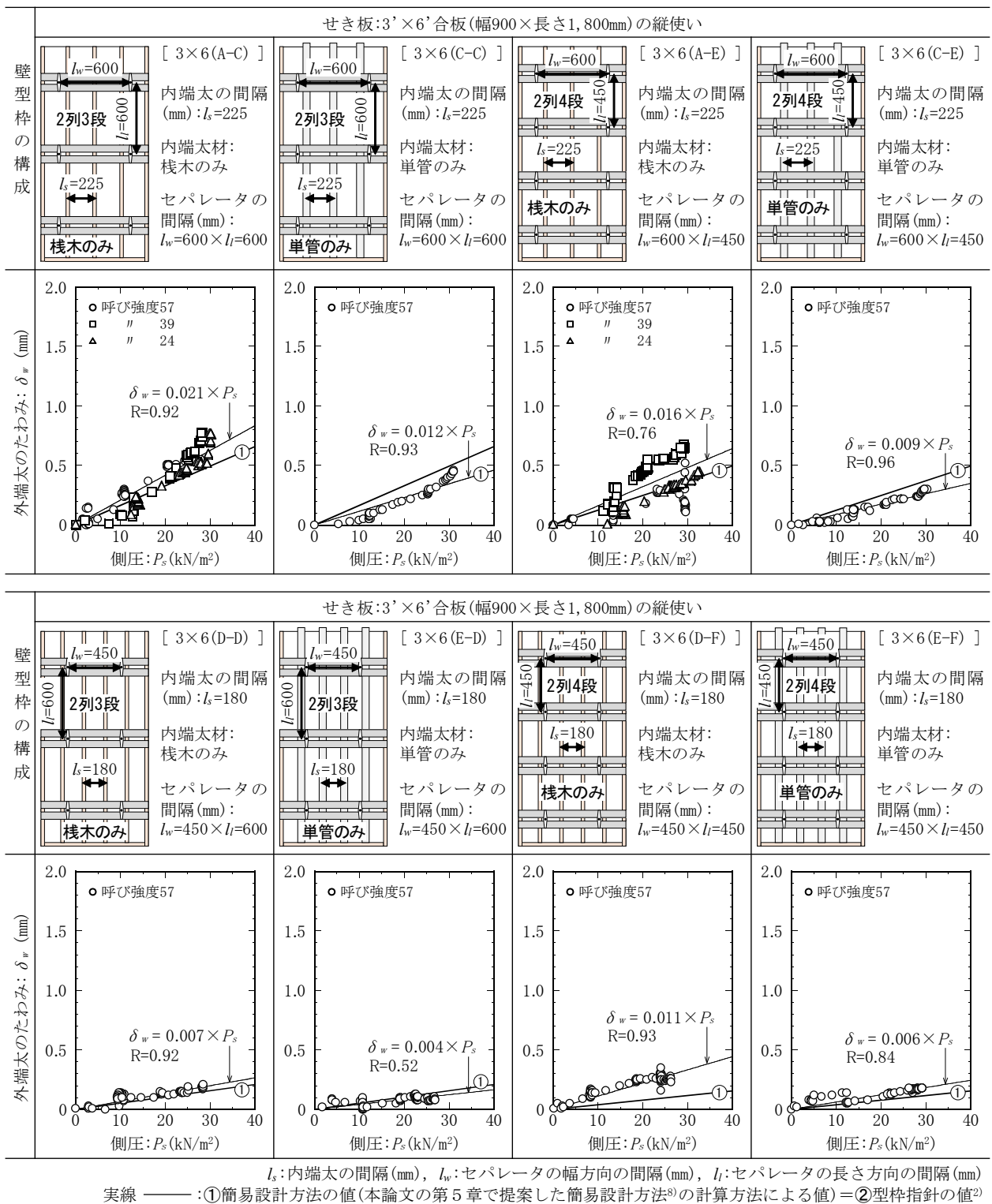


図 6.3.6(2) コンクリートの側圧( $P_s$ )と外端太のたわみ( $\delta_w$ )の関係【3'×6'合板】

外端太のたわみの関係は、壁型枠の設計に際して妥当性があることが確認された。

#### (4) 本簡易設計方法の有用性

本実験の結果に基づくコンクリートの側圧( $P_s$ )とせき板のたわみ( $\delta_p$ ), 内端太のたわみ( $\delta_s$ )および外端太のたわみ( $\delta_w$ )との関係式を表 6.3.2, 表 6.3.4 および表 6.3.5 にそれぞれ示す。前項までに述べたように、本実験の検討の範囲内において、コンクリートの側圧( $P_s$ )による壁型枠を

構成するせき板のたわみ( $\delta_p$ )、内端太のたわみ( $\delta_s$ )および外端太のたわみ( $\delta_w$ )は、本論文の第5章で提案した「内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」に示される各構成部材それぞれのたわみに対して、ばらつきがあるものの同等程度から安全側の小さくなる傾向を示した。以上のことから、本論文の第5章で提案した簡易設計方法は、在来型枠工法における合板を用いた壁型枠の設計方法として妥当性があり、現在の型枠工事に適用することが可能である。

表 6.3.2 コンクリートの側圧( $P_s$ )とせき板のたわみ( $\delta_p$ )の関係式

壁型枠の構成水準	せき板	セパレータの間隔(mm)		内端太の間隔(mm)	内端太材の種類	内端太の構成	「 $\delta_p = a \times P_s$ 」式の傾きaの値		
							測定結果	簡易設計方法	
2×6(A-A)	2'×6'合板	$l_w=600$	$l_i=600$	$l_s=200$	栈木のみ		0.024	平均値 0.019	0.050
2×6(B-A)					単管のみ		0.017		
2×6(A-B)			$l_i=450$		栈木のみ		0.016		
2×6(B-B)					単管のみ		0.020		
3×6(A-C)	3'×6'合板	$l_w=600$	$l_i=600$	$l_s=225$	栈木のみ		0.037	平均値 0.034	0.077
3×6(C-C)					単管のみ		0.039		
3×6(A-E)			$l_i=450$		栈木のみ		0.028		
3×6(C-E)					単管のみ		0.033		
3×6(D-D)		$l_w=450$	$l_i=600$	$l_s=180$	栈木のみ		0.019	平均値 0.013	0.034
3×6(E-D)					単管のみ		0.017		
3×6(D-F)			$l_i=450$		栈木のみ		0.010		
3×6(E-F)					単管のみ		0.007		

$l_s$ :内端太の間隔(mm),  $l_w$ :セパレータの幅方向の間隔(mm),  $l_i$ :セパレータの長さ方向の間隔(mm)

表 6.3.3 コンクリートの側圧( $P_s$ )と内端太のたわみ( $\delta_s$ )の関係式

壁型枠の構成水準	せき板	セパレータの間隔(mm)		内端太の間隔(mm)	内端太材の種類	内端太の構成	「 $\delta_s = a \times P_s$ 」式の傾きaの値	
							測定結果	簡易設計方法
2×6(A-A)	2'×6'合板	$l_w=600$	$l_i=600$	$l_s=200$	栈木のみ		0.064	0.160
2×6(B-A)					単管のみ		0.015	0.016
2×6(A-B)			$l_i=450$		栈木のみ		0.034	0.061
2×6(B-B)					単管のみ		0.012	0.005
3×6(A-C)	3'×6'合板	$l_w=600$	$l_i=600$	$l_s=225$	栈木のみ		0.071	0.192
3×6(C-C)					単管のみ		0.014	0.016
3×6(A-E)			$l_i=450$		栈木のみ		0.046	0.073
3×6(C-E)					単管のみ		0.009	0.005
3×6(D-D)		$l_w=450$	$l_i=600$	$l_s=180$	栈木のみ		0.066	0.160
3×6(E-D)					単管のみ		0.007	0.012
3×6(D-F)			$l_i=450$		栈木のみ		0.031	0.061
3×6(E-F)					単管のみ		0.009	0.004

$l_s$ :内端太の間隔(mm),  $l_w$ :セパレータの幅方向の間隔(mm),  $l_i$ :セパレータの長さ方向の間隔(mm)

表6.3.4 コンクリートの側圧( $P_s$ )と外端太のたわみ( $\delta_w$ )の関係式

壁型枠の構成水準	せき板	セパレータの間隔(mm)		内端太の間隔(mm)	内端太材の種類	内端太の構成	「 $\delta_w = a \times P_s$ 」式の傾きaの値		
							測定結果	簡易設計方法	
2×6(A-A)	2'×6'合板	$l_w=600$	$l_l=600$	$l_s=200$	栈木のみ		0.010	平均値 0.14	0.016
2×6(B-A)					単管のみ		0.011		
3×6(A-C)	3'×6'合板			$l_s=225$	栈木のみ		0.021		
3×6(C-C)					単管のみ		0.012		
2×6(A-B)	2'×6'合板	$l_w=600$	$l_l=450$	$l_s=200$	栈木のみ		0.015	平均値 0.014	0.012
2×6(B-B)					単管のみ		0.014		
3×6(A-E)	3'×6'合板			$l_s=225$	栈木のみ		0.016		
3×6(C-E)					単管のみ		0.009		
3×6(D-D)	3'×6'合板	$l_w=450$	$l_l=600$	$l_s=180$	栈木のみ		0.007	平均値 0.006	0.005
3×6(E-D)					単管のみ		0.004		
3×6(D-F)		$l_l=450$	$l_s=180$		栈木のみ		0.011	平均値 0.009	0.004
3×6(E-F)					単管のみ		0.006		

$l_s$ :内端太の間隔(mm),  $l_w$ :セパレータの幅方向の間隔(mm),  $l_l$ :セパレータの長さ方向の間隔(mm)

### 6.3.3 壁型枠の剛性とコンクリートの打込みの条件の関係

型枠の剛性とコンクリートの打込みの条件の関係を表6.3.5に示す。ここでは、コンクリートの打込み高さが3mを超え4m以下の壁型枠および打込み高さが3m以下の壁型枠におけるコンクリートの打込みの条件を、コンクリートを一層で打ち上げる際を打込み速さが20m/hrを超える場合、層分けして回し打ちする際を打込み速さが10m/hrを超え20m/hr以下の場合および10m/hr以下の場合とそれぞれ仮定して、本実験で対象とした壁型枠の構成における型枠の剛性とコンクリートの打込みの条件の関係について検討した。ここで、コンクリートの回し打ちとは、コンクリートを一定の打込み高さで打ち止め、層分けして打込みを行うことであり、見掛けの打込み速さを小さくしコンクリートの側圧を緩和することができる。この検討に用いたコンクリートの側圧は、JASS 5<sup>1)</sup>における型枠設計用の側圧の算定式により、コンクリートの単位容積質量を $2.4\text{t/m}^3$ と仮定して求めた。また、型枠の剛性は、前項の表6.3.2、表6.3.3および表6.3.4に示した本実験の結果に基づくコンクリートの側圧とせき板のたわみ、内端太のたわみおよび外端太のたわみの関係式により算出し、型枠を構成する各部材のたわみまたは変形量の許容値を2mm以下、これらを合計した型枠の総変形量の許容値を5mm以下としている。なお、型枠の強度に関して、型枠の構成材料の許容応力度または許容引張荷重は、せき板に用いる合板が $7.8\text{N/mm}^2$ 、内端太に用いる栈木が $10.3\text{N/mm}^2$ 、内端太および外端太に用いる単管が $156.9\text{N/mm}^2$ 、締付け金物に用いるセパレータが14kNまたは21kNとしている。

コンクリートの打込み高さが3.0mを超え4.0m以下において、本実験で対象とした壁型枠の構成は、コンクリートの打込み速さを20m/hr以上とした場合、すべての構成部材の変形量および応力度が許容値を満足するものが無く、各構成部材の変形量が許容変形量を満足していても、応力度が構成材料ごとの許容応力度を満足できない場合が多く見られた。これより、コンクリートを1層で打ち上げる場合やコンクリートの打込み速さが20m/hr以上となる打込み条件の場合は、本実験で対象とした壁型枠の構成よりも、内端太の間隔やセパレータの間隔などの構成部材の支持間隔を狭くすることで型枠の強度と剛性を高める必要がある。一方で、内端太の間隔が200mm以下で内端太材を単管のみとした壁型枠の構成は、コンクリートの打込み速さを10m/hrを超え20m/hr以下の場合または10m/hr以下の場合となるコンクリートの打込み条件とすることで、すべての構成部材が変形量および応力度の許容値を満足した。また、コンクリートの打込み高さが3.0m以下において、内端太材を栈木のみとした壁型枠の構成は、コンクリートの打込み速さによらず、すべての構成部材の変形量および応力度が許容値を満足できないものの、内端太材を単管のみの壁型枠の構成に変更し、コンクリートの打込み速さを調節することで、すべての構成部材が変形量および応力度の許容値を満足することができる。ただし、コンクリートの側圧を緩和するために回し打ちを行う場合、コールドジョイントを生じないように打重ね時間に注意し、かつ適切な締固めを行う必要がある。これらのことから、内端太材を栈木のみとした壁型枠の構成は、型枠の変形量が許容値を満足していても、内端太に用いる栈木の応力度が許容応力度を満足できない危険側の施工となるため、内端太材を単管のみあるいは栈木+単管に変更するか、もしくは内端太の間隔を狭めることで、型枠の強度と剛性を高める必要がある。

表 6.3.5 型枠の剛性とコンクリートの打込みの条件の関係

壁型枠の構成		型枠の構成 部材・ 材料の変 形量と応 力度の検 討項目	打込み高さ、打込み方法および打込み速さ						
			3.0mを超え4.0m以下の壁型枠			3.0m以下の壁型枠			
			1層打ち	回し打ち		1層打ち	回し打ち		
せき板	セパレータ の割付け	内端太の構成	20m/hrを超 える場合	10m/hrを超 え20m/hr以 下の場合	10m/hr以下 の場合	20m/hrを超 える場合	10m/hrを超 え20m/hr以 下の場合	10m/hr以下 の場合	
			2' x 6' 合板 (幅600 x 長さ1,800mm) (縦使い)	 $l_w=600 \times l_l=600$	 内端太の間隔: $l_s=200$ mm 内端太材: 栈木のみ	せき板	[○] (×)	[○] (×)	[○] (○)
内端太	[×] (×)	[×] (×)				[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)
外端太	[○] (×)	[○] (○)				[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
セパレータ	[○] (×)	[○] (×)			[○] (●)	[○] (×)	[○] (●)	[○] (●)	
$\Sigma \delta$	(×)	(×)			(○)	(×)	(×)	(○)	
$\Delta$	(○)	(○)			(○)	(○)	(○)	(○)	
 $l_w=600 \times l_l=450$	 内端太の間隔: $l_s=200$ mm 内端太材: 単管のみ	せき板		[○] (×)	[○] (×)	[○] (○)	[○] (×)	[○] (○)	[○] (○)
		内端太		[○] (×)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
		外端太		[○] (×)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
	セパレータ	[○] (×)		[○] (×)	[○] (●)	[○] (×)	[○] (●)	[○] (●)	
	$\Sigma \delta$	(○)		(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	
	$\Delta$	(○)		(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	
3' x 6' 合板 (幅900 x 長さ1,800mm) (縦使い)	 $l_w=600 \times l_l=600$	 内端太の間隔: $l_s=225$ mm 内端太材: 栈木のみ	せき板	[×] (×)	[×] (×)	[○] (×)	[×] (×)	[○] (×)	[○] (○)
			内端太	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)
			外端太	[○] (×)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
		セパレータ	[○] (×)	[○] (●)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (●)	[○] (●)	
		$\Sigma \delta$	(×)	(×)	(○)	(×)	(×)	(○)	
		$\Delta$	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	
	 $l_w=600 \times l_l=450$	 内端太の間隔: $l_s=225$ mm 内端太材: 単管のみ	せき板	[×] (×)	[×] (×)	[○] (×)	[×] (×)	[○] (×)	[○] (○)
			内端太	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)
			外端太	[○] (×)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
		セパレータ	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	
		$\Sigma \delta$	(×)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	
		$\Delta$	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	
	 $l_w=450 \times l_l=600$	 内端太の間隔: $l_s=180$ mm 内端太材: 栈木のみ	せき板	[○] (×)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
			内端太	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)	[×] (×)
			外端太	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
		セパレータ	[○] (×)	[○] (●)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (●)	[○] (○)	
		$\Sigma \delta$	(×)	(×)	(○)	(×)	(○)	(○)	
		$\Delta$	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	
	 $l_w=450 \times l_l=450$	 内端太の間隔: $l_s=180$ mm 内端太材: 単管のみ	せき板	[○] (×)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
			内端太	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
			外端太	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)
		セパレータ	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	[○] (○)	
		$\Sigma \delta$	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	
		$\Delta$	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	

[ ]内は、構成部材のたわみまたは変形量の許容変形量(2mm以下)に対する合否 ○:合格, ×:不合格  
 ( )内は、構成部材の応力度または荷重の各構成材料ごとの許容応力度また許容荷重に対する合否 ○:合格, ×:不合格, ●:許容引張力が21kNのセパレータの場合は合格(許容引張力が14kNのセパレータの場合は不合格)  
 ■墨塗り部分:構成部材のいずれかが許容変形量および許容応力度などが満足できない型枠の構成とコンクリートの打込みの条件  
 $l_w$ :セパレータの幅方向の間隔(mm),  $l_l$ :セパレータの長さ方向の間隔(mm),  $l_s$ :内端太の間隔(mm),  $\Sigma \delta$ :型枠の総変形量(mm)

#### 6.4 まとめ

本章では、内端太の構成およびセパレータの割付けが異なる計12水準の壁型枠を対象として、コンクリートの側圧による壁型枠の変形について実験的に検討を行った。また、本論文の第5章で提案した「内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」の有用性について検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリートの側圧は、フレッシュコンクリートのヘッドが1.5m程度まで直線的に大きくなり、コンクリートの打込み速さが10m/hr以下の場合、本実験の検討の範囲内において液圧として作用するコンクリートの側圧から-20%程度の範囲内となる。
- (2) コンクリートの側圧による壁型枠のせき板、内端太および外端太のたわみは、多少のばらつきはあるものの、コンクリートの側圧に対して比例的に大きくなる。
- (3) コンクリートの側圧に対するせき板のたわみ、内端太のたわみおよび外端太のたわみは、本簡易設計方法における構造計算上の値に対して、ばらつきがあるものの同程度から安全側の小さな値となる。このことから、本論文の第5章で提案した「内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」は、在来型枠工法における合板を用いた壁型枠の設計方法としての有用性が得られた。



## 【第6章の参考文献】

- 1) 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2015, 2015.7
- 2) 日本建築学会:型枠の設計・施工指針, 2011.2
- 3) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典:型枠工事業者を対象とした在来型枠工法における型枠の構成材料とその構成方法に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第23巻, 第53号, pp.19-24, 2017.2
- 4) JIS A 5308:2014, レディーミクストコンクリート
- 5) 近藤基樹, 山根昭, 麓 勉, 奥野 亨:コンクリートの側圧に関する研究(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.159-162, 1970.9
- 6) 高橋久雄, 小松 晃, 西川勝久, 青木一郎:コンクリートの側圧に関する研究(第1報~第3報), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.163-168, 1970.9
- 7) 矢野保雄:ポンプ打ちコンクリートの側圧測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.131-132, 1969.8
- 8) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 梶田佳寛:在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案, 第81巻, 第727号, pp.1391-1401, 2016.9
- 9) 合板の日本農林規格(平成26年2月25日農林水産省告示第303号)

## 第 7 章

### 結 論

## 第7章 結論

本論文は、合板を用いた在来型枠工法における壁型枠を対象として、コンクリートの側圧による型枠の変形についての一連の調査結果および実験結果を取りまとめたものである。本章では、各章で得られた成果を総括して示すとともに、今後の課題と展望について述べている。

### 7.1 各章の要約

第1章「序論」では、研究の背景として型枠の基本的な性能である強度と剛性についての実態に関する資料が乏しく、また、コンクリートの側圧による型枠の変形についての検討例が不足していることを述べ、本研究の目的、対象とした壁型枠の構成材料とその構成方法および本論文の構成を示した。

第2章「合板を用いた在来型枠工法の実態に関するアンケート調査」では、想定する型枠工事を31mを超えない10階建て程度の一般的な鉄筋コンクリート造集合住宅として、この型枠工事に用いる在来型枠工法における壁型枠を主な対象に、型枠の構成材料、型枠の強度と剛性の構造計算および壁型枠の構成方法などについてアンケート調査を行った。その結果、得られた知見を以下に示す。

#### (1) 型枠工事の契約形態および施工計画

- 1) 型枠工事の契約形態は、材料費と労務費の一式請負(材工共)での契約がほとんどである。
- 2) 型枠工法および型枠材料を選定する際の施工計画の立案には、型枠工事業者が関与するケースが多く、一般的なRC造集合住宅における型枠工事では在来型枠工法が多く採用されている。

#### (2) 在来型枠工法における型枠の構成材料

- 1) せき板に用いる合板は、施工現場における作業性を考慮して、厚さ12mmの2'×6'合板(幅600×長さ1,800mm)および3'×6'合板(幅900×長さ1,800mm)が選定されることが大半である。また、使用した合板の保管状態は、屋外において野ざらしの状態であることが多い。
- 2) 合板の転用回数は、施工部位および仕上げの種類によらず、無塗装合板よりも塗装合板の方が多い。また、合板の転用による不具合は、型枠工事業者の大半が経験しており、コンクリートの仕上がりに関する事項が多く発生している。
- 3) 内端太または外端太に用いる栈木および鋼管の形状と寸法は、関東地方において栈木の断面寸法が48×24mmで、鋼管が丸パイプの使用が多く、近畿地方において栈木の断面寸法が60×30mmで、鋼管が角パイプの使用が多いことが確認された。また、栈木の樹種は、ベイマツおよびアカマツが多く使用されている。
- 4) セパレータの種類は、W5/16(φ7mm)が多く使用されている。また、締付け金物の締付け方は、関東地方においてねじ式の使用が多く、近畿地方においてクサビ式の使用が多い。

(3) 在来型枠工法における柱・壁型枠の強度と剛性

- 1) 型枠の構造計算は、型枠工事業者が関与している場合が多く、型枠に作用するコンクリートの側圧が過大となる可能性が高い場合に必要に応じて行っている。
- 2) 型枠の崩壊や破損は、半数以上の型枠工事業者が1年間に1回以上の頻度で経験している。

(4) 在来型枠工法における壁型枠の構成

- 1) 内端太の構成およびセパレータの割付けは、型枠工事業者に委ねられる場合がほとんどであり、施工現場における技能者の経験則に基づき施工条件に応じて選定されることが多い。
- 2) 内端太の構成は、縦使いとした栈木付きパネルの場合、2' × 6' 合板において内端太の間隔を200mmとし、3' × 6' 合板において内端太の間隔を225mmまたは180mmとすることが多く、この内端太材は、栈木のみまたは鋼管のみとする場合が多い。
- 3) セパレータの割付けは、縦使いとした栈木付きパネルの場合、2' × 6' 合板においてセパレータの本数が3本の「横600 × 縦600(A)」または4本の「横600 × 縦450(B)」とし、3' × 6' 合板においてセパレータの本数が6本の「横450 × 縦600(J)」または8本の「横450 × 縦450(L)」とすることが多い。
- 4) 壁型枠の内端太の構成やセパレータの割付けによる不具合は、半数程度の型枠工事業者が経験しており、型枠のはらみやコンクリートの仕上がり精度の低下が多く発生している。

第3章「支点間距離が型枠の構成材料における合板および栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響」では、せき板に用いる合板および内端太に用いる栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響として、型枠の構成方法を考慮した支点間距離に加え、型枠工事の施工上避けられない含水率の変化について実験的に検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

(1) 内端太の間隔を考慮した支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響

- 1) 湿潤状態における合板の曲げヤング係数( $pEb(w)$ )は、合板の種類、繊維方向に対する荷重方向および支点間距離にかかわらず、気乾状態における合板の曲げヤング係数( $pEb(A)$ )に比べ平均値として約10%小さくなる傾向が確認された。
- 2) 合板の曲げヤング係数は、合板の種類と水準および繊維方向に対する荷重方向にかかわらず、木質構造に用いられる普通構造材などの木材と同様に支点間距離が短くなると小さくなる傾向を示した。
- 3) 合板の種類と水準および繊維方向に対する荷重方向ごとに支点間距離を変化させた $pEb(s)$ をコンクリート型枠用合板の試験方法により求めた $pEb(t)$ で除した値( $pEb(s)/pEb(t)$ )は、本実験の検討範囲において、合板の種類および水分条件による相違が見られなかった。
- 4)  $pEb(s)/pEb(t)$ は、合板の種類と厚さ、水分条件および繊維方向に対する荷重方向にかかわら

ず、 $l/h$ が21以上の場合、概ね1.0となり、支点間距離が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は小さいものと考えられる。しかし、 ${}_pE_{b(s)}/{}_pE_{b(f)}$ は、 $l/h$ が21未満の場合、 $l/h$ が小さくなるほど、せん断たわみの比率が大きくなることで小さくなる傾向を示した。

(2) セパレータの間隔を考慮した支点間距離が栈木の曲げヤング係数に及ぼす影響

- 1) 湿潤状態における栈木の曲げヤング係数( ${}_tE_{b(w)}$ )は、いずれの樹種においても、支点間距離にかかわらず、気乾状態における栈木の曲げヤング係数に比べ平均値として約10%小さくなる傾向が確認された。
- 2) 栈木の曲げヤング係数は、栈木の樹種と水準にかかわらず、支点間距離が短くなると小さくなる傾向を示した。
- 3)  ${}_tE_{b(l/h < 21)}/{}_tE_{b(l/h \geq 21)}$ は、支点間距離が同一の場合、いずれの樹種も概ね同等であり、本実験の検討範囲において、栈木の樹種および水分条件が ${}_tE_{b(l/h < 21)}/{}_tE_{b(l/h \geq 21)}$ に及ぼす影響は見られなかった。
- 4)  ${}_tE_{b(l/h < 21)}/{}_tE_{b(l/h \geq 21)}$ は、栈木の樹種および水分条件によってばらつきはあるものの、 $l/h$ が小さくなるほど、せん断たわみの比率が大きくなることで小さくなる傾向を示した。

以上のことより、第5章で提案した「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」において、せき板に用いる合板および内端太に用いる栈木の曲げヤング係数は、含水率の影響を考慮した曲げヤング係数の低減係数( $K_w=0.80$ )、表3.2.4に示す内端太の間隔を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数( $K_p$ )および表3.3.3に示すセパレータの長さ方向の間隔を考慮した栈木の曲げヤング係数の低減係数( $K_t$ )を乗じた値を用いることとしている。

第4章「合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響」では、せき板に用いる合板の転用が合板の曲げヤング係数に及ぼす影響について、合板の種類、コンクリートの種類、合板の施工条件に関する事項として合板の水中浸漬の有無および合板表面への剥離剤の塗布の有無を変化要因とし、転用を10回まで行った合板の曲げヤング係数を実験的に検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- 1) 合板の曲げヤング係数は、塗装合板および無塗装合板ともに、転用に伴い小さくなる傾向を示した。また、コンクリートの種類および合板の含水率の違いが、転用に伴う合板の曲げヤング係数に及ぼす影響は小さい。
- 2) 合板表面への剥離剤の塗布は、合板の種類が無塗装合板の場合、転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下を若干ではあるが軽減することができる。
- 3)  ${}_pE_{b(r1-10)}/{}_pE_{b(r0)}$ は、塗装合板および無塗装合板ともに、ばらつきは大きいものの転用回数が

多くなると小さくなる傾向を示し、無塗装合板において転用に伴う合板の曲げヤング係数の低下が顕著である。

以上のことより、第5章で提案した「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」において、合板の曲げヤング係数は、表4.4.1に示す転用を考慮した合板の曲げヤング係数の低減係数( $K_{pr}$ )を乗じた値を用いることとしている。ただし、この $K_{pr}$ には含水率の影響が含まれているので、転用した合板の曲げヤング係数は、第3章で述べた含水率の影響を考慮した曲げヤング係数の低減係数( $K_w=0.80$ )を除き、 $K_{pr}$ のみを乗じた値を用いることとしている。

第5章「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案」では、せき板に合板を用いた在来型枠工法における壁型枠を対象に、本論文の第3章および第4章で示した実験結果に基づくせき板に用いる合板および内端太に用いる栈木の含水率および支点間距離が曲げヤング係数に及ぼす影響と、合板の転用が曲げヤング係数に及ぼす影響を考慮した簡易設計方法を提案した。

第6章「壁型枠の変形に関する実験的検討と本簡易設計方法の妥当性の確認」では、内端太の構成およびセパレータの割付けが異なる壁型枠を対象として、コンクリートの側圧による型枠の変形について実験的に検討を行った。また、本論文の第5章で提案した「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」の有用性について検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリートの側圧は、フレッシュコンクリートのヘッドが1.5m程度まで直線的に大きくなり、コンクリートの打込み速さが10m/hr以下の場合、本実験の検討の範囲内において液圧として作用するコンクリートの側圧から-20%程度の範囲内となる。
- (2) コンクリートの側圧による壁型枠のせき板、内端太および外端太のたわみは、多少のばらつきはあるものの、コンクリートの側圧に対して比例的に大きくなる。
- (3) コンクリートの側圧に対するせき板のたわみ、内端太のたわみおよび外端太のたわみは、本簡易設計方法における構造計算上の値に対して、ばらつきがあるものの同程度から安全側の小さな値となる。このことから、第5章で提案した「在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法」は、在来型枠工法における合板を用いた壁型枠の設計方法としての有用性が得られた。

## 7.2 今後の課題と展望

本研究は、在来型枠工法における合板を用いた壁型枠を対象に、コンクリートの側圧による型枠の変形についての一連の調査および実験的検討を行ったものである。この型枠の変形は、本来コンクリート構造体および部材に要求される平たんさなどのコンクリートの仕上がり状態に応じて、型枠の加工・組立て精度を考慮して構造計算上の許容値を定めるべきである。一方で、本研究は、型枠の変形とコンクリート仕上りの平たんさの関係についての検討には至っていない。このため、型枠の構造計算上の変形をどの程度に設定すれば、コンクリート構造体および部材に要求される仕上がり精度が得られるかについては、不明な点が残される。この点は、日本建築学会「型枠の設計・施工指針」においても指摘されており、型枠の構造計算上の変形量の許容値について統一された考え方が無いことが記述されている。そこで、今後の課題と展望としては、型枠の変形とコンクリートの仕上がり精度の関係および型枠の加工・組立て精度などの、コンクリート構造体および部材のでき上がりの仕上がり精度に及ぼす影響について検討を行い、コンクリート構造体および部材に要求される仕上がり精度に応じた型枠の変形量の考え方および設計方法についての検討が望まれる。

# 付 録



## 本研究に関連する発表論文

※: 【】内は、関連章を示す

## I. 審査付論文

- 1) 手島基, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見: コンクリート型枠用合板の転用に伴う合板の品質変化がコンクリート表面の品質および下地モルタルの接着強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.379-384, 2013.7 【第4章】
- 2) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 手島基: 関東地方における型枠工事業者の作業の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.20, No.44, pp.13-18, 2014.2 【第2章】
- 3) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 榊田佳寛: 在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.727, pp.1391-1401, 2016.9 【第5章】
- 4) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典: 型枠工事業者を対象とした在来型枠工法における型枠の構成材料とその構成方法に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.23, No.53, pp.19-24, 2017.2 (掲載決定) 【第2章】

## II. 口頭発表

- 1) 高瀬貢平, 中田善久, 大塚秀三, 松原俊一, 手島基, 荒巻卓見: 実施工におけるコンクリート型枠用合板の転用回数がコンクリート型枠用合板およびコンクリートの品質に及ぼす影響, 平成24年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.221-222, 2012.11 【第4章】
- 2) 高瀬貢平, 中田善久, 大塚秀三, 手島基, 荒巻卓見: 建築現場と室内実験の違いによる合板の転用がコンクリート表面の品質に及ぼす影響, 2012年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集I, pp.37-40, 2013.3 【第4章】
- 3) 西田和樹, 中田善久, 大塚秀三, 手島基, 荒巻卓見: コンクリート型枠用合板の転用における合板の含水率がコンクリート表面の品質に及ぼす影響, 2012年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集I, pp.53-56, 2013.3 【第4章】
- 4) 鈴木康介, 中田善久, 大塚秀三, 手島基, 荒巻卓見, 宮田敦典: 建築現場における型枠工事に関するアンケート調査, 2012年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集I, pp.73-76, 2013.3 【第2章】
- 5) 高瀬貢平, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 手島基, 荒巻卓見: 型枠工事における工事計画の実状に関するアンケート調査 (その1 調査概要, 契約および積算), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1

- 分冊, pp.567-568, 2013.8【第2章】
- 6) 手島基, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見, 宮田敦典, 高瀬貢平: 型枠工事における工事計画の実状に関するアンケート調査 (その2 合板の取扱いおよび転用計画), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.569-570, 2013.8【第2章】
  - 7) 手島基, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見: コンクリート型枠用合板の転用における合板の含水率変化がコンクリート表面の品質に及ぼす影響, 平成25年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.133-134, 2013.12【第4章】
  - 8) 秋山太一, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見, 手島基: コンクリート型枠用合板の転用における合板の含水率変化がコンクリート表面の品質に及ぼす影響 - 水セメント比の変化に関する検討 -, 2013年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.169-172, 2014.2【第4章】
  - 9) Takumi ARAMAKI, Yoshihisa NAKATA, Shuzo OTSUKA and Atsunori MIYATA: Questionnaire Survey for Actual Status of Formwork Construction by Specialist Contractors in Japan, Proceedings of the 12th Japan・Korea Joint Symposium on Building Materials & Construction, pp.195-200, vol.12, 2015.7【第2章】
  - 10) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典: 支点間距離が異なるコンクリート型枠用合板の曲げヤング係数に関する実験的検討, 平成27年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.85-86, 2015.12【第3章】

## 研 究 業 績

## I. 審査付論文（計 17 編）

- 1) 大塚秀三, 八木 修, 中田善久, 荒巻卓見: シラン系含浸材とシラン・シロキサン系表面塗布材の併用によるコンクリートの表面保護効果に関する研究, 日本建築学会技術報告集, Vol.18, No.38, pp.15-19, 2012.2
- 2) 荒巻卓見, 大塚秀三, 高橋宏樹, 三井実, 中田善久, 赤谷樹一郎: コンクリート表面の仕上がり状態における評価指標の構築に関する一考察, ものづくり大学紀要, No.4, pp.45-52, 2013.6
- 3) 前田真佑, 大塚秀三, 荒巻卓見, 三井実, 中田善久, 赤谷樹一郎: 散水によるコンクリート表面の明度変化に基づく構造体コンクリート強度の面評価の試み, ものづくり大学紀要, No.4, pp.61-68, 2013.6
- 4) 降旗翔, 大塚秀三, 八木修, 荒巻卓見: シラン系表面含浸材とシラン・シロキサン系表面塗布材の表面保護効果に及ぼす養生温度および養生期間の影響, ものづくり大学紀要, No.4, pp.69-75, 2013.6
- 5) 手島基, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見: コンクリート型枠用合板の転用に伴う合板の品質変化がコンクリート表面の品質および下地モルタルの接着強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.379-384, 2013.7
- 6) 荒巻卓見, 大塚秀三, 八木修, 中田善久: シラン系表面含浸材の表面保護効果に及ぼす温湿度の影響に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1645-1650, 2013.7
- 7) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 手島基: 関東地方における型枠工事業者の作業の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.20, No.44, pp.13-18, 2014.2
- 8) 荒巻卓見, 大塚秀三, 高橋宏樹, 中田善久: 検査条件の相違がコンクリート表面の色むらの官能評価に及ぼす影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1588-1593, 2014.7
- 9) 大塚秀三, 湯浅昇, 齋藤俊克, 荒巻卓見: 専門工事業者を対象とした建築解体工事の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.20, No.46, pp.855-860, 2014.10
- 10) 荒巻卓見, 大塚秀三, 高橋宏樹, 三井実, 中田善久, 降旗翔: コンクリート表面の色むらの官能評価に及ぼす検査条件の影響, ものづくり大学紀要, No.5, pp.41-48, 2014.12
- 11) 赤谷樹一郎, 大塚秀三, 荒巻卓見, 降旗翔: 版築供試体のインターロッキング効果に及ぼす供試体寸法の影響, ものづくり大学紀要, No.5, pp.49-56, 2014.12
- 12) 降旗翔, 大塚秀三, 八木修, 荒巻卓見: 処理温度が異なるモルタルおよび4種類のシラン系表面含浸材が与える養生3日後の表面保護効果, ものづくり大学紀要, No.5, pp.57-62, 2014.12
- 13) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 榊田佳寛: 練混ぜ時期が異なる各種結合材を用いたフレッシュコンクリートの性状に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1087-1092, 2015.7
- 14) 宮田敦典, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見, 河崎慎吾, 住井次郎: 東海地区の圧送業者を対象としたコンクリートポンプ工法における閉塞に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.22, No.50, pp.1-4, 2016.2

- 15) 新妻尚祐, 樋脇毅, 工藤桂一, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.22, No.50, pp.5-10, 2016.2
- 16) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 榊田佳寛: 在来型枠工法における内端太・セパレータの間隔および合板の転用を考慮した壁型枠の簡易設計方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.727, pp.1391-1401, 2016.9
- 17) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典: 型枠工事業者を対象とした在来型枠工法における型枠の構成材料とその構成方法に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.23, No.53, pp.19-24, 2017.2 (掲載決定)

## II. 口頭発表 (計 93 編)

- 1) 荒巻卓見, 大塚秀三, 八木修, 中田善久: 屋外暴露環境における含浸材と表面塗布材の併用による表面処理材の表面保護性能の持続性に関する研究, 2011 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.85-88, 2012.3
- 2) 八木修, 大塚秀三, 荒巻卓見: コンクリート用表面処理材の改質効果の温度依存性に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.1167-1168, 2012.9
- 3) 荒巻卓見, 大塚秀三, 八木修: 含浸材と表面塗布材の併用によるコンクリートの表面保護効果の屋外暴露環境における持続性に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.1169-1170, 2012.9
- 4) 清水良平, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見, 秦一平, 柳崎尚輝: 吊りボルト取付け用インサートの形状およびバイブレータの加振時間の違いが引抜き耐力に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.193-194, 2012.9
- 5) 降旗翔, 大塚秀三, 八木修, 荒巻卓見, 赤谷樹一郎: シラン系含浸材とシラン・シロキサン系表面塗布材の併用によるコンクリート表面の改質効果とその持続性, 日本建築仕上学会 2012 年大会学術講演会研究発表論文集, pp.39-42, 2012.10
- 6) 川瀬翔太, 大塚秀三, 赤谷樹一郎, 竹村雅行, 遠野未来, 荒巻卓見: 伝統工法による版築壁の圧縮強度および形状変化に及ぼす調合および施工要因の影響, 日本建築仕上学会 2012 年大会学術講演会研究発表論文集, pp.223-226, 2012.10
- 7) 赤谷樹一郎, 大塚秀三, 八木修, 竹村雅行, 荒巻卓見: 伝統工法による版築壁への表面保護材の適用に関する基礎的研究, 日本建築仕上学会 2012 年大会学術講演会研究発表論文集, pp.227-230, 2012.10
- 8) 前田真佑, 大塚秀三, 荒巻卓見, 三井実, 赤谷樹一郎: コンクリート表面の水分移動に基づく明度変化による圧縮強度の推定に関する基礎的研究, 日本建築仕上学会 2012 年大会学術講演会研究発表論文集, pp.183-186, 2012.10
- 9) 藤本祐輝, 大塚秀三, 山中新太郎, 小野泰, 赤谷樹一郎, 荒巻卓見: 麦わら由来合板の物性と木造軸

- 組耐力壁への適用性に関する基礎的研究, 日本建築仕上学会 2012 年大会学術講演会研究発表論文集, pp.91-94, 2012.10
- 10) 手島基, 中田善久, 大塚秀三, 松原俊一, 荒巻卓見, 高瀬貢平: 部材の違いがコンクリート工事の施工に及ぼす影響, 平成 24 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.219-220, 2012.11
  - 11) 高瀬貢平, 中田善久, 大塚秀三, 松原俊一, 手島基, 荒巻卓見: 実施工におけるコンクリート型枠用合板の転用回数がコンクリート型枠用合板およびコンクリートの品質に及ぼす影響, 平成 24 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.221-222, 2012.11
  - 12) 前田真佑, 大塚秀三, 荒巻卓見, 高橋宏樹, 赤谷樹一郎, 三井実: 散水による明度変化に基づく構造体コンクリート強度の面評価に関する試み, 2012 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.1-4, 2013.3
  - 13) 中里想, 大塚秀三, 竹村雅行, 遠藤未来, 赤谷樹一郎, 荒巻卓見: 版築壁を用いた木造軸組耐力壁の施工性および壁倍率, 2012 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.21-24, 2013.3
  - 14) 高瀬貢平, 中田善久, 大塚秀三, 手島基, 荒巻卓見: 建築現場と室内実験の違いによる合板の転用がコンクリート表面の品質に及ぼす影響, 2012 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.37-40, 2013.3
  - 15) 西田和樹, 中田善久, 大塚秀三, 手島基, 荒巻卓見: コンクリート型枠用合板の転用における合板の含水率がコンクリート表面の品質に及ぼす影響, 2012 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.53-56, 2013.3
  - 16) 鈴木康介, 中田善久, 大塚秀三, 手島基, 荒巻卓見, 宮田敦典: 建築現場における型枠工事に関するアンケート調査, 2012 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.73-76, 2013.3
  - 17) 日下部幸介, 中田善久, 大塚秀三, 松原俊一, 宮田敦典, 手島基, 荒巻卓見: コンクリート工事における打込み・締固めに関する調査, 2012 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.77-80, 2013.3
  - 18) 降旗翔, 大塚秀三, 八木修, 荒巻卓見, 赤谷樹一郎, 中田善久: シラン系含浸材とシラン・シロキサン系表面塗布材の併用による表面保護効果の温湿度依存性, 2012 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.157-160, 2013.3
  - 19) 荒巻卓見, 大塚秀三, 高橋宏樹, 三井実, 中田善久, 赤谷樹一郎: コンクリート表面の色むらに関する官能評価と画像解析による定量的評価の関係に及ぼす視野角の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.157-158, 2013.8
  - 20) 我妻佳幸, 大塚秀三, 斉藤丈士, 澤本武博, 赤谷樹一郎, 荒巻卓見: 改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材のコンクリート用骨材への適用性に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.227-228, 2013.8
  - 21) 前田真佑, 大塚秀三, 荒巻卓見, 高橋宏樹, 赤谷樹一郎, 三井実, 中田善久: 散水による明度変化に基づく構造体コンクリート強度の面評価に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.317-318, 2013.8
  - 22) 中田善久, 大塚秀三, 松原俊一, 荒巻卓見, 手島基: 部材の種類がコンクリートの打込み速度に及ぼ

- す影響に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.365-366，2013.8
- 23) 高瀬貢平，中田善久，大塚秀三，宮田敦典，手島基，荒巻卓見：型枠工事における工事計画の実状に関するアンケート調査（その 1 調査概要，契約および積算），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.567-568，2013.8
- 24) 手島基，中田善久，大塚秀三，荒巻卓見，宮田敦典，高瀬貢平：型枠工事における工事計画の実状に関するアンケート調査（その 2 合板の取扱いおよび転用計画），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.569-570，2013.8
- 25) 湯本哲也，中田善久，大塚秀三，齊藤丈士，宮田敦典，荒巻卓見，和田平作：レディーミクストコンクリート工場において製造されたコンクリートの運搬記録による目視スランプの変化量に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.613-614，2013.8
- 26) 中里想，大塚秀三，竹村雅行，遠野未来，赤谷樹一郎，荒巻卓見：版築壁の現代構法への展開に関する研究（その 4 真壁の版築壁における施工性の検証および壁倍率の算定），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.911-912，2013.8
- 27) 赤谷樹一郎，大塚秀三，中里想，荒巻卓見：版築壁の現代構法への展開に関する研究（その 5 版築壁の構成材料の相違による固化機構が圧縮強度に及ぼす影響），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.913-914，2013.8
- 28) 降旗翔，大塚秀三，八木修，荒巻卓見，中田善久：シラン系表面含浸材とシラン・シロキサン系表面塗布材の表面保護効果に及ぼす養生環境の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.1265-1266，2013.8
- 29) 赤谷樹一郎，大塚秀三，荒巻卓見，降旗翔：構成割合の違いが版築供試体の圧縮強度および形状変化に及ぼす影響，日本建築仕上学会 2013 年大会学術講演会研究発表論文集，pp.61-64，2013.10
- 30) 倉澤尚人，大塚秀三，高橋宏樹，三井実，荒巻卓見：試料サイズおよび視野角の相違がコンクリートの色むらに関する官能評価と画像解析による定量評価の関係に及ぼす影響，日本建築仕上学会 2013 年大会学術講演会研究発表論文集，pp.153-156，2013.10
- 31) 手島基，中田善久，大塚秀三，宮田敦典，荒巻卓見：コンクリート型枠用合板の転用における合板の含水率変化がコンクリート表面の品質に及ぼす影響，平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会論文集，pp.133-134，2013.12
- 32) 湯本哲也，中田善久，齊藤丈士，大塚秀三，宮田敦典，荒巻卓見：レディーミクストコンクリートの品質管理における目視スランプ検査に関する一考察，平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会論文集，pp.139-140，2013.12
- 33) 宮田敦典，中田善久，大塚秀三，齊藤丈士，荒巻卓見：宿泊施設におけるペットの同伴を可能にした時の内装仕上材に関する意識調査，平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会論文集，pp.147-148，2013.12
- 34) 赤谷樹一郎，大塚秀三，荒巻卓見，降旗翔：締固めエネルギーが版築供試体の圧縮強度および形状変化に及ぼす影響，2013 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I，pp.101-104，2014.2
- 35) 武内大樹，大塚秀三，赤谷樹一郎，荒巻卓見，降旗翔：炭酸화가版築供試体の圧縮強度および形状変

- 化に及ぼす影響, 2013 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.113-116, 2014.2
- 36) 倉澤尚人, 大塚秀三, 高橋宏樹, 荒巻卓見, 中田善久: コンクリート表面の色むらの官能評価に及ぼす検査条件の影響に関する基礎的研究, 2013 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.129-132, 2014.2
- 37) 秋山太一, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見, 手島基: コンクリート型枠用合板の転用における合板の含水率変化がコンクリート表面の品質に及ぼす影響 - 水セメント比の変化に関する検討 -, 2013 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.169-172, 2014.2
- 38) 須藤泰明, 大塚秀三, 八木修, 降旗翔, 荒巻卓見, 中田善久: シラン系表面含浸材の表面保護効果へ及ぼす温湿度および養生期間の影響, 2013 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.189-192, 2014.2
- 39) 大塚秀三, 高橋宏樹, 中田善久, 荒巻卓見, 降旗翔: 検査条件の相違がコンクリート表面の色むらの認識に及ぼす影響 (その 1 官能検査の概要および心理学的尺度の構成), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.609-610, 2014.9
- 40) 荒巻卓見, 大塚秀三, 高橋宏樹, 中田善久, 降旗翔: 検査条件の相違がコンクリート表面の色むらの認識に及ぼす影響 (その 2 色むら認識尺度と対応する物理量の設定), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.611-612, 2014.9
- 41) 檜村啓, 大塚秀三, 荒巻卓見, 降旗翔: 廃瓦シャモットの粒度および置換率の違いが左官用モルタルの各種性状に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.949-950, 2014.9
- 42) 石渡翔太, 大塚秀三, 八木修, 中田善久, 荒巻卓見, 降旗翔: シラン系表面含浸材の成分および温度の相違が表面保護効果に及ぼす影響 (その 1 実験概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.1367-1368, 2014.9
- 43) 降旗翔, 大塚秀三, 八木修, 中田善久, 荒巻卓見, 石渡翔太: シラン系表面含浸材の成分および温度の相違が表面保護効果に及ぼす影響 (その 2 実験結果および考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.1369-1370, 2014.9
- 44) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 梶田佳寛, 宮田敦典, 棚野博之: 引っかき試験による各種コンクリートのせき板の取外しにおける強度管理に関する検討, 平成 26 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.41-42, 2014.12
- 45) 木村友哉, 中田善久, 大塚秀三, 梶田佳寛, 宮田敦典, 荒巻卓見, 佐藤幸恵, 棚野博之, 山口明德: 練混ぜ時期が異なる各種セメントおよび混和材料を用いたコンクリートのフレッシュ性状に関する一考察 (その 1 実験概要およびコンクリートの調合), 2014 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.189-192, 2015.3
- 46) 山口明德, 中田善久, 大塚秀三, 梶田佳寛, 宮田敦典, 荒巻卓見, 佐藤幸恵, 棚野博之, 木村友哉: 練混ぜ時期が異なる各種セメントおよび混和材料を用いたコンクリートのフレッシュ性状に関する一考察 (その 2 フレッシュコンクリートの経時変化, 凝結時間およびブリーディング量), 2014 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.193-196, 2015.3
- 47) Takumi ARAMAKI, Yoshihisa NAKATA, Shuzo OTSUKA and Atsunori MIYATA: Questionnaire Survey for

Actual Status of Formwork Construction by Specialist Contractors in Japan, Proceedings of the 12th Japan · Korea Joint Symposium on Building Materials & Construction, pp.195-200, vol.12, 2015.7

- 48) 榊田佳寛, 中田善久, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討 (その1 全体概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.141-142, 2015.9
- 49) 大塚秀三, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討 (その2 実験概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.143-144, 2015.9
- 50) 木村友哉, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮田孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討 (その3 コンクリートの調合とフレッシュコンクリートの性状), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.145-146, 2015.9
- 51) 田部菜津子, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮田孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見, 須藤絵美: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討 (その4 模擬部材試験体から採取したコア供試体の概要および模擬床部材における見掛け密度), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.147-148, 2015.9
- 52) 須藤絵美, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮田孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討 (その5 模擬柱部材および模擬壁部材における見掛け密度), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.149-150, 2015.9
- 53) 蓮尾孝一, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討 (その6 圧縮強度), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.151-152, 2015.9
- 54) 吉岡昌洋, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討 (その7 各養生およびコア供試体の強度発現性), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.153-154, 2015.9
- 55) 高橋祐一, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討 (その8 せき板の存置期間の相違による強度発現性への影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.155-156, 2015.9
- 56) 荒巻卓見, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一,



- 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その9 模擬壁部材におけるせき板の存置期間の相違による初期強度発現性への影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.157-158, 2015.9
- 57) 檜村啓, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その10 模擬床部材におけるせき板の存置期間の相違による初期強度発現性への影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.159-160, 2015.9
- 58) 石渡翔太, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その11 模擬部材の温度履歴とせき板取り外し時の積算温度), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.161-162, 2015.9
- 59) 唐沢智之, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その12 積算温度と圧縮強度の関係に基づくせき板解体時期の管理), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.163-164, 2015.9
- 60) 佐藤幸恵, 中田善久, 榊田佳寛, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その13 各種温度履歴に基づく有効材齢と圧縮強度の関係), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.165-166, 2015.9
- 61) 崔亨吉, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その14 模擬部材表面の温度履歴に基づく圧縮強度の推定), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.167-168, 2015.9
- 62) 宮内博之, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 金子樹, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 荒巻卓見, 宮田敦典: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その15 せき板の存置期間の相違が細孔構造に及ぼす影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.169-170, 2015.9
- 63) 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その16 圧縮強度管理の基準に関する一考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.171-172, 2015.9
- 64) 棚野博之, 中田善久, 榊田佳寛, 佐藤幸恵, 野口貴文, 大塚秀三, 安田正雪, 高橋祐一, 蓮尾孝一, 吉岡昌洋, 唐沢智之, 河野政典, 鹿毛忠継, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いた構造体コンクリートの圧縮強度管理の基準に関する検討(その17 せき板の存置期間に関する一考察),

日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.173-174, 2015.9

- 65) 新妻尚祐, 樋脇毅, 工藤圭一, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査 (その 1 アンケート調査および回答者(社)の概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.273-274, 2015.9
- 66) 鈴木直, 新妻尚祐, 樋脇毅, 工藤圭一, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査 (その 2 契約形態および積算の実状), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.275-276, 2015.9
- 67) 工藤圭一, 新妻尚祐, 樋脇毅, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査 (その 3 施工計画の実状), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.277-278, 2015.9
- 68) 樋脇毅, 新妻尚祐, 工藤圭一, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査 (その 4 施工および配筋検査の実状), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.279-280, 2015.9
- 69) 河崎慎吾, 中田善久, 住井次郎, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見: 東海地区のコンクリート圧送業者におけるコンクリートの圧送性に関するアンケートの調査報告 (その 1 アンケート調査の概要およびコンクリートの圧送性の良否について), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.285-286, 2015.9
- 70) 住井次郎, 中田善久, 河崎慎吾, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見: 東海地区のコンクリート圧送業者におけるコンクリートの圧送性に関するアンケートの調査報告 (その 2 コンクリートの種類の違いによる圧送性の良否について), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.287-288, 2015.9
- 71) 宮田敦典, 中田善久, 河崎慎吾, 住井次郎, 大塚秀三, 荒巻卓見: 東海地区のコンクリート圧送業者におけるコンクリートの圧送性に関するアンケートの調査報告 (その 3 閉塞の実状について), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.289-290, 2015.9
- 72) 澤本武博, 篠崎徹, 大塚秀三, 荒巻卓見: 模擬柱試験体に取り付けた Cube 型ボス供試体の圧縮強度に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.331-332, 2015.9
- 73) 相澤陽平, 大塚秀三, 八木修, 石渡翔太, 中田善久, 荒巻卓見: 中性化がシラン系表面含浸材の表面保護効果に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.731-732, 2015.9
- 74) 八木修, 大塚秀三, 石渡翔太, 相澤陽平, 中田善久, 荒巻卓見: 塗布方向がシラン系表面含浸材の表面保護効果に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.733-734, 2015.9
- 75) 宮田敦典, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見: 東海地区におけるコンクリートポンプ工法の閉塞に関するアンケート調査, 第 42 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.83-88, 2015.10
- 76) 湯本哲也, 中田善久, 斉藤丈士, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見: トラックアジテータのシュートを流れるコンクリートの速度に関する一考察, 平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.79-80, 2015.12
- 77) 宮田敦典, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見: コンクリートポンプ工法におけるコンクリートの圧送性に関するアンケート調査, 平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.83-84, 2015.12

- 78) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典: 支点間距離が異なるコンクリート型枠用合板の曲げヤング係数に関する実験的検討, 平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.85-86, 2015.12
- 79) 木村友哉, 中田善久, 榊田佳寛, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見, 棚野博之: 混和材を混入した低発熱形の結合材を用いたコンクリートの構造体強度補正值に関する基礎的検討, 平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.87-88, 2015.12
- 80) 千坂良紀, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見, 木村友哉, 若杉峻: 模擬床部材の中心から採取した直径が異なるコア供試体のコア強度のばらつきに関する一考察, 2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.5-8, 2016.3
- 81) 若杉峻, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見, 木村友哉, 千坂良紀: 模擬床部材におけるコア供試体の寸法および採取位置がコア強度のばらつきに及ぼす影響, 2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.9-12, 2016.3
- 82) 永井俊一, 中田善久, 大塚秀三, 榊田佳寛, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見, 石渡翔太: 各種結合材を用いた模擬壁部材におけるせき板の存置期間の違いがコンクリートのコア強度に及ぼす影響, 2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.13-16, 2016.3
- 83) 神尾健太, 中田善久, 大塚秀三, 榊田佳寛, 鹿毛忠継, 棚野博之, 土屋直子, 宮田敦典, 荒巻卓見, 石渡翔太: 模擬壁部材における結合材の種類およびせき板の存置期間の違いがコンクリートの促進中性化に及ぼす影響, 2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.161-164, 2016.3
- 84) 川村桃子, 新妻尚祐, 樋脇毅, 工藤桂一, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木直, 三枝弘樹, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の資格取得および人材の実状に関するアンケート調査, 2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.173-176, 2016.3
- 85) 三枝弘樹, 大塚秀三, 中田善久, 新妻尚祐, 鈴木直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 鉄筋の組立ての作業時間に及ぼす結束方法の影響, 2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集 I, pp.177-180, 2016.3
- 86) 村越正基, 中田善久, 榊田佳寛, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見, 木村友哉: 模擬床部材から採取した直径が異なるコア供試体のコア強度に関する一考察(その 1 試験体概要および圧縮強度試験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.301-302, 2016.8
- 87) 木村友哉, 中田善久, 榊田佳寛, 大塚秀三, 宮田敦典, 荒巻卓見, 村越正基: 模擬床部材から採取した直径が異なるコア供試体のコア強度に関する一考察(その 2 コア強度のばらつきと設計基準強度の関係), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.303-304, 2016.8
- 88) 大塚秀三, 中田善久, 榊田佳寛, 野口貴文, 鹿毛忠継, 棚野博之, 宮田敦典, 荒巻卓見: 各種結合材を用いたコンクリートの長期強度および構造体強度補正值に関する実験的検討(その 1 実験概要および長期強度), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.333-334, 2016.8
- 89) 荒巻卓見, 中田善久, 大塚秀三, 榊田佳寛, 野口貴文, 鹿毛忠継, 棚野博之, 宮田敦典: 各種結合材を用いたコンクリートの長期強度および構造体強度補正值に関する実験的検討(その 2 構造体強度補正值), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.335-336, 2016.8
- 90) 新妻尚祐, 樋脇毅, 大塚秀三, 鈴木直, 中田善久, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事

業者の施工の実状に関するアンケート調査（その5 アンケート調査の概要，施工図および加工帳の作成），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.615-616，2016.8

- 91) 河崎慎吾，中田善久，住井次郎，大塚秀三，宮田敦典，荒巻卓見：東海地区の圧送業者を対象とした圧送計画に関するアンケートの調査報告（その1 アンケート調査の概要および回答社の概要について），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.835-836，2016.8
- 92) 住井次郎，中田善久，河崎慎吾，大塚秀三，宮田敦典，荒巻卓見：東海地区の圧送業者を対象とした圧送計画に関するアンケートの調査報告（その2 圧送計画の立案方法およびトラブルについて），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.837-838，2016.8
- 93) 木村友哉，中田善久，大塚秀三，榊田佳寛，宮田敦典，荒巻卓見：模擬床部材から採取した直径が異なるコア供試体の強度分布に関する一考察，平成 28 年度日本大学理工学部学術講演会論文集，pp.90-91，2016.12

### Ⅲ. 著書（共著）（計 5 編）

- 1) 降旗翔，大塚秀三，八木修，荒巻卓見，赤谷樹一郎：シラン系含浸剤とシラン・シロキサン系表面塗布材の併用によるコンクリート表面の改質効果とその持続性，REFORM，pp.92-96，2012.12
- 2) 藤本祐輝，大塚秀三，山中新太郎，小野泰，赤谷樹一郎，荒巻卓見：麦わら由来合板の物性と木造軸組み耐力壁への適用性に関する基礎的研究，REFORM，pp.107-111，2012.12
- 3) 中田善久，大塚秀三，榊田佳寛，宮田敦典，荒巻卓見：鉄筋コンクリート工事・型枠取り外しの基準を考える：国土交通省建築基準整備促進事業による研究成果から（その1），セメント・コンクリート，No.832，pp.20-26，2016.6
- 4) 中田善久，大塚秀三，榊田佳寛，宮田敦典，荒巻卓見：鉄筋コンクリート工事・設計基準強度を担保するための基準を考える：国土交通省建築基準整備促進事業による研究成果から（その2），セメント・コンクリート，No.833，pp.29-35，2016.7
- 5) 中田善久，大塚秀三，宮田敦典，荒巻卓見：最近の建築現場から見た合板を用いた在来型枠工法の実態，セメント・コンクリート，No.838，pp.3-11，2016.12

以 上

2017年1月

## 謝 辞

本論文は、日本大学工学部建築学科材料施工研究室が 10 年余りにわたり取り組んできた研究をもとに、筆者が日本大学大学院理工学研究科博士後期課程建築学専攻に在籍した 3 年間で発展させた研究の成果をとりまとめたものです。

本論文をまとめるにあたり、日々温かいご指導とご教授を賜りました日本大学工学部建築学科教授・中田善久博士に心より感謝申し上げます。中田先生には、研究に取り組む姿勢をはじめ、論文の構成や細部の表現方法など研究活動の基礎から懇切丁寧にご教授頂きました。また、筆者が建築材料施工を学ぶにあたり、ものづくり大学・同大学院において卒業論文および修士論文のご指導を賜りました恩師であるものづくり大学技能工芸学部建設学科准教授・大塚秀三博士には、修士課程修了後も気にかけて頂き多大なるご指導とご教授を賜りました。本論文は、中田先生ならびに大塚先生のご指導無くしては存在し得ないものであります。

論文審査に際しては、浅学な筆者の説明を聞いてくださった上で、適切かつ貴重なご助言とご指摘を賜りました日本大学工学部建築学科教授・岡田章博士，日本大学生産工学部建築工学科教授・湯浅昇博士ならびに日本大学工学部建築学科准教授・田嶋和樹博士に深謝申し上げます。

本論文は、膨大な量の実験と調査から得られた結果で構成されています。実験と調査の実施に際しては、大林組・坂本英之氏，大和ハウス工業・手島基氏，富士川建材工業・鈴木康介氏，ライト工業・三枝弘樹氏，日本大学大学院・木村友哉氏，同大学院・伊藤淳氏，ものづくり大学大学院・鈴木直氏，同大学院・樫村啓氏をはじめとした日本大学工学部建築学科材料施工研究室（中田研究室）およびものづくり大学技能工芸学部建設学科建築材料施工研究室（大塚研究室）に所属した多数の学生から多大なる協力を得ました。また、ものづくり大学技能工芸学部建設学科教務職員・石井哲也氏には、快適な実験環境の整備とともに、実験のご指導を賜りました。本研究にご協力頂いた皆様に心から感謝申し上げます。

最後に、研究活動に専念し、本論文をまとめることができたのは、博士後期課程への進学を応援し、見守り続けてくれた両親をはじめとする家族のおかげです。心から感謝を申し上げます。

2017 年 1 月  
荒 卷 卓 見