

天然石を用いた軽交通のブロック系舗装への適用に関する研究

菊池 祥一

目 次

第 1 章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 論文および研究の構成	8
第 1 章の参考文献	12
第 2 章 既往の技術	14
2.1 概説	14
2.2 インターロッキングブロック舗装における構造設計方法	17
2.2.1 インターロッキングブロック舗装の構造	19
2.2.2 交通条件の設定および路床の設計	19
2.2.3 構造設計	20
2.2.4 路盤の設計	23
2.2.5 路面の評価	24
2.3 既往の天然石舗装の構造と課題	25
2.3.1 据付型工法の構造と問題点	27
2.3.2 接着型工法の構造と問題点	28
2.4 まとめ	37
第 2 章の参考文献	39
第 3 章 提案工法および室内試験による評価	42
3.1 概説	42
3.2 提案工法の構造	43
3.3 室内試験による効果および性能の確認	44

3.3.1	試験方法および供試体	44
3.3.2	耐久性に関する評価結果	54
3.3.3	付加的性能に関する評価結果	59
3.4	まとめ	64
	第3章の参考文献	65
第4章 現場試験による耐久性および作業性の評価と		
	As. 砂の品質に関する検討	66
4.1	概説	66
4.2	現場試験による耐久性および作業性の評価	67
4.2.1	試験舗装および試験方法	67
4.2.2	耐久性に関する評価結果	71
4.2.3	メンテナンス性およびリサイクルに関する評価結果	77
4.3	As.砂の配合および品質に関する検討	79
4.3.1	試験方法および供試体	79
4.3.2	作業性に関する評価結果	84
4.3.3	耐流失性に関する評価結果	85
4.3.4	品質管理試験に関する検討結果	87
4.4	まとめ	92
	第4章の参考文献	94
第5章 実施工による経済性および供用性の検討		
5.1	概説	95
5.2	施工方法および使用材料	96
5.3	経済性に関する評価結果	98

5.4	供用性に関する評価結果	101
5.5	まとめ	107
	第5章の参考文献	108
第6章	総括	109
6.1	結論	109
6.2	今後の課題と展望	112
謝辞		113

Application to Block Pavement of Light Traffic

Using Natural Stone

Shoichi KIKUCHI

With the background of the social demands for landscaping, the development of the technology for paving light traffic roads to harmonize with the landscape, is expected in the field of paving. Of the various methods of paving, the method of paving with natural stones is one that harmonizes with the natural landscape, but due to the fact that such roads require frequent repairs from their use by vehicles, ultimately they result in harming the landscape and tend to be costly.

The pavement with natural stones is broadly divided into two methods: The method of laying stone slates, using granular material for the substrate and the joints, while generally relying on cement-concrete slabs as the base, (given as the fixed-type method hereafter); the method that adhered the stone slates, together by filling in the joints with cement-based adhesive material, (given as the adhesive -type method hereafter). The fixed-type method is inadequate as a method for paving roads for vehicle traffic, in that it does not produce durability. The adhesive-type method comes with high construction costs. Its pavement cannot be dismantled or disposed of with ease, in that the removed stone slates are stuck with adhesives. Moreover, it is difficult to use the stone slates repeatedly, so their costs through their "life-cycle" get to be high.

This study had as its objective the development of a paving method, using natural stones for light traffic road. It assumed the repeated use of the stone slates and considered the value in terms of the environment and the landscape, the value characteristic of stone structure whose texture improved with age, as evident in stone bridges. To achieve that objective, we devised the new method that used alumina balls and the sand that is a mixture of asphalt, (given as "As. sand" hereafter), for the joints.

This study examined such effectiveness by means of laboratory tests and actual operation. "As. sand" is being marketed for uses other than paving, but the standards for its blending and quality have not been prescribed. Therefore, this study pursued the method that could manage its blending and its quality appropriately and easily.

First of all, by relying on laboratory tests, this study revealed that by inserting alumina balls into the joints, the stone slates were prevented from subsiding, sloping, and moving, thereby the durability of the resulting pavement was improved.

Following the laboratory tests, this study implemented the actual operation which enabled us to confirm that their performance was the same as that indicated in the laboratory tests. Furthermore, actual operation confirmed that this method of pavement, when compared with the adhesive-type method, was about three to five times more economical in "life-cycle costs" that included the maintenance and repair costs.

第 1 章 序論

1.1 研究の背景と目的

我が国の景観整備に関する社会的要請は、年々増加する傾向にあり、美しい国づくり政策大綱（2003 年 7 月）の取り纏めを契機に、景観に関する国民共通の基本理念や、国、地方公共団体、事業者、住民それぞれの責務を定めた景観法（2004 年 6 月）を柱とする景観緑三法¹⁾が施行され、さらなる拡大を見せてきた。景観に関する法制度としては、これまでも、都市計画法（1968 年 6 月）に基づく美観地区、風致地区及び伝統的建造物群保存地区²⁾（以下伝建地区）といった地域地区や地区計画制度、古都における歴史的風土の保存に関する特別措置法等（1966 年 1 月）による個別の制度はあったが、「景観」そのものを正面から捉えた制度はなかった。これに対し、景観法は、「景観」そのものの整備・保全を目的とするわが国で初めての総合的な法律となった。

一方、近年では、観光に関して、経済活性化の起爆剤として大きな期待が寄せられており、「新成長戦略」（2010 年 6 月閣議決定）は、経済が長期に渡り低迷する中、人口減少³⁾、少子高齢化⁴⁾の閉塞状況を打ち破り、急速に成長するアジアの観光需要を取り込んで元気な日本を復活させるため、7つの戦略分野⁵⁾の一つとして、観光立国の実現を掲げた。

さらに、「東日本大震災からの復興の基本方針」（2011 年 7 月東日本大震災復興対策本部決定）は、国内外の旅行需要の回復、喚起と東北ならではの観光スタイルを構築することを示し、「日本再生の基本戦略」（2011 年 12 月閣議決定）は、国の光を示す“観光”の振興が日本再生に不可欠であることを示した。

こうした情勢の変化を踏まえ、観光立国推進基本法（2007年1月）に基づき、観光立国の実現に関する施策を推進するため、新たな観光立国推進基本計画（2012年3月閣議決定）を定め、目標値として訪日外国人旅行者数2020年2500万人（2010年実績861万人）等を設定したところである。

観光立国推進基本計画では、「政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策」として、「国際競争力の高い魅力ある観光地域の形成」に必要な景観に配慮したインフラ整備の重要性が示されており、官民一体となった取り組みが望まれている。

さらに、具体的な方策については、観光地域づくりに取り組む地域における考え方を示した、魅力ある観光地域づくりの秘訣（2008年3月、国土交通総合政策局）や、各自治体の取り組み事例を纏めた、観光地における社会資本整備の配慮事項に関する事例集（2009年3月、国土交通省総合政策局事業総括調整官室）等により示されている。

特に、景観形成の一役を担う街路事業⁶⁾については、建築物や街路樹など多様な要素で構成されるが、中でも路面は重要で、舗装材料の選択は空間の質を大きく左右するとされている。例えば、道路景観の視知覚構造に関する研究⁷⁾では、道路景観の誘目性の構造は、最初に路面が知覚され、街路樹、建物等スカイラインを形成する要素がそれに続き、電柱、標識、広告等の路側占有物はその次に知覚されるとしている。

景観からみた舗装に関する考察を纏めた文献⁸⁾では、道路・街路における「景観機能」について、「(道路・街路)空間全体の眺め(空間イメージ)から得られる視覚情報によって、その地域や整備主体が送りたいメッセージを利用者に適切に伝える機能」であると定義している。また、舗装は道路機能を支える各要素を下支えするものとして重要な役割を担うとともに、ほとんど唯一、常時利用者の身体が直接接触れるものであり、知覚だけでなく触覚を通して利用者に認知されるとして、空間イメージ形

成における舗装の重要性を述べている。さらに、「景観機能」における耐久性は、視覚情報によるメッセージ伝達機能が長期に渡り発揮される状態を指し、「壊れないという耐久性のみではなく、利用者の目に映る耐久性が重要」であり、「すぐに汚れて見苦しくなるのではなく、時とともに味わいを増すエイジング効果、飽きのこない意匠、補修や交換に耐えられる材料」の使用が求められるとし、当初の空間イメージ形成を時間とともに強化していくエイジング効果に優れた素材として石材、レンガ、自然骨材などを挙げている。

その他にも、平成 20 年（2008 年）8 月時点で全国の重要伝建地区に選定されていた 82 地区と伝建地区の都市計画決定がされていた 1 地区の合計 83 地区の担当者に対して行ったアンケートの結果、確認された街路舗装の現状と課題が文献⁹⁾に示されている。

まず、伝建地区の街路で使用した舗装材料については表-1.1.1 左に示すように、最も多かったのがアスファルト系の舗装で、約 84%、以下天然石系で約 40%、コンクリート系で約 25%となっている。

景観に配慮した道路・街路があるかとの問いに対しては、表-1.1.2 のように 75%が舗装に景観的な配慮をしていると回答されており、街路の景観形成において、舗装の占めている役割の大きさが確認できる結果となっている。

景観への配慮有りとは回答した地区に景観配慮をしている整備に使用した材料を複数回答で選択してもらったものが表-1.1.1 右であり、全体の舗装材の割合と比較するとアスファルト系、コンクリート系の割合が減少しているが、天然石系の割合はほぼ同じ結果となっている。これは、アスファルト系およびコンクリート系には普通アスファルト、普通コンクリートなどの景観重視ではない機能性重視の材料が含まれていた結果と推察され、また、天然石系材料はほぼ景観配慮の観点から選択されているこ

と分かる。

表-1.1.1 使用している舗装材料

舗装の種類	舗装	使用している舗装材料 (n=68、複数回答)		景観配慮をした舗装材料 (n=51、複数回答)	
		回答数	%	回答数	%
アスファルト系	普通アスファルト、脱色アスファルト、カラーアスファルト、半たわみ性舗装など	57	83.8	25	49.0
天然石系		27	39.7	20	39.2
コンクリート系	普通コンクリート、カラーコンクリート、インターロッキングなど	17	25.0	10	19.6
樹脂系	天然玉砂利舗装、ゴムチップ舗装など	7	10.3	5	9.8
土系	地道	3	4.4	2	3.9
レンガ系		3	4.4	3	5.9
タイル系		3	4.4	2	3.9
木質系	ウッドブロック舗装など	3	4.4	0	0.0
その他		9	13.2	4	7.8
無回答		1	1.5	7	13.7

表-1.1.2 景観的配慮の有無

景観的配慮の有無	回答数 n=68	%
有り	51	75
無し	16	24
無回答	1	1

一方、伝建地区内の現在の舗装の状況についての回答が表-1.1.3 および表-1.1.4 である。一部に悪いところがあるまたは全体的に悪いと回答したものが全体の 59% であり、天然石系については 70% で他の材料 40~60% を大きく上回っており、多くの地区で破損などの問題を抱えていることが明らかになっている。

これらの結果から、文献の結論部においては、他の材料に比べて石舗装の問題の割合が高いことから、自動車の通行があるところでは石舗装は避けたほうがよく、歴史や過去の履歴上、石舗装を選択する場合は自動車の通行規制などを合わせて考慮す

る必要があるとしている。また、街路事業においては、その後発生する維持管理費、地区の財政的事情、現在さらには将来の交通状況、および舗装材のコストや材料入手を踏まえ、維持管理を前提とした材料の選択が必要であるとしている。

表-1.1.3 舗装の状況

舗装の現況	回答数 n=68	%
おおむね良い	28	41.2
一部悪いところがある	37	54.4
全体的に悪い	3	4.4
合計	68	100

表-1.1.4 舗装材と舗装の現況

舗装 n=68	アスファルト	天然石系	コンクリート	樹脂系
おおむね良い	24	8	7	3
一部悪い、 全体的に悪い	33	19	10	4
合計	57	27	17	7

以上のことから、景観に配慮した舗装（以下、景観舗装）の重要性は明らかであり、耐久性に優れかつライフサイクルコストの面で有利な天然石平板を用いたブロック系舗装（以下、天然石舗装）等の軽交通路に適応可能な景観舗装技術の開発が期待されている。

景観舗装のなかでも、天然石舗装は石特有の質感が史跡名勝や自然景勝に調和し、古くから参道や境内の石畳にも採用される伝統工法を原点とする。また、現代において天然石舗装は、例えば写真-1.1.1のように、地域の歴史が刻まれた石材を活用する機会とともに、舗装自体に新たな観光資源としての付加価値を創出し、景観形成に寄

与するという利点がある¹⁰⁾。



写真-1.1.1 電鉄敷石が活用された天然石舗装の例（松山市）

ブロック系舗装は、現状ではその多くが歩道を対象とした工法であるが、軽交通路に適用した工法も存在する。しかしながら、車道用のブロック系舗装に関する技術的な基準は確立していないのが現状である。一般に、天然石舗装はセメントコンクリート版や既設舗装面を施工基盤として、下地及び目地に粒状材料を用いて石版を据え付ける工法（以下、据付型工法）と、セメント系あるいはポリマー系の固着材を充填して石板を固着する工法（以下、接着型工法）とに大別される。

据付型工法は下地及び目地の支持力不足に起因した石板の沈下や傾斜、移動、さらに雨水による目地の流失等が課題であり、現状では主に歩道を対象としている。

他方、接着型工法では石板の固着に起因したメンテナンスやリサイクルに関する課題があり、下地及び目地の材料によっては繰返しの輪荷重を受けて連鎖的に破壊する可能性を残している。また、接着型工法は据付型工法に比べて耐久性に優れるが、一般に施工費が高く、解体・処分が容易でないことと、撤去した石板の再利用が難しい

ため、ライフサイクルを通じてコスト高となる。

このように、特に据付型工法では耐久性に関する問題、接着型工法ではメンテナンスとリサイクルに関する問題が未解決である。さらに両工法とも景観舗装としての位置付けから、補修・修繕に際しては本来の美観を保持することが前提となるが、観光車両等の乗入れによって頻繁に歩道部の補修を要する場合や、ライフライン等の改修に伴って一部をアスファルト舗装で打ち換えざるをえない場合もあり、結果として景観を損ねる可能性がある。

しかしながら、今後も、環境や景観に配慮したインフラ整備を進める上で、景観舗装の必需性は高く、施工性に優れ、軽交通路に適応可能な天然石舗装の確立が地域活性化にも寄与するひとつの方策となるので、メンテナンスやリサイクルに優れた工法の確立が望まれている。

本研究は、石橋や石垣と同様に経年によって風合いを増す石構造物特有の環境・景観的価値を考慮し、石板の繰返し利用を前提とした天然石舗装工法の開発を試みることを目的としたものである。このため、石板をセメントモルタル等で固着せず、下地及び目地に粗砂等の粒状材料を締固めて固定する工法に着目しているが、現状では特に耐久性の問題から軽交通路への適用は困難である。

そこで、本論文は石板の繰返し利用が可能で、かつ耐久性や施工性に優れた天然石舗装工法の確立を目指して、アルミナボールと少量のアスファルトを混合した砂（以下、As.砂）を適用する新たな工法を室内試験および実施工により検討し、メンテナンスとリサイクルに有利な軽交通路用天然石舗装工法を提案したものである。

1.2 論文および研究の構成

本論文は、図-1.2.1に示すとおり全6章から構成されている。まず、天然石舗装における社会的要請、既往の工法とその課題（第1章～第2章）を明らかにした上で、これらの問題解決の一案として、目地に少量のアスファルトを混合した砂（以下 As.砂）およびアルミナボールを応用した新たな工法を提案し、軽交通路への適応について、室内試験による効果と性能の確認（第3章）を行った。この結果から現場試験による耐久性と施工性の評価を行い、さらに、As.砂の素材とアスファルト量が及ぼす影響を評価し、現場で実施可能な品質管理手法を検討（第4章）した。最後に、実施工による経済性および供用性の検証（第5章）を実施し、総括として目地に少量のアスファルトを混合した砂およびアルミナボールを応用した本提案工法の有用性とその展望を述べている。以下に各章ごとの要旨を述べる。

第1章 序論

現在、わが国では観光立国の実現に向けた国際競争力ある観光地づくりを推進するため、官民一体となった景観整備への取り組みが望まれている。景観形成の一役を担う道路舗装分野では、天然石平板を用いたブロック系舗装等の景観に配慮した舗装に対するニーズが高まりつつあり、軽交通路に適応可能な景観舗装技術の開発が期待されている。

本章では、景観整備に対する社会的要請と軽交通路に適応可能な景観舗装技術開発の必要性を述べるとともに、研究の背景と目的および論文の構成について概説した。

第2章 既往の技術

既往の天然石舗装はセメントコンクリート版や既設舗装面を施工基盤として、下地及び目地に粒状材料を用いた据付型工法と、下地及び目地にセメント系あるいはポリ

マー系の材料を充填して石板を固着する工法とに大別される。しかしながら、据付型工法では耐久性に関する問題、接着型工法ではメンテナンスに関する問題が未解決である。

本章では、既往の天然石舗装の構造について整理し、その破壊に至る経緯、ライフサイクルコストの観点から、既往の技術に対する問題点を明らかにした。

第3章 提案工法および室内試験による評価

本章では、まず、据付型工法を車道用ブロック系舗装として適用する場合、石板の目地にアルミナボールを挿入し、噛み合わせ効果によって石板の移動を抑制する工法を考案した。

つぎに、考案した工法により作成した供試体を用い、ホイールトラッキング試験機による車輪走行試験を実施し、石板の沈下、傾斜、移動に対する本工法の効果を検討するとともに、衝撃吸収性や透水性などの付加的性能について室内試験により検討した。その結果、石板の沈下、傾斜、移動ともに、モルタルを用いた接着型工法に比べ、その効果は若干劣るものの、アルミナボール未挿入で粒状材料を用いた据付型工法の結果とは大きく異なり、石板の動きが抑制されることを明らかにした。

また、衝撃吸収性については接着型工法に比べ衝撃吸収力が高く、本工法は据付型工法と同程度の乗り心地が得られることを明らかにした。

さらに、透水性について、接着型工法は全く透水しないのに対し、本工法は目地からの透水を許すことから、路面の耐水を抑制する効果があることを明らかにした。

第4章 現場試験による耐久性および作業性の評価と As. 砂の品質に関する検討

本章では、まず、第3章で実施した室内試験の結果を踏まえ、軽交通を想定した現場試験を実施し、耐久性、および新設時並びにメンテナンス時における作業性を検討した。その結果、室内試験結果同様、石板の沈下、傾斜、移動ともに、モルタルを用

いた接着型工法に比べその効果は若干劣るものの、アルミナボール未挿入で粒状材料を用いた据付型工法の結果とは大きく異なり、石板の動きが抑制されることを確認した。

また、作業性については、接着型工法と比較し、新設のみならず、目地の補修や解体、再構築が容易に行え、また、再構築に際して石板や目地砂、アルミナボールを現地で繰り返し利用することが可能であることを明らかにした。

一方、雨水による目地砂の流出を抑制することを目的に、市販品である As.砂を用いたが、現場試験において、この As.砂の流出が認められた。市販の As.砂は母材である粗砂の品質が規定されておらず、アスファルト量も 1.5～2.5%程度と適当であることが判明し、As.砂の品質にバラツキがあり、このために粘着性の不良な As.砂が製造されることが明らかにされた。

そこで、As.砂の素材とアスファルト量が作業性や耐流失性に及ぼす影響を評価し、実用に適した管理試験と指標を検討した。その結果、母材である粗砂の品質に関わらず、作業性や耐流出性に優れた品質となる As.砂の配合設計方法として、スランプコーン試験を利用した手法を提案した。

第5章 実施工による経済性および供用性の検討

本章では、前章までの知見を踏まえて、実施工を実施し、本工法の軽交通路用天然石舗装としてのライフサイクルコストにおける経済性と、施工後4年経過時における供用性を検証した。その結果、本工法は接着型工法と比較し、維持修繕を含むライフサイクルコストにおいて3～5割程度安価となることを明確にするとともに、供用開始から4年経過した施工現場において石板の沈下、傾斜および移動が認められないことを示し、本工法の有用性を明らかにした。

第6章 総括

本章では、各章から得られた結果を総括したうえで、軽交通路用天然石舗装としてAs.砂とアルミナボールを目地材に応用した本提案工法の有用性と今後の課題について言及した。

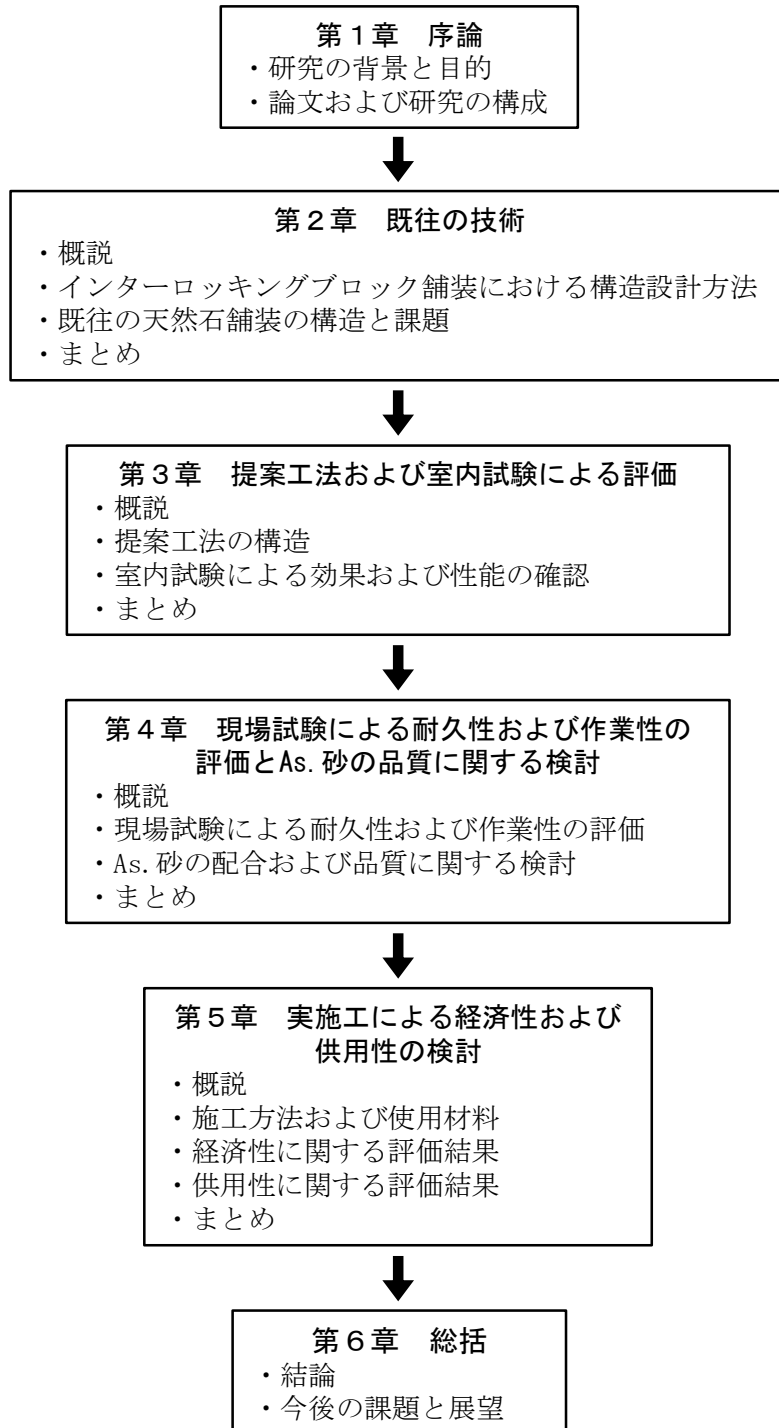


図-1.2.1 本研究および論文の構成

第 1 章の参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：景観緑三法
<http://www.mlit.go.jp/crd/townscape/keikan/>
- 2) 文化庁ホームページ：伝統的建造物群保存地区，文化財保護法の一部を改正する法律等について
<http://www.bunka.go.jp/bunkazai/shoukai/hozonchiku.html>
<http://www.bunka.go.jp/bunkazai/hogoseido/houritsu.html>
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所：人口統計資料集，将来推計人口・世帯数
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp>
- 4) 内閣府ホームページ：平成 26 年版高齢社会白書
<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/index.htm>
- 5) 首相官邸ホームページ：新成長戦略～「元気な日本」復活のシナリオ～
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/>
- 6) 国土交通省都市・地域整備室：景観形成ガイドライン「都市整備に関する事業」
(2011 年 6 月)
- 7) 中村良夫，浅井正昭，池田義雄，漆原美代子，大久保堯夫，窪田陽一，鈴木昭弘，
中村英夫，野口薫，茅整三，吉田宏樹，国際交通安全学会 423 プロジェクトチーム：
道路景観－路側景観の視知覚構造の解析－，国際交通安全学会誌，Vol.8，No.3，
pp156-167，1982
- 8) 福島秀哉，松田泰明，石田樹：景観機能から見た積雪寒冷地の舗装に関する一考
察，平成 23 年度国土交通省国土技術研究会，自由課題（一般部門），2011.10
- 9) 中村遥子，黒田乃生：伝統的建造物群保存地区における街路舗装の現状と課題，

日本建築学会計画系論文集, Vol.75, No.657, pp.2729-2735, 2010.

- 10) 岡田幸子, 樋口明彦, 仲間浩一: 北九州における路面電車の敷石の流通と利用に関する研究, 土木学会土木計画学研究・論文集, Vol.23, No.2, pp.381-388, 2006.

第2章 既往の技術

2.1 概説

天然石舗装の歴史は非常に古く、近代的な自動車交通が発達する以前の道路舗装の多くに天然石が用いられた。例えば、写真-2.1.1に示すように、石の文化を持つヨーロッパの都市には歴史を感じさせる石塊舗装が多く遺されており、我が国においても戦後しばらくの間は小舗石舗装がよく見かけられた¹⁾。

このように歴史の古い天然石舗装であるが、現在に至っても個別に技術基準や指針が確立されているわけではない。計画における考え方や路面および構造の設計方法は、一般のアスファルト舗装等と同様の扱いで舗装設計施工指針²⁾や舗装設計施工便覧³⁾等に示されおり、表-2.1.1に示すように舗装分野の中ではブロック系舗装⁴⁾として位置づけられる。また、歩道および自転車道等の舗装に限定して、基層にコンクリート版やアスファルト混合物層を設け、その上にタイル、天然石等をモルタルで貼りつける二層構造系の舗装の分類の中にも天然石舗装が位置づけされている。

これは、天然石板の構造の特徴として、一枚一枚の石板がその曲げ強度で輪荷重を支える剛性舗装の性質を持っており、他方、一枚一枚の石板が集まった石板舗装はたわみを許すたわみ性舗装の性質を持っている。すなわち、石板舗装は、アスファルト舗装を代表とするたわみ性舗装の性質と、コンクリート舗装を代表とする剛性舗装の二つの性質を兼ね合わせて持つことになる。さらに、石板の材質や形状、石板以下の層の状況など複雑な条件が存在することから、理論的な究明がなされていないことに起因する⁵⁾。

ブロック系舗装に用いるブロックには、コンクリートブロック、アスファルトブロ

ック、レンガのほかタイルや石塊、木塊などがあり、モータリゼーションの本格化に伴い、これらのブロック系舗装は走行性を損なうことや、施工に手間がかかることなどから、車道に採用されることが少なくなっ行き、現代では主として歩道や広場の舗装への適用が多い¹⁾。

しかしながら、前章でも述べたとおり、現在、わが国では観光立国の実現に向けた国際競争力ある観光地づくりを推進するため、官民一体となった景観整備への取り組みが望まれており、景観形成の一役を担う道路舗装分野では、天然石平板を用いたブロック系舗装等の景観に配慮した舗装に対するニーズが高まりつつある。このため、軽交通路に適応可能な景観舗装技術の開発が期待されている。近年では、ブロック系舗装の構造について、インターロッキングブロック舗装技術協会のインターロッキングブロック舗装設計施工要領⁶⁾や国土交通省四国地方整備局の設計便覧（案）において、平板ブロック等の舗装構成標準が示されるようになった^{7)~8)}。

本章では、ブロック系舗装の構造設計方法について述べたうえで、既往の天然石舗装工法について整理するとともに、その課題を明らかにする。既往の天然石舗装工法について整理するにあたり、まず、天然石板舗装の設計の考え方と構造については、前述の通り技術基準や指針が確立されていないため、現在基準が示されている中で構造的特性が最も近いインターロッキングブロック舗装設計施工要領⁶⁾を用いて主に車道に対する設計について説明する。次に、既往の天然石舗装の工法について、構造的特性と破壊の形態および問題点について述べる。

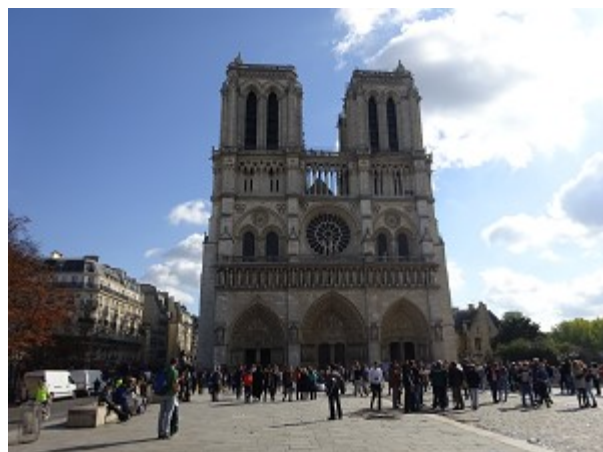


写真-2.1.1 海外の天然石ブロック舗装の例

表-2.1.1 天然石舗装の位置づけ

舗装工法	表層の種類	表層の主な使用材料
ブロック系	コンクリート平板舗装	着色コンクリート平板
	インターロッキングブロック舗装	インターロッキングブロック
	アスファルトブロック舗装	アスファルトブロック
	レンガ舗装	レンガ, レンガブロック, ゴムレンガ
二層構造系※	天然石舗装	天然石ブロック
	タイル舗装	石質タイル, 磁器室タイル
	天然石舗装	小舗石, 鉄平石, 大谷石

※ 歩道および自転車道等の舗装

2.2 インターロッキングブロック舗装における構造設計方法

インターロッキングブロックは 1956 年に西ドイツで開発され、ブロック相互のかみ合わせ効果が大きく、垂直荷重を分散させることにより舗装の耐久性が確保できるとされ、我が国でも比較的使用頻度が高い。1973 年にブロック製造機が西ドイツから輸入され、翌年からインターロッキングブロック舗装の施工が始まっている。当初数年間は毎年数倍の勢いで施工量が伸び、10 年後の 1984 年には年間 230 万 m²、さらにその 10 年後の 1994 年には 780 万 m²/年にまで成長し、これまでの施工面積は 1 億 m²を上回っている。

このように順調に普及した主な理由は表面テクスチャや形状、色調、敷設パターンを自由に選択でき景観の演出が可能であることによるものと考えられ、海外の実績から見て、今後もその需要は少なくないと思われる。しかしながら、我が国では歩道と広場、公園への適用が実績の 90%近い状況にあり、これを本格的に車道舗装に適用するためには解決すべきいくつかの問題点が指摘されている。すなわち、形状によって荷重分散効果が異なること、構造設計が必ずしも理論的に明らかにされていないこと、耐久性に大きな影響を与えるクッション砂や目地材の品質性状の解明が十分でないこと、施工の機械化が遅れていることなどである¹⁾。

インターロッキングブロック舗装に関する構造や使用材料については、これまでにいくつかの研究が行われてきた。

柳沼ら^{9)~10)}はインターロッキングブロック舗装におけるブロック間の荷重伝達率にブロック寸法、クッション砂と目地材、路盤の締固め方法が与える影響について調査を実施し、交通量に応じたブロック寸法の提案ならびに目地砂の重要性と施工時の転圧方法の提案をしている。これにより、提案されたクッション砂と目地砂の品質規

格については、インターロッキングブロック舗装設計施工要領⁶⁾の改定版に盛り込まれている。

加形ら¹¹⁾は大版ブロックの車道舗装への適応について調査を行い、構造的挙動を検証している。これにより、大版ブロックはその形状に応じて路盤のK値とブロック厚を大きくし、ブロックのアスペクト比を1.0に近づけることが効果的としている。

唐沢ら¹²⁾はインターロッキングブロックの重荷重分野への適応について論じ、路盤の剛性についてはコンクリート路盤と粒度調整砕石路盤の中間程度が好ましいことや、新材料、新工法の開発の必要性を示している。また、重荷重分野において、既往の設計方法を適応することの問題点にも言及している。

さらに、菊池ら¹³⁾は、下地材および目地材にアスファルト混合砂を用いて、目地材の流出を抑制する工法を提案しているが、アスファルト混合砂の規格値や、製造から流通のコストが明確でないこともあり、一般的に普及していないのが現状である。

車道に適用するインターロッキングブロック舗装の構造設計は、舗装を構成する各層の材料と厚さを決定する他に、必要に応じて舗装端部の拘束構造の設計や、ブロック下に侵入した雨水を迅速に排水処理する施設の設計なども行う。

以下にインターロッキングブロック舗装の構造設計方法について述べる。

2.2.1 インターロッキングブロック舗装の構造

インターロッキングブロックは、図-2.2.1 に示すように、路床上に路盤、敷砂層、インターロッキングブロックの順に舗設される。

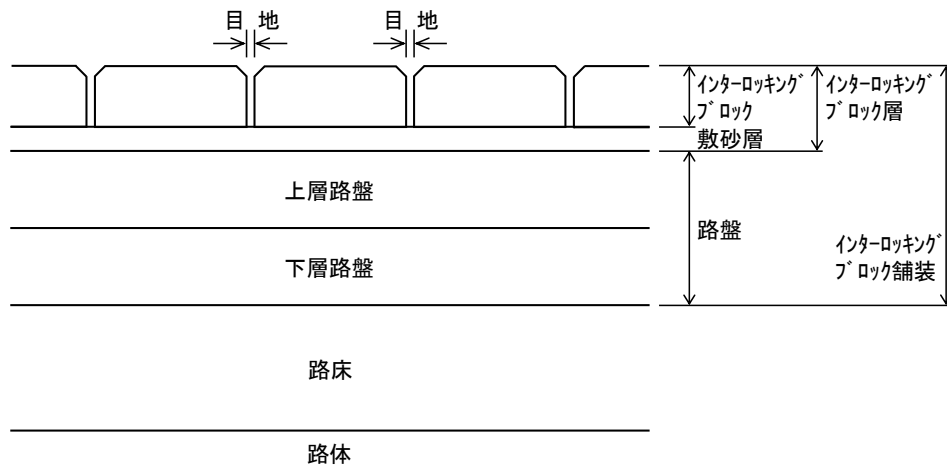


図-2.2.1 インターロッキングブロック舗装の構成

2.2.2 交通条件の設定および路床の設計

設計に際して、まず交通条件を設定する。これは、アスファルト舗装やコンクリート舗装の場合と同じであり、道路の区分¹⁴⁾(普通道路・小型道路)に応じて、表-2.2.1 および表-2.2.2 に示した舗装計画交通量¹⁵⁾または舗装計画交通量に応じた疲労破壊輪数¹⁶⁾と同じ値の累積 49kN 換算輪数 (普通道路) または累積 17kN 換算輪数 (小型道路) を設定する。

つぎに、路床の設計は、これについてもアスファルト舗装やコンクリート舗装と同じく設計 CBR¹⁷⁾を求める。

表-2.2.1 交通量の区分（普通道路）

交通量区分	舗装計画交通量 (単位：台/日・方向)	49kN標準荷重疲労破壊輪数(単位：回)	
		設計期間10年	設計期間20年
N ₇	3,000以上	35,000,000	70,000,000
N ₆	1,000以上 3,000未満	7,000,000	14,000,000
N ₅	250以上 1,000未満	1,000,000	2,000,000
N ₄	100以上 250未満	150,000	300,000
N ₃	40以上 100未満	30,000	60,000
N ₂	15以上 40未満	7,000	14,000
N ₁	15未満	1,500	3,000

表-2.2.2 交通量の区分（小型道路）

交通量区分	舗装計画交通量 (単位：台/日・方向)	49kN標準荷重疲労破壊輪数(単位：回)	
		設計期間10年	設計期間20年
S ₄	3,000以上	11,000,000	22,000,000
S ₃	650以上 3,000未満	2,400,000	4,800,000
S ₂	300以上 650未満	1,100,000	2,200,000
S ₁	300未満	660,000	1,320,000

2.2.3 構造設計

インターロッキングブロック舗装の構造設計は、ブロック層の等値換算係数¹⁸⁾がアスファルト混合物の表層、基層の等値換算係数と同等とみなし、T_A¹⁹⁾法によって設計する。

構造設計に用いる舗装計画交通量は、設計期間における平均1日1方向あたりの大型車交通量とし、表-2.2.1、表-2.2.2に示したように普通道路と小型道路に区分される。

交通量区分より求められる T_A は、舗装の各層を全て表層、基層用加熱アスファルト混合物で構築する際に必要な厚さをいい、各層の材料を加熱アスファルトに換算し

たときの厚さの合計に相当する。車道の舗装厚の設計は、路床の設計 CBR と交通区分に応じて下記の表-2.2.3 および表-2.2.4 から定まる T_A を下回らないように舗装の各層厚を決定する。ここで、 T_A が 11cm 未満となる場合は（表-2.2.3, 表-2.2.4 網掛け部）については以降で示す 2.2.4 路盤の設計を参照とする。

必要等値換算厚 T_A の算出式を下記に示す。

普通道路では、標準荷重 49kN で式 (2.1) による T_A を満足するものとする。

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \dots \dots \dots (2.1)$$

小型道路では、標準荷重 17kN で式 (2.2) による T_A を満足するものとする。

$$T_A = \frac{1.95N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \dots \dots \dots (2.2)$$

ここで N は普通道路では 49kN 換算輪数、小型道路では 17kN 換算輪数を示す。

なお、これらの式は、アスファルト舗装の設計では信頼性 90%²⁰⁾を示しているが、舗装設計便覧等では信頼性 90%の他に、路線重要度などに応じて、信頼性 75%、50%を用いた設計が可能となっている。しかしながら、インターロッキングブロック舗装では、信頼性を検証できるほど十分なデータの蓄積がされていないことから、従来の実績にもとづき、90%信頼性の設計式を用いることとされている。

表-2.2.3 普通道路での必要等値換算厚 T_A (信頼度 90%相当 単位 : cm)

交通量区分	舗装計画交通量 (単位 : 台/日・方向)	設計CBR (%)											
		3		4		6		8		12		20	
		10年	20年	10年	20年	10年	20年	10年	20年	10年	20年	10年	20年
N ₇	3,000以上	45	50	41	46	37	41	34	37	30	33	26	29
N ₆	1,000以上 3,000未満	35	39	32	36	28	32	26	29	23	26	20	22
N ₅	250以上 1,000未満	26	29	24	26	21	23	19	21	17	19	15	16
N ₄	100以上 250未満	19	21	18	20	16	17	14	16	13	14	11	12
N ₃	40以上 100未満	15	17	14	15	12	13	11	12	10	11	9	10
N ₂	15以上 40未満	12	13	11	12	10	11	9	10	8	9	7	8
N ₁	15未満	9	10	9	10	8	9	7	8	6	7	5	6

表-2.2.4 小型道路での必要等値換算厚 T_A (信頼度 90%相当 単位 : cm)

交通量 区 分	舗装計画交通量 (単位 : 台/日・方向)	設計CBR (%)											
		3		4		6		8		12		20	
		10年	20年	10年	20年	10年	20年	10年	20年	10年	20年	10年	20年
S_4	3,000以上	19	21	18	20	16	17	14	16	13	14	11	12
S_3	650以上 3,000未満	15	17	14	16	12	14	11	13	10	11	9	10
S_2	300以上 650未満	13	15	12	14	11	12	10	11	9	10	8	9
S_1	300未満	12	14	11	13	10	11	9	10	8	9	7	8

舗装構成の決定は、表-2.2.5 に示す路盤の最小厚さの規定に従い、 T_A' (設計した断面の等値換算厚) が表-2.2.3 および表-2.2.4 の T_A の目標値を下回らないように決定する。

$$T_A' = a_1 T_1 + a_2 T_2 + \dots + a_n T_n \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

ここで $a_1, a_2 \dots a_n$: 表-2.2.6 に示す等値換算係数

$T_1, T_2 \dots T_n$: 各層の厚さ

なお、インターロッキングブロックの等値換算係数は表-2.2.6 に示すとおりとし、(社)インターロッキングブロック舗装協会による国内における使用実績の調査および諸外国における設計基準や、試験舗装の解析結果から検討して、1.0 として評価して T_A 法による設計を行うことは妥当であると判断されている²¹⁾。また、敷砂層は等値換算厚の計算に含めない。

表-2.2.5 路盤各層の最小厚さ

普通道路	小型道路	工法・材料	1層の最少厚さ
$N_7 \sim N_3$	S_4, S_3	瀝青安定処理 (加熱混合式)	最大粒径の2倍かつ 5cm
		その他の路盤材料	最大粒径の3倍かつ10cm
N_2, N_1	S_2, S_1	粒度調整碎石, クラッシュラン	7cm
		瀝青安定処理 (常温混合式)	7cm
		瀝青安定処理 (加熱混合式)	5cm
		セメント・瀝青安定処理	7cm
		セメント安定処理	12cm
		石灰安定処理	10cm

表-2.2.6 等値換算係数

使用する層	材料・工法	品質規格	等値換算係数a
表層	インターロッキングブロック	曲げ強度：5MPa以上	1.00
上層路盤	瀝青安定処理	加熱混合：安定度3.43kN以上	0.80
	セメント・瀝青安定処理	一軸圧縮強さ〔7日〕 1.5~2.9MPa 一次変位量〔7日〕 5~30(1/100cm) 残留強度率〔7日〕 65%以上	0.65
	セメント安定処理	一軸圧縮強さ〔7日〕 2.9MPa	0.55
	粒度調整砕石	修正CBR 80以上	0.35
	粒度調整鉄鋼スラグ	修正CBR 80以上	0.35
下層路盤	クラッシュラン, 鉄鋼スラグ, 砂など	修正CBR 30以上	0.25
		修正CBR 20以上30未満	0.20

2.2.4 路盤の設計

交通区分 N_1 および N_2 の設計において、上層路盤と下層路盤の合計厚が 15cm 未満になる場合は以下のように設計する。

- ①設計 CBR が 6 以上の場合は、上層および下層の区別をせずに路盤を同一の材料で設計する。この場合の等値換算係数は表-2.2.6 をそのまま用いる。
- ②設計 CBR が 6 未満の場合は、上層および下層の区別した 2 層からなる設計とする。なお、設計 CBR が 6 未満の場合でも過去の経験または試験施工などの結果から所定の品質を確保できることが確認されている場合には、下層路盤を設けずに上層路盤のみの設計としても良い。この場合には上層路盤のみ 1 層の等値換算係数を用いる。
- ③必要な TA が 11cm 未満となる場合、(表-2.2.3, 表-2.2.4 網掛け部) では、表-2.2.7 に示す路盤構成とする。なお、上層路盤のみの設計でその厚さが 7cm となる場合では、インターロッキングブロックの厚さが 8cm となるため、表層厚と路盤厚とのバランスを考慮して、ブロックの厚さ (80mm) 以上とする。

表-2.2.7 必要 T_A が 11cm 未満となる場合の路盤構成

普通道路	小型道路	路盤構成		T_A
N_2, N_1	S_2, S_1	設計CBRが 6未満	粒度調整碎石7cm +クラッシュラン7cm	12.2cm
		設計CBRが 6以上	粒度調整碎石8cm	10.8cm

2.2.5 路面の評価

舗装は自然環境や交通荷重などの過酷な条件下に供されるため、経時的にその供用性能が低下し、次第に安全性や快適性などが損なわれる場合がある。ライフサイクルコストの観点から見て、一般的に早めの補修ほど舗装の延命につながりやすいことから、インターロッキングブロック舗装でも、できるだけ早期にこれらの損傷などを調査、発見し、速やかに補修を行い、舗装の供用性を計画的に回復させる維持・修繕が必要である。インターロッキングブロック舗装の供用後における路面の評価方法は、表-2.2.8 に示すような維持管理基準を参考にした方法がある。定期的に路面の性状を調査した結果と維持管理基準値とを項目ごとに照合して行い、必要に応じて補修の要否を決定するための参考値とするものである。

表-2.2.8 維持管理基準の例

交通 量区分	調査項目	わだち掘れ・ 局部沈下・ 摩耗深さ (mm)	ブロック間 の段差 (mm)	目地幅 (mm)	すべり抵抗値・ すべり摩擦係数 注1	平坦性 (mm)注2	ブロック の破損率 (%)注3
	N ₇ ~N ₄ S ₄	30	5	5	0.25	5	20
	N ₃ ~N ₁ S ₃ ~S ₁	40	5	5	0.25	6	20
	歩道・駐車場	30	5	7	40BPN	—注4	—注4

注1: すべり抵抗の測定は、ブロックの表面がポリッシング作用によりすべりやすくなった場合に測定する。歩道の場合は、振子式のポータブルスキッドレジスタンステスターによる計測（湿潤状態）とする。また、車道の場合はすべり摩擦係数とし、自動車専用道路の場合は80km/h、一般道路の場合は60km/hで、路面を湿潤状態にして測定する。ただし、測定困難な場合は60BPNで代替する。

注2: 横断凹凸量(σ)による計測。

注3: ブロックの破損率は以下の式によって求める。

ブロックの破損率(%) = (破損したブロック個数 ÷ 全体のブロック個数) × 100

注4: 歩道の場合は、安全性や快適性、および景観性の低下や周辺環境との調和不適合と判断されるに至った場合に、補修の必要性について検討する。

2.3 既往の天然石舗装の構造と課題

天然石舗装は図-2.3.1のように、一般にセメントコンクリート版や既設舗装面を施工基盤として、下地及び目地に粒状材料を用いた据付型工法と、セメント系あるいはポリマー系の材料を充填して石板を固着する工法（以下、接着型工法）とに大別される。

天然石舗装については工法の確立や破壊原因の特定が進んでいないことは前述の通りであるが、中村ら²²⁾によって歴史的景観を重視するがゆえに採用された天然石舗装で現状発生している問題点について調査が行われている。これによると、例えば、長崎市東山手、南山手地区ではどんどん坂や旧グラバー邸付近で石畳舗装（諫早石）がされているが、車両が進入する街路では目地の破損やアスファルトでの応急処置跡が目立ち問題がある。また、川崎市川越地区では蔵づくりの家屋によって重厚な街並

みが形成されており、御影石による舗装がされているが、石の色彩やテクスチャが微妙に異なるため、整備時に多めにストックして補修に使用しており、車両が通行する場所では不具合が生じやすく都度補修を行うという手間をかけている。有田町有田内山地区では、江戸初期に陶磁器産業のために形成された町であり、旧国道の歩道が御影石、散策用の大いちょう通り線と年木谷通り線は三間坂石、白川・中の原線には諫早石、交差点部には陶磁器製タイルなど様々な材料が用いられているが特に問題が起きているのは三間坂石による舗装である。当初歩行者専用道路として整備されたが、施工当時よりも一般家庭の自動車保有台数が増えたために石材の痛みがひどくなっている。当初施工から20年以上たつが、段差やガタツキがあちこちで発生し、住民からは段差でつまづくという苦情が出ている。施工当時はここまでの悪化は予想していなかったようである。強度を増すために石材をたたいて調べ、強い石のみを吟味して使用したが自動車の通行により破損したとのことである。三間坂石の価格が高いことや産出量が減って入手困難になっていることから維持管理が困難になっている。これらの調査により景観配慮の観点から天然石舗装を選択した地域の多くで物理的な破損などの問題が明らかになっている。また、同文献では、自動車の通行がある場所では石舗装は避けた方が良く、やむをえず石舗装を選択する場合は車両の乗り入れ制限などを合わせて考慮する必要があると述べている。さらに、道路管理者側の立場から、整備費用の補助が出るのは施工時までであり、以後の維持管理費は各自治体が負担しなければならず、財政的事情や、将来の交通状況、材料調達の容易性を十分考慮して事業計画することの必要性を説いている。

いずれにしても、環境と景観を重視したまちづくりにおいて、天然石舗装の必需性が高まる中で、耐久性とメンテナンス性を改善した車道用天然石舗装工法の開発が求められる。

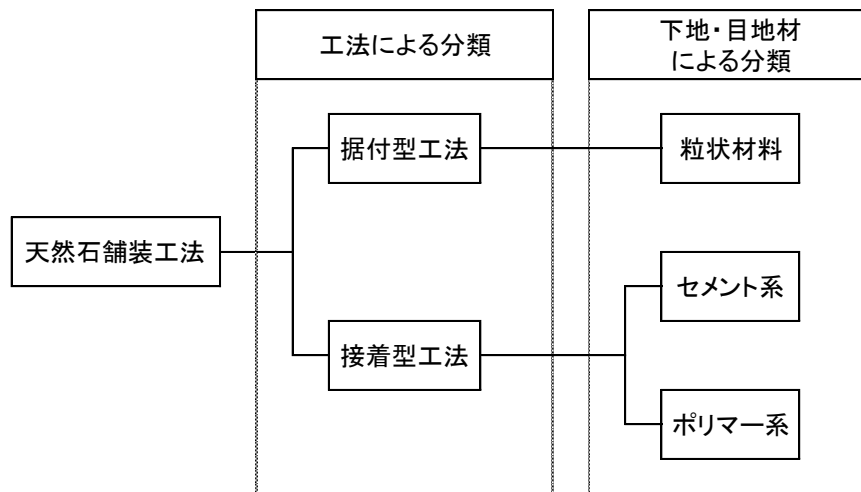


図-2.3.1 既往の天然石舗装の分類

2.3.1 据付型工法の構造と問題点

据付型工法の構造を図-2.3.2に示す。据付型工法は石板の目地や下地部分に砂等の粒状材料を用い、構造的には路床上に施工基盤、下地層、表層により構成され、表層となる石板に加わる荷重を均一に分散して目地部以下の施工基盤に伝達させという荷重分散性能の概念に基づく工法であり、古くから天然石舗装をはじめとするブロック系舗装に用いられてきた。

据付型工法の破壊形態は図-2.3.3に示すように、車両の通行により下地及び目地の支持力不足に起因した石板の沈下や傾斜、移動が生じることや、雨水による目地材の流失等に伴い、石板のガタツキが生じ、車両の通行等による荷重がかかることにより石板の沈下や傾斜、移動につながり、破壊に至るといものである。目地材の流出については、定期的なメンテナンスを行い補充することで解決できるが、供用後のメンテナンスに対する手間がかかるという問題点があり、この工法を車道用舗装に適用することは難しい。しかしながら、石板の下地や目地に粒状材を用いることにより、石板の繰り返し利用が可能であり、ライフサイクルコストの面で優位性がある。

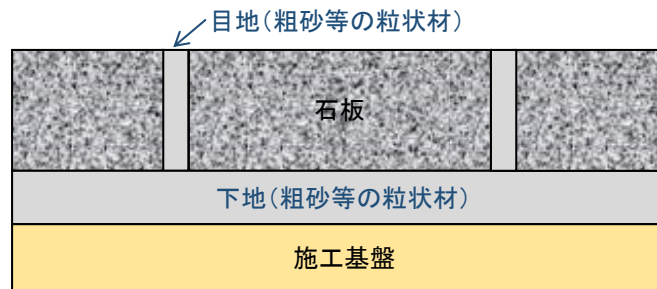
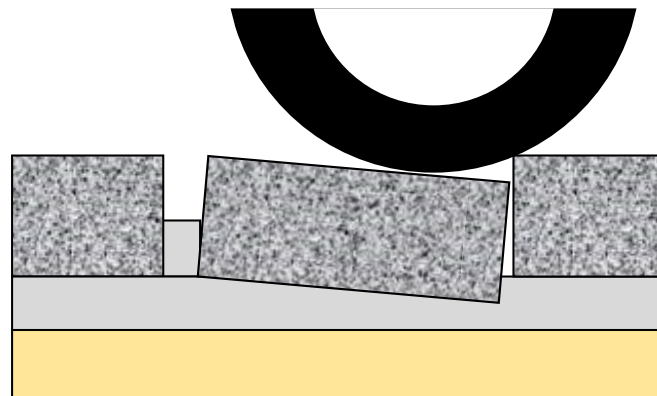


図-2.3.2 据付型工法の構造



- ・石板の沈下と傾斜，移動が生じる
- ・雨水等によって目地が流出する
- ・メンテナンスを頻繁に要する

図-2.3.3 据付型工法の破壊形態

2.3.2 接着型工法の構造と問題点

接着型工法の構造を図-2.3.4に示す。接着型工法の特徴は，路盤の上に空練りモルタルなどの層を設け，その上に石板を設けて表層とするものであり，表面の石板と施工基盤を強固に一体化することにより，舗装全体で荷重を受け持つ構造となっている。

図-2.3.5に接着型工法の破壊形態を示す。接着型工法では，下地及び目地の材料によっては繰返しの輪荷重を受けて一部が破壊されると隣接する石板に破壊が広がり，

連鎖的に広範囲が破壊する可能性を残している。また、石板を固着させる特徴に起因して、石板を再利用することができないことから、ガタツキなどが生じ機能が低下した場合に部分的な補修が困難であり、大規模修繕工事が必要になってしまうなど、メンテナンスやリサイクルに関する課題がある。また、接着型工法は据付型工法に比べて耐久性に優れるが、一般に施工費が高く、解体・処分が容易でないためライフサイクルを通じてコスト高となる場合がある。

天然石舗装における研究が進んでいないことは前述の通りであるが、景観機能と施工性に着目した検討が辻井ら²³⁾によってなされている。これは、薄層の鉄筋コンクリート版表面に景観材（天然石、ブロック、タイル等の二次製品）を使用した薄層 RC プレキャスト版を用いた景観プレキャスト舗装の適応性を調査したものである。プレキャスト版は工場制作品であることから、現場での施工を要する接着型工法とは違いがあるが、天然石等の材料を固着させるという観点においては同工法の分類とされるものと考えられる。これによると、天然石などの景観材をプレキャスト版と一体化させるには、セメントモルタルのような高い剛性の目地材を使用する必要性があり、剥がれ防止策として景観材側の接着面の溝切りや、エポキシ系、ポリマーセメントモルタルなどの接着剤が有効であるとしている。しかしながら、メンテナンス性やライフサイクルコストの面における解決策は見いだせない。また、その他には、耐久性の改善を主とした、目地材と下地材に改良を加えた特殊工法がセメント系およびポリマー系共に提案されている。以下にそれぞれの代表的工法の特徴を述べる。

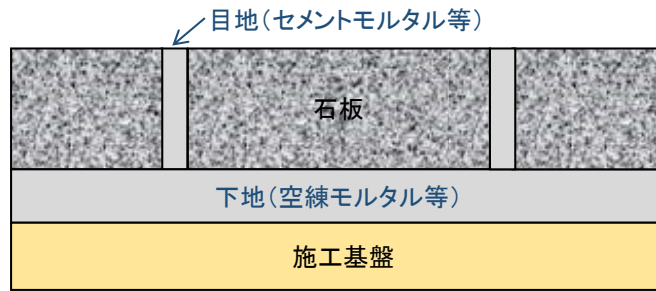
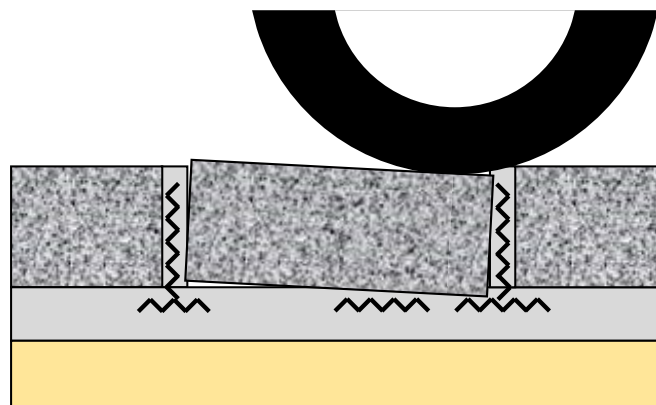


図-2.3.4 接着型工法の構造



- ・ 下地・目地が連鎖的に破壊する
- ・ 破壊に伴って石板がガタつく
- ・ 石板等のリサイクルが困難

図-2.3.5 接着型工法の破壊形態

(1) セメント系特殊工法

この特殊工法の事例として、株式会社 NIPPO が開発したデンポリーS 工法²⁴⁾がある。デンポリーS 工法の概要は、石板舗装をこれまでの軽交通路だけでなく、大型バスなどの通行の想定される観光地のシンボルロードやホテルのアプローチ部等の重交通路にも適用できるようにしたものである。同工法の構造を図-2.3.6 に示す。従来のセメントモルタルによる工法を改良し、表面の石と基層をより強固に一体化することで、舗装全体で荷重を受け持つ構造となっている。

主な特徴として下記のようなものが挙げられる。

- ①一般の工法と比較して固着モルタルの圧縮強度が大きく，車輪による圧縮やズレに対する耐久性に優れ，重交通に耐えることができる。
- ②基層はアスファルト舗装，コンクリート舗装双方に対応する。
- ③超速硬セメントを使用することで，施工後 3 時間で供用可能である。

同工法の問題点としては，据付型工法に比べ施工単価が高いことや，施工後の交通解放が速硬タイプで 3 時間程度かかること，破壊が生じた場合に石板と基層が強固に一体化していることから，解体が容易でないこと，また石板の再利用ができないことによりライフサイクルコストの面で問題があるといえる。

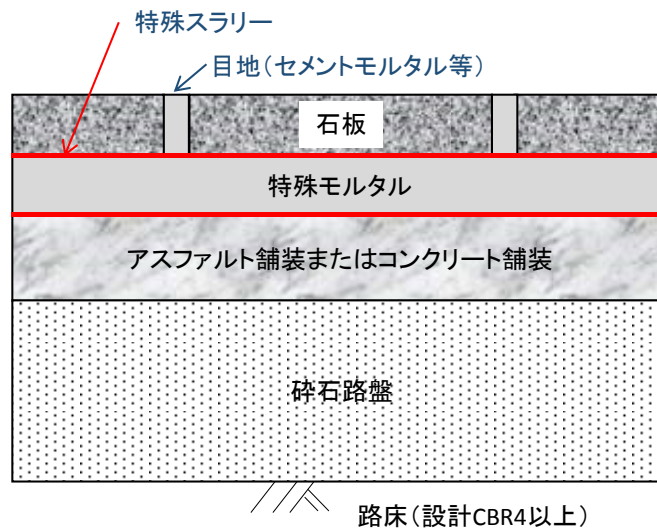


図-2.3.6 デンポリーS工法の構造

(2) ポリマー系特殊工法

この特殊工法の事例としては，大成ロテック株式会社が開発したインジェクト工法²⁵⁾があげられる。インジェクト工法の概要は図-2.3.7のように，天然石ブロック舗装のブロック下層に特殊充填剤（ポリマー系）を注入し，衝撃吸収性と接着力に優れた

支持層を形成し、石板と基盤が強固に一体化することによって、大型車両の通行にも耐えうるブロック舗装を構築するものである。

主な特徴として下記のようなものが挙げられる。

- ①注入した支持層にバラつきが少なく均一な仕上げが可能である。
- ②長期に渡り大型車の通行に耐えることができる。
- ③石板を底面および側面の5面で確実に固着するため、石板のはく離がない。
- ④施工後、速硬タイプは3時間で交通解放が可能。
- ⑤施工基盤はアスファルト舗装、コンクリート舗装双方に対応する。
- ⑥不整形の天然石ブロックでも使用できる。

同工法の施工手順を図-2.3.8に示す。まず、施工基盤の上に単粒碎石をスペーサーとして敷き、その上に石板を仮設置きする。次に単粒碎石の間隔と目地に特殊充填剤を注入し、目地上部に化粧目地を施工後、所定時間養生して完成となる。

同工法の問題点としては、まず、交通解放までの時間があげられる。目地や下地部分に使用する充填剤は速硬タイプと普通タイプがあるが、養生時間は速硬タイプで3時間程度、普通タイプで1~3日程度となっており、即時解放できないため、交通規制の長期化が生じてくる。普通タイプについては、目地や下地に注入する充填剤の粘性が速硬タイプに比べて低く、流動性が高いため、勾配の下流からあふれ出しやすく、また、勾配下流に分離したアスファルト乳剤が留まる可能性がある。これに対する対処法として、普通タイプの充填剤の性状を改善するため、市販のセメント急結材を一定量添加し、ゲル化の時間を早めて速硬タイプと同程度の施工性を確保するという報告²⁶⁾があるが、石板の繰り返し利用ができないことや、施工コストの面における課題は未解決である。

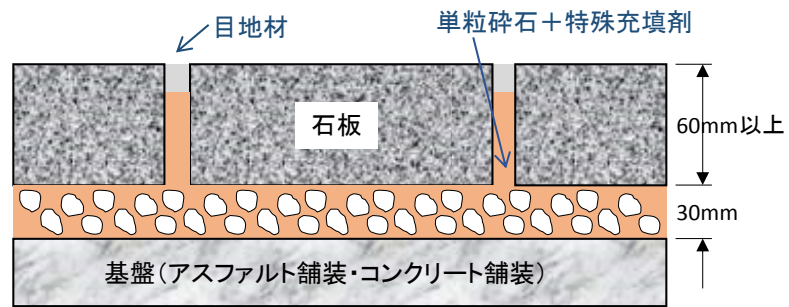


図-2.3.7 インジェクト工法の構造

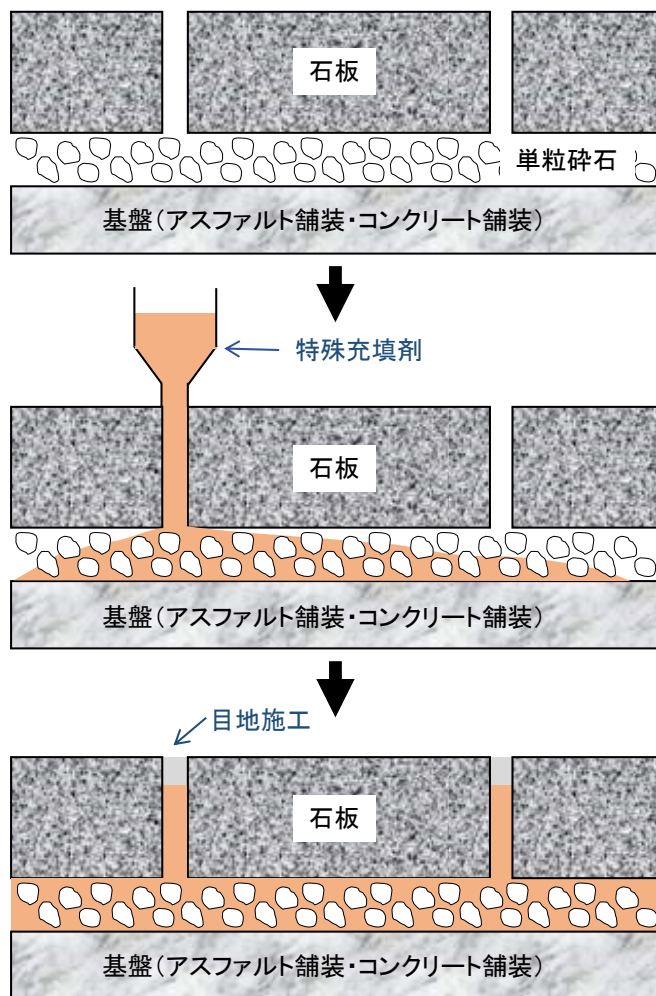


図-2.3.8 インジェクト工法の施工手順

(3) 既往の工法における破壊例と補修の現状

本節において既往の各工法についてその特徴と問題点を述べたが、いずれの工法も景観舗装としての位置付けから補修・修繕に際しては本来の美観を保持することが前提となる。しかしながら、補修に際して、同様の天然石板の入手が困難であることや、コストの問題から、逆に景観を損なってしまっている場所が多くみられる。以下に破壊例と補修の現状を示す。

写真-2.3.1 は東京駅丸の内南口付近で撮影したものである。車道部を接着型工法で施工されたものと見受けられるが、車両の通行に伴う繰り返し荷重を受け、目地部のモルタルが連鎖的に破壊されている。

写真-2.3.2 は**写真-2.3.1**と同様の場所で破壊が進行し段差が生じてしまい、補修を実施しているところである。数㎡程度の補修に対して作業員3名、ガードマン1名により実施されており、天然石を再利用するため、バールとハンマーなどによる手作業で目地部分のみを破碎して天然石ブロックを取りはずしている。施工面積に対してかなりの時間とコストがかかっているものと考えられ、メンテナンス性やライフサイクルコストの問題を見て取れる。

写真-2.3.3 にブロック系舗装の補修状況を示す。

(A)は市街地中心部、市のシンボルとなる神社から大型ショッピングビル、商店街をつなぐ車道であり、天然石板による舗装がされているが、全体的にがたつき、段差が生じており、多くの箇所ではアスファルトによる補修がなされている。

(B)は県庁から市役所をつなぐシンボルロードの歩道部で、天然石板による舗装であったが、キュービクル設置に伴う地下埋設物工事後アスファルトにより復旧されている。

(C)は駅から大学へ続く商店街であり、日々多くの学生や地元住民でにぎわいを見せ

ている。天然石板による接着型工法で施工されているが、商店等の搬入車両や一般車両が通行するため、繰り返し荷重により段差やガタつきが発生し、アスファルトによる応急的な処置がされており、景観が害されている。

(D)は中心市街地へ続く商店街の入り口で、インターロッキングブロックによる舗装であるが、地下埋設物工事により長距離にわたり補修の跡が目立つ。

以上のように、いずれのケースにおいてもアスファルト舗装による補修がなされているのが一般的であり、景観に配慮したブロック舗装を実施したためにかえって著しく景観を損なっている場所が多く存在している。これはブロック舗装におけるメンテナンスの難しさを如実に表しているものと考えられる。



写真-2.3.1 既往の天然石舗装の破損状況（東京駅付近）



写真-2.3.2 既往の天然石舗装の補修状況



写真-2.3.3 ブロック系舗装の補修状況

2.4 まとめ

表-2.4.1 に各天然石舗装工法の特徴と問題点の一覧を示す。

本章では、天然石舗装に関する既往の技術について整理し、その問題点を明確にした。すなわち、据付型工法では耐久性に関する問題、接着型工法ではメンテナンスに関する問題である。

石工や石材産業の歴史は古く、そのルーツは海外における古代文明にまでさかのぼる。日本においても石板はその地域の財産的価値があると考えられ、補修の度に大切に保管の上、繰り返し利用されてきたという経緯がある。また、元の形状を生かした利用を想定しやすい材料として、一つの役目を終えた後も官庁における公園や集会施設などから、民間においては旅館、料亭、テーマパーク等に至るまで様々な施設で活用されていく実績も報告されている。²⁷⁾ 大量生産・大量消費・大量廃棄の時代は終焉を迎え 3R 活動²⁸⁾ (Reduce (リデュース)、Reuse (リユース)、Recycle (リサイクル)) 等に代表される循環型社会の推進が求められている現代において、石という地域の限りある資源を後世につないでいくという観点からも石板の繰り返し利用を前提として、かつ耐久性が高く、ライフサイクルにおいてメンテナンスが容易な天然石舗装技術の確立が必要である。

表-2.4.1 各天然石舗装工法の特徴と問題点

工法	下地・目地材	主な工法	強度	特徴	問題点
据付型工法	粒状材料	石板舗装 小舗石舗装	△	石板を接着しない 石板の繰り返し利用が可能 ブロックのかみ合わせ効果による荷重分散性能	接着型工法に比べ強度が劣る 雨水等による目地の流失に伴う石板のガタつきが生じやすい 目地材の定期的補充が必要
			歩道対象		
接着型工法	セメント系材料	石張工法 (セメントモルタル)	○	石板を接着 石板と施工基盤を一体化し舗装全体で荷重を受け持つ	一部が破壊されると連鎖的に広がる 石板の再利用が不可 部分的補修が困難 解体・処分が容易でない
			軽交通対応		
	デンボリーS工法	◎	石板を接着 石板と施工基盤をより強固に一体化し舗装全体で荷重を受け持つ	施工単価が高い 養生が必要 交通規制が必要 石板の再利用不可 解体・処分が容易でない	
	ポリマー系材料	インジェクト工法	◎	石板を接着 目地・下地部にポリマー系材料を充填 衝撃吸収性と接着力に優れる	施工単価が高い 養生期間が長い 交通規制が長期化 石板の再利用不可 解体・処分が容易でない
			重交通対応		

第2章の参考文献

- 1) 鹿島出版会：語り継ぐ舗装技術 道路舗装の設計・施工・保全, p.73-75, 2000.11.30
- 2) 社団法人日本道路協会：舗装設計施工指針, 2006.2.24
- 3) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧, 2006.2.24
- 4) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧, p.232, 2006.2.24
- 5) 後藤恵之輔, 小沢元彦, 飯田恭祥, 持下輝雄：車道部における板石舗装の強度実験と弾性解析, 長崎大学工学部研究報告 第22巻, 第39号, 1992.7
- 6) 財団法人インターロッキングブロック舗装技術協会：インターロッキングブロック舗装設計施工要綱, 2007.3
- 7) 徳竹雅博：自然石板平板舗装の基層をコンクリートからアスファルトに変更, JCM マンスリーレポート, 2010.1, Vol.19, No1, p13-14
- 8) 国土交通省四国地方整備局：設計便覧. (道路編) 2014.4
<http://www.skr.mlit.go.jp/road/ir/binranroad/binran/>
- 9) 柿沼宏始, 矢澤修一, 笠原篤：インターロッキングブロック舗装のたわみ特性に関する研究, 土木学会論文集 No.739/V-60, pp49-60, 2003.8
- 10) 柿沼宏始, 吉田武, 池田拓哉：大型車両を用いたインターロッキングブロック舗装のクッション砂の耐久性評価, 土木学会論文集 No.669/V-50, pp267-276, 2001.2
- 11) 加形護, 西沢辰男, 畑実：車道用コンクリートブロック舗装の構造的挙動に及ぼすブロック寸法に関する一検討, 土木学会舗装工学論文集, 第5巻, pp130-138, 2000.12
- 12) 唐沢明彦, 関根重年, 加形護, 東滋夫：インターロッキングブロック舗装の重荷重分野への適応化に関する一検討, 第1回舗装工学講演会講演論文集, pp265-272,

1996.12

- 13) 菊池清二, 荒井安治 : 舗石用サンドクッション材及び目地材とそれを用いた舗石の施工方法, 日本国特許庁, 公開番号 公開 2002-356803.
- 14) 社団法人日本道路協会 : 舗装設計便覧, p.14, 2006.2.24
財団法人インターロッキングブロック舗装技術協会 : インターロッキングブロック舗装設計施工要綱, p11, 2007.3
- 15) 社団法人日本道路協会 : 舗装設計便覧, p.27, p.312, 2006.2.24
- 16) 社団法人日本道路協会 : 舗装設計便覧, p.29, p.310, 2006.2.24
- 17) 社団法人日本道路協会 : 舗装設計便覧, p.68-70, p304, 2006.2.24
日本工業標準調査会 : CBR 試験方法 JIS A 1211, 2009
日本工業標準調査会 : 現場 CBR 試験方法 JIS A 1222, 2013
- 18) 社団法人日本道路協会 : 舗装設計便覧, p.62-88, p307, 2006.2.24
- 19) 社団法人日本道路協会 : 舗装設計便覧, p.62-88, 2006.2.24
- 20) 社団法人日本道路協会 : 舗装設計便覧, p.19-21, p75-89, p.256-271, 2006.2.24
- 21) 財団法人インターロッキングブロック舗装技術協会 : インターロッキングブロック舗装設計施工要綱, 付 38, 2007.3
- 22) 中村遥子, 黒田乃生 : 伝統的建造物群保存地区における街路舗装の現状と課題, 日本建築学会計画系論文集, Vol.75, No.657, pp.2729-2735, 2010.
- 23) 辻井豪, 越川喜孝, 福田萬大, 小梁川雅, 西澤辰夫 : 景観を考慮した薄層プレキャストコンクリート舗装に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第 3 巻, pp101-110, 1998.12
- 24) 株式会社 NIPPO : 製品・技術のご案内, 大型車も通行可能な自然石舗装デンボリーS 工法

http://www.nippo-c.co.jp/tech_info/general/SG02054_g.html

- 25) 大成ロテック株式会社：車道用自然石舗装／インジェクト工法

<http://www.taiseirotec.co.jp/technicalinfo/inject/>

- 26) 福里次康，米林博己，岩野智：路面電車の軌道周辺に適応された車道用自然石ブロック舗装の施工，第15回土木施工管理技術論文集，pp138-142

- 27) 岡田幸子，樋口明彦，仲間浩一：北九州における路面電車の敷石の流通と利用に関する研究：土木計画学研究・論文集，Vol.23，pp381-388，2006

- 28) 経済産業省ホームページ：3R政策ホーム

<http://www.meti.go.jp/policy/recycle/>

第3章 提案工法および室内試験による評価

3.1 概説

天然石舗装の軽交通路への適応にあたり、既往の天然石舗装で発生している問題を改善しなくてはならない必要条件を整理すると下記に示すような点が挙げられる。

- ①周囲の景観を損なわないこと。
- ②車両通行に伴う繰り返し荷重に対して十分な耐久性があること。
- ③メンテナンス性が高いこと。
- ④石板のリサイクルが容易であること
- ⑤材料の入手が容易であること。

上記の内、メンテナンスとリサイクルを容易に行うため、さらに補修に伴う美観を保持するために石板の固着を避けなくてはならないことから、据付型工法による耐久性の改善を検討した。つぎに、据付型工法の耐久性を改善するには石板同士、すなわち目地の噛み合わせを向上させ、輪荷重を分散する必要があると考え、目地幅とほぼ同径で、かつ耐久性のある材料を目地部に挿入する構造を考案した。

目地部に挿入する材料の選定にあたっては、作業性に配慮して均質、かつ均一な球形であることを条件とし、表-3.1.1に示す比較により石板を固定するために十分な硬度と耐摩耗性、耐腐食性を有すること、さらに経済性を考慮して安価で、安定供給が可能な市販品であることを必要条件とし、粉砕用アルミナボールの応用を提案するに至った。なお、本工法で用いるアルミナボールは硬度、靱性が高く、磨耗減量が極めて低いためボールミルや振動ミル等の粉砕機に採用されており、品質の安定した工業製品として直径1～50mmの範囲で市販されている。

本章では、まず、据付型工法を車道用ブロック系舗装として適用する場合、石板の目地にアルミナボールを挿入し、噛み合わせ効果によって石板の移動を抑制する工法を提案する。つぎに、提案工法により作成した供試体を用い、ホイールトラッキング試験機による室内シミュレーション試験を実施し、石板の沈下、傾斜、移動に対する本工法の効果を検証するとともに、衝撃吸収性や透水性などの付加的性能について検討した。

表-3.1.1 市販の球状材料比較

材 質	硬 さ		耐流失性		耐腐食性	単 価	
	モース 硬度	判定	密度/比重	判定	判定	(円/cm ³)	判定
アルミナ	9	◎	3.6 g/cm ³	○	◎	7.6	◎
クローム	7~9	○	7.1 g/cm ³	◎	△	44.6	△
ジルコニア	7	○	6 g/cm ³	◎	◎	90.6	△
ステンレス	4~6	△	7.9 比重	◎	△	111.4	△
ポリエチレン	-	×	0.9~0.96 比重	×	×	178.3	△
ナイロン	-	×	1.14 比重	×	×	205.4	△
ポリプロピレン	-	×	0.91 比重	×	×	209.3	△
テフロン	-	×	2.14~2.2 比重	△	×	485.9	×
メノー	7	○	2.6 比重	△	◎	1949.8	×
タングステンカーバイト	8~9	◎	15 比重	◎	△	5224.9	×

※ 値は参考値です

3.2 提案工法の構造

提案工法の構造を図-3.2.1に示す。据付型工法の目地に電気部品等の粉碎用（ボールミル）として市販されるアルミナボールを挿入し、噛み合わせ効果によって石板をより強固に固定することで、据付型工法の課題である沈下や傾斜、移動等の耐久性改善を期待したものである。さらに、この構造は、接着型工法の破損要因である車両走行に伴う繰返し荷重を、長期的に受容することが可能であると考えた。

また、本工法では目地の流出対策として、舗石用サンドクッション材や目地材に用いられているアスファルトを混合した砂（以下 As.砂）の活用を併せて検討した¹⁾。

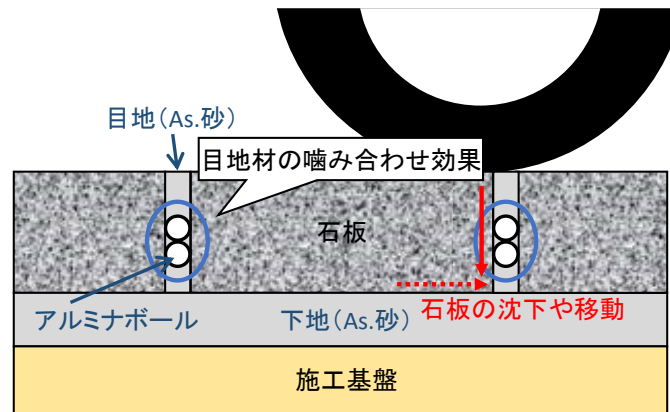


図-3.2.1 提案工法の構造

3.3 室内試験による効果および性能の確認

3.3.1 試験方法および供試体


試験輪の接地圧及び走行速度はホイールトラッキング試験²⁾に準拠し、目地直上を15000輪（7500往復）走行させて、走行輪数に伴う石板の沈下量、傾斜量、移動量から耐久性を評価した。ここで、走行輪数は表-3.3.1に示すように、軽交通路としてN₂交通量区分（台/日・方向：15以上40未満）における本工法の適用を目標として、当該区分の疲労破壊輪数（7,000回/10年）から20年に相当する14,000輪を目安に15,000輪までの耐久性を評価した。また、付加的性能の確認として、衝撃吸収性を舗装路面の弾力性測定試験³⁾（ゴルフボール反発試験）より、透水性を現場透水試験⁴⁾により評価した。なお、各試験とも1条件につき3回の平均値を評価した。

実験に使用した石板の物性を表-3.3.2に石板の概観を写真-3.3.1示す。石板は天然石舗装や石積み等で実績がある秋田県産の輝石安山岩（通称：男鹿石）を使用し、

実施工での実績を踏まえて石板厚さを 50mm、目地幅を 10mm として、ホイールトラッキング試験用型枠（内寸：300×300×100mm）に縦横 3 列で配置できるよう整形した。ここで、天然石舗装に用いられる石材は多種多様であり、加工技術の乏しい時代には大理石や砂岩等の比較的柔らかい岩石を利用していた事例もあったようであるが、近年では耐久性や耐摩耗性等の観点から、表-3.3.3⁵⁾に示すような花崗岩や安山岩等の比較的硬い材質のものが一般的に使用されており、主な石材として花崗岩系は御影石が、安山岩系は小松石、白河石、鉄平石などがあげられる。天然石舗装の構造と同様、舗装用石材の明確な基準や規格が存在しているわけではないが、土木・建築に使用する天然産の石材の規格（JIS A 5003）⁶⁾における物理的性質による分類では天然石材について表-3.3.4 に示すような圧縮強さによる区分を設けている。これによると、花崗岩や安山岩は最も強度が高い区分である硬石に区分され、本研究で用いた石材も安山岩系であり、圧縮強さが 10300N/cm² であることから最も硬い部類、硬石に位置づけられ、コンクリート製品等の他建材に比べはるかに強い耐久性を持ち、その品質を長期に渡って保つことができるものであるといえる。

下地及び目地に使用した粗砂と市販の As.砂の物性および概観を表-3.3.5、写真-3.3.2 に、アルミナボールの品質および概観を表-3.3.6、写真-3.3.3 に示す。目地に挿入したアルミナボールは、粉砕・分散用として市販される標準寸法のうち、供試体の目地幅に基づいて 8mm のものを選定した。

供試体の作製手順を図-3.3.1 に、供試体の構造及び測定点を図-3.3.2 に示す。アルミナボールの数量と挿入深さは、作業性と経済性に配慮し、ボール径と目地延長から上下 2 段の構成となる個数を求めて、目地深さの中央に重ねて隙間なく配置した。供試体の断面構造は天然石舗装の実績を踏まえて、まずは最も簡易的な構造に対して効果と性能を評価することとした。なお、模擬路盤に関しては厚さ 20mm として粗砂を

締固めて作製した。測定点は、中央 a 点の鉛直変位量を沈下量とし、縦断方向両端 b, c 点の鉛直変位差（絶対値）を縦断傾斜量、横断方向両端 d, e 点の鉛直変位差（絶対値）を横断傾斜量、さらに、a 点の水平変位から縦断移動量、横断移動量を評価した。各測定点の計測方法は、-3.3.3 に示すように沈下量および傾斜量については、試験前と試験後で、ある任意の高さからの鉛直変位量の差を、移動量については、試験開始前に測定点と一直線になる基準点を型枠上に設定し、試験後その基準点からの移動量を測定した。

下地及び目地の構成と供試体の名称を表-3.3.7 に示す。据付型工法は下地及び目地に粗砂を用いた Type S-S を基準供試体とし、目地にアルミナボールを挿入した Type S-Sb, 下地及び目地に As.砂を用いた Type A-A を比較して、As.砂とアルミナボールによる効果を確認した。また、参考として下地及び目地ともにセメントモルタル（普通ポルトランドセメント）を用いた一般的な接着型工法である Type C についても同様に試験した。各供試体の概観を写真-3.3.4 に、ホイールトラッキング試験状況を写真-3.3.5 に、試験前および試験後の供試体の状況を写真-3.3.6 に示す。写真より、Type S-S では、試験前と比較して中央に位置する石板において、輪荷重が走行した場所と反対側のせり上がりが見られる。Type S-Sb では、Type S-S ほどではなものの、中央石板の若干のせり上がりが見受けられる。また、Type A-A では輪荷重が走行した部分が沈下しているのが確認できる。Type C では試験前後で大きな変化は見られない。

表-3.3.1 交通量区分の設定（室内試験）

交通量区分	舗装計画交通量 (単位：台/日・方向)	49kN標準荷重疲労破壊輪数(単位：回)	
		設計期間10年	設計期間20年
N ₇	3,000以上	35,000,000	70,000,000
N ₆	1,000以上 3,000未満	7,000,000	14,000,000
N ₅	250以上 1,000未満	1,000,000	2,000,000
N ₄	100以上 250未満	150,000	300,000
N ₃	40以上 100未満	30,000	60,000
N ₂	15以上 40未満	7,000	14,000
N ₁	15未満	1,500	3,000

表-3.3.2 石板の物性

鉱物種	圧縮強度 (N/cm ²)	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
輝石安山岩	10300	2.553	1.14



写真-3.3.1 石板の概観

表-3.3.3 一般的な舗装用石材とコンクリートの比較

種類	比重	強度 N/cm^2 { kgf/cm^2 }				弾性係数	吸水率 %	耐熱温度 °C	熱伝導率 kcal/mh°C	熱膨張率 $10^{-6}/°C$
		圧縮	曲げ	引張	せん断	ヤング係数 t/cm^2				
花崗岩	2.65	14700 {1500}	1372 {140}	539 {55}	1764~2078 {180~212}	520	0.35	570	1.8	7
安山岩	2.5	9800 {1000}	833 {85}	441 {45}	2744 {280}	-	2.5	1000	1.5	8
コンクリート	2.3	1470~2450 {150~250}	176~490 {18~50}	118~245 {12~25}	392~588 {40~60}	210	-	-	1.8	7.6

表-3.3.4 物理的性質による区分 (JIS A 5003)

種類	圧縮強さ N/cm^2 { kgf/cm^2 }	参考値	
		吸水率 (%)	見掛比重 (g/cm^3)
硬石	4903 {500} 以上	5 未満	約 2.7~2.5
準硬石	4903 {500} 未満 981 {100} 以上	5 以上 15 未満	約 2.5~2
軟石	981 {100} 未満	15 以上	約 2 未満

表-3.3.5 粗砂及びAs.砂の物性

	粗砂	As.砂
含水比 (%)	0.37	0.61
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.718	1.500
透水係数 (cm/sec)	8.553×10^{-3}	1.611×10^{-2}
アスファルト量 (%)		2.0



粗砂



As.砂

写真-3.3.2 粗砂およびAs.砂の概観

表-3.3.6 アルミナボールの物性

比重	3.6以上
硬度	9 (モース硬度)
構成成分	アルミナ純度92%以上



写真-3.3.3 アルミナボールの概観

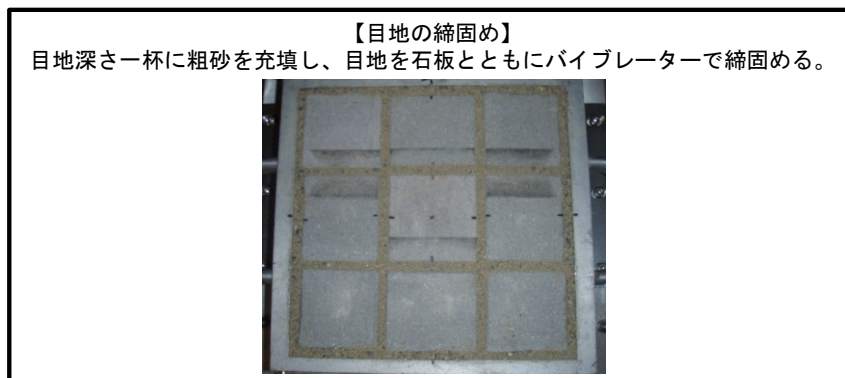
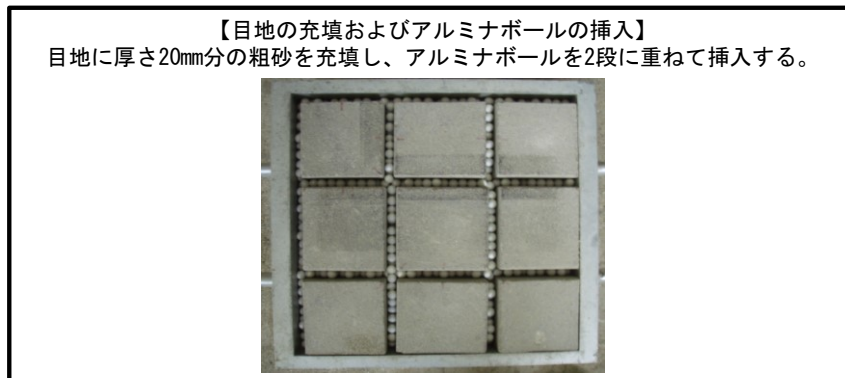
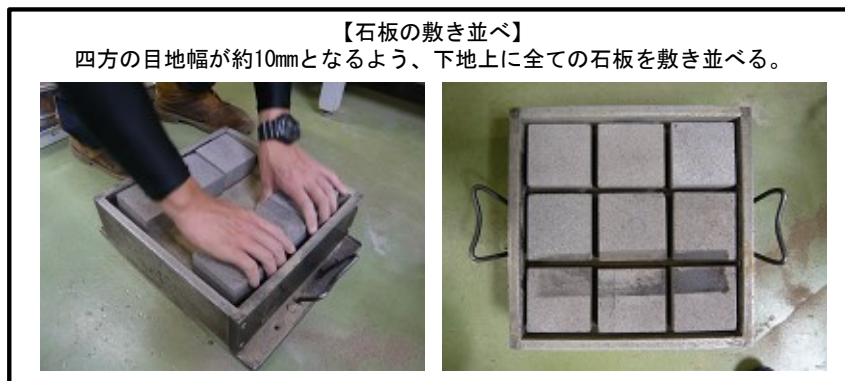


図-3.3.1 供試体の作成手順

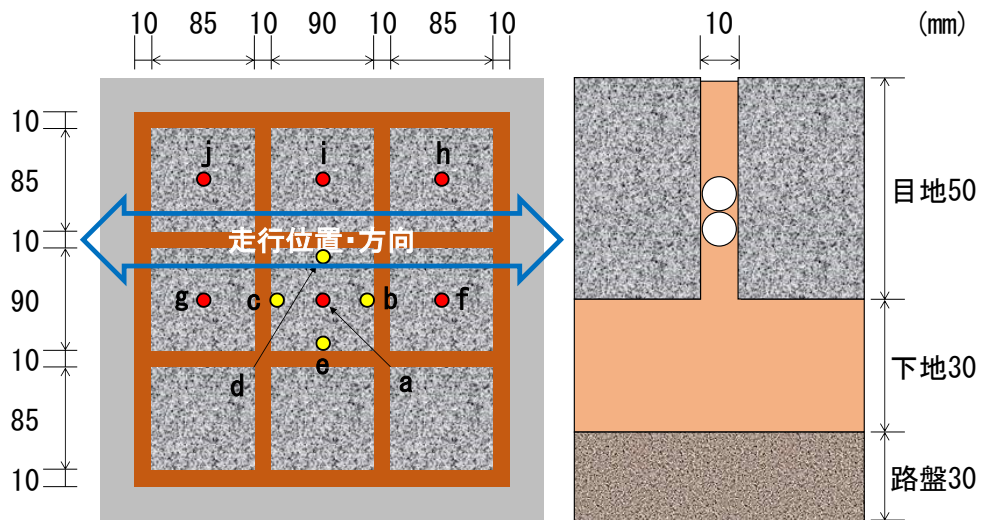


図-3.3.2 供試体の構造及び測定点

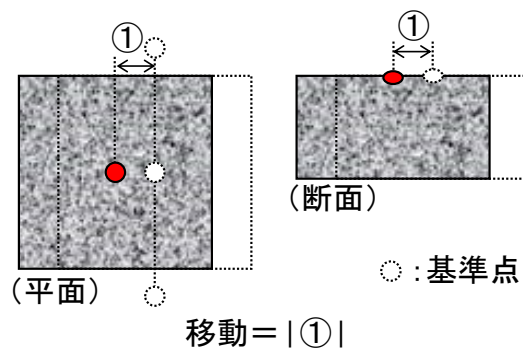
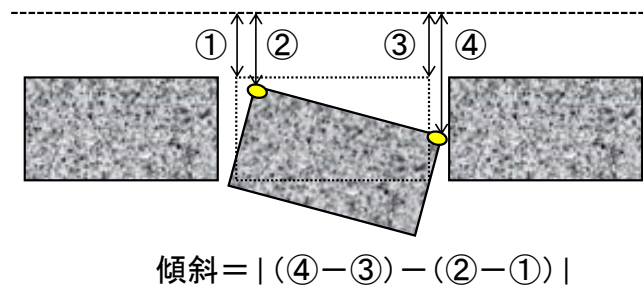
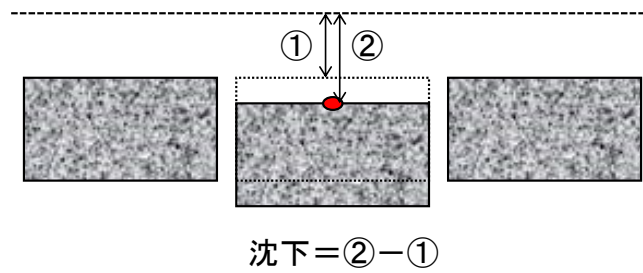


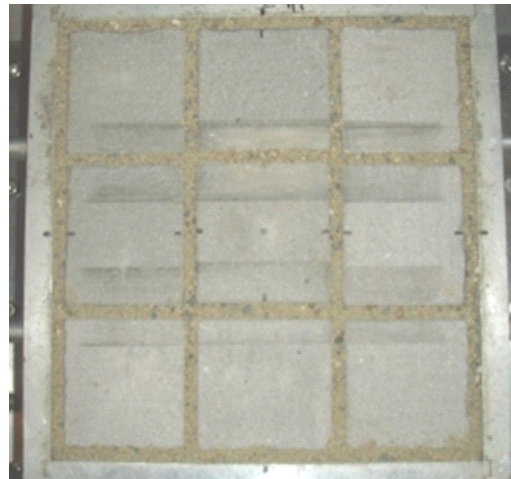
図-3.3.3 各測点の測定方法

表-3.3.7 下地及び目地の構成と供試体の名称

	供試体名称	下地材の構成	目地材の構成
据付型 工法	Type S-S	粗砂	粗砂
	Type S-Sb	粗砂	粗砂 +アルミナボール
	Type A-A	As. 砂	As. 砂
接着型 工法	Type C	セメントモルタル	



Type S-S



Type S-Sb



Type A-A



Type C

写真-3.3.4 各供試体の概観



写真-3.3.5 ホイールトラッキング試験状況

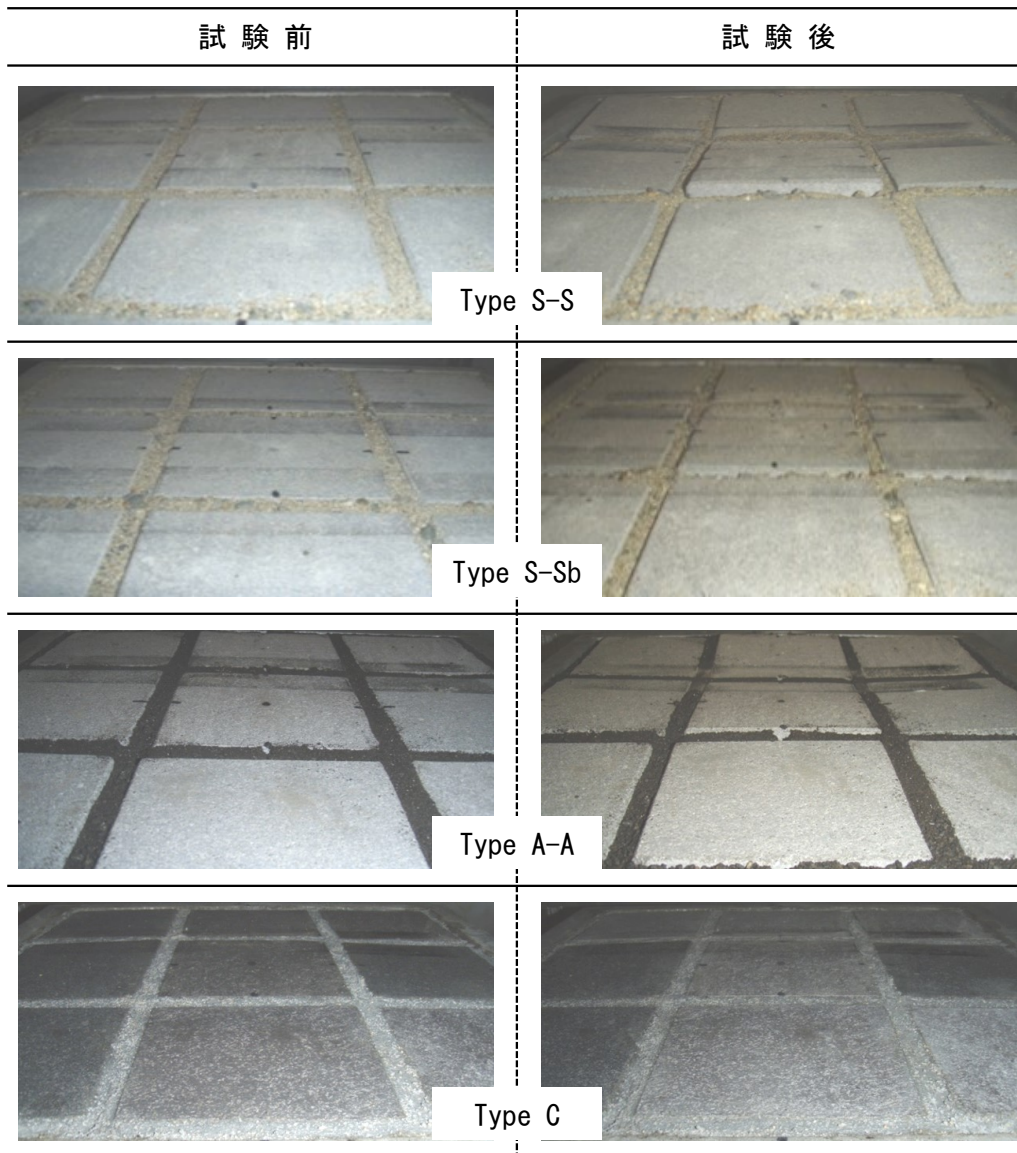


写真-3.3.6 試験前および試験後の供試体概観

3.3.2 耐久性に関する評価結果

(1) 沈下抑制効果

走行輪数と石板の沈下量を図-3.3.4に示す。なお、図中の凡例は、据付型工法のうち目地が粒状材料のみで構成される供試体を破線、アルミナボールを挿入した供試体を実線、セメントモルタルによる供試体を一点鎖線で示している。下地及び目地に粗砂を用いた Type S-S 及び As.砂を用いた Type A-A は、初期圧密を含む 2000 輪後の沈下量がおよそ 3mm に達し、以降も走行輪数に伴って沈下量が増加している。一方、目地にアルミナボールを挿入した Type S-Sb は、2000 輪後の沈下量が約 1mm であり、2000 輪から 15000 輪にかけて沈下の進行は見られない。これは、アルミナボールの挿入によって石板との噛み合わせが向上し、隣接する石板同士が一体となることで沈下抑制効果が発現したと考える。石板の沈下は、輪荷重が走り抜ける際に石板の端部に乗った時モーメントにより石板が回転するように片側が沈下し、輪荷重が石板中央を通り反対側の端部に荷重が乗った際にその直下が沈下するというシーソーのような動きを繰り返すことによって沈下が進行していくと考えられ、アルミナボール挿入により石板が回転しようとする動きを受け止めていることが沈下の抑制につながっているのではないかと推察される。

以上から、石板の沈下抑制に対して、下地及び目地に用いた As.砂の効果は認められないものの、目地にアルミナボールを挿入することで沈下抑制効果が得られる可能性を確認した。

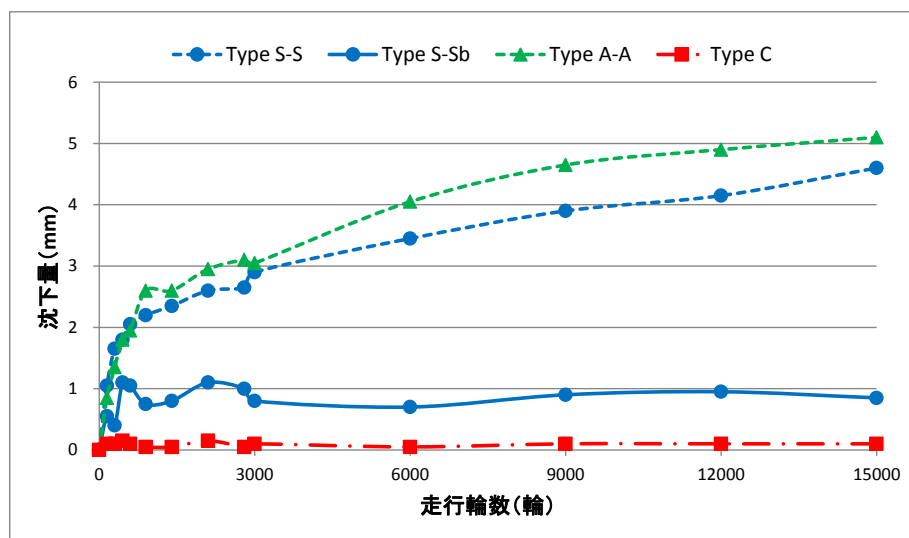


図-3.3.4 走行輪数と沈下量

(2) 傾斜抑制効果

走行輪数と石板の横断方向の傾斜量を図-3.3.5に、縦断方向の傾斜量を図-3.3.6に示す。なお、図中の凡例は、据付型工法のうち目地が粒状材料のみで構成される供試体を破線、アルミナボールを挿入した供試体を実線、セメントモルタルによる供試体を一点鎖線で示している。まず、横断方向の傾斜量について、沈下量と同様に、目地が粒状材料のみによる Type S-S 及び Type A-A は、走行輪数に伴い傾斜量が増加する傾向が見られ、試験後の供試体には写真-3.3.7のように石板の傾斜と移動に伴う競り上がりが生じている。他方、アルミナボールを挿入した Type S-Sb は、2000 輪以降に傾斜の進行は見られず、15000 輪後の傾斜量は約 1mm 程度である。つぎに、縦断方向の傾斜量について、石板の傾斜量は、各供試体とも横断方向の傾斜量に比べ全体的に小さく、同一走行回数での差異は最大でも 1mm 程度である。

また、各供試体共に走行輪数の増加に伴う傾斜量は、概ね増加する傾向であるが、走行回数の途中で傾斜量に増減が認められる。これは、車輪の走行を往復で行っているためと考えられるが、Type S-S と Type S-Sb を比較すると、アルミナボールを挿入することで傾斜量が一定となることから、アルミナボールの挿入効果が発現している。

以上の結果から、石板の傾斜は目地にアルミナボールを挿入することによる抑制効果が認められる。ただし、下地及び目地に As.砂を用いたことによる明らかな効果は確認されなかった。

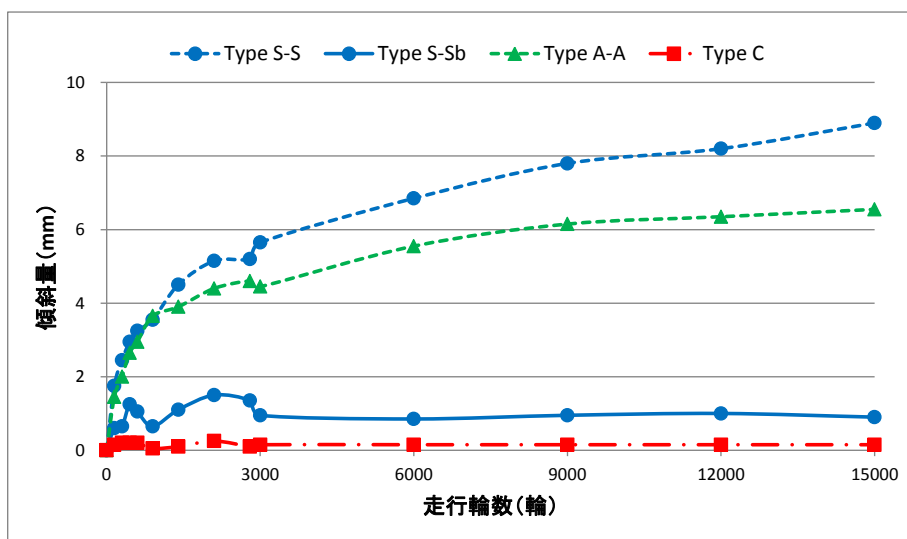


図-3.3.5 走行輪数と横断傾斜量

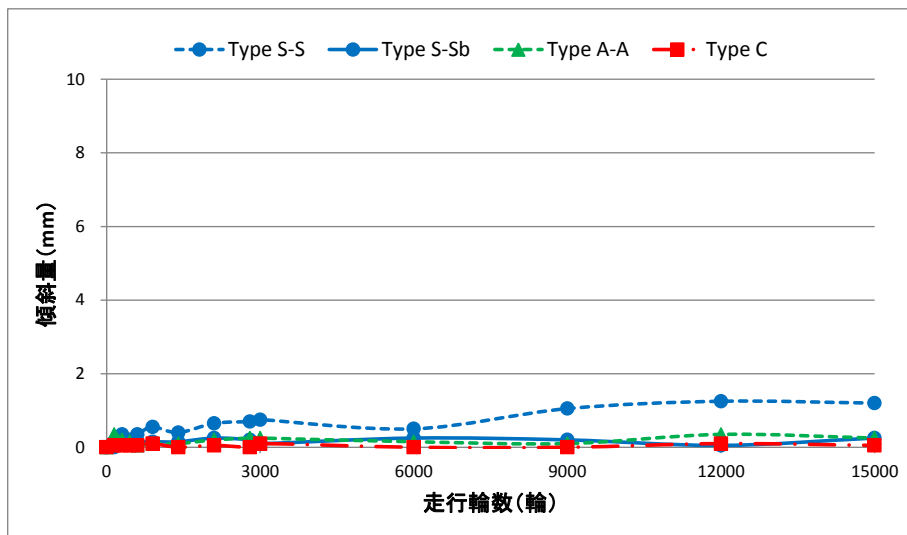


図-3.3.6 走行輪数と縦断傾斜量



写真-3.3.7 走行試験後の供試体 (Type S-S)

(3) 移動抑制効果

走行輪数と石板の横断方向の移動量を図-3.3.7に、縦断方向の移動量を図-3.3.8に示す。なお、図中の凡例は、据付型工法のうち目地が粒状材料のみで構成される供試体を破線、アルミナボールを挿入した供試体を実線、セメントモルタルによる供試体を一点鎖線で示している。まず、横断方向の移動量について、15000 輪後の移動量は、下地及び目地に粗砂を用いた Type S-S が約 2mm に対して、As.砂による Type A-A が約 1mm、アルミナボールを挿入した Type S-Sb が約 0.5mm であり、As.砂とアルミナボールによる移動抑制効果が認められる。特に、Type S-Sb では 3000 輪以降に移動の進行は認められなかった。このような結果は、まず、As.砂の使用に関しては As.砂と石板との摩擦が増加したため、つぎに、アルミナボールの使用に関してはアルミナボールと石板との噛合せによって石板がより強固に固定されたためと考えられる。つぎに、縦断方向の移動量は、各供試体とも横断方向の傾斜量に比べ全体的に小さく、同一走行回数での差異は最大でも 1mm 程度である。

また、傾斜量の時と同様、各供試体共に走行輪数の増加に伴う移動量は、概ね増加する傾向であるが、走行回数の途中で移動量に増減が認められる。これは、車輪の走行を往復で行っていたためと考えられるが、Type S-S と Type S-Sb を比較すると、ア

ルミナボールを挿入することで傾斜量がほぼ一定となり移動量が半減していることから、アルミナボールの挿入効果が発現している。なお、粗砂を用いた Type S-S 及び S-Sb に関しては、アルミナボール挿入の有無に関わらず、目地材である砂の損失が見られた。しかしながら、As.砂による Type A-A では目地材の損失が少なく、As.砂の微弱な粘着性による損失抑止効果が確認できた。

以上から、下地及び目地に As.砂を用いること、さらに目地にアルミナボールを挿入することによって石板の移動抑制効果が得られる可能性を確認した。

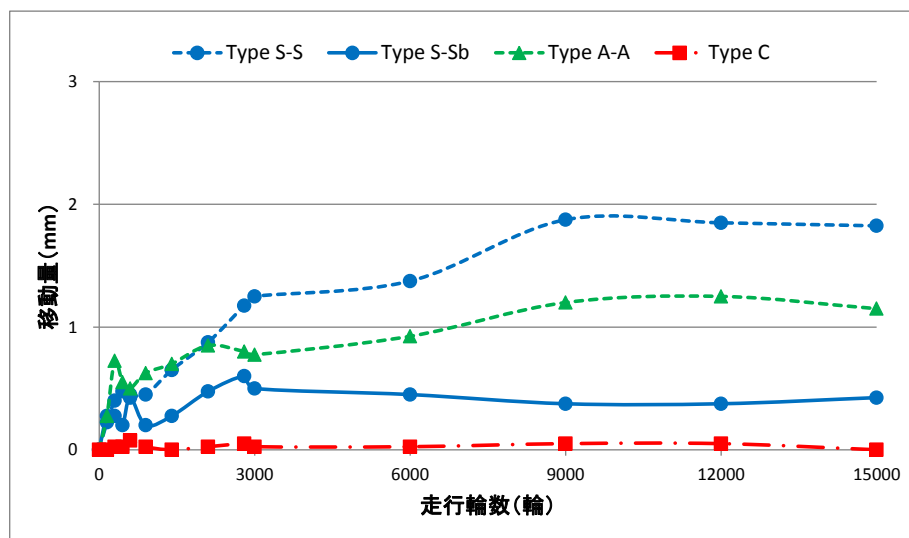


図-3.3.7 走行輪数と横断移動量

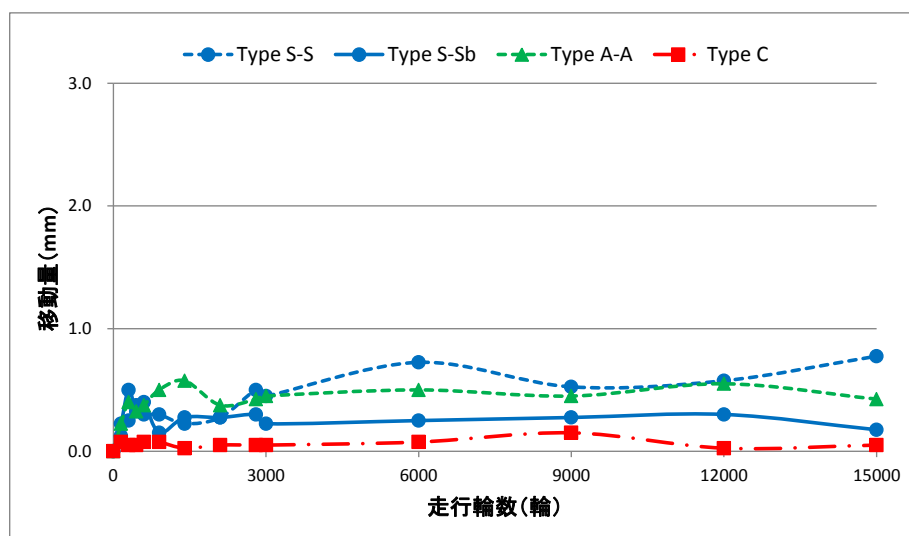


図-3.3.8 走行輪数と縦断移動量

3.3.3 付加的性能に関する評価結果

(1) 衝撃吸収性

高齢化が急速に進行しているわが国において、バリアフリーの観点から高齢者や障害者が安心して屋外に出て社会参加できる環境の整備が求められている。屋外にいる限り直接体に触れ続けることになる舗装の分野では、歩行者の感じる歩きやすさや転倒時の安全性、車椅子走行時の快適性等に影響する路面の硬さも注目しなくてはならない性能の一つとなっている。よって、付加的性能の評価の一つとして、本工法における路面の硬さを評価することとした。各供試体の衝撃吸収性を評価するにあたり、路面の硬さを評価する試験方法には床の硬さ試験、衝撃加速度試験、インパクトテスターによる測定、弾力性試験（GB 試験、SB 試験）、人体の足首やひざ関節に直接加速度計を取り付けて計る方法などがあるが、舗装の「歩き心地」、すなわち人が感じる柔らかさや足への衝撃（衝撃吸収性）については GB 係数と相関関係が高いとされている³⁾ことから、本研究においてこの試験を実施した。

GB 係数は以下の手順で求める。

- ①評価区間において 1000m²以下 10 箇所、それを超える場合 100m²につき 1 箇所の割合で測点を設定する。
- ②使用するゴルフボールは糸巻タイプまたは合成樹脂被膜タイプ（ツーピースボール）とする。
- ③測定方法はゴルフボールを 100cm の高さから自由落下させ、初めてバウンドした時の反発高さを読みとる。なお、高さの読み取りはボールの下面の位地とし、試験は 5 回行う。
- ④5 回の試験結果の中でほぼ一定の値を示す 3 回の測定値を平均し、cm 単位でま

とめ式 (3.1) により各測定点の GB 係数を求める。

$$GB \text{係数}(\%) = H_0/H \times 100 \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで H_0 : ほぼ一定の値を示す 3 回の反発高さの平均値 (cm)

H : ボールを落とす高さ (100cm)

⑤式 (3.2) により n 個の測点における GB 係数の平均値を算出し少数第 1 位を四捨五入して整数に丸め, GB 係数 (%) とする。

$$GB = (GB_1 + GB_2 + \dots + GB_i + \dots + GB_n)/n \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで GB : 歩道の硬さ (GB 係数)

GB_i : 測点 i の GB 係数

n : 測点数

測定状況を写真-3.3.8 に, GB 係数 (反発係数) を図-3.3.9 に示す。据付型工法である Type S-S, Type S-Sb, Type A-A の GB 係数はいずれも 45%前後であり, 一般的なアスファルト舗装 (GB 係数が 55~65%程度⁷⁾) に比べて小さく, ポリウレタン系舗装 (GB 係数が 30~50%程度³⁾) と同程度の衝撃吸収性が期待できる。なお, Type S-Sb は据付型工法のなかでも GB 係数が僅かに大きく, アルミナボールの噛合せ効果が発現し, 剛性の高い路面に改善したものと考えられる。一方, 接着型工法である Type C は GB 係数が 80%程度であり, 衝撃吸収性は期待できない。

以上から, 据付型工法の付加的性能として衝撃吸収性が得られる可能性を確認し, 例えば歩道と一体となった軽交通路用景観舗装の整備において, 本工法の有用性が認められる。



写真-3.3.8 GB試験状況

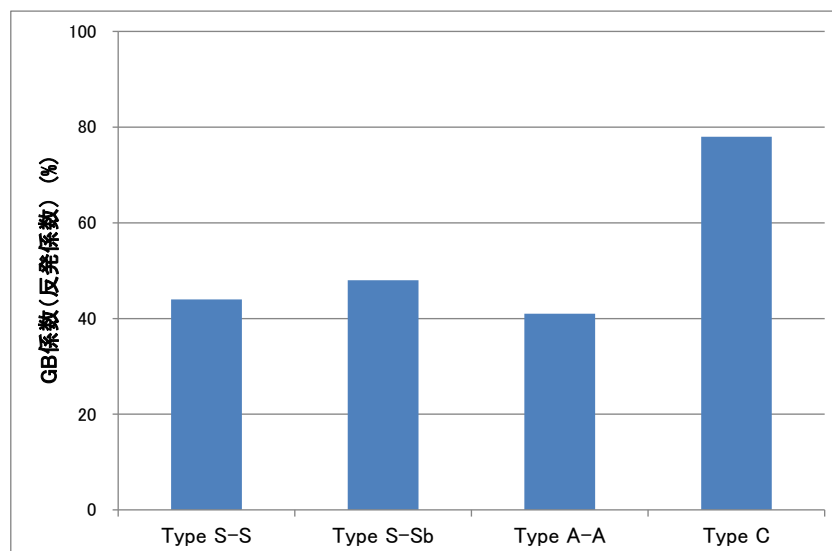


図-3.3.9 GB係数(反発係数)

(2) 透水性

近年，地球温暖化に伴う異常気象の影響により，ゲリラ豪雨や台風の被害が年々増加しており，下水道の設計流量を越えて道路や橋梁アンダー等が冠水し事故につながることも多い。舗装に関する透水機能についての評価は災害防止の観点から，下水道の負担軽減や地下水への還元の可能性が再認識されつつある。また，景観舗装の観点か

らも、水はね防止や、街路樹の育成保護等の役割からこれを無視することはできない。よって、本工法における透水性を評価すべく、現場透水試験⁴⁾を実施した。試験状況を写真-3.3.9に、各供試体の透水量を図-3.3.10に示す。据付型工法である Type S-S, Type S-Sb, Type A-A は、透水量が 35~55ml/15 秒程度であり、本工法によって雨水を路面下に浸透させる性能が得られることを確認した。ここで、据付型工法のなかでも透流量がやや小さい Type A-A は、目地表面がアスファルト被膜によって疎水性となり、また空隙が減少したため吸水・浸透能が低下したためと考える。なお、試験後の Type S-S, Type S-Sb には、流水によって目地の一部が側方へ移動した形跡が見られたが、Type A-A では試験前後における目地の外観に大きな変化は確認されなかった。一方、接着型工法である Type C は、目地部がセメントモルタルによって充填されるため透水量は得られない。

以上から、据付型工法の付加的性能として透水性が得られる可能性を確認し、さらに As.砂を用いることで目地の流失を抑制する効果が期待できる。



写真-3.3.9 現場透水試験状況

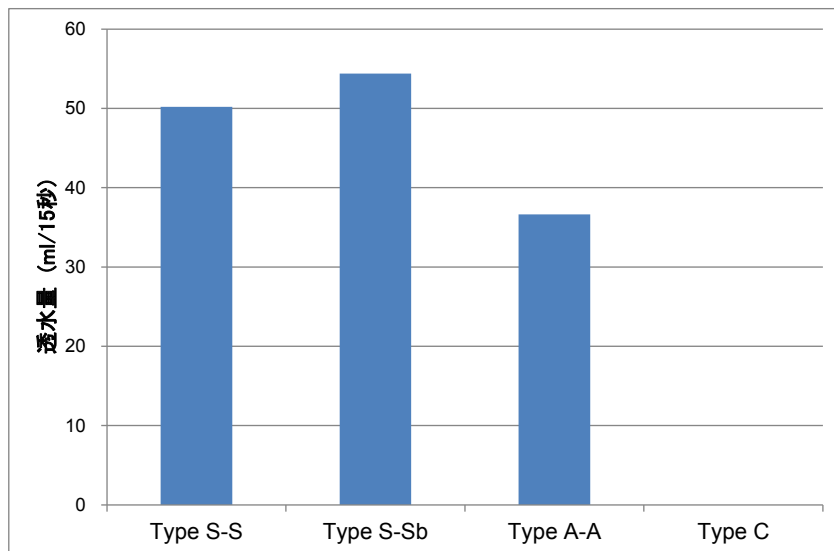


図-3.3.10 透水量 (ml/15 秒)

3.4 まとめ

本章では、軽交通路における天然石舗装について耐久性が高く、かつメンテナンス性やライフサイクルにおいて有利な工法として、石板の目地部にアルミナボールを挿入し、噛み合わせ効果によって石板の移動を抑制する工法を提案し、また、目地の流出対策として、舗石用サンドクッション材や目地材に用いられている As.砂の活用を併せて検討した。つぎに、提案工法により作成した供試体を用い、室内シミュレーション試験を実施し、石板の沈下、傾斜、移動に対する本工法の効果を検証するとともに、衝撃吸収性や透水性などの付加的性能について検討した。本章での検討により得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 石板の沈下抑制に対して、下地及び目地に用いた As.砂の効果は認められないものの、目地にアルミナボールを挿入することで沈下抑制効果が期待できる。
- 2) 石板の傾斜に対して、目地にアルミナボールを挿入することによる抑制効果が期待できる。ただし、下地及び目地に As.砂を用いたことによる明らかな効果は確認されない。
- 3) 石板の移動抑制効果に対して、下地及び目地に As.砂を用いること、さらに目地にアルミナボールを挿入することによる移動抑制効果が期待できる。
- 4) 据付型工法の付加的性能として衝撃吸収性が得られる可能性、ならびに、透水性が得られる可能性を確認し、さらに As.砂を用いることで目地の流失を抑制する効果が期待できる。

これらの知見をもとに第4章では現場試験を実施し、本工法の軽交通路への適応における耐久性の評価および作業性の評価を行う。

第3章の参考文献

- 1) 菊池清二, 荒井安治: 舗石用サンドクッション材及び目地材とそれを用いた舗石の施工方法, 日本国特許庁, 公開番号 特開 2002-356803.
- 2) 日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧, 第3分冊 pp.39-56, 2007.
- 3) 日本道路協会: 舗装性能評価法別冊, pp.218-227, 2008.
- 4) 日本道路協会: 舗装性能評価法, pp.75-83, 2013.
- 5) 小原次郎, 他: 建築内装技術ハンドブック, 朝倉書店, 1984.3
- 6) 日本工業標準調査会: 石材 JIS A 5003, 1995

第4章 現場試験による耐久性および作業性の評価と

As. 砂の品質に関する検討

4.1 概説

本章では、まず、第3章で実施した天然石舗装の室内試験の結果を踏まえ、軽交通を想定した現場試験を実施し、耐久性、および新設時並びにメンテナンス時における作業性を検討した。具体的に、現場試験において、耐久性に関する評価では、室内試験と同様、石板の沈下、傾斜、移動についての検討を実施し、作業性に関する評価では、新設時における施工時間の把握と、メンテナンスやリサイクルの観点から一部補修を実施し、舗装の解体時間と石板、アルミナボール、目地材のリサイクル性について確認した。

つぎに、雨水による目地砂の流出を抑制することを目的に、市販品である As.砂を用いたが、市販の As.砂は母材である粗砂の品質が規定されておらず、アスファルト量も 1.5～2.5%程度と適当である。そこで、As.砂の素材とアスファルト量が作業性や耐流失性に及ぼす影響を評価し、実用に適した管理試験と指標を検討した。

4.2 現場試験による耐久性および作業性の評価

4.2.1 試験舗装および試験方法

現場試験における試験舗装は、秋田県男鹿市にある株式会社寒風の資材ヤードに構築した。現場試験の様子と断面構造を図-4.2.1に示す。試験舗装構築箇所の地盤支持力を調査した結果、CBRが20以上であったことから、設計CBRは20とし、交通量区分をN₂（台/日・方向：15以上40未満）に設定して舗装断面を設計した。構造設計は第2章で述べたブロック舗装における構造設計方法を参考としたが、表層部分（天然石）の等値換算厚は考慮せず、路盤以下で目標等値換算厚（設計CBR：20）を十分満足するよう設計した。これは、輪荷重による天然石のズレ（移動・沈下・傾斜）が路盤以下の舗装構造にできるだけ影響されないよう配慮したためである。

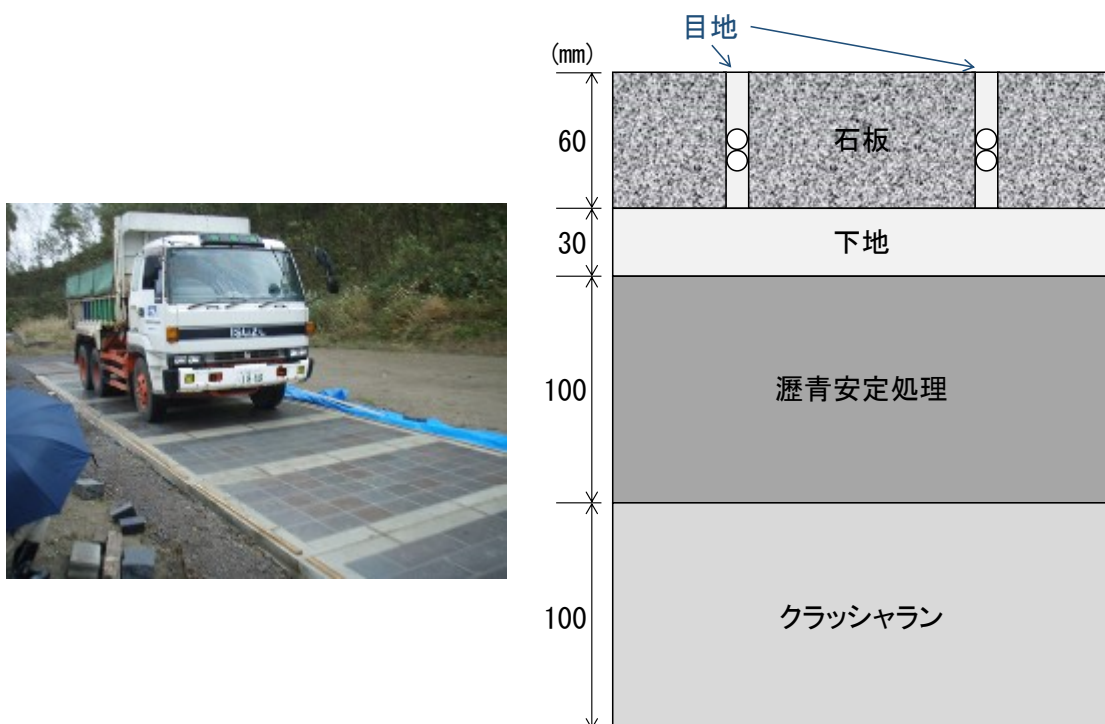
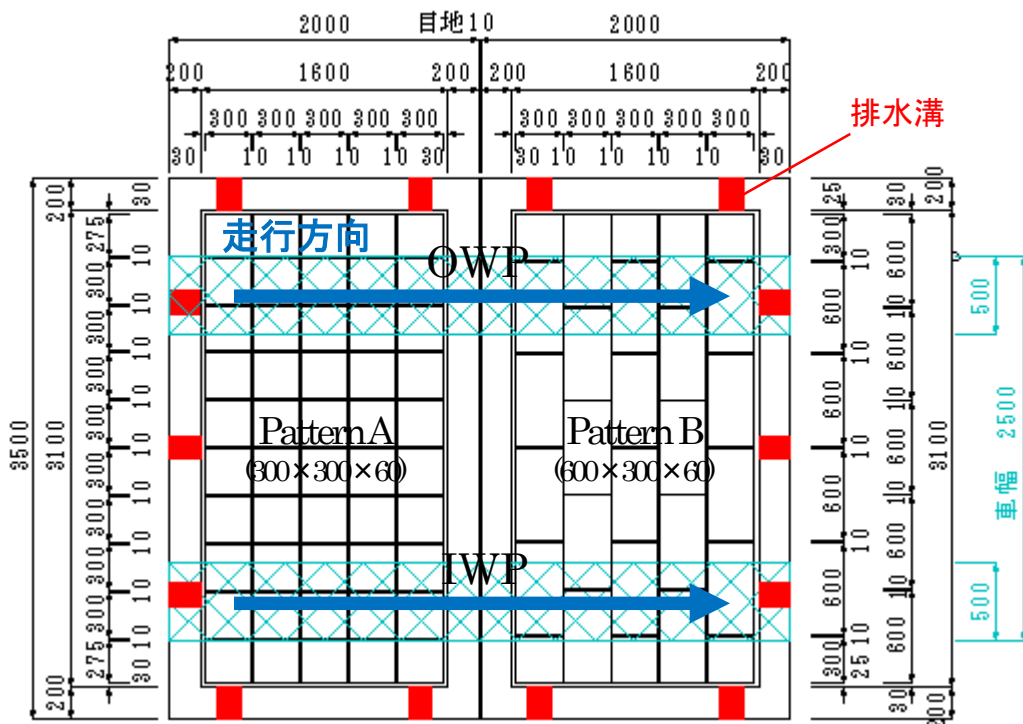


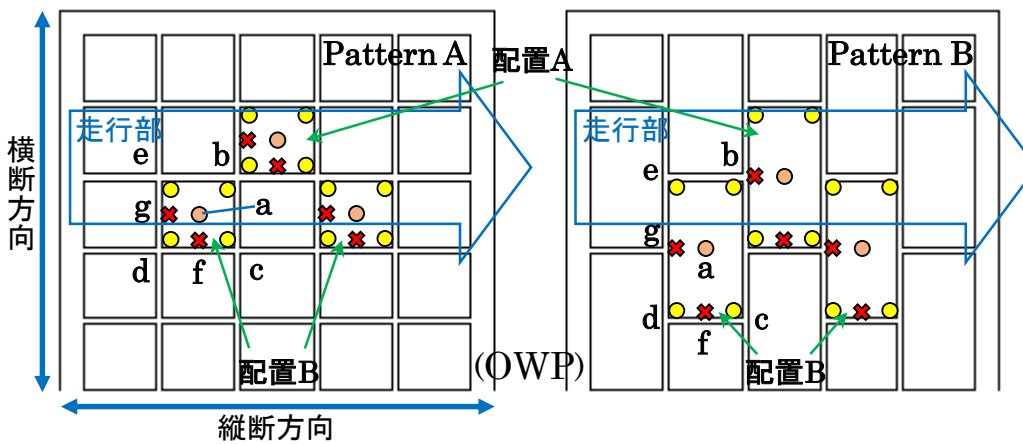
図-4.2.1 現場試験の様子と断面構造

路面構成を図-4.2.2に示す。路面構成は、石板サイズや敷設パターンが及ぼす影響を把握するため、一般に使用されている300×300×60mm（以下、Pattern A）及び600×300×60mm（以下、Pattern B）を比較評価した。また、各工区は試験ループの直線区間に延長2000mm、幅員3100mmで舗設し、隣接する工区が互いに干渉しないよう四方をコンクリート枠で遮蔽した。下地及び目地の構成と工区の名称を表-4.2.1に示す。下地および目地ともに粗砂を用いたType S-Sを基準供試体として、Type S-Sの目地にアルミナボールを挿入したType S-Sb、下地及び目地にAs.砂を用いたType A-A、Type A-Aの目地にアルミナボールを挿入したType A-Ab、下地に粗砂、目地にAs.砂を用いてアルミナボールを挿入したType S-Abの5種類の据付型工法を比較した。また、下地及び目地にポリマー系固着材を用いたType P、セメントモルタル（普通ポルトランドセメント）を用いたType Cの2種類の接着型工法についても同様に試験した。これより、5種類の据付型工法と2種類の接着型工法の計7種類の工法について、前述したPattern AおよびBの石板による工区があることから、図-4.2.3のように走行方向に28mの試験舗装を構築したことになる。なお、石板や下地及び目地に用いた素材（表-3.3.2、表-3.3.5～3.3.6）と施工の手順（図-3.3.1）は第3章で示した室内試験と同様である。

現場試験にあたっては、舗装計画交通量に応じた疲労破壊輪数（普通道路）の標準荷重である5ton（49kN）輪荷重が得られるよう車両総重量を20ton（196kN）としたダンプトラックの実輪荷重による現場試験から耐久性及び作業性を評価した。疲労破壊輪数については、第3章で示した室内試験結果において、本工法は約2000輪以降の変位進行が見られなかったことから、交通量区分N₂を参考に供用4年間にあたる2800輪までの耐久性を評価した。なお、試験舗装区間を走行するダンプトラックの速度は10～15km/hとした。



現場試験の路面構成



現場試験における測定点

図-4.2.2 現場試験の路面構成と測定点

測定項目は図-4.2.2 に示す石板中央 a 点の鉛直変位量を沈下量として、同石板の縦断方向両端 b・e, c・d 点の鉛直変位差（絶対値）を縦断傾斜量、横断方向両端 b・c, d・e 点の鉛直変位差（絶対値）を横断傾斜量、さらに、a, f, g 点の縦断方向水平変

位量の最大値を縦断移動量， a, f, g 点の横断方向水平変位量の最大値を横断移動量として測定した。なお，石板は図-4.2.2のとおり，OWP と IWP とで四方が石板に隣接する各 3 枚を対象とし，評価項目ごとに石板配置（配置 A, B）と損傷程度を確認したうえで損傷部について比較評価した。

表-4.2.1 下地及び目地の構成と工区の名称

	供試体名称	下地材の構成	目地材の構成
据付型 工法	Type S-S	粗砂	粗砂
	Type S-Sb	粗砂	粗砂 +アルミナボール
	Type A-A	As. 砂	As. 砂
	Type A-Ab	As. 砂	As. 砂 +アルミナボール
	Type S-Ab	粗砂	As. 砂 +アルミナボール
接着型 工法	Type P	ポリマー系固着剤	
	Type C	セメントモルタル	

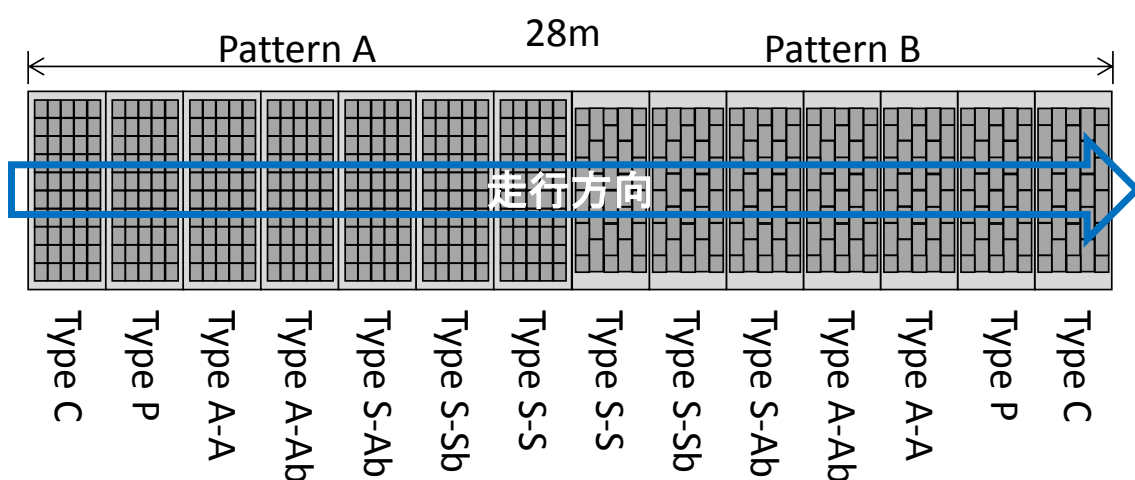


図-4.2.3 施工区間の概略図

4.2.2 耐久性に関する評価結果

(1) 沈下抑制効果

現場試験における Pattern A の沈下量を図-4.2.4 に、Pattern B の沈下量を図-4.2.5 に示す。凡例は室内試験と同様に、据付型工法のうち目地が粒状材料のみで構成される工区を破線、アルミナボールを挿入した工区を実線、接着型工法を一点鎖線で記している。沈下量は、走行部直下で載荷面積がより広い配置 A において大きくなることを確認し、OWP と IWP の縦断方向中央に位置する石板の平均値を損傷部の沈下量として評価した。なお、損傷部の沈下量は同工区の OWP と IWP に大きな差異は見られなかった。据付型工法の沈下量は、石板サイズが小さく、下地への接地圧が大きい Pattern A が、Pattern B に比べて大きく進行する傾向にあり、特に目地が粒状材料のみによる Type S-S、Type A-A では 1000 輪までの沈下量が比較的大きい。ここで、Pattern A の結果を詳しく見ると、1000 輪後の沈下量は接着型工法が平均 0.8mm 程度であるのに対し、据付型工法のうちボールを用いた工区は平均 2.9mm、ボールを用いていない工区では平均 4.2mm であり、いずれも 2800 輪にかけて沈下の進行は見られない。なお、今回の試験は路盤以下で目標等値換算厚を満足する構造であり、このような施工基盤（図-4.2.1）上に天然石舗装を施工した場合、各工法とも沈下が大きく進行しない可能性をこの結果が示唆している。また、ボールを用いた工区はボールを用いない工区に比べて沈下量が 30%程度減少する傾向が見られ、これはボールの挿入によって目地部の噛み合わせが向上し、石板同士が一体となることで荷重の分散効果が発現した可能性がある。

他方、Pattern B は各工区とも 2800 輪後の沈下量が比較的小さいが、Pattern A と同様にボールを用いた工区では沈下量が 30%程度減少している。また、Pattern A、Pattern B とも、接着型工法において 2800 輪までに 1mm 程度の沈下が見られたこと

から、路盤以下の構造で圧密が生じた可能性が考えられる。

以上の結果から、据付型工法では石板サイズが小さく、下地への接地圧が大きい敷設パターンにおいて沈下が進行しやすい傾向にある。また、アルミナボールによる沈下抑制効果が期待できることがわかった。なお、石板中央の沈下量が石板間の段差として生じた場合もボールを用いた工区はインターロッキングブロック舗装の補修基準である段差量 5mm（第 2 章，表-2.2.8 参照）に達していない¹⁾。

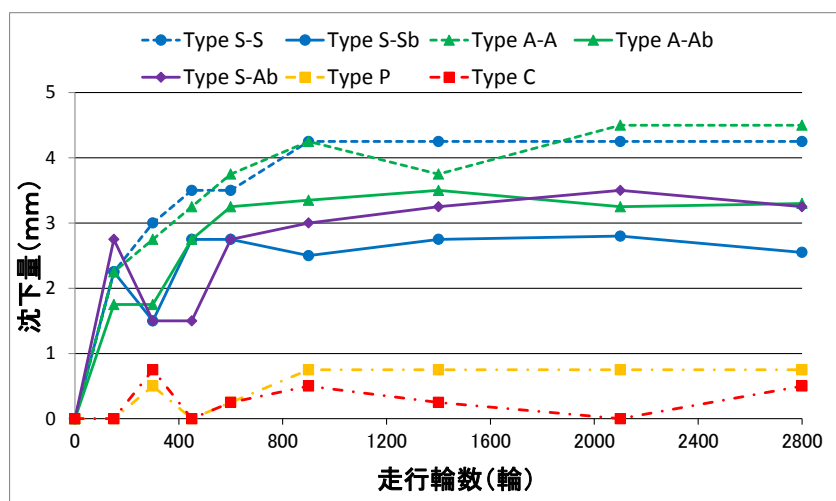


図-4.2.4 走行輪数と沈下量 (Pattern A)

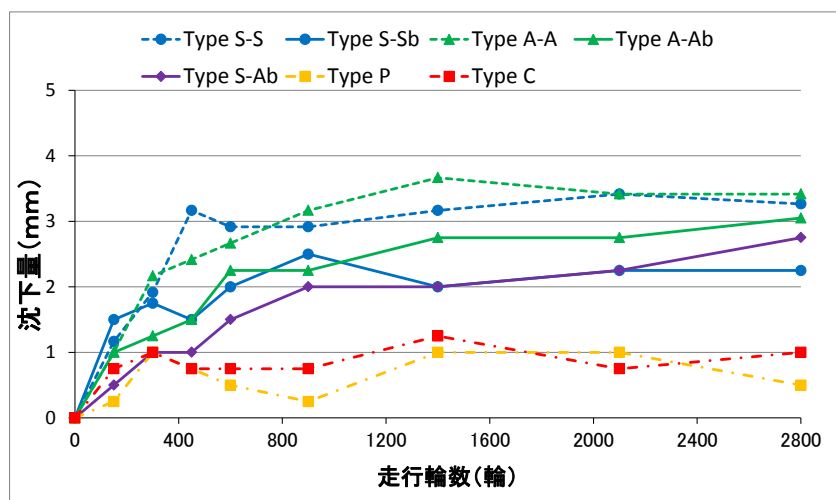


図-4.2.5 走行輪数と沈下量 (Pattern B)

(2) 傾斜抑制効果

現場試験における Pattern A の横断傾斜量を図-4.2.6 に、Pattern B の横断傾斜量を図-4.2.7 に示す。凡例は室内試験と同様に、据付型工法のうち目地が粒状材料のみで構成される工区を破線、アルミナボールを挿入した工区を実線、接着型工法を一点鎖線で記している。傾斜量は載荷面が一端に偏る配置 B において横断方向に傾斜が生じることを確認した。このため、OWP と IWP で配置 B にある石板の平均値を損傷部の傾斜量とした。なお、損傷部の傾斜量は同工区の計 4 枚に大きな差異は見られなかった。また、縦断傾斜量に関しては Pattern A、Pattern B の各工区ともに、第 3 章で示した室内試験結果同様に 2800 輪までに傾斜の進行は見られなかったことから、以下では横断傾斜量について考察する。

図より、横断傾斜量は、Pattern A に進行は見られないものの、横断方向に石板サイズが大きく、モーメントが大きくなる Pattern B では、下地及び目地が粒状材料のみによる Type S-S、Type A-A で大きく進行し、2800 輪後に約 4mm に達している。しかし、Pattern B のなかでもアルミナボールを挿入した Type S-Sb、Type A-Ab、Type S-Ab は、2800 輪後の横断傾斜量が 2mm 以下であり、1000 輪以降 2800 輪までに傾斜の進行は見られない。

以上から、据付型工法は石板サイズが大きい敷設パターンで、特にモーメントが大きい方向に石板の傾斜が進行する可能性を確認した。また、アルミナボールの挿入による傾斜抑制効果が発現していることがわかった。また、横断傾斜量が石板間の段差として生じた場合も、ボールを用いた工区はインターロッキングブロック舗装の補修基準である段差量 5mm (第 2 章, 表-2.2.8 参照) に達していない¹⁾。

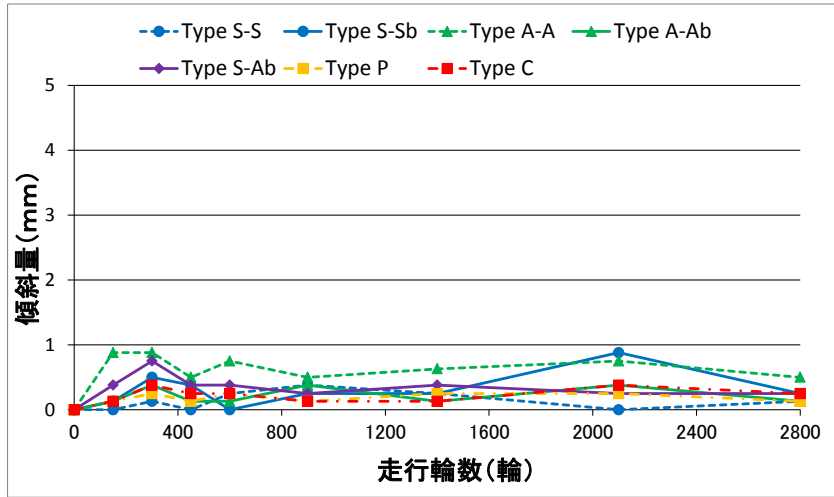


図-4.2.6 走行輪数と横断傾斜量 (Pattern-A)

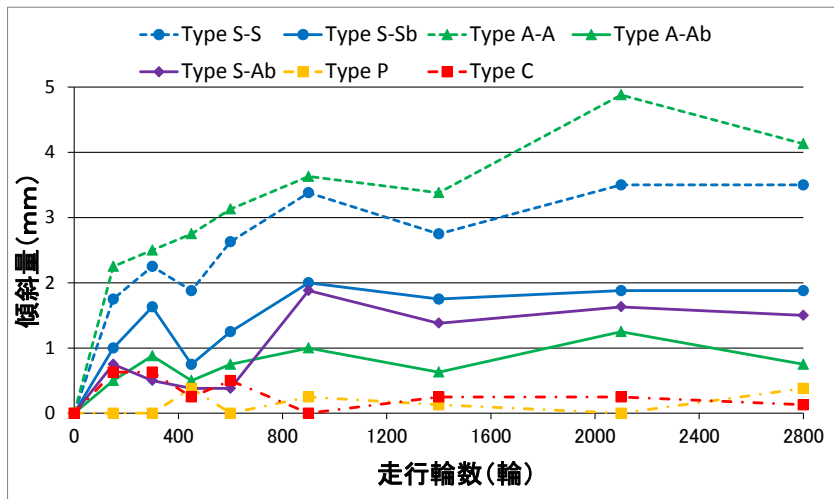


図-4.2.7 走行輪数と横断傾斜量 (Pattern-B)

(3) 移動抑制効果

現場試験における Pattern A の縦断移動量を図-4.2.8 に、Pattern B の縦断移動量を図-4.2.9 に示す。凡例は室内試験と同様に、据付型工法のうち目地が粒状材料のみで構成される工区を破線、アルミナボールを挿入した工区を実線、接着型工法を一点鎖線で記している。縦断方向には Pattern A、Pattern B とも局所的な移動が見られたため、OWP と IWP の各最大値を損傷部の移動量として、これらの平均値を比較評価した。なお、縦断移動量は走行方向と逆向きを正として図示している。また、横断移動量に関しては Pattern A、Pattern B の各工区ともに、第3章で示した室内試験結果同様に 2800 輪までに移動の進行は見られなかったことから、以下では縦断移動量について考察する。

図より、縦断移動量は、Pattern A、Pattern B ともに下地及び目地が粒状材料のみによる Type S-S、Type A-A で進行が見られるものの、アルミナボールを挿入した工区では 2800 輪後の移動量がそれぞれ 50%以下に低減している。また、本工法の移動量は最大でも 3mm 程度であり、インターロッキングブロック舗装における補修基準である目地幅 5mm（第2章、表-2.2.8 参照）に達していない¹⁾。

以上から、据付型工法では石板の敷設パターンに関係なく、縦断方向（走行方向と逆向き）に石板の移動が進行する傾向があるが、目地にアルミナボールを挿入することによる移動抑制効果が期待できる。

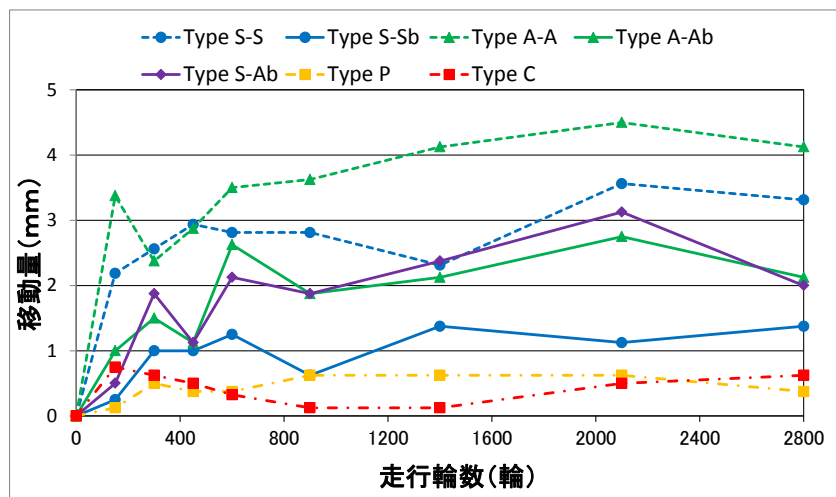


図-4.2.8 走行輪数と縦断移動量 (Pattern-A)

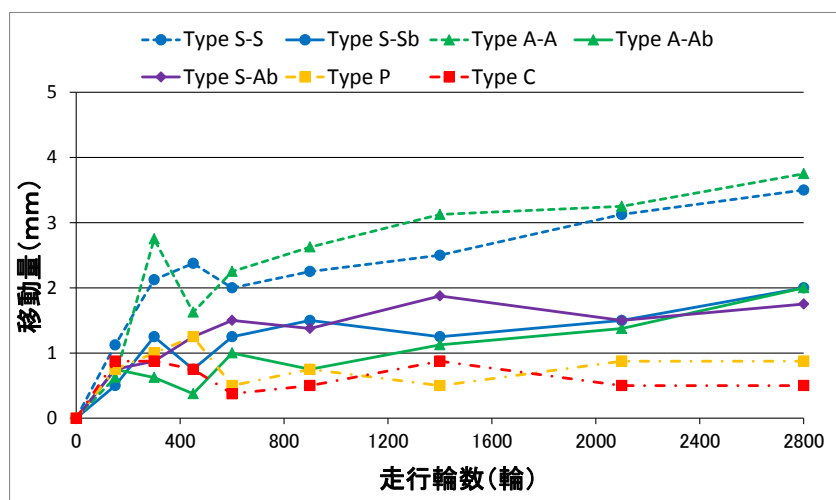


図-4.2.9 走行輪数と縦断移動量 (Pattern-B)

4.2.3 メンテナンス性及びリサイクルに関する評価結果

現場試験から新設時及びメンテナンス時における作業性と石板及び目地砂のリサイクルについて確認した。接着型工法は下地及び目地の養生に通常タイプで12時間、速硬タイプでも3時間以上を必要とし、かつ施工単位（新設時は75m²/日が目安）が大きいため、交通規制が大掛かりとなる。一方、据付型工法では養生を必要としないため早期の交通開放が可能であり、かつ特別な設備や装置を使用せず、小規模施工への対応も可能である。なお、現場試験ではアルミナボールの挿入作業に5~10分/m²程度を要したが、市販のロートや木枠などを活用することで、より効率的に施工を行うことが可能と考える。

本工法によるメンテナンス及びリサイクルの確認として、走行試験後のType A-Abを一部補修した工程を**写真-4.2.1**に示す。補修に際して、石板は目地の噛合せ効果によって強固に固定されており、単に石板に力を加えても解体することはできない（**写真-4.2.1(A)**）。このため、まずは石板を囲む目地の一辺からアルミナボールを取り除いた後、その一辺に石板をスライドして直交する目地を取り除く手順で解体した（**写真-4.2.1(B)**）。なお、解体作業には一人の作業者によって20~30分/m²程度を要した。

補修に伴って取り外した石板の側面及び底面を**写真-4.2.2**に示す。石板の側面及び底面に、As.砂の付着やアルミナボールによる損傷は見られず、石板を現場でそのまま、あるいは裏返してリサイクルできることを確認した（**写真-4.2.1(D)**）。また、目地に用いたAs.砂とアルミナボールに関しては、ふるいによる分級・分別を行うことで、繰返し利用することが可能である（**写真-4.2.1(C)**）。ただし、特にType S-S、Type S-Sbでは排水溝（**図-4.2.2**）の周辺に、目地に充填した砂（以下、目地砂）が雨水等によって流失した痕跡が見られた。なお、粗砂ほどではないが、Type A-A、Type A-Ab

の目地にも若干の流出が見られたため、全工区ともメンテナンスに伴って目地砂を補充した。

以上から、本工法は新設のみならず、目地の補修や解体、再構築が容易に行えること、また、再構築に際して石板や目地砂、アルミナボールを現地で繰返し利用できることを確認した。

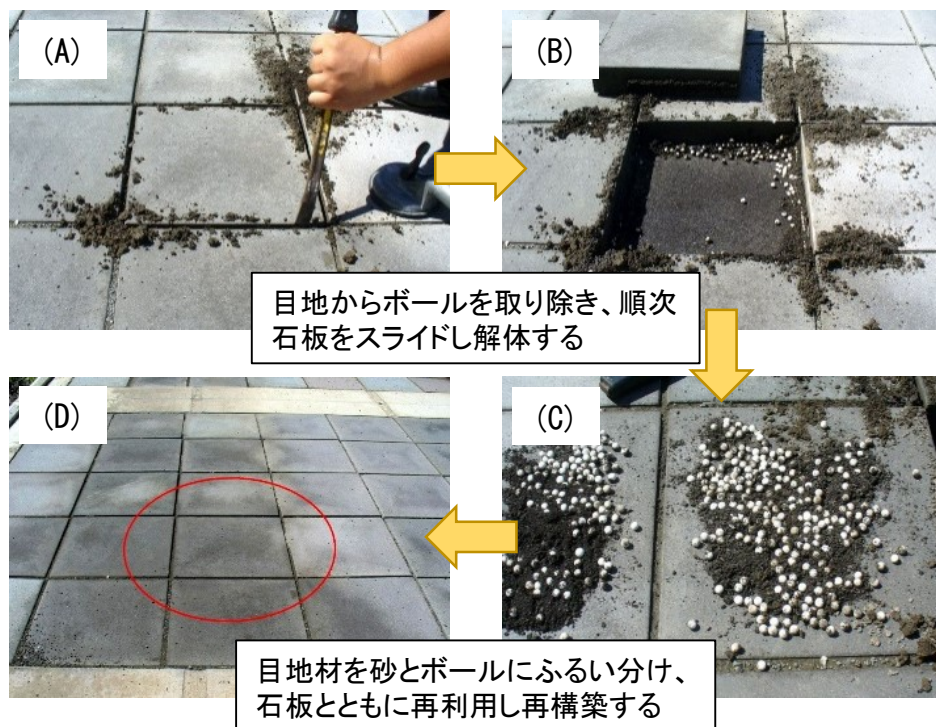


写真-4.2.1 走行試験後の補修工程 (Type A-Ab)



写真-4.2.2 補修に伴って取り外した石板の側面及び底面

4.3 As.砂の配合および品質に関する検討

室内試験及び現場試験から、据付型工法の課題である目地砂の流失を確認し、目地砂としてのAs.砂の有用性が認められた。しかしながら、現場試験ではAs.砂による目地の一部にも流失が見られ、点検及びメンテナンスの一環として目地砂を補充した。

市販のAs.砂は、粗砂に乾燥質量比で1.5～2.5%程度のアスファルトを添加して製造されるのが一般的²⁾であり、前章までのAs.砂は粗砂に2.0%のアスファルト（ストレートアスファルト60-80）を加熱混合（170℃）したものである。ただし、As.砂の配合は経験的に定められたものであり、素材の性状と配合との関係が不明確なため、製造されるAs.砂の品質は素材の影響を受けてバラツキが生じる。本節では、第5章で示す実施工に先立って、As.砂の素材とアスファルト量が作業性や耐流失性に及ぼす影響を評価し、目地砂としての実用に適した管理試験・指標を検討した。

4.3.1 試験方法および供試体

まず、As.砂の作業性に関する評価として、目地への充填や締固めの効率に着目し、アスファルトの量と種類がAs.砂の団粒化に及ぼす影響を確認した。試験は、約500gのAs.砂を直径10cmに締固めた供試体をそのままふるいに乗せて、写真-4.3.1に示すロータップ式ふるい振とう機によって10分間振とう後のふるい残留質量（ふるい目：9.5mm）を測定した。ここで、供試体の締固めに際しては、現場試験から測定した目地砂の密度（ $1.5 \pm 0.03 \text{g/cm}^3$ 程度）を参考に、同程度となるようバイブレーターで締固めた。試験結果は、供試体質量に対するふるい残留質量の百分率を団粒率として、目地砂及びアスファルトによる影響を比較評価した。



写真-4.3.1 ロータップ式ふるい振とう機

つぎに、耐流失性に関する評価として、室内試験用供試体（図-3.3.2）に対する散水から、アスファルト量が目地砂の流失に及ぼす影響を確認した。試験は、供試体に高さ 3m から 1 時間降水量が 200mm に相当する散水を 15 分間行い、表面からの排水をふるい（ふるい目：75 μ m）で受け止めて残留物の乾燥質量（以下、流失量）を測定した。ここで、供試体は実用上、勾配が急となる乗入部（車道から歩道を横断する傾斜部）に合わせて型枠ごと 15% 傾斜させた。

また、作業性と耐流失性の結果を踏まえて、現場で実施可能な品質管理試験・指標を検討した。試験は、写真-4.3.2 に示すコンクリートのスランプ試験（JIS A 1101）で用いられるスランプコーンおよび試験器具を使用し、3 層 25, 50, 75, 100,（エコスラグについては 150 回まで実施した）で突固めた As.砂のスランプ値を測定し、流失量との相関から試験条件及び判定基準を確認した。

As.砂のスランプ試験手順を写真-4.3.3 に示す。まず、写真-4.3.3(A)のように As.砂をほぼ等しい量の 3 層に分けて詰め、各層は突き棒でならした後規定の回数を一様に突く。この際の突き方について、各層の突き始め頃の突き入れ深さは前層にほぼ達する程度であるが、As.砂が次第に締ってくるため突き棒が深く入らなくなってくる

が、無理に前層まで到達させるために力を入れる、あるいは体重を乗せて突くようなことはしない。これは、無理に強く突くことで、As.砂が必要以上に突き固まりスランブコーンに圧着してしまい、コーン引抜き時に As.砂がコーンと共に持ち上がってしまうことでスランブ値が測定できなくなるためである。

次に、3層突きあがったら、**写真-4.3.3(B)**および**写真-4.3.3(C)**のように As.砂をスランブコーン上端に合わせてならし、コーンを 2～3 秒程度の時間をかけて引き上げる。この時のコーン引上げ直後のスランブ値を**写真-4.3.3(D)**のように測定する。ここで、3層目の突き固めの際は、As.砂投入後突き固めを行うと**写真-4.3.4**に示すようにスランブコーン内の As.砂が作業によって外部にこぼれ落ちることや空隙が減少することで上面が低下するので、規定の回数突きあがり後に再度 As.砂をスランブコーンの枠高さ以上に盛ってから摺り切りを行うこととする。なお、試験は各 As.砂の配合に対し 5 回実施し、最大値および最小値を除く 3 回の平均値をスランブ値とした。

As.砂の素材とした砂の物性を**表-4.3.1**に、アスファルトの物性を**表-4.3.2**に示す。ここで、エコスラグは都市ゴミから生成される溶融固化物であり、粗砂に比べて密度が大きく、吸水率が小さい特性から、目地砂としての耐流失性とアスファルト量の低減を期待した。なお、使用したエコスラグは事前に溶出試験 (JIS K 0058-1)、含有量試験 (JIS K 0058-2) 等を実施し、環境安全性を確認している。³⁾

また、アスファルトは室内試験及び現場試験で用いたストレートアスファルト 60・80 (以下、ストレートアスファルト) のほか、ポリマー改質アスファルト H 型 (以下、改質アスファルト) をそれぞれ 0～3.0% の範囲で混合したものを比較した。素材の構成と供試体の名称は、**表-4.3.3**に示すとおりである。



写真-4.3.2 スランプ試験器

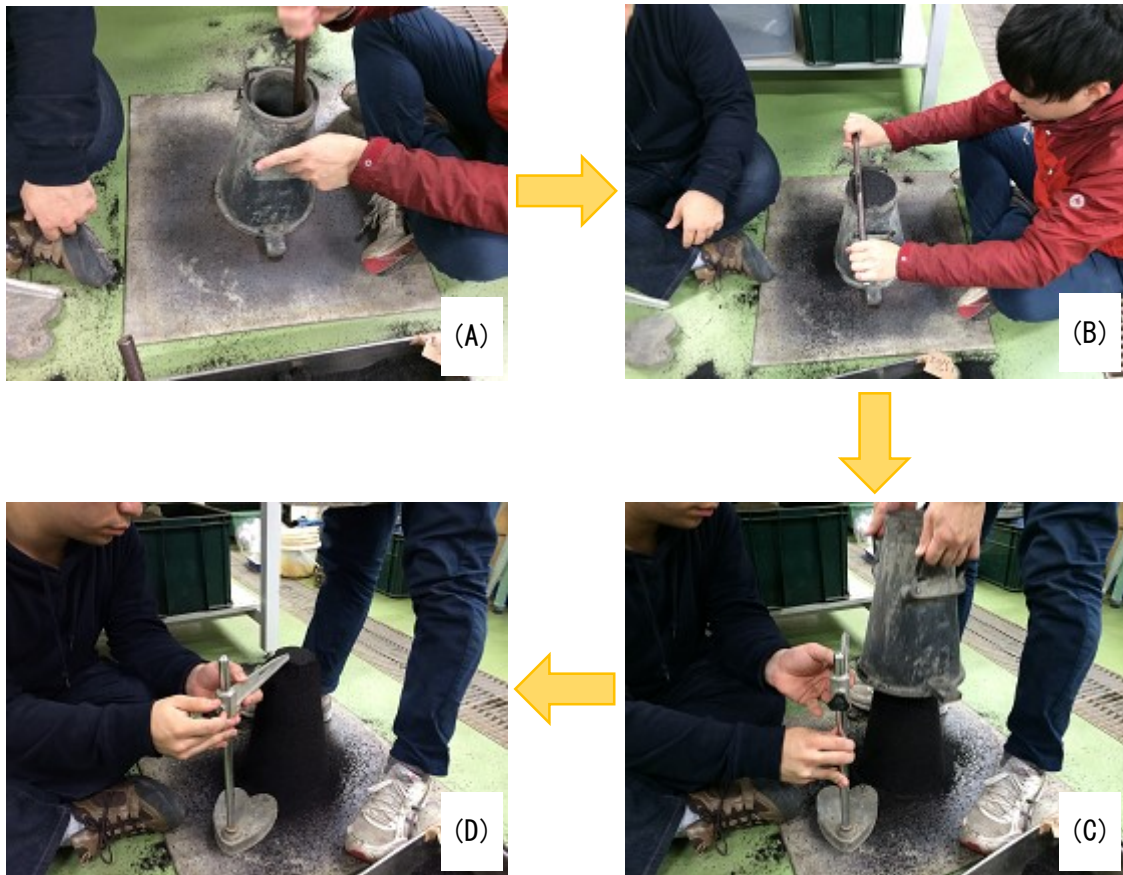


写真-4.3.3 As. 砂のスランプ試験手順



As. 砂投入時



突き固め後

写真-4.3.4 3層目つきあがり後のAs. 砂天端

表-4.3.1 砂の物性

		粗砂	エコスラグ
表乾密度	(g/cm ³)	2.565	2.840
吸水率	(%)	3.06	0.31
損失質量百分率	(%)	2.1	0.4
通貨質量百分率 (%)	4.75 (mm)	100	100
	2.36 (mm)	82	99
	0.6 (mm)	36	42
	0.3 (mm)	16	15
	0.15 (mm)	6	5
	0.075 (mm)	2	2

表-4.3.2 アスファルトの物性

		ストレート アスファルト 60-80	ポリマー改質 アスファルト H型
密度	(g/cm ³)	1.041	1.024
針入度 (25°C)	(1/10mm)	62	5
軟化点	(°C)	49	96
伸度	(cm)	100以上	100以上

表-4.3.3 素材の構成と供試体の名称

供試体名称	砂の種類	アスファルトの種類
Type S(st.)	粗砂	ストレート アスファルト
Type S(mod.)	粗砂	ポリマー改質 アスファルトH型
Type E(st.)	エコスラグ	ストレート アスファルト
Type E(mod.)	エコスラグ	ポリマー改質 アスファルトH型

4.3.2 作業性に関する評価結果

アスファルト量と団粒率の関係を図-4.3.1に、Type S(st.)の団粒化の状況を写真-4.3.5に示す。ここで、凡例はストレートアスファルトによるAs.砂を実線、改質アスファルトによるものを破線で示している。粗砂を素材としたAs.砂は、アスファルト量が2.5%以上になると団粒化が生じる一方、エコスラグによるものは1.0%のアスファルト量で同程度の団粒率が得られている。これは、エコスラグがガラス質で吸水率が小さい特性から、少量のアスファルトによって被膜され、付着力が発揮したためと考える。また、粗砂、エコスラグともに、改質アスファルトによるAs.砂はストレートアスファルトによるものと比べ、同アスファルト量での団粒率が大きく、付着力が向上する結果となった。

以上から、アスファルトの量と種類がともにAs.砂の団粒率に影響すること、エコスラグと改質アスファルトを用いることで、少量のアスファルトによって団粒化が生じる。ただし、実際の施工にあたり、目地部へのAs.砂の充填作業を考慮した場合、単に団粒率の高いものが適当とはいえ、製造コストの観点からも付着力を発揮するアスファルト量のうち少量の配合が目安となる。

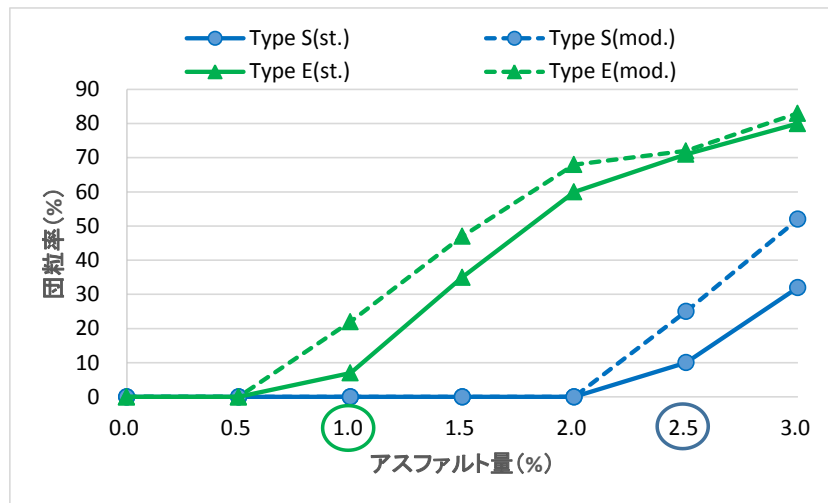


図-4.3.1 アスファルト量と団粒率



写真-4.3.5 団粒化の状況 (Type S(st.))

4.3.3 耐流失性に関する評価結果

写真-4.3.6, 写真-4.3.7 に散水試験の状況および散水後の供試体と流失状況を, 図-4.3.2 にアスファルト量と流失量の関係を示す. 粗砂による As.砂はアスファルト量が 1.0%以上となると流失量が減少する傾向が見られ, 2.0%以上では流失量が 50g 程度でそれ以上の減少は見られない. 一方, エコスラグによる As.砂は, アスファルト量が 0.5%で流失量が大きく減少し, 1.0%以上では粗砂と同様に流失量が 50g 前後で一定となる. これは, 団粒率にも見られたエコスラグの特性から, 少量のアスファル

トによって被膜され,付着力が生じたことで流失抑制効果を発揮したと考える。また,粗砂,エコスラグともに,改質アスファルトを混合した As.砂はストレートアスファルトによるものと比べて流失率が小さい傾向にある。

以上から,耐流失性に関してはアスファルト量の増加に伴って一定量まで向上し,この境界は目地砂の品質によって異なることが分かった。このため,耐流失性に着目した As.砂の配合は,流失量が一定となる境界点のアスファルト量を目安とし,この値は団粒率による配合の目安と概ね一致している(図-4.3.1, 図-4.3.2の横軸丸印)。



写真-4.3.6 散水試験の状況



写真-4.3.7 散水後の供試体と流失状況

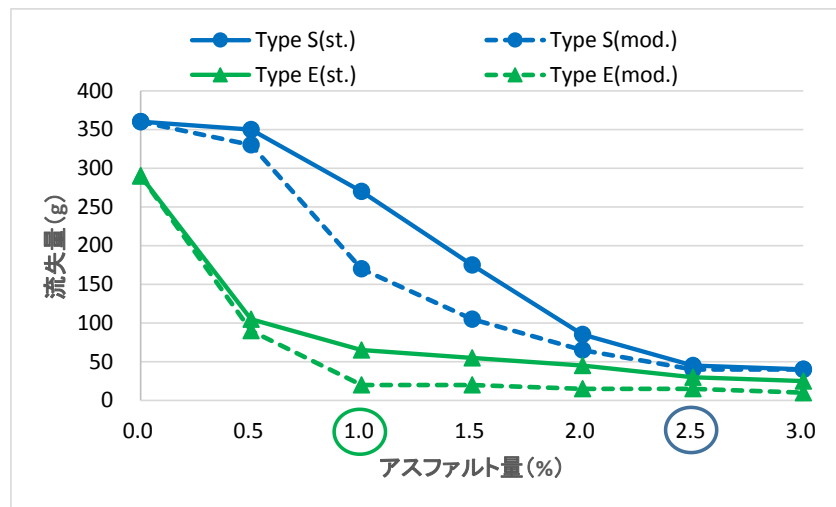


図-4.3.2 アスファルト量と流失量

4.3.4 品質管理試験に関する検討結果

目地材として使用する As.砂の作業性および耐流失性に関する評価により、団粒率と流失量がある配合率から一定になることが確認された。しかしながら、As.砂の性状は材料となる砂の粒度等に影響されやすく、同じアスファルト配合率で製造したとしても常に同様の性状や効果が得られるとは言い難い。そこで、As.砂の製造場所や荷受け現場にて実施可能な品質管理試験・指標とすべく、コンクリートのスランプ試験に着目し、品質管理試験への適用の可能性について検討した。

なお、スランプ試験に着目した理由について述べる。As.砂に要求される性能は、骨材に皮膜したアスファルトの量により石板にアスファルトが付着しないこと、骨材同士を付着させる適度な粘着力を有することである。両性能ともに、骨材に皮膜したアスファルトの皮膜厚さに依存すると考えられる。ここで、コンクリートやアスファルト混合物の作製に用いられる細骨材の品質を調べる試験として「細骨材の密度および吸水率試験」(JIS A 1109)がある。この試験において、骨材の表面乾燥状態を調べる

ためにフローコーンを用いた測定が行われる。これは骨材について、内部は飽和状態で表面に存在する吸着水が存在しない状態を評価するためのものである。すなわち、吸着水が多く存在すればフローコーン内で締固められた骨材はコーン形状となり、吸着水が少なくなればスランプする（表面乾燥状態）ようになる。そこで、本検討ではこの吸着水をアスファルトと置き換えて評価することが可能ではと見え、フローコーンのような装置を用いた品質管理試験への適用の可能性について検討することとした。ただし、フローコーンを用いた細骨材の表面乾燥状態の把握は、締固めた細骨材が最初にスランプした状態を求めるものであり、この状態が適度なアスファルト量とは限らない。そこで、コンクリートのスランプ試験を適用し、4.3.3 で検討した流失量の結果とスランプの関係を調べることにした。ここで、スランプ値はスランプコーン引き抜き直後の値とした。

Type S(st.)および Type E(st.)におけるスランプ値と流失量の関係を図-4.3.3、図-4.3.4 に示す。ここで、グラフ内左上の値は各突き回数におけるスランプ値と流失量の相関係数 R および p 値である。一般に、相関係数 R は正の相関関係であれば 1.0 に近いほど相関が高く、0.7 以上で高い相関関係にあると言える。また、 p 値は有意確率（たまたまその値である確率）を示しており、0.05 以下であれば関係性があると言える。

Type S(st.)について、スランプ値は前述の流失量と極めて高い相関関係にあり、突き回数が増すごとに相関が高くなっている。また、Type E(st.)について、突き回数 50 回の相関が若干低いものの、全体的に高い相関関係にある。なお、Type S(st.)および Type E(st.)の両グラフから、As.砂のスランプ値と流失量の相関関係は突き回数 100 回が最も高い結果となっており、As.砂の品質管理試験としてスランプ試験を適用する場合の突き回数は 100 回とすることが良いと考えられる。

突固め回数が 100 回の全ての Type によるスランプ値と流失量の関係を図-4.3.5 に示す。スランプ値は流失量と極めて高い相関関係 ($R=0.96$, $p<0.01$) にあり、同一直線状に分布している。このことから、As.砂の耐流失性を評価・判定する簡易な試験法として、スランプ試験の適用性を確認した。

アスファルト量と突固め回数 100 回によるスランプ値との関係を図-4.3.6 に示す。スランプ値はアスファルト量の増加に伴って減少する傾向が見られ、団粒率及び流失量と同様に、エコスラグによる As.砂は比較的少量のアスファルトで付着力が発現している。また、粗砂、エコスラグともに、アスファルト量の増加に伴ってスランプ値が減少し、一定となる境界点は、団粒率と流失率による配合の目安である粗砂が 2.5%、エコスラグが 1.0%のアスファルト量と一致する。

また、この場合のスランプ値は 2.5cm となり、この値は砂やアスファルトの種類に関係しないことから、このスランプ値が As.砂の管理基準値となる。すなわち、性質の異なる砂を用いて適当なアスファルト量で As.砂を製作し、スランプ試験を実施する。この試験結果を図-4.3.7 に示すようなスランプ値と As 量の関係で整理し、スランプ値が 2.5cm となるアスファルト量を図から求める。この As 量がある砂に対する最適アスファルト量となる。

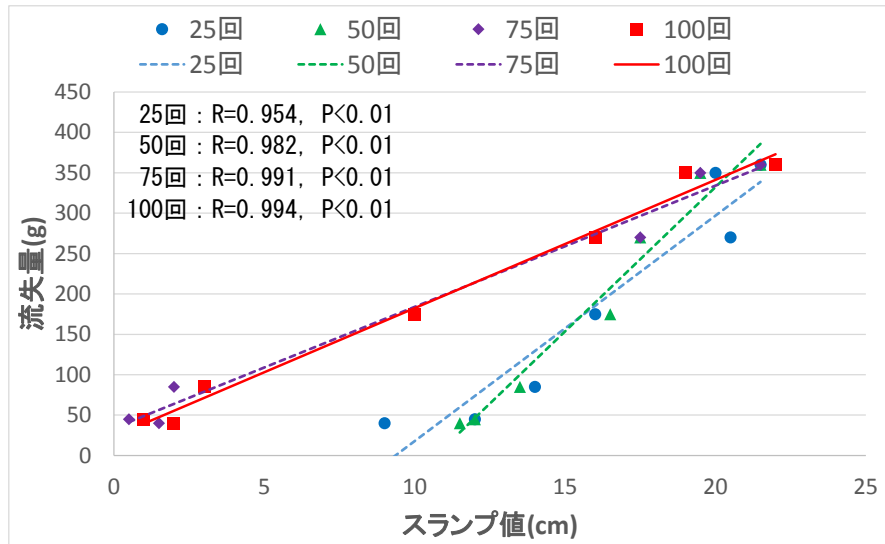


図-4.3.3 スランプ値と流失量の関係 (Type S(st.))

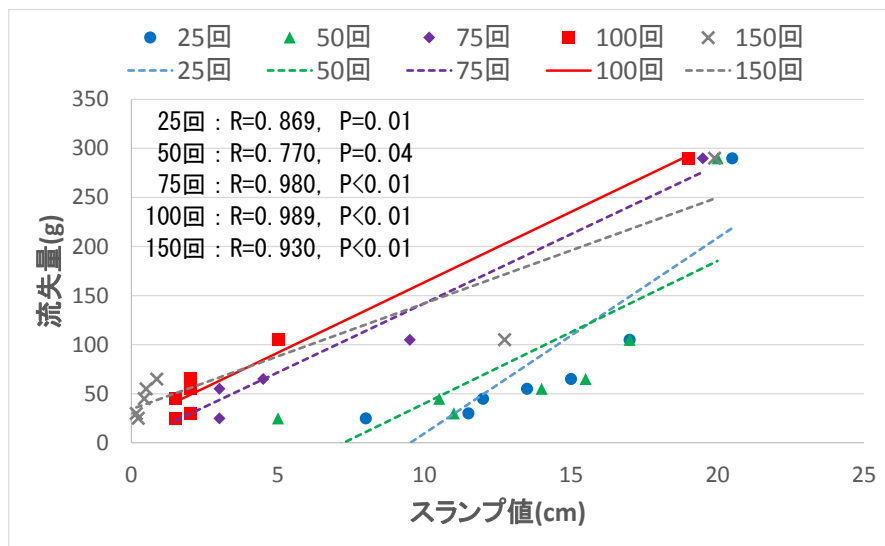


図-4.3.4 スランプ値と流失量の関係 (Type E(st.))

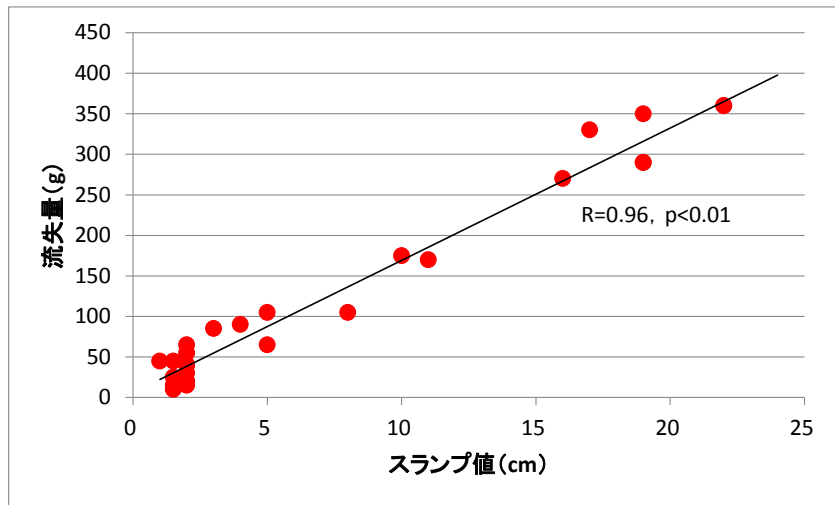


図-4.3.5 スランプ値（100回）と流失量の関係

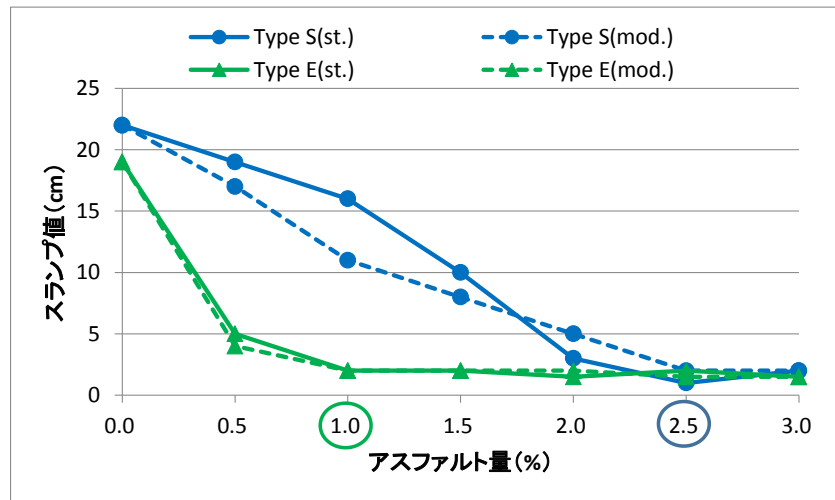


図-4.3.6 アスファルト量とスランプ値（100回）

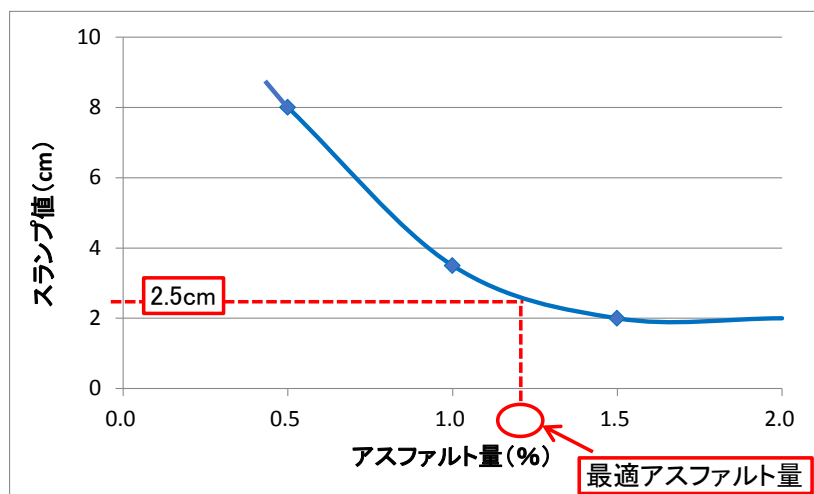


図-4.3.7 最適アスファルト量の求め方

4.4 まとめ

本章では室内試験より確認した As.砂とアルミナボールの効果を踏まえて、構築した試験舗装に現場走行試験を実施して本工法の耐久性および作業性を評価した。また、目地材として使用する As.砂の素材とアスファルト量が作業性や耐流失性に及ぼす影響を評価し、実用に適した管理試験・指標を検討した。

本章における検討により、得られた知見を以下に取りまとめる。

- 1) 現場走行試験結果から、据付型工法では石板サイズが小さく、下地への接地圧が大きい敷設パターンにおいて沈下が進行しやすい傾向にあるが、アルミナボールによる沈下抑制効果が期待できる。
- 2) 現場走行試験結果から、据付型工法は石板サイズが大きい敷設パターンで、特にモーメントが大きい方向に石板の傾斜が進行する可能性を確認し、アルミナボールの挿入による傾斜抑制効果が期待できる。
- 3) 現場走行試験結果から、据付型工法では石板の敷設パターンに関係なく、縦断方向（走行方向と逆向き）に石板の移動が進行する可能性があるが、目地にアルミナボールを挿入することによる移動抑制効果が期待できる。
- 4) 現場走行試験結果から、本工法は新設のみならず、目地の補修や解体、再構築が容易に行えること、また、再構築に際して石板や目地砂、アルミナボールを現地で繰返し利用できることを確認した。
- 5) As.砂の品質に関する検討から、アスファルトの量と種類がともに As.砂の団粒率に影響すること、エコスラグと改質アスファルトを用いることで、少量のアスファルトによって団粒化が生じる。
- 6) As.砂の品質に関する検討から、耐流失性に関してはアスファルト量の増加に伴

って一定量まで向上し、この境界は目地砂の品質によって異なる。

- 7) As.砂の品質に関する検討から、As.砂の耐流失性を評価・判定する簡易な試験法として、突き回数100回におけるスランプ試験の適用性を確認した。その結果、この場合のスランプ値は、砂やアスファルトの種類に関係なく2.5cmで最適なアスファルト量を求めることが可能となる。

これらの知見をもとに第5章では実施工を実施し、本工法の経済性および供用性の評価を行う。

第4章の参考文献

- 1) 財団法人インターロッキングブロック舗装技術協会：インターロッキングブロック舗装設計施工要綱，2007.3
- 2) 菊池清二，荒井安治：舗石用サンドクッション材及び目地材とそれを用いた舗石の施工方法，日本国特許庁，公開番号 特開 2002-356803.
- 3) 加納陽輔，栗谷川裕造，秋葉正一，河合紘茲：熔融固化物（スラグ）の舗装用骨材としての適性および品質に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第9巻，pp.109-116，2004年12月

第5章 実施工による経済性および供用性の検討

5.1 概説

これまでの知見を踏まえて、本章では、本工法の軽交通路用天然石舗装としての経済性と供用性を実施工から検討した。また、経済性については新設、維持・修繕費用によるライフサイクルコストの想定から、供用性に関しては供用開始後4年経過時における現地調査結果から検証した。

実施工場所は、写真-5.1.1に示す現存最古の芝居小屋として平成14年に国の重要文化財に指定されている康楽館（秋田県小坂町）周辺の車道部及び駐車場乗入部である（施工年月：2010年10月，工期：1ヶ月，施工者：株式会社寒風）。この芝居小屋は明治43年に落成され，収容人数は607名にのぼり今もなお著名な役者による特別公演や日々の常打芝居が行われており，地元住民はもとより，大型バスによる団体観光客の来訪も多い。当該施工箇所には従来からセメントモルタルによる接着型工法（以下，従来工法）によって天然石舗装が舗設されていたが，交通荷重のほか，凍上や除雪に伴う破損が問題となっており，補修を頻繁に要していた。



写真-5.1.1 実施工場所（秋田県小坂町，康楽館）

5.2 施工方法および使用材料

施工区間の概略図と車道部調査区間の構成を図-5.2.1に、工区境界部の断面構造を図-5.2.2に示す。ここで、概略図(図-5.2.1上図)の網掛けは車道部及び乗入部の調査箇所を示している。実施工にあたり、前章現場試験における石板サイズの比較(Pattern A: 300×300×60, Pattern B: 600×300×60)を行った結果、沈下および移動量については大差がないものの、サイズの小さいPattern Aで若干変位が大きい傾向となり、他方、傾斜量についてはサイズの大きいPattern Bで明らかに変位が大きい傾向が見られたことから、使用した石板のサイズは450×300×60とした。また、車道部は工区延長が石板の移動に及ぼす影響を確認するため、観光施設に面した延長約40mを調査区間として片側一車線を10mピッチで4工区、対向する車線を20mピッチで2工区に区分した。なお、工区の境界部は、図-5.2.2のとおり既設コンクリート路盤の一部を切削し、無収縮モルタルで接着した止め石によって隣接する工区と隔てている。また、各工区の下地及び目地には前章同様の粗砂またはエコスラグにストレートアスファルトを混合したAs.砂を用い、第4章表-4.3.3に示した名称の末尾に工区延長(m)を付して記した(図-5.2.1下図)。乗入部に関しては、ⅠにType S(st.)を、ⅡにType E(st.)を敷設し、特に目地砂の流失に留意して観察した。As.砂の配合は前章の検討結果に基づいて、粗砂には2.5%、エコスラグには1.0%のアスファルトを混合した。また、現場におけるスランプ試験(突き固め回数100回)から、実施工に用いるAs.砂が第4章で示した図-4.3.2と同等の品質が得られることを事前に確認している。なお、ボールを用いない据付型工法に関しては、事前に室内試験及び現場試験から課題である耐久性不足を確認しており、特に石板の傾斜と移動による安全上の理由から車道には不適と判断して実施工の対象工法から除いている。また、接

着型工法についても、石板のリサイクルの観点から発注者側の使用に含まれていないことから、実施工の対象工法から除いている。

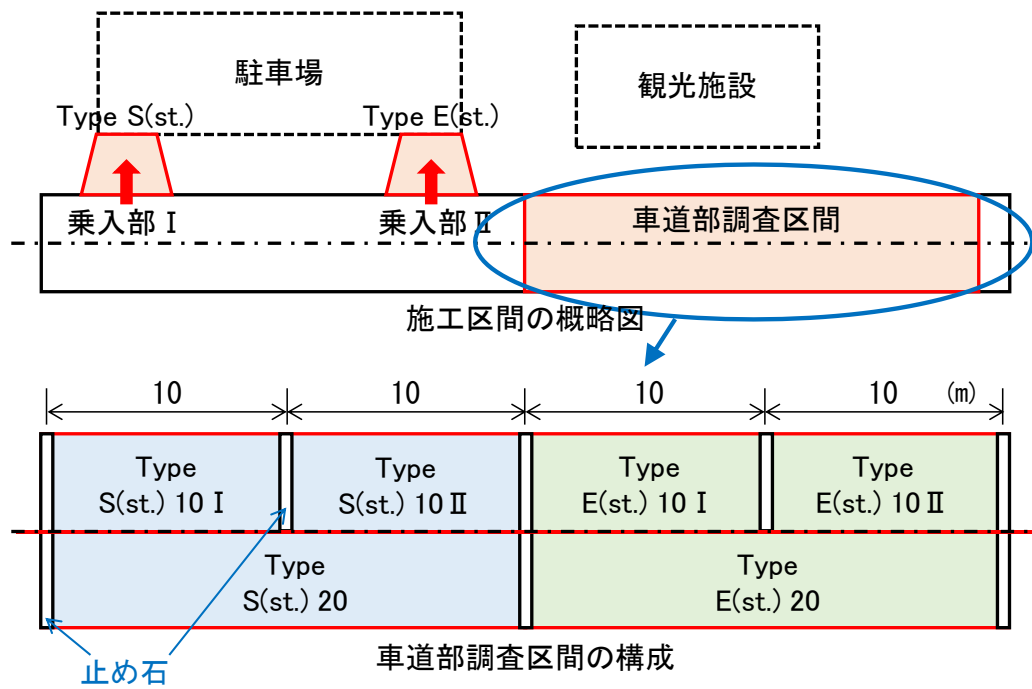


図-5.2.1 施工区間の概略図と車道部調査区間の構成

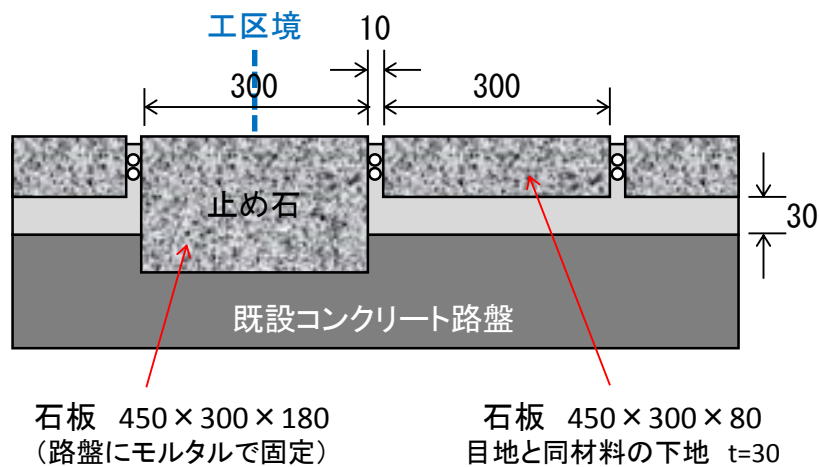


図-5.2.2 区間堺部の断面構造

5.3 経済性に関する評価結果

現場試験及び実施工を踏まえて、表-5.3.1 に各種天然石舗装工法の経済性を比較した。また、表-5.3.2 および表-5.3.3 は各工法の新設費と撤去費の単価内訳である。ここで、ライフサイクルコストは実施工における実績と標準歩掛¹⁾および公共工事設計労務単価²⁾に基づいて算出し、具体には新設費を標準歩掛より、維持費を実施工における目地等の補修に要した費用より、修繕費を解体・処分と再構築に要する標準歩掛より、供用期間を20年として試算している。工法の構成と名称は第4章で示した表-4.2.1と同様であり、接着型の新工法のうち、施工実績が多い瀝青系固着材による工法をType Bとして併記した。

表より、新設費は下地及び目地にモルタルを用いた従来工法（Type C）と比べて、本工法（Type A-Ab）は2割程度、Type Bの速硬タイプでは施工費が増大するため4割程度高価となる。また、維持費は本工法による目地砂が流失した場合の補充、または従来工法による目地が破損した場合の一部補修を想定したものである。さらに、補修費は大掛かりな修繕や張替えを考慮したもので、補修が容易で、かつ石板の再利用が可能な本工法では解体・処分費と材料費が大きく削減できるため、メンテナンス及びリサイクルにおいて経済的にも有利となる。

以上から、維持・補修を含むライフサイクルコストを比較した場合、本工法は接着型工法の3～5割程度安価となり、経済性に優れる可能性を確認した。

表-5.3.1 各種天然石舗装工法の経済性比較

		Type A-Ab	Type C	Type P	Type B	
					普通タイプ	速硬タイプ
新設費 (円/㎡)	施工費	11,440	7,000	12,110	12,540	22,460
	材料費	15,450	15,450	15,450	15,450	15,450
	新設費計	26,890	22,450	27,560	27,990	37,910
維持費	(円/㎡/年)	180	680	0	0	0
修繕費 (円/㎡)	解体・処分費	1,220	5,580	5,580	5,580	5,580
	施工費	11,440	7,000	12,110	12,540	22,460
	材料費	180	15,450	15,450	15,450	15,450
	修繕費計	12,840	28,030	33,140	33,570	43,490
ライフサイクルコスト ※設計期間20年補修含む (円/㎡)		43,150	63,400	60,700	61,560	81,400

表-5.3.2 各種天然石舗装工法の施工歩掛

Type A-Ab(提案工法)

名称	規格	数量	単位	単価	金額	摘要
人件費	石工	12.0	人	19,400	232,800	
人件費	普通作業員	12.0	人	14,000	168,000	
平石	方形石	103.0	m ²	15,000	1,545,000	ロス率:+0.03
目地・下地材	SAC	6.6	t	22,000	145,200	
球状目地材	アルミナボール8mm	170.0	kg	3,100	527,000	
諸経費		1.0	式		71,000	
合計					2,689,000	
1m ² あたり					26,890	

Type C(セメントモルタル)平石張工

名称	規格	数量	単位	単価	金額	摘要
人件費	世話役	4.8	人	19,100	91,680	
人件費	石工	16.8	人	19,400	325,920	
人件費	普通作業員	14.5	人	14,000	203,000	
平石	方形石	103.0	m ²	15,000	1,545,000	ロス率:+0.03
諸経費		1.0	式		79,400	
合計					2,245,000	
1m ² あたり					22,450	

Type P(デンボリーS工法 普通タイプ)

名称	規格	数量	単位	単価	金額	摘要
石張工		100.0	m ²	6,839	683,900	
平石	方形石	103.0	m ²	15,000	1,545,000	ロス率:+0.03
デンボリーモルタル	1:3	8.5	t	31,566	268,311	
デンボリースラリー		1.91	t	64,839	123,842	
目地モルタル		2.46	t	33951	83,519	
目地設置工 5mピッチ	ウレタン、シーリング材	40.0	m	1163	46,520	
養生工		100.0	m ²	51	5,100	
合計					2,756,193	
1m ² あたり					27,562	

Type B(インジェク工法 普通タイプ)

名称	規格	数量	単位	単価	金額	摘要
石張工		100.0	m ²	4,188	418,800	
平石	方形石	103.0	m ²	15,000	1,545,000	ロス率:+0.03
インジェクスペーサー敷均		100.0	m ²	486	48,600	
インジェク注入工		1,911.0	ℓ	385	735,735	
化粧目地工		100.0	m ²	511	51,100	
合計					2,799,235	
1m ² あたり					27,992	

Type B(インジェク工法 速硬タイプ)

名称	規格	数量	単位	単価	金額	摘要
石張工		100.0	m ²	4,188	418,800	
平石	方形石	103.0	m ²	15,000	1,545,000	ロス率:+0.03
インジェクスペーサー敷均		100.0	m ²	486	48,600	
インジェク注入工		1,911.0	ℓ	904	1,727,544	
化粧目地工		100.0	m ²	511	51,100	
合計					3,791,044	
1m ² あたり					37,910	

表-5.3.3 各種天然石舗装工法の撤去費

撤去費 Type A~Ab

名称	規格	数量	単位	単価	金額	摘要
人件費	世話役	1.0	人	19,100	19,100	
人件費	石工	2.0	人	19,400	38,800	
人件費	普通作業員	4.0	人	14,000	56,000	
諸経費		1.0	式		7,970	
合計					121,870	
1㎡あたり					1,219	

撤去費 Type C, TypeP, TypeB

名称	規格	数量	単位	単価	金額	摘要
人件費	世話役	0.6	人	19,100	11,460	
人件費	石工	1.98	人	19,400	38,412	
人件費	普通作業員	3.18	人	14,000	44,520	
廃材処分費		1.0	式		457,000	
諸経費		1.0	式		6,608	
合計					558,000	
1㎡あたり					5,580	

5.4 供用性に関する評価結果

供用開始から4年経過後(2014年10月調査)における施工区間の様子を写真-5.4.1に示す。現地調査による評価にあたっては、まず、目視により施工工区全体に渡り石板の破損の有無、石板の沈下や移動に伴う段差の状況および目地材の流出状況を調査した。次に、工区を通過する車両を観察し、石板のガタツキがないか目視と音の聞き取りによって調査し、実際に車両による走行試験を実施し、乗り心地や石板のガタツキを調査した。最後に、ヒアリング調査として、道路管理者に対して施工後の状況について聞き取り調査を実施した。

写真-5.4.2に車道部および乗入部の状況を示す。目視および走行試験による点検の結果、車道部には石板の破損並びに石板の沈下や傾斜、移動による段差、ガタつき等は見られなかった。また、目地砂の異なるType S(st.)とType E(st.)とで大きな差異は

見られず、Type S(st.)10 及び Type S(st.)20、Type E(st.)10 及び Type E(st.)20 において工区延長による違いも確認されなかった。

写真-5.4.3 に車道部の目地の状況を示す。車道中央部では飛散してきた土や砂等が目地に詰まった状態となっている。また、車道部端部では詰まった土に、苔が植生し近隣の景観との調和が見られ、さらに、新設時に直角に整形されていた石板の角が車両の走行などにより丸みをおびてきていることや、石板表面に若干の汚れも付着し新設感が薄れ、「100年を超える歴史の芝居小屋」という空間イメージ形成に寄与しつつある。今後もさらに「時とともに味わいを増すエイジング効果」や「飽きのこない意匠」といった効果の発現が期待できる。しかしながら、乗入部では施工後3年経過時の定期点検において Type S(st.)、Type E(st.)とも、端部に目地砂の流失が若干であるが見られたため、点検と合わせて目地砂を補充している。これは、下地及び目地の締固め不良による原因が考えられ、目地砂の締固め方法や出来形管理が今後の課題といえる。ただし、今回の施工後4年経過時における調査では目地の流出が確認されなかった。なお、今回の実施工は積雪寒冷地におけるものであるが、従来工法で問題となっていた凍上、除雪等による破損、路面の変状³⁾も見られなかった。

また、道路管理者である小坂町役場建設課建設班の担当者に供用開始から4年経過現在の状況についてヒアリング調査したところ、新工法であったため、施工後2年間は定期的に調査し気にかけていたが、特段問題が見受けられないので近年では定期検査の必要もなくなり安心している。凍上や除雪の際の石板の引っ掛かり等の報告もなく問題ない。とのことで、感謝のお言葉をいただいた。

参考として、写真-5.4.4 に今回調査した施工区間付近の路面および芝居小屋敷地内の既設構造物についての状況を示す。いずれのケースも景観を損なう、または構造物の耐用年数を低下させる原因となり得るものであり、車両の通行等に起因する破損と

考えられる。

以上より，室内試験及び現場試験，実施工の結果を踏まえて，各種天然石舗装工法の評価結果を示したものが表-5.4.1である。ここで，各工法の構成と名称は第4章で示した表-4.2.1と同様である。接着型工法は石板の沈下，傾斜や移動等の耐久性に優れるものの，目地が固着材によって充填されるため透水性は期待できない。一方，据付型工法はアルミナボールによる耐久性の改善が可能であり，養生を必要としないため施工が容易で，かつ石板及び目地材の再利用が可能である。また，経済性に関しては，ライフサイクルコスト（20年間の維持補修と修繕を考慮したもの）を試算した結果，石板の繰返し利用が可能な提案工法（Type A-Ab）が最も有利となった。

以上から，本工法の軽交通路用天然石舗装としての供用性が概ね認められるが，今後も追跡調査を継続し，実施工における沈下量や傾斜量，移動量等の計測結果に基づいて，定量的かつ長期的な供用性を評価する必要がある。



車道部



乗入部

写真-5.4.1 施工後4年経過後における施工区間の様子（2014年10月）



車道部



乗入部

写真-5.4.2 車道部および乗入部の状況

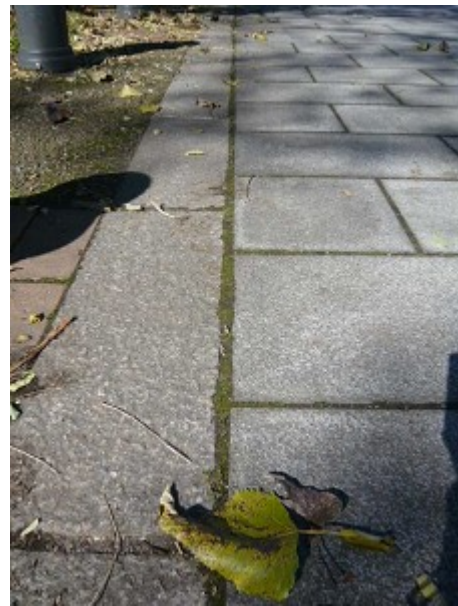
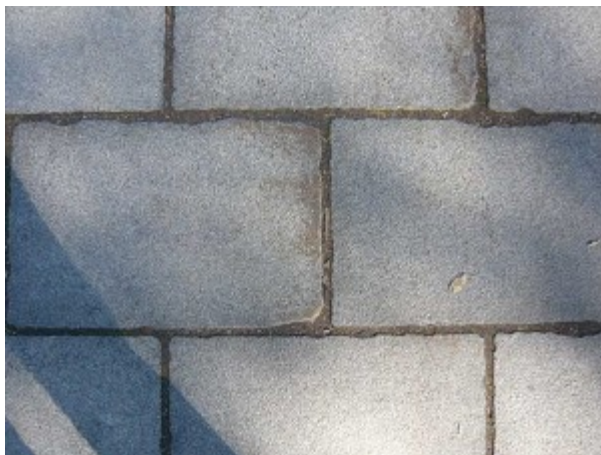


写真-5.4.3 車道部の目地の状況



ブロック割れ



沈下による水たまり跡



ブロック摩耗



目地モルタル破損



側溝破損



マンホール周辺舗装ひび割れ

写真-5.4.4 既設構造物の破損状況

表-5.4.1 各種天然石舗装工法の評価比較

		耐久性	透水性	施工性		再利用	経済性
				新設	修繕		
参照章, 節		3.3.1 3.3.2 4.2.2 5.4	3.3.3	4.2.3	4.2.3	3.3.1 3.3.2 4.2.3	3.3.1 3.3.2 5.3
据付型工法	Type S-S	×	○	◎	◎	◎	△
	Type A-Ab	目地材の流失や繰り返し荷重により石板がガタつき易い	目地が粒状材のため得られる	養生不要 早期交通解放可能	解体し易く部分補修が容易	石板および目地材の再利用可能	部分補修が容易 目地材の定期的補充が必要
接着型工法	Type C	○	×	△	△	×	△
	Type P	◎	×	○	○	×	○

5.5 まとめ

本章では，本工法の軽交通路用天然石舗装としての経済性と供用性を実施工から検討した。本章による検討により得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 経済性に対する評価結果から，維持・補修を含むライフサイクルコストを比較した場合，本工法は接着型工法の3～5割程度安価となり，経済性に優れる可能性がある。
- 2) 実施工箇所の現地調査から車道部には石板の破損並びに石板の沈下や傾斜，移動による段差，ガタつき等は見られなかったことから，施工後4年における本工法の供用性は良好である。
- 3) 実施工後の調査において，目地材および下地材に使用したAs.砂の素材は粗砂とエコスラグによる違いは確認されなかった。
- 4) 実施工後の調査において，工区延長の違いによる影響は確認されなかった。
- 5) 乗入部では施工後3年経過時の定期点検において，端部に目地砂の流失が若干であるが見られた。これは，下地及び目地の締固め不良による原因が考えられ，目地砂の締固め方法や出来形管理が今後の課題といえる。
- 6) 経済性に関して，ライフサイクルコストを試算した結果，石板の繰返し利用が可能な本工法が最も有利となった。

以上のような結果から，ライフサイクルコストに関して，本工法が既往の接着型工法よりも経済性に優れる可能性を確認し，軽交通路用天然石舗装としての供用性が概ね認められた。今後の課題点としては，目地砂の締固め方法ならびに出来形管理方法の確立が必要であり，継続して追跡調査を実施し，実施工における測定結果に基づいて，長期的に評価を実施する必要があると考える。

第5章の参考文献

- 1) 国土交通省 土木工事標準積算基準書，平成 24 年度
- 2) 国土交通省ホームページ：平成 24 年度公共工事設計労務単価について
http://www.mlit.go.jp/report/press/totikensangyo14_hh_000271.html
- 3) 福島秀哉，松田泰明，石田樹：景観機能からみた積雪寒冷地の舗装に関する一考察，平成 23 年度国土交通省国土技術研究会，自由課題（一般部門），環境，2011.

第6章 総括

6.1 結論

本論文は石板の繰返し利用が可能で、かつ耐久性や施工性に優れた天然石舗装工法の確立を目指して、アルミナボールと少量のアスファルトを混合した砂(以下, As.砂)を適用する新たな工法を室内試験および実施工により検討し、メンテナンスとリサイクルに有利な軽交通路用天然石舗装工法を提案した。具体的には、室内試験による効果と性能の確認を行ったうえで、この結果をもとに試験舗装による耐久性と作業性の評価を行い、さらに、As.砂の素材とアスファルト量が及ぼす影響を評価し、現場で実施可能な品質管理手法を検討した。最後に、実施工による経済性および供用性の検証を実施した。

第3章で得られた知見は下記の通りである。

- 1) 石板の沈下抑制に対して、下地及び目地に用いた As.砂の効果は認められないものの、目地にアルミナボールを挿入することで沈下抑制効果が期待できる。
- 2) 石板の傾斜に対して、目地にアルミナボールを挿入することによる抑制効果が期待できる。ただし、下地及び目地に As.砂を用いたことによる明らかな効果は確認されなかった。
- 3) 石板の移動抑制効果に対して、下地及び目地に As.砂を用いること、さらに目地にアルミナボールを挿入することによる移動抑制効果が期待できる。
- 4) 据付型工法の付加的性能として衝撃吸収性が得られる可能性、ならびに、透水性が得られる可能性を確認し、さらに As.砂を用いることで目地の流失を抑制する効果が期待できる。

第4章で得られた知見は下記の通りである。

- 1) 据付型工法では石板サイズが小さく、下地への接地圧が大きい敷設パターンにおいて沈下が進行しやすい傾向にあるが、アルミナボールによる沈下抑制効果が期待できる。
- 2) 据付型工法は石板サイズが大きい敷設パターンで、特にモーメントが大きい方向に石板の傾斜が進行する可能性を確認し、アルミナボールの挿入による傾斜抑制効果が期待できる。
- 3) 据付型工法では石板の敷設パターンに関係なく、縦断方向(走行方向と逆向き)に石板の移動が進行する可能性があるが、目地にアルミナボールを挿入することによる移動抑制効果が期待できる。
- 4) 本工法は新設のみならず、目地の補修や解体、再構築が容易に行えること、また、再構築に際して石板や目地砂、アルミナボールを現地で繰返し利用できることを確認した。
- 5) As.砂において、アスファルトの量や種類の違いが団粒率に影響すること、エコスラグと改質アスファルトを用いることで、少量のアスファルトによって団粒化が生じる。
- 6) 耐流失性に関してはアスファルト量の増加に伴って一定量まで向上し、この境界は目地砂の品質によって異なる。
- 7) As.砂の耐流失性を評価・判定する簡易な試験法として、スランプ試験の適用性を提案した。その結果、この場合のスランプ値は、砂やアスファルトの種類に関係なく **2.5cm** で最適なアスファルト量を求めることが可能となることを明らかにした。

第5章で得られた知見は下記の通りである。

- 1) 維持・補修を含むライフサイクルコストを比較した場合、本工法は接着型工法の3～5割程度安価となり、経済性に優れる可能性がある。
- 2) 車道部には石板の破損並びに石板の沈下、傾斜ならびに移動による段差やガタつき等は見られなかったことから、施工後4年における本工法の供用性は良好である。
- 3) 目地材および下地材に使用したAs.砂の素材は粗砂とエコスラグによる違いは確認されなかった。
- 4) 石板のズレを抑制する目的で用いる止め石の間隔は、20mまでであれば石板のズレは認められなかった。
- 5) 乗入部では施工後3年経過時の定期点検において、端部に目地砂の流失が若干であるが認められた。これは、下地及び目地の締固め不良による原因が考えられ、目地砂の締固め方法や出来形管理が今後の課題といえる。
- 6) ライフサイクルコストを試算した結果、従来工法と比べ石板の繰返し利用が可能な本工法が最も有利な工法となった。

6.2 今後の課題と展望

本論文では、軽交通路に適応可能な天然石舗装工法として、アルミナボールと少量のアスファルトを混合した砂（以下、As.砂）の利用を提案し、室内試験および現場試験、実施工による経過調査からその適応が認められることを確認した。しかし、一方で残された課題もあり、今後本工法により多様な街路景観の向上に寄与するためにはさらなる研究や追跡調査が必要である。今後の課題を以下に示す。

- 1) 長期供用性の確認のため、さらなる追跡調査が必要である。
- 2) 石板の材質や最適サイズに対する検証が必要である。
- 3) As.砂の流失防止のため、目地砂の締固め方法や出来形管理に対する検討が必要である。
- 4) 施工コストの観点から、目地部に対するアルミナボールの挿入割合の最適化が必要である。
- 5) 施工コストの観点から、施工基盤を含めた構造の最適化が必要である。
- 6) 施工時におけるアルミナボール挿入方法の効率化を図る必要がある。

今後、本工法が広く活用され、車両通行に伴う路面の破損や、景観の質の低下等の問題が解消され、地域住民の生活環境改善、ならびに各地の観光施設や歴史的建造物の空間イメージ形成に寄与することによって、地域経済の活性化、さらには、我が国の観光立国実現に対する一手法となることを期待する。

謝 辞

本論文の審査にあたっては、多数の貴重なご教示ならびにご指導をいただきました、日本大学生産工学部土木工学科教授 秋葉正一博士，同教授 伊藤義也博士，同教授 澤野利章博士，同教授高崎英邦博士には謹んで感謝の意を表します。また，秋葉教授には本研究を取りまとめるにあたり，ご指導，ご鞭撻を賜り，深く感謝いたします。さらに，これまでの研究，試験において様々なご助言をいただいた日本大学生産工学部土木工学科助教 加納陽輔博士には厚く御礼申し上げるとともに，日本大学生産工学部土木工学科土質・道路研究室の皆様には様々な場面でご協力いただきましたことを感謝申し上げます。

本研究は株式会社寒風，山本建設株式会社，日本大学との共同研究（2008～2011年度）の成果を取りまとめたものであり，資材の調達から施工，調査に至るまで，株式会社寒風からの多大なる御協力と御支援により結実したものです。ここに，深く感謝の意を表します。

最後に，研究に専念できるよう支えていただきました家族と同僚の皆様には心から感謝の意を表します。