

# 学位論文内容の要旨

柳沼宏始

論文題目：

インターロッキングブロック舗装の荷重分散性能と支持力評価に関する研究

論文要旨：

インターロッキングブロック(以下、ILブロックという)は、1974年頃に旧西ドイツより我国にその製造技術が導入された。それ以来、ILブロック舗装は歩行者系道路を中心として車道舗装、さらに空港・港湾といった重荷重地域にも適用されるまでに普及し、2002年時点でおおよそ700万 $m^2$ /年、総供用面積では1億数千万 $m^2$ に至っている。

ILブロック舗装は、砂をレベリング層および目地に使用する乾式工法により施工される。近年ではタイルや天然石でも厚さ6cm以上の製品が主流を占め、ILブロックやコンクリート平板舗装と同じ様に粒状路盤上に敷砂を介して敷き並べられるケースが年々増加する傾向にある。これは、乾式工法がモルタル等を用いる湿式工法に比べて熟練工を必要とせず、製品の再利用も可能となること、さらに工期の短縮化が計られ経済的にも有利であるためと思われる。このように乾式工法は、湿式工法に比べて多くの利点を持つことから、今後ますますブロック系舗装の大半が乾式工法により施工されると考えられる。しかしながら、我国に導入されて30年近くが経過した現在でも、ILブロックの形状・寸法に関する明確な国内規定が定められていない。さらに乾式工法の大きな特徴である敷砂と目地砂についても、その砂の品質がILブロック舗装の荷重分散性能や舗装面の供用性に及ぼす影響のみならず、目地砂の機能についても国内外でほとんど研究が行われていない現状にある。したがって、ILブロックの寸法と荷重分散性能の関係、敷砂の品質(種類と粒度)とILブロック舗装の荷重分散性能や供用性との関係などを明確にすることが必要となるとともに、目地砂の機能把握も重要となる。また、現状の施工方法は車道舗装であっても歩道舗装と同様に手押しの専用コンパクタにより転圧が行われており、大型車交通量の多いバスターミナルや交差点部等では十分な締固め効果が得られないことに起因する供用初期段階での変形や変形に伴うブロックの破損も懸念される。施工後良好な供用性を維持するためには、路面の締固め方法が目地砂の充填率や荷重伝達率に与える影響について確認したうえで、施工時の転圧方法を確立する必要がある。

ILブロックを用いた車道舗装の大きな課題には、供用中に破損が生じた場合の破損部と健全部における荷重分散性能の比較や支持力評価などに関する調査と研究がほとんど行われていないこと、さらに車道舗装の90%以上を占める軽交通道路における上層路盤上での支持力基準がないことが挙げられる。したがって、ブロック上や路盤上で短時間に敏速にしかも多数の支持力測定を行って構造を評価する手法が確立できれば、適切な支持力評価や施工管理が可能となり供用中の破損が低減でき、適切な維持修繕工法の選定も可能となると考えられる。

本研究は、日本に導入されて30年近くが経過した現在でも未だ確立されていない多くの課題について検証したものである。

本論文は10の章からなり、各章の概要は以下のとおりである。

第1章は、序論であり本研究の背景と目的について述べるとともに、国内外におけるILブロック舗装の歴史や既往の研究について概観し、最後にこの舗装の荷重分散性能の原理について説明した。

第2章は、まず同じたわみ性舗装の設計法に準じて設計されるアスファルト舗装とILブロック舗装のたわみ特性の違いを98kN級FWDによるたわみ測定から明らかにした。次

に、ILブロック舗装の経時変化に伴うたわみ特性とたわみ特性に与える舗装構造、ジオテキスタイルの有無や測定機種(49kN級FWDと4.9kN級HFWD)の違いについても考察した。

第3章は、ILブロック舗装の構造的挙動に及ぼす要因としてブロック、目地、目地砂、敷砂、路盤の5つを取り挙げ要因ごとに路面性状に及ぼす影響について説明するとともに、残された研究課題についても述べた。

第4章は、日本を含め世界的に普及している小型FWD装置の種類とその特徴について述べた。次に、これらの中から本研究に用いた装置を選定した理由とILブロック舗装上にてデータ収集を行うにあたり、たわみの測定方法と計算方法および車両搭載型の49kN級FWDとの相関について述べた。

第5章は、ILブロックの寸法と荷重分散性能に関する研究で、形状と寸法の異なるブロックを用いた試験舗装路におけるたわみ測定からブロック寸法と荷重伝達率には高い相関のあることを確認した。さらにこの関係を用いて、波形タイプの方がストレートタイプに比べて荷重伝達率が7~11%程高くなることを示した。

第6章は、ILブロック舗装の原理であり乾式工法の特徴でもある敷砂と目地砂の荷重分散性能に関する研究である。敷砂については、その品質が異なるとILブロック舗装の荷重分散性能も異なること、敷砂の荷重分散性能と舗装面の変形量、ブロックの破損率には高い相関のあることを確認した。目地砂については、ILブロック舗装には砂が最適であり、目地砂を詰めない突合わせ目地やゴムをブロック側面に付着させる工法では砂に比べて荷重伝達率が30~40%に低くなることを明らかにした。そのうえで、路面の締固め方法が目地砂の充填率や荷重伝達率に与える影響について確認し、大型車交通量の多い用途には専用のコンパクタによる転圧だけでは不十分であるため仕上げ転圧に大型のローラを用いることを提案した。

第7章は、路盤構造の差異と荷重分散性能に関する研究で、異なる路盤構造上に施工された車道舗装においてたわみの面的分布状況を評価する方法としてたわみ比を用いた測定結果から、支持力の大きい路盤上にILブロックを施工するとILブロック舗装の荷重分散性能が高くなることを確認した。

第8章は、ILブロックによる車道舗装の大きな課題である供用中に破損が生じた場合の原因を究明するたわみの測定方法と解析方法について、実道で実施した調査結果を基に示した。また、破損を低減するための対策としてHFWDを用いた上層路盤上の支持力基準についても検討し、1日1方向当たりの大型車交通量が100台未満の道路で面上弾性係数 $120\text{MN}/\text{m}^2$ 以上、100台以上の道路ではたわみ量 $0.084\text{mm}$ 以下を提案した。

第9章は、日本に導入されて30年近くが経過した現在でも未だに国内で規定されていないILブロックの寸法規格について、第5章で得られた結果を基に提示した。すなわち、歩道・軽交通用 $60\text{mm}$ 厚で $240\times 138\text{mm}$ 以下、車道用 $80\text{mm}$ 厚で $250\times 126\text{mm}$ 以下、短辺長で $50\text{mm}$ 以上を提案した。

最後に、第10章で本研究の成果をまとめるとともに提案した方法による今後のILブロック舗装の研究展望を述べて本研究の総括とした。

## **A Study on Load spreading property and Bearing Capacity**

### **Evaluation of Interlocking Block Pavement**

Hiroshi YAGINUMA

#### Synopsis

Around 1974, techniques from West Germany for manufacturing and installing interlocking (IL) blocks were introduced to Japan. Since then, IL block pavement has spread from use mainly for exclusive pedestrian roads to use for roadway pavements, and further, to use in ports, airports and other areas that experience heavy loads. Installation of IL block pavement reached about 7 million m<sup>2</sup>/year as of 2002, for a cumulative total of over 100 million m<sup>2</sup>.

IL block pavement is constructed by a dry method in which sand is used for the leveling course and joints. In recent years, the most commonly used blocks have been those 60 mm or greater in thickness, whether tile or natural stone. There is a growing tendency to place such material on bedding sand layer over the granular base course, as is done with concrete flag pavement. Dry methods are economically superior to wet methods, which use material such as mortar, because 1) skilled workers are not needed, 2) products can be reused, and 3) the construction period can be reduced. Because of these numerous advantages, dry methods will be increasingly used for block pavements in the future. However, domestic standards for IL block shape and size have not been established, although nearly 30 years has passed since such paving was introduced. Concerning bedding sand and joint sand, the distinguishing features of the dry method, little study has been conducted in Japan or abroad on the functions of joint sand, or on the effects of sand quality on the load spreading property of IL block pavement and on the performance of the pavement surface. Therefore, it is necessary to clarify the relationship between the dimensions and load spreading property of IL blocks, and the relationships of quality (type and grading) of bedding sand to the load spreading property and to performance of IL block pavement. It is also important to fully understand the functions of joint sand. In the current construction method, a special, plate compactor is used for rolling sidewalk pavement, and even for roadway pavement. Consequently, for areas such as bus terminals and intersections that

experience heavy traffic by commercial vehicles, there are concerns over deformation arising shortly after the pavement enters service from insufficient compaction and over distress of blocks resulting from deformation. To promote long-term, superior performance, it is necessary to find a better rolling method by clarifying the effects of road surface compaction on the filling factor and on coefficient of load transfer efficiency of joint sand.

These are the major issues of roadway pavement using IL blocks:

- 1) Few studies have compared load transfer efficiencies of damaged and undamaged areas, or evaluated bearing capacity after distress for pavements in service.
- 2) There are no standards for bearing capacity of the base course of the light-traffic roads, which account for more than 90% of roadway pavements. Therefore, with a method of evaluating the structure by quickly making numerous measurements of bearing capacity of blocks or of the base course, proper execution control will be possible, which in turn will minimize the distress occurring after the pavement enters service. In addition, it will allow the proper maintenance and rehabilitation methods to be selected.

This paper reports on the examination of the issues that remain unclarified even after almost 30 years of IL block pavement use.

This is an outline of the sections of this paper.

Chapter 1: This introductory chapter describes the background and objectives of this study. Overviews of the history of IL block pavement and past studies in Japan and elsewhere are given. The principle of load spreading property of such pavement is explained at the end of the chapter.

Chapter 2: Differences between deformation in the asphalt pavement and that in IL block pavement are clarified through deflection measurements by 98-kN-class FWD. A design method for flexible pavements is used for both types of pavement. This chapter also discusses deflection performance in the IL block pavement; pavement structure and the existence of geotextile, both of which influence deformation; and differences in the types of measuring devices (49-kN-class FWD and 4.9-kN-class HFWD ).

Chapter 3: This chapter addresses five structural components that are factors in structural behavior of IL block pavement: blocks, joints, joint sand, bedding sand and base course. An explanation is given on the

effects of each on road performance. The chapter also touches on study items other than these five.

Chapter 4: This chapter describes types of portable FWDs used worldwide, including in Japan. Reasons for selecting the device used in this study are explained. This chapter presents a method for measuring deflection, a method for calculating deflection, and the correlation between measurements taken by the device used in this study and those taken by a 49-kN-class FWD.

Chapter 5: This chapter reports on the investigations of shape and size and load spreading property of IL blocks. Deflection measurements made on the test pavement using blocks of different shape and size revealed a high correlation between block dimensions and coefficient of load spreading property. From this relationship, it is clear that the coefficient of load transfer efficiency of non-rectangular (dentated) blocks was 7 to 11% greater than that of the rectangular blocks.

Chapter 6: This chapter reports on the investigations of load spreading properties of bedding sand and joint sand, both of which are features of the dry method and the key advantages of IL block pavement. It was confirmed that the load spreading property of IL block pavement varies according to quality of bedding sand and that there is a high correlation among the load spreading property of bedding sand, the deformation of pavement surface and the distress rate of block. It was made clear that sand is the most suitable joint material for IL block pavement and that, in the method that uses butt joints without sand filled between the blocks or rubber attached to the side of the block, the coefficient of load transfer efficiency was 30 to 40 % lower than that with sand-filled joints. On that basis, the effects of road surface compaction method on the filling factor and on coefficient of load transfer efficiency of joint sand were clarified. Use of a rubber tired roller for final rolling is proposed for areas where commercial vehicle traffic is heavy, since rolling by plate compactor does not achieve sufficient compaction.

Chapter 7: This chapter presents the differences in the structure and load spreading property of the base course. Deflection ratio was measured to evaluate the spatial distribution of deflection on roadway pavements constructed on structurally different base courses. The results show that the load spreading property of IL block pavement is high when IL blocks are placed on a base course of high bearing capacity.

Chapter 8: This chapter presents methods for measuring and analyzing deflection, based on the results of

the survey made on roads in service. These methods are used to investigate distress on roads in service, a serious problem of IL block roadway pavement. We used the HFWD to determine the standards for bearing capacity of the base course that would minimize distress, and propose the following: Equivalent half space modulus should be at least  $120 \text{ MN/m}^2$  on roads where commercial vehicle traffic is less than 100 vehicles per direction per day, and deflection should be less than 0.084 mm on roads having traffic of 100 vehicles or more per direction per day.

Chapter 9: This chapter proposes technical standards for IL block dimension, which do not yet exist, despite the passage of 30 years since the introduction of these blocks. These standards are based on the results from Chapter 5: 60-mm-thick blocks for sidewalks and roads with light traffic should be 240 x less than 138 mm; 80-mm-thick blocks for other roads should be 250 x less than 126 mm; and the length of the short side for both blocks should exceed 50 mm.

Chapter 10: This chapter summarizes the present study and its results. The chapter concludes with an outline of prospects for studies on future IL block pavement for which the proposed methods may be used.

# 目 次

中 表 紙	
概 要 -----	II
和文 -----	II
英文 -----	III
目 次 -----	IV
図のリスト -----	V
表のリスト -----	VI
用語の定義 -----	VII
記号の定義 -----	VIII
第1章 序論 -----	1
1. 1 研究の背景と目的 -----	1
1. 2 本論文の内容と構成 -----	4
1. 3 インターロッキングブロック舗装の歴史 -----	5
1. 3. 1 諸外国における歴史 -----	5
1. 3. 2 国内における歴史 -----	8
1. 4 既往の研究 -----	10
1. 4. 1 諸外国における研究 -----	10
1. 4. 2 国内における研究 -----	14
1. 5 インターロッキングブロック舗装の荷重分散性能の原理 -----	18
第1章参考文献 -----	19
第2章 インターロッキングブロック舗装のたわみ特性 -----	22
2. 1 概説 -----	22
2. 2 インターロッキングブロック舗装のたわみ特性 -----	22
2. 2. 1 たわみ形状 -----	22
2. 2. 2 経時変化に伴うたわみ特性 -----	24
2. 3 まとめ -----	29
第2章参考文献 -----	30

第3章 インターロッキングブロック舗装の構造的挙動に影響する要因	31
3.1 概説	31
3.2 構造的挙動に影響する要因	31
3.2.1 インターロッキングブロック	31
(1) 形状・寸法	32
(2) 厚さ	33
(3) 品質	34
(4) 敷設パターン	35
3.2.2 目地幅と目地キープ	37
(1) 目地幅	37
(2) 目地キープ	39
3.2.3 敷砂と目地砂	40
(1) 敷砂の厚さ	40
(2) 敷砂の品質	41
(3) 目地砂の品質	53
3.2.4 路盤材料	54
(1) 上層路盤	54
(2) 下層路盤	57
3.3 まとめ	57
第3章参考文献	58
第4章 小型FWDによるたわみ測定	60
4.1 概説	60
4.2 小型FWDの種類	61
4.2.1 HFWD	62
4.2.2 動的平板載荷試験器	63
4.2.3 PRIMA100	63
4.2.4 FWDLight	64
4.3 本研究におけるたわみ測定	64
4.3.1 本研究に用いた小型FWD	64
4.3.2 HFWDの適用範囲	64
4.3.3 HFWDによるたわみ測定と計算方法	65
4.3.4 測定回数2回と3回の相関	66
4.3.5 49kN級FWDと4.9kN級HFWDのたわみの相関	68
第4章参考文献	69



第5章	ブロック寸法が荷重分散性能に与える影響	70
5.1	概説	70
5.2	試験舗装と測定概要	70
5.2.1	試験舗装の内容	70
5.2.2	たわみの測定方法	71
5.3	ブロック寸法が荷重分散性能に与える影響	73
5.4	波形タイプとストレートタイプの荷重分散性能の比較	75
5.5	まとめ	77
	第5章参考文献	77
第6章	敷砂の品質と目地材料が荷重分散性能に与える影響	79
6.1	概説	79
6.2	敷砂の品質が荷重分散性能に与える影響	80
6.3	目地材料の違いが荷重分散性能に与える影響	88
6.4	施工時のインターロッキングブロック舗装の締固め方法が目地砂の充填率と荷重分散性能に与える影響	91
6.5	まとめ	93
	第6章参考文献	95
第7章	路盤構造が荷重分散性能に与える影響	96
7.1	概説	96
7.2	たわみ比を用いた荷重分散性能の評価	96
7.3	路盤構造の差異による荷重分散性能の比較	97
7.4	まとめ	99
	第7章参考文献	99
第8章	小型FWDのインターロッキングブロック舗装の支持力評価への適用	101
8.1	概説	101
8.2	支持力評価の方法	101
8.3	実道における破損原因の推定事例	103
8.3.1	インターロッキングブロックと敷砂迄を開削範囲とした調査事例	103
8.3.2	路盤，路床面迄を開削範囲とした調査事例	104
	(1) 水系法による横断形状	106
	(2) HFWD たわみ量	107
	(3) 路床，路盤の弾性係数の推定	109
8.3.3	破損部と健全部における荷重分散性能の比較	110

(1) わだち掘れ部と健全部の荷重分散性能の比較	110
(2) ブロックの移動部と健全部の荷重分散性能の比較	112
8.4 上層路盤上の支持力基準	117
8.5 まとめ	119
第8章参考文献	120
第9章 インターロッキングブロック舗装の寸法規格案	121
9.1 概説	121
9.2 寸法規格	121
9.2.1 国内における寸法規格	121
9.2.2 諸外国における寸法規格	122
9.3 インターロッキングブロック寸法の規定化	123
9.4 交通量の区分に応じたインターロッキングブロックの寸法規格	126
9.5 まとめ	127
第9章参考文献	128
第10章 結論	129
謝 辞	137

## 図のリスト

図番号	タイトル	ページ
1.1	歩道舗装の分類(構成, 材料による)	2
1.2	アピアン道路の断面	6
1.3	Tresaguet の碎石道	7
1.4	Telford の碎石道	7
1.5	Macadam の碎石道	7
1.6	小舗石道の配列方法	9
1.7	小舗石の構造	9
1.8	IL ブロック舗装の原理	19
2.1	IL ブロック舗装の構造	23
2.2	IL ブロックの形状と敷設パターン	23
2.3	たわみ形状の比較	24
2.4	IL ブロック舗装の構造	24
2.5	IL ブロックの形状と敷設パターン	25
2.6	たわみの経時変化	25
2.7	IL ブロック舗装の構造	26
2.8	IL ブロック舗装の構造	27
2.9	IL ブロックの形状と敷設パターン	27
2.10	IL ブロック舗装の 49kN 級 FWD たわみ量の推移	28
2.11	IL ブロック舗装の 4.9kN 級 HFWD たわみ量の推移	28
3.1	実験に用いた IL ブロックの形状・寸法	32
3.2	ブロック形状とわだち掘れの関係	33
3.3	出荷数量の推移	33
3.4	ブロック厚とわだち掘れの関係	34
3.5	全面載荷圧縮強度と耐久性指数との関係	35
3.6	全面載荷圧縮強度と曲げ強度との関係	35
3.7	IL ブロックの敷設パターン	35
3.8	走行回数とブロックの移動量の関係	36
3.9	実測値と計算値の関係	39
3.10	目地キープの例	40
3.11	実験に用いたブロック	40
3.12	目地キープの効果	40
3.13	敷砂厚の影響	41
3.14	たわみ量の経時変化	50
3.15	MCI <sub>0</sub> の経時変化	51

3.16	ILブロック舗装の構造	54
4.1	小型 FWD の概念	60
4.2	HFWD の外観	61
4.3	動的平板載荷試験器の外観	62
4.4	PRIMA100 の外観	62
4.5	ダイナフレクトの外観	65
4.6	歩道部の落下回数 2 回と 3 回の相関	68
4.7	車道部の落下回数 2 回と 3 回の相関	68
4.8	49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD によるたわみの相関	69
5.1	2つのセンサの設置位置	72
5.2	たわみ測定のパターン	72
5.3	締固め状態における荷重伝達率	75
5.4	荷重伝達率の変化率	75
6.1	たわみの測定位置	83
6.2	測定位置	83
6.3	たわみ曲線と曲率半径	84
6.4	曲率半径の推移	86
6.5	舗装面の変形量の推移	87
6.6	移動量の推移	87
6.7	ブロック破損率の推移	87
6.8	目地幅の推移	88
6.9	たわみの測定位置	89
6.10	たわみ測定のパターン	90
6.11	荷重伝達率の比較	91
6.12	ILブロックの形状	92
6.13	ILブロック舗装の構造	92
6.14	たわみの測定位置	92
6.15	施工段階における荷重伝達率	93
7.1	たわみの測定位置	97
7.2	ILブロックの形状	97
7.3	ILブロック舗装の構造	97
7.4	たわみ比と路盤構造	99
8.1	ILブロック舗装の構造	102
8.2	舗装構造評価のための 2 層モデル	102
8.3	開削による 2 層モデル	102
8.4	ILブロックの形状と敷設パターン	103
8.5	ILブロック舗装の構造	103

8.6	舗装各層の横断形状	104
8.7	舗装各層のたわみ量	104
8.8	開削方法の詳細	106
8.9	破損部の横断形状	107
8.10	健全部の横断形状	107
8.11	舗装各層のたわみ量(破損部)	108
8.12	舗装各層のたわみ量(健全部)	108
8.13	2層構造解析のモデル	109
8.14	ILブロックの形状と敷設パターン	111
8.15	ILブロック舗装の構造	111
8.16	破損部と健全部のたわみ比の比較	112
8.17	ILブロック上での測定位置	114
8.18	移動部1の横断形状	116
8.19	移動部2の横断形状	116
8.20	健全部の横断形状	116
8.21	49kN級FWDと4.9kN級HFWDによるたわみの相関	118
9.1	車道部に一般的に使用されているブロック形状	122
9.2	ストレートタイプのブロック形状	122
9.3	ILブロックの寸法	124

表のリスト

表番号	タイトル	ページ
1.1	諸外国における荷重分散性能に関する研究	12
1.2	諸外国における支持力評価に関する研究	13
1.3	国内における荷重分散性能に関する研究	15
1.4	国内における支持力評価に関する研究	16
2.1	ジオテキスタイルの性状	26
2.2	ILブロック舗装上のたわみ量	27
3.1	ILブロック舗装の構造的挙動に影響する要因	31
3.2	走行実験の概要	36
3.3	ブロックの破損率に関する現場調査結果	38
3.4	分散分析の結果	39
3.5	敷砂の室内試験	42
3.6	室内試験結果	44
3.7	試験舗装の内容	46
3.8	試験方法	47
3.9	各工区の路面性状	48
3.10	相関マトリックス	49
3.11	開削調査結果	52
3.12	敷砂の品質規格と試験法	53
3.13	試験舗装の内容	55
3.14	各工区の路面性状	56
3.15	相関マトリックス	56
4.1	日本で使用されている小型 FWD 装置の仕様	62
4.2	試験現場の内容	67
4.3	試験結果	67
5.1	試験舗装の内容	71
5.2	たわみの測定結果	73
5.3	ILブロックの荷重伝達率	74
5.4	比較に用いた波形タイプの形状	76
5.5	荷重伝達率の比較結果	76
6.1	試験舗装の内容	81
6.2	特殊砂の標準配合	81
6.3	敷砂の物性	82
6.4	調査項目	83
6.5	各工区の路面性状	85
6.6	相関マトリックス	88

6.7	試験舗装の内容	89
6.8	たわみの測定結果	90
6.9	目地砂の施工方法	92
6.10	たわみの測定結果	93
7.1	たわみを測定するブロック	97
7.2	たわみの測定結果	98
8.1	調査現場の概要	105
8.2	調査内容(破損部, 健全部共通)	106
8.3	舗装各層の厚さ(平均値)	107
8.4	HFWD たわみ量	109
8.5	弾性係数の推定値(MPa)	110
8.6	室内 CBR 試験結果	110
8.7	たわみの測定結果	111
8.8	調査現場の概要	113
8.9	調査内容	113
8.10	ブロックの移動量	114
8.11	目地幅と目地砂消失深さ	114
8.12	たわみの測定結果	115
8.13	上層路盤上のたわみ量と2層の弾性係数	115
8.14	敷砂の洗い試験結果	117
8.15	上層路盤上の支持力基準案	118
9.1	諸外国における IL ブロックの寸法規格	123
9.2	隅角部荷重伝達率が 0.5 の場合のブロック寸法	125
9.3	隅角部荷重伝達率が 0.8 の場合のブロック寸法	125
9.4	隅角部荷重伝達率を 0.8~0.5 とした場合の各国規定に対応するブロック寸法	126
9.5	交通量の区分に応じた最大 IL ブロック寸法の推奨値	127
10.1	破損原因の究明方法	134
10.2	HFWD による IL ブロック舗装の荷重分散性能と支持力評価	135

## 用語の定義

### インターロッキングブロック

インターロッキングブロック舗装用のブロックで、高振動加圧即時脱型方式で製造される舗装用コンクリートブロックをいう。ブロック間の目地に充填される砂と、波形タイプのブロックでは、ストレートタイプのブロックに比べてブロック側面に形成された凹凸とにより、ブロック相互の噛み合わせ(インターロッキング)機能と、舗装面に加わる荷重を広く分散させる効果がある。

### インターロッキングブロック層

インターロッキングブロック舗装の表層部分をいい、インターロッキングブロック、目地用材料と敷砂層から構成される。ブロック層はその略称。

### 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を表層に使用した舗装をいう。

### 荷重分散性能

ブロック表面に作用する輪荷重をブロック相互の噛み合わせにより広い範囲に分散させ、路盤上に作用する応力を低減させる性能をいう。

### 角欠け

ブロック同士の競り合いによりブロック表面の角が欠けることをいう。

### 噛み合わせ(インターロック)効果

ブロック上に輪荷重が作用した時、隣り合うブロック同士が競り合って荷重分散効果を発揮することをいう。

### 空練りモルタル

施工現場で、水を加えずに砂とセメントを1:3~6程度の比率で混ぜたもので、マンホール周り等で沈下防止のために敷砂層に使用される。

### 機能的破損

舗装強度の低下に起因しない破損であり、表層のみに破損が留まる場合が多い。摩耗、段差、不陸などがある。

### 構造的破損

舗装強度の低下に起因する破損であり、路床、路盤層にまで破損が及ぶ場合が多い。例として、路床、路盤の沈下によるわだち掘れなどがある。



## 敷砂

敷砂層に用いる砂をいう。

## スタックボンド

ブロックをずらさずに縦横の目地ラインが一直線に通るように並べる敷設パターンをいう。コンクリート平板舗装の代表的な敷設パターンである。

## ストレッチャーボンド

縦横比が1:2の長方形ブロックの長手と短手をそれぞれ同じ方向にし、長手方向に1/2ずつずらして並べる敷設パターンをいう。

## ストレートタイプ

ブロックの周囲の辺が直線で構成された四角形(正方形、長方形)のブロックをいう。

## 突合わせ目地

ブロック間に所定の目地幅を確保しないで目地を詰めて施工すること。

## 波形タイプ

ブロックの外周が凹凸のある形状をしており、隣のブロックと噛み合うようになっているブロックをいう。

## 透水性インターロッキングブロック

ブロックをポーラスに成形することにより、ブロック本体に透水機能を持たせたブロックをいう。

## ヘリンボンボンド

縦横比が1:2の長方形ブロックの敷設パターンの一種で、長手と短手を交互に組み合わせる並べ方をいう。配列の方向により、45度型と90度型のパターンがある。

## 歩行者系道路

歩道、自転車歩行者専用道路、歩行者専用道路、公園内の道路および広場などのもっぱら歩行者の用に供する道路のこと。

## 保水性インターロッキングブロック

ブロックに保水性のある骨材や保水性の混和剤を使用することによって、ブロック本体に保水機能を持たせたブロックをいう。

## 目地

ブロックとブロックの間約 3mm の隙間のことで、目地砂が充填される。

## 目地キープ

目地幅が狭くなることを防ぐために、ブロックの周囲に設けるスペーサー的な突起をいう。

## 目地キープ付きブロック

目地キープを付けたブロックをいう。

## 目地砂

インターロッキングブロック舗装の目地(標準 3mm)部分に充填する砂をいう。泥分やダストを含まない最大粒径 2.36mm 以下の砂を使用する。

## ロックアップ

目地砂と敷砂がち密化し、ブロックとブロックが強く噛み合った状態のことをいう。

## 記号の定義

記号	解説	ページ
IL ブロック	インターロックブロック	1
FWD	Falling Weight Deflectometer	4
HFWD	Handy Falling Weight Deflectometer	4
Lockup	IL ブロックが相互に強く噛み合った状態	11
HBB	Herringbone bond	12
STB	Stretcher bond	12
MDD	Multidepth Deflectometer	12
BISAR	多層弾性理論プログラムの名称	14
$T_A$	アスファルト舗装の路盤から表層までの全厚を全て表層、基層用の加熱アスファルト混合物で作ると仮定した場合に必要な厚さ	17
CBR	California bearing ratio	24
RM	Recycling Crushed stone for Mechanical Stabilization	24
RC	Recycling Crusher-run	24
$D_0$	載荷板直下のたわみ量	25
DIN	Deutsche Industrie - Norm	34
$R(r)$	相関係数	35
CTB	Cement stabilized base (セメント安定処理路盤)	38
DV 値	Dryviscosity (細骨材形状の評価値)	42
FM	Fineness modulus (粗粒率)	42
FDRm	骨材の材料的硬さ評価値	43
MCI	Maintenance Control Index	50
$D_i$	HFWD たわみで、 $i$ は荷重中心からの距離を示す。 例えば $D_{20}$ は荷重中心から 20cm 離れたセンサのたわみ量	66
$R^2$	決定係数	67
$E_{LT}$	Efficiency of Load Transfer	71
SKB	Stack bond	89
LMBS	Layer Moduli Backcalculation System	101
RMS	Root Mean Square	101
ASTM	American Society for Testing and Materials	122
BS	British Standard	123
RCCP	Roller Compacted Concrete Pavement	124

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景と目的

平成12年11月15日に「高齢者、身体障害者の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」、いわゆる「交通バリアフリー法」<sup>1)</sup>が施行された。これとあわせて、法に基づく「重点整備地区における移動円滑化のために必要な道路の整備に関する基準」も建設省令<sup>2)</sup>として同日公布・施行された。この基準の中で、第5条では「歩道等の舗装は、雨水を地下に円滑に浸透させることができる構造とする。」とし、さらに「歩道等の舗装は、平たんで、滑りにくく、かつ水はけの良い仕上げとするものとする。」としている。このことは、道路空間における安全で円滑な移動に対する要請は非常に高く、舗装が重要な役割を担っていることを示している。また、この要請は21世紀初頭に高齢者人口の大幅な増加が見込まれている我国において、より一層強まるものと推測される。したがって、景観等に対する配慮だけでなく、凹凸や段差が生じない平たん性の確保、水たまりがなく、歩きやすい高齢者、視覚障害者、児童等の社会的弱者を含めた歩行者の通行安全および快適性に配慮した歩道舗装を整備して行く必要がある。こうした状況を踏まえ、今後インターロッキングブロック(以下、ILブロックという)をはじめとしたブロック系舗装材料を用いた質の高い歩行環境の整備が進められていくものと考えられる。

歩道の舗装には各種の材料や施工方法が採用されている。歩道の舗装は、表層に使用する材料、施工方法、舗装構造および機能等によって分類することができる。図1.1は、構成や材料によって分類したものである。タイルや天然石もILブロックやコンクリート平板舗装と同様にブロック状の製品を敷き並べた舗装であることを考慮すると、ブロック系舗装と位置付けられるが、あえてここで二層構造系として区分しているのは基盤にアスファルト混合物やコンクリートを用いてタイルや天然石を化粧材として扱っているためである。したがって、ブロック系舗装工法は、粒状路盤上に敷砂を用いて製品を敷き並べその目地には砂を用いる乾式工法が該当し、二層構造系舗装には、路盤にアスファルト混合物かコンクリートを用いて、表層( $t=3\text{cm}$ 以下)のタイルや天然石をモルタルにより接着し目地にもモルタルを充填する湿式工法が該当すると考えられる。

しかしながら、近年ではタイルや天然石でも厚さ6cm以上の無垢の製品が主流を占めILブロックやコンクリート平板舗装と同じ粒状路盤上に敷砂を介して敷き並べられるケースが年々増加する傾向にある。これは、乾式工法が湿式工法に比べて熟練工を必要とせず、地下埋設物工事等における復旧工事が容易であり、製品の再利用も可能となること、さらに工期の短縮化が計られ、経済的にも有利であるためと考えられる。このように乾式工法には、湿式工法に比べて多くの利点があることから、近年ではブロック系舗装の大半が乾式工法により施工されている。このような状況にあるにもかかわらず、乾式工法の大きな特徴である敷砂と目地砂に関する研究は国内外でもほとんど行われていないのが現状である。敷砂の品質が、ILブロック舗装の供用性や荷重分散性能に及ぼす影響と目地砂の機能について明らかにすることは、この舗装の原理でもあることから特に重要である。

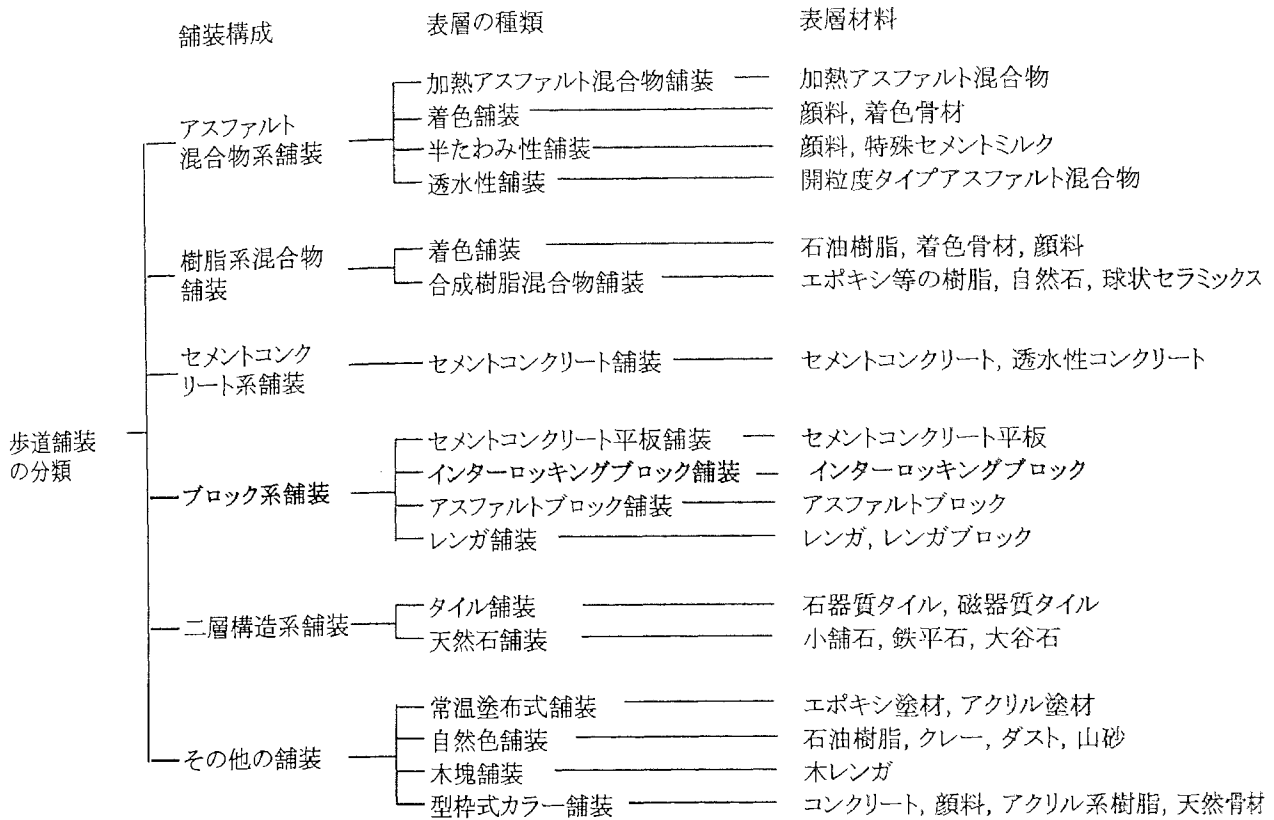


図 1.1 歩道舗装の分類(構成, 材料による)<sup>3)</sup>

2001年12月に発刊された「舗装施工便覧」<sup>4)</sup>では、機能別の舗装の項にブロック系舗装の中で唯一ILブロック舗装が取り上げられている。この中では、構造設計において等値換算係数を1.0と見なしてよいこと、商店街やコミュニティ道路、住宅地内の区画街路などのように定常的に大型車が通行しない道路の舗装に適用すると記されている。日本道路協会が発刊する便覧に軽交通ではあってもILブロックが車道舗装に適用できることが明文化されたことから、今後ILブロックによる車道舗装が増えることが予想される。しかしながら、我国に導入されて30年近くが経過した現在でもILブロックの形状・寸法に関する明確な国内規定が定められていない。これは、ブロック寸法と噛み合わせ効果の関係をはじめ、前述した目地砂の機能に関する基本的な研究がほとんど行われていないことによるものである。このため、近年では設計者等のニーズも多様化し、車両乗入れ部に大板サイズ(200×300mm以上)のブロックが使用されたり、目地砂の代わりにブロック側面にゴムを付着させた製品が使用されて供用後に問題となるケースも少なくない。したがって、ILブロックの寸法が荷重分散性能に与える影響と目地砂の機能について明確にしたうえで、適用できるブロック寸法を規定する必要がある。また、現状の施工方法は車道舗装であっても歩道舗装と同様に手押しの専用コンパクタにより転圧が行われており、大型車交通量の多いバスターミナルや交差点等では十分な締固め効果が得られていないことに起因する供用初期段階での変形や変形に伴うブロックの破損も懸念される。施工後良好な路面

性状を維持するためには、路面の締固め方法が目地砂の充填率や荷重分散性能に与える影響について確認したうえで、施工時の転圧方法を確立する必要がある。

ILブロックによる車道舗装が普及したのは1980年に入ってからである。この年、国内ではじめてコミュニティ道路(大阪市阿倍野地区)の歩道と車道部のハンプとして採用されたのを契機に、以後全国のコミュニティ道路や商店街といった歩行者系道路を中心に車道部や空港、港湾といった重交通、重荷重地域にも適用されるまでに普及した。2002年時点でおよそ700万 $\text{m}^2$ /年、総供用面積では1億数千万 $\text{m}^2$ に至っている。一方こうした舗装ストックの増大に伴い、供用中ILブロック舗装に破損が生じるケースも年々増加する傾向にある。

ILブロックを用いた車道舗装では、舗装構造と荷重分散性能の関係や供用中に破損が生じた場合の破損部と健全部における荷重分散性能の比較、破損原因の究明に関する調査、研究についてもほとんど行われていないのが現状である。特に、供用中に破損が生じた場合では、短時間で敏速にしかも簡便に多数の支持力やたわみの測定が行える非破壊式の小型試験器が適用できれば、適切な支持力評価や施工管理が可能となり供用中の破損が低減でき、適切な維持修繕工法の選定も可能となる。また、協会の要領<sup>5)</sup>では1日当たりの大型車交通量が100台以上の道路における上層路盤上の支持力について規定しているものの、車道舗装の需要の90%以上を占める100台未満の軽交通道路での支持力について規定されていない。破損の発生割合が軽交通道路に多いことを考慮すると、この分野における支持力規定は必要不可欠である。

以上述べてきた多くの課題を検証する手段として、1993年に国内で開発されアスファルト舗装の支持力評価<sup>6)</sup>や鉄道の土路盤の強度管理<sup>7)</sup>等にも利用されている、小型のフォーリング・ウエイト・デフレクトメータであるハンディFWD<sup>8)</sup>(以下、HFWDという)を用いた。

本研究は、まず同じたわみ性舗装の設計法に準じて設計されるアスファルト舗装とILブロック舗装のたわみ特性の違いを明らかにし、そのうえでILブロック舗装の経時変化に伴うたわみ特性やたわみ特性に与える要因の影響について考察した。次にILブロック舗装の構造的挙動に与える要因としてブロック、目地、目地砂、敷砂、路盤の5つを取り挙げこれらの中で、基本的な研究が行われていないにもかかわらず運用されているものについてはその重要性を考察した。これらのことを踏まえ、基本的な課題であるブロック寸法、敷砂と目地砂、路面の締固め方法および路盤構造の差異がILブロック舗装の荷重分散性能に与える影響について明らかにした。

また、ILブロックによる車道舗装の大きな課題である、供用中に破損が生じた場合の破損部と健全部における荷重分散性能の比較や支持力評価について検証した。これらの結果を基に破損の原因を究明する手法を提案し、交通量の区分に応じた上層路盤上の支持力基準についても提案した。そして、我国では未だ規定されていないILブロックの寸法規格と交通量の区分に応じたILブロックの寸法についても提案した。

## 1. 2 本論分の内容と構成

本論文は、第1章の序論、第2章と3章の本論に入る前に既往の研究結果や筆者が携わった研究のレビューと残された課題の提起、第4章から9章の本論および第10章の結論から構成されている。

第1章は、序論であり本研究の背景と目的について述べるとともに、国内外におけるILブロック舗装の歴史や既往の研究について概観し、最後にこの舗装の荷重分散性能の原理について説明した。

第2章は、まず同じたわみ性舗装の設計法に準じて設計されるアスファルト舗装とILブロック舗装のたわみ特性の違いを98kN級FWDによるたわみ測定から明らかにした。次に、ILブロック舗装の経時変化に伴うたわみ特性を確認したうえで、たわみ特性に与える舗装構造、ジオテキスタイルの有無および測定機種(49kN級FWDと4.9kN級HFWD)の違いについても考察した。

第3章は、ILブロック舗装の構造的挙動に及ぼす要因としてブロック、目地、目地砂、敷砂、路盤の5つを取り挙げ要因ごとに路面性状に及ぼす影響について述べた。この中で、基本的な研究が行われていないにもかかわらず運用されている要因については、その重要性について考察した。

第4章は、日本を含め世界的に普及している小型FWD装置の種類とその特徴について述べた。次に、これらの中から本研究に用いた装置を選定した理由とその適用範囲を既往の研究結果から明らかにしたうえで、ILブロック舗装上にてデータ収集を行うにあたり、たわみの測定方法と計算方法および車両搭載型の49kN級FWDとの相関について述べた。

第5章は、ILブロックの寸法と荷重分散性能に関する研究で、試験舗装路におけるたわみ測定結果からブロック寸法と荷重伝達率の関係式を求めるとともに、この関係を用いて波形タイプとストレートタイプの荷重伝達率についても客観的指標で示した。

第6章は、乾式工法の特徴である敷砂と目地砂の荷重分散性能に関する研究で実路に試験舗装を施工してたわみ測定を行った結果から、敷砂の品質、目地砂の機能、目地材料の違いが荷重伝達率に与える影響について明らかにした。さらに、路面の締固め方法が目地砂の充填率や荷重伝達率に与える影響についても確認し、施工時における転圧方法を提案した。

第7章は、路盤構造の差異と荷重分散性能に関する研究で供用中の車道舗装におけるたわみ測定結果から、異なる路盤構造上に施工したILブロック舗装の荷重分散性能の比較ができることを明らかにした。

第8章は、ILブロックによる車道舗装の大きな課題である供用中に破損が生じた場合の破損部と健全部における荷重分散性能や支持力評価について、破損が生じた車道舗装で実施した開削調査を基に、HFWDによるたわみ測定に横断形状測定や敷砂の分析等も合わせて調査することで、破損原因を推定できることを提案した。さらに交通量の区分に応じた上層路盤上の支持力基準(施工管理基準)についても提案した。

第9章は、日本に導入されて30年近くが経過した現在でも未だに国内で規定されていな

い IL ブロックの寸法規格に関して、第 5 章で得られた結果を基に提案した。また、この提案に基づき試算を行い交通量の区分に応じた IL ブロックの寸法も提案した。

最後に、第 10 章で本研究の成果をまとめるとともに提案した方法による今後の IL ブロック舗装の研究展望を述べて本研究の総括とした。

## 1. 3 インターロッキングブロック舗装の歴史

### 1. 3. 1 諸外国における歴史

#### (1) 古代の舗石道

ブロック舗装の原点は舗石道である。舗石道の歴史は古く記録によれば、B.C.2500 年頃エジプトで巨大ピラミッドを建設した時に建設用石材を運ぶための立派な舗石道路が 1km 以上にわたって作られた。この工事中の道路の建設には、実に 10 年の歳月と 10 万人の使役を要して作ったとのことである。

B.C.2000 年頃には、地中海クレタ島に 2 車線道路が作られている。この道路は、粘土-石膏モルタルに砂岩を埋め込んで 20cm 厚の耐水性基礎を設け、その上に厚さ 5cm の粘土を敷き道路中央の路頂には厚さ 5cm、幅 30cm の玄武岩の板石を並べ、その両側に石灰岩の板石を石膏モルタルを流し込んでから並べている。この中央帯が歩道で、両側が車道であったと考えられている。

次に、道路舗装として注目されるのは B.C.620 年頃のバビロン王の行進路である。この道は、1.2km にすぎないが、幅員 10~20m で瀝青材で目地を詰めた数層のレンガを基礎に用い、その上に中央部には石灰岩の板石を用い両側部には赤と白の角石礫岩の板石を用い、美しく仕上げていたとのことである。

古代ギリシャ時代(西暦紀元前 700 年~300 年)になると、軍事的、通商的目的の他に宗教的目的を持った道路も現れ神殿に向かって築造された道路も少なからずあったとされている<sup>9)</sup>。

「すべての道はローマに通ず」の言葉が示すように、ローマ時代の道路技術の水準、道路網の整備はめざましくローマを中心に四方八方へ 29 本の放射状道路が領土のすみずみ迄建設された。ローマ帝国の道路は、ローマ道(Roman roads)と呼ばれ、軍用道路としての性格から 2 地点を結ぶ最短距離となる直線道路を原則としていたので、延長 300m のトンネル、200m の高架橋、高さ 13m の擁壁など各種の大土木工事が行われた。特筆すべきことは、ローマにおいてはすでに国道(Royal-Road)・地方道・里道などの 3 等級に分かれていたといわれる。

ローマ道の中で最大規模のものは、B.C.312 年頃よりローマの執政官アピウス・クロウディアス(Appius Claudius)が造ったローマ(Roma)とカプア(Capua)を結ぶ 230km のアピアン街道(Via Appia)である。この道路の構造は、図 1.2 に示すように総幅員 10m、舗装厚 90~120cm に達するもので、縁石により歩車道を分離し、深い排水溝を掘った箇所もあった。また、路盤は碎石、砂に火山灰と石灰を加えた三和土、今日でいう石灰安定処理工法をされていた。このようにローマ道には、路面、構造面においても近代技術のはじめと考えら



れる技術を残している<sup>10)</sup>。

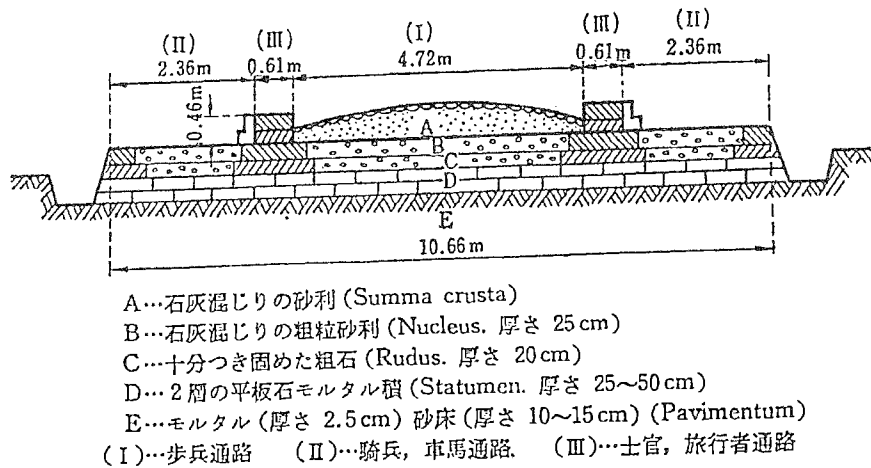


図 1.2 アピアン道路の断面

紀元前 4 世紀頃迄のローマでの舗装は不規則な石板が多い。正方形の石板で舗装されたのは B.C.295 年頃、マルス神殿からカプア門に至る歩道の例がある。A.D.79 年のベスビオ火山の爆発によって埋没したポンペイでは、B.C.200 年頃迄は碎石道であり、次の世紀に入るとアーケード型の道路が作られるに至り、玄武岩の石板舗装が普及する。そして道幅の約半分が歩道であり、ところどころに歩行者横断用に飛び石があった。

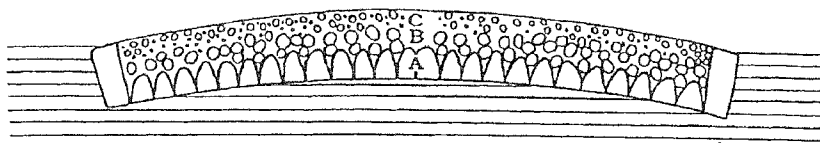
インダス河流域の古代都市(モヘンジョ・ダロ)からは、レンガ舗装の跡が見出されている。B.C.3000 年頃、この都市の街路は東西と南北に走りそこには下水溝が設けられ、かつ平板などで覆われており、幅 4.5~10m の大通りの一部はレンガを敷き、目地には瀝青材や石膏が用いられていた。

このように、古代におけるオリエントやヨーロッパ帝国では採石技術の高さとあいまって多くの舗石道が建設されていた<sup>11)</sup>。その後、ローマ帝国は 395 年に東西に分裂し、476 年西ローマ帝国が滅亡するとともに、ヨーロッパの道路の歴史も暗黒時代に入った。暗黒時代に入ると、ヨーロッパ各地間の交通は途絶え、ローマ人が築き上げた道路技術は忘れ去られてしまった。しかしながら、その中で特筆すべきことは、A.D.900 年前後のペルーにおいて、インカ帝国がローマンロードに匹敵する大規模な道路を建設していたことがある。この大道路網は、アンデスの急峻な山岳地帯を縫って広がり、路面は石塊舗装でありアスファルト材料が盛んに使われていた<sup>12)</sup>。

## (2) 近世の都市街路とブロック舗装

暗黒時代に忘れられていた道路建設が再び注目されるようになったのは、1300 年以降社会秩序の安定に伴い産業が活発化し多くの馬車交通を要求した時代になってからである。当時のヨーロッパでの舗装材料は容易に入手できる点で粗石であった。これは、17 世紀頃迄続き、17 世紀の終わり頃から 18 世紀にかけて都市の機能が認識され街路舗装の整備が進展しはじめるようになる。オランダで 1700 年にレンガ舗装が建設され、1764 年にはフランスの Tresaguet(1711~1769)が今日の道路舗装技術の端緒を開く、図 1.3 に示すような碎石道工法を確立した。この工法は、ローマ道の下部構造の平板石部分を除き路床面を曲

面仕上げした碎石道で、工法が比較的簡単でしかも耐久力があつたためまたたく間にヨーロッパ各地に普及した。

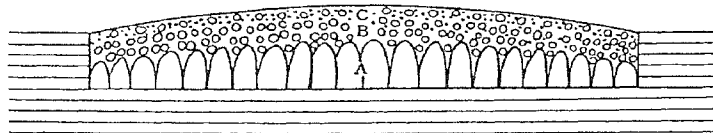


- A : 路盤 (15~18cm の割石をとがった方を上向きに並べ突き固める)
- B : 基層 (路盤よりやや小さい石を並べ突き固める)
- C : 表層 (くるみ大の碎石を 7~10cm の厚さに仕上げる)

図 1.3 Tresaguet の碎石道

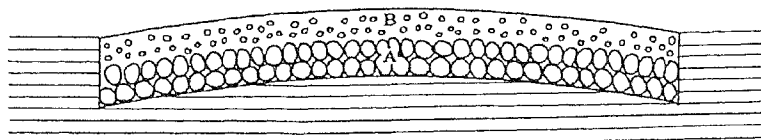
続いて、イギリスに 2 人の道路舗装技術の先覚者が出現する。1805 年に Telford(1757~1836), 1815 年に Macadam(1756~1836)である。Telford 工法(図 1.4)は、街路舗装を約 30cm の碎石路盤上に四角形に整形された花崗岩の舗石を推奨している。舗石の大きさは、道路の等級に応じて変化させているが、幅 11~19cm, 長さ 18~33cm, 厚さ 18~25cm であり高級なものほど大きいものとされていたが、次第に小さいものが好まれ幅 8~11cm のものが定着していった。

Macadam 工法(図 1.5)は、碎石が相互に角ばった部分で噛み合っって荷重を支えるので、Telford 工法のような高価な手間のかかる堅固な基礎は必要ないという考え方である。技術的に簡単で安価な Macadam 工法は、当時の馬車交通のもとで実際に満足すべき結果を示したので、その後自動車が発達する迄の約 100 年間広く世界に普及した<sup>9)</sup>。



- A : 路盤 (中央で 18cm, 縁部で 8cm 厚になるようとがった方を上向きに大きい石を並べる)
- B : 基層 (6cm 以下の石で厚さ 19cm 以下に仕上げる)
- C : 表層 (基層上部 4cm に目つぶし砂利を用いる)

図 1.4 Telford の碎石道



- A : 路盤 (8cm 以下の石で 20cm 厚に 2 層で施工する)
- B : 表層 (2.5cm 以下の石で 5cm 厚に仕上げる)

図 1.5 Macadam の碎石道

このように、街路舗装は 19 世紀前半迄には著しく改善されたが当時の鉄輪を付けた馬車

交通にとっては、乗り心地と騒音が大きな悩みとなっていた。

舗石より軟らかい木塊舗装の導入は、騒音対策のひとつであったかも知れない。木塊舗装は、1802年ロシアに生まれその構造は六角形をした木のブロックを敷き並べた後、砂を散布しレタールまたはピッチで被覆するものであった。腐敗に弱い木塊舗装の弱点を補うため防腐の意味でクレオソートを含浸させた木塊舗装が実際に用いられたのは1867年、アメリカのサンダーランド橋における橋面舗装が最初である。

レンガ舗装は、石材のないオランダで17世紀から各都市で採用されており、1820年頃になってアメリカでも建設されている。木塊舗装の方は、1830年代には早くもニューヨークの舗装に採用移転されている。そして、1920年代を境にブロック舗装はその騒音の大きさ、乗り心地の悪さ、施工費が高いなどの理由で姿を消していった。

その後、現在のようなインターロックブロック舗装が1950年代に旧西ドイツで生まれ、まずレンガ舗装の盛んだったオランダで普及した。オランダではILブロック舗装はレンガ舗装の代替物として次第に受け入れられるようになり、1972年の時点で既に国民一人あたり約1m<sup>2</sup>に相当する1,350万m<sup>2</sup>の普及率を示した。

ILブロック舗装は、1960年代中頃に中央・南アメリカおよび南アフリカで導入され、1970年代に入ると英国、カナダ、米国、オーストラリア、ニュージーランドそして日本に導入されて今日に至る。

### 1. 3. 2 国内における歴史

我国の道路がはじめて全国的に系統立てて整備されたのは、大化の改新(645年)の頃からである。それまでの地方を治めていた氏族が政治の変革により中央政府の支配下におかれると、中央政府を中心とした官史の移動、物資の交流が活発となり交通系統の統一が必要となった。大宝元年(701年)に大宝律令が制定されると主要道路は、大路(山陽道を経て大宰府に至る道路)・中路(東山道・東海道)・小路(北陸・山陽その他の重要)に区分されている。これらの道路には、20kmごとに駅(うまやたち)をおき、駅馬(はやま)・伝馬(つぎま)など駅伝の制度を設けた<sup>12)</sup>。

我国ではじめて道路行政に着目したのは織田信長であった。楽市、楽座など市場性を豊かにするためには道路網の整備が重要であるということから近畿を平定した後、1571年に道路の里数を定めるとともに道路の改修、並木の植栽を行った。また、1574年には4人の道奉行を置き、領内の道路の改良、交通制度の確立に当てさせるとともに、道路の幅員を定め主要道路を3間半(6.4m)、その他は3間(5.5m)とした。

江戸時代に入ると江戸を中心に道路の整備が進められた。幕府は、五街道(東海・中山・甲州・日光・奥州)その他の主要道路を定め幅員を大街道6間(10.9m)、小街道3間(5.5m)、横道2間(3.6m)とし、路面は砂、砂利などで処理した。1602年に東海道五十三次の宿駅を定め伝馬の制度を設けた。1603年に日本橋を架け、ここを道路の基点とし道路には一里塚を築いた<sup>13)</sup>。

1635年に徳川家光が定めた参勤交代の制度は、全国の主な道路の改良や整備に役立った。1738年には、大津街道と牛車、人馬を分離する舗装が造られた。また、1862年には14

代将軍の徳川家茂によって箱根の石塚舗装が施工された。

明治時代に入り乗用馬車が輸入され、人力車も発明されると道路改良の必要性が生じてきた。明治4年(1871年)、賃取道路・賃取橋を奨励する布告、明治5年(1872年)道路掃除法に関する布告がいずれも太政官より発布された。これによって車道に砂利を敷き、歩道は煉瓦および版石で張り、並木を植えた道路が東京に誕生した<sup>14)</sup>。このように、我国のブロック舗装の歴史は諸外国に比べて新しく、この時代の煉瓦舗装をはじめとして大正から昭和初期にかけて舗石、煉瓦、舗木などのブロック舗装が主に都市を中心に建設された。当時の舗装の分類によれば、舗石道、舗木道、瀝青混凝土(アスファルトコンクリート)道が高級舗装に分類され、煉瓦道やセメントコンクリート道が中級舗装に分類されている。

ここでも舗装道は最も普通の舗装と定義され、本舗石道と小舗石道に分けられ、小舗石道は花崗岩を7~9cmの立方体に仕上げたものを交差点などに敷き詰め、その敷型は美しいモザイク模様を作り出していた<sup>15)</sup>。小舗石道は、材料が本舗石道に比べて石切場でのごく石を利用できる点で廉価のようであった。

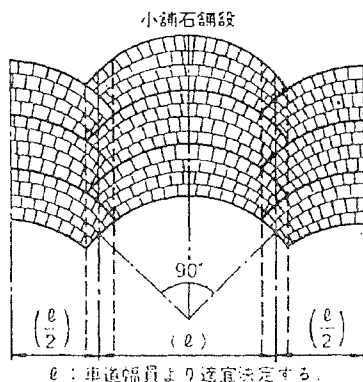


図 1.6 小舗石道の配列方法

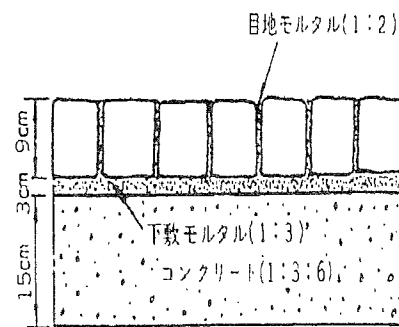


図 1.7 小舗石の構造

大正年間に用いられていた代表的な舗装は木塊舗装である。木塊舗装は、明治44年(1911年)東京で出現し大正2年(1913年)に大阪で試験施工が実施されている。大正10年(1921年)頃から、銀座通り、京橋~日本橋~万世橋に至る路線、日比谷~神田橋間、四谷~新宿間、大手町~呉服橋間、青山通りなど東京市内の交通量の多い道路での舗装はそのほとんどが木塊舗装であった。その構造は、米松、フナなどの煉瓦状(9×15cm、高さ9cm)のものに防腐、防水のためのクレオソートと少量のコールタールを混合したものを含浸させ、コンクリート基礎の上に並べ目地にはアスファルトを注入したものであった。しかしながら、雨の多い我国では木塊が水分を吸収し膨張してふくれ上がって損傷することがしばしば起こり、また施工費が高いなどの理由に諸外国と同様、次第に道路舗装から消えていった。

昭和19年に刊行された久野重一郎博士の「道路舗装法(下巻)」では、我国とロンドンの気象を比較したうえで、我国に不向きであることを指摘し、東京市が昭和9年以前にこの種の舗装建設を中止したとしている<sup>16)</sup>。

大正末期頃からはコンクリート平板が製造されるようになっていたとしている。当時の平板

は、固練りコンクリート(スランプ 10cm)を鉄製のボックスに入れ、直径 10cm ぐらいの鉄製ローラで締固め表面にセメントの粉末をふりかけ、コテ仕上げし 1 枚ずつ手作業で製造していた。昭和 20 年頃になると、生コンクリート技術の進展とともに平板もコンクリート技術を取り入れ、多数の型枠を利用しコンクリートを流し込み振動方式によって締め固める製造の拡大が進み、セメント製のカラータイル、カラーコンクリート平板が製造された。

昭和 25 年 10 月の工業標準化法により、「歩道用コンクリート平板」の JIS 規格が制定され標準化が進められた。スレート材とともにコンクリート平板の JIS 化は他の製品よりも早く行われたのは、荒廃した道路の復旧と家屋の建築が重要視されたためと言われている。昭和 30 年代に入ると、即時脱型式の油圧成形機による生産が行われるようになり固練り配合材料を基盤とし、表面にカラーセメントを用いて加圧成形する歩道用カラーコンクリート平板(300×300×60mm, クリーム色)が製造されるようになる。この半自動の全乾式成形機によるカラーコンクリート平板の公共施設の施工実績として、1956 年東京都の国会通り中央分離歩道、ついで群馬県前橋市内国道 17 号線沿いの左右の歩道約 150 m<sup>2</sup>が挙げられる。昭和 40 年代に入ると、取り外しの楽な平板が学生運動の手頃な武器となり、その武器を取り上げる目的から東京中心部の歩道は車道舗装と同様アスファルト舗装で占められてしまった<sup>11)</sup>。

日本にはじめて IL ブロック舗装が導入されたのは昭和 49 年(1974 年)、高度成長の終わりを告げるオイルショックが起こった年でもあった。‘量から質へ’の時代に向かう転換期に登場したこの材料は、以後時代の要求にマッチした舗装材として歩道・公園・広場等の歩行者系道路から一般車道、コンテナヤードの舗装にも採用されていった。平成 14 年(2002 年)時点でおおよそ 700 万 m<sup>2</sup>/年、総供用面積では 1 億数千万 m<sup>2</sup>に至っている。この間、IL ブロック業界の健全な発展と拡大を目指してセメント 6 社が中心となって、インターロッキングブロック技術研究会が昭和 58 年(1983 年)に発足した。以後、平成 7 年(1995 年)にインターロッキングブロック舗装技術協会(谷藤正三会長)と改組し、平成 8 年 9 月(1996 年)には旧建設省(現国土交通省)道路局の認可団体となり今日に至っている。

## 1. 4 既往の研究

### 1. 4. 1 諸外国における研究

#### (1) 荷重分散性能に関する研究

IL ブロック舗装の荷重分散性能に関する諸外国の主な研究を表 1.1 に示す。これより、荷重分散性能の評価はブロック下面や路盤層に発生する応力測定から、室内や実路でブロックを引き抜く方法を経て、1980 年代後半以降では載荷試験によりひずみや変形量を測定して弾性係数を推定する方法に移り代わっていることがわかる。

海外で最初に行われた研究は、1976 年に J.Knapton<sup>17)</sup> が室内試験舗装でサンドクッション上に土圧計を埋設して応力を測定したものである。これより、載荷応力の増加に伴い IL ブロック舗装の垂直応力分配率は低下すること、またブロックの荷重分散性能は、敷設パ

ターン、ブロック形状、ブロック厚(65~85mm)には無関係であるとしている。

次に行われた研究は、B.Shackel<sup>18)</sup>がフルスケールの道路シミュレータを用いた走行実験である。この実験より、ILブロック舗装内の応力は車輪の走行回数の増加に伴い減少する傾向にあることから、ILブロックは交通荷重下で次第に噛み合い‘‘Lockup’’の状態になることを確認している。

オーストラリアの K.C.Mavin<sup>19)</sup>の実験は、舗装体からブロックを引き抜くことで‘‘Lockup’’現象を解明することを目的に行われた。実験から、ブロック間に噛み合わせの無い段階でブロックを引き抜くと、引き抜きに要する力は曲線形になるのに対して、噛み合わせが起きると引き抜き力はかなり増加するとしている。

オランダの Ir.G.R.Bosch らが行った引き抜き試験<sup>20)</sup>から、引き抜き力は舗装時期や経過年数に伴う目地幅により増加する傾向にあり、最大引き抜き力も同様な傾向にあること、またある供用年数の道路では、引き抜き力は目地幅の減少に伴い増加する傾向にあることも報告している。

1980年代後半になると、応力や引き抜き力の測定からブロック側面のひずみを測定することによって、弾性係数を算出し敷石舗装の荷重分散性能を評価したのがドイツのドレスデン大学の F.Wellner らが行った研究<sup>21)</sup>である。実験から、10cm厚の敷石は6cm厚よりも高い荷重分散性能を示すことを確認し、このことは敷石間の目地の摩擦がより大きくなることによって説明できるとしている。また交通荷重の影響は、目地部の摩擦によって敷石間に生じる一定量のせん断力の伝達で、敷石層下の路盤に現れるとしている。

2000年9月発表された B.Shackel の研究<sup>22)</sup>は、従来の載荷試験と異なり舗装の表面が路床や舗装道路の付帯構造から独立した状態を確保できるようにしたもので、載荷荷重と変形量を計測し舗装材の擬似弾性係数を算出するものである。実験結果から、ブロック形状(波形タイプ)と敷設パターンを組み合わせた4種類の荷重分散性能には差異が生じることと、この4種類はヘリンボンボンパターンで施工された80mm厚のストレートタイプよりも大きくなることを確認している。さらに、実験から得られた弾性係数は1,000~4,500MPaの範囲にあり、これらの値は交通荷重でもたらされる‘‘Lockup’’を考慮していないものの、アスファルト舗装の値(=3,000MPa)と比較しても大きいと報告している。

表 1.1 諸外国における荷重分散性能に関する研究

No.	年代	研究者 (国名)	試験法	実施 場所	測定内容	ブロック形状, 厚さ(mm)	敷設 パターン
1	1976	J.Knapton (英国)	載荷試験	室内	上層路盤の応力	長方形ストレート1種類と波形4種類 65, 77, 80	STB HBB
2	1977	B.Shakel (オーストラリア)	道路シミュレータ	構内	ブロック下面, 上層, 下層路盤上, 路床上の応力	長方形ストレート1種類と波形2種類 60, 80, 100	HBB
3	1979	K.C.Mavin (オーストラリア)	引き抜き試験	実道と構内	引き抜き力	長方形 波形 80	HBB
4	1982	Ir.G.R.Bosch (オランダ)	引き抜き試験	実道	引き抜き力	長方形ストレート2種類 90, 100	HBB
5	1980年代	F.Wellner (ドイツ)	載荷試験	構内	ひずみ	長方形波形とストレート 60, 80, 100	不明
6	1990年代後半	B.Shakel (オーストラリア)	載荷試験	室内	変形量	長方形波形3種類とストレート1種類 80	不明

(2) 支持力評価に関する研究

支持力評価に関する主な研究を表 1.2 に示す。これより、国内に比べると海外ではベンケルマンビームをはじめ、ダイナフレクト、FWD、MDD といった多様な試験機が使用されているのがわかる。

ここで、ダイナフレクトとは定常波振動載荷により舗装面に正弦波振動を与え、路面の正弦的たわみを測定する装置である。また MDD(Multidepth Deflectometer)は、舗装体の深さ方向の各位置でのたわみを測定する装置である。

IL ブロック舗装の構造評価に関する最初の研究として、1980 年に報告されたニュージーランドの P.A.Seddon による<sup>23)</sup> ベンケルマンビームを用いたたわみ測定がある。この結果から、ブロック舗装は試験の初期段階で一般的なたわみ性舗装よりたわみが大きくなること、そのたわみ形状はたわみ性舗装と類似した挙動を交通荷重下で示すとしている。

J.Hole.Keyser らは<sup>24)</sup>、モントリオール港でダイナフレクトを用いて舗装の種類(IL ブロックとアスファルト)、路盤(セメント安定処理と粒状材料)、ブロックの厚さ(80 と 100mm)の影響を確認した。これより、粒状路盤上のブロック舗装はセンサ位置  $S_1$ 、 $S_2$  でたわみ量がアスファルト舗装に比べて大きくなること、セメント安定処理上のブロック舗装は、たわみが小さくなり、高い荷重分散性能を示すとしている。

FWD を用いた研究では，1982 年にオランダの L.J.M.Houben が<sup>25)</sup> 17 の供用中の舗装上でたわみ測定し，得られたたわみデータに多層弾性理論と有限要素法を適用して解析し比較検討した事例がある．これより水平，鉛直方向とも 1m 以下のセンサ位置で有限要素法に比べて多層弾性理論のたわみが大きくなること，有限要素法による計算結果は測定たわみと良く一致するとしている．

FWD を用いたもう一つの研究は，英国の R.J.Armitage が<sup>26)</sup> 新設のブロック舗装で載荷時の特異な挙動を供用中の舗装のそれと比較するとともに，得られたたわみを用いて逆解析により舗装各層の弾性係数を推定してひずみの比較等を行ったものである．この結果，セメント安定処理，アスファルト安定処理，粒状路盤の異なる 3 種類の路盤を持つブロック舗装で 2 輪荷重 40kN の載荷によって発生する鉛直ひずみを深さ方向に比較すると，どの深さにおいても粒状路盤を持つ舗装が著しく大きな値を示すとしている．

A.T.Visser は<sup>27)</sup>，IL ブロック舗装を超重荷重エリアに適用するための設計入力定数を得ることを目的に，舗装体の深さ方向における各位置でのたわみ測定が可能な MDD を舗装体内に設置してたわみ測定を実施した．得られたたわみを用いて逆解析プログラムにより舗装各層の弾性係数を推定した結果，厚さ 80mm のブロックと厚さ 20mm の敷砂層で 3,200MPa，碎石で 400MPa，現地発生材料で 110MPa の値が得られている．これらの値は，コンテナターミナルの構造設計のガイドラインに使用されていると報告している．

表 1.2 諸外国における支持力評価に関する研究

No.	年代	研究者 (国名)	試験法	試験 場所	試験 荷重 (kN)	測定内容	ブロック 形状，厚さ (mm)	敷設パ ターン
1	1980	P.A.Sedon (ニュージーラ ンド)	ベンケ ルマン ビーム	試験舗装	40	アスファルト 舗装との比較	長方形 波形 80	HBB
2	1982	J.H.Keyser (カナダ)	ダイナ フレク ト	コンテナ ヤードと ドック	49	アスファルト 舗装との比較	長方形 ストレート 80, 100	HBB
3	1982	L.J.M. Houben (オランダ)	FWD	実道	49	17 の実道	長方形 ストレート 80	HBB
4	1988	R.J. Armitage (英国)	FWD	港湾区域	49	新設と既設舗 装の比較	長方形 ストレート 100	不明
5	1997	A.T.Visser (南アフリカ)	MDD	コンテナ ボコ	210	碎石や現地発 生材料と比較	不明 80	不明



## 1. 4. 2 国内における研究

### (1) 荷重分散性能に関する研究

我国における IL ブロック舗装の荷重分散性能に関する主な研究を表 1.3 に示す. この表より, 荷重分散性能に関する研究は載荷方法が異なるものの土圧計か感圧紙を舗装体内に埋設して室内か屋外フィールドで応力を測定するケースが大半を占めている.

三浦らは<sup>28), 29)</sup>, 室内と屋外フィールドでサンドクッションと路盤上で土圧測定を実施した. その結果から, 敷設パターンはストレッチャーボンド(以下, STB という)よりもヘリンボンボンド(以下, HBB という)パターンの方が荷重分散性能の面で優位であること, IL ブロック舗装の鉛直応力は荷重車の走行回数が進むにつれインターロック効果が安定し, 一定の値になると報告している.

塩崎らの研究では<sup>30)</sup>, 軸荷重 186kN の車両を使用して静的載荷試験により IL ブロック舗装とアスファルト舗装の上層路盤面と路床面の応力測定から, IL ブロック舗装はアスファルト舗装とほぼ同等の荷重分散性能を有していることを確認している.

また, 村井らの感圧紙を用いた応力測定<sup>31), 32)</sup>からは, 車道部の敷設パターンは STB よりも HBB の方が優位であること, 2 種類の形状(ストレートタイプと波形タイプ)と 2 種類の敷設パターン(STB と HBB)の組み合わせでは, 波形タイプと HBB の組み合わせが最も荷重分散性能が大きいことを確認している.

石下らは<sup>33)</sup>, 繰り返し載荷試験装置を開発して目地砂の有無や路盤材の比較を行った. その結果, 目地砂無しでは有りに比べて舗装面のたわみ量や路盤面の鉛直応力が大きくなること, 路盤材では粒度調整碎石やコンクリートに比べてセメント安定処理が望ましいとしている.

高浦らは<sup>34)</sup>, FWD を用いた実路でのたわみ測定と多層弾性理論(BISAR)を組み合わせ, IL ブロック表層(IL ブロック+サンドクッション)の層としての弾性係数を推定することにより, 荷重分散性能を定量的に評価した. 解析の結果, サンドクッションを含んだ IL ブロック表層の層としての弾性係数は, 目地がかなり開いた状態での測定で 304MPa の値が得られ, この値は高温領域でのアスファルト舗装とほぼ同等の荷重分散性能であるとしている.

表 1.3 国内における荷重分散性能に関する研究

No.	年代	研究者	試験方法	試験場所	試験荷重 (kN)	測定項目	ブロック形状, 厚さ (mm)	敷設パターン
1	1979	三浦 津田	平板載荷 試験	研究所 構内	49	上層路盤上の 応力	長方形 波形 80	STB HBB
2	1981	三浦 津田	実車による 走行	研究所 構内	49	上層, 下層路盤 上と路床上の 応力	長方形 波形 80	HBB
3	1986	笠原 高橋	FWD	実路 (札幌市 内)	49	たわみ量	長方形 波形 80	HBB
4	1990	塩崎 八谷	実車による 載荷	羽田空港 内	186	上層路盤上と 路床上の応力	多角形 100	STB
5	1992	村井 高橋	感圧紙	室内	78	上層路盤上の 応力	長方形 波形とスト レート 80	HBB STB
6	1996	村井 高橋	感圧紙	室内	78	上層路盤上の 応力	長方形波 形とスト レート 80	HBB STB
7	1996	石下 関根	繰り返し 載荷試験	室内	69	表面のたわみ と上層, 下層路 盤上, 路床上の 応力とひずみ	長方形 波形 100	STB

## (2) 支持力評価に関する研究

支持力評価に関する主な研究を表 1.4 に示す. 表より, ILブロック舗装の支持力評価には, 1980年代後半以降 FWD が主流に用いられていることがわかる.

国内で最初に行われた研究は, 三浦らが行った DC(Deflection and Curvature)メータによりたわみ曲線の最大たわみと曲率を測定して, たわみと曲率に基づく 2層構造解析による方法が挙げられる. 熱海市内で行った測定<sup>35)</sup>からは, ブロック表面における変形は敷砂層によって生じるため, その厚さは施工性が許される範囲で薄くすることが望ましいとしている. 北千住バス停での測定<sup>36)</sup>からは, 上層路盤に剛性の高いセメント安定処理工法の採用と敷砂の厚さを 2cm としたことにより, 敷砂を含めたブロック層の弾性係数は施工直後で 5,933MPa を示し既往のデータを大きく上回ったと報告している.

我国における FWD を用いた最初の研究として, 笠原らが行った<sup>37)</sup>札幌市内における IL

ブロック舗装(ILブロック 8cm+敷砂 2cm=10cm)とアスファルト舗装(t=10cm)との比較試験がある。試験の結果、ILブロック舗装の荷重分散能力は路盤の支持力によって異なることを明らかにした。また、敷砂を含めたILブロック層の弾性係数は98~392 MPa程度であり、これらの値は高温領域(50~60°C)におけるアスファルト混合物の弾性係数に相当すると報告している。

村井らの行った研究<sup>38)</sup>は、仙台市内の交差点に施工されたILブロック舗装(ILブロック 8cm+敷砂 2cm=10cm)とアスファルト舗装(t=10cm)で供用開始以降冬季と夏季に継続的にたわみ測定を行い、多層弾性理論によって解析したものである。解析結果から、ILブロック舗装は載荷位置を離れると理論値のたわみの方が全体的に大きくなり、ILブロック舗装を連続体と仮定するには無理があることなどを報告している。

八谷らの研究<sup>39)</sup>は、港湾・空港を対象としたILブロック舗装の荷重支持力を調査したもので、川崎市内のコンテナヤードにコンクリート路盤を有するILブロック舗装(ILブロック 10cm+敷砂 2cm=12cm)と比較用のアスファルト舗装(t=12cm)において、載荷荷重を98kNで実施したたわみ測定である。調査の結果から、収縮目地上でのたわみは中央部でのものと同様であるが、膨張目地上ではこれよりも大きくなること、さらに得られたたわみから推定した弾性係数の比較から、ILブロック層(t=12cm)は構造特性上アスファルトコンクリート層(t=12cm)と同等と見なすことは難しいとしている。

表 1.4 国内における支持力評価に関する研究

No.	年代	研究者	試験方法	試験場所	試験荷重(kN)	測定時期	ブロック形状, 厚さ(mm)	敷設パターン
1	1982	三浦	DCメータ (たわみと 曲率半径)	熱海市 内, 北千 住バス停	49	熱海: 4か月後 北千住: 施工直後 と6か月後	長方形 波形 80	HBB
2	1987	笠原	FWD	札幌市内	49	施工直後から21 か月間	長方形 波形80	HBB
3	1993	村井	FWD	仙台市内	49	施工直後から 3年間	長方形 波形80	HBB
4	1993	八谷	FWD	川崎市内	98	施工直後	長方形 波形100	HBB

#### (1) 荷重分散性能に関する残された課題

舗装体の荷重分散性能とは、荷重をその層で分散させる程度を表す概念であり、応力やたわみの大小、層の弾性係数の大きさ等で一般的に表される。これ迄に行われてきた荷重分散性能に関する国内外における研究を見ると室内やフィールドで試験舗装を施工し、舗装体内に土圧計や感圧紙を設置して応力やひずみを測定しているケースが多い。次に、多いのがFWDや載荷試験により舗装面のたわみを測定して多層弾性理論との組み合わせに

より、層としての弾性係数を推定する方法である。

これらの研究からは、ILブロック舗装特有の‘‘Lockup’’効果の確認をはじめ、路盤上面の応力にブロック形状、敷設パターン、目地砂の有無、路盤材料が与える影響について確認されている。また、これらの成果は我国におけるブロック舗装の普及に大きく寄与したばかりでなく、協会で発刊されてきた設計施工要領のベースになっている部分も少なくない。しかしながら、ブロック舗装の普及に伴い未だ明確にされていない課題も少なくないのが現状である。ILブロック舗装の荷重分散性能に関する残された課題として以下の点が挙げられる。

- 1) ブロック寸法と噛み合わせ効果の関係
- 2) ILブロックの形状・寸法に関する明確な国内規定
- 3) 車道舗装に適用できるブロック寸法の規定
- 4) 長辺と短辺の寸法が同じストレートタイプと波形タイプの噛み合わせ効果の違い
- 5) 敷砂の品質がILブロック舗装の荷重分散性能に及ぼす影響
- 6) 目地砂の機能
- 7) 路面の締固め方法が目地砂の充填率や荷重分散性能に与える影響
- 8) 路盤構造の強弱が荷重分散性能に与える影響
- 9) 供用中に破損が生じた場合の破損部と健全部における荷重分散性能の比較

## (2) 支持力評価に関する残された課題

舗装の支持力評価は、舗装の構造評価の中で最も重要なものであり、そのためたわみを測定する方法が一般に広く用いられてきた。ILブロック舗装の構造評価についても、国内外における研究を見るとベンケルマンビームをはじめ、DCメータ、ダイナフレクト、FWD、MDDといった多くのたわみ測定機が使用されている。

これらの試験機を用いた研究は、ILブロック舗装とアスファルト舗装のたわみ特性、たわみ形状、弾性係数等について比較評価したものである。研究結果の特徴として、ベンケルマンビームやダイナフレクトを用いた測定では、ILブロック舗装とアスファルト舗装のたわみ特性は類似していると評価している。これに対して、FWDを用いた研究ではアスファルト舗装とたわみ特性、たわみ形状が異なり得られたたわみから推定した弾性係数にも差異が認められることから、ILブロック舗装を連続体と仮定するには難しいと報告している。このように、試験機種や解析方法によって異なる見解が得られている。

我国における設計法は、これ迄に述べてきた既往の研究結果や旧建設省(現独立行政法人)土木研究所での走行実験結果から、アスファルト舗装と同じ旧CBR- $T_A$ 法により行われ数多くの施工実績を残している。しかしながら、ILブロックを用いた車道舗装では、供用中に破損が生じた場合の破損部と健全部における支持力評価に関する調査、研究がほとんど行われていないのが現状である。特に、供用中に破損が生じた場合では、短時間で敏速にしかも簡便に多数の支持力やたわみの測定が行える非破壊式の試験器が適用できれば、適切な支持力評価や施工管理が可能となり供用中の破損が低減でき、適切な維持修繕工法の選定も可能となる。

ILブロック舗装の支持力評価に関する残された研究課題として以下の点が挙げられる。

- 1) 供用中に破損が生じた場合の簡便な小型載荷試験器による支持力評価の方法
- 2) 破損原因を究明する手法の確立
- 3) 小型載荷試験器による交通量の区分に応じた上層路盤上での支持力基準

## 1. 5 インターロッキングブロック舗装の荷重分散性能の原理

ILブロックは、図 1.8 に示すように 20~30mm 厚の敷砂上に 2~3mm 程の目地幅を確保して敷設され、その目地には砂が充填される。目地幅は、ブロック周囲に設けられている目地キープにより確保される。ILブロックと敷砂を除いては、構造的には従来のたわみ性舗装とほとんど違いはない。この舗装の原理は、ブロック相互の噛み合わせによって交通荷重を分散させて下方および側方に伝達させるため、ILブロック下部の敷砂と目地砂は舗装が良好な供用性を維持するために、極めて重要な役割を担っている。

輪荷重直下の ILブロックは沈下することにより密な状態にある目地砂には、せん断変形が生ずる。このせん断変形により、目地砂が体積膨張する正のダイレタンシーに起因するブロック間に水平方向の圧縮力が発生し、隣接する ILブロック相互の間に荷重が伝達される<sup>40)</sup>。また、ILブロック舗装は、ある程度の交通荷重の繰り返しを受けることにより、目地砂と敷砂が密な状態となり、施工直後に比べてILブロックのたわみが徐々に減少する特性を示す。これにより、個々のブロック間には、目地砂の正のダイレタンシーにより水平方向の圧縮力が常に存在することとなり、強く噛み合うことで舗装体が版として荷重分散性能を発揮するようになる。このように、目地砂や敷砂がち密化し、ブロックとブロックが強く噛み合った状態をロックアップ(Lockup)<sup>41)</sup>と呼んでいる。このロックアップの挙動は、ILブロック舗装特有のものであることから、ブロックの目地には注入目地剤などの固結材料を砂の代わりに使用することは望ましくない。

敷砂は、ILブロックの安定性と平坦性を確保するとともに、ILブロック層に加わる荷重を均一に分散して路盤に伝達する役目と、目地の下部に充填する砂の供給源としての役割もある。施工中や交通荷重下で、目地砂の正のダイレタンシーに起因するILブロック間の水平方向の圧縮力が発生し荷重分散性能を生じるため、これらの圧縮力に対して反力を発揮させることのできる舗装端部の拘束が不可欠となる。

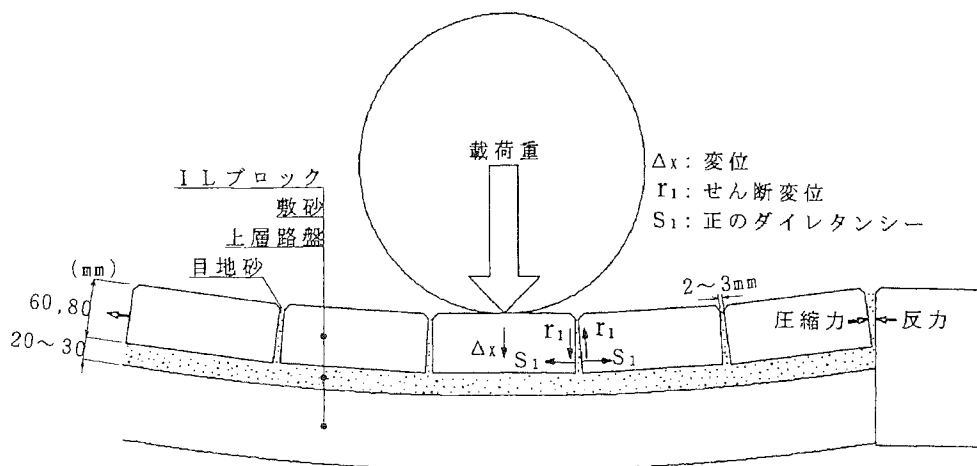


図 1.8 ILブロック舗装の原理

## 第1章参考文献

- 1) 建設省道路局:交通バリアフリー法における道路の構造基準について, 雑誌「道路」, pp. 30 - 37, 2001. 1.
- 2) 建設省令:重点整備地区における移動円滑化のために必要な道路の構造に関する基準, 2000. 11.
- 3) 土木学会:舗装工学, pp. 406, 1995.
- 4) 社団法人日本道路協会:舗装施工便覧, pp. 192 - 194, 2001. 12.
- 5) 社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領, pp. 9, 2000.
- 6) 左京賢一, 秋本隆, 笠原篤:ハンディ・フォーリング・ウエイト・デフレクトメータによる舗装支持力評価に関する研究, 第21回日本道路会議一般論文集, pp. 694 - 695, 1995. 7.
- 7) 関根悦夫, 村田修, 阿部長門, 丸山輝彦:FWDによる鉄道盛土の締固め管理に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第1巻, pp. 121 - 128, 1996. 12.
- 8) 笠原篤, 伊藤保彦, 古川真男:ハンディなフォーリング・ウエイト・デフレクトメータの開発, 雑誌「道路建設」, pp. 66 - 70, 1993. 5.
- 9) 植下協, 加藤晃:改訂新版道路工学, pp. 1 - 7, 朝倉図書.
- 10) 内田一郎:新編道路工学, pp. 4 - 7, 森北出版.
- 11) 雑誌「舗装」, pp. 3 - 6, 建設図書, 1979. 10.
- 12) 森満雄:新版道路工学, pp. 3 - 8, 理工図書.
- 13) 佐藤秀一, 田中淳七郎, 萩原浩, 鈴木道雄:土木施工法講座2道路施工法, pp. 4 - 5, 山海堂.
- 14) 伊吹山四郎, 多田宏行, 毛利正光:わかり易い土木講座12道路, pp. 12 - 16, 彰国社刊.
- 15) 村上元紀:近世道路工学, pp. 23, 淀屋書店.
- 16) 久野重一郎:道路舗装法下巻, pp. 33 - 37, 養賢堂.

- 17) J. Knapton, S. D. Barber : UK Research into concrete Block pavement design, First International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 33 - 39, 1980.
- 18) B. Shackel : The design of Interlocking Concrete Block Pavements for Road Traffic, First International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 23 - 32, 1980.
- 19) K. C. Mavin : Site and Laboratory Testing of Interlocking Concrete Block Pavements, Second International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 55 - 60, 1984.
- 20) Ir. G. R. Bosch, Ir. E. Beuving : Design Method for Concrete Block Pavements, Second International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 104 - 108, 1984.
- 21) F. Wellner : Load Bearing Behavior of Sett Pavings, Concrete Block Paving 4<sup>th</sup> International Conference, Proceedings Volume 1, pp. 341 - 350, 1992.
- 22) B. Shackel : Loading Tests of Conventional and Ecological Concrete Block Paving, Concrete Block Paving 6<sup>th</sup> International Conference, Proceedings, pp. 81 - 89, 2000.
- 23) P. A. Seddon : The Behavior of Concrete Block Paving under Repetitive Loading, First International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 135 - 140, 1980.
- 24) J. H. Keyser, L. A. McCoomb : Design Concrete and Performance of Test Pavement at the Port of Montreal, Second International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 21 - 28, 1984.
- 25) L. J. M. Houben, A. A. A. Molenaar, G. H. A. M. Fuchs, H. O. Moll : Analysis and Design of Concrete Block Pavements, Second International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 86 - 99, 1984.
- 26) R. J. Armitage : Concrete Block Pavement Evaluation with the Falling Weight Deflectometer, Concrete Block Paving Third International Conference, Proceedings, pp. 203 - 208, 1988.
- 27) A. T. Visser : The Response of Interlocking Block pavements under Ultraheavy Loading, Concrete Block Paving 6<sup>th</sup> International Conference, Proceedings, pp. 369 - 378, 2000.
- 28) 三浦裕二, 津田外喜弘, 古村満, 神永晃 : インターロッキングブロック舗装について, 第 13 回日本道路会議一般論文集, pp. 367 - 368, 1979.
- 29) 三浦裕二, 津田外喜弘, 古村満, 高浦正幸 : インターロッキングブロック舗装について - 第 2 報 -, 第 14 回日本道路会議一般論文集, pp. 391 - 392, 1981.
- 30) 塩崎正孝, 八谷好高, 千田國善, 朝倉光夫 : 空港 ILB 舗装の走行実験, 土木学会第 45 回年次学術講演会講演概要集, pp. 54 - 55, 1990.
- 31) 村井貞規, 高橋彦人, 鈴木登夫 : コンクリートブロック舗装の応力伝達機構, 土木学会第 45 回年次学術講演会講演概要集, pp. 94 - 95, 1990.
- 32) 村井貞規, 高橋彦人 : コンクリートブロック舗装路盤上の応力分布, 土木学会第 48 回年次学術講演会講演概要集, pp. 918 - 919, 1993.
- 33) 石下幸司, 関根重年, 加形護, 内海吾朗 : IL ブロック舗装の荷重分散性能に関する一検討, 雑誌「舗装」, pp. 16 - 22, 1996. 6.
- 34) 高浦正幸, 畑実, 笠原篤 : インターロッキングブロック舗装の荷重分散性能について (第 1 報), 土木学会第 41 回年次学術講演会講演概要集, pp. 57 - 58, 1986.

- 35) 松田文也, 岩本博: インターロッキングブロック舗装の街路への適用, 雑誌「舗装」, pp. 15 - 19, 1982. 4.
- 36) 猪野秀明, 古村満, 真内勝司, 高浦正幸: インターロッキングブロックを用いたバス停留所舗装, 雑誌「舗装」, pp. 14 - 18, 1983. 5.
- 37) 高橋義昭, 官崎昇, 笠原篤: インターロッキングブロック層の見かけの弾性係数の推定, 第 18 回日本道路会議一般論文集, pp. 348 - 349, 1989. 10.
- 38) 村井貞規, 佐藤剛, 畑実: 車道に適用されたインターロッキングブロック舗装の季節変化特性, 雑誌「舗装」, pp. 18 - 23, 1998. 6.
- 39) Y. Hachiya, O. Takahashi: FWD - Based Structural Evaluation of Heavy - Duty ILB Pavements, Concrete Block Paving 6<sup>th</sup> International Conference, Proceedings, pp. 361 - 368, 2000.
- 40) B. Shackel 著, 三浦裕二監訳, 卷内勝彦, 林重徳訳: インターロッキングブロック舗装の設計と施工, 鹿島出版会, 1992.
- 41) J. M. Clifford: A Description of ‘‘Interlock’’ and ‘‘Lock - up’’ in Block Pavements, Second International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 50 - 54, 1984.



## 第2章 インターロッキングブロック舗装のたわみ特性

### 2.1 概説

ILブロック舗装は、最初から人工的にひび割れ(目地)を設けたコンクリート舗装であり、目地部には砂が充填されILブロックと路盤との間にも砂が使用される。外力である輪荷重を路盤に均一に伝達する能力は、ブロック間の目地砂の正のダイレタンシーに起因して発生する水平方向の圧縮力と敷砂によるところが大きい。このように、ILブロック舗装は、従来のアスファルト舗装やコンクリート舗装とはかなり異なった性質を有している。したがって、ILブロック舗装のたわみ特性を確認することは荷重分散性能や支持力評価を行ううえで極めて重要である。

このため、本章ではまず同じたわみ性舗装の設計法に準じて設計されるアスファルト舗装とILブロック舗装のたわみ特性の違いを、98kN級FWDにより測定したデータを用いて比較し明らかにした。

次に、同一路線上に施工され舗装構造が異なるILブロック舗装上にて49kN級FWDと4.9kN級HFWDを用いて、1年間にわたりたわみ測定を実施することにより経時変化に伴うたわみ特性を確認するとともに、たわみ特性に与える舗装構造と測定機種の違いによる影響についても考察した。

ILブロック舗装では、サンドクッション層と路盤層との間に分離機能と平坦性維持効果を目的に、ジオテキスタイルが使用される。ジオテキスタイルのように薄くて軽量の材料が、ILブロック舗装に使用された場合のたわみ特性に与える影響について49kN級FWDと4.9kN級HFWDを用いて評価し考察した。

### 2.2 インターロッキングブロック舗装のたわみ特性

#### 2.2.1 たわみ形状

たわみ形状とは、周期的あるいは衝撃荷重により変形した舗装表面を5個以上のたわみセンサの最大値から得られる曲線<sup>1)</sup>のことで、その形状から舗装の変形特性を把握することができる。

川崎市港湾局では、ILブロック舗装の港湾エリアへの適用性を確認するために試験舗装を施工し<sup>2)</sup>、運輸省港湾技術研究所滑走路研究室(現国土交通省)の協力を仰いで、FWDによるたわみ測定を実施した<sup>3)</sup>。舗装構造は、図2.1に示すようにILブロック舗装と比較用のアスファルト舗装とも路盤層以下の構造と表層部分の厚さも同じ12cmである。ILブロックの形状と敷設パターンを図2.2に示す。

図2.3は、143kN輪荷重のダンプトラックが22,000回走行した後で実施したILブロック舗装とアスファルト舗装のたわみ形状を比較したものである。FWDの載荷荷重は98kN、センサ数は7点(0, 300, 450, 600, 900, 1,500, 2,500)、測線数は4、図はその平均値を用いている。これより、ILブロック舗装の荷重直下のたわみ量( $D_0$ )の平均は、0.240mmを

示し、アスファルト舗装の値(0.201mm)と比べると約20%程大きい。また、荷重位置の中心から45cm以降ではILブロック舗装とアスファルト舗装のたわみに差異が無いものの、30cmの範囲内ではILブロック舗装のたわみが大きく、荷重中心に近づくにつれアスファルト舗装との差異が大きくなる傾向にあることがわかる。このことは、ILブロック舗装がアスファルト舗装よりも荷重直下付近でたわみやすい舗装であることを示している。この特性には、目地(砂)と敷砂が大きく影響していると考えられる。

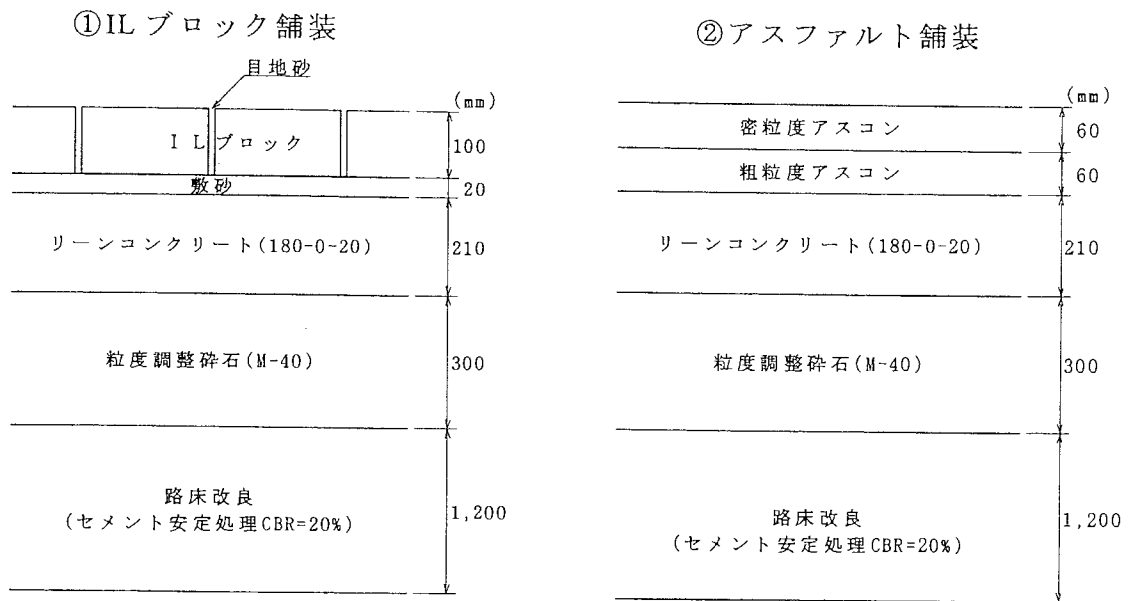


図 2.1 ILブロック舗装の構造

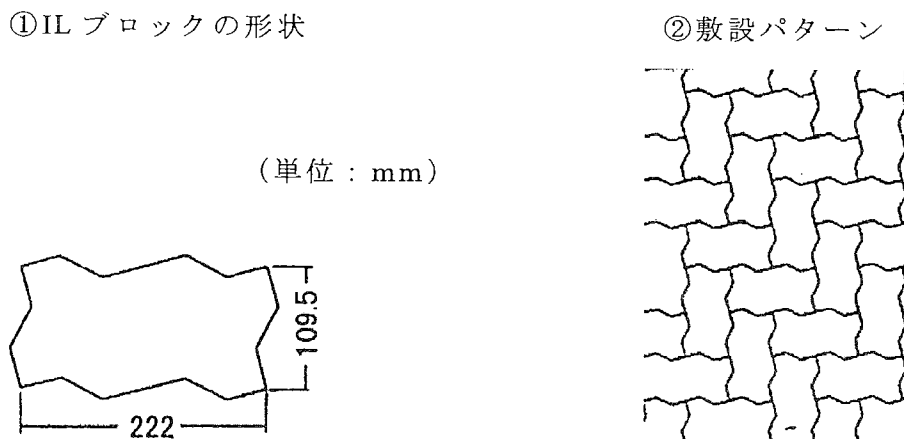


図 2.2 ILブロックの形状と敷設パターン

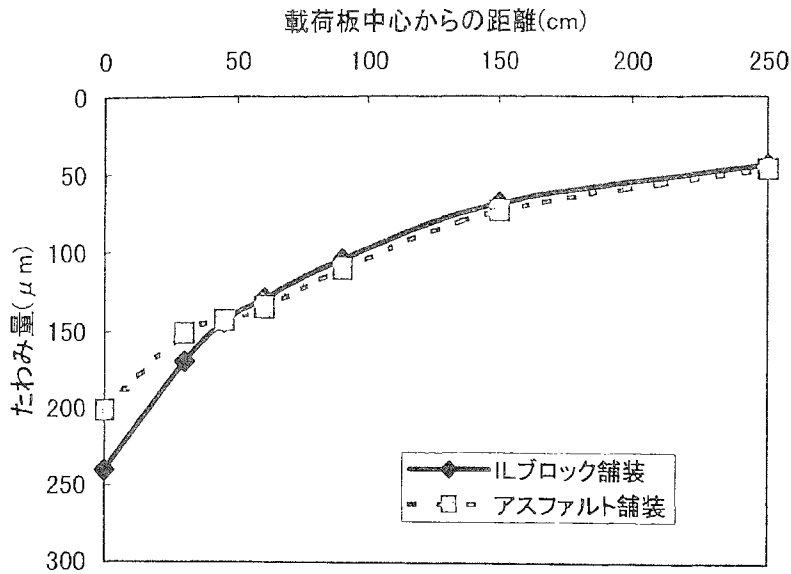


図 2.3 たわみ形状の比較

## 2. 2. 2 経時変化に伴うたわみ特性

(1) 路床、路盤構造の差異がたわみ特性に与える影響

ILブロック舗装が、アスファルト舗装に比べて荷重直下付近でたわみやすい舗装であることが確認できたことから、次にたわみの経時変化について検証した。

調査は、千葉県白子町のILブロックによる試験舗装(A交通)で実施した<sup>4)</sup>。たわみ測定は、49kN級FWDと4.9kN級HFWDを用いて同一地点上で施工完了時、3か月時、6か月時、1か年時の計4回にわたり行った。ILブロック舗装の構造は、図2.4に示すようにに在来路床上にRC-40と再生スタビ工法を路盤としている工区と路床改良(CBR=20%)を行った上にRM-40を路盤としている工区に分けられる。ILブロックの形状と敷設パターンを図2.5に示す。

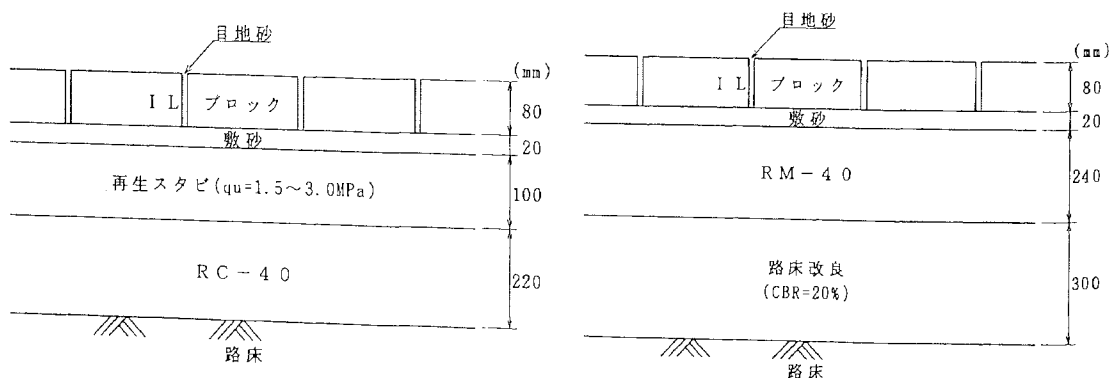


図 2.4 ILブロック舗装の構造

①ILブロックの形状

②敷設パターン

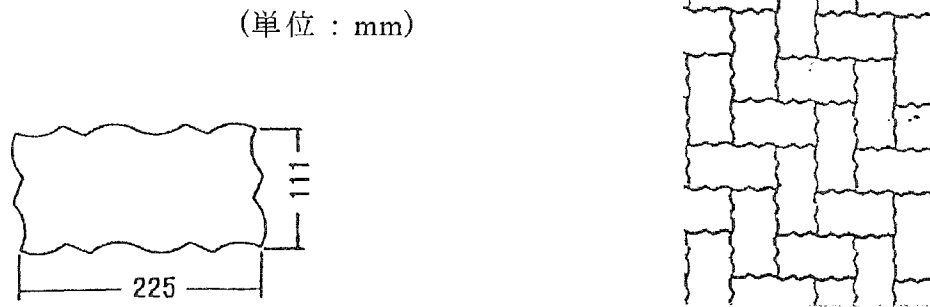


図 2.5 ILブロックの形状と敷設パターン

図 2.6 は、49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD にて測定した IL ブロック舗装の荷重直下のたわみ量( $D_0$ )の平均値( $n=3$ )の経時変化を示したものである。これより、RM-40 路盤に比べて再生スタビ路盤のたわみが小さい。これは路盤剛性の違いによるものである。また、両路盤材とも供用に伴いたわみが大きく減少する傾向にある。たわみの減少率を供用開始時から 1 年経過時の値と比較すると、49kN 級 FWD は再生スタビ路盤で 57%、RM-40 路盤で 54%、4.9kN 級 HFWD では再生スタビ、RM-40 路盤とも 68%を示した。供用に伴いたわみが大きく減少した理由として、目地砂と敷砂の安定、交通荷重の繰り返しのによりブロック間の噛み合わせが強固となったこと、再生スタビ路盤と路床改良層の長期にわたるセメントの養生効果による強度増進が挙げられる。

このように、IL ブロック舗装は路床、路盤構造に関係なく供用に伴いたわみが大きく減少する特性を有していることが確認できた。さらに、測定機種にかかわらずこのたわみ特性を把握できることもわかった。

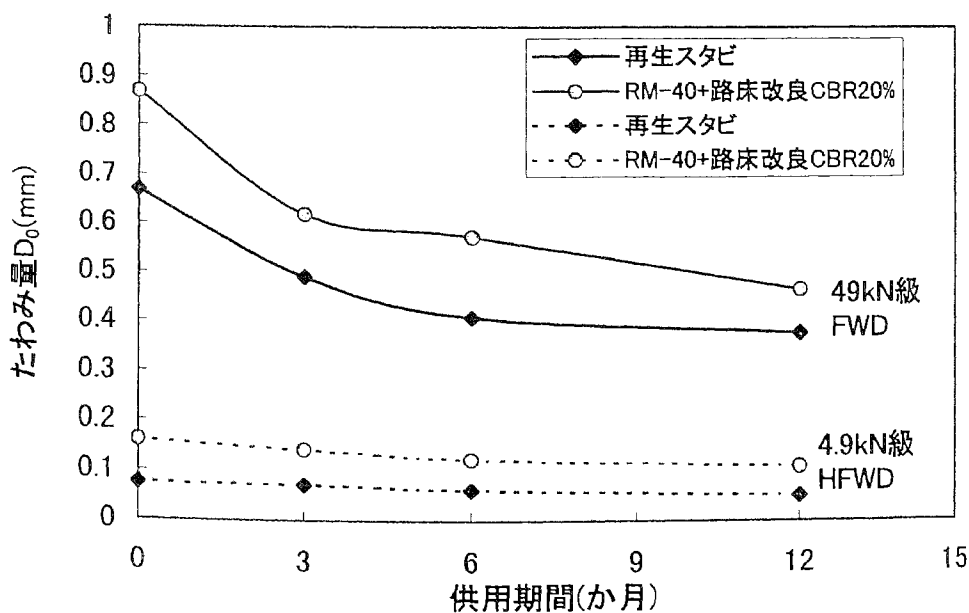


図 2.6 たわみの経時変化

(2) ジオテキスタイルがたわみ特性に与える影響

透水性 IL ブロック舗装には、敷砂の路盤層への流失を防ぐためにジオテキスタイルが路盤上に設置される。車道舗装にもジオテキスタイルを適用することによって、敷砂と路盤層との分離機能の他に補強効果や排水機能等により路面の平坦性維持効果が期待できる。IL ブロック舗装に用いられている一般的なジオテキスタイルの性状を表 2.1 に示す。

表 2.1 ジオテキスタイルの性状

項目	引張り強さ (N/5cm)		伸び率(%)		引裂強さ(N)		目付け (g/m <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	見かけ 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	垂直方向 透水係数 (cm/sec)
	縦	横	縦	横	縦	横				
物性	140	110	627	81.8	140	97.7	70	0.72	0.097	0.51

ここで示すフィールド実験は、ジオテキスタイルを用いた IL ブロック舗装の供用性とジオテキスタイルの耐久性を評価することを目的に、平成 12 年に建設省土木研究所(現独立行政法人土木研究所、以下土木研究所という)で実施した実験結果<sup>5)</sup>の一例である。

IL ブロックの試験舗装は、A 交通、設計 CBR=3%に要求される  $T_A=19\text{cm}$  を満足するように、上層路盤に粒度調整碎石と透水性瀝青安定処理路盤(安定度 2.45MPa 以上)を用い、ジオテキスタイルの効果を確認するために使用(60g/m<sup>2</sup>, 130g/m<sup>2</sup>)と未使用に分けた 6 断面を構築した(図 2.7, 図 2.8)。IL ブロックの形状と敷設パターンを図 2.9 に示す。

たわみ測定は、49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD を用いて、輪荷重を 59kN に調整した無線誘導の無人荷重車を繰り返し走行させて所定の走行輪数に達した時に実施した。

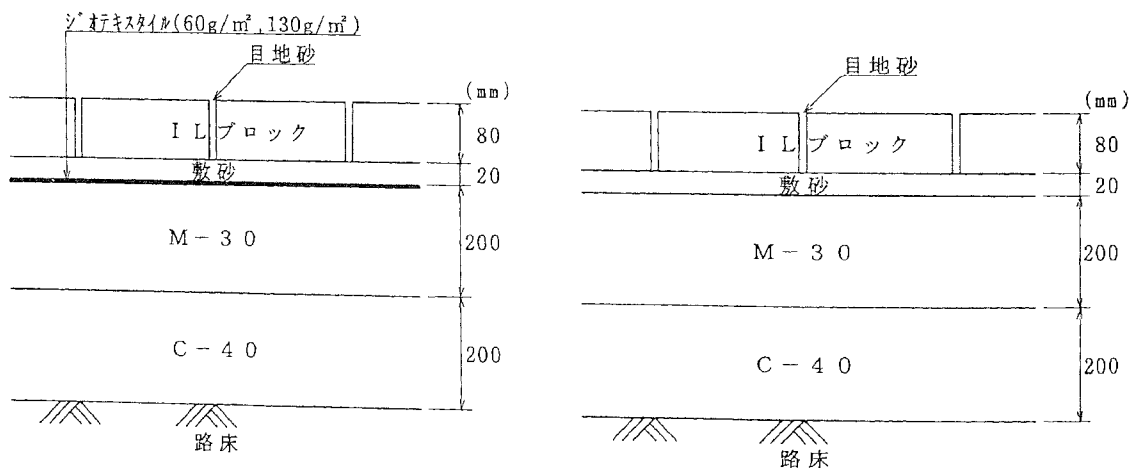


図 2.7 IL ブロック舗装の構造

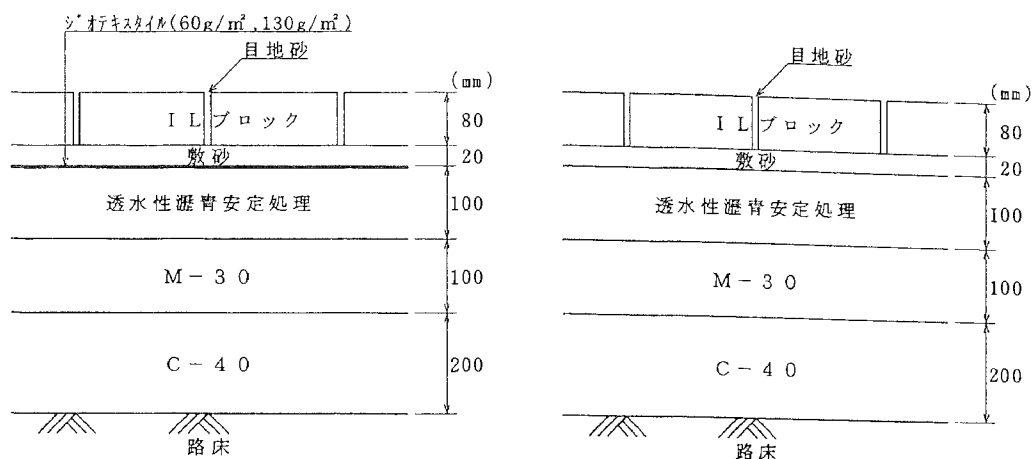
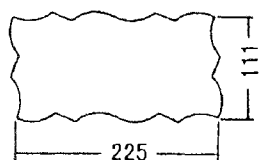


図 2.8 IL ブロック舗装の構造

①IL ブロックの形状

(単位 : mm)



②敷設パターン

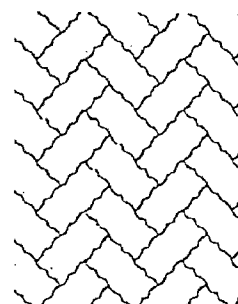


図 2.9 IL ブロックの形状と敷設パターン

IL ブロック上で測定した 49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD の荷重直下のたわみ量( $D_0$ )の  
 平均値( $n=2$ )を表 2.2 と図 2.10, 2.11 に示す.

表 2.2 IL ブロック舗装上のたわみ量(単位 : mm)

路盤材	ジオテキスタイル	測定機種	0 輪時	13,450 輪時	30,000 輪時	90,000 輪時
粒度調 整碎石	無し	FWD	1.715	1.600	1.690	1.708
		HFWD	0.421	0.292	0.320	0.259
	60g/ m <sup>2</sup>	FWD	1.937	1.764	1.835	1.899
		HFWD	0.596	0.428	0.349	0.357
	130g/ m <sup>2</sup>	FWD	1.998	1.549	1.805	1.768
		HFWD	0.658	0.415	0.325	0.369
透水性 瀝青安 定処理	無し	FWD	1.605	1.575	1.560	1.558
		HFWD	0.197	0.143	0.129	0.124
	60g/ m <sup>2</sup>	FWD	1.370	1.248	1.254	1.185
		HFWD	0.337	0.213	0.189	0.179
	130g/ m <sup>2</sup>	FWD	1.466	1.263	1.361	1.276
		HFWD	0.375	0.216	0.212	0.219

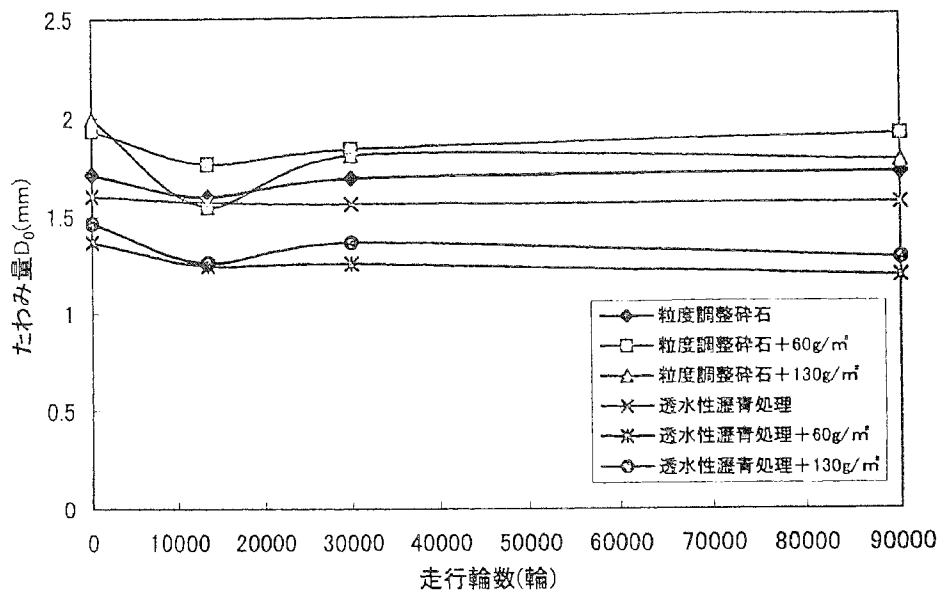


図 2.10 IL ブロック舗装の 49kN 級 FWD たわみ量の推移

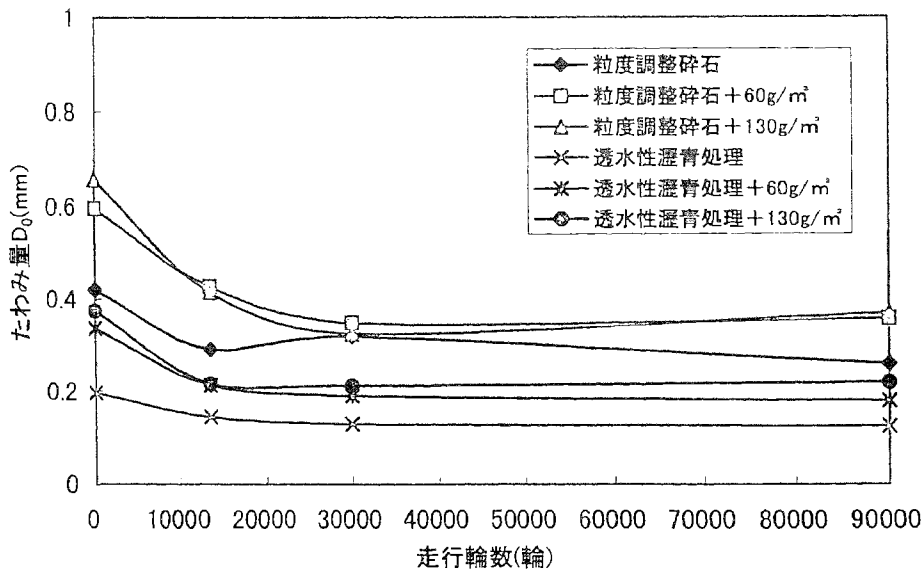


図 2.11 IL ブロック舗装の 4.9kN 級 HFWD たわみ量の推移

これより、4.9kN 級 HFWD による施工完了時(=0 輪)と 90,000 輪走行後のたわみは路盤材に関係なくジオテキスタイル無し、60g/m<sup>2</sup>、130g/m<sup>2</sup>の順で小さい傾向にある。これに対して 49kN 級 FWD によるたわみにはこのような傾向は認められない。特に透水性瀝青安定処理路盤の場合、施工完了時から 90,000 輪走行迄のたわみは、4.9kN 級 HFWD と逆に無しに比べて使用(60g/m<sup>2</sup>、130g/m<sup>2</sup>)の方が大きい値を示している。このことは、49kN 級 FWD は 4.9kN 級 HFWD に比べて載荷荷重が 10 倍も大きいため載荷板直下のたわみは IL ブロックから路床迄の広範囲にわたる強度特性を反映するのに対して、4.9kN 級 HFWD は載荷荷重が小さい分 IL ブロックから比較的浅い範囲迄の強度特性を示すものと考えら

れる。したがって、ILブロックのように荷重直下付近に多数の目地を有し、荷重から浅い位置(ブロック厚によって 6~8cm)にたわみ特性に影響を及ぼしやすい敷砂やジオテキスタイルが使用される構造の舗装では、49kN 級 FWD よりも 4.9kN 級 HFWD の方がそのたわみ特性を評価するのに適している。

## 2.3 まとめ

ILブロック舗装のたわみ特性を把握するために、まず同じたわみ性舗装の設計法に準じて設計されるアスファルト舗装と IL ブロック舗装のたわみ形状を 98kN 級 FWD によるたわみ測定データを引用して比較した。次に、経時変化に伴うたわみ特性を確認するために舗装構造の異なる IL ブロック上にて、49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD を用いてたわみ測定を行った。この結果を踏まえ、ジオテキスタイルのように厚さが薄く軽量の材料が敷砂の下に使用された時のたわみ特性についても検討した。

これらの調査結果を基に、IL ブロック舗装のたわみ特性を明らかにするとともに測定機種の影響についても考察した。その結果を以下に示す。

- (1) 98kN 級 FWD を用いて測定した IL ブロック舗装とアスファルト舗装のたわみ形状図から、IL ブロック舗装はアスファルト舗装よりも荷重直下付近でたわみやすい舗装であることがわかった。これには、目地(砂)と敷砂が大きく影響していると考えられる。
- (2) 舗装構造が異なる IL ブロック上で供用 1 年間にわたり 49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD を用いてたわみ測定を実施した結果から、IL ブロック舗装は路床、路盤の構造にかかわらず供用に伴いたわみが大きく減少する特性を示すことが確認できた。また、この特性は測定機種が異なっても同様な傾向を示すこともわかった。なお、この特性には目地砂と敷砂の安定、交通荷重の繰り返しによりブロック間の噛み合わせが強固となったことと、再生スタビ路盤と路床改良層の長期にわたるセメントの養生効果による強度増進が影響している。
- (3) ジオテキスタイルを用いた IL ブロック舗装の供用性とジオテキスタイルの耐久性を評価する走行実験で、2 種類の FWD を用いてたわみ測定を行った。この結果、路盤上にジオテキスタイルを設置すると 49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD で測定した IL ブロック舗装上のたわみには異なった傾向が認められた。このことは載荷荷重が 49kN 級 FWD のように大きいと、IL ブロックから路盤、路床迄広範囲の強度特性を示すのに対して、4.9kN 級 HFWD のように載荷荷重が小さいと IL ブロックから比較的浅い位置迄の強度特性を示すと考えられる。これより、IL ブロック舗装のように荷重直下付近に多数の目地を有し、荷重から浅い位置にたわみ特性に影響を及ぼしやすい敷砂やジオテキスタイルが使用される構造では、4.9kN 級 HFWD の方がそのたわみ特性を評価するのに適している。



## 第2章参考文献

- 1) 土木学会：舗装工学ライブラリー2, FWD および小型 FWD 運用の手引き, 2002. 12.
- 2) 梅田裕史, 荻原輝彦, 佐野泰三, 柳沼宏始：川崎港コンテナターミナルにおけるインターロックブロック舗装, 雑誌「コンクリート工学」, pp. 41 - 48, 1995. 9.
- 3) 川崎市港湾局, 東亜建設工業, インターロックブロック協会：東扇島コンテナヤード基盤整備工事諸試験報告書, pp. 112 - 157, 1994. 3.
- 4) Kunishima, T., Arai, K. and Yaginuma, H. : Utilization of Glass Cullet for Sand-Cushion Layer of ILB Pavement, Concrete Block Paving 6<sup>th</sup> International Conference, Proceedings, pp. 159-166, 2000. 9.
- 5) 社団法人日本建材産業協会:新規産業支援型国際標準開発事業(ブロック舗装用繊維材料の性能評価方法の標準化), 2001. 3.

## 第3章 インターロッキングブロック舗装の構造的挙動に影響する要因

### 3.1 概説

ILブロック舗装の構造は、アスファルト舗装の設計法に準じて設計されるものの、そのたわみ特性については第2章で明らかにしたように、アスファルト舗装と異なり荷重直下付近でたわみが大きくなる。これは、ILブロックが多数の目地を有しレベリング層に敷砂、目地部にも砂を使用する舗装形式のためである。また、アスファルトやコンクリート舗装と異なり目地部から雨水等が浸透するため、敷砂や路盤層が水の影響を受けることもある。

ILブロック舗装の構造的挙動に影響する要因を列挙したのが表3.1である。これらの要因が路面性状に与える影響や我国の技術指針の根拠については、ILブロック発祥の地である旧西ドイツの基準<sup>1)</sup>に準拠したものと、土木研究所での走行実験や国内の各研究機関等で行われた実験結果がベースになっている。

本章では、ILブロック舗装の構造的挙動に影響する要因としてブロック、目地、目地砂、敷砂、路盤の5つを取り上げ、要因ごとに路面性状に及ぼす影響について述べる。

表 3.1 ILブロック舗装の構造的挙動に影響する要因

舗装の構成	要因
ブロック	形状・寸法
	厚さ
	品質
	敷設パターン
目地	目地幅
	目地キープ
目地砂	品質
敷砂	厚さ
	品質
路盤	材料の種類と品質
	厚さ

### 3.2 構造的挙動に影響する要因

#### 3.2.1 インターロッキングブロック

交通荷重下でILブロック舗装の構造的挙動に影響を与えるILブロックの要因として形状・寸法、厚さ、品質、敷設パターンの4つが挙げられる。

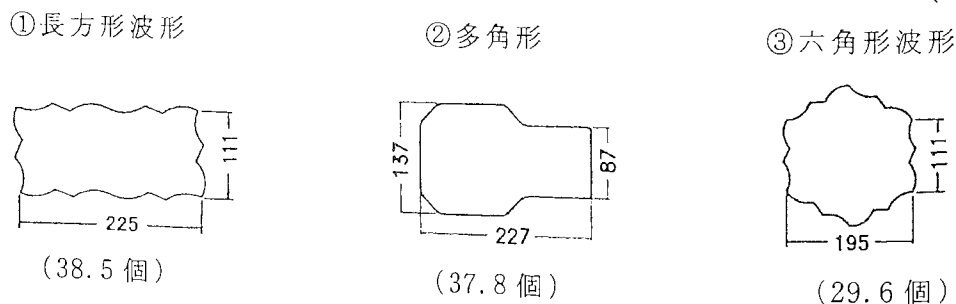
(1) 形状・寸法

我国で使用されている IL ブロックの形状は、長方形、正方形、六角形、八角形、多角形に大別され、側面の仕様がそれぞれ波形タイプとストレートタイプに分けられる。これらの形状の大半が旧西ドイツより技術導入されたものである。

我国における IL ブロックの使い分けは、(社) インターロックブロック舗装技術協会(以下、協会という)の要領<sup>2)</sup>によると大型車交通量が 10 台未満/日・方向の道路ではどの形状のブロックも適合できるとし、大型車交通量が 10 台/日・方向を越える道路では長方形タイプに限定している。これは、国内外における研究結果や施工実績がベースとなっている。我国において、ブロック形状と寸法の影響を確認した研究として、日本大学と秩父セメント(現太平洋セメント)株式会社が実施した、ロードシミュレータを用いた模擬走行実験<sup>3)</sup>が挙げられる。

この実験は、輪荷重を 49kN に調整し走行速度を 5km/h に一定した移動荷重条件下で、図 3.1 に示す 3 種類のブロックを粒度調整砕石 (t=20cm) とクラッシュラン (t=20cm) から成る路盤上に施工してわだち掘れ量を比較したものである。実験結果を図 3.2 に示す。これより 5,000 回走行時におけるわだち掘れ量は、形状寸法が比較的類似している長方形波形タイプ(図 3.1 の①)と多角形(図 3.1 の②)では、わだち掘れ量がほぼ同レベルにある。これに対して、六角形波形タイプ(図 3.1 の③)は他の 2 形状に比べて約 2 倍の値を示している。実験に用いたブロック寸法を面積で比較して見ると、六角形波形タイプは長方形波形タイプに比べて 1.3 倍程大きい。このことは、ブロック寸法が大きくなると噛み合わせ効果が低下してわだち掘れ量が大きくなることを示している。この実験から、ブロック寸法が大きくなると舗装面のわだち掘れが大きくなることが確認された。しかしながら、この実験結果が報告された時期(1984 年)に比べて現在では、さらに大きなブロックが軽交通の車道舗装に使用されて供用後に問題となることも少なくない。したがって、ブロック寸法と噛み合わせ効果の関係を明確にして、車道舗装に適用できるブロック寸法を規定する必要がある。また、この実験が行われた当時は波形タイプが主流であったものの、図 3.3 に示すように 1990 年代以降ストレートタイプが増加する傾向を示し、2001 年時点で波形タイプの 12%に対してストレートタイプは 88%を占めるに至っている<sup>4)</sup>。この比率は、1990 年に比べると逆転関係にある。これより、波形タイプとストレートタイプの噛み合わせ効果の違いについても検証することが必要である。

(単位:mm)



注：( )内の数字は 1m<sup>2</sup> 当たりの使用個数を示す。

図 3.1 実験に用いた IL ブロックの形状・寸法

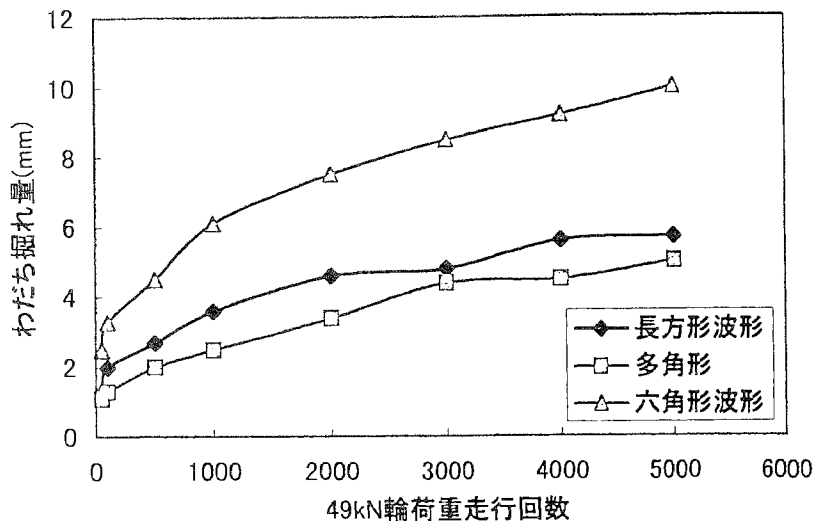


図 3.2 ブロック形状とわだち掘れの関係

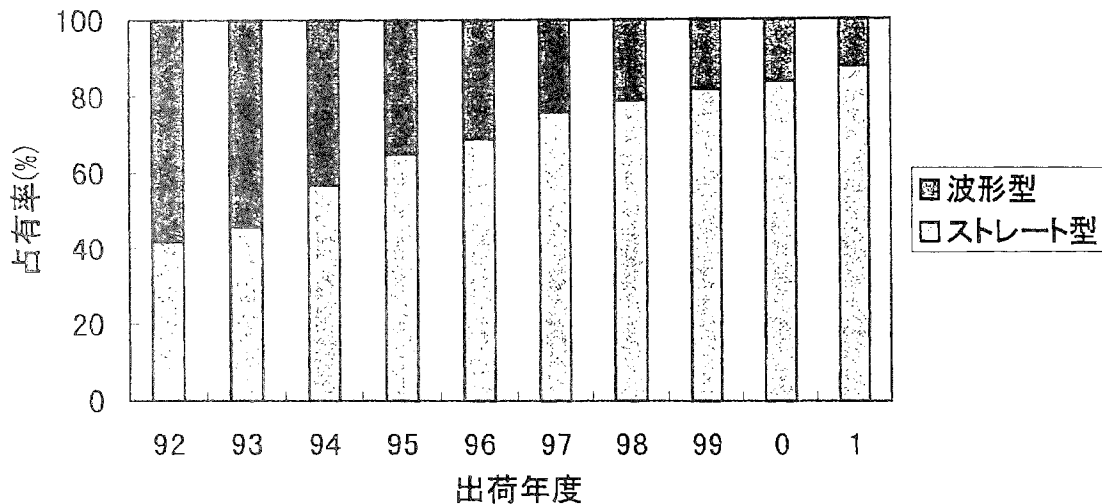


図 3.3 出荷数量の推移

(2) 厚さ

我国における IL ブロックの厚さは 6cm と 8cm が主流である。その使い分けは、要領によると歩行者や自転車が通行する歩道舗装に用いる場合で 6cm、駐車場や車道など車両が乗入れする用途で 8cm を用いるとしている。使い分けの根拠は、歩道舗装の場合 1974 年に旧西ドイツよりその製造技術が我国に導入された当時から、歩道舗装に使用されていた平板やレンガ等の厚さが 6cm であったことによるのと、車道舗装の場合旧西ドイツで 8cm が使用されていたことによるものである。

図 3.4 は、前述したロードシミュレータにより粒状路盤上(粒度調整碎石とクラッシュラン各 20cm 厚)に施工したブロック厚の影響を比較した実験結果<sup>3)</sup>である。これより、5,000 回走行時におけるわだち掘れ量で比較すると、8cm 厚と 10cm 厚ではその差が 0.5mm 程度であるのに対して、6cm 厚と 8cm 厚ではその差が 3 倍の 1.5mm に達している。ここでのわだち掘れは、敷砂迄の変形で粒状路盤層には及んでいないと推測している。これより、

8cm厚は6cm厚よりも舗装面のわだち掘れが小さくなることが確認され、車両の通行する用途に8cm厚が使用される根拠の一因となっている。

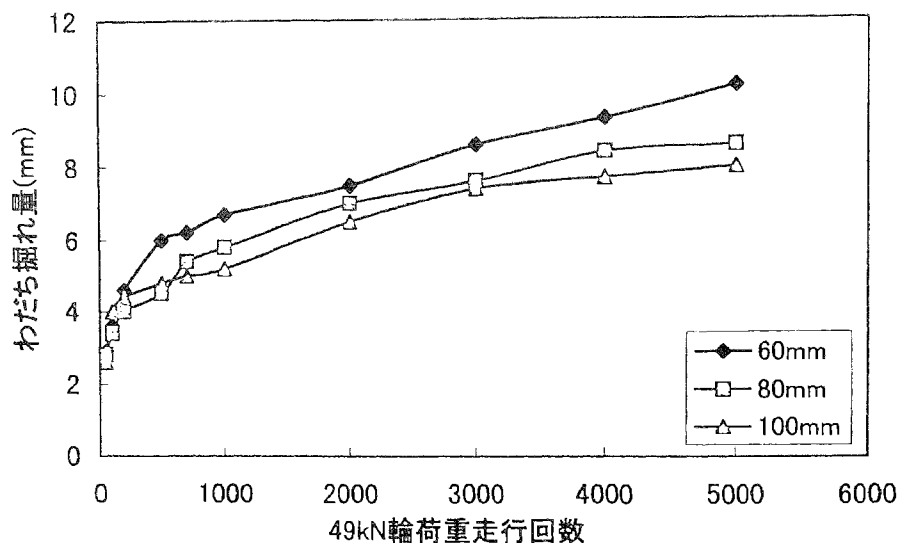


図 3.4 ブロック厚とわだち掘れの関係

### (3) 品質

我国に導入された当時の IL ブロックの品質規格は、旧西ドイツの DIN 規格<sup>5)</sup> に準拠して全面載荷圧縮強度で一律管理していた。しかしながら、全面載荷圧縮強度試験には形状・寸法の影響を受けやすく、キャッピングを必要とし、底面積の大きなブロックを試験するには最大 500t 程度の大容量の耐圧試験機を必要とするなどの問題もあった。そこで、協会ではこれらの問題を解決するために試験法について検討した結果、曲げ強度試験を採用した。ただし、形状・寸法によって曲げ強度試験ができない場合にはコアによる圧縮強度試験を併用するとしている。

DIN では、供試体 3 個の全面載荷圧縮強度の平均値で  $60\text{N/mm}^2$  以上、個々の値で  $51\text{N/mm}^2$  以上を品質管理の規格値としていた。これは、この規格を満足すればブロックは十分密実で、しかも耐凍害性、耐摩耗性、角欠けに対する抵抗性が高いことが旧西ドイツの公的機関の試験結果によって確認されていたことによるものである。

我国で製造されたブロックについて凍結融解試験を実施した結果でも、図 3.5 に示すように全面載荷圧縮強度が  $500\text{kgf/cm}^2$  ( $49\text{N/mm}^2$ ) であれば耐久性指数で 60% 以上となり、十分な耐久性を有することが確認されている。

協会では、曲げ強度での規定に移行するにあたり全面載荷圧縮強度と曲げ強度との関係(図 3.6)や曲げ強度とコア圧縮強度との関係について調査を実施している。さらに、旧西ドイツ以外の諸外国の規格、国内で製造されているブロックの強度実績やコンクリート製品の JIS 規格等も考慮して、曲げ強度規格値を  $5.0\text{N/mm}^2$  以上と定めたものである。

なお、通常大型車の走行により IL ブロックには圧縮力が作用するが、ブロックの耐荷力は 100t 以上を有しているため構造的挙動に影響を及ぼすことはない。

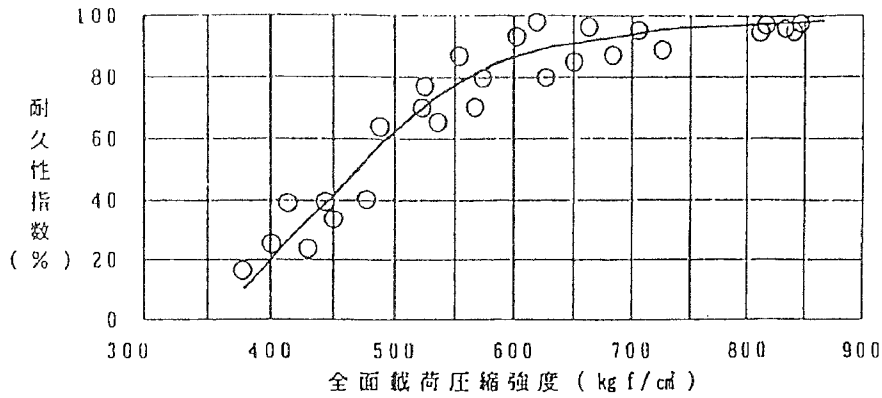


図 3.5 全面載荷圧縮強度と耐久性指数との関係

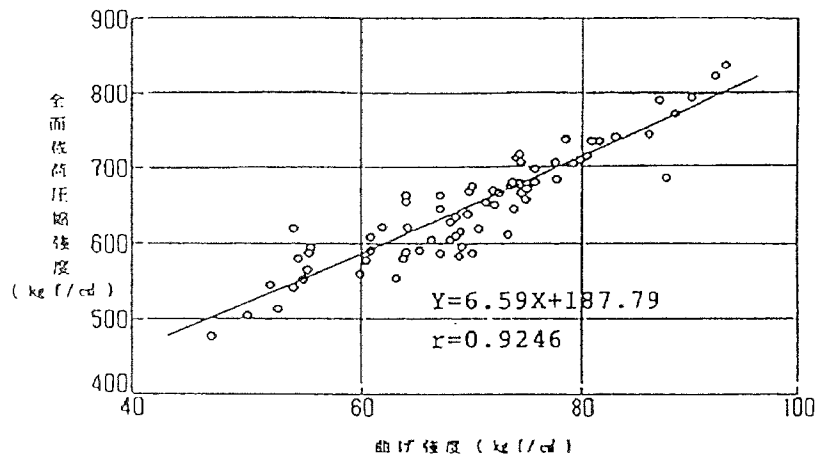


図 3.6 全面載荷圧縮強度と曲げ強度との関係

(4) 敷設パターン

我国における IL ブロック舗装の代表的な敷設パターンは、図 3.7 に示すストレッチャーボンド(以下、STB という)とヘリンボンボンド(以下、HBB という)の 45 度型、90 度型の 3 種類である。「1.4.2 国内における研究」で述べたとおり、三浦<sup>6)</sup> や村井<sup>7)</sup> らの研究結果からも STB に比べて HBB90 度型の荷重分散効果が優れていることが確認されている。また、海外における研究<sup>8)</sup> から HBB の利点は、舗装が旋回すなわち回転荷重に抵抗しなければならない場所でいっそう卓越すると報告している。

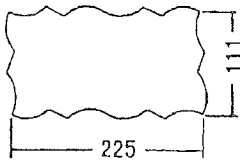
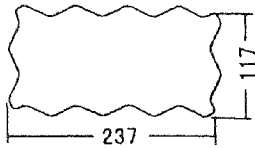
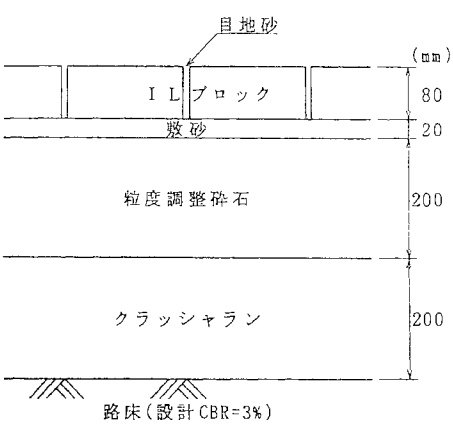
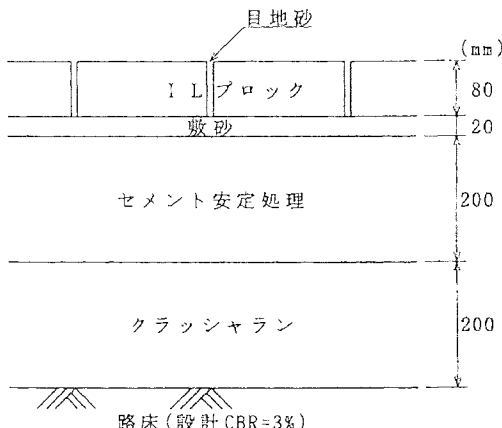


図 3.7 IL ブロックの敷設パターン

次に示すのは、土木研究所と協会が 1987 年以来大型車の繰返し走行による IL ブロック

舗装の耐久性評価を行った実験結果の一例である。実験では、STB と HBB45 度型の比較を行うために粒状路盤(1987年)と安定処理路盤(1990年)上に IL ブロックを施工して、車両走行によるブロックの移動量を測定し比較した。実験の概要を表 3.2 に、実験結果を図 3.8 に示す。

表 3.2 走行実験の概要

年度	1987	1990
幅員(m)	7.0	7.0
延長(m)	24.5	12.5
ブロック 形状・寸法 (mm)		
舗装構造		

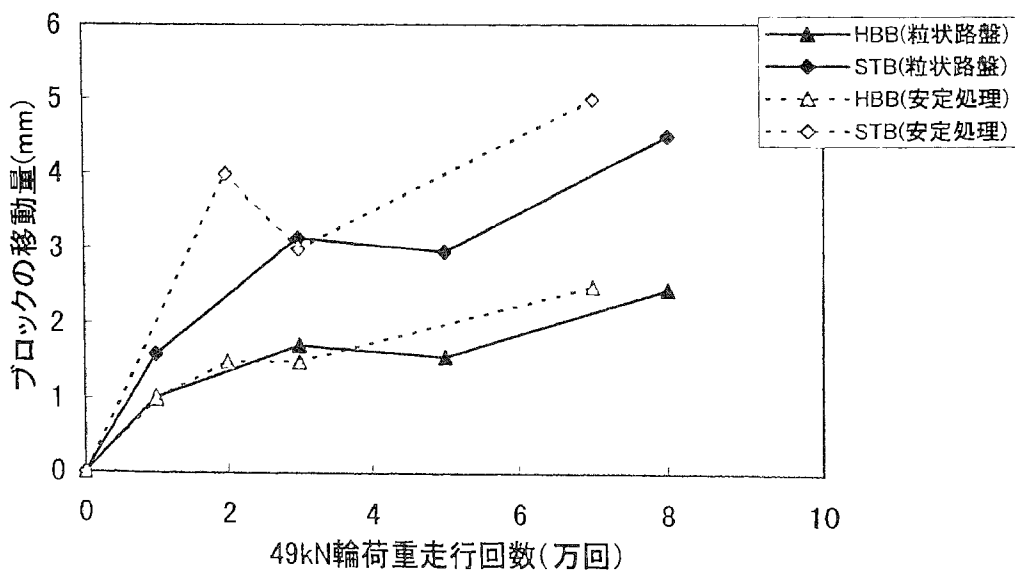


図 3.8 走行回数とブロックの移動量の関係

これより、路盤構造や IL ブロックの形状にかかわらず HBB45 度型は、STB に比べてブロックの移動量が小さくなることが確認された。この結果から、車道舗装における敷設パターンは HBB が適当であるとした。

### 3. 2. 2 目地幅と目地キープ

#### (1) 目地幅

IL ブロック舗装の標準目地幅は 3mm である。これは、目地幅がこの値より狭くなると目地砂が入りにくくなり、ブロック同士が競り合いやすくなって角欠けが生じ、逆にこれより広くなると目地砂が消失しやすくなり、ブロックが噛み合った連続体として機能しなくなるためである。

日本に導入された直後は、ブロック側面の形状やブロックを成形する型枠の精度向上等により施工時の目地幅が 3mm より狭くなり、車両が通行する用途に用いると供用後ブロック同士の競り合いによる角欠けが生じクレームとなることが少なくなかった。

ブロックの角欠けは、目地幅の不足だけでなく舗装面のたわみ量の増大、ブロックの移動や強度不足等によっても発生するが、この中で目地幅と舗装面のたわみ量の影響が大きい。表 3.3 は、IL ブロックの破損率に関する現場調査結果<sup>9)</sup>をまとめたものである。表からもブロックの破損に目地幅とたわみ量が大きく影響していることがわかる。そこで、表に示したブロックの破損率(D)、たわみ量(d)、目地幅(J)との関係について重回帰分析を行ったところ、求められた回帰式は式(3.1)のとおりである。

$$D=6.097+3.775d-3.267J \quad (3.1)$$

この回帰式より計算した破損率と実測値を比較した図 3.9 から、ほぼ実測値に近い値が得られている。また、表 3.4 に示した分散分析においても十分有意である。

ブロックの破損率を 1%以下に抑える目地幅とたわみ量の値を式(3.1)から求めると、目地幅 2mm とした場合のたわみ量は 0.38mm、目地幅 3mm とするとたわみ量は 1.25mm となる。舗装面のたわみ量を 0.38mm 以下とすることは表 3.3 より不可能に近いものの、1.25mm 以下とすることは上層路盤に安定処理工法を採用すれば十分可能である。なお、協会の要領でも、後述する土木研究所における走行実験から大型車交通量が 10 台以上 100 台未満/日・方向の道路でも大型車が多く通行する場合には、上層路盤に安定処理工法を用いているとしている。

以上のことから、IL ブロックを車両が通行する用途に適用する場合には目地幅で 3mm を確保することが必要となる。



表 3.3 ブロックの破損率に関する現場調査結果

No.	用途	交通量	路盤材料 (cm)	路盤の T <sub>A</sub> (cm)	設計 CBR (%)	破損率 (%)	たわみ 量(mm)	目地幅 (mm)	クレーム の有無
1	市道	L	粒調 : 15 CR : 20	10.3	1	0.30	1.84	2.94	無し
2	試験 舗装	A	瀝安 : 10 CR : 30	15.3	3	0.60	0.98	1.59	無し
3	市道	L	粒調 : 10 CR : 14	7.0	3	0.90	0.45	2.61	無し
4	区道	A	粒調スラ : 10 粒調 : 25	9.8	3	0.92	0.67	2.80	無し
5	試験 舗装	B	瀝安 : 10 CR : 30	15.5	3	1.55	1.15	2.94	無し
6	試験 舗装	B	CTB : 20 CR : 20	16.0	3	1.80	1.12	2.22	無し
7	工場 構内	L	CTB : 15 CR : 35	17.0	—	2.40	0.96	1.60	無し
8	市道	L	粒調 : 10 CR : 14	7.0	3	2.50	0.59	2.01	無し
9	試験 舗装	A	粒調 : 20 CR : 20	12.0	3	3.10	2.34	2.75	有り
10	試験 舗装	A	CTB : 20 CR : 20	16.0	3	3.30	1.47	1.08	有り
11	試験 舗装	A	粒調 : 20 CR : 20	12.0	3	5.60	2.23	3.10	有り
12	市道	A	粒調 : 10 CR : 30	11.0	3	7.70	2.16	1.64	有り
13	工場 構内	L	粒調 : 10 コンクリ : 10	13.5	—	9.90	2.05	1.76	有り
14	試験 舗装	B	瀝安 : 10 CR : 30	15.5	3	11.20	1.12	1.03	有り
15	アプロ ーチ	乗用車, マイ クロバス	粒調 : 15 CR : 25	11.5	—	13.40	1.82	1.84	有り
16	市道	乗用車, 4t 車	CR : 10	2.5	—	14.40	3.20	1.50	有り

注 : CRはクラッシュラン, 瀝安は瀝青安定処理工法, 粒調は粒度調整砕石, CTBはセメント安定処理工法, コンクリはコンクリート版, 粒調スラは粒度調整スラグを示す.

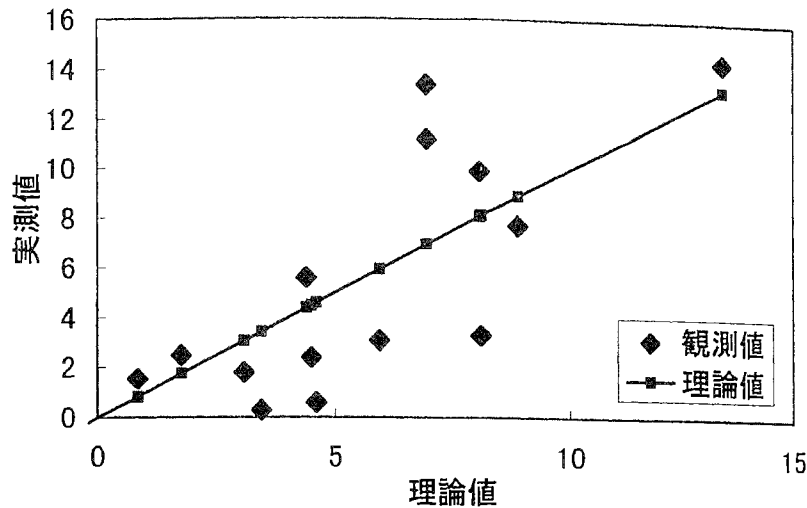


図 3.9 実測値と計算値の関係

表 3.4 分散分析の結果

項目	平方和	自由度	分散	分散比	検定
回帰	209.64	2	104.32	10.02	1%で有意
誤差	135.93	13	10.45	—	—
計	345.57	15	—	—	—

## (2) 目地キープ

そこで、施工時に3mmの目地幅を確実に確保する対策として図3.10に示す「目地キープ」と呼ぶ突起をブロック側面に付ける方法がある。我国に導入された当初、この目地キープはほとんど付けられていなかったものの、その後ブロックの破損が数多くの現場で発生したことから、1980年代に入ってメーカ各社がこぞって導入したものである。

この目地キープの効果を確認した唯一の実験が、前述した土木研究所と協会がILブロック舗装の耐久性を評価するために行った一連の走行実験<sup>10)</sup>である。この実験は、1989年に実施され同一形状のブロック(図3.11)による目地キープの有無と破損率との関係を確認したものである。ILブロックは表3.2に示したセメント安定処理工法上に施工した。

図3.12より、ブロック側面に目地キープを付けることによってブロックの破損率が1/6迄に低減できることが確認された。このことから車道舗装には所定の目地幅を確保し、たわみによるブロックの競り合いを防止するために目地キープが必要であることが確認された。

このように、目地幅とたわみ量がブロックの破損率に与える影響や目地幅を確保する対策として目地キープが有効であることは確認されているものの、目地に充填する砂つまり目地砂の機能に関する基本的な研究はほとんど行われていない。

(mm)

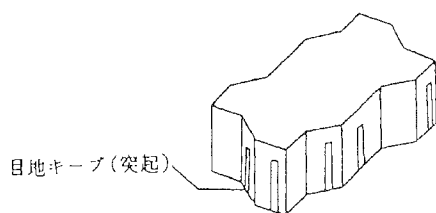


図 3.10 目地キープの例

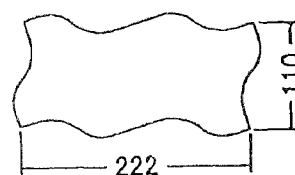


図 3.11 実験に用いたブロック

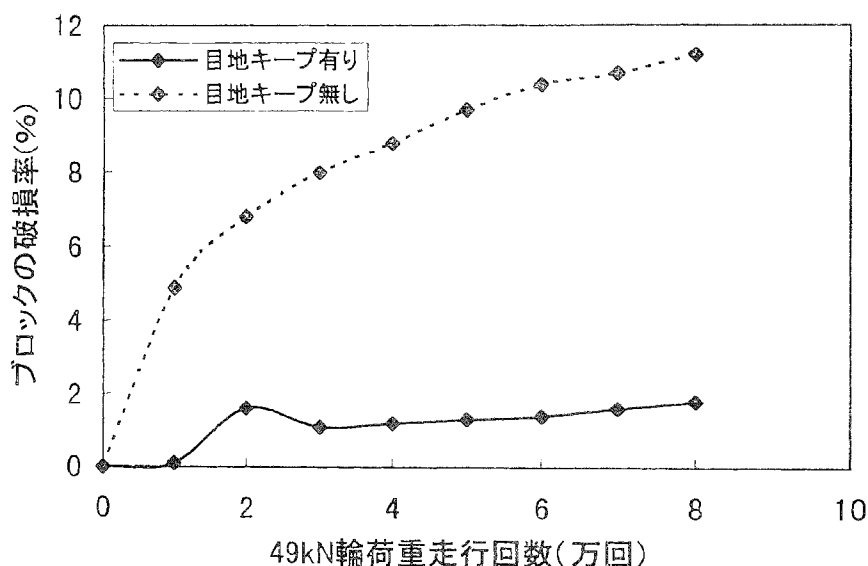


図 3.12 目地キープの効果

### 3. 2. 3 敷砂と目地砂

#### (1) 敷砂の厚さ

敷砂は、上層路盤の上にあつて路盤の不陸調整と IL ブロックの平坦性を確保するとともに、IL ブロック表面に加わる荷重を分散し路盤上面の応力集中を低減する層である。また、目地の下部に充填する砂の供給源としての役割もある。敷砂の厚さについては、ヨーロッパでは締固め後の厚さを 5cm としているのに対し、オーストラリアや南アフリカでは厚さを減少させるならわだち掘れ変形も減少する<sup>11)</sup>としている。

要領では、クッション層があまり厚くなったり、不均一になったりすると不陸の原因となるので、その厚さは施工性を考慮して車道舗装で 2cm、歩道舗装で 3cm を標準としている。

敷砂の厚さに関する実験結果<sup>3)</sup>を図 3.13 に示す。この実験は、敷砂の厚さが路面性状に及ぼす影響について確認するために粒状路盤上(粒度調整碎石とクラッシュラン各 20cm 厚)に、砂厚を 20, 40, 60mm としロードシミュレータを用いて 49kN 輪荷重で 5,000 回の繰り返し走行を行ったものである。図より、砂厚が 40, 60mm に対して 20mm のわだち掘れが小さく、走行回数の増加に伴い両者の差が大きくなることがわかる。ここでの値は、供用初期における差であることから、供用が進むとさらにこの差は大きくなることが推測

される。このことから、車道舗装では敷砂厚を薄くすることが望ましく施工性を考慮して20mmとしている。

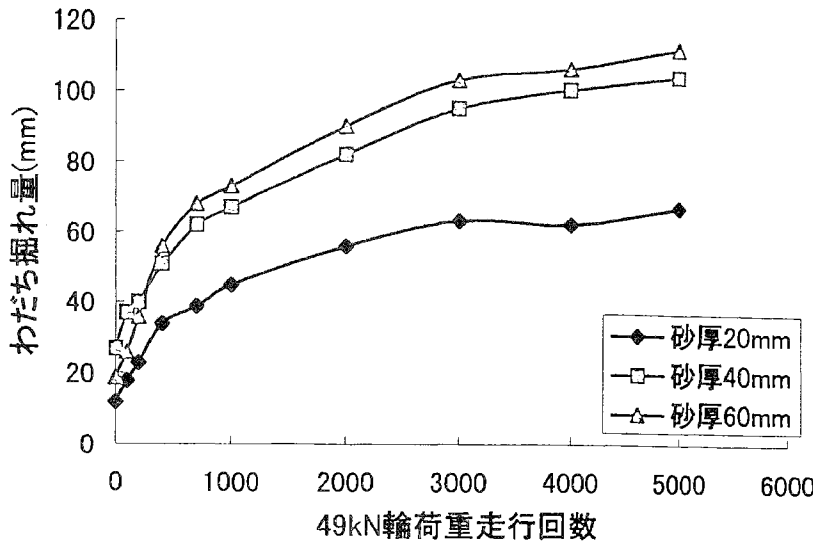


図 3.13 敷砂厚の影響

## (2) 敷砂の品質

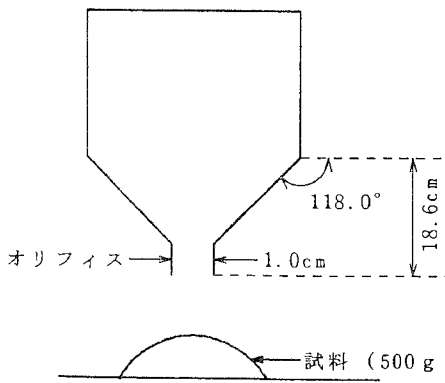
1987年から1995年にかけて土木研究所と協会にて実施した舗装走行実験場における大型車の繰り返し载荷による耐久性評価<sup>10)</sup>から、ILブロック舗装を車道舗装に適用する場合には、敷砂と目地砂の品質が舗装路面の供用性に影響を与えることが確認された。特に敷砂については、破碎され細粒化すると路面にわだち掘れが生じたり、敷砂層の硬化をもたらしくッションとして機能しなくなるなど、車両走行軌跡下のブロックに致命的な破損をもたらす。そこで、車道舗装に使用する敷砂と目地砂の耐久性評価と品質規格の確立を目的に1997年度より、土木研究所と協会にて実車による走行実験を開始した<sup>12)</sup>。

### 1) 敷砂の室内試験

敷砂の品質がILブロック舗装面の供用性に与える影響を確認するために、国内の車道舗装で実績のある天然砂9種類と比較的入手が容易な材料として7号碎石3種類、焼砂2種類の計14種類を選定した。

この14種類の敷砂を対象に表3.5に示した試験により、それぞれの物性を確認した。

表 3.5 敷砂の室内試験

分類	項目	試験方法
砂の物性 試験	最大寸法	JIS A 1102 に準拠
	ふるい分け	"
	比重(表乾, 絶乾)	JIS A 1109 または 1110 に準拠
	吸水率	"
	単位容積質量	JIS A 1104 に準拠
	実積率	"
	洗い試験	JIS A 1103 に準拠
砂の硬さ・ 形状試験	砂の硬さ試験 (FDR 試験 <sup>13)</sup> )	試験機：ダブル試験機 球：φ25mm の耐摩耗陶器球をカサ容積で 2l 試料：絶乾状態の試料を球間間隙の 2 倍のカサ容積。 粒度は基準粒度 (2.5/1.2 : 1.2/0.6 : 0.6/0.3=1 : 1 : 1=重量比) 試験時間：60 分
	突固め試験	CBR 試験用モールド φ15cm に絶乾状態の砂をモールド容積の 1/3 迄入れる。4.5kg ランマを用い高さ 45cm, 突固め回数 67 回で実施する。突固め試験前後で、ふるい分けと洗い試験を実施して比較する。
	DV(ドライビスコシティ)試験 <sup>14)</sup>	砂を 0.3~0.6mm に単粒化し、下図に示す試験機を用いて一定量(500g)の試料が流下する時間(DV 値)により細骨材の粒子形状を評価する。突固め試験や硬さ試験と併用した場合、DV 値の変化が小さい材料の方が細粒化されにくいことを意味する。 

2) 試験結果

敷砂の室内試験の結果を表 3.6 に示す。これより、次のことが確認された。

①粒度

9 種類の天然砂と 2 種類の焼砂は連続粒度であった。14 種類の砂を FM で分類すると、3 以上の材料が 5 種類(A, B, C, J, M), 2 以上 3 未満の材料が 7 種類(E, G, H, I, K, L,

N), 2未満の材料が2種類(D, F)に分けられる.

## ②比重, 吸水率

比重は, 表乾, 絶乾ともに2.5~2.7前後の範囲にある. 吸水率は, 7号碎石, 天然砂, 焼砂とも産地によってばらつきがある.

## ③洗い試験

洗い試験によって求まる75 $\mu$ mふるい通過量は, 車道舗装における協会規格値5%以下を満足するのは, HとNを除いた12種類であった.

## ④突固め試験

突固め試験による試験前後の粒度を75 $\mu$ mふるい通過量に着目してみると, 試験前後の値を協会規格値である5%以下とし, 細粒分の増加量を英国での研究結果<sup>15)</sup>を参考に1.0%以下とすると, 14種類中半分の7種類(B, C, D, E, F, L, M)が満足する. 7号碎石は, 細粒化が懸念されたが硬質砂岩であるため低い値を示した.

## ⑤FDR試験

敷砂の硬さは, FDR試験から式(3.2)を用いてFDR<sub>m</sub>(材料的硬さ評価値)を算出して評価した.

$$\text{FDR}_m = \text{試験後のFD} / \text{試験前のFD} \quad (3.2)$$

ここで, FD: 2.5, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15, および75 $\mu$ mふるい通過重量百分率の和

表3.6より, FDR<sub>m</sub>値は7号碎石が3種類とも高い値(2.97~6.49)を示したのに対し, 天然砂と焼砂の大半は1.10~1.30の範囲にある. 試験法によって7号碎石の評価が分かれた理由として, FDR試験の方が材料に与える衝撃が大きく試験時間の長さも影響しているようである. なお, 突固め試験から求まる細粒分の増加量(細粒化に対する抵抗性)やFDR<sub>m</sub>値と骨材粒の堅硬度の目安となる比重や吸水率との相関は認められなかった.

## ⑥DV値

同じ粒径の砂(0.6~0.3mm)を用いたDV値は, 24~32秒の範囲にあり, 砂によって粒子形状にかなりの差があることがわかった. なお, 粒径の良否を見分ける実積率との相関は認められなかった.

## 3) 敷砂の選定

土木研究所にて走行実験を行う敷砂として, 天然砂, 7号碎石, 焼砂の中からそれぞれ1種類ずつ選定した. 選定理由を以下に示す.

表 3.6 室内試験結果

区分	種類		最大寸法 (mm)	比重		吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	洗い試験 (%)	FDRm	DV 値 (秒)	突固め試験	FM	75 μm ふるい通過量 (%)	細粒化に対する抵抗性 (%)
				表乾	絶乾										
7号 碎石	A	関東-1	10	2.70	2.68	0.786	1.54	57.4	0.15	3.85	—	前	4.96	1.5	1.50
												後	4.71	3.0	
	B	東海-1	5	2.62	2.58	1.40	1.49	57.8	2.0	2.97	—	前	4.86	2.0	--0.40
												後	4.53	1.6	
	C	東海-2	10	2.61	2.57	1.44	1.63	63.4	0.71	6.49	—	前	5.41	0.71	0.59
												後	5.25	1.3	
天然 砂	D	北海道	1.2	2.72	2.68	1.32	1.64	61.4	0.41	1.18	25''63	前	1.86	0.41	0.59
												後	1.78	1.0	
	E	東北	2.5	2.58	2.54	1.69	1.68	65.9	0.84	1.23	26''91	前	2.65	0.84	0.36
												後	2.77	1.2	
	F	関東-1	0.6	2.58	2.53	2.01	1.54	60.7	1.5	1.24	26''69	前	1.51	1.5	0.90
												後	1.50	2.4	
	G	関東-2	2.5	2.63	2.59	1.44	1.73	66.8	4.3	1.26	29''75	前	2.93	4.3	1.30
												後	2.70	5.6	
	H	関東-3	2.5	2.60	2.55	1.84	1.69	66.3	12	—	28''32	前	2.18	12	2.0
												後	2.54	14	
	I	東海	5	2.59	2.55	1.70	1.74	68.2	2.2	1.22	29''87	前	2.84	2.2	1.40
												後	2.70	3.6	
J	中国-1	5	2.54	2.49	2.18	1.60	64.5	1.0	1.64	32''33	前	3.33	1.0	1.30	
											後	3.14	2.3		
K	中国-2	2.5	2.54	2.49	1.84	1.62	64.9	2.2	1.34	26''31	前	2.78	2.2	1.20	
											後	2.72	3.4		
L	九州	2.5	2.59	2.56	1.34	1.66	64.8	0.71	1.29	29''47	前	2.67	0.71	0.29	
											後	2.59	1.0		
焼砂	M	舗装会社 1	5	2.64	2.61	1.26	1.70	65.3	1.8	1.34	28''36	前	3.17	1.8	0.60
												後	2.91	2.4	
	N	舗装会社 2	2.5	2.59	2.53	2.26	1.70	67.4	7.2	1.29	24''75	前	2.40	7.2	0.80
												後	2.11	8.0	

#### ①北海道産天然砂(D)

この砂は、硬さを評価する FDRm 値と突固め試験前後の 75  $\mu$ m ふるい通過量の変動が小さい。さらに粒子形状を評価する DV 値も小さいため、細粒化しにくい材料であると考えられる。

#### ②7号砕石(A)

車道舗装における上層路盤材料には今後瀝青安定処理工法が多くなることが考えられるため、この路盤表面の肌理に良く納まり好結果が期待できる。

#### ③焼砂(M)

天然砂が細目であるのに対して、粗目砂の効果を確認するとともに後述する特殊樹脂処理工法の母材であるため。

#### ④特殊樹脂処理した焼砂

特殊樹脂処理した焼砂とは、適度な粘着力を有する特殊なコーティング材を敷砂に添加し、プラントにて混合した材料である。樹脂の粘着力によって、疎水性や泥濘化の防止、さらに砂の側方移動を押さえる効果を期待する。砂には焼砂を用いた。

#### ⑤目地砂(F)

目地砂には、細目で FDRm 値、DV 値、細粒化に対する抵抗性も比較的大きい材料を選択した。

### 4) 土木研究所における走行実験

敷砂の耐久性を評価する試験舗装は、舗装走行実験場の中ループの一角に延長 44m にわたって実施した。試験舗装の構造は、表 3.7 に示すように上層路盤に耐久性の高い瀝青安定処理工法を用い、ブロックの敷設パターンにはブロックの移動の少ない HBB45 度型とした。

走行実験は、輪荷重を 49kN または 69kN に調整した無線誘導の無人荷重車を繰り返し走行させて、荷重車が所定の走行回数に達するごとに表 3.8 に示す路面性状の測定を実施した。



表 3.7 試験舗装の内容

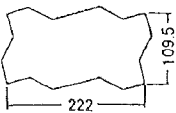

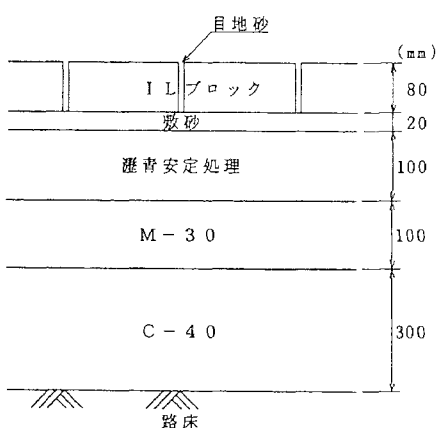
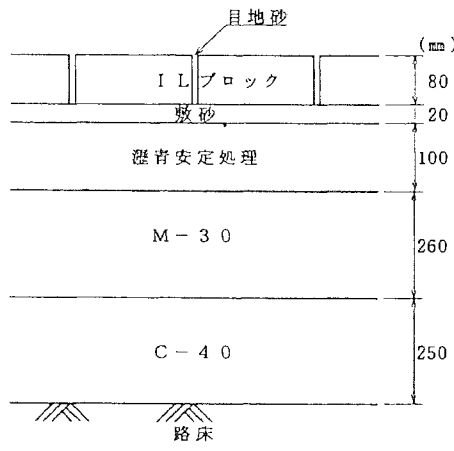
敷砂	焼砂	特殊樹脂処理した 焼砂	天然砂 (北海道産)	7号砕石
目地砂	細目砂(関東産)			
幅員(m)	5.1			
延長(m)	14.0	10.0	10.0	10.0
ILブロックの 形状 (mm)				
敷設パターン	 <p style="text-align: right;">→ : 車両進行方向</p>			
舗装構造				
路盤層の T <sub>A</sub> (cm)	19.0		23.4	

表 3.8 試験方法

項目	方法	調査点数	評価方法
横断凹凸量	横断プロファイルメータ	各工区 2 測線	各測線の内側と外側のわだち掘れ量の平均値を使用.
たわみ量	FWD たわみ試験	各工区外側車輪走行位置にて 2 点	同一地点にてたわみ量測定連続 4 回行い, 2~4 回目の測定値の平均値を使用.
破損	スケッチ	各工区 40m <sup>2</sup>	破損の程度を角欠け, 貫通ひび割れ(軽度), 貫通ひび割れ(重度)に 3 分類し全数調査.
移動量	水系とメジャー	各工区 2 測線	横断方向に水系を張り, 水系に対して垂直にブロック中心までの距離を測定し, 初期値(0 回時)との差を移動量とし, その平均値を使用.
目地砂消失	スケッチ	各工区 40 m <sup>2</sup>	ブロック表面から, 20mm 以上の消失を対象にパターン図に全数スケッチ, 次式により消失率を算出. 目地砂消失率(%) = $\frac{\text{目地砂消失部の全長(m)} \times 100}{\text{目地全長(m)}}$
目地幅	ノギス	各工区横断方向に 2 測線	縦・横断方向にブロック間の目地幅を全数調査し, その平均値を使用.

各敷砂を用いた IL ブロック舗装の路面性状を表 3.9 に示す. 各工区の走行回数は 12 万回, 49kN 換算輪数で 448,257 輪に達している.

表 3.9 各工区の路面性状

工区 (種類)	走行 回数 (万回)	累積 5t 換 算輪数	わだち 掘れ量 (mm)	FWD たわみ量		破損率 (%)	移動量 (mm)	目地 砂消 失率 (%)	横断方向の 目地幅の平 均值 (mm)		縦断方向の 目地幅の平 均值 (mm)		MCI <sub>0</sub>
				D <sub>0</sub> (mm)					通ひび割 れの割合	1	2	OUT	
				瀝青安 定処理 路盤上	IL プロ ック上								
221 (焼砂)	0	0	0	0.79	0.71	0	0	0	—	—	—	—	10
	4	146,290	2.0	—	0.77	0	0	8.55	—	—	—	—	9.51
	8	292,953	2.0	—	0.90	0	2	11.80	3.03	3.09	2.76	2.14	9.51
	12	448,257	0.30	—	0.77	0.4(0)	0.4	8.90	2.84	2.92	2.54	2.81	8.72
222 (特殊樹 脂処理し た焼砂)	0	0	0	0.83	0.69	0	0	0	—	—	—	—	10
	4	146,290	1.40	—	0.72	0	1	5.75	—	—	—	—	9.62
	8	292,953	1.15	—	0.86	0.2(0)	6.5	27.75	2.89	2.92	2.77	1.29	8.74
	12	448,257	3.0	—	0.78	3.4(0.3)	7.85	20.40	3.17	2.73	3.97	2.59	7.17
223 (天然砂)	0	0	0	0.95	0.74	0	0	0	—	—	—	—	10
	4	146,290	1.85	—	0.67	0	0.5	0.15	—	—	—	—	9.54
	8	292,953	0.1	—	0.77	0.1(0)	0	1.65	2.60	2.58	2.09	2.70	9.94
	12	448,257	2.4	—	0.55	0.1(0)	0.30	0.90	2.82	2.69	3.20	2.55	8.69
224 (7号 砕石)	0	0	0	0.95	0.69	0	0	0	—	—	—	—	10
	4	146,290	4.65	—	0.68	0	0	1.50	—	—	—	—	9.12
	8	292,953	4.4	—	0.84	0.1(0)	0	10.05	2.92	2.84	2.18	1.98	8.40
	12	448,257	3.5	—	0.73	0.3(0)	0	10.08	2.94	2.84	2.84	3.28	8.23

① 要因相互の相関分析

ブロックの破損率、わだち掘れ量、たわみ量、移動量および目地砂消失率について要因相互の相関分析を行ったところ、表 3.10 に示す結果となった。分析の精度を示す相関係数は、ブロックの破損率と移動量で 0.75、移動量と目地砂消失率では 0.84 を示したことから、高い相関があると考えられる。また、目地砂消失率とたわみ量にも比較的高い相関があることから、施工直後のたわみ量に比べて供用に伴いたわみ量が大きくなるようなケースでは、ポンピングにより目地砂が消失しやすくなることも考えられる。

目地砂の消失は、小さなブロックが噛み合った連続体として機能しなくなるだけでなく、目地からの浸透水も増加して敷砂や路盤層にも影響を与える。したがって、車道舗装では消失しにくい目地砂を選定するとともに、消失した場合には直ちに補充することが必要である。

表 3.10 相関マトリックス

項目	わだち掘れ量	たわみ量	ブロックの破損率	移動量	目地砂消失率
わだち掘れ量	1.000				
たわみ量	0.056	1.000			
ブロックの破損率	0.229	0.147	1.000		
移動量	0.124	0.421	0.750**	1.000	
目地砂消失率	0.277	0.676**	0.505*	0.842**	1.000

\*\* : 1%で有意      \* : 5%で有意

## ②敷砂の耐久性評価

### a) 焼砂

焼砂は、わだち掘れ量、ブロックの移動量が小さいものの目地砂消失率が高い傾向にある。目地砂の消失は、ブロック舗装の供用性に大きな影響を与えるため焼砂を使用する場合には、後述する目地砂との物性(FM, DV 値)について検討する必要がある。

### b) 特殊樹脂処理した焼砂

特殊樹脂処理した焼砂は、ブロックの移動量、破損率、目地砂消失率が他の3工区に比べて最も大きいだけでなく、わだち掘れ量や縦断方向の目地幅の変動も大きい傾向にある。ブロックの移動が大きい理由として、ILブロック層と樹脂処理した焼砂層との境界面で層間すべりが生じていることが考えられる。また、破損が多いのはブロックの移動と目地砂消失率の大きいことが挙げられる。縦断方向の目地幅の変動が大きいのは、ブロックの移動が大きく影響しているものと考えられる。

### c) 天然砂

天然砂は、ブロックの移動量、破損率、目地砂消失率が小さく、わだち掘れ量も比較的小さい傾向にある。天然砂工区の目地砂消失率が他の3工区に比べて小さい理由として、目地砂と天然砂のFM(天然砂=1.86, 目地砂=1.51)やDV値(天然砂=25.63秒, 目地砂=26.69秒)が近い物性を示していることが挙げられる。したがって、目地砂の消失を防ぐには、敷砂と物性が近い材料を選択することが望ましい。

また、図 3.14 に示すように天然砂に限りたわみ量が走行回数の増加に伴い低下する傾向にあることから、天然砂と目地砂が交通荷重によって安定化し、ブロック間の噛み合わせが強固になっていることを意味している。

これに対して他の3材料は、0回時に比べて12万回時でたわみ量が大きくなっている。このことは、敷砂に発生する応力が大きくなり細粒化を促進させる可能性が考えられる。

なお、図中のたわみ量は4万回時から8万回時で相対的に大きくなり、その後12万回時で減少に転ずる傾向にある。この理由として、表 3.10 よりたわみ量と目地砂消失率にも相関が認められることから表 3.9 に示した目地砂消失率の変動に起因しているものである。ここで、4万回時から8万回時にかけて増加した目地砂消失率が12万回時にかけて7号砕石を除いた3材料で一転減少に転じているのは、この間(1年)に走行実験場周辺から土砂やほこり等が目地部に持ち込まれたためと考えられる。

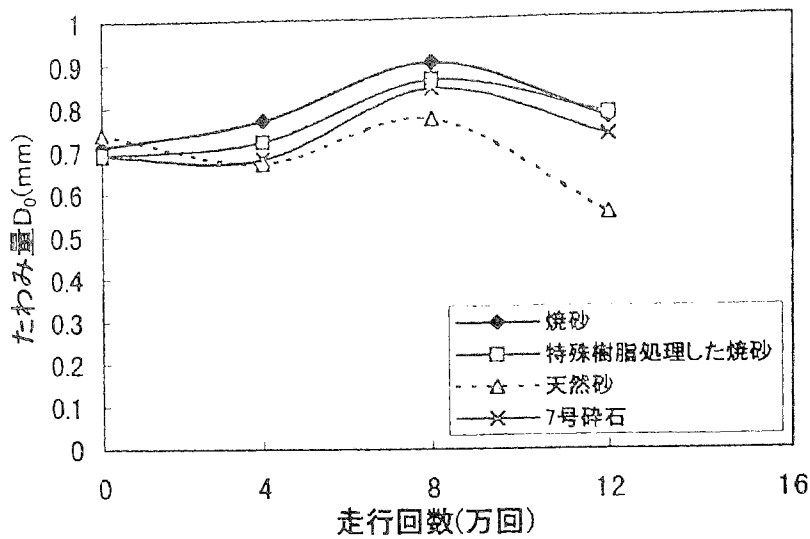


図 3.14 たわみ量の経時変化

d) 7号碎石

7号碎石は、ブロックの移動量が少ないもののわだち掘れ量、目地砂消失率、破損率が比較的大きい傾向にある。目地砂消失率が大きい理由として、目地砂とのFM(7号碎石=4.96, 目地砂=1.51)や粒子形状の違いが挙げられ、目地砂の一部が7号碎石層に流下している可能性がある。また、7号碎石の場合細粒化が生じると、体積変化が大きくなることによる舗装面の变形に与える影響も懸念される。したがって、7号碎石を用いる場合には、これらの点を確認するとともに細粒化に対する抵抗性の高い材料の使用と目地砂の性状について検討が必要となる。

③MCI<sub>0</sub>の算出

建設省(現国土交通省)がアスファルト舗装の評価式として作成した舗装維持管理指数(MCI)の考え方をILブロック舗装に適用して、路面性状の評価を行った。MCI式の適用にあたっては、アスファルト舗装のひび割れ率算出方法を参考にILブロックでは、ブロックに角欠けやひび割れが生じていた場合に、アスファルト舗装のような重みを考慮せずに破損数にカウントした。破損率は、調査対象区域内に敷設されているブロック総数に対する破損数の占める割合から求めた。

MCIの評価式<sup>16)</sup>は、わだち掘れ量とブロックの破損率をひび割れ率に置き換えた式(3.3)を用いた。算出結果を図3.15に示す。

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \quad (3.3)$$

ここで、C:ブロックの破損率(%)

D:わだち掘れ量の平均(mm)

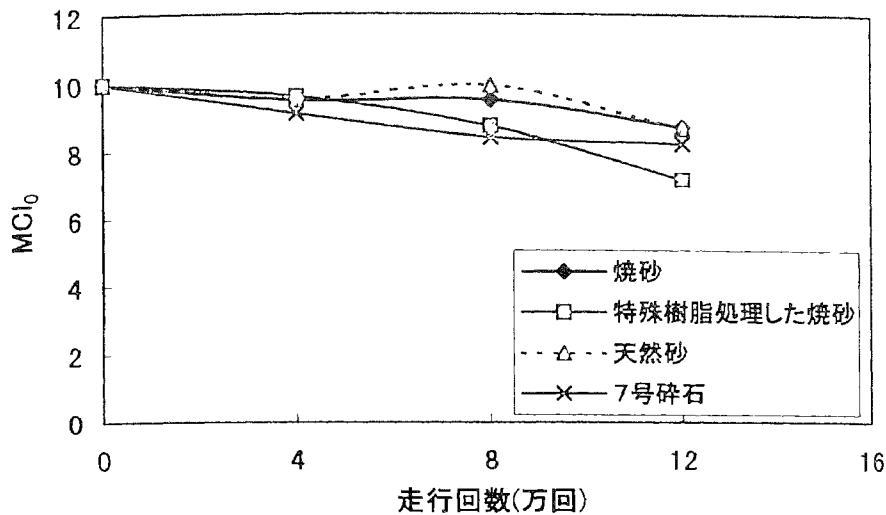


図 3.15 MCI<sub>0</sub> の経時変化

これより、12 万回走行時の MCI<sub>0</sub> は焼砂(8.72)、天然砂(8.69)、7 号砕石(8.23)、特殊樹脂処理した焼砂(7.17)の順で大きな値を示した。特に、特殊樹脂処理した焼砂については 8 万回走行以降 MCI<sub>0</sub> の低下が顕著に認められた。敷砂を何らかの方法により固化させることは、交通量の範囲や用途を限定して使用すべきである。

#### ④開削調査

走行実験終了後に敷砂の状況を確認するために開削調査を実施した。調査は、材料ごとに最大わだち部と非走行部でブロックを抜き取り敷砂の状況を目視観察するとともに、敷砂の固さを把握するためにプロクター貫入抵抗試験を実施した。調査結果を表 3.11 に示す。

走行実験終了後の敷砂の状況は、焼砂、特殊樹脂処理した焼砂、7 号砕石に固結現象が認められたが、天然砂には認められなかった。

また、プロクター貫入抵抗値も敷砂に固結現象が発生しなかった天然砂で 1.4～4.1N/mm<sup>2</sup> と低い値を示したのに対し、固結現象が発生した 3 材料では 8.1～18.7N/mm<sup>2</sup> と高い値を示した。

このように、開削調査からも天然砂が最も良好な状態にあることがわかった。

表 3.11 開削調査結果

工区	位置	敷砂の状況	プロクター貫入抵抗値(N/mm <sup>2</sup> )
焼砂	最大わだち部	固結	18.7
	非走行部	固結	18.7
特殊樹脂処理した焼砂	最大わだち部	固結	17.3
	非走行部	固結	8.9
天然砂	最大わだち部	固結なし	1.4
	非走行部	固結なし	4.1
7号砕石	最大わだち部	固結	8.1
	非走行部	固結	17.8

### 5) 敷砂の品質

土木研究所における走行実験結果から、最も良好な路面性状を示したのは天然砂であった。天然砂を使用したILブロック舗装は、前述したようにブロックの破損率と目地砂消失率が最も少なく、わだち掘れ量と移動量も2番目に小さい結果を示した。

また、この砂だけたわみ量が走行回数の増加に伴い低下する傾向にあることから、天然砂と目地砂が交通荷重によって安定化し、ブロック間の噛み合わせが強固になっていると考えられる。さらに、走行実験終了後に実施した開削調査(表 3.11)からも、焼砂、特殊樹脂処理した焼砂、7号砕石に固結現象が認められたものの、天然砂には認められなかった。

この天然砂の特徴は、洗い試験で失われるものが0.4%と小さく、さらに細粒化に対する抵抗性も0.59%と大きい。これまで述べてきたとおり、敷砂の細粒化によって舗装面に変形が生じたり、固結によってブロックに移動や段差が生じる。これらの点を踏まえ、従来の品質規格に細粒化に対する抵抗性を新たに盛り込むこととした。この規定は、車道舗装における状況から細粒化しても75 $\mu$ mふるい通過量が5%を超えない硬さが要求されることを考慮して、突固め試験前後の75 $\mu$ mふるい通過量を5%以下とした。さらに、その変動については走行実験における天然砂のデータを基に、英国の基準<sup>15)</sup>(用途に応じて0.2~0.3%)を参考に1.0%以下とした。なお、突固め試験は表 3.5 に示した方法により行うものとした。また、砂のFMについては7号砕石の適用も考慮して1.5~5.5とした。

実験結果を踏まえ決定した車道舗装の敷砂の品質規格と試験法を表 3.12 に示す。

表 3.12 敷砂の品質規格と試験法

項目	品質規格	試験法
最大粒径	4.75mm 以下	JIS A 1102
FM	1.5~5.5	JIS A 1102
洗い試験	75 $\mu$ m ふるい通過量 5%以下	JIS A 1103
細粒化に対する抵抗性	突固め試験で、試験前後の 75 $\mu$ m ふるい通過量の変動が 1.0%以下	突固め試験 CBR 試験用モールド $\phi$ 15cm に絶乾状態の砂をモールド容積の 1/3 迄入れる。4.5kg ランマを用い高さ 45cm、突固め回数 67 回で実施する。突固め試験前後で、洗い試験を実施して比較する。

敷砂の品質や工法の違いが IL ブロック舗装面の供用性に与える影響について確認できたことから、残された課題として敷砂の品質の違いが IL ブロック舗装の荷重分散性能に与える影響について明確にしておくことが必要である。

### (3) 目地砂の品質

土木研究所における走行実験結果から、目地砂の品質については従来通り最大粒径で 2.36mm 以下、75  $\mu$ m ふるい通過量で 10%以下とした。ただし、目地砂の消失を防ぐには、75  $\mu$ m ふるい通過量は極力低くするとともに、敷砂と物性(FM, DV 値)の近い材料を使用することが望ましい。これは、焼砂のように細粒化に対する抵抗性を満足していたとしても、DV 値や FM 等の物性が目地砂と大きく異なると目地砂の消失が大きくなり、舗装面に発生するたわみ量も安定しないため敷砂の細粒化を促進させる可能性が考えられるためである。

ここで規定した品質を満足する敷砂と目地砂を用いることにより、車道舗装で発生している種々の破損を防止でき、長期にわたり良好な路面性状を維持できるものと考えられる。

しかしながら、目地砂の消失や施工時の充填不足は IL ブロックが噛み合った連続体として機能しなくなるだけでなく、目地からの浸透水も増加して敷砂や路盤層に与える影響も懸念される。

IL ブロック舗装が長期にわたり良好な路面性状を維持していくためには、目地砂の機能をはじめ目地材料やその充填率の影響についても明確にし、路面の締固め方法を確立することが必要である。



### 3.2.4 路盤材料

#### (1) 上層路盤

ILブロック舗装の構造設計は、アスファルト舗装の設計方法に準拠して行われている。しかしながら、ILブロック舗装は多数の目地を有し、目地部から雨水が浸透する舗装形式であることから路盤層、特に上層路盤には耐水性に優れ、剛性の高い材料が要求される。

土木研究所と協会で実施した大型車の繰り返し载荷による耐久性評価実験のうち、1987年に行った実験では、図 3.16 に示す粒状路盤を用いたところ、49kN 換算輪数の総数 15 万輪の走行で舗装面に路盤層の変形に起因するわだち掘れが 36~41mm 発生し、供用限界に達した。この結果、上層路盤には高い支持力を有する路盤が必要であることが確認された<sup>17)</sup>。

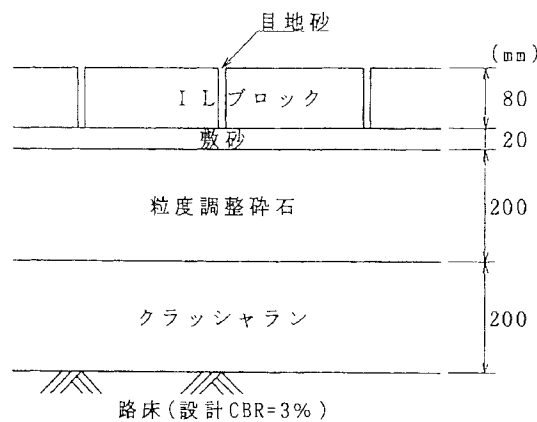
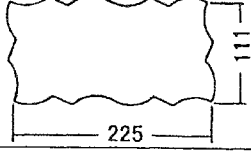
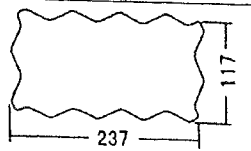
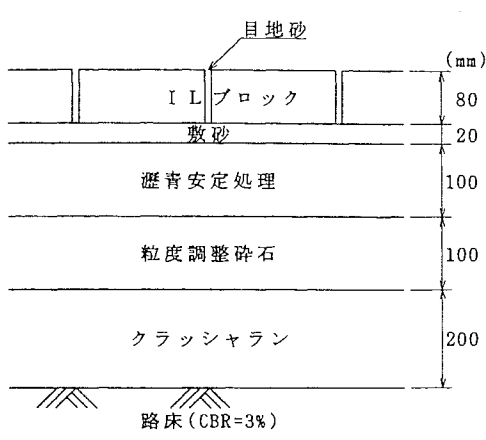
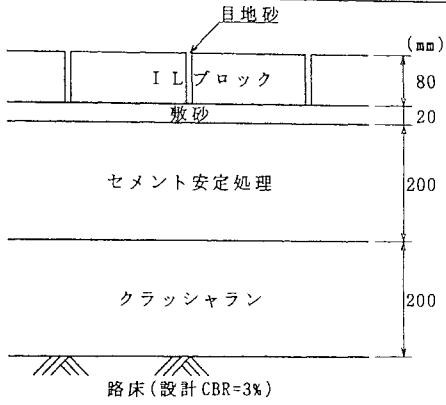


図 3.16 ILブロック舗装の構造

そこで、1988年以降の実験では、セメント安定処理工法と瀝青安定処理工法を上層路盤とした場合の耐久性を評価することとした。断面は、表 3.13 に示すように路盤層の  $T_A$  が等値となるように厚さを設定し、路盤材の比較ができるようにした。

走行実験では、荷重車が所定の走行回数に達した時に路面性状の測定を行った。

表 3.13 試験舗装の内容

工区	307	308	309
施工時期(年)	1988	1990	1990
幅員(m)	7.0		
延長(m)	24.5	12.25	12.25
ILブロックの形状(mm)			
目地キープ	無し	有り	
敷設パターン	HBB45 度型	HBB45 度型	STB
舗装構造			
路盤層の T <sub>A</sub> (cm)	16.5	16.0	

各工区の路面性状を表 3.14 に示す。これらの工区上の走行回数は、307 工区で 54 万回 (49kN 換算輪数で 801,976 輪)、308, 309 工区で 38 万回 (49kN 換算輪数で 513,282 輪) に達している。

表より、瀝青安定処理路盤を用いた 307 工区の方がセメント安定処理路盤を用いた 308, 309 工区に比べてわだち掘れ量、たわみ量およびブロックの破損率が少ない結果となった。ブロックの破損率、わだち掘れ量、移動量およびたわみ量との相関について詳細データを用いて相関分析を行ったところ、表 3.15 に示す結果となった。また、分析の精度を示す重相関係数では  $R=0.80$  を示したことから、ブロックの破損率とわだち掘れ量には高い相関があると考えられる。

さらに、走行実験終了後に実施した IL ブロック層と路盤層の破損状況調査では、セメント安定処理路盤にわだち掘れによるひび割れが確認された。

表 3.14 各工区の路面性状

工区	走行回数 (万回)	49kN 換算 輪数	わだち掘 れ量(mm)	たわみ量 (mm)	破損率 (%)	移動量 (mm)	MCI <sub>0</sub>
307	0	0	3.3	0.90	0	0	9.31
	8	125,191	10.4	0.98	0.6	1.90	7.16
	16	288,694	9.1	0.89	1.8	-0.70	6.79
	23	478,641	7.7	0.84	4.0	0	6.46
	30	552,136	8.7	1.11	5.3	0.30	6.15
	38	635,416	10.0	0.89	7.7	-4.53	5.71
	46	718,696	11.1	1.02	8.6	-0.37	5.50
	54	801,976	14.5	0.89	13.6	-1.53	4.75
308	0	0	1.3	—	0	4.0	10.0
	7	189,947	0.5	1.24	1.8	6.5	8.01
	14	263,442	4.8	1.42	5.4	-1.0	6.60
	22	346,722	7.7	1.18	11.9	4.6	5.57
	30	430,002	15.5	1.41	14.8	-1.6	4.57
	38	513,282	19.7	1.18	26.6	0.1	3.54
309	0	0	2.5	—	0	3.0	9.43
	7	189,947	4.8	1.07	1.4	8.0	7.43
	14	263,442	5.9	1.26	3.9	0.5	6.69
	22	346,722	6.9	1.05	7.0	9.8	6.13
	30	430,002	11.5	1.06	10.6	1.6	5.28
	38	513,282	18.8	1.04	17.5	1.1	4.10

表 3.15 相関マトリックス

項目	ブロックの破損率	わだち掘れ量	移動量	たわみ量
ブロックの破損率	1.000	0.800**	-0.241	0.069
わだち掘れ量	—	1.000	-0.263	0.039
移動量	—	—	1.000	0.414
たわみ量	—	—	—	1.000

\*\* : 1%で有意

以上のことから、大型車が通行する道路に IL ブロック舗装を適用する場合には、セメント安定処理路盤よりも耐久性を有し、わだち掘れによるブロックの破損が少ない瀝青安定処理路盤とすることが適当であることがわかった。

この結果を踏まえ、協会の要領では設計交通量の区分 I (大型車交通量 10 台未満/日・方向) と区分 II (大型車交通量 10 以上 100 台未満/日・方向) に限り、上層路盤に粒度調整砕石

を使用できるとし、区分Ⅲ(大型車交通量 100 以上 250 台未満/日・方向)の設計 CBR6 以上と区分Ⅳ(大型車交通量 250 以上 1,000 台未満/日・方向)の設計 CBR8 以上、さらに区分Ⅴ(大型車交通量 1,000 以上 2,000 台未満/日・方向)については、設計 CBR にかかわらず瀝青安定処理工法の使用を原則とした。

上層路盤に使用する材料の品質と厚さについては、舗装設計施工指針に準拠する。

路盤材料の差異が IL ブロック舗装の耐久性に影響を与えることが確認されたことから、残された課題として路盤材料が IL ブロック舗装の荷重分散性能に与える影響についても明らかにすることが必要である。

## (2) 下層路盤

下層路盤については、土木研究所における走行実験から舗装面に下層路盤層の変形によるわだち掘れが生じなかったことから、舗装設計施工指針に示された材料から選定し、材料に応じて定められている 1 層の最少厚さの規定に従い施工するとした。

## 3. 3 まとめ

IL ブロック舗装の構造的挙動に影響する要因として、ブロック、目地、目地砂、敷砂、路盤の 5 つを取り挙げ各要因が路面性状に及ぼす影響について述べた。さらに要因の中には基本的なことが確認されていないにもかかわらず運用されているものについてはその重要性を考察した。以下にその結果をまとめる。

- (1) 国内におけるロードシミュレータを用いた走行実験から、ブロック寸法が大きくなるとわだち掘れが大きくなる。しかしながら、この実験が行われた当時(1988 年)に比べると現在では、ブロック寸法がさらに大きくなりしかも側面に波形のないストレートタイプが主流となっている。したがって、ブロック寸法と噛み合わせ効果の関係を明確にして、車道舗装に適用できるブロック寸法を規定するとともに、波形タイプとストレートタイプの噛み合わせ効果の違いについても客観的指標で示すことが必要である。
- (2) ロードシミュレータを用いた走行実験から、ブロックの厚さはわだち掘れやわだち掘れに伴うブロックの破損を低減するために、我国では車道部に 8cm 厚を用いることを標準としていることを示した。
- (3) ブロックの品質は、日本に導入当時旧西ドイツの DIN 規格に準拠して全面載荷圧縮強度で一律に規定(3 個の平均値で  $60\text{N/mm}^2$  以上、個々の値で  $51\text{N/mm}^2$  以上)していた。その後見直しが行われ現在では、曲げ強度試験( $5.0\text{N/mm}^2$  以上)により評価を行っていることを述べた。なお、通常大型車両の走行により IL ブロックに圧縮力が作用するもののブロックの耐荷力は、100t 以上有しているため構造的挙動に影響を及ぼすことはない。
- (4) 車道舗装に使用する IL ブロックの敷設パターンは、土木研究所における走行実験結果からブロックの移動が少ない HBB パターンが適当であることを明確にした。
- (5) 車道舗装における現場調査結果から、IL ブロックの破損には目地幅と舗装面のたわ

- みが大きく影響していることを明確にした。この結果を基に供用後に発生するブロックの破損率を1%以下に抑えるには目地幅で3mmを確保することが必要である。
- (6) 目地幅を確保する対策として、ブロック側面に目地キープを付けることはたわみによるブロックの競り合いを防止するために有効であることを明確にした。
  - (7) ロードシミュレータを用いた走行実験から、敷砂の厚さは施工性が許す限り薄くすることが望ましく、我国では歩道部3cm、車道部2cmを標準としていることを示した。
  - (8) 土木研究所における走行実験から、舗装路面の供用性を良好に保つために重要な要因であった敷砂と目地砂の品質規格を確立した。ここで規定した品質を満足する敷砂と目地砂を使用することによって、車道舗装で発生している種々の破損を防止でき、長期にわたり良好な路面性状を維持できるものと考えられる。この品質規格については、協会の要領に盛り込まれている。したがって、今後は敷砂や目地砂の品質に起因するILブロック舗装の特徴的な破損が減少するものと考えられる。
  - (9) 車道舗装で敷砂を何らかの方法で固化することは、ブロックと固化した敷砂層との境界面で層間すべりが生じてブロックの移動や目地砂の消失率が増加してブロックの破損も増加することを明確にした。
  - (10) ILブロックの破損率と移動量、移動量と目地砂の消失率には高い相関が認められたことから、目地砂の消失は、ILブロック舗装の破損を引き起こすことを確認した。ただし、目地砂の機能をはじめ目地材料の違いやその充填率がブロックの噛み合わせ効果に与える影響等について、未だ確認されていないためこれらの点を明確にしたうえで、路面の締固め方法について確立することが必要である。
  - (11) 車道舗装でわだち掘れやブロックの破損を防ぐには、粒状路盤よりも安定処理工法の使用が有効であることを土木研究所における走行実験から明確にした。これは、安定処理工法の方が粒状路盤に比べて目地からの浸透水の影響を受けにくく、剛性も高いことによるものである。したがって、路盤剛性の差異がILブロック舗装の荷重分散性能に与える影響について明らかにすることも必要である。

### 第3章参考文献

- 1) DIN 18501 ‘Pflastersteine, Beton’ 1982.
- 2) (社)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領，2000.
- 3) Y. Miura., M. Takaura., and T. Tsuda, : Structural Design of Concrete Block Pavement by CBR Method and its Evaluation, Second International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 152 - 157, 1984.
- 4) 遠山隆子：データベースを用いたブロック舗装の路面デザイン，雑誌「舗装」，pp. 29 - 32, 2001. 6.
- 5) L. J. M. Houben : Specifications and Standards for Concrete Paving Blocks A World - Wide Survey Based on an Inquiry by the Programme Committee CBP,

Second International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 2 - 13, 1984.

- 6) 三浦裕二, 津田外喜弘, 古村満, 神永晃: インターロッキングブロック舗装について, 第13回日本道路会議一般論文集, pp. 367 - 368, 1979.
- 7) 村井貞規, 高橋彦人, 鈴木登夫: コンクリートブロック舗装の応力伝達機構, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, pp. 94 - 95, 1990.
- 8) B. Shackel: Loading and Accelerated Tests on Three Prototype Heavy - Duty Industrial Block Pavements, National Institute for Transport and Road Reserch, CSIR, Pretoria, Technical Report 12, 1980.
- 9) 畑実, 柳沼宏始: インターロッキングブロックの車道舗装への適用, 雑誌「舗装」, pp. 19 - 24, 1992. 9.
- 10) 柳沼宏始, 飯島尚, 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耐久性評価, 雑誌「舗装」, pp. 4 - 10, 1988. 6.
- 11) B. Shackel 著, 三浦裕二監訳, 卷内勝彦, 林重徳訳: インターロッキングブロック舗装の設計と施工, 鹿島出版会, 1992.
- 12) 柳沼宏始, 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 v, pp. 267 - 276, 2001. 2.
- 13) 井上武美, 木村鉄, 名古屋次雄: 細骨材の硬さが加熱混合物に及ぼす影響について, 雑誌「道路建設」, pp. 46 - 51, 1977. 11.
- 14) 小林正利, 帆苅浩三, 久保和幸: アスファルト混合物特性における細骨材の効果, 第1回舗装工学講演会論文集, pp. 241 - 248, 1996. 12.
- 15) (社)インターロッキングブロック舗装技術協会: コンクリートブロック舗装第3回国際ワークショップ報告書, pp. 69 - 70, 1998.
- 16) (社)日本道路協会: 舗装試験法便覧, 1987. 11.
- 17) 安崎裕, 柳田力, 柳沼宏始: インターロッキングブロックによる車道舗装の耐久性評価, 第19回日本道路会議一般論文集, pp. 704 - 705, 1993.

## 第4章 小型 FWD によるたわみ測定

### 4.1 概説

小型 FWD とは、人力またはキャリアで持ち運びができる程度の大きさで重錘を人力または簡易な装置で持ち上げ、衝撃荷重を発生させこの時に発生する衝撃荷重と載荷点直下のたわみ量を測定する装置である。一般的な小型 FWD の概念を図 4.1 に示す<sup>1)</sup>。

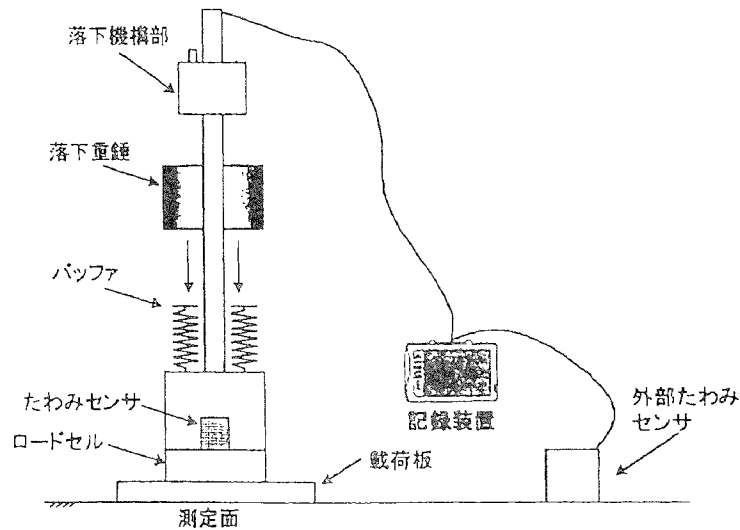


図 4.1 小型 FWD の概念

小型 FWD の荷重発生機構、載荷荷重、たわみ測定センサおよび載荷板の概要を以下に示す<sup>2)</sup>。

- (1) 重錘の落下高さは約 1m 以下の範囲内で任意に設定して、重錘の質量や落下高さを調整することで 10kN 以上の載荷荷重を発生させる構造とする。
- (2) 載荷荷重測定センサは重錘の衝撃時の載荷荷重を測定でき、載荷中心でのたわみ測定可能な構造とする。また、できる限り地表面に近い位置に設置し、慣性力の作用を少なくするとともに地表面からの反射による衝撃に耐えられる構造とする。
- (3) たわみ測定センサは、載荷中心でのたわみを測定する第 1 センサとこれ以外の地点での表面たわみを測定できる構造とする。
- (4) 載荷板は地表面にほぼ一様に荷重を分散できる構造とする。載荷板の直径は 10cm 程度を基本とする。

次に小型 FWD 装置の原理について説明する。

重錘を任意の高さから地盤に自由落下させた時に生じる衝撃荷重の最大値は式(4.1)で表すことができる。

$$F_{\max} = (2MgHR)^{1/2} \quad (4.1)$$

ここで、 $F_{\max}$  : 衝撃荷重の最大値(N)

$M$  : 重錘の質量(kg)

$H$  : 落下高さ(m)

$R$  : バネ定数(N/m)

$g$  : 重力加速度( $m/s^2$ )

この式から、装置によって落下質量が定められているため衝撃荷重の大きさはバネ定数の影響を受けることがわかる。小型 FWD 装置による試験時における主なバネ定数は、衝撃用バッファ、地盤のバネ定数であり、特に衝撃用バッファの硬さに衝撃荷重の大きさと与えたエネルギーは左右されることになる。

本章では、日本を含め世界的に普及している小型 FWD 装置の種類とその特長について述べる。次にこれらの中から、本研究に用いた装置を選定した理由と IL ブロック舗装上にてデータ収集を行うにあたり、たわみの測定方法と計算方法および車両搭載型の 49kN 級 FWD との相関について述べる。

#### 4. 2 小型 FWD の種類

現在、日本を含め世界的に普及している小型 FWD 装置は、HFWD(図 4.2)、動的平板載荷試験器(図 4.3)、PRIMA100(図 4.4)、FWDLight の 4 種類である。このいずれもが、たわみ測定の方法は速度計または加速度計を用いて、これを積分したたわみを求める方式である。荷重はロードセルで測定している。各 FWD の諸元を表 4.1 に示す。

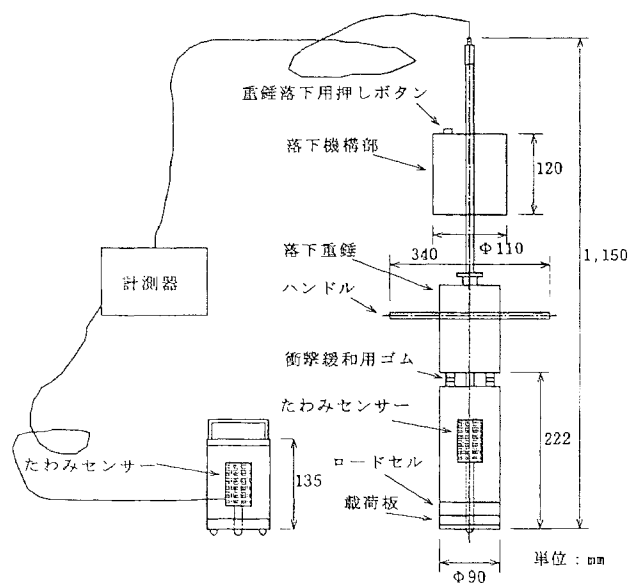


図 4.2 HFWD の外観



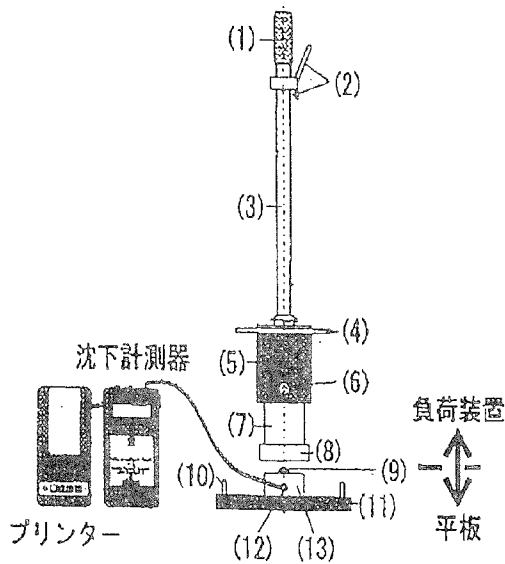


図 4.3 動的平板載荷試験器の外観

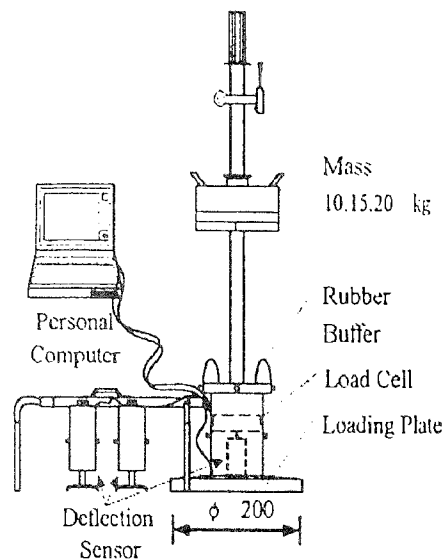


図 4.4 PRIMA 100 の外観

表 4.1 日本で使用されている小型 FWD 装置の仕様

名称	HFWD	動的平板載荷 試験器	PRIMA 100	FWDLight
メーカー	(株)フリージア マクロス	Itec イノベーションズ	Carl Bro PC	(株)東京測器 研究所
衝撃用ゴム バッファ	3 個 (Op. 4, 5)	1 個 (皿バネ)	3 個 (Op. 2, 4 個)	3 個 (Op. 2, 4 個)
落下重錘(kg)	8 (Op. 3, 10, 15)	10	10 (Op. 15, 20)	5 (Op. 10, 15)
載荷荷重(kN)	~20	~10	~20	~20
載荷板直径(mm)	90 (Op. 200, 300)	300 (Op. 150)	100 (Op. 200, 300)	100 (Op. 200, 300)
たわみセンサ	速度計	加速度計	速度計	加速度計
測定項目	荷重, 変位(速度を積分)	荷重, 加速度, 速度, 変位 (加速度を積分)	荷重, 載荷時間 変位(速度を積分)	荷重, 加速度, O-P 時間, 時間積, 変位 (加速度を積分)
センサ位置(mm)	0, 任意(1 か所)	0	0, 任意(2 か所)	0, 任意(2 か所)
最大変位量(mm)	2	0.5, 5 (レンジ切替え)	2.5	5
制御・記録装置	データログ (Op. パソコン)	データログ	パーソナル コンピュータ	メモリーカード (Op. パソコン)
データ保存方式	ログ内部メモリ	印字・ファイル	ファイル	ファイル

#### 4. 2. 1 HFWD

HFWD は、落錘部と計測部から構成され測定原理は 3~15kg の重錘を自由落下させる方式である。この時、3.0~20.0kN の衝撃荷重が発生して載荷点直下と載荷点から任意の位

置のたわみを同時に測定することができる。HFWDの特長を以下に示す。

- (1) 総重量が 22kg と軽量で運搬が容易である。
- (2) 測定時間が 1 点約 1 秒と短く、短時間で多数のデータ収集が可能である。
- (3) 載荷板直径が 90mm であることから、現場で IL ブロック 1 個(98×198mm)抜き取るだけで、路盤上のたわみ測定が可能である。
- (4) 比較的狭小箇所でも測定が可能である。
- (5) 現場で路床および路盤材の締固め度の調査が可能である。
- (6) センサの増設が容易でたわみ形状も得ることができる。

HFWD は、1993 年に国内で開発されアスファルト舗装の支持力評価<sup>3)</sup>をはじめ、コンクリート舗装版荷重伝達の程度、版下部の支持力状態の把握や路床、路盤の剛性評価<sup>4)</sup>、鉄道の土路盤の強度管理<sup>5)</sup>、および木まくらぎの検査<sup>6)</sup>等幅広く利用されている。

#### 4. 2. 2 動的平板載荷試験器

動的平板載荷試験器は、30cm の平板に一定高さから一定質量の重錘を皿バネを介して落下させ地盤に載荷を行う試験で、ドイツ工業規格 DIN18134 に規格化されている。試験では、載荷板上に質量 10kg の重錘を自由落下させて載荷板の最大沈下量を計測することにより、載荷面上の動的変形係数( $E_{vd}$ )を求めることができる。載荷時間は、数 10cmsec であり、沈下量は加速度を積分することによって求まる。従来の静的な平板載荷試験と比較した特長を以下に示す。

- (1) 重機等の反力が不要
- (2) 試験時間が短い(1 測点セット時間を含め 3 分程度)
- (3) 狭陰な場所での試験が可能
- (4) 内部加速度計により変位量と測定量を計測するため固定脚が不要
- (5) 試験結果を現場でプリントアウトできるため、迅速な結果出力が可能
- (6) 多地点での測定が可能であり、統計的な品質管理が可能
- (7) 面的な路床や路盤の品質のばらつきも収集可能であり、路床の評価において順次深さを深くした掘削を行いながら、深さ方向に路床の評価も可能

ドイツでは主に、道路、鉄道の路盤、路床の締固め管理に使用されており、締固めの規定が明確に示されている。また、IL ブロック舗装でも交通量に応じた路床、路盤の品質規定に動的平板載荷試験器により測定した動的変形係数( $E_{vd}$ )から面上弾性係数( $E_{v2}$ )に換算して、その値を規定<sup>7)</sup>している。

#### 4. 2. 3 PRIMA100

PRIMA100 は、デンマークで開発され表 4.1 に示したように HFWD とたわみ測定の原理や装置の仕様が似かよっている。HFWD と比べると、任意のセンサが 2 個迄増設できると、収集したデータをパソコンに取り込めるため専用のソフトを用いることで波形や弾性係数が計算されて表示できる特長がある。

#### 4. 2. 4 FWDLight

FWDLightも表4.1に示したようにHFWDとたわみ測定の原理，装置の仕様および機械の外観が似かよっている．HFWDと比べると，任意のセンサが2個迄増設でき，収集したデータはメモリーカードに記録してパソコンに取り込めるため，専用のソフトを用いることで地盤反力係数，地盤弾性係数，O-P時間(波形の立ち上がりからピーク迄の時間)，時間積(O-P時間内の面積)を表示できる特長がある．

#### 4. 3 本研究におけるたわみ測定

##### 4. 3. 1 本研究に用いた小型 FWD

前述したように，我国を含め世界的に普及している小型 FWD 装置には HFWD，動的平板載荷試験器，PRIMA100，FWDLight の 4 種類がある．この中から本研究には HFWD を用いた．その理由を以下に示す．

- (1) 第2章で述べたように，ILブロック舗装のように荷重直下付近に多数の目地を有し，荷重から浅い位置にたわみ特性に影響を及ぼしやすい敷砂やジオテキスタイルが使用される構造の舗装には，そのたわみ特性を評価しやすい．
- (2) 外部センサを増設することによって，載荷板直下のたわみ以外に任意の位置でのたわみも測定できる(動的平板載荷試験器では荷重直下に限定される)．
- (3) 直径 90mm の載荷板を用いることによって，車道舗装で最も普及している 98×198mm サイズの長方形ストレートタイプの目地部における荷重伝達率の測定が可能となる．
- (4) 98×198mm サイズのブロックでは，ブロック 1 個抜き取るだけで路盤上でのたわみ測定が可能となる．
- (5) 後述する笠原らが行った研究結果より，49kN 級 FWD( $\phi = 30\text{cm}$ )と 4.9kN 級 HFWD( $\phi = 9\text{cm}$ )とのたわみには高い相関のあることが確認されている．
- (6) 我国では，アスファルト舗装の支持力評価をはじめコンクリート舗装版の荷重伝達率，鉄道の土路盤の強度管理等幅広く利用されている．

##### 4. 3. 2 HFWD の適用範囲

HFWD の荷重は 5.0kN(最大 8.0kN)程度であるものの，その接地圧は 0.77MPa となり 49kN 輪荷重の接地圧(=0.54MPa)よりも大きい．米国で開発され日本にも数台導入されたたわみ測定装置ダイナフレクト(図 4.5)は，2つの載荷輪を通して自重 7.11kN を中心とした $\pm 2.21\text{kN}$ の正弦波荷重であったことから，HFWD は舗装のたわみ測定に十分適用可能である．

阿部らは<sup>8)</sup>，HFWD の地盤内応力の影響範囲を土槽内に構築した砂地盤を用いて検討を行っている．この結果より，HFWD の荷重の影響範囲は，直径の約 5 倍程度と判断している．この結果を引用すると，直径 9cm では 45cm となり，IL ブロック舗装にあてはめると歩道は 20~30cm 程度の舗装厚，車道でも協会の要領で設計交通量の区分 II (大型車交通量

100以上 250台未満/日・方向), 設計 CBR=3%の条件で舗装厚 40cm となることから, 軽交通の舗装迄には十分適用できる. 舗装厚が 45cm 以上であっても, 上層路盤迄の構造や破損等の差異による IL ブロック舗装体の荷重分散性能を評価する分には適用可能と考えられる.

また, 小型 FWD をアスファルト舗装の構成別に簡易舗装から重交通舗装迄適用した研究<sup>9)</sup>から, HFWD で簡易舗装から重交通舗装の表基層の弾性係数が推定可能であるものの, アスファルト混合物の厚い(150mm 以上)舗装においては, HFWD を用いて路盤・路床の弾性係数を推定することは困難であるとしている. IL ブロック舗装の場合, 表基層に相当する部分の厚さは 90~120mm(歩道: IL ブロック 60mm+敷砂 30mm, 車道: IL ブロック 80~100mm+敷砂 20mm)程度であり, ブロック形状, 目地砂および敷砂の違いといった浅い位置での IL ブロック間の荷重伝達率を扱っている範囲内では問題ないと考えられる. ただし, 破損原因を究明するために, 路床, 路盤の支持力評価を行う場合は, 荷重の影響範囲やセンサ数が 2 点であることを考慮すると IL ブロック上でのたわみ測定だけでは不十分であり, 開削し掘り下げて路盤上や路床上でたわみ測定を行うことが前提となる.

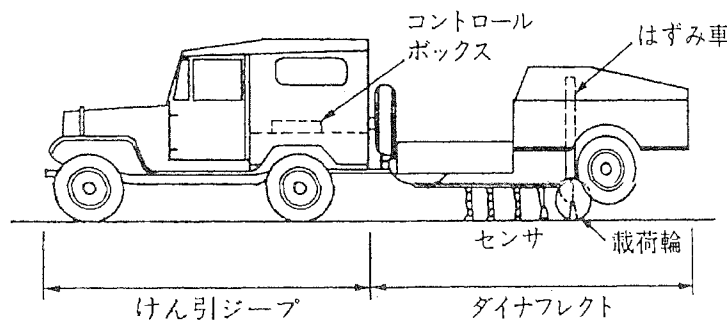


図 4.5 ダイナフレクトの外観

#### 4. 3. 3 HFWD によるたわみ測定と計算方法

HFWD でたわみ測定を行う場合の基準荷重は 4.9kN を標準とする. この時の落下高さは, 測定目的に応じて調整する.

1 測点での重錘の落下回数は 3 回以上とする. 1 回目の落下による測定値は, 載荷板やたわみセンサと路面の接触が不安定なために測定値のばらつきが大きく, 1 回目の落下は予備落下とみなしてそのデータは棄却する. 2 回目以降の落下による載荷およびたわみ量を測定値として採用する. この時, 2 回目と 3 回目のばらつきが大きい場合には, 連続して 2 組以上のばらつきの少ないデータが得られるまで測定を繰り返す.

なお, 落下回数を 3 回とした理由は「4. 3. 4 測定回数 2 回と 3 回の相関」で述べる. データの計算方法は以下のとおりである.

- (1) 得られた 2 組以上の測定荷重と測定たわみをそれぞれ平均する.
- (2) 測定点ごとの荷重の変動がたわみに及ぼす影響を少なくするために, 載荷によるたわみの補正を式(4.2)を用いて行う.

$$\text{補正後のたわみ} = \text{測定たわみ} \times \frac{\text{基準荷重(4.9kN)}}{\text{測定荷重}} \quad (4.2)$$

(3) ILブロック舗装上で測定した場合、データを含めて以下の項目を確認する。

- 1) 測定年月日
- 2) 天候(前日の天候も含む)
- 3) 気温(冬季の場合)
- 4) 路線名, 測定位置
- 5) 測定箇所
- 6) 舗装構成(材料, 厚さ, 路床の CBR)
- 7) ILブロックの形状, 敷設パターン, 目地材料(砂, 特殊材料等)
- 8) 各測定点の路面状況
- 9) ILブロックを撤去して路盤上で測定した場合の敷砂の厚さとその状況(細粒化の有無等)
- 10) その他特記事項(横断構造物の有無, 切盛り境)

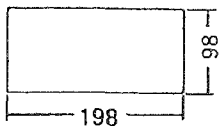
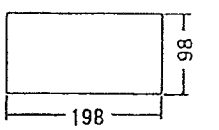
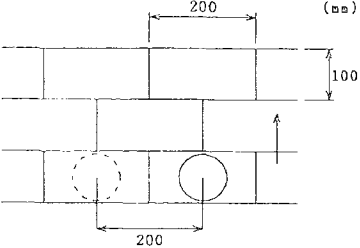
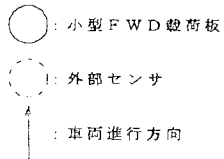
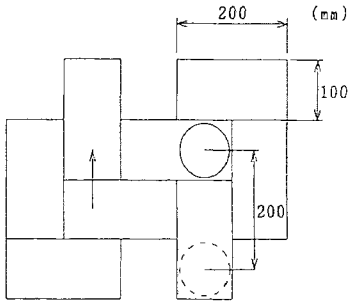
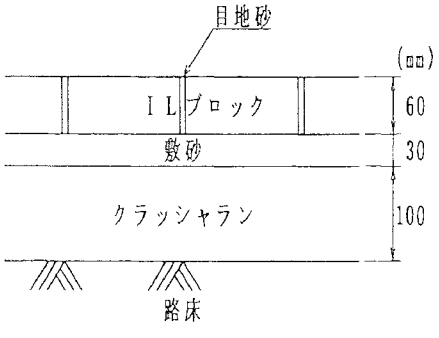
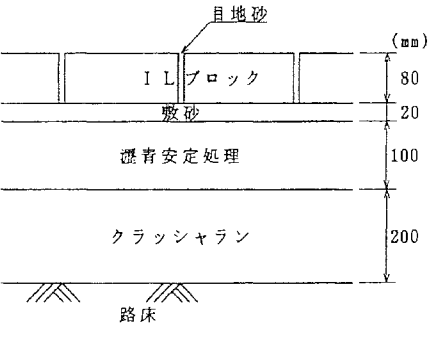
#### 4. 3. 4 測定回数 2 回と 3 回の相関

HFWD によるたわみ測定では, 試験器本体と外部たわみセンサを用いることにより隣接する ILブロック上で 2 点のたわみ測定が可能となる。ここで, 統計的に意味のある平均値を保持するには測定回数の設定が必要となる。そこで, 2 点のたわみ量( $D_0$ ,  $D_{20}$ )における落下回数 2 回(1 回目の値を除外して 2 回目と 3 回目)の平均値と 3 回(1 回目を除外して 2 ~4 回目)の平均値との相関を確認するために実道にて試験を実施した。試験は, 標準的な舗装構造を有する歩道部と車道部で施工後間もない時期に実施した。

試験を行った現場の内容を表 4.2 に示す。

なお, HFWD の変動係数は施工後間もない段階で 10% 前後, ある程度供用し破損が一部認められる段階で 20% 台にある。これらの値を 49kN 級 FWD と比較するとその測定たわみの変動係数は, 「FWD および小型 FWD 運用の手引き」によると, 新設や試験舗装で約 10%, 既設舗装で約 20%, ひびわれの入った舗装においては 30% 程度であると記されていることから, HFWD と 49kN 級 FWD の変動係数にはあまり差異が無いと考えられる。

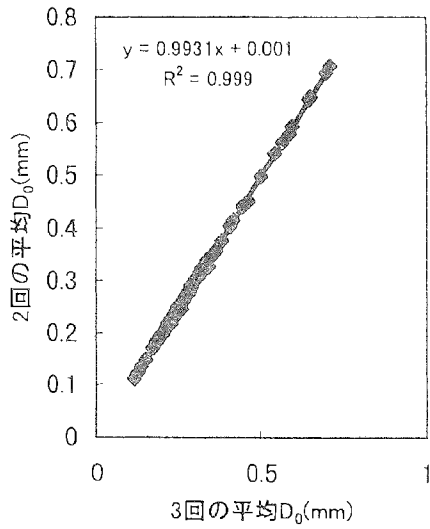
表 4.2 試験現場の内容

項目	歩道部	車道部
道路種別	区道	区道
ILブロックの形状, 寸法 単位(mm)		
敷設パターンとセンサの設置位置  注: 図中の数字は目地を含めた寸法を示す  ○: 小型FWD載荷板 ○: 外部センサ ↑: 車両進行方向	  	
舗装構造		

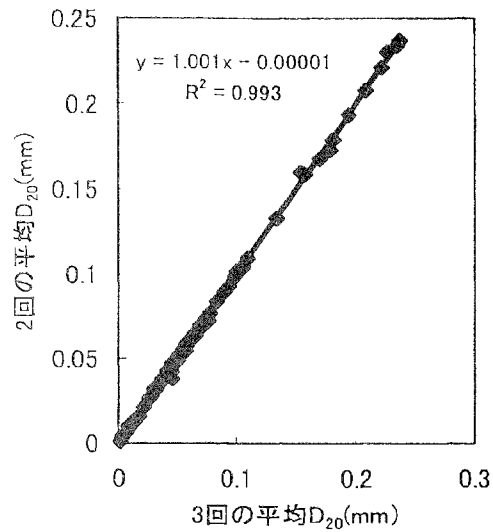
試験結果を表 4.3 と図 4.6, 4.7 に示す.

表 4.3 試験結果

用途	センサ位置	距離 (cm)	測点数	落下回数 2 回目(y)と 3 回目(x)のたわみ量の 回帰式(平均値)	R <sup>2</sup>
歩道部	載荷点直下	0	100	$y = 0.993x + 0.001$	0.999
	外部センサ	20	100	$y = 1.001x - 0.00001$	0.999
車道部	載荷点直下	0	100	$y = 1.013x - 0.00095$	0.993
	外部センサ	20	100	$y = 1.005x + 0.00008$	0.993

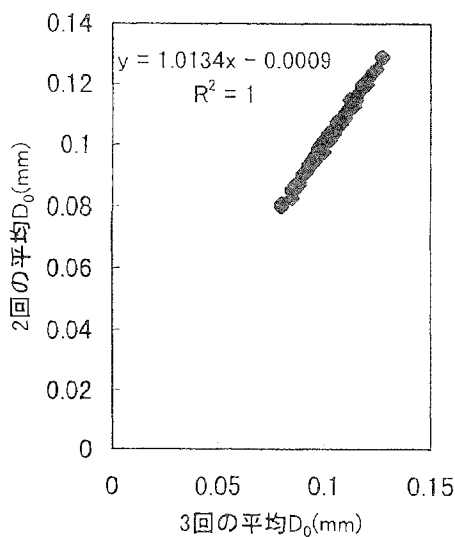


①  $D_0$  の相関

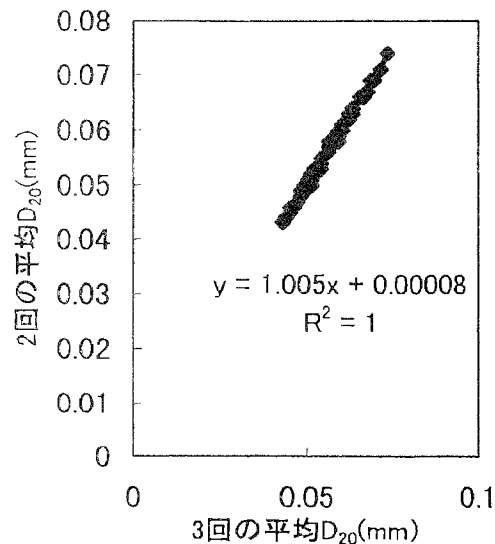


②  $D_{20}$  の相関

図 4.6 歩道部の落下回数 2 回と 3 回の相関



①  $D_0$  の相関



②  $D_{20}$  の相関

図 4.7 車道部の落下回数 2 回と 3 回の相関

これより、歩道、車道いずれの構造であっても  $D_0$ 、 $D_{20}$  のたわみ量とも落下回数 2 回と 3 回の平均値は一次式で回帰され、その決定係数も 0.993~0.999 の範囲にあり、分散分析の検定においても危険率 1% の水準で高い相関を示している。したがって、IL ブロック上での測定に際しては、落下回数を 3 回とし 1 回目の値は予備載荷として削除し 2 回目と 3 回目のデータを用いても実用上問題ないといえる。

#### 4. 3. 5 49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD のたわみの相関

笠原らが行った研究<sup>2)</sup>によると、5 種類のアスファルト舗装と RCCP 上にて 49kN 級 FWD ( $\phi = 30\text{cm}$ ) と 4.9kN 級 HFWD ( $\phi = 9\text{cm}$ ) でそれぞれ測定したたわみには、図 4.8 から

導かれた式(4.3)が成り立つとしている。その相関係数は、0.948を示し高い相関のあることが確認されている。

$$D_{HFWD} = 0.086 \times D_{FWD}^2 + 0.011 \times D_{FWD} + 0.02 \quad (4.3)$$

ここで、 $D_{HFWD}$  : 4.9kN 級 HFWD ( $\phi = 9\text{cm}$ ) のたわみ量 (mm)

$D_{FWD}$  : 49kN 級 FWD のたわみ量 (mm)

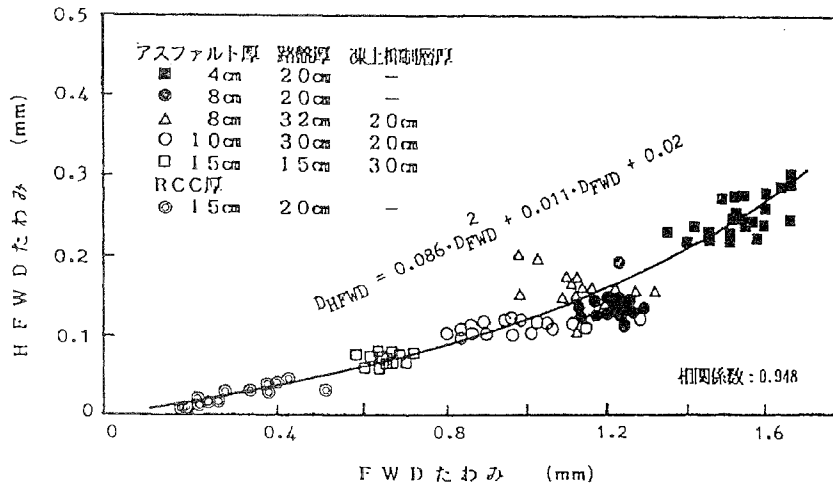


図 4.8 49kN 級 FWD と 4.9kN 級 HFWD によるたわみの相関

#### 第4章参考文献

- 1) 阿部長門, 上浦正樹, 関根悦夫: 小型 FWD による支持力評価とその適用事例(その1), 雑誌「舗装」, pp. 13 - 17, 2003. 1.
- 2) 笠原篤, 伊藤保彦, 古川真男: ハンディなフォーリング・ウエイト・デフレクトメータの開発, 雑誌「道路建設」, pp. 66 - 70, 1993. 5.
- 3) 左京賢一, 秋本隆, 笠原篤: ハンディなフォーリング・ウエイト・デフレクトメータによる舗装支持力評価に関する研究, 第 21 回日本道路会議一般論文集, pp. 694 - 695, 1995. 7.
- 4) 舗装工学ライブラリー2: FWD および小型 FWD 運用の手引き, 土木学会, 2002. 12.
- 5) 関根悦夫, 村田修, 阿部長門, 丸山暉彦: FWD による鉄道盛土の締固め管理に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第 1 巻, pp. 121 - 128, 1998. 12.
- 6) 上浦正樹, 高橋顕: HFWD を用いた木まくらぎ検査の一方法, 土木学会第 49 回年次学術講演会概要集, IV - 240, pp. 480 - 481, 1994. 9.
- 7) L. Pesch, Bonn: Application of Concrete Pavers in the Federal Republic of Germany - Planning, Design, Installation, Acceptance, 1990. 8.
- 8) 阿部長門, 関根悦夫, 鴨智彦, 丸山暉彦: HFWD による地盤内応力の影響範囲, 土木学会第 53 回年次学術講演会概要集, pp. 18 - 19, 1998. 10.
- 9) 上浦正樹, 神田一成, 久保宏, 武市靖: HFWD による舗装弾性係数の推定可能範囲に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第 3 巻, pp. 73-78, 1998. 12.



## 第5章 ブロック寸法が荷重分散性能に与える影響

### 5.1 概説

我国のILブロックの形状は、長方形、正方形、六角形、八角形、多角形と多種多彩であり、ブロック側面の仕様は波形とストレートタイプに大別される。

ブロック形状と寸法の推移を見ると、1990年には約80%を占めていた波形タイプは、その後年々減少する傾向を示し2001年には12%迄低下し、代わってストレートタイプが88%を占めるに至っている<sup>1)</sup>。また、ブロックの寸法については1995年以降100×200mm(目地込み)サイズが微減しているのに対して、1997年以降200×300mm(目地込み)サイズ以上が年々増加する傾向を示し、2001年には10%に達している。特に近年では、設計者等のニーズも多様化し車道部に200×300mmサイズのブロックが使用されたり、大型車が通行する歩道車両乗入れ部に平板サイズの300×300mm(目地込み)が使用されて、供用後に問題となることも少なくない。これは、我国に導入されて30年近くが経過した現在でも、ブロック寸法と噛み合わせ効果(荷重分散性能)に関する基本的な研究が行われていないこと、ILブロックの形状、寸法に関する明確な国内規定が定められていないことによるものである。

したがって、ブロック寸法と荷重分散性能の関係を確認したうえで、諸外国のようにブロック形状と寸法について明確な国内規定を定めるとともに、車道舗装に適用できるブロック寸法を規定することが必要である。

本章ではILブロックの寸法規定化に際し、まずILブロックの寸法と荷重分散性能の関係を確認するために、寸法の異なるストレートタイプと波形タイプの長方形ブロックを用いた試験舗装を施工し、敷砂の締固めと目地砂の充填前後でHFWDを用いてたわみ測定を行った。得られたたわみ量から荷重伝達率を算出することにより、ブロック寸法の小さい方が目地砂を詰め転圧することで、荷重伝達率の変化率が大きくなることを確認し、ブロック寸法と噛み合わせ効果つまり荷重分散性能の関係を評価できることを明らかにした。さらに、この関係を引用することにより、兼ねてから議論されていたストレートタイプと波形タイプの荷重分散性能の違いについても評価できることを示した。


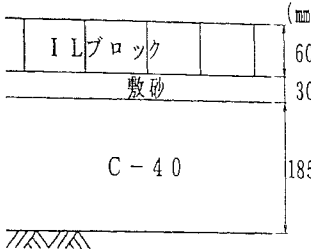



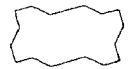
### 5.2 試験舗装と測定概要

#### 5.2.1 試験舗装の内容

ILブロックの寸法が荷重分散性能に与える影響を確認することを目的に、北海道岩見沢市内の工場構内に寸法の異なるストレートタイプ4種類と波形タイプ1種類、計5種類の長方形タイプのブロックを用いた試験舗装を施工した。選定した5種類のブロックのうち、198×148mm、198×98mm、222×109.5mmの3種類は歩道から車道舗装に幅広く普及している形状である。また、残りの2種類は近年需要が増加傾向にある形状である。ILブロックの厚さは形状によって80mmが無いことを考慮して60mmとし、舗装構造は標準的な粒

状路盤上に敷砂と目地砂を用いて施工した。試験舗装の詳細を表 5.1 に示す。なお、表 5.1 に示したストレッチャーボンド（以下、STB という）とヘリンボンボンド（以下、HBB という）は、IL ブロックの代表的な敷設パターンである。ブロックの寸法が小さい舗装番号 4 と 5 は STB か HBB で施工され、これより寸法が大きい舗装番号 1～3 は STB で施工されるのが一般的である。

表 5.1 試験舗装の内容

舗装番号	敷設パターン	ブロック形状	寸法 (mm)			長辺長 / 厚さ	目地	舗装構造
			長辺	短辺	厚さ			
1	ストレッチャーボンド		398	298	60	6.63	砂 	
2	(STB)		298	198		4.97		
3			198	148		3.30		
4	ヘリンボンボンド		198	98		3.30		
5	(HBB)		222	109.5		3.70		

### 5.2.2 たわみの測定方法

HFWD によるたわみの測定方法は、図 5.1 に示すようにまず任意のブロックの中心部に HFWD の載荷板の中心部を設置し、増設センサ（以下、第 2 センサという）を載荷側ブロック内の目地近傍に設置してたわみを測定する。次に、第 2 センサだけを目地を挟んで隣接する非載荷側ブロックの目地近傍に設置してたわみを測定する。噛み合わせ効果は、式 (5.1) を用いて載荷側ブロックの目地近傍のたわみ量 ( $D_1$ ) と目地を挟んだ状態におけるたわみ量 ( $D_1'$ ) の比で評価した。その比が 1.0 に近い程、目地を挟んだ 2 つのブロックのたわみが近似しており噛み合わせ効果が高いと言える。それゆえ、ここではこのたわみ比を荷重伝達率 ( $E_{LT}$ ) と呼び、ブロック寸法と荷重分散性能の関係を評価する指標として用いるものとする。測定は 3 地点ずつブロックごとに行った。

$$\text{荷重伝達率}(E_{LT}) = D_1' / D_1 \quad (5.1)$$

ここで、 $D_1$  : 載荷側ブロックの目地近傍のたわみ量 (mm)

$D_1'$  : 非載荷側ブロックの目地近傍のたわみ量 (mm)

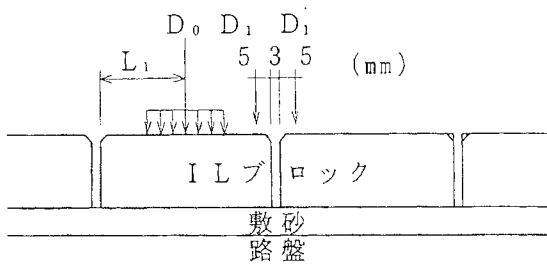


図 5.1 2つのセンサの設置位置

- $D_0$  : ブロック中心部のたわみ
- $D_1$  : 載荷側ブロック内の目地縁部または隅角部のたわみ
- $D_1'$  : 目地を挟んで隣接する非載荷側ブロックの目地縁部または隅角部のたわみ
- $L_1$  : 載荷板中心とブロック縁部（隅角部）との距離、（ブロック形状により 99~247mm と可変）

なお、第2センサ( $D_1$ )の設置位置については図 5.2 の①~⑤に示すように目地縁部と隅角部に置くケースに分けて測定した。ここで、目地縁部についてはブロック短辺方向に載荷板と第2センサを設置することとしたが、舗装番号3のブロックについては、短辺寸法が 148mm と短く載荷側ブロック内の目地縁部に第2センサを設置するのに必要な距離(図 5.1 の  $L_1$  に相当)90mm 以上を確保できないため、長辺方向に設置(STB-3)した。また、目地砂充填の有無と敷砂の締固め度による荷重伝達率の変動を確認するために、未締固めの敷砂上に IL ブロックを敷設しただけの状態（目地砂未充填・敷砂未締固め状態）とこの状態から目地砂を充填し、コンパクタによりブロックを転圧して敷砂が締め固まり交通開放できる状態（目地砂充填・敷砂締固め状態）とに分けてたわみを測定するとともに、荷重伝達率を算出して両者の差による評価を行った。

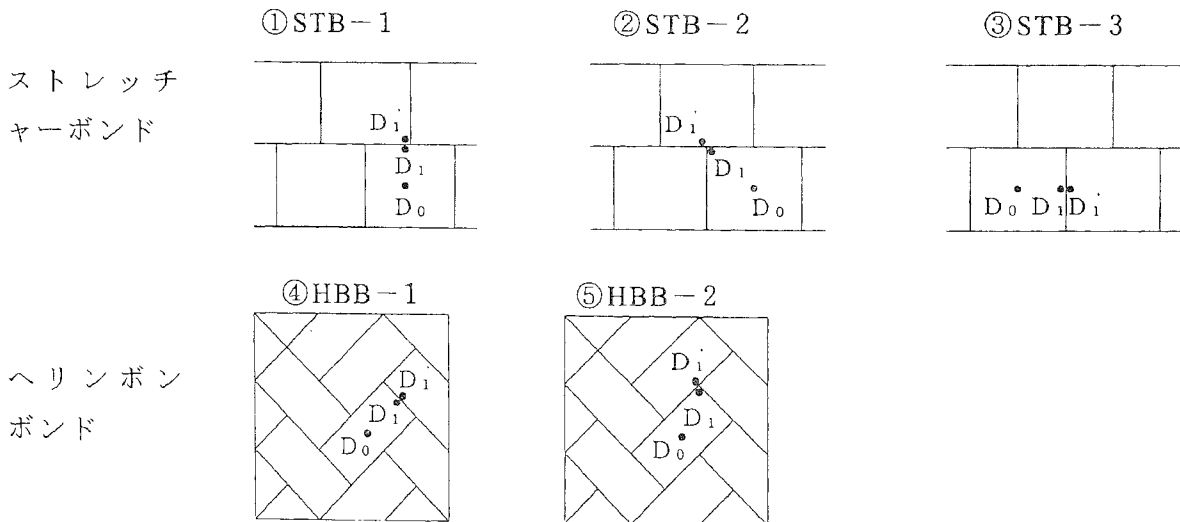


図 5.2 たわみ測定のパターン

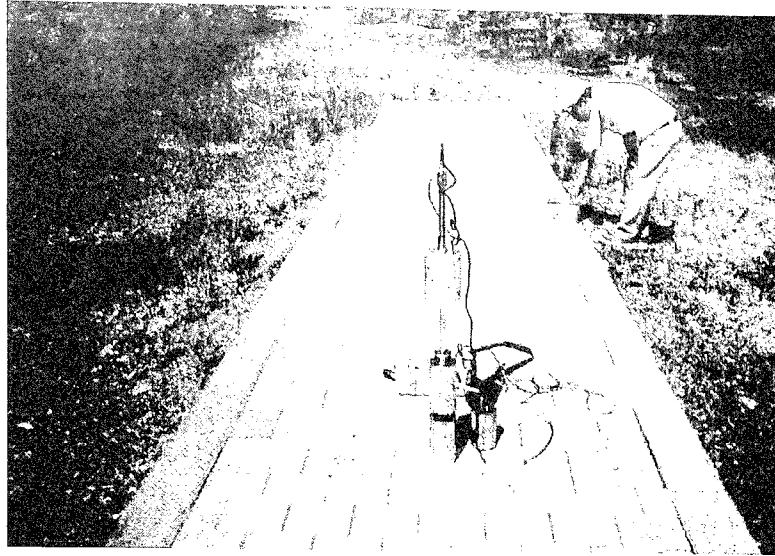


写真 5.1 測定状況

### 5. 3 ブロック寸法が荷重分散性能に与える影響

HFWD により測定したブロック寸法ごとのたわみ量を表 5.2 に示す。

表 5.2 たわみの測定結果

舗装番号	ブロック寸法(mm)	縁部のたわみ量(mm)						隅角部のたわみ量(mm)					
		①目地砂未充填, 敷砂未締固め状態			②目地砂充填, 敷砂締固め状態			①目地砂未充填, 敷砂未締固め状態			②目地砂充填, 敷砂締固め状態		
		D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> '	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> '	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> '	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> '
1	298×398	0.79	0.53	0.10	0.58	0.51	0.12	0.75	0.57	0.05	0.59	0.49	0.06
2	198×298	0.97	0.90	0.13	0.60	0.76	0.09	0.90	0.55	0.18	0.61	0.53	0.16
3	148×198	1.27	1.27	0.18	0.66	0.97	0.10	1.08	0.65	0.39	0.70	0.64	0.34
4	98×198	1.30	1.22	0.15	0.75	1.20	0.19	1.18	0.68	0.45	0.73	0.66	0.52
5	109.5×222	1.35	1.36	0.15	0.68	0.80	0.10	1.15	0.62	0.36	0.70	0.53	0.33

表より目地砂未充填, 敷砂未締固め状態でのブロック中心部のたわみ(D<sub>0</sub>)と載荷側ブロック内の目地縁部および隅角部のたわみ量(D<sub>1</sub>)は, 目地砂充填, 敷砂締固め状態時のたわみ量と比較すると相対的に大きい傾向にある. このことは, ブロックを敷砂の上に置いただけでは安定しないことを意味している.

諸外国では, ブロックの寸法規格に上面積の値, 長辺長と厚さの比, 上面積と厚さの比, 長辺長と幅の比等が用いられている<sup>2)</sup>. 上面積の値だけでは厚さや形状が考慮されず, 長辺長と厚さの比や長辺長と幅の比では, 表 5.2 に示したブロック寸法によって値が同一に

なってしまうケース(長辺長と厚さの比の場合, 舗装番号3と4が同じ3.30になる)が生じる。また上面積と厚さの比でも, ブロック形状の影響が考慮されない等の問題がある。そこでここでは, ブロック寸法の影響を表す尺度として北海道の要領<sup>3)</sup>に示されているブロックの全側面積と上面積の比を用いることとした。これは, たとえ長辺と短辺の寸法が同じストレートタイプと波形タイプであっても全側面積と上面積の比が異なり, 形状の違いを評価できるためである。表5.2の舗装番号5のブロックについては, 長辺と短辺の寸法が同じストレートタイプのブロックに換算して比べると全側面積と上面積の比は, 1.05倍の1.72となり, 波形タイプの方がストレートタイプよりこの比が高くなる。

HFWDにより測定したブロックごとのたわみ量の平均値を用いて算出した荷重伝達率と荷重伝達率の変化率を表5.3に示す。図5.3, 5.4は, 表5.3に示した目地砂充填・敷砂締固め状態における荷重伝達率やその変化率と各ブロックの全側面積と上面積の比の関係を示したものである。なお, 図中の数字は舗装番号を表している。これより縁部, 隅角部とも締固め状態における荷重伝達率やその変化率と全側面積と上面積の比に高い相関のあることがわかる。荷重伝達率やその変化率は縁部, 隅角部とも分散分析の検定でも何れも1%で有意を示し, 決定係数( $R^2$ )でも0.9以上の高い結果が得られた。

ブロックの全側面積と上面積の比が大きいことは, 厚さが一定の場合ブロック寸法の小さい方が, 寸法も一定の場合にはストレートタイプより波形タイプの荷重伝達率が高くなることを意味する。ブロック寸法が小さいと目地の数が多いため目地砂を詰め転圧することにより, ブロックが沈下して安定し, 前述した目地砂が体積膨張する正のダイレタンシーに起因するブロック間に水平方向の圧縮力の発生が促進され, 隣接するILブロック相互の間に荷重を分散させる機能が大きく発揮されると考えられる。さらに, 交通荷重の繰り返しを受けることで敷砂と目地砂が安定しロックアップ状態に達するものと考えられる。これに対して, ブロック寸法が大きいものは, 目地の数が少ないため目地砂を詰め転圧してもブロックの安定が悪く, ダイレタンシーに起因するブロック間に発生する水平方向の圧縮力も小さくなり, 隣接するILブロック相互の間に荷重を分散させる機能も小さいと考えられる。したがって, 車両が通行する用途に適用すると, 供用後舗装面に変形や段差の発生が懸念される。

表 5.3 ILブロックの荷重伝達率

舗装番号	ブロック		縁部荷重伝達率とその変化率				隅角部荷重伝達率とその変化率			
	寸法 (mm)	全側面積と上面積の比	測定パターン	①目地砂未充填, 敷砂未締固め状態	②目地砂充填, 敷砂締固め状態	変化率 (②/①)	測定パターン	①目地砂未充填, 敷砂未締固め状態	②目地砂充填, 敷砂締固め状態	変化率 (②/①)
1	298×398	0.70	STB-1	0.20	0.25	1.25	STB-2	0.09	0.13	1.44
2	198×298	1.01	STB-1	0.14	0.36	2.57	STB-2	0.12	0.31	2.58
3	148×198	1.42	STB-3	0.14	0.60	4.29	STB-2	0.11	0.53	4.82
4	98×198	1.83	HBB-1	0.12	0.66	5.50	HBB-2	0.16	0.79	4.94
5	109.5×222	1.71	HBB-1	0.11	0.59	5.36	HBB-2	0.13	0.65	5.00

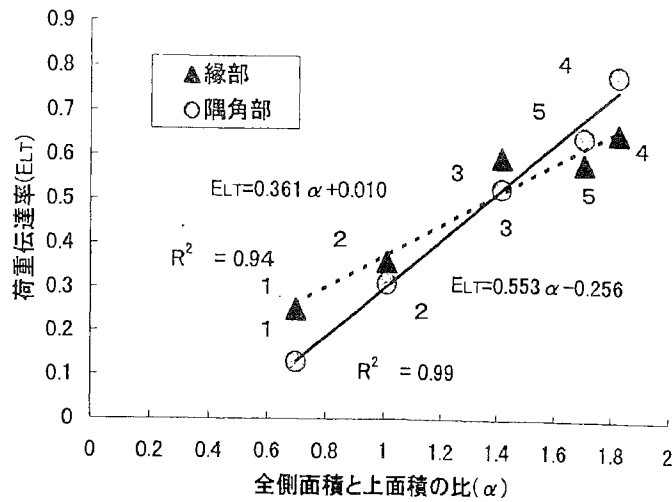


図 5.3 締固め状態における荷重伝達率

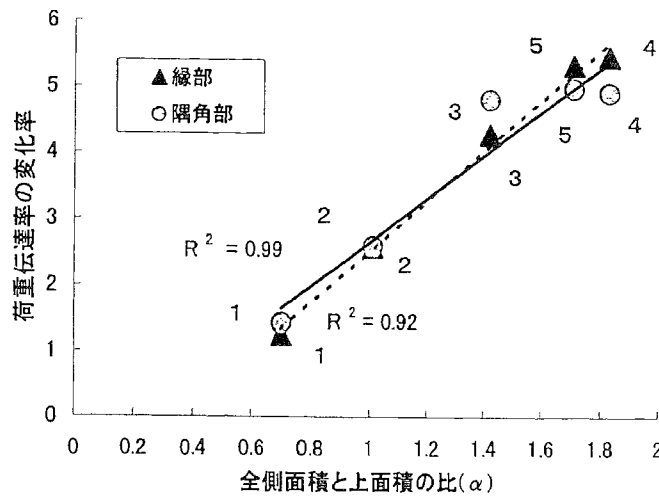


図 5.4 荷重伝達率の変化率

#### 5. 4 波形タイプとストレートタイプの荷重分散性能の比較

波形タイプとストレートタイプの荷重分散性能を比較した研究として、第1章で述べたように、国内では村井らが<sup>4)</sup> 感圧紙により路盤上の応力分布を測定して比較している。また、海外では F.Wellner<sup>5)</sup> や B.Shakel<sup>6)</sup> らが載荷試験によりひずみや変形量を測定し弾性係数の算出から比較している。いずれもストレートタイプよりも波形タイプの方に荷重分散性能が高いことを確認している。

ここでは、HFWD たわみから算出した荷重伝達率を用いて両者の比較を行った。IL ブロックの荷重伝達率は、図 5.3 に示したように IL ブロックの全側面積と上面積の比の 1 次関数として表され、その決定係数も縁部、隅角部とも 0.9 以上と大きい。また、縁部と隅角部の第 2 センサの設置方法を比較すると、隅角部設置は縁部設置に比べて  $D_0$  と  $D_1$  または  $D_1'$  を対角線上に設置するため、載荷側ブロック内の隅角部に第 2 センサを無理なく設置でき、ブロック寸法の差異を反映した設置方法となることから、IL ブロックの噛み合わせ

効果、つまり荷重分散性能の評価には隅角部荷重伝達率( $E_{LT}$ )を用いるのが適していると考えた。そこで、式(5.2)を用いて波形タイプとストレートタイプの荷重伝達率の比較を試みた。

$$E_{LT} = 0.553\alpha - 0.256 \quad (5.2)$$

ここで、 $E_{LT}$  : 目地砂充填・敷砂締固め状態での隅角部荷重伝達率  
 $\alpha$  : ILブロックの全側面積と上面積の比

比較に用いたILブロックは、国内で車道舗装における需要が多い表5.4に示した2種類とした。なお、表5.4に示したユニタイプは表5.1にある舗装番号5と同一形状である。2種類の波形タイプの全側面積と上面積の比は、表中に示すようにユニタイプで1.72、トップタイプで1.73となる。これらを、長辺と短辺の寸法が同じストレートタイプにするとユニタイプでその比は1.64、トップタイプで1.61となり、それぞれ波形タイプとの差を求めるとユニタイプで0.08、トップタイプでは0.12となる。この差を式(5.2)を用いて荷重伝達率に換算すると表5.5に示すようにユニタイプで0.044、トップタイプでは0.067となり、波形タイプはストレートタイプに比べて7~11%程荷重伝達率が高くなる。このことは式(5.2)を用いることにより、寸法の異なる波形タイプとストレートタイプの荷重伝達率を客観的指標で示せることを意味している。

表 5.4 比較に用いた波形タイプの形状

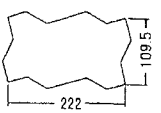
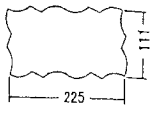
名称	形状 単位(mm)	寸法(mm)			全側面積と 上面積の比
		長辺	短辺	厚さ	
ユニ		222	109.5	60	1.72
トップ		225	111	60	1.73

表 5.5 荷重伝達率の比較結果

名称	寸法が同じストレートタイプと波形タイプとの差		
	全側面積と上面積の比	$E_{LT}$	$E_{LT}$ の増加分(%)
ユニ	0.08	0.044	7
トップ	0.12	0.067	11

## 5.5 まとめ

ILブロックの寸法が荷重分散性能に与える影響を確認することを目的に、寸法が異なるストレートタイプ4種類と波形タイプ1種類、計5種類の長方形タイプのブロックを用いた試験舗装を施工し、HFWDによりたわみ測定を行った。得られたたわみ量から荷重伝達率を算出して、ブロック寸法と荷重分散性能について分析した。次にこれらの結果を基に兼ねてから議論されていたストレートタイプと波形タイプの荷重分散性能の違いについても考察した。以下にその結果をまとめる。

- (1) ILブロックの寸法と荷重分散性能の関係は、ILブロックの全側面積と上面積の比と隅角部における荷重伝達率( $E_{LT}$ )を用いて評価できる。
- (2) この関係を用いることにより、波形タイプとストレートタイプとの荷重伝達率についても客観的指標で示すことができる。
- (3) ブロック寸法が小さいと目地砂を詰め転圧することで荷重伝達率の変化率が大きくなる。このことはブロックが沈下して安定し、目地砂が体積膨張する正のダイレタンシーに起因するブロック間に水平方向の圧縮力の発生が促進され、隣接するILブロック相互の間に荷重を分散させる機能が大きく発揮されることを示している。
- (4) これに対して、ブロック寸法が大きいと目地砂を詰め転圧してもブロックの安定が悪く、ダイレタンシーに起因するブロック間に発生する水平方向の圧縮力も小さくなり、隣接するILブロック相互の間に荷重を分散させる機能も小さいと考えられる。したがって、車両が通行する用途に適用すると供用後舗装面に変形や段差の発生が懸念される。
- (5) ブロック寸法が大きいものは車両が通行する用途に適さないこと、ストレートタイプは波形タイプに比べて荷重分散性能が低くなることが確認された。これらの成果を協会の要領をはじめ各種の指針や手引き書等の設計、施工面に反映させることによって、歩道の車両乗入れ部や大型車交通量の多い車道舗装で発生している種々の破損を防止することができる。

## 第5章参考文献

- 1) 遠山隆子：データベースを用いたブロック舗装の路面デザイン，雑誌「舗装」，pp. 29 - 32，2001. 6.
- 2) L. J. M. Houben：Specifications and Standards for Concrete Paving Blocks  
A World-Wide Survey Based on an Inquiry by the Programme Committee CBP，Second International Conference on Concrete Block Paving，Proceedings，pp. 2 - 13，1984.
- 3) (社)インターロッキングブロック舗装技術協会：寒冷地におけるインターロッキングブロック舗装設計施工要領，2000.
- 4) 村井貞則，高橋彦人，柴田周二：コンクリートブロック舗装の荷重分散効果，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，pp. 60 - 61，1996.
- 5) F. Wellner：Load Bearing Behavior of Sett Pavings，4<sup>th</sup> International Concrete Block



Paving Conference, Proceedings, pp. 341-350, 1992.

- 6) B. Shackel : Loading Tests of Conventional and Ecological Concrete Block Paving, Concrete Block Paving 6<sup>th</sup> International Conference, Proceedings, pp. 81 - 89, 2000.

## 第6章 敷砂の品質と目地材料が荷重分散性能に与える影響

### 6.1 概説

ブロック系舗装の工法は、レベリング層に敷砂、目地部にも砂を使用する乾式工法とレベリング層にモルタルまたは空練りモルタル、目地部にもモルタルを使用して接着する湿式工法に大別される。

協会では、1995年1月17日に発生した阪神淡路大震災による舗装の被害状況や復旧工事等に関する現地調査とアンケート調査<sup>1)</sup>を実施した。その結果、ILブロック舗装の再利用率が84%と高い値を示し、我国のように地震が多い国には湿式工法よりも乾式工法の方が適していると報告している。

こうしたことから、現在では湿式工法により施工されていたタイルや天然石でも乾式工法により施工されるケースが増えている。これは、第1章の序論でも述べたように乾式工法の方が湿式工法に比べて熟練工を必要とせず、地下埋設物工事等における復旧作業が容易で、製品の再利用も可能で工期の短縮化が計られ経済的にも有利であるためである。

また近年では、ヒートアイランド現象緩和や局所的な集中豪雨による河川や下水道への負担軽減のため、歩道だけでなく車道部にも透水性や保水性舗装の導入を目指した研究、開発が盛んに行われており、ILブロックによる透水性や保水性舗装の適用が検討され試験的に導入されたケースもある。

このように乾式工法によるブロック系舗装の普及やニーズが多様化する傾向にあるにもかかわらず、その特長である敷砂の品質とILブロック舗装の荷重分散性能や舗装路面の供用性との関係を捉えた研究はほとんど行われていない。特に透水性や保水性、急勾配面の舗装では、浸透水による敷砂の移動や砂粒子の支持力低下に伴う路面性状への影響が懸念される。また目地砂については、砂の代わりにブロック側面にゴムを付着させた製品が使用されて供用後に問題となることも少なくない。したがって、敷砂の品質が荷重分散性能や路面性状に与える影響評価と目地砂の機能について明確にすることが必要である。

また、現状の施工方法は車道舗装であっても歩道舗装と同様に手押しの専用コンパクトにより転圧が行われており、大型車交通量の多いバスターミナルや交差点部等では、十分な締固め効果が得られないことに起因する供用初期段階での変形や変形に伴うブロックの破損も懸念される。施工後良好な供用性を維持するためには、路面の締固め方法が目地砂の充填率や荷重分散性能に与える影響について確認したうえで、施工時の転圧方法を確立する必要がある。

本章は、浸透水により敷砂が影響を受けやすい急勾配面に試験舗装を施工して、浸透水に対する敷砂の品質の違いがILブロック舗装の荷重分散性能や路面性状に与える影響について明らかにした。また、目地砂については目地材料の違いが荷重分散性能に与える影響について試験舗装により比較し、その機能について明らかにした。この結果を踏まえ、ILブロック舗装の締固め方法が目地砂の充填率や荷重分散性能に与える影響について確認し、施工時の転圧方法について提案した。

## 6.2 敷砂の品質が荷重分散性能に与える影響

敷砂の品質や工法が、ILブロック舗装の路面性状に与える影響については「3.2.3 敷砂と目地砂」で述べたとおりである。ここでは、敷砂の品質の違いが路面性状だけでなく荷重分散性能に与える影響についても確認するために試験舗装を施工し、供用2年間にわたり調査を実施した<sup>2)</sup>。

敷砂の比較を行う試験舗装は、ダンプトラックが1日当たり50～100台通行する大阪府四條畷市内の合材工場内の一角で、目地からの浸透水により敷砂の移動や支持力低下が懸念される8%の急勾配を有する場所を選定した。ILブロックは既設のアスファルト舗装を路盤として、その上に幅員3m、延長10mの規模で施工した(写真6.1)。試験舗装の内容を表6.1に示す。

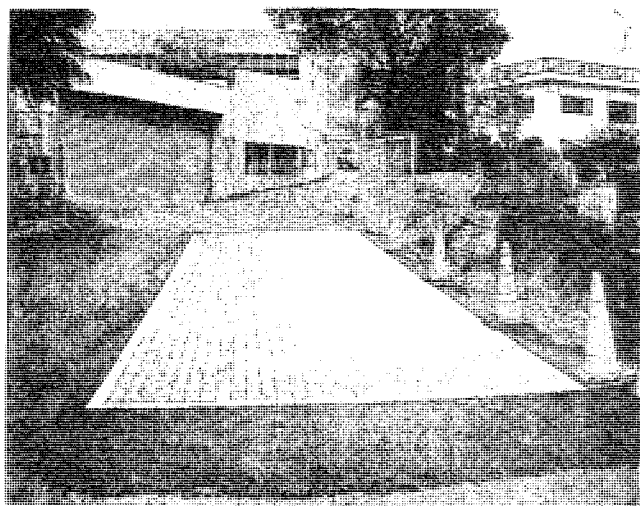
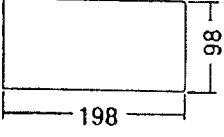
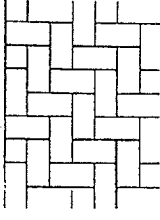
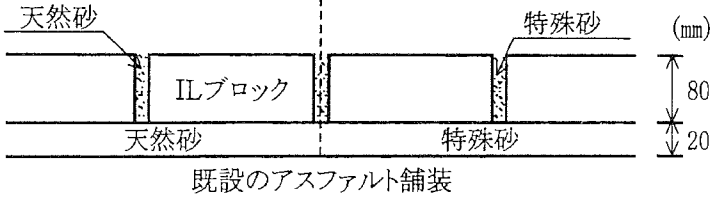


写真 6.1 試験舗装の状況

表 6.1 試験舗装の内容

工区	A	B
敷砂	天然砂	特殊砂
目地砂	天然砂	特殊砂
幅員(m)	1.5	1.5
延長(m)	10.0	10.0
ILブロックの形状(mm)		
敷設パターン		
舗装構造		

試験舗装では、天然砂(瀬戸内海産海砂)とこれを母材にその粒子周りをアスファルトによりコーティングした特殊砂の2種類を用いた。特殊砂<sup>3)</sup>とは、天然砂や人口砂およびこれらの混合物にバインダーとしてストレートアスファルトと特殊添加剤をアスファルトプラントで混合・製造したブロック系舗装専用の敷砂である。この砂の特長は、常温で使用できるため、従来の敷砂と同じ工法で施工ができ、アスファルトプラントで製造できるため品質の確保と安定供給も可能である。さらに、砂粒子を特殊バインダーでコーティングしているため、従来の砂に比べて水の影響も受けにくい。標準配合を表 6.2 に示す。

敷砂の施工方法は幅員 3m 内を縦断方向に 2 分するように配置した。敷砂の物性を表 6.3 に示す。目地砂についても同じ材料を用いた。これは、第 3 章で述べたように土木研究所における走行実験結果から、目地砂の消失を防ぐには敷砂と物性(FM, DV 値)の近い材料を使用することが望ましいことが確認されているためである。

表 6.2 特殊砂の標準配合

使用材料	細骨材	バインダー
配合比(%)	95~99	1~5

表 6.3 敷砂の物性

項目	天然砂	特殊砂	協会規格値
最大粒径(mm)	2.36	2.36	4.75 以下
FM	2.49	2.49	1.5~5.5
75 $\mu$ m ふるい通過量(%)	0.89	0.06	5 以下
細粒化に対する抵抗性 (%) (67 回突固め時)	0.86	0.10	1 以下

表より、天然砂、特殊砂とも協会規格値を十分に満足している。特に特殊砂は、母材とした天然砂をアスファルトでコーティングしたことにより、細粒化に対する抵抗性が大きく改善されているのが特長である。なお、協会で細粒化に対する抵抗性を規格値として用いているのは、「3.2.3 敷砂と目地砂」で述べたように土木研究所における敷砂の走行実験結果から適当であることが確認されたことによるものである。

比較実験は表 6.4 に示す路面性状の測定を実施して行った。ここで、HFWD によるたわみ測定は図 6.1 に示すように HFWD の載荷板中心部をブロック短辺の中心部に設置し、第 2 センサも隣接する非載荷側ブロック短辺の中心部に設置して、センサ間の距離が 200mm となる目地パターンで行った。また、敷砂と目地砂に同じ材料を用いることを考慮して、目地砂の有無と敷砂の締固め度による荷重分散性能に与える影響を確認するために、未締固めの敷砂上に IL ブロックを敷設しただけの状態(目地砂未充填, 敷砂未締固め状態)とこの状態から目地砂を充填し、コンパクタによりブロックを転圧して敷砂が締め固まり、交通開放できる状態(目地砂充填, 敷砂締固め状態)とに分けて測定した。なおたわみ測定は、IL ブロック上だけでなく路盤に該当する既設アスファルト舗装上でも実施した。

舗装面の変形量、ブロックの移動量、目地幅については、図 6.2 に示すように HFWD たわみ量測定位置の  $D_0$  を結ぶライン上で測定した。

表 6.4 調査項目

調査項目	方法	測線(点)数	評価方法
たわみ量	HFWD	各工区 3点/測線× 5 測線	たわみ量は、 $D_0, D_0 - D_1$ とも計 15 点の平均値を使用する。
舗装面の 変形量	直線定規	各工区 5 測線	車両の通行によって舗装面に発生する横断方向の路面の凹凸を変形量とする。測定は、直線定規からブロック表面迄の高さを 20cm ピッチで測定し、施工時との差を変形量とする。5 測線測定しその平均値を使用する。
ブロック の移動量	水糸とメ ジャー	各工区 5 測線	車両の通行によって生じるブロックの水平方向の変位を移動量とする。測定は、横断方向に水糸を張り、水糸に対して垂直にブロック中心迄の距離を測定し、施工時との差を移動量とする。5 測線測定しその平均値を使用する。
ブロック の破損	スケッチ	各工区 5 測線	車両の通行によって生じるブロックの角欠けや割れを破損とする。測定はその程度を、角欠けと貫通ひび割れ(軽度と重度)の 3 分類し、区域内を全数調査して破損ブロックの総数で破損率を算出する。
目地幅	ノギス	横断方向は各工区 5 測線、縦断方向 は各工区 1 測線	ブロック間の目地幅を縦断方向に全数調査し、その平均値を使用する。

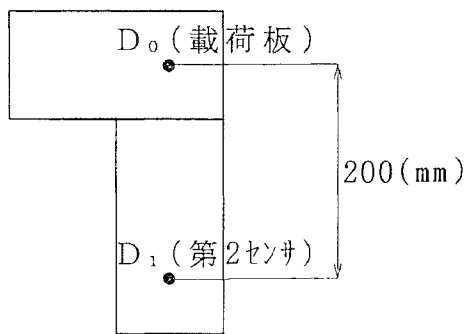
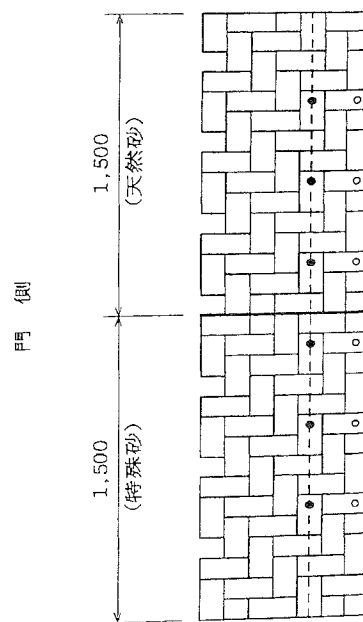


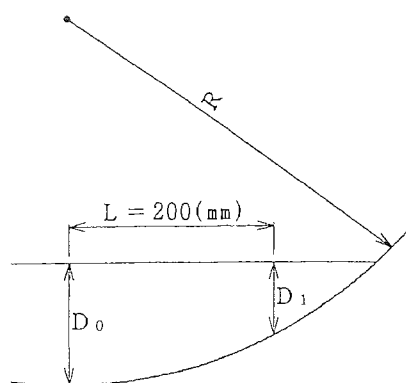
図 6.1 たわみの測定位置



- :  $D_0$  測定位置
- :  $D_1$  測定位置
- : 舗装面の変形量、移動量、目地幅測定位置

図 6.2 測定位置

供用 2 年間(2000 年 12 月～2002 年 12 月)における 2 種類の敷砂を用いた IL ブロック舗装の路面性状を表 6.5 に示す. ここで IL ブロック舗装の荷重分散性能の評価には, HFWD たわみ量の  $D_0$  と  $D_1$  のたわみ差( $D_0 - D_1$ )とその距離から, 式(6.1)より求まる曲率半径を用いた. この原理は, 図 6.3 に示すようにたわみ曲線を円弧の一部と考え, 弦長(一定)に対する相対変位量を測定し曲率半径( $R$ )を計算により求めるものである<sup>4)</sup>.



$$R = L^2 / (2 \times t) \quad (6.1)$$

ここで,  $R$  = 曲率半径 (m)

$L$  =  $D_0$  と  $D_1$  の距離 (m)

$t$  =  $D_0$  と  $D_1$  のたわみ差 (m)

図 6.3 たわみ曲線と曲率半径

たとえば軟らかい層の上に硬い層が敷かれる場合では, 全体がほぼ一様に沈下して荷重がかかった位置とそこから水平に少し離れた位置とのたわみ差が小さくなり, 逆に硬い層の上に軟らかい層が敷かれる場合は, 荷重がかかった位置だけが陥没したような状態となって, そこから水平に少し離れた位置とのたわみ差が大きくなることは容易に想像できるものである<sup>5)</sup>. したがって, 曲率半径の大きい方が表層の荷重分散性能が高いと評価できる. アスファルト舗装では, その健全度合いを  $D_0$  と  $D_{20}$  (載荷板中心より 20cm 離れた距離) のたわみ差から評価して判定しており<sup>6)</sup>, 転圧コンクリート舗装における目地部の荷重伝達率の評価には  $D_0$  と  $D_{90}$  のたわみ差が用いられている<sup>7)</sup>.

ここで, IL ブロック舗装の荷重分散性能の評価に第 5 章で述べた荷重伝達率( $E_{LT}$ )を用いなかったのは, この方法が図 5.1 に示したように目地を挟んで隣接する載荷側と非載荷側ブロックの目地縁部や隅角部のたわみを測定するため, 供用に伴い舗装面に段差, 沈下, ブロックの破損等が生じると第 2 センサを所定の位置に設置できなくなるためである.

表 6.5 各工区の路面性状

工区	調査 時期 (か月)	HFWD たわみ量(mm)				R(m) (未仕 上げ状 態)	舗装面の 変形量 (mm)	移動量 (mm)	破損率 (重度の 破損) (%)	目地幅 (縦断 方向) (mm)
		路盤上		ILブロック上 (未仕上げ状態)						
		D <sub>0</sub>	D <sub>0</sub> -D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>0</sub> -D <sub>1</sub>					
天然砂	0	0.012	0.009	0.193 (0.258)	0.190 (0.249)	105 (80)	0	0	0	2.86 (2.63)
	3			0.072	0.070	286	8.5	2.8	0	2.83 (2.63)
	6			0.110	0.107	187	9.6	0.3	5.8 (0.2)	2.62 (2.42)
	12			0.064	0.059	339	9.7	0.58	7.3 (1.0)	2.70 (2.63)
	24			0.059	0.058	345	9.6	2.4	7.8 (1.5)	3.03 (2.56)
特殊砂	0	0.015	0.010	0.140 (0.240)	0.140 (0.237)	143 (84)	0	0	0	2.79 (2.77)
	3			0.068	0.064	313	6.1	1.95	0	3.00 (2.80)
	6			0.105	0.102	196	7.5	0.15	4.5 (0)	2.66 (2.46)
	12			0.051	0.046	435	7.2	0.1	5.5 (0.5)	2.77 (2.52)
	24			0.045	0.045	444	7.1	0.88	7.8 (0.7)	2.93 (2.83)

表 6.5 から、路盤上のたわみ量(D<sub>0</sub>)とたわみ差(D<sub>0</sub>-D<sub>1</sub>)は天然砂工区で 0.012mm と 0.009mm、特殊砂工区で 0.015mm と 0.010mm を示したことから両工区に差異が無く、路盤層以下の支持力には差が無いと言える。

IL ブロック上のたわみ量(D<sub>0</sub>)を見ると、未仕上げ状態では天然砂の 0.258mm に対して特殊砂は 0.240mm を示し、曲率半径で比較しても天然砂の 80m に対して特殊砂では 84m にあり、両者に差異は無い。次に仕上げ状態で比較すると、天然砂では D<sub>0</sub> が 0.193mm、曲率半径で 105m を示したのに対して、特殊砂は D<sub>0</sub> で 0.140mm、曲率半径で 143m を示し未仕上げ状態に比べて両者に差異が認められる。このことは、天然砂よりも特殊砂の方が目地砂を詰め転圧することによって、ブロックが沈下して安定し目地砂が体積膨張する正のダイランシーに起因するブロック間の水平方向の圧縮力の発生が促進され、隣接する IL ブロック相互の間に荷重を分散させる機能が大きく発揮させていることを示している。



また、天然砂と特殊砂は供用開始以降2か年時にかけて  $D_0$ 、 $D_0-D_1$ とも大きく減少する傾向にある。ここで、6か月時のたわみ量が増加に転じているのは、測定前日からの降雨により敷砂層が飽和したため、たわみが増幅したものと推定される。

図6.4は供用に伴う曲率半径の推移を示したものである。これより、天然砂よりも特殊砂の曲率半径が大きく、降雨の影響を受けた供用6か月時を除き天然砂、特殊砂とも供用に伴い曲率半径が大きくなる傾向にある。供用2か年経過時では、天然砂に比べて特殊砂の曲率半径が約1.3倍程大きい値を示し、特殊砂を用いると天然砂よりも荷重分散性能が高くなることわかる。このことは、特殊砂が天然砂に比べて施工時の目地砂の充填性や転圧効果だけでなく、交通荷重の繰り返しのよっても目地砂と敷砂が安定し、ブロック間の噛み合わせが強固となることを示している。

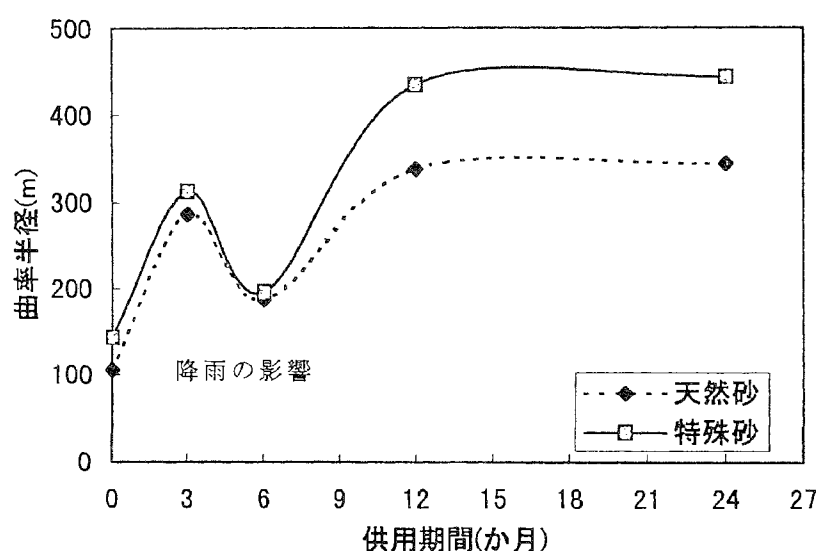


図 6.4 曲率半径の推移

図6.5と6.6は供用に伴う舗装面の変形量や移動量の推移を示したものである。これより、特殊砂は天然砂に比べて舗装面の変形量や移動量が小さい値を示していることがわかる。また、破損率を比較した図6.7から、供用2か年時では軽度と重度を合わせた破損率には差異がないものの、取り替えを要する重度の破損では特殊砂の方が天然砂に比べて半分以下にある。一方目地幅については、図6.8から両者に差異が認められない。

曲率半径、移動量、目地幅、破損率および変形量について降雨によりたわみが大きくなった供用6か月時のデータを除いて要因相互の相関分析を行ったところ、表6.6に示す結果となった。分析の精度を示す相関係数は、曲率半径と変形量で0.97、曲率半径と破損率で0.74を示したことから、高い相関があると考えられる。以上のことから、荷重分散性能が高い敷砂を使用することにより、舗装面の変形や移動を低減できること、敷砂の荷重分散性能と舗装面の変形量やブロックの破損率には高い相関のあることが明らかとなった。

なお、ここで述べた特殊砂の積雪寒冷地における適用範囲は現在のところ(平成16年1月末時点)福島県、山形県、宮城県内迄であるが、母材となる砂の吸水率と粒度について検討すれば北海道における適用も十分可能である。

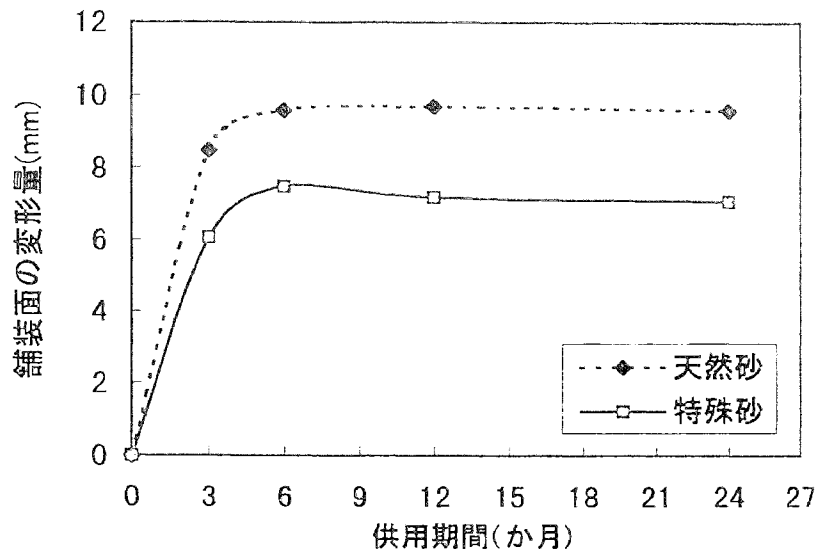


図 6.5 舗装面の変形量の推移

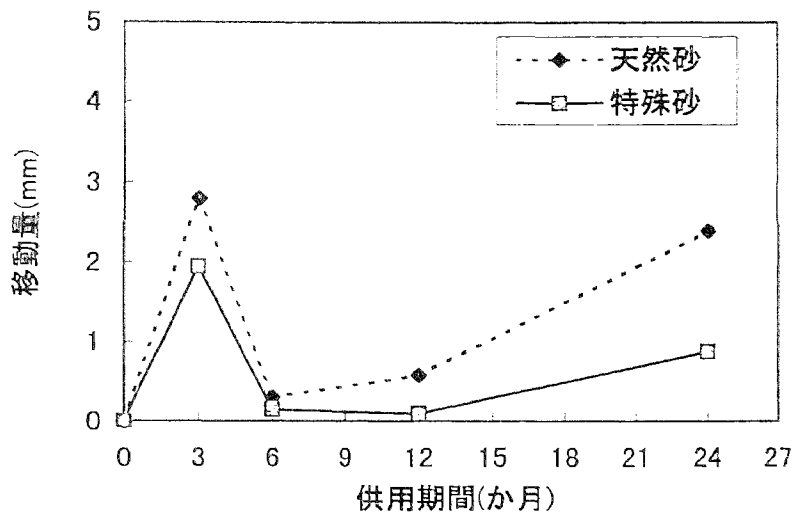


図 6.6 移動量の推移

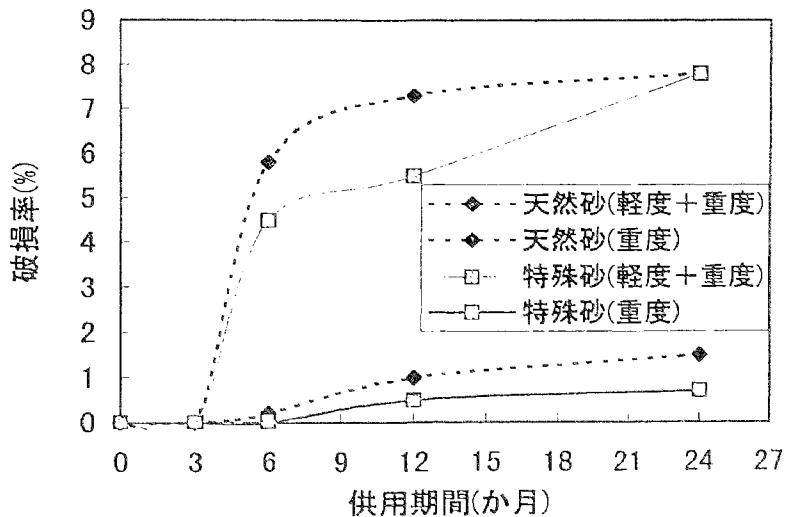


図 6.7 ブロック破損率の推移

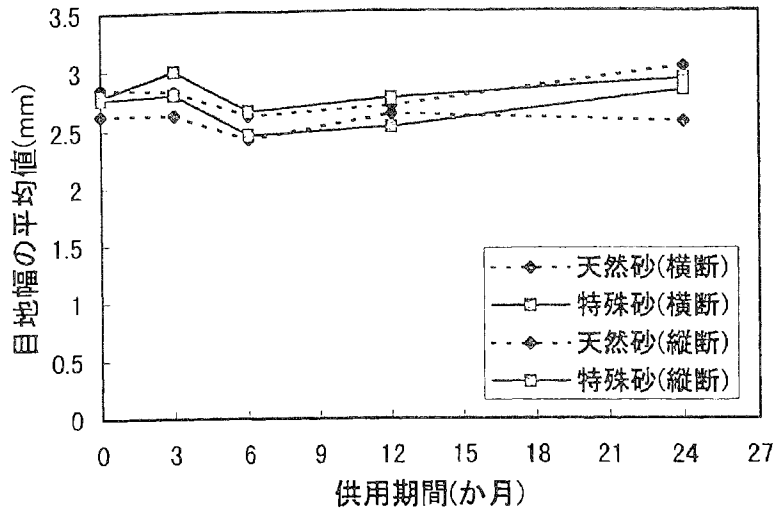


図 6.8 目地幅の推移

表 6.6 相関マトリックス

項目	曲率半径	移動量	目地幅	破損率	変形量
曲率半径	1.000				
移動量	0.252	1.000			
目地幅	0.127	0.573	1.000		
破損率	0.743*	-0.018	0.032	1.000	
変形量	0.967**	0.377	0.214	0.616	1.000

\*\* : 1%で有意 \* : 5%で有意

### 6.3 目地材料の違いが荷重分散性能に与える影響

ILブロックをはじめ、天然石、タイル、レンガ等の乾式舗装材料の目地には砂が使用されている。これは、前述したように交通荷重下で砂の正のダイレタンシー(体積膨張)に起因するブロック間の水平方向の圧縮力の発生を促進させ、隣接するILブロック相互間に荷重分散性能を発揮させる重要な役割を担っているためである。

しかしながら、1990年以降透水性ILブロックが年々増加する傾向にあり、この目地砂が透水機能を低下させる要因のひとつとして考えられ、目地幅を狭くして目地砂を詰めない工法や目地砂の代わりにブロック側面にゴムテープを付着させるなどした製品も開発されている。これらの工法や製品は、供用後に歩道であっても段差や沈下が生じているケースが見受けられる。そこで、目地砂とこれらの工法や製品との荷重伝達率の比較評価を行うために、福島県いわき市内に試験舗装を施工してHFWDによるたわみ測定を行った。

試験舗装は、表6.7に示すように歩行者系道路での施工実績が増加している298×298×60mmサイズのブロック(写真6.2)を用いて、目地幅2mmの目地砂使用の従来工法と目地幅を極力狭くして目地砂を詰めない突合わせ目地や、目地幅2mmで目地砂の代わりにブロック側面にゴムテープ(厚さ2mm)を貼り付けた目地(以下、ゴム目地という)との比較を行

った。

HFWD によるたわみ測定は、図 6.9 と 6.10 に示した位置とパターンにて各 5 地点ずつ行った。評価には、式 (5.1) より求まる荷重伝達率を用いた。これは、荷重伝達率をたわみ比で定義しているため、敷砂層以下の舗装構成層がたわむことにより見かけ上の荷重伝達率が計算されるためである。

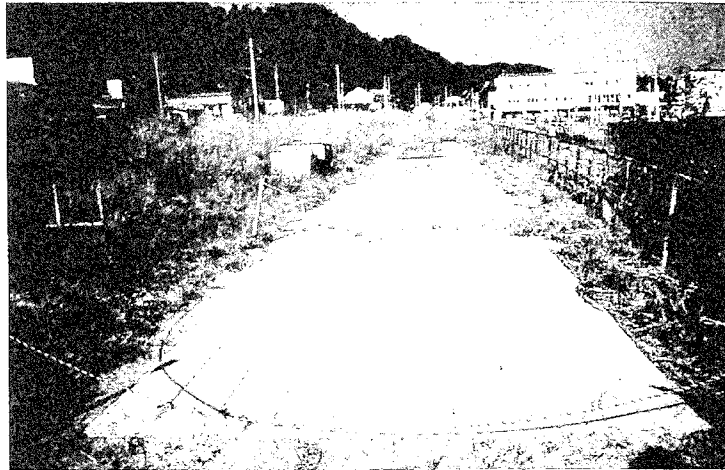
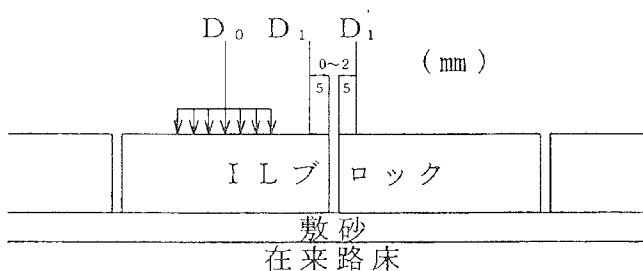


写真 6.2 試験舗装の状況

表 6.7 試験舗装の内容

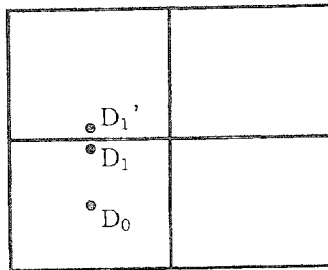
舗装番号	ブロック形状	敷設パターン	目地構造	目地幅(mm)	舗装構造(mm)
1		スタック	砂	2	
2		ボンド	突合わせ	0 ~ 1	
3		(SKB)	ゴム	2	



- $D_0$  : ブロック中心部のたわみ
- $D_1$  : 載荷側ブロック内の目地縁部  
または隅角部のたわみ
- $D_1$  : 目地を挟んで隣接する非載荷  
側ブロックの目地縁部または  
隅角部のたわみ

図 6.9 たわみの測定位置

①SKB-1



②SKB-2

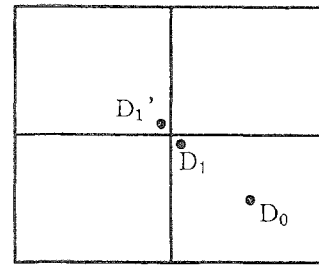


図 6.10 たわみ測定のパターン

測定結果を表 6.8 に示す. これより載荷板直下のたわみ量( $D_0$ )は, 砂目地が平均で 0.348mm を示したのに対して, 突合わせ目地とゴム目地はこれより 1.3 倍も大きい 0.452 ~ 0.456mm を示した. 載荷側ブロック内の目地縁部または隅角部のたわみ量( $D_1$ )には, 目地構造の違いによる差異が僅かであるのに対して, 目地を挟んで隣接する非載荷側ブロックの目地縁部または隅角部のたわみ量( $D_1'$ )は, 砂目地 (SKB-1=0.227mm, SKB-2=0.109mm) に比べて突合わせ目地 (SKB-1=0.071mm, SKB-2=0.044mm), ゴム目地 (SKB-1=0.084mm, SKB-2=0.040mm) とも 30~40% 程度にある. これより砂目地に比べると突合わせ目地とゴム目地は, 載荷板直下のたわみ量が大きくなり, 目地を挟んで隣接する非載荷側ブロックの目地近傍のたわみ量( $D_1'$ )が極端に小さくなるたわみ特性を示すことがわかった.

図 6.11 は 3 つの目地構造の荷重伝達率を比較したものである. これより突合わせ目地, ゴム目地の SKB-1 と SKB-2 における荷重伝達率は砂目地に比べるといずれも 1/3 前後の低いレベルにある. このことは, 突合わせ目地とゴム目地では砂目地のような正のダイレタンシーに起因するブロック間の水平方向の圧縮力が発生しないため, 荷重分散性能が小さく, ブロック間の噛み合わせ効果も当然低くなると推測される. したがって, 目地砂を詰めない代わりに目地幅を狭くする工法や目地砂の代わりにゴム目地を用いる方法はブロック間の噛み合わせ効果が期待できず, 供用後に段差や不陸が生じやすくなるためブロック系舗装材料にはいずれも適さないと考えられる.

表 6.8 たわみの測定結果

目地構造	$D_0$ (mm)	SKB-1 (mm)		SKB-2 (mm)		荷重伝達率( $D_1' / D_1$ )	
		$D_1$	$D_1'$	$D_1$	$D_1'$	SKB-1	SKB-2
砂	0.348	0.337	0.227	0.265	0.109	0.67	0.42
突合わせ	0.456	0.378	0.071	0.282	0.044	0.19	0.16
ゴム	0.452	0.365	0.084	0.284	0.040	0.23	0.14

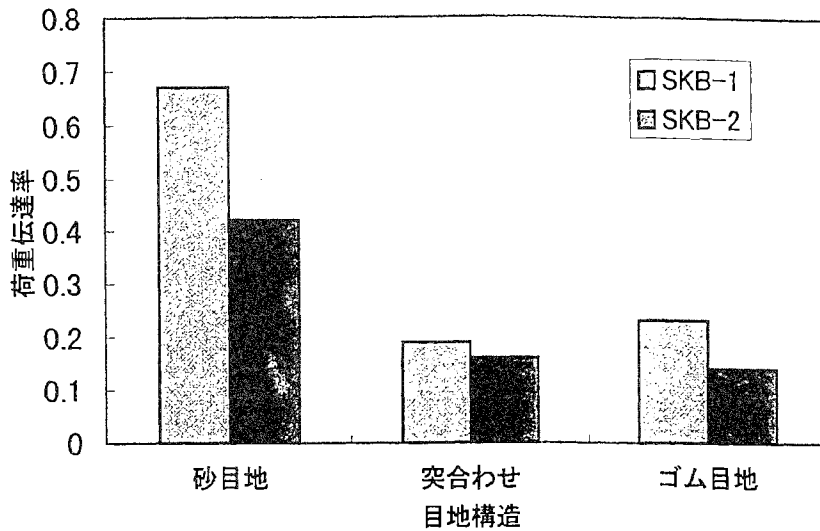


図 6.11 荷重伝達率の比較

#### 6. 4 施工時のインターロッキングブロック舗装の締固め方法が目地砂の充填率と荷重分散性能に与える影響

目地砂の有効性が確認されたことから、次に IL ブロックの締固め方法が目地砂の充填率や荷重伝達率に与える影響についての実験を行った。なお、目地砂の充填率とは、 $1\text{m}^2$  当りの目地の容積（使用したブロックの周囲長×厚さ×目地幅）から求まる理論上必要な数量(kg)に対する施工上の使用量(kg)の割合を言うが、ここでは表 6.9 に示した施工段階 3 迄に使用した目地砂の総量(kg)に対する段階ごとの使用割合(kg)で定義した。

実験は、ダンプトラックが 1 日当たり 100 台以上通行する碎石工場の構内(埼玉県秩父郡皆野町)にて実施した。IL ブロックの形状と舗装構造を図 6.12 と 6.13 に示す。目地砂には、充填性を考慮して細目で単一粒度の 5 号珪砂（最大粒径  $1.18\text{mm}$  以下）を、ブロックの転圧には従来から用いられている手押しの専用コンパクタと 8t のタイヤローラ(写真 6.3)を用いた。

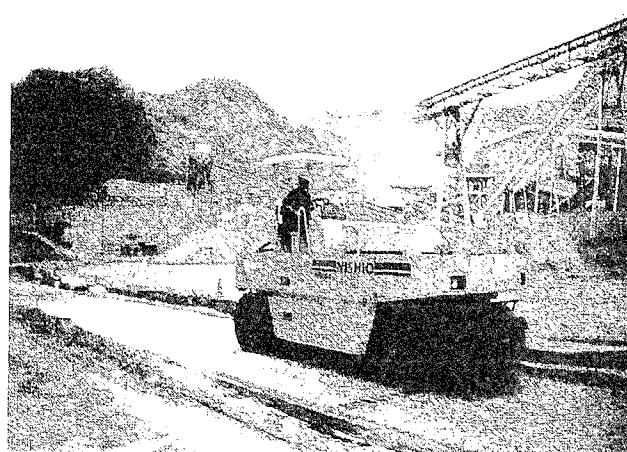


写真 6.3 タイヤローラによる転圧

(単位：mm)

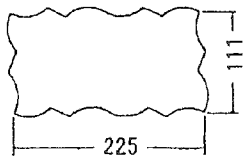


図 6.12 ILブロックの形状

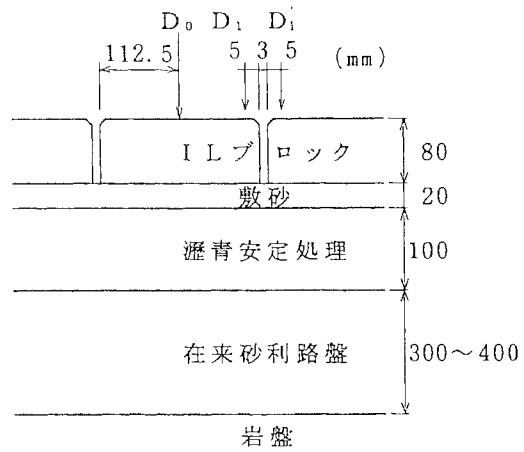


図 6.13 ILブロック舗装の構造

目地砂の施工方法は、表 6.9 に示すように 3 段階に分け、第 1 段階は従来から行われている目地砂充填と専用コンパクタによる転圧を繰り返し行い、第 2 段階は目地砂の充填性を向上させるために夜間施工で行われている散水しながら目地砂を再補充し、第 3 段階では 8t のタイヤローラを満水にした状態で仕上げ転圧を行い、その後目地砂を再補充した。

HFWD によるたわみ測定は、図 6.13 と 6.14 に示したように载荷側ブロック内の中心部 ( $D_0$ ) と目地隅角部 ( $D_1$ ) および非载荷側ブロック目地隅角部 ( $D_1'$ ) に設置して、表 6.9 に示した施工の段階ごとに 7 地点ずつ行った。

表 6.9 目地砂の施工方法

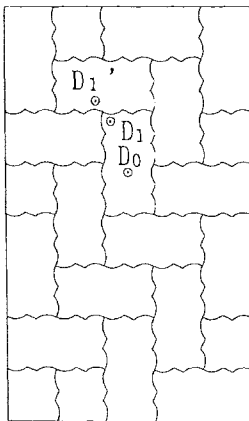


図 6.14 たわみの測定位置

段階	施工方法	目地砂の増加分 ( $\text{kg/m}^2$ )	目地砂の充填率 (%)
1	目地砂充填と専用コンパクタによる転圧	3.91	77.9
2	散水しながら目地砂再補充	0.95	96.8
3	タイヤローラにより転圧後、目地砂再補充	0.16	100.0

表 6.9 に示した施工段階ごとのたわみの測定結果を表 6.10 に、この結果を基に目地砂の充填率と荷重伝達率の関係を図 6.15 に示した。これより、ブロックの荷重伝達率は目地砂の充填率と転圧効果に伴って大きくなる傾向を示した。

特に、目地砂充填後専用コンパクタにより十分転圧した状態 (段階 1) から、散水して再補充する迄 (段階 2) の荷重伝達率の向上は 11% 以上を示した。これは、目地砂の正のダイレタンシーに起因するブロック相互間に荷重分散性能を発揮させているものである。また、タイヤローラにより転圧を行うことによって目地砂の充填率の増加分は 3.2% と少

ないものの（段階 3）、荷重伝達率は段階 2 に比べて約 20% の向上が認められた。このことは、タイヤローラのような大型の締固め機械を用いることによって、目地砂の正のダイレタンシーに起因するブロック間の水平方向の圧縮力の発生が促進され、隣接するブロック相互間の荷重分散性能がさらに高まることを示している。

したがって、1 日当たりの大型車交通量が 100 台を越える車道舗装では、従来から用いられている手押しの専用コンパクタによる転圧だけでは不十分であり、目地砂の正のダイレタンシー効果をより一層発揮させるためには大型のローラにより路面の仕上げ転圧を行うことが必要であると言える。

なお、図 6.12 に示したブロック形状と同一と見なせる表 5.1 の舗装番号 5 の目地砂充填・敷砂締固め状態の荷重伝達率(=0.65)と比べて、図 6.15 に示した荷重伝達率に大きな差が認められるのは、表 5.1 と図 6.13 に示すように舗装構造が大きく異なるだけでなく、路床土が岩盤であるためブロック上のたわみが極端に小さくなり、たわみ量の絶対値が異なることに起因していると推測される。

表 6.10 たわみの測定結果

段階	$D_0$ (mm)	$D_1$ (mm)	$D_1'$ (mm)	荷重伝達率
1	0.122	0.122	0.041	0.34
2	0.117	0.113	0.043	0.38
3	0.117	0.105	0.047	0.45

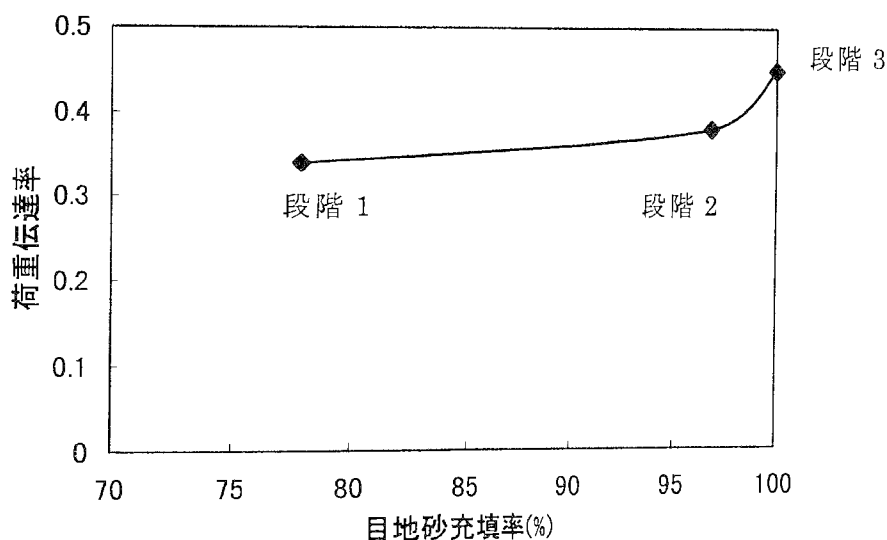


図 6.15 施工段階における荷重伝達率

## 6.5 まとめ

乾式工法によるブロック系舗装の普及やニーズの多様化が増加する傾向にある中で、その特長である敷砂と目地砂および路面の締固め方法について検討した。敷砂については、その品質が IL ブロック舗装の荷重分散性能や路面性状に与える影響と両者の関係につい



て確認するために、試験舗装を施工して供用2年間にわたり追跡調査を実施して分析した。国内外でもほとんど研究が行われていない目地砂については、その機能や目地材料の違いが荷重分散性能に与える影響についても試験舗装から検討し、目地砂の効果について明確にした。

また現状の路面の締固め方法は、車道舗装であっても歩道舗装と同様に手押しのゴムローラが付いた専用のコンパクタにより転圧が行われている。そこで締固め方法が目地砂の充填率や荷重伝達率に与える影響についても検討し、施工時の転圧方法について提案した。以下にその成果をまとめる。

- (1) 供用に伴うILブロック舗装の荷重分散性能を確認する手法のひとつとして、たわみ曲線を円弧の一部と考え弦長(一定)に対する相対変位量をHFWDによるたわみ測定( $D_0 - D_1$ )から求めて、曲率半径を算出することで評価できる。
- (2) 敷砂の品質が異なるとILブロック舗装の荷重分散性能も異なる。
- (3) 荷重分散性能が高い材料を敷砂に使用することにより、舗装面の变形や移動を低減できる。また、敷砂の荷重分散性能と舗装面の变形量、ブロックの破損率には高い相関のあることが確認された。なお、荷重分散性能が高い砂とは細粒化に対する抵抗性に優れ、目地部等からの浸透水に対して砂粒子の移動や支持力低下のないものを言う。
- (4) ILブロックの目地材には砂が適切である。これは、目地幅を狭くして目地砂を詰めない突合わせ目地や目地砂の代わりにブロック側面にゴムテープを使用する工法では、砂に比べて荷重伝達率が1/3程度に小さくなり荷重分散性能も低くなるためブロック間の噛み合わせ効果が期待できず、供用後に段差や不陸の発生が懸念される。
- (5) ブロック間の目地に砂を充填し転圧することによって、砂の正のダイレタンシーに基づくブロック相互間の荷重分散性能の発揮を確認できた。
- (6) 1日当たりの大型車交通量が100台を越える車道舗装では、従来から用いられている手押しの専用コンパクタによる転圧だけでは不十分であり、目地砂の正のダイレタンシー効果をより一層発揮させるためには大型のローラにより路面の仕上げ転圧を行うことが必要である。
- (7) 目地砂の機能と有効性が確認されたことで、歩道部の透水性舗装で適用されている目地砂を用いない工法によって発生する段差や沈下の発生を防止できる。また、大型車交通量の多い用途では大型のローラを用いて転圧することによって、十分な締固め効果が得られていないことに起因する供用初期段階での变形や变形に伴うブロックの破損を防止できる。
- (8) 浸透水に対して砂粒子の移動や支持力低下の少ない敷砂を用いることによって、透水性や保水性、急勾配の舗装における敷砂に起因する路面性状の低下を防止できる。
- (9) 浸透水に対して砂粒子の移動や支持力低下の少ない敷砂の使用、目地砂の機能と有効性および大型車交通量の多い車道舗装における転圧方法については、協会の要領をはじめ各種の指針や手引き書等の設計、施工面に反映させることが必要である。

## 第6章参考文献

- 1) T. Kobayashi : Evaluation on Interlocking Block in the Great Hanshin Earthquake, Concrete Block Paving 6<sup>th</sup> International Conference, Proceedings, pp. 605 - 610, 2000.
- 2) 矢澤修一, 柳沼宏始, 加藤義輝, 木下孝樹:ブロック系舗装用クッション砂の開発, 雑誌「舗装」, pp. 18 - 23, 2003. 8.
- 3) 加藤義輝, 柳沼宏始, 矢澤修一:ブロック系舗装用クッション砂の開発, 第24回日本道路会議一般論文集(C), pp. 156 - 157, 2001.
- 4) 土木学会:舗装工学, pp. 314, 1995.
- 5) 姫野賢治:舗装の逆解析, 雑誌「舗装」, pp. 4 - 8, 1999. 7.
- 6) 財団法人道路保全技術センター:FWD運用マニュアル(案), pp. 21 - 22, 1996.
- 7) 安崎裕, 長谷川強:RCCPにおける目地部の伝達荷重の検討, 雑誌「道路建設」, pp. 46 - 51, 1992, 8.

## 第7章 路盤構造が荷重分散性能に与える影響

### 7.1 概説




舗装構造体の荷重分散性能とは、荷重をその層で分散させる程度を表わす概念であり、たわみの大小、層の弾性係数の大きさ等で一般的には表されることから、ILブロック舗装についても多くの研究がなされている。

第1章で述べたように国内外における荷重分散性能に関する研究は、ブロック形状や敷設パターンによる応力比較をはじめ、ILブロック層としての弾性係数、アスファルト舗装との応力比較、路床、路盤の応力やひずみの推移等に関するものが多いのに対して路盤材の比較を行ったものは非常に少なく、しかも室内試験レベル<sup>1)</sup>であるため、研究の余地が残されていると言える。

本章では、路盤構造が荷重分散性能に与える影響を確認するために異なる路盤構造上に施工した供用中のILブロックによる車道舗装で、たわみの面的分布状況を広範囲に測定した。得られたたわみ量から、たわみ比を算出することにより異なる路盤構造上に施工したILブロック舗装の荷重分散性能が評価できることを明らかにした。さらに、ILブロック舗装の荷重分散性能と路盤支持力との関係についても考察した。

### 7.2 たわみ比を用いた荷重分散性能の評価

路盤構造の差異によるILブロック舗装の荷重分散性能の比較は、ブロック上にてたわみ測定を行いその面的分布状況を評価することで行った。これは、第1章の「1.4 既往の研究」で述べたように、ILブロック舗装の荷重分散性能を比較するために土圧計を路盤上に広く設置して応力測定から評価した研究事例<sup>2), 3), 4)</sup>を参考にしたものである。

HFWDによるたわみ測定は次のように行った。まず、任意のブロックを選定してブロック中心にHFWDで載荷し、そのたわみを $D_0$ とする。次に、このブロックに隣接する6個のブロック(図7.1の  部分)中心のたわみ( $D_1$ )を第2センサで測定する。さらに、その外周のブロック(総数12個、図7.1の  部分)に第2センサをセットしたたわみ( $D_2$ )を求め、引き続き、その外周のブロック(総数18個、図7.1の  部分)のたわみ( $D_3$ )を測定する。各ブロックの位置関係を図7.1と表7.1に示す。

ここでは、ILブロック舗装の荷重分散性能をたわみ比として式(7.1)で評価した。なお、式(7.1)と前述した式(5.1)との違いは、式(5.1)はブロック寸法の違いを比較するために図5.1に示すように目地を挟んだ非常に狭い間隔(=13mm)のたわみを測定し、評価には載荷板のたわみ( $D_0$ )ではなく第2センサのたわみだけを用いている。これに対して、式(7.1)は路盤構造の違いを評価するために載荷板( $D_0$ )とその周囲のたわみを広範囲に測定し、評価には載荷板のたわみ( $D_0$ )と広範囲に測定した第2センサのたわみの平均値( $D_i$ )を用いている。

$$\text{たわみ比} = D_i / D_0 \quad (7.1)$$

ここで、 $D_0$  :  $D_1 \sim D_3$  測定時の平均値 (mm)

$D_i$  :  $i=1 \sim 3$

$D_1$  : 6 個の平均値 (mm)

$D_2$  : 12 個の平均値 (mm)

$D_3$  : 18 個の平均値 (mm)

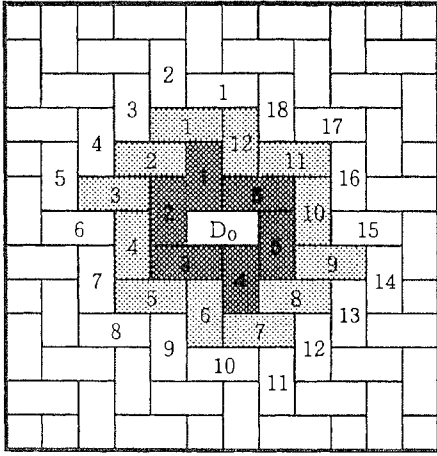


図 7.1 たわみの測定位置

表 7.1 たわみを測定するブロック

区分	名称	たわみを測定するブロック数
	$D_0$	荷重点直下のたわみ量
	$D_1$	$D_0$ を設置したブロックに接する6個のブロックのたわみ量
	$D_2$	$D_1$ を設置したブロックに接する12個のブロックのたわみ量
	$D_3$	$D_2$ を設置したブロックに接する18個のブロックのたわみ量

### 7. 3 路盤構造の差異による荷重分散性能の比較

路盤構造の差異による荷重分散性能の比較は、同一路線上で同時期に IL ブロックの形状 (図 7.2)、目地砂、締固め方法等の施工方法も同じ条件で図 7.3 に示す粒状路盤 (以下、RM-40 という) と再生スタビによるセメント安定処理工法 (以下、CTB という) 上に施工した千葉県白子町における試験舗装<sup>5)</sup> にて行った (写真 7.1)。測定は、施工後 2 年以上経過し交通荷重により目地砂と敷砂が安定し、目地砂が 100% 充填された車両走行部上を対象に実施した。これより、IL ブロック舗装の荷重分散性能に影響を及ぼす要因のうち、ブロック形状、目地材、ブロックの締固め方法、目地砂の充填率、さらに交通履歴も同一条件となることから IL ブロック間の荷重伝達率に差異が無くなり、異なる路盤構造上に施工した IL ブロック舗装の荷重分散性能の比較ができると考えられる。

(単位 : mm)

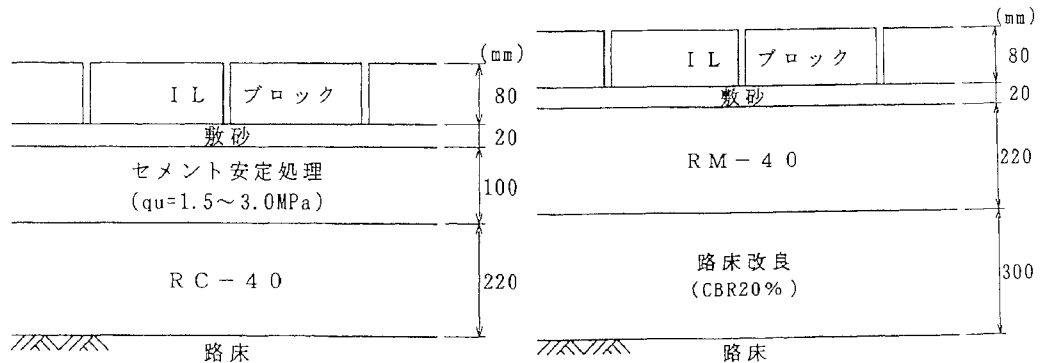
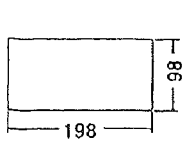


図 7.2 IL ブロックの形状

図 7.3 IL ブロック舗装の構造



写真 7.1 白子町の試験舗装

表 7.2 は、たわみ量とたわみ比の測定結果をまとめたものである。これより、粒状路盤上のたわみ量( $D_0$ )は 0.103 mm を示したのに対し、CTB では半分以下の 0.043 mm となった。また式 (7.1) から求めたたわみ比のグラフ(図 7.4)からわかるように、荷重分散性能がより優れていると考えられる CTB は粒状路盤より相対的にたわみ比が大きく、センサの位置が  $D_2/D_0$ 、 $D_3/D_0$  と遠くなることによるたわみ比の低下率も小さい傾向にある。このように、IL ブロック間の荷重伝達率に差異が無いと見なせるケースでは、路盤構造が異なると IL ブロック上のたわみ量( $D_0$ )やたわみ比に差異が生じることが確認できた。この差異は、路盤構造の剛性によるもので支持力の大きい路盤上に IL ブロックを施工すると、IL ブロック舗装の荷重分散性能が大きくなることを示している。これより、IL ブロック間の荷重伝達率に差異が無いと見なせるケースでは、IL ブロック舗装の荷重分散性能は路盤の支持力と相関があると言える。

表 7.2 たわみの測定結果

路盤構造	たわみ量(mm)とたわみ比				
	項目	$D_0$	$D_1$	$D_2$	$D_3$
CTB	平均値	0.043	0.018	0.016	0.013
	$D_i/D_0$		0.420	0.370	0.300
RM-40	平均値	0.103	0.027	0.018	0.014
	$D_i/D_0$		0.260	0.170	0.140

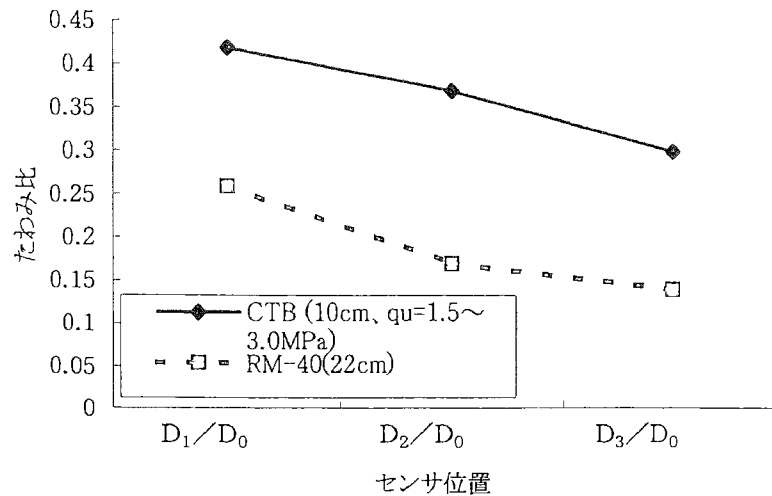


図 7.4 たわみ比と路盤構造

#### 7. 4 まとめ

異なる路盤構造上に施工した IL ブロック舗装の荷重分散性能の比較を、供用中の車道舗装における HFWD を用いたたわみ測定からたわみ比を算出することで評価した。これらをもとに、IL ブロック舗装の荷重分散性能を評価する手法について提案するとともに、路盤構造が荷重分散性能に与える影響について考察した。その結果を以下にまとめる。

- (1) 異なる路盤構造上に施工した IL ブロック舗装の荷重分散性能は、ブロック上にてたわみの面的分布状況を広範囲に測定し、載荷板のたわみ( $D_0$ )と広範囲に測定した第 2 センサのたわみ( $D_i$ )との比であるたわみ比を用いることで評価できる。
- (2) IL ブロック間の荷重伝達率に差異がないと見なせるケースでは、路盤構造が異なると IL ブロック上のたわみ量( $D_0$ )やたわみ比に差異が生じることが確認できた。この差異は、路盤構造の剛性によるもので支持力の大きい路盤上に IL ブロックを施工すると、IL ブロック舗装の荷重分散性能が大きくなることを示している。
- (3) これより、IL ブロック間の荷重伝達率に差異が無いと見なせるケースでは、IL ブロック舗装の荷重分散性能は路盤支持力と相関がある。

#### 第 7 章参考文献

- 1) 石下幸司, 関根重年, 加形護, 内海吾朗: IL ブロック舗装の荷重分散性能に関する一検討, 雑誌「舗装」, pp. 16 - 22, 1996, 6.
- 2) J. Knapton, S. D. Barber: UK Research into concrete Block pavement design, First International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 33 - 39, 1980.
- 3) 三浦裕二, 津田外喜弘, 古村満, 神永晃: インターロッキングブロック舗装について, 第 13 回日本道路会議一般論文集, pp. 367 - 368, 1979.

- 4) 三浦裕二, 津田外喜弘, 古村満, 高浦正幸: インターロッキングブロック舗装について—第2報—, 第14回日本道路会議一般論文集, pp. 391 - 392, 1981.
- 5) T. Kunishima., K. Arai., and H. Yaginuma, : Utilization of Glass Cullet for Sand-Cushion Layer of ILB Pavement, Concrete Block Paving 6<sup>th</sup> International Conference, Proceedings, pp. 159-166, 2000. 9.

## 第 8 章 小型 FWD のインターロッキングブロック舗装の支持力評価への適用

### 8. 1 概説

IL ブロックを用いた車道舗装の大きな課題には、供用中に破損が生じた場合の破損部と健全部での荷重分散性能の比較や支持力評価に関する調査、研究がほとんど行われていないことにある。特に供用中に破損が生じた場合では、短時間で敏速にしかも簡便に多数の支持力やたわみの測定が行える非破壊式の試験器が適用できれば、適切な支持力評価や施工管理が可能となり供用中の破損を低減でき、適切な維持修繕工法の選定も可能となる。

これらの課題に対して、これ迄の研究成果を基にたわみ測定の方法を検討しながら供用中に破損が生じた IL ブロックによる車道舗装でたわみ測定を実施した。

本章は、供用中に破損が生じた現場で開削調査時に HFWD によるたわみ測定と他の測定を組み合わせることによって、破損の原因を究明する方法について調査事例を基に提案する。また、供用中の車道舗装で破損部と健全部における荷重分散性能を比較し考察する。さらに、車道舗装における破損を低減するために HFWD によるたわみ測定から、交通量の区分に応じた上層路盤上の支持力基準についても提案する。

### 8. 2 支持力評価の方法

IL ブロックによる車道舗装は、図 8.1 に示すように IL ブロック、敷砂、上層路盤、下層路盤、路床等から構築され、一般に 4~5 層で構成される。しかし、このような舗装構造も図 8.2 に示すように IL ブロック層(IL ブロック+敷砂)/路盤以下の層、あるいは IL ブロック舗装/路床からなる 2 層構造と考えると、HFWD で載荷板直下と任意の距離におけるたわみを測定し、得られたたわみ量に逆解析プログラム(LMBS)<sup>1)</sup>等を用いることで 2 層の弾性係数を推定することができる。この手法は、HFWD により得られた  $D_0$  と  $D_1$  の測定たわみと計算たわみの残差平方和(RMS)を最小にするものである。

$$\text{RMS} = \{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2\}^{1/2} \quad (8.1)$$

ここで、RMS：残差平方和

$x_1$ ：載荷板直下の計算たわみ

$y_1$ ：載荷板直下の実測たわみ( $D_0$ )

$x_2$ ：載荷板より任意の距離における計算たわみ

$y_2$ ：載荷板より任意の距離における実測たわみ( $D_1$ )



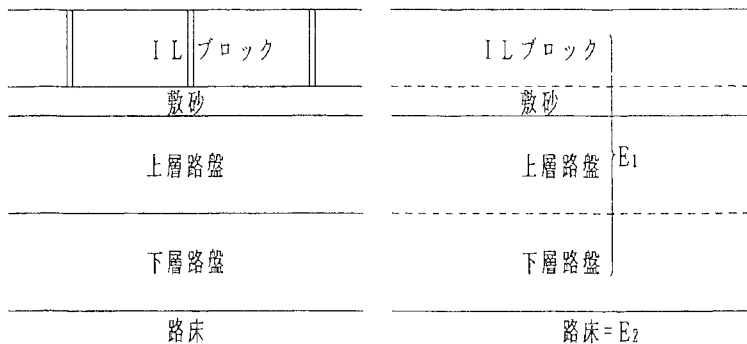


図 8.1 IL ブロック舗装の構造

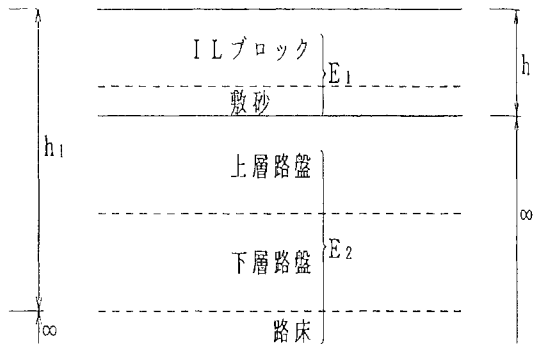


図 8.2 舗装構造評価のための 2 層モデル

ここで示した方法は、IL ブロック上でたわみ測定を行った場合の解析である。したがって、IL ブロック舗装にわだち掘れ、ブロックの移動、ブロックの破損等が発生し進行した場合には、IL ブロック上だけでたわみを測定し 2 層構造で評価しても破損の原因がどこの層にあるのか解明できない。そこでこのような場合には、破損部と健全部でそれぞれ図 8.3 に示すように深さ方向にある一定範囲内で開削を行い、上層路盤層と下層路盤層または路床上面でもたわみ測定を行うことにより舗装構成各層の弾性係数を算出でき、健全部の値と比較することにより破損の原因を推定することが可能となる。

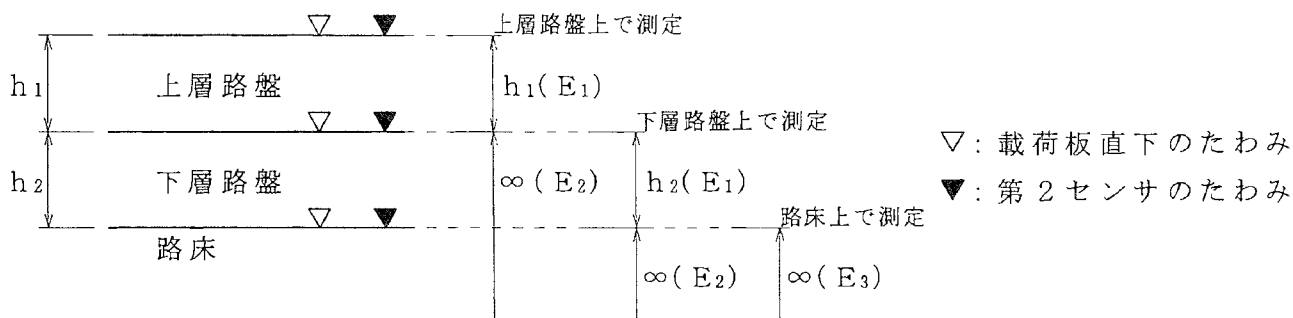


図 8.3 開削による 2 層モデル

なお、路床上面迄開削してたわみ測定を行った場合、載荷板直下のたわみ( $D_0$ )は少なくとも 3 回以上の落下衝撃荷重が路床面に作用することで逆に路床土が次第に締め固まり、データが安定せず信頼性のある値を計測できないことがある。このような場合には、第 2 センサのたわみ( $D_1$ )を用いて式(8.2)に示す Ullidtz の公式<sup>2)</sup> から弾性係数を算出する。

$$E_{sg} = P(1 - \mu^2) / \pi r dr \quad (8.2)$$

- ここで、
- $E_{sg}$  : 路床の弾性係数
  - $P$  : 荷重(kg)
  - $\mu$  : 路床のポアソン比
  - $r$  : 距離(mm)
  - $dr$  : 距離  $r$  離れた位置での表面たわみ(mm)

## 8. 3 実道における破損原因の推定事例

### 8. 3. 1 インターロックブロックと敷砂迄を開削範囲とした調査事例

最初の事例は、1996年に施工された苫小牧市道臨港1号線<sup>3)</sup>で3車線を有するC交通道路にILブロック舗装が適用されたケースである。ILブロックの形状、敷設パターン、舗装構造を図8.4、8.5に示す。

この現場では、施工後1年足らずで沈下性のわだち掘れが発生(写真8.1)した。その状況は、深さ10~20mmに達しわだち掘れ部では目地砂の消失も認められた。そこでわだち掘れの原因を確認するためにILブロックと敷砂迄を撤去する開削調査を実施した。

調査は、わだち掘れが発生した中央車線を対象に行い、ILブロック上と瀝青安定処理路盤上に20cmピッチで水系法による横断形状とHFWDによるたわみ測定をそれぞれ同一地点上で実施した。



写真 8.1 わだち掘れの状況

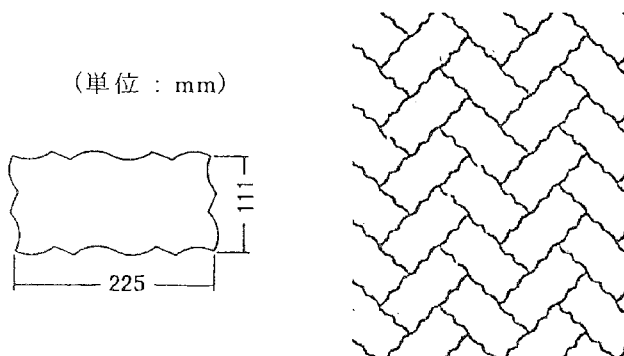


図 8.4 ILブロックの形状と敷設パターン

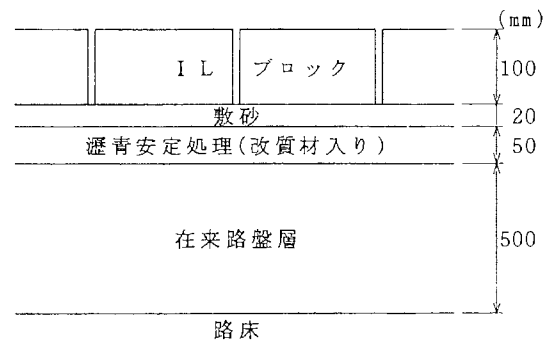


図 8.5 ILブロック舗装の構造

図 8.6 は、水系法による横断形状を示したものである。これより、ILブロック舗装のわだち掘れは敷砂と瀝青安定処理路盤の変形に起因していることが確認できた。図 8.7 は、

水系法による横断形状測定と同一地点上で実施した IL ブロックと瀝青安定処理路盤上の HFWD たわみ量のプロフィールである。この図から、わだち部におけるたわみ量は非わだち部に比べ IL ブロック上、瀝青安定処理路盤上とも大きく、横断方向に支持力差のあることがわかった。

このように、供用後にわだち掘れが生じた場合、横断方向に一定間隔で IL ブロック上とその直下の上層路盤上でたわみ測定と水系法による横断形状を合わせて測定することにより、わだち掘れの原因を明確にすることができる。

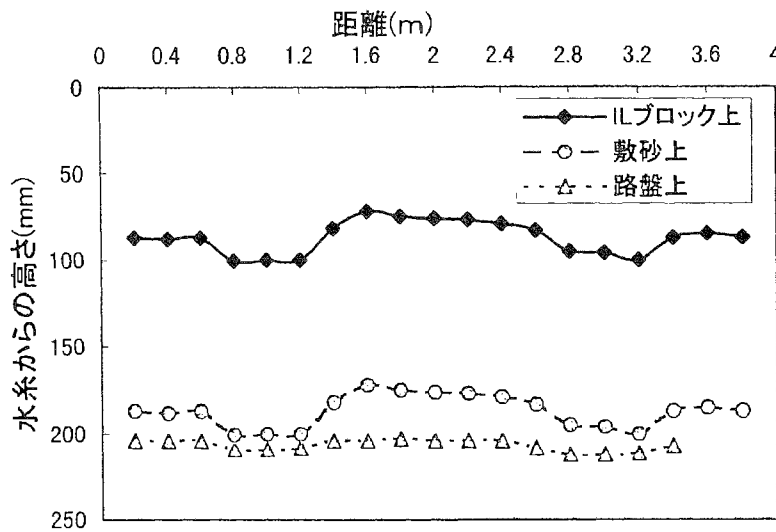


図 8.6 舗装各層の横断形状

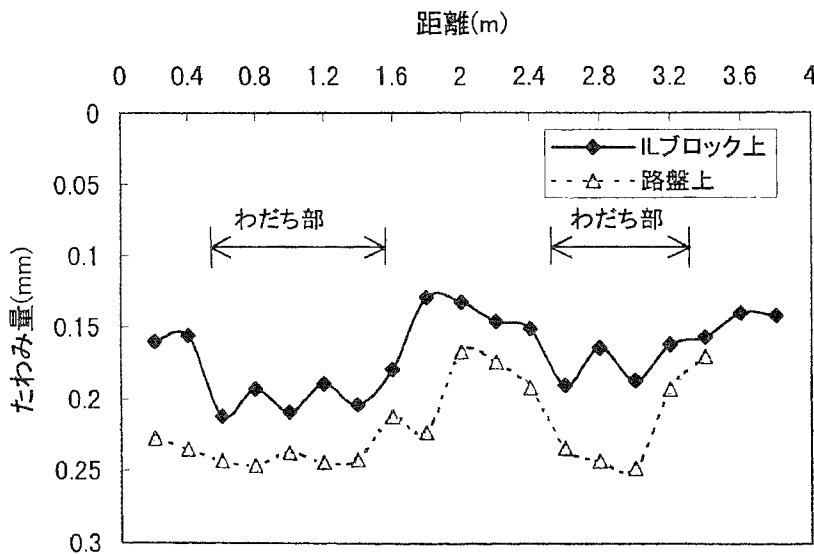


図 8.7 舗装各層のたわみ量

### 8. 3. 2 路盤，路床面迄を開削範囲とした調査事例

路盤，路床面迄掘り下げて開削調査を行った事例としては，1985年に国内ではじめて透水性 IL ブロックによる車道舗装が適用された現場が挙げられる。この調査は，NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の新規産業支援型国際標準開発事業「ブロック舗装用繊維材料の性能評価方法調査研究」の一環として，筆者の属するアイエルビー株式会社が

この業務の一部を受託して行ったものである<sup>4)</sup>。

現場は、葛飾区内のコミュニティ道路の交差点部で供用14年以上も経過しているにもかかわらず、舗装面に段差や沈下等が発生しているのは交差点4箇所中1箇所(写真8.2)だけであった。調査はこの交差点を対象に実施した。現場の概要を表8.1に示す。

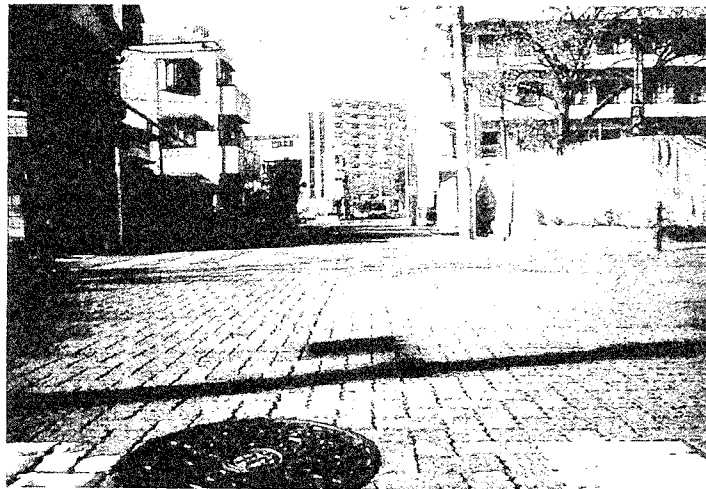
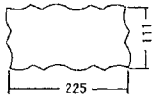
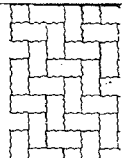
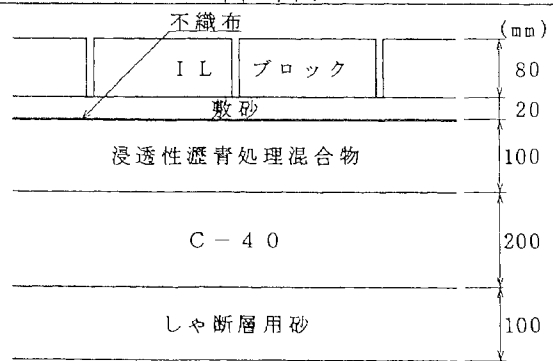


写真 8.2 現場の状況

表 8.1 調査現場の概要

現場名	亀有さくら通り
施工箇所	葛飾区亀有1丁目
施工時期	1985年12月
調査時期	2000年1月25日
交通量	乗用車、2~4t車
施工面積(m <sup>2</sup> )	300~400
ILブロックの形状 (mm)	
目地キープの有無	なし
敷設パターン	
舗装構造	

破損の原因を確認するために行った調査の一例を表 8.2 に、開削方法の詳細を図 8.8 に示す。

表 8.2 調査内容(破損部, 健全部共通)

調査項目	ILブロック上	浸透性瀝青処理路盤上	C-40路盤上	しゃ断層用砂上	路床上
HFWD たわみ	○	○	○	○	○
水系法による 横断形状	○	○	○		
路床土の室内 CBR					○

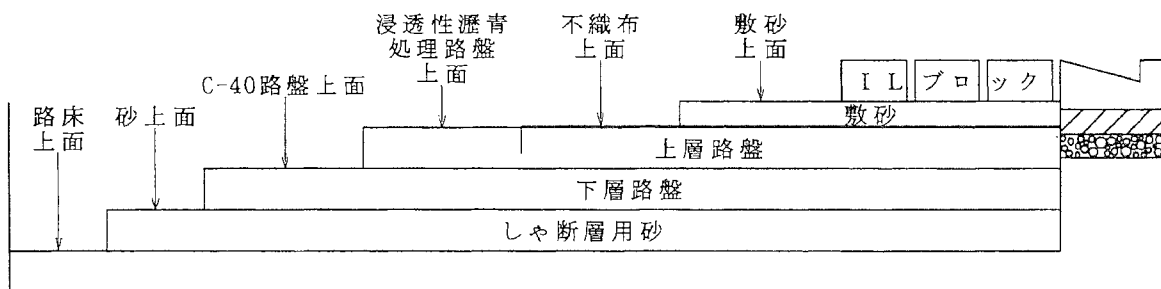


図 8.8 開削方法の詳細

(1) 水系法による横断形状

水系法により、測定した舗装各層の横断形状を図 8.9, 8.10 に示す。また、水系から IL ブロック、各路盤上面迄の高さを測定したデータから求めた敷砂、浸透性瀝青処理路盤、C-40 路盤の厚さを表 8.3 に示す。これより次のことが確認された。

- ① 図に示した横断形状図から、破損部と健全部に差は認められないものの、目地の開きや沈下が発生している箇所の浸透性瀝青処理路盤には、顕著な変形が認められる。
- ② 表 8.3 から破損部、健全部とも敷砂厚の平均値は 40mm を越えており、設計値 (=20mm) の倍以上の厚さで施工されている。
- ③ 路盤層の厚さは、破損部で浸透性瀝青処理路盤と C-40 路盤が設計値 (浸透性瀝青処理路盤 10cm, C-40 路盤 20cm) を満足し、健全部では逆にしゃ断層用砂が設計値を満足している。

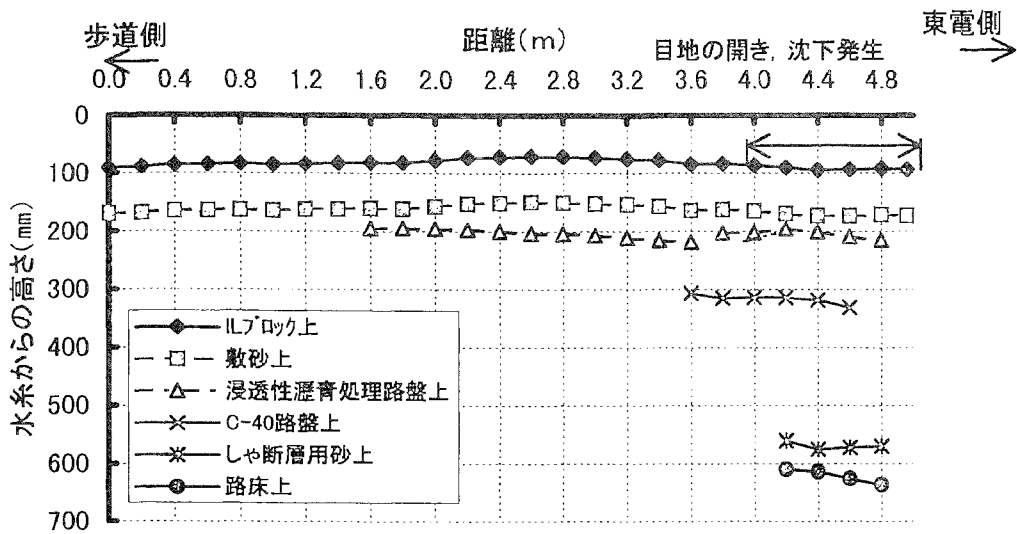


図 8.9 破損部の横断形状

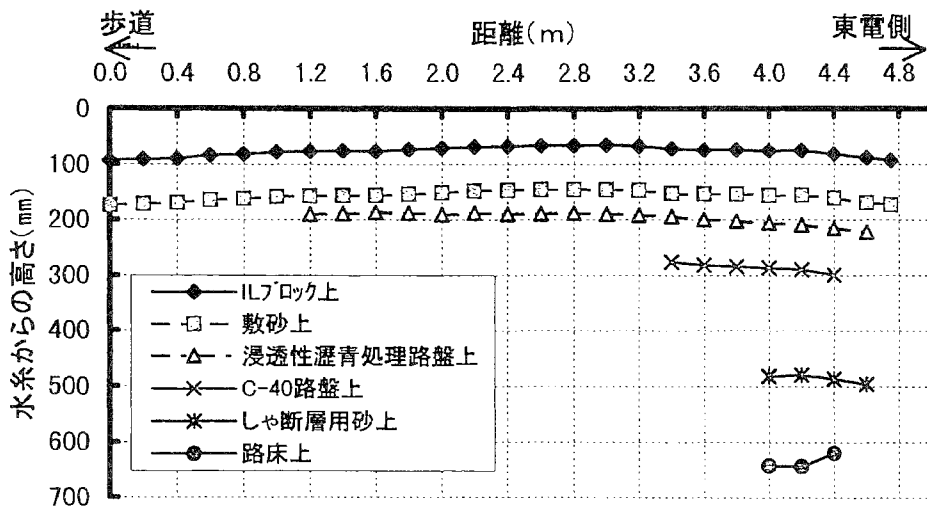


図 8.10 健全部の横断形状

表 8.3 舗装各層の厚さ(平均値)

層名	破損部(mm)	健全部(mm)
敷砂	44.3	42.9
浸透性瀝青処理路盤	111.3	81.6
C-40 路盤	247.7	190.3
しゃ断層用砂	52.0	152.0

(2) HFWD たわみ量

HFWD により測定したたわみ量の結果を表 8.4 と図 8.11, 8.12 に示す. これより次のことが確認された.

①図より破損部, 健全部とも IL ブロック上と浸透性瀝青処理路盤上のたわみのプロフィール

はほぼ同じような形状を示している。特に破損部で目地の開きや沈下が発生している箇所では、ILブロック上と浸透性瀝青処理路盤上のたわみを破損のない位置と比較すると、大きい傾向にあり支持力の低下が考えられる。

- ②この理由としては、横断方向の敷砂厚に差があることと、破損部の路盤層に顕著な変形が認められることが挙げられる。
- ③C-40路盤上のたわみ量は、ILブロック上や浸透性瀝青処理路盤上に比べて大きく変動しており、横断方向の支持力差が顕著に認められる。
- ④浸透性瀝青処理路盤上の平均たわみ量( $D_0$ )は0.146~0.152mmを示した。この値は、既往の厚さ10cmの瀝青系路盤上で測定した値(5現場の平均値0.041~0.116mm)と比較すると大きい傾向にある。したがって、長年の供用により路盤層以下の支持力低下が考えられる。
- ⑤路床上のたわみ量は、健全部の平均2.02mmに対して破損部で平均2.39mmを示した。これより破損部と健全部では路床支持力に若干の差が生じている。

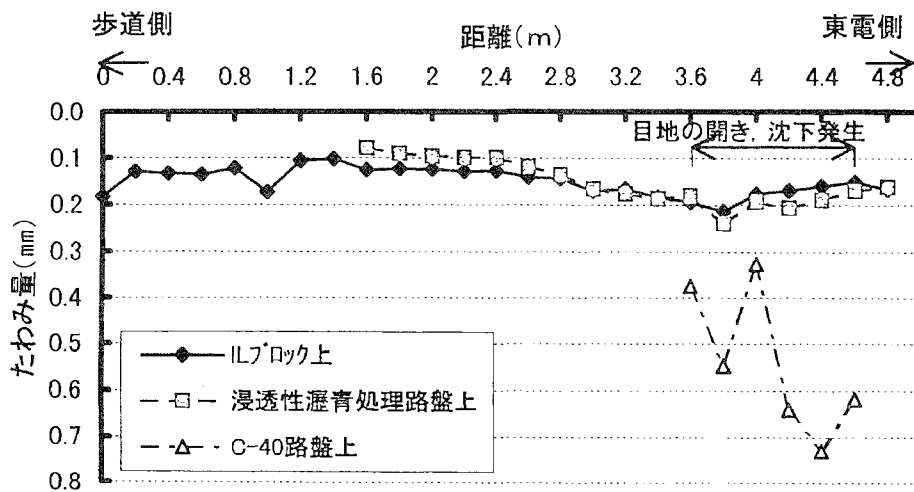


図 8.11 舗装各層のたわみ量 (破損部)

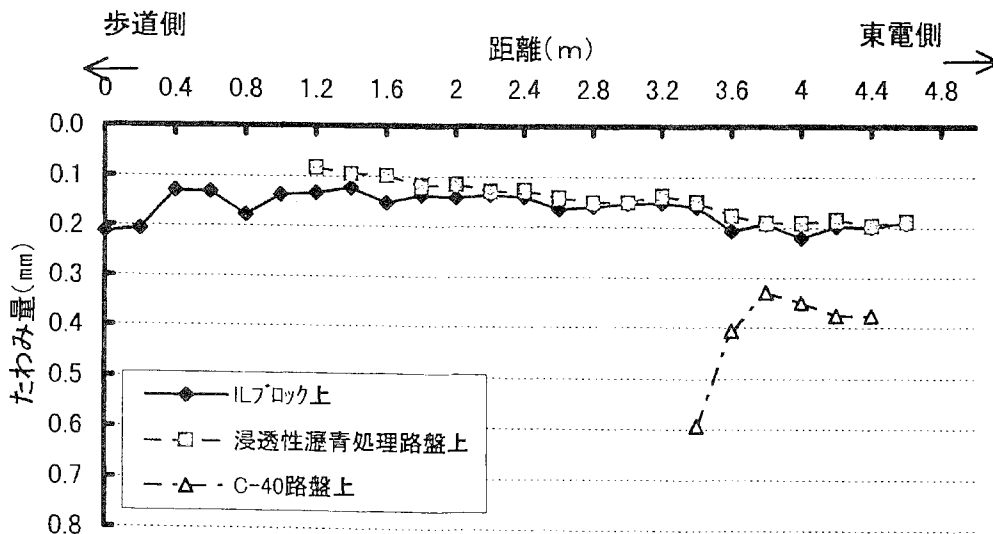


図 8.12 舗装各層のたわみ量 (健全部)

表 8.4 HFWD たわみ量

調査位置	層名	D <sub>0</sub> (mm)					D <sub>20</sub> (mm)				
		データ数	最大値	最小値	平均値	標準偏差	データ数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
破損部	ILブロック上	25	0.213	0.102	0.150	0.029	—	—	—	—	—
	浸透性瀝青処理 路盤上	17	0.240	0.079	0.152	0.047	17	0.130	0.053	0.089	0.021
	C-40 路盤上	6	0.730	0.326	0.539	0.158	6	0.139	0.110	0.131	0.011
	路床上	3	2.412	2.361	2.394	0.029	—	—	—	—	—
健全部	ILブロック上	24	0.221	0.123	0.165	0.031	—	—	—	—	—
	浸透性瀝青処理 路盤上	18	0.196	0.084	0.146	0.036	18	0.107	0.052	0.083	0.017
	C-40 路盤上	6	0.594	0.329	0.406	0.096	6	0.105	0.070	0.091	0.012
	路床上	3	2.249	1.846	2.020	0.207	—	—	—	—	—

(3) 路床，路盤の弾性係数の推定

表 8.4 に示した HFWD たわみ量を用いて，舗装構造を図 8.13 に示す 2 層モデル(路床の場合 1 層)とし，逆解析プログラム(LMBS)を用いる方法により路床，路盤の弾性係数を推定した。

CASE-1(D<sub>0</sub>と D<sub>20</sub>を使用)

CASE-2(D<sub>0</sub>と D<sub>20</sub>を使用)

CASE-3(D<sub>0</sub>を使用)

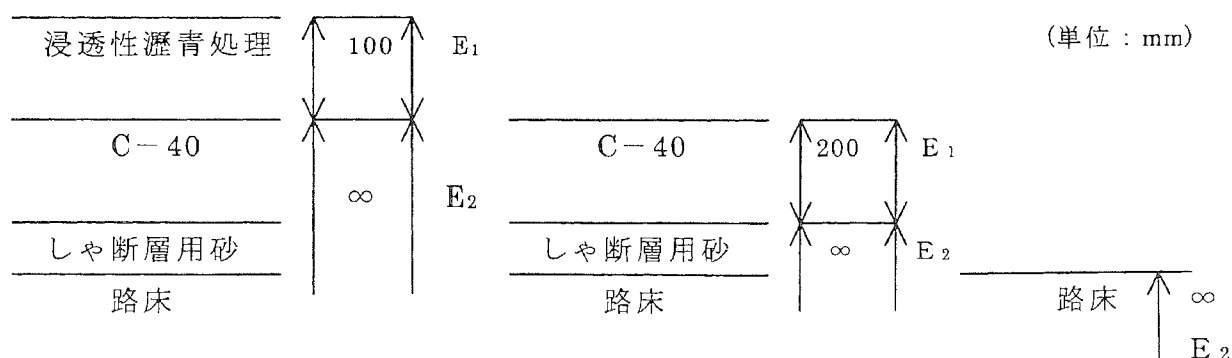


図 8.13 2 層構造解析のモデル

なお弾性係数の推定には，たわみの代表値として表 8.4 に示した値から「平均値 + 標準偏差」を用いた。

推定した弾性係数を表 8.5 に示す。これより次のことが確認された。



表 8.5 弾性係数の推定値(MPa)

CASE	層名	破損部	健全部
1	浸透性瀝青処理路盤	945.4(0.55)	1,730.1
	C-40 以下の層	48.0(0.80)	60.0
2	C-40 路盤	99.7(0.70)	141.5
	しゃ断層用砂以下の層	41.6(0.66)	63.0
3	路床	16.9(0.92)	18.3

( )内の値は健全部を 1.0 とした時の割合を示す。

- ①破損部では、健全部に比べ浸透性瀝青処理路盤，C-40 路盤，路床とも弾性係数が低下している。特に破損部の浸透性瀝青処理路盤の弾性係数は健全部の 55%程度にあることから、長年の供用により強度が大きく低下している。
- ②在来路床土の CBR を舗装設計施工指針<sup>5)</sup>に示される式(8.3)から推定すると、1.7~1.8%となる。なお、この値は表 8.6 に示す在来路床土をサンプリングして室内 CBR 試験から求めた値 1.3~1.4%と良い一致をみた。

表 8.6 室内 CBR 試験結果

調査項目	破損部	健全部
室内 CBR(%)	1.3	1.4

$$E_s = 10CBR \quad (8.3)$$

ここで、 $E_s$  = 路床の弾性係数 (MPa)

CBR = 路床の CBR (%)

このように、供用中に IL ブロック舗装でわだち掘れ等の破損が生じた場合には比較的簡単に IL ブロックを抜き取れるため、路盤上で測定したたわみ量に多層弾性体の逆解析プログラムを適用することで路床、路盤層の弾性係数の推定が可能となり、破損部と健全部での支持力評価や破損の原因を推定できることが確認できた。

### 8.3.3 破損部と健全部における荷重分散性能の比較

#### (1) わだち掘れ部と健全部の荷重分散性能の比較

HFWD により、異なる路盤構造上に施工した IL ブロック舗装の荷重分散性能の比較ができることは第 7 章で述べた。ここでは供用中の車道舗装において、破損部と健全部の荷重分散性能の比較を行った。

測定は、供用約 8 年を経過して IL ブロック舗装面にわだち掘れやブロックの角欠けが発生した千歳空港の A 交通のバスプールで実施した。IL ブロックの形状、寸法と敷設パターンを図 8.14 に、舗装構造を図 8.15 に示す。たわみ測定(写真 8.3)は第 7 章で示した面的

なたわみの分布状況を把握する方法(図 7.1)と同じである。



写真 8.3 たわみ測定の状態

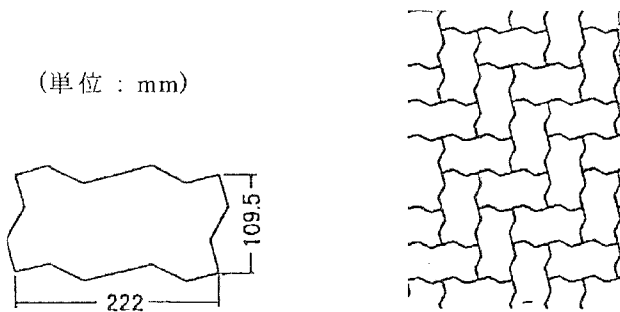


図 8.14 ILブロックの形状と敷設パターン

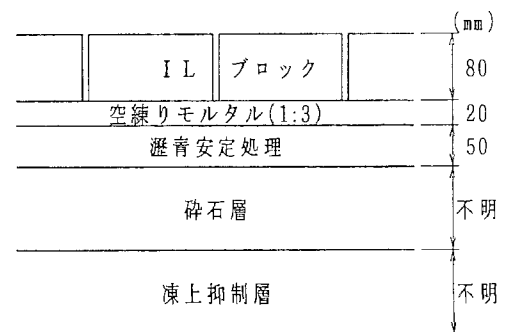


図 8.15 ILブロック舗装の構造

表 8.7 に各センサ位置におけるたわみ量を，図 8.16 にたわみ比を示す．これより，健全部のたわみ量 ( $D_0$ ) は 0.166mm を示したのに対して，破損部では 1.5 倍程大きい 0.25mm となった．また，たわみ比も各センサ位置において破損部に比べて健全部の方が 1.3 倍大きい傾向にある．したがって，破損部では健全部に比べて荷重分散性能が低下しており，舗装体の支持力低下がたわみ測定から確認された．

以上より，HFWD を用いることでたわみ比から舗装構造の健全度を相対的に評価することが可能となろう．

表 8.7 たわみの測定結果

調査位置	たわみ量(mm)				
	項目	$D_0$	$D_1$	$D_2$	$D_3$
健全部	平均値	0.166	0.103	0.061	0.040
	$D_i/D_0$		0.620	0.367	0.241
破損部	平均値	0.250	0.121	0.069	0.044
	$D_i/D_0$		0.484	0.276	0.176

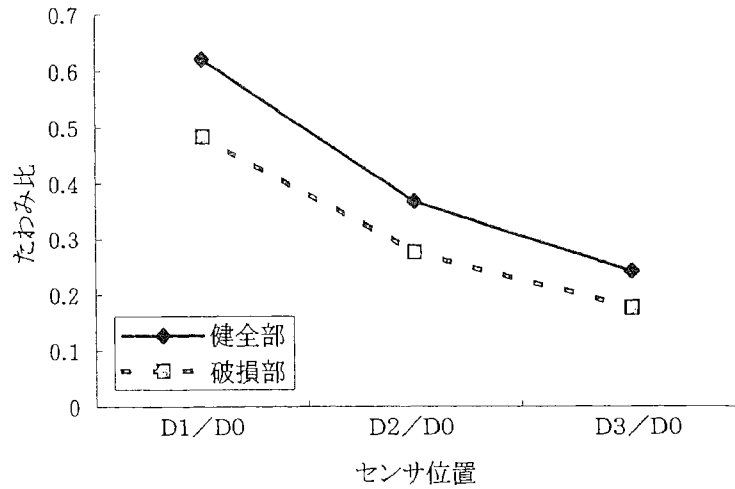


図 8.16 破損部と健全部のたわみ比の比較

(2) ブロックの移動部と健全部の荷重分散性能の比較

次に示すのは、ILブロックによる車道舗装で現在最も破損事例の多いブロックの移動現象(写真 8.4)が生じた現場で、荷重分散性能の比較を行った事例である。この現象は、車両進行方向にブロックが徐々に押されて移動することによりブロック間の目地幅が少しずつ広がり、これに伴い降雨等により目地砂が消失して小さなブロックが噛み合った連続体として機能しなくなる破損である。さらに、高齢者や幼児にとって躓き等の問題を生じさせるだけでなく、車両走行による騒音の発生といった沿道環境にも影響を与える。

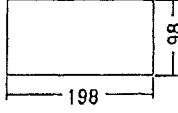
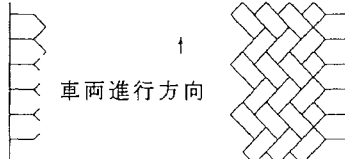
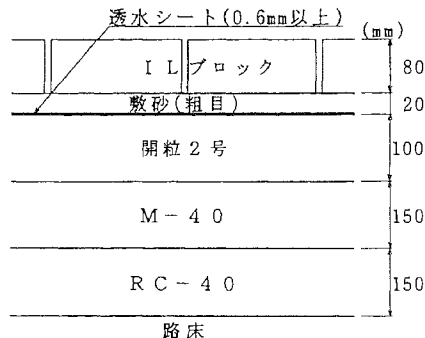


写真 8.4 ブロックの移動現象

1) 現場の概要

ブロックの移動現象が生じた現場の概要を表 8.8 に示す。

表 8.8 調査現場の概要

現場名	道路改良工事
施工箇所	足立区千住旭町
施工時期	1994年3月
調査時期	2003年7月18日
交通量	乗用車, 2~4t車
施工面積(m <sup>2</sup> )	2,429
ILブロックの形状 (mm)	
目地キープの有無	無し
敷設パターン	
舗装構造	

2) 調査内容

移動現象の原因を確認するために、ブロックに移動が生じている2箇所と移動が生じていない健全部1箇所を対象に実施した調査内容を表8.9に示す。

表 8.9 調査内容

調査項目	ILブロック上	敷砂	上層路盤上
HFWD たわみ	○		○
定規による横断形状	○		○
目地幅	○		
目地砂消失深さ	○		
ブロックの移動量	○		
敷砂の洗い試験		○	

調査箇所は、JRをはじめ地下鉄や私鉄が乗入れする北千住駅西口に位置するため、終日

通勤、通学、買い物客で賑わい自転車や乗用車等の乗入れも非常に多い商店街である。また、ブロックの移動現象が幅員の中心付近に集中して発生していたことから、車両の通行を確保するため調査は、幅 0.57m、延長 1.0m、面積で 0.65m<sup>2</sup>程度の狭小範囲で実施することとなった。これらのことを考慮して、ILブロック舗装のたわみ測定は、図 7.1 に示した載荷板直下(D<sub>0</sub>)とその周囲のたわみを広範囲に測定する方法を適用できない代わりに、図 8.17 に示す載荷板(D<sub>0</sub>)に隣接する周囲のたわみ(図中の番号 1~6)だけを測定してたわみ比を算出して評価した。



写真 8.5 たわみの測定状況

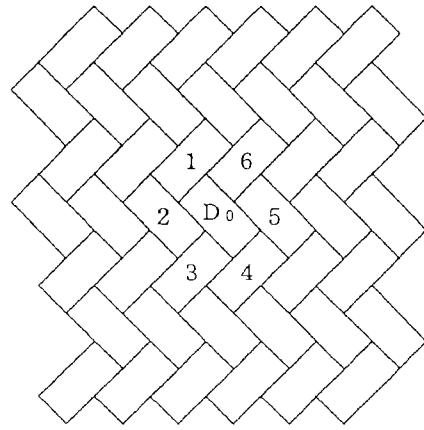


図 8.17 ILブロック上での測定位置

### 3) 調査結果

ILブロック上で測定したブロックの移動量を表 8.10 に、目地幅と目地砂消失深さを表 8.11 に示す。

表 8.10 ブロックの移動量 (単位: mm)

調査位置	データ数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
移動部 1	8	8.30	0.20	3.78	3.35
移動部 2	7	5.30	0.70	2.39	1.52
健全部	8	2.20	0.20	0.86	0.85

表 8.11 目地幅と目地砂消失深さ

調査位置	目地幅(mm)					目地砂消失深さ(mm)				
	データ数	最大値	最小値	平均値	標準偏差	データ数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
移動部 1	7	9.34	1.63	5.77	2.66	7	39.86	0	16.21	13.54
移動部 2	6	12.27	1.87	5.56	4.33	6	75.01	7.93	22.71	25.77
健全部	7	2.89	2.03	2.30	0.37	6	0	0	0	0

これより、健全部はブロックの移動が小さく目地幅も平均値、標準偏差とも小さくバランス良く収まっている。これに対して移動部では、健全部に比べてブロックの移動量が大きだけでなく、目地幅の平均値や標準偏差さらに目地砂消失深さも大きい。ブロックに移動現象が生じると、目地幅が広がり目地砂が消失する傾向にある。

次に IL ブロック上のたわみの測定結果を表 8.12 に示す。

表 8.12 たわみの測定結果

調査位置	IL ブロック上(平均値)		
	D <sub>0</sub> (mm)	D <sub>1</sub> (mm)	たわみ比
移動部 1	0.144	0.069	0.48
移動部 2	0.164	0.104	0.63
健全部	0.094	0.065	0.69

表から、健全部の平均たわみ量(D<sub>0</sub>)は、0.094mm を示したのに対して移動部では 1.5～1.7 倍以上も大きい 0.144～0.164mm を示した。また、たわみ比も移動部に比べて健全部が 1.1～1.4 倍程大きい。これより、移動部では健全部に比べて荷重分散性能が低下していると考えられる。

上層路盤上の 2 点のたわみ量(D<sub>0</sub>, D<sub>20</sub>)から逆解析プログラム(LMBS)を用いて、路盤層以下を開粒 2 号と M-40 以下の層から成る 2 層構造とした時の弾性係数を推定した結果を表 8.13 に示す。これより、表 8.12 に示した IL ブロック上のたわみ比と上層路盤上のたわみ量(D<sub>0</sub>)には相関のないことがわかる。このことは、ブロックに移動現象が生じると路盤層以下の支持力に関係なくたわみ比が低下、つまり荷重分散性能が低下することを示している。

表 8.13 上層路盤上のたわみ量と 2 層の弾性係数

調査位置	上層路盤上のたわみ量(mm)		弾性係数(MPa)	
	D <sub>0</sub>	D <sub>20</sub>	開粒 2 号	M-40 以下の層
移動部 1	0.110	0.075	2,428	82
移動部 2	0.216	0.105	449	67
健全部	0.085	0.046	1,487	150

図 8.18～8.20 は定規とスケールを用いて測定した舗装各層の横断形状を示したものである。この図から移動部、健全部とも上層路盤に変形のないことがわかる。以上のことから、ブロックの移動現象は路盤層以下の変形や支持力不足といった構造的要因で発生するのではなく、敷砂を含めた IL ブロック層に起因して発生することが確認された。これよりブロックの移動現象は、わだち掘れのように構造的破損に分類されるのとは異なり機能的破損に分類される。

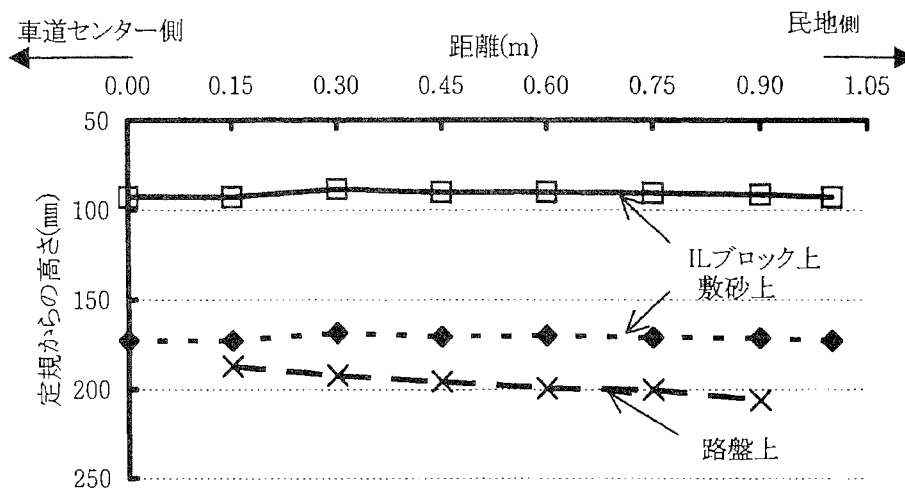


図 8.18 移動部 1 の横断形状

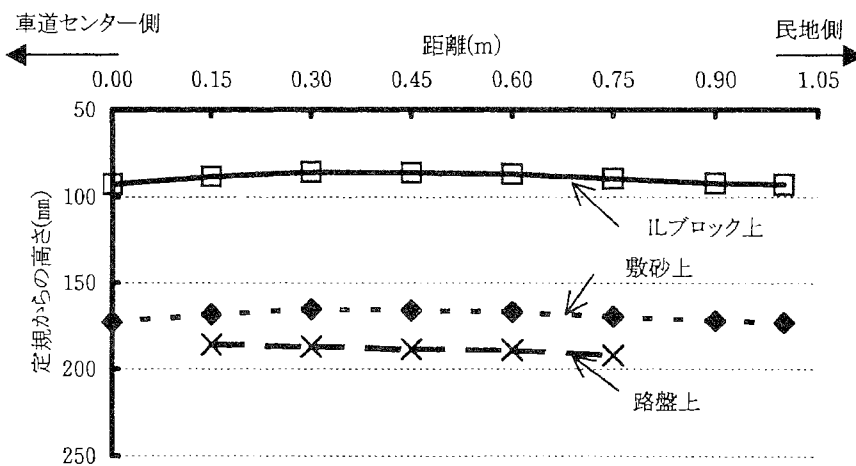


図 8.19 移動部 2 の横断形状

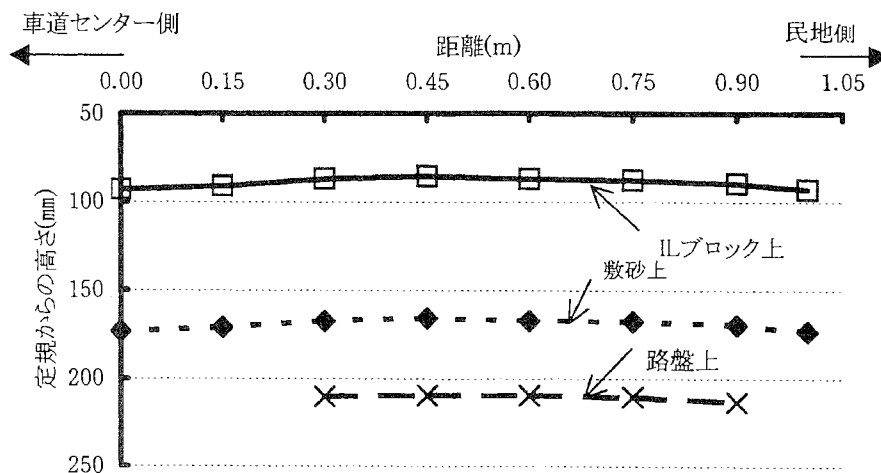


図 8.20 健全部の横断形状

表 8.14 は移動部 2 と健全部でサンプリングした敷砂の洗い試験結果を示したものである。

表 8.14 敷砂の洗い試験結果

調査位置	75 $\mu$ m ふるい通過量(%)	敷砂の状況
移動部 2	7.2	表面の大半が固結
健全部	5.2	表面の一部が固結

表より健全部，移動部 2 とも 75  $\mu$  m ふるい通過量は協会の要領で示されている規格値 5%を上回り，2箇所とも程度差はあるものの敷砂の固結が認められた。このことは，9年以上に及ぶ供用により敷砂が細粒化したものと考えられる。敷砂が細粒化して 75  $\mu$  m ふるい通過量が 5%を超えると固結して種々の破損を引き起こすことが既往の研究結果<sup>6)</sup>より確認されていることから，ブロックの移動は敷砂の細粒化によるものである。なお，移動部 2 と健全部は同じ車両走行軌跡上にあり，その距離も 5m 程度しか離れていないにもかかわらず，敷砂中の 0.075mm ふるい通過量に 2%の差と固結の程度にも差が生じているのは，表 8.13 に示した上層路盤上のたわみ量に 2.5 倍以上の差異がある（移動部 = 0.216mm，健全部 = 0.085mm）ためと考えられる。路盤上のたわみが大きいことは，その上に敷設する IL ブロック上のたわみも大きくなることを意味する。したがって，車両通行による繰り返したわみが大きくなり敷砂の細粒化を促進させたと考えられる。なお，施工時における敷砂の品質を把握するためには，交通荷重を全く受けていないと思われる箇所からも敷砂をサンプリングして，協会で規定する方法により細粒化に対する抵抗性を確認することが必要である。

このように，路盤層の変形や支持力不足とは無関係に発生するブロックの移動現象に対しても，小規模な開削を行って HFWD によるたわみ測定に定規による横断形状測定や，敷砂の分析も合わせて調査することでその原因を推定することができる。このことは，適切な維持修繕工法の立案や選定も可能となることを意味する。

#### 8.4 上層路盤上の支持力基準

2000 年 7 月に協会から発刊された要領では，路盤上の支持力基準として大型車交通量が 100 台以上/日・方向の上層路盤上でのたわみ量を 0.8mm 以下(49kN)と規定している。たわみ量の確認方法として，ベンケルマンビームや FWD 等の大型のたわみ試験機を用いる場合には，上層路盤上でのたわみ量が 0.8mm 以下，動的平板載荷試験器や HFWD 等の小型の載荷試験器を用いる場合は，上層路盤上の弾性係数をドイツの規格を参考にして 180MN/m<sup>2</sup> 以上としている。

図 8.21 は，笠原らの研究<sup>7)</sup>によって得られた 49kN 級 FWD( $\phi = 30$ cm)と 4.9 kN 級 HFWD( $\phi = 9$ cm)の関係を示したものである。この図から導かれた式(8.4)より 0.8mm 以下に相当する HFWD たわみ量を算出すると 0.084mm 以下となる。したがって，HFWD を用いて大型車交通量が 100 台以上/日・方向の車道舗装における上層路盤上の支持力を規定すると，たわみ量で 0.084mm 以下となる。なお，この規定は 2002 年 12 月に土木学会から発刊された「FWD および小型 FWD の運用の手引き」<sup>8)</sup>に示した。



$$D_{HFWD} = 0.086 \times D_{FWD}^2 + 0.011 \times D_{FWD} + 0.02 \quad (8.4)$$

ここで、 $D_{HFWD}$  : 4.9kN 級 HFWD ( $\phi = 9\text{cm}$ ) のたわみ量 (mm)  
 $D_{FWD}$  : 49kN 級 FWD のたわみ量 (mm)

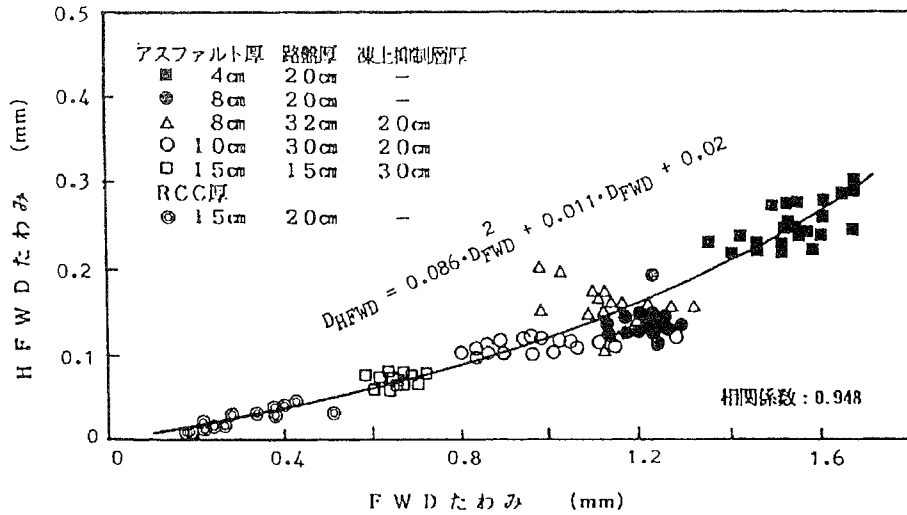


図 8.21 49 kN 級 FWD と 4.9 kN 級 HFWD によるたわみの相関

協会の要領では、1日1方向当たりの大型車交通量が100台以上の車道について上層路盤上での支持力を規定しているものの、需要の90%以上を占めている100台未満の車道については規定していない。したがって、大型車交通量が100台未満の軽交通車道を対象とした上層路盤上での支持力基準が必要である。ドイツでは、交通量に応じて路床、路盤の品質規定として小型の載荷試験器を用いて測定した弾性係数を規定している。そこで、我国における軽交通車道における上層路盤上の支持力基準には、100台以上の値を設定した時と同様にドイツにおける規格<sup>9)</sup>を参考に、小型の載荷試験器を用いた場合の面上弾性係数( $E_{V2}$ )で120MN/m<sup>2</sup>以上を提案する。

HFWDを用いた時の車道舗装における上層路盤上の支持力基準案を表8.15に示す。

表 8.15 上層路盤上の支持力基準案

大型車交通量 (台/日・方向)	上層路盤上の支持力	適用
100 未満	面上弾性係数 120MN/m <sup>2</sup> 以上	協会の耐久性 WG で 検討中
100 以上	たわみ量 0.084mm 以下	「FWDおよび小型FWD運 用の手引き」に記載

## 8.5 まとめ

ILブロックによる車道舗装の大きな課題として、供用中に種々の破損が生じた場合に短時間で敏速にしかも簡便に多数の支持力測定を行って、破損の原因を究明して適切な維持修繕工法を選定することが挙げられる。また、供用中の破損を低減するには小型の載荷試験器を用いた上層路盤上の支持力基準を、車道舗装の需要の90%以上を占める1日当たりの大型車交通量が100台未満の道路にも規定することである。

これらの課題に対して、これ迄の研究成果を基にたわみ測定の方法を検討しながら、供用中に破損が生じたILブロックによる車道舗装でたわみ測定を行った。本章は、これらの結果を基に破損原因を究明する方法と路盤上の支持力基準について提案した。以下にその成果をまとめる。

- (1) 舗装面にわだち掘れが発生した場合には、道路横断方向にわだち部と非わだち部を含めて開削しILブロック上と上層路盤上にて同一間隔でたわみと横断形状を測定する。得られたデータをグラフ化し2つのグラフを比較することにより、わだち部と非わだち部における変形状況や支持力差を明確にすることができる。わだち掘れがひどい場合には下層路盤や路床面迄掘り下げて同様な調査を行う。
- (2) 局部沈下や段差についても調査方法はわだち掘れと同様である。ただし、わだち掘れが車両走行軌跡部に発生しその規模も比較的大きいのに対して、局部沈下や段差は舗装全面に不規則に発生しその規模も小さいケースが多い。そこで、開削調査は局部沈下や段差が生じている箇所と生じていない健全部に分けて行うか、健全部を含めて行うかは現場の状況に応じて判断する。
- (3) ブロックの移動現象は、敷砂の細粒化による固結によって発生するため開削調査は移動部と健全部に分けて行う。調査は横断形状とともにそのライン上の目地幅と目地砂消失深さも合わせて測定する。また、移動の状況を正確に把握するためブロックに移動が生じていないと思われる両端を水糸で結びブロックの移動量も測定する。敷砂は移動部と健全部でそれぞれサンプリングし、洗い試験を行って75 $\mu$ mふるい通過量を測定する。なおこの時、交通荷重を全く受けていないと思われる箇所からもサンプリングして細粒化に対する抵抗性を試験することで、施工時の敷砂の品質を確認することができる。
- (4) HFWDによるたわみ測定はILブロックに発生した破損状況によって異なる。わだち掘れ、局部沈下、段差等の破損では、 $D_0$ と $D_{20}$ のように2点のたわみを横断形状と同一間隔でILブロック上と路盤上で測定する。ブロックの移動現象については、小さなブロックが噛み合った連続体として機能しなくなっている可能性が高いため、ILブロック上での測定は載荷板直下とその周囲のたわみを面的に測定する。その範囲については、現場の状況や交通規制等を考慮して載荷板直下( $D_0$ )から周囲3周( $D_1\sim D_3$ )の中で判断する。また、舗装構造や破損部と健全部の差異による荷重分散性能を評価する場合についても、たわみの面的分布状況を測定する。
- (5) 路盤上で2点( $D_0$ と $D_{20}$ )のたわみを測定した場合は、逆解析プログラムを使用して

路盤層以下を2層構造とする方法で各層の弾性係数を推定する。

- (6) 路床上でたわみ測定を行うと載荷板直下( $D_0$ )のたわみは、落下衝撃荷重を受けることで逆に路床土が徐々に締め固まりデータが安定しないことがある。このような場合には第2センサのたわみ( $D_{20}$ )を用いて Ullidtz の公式から弾性係数を算出する。
- (7) (1)～(6)で示したたわみ測定を中心とした現場調査を実施することで、破損原因を究明でき適切な維持修繕工法の選定も可能となる。
- (8) ブロックに移動現象が生じると、ILブロック上のたわみ比の低下に伴い荷重分散性能も低下することが確認された。
- (9) HFWD を用いた上層路盤上の支持力基準として、1日当たりの大型車交通量が100台未満の道路では面上弾性係数  $120\text{MN/m}^2$  以上、100台以上の道路はたわみ量で  $0.084\text{mm}$  以下を提案した。この基準を用いることで適切な支持力評価や施工管理が可能となり、車道舗装における供用中の破損を低減することができる。
- (10) 本章で示した供用中に破損が生じた場合の舗装体や路盤層以下の支持力評価、舗装構造の差異や破損部と健全部の差異による荷重分散性能の評価および上層路盤上のたわみ量の基準については、平成12年12月に土木学会より発刊された「FWDおよび小型FWDの運用の手引き」に示した。また、破損原因を究明するために現場で実施する開削調査方法については、協会の耐久性WGで作成中の「既設舗装の耐久性評価マニュアル」に示した。

## 第8章参考文献

- 1) 青木朋貴, 姫野賢治, 大谷智夫: 多層弾性理論に基づいた Windows95/98 上の順および逆解析プログラムの開発, 第23回日本道路会議一般論文集(C), pp. 494 - 495, 1999.
- 2) Per Ullidtz: Pavement Analysis, Development in civil Engineering 19, pp. 39.
- 3) 森隆雄, 笠原篤, 田中正稔, 柳沼宏始: 耐流動対策として施工されたインターロッキングブロック舗装の供用状況, 雑誌「舗装」, pp. 11 - 17, 1998. 6.
- 4) 平成11年度新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書: 新規産業支援型国際標準開発事業(ブロック舗装用繊維材料の性能評価方法の標準化), 社団法人日本建材産業協会, 2000.
- 5) 社団法人日本道路協会: 舗装設計施工指針, pp. 180, 2001.
- 6) 柳沼宏始, 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V, pp. 267 - 276, 2001. 2.
- 7) 笠原篤, 古川真男, 伊藤保彦: ハンディなフォーリング・ウエイトデフレクト・メータによる舗装支持力評価に関する研究, 第19回日本道路会議一般論文集, pp. 314 - 315, 1994.
- 8) 舗装工学ライブラリー2: FWDおよび小型FWD運用の手引き, 土木学会, 2002.
- 9) L. Pesch: Application of Concrete Pavers in the Federal Republic of Germany - Planning, Design, Installation, Acceptance, pp. 65 - 66, 1990.

## 第9章 インターロッキングブロック舗装の寸法規格案

### 9.1 概説

1984年イタリアのデルフト工科大学で開催された第2回コンクリートブロック舗装国際会議で、オランダのL.J.M.Houbenが発表した論文<sup>1)</sup>によると、世界16か国中舗装用コンクリートブロックに関する寸法規格が定められていないのは日本だけであった。

第5章でも述べたように、我国では近年設計者等のニーズの多様化により車道部や大型車が通行する歩道車両乗入れ部に200×300mmサイズ以上のブロックが使用されて、供用後に問題となることが少なくない。したがって、ILブロックの寸法に関して明確な国内規定を定めたいと交通量の区分に応じたブロック寸法を規定することが必要である。

本章では、まず第5章で明確にしたブロック寸法と荷重伝達率の関係を用いて、ILブロックの寸法規定化を検討した。次に得られたブロック寸法に対してドイツ、米国、英国の規定を導入して、交通量の区分に応じたブロック寸法を提示した。

### 9.2 寸法規格

#### 9.2.1 国内における寸法規格

我国におけるILブロック舗装の定義は、協会の要領によると「小さなコンクリートブロックをクッション砂の上に敷設し、目地砂を介してブロック相互を噛み合わせる構造形式の舗装」としており、明確にブロック形状と寸法については規定していない。

要領に示されるILブロックの形状は、長方形、正方形、六角形、八角形、多角形と多種多彩であり、ブロック側面の仕様は波形とストレートタイプに大別される。この中で、図9.1に示した長方形の波形とストレートタイプのブロックが車道舗装に一般的に使用されている。車道舗装における波形とストレートタイプの使い分けは、要領によると大型車交通量が100台/日・方向以上では波形に限定している。これは、ストレートタイプに比べて波形の方が噛み合わせ効果が高いと考えられているためである。しかしながら、大型車の乗入れが少ない車道舗装等では、これらのブロックよりも寸法が大きいストレートタイプのブロック(図9.2)も使用されるケースが年々増加する傾向にある。これらは、寸法の大きいストレートタイプのブロック程重厚感や安定感があると設計者等が認識しているためと思われる。車両通行の無い歩行者系道路では、これらのブロックを使用しても問題無いものの車道舗装や歩道車両乗入れ部ではブロック寸法が大きくなる程噛み合わせ効果や荷重分散性能が低下し、段差や沈下が生じている(写真9.1)。したがって、ブロック寸法と噛み合わせ効果の関係を明確にしたうえで、車道舗装に適用できるブロック寸法を規定する必要がある。

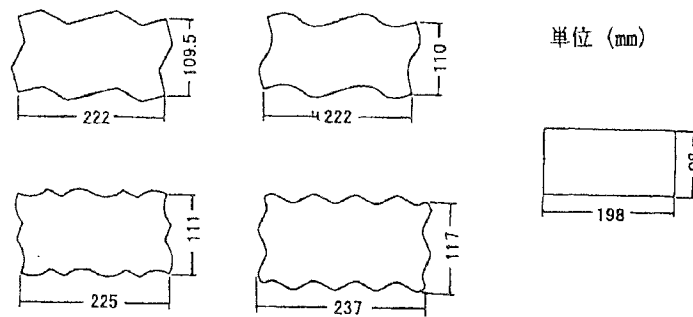


図 9.1 車道部に一般的に使用されているブロック形状

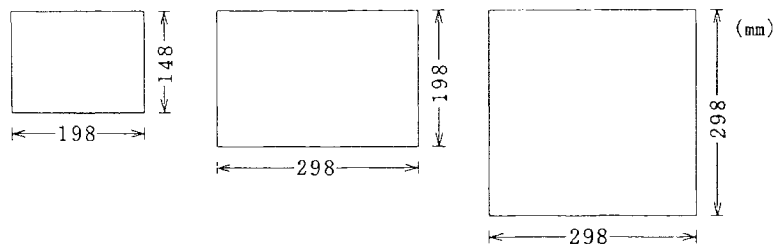


図 9.2 ストレートタイプのブロック形状

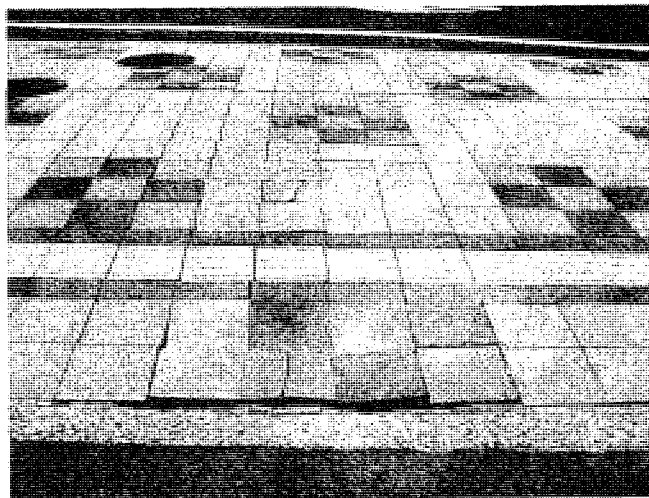


写真 9.1 歩道車両乗入れ部での損傷例

### 9.2.2 諸外国における寸法規格

諸外国では前述したように既に 1984 年の時点で、IL ブロックの寸法規格が世界の 15 か国で設定されている。当時の寸法規格の内容は、ブロック上面積の値を規定しているのが 5 か国、長さや厚さや長さや幅の比といった寸法比率を規定しているのが 4 か国、長辺長や短辺長等個々の寸法値を規定しているのが最も多く 13 か国であった。また、上面積と寸法比率の併用で規定しているのが 4 か国、寸法比率と個々の寸法値の併用で規定しているのが 3 か国となっており、半数近くの国で規格値を組み合わせている。その後、見直しが行われている国もあるもののドイツ、米国、英国の最新の寸法規格をまとめたのが表 9.1 である。これより、米国は ASTM<sup>2)</sup> で上面積の値に長辺長と厚さの比で寸法を規定し、ド

イツでも「ドイツ連邦共和国におけるコンクリートブロックの適用(プランニング, 設計, 施工, 引渡し)」<sup>3)</sup>の中で, 長辺長と厚さの比により寸法を規定して明確に平板と区分けしている. また, 英国では BS<sup>4)</sup> で米国やドイツよりも厳格に長さ幅の値, 長辺長と厚さの比, 幅の規定を設けて極端に寸法の小さい形状は除外している.

表 9.1 諸外国における IL ブロックの寸法規格

国名	形状または寸法規定
米国	上面積 0.065m <sup>2</sup> 以下で長辺長と厚さの比 4.0 以下
ドイツ	長辺長と厚さの比 4.0 以下(これより大きいものは平板)
英国	長さ幅は 250mm 以下, 長辺長と厚さの比 5.0 以下, 幅は 50mm 以上でどの端部からでも 50mm の長さ

表 9.1 より, 3 か国とも長辺長と厚さの比を規定している点の特長である. したがって, 我国における寸法規格にも第 5 章で明確にした荷重伝達率との相関が高い, 「全側面積と上面積の比」とともに「長辺長と厚さの比」も併用した方がより厳格な寸法規定になるものと考えられる.

### 9.3 インターロッキングブロック寸法の規定化

第 5 章では IL ブロックの噛み合わせ効果, つまり荷重分散性能の評価には隅角部荷重伝達率( $E_{LT}$ )を用いるのが適していることを明らかにした. そこで, 式(6.1)を展開し, 隅角部荷重伝達率( $E_{LT}$ )から IL ブロック寸法を規定することを試みた.

$$E_{LT} = 0.553\alpha - 0.256 \quad (6.1)$$

ここで,  $E_{LT}$ : 目地砂充填・敷砂締固め状態での隅角部荷重伝達率

$\alpha$ : IL ブロックの全側面積と上面積の比

そこで, 式(6.1)を用いると, 任意の  $E_{LT}$  値に対応するブロック寸法を式(6.2)から求めることができる.

$$\alpha = (E_{LT} + 0.256) / 0.553 \quad (6.2)$$

ここで, 図 9.3 に示すように IL ブロックの厚さを  $h$ , 長辺長を  $L$ , 短辺長を  $\beta L$  とすると IL ブロックの全側面積と上面積の比( $\alpha$ )は, 式(6.3)から求められる.

$$(2 \cdot h \cdot L + 2 \cdot \beta \cdot h \cdot L) / (\beta \cdot L^2) = \alpha \quad (6.3)$$

ただし,  $0 < \beta \leq 1$

ここで、米国やドイツでの規定で用いられている長辺長 (L) と厚さ (h) の比を (r) とすると r は式 (6.4) で定義される。

$$r=L/h \quad (6.4)$$

式 (6.4) を変形すると、

$$L=r \cdot h \quad (6.5)$$

式 (6.5) を式 (6.3) に代入すると式 (6.6) が得られる。

$$\alpha = 2h(1 + \beta) / \beta \cdot h \cdot r \quad (6.6)$$

さらに、式(6.6)を変形すると式(6.7)が得られる。

$$\beta = (-2) / (2 - \alpha \cdot r) \quad (6.7)$$

ただし、 $0 < \beta \leq 1$

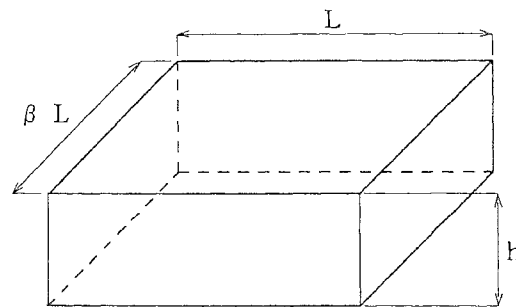


図 9.3 ILブロックの寸法

荷重伝達率は、式 (5.1) で定義されていることから、その取りうる範囲は0~1.0となる。荷重伝達率が小さければ、ILブロックの沈下・移動・角欠けが発生しやすく、ILブロック舗装の平坦性が悪化しやすいことは容易に想像される。しかし、荷重伝達率とILブロック舗装のパフォーマンスとの関係を捉えた研究は皆無であることから、荷重伝達率の下限値の設定は困難な状況にあるが、一応ここでは0.5と設定した。その理由として以下を根拠とした。①ローラ転圧コンクリート舗装（以下、RCCP という）の無補強目地のひび割れ部の荷重伝達率は、中川らの研究<sup>5)</sup>によれば、0.5程度の値になると報告している。しかし、RCCPの目地のひび割れ部とILブロックの目地では、荷重伝達のメカニズム等に違いはあるものの両舗装ともダウエルバーなどの荷重伝達装置が無く、目地により荷重伝達が行われる舗装形式である。②荷重伝達率0.5は工学的見地からして、取りうる範囲の中間値である。

荷重伝達率の下限設定値を 0.5, 上限値を実験より得られた 0.8 として, 各々に対応する IL ブロックの寸法を式 (6.2) および式 (6.7) から求めた結果を表 9.2 と 9.3 に示す。なお,  $\beta$  については  $0 < \beta \leq 1$  と定義しているため,  $\beta = 1.0$  となる  $r$  の値をまず求められている。これより,  $r$  が最小値となるため以降の値設定については, 運用上この値から 0.5 ずつ段階的に大きくしている。 $r = 5.0$  をこえる値は, ブロック寸法が厚みによって極度に小さくなったり, 長辺長が大きくなったりするため実用的でなく  $r = 5.0$  迄とした。

このことを換言すれば, 表 9.2 および表 9.3 に示されているブロックは, 荷重伝達率各々等値であることから, 表中のどの寸法のブロックを用いても, 荷重分散性能が等しいことを示している。つまり, 従来から議論されてきたブロックの形状と荷重分散性能の係を明確にすることができた。

表 9.2 隅角部荷重伝達率が 0.5 の場合のブロック寸法

ブロック長 辺長と厚さ の比( $r$ )	短辺比 ( $\beta$ )	ブロックの厚さ(mm)				
		40	50	60	80	100
2.93	1.000	117×117	147×147	176×176	234×234	293×293
3.00	0.952	120×114	150×143	180×171	240×228	300×286
3.50	0.718	140×101	175×126	210×154	280×201	350×251
4.00	0.577	160×92	200×115	240×138	320×185	400×231
4.50	0.482	180×87	225×108	270×130	360×174	450×217
5.00	0.414	200×83	250×104	300×124	400×166	500×207

表 9.3 隅角部荷重伝達率が 0.8 の場合のブロック寸法

ブロック長 辺長と厚さ の比( $r$ )	短辺比 ( $\beta$ )	ブロックの厚さ(mm)				
		40	50	60	80	100
2.09	1.000	84×84	105×105	125×125	167×167	209×209
2.50	0.721	100×72	125×90	150×108	200×144	250×180
3.00	0.536	120×64	150×80	180×96	240×129	300×161
3.50	0.427	140×60	175×75	210×90	280×120	350×149
4.00	0.355	160×57	200×71	240×85	320×114	400×142
5.00	0.265	200×53	250×66	300×80	400×106	500×133



#### 9. 4 交通量の区分に応じたインターロッキングブロックの寸法規格

歩道や軽車両通行帯など、大きな隅角部荷重伝達率を期待しなくても良い場合、(すなわち IL ブロックの沈下量が小さい場合)には、大きめの IL ブロックを使用することができ、その寸法の限界は表 9.2 のとおりである。また、車道や大型車専用ヤードなどの重交通用のように大きな隅角部荷重伝達率を期待する場合には、表 9.3 に示されている小さめの IL ブロックを使用しなければならないこととなる。

ここで表 9.2 および表 9.3 のブロック寸法に対して、表 9.1 に示した①ドイツ規格である「 $r$ (ブロック長辺長と厚さの比)  $\leq 4$ 」、②米国規格である「 $r \leq 4$ , 上面積  $0.065\text{m}^2$  以下」、③英国規格である「 $r \leq 5$ , 辺長  $250\text{mm}$  以下, 幅  $50\text{mm}$  以上」に当てはまる IL ブロック寸法を算出したのが表 9.4 である。

表 9.4 から、3 か国の規格値の中で長辺が最小値であるブロックについて取り出し、使用に推奨できる最大 IL ブロック寸法を表 9.5 に示した。なお、我国で標準的に使用されている歩道・軽交通用  $60\text{mm}$  厚、車道用  $80\text{mm}$  厚とした場合の IL ブロックの最大寸法は、網掛け部に示されている。つまり、歩道・軽交通用  $60\text{mm}$  厚で  $240 \times 138\text{mm}$  以下、車道用  $80\text{mm}$  厚で  $250 \times 126\text{mm}$  以下となる。ここで、歩道用と車道用のブロック寸法には  $10\text{mm}$  程度の差しかないものの、これを荷重伝達率に換算すると  $60\text{mm}$  厚で  $0.04$ 、 $80\text{mm}$  厚では  $0.05$  となり、車道用の寸法は歩道用に比べて  $7 \sim 8\%$  程度荷重伝達率が高くなる。この値は、「5.4 波形タイプとストレートタイプの荷重分散性能の比較」で示したストレート型と波形型の荷重伝達率に相当する。なおこの表で示した寸法は最大値であるため、実験に用いた  $100 \times 200\text{mm}$  や  $150 \times 200\text{mm}$  だけでなく厚さ  $60\text{mm}$  では、表 9.2 に示す  $r = 2.93 \sim 4.00$  に対応するブロック寸法迄(網掛け部)、厚さ  $80\text{mm}$  は表 9.3 に示す  $r = 2.09 \sim 3.00$  に対応するブロック寸法迄(網掛け部)荷重伝達率が各々等値であることから適用できることになる。

したがって、IL ブロックの寸法規格に海外で用いられている長辺長と厚さの比だけでなく「全側面積と上面積の比」も併用することにより、交通量の区分に応じた IL ブロックの最大寸法を提示できた。

表 9.4 隅角部荷重伝達率を  $0.8 \sim 0.5$  とした場合の  
各国規定に対応するブロック寸法

各国 規定	ブロックの厚さ(mm)			
	50	60	80	100
米国	200×(71~115)	240×(85~138)	320×(114~185)	400×(142~231)
ドイツ	200×(71~115)	240×(85~138)	320×(114~185)	400×(142~231)
英国	250×(66~104)	250×(84~135)	250×(126~220)	250×(180~250)

表 9.5 交通量の区分に応じた最大 IL ブロック寸法の推奨値

区分	ブロックの厚さ(mm)			
	50	60	80	100
軽交通 ( $E_{LT}$ : 0.5 程度)	200×115	240×138	250×220	250×250
重交通 ( $E_{LT}$ : 0.8 程度)	200×71	240×85	250×126	250×180

## 9.5 まとめ

IL ブロック舗装の寸法規格を検討するために、第 5 章で明らかにしたブロック寸法と荷重伝達率の関係式に、IL ブロックの各寸法から求まる全側面積と上面積の比や米国、ドイツ、英国で用いられている長辺長と厚さの比を導入して、荷重伝達率に対応する IL ブロックの寸法を求めた。これらを基に米国、ドイツ、英国の規定を導入して交通量の区分に応じた IL ブロックの寸法について提案した。その結果を以下にまとめる。

- (1) IL ブロックの全側面積と上面積の比と隅角部における荷重伝達率の関係式を用いて、荷重伝達率が等値のブロック形状を示すことができたことから、従来から議論されてきたブロック形状と荷重分散性能の関係を明らかにすることができた。
- (2) IL ブロックの寸法規格には、海外で用いられている「長辺長と厚さの比」とともに「全側面積と上面積の比」も併用することが必要である。
- (3) IL ブロックの寸法規格に、「長辺長と厚さの比」とともに「全側面積と上面積の比」を併用して交通量の区分に応じた最大 IL ブロックの寸法を提示した。すなわち、歩道・軽交通用 60mm 厚で 240×138mm 以下、車道用 80mm 厚で 250×126mm 以下、短辺長で 50mm 以上を提案した。なお、60mm 厚と 80mm 厚のブロック寸法差 10mm を荷重伝達率に換算すると 60mm 厚とした場合 0.04、80mm 厚で 0.05 となり、車道用の寸法(250×126mm)は、歩道用の寸法(240×138mm)に比べて 7~8%程度荷重伝達率が高くなる。この値は、ストレート型と波形型の差に相当する。
- (4) (3) で示した寸法は、最大値であるため実験に用いた 100×200mm や 150×200mm だけでなく荷重伝達率が等値となるブロック寸法迄、歩道や車道に適用できるものである。
- (5) ここで提案した IL ブロックの寸法規格を用いることで平板舗装と明確に区分でき、IL ブロック舗装の定義付けを行うことができる。また、交通量の区分に応じた IL ブロック舗装の最大寸法を提示できたことから、歩道車両乗入れ部や車道舗装で発生している段差や沈下等の破損を防止することができる。
- (6) IL ブロックの寸法規格と交通量の区分に応じた IL ブロックの最大寸法については、平板と明確に区分するためにも今後協会の要領等に反映させることが必要である。

## 第9章参考文献

- 1) L. J. M. Houben : Specifications and Standards for Concrete Paving Blocks  
A World-Wide Survey Based on an Inquiry by the Programme Committee CBP, Second  
International Conference on Concrete Block Paving, Proceedings, pp. 2 - 13, 1984.
- 2) ASTM, Designation , C936-96 : Standard Specification for Solid Concrete Interlocking  
Paving Units, 1996.
- 3) L. Pesch : Application of Concrete Pavers in the Federal Republic of Germany - Planning,  
Design, Installation, Acceptance, 1990.
- 4) British Standard 6717 : Precast, Unreinforced Concrete Paving Blocks-Requirements and  
Test Methods, 2001.
- 5) 中川伸一, 川村和幸, 笠原篤, 西沢辰男:コンクリート舗装の目地部における荷重伝達  
の評価法について, 開発土木研究所月報, pp. 38-47, 1993. 11.

## 第10章 結論

ILブロックは、都市景観に配慮した景観材料であるだけでなく、バリアフリー、リサイクル、環境への負荷低減といった質の高い道路環境の整備にも十分適用できる材料である。このように、舗装を取り巻く環境の変化やニーズの多様性に対応していくには、この舗装材に残された多くの研究課題に取り組みひとつひとつ明確にする必要がある。

本研究は、ILブロック舗装に残された研究課題であるILブロックの寸法、敷砂の品質、目地砂の機能および路面の締固め方法が荷重分散性能に与える影響や、供用中の車道舗装で破損原因を究明する手法の確立、未だ確立されていないILブロックの形状寸法に関する国内規定の提案を行うことを目的に、小型のFWDであるHFWDを用いて実道や試験舗装上でのたわみ測定により、現場検証や実験を積み重ねてきたものである。

本研究で得られた主な成果を列記すると以下のとおりである。

### (1) インターロッキングブロック舗装のたわみ特性

ILブロック舗装の荷重分散性能や支持力評価を行ううえで極めて重要な要因であるたわみ特性について、実道や試験舗装における各種のFWDを用いたたわみ測定から次のことが確認された。

- ①ILブロック舗装はアスファルト舗装よりも荷重直下付近でたわみやすい舗装である。
- ②ILブロック舗装は路床、路盤の構造にかかわらず供用に伴いたわみが大きく減少する特性を示し、この特性は測定機種が異なっても同様な傾向を示す。なお、この特性には目地砂と敷砂の安定、交通荷重の繰り返しによりブロック間の噛み合わせが強固となったこと等が影響している。
- ③路盤上にジオテキスタイルを設置すると49kN級FWDと4.9kN級HFWDの測定たわみには異なった傾向が認められた。このことは載荷荷重が49kN級FWDのように大きいと、ILブロックから路盤、路床迄広範囲の強度特性を示すのに対して、4.9kN級HFWDのように載荷荷重が小さいとILブロックから比較的浅い位置迄の強度特性を示すと考えられる。これより、ILブロック舗装のように荷重直下付近に多数の目地を有し、荷重から浅い位置にたわみ特性に影響を及ぼしやすい敷砂やジオテキスタイルが使用される構造では、4.9kN級HFWDの方がそのたわみ特性を評価するのに適している。

### (2) ILブロック舗装の構造的挙動に影響する要因

ILブロック舗装の構造的挙動に影響する要因として、ブロック、目地、目地砂、敷砂、路盤の5つを取り挙げ、この中から路面性状に及ぼす影響として以下のことを明確にした。

- ①実道で調査した結果から、ブロックの破損率と目地幅、舗装面のたわみ量には相関があり、車両が通行する用途ではブロック間の目地幅を3mm確保することが必要である。
- ②車道舗装に使用するILブロックの敷設パターンは、土木研究所における走行実験結果からブロックの移動が少ないHBBパターンが適当であることを明確にした。
- ③目地幅を確保する対策として、ブロック側面に目地キープを付けることはたわみによる

ブロックの競り合いを防止するために有効であることを明確にした。

- ④土木研究所における走行実験から、舗装路面の供用性を良好に保つために重要な要因であった敷砂と目地砂の品質規格を確立した。ここで規定した品質を満足する敷砂と目地砂を使用することによって、車道舗装で発生している種々の破損を防止でき、長期にわたり良好な路面性状を維持できるものと考えられる。この品質規格については、協会の要領に盛り込まれている。したがって、今後は敷砂や目地砂の品質に起因する IL ブロック舗装の特徴的な破損が減少するものと考えられる。
- ⑤車道舗装でわだち掘れやブロックの破損を防ぐには、粒状路盤よりも安定処理工法の使用が有効であることを土木研究所における走行実験から明確にした。これは、安定処理工法の方が粒状路盤に比べて目地からの浸透水の影響を受けにくく、剛性も高いことによるものである。

### (3) 残された研究課題の抽出

IL ブロック舗装の構造的挙動に影響する要因の中から、基本的な研究が行われていないにもかかわらず運用されている課題として次のことを抽出した。

- ①IL ブロックの寸法が荷重分散性能に与える影響
- ②ストレートタイプと波形タイプの荷重分散性能の違い
- ③IL ブロックの寸法規定化
- ④車道舗装に適用できるブロック寸法の規定
- ⑤敷砂の品質が IL ブロック舗装面の路面性状や荷重分散性能に与える影響
- ⑥目地砂の機能
- ⑦路面の締固め方法が目地砂の充填率や荷重分散性能に与える影響
- ⑧路盤構造の差異が荷重分散性能に与える影響
- ⑨供用中の車道舗装における破損部と健全部におけるたわみ特性の差異
- ⑩供用中の車道舗装で破損原因を究明する手法の確立
- ⑪車道舗装における上層路盤上の支持力基準

### (4) ブロック寸法が荷重分散性能に与える影響

IL ブロックの寸法と荷重分散性能の関係を確認することを目的に、寸法の異なるストレートタイプと波形タイプの長方形ブロックを用いた試験舗装を施工し、敷砂の締固めと目地砂の充填前後で HFWD を用いてたわみ測定を行った。これより次のことが確認された。

- ①IL ブロックの寸法と荷重分散性能の関係は、IL ブロックの全側面積と上面積の比( $\alpha$ )と隅角部における荷重伝達率( $E_{LT}$ )を用いて評価できる。
- ②この関係を用いることにより、波形タイプとストレートタイプとの荷重伝達率についても客観的指標で示すことができる。つまり、波形タイプはストレートタイプに比べて7~11%程荷重伝達率が高くなる。
- ③ブロック寸法が小さいと目地砂を詰め転圧することで荷重伝達率の変化率が大きくなる。このことはブロックが沈下して安定し、目地砂が体積膨張する正のダイランシーに起

因するブロック間に水平方向の圧縮力の発生が促進され、隣接する IL ブロック相互の間に荷重を分散させる機能が大きく発揮されることを示している。

- ④ブロック寸法が大きいものは車両が通行する用途に適さないこと、ストレートタイプは波形タイプに比べて荷重分散性能が低くなることが確認された。これらの成果を協会の要領をはじめ各種の指針や手引き書等の設計、施工面に反映させることによって、歩道の車両乗入れ部や大型車交通量の多い車道舗装で発生している種々の破損を防止することができる。

#### (5) 敷砂の品質が IL ブロック舗装の荷重分散性能や路面性状に与える影響

浸透水により、敷砂が影響を受けやすい坂道に試験舗装を施工して敷砂の品質の違いが IL ブロック舗装の荷重分散性能や路面性状に与える影響について供用 2 か年にわたり追跡調査を実施した。その結果を以下に示す。

- ①敷砂の品質が異なると IL ブロック舗装の荷重分散性能も異なる。
- ②荷重分散性能が高い材料を敷砂に使用することにより、舗装面の変形や移動を低減できる。また、敷砂の荷重分散性能と舗装面の変形量、ブロックの破損率には高い相関がある。
- ③荷重分散性能が高い敷砂とは、細粒化に対する抵抗性に優れ、目地部等からの浸透水に対して砂粒子の移動や支持力低下のないものを言う。
- ④浸透水に対して砂粒子の移動や支持力低下の少ない敷砂を用いることによって、透水性や保水性、急勾配の舗装における敷砂に起因する路面性状の低下を防止できる。このことは、協会の要領をはじめ各種の指針や手引書等の設計、施工面に反映させることが必要である。

#### (6) 目地砂の機能

目地砂の機能を確認するために目地構造の異なる材料や工法を用いた 3 種類の試験舗装を施工し、荷重伝達率を比較することによってそれぞれの目地構造を評価した。その結果を以下に示す。

- ①IL ブロックの目地材には砂が適切である。これは、目地幅を狭くして目地砂を詰めない突合わせ目地や目地砂の代わりにブロック側面にゴムテープを使用する工法では、砂に比べて荷重伝達率が 1/3 程度に小さくなり荷重分散性能も低くなるためブロック間の噛み合わせ効果が期待できず、供用後に段差や不陸の発生が懸念される。
- ②ブロックに目地砂を充填し転圧することによって、砂の正のダイランシーに基づくブロック相互間の荷重分散性能の発揮を確認できた。
- ③目地砂の機能と有効性が確認されたことで、歩道部の透水性舗装で適用されている目地砂を用いない工法によって発生する段差や沈下の発生を防止できる。
- ④目地砂の機能と有効性を設計、施工面に反映させるには協会の要領等にこれらの点を追記することが必要である。

(7) 施工時の IL ブロック舗装の締固め方法が目地砂の充填率と荷重分散性能に与える影響

IL ブロック舗装の締固め方法が、目地砂の充填率や荷重分散性能に与える影響を確認するために、ダンプトラックが1日当たり100台以上通行する碎石工場の構内における試験舗装で、IL ブロックの転圧に從來から用いられている手押しの専用コンパクタと8tのタイヤローラを用いて実験を行った。その結果を以下に示す。

- ①IL ブロックの荷重伝達率は、目地砂の充填率と転圧効果に伴って大きくなる傾向にある。
- ②タイヤローラのような大型の締固め機械により転圧を行うことによって、目地砂の正のダイレタンシーに起因するブロック間の水平方向の圧縮力発生が促進され、隣接するブロック相互間の荷重分散性能がさらに高まる。
- ③これより、1日当たりの大型車交通量が100台を越える車道舗装では、從來から用いられている手押しの専用コンパクタによる転圧だけでは不十分であり、大型のローラにより路面の仕上げ転圧を行うことが必要である。このことは、協会の要領等に追記することが必要である。
- ④大型車交通量の多い用途では大型のローラを用いて転圧することによって、十分な締固め効果が得られていないことに起因する供用初期段階での変形や変形に伴うブロックの破損を防止できる。

(8) 路盤構造が荷重分散性能に与える影響

路盤構造が荷重分散性能に与える影響を確認するために、異なる路盤構造上に施工した供用中の車道舗装でたわみの面的分布状況を広範囲に測定した。その結果次のことが確認された。

- ①IL ブロック間の荷重伝達率に差異がないと見なせるケースでは、路盤構造が異なるとIL ブロック上のたわみ量( $D_0$ )やたわみ比に差異が生じる。この差異は、路盤構造の剛性によるもので支持力の大きい路盤上にIL ブロックを施工すると、IL ブロック舗装の荷重分散性能が大きくなることを示している。
- ②これより、IL ブロック間の荷重伝達率に差異が無いと見なせるケースでは、IL ブロック舗装の荷重分散性能は路盤支持力と相関がある。

(9) 上層路盤上の支持力基準

HFWD を用いたたわみ測定から、車道舗装における上層路盤上の支持力基準を次のように提案した。

- ①1日当たりの大型車交通量が100台未満の道路では、面上弾性係数で $120\text{MN/m}^2$ 以上とする。
- ②100台以上の道路では、HFWD たわみ量で $0.084\text{mm}$ 以下とする。この規定については、2002年12月に土木学会から発刊された「FWD および小型 FWD の運用の手引き」に示した。
- ③①、②の基準については協会の要領等にも反映させることが必要である。

#### (10) ILブロック舗装の寸法規格案

前述したILブロックの寸法と荷重分散性能の関係を用いて、未だ我国では確立していないILブロックの寸法規定化を検討した。また、これを基にドイツ、米国、英国の規定を導入して交通量の区分に応じたブロック寸法を提示した。その結果を以下に示す。

- ①ILブロックの全側面積と上面積の比と隅角部における荷重伝達率の関係式を用いて、荷重伝達率が等値のブロック形状を示すことができたことから、従来から議論されてきたブロック形状と荷重分散性能の関係を明らかにすることができた。
- ②ILブロックの寸法規格には、海外で用いられている「長辺長と厚さの比」とともに「全側面積と上面積の比」も併用することが必要である。
- ③ILブロックの寸法規格に、「長辺長と厚さの比」とともに「全側面積と上面積の比」を併用して交通量の区分に応じた最大ILブロックの寸法を提示した。すなわち、歩道・軽交通用60mm厚で240×138mm以下、車道用80mm厚で250×126mm以下、短辺長で50mm以上を提案した。なお、60mm厚と80mm厚のブロック寸法差10mmを荷重伝達率に換算すると60mm厚とした場合0.04、80mm厚で0.05となり、車道用の寸法(250×126mm)は、歩道用の寸法(240×138mm)に比べて7~8%程度荷重伝達率が高くなる。この値は、ストレート型と波形型の差に相当する。
- ④③で示した寸法は、最大値であるため実験に用いた100×200mmや150×200mmだけでなく荷重伝達率が等値となるブロック寸法迄、歩道や車道に適用できるものである。
- ⑤ここで提案したILブロックの寸法規格を用いることで平板舗装と明確に区分でき、ILブロック舗装の定義付けを行うことができる。また、交通量の区分に応じたILブロック舗装の最大寸法を提示できたことから、歩道車両乗入れ部や車道舗装で発生している段差や沈下等の破損を防止することができる。
- ⑥ILブロックの寸法規格と交通量の区分に応じたILブロックの最大寸法については、平板と明確に区分するためにも今後協会の要領等に反映させることが必要である。

#### (11) 破損原因を究明する方法

これ迄の研究成果を基に供用中の車道舗装で破損が生じた場合の破損原因を究明する方法を表10.1に示す。

- ①ここで示したたわみ測定を中心とした現場調査を実施することで、破損原因を究明でき適切な維持修繕工法の選定も可能となる。
- ②破損原因を究明するために現場で実施する開削調査方法については、協会の舗装技術委員会耐久性WGで作成中の「既設舗装の耐久性評価マニュアル」に示した。



表 10.1 破損原因の究明方法

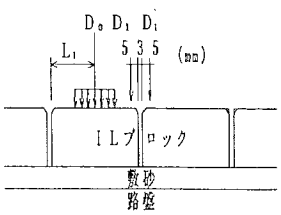
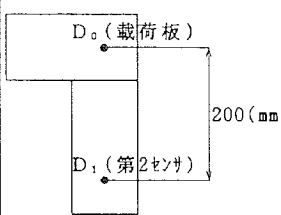
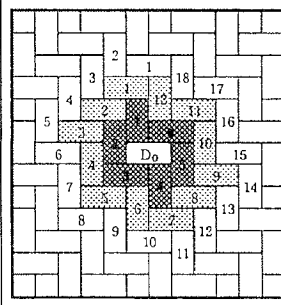
破損の種類	開削の範囲	開削の位置	調査項目	調査位置				
				ILブロック上	敷砂上	上層路盤上	下層路盤上	路床上
わだち掘れ	ILブロック+敷砂 注：わだち掘れがひどい場合には下層路盤、路床面迄掘り下げる	わだち部と非わだち部を含めて横断方向	2点のたわみ(D <sub>0</sub> , D <sub>20</sub> )	○		○	○	○
			横断形状	○		○	○	○
			敷砂の品質		○			
局部沈下, 段差	ILブロック+敷砂	沈下や段差が生じている箇所と沈下や段差のない健全部	2点のたわみ(D <sub>0</sub> , D <sub>20</sub> )	○		○		
			横断形状	○		○		
			敷砂の品質		○			
ブロックの移動	ILブロック+敷砂	移動が生じている箇所と移動のない健全部	たわみ比	○				
			2点のたわみ(D <sub>0</sub> , D <sub>20</sub> )	○		○		
			横断形状	○		○		
			目地幅	○				
			目地砂消失深さ	○				
			移動量	○				
			敷砂の品質		○			

(12) HFWD を用いた IL ブロック舗装の荷重分散性能と支持力評価

これ迄に示してきた研究成果を基に HFWD を用いた IL ブロック舗装の荷重分散性能と支持力評価の方法を表 10.2 に示す。

- ①この表で示した方法を用いることにより、適切な支持力評価や施工管理が可能となり舗装の健全度合いの判断や供用中の破損を低減できるものである。
- ②表中に示した中で、IL ブロック舗装体の荷重分散性能の評価と IL ブロック上や路盤上での支持力評価については、平成 12 年 12 月に土木学会より発刊された「FWD および小型 FWD 運用の手引き」に示した。

表 10.2 HFWD による IL ブロック舗装の荷重分散性能と支持力評価

評価項目	载荷方法	载荷位置図	指標	判定	備考
ブロック や目地材 の荷重 伝達	D <sub>0</sub> :ブロック中央部 D <sub>1</sub> :载荷側ブロック 内の目地隅角部 D <sub>1</sub> ' :目地を挟んで 隣接する非载荷側 ブロックの目地隅 角部		荷重伝達率 (E <sub>LT</sub> ) E <sub>LT</sub> = D <sub>1</sub> ' / D <sub>1</sub>	E <sub>LT</sub> が高い程、荷 重伝達が良好	
ブロック 舗装表層 (IL ブロッ ク + 敷砂) の荷重分 散性能	D <sub>0</sub> :ブロック長手方 向の中心線上 D <sub>1</sub> :ブロック長手方 向の中心線上 D <sub>0</sub> と D <sub>1</sub> の距離 20cm		曲率半径(R) R = L <sup>2</sup> / (2 × t) L: D <sub>0</sub> と D <sub>1</sub> の距 離(m) t: D <sub>0</sub> と D <sub>1</sub> のた わみ差(m)	R が大きい程、 荷重分散性能が 良好	① 1 回の測定に要す る時間が短いため、 多数のデータ収集 が可能 ② 追跡調査に適す
IL ブロッ ク舗装体 の荷重分 散性能	D <sub>0</sub> :ブロック中央部 D <sub>1</sub> :ブロック中央部		たわみ比 たわみ比 = D <sub>i</sub> / D <sub>0</sub> D <sub>i</sub> : i = 1 ~ 3	① たわみ比が大 きい程、荷重分 散性能が良好 ② 破損部と健全 部との相対比較	1 回の測定に時間を要 するため、実道で多数 のデータ収集が難 しい
上層路盤 上の支持 力	路盤上の任意 の位置	D <sub>0</sub> を測定	全体的なたわみ 量(D <sub>0</sub> )と面上弾 性係数	1 日当りの大型 車交通量 ① 100 台未満: 面上弾性係数 = 120MN/m <sup>2</sup> 以上 ② 100 台以上: たわみ量で 0.084mm 以下	
路盤層以 下の支持 力	路盤上の任意 の位置	D <sub>0</sub> と D <sub>20</sub> の距離 20cm	全体的なたわみ 量 D <sub>0</sub> , D <sub>20</sub> , D <sub>0</sub> - D <sub>20</sub>	破損部と健全部 の相対比較	
路床の支 持力	路床上の任意 の位置	D <sub>0</sub> と D <sub>20</sub> の距離 20cm	面上弾性係数	面上弾性係数を CBR に換算し て、破損部と健 全部の値を比較	第 2 センサ(D <sub>20</sub> )のた わみを用いる場合は、 Ullidtz の式を用いて 面上弾性係数を算出

### (13) 今後の展望

本研究は、歩行者系道路から一般車道、港湾区域等幅広く適用されている IL ブロック舗装の荷重分散性能と支持力評価をテーマとしたものである。

ここで提案したブロック寸法、敷砂の品質、目地砂の機能、路面の締固め方法、上層路盤上の支持力基準等を適用することによって車道舗装で生じている種々の破損を低減できる。また、供用中に破損が生じた場合では適切な支持力評価を行うことによって、破損原因を究明でき、適切な維持修繕工法の選定も可能となる。

本研究で示した手法は、IL ブロックと同じ敷砂、目地砂で施工されるコンクリート平板、レンガ、タイル、あるいは天然石といったブロック系舗装材料全般に広く適用できるものである。

今後の課題は、IL ブロック舗装の荷重伝達率とパフォーマンスに関するデータ収集とブロック上だけでなくブロックを抜き取って、路盤上でもたわみを測定して路盤層以下の荷重分散性能を評価することである。

## 謝辞

本論文は、北海道工業大学社会基盤工学科笠原篤教授に丁寧かつ適切なご指導のもとで行った研究成果をまとめたものであります。

筆者は、日本大学理工学部交通工学科(現社会交通工学科)の時代に、三浦裕二教授のご指導のもとで卒業研究のテーマとしてILブロック舗装を選択したことがきっかけとなり、この舗装材に興味を持ち、昭和55年にアイエルビー株式会社の前身チチブ建材販売株式会社に入社致しました。依頼24年間ILブロックの工事、営業、技術開発等の業務に携わってきました。この間、(社)インターロッキングブロック舗装技術協会の活動を通じて、谷藤正三会長(現名誉会長)、飯島尚元建設省土木研究所長(現鹿島道路株式会社顧問)、亡くなられた池田拓哉元建設省土木研究所舗装研究室長には、長年にわたりご指導ご鞭撻をいただいただけでなく、研究成果を学位論文としてまとめるご助言も賜りました。

本研究は、1993年に笠原教授らによって開発されたHFWDを用いて、笠原教授からご指導をいただきながら1996年から2003年にかけて東京、埼玉、千葉、茨城を中心に北海道(千歳市、岩見沢市、苫小牧市内)、福島県、大阪府内における試験舗装や実道で行った調査研究を基にしています。研究を進めるにあたり、北海道スプリットン工業株式会社田中正稔代表取締役社長、株式会社NIPPOコーポレーション関西支店木下孝樹技術課長には、工場構内にILブロックの試験舗装を構築していただきました。社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会谷藤正三名誉会長、竹尾省三前専務理事、嶋田順子女史に励ましとご叱責をいただきました。協会活動でお世話になっている住友大阪セメント株式会社安藤豊セメントコンクリート研究所グループリーダー、株式会社NIPPOコーポレーション技術研究所尾本志展主任研究員にも励ましのお言葉を幾度もいただきました。また、試験舗装や実道での測定業務にあたっては、北海道スプリットン工業株式会社の方々をはじめ、アイエルビー株式会社高橋智志関連事業部長、土岐弘之北日本営業部長、大阪営業所鶴係長、矢澤修一関連事業部係長、馬場卓技術開発部主任らに、全国の出荷実績調査では井上悟首都圏営業部部長や遠山隆子技術開発部主任など社内外の多くの方々にご多大なるご協力を、役員の方々からは励ましのお言葉をいただきました。

2月24日の公聴会には、筆者の大先輩であるアートエンジニアリング株式会社川野敏行代表取締役社長、新日石プラスト株式会社山田潤ワリフグループリーダーをはじめ多くの方々に、3月18日の授与式にはアイエルビー株式会社鈴木宏常務取締役にご出席いただきました。

本論文をまとめるにあたって、北海道工業大学の土岐祥介教授、苫米地司教授、亀山修一助教授に親切丁寧にご指導等をいただきました。

本論文をまとめ上げることができるまでには、このように多くの方々のご支援とご助力を賜りました。

以上、本研究を学位論文としてまとめるまでにお世話になった方々に厚く御礼申し上げますとともに、ここに記して深甚なる謝意を表する次第である。