

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

柳沼 宏始¹・吉田武²・池田拓哉³

¹正会員 (社)インターロッキングブロック舗装技術協会

(〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-13-5 アイエルビー(株)勤務)

²建設省土木研究所道路部舗装研究室長(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

³前建設省土木研究所道路部舗装研究室長

インターロッキングブロック(以下ILブロック)による車道舗装では、クッション砂と目地砂の品質が舗装路面の供用性を良好に保つために重要である。そこで、車道舗装に使用するクッション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にて実車による走行実験を実施した。

走行実験から、天然砂が最も良好な供用性を示したのに対して樹脂による固定工法では、ブロックの移動による破損や目地砂の消失が顕著に認められた。また、目地砂の消失を防ぐには、クッション砂と物性の近似している材料が望ましいこともわかった。これらの結果を踏まえて、車道舗装に用いるクッション砂の品質は、従来の品質規格に、新たに突固め試験による細粒化に対する抵抗性を加えることを提案する。

Key Words : quality of joint and bedding sand, loss of joint sand, finer, impact compaction test

1. はじめに

建設省土木研究所と社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会(以下協会)は、1987年以来建設省土木研究所の舗装走行実験場に実物大の試験舗装を施工し、ILブロックによる車道舗装設計法の確立のために大型車の繰返し载荷による耐久性評価を行ってきた。

1987年から1995年にかけて行った実験結果¹⁾から、ILブロックを車道舗装に適用する場合には、クッション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ている。これより、クッション砂と目地砂の品質規格について再検討の必要性が生じた。国内外におけるクッション砂と目地砂の品質規格は、日本をはじめ大半の国々が粒度だけを規定しており、粒度以外を規定しているのはカナダの含水比(6~8%)や南アフリカの内部摩擦角(40°以上)、イギリスの細粒分の増加量(用途に応じて75 μ mを規定)位である。また、クッション砂や目地砂の品質と舗装面の供用性との因果関係に関する研究報告についても、国内外とも室内試験レベルにとどまっているのが現状である。

そこで、車道舗装に使用するクッション砂と目地

砂を実物大の荷重車の繰返し走行により評価することにした。走行実験はクッション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し、車道舗装に使用するクッション砂と目地砂の品質規格を確立することを目的に、1997年度より開始した。

本論文は、1997年度より行ったクッション砂と目地砂の走行実験から得られた知見を基に検討した、クッション砂と目地砂の品質規格と試験法について報告するものである。

2. 土木研究所におけるこれ迄の実験結果

1987年から1995年にかけて行った走行実験は、ILブロックによる車道舗装設計法の確立と大型車の繰返し走行による耐久性評価を行った。走行実験の概要を表-1に、実験結果を表-2(各項目の評価方法は表-8参照)に示す。この走行実験から、ILブロック層の等値換算係数を従来から用いられている経験的な手法で評価すると、アスファルト混合物の等値換算係数とほぼ同等であることがわかった。

表-2 土木研究所におけるこれ迄の実験結果

項目	307	308	309
走行回数(×10 ⁴)	54	38	38
わだち掘れ量(mm)	14.5	19.7	18.8
たわみ量(mm)	0.89	1.18	1.04
目地砂消失率(%)	10.5	25.6	21.2
ブロックの破損(%)	13.6	26.6	17.5
移動量(mm)	-1.53	0.1	1.1

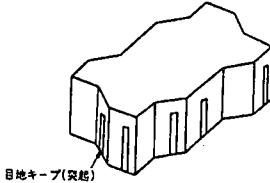


図-1 目地キープの例

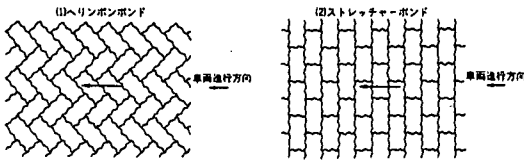


図-2 敷設パターン

表-1 走行実験の概要

工区	307	308	309
施工時期(年)	1988	1990	1990
幅員(m)	7.0	7.0	7.0
延長(m)	24.5	12.25	12.25
ILブロックの形状			
目地キープ	なし	あり	
敷設パターン	ヘリンボンボンド	ヘリンボンボンド	ストレッチャーボンド
舗装構造(cm)			
路盤層の厚さ(cm)	16.5	16.0	

また、車道舗装ではブロックの破損を防ぐ対策として瀝青安定処理工法と目地キープ(図-1)の使用が有効で、ブロックの移動を抑えるにはストレッチャーボンドパターンよりもヘリンボンボンドパターン(図-2)の方が有効であることも確認された。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の調査結果から、目地砂とクッション砂について以下のことも確認された。

(1) 目地砂の消失

目地砂の消失は、表-2より307, 309, 308工区の順で高くなり、ブロックの破損やわだち掘れ量と同じ傾向を示した。308, 309工区の目地砂消失率が大きい理由として、307工区に比べてわだち掘れ量やたわみ量が大きいことが挙げられる。

また、308工区では目地砂消失箇所ブロックの破損が集中する傾向も認められた。

目地砂の消失は、小さなブロックがかみ合った連続体として機能しないだけでなく、ブロックに移動が生じると競り合って破損が生じやすくなる。

(2) クッション砂層の変形と硬化

図-3は走行実験終了後に実施した舗装各層の横断形状の測定例である。この図より、舗装面のわだち掘れはクッション砂層と上層路盤層の変形に起因していることが確認できた。さらにもうひとつの破損原因は、クッション砂の硬化である。クッション砂の硬化原因を確認するために、各工区ごとに走行部と車両が全く走行していない非走行部からクッション砂を2点ずつサンプリングし、ふるい分け試験と洗い試験およびX線分析を行った。

各工区ごとの走行部と非走行部のふるい分け試験と洗い試験の結果を表-3に示す。ふるい分け試験では、走行部と非走行部を比較しても粒度変化は認められなかった。しかしながら、クッション砂が供用中に交通荷重によって細かい粒子に破碎され、75μmふるい通過量が供用前に比べて大幅に増加することを細粒化現象と定義すると、表-3に示した洗い試験の値は非走行部の平均2.5%に対し走行部では4倍近い9.0%を示したことから細粒化が生じている。

また、X線解析はクッション砂の硬化が瀝青安定処理路盤よりもセメント安定処理路盤に顕著に発生していたため実施したものである。セメントの水和反応は長期に渡って継続するので、セメント安定処理路盤中のセメントがクッション砂に与える影響が懸念された。しかしながら、X線解析では各工区とも石英、白雲母、磁鉄鉱、長石類、角閃石類、クリストラバイト等が検出されただけでセメント水和物は全く検出されなかった。

以上の結果から、クッション砂層の変形と硬化は砂の細粒化によるものと判断された。この砂の細粒化が舗装面の変形をもたらし、車両走行軌跡下のブロックに致命的な破損をもたらす。したがって、クッション層の砂の粒度も舗装路面の状態を良好に保つために重要であることがわかった。

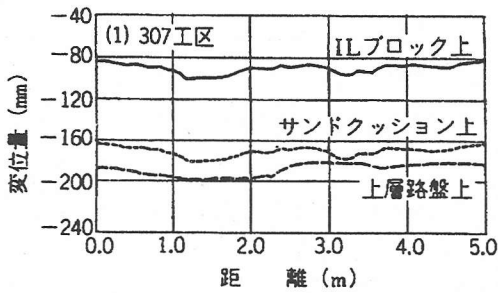


図-3 舗装各層の横断形状例

表-3 ふるい通過率と洗い試験結果

位置	工区	ふるい通過率 (%)						洗い試験 (%)
		5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
走行部	307	97	88	80	60	24	5	7.2
	308	97	91	84	66	24	5	10.2
	309	97	91	82	64	24	5	9.8
	平均	97	90	82	63	24	5	9.0
非走行部	307	98	89	80	63	27	5	2.1
	308	98	93	85	68	28	6	2.5
	309	94	88	80	65	27	6	2.9
	平均	97	90	82	65	27	6	2.5



写真-1 ブロック間の段差例

3. 車道舗装における状況

ILブロック舗装の特徴的な破損として、ブロック間の段差、ブロックの移動およびわだち掘れや局部沈下が挙げられる²⁾。それぞれの特徴を以下に示す。

ブロックの段差とは、小さなブロックがかみ合った連続体として機能せず、供用後にブロック個々の平坦性が損なわれ、ブロック間に5~10mm以上の段差が生ずる現象(写真-1)を指す。

ブロックの移動は、ブロックが車両進行方向に押されて移動し、目地ラインにずれが生じやがて目地

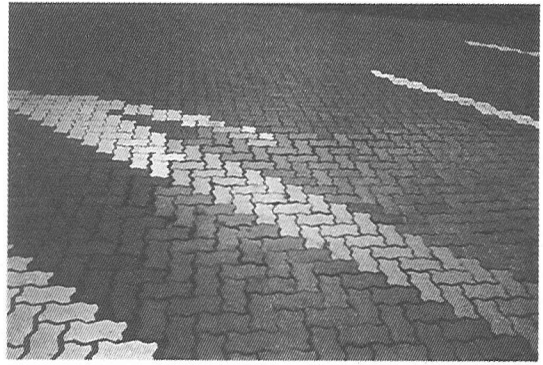


写真-2 ブロックの移動例

幅が極端に大きく(10mm以上)なる現象(写真-2)を指す。

わだち掘れや局部沈下については、路床や路盤の支持力不足に起因するのではなく、クッション砂の変形に起因するケースを指す。これらの破損は、単独で発生することもあれば、複数が同時に発生することもある。

表-4に示す車道舗装における状況より、非走行部と走行部では75 μ mふるい通過量に大きな差があることから、クッション砂の硬化は細粒化によるものである。クッション砂の硬化は、L交通からC交通の道路に至る迄広範囲にわたり、路盤材料に関係なく発生するものの、上層路盤の剛性が高いと細粒化を促進させる可能性がある。

土木研究所における走行実験結果と車道舗装での施工事例から、クッション砂の硬化はクッション砂中の75 μ mふるい通過量が多くなると起きやすくなり、この硬化によって種々の破損が発生する。クッション砂の硬化は、砂が細かい粒子に破碎される細粒化によるものである。図-4は、表-4に示した各現場の走行部でクッション砂が固結したケースの施工時期から調査に至るまでの経過年数と75 μ mふるい通過量の関係を示したものである。この図から、75 μ mふるい通過量の規定を7%以下とすると11現場中9現場で満足しないことがわかる。満足する2現場のうち1現場(No.6)では、クッション砂の固結が生じており、しかも車道舗装での適用例の多いL交通の事例である。したがって、車道舗装でクッション砂の固結を防ぐには、75 μ mふるい通過量が5%以下の材料を選定するとともに、細粒化してもこの値が5%を越えない硬さが要求される。

表-4 車道舗装における状況

No	破損の分類	破損の原因	用途	交通量	施工時期	上層路盤材(厚さ)cm	調査時期	サブリング位置	砂の状況	試験結果						
										FM	75μmふるい通過量(%)					
1	ブロック間の段差	クッション砂の固結	市道(神奈川県内)	L交通	1986年12月	再生砕石(10)	1989年8月	非走行部	固結無	3.03	2.97					
									走行部	固結	2.56	9.90				
			市道(神奈川県内)	A交通	1987年3月	A _S 安定処理(10)	1989年10月	走行部	固結無	2.03	6.88					
								走行部	固結	1.72	15.90					
3	市道(神奈川県内)	B交通	1989年1月	粗粒A _S (5)	1989年10月	走行部	固結無	3.06	7.20							
						走行部	固結	2.94	11.40							
4	市道(静岡県内)	L交通	1989年10月	A _S 安定処理(5)	1990年3月	走行部	固結	2.51	14.40							
						走行部	固結	2.52	10.30							
5	ブロックの移動	クッション砂の固結	市道(静岡県内)	A交通	1990年	A _S 安定処理(6)	1993年8月	走行部	固結	2.67	11.30					
								市道(京都府内)	L交通	1994年1月	A _S 安定処理(5)	1995年6月	走行部	固結	3.13	6.72
													走行部	固結	3.19	7.63
7	市道(神奈川県内)	A交通	1994年3月	粗粒A _S (10)	1997年5月	走行部	固結	1.87	11.0							
						区道(都内)	A交通	1986年12月	A _S 安定処理(20)	1992年6月	走行部	固結無	1.47	11.0		
9	市道(静岡県内)	L交通	1990年	A _S 安定処理(5)	1993年8月						走行部	固結	2.46	14.19		
						10	区道(都内)	L交通	1995年3月	開粒2号(5)	1998年9月	非走行部	固結無	2.16	2.49	
走行部	固結	1.28	11.23													
11	市道(北海道内)	C交通	1996年12月	A _S 安定処理(5)	1997年11月	走行部	固結	1.54	11.60							
						走行部	固結	1.64	14.0							

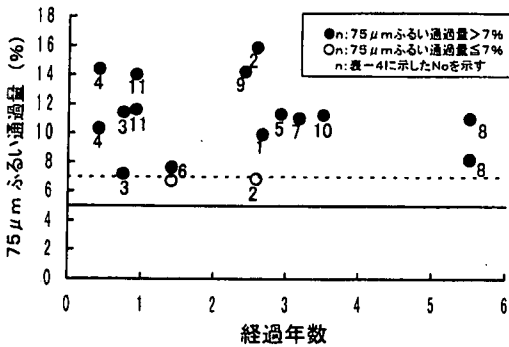


図-4 経過年数と75μmふるい通過量の関係

4. 室内試験

(1) 室内試験の概要

クッション砂の品質がI L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号砕石3種類と焼砂2種類の計14種類を選定した。

この14種類のクッション砂を対象に表-5に示した試験により、それぞれの物性を確認した。

表-5 クッション砂の室内試験

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
砂の硬さ・形状試験	実積率	"
	洗い試験	JIS A 1103に準拠
	砂の硬さ試験(FDR試験)	試験機:ダブル試験機 球:φ25mmの耐摩耗陶器球をカサ容積で2個 試料:試料は、絶乾状態の試料を球間隙の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φ=15cmに絶乾状態の砂をモールド容積の1/3まで入れる。4.5kgハンマを用い高さ45cm、突固め回数87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(ドライビスコンティ)試験	砂を0.3~0.6mmに単粒化し右図に示す試験機を用いて一定質量(500g)の試料が落下する時間によりオリフィス(φ=1.5mm)より細骨材の形状を評価する。	

(2) 試験結果

クッション砂の室内試験の結果を表-6に示す。これより、次のことが確認された。

a) 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。

b) 比重, 吸水率

比重は, 表乾, 絶乾共に2.5~2.7前後の範囲にある。吸水率は, 7号砕石, 天然砂, 焼砂共産地によってばらつきがある。

c) 洗い試験

洗い試験によって求まる75 μ mふるい通過量は, 車道舗装における協会規格値5%以下³⁾を満足する材料は, HとNを除いた12種類であった。

d) 突固め試験

突固め試験による試験前後の粒度を75 μ 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, 細粒分の増加量をイギリスでの研究結果⁴⁾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号砕石は, 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。

e) FDR試験

クッション砂の硬さは, FDR試験から式(1)を用いてFDRm(材料的硬さ評価値)を算出して評価した⁵⁾。

$$FDRm = \text{試験後のFD} / \text{試験前のFD} \quad (1)$$

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

表-6より, FDRm値は7号砕石が3種類共高い値(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号砕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FDRm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。

f) DV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績率との相関は認められなかった。

(3) クッション砂の選定

土木研究所にて走行実験を行うクッション砂として, 天然砂, 7号砕石, 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。

a) 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 μ 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

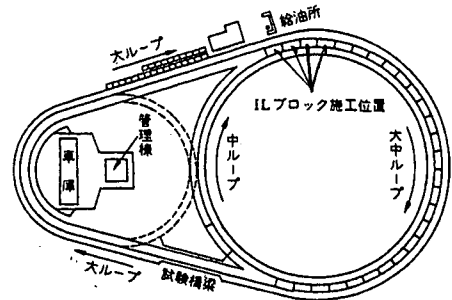


図-5 舗装走行実験場の概要

にくい材料であると考えられる。

b) 7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。

c) 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。

d) 特殊樹脂処理した焼砂

特殊樹脂処理とは, 適度な粘着性を有する特殊なコーティング材をクッション砂に添加し, 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える効果を確認する。砂には, 焼砂(M)のようにDV値やFDRm値, 75 μ mふるい通過量の大きい材料を用いた。

e) 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小さい材料を選択した。

5. 走行実験の概要

クッション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(図-5)。試験舗装の構造は, 表-2に示した実験結果を基に上層路盤には耐久性の高い瀝青安定処理工法を用いた。なお, 表-7に示した舗装構造が異なるのは, 既設舗装を上層路盤から打換えたためである。また, ブロックの敷設パターンには, 移動の少ないヘリンボンボンド45°型とした。

走行実験は, 輪荷重を49kN(=5t)または69kN(=7t)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ことに表-8に示す路面性状の測定を図-6に示す位置にて実施した。

表-6 室内試験結果

区分	種類	最大寸法	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								F M	75μmふるい通過率 (%)	細粒化に対する応答率 (%)
			表砕	絶砕							ふるい通過質量百分率 (%)										
											10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15				
7号砕石	A 関東-1	10	2.70	2.68	0.786	1.54	57.4	0.15	3.85	-	前	100	87	10	3	2	1	1	4.96	1.5	-0.40
	後	100	93	19	7	4	3	3	4.71	3.0	前	100	92	16	3	1	1	1	4.86	2.0	
	後	100	97	30	10	5	3	2	4.53	1.6	後	100	55	3	1	0	0	0	5.41	0.71	
7号砕石	B 東海-1	5	2.62	2.58	1.40	1.49	57.8	2.0	2.97	-	前	100	99	95	80	44	15	2	2.65	0.84	0.59
	後	100	97	30	10	5	3	2	4.53	1.6	前	100	61	7	3	2	1	1	5.25	1.3	
	後	100	100	100	97	84	32	1	1.86	0.41	後	100	100	100	97	85	36	4	1.78	1.0	
7号砕石	C 東海-2	10	2.61	2.57	1.44	1.63	63.4	0.71	6.49	-	前	100	99	94	75	40	13	2	2.77	1.2	0.59
	後	100	100	100	97	84	32	1	1.86	0.41	前	100	99	95	80	44	15	2	2.65	0.84	
	後	100	100	100	97	85	36	4	1.78	1.0	後	100	99	94	75	40	13	2	2.77	1.2	
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	100	100	100	97	84	32	1	1.86	0.41	0.59
	後	100	100	100	97	85	36	4	1.78	1.0	前	100	99	95	80	44	15	2	2.65	0.84	
	後	100	99	94	75	40	13	2	2.77	1.2	後	100	99	94	75	40	13	2	2.77	1.2	
	E 東北	2.5	2.58	2.54	1.69	1.68	65.9	0.84	1.23	26 * 91	前	100	100	99	97	90	57	6	1.51	1.5	0.36
		後	100	99	94	75	40	13	2	2.77	1.2	前	100	99	97	90	57	6	1.51	1.5	
	F 関東-1	0.6	2.58	2.53	2.01	1.54	60.7	1.5	1.24	26 * 69	前	100	100	99	96	90	57	8	1.50	2.4	0.00
		後	100	100	89	96	90	57	8	1.50	2.4	前	100	100	92	58	32	17	8	2.93	
	G 関東-2	2.5	2.63	2.59	1.44	1.73	66.8	4.3	1.26	29 * 75	前	100	100	94	64	29	22	11	2.70	5.6	1.30
		後	100	100	94	64	29	22	11	2.70	5.6	前	100	100	92	85	59	35	11	2.18	
	H 関東-3	2.5	2.60	2.55	1.84	1.69	66.3	12	-	28 * 32	前	100	100	93	64	42	29	18	2.54	14	2.0
		後	100	100	87	59	38	23	9	2.84	2.2	前	100	100	87	59	38	23	9	2.84	
	I 東海	5	2.59	2.55	1.70	1.74	68.2	2.2	1.22	29 * 87	前	100	100	89	62	42	26	7	2.70	3.6	1.4
後		100	100	89	62	42	26	7	2.70	3.6	前	100	99	87	53	22	5	1	3.33	1.0	
J 中国-1	5	2.54	2.49	2.18	1.60	64.5	1.0	1.64	32 * 33	前	100	99	85	57	30	11	4	3.14	2.3	1.30	
	後	100	99	85	57	30	11	4	3.14	2.3	前	100	100	94	64	38	20	6	2.78		2.2
K 中国-2	2.5	2.54	2.49	1.84	1.62	64.9	2.2	1.34	26 * 31	前	100	100	93	66	40	21	8	2.72	3.4	1.20	
	後	100	100	93	66	40	21	8	2.72	3.4	前	100	100	94	64	38	20	6	2.78		2.2
L 九州	2.5	2.59	2.56	1.34	1.66	64.8	0.71	1.29	29 * 47	前	100	99	96	82	46	9	1	2.67	0.71	0.20	
	後	100	100	98	85	46	10	2	2.59	1.0	前	100	100	86	53	29	13	2	3.17		1.8
焼砂	M 卸装会社より1	5	2.64	2.61	1.26	1.70	65.3	1.8	1.34	28 * 36	前	100	100	90	61	37	17	4	2.91	2.4	0.60
	後	100	100	90	61	37	17	4	2.91	2.4	前	100	100	100	76	52	24	8	2.40	7.2	
焼砂	N 卸装会社より2	2.5	2.59	2.53	2.26	1.70	67.4	7.2	1.29	24 * 75	前	100	100	100	82	62	33	12	2.11	8.0	0.80
	後	100	100	100	82	62	33	12	2.11	8.0	前	100	100	100	82	62	33	12	2.11	8.0	

表-7 試験舗装の内容

工区	221	222	223	224
クッション砂の種類	塊砂	特殊樹脂処理した塊砂	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				
敷設パターン				
副装構造(cm)				
副装厚のTA(cm)	19.0		23.4	

表-8 試験内容

項目	方法	調査点数	評価方法
縦断凹凸	縦断プロファイルメータ	各工区2回線	各断線の内側と外側のわだち差の平均値を使用
たわみ	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計測を連続4回行い2~4回目の測定値の平均値を使用
縦断	スケッチ	各工区40㎡	縦断の傾度や欠け、貫通ひびわれ(修復)、貫通ひびわれ(直復)に3分級し全数調査
移動凹凸	水糸とメジャー	各工区2回線	縦断方向に水糸を張り、水糸に対して垂直にブロックの中心までの距離を測定し、初期値(0回線)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㎡	ブロック表面から、20mm以上の傾斜を対象にパターン図に全数スケッチ、次式より損失率を算出 目地砂消失率(%) = (目地砂消失部の全長(m) / 目地砂全長(m)) × 100
目地	ノギス	各工区縦断方向に2回線	縦断方向にブロック間の目地幅を全数測定し、その平均値を使用

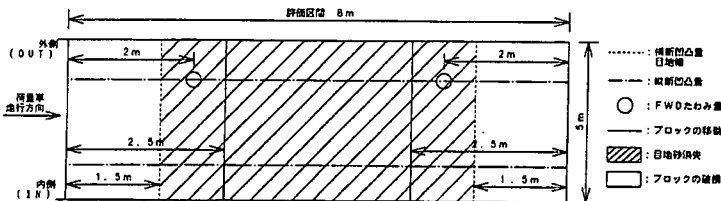


図-6 調査地点位置

表-9 各工区の路面性状

工区 (種類)	走行回数 (×10 ⁴)	累積5t 換算輪数	わだち 深さ (mm)	FWDたわみ量 D ₀ (mm)		破損率(%) () : 貫通 ひび割れ の割合	移動量 (mm)	目地砂 消失率 (%)	横断方向の目地幅 の平均値(mm)		縦断方向の目地幅 の平均値(mm)		MC ₁₀
				標準安定 処理路盤上	ILブロック上 (1:0.01時 との比)				1	2	OUT	IN	
221 (焼砂)	0	0	0	0.79	0.71	0	0	0	-	-	-	-	10
	4	146,290	2.0	-	0.77 (1.08)	0	0	8.55	-	-	-	-	9.51
	8	292,953	2.0	-	0.90 (1.27)	0	2	11.80	3.03	3.09	2.76	2.14	9.51
	12	448,257	0.30	-	0.77 (1.08)	0.4(0)	0.4	8.90	2.84	2.92	2.54	2.81	8.72
222 (特殊樹脂 処理焼砂)	0	0	0	0.83	0.69 (1.0)	0	0	0	-	-	-	-	10
	4	146,290	1.40	-	0.72 (1.04)	0	1	5.75	-	-	-	-	9.62
	8	292,953	1.15	-	0.86 (1.25)	0.2(0)	6.5	27.75	2.89	2.92	2.77	1.29	8.74
	12	448,257	3.0	-	0.78 (1.13)	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 (1.0)	0	0	0	-	-	-	-	10
	4	146,290	1.85	-	0.87 (0.91)	0	0.5	0.15	-	-	-	-	9.54
	8	292,953	0.1	-	0.77 (1.04)	0.1(0)	0	1.65	2.60	2.58	2.09	2.70	9.94
	12	448,257	2.4	-	0.55 (0.74)	0.1(0)	0.3	0.90	2.82	2.69	3.20	2.55	8.69
224 (7号砂石)	0	0	0	0.95	0.69 (1.0)	0	0	0	-	-	-	-	10
	4	146,290	4.65	-	0.68 (0.99)	0	0	1.50	-	-	-	-	9.12
	8	292,953	4.4	-	0.84 (1.22)	0.1	0	10.05	2.82	2.84	2.18	1.98	8.40
	12	448,257	3.5	-	0.73 (1.06)	0.3	0	10.08	2.94	2.84	2.84	3.28	8.23

表-10 相関マトリックス

項目名	わだち掘れ	たわみ量	ブロックの破損	移動量	目地砂消失率
わだち掘れ	1.000				
たわみ量	0.058	1.000			
ブロックの破損	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	0.678**	0.505*	0.842**	1.000

** : 1%で有意

* : 5%で有意

6. 実験結果

1998年度末の時点における、各クッション砂を用いたILブロック舗装の路面性状を表-9に示す。各工区の走行回数は、1998年度末の時点で12万回、49kN換算輪数で448,257輪に達している。

(1) 要因相互の相関分析

ブロックの破損、わだち掘れ量、たわみ量、移動量、目地砂の消失率について要因相互の相関分析を行ったところ、表-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、移動量と目地砂の消失率では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、小さなブロックがか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クッション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。

今回の走行実験から、目地砂の消失が起きるとILブロック舗装の破壊に至ることが確認された。

(2) クッション砂の耐久性評価

a) 焼砂

焼砂は、わだち深さ、ブロックの移動量が小さいものの目地砂消失率が大きい傾向にある。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、目地砂の消失率が他の3工区に比べ最も大きいだけでなく、わだち深さ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、目地砂の消失率が小さく、わだち深さ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)に近い物性を示しているこ

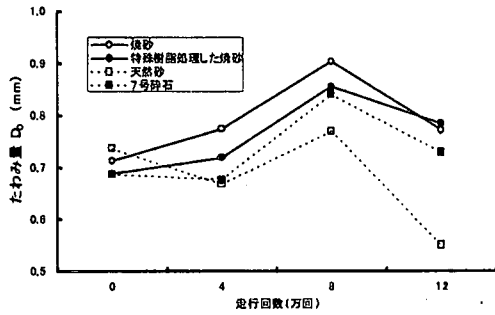


図-7 たわみ量の経時変化

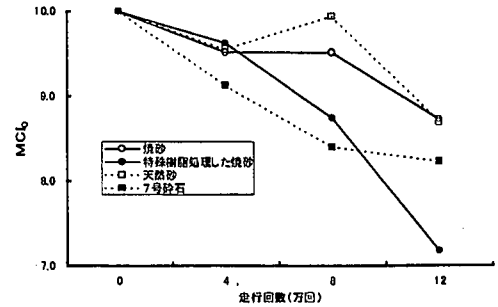


図-8 MCIの経時変化

とが挙げられる。したがって、目地砂の消失を防ぐには、クッション砂と物性が近い材料を選択することが望ましい。

また、天然砂に限り図-7に示すようにFWDたわみ量が走行回数の増加に伴い減少する傾向を示した。このことは、天然砂と目地砂が交通荷重に伴い安定化し、ブロック間のか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12万回時ではたわみ量が大きくなっている。このことは、クッション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-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-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(約1年)に走行実験場周辺から土砂や埃等が目地部に持ち込まれたためと考えられる。

d) 7号砕石

7号砕石は、ブロックの移動が少ないもののわだち深さ、目地砂消失率、破損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号砕石=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号砕石層に流下している可能性がある。また、7号砕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変形に与える影響も懸念される。したがって、7号砕石を用いる場合には、これらの点を確認すると共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、今後検討の必要がある。

(3) MCIの算出

建設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ブロック舗装では、ブロックに角欠けやひび割れが生じていた場合には、アスファルト舗装のような重味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⁹⁾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(2)を用いた。算出結果を図-8に示す。

$$MCI_o = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \quad (2)$$

ここで、C:ブロックの破損率(%)

D:わだち掘れ深さの平均(cm)

これより、12万回走行時のMCI_o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8万回以降MCI_oの低下が顕著に認められた。クッション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。

MCIの場合、ILブロック舗装用の供用性に大きな影響を与える移動量や目地砂消失といった要因が考慮されていないため、路面性状を性格に反映した評価式とするには問題がある。今後は、こういった要因を考慮したILブロック舗装の維持修繕の管理目標値を定めることが必要である。

なお、図中の天然砂の8万回時のMCI_oが4万回時に比べて向上しているのは、表-9に示したわだち深さが4万回時よりも低下しているためである。低下理由として、値が小さいため測定誤差によるものと考えられる。

(4) 開削調査

走行実験終了後にクッション砂の状況を確認する

表-11 開削調査結果

工区	位置	クッション砂の状況	プロクター貫入抵抗値 (N/mm ²)
焼砂	最大わだち部	クッション砂の固結	18.7
	非走行部	"	18.7
特殊樹脂処理した焼砂	最大わだち部	クッション砂の固結	17.3
	非走行部	"	8.9
天然砂	最大わだち部	固結なし	1.4
	非走行部	"	4.1
7号碎石	最大わだち部	クッション砂の固結	8.1
	非走行部	"	17.8

ために開削調査を実施した。調査は、各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クッション砂の状況を目視観察するとともに、クッション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-11に示す。

走行実験終了後のクッション砂の状況は、焼砂、特殊樹脂処理した焼砂、7号碎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。固結現象が最大わだち部だけでなく車両走行の少ない非走行部に迄およんでいた理由として、クッション砂の変形や舗装面の横断こう配が5%と高いため目地からの浸透水により細粒分が移動したことが考えられる。

プロクター貫入抵抗値も、クッション砂に固結現象が発生しなかった天然砂で1.4~4.1Nmm²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8.1~18.7Nmm²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。

7. クッション砂と目地砂の品質

(1) クッション砂の品質

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、わだち深さと移動量も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、ブロック間のか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からもこの砂だけにクッション砂の固結現象が認められなかった。

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%と小さい。これまで述べてきた通り、クッション

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 μ mふるい通過量が5%を越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 μ 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（用途に応じて0.2~3.6%）を参考に1.0%以下とした。なお、突固め試験は、表-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号碎石の適用も考慮して1.5~5.5とした。

(2) 目地砂の品質

目地砂の品質は、従来通り最大粒径で2.36mm以下、75 μ mふるい通過量が10%以下とした。ただし、目地砂の消失を防ぐには、75 μ mふるい通過量は極力低くするとともに、クッション砂と物性（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クッション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。

8. まとめ

舗装走行実験場におけるクッション砂の耐久性試験結果から次のことが明らかとなった。

(1) ILブロックの破損と移動量、移動量と目地砂の消失率には高い相関が認められた。目地砂の消失は、ILブロック舗装の破損を引き起こすため、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充填することが必要である。

(2) 目地砂の品質については、表-12に示すように従来通りとしたが、75 μ mふるい通過量についてはこの値を極力低くすることを付け加えた。また、目地砂の消失を防ぐには、クッション砂と物性（FM、DV値）の近い材料を使用することが望ましい。

(3) 車道舗装に使用するクッション砂と目地砂の品質規定を表-12に示す。

(4) 車道舗装でクッション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クッション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傾

表-12 クッション砂と目地砂の品質

項目	クッション砂	目地砂
最大粒径	4. 75mm以下	2. 36mm以下
FM	1. 5~5. 5	-
洗い試験	75 μ mふるい通過量5%以下	同10%以下
細粒化に対する抵抗性	突固め試験で、試験前後の75 μ mふるい通過量の変動が1.0%以内	-

向にある。適用にあたっては交通量の範囲や用途を限定する必要がある。

(5)焼砂，7号碎石とも表-12に示した品質規格を満足すれば十分車道舗装に適用可能である。ただし，目地砂の粒度等についての検討が必要である。

(6)表-12で規定した品質を満足するクッション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，2000年7月に発行された「インターロッキングブロック舗装設計施工要領書の改訂版」(協会編)に盛り込まれている。したがって，今後はクッション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. おわりに

ILブロックを車道舗装に適用して行く場合には，クッション砂や目地砂の品質が舗装路面の状態

を良好に保つための重要な課題である。特にクッション砂や目地砂の細粒化前後の粒子形状を観察して評価することをはじめ，細粒化して舗装面に種々の破損が生じる迄のメカニズムを究明することも検討課題である。さらに，今回の走行実験結果から確立したクッション砂と目地砂の品質規格を用いた実道でのデータ収集により，その信頼性を高めるとともに，車道舗装におけるILブロック舗装の維持修繕手法についても今後検討して行きたい。

参考文献

- 1) 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年6月号。
- 2) 畑実，石下幸司，柳沼宏始：インターロッキングブロックの車道舗装の破損とその対策，雑誌「道路建設」，pp.72~77，1995年4月号。
- 3) (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書(車道編)，1994。
- 4) (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。
- 5) 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年11月号。
- 6) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧，1987年11月。

(2000.5.31受付)

EVALUATION OF DURABILITY OF BEDDING SAND FOR INTERLOCKING BLOCK PAVEMENT UNDER REPEATED LOADING BY HEAVY VEHICLES

Hiroshi YAGINUMA, Takeshi YOSHIDA and Takuya IKEDA

Using sand of proper quality for the bedding and joint is important, to maintain the performance of interlocking (IL) blocks on roadway. A field test using actual vehicles started in FY1997 at the PWRI, to evaluate the durability of bedding sand for roadway. Natural sand performed the best of tested materials. Using resin to fix sand caused severe breakage of blocks or loss of joint sand. It also was found that to prevent the loss of joint sand, materials whose properties are similar to those of bedding sand are desirable. Our tests lead us to propose that to evaluate the quality of bedding sand used with IL blocks on roadway, resistance against finning should be tested by impact compaction.