

港 湾 技 研 資 料

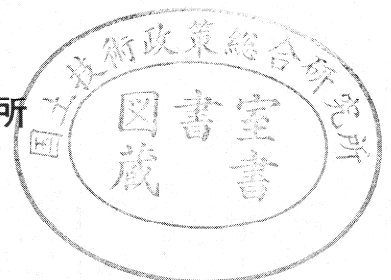
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 804 June 1995

再生材・高強度石灰安定処理材の空港舗装への適用性

八	谷	好	高
工	藤	隆	志
塩	見	雅	樹
万	波	一	朗

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨

1. はじめに	3
2. 路盤としての材質	4
2.1 現行の材質規定	4
2.2 低品質材料の利用方策	5
3. 室内試験による検討	6
3.1 石灰安定処理材	6
3.2 再生骨材	13
3.3 まとめ	14
4. 試験舗装による検討	15
4.1 試験舗装の製作と載荷試験	15
4.2 試験結果	18
4.3 解体調査	23
4.4 まとめ	23
5. 結論	25
6. おわりに	25
参考文献	26

Utilization of Recycled Aggregates and Lime Stabilized Materials for Airport Pavements

Yoshitaka HACHIYA*
Takashi KUDO**
Masaki SHIOMI***
Ichiro MANNAMI****

Synopsis

Due to the lack of good quality materials, unsuitable materials for granular base course or subbase must be utilized in some way. In this report, the applicability of lime stabilized materials with high strength to the base course and subbase is described. In addition, suitability of recycled aggregates to the subbase is studied.

From the laboratory tests, the following results are obtained.

- 1) The selection of type and water content of soil, type and amount of stabilizer, and compaction energy are important to obtain the high quality lime stabilized material. The lime stabilized materials obtained through this consideration can meet the requirement as high strength lime stabilized base course and subbase specified in the current airport pavement design manual.
- 2) The recycled aggregates are usable as the subbase of airport pavements as they have the strength characteristics similar to the new aggregates and have the sufficient durability against submerging.

From the experimental pavements, the following results are obtained.

- 1) In consideration of the vertical stress in the pavement at both the static loading tests and dynamic loading tests, the lime stabilized base course and subbase meet the requirement specified in the design manual. The recycled crusher-run subbase has a similar structural properties to the usual crusher-run subbase.
- 2) In backcalculated elastic moduli, those in upper layers decrease with an increase of load repetitions. The estimated elastic modulus of recycled crusher-run subbase is not influenced by the load repetitions as well as new materials.

Based on the above, two kinds of materials studied here can be applied to the airport pavements.

Keywords : airport pavement, base course, subbase, recycled aggregate, lime stabilized material, laboratory test, experimental pavement

* Chief, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division
** Researcher, Runways, Laboratory, Geotechnical Engineering Division
*** Chief, Yokohama Investigation and Design Office, Second Port Construction Bureau
**** Secretary, Soil Stabilization Committee, Japan Lime Association

再生材・高強度石灰安定処理材の空港舗装への適用性

八谷好高*
工藤隆志**
塩見雅樹***
万波一朗****

要 旨

舗装の解体に伴って発生する再生材や、高強度化を図った石灰安定処理材など、空港舗装には従来使用されていなかった材料の空港舗装路盤材としての適用性について、室内試験と試験舗装によって検討している。室内試験からは以下の点が明らかになった。

- 1) 石灰安定処理材については、土質材料の種類と含水比ならびに安定材の種類と添加量、締固めエネルギーといった点を考慮して適切に選定すれば、空港舗装で規定している高強度安定処理材として適用可能である。
- 2) 再生クラッシャーランは通常のクラッシャーランと同等の強度特性を有し、水浸状態による強度低下も少ないことから、空港舗装下層路盤材として適用可能である。

試験施工からは以下の点が明らかになった。

- 1) 静的載荷試験ならびに動的載荷試験の結果から、石灰安定処理上層路盤は粒度調整碎石上層路盤と、再生クラッシャーラン下層路盤は通常クラッシャーラン下層路盤と同等の構造性能を有することが認められた。
- 2) 原型走行荷重車を用いた繰返し走行載荷による影響としては、動的たわみが増加する現象が認められた。また、舗装表面の累積塑性変位も繰返し走行載荷の進行に伴って増加するが、特にアスファルト安定処理上層路盤を有しない場合が大きなものとなっている。
- 3) FWDたわみの逆解析により推定された舗装各層の弾性係数のうち、上方の層のものに関しては走行載荷により低下する現象が認められた。下層路盤として用いた再生クラッシャーランは通常のクラッシャーランと同様で、走行載荷の影響は認められない。

以上のことから、今回調査研究の対象とした再生材と高強度石灰安定処理材については、空港舗装の路盤として適用できるものと結論づけられる。

キーワード：空港舗装，路盤，再生材，石灰安定処理材，室内試験，試験舗装

1. はじめに

近年は、良質な粒状材料の不足や環境への配慮といった観点から、そのままでは舗装の路盤材としては使用できない土質材料を有効利用せざるを得ない状況となってきた。その場合、従来は石灰やセメントにより安定処理して粒度調整碎石やクラッシャーランなみの品質を確保していたが、さらなる高品質化を図って、より積極的

に利用するほうが合理的となることもあろう。

細粒土に対して効果が高いとされる石灰を用いた安定処理材（石灰安定処理材）は、道路舗装において下層路盤材としてはクラッシャーランのみ、上層路盤に対してはセメント安定処理と粒度調整碎石との中間程度と位置づけられた規定がなされている。空港舗装でも、これと同様に、石灰処理して粒状材なみに使用できるという程度の規定しかなかったため、高品質化して用いるためには、

* 土質部滑走路研究室長
** 土質部滑走路研究室研究員
*** 第二港湾建設局横浜調査設計事務所長
**** 日本石灰協会石灰安定処理委員会幹事

空港では対象荷重が大きいことから、その耐荷性、耐久性について十分な検討をすることが必要である。

また、近年既設舗装の解体に伴う発性材を舗装材料として再生利用化することも要請されているが、これら材料の空港舗装への適用性についても、上記と同様の観点から十分に検討する必要がある。ここでは、コンクリートが主成分であるコンクリート再生材を取り上げ、空港舗装の下層路盤材（クラッシュラン）としての適用性について検討している。

2. 路盤としての材質

2.1 現行の材質規定

路盤は表層から伝達される荷重を路床に広く分散させるという目的を有し、用いられる材料は十分な支持力を持ち耐久性に富むものでなければならない。路盤が厚くなる場合には、アスファルト舗装ならびにコンクリート舗装とも上層路盤と下層路盤とに分け、比較的支持力の小さい安価な材料を下層路盤に、支持力の大きい良質な材料を上層路盤に用いるのが一般的である^{1), 2)}。

下層路盤用粒状材の規定としては、修正CBRが20以上で最大粒径が50 mm以下というものが舗装種別によらずに用いられている。しかし、アスファルト舗装では、425 μ mふるい通量分のPI（塑性指数）については6以下（コンクリート舗装用は10以下）と、コンクリート舗装よりも高品質のものが求められている。また、設計荷重の大きな場合、アスファルト舗装では修正CBRが30以上のものを用いることとの規定もなされている。ここで使用されている修正CBRは、JIS A 1210のDまたはE法による最大乾燥密度の95%の締固め時のものである。したがって、一般的にはシルトや粘土の混入した砂、砂、切込砂利、山砂利、切込碎石あるいはこれらの混合材料が用いられるが、このような材質条件を満たさない場合にはセメントや石灰により処理することを考慮する必要がある。

上層路盤としては粒度調整碎石のほか、各種安定処理材が用いられる。いずれの場合も骨材の最大粒径は40 mm以下と規定されており、アスファルト舗装の粒度調整碎石としては、CBR80%以上かつPI 4以下で、粒度が表-1に示すものとされている（コンクリート舗装の場合は修正CBRが45%以上、PIが6以下）。コンクリート舗装に比べて規格の厳しいアスファルト舗装では、アスファルト安定処理材に対してマーシャル安定度で500 kgf（75回突き固め）、300 kgf（50回突き固め）の2種

類のものが、セメント安定処理材に対して一軸圧縮強度30 kgf/cm²（6日養生1日水浸）以上との規定が示されている。この安定処理材として使用できる土質材料についても、粒度といったものの規定がなされている³⁾。

表-1 粒度調整碎石の粒度規定

ふるいの呼び寸法	ふるいを通るものの質量百分率(%)	
	最大粒径 30mm	最大粒径 40mm
53 mm	-	100
37.5mm	100	95-100
31.5mm	95-100	-
19 mm	60-90	60-90
4.75mm	30-65	
2.36mm	20-50	
425 μ m	10-30	
75 μ m	2-10	

平成2年12月に改訂・発行された空港アスファルト舗装構造設計要領には、安定処理材として、セメント安定処理材等従来より規定されているもののほかに石灰安定処理材が取込まれた。表-2には上層・下層路盤材料の等価値*を示してあるが、石灰安定処理材については、材齢14日の一軸圧縮強度が30 kgf/cm²以上であれば等価値を1.5としてよいとされている。下層路盤については、品質を満足しない材料であってもセメントや石灰で

表-2 路盤の等価値

路盤	材料名	材質規定	等価値
上層	アスファルト安定処理材	マーシャル安定度	2.0
		500kgf以上(75回) 350kgf以上(50回)	
	セメント安定処理材	一軸圧縮強度	1.5
		30kgf/cm ² 以上(材齢7日)	
	石灰安定処理材	一軸圧縮強度	1.5
		30kgf/cm ² 以上(材齢14日)	
	水硬性粒度調整鉄鋼スラグ	一軸圧縮強度	1.5
12kgf/cm ² 以上(材齢14日) 修正CBR80%以上			
粒度調整碎石	修正CBR80%以上	1.0	
下層	アスファルト安定処理材	マーシャル安定度	2.0
		350kgf以上(50回)	
	セメント安定処理材	一軸圧縮強度	1.5
		20kgf/cm ² 以上(材齢7日)	
	石灰安定処理材	一軸圧縮強度	1.5
20kgf/cm ² 以上(材齢14日)			
粒状材	修正CBR30%以上	1.0	

* 空港舗装路盤材料の1cm厚が粒度調整碎石（上層路盤）あるいはクラッシュラン（下層路盤）の何cmに相当するかを示す数値。

表-3 安定処理上層路盤骨材の望ましい粒度（道路）

安定処理材	通過質量百分率(%)					修正 CBR(%)	PI
	53mm	37.5mm	19mm	2.36mm	75 μ m		
石灰	100	95 - 100	50 - 100	20 - 60	2 - 20	20 以上	6 - 8
セメント	100	95 - 100	50 - 100	20 - 60	0 - 15	20 以上	9 以下
アスファルト	100	95 - 100	50 - 100	20 - 60	0 - 10	20 以上	-

安定処理して使用できるとの規定は従来よりなされていたが、今回はそれを一歩進めて、材齢14日での一軸圧縮強度が20 kgf/cm²以上であれば等価値1.5として使用可能であるとされた。

路盤の考え方は道路舗装においても空港舗装の場合と同様であり、下層路盤には比較的強度が小さく安価な材料を使い、上層路盤には強度の大きな良質材を使うこととなっている^{4),5)}。単体では下層路盤としての規格(修正CBR30以上)を満足しない材料でも、安定処理することによりクラッシュランと同等のものとして使用できる点も空港舗装の場合と同様である。道路舗装ではこの場合の品質が規定されており、セメント安定処理材で一軸圧縮強度が10 kgf/m²(材齢7日)、石灰安定処理で7 kgf/cm²(材齢10日)となっている。しかし、より高強度にして積極的に品質を上げる利点が強調されているわけではなく、あくまでも粒状材料と同等の品質を得ることを目標としている。

表-3には道路舗装用の安定処理上層路盤の骨材としての望ましい粒度を示す。この表から、石灰安定処理材の場合には細粒分が比較的多い骨材であっても使用できる可能性の高いことがわかる。この石灰安定処理材は一軸圧縮強度が10 kgf/cm²(材齢10日)以上あれば、表基層材としての等値換算係数*を0.45とできるようになっている。これは、粒度調整碎石の等値換算係数が0.35であるため、空港舗装の設計法で用いている等価値に換算すると1.29に相当することがわかる。

2.2 低品質材料の利用方策

良質材料の不足から、単体では使用できない材料を安定処理して路盤に使用しなければならない現状を考えると、細粒分の多い場合でも使用できる石灰安定処理材の有用性は高い。この場合、信頼性の高い、より高品質のものが得られるならば、空港アスファルト舗装構造設計要領で規格化しているような使用方法が有利であろう。

石灰安定処理の目的はmodificationとstabilizationに分けられ、前者はワーカビリティの増加というように安定処理しない材料としての取り扱いを可能とすることが目的となるのに対して、後者は強度や支持力の増加といった材質強化が目的となる。石灰安定処理の対象となる土質としては粘土まじり礫が適しており、stabilizationにより上層路盤に用いることが可能となるとされている。その場合の基準値としては、一軸圧縮強度で10.5~31.6 kgf/cm²(材齢7日)との値が用いられているほか、CBRによる材質規定も一般によくみられる。配合としては粘土含有量10%につき石灰量1%が目安となり、一般的には表-4に示す添加量が提言されている⁶⁾。

空港建設においても建設副産物の再生利用に向けて積極的に取り組んでいるところであるが、舗装の補修工事等で発生する材料、すなわち舗装発生材の空港基本施設舗装への適用性について検討する必要性が生じてきている。産業廃棄物の道路施設への再利用可能性に関する米国における調査結果⁷⁾として、各州に対するアンケートの結果を表-5にまとめてある(表中の数字は州の数)。回答が得られた42州のうち、一つの州を除いて41州で舗

表-4 土質による石灰添加量の違い

土質	石灰添加量 (%)	
	modification	stabilization
碎石	2-4	-
粒度配合のよい 粘土まじり礫	1-3	-3
砂	-	-
砂質粘土	-	-5
シルト質粘土	1-3	2-4
粘土	1-3	3-8
重粘土	1-3	3-8
有機質土	-	-

* 道路舗装材料の1cm厚が表基層用加熱アスファルト混合物の何cmに相当するかを示す数値。

装解体に伴う発生材料を舗装等に再利用していることがわかった。また、アスファルトコンクリート層、コンクリート版の解体に伴う発生材を舗装に再利用する可能性については、前者をコンクリート版に用いる場合以外は問題がないと結論づけている。

この再生材について、わが国の道路舗装では再生路盤材と再生加熱アスファルト混合物としての規定が設けられているだけで、コンクリート版としての規定はみられない⁸⁾。このうちの路盤材としては、粒状材のほかに、セメント安定処理材、石灰安定処理材の規定が盛り込まれているが、舗装材料のリサイクルについての最初の報告となる本資料では、施工量が比較的多いと考えられる再生粒状路盤材についてを取り上げる。

再生粒状路盤材は、新規材料の場合と同様に、上層路盤用の(再生)粒度調整碎石と下層路盤用の(再生)クラッシュランとに分けられる。これらについて、道路舗装用には表-6のような修正CBR、PIの規定が設けられており、アスファルト舗装に用いる場合の等値換算係数は表-7のように規定されている。再生クラッシュランでは、品質に応じて等値換算係数として0.25、0.20の二通りが用いられるようになっており、舗装構造設計においてはこれら新材と同等に扱うこととしている。

再生粒状路盤材の粒度範囲は、クラッシュラン(望ましいもの)、粒度調整碎石(規定)の場合とも、新材のものと同様である。また、その組成は、いずれも路盤発生材、アスファルトコンクリート再生骨材、セメントコンクリート再生骨材等に必要に応じて補足材を混合したものとされている。

以上のようなことを背景にして、低品質材料を石灰により安定処理することにより空港舗装の路盤へ用いる方

策として、高品質石灰安定処理路盤材として積極的に用いる場合について検討した。また、再生路盤材を空港舗装へ適用する場合には、安定処理化による積極的利用法検討の前段となる新規材料との品質比較を主眼においた検討をまず行うこととした。特に、より現実味の大きい再生クラッシュランの下層路盤としての適用性について取り上げた。

3. 室内試験による検討

石灰安定処理材、コンクリート再生材の空港舗装路盤としての適用性を検証するために、室内力学試験により基本的な性状を確認したのち、試験舗装を製作して載荷試験を実施している。

3.1 石灰安定処理材

(1) 試験方法

ここでは、日本全国を6ブロックに分割し、上層、下層路盤用としてそれぞれの地域の代表的な材料を選んで室内試験に供した。石灰安定処理材の強度として、空港アスファルト舗装構造設計要領では上層、下層路盤のそれぞれに対して、一軸圧縮強度で30 kgf/cm²、20 kgf/cm²が規定されているので、これに注目して予備試験を実施して土質材料ならびに安定材を選定した。

材料は、その材料特性が表-8、9に示すようなもので上層路盤用は細粒分を15%程度に調整した碎石、下層路盤用は山砂などの現地発生材である。土質によっては石灰だけでは所要強度が得られない場合も想定されたため、安定材として消石灰と微粉末スラグを混合したものについて試験している。その場合の混合割合は、石灰：スラグ=100:0、75:25、50:50、25:75の4種類とし、含

表-5 舗装廃材の再利用の実態

総数	補助材				単体				路肩
	表層	上層路盤	下層路盤	路床・路体	表層	上層路盤	下層路盤	路床・路体	
41	23	26	14	5	8	16	8	5	3

表-6 再生粒状路盤材の規定(道路)

路盤材料	修正 CBR (%)	PI
再生粒度調整碎石	80(90)以上	4 以下
再生クラッシュラン	20(30)以上	6 以下

()内の数値はアスファルトコンクリート再生骨材を含む場合等

表-7 再生粒状路盤材の等値換算係数(道路)

路盤材料	修正 CBR (%)	等値換算係数
再生粒度調整碎石	80(90)以上	0.35
再生クラッシュラン	30(40)以上	0.25
	20(30)以上 30(40)未満	0.20

()内の数値はアスファルトコンクリート再生骨材を含む場合等

水比としては、上層路盤では最適含水比のみを用いたのに対し、下層路盤では最適含水比のほか自然含水比も用いている。一軸圧縮試験用供試体は、4.5 kg、2.5 kgのランマを使用し、JIS A 1210に準拠して作製した。

石灰安定処理材の気象作用に対する長期安定性⁹⁾を検証するために、凍結融解試験^{*1}と乾燥湿潤試験^{*2}を実施した。いずれの試験においても、これらを繰り返し作用させることによる材料損失ならびに体積変化を測定して、

表-8 安定処理路盤骨材の材料特性(上層路盤)

土質特性		地区			
		東北	関東	中部・近畿	中国・四国
材料*		C-40	M-25	M-30	M-30
G _s		2.73	2.715	2.654	2.667
w _n (%)		3.3	-	6.5	2.1
細粒分含有率(%)		2	15	15	15.2
細粒分調整材料		-	碎石粉	表土	石灰石粉
4.5kg ランマ	ρ _d (g/cm ³)	2.168	2.366	2.285	2.249
	w _{opt} (%)	4.45	5.7	7.0	5.5
2.5kg ランマ	ρ _d (g/cm ³)	1.973	2.288	2.245	2.170
	w _{opt} (%)	5.20	7.5	7.1	6.7

*) C:クラッシュラン, M:粒度調整碎石, 数字は最大粒径(mm)

表-9 安定処理路盤骨材の材料特性(下層路盤)

土質特性		地区					
		北海道	東北	関東	中部・近畿	中国・四国	山口・九州
G _s		2.606	2.630	2.707	2.705	2.639	2.686
w _n (%)		17.3	41.3	19.5	1.0	16.3	12.1
構成(%)	礫	48	4.8	0	0	0	18
	砂	32	50.7	79	18.0	43.7	61
	シルト	12	44.5	14	57.3	39.1	21
	粘土	8		7	24.7	17.2	
w _L (%)		-	53.9	-	48.5	36.6	40.1
w _p (%)		-	31.6	-	22.6	28.6	-
PI		NP	22.3	NP	25.9	8.0	NP
土質分類		GM	SF	SM	ML	ML	SF
4.5kg ランマ	ρ _d (g/cm ³)	1.676	1.456	1.910	1.768	1.786	1.947
	w _{opt} (%)	17.0	26.20	13.2	16.5	16.5	10.5
2.5kg ランマ	ρ _d (g/cm ³)	1.612	1.326	1.805		1.654	
	w _{opt} (%)	20.0	32.00	15.8		20.1	

*¹ 吸水性パット上に円柱供試体を2本置いて、-23℃に保った凍結用キャビネット内に24時間入れて凍結させた後、温度20℃、湿度100%のキャビネット内に23時間放置する。そのうち1本は供試体全面をワイヤブラシでかき削る。これを1サイクルとして12サイクル繰り返す試験。

*² 円柱供試体を水に5時間浸した後、71℃に保った乾燥炉に42時間入れて乾燥させる。そのうち1本は供試体全面をワイヤブラシでかき削る。これを1サイクルとして12サイクル繰り返す試験。

安定処理混合物損失分（乾燥質量でみた材料損失の試験開始前の乾燥質量に対する百分率）、体積変化（体積変化量の試験開始前の体積に対する百分率）を計算した。この試験は、上層、下層用に種類ずつの土質材料を用いて行い、供試体は上記のものと同様に作製した。

上層路盤用の骨材としては、碎石をM-25の粒度に調整後、破碎時に発生する細粒分が全体の20%となるように混合したものを用いている。図-1には粒度分布を、表-10には最適含水比、最大乾燥密度を示している。また、締固め度95%に対応する修正CBRは35%である。安定材としては消石灰とスラグを50:50の割合で混合したものを用い、一軸圧縮強度が30 kgf/cm²（材齢14日）となるように添加量を決定した。

下層路盤用の骨材、物理性状が表-11に示すような山砂で、締固め度95%に対応する修正CBRは20%である。この場合は、安定材として消石灰とスラグを75:25の割合で混合したものを用い、一軸圧縮強度20 kgf/cm²（材齢14日）となるように添加量を定めている。

なお、上層、下層路盤とも、比較用としてセメント安定処理材についても試験している。この場合は、石灰安定処理材の土質材料と同一のものを用いており、セメント添加量は石灰安定処理材と同じ一軸圧縮強度（ただし材齢7日）となるように決定した。

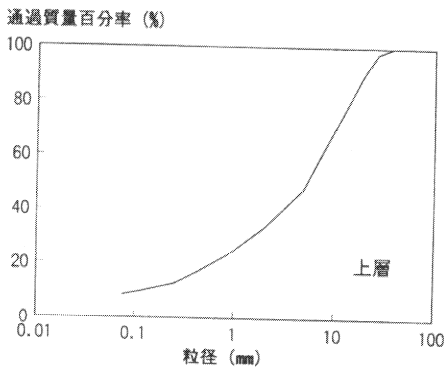


図-1 長期安定性試験用上層路盤材の粒度

表-10 骨材の締固め特性（上層路盤）

4.5kg	ρ_d (g/cm ³)	2.16
ランマ	w_{opt} (%)	6.60
2.5kg	ρ_d (g/cm ³)	1.99
ランマ	w_{opt} (%)	8.50

表-11 骨材の物理特性（下層路盤）

Gs		2.707
w_n (%)		19.5
構成 (%)	砂	79
	シルト	14
	粘土	7
PI		NP
4.5kg	ρ_d (g/cm ³)	1.85
ランマ	w_{opt} (%)	13.4
2.5kg	ρ_d (g/cm ³)	1.67
ランマ	w_{opt} (%)	15.5

(2) 試験結果

a) 一軸圧縮強度

i) 上層路盤

図-2~5には、4.5 kgランマを用いて突き固めた供試体について、安定材別の添加量と一軸圧縮強度の関係を示してある（材齢14日）。土質材料によらず、消石灰単独では上層路盤としての所定の強度（30 kgf/cm²）には達しないが、スラグ分を多くすることにより高い強度が得られることがわかる。また、消石灰単独の場合を除き、添加量の増加につれて強度も増加することもわかる。このほか、土質材料の違いも強度発現に影響を及ぼしており、細粒分の少ない場合（東北地区）は他と比較すると強度は小さいようである。

材齢と強度の関係を図-6~9に示す。ここでは、各地区ごとに所定の強度が得られやすいように、安定材、添加量を選定している。全体的にみて、締固めエネルギーの増加につれて強度も増加すること、材齢につれて強度も増加するという特性を有していることが明らかである。特に、関東と中国・四国地区では細粒分として碎石粉、石灰石粉を用いているため、強度の増加程度が著しい。

以上のことから、土質材料として碎石粉や石灰石粉により細粒分を調整したものを用いて、安定材として消石灰にスラグ微粉末を混合したものを用いることにより、規定に合致する安定処理路盤材が得られることがわかった。また、この安定材を用いれば、材齢の経過に伴う強度増加も期待できることが明らかとなり、上層路盤材としての適用性は大きい。

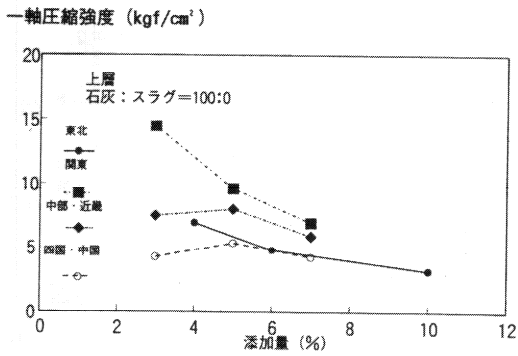


図-2 添加量と一軸圧縮強度 (石灰 : スラグ=100 : 0)

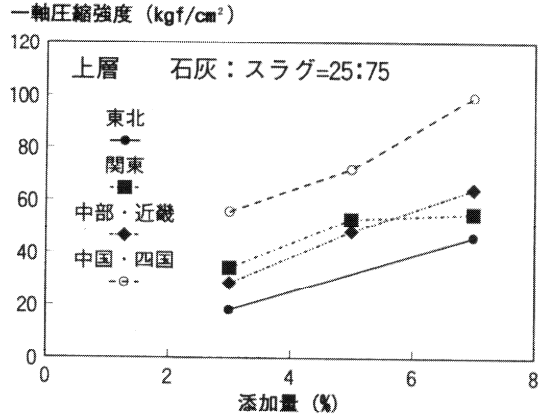


図-5 添加量と一軸圧縮強度 (石灰 : スラグ=25 : 75)

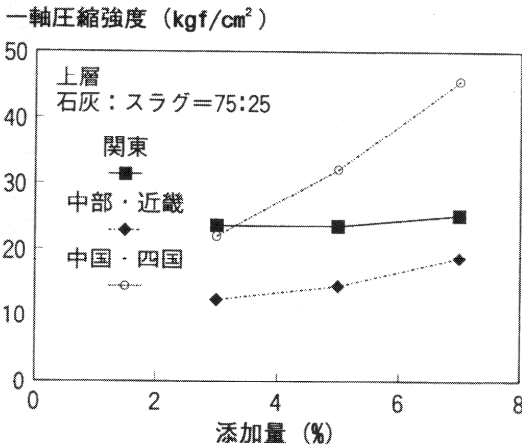


図-3 添加量と一軸圧縮強度 (石灰 : スラグ=75 : 25)

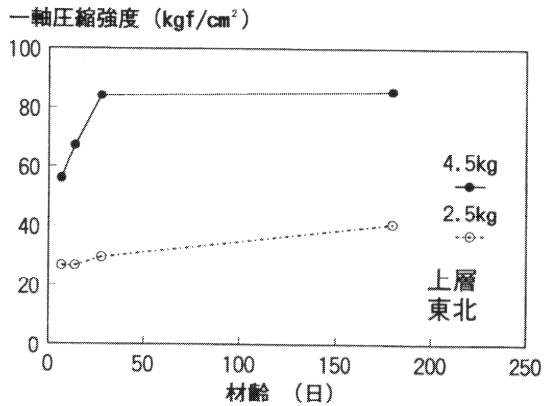


図-6 材齢と一軸圧縮強度 (東北地区)

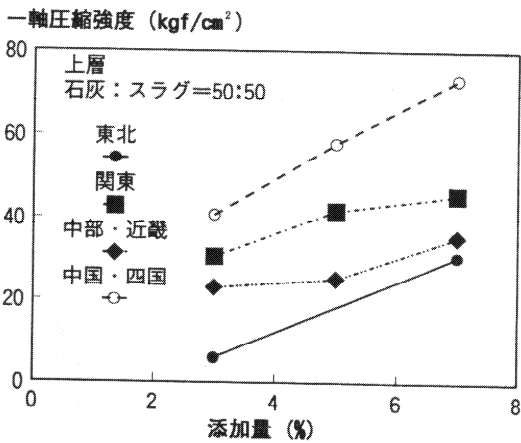


図-4 添加量と一軸圧縮強度 (石灰 : スラグ=50 : 50)

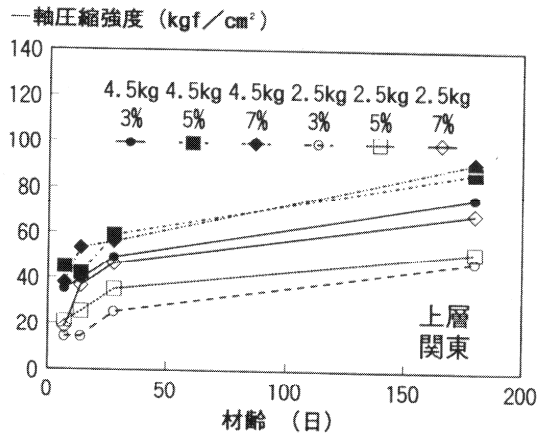


図-7 材齢と一軸圧縮強度 (関東地区)

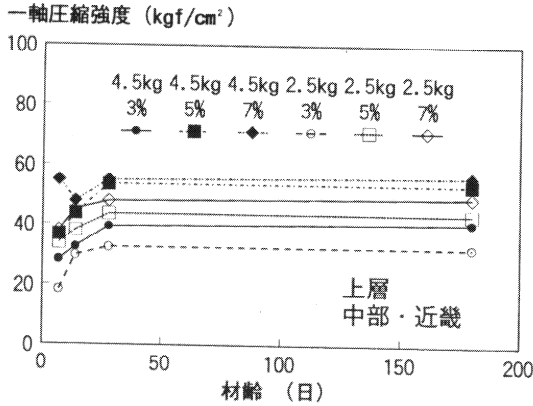


図-8 材齢と一軸圧縮強度 (中部・近畿地区)

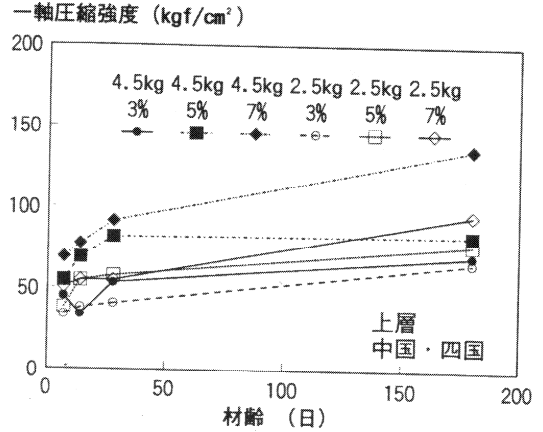


図-9 材齢と一軸圧縮強度 (中国・四国地区)

ii) 下層路盤

下層路盤用石灰安定処理材には、各ブロックごとの空港建設(予定)地近在から取得した土質材料を用いている。図-10~15に示した一軸圧縮強度と安定材・添加量の関係からは、添加量の増加につれて強度の増加する傾向があるものの、下層路盤に安定処理材として用いる場合の規格である20 kgf/cm²(材齢14日)を満たさないものもあることがわかる。これは、中部・近畿、中国・四国地区の場合で、いずれも細粒分の多い土質である。また、上層路盤では安定材としてスラグ分を増加するほど強度も増加したのに対し、下層路盤の場合にはそのような傾向は明確ではない。

次に、下層路盤用安定処理材の一軸圧縮強度に及ぼす、材齢、含水比、細粒分含有率の影響について関東地区の土質材料を用いて検討した。まず、図-16に示した材齢と一軸圧縮強度の関係からは、突き固めエネルギーや安定

材添加量の大きいものほど強度が増すこと、そして、安定材の種類によらず、材齢につれて強度も増加する傾向が認められる。

図-17に示した含水比と一軸圧縮強度の関係からは、最適含水比に調整することが強度に関して有利となることが認められる。自然含水比のまま安定処理材としての規定を満たすものとするためには、安定材の添加量を増加することが必要となる場合もみられる。

図-18に示した細粒分含有率と一軸圧縮強度の関係からは、細粒分が多くなると安定材の添加量を増加しても強度増加はあまり期待できないことが認められる。

以上のことから現地発生材を安定処理することにより安定処理下層路盤材としての適用性が認められたものの、場合によっては細粒分含有率や含水比といったものの調整が必要となろう。

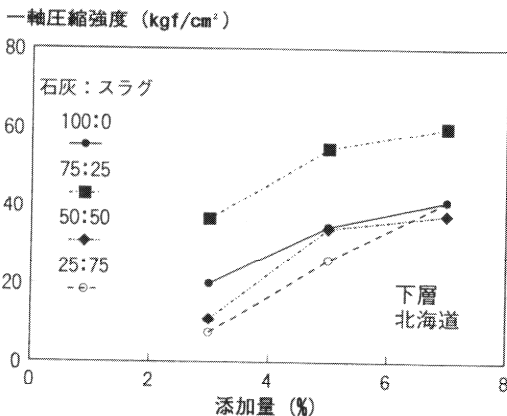


図-10 添加量と一軸圧縮強度 (北海道地区)

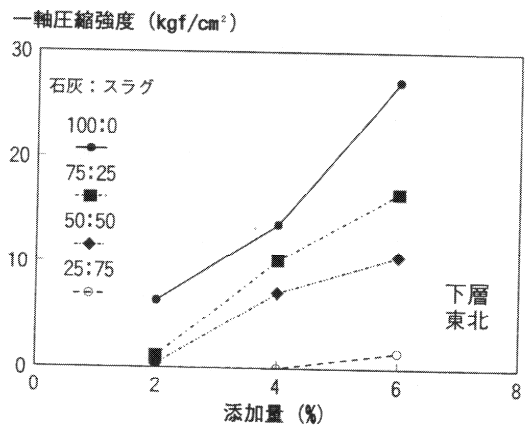


図-11 添加量と一軸圧縮強度 (東北地区)

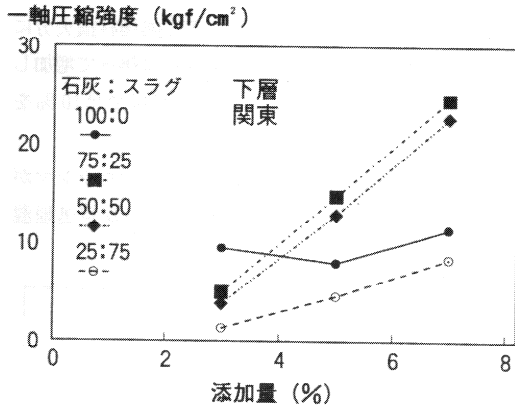


図-12 添加量と一軸圧縮強度 (関東地区)

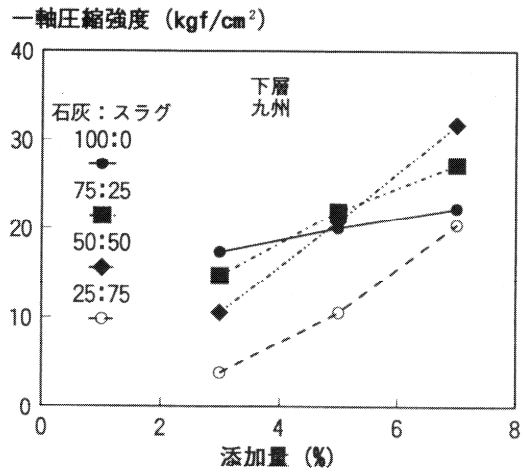


図-15 添加量と一軸圧縮強度 (九州地区)

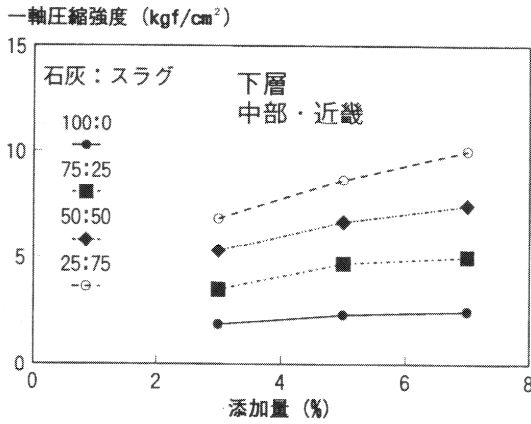


図-13 添加量と一軸圧縮強度 (中部・近畿地区)

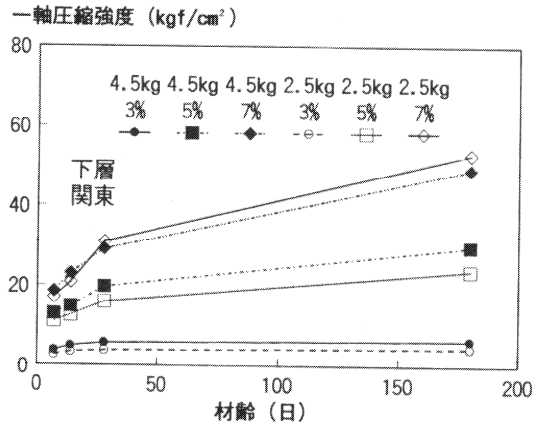


図-16 材齢と一軸圧縮強度 (関東地区)

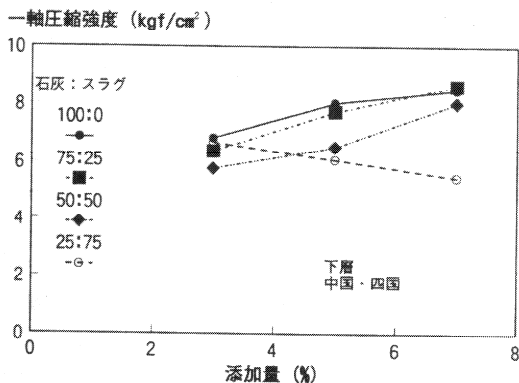


図-14 添加量と一軸圧縮強度 (中国・四国地区)

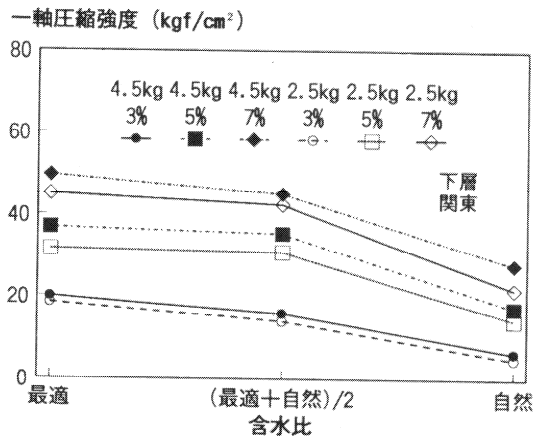


図-17 含水比と一軸圧縮強度 (関東地区)

一軸圧縮強度 (kgf/cm²)

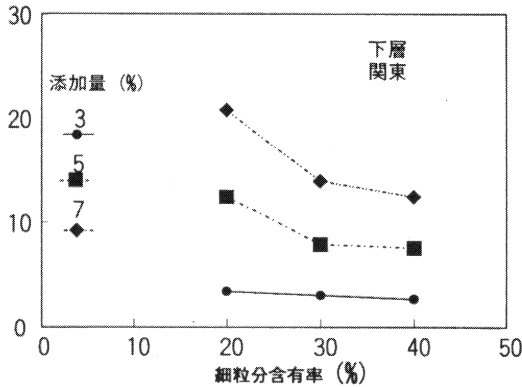


図-18 細粒分含有率と一軸圧縮強度 (関東地区)

b) 耐久性

安定処理路盤材の耐久性については、凍結融解ならびに乾燥湿潤繰返し試験を実施して、体積変化^{*1}と安定処理混合物損失分^{*2}を求め、米国ポルトランドセメント協会 (PCA) の示している基準と比較している。

凍結融解試験における体積変化についての結果として、上層路盤用ならびに下層路盤用安定処理材に対するものを図-19, 20にそれぞれ示してある。前者については4.5 kgランマ、後者では2.5 kgランマを用いて供試体を作製している (材齢は28日)。体積変化についてみると、上層路盤では繰返しが進むにつれて体積変化が著しくな

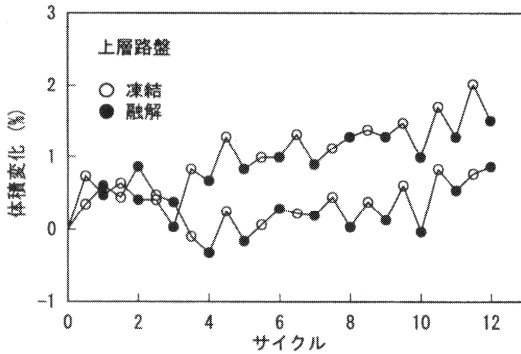


図-19 凍結融解試験における体積変化 (上層路盤)

るのに対し、下層路盤では繰返し初期に急増した後はほぼ落ちつくとの違いがみられる。同様に、図-21には安定処理混合物損失分を示してある。安定処理材損失分については、上層、下層路盤とも、繰返しに伴って増加しているのが認められる。特に、下層路盤材では10%を超えるほどまでになっている。

表-12, 13には、それぞれ突き固めに用いたランマが2.5 kg, 4.5 kgの場合の上層・下層路盤材の安定処理混

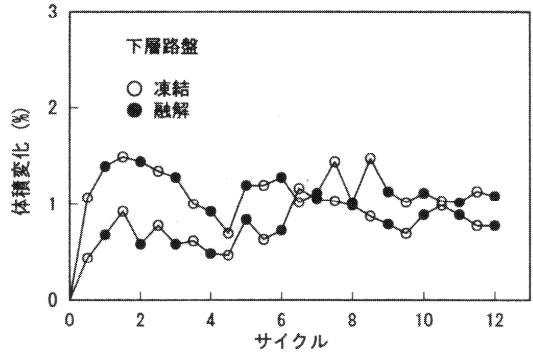


図-20 凍結融解試験における体積変化 (下層路盤)

損失分 (%)

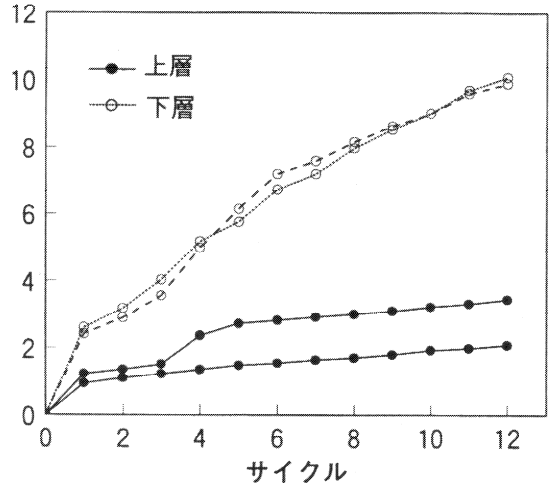


図-21 凍結融解試験における体積変化 (安定処理混合物損失分)

*¹ 表面をかき削らない供試体を用いて、以下の式により算出する。

$$\text{体積変化 (\%)} = \frac{(\text{作製時体積} - \text{試験時体積})}{\text{作製時体積}} \times 100$$

*² 表面をかき削った供試体を用いて、以下の式により算出する。

$$\text{損失分 (\%)} = \frac{(\text{作製時乾燥質量} - \text{試験時乾燥質量})}{\text{作製時乾燥質量}} \times 100$$

表-12 長期安定性試験結果 (2.5kgランマ)

安定材	試験方法	損失分 (%)		体積変化 (%)	
		上層路盤	下層路盤	上層路盤	下層路盤
石灰	凍結融解	0.97	9.92	4.17	0.95
	乾燥湿潤	3.01	17.2	0.81	-0.34
セメント	凍結融解	2.82	16.1	1.76	0.96
	乾燥湿潤	3.01	18.5	0.28	-0.26

表-13 長期安定性試験結果 (4.5kgランマ)

安定材	試験方法	損失分 (%)		体積変化 (%)	
		上層路盤	下層路盤	上層路盤	下層路盤
石灰	凍結融解	2.72	5.92	1.40	0.81
	乾燥湿潤	2.43	8.82	-0.53	-0.06
セメント	凍結融解	0.97	7.57	0.75	0.83
	乾燥湿潤	2.22	11.0	-0.74	0.17

表-14 長期安定性試験前後のCBR (2.5kgランマ)

安定材	上層路盤			下層路盤		
	繰返し前	凍結融解後	乾燥湿潤後	繰返し前	凍結融解後	乾燥湿潤後
石灰	34	41	61	16	27	23
セメント	53	55	67	22	26	21

(単位: %)

表-15 長期安定性試験前後のCBR (4.5kgランマ)

安定材	上層路盤			下層路盤		
	繰返し前	凍結融解後	乾燥湿潤後	繰返し前	凍結融解後	乾燥湿潤後
石灰	55	83	108	31	43	38
セメント	51	92	102	29	38	40

(単位: %)

合物損失分と体積変化 (12サイクル終了時) を示している。PCAの基準値は損失分については14%以下、体積変化については2%以下であるが、上層路盤材の場合には体積変化がこれを若干上回っているのに対し、下層路盤材の場合には損失分が基準値よりも若干大きいものとなっている。しかし、この結果はセメント安定処理材とほぼ同様なものである。また、締固めエネルギーの違いによる影響は明らかであり、十分な締固めは耐久性の増加をもたらすこととなる。

凍結融解、乾燥収縮繰返し試験前後の一軸圧縮強度の比較を表-14、15に示した (それぞれ、ランマ質量が2.5kg、4.5kgの場合)。これから、繰返し作用によっても石灰安定処理材の強度は低下することなく、逆に増

加していることが認められる。

以上の結果を総合すると、上層路盤、下層路盤についてはともにPCAの基準値ならびにセメント安定処理材との比較を通じて、十分な耐久性を有していると結論できよう。しかし、締固めが十分に行われなければ、PCAの基準を満たさなくなる場合もあることがわかった。

3.2 再生骨材

コンクリート再生材については、地域による材質の差が比較的小さいとみなせるので、関東地方の一般的な骨材再生プラントより購入したものをを用いて材料試験を実施した。粒状路盤材に関する材質規定としてはCBRが用いられているので、室内試験としてはここでもCBR

試験を実施している。供試体は4.5 kgランマを用いて JIS A 1210に準拠して作製し、4日間水浸したが、水浸深さを变化させて水浸状態におかれた供試体の強度変化を調べている。

再生材料は、RC-40に相当するクラッシュランで、その粒径加積曲線は図-22に示すとおりであり、最大乾燥密度は 1.812 g/cm^3 、最適含水比は10.8%であった。この再生材料と比較検討を行うために、通常材料を用いた試験も実施している。この試験には、C-40と山砂を4:1の割合で混合したものをを用い（図-23には粒径加積曲線を示す）、その最大乾燥密度は 2.288 g/cm^3 、最適含水比は6.3%であった。

図-24に示した再生材料についての試験結果からは、水浸しない状態では90程度であったCBRは水浸深さの増加により徐々に減少し、供試体が完全に水没した状態では平均して84程度と非水浸の場合に比べて、若干ではあるがCBRの低下が認められた。しかし、これは下層路盤としての基準を満たしており、十分使用可能であるといえよう。

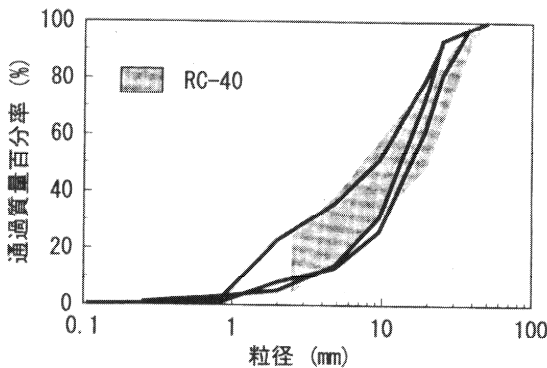


図-22 再生クラッシュランの粒度

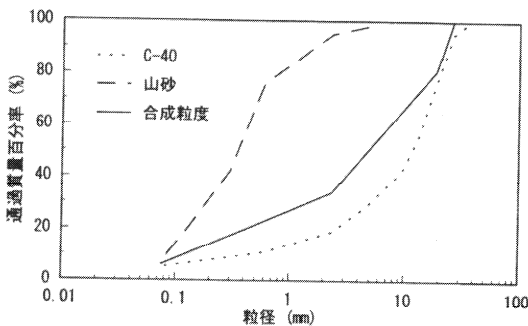


図-23 通常の粒状材の粒度

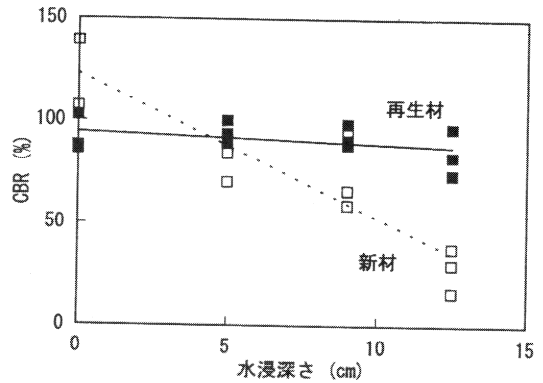


図-24 水浸によるCBRの変化

この再生材料と比較するために実施した粒状材（新材）の試験結果には、図-24に示すように、水浸することによる影響が明確にみられる。すなわち、水浸しない状態では120程度であったCBRは、供試体が完全に水没した状態では30程度と非水浸の場合の1/4のまで低下してしまった。これは、この材料が細粒分を多く含んでいるためであると思われる。なお、この材料はセメントで安定処理すれば所定の強度以上のものが得られることがわかっている。

3.3 まとめ

(1) 石灰安定処理材

a) 一軸圧縮強度

4箇所の材料を用いて上層路盤について行った室内試験からは以下の点が明らかとなった。

- ① 安定材として石灰にスラグを混合したものをを用いることにより一軸圧縮強度は増加する。
- ② 細粒分が極端に少ない土質材料の場合は一軸圧縮強度が小さい。
- ③ 安定材添加量の増加、締固めエネルギーの増加、材齢の経過につれて、一軸圧縮強度は増加する。

6箇所で入手された土質材料による石灰安定処理下層路盤材に関しては以下の点が明らかとなった。

- ① 土質材料として細粒度の多いものは、下層路盤として所要の一軸圧縮強度を得ることが難しい。
- ② 混合材としてスラグ分の増加は、上層路盤材と異なり、必ずしも一軸圧縮強度の増加とはならない。
- ③ 自然含水比が高い場合、含水比を調整することが強度の点からは有利である。
- ④ 安定材添加量の増加、締固めエネルギーの増加、材齢の経過につれて、一軸圧縮強度は増加する。

以上、一軸圧縮強度の点からは、今回用いた土質材

材料による石灰安定処理材の空港舗装路盤材としての適用性が確認された。

b) 耐久性

① 締固めエネルギーを増加することにより、耐久性は向上する。

② 石灰安定処理材はセメント安定処理材の耐久性与同程度である。

③ 凍結融解、乾燥湿潤の繰返し作用による強度低下は認められない。

以上から、石灰安定処理材はセメント安定処理材と同程度の耐久性を有することが認められ、空港舗装路盤材としての適用性は十分あることが認められた。

(2) 再生材

① 再生クラッシュランのCBRに関しては水浸の影響が若干あるものの、通常材料よりは良好であることが認められた。

② 水浸による強度低下は、安定処理することにより抑制できる。

以上のことから、再生材料は通常材料と同程度の強度を有していることが認められた。

4. 試験舗装による検討

東京国際空港沖合展開事業第Ⅲ期地区に建設予定の新C滑走路の舗装構造を決定するため、平成5年度に試験舗装が実施された¹⁰⁾。この試験舗装では12種類の構造の異なる区画が建設されたが、このうち本資料の目的である路盤材料に注目した区画に限定して、石灰安定処理材ならびに再生材が実際の舗装に使用された場合の挙動を

明らかにする。

4.1 試験舗装の製作と載荷試験

(1) 試験舗装の製作

図-25には試験舗装の全体図を示してある。対象となる路盤材料はC区画(再生クラッシュラン下層路盤)とS-2区画(石灰安定処理上層路盤)において採用されているが、それらの挙動と比較検討するために一般的な材料を用いた区画(A, S-1, S-3区画)も建設されている。これらの区画の特徴は表-16に示すとおりである。このうち、A区画とS-3区画は直線部、曲線部と建設箇所が異なるだけでほぼ同一の構造であるが、試験舗装に対しては後述のように走行載荷試験を実施したので、走行条件の影響を除去できるように二区画のデータを用いた。

試験舗装の断面は図-26に示すとおりで、いずれも設

表-16 試験舗装区画の特徴

区画	特徴
A	標準舗装*, 直線部
C	下層路盤: 再生クラッシュラン, 直線部
S-1	上層路盤: 粒度調整碎石, 曲線部
S-2	上層路盤: 石灰安定処理材, 曲線部
S-3	基層: 表層材, 曲線部

* 標準舗装は荷重区分: LA-1, 反復作用回数: 20,000回で設計。上層路盤: アスファルト安定処理材, 下層路盤: クラッシュラン。

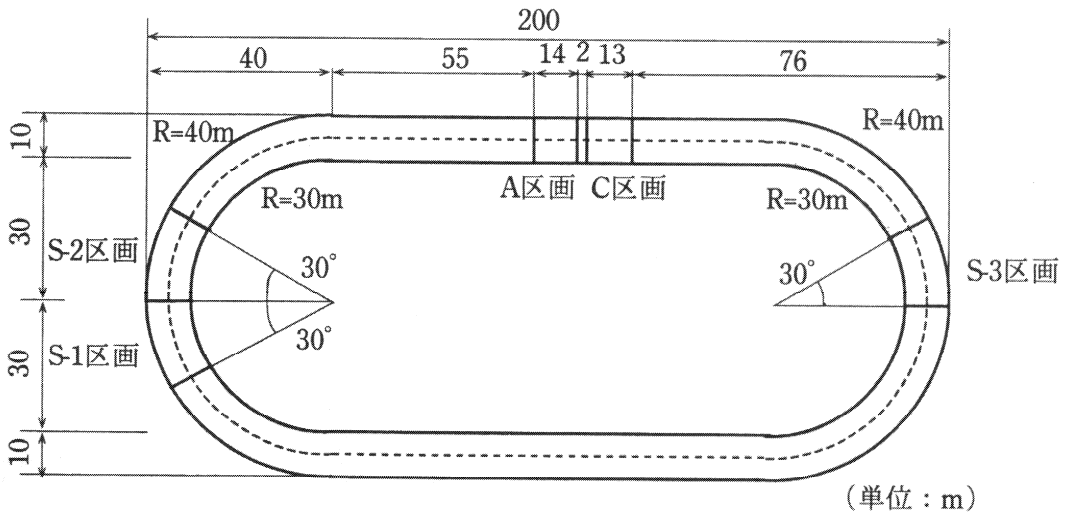


図-25 試験舗装の平面図

計荷重区分はLA-1 (B-747が代表機種)で、設計反復作用回数は20,000回の条件で設計されている。路床については、設計CBRが10%となるように、各区画共通で厚さ2mの山砂を用いている。下層路盤については、厚さの65cmは共通であるが、C区画にはコンクリート再生材、それ以外では通常の切込碎石(クラッシュラン)を用いている。上層路盤として、S-1区画には粒度調整碎石を使用した、その他の区画では安定処理材、すなわち、A、C、S-3区画にはアスファルト安定処理材、S-2区画には石灰安定処理材を用いている。粒度調整碎石路盤の厚さは30cmであるが、安定処理材路盤厚は空

港アスファルト舗装構造設計要領に記述された等価値に基づいて、アスファルト安定処理材で15cm、石灰安定処理材で20cmとしている。表層、基層は、それぞれ4cm、11cm厚で、その材料は空港土木工事共通仕様書に準じたものであるが、S-3区画の基層については表層に用いた材料と同一のものを用いている。

路床に用いられた砂、ならびに下層路盤に用いられたクラッシュランとコンクリート再生材の粒径加積曲線を図-27に示す。また、路床の下方に位置する路体の造成に使用された材料(建設残土)の粒径加積曲線を図-28に示すが、細粒分が平均で33%となっており、砂質土

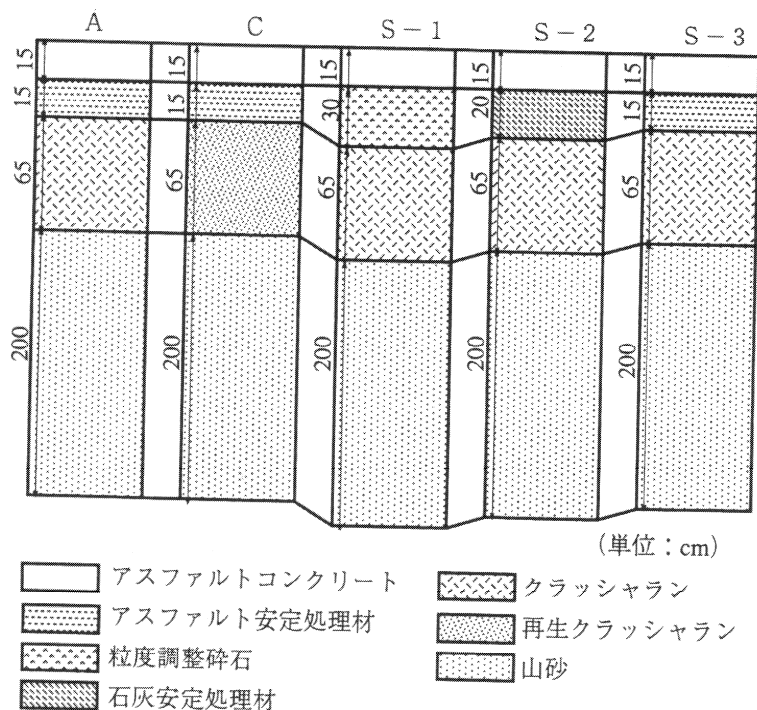


図-26 試験舗装の断面図

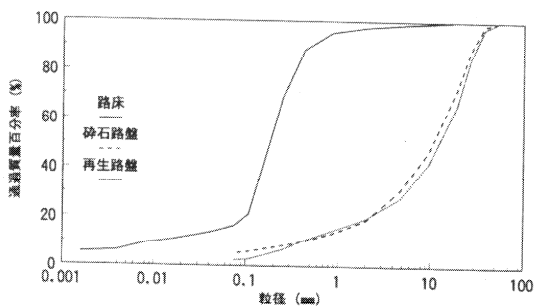


図-27 路床・路盤材の粒度

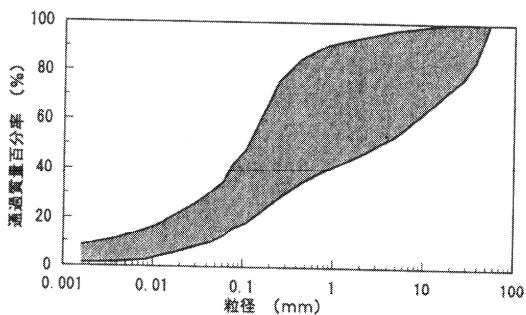


図-28 建設残土の粒度

表-17 含水比と乾燥密度

区画	路体		路床		下層路盤	
	含水比 ω (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 ω (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 ω (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)
A	30.3	1.430	17.2	1.623	1.3	2.416
	28.3	1.357	16.2	1.585	2.2	2.180
	21.4	1.602	16.4	1.630	1.7	2.113
C	24.1	1.502	15.2	1.571	2.9	1.996
	31.6	1.361	16.0	1.616	6.6	2.042
	31.9	1.335	15.0	1.619	3.2	2.059
S-1	32.7	1.355	17.5	1.695	4.6	2.246
	38.2	1.266	18.4	1.656	3.9	2.197
	37.7	1.253	17.9	1.607	4.4	2.138
S-2	30.4	1.409	18.5	1.619	3.4	2.282
	30.3	1.371	17.2	1.631	3.5	2.298
	41.3	1.167	18.4	1.667	3.4	2.273
S-3	20.7	1.610	17.2	1.683	2.3	2.287
	30.5	1.330	21.2	1.535	1.9	2.219
	28.9	1.262	23.2	1.638	2.1	2.256

であることがわかる。表-17には、各区画における路体、路床、下層路盤の含水比と乾燥密度を示してある。

路体、路床ならびに下層路盤上面で実施した平板載荷試験(載荷板直径30 cm)の結果を表-18に示す。路体上面での支持力係数 K_{30} はS-2区画で9 kgf/cm³(試験舗装全体では平均で7.9 kgf/cm³)であるが、山砂からなる路床上面ではC、S-2区画で8.3、2.8 kgf/cm³(全体の平均で5.7 kgf/cm³)と路体よりも低下してい

る場合の多いことがわかる。また、碎石路盤上では30 kgf/cm³以上が得られていることが示されている。路床の現場CBRは3.5~11.4%とばらつきが大きく、設計CBRとした値(10%)には到達していないことから、悪天候その他で十分な施工が行えなかったことが懸念される。S-3区画に用いられたアスファルトコンクリートの密度については表-19に示してある。

表-18 K値と現場CBR

区画	路体		路床		下層路盤
	K_{30} (kgf/cm ³)	K_{30} (kgf/cm ³)	CBR (%)	CBR (%)	K_{30} (kgf/cm ³)
A	-	-	6.4	34.8	-
			5.6	28.4	
			11.4	42.8	
C	-	5.4	8.6	34.0	-
			10.9	28.4	
			10.2	30.0	
S-1	-	-	5.0	-	-
			5.5		
			4.8		
S-2	15.4	1.9	3.5	38.8	-
			6.6	36.4	
			4.9	36.4	
S-3	-	-	3.6	-	-
			7.8		
			7.0		

表-19 アスファルトコンクリートの密度

層	密度 (g/cm ³)
表層	2.311
	2.367
	2.372
基層(上)	2.393
	2.374
	2.419
基層(下)	2.336
	2.414
	2.409

(2) 載荷試験

荷重に対する舗装の応答を調べるために、原型走行荷重車^{*1}による繰返し走行載荷試験を実施した。走行開始前ならびに所定の走行回数に達した時点で、静的載荷試験、動的載荷試験、フォーリングウェイトデフレクトメータ(FWD)^{*2}を用いたたわみ測定試験、ならびに路面性状調査を実施している。

走行荷重試験では、脚荷重が92.8tfとなるようにして10,000回まで繰返し走行を実施した。静的載荷試験では、所定の位置に原型走行荷重車をすえて、舗装内の変位、土圧、ひずみ等を計測した。路面性状としては、横断方向の塑性変形量をプロフィロメータにより測定した。これらの計測は走行回数が1,000, 2,000, 5,000, 7,000, 10,000回の各時点で実施した。

4.2 試験結果

(1) 静的載荷試験

静的載荷試験では、原型走行荷重車に取り付けた脚の車輪直下ならびに脚中心における土圧に着目した。図-29, 30は、それぞれ、車輪直下、脚中心における走行載荷試験前の深さ方向土圧分布を示す。表面近くでは脚中心に比べて車輪直下の土圧が大きい、深くなるにつれてそれが逆転することがわかる。

石灰安定処理材を使用したS-2区画と粒度調整碎石を使用したS-1区画を比較すると、S-2区画のほうが小さな土圧を示していることから、安定処理材が所定の機能を十分に果しているものと思われる。また、再生クラッ

シランを用いたC区画についても、通常のクラッシュランを用いたA, S-3区画と同等の機能を示していることが認められる。走行2,000回時の土圧分布を示した図-31, 32からは、走行前のものと比較すると若干の土圧の増加が認められるものの、構造上の問題が生じるようなことはないことがわかる。

繰返し走行載荷の影響について、詳しくみたものが図-33~36である。それぞれ、下層路盤上面、路床上面、路床中間面、路体上面のものであり、載荷状態として最も厳しくなる場合、すなわち路盤については車輪直下、その他については脚中心の場合を示してある。S-1, S-2区画のデータについては、走行載荷に伴うわだちぼれを補修するためのオーバーレイを実施したため、2,000回以降のデータは使用していない。下層路盤面の土圧がA区画で若干増加しているものの、全体的には繰返し走行載荷の影響が認められず、この程度の繰返し走行に対しては十分な安全性を有しているものと考えられる。

(2) 動的載荷試験

静的載荷試験では航空機が駐機するという場合のような静止荷重に対する応答を調べたのに対し、動的載荷試験は航空機走行時における舗装の挙動を把握することを目的として実施した。ここでは2種類の試験方法、すなわち、原型走行荷重車の走行による土圧計測、FWDによるたわみ測定を実施している。

図-37には原型走行荷重車走行時に得られた土圧の例を示す(A区画、走行10,000回)。土圧計上を前車輪と後車輪が通過するため、舗装表面に近い層では2つのピー

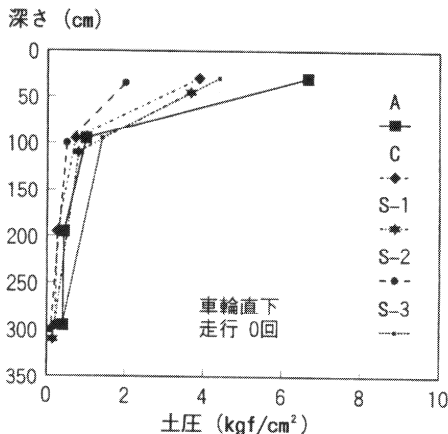


図-29 深さ方向土圧分布(車輪直下)

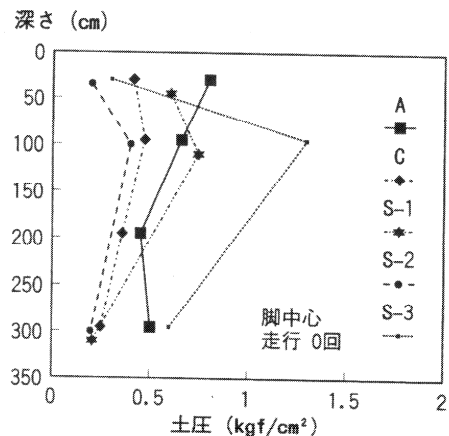


図-30 深さ方向土圧分布(脚中心)

*¹ 設計荷重であるB-747と同一の車輪ならびにその配置を有する脚を車体中央に取付けてあるトレーラー。

*² 直径45cmの載荷板を介して舗装に最大20tfの荷重を加え、その応答として表面たわみを載荷板中心ならびに、中心から30, 45, 60, 90, 150, 250cm離れた点で計測する非破壊試験装置。

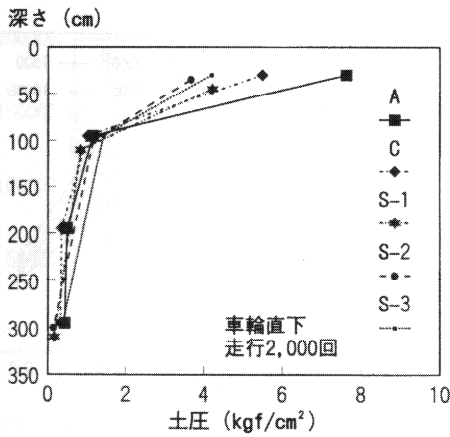


図-31 深さ方向土圧分布 (走行2,000回, 車輪直下)

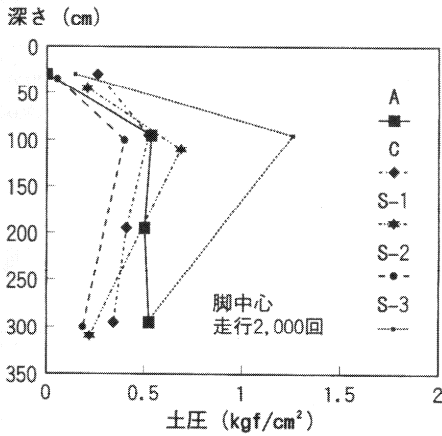


図-32 深さ方向土圧分布 (走行2,000回, 脚中心)

クが現れているのがわかる。位置が深くなるにつれて土圧が最大となる位置は車輪直下から脚中心に移行するため、ピークは1つとなる。

この動的土圧(最大値)の深さ方向の変化について図-38に示している。石灰安定処理路盤を有するS-2区画では、静的荷重試験でみられたように、粒度調整碎石路盤を有するS-1区画と同程度かそれより小さな土圧の値を示している。また、再生クラッシュランを用いたC区画についても、通常のクラッシュランを用いたA、S-1区画と同じような結果となっていることがわかる。

FWDによるたわみ測定は、原型走行荷重車の荷重輪が通過する部分(通過部)としない部分(非通過部)とに分けて実施した。図-39、40は、FWD最大たわみ(荷重板中心のたわみ)を、それぞれ、通過部、非通過部の各区画で比較したものである。上層路盤にアスファルト安定処理を用いた区画(A、C、S-3区画)とそれ以外の区

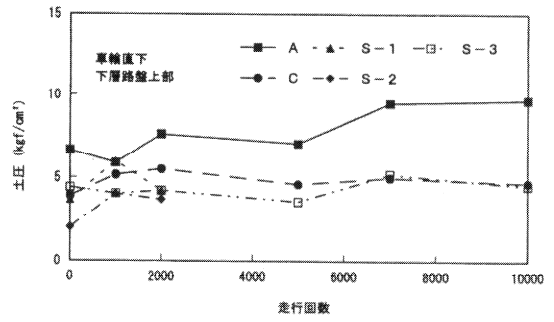


図-33 走行荷重による土圧の変化(下層路盤上面)

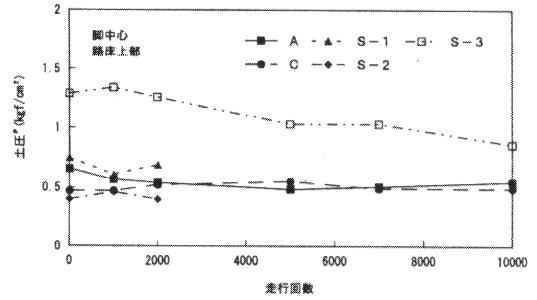


図-34 走行荷重による土圧の変化(路路上面)

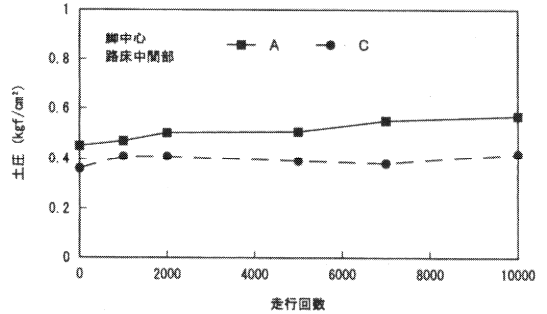


図-35 走行荷重による土圧の変化(路床中間面)

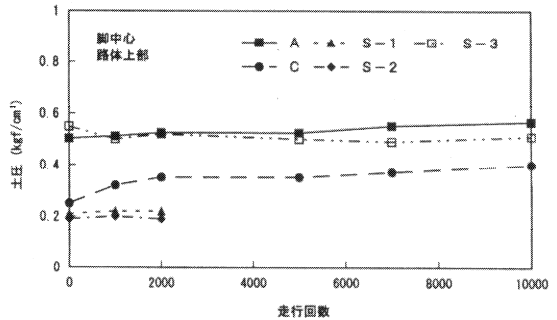


図-36 走行荷重による土圧の変化(路体上面)

画(S-1、S-2区画)で、最大たわみの大きさについては大別されるようである。すなわち、後者は前者に比較して大きなたわみとなっていることがわかる。また、C区

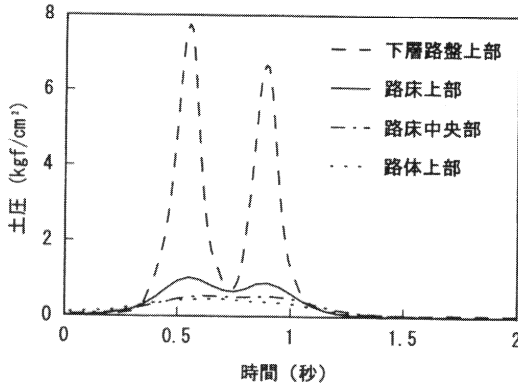


図-37 荷重車走行時の土圧

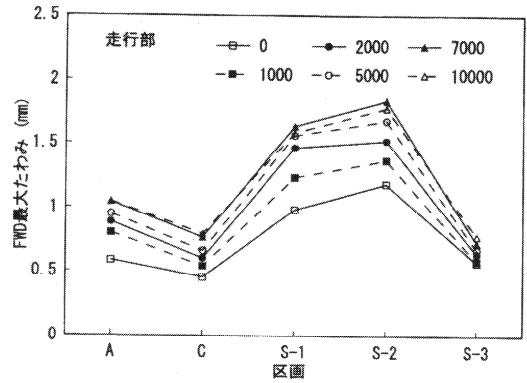


図-39 FWD最大たわみ(通過部)

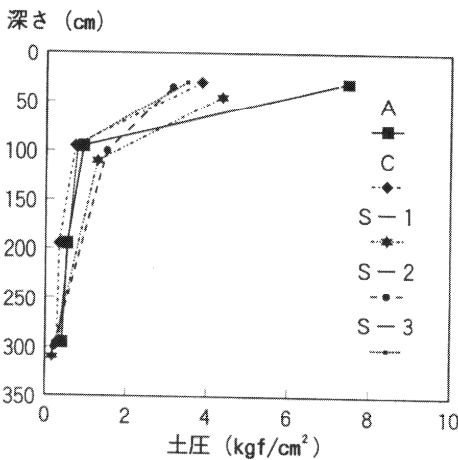


図-38 動的土圧の深さ方向分布

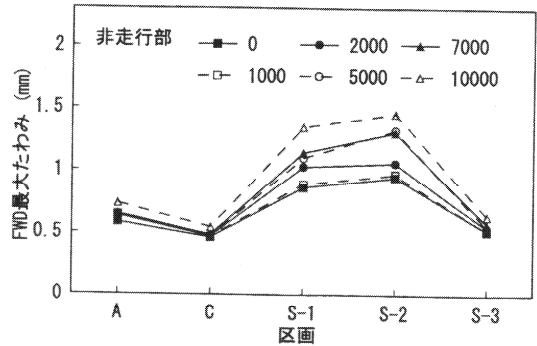


図-40 FWD最大たわみ(非通過部)

画はA, S-3区画に比べて若干小さめのたわみを示しているのに対し, S-2区画ではS-1区画よりも若干大きいたわみが得られた。しかし, C, S-2区画とも, 比較・対照とする舗装構造とほぼ同等の構造的機能を有しているとみてもよからう。石灰安定処理とアスファルト安定処理路盤とで結果が異なる理由としては, 石灰安定処理路盤施工後14日で走行載荷試験が実施されたことから, 石灰安定処理路盤材の養生が十分ではなかったものと考えられる。

FWDたわみ逆解析をすることにより推定した舗装各層の弾性係数を図-41~43に示す(それぞれ, アスファルト混合物層, 下層路盤)。表面に近いアスファルト混合物層では走行載荷の初期にその影響が顕著に現れているが, その後は落ち着くようである。これに対して, 舗装の

下方になると走行載荷による弾性係数の低下といった現象は明確にはみられない。図-42に示した下層路盤のデータからは, 再生クラッシュラン(C区画)と通常クラッシュラン(A区画)との差は認められず, 他の部分についても同様であることから, C区画はA区画と同等の性能を有しているということが推定される。

また, これらの図からは, 非通過部よりも通過部でのたわみが大きいという走行載荷の影響が認められるほか, 通過部では走行載荷回数の増加につれてたわみが増大することもわかる。この点について詳しく示したものが図-44, 45である。通過部のデータを示した図-44からは, 区画によらず, 10,000回の走行荷重により5割程度の増加が見られるものの, 走行載荷の進行につれて落ち着くことが認められる。非通過部ではたわみはほぼ一定となっ

* FWD試験により得られたたわみと荷重を用いて, 舗装の力学定数を推定する手法, ここでは, 舗装を多層弾性体とみなして, 各層の弾性係数を推定している。

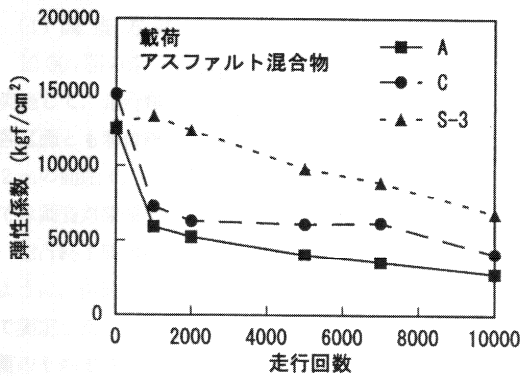


図-41 弾性係数の推定値 (アスファルト混合物)

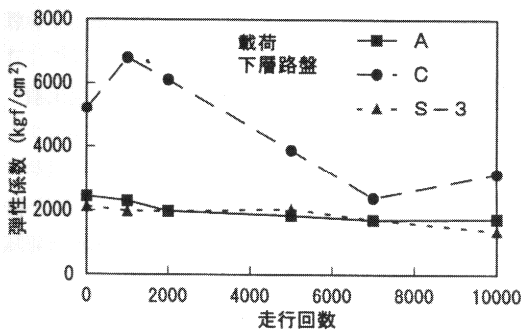


図-42 弾性係数の推定値 (下層路盤)

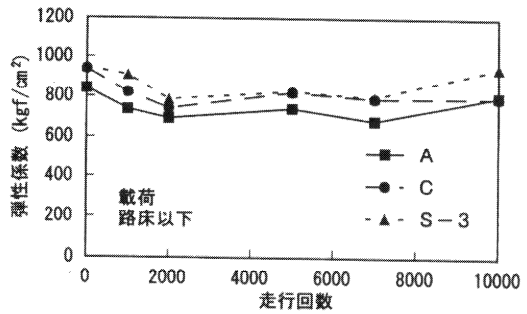


図-43 弾性係数の推定値 (路床以下)

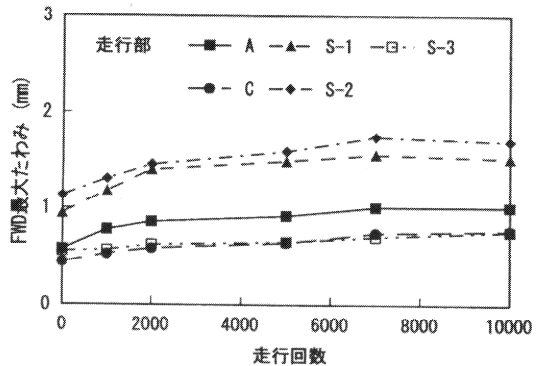


図-44 走行荷によるFWD最大たわみの変化 (通過部)

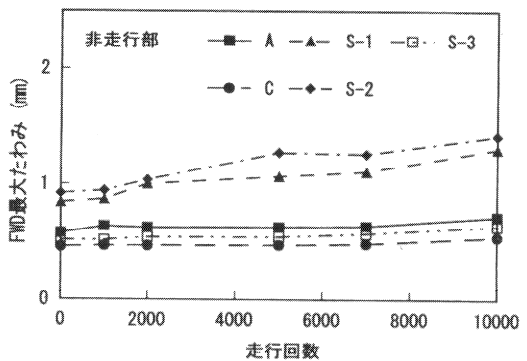


図-45 走行荷によるFWD最大たわみの変化 (非通過部)

ているが、曲線部に位置し、走行荷試験の途中で一部補修を施したS-1、S-2区画では、走行荷の影響が非通過部にも及んでいることがわかる。

FWDたわみの逆解析により得られた各層の弾性係数について、通過部と非通過部の違いをみたのが図-46～48である。荷の影響は表面に近い部分においては顕著で、深部ほど通過部と非通過部の差が判然としなくなる。

(3) 路面性状調査

走行荷に対する舗装の挙動として、上記の構造に加えて、舗装表面における性状(路面性状)の点からの測定も重要である。今回は促進走行荷試験なので、特に横断形状に注目して整理している。図-49はS-1断面における横断形状が走行荷の進行にともなって変化する状況を示しているが、10,000回の走行荷により深さ方向に最大10 cm程度の累積変化が生じていることがわかる。

図-50には、各区画ごとの累積塑性変位量(車輪直下の変位)が走行荷の進行につれて増加していく状況が示されている。各区画では2測線で測定を実施したので、この図にはその平均値を示している。上記の荷試験結果に関しても認められたように、アスファルト安定処理

路盤を用いた区画(A、C、S-3)とそれ以外の区画(S-1、S-2)にグループ分けされるようである。石灰安定処理材を用いたS-2区画は粒調碎石路盤を用いたS-1区画よりも良好な結果を示していること、再生クラッシュランを用いたC区画についてもA、S-3区画と同程度の性状を示していることがわかる。

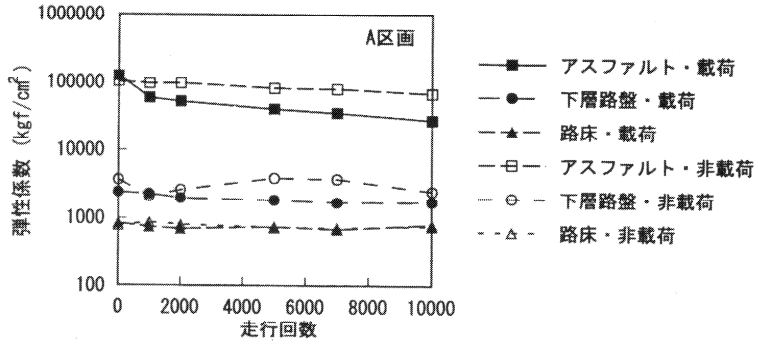


図-46 推定された弾性係数 (A区画)

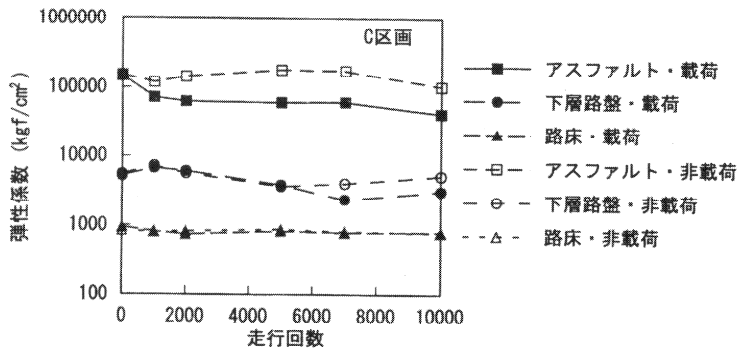


図-47 推定された弾性係数 (C区画)

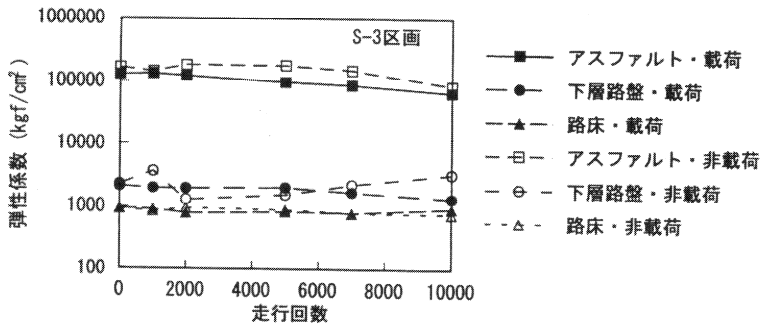


図-48 推定された弾性係数 (S-3区画)

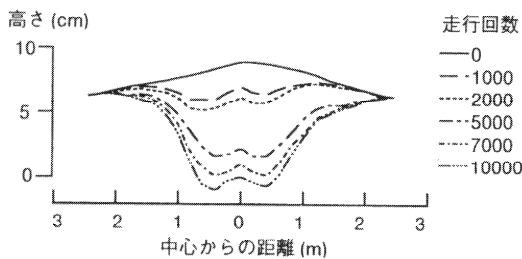


図-49 走行荷による横断形状の変化 (S-1区画)

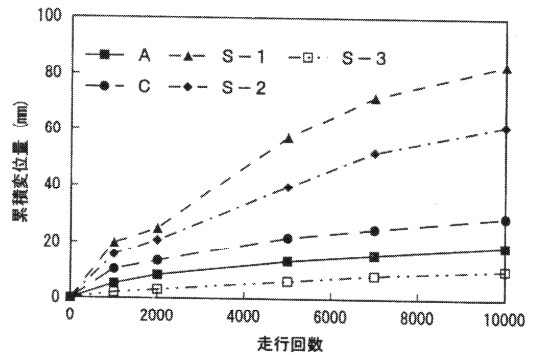


図-50 累積塑性変位量

4.3 解体調査

(1) 調査方法

10,000回の走行載荷試験終了後、舗装の解体調査を実施して、走行載荷が舗装構造に及ぼした影響を調べた。各区画とも解体部分は図-51に示すように幅3m、長さ2mの範囲で、路床面まで掘削した。舗装の解体に際しては調査対象部分を乱さないように注意した。

走行終了時の舗装厚の変化については、図-52に示すように、区画ごとに横断方向に2箇所（解体部分両端）で測定した。この測定は、表・基層、上層路盤、下層路盤のそれぞれについて10cm間隔で行い、層厚としては解体部分左右端、舗装中心部、左右車輪位置のものを取りまとめた。A、C、S-3区画ではアスファルト安定処理材を上層路盤として用いていて、表・基層と分離できないので、アスファルト混合物層として整理している。

路床面上では平板載荷試験とCBR試験を、下層路盤上では平板載荷試験を実施して、走行載荷試験に伴う材料特性の変化を調べた。このほか、S-3区画については、表・基層のアスファルトコンクリートの密度を走行載荷試験の前後で調べている。

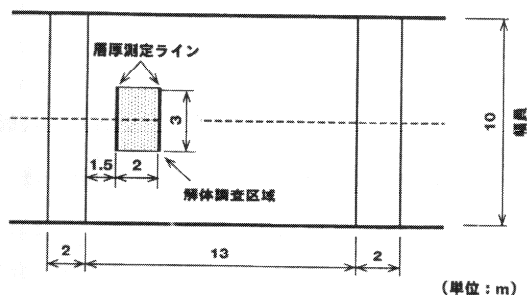


図-51 解体調査区画

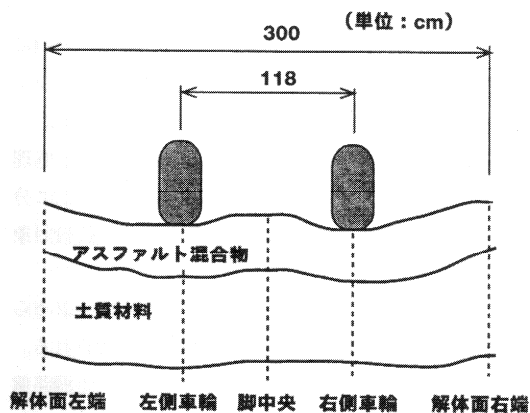


図-52 層厚変化測定位置

(2) 調査結果

図-53には10cmごとに測定した横断方向の層厚変化の例を示す(S-1区画)。表面に現われた累積変位は、舗装内の特定の層のものに起因するものではなく、各層の変位の合計となっていることがわかる。

横断形状のうち上記の特定の5箇所について、層厚をまとめたものが表-20である。施工時の層厚が詳細には把握できていないので、走行載荷の影響として数値を明示できないが、車輪位置では路盤厚が減少しており、走行載荷の影響が現われているようである。

表-21には、路床ならびに下層路盤材の含水比と乾燥密度を示してある(全体の平均値)。路床材に関しては乾燥密度がわずかに増加した程度でほとんど変化していないのに対し、路盤材については含水比が増加し、乾燥密度が低下している結果となった。このうち、再生クラッシュランを用いたC区画では含水比が10%を越えていることから、この材料の保水性は高いものと思われる。

表-22は路床面での現場CBRの値である。各区画とも走行載荷後はCBRが数倍に増加しており、設計CBRに対応した値が得られていることがわかる。これは表-23に示した平板載荷試験結果にもみられ、走行載荷試験終了時の路床のK値は施工時に比べて数倍に増加していることがわかる。これに対して、下層路盤上のK値は走行載荷により低下しており、表-21の含水比の増加ならびに密度低下と合致する結果となっている。

4.4 まとめ

(1) 静的載荷試験

① 深さ方向の土圧分布に関して、上層路盤に石灰安定処理を用いた区画(S-2区画)は粒度調整碎石を

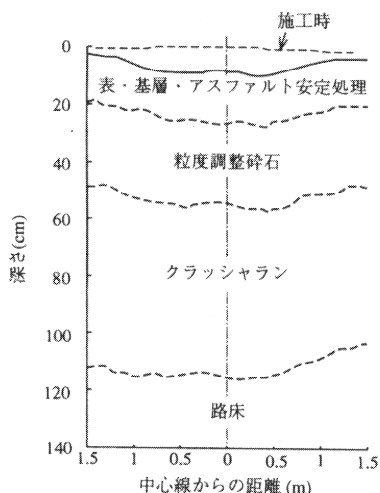


図-53 横断方向の層厚変化(S-1区画)

表-20 走行載荷終了時の層厚

区画	種類	設計厚	左側					右側				
			①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
A	アスファルト混合物	30	-	31.5	32.6	31.6	29.5	30	30	30.5	29.1	29.5
	下層路盤	65	68.1	65.5	66.2	64.4	65.8	66	66	67.7	65.9	72.5
C	アスファルト混合物	30	30.5	30	30.2	29.5	29	27.5	29.7	29.4	28	27.4
	下層路盤	65	66.5	70.5	69.8	67.7	69.5	69.9	70.7	72.2	71.8	73.5
S-1	アスファルト混合物	15	15.4	16.8	17.2	17.5	18.1	16.6	16.5	18	17	16.2
	上層路盤	30	29.2	31.3	30.6	26.1	27.7	29.5	29.2	28.7	30.4	28.9
	下層路盤	65	70.9	60.9	57.3	57.4	59.8	63.4	60.8	60.3	56.9	54.4
S-2	アスファルト混合物	15	17	18	17	18.4	17.3	18.2	18.5	18.2	18	17.5
	上層路盤	20	21.3	23.5	25.5	19.4	21.3	19.2	21.5	24.2	17	17.7
	下層路盤	65	69	65.3	64	68.7	68.6	68.8	65	62.3	66.3	69.5
S-3	アスファルト混合物	30	29	31	30.4	31.2	29.4	30	29.7	30	31	29.5
	下層路盤	65	59.9	54.7	56.4	54.3	5.44	59.2	57.1	58	53.4	56.9

(単位：cm)

- ①, ⑤：解体区画端部
- ②, ④：車輪通過位置
- ⑤：中心線

表-21 走行載荷前後での含水比と乾燥密度の変化

層	時期	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)
路盤	走行前	2.9	2.258
	走行後	3.9	2.014
路床	走行前	17.8	1.611
	走行後	17.7	1.635

表-23 走行載荷前後での K値の変化

層	区画	走行前	走行後
路盤	A	35.3	28.9
	C	30.8	23.6
	S-1	-	23.3
	S-2	37.2	23.4
	S-3	-	21.5
路床	A	-	19.5
	C	8.8	17.7
	S-1	-	19.8
	S-2	2.8	20.6
	S-3	-	17.6

(単位：kgf/cm³)

表-22 走行載荷前後での現場CBRの変化

区画	走行前	走行後
A	7.8	25.9
C	8.8	16.3
S-1	5.1	20.4
S-2	4	12.6
S-3	6.1	14.5

(単位：%)

- 用いた区画 (S-1 区画) と同一の傾向を示している。
- ② 下層路盤に再生材料を用いた区画 (C区画) は、通常材料を用いた区画 (A, S-3 区画) と同様の土圧分布を示している。
- ③ 土圧でみる限りは走行載荷の影響は各区画においてもみられない。

(2) 動的載荷試験

- ① 荷重車走行による舗装内土圧については、静的載荷試験と同様、石灰安定処理路盤、再生クラッシュ路盤とも比較対象の区画のものと同程度である。
- ② FWDたわみは、S-1、S-2区画 (石灰安定処理材対象) とA、C、S-3区画 (再生材対象) とに分けられるが、石灰安定処理材、再生材とも比較対象のものとは同程度の値である。
- ③ FWDたわみには繰返し走行載荷の影響が認められ、走行回数につれて増加する傾向が認められる。特に、S-1、S-2区画では顕著にみられ、上層路盤の材質の違いが顕著になっている。
- ④ FWDたわみの逆解析により得られた弾性係数に

は、舗装上部の層で走行載荷の影響が明らかになっている。

- ⑤ 再生下層路盤材の弾性係数は通常材料の場合と同等である。

(3) 路面性状

- ① 累積塑性変化量(わだちぼれ)は走行載荷につれて増加する。
- ② アスファルト安定処理上層路盤を用いたA、C、S-3区画は、それ以外の区画よりもわだちは小さいものとなっている。
- ③ 石灰安定処理材、再生材を用いた区画は、それぞれ、比較対象とする区画とほぼ同程度のわだちぼれ量を示している。

(4) 解体調査

- ① 舗装表面に現れているわだちぼれは、舗装各層の変位が累積したものであり、特に路盤の変形が原因となっている。
- ② 走行載荷により路床のCBR、K値は増加している。これに対して、路盤は密度とK値が低下している傾向が認められた。

以上から、石灰安定処理上層路盤材と再生クラッシュラン下層路盤材の空港舗装への適用性は認められたものと考えられる。すなわち、石灰安定処理材は粒度調整碎石に対する等価値として1.5を十分確保できること、再生クラッシュラン下層路盤材は通常クラッシュランと構造的には等価とみなせることがわかった。

5. 結論

従来、空港舗装の路盤材として実績がなかった上層・下層路盤用高強度石灰安定処理材ならびに下層路盤用再生クラッシュランの材質を確認するため、室内試験ならびに試験舗装での載荷試験を実施した。その結果、以下のような知見が得られた。

(1) 室内試験

- ① 空港アスファルト舗装要領で示されている石灰安定処理材としての規定を満たすためには、土質材料の種類と含水比、ならびに安定材の種類と添加量、締固めエネルギーの選定といった点について検討する必要がある。特に細粒分含有率、含水比といった点に注目しなければならない。
- ② 凍結融解、乾燥湿潤の繰返し作用に対して、石灰安定処理材はセメント安定処理材と同程度の耐久性を有する。
- ③ 再生クラッシュランは通常のクラッシュランと同等のCBR特性を有し、水浸状態による強度低下も

少ない。

(2) 試験舗装

- ① 静的載荷試験では、上層路盤にアスファルト安定処理材を用いた区画とそれ以外の区画でその挙動が異なったものとなっている。石灰安定処理上層路盤は粒度調整碎石上層路盤と、再生クラッシュラン下層路盤は通常のクラッシュラン下層路盤と同等の性能を有することが認められた。
- ② 動的載荷試験で得られるFWDたわみに注目しても、①と同様の結果が得られる。原型走行荷重車を用いた繰返し走行載荷による影響としてのたわみの増加が認められ、特にアスファルト安定処理上層路盤を用いていない区画ではそれが著しい。
- ③ FWDたわみの逆解析により推定された舗装各層の弾性係数のうち、上方の層のものに関しては走行載荷により低下する現象が認められる。下層路盤として用いた再生クラッシュランには通常のクラッシュランと同様、走行載荷の影響は認められない。
- ④ 舗装表面の累積塑性変位(わだちぼれ)は、繰返し走行載荷の進行に伴って増加するが、特にアスファルト安定処理上層路盤を有しない場合が大きなものとなっている。このわだちぼれは舗装各層の累積塑性変位が蓄積されたものであるが、路盤の変形が特に顕著である。

以上を総括すると、高強度石灰安定処理上層路盤は、等価値を1.5とした今回の試験舗装において、粒度調整碎石上層路盤と同等の挙動を示したことから、空港舗装への適用性は確認できたものと考えている。しかし、アスファルト安定処理材と比較すると差が認められることから、養生期間の確保を含めた施工の確実性が望まれるところである。また、再生クラッシュラン下層路盤についても通常のクラッシュラン下層路盤と同等の挙動を示していることから、空港舗装への適用性は高いものと認められる。ただし、保水性が大きいようであるから排水条件には注意する必要がある。

6. おわりに

近年の良質材料の不足といった事情を背景にして、再生クラッシュラン、石灰安定処理材について今回取上げた。特に後者については、安定処理して粒状材程度の材質を確保するという従来から行われている方法から一歩踏み込んで、高品質化することにより高性能路盤材として積極的に使用していくとの観点から研究を実施したが、その点については所期の目的を果すことができたものと考えている。また、再生クラッシュランについては、新

材のクラッシュランの等価性を確保するとの観点から研究を行った。これについても所期の目的を達成できたものと考えている。

また、これらの材料の使用にあたって注意すべき点も明らかになった。一つは、石灰安定処理上層路盤材の供用開始時期である。これは、本文でも述べたように、アスファルト安定処理上層路盤とそれ以外とで挙動が異なったことから明らかであろう。もう一つは再生クラッシュランの保水性の問題で、埋立地に建設される場合で地下水位の高い状況下では特に注意が必要であろう。

なお、本資料で報告した試験舗装に関しては第二港湾建設局が、また室内試験については港湾技術研究所との共同研究として日本石灰協会が担当し、再生クラッシュランについての室内試験と全体の取りまとめは港湾技術研究所が実施した。これらの試験に携った方々に対してお礼申し上げます。

(1995年3月31日受付)

参考文献

- 1) 運輸省航空局：空港アスファルト舗装構造設計要領，78p.，1990.
- 2) 運輸省航空局：空港コンクリート舗装構造設計要領，121p.，1990.
- 3) 運輸省航空局：空港土木工事共通仕様書，1993.
- 4) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，324p.，1993.
- 5) (社)日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，275p.，1984.
- 6) O. G. Ingles, J. B. Metcalf: Soil Stabilization, Butterworths, 374p., 1972.
- 7) I. Ahmed : Use of Waste Materials in Highway Construction, Noyes Data Corporation, 114p., 1993.
- 8) (社)日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，132p.，1992.
- 9) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧，pp.921-929，1989.
- 10) 横浜調査設計事務所：平成5年度東京国際空港試験舗装走行試験調査報告書（試験舗装本編），1994.

港湾技研資料 No.804

1995・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 (有)つばさ印刷技研

Published by the Port and Harbour Research Institute.
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1995) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a
maching language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複
写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。