

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

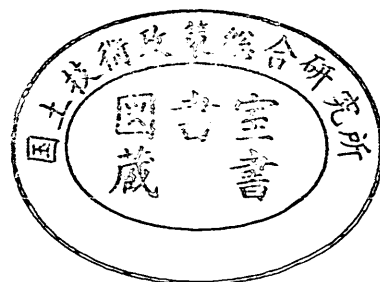
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 16

NO. 4

DEC. 1977

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第16巻 第4号 (Vol. 16, No. 4), 1977年12月 (Dec. 1977)

目 次 (CONTENTS)

1. ウェルの横抵抗に関する実験的研究
.....高橋邦夫・沢口正俊..... 3
(Experimental Study on the Lateral Resistance of a Well
.....Kunio TAKAHASHI, Masatoshi SAWAGUCHI)

2. 潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価
.....佐藤勝久・福手 勤・佐藤峰夫.....35
(Evaluation of Potentially Hydraulic Materials as Base Courses of Airport
Pavements..... Katsuhisa SATO, Tsutomu FUKUTE, Mineo SATO)

2. 潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

佐藤勝久*・福手 勤**・佐藤峰夫**

要 旨

琉球列島に産出するコーラルリーフロック (C. R. R.), ガラス質を含む粒調高炉スラグ, 石灰安定処理材などは, その潜在水硬性から自ら固まる自硬性, 一度ひびわれたものが再接着する自癒性を持つと考えられる。本研究では, これら材料の自硬性, 自癒性といった特異性を室内試験から明らかにし, あわせて試験舗装での結果を総合し, これら材料の空港舗装路盤としての合理的な適用につき検討した。

その結果, C. R. R. は初期で強度がでた後それ以降あまり強度増加しないこと, 粒調スラグ, 石灰安定処理材は全般に遅硬性で材令ともに強度増加が大きいことがわかった。強度回復機能については, C. R. R. は材令にかかわらず持続するのに対し, 粒調スラグ, 石灰安定処理材では材令が進むにつれてその能力が小さくなる傾向のあることも判明した。またこれら潜在水硬性材料の固結したものは, おおよそ一軸圧縮強度との間に $E=600\sigma_c^2$ ($\sigma_c \leq 40\text{kg/cm}^2$), $E=22.5\sigma_c^{1.9}$ ($\sigma_c > 40\text{kg/cm}^2$) の関係のあることも明らかになった。

舗装構造の設計に必要な等値換算係数については, C. R. R. および C. R. R. に 2% のセメントを添加したものは材令にかかわらずほぼ一定なのに対し, 粒調スラグ, 石灰安定処理材は材令とともに著しく増加していくことが推察された。水没の恐れのない場合の C. R. R. は 1.3 程度, C. R. R. に 2% のセメントを添加したものは 1.5 程度の等値換算係数になった。粒調スラグについては, 初期には粒調碎石なみのものが, 材令 6 か月では 1.8 にもなった。石灰安定処理材は初期から大きな値を持っており, 材令 6 か月では 1.8 まで増加し, 今回対象とした材料の中では全体として最も大きな等値換算係数を持つことがわかった。

* 土質部歩走路研究室長

** 土質部歩走路研究室

2. Evaluation of Latent Hydraulic Materials as Base Courses of Airport Pavements

Katsuhisa SATO*

Tsutomu FUKUTE**

Mineo SATO**

Synopsis

In this paper we made clear unique characteristics such as self-solidification and self-adhesion of coral reef rock (C.R.R.), graded slag and lime-treated material, and investigated the rational application of these materials to base courses of airport pavements on the basis of results in both laboratory tests and field test pavements.

The main results are as follows:

(1) C.R.R. has relatively high strength at the early age from the self-solidification, but its increasing rate is little. On the other hand graded slag and lime-treated material are generally slow-setting, and the strength is gradually increasing for a long term.

(2) As for strength recovery ability from self-adhesion, C.R.R. keeps it without distinction of age, but in graded slag and lime-treated material the ability is decreasing as the age is advancing in spite that it is high at the early age.

(3) The modulus of deformation (E) of these materials in solid state is related to the unconfined compression strength (σ_c) as $E=600\sigma_c^{0.8}$ ($\sigma_c \leq 40\text{kg/cm}^2$), $E=22.5\sigma_c^{1.49}$ ($\sigma_c > 40\text{kg/cm}^2$).

(4) Concerning layer equivalencies of these materials as base, the following results have been obtained.

- a) C.R.R. in soaked condition has just 1.0 like graded crushed stone.
- b) C.R.R. in unsoaked condition has about 1.3.
- c) C.R.R. stabilized with 2% cement has 1.5.
- d) Graded slag has 1.0 at the construction stage but 1.8 at the age of six months.
- e) Lime-treated material has the highest value among three materials, and 1.8 at the age of six months.

* Chief of Runways Laboratory, Soils Division.

** Member of Runways Laboratory, Soils Division.

目 次

要 旨	35
1. ま え が き	39
2. 試験に用いた材料	39
3. 室内試験による検討	41
3.1 概 説	41
3.2 締め固め特性	41
3.3 強度特性	41
3.4 変形特性	44
3.5 自 癒 性	45
3.6 室内試験からの等値換算係数の推定	45
4. 試験舗装による検討	47
4.1 概 説	47
4.2 試験舗装の製作	47
4.3 路盤支持力試験	49
4.4 舗装載荷試験	50
4.5 試験舗装からの等値換算係数の推定	55
5. 空港舗装路盤としての適用性	61
6. 結 論	64
7. あとがき	65
謝 辞	66
参考文献	66

1. まえがき

近年の経済の成長ともなう交通量の増大は著しく、高速道路、新幹線、ジェット空港などの建設が急速に行なわれている。これらの交通路では、従来以上に快適な走行性が要求され、また著しく大きな交通荷重、交通量に耐えるような配慮も必要になる。

空港の場合、ジャンボ、エアバスといった大型航空機の就航が、それらの走行路である滑走路、誘導路、エプロンなどの舗装にいくつかの変化をもたらしている。舗装厚が著しく増大し、アスファルト舗装では交通の集中によりわだちぼれ、ひびわれといった現象も顕著である^{1),2)}。

これら問題点の解決のためには、舗装構造ならびに舗装材料の両面からの工夫がみられる。本研究もその1つであり、舗装の中の路盤についてとり扱っている。

従来舗装路盤としては粒状材料が主体的に用いられてき、AASHO 道路試験以後は良質骨材の不足もあり、アスファルトやセメントによる安定処理材の適用もかなりみられるようになってきた。一般的にはこれらの材料は十分な支持力を持ち、特に問題になることはないが、AASHO 道路試験の結果も示しているように³⁾、長期にわたっては、荷重や気象作用の繰り返しにより骨材が細粒化し、ひびわれが発達し、耐久性が低下するという現象がある。

これに対し山内が“第三の路盤材料”と名付けている⁴⁾高炉スラグやコーラルリーフロックなどの材料は、それ自体で固結する自硬性と、その固結したもののある部分にひびわれが生じても再接着をする自癒性があるといわれ、長期的な耐久性では前段の種々の材料よりも優れたものになると考えられる。

大荷重を対象とする空港舗装では、舗装に占める路盤の比重は大きく、路盤材料の合理化を図ることは、舗装構造全体の合理化に大変寄与し、同時に経済的にも極めて大きなメリットをもたらすと考えられる。今回種々の優れた面を持つ前述の第三の路盤材料のいくつかをとり上げ、これらが空港舗装の路盤、とくに上層路盤としてどのような評価がなされるのかを、室内試験および試験舗装の両面から検討した。

その結果、コーラルリーフロック、粒調高炉スラグ、石灰安定処理材の自硬性、自癒性の様子が明らかになり、またこのような材料を空港舗装上層路盤に使う場合の適用性がはっきりした。

2. 試験に用いた材料

自硬性、自癒性を総合して特異性と呼ぶことにし、この特異性を持つと考えられる材料のうち空港舗装の路盤、特に上層路盤に適用して十分な供用性を発揮できそうなものとして、コーラルリーフロック (Coral Reef Rock, 以後 C. R. R. と略す)、粒調高炉スラグ (以後粒調スラグと呼ぶ)、石灰安定処理材を選んだ。

これらの材料はいずれも水の存在のもとで締め固められて固まり、また水の存在のもとにひびわれが再接着する性質を持つと考えられている。このように水の作用で固結をしていく性質を一般に水硬性と呼び、材料自身に本来そのような性質がある場合潜在水硬性があるという。したがって今回とり上げた材料のうち C. R. R. と粒調スラグは、潜在水硬性を持つ路盤材料ということになる。また石灰安定処理材は本来の意味からは潜在水硬性材料とはいわないが、処理材全体でみると C. R. R. や粒調スラグと似た面があるので、この報告では一括して潜在水硬性材料として扱う。

C. R. R. は、わが国では琉球列島に産出し、その成分の大部分が炭酸カルシウムの一種の石灰岩である⁵⁾。本研究には、代表的な C. R. R. である沖縄本島中部の読谷 (よみたん) で採掘したものを用了。

C. R. R. には掘削あるいは破碎したままのクラッシュコーラルと、現場にて粒径80mm以上のものをとり除いた流しコーラルと、プラントにて粒度を調整した粒調コーラルとがある。図-2.1は本研究に用いた3種類の試料の粒度曲線である。また C. R. R. の物理的性質、骨材試験結果は一括して表-2.1, 2.2に示す。C. R. R. のすりへり減量は、空港舗装用碎石の品質規格を若干上回っている。

港研報告第14巻第2号⁶⁾でも報告したように、C. R. R. はそれ自身で硬まりかなりの一軸圧縮強度を持つが、固結したものを水浸すると直ちに崩壊し一軸圧縮強度を完全に喪失するという水に弱い面を持つ。この水に弱い点を改善するには、セメントを加えればよいことがわかっており、それも自癒性をそこなわないために2%程度に

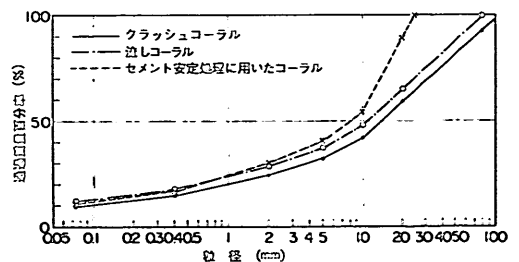


図-2.1 C. R. R. の粒度

表-2.1 C.R.R. の物理的性質

試験項目	試験規格	読 谷	
比重	2 mm 以下	JIS A 1202	2.721
	2 mm 以上	JIS A 1110	2.725
液性限界	JIS A 1205	NP	
塑性限界	JIS A 1206	NP	

表-2.2 C.R.R. の骨材試験結果

試験項目	試験規格	読谷	路盤用砕石品質規格	
			空港用*	道路用**
ロスアンゼルスすりへり試験	JIS A 1121	40.3%	35%以下	50%以下
安定性試験損失量	JIS A 1122	5 mm以下	20%以下	20%以下
		5~15mm		
		15~25mm		
		25~50mm		
		16.9%		
		19.0%		
		15.3%		
		10.1%		

*: 空港土木施設施工要領

**: アスファルト舗装要綱

止めておく必要のあることがわかっている。本研究では、この C.R.R. にセメントを2%添加したものについても検討を加えた。

粒調スラグは厳密には、製鉄所の高炉の溶融スラグを適量ガラス質を含むように散水、冷却したものを破砕し、適当な粒度になるように調整したものである。道路用スラグ JIS 案⁷⁾では、多くの実験研究結果に基づき最適粒度範囲を決めているので、本研究に用いた粒調スラグもこの範囲に入るように選んだ。図-2.2が使用粒調スラグの粒度曲線で、若干細粒分の不足がみられる。単位容積重量、比重、吸水量などの結果は、表-2.3である。また粒調スラグでは図-2.3に示すように、製造後の貯蔵日数が経過するにつれ、突き固めた試料の強度発現が小

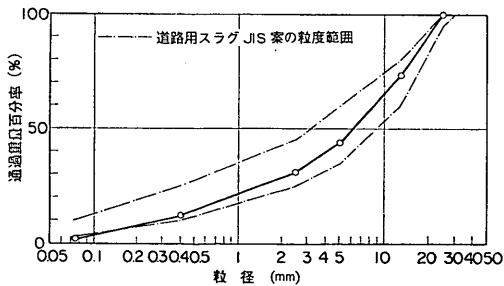


図-2.2 粒調スラグの粒度

表-2.3 粒調スラグの骨材試験結果

項 目	結 果
単位容積重量	1.85 g/cm ³
表乾比重	2.67
絶乾比重	2.55
吸水率	4.7%

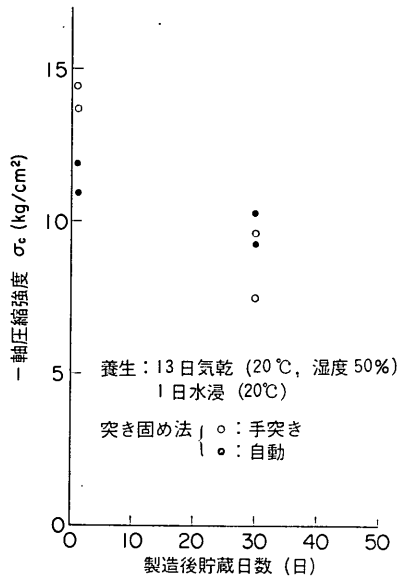


図-2.3 製造後の貯蔵日数が粒調スラグの強度に与える影響

さくなることを確認したので、3., 4.の検討には、製造後せいぜい1週間以内のものを使用した。

上層路盤としての石灰安定処理については一般的な仕様がないので、2種類の骨材粒度と何種類かの石灰量で締め固め試験と一軸圧縮試験を行ない、一軸圧縮強度および乾燥密度の大きな配合として(図-2.5参照)、図-2.4の骨材粒度1ならびに石灰量4%, 8% (図-2.6参照)を選んだ。図-2.4には、今までの現場での経験⁸⁾なども

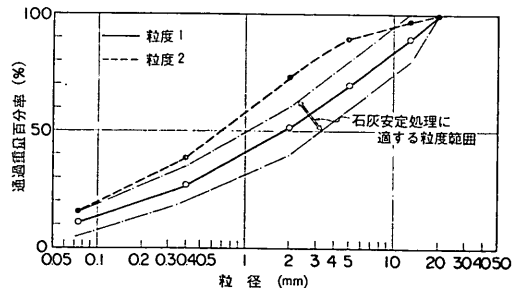


図-2.4 石灰安定処理用骨材の粒度

表-2.4 石灰安定処理用骨材の物理的性質
および骨材試験結果

試験項目	試験規格	山砂	スクリーニングス	
			7, 6, 5号	碎石
比 重	2 mm以下	JIS A 1202	2.697	2.705
	2 mm以上	JIS A 1110		2.589
液性限界	JIS A 1205	34.8%	N P	
塑性限界	JIS A 1206	N P	N P	
吸水量				6.75%

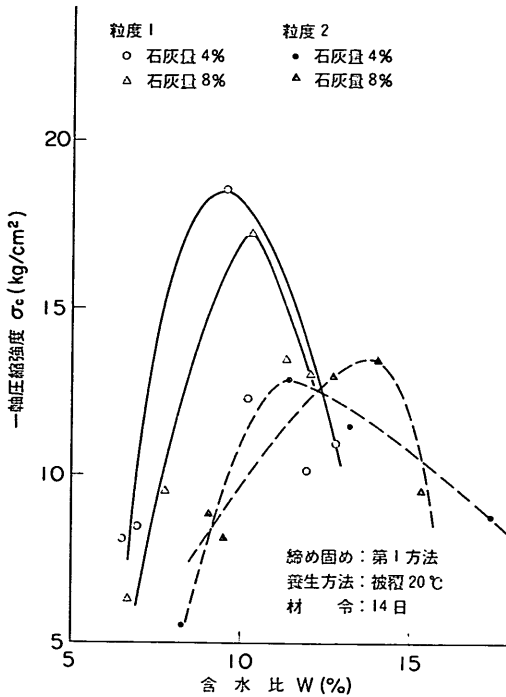


図-2.5 石灰安定処理における骨材粒度の影響

参照して決めた、上層路盤としての石灰安定処理用骨材の粒度範囲もあわせ示している。表-2.4には本研究に用いた骨材の物理的性質および骨材試験結果をとりまとめている。なお安定処理用石灰としては、骨材の種類などから判断し、消石灰を用いた。

3. 室内試験による検討

3.1 概 説

舗装構造の設計において、路盤の評価は等価換算係数によって行なわれる。等価換算係数を求めるには、層の強度や荷重分散効果、対象荷重のもとでの舗装の応答特性、および長期交通下での舗装の寿命などを十分に把握

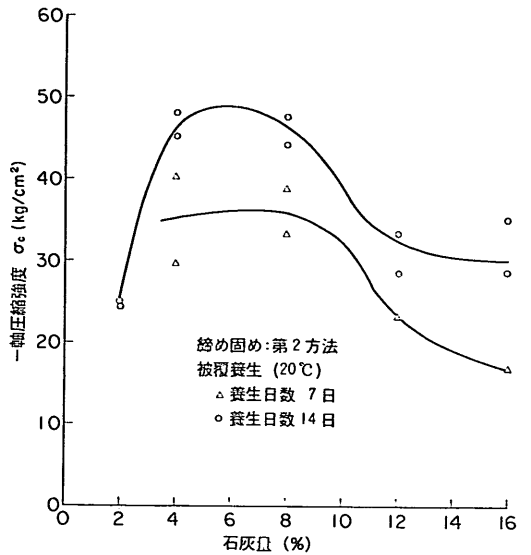


図-2.6 石灰安定処理における石灰量の影響

し、これらを総合的に検討して決める。このためには、各種試験から材料の特性を調べるほか、試験舗装あるいは現地舗装において実物大交通下での舗装の供用性を知る必要がある。

本研究が対象とした潜在水硬性材料については、材料的にもまだ不明な点が多々あることから、それぞれの項目ごとに広範な室内試験を行ない検討を加えた。本章では以下これらの結果を紹介し、最後に室内試験結果の範囲内において、これら路盤材料の等価換算係数の推定を試みる。

3.2 締め固め特性

締め固め試験は JIS A 1210⁹⁾ に従って行なわれ、材料の使用対象が路盤ということで、締め固めエネルギー $E=25.3\text{kg}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}^3$ の第2方法による。

図-3.1は C.R.R. の締め固め曲線で、C.R.R. 自身(流しコーラル)と C.R.R. にセメントを2%混合したものについての結果である。使用 C.R.R. の粒度が異なるのではっきりしたことはいえないが、セメント添加によって最適含水比が若干下がるようだ。

図-3.2には粒調スラグの締め固め曲線を示す。スラグ自身とスラグに消石灰3%を混合したものについての結果である。消石灰の添加により最大乾燥密度が若干低下している。

図-3.3は石灰安定処理材の締め固め曲線で、石灰量の変化にともなう最適含水比、最大乾燥密度の変化の様子を示す。

3.3 強度特性

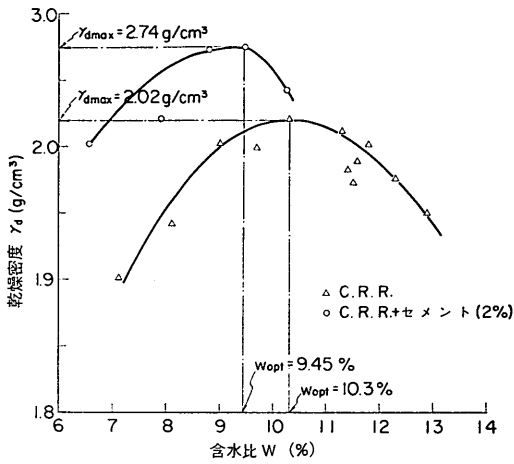


図-3.1 C.R.R. の締め固め曲線

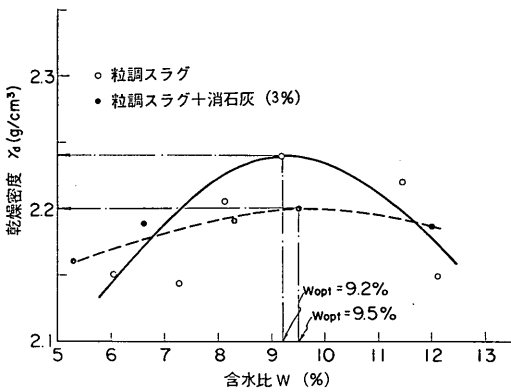


図-3.2 粒調スラグの締め固め曲線

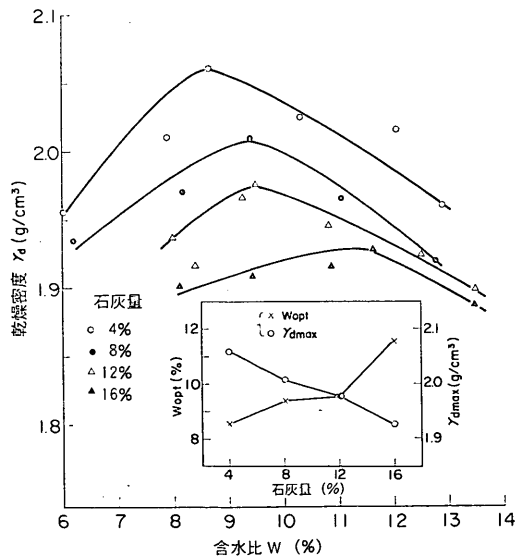


図-3.3 石灰安定処理材の締め固め曲線

今回対象としたのは路盤材料ということで、一般に路盤材料の評価に使う CBR 試験を実施してみた。CBR 試験の方法は、JIS A 1211⁹⁾ に準じて供試体を作製し、密封した後所定の期間養生して試験に供した。場合によっては、養生最終日に水浸養生 (20°C) をした。

図-3.4 は C.R.R. 関係の結果である。C.R.R. 自身の CBR は、非水浸の場合通常の上層路盤用の粒状材に比べはるかに大きな値になっているが、水浸すると通常の粒状材料並になってしまうことがわかる。また材令に対してはさほど CBR の増加はみられない。一方 C.R.R. にセメントを 2% でも添加すると、耐水性が改善され、水浸した CBR でも 500% 以上と極めて大きな値を示す。

図-3.5 は粒調スラグについての CBR の結果である。非水浸による CBR ということもあり、全体的に極めて大きな値を示している。初期材令からかなり大きな値となっているが、材令とともに徐々に増加する傾向もみられる。消石灰 3% の添加の効果は、CBR に関してはみられない。

石灰安定処理材についても CBR 試験を試みたが、材令初期から極めて大きな貫入抵抗を示し、通常の CBR 試験は不可能であった。仮に大きな載荷装置で通常の CBR 試験を実施したら、CBR は数百あるいは千のオーダーになるものと予想され、この面でも極めて強度の大きな材料である。

次に強度を考える場合最もよく利用される一軸圧縮強度 (σ_c) であるが、各材料ごとに図-3.6~3.8 に結果を

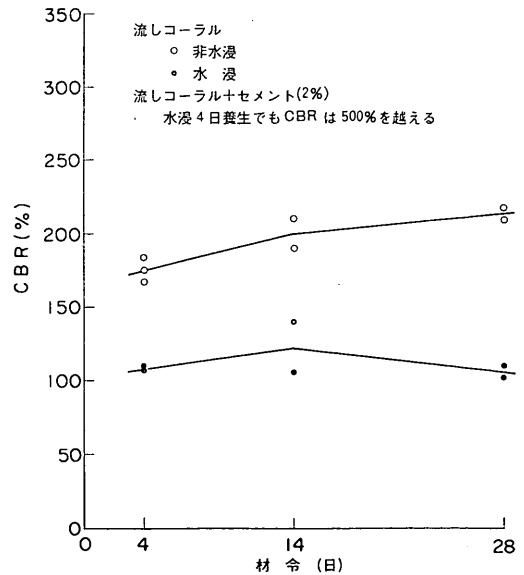


図-3.4 C.R.R. の CBR の材令による変化

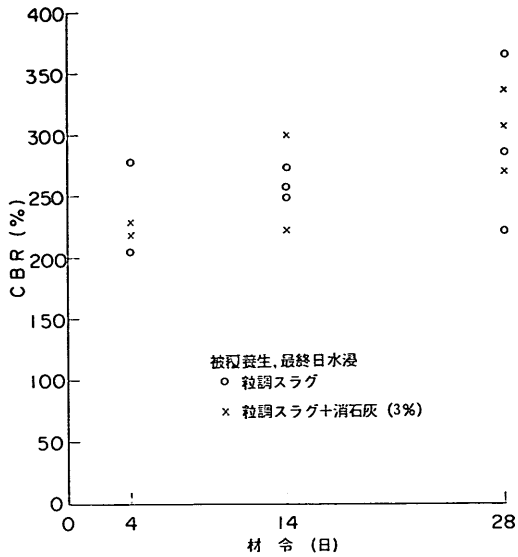


図-3.5 粒調スラグのCBRの材令による変化

まとめてある。試験に用いた供試体は、直径10cm、高さ12.7cmのモールドに4.5kgランマーを用い3層で各層42回づつ突き固めて作ったものである。供試体はキャッピングの後、必要に応じて密封し、恒温恒湿槽内で所

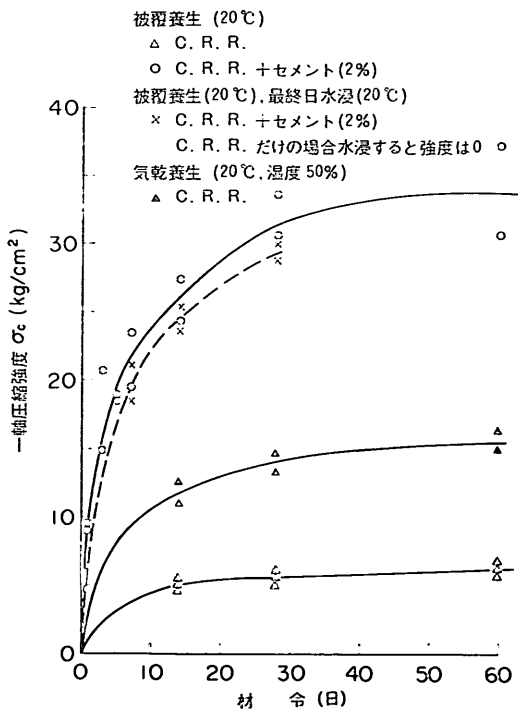


図-3.6 C.R.R.の一軸圧縮強度への養生方法、材令の影響

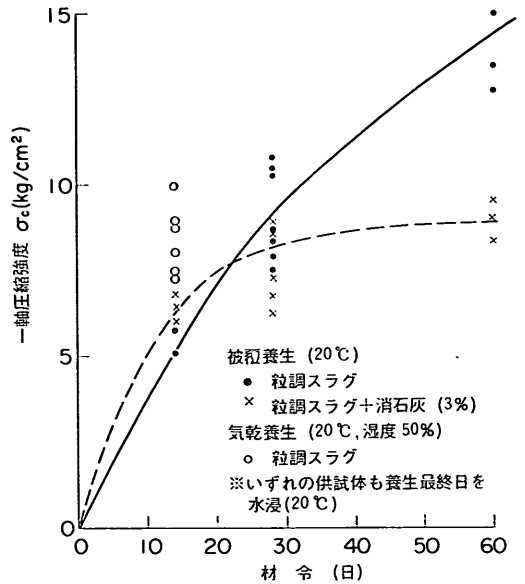


図-3.7 粒調スラグの一軸圧縮強度への養生方法、材令の影響

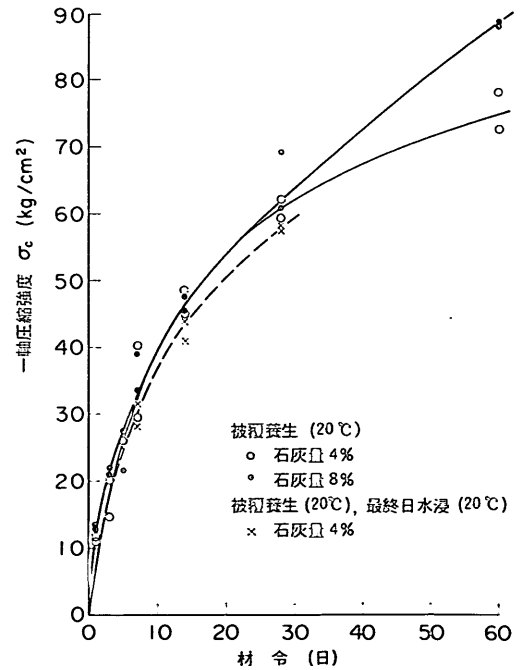


図-3.8 石灰安定処理材の一軸圧縮強度への養生方法、材令の影響

定の養生をして試験に供した。一軸圧縮試験は1mm/minのひずみ制御で行なった。

図-3.6のC.R.R.の結果をみると、C.R.R.自身の場合も、C.R.R.にセメントを2%添加した場合も、材

令が14日ぐらいいまでに強度は大部分発現し、それ以降あまり強度増はない。C.R.R. だけの場合しか実施していないが、養生方法が気乾の場合は、被覆養生の場合に比べて強度が2倍以上となっている。また耐久性の1つの指標になる水浸の影響については、養生期間の最終日に水浸をして調べた結果、C.R.R. だけでは強度を完全に喪失してしまうのに対し、セメントを2%でも添加すると、その耐水性は著しく改善され、水浸による強度減少はわずかであることがわかった。

粒調スラグの図-3.7からは、被覆養生の場合、材令14日程度ではあまり強度の発現はなく、それ以降じわじわと強度が増加していくことがわかる。これを気乾養生にすると、初期に急激に強度増加し、材令14日の強度が被覆養生の材令30~60日の強度にほぼ対応する。またスラグの潜在水硬性を促進するものとして、消石灰を3%添加した場合も試験したが、今回の試験では一軸圧縮強度にその効果はみられなかった。

石灰安定処理材については、図-3.8にまとめてある。これからわかるように、今回対象とした材料は初期からかなり大きな強度になっているうえに、材令とともに強度増加も大きく、室内試験だけからも極めて良好な路盤材料とみられる。石灰量が4%と8%の間には、材令初期ではほとんど差がなく、長期材令で若干差が出る程度で、両者に強度上は優劣差はないものと考えられる。水浸の影響については、石灰量4%の場合だけ調べたが、図のようにほとんど強度低下はなく、この面でも問題のないことがわかった。

3.4 変形特性

舗装構造の解析および検討には、現在のところ多層弾性理論が最もよく利用され、それなりの意義を示している。この多層弾性理論のためには、舗装各層の弾性係数（あるいは変形係数）を知る必要がある。今回対象としている路盤材料については、現在までにあまりこれらの特性が知られていない。

室内試験から変形係数を求めるものとしては、一軸圧縮試験による E_{50} 、繰り返し載荷試験による Resilient Modulus (E_R) がよく利用される。舗装路盤内の応力状態は極めて複雑で、どの係数を用いても真の値を示してはいないが、一応の目安にはなり得るので、本研究でも各材料の一軸圧縮試験から E_{50} を求め、また舗装路盤として推定される応力状態で繰り返し三軸試験を実施して E_R を求めた。

E_{50} については、 σ_c と相関があることは前から推定されたので⁶⁾、図-3.9のように両対数グラフ上に整理した。材料ごとに範囲は異なるが、全体としてはほぼ一直

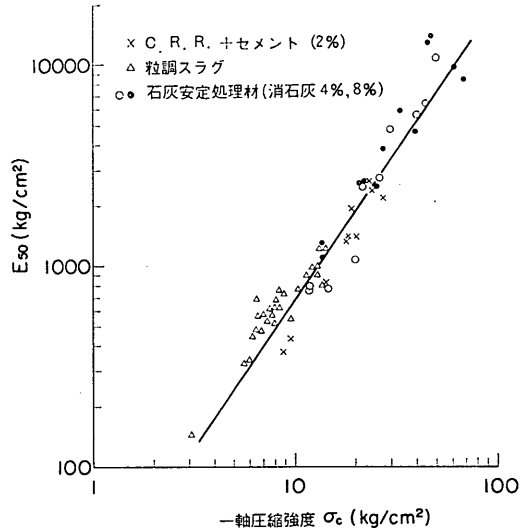


図-3.9 一軸圧縮強度と E_{50} の関係

線にのっている。今回対象にした材料は比較的類似性を持っていることもあり、また同一エネルギーで締め固められた供試体に対する試験ということもあり、変形特性も同一傾向を持っているようである。図-3.9の直線を式で表わすと次のようになる。

$$E_{50} = 22.5\sigma_c^{1.49} \quad \dots\dots(1)$$

次に繰り返し三軸試験から求まる Resilient Modulus (E_R) についてみる。 E_R は次式で表わす係数とする。

$$E_R = \frac{\text{応力レベル}}{\text{弾性ひずみ}} \quad \dots\dots(2)$$

繰り返し三軸試験で供試体に与えた応力は、大型航空機によりアスファルト舗装の路盤が受けると考えられる一般的なものを、弾性計算や実測例から判断して決めた。各種材料ごとに、各種材令ごとに与えた応力条件は異なる。種々の条件のもとで求められた E_R を、それぞれの条件での一軸圧縮強度と対応づけ両対数グラフ上にプロットしたものが図-3.10である。

粒調スラグの結果が欠けているが、 E_{50} と同様に材料に係わりなく E_R と σ_c が一対一で対応しているようだ。図中に一点鎖線で示した E_{50} と σ_c の関係と比べて、 σ_c が 40 kg/cm^2 以下のところでは E_R の方が E_{50} より大きくなっている。 σ_c が 40 kg/cm^2 以上のところでの E_R の測定結果が少なくはっきりしたことはいえないが、一軸圧縮試験の σ - ϵ 曲線などを参照すると、 σ_c が大きくなると供試体は極めて弾性的になるので、 σ_c が 40 kg/cm^2 以上のところでは、 E_{50} も E_R もほぼ等しくなるのではないかと考えられる。図-3.10 で $\sigma_c < 40 \text{ kg/cm}^2$ の部分の

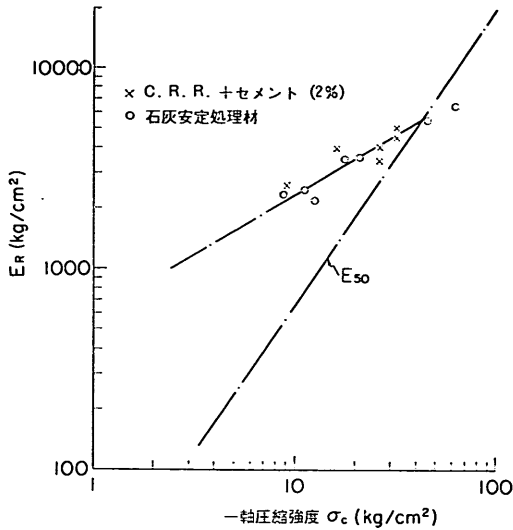


図-3.10 一軸圧縮強度と E_R の関係

E_R と σ_c の関係を直線とみると、これは次のように表わされる。

$$E_R = 600\sigma_c^{0.6} \quad \dots\dots(3)$$

3.5 自癒性

潜在水硬性材料の場合、一度固結したものがなんらかの理由によりひびわれても、適当な水分が存在すれば再接着する自癒性があると考えられる。ここでは本研究でとり上げた3種類の材料に対し、その自癒性を確認するために、強度回復機能を調べる試験を行なった。

一軸圧縮試験で一度最高強度まで載荷した供試体（ひびわれが多数入っている）を除荷し、所定の再養生をし、それを再び圧縮試験して、次のような定義に従って強度回復率を決めた。

$$\text{強度回復率(\%)} = \frac{\text{再(再々)試験強度}}{\text{初回試験強度}} \times 100 \quad \dots\dots(4)$$

この強度回復率を養生日数との関係でまとめたものが図-3.11~3.13である。C.R.R. はセメントの添加割合を種々変え、粒調スラグはそれ自身と消石灰3%を添加したものについて、また石灰安定処理材については石灰量を種々変えたときの結果を示している。再養生の方法としては、再度被覆した場合と被覆をとったままにした場合（気乾養生）とを行なっている。

図-3.11から、C.R.R. の場合セメント量を多くすると強度回復率が小さくなるのがわかる。C.R.R. 自身の場合の化学成分および固結する機構からして強度回復機能は永久に続くと考えられるが、耐水性改善のためセメントを添加したものでは、セメントの影響がでてセ

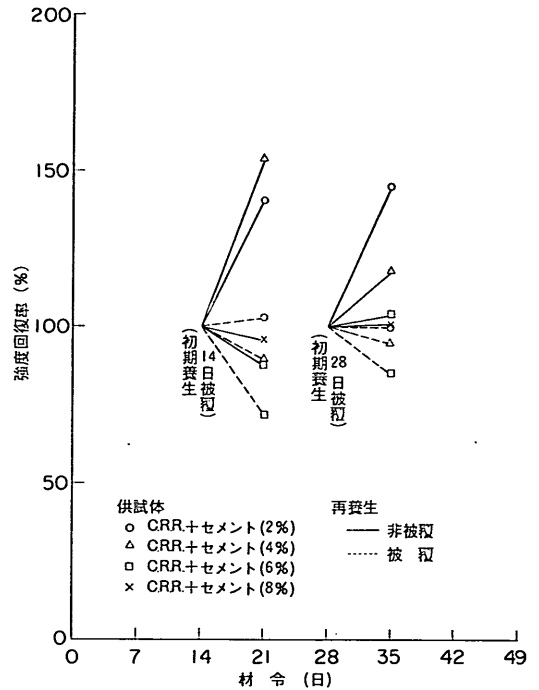


図-3.11 C.R.R. の強度回復の様子

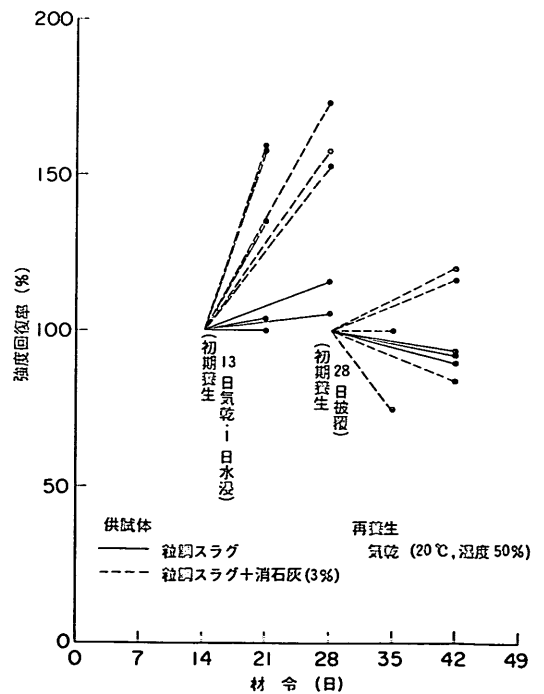


図-3.12 粒調スラグの強度回復の様子

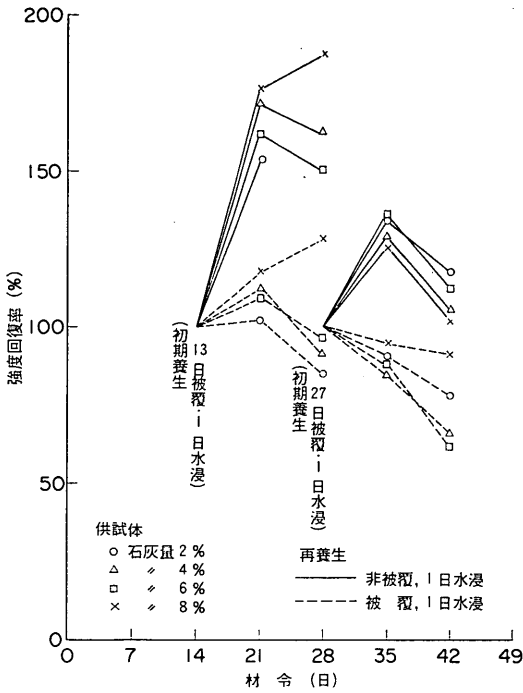


図-3.13 石灰安定処理材の強度回復の様子

ント量の多いものほど材令とともに強度回復率が小さくもなっている。また粒調スラグについては、図-3.12から、材令が小さいほど強度回復率が大きく、消石灰3%を添加したものの方が全体的には若干強度回復率が大きい傾向にあることがわかる。石灰安定処理材については、図-3.13から、粒調スラグ同様材令が小さいほど強度回復率は大きく、再々試験になると再試験より強度が小さくなり、石灰量が多いほど強度回復率が大きいなどの事実がわかる。

このほかいずれの場合にも、再養生が被覆より気乾の方が強度が大きくでている。これは3.2で述べたように、気乾養生の方が短期に強度が発現することによるもので、自癒作用に水分が不必要ということではない。実際の舗装体では被覆養生と気乾養生の中間の状態が考えられるので、一応目安として両者について試験を実施した。

3.6 室内試験からの等値換算係数の推定

3.1でも述べたように、舗装路盤の等値換算係数は、多方面から検討されて決定される。路盤効果の評価の1つの側面に、層の強度とか荷重分散機能がある。これを最もよく表わす特性が変形係数である。竹下は路盤の相対強度係数(a)と変形係数(E)とを関係づけ次式で表わした¹¹⁾。

$$a = 0.00525E^{0.46} \dots\dots(5)$$

今回対象とした材料については、室内試験から図-3.9, 3.10のような変形係数が求まっている。試験のばらつきその他を考慮し、図中の実線の関係を平均的に用いることとし、図-3.6~3.8の材令と一軸圧縮強度の関係を仲介すると、材令と変形係数の関係が求まる。各材料の各材令での変形係数をまず求め、これらを式(5)に代入し a を算出し、この a から等値換算係数を求めたものが表-3.1である。等値換算係数 E_q には、表層アスコンを基準にとった場合¹¹⁾(表層アスコンの $a=0.44$)の E_{q1} と、上層路盤の粒状材(粒調碎石)を基準にとった場合の E_{q2} とが示されている。

空港舗装の場合、上層路盤の等値換算係数を、粒調碎石路盤を基準にして表わすのが一般的¹²⁾で、表-3.1の E_{q2} ような形にして使う。 E_{q2} は、図-3.14で、粒調碎石路盤の舗装Aとそれ以外の材料の路盤を持つ舗装Bとが等しい供用性を持つ場合に、次式で定義される。

$$E_q = \frac{h_{2A}}{h_{2B}} \text{ (ただし } h_{1A} = h_{1B} \text{)} \dots\dots(6)$$

4.5などで、等値換算係数を検討する場合には、この定義によるものを主体的に使うことにする。

路盤の評価は変形係数だけからなるものでないことは十分認識される場所であるが、逆に密接な関連のあることも事実である。表-3.1からみればかぎりにおいては、今回対象とした材料について、路盤の等値換算係数として以下のようなことがいえそうである。

- (i) C.R.R.の被覆養生のものは、粒調碎石並の等値換算係数しかない。
- (ii) C.R.R.の気乾養生のものは、粒調碎石より若干大きい等値換算係数がとれる。
- (iii) C.R.R.にセメントを2%添加したものは、一般に用いる材令7日の一軸圧縮強度が30 kg/cm²

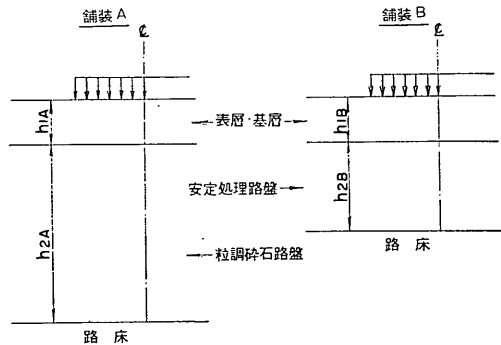


図-3.14 粒調碎石を基準にした路盤の等値換算係数の説明図

潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

表-3.1 変形係数から求めた路盤の等値換算係数

材料種別	材令 (日)	σ_c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	a	E_q	
					E_{q1} 表層・基層アスコンを1.0とした場合	E_{q2} 粒調碎石を1.0とした場合
C. R. R. (被覆養生)	14	5	1,550	0.15	0.35	1.00
	28	6	1,750	0.16	0.37	1.06
	60	6	1,750	0.16	0.37	1.05
C. R. R. (気乾養生)	14	12	2,600	0.20	0.44	1.26
	28	14	2,900	0.21	0.48	1.37
	60	16	3,100	0.21	0.48	1.37
C. R. R+ セメント(2%) (被覆養生)	14	26	4,100	0.24	0.55	1.57
	28	31	4,600	0.25	0.57	1.62
	60	34	4,900	0.26	0.59	1.69
粒調スラグ (被覆養生)	14	5	1,550	0.15	0.35	1.00
	28	9	2,200	0.18	0.41	1.17
	60	13	2,800	0.20	0.46	1.31
石灰安定処理材 (消石灰4%) (被覆養生)	14	46	6,400	0.30	0.67	1.91
	28	61	9,600	0.36	0.81	2.31
	60	75	13,000	0.41	0.93	2.66
石灰安定処理材 (消石灰8%) (被覆養生)	14	46	6,400	0.30	0.67	1.91
	28	62	9,800	0.36	0.81	2.31
	60	88	17,000	0.46	1.05	3.00

※ σ_c から E を求める場合 $\sigma_c \leq 40 \text{kg/cm}^2$ のとき図-3.10
 $\sigma_c > 40 \text{kg/cm}^2$ のとき図-3.9

以上のセメント安定処理材並の等値換算係数を持つ。

- (iv) C. R. R. 関係の材料では、材令による等値換算係数の増加はほとんどない。
- (v) 粒調スラグの被覆養生のものは、材令14日程度では粒調碎石並で、以降徐々に等値換算係数を大きくしていくが、その程度は遅い。
- (vi) 石灰安定処理材は、石灰量4%のものも8%のものも、いずれも当初から大きな等値換算係数を持ち、以降の増加も大きい。長期的にはセメント安定処理材よりはるかに大きな等値換算係数を持ちそうである。

4. 試験舗装による検討

4.1 概 説

AASHO 道路試験およびそれ以降の多くの研究によつて、舗装各層の等値換算係数は単に層の剛性や舗装の応答特性のみで決まるものではなく、長期間の舗装の寿命、もっと具体的にいえば舗装の供用性が重要な要素になるものであることは広く知られるところである。この辺の検討には、実際の交通あるいはそれに近いものもとで現地舗装あるいは試験舗装を評価することが不可欠であると考えられる。

本章では本研究で対象とした潜在水硬性材料を路盤に用いた試験舗装を紹介し、試験舗装での各種試験の結果を示し、あわせてこれらの結果に基づく路盤の等値換算係数の推定について言及する。

4.2 試験舗装の製作

今回の試験舗装は、アスファルト安定処理材やセメント安定処理材などを空港舗装路盤として適用する場合の

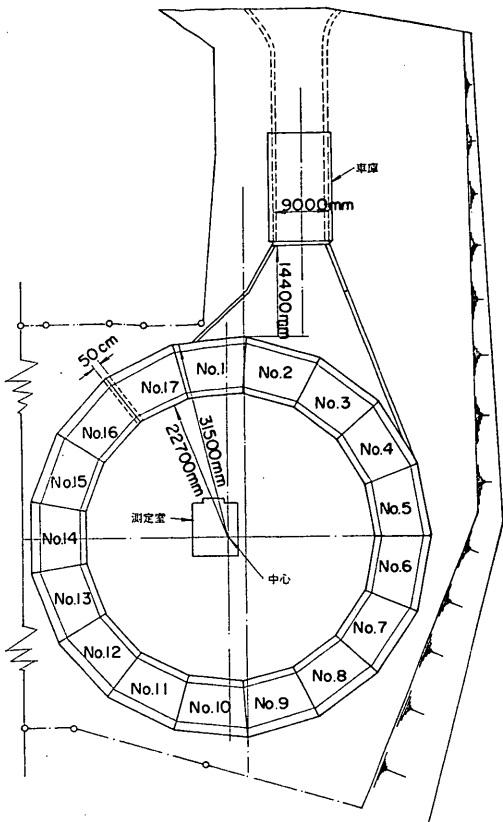


図-4.1 試験舗装の平面図

等値換算係数の検討などに使った第1回の試験舗装¹²⁾(図-4.1)のうち、No. 11~15を解体し、路床を60cm掘削し、再整正した上に制作したものである。

路床土の土性は図-4.2および表-4.1のとおりで、念の

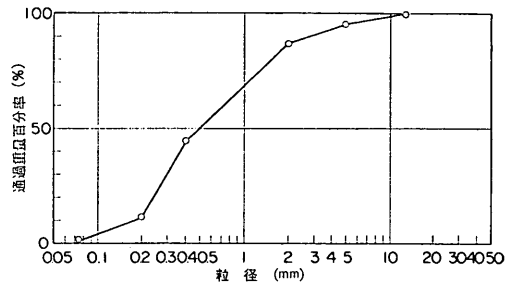


図-4.2 路床土の粒度

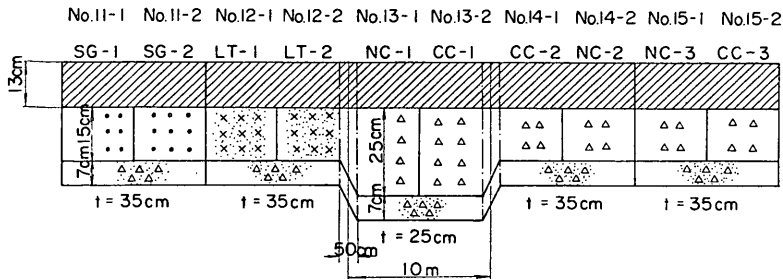
表-4.1 路床土の土性

項 目	試 験 結 果
比 重	2.73
統 一 土 質 分 類 名	SP
最 適 含 水 比	12.1%
最 大 乾 燥 密 度	1.815g/cm ³

ため今回も実施した現場 CBR 試験によれば、現場 CBR の平均は14.3%で、第1回の試験舗装の場合の13.1%とほとんど同様であった。

今回実施した試験舗装の構造は図-4.3のとおりで、全5区画、10断面である。同一区画内は、同じ路盤厚と類似の路盤材料を用いている。第1回の試験舗装と比べ、上層路盤に潜在水硬性材料を用いた点、および一部で路盤厚を25cmにした点異なる。他の条件はほぼ同一になるようにしてある。

試験舗装の各断面には、路床に土圧計を、路床、路盤、路面に沈下計を、表、基層に歪計、温度計を埋設した。図-4.4はそれぞれの計器の平面位置で、図-4.5、4.6



凡 例

- 表層・基層
- 粒調スラグ (SG)
- 石灰安定処理材 (LT)
- コーラルリーフロック (流しコーラル: NC, クラッシュコーラル: CC)

図-4.3 試験舗装の断面図

潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

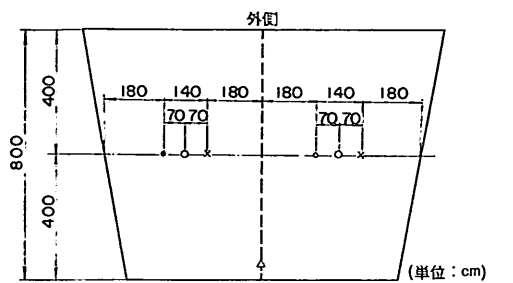


図-4.4 埋設計器の平面位置

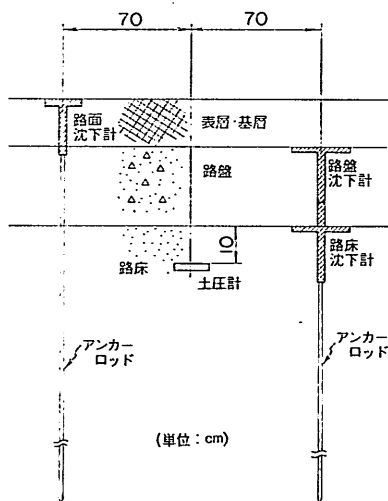


図-4.5 土圧計, 沈下計の断面位置

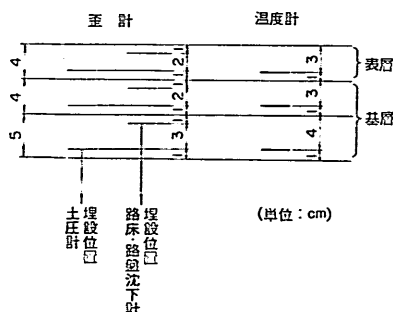


図-4.6 歪計, 温度計の断面位置

は断面位置である。

各断面の路盤材料としては、2. で説明したものを用い、十分な材質管理ならびに施工管理のもとに舗装され

表-4.2 試験舗装製作のさいの施工管理基準

	材質基準	施工管理基準
路床		仕上り密度: JIS A 1210 の 2.3 の γ_{emax} の 95% 以上
下層路盤	空港土木工事共通仕様書の粒度調整碎石	仕上り密度: JIS A 1210 の 2.5 の γ_{emax} の 98% 以上 施工含水比: $w_{opt} \pm 1(\%)$
粒調スラグ路盤	道路用スラグ JIS 案	仕上り密度: JIS A 1210 の 2.5 の γ_{emax} の 98% 以上 施工含水比: $w_{opt} \pm 1(\%)$
石灰安定処理材路盤		仕上り密度: JIS A 1210 の 2.5 の γ_{emax} の 98% 以上 施工含水比: $w_{opt} \pm 1(\%)$
コーラルリーフロック路盤		仕上り密度: JIS A 1210 の 2.5 の γ_{emax} の 98% 以上 施工含水比: $w_{opt} \pm 1(\%)$

た。表-4.2は試験舗装の製作に適用した施工管理基準である。潜在水硬性の路盤材料の材令による支持力変化を観察するために、路盤施工後、C. R. R. 関係の路盤は約11か月、粒調スラグと石灰安定処理材の路盤は約2.5か月、基層、表層の舗装を行なわなかった。この間各路盤は、麻袋とシートにより養生、保護がなされた。

基層、表層は、それぞれ所定の材質のアスファルトコンクリートを用い一斉に舗装された。全区画はまったく同じ基層、表層によりなり、この点で差異がでないようになされている。施工管理試験結果は表-4.2の基準を満足し、十分良好な試験舗装が製作された。

4.3 路盤支持力試験

今回の試験は路盤材料についてであり、しかも潜在水硬性のある材料を対象としていることから、試験舗装の製作に際し、路盤の支持力の材令との関係を調べた。支持力として平板荷重試験による支持力係数ならびにベンケルマンたわみ試験による弾性たわみを考えた。平板荷重試験は JIS A 1215¹³⁾ に準じ、支持力係数を求める沈下量は 0.125cm を用いた。ベンケルマンたわみ試験は、アスファルト舗装要綱の付録にある復元たわみを求める方法により、試験荷重は荷荷重 5t、タイヤ圧 6.5kg/cm² を用いた。

図-4.7は各種上層路盤面上における K_{30} の材令による変化で、図-4.8はベンケルマンたわみ量の材令による変化である。路床および下層路盤は各区画とも同一であるので、 K_{30} の増加あるいはベンケルマンたわみ量の減少は、上層路盤材の硬化によるものと考えられる。C.R.R. 関係の路盤は、材令半月ぐらいいかなり大きな支持力を示す半面、以降の増加はほとんどなく全体的にはほぼ一

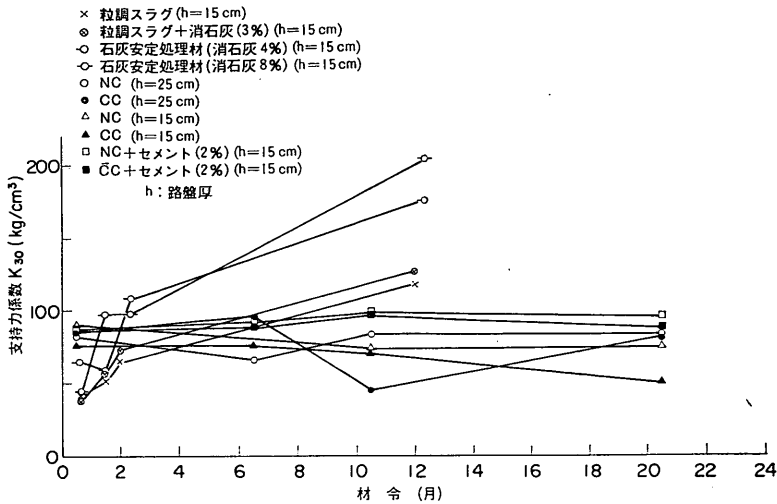


図-4.7 路盤上支持力係数の材令による変化

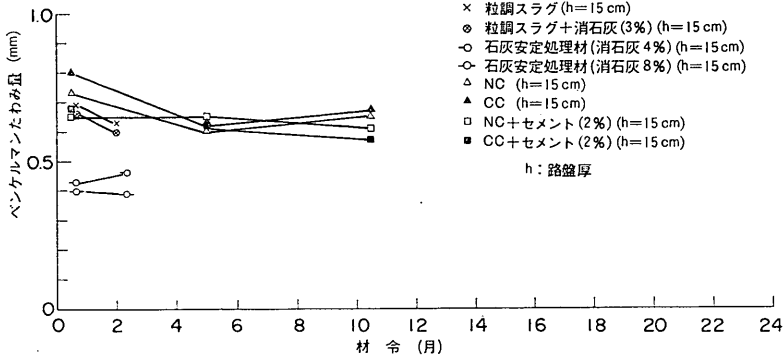


図-4.8 路盤上ベンケルマンたわみ量の材令による変化

定に近い。これに対し粒調スラグあるいは石灰安定処理材の路盤は、材令初期の支持力は小さいが以降の伸びは大きく、2～3か月経過後にはC. R. R. の支持力を上廻り、1年も経つと K_{30} で $100\sim 200\text{kg/cm}^2$ と極めて大きな値を示す。図-4.8で石灰安定処理材路盤上のベンケルマンたわみ量が材令初期から著しく小さいのは、他の試験結果と符号しない点で、その理由はわからない。

比較的室内試験の傾向なども一致している図-4.7の K_{30} の結果を用い、下層路盤面上の K_{30} との間に Barber の2層弾性理論¹⁵⁾を適用して上層路盤の変形係数を求めてみたものが図-4.9である。材料から下層路盤面上の K 値は材令にかかわらず一定にとっているため、図-4.9の傾向は図-4.7の傾向と相似である。図-4.9の変形係数は、全体的に3. で調べた室内試験での変形係数よりかなり大きい。供試体によるものと実際に層状になったものとの差であろう。

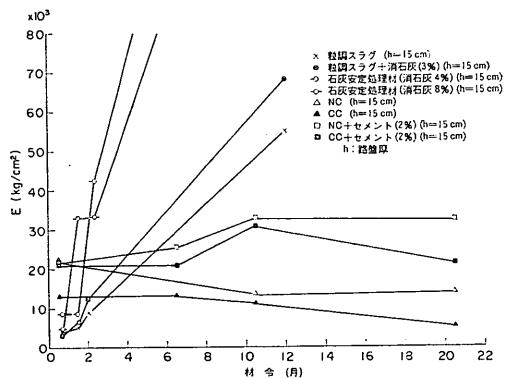


図-4.9 路盤の変形係数の材令による変化

4.4 舗装載荷試験

一般に舗装上には交通荷重が繰り返して載る。したがって舗装構造を検討する場合、実際の大きさの荷重を繰り返して載荷して試みるのが大切である。基層、表層の

潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

舗設後舗装表面では、写真-4.1のような原型走行荷重車¹⁶⁾を用いて、各種舗装断面で載荷試験および走行試験を実施した。

原型走行荷重車には大型航空機のDC-8-63と同じ複々車輪の脚(複車輪間隔 $S=80\text{cm}$, 複々車輪間隔 $S_T=140\text{cm}$)が付き、ここを通して所定の荷重が舗装に加わ

表-4.3 試験用荷重条件

荷重種別	タイヤ内圧 (kg/cm ²)	タイヤ接地圧 (kg/cm ²)	タイヤ接地面積 (cm ²)	脚荷重 (t)	試験種別
標準荷重	14.0	13.4	1,378	73.6	静・動的載荷試験, 走行試験

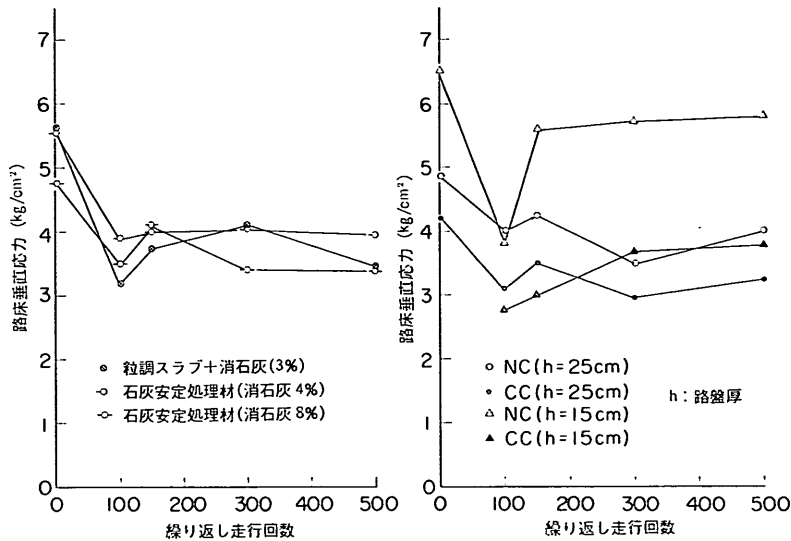


図-4.10 繰り返し走行回数と静的載荷時路床垂直応力の関係

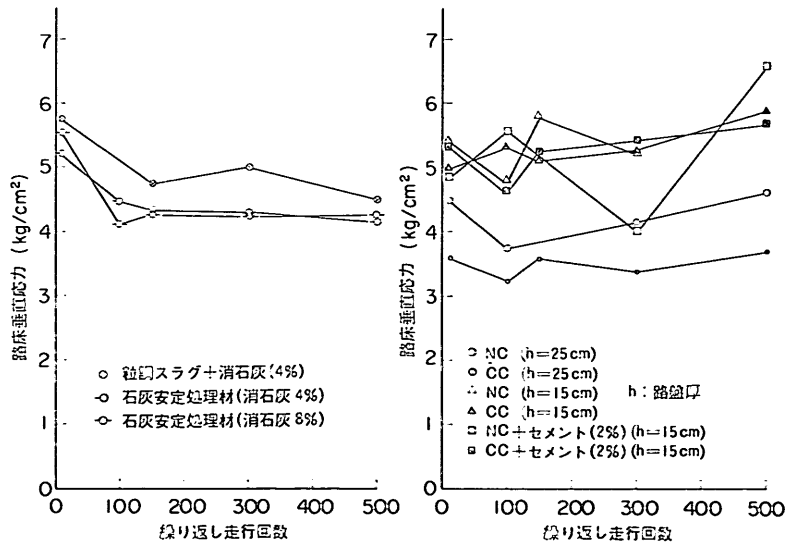


図-4.11 繰り返し走行回数と動的載荷時路床垂直応力の関係

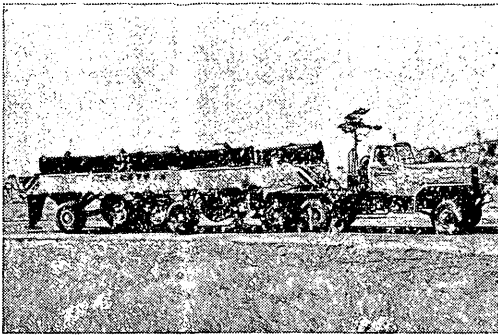


写真-4.1 原型走行荷重車

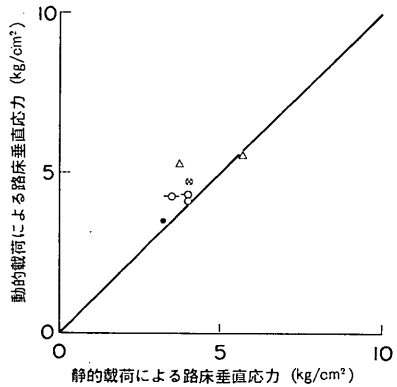


図-4.12 静的荷荷時路床垂直応力と動的荷荷時路床垂直応力の関係

るようになっている。原型走行荷重車によれば、所定の脚荷重のもとに静的および動的な荷荷試験ができると同時に、走行することにより舗装に走行荷重を与えて繰

返し荷荷試験もできる。試験に用いた荷重条件は表-4.3のとおりで、近年の大型航空機の満載時の重量にはほぼ近いものである。

路盤材料の材令がC.R.R.で14.5か月、粒調スラグ、石灰安定処理材で6か月の時点において、表-4.3の標準荷重を用いて荷荷試験および走行試験を開始した。これら試験の走行線は、原型走行荷重車の主脚の内側の車輪が試験舗装の中心線すなわち計器の埋設されている線上を通過するようにとった。走行試験と平行しての静的および動的な荷荷試験であり、舗装各層の挙動は繰り返し走行回数との関係でまとめることができる。

図-4.10, 4.11は繰り返し走行回数と路床垂直応力の関係で、図-4.10が静的荷荷の場合、図-4.11が動的荷荷の場合である。ここで動的荷荷といっても、原型走行荷重車の走行速度は7km/h程度で、図-4.12のように静的荷荷による路床垂直応力の値と動的荷荷による路床垂直応力の値はほぼ近く、一般にいわれる動的荷荷時に路床垂直応力が小さくなるという現象¹⁷⁾は、この程度の荷荷速度では顕著にはみられない。各断面の路床垂直応力について図-4.10, 4.11の結果からはほぼ全般にわたりみられる傾向に、初回の値が大きく、繰り返し走行回数100回程度以降はほぼ一定値になることがある。交通の繰り返しにより路盤がひびわれやすくなることによって、路床応力が大きくなる現象はここではみられず、逆に各層の圧縮により変形係数が大きくなり、路床垂直応力が減少したものと考えられる。

沈下についてはまず各層の弾性沈下を考える。図-4.13

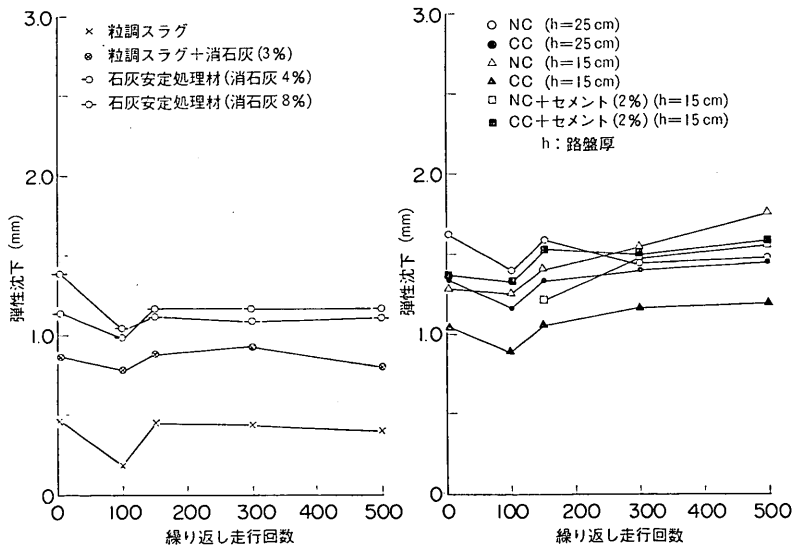


図-4.13 繰り返し走行回数と静的荷荷時路面弾性沈下の関係

潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

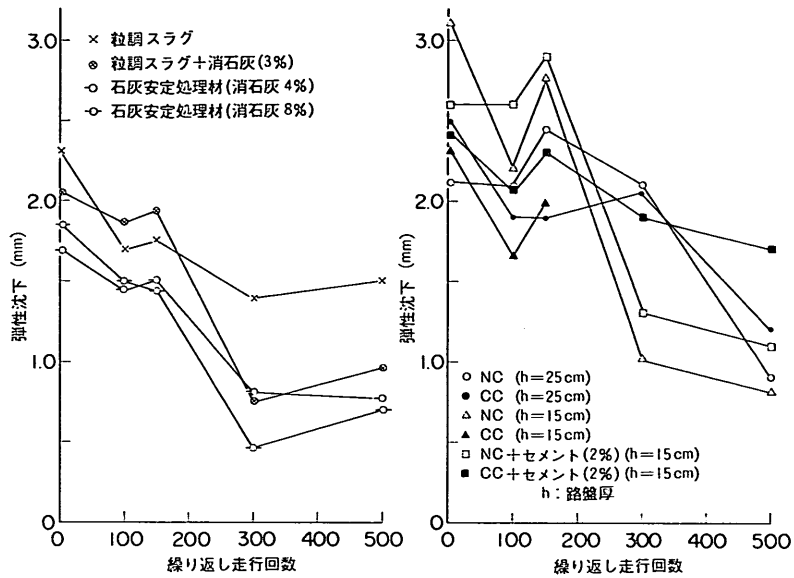


図-4.14 繰り返し走行回数と静的載荷時路面弾性沈下の関係

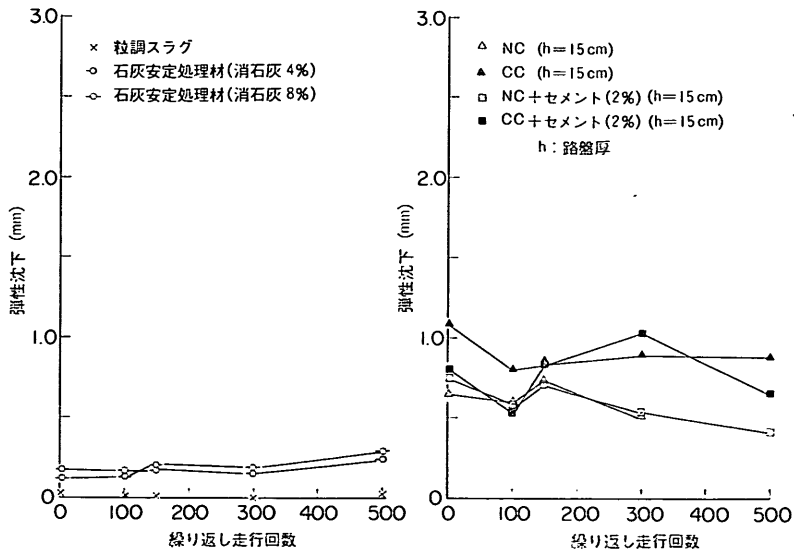


図-4.15 繰り返し走行回数と静的載荷時路盤弾性沈下の関係

は繰り返し走行回数と路床面の弾性沈下の関係であるが、静的載荷の場合と動的載荷の場合ではほとんど差がないので、静的載荷時の結果だけを示している。図-4.14は繰り返し走行回数と路面の弾性沈下の関係で、やはり静的載荷時での結果である。路盤自身の弾性沈下についても図-4.15に静的載荷時の結果を示している。データのばらつきは大きいですが、図-4.13～4.15からは、各層の弾性沈下は繰り返し走行回数とともに減少するかほぼ一

定で、路床垂直応力について検討したのと同様に、路盤がひびわれたりすることによる弾性沈下の増大といった傾向はみられない。繰り返し走行回数とともに弾性沈下が減少するのは、路床垂直応力が減少するのと同様な理由と考えられる。

次に沈下でも交通の繰り返しによって累積していく永久変形について調べる。試験舗装上を原型走行荷重車が繰り返し走行すると、路床および舗装は永久変形を大

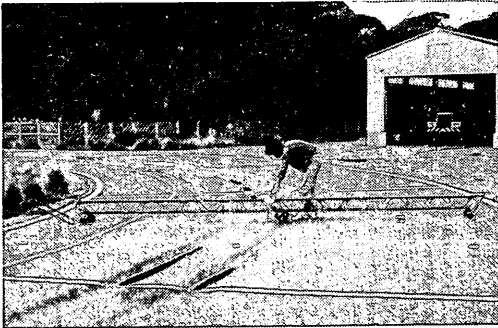


写真-4.2 路面凹凸計による舗装表面横断形状の測定
 きくしていき、交通に対する供用性を減じる。各層に埋
 設された沈下計のほか、スパン6mの路面凹凸計を用い
 て舗装表面の塑性沈下の変化を調べた。写真-4.2は舗装
 上の定点に路面凹凸計を設置し、舗装表面の横断形状を
 測定しているところである。

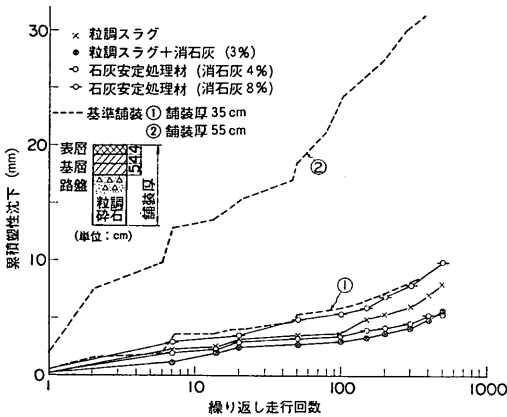


図-4.16 縦り返し走行回数と路床累積塑性沈下の関係 (舗装区画 No. 11, 12)

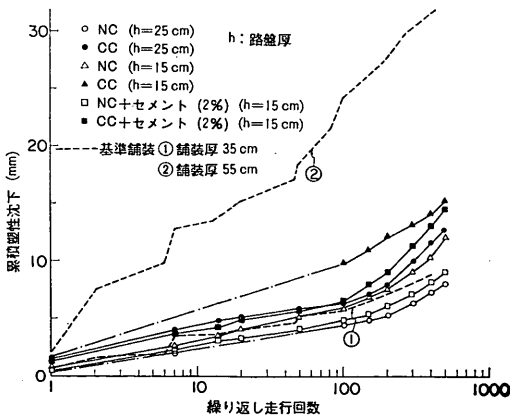


図-4.17 縦り返し走行回数と路床累積塑性沈下の関係 (舗装区画 No. 13~15)

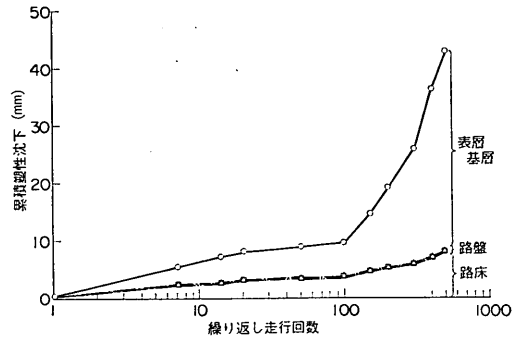


図-4.18 縦り返し走行回数と舗装各層の累積塑性沈下の関係 (舗装区画 No. 11-1)

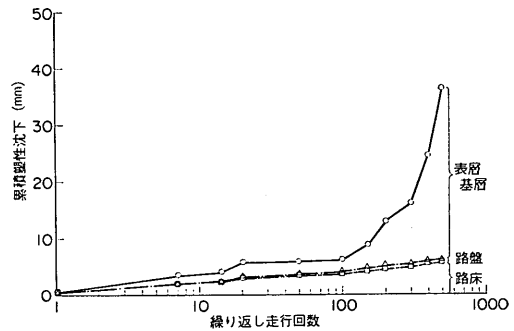


図-4.19 縦り返し走行回数と舗装各層の累積塑性沈下の関係 (舗装区画 No. 12-1)

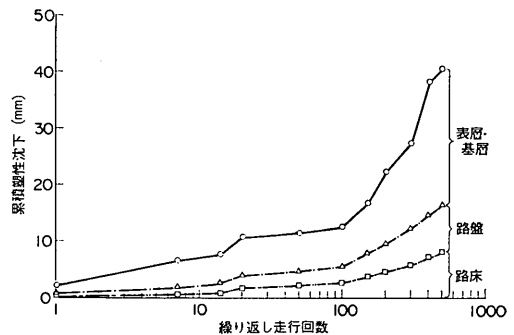


図-4.20 縦り返し走行回数と舗装各層の累積塑性沈下の関係 (舗装区画 No. 13-1)

図-4.16, 4.17は、縦り返し走行回数とともに各断面の路床面がどのように永久変形を大きくしていくかの様子を示したもので、第1回試験舗装で観察された標準的な粒調碎石路盤の舗装 (基準舗装) の場合¹²⁾についてもあわせ示している。同じ路盤厚の粒調碎石路盤の場合に比べ、今回の測定結果はいずれもはるかに小さい。また粒調スラグと石灰安定処理材の場合はほぼ同様な結果で、これらはC.R.R.の場合よりも全般に小さいこともわかる。

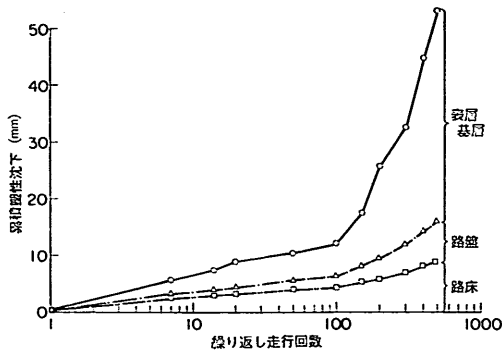


図-4.21 繰り返し走行回数と舗装各層の累積塑性沈下の関係 (舗装区画 No. 15-1)

路盤の累積塑性沈下については、図-4.18~4.21に測定結果の一部を示している。これらからわかるように、粒調スラグ、石灰安定処理材の路盤は、それ自身の永久変形はほぼ0に近い。これに対し、C.R.R.の路盤は、骨材の粒度が粗く、また若干もろく破碎されやすいこともあり、さほどではないが路盤自身で累積塑性沈下をしている。

最後に路床を含めて舗装全体の累積塑性沈下はどうであろうか。路面凹凸計による結果から、図-4.22に繰り返し走行回数と路面の累積塑性沈下の関係を示す。これから、粒調スラグ、石灰安定処理材を路盤に使った断面はほぼ類似の傾向にあり、C.R.R.を路盤に使った断面

の累積塑性沈下は、粒調スラグ、石灰安定処理材の場合に比べて全般的にやや大きいことがわかる。

4.5 試験舗装からの等値換算係数の推定

3.6では路盤の等値換算係数を層の強度あるいは荷重分散機能から調べた。同様なことを試験舗装の路盤の支持力から求めたものが表-4.4である。表-4.4の a の値は式(5)から計算したもので、この式に代入する路盤の変形係数 E としては図-4.9を用いた。表-4.4の結果を表-3.1と比べると、全般に表-4.4の方が大きく、特にC.R.R.関係で著しいことが認められる。

今まで随所で述べているように、路盤の等値換算係数を決定するには、路盤の変形係数を考えるだけでは不十分で、実際の交通下での舗装の挙動を調べ、これからの等値換算係数も考慮しなければならない。以下では、現地状況をほぼ再現した試験舗装での結果から、対象荷重が繰り返し載ったときの舗装の挙動を解析し、舗装の供用効果といった面からの等値換算係数を検討する。

今回試験舗装上で載荷試験ならびに走行試験を実施したのは、C.R.R.の路盤の区画で路盤施工後14.5か月経た時点であり、粒調スラグおよび石灰安定処理材路盤の区画で6か月経過した時点であった。したがってここで述べる載荷試験および走行試験結果に基づく路盤の等値換算係数は、上記材令での値ということになる。

種々の材料からなる大変複雑な構造である舗装の挙動

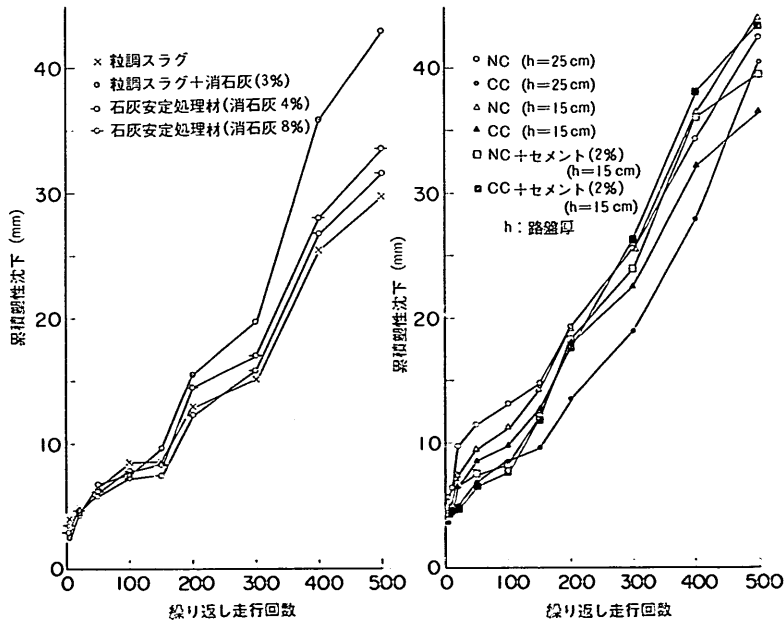


図-4.22 繰り返し走行回数と路面累積塑性沈下の関係

表-4.4 試験路盤の変形係数から求めた等値換算係数

材 料 種 別	材 令 (月)	E (kg/cm ²)	a	E _q	
				表層・基層アスコン を1.0とした場合	粒調碎石を1.0と した場合
C. R. R.	0.5	13,000	0.41	0.93	2.66
	6.5	13,000	0.41	0.93	2.66
	10.5	11,000	0.38	0.86	2.46
C. R. R. + セメント(2%)	0.5	21,000	0.51	1.16	3.31
	6.5	21,000	0.51	1.16	3.31
	10.5	30,500	0.60	1.36	3.89
粒 調 ス ラ グ	0.5	4,000	0.24	0.55	1.57
	1.5	5,000	0.26	0.59	1.69
	2.0	9,000	0.35	0.80	2.29
	12.0	55,000	0.80	1.82	5.20
粒調スラグ消石 灰(3%)	0.5	3,300	0.22	0.50	1.43
	1.5	6,500	0.30	0.68	1.94
	2.0	12,500	0.40	0.91	2.60
	12.0	68,000	0.88	2.00	5.71
石灰安定処理材 (消石灰4%)	0.5	8,500	0.34	0.77	2.20
	1.5	8,500	0.34	0.77	2.20
	2.5	42,500	0.71	1.61	4.60
	6.5	118,000	1.13	2.57	7.34
石灰安定処理材 (消石灰8%)	0.5	4,700	0.26	0.59	1.69
	1.5	33,000	0.63	1.43	4.09
	2.5	33,000	0.63	1.43	4.09
	6.5	92,000	1.01	2.30	6.57

を、すべての点で掌握することは不可能である。また路盤の等値換算係数の検討にはその必要もない。今までの経験¹²⁾からは、路床の垂直応力、舗装各層の弾性沈下および累積塑性沈下などがわかれば、一応の検討はできる。

まず舗装の中で最も破壊の原因になりやすい路床について、路床垂直応力、路床面弾性沈下、路床面累積塑性沈下により検討する。

各断面の路床垂直応力の結果は図-4.10, 4.11である。一方、今回の試験舗装とはほぼ同一の支持力を持つ路床上の基準舗装での結果が図-4.23である¹²⁾。この図には、

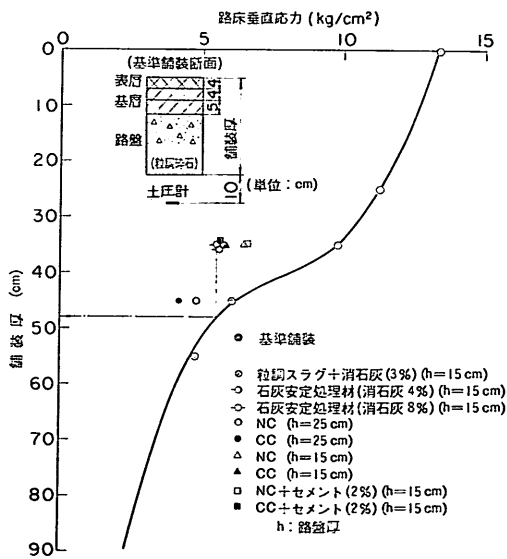
今回の試験舗装の各断面の路床垂直応力の測定結果のうち、最大のものもあわせて示しているが、そのいずれもが同じ基準舗装厚の場合よりも小さくなっている。今回の試験舗装の表層・基層厚とこの基準舗装の表層・基層厚は同じなので、図-4.10, 4.11の測定結果を図-4.23と比較し式(6)を用いることにより、今回対象にした各種路盤材料について表-4.5のように路盤の等値換算係数が求まる。ここで厳密には、基準舗装の結果が表層・基層の平均温度 35°C のときのもので、今回の結果が平均温度 45°C のときのものである。その温度差を考慮すべきところである。しかしその影響を定量的に求めること

潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

表-4.5 路床垂直応力を基準にして求めた路盤の等値換算係数

舗装区画	路盤材料	路盤厚 (cm)	繰り返し走行回数*		
			~10	150	500
No. 11-1	粒調スラグ	15	—	—	—
No. 11-2	粒調スラグ+消石灰(3%)	15	1.8(5.75)	2.2(4.75)	2.4(4.5)
No. 12-1	石灰安定処理材(消石灰4%)	15	1.8(5.55)	2.5(4.3)	2.6(4.2)
No. 12-2	石灰安定処理材(消石灰8%)	15	1.8(5.55)	2.5(4.25)	2.5(4.25)
No. 13-1	NC	25	1.3(4.8)	1.5(4.25)	1.4(4.6)
No. 13-2	CC	25	1.6(4.2)	1.8(3.6)	1.8(3.7)
No. 14-2	NC	15	1.6(6.5)	1.8(5.75)	1.8(5.8)
No. 14-1	CC	15	2.1(5.0)	2.1(5.1)	1.7(5.9)
No. 15-1	NC+セメント(2%)	15	2.1(4.9)	—	1.6(6.6)
No. 15-2	CC+セメント(2%)	15	1.9(5.3)	2.0(5.25)	1.8(5.7)

* () 内の数字は路床垂直応力 (kg/cm²)



は困難であり、後で述べる路面の累積塑性沈下を除いては影響はさほどでないこと、両者を直接比較して求まる等値換算係数は安全側にくることなどから、路面の累積塑性沈下の場合以外はその影響は無視して等値換算係数を求めることにする。

表-4.5では、粒調スラグ、石灰安定処理材の等値換算係数がC.R.R.の等値換算係数より大きく、C.R.R.では、セメントを添加したものがC.R.R.自身のものより

やや大きい。繰り返し走行回数との関係では、C.R.R.ではほぼ一定であるのに対し、粒調スラグ、石灰安定処理材の場合、繰り返し走行回数10回までの等値換算係数より150回の方がかなり大きく、それ以降はほぼ同じ値になっている。

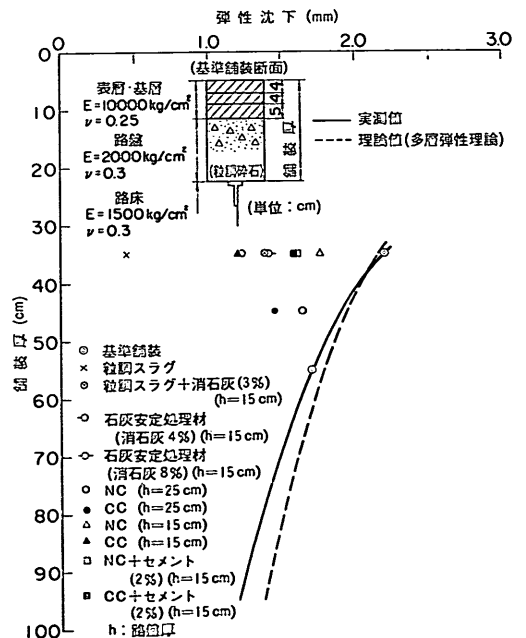


表-4.6 路床面弾性沈下を基準にして求めた路盤の等値換算係数

舗装区画	路 盤 材 料	路 盤 厚 (cm)	繰り返し走行回数*		
			~10	150	500
No. 11-1	粒 調 ス ラ グ	15	4<(0.46)	4<(0.45)	4<(0.40)
No. 11-2	粒調スラグ+消石灰(3%)	15	4<(0.98)	3.8(1.39)	4<(0.80)
No. 12-1	石灰安定処理材(消石灰4%)	15	4<(1.15)	4<(1.24)	4<(1.18)
No. 12-2	石灰安定処理材(消石灰8%)	15	3.7(1.42)	4<(1.32)	4<(1.10)
No. 13-1	NC	25	1.6(1.62)	1.5(1.66)	2.0(1.48)
No. 13-2	CC	25	2.4(1.35)	2.3(1.40)	2.1(1.45)
No. 14-2	NC	15	3.6(1.43)	3.5(1.45)	2.2(1.75)
No. 14-1	CC	15	4<(1.05)	4<(1.05)	4<(1.19)
No. 15-1	NC+セメント(2%)	15	4<(0.81)	4<(1.21)	3.0(1.55)
No. 15-2	CC+セメント(2%)	15	3.3(1.51)	3.2(1.52)	2.9(1.58)

* () の数字は路床面弾性沈下量 (mm)

路床面弾性沈下の静的荷重時の測定値である図-4.13, および動的荷重時の測定値を, 基準舗装における結果での図-4.24¹²⁾と比較することにより, 路床垂直応力の場合と同様に等値換算係数を求めたものが表-4.6である。図-4.24の実測を表わす曲線は, 実測値が少ないためほぼ対応する理論曲線に相似に引いている。理論曲線は多層弾性プログラム BISAR¹³⁾を用いて計算したものである。路床垂直応力の場合と同様に, 粒調スラグ, 石灰安定処理材の等値換算係数が極めて大きく, C.R.R. ではセメントを添加したものが大きい。繰り返し走行回数との関係では, 結果にばらつきはあるがほぼ一定のようである。

舗装の供用性に最も影響の大きいのは累積塑性沈下である。空港舗装の場合, 路床以下での累積塑性沈下もかなり大きくばかにならない。図-4.16, 4.17において実線で示す今回の試験の路床面累積塑性沈下の関係を, 図-4.25のようにまとめた基準舗装での結果¹²⁾と比較すると, 路床面累積塑性沈下を基準にした等値換算係数が求まる。算出された結果をとりまとめたものが表-4.7である。表-4.7においても, 粒調スラグ, 石灰安定処理材の等値換算係数が大きく, C.R.R. ではやはりセメントを添加したものがやや大きめである。繰り返し走行回数の増加によっても等値換算係数はほぼ一定とみられる。

路床に関して3つの基準から路盤の等値換算係数を検討してきたが, いずれにおいても粒調スラグ, 石灰安定処理材の等値換算係数が大きい。C.R.R. もかなり大き

い等値換算係数を持ち, 中でもセメントを2%添加したものはその効果が表われ, C.R.R. 自身のものより若干大きめの等値換算係数になっている。3つの基準の中では, 路床垂直応力から求めた等値換算係数が最小で, 路床面弾性沈下を基準にしたものが最も大きい。

次に舗装の供用性を直接的に表わす路面での各基準について考えてみる。舗装構造の耐荷力と密接な関係があ

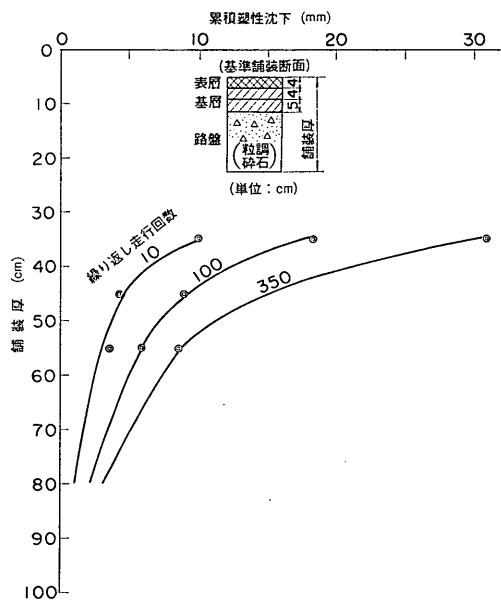


図-4.25 基準舗装厚と路床面累積塑性沈下の関係

潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

表-4.7 路床面累積塑性沈下を基準にして求めた路盤の等値換算係数

舗装区画	路盤材料	路盤厚 (cm)	繰り返し走行回数*		
			10	100	350
No. 11-1	粒調スラグ	15	2.7(2.4)	3.1(3.8)	2.9(6.5)
No. 11-2	粒調スラグ+消石灰(3%)	15	3.4(1.6)	3.5(3.0)	3.5(4.6)
No. 12-1	石灰安定処理材(消石灰4%)	15	2.9(2.1)	3.3(3.4)	3.4(5.4)
No. 12-2	石灰安定処理材(消石灰8%)	15	2.4(3.0)	2.5(5.3)	2.4(9.8)
No. 13-1	NC	25	1.7(2.4)	1.7(4.5)	1.7(6.9)
No. 13-2	CC	25	1.1(4.4)	1.3(6.3)	1.2(10.8)
No. 14-2	NC	15	2.3(3.1)	2.3(6.0)	2.2(9.7)
No. 14-1	CC	15	—	1.6(9.8)	1.8(13.5)
No. 15-1	NC+セメント(2%)	15	2.5(2.7)	2.7(4.9)	2.5(7.7)
No. 15-2	CC+セメント(2%)	15	1.9(3.9)	2.2(6.5)	1.9(12.2)

* () の数字は路床面累積塑性沈下量 (mm)

表-4.8 路面弾性沈下を基準にして求めた路盤の等値換算係数

舗装区画	路盤材料	路盤厚 (cm)	繰り返し走行回数*	
			~10	150
No. 11-1	粒調スラグ	15	4<(2.30)	4<(1.75)
No. 11-2	粒調スラグ+消石灰(3%)	15	4<(2.05)	4<(1.95)
No. 12-1	石灰安定処理材(消石灰4%)	15	4<(1.70)	4<(1.50)
No. 12-2	石灰安定処理材(消石灰8%)	15	4<(1.85)	4<(1.45)
No. 13-1	NC	25	4<(2.12)	2.8(2.44)
No. 13-2	CC	25	4<(2.50)	4<(1.90)
No. 14-2	NC	15	2.9(3.10)	3.7(2.76)
No. 14-1	CC	15	4<(2.30)	4<(1.99)
No. 15-1	NC+セメント(2%)	15	4<(2.60)	3.3(2.90)
No. 15-2	CC+セメント(2%)	15	4<(2.40)	4<(2.30)

* () の数字は路面弾性沈下量 (mm)

るといわれる路面の弾性沈下, ならびに近年の航空機の大型化にともない空港舗装の供用性の支配的な要素になっているわだちぼれ¹⁾を表わす路面累積塑性沈下により検討する。

路面弾性沈下の基準舗装における結果は図-4.26¹²⁾で, これと今回の試験舗装での測定値(図-4.14および動的荷荷時のもの)を比較することにより, 路面弾性沈下を

基準にしたときの等値換算係数が求まる。これが表-4.8である。図-4.26では実測値が少ないため, 実測値に近い値を与える多層弾性理論による計算結果も示し, これを参考にして実測の曲線を書いている。また今回の試験舗装での結果は, 基準舗装での結果に比べて著しく小さく, したがってこの弾性沈下を基準にした路盤の等値換算係数は極めて大きい値となっている。

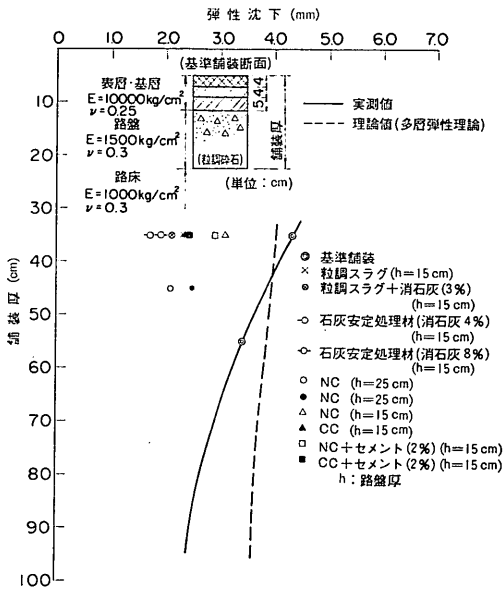


図-4.26 基準舗装厚と路面弾性沈下の関係

路面の累積塑性沈下では、図-4.18～4.21 などからもわかるように表層・基層での累積塑性沈下の割合が大きい。基準舗装での結果は図-4.27¹²⁾で、これは前に述べたように表層・基層の平均温度が35°C前後のときに得られたものである。これに対し今回の試験舗装での走行試験は、表層・基層の平均温度が45°C前後のときということで、表層・基層の累積塑性沈下および路面の累積

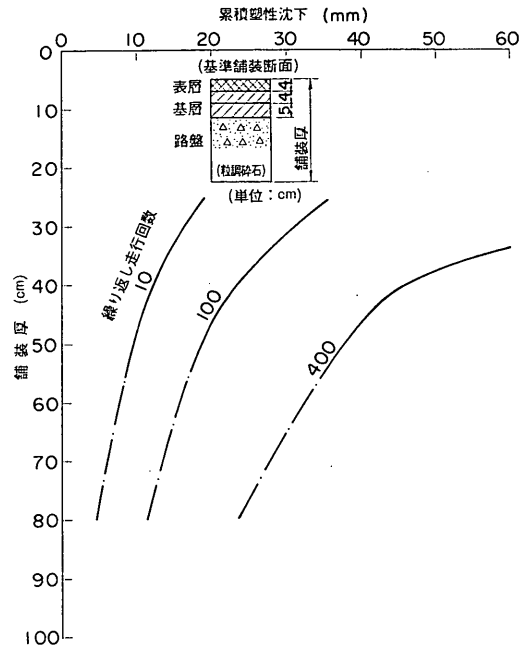


図-4.27 基準舗装厚と路面累積塑性沈下の関係

塑性沈下に、この温度の影響が顕著に入っていることが推察された。図-4.28は表層・基層部分だけの繰り返し走行回数と累積塑性沈下の関係で、やはり今回の試験結果の方が全体として大きい。緻密には温度の影響は表層・基層にとどまらないが、最も影響の大きいのが表

表-4.9 路面累積塑性沈下を基準にして求めた路盤の等値換算係数

舗装区画	路盤材料	路盤厚 (cm)	繰り返し走行回数*		
			10	100	400
No. 11-1	粒調スラグ	15	4<(3.0)	4<(7.5)	4<(21.5)
No. 11-2	粒調スラグ+消石灰(3%)	15	4<(2.5)	4<(6.5)	2.7(32.0)
No. 12-1	石灰安定処理材(消石灰4%)	15	4<(2.5)	4<(6.0)	4<(22.7)
No. 12-2	石灰安定処理材(消石灰8%)	15	4<(3.0)	4<(7.0)	3.9(24.0)
No. 13-1	NC	25	2.1(5.5)	2.3(12.0)	1.7(30.5)
No. 13-2	CC	25	4<(3.0)	4<(7.5)	2.3(24.0)
No. 14-2	NC	15	4<(4.0)	4<(10.0)	2.6(32.5)
No. 14-1	CC	15	4<(3.5)	4<(8.8)	3.3(28.0)
No. 15-1	NC+セメント(2%)	15	4<(3.0)	4<(7.5)	2.7(32.0)
No. 15-2	CC+セメント(2%)	15	4<(3.5)	4<(6.5)	2.5(34.0)

* () 内の数字は路面累積塑性沈下量 (mm)

潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

表-4.10 各種基準から求めた路盤の等値換算係数

舗装区画	路盤材料	路盤厚 (cm)	評 価 基 準				
			路床垂直応力	路面弾性沈下	路面累積塑性沈下	路面弾性沈下	路面累積塑性沈下
No. 11-1	粒調スラグ	15	—	4<	2.7	4<	4<
No. 11-2	粒調スラグ+消石灰(3%)	15	1.8	3.8	3.4	4<	2.7
No. 12-1	石灰安定処理材(消石灰4%)	15	1.8	4<	2.9	4<	4<
No. 12-2	石灰安定処理材(消石灰8%)	15	1.8	3.7	2.4	4<	3.9
No. 13-1	NC	25	1.3	1.5	1.7	2.8	1.7
No. 13-2	CC	25	1.6	2.1	1.1	4<	2.3
No. 14-2	NC	15	1.6	2.2	2.2	2.9	2.6
No. 14-1	CC	15	1.7	4<	1.6	4<	3.3
No. 15-1	NC+セメント(2%)	15	1.6	3.0	2.5	3.3	2.7
No. 15-2	CC+セメント(2%)	15	1.8	2.9	1.9	4<	2.5

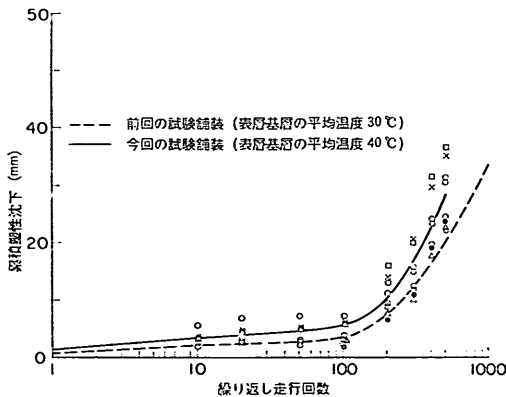


図-4.28 繰り返し走行回数と表層・基層の累積塑性沈下の関係

層・基層で、他はさほどでないと考えられることから、今回の試験舗装での結果(図-4.22)から図-4.28の両者の差だけ引き、それを図-4.27と比較することにより、路面累積塑性沈下を基準とした路盤の等値換算係数を表-4.9ように求めた。繰り返し走行回数400回の際の等値換算係数が、10回、100回の際に比べ小さくなっているのは、今回の走行試験が夏の温度の高いときに行なわれ、このあたりで特に著しくわだちぼれが進行したことによるもので、路盤が破壊したといったことからではない。

以上舗装の破壊や供用性に関係の深い種々の要因に対し、基準舗装での結果と直接比較するという方法により、各種潜在水硬性材料の路盤の等値換算係数を求めて

きた。これらの結果を一覧表にとりまとめたのが表-4.10である。各基準から求めた等値換算係数のうち、最小のものをこの表にはのせている。路床垂直応力を基準にしたものが最小で、弾性沈下を基準にしたものが概して大きく、累積塑性沈下によるものが中間にくる。全体的にみると、粒調スラグ、石灰安定処理材の等値換算係数が大きい。C.R.R.のクラッシュコーラルと流しコーラルにはほとんど差異がない。粒調スラグでも、それ自身のもつ消石灰を3%添加したものに優位差はない。石灰安定処理材の石灰量4%と8%も同様である。

本研究が対象とした材料は、現在までにあまり調査や研究がなされていないものであるが、アスファルト安定処理材とかセメント安定処理材などは、AASHTO道路試験に代表されるように多くの調査、研究、実績がある。空港舗装でも多くの使用実績や研究実績¹²⁾があり、表-4.11は第1回試験舗装でアスファルト安定処理材やセメント安定処理材の等値換算係数を求めたときの結果である。表-4.10をこの表と比較してみると、C.R.R.にセメント2%を添加したものはほぼ表-4.11のセメント安定処理材並で、材令6か月の粒調スラグ、石灰安定処理材はセメント安定処理材をやや上廻り、高安定度のアスファルト安定処理材が低強度のリーコンクリート程度であることがわかる。

5. 空港舗装路盤としての適用性

前章までに述べてきたところから、今回対象とした材料はいずれも空港舗装路盤として十分な支持力を持ち、

表-4.11 第1回試験舗装の各種路盤の各種基準からの等値換算係数

材 種	試験区画	路盤厚 (cm)	材 料 条 件	路 床				路 盤	表 層・基 層		
				路床鉛直 応力	路床面全 沈下	路床面弾 性沈下	路床面累 積塑性沈 下	路面累積 塑性沈下	表層・基 層内水平 歪	路面全沈 下	路面弾性 沈下
アスファ ルト安定 処理	No. 5-1	10	マーシャ ル安定度 435kg	1.6				1.8	2.0~3.0		
	No. 5-2	10	〃 520kg	1.7				2.3	2.0~3.0		
	No. 6-1	15	〃 305kg		2.0	2.7	2.3	1.8	1.7	2.2	2.3
	No. 6-2	15	〃 435kg	1.6				1.9	1.7		
セメント 安定処理	No. 7-1	15	$\sigma_7=18.6\text{kg/cm}^2$	1.5	2.0	1.9	2.3	2.4	1.7~2.3	2.6	2.8
	No. 16-2	15	$\sigma_7=9.3\text{kg/cm}^2$	1.2							
	No. 17-2	15	$\sigma_7=35.6\text{kg/cm}^2$	1.6							
リーコ ンク ト	No. 14-1	10	$\sigma_7=35\text{kg/cm}^2$	2.2							
	No. 15-1	15	$\sigma_7=93\text{kg/cm}^2$	4.5		3.0					
	No. 15-2	15	$\sigma_7=35\text{kg/cm}^2$	1.8							
ス ラ グ	No. 7-2	15			1.8	1.8	2.2	2.3	1.7~2.3	2.4	2.3
浸透式マ カダム	No. 8	15		1.4				1.0	1.0~1.7		

それらを上層路盤として適用した舗装の供用性も良好であることが知られる。本章では、2., 3., 4. の結果ならびに他の調査、研究の成果などから、今回試験した材料の空港舗装路盤としての適用性を総合的に検討してみる。

まず材料的な面でいくつかの新しい知見が判明し、それらから各材料の適用の際の注意点がいくつかわかったので以下に述べる。

C.R.R. としては、クラッシュコーラルと流しコーラルが一般に製造され今回試験舗装で両者の比較を試みたが、4. の各項目の結果から判断されるように、空港舗装路盤としてはほとんど差異はない。ただクラッシュコーラルの場合施工上転圧不足になりやすい面があるので、実際に現地に適用する際には、このあたりを考慮のうえ経済性も加味してどちらを使用するかを決定をする。

C.R.R. についてはこのほかに、水に弱い点をいかに改善するかの問題があった。種々の試みの結果、水に強いセメントを少々添加すればよいことがわかった。また C.R.R. の優れた性質の自癒性をあまり損わないためには、添加量は2%程度にしておく必要のあることも明らかになった。実際の使用に際しては、現地の状況を十分に検討し、路盤に水が浸透したり路盤が水浸するような恐れのある場合にはセメントの添加を考え、その心配が皆無ならば、他の要素を考慮のうえ C.R.R. 自身で使うか、C.R.R. にセメントを添加して使うかの判断をする。

粒調スラグについては、強度発現の程度が製造後の貯蔵日数に左右されることが判明したので、使用にあたっては、設計、施工上図-2.3のような事実を十分に配慮することが必要である。

石灰安定処理材を舗装の上層路盤に使うというケースは今までは少なかった。今回室内試験からも確めたように、配合によっては初期からかなり大きな強度の発現があり、またひびわれた場合などにもある程度の強度回復が期待できることから、今後セメント安定処理材以上のものとして積極的に使っていくこともできそうである。空港舗装の上層路盤として望ましい石灰安定処理材としては、図-2.4に示す粒度の骨材に消石灰を4~8%添加するとよいようである。ただ石灰安定処理は骨材、特に細粒分の性質によって大幅に左右されるので、実際の使用にあたっては事前に十分な確認をする必要があることはもちろんのことである。

次はこれらの材料を実際に空港アスファルト舗装の路盤に使う場合設計上問題になる等値換算係数である。室内試験および試験舗装で個々に検討した結果を総合し、合理的な設計値を以下に考えてみる。

本研究が対象とした材料は潜在水硬性ということで、強度、変形係数その他が材令とともに変わることが予想され、それによって等値換算係数も変化していくものと考えられた。その辺の様子は、室内試験の結果からは表-3.1のように、試験路盤の支持力からは表-4.4のようになった。両者の絶対値にはかなりの差異があるが、その

潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価

材令との関係などでは似かよった傾向にある。C. R. R. 関係の材料の等値換算係数は、材令半月以降はあまり変化がなく、これに対し粒調スラブ、石灰安定処理材の等値換算係数は、材令初期に比較的小さく、以降急激に増加して2~3か月でC. R. R. 路盤並になり、1年も経過すると第1回試験舗装で調べたリーコンクリートにも匹敵するような値になっている。

今回実際の交通のもとで試験舗装を試験したのは、前にも述べたようにC. R. R. 路盤で舗装路盤施工後14.5か月、粒調スラブ、石灰安定処理材路盤の舗装で6か月経過した時点であった。試験舗装の各種試験に基づく路盤の等値換算係数は表-4.10にとりまとめられたが、これらはC. R. R. 路盤で材令14.5か月、粒調スラブ、石灰安定処理材路盤で材令6か月のものということになる。今までの経験によれば、等値換算係数として最も合理的なものは実際の舗装の供用性によるもの³⁾なので、この試験舗装での結果を各材令でのものに普遍化しなければならない。

C. R. R. の場合前述のように材令とともにさほど変化しないので、材令14.5か月の時点で求めた等値換算係数でも一般的に使えらると思われる。これに対し粒調スラブ、石灰安定処理材は、材令とともに等値換算係数も大きく変化するので、何らかの方法でその変化を推定する必要がある。図-5.1は粒調スラブ、石灰安定処理材について名種検討から求まった等値換算係数を材令に対してプロットしたものである。図からわかるように、室内試験、試験路盤の場合とも1年程度の材令に対しては、等

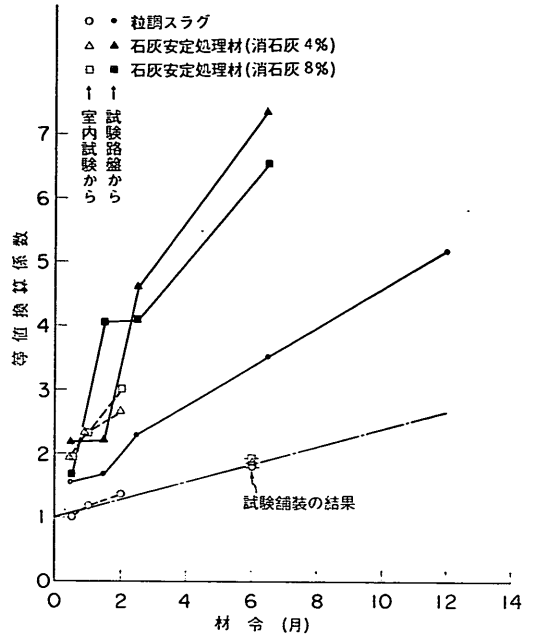


図-5.1 粒調スラブ、石灰安定処理材の等値換算係数の材令による変化

値換算係数が直線的に増加している。試験舗装の場合にもおおよそこの傾向があるとして、材令6か月での結果を通して直線で引いたものが図-5.1の一点鎖線である。粒調スラブ、石灰安定処理材の等値換算係数としては、この一点鎖線で示す値を使うのがよさそうである。

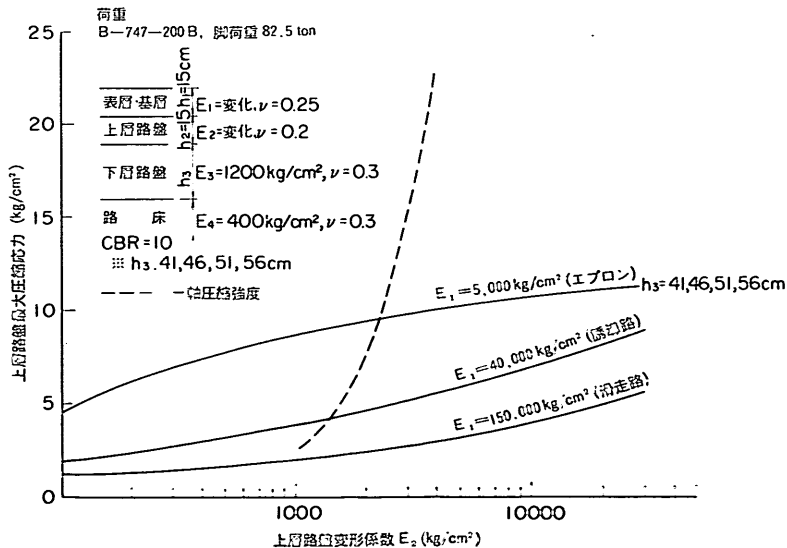


図-5.2 代表的な空港アスファルト舗装での上层路盤最大圧縮応力

このようにして各材料の等値換算係数と材令との関係は一応理解される。しかし徐々に強度増加する粒調スラグの場合などは、初期の強度の小さなうちに大きな応力が作用するとひびわれたりして破損する恐れもある。このようなことに対してはどのように配慮して行けばよいであろうか。3.5でも示したように今回対象とした材料はいずれも、一度ひびわれても適当な水分の存在のもとで再び接着して強度が回復する。潜在水硬性材料の等値換算係数の決定に対しては、過大な応力によるひびわれと、この自癒効果を十分に考慮していかなばならない。

図-5.2は、代表的な空港アスファルト舗装構造に対して多層弾性プログラム BISAR¹⁹⁾により計算した結果から、種々の条件下での上層路盤最大圧縮応力を示している。下層路盤厚を種々変えても上層路盤最大圧縮応力はほとんど変わらないので、上層路盤に設計上どのような等値換算係数を用いても、この図の結果を上層路盤の応力の検討には使える。 E_1 は空港内の各種区域に対応させているが、静的荷重のエプロンの $E_1=5,000\text{kg/cm}^2$ の場合に発生応力は一番大きくなっている。また上層路盤自身の変形係数が大きくなると、そこに生ずる圧縮応力も大きくなっていく。図中には各材料の一軸圧縮強度を変形係数との関係でプロットし、これと路盤に発生する最大圧縮応力と比較してみた。 E_2 が $2,300\text{kg/cm}^2$ 以上(一軸圧縮強度で 9.5kg/cm^2 以上)のところでは、強度の方が大きくなっている。これ以下のところでは発生応力が強度を上廻り、固結した路盤でもひびわれが多数入ることになる。

C.R.R.自身で水分が多い場合などでは、一軸圧縮強度が数 kg/cm^2 程度なので、常時ひびわれが入ることになり、固結した路盤としての支持力は期待できず、粒状材並のとり扱いになる。これに対しC.R.R.自身でも気乾状態になると、材令10日以上では強度が 10kg/cm^2 以上になり、一応固結した版としての路盤が期待できる。しかし長期的にも強度は10数 kg/cm^2 程度なので、繰り返し荷重によりひびわれの入る可能性はかなりある。このあたりに対してはC.R.R.の自癒性が重要な要素になり、3.4でも述べたようにC.R.R.自身の自癒効果は永久に持続すると考えられるので、ひびわれが致命的な一般のセメント安定処理材²⁾などより、繰り返し荷重による等値換算係数の低減率を小さくとれると考えられる。C.R.R.にセメントを2%添加したものは、材令数日で一軸圧縮強度が 20kg/cm^2 越えるので、通常の荷重ではひびわれは入らず、繰り返し荷重の場合だけが問題になる。長期的に仮にひびわれが入っても、この場合も自癒効果があるので、繰り返し荷重による等値換算係数の低

減率をやはり小さくとれ、相対的に大きな等値換算係数となろう。

粒調スラグにおいては、それ自身の場合も消石灰を3%添加した場合も、 9.5kg/cm^2 の一軸圧縮強度になるのは材令30日程度である。これ以前に荷重が載るとひびわれが入るが、図-3.12からもわかるように、このあたりではまだかなり自癒効果があるので、ひびわれが致命的にはならないであろう。室内試験や試験路盤の結果からは、材令ともなる強度の伸びは著しいので、材令の経過とともにひびわれの入る割合も少なくなり、やがては自癒性を発揮することもなくなると考えられるが、万一ひびわれてもスラグの潜在水硬性性を考えると十分再接着の可能性はあり、長期的にかなり大きな等値換算係数をとれよう。

今回試験に用いた石灰安定処理材は、数日で10数 kg/cm^2 の一軸圧縮強度になり以降の伸びも大きく材令2か月で $70\sim 80\text{kg/cm}^2$ にもなることから、ほとんど荷重によるひびわれの心配はない。また万一何らかの理由でひびわれたとしても、図-3.13に示すように自癒効果もあるので、ひびわれが再接着することも考えられ、極めて良好な路盤材料ということになる。自癒性が長期的に持続するかどうかは不明であるが、全体的にはセメント安定処理材以上のものとして使えよう。

以上種々の面からこれら潜在水硬性材料の路盤の等値換算係数をみてきた。これらを取りまとめて次のような設計上の等値換算係数を提案する。

- (i) 水浸の恐れのあるC.R.R.路盤は、粒調碎石並にとり扱い等値換算係数を1.0とする。
- (ii) 水浸の心配がないC.R.R.路盤およびC.R.R.に2%のセメントを添加したものは、材令に対しては一定値とし、C.R.R.で1.3、C.R.R.にセメントを添加したもので1.5とする。
- (iii) 粒調スラグ、石灰安定処理材に対しては、本研究で用いた程度の材質ならば、図-5.1の一点鎖線の値を材令に対して用いる。実際にはある時点の等値換算係数を代表的に用いざるを得ないので、材令初期から交通が厳しい場合には材令3~4か月の1.5を、長期材令を考えてもよいような場合には2.0をとればよい。

6. 結 論

コーラルリーフロック、粒調高炉スラグ、石灰安定処理材といった潜在水硬性材料の特質を、自硬性および自癒性といった事柄を中心に室内試験より明らかにした後、これらに基づいて試験舗装を実施し、空港舗装路盤としての合理的な適用性を検討した結果、次のような結

論が得られた。

(1) 室内試験から明らかになった事項

- (i) C.R.R. はそれ自身で固まり、材令14日の一軸圧縮強度で、被覆養生の場合 5 kg/cm^2 程度、気乾養生の場合 12 kg/cm^2 程度となる。いずれの養生の場合も、以降の材令での強度増加は少ない。
- (ii) C.R.R. 自身の固結したものは、水浸すると直ちに崩壊し、一軸圧縮強度を完全に喪失する。耐水性を改善するにはセメントを若干添加すればよい。強度回復機能を損うことなく、しかも耐水性の改善もできるものとしてセメント2%の添加がよい。
- (iii) C.R.R. に2%のセメントを添加したものは、材令14日で 20 kg/cm^2 程度の一軸圧縮強度となるが、C.R.R. 自身の場合と同様に以降の増加は少なく、材令60日で 34 kg/cm^2 程度である。
- (iv) C.R.R. の強度回復機能は、C.R.R. 自身の場合は永久に持続すると考えられるが、セメントを添加しその量を増やすと、その機能が小さくなるうえ、材令とともに機能を減ずる割合も大きくなる。
- (v) 粒調スラグのCBRは材令4日で200%を越えるほどであるが、一軸圧縮強度の方は材令初期ではさほど大きくなく、被覆養生の場合材令14日で数 kg/cm^2 である。しかし以降の強度の伸び率は大きく、材令60日では10数 kg/cm^2 となる。
- (vi) 粒調スラグに消石灰3%を添加した効果は、一軸圧縮強度には明瞭でない。しかし強度回復機能では、消石灰3%を添加したもののほうが大きくなっている。強度回復機能は材令とともに低下していく。
- (vii) 上層路盤用の石灰安定処理材としては、図-2.4の粒度範囲の骨材に消石灰4~8%を添加するのが効果的である。
- (viii) 今回試験した石灰安定処理材は、いずれも材令14日で 40 kg/cm^2 以上の一軸圧縮強度を持ち、以降の強度増加も大きく、材令60日で $70\sim 90 \text{ kg/cm}^2$ にもなる。
- (ix) 石灰安定処理材の強度回復機能は、石灰量が多いものほど大きい。材令にともなってはしだいに低下する。
- (x) C.R.R. 自身の場合を除き、本研究で対象とした他の材料は、水浸による強度低下はほとんどなく、この面からも耐久性が大きいことが認められる。
- (xi) 空港アスファルト舗装の上層路盤が通常受ける応力条件下では、これら潜在水硬性材料の固結したものの変形係数は、一軸圧縮強度との間におおよそ

$$E=600\sigma_c^{0.6}(\sigma_c \leq 40 \text{ kg/cm}^2), \quad E=22.5\sigma_c^{1.49}(\sigma_c > 40 \text{ kg/cm}^2)$$

(2) 試験舗装から明らかになった事項

- (i) 試験舗装の路盤でも、C.R.R. および C.R.R. に2%のセメントを添加したものは、初期に大きな支持力になり以降ほぼ一定である。
 - (ii) 粒調スラグ、石灰安定処理材の路盤の支持力は、初期には小さいが増加の割合は大きく、材令2~3か月ぐらいでC.R.R. 路盤と同等になり、1年もたつと K_{30} で 100 kg/cm^3 をはるかに越え 200 kg/cm^3 に達するものもある。
 - (iii) 材令が6か月も経過した時点では、本研究が対象とした路盤は十分な荷重分散効果を発揮し、路床の垂直応力、弾性沈下、路面の弾性沈下のいずれにおいても、基準舗装の場合よりはるかに小さくなる。3種類の材料の中では、粒調スラグと石灰安定処理材の場合はほぼ同等であり、C.R.R. 関係の路盤で若干大きめな値となる。
 - (iv) いずれの路盤も、大型航空機と同等の荷重の500回までの繰返し載荷によっては、ひびわれその他の劣化現象はみられない。
 - (v) 走行試験における路盤および路床の累積塑性沈下は、いずれも基準舗装の場合よりはるかに小さい。粒調スラグ、石灰安定処理材路盤のそれ自身の永久変形は0に近いが、C.R.R. 関係の路盤ではそれ自身で若干の永久変形を示す。
- (3) 等値換算係数について
- (i) C.R.R. 路盤が水浸する恐れがある場合は、その等値換算係数は粒調碎石並の1.0しかとれない。
 - (ii) C.R.R. 路盤が水浸する心配がない場合、および2%のセメントを添加したものの等値換算係数は、前者で1.3程度、後者で1.5程度を材令にかかわらずなくとれる。
 - (iii) 粒調スラグ、石灰安定処理材の等値換算係数は、材令とともに増加していく。両者とも初期に粒調碎石並のものが、材令6か月では1.8にもなる。材令との関係は図-5.2の一点鎖線を使えばよい。

7. あとがき

荷重条件が極めて厳しくなってきた空港舗装構造の合理化の一環として、潜在水硬性を持つと考えられたコーラルリーフロック、粒調スラグ、石灰安定処理材の空港舗装路盤としての適用性の検討を行なった。

これら材料の潜在水硬性を自硬性、自癒性という面から知らべ、その路盤材料としての優劣を確認したは

か、舗装構造の設計に必要な等値換算係数も今回の試験の範囲内で提示した。

琉球列島ではC.R.R.は無尺蔵であり、粒調スラグは近年の鉄鋼生産量の伸びに平行して発生量が増加しており、また他の資源に乏しい日本において石灰はめずらしく豊富にある。ただそれぞれにローカルな材料という面もあるので、供給性とあわせて経済性も十分考慮のうえ、今回明らかになった種々の優れた性質を十分に生かして使用していったほしい。

今後は実際の使用実績に基づいて本研究の確認とより一層の設計面での合理化が望まれる。

謝 辞

本研究は、沖縄総合事務局開発建設部より依頼されたC.R.R.の研究(空港舗装路盤としてのより合理的な適用性)に端を発し、類似の材料である粒調スラグ、石灰安定処理材も含めて実施したもので、研究の機会を与えていただいた沖縄総合事務局の関係各位には厚く御礼申し上げます次第である。

また研究の大きな部分を占める試験舗装の製作およびその測定を主として担当してくれた元滑走路研究室研究員の渋谷英男君には、その努力に対し心からの感謝を捧げたい。

最後に粒調スラグの室内試験の際に御指導いただいたスラグメーカーの鉄管鉱業株式会社の方々、ならびに試験舗装の製作に従事し終始熱意を持って仕事を遂行された日本舗道株式会社の方々には、深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 森口拓, 他: 空港アスファルト舗装のわだちぼれ, 港湾技術研究所報告, Vol. 12, No. 4, 1973年12月, pp. 75~130.
- 2) 滑走路研究室: 大型航空機の就航する空港における

舗装の破損状況調査, 第9回空港土木工事報告会資料, 昭和49年11月, 19pp.

- 3) 高橋国一郎, 他: AASHO 道路試験, 日本セメント技術協会, 1966年2月, 246pp.
- 4) 山内豊聡: 路床路盤の安定性について, 土と基礎, Vol. 20, No. 6, June 1972, pp. 1~3.
- 5) 上原方成: 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究(II)——沖縄産コーラルリーフロックその1, 琉球大学理工学部紀要工学編第3号, 1970年, pp. 61~90.
- 6) 佐藤勝久, 他: 空港舗装路盤としてのコーラルリーフロックの評価(第1報), 港湾技術研究所報告, Vol. 14, No. 2, 1975年6月, pp. 139~162.
- 7) 道路用スラグ JIS 案, 道路用スラグ専門委員会資料, 1975年.
- 8) 南雲貞夫, 他: 二・三の試験舗装に利用した石灰安定処理, 舗装, Vol. 5, No. 6, 1970年6月, pp. 25~31.
- 9) 土質工学会: 土質試験法, 昭和44年10月, 675pp.
- 10) Yang, N.C.: Design of Functional Pavements, McGraw-Hill Book Co., 1972, 467pp.
- 11) 竹下春見: 舗装厚指数(SN)について, 道路, 1965年11月, pp. 907~913.
- 12) 須田熙, 他: 空港舗装における路盤の等価値に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol. 11, No. 4, 1972年12月, pp. 123~189.
- 13) 土質工学会: 土質調査法, 昭和47年3月, 775pp.
- 14) 日本道路協会: アスファルト舗装要綱, 昭和50年, 175pp.
- 15) 須田熙, 他: 多層系路盤面上におけるK値の推定方法に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol. 11, No. 1, 1972年3月, pp. 107~150.
- 16) 須田熙: 原型載荷槽および原型走行荷重車の製作について, 港湾技研資料, No. 97, 1970年3月, 33pp.
- 17) 高速道路調査会: アスファルト舗装追跡調査解析結果報告書, 昭和51年2月, 238pp.
- 18) Jong, D.L., et al: Computer Program BISAR—Layered System under Normal and Tangential Surface Loads, Shell-Laboratorium, Amsterdam, 1973, 128pp.

港湾技術研究所報告 第16巻 索引

	論 文 名・著 者 名	巻 号	頁
水 工 部			
	ドルフィン上部工に作用する水平波力 ……………谷本勝利・高橋重雄・轟 正彦・和泉田芳和……………	16 3	39～ 68
海洋水理部			
	波浪の統計的変動性に関する数値実験……………合田良実……………	16 2	3～ 26
	レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の汚濁拡散に対する影響 ……………佐藤昭二・木村久雄・高松恭文……………	16 2	27～ 62
	完全反射堤及び消波堤による波の回折計算……………高山知司・神山 豊……………	16 3	3～ 37
	東京湾の海水交換に関する水理模型実験 ……………堀江 毅・村上和男・亀山 豊・入尾野幸雄……………	16 3	69～ 99
土 質 部			
	石灰安定処理土の基本的特性に関する研究（第1報） ……………寺師昌明・奥村樹郎・光本 司……………	16 1	3～ 28
	ウェルの横抵抗に関する実験的研究……………高橋邦夫・沢口正俊……………	16 4	3～ 34
	潜在水硬性材料の空港舗装路盤としての評価 ……………佐藤勝久・福手 勤・佐藤峰夫……………	16 4	35～ 66
設計基準部			
	海上航行船舶挙動に関する研究（第2報）—実態調査手法の確立— ……………奥山育英・早藤能伸・中辻 隆・佐々木芳寛・吉田行秀……………	16 1	29～ 50
	港湾貨物の背後圏の合理的設定法に関する統計的研究 ……………稲村 肇・山田尚人・金子 彰……………	16 2	63～111
	待ち合せ理論による最適パース数の決定に関する研究…奥山育英・口田 登……………	16 3	101～117

Index of Report of P.H.R.I. Vol. 16

Vol. No. pp.

Hydraulics Division

Horizontal Wave Forces on a Rigid Platform			
.....Katsutoshi TANIMOTO, Shigeo TAKAHASHI, Masahiko TODOROKI, Yoshikazu IZUMIDA.....	16	3	39~ 68

Marine Hidrodynamics Division

Numerical Experiments on Statistical Variability of Ocean Waves			
.....Yoshimi GODA.....	16	2	3~ 26
Influence of Groins and Offshore-breakwaters on Pollutant Diffusion in Recreational Beach			
.....Shoji SATO, Hisao KIMURA, Kiyobumi TAKAMATSU.....	16	2	27~ 62
Diffraction of Sea Waves by Rigid or Cushion Type Breakwaters			
.....Tomotsuka TAKAYAMA, Yutaka KAMIYAMA.....	16	3	3~ 37
Model Experiment on Tidal Exchange Ratio in Tokyo Bay			
.....Takeshi HORIE, Kazuo MURAKAMI, Yutaka KAMEYAMA, Sachio IRIONO.....	16	3	69~ 99

Soils Division

Fundamental Properties of Lime-Treated Soils (1st Report)			
..... Masaaki TERASHI, Tatsuro OKUMURA, Tsukasa MITSUMOTO.....	16	1	3~ 28
Experimental Study on the Lateral Resistance of a Wall			
..... Kunio TAKAHASHI, Masatoshi SAWAGUCHI.....	16	4	3~ 34
Evaluation of Potentially Hydraulic Materials as Base Courses of Airport Pavements.....	16	4	35~ 66

Design Srandard Division

A Study on Marine Traffic Behaviors (2nd Report)			
—Establishment of Methods of Marine Traffic Survey—			
.....Yasuhide OKUYAMA, Yoshinobu HAYAFUJI, Takashi NAKATSUJI, Yoshihiro SASAKI, Yukihide YOSHIDA.....	16	1	29~ 50
Statical Study on the Rational Setting Method of the Hinterland of the Cargo			
..... Hajime INAMURA, Hisato YAMADA, Akira KANEKO.....	16	2	63~111

Determination of Optimum Number of Berths Applying Queuing Theory

.....Yasuhide OKUYAMA, Noboru KUCHIDA.....16 3 101~117