

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. 34 NO. 4 DEC. 1995

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第34巻 第4号 (Vol. 34, No. 4) 1995年12月 (Dec. 1995)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 飛沫の発生と疑似植栽による飛沫抑制効果に関する現地調査  
.....村上和男・加藤一正・清水勝義・柳鳴慎一・中村聡志・尾崎 靖・福田真人  
.....宮崎啓司・山田邦明・西守男雄..... 3  
(Field Studies on the Generation of Sea Salt Sprays and the Reduction of its  
Transportation by Imitation Greenery .....Kazuo MURAKAMI,  
Kazumasa KATOH, Katsuyoshi SHIMIZU, Shin-ichi YANAGISHIMA, Satoshi  
NAKAMURA, Yasushi OZAKI, Masato FUKUDA, Keiji MIYAZAKI, Kuniaki YAMADA  
and Danwo NISHIMORI)
2. 半たわみ性材料によるコンクリート舗装の急速補修  
.....八谷好高・市川常憲.....33  
(Fast Rehabilitation Method with Semi-rigid Materials for Airport Concrete  
Pavements .....Yoshitaka HACHIYA, Tsunenori ICHIKAWA)
3. 港湾空間における港湾資本の推計及び港湾空間特性モデルの作成に関する研究  
.....高橋宏直・山本幸司.....69  
(A Study on the Capital Stock of Port Space and the Port Space Model to  
Explain Port Characteristics  
.....Hironao TAKAHASHI, Koshi YAMAMOTO)

## 2. Fast Rehabilitation Method with Semi-rigid Materials for Airport Concrete Pavements

Yoshitaka HACHIYA\*  
Tsunenori ICHIKAWA\*\*

### Synopsis

In airport aprons where heavy-duty aircraft run slowly and stand, durable concrete pavements are generally constructed. The concrete pavements are sometimes rehabilitated. The facilities must be closed for a long time when concrete overlay or concrete pavement reconstruction selected as a rehabilitation work. The rapid-hardening cement concrete is inappropriate for the huge rehabilitation project due to its much poorer productivity although it does not require a long curing period.

Recently, semi-rigid pavements are gradually used in roads to improve their resistibility against the rutting. In this pavement type, the semi-rigid material, composed of asphalt mixture and cement milk injected into its voids, is used in the surface course. This can be constructed relatively fast as its procedure follows that of the asphalt concrete.

In this study, the fast rehabilitation method of the airport concrete pavement is developed by using the semi-rigid material as the overlay material. In a laboratory, the strength gaining property and the fluidity retaining ability of the cement milk and the strength of the semi-rigid material were examined. In a field test, an experimental overlay project using the semi-rigid material selected through the laboratory test was constructed.

As a result, main conclusion are obtained as follows :

- 1) The curing period before opening to traffic depends on the strength of the cement milk. The period can be shortened by increasing the temperature of the asphalt mixture at the cement milk injection.
- 2) The strength of the semi-rigid material increase with that of the asphalt mixture. The durability of the semi-rigid material against the aircraft load can be assured by using modified asphalt.

**Key Words** : semi-rigid material, concrete pavement, overlay, fast rehabilitation, cement milk, asphalt mixture, laboratory test, experimental pavement

---

\* Chief, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division

\*\*Trainee, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division (Japan Airport Consultants, Co.)

## 目 次

要 旨 .....	33
1 . はじめに .....	37
2 . コンクリート舗装の急速補修工法の検討 .....	37
2.1 コンクリート舗装の補修 .....	37
2.2 半たわみ性材料 .....	38
2.3 急速補修工法の開発方針 .....	42
3 . 材料開発に係わる検討 .....	42
3.1 試験方法 .....	42
3.2 急硬性セメントミルク .....	44
3.3 注入温度に係わる検討 .....	48
3.4 急速施工材料の開発 .....	51
4 . 試験施工による検証 .....	57
4.1 試験施工と載荷試験 .....	57
4.2 施工管理試験 .....	61
4.3 経時変化試験 .....	63
4.4 繰返し走行載荷試験 .....	65
5 . 結論 .....	67
6 . おわりに .....	68
参考文献 .....	68

## 1. はじめに

空港における舗装の補修工事は時間的に厳しい条件の下で行われなければならないことから、使用可能な材料が限定される。すなわち、養生時間が極めて短いアスファルトコンクリートあるいは速硬性セメントコンクリートといったものが用いられるのが一般的である。しかし、前者は耐流動性、後者は施工性の点で問題があるため、供用中のコンクリート舗装の補修は、それを計画すること自体が難しい状況にある。

コンクリート舗装を補修する場合、既設コンクリート版が板構造としての機能をまだ十分に保持している場合には、オーバーレイ工法を考えることが合理的である。その場合にも、使用材料については上記の点があてはまり、耐流動性に優れていて、しかも施工性にも優れている材料を見出すことは難しい。

そこで、道路分野でアスファルト舗装の耐流動性を改善するために用いられている半たわみ性材料に注目して、空港コンクリート舗装の急速補修工法への適用性について検討することにした。この材料はアスファルト混合物中の空隙にセメントミルクが充填された構造となっており、通常のアスファルトコンクリートと同じように施工できるため、施工時間が少なくて済むばかりでなく大量施工も可能であると考えられる。

検討方針として、具体的には、この材料について詳細な室内試験を実施して材料特性を把握した後、試験施工を実施して載荷試験を行うものを採用した。本報告はその結果をまとめたもので、2.では補修工法ならびに半たわみ性材料の現状を記し、3.で室内試験、4.で試験施工結果について詳細に述べたあと、5.では結論として半たわみ性材料の空港コンクリート舗装の急速施工法としての適用性についてまとめている。

## 2. コンクリート舗装の急速補修工法の検討

### 2.1 コンクリート舗装の補修

#### (1) 補修方法

コンクリート舗装は、アスファルト舗装に比べて、長期間良好な路面性状を維持できるが、一旦破損が生じ始めるとその進行は速い。空港コンクリート舗装の補修の必要性ならびにその時期については、ひび割れ、目地部の破損、段差により路面性状を数値化した PRI、そして構造状態に基づいて判断される<sup>1)</sup>。

コンクリート舗装で補修が必要と判断された場合、その方法には次のようなものがある。

#### ① アスファルトによるオーバーレイ

#### ② コンクリートによるオーバーレイ

#### ③ コンクリート舗装による打換え

既設舗装に構造上の問題がない場合、すなわち、老化や交通により発生した路面の荒れ、平坦性の悪化などが顕著な場合には、アスファルト混合物によるオーバーレイが標準とされる。これに対して、構造上に問題のある場合、すなわち、舗装の構造強化を図る必要がある場合には、既設舗装の破損の程度、補修後の使用状況に配慮して、上記の3工法から適切なものを選択すればよい。一般には、破損があまり進行していない場合にはオーバーレイ工法が適用できるものの、著しく破損している場合には打換え工法が用いられる。

これら3種類の特徴は次のようにまとめられる。まず、アスファルトによるオーバーレイ工法は、施工時間が短く、オーバーレイ厚が比較的薄くすむ場合に最適である。次に、コンクリートによるオーバーレイ工法は、アスファルトによるオーバーレイ工法に比べて施工期間が長くなることから、長期間施設が閉鎖できる場合に適用可能となる。そして、打換え工法は、コンクリートによるオーバーレイ工法と同様に、施設が長期間閉鎖可能な場合にのみ適用可能である。

以上のことから、補修に伴う施設の閉鎖期間を短縮するためには、既設舗装があまり破損していない時点で工事が実施できるオーバーレイ工法が必要となる。しかも、材料としては養生期間が少なく済むアスファルトを用いざるを得ない。実際、供用中の道路コンクリート舗装の補修に際しては、アスファルトオーバーレイ工法が多用されている。

空港舗装の場合を考えると、アスファルトコンクリートには荷重の繰返し作用により大きな塑性変形が生ずるため、航空機が低速走行するエプロンにはこの工法は適さない。したがって、そのような場合には、早強セメントや超速硬セメントを用いたコンクリートによるオーバーレイを考えざるを得ないが、これらの施工性は良好といえない。

近年、道路舗装の分野では、耐流動性を高めた舗装として半たわみ性舗装の施工量が増加している。この形式の舗装はアスファルト舗装の表層として半たわみ性材料を用いた形式であるので、この半たわみ性材料に注目して、空港コンクリート舗装のオーバーレイ材料としての可能性について検討することとした。この材料はアスファルト混合物中の空隙にセメントミルクが充填された構造となっていることから、アスファルトとコンクリートの両方の性質を併せ持っているものと考えられる。また、通常のアスファルトコンクリートと同じように施工

できるため、施工時間も少なくすむばかりでなく、大量施工も可能であろう。

(2) オーバーレイ厚算定法

アスファルト、コンクリートといった材料の違いによらず、コンクリート舗装上にオーバーレイを施す場合、その厚さの計算方法は既設コンクリート版とオーバーレイ層の応力（ひずみ）に注目するものが一般的である。この応力は、上下層（オーバーレイ層と既設コンクリート版）の付着状態によって大きく異なり、付着が確保できればその値は小さくなる。コンクリートによるオーバーレイでは、コンクリート版との付着程度によって、付着、直接、分離工法の三種類が考えられているのに対して、アスファルトオーバーレイでは十分な付着があると考えられている<sup>3)</sup>。今回対象とした半たわみ性材料は、最初にアスファルト混合物を施工してから、混合物中の空隙にセメントミルクを充填する形式であるから、上下層の付着程度はアスファルトコンクリートによるオーバーレイと同等であるとみなしてよいものと考えられる。

次に、現行のオーバーレイ厚算定方法について示そう。

まず、コンクリートオーバーレイで上下層の付着が十分あると考えられるときの厚さ算定式として、米国連邦航空局は(1)式を示している<sup>2)</sup>。ただし、この式では上下層の変形特性、すなわちヤング係数の違いといったものが考慮されていない。

$$h_o = h_a - C \frac{h_a}{h_{ab}} h_e \quad (1)$$

ここに、

- $h_o$  : 必要オーバーレイ厚,
- $h_a$  : オーバーレイに用いるコンクリートを使って現在の路盤上に新設版を建設するとした場合に必要となる版厚,
- $h_{ab}$  : 既設版に用いたコンクリートを使って新設版を建設するとした場合に必要となる版厚,
- $h_e$  : 既設版の厚さ,
- $C$  : 既設版の破損状況による変数 (0.35から1.0までの値をとる)。

米国連邦航空局の空港舗装設計法には半たわみ性材料によるオーバーレイ厚の規定は設けられていない。しかし、アスファルトとコンクリートのそれぞれによるオーバーレイ厚算定式が示されており、これによれば両者の構造的効果の違いは厚さに換算すると1:2.5になっている<sup>2)</sup>。

わが国のコンクリート舗装上のアスファルトオーバーレイ厚算定法としては、空港舗装補修要領(案)にアス

ファルトコンクリート層のヤング係数を7,000kgf/cm<sup>2</sup>とみなして多層弾性理論に基づくものが示されている。このほか、アスファルトコンクリート層のヤング係数を100,000kgf/cm<sup>2</sup>とみなして複合平板理論に基づくものも提案されている<sup>3)</sup>。今回対象とした半たわみ性材料はヤング係数の観点からみれば後者に近い。

以上に記した方法によるオーバーレイ厚の算定結果は図-1のようにまとめられる。この図は、荷重条件としては設計航空機がB-747-200B、設計カバレッジが20,000カバレッジの場合、既設コンクリート版の厚さによるオーバーレイ厚の違いについて計算したものである。今回対象とした材料はアスファルトよりもコンクリートに近く、また、わが国の設計法は既設コンクリート版がまだ板機能を有している場合のものであるので、オーバーレイ厚算定法としてはここに示した範囲の下方のものが適用できよう。

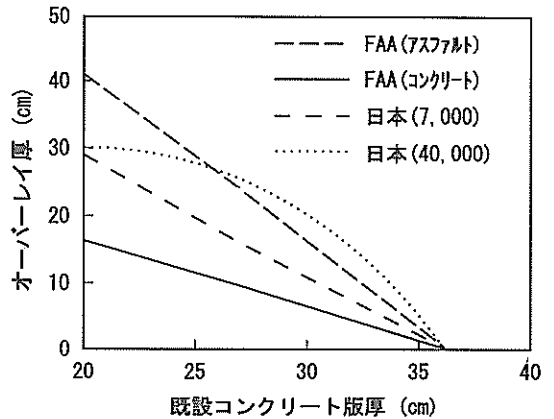


図-1 材料の違いによるオーバーレイ厚の違い

2.2 半たわみ性材料

(1) 半たわみ性舗装

半たわみ性舗装は、アスファルト舗装とコンクリート舗装の両方の特徴を併せ持ち、アスファルト舗装の表層に半たわみ性材料を用いるという形式のものである。この半たわみ性材料は、空隙の多いアスファルト混合物(母材)の空隙部分にセメントミルクが充填されたものである。その充填程度によって、全浸透型(全厚浸透)と半浸透型(層厚の半分程度に浸透)の2つに分けられるが、最近では後者はほとんど用いられない。

半たわみ性舗装の原型はフランスで開発されたサルビアシム工法で、わが国には昭和30年代後半に紹介された。その後、種々の技術的改善が図られて、施工量も増加してきたため、昭和63年版アスファルト舗装要綱に記載さ

れるに至った<sup>9)</sup>。全浸透型半たわみ性材料の構造的価値は、通常の表層用アスファルトコンクリートと同等、すなわち、等値換算係数<sup>\*</sup>は1.0であるとされている<sup>9)</sup>。

半たわみ性舗装は、空港では本格的に用いられたことはないが、道路舗装では交差点、バスターミナルなど耐流動性を高める必要がある場合や、ガソリンスタンドなど耐油性が必要とされる場合に用いられることが多い。

半たわみ性材料の施工方法は、まず、アスファルト混合物を敷設し、次に、その表面にセメントミルクを流し拡げ、そして振動ローラ等によってアスファルト混合物の空隙に浸透させるという手順からなる。その場合、アスファルト混合物の転圧程度と、セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度について注意しなければならない。特に、後者についてはアスファルト舗装要綱で50°C以下とすることが規定されている。

最近では、半たわみ性材料は、耐流動性を高める必要がある箇所の補修工事としても使用されることが多くなっている<sup>9)</sup>。そのときの既設舗装の基準として、アスファルト舗装の場合には、耐久性を確保するためにたわみ量を0.6mm以下とすべきと指摘している文献<sup>7)</sup>もある。また、半たわみ性材料をローラ転圧コンクリート舗装上に設けてコンポジット舗装とする形式<sup>8)</sup>、基層に半たわみ性材料を用いて表層にアスファルトコンクリートを設けるコンポジット舗装形式<sup>9)</sup>といったものも試みられている。

(2) 半たわみ性材料

半たわみ性材料は、上記のように、アスファルト混合物とセメントミルクの複合体であるので、以下では別々にまとめる。

a) アスファルト混合物

アスファルト混合物としては空隙の多い開粒度型が用いられ、わが国の道路舗装で用いられている基準を表一1に示した<sup>10)</sup>。これから、空隙率は20~28%の範囲、マーシャル安定度は250~300kgf以上といったものが目標となっていることがわかる。また、アスファルト量については適正範囲が規定されており、過大なアスファルト量とすると、層の下部にアスファルトがたまってしまい、セメントミルクが十分に充填されない危険性が高い。

骨材粒度と空隙率の関係について調べた事例<sup>11)</sup>では、図一2に示すように、2.5mm通過質量百分率が10~15%程度であれば空隙率が規定範囲(21~25%程度)に入るとしている。また、こうすることによって、マーシャル安定度が300kgf以上という規定をも満たすことが可能とされている(図一3)。

b) セメントミルク

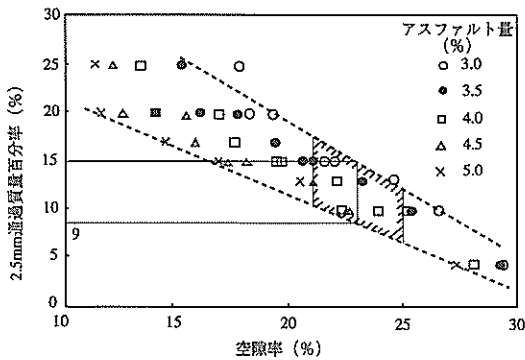
セメントミルクとしては、普通、早強ならびに超速硬型が用いられ、表一2のような規格が示されている<sup>12)</sup>。それぞれの場合で、必要となる養生期間が異なり、順に3日、1日、3時間とされている<sup>9)</sup>。

セメントミルクの材料には、一般に、セメント、水、

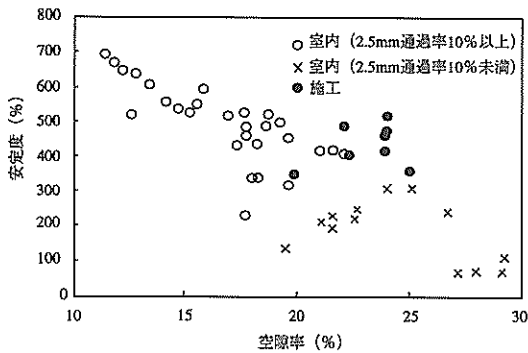
表一1 アスファルト混合物の規格

項目	アスファルト舗装要綱		首都高速 道路公団	日本道路公団	
	5	10	3	4	5
施工厚さ (cm)	5	10	3	4	5
粗骨材最大粒径 (mm)	13	20	13	13	20
通過 質量 百分 率 (%)	26.2mm	-	100	-	100
	19mm	100	95~100	100	93~100
	13.2mm	95~100	35~70	95~100	93~100
	4.75mm	10~35	7~30	14~30	12~30
百分 率 (%)	2.36mm	5~22	5~20	9~20	9~22
	600 μ m	4~15	6~15	6~15	6~14
	300 μ m	3~12	3~10	3~10	5~12
	150 μ m	-	2~7	2~7	4~8
	75 μ m	1~6	0~5	0~5	2~6
アスファルト量 (%)	3.0~4.5	3.7	3.7	3.0~4.2	2.7~3.9
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.90 以上	-	-	-	-
安定度 (kgf)	300 以上	-	-	250 以上	-
流下時間 (l/100cm)	20~40	-	-	-	-
空隙率 (%)	20~28	20~28	20~28	21~25	-
突固め回数	50	50	50	50	50

\* 舗装材料の表層用アスファルトコンクリートに対する相対的構造価値を表す係数で、道路舗装設計法で用いられている。



図一 2 骨材粒度と空隙率



図一 3 空隙率と安定度

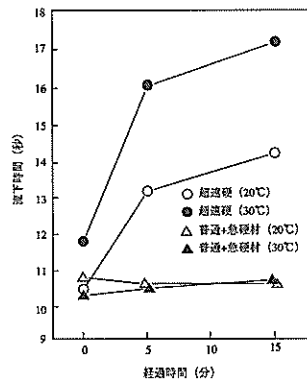
特殊添加材のほか、フライアッシュ・珪砂等も用いられる。セメントとして超速硬型を用いる場合には、超速硬セメント以外に、普通セメントに急硬材を混入した材料も使用される。特殊添加材はゴム系または樹脂系エマルジョン、アスファルト乳剤といったものである。この特殊添加材はセメントミルク硬化時の収縮を緩和するために使用される。

セメントミルクに対して要求される品質は、

- ① アスファルト混合物母材に確実に浸透可能な流動性
- ② 交通荷重に対する十分安全な強度
- ③ 硬化時のひび割れ抑制機能

といったものが考えられる。

流動性に対しては、P ロート\*を用いた流下時間で9～15秒の範囲が規定されているものの、その保持時間については明確には示されていない。この点は、図一 4<sup>10)</sup>に示すように、超速硬型材料ではセメントミルクの浸透の確実性、作業時間の確保といった観点から特に重要な項目である。また、セメントミルクの強度については、曲げ強度で20～40kgf/cm<sup>2</sup>以上、圧縮強度で100～360kgf/cm<sup>2</sup>以上と規定されている。



図一 4 超速硬セメントミルクの流下時間

### c) 半たわみ性材料

アスファルト混合物の母材にセメントミルクが浸透した半たわみ性材料の規準としては、各機関により表一 3に示すものが用いられている<sup>10)</sup>。このうち、首都高速道路公園での値は、半たわみ性材料が高架床版に使用されることを想定して決定されているものの、その他については根拠が示されていない。

母体アスファルト混合物の空隙率が半たわみ性材料の曲げ強度に及ぼす影響について調査した事例<sup>9)</sup>がある。セメントミルクとして、ここではセメント、フライアッシュ、特殊添加材を、5：7：1の割合で配合し、これに流下時間が12秒以下となる分量の水を加えた材料を使

表一 2 セメントミルクの規格

項目	アスファルト 舗装要綱	首都高速道路公園		東京都			日本道路公園
		普通	超速硬	普通	早強	超速硬	
流下時間	10～14	10～15		10～14			9～13
曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	20 以上	21 以上	27 以上	40 以上			-
圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	100～300	-		-			150～360
材齢 (日)	7	7		28	7	3	7

\* プレバックドコンクリート用のセメントミルクの流動性を測定するために使用され、上端内径178mm、下端内径13mm、流出管長38mmの錐アルミ製ロートである。



表-3 半たわみ性材料の規格

項目	アスファルト 舗装要綱 舗装試験法便覧	首都高速道路公団		東京都			日本道路公団	
		普通	超早硬	普通	早強	超早硬		
試験条件	試験温度 (°C)	20						
	供試体寸法 (幅×厚×長, cm)	5×5×16	4×3×16	10×5×16			5×5×30	
	スパン長 (cm)	10	10	10			20	
	載荷方法	中央載荷方法						
載荷速度 (mm/min)	1	1	10			10		
規準値	材齢 (日)	-	7	28	7	3	7	
	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	13 以上	18 以上	30 以上			25 以上
	破断ひずみ (×10 <sup>-3</sup> )	-	8 以上	9 以上	-			3 以上

用している。図-5、図-6の結果から、養生時間の短い間は空隙率の違いによる差がみられないものの、時間の経過につれて、空隙率の大きいものほど強度が大きくなること、繰返し載荷試験における破壊時の載荷回数が

少なくなるのが指摘されている。これは、養生期間が短いうちはアスファルト混合物としての性質が卓越するが、その後はセメントミルクの性質が支配的になることを示唆している。また、空隙率が21%以下になると、空隙の充填率が減少して、曲げ強度が低下することも指摘されている(図-7、図-8)。

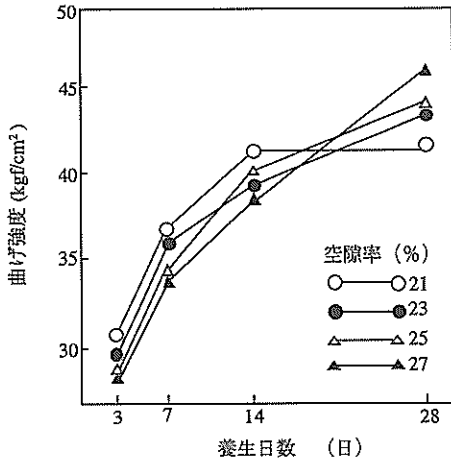


図-5 空隙率、材齢と曲げ強度の関係

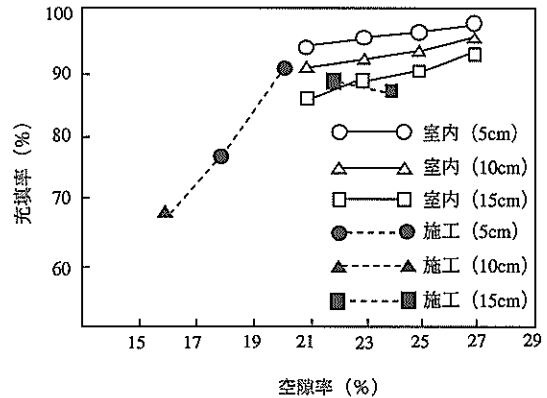


図-7 空隙率と充填率

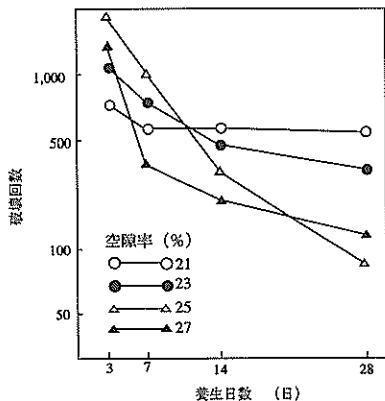


図-6 空隙率、材齢と繰返し載荷における破壊回数

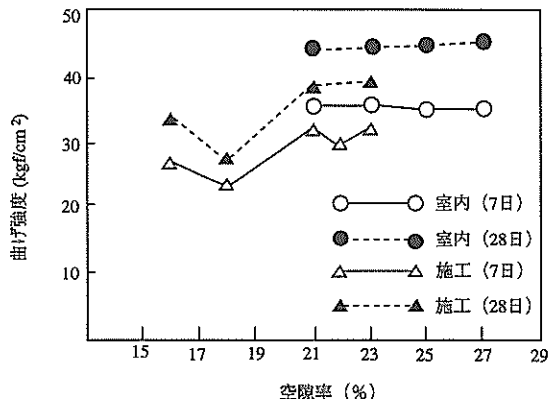


図-8 空隙率と曲げ強度

この空隙率と充填率の関係には、図-9に示すように、施工厚が大きく影響する<sup>9)</sup>。すなわち、空隙率が同一であっても施工厚により充填率が異なり、厚いものほど充填率が低いこと、この傾向は空隙率が小さくなるほど顕著になることがわかる。

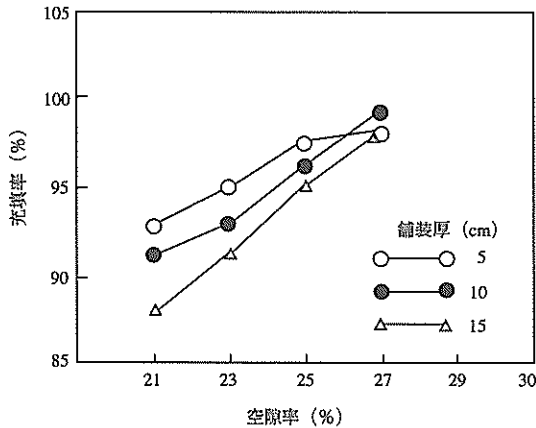


図-9 舗装厚、空隙率と充填率の関係

### 2.3 急速補修工法の開発方針

以上では、空港コンクリート舗装の補修方法ならびに半たわみ性材料について、それぞれの現状を見てきた。それらを総合すると、コンクリート舗装の急速補修工法としては半たわみ性材料を用いるものの適用性が高いと判断される。

この材料を空港舗装に使用する場合、道路を利用する車両と比較すると格段に重量のある、航空機荷重に対する安全性をまず検証しなければならない。そのためには、

- ① 母体アスファルト混合物の空隙率、強度
- ② セメントミルクの流動性、強度
- ③ 半たわみ性材料の強度、変形特性

のそれぞれについて詳細な検討が必要となろう。

また、空港では補修工事を夜間に行わなければならないことがほとんどであるので、施工時間ならびに交通解放時間も重要な検討項目となる。そのためには、まず、現状では50°C以下と規定されているセメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度を上げること考える必要がある。母体アスファルト混合物の温度が規定温度に低下するまでの時間は施工時期によって異なり、夏期において2～3時間、冬期においては1～2時間程度である。この点が短縮できれば、施工時間が実質的に増加することとなるばかりでなく、早期交通解放も可能となろう。ちなみに、この温度規定は、高温状態の母体アス

ファルト混合物にセメントミルクを注入すると、その直後にセメントミルクのゲル化が生じ、浸透性が損なわれるようになるので、それを防ぐために設けられているものである。

しかし、その場合でも普通セメントを用いれば早期交通解放は難しいので、良好な流動性ならびに十分な流動性保持時間を有し、しかも十分な早期強度をも有するようなセメントミルクが必要となる。

以上の要求事項を満足する半たわみ性材料を開発するために、まず、室内試験による詳細な検討を行い、次に、その材料を用いて実際に施工を行って、この新工法の実工事への適用性を確かめることにした。

室内試験では、基礎試験として、常温でセメントミルクを注入するとの条件で、その材質について検討した。ここでは、半たわみ性材料による補修工事が完了してから交通解放するまでの時間として、90分と3時間の2種類の場合を検討対象とした。その結果、セメントミルクの材質を改良するだけでは早期交通解放が難しいということがわかったので、次に、開発試験として高温注入型材料について検討した。ここでは、母体アスファルト混合物の温度が規定温度までに低下しないうちにセメントミルクを注入することによる凝結促進を考えている。通常、超速硬型セメントミルクは、注入時の母体アスファルト混合物の温度が50°C以下であっても通常のセメントミルクと比べて注入直後にゲル化を起こす危険性がより高いとされている<sup>14)</sup>。このような現象の生じない、高温時にも施工可能なセメントミルクの開発が必要となる。

## 3. 材料開発に係わる検討

本章では、まず試験方法を記したあと、この工法に適した常温注入型急速硬化セメントミルクの開発、高温注入の可能性、そして混合物としての耐荷性について詳述している。

### 3.1 試験方法

#### (1) セメントミルク

セメントミルクの試験としては、流動性試験と強度試験を実施した。試験は、基本的には、20°Cの温度条件下で実施している。

##### a) 流動性試験

この試験は、セメントミルクの母体アスファルト混合物に対する浸透性、ならびにセメントミルクの製造から注入作業が不可能となるまでの時間、すなわち流動性保持時間を把握する目的で実施した。この試験では、Pルート(図-10)に注いだ一定量(1,725 mL)のセメントミ

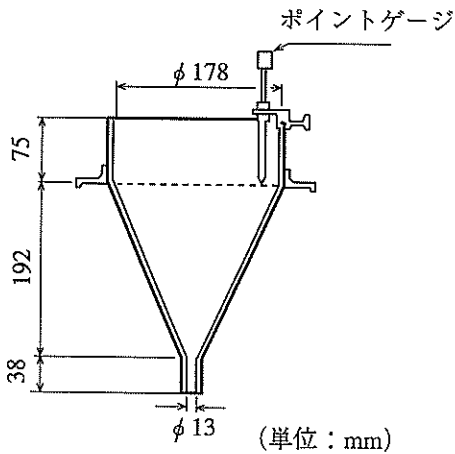


図-10 Pロート

ルクが流出するのに要する時間を読みとり、それを流下時間とするものである。この試験は、セメントミルクの製造後所定の時間が経過した時点で行って、流下時間の経時変化を把握した。

b) 強度試験およびショア硬度試験

この試験は、半たわみ性材料による補修工事終了後の交通解放時間を明らかにするために必要となる。具体的には、JIS R 5201「セメントの物理試験法」に準じて、曲げ強度および圧縮強度を測定した。

曲げ試験用供試体は、セメントミルクを十分に練り混ぜ、流下時間を確認した後、40mm×40mm×160mmの寸法からなる3連式の供試体型枠に流し込み、セメントミルクが硬化し始めたときに上面を削り取って整形を行うことによって作製した。そして、所定の材齢に達するまで、20°Cに保った恒温恒湿室内にて養生した。曲げ試験はスパン長10cm、2点支持・中央1点載荷の条件で載荷を行うことによる。試験温度は20°Cで、載荷速度は5 kgf/secである。

圧縮試験用供試体は、曲げ試験後の供試体を整形することによって作製した。この圧縮試験における試験温度は20°C、載荷速度は80kgf/secである。

現場でセメントミルクの強度を確認することは交通解放時期を決定する上でも重要であるが、現場で圧縮・曲げ試験を実施することは難しい。そのために提案されているショア硬度試験を今回は採用した。この試験に使用されるショア硬度計は、一般にゴムの硬さ測定に用いら

れる試験機<sup>\*</sup>である。供試体の寸法は、強度試験に用いたものと同様で、40mm×40mm×160mmであり、養生方法についても同様である。

(2) 半たわみ性材料

試料の作製は次の手順によった。まず、アスファルト混合物を型枠(幅300mm、長さ300mm、高さ50mm)内に敷き均して、所定の空隙率が得られるように転圧する。そして、混合物の温度が所定の温度まで下がった時点でセメントミルクを注入して、混合物中の空隙に充填する。セメントミルクは、振動テーブル上に置いたアスファルト混合物の表面に流し込み、全体を加振することにより混合物中の空隙に浸透させた。このときの温度としては、20、40、60、80°Cを設定し、試験の目的に応じて適切なものを選定した。セメントミルク注入後、試料を20°Cに保った恒温恒湿室内にて養生した。

このようにして作製された半たわみ性材料の性状については、曲げ強度試験、ホイールトラッキング試験、ショア硬度試験およびすべり摩擦抵抗測定試験によって検討した。

a) 曲げ強度試験

この試験は、半たわみ性材料の品質を評価する手法として一般に用いられている。供試体の寸法は幅50mm、長さ300mm、高さ50mmで、上記の方法で作製した試料から切り出した。載荷はスパン長200mm、中央載荷方式、載荷速度10mm/minという条件で行い、曲げ強度と破断ひずみを求めた。

b) ホイールトラッキング試験

この試験は、材料の交通荷重に対する耐流動性を把握するためのものである。この試験では、それを表す指標である動的安定度に注目した。試験温度は20°Cである。

c) 層間付着力試験

この試験では、オーバーレイ工法において重要な因子である半たわみ性材料とコンクリート版との付着程度を把握した。試験方法としては、建研式現場引抜き試験法を用いた。供試体としては、寸法が300mm×300mm×50mm(幅×長さ×厚さ)のコンクリート板を作製し、その上に50mm厚の半たわみ性材料を施工したものをを用いた。

d) ショア硬度試験

この試験はアスファルト混合物中のセメントミルクの硬化程度を把握するために実施した。供試体は幅300

\* この試験機は、ばねの圧力により突き出ている針を平滑な対象物に垂直に押し当てたときに押し戻される距離を測定できる機構となっている。その距離から硬さが判定され、数値が高いほど硬い性質を示すとされる(目盛りは0~100の範囲)。試験方法はJIS K 6301「加硫ゴム物理試験法」に規定されており、ここではC型を使用した。

mm,長さ300mm,厚さ50mmの試料をそのまま使用し,所定の時間ごとにショア硬度を測定した。試験方法は,セメントミルクの場合と同様であり,試験温度は20°Cである。

e) すべり摩擦抵抗測定試験

舗装のすべり摩擦抵抗は,航空機の走行安全性を確保する上で重要な要因である。試験方法としては,ポータブルスキッドテストおよびDFテストによる方法を用いた。水膜の厚さを1mm,温度を20°Cとした条件下で実施した。

f) 充填率測定試験

充填率は,アスファルト混合物中の空隙にセメントミルクが入り込んでいる割合であり,半たわみ性材料にとって重要な項目である。この充填率はショア硬度試験終了後の供試体を用いて次式より求めた。

充填率(%)

$$= \frac{\text{注入後供試体質量} - \text{注入前供試体質量}}{\text{供試体体積} \times \text{空隙率} \times \text{グラウト材密度}} \times 100 \quad (2)$$

なお,曲げ強度試験,ホイールトラック試験ならびにすべり摩擦抵抗測定試験は,セメントミルク注入前のアスファルト混合物に対しても実施した。

3.2 急硬性セメントミルク

2.2では半たわみ性材料を構成する各々の材料について問題点をみてきた。その結果,セメントミルクが早期交通開放を可能とならしめる急速補修工法において不可欠な項目であると考えられたので,その点についてまず検討した。ここでは,交通開放可能な時間として二種類を想定して試験を進めていくことにする。

(1) セメントミルクの流動性と強度

具体的な交通開放時間として,90分(工法A)と3時間(工法B)を想定し,これを満足できるようなセメントミルクを選定した(それぞれ,材料A,Bと称す)。セメントミルクには既製の超速硬タイプのセメントを用いることとし,前者にはジェットセメント系のものを,後者にはカルシウムサルホアルミネート系のものをを用いた。表一4,表一5にそれぞれの配合を示す。

セメントミルクの性状に関する重要な項目として,流動性とその保持時間を考えた。これは,それぞれ,母体アスファルト混合物へのセメントミルクの浸透性,セメントミルク注入作業の施工性を表す指標となる。図一11はセメントミルクの流下時間が経過時間につれて変化する状況を示したものである(温度条件20°C)。工法A,Bのどちらも時間の経過とともにセメントミルクの粘性が増し,流下時間が大きくなっていることがわかる。なか

表一4 材料Aの配合

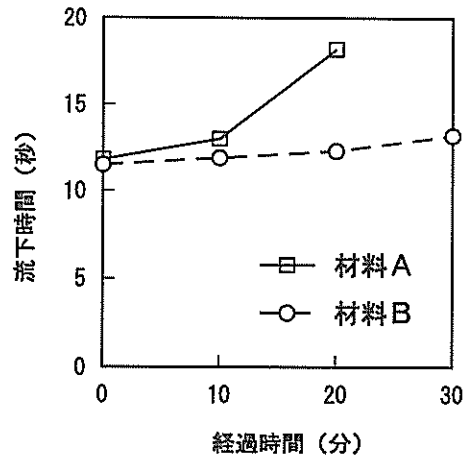
水	ポリマー	セッター	ファイラー
36.9	8.0	0.05	25.0

注)セメントに対する質量比率(単位:%)

表一5 材料Bの配合

水	ポリマー	セッター	ファイラー
36.8	10.0	0.30	30.0

注)セメントに対する質量比率(単位:%)



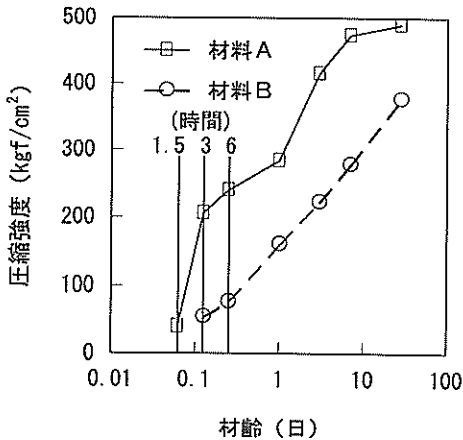
図一11 セメントミルクの流下時間

でも,材料Aは経過時間が10分を超えるあたりから急激に流下時間が増大しているのに対し,材料Bでは,30分経過した後も流下時間は混合直後と比べて2秒程度増えただけで,流動性が保持できていることがわかる。

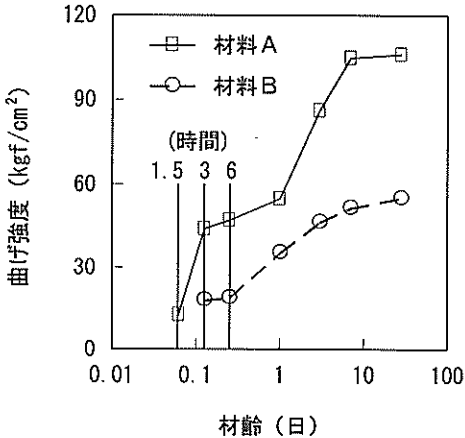
このセメントミルクの流動性に係わる規定としては,アスファルト舗装要綱に標準的な流下時間として,10~14秒が示されている。材料Aにおいては20分経過時にこの規定から逸脱するのに対して,材料Bにおいては30分経過時でもこの範囲に入っていることがわかる。これは,凝結遅延剤量の違いが原因と考えられ,セメントミルクの流動性は凝結遅延剤によって調整することが可能といえよう。しかし,それによって流動性保持時間が確保でき,セメントミルクの注入作業の施工性が向上したとしても,強度発現が遅れることにもなる。

このように流動性が異なる材料Aならびに材料Bを用いて,圧縮強度および曲げ強度を測定した結果を図一12,図一13に示す(試験温度20°C)。これから,圧縮強度および曲げ強度においても流下時間の大きい材料Aが材料Bを上回っていることがわかる。さらに,材齢にともなう強度発現状況を見ると,材料Aは材齢3時間ま

で強度が急激に増加し、その後は材齢とともに徐々に増加するのに対し、材料 B では材齢 6 時間以降から強度発現が顕著になることがわかる。この試験結果を表一 2 に示した各種の基準と比較すると、材料 A においては 3 時間程度、材料 B においては 1 日程度の材齢で基準値に到達することがわかる。このことから、セメントミルクの強度発現を早めるにはできるだけ流動性の低い材料を用いることが有利となるが、それにより流動性保持時間が短くなることにもなり、施工性の低下が懸念される。



図一12 セメントミルクの圧縮強度

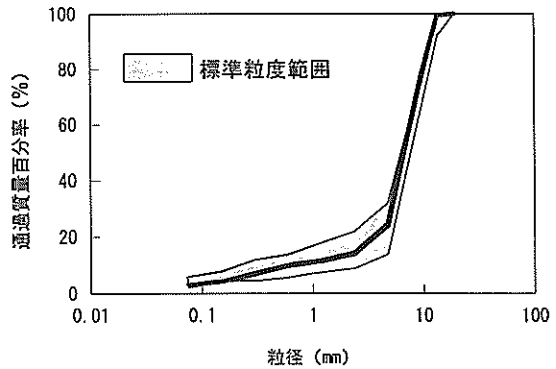


図一13 セメントミルクの曲げ強度

(2) 半たわみ性材料の力学性状

これまでセメントミルクの性状についてみてきたが、次に、セメントミルクを母体アスファルト混合物中の空隙に浸透させることによって得られる半たわみ性材料の性状について調べることにする。

母体アスファルト混合物の配合設計にあたっては、日



図一14 骨材の通過質量百分率

表一 6 アスファルト混合物のマーシャル性状

アスファルト量 (%)	密度 (g/cm³)		空隙率 (%)	安定度 (kgf)	流下時間 (1/100cm)
	見掛	理論			
3.5	1.990	2.587	23.1	522	35

本道路公団の半たわみ性舗装施工要領(案)<sup>15)</sup>に基づき、混合物の空隙率23%、マーシャル安定度250kgf以上となることを目標とした(骨材の最大粒径13mmの骨材ならびにストレートアスファルト60-80を使用した)。図一14に骨材の通過質量百分率を、表一6にアスファルト混合物のマーシャル性状を示す。これに基づいて母体アスファルト混合物を作製し、上記の2種類のセメントミルクを注入した(注入時のアスファルト混合物の温度は20°Cである)。

材齢が7日となった時点で半たわみ性材料の曲げ強度試験およびホイールトラッキング試験を行った。表一7はその結果を示したものである。曲げ強度でみるとセメントミルクの場合と同様に、材料 A が材料 B を用いたものと比べて 6 割程度高いことから、半たわみ性材料の場合もその強度発現にはセメントミルクの性状が大きく影響することがわかる。しかし、曲げ強度自体は、材料 B においても東京都が設けている基準値である 30kgf/cm<sup>2</sup>以上を確保していることから、今回用いた半たわみ性材料の強度については問題がないものと結論づけられる。なお、図一15には材齢 7 日でのセメントミルクと半たわみ性材料の曲げ強度の比較を示した。材料の曲げ強度は材料 A、B ともセメントミルク単体のものが大きく、混合物とすることによって強度自体は低下することがわかる。

次に、ホイールトラッキング試験結果をみると、曲げ強度とは逆に、材料 B のほうが変形抵抗性が高くなっていることがわかる。しかし、材料 A においても動的安定

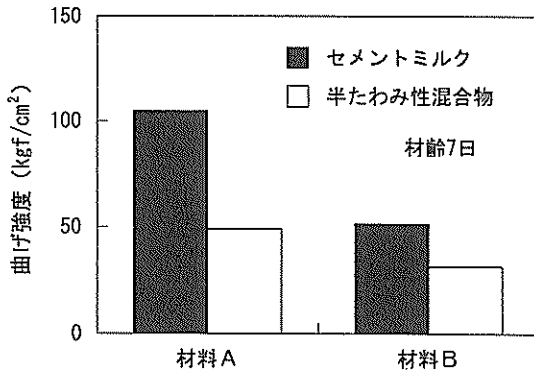


図-15 曲げ強度の比較

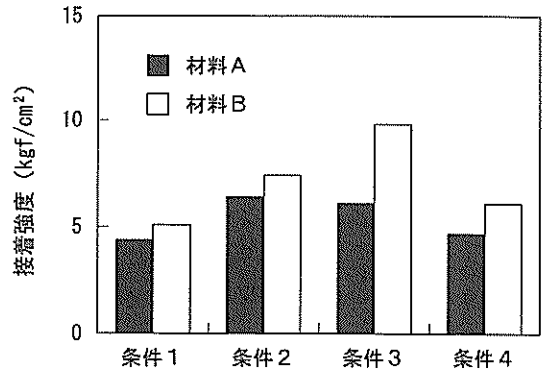


図-16 接着強度の比較

度は21,000回/mm程度と極めて大きく、重交通用アスファルト舗装に対する基準値である3,000回/mmと比較しても大きいことから、変形抵抗性については問題がないと結論づけられる。

(3) 半たわみ性材料とコンクリート版との付着

半たわみ性材料を施工する際の既設コンクリート版の表面処理方法とタックコート\*施工の必要性について検討した。コンクリートの配合は、粗骨材の最大寸法が15mmで、設計基準曲げ強度が50kgf/cm<sup>2</sup>となるように設計した(表-8)。アスファルト混合物に注入するセメントミルクとして、上記の材料 A, B の両方を用いた。

試験に供したコンクリート版の表面処理方法・タックコートの施工方法は、表-9に示す4種類である。具体的には、コンクリート版の材齢が7日になった時点で、ショットブラスト\*\*・タックコート施工を行ってから、半たわみ性材料を施工した。そして24時間養生してから、引抜き試験を実施した。

図-16は接着強度を示したものである。この図から、タックコートとして一般的なPK-4を用いると、ショットブラストを施工しても接着強度には影響を及ぼさないことが推定される。また、タックコートの種類についてみると、PK-Rを用いるほうが接着強度は大きくなる傾向が認められる。さらに、今回の試験で得られた材料の違いでは、材料 B のほうが大きな強度を示していることがわかる。これらの接着強度は、いずれも表-10に示した他の事例と同等であることがわかる。これらのことを総合すると、いずれの工法によっても十分な接着強度が得られるものと考えられる。

(4) 早期交通開放に適するセメントミルク

これまで見てきたように、セメントミルクの流動性保持時間を長くすることは施工性の面からは有利となるが、早期交通開放という観点からみると強度発現が遅れるため不利となる。交通開放まで90分を想定した工法 A に用いたセメントミルクは、初期強度を確保することを

表-7 半たわみ性材料の力学性状

材料名	曲げ試験		ホイールトラッキング試験		
	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破断ひずみ (×10 <sup>-3</sup> )	動的安定度 (回/mm)	変形率 (mm/min)	圧密変形量 (mm)
材料 A	49.1	8.3	21,000	0.0020	0.33
材料 B	31.4	8.0	28,000	0.0015	0.60

表-8 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					曲げ強度(材齢 28 日) (kgf/cm <sup>2</sup> )
					水 W	セメント C	砂	粗骨材	混和剤	
45.0	45.0	15	5.0	4.2	155	344	811	1,012	C×0.25%	62.9

\* 上下層の付着を確実にするために下層表面にアスファルト乳剤を散布したもの。

\*\* 圧縮空気により鋼球を舗装表面に吹き付けて粗面を形成する工法。

表一 9 オーバーレイ層とコンクリート版との付着条件

条件	コンクリート面の処理方法	タックコート		養生時間(時間)	材料
		種類	塗布量( $l/m^2$ )		
1	ショットプラスト	PK-4	0.4	24	A
2	ショットプラスト	PK-R	0.4		
3	ショットプラスト	なし	-		B
4	金ごて仕上げ	PK-4	0.4		

表一 10 接着強度の現場測定例

材料(上層/下層)	試験舗装			
	A	B	C	D
密粒 AC/粗粒 AC	7.4	-	-	-
密粒 AC/半たわみ	-	-	4.9	4.8
粗粒 AC/半たわみ	-	5.3	-	-
半たわみ/As 安定	-	4.9	4.3	5.0

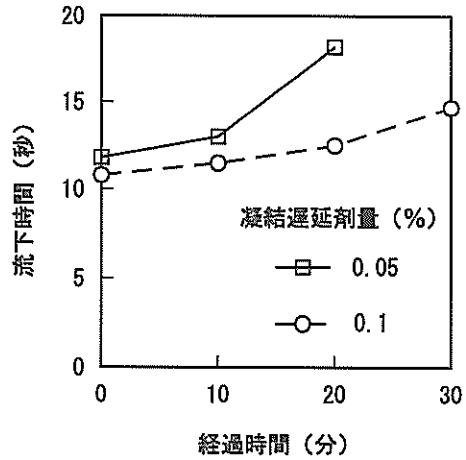
(単位:  $kgf/cm^2$ )

考慮したため、流動性保持時間は15分程度となりました。

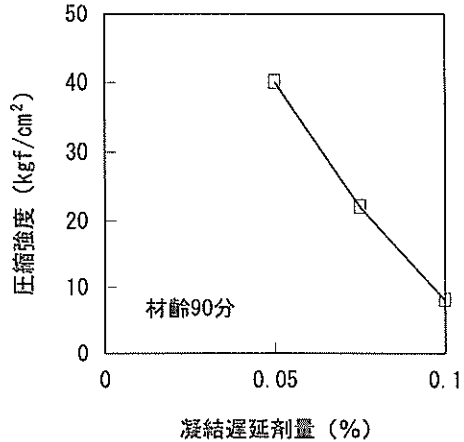
この材料について凝結遅延剤を用いた場合の流下時間と強度の関係について調べてみた。まず、図一17には凝結遅延剤量を2倍としたときの、経過時間にもなう流下時間の変化を示した。凝結遅延剤を増加することよりセメントミルクの流動性保持時間は長くなり、30分程度は十分確保できていることがわかる。さらに、凝結遅延剤の添加量を変化させた場合の、材齢90分における圧縮強度について図一18に示した。この図から添加量の増加につれて圧縮強度が低下することがわかる。

セメントミルクの流動性保持時間と強度発現性は温度の影響を受け、工法Bにおけるセメントミルクを用いて、試験温度を20°C、30°Cとしたときの流下時間の変化を図一19に、材齢3時間での圧縮強度を図一20に示す。30°Cとした場合の流動性保持時間は20分程度となり、20°Cの場合に比べて短くなるが、圧縮強度は逆に増加していることがわかる。

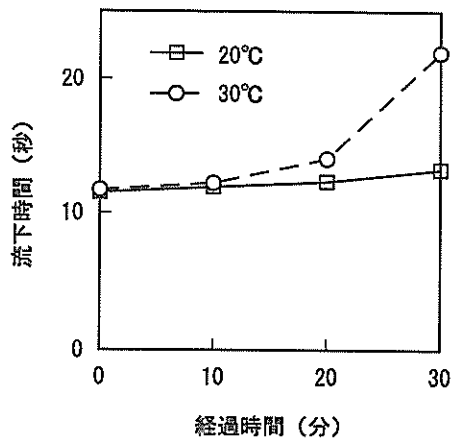
以上のことから、セメントミルク充填作業の施工性を確保した上で、早期強度を高めるための方策としては、凝結遅延剤量を多くすることとセメントミルク注入時の温度を上げることの2点が挙げられる。そのためには、現状では50°Cと規定されているセメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を上げることが必要となり、そのような場合でも注入可能な材料を開発する必



図一 17 凝結遅延剤量と流下時間



図一 18 凝結遅延剤量と圧縮強度



図一 19 温度が流下時間に及ぼす影響

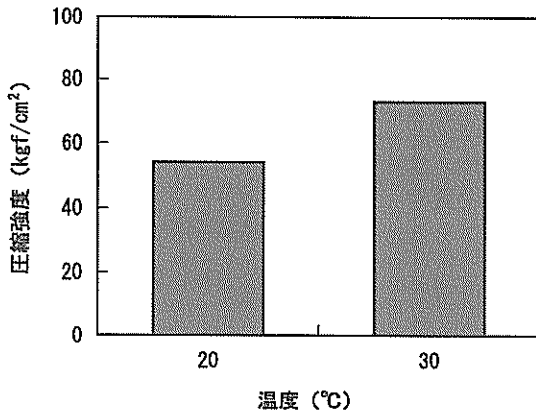


図-20 温度が圧縮強度に及ぼす影響

要があろう。

### 3.3 注入温度に係わる検討

#### (1) セメントミルクの性状

3.2では急硬性セメントミルクの開発試験を進めてきたが、それによって得られたジェットセメント系のものを用いてさらに試験を進める。

急硬性セメントミルクとしては、プレミックスタイプと現場での材料混合が必要となるタイプのものがある。3.2で述べた急硬性セメントミルクを開発する過程では後者を用いたが、作業が煩雑で、しかも計量等での人為的誤差により、セメントミルクの品質のみならず半たわみ性材料の品質に影響の及ぶ危険性は否定できない。このことから、室内試験におけるセメントミルクにはプレミックスタイプのものを用いることとした。なお、セメントミルクは、水セメント比40%の条件で製造している。

図-21はセメントミルクの流下時間と経過時間の関係を示したものである。時間の経過とともにセメントミルクの粘性が徐々に増加し流下時間が大きくなっていることがわかる(45分経過時にはセメントミルクがゲル化した)。アスファルト舗装要綱では標準的な流下時間として10~14秒の範囲を規定していることから、流下時間が13秒を超えるまでの時間を可使用時間と考えると、30分程度は確保できていることがわかる。一般に、超速硬タイプのセメントミルクは時間の経過とともに流下時間が増大することより作業性の低下が懸念されるが、この程度の可使用時間が得られたことから、今回用いたセメントミルクは作業性の点からは満足できるものである。

次に、このセメントミルクを用いて曲げ試験ならびに圧縮試験を行った。図-22および図-23はその結果を示したものである。いずれの場合も、材齢1時間ではセメ

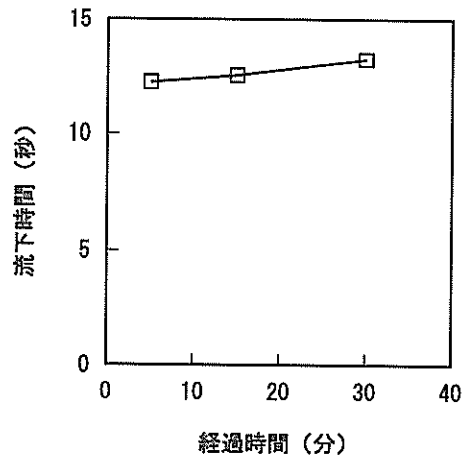


図-21 セメントミルクの流下時間

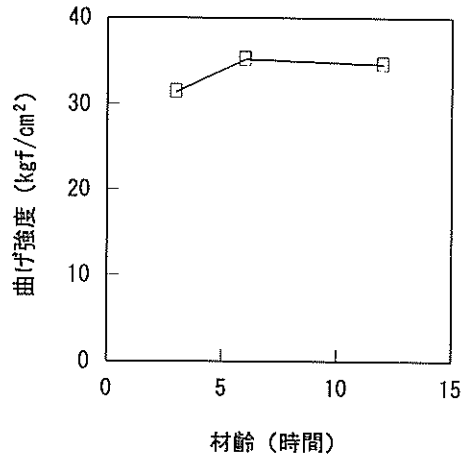


図-22 セメントミルクの曲げ強度

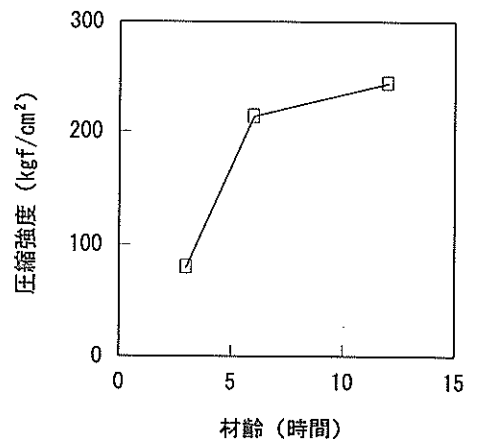


図-23 セメントミルクの圧縮強度



ントミルクの硬化が不十分なため測定は不可能だったが、材齢の経過につれてこの程度の強度増加が確認された。曲げ強度においては、材齢初期でかなりの強度発現がみられたのに対し、圧縮強度では、材齢3時間までよりも材齢3～6時間のほうが強度増加が著しく、材齢3～6時間で2.7倍にまで増加した。この結果をアスファルト舗装要綱に示されている規定値と比較すると、曲げ強度については20kgf/cm<sup>2</sup>（養生7日）を材齢3時間程度で上回り、圧縮強度に関しても100～300kgf/cm<sup>2</sup>（養生7日）の範囲内に6時間程度で達していることが認められた。

実工事におけるセメントミルクの施工管理試験として圧縮試験や曲げ試験を行うことは現実的でないことから、これに代わるものとして提案されているショア硬度を測定した（図-24）。硬度は材齢とともに増加し、圧縮強度および曲げ強度と同様に、6時間程度経過すれば強度増加がほぼ落ちついた状態になるものと思われる。

図-25ならびに図-26はショア硬度と曲げ強度および圧縮強度の関係を示したものである。いずれの場合もショア硬度が増せば強度も増加するが、今回得られたショア硬度が80～90の範囲での曲げ、圧縮強度との関係は同一ではない。すなわち、この範囲では曲げ強度はあまり変化しないが、圧縮強度は大幅に変わる。

(2) 半たわみ性材料

(1)でセメントミルクの性状を一通り見てきたが、次にセメントミルクを母体アスファルト混合物に注入する際のアスファルト混合物の温度の違いが、半たわみ性材料の力学性状に及ぼす影響について検討する。表-11には実施した試験の条件をまとめた。

母体アスファルト混合物は、空隙率23%、マーシャル

安定度300kgfとなる配合のものを用いた。骨材の最大寸法は13mmで、アスファルトとしてはストレートアス

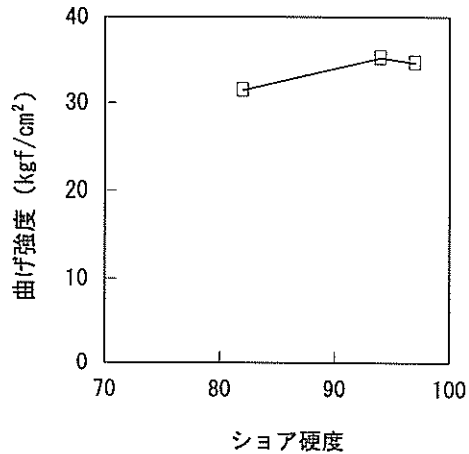


図-25 ショア硬度と曲げ強度

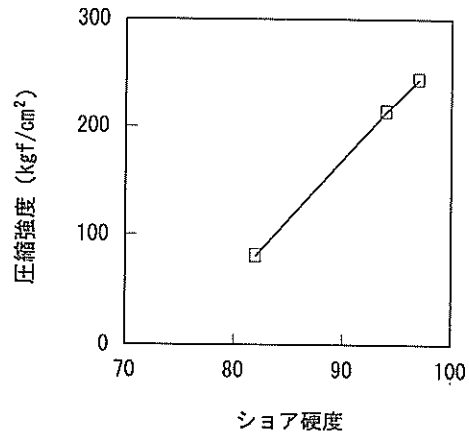


図-26 ショア硬度と圧縮強度

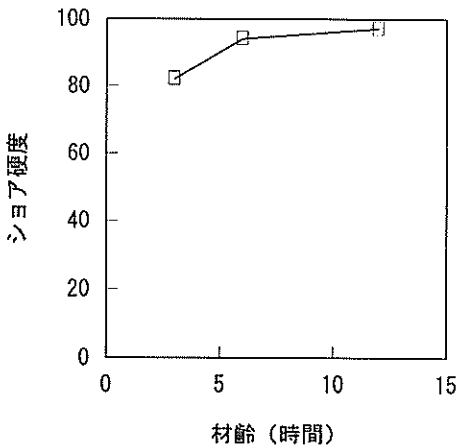


図-24 セメントミルクのショア硬度

表-11 注入時温度に関する試験条件

試験の種類	注入温度 (°C)	材齢
曲げ強度試験	20,40,60,80	1,3,6 時間 1,7 日
ホイールトラッキング試験	20,40,60,80	3 時間 1 日
ショア硬度試験	20,40,60,80	1,3,6,12 時間
すべり摩擦抵抗試験	60	-
充填率測定	20,40,60,80	-

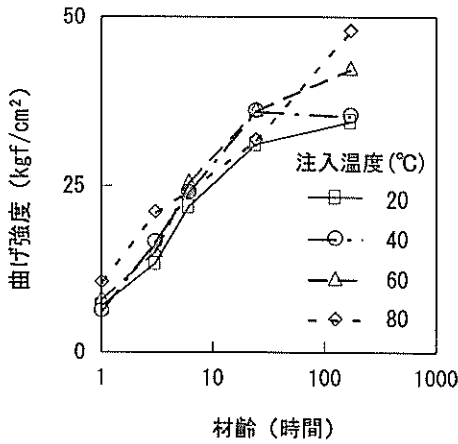


図-27 注入時温度と曲げ強度

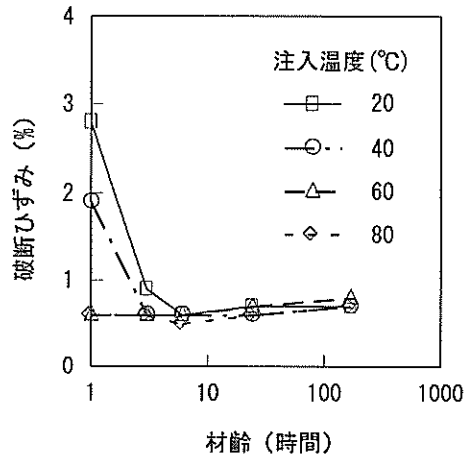


図-28 注入時温度と破断ひずみ

ファルト60-80を用い、アスファルト量は3.4%であった。この詳細については3.4で後述する。

図-27は、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を変えた場合の、半たわみ性材料の曲げ強度を示したものである。強度で見れば、母体アスファルト混合物の温度が高い場合に高い値を示していることから、温度の違いが強度に及ぼす影響が明らかであるといえよう。この結果をセメントミルクを注入する前の母体アスファルト混合物の曲げ強度と比較すると、注入後の初期材齢（試験温度20°C）において、曲げ強度で1.3倍となっている。

破断ひずみについては図-28に示した。この場合は、初期材齢における温度の違いが顕著で、温度が低ければ破断ひずみも大きい値を示している。高温時の場合は材齢が経過しても破断ひずみがほとんど変化しないことから、材齢1時間程度ですでに硬化がかなり進行していることが推察される。また、温度によらず、6時間程度が経過すれば破断ひずみはほぼ一定値になることがわかる。このことから、セメントミルクは初期材齢においてアスファルト混合物の温度の影響を受けるが、材齢6時間以降では影響がなくなることがわかる。母体アスファルト混合物の破断ひずみと比較すると0.4倍となっている。

ショア硬度の経時変化を示した図-29から、セメントミルクの硬化程度は温度の影響を受けることが確認された。初期材齢において、温度が60°C以上であれば温度が40°Cの場合と比べるとショア硬度が1.6倍となっていること、20°Cではセメントミルクが硬化していないことがわかった。

また、そのときのセメントミルクの充填率は、図-30

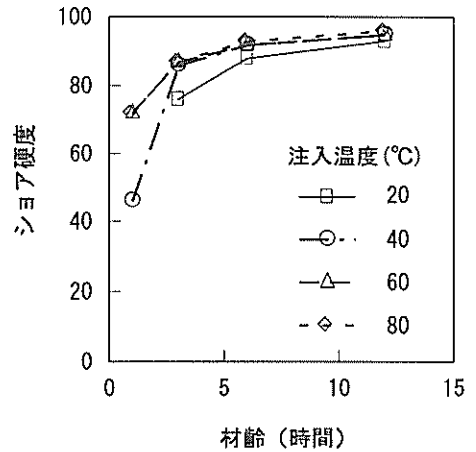


図-29 注入時温度とショア硬度

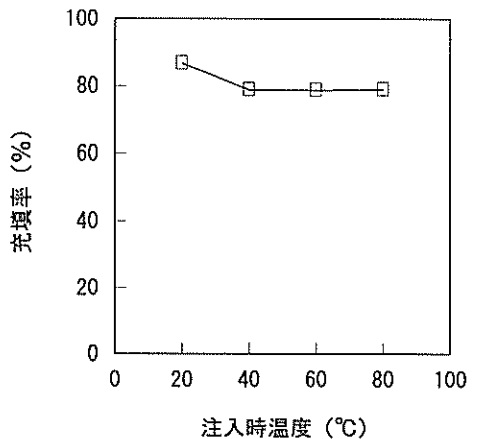


図-30 注入時温度と充填率

に示すように、いずれの場合も80%程度と高い値を示していることがわかる。このことから、アスファルト混合物の温度が高い場合でも、浸透性は良好であることが認められる。

セメントミルクを注入した半たわみ性材料の内部温度の測定結果を図-31に示す。注入時の温度差は徐々に減少し、6時間経過時にはほぼ20°C程度に落ちつくことがわかる。

次に、舗装材料の耐流動性を表す指標であるホイールトラッキング試験により得られる動的安定度について考察する。この動的安定度は、通常試験開始後45分から60分までの間の変形量に基づいて決定されるものであり、半たわみ性材料の場合にはその間の変形量が0.01mmもしくはそれ以下となっているため、630,000回/mm以上の値が得られてしまう。この値は、アスファルト混合物の耐流動性に関する目安である3,000回/mmを大きく上回っていることから、半たわみ性材料は十分な耐流動性を有していると結論づけられる。

セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度の影響をみるために、試験開始後10分から60分までの間の変形量を計算して、それに基づいて動的安定度として図-32にまとめた。注入温度の違いによる影響については

はっきりした傾向はみられない。

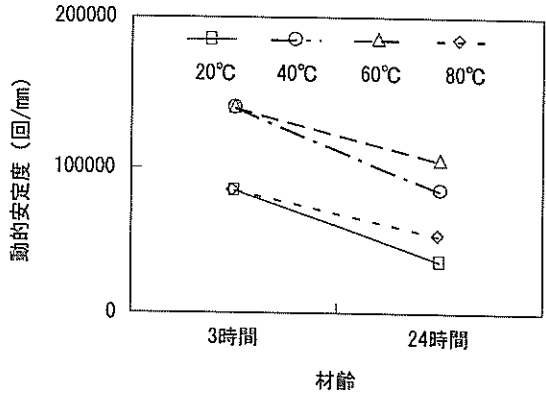


図-32 注入時温度と動的安定度

### 3.4 急速施工材料の開発

3.3では、半たわみ性材料の急速補修工法への適用性を確認するために、まずセメントミルクの高温時注入についての可能性について調べた。本節では、半たわみ性材料として、空港舗装に適した耐荷力の大きいものを得るための方策について検討する。なお、セメントミルクは、3.3で用いたものと同様である。

#### (1) 試験条件

半たわみ性舗装の母体となるアスファルト混合物の空隙率および強度は、セメントミルクを注入する際に十分な浸透性を有していて、かつ航空機荷重に対する耐荷性を備えていること、などの面からも重要な問題となってくる。そのためにも適切な配合設計が必要となるが、その際過大なアスファルト量を採ると前述したような問題が生じることもあることも念頭に入れて、慎重に行わなければならない。

アスファルト混合物の種類は表-12に示すものを考えた。この場合の空隙率は、表-1に示している道路舗装での実績を参考にして、3種類(20, 23, 26%)を設定した。また、半たわみ性材料の耐荷性の基礎となる母体アスファルト混合物のマーシャル安定度についても、表-1に示す諸機関の規格を参考にして、300~350kgf以

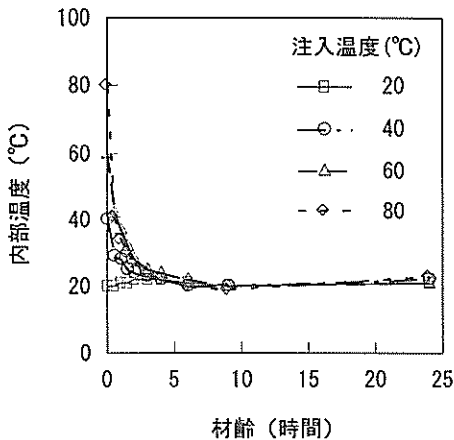


図-31 注入後の内部温度の推移

表-12 アスファルト混合物の種類

名称	空隙率 (%)	マーシャル安定度 (kgf)	アスファルトの種類	注入温度 (°C)
応用 I	20	300	ストレート 60-80	60,80
基本	23	300	ストレート 60-80	20,40,60,80
応用 II		350	改質 II 型	60,80
応用 III	26	300	ストレート 60-80	60,80
応用 IV		350	改質 II 型	60,80

上を目標とした。同一空隙率でマーシャル安定度の異なる材料を得るために、この表に示すように、種類の異なるアスファルトを用いた。すなわち、一般的なストレートアスファルト60-80のほか、高強度を得るために改質アスファルト（II型）を用いた。セメントミルクは、母体アスファルト混合物の温度が60°Cと80°Cの時点で注入した（基本型については20、40°Cでも実施）。

なお、骨材粒度については、一般的に最大粒径を13mmとするもの、20mmとするものに大別され、施工厚によって使い分けられている。たとえば、日本道路公団では一般地域においては最大粒径13mm（舗装厚4cm）、摩耗を受ける地域においては最大粒径20mm（舗装厚5cm）を標準としている。本試験では一層厚が小さい場合への適用性も考慮して、最大粒径13mmのものを採用した。

この場合も3.3と同様の試験を行った。そのうち、曲げ強度試験、ホイールトラッキング試験、ショア硬度試験についての条件を表-13にまとめた。このほか、セメントミルクの注入温度が60°Cの場合についてはすべり摩擦抵抗についても測定している。これらの試験はセメントミルク注入前のものについても実施した。

表-13 力学試験の試験条件

試験の種類	注入温度 (°C)	材齢			
		1時間	3時間	6時間	1日
曲げ強度試験	60	-	○	○	-
	80	-	○	○	-
ホイールトラッキング試験	60	-	○	-	○
	80	-	○	-	○
ショア硬度試験	60	○	○	○	-
	80	○	○	○	-

注) 曲げ強度試験、ホイールトラッキング試験については注入しない場合についても実施

(2) 母体アスファルト混合物の配合

まず、仮定した空隙率を満足する骨材粒度を決定するため、予備配合試験を実施した。ここでは、アスファルト量を3.5%、突固め回数を両面各50回とする条件を採用している。この試験から、アスファルト混合物の空隙率は、骨材配合率に応じて図-33のように変化することがわかった。その結果、20、23、26%という目標空隙率を満足する骨材配合率は、表-14に示すとおりとなることがわかった。この場合の粒径加積曲線は図-34のようになる。

次に、本配合として、これらの骨材配合率を用いて、目標空隙率とマーシャル安定度が得られるようなものを求めた。図-35、図-36にはアスファルト量と空隙率、

マーシャル安定度の関係をそれぞれ示した。

以上より、目標とする空隙率とマーシャル安定度を満足するアスファルト量として表-14に示すものが得られた。ストレートアスファルト60-80と改質アスファルトII

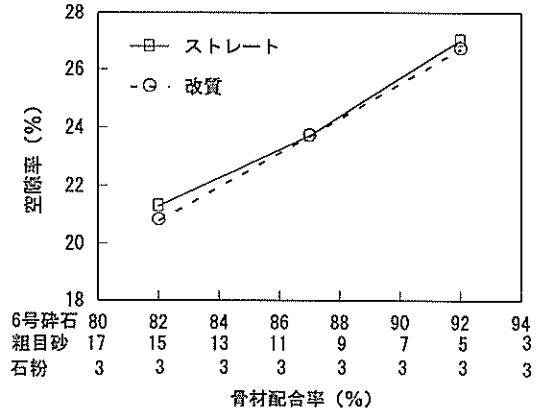


図-33 骨材配合率と空隙率の関係

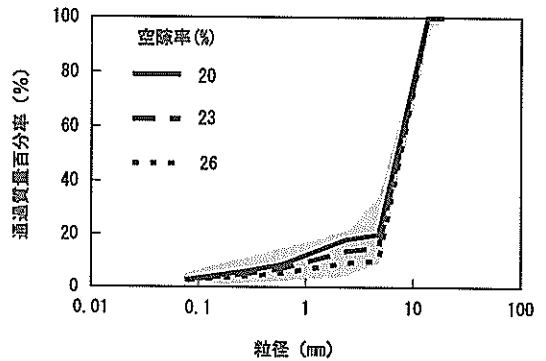


図-34 骨材の粒径加積曲線

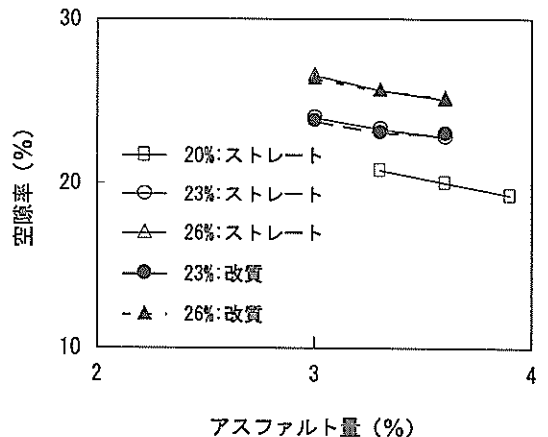


図-35 アスファルト量と空隙率

表-14 半たわみ性材料の配合

名称	目標値		骨材配合率(%)			アスファルト	
	空隙率 (%)	安定度 (kgf)	6号碎石	粗目砂	石粉	種類	添加量 (%)
応用 I	20	300	80	17	3	ストレート 60-80	3.6
基本	23	300	85	12	3	ストレート 60-80	3.4
応用 II		350				改質 II 型	3.4
応用 III	26	300	90	7	3	ストレート 60-80	3.2
応用 IV		350				改質 II 型	3.2

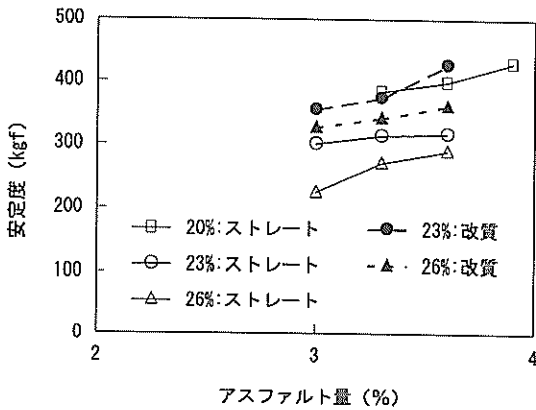


図-36 アスファルト量と安定度

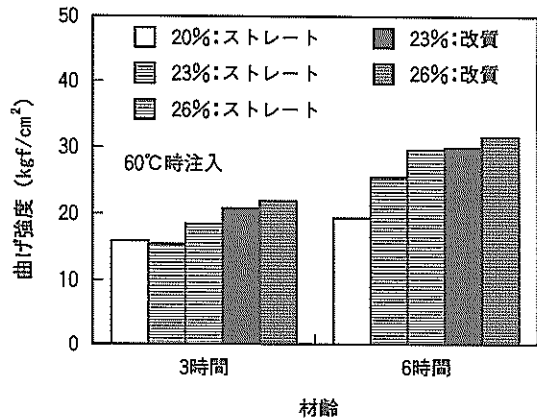


図-37 半たわみ性材料の曲げ強度 (60°C)

型を用いた場合の空隙率23, 26%での安定度を比べてみると、いずれも後者のほうが2~3割高い値を示していることがわかる。このほか、空隙率を26%とした場合の安定度についてみれば、いずれのアスファルトを用いた場合も目標とするマーシャル安定度は得られないようである。

(3) 曲げ強度

上記の配合試験により決定された、それぞれの空隙率における骨材配合率およびアスファルト量に基づいて、母体アスファルト混合物を作製し、混合物ならびにセメントミルクを注入した半たわみ性材料の曲げ強度を測定した。図-37、図-38は母体アスファルト混合物に用いたアスファルトの種類および空隙率の違いによる半たわみ性材料の曲げ強度を示したものである (セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物温度は、それぞれ60°C, 80°C)。

まず、母体アスファルト混合物の空隙率が半たわみ性材料の曲げ強度に及ぼす影響について検討しよう。これらの図から、母体アスファルト混合物の空隙率が高いほど、半たわみ性材料の強度が高くなっていることがわかる。母体アスファルト混合物単独では空隙率が小さい場合ほど曲げ強度が大きかったが、半たわみ性材料ではそ

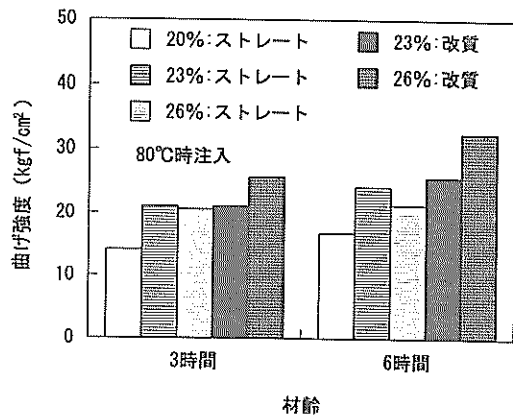


図-38 半たわみ性材料の曲げ強度 (80°C)

れが逆転している。図-39、図-40には、母体アスファルト混合物の空隙にセメントミルクを注入することにより曲げ強度が増加する状況を示している (注入温度はそれぞれ60, 80°C)。母体アスファルト混合物の空隙が多い場合ほど注入されるセメントミルクの量が多いため、強度も増加するものと思われる。

次に、アスファルトの種類の違いについて調べよう。これらの図からわかるように、空隙率が同じ場合でも

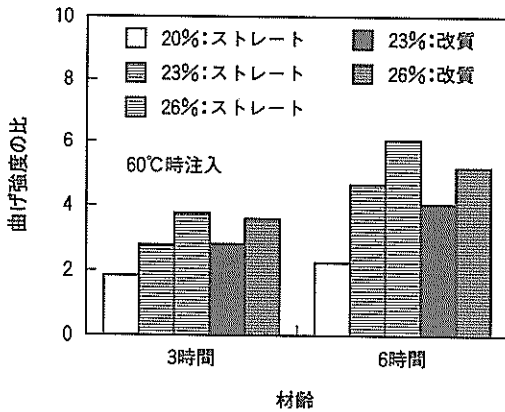


図-39 注入前後の曲げ強度の比 (60°C)

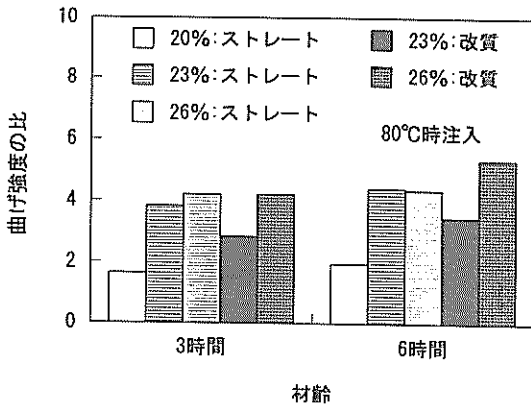


図-40 注入前後の曲げ強度の比 (80°C)

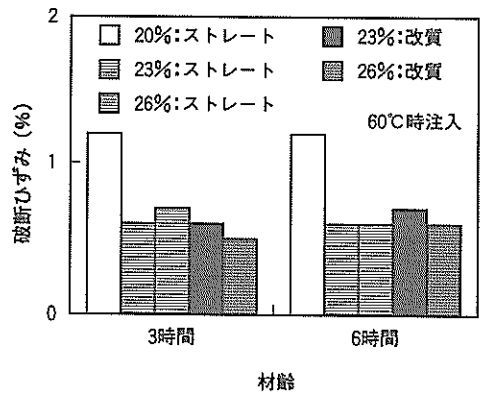


図-41 半たわみ性材料の破断ひずみ (60°C)

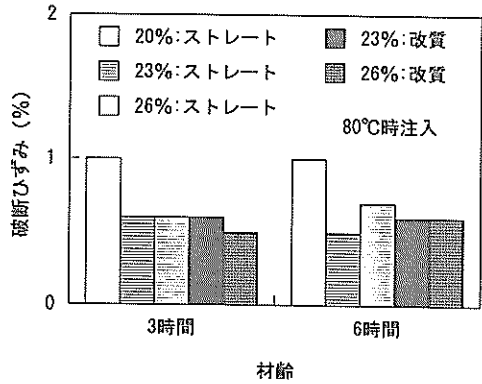


図-42 半たわみ性材料の破断ひずみ (80°C)

ば、改質アスファルト II型を使用すると、ストレートアスファルト60-80を使用するよりも、母体アスファルト混合物のみならず、半たわみ性材料においても曲げ強度が増加する。

以上より、半たわみ性材料の曲げ強度を高めるためには、母体アスファルト混合物の空隙率を大きくし、アスファルトとして改質アスファルト II型を用いることで可能と言える。

日本道路公団の半たわみ性舗装施工要領(案)では、半たわみ性材料の曲げ強度として目標値が25kgf/cm<sup>2</sup>以上(材齢7日)とされている。今回行った試験条件では、材齢3時間においては母体アスファルト混合物の空隙率を26%とし、アスファルトとして改質アスファルト II型を用い、そしてセメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度が80°Cとなる場合のみ、この規格を満足していることがわかる。また、材齢6時間では母体アスファルト混合物として改質アスファルト II型を使用した場合はいずれも満足するが、ストレートアスファルト

60-80においては、空隙率を20%とした場合は目標強度に達していないことがわかる。

上記と同一条件における破断ひずみについて、図-41、図-42に示した(注入時温度60°C、80°C)。母体アスファルト混合物の空隙率が23%、26%と異なっても破断ひずみは大きく異ならないが、20%では他の二条件と比べて明らかに大きくなっている。このことより、空隙率が20%の場合はアスファルト混合物としての性状がセメントミルクとしての性状よりも卓越しているといえよう。また、アスファルトの種類が違っても破断ひずみはほとんど変化しない。日本道路公団における「半たわみ性舗装施工要領(案)」において示されている破断ひずみの基準値(材齢7日で $3 \times 10^{-3}$ 以上)については、セメントミルク注入時母体アスファルト混合物の温度によらず、満足することがわかる。

#### (4) ホイールトラッキング試験

セメントミルク注入前の母体アスファルト混合物におけるホイールトラッキング試験で得られた動的安定度を示したものが図-43である。アスファルトとしてスト

レートアスファルト60-80, 改質アスファルトII型を用いても, 空隙率が大きくなるにつれて動的安定度は低下していくことがわかる。しかし, アスファルトとして改質アスファルトII型を用いることで, ストレートアスファルト60-80に比較すると, 高い動的安定度の得られていることもわかる。

次に, セメントミルクを注入することによって耐流動性が変化する状況を図-44, 図-45に示した(それぞれ, 注入温度が60°C, 80°C)。この図は, セメントミルク注入後の動的安定度の注入前のものに対する比を表している(このときの動的安定度は試験開始後10分から60分までの間の変形量に基づいている)。注入温度が60°C, 80°Cの場合とも, 動的安定度はセメントミルク注入後に10倍程度にまで増加することがわかる。

(5) ショア硬度試験

曲げ強度試験と同一条件下で測定した半たわみ性材料のショア硬度を図-46, 図-47に示す。セメントミルクの注入温度は, 前者で60°C, 後者で80°Cである。いずれ

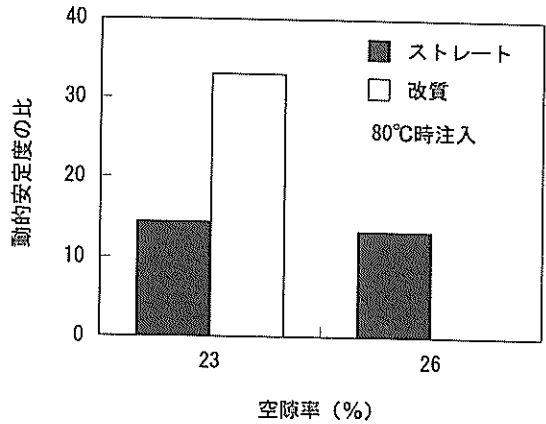


図-45 注入前後の動的安定度の比 (80°C)

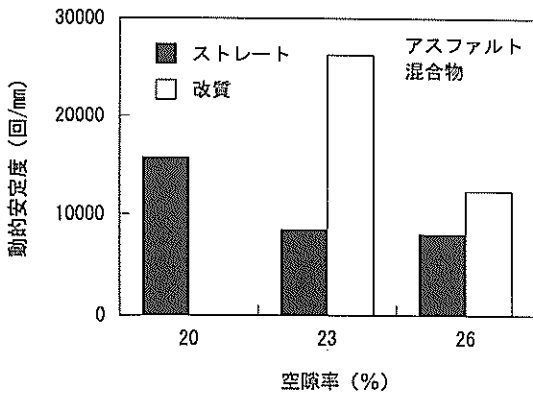


図-43 アスファルト混合物の動的安定度

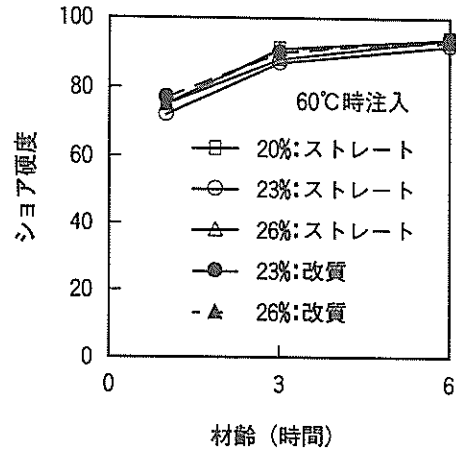


図-46 半たわみ性材料のショア硬度 (60°C)

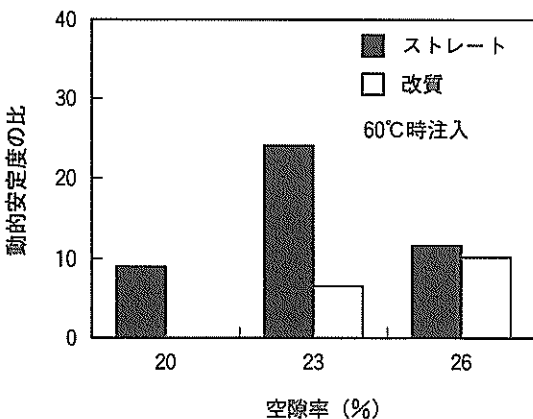


図-44 注入前後の動的安定度の比 (60°C)

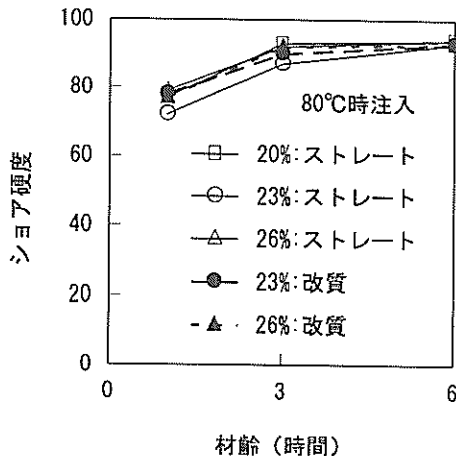


図-47 半たわみ性材料のショア硬度 (80°C)

も母体アスファルト混合物が高温時にセメントミルクを注入しているため、セメントミルクの硬化が促進され、ショア硬度は高い値を示していることがわかる。母体アスファルト混合物のアスファルトの種類ならびに空隙率が異なっても、ショア硬度はあまり変化しないこと、すなわちショア硬度に対してはセメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度が主たる要因となることがわかる。

(6) すべり摩擦抵抗測定試験

セメントミルク注入前後のすべり摩擦抵抗を測定した。注入後の場合にはショア硬度試験終了後の供試体(セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度が60°Cのもの)を用いた。

図-48にはポータブルスキッドテストによるBPNを示した。いずれの条件においても母体アスファルト混合物単体でのBPNは70程度であるのに対し、半たわみ性材料においては60程度と減少することから、セメントミルクを母体アスファルト混合物に注入することですべり摩擦抵抗値は減少することがわかる。半たわみ性材料で空隙率の違いに着目すると、空隙率が20%のものがやや高い値を示していることがわかる。また、改質アスファルトII型を用いたものが全体的に小さな値を示している。日本道路公団における半たわみ性舗装施工要領(案)では、すべり摩擦抵抗値として60以上と規定しているが、セメントミルク注入後の半たわみ性材料においては、改質アスファルトII型を用いた場合に基準値に達していないことが懸念されるが、それ以外は問題はないようである。

次に、図-49、図-50、図-51、図-52はDFテストによるすべり摩擦抵抗値を測定速度20、40、60、80km/hと変化させた場合で示したものである。測定速度を高めていくことでセメントミルクの注入の有無によらず、すべり

り摩擦係数は減少することがわかる。半たわみ性材料に注目すると、空隙率の大きいほうがすべり摩擦抵抗値の小さいことがわかる。

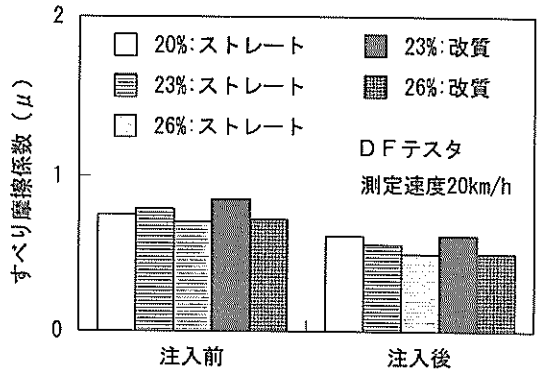


図-49 注入前後のすべり摩擦係数 (20km/h)

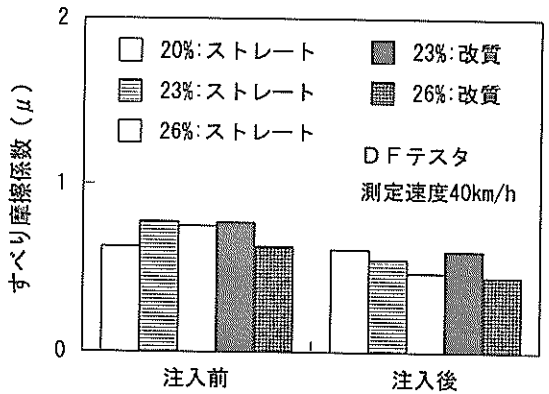


図-50 注入前後のすべり摩擦係数 (40km/h)

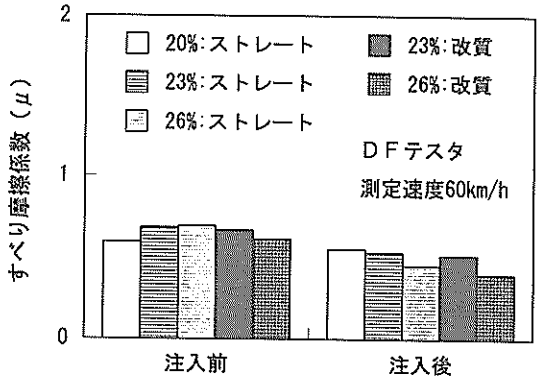


図-51 注入前後のすべり摩擦係数 (60km/h)

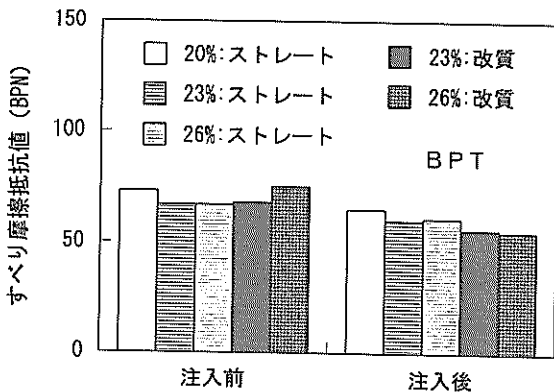


図-48 注入前後のすべり摩擦抵抗値



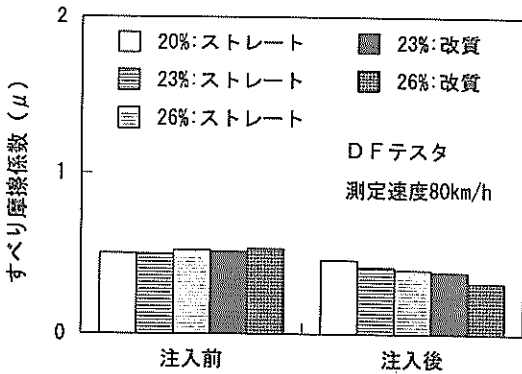


図-52 注入前後のすべり摩擦係数 (80km/h)

#### 4. 試験施工による検証

3.に述べたように、半たわみ性材料について一連の室内試験を実施して、コンクリート舗装の急速補修方法としての適用性について明らかにした。本章では、この結果を受けて実施した試験施工ならびに載荷試験の状況について記述する。

##### 4.1 試験施工と載荷試験

###### (1) 試験舗装の製作

###### a) 舗装計画

試験舗装は、平成7年1月に港湾技術研究所野比実験場の既設コンクリート舗装上に施工された。この試験施工に供された部分はB~Eの4区画である(図-53は平

面図)。各区画とも2枚のコンクリート版からなるが、幅7m、長さ5mのレーンでオーバーレイを実施した。なお、A区画およびF区画の一部には、セメントミルクを注入しない部分を設け、母体アスファルト混合物の空隙率を調べた。また、各区画の側方は両側とも50cm幅のすり付け部分を設けた。

図-54には断面図を示す。既設コンクリート舗装は昭和57年度に施工されたものであり、コンクリート版45cm、アスファルト中間層4cm、粒度調整碎石層15cmからなる構造を有している。また、路床の上部50cmの部分では強度を調整している。なお、路盤作製時の支持力係数 $K_{75}$ (粒度調整碎石上)は $7.8\text{kgf/cm}^2$ であった。このコンクリート舗装上に厚さ5cmの半たわみ性材料を施工した。

半たわみ性材料は、使用材料、配合等が室内試験に基づいて選定された。アスファルト混合物に使用された骨材の粒度加積曲線を図-55に示す。この骨材を用いて、空隙率23%、マーシャル安定度350kgfを目標に配合設計を行った結果に基づいて、表-15に示すように最適アスファルト量を3.5%と決定した。なお、アスファルトとしては改質アスファルトII型を用いた。

セメントミルクとしては、ジェットセメント系のものを用い、アスファルト混合物の温度が $80^{\circ}\text{C}$ (D, E区画)、 $50^{\circ}\text{C}$ (B, C区画)に低下した時点で注入を行った。なお、水セメント比は40%である。

載荷試験時の舗装の挙動を把握することを目的とし

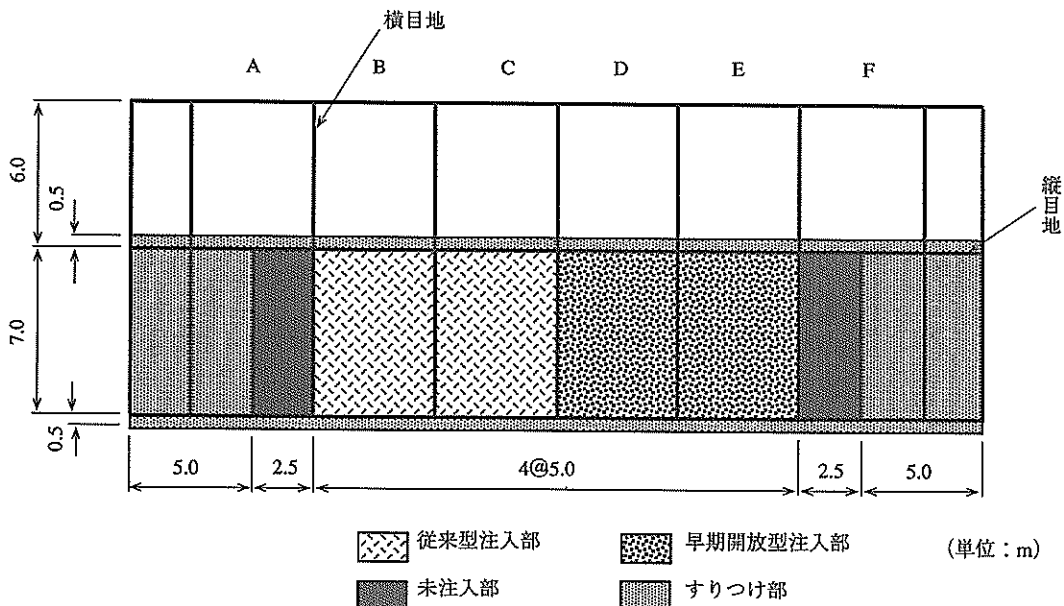


図-53 試験施工平面図

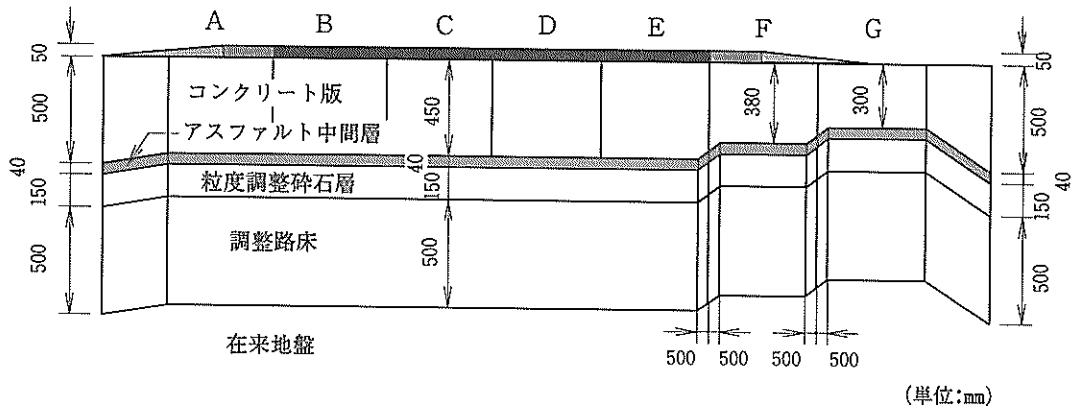


図-54 試験施工断面図

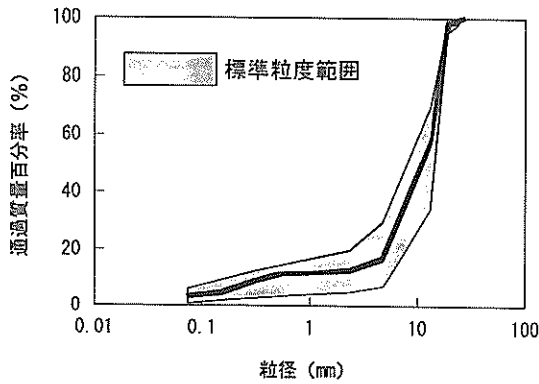


図-55 骨材の粒径加積曲線

表-15 アスファルト混合物の配合

アスファルト量 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	安定度 (kgf)	流下時間 (1/100cm)
2.5	1.917	25.5	442	23
3.0	1.938	24.1	475	25
3.5	1.953	22.9	508	28
4.0	1.956	22.2	489	31
4.5	1.951	21.8	456	34

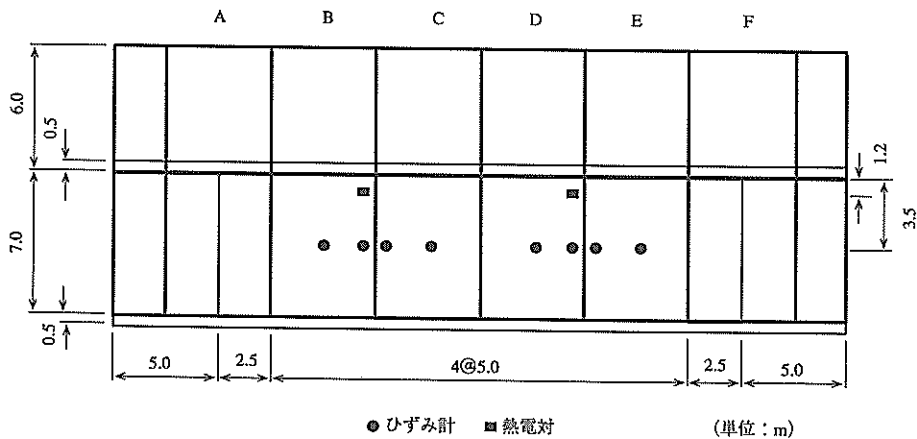


図-56 計器設置位置

て、既設コンクリート版には埋込み型ひずみ計を設置している(深さ30mm)。また、半たわみ性材料の温度状況を計測するために混合物中に熱電対を設置した(表面と底面)。これらの設置位置を図-56に示した。

b) 準備工

試験施工に先立ち、工事の支障となる既設舗装表面の配線類をブレーカにより撤去し、それに伴う段差等を無収縮モルタルにより修正した。そして、コンクリート版

内にひずみ計を埋設した。その設置方法は、まず最初に、既設コンクリート版に直径150mm、深さ60mmの削孔を施し、ひずみ計を孔の中心部で深さ30mmの位置に固定してから、その周囲を無収縮モルタルにより埋め戻すことによった。

ひずみ計設置後、既設版表面全体をコンプレッサーで入念に清掃してから、タックコートとして舗装版全体にゴム入りアスファルト乳剤(0.4ℓ/m<sup>2</sup>)を散布した(写真-1)。また、本施工に先立ち縦断および横断方向にすり付け舗装として密粒度アスファルト混合物を施工した。



写真-1 タックコートの散布状況

### c) 本施工

アスファルト混合物の施工にあたっては、通常のアスファルト舗装と同様にアスファルトフィニッシャ、マカダムローラの機械編成で行った。敷き均しは全自動アスファルトフィニッシャ(幅員約6m)を用いて行い、両側約50cmの範囲は人力により敷き均した(写真-2)。

転圧はマカダムローラを用いて各区画とも目標転圧回数を10回として行った。B、C区画では10回の転圧ができたが、D、E区画では母体アスファルト混合物の表面温



写真-2 アスファルト混合物の敷き均し状況

度がセメントミルク注入時の目標温度となった時点で転圧を終えたため、転圧回数は6回であった。写真-3には施工材のアスファルト混合物を示す(右側が半たわみ性材料用で、左側は密粒度アスファルトコンクリートである)。

セメントミルクは、プレミックスタイプの超速硬セメント、凝結遅延材、水をグラウトミキサーで混合することにより製造した。凝結遅延材の添加量は、施工時の気温が10°C程度であったため、セメントの質量に対して0.05%とした。

製造したセメントミルクは母体アスファルト混合物の温度がB、C区画では50°C、D、E区画では80°Cに低下したことを確認した後に流し込んだ(写真-4)。そして、ゴムレーキですばやく広げて、振動ローラによりアスファルト混合物の空隙に浸透させた。施工時期が冬期となったため、母体アスファルト混合物の温度が急激に低下することが懸念されたので、注入作業は30分以内に終了することを目標とした。

注入開始後数分で、セメントミルクは、温度の影響を

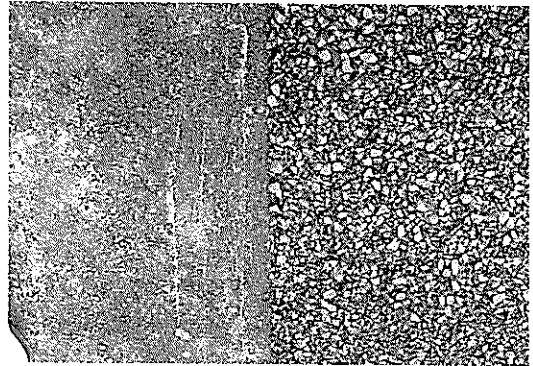


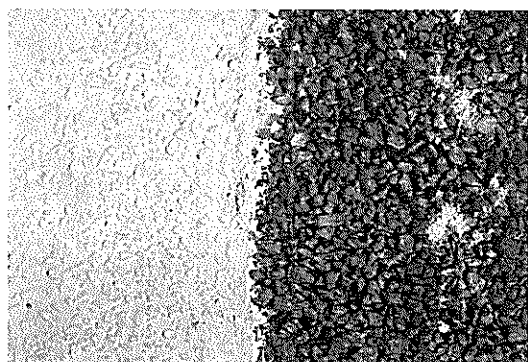
写真-3 アスファルト混合物の違い



写真-4 セメントミルクの注入状況



写真一五 セメントミルク硬化後の舗装表面

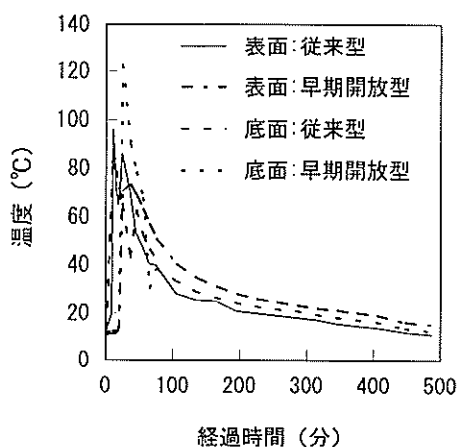


写真一六 セメントミルク注入前後の舗装表面

受けて、表面から薄い膜で覆われ始め、硬化していく様子が確認された。セメントミルクの浸透量は1 m<sup>2</sup>当たり13ℓであった。セメントミルク注入後1時間程度経過した時点で、B、C区画の区画境とD、E区画の区画境の半たわみ性材料層の全厚にわたってカットを入れた。なお、C、D区画の区画境にはカットを入れずにリフレクションクラックの発生状況を観察した。

アスファルト混合物の空隙中にセメントミルクが十分に浸透した後は、セメントミルクが硬化する前に舗装表面の余剰分をゴムレーキで取り除いた。なお、B、C区画においては、硬化し始めた段階でデッキブラシを用いて表面を粗面に仕上げた。写真一五はセメントミルク硬化後の表面の状況であり、写真一六には注入前後の表面状態を示している。

この試験施工においては、上記のように、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を80℃および50℃に設定した。図一57にはアスファルト混合物の温度の経時変化を示した。現場到着直後170℃程度あったアスファルト混合物の温度は外気温（10℃程度）の影



図一57 半たわみ性材料の温度の経時変化

響を受けて急速に低下し、80℃に低下するまでには転圧完了後20分程度、50℃になるには60分程度が必要であった。

#### (2) 施工管理試験

試験舗装に使用した材料が所定の品質を有することを確認するために、以下の項目について施工管理試験を実施した。

##### a) アスファルト混合物

母体アスファルト混合物については、アスファルトプラントでの出荷時に採取した材料に対してマーシャル試験を実施した。また、現場で施工された母体アスファルト混合物の空隙率は、施工後4日目にセメントミルクを注入していない部分より供試体を切り出して測定した。

##### b) セメントミルク

現場施工時に採取したセメントミルクを用いて、その流動性および強度を確認した。流動性については、室内試験と同様に、Pロートによる流下時間を測定することによって。また、強度については、室内試験と同一の方法により、材齢3時間ならびに7日における曲げ強度と圧縮強度を測定した。

##### c) 半たわみ性材料

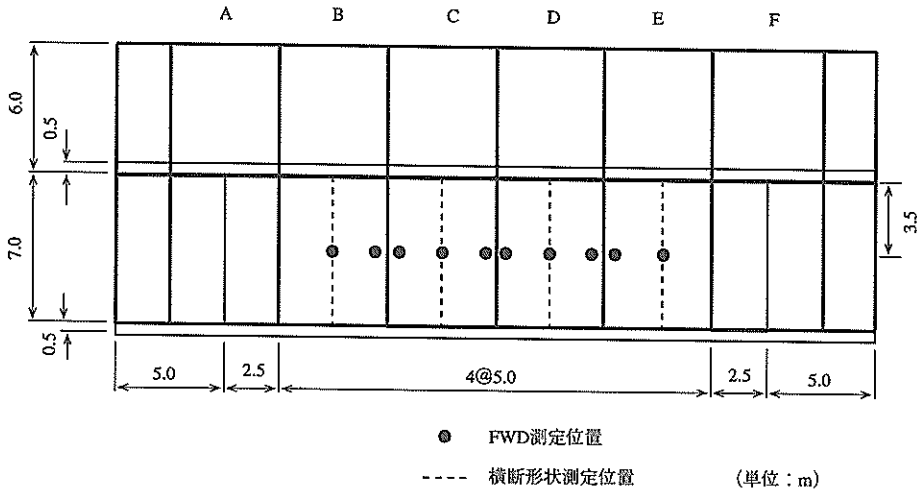
半たわみ性材料の曲げ強度ならびにセメントミルクの充填率は、施工後4日目に切り出した供試体を室内で養生して、材齢が7日となった時点で測定した。

#### (3) 載荷試験

半たわみ性材料を用いた急速補修工法の空港舗装への適用性を確立するために、今回の試験舗装では2種類の載荷試験を実施した。

一つは、オーバーレイ後の半たわみ性材料の硬化の進行程度を把握するためのものであり、交通開放時期を判

半たわみ性材料によるコンクリート舗装の急速補修



図—58 載荷試験実施位置

断するために必要となる。もう一つは、航空機荷重の繰返し走行が舗装に及ぼす影響を評価するためのもので、繰返し載荷による半たわみ性舗装の力学的挙動の変化、すなわち繰返し走行載荷に対する耐久性を調べたものである。

具体的には、図—58に示す目地部近傍（横目地：6箇所）と版中央部（4箇所）において、FWDによる衝撃荷重を加え、それによって生ずるたわみ量を測定した。また、一部では埋込み型ひずみ計によりひずみも測定した。ここでは、FWDの荷重を20tfとしている。

a) 経時変化試験

半たわみ性材料によるオーバーレイの効果を調べるために、オーバーレイ前後の舗装のたわみとコンクリート版のひずみを測定した。オーバーレイ前はたわみとひずみの両方を測定できたが、オーバーレイ後は時間的な制約からたわみのみを測定した。この測定は、半たわみ性材料によるオーバーレイの力学的挙動を詳細に調べるために、施工後1、2.5、4、6、24時間が経過した時点で実施した。なお、施工してから24時間経過した時点ではひずみも測定した。

母体アスファルト混合物にセメントミルクを注入した後、1、2、3、4時間経過した時点で、室内試験と同様な方法でショア硬度計によるセメントミルクの硬さ測定を行った。測定は各区画2箇所ずつで行い、測定点付近では試験ができるようにセメントミルクを2～3mm厚く施工することに留意した。

b) 繰返し走行載荷試験

原型走行荷重車による走行試験は、施工後24時間経過してから3日間にわたって行った。この走行は、原型走行

荷重車の車体下部に取り付けた、試験用の脚(B-747型航空機の主脚と車輪が同一配置)の車輪(一輪)がひずみ計の直上を通過するようにして行った。走行回数は最大1,000回とし、所定の走行回数(100, 200, 500, 1,000回)における横断方向のわだちぼれ量を横断プロフィロメータを用いて測定した(測定位置を図—58に示す)。さらに、1,000回の走行が終了した時点でFWDによりたわみとひずみを測定し、繰返し走行載荷が半たわみ性舗装に及ぼす影響を調べた。

(4) すべり摩擦抵抗測定

この試験は、半たわみ性材料の表面仕上げの違いがすべり摩擦抵抗性に及ぼす影響を評価するために実施した。上記のように、B、C区画はセメントミルクが硬化する前にデッキブラシで粗面に仕上げ、一方、D、E区画では余剰セメントミルクをゴムレーキで取り除くだけに止めている。各区画で2箇所ずつ、ポータブルスキッドテストおよびDFテストによりすべり摩擦抵抗値を測定した。

4.2 施工管理試験

半たわみ性舗装は、母体アスファルト混合物ならびにセメントミルクで構成されていることはすでに述べてきた。そこで、現場施工を行うにあたり、それらの主要な材料が所定の品質を満足しているか、施工管理試験より判断する必要がある。

(1) 母体アスファルト混合物

アスファルトプラントで出荷時に採取し、作製した供試体による母体アスファルト混合物のマーシャル試験結果を表—16に示す。室内試験での配合設計時と比べて空

表-16 アスファルト混合物のマーシャル性状

配合	アスファルト量(%)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	空隙率(%)	安定度(kgf)	流下時間(1/100cm)
現場	3.55	1.939	23.5	466	31
室内	3.50	1.953	22.9	508	28

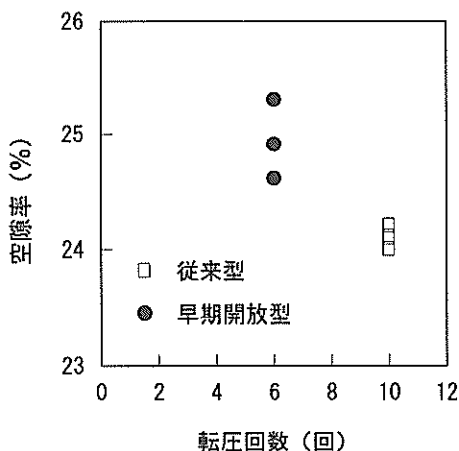


図-59 転圧回数と空隙率

空隙率がやや大きくなったため、安定度は40kgf程度低い値を示している。しかし、この場合もアスファルト舗装要綱に示されている標準的なマーシャル性状を満足していることから、今回用いた材料は品質的には問題ないものと思われる。

次に、半たわみ性材料の品質を確保するためには、母体となるアスファルト混合物が設計空隙率どおりに施工されることが重要である。図-59には、セメントミルク未注入部の母体アスファルト混合物から切り出した供試体を用いて得られた転圧回数と空隙率の関係を示した。この図から、空隙率はマカダムローラの転圧回数に大きく左右され、従来型区画のように転圧回数が増せばアスファルト混合物が締め固まるので空隙率は平均で24.1%と低下していることがわかる。逆に、早期開放区画は、転圧回数6回で施工を終了したため、空隙率は平均で24.9%と従来型と比べて1%程大きくなった。しかし、いずれの場合もアスファルト舗装要綱に示されている空隙率は満足している。

(2) セメントミルク

図-60、図-61は採取したセメントミルクの圧縮強度と曲げ強度である。室内試験値(材齢3時間)と比較すると、現場で採取したセメントミルクの強度は気温等の外的要因の影響を受けて、いずれの強度も2割程度低下している。しかし、曲げ強度はアスファルト舗装要綱に

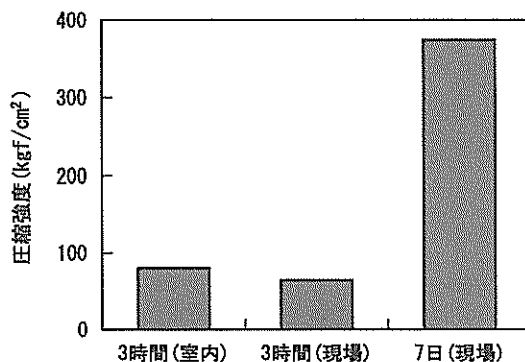


図-60 セメントミルクの圧縮強度

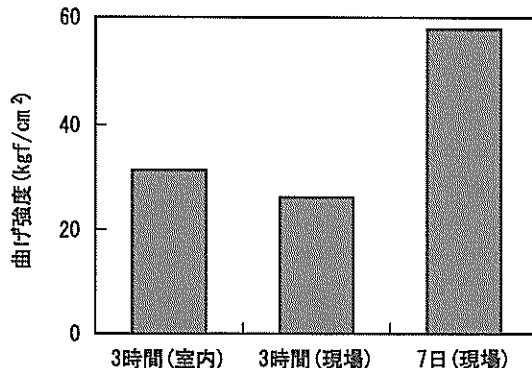


図-61 セメントミルクの曲げ強度

示されている基準値(材齢7日で20kgf/cm<sup>2</sup>)を3時間程度で満足していること、圧縮強度も材齢7日で100~300kgf/cm<sup>2</sup>という強度規定はこの材齢で満足する結果が得られている。

また、セメントミルクの流下時間を確認した結果、3回の平均で11.3秒と、室内試験時と比べると1秒程度小さい結果が得られている。このことは、強度試験の結果と同様に、気温等の外的要因の影響を受けているものと判断される。

(3) 半たわみ性材料

施工後4日目に切り出した供試体を用いて、半たわみ性材料の曲げ強度を測定した。図-62は材齢7日で測定した値を室内試験時のもの(材齢7日)と比較した結果である。半たわみ性材料の曲げ強度は、現場施工においても室内試験と同様に、高温時(80℃)で注入した場合ほど高い値を示していることがわかる。また、現場施工時と室内試験時では、両者に用いたアスファルトの種類が異なること(前者は改質アスファルトII型、後者はストレートアスファルト60-80)を反映して、改質アスファルトII型を用いた現場施工のほうが、従来型、早期開放型

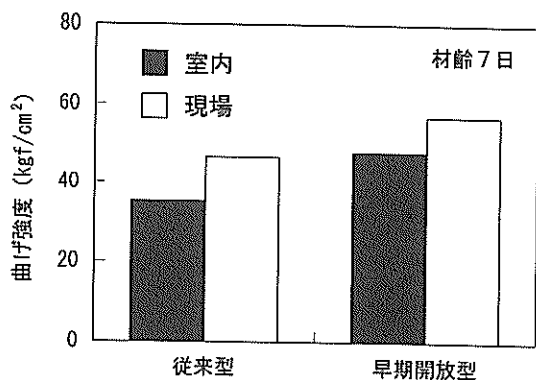


図-62 半たわみ性材料の曲げ強度の比較

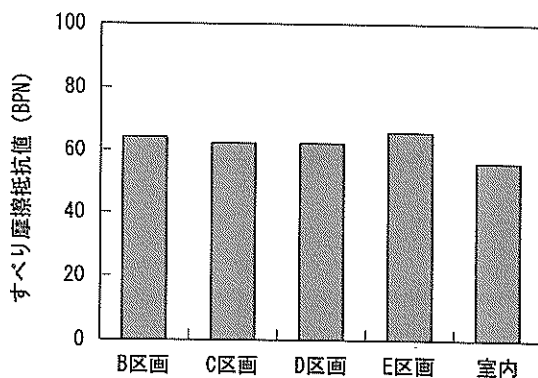


図-64 半たわみ性材料のすべり摩擦抵抗値

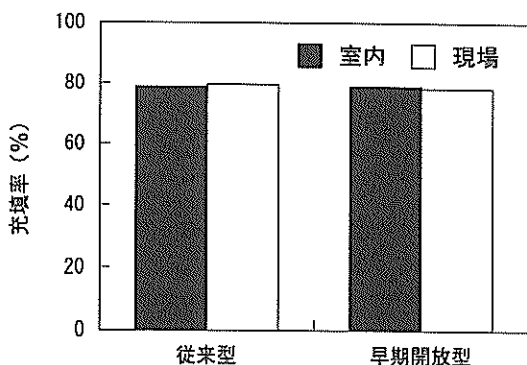


図-63 セメントミルクの充填率の比較

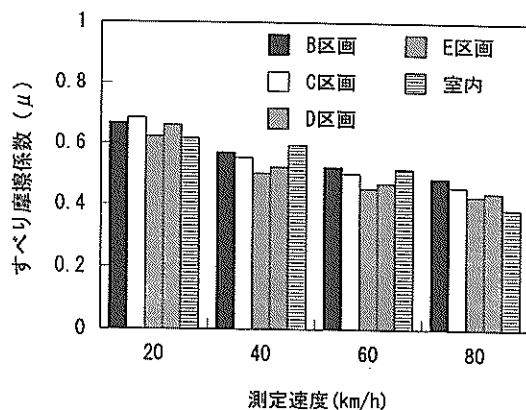


図-65 半たわみ性材料のすべり摩擦係数

とも高い値を示している。

さらに、図-63は現場から切り出した供試体を用いて測定したセメントミルクの充填率を室内試験時の値と比較したものである。現場施工の場合も、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度の影響を受けることなく、80%程度と高い充填率を示している。切り出した供試体を観察すると、セメントミルクは母体アスファルト混合物の空隙のほぼ全域に浸透しているように見受けられたが、独立空隙には浸透していないためにこのような値が得られたものと思われる。

#### (4) すべり摩擦抵抗性

母体アスファルト混合物にセメントミルクを注入した際に舗装面の表面仕上げとして、デッキブラシ仕上げ(B, C区画)およびゴムレーキ仕上げ(D, E区画)の違いによるすべり摩擦抵抗性を調べた。

図-64はポータブルスキッドテストによるすべり摩擦抵抗値を示したものである(20°Cに補正)。表面処理の違いによる区画間の変化はほとんどなく、いずれも室内試験時に同一条件で行った測定値を上回っていることがわかる。さらに、いずれも、日本道路公団の半たわみ性舗

装施工要領(案)における基準値である60BPNを満足している。

次に、DFテストによるすべり摩擦係数を図-65に示す。表面処理の違いとしては、デッキブラシで粗面に仕上げたB, C区画のほうが、ゴムレーキで余剰セメントミルクを取り除くに止めたD, E区画をやや上回った結果を示した。また、速度が増せばすべり摩擦係数は小さくなり、80km/hの時点で0.45程度の値が得られた。しかし、この場合でも通常の密粒度アスファルト混合物とほぼ同程度の値を示していることから、この半たわみ性材料のすべり摩擦抵抗性については問題がないものと結論づけられる。

### 4.3 経時変化試験

#### (1) たわみ

FWDによるたわみ測定は、セメントミルクを注入してから、1時間後以降継続して行った。

図-66には、版中央部におけるFWD最大たわみ量の経時変化を示してある。施工前のたわみと比較すると、

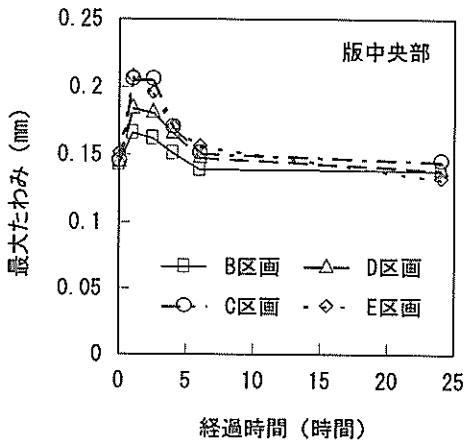


図-66 FWDによる最大たわみ量 (版中央部)

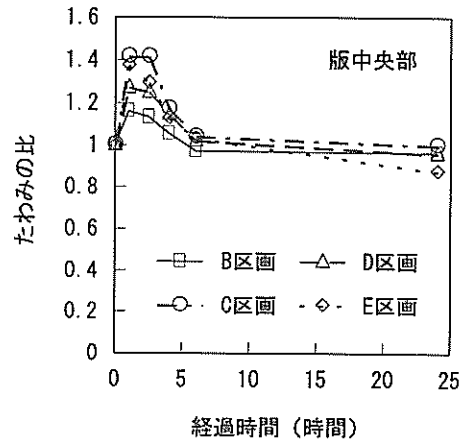


図-68 オーバーレイ前後のたわみの比 (版中央部)

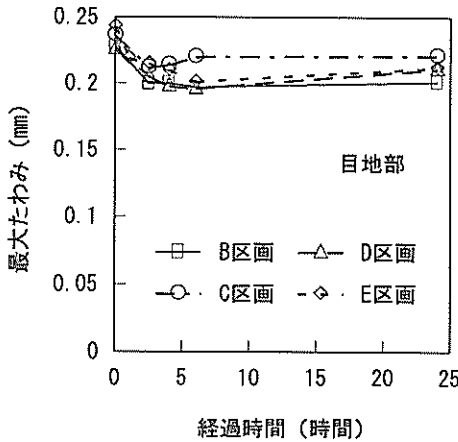


図-67 FWDによる最大たわみ量 (目地部)

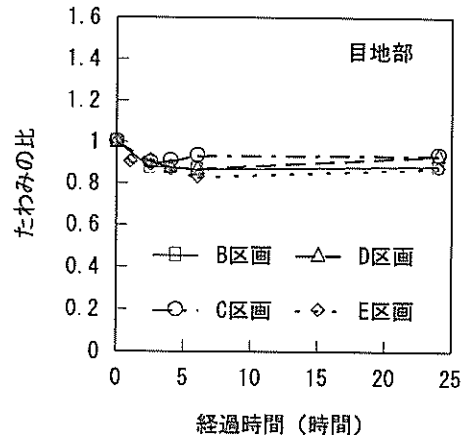


図-69 オーバーレイ前後のたわみの比 (目地部)

施工直後(1時間経過時)では、最大で4割程度たわみは増加するが、時間の経過とともにその差は小さくなり、6時間経過した時点では施工前とほぼ同程度となっていることがわかる。これは、高温のアスファルト混合物がコンクリート版表面に敷設されることから、深さ方向に正の温度勾配が生じ、そのために、版中央部では見かけ上コンクリート版と路盤の間に空隙が生じて、最大たわみ量が大きくなるからである。

図-67には、目地部におけるFWD最大たわみを示した。版中央部の場合と比較すると、目地部のほうが大きい。経時変化をみれば、版中央部と目地部では反対の挙動を示していることがわかる。すなわち、版中央部では施工直後にたわみが増加したのに対し、目地部では減少する傾向を示す。しかし、これは、施工後数時間で再び増加に転ずるようである。

前述のように半たわみ性材料は、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度の影響を受け、高温時で注入する場合ほど強度発現は早い。この点についてまとめたものが図-68、図-69である。これらは、それぞれ版中央部および目地部でのたわみ量の変化をオーバーレイ前のたわみに対する比で表したものである。目地部においてのみならず、版中央部においても施工後数時間経過後には1.0もしくはそれ以下にまで低下することがわかり、オーバーレイの効果が明らかに認められる。従来型のB,C区画と早期開放型のD,E区画とでは差は明確になっていない。

(2) ショア硬度試験

セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度の違いによるセメントミルクの硬化程度を調べた。図-70には、セメントミルク注入後1時間ごとのショア硬度を示している。温度が高いD,E区画では、初期材齢に



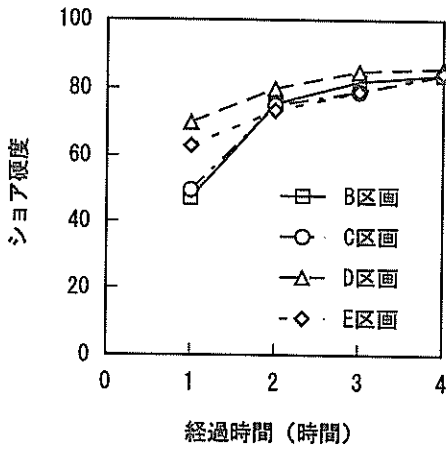


図-70 ショア硬度の経時変化

においても高いショア硬度が得られている。しかし、セメントミルクを注入してから2時間後には、混合物の温度が低かったB、C区画と同程度の値となった。

半たわみ性舗装の交通開放時期の目安として、セメントミルクの圧縮強度で50kgf/cm<sup>2</sup>という値が提案されている<sup>19)</sup>。この値にはショア硬度で60が相当すると言われている<sup>10)</sup>ことから判断すると、D、E区画においてはセメントミルク注入後1時間、B、C区画では2時間程度で交通開放が可能と判断される。

#### 4.4 繰返し走行載荷試験

繰返し走行載荷試験結果としては、コンクリート版ひずみ、たわみ、目地の荷重伝達率、そしてわだちぼれに注目した。

##### (1) コンクリート版ひずみ

原形走行荷重車による繰返し走行載荷試験前後のコンクリート版の最大ひずみを図-71、図-72にまとめた(それぞれ、版中央部、目地部)。これらの図は、半たわみ性

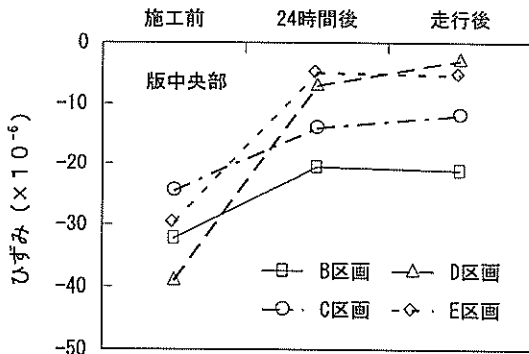


図-71 走行載荷によるひずみの変化 (版中央部)

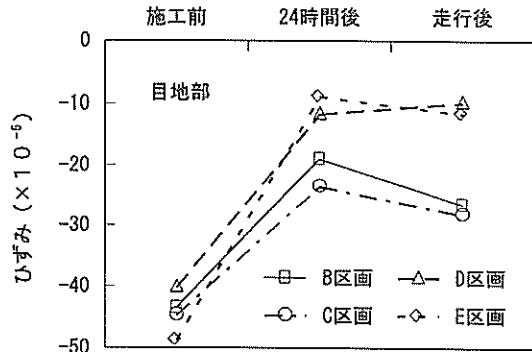


図-72 走行載荷によるひずみの変化 (目地部)

舗装の施工前、母体アスファルト混合物にセメントミルクを注入してから24時間後、および1,000回の走行試験終了後のFWDに対するものである。

この図から、まず、版中央部および目地部のいずれにおいても、セメントミルクを注入してから24時間後のひずみは、半たわみ性舗装施工前の値よりも明らかに小さいことがわかる。また、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度が高い早期開放型(D、E区画)のほうが、従来型と比べて、ひずみの低下が顕著である。このことから、オーバーレイの効果、ならびに早期開放型採用の効果が明らかに認められた。

次に、繰返し走行載荷試験の影響について調べた。繰返し載荷終了後のひずみについて、版中央部でみれば、試験前と比べて若干小さな値となっており、半たわみ性材料の耐久性は十分であるものと考えられる。これに対して、目地部においては、試験前のひずみと比べると、B区画においては4割ほど増加するものもみられる。

図-73には、施工前、施工24時間後および走行試験終了後のFWD最大たわみを示した(版中央部)。これによ

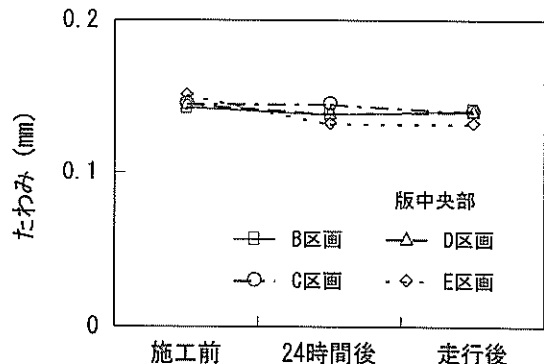


図-73 走行載荷によるたわみの変化 (版中央部)

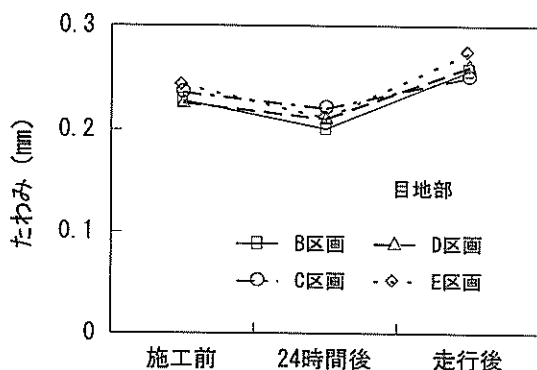
ると、ひずみほど顕著ではないが、オーバーレイの施工ならびに施工後の時間経過につれてたわみが多少減少していく傾向がみられる。セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度が違っても、最大たわみにはあまり差がみられないようである。

目地部で得られたFWD最大たわみについては、図一74に示した。オーバーレイ前と比較して、施工後に減少したたわみは、繰返し走行載荷試験終了後には増加する傾向がみられ、上記の版中央部の挙動とは異なった結果となっている。

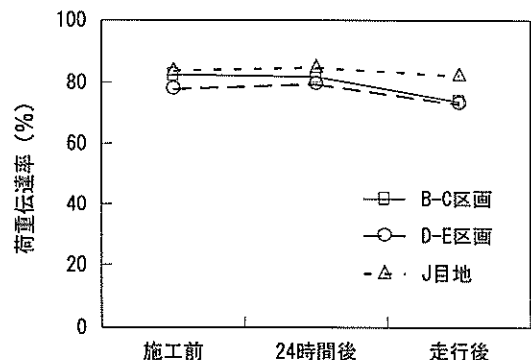
(3) 荷重伝達率

次に、図一75は目地部の荷重伝達率の変化を示したものである(J目地はC、D区画の境)。この図から、繰返し走行載荷の影響により、B区画の荷重伝達率は82%から74%へと低下し、また、D区画でも79%から73%へと低下していることがわかる。このことから、上記の繰返し走行載荷にともなう目地部でのひずみならびにたわみの増加は荷重伝達率の低下に起因したものであるといえよう。

カッターによる目地切りを行わなかったC、D区画境



図一74 走行載荷によるたわみの変化 (目地部)



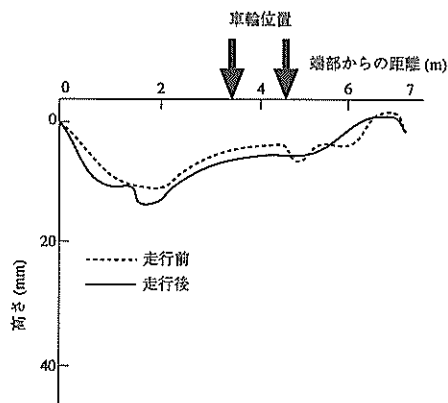
図一75 走行載荷による荷重伝達率の変化

界線上では、繰返し走行載荷試験において走行回数750回程度で、リフレクションクラックの発生が認められ、走行回数を重ねていくことよりそれが徐々に進行し、1,000回の走行終了時では幅1~1.5mm、長さ200cm程度にまで成長したことが確認された。このことより、リフレクションクラックを防止するには、施工直後に既設コンクリート舗装の目地位置にカットを入れ、シーラ材を充填することが肝要といえる。

(4) 横断形状

繰返し走行載荷試験前後の横断形状について図一76に示した(B区画のみ)。両者の差の最大値をわだちぼれとして表一17にまとめた。測定方法に起因するばらつきが多少あるが、わだちぼれは1,000回の走行終了時で4mm(B区画)が最大となっている。しかし、その場合でも、空港舗装の補修基準<sup>17)</sup>からみれば、補修が必要となるほどのものではないことが明らかである。

なお、半たわみ性材料をコンクリート舗装版のオーバーレイ層として用いた場合、車輪直下の局所変形ではなく舗装部全体が圧縮されて横断方向に広がる傾向があると指摘されている<sup>17)</sup>が、今回の走行試験においても同様の結果が得られている。



図一76 走行載荷試験前後の横断形状

表一17 最大わだちぼれ量

区画	走行回数 (回)			
	100	200	500	1,000
B	2	1	3	4
C	0	0	0	2
D	2	3	2	1
E	1	0	2	2

(単位: mm)

## 5. 結 論

空港コンクリート舗装の急速補修方法として半たわみ性材料の適用性について検討し、以下の結論が得られた。

(1) 半たわみ性材料を用いた補修工事における早期交通開放の可能性は、セメントミルクの性状に依存しているため、強度発現性が異なる2種類のセメントミルクを選定し、基礎試験を実施した。その結果、早期強度が高く、流動性も十分に保つための方策としては、早期強度の高いセメントミルクの硬化速度を凝結遅延剤によって調整することが必要であることがわかった。しかし、今回目標とした材料を得るためには、アスファルト混合物が比較的高温の状態ではセメントミルクを注入する方策を採らなければならないこともわかった。

(2) (1)で用いたセメントミルクのうち、ジェットセメント系材料を用いて、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を20～80℃に変化させた場合について検証した結果、次の結論が得られた。

①セメントミルクの充填率が注入時のアスファルト混合物の温度によらず80%程度と高い値を示していることから、セメントミルクの浸透性は高温時でも良好である

②セメントミルクの硬化程度を示すショア硬度においては、注入時の母体アスファルト混合物温度の影響が顕著にみられ、高温時のほうが硬化の進行は速い。

③曲げ強度においては、全体的にみて、母体アスファルト混合物が高温時にセメントミルクを注入する場合のほうが高い値を示す。

④破断ひずみは、注入時のアスファルト混合物の温度の影響を著しく受け、温度が低い場合ほど大きい値を示している。高温時の場合は、材齢が経過しても変化が少なく、注入後1時間程度でセメントミルクの硬化はかなり進行している。

(3) 半たわみ性材料の耐荷性を検討するために、母体アスファルト混合物の空隙率、使用するアスファルトの種類を変えて試験を実施した結果、次の結論が得られた。

①母体アスファルト混合物の安定度は、空隙率が小さければ大きな値を示しているが、半たわみ性材料になると空隙率が大きいほど曲げ強度は大きくなる。

②空隙率が同一の場合では、改質アスファルトを用いたほうが母体アスファルト混合物の強度として大きな値を示したが、半たわみ性材料としてもその傾向は変わらない。

③施工後3時間程度での交通開放を可能とするためには、母体アスファルト混合物には改質アスファルトを用いて、空隙率を26%とし、そして、セメントミルク注入

時の母体アスファルト混合物の温度を80℃とすることが必要である。施工後6時間での交通開放を考えると、空隙率が23～26%の範囲にあればアスファルトの種類によらず可能である。

④半たわみ性材料の動的安定度が母体アスファルト混合物単体の場合に比べて10倍以上にまで増加するので、耐流動性は十分である

(4) 室内試験で得られた結果を受けて、半たわみ性材料による急速補修工法を検証するために、試験施工を行って載荷試験を実施した。この試験施工では5 cm厚のオーバーレイを考え、セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度として50℃と80℃を考えた。一連の試験の結果、以下の結論が得られた。

①版中央部および目地部のひずみならびにたわみに着目すると、いずれも、オーバーレイ後に減少していることから、オーバーレイの効果が確認された。その効果は、母体アスファルト混合物が高温のほうが顕著である。

②ショア硬度でみると、高温時で注入してから1時間後、低温時で2時間後には交通開放可能と判断される。これに対して、FWDのたわみからは両者の違いが明確ではなく、いずれも注入後3時間程度でほぼ一定値となることから、この時点で交通開放可能と判断できる。

③1,000回の繰返し走行載荷試験前後のたわみ、ひずみを版中央部と比較すると、いずれの場合も繰返し走行載荷の影響は見られず、半たわみ性材料の耐久性は十分であろう。この点については、舗装表面のわだちぼれからも裏付けられる。

④走行試験で回数を重ねていくことより、カットによる目地切りを行わなかった箇所にリフレクシオンクラックが発生した。今回用いた5 cmのオーバーレイではリフレクシオンクラックは避けられず、あらかじめ既設コンクリート版の目地位置に合わせてカットを入れ、クラックを誘発することが必要である。

⑤すべり抵抗性としては、デッキブラシで舗装表面を粗面に仕上げることで未処理の場合よりもやや効果的であったが、余剰セメントミルクを取り除くだけでも十分な効果を有することが認められた。

一連の試験研究を総括すれば、半たわみ性材料を用いたコンクリート舗装の急速補修工法の特徴は次のようにまとめられる。

①セメントミルクとしては、30分程度の間流動性が確保でき、しかも曲げ強度では3時間で20kgf/cm<sup>2</sup>に達するような材料を使用する。

②アスファルト混合物としては、改質アスファルトを用い、空隙率が23%程度となるようなものを用いる。

③セメントミルクは、アスファルト混合物の温度が80°Cまでに低下した時点で注入する。

④施工後3時間経過した時点で交通解放できる。

## 6. おわりに

以上、空港コンクリート舗装の急速補修方法として半たわみ性材料によるものをまとめた。空港では厳しい時間的制約のほか、厳しい交通荷重条件をも満足しなければならぬので、速硬性セメント・改質アスファルトの使用、高温時注入といったことが不可欠である。

本来この材料は、アスファルト舗装の表層部分のみに使用されるものであり、今回対象としたようなコンクリート舗装の補修材料として適用した事例はまれであろう。わが国の空港において、この種の材料を本格的に用いた事例はないが、今回行った一連の試験によりその実用性を確認できたものと考えている。

試験施工ならびに載荷試験においては、土質部梅野修一主任研究官、滑走路研究室野田工研究員の助けを得た。記して感謝の意を表す。

(1995年9月29日受付)

## 参考文献

- 1) 運輸省航空局：空港舗装補修要領(案)，95p.，1984.
- 2) Federal Aviation Administration：FAA Advisory Circular，AC150/5230-6C，159p.，1978.
- 3) 八谷好高，福手 勤，佐藤勝久，林 洋介：コンクリート舗装上のアスファルトかさ上げの荷重分散効果とかさ上げ厚算定法，港湾技術研究所報告，第22巻，第4号，pp.121-140，1983.
- 4) 岩井立雄：バスレーンのカラー舗装化，舗装，第29巻，第11号，pp.27-31，1994.
- 5) (財)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，324p.，1993.
- 6) 大野滋也：高速道路舗装の維持修繕について，アスファルト，第31巻，第158号，pp.14-19，1989.
- 7) 安田雅一，花本和文，相子榮吉：超速硬型半たわみ性舗装の機能性，道路建設，6/6，pp.62-70，1994.
- 8) 大和東悦：RCCPを基層とした重要幹線道路のコンポジット舗装，道路とコンクリート，第93号，pp.16-18，1991.
- 9) 沖本晃次，原田秀賢，倉原良民：半たわみ性舗装を用いたコンポジット舗装，舗装，第26巻，第5号，pp.9-14，1991.
- 10) 鈴木 徹，奥平真誠：半たわみ性舗装に関する試験(その2)，舗装，第30巻，第2号，pp.36-41，1995.
- 11) 金田一夫，新留正道，小平人美：半たわみ性混合物の配合設計と特性，日本道路公団試験所報告，Vol. 26，pp.101-117，1989.
- 12) 鈴木 徹，奥平真誠：半たわみ性舗装に関する試験(その1)，舗装，第29巻，第6号，pp.29-35，1994.
- 13) 金田一夫，新留正道，中島裕寿：半たわみ性舗装の特性と施工基準，日本道路公団試験所報告，Vol. 27，pp.77-88，1990.
- 14) 阿部 進，小林 茂，半野久光：超速硬セメントミルクを用いた半剛性舗装，舗装，第21巻，第6号，pp.13-17，1986.
- 15) 日本道路公団：半たわみ性舗装施工要領(案)，40p.，1990.
- 16) 鈴木 徹，加藤裕康，奥平真誠：半たわみ性舗装における交通開放時期の一管理手法，道路建設，4/4，pp.66-70，1992.
- 17) 達下文一，内田喜太郎，竹田敏憲：半剛性舗装などによるバスターミナルにおける路面変形防止対策工法の一例，舗装，第17巻，第2号，pp.8-16，1982.