

港湾技研資料

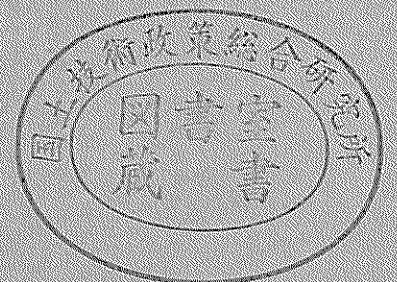
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT, JAPAN

No.993 JULY 2001

空港舗装用常温複合混合物の開発に関する研究

| | | | |
|---|---|---|---|
| 山 | 路 | | 徹 |
| 福 | 手 | | 勤 |
| 小 | 林 | 耕 | 平 |
| 菅 | 野 | 幸 | 浩 |
| 安 | 藤 | | 豊 |
| 安 | 久 | 憲 | 一 |

国土交通省港湾技術研究所



目 次

| | |
|--------------------------|----|
| 要 旨 | 3 |
| 1. ま え が き | 4 |
| 2. 舗装用常温複合混合物について | 5 |
| 2.1 特徴 | 5 |
| 2.2 使用材料と標準配合 | 5 |
| 2.3 製造方法 | 5 |
| 2.4 施工方法 | 5 |
| 2.5 常温複合混合物の標準的性状 | 6 |
| 2.6 常温舗装による省エネルギー効果 | 6 |
| 2.7 アスファルト舗装とのトータルコストの比較 | 6 |
| 3. 耐流動性および表面性状の向上に関する検討 | 7 |
| 3.1 実験概要 | 7 |
| 3.2 重荷重条件下でのWT試験方法の検討 | 7 |
| 3.3 実験方法 | 7 |
| 3.4 実験結果および考察 | 9 |
| 3.5 まとめ | 11 |
| 4. 配合選定に関する検討 | 12 |
| 4.1 実験概要 | 12 |
| 4.2 実験方法 | 12 |
| 4.3 実験結果 | 12 |
| 4.4 考察 | 15 |
| 4.5 まとめ | 16 |
| 5. 第一次試験施工 | 16 |
| 5.1 試験施工概要 | 16 |
| 5.2 配合設定および施工方法 | 17 |
| 5.3 混合物の品質管理試験 | 18 |
| 5.4 施工性および供用性 | 19 |
| 5.5 まとめ | 22 |
| 6. 乾燥収縮の低減に関する検討 | 22 |
| 6.1 実験概要 | 22 |
| 6.2 実験方法 | 22 |
| 6.3 実験結果 | 22 |
| 6.4 考察 | 23 |
| 6.5 選定配合の品質確認試験 | 24 |
| 6.6 まとめ | 24 |
| 7. 第二次試験施工 | 24 |
| 7.1 試験施工概要 | 24 |
| 7.2 配合設定および施工方法 | 25 |
| 7.3 混合物の品質管理試験 | 25 |
| 7.4 供用性 | 26 |
| 7.5 まとめ | 30 |
| 8. 結 論 | 30 |
| 参考文献 | 32 |

A Study of Cold-Laid Composite Mixture for Airport Pavement

Toru YAMAJI *
Tsutomu FUKUTE **
Kohhei KOBAYASHI ***
Yukihiro KANNO ***
Yutaka ANDO ****
Kenichi YASUHISA *****

Synopsis

In this study, the development of cold-laid composite mixture of cement and asphalt emulsion for airport pavement was carried out. At first, some laboratory tests were carried out to select an optimal mix proportion, on taking notice of the plastic flow resistance under heavy load condition at airport pavement and the dry shrinkage. Next, field tests were carried out, and the properties of construction and performance were confirmed.

The following results were obtained in this reports.

- (1) Increase of cement volume is most effective to improve the plastic flow resistance and the surface properties of pavement. However, it causes the increase of dry shrinkage. Therefore, it is desirable to add cement at approximately 3.7%.
- (2) By increasing the asphalt emulsion, drying shrinkage cracking is reduced, however plastic flow resistance also deteriorated. Therefore, it is desirable to add an asphalt emulsion at approximately 9.5%.
- (3) For airport pavement loaded with heavy traffic, cold-laid composite mixture can be used as binder course of the pavement requiring high plastic flow resistance.

Key Words : airport pavement, cold-laid composite mixture, plastic flow resistance, cement, asphalt emulsion

* Research Engineer of Material Laboratory, Structural Engineering Division
** Director of Planing Division
*** Nichireki L.t.d.
**** Sumitomo Osaka Cement L.t.d.
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phon : +81-468-445033 Fax : +81-468-440255 e-mail : yamaji@cc.phri.go.jp

空港舗装用常温複合混合物の開発に関する研究

山路 徹⁺
福手 勤^{**}
小林 耕平^{***}
菅野 幸浩^{***}
安藤 豊^{****}
安久 憲一^{****}

要 旨

空港舗装においては一般道路と比較して上載荷重が大きいため、アスファルト舗装はわだち掘れが生じやすく、特に耐流動性の向上が課題となる。一方、コンクリート舗装は耐久性には優れるものの、施工が大がかりで養生に長時間を要すること、ひびわれの発生を抑制するために適当な間隔で目地を設けなければならないことが課題となる。

このような背景から、両者の長所を兼ね備えた、セメント・アスファルト乳剤系常温複合混合物を空港舗装用材料として開発することを目的に研究を行った。

本研究において、空港舗装に特有の重荷重下での耐流動性、乾燥収縮について主に着目して室内試験を行い、材料選定および配合について検討を行った。次に、室内実験から得られた配合を用いて、試験施工を実施し、施工性および供用性状の確認を行った。

一連の検討の結果、得られた結論を以下に示す。

- (1) 舗装の耐流動性および表面性状の向上のためには、セメント量の増量が最も効果的であった。しかし、増量により乾燥収縮ひびわれが発生しやすいため、両者のバランスを考えると、セメント量は3.7%程度配合することが望ましい。
- (2) 乾燥収縮ひびわれは、アスファルト乳剤量の増量により低減されるが、増量により耐流動性が低下するため、両者のバランスを考えると、アスファルト乳剤量は9.5%程度配合することが望ましい。
- (3) 重交通下にある空港舗装においては、高い耐流動性が必要とされる舗装の基層として用いることが可能である。

キーワード：空港舗装，常温混合物，耐流動性，セメント，アスファルト乳剤

*構造部材料研究室

**企画部長

***ニチレキ(株)

****住友大阪セメント(株)

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省港湾技術研究所

電話：0468-44-5033 Fax：0468-44-0255 e-mail：yamaji@cc.phri.go.jp

1. まえがき

現在、一般的に用いられているアスファルト混合物はたわみ性に優れるため衝撃荷重を緩和することができ、また施工後の交通開放までの時間が短いため、空港における滑走路や誘導路の舗装材料として必要不可欠なものである。しかし、アスファルト混合物はわだち掘れを起こしやすい欠点があるため、一般道路に比較して上乗荷重が大きい空港舗装の場合、特に問題となる。また、地球温暖化防止の観点から、炭酸ガスの発生抑制に寄与する常温型の舗装混合物が望まれている¹⁾。一方、コンクリート舗装は耐わだち掘れなどの耐久性および荷重分散性に優れるものの、乾燥収縮にともなうひびわれの発生を防止するために、適当な間隔で目地を設けなくてはならず、そこが施工上・構造上の欠点となる。

一方で、近年の材料科学の発展にともない、セメントとアスファルト乳剤を基材とした常温で施工が可能で、かつ耐流動性に優れた新しいセメント・アスファルト乳剤系常温複合混合物が開発されている^{2)~4)}。これは、アスファルトの持つたわみ性とセメントコンクリート舗装の持つ荷重分散性、耐久性を兼ね備えたもので、施工が簡便であり、収縮目地および1、2週間の養生期間が必要なコンクリート舗装よりも優れている。この混合物は、一般道路では既に実績があり、専用プラントのある栃木県、東京都および千葉県を中心に施工が行われており、現在主に重交通道路向けコンポジット舗装の基層に適用されている^{5)~9)}。

本研究では、この混合物を重交通環境にある航空機の誘導路やエプロン部における舗装用材料として開発することを目的に研究を実施した⁹⁾¹⁰⁾。その際の開発目標として、表-1に示す4項目を設定した。

(1) 適用箇所

重交通環境にある空港舗装の誘導路（主にアスファルト舗装）の表層・基層、およびエプロン部（主にコンクリート舗装）を対象とした。これらの層はわだち掘れが特に激しい箇所である。また、想定荷重条件は大型航空機とし、接地圧 1.5MPa とした。

(2) 適用工事

主として早期開放が必要とされるアスファルト舗装の補修工事を対象とした。そのため、必要養生期間はできるだけ短いことが望ましい。

(3) 所要性能

①耐流動性・耐荷重性

重荷重(接地圧 1.5MPa)環境においても、優れた

性能を確保すること。

②表面性状

航空機が誘導路でコーナリングを行う際に負されるねじれに対する抵抗性や、骨材飛散に対する抵抗性を有すること。

③乾燥収縮

目地無しでの施工が可能となる性能を有すること。

(4) 施工性

厚い層での施工が可能で、コンクリート舗装より省力化施工であること。

表-1 開発目標

| 項目 | 内容 | 備考 |
|--------|-------------------------|----------------------------|
| 1.適用箇所 | 誘導路, エプロン部の表層・基層 | 滑走路は耐衝撃性のため除外 |
| 2.適用工事 | アスファルト舗装の補修工事 | 新設工事でも可能 |
| 3.所要性能 | ①耐流動性 DS5,000 回/mm以上 | 接地圧 1.5MPa |
| | ②骨材飛散抵抗性 良好であること | 最適な評価試験方法が確立されておらず、試験施工で評価 |
| | ③収縮ひびわれの発生抑制 | 乾燥収縮率の目標値の設定は困難であり、試験施工で評価 |
| 4.施工性 | ・厚層施工が可能 ・省力化施工 | アスファルト舗装用舗設機械を使用 |

次に、研究の流れおよび本論文の構成を図-1に示す。室内実験Ⅰ（第3章）では耐流動性および表面性状の向上に関して検討し、室内実験Ⅱ（第4章）では試験施工

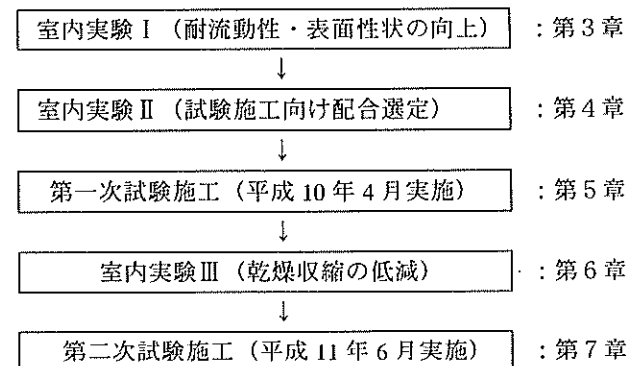


図-1 研究の流れおよび本論文の構成

に向けた配合選定を行った。その配合を用いて第一次試験施工を実施したが、乾燥収縮ひびわれが発生した（第5章）。そこで、室内実験Ⅲでは乾燥収縮の低減に関して検討した（第6章）。再検討後の配合を用いて第二次試験施工を実施し、空港舗装への適用について検討した（第7章）。

2. 舗装用常温複合混合物について

2.1 特徴

常温複合混合物の特性は、アスファルトが応力緩和性能を発揮してひびわれの発生を抑制し、セメントが適度の剛性を示してわだち掘れを防止することにある。セメント量を多くしていけば剛性が高まるが、たわみ性と耐ひびわれ性に問題が生じる。一方、アスファルト乳剤量を多くしていけば、たわみ性は向上するが、剛性が低くなり、わだち掘れが懸念される。常温複合混合物の概念図を図-2に示す。

このようなことから、アスファルト舗装およびコンクリート舗装に対しての混合物の特長をまとめると以下のようになる。

- (1) アスファルト舗装に対しての特長
 - ①耐流動性に優れている。(長寿命化)
 - ②混合物の製造および施工が常温でできる。
(環境保護, 省エネルギー)
- (2) セメントコンクリート舗装に対しての特長
 - ①アスファルトによる応力緩和作用があり、かつ乾燥収縮量が小さい。(収縮目地の省略)
 - ②通常のアスファルト舗装の舗設機械で施工できる。(汎用性, 施工コストの低減)
 - ③施工後数時間で交通開放が可能である。
(時間短縮, 渋滞解消)

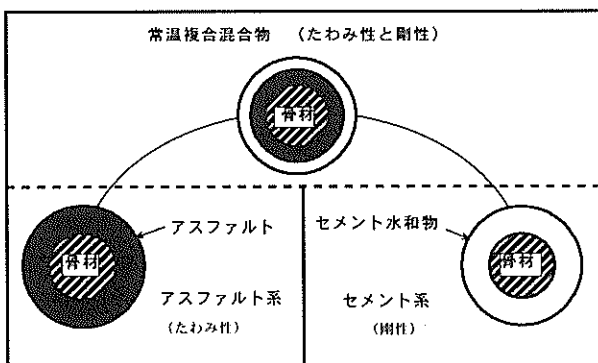


図-2 常温複合混合物の概念図

2.2 使用材料と標準配合

(1) 使用材料

道路用常温複合混合物に使用する材料を表-2に示す。骨材は、アスファルト舗装に使用している碎石を用いる。

表-2 常温複合混合物の使用材料

| 使用材料 | 内容 |
|----------|---|
| 6号碎石 | アスファルト舗装要綱に適合するもの(自然含水状態のものを使用) |
| 7号碎石 | |
| スクリーニングス | |
| フィラー | 舗装要綱に適合するもの |
| アスファルト乳剤 | カチオン系急分解性改質アスファルト乳剤(固形分濃度 60%) |
| セメント | 低収縮速硬型セメント(密度 2.94g/cm ³ , ブレーン 5,600cm ² /g) |

(2) 標準配合

道路用常温複合混合物の標準的な配合を表-3に示す。骨材の粒度分布は、アスファルト舗装要綱に示される密粒度アスファルト混合物(13)の中央値を目標とする。

表-3 標準的な配合

| 使用材料 | 配合割合(質量%) |
|----------|-----------|
| 6号碎石 | 33.0 |
| 7号碎石 | 22.0 |
| スクリーニングス | 31.8 |
| フィラー | 1.5 |
| アスファルト乳剤 | 8.5 |
| セメント | 3.2 |
| 水* | 1.0 |

*水は外割で表示し、骨材が絶乾状態とした場合の添加量

2.3 製造方法

常温複合混合物は、骨材全体に均一なアスファルト被膜を形成するために、図-3に示す二段階による混合で製造する。二段階で行った理由は、一次混合で骨材全体に均一なアスファルト皮膜を形成させ、二次混合でその乳剤混合物をセメントで包み込むことにより、混合物の特徴を発揮させるためである。

2.4 施工方法

常温複合混合物の施工方法を図-4に示す。常温複合混合物の運搬は、プラントから現場までダンプトラックで行う。その際、乾燥を防ぐためにシート等により混合物を覆う。可使時間は、90分程度である。

表-5 常温複合混合物の物理的性質

| 試験 | 試験条件 | 試験項目 | 測定値 |
|--------------|----------------------------|--------------------------|--|
| 標準マーシャル安定度試験 | 材齢7日 60℃ | 安定度 フロー値 | (kN) (1/100cm) 9.2 21 |
| 一輪圧縮試験 | 材齢2時間 20℃ | 一輪圧縮強さ 一次変位量 残留強度率 | (MPa) (1/100cm) (%) 1.1 18 85 |
| | 材齢7日 20℃ | 一輪圧縮強さ 一次変位量 残留強度率 | (MPa) (1/100cm) (%) 3.6 23 87 |
| ホイールトラッキング試験 | 材齢2時間 20℃ | 動的安定度 | (回/mm) |
| | 材齢1日 60℃ | 動的安定度 | (回/mm) |
| 曲げ試験 | 材齢14日 20℃ | 曲げ強度 | (MPa) |
| | | 縮断ひずみ | ($\times 10^{-3}$) |
| 長さ変化試験 | 材齢26週 | 乾燥収縮 | ($\times 10^{-3}$) |
| 膨張係数の測定 | 材齢26週 | 熱膨張係数 | ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) |
| 弾性係数の測定 | 材齢48週 | 弾性係数 | (MPa) |
| 繰り返し圧裂試験 | 材齢48週 10Hz sin波 応力制御 | 疲労破壊回数 (万回) | 応力比40% 応力比30% 応力比20% |
| | | | 8 100 3,000 |
| | | | |

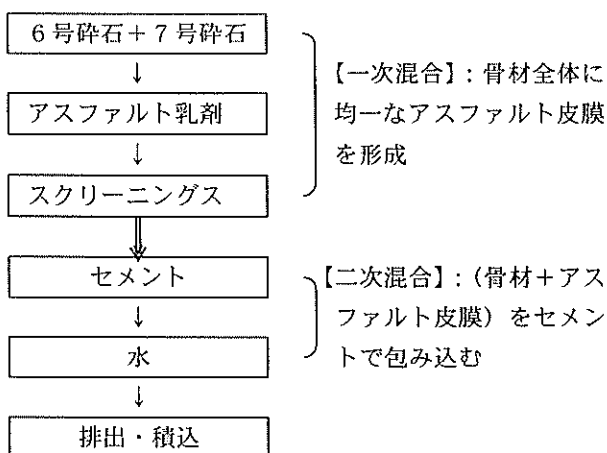


図-3 常温複合混合物の製造方法

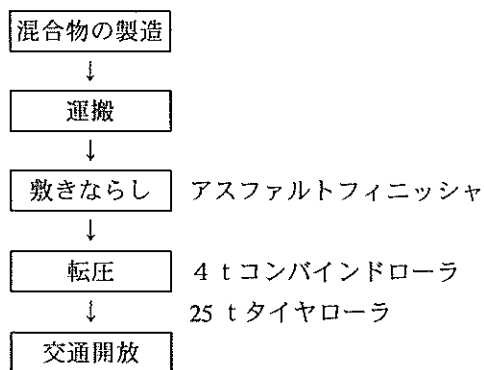


図-4 常温複合混合物の施工方法

敷きならしおよび締固めは通常のアスファルト舗装用機械を用いて行う。代表的な施工機械の編成例を表-4に示す。

表-4 代表的な施工機械の編成例

| 用途 | 機械の名称 | |
|-------|--------------|---------------|
| 敷きならし | アスファルトフィニッシャ | |
| 締固め | 初期・二次転圧 | コンバインドローラ(4t) |
| | 仕上げ転圧 | タイヤローラ(25t) |
| | 端部・狭小部 | ハンドガイド式振動ローラ |

2.5 常温複合混合物の標準的性状

道路用常温複合混合物の物理的性質の測定例を表-5に示す。初期強度発現性に優れ、耐流動性も良好であり、乾燥収縮量も小さい等の特長を有する。

2.6 常温舗装による省エネルギー効果

常温複合混合物のエネルギー消費量は、舗装厚 10cm で比較すると加熱アスファルト混合物の約 80% である。このように、加熱アスファルトに比較してエネルギー消費量が小さく、地球温暖化の抑制に対しても優れた性能を有している。

2.7 アスファルト舗装とのトータルコストの比較

動的安定度から算出した舗装のライフサイクルを元に、改質Ⅱ型アスファルト混合物とのトータルコストの比較例を表-6に示す。初期コストは高いものの、30年後の比較で逆転し、常温複合混合物は改質Ⅱ型混合物の約 8割のトータルコストとなる。

表-6 常温複合混合物と加熱アスファルト混合物のトータルコストの比較 (層厚 10cm)

単位 (円/m²)

| 区別 | 改質Ⅱ型 | | | | | 常温複合混合物 | | |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| | 建設 | 補修 | | | | 建設 | 補修 | |
| | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | | 1回目 | 2回目 |
| 供用期間 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 14 | 14 | 14 |
| 累積供用年数 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 14 | 28 | 30 |
| 切削・除去 | (1,000) | 750 | 560 | 420 | 310 | (1,000) | 510 | 260 |
| 材料・施工 | 5,000 | 3,730 | 2,780 | 2,080 | 1,550 | 9,000 | 4,550 | 2,300 |
| 便益損失 | 5,000 | 3,730 | 2,780 | 2,080 | 1,550 | 5,000 | 2,530 | 1,280 |
| 小計 | 10,000 | 8,310 | 6,120 | 4,580 | 3,410 | 14,000 | 7,590 | 3,840 |
| トータルコスト | 32,320 | | | | | 25,430(79%) | | |

3. 耐流動性および表面性状の向上に関する検討

3.1 実験概要

道路用常温複合混合物を空港舗装の表層および基層に適用する際の課題として、重荷重への対応が挙げられた。研究開発の課題と解決の方向性を表-7に示す。

表-7 開発研究の課題と方向性

| 課題 | 方向性 |
|-----------------|--|
| 1. 評価試験方法の確立 | (1) ホイールトラッキング試験 ・ 接地圧の増加 (1.5MPa) |
| 2. 表面性状・耐流動性の向上 | (1) アスファルト乳剤の検討 ① 高濃度乳剤 (60 ~ 70%) ② 配合量の増量 ③ 改質乳剤 (2) 特殊セメント・ポリマーの検討 ① 配合量の増量 ② セメント混合用ポリマーの添加 (3) 骨材粒径・粒度の見直し ① 最大粒径 13mm → 20mm ② 粒度を細粒度化 (4) 混合性向上方法の検討 ① フォームド乳剤によるスクリーニングスのプレコート (5) 転圧方法の検討 ① ハイコンパクションフィニッシャー ② 振動タイヤローラ (6) 塗布用ポリマーの検討 |

(1) 試験方法の課題

空港舗装用材料を開発するために、まず試験方法を確立する必要があった。特に検討を要した試験方法はホイールトラッキング試験（以下、WT試験と称する）であり、重荷重での耐流動性を評価するために、接地圧を目標の 1.5MPa に増加させることであった。

(2) 材料面の課題

常温複合混合物を空港舗装に適用する際の材料面からの課題として、次の事項が挙げられた。

- ① 重荷重 (接地圧 1.5MPa) においても耐流動性、耐荷重性に優れること。
- ② 誘導路でのコーナリングに対するねじれ抵抗性、エブロン部での耐油性など空港舗装特有の厳しい適用条件を満足すること。

3.2 重荷重条件下でのWT試験方法の検討

接地圧 1.5MPa でのWT試験方法を確立するために、試験機の上載荷重を増加させ接地圧の向上を試みた。研究当初におけるWT試験用車輪は、舗装試験法便覧「3-7-3 ホイールトラッキング試験方法」に記載されている直径 200mm、幅 50mm、ゴムの厚さ 15mm のソリッドタイヤを用いた。ゴム硬度は、20℃で JIS 硬度 86、60℃で 79 の規定に合格するものであった。標準のソリッドタイヤを用いた場合の接地圧と上載荷重の関係を図-5に示す。

標準の接地圧 0.63MPa 時の上載荷重は 0.70kN であった。上載荷重の増加に従いタイヤの接地面積も増加し、上載荷重を 2 倍にしても接地圧を 2 倍にすることはできなかった。舗装試験法便覧に指定された硬度のタイヤでは、試験装置の許容最大荷重 1.5kN で接地圧 1.0MPa が上限であった。

そこでタイヤのゴム硬度を変更して、接地圧の向上を試みた。使用したゴムの材質は NBR（クロロブレン系合成ゴム）で、60℃ゴム硬度は 92 であった。この硬質ゴムタイヤを用いた場合の接地圧と上載荷重の関係を同じく図-5に示す。目標とした接地圧 1.5MPa は、上載荷重を 1.0kN とすることにより可能となった。

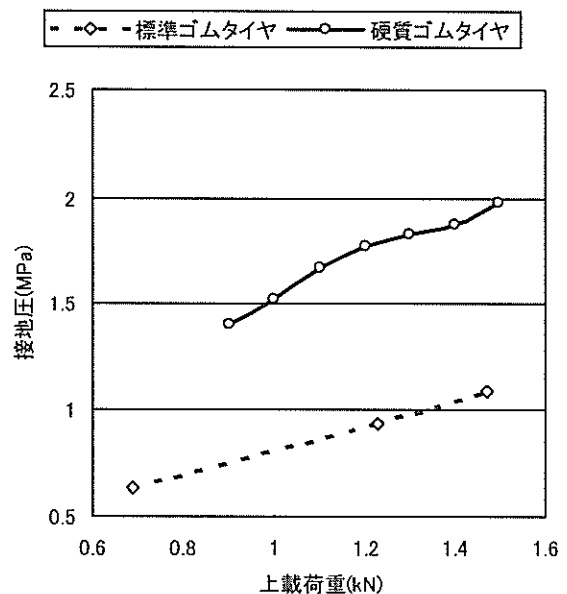


図-5 接地圧と上載荷重の関係

3.3 実験方法

(1) 使用材料

使用材料の産地および種類を表-8に示す。この中で、

表-8 使用材料の産地・種類

| 使用材料 | 産地・種類 |
|-------------|--------------------------------|
| 6号砕石 | 栃木県葛生産硬質砂岩 |
| 7号砕石 | 栃木県栗野産硬質砂岩 |
| スクリーニングス | |
| フィラー | 住友大阪セメント(礫石灰石粉末) |
| アスファルト乳剤 | ニチレキ(株) |
| セメント | 住友大阪セメント(株) |
| セメント混合用ポリマー | アクリル系 (固形分濃度50%) |
| 塗布用ポリマー | アクリル系 (固形分濃度31%をポリマー；水=3：1に希釈) |

セメント混合用ポリマーは骨材把握力の向上を目的として使用し、塗布用ポリマーは舗装表面の強化材として使用した。

(2) 配合条件

骨材は、道路用常温複合混合物の合成粒度の中央値に近づくように配合した。セメント量は、道路用常温複合混合物での3.2%に対して、配合量を増加して試験した。アスファルト乳剤量は、道路用常温複合混合物の配合設計に用いている、骨材の合成粒度より計算して算出する(1)式にて決定した。常温複合混合物中のアスファルト乳剤量は、8.5%となった。

$$E = \frac{0.023A + 0.065B + 0.13C + 0.11D + 1.13}{R} \times 100 \quad (1)$$

ここで、E：必要アスファルト乳剤量 (%)

A：使用骨材中の2.36mmふるいに残留する部分の質量百分率 (%)

B：2.36mmふるいを通過し、300μmふるいに残留する部分の質量百分率 (%)

C：300μmふるいを通過し、75μmふるいに残留する部分の質量百分率 (%)

D：75μmふるいを通過する部分の質量百分率 (%)

R：アスファルト乳剤の濃度

セメント混合用ポリマーは、セメントに対して標準的な添加量である固形分量でP/C=10%に加えて、25%、35%でも試験した。塗布用ポリマーは、養生膜材の一般的な散布量である0.1、0.15kg/m²散布した。各使用材料の配合条件を表-9に示す。

表-9 使用材料の配合条件

| 使用材料 | 配合割合(質量%) |
|----------|--|
| 6号砕石 | 31～34% |
| 7号砕石 | 16～18% |
| スクリーニングス | 31～34% |
| フィラー | 1.5% |
| アスファルト乳剤 | 8.5, 9.5% |
| セメント | 3.3, 3.5, 4.2, 5.0, 5.2, 5.8, 6.8, 7.4, 8.0% |
| 混合用ポリマー | P/C=10, 25, 35% |
| 塗布用ポリマー | 0.1, 0.15kg/m ² |

(3) 混合方法

混合は図-6の方法で行った。概ね図-3に示す道路用常温複合混合物の標準的な混合方法に従い、その中で、①フォームドアスファルト乳剤によるスクリーニングスのプレコート、②セメント混合用ポリマーの添加および③塗布用ポリマーの散布を行った。それぞれの実施箇所を図中に示す。

フォームドアスファルト乳剤によるスクリーニングスのプレコートは、アスファルト乳剤の使用量の1/2をハンドミキサを用いて体積を5倍にしたホイップクリーム状態で行った。

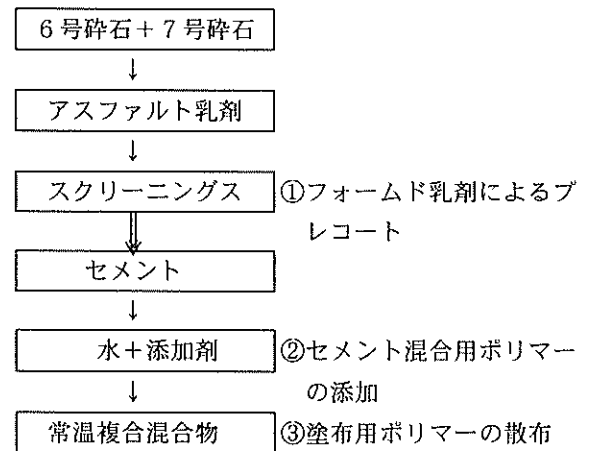


図-6 混合方法と検討内容

(4) 試験方法

耐流動性は、舗装試験法便覧「ホイールトラッキング試験方法」に従い、常温複合混合物の動的安定度(DS)を測定した。常温で混合した試料を型枠(30×30×5cm)に詰め、ローラコンパクタを用いて所定の締固め密度になるように、荷重8.8kNで30往復の締固めを行った。供

試体作製後、20℃恒温室にて養生を行い、試験開始5時間前に60℃恒温室にて養生を行った。タイヤ接地圧は、空港舗装における重荷重を考慮して1.5MPa（荷重1.0kN、タイヤ硬度92（60℃））とした。動的安定度（DS）は(2)式により算出した。

$$DS = 42 \times (t_2 - t_1) / (d_2 - d_1) \quad (2)$$

ここで、 t_1 ：時間（45分）（分）
 t_2 ：時間（60分）（分）
 d_1 ： t_1 における変形量（mm）
 d_2 ： t_2 における変形量（mm）

乾燥収縮率の測定は、JIS A 1129 に準じて、ホイールトラッキング試験用供試体を室温 20 ± 1℃、相対湿度（RH）60 ± 5%の条件で保存して行った。

ねじれ試験については、舗装試験法便覧ではまだ標準化されていない。そこで、実在するねじれ抵抗試験機の中から、写真-1に示す回転ホイールトラッキング試験機を用いた。試験機の試験条件を表-10に示す。評価は、(3)式のすえざり安定度（SDS）で行った。

$$SDS = [t \times c] \div d \quad (3)$$

ここで、 c ：車輪走行速度（回転数、10.5回/分）
 d ： t 分間の変形量（mm）
 t ：測定時間（分）



写真-1 回転WT試験機

骨材飛散抵抗性については、舗装試験法便覧別冊「排水性舗装・カンタブロ試験方法」に従って常温複合混合物のカンタブロ損失率を測定した。加えて、同「ラベリング試験方法」に準じて、チェーンラベリングによる摩耗量を測定した。その際の試験条件は、材齢7日、試験温度-10℃、試験時間60分とした。

マーシャル安定度試験については、同「マーシャル安

表-10 回転WT試験機の測定条件

| 項目 | 測定条件 |
|------|---------|
| 回転数 | 10.5回/分 |
| 接地圧 | 0.63MPa |
| 温度 | 60℃ |
| 試験時間 | 60分 |

定度試験方法」に従って測定した。常温で混合した試料を直径101.6mm、厚さ68.0±1.3mmになるように調整し、締固め回数75回/面にて、両面締固めを行った。作製後直ちに脱型し、供試体を試験材齢まで20℃の恒温室にて養生した。

また、同「路上再生セメント・アスファルト乳剤安定処理路盤材料の一軸圧縮試験方法」に従い常温複合混合物の一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮試験用マーシャル供試体の作製方法は、同「マーシャル安定度試験方法」に準じた。

3.4 実験結果および考察

空港舗装用常温複合混合物を開発するため、表-7の「2. 表面性状および耐流動性の向上」に示す各項目について検討した。

(1) 耐流動性

接地圧 1.5MPa で耐流動性の向上に効果が認められたのは、セメント量であった。動的安定度とセメント量の関係を図-7に示す。セメント量の増量にもない動的安定度が増加し、配合量 4.2%以上では材齢1日の動的安定度が5,000回/mmを上回る結果であった。これから、空港舗装用としてはセメント量を 4.2%以上とすること

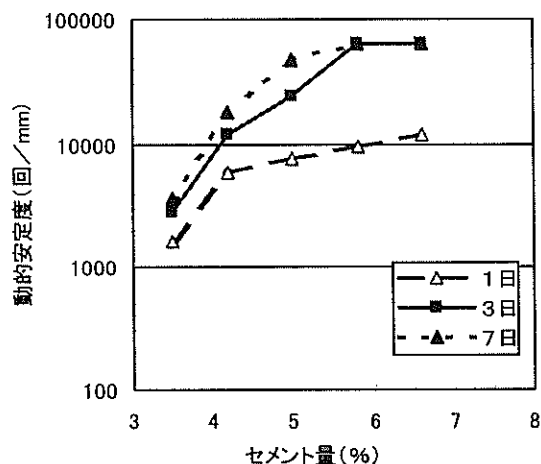


図-7 動的安定度とセメント量の関係

により、十分な耐流動性が確保できることを確認した。

(2)長さ変化

セメント量を増量した場合の乾燥収縮試験結果を図-8に示す。セメント量の増量により、乾燥収縮率は大きくなる傾向を示した。セメント量 4.2%では、半年経過後における収縮率で 400×10^{-6} とやや大きな値であったが、それでも一般的なセメントコンクリート (600×10^{-6} 以上)と比較すると小さい値であった。また、これにフォームド乳剤、混合用ポリマーあるいは塗布用ポリマーを使用した場合においても、乾燥収縮率は変化せず同程度の値であった。

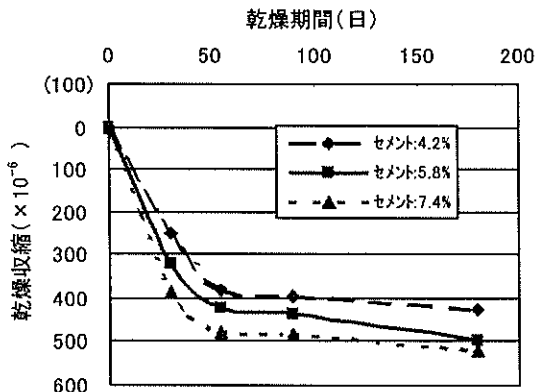


図-8 乾燥収縮試験結果

(3)ねじれ抵抗性

常温複合混合物 (セメント 3.5, 5.0%), 改良品 (フォームド乳剤あるいはセメント混合用ポリマーの使用)と密粒度改質II型加熱アスファルト混合物(13)のねじれ抵抗性 (0 ~ 60 分の SDS) の試験結果を図-9に示す。SDSは、セメント量の増加、セメント混合用ポリマーの添加およびフォームド乳剤によるスクリーニングスのプレコートにより増加した。セメント混合用ポリマーおよびフォームド乳剤による改良品 (約 2,000 回/mm) は、改質II型 (約 50 回/mm) の 40 倍と高いねじれ抵抗性を示した。SDS からみた表面性状改善の効果は、セメント混合用ポリマーの添加よりフォームド乳剤の使用の方が大きい傾向であった。

(4)骨材飛散抵抗性

骨材飛散抵抗性は、カンタブロ試験とチェーンラベリング試験で評価した。セメント混合用ポリマーを添加し

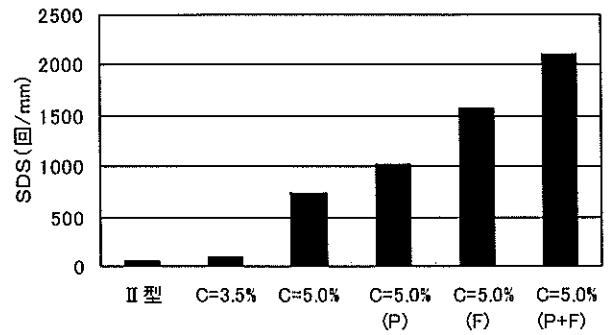


図-9 ねじれ抵抗性試験結果 (P:混合用ポリマー, F:フォームド乳剤)

た場合のカンタブロ試験結果を図-10に示す。セメントに対するポリマー添加率 10 %前後から添加効果が認められ、カンタブロ損失率は 10 %以下となった。

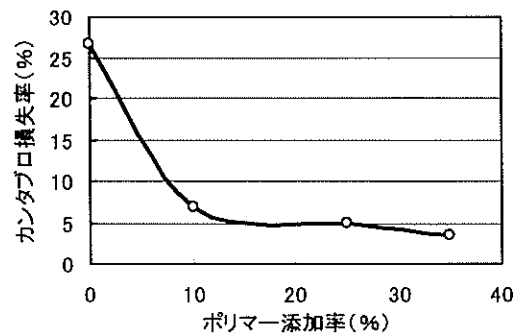


図-10 カンタブロ損失率と混合用ポリマー添加率の関係(セメント量=3.5%)

セメント量、フォームド乳剤および混合用ポリマーの適用とチェーンラベリングのすりへり断面積との関係を図-11に示す。セメント量の増量ですりへり断面積は減少したが、これにフォームド乳剤と混合用ポリマーを併用することにより、さらに骨材飛散抵抗性が向上した。

次に、セメント量 4.2 %の配合で塗布用ポリマーを用いた場合のすりへり断面積と散布量の関係を図-12に示す。塗布用ポリマーの散布量が 0.10 kg/m^2 以上になると、無散布の場合の $1/4 (0.5 \text{ cm}^2)$ にまですりへり断面積が減少し、表面強化効果の大きいことを確認した。

(5)耐油性

耐油性の評価はマーシャル供試体を 24 時間灯油づけ (20 °C) し、供試体の目視評価およびマーシャル安定度残留率 (灯油づけ有/無) によって行った。常温複合

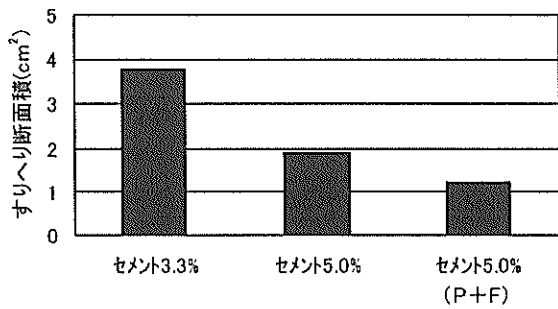


図-11 添加材とすりへり断面積 (P:混合用ポリマー, F:フォームド乳剤)

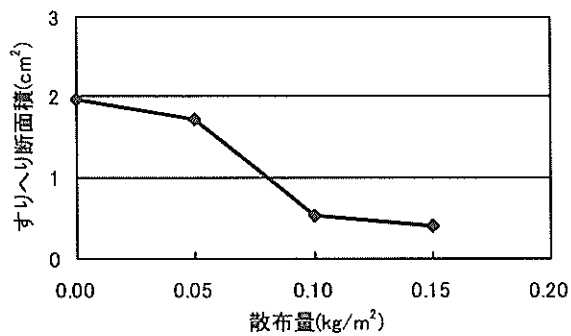


図-12 塗布用ポリマーの散布量とすりへり断面積

混合物と改質Ⅱ型の耐油性試験結果を図-13に示す。改質Ⅱ型の供試体は、灯油づけをすることによって浸食が激しく、マーシャル安定度の低下も大きくなった。一方、常温複合混合物の供試体は、灯油づけによる表面変化やマーシャル安定度の低下が全く認められず、十分な耐油性を示した。

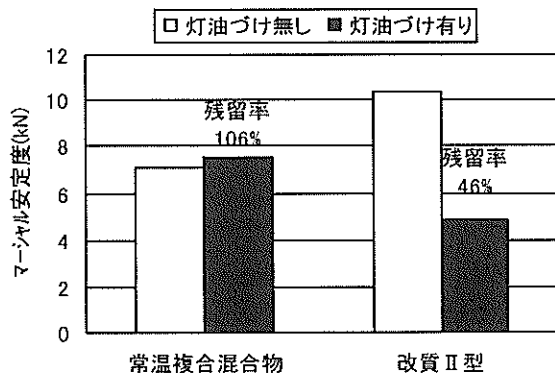


図-13 耐油性試験結果

(6) その他の物性

アスファルト乳剤量を骨材粒度から算出した標準の8.5%と、9.5%まで増量した場合の一軸圧縮強さとセメント量の関係を図-14に、残留強度率とセメント量の関係を図-15にそれぞれ示す。道路用常温複合混合物では、一軸圧縮強さの目標値を材齢2時間で1.0MPa以上、材齢7日で3.0～6.0MPa、残留強度率の目標値を各材齢で75%以上としていた。空港舗装におけるこれらの目標値は未定であるが、上記の試験結果からこの範囲の配合条件で選定すればほぼ問題はないものと考えられる。

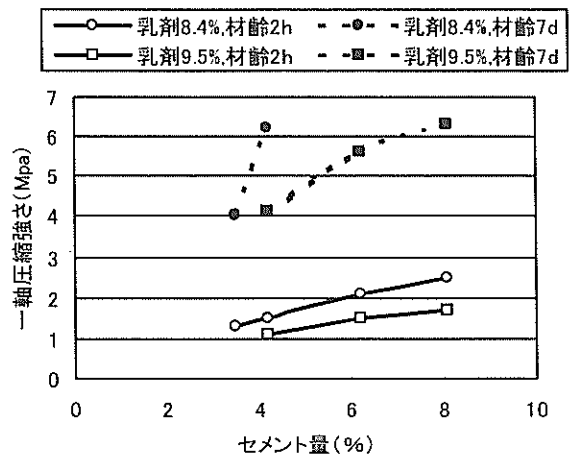


図-14 一軸圧縮強さとセメント量の関係

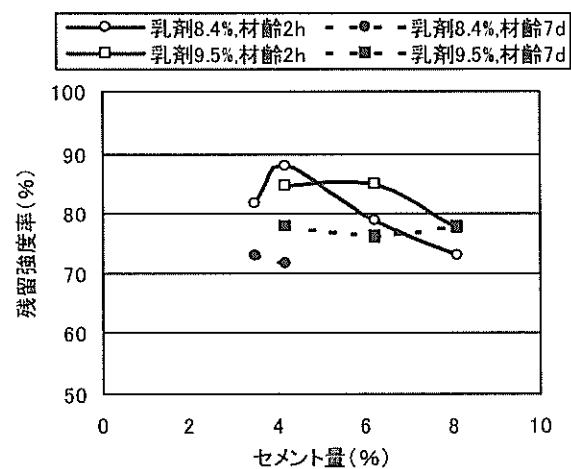


図-15 残留強度率とセメント量の関係

3.5 まとめ

耐流動性と表面性状の向上を目的に実施した室内実験結果をまとめると、下記のようなになる。

- ①WT試験機のタイヤのゴム硬度を硬質化し、上載荷重

を増加させることにより、接地圧 1.5MPa でのWT試験が可能となった。

- ②耐流動性はセメント量を 4.2%以上とすることにより、重荷重下での空港舗装用混合物として問題のないことを確認した。
- ③長さ変化試験結果では、セメント量の増量により、乾燥収縮率が增大するものの、一般的なセメントコンクリート硬化体よりは小さい傾向が認められた。
- ④骨材飛散対策としては、セメント量の増量、セメント混合用ポリマーの使用（骨材把握力の向上）、塗布用ポリマーの使用（骨材把握力の向上）あるいはフォームド乳剤によるスクリーニングスのプレコート（骨材へのアスファルト被膜の均一性の向上）が有効であった。
- ⑤耐油性試験結果では、常温複合混合物はアスファルト混合物より耐油性が良好であることを確認した。

そこで、検討項目をセメント量の増量、セメント混合用ポリマーの使用、塗布用ポリマーの使用あるいはフォームド乳剤によるスクリーニングスのプレコートの4項目に絞り、第一次試験施工向けの配合を選定することにした。

4. 配合選定に関する検討

4.1 実験概要

これまでの検討により良好と思われる材料、工法、配合を互いに組み合わせ、試験施工の際の配合条件の絞り込みを行った。

4.2 実験方法

(1) 検討水準および配合条件

検討項目は、図-16に示す4条件で行った。使用材料は、3章で用いた材料と同じものを使用した。

骨材配合およびアスファルト乳剤は、道路用の配合設計方法に従って設定した。配合条件を表-11に示す。セメント量は3.3、4.2、5.0%の3水準とした。添加剤は、セメント混合用ポリマーを固形分量でP/C=0、10、20%で添加し、表面塗布用ポリマーを有効成分量で0、0.1kg/m²散布した。

(2) 混合条件

混合条件は、混合温度を20℃、練置時間を1時間30分(密封保持)、塗布用ポリマーの表面散布時期を転圧直前と

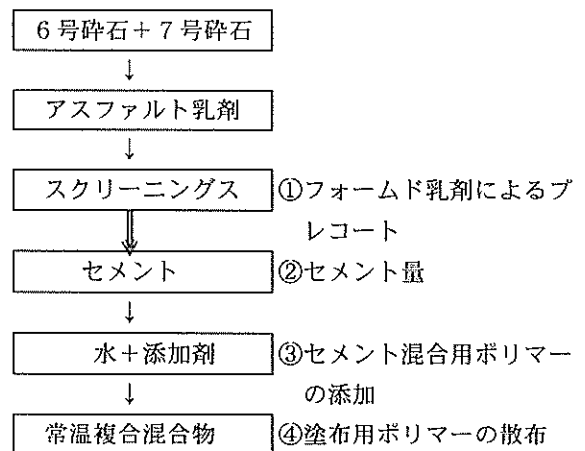


図-16 混合方法と検討項目

表-11 第一次試験施工用配合選定のための配合条件

| No. | 6号 | 7号 | Sc | | | 乳剤 | | | セメント | 水 | 添加剤 | ポリマー | 塗布ポリマー | フォームド |
|-----|------|------|--------|-----|-----|---------|-----|-----|------|---|-----|-------------------|--------|-------|
| | | | % (IN) | | | % (OUT) | | | | | | kg/m ² | 乳剤 | |
| 1 | 34.6 | 18.2 | 33.7 | 8.5 | 3.3 | 1.7 | 1.4 | | | | | | | |
| 2 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 1.4 | | | | | | | |
| 3 | 34.0 | 17.9 | 33.2 | 8.4 | 5 | 1.5 | 1.5 | | | | | | | |
| 4 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 1.4 | | | | | 0.43 | | |
| 5 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 0.9 | 1.1 | | | | | | |
| 6 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 0.9 | 1.1 | | | | 0.43 | | |
| 7 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 0.3 | 2.3 | | | | | | |
| 8 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 0.3 | 2.3 | | | | 0.43 | | |
| 9 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 1.4 | | | | | | | E3 |
| 10 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 0.9 | 1.1 | | | | 0.43 | | E3 |
| 11 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 0.9 | 1.1 | | | | | | E3 |
| 12 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | 8.5 | 4.2 | 1.5 | 1.4 | | | | | 0.43 | | E3 |

注 1) 乳剤は 3 回に分けて添加した (E=E1+E2+E3)

注 2) ポリマー：水 = 1:3 の希釈溶液使用

した。

(3) 測定項目および測定条件

WT試験は、接地圧を1.5MPaにして測定した。材齢は、2時間(20℃)、1日、3日、7日(以下60℃)とした。一軸圧縮試験は、材齢を2時間、1日、7日、14日として測定した。カンタブロ試験は、材齢7日で行った。曲げ試験は、材齢14日で行った。乾燥収縮は、試験条件を1日脱型後基長、以後20±1℃、RH60±5%の恒温恒湿槽に保存して測定した。

4.3 実験結果

(1) 耐流動性

動的安定度とセメント量の関係を図-17に示す。セメント量が増加するに従い、動的安定度が増加した。セメント量 4.2 % 以上で、材齢 2 時間から動的安定度が

10,000回/mm以上の高い値を示した。

動的安定度と混合用ポリマー添加量の関係を図-18に示す。試験温度 60℃の材齢初期において、混合用ポリマー添加量が増加するに従って動的安定度が低下する傾向を示した。

動的安定度と塗布用ポリマーの関係を図-19に示す。試験温度 60℃の材齢初期において、混合用ポリマーの場合と同じく、塗布した場合に動的安定度が低下する傾向を示した。

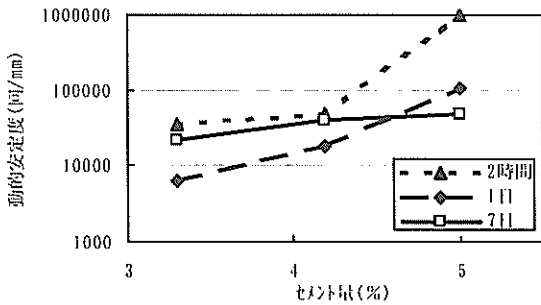


図-17 動的安定度とセメント量の関係

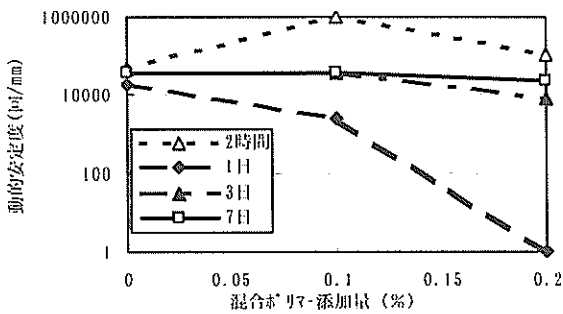


図-18 動的安定度と混合用ポリマー添加量の関係

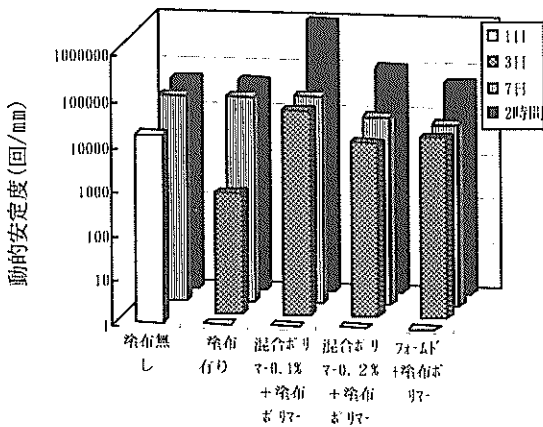


図-19 動的安定度と塗布用ポリマーの関係

動的安定度とフォームド乳剤の関係を図-20に示す。試験温度 60℃の材齢初期において、動的安定度がやや低下したが、混合用ポリマーや塗布用ポリマーを使用した場合ほどの低下は認められなかった。

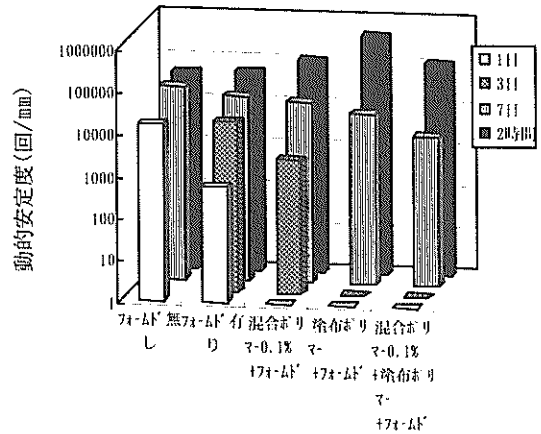


図-20 動的安定度とフォームド乳剤の関係

(2) 長さ変化

乾燥収縮率とセメント量の関係を図-21に示す。セメント量が 3.3 ~ 5.0% の範囲では、セメント量が増加しても、乾燥収縮率が增大する傾向は認められなかった。

乾燥収縮率と各種ポリマーの関係を図-22に、フォームド乳剤との関係を図-23にそれぞれ示す。各種ポリマ

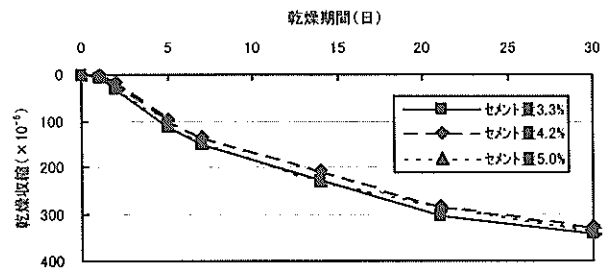


図-21 乾燥収縮率とセメント量の関係

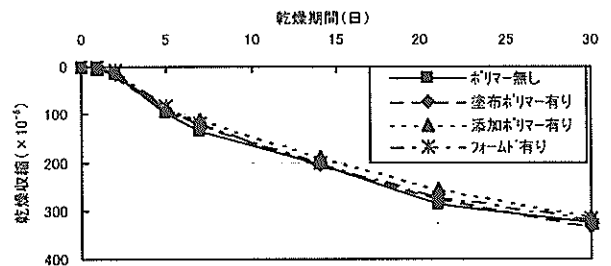


図-22 乾燥収縮率と各種ポリマーの関係

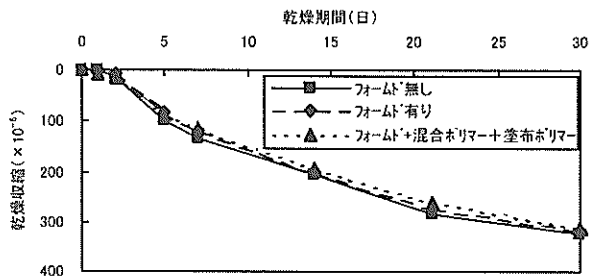


図-23 乾燥収縮率とフォームド乳剤の関係

一やフォームド乳剤の使用により、乾燥収縮率が增大する傾向は認められなかった。

(3) 一軸圧縮強さ

一軸圧縮強さと混合用ポリマーの関係を図-24に、塗布用ポリマーとの関係を図-25に、フォームド乳剤との関係を図-26にそれぞれ示す。混合用ポリマー、塗布用ポリマーおよびフォームド乳剤の使用により、一軸圧縮強さが低下する傾向は認められなかった。

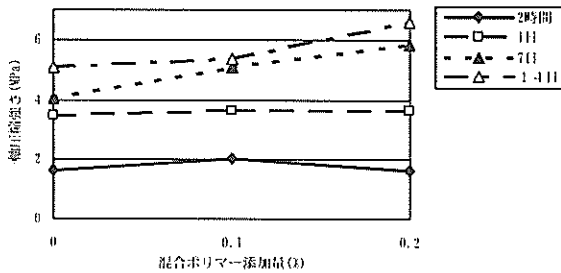


図-24 一軸圧縮強さと混合用ポリマー添加量の関係

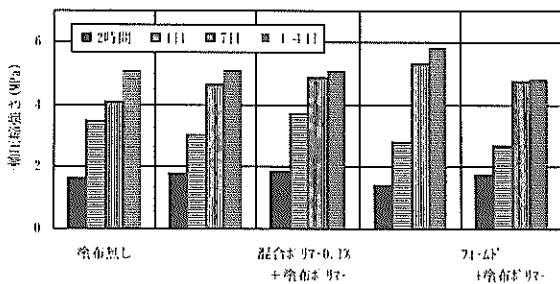


図-25 一軸圧縮強さと塗布用ポリマーの関係

(4) 骨材飛散抵抗性

カンタブロ損失率とセメント量との関係を図-27に示す。セメント量の増加に従い、カンタブロ損失率がやや改善した。カンタブロ損失率と混合用ポリマーの関係を図-28に、塗布用ポリマーとの関係を図-29に、フォームド

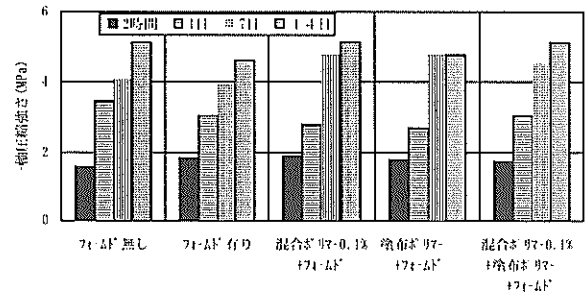


図-26 一軸圧縮強さとフォームド乳剤の関係

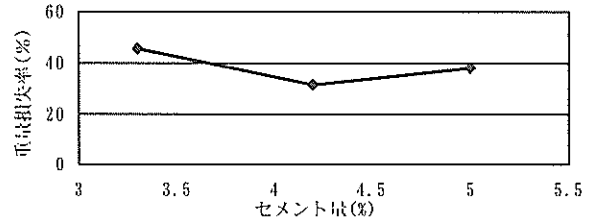


図-27 カンタブロ損失率とセメント量との関係

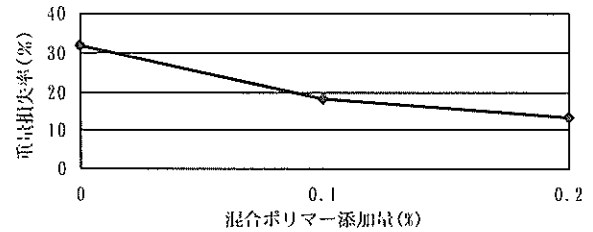


図-28 カンタブロ損失率と混合用ポリマーの関係

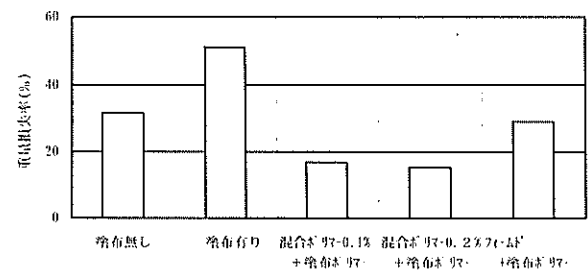


図-29 カンタブロ損失率と塗布用ポリマーの関係

乳剤との関係を図-30にそれぞれ示す。カンタブロ損失率の改善に顕著な効果が認められたのは、混合用ポリマーの添加であった。

(5) 曲げ試験

曲げ強度とセメント量との関係を図-31に示す。セメント量の増加に従い、曲げ強度が増大する傾向が認められ

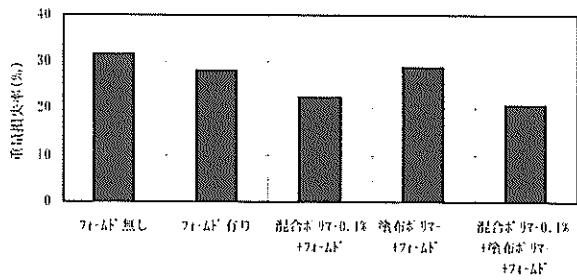


図-30 カンタプロ損失率とフォームド乳剤の関係

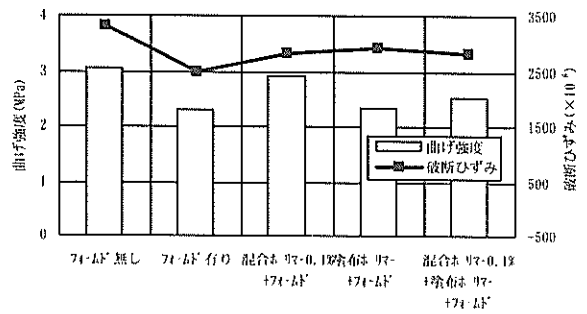


図-34 曲げ強度とフォームド乳剤の関係

た。曲げ強度と混合用ポリマーの関係を図-32に、塗布用ポリマーとの関係を図-33に、フォームド乳剤との関係を図-34にそれぞれ示す。混合用ポリマー、塗布用ポリマーおよびフォームド乳剤の使用により、曲げ強度が低下する傾向は認められなかった。

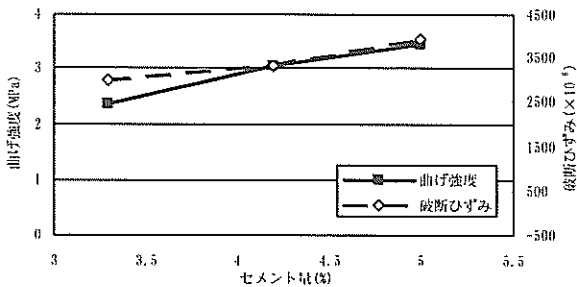


図-31 曲げ強度とセメント量の関係

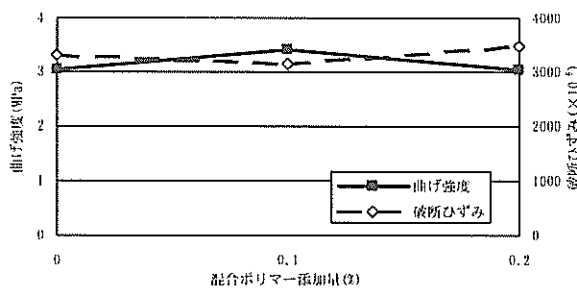


図-32 曲げ強度と混合用ポリマーの関係

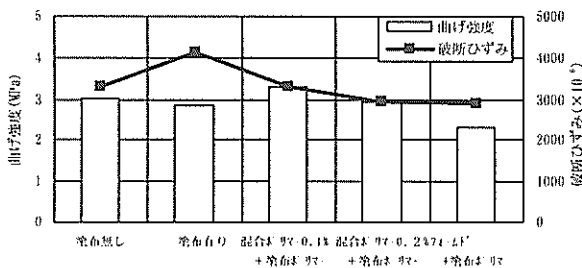


図-33 曲げ強度と塗布用ポリマーの関係

4.4 考察

(1)セメント量

セメント量の増加にともない動的安定度、一軸圧縮強さ、曲げ強度が大きくなる傾向を示した。また、今回の試験の範囲では曲げ試験における破断ひずみもセメント量の増量に比例して増加する傾向にあった。カンタプロ試験における損失率は、セメント量の増量にともないわずかに減少した。乾燥収縮については、今回の実験の範囲ではセメント量による顕著な差は認められなかった。

(2)混合用ポリマー

混合用ポリマーの添加量が増加するにともない材齢1日における動的安定度は低下する傾向にあり、P/C=20%の場合には著しい沈下を示し、測定不能となった。また、材齢3日においても混合用ポリマー添加量の影響が認められたが、いずれも5,000回/mm以上の値であり、実用上問題のない範囲であった。材齢7日においては、無添加の場合と同等であった。

一軸圧縮強さに関しては、材齢1日以降においてポリマー添加量の増加に伴い、強度が増加し、その程度は材齢の経過にともない大きくなる傾向を示した。

カンタプロ試験においては、ポリマー添加量の増加にともない損失率が小さくなり、耐衝撃性に対する改善が計られていると推測される。曲げ試験においては曲げ強度、破断ひずみ共に無添加と同等であった。

(3)塗布用ポリマー

塗布用ポリマーを用いた混合物は、材齢1日における動的安定度が低下し測定不能となった。また材齢3日においても材齢1日と同様の結果となった。しかし、材齢7日においては、10,000回/mm以上の動的安定度を示した。

一軸圧縮強さ、カンタプロ試験については塗布効果は

認められなかった。曲げ試験に関しては、曲げ強度が0.2MPa程度小さくなり、破断ひずみは 800×10^{-6} 程度大きくなった。

ただし、転圧時のコンパクタへの付着が大きく、実施工においてローラへの付着が懸念された。

(4) フォームド乳剤

フォームド乳剤でプレコートしたスクリーニングスを用いた混合物の材齢1日における動的安定度は、無添加に比べ低下し610回/mmとなった。材齢3日以降においては無添加と同等となった。

一軸圧縮強さに関しては無添加と同等であった。カンタブロ試験に関しては、わずかに損失率が小さくなった。曲げ試験に関しては、曲げ強度、破断ひずみ共に低下した。

(5) 各種材料の相乗効果

各種材料を同時に使用した混合物においては、材齢1日の動的安定度がいずれも測定不能となり、測定初期の段階から沈下した。材齢3日においても、これらの混合物は著しく低い動的安定度を示した。また、フォームド乳剤、混合用ポリマーおよび塗布用ポリマーすべてを組合せたものについては、材齢7日における動的安定度も5,000回/mmに満たないものであり、骨材飛散抵抗性も低く、種々の材料を組合せることによる相乗効果は得られなかった。

4.5 まとめ

各種材料についての実験結果を以下にまとめる。

- ①セメント量については、長所として添加量に伴う初期強度の増加が挙げられるが、初期の重荷重に対応できる最低限度の量とすることが乾燥収縮の面から望ましく、各種材料を混入した場合の初期材齢への影響を考慮して4.2%程度が望ましい。
- ②混合用ポリマーについては、長所としてカンタブロ試験のような衝撃に対する抵抗性が向上することが挙げられ、短所として添加量の増加に伴い初期材齢の動的安定度が低下することから、初期材齢での悪影響を考慮してP/C=10%程度の添加が望ましい。
- ③塗布用ポリマーについては、長所として曲げ試験における曲げひずみの増加が挙げられ、短所として添加に伴い初期材齢の動的安定度が低下することから、 0.1 kg/m^2 程度の散布が望ましい。
- ④フォームド乳剤については、今回の試験においては使用効果が確認できなかった。

以上のことにより、セメント量を4.2%、添加材料として混合用ポリマーをP/C=10%添加、塗布用ポリマーを 0.1 kg/m^2 散布する配合条件で試験施工を行うことにした。その際の配合条件を表-12に示す。

表-12 試験施工向け配合条件

| 材料 | 配合(質量%) |
|----------|----------------------|
| 6号砕石 | 34.3 |
| 7号砕石 | 18.0 |
| スクリーニングス | 33.5 |
| アスファルト乳剤 | 8.5 |
| セメント | 4.2 |
| フィラー | 1.5 |
| 混合用ポリマー | P/C=10% |
| 塗布用ポリマー | 0.1 kg/m^2 |

5. 第一次試験施工

5.1 試験施工概要

セメント・アスファルト乳剤系複合材を用いた空港舗装材料の開発を目的に、室内試験を実施して有望配合を選定した。そこで、構内試験施工を実施し、実施工における各材料の効果の確認と混合性、施工性ならびに供用性に関する問題点の抽出や確認を行った。

その際の主な検討課題を下記に示す。

- ①セメント混合用ポリマーの添加効果の確認
- ②表面強化材としての塗布用ポリマーの散布効果の確認
- ③振動タイヤローラの転圧効果の確認
- ④施工厚10cmの一層施工の可能性の確認

第一次試験施工の概要を表-13に示す。また、試験施工の工区割りを図-35に、舗装断面を図-36にそれぞれ示す。試験施工に使用した材料は、3章および4章の室内実験に用いたものと同じ産地のものを使用した。比較工

表-13 第一次試験施工の概要

| 項目 | 内容 |
|----------|-------------------------------------|
| 施工年月 | 平成10年4月13日 |
| 施工場所 | 住友大阪セメント(株)市川工場内 |
| 施工面積 | 300 m^2 (3m x 50m x 2レーン) |
| 常温混合物舗装厚 | 5cm, 10cm |
| 常温混合物の製造 | 常温複合混合物製造プラント |
| 対象交通量 | 通常は交通量なし。走行試験を実施して供用性を確認。 |

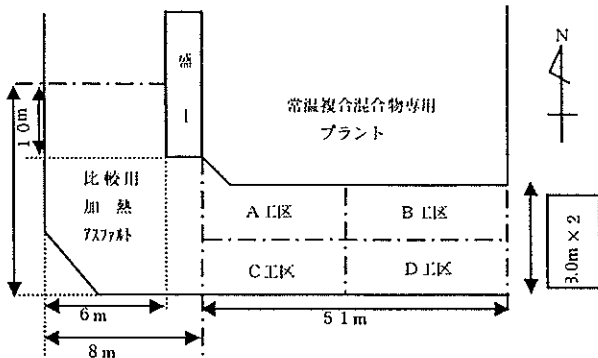


図-35 試験舗装工区割

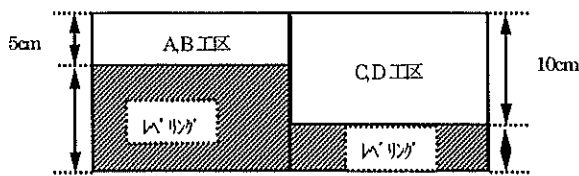


図-36 施工断面

区には、密粒度アスファルト混合物(13)を5cm舗設した。

5.2 配合設定および施工方法

(1) 骨材配合および合成粒度

使用した骨材の粒度分布に基づき、道路用常温複合混合物の中央値に近づくように骨材を配合した。その際の合成粒度を図-37に示す。

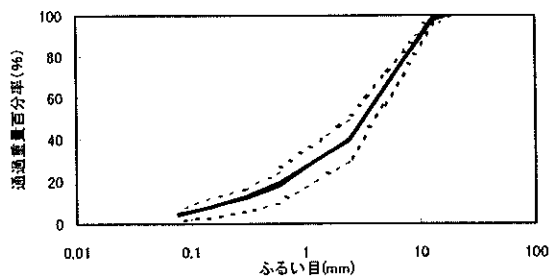


図-37 骨材の合成粒度

(2) 配合条件

アスファルト乳剤量は、道路用常温複合混合物の配合設計に用いている3.3.(2)に示す(2)式にて決定した。その結果、必要アスファルト乳剤量は骨材に対して、9.7% (内割配合では8.3%) となった。

その他の材料の配合は、表-12に従って設定した。本

試験施工での各工区ごとの配合条件を表-14に示す。

表-14 各工区の配合条件

| 項目 | 単位(質量%) | | | |
|----------|---------|------|---------|------|
| | A工区 | B工区 | C工区 | D工区 |
| 6号砕石 | 33.9 | | | |
| 7号砕石 | 23.7 | | | |
| スリ-ニングス | 28.5 | | | |
| フィラー | 1.5 | | | |
| アスファルト乳剤 | 8.3 | | | |
| セメント | 4.2 | | | |
| 混合用ポリマー | 無添加 | | P/C=10% | |
| 層厚 | 5cm | 10cm | 5cm | 10cm |

(3) 混合方法

混合は、図-6に示す混合手順で、専用プラント(50t/h)で行った。専用プラントでの製造状況を写真-2に示す。その際、混合用ポリマーは、添加水と混合希釈して1バッチ毎に計量したものを直接ミキサ内に投入した。



写真-2 常温複合混合物専用プラントでの製造状況

(4) 施工方法

表-14に示す配合条件の混合物をフィニッシャーで敷きならした後、各工区の一部に振動タイヤローラの使用、塗布用ポリマーの散布を行った。各工区の施工方法の詳細図を図-38に示す。

敷きならしは、アスファルトフィニッシャーで層厚5cm、10cm共一層で行った。締固めは、1次転圧に4tコンバインドローラ、2次転圧に25tタイヤローラと振動タイヤローラを使用した。アスファルトフィニッシャーでの舗設状況を写真-3に、転圧状況を写真-4にそれぞれ示す。

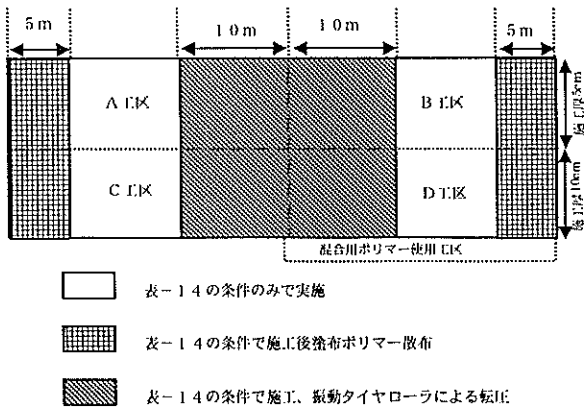


図-38 各工区の詳細図と施工条件



写真-5 塗布用ポリマーの散布状況

5.3 混合物の品質管理試験

(1) 品質管理方法

常温複合混合物の品質管理項目および方法を表-15に示す。

表-15 品質管理項目および方法

| 管理項目 | 管理方法 | 内容 |
|----------|---------|----------------------------|
| 一軸圧縮強さ | マニール供試体 | ・材齢:2時間,7日,28日,3ヶ月 |
| 残留強度率 | 一軸圧縮試験 | |
| カンブロー損失率 | マニール供試体 | ・材齢:7日 |
| 動的安定度 | WT試験 | ・材齢:3日,7日 ・接地圧 1.5MPa |
| 長さ変化 | WT用供試体 | ・1日脱型後基長 ・20℃,RH60 ± 5% |



写真-3 アスファルトフィニッシャーでの敷きならし状況



写真-4 振動タイヤローラでの転圧状況

塗布用ポリマーは、敷きならし転圧後、舗装表面に塗布量 0.1kg/m² で散布した。散布状況を写真-5に示す。

(2) 品質管理試験結果

一軸圧縮試験結果を表-16に示す。短期強度および長期強度とも、混合用ポリマーの添加の有無に関わらず十分な値であった。

接地圧 1.5MPa でのWT試験結果を表-17に示す。動的安定度は、いずれの場合も 10,000回/mm 以上と良好な値であった。

表-16 一軸圧縮試験結果

| 供試体 | 材齢 | 湿潤密度 (g/cm ³) | 乾燥密度 (g/cm ³) | 一軸圧縮強さ (MPa) | 一時変位量 (1/100cm) | 残留強度率 (%) |
|----------|-----|------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------|--------------|
| 混合ポリマーなし | 2時間 | 2.199 | 2.122 | 2.2 | 14 | 81.7 |
| | 7日 | 2.179 | 2.103 | 6.2 | 12 | 75.3 |
| | 28日 | 2.164 | 2.095 | 7.2 | 12 | 85.3 |
| 混合ポリマーあり | 2時間 | 2.247 | 2.142 | 1.9 | 14 | 77.6 |
| | 7日 | 2.256 | 2.15 | 7.1 | 11 | 81.4 |
| | 28日 | 2.246 | 1.151 | 8.2以上 | — | — |

表-17 ホイールトラッキング試験結果

| 供試体 | 表面強化材 | 材齢 | DS(回/mm) | |
|----------|-------|----|----------|-------|
| | | | 1 | 2 |
| 混合ポリマーなし | ○ | 3日 | 23000 | ∞ |
| | ○ | 7日 | 20200 | ∞ |
| | × | 3日 | 11500 | — |
| | × | 7日 | ∞ | — |
| 混合ポリマーあり | ○ | 3日 | 57500 | 23000 |
| | ○ | 7日 | ∞ | 15500 |
| | × | 3日 | 23000 | — |
| | × | 7日 | 37000 | — |

カンタブロ試験結果を図-39に示す。混合用ポリマーおよび塗布用ポリマーともカンタブロ損失率を低減する効果が認められた。

混合用ポリマーおよび塗布用ポリマーを使用しない標準条件での長さ変化試験結果を図-40に示す。乾燥収縮率は乾燥期間 28 日で 470×10^{-6} と室内実験と比較して 100×10^{-6} 程度大きな値であった。

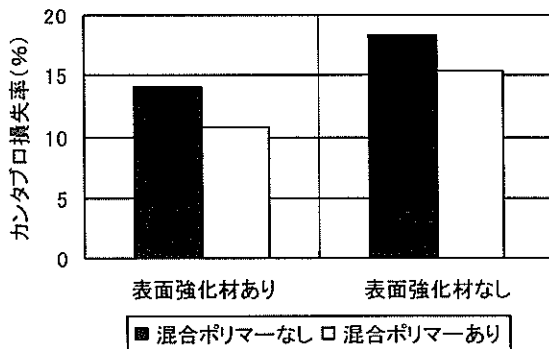


図-39 カンタブロ試験結果

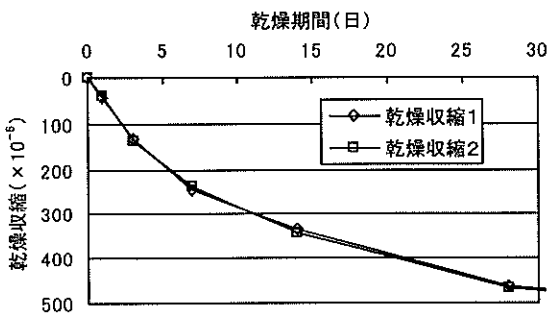


図-40 長さ変化試験結果

5.4 施工性および供用性

(1) 施工性および供用性の調査方法

舗設現場において、混合物の目視評価、作業性、施工性を評価した。締固め密度はR I 水分密度計により管理した。R I 密度計での密度管理状況を写真-6に示す。ま

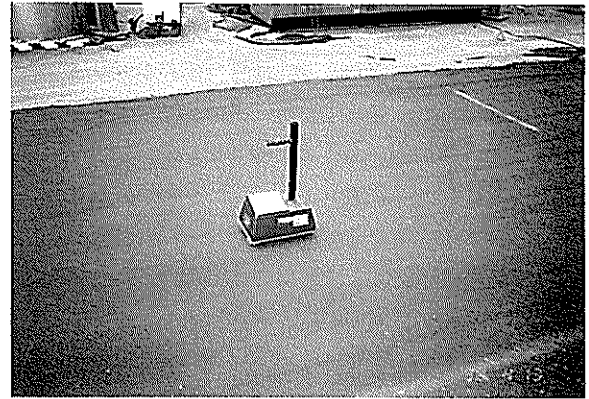


写真-6 R I 密度計での密度管理状況

た、材齢 28 日以降に走行部、非走行部でコアを採取し、走行の有無、層厚 10cm 工区での供試体の高さ方向に対する密度差を測定した。

供用性については、材齢 3, 7, 28 日においてダンプトラックを実際に走行させ、走行前後の表面の荒れ、ひびわれ等の目視観察、および横断凹凸量の測定を行った。走行条件の詳細は、トラックに最大積載量の碎石を積載し、タイヤ空気圧を可能な限り高くして、走行回数を 300 周/各材齢とした。接地圧の概算値は、0.74MPa ~ 0.78MPa であった。

(2) 混合物の現場品質管理試験結果

現場切り取りコアの密度試験結果を表-18に示す。混合用ポリマーの使用により、締固め密度が向上する効果が認められ、層厚 10cm 工区の下部で約 3 % 高い密度を示した。振動タイヤローラの転圧効果は顕著ではなかったが、上部 5cm 部分で約 1 % 高い密度を示した。車両走行の有無による影響は認められなかった。

切り取り供試体の上部 5cm 部分の乾燥密度の平均値は 1.982g/cm^3 であり、プラント採取供試体のそれは 2.217g/cm^3 であった。現場切り取り供試体は、プラント採取供試体に比較して密度が約 1 割程度減少した。

材齢 3ヶ月における現場切り取りコアの一軸圧縮試験結果を表-19に示す。混合用ポリマーの添加により、約 2

表-18 現場切り取りコアの乾燥密度

単位 (g/cm^3)

| 施工厚 (cm) | 混合ポリマー | | 転圧方法 | | 車両走行有無 | | |
|----------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 無 | 有 | 通常 | 振動 | 走行 | 非走行 | |
| 5 | 1.952 | 1.959 | 1.940 | 1.967 | 1.947 | 1.966 | |
| 10 | 上 | 1.999 | 2.014 | 1.998 | 2.015 | 2.008 | 2.005 |
| | 下 | 1.904 | 1.960 | 1.930 | 1.934 | 1.936 | 1.928 |

表-19 現場切り取りコアの一軸圧縮強さ

単位 (MPa)

| 分類 | 混合用 [®] ポリマー無し | | | 混合用 [®] ポリマー有り | | |
|------|-------------------------|-----|-----|-------------------------|-----|-----|
| | 標準 | 塗布 | 振動 | 標準 | 塗布 | 振動 |
| 現場コア | 3.4 | 3.9 | 4.1 | 4.2 | 4.8 | 5.1 |
| プラント | 6.9 | | | 8.2 以上 | | |

割高い強度値を示した。また、塗布用ポリマーの散布および振動ローラの使用により標準工区より 1 ~ 2 割高い強度値を示した。ただし、現場採取コアの強度はプラント採取の約 1/2 の値であった。

(3) 供用性状

走行試験終了後の路面状況を写真-7に示す。目視観察結果では、各走行試験後とも表面の面荒れは発生せず、路面状態は良好であった。また、各工区での差は認められなかった。



写真-7 走行試験終了後の路面状況

走行試験によるわだち掘れ量は、900 周回後に落ち着く傾向が認められた。わだち掘れ量の測定結果を表-20に示す。

ひびわれ発生の経時変化を図-41に、105 日後のひびわれ率を表-21にそれぞれ示す。施工 3 日後から横断ひびわれが発生し、時間の経過とともにひびわれ本数が増加した。各工区で比較すると、層厚 10cm の C、D 工区はひびわれ率の平均が 3.3 % と、層厚 5cm 工区の A、B 工区より 1/2 のひびわれ率となった。ひびわれの発生状況は、写真-8に示すような横断クラックが主体であった。

混合用ポリマー、塗布用ポリマーあるいは振動タイヤローラの使用によるひびわれ率の低減効果は認められなかった。このひびわれは、セメント量を増量したこと

表-20 わだち掘れ量

| 工区 | 施工条件 | わだち掘れ量 (mm) | | |
|------|-------|-------------|---------|---------|
| | | 300周走行後 | 600周走行後 | 900周走行後 |
| A 工区 | 表面強化材 | 2 | 3 | 1 |
| | 通常転圧 | 1 | 2 | 3 |
| | 振動転圧 | 1 | 2 | 1 |
| B 工区 | 表面強化材 | 1 | 2 | 1 |
| | 通常転圧 | 2 | 2 | 2 |
| | 振動転圧 | 2 | 2 | 0 |
| C 工区 | 表面強化材 | 0 | 0 | 0 |
| | 通常転圧 | 1 | 1 | 1 |
| | 振動転圧 | 2 | 2 | 1 |
| D 工区 | 表面強化材 | 1 | 1 | 2 |
| | 通常転圧 | 0 | 0 | 1 |
| | 振動転圧 | 1 | 1 | 0 |
| 比較工区 | — | 0 | 1 | 0 |
| | — | 0 | 0 | 1 |

※わだち掘れ量：走行前との差

表-21 施工 105 日後のひびわれ率

単位 (%)

| 項目 | 層厚 5cm | | 層厚 10cm | |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A 工区 (混ボ無) | B 工区 (混ボ有) | C 工区 (混ボ無) | D 工区 (混ボ有) |
| 測定値 | 8.0 | 7.2 | 3.6 | 3.0 |
| 平均 | 7.6 | | 3.3 | |



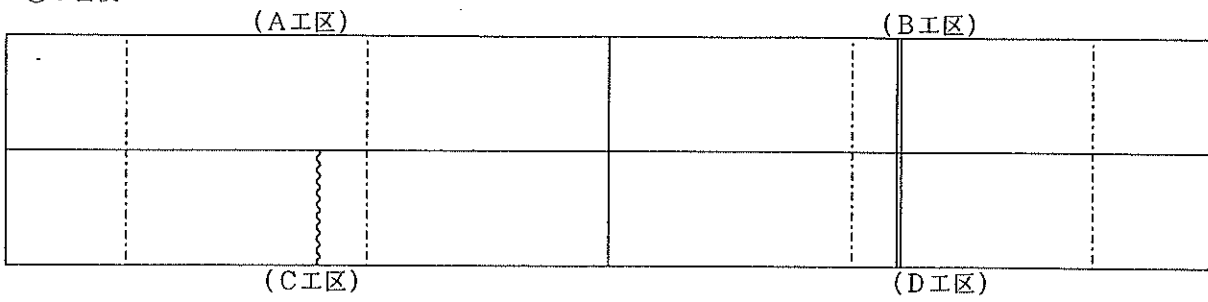
写真-8 横断ひびわれ発生状況

による収縮クラックであると推測される。

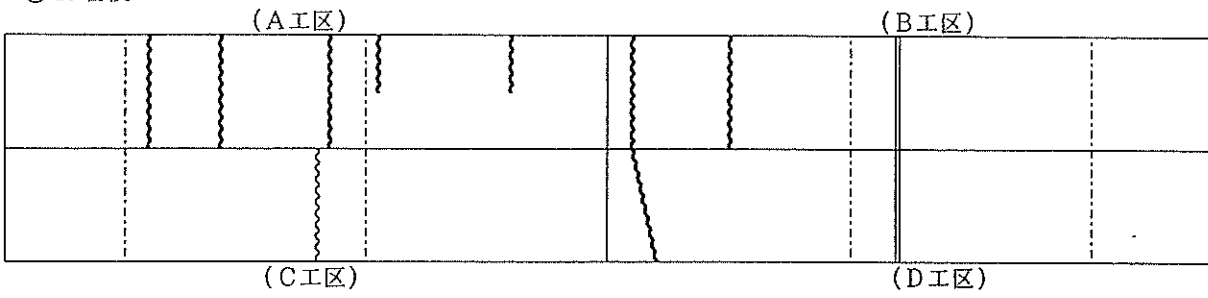
また、供用性状の調査結果から、いずれの工区でも表面性状は良好であったが、ひびわれの発生が認められた。今回の試験施工結果からは、混合用ポリマー、塗布用ポリマーおよび振動タイヤローラの使用による供用性の改善効果は認められなかった。

施工厚 10cm 施工箇所の上部 5cm と下部 5cm の密度を比較すると、各工区で下部の方が 3 ~ 5 % 低い値であった。切り取りコアの目視観察結果では、コア下部に粗骨材が多く認められ、下部の密度が小さい原因として材料

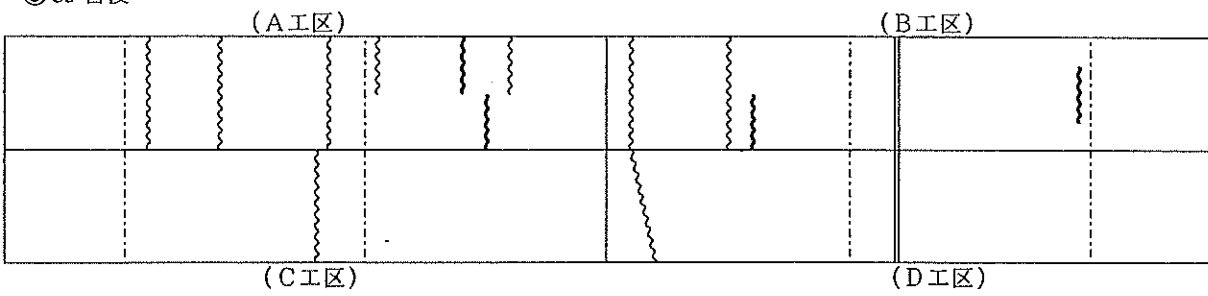
① 3日後



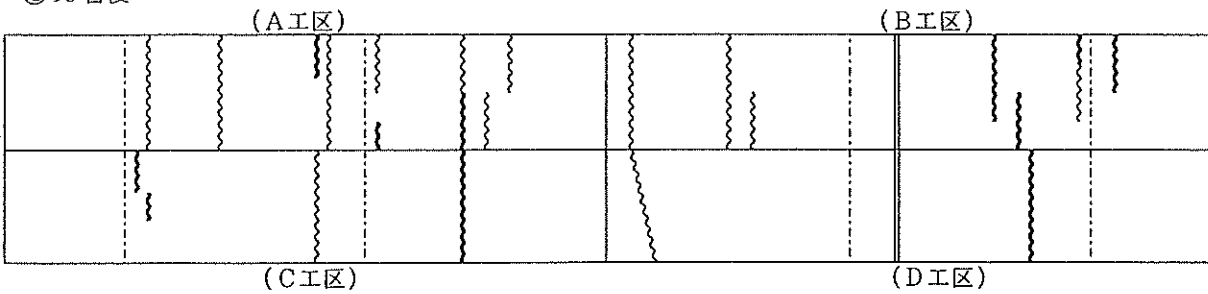
② 10日後



③ 35日後



④ 90日後



⑤ 105日後

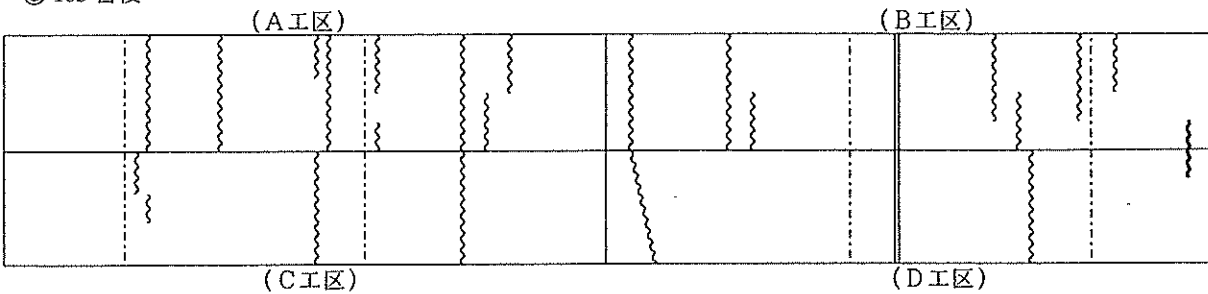


図-41 ひびわれ発生状況

分離の影響が大きいものと考えられる。施工厚 10cm の一層施工の可能性については、再度検討する必要がある。

5.5 まとめ

第一次試験施工結果をまとめると、以下ようになる。

- ①新規に開発した空港舗装用常温複合混合物の混合性および施工性に問題は認められなかった。
- ②接地圧約 0.8MPa のダンブトラックを施工 3 日後から走行させても、表面性状は良好であった。
- ③ただし、セメント量を増量したことにより、乾燥収縮によると推測される横断ひびわれが発生し、時間の経過とともにその本数が増加した。

空港舗装用常温混合物は目地なし舗装を目標としており、乾燥収縮ひびわれを克服する必要があると認められた。そこで、乾燥収縮ひびわれの発生抑制を目標に、再度室内実験を実施することにした。

6. 乾燥収縮の低減に関する検討

6.1 実験概要

これまでの室内実験から、重荷重に対応可能で、かつ表面性状も良好な空港舗装用常温複合混合物の数種類の配合条件を選定した。それらの配合条件で、表面性状の改善を目的とした 2 種類のポリマーの添加効果、層厚 10cm の一層施工の可能性、振動タイヤローラの転圧効果の確認などを目的に、第一次試験施工を実施した。

その結果、混合性や施工性に問題のないこと、ダンブトラックの走行試験による表面性状も良好であることを確認したが、材齢初期より常温複合混合物の乾燥収縮によると推測される横断ひびわれが発生し、材齢の進行とともにその本数が増加した。

そこで、良好な表面性状を維持したまま、混合物の乾燥収縮率を低減することを目的に、セメント量およびアスファルト乳剤量を中心に配合条件の再検討を行った。

6.2 実験方法

使用材料および混合物試験は、第 4 章配合選定に関する検討と同様とし、これまでの実験と同じ産地のものを用いた。

各材料の配合割合を表-22に示す。セメント量だけでなく、アスファルトによる応力緩和作用を期待して、アスファルト乳剤量も変化させて実験を行った。

試験項目として、舗装試験法便覧「ホイールトラック

表-22 配合条件

| 単位(質量%) | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| No. | 6号 | 7号 | S c | ファイ- | セメント | 乳剤 |
| 1 | 34.7 | 18.2 | 33.9 | 1.5 | 3.2 | 8.5 |
| 2 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | " | " | 9.5 |
| 3 | 33.9 | 17.8 | 33.1 | " | " | 10.5 |
| 4 | 34.5 | 18.1 | 33.7 | " | 3.7 | 8.5 |
| 5 | 34.1 | 17.9 | 33.3 | " | " | 9.5 |
| 6 | 33.9 | 17.7 | 32.9 | " | " | 10.5 |
| 7 | 34.3 | 18.0 | 33.5 | " | 4.2 | 8.5 |
| 8 | 33.9 | 17.8 | 33.1 | " | " | 9.5 |
| 9 | 33.5 | 17.6 | 32.7 | " | " | 10.5 |

*注：添加水は最適含水比(5.1%)に調整

ング試験方法」に準じて接地圧 1.5MPa での動的安定度を測定した。また、JIS A 1129 に準じて、硬化体の乾燥収縮率を測定した。測定条件は、これまでと同一とした。

6.3 実験結果

材齢 1 日における動的安定度とアスファルト乳剤量の関係を図-42に、材齢 7 日における同関係を図-43にそれぞれ示す。両者とも、アスファルト乳剤量が増加するに従い、動的安定度が減少する傾向が認められた。セメント量の違いは、材齢 1 日では明確でなく、材齢 7 日でやや顕著になり、セメント量 3.2 % ではアスファルト乳剤量 9.5 % 以上で動的安定度が低い値となった。

配合 No. 1 (セメント量 3.2 %, 乳剤量 8.5 %) と No. 5 (セメント量 3.7 %, 乳剤量 9.5 %) の C/E はそれぞれ 0.38, 0.39 とほぼ同じであるにもかかわらず、動的安定度は No. 1 で 15,750 回/mm, No. 5 で 91 回/mm と大

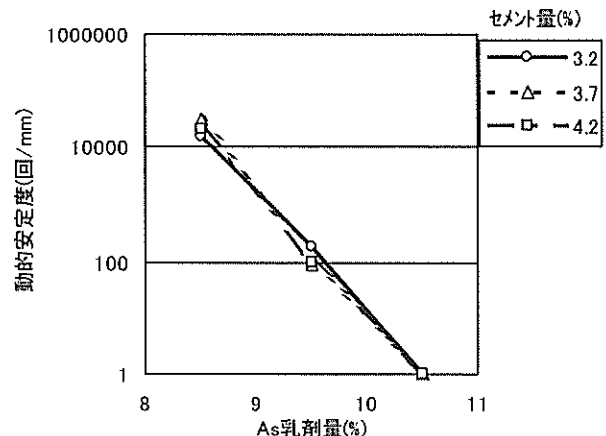


図-42 材齢 1 日における動的安定度

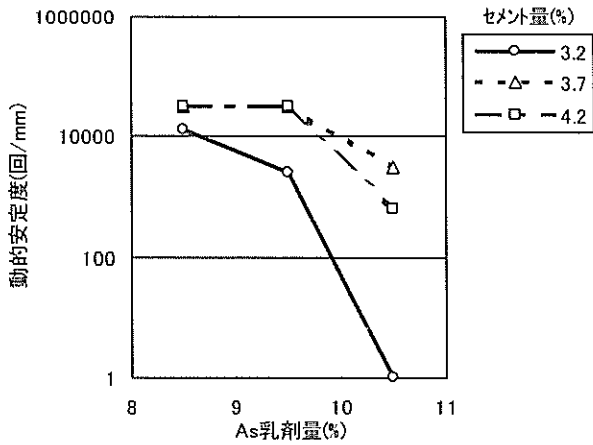


図-43 材齢7日における動的安定度

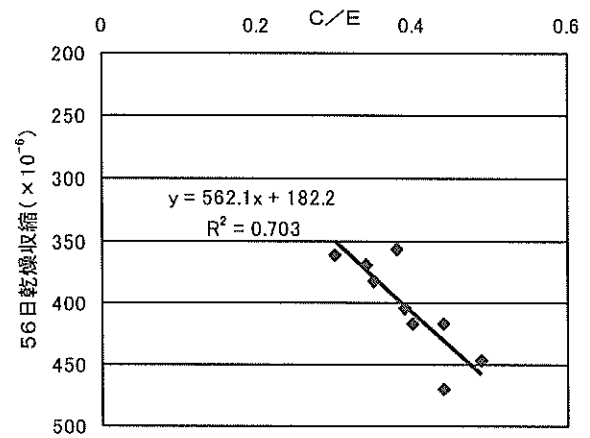


図-45 乾燥収縮率とC/Eの関係(材齢56日)

大きく異なることから、動的安定度に対しては乳剤量の影響が大きいものと推測される。

乾燥収縮率とセメント量との関係を図-44に示す。セメント量が増加するに従い、乾燥収縮率が增大する傾向が認められた。また、乾燥収縮率とC/E(セメント量/アスファルト乳剤量)の関係を図-45に示す。C/Eが増加するに従い、乾燥収縮率が增大する傾向が認められた。

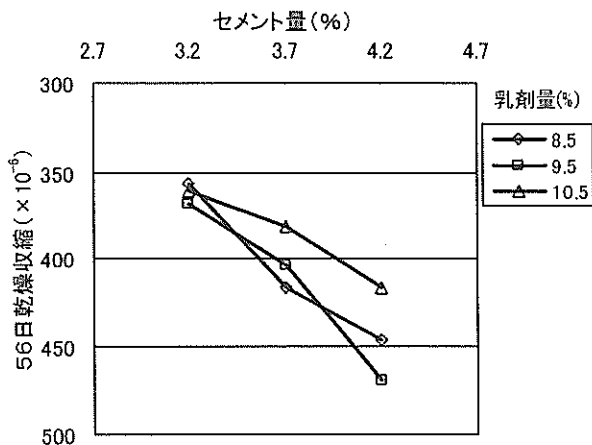


図-44 乾燥収縮率とセメント量との関係(材齢56日)

6.4 考察

セメント量の増加にともない、動的安定度および乾燥収縮率はともに増大する傾向を示した。接地圧 1.5MPaでの動的安定度は、材齢1日では乳剤量が9.5%以上になると、セメント量に関係なく300回/mm以下の低い値となった。材齢7日では、セメント量が3.7%以上になると、乳剤量8.5および9.5%とも10,000回/mm以上の値を示した。

乾燥収縮率は、乳剤量よりもセメント量の影響が大きい傾向が認められた。また、C/Eの影響も顕著に表れていた。接地圧 1.5MPaでの動的安定度 5,000回/mm以上を材齢1日から確保するためには、乳剤量を8.5%前後とする必要があった。しかし、航空機の実際の走行を想定した場合、1日の発着台数が限定されることから、材齢3~7日程度で5,000回/mm以上の動的安定度を確保することで十分と考えられる。また、乳剤量が増加すると、C/Eが低減して乾燥収縮率が低下すること、およびアスファルトの応力緩和作用が強まることから、ひびわれの発生抑制に寄与することが期待される。

そこで、第二次試験施工ではひびわれ発生の抑制効果を期待して、アスファルト乳剤量を第一次試験施工より1%多い9.5%で設定することにした。セメント量は、材齢7日で5,000回/mm以上の動的安定度を確保できる3.7%および4.2%で設定することにした。

これらのことから、表-23に示す3配合を選定した。セメント量3.7%においては、施工時期を念頭に置いてセメントの品種の違い(一般用,夏用)の検討も行った。

表-23 改良品の選定配合

| No. | 単位(質量%) | | | | | |
|---------------|---------|------|------|------|--------|-----|
| | 6号 | 7号 | S c | フィラー | セメント | 乳剤 |
| 1 | 34.8 | 16.4 | 34.1 | 1.5 | 3.7(W) | 9.5 |
| 2 | 34.6 | 16.3 | 33.9 | " | 4.2(W) | " |
| 3 | 33.8 | 16.4 | 34.1 | " | 3.7(S) | " |
| 参考(第一次施工時の配合) | | | | | 4.2(S) | 8.5 |

*注:セメントの表示の内、Wは一般用、Sは夏用。

6.5 選定配合の品質確認試験

(1) 室内実験による確認

表-23の配合条件での室内試験結果を表-24に示す。一軸圧縮試験、動的安定度および長さ変化とも6.3節と同程度の結果が得られた。ただし、カンタプロ損失率は20%以上の値であり、改善する必要性が認められた。そこで、試験施工ではカンタプロ損失率の改善のために混合用ポリマーを添加することにした。

表-24 第二次試験施工向け選定配合の物性値

| 配合No. | 材齢 1日 | | 材齢 7日 | | | | 28日 | |
|-------|-------------|--------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|------|---------------------------------|
| | 一軸圧縮 | | 一軸圧縮 | | DS* (l/mm) | カンタブ 損失率 (%) | | 長さ 変化 (10 ⁻⁶) |
| | 強度 (MPa) | 残留強度率 (%) | 強度 (MPa) | 残留強度率 (%) | | | | |
| 1 | 2.4 | 80.0 | 3.5 | 82.8 | 31,500 | 25.9 | -347 | |
| 2 | 2.3 | 87.8 | 4.0 | 82.5 | 31,500 | 39.6 | -407 | |
| 3 | 2.1 | 78.6 | 3.3 | 79.3 | 12,000 | 31.4 | -283 | |

*WT試験時の接地圧：1.5MPa

(2) 実機プラントでの混合実験による確認

従来より実機プラントでの混合物の物性値は、室内試験結果に比べ強度が増加する傾向にあった。そこで、その確認を行うために実機プラントによる予備混合実験を実施した。

予備混合試験結果を表-25に示す。力学性状は、室内作製供試体より高くなった。しかし、長さ変化はそれより小さな値となった。そこで、アスファルト乳剤量を9.5%に設定しても問題はないものと判断した。

表-25 実機プラントでの混合実験結果

| 配合No. | 材齢 1日 | | 材齢 7日 | | | | 28日 | |
|-------|-------------|--------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|------|---------------------------------|
| | 一軸圧縮 | | 一軸圧縮 | | DS* (l/mm) | カンタブ 損失率 (%) | | 長さ 変化 (10 ⁻⁶) |
| | 強度 (MPa) | 残留強度率 (%) | 強度 (MPa) | 残留強度率 (%) | | | | |
| 1 | 3.5 | 70.0 | 47 | 68.0 | 9,000 | 12.4 | -174 | |
| 2 | 3.3 | 70.0 | 47 | 69.5 | 12,000 | 12.5 | -193 | |
| 3 | 3.1 | 60.0 | 39 | 68.0 | 10,000 | 15.2 | -158 | |

*WT試験時の接地圧：1.5MPa

6.6 まとめ

常温複合混合物の乾燥収縮の低減に関する実験結果をまとめると、以下ようになる。

①乾燥収縮を低減させるためには、セメント量および

C/Eの低減が効果的であった。

②ただし、動的安定度を確保するためには、セメント量を3.7%以上とする必要があった。

③アスファルト乳剤量を9.5%に増量しても、セメント量3.7%以上では動的安定度は極端に低下しなかった。

④アスファルト乳剤量の増量により、C/Eを低減させることによる収縮低減効果、およびアスファルトの応力緩和作用によるひびわれ発生抑制効果が期待できることから、アスファルト乳剤量は9.5%に設定することが望ましいと判断した。

⑤実機プラントで製造した混合物の物性値は、力学性状が室内作製供試体より高く、長さ変化が小さい値となった。

以上の実験結果から、表-23に選定した3配合で第二次構内試験施工を実施することにした。

7. 第二次試験施工

7.1 試験施工概要

平成10年4月に、ポリマーによる表面性状の改善や、施工後の供用性に関する課題を抽出する事などを目的に第一次試験施工を実施した。その結果、表面性状および耐流動性は良好であったが、収縮によるものと推測される横断ひびわれが発生した。

このため、表面性状および耐流動性を損ねることなく収縮ひびわれを防止することを目的に、セメント量の低減を計った配合実験を実施した。その配合実験結果をもとに、平成11年6月に第二次試験施工を実施した。その概要を表-26に示す。

試験施工の舗装構成を図-46に示す。舗装構成は、アスファルト舗装要綱のT_A法に従い、CBR6、L交通の条件で設定した。常温複合混合物の等値換算係数は、

表-26 第二次試験施工の概要

| 項目 | 内容 |
|----------|--|
| 施工年月 | 平成11年6月28日 |
| 施工場所 | 住友大阪セメント(株)市川工場 内新規取付け道路 |
| 施工面積 | 1,252m ² (125.2m x 5m x 2レーン) |
| 常温混合物舗装厚 | 5cm |
| 常温混合物の製造 | 常温複合混合物製造プラント |
| 対象交通量 | L交通(大型車100台/日未満) |



図-46 舗装構成

一般道路で採用されている $a = 1$ とした。

7.2 配合設定および施工方法

(1) 使用材料

第二次試験施工に用いた材料は、従来と同じ表-8に示す産地および種類のものを用いた。

(2) 配合条件

第二次試験施工の配合条件を表-27に示す。混合用ポリマーによる表面性状（カンタブロ損失率）の改善がこれまでの室内実験で確認されているため、その効果を期待して混合用ポリマーを $P/C = 10\%$ で添加した。

表-27 配合条件

単位(質量%)

| No. | 6号 | 7号 | S c | ファイバー | セメント | 乳剤 | ポリマー |
|-----|------|------|------|-------|--------|-----|------|
| ① | 34.8 | 16.4 | 34.1 | 1.5 | 3.7(W) | 9.5 | 0.7 |
| ② | 34.6 | 16.3 | 33.9 | " | 4.2(W) | " | 0.8 |
| ③ | 33.8 | 16.4 | 34.1 | " | 3.7(S) | " | 0.7 |

*注：セメントの表示の内、Wは一般用、Sは夏用。

**：ポリマーは外割表示。

(3) 施工平面図および工区割り

施工平面図および工区割りを図-47に示す。①工区では表-27に示す No. 1 の配合で、②工区では同 No. 2 の配合で、③工区では同 No. 3 の配合で実施した。

(4) 混合方法

混合は、図-3に示す混合手順で行った。

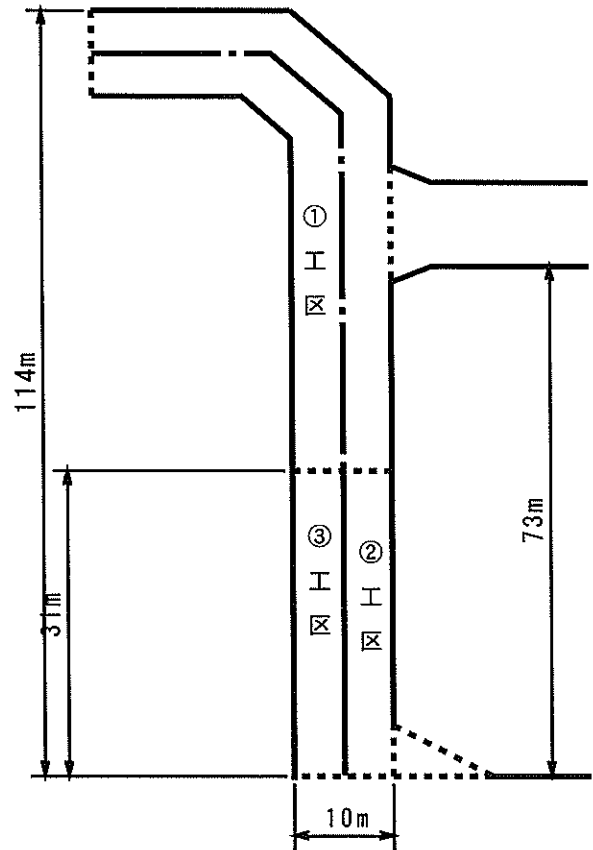


図-47 施工平面図および工区割り

(5) 施工方法

作業工程を図-48に示す。常温複合混合物の舗設は、5章と同じ手順で行った。敷ならしはアスファルトフィニッシャーを用い、締固めは初期転圧に4 t級コンバインドローラ、仕上げ転圧に25 t級タイヤローラを用いた。

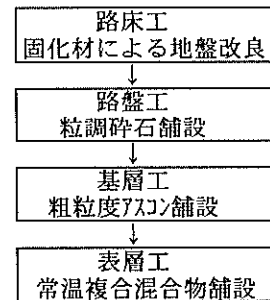


図-48 作業工程

7.3 混合物の品質管理試験

(1) 品質管理方法

常温複合混合物の品質管理項目および方法を表-28に示す。

表-28 品質管理項目および方法

| 管理項目 | 管理方法 | 内容 |
|----------------------|----------|----------------------------|
| 一軸圧縮強さ | マ-シャル供試体 | ・材齢:1日,7日 |
| 残留強度率 | 一軸圧縮試験 | |
| カンパ [®] 損失率 | マ-シャル供試体 | ・材齢:7日 |
| 動的安定度 | WT試験 | ・材齢:1日,7日 ・接地圧 1.5MPa |
| 長さ変化 | WT用供試体 | ・1日脱型後基長 ・20℃,RH60 ± 5% |

(2) 品質管理試験結果

試験施工の際の混合物の品質管理試験結果の内、力学的性状を表-29に示す。表-25に示す予備混合実験結果に比べ全体的に低い強度となった。これは、前日までの雨により骨材含水が高かったこと、およびポリマーを添加したことにより混合物の含水比が高くなったことによるものと推測される。

表-29 力学的性状の測定結果

| 配 合 N o. | 材齢 1 日 | | 材齢 7 日 | | | |
|-------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|--------------------------------|
| | 一軸圧縮試験 | | 一軸圧縮試験 | | DS* 回/mm | カンパ [®] 損失率 (%) |
| | 強度 (MPa) | 残留強 度率 (%) | 強度 (MPa) | 残留強 度率 (%) | | |
| ① | 2.3 | 67.9 | 3.1 | 66.6 | 21000 | 37.7 |
| ② | 1.6 | 67.6 | 2.7 | 67.7 | 15750 | 38.8 |
| ③ | 2.1 | 67.2 | 3.0 | 67.5 | 12600 | 51.4 |

*WT試験時の接地圧：1.5MPa

試験施工の際の長さ変化試験結果を図-49に示す。長さ変化については、6ヶ月経過後各混合物とも 300×10^{-6} 以下であり、表-24に示す室内試験結果に比べ小さく、表-25に示す実機プラントでの事前混合試験における収

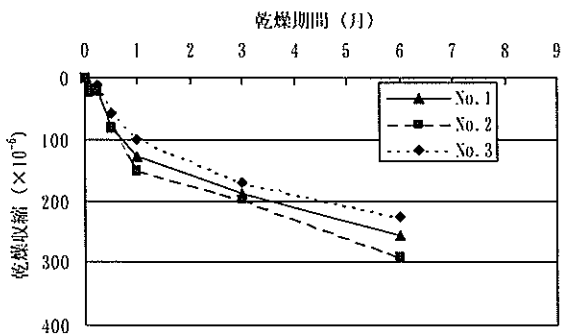


図-49 長さ変化測定結果

縮率と同程度であった。特に、セメント量 3.7 % で夏用セメントを用いた場合の収縮率が最も低い値であり、 225×10^{-6} 程度であった。

7.4 供用性

(1) 測定方法

供用性については、目視観察による表面性状、ひびわれ率および横断凹凸量の測定を行った。ひびわれ率は、舗装試験法便覧「6-4 舗装路面のひびわれ測定方法」のアスファルト舗装の整理方法に準じて算出した。横断凹凸量は、同「6-3 舗装路面のわだち掘れ量測定方法」の水糸による方法に準じて測定した。

(2) ひびわれおよび路面性状

交通開放は施工 1 日後に行った。その直後から、交差点部分で面荒れが認められた。この面荒れは、交通開放から 2 日後までの間に主に生じた。3 日目以降、面荒れに関しては落ち着く傾向が認められた。交通開放直後の生コン車の走行状況を写真-9に、面荒れ状況を写真-10にそれぞれ示す。



写真-9 交通開放直後の生コン車の走行状況

供用 2 週間後の路面状況を図-50に示す。ひびわれは、縦横断方向にヘアークラックが確認された。また、交差点付近で亀甲状ひびわれも確認された。

供用 4 週間後の路面状況を図-51に示す。ひびわれは、交差点付近での亀甲状ひびわれ、縦断ひびわれが確認されなくなった。また、横断ひびわれは進行しつつあり、本数も増加しつつあった。路面性状は、交差点部分での面荒れが落ち着き、目立たなくなっていた。

以上の結果より収縮率は非常に小さい値であったこと、亀甲状ひびわれ、縦断ひびわれが発生していたこと

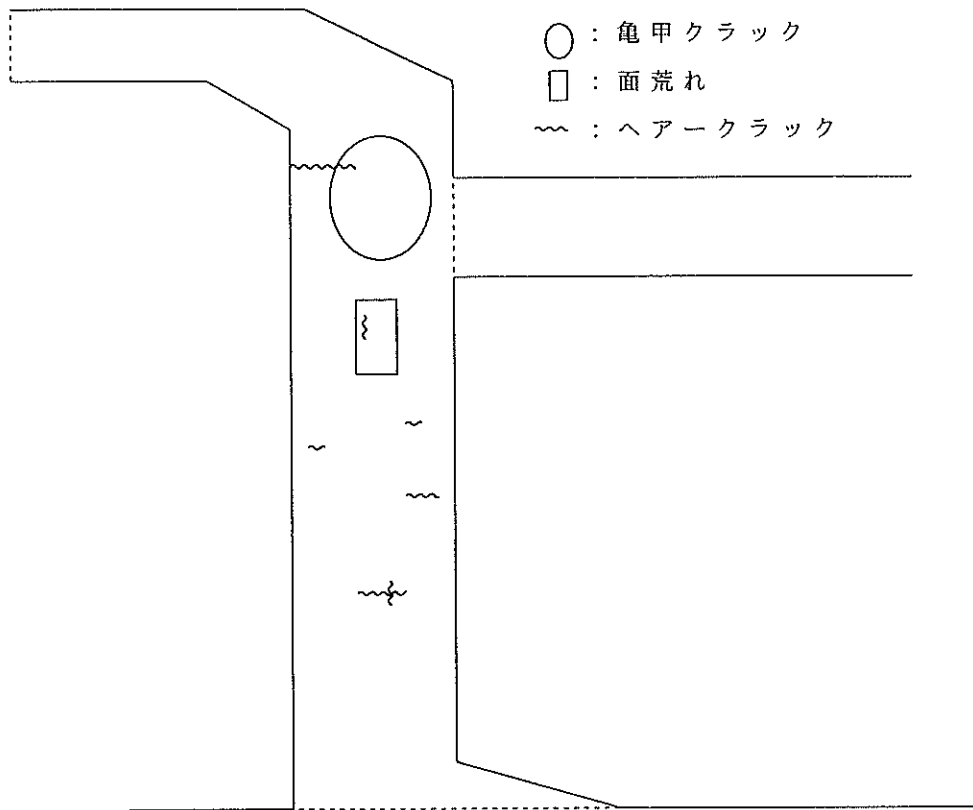


図-50 供用 2 週間後の路面発生状況

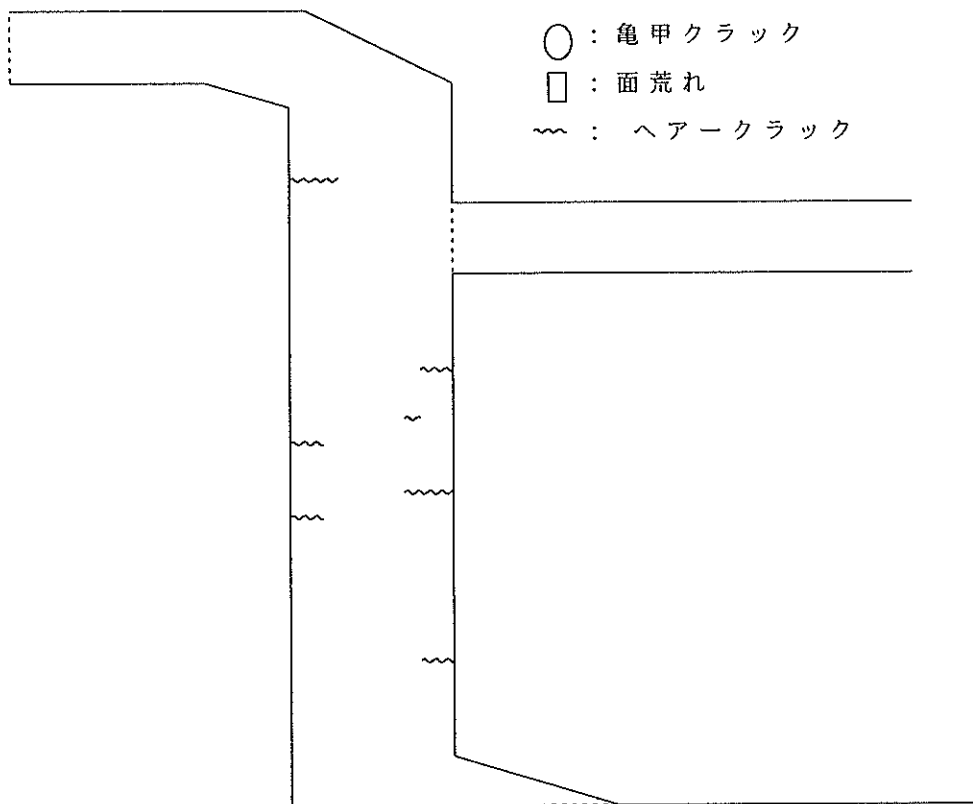


図-51 供用 4 週間後の路面状況



写真-10 交通開放直後の面荒れ状況

から、舗装構造に何らかの問題（設計交通量以上の過大な交通、基層以下の支持力不足）があったことも考えられる。

供用 3 ヶ月後の路面状況を図-52に示す。路面性状は、十数本のひびわれのみで落ち着いていた。路面状況を写真-11に示す。



写真-11 供用 3 ヶ月後の路面状況

供用 11 ヶ月後の路面状況を図-53に示す。11 ヶ月後のひびわれ発生状況は、3 ヶ月後より横断ひびわれが増加し、縦断ひびわれの発生も認められた。

供用 1.5 年後の路面状況を写真-12に示す。白線の部分は損傷しておらず、良好な表面状態を保っていた。また、ひびわれも写真-13に見られるようなヘアークラックが大部分であった。

第一次試験施工とのひびわれ率の比較を表-30に示す。第二次試験施工でのひびわれ率は、平均で 2.4 % であり、全体で第一次試験施工の約 1/2 のひびわれ率であった。同じ 5cm 層厚で比較した場合、約 1/3 のひびわれ率であ



写真-12 供用 1.5 年経過後の路面状況



写真-13 供用 1.5 年経過後のひびわれ状況

表-30 第一次および第二次試験施工のひびわれ率の比較

| 分類 | 工区 | ひびわれ率 | 平均 |
|-------------|-----|-------|------|
| 第一次試験 施工 | A工区 | 8.0% | 5.5% |
| | B工区 | 7.2% | |
| | C工区 | 3.8% | |
| | D工区 | 3.0% | |
| 第二次試験 施工 | ①工区 | 1.7% | 2.4% |
| | ②工区 | 5.1% | |
| | ③工区 | 3.0% | |

り、セメント量の低減効果が認められた。

表-30から認められるように、各工区で比較するとセメント量の多い②工区でひびわれ率ももっとも多くなった。それでも、第一次試験施工で同セメント量のAおよびB工区の約 2/3 の値であり、アスファルト乳剤量を多くした効果が認められた。ただし、①工区および③工区でもひびわれの発生が認められたことから、良好な表面性状を維持したままで収縮ひびわれの発生を防止するこ

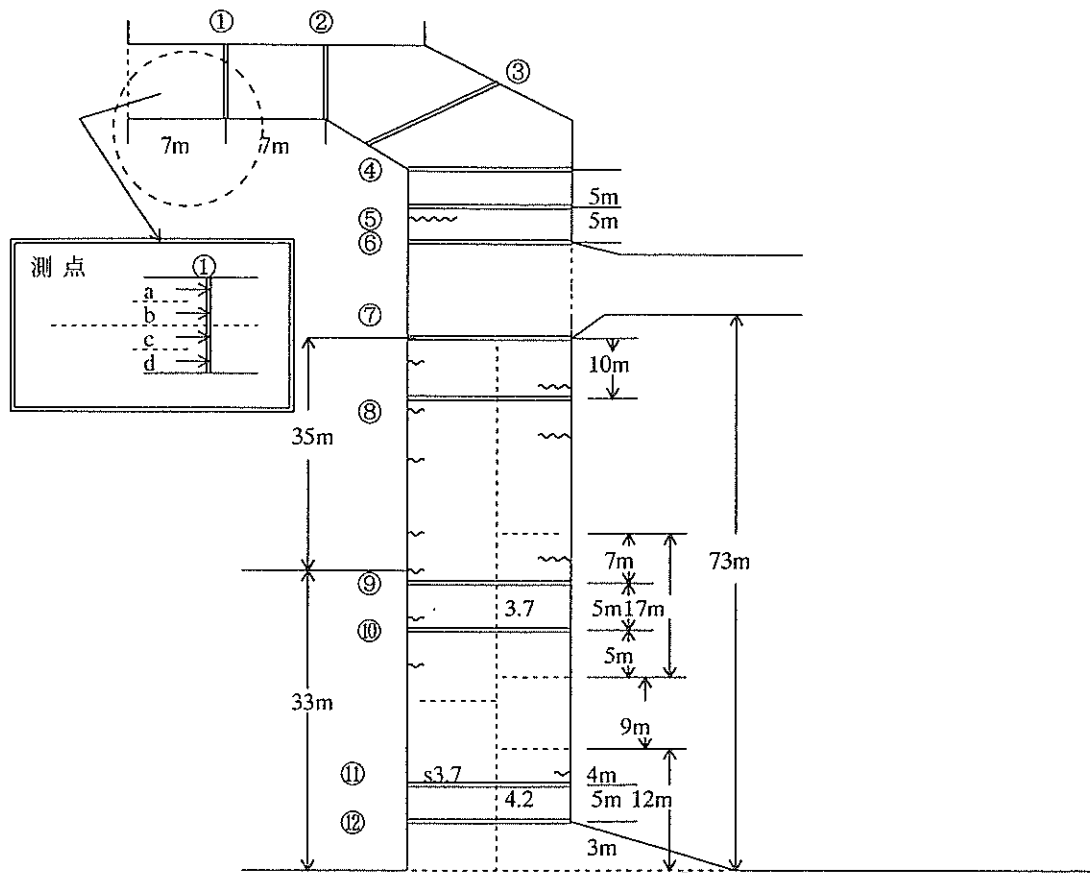


図-52 供用3ヶ月後の路面状況

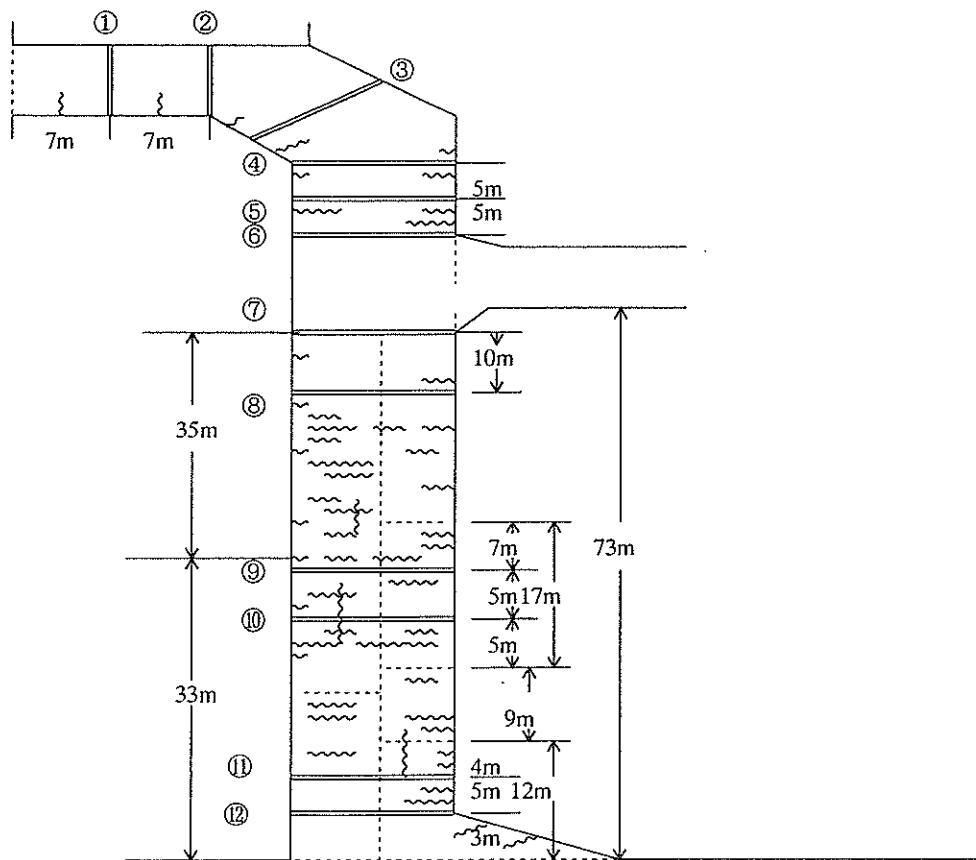


図-53 供用11ヶ月後の路面状況

とは、現状の技術では困難と考えられる。

(3) 横断凹凸量

供用 3 ヶ月後の横断凹凸量を表-31に示す。横断凹凸量は、西側車線および東側車線のそれぞれで、道路横断方向の車両輪跡部のわだち掘れ量を測定した。横断凹凸量は、図-52に示す区間②～⑤で大きな値となった。目視観察結果では塑性流動によるわだち掘れではなく、表面摩耗による横断凹凸であった。この原因の一つとして、交通開放を材齢 1 日で行ったため、骨材飛散抵抗性が弱い状態であったことが考えられる。特に区間②～⑤の中央側で横断凹凸量が大きくなっているのは、カーブ部であり中央側を走行する車両が多かったためと推測される。

表-31 供用 3 ヶ月後の横断凹凸量

| 測点 | 横断凹凸量(mm) | | | | | |
|----|-----------|----|------|------|---|------|
| | 西側車線 | | | 東側車線 | | |
| | a | b | 測定値 | c | d | 測定値 |
| ① | 4 | 13 | 13 | 21 | 2 | 21 |
| ② | 8 | 27 | 27 | 18 | 4 | 18 |
| ③ | 4 | 25 | 25 | 15 | 4 | 15 |
| ④ | 14 | 29 | 29 | 34 | 8 | 34 |
| ⑤ | 10 | 45 | 45 | 23 | 2 | 23 |
| ⑥ | 2 | 21 | 21 | 30 | 1 | 30 |
| ⑦ | 3 | 4 | 4 | 15 | 3 | 15 |
| ⑧ | 4 | 11 | 11 | 19 | 5 | 19 |
| ⑨ | 0 | 9 | 9 | 4 | 0 | 4 |
| ⑩ | 3 | 15 | 15 | 6 | 0 | 6 |
| ⑪ | 6 | 19 | 19 | 12 | 4 | 12 |
| ⑫ | 5 | 15 | 15 | 8 | 3 | 8 |
| | 合計 | | 233 | 合計 | | 205 |
| | 平均 | | 19.4 | 平均 | | 17.1 |

供用 11 ヶ月後の横断凹凸量を表-32に示す。各測定区間で、横断凹凸量の進行は認められなかった。塑性流動によるわだち掘れは認められず、耐流動性は問題ないものと推測される。

7.5 まとめ

第二次試験施工結果をまとめると、以下のようになる。

- ①第一次試験施工と比べてセメント量を 4.2 % から 3.7 % に低減させ、アスファルト乳剤量を 8.5 % から 9.5 % に増量した結果、ひびわれ率は第一次試験施工の約 1/2 の 2.4 % に低減した。しかし、ひびわれの発生を

表-32 供用 11 ヶ月後の横断凹凸量

| 測点 | 横断凹凸量(mm) | | | | | |
|----|-----------|----|------|------|---|------|
| | 西側車線 | | | 東側車線 | | |
| | a | b | 測定値 | c | d | 測定値 |
| ① | 6 | 15 | 15 | 23 | 4 | 23 |
| ② | 9 | 28 | 28 | 18 | 5 | 18 |
| ③ | 6 | 26 | 26 | 15 | 5 | 15 |
| ④ | 15 | 29 | 29 | 34 | 8 | 34 |
| ⑤ | 10 | 46 | 46 | 23 | 3 | 23 |
| ⑥ | 4 | 21 | 21 | 31 | 2 | 31 |
| ⑦ | 5 | 5 | 5 | 15 | 4 | 15 |
| ⑧ | 5 | 11 | 11 | 20 | 7 | 20 |
| ⑨ | 2 | 11 | 11 | 4 | 2 | 4 |
| ⑩ | 4 | 16 | 16 | 6 | 2 | 6 |
| ⑪ | 8 | 20 | 20 | 14 | 4 | 14 |
| ⑫ | 5 | 16 | 16 | 9 | 3 | 9 |
| | 合計 | | 244 | 合計 | | 212 |
| | 平均 | | 20.3 | 平均 | | 17.6 |

完全には防止できなかった。

- ②施工後 1 日で交通開放したため、強度発現が十分でなく、特にコーナ部で面荒れが発生した。よって、今回の配合条件においては、交通開放までに 3 日間程度養生することが必要であると認められた。
- ③材齢初期において表面の摩耗現象が生じたが、塑性流動に起因するわだち掘れの発生は認められなかった。

以上のことから、第一次試験施工と比べて乾燥収縮の低減を計ることはできたが、ひびわれの完全な防止までには至らなかった。よって、舗装表層として適用する際には適当な間隔で目地を設けるなどの対策を講じる必要があると考えられる。また、コーナ部などの厳しい荷重条件下においても表面性状を確保するためには、3 日間程度の養生期間が必要であると考えられる。

一方、塑性流動によるわだち掘れは生じなかったため、耐流動性に関しては問題は無く、すなわち高い耐流動性のみが必要とされる舗装の基層に関しては十分に適用可能であると考えられる。

8. 結論

常温複合混合物の空港舗装への適用を目的として検討した結果を以下に示す。

- ・室内実験結果

- ①ホイールトラッキング試験機のタイヤのゴム硬度を硬化し、上載荷重を増加させることにより、接地圧 1.5 MPa での耐流動性の試験が可能となった。
- ②耐流動性はセメント量を増量することにより向上し、3.7 %以上とすることで材齢 7 日における動的安定度は 10000 回/mm 以上を確保することが可能である。
- ③骨材飛散対策としては、セメント量の増量、セメント混合用ポリマーの使用、塗布用ポリマーの散布で効果が認められた。
- ④耐油性試験結果では、常温複合混合物はアスファルト混合物より耐油性が良好であることを確認した。
- ⑤乾燥収縮率はセメント量の増量とともに増加し、また、C/Eの減少とともに低減することが認められた。

・試験施工結果

- ①空港舗装用常温複合混合物の実機プラントによる混合性および施工性において特に問題は認められなかった。
- ②第一次試験施工において、接地圧約 0.8MPa のダンプトラックを施工 3 日後から走行させた場合、表面性状は良好であり、わだち掘れの発生も認められなかった。しかし、乾燥収縮に起因すると推測される横断ひびわれが発生し、時間の経過とともにその本数が増加した。
- ③第二次試験施工において、乾燥収縮ひびわれの発生抑制を目的に、セメント量を低減し、アスファルト乳剤量を増量した結果、ひびわれ率は第一次試験施工の約 1/2 に低減したが、ひびわれの発生を完全には防止できなかった。また、施工後 1 日で交通開放したため、強度発現が十分でなく、特にコーナ部で面荒れが発生した。
- ④材齢初期において表面の摩耗現象が生じたが、塑性流動に起因するわだち掘れの発生は認められなかった。

・総合評価

耐流動性および表面性状の向上のためには、セメント量の増量が最も効果があった。しかし、その増量により乾燥収縮ひびわれがより発生しやすい傾向が認められた。超重荷重下（接地圧 1.5MPa）での空港舗装用混合物として十分な耐流動性および表面性状を得ることができ、かつ乾燥収縮ひびわれを最小限に抑えるためには、セメント量を 3.7 %程度に設定することが望ましいと考えられる。

一方、アスファルト乳剤量を増量することで乾燥収縮ひびわれの発生を抑制することが可能であるが、増量により耐流動性が低下するため、その添加量は 9.5 %程度とすることが望ましい。

また、今回の空港舗装を対象とした常温複合混合物舗装と他の既存舗装工法を比較したものを表-33に示す。常温複合混合物舗装は、一般加熱および耐流動性アスファルト舗装と比較して耐流動性が優れていることが分かる。しかし、施工において収縮目地が必要であり、また 3 日程度の養生期間が必要という点でアスファルト舗装よりも劣る。ただし、コンクリート舗装と比較すると、目地間隔の延長および養生期間の短縮が可能である。更に、施工用機械はコンクリート舗装と比較して、型枠の設置等の大掛かりな機械編成を必要とせず、アスファルト舗装と同じ施工用機械で対応可能である。

表-33 既存舗装工法との比較

| 舗装工種 | 耐流動性 | 耐ひびわれ性 | 施工性 |
|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 常温複合混合物舗装 | DS=5,000回/mm以上と良好 | 収縮目地必要、間隔の延長化可能 | ・アスファルト舗装機械で施工 ・交通開放 3 日 |
| 一般加熱アスファルト舗装 | DS=1,000回/mm程度と低い | 目地不要 | ・アスファルト舗装機械で施工 ・即日交通開放 |
| 耐流動性アスファルト舗装（II型） | DS=3,000回/mm程度と中間 | ・目地不要 ・支持力不足によるひびわれあり | ・アスファルト舗装機械で施工 ・即日交通開放 |
| 半たわみ性舗装 | DS=5,000回/mm以上と良好 | ・目地不要 ・収縮によるひびわれあり | ・アスファルト舗装工+ミルク注入工の 2 段階 ・交通開放 1 日 |
| RCCP | DS=∞と問題なし | 収縮目地間隔10~20m | ・アスファルト舗装機械で施工 ・交通開放 3 日 |
| コンクリート舗装 | DS=∞と問題なし | 収縮目地間隔5~10m | ・コンクリート舗装機械で施工 ・交通開放 1 4 日 |

今回の室内試験および試験施工結果から、常温複合混合物は重交通下での耐流動性・表面性状については良好であるが、それらの性能を確保しつつ乾燥収縮ひびわれの発生を完全に抑えることは困難な結果となった。よって、常温複合混合物を舗装の表層に用いるには、耐久性を確保しつつ、乾燥収縮の低減が可能な材料の開発および適切な配合選定に関するより一層の研究開発が必要である。

以上のことから、現時点での常温複合混合物を空港舗装へ適用する場合においては、下記の方法が考えられる。

- ①重交通下でのコンポジット舗装における基層として適用する。
- ②重交通下での表層として適用する場合は、十分な耐流動性と表面性状を確保するためにセメント量を 3.7 %程度に設定し、かつ収縮目地を適当なスパンで設置した上で施工を行う。

(2001 年 2 月 14 日受付)

参考文献

- 1) 寺田剛・坂本浩行・片脇清：エネルギー消費量およびCO₂排出量から算出した省資源・省エネ舗装，舗装，1995年，Vol.30，No.2，pp.4-9.
- 2) 阿部頼政・中野錦一・太田健二：舗装用常温複合材料の研究開発，土木学会第48年回次学術講演会概要集，1993年，pp. 894-895.
- 3) 野村敏明・安藤豊・阿部頼政：舗装用常温複合混合物の諸特性，土木学会第48年回次学術講演会概要集，1993年，pp. 896-897.
- 4) 安藤豊・安久憲一・野村敏明：舗装用特殊常温複合混合物の諸物性，第20回日本道路会議論文集，1993年，pp.768-769.
- 5) 阿部頼政・蒔田実・辻野昭夫：舗装用常温混合物の研究開発，土木学会論文集，1993年，No.508/V-26，pp.23-32.
- 6) 渋沢芳弥・檜佐哲夫・田上浩：栃木県における常温舗装，舗装，1996年，Vol.31，No.4，pp.15-19.
- 7) 佐藤隆則・坂入芳昭：特殊常温複合混合物を用いた耐流動試験舗装の追跡調査，第22回日本道路会議論文集，1997年，pp. 340-341.
- 8) 峰岸順一・阿部忠行・永田敏明：環状七号線における低騒音コンポジット舗装の適用，第22回日本道路会議論文集，1997年，pp.368-369.
- 9) 野村敏明・福手勤・安藤豊・牧田哲也：空港舗装用常温複合混合物の開発に関する基礎実験，土木学会第52年回次学術講演会概要集，1997年，pp.30-31.
- 10) 菅野幸浩・福手勤・安藤豊：空港舗装用常温複合混合物に関する研究，土木学会第53年回次学術講演会概要集，1998年，pp.68-69.

港湾技研資料 No.993

2001.6

編集兼発行人 国土交通省港湾技術研究所

発行所 国土交通省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Copyright © 独立行政法人港湾空港技術研究所 2001

本報告書の転載・複写を希望される場合は、港湾空港技術研究所企画課へご連絡をお願いします。