

舗装用常温混合物の研究開発

阿部頼政¹・蒔田 實²・辻野昭夫³

¹正会員 工博 日本大学教授 理工学部土木工学科 (〒101東京都千代田区神田駿河台1-8)

²正会員 日瀝化学工業株式会社 技術本部長

³正会員 大阪セメント株式会社 研究開発本部長

本論文は、アスファルト乳剤とセメントを素材とする新しい舗装用常温混合物の開発研究について、その経緯を中心に報告するものである。新しく開発された混合物は、①常温で施工が可能である、②耐流動性に優れ、わだち掘れがほとんど生じない、③収縮ひびわれがほとんどなく、舗装に目地を必要としない、④通常の舗設機械で施工が可能である、⑤早期交通開放が可能であるなどの特長を有する。

Key Words : rutting, asphalt emulsion, cement, cold mixture, shrinkage cracking

1. はじめに

本論文は、アスファルト乳剤とセメントをバインダーとする新しい舗装用常温混合物（以下、新規混合物と称する）の開発について、その研究方法と開発経緯を中心に報告するものである。

昭和61年12月、日本大学理工学部・阿部研究室、日瀝化学工業株式会社、大阪セメント株式会社の3者は共同で本研究を開始した。アスファルト乳剤とセメントは周知のとおり古くから舗装に使用されてきた材料であり、また両者を組み合わせ合わせた混合物も路盤材として広く用いられてきた。本研究は、当初素材のアスファルト乳剤とセメントを改良することにより、表層・基層にも使用できる混合物とする方向で出発し、その後、研究が進むにつれ、従来の混合物とは大きく異なる新しい材料ができあがっていった。数回の試験施工による確認の結果、現在では、新規混合物の開発はほぼ完了したと著者らは考えている。

なお、本研究に関しては土木学会年次学術講演会などにこれまでいくつかの発表を行ってきた^{1)~6)}。本論文はこれらを集大成するとともに、共同研究全体を総括しようとするものである。

2. 研究の背景と開発目標

わが国の舗装が維持修繕の時代に入ったと言われるようになってから、久くなる。この間、自動車保有台数は堅調に伸び続け、総重量20tから、25tへの重量規制緩和も加わって、今後も舗装に対する外力が強まることはあっても弱まることはほとんどない。舗装の破損がま

すまず懸念される所以である。

アスファルト舗装の主たる破損は“わだち掘れ”である。粘弾性的性質を有するアスファルト混合物を表層・基層に使用するかぎり、永久変形の累積として発生するわだち掘れを完全に防ぐことは本質的に困難であろう。反面、セメント系コンクリートを表層・基層に使用すれば、わだち掘れは防げるが、収縮ひびわれ、施工性、養生期間などに難点がある。

一方、舗装に対する社会的なニーズも多種多様となってきた。交通事故の増加傾向からは、わだち掘れ管理のレベルアップが求められているし、交通渋滞を避ける面では、修繕工事において早期に交通開放できる材料および工法が必要とされている。また、これまで加熱混合物が中心であった舗装材料を、省エネルギーや環境対策を重視して常温混合物に切り替えようとする動きが海外では始まっている。

わだち掘れ防止に効果のある新しい材料を開発するにあたり、著者らは以上のような背景を踏まえ、次のような開発目標を設定した。

- ①表層・基層に使用可能な混合物であること。
- ②混合物の製造および施工が常温でできること。
- ③耐流動性に優れていること。
(動的安定度 5,000回/mm以上)
- ④収縮ひびわれが発生しにくく目地が不要であること。
- ⑤通常の舗装用舗設機械で施工できること。
- ⑥早期に交通開放が可能なこと。

このような開発目標を達成できる可能性のある材料として、著者らは、アスファルト乳剤とセメントを素材とする混合物に着目した。開発目標がアスファルトとセメ

表-1 アスファルト乳剤とセメントの第2次選定試験

材 料	試 験 項 目	主 な 結 果	
ア ス フ ア ル ト 乳 剤	AN	[ペースト] ・曲げ試験 ・長さ変化 [混合物] ・マーシャル安定度試験 ・長さ変化 [配合]	材料分離の傾向が認められた。
	BN		特に問題はなかった。
	CN		収縮量が大きかった。
セ メ ン ト	超早強	ペースト(セメント/乳剤) 30/70~50/50 ・混合物中のペースト添加率 10~20%	特に問題はなかった。
	試作A		収縮量が大きく、初期強度は低かった。
	試作B		可使用時間の調整に難があった。

表-2 開粒度型骨材粒度の検討

No	粒 度	6号碎石	7号碎石	粗砂
1	開粒度下限	75%	10%	15%
2	開粒度中央	65%	15%	20%
3	開粒度上限	55%	15%	30%

ント両方の長所を必要としているからである。

次章以下、開発の出発点から完了まで、それぞれの時点で直面した問題とその解決方法を中心に記述することにする。

3. 開発第1期：ウェット型混合物の検討

(1) アスファルト乳剤とセメントの第1次選定

アスファルト乳剤は、乳化粒子の帯電状態によりカチオン系(プラス)、アニオン系(マイナス)、ノニオン系(帯電していない)に分類される。セメントと併用する場合には、混合性を重視してノニオン系が一般に使用されるため、著者らはセメント混合用ノニオン系アスファルト乳剤のうち、性質の異なる3種類、すなわちAN(一般用乳剤)、BN(高濃度乳剤)、CN(高粘度乳剤)を第1次材料として選定した。

一方、セメントは、普通セメントなど市販されているものから4種類、開発目標に適合するように作製した試作セメント4種類につき、化学分析と物理試験を実施して、その結果から超早強セメント、試作セメントA(高強度用)、試作セメントB(速硬型低強度用)の3種類を第1次材料として選定した。

(2) アスファルト乳剤とセメントの第2次選定

第1次で選定したアスファルト乳剤3種類、セメント3種類につき、これらを組み合わせて作製したペーストおよび混合物(骨材粒度は密粒度型と開粒度型)の各種試験を実施した(表-1)。その結果をもとに、アスファルト乳剤はBN、セメントは超早強セメントを第2次材料として選定した。

(3) 骨材粒度の検討

アスファルト乳剤やセメントの選定と並行して、骨材粒度の選定を実施した。ここでは、まずアスファルト乳剤、セメント、砂でペーストを作製し、これを密粒度型と開粒度型それぞれの骨材に添加する方法で供試体を作製した。混合性や締固め状態の観察結果は以下のとおりである。

密粒度型：①アスファルト乳剤とセメントの配合比、ペースト量などにより混合性が大きく左右される。②ペースト量を多くすれば混合性、作業性はよくなるが、混合物は分離しやすくなる。③締固めても締まりにくく混合物は軟弱である。

開粒度型：①細粒分が少ないので混合性は良好である。②ペースト量を少なくしても混合には比較的問題ないが、締固め時にペーストが下部に流動し、骨材とペーストが分離する傾向は密粒度型より顕著である。③締固め後の状態は、骨材の噛み合わせが効いて良好である。

以上の結果から、骨材粒度は開粒度型を採用することとし、これをさらに表-2のような3種類の粒度に分け、先に選定したアスファルト乳剤BN、超早強セメントと組み合わせて供試体を作製し、マーシャル試験を実施した。6号碎石、7号碎石、粗砂の配合比を5%ずつ変更しただけでも混合物の作業性や締固め度に大きな差が見られた。このうち、開粒度上限は広い範囲のバインダ(アスファルト乳剤+セメント)量で作業性がよく、かつ締固めやすいことから、骨材粒度としては開粒度上限を選定した。なお、この骨材粒度に対するバインダ量は12%~16%が適当であることも判明した。

(4) 添加剤の検討

アスファルト乳剤BNと超早強セメントをバインダとする混合物は、締固める前はスラリー状で流動性がある。これをウェット型混合物(乳剤中の水分も含めた含水比で6~10%程度)と呼ぶことにする。生コンに近い状態なので、減水剤、消泡剤、収縮低減剤など、各種添加剤の使用を試みた。収縮ひびわれの発生を極力おさえないこと(減水剤、収縮低減剤)、混合時に発生する泡を消したいこと(消泡剤)などのためであった。

表-3に示すような各種の実験から、減水剤、消泡剤の添加効果が確認された。

(5) アスファルト乳剤の変更

これまで、セメントとの混合性を重視してノニオン系のアスファルト乳剤を使用しウェット型混合物を作製してきたが、表層・基層用材料としては次のような問題の

表-3 各種添加剤の検討

添加剤	試験項目	主な結果
収縮低減剤 (特殊界面活性剤)	[ペースト] ・流動性試験 ・圧縮試験 ・曲げ試験 ・長さ変化	収縮低減硬化は認められるが、強度が低下した。
減水剤 (高縮合トリアミン系化合物)		ペーストの流動性が向上した。
消泡剤 (シリコーン系エマルジョン型)	[混合物] ・マーシャル安定度試験	ペースト中の気泡が減少し、圧縮強さが増加、混合物のマーシャル安定度も増加した。

表-4 第1次試験施工の概要

項目	内容
施工年月	昭和62年9月
施工場所	工場構内道路
C/Aペーストの配合比(%)	C (超早強セメント) : A (BK-1), C+A 42.5 57.5 16%
骨材の配合(%)	6号碎石 : 7号碎石 : 粗砂 (開粒度) 55 15 30
添加水	①2.5% ②3.3% ③4%
混合物の厚さ	5 cm
基層条件および舗装面積	A工区: 瀝青安定処理(13cm)上, 150㎡ B工区: セメントコンクリート上, 50㎡
施工方法	混合 → 運搬 → 敷きならし → 転圧 (ハグミルキサ) (2トンプ) (フィニッシャ) (マカローラ) → 養生 → 交通開放 (12時間) (タイローラ)

あることが明らかとなってきた。

- ①ノニオン系乳剤は分解が遅いため、バインダ量が多くなると材料分離を起こす。
- ②水セメント比により流動性(施工性)が変わりやすく管理範囲が狭い。
- ③転圧時のニーディングによりはく離しやすい。
- ④締固めた混合物は、たわみ性に乏しく脆い。

ノニオン系のアスファルト乳剤を使用するかぎり、これらの問題の解決は困難であると判断し、アスファルト乳剤をカチオン系に変更することにした。

(6) カチオン系乳剤BKの開発

カチオン系乳剤は、セメントとの混合にはほとんど使用されていない。この理由は、セメントと接触すると短時間で分解する傾向が強く、可使時間の確保と作業性に難点があるためである。しかし、骨材への付着性は優れており、本研究では特にこの点を重視してカチオン系乳剤を開発することにした。この時点で設定した開発目標は次のとおりである。

- ①混合後、1時間以上、所要の作業性を持つこと。
- ②材料分離を起こさないこと。
- ③骨材に十分なアスファルト膜厚を与えること。
- ④骨材、特に砂からはく離が少ないこと。
- ⑤混合性がよく、気泡導入の少ないこと。
- ⑥混合物はシットリした状態であること。

試作品(BKと命名)は、材料投入順序の検討、混合試験(ハグミルキサによる混合状態の確認)などから、以下の条件下においては、上記の開発目標を満足することが明らかとなった。

- ①材料の投入は、骨材→乳剤→セメントの順とする。
- ②セメント(C)・乳剤(A)の配合比はC/Aで40/60~45/55の範囲とする。
- ③バインダの添加率は14~16%とする。

しかし、経時的にマーシャル安定度を測定した結果、材令1日では1,500~2,000kgfと十分に大きな値が得られるものの、短時間での硬化速度は遅く、本研究全体での開発目標である早期交通開放には難点のあることが判明した。そのため、アスファルト乳剤をさらに改良し、早

期強度も期待できるBK-1を得た。

(7) 第1次試験施工

室内試験を中心に開発してきた新規混合物を構内道路に舗設し、施工性とその後の供用性を調査した。試験施工の概要は表-4のとおりである。また、この試験施工により、次の点が明らかとなった。

- ①新規混合物は、従来の舗装用機械で舗設可能であるが、フィニッシャビリティに難があった。
- ②現場の貫入試験などから判断すると、施工終了3時間後には交通開放が可能と思われる程度にまで硬化した。
- ③交通開放後、骨材のはく離は認められず、路面状態は良好であった。
- ④施工1週間後に、A工区で収縮によると推測される横断ひびわれが10~15m間隔で発生した。また同工区で、2週間後から交通荷重によるものと思われる縦断ひびわれが発生し、その後、ひびわれ幅が拡大していった。
- ⑤基層がコンクリート舗装のB工区では、コンクリート目地がある部分でのみひびわれの発生が認められた。

以上、開発の第一歩から始めて試験施工に到達したが、開発目標から見ると、施工性、耐ひびわれ性にまだ難点が残った。また、混合物がスラリー状であるため、含水比の調整、ダンプトラックでの運搬に無理があった。

4. 開発第2期：ドライ型混合物の開発

(1) ドライ型混合物

ウェット型混合物は、可使時間の調整が困難だけでなく再現性にも乏しいことがこれまでの研究で明らかと

表-5 ドライ型混合物初期の材料投入順序

$(6号 + 7号 + Sc) + E + R \xrightarrow{\text{分解}} C + W$ ここで、6号：6号碎石 7号：7号碎石 Sc：スクリーニングス E：アスファルト乳剤（急硬性が粘系乳剤） R：分解促進剤 C：セメント（超早強セメント） W：添加水
--

表-6 材料投入順序の第1次改良（細骨材分割投入）

$(6号 + 7号 + Sc1) + E + R \xrightarrow{\text{分解}} (Sc2 + C) + W$ ここで、Sc1：スクリーニングス（75%分） Sc2：スクリーニングス（25%分）

表-7 材料投入順序の第2次改良（細骨材後添加）

$(6号 + 7号) + E + R \xrightarrow{\text{分解}} Sc \text{ または粗砂} + C + W$
--

なった。著者らは、研究を積み重ねる上でこれを致命的であると判断し、ドライ型混合物（含水比6%未満）の採用にふみきった。

カチオン系乳剤に変更した時点から、材料の投入順序を検討してきたが、投入順序および含水比の調整によっては、転圧コンクリートとほぼ同様のパサパサの状態に混合できることはわかっていた。しかし、「この種の混合物はシっとりした状態がよい、パサパサの状態では締め固めが困難である」との先入観からドライ型混合物は捨ててきた。

表-5は、ドライ型混合物初期の材料投入順序を模式化したものである。すなわち、6号碎石、7号碎石、スクリーニングスを混合したものに、アスファルト乳剤と乳剤分解促進剤を入れ、乳剤が分解する時間を置いてからセメントを添加して締固める方法をとっていた。これにより、乳剤が分解した後でも締め固めれば混合物が作製出来ることを確認することができた。

表-5の投入方法は、骨材にアスファルト被膜を形成し、細粒分はセメントモルタルとアスファルトとともに粗骨材間の空隙を埋めるといった状態にしようとしたものであるが、実際には、細粒分に乳剤がとられて団粒化し、密度が小さくなる結果となった。

(2) 投入順序の検討

前記の欠陥を改善すべく、表-6の投入順序を試みた。これは、団粒化を防ぐためと密度向上のために、アスファルトで被膜させる細粒分の一部を抜きとり、乳剤分解後、セメントと一緒に添加する方法をとったものである。しかし、それでも団粒化を防げなかった。また、細粒分を一部置き換えることにより密度は向上したが、セメントによる強度発現が大きくなりすぎる傾向が見られ

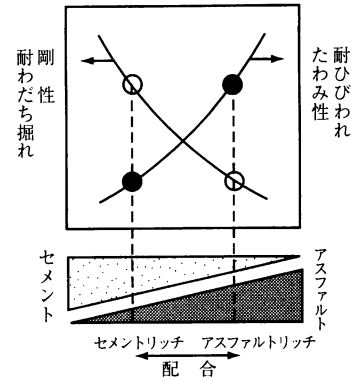


図-1 セメント・アスファルト混合物性状の概念図

表-8 検討した代表的な材料投入方法

①	骨材 + C + W + E
②	骨材 + E + R $\xrightarrow{\text{分解}}$ C + W
③	骨材 + E + R $\xrightarrow{\text{分解}}$ 細骨材 + C + W (一部)
④	粗骨材 + E + R $\xrightarrow{\text{分解}}$ (細骨材 + C) + W
⑤	粗骨材 + E + R $\xrightarrow{\text{分解}}$ (細骨材 + C) + E
⑥	粗骨材 + E + R + 細骨材 \rightarrow C + W
⑦	骨材 + C + W \rightarrow E
⑧	粗骨材 + E $\xrightarrow{\text{加熱}}$ E $\xrightarrow{\text{放冷}}$ (細骨材 + C) + W
⑨	骨材 + As $\xrightarrow{\text{加熱}}$ C + W $\xrightarrow{\text{放冷}}$
⑩	粗骨材 + As + 石粉 $\xrightarrow{\text{加熱}}$ (細骨材 + C) + W $\xrightarrow{\text{放冷}}$
⑪	粗骨材 + As + 石粉 $\xrightarrow{\text{加熱}}$ (細骨材 + C) + E $\xrightarrow{\text{放冷}}$

As：ストレートアスファルト

た。

表-7は、団粒化防止とたわみ性向上のために試みた投入順序である。この方法によって、団粒化は少なくなり、アスファルト被膜厚も増したが、混合時に粗骨材からアスファルトがはがれる問題が生じ、たわみ性も改善はされなかった。また、乳剤の種類によってもこれらの性状が大きく変わることが明らかとなり、乳剤の改良が急がれることになった。

(3) 混合物のメカニズムの考察

ドライ型混合物は、乳剤、セメント、粗骨材、細骨材、水の投入順序とそれぞれの量と質によって性状が大きく左右されることがわかった。すべての組合せを実験的に確認することは困難なため、ここで、いかなる形が理想的なのか、混合物内部のメカニズムを考察した。

図-1は混合物の基本概念を示したものである。すなわち、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、乳剤量を多くしていけば、たわみ性は向上するが、剛性は低くな

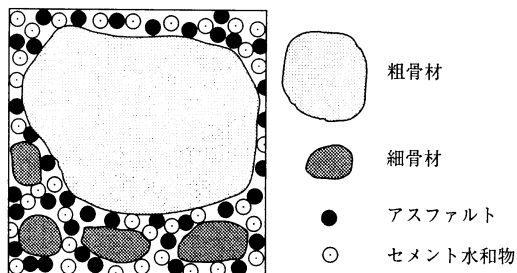


図-2 ウェット型混合物 (①) のメカニズム想定図

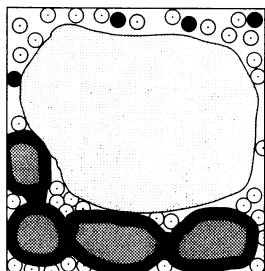


図-3 ドライ型混合物 (②) のメカニズム想定図

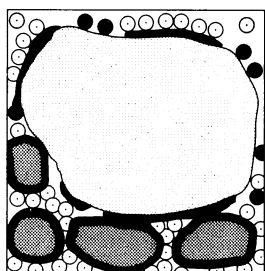


図-4 ドライ型混合物 (③) のメカニズム想定図

り、わだち掘れが懸念される。本研究の目的とするところは、ひびわれ発生をアスファルトで緩和し、わだち掘れをセメントの剛性で防止することにある。そのためには、アスファルトが応力緩和性を発揮し、セメントが適度の剛性を確保できるメカニズムが必要となろう。

表-8には、パターンにわけてとりあげた代表的な11種類の材料投入方法を示したが、このうち、これまでにとりあげた混合物のメカニズム想定図を以下に示す。

図-2は、ウェット型混合物 (①) である。骨材粒子の間をアスファルトとセメントが分散している。図-3はドライ型混合物 (②、表-5) である。アスファルトは細骨材にとられ、粗骨材にほとんど付着していない。図-4は、②の改良型 (③、表-6) である。アスファルトは粗骨材の周囲にあり、粗骨材間の空隙を細骨材とセメント水和物が埋めている。

表-8の11種類のうち、いずれが理想的なのか、この時点では定かでなかったが、図-2～図-4のようなメカニズム想定図を念頭におきながら、以後の研究を進めることになった。

表-9 アスファルト乳剤の改良 (BK-2～BK-8)

検討項目	試験項目
<ul style="list-style-type: none"> ・ベースアス針入度 ・乳剤pH ・分解性 ・造膜性 	<ul style="list-style-type: none"> ・混合性 ・分解度合、付着・被膜度合 ・混合物密度、空隙率 ・マーシャル安定度 ・圧裂強度 ・動的安定度 ・凍結融解抵抗性

表-10 骨材粒度の検討

使用材料	5号碎石, 6号碎石, 7号碎石, 粗目砂, 細目砂, スクリーニングス, 石粉
骨材粒度	粗粒度, 開粒度, 密粒度, 細粒度ギャップ
最大粒度	20mm, 13mm, (5mm)

(4) アスファルト乳剤の改良

ドライ型混合物では乳剤が非常に重要な役割を果たすことが判明したため、乳剤の改良に力を注いだ。乳剤に要求される性質は、材料投入方法や、混合物に求める力学的性状によっても変わるが、基本的には次の3点に絞られる。

- ①骨材表面に均一なアスファルト膜を与えること。
- ②所定のタイミングで分解しはじめること。
- ③セメントの硬化を妨げないこと。

表-9には、BK-2から、BK-8までの改良乳剤7種類の製造にあたって考慮した検討項目と、その性状判定に採用した試験項目を示した。材料それぞれについて、様々な角度から検討したが、特に分解・造膜性に優れているカチオン系急硬性アスファルト乳剤 (BK-8) を最適と判断し、以後の研究にはすべてこれを使用することにした。

(5) 骨材粒度の検討

乳剤の改良と前後して、ドライ型混合物に適する骨材粒度の検討を実施した (表-10)。その結果、ドライ型混合物には、密度、混合物の緻密性から密粒度が望ましいこと、粗砂のかわりにスクリーニングスを用いた方がアスファルトの造膜性がよいこと、空隙率の小さい混合物ほど摩耗抵抗性の高いことなどが判明した。

(6) 第2次試験施工

ドライ型混合物のパグミルミキサによる混合性、施工性、ひびわれ発生の有無等を調べるために小規模な試験施工を行った。施工性は良好で、現場採取コアの動的安定度も5,000回/mmを大きく超えていたが、次のような問題のあることが明らかとなった。

- ①混合機としてパグミルミキサ (400kg練り) を使用したが、材料が攪拌羽根やケーシングに付着し、混合が困難となった。

表-11 セメントの検討

種類	試験項目
超早強セメント	・セメントの物理試験 ・水和特性（結合水量、粉末X線回折） ・可使時間（0～120分放置後締め）
低収縮速硬型セメント (OC-1～OC-4)	・初期・中期強度（マーシャル安定度、 一軸圧縮強さ、圧裂強度、DS） ・乾燥収縮（長さ変化測定）

表-12 混合物の材料投入順序

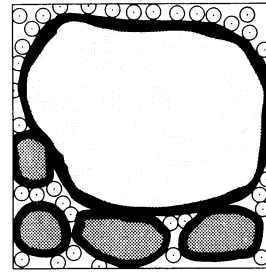
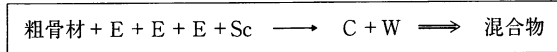


図-5 開発混合物のメカニズム想定図

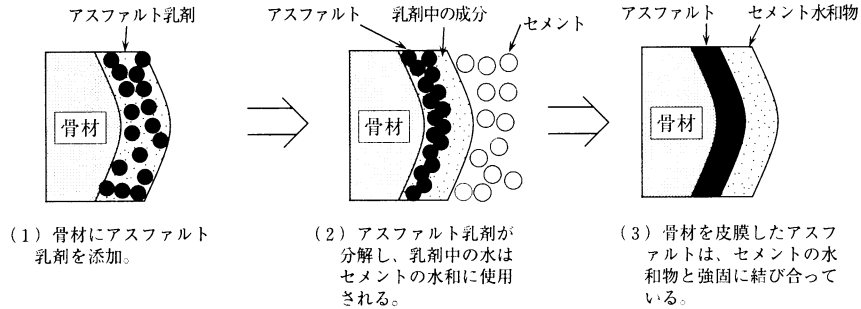


図-6 混合物のメカニズム

② 6週間後から、ほぼ等間隔（10m程度）にひびわれが発生した。

③ 全面的に表面の肌荒れが生じ、著しい所では深さ15mm前後の材料飛散が見られた。

(7) セメントの開発

これまで、セメントは早期強度発現を重視して超早強セメントを使用してきたが、ひびわれの発生を防止できないことが第2次試験施工で判明したため、セメントの開発・変更が急務となった。一方、研究当初より低収縮で速硬性のあるセメントを求め、表-11のような実験を行ってきたが、この頃にほぼ条件を満足する新セメントOC-4（水和生成物としてエトリンガイトを生成することを特徴とする低収縮速硬型セメント：比重2.97、ブレン比表面積6.800cm²/g）が開発された。以後は超早強セメントに代わってOC-4を用いることにした。

なお、OC-4は、外気温30℃以下の場合には一般用、30℃を超える場合は夏用と2種類作製し、混合物の強度発現や可使時間が気温によってさほど影響を受けないように使い分けることにした。

(8) 混合物製造方法の確立

メカニズムの考察、骨材粒度の検討、乳剤とセメントの開発を通して、室内における混合物の製造方法が確立した。表-12はその材料投入順序を示したものである。乳剤を3回に分けて投入しているが、最初の乳剤は骨材表面のダストを除去するとともに、骨材の濡れをよくす

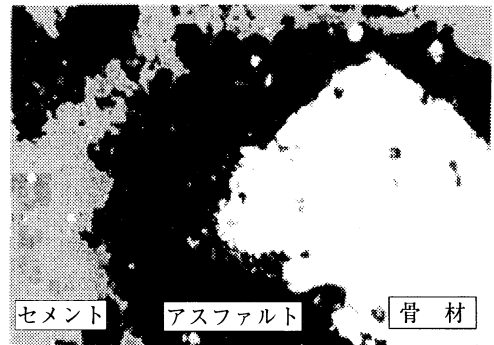


図-7 骨材・アスファルト・セメント界面の顕微鏡写真

るためのもの、2度目は粗骨材を被覆するもの、最後は細骨材を被覆するものとそれぞれ役割が異なっている。このようにして混合したあと締め固めた混合物は図-5のようなメカニズムになっていると想定される。また、図-5の粗骨材表面をさらに微細に見れば（図-6）、分解した乳剤中のアスファルトが骨材に付着し、セメントが分解水と反応して硬化することによりアスファルトとセメントが強く結合していると考えられる。この混合物の顕微鏡拡大写真を示すと図-7のとおりである。

5. 開発第3期：プラントの改良と試験施工

(1) ミキサの開発と2段階混合方法

室内における混合物製造方法は確立したが、プラントでは大きな問題が生じた。すなわち、材料の投入順序に注意しても同一の混合機ですべての材料を混合すると、

表-13 乳剤混合専用ミキサの検討

ミキサの種類	項目検討
<ul style="list-style-type: none"> ・二軸バグミルミキサ(バッチ式) (連続式) ・パン型ベレタイザ ・一軸強制練りミキサ ・特殊リボンミキサ ・傾胴式回転ミキサ 	<ul style="list-style-type: none"> ・攪拌混合性 ・混合物性状 ・ケーシング等への混合物付着の有無 ・混合能力 ・耐久性

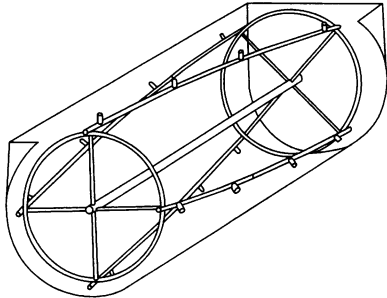


図-8 新規開発したリボンミキサの構造概略図

骨材へのアスファルトの被覆が悪く、セメントの硬化も加わって、材料が攪拌羽根やケーシングに付着するという現象が避けられなかったからである。

この問題を解決するため、混合を2段階に分けることとし、あらためて乳剤混合専用のミキサを開発することにした。検討の対象としたミキサの種類は表-13のとおりである。このうち、本研究用として新規に開発したリボン型特殊ミキサ（以下、単にリボンミキサと称する）(図-8)が最も優れていることが判明し、以後の試験施工にはこのタイプのミキサを使用することとした。このリボンミキサは、内部構造がシンプルなためミキサ内への混合物付着が少なく、骨材上に形成するアスファルト被膜の剥脱を防止する、という特長を有する。これにより、プラントの混合では、粗骨材、乳剤および細骨材をリボンミキサで混合した後バグミルミキサに送り、セメント、水をこれに投入して再混合するという形をとることになった。

(2) 第3次試験施工

プラントの混合方法に一応の解決策を見い出せたので、小規模ながら試験施工を実施した。その概要を第9次試験施工まで含めて表-14に示す。第3次試験施工では次の諸点が明らかとなった。

①乳剤混合機としてリボンミキサ(100kg練り)を使用することによって、粗骨材へのアスファルトの付着性が改善された。

②2段階混合方式により、ミキサの羽根などへの混合物の付着は非常に少なくなった。

③低収縮セメントの使用、および骨材への均一なアスファルト被膜の形成などにより、収縮ひびわれの発生を防ぐことができた。

表-14 試験施工の経緯と概要

試験施工	施工年月	施工場所	内容
第3次	平成元年4月	工場内道路 (碎石ダンプ通過)	5 cm (表層), 23m ²
第4次	平成元年8月	同上	5 cm (表層), 252m ²
第5次	平成元年12月	栃木県栃木市 (栃木環状線)	7 cm (表層), 325m ² C交通
第6次	平成2年7月	工場構内道路	5 cm (表層), 290m ²
第7次	平成3年9月	栃木県栃木市 (栃木環状線跨 線橋RC床版上)	6 cm (表層), 195m ² C交通
第8次	平成4年6月	栃木県壬生町 (主)宇都 宮・栃木線	6 cm (基層), 975m ² 表層 (改質アスファルト) C交通
第9次	平成5年2月	茨城県岩瀬町 (主)筑波 ・益子線	7 cm (基層), 330m ² 表層 (改質アスファルト) C交通

(3) 第4次試験施工

収縮ひびわれ防止の確認と、ポリマーの適用性を確認するため第4次試験施工を実施した。リボンミキサのスケールアップを検討中であったため、乳剤混合機としては、リボンミキサと羽根の形状が似ている既製の一軸強制練りミキサを使用したが、羽根やケーシングに乳剤などが付着し、混合を数回ストップせざるをえなかった。結果は以下のとおりである。

①収縮ひびわれの発生はなかった。この開発目標はこの時点でほぼ解決されたと判断できる。

②ポリマー添加により、たわみ性に若干の向上が見られたが、混合物の材料分離など、作業性に難点があったため、以後はポリマーの使用を保留することにした。

(4) 第5次試験施工

開発目標のすべてをほぼ満足できるであろうとの判断をもとに、実際の重交通道路(栃木環状線)で試験施工を実施した。リボンミキサ(500kg練り)が完成したこともあり、混合は順調に行われ、また施工性も良好であった。

(5) 第6次試験施工

敷きならし、締固め条件の確立のため、再度構内において試験施工を実施した。

敷きならしには、通常のアスファルトフィニッシャのほかにハイコンパクションフィニッシャも使用したが、舗設厚が5 cmと薄かったためタンパによる材料の跳ね上り現象が現れた。ハイコンパクション型は、舗設厚がより厚い場合に有効となるものと判断される。

締固め機械として、マカダムローラ、振動ローラ、コンパインドローラ等を使用した。線圧・振動モードの強いタイプは締固めに有効であるが、転圧ひびわれが発生

表-15 試験施工における混合物品質管理試験結果

試験施工	マーシャル安定度試験 (材令7日, 60℃)		一軸圧縮試験 (材令7日, 20℃)			ホールフラクティング試験 (材令3日, 60℃)
	安定度 (kgf)	フロー (1/100cm)	圧縮強さ (kgf/cm ²)	変位量 (1/100cm)	残留強度率 (%)	動的安定度 (回/mm)
第5次	1,100	18	—	—	—	10,000
第6次	1,500	12	45	19	76	23,000
第7次	790	16	37	13	76	18,000
第8次	900	16	34	18	91	13,000
第9次	1,200	12	43	14	75	18,000

表-16 試験施工追跡調査結果

試験施工	調査項目	平成4年			5年			6年
		6月	7月	10月	2月	4月	10月	2月
第8次	わだち掘れ量 (mm)	施工	4.0	4.4	—	4.4	4.7	4.0
	ひびわれ率 (%)		0	0	—	0.4	1.2	1.5
第9次	わだち掘れ量 (mm)	施工				2.3	2.5	2.1
	ひびわれ率 (%)					0	0	0.4

表-17 開発材料と標準的配合

項目	材料	標準的配合
骨材	6号碎石, 7号碎石 スクリーニングス	密粒度13
アスファルト乳剤	カチオン系急硬性アスファルト乳剤 (BK-8)	8~12%
セメント	低収縮速硬型セメント (OC-4)	4~6%
添加水	水道水	0~2% (OMC相当)

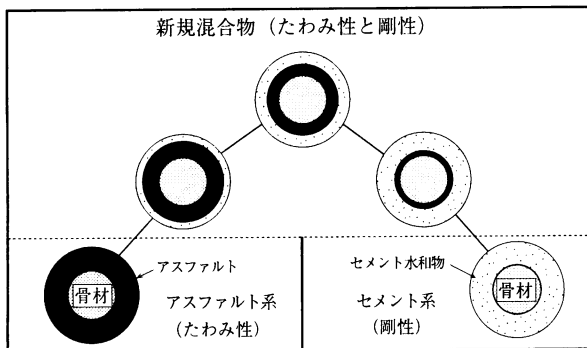


図-9 新規混合物の概念図

しやすいので注意が必要であることが判明した。

(6) 第7次～第9次試験施工

実道路において、さらに数回の試験施工を実施した。この間、材料の微調整を重ねるとともに、混合、運搬、施工などの標準方法を確立していった。

表-15に、第5次以降の試験施工における混合物の品質管理試験結果を示す。ばらつきはあるものの、ほぼ妥当な混合物が製造されていたと判断できる。

わだち掘れとひびわれの追跡調査結果を表-16に示す。供用後、わだち掘れは無視できる程度であり、収縮によるひびわれの発生はほとんど見られなかった。

6. 開発した混合物の諸性状

前章までに述べた一連の研究によって、新しい混合物が開発された。この新規混合物の概念図を図-9に示す。すなわち、新規混合物は表層・基層用材料として従来から使用されているアスファルト系材料のたわみ性とセメント系材料の剛性を適度に取り入れることにより、耐流

動性、耐ひびわれ性両面の向上を図ったものである。本章では、この混合物の標準的性状を述べるとともに、開発目標と対比しながらその到達度を考察する。

(1) 使用材料と配合

表-17に使用する材料とその配合の標準を示す。これらの材料を、表-12(前出)の順序で投入し、プラントではリボンミキサとパグミルミキサの2段階に分けて混合する。

(2) 混合物の一般的性状

締めめた混合物の各種力学的試験による数値を表-18に示す。このうち、マーシャル安定度試験、一軸圧縮強度試験は、混合物の開発中、品質管理に役立ってきたものである。

(3) 開発目標の到達度

①表層・基層に使用可能な混合物であること。

試験施工では、5cm～7cmを採用したが、この程度の厚さで、十分に表層・基層用混合物としての役割を果たせることが明らかとなった。

表-18 各種力学的試験結果

試験項目	試験条件	試験値
マーシャル安定度試験 (安定度, フロー)	材令3時間, 20℃ 材令7日, 60℃	550kgf, 22 l/100cm 900kgf, 20 l/100cm
一軸圧縮試験 (圧縮強さ, 変位量, 残留強度率)	材令3時間, 20℃ 材令7日, 20℃	15kgf/cm ² , 15 l/100cm, 75% 36kgf/cm ² , 14 l/100cm, 75%
圧裂試験 (圧裂強度, 変位量)	材令7日, 20℃ 3 mm/min	7 kgf/cm ² 10 l/100cm
曲げ試験 (曲げ強度, 破断時のひずみ)	材令14日, 20℃ 30×10×5 cm, スパン20cm 50mm/min	30kgf/cm ² , 4.900×10 ⁻⁶
ホイールトラッキング試験 (動的安定度)	材令3時間, 20℃ 材令3日, 60℃	50,000回/mm 18,000回/mm
長さ変化測定 (乾燥収縮量)	材令13週 JIS A 1129	300×10 ⁻⁶

1) 混合物配合 (密粒度13, アスファルト乳剤 10%, セメント 4%, 添加水 0.5%)
2) マーシャル供試体は両面75回突き

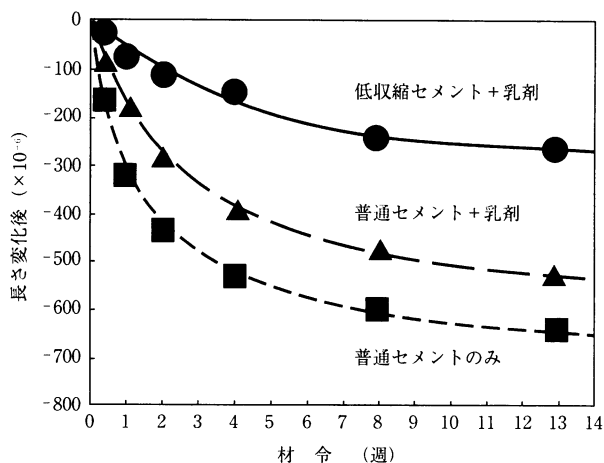


図-10 長さ変化率と材令の関係

②混合物の製造および施工が常温でできること。

これは、素材がアスファルト乳剤とセメントなので、問題はなく、製造、施工すべて常温で可能であった。

③耐流動性に優れていること (動的安定度5,000回/mm以上)。

表-15, 表-18の動的安定度の値から明らかなように開発目標は達成され、試験施工の追跡調査でも、わだち掘れの発生はほとんど見られなかった。

④収縮ひびわれが発生しにくく目地が不要であること。

第3次以降の試験施工から収縮ひびわれの発生はほとんど見られなくなった。これは、混合方法の改善によりアスファルト応力緩和性が期待できるようになったこと、および低収縮セメントの開発により収縮ひずみが低減されたことによるとと思われる。長さ変化の測定例を図-10に示す。13週経過で収縮ひずみが300×10⁻⁶以下ということは、他のセメント系材料に比べかなり低い値と言える。

⑤通常の舗装用舗設機械で施工ができること

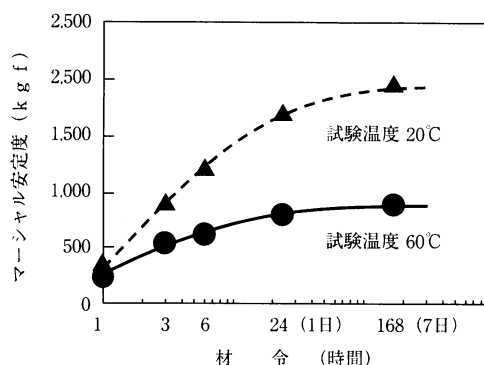


図-11 マーシャル安定度と材令の関係

舗設にはアスファルトフィニッシャ、転圧にはマカダムローラ (10 t), コンバインドローラ (4 t), タイヤローラ (8~12 t, 25 t) を併用した。いずれも加熱アスファルト混合物の施工に使用されているものである。

⑥早期に交通開放が可能なこと

第5次以降の試験施工では交通開放を敷きならし後3時間程度としたが、これが原因で生じた欠陥は見い出せなかった。セメントが速硬性であること、ドライ型混合物は転圧後の安定性に優れていることなどのためと思われる。図-11に、短時間材令でみたマーシャル安定度の推移を示す。

以上、開発目標はほとんど達成され、実用に十分耐えられる段階に達したものと判断される。

なお、素材の組合せ、混合方法等によっていろいろな特徴を有する混合物の開発が可能である。今回発表した混合物はその一例としてとらえ、さらに検討を加えていく所存である。

7. ま と め

アスファルト乳剤とセメントを素材とする新しい表

層・基層用常温混合物を開発した。室内試験および試験施工などを通じて明らかになったこの混合物の特長は以下のとおりである。

- ① 5～7 cmの舗装厚で、表層・基層に適用可能である。
- ② 混合物の製造、施工が常温でできる。
- ③ 耐流動性が高く、わだち掘れがほとんど生じない。
- ④ 収縮ひびわれの発生はほとんど見られず、舗装に目地を必要としない。
- ⑤ 通常のアスファルト舗装用の舗設機械で施工できる。
- ⑥ 初期強度が大きく、早期交通開放が可能である。

謝 辞：本研究が発足してからすでに7年余となる。この間、多勢の方々の貴重な貢献があった。深甚な感謝の意を込めて以下にその方々の氏名を記す（敬称略）。

河野恭一、太田健二、安岡忠義、小黒幸市、佐藤勝俊、伊藤亮、野村敏明、齊藤誠、伊藤達也、中瀬吉行、田口克也（以上、日瀝化学工業株式会社）、中野錦一、茂田

隆重、杉智光、安藤豊、古久保和志、安久憲一、浅野文男（以上、大阪セメント株式会社）

参 考 文 献

- 1) 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回年次学術講演会概要集、pp. 894-895、1993年9月。
- 2) 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回年次学術講演会概要集、pp. 896-897、1993年9月。
- 3) 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特性、第20回日本道路会議論文集、pp. 758-759、1993年10月。
- 4) 伊藤達也、齊藤誠、浅野文男：舗装用特殊常温複合混合物の構内試験施工による検討、第20回日本道路会議論文集、pp. 760-761、1993年10月。
- 5) 佐藤大三、渡辺一男、田口克也：栃木県における特殊常温複合材料を用いた耐流動試験舗装、第20回日本道路会議論文集、pp. 762-763、1993年10月。
- 6) 杉智光：セメント-アスファルト乳剤系舗装用常温混合物の開発、石灰石、石灰石鉱業協会、pp. 30-42、1994年1月。

(1994.4.20受付)

DEVELOPMENT OF CEMENT-EMULSIFIED ASPHALT MIXTURES FOR PAVEMENT

Yorimasa ABE, Minoru MAKITA and Akio TUJINO

This paper describes the development of a new mixture for surface course using cement and emulsified asphalt as base materials. The mixture was requested following points.

- ① Construction should be conducted at normal temperature.
- ② It is highly resistable to rutting caused by plastic flow of asphalt.
- ③ It is almost free from shrinkage cracking and the pavement using this material doesn't need any joint.
- ④ The widely used devices for asphalt pavement construction are also applicable for it.
- ⑤ The pavement can be opened for traffics shortly after construction helped by high early strength of it.

This project was started seven years ago in 1986. After three years' studies in situ, several field tests were carried out at heavy traffic roads. Results show every request mentioned above is nearly satisfied.