

# スラブ軌道用セメントアスファルト複合材料の耐寒性能の向上に関する実験的研究

## AN EXPERIMENTAL STUDY FOR IMPROVEMENT OF CEMENT-ASPHALT COMPOUND MATERIALS FOR SLAB TRACK TO MAKE THEM FIT FOR COLD CLIMATE USE

渡邊 偕年\*・鳥取 誠一\*\*・原田 豊\*\*\*

By Kainen WATANABE, Seiichi TOTTORI and Yutaka HARADA

An experimental study was carried out to develop a durable cement-asphalt mortar as the shock-absorbent filler to be used under the slab track of Tohoku and Joetsu SHINKANSEN lines in cold climate.

This study has revealed that development of a cement-asphalt mortar durable under freezing and thawing will be possible by introducing the entrained-air. And it has proved that for improvement of anticracking and toughness properties it is necessary to utilize highmolecule materials and alkali-resistant glass fibers.

*Keywords : slab track, cement-asphalt mortar, railway track, durability*

### 1. まえがき

軌道保守の省力化を目指して開発されたスラブ軌道（図-1）には、軌道の高低調節を可能にするとともにこれに適度な弾性を与えるため、路盤、軌道スラブ間の填充材としてセメントアスファルトモルタル（以下、CAMと略称）が使用されている。この種の複合材料の軌道への適用はわが国独自のものであり、昭和40年代の初めに各地における試験敷設を経て山陽新幹線、武蔵野線、湖西線など比較的温暖な地域において大量に使用されてきた<sup>1)~3)</sup>。

しかしながら、この填充材は、室内試験<sup>4)</sup>および北海道、北陸地方における現地試験から耐凍害性に問題のあることが判明したため、東北、上越新幹線のような寒冷地におけるスラブ軌道では、填充材の耐寒性能を向上させることが不可欠となつた<sup>5)</sup>。

そこで本研究においては、耐寒性に優れたCAMを開発するため、初期凍害を含む耐凍害性および耐ひびわれ性に関して、室内、現地試験により詳細な検討を行つ

た。その結果、消泡剤とAE剤を併用することにより、在来のCAMより耐凍害性に優れたCAMが開発され、上記両新幹線などに適用することが可能となつた<sup>6),7)</sup>。さらに、超速硬性セメントを用いることにより、寒中施工時の耐初期凍害性が改善され、またSBR系ラテックスとガラス繊維の混入により、耐ひびわれ性が改善され、耐凍害性もより一層向上することを明らかにした<sup>8)~15)</sup>。本論文は、上述したCAMの製造方法、耐凍害性等を中心にして報告するものである。

### 2. 在来型CAMの特徴とその問題点

ここではCAMの組織構造、力学的特性などの基礎的な性状および在来型CAMを寒冷地に使用した場合の問題点について述べる。

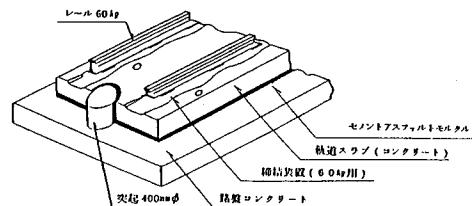


図-1 スラブ軌道A-51形（新幹線用）

\* 正会員 (財)鉄道総合技術研究所専務理事

(〒185 国分寺市光町2-8-38)

\*\* 正会員 (財)鉄道総合技術研究所主任研究員（同上）

\*\*\* 正会員 東亜道路工業(株) 技術研究所副所長

(〒232 横浜市南区中村町5-318)

表-1 各種 CA 複合材料の標準配合 ( $1 m^3$  当たり)

配合	適用区分	種別	早強セメント	混和材	アスファルト乳剤	細骨材	水	アルミニウム粉	消泡剤	AE剤	供用時期
			kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
A	温暖地	在来型 CAM	250	4.4	4.70	590	125 以下	0.04			S 46 ~現在
B	寒冷地 (温暖時施工用)	特殊CAペースト	530		74.2			0.04			S 52.7~53.4
		消泡 AE 型 CAM	255	4.5	4.80	600	105 以下	0.04	0.15	7.5	S 53.5~現在

注) 水とアルミニウム粉末は施工条件に応じて増減すること。

[使用材料] 早強セメント…市販品、混和材…AM (D社製)、アスファルト乳剤…配合AとCがA乳剤。

配合Bが特殊A乳剤、細骨材…川砂、2.5 mm 以下、FM=1.4~2.2、水…飲料に適するもの。

アルミニウム粉末…N社製、消泡剤…T社製、AE剤…Y社製。

[その他配合] 配合G: 配合Cにガラス繊維(早強セメント+混和材)×3% = 9 kg/m<sup>3</sup>を外添加したもの。

耐アルカリ性ガラス繊維…φ20 μm モノフィラメントを約100本集束のストランド、l=12 mm、A社製。

配合P: 配合Gのアスファルト乳剤中にSBR系ラテックス(早強セメント+混和材)×30% = 90 kg/m<sup>3</sup>を内割混入したもの。

ラテックス…ST乳剤、T社製。

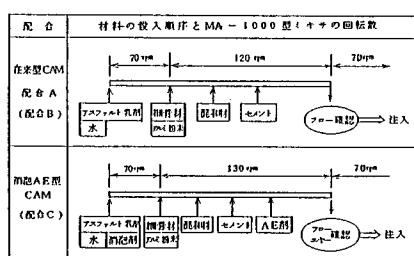


図-2 練りまぜ方法

### (1) 基礎的な性状

#### a) 特徴

本研究で対象とするスラブ軌道用CAMは、その全體の重量のうちセメントとアスファルト乳剤(以下A乳剤と略称)が全體の50%を超える複合材料で、セメントの強度とアスファルトのたわみ性などを利用したものである。施工は、常温下で安全かつ能率的に行える。

#### b) 組織構造

各種CAMの標準配合を表-1に、練りまぜ方法を図-2に示す。配合Aは山陽新幹線以降温暖地において使われているものであり、配合B、Cは本研究によって東北、上越新幹線などの寒冷地用に開発されたものである。なお、表中に示した混和材には、A乳剤との混溶性を考慮したCSA系の膨張材を用いている。

CAM硬化体の組織は、巨視的には図-3に示すようにセメントゲル、アスファルト、細骨材の容積割合がそれぞれ約23、30、25%を占める多孔質系の不均質な多相構造になっている。なお、容積割合の算定にあたっては、養生温度20°Cの条件下で、CAM中のセメントと混和材が完全に水和し、かつA乳剤の分解も終了したとき、A乳剤中に含まれる水(A乳剤の40%)と練りまぜ時に添加する水の和のうち(セメント+混和材)の重量の25%が化学的結合水、15%が物理的に結合したゲル水の状態になると仮定<sup>11)</sup>、これらをセメントゲルに含め、残りを図中に水として示した。また、微視的に

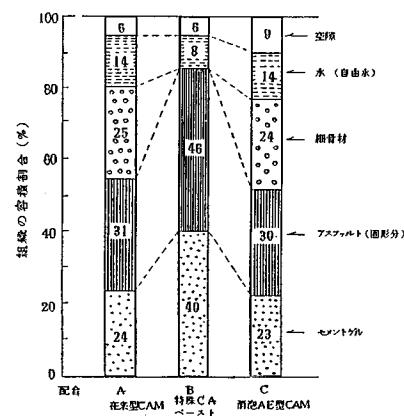


図-3 CA複合材料の組織構成

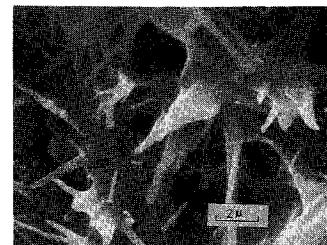


写真-1 CAMの結晶組織

は観察の結果、その組織構造は写真-1に示すように、アスファルトの被膜で覆われたセメント水和物が複雑に絡み合って三次元の網目状の骨格を形成し、その空隙の一部がアスファルトによって埋められているものであることが判明した。

#### c) 物性

i) 施工性 填充施工時のCAMは、軌道スラブ下部の間隙へ十分にゆきわたるように良好な流動性を保つことが必要である。流動性は、添加水の増減によって調節できるが、そのため多く水を必要とすることになる。しかし、このように多水量系の材料であるにもかかわらずCAMがもつチクソトロピー性により、細骨

材の沈積などに起因する材料分離は非常に少なく、ブリージングは全く認められない。

ii) 力学的特性 CAM はアスファルト混合物と同様に、その力学的特性は、載荷時の温度およびひずみ速度に依存する<sup>12), 13)</sup>。図-4 に配合 C の曲げ強度特性を示す。

iii) 乾燥収縮 CAM は組織内に多くの自由水を含み、乾燥収縮の増大が懸念されるため、CSA 系の膨張性混和材を使用している。その収縮補償効果を図-5 に示す。配合 A, C は混和材の膨張作用によって収縮量が低減し、通常の気象条件下ではその値はおむね  $1000 \times 10^{-6}$  程度になる。

一方、配合 B では上記の混和材および細骨材を用いていないため、配合 A, C と比べて収縮量が約 3 倍になることがわかった。

iv) 热特性 CAM の特性は乾湿の程度や環境温度に著しく左右される。熱線膨張係数は湿潤度が高く、低温下で、単位アスファルト量が多い場合ほどその値が増大する。熱伝導率は  $0^{\circ}\text{C}$  以下の温度で急増する。

通常の自然乾燥で  $0\sim 20^{\circ}\text{C}$  の温度範囲では、熱線膨張係数が約  $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、熱伝導率が約  $0.32 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 、比熱が約  $2.0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$  前後であり、コンクリートに比較するとそれ程約 2.5, 1/7, 2 倍程度で、アスファルトに近い特性を有している。

以上の i)~iv) 項に述べた検討から、CAM の特性にはアスファルトが大きな影響を与えることが明らかと

なった。

## (2) 耐寒性能に関する問題点

現場および室内での予備的検討から、寒冷地への適用上、耐凍害性等の以下に述べる 3 つの問題点が判明した。

CAM の凍害劣化は、コンクリートの場合と同様に硬化体の凍害と未硬化時や若材令時に問題となる初期凍害に区分して考えることとした<sup>14)</sup>。

### a) 凍害

東北地方等の寒冷地において、温暖時に試験敷設された在来型 CAM の外気に触れる表層部分に越冬後、深さ数 mm の範囲に組織のゆるみと局部的な崩落が生じた。

一方、本材を用いて水中急速凍結融解試験を行った結果、図-6 に示すように凍結融解 180 サイクルで凍害劣化を起こし、このとき硬化体組織内の気泡が凍結融解の繰返しによって大径側に移行する現象が観察された。これから、凍害による劣化機構については、コンクリートの場合と同様に水晶圧力の影響が支配的であることがわかった。

### b) 初期凍害

東北地方において冬期、 $-10\sim -18^{\circ}\text{C}$  の条件下で表-1 に示す配合 A, B, C の寒中施工試験を行った。その結果、材令 2 日の脱型時に、含水比の高い土の凍土上に類似した初期凍害の現象がみられ、寒中施工に対しては別途対策を講じる必要があることが明らかとなった。

### c) 耐ひびわれ性

CAM はアスファルトの影響を受け、図-4 に示すような温度依存性を有するため、低温域では降温時の収縮や凍結時の水晶圧力によりひびわれが発生しやすくなる。こうしたことから、CAM の温度依存性を小さくし、耐ひびわれ性を向上させる必要が生じた。

## 3. 改質の方針とその手法

### (1) 基本方針

前章までの知見から、下記のような組織構造と性能を

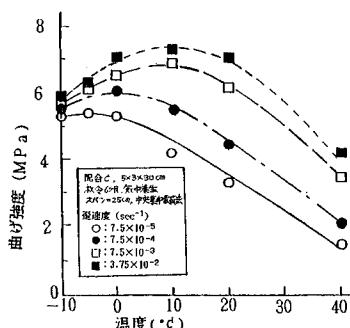


図-4 CAM の曲げ特性 (載荷条件の影響)

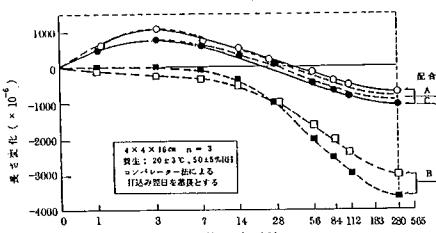


図-5 乾燥収縮

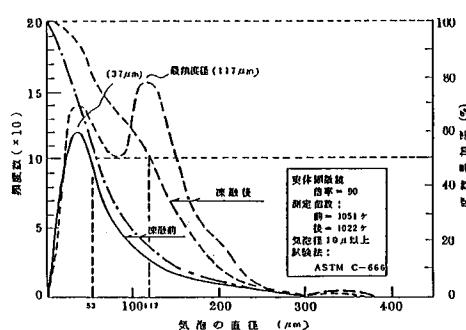


図-6 凍結融解試験前後 (180 サイクル) の在来型 CAM の気泡径分布

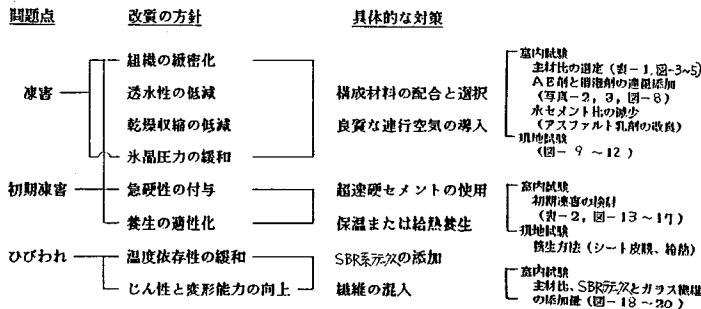


図-7 CAM の改質の方針

具備するようにCAMを改質するため、図-7に示すような基本方針を策定した。

以上の方針を踏まえ、主として材料と配合の面から30種類を超えるCAMに対して耐凍害性を中心とする検討を重ねた。その結果、表-1に示した配合B、Cが候補となり、さらに詳細な検討を行うことになった。

配合Bにおいては、合成樹脂とゴムを混入したA乳剤を用いることにより、組織の緻密化と温度依存性の改善を図り、また、砂や添加水を用いないことにより、凍害の原因となる自由水の減少、施工上の品質のばらつきを少なくすることを意図した。一方、配合Cにおいては図-6に示した実験結果に基づき、CAM中に微小な気泡を適量導入することにより水晶圧力を緩和し、凍害劣化を防止しようとした。これらのCAMの耐凍害性については4.(1)で詳述するが、結果として耐凍害性はいずれの配合も良好であった。しかし、配合Bは図-5に示したように乾燥収縮ひずみが大きく、経済性に問題のあることから、温暖時施工の場合には、配合Cを寒冷地用CAMの標準配合とした。こうした経緯から、本論では配合Cを中心に述べることとする。

## (2) 改質の手法

### a) 耐凍害性の向上

CAMの組織構造と凍害による劣化挙動を検討した結果、耐凍害性の向上には、微小な気泡の適量導入と水セメント比の減少が有効であると考えられたので、その方法を実験的に検討し、下記の手法を見出した。

i) 微小な気泡の導入 気泡の導入にあたっては、練りませ時にシリコン系消泡剤およびAE剤を適量添加して、比較的大径の抱き込み空気の破泡と微細化を図り、AE剤によって導入される気泡の量を安定化させることとした。なお、この場合、所定の空気量を確保するには、一般にコンクリートの場合に必要とされるAE剤の約80倍の量を要した。

気泡の量については、コンクリートの場合、一般に骨材の最大寸法が小さいものほど多くの空気量が必要とさ

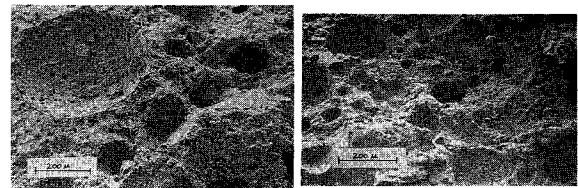


写真-2 配合Aの気泡状態 写真-3 配合Cの気泡状態  
(在来型CAM)

れることを参考にして、10%程度の空気量を目安として水中凍結融解試験を行った。その結果、4.において詳述するように空気量が8~17%の範囲で良好な結果の得られることが判明したが、施工性、強度等の条件を考慮して、実施工では空気量を9~16%の範囲に規制することとした。

なお、導入された気泡の状態は写真-3に示すとおりであり、配合Cでは配合Aに比べて微小な独立気泡(約20~200μm)が均等に分散し、かつその数が非常に多く、水晶圧力の緩和に効果的であると考えられた。

ii) 水セメント比の減少 A乳剤の製造時に添加する乳化剤や安定剤の改良によって、セメントや混和材との界面性状、混合性が改善され、所定の流動性を得るために必要な水セメント比を10%以上減少させることができた。

### b) 初期凍害の防止

寒天施工においては前項a)で述べた耐凍害性向上の手法に加え、超速硬セメントの使用と給熱養生を行い、耐初期凍害性を確保することとした。

### c) 耐ひびわれ性の改善

CAMの耐ひびわれ性を改善するためSBR系ラテックスの混入による温度依存性の低減、ガラス繊維の混入による韌性の向上等について検討した。

## 4. 耐凍害性に関する検討

### (1) 凍害に対する抵抗性

#### a) 水中急速凍結融解試験結果

i) 天然の気象条件下における凍害との相違 水中急速凍結融解試験 (ASTM C-666) は、天然の気象条件による凍害発生と比べ大幅に状況が異なる。すなわち、供試体は常時浸水の状態であり、凍結融解のサイクルが早く、かつ供試体寸法が小さいためきわめて厳しい試験条件となっている。さらに、CAM はコンクリートと比較して、前述のように熱線膨張係数、比熱が大きく、熱伝導率が小さいため、温度変化によって非常に大きな応力が繰り返して供試体内部に発生すると考えられる。

ii) 凍害劣化の状態 凍結融解試験において、コンクリートはスケーリング、ポップアウト等の劣化現象を呈するが、CAM の場合はコンクリートの場合と異なり、以下のような劣化の状況を示す。

配合 A (在来型 CAM)…凍結融解のサイクル進行とともに表層から膨潤し、しだいに内部へ進行するが、膨潤部分の剥落は非常に少ない。また、相対動弾性係数は、200 サイクル前後で 60 % 以下となる。

配合 B (特殊 CA ベースト)…供試体の膨潤は表層 1 ~3 mm の範囲に限られ、300 サイクルの試験終了後も健全な状態にある。しかし、供試体によっては、ほとんど劣化が認められない状態で、突然に供試体の中央部附近から横割れ、または縦割れを起こす場合がある。その破断面はいずれも健全な状態で、ひびわれが年輪状に進展した軌跡を残している。これは、温度応力により供試体外周部にひびわれを生じ、その後同部へ水が浸入し、氷結膨張時のくさび作用により供試体が破壊したことを見たものではないかと推測された。

配合 C (消泡 AE 型 CAM)…いずれの供試体も総じて表層部から 1~3 mm の範囲で膨潤するが、剥落はほとんど認められず、内部は健全な状態にある。相対動弾性係数は 300 サイクルの試験終了時でおおむね 80 % 以上の値が得られた。

iii) 気泡の影響 耐凍害性に及ぼす気泡の影響について実験を行った結果を図-8 に示す。結果から以下の点が明らかとなった。

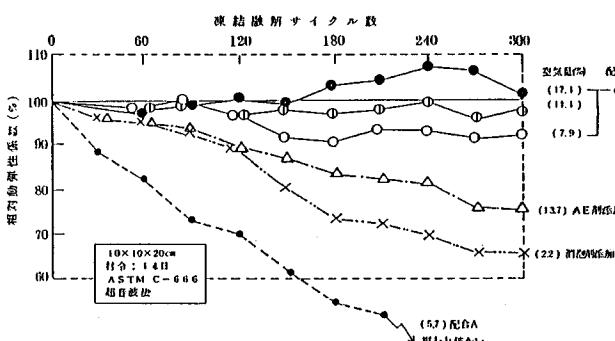


図-8 連行空気量が耐凍害性に及ぼす影響

気泡の質…配合 A はエントラップドエアーを通常 5~10 % 程度含んでいるので、その破泡と微細化を目的として消泡剤だけを (セメント+混和材) の重量に対して 0.1 % 添加した。その結果、空気量は 2.2 % に減少し、耐凍害性が幾分改善された。

気泡の量…AE 剤だけを (セメント+混和材) の重量に対して 3 % 添加し、13.7 % の空気量を導入した。この場合、耐凍害性は相当に向上するが、ミキサの回転数、環境温度、乳剤の銘柄などによる空気量のばらつきが著しく、かつ練りませ経時に伴って空気量が急増するため、その制御が困難であった。

気泡の質と量…上記の問題を解消するため、消泡剤と AE 剤を併用し、気泡の質と量を制御した。その結果、空気量が 8~17 % の範囲では耐凍害性が向上し、またこの傾向は空気量が多いほどより顕著になることが確認された。

### b) 現場における確認試験

以上の室内的検討によって選択された配合 B および C を用いて、東北新幹線において春、夏、秋期に、ミキサ直接注入およびポンプ圧送の両方式により実用規模での試験施工を行った。並行してそのときに採取した供試体 (10×10×20 cm) の水中急速凍結融解試験を実施した。その結果を一括して図-9 に示す。

i) 配合 B a), ii) 項で述べた室内試験の結果と同様に健全な状態で、突然に中央部で割裂を起こすものがみられたが、これは試験条件の影響と考えられ、耐凍害性は良好であると判断された。

ii) 配合 C 各季の施工を通じ、いずれの供試体も凍結融解 300 サイクルにおいて相対動弾性係数でおおむね 80 % 以上、重量増加率で 8 % 以下の数値が得られ、表層の剥落もほとんどなかった。

### (2) 散水区間での耐候性劣化

#### a) ウェザーメータ試験

CAM は供用中に日光、空気、水などの作用を受けるので、サンシャインウェザーメータを用いて JIS A

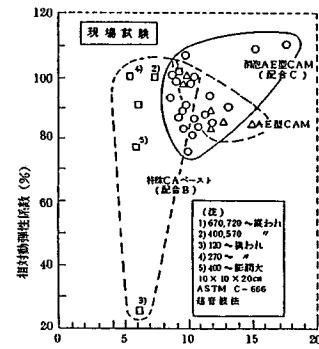


図-9 CA 複合材料の相対動弾性係数

1415による促進耐候性試験を実施し、耐候性を検討した。

i) アスファルトの紫外線劣化 アスファルトは紫外線による酸化重合、熱による揮発性成分の蒸発や酸化などの作用で劣化する。CAMは組織構造が複雑なため、耐候性劣化の現象を単純にはとらえにくいので、ここでは細骨材を含まないCAペーストについて赤外線吸収スペクトルの変化を調べた。その一例を図-10に示す。すなわち、その劣化性状は波数 $1700\sim1800\text{ cm}^{-1}$ 付近にショルダーピークとして現われており、照射50時間からその徴候が認められ、1000時間ではかなり顕著となる。しかし、その変化の認められる深さは露出面から0.3~0.5mmの範囲にとどまっていたので、軌道スラブ支持物としての機能には支障がないと考えられる。

ii) 強度の変化 紫外線照射の経時に伴うCAM(配合C)の圧縮、曲げ強度の変化を図-11に示す。この図において、照射経時とともに圧縮強度は幾分増加する傾向が認められるが、これは高温と湿潤の繰返しによる試験条件下でセメントの水和とアスファルト乳剤の分解が促進されたこと、また、曲げ強度が横這いの傾向を示すことは、本試験の条件下では紫外線によるアス

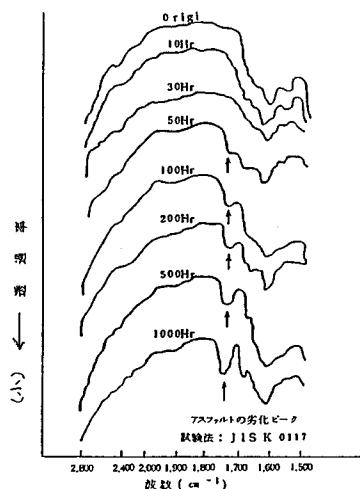


図-10 CAペーストの赤外線吸収スペクトル

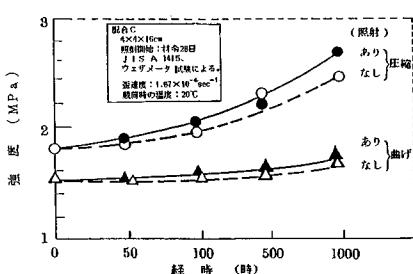


図-11 促進耐候性試験の経時と強度の関係

タルトの劣化について問題がないことを示唆するものと判断された。

#### b) 現場における散水暴露試験

上越新幹線の浦佐地区高架橋上において、消雪用散水区間(連続散水5日間/週)に配合A, B, Cの供試体およびこれらの供試体に凍害防護のためのシールを施した供試体(計6種)を2年間屋外暴露し、CAMの耐候性と防護材の効果を調査した。

i) 露出面の劣化 暴露2年においていずれの供試体も露出表面は灰白色を帯びているが、内部は健全な状態にあった。また散水による損耗および凍害による組織弛緩の形跡は、全く認められなかった。

ii) 圧縮、曲げ強度の変化 いずれの供試体も、暴露1年までは両強度が増進し、暴露2年ではほとんど変化が認められなかった。

iii) 組織構造の変化 暴露2年における供試体の表層約3mmの部分から採取した各試料に関する組織構造の微視的な変化について検討し、以下の結果を得た。

細孔分布…水銀圧入式ポロシティメータによる細孔分布の経年変化の一例を図-12に示す。この図から、経年により配合Aは $7500\text{ Å}$ 以下、配合Bは $750\text{ Å}$ 以下、配合Cは $24000\text{ Å}$ 以下の小さい空隙が減少するが、その反面上記より大きい径の空隙が増加する傾向が認められた。これは、前者は水和反応の進行によって硬化セメントペーストにおいて凍害劣化と相関性が高いといわれている細孔(凍結可能水を含有している毛細管空隙)の一部がセメントゲルで埋められたこと、後者は可溶性のセメント水和物(水酸化カルシウムなど)が外部へ若干溶出したことを示すものと考えられた。

ソックスレー抽出物の収支…ソックスレー器によるアスファルト抽出試験において抽出残渣量は経年によってわずかに増加する程度であることから、散水や降雨によるセメント水和物の溶出は無視できる程度であり、太陽光線などによるアスファルトの揮発成分(レジンや油な

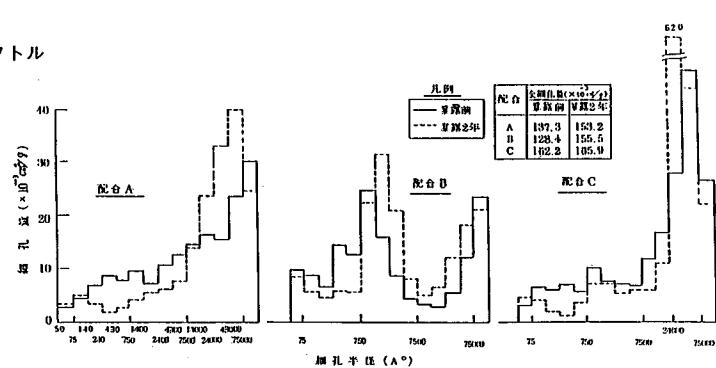


図-12 散水区間における暴露前後の細孔分布の変化

ど)の発散もきわめて僅少であることが明らかとなった。赤外線吸収スペクトル…赤外分光分析法(JIS K 0117)による暴露前後の各試料に関するアスファルトの性状の変化はほとんど認められなかった。このことは、CAM組織内でアスファルトは紫外線、熱、大気中の酸類に対して安定していることを示したものと考えられる。

X線回折…結晶組織の分析に用いるX線回折装置により、試料中に含まれる主な鉱物の暴露前後の組成変化を測定した。その結果、セメントに関係のある未水和のアリットとペリットの残存、水和物のCa(OH)<sub>2</sub>、エトリンガイト、モノサルフェート、CaCO<sub>3</sub>の各回折強度は配合A、B、C間にかなりの差異が認められたが、同一の配合間での経年変化はほとんど認められず、CAM中の鉱物は安定しているものと考えられた。

走査型電子顕微鏡写真…倍率26, 260, 2600, 5000倍の写真において、低倍率のものでは配合Aだけに深さ約1mmほど凍害による組織弛緩の痕跡が認められた。高倍率のものではセメント水和物の結晶生成とアスファルトの被覆、填充の状態が観察された。

iv) 凍害防護材の効果 各配合の供試体をウレタン系シール材など数種類の防護材で完全に被覆し、上記の上越および北海道の旭川地区で暴露試験を行った。いずれの防護材も暴露2年で相当に変色し、脆化あるいは破損を生じ、耐候性が必ずしも十分でなかった。また防護材に接するCAMの界面部組織が膨張、弛緩した状態で劣化することなどが判明し、適切な防護材の選択は困難であると考えられた。

### (3) まとめ

上述したCAMの凍結融解試験結果、散水暴露試験の結果から、表-1に示すCAMのうち配合Cは他の配合のCAMより良好な耐凍害性を示すことが認められた。しかしながら、①一般にコンクリートにおいては、凍結融解試験の結果から、実際のコンクリート構造物の耐用年数を推定することは困難であり、コンクリートの耐凍害性の確保には設計、施工を含めた総合的な見地から対策を施す必要があるとされていること、②散水暴露

試験の期間も短く、CAMの耐凍害性に関する確認も十分でないこと等から、図-1に示すようにスラブ軌道のCAMの下に路盤コンクリートを設け、CAMに長期間滞水することのないよう、設計、施工上配慮した。

その結果、配合CのCAMは東北、上越新幹線において施工後約10年を経過した現時点において、一部の区間において施工不良等の原因で凍結融解作用による劣化現象がみられるものの全般的には満足すべき状態を維持している。こうしたことから、配合CのCAMは適切な設計、施工を行えば、東北、上越地区の寒冷地において十分な実用性を有することが明らかとなった。

## 5. 初期凍害に関する検討

寒中施工において問題となる初期凍害に対処するためCAMに対する微小な気泡の導入、急硬性付与による耐初期凍害性の確保などについて以下の検討を行った。

各試験に用いた超速硬性CAMの標準配合を表-2に示す。

### (1) 若材令時の強度と凍害劣化の関係

超速硬セメントを用いたCAM(配合D)に関する水中急速凍結融解試験開始時の圧縮強度と凍害劣化サイクル数(相対動弾性係数が60%以下または表面劣化深さが1cm以上となる凍結融解回数)の関係を空気量をパラメーターとして図-13に示す。この図から、空気量が多く、圧縮強度の大きいものほど凍結融解による劣化サイクル数が増える傾向が認められる。総じて圧縮強度が約1MPaに達すると耐凍害性は相当に向上することが判明した。

### (2) プログラミング養生による初期凍害

a) 超速硬セメント型CAM(配合D) 冬季の温度条件を考慮して5°Cから-10°Cの24時間サイクルのプログラミング養生を行った。この場合、圧縮強度の発現は、図-14に示すように10°C一定養生の場合と比較して若材令時には著しく劣るが、材令28日にはかなり近接する。プログラミング養生の供試体を材令14日から凍結融解試験を開始した場合、図-15に示すよう

表-2 寒中施工用CAMの標準配合(1m<sup>3</sup>当たり)

種別	セメント	混和剤	アスファルト乳剤	細骨材	水	アルミニウム粉	凝結調節剤	消泡剤	AE剤
配合	呼称	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
D	JCAM	303	-	485	606	91以下	0.04	1.21	0.15
E	QCAM	247	61.8	494	618	77以下	0.04	4.33	0.15

注) 水、アルミニウム粉末、凝結調節剤の添加量は施工条件に応じて増減すること。

[使用材料] 配合D: ジェットセメント…市販品、アスファルト乳剤…A'乳剤。

凝結調節剤…ジェットセッター。配合E: 普通セメント…市販品、混和剤…急硬AM、アスファルト乳剤…A"、凝結調節剤…AMセッター。その他材料は表-1と同じ。

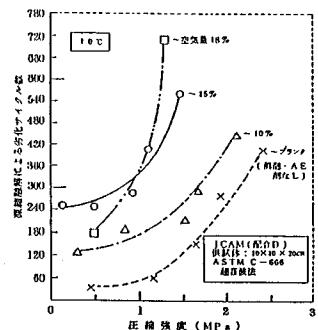


図-13 若材令時の圧縮強度と凍害劣化サイクルの関係

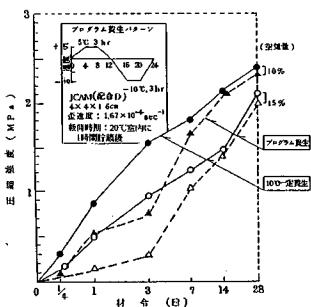


図-14 プログラム養生時の強度発現

に  $10^{\circ}\text{C}$  一定養生を行った供試体に比べて耐凍害性が劣る。その傾向は空気量が少ない場合に著しい。

b) 急硬性混和材型 CAM (配合 E) 配合 E と表-1 に示した配合 C の 2 種類の CAM を図-16 に示す温度条件により養生した。この場合、配合 E の強度は、 $20^{\circ}\text{C}$  標準養生の場合と比較してほとんど差が認められないが、配合 C の場合、注入 6, 12 時間後に凍結させると強度は低下するようであった。これらの供試体を用いて材令 21 日から凍結融解試験を行った。その結果、図-17 に示すように配合 E の供試体は、良好な耐凍害性を示したが、配合 C の場合は満足すべき結果が得られなかった。これから、急硬性の付与が初期凍害の防止に非常に有効であることがわかった。

### (3) 現場における確認試験

東北地方において、厳寒期に代表的な CAM (配合 B, C, D, E) について、現場施工試験を実施した。現場採取して、約 24 時間現地暴露後室内に放置した  $10 \times 10 \times 20 \text{ cm}$  成形供試体、および注入後 48 時間シート養生と給熱養生 (鋼製型枠の外側に  $3 \text{ kWh}/25 \text{ m}$  の電熱線を 2 重に巻いてガラス繊維断熱材で被覆) した  $5 \times 5 \times 10 \text{ cm}$  現場剥離供試体 (注入施工後、採取したコア供試体) について材令 28 日から凍結融解試験を行った。そ

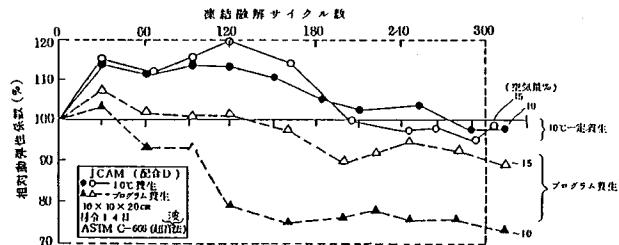


図-15 プログラム養生後の耐凍害性

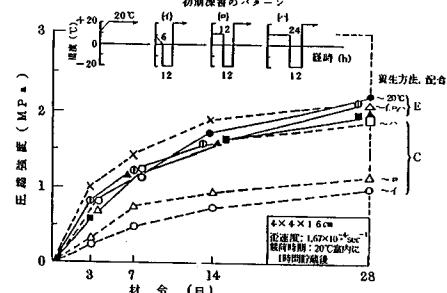


図-16 初期凍害後の強度発現

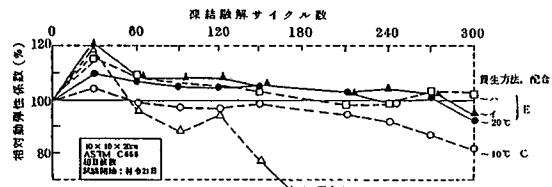


図-17 初期凍害後の耐凍害性

の結果、急硬性を付与した配合 D, E の供試体はいずれも 300 サイクルの試験終了後においても相対動弾性係数が 70 % 以上であり、十分な耐凍害性を有していた。また、剥離供試体の結果から  $-5^{\circ}\text{C}$  前後の外気温度ではシート養生でも十分であり、それ以下の外気温度では給熱養生を 48 時間程度実施することにより、初期凍害を防ぎ得ることが把握された。

以上に述べた検討から、CAM の耐初期凍害性を確保するには、おおむね  $1 \text{ MPa}$  以上の圧縮強度が必要であること。また、超速硬性 CAM は寒中施工用として十分な実用性を有すること等が明らかとなった。

## 6. 耐ひびわれ性に関する検討

CAM の耐ひびわれ性を向上させるため、CAM の温度依存性と韌性の改善について種々検討した。

### (1) SBR 系ラテックス添加の効果

温度依存性が大きいアスファルトの性状を改善する方

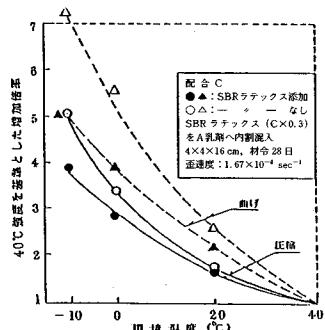


図-18 SBR系ラテックス添加の有無と強度の温度依存性

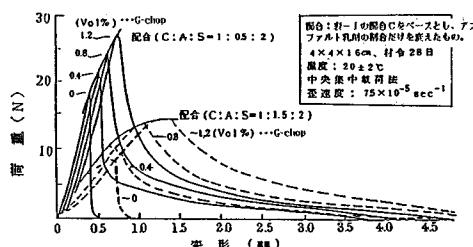


図-19 ガラス繊維混入CAMの曲げ特性

策として、SBR系ラテックスをA乳剤中へ内割添加した。その結果、圧縮および曲げ強度は図-18に示すように、SBR系ラテックスの添加によって温度依存性が鈍化することが明らかとなった。

## (2) ガラス繊維混入の効果

韌性向上のため、耐アルカリ性ガラス繊維のチョップドストランド ( $l=12\text{ mm}$ ) を混入することを試みた。

結果の一例を図-19に示す。なお、本図中では、配合C [セメント(C), A乳剤(A), 細骨材(S)]の混合割合 $C:A:S=1:1.6:2$ を基本とし、A乳剤の混合割合だけを変化させた配合 $[C:A:S=1:(0.5 \text{ or } 1.5):2]$ についての結果を示しているが、いずれの配合においてもガラス繊維の混入率の増加に応じて曲げ強度と破壊時の変形能力が増大する傾向が認められた<sup>15)</sup>。

さらに、SBR系ラテックスとガラス繊維の混入が耐凍害性に及ぼす影響を検討した。結果を図-20に示す。本図中には、表-1に示した配合A, CのCAM、配合Cにガラス繊維を混入したCAM(配合G)および配合Gに用いたA乳剤中にSBR系ラテックスを混入したCAM(配合P)の結果を示している。これから、ガラス繊維とSBR系ラテックスの混入により、耐凍害性がさらに改善されることが明らかとなった。

## 7. 結論

CAMの耐寒性能の向上について実験的な研究を行った。主な結果を要約すると以下のとおりである。

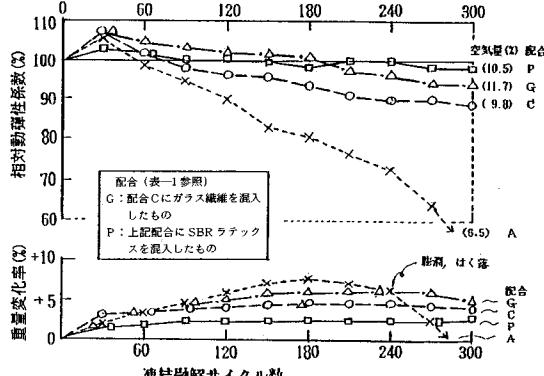


図-20 SBR系ラテックス、ガラス繊維混入CAMの耐凍害性

(1) CAM硬化体の組織構造や基礎的な物性を解明し、性能改善の端緒を見出した。

(2) 耐凍害性に優れる消泡AE型CAMが開発され、東北、上越新幹線等寒冷地のスラブ軌道への適用が可能となった。

(3) 耐初期凍害性の良好な超速硬性消泡AE型CAMを開発した。これは、寒中施工用として一部の現場に使用されている。

(4) 耐ひびわれ性の改質手法として、ポリマー添加による温度依存性の純化効果とガラス繊維混入による韌性の向上効果を明らかにした。これは寒冷地や苛酷な荷重作用を受ける箇所などに使用されている。

また、本研究によって上述の各CAMに関する施工方法を確立し、また施工後の追跡調査からそれぞれ所期の性能を示していることを確認した。さらに、いずれの填充材も比較的経済性に富んでいることを追記する。

最後に本研究の実施にあたっては旧国鉄、鉄道建設公団ならびに関連業界の方々にご協力頂いたことを記し、謝意を表する。

## 参考文献

- 佐藤 裕・樋口芳郎：道床部に着目した新軌道の開発、土木学会論文集、No. 184、1970年12月。
- 渡邊信年・安部成博：国鉄におけるスラブ軌道とアスファルト、Asphalt, Vol. 18, No. 100, pp. 63~67, 1975年。
- 佐々木直樹：新幹線のスラブ軌道、鉄道施設協会、昭和53年12月。
- 省力化軌道構造研究グループ（主査：渡邊信年）：寒冷地スラブ軌道用CAモルタルの改良、鉄道技術研究所速報、No. 78-65, 1978年5月。
- 渡邊信年：東北、上越新幹線用スラブ軌道の技術的検討、鉄道技術研究報告、No. 1360, 1987年3月。
- 原田 豊・鳥取誠一・板井則之・野戸崇治：耐凍害性セメントアスファルトモルタルの開発に関する研究、鉄道技術研究報告、No. 1208, 1982年3月。

- 7) 渡邊信年：東北、上越新幹線におけるスラブ軌道の適用に伴う問題点とその解決、土木学会論文集、No. 385/VII-7（報告）、1987年9月。
- 8) 鳥取誠一・板井則之・原田 豊：寒中施工型セメントアスファルトモルタルの開発試験、鉄道技術研究所速報、No. A-83-131、1983年10月。
- 9) 原田 豊・鳥取誠一・板井則之：スラブ軌道用繊維補強CAモルタル、鉄道技術研究所速報、No. 82-1012、1982年5月。
- 10) 宮田尚彦・板井則之・鳥取誠一：スラブ軌道用ポリマー繊維補強セメントアスファルトモルタルの開発試験、鉄道技術研究所速報、No. A-84-119、1984年7月。
- 11) W. チェルニン（徳根吉郎訳）：建設技術者のためのセメント・コンクリート化学、技報堂、1969年。
- 12) 渡邊信年・宮田尚彦・鳥取誠一：セメントアスファルトモルタルの圧縮、曲げ強度特性、土木学会第42回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 128～129、1987年9月。
- 13) 樋口芳朗・塙尻謙太郎・中村利夫・今村義和：セメントアスファルト複合材料の性質とその応用、セメントコンクリート、No. 364、pp. 10～16、1977年6月。
- 14) 洪 悅朗・鎌田英治：コンクリートの凍害と初期凍害、コンクリート工学、Vol. 16、No. 5、pp. 1～11、1978年5月。
- 15) 中村利夫・小林建次・原田 豊：ガラス繊維補強セメントアスファルトモルタルの曲げ特性、土木学会第42回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 126～127、1987年9月。

(1988.12.20・受付)