

## アスファルト混合物の水路補修材への適用性検討その2

## - 付着性に関する検討 -

Application of Asphalt Mixtures to the Repair Materials in the Waterways

北電総合設計㈱ ○ 正会員 岡島 尚司 (Naoji Okajima)

北海道電力㈱ 正会員 遠藤 勉 (Tsutomu Endo)

北海道電力㈱ 正会員 村田 浩一 (Koichi Murata)

## 1. はじめに

土砂混入量の多い水路では、主に敷部が洗掘摩耗を受け、その程度が拡大すると構造物自体の機能性および安全性が損なわれるため補修が必要となる。

このような損傷および損傷箇所に適用する補修材として筆者らは、①養生期間が短い、②耐摩耗性に優れる、③コンクリートに比べ薄層での施工が可能、といった特徴を有するアスファルト混合物に着目して、検討を進めてきており、耐摩耗性ならびに施工時の耐流動性に関する検討などを既報<sup>1),2)</sup>において報告している。

本検討は、室内試験で良好な結果を得たアスファルトバインダーを使用して実物大規模の模擬試験により施工性および品質を検証した結果について述べるものである。

## 2. 検討内容

一般に、劣化の程度が拡大し補修を必要とする水路トンネルは、供用後の経年期間が長いことから、湧水箇所も多く湿潤での作業となる。従来からアスファルト混合物の舗設においては、母材コンクリートとの付着性をいかに確保するかが課題であり、また、水路内に生じる掃流摩耗作用に対してどの程度の付着性能が必要であるのか評価基準が明らかにされていない。

検討は、コンクリート同士の引張強度を基準に、直接引張試験により湿潤コンクリートに対して付着性に優れたアスファルトバインダーを選定した。この結果を受けて、実水路にアスファルト混合物を適用させるために、材料特性を把握し施工方法(転圧条件)を検討した。次に実物大の水路敷コンクリートの断面形状および表面状態を再現して施工性評価を行ったのち、付着性について直接引張試験を実施したものである。

## 3. 室内試験

## 3.1 室内試験の概要

付着性は、母材コンクリートとアスファルト混合物の直接引張試験から得られる引張強度により評価した。試験状況を写真-1に示す。

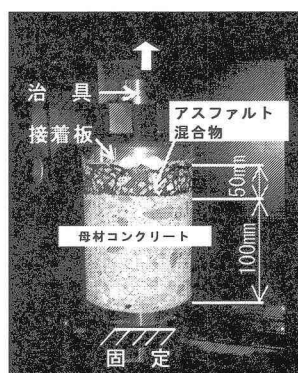


写真-1

## 3.2 使用材料および配合

検討に使用したアスファルトは、針入度の異なる2種類のアスファルトおよびSBS系改質アスファルトとした。表-1に各アスファルトの物理性状ならびに供試体作製温度を示す。

表-1 アスファルトの物理性状

As 種類	針入度 (1/10mm)	軟化点 (°C)	混合温度 (°C)	締固温度 (°C)
St. As. 60/80	69	46.5	148~153	136~141
改質 As.	55	62.0	170~180	155~165

アスファルト混合物の配合は、既往の成果を参考にアスファルト量を変化させたものである。検討に使用した骨材粒度を表-2に示す。

表-2 混合物のアスファルト量および合成粒度

As量 (%)	合成粒度(通過重量百分率%)						
	13.2mm	4.75mm	2.36mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	0.075mm
8, 10, 12	100.0	77.9	59.7	38.5	26.6	16.4	11.5

## 3.3 供試体作製と試験方法

供試体は、予め用意した母材コンクリート(φ100×100mm)を型枠内に設置したのち、アスファルト混合物を手練り混合後に投入し、ジャイレトリーコンパクタ(旋回角:1.88°, ラム圧:200kPa, 旋回回数:30回)により作製した。なお、母材コンクリートは、打設から24時間経過後に脱型し、金ブラシで粗骨材の凹凸が目視確認できる程度まで付着面をチップングしたあと材齢28日目まで水中養生した。次にエポキシ樹脂系の接着剤(引張強度=9.81MPa)を供試体と接着板に塗布し、室温で24時間以上硬化させ、接着板を介して引張力を与え引張強度を求めた。なお、試験温度は15°C、載荷速度はコンクリートの引張強度試験方法(JIS A 1113)に準拠し0.4~0.5MPa/minとした。また、比較検討用として母材コンクリート(圧縮強度=23MPa)と補修コンクリート(圧縮強度=28MPa)の引張強度ならびにアスファルト混合物(アスファルト量=10%)の引張強度を求めた。

## 3.4 検討内容

付着性に優れたアスファルトバインダーを選定するにあたり以下の項目が付着性に与える影響について検討した。

母材付着面の状態、アスファルト量、アスファルトの種類、接着剤の種類。

## (1) 母材付着面の状態と引張強度

本検討では、母材コンクリートの表面状態の違いによる付着性への影響を把握するために、母材コンクリートの付

着面の状態を表-3に示す方法で変化させて試験を実施した。試験結果を図-2に示す。

表-3 付着面状態の作製方法の概要

付着面の状態	試験方法
湿潤状態 (15℃)	母材コンクリートを48時間水浸させて水槽から引き上げたのち速やかに型枠内に設置し混合物を投入。
乾燥状態① (15℃)	21日以上気乾させた母材コンクリートをそのまま型枠内に設置し混合物を投入。
乾燥状態② (100℃)	21日以上気乾させた母材コンクリートを100℃で6時間加熱したのち速やかに型枠内に設置し混合物を投入。

試験の結果、湿潤状態に比べると乾燥状態の方が大きな引張強度が得られた。これは、湿潤状態での試験では付着面の水分によりアスファルト混合物の温度が急速に低下したためと考えられる。また、乾燥状態①と②の比較において、乾燥状態②の方が小さな値を示しているのは、加熱状態に長時間置かれたためコンクリートに劣化が生じたものと考えられる。

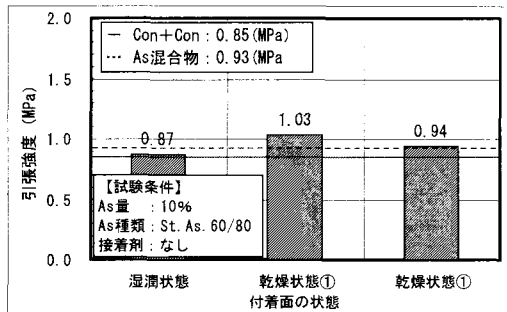


図-2 付着面の状態による影響

### (2) アスファルト量と引張強度

本検討では、アスファルト量の違いによる付着性への影響を把握するため、アスファルト量を8, 10, 12%と変化させて試験を実施した。

試験の結果、検討で実施したアスファルト量の範囲においては、アスファルト量が少なくなるほど引張強度が大きくなった。これは、アスファルト混合物の余剰アスファルト分がある水準を超えて多くなると締固効果が付着面まで十分に伝達されなくなるためと考えられる。(図-3参照)

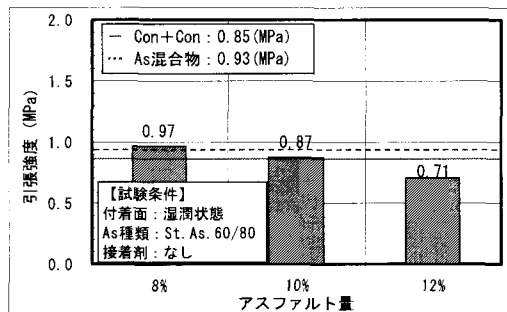


図-3 アスファルト量の違いによる影響

### (3) アスファルト種類と引張強度

本検討では、使用するアスファルトの種類の違いによる付着性への影響を把握するため、表-4に示す物理性状の異なる4種類のアスファルトを使用して試験を実施した。なお、改質As.②ならびに改質As.③の供試体は、150℃で添加剤を溶解させたのち5分間混合攪拌して作製した。

表-4 使用アスファルトの概要

使用As	内容
St. As. 60/80	St. As. 60/80
改質As. ①	SBS系改質As.
改質As. ②	St. As. 60/80に軟化剤を10%添加
改質As. ③	St. As. 60/80に界面活性剤を0.5%添加

試験結果を図-4に示す。試験の結果SBS系改質アスファルトのみSt. As. 60/80より大きな引張強度が得られた。

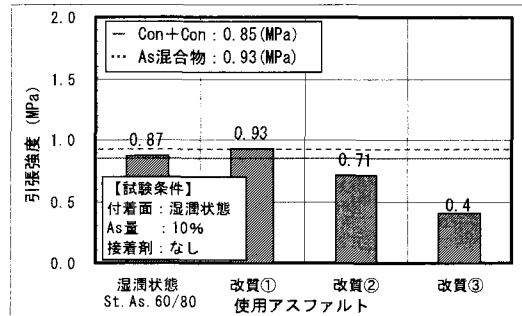


図-4 アスファルト種類の違いによる影響

### (4) 接着剤の種類と引張強度

本検討では、接着剤の使用による付着性への影響を把握するため、4種類の接着剤(表-5参照)を使用して試験を実施した。試験結果を図-5に示す。

表-5 接着剤および接着剤の塗布方法の概要

接着剤	接着剤塗布方法
接着剤なし	接着剤を塗布せずに合材を投入。
ペースト①	母材コンクリートに、水セメント比50%のセメントペーストを2mm塗布してから15分後(湿潤状態)に混合物を投入。
ペースト②	母材コンクリートに、水セメント比50%のセメントペーストを2mm塗布してから40分後(半乾燥状態)に混合物を投入。
カチオン系乳剤	母材コンクリートに、カチオン系乳剤を0.3mm塗布し、塗布直後に混合物を投入。
セメント入り乳剤	母材コンクリートに、セメント入り乳剤を1mm塗布し、塗布直後に混合物を投入。
エポキシ樹脂	母材コンクリートに、エポキシ樹脂を1mm塗布し、塗布直後に混合物を投入。

試験の結果、3種類の接着剤は、接着剤を使用しない試験ケースと比べて65~80%程度の引張強度であった。また、セメントペーストを使用した場合も、接着剤を使用しない場合と同程度の引張強度であった。

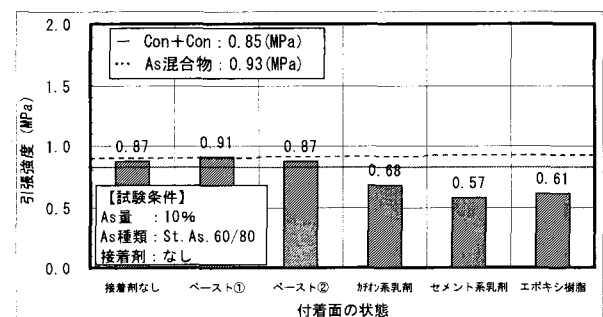


図-5 接着剤使用による影響

## 3.5 検討結果

検討の結果、最も引張強度が大きいアスファルトパイプンダーは、SBS系改質アスファルトであり、基準としたコンクリート同士の引張強度を上回ることを確認した。

#### 4. 転圧条件の検討

##### 4.1 検討内容

舗設における課題は、混合物の温度低下である。施工の良否は、温度管理でほぼ決まることから、検討においてアスファルト混合物の温度低下を把握した。また、転圧機械は、水路トンネルでの作業性に優れ、一般の道路舗装工事に普及している振動プレート(自重 60kg, 起振力 1, 100kg)とし、転圧回数と密度の関係および以下に述べる検討結果を併せて転圧条件を定めた。検討した配合のアスファルト量は 10% であり、余剰アスファルトの影響で転圧時に振動プレートとアスファルトの付着が懸念されることから、検討ケースは、路盤紙を混合物の上に敷いて転圧するケースと混合物の上にジョーロで水を散水したのちに転圧するケースの 2 ケースとした。なお、検討において用意した型枠は、寸法 B: 400×W: 600×h: 30mm である。試験手順は、コンクリートスラブ(表面温度 13℃)の上に型枠を設置し、アスファルトミキサーで混合物を混合(175℃)したのち型枠内に角スコップで厚さ 30mm に敷均した。次に、混合物温度が 140℃ に低下したことを確認したのち、振動プレートで転圧し、翌日密度を測定した。なお、検討に使用した骨材の粒度および配合は模擬試験と同様である。

##### 4.2 検討結果

検討の結果、路盤紙を敷いたケースの密度は、転圧回数が 3 回を超えるとほぼ一定となった。また、散水して転圧したケースの密度は、路盤紙を敷いたケースに比べて増加が認められるものの、転圧回数 5 回と 7 回では、ほぼ同等となった。上記の結果から、付着防止措置は散水、転圧回数は 5 回とした。(表-6 参照)

表-6 転圧回数と密度の関係

付着防止措置	転圧回数(回数)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	空隙率(%)
路盤紙	1	2.259	3.5
	3	2.266	3.1
	5	2.263	3.3
	7	2.262	3.3
散水	5	2.274	2.8
	7	2.271	2.9

※転圧時混合物温度: 140℃

#### 5. 模擬試験

##### 5.1 模擬試験の概要

実物大の水路敷コンクリートの断面形状および表面状態を再現し、実施工で使用する転圧機械を使用してアスファルト混合物を転圧したのち、コアリングして直接引張試験を実施するものである。

##### 5.2 検討断面の役割

平面部検討の主旨は、アスファルト量、転圧温度、付着面の状態を変えて施工性を評価し、切取り供試体の密度・空隙率を測定し、水密性アスファルト混合物の基準値(空隙率 4% 以下)を判定するものである。

R 断面部検討の主旨は、既往の研究成果ならびに平面部での施工性を総合的に勘案して配合を絞込み、局部部での施工性を評価し、目標品質に対する検証を行うもの

である。(図-6 参照)

##### 5.3 使用材料および配合

使用アスファルトは、SBS 系改質アスファルトとし、配合と骨材粒度は、既往の成果を参考に表-7 に示すものとした。また、母材コンクリートに使用するコンクリートの呼び名は普通-27-8-25-N で、配合は、表-8 に示すものとした。

表-7 混合物のアスファルト量および合成粒度

As量(%)	合成粒度(通過重量百分率%)						
	13.2mm	4.75mm	2.36mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	0.075mm
8, 10	100.0	67.0	55.0	37.5	24.9	13.3	10.7

表-8 レディーミクストコンクリートの配合表

W/C(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				スランプ(cm)	空気量(%)
	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 C		
48.7	146	300	788	1,086	9.5	5.4

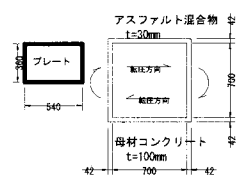
##### 5.4 供試体の作製方法

模擬試験供試体の母材コンクリートは、図-6 に示すとおり平面部、R 断面部とし、屋外においてレディーミクストコンクリートを打設した。コンクリートの表面処理は、打設終了 6 時間後に高圧洗浄機(吐出量 70kgf/cm<sup>2</sup>)を使用して、粗骨材の凹凸が目視確認できる程度までグリーンカットし、7 日間水中養生した。アスファルト混合物は、アスファルトプラントでアスファルト量 8% と 10% を 2 回に分けて製造し、専用の保温箱に投入したのちトラックで約 1 時間かけ現場に運搬した。到着した混合物は、温度測定後、試験ケース順に厚さ 30mm になるように型枠内で敷均し、熱電対で転圧温度になったことを確認したのち、振動プレートで転圧した。また、母材コンクリート付着面状態の再現方法については表-9 に示す手順で行った。

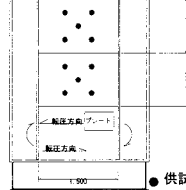
表-9 母材コンクリート付着面状態の再現方法

湿潤状態	乾燥状態
母材コンクリートを混合物舗設直前まで水中養生しておき、表面の水分をバキュームで吸引したのちジョーロで散水(水滴が目視できる状態)。	母材コンクリートを混合物舗設直前まで水中養生しておき、表面の水分をバキュームで吸引したのちバーナーで表面が 20~40℃ になるように乾燥。

平面部詳細図(上から見て)



R 断面部平面図



R 断面部断面図

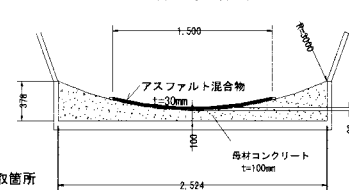


図-6 平面部・R断面部の概要図

R断面部の供試体は、舗設終了翌日にコアドリル(回転数 800rpm)でφ100mmのコアを5本採取し、前述した室内試験の供試体と同様の方法で作製した。なお、検討では舗装試験法 3-5-10 に準拠して載荷速度を 1kgf/cm<sup>2</sup>/s に見直し、インストロン万能試験機で試験を実施した。

### 5.5 模擬試験結果

#### (1) 施工性

試験の結果、事前に定めた付着防止措置において、全ての試験ケースで支障なく舗設できることを確認した。なお、舗設作業中に保温箱内を一定時間おきに検査した結果、アスファルト量 10%の試験ケースで余剰アスファルトが浮き、その後の施工性が半減したことから、実施にあたっては、事前検討の段階で材料分離によって施工に影響を与えないアスファルト量および骨材粒径の検討が必要であることを確認した。

R断面部においては、混合物の温度低下および敷コンクリート部(局面)での施工性を評価した。混合物の温度低下から定めた転圧回数は、図-7の結果より妥当と判断される。また、事前に定めた転圧条件で敷コンクリート部(局面)を舗設した結果、支障のないことを確認した。

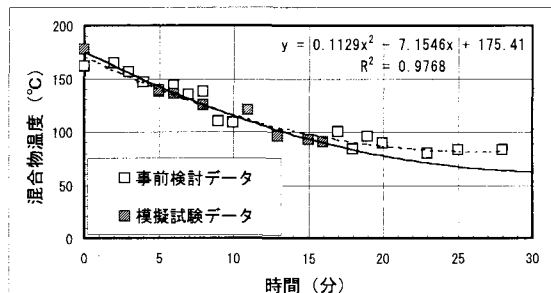


図-7 混合物の温度低下曲線

#### (2) 品質

全ての試験ケースにおいて基準値(空隙率 4%以下)を満たしていることを確認した。(表-10 参照)

表-10 模擬試験供試体の密度・空隙率

断面形状	As量 (%)	付着面の状態	転圧温度 (°C)	乳剤 (PK-4)	理論密度 (g/cm <sup>3</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	
平面部	8 (SBS系改質)	乾燥	100	なし	2.409	2.337	3.0	
			120			2.345	2.7	
			140			2.336	3.0	
		湿潤	140			2.327	3.4	
			100			2.308	1.3	
			100			2.296	1.9	
	10 (SBS系改質)	乾燥	100	なし		2.305	1.5	
			125			2.307	1.4	
		湿潤	140			2.340	2.313	1.1
			140			2.307	2.313	1.1
St. As. 80/100	乾燥	140	なし	2.409	2.348	2.5		
R断面部	8 (SBS系改質)	乾燥	120	なし	2.409	2.348	2.5	
			あり	あり	2.339	2.9		

模擬試験の締固度と室内試験の締固度について、ストレートアスファルトのアスファルト量 10%、転圧温度 140°Cの試験ケースにおいて空隙率を比較した結果、室内試験の空隙率 0.9%に対して模擬試験の空隙率は 1.1%であることから、ほぼ同等の締固度を得ているものと考えられ、転圧条件は妥当と判断した。(表-10, 11 参照)

表-11 室内試験供試体の密度・空隙率

締固機械	As量 (%)	転圧回数 (回)	転圧温度 (°C)	理論密度 (g/cm <sup>3</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)
ジャイレトリー コンパクト	10	10	140	2.351	2.289	2.6
		30			2.331	0.9
		50×2回			2.289	2.6
自動突固装置 (マーシャル用)	St. As. 60/80	50×2回			2.289	2.6

#### (3) 付着性

R断面部の直接引張試験結果を図-8に示す。試験ケースの設定は、平面部の施工性評価の結果を踏まえ、アスファルト量 8%-転圧温度 120°C-乾燥状態および乳剤の試験ケースに絞込み実施した。結果は、基準としたコンクリート同士の引張強度を上回っていた。なお、本検討では、乳剤(PK-4)散布による効果は認められなかった。

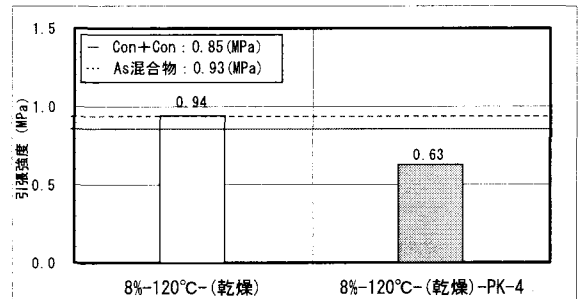


図-8 R断面部の引張強度

### 6. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

- ①アスファルト混合物と母材コンクリートとの引張強度は、一般的な補修材料であるコンクリートと同等以上であり、十分な付着性を有する。
- ②検討した配合および転圧条件により実水路での舗設が可能である。
- ③室内試験の締固度と模擬試験の締固度は、密度・空隙率よりほぼ同等であることが判明した。

### 7. おわりに

アスファルト混合物の水路補修材としての適用性検討のため、付着性に関する検討を実施した結果、室内試験で選定したアスファルトバインダーは、模擬試験においても同様の付着性能を有し、本検討で設定した条件において、実水路での舗設が可能であることを確認した。

今後は、水浸安定性の検討を実施するとともに、現場の条件に応じた合理的な施工方法および機械開発を視野に入れ、実水路での試験施工を通じて実用化を目指したい。

最後に、検討を進めるにあたり、ご指導ご協力頂いた北海道大学菅原名誉教授、コスモアスファルト㈱、道路工業㈱など関係者各位に感謝の意を表します。

#### [ 参考文献 ]

- 1) 横辻 幸, 村田 浩一, 岡島 尚司: アスファルト混合物の水路補修材への適用性検討-耐摩耗性の検討-, 北海道支部年次技術研究発表会, 2003
- 2) 中井 雅司, 村田 浩一, 岡島 尚司, 若本 貴宏: 無転圧アスファルト混合物の水路補修材への適用, 第 57 回年次学術講演会講演会 V-038, 2002
- 3) 舗装試験法便覧 財団法人 日本道路協会
- 4) 舗装工学 土木学会