

アスファルト

第51巻 第224号 平成20年10月発行

224

特集・ポーラスアスファルト舗装の破損と補修

ポーラスアスファルト舗装の現状と課題	加納 孝志	1
積雪寒冷地におけるポーラスアスファルト舗装の現状と課題	田高 淳	5
排水性舗装の骨材飛散程度の評価方法	上西 通	9
東京都におけるポーラスアスファルト舗装のポットホール対策	峰岸 順一	13
阪神高速道路における排水性舗装の現状	堀江 佳平・丹波 寛夫・久利 良夫	18
ポーラスアスファルト混合物の再生技術	新田 弘之	23
高機能舗装の再生利用	神谷 恵三	28
ポーラスアスファルト舗装の機能回復・維持作業の現状	増山 幸衛	32

<投稿論文>

ブローンアスファルトをベースにしたポリマー改質アスファルトの構造と力学的性質	町田 繁・田坂 茂・小嶋 徹・臼井 健一	38
<アスファルト舗装技術研究グループ・第56回報告>	佐々木 巖	42
「移動式たわみ測定装置」について - 舗装のたわみ測定装置の変遷 -	加納 孝志・岩永 真和・大場 拓也 塚越 智浩・永島 直紀・森嶋 洋幸	43
「PIARC 報告」TC4.3 - 道路工事が道路利用者および沿道環境に与える影響 -	市岡 孝夫・伊藤 大輔・岩岡 宏美 庄嶋 芳卓・焼山 明生	55
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料		69

ASPHALT

有限責任中間法人 日本アスファルト協会
THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

平素は当協会並びに機関紙「アスファルト」をご愛顧賜りまして誠にありがとうございます。
当協会は「アスファルト利用技術の向上に関する事業を行い、アスファルトに関連する産業の健全な発展に寄与する事」を目的とし、その観点から「投稿原稿」を募集しております。研究者の皆様、技術者の皆様に限らず幅広い方からの投稿を賜り、アスファルト利用技術の深化を側面から支援して参りたいと存じますので、よろしくお願い申し上げます。

なお、ご投稿頂ける場合は巻末に記載の問い合わせ先までご一報頂ければ幸甚でございます。

有限責任中間法人日本アスファルト協会 大木 俊太郎

ポーラスアスファルト舗装の現状と課題

(The Porous Asphalt Pavement in Japan)

加納 孝志*

雨天時の走行安全性や騒音低減効果を有する舗装として、ポーラスアスファルト舗装は、技術指針類の整備やポリマー改質アスファルトH型の開発などにより施工実績は急速に増加してきた。しかしながら、ポーラスアスファルト舗装は、比較的早期に発生する骨材飛散や基層のはく離破壊に伴う側方流動など特有の破損が散見されており、耐久性向上や効率的・効果的な破損箇所の補修に関する研究・開発が行われている。

本報では、直轄国道におけるポーラスアスファルト舗装の施工実績や騒音低減効果、破損事例など、現状と課題を整理して示す。

1. はじめに

ポーラスアスファルト舗装は、雨天時の走行安全性の向上やタイヤ/路面音の発生抑制などの機能を有する舗装として、昭和62年に東京都の環状7号線において初めて施工されて以降、施工実績が増加している。開発当初は、ポーラスアスファルト舗装技術に関する統一的な基準がなく、ポーラスアスファルト舗装の普及を図るために基準類の取りまとめが求められていた。このことを受け、(社)日本道路協会で検討が重ねられ、平成8年10月にポーラスアスファルト舗装の基本的な考え方とその標準を示した「排水性舗装技術指針(案)」(以下、指針案)が発刊された。指針案では、ポーラスアスファルト混合物に使用する材料やその配合設計方法、製造・施工方法などが示され、ポーラスアスファルト舗装は急速に普及していった。

しかしながら、近年ポーラスアスファルト舗装では、従来の密粒度アスファルト舗装にはない特有の破損が散見されており、その発生原因や予防対策、補修材料および補修方法に関する研究が多くなされている。

以下では、ポーラスアスファルト舗装の現状での評価と課題等について整理して示す。

2. ポーラスアスファルト舗装の現状

2.1 施工実績

直轄国道におけるポーラスアスファルト舗装の施

工実績の推移を図-1に示す¹⁾。直轄国道においては、平成7年頃からポーラスアスファルト舗装が施工量が増加し、平成17年度末現在で50kmに達している。これは、直轄国道全面積の約25%がポーラスアスファルト舗装に置き換えられていることとなる。

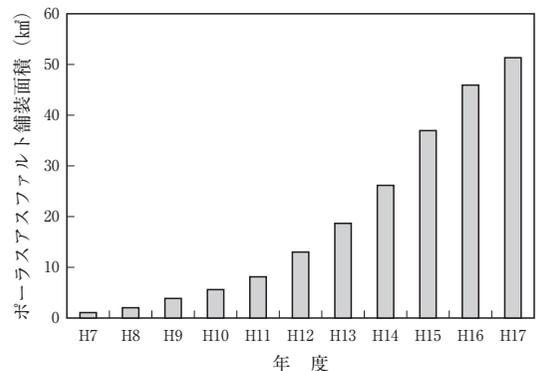


図-1 直轄国道における施工実績の推移¹⁾

また、高速道路においてもポーラスアスファルト舗装が積極的に採用されている。高速道路会社各社の平成18年度末現在の管理路線に占めるポーラスアスファルト舗装の整備割合は、50~70%程度に達している^{2, 3, 4, 5, 6)}。

2.2 ポーラスアスファルト舗装の種類

ポーラスアスファルト舗装にはタイヤ/路面音の発

*かのう たかし 独立行政法人土木研究所 舗装チーム

生抑制効果をより高めることを目的として、使用する粗骨材の最大粒径を小さくした“小粒径ポーラスアスファルト舗装”や異なる最大粒径のポーラスアスファルト混合物を上・下層に配置した“2層式ポーラスアスファルト舗装”などが実用化されている。表-1にポーラスアスファルト混合物の粒度範囲の例⁷⁾を、写真-1に2層式ポーラスアスファルト舗装の断面例⁸⁾を示す。

表-1 ポーラスアスファルト混合物の粒度範囲の例⁷⁾

最大粒径 (mm)	13	10	8	5	
ふるい目の開き	粒度範囲				
通過質量百分率 (%)	19.0mm	100	-	-	-
	13.2mm	90~100	100	100	100
	9.5mm	-	95~100	-	-
	8.0mm	-	-	95~100	-
	4.75mm	11~35	11~35	11~35	95~100
	2.36mm	10~20	10~20	10~20	10~20
	75μm	3~7	3~7	3~7	3~7
アスファルト量	4~6				

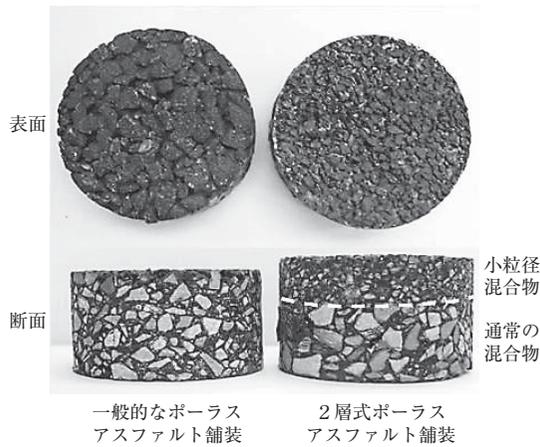


写真-1 2層式ポーラスアスファルト舗装の断面例⁸⁾

2.3 タイヤ/路面音の発生抑制効果の持続性

直轄国道における各種ポーラスアスファルト舗装のタイヤ/路面音の測定結果の例を以下に示す。

2.3.1 最大粒径の異なるポーラスアスファルト舗装

最大粒径13, 10, 8mmのポーラスアスファルト舗装の特殊タイヤ音の測定結果の例を図-2に示す⁹⁾。図から、各舗装とも供用月数の増加に伴って特殊タイヤ音は増加している。しかしながら、供用108ヶ月(9年)経過したポーラスアスファルト舗装の特殊タイヤ音は一般的な密粒度舗装の特殊タイヤ音(98dB)に比べ小

さく、ポーラスアスファルト舗装の騒音低減効果は長期間にわたり持続している。また、施工後初期の特殊タイヤ音は、使用する骨材の最大粒径が小さくなるに従って小さくなる傾向があるが、供用に伴い最大粒径の違いによる差は小さくなる傾向がある。

2.3.2 2層式ポーラスアスファルト舗装

2層式ポーラスアスファルト舗装の特殊タイヤ音の測定結果の例を図-3に示す⁹⁾。図から、各舗装とも供用月数の増加に伴って特殊タイヤ音は大きくなる傾向が見られるが、一般的なポーラスアスファルト舗装と同様に供用96ヶ月後の段階でも特殊タイヤ音は密粒度舗装に比べ小さくなっている。また、供用直後の特殊タイヤ音は最大粒径の違いによらず同程度であるが、供用に伴い最大粒径が8mmのものに比べ5mmの特殊タイヤ音が大きくなる傾向が見られた。これは、最大粒径が5mmのものは8mmに比べ空隙径が小さく、空隙詰まりや空隙つぶれが発生し易いためと考えられる。

2.4 環境騒音低減効果の持続性

直轄国道におけるポーラスアスファルト舗装の環境騒音(夜間)の低減効果の測定例を図-4に示す⁹⁾。図

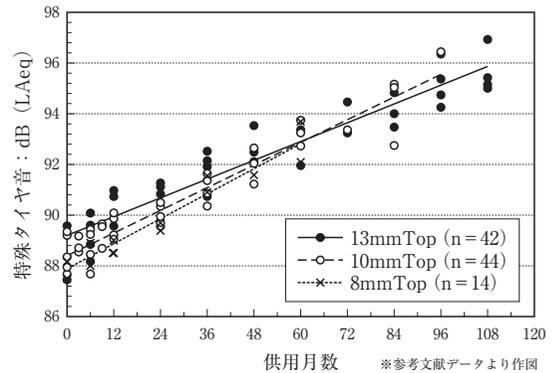


図-2 ポーラスアスファルト舗装の特殊タイヤ音⁹⁾

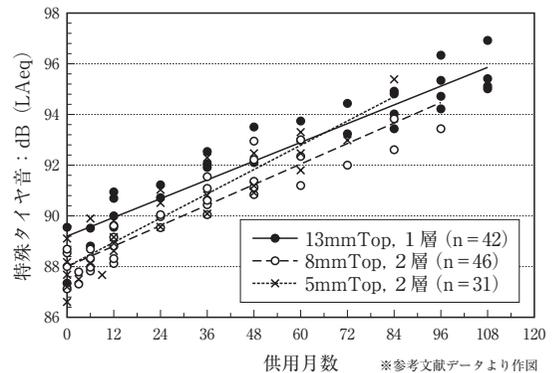


図-3 ポーラスアスファルト舗装の特殊タイヤ音⁹⁾

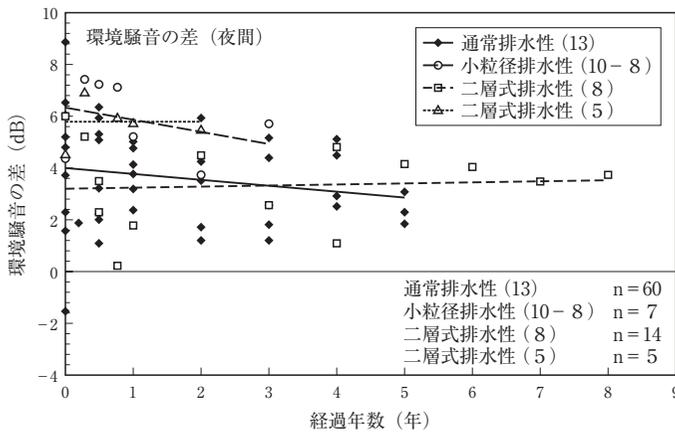


図-4 環境騒音の測定結果例⁹⁾

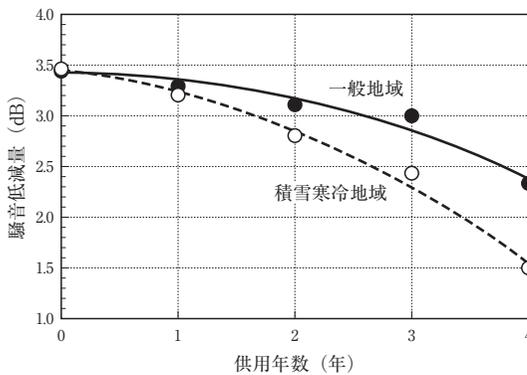


図-5 供用年数と環境騒音低減効果の持続性の関係¹⁰⁾

から、環境騒音の低減効果は、使用骨材の最大粒径や層構成によって差が見られるが、いずれの場合でも長期間にわたって持続することが確認されている。

また、図-5には一般地域と積雪寒冷地域での供用年数と環境騒音の低減効果の関係について調査した例を示す¹⁰⁾。図から、一般地域に比べ積雪寒冷地域の騒音低減効果が、供用2年目に降に小さくなる傾向が見られた。これは、積雪寒冷地域では、タイヤチェーンや除雪などによる骨材飛散や空隙詰まりが発生しているためと考えられる。

3. ポーラスアスファルト舗装の破損

道路管理者へのヒアリングや文献調査などから、ポーラスアスファルト舗装の早期破損形態などについて整理した結果を表-2に示す¹¹⁾。ポーラスアスファルト舗装で散見される早期に発生する破損の形態は、骨材飛散(写真-2)、ひび割れ、ポットホール(写真-3)、局所的な側方流動(写真-4)などの物理的な破損と空隙詰まりや空隙つぶれなどの機能的な破損に大別される。これらの破損は形態が同じ場合でも、発生原因は一様でなく、それぞれの場合を調査して対応する必要がある。

表-2 ポーラスアスファルト舗装の早期破損形態と原因、対応策¹¹⁾

破損形態	発生地点	原因となる要因	対策
骨材飛散 (骨材飛散が原因のわだち掘れも含む)	冬期チェーン 交差点部	磨耗	トップコート等の塗布
		施工温度	温度管理、施工時期の限定、中温化技術
		締固め度、方法	管理
		空隙率	空隙を20%から17~18%程度へ
		粒径	2.36mm通過量
ポットホール	高速道路橋面舗装部 冬期チェーン	油漏れ	確立されたものはなし。アスファルトの改質、樹脂系材料で対応か?
		基層滞水	はく離防止
		骨材飛散箇所の広がり	骨材飛散対策
局所的な側方流動	交差点手前部 単路部 切削オーバーレイ部	支持力不足	舗装構造の見直し
		基層はく離抵抗性	基層はく離抵抗性の改善、止水策
		表基層接着性	切削面の影響、乳剤の品質
		基層流動による破壊	基層DS
		浸水による支持力不足	基層以下の止水性
ひび割れ	単路部や交差点停車部	<ul style="list-style-type: none"> 側方流動が発生する条件と重なるものもある。 阪神高速では年とともにひび割れの件数が増えている。これはポットホールの発生と関係がありそうである。 	



写真-2 骨材飛散の発生例



写真-3 ひび割れ+ポットホールの発生例



写真-4 局所的な側方流動の発生例

4. おわりに

ポーラスアスファルト舗装が初めて施工されてから今日まで、機能性および耐久性の向上に関して検討が

続けられ、使用材料や配合、施工方法などの開発などにより、ポーラスアスファルト舗装の整備率は飛躍的に増加した。しかしながら、ポーラスアスファルト舗装の破損に対する安価でかつ効率的・効果的な補修方法などは確立されておらず、今後も検討してゆくことが必要である。

また、現在、ポーラスアスファルト舗装は本格的な更新時期を迎えつつあり、その再生利用技術について検討が行われている^{1)・12)}ものの、現状では確立されていないことから、早急な再生利用技術の確立が望まれている。

— 参考文献 —

- 1) (社)日本道路協会 環境・再生利用小委員会：排水性舗装発生材の再生利用技術確立に向けた直轄国道試験施工の中間報告，平成18年3月
- 2) 東日本高速道路株式会社：CSR Report 2007
- 3) 中日本高速道路株式会社：環境報告書2007
- 4) 西日本高速道路株式会社：環境レポート2006
- 5) 首都高速道路株式会社：環境レポート2008
- 6) 阪神高速道路株式会社：環境レポート2007
- 7) (社)日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年版），平成18年2月
- 8) 並河良治，吉永弘志，山本裕一郎，久保和幸，加納孝志：排水性舗装の騒音低減効果とさらなる機能向上を目指して，土木技術資料，Vol.50 No.2，pp.20-25，平成20年2月
- 9) 国土交通省関東地方整備局関東技術事務所：平成19年度舗装の管理及び性能指標に関する評価業務報告書－排水性舗装性能評価編－，平成20年3月
- 10) 加納孝志，久保和幸：直轄国道におけるポーラスアスファルト舗装の実態について，第27回日本道路会議論文集，論文番号，平成19年11月
- 11) (独)土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム：排水性舗装の破損特性に関する調査，土木研究所資料第4012号，平成18年4月
- 12) 佐々木徹，新田弘之，久保和幸，西崎到：排水性舗装発生材を再生利用した直轄国道試験舗装の路面性状変化，第27回日本道路会議論文集，平成19年10月

積雪寒冷地におけるポーラスアスファルト舗装の現状と課題

(Actual Condition and Issue of Porous Asphalt Pavement in Cold, Snowy Regions)

田 高 淳*

ポーラスアスファルト舗装は高規格幹線道路においては、安全走行支援を目的に施工され、市街地においては、沿道環境改善事業として一般国道で施工されている。積雪寒冷地である北海道では早期機能低下が問題となっており、現場透水機能は約2年程度で効果が無くなる状況となっている。機能低下要因としては、北海道特有の積雪寒冷な気象条件やそれに伴うタイヤチェーンの使用による路面の摩耗や除雪等が影響していると考えられる。本報告では、積雪寒冷地におけるポーラスアスファルト舗装の現状と課題について報告する。

1. 排水性舗装の現状

積雪寒冷地におけるポーラスアスファルト舗装の現状と課題を以下に述べる。

1) タイヤ/路面騒音の経年変化

ポーラスアスファルト舗装は沿道環境改善事業の対策工法の1つとして、施工されている。騒音低減効果を確認するために、舗装騒音測定車(RAC車：写真-1)を使用して測定した¹⁾。この測定車は特殊タイヤの蹴出し音(エアポンピング音)を測定し、ポーラスアスファルト舗装の騒音低減効果を確認するものである。北海道開発局で管理している一般国道において測定したタイヤ/路面騒音の測定結果を図-1に示す。北海道で測定した騒音値は初期値については、タイヤ/騒音値の性能規定値として一般的に採用されている89dBをおおむね満足するが、経年変化をみると、タイ

ヤ/路面騒音の騒音レベルが経年変化に伴い低下することが分かる。また、空隙率20%と17%を比較すると、現在標準的に使用されている空隙率17%のポーラスアスファルト舗装は騒音低減効果の持続期間は空隙率20%と比べて短い傾向にある。

2) 浸透水量の経年変化

全道の調査箇所におけるポーラスアスファルト舗装(空隙率20%)の現場透水量¹⁾の経年変化を図-2に示す。約2年で透水機能が大幅に低下していることが分かる。主な機能低下の原因としては、タイヤチェーン・除雪グレーダーによる骨材飛散、夏期における骨材の移動による空隙潰れ、車両の据えきり作用、およびポーラスアスファルト舗装の空隙が砂・泥等により充填され、空隙孔を閉塞する空隙詰まりが要因と推察される。



写真-1 舗装路面測定車による測定状況

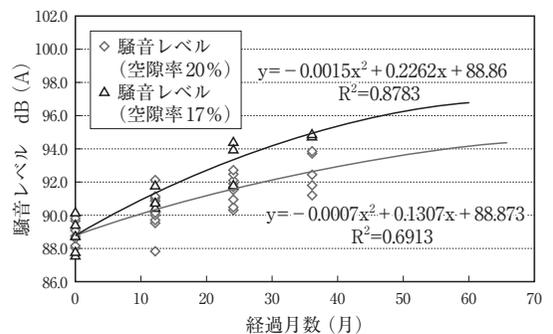


図-1 タイヤ/路面騒音の経年変化

*たこう じゅん 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 上席研究員

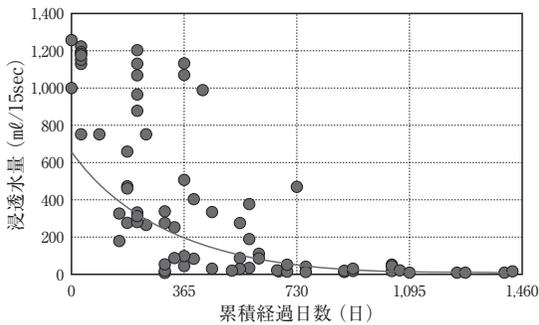


図-2 現場透水量の経年変化

3) わだち掘れ量の経年変化

ポーラスアスファルト舗装と耐流動対策舗装の経年変化のわだち掘れ量を示す。ポーラスアスファルト舗装は骨材が飛散しやすいため、耐流動対策舗装と比べて初期わだちが大きく、経年変化においても最大わだち掘れ量は大きい傾向にある(図-3, 4)。

わだち掘れ量が多くなる原因は、冬期間のタイヤチェーン・除雪グレーダーによる骨材の飛散や車両の据え切り作用が主たる原因と推察される。

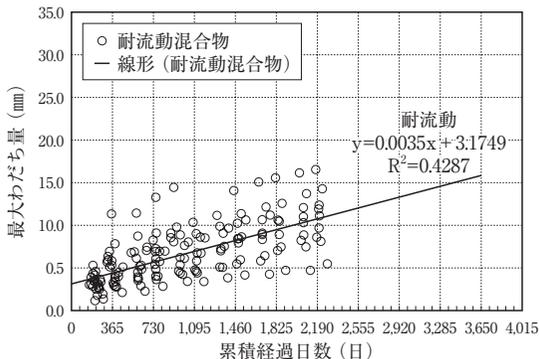


図-3 わだち掘れ量の経年変化(耐流動対策混合物)

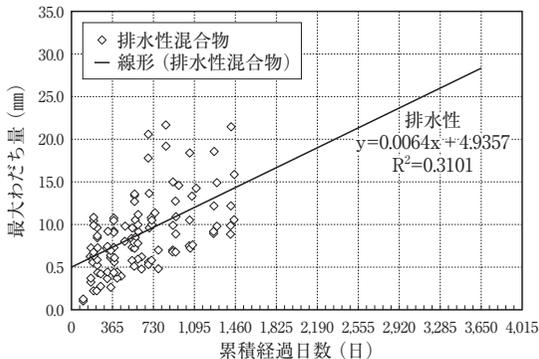


図-4 わだち掘れ量の経年変化
(ポーラスアスファルト舗装)

4) 機能回復作業の現状

ポーラスアスファルト舗装の現場透水量を回復するため、北海道内の建設業者が所有している機能回復車を用い、ポーラスアスファルト舗装の機能回復作業を試行した外側わだち部(以下、OWP)における調査結果を図-5に示す。機能回復作業は、施工時期が異なる施工1, 2年後の箇所や洗浄回数を変化させた箇所の試験区間を設けて調査を実施した。機能回復車で洗浄したポーラスアスファルト舗装は、施工年次、洗浄回数にかかわらず、新設時のレベルと比較し透水能力が少ない。機能回復の効果が少ない原因は、シルト分等による空隙詰まりよりも、交通荷重による骨材間の空隙潰れが原因となり、機能回復の効果が少ないことが目視観察から推察される。

また、路肩部における機能回復後の現場透水量の試験結果を図-6に示す。路肩部については、OWP部より全体的に回復傾向が見られる。路肩部は交通荷重の影響を受けないため、空隙詰まりの原因である土砂等の除去が容易であることが推察される。経過年数、洗浄回数による機能回復効果については把握できなかった。

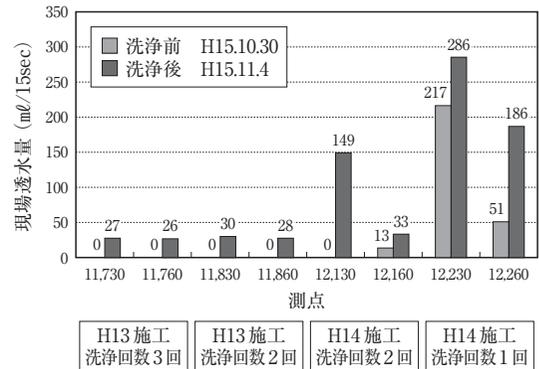


図-5 機能回復後の現場浸透水量(OWP)

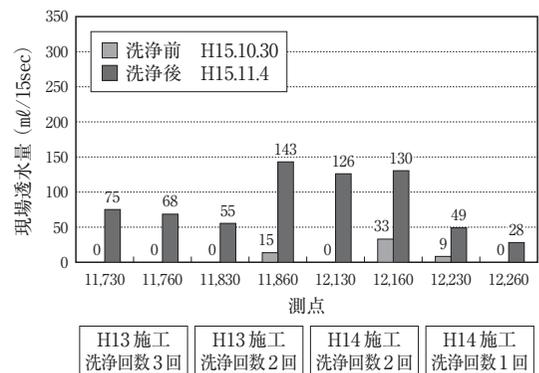


図-6 機能回復後の現場浸透水量(路肩部)

2. 高粘度高耐久改良バインダーの検討

積雪寒冷地域におけるポーラスアスファルト舗装の耐久性向上を目的に、共同研究で開発したバインダー²⁾を用いた試験施工を実施した。以下に概要と初年度の調査結果を示す。

2.1 室内試験

1) 高粘度高耐久改良バインダーの品質性状

共同研究で開発した高粘度高耐久改良バインダー（以下、高耐久As）の性状を表-1に示す。アスファルトバインダーの特徴としては、ポリマー改質アスファルトH型（以下、一般地域用As）、ポリマー改質アスファルトH型-F（以下、寒冷地用As）と比較して針入度が99（1/10mm）と大きいにもかかわらず、軟化点99.0℃と同程度であるほか、-20℃では破断しないため、曲げ仕事量、曲げスティフィネスが求められないほど、低温時にも大きなたわみ性を有することがあげられる。

2) 耐骨材飛散抵抗性の評価

ポーラスアスファルト舗装の耐骨材飛散抵抗性の評価を行うために、低温カンタプロ試験³⁾を実施した。試験条件は、供試体養生温度を-20℃、試験室の温度は常温で実施した。ポーラスアスファルト舗装の目標空隙率は17%、20%、23%で実施し、使用したアスファルトバインダーは、高耐久As、一般地域用As、および寒冷地用Asを使用したポーラスアスファルト混合物の試験を行った。

試験結果を図-7に示す。高耐久Asの低温カンタプロ損失率は空隙率に拘わらず5%以下となり、高耐久Asは一般地域用As、寒冷地用Asと比較し低温時において高い飛散抵抗性を有することが確認できた。

3) ねじり抵抗性の評価

ポーラスアスファルト舗装のねじり抵抗性の評価を行うために、ねじり骨材飛散試験⁴⁾を実施した。試験条

表-1 高粘度高耐久改良バインダーの品質性状

試験項目		高耐久As	高粘度改質アスファルト	
			一般地域用As	寒冷地域用As
針入度(25℃)	1/10mm	99	57	73
軟化点	℃	99.0	96.5	100.0
60℃粘度	$\times 10^4 \text{Pa} \cdot \text{s}$	10.0+	10.0+	10.0+
曲げ仕事量(-20℃)	$\times 10^{-3} \text{MPa}$	測定不能*	383	1096
曲げスティフィネス(-20℃)	Mpa	測定不能*	240	23

*変形量が大きく、供試体が破断しないため測定不能

件は図-8、試験状況を写真-2に示す。空気タイヤを使用し、試験温度は+60℃で実施した。図-8に高耐久Asを使用した空隙率20%、23%のポーラスアスファルト舗装、一般地域用Asおよび寒冷地用Asを使用した空隙率20%のポーラスアスファルト舗装4種類のねじり骨材飛散試験結果を示す。高耐久Asを使用した空隙率20%のポーラスアスファルト舗装はねじり骨材飛散率が1%以下となり、他と比較して良好な結果となった。また高耐久Asを使用した空隙率



写真-2 ねじり骨材飛散試験

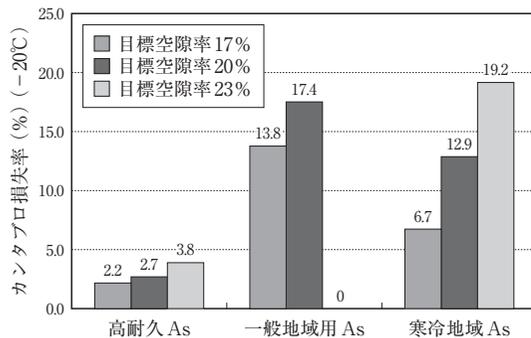


図-7 低温カンタプロ試験結果

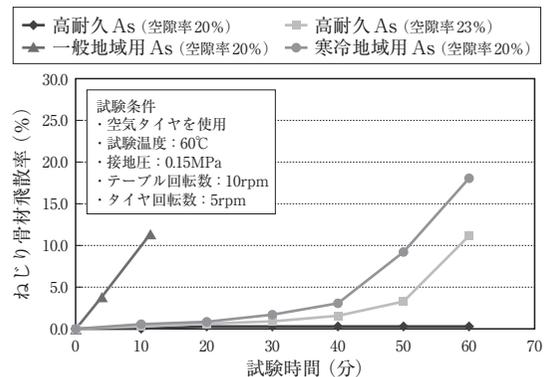


図-8 ねじり骨材飛散試験結果

23%のポーラスアスファルト舗装でもねじり骨材飛散率が12%程度を示し、一般地域用As、寒冷地域用Asを使用した空隙率20%のポーラスアスファルト舗装と比較すると良好なねじり抵抗性を示した。

2.2 実道での試験施工

共同研究で実施している持続性向上を目的として開発された高耐久Asは、室内試験結果から空隙率20%、23%でも骨材飛散抵抗性、耐流動性について良好な結果を得た。このことから、寒冷地域用Asを使用した空隙率20%、および高耐久Asを使用した空隙率20%、23%の配合設計であるポーラスアスファルト舗装により試験施工を実施した。

1) 試験施工概要

試験施工は一般国道230号札幌市石山通において実施した。試験施工概要図を図-9に示す。片側2車線の国道で外側車線に試験施工区間を設け、各工区約100m程度施工した。

2) 調査項目

調査項目・調査目的を表-2に示す。現地調査については、騒音低減効果を評価するための調査、機能の持続性および耐久性を評価する調査を実施した。

3) 調査結果(初期値)

試験施工箇所における各調査項目について、施工後1ヶ月経過後の測定値を表-3に示す。これらの数値は初期値ではあるが、空隙率の違いによる騒音レベルの値に差が見られる。わだち掘れ量、平坦性、粗さ測定、現場透水量測定については、年2回(春期・秋期)に調査を実施し、騒音測定については年1回計測を実施する予定である。

3. 今後の課題

積雪寒冷地では、ポーラスアスファルト舗装の機能の持続性や耐久性が課題となっている。今後、ポーラスアスファルト舗装の機能の持続性や耐久性の向上を図るため、改良したアスファルトバイン

ダーの検討、低空隙のポーラスアスファルト舗装、および機能性SMAの適用についても検討していきたい。

— 参考文献 —

- 1) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧(第1分冊)、平成19年6月
- 2) 田高他：積雪寒冷地におけるポーラスアスファルト舗装に関する一検討、土木学会第62回年次学術講演会、平成19年9月
- 3) 日本道路公団：日本道路公団試験法 第3編 アスファルト舗装関係試験方法、平成13年7月
- 4) 日本道路協会：舗装性能評価法、平成20年3月



図-9 試験施工箇所の概要図

表-2 試験施工箇所の調査項目

試験項目	目的
舗装路面のわだち掘れ測定	舗装路面の磨耗、流動、骨材飛散等による、車輪の走行位置に発生するわだち掘れ量の把握
舗装路面の平坦性測定	車両の走行時において、騒音低減に影響を与える縦断方向の凸凹の度合いを把握
舗装路面の粗さ測定	騒音低減効果、すべり摩擦抵抗に影響を与えるきめ深さをミニテクスチャメーター(MTM)により把握
現場透水量試験	排水機能の持続性の把握
タイヤ路面騒音に関する測定	騒音低減効果の把握
環境騒音の測定	騒音低減効果の把握

表-3 試験施工箇所の調査結果

項目	舗装種別			
	一般地域用As 空隙率17%	高耐久As 空隙率23%	寒冷地域用As 空隙率20%	高耐久As 空隙率20%
横断凸凹量(mm)	-	-	-	-
平坦性(mm)	1.17	1.35	1.19	1.43
きめ深さ(mm)	0.78	0.92	0.75	0.83
現場透水量 (ml/15sec)	OWP	1084	1356	1208
	BWP	985	1350	1177
	路肩	1286	1415	1354
騒音レベル(dB)	90.6	88.5	89.1	88.3

排水性舗装の骨材飛散程度の評価方法

(Method of Evaluating Aggregate Dispersion in Drainage Pavement)

上 西 通*

排水性舗装¹⁾は一般的なタイヤ/路面騒音の低減、ハイドロプレーニング現象の抑制、すべり抵抗性の向上、夜間視認性等の向上の機能以外に、積雪寒冷地では、冬期間に発生するブラックアイス等の薄氷の形成時におけるすべり抵抗性を有している。一方、積雪寒冷地であるが故にタイヤチェーンによる骨材飛散が排水性舗装の破損の大きな要因となっている。

骨材飛散が発生すると舗装表面が面荒し、走行時に発生するタイヤ/路面騒音が増大する等、沿道環境の悪化の要因と成り得る。

さらに、この飛散した骨材が路面に放置されると、走行車両のタイヤが跳ね上げ、後方走行車のフロントガラスの破損等安全性の面でも課題がある。

本論文は、骨材飛散の程度を評価する方法として、交通規制を伴わない路面性状測定車による評価方法の検討を行ったものである²⁾。

1. 東北管内の排水性舗装の破損状況

排水性舗装は密粒系の不透水性舗装と異なり、混合物の骨材間は点接着であり、タイヤチェーンの衝撃による摩損の影響を受けやすいものである³⁾。

積雪寒冷地である東北地方では降雪時にタイヤチェーンを装着する車両が混入し、それが原因と考えられる排水性舗装の摩耗による破損、「骨材飛散」が発生している。

排水性舗装の粗骨材の1つが飛散すると接触点がさらに減少し、骨材飛散が促進されることになり、環境面と交通安全面で悪影響が発生する。

骨材飛散の進行すると排水性舗装が面荒れし、車両走行時に発生するタイヤ/路面騒音が大きくなり沿道環境の悪化、路肩部や歩道に堆積した飛散骨材が歩行者、自転車、自動二輪車の転倒、さらには路面上の飛散骨材は、走行車両により跳ね上げによる後方走行車のフロントガラスの破損等、安全性の面で課題がある。

なお、路肩に飛散した骨材の多くは2.36mm以下となっているが、粗骨材の原形を留めているものもある。

また、骨材飛散が進行している箇所では、飛散した骨材の細粒分が舗装の空隙中に入ることによる排水性舗装の空隙づまりが進行している状況である。

この骨材飛散の進行は、タイヤチェーンの装着に関連する雪日数と累積総交通量との関連性に高い相関を示しており⁴⁾、骨材飛散の進行はタイヤチェーンによる影響が大きいいとえる。骨材飛散が進行し、基層面まで見える状態になっている路面状況を写真-1に示す。



写真-1 骨材飛散が著しい箇所の路面状況

2. 骨材飛散とタイヤ/路面騒音の関係

骨材飛散が進行している箇所では、騒音が高くなるとの意見が見受けられることから、骨材飛散の進行と、タイヤ/路面騒音の関係を把握する検討を行った。

検討手法は、骨材飛散程度が良好（新設直後）な箇所から進行が著しい箇所まで分布できるように視察観

*かみにし とうる 国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所 技術課

察により選定し、骨材飛散程度を3名の舗装技術者の視察により、表-1に示すランク付け評価をした。なお、箇所選定には骨材飛散の進行が無く空隙づまりの進行が著しい箇所を除外している。

この選定した箇所を、タイヤ近接音測定車⁵⁾(後輪近傍に集音マイクを取り付け、タイヤと路面の接触による音圧レベルを0.1秒間隔で収録)を速度、50 km/h ± 0.5 km/hで走行させ、音圧レベル、走行速度・気温を同時に計測した。この結果から、測定速度を50 km/h、気温を20℃に補正したタイヤ/路面騒音レベルを求め、骨材飛散の視察評価によるランクとの相関関係を図-1に示す。

図-1より骨材飛散ランクとタイヤ/路面騒音の関係(寄与率)は $R^2 = 0.96$ と高い相関があり、骨材飛散が進行するとタイヤ/路面騒音が増加する傾向を確認できた。

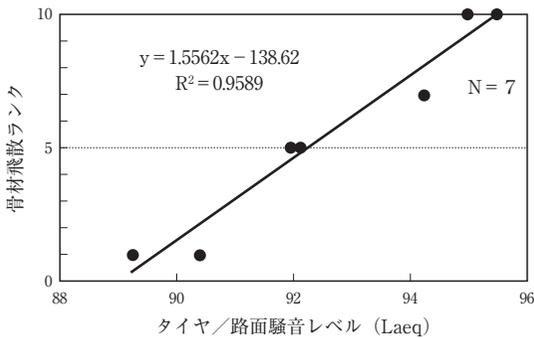


図-1 骨材飛散ランクとタイヤ/路面騒音との関係

3. 骨材飛散の評価方法の検討

排水性舗装に関する機能評価の方法としての1つである空隙づまりについては、現場透水量試験方法が確立されているが、骨材飛散の程度を評価する方法が確立されていない。交通規制を伴わずに、排水性舗装の骨材飛散程度を評価する方法を見いだすことを目的として路面性状測定車(横断形状データ、1cm間隔で測定可能車種)^{6,7)}を使用し、収集された横断形状データからわだち掘れの影響を取り除き面の荒れを評価する検討を行った。以下に測定方法、解析方法、評価方法を示す。

4. 測定方法

東北地方整備局管内の排水性舗装の最大粒径は13mmであり粗骨材が飛散すると1cm程度の凹みが発生することから、1cm間隔のマクロテクスチャが測定できる

表-1 骨材飛散程度のランク

ランク	路面状態
1 (10)	新設状態
2 (9)	路面は平滑であり、骨材が点々と抜けている(1㎡に数個)状態
3 (8)	路面は平滑であり、骨材の抜けはあるが連続していない状態
4 (7)	骨材の抜けが連続し始めている状態
5 (6)	骨材の抜けが連続的になっているが、全体の1/4以下の状態
6 (5)	骨材の抜けが連続的になっているが、全体の1/2以下の状態
7 (4)	骨材の抜けが多いが、全面までにはなっていない状態
8 (3)	骨材の抜けが全面的になっている状態
9 (2)	骨材飛散により、まもなく基礎面が見えそうな状態
10 (1)	骨材飛散により、基礎面が部分的にでている状態
11 (0)	骨材飛散により、基礎面が相当でている状態

(注1) ランクの()は、最終的な骨材飛散評価「6.2 骨材飛散程度の数値化」で記載する。

(注2) この節の段階ではランク11はなく、「6. 評価方法」で記載する。

装置であれば骨材飛散程度を評価できる。この横断形状測定原理イメージを図-2に示す。

測定手法は、計測車の上部からレーザスキャナを横断方向に高速で走査し、その路面横断形状に対応したレーザの軌跡を、横断方向に1cm間隔で計測車前面の下部斜め位置に設置されたビデオカメラにて撮影(光切断法)するものである。

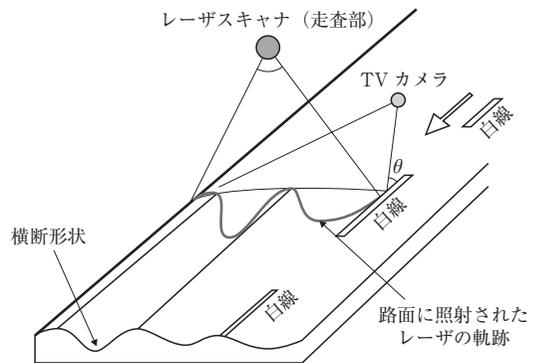


図-2 横断形状測定原理のイメージ

5. 解析方法

5.1 わだち掘れの影響除外方法

路面性状測定車によって測定した横断形状データの代表例を図-3に示す。

骨材飛散はタイヤチェーンによる影響が大きく、進行するとわだち掘れ量が増加する傾向を示しているが、わだち掘れ量の大きい箇所全てで骨材飛散の進行が見られるとは限らず、骨材飛散程度を数値化するためには、この「わだち掘れ量」の影響を取り除く必要がある。

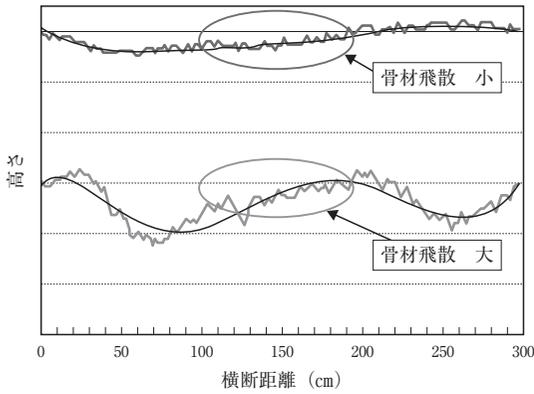


図-3 横断形状測定結果

このテクスチャの抽出のイメージを図-4に示す。

わだち掘れの影響を除外する手法は、測定した横断形状から路面形状(わだち形状)を算出するデータ処理を行い、その形状と横断形状測定データとの差を求めたものであり、この差を横断テクスチャと称した。この段階で、わだち掘れの影響を排除することが可能となった。この横断テクスチャ形状の代表例を図-5に示す。なお、1mm以下のテクスチャは電気的なノイズとして除外した。

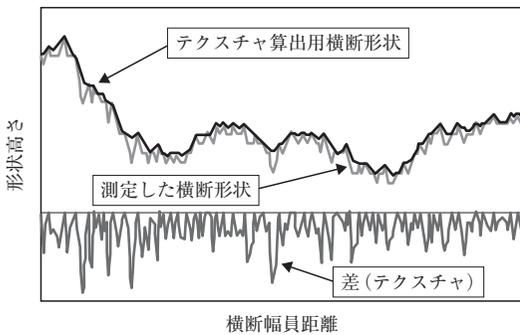


図-4 テクスチャの抽出

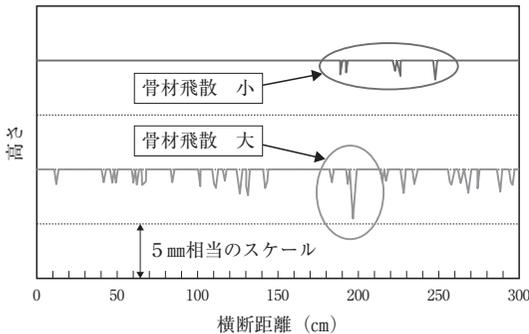


図-5 抽出した横断テクスチャ形状

図-4に示したように、骨材飛散が少ない工区の横断テクスチャでは凹凸がほとんど見られず、骨材飛散が著しい工区の凹凸が大きいたことが明らかである。

5.2 横断テクスチャの数値化

数値化の方法としては、横断方向に1cm間隔で抽出された横断テクスチャデータの標準偏差を用いることとした。なお、骨材飛散の進行が著しい場所で、非わだち部に飛散した骨材の細粒分が混入し平滑になっている工区もあることから、数値化する際に位置を外側走行輪部(50cm分)とした。延長方向に5cm間隔の1横断毎にこの横断テクスチャの標準偏差を求めた代表例を図-6に示す。

図-6により、骨材飛散小の工区より、骨材飛散大の工区の方が標準偏差が全体的に大きく、その変動も大きくなっていることがわかる。

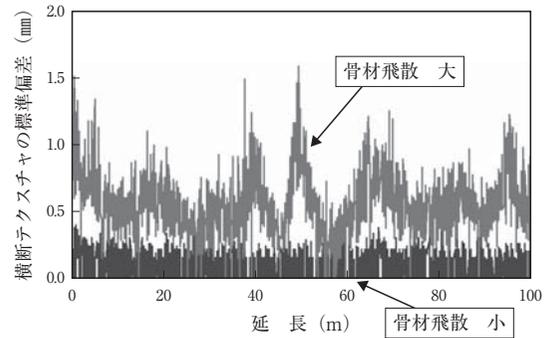


図-6 横断テクスチャの標準偏差

6. 評価方法

骨材飛散の程度は「2. 骨材飛散とタイヤ/路面騒音」で前述したように、技術者による視察観察によって観察したランク付けとした。また、本検討では過去2年間の追跡調査の箇所もあり、当初骨材飛散のランク評価を10(骨材飛散が著しい)とした箇所が、更に飛散が進行したためにランク評価を11とした。同様に、他の箇所についても、骨材飛散が進行した箇所についてはそれぞれランクを増加した。なお、骨材飛散のランクを11とした箇所は測定直後に補修が実施された。

路面性状測定車による横断形状を測定して求めた横断テクスチャと視察観察による骨材飛散程度をランク付けしたものととの関係により評価方法を検討した。

6.1 骨材飛散と横断テクスチャの標準偏差の関係

全測定結果を用いた骨材飛散ランクと横断テクスチャの標準偏差の関係を図-7に示す。

表-1を用いたことにより、3名の舗装技術者の骨

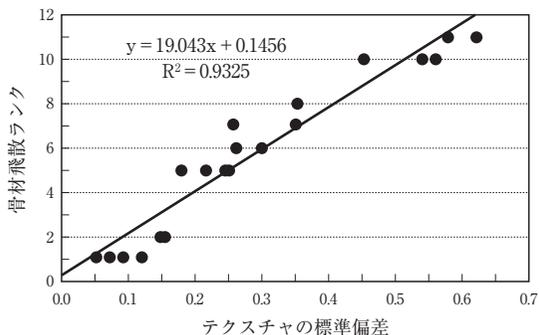


図-7 骨材飛散ランクと横断テクスチャの標準偏差の関係

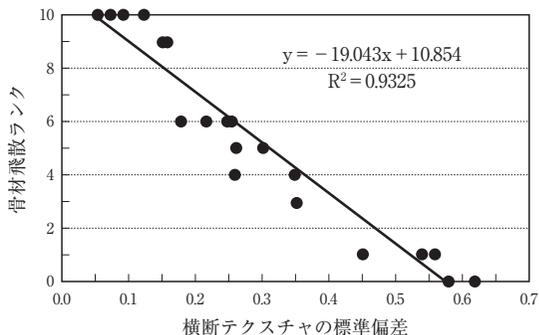


図-8 骨材飛散ランクと横断テクスチャの標準偏差の関係2

材飛散のランク評価は全て同一になった。

図-7に示した寄与率が0.93となり、横断テクスチャの標準偏差は、視察観察による骨材飛散のランクと相関が高いことが判明した。

6.2 骨材飛散程度の数値化

排水性舗装の機能面では、骨材飛散が著しい状態は価値がなくなり、新設状態では機能は価値が満点であることから、骨材飛散のランク付けを以下のように変更した。

当初、骨材飛散のランク付けでは、著しく進行している状態を大きな値とし、新設状態の骨材飛散のない状態を小さくしたが、MCIと同じように新設状態のランクを10とし、骨材飛散が著しい状態を0となるように変更し、道路管理者が混乱しないようにした。

ランク評価による、このランク付けと横断テクスチャの標準偏差の関係を図-8、式(1)に示す。

$$AD = 10.854 - 19.043 \times CT \dots\dots\dots (1)$$

ここで、AD：骨材飛散ランク

CT：横断テクスチャ標準偏差の平均値 (mm)

以上に示すように、横断テクスチャの標準偏差により骨材飛散の評価が可能となった。

なお、ここでは横断テクスチャの標準偏差の平均値は、延長方向に5cm間隔で横断形状を収集した結果を基にしているが、1m間隔の収集でも問題がなく同様の結果が算出可能であることを確認している。

7. まとめ

排水性舗装の骨材飛散の程度を評価する手順を以下に示す。

- ①レーザスキャン（路面性状測定車を使用することで、交通規制が不要となる）により、1cm間隔の

横断形状データを延長方向に1m間隔で収録する。

- ②測定した横断形状から路面形状（わだち形状）を算出する。
- ③算出したわだち形状と横断形状測定データとの比較により差を求め、横断テクスチャとする。
- ④外側走行輪部の50cmについて、横断テクスチャの標準偏差を求める。
- ⑤評価区間における横断テクスチャの標準偏差の平均値を求める。
- ⑥式(1)に横断テクスチャの標準偏差の平均値を代入し、骨材飛散のランクを求める。

上記に示した手順により、排水性舗装の機能破損としての骨材飛散程度を、路面性状測定車による横断形状の測定データ解析で評価することが可能となった。

— 参考文献 —

- 1) 北海道土木技術会舗装研究委員会：排水性舗装の手引き（案），3.1996
- 2) 上西ほか：排水性舗装における骨材飛散程度の数値化に関する検討，舗装Vol.42，3.2007
- 3) 一瀬ほか：積雪寒冷地における高機能舗装（排水性舗装）の実施，舗装Vol.35，9.2000
- 4) 上西ほか：排水性舗装の骨材飛散の面から見た耐久性の検討，第27回日本道路会議，11.2007
- 5) 独立行政法人土木研究所ほか：タイヤ／路面騒音測定方法の開発共同研究報告書，共同研究報告書，整理番号317号，2005.3
- 6) 柴崎ほか：舗装の評価とエレクトロニクス，アスファルトVol.33，7.1990
- 7) 若江ほか：路面性状自動測定装置による測定，舗装Vol.28，2.1993

東京都におけるポーラスアスファルト舗装のポットホール対策

(The Measure Against a Pothole of the Porous Asphalt Pavement in Tokyo)

峰 岸 順 一*

東京都における騒音低減を目的としたポーラスアスファルト舗装は、1995年から本格施工に入ったが、供用後早期にポーラスアスファルト舗装施工箇所でもットホールの発生が散見されるようになった。ポットホール対策には、ポットホールを発生させないための抜本的な対策と、発生した場合の臨機に対応する応急対策がある。抜本的な対策については、アスファルトバインダの改善や施工時に使用される軽油の代わりに付着防止剤の適用等があるが、既に、都としてのこれらの対応を行い、効果を上げてきたものと考えている。応急対策については、一般に常温混合物を使用しているが、ポットホールの発生が夏季の高温時期、多雨時期に多発していることから、これらの悪条件に耐えうるものが要求される。現在、高性能型の常温混合物の品質の設定等について検討を進めているところである。

1. ポーラスアスファルト舗装の開発経緯

東京都では、1985年頃から環状7号線など幹線道路を中心に交通騒音の低減対策に取り組んできた。1987年には環状7号線の大田区山王で我が国最初のポーラスアスファルト舗装の試験舗装を実施した。その後、1989年にはバインダーにポリマー改質アスファルトⅡ型やポリマー改質アスファルトH型を使用した試験舗装を行ってきた。

これらの試験舗装の追跡調査をもとに、ポーラスアスファルト混合物の組成、ポリマー改質アスファルトH型の品質および物理特性を東京都道路工事設計基準および土木材料仕様書で1995年度に基準化し本格的な使用を開始した^{1,2)}。

また、1998年からは、さらなる騒音低減を目的に上層に小粒径混合物を用い上下層同時に施工する二層式ポーラスアスファルト舗装の試験施工を開始し、その結果を受けて³⁾、重交通の幹線街路である環状7, 8号線で2006年度から本格施工に入った。

2. ポーラスアスファルト舗装の施工実績

東京都におけるポーラスアスファルト舗装の施工実績は図-1に示すように、1987年から1992年

まで試験舗装を実施し、1995年度から本格的に実施することとなった。

1997年3月には道路沿道の環境改善を図る目的で「東京都内における道路沿道環境対策基本方針」（1996年度に策定）に基づき、ポーラスアスファルト舗装などを優先的に設ける16路線、総延長171.8kmを選定して積極的に実施することが策定された。

この後、2007年度末現在約560km、650万㎡が舗設され、さらに、2001年度からは、2度目の施工に入り、2007年度末現在約36km、41万㎡が舗設されている。

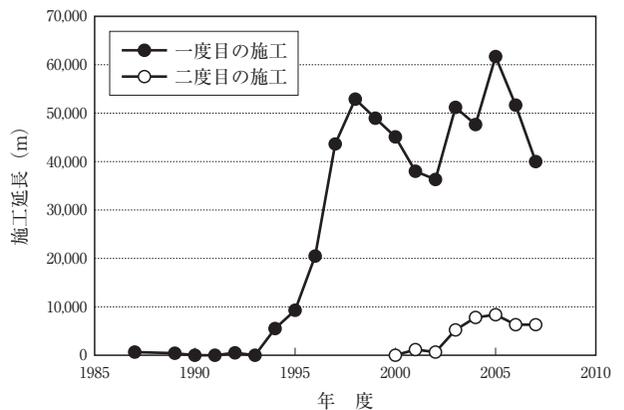


図-1 ポーラスアスファルト舗装の施工実績

*みねぎし じゅんいち 東京都土木技術センター

より一層の騒音低減を目的に、現在は、上層に小粒径混合物を用いた二層式ポーラスアスファルト舗装の導入を図っている。その実績は、約22km、28万㎡(2007年度末現在)である。

3. ポーラスアスファルト舗装の標準構造

東京都のポーラスアスファルト舗装の標準構造は、ポリマー改質アスファルトH型を用いた骨材最大粒径13mmの一層タイプのポーラスアスファルト舗装であり、密粒度あるいは粗粒度アスファルト混合物層の上に5cmの厚さのポーラスアスファルト混合物を舗設する構造を標準としている(図-2)。導入当初より補修工事においてポーラスアスファルト舗装を施工する場合は、基層を舗設せずにポーラスアスファルト舗装を切断面に舗設すると供用後に切断面の不陸に滞水して既設の基層のはく離が懸念されたことから、原則10cm切削を行い基層を舗設することとしている。

そして、車道の端部で街渠と接する箇所には街渠に沿って径15~20mm程度の導水用のパイプを設置し、表層より浸透した雨水を街渠ますへ速やかに導水する構造としている。

4. ポーラスアスファルト舗装の破損と対策

施工実績を伸ばすと共に、ポーラスアスファルト舗装の破損の問題も顕在化してきた。

図-3は、2006年度に、環状7、8号線の各10kmづつを対象に行った一層タイプのポーラスアスファルト舗装の破損実態調査結果である。ポーラスアスファルト舗装特有の破損として骨材飛散、ポットホール等があるが、破損形態のうち、交差点付近で発生する骨材飛散の問題については、これまで破損原因の究明、破損の評価法、さらに対策まで検討し一定の成果をあげ

てきた^{4,5)}が、すべての破損の対策が終わったわけではない。

ポットホールについては、1999年度から油分の影響による破損と対策について検討し⁶⁾、第一次対策として施工時に軽油の代わりにアスファルトの品質に影響を及ぼさない付着防止剤(以下、付着防止剤と称す)を使用する対策を2005年度から実施してきた。2006年度からは、第一次対策後も発生している、図-3に示す破損のうち18%を占めるポットホールの問題を取り上げ、実態把握とともに、原因の究明、対策方法について検討を行っている⁷⁾。

図-3に示す破損を分析してみると、ポットホールには、①導水帯部分のクラックが進行したもの(写真-1)、②アスファルト分過多状態から進行したもの(写真-2)、③亀甲状クラックが進行したもの(写真-3)、④路面の荒れが進行したもの(写真-4)等がある。

このように様々な破損形態から結果的にポットホールに至ることを考えると、ポーラスアスファルト舗装の主な破損形態は、骨材飛散とポットホール(破損補修済みも含める)が半数以上を占めることになる。

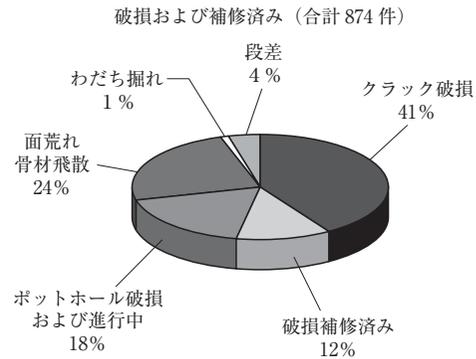


図-3 ポーラスアスファルト舗装の破損実態

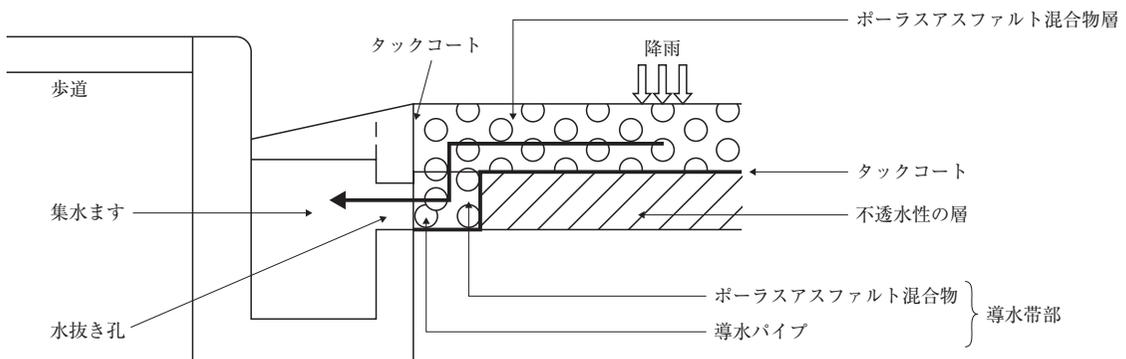


図-2 ポーラスアスファルト舗装の標準構造



写真-1 ポットホール①



写真-2 ポットホール②



写真-3 ポットホール③



写真-4 ポットホール④

ポットホール対策には、ポットホールを発生させないための抜本的な対策と、発生した場合の臨機に対応する応急対策がある。抜本的な対策については、アスファルトバインダの改善や施工時に使用される軽油の代わりに付着防止剤の使用等があるが、既に、都としての対応を行い、効果を上げてきたものと考えている。応急対策については、一般に常温混合物を使用しているが、ポットホールの発生が夏季の高温時期、多雨時期に多発していることから、これらの悪条件に耐えうるものが要求される。

以下、ポットホールの抜本的な対策のうち施工時における付着防止剤の使用と応急対策としての高性能型の常温混合物の検討の取り組みについて述べる。

4.1 抜本的な対策の施工時の検討⁶⁾

1995年度から本格施工に入ったが、供用後早期にポーラスアスファルト舗装施工箇所でもポットホールの発生が散見されるようになった。目視を主とする破損実態調査は1999年度から実施した。

ポットホール箇所の混合物の共通点として、油臭がありバインダが軟化しカットバックされた状況であった。破損の一原因として油分に起因して面状ブリージング（本文では、アスファルトが表面に浮上している状況をブリージングと呼ぶ）が発生し、時間とともにカットバックされポットホールに至ると想定した。

破損形態の件数の最も多かったブリージングに注目し、発生形態・規模、発生箇所、発生要因などについて、破損実態調査から得られたデータをもとに分析した。ブリージングは、面状約60%（写真-5）、帯状約40%（写真-6）で発生していた。

面状ブリージングを起こしている箇所で、油臭、アイスピック挿入でバインダの軟化の確認、目視などにより明確に油分が介在していると見られた箇所は、約50%であり、ポットホールへの進行は早期であると見られた。単路部におけるバス停、路上駐車が多い箇所、店舗への出入り口など、車両が良く停止する箇所では約70%に油の存在が認められた。



写真-5 面状ブリージング



写真-6 帯状ブリージング

面状ブリージングの発生要因は、自動車の排気とともに油分が滴下する→油分が表面から内部へ浸透し、舗装体内に滞在し、舗装内部からアスファルトをカットバックする→カットバックされ軟化したアスファルトが交通荷重、降雨、気温等の促進要因により舗装表面へと上がっていく→これによりブリージングが生じると考えられた。この後ポットホールへと進行する。

一方、帯状のものは、施工時にダンプ等のタイヤに付着したアスファルト乳剤がダンプで運ばれ、停止した場合等に供用中の路面に付着すると想定された。

油分によるポットホール対策については、室内試験で検討を行った。水浸ホイールトラッキング試験によるシミュレーション試験により、軽油によるブリージングは、早期に発生するが、ポットホールまでの進行には、油の量、温度、荷重、水分量が大きく関わっていることが判明した。この結果は、現場においても路上駐車が多い最も路肩側の車線よりも、交通流の多い車線で部分補修が多く発生していることと一致していた。

また、水浸ホイールトラッキング試験によるシミュレーション試験により、施工時に使用される軽油や供用時に車両等から滴下する軽油によって、ポーラスアスファルト舗装はブリージングを起こし、その後ポットホールへと進行していくことを再現できた。

そして、これら軽油が原因で発生するポットホールを抑制する方法として、施工時の油対策としては軽油の代わりに付着防止剤を使用することで、供用時の油対策としては、事前にあるいはブリージングが生じた時点で、アクリル系樹脂を塗布することが有効であるとの結果が得られた。

4.2 応急対策としての高性能型の常温混合物の検討⁷⁾

集中豪雨が多発した2005年には、幹線道路で頻繁にポットホールやはくりが発生し、損害賠償を求められるケースも少なくなかった。このようにポットホー

ルは、放置しておく大きな問題にまで発展することもあるので、道路管理者には応急対策として即時対応することが求められる。

応急対策では、各工区毎に契約している単価業者が、巡回中に発見した破損を補修することになるが、その際用いられる常温混合物には、ある一定期間安全を担保することのできる高品質なものが求められている。常温混合物は、一般に応急舗装材として用いるために、これまではあまり耐久性を重視していなかった面もあるが、最近では、前述したニーズに対応した、全天候、高耐久を指向した高性能な材料が市場に出現してきている。

ポットホールの発生を未然に防ぐためには、ポーラスアスファルト舗装の材料・施工面からの抜本的な対策が必要であるが、現実に発生した場合の応急対応も事故防止の観点からは極めて重要である。常温混合物の使用の目安は、道路工事設計基準に定めているが、この基準は20年前の実態調査⁸⁾に基づくものであり、現在の現場実態に合わせた基準とすることが必要となっている。

このように、重交通道路で使用する常温混合物には、高度な性能が求められる。以下に必要な性能を列挙する。

(1) 初期の安定性

常温混合物は主に応急補修に用いられるが、施工にあたっては十分な養生時間がとれず、強度が発現する前に交通開放することが多く、破損は施工初期に生ずることが多い。そのためできるだけ初期の安定性を高めることが必要である。

(2) 供用時の耐久性

重交通道路では、ポーラスアスファルト舗装が広く用いられているが、交通規制の関係から繰り返し修理することは避けたい。したがって修理の頻度はできるだけ少なくすむよう、耐久性に富んだものが必要である。

(3) 降雨時の耐水性

耐水性は、ポーラスアスファルト舗装にとって最も重要な要求性能であると考えられる。ポーラスアスファルト舗装の破損の傾向として、降雨時における骨材飛散やポットホールの発生が多く、交通事故を誘発する原因ともなっている。また、破損箇所は雨天時でも即刻修理することが求められる。

(4) 施工性

応急修理作業は、通常巡回中に破損箇所を発見次第、単契業者等によって行われる。幹線道路においては、作業時間が短いため出来るだけ作業性が良く、短時間に安定性を発揮する材料が求められる。

以上の性能を評価するために、表-1のように試験方法を選定し、実道における破損形態を想定して、供試体の作製や試験条件を設定し、試験を行い品質の設定を行っているところである。

5. あとがき

一層タイプのポーラスアスファルト舗装のポットホール対策の2事例を示したが、すべての課題を解決できたわけではなく、供用後に油が滴下した場合の応急対策の検討や2007年度から本格施工を始めた上層に小粒径の混合物を用いた二層式ポーラスアスファルト舗装についての破損実態については現在調査中であり、これからの課題である。

- 1) 峰岸順一, 阿部忠行: 低騒音舗装の供用性評価, 土木学会舗装工学論文集, 1997.12
- 2) 阿部忠行: 東京都の低騒音舗装, アスファルト, Vol.41 No.196, pp.35-41, 1998.7
- 3) 峰岸順一, 竹田敏憲: 二層式低騒音舗装の最適な層構成に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 2005.12
- 4) 峰岸順一, 高橋光彦, 阿部忠行: 低騒音舗装の骨材飛散の実態と骨材飛散抵抗性試験に関する一提案, 土木学会舗装工学論文集, 2002.12
- 5) 峰岸順一, 高橋光彦: 低騒音舗装の骨材飛散の進行実態と抑制対策の検討, 土木学会舗装工学論文集, 2003.12
- 6) 峰岸順一: 低騒音舗装の油によるポットホールの原因究明と抑制対策の検討, 土木学会舗装工学論文集, 2003.12
- 7) 峰岸順一, 竹田敏憲: 低騒音舗装のポットホールに使用する高性能型常温混合物の評価, 土木学会舗装工学論文集, 2007.12
- 8) 竹田敏憲: 応急修理工法に使用する各種常温混合物の材料特性と供用実態について, アスファルト, Vol.28 No.146, pp.31-38, 1986

表-1 要求性能と室内試験

要求性能	室内評価試験	養生温度(℃)	養生時間(日)	試験温度(℃)	評価目的
初期安定性	①常温ホイールトラッキング試験	20	作製直後	20	施工直後のわだち掘れ抵抗性
	②常温マーシャル安定度試験	20	作製直後, 1, 3, 7, 14日	20	施工直後からの耐久性
	③円筒供試体の引張試験	20	1	20	下地舗装との接着性
	④カンタプロ試験	5, 20	1	5, 20	骨材飛散抵抗性(低温, 常温)
供用時の耐久性	⑤常温ホイールトラッキング試験	60	7	20	供用直後のわだち掘れ抵抗性
	⑥常温マーシャル安定度試験	60	7	20	供用直後の耐久性
	⑦一軸圧縮試験	60	7	20	耐久性の指標
降雨時の耐久性	⑧簡易ポットホール走行試験	20	作製直後	20	施工直後の水浸, 非水浸での耐久性(動的)
	⑨マーシャル安定度試験(水浸養生)	20℃気中1日→60℃水浸2日		20	水の影響を確認(静的)
施工性	⑩作業性試験	5	作製直後	5	低温期の施工し易さを評価

阪神高速道路における排水性舗装の現状

(The Present Status of Porous Asphalt Pavement in the HANSHIN Expressway)

堀江佳平*・丹波寛夫**・久利良夫***

阪神高速道路3号神戸線では、震災復旧工事に際して排水性舗装を初めて本格的に適用した。これ以降、排水性舗装は、施工実績を伸ばし続け、現在では阪神高速道路の舗装全体の約46%を占めている。排水性舗装全径間(14,548径間)のうち、現在、約6%の径間において損傷が生じている。損傷は、はく離(ポットホールを含む)やひび割れといった損傷形態が多い状況である。

1. はじめに

阪神高速道路は、大阪、神戸、京都の3つの圏域からなる都市高速道路である。供用延長は、2008年6月1日に京都の新十条通の山科～鳴川東間2.7kmが開通したことにより、242kmとなっている。京都地区を除くと、阪神都市圏全体の道路延長の約5%であるが、1日の通行台数は約90万台と全利用量の15%を占めている。また、貨物輸送量は約半数の47%を担っており、自動車専用道路として重要な役割を果たしている。

阪神高速道路は、供用延長の約85%が橋梁構造物であることから、ほとんどが橋面舗装という特徴を持っている。舗装種別は、ポーラスアスファルト舗装(阪神高速道路では、排水性舗装としていることから、ポーラスアスファルト舗装を、以下、排水性舗装という)、改質アスファルトを使用した加熱アスファルト舗装が主であるが、料金所付近では半たわみ性舗装、トンネル内では一般的にコンクリート舗装を用いている。排水性舗装は、3号神戸線の震災復旧工事に適用し、2002年5月の舗装設計基準の改訂では標準とした。この後、施工実績が増加し、現在では舗装全体の約46%を占めている。

阪神高速道路の排水性舗装は、神戸線では13年経過したものもあり、路面にはポットホールやひび割れをはじめとする種々の損傷が見られている。そして、舗装の打ち換えを行った箇所も一部生じている。

本稿では、阪神高速道路の排水性舗装に生じている損傷状況とその補修方法について述べるものである。

2. 阪神高速道路の排水性舗装構成

阪神高速道路の橋面舗装の標準的な構造は、図-1に示すように表層厚さ40mmである。粗骨材は、最大粒径13mm、すりへり減量20%以下の骨材を使用し、粗骨材率は80%である。橋面舗装の基層は、鋼床版部ではグースアスファルト混合物、コンクリート床版部では防水層を設けた密粒度アスファルト混合物(ポリマー改質アスファルトII型)である。なお、鋼床版部では、施工条件や経済性などの理由から一部でSMA混合物を採用している。土工部の舗装は、図-2のような構成であり、表層と基層の間には中間層を設けている。中間層は、表層が排水性混合物であることから、水密性を考慮して密粒度アスファルト混合物としている。

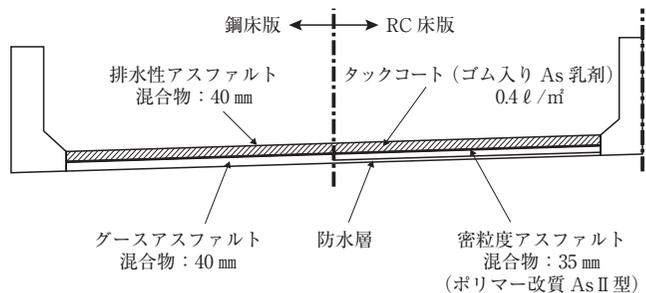


図-1 橋梁部の舗装構成

*ほりえ よしへい 阪神高速道路(株) 技術部 技術開発グループ グループ長

**たんば よしお 阪神高速道路(株) 技術部 技術開発グループ チーフ

***ひさり よしお (財)阪神高速道路管理技術センター 調査研究部 課長補佐

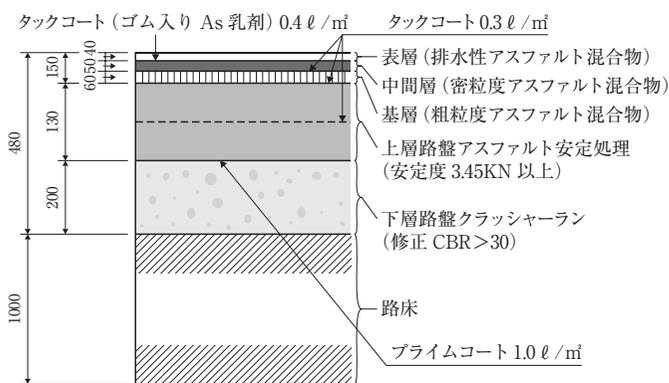


図-2 土工部の舗装構成

3. 舗装の点検

阪神高速道路では、安全かつ円滑な交通を確保し、第三者への障害の防止を図り、さらには自然災害などの不測の事態に際しても、道路構造物がその安全性を保持し得るべき対策として、道路構造物を常に良好な状態に保全している。このため、構造物の異常、損傷などの状態を把握し、損傷の状況に応じた対策の要否を判定することを目的に要領¹⁾を定めて点検を実施している。

点検は、目的に応じて表-1のように初期点検、日常点検、定期点検、臨時点検に区分して実施している。

この中で舗装の点検は、高速道路上を点検車により走行し、目視観察、車上感覚、簡易な測定を行う日常点検と一定期間ごとに舗装の損傷を路面性状測定車により自動測定を行う定期点検とを実施している。

4. 排水性舗装の供用実態

4.1 路面性状

阪神高速道路の舗装点検では、各々の橋梁の径間内にある車線単位で管理している。ただし、トンネル区間および土工区間は、橋梁径間内の車線単位の替わりに100mごとを車線単位としている。今回は、2008年1月と6月に新たに供用した京都線を除く、31,488車線を対象として舗装に発生している損傷状況を述べる。

損傷状況は、2008年8月11日現在（以下、現在）の舗装の設備資産に対してとりまとめた。現在の排水性舗装は、全車線の46.2%にあたる14,548車線、密粒

As舗装は23.5%の7,411車線、密粒ギャップAs舗装は24.4%の7,695車線である。

表-2は、日常点検の結果をもとに、現在の舗装資産に対して発生している損傷の状況を示したものである。これより、阪神高速道路全体では、約7%の舗装に損傷が生じている。この中で、排水性舗装を見ると約6.2%の損傷が生じているが、密粒As舗装や密粒ギャップAs舗装（以下、密粒系As舗装）と比較すると損傷の発生率は低い。橋梁の構造別では、鋼床版舗装の損傷発生率が、コンクリート床版舗装の約4倍と非常に高いことが分かる。また、土工部では、排水性舗装の損傷発生率が、密粒系As舗装の約1/2という状況である。

舗装路面に発生している損傷形態別の発生割合と損傷形態ごとに対する構造別での発生割合をとりまとめたものが図-3である。発生している損傷は、はく離（ポットホールを含む）が全体の60%近くを占めて

表-1 点検の種類

初期点検	初期点検は、新規路線の建設ならびに大規模な改築にあたって、以後の維持管理を行う上での基礎資料となる構造物完成後の初期状態を把握することを目的として実施する。
日常点検	日常点検は、安全かつ円滑な交通の確保および第三者に対する障害の防止を図ることを目的として日常的に実施する。
定期点検	定期点検は、道路構造物の機能低下の原因となる損傷を早期に発見し、構造物の損傷度を把握するとともに補修計画作成のための資料を得ることを目的として、長期点検計画に基づき一定時間ごとに道路構造物に近接して実施する。
臨時点検	臨時点検は、日常点検および定期点検を補完することを目的として、適宜必要に応じて実施する。

表-2 舗装の損傷発生率

		排水性舗装	密粒度As舗装	密粒ギャップAs舗装	全ての舗装
コンクリート床版	車線数	12,191	5,700	5,756	24,578
	損傷発生車線数	538	265	273	1,131
	損傷発生割合(%)	4.4%	4.6%	4.7%	4.6%
鋼床版	車線数	1,791	1,140	1,302	4,403
	損傷発生車線数	325	215	252	821
	損傷発生割合(%)	18.1%	18.9%	19.4%	18.6%
土工部	車線数	556	551	619	1,859
	損傷発生車線数	40	90	80	225
	損傷発生割合(%)	7.2%	16.3%	12.9%	12.1%
全体	車線数	14,548	7,411	7,695	31,488
	損傷発生車線数	904	570	606	2,191
	損傷発生割合(%)	6.2%	7.7%	7.9%	7.0%

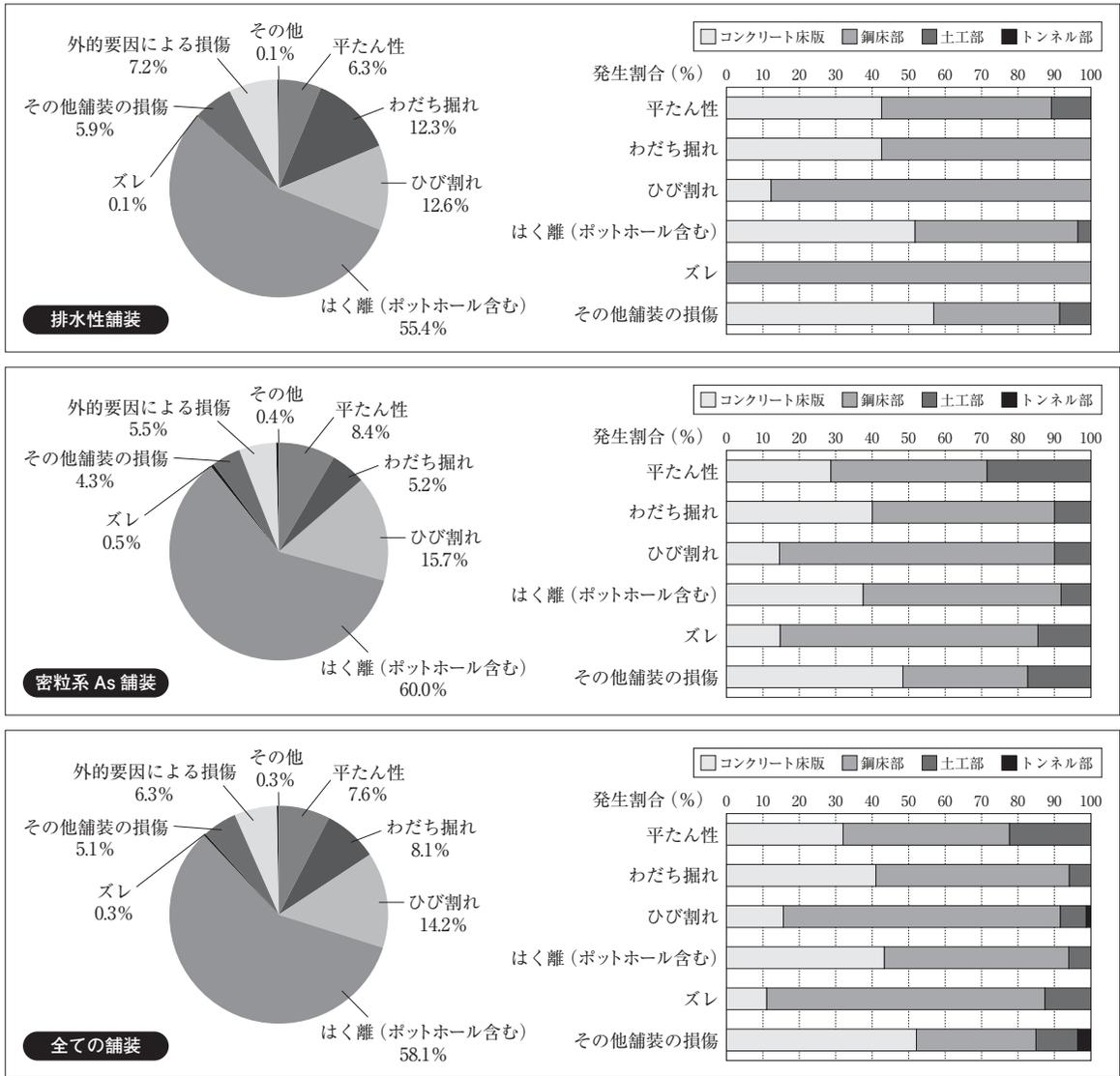


図-3 舗装の損傷発生率

おり、次にひび割れ、わだち掘れ、平たん性の損傷となっている。これらの4種類の損傷が全損傷数の90%近くを占めている。また、排水性舗装は、密粒系As舗装に比べ、はく離の発生率は低い、わだち掘れが3倍程度多くなっている。これは排水性舗装は、舗装端部の基層面での滞水もしくは端部から床版面に浸透した雨水が原因と考えられる写真-1のような局部的に発生する塑性変形が多いことが原因であると推察される。

次に、それぞれの損傷形態について構造別ごとの発生状況を見ると、排水性舗装は、密粒系As舗装に比べ橋梁部での損傷が多いことが分かる。鋼床版では特



写真-1 局部的に発生した塑性変形

にひび割れやズレ、コンクリート床版では平坦性、わだち掘れ、はく離が密粒系As舗装に比べ多くなっている。また、土工部の排水性舗装は、平坦性、はく離が多い。

現在の舗装資産は供用開始が車線毎に異なっているが、これを車線毎に供用年数を整理し、排水性舗装の供用年数と損傷発生率との関係を示したものが図-4である。これより、排水性舗装は、供用年数が1年増えるごとに1%程度、損傷発生率が増加するが、8年目以降では低くなっている。これは、舗装の打ち換えが原因であると考えられ、図-5の舗装の補修履歴をもとに打ち換えまでの年数を示した図において8年目以降で舗装を打ち換えることが多いことと一致している。また、補修履歴からすると舗装を打ち換える場合には、舗装種別に関係なく8年程度で行うことが多い。

4.2 機能性

排水性舗装は、排水機能と騒音低減機能を併せ持った舗装である。3号神戸線では、連続した高架橋にて大規模に排水性舗装を施工した初めての事例であったことから、追跡点検を実施してきた。追跡点検のデータは8年間のものである。図-6は、追跡点検での現場透水量と累積交通量(全車)との関係である。これより、現場透水量は、累積交通量とともに低下している。しかし、交通量の影響もあるが、土工部の道路では概ね7~8年程度で300ml/15s以下となっている報告²⁾があるのに対して、神戸線は高架構造であることから路面上に土砂などが搬入されることが少ないと考えられ、8年経過後も400ml/15s以上の透水量を確保している。ただし、流末の路肩部分には、降雨時に浮き水の生じる箇所も確認されている。

排水性舗装の騒音低減効果は、密粒As舗装と比較すると、一般に1kHz以上の周波数帯域にて期待できると言われている³⁾。この周波数帯域において初

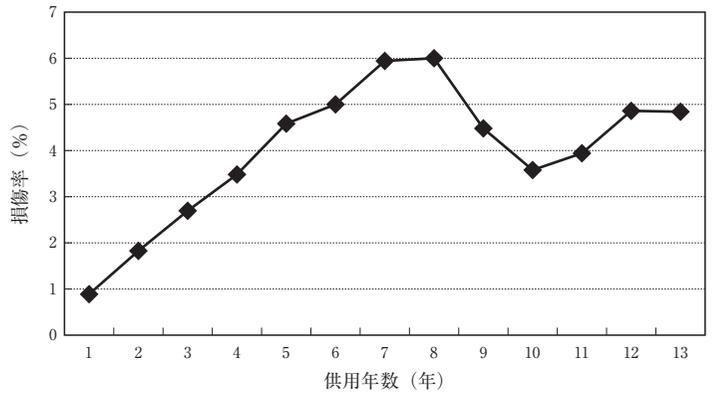


図-4 排水性舗装の供用年数と損傷発生率

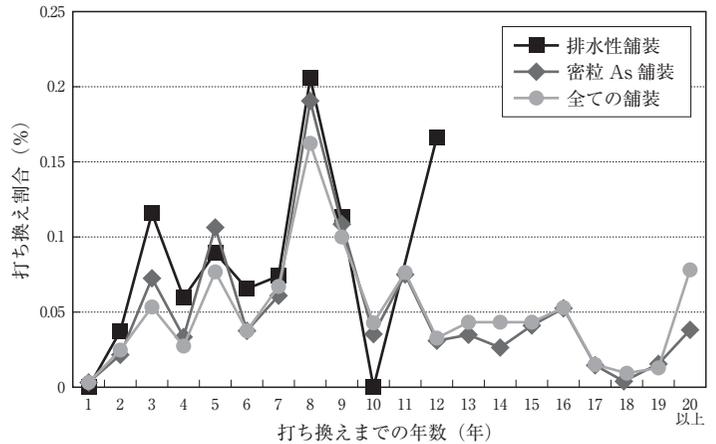


図-5 舗装打ち換えまでの年数

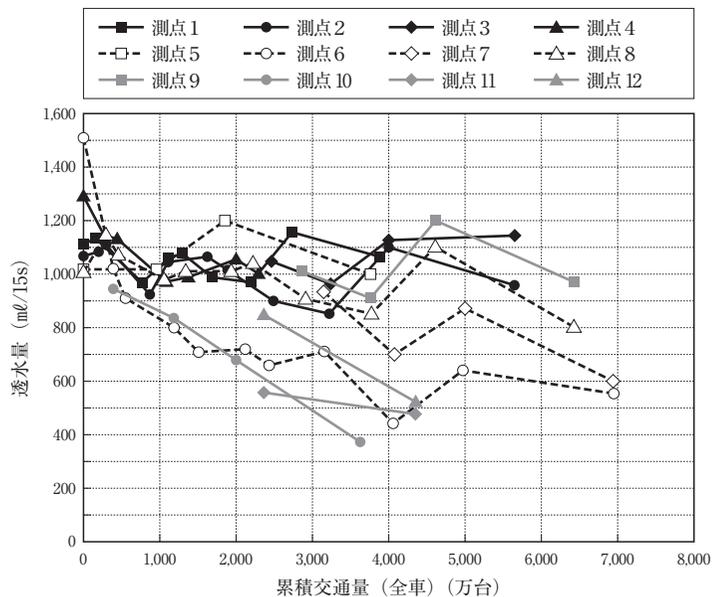


図-6 累積交通量と現場透水試験結果

期値と施工8年後の値とを比較した結果、騒音低減効果は少し低下しているものの密粒As舗装と比べるとその効果は大きく、騒音低減効果は持続していることが確認できている。

5. 排水性舗装の補修

損傷の生じた舗装は、路面を良好に維持することにより交通の安全と円滑な走行を確保し、車両走行による騒音や振動を低減することを目的に適切に補修することが必要となる。

補修は、点検要領¹⁾にもとづいて実施した日常点検や定期点検の結果から、発生位置、大きさ、原因などを確認し、点検結果を補完する現地調査とともに補修要否や補修方法の選定を行っている。

舗装の補修は、打ち換えを標準としているが、ポットホールや局部的に生じている塑性変形、段差などに対しては、部分補修を実施している。補修方法は、ポットホールや局部的に生じている塑性変形に対してはパッチング、段差は樹脂系の薄層舗装が基本である。

打ち換えによる補修を行う場合には、原則として1車線1径間を最小単位としている。排水性舗装は、走行車線および追越車線を同時に打換え補修することが望ましいと考えられるが、同時に打換えできない場合には、排水を確保できるかどうかの検討を行うこととしている。

また、排水性舗装の排水機能は、先に述べたように都市内高速道路であることから、一般道路と比較して機能低下の割合が低い。また、騒音低減機能の低下も

少ないことから、舗装の打ち換えを行うまでの年数では、機能回復を必要とするまでの機能低下は生じていないことが大半である。

6. まとめ

点検結果をもとに阪神高速道路における排水性舗装の損傷状況と補修方法について述べてきた。排水性舗装は、現状の舗装資産に対して、約6%の損傷が生じており、ポットホールを含むはく離やひび割れといった損傷形態が多い状況である。また、排水性舗装は、密粒系As舗装と比較すると損傷の発生率は低いが、舗装の打ち換えを行った箇所では、約8年で打ち換えていることが多い。

排水性舗装に生じている損傷は、密粒系As舗装と損傷形態は同様であるが、損傷発生原因は異なっていることも点検結果からうかがえる。このため、舗装路面に発生している損傷を的確に評価することが必要と考え、現在、評価手法を含めた損傷原因究明と補修方法の検討に鋭意取り組んでいるところである。

— 参考文献 —

- 1) 阪神高速道路株式会社：道路構造物の点検要領（共通編，土木構造物編），2005.10
- 2) 「低騒音舗装の維持清掃方法に関する検討」舗装，Vol.37 No.10，pp3-7，2002年
- 3) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，Vol.55 No.4，pp.281-324，1999年

ポーラスアスファルト混合物の再生技術

(Recycling Technology of Porous Asphalt Concrete)

新田 弘之*

ポーラスアスファルト舗装発生材は、今後発生量の増大が予想される。しかし、ポーラスアスファルト混合物のリサイクル技術はまだ確立していない状況である。本稿では、ポーラスアスファルト混合物をリサイクルすることによる環境的な効果を考え、その上で問題点、技術開発の状況、試験施工の状況などを紹介した。

1. はじめに

ポーラスアスファルト舗装は、高速道路、国道などを中心に施工ストックを増やしており、今後、更新を迎えるものの増加が見込まれる。更新の際には、ポーラスアスファルト舗装発生材が発生するが、この利用方法はまだ確立していない。

アスファルト・コンクリート塊の再利用率はおよそ99%であり、ほぼ完全にリサイクルされている。なおも上を目指し、これを100%にできないか、との期待もある中で、ポーラスアスファルト混合物のリサイクル技術が確立していないことは、非常に大きな問題である。ポーラスアスファルト舗装発生材量が増えたときに、現在の再利用率が落ちることがあってはならず、ポーラスアスファルト舗装のリサイクル技術の確立は、喫緊の課題であることは間違いない。

本稿では、ポーラスアスファルト混合物リサイクルの環境的な効果や、技術的課題、これに対する研究の状況などを説明する。

2. ポーラスアスファルト混合物のリサイクル効果

リサイクルの意義は、新たな資源の使用を最小限にするとともに、廃棄物の削減、燃料などの消費による排出物の削減などにある。製造された製品を中心に、燃料などを除いた新たな資源の使用の削減が分かるのが、再生骨材配合率である。再生骨材配合率が高いほど、新たな資源の投入量が少ないといえる。ここで燃料などを考慮しないとしたのは、リサイクルは必ずしも燃料などが削減されるとは限らず、むしろエネルギーは多く必要とすることの方が多い。また、再生

骨材配合率が高いからといって、舗装発生材が全て有効に利用されたとは限らない。良いところだけを使用して見かけ上の再生骨材混入率が高くなったとしても、使いづらいものばかりが残ってしまっただけでは、この使用方法がまた問題となり、全体の再利用率への影響が懸念される。

ではどんなリサイクル技術がいいのかというと、もちろん資源消費が少なく、余すことなく発生材を利用できるような技術である。難しいところもあるとは思われるが、それに近づけるように努力するのが重要である。

リサイクルの効果は、資源消費量の抑制だけではない。CO₂排出量をはじめとする環境負荷低減も期待できる。他のリサイクル技術では、必ずしも環境負荷低減にならない場合もあるが、アスファルト舗装の場合、これまでレポートされているように、CO₂排出抑制が図れることはほぼ確実と思われる。

原料調達、輸送、生産についてのCO₂排出量の試算した結果を表-1に示す。原単位や計算方法の詳細は文献^{1,2)}を参照してもらいたいが、密粒度混合物と再生密粒度混合物では、再生は新材に比べて、9.1 kg-CO₂/t (再生骨材配合率60%)、3.3 kg-CO₂/t (同30%) 排出削減されると試算される。これに対し、再生ポーラスアスファルト混合物では、14 kg-CO₂/t (同30%) 排出削減と試算され、効果が高いことがわかる。ここで、再生骨材配合率を30%としているのは、これまでの試験施工などからの知見をもとに設定している。30%の再生利用でも60%の再生密粒度混合物より効果が高いのは、表-1の上段に示しているように、ポリマー改

* につた ひろゆき 独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループ 新材料チーム 主任研究員

表-1 アスファルトおよびアスファルト混合物のCO₂排出原単位

			CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)				算出条件	出典
			生産	原材料	輸送	合計		
アスファルト	ストレートアスファルト	kg当たり	-	-	-	2.48×10 ⁻¹		文献1)より
	ポリマー改質アスファルトH型	kg当たり	2.83×10 ⁻¹	5.23×10 ⁻¹	1.78×10 ⁻²	8.24×10 ⁻¹	SBS10%として計算	文献1)を基に算出
混合物	密粒度混合物(ストアス)	t当たり	2.65×10 ¹	1.45×10 ¹	9.40×10 ⁰	5.04×10 ¹	骨材輸送57.6km, アスファルト輸送115.2kmとして計算	上記および文献2)を基に算出
	ポーラスアスファルト混合物(改質H型)	t当たり	3.03×10 ¹	4.20×10 ¹	9.35×10 ⁰	8.16×10 ¹	〃	〃
再生混合物	再生密粒度混合物(ストアス)60%	t当たり	2.91×10 ¹	8.36×10 ⁰	3.76×10 ⁰	4.13×10 ¹	〃	〃
	再生密粒度混合物(ストアス)30%	t当たり	2.91×10 ¹	1.14×10 ¹	6.58×10 ⁰	4.71×10 ¹	〃	〃
	再生ポーラスアスファルト混合物(改質H型)30%	t当たり	3.03×10 ¹	3.08×10 ¹	6.55×10 ⁰	6.76×10 ¹	〃	〃

質アスファルトH型の排出原単位が大きいことに起因する。

このように、ポーラスアスファルト混合物のリサイクルは、資源の有効活用だけでなく、CO₂排出抑制効果も高いことから、意義の高いことが改めて確認された。従って、このことから今後の技術開発の重要性が分かる。

3. ポーラスアスファルト混合物のリサイクルにおける課題

ポーラスアスファルト舗装発生材のリサイクルは、通常の舗装発生材のリサイクルと比べ、どのように違うのか、整理してまとめると表-2のようになる。主

な違いは、ポーラスアスファルト混合物に使用される使用材料の違いからくるものである。ポーラスアスファルト混合物は、骨材粒度が通常と異なることと、ポリマー改質アスファルトH型を使用しているということである。

配合設計や耐久性・供用性については、研究開発や試験施工が進み、近いうちにある程度の解決が見込める。施工についても、経験を積むことである程度解決するものと思われる。一方、製造技術については、試験施工のような数量的に少ない場合は問題にならなくても、数量が多くなると再生骨材の製造工程、再生混合物の製造工程それぞれでアスファルトモルタルの付着等の問題が発生することが予想される。

表-2 ポーラスアスファルト舗装発生材のリサイクルにおける課題

項目	ポーラスアスファルト舗装発生材のリサイクル	密粒系アスファルト舗装発生材のリサイクル(従来)	
発生材	発生形態	・切削材として搬入 ・不連続だが、まとめて搬入	・大部分がアスコン塊として搬入、一部が切削材 ・連続的に搬入
	性状	・切削により、細粒化 ・切削状況により、粒度が変動 ・再生骨材中の旧アスファルトの評価方法が未確立	・アスコン塊からの再生骨材は、粒度の変動小 ・地域毎に再生骨材の平均的な粒度・アスファルト量・針入度の把握可能 ・再生骨材中の旧アスファルトを抽出して確認可
配合設計	粒度	・粒度の変動が大きく、発生材の粒度を現場毎に調査して配合設計が必要	・再生骨材の粒度は安定、管理データで対応可能 ・切削材は定量使用で対応可能
	基準	・再生に関する適切な評価指標が未確立 ・再生用添加剤等の材料や性状等の基準なし	・舗装再生便覧に従う(再生用添加剤や混合物性状等の基準あり)
製造・施工	製造	・再生骨材単独で加熱する場合、温度が上がりにくい ・ドライヤへのアスファルトモルタル付着が懸念 ・再生骨材の加熱温度の目標値が未確立	・製造方法は確立済み
	施工	・一般の施工機械で施工可能	・一般の施工機械で施工可能
耐久性・供用性	・重交通道路での供用性や長期の耐久性が不明 ・再生骨材配合率の限界が不明	・再生骨材配合率によらず、新規混合物と同等	

上記は、技術的課題であり、当然困難なこともあるが、努力により解決はできるものと思われる。しかし、発生形態については、不連続に発生する状況は、今後も変わらないと予想される。この問題には、プラントだけでは対応できないところもあり、各方面での検討が必要である。

4. 再生ポーラスアスファルト混合物の配合設計

ポーラスアスファルト舗装発生材の再生混合物への利用方法としては、密粒度タイプの再生混合物に利用する場合と、再生ポーラスアスファルト混合物に利用する場合が考えられる。どちらの配合設計方法も確立してはいないが、ここでは、特に従来の配合設計方法とは異なる方法となるであろう再生ポーラスアスファルト混合物の配合設計法について説明する。

再生ポーラスアスファルト混合物の配合設計法としては、舗装再生便覧に事例が紹介されている。図-1にフローを示す³⁾。使用材料は、骨材のほかに、①再生用改質アスファルト、②改質材と再生用添加剤（あるいはこれらがミックスされたもの）などがある。粒度を合わせる作業とともに、アスファルトの性状回復を行うが、添加剤などの添加量を決めるのが、カンタプロ試験となっている。カンタプロ損失量に目標値を定め、目標値と同等となる添加量を求める方法である。

これまで、試験施工はこの配合設計法を用いたものが多く見られている。ただし、問題点も指摘されており⁴⁾、再生骨材の性状によっては、添加剤等の添加量が定まらない場合があり、またカンタプロ試験の温度（通常20℃）付近の性状は、新規材料と同等であるが、60℃での性状が劣る場合も報告されている。これに対して1つの方法として、60℃で圧裂試験を行い、この結果も考慮して配合設計する方法が提案されている。高温での圧裂試験は、供試体と治具の接触部分でつぶれてしまう心配があるが、ポーラスアスファルト混合物の場合、ポリマー改質アスファルトH型を使用しているということで、高温での試験も可能となっている。

これらの方法でも、製造・施工温度域での性状は考慮できない。実際に、再生ポーラスアスファルト混合物の施工では、非常に粘性が高く、施工性が悪くなる場合がある。従って、製造・施工温度域での性状確認も必要である。しかし、これまで、この温度域での性状確認方法は提案されておらず、今後の研究に期待する。

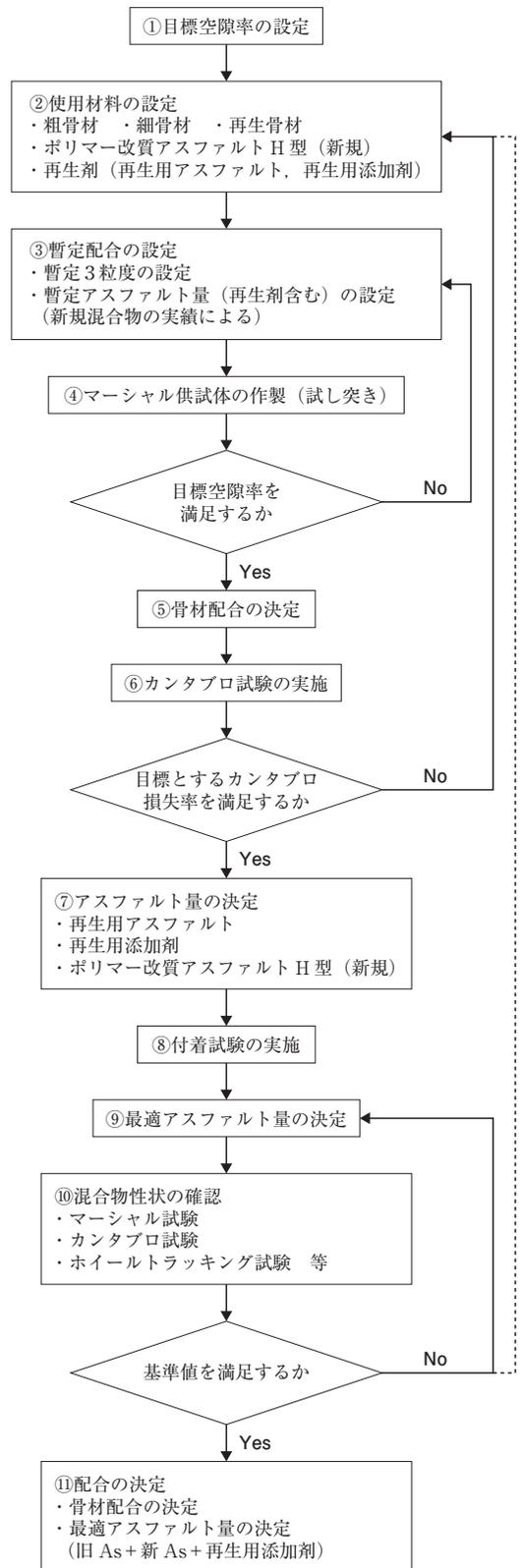


図-1 再生ポーラスアスファルトの配合設計フロー³⁾

5. 再生骨材の加熱温度

再生ポーラスアスファルト混合物を製造する際に、再生骨材を加熱しなければならないが、再生骨材にはポリマー改質アスファルトH型が含まれ、添加剤類や新アスファルトと十分に混合するためには、混合が可能な粘性となるまで昇温しなければならないと考えられる。

これについては実プラントで再生骨材温度を変化させて再生ポーラスアスファルト混合物を製造し、性状を比較することにより知見を得ている。図-2に示すように、適切な混合物を製造するためには再生骨材温度を少なくとも130℃以上にすることが必要であり、170℃が最適値となった。これ以上加熱すると、熱劣化の影響が大きくなり、混合物性状は低下していく。

ただし、再生プラントにもよるが、再生骨材を170℃まで昇温することが非常に難しいことが多く、バージンの砂と一緒に流すなど、対応が必要である。

6. ポーラスアスファルト混合物の再生に関する試験施工

これまでに、ポーラスアスファルト混合物の再生に向けた検討は、各種検討されており、地方整備局などで実際に試験施工が行われている。

地方整備局などの試験施工を行った組織と舗装発生材の種類とそれを用いた再生混合物の種類について整理して表-3に示す。

特に地方整備局での試験施工のいくつかについては、(社)日本道路協会舗装委員会環境・再生利用小委員会の活動と連動して実施しており、継続的に路面性状を調査している。試験施工の一覧を表-4に示す。これらの試験施工の路面性状の調査結果の一例を図-3に示す⁶⁾。これまで2年が経過しているが、再生骨材配合率が30%までは比較工区と比べて大きな違いが見られておらず、この範囲であれば再生可能であると見ている。

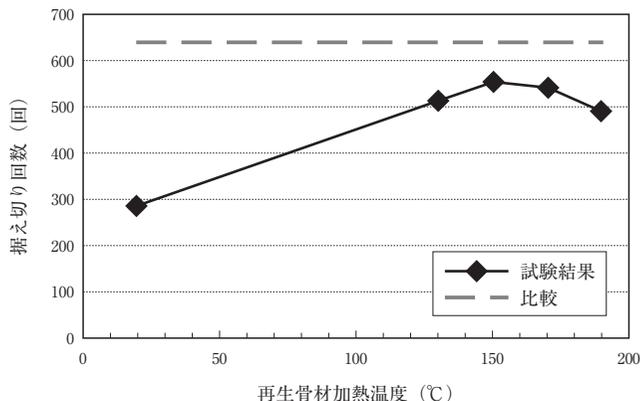


図-2 再生骨材加熱温度の影響⁵⁾

表-3 発生材種類と再生混合物

		利用先	
		密粒度タイプ再生舗装	ポーラスタイプ再生舗装
発生材種類	通常舗装発生材	一般化済み	近畿地整, 中国地整など
	通常舗装発生材とポーラスアスファルト舗装発生材の混合材	東京都など	茨城県 (土木研究所前 国道408号)
	ポーラスアスファルト舗装発生材	北陸地整, 九州地整, 東京都など	東北地整, 関東地整, 近畿地整, 中国地整, 高速道路など

表-4 試験施工箇所および確認項目

舗装種別		排水性舗装発生材→密粒系舗装		排水性舗装発生材→排水性舗装		
		北陸地方整備局 国道8号新潟県白根市 H17.3	九州地方整備局 国道3号熊本県鹿本郡 H16.12	関東地方整備局 国道16号千葉県市原市 H17.6	近畿地方整備局 国道176号兵庫県西宮市 H17.3	中国地方整備局 国道2号山口県下関市 H17.5
確認事項	地整場所 項目 施工年月					
再生骨材の粒度	分級範囲	13-0mm	13-0mm	13-5mm 13-0mm	13-5mm 13-0mm	
限界配合率	再生骨材配合率: R	30%	50, 30, 20%	30, 20%	50, 30, 20%	
配合設計	バインダの再生	目標針入度 40, 50, 60	目標針入度 50	カンタプロ損失率 or 目標針入度	カンタプロ損失率 or 目標針入度	

7. おわりに

現在までに、再生ポーラスアスファルト混合物は、試験施工には対応できる状況となっているが、ポーラスアスファルト舗装発生材が大量にプラントに持ち込まれたときに対応できる状況にはない。ストックヤードの問題、クラッシャやヒータの問題など、プラントにおける問題が多く、敬遠されることは想像がつく。しかし、ポーラスアスファルト混合物は、高価であるばかりでなく環境負荷の大きい素材を使用している。これをリサイクルすることは、資源の有効活用であり、環境負荷低減にも寄与する。ポーラスアスファルト舗装発生材であることをマイナスとして捉える空気を転換して、プラスとして捉えられるように、諸技術の開発だけでなく全体のシステム作りに取り組んでいきたいと思う。関係各位にもご協力の程、お願いしたいと思う。

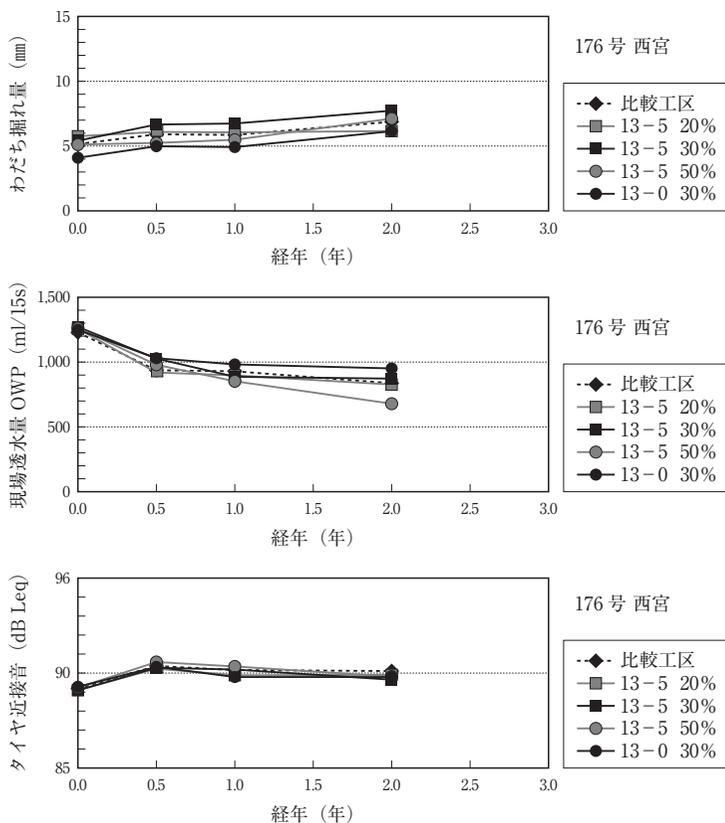


図-3 排水性→排水性工区 (R176) の路面性状変化⁶⁾

参考文献

- 1) 新田, 西崎: 舗装資材の環境負荷原単位に関する検討, 第63回土木学会年次講演会, 2008.9
- 2) 新田, 西崎: 廃タイヤ, 廃プラスチック再生資材の舗装利用に関するLCA評価, 土木学会舗装工学論文集, 第13巻, 2008 (投稿中)
- 3) 日本道路協会: 舗装再生便覧, 2004.2
- 4) 新田, 小長井, 西崎, 伊藤: 再生ポーラスアスファルトの諸性状と配合設計に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第10巻, 2005.12
- 5) 小長井, 新田, 久保, 西崎: 再生骨材加熱温度が再生ポーラスアスファルト混合物に与える影響, 第61回土木学会年次講演会 CD-ROM, 2006.9
- 6) 佐々木, 新田, 久保: 排水性舗装発生材を再生利用した直轄国道試験舗装の路面性状変化, 第27回日本道路会議 CD-ROM, 2007

高機能舗装の再生利用

(Recycle of Porous Asphalt in NEXCO)

神谷 恵三*

資源の有効利用とCO₂の削減を実現するために、ストックが増え続けている高機能舗装の再生利用を進めることはNEXCOの大きな課題である。高速道路においてこれまでに実施したプラント再生に関する技術的な成果として、再生骨材の混入率を高める方法と共に、再生加熱ドライヤー内への付着防止対策を紹介する。また、本工法の運用上の問題と共に近年の損傷形態を視野に入れた実施中の共同研究の方針を述べるものである。

1. はじめに

東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)および西日本高速道路(株)（以下「NEXCO」という）が運営する高速道路では、全舗装路面のうち排水性舗装（以下「高機能舗装」という）が占める割合は60%にまで達している。この膨大なストックを如何にして再生利用して行くかはNEXCOの大きな課題である。これについては、民営化以前からも取組んでおり、平成11年当時の旧JHと民間企業6社が実施した高機能舗装の再生に関する共同研究が上げられる。ここで得られたプラント再生工法と路上再生工法に関する基礎的な研究成果については、本誌215号¹⁾において既に紹介している。

このうち、プラント再生工法については中央道において国内初となる試験施工を実施しており、現在も良好な供用性を保持している。本工法の大きな知見は、高速道路から採取した旧材料を再生プラントまで持ち込み、厳選なる品質管理を施せば、新材料と同等の施工性及び耐久性を期待することができるということであった。

その後、当該工法については当時の共同研究者と共に、旧材の更なる有効活用を図るための各種検討を行い、重交通路線での試験施工にまで至ることができた。本検討の成果は、平成15年に得られたものであるが、ここでの知見はその後多くのプラント再生工事の参考として活用されることとなった。本文は当時の知見²⁾を紹介すると共に、高機能舗装の再生利用に関する現在の取組を述べるものである。

2. プラント再生工法の技術的課題

中央道で示された技術的課題として、配合及び再生混合物の製造に関し、次のような内容が挙げられた。

- ①再生骨材の混入率をなるべく多くする（混入率50%）ため、現場発生材をクラッシング後分級した再生骨材のうち、粒径13～5mmの再生骨材のみを使用し、粒径5～0mmの再生骨材が使用されていない¹⁾。
- ②東京都が行った検討³⁾によれば、再生高機能舗装混合物の製造時に、再生加熱ドライヤー内へアスファルトモルタルが付着するため、これの付着防止対策の必要性を指摘している。

3. 配合設計に関する検討²⁾

3.1 高機能舗装発生材

本検討には、供用後7年経過の高機能舗装混合物の切削発生材を再生プラントにおいて、粒径13～0mmにクラッシングした（以下、再生骨材13-0とする）。

再生骨材13-0の性状を表-1に示す。また、比較として、建設時の粒度を併記する。4.75mmでの通過質量百分率で約30%増加しているのは、切削およびクラッシングのほか、空隙詰まり物質の混入等によるものと考えられる。

3.2 再生剤

針入度の回復と骨材把握力の補充を目的として、再生用添加剤のほか、再生用改質剤を併用した。

なお、今回使用した再生用添加剤は、オイル系のも

*かみや けいぞう (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 室長

表-1 再生骨材の粒度（クラッシング後）

項目	建設時	クラッシング後
		再生骨材 13-0
抽出アスファルト量 (%)	4.8	4.5
通過質量百分率 (%)	19.0mm	100.0
	13.2	95.3
	9.5	66.3
	4.75	19.8
	2.36	15.7
	0.6	8.9
	0.3	7.1
	0.15	5.7
	0.075	4.6

のであり、劣化により凝集したアスファルテンを分散させ、再生能力の大きい成分である芳香族分等を補うものである。また、再生用改質材は、新たに熱可塑性エラストマーを補充するものであり、分散性を良くするためにエマルジョン系のものを採用した。

3.3 骨材およびアスファルト

補足材として必要となる新規骨材と高粘度改質アスファルトは、一般的な性状のものを使用した。

3.4 配合設計手法

高粘度改質アスファルトの回収は困難であるので、本検討では、混合物性状を指標として、再生剤の添加量を決定することとした。

混合物性状は、前回の試験施工¹⁾と同様にカンタブロ試験による骨材飛散抵抗性（カンタブロ損失率）を指標とした。また、カンタブロ損失率の目標値は、試験施工箇所における追跡調査結果をもとに10%以下に設定した。

なお、再生高機能舗装混合物の目標空隙率は、一般地域において適用されている20%を採用した。

3.5 配合の検討

(1) 骨材配合

表-2に設定した骨材配合を示す。クラッシングのみを行った再生骨材13-0を使用した配合（表中の配合A）の場合、混入率は最大でも30%に留ってしまう。そこで、再生骨材生産用のスクリーンの改良を行い、再生骨材13-0を粒径13～5mm（以下、再生骨材13-5とする）および5～0mm（以下、再生骨材5-0とする）に分級して使用することとした。

表-3に分級後の再生骨材の粒度を、また、表-2（表中の配合B）に当該の分級骨材を使用した骨材配

表-2 骨材配合

使用材料	6号 砕石	砕砂	石粉	再生骨材			
				13-0	13-5	5-0	
骨材配合 (%)	配合A	64	3	3	30	-	-
	配合B	48	-	2	-	40	10

表-3 再生骨材の粒度（分級後）

項目	クラッシング後	分級後		
	再生骨材 13-0	再生骨材 13-5	再生骨材 5-0	
抽出アスファルト量 (%)	4.5	3.7	6.0	
通過質量百分率 (%)	19.0mm	100.0	100.0	100.0
	13.2	100.0	100.0	100.0
	9.5	92.0	89.4	100.0
	4.75	51.3	28.9	98.0
	2.36	33.1	16.3	69.7
	0.6	20.5	12.4	39.3
	0.3	16.2	10.4	27.4
	0.15	9.3	6.8	14.0
	0.075	5.9	5.0	8.5

合の検討結果を示す。このように分級を行った再生骨材13-5、再生骨材5-0を併用することで、再生骨材全体の混入率が50%となり、分級前に比較して20%多くすることが可能となった。さらに、この対応を行うことで、再生骨材13-0を単独で使用する場合に比べ、再生骨材の粒度変動は少なくなることが想定され、再生混合物の品質向上に寄与することが考えられる。

(2) 再生剤の添加量

カンタブロ試験結果を図-1に示す。カンタブロ損失率が目標とする10%以下となる再生用添加剤量は18%となるが、混合物製造時におけるばらつき等を考慮し、十分に目標値をクリアさせるため、20%とした。

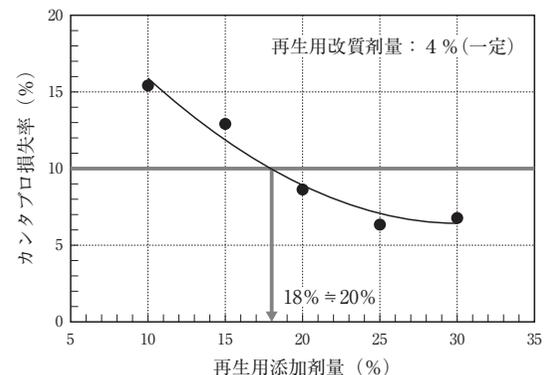


図-1 カンタブロ試験結果

3.6 室内試験による混合物性状

再生高機能舗装混合物のマーシャル安定度試験結果（安定度，残留安定度）は，新規高機能舗装混合物に比べ，優れた性状を示したほか，他の混合物性状についても，新規高機能舗装混合物と遜色ない性状を確認した。

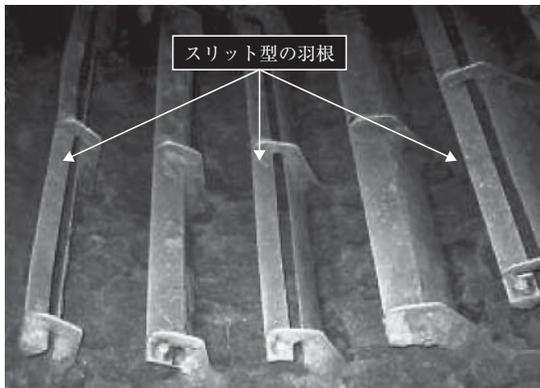
4. 再生高機能舗装混合物の製造に関する検討²⁾

実機での混合物の製造に際し，再生加熱ドライヤー内のアスファルトモルタルの付着防止対策として以下の検討を行った。

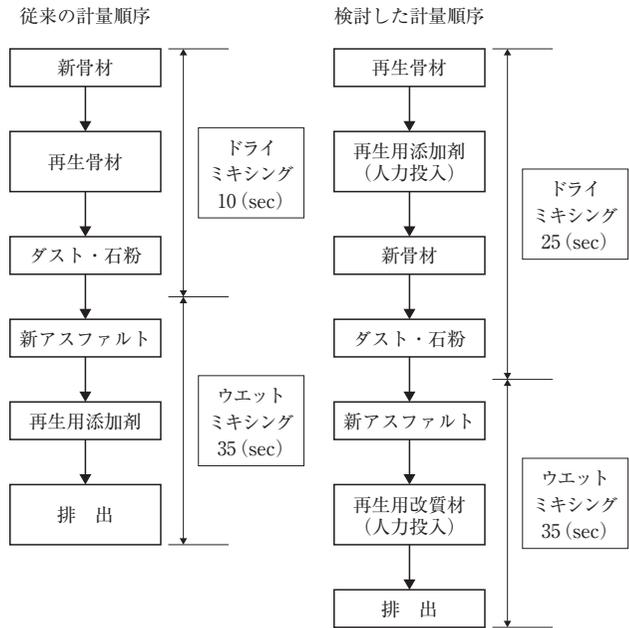
本検討においては，再生加熱ドライヤー内の羽根の一部に改良を施し，モルタル分の付着防止を試みた。改良後の羽根の状況を写真－1に示す。

再生高機能舗装混合物の製造は，図－2の右図に示す手順で実施した。旧アスファルトが高粘度改質アスファルトであるので，高粘度に伴う混合性の低下が懸念される。このため，再生骨材中に含まれる旧アスファルトに再生用添加剤が直接接触すること，並びに併用した再生用改質剤の分散性を向上させることを主眼に，図－2左図に示す従来の計量順序のうち，新規骨材と再生骨材の計量順序とドライミキシング時間を変更した。

試験練り時における再生骨材（再生骨材13.5 + 再生骨材5.0）の加熱前の合成粒度および加熱後の抽出粒度を比較したところ，2.36mm以下の粒度において，加熱後の粒度が1～3%程度粗くなった。再生加熱ドライヤー内の羽根の改良を実施したにもかかわらず，依然として，アスファルトモルタル分の付着が生じ，粒度に影響を与えていることが確認された。このため，



写真－1 改良後の再生加熱ドライヤー内の羽根装着状況（スリット入りを交互に配置）



図－2 再生高機能舗装混合物の製造フロー

プラント配合については，再生加熱ドライヤー内へのアスファルトモルタルの付着の影響を考慮し，室内配合設計時の合成粒度を目標に再生骨材13.5および再生骨材5.0の流量を微調整することとした。

その結果，本線の試験施工の際には表－4に示すように，概ね目標どおりの混合物が製造できることを確認した。

その後，試験施工は問題なく実施されており，数年間は良好な供用性を示した。下層に起因するひび割れが最近になって確認されたが，骨材飛散の発生には至っていない。

表－4 再生高機能舗装混合物の抽出試験結果

項目	現場配合	再生高機能舗装混合物
アスファルト量 (%)	4.9	4.6
通過質量百分率 (%)	19.0mm	100.0
	13.2	98.7
	9.5	72.4
	4.75	24.7
	2.36	16.3
	0.6	11.2
	0.3	9.3
	0.15	6.5
	0.075	4.9

5. 現在の取組

以上のように、プラント再生工法の技術的課題には対応することができた。しかし、旧材を全て高速道路上からの発生材に固定すると共に分級に伴う粒度調整を実現するためには、再生プラントでのヤード確保の問題や機械改良に伴うコスト増という運用上の問題は避けられない。当該再生工法の適用が伸び悩んでいるのは、これらの理由による。さらに、近年になって浮上した新たな理由として、高機能舗装特有の損傷形態が上げられる。

高速道路の一部の現場では、基層以下の混合物の剥離に起因する構造的な損傷(写真-2)が顕在化しており、表層だけではなく基層以下も補修対象として捉えられている。これより、表層のみをプラント再生とし、基層以下を切削オーバーレイ工法に委ねるべきではないと考える。

このため、(株)高速道路総合技術研究所では資源の有効活用と共にCO₂の削減を実現するために、民間の舗装会社等と共に、昨年末から路上再生工法に関する共同研究を進めている。



写真-2 ポンピングの発生事例

ここでの研究方針を以下に示す。

- ①再生工法の施工範囲については、高機能舗装下の基層が雨水により脆弱化しているケースが多いことから、表層に限定することなく、下層まで再生可能な工法の開発を目指す。
- ②再生対象とする表層工種は、密粒度及び高機能舗装とする。再生舗装の混合物種別は高機能舗装混合物を基本とするが、碎石マスタックアスファルト混合物も対象とする。
- ③再生舗装の耐久性及び機能は、新規アスファルト混合物を使用した切削オーバーレイ工と同程度とする。
- ④施工費用については、切削オーバーレイ工と同程度を目指す。

これまでの研究から、高粘度改質アスファルトの熱劣化を避けつつ旧材を掻きほぐすという技術や、粒度改善を図る技術など、プラント再生より難度の高い課題を有していることが判明している。

現在は、路面加熱による層内の温度分布や基礎的な配合試験を実施している段階である。着実な成果が得られた時点で報告することとしたい。

— 参考文献 —

- 1) 神谷恵三：排水性混合物の再生利用への取り組み、アスファルト215号, pp.27-34, 2004.5
- 2) 松本大二郎ほか：高機能舗装混合物のプラント再生に関する検討、舗装工学論文集, pp.125-132, 2004.12
- 3) 武本敏男ほか：再生した特殊開粒度アスファルト混合物の試験施工、平成15年東京都土木技術研究所年報, pp.284-292, 2003

ポーラスアスファルト舗装の機能回復・維持作業の現状

(The Present State of the Cleaning for Clogging of Porous Pavements)

増山幸衛*

ポーラスアスファルト舗装は、多くの空隙を有する構造であることから、騒音低減効果や排水性などの機能を発揮することが知られている。しかしこれらの空隙は塵埃などの堆積によって閉塞し、機能低下原因のひとつとなっている。そのため、これらのつまり物をどのように除去するかが日本のみならず、ポーラスアスファルト舗装を導入している欧米においても問題となっており、そのための研究開発が進められている。本文では、つまり物を除去するために開発された、日本およびオランダの装置とともに、現在のつまり物の除去に関する状況を紹介する。

1. はじめに

ポーラスアスファルト舗装(以下、ポーラス舗装)は、多くの空隙を有するため、騒音の低減や排水などの効果を発揮することが知られている。しかしこれらの機能は、空隙が閉塞することにより徐々に低下していくことから、空隙を確保するための研究がなされてきた。

当初欧米で開発されたポーラス舗装であるが、高粘度タイプバインダの開発、2層式排水性舗装の実用化、そしてつまり物の除去技術の開発など、日本の技術は世界の最先端を行くまでに成長しており、特につまり物の除去技術については、Sandbergらが「最も見込みのありそうな処置は、松田が1998年に行った研究報告である」¹⁾と記述しているように、世界的にも評価されており、EUでは日本の技術を参考に新たな研究を進めている。

2. 空隙つまり物の除去装置

2.1 開発の経緯

ポーラス舗装の空隙つまり物の除去に関する研究は、1990年には欧米において実用機に関する報告がなされており、日本でもその直後から実験機を用いた研究が進められてきている²⁾。欧米における除去は清掃(Cleaning)作業であるのに対し、日本では当初、初期に近い状態にまで機能を回復させる、いわゆる機能回復(Recovery)を目的とした。しかしその後、機能の低下を防止させる、いわゆる機能維持(Maintenance)

へと変わってきている。

機能回復作業では、空隙つまり物を1度の作業でいかに大量に除去するかが求められたのに対し、機能維持作業ではトータルコストの低減が求められることから、作業効率を向上させるため、1度の作業で除去できるつまり物を減らしても、移動規制で作業可能な速度で作業を行い、かつその頻度を多くする方式が提案されるようになってきた。これらの開発の経緯をまとめ、図-1に示す。

2.2 空隙つまり物の除去装置

除去作業は、通常次の2工程に分けられる。

移動：空隙内に堆積したつまり物を移動させる

回収：移動させたつまり物を回収する

移動は、水や空気などの打撃力、回収は、基本的には吸引による方法が採られている。日本で最初に実用化された装置は高圧水洗浄後、吸引回収を行うもの(以下、評価型)であり、次いで吸引回収量を増大させるために真空ポンプを搭載した高真空型³⁾、機能維持作業を目的にエアカーテンを用いた高速型⁴⁾、水だけを用いた洗浄型⁵⁾、そして空気だけを用いた空気洗浄型^{6,7)}が開発されている。

これらの装置は専用装置として1台にまとめられていることや、洗浄水は回収し再利用するなど、機械構成等は類似のものとなっているため、例として高速型の仕様と機械配置を表-1、図-2に示す。

*ますやま ゆきえい 世紀東急工業(株) 技術研究所 副所長

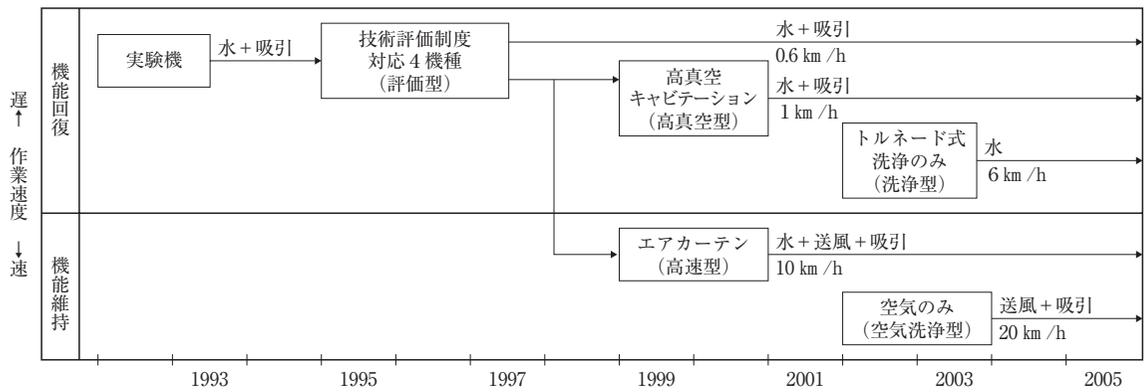


図-1 日本における空隙つまり物の除去装置の開発

(1) 評価型

2005年度に建設省(現国土交通省)の技術評価制度に応募して製作され、作業1回当たりの除去能力に重点を置いている。5~10MPaの水圧でつまり物を洗浄後、汚泥水を回収ろ過し、再利用する。作業は閉塞した規制内で0.6km/h(10m/min)程度の速度で行う。

洗浄装置の例を図-3に示す。

(2) 高真空型

つまり物の除去効果をもとめるために、微細な気泡を発生させるキャビテーションジェットを搭載するとともに、回収効果をもとめるために、高真空ポンプを装備している。作業は1km/h程度で行う。

洗浄装置を図-4に示す。

(3) 高速型

閉塞した交通規制をしないために、作業速度を向上させた。作業1回あた

表-1 高速型の仕様

項目	基本仕様	項目	基本仕様
全長	9,700mm	作業速度	1~10km/h
全幅	2,490mm	水使用/空気のみ	
全高	3,500mm	水タンク容量	2,500L
車両総重量	20,400kg	サブタンク容量	1,000L
フロア風量/吸引圧力	100×-5 (m ³ /min) (kPa)	作業幅員	2.0m
水吐出圧力×同水量	5×340 (MPa) (L/min)	作業用エンジン出力	116 (226)/1,800×2基 (kW(PS)/rpm)
		ノズル取付け形式	固定式ノズル

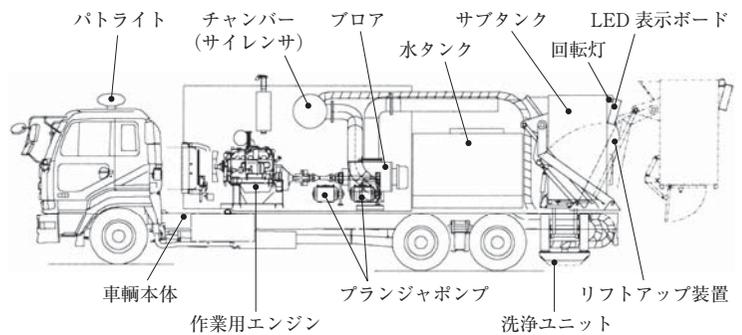


図-2 高速型の機械配置

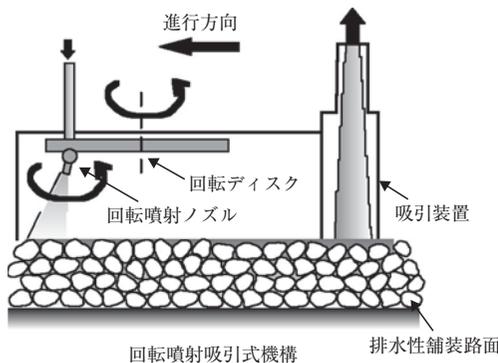


図-3 評価型の洗浄装置例⁸⁾

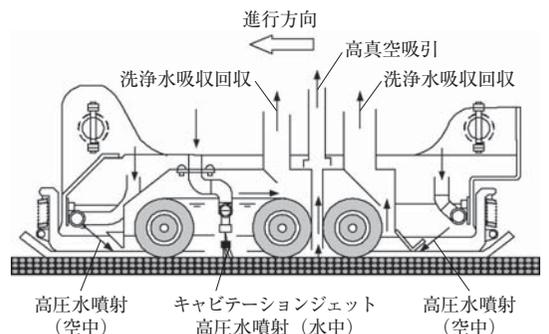


図-4 高真空型の洗浄装置³⁾

りの除去効果よりも、作業効率を向上させることにより、長期間の定期的な作業の繰り返しによる機能の維持を目的としている。吸引とエアカーテンによる回収方式を採用し、作業は10km/h程度で行う。

洗浄装置を図-5に示す。

(4) 洗浄型

前述の3機種が洗浄後吸引回収を行う方式であるのに対し、洗浄水の勢いを利用して汚泥水を回収する機構となっている。作業は、低速型と高速型の中間に位置する7km/h程度の速度で行う。

洗浄装置を図-6に示す。

(5) 空気洗浄型

前述の装置が全て水で洗浄するのに対し、空気による洗浄方式を採用している。

1回当りの除去効果は小さくなるものの、水の補給、汚泥水の排出作業がないため、作業効率が大きく向上した。また汚泥ではなく、乾燥状態で回収できるために、処理費用が安価になるなどの特徴を有する。

装置の例を図-7に示す。

3. 空隙つまりの状況

つまり物の除去効果を評価するためには、空隙つまり状況を把握することが必要となる。国土交通省東京国道事務所（以下、東国）では、一般国道4号において、最大骨材粒径13mm、空隙率20%、表層厚さ40mmの舗装を対象に、堆積状況を確認するための調査を行った⁹⁾。

その結果図-8に示すように、供用後2年程度までの堆積量は年間300~340g/m²と測定位置に関係なく増加していくものの、その後は測定位置によって堆積量が異なっていくことを確認した。

しかし図-9に示すように、東国管内の300g/m²に対し、鳥根県では700~1,500g/m²、

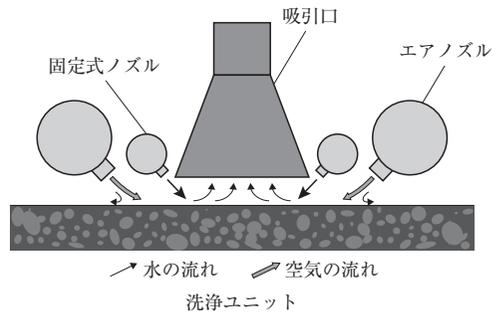


図-5 高速型の洗浄装置⁴⁾

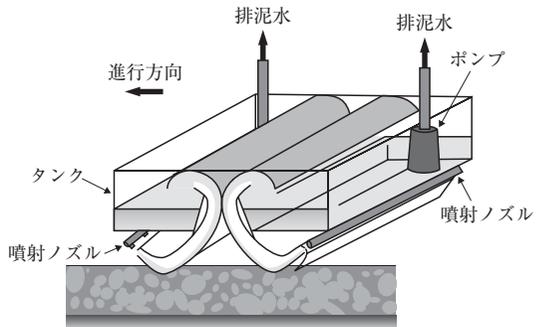


図-6 洗浄型の洗浄装置
(参考文献5) 図-1, 2より作成)

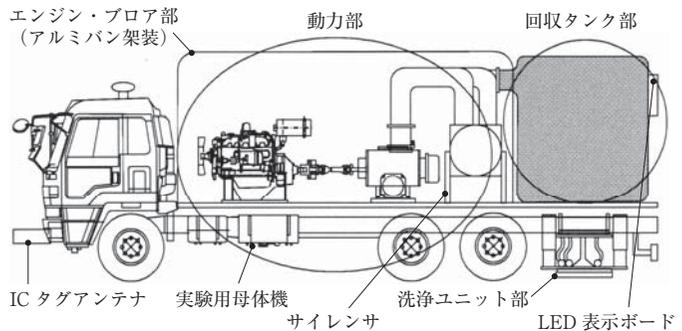


図-7 空気洗浄型機能維持装置⁶⁾

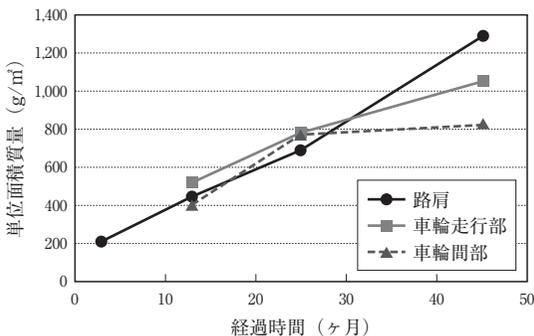


図-8 空隙つまり物の堆積状況 (48ヶ月まで)⁹⁾

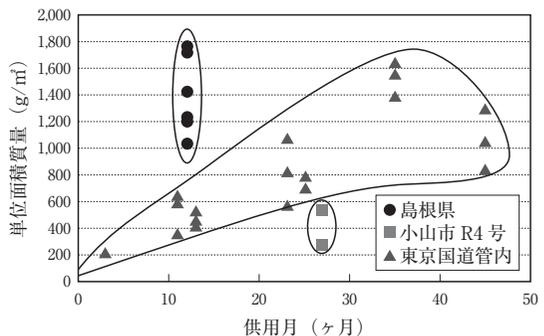


図-9 空隙つまり物の堆積状況¹⁰⁾

小山市では100～300g/m³と、路線によってつまり物の年間堆積量は大きく異なる。したがって除去の効果の評価するには、それぞれの現場における堆積状況を考慮することが必要となる。

4. 空隙つまり物の除去効果と作業費用

除去効果について、2章で示した全ての機種を評価できるようなデータは公表されていないため、東国のデータと(財)道路保全技術センター(以下、保全センター)が行ったデータをもとに、高速型高真空型、高速型の空気だけの作業(以下、送風型)と空気洗浄型の除去効果について以下に示す。

4.1 回収量

東国のデータによれば⁹⁾、各機種の作業1回当りのつまり物回収量は、それぞれ高真空型115g/m³、高速型10g/m³、送風型6g/m³である。保全センターは、空気洗浄型と送風型とを比較したつまり物の回収率として図-10を示しているが、空気洗浄型の目標作業速度を20km/hとしている。これより捕集率は送風型が10km/hで約25%であるのに対し、空気洗浄型は20km/hで約45%であることから、空気洗浄型の回収量は

12g/m³と想定される。

したがって各装置による年間の作業回数は、つまり物の堆積量が年間300g/m³とすると、高真空型で2.6回、高速型で30回、送風型で50回、空気洗浄型で25回が必要となる。

4.2 作業費用

東京都内を想定した作業方法を表-2、各装置の作業単価を表-3に示す。ここで、作業面積は理想的な日作業量を想定しており、日施工金額は全施工費用で、直接経費の他に現場管理費等の共通経費および消費税

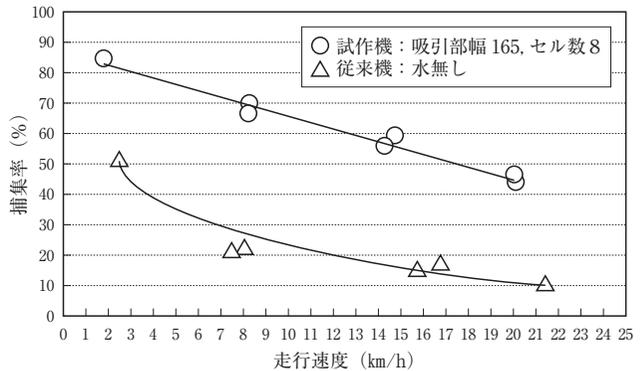


図-10 従来型(送風型)と空気洗浄型の回収率の比較¹¹⁾

表-2 各装置による作業形態

	高真空型	高速型	送風型	空気洗浄型
作業速度	0.6 km/h (10m/min)	10 km/h		20 km/h
規制状況	閉塞した車線規制	移動規制またはなし		
機械編成	機能維持装置, 給水車, 汚泥排水車, (標識車)	機能維持装置, 給水車, 汚泥排水車, (標識車)	機能維持装置 (標識車)	
回収物処理	乾燥後, 産廃処理	乾燥後, 産廃処理	産廃処理	

() は必要な場合に使用

表-3 作業条件, 作業費用比較

項目	機種	高真空型	高速型	送風型	空気洗浄型
	作業条件	施工速度 (km/h)	0.6	10	10
作業幅 (m)		2			
作業時間 (h)		6			
稼働率		0.3	0.3	0.8	0.8
日作業面積 (m ² /日)		2,160	36,000	96,000	192,000
回収物質量	単位面積 (g/m ³)	115	10	6	12
	日回収量 (kg/日)	248.4	360	576	2,304
日施工金額 (円/日)		1,800,000	920,000	820,000	820,000
単位面積当たり単価 (円/m ²)		833.3	25.6	8.5	4.3
空隙つまり物体積質量 (g/m ³ ・年)		300			
年間作業回数 (回/年)		2.6	30	50	25
年間作業費用 (円/m ² ・年)		2,174	767	427	107

5%を含む。

これより、堆積する空隙つまり物を全て除去する場合、年間の管理に要する単位面積当たりの作業費用は、最も安価な空気洗浄型が107円、空気送風型が427円、高速型が767円、高真空は最も高価で空気洗浄型の20倍程度の2,174円となる。

ただし、固着の著しい場所を対象とした場合には、高真空型以外は効果を期待することは難しいことから、機能維持作業は舗装の機能が低下しないうちから行うことが必要となる。

4.3 地域性

ここで示した年間の堆積量や回収量は、あくまでも東国のデータをもとにしたものであり、**図-9**に示すように同じ装置を用いた場合であっても、つまり物の回収量は作業を行う場所によって大きく異なり、堆積量を多い、中、少ない地域に分類すると、堆積量の多い方が回収量も多い傾向にあることから、作業対象を考慮した装置、作業方法を選定することが必要となる。

5. 機能維持の現状

現在、定常的に行われている機能回復作業または機能維持作業としては、国土交通省北陸地方整備局が機能回復作業についての報告を行っている機能回復作業の一例¹²⁾だけである。

また機能維持作業については、国土交通省関東技術事務所が定常的な作業を行うための実用化に向けた検討を行っている⁷⁾状況である。

6. EUにおける検討

デンマークのRoad and Hydraulic Engineering Institute (DWW) とオランダのDanish Road Institute (DRI) は、2004年からDRI-DWW Noise Abatement Programmeを開始している。そのためのデータ収集の一環として、2005年に日本を訪問¹³⁾し、そこで得たデータを参考としながら、二層式排水性舗装を中心とした新たな研究に取り組んでいる。

6.1 機能維持装置

オランダでは、空気洗浄方式に加えて蒸気を利用した清掃装置(以下、蒸気型)を開発し¹⁴⁾、検討を行っている。

蒸気型はトレーラ方式となっていて、前部に空気洗浄型、後部に蒸気型を配置し、さらに蒸気には洗剤を加えて除去効果を高めている。

図-11に機構を示す。

6.2 除去効果に関する評価

DWWとDIRは、オランダのハイウェイA28とA17、そしてデンマークのコペンハーゲンにおいて、つまり物の除去作業の評価を行っている¹⁵⁾。

回復効果はコアを採用し、CTスキャナを用いてつ

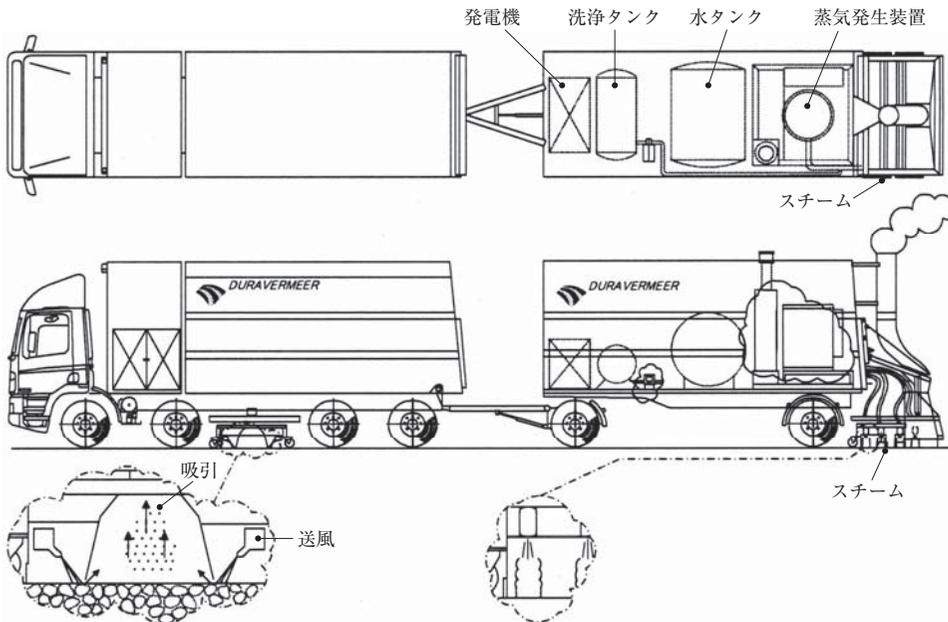


図-11 機構図¹⁴⁾

まり状況と堆積量を求めることによって評価している。

その結果図-12に示すように、一部表面部分で空隙が大きくなった部分があるとしているものの、明確な効果が示されるまでには至っていない。

7. おわりに

ポーラス舗装のつまり物除去については、空隙が充分確保されているうちに行う維持作業が有効であって、機能が低下してから行う回復作業は効果が一時的なものと考えられる。そのため、国内では空気洗浄方式による検討が進められているが、作業1回当たりの効果が小さいなど、その評価を明確に示すには至っていないのが現状である。

一方、オランダ、デンマークにおいては、日本の技術を更に発展させた装置を用いて検討を進めていることから、今後の研究開発の成果を期待したい。

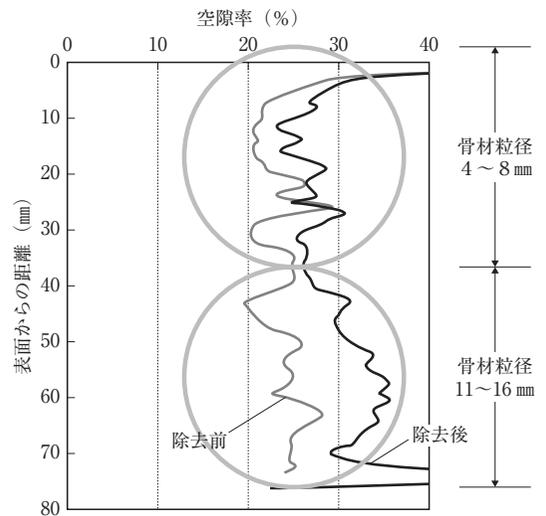


図-12 CTスキャナによるつまり物の状況¹⁵⁾
(参考文献15) FigureA1-8を基に作成)

参考文献

- 1) Ulf Sandberg, Jerzy A. Ejsmont : TYRE/ROAD NOISE REFERENCE BOOK, p.466, 2002
- 2) 増山幸衛, 草刈憲嗣, 岡藤博国 : 排水性舗装の機能回復手法に関する検討, 道路建設, No549, p.56, 1993.10
- 3) 岸幸雄, 後藤春樹, 鈴木信一郎 : 低騒音 (排水性) 舗装機能回復車の新型洗浄システムとその効果, 舗装, p.30, 2002.5
- 4) 増山幸衛, 草刈憲嗣 : 高速タイプ排水性舗装機能回復機の開発~規制を必要としない回復手法についての検討~, 道路建設, p.58, 1999.12
- 5) 勝敏行, 斎藤徹, 佐々木昌平, 鈴木宏 : 高速型排水性舗装機能回復車の開発とその効果の検証, 舗装, p.15, 2004.11
- 6) 阿部忠行, 杉浦博幸 : 排水性舗装の効率的な機能維持を目指して, 建設物価, p.20, 2008.6
- 7) 弓削竹志, 村上大幹, 佐久間孝司 : 低騒音舗装の機能維持装置検討, 建設機械, p.53, 2006.12
- 8) 東亜道路工業株式会社パンフレット, REPP
- 9) 酒井雅利, 池田一壽, 戸倉健司 : 低騒音舗装の維持清掃方法に関する検討, 舗装, p.3, 2002.10
- 10) 増山幸衛 : ポーラスアスファルト舗装の機能評価と機能維持に関する研究 : 長岡技術科学大学博士号論文, 2006.9
- 11) 財団法人道路保全技術センター : 道路の保全と防災, Vol.5, 2006.7
- 12) 増山幸衛 : 7-7 排水性舗装の機能回復作業の実施状況, 舗装技術の質疑応答, 第9巻, p.135, 2005.7
- 13) Noise reducing pavements in Japan - study tour report, Danish Road Institute, 2005.12
- 14) de 'SteamCleaner', Eindrapport IPG Prijsvraag, 2006.08
- 15) Clogging of porous pavements - The cleaning experiment, Danish Road Institute. Technical note 60, 2007

ブローンアスファルトをベースにした ポリマー改質アスファルトの構造と力学的性質

(Structures and Mechanical Properties of Polymer-Modified Asphalts:
Mixtures of Air-Blown Asphalt, Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer and Naphthene Oil)

町田 繁*・田坂 茂**・小嶋 徹***・白井 健一****

ブローンアスファルト (AB-ASP) / スチレン-ブタジエン-スチレンブロック共重合体 (SBS) / ナフテンオイル (N-Oil) の混合により、通常のSBS改質アスファルト (改質 ASP) より優れた性質を持つ改質 ASP が得られることを見いだした。この改質 ASP は、低温から高温まで安定な力学特性を示すが、これは SBS・N-Oil が物理ゲルを形成し、このゲルが AB-ASP を安定に包み込み熱安定性を付与することが、熱分析、粘弾性測定結果から明らかになった。

1. はじめに

ストレートアスファルト (St-ASP) は低分子量のオイル (マルテン) からポリマー領域の複雑な炭化水素 (アスファルテン) の集合体である。このため、高温では流動しやすく、低温で硬く脆いなど感温性が大きい欠点を有する。この欠点を解消するために高温で空気を吹き込み、St-ASP を縮重させたブローイング技術が19世紀後半に米国において発明され、反応機構や構造解析などの研究が行われている^{1, 2)}。1960年代以降にはSt-ASPの感温性を改善するために、天然および合成高分子を混合する (ポリマー改質 ASP) 試みが行われ、多数の研究がされてきた。特にSBSは10wt%前後の少ない添加量で、St-ASPに低温域での柔軟性や高温での耐流動性を付与することから盛んに用いられている³⁾。

SBSの構造や分子量を選択することにより、改質 ASP の性状を変えられる^{4~6)}。一方、アスファルト成分の調製も改質 ASP の物性をコントロールする有効な手段となる。本報では、AB-ASP、N-Oil と SBS を用いて各種の改質 ASP を調製し諸物性を測定した。これらによって得られる新しい改質 ASP は弾性率や低温特性のコントロールが容易で、防水材料など素材物性に左右される建築材料設計に有効な手段となる。

2. 実験

2.1 試料

St-ASP (針入度180-200 < JIS K2207 >) は新日本石油(株)から、また AB-ASP (針入度26.7, 軟化点116.7°C < JIS K2207 > 3種適合品) は、昭和シェル石油(株)から購入した。マルテンとアスファルテンの組成は、石油学会法 < JPI-5S-22 > に準じてヘプタンによる溶剤抽出法にて決定した。これによると St-ASP のマルテンとアスファルテンの比率は89:11であった。また、AB-ASPでは68:32であった。ブロック共重合体のSBS (旭化成 T-411L, スタートタイプ, スチレン/ブタジエン比 = 30/70, M_w : 430,000, トリブロック/ジブロック = 81/29) は旭化成(株)から購入したものを30メッシュ以下になるまで粉碎して用いた。N-Oilは、三共油化(株)SNH-220を用いた。

2.2 改質 ASP の調製

SBS と St-ASP および AB-ASP の混合は、鋼製容器中で行いオイルバスにて185°Cに加温溶解したSt-ASP および AB-ASP 中に徐々にSBSを混合した。改質 ASP の調製は、機械的に起こるSBSの分解を避けるため、パドル型攪拌翼にて、400 (min^{-1}) で120分攪拌し、所定の温度のSt-ASP および AB-ASP 中に溶解させた。

*まちだ しげる 静岡大学大学院自然科学系教育部 大学院生・工修

**たさか しげる 静岡大学工学部物質工学科 教授・工博

***こじま とおる 田島ルーフィング(株)

****うすい けんいち 田島ルーフィング(株) 工修

2.3 測定

針入度測定はサンプルを25℃の水中で4hrs.以上静置し、JISK2207で定められた針入度試験器により行った。軟化点測定はJISK2207で定められた環球法でグリセリン中(昇温速度5℃/min)で行った。低温耐折り曲げは、2.0mm厚の製品形状に整形した後、JISA6013に準じて測定した。(防水材料は改質ASPをシート状に成型した形状なので、素材の軟化点及び低温折り曲げ性能は使用環境を制限する重要な値となる。)DSC測定は空気雰囲気中で、マックサイエンスDSC 3100によって行った。測定は、液体窒素で冷却し、-100℃から120℃、10℃/minの昇温速度の条件で行った。弾性率測定は、Anton Paar社製Rheoplus MCR101により、-20℃から200℃、試料厚み0.3mm、測定周波数は1 Hz、5℃/minの昇温速度の条件で行った。

3. 結果・考察

180℃程度に加温されたSt-ASP中にSBSを10wt%程度混合すると、改質ASPが調製できる。しかし、AB-ASP中にSBSを混合しても粘度が高くなるだけで良好な改質ASPは得られないことが経験的に知られている。そこで、両配合物の違いを明らかにするために熱分析を行った。

図-1にSBSとSt-ASPおよびSBSとAB-ASPの混合物のDSC曲線を示す。DSC曲線からSBSにはポリブタジエンのTgが-90℃にポリスチレンのTgが50℃から80℃の間にブロードに観測された。一方、St-ASPおよびAB-ASPは、マルテンのTgが-30℃にアスファルテンのTgが40℃に観測される。Tgの変化は、混合系の構成要素間の相互作用を直接的に反映する。SBSとSt-ASPの混合物の場合、St-ASP濃度の増加によってSBSのブタジエン部分のTgが-85℃から-77℃と上昇している。これに対して、SBSとAB-ASPの混合物の場合、SBSのブタジエン部分のTgは-85℃から-84℃と大きな変化を示さず、マルテンと十分に相溶していないことが分かる。

図-2にSBSとSt-ASPの混合比率を変えた配合物の複素弾性率曲線を、また表-1にはそれらの軟化点、低温折り曲げ、針入度の値を示す。複素弾性率曲線から-20℃から20℃の低温領域でSBS濃度の増加にともない弾性率が低下している。これは、SBSのブタジエン(Tg=-90℃)とSt-ASP中のマルテン(Tg=-20℃)が相溶であり、マルテン部分のガラス転移温度が低下するためである³⁾。

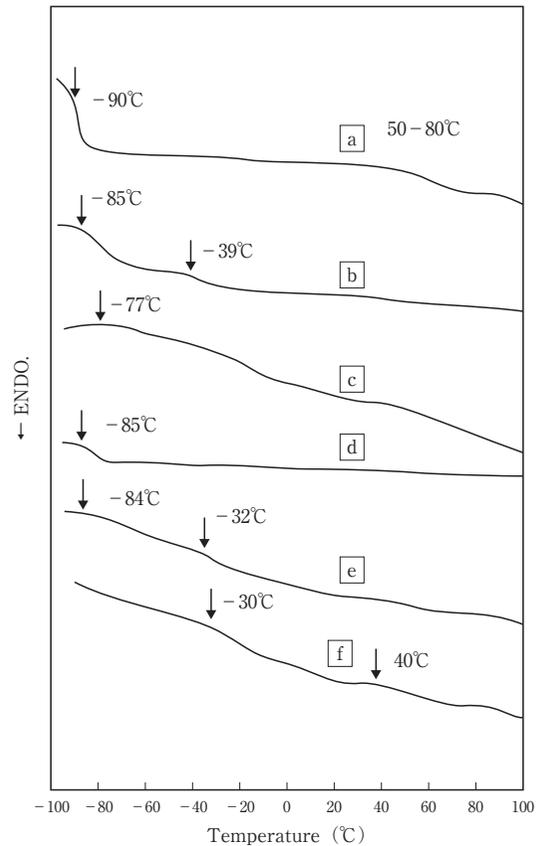


図-1 DSC curves for mixtures of SBS and asphalt.
a : SBS
b : SBS: asphalt = 60 : 40
c : SBS: asphalt = 20 : 80
d : SBS: air-blown asphalt = 60 : 40
e : SBS: air-blown asphalt = 20 : 80
f : asphalt.

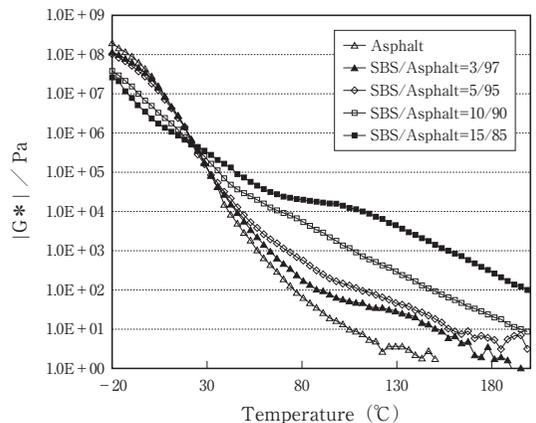


図-2 Temperature dependence of dynamic modulus of mixtures of SBS and asphalt.

表-1 Softening point, penetration and low-temperature flexibility of mixtures of SBS and asphalt. (JISK2207), (JISA6013)

Formulations	0.0	3.0	5.0	10.0	15.0
SBS					
St-ASP	100.0	97.0	95.0	90.0	85.0
Softening point		79.3	102.9	119.6	138.0
Penetration	190	120	95	61	44
L.T.F.*	0℃	0℃	0℃	-15℃	-15℃

※ Low temperature flexibility

一方、SBS濃度10wt%では80℃付近、SBS濃度15wt%では100℃付近のSBSのポリスチレン部分のガラス転移温度と思われる温度付近から、弾性率が低下する。これは、SBSのスチレン部がマトリックスを形成しているからと考えられる。また、SBS/St-ASPの混合物の透過型電子顕微鏡写真で観測された10wt%程度の添加量でSBSがマトリックス相になることと一致している⁷⁾。このため、20℃近辺からスチレンドメインのTgまでの温度領域で、温度の上昇に対して弾性率の低下が鈍り改質ASPの形状が保持されている。SBS濃度3~5 wt%ではポリスチレンドメインの影響が見られないことより、SBS成分によるマトリックスの形成が不十分である。よって表-1に示したJISA6013に準じた低温折り曲げ温度に大きな差が生じる。

AB-ASPとSBS/AB-ASP混合物の弾性率の温度変化を図-3に示す。AB-ASP単体でも80℃での弾性率は40kPa、100℃においても10kPaを示し、高温での弾性率が高い。しかし、AB-ASPに5 wt%程度のSBS添加でも相溶しない。改質ASPを蛍光顕微鏡下で観察すると未溶解のSBSが粒状の塊で点在しているのが確

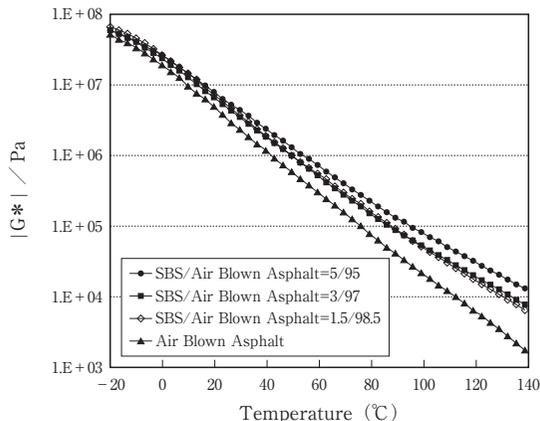


図-3 Temperature dependence of dynamic modulus of mixtures of SBS and air-blown asphalt.

認できる。複素弾性率の-20℃から20℃の低温領域の値はSBSを添加したにもかかわらず、むしろ高い値となっている。

石油学会法にて分離したAB-ASPのマルテンの分子量やTgはSt-ASPのマルテン成分とはほぼ同じである。しかし、AB-ASPは、アスファルテン比率が高く、分子量が大きくなっている。従って、SBSのポリブタジエン部は、マルテン部と相溶性はあるものの、量が少ないため、分散するものの、スチレン部を外側に出すような反転構造を形成できず結局系全体を覆いつくすことができない。見かけの力学物性を表-2に示す。低温特性の改善は見られず、むしろ悪い値となり改質効果は乏しい。

表-2 Softening point, penetration and low-temperature flexibility of mixtures of SBS, and air-blown asphalt. (JISK2207), (JISA6013)

Formulations	0.0	1.5	3.0	5.0
SBS				
AB-ASP	100.0	98.5	97.0	95.0
Softening point	116.7	130.2	135.5	<150
Penetration	26.7	24.1	23.1	17.6
L.T.F.*	0℃	10℃	10℃	15℃

※ Low temperature flexibility

SBSのブタジエン部は、マルテンと相溶性がよい。そのため、アスファルト中のマルテン成分を吸収・膨潤することが知られている。St-ASPから石油学会法に準じて抽出したマルテン成分、N-Oil、アロマオイルの各オイル成分85wt%にSBSを15wt%加え、加熱攪拌し冷却したところ、ゲル状物質が得られた。この物質の複素弾性率の温度変化を図-4に示す。パラフィンオイルは均一なゲルは得られなかったため測定から除外した。

マルテンを用いたゲルでは、74℃にポリスチレンのTgによる弾性率の低下が観測される。これはSBSから形成されたポリスチレンマトリックスがマルテンを包み込んでいることを示している。N-Oilでは、スチレンのTgは67℃とマルテンの場合と比べて幾分下がるが、同様である。N-OilのTgは低く、低温流動性も高いので-20℃近辺の複素弾性率も低く柔軟性に富む。アロマオイルでは、温度の上昇と共に弾性率は低下し続け、SBSのスチレン部分のTgが観測されない。ポリスチレンマトリックスを溶解したと思われる。

AB-ASPは、アスファルテン比率が多くマルテンが少ないので、系全体を覆いつくす量のSBSを相溶さ

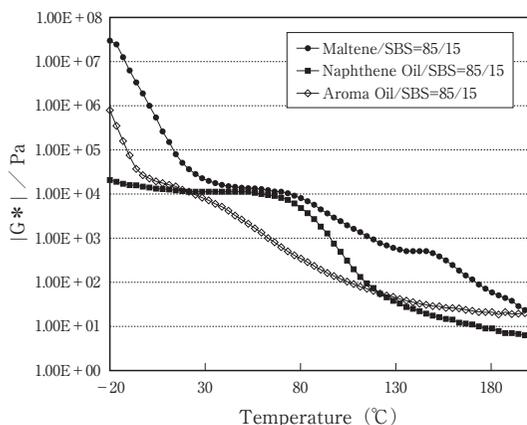


図-4 Temperature dependence of dynamic modulus of mixtures of SBS and oils. (Maltene, Naphthene oil and Aroma oil.)

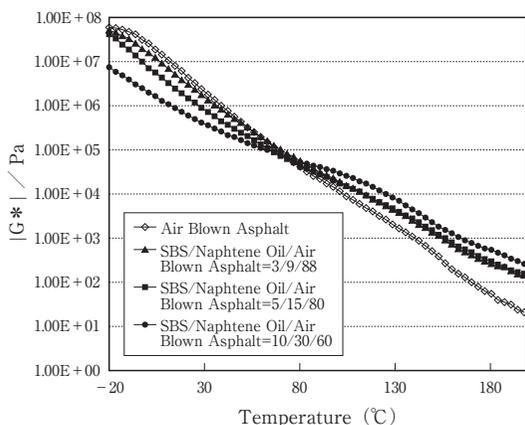


図-5 Temperature dependence of dynamic modulus of mixtures of SBS, naphthene oil and air-blown asphalt.

せるに至らない。そこで、AB-ASPに不足するマルテン分を補うことを検討した。補うマルテン分としては、SBSと良好なゲルを形成するN-Oilを選定した。図-5にAB-ASP、SBS、N-Oilを混合した改質ASPの複素弾性率-温度関係を示す。N-OilはSBSゲルを作るので、SBSとN-Oilは、1：3の比率で固定し、AB-ASP中に加えた。また表-3にはそれらの軟化点、低温折り曲げ、針入度の値を示す。

粘弾性グラフにおいて、SBS量が3～5 wt%では、明確なSBSマトリックスは観測されないが、低温特性は十分に改善されていることが分かる。60℃～100℃の高温領域でもAB-ASP並の十分な値を示している。SBS添加量10wt%改質ASPにおいては、明確にSBSマトリックスが形成されている。

これらの改質ASPは軟化点が120℃以上と高い値を示し、低温で柔軟性が良く、高温で弾性率が高い優れた特徴を示した。防水材料用途など素材物性に左右される建築材料設計に有効な手段となる。

表-3 Softening point, penetration and low-temperature flexibility of mixtures of SBS, naphthene oil and air-blown asphalt. (JISK2207), (JISA6013)

Formulations				
SBS	0.0	3.0	5.0	10.0
N-Oil	0.0	9.0	15.0	30.0
AB-ASP	100.0	88.0	80.0	60.0
Softening point	116.7	128.1	127.3	127.7
Penetration	26.7	34	41.6	60.7
L.T.F.*	0℃	-10℃	-20℃	-20℃

※ Low temperature flexibility

4. 結論

- (1) AB-ASP中に少量のSBSを添加した場合、SBSの一部溶解はするものの、その後SBSの添加量を増やしてもミセルの状態ではAB-ASP中に分散しているだけのSBSが増えるだけでSBS連続層を形成するに至らず改質効果は発現しない。
- (2) AB-ASPにSBSとN-Oilを添加した場合は、SBSのポリブタジエン部分がAB-ASP中のマルテンおよびN-Oilと相溶し、SBS添加量3 wt%と少ない量でもポリスチレン部分が連続層をなすゲル構造を形成、改質効果が発現する。
- (3) AB-ASPをベースとした改質ASP中に存在する高分子量のアスファルテンの影響でSt-ASPの弾性率が急激に低下する40℃以上の温度領域でも高い弾性率を示すことができる。

— 参考文献 —

- 1) 燃料協会誌 飯島博, Vol.57, No.610, 75-86 (1978)
- 2) 磯部政雄 日石レビュー, Vol.31, No.3, 116 (1989)
- 3) 井町弘光, 石油製品討論会, Vol.2001, 87-96 (2001)
- 4) G Kraus, Rubber Chem. and Technology, Vol.55, 1389 (1982)
- 5) Vonk W. C., Bull A. L., Dachbelaege Bautenabdtchtungen Weltweit, 210 (1989)
- 6) Kamiya S., Tasaka S., Zhang X., Dong D., Inagaki N., Polym J., Vol.33, 209 (2001)
- 7) 中島滋夫, 出口隆宏, 齊藤章, ゴム協会誌, 72, 48 (1999)

「移動式たわみ測定装置」について

—舗装のたわみ測定装置の変遷—

「PIARC 報告」TC4.3

—道路工事が道路利用者および沿道環境に与える影響—

今回のアスファルト舗装技術研究グループ報告は、走行しながらアスファルト舗装のたわみを計測する試験車や、沿道環境への影響低減に関する、欧米の新技术に関する調査結果の2編です。

舗装分野では、主として路面性状測定車による路面状態のデータに支えられた舗装管理システムが古くから活用されてきております。舗装の構造的健全度を評価するためには、ひび割れ等の路面性状ばかりでなく、たわみデータを面的に効率よく収集することが不可欠です。そこで、走行式たわみ測定車の開発経過や事例について紹介します。日本は自動化計測の先進国ですが、この分野については開発の余地が大きいと思われる。試験機の開発と現場適用が望まれます。

道路工事が道路利用者および沿道環境に与える影響として、PIARCのTC報告から負荷低減につながる新

技術を紹介します。環境影響も最近の大きな課題であり、有益な情報になると思われます。

研究グループの体制は、今年度から2班構成とし、それぞれの班が2つの調査課題に取り組み、海外文献を中心に輪読会を中心とした勉強会活動が続けることとしています。調査結果は、各班の課題担当以外の者を含めた活発な議論を経て抄録等の報文原案を作成し、さらに全体会議やネット等で討議して、本誌において公表してきております。また、これらの活動を通じた個人的ネットワークが各人の研究業務において貴重なチャンネルになっております。これは研究グループの諸先輩方の機動的なご活躍からもわかる通り、たいへん有意義なことと思っています。今後ともよろしくご指導ご鞭撻の程お願い致します。

(研究グループ代表幹事：佐々木巖)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

佐々木巖 独立行政法人土木研究所新材料チーム

綾部孝之 独立行政法人土木研究所舗装チーム
市岡孝夫 前田道路(株)技術部技術課
伊藤大輔 大成ロテック(株)関東支社
岩岡宏美 世紀東急工業(株)技術研究所
岩塚浩二 (株)パスコ道路センター
岩永真和 鹿島道路(株)技術研究所
大場拓也 東亜道路工業(株)技術研究所
奥山元晴 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部
鬼倉一展 鹿島道路(株)技術研究所
加納孝志* 独立行政法人土木研究所舗装チーム
鎌田 修 鹿島道路(株)技術研究所
鎌田孝行* 常盤工業(株)技術研究所
岸田正憲 (株)パスコ道路センター
高馬克治* ニチレキ(株)研究開発センター

小柴朋広 世紀東急工業(株)技術研究所
清水泰成 前田道路(株)技術研究所
庄嶋芳卓 西日本地研(株)
鈴木 徹 大林道路(株)技術研究所
塚越智浩 常盤工業(株)技術研究所
東本 崇 大林道路(株)技術研究所
永島直紀 日本道路(株)技術研究所
西山大三 (株)NIPPOコーポレーション技術研究所
野木克義 昭和シェル石油(株)アスファルト課
平川一成 大成ロテック(株)技術研究所
森石一志 大林道路(株)技術研究所
森嶋洋幸 前田道路(株)技術本部技術研究所
焼山明生 日進化成(株)技術研究所開発グループ

*：班長 計28名

「移動式たわみ測定装置」について

—舗装のたわみ測定装置の変遷—

加納 孝志* 岩永 真和** 大場 拓也***
 塚越 智浩**** 永島 直紀***** 森嶋 洋幸*****

1. はじめに

わが国では第二次世界大戦後、急速に道路整備が進められた結果、平成18年度初頭で、道路の整備延長が約66万kmに達し¹⁾、膨大な道路ストックを効率的に管理していくことが緊急の課題となっている。

舗装を効率的に管理していくためには、舗装の損傷が顕在化してから補修を対処療法的に行うのではなく、舗装の状態を客観的に把握、評価、予測し、いつ、どこを、どのように処置するのが最適であるかを考慮する必要がある。現在、様々な舗装の管理手法（マネジメントシステム）に関する研究が行われているが、マネジメントシステムを運用するためには、舗装の構造的な健全度、すなわち舗装の支持力を把握することが極めて重要な要素となる。

舗装の支持力の測定には、様々な方法が開発されてきたが、現在ではFWDに代表される舗装のたわみ量から舗装の支持力を評価する方法が主流となっている。一方、近年では走行しながら舗装のたわみを測定する装置が開発されつつある。

本報では、これまでに開発されてきた種々のたわみ量測定装置に焦点を当て、それら装置の変遷を整理して紹介するとともに、特に近年開発された走行しながら舗装のたわみを測定する「移動式たわみ測定装置」について、その機構や測定結果などを報告する。

2. 舗装のたわみ測定装置の変遷

非破壊での舗装のたわみ量測定方法は、1953年にベンケルマンビームが開発されて以降、世界的に普及し利用されてきた²⁾。その後、種々の荷重方式のたわみ測定装置が開発されている。本章では、表-1に示すたわみ測定装置について概要を紹介する。

2.1 静的荷重によるたわみ測定装置

(1) 平板荷重試験器 (Plate Loading Tests)³⁾

油圧ジャッキにより荷重版を介して地盤に荷重をかけ、所定の沈下量ときの反力（荷重強さ）から地盤反力係数を算出する。平板荷重試験の概念を図-1に示す。

2.2 動的荷重によるたわみ測定 (停止)

(1) 曲率計 (Curvature Meter)

所定の輪荷重を荷重させたときに生じる路面のたわみを測定する装置。制止した複輪間に同装置を設置したときのたわみ量から曲率半径を算出する。図-2に曲率計の概念を示す。

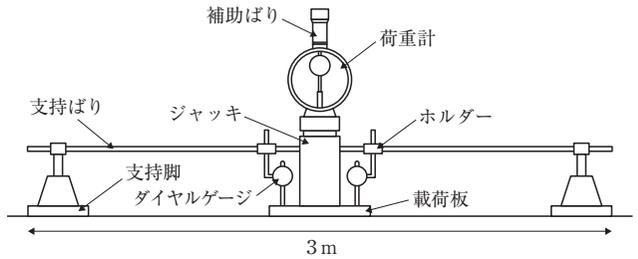


図-1 平板荷重試験の概念

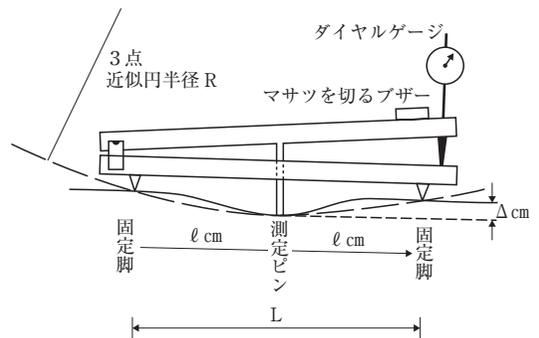


図-2 曲率計の概念⁴⁾

*かのう たかし (独)土木研究所舗装チーム

**いわなが まさかず 鹿島道路(株) 技術研究所

***おおば たくや 東亜道路工業(株) 技術研究所

****つかこし ともひろ 常盤工業(株) 技術研究所

*****ながしま なおき 日本道路(株) 技術研究所

*****もりしま ひろゆき 前田道路(株) 技術研究所

表-1 舗装のたわみ測定装置の概要

載荷荷重の種類 (測定時の測定装置の状態)		装置名		開発国	開発年	測定時の 走行速度	装置の 大きさ
静的荷重	静的荷重	平板載荷試験器	Plate Loading Tests	-	-	-	可搬型
動的荷重 (停止)	車両荷重	曲率計	Curvature Meter	アメリカ	-	-	可搬型
		ベンケルマンビーム	Benkelman Beam	アメリカ	1955年	-	可搬型
	振動荷重	ダイナフレクト	Dynalect	アメリカ	1965年	-	牽引
		ロードレイタ	Road Rater	アメリカ	1970年頃	-	牽引
		16Kip バイブレータ	16Kip Vibrator1	アメリカ	-	-	牽引
		表面波スペクトル解析	Spectral-Analysis-of-Surface-Waves	アメリカ	1980年代	-	可搬型
	衝撃荷重	フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ	Falling Weight Deflectometer (FWD)	フランス	1967年	-	牽引、バン
マルチモード荷重	連邦道路局サンバー	FHWA Thumper	アメリカ	1977年	-	大型バン	
動的荷重 (低速走行)	車両荷重	ラクロア・デフレクトグラフ	La Croix Deflectograph	フランス	1956年	1.7 km/hr (7 km/hr)	大型ダンプトラック
		カリフォルニア式走行たわみ測定器	California Traveling Deflectometer	アメリカ	(1955~) 1960年	0.8 km/hr	トレーラ
		英国式舗装たわみデータ収集走行機	British Pavement Deflection Data Logging Machine	イギリス	1970年	2.5 km/hr	大型バン
		カービアメータ	Curviameter	フランス	1972年~	18 km/hr (21.6 km/hr)	大型ダンプトラック
		ダニッシュ・デフレクトグラフ	Danish Deflectographs	デンマーク	1972~ 1974年	1.5 km/hr (7 km/hr)	トレーラ
		ロシアUNKシステム	Russian UNK-systems	ロシア	1975~ 1980年	3 km/hr	大型ダンプトラック
		パデュー・デフレクトグラフ	Purdue Deflectograph	アメリカ	1982年	16 km/hr	大型ダンプトラック
		オーストラリアン・システム	Australian Systems	オーストラリア	1984~ 1987年	4 km/hr	大型ダンプトラック
		ローリング・ダイナミック・デフレクトメータ	Rolling Dynamic Deflectometer	アメリカ	2000年頃	2.4~ 10 km/hr	大型ダンプトラック
動的荷重 (高速走行)	車両荷重	ローリング・ウェイト・デフレクトメータ	Rolling Weight Deflectometer (RWeD)	アメリカ	1990年代後半	32 km/hr	セミトレーラ
		ローリング・ホイール・デフレクトメータ	Rolling Wheel Deflectometer (RWHD)	アメリカ	1990年代後半	16~ 104 km/hr	セミトレーラ (全長16m)
		ロード・デフレクト・テスタ	Road Deflection Tester	スウェーデン	1990年頃	~70 km/hr	大型ダンプトラック
		ハイスピード・デフレクトグラフ	High Speed Deflectograph	デンマーク	2002年	70 km/hr	セミトレーラ

(2) ベンケルマンビーム (Benkelman Beam)

1953年にアメリカの道路技術者ベンケルマンが考案した装置。輪荷重によって路面に生じるたわみを測定するものである。写真-1に測定状況を示す。当該試験は、世界的に広く普及し、わが国においても試験法が定められている³⁾。

(3) ダイナフレクト (Dynalect)

1964年の米国テキサス運輸局の道路試験結果をもとに、1965年にDresser Industries Inc.により開発された装置(写真-2、図-3)。振動荷重発生装置とたわ



写真-1 ベンケルマンビーム

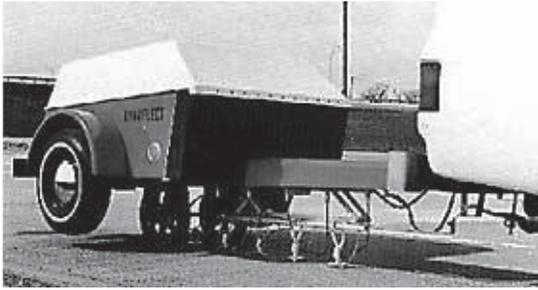


写真-2 ダイナフレクト⁵⁾

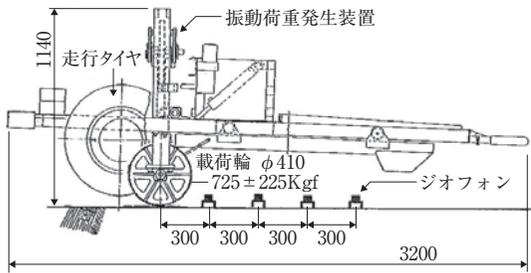


図-3 ダイナフレクトの概要²⁾

み検出装置(ジオフォン)を組み込んだ自重900kgのトレーラである。

(4) ロードレータ (Road Rater)

電気・油圧サーボ機構により、路面に任意の荷重と振動周波数を与えたときのたわみ量を測定する装置(写真-3)。初期の装置(モデル400)は動的荷重0.89~13.3kN、振動周波数10、20、25、30、40Hzを発生させることが可能で、4個のジオフォン(荷重位置から0、300、600、900mm)でたわみ量を測定するものであった。その後、開発されたモデル2008では、動的荷重2.2~40kN、振動周波数5~80Hzを発生させることが可能となっている。

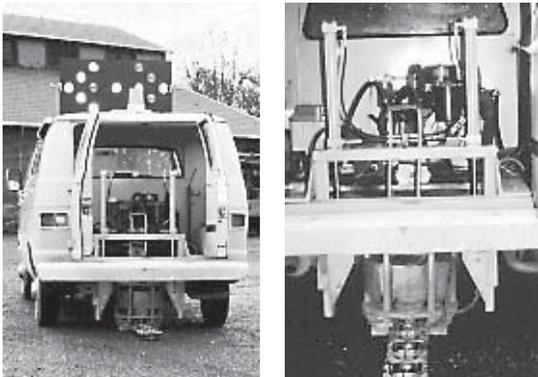


写真-3 Road Rater⁶⁾

(5) 16Kip バイブレータ (16Kip Vibrator)

アメリカ陸軍工兵隊(U.S. Army Corps of Engineers: USACE)により、空港舗装の支持力を評価するために開発された装置。原理的には前述のロードレータと同じであるが、載荷荷重および載荷周波数が拡張されたものとなっている。

(6) 表面波スペクトル解析 (Spectral Analysis of Surface Waves : SASW)

1980年頃からテキサス大学を中心に研究された解析手法。舗装に衝撃を与え、舗装各層の弾性係数と層厚を逆解析により求める。図-4にSASWの概念を示す。

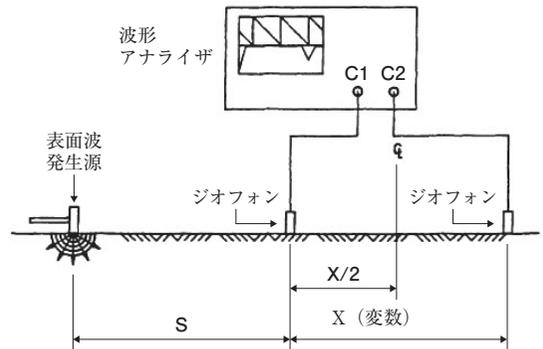


図-4 SASWの概念⁷⁾

(7) フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ (Falling Weight Deflectometer : FWD)

重錘を所定の高さから落下させ動的な荷重を載荷したときに路面に生じる応答たわみを測定する装置。現在、世界中で使用されている。FWDの原型は、1967年にフランス橋梁・道路中央研究所(LCPC)から報告されているFalling Ball Deflectometerであると言われてている⁸⁾(その後、フランスは後述のLa Croix Deflectographの開発に注力)。その後のFWDの研究は、デンマークの国立道路研究所やオランダのShell社の研究所で行われた。わが国へは、1983年に旧運輸省港湾技術研究所(現、港湾空港技術研究所)と北海道工業大学に導入されている。図-5にFWDの概念を、写真-4にわが国に導入されているFWDの例を示す。

(8) 米国連邦道路局サンパー (FHWA Thumper)

1977年に、米国連邦道路局(Federal Highway Administration: FHWA)が研究用として開発した装置。静的から動的まで、様々な種類の荷重でのたわみ量が測定できる。同装置は、荷重、載荷波形、載荷周波数を任意に設定することが可能でたわみ形状の測定のほか、

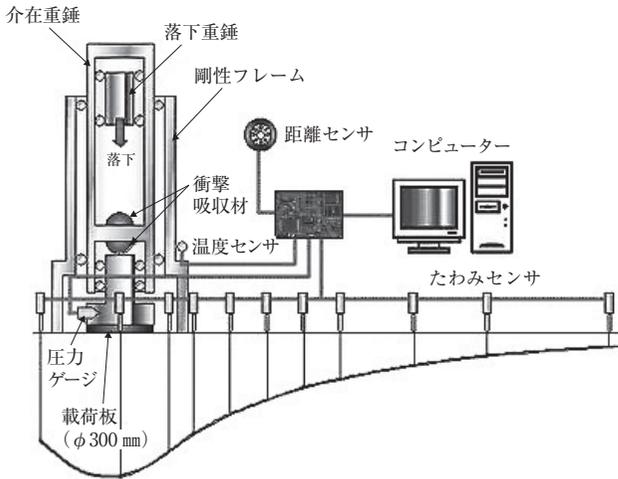


図-5 FWDの概念



写真-4 FWDの例

クリープ現象を測定することができる。図-6に同装置の概要を示す。

2.3 動的荷重によるたわみ測定(低速走行)

(1) ラクロア・デフレクトグラフ(La Croix Deflectograph)

フランス土木研究所(LCPC)のチーフエンジニアであったM.J.ラクロアによって1956年に開発された装置。その後開発される数々の測定装置の基となったもので、車台に取り付けた測定ビーム(図-7)で後輪の複輪間のたわみを自動で測定する。初期型(写真-5)の測定速度は1.7km/hrであったが、1997年には7km/hrでの測定が可能な最新型の装置(Flash Deflectograph: 写真-6)が開発されている。

(2) カリフォルニア式たわみ測定機(California Traveling Deflectometer)

1955~1960年にカリフォルニア州道路局により検討・開発された装置(写真-7)。ベンケルマンビーム

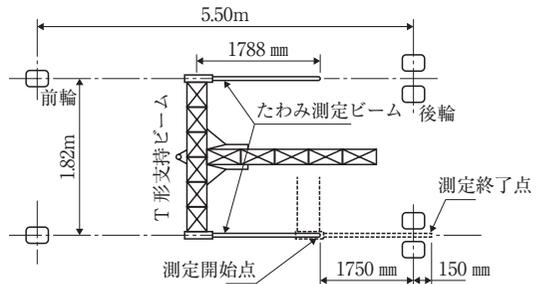


図-7 測定ビームの概要²⁾

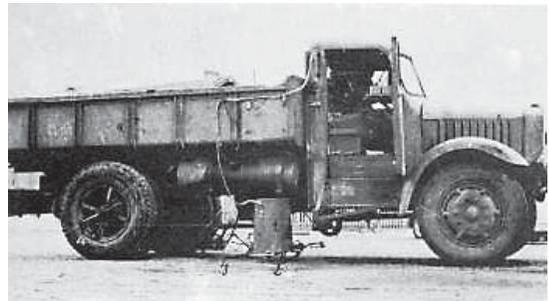


写真-5 La Croix Deflectograph (version 01)⁹⁾

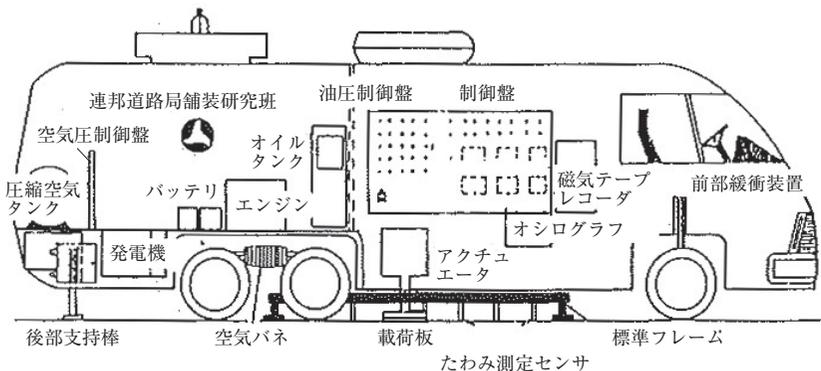


図-6 FHWA Thumper²⁾



写真-6 Flash Deflectograph¹⁰⁾

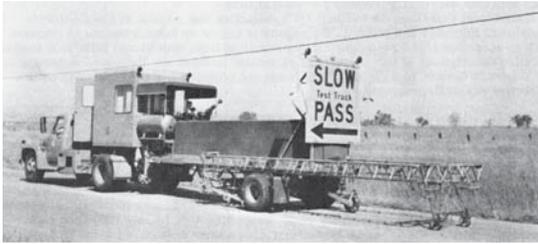


写真-7 カリフォルニア式たわみ測定機¹¹⁾

の原理を応用し、走行しながら自動で舗装のたわみ量を測定する。80kNの荷重を0.8km/hrの速度で走行させたときの路面のたわみ量を測定する。

(3) 英国式舗装たわみデータ収集走行機 (British Pavement Deflection Data Logging Machine)

TRLが、1967年にラクロア・デフレクトグラフ (Version02 : 写真-6) を購入し、英国で使用するための仕様変更等に関する検討を実施、1970年に開発した装置。写真-8にイギリス式舗装たわみデータ収集走行機を示す。



写真-8 英国式舗装たわみデータ収集走行機¹¹⁾

(4) カービアメータ (Curviameter)

1972年にフランス建設技術協会中央研究所 (Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Public : CEBTP) によって開発された

装置で、プロトタイプ(写真-9)は、時速18km/hrでたわみ曲線の曲率半径とたわみ量の両方を測定することができるものであった。1990年代初期には、時速21.6km/hrで測定が可能な機種 (MT15 : 写真-10) が開発されている。



写真-9 Curviameter (Prototype : 1972年)¹¹⁾



写真-10 Curviameter MT-15

(5) Danish Deflectographs

1972~1974年にCalifornia Traveling Deflectometerを参考にデンマークで開発された装置。1号機(写真-11)は、15km/hr、2号機は7km/hrの速度で測定が可能である。現在、デンマークにおいては同装置に代わり、High Speed Deflectograph (後述) の開発が行われている。



写真-11 Danish Deflectographs (1号機)¹¹⁾

(6) Russian UNK-systems

Curviameterを参考にしてロシアで1975年に開発が始められた測定装置。初期型(UNK-1)およびその改良型(UNK-2)には欠陥があったため、1980年に改良型のUNK-4(図-8)が開発された。UNK-4は3km/hrでの測定が可能で、ウクライナで使用された実績を有する。

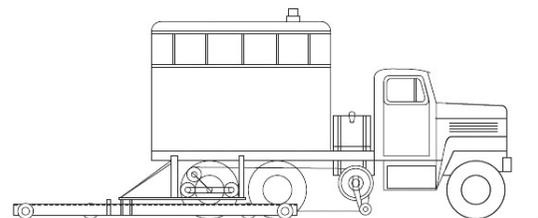


図-8 Russian UNK-4 systems¹¹⁾

(7) Purdue Deflectograph

アメリカのパデュー大学で1982年に試作機が開発され、初めて路面の変位量を非接触のレーザー変位計で測定した装置。TRRLの高速プロフィロメーターのコンセプトを参考に、たわみ量だけでなく路面テクスチャと縦断プロファイルを測定することができる。16km/hrでの測定が可能である。

(8) Australian Systems

1984~1987年に、La Croix Deflectographを参考にしてオーストラリアで開発された装置。後車軸の背後にベンケルマンビーム式測定アームが設置されている点が他のデフレクトグラフと異なる。4km/hrでの測定が可能となっている。

(9) Rolling Dynamic Deflectometer (RDD)

油田開発等で使用されているVibro seis truck(人工地震波発生車両)を改良し、テキサス大学オースチン校で開発した装置(写真-12、図-9)。RDDに設置さ



写真-12 Rolling Dynamic Deflectometer¹²⁾

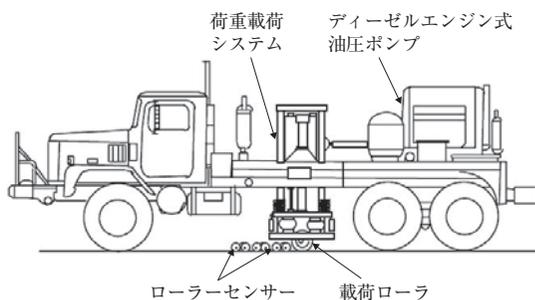


図-9 Rolling Dynamic Deflectometerの概要¹³⁾

れた油圧のバイブレータは、路面に5~100Hzの正弦曲線波を発生させ、そのときに発生したたわみをローリングセンサーが測定する。2.5km/hrで測定することができる。

2.4 動的荷重によるたわみ測定(高速走行)

(1) Rolling Weight Deflectometer (RWeD)

Quest Integrated, Inc.により空港舗装のたわみ量の測定を目的として開発された牽引式の装置(写真-13)。Purdue Deflectographと同様の機構を有し、最大20mph(約32km/hr)での測定が可能である。



写真-13 Rolling Weight Deflectometer¹⁴⁾

(2) Rolling Wheel Deflectometer (RWhD)

Phoenix Scientific, Inc.により開発された装置(写真-14, 15)。Purdue Deflectographと同系の機構を有し、最大64mph(約103km/hr)での測定が可能である。



写真-14 RWhD(全景)¹⁵⁾

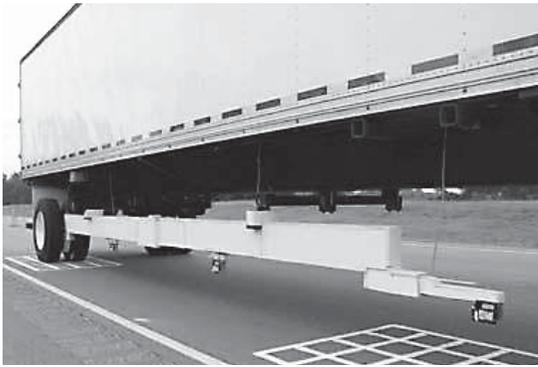


写真-15 RWhD (センサー部)¹⁵⁾

(3) Road Deflection Tester (RDT)

1990年代にスウェーデンのSwedish National Road and Transport Research Institute (VTI) で開発された装置(3章で詳述)。

(4) High Speed Deflectograph (HSD)¹⁶⁾

Danish Deflectographs の後継機で、2002年にデンマークのDanish Road Instituteで開発された装置(写真-16)。70 km/hrでの測定が可能である。



写真-16 High Speed Deflectograph

3. Road Deflection Tester (RDT) の概要

本章では、高速走行型のたわみ量測定装置の例として、前述の1990年にVTIで開発されたRDTについて、VTIのレポート“Development and Results of the Swedish Road Deflection Tester¹¹⁾”から紹介する。

3.1 概要

Road Deflection Tester (RDT) は、安全、迅速かつ正確に信頼できる方法で、道路、空港滑走路、その他舗装表層面等の路面性状を評価し、道路ネットワークのマネジメントのために使用することを目的として開発された。RDTは、非接触のレーザセンサを2列配置し、横断方向の路面形状を走行しながら測定する。図-10にたわみ量測定概念を示す。

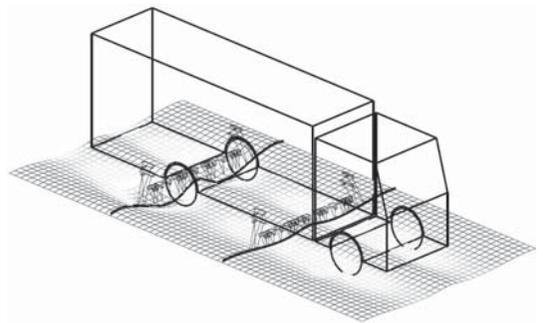


図-10 RDTのたわみ量測定概念

RDTは、1990年代初頭に1号車が製作された(写真-17)。後軸荷重およびセンサー位置が容易に変更でき、様々なセンサー配置での測定が可能であった。しかしながら、1号機は車軸間を長く設定した場合に正確な測定が困難であったほか、上り勾配で一定速度を確保することが困難なこと、(運転者や測定者のための装備が十分でないため)測定範囲が日帰りできる場所に制限されてしまうこと等が問題であった。

その後、1990年代中期には2号機が作製された(写真-18)。2号機は、後輪車軸重を最大限に生かすために、エンジンをトラック後部に移動させたことが最大



写真-17 RDT (1号機)



写真-18 RDT (2号機)

の改良点である。また、2号機ではリミッターが解除され最高速度が110km/hrまで許可されている（スウェーデンの大型車の速度制限は、高速道路や主要幹線道路で90km/hr、その他の道路で80km/hr以下である）。

3.2 計測機器

RDTには、40台の非接触レーザー距離計、光学速度計、車輪に回転パルス変換器、力計2台、加速度計2台、ジャイロスコブが装備されている。

(1) 非接触レーザー変位計

非接触レーザー変位計は、設置位置と測定する位置、測定される変位量の関係から、仕様の異なる4種類が使用されている（図-11参照）。

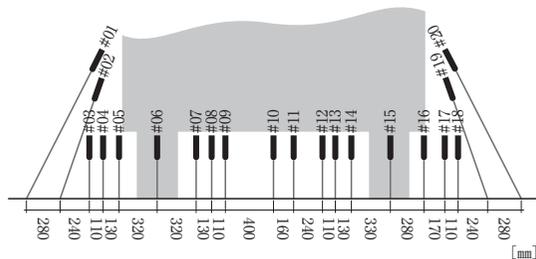


図-11 非接触レーザー変位計の配置図

車両側方の変位を測定する#01と#20は、検出距離1.178mm、測定レンジ400mm、#02および#19が検出距離853mm、測定レンジ330mm、#03と#10および#18が検出距離390mm、測定レンジ180mm、それ以外のレーザーが検出距離390mm、測定レンジ128mmとなっている。

(2) 速度計

速度は、車両前方の運転席下に設置されている光学速度計と車輪に設置されている車輪回転パルス計によって測定される。

フランスのRD42号線で測定された速度の記録例を図-12に示す。図から、光学速度計と回転パルス計により測定された速度は、比較的速度が速い場合を除き概ね同等な値を示していることがわかる。

(3) 加速度計および（せん断）力計

加速度計および（せん断）力計は後軸の両側の車輪付近に設置されている。輪荷重が既知である場合（別途、輪荷重を測定する必要がある）、これらのセンサーから地面にかかる反力を計算できる。図-13に示す輪荷重分布は、TRLの円形テストコースにおいて反時計回りに10、50、60、70km/hrで走行したときの結果である（上側：右車輪、下側：左車輪）。図から、RDTを反時計回りに走行させた結果、右車輪に+側（下向き）の荷重が発生すると同時に、左車輪に同じ大きさの-側（上向き）の荷重が発生していることが明らかになった。

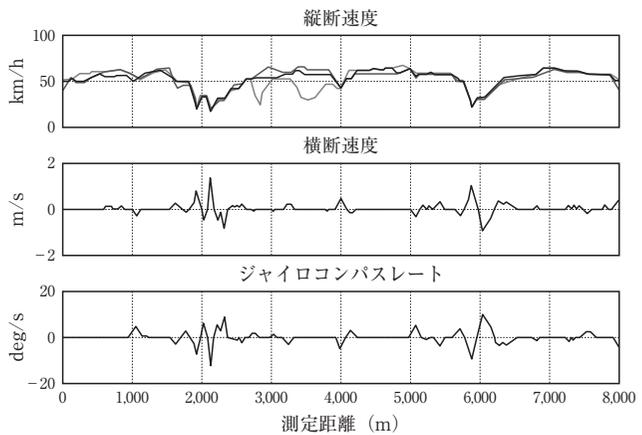


図-12 速度測定結果

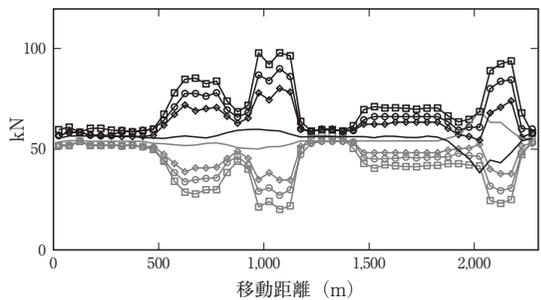


図-13 輪荷重測定結果

る（上側：右車輪、下側：左車輪）。図から、RDTを反時計回りに走行させた結果、右車輪に+側（下向き）の荷重が発生すると同時に、左車輪に同じ大きさの-側（上向き）の荷重が発生していることが明らかになった。

(4) ジャイロセンサ

ジャイロセンサは車両の傾きを測定し、たわみ量を補正するために、測定車の運転席の下に設置されている。

3.3 データ収集システム

RDTを70km/hrで走行させた場合、1kHzの周波数（サンプリング間隔0.001秒）では、約20mm走行ごとにデータが保存される。保存されるデータ形式は、平均化処理後およびリアルタイムデータの両形式での保存が可能である。しかし、リアルタイムデータを保存する場合、保存されるデータはデータ収集システムの保存容量の関係から全センサーのデータではなく、2、3個のセンサーのデータに限られるのが現状である。

また、当該システムでは、交差点や橋、マンホールなど、測定に影響を及ぼす可能性のあるものがある場合に、一時停止モードで対応することが可能である。

3.4 たわみ量およびわだち掘れ量、たわみ面積の算出

当該装置では、進行方向前側のセンサー群で輪荷重が載荷されていない状態路面プロファイルを、後ろ側のセンサー群で輪荷重が載荷された状態の路面プロファイルを測定する。したがって、前側と後ろ側で測定されたプロファイルの差がたわみ量となる。図-14にたわみ量算出の概念を示す。なお、横断方向の測定数(20点)は、路面の種類が異なる場合でも評価を行うために必要である。また、輪荷重の影響をほとんど受けない点(#01と#20のセンサ)を基準点とすることで、わだち掘れ量とたわみ面積の測定が可能となる。

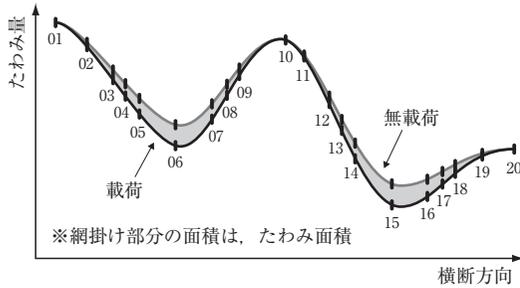


図-14 たわみ量測定概念

また、わだち掘れ量は、「Bjelke高さ」と呼称する指標で間接的に評価している。Bjelke高さは図-15に示すように、車線中央の凸部とIWPまたはOWPの差として算出される。

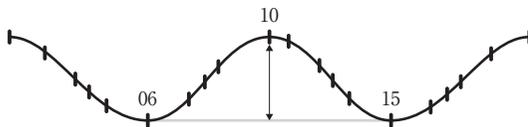


図-15 Bjelke高さ概念

3.5 実道での測定結果

(1) 再現性

図-16にStorvik試験場で行った6回の連続走行試験結果を示す。図中の破線は、たわみ測定結果の標準偏差を表している。図から、測定速度を変えた場合でも、たわみ測定結果の標準偏差は非常に小さく、再現性が良いことが確認された。また、わだち掘れ深さとジャイロセンサで測定された車両の傾きについてもほぼ等しい結果が得られた。ただし、個々の測定結果に差が生じる箇所は、たわみの小さい非常に強固な構造の道路(コンクリート舗装)であった。

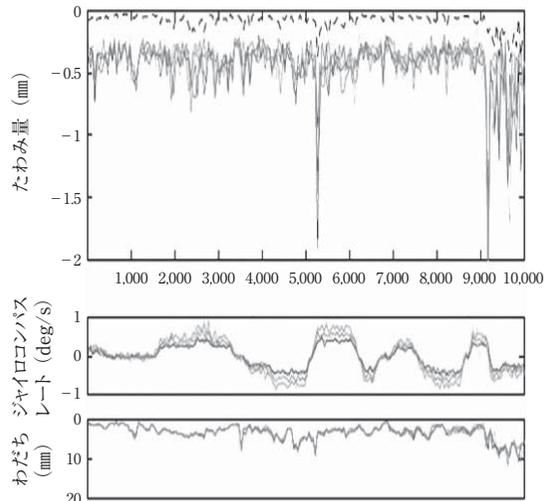


図-16 RDTの繰り返し測定結果

(2) FWDとたわみ量の比較

図-17にFWDとRDTのたわみ量の比較結果を示す。測定箇所は支持力が小さい道路(Linköping Water Ski Club)、支持力が中程度の道路(Fornåsa)、非常に強固な道路(コンポジット舗装:Vikingstad)を1箇所ずつ選定した。図から、同一箇所でもFWDとRDTによって測定されるたわみ量に差が見られるものの、FWDたわみ量が大きい箇所ではRDTたわみ量も大きくなる傾向が見られた。このことから、RDTを用いて舗装の構造評価ができる可能性があると考えられる。

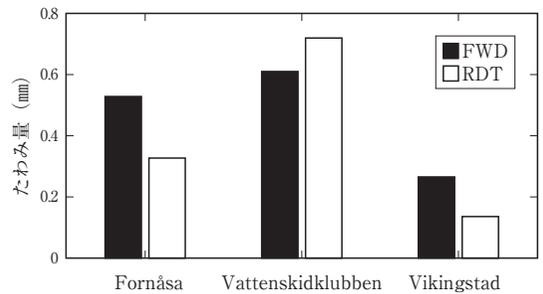


図-17 FWDとRDTの比較結果

(3) 速度依存性

図-18にLindfors試験場で行った測定結果を示す。図から、測定速度が速くなるにしたがって、たわみ量が小さくなるという傾向があり、FWDとRDTの測定結果には差がみられた。一方、測定速度が変化した場合でも、車両の傾きやわだち掘れ深さに大きな差は見られなかった。

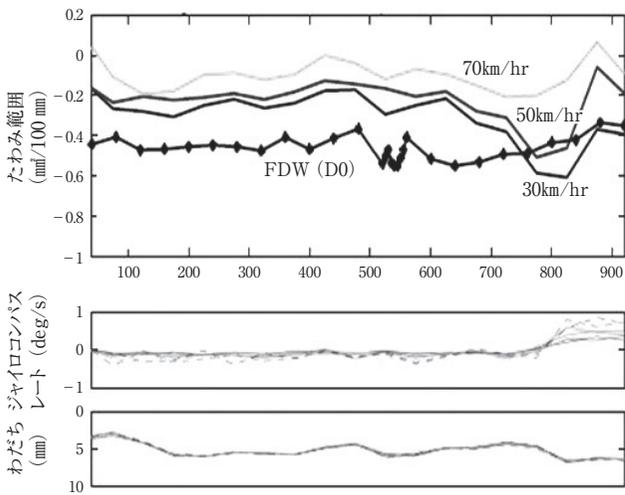


図-18 測定速度とたわみ量の関係

(4) 長距離連続調査

長距離を連続して測定した場合の不具合などを抽出することを目的として、表-2に示すような長距離連続測定試験を行った。1日当たりの最長の測定は、Motorway E4の137kmで、このときの測定には1時間40分を要し、データは1.2GBで600万以上のたわみプロフィールを得た。

図-19にレーザー強度の測定結果を示す。図から、5~6kmの位置でレーザー強度が低下しているが、こ

表-2 調査箇所の概要

測定箇所	測定時期	測定距離 (m)	測定速度 (km/hr)
Motorway E18	1998. 6. 13	75,000	70 (1)
Highway 45	1998. 4. 14	75,000	70 (1)
Motorway E4	2001. 9. 27	137,000	80 (1, 2)
Svärdsjö	2002. 4. 9	25,300	70 (3), 90 (2, 3)
Svärdsjö	2002. 6. 11	25,300	80 (4)
Gistad	2004. 9. 24	20,000	70 (1)
Gistad	2004. 11. 15	20,000	70 (1)

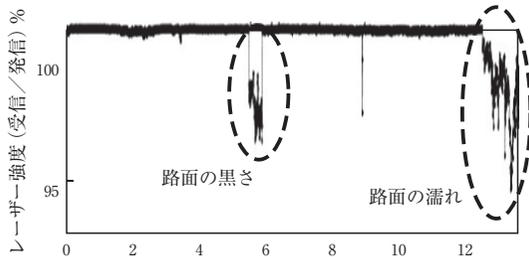


図-19 Motorway E4での測定結果

れは、当該箇所が最近補修され表面が黒く反射率が低いためと考えられる。なお、試験区間の最後(12km~)におけるレーザー強度の低下は、小雨によって路面が濡れ、レーザー光が散乱したためである。

(5) 経時変化

時間経過による結果の比較を検討するため、2つの測定箇所において約2ヶ月毎に2回以上測定を行った。4回の測定を行ったVikingstadの調査概要を表-3に、たわみ量の測定結果を図-20に示す。図から、それぞれの測定結果は期待したほど一致しなかった。これは、レーザーのオフセット値や倍率が原因であることがわかった。また、運転の方法や測定時期(季節)が測定結果に影響を与えたことも考えられる。

(6) 路床特性の評価

支持力の異なる3区間(支持力小: Linköping Water Ski Club, 支持力中: Fornåsa, 支持力大: Vikingstad)において、それぞれ約1kmの測定を実施した。なお、RDTの車輪付近の静的たわみは逆解析プログラムClevercalc 3.8を用いて算出した。各工区の測定結果を図-21, 22, 23に示す。なお、図中の左縦軸はRDTによるたわみ面積を、右縦軸に路床の弾性係数を示している。

表-3 調査箇所の概要

測定箇所	測定時期	測定距離 (m)	測定速度 (km/hr)
Vikingstad	1998. 6. 17	1,350	30(2), 50(4, 3), 70(3, 4)
	2001. 10. 29	1,060	30(2), 50(2), 70(2)
	2002. 6. 6	1,080	30(2), 50(2), 70(2)
	2003. 8. 20	1,070	30(2), 50(2, 4), 70(2)

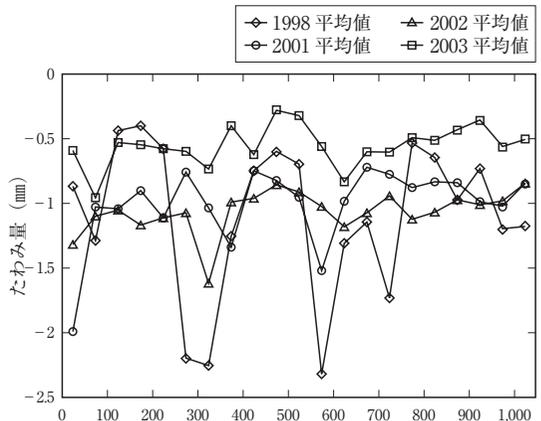


図-20 たわみ量の測定結果

それぞれの工区では、路床の弾性係数とRDTたわみ面積の係数に相関関係がみられた。RDTによるたわみ面積は路床の弾性係数に大きく影響され、特に軟弱な構造においてその傾向は顕著であると考えられる。また、Vikingstad工区ではRDTの速度依存性が小さい傾向があり、下層に剛性の高い層が存在することが影響しているものと考えられる。

(7) 路面性状の測定結果

RDTは、舗装の支持力を測定するほか、平坦性やInternational Roughness Index (IRI)、横断形状などの路面特性を測定することができる。平坦性は、レーザー信号と後輪車軸上に設置された加速時計と組み合わせることで計算することができる。Road Surface Tester (RST)などとRDTを比較した場合、RDTは広範で正確な測定が可能で、縦・横断形状の測定をおこなえる点にある。RSTなどから得られたデータでは、舗装の状態を適切に評価できない場合でも、RDTの場合はそれが可能となる。

図-24にRDTとRSTによって測定した縦断プロファイルとIRIおよびわだち掘れ量の比較結果を示す。図から、RDTとRSTの測定結果に大きな差は見られなかった。

3.6 今後の課題

現在装備されている路面のたわみを測定するためのレーザーセンサの分解能の要求精度は非常に高く、小さな測定誤差が大きなたわみ量の差として算出されることがある。そのため、レーザーセンサのキャリブレーション方法や設置方法をさらに検討する必要がある。また、測定速度や測定されるたわみデータの遅れなどを考慮して、FWDとの評価結果との相関をより高める必要がある。

4. おわりに

舗装の構造的な健全度を非破壊で、かつ高速・正確に評価するために今日まで様々な機器の開発が行われてきた。

今回紹介した移動式のたわみ測定装置は、交通規制を行うことなく大量のたわみデータを取得し、支持力の小さい箇所を抽出できる可能性がある。このことは、いつ、ど

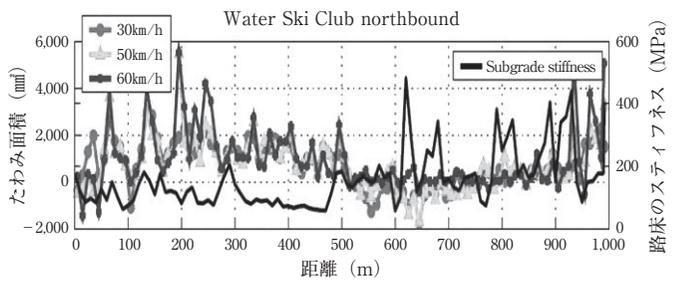


図-21 たわみ量と路床のスティフネスの関係 (Linköping Water Ski Club)

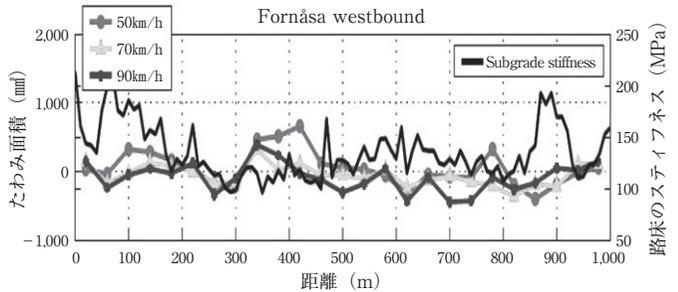


図-22 たわみ量と路床のスティフネスの関係 (Fornåsa)

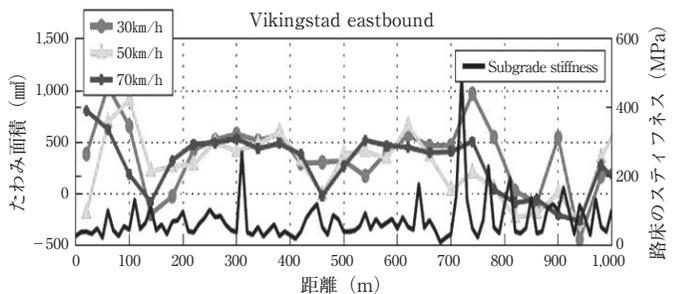


図-23 たわみ量と路床のスティフネスの関係 (Vikingstad)

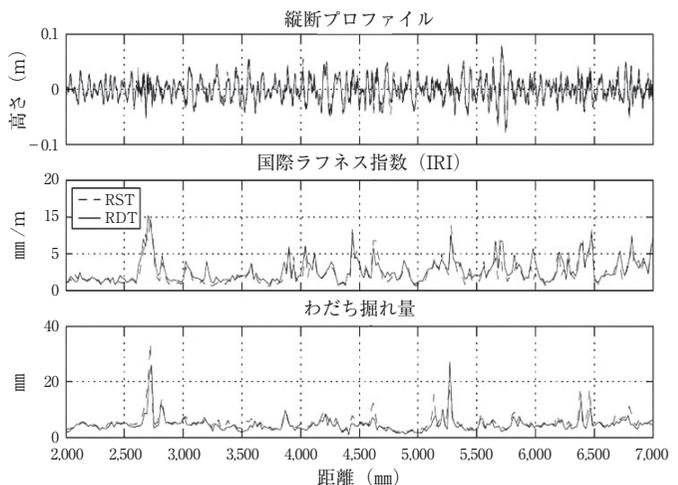


図-24 RDTとRSTによって測定した路面特性

こに、どのような処置を行うのが最適であるかを考慮して計画的、効率的に舗装を管理（マネジメント）するためツールとして利用できることを示している。紹介したいずれの装置もわが国へ導入するには大き

いと思われるが、3章で紹介したRDTは比較的小さく、検討加えることでさらなる小型化が可能と思われる。

本報告が、今後わが国の舗装管理ツールの開発の一助となることを期待する。

— 参考文献 —

- 1) 国土交通白書2008－国土交通省編－，平成20年5月
- 2) 笠原篤：非破壊試験としてのたわみ測定装置とたわみデータの利用，アスファルト，Vol.32 No.160，p.57-67，1989年7月
- 3) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第1分冊〕，平成19年6月
- 4) 東日本高速道路(株)ほか：試験方法 第2編 アスファルト舗装関係試験方法，平成18年10月
- 5) <http://www.dynaflect.com/spanish/force.htm>
- 6) http://training.ce.washington.edu/wsdot/modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm
- 7) <http://www.fhwa.dot.gov/Pavement/pccp/pubs/02083/appendb.cfm>
- 8) FWD研究会：FWDに関する研究，1993年8月
- 9) J. Lacroix and Introduction by Durrieu, J. Défectographe pour l'auscultation rapide des Chaussées. Bulletin de liaison des Laboratoires Routiers Ponts et Chaussées, 3:191-1-191-16, September - October 1963.
- 10) http://www.vectra.fr/Deflectographe%20Flash_GB.pdf
- 11) Peter Andrén : Development and Results of the Swedish Road Deflection Tester, 2006年6月 (<http://www.diva-portal.org/kth/theses/abstract.xsql?dbid=4050>)
- 12) James A. Bay and Kenneth H. Stokoe, II, "Development of a Rolling Dynamic Deflectometer for Continuous Deflection Testing of Pavements", Project Summary Report 1422-3F, Center for Transportation Research The University of Texas at Austin, 1998年3月
- 13) Jeffrey L. Y. Lee, Kenneth H. Stokoe II, Dar-Hao Chen, Miles R. Garrison, and Boo Hyun Nam, "Monitoring Pavement Changes in a rehabilitation Project with Continuous Rolling Dynamic Deflectometer Profiles", Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board, No.1905, pp.3-16
- 14) <http://www.qi2.com/id71.html>
- 15) http://www.ltap.rutgers.edu/Pavement/Thomas_Van.pdf
- 16) Danish Road Institute, "Development of a High Speed Deflectograph", Report 117, 2002年

「PIARC 報告」TC4.3

— 道路工事が道路利用者および沿道環境に与える影響 —

市 岡 孝 夫* 伊 藤 大 輔** 岩 岡 宏 美***
 庄 嶋 芳 卓**** 焼 山 明 生*****

1. はじめに

世界道路協会（WRA：World Road Association，通称PIARC：Permanent International Association of Road Congress）は、道路の建設、改良、維持、使用の促進と世界全体の道路技術・道路交通施策の向上を目的として1909年に設立され、113カ国が加盟する非営利組織である。

PIARCでは、設定された戦略的研究課題（ST：Strategic Theme）に対して、具体的な課題に取り組む技術委員会（TC：Technical Committee）が設置され検討が行われている。設定されたSTの研究期間は4年間とされ、これらの活動の総括のために4年に1度、冬季道路会議と世界道路会議が開催されている。図-1に現在のPIARCの組織図を示す。

現在PIARCでは、2004～2007年の研究期間を終え、新たな期間（2008～2011年）で研究が行われている。表-1と表-2には、2004～2007年と2008～2011年の

研究期間で設定されたSTとTCの概要を示す。

本報告では、前研究期間の検討結果から「TC4.3道路舗装」の全体概要を報告する。また、最近、道路工事などに対し、わが国では、環境影響への要求事項が高まっている。このことから、TC4.3の研究課題の中から「道路工事が道路利用者および沿道へ与える影響」を取り上げ、各国の環境に対する取組みを紹介することで皆様の知見となればと考え詳述する。

2. TC4.3の概要

一般の道路利用者の道路へのニーズは、持続的な開発、環境保護、アクセス性の向上および安全かつ低コスト、耐久性の向上など多様化している。このような期待に応えるためには、技術開発などが必要である。そのため、TC4.3では、以下の3つの課題に対して検討した。

- ①長寿命舗装
- ②リサイクル
- ③道路工事による道路使用者と周辺の環境影響

2.1 長寿命舗装

“舗装の寿命”を議論する場合、設計法や環境条件（交通量や気候など）を整理する必要がある。本課題の目標は、供用性に寄与した要因を識別し、同じ設計内容の場合、同じ効果が得られるのかを確認することであり、以下のデータを収集した。

- ・交通量
- ・気象データ
- ・排水施設の品質と能力
- ・舗装の破損形態と進行
- ・補修履歴
- ・その他の設計因子、材料特性など

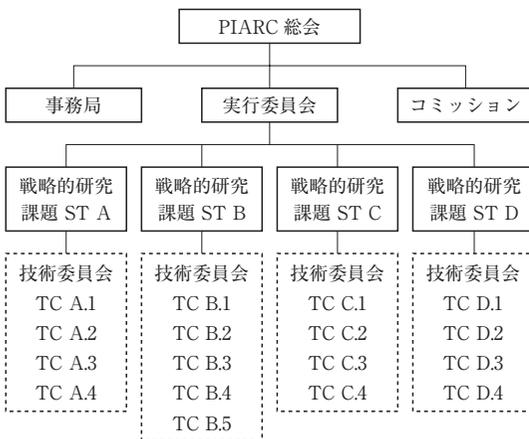


図-1 PIARCの組織図（2008～2011年）

*いちおか たかお 前田道路(株) 技術部
 **いとう だいすけ 大成ロテック(株) 関東支社
 ***いわおか ひろみ 世紀東急工業(株) 技術研究所

****しょうじま よしたか 西日本地研(株) 営業設計課
 *****やきやま あきお 日進化成(株) 技術研究所

表-1 STとTCの概要(2004~2007年)

ST	項目	TC	項目
1	道路システムのガバナンスとマネジメント	1.1	道路に関する経済
		1.2	道路に対する投資の財政
		1.3	効率的な道路行政
		1.4	ネットワーク管理のマネジメント
2	持続可能な交通	2.1	持続可能な開発と道路交通
		2.2	都市間道路および交通
		2.3	都市内交通
		2.4	物流とインターモーダル
		2.5	地方交通のニーズ
3	交通安全と道路管理	3.1	交通安全
		3.2	リスク管理(道路防災)
		3.3	道路トンネル管理
		3.4	冬期路面管理
4	道路インフラの品質	4.1	アセットマネジメント
		4.2	道路・車両の相互作用
		4.3	道路舗装
		4.4	橋梁と道路構造物
		4.5	土工・排水・路床
技術移転・開発委員会			

表-2 STとTCの概要(2008~2011年)

ST	項目	TC	項目	
A	道路輸送システムの持続性	A.1	環境保護	
		A.2	道路システムの資金運営と契約	
		A.3	道路システムの社会的発展	
		A.4	地方道路のアクセス性	
B	サービスの改善	B.1	道路管理の良い管理法	
		B.2	道路ネットワークの運営法	
		B.3	地方交通の改善	
		B.4	物流とインターモーダル	
		B.5	冬期サービス	
C	道路システムの安全性	C.1	交通安全設備	
		C.2	安全管理	
		C.3	国内外の道路運営のリスク	
		C.4	トンネル管理	
D	道路インフラの品質	D.1	アセットマネジメント	
		D.2 道路舗装	D.2a	路面性状
			D.2b	コンポジット舗装
			D.2c	コンクリート舗装
		D.3	道路橋	
		D.4	土質と未舗装道路	

ここでは、コンポジット舗装などを含めて様々な舗装に関して供用性の追跡調査が実施され、データが解析された。その結果、製造、排水施設、路床改良、舗装厚さ、層剛性、層間の付着、締固め度などの条件や品質特性が舗装の寿命に影響することが明らかとなった。

また、長寿命舗装はメンテナンスフリーではなく、最小限の維持活動を実施する必要があるが、その効果は直接の施工費と維持管理費用を減らすだけでなく道路利用者の間接費を減らすことにもなることを考慮する必要がある。

2.2 リサイクリング

舗装工事でのリサイクルを推進するため、舗装工事での3つのテクニカルガイドラインを示した。その内容は以下の方法である。

- ・路上再生工法
- ・フォームドアスファルトによるリサイクル技術
- ・プラント再生工法

これらのことにより、舗装工事においてリサイクル材の使用が促進され推奨されるようになった。しかしながら、繰り返しのリサイクル(すなわち、2回以上の再生利用)に関する知見は少ないのが現状である。また、コストについても、耐久性や環境への影響などを考慮し総合的に判断する必要があるが、リサイクルが

コスト面での競争力を保つことができるように、廃棄物処理に対する税金などを減免するなどインセンティブを与える方策についても検討する必要がある。

2.3 道路工事による道路使用者と周辺環境影響

本課題は、労働環境の改善、交通安全、周辺環境への影響、建設活動による交通への影響を減少させることを目的とし、道路工事が作業員や道路利用者と沿道環境に与える影響について検討を行った。その結果、以下の傾向が確認された。

- ・安全、環境汚染、振動などへの認識性は国ごとに異なる。
- ・一般に、発展途上国では作業員や道路利用者、周辺環境に与える影響についてあまり関心が無く、これらを問題視するのは先進国と都市部に集中している。

このことから、特に発展途上国での取り組みを促進するためには、関係者(受発注者、道路利用者、沿道住民)へ現状の認識と対策を行うことにより期待できる効果などを周知することなどが必要である。

2.4 まとめ

TC4.3の成果は、諸問題を改善するための様々な開発段階にある手法や技術の実例を示したことである。長寿命舗装については、舗装の経済性を正当化する設

計法と手順を組み入れるための知見を得ることができ、その可能性が証明された。

リサイクルについては、多くの自治体で実施されているので、展開と実施の進捗に達している。しかし、舗装工事におけるリサイクル技術は、不完全であり信用を得られていない部分もある。従って、さらなる技術進歩が必要とされている。

道路工事が作業員や道路利用者と沿道環境に与える影響を減らすための対策はすでに実施されており長寿命舗装やリサイクル技術に比べて進んでいる分野である。しかし、さらに対策の効果を向上させるためには、新技術が必要である。

新技術を促進するためには、新技術が適切に評価され信頼性が確認される必要がある。また、これら新技術に関する情報は、設計者や発注者に提供されなければならない。

技術開発の目的は、単に道路管理者または施工業者が直接費を軽減することのみではなく、地球環境・社会環境・周辺環境への影響を軽減することも含まれている。各国は、技術と規格を適合するために、舗装分野に関連した国際的な経験の共有を得られる立場にある。PIARCのネットワークは、その参考として役立ち、課題を評価するための最高の会合である。

3. 「道路工事が道路利用者および沿道環境に与える影響」の紹介

この報告書は以下の章立てで構成されており、その内容について示す。なお、付録である「革新的な軽減技術データ」についても、本文の終わりに紹介する。

3.1 はじめに

3.2 検討方法および予備調査結果

3.3 問題点の抽出

3.4 適用範囲

3.5 問題点の詳細

3.6 設計施工方法の新技術例

3.7 問題解決に向けた取り組み

3.8 まとめ

3.1 はじめに

PIARC技術委員会TC43のワーキンググループの活動目的は、舗装工事において、

道路利用者および沿道住民に与える影響を減少させるため、先進諸国における取り組み情報を収集し、収集された情報をその他の国へ提供することである。

本報告書は、道路の建設と修繕工事が沿道利用者に与える影響を緩和することを目的とした契約や技術的問題に関して取りまとめたもので、以下のような構成となっている。なお、本報告書に記載されている事例の全てが証明された技術ではないが、問題の共通化や問題を緩和するために各機関が使用している方法の知見を深めることができることから記載している。

3.2 検討方法および予備調査結果

2005年秋、現状の問題点やその対策に関する情報を収集するために、予備調査としてPIARC TC43のメンバーに騒音、安全性、環境汚染、道路作業の有効性および迷惑行為に関する下記の項目についてアンケートを実施した。

- ①規制、指針、最良の方法、業務規約など
- ②各自の規制や指針、仕様の有無
- ③過去の実績や現在の状況、および過去から現在の変化の様子
- ④過去に実施した革新的な事例（導入責任者の立場）
- ⑤将来、期待する新技術

予備調査の回答は、項目ごとに、1（重要でない）～5（重要である）の5段階に分けてその重要度をランク分けした。取りまとめ結果を表-3に示す。表から、作業員と道路利用者の安全性については、道路の計画から維持の全ての段階において重要度が高く、照明、臭気や美観については、あまり重要視されていないことが明らかとなった。

表-3 道路の設計・施工時における影響度合い

項目	計画	設計	製造	運搬	舗設	維持	規制の有無など
騒音	4	4	3	3	4	4	騒音の最大値の規制あり
安全性	道路利用者	5	5	5	5	5	安全性を指針で規定
	作業員	4	4	5	5	5	法律により規定
環境汚染	大気汚染	3	3	5	4	4	法律により規定 環境マネジメント計画の立案
	水質汚染	4	3	4	4	4	
	土壌汚染	3	3	4	4	4	
振動	3	3	3	3	3	3	
有効性	交通容量	4	4	3	4	4	
	作業時間	4	4	3	4	4	
迷惑行為	アクセス	4	4	3	4	4	
	美観	3	3	2	2	2	ほとんど考慮されず
	照明	2	2	2	2	4	
	臭気	2	2	2	2	2	

3.3 問題点の抽出

道路の建設および修繕に伴う影響を軽減するための方策にはいくつかある。例えば、規制により、施工時の騒音や大気汚染を制限することを施工者に要求している。水生生物に与える影響を防止するため、施工現場に隣接する水路への腐食土の流出を防止するために砂防ダムの使用も要求している。規則や規制は、契約上の要求事項、特記仕様書、計画、設計、製造、運搬、舗設、維持、マネジメント計画などを通して導入されている。加えて、技術革新は、施工方法と施工手順を改善する助けとなる。例えば、施工機械の運転席の内部をわずかに加圧することにより、作業員がダストにさらされる量を減少させることができる。軽減の方法は、工程の異なる段階で導入されている。

改善と革新的な設計により、施工期間を短縮することができるかもしれない。また、ボーナスとペナルティ規制の導入と同じように、後述する革新的な軽減技術である「レーンレンタル」や「コストプラスタイム入札」のような入札環境の変化により、施工の影響を軽減するためのインセンティブを与えることができる。

3.4 適用範囲

予備調査結果に基づいて、プロジェクトの作業内容を以下のように設定した。また、本プロジェクトの対象は、初期建設、修繕（オーバーレイ、切削など）、日常的な維持（スラリーシール、ジョイントシール、ポットホール復旧など）などの作業中に下記の項目への影響についてのみ考慮したものである。なお、これら項目の全ては、都市内道路の環境への影響が大きい項目である。

- ・騒音
- ・安全性（道路利用者、施工業者）
- ・環境汚染（大気、水質、土壌）
- ・振動
- ・その他（夜間照明、臭気、美観など）

3.5 問題の詳細

以下では、それぞれの問題が道路利用者および沿道住民にどのような影響を与えているのかをより詳しく記述する。

3.5.1 騒音

騒音の発生源としては、以下の項目が指摘されている。

- ①施工機械（掘削機械、締固め機械、杭打ち機、発電機、切削機、振動機、ハンマーなどの）
- ②材料の搬出・搬入、車両の出入り
- ③火薬の使用

騒音の緩和策としては、多くの機関において騒音の最大値によって規制がされている。舗装工事に伴う騒音の発生を緩和するために採用される設計・施工方法は多くあるが、騒音軽減に向けた特別な緩和技術は存在しない。しかし、多くの設計・施工技術は、例えば後述の革新的な軽減技術である、「コストプラスタイム入札」、「プレキャスト平板」や「中温化アスファルト技術」など施工時の騒音低減を通じて総合的に騒音を軽減するものも多い。

3.5.2 安全性

施工作業においては、車両、歩行者、自転車や他の電力装置など建設現場を横断する人や物、作業員の安全を確保するための注意を払う必要がある。写真-1および写真-2に危険性の高い状態を示す。

各国で認識されている安全性の問題としては、以下の項目が指摘されている。

- ①道路線形（車線数、幅員など）や路面の変化
- ②建設機械や材料等の搬入、搬出
- ③排気ガスや熱、蒸気、ホコリの排出



写真-1 危険性の高い状態の貧弱な警告



写真-2 危険性の高い歩行者状況（防護設備、警告の無い歩道）

④ドライバーの脇見運転

⑤夜間作業

安全性を確保するための方策として、多くの道路機関では、建設現場における作業に対して厳格な安全要求事項を定めている。これらは、作業員と一般人に対する安全性の確保を目的としたものである。典型的な安全対策は、以下のとおりである。

①事前の工事案内、近隣住民とのコミュニケーション、掲示板など

②作業区域と通行レーンの明確化（樽型安全ドラム、セーフティコーン、車線標示など）

③交通誘導員の配置

④切削作業時の集塵機の使用

⑤作業員の視認性向上（作業服のカラーコーディネート）

⑥施工区間への接近をドライバーに知らせる路面に凹凸

⑦夜間施工の適正な照明

3.5.3 環境汚染

施工現場での環境汚染には、大気、水質および土壌汚染がある。大気汚染は、施工作業に伴う粉塵、車両から排出される二酸化炭素や一酸化炭素およびアスファルトなどからの臭気などがある。水質汚染には、施工機械および洗浄作業からの燃料流出などがある。土壌汚染には、多くの化学物質によって既に汚染されている路床の掘削による汚染や建設作業に由来するものなどがある（写真-3参照）。

汚染対策としては、建設工事自体が汚染源とならないための対策と既に汚染されている箇所から汚染を拡大させないための対策の両方が適用されている。

3.5.4 振動

舗装工事にもなう振動は、工事車両や施工機械（振動ハンマー、締固め機械など）が発生源と認識されている。振動対策としては、対策技術が施されている施工機械の使用、資機材の運搬や施工方法の検討などが行われている。



写真-3 路床掘削による土壌汚染

3.5.5 その他

道路工事に伴い、夜間の照明や臭気、ホコリ、美観などが問題となっている場合があるが、多くの機関では、これらの問題に対して関心がないということが明らかとなった。

3.6 設計施工方法の新技術例

道路の建設・修繕活動が、周辺に与える影響を緩和するための革新的な軽減技術の概要を、表-4に示す。表の各項目の識別は、各項目が主および副次的に与える影響に焦点を当てた。そのため各項目には、マーキングされていない項目についても改善効果が含まれている可能性がある。

表-4 革新的な軽減技術の概要と適用事例

問題点/方法	騒音	安全性	汚染	振動	有効性	迷惑行為
施工の迅速化		■			□	
プレキャスト平板		■			□	
「コストプラスタイム」入札					□	
プレハブ式アスファルト				■	□	
移動式車線表示機		□				
仮設橋		■			□	
通過時間インセンティブ					□	
バリューエンジニアリング (VE)					□	
コンストラクティブリティ・レビュー					□	
革新的な再開発プロジェクト		■			□	
2層式アスファルト舗装				■	□	
中温化アスファルト混合物			□		■	
集塵システム			□			
交通規制の事前警告		□				
常温アスファルト舗装技術			□			
迅速コンクリート舗装技術					□	
可動式車線分離壁					□	

□：主な用途 ■：副次的な用途

3.7 問題解決に向けた取組み

3.7.1 問題解決のための取組み状況

建設部門における研究開発は、通常の民生部門でなされているよりいくらか異なる方法で行われている。

民生部門では、継続的に新しい製品とサービスを模索しており、コマーシャルを通じてこれらの製品およびサービスの技術的、機能的な優位性を消費者に提供し、商品選定の目安となっている。一方、道路建設部門では、サービスの利用者である道路利用者は、新しい技術や機能について知らされることは少なく、道路利用者が機関の発注プロセスに影響を与えることは少ない。このため、建設部門では、多くの革新的技術の導入を難しくさせている。さらに近年では、技術開発は品質レベルの向上ではなくコスト縮減に多くの焦点が当てられている。

3.7.2 取組みの必要性

道路工事に伴う諸問題に対する検討は、等しく行われているわけではなく、異なっていることが明白である。人間の必要性の階層を示しているマズローピラミッド(図-2)を道路工事に伴う諸問題に対しても描くことができる。

道路の必要性の第一義は、「移動・輸送」であると定義できる。この必要性が満たされた後に、沿道住民を含めた道路利用者に対する道路の安全性が位置付けられる。さらに、道路の品質を維持するためのメンテナンスシステム、財務予算が認識され承認されたうえで、道路のネガティブな影響(建設に伴う環境破壊や騒音および排気ガスの排出など)を減少させるための技術等が位置付けられる。道路の持つネガティブなイメー

ジを減少させることで道路の長期的な必要性が受け入れられる。このように、道路工事による様々な効果や影響はこの枠組みによって説明することが可能であり、取り組むべき課題のプライオリティーについても明確にすることができる。

3.7.3 開発のレベル

技術開発のレベルは、①法律に対する事項、②発注機関に対する事項、③受注機関に対する事項、に大別される。諸問題を解決するためには、それぞれのレベルにおいて取組みがなされなければならない。

例えば、車両の排出ガスの基準や道路交通騒音の問題などのように、法律や施策によって技術開発の方向性が示されることで産業は、新技術に向かって変革していくことになる。また、新技術の導入を促進するためには、受注者に技術選択の自由を与えることも重要である。例えば、性能規定発注方式のように、請負者に創造的な技術の提案させるのであれば、この状況が可能となる。

3.8 まとめ

道路工事に伴う諸問題解決のためには、問題の存在を認識すること、問題解決に対する技術や取組みに対価を支払う意思を持つことが重要である。これにより市場は、与えられた条件の中で、最良の効果と利益を得るように努力することとなる。

4. 革新的な軽減技術の紹介

以下に、各国から情報提供された道路工事が与えるネガティブな影響を緩和するための契約方式や施工技术について紹介する。

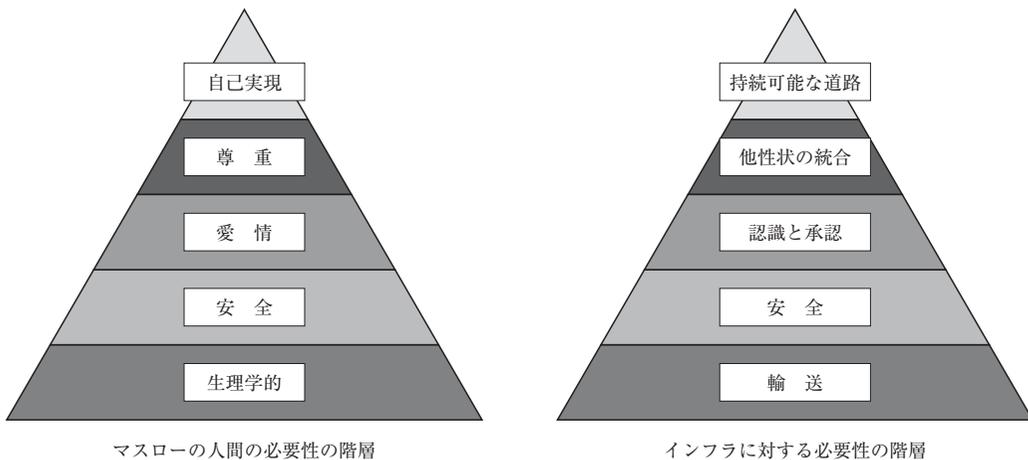


図-2 人間のインフラの必要性の階層

No. 1 プレキャスト平板 (アメリカ) (Pre-Cast Slab Replacement)

プレキャストコンクリート舗装は、局所的な補修や急速施工方法として、重交通路線に対しても適用される。施工工程は、古い舗装を撤去したのち、路盤層を正確な高さに転圧して仕上げる。その後、碎石ダストのような細粒分を敷きならして締め固める。



プレキャストコンクリート版を補修箇所に設置し、所定の位置にダウエルバーを埋め込む。

本工法は、主に重交通路線や料金所など多くの通行荷重を受ける箇所に適用され、局所的な版の補修に対しても適用されている。また、修繕頻度を最小化することが求められる箇所に適用されている。

長所 (メリット)

- ・施工の迅速化による交通渋滞等の緩和
- ・プレキャスト化による、品質の安定および向上
- ・機械編成が簡便なため、大気汚染や騒音が少ない
- ・高強度なため、版厚を薄くできる。
- ・供用性の改善

短所 (デメリット)

- ・施工費の上昇 (従来の現場打ちコンクリートによる補修工法に比べ30~50%上昇)

No. 2 コストプラスタイム入札方式 (アメリカ) (Cost Plus Time Bidding)

コストプラスタイム入札は、道路の建設、修繕、維持活動における施工時間に対するコスト構成要素が加えられている入札方式で、受注者が工事を完成させるために必要な時間を管理する上で有効であり、最小の時間を見出すことができています。本方式により、受注者が施工時間を短縮するための特別な施工方法を導入するインセンティブにもなる。

入札は、金額と工事完成に必要な日数に関連したコストに基づいてなされる。「A+B法」においては、工事の公告に先立って各契約日数に対するドル価値を算定しており、この日価格は、請負者の時間価格の価値を決定するために、発注者により設定された日々の道路利用者コストを複合したものである。金額だけで落札者が決定する訳ではなく、A+Bの総計が最小の請負者が落札する。

$A + B = \text{総合価格}$

A: 標準価格 (コスト)

B: 時間価格 (施工日数×日当たり利用者コスト)

交通制限事項、レーン通行止めおよび迂回路は、明らかな利用者コストである。Bの契約上のインセンティブは、その価値があまりに低い場合には、現れにくい。軽交通路線においては、迂回路の有効性や利用者に与える影響が小さいため、高額な工事を正当化することはできない。

長所 (メリット)

- ・規制期間 (時間) が短縮され、交通渋滞の削減が可能。

短所 (デメリット)

- ・制限時間を厳守するため、下請け会社の再教育を行う必要がある。
- ・現実的で、信頼性の高い計画を作る必要がある。
- ・付加的な建設管理スタッフが必要。
- ・付加的作業の追加などの契約変更により、A+B入札の優位性が失われる可能性がある。
- ・発注者は、施工に与える影響を軽減するために、契約上の問題解決や変更を迅速に行う必要がある。

No. 3 ロール状プレハブ式アスファルト舗装 (オランダ) (Prefabricated Asphalt in Roll Form)

オランダでは、交通騒音や道路工事に伴う障害を低減する方法について検討している。政府に支援された「Roads to the Future」と呼称される静かで迅速な施工方法の開発を実施している。ロール舗装は、特別な機械を用いて敷きならしと移動を容易にした約3cm厚のプレハブ式アスファルトマットである。ロール舗装は、工事の急速施工と表層の再施工、再舗設ができるように設計されており、設計交通量に耐える構造となっている。ロール舗装は、通常の施工よりも約50%速く施工が可能である。また、2層式ポーラスアスファルト舗装（通常の密粒度舗装よりも約6 dB低騒音）より低騒音とすることができる。

Delft大学での室内促進載荷試験やA50路線での試験施工により、ロール舗装の有効性が確認されている。本技術は、設計交通量に応じた構造的な強度を有している道路に対して、迅速なメンテナンスや表層の再施工が可能ないように設計されたものである。ロール舗装には、橋面やトンネル内などに適用するため、透水および非透水タイプがある。さらに、緊急

補修に対しても、転圧が不要であり、冷却時間も不要なため適している。

長所 (メリット)

- ・プレハブ式材料は、天候に左右されることが少ない。
- ・迅速に施工でき、冷却時間も必要ない。そのため、道路規制時間を短縮できる。

短所 (デメリット)

- ・長期供用性が明らかとなっていない。



No. 4 移動式車線表示機 (オランダ) (Mobile Lane Signaling)

オランダでは、交通渋滞が顕在化しており、道路工事により、さらなる交通渋滞を引き起こす。そのため、道路利用者や各関連団体が早い段階で情報を得られるならば、迂回路を選定したり、旅行の延期や中止をしたり、他の交通手段が選択することができる。サービスは、MELDWERK（中央道路工事計画システム）を通じて交通規制計画情報を受け取り、ラジオ、インターネット、携帯電話などで交通情報を発信している。移動式車線表示機 (MLS) は、1993年から本格的に採用されるようになった。MLSは、道路上でスウィングできるガントレーを搭載したトレーラーやコンテナ車で構成されている。ガントレーに設置されているパネルには、車線封鎖や車線誘導を目的として、矢印やバツ印もしくは最高速度が表示される。また、2005年以来、管状の振動杭を路肩の地中に設置し、振動により道路の規制状況を知らせるシステムも稼働している。



MLSは、年間約5,000回も適用されている。

長所 (メリット)

- ・少人数で迅速に配備することができる。2台のMLSを路肩に設置すれば、車線を規制することができ、コストは従来の車線規制車を用いた場合とほとんど変わらない。
- ・表示が遠方からでも視認できることで、これにより、より速く、容易に車線の合流ができる。

No. 5 仮設橋 (オランダ) (Temporary Bridge Structures)

本技術は、ジョイントの上を跨いで橋をかける方法で、ジョイントの補修にその上を通行できるものである。仮設橋には、下に2 mの空間があり人が作業できる高タイプとジョイントの養生時に必要に応じて使用する下に数cmの空間しかない低タイプの2種類がある。これにより、ジョイントの養生中も道路の全幅を利用することができるため、ラッシュ時の渋滞を緩和することができる。

長所 (メリット)

- ・ 工事および養生期間中、通行することができる。
- ・ 養生時間の問題が解決できるため、ジョイントを耐久性の高いものに切替えることができる。
- ・ 道路作業員の安全性が向上する。(高仮設橋)
- ・ 緊急補修が可能。(低仮設橋)

短所 (デメリット)

- ・ 既存の方法より、より高価になる。
- ・ 専門業者が行なわなければ、事故や渋滞が発生する。



No. 6 通過時間インセンティブ (アメリカ) (Performance-Based Travel Incentives)

2000～2001年、アリゾナ州道路局 (ADOT) は、68号線のデザインビルドの修繕工事に性能に基づいた契約条項を採用した。ADOTの契約条項は、施工区域を通過平均通過時間が27分を超えてはならないというものだった。イギリスのComputer Recognition Systems社が開発した自動ナンバープレート読取り機は、ナンバープレートを記録できるカメラを備えたものである。データ転送は、車両の平均速度と10分間隔で全ての車両の平均速度を計測できるもので

ある。このシステムの結果として、請負者は、ピーク時の車線規制を最小限とする作業計画する必要がある。また、故障で立ち往生している車両をできる限り迅速に施工区域外に通過させるためドライバー支援パトロールを実施した。このパトロールを平日の午後4時～6時と週末は24時間体制で実施した。最終的に、請負者は約96%の通過時間インセンティブを得た。

長所 (メリット)

- ・ 道路利用者の利便性を向上できる。
- ・ 工事を完成させる上で、最も効果的な方法を導入するインセンティブとなる。

短所 (デメリット)

- ・ 道路管理者からの (道路利用者の遅延コストを補完する) 金銭的なインセンティブが必要となる。
- ・ 請負者は、付加的なコストとして自動計測装置が必要となる。
- ・ 100%正確とはいえない画像認識システムに頼らなければならない。



No. 7 バリューエンジニアリング (VE) 事例 (アメリカ) (Value Engineering Case Studies)

バリューエンジニアリング (VE) の活用は、ゼネラル・エレクトリック (GE) 社が原材料や労働者不足のために多くの代替品の導入を強いられたことから導入された。建設業における VE の活用は、ここ数年の間に急速に増加してきた。VE は、設備やシステムのコストや性能を最適化する目的で用いられる、このような検討を通じて、不必要な支出を避けることにより、経済性の向上につながる。このプロセスは、設計、施工、維持管理、運用、補修などに関連する全ての支出を考慮にいたれたものである。新しく考案された方法の活用や新材料・新工法に関する最新情報を通じて、特別な機能に対して代替案が得られる。

長所 (メリット)

- ・ VE 手法は、工事のどんな段階でも適用でき、トータルコストを最適化できる。
- ・ 現実的な問題に焦点をおいた設計ができる。
- ・ 投資回収率は、1 セントに対して 50~200 ドルである。

短所 (デメリット)

- ・ VE の実施コストがかかる (再設計時間、購入や支援のためのマネジメント)

No. 8 コンストラクタビリティ・レビュー (建設の可能性に関するレビュー) (アメリカ) (Constructability Review)

多くの道路機関では、プロジェクトの設計段階において、効率的な設計を行うことを目的として、コンストラクタビリティ・レビュー (以下、CR) と呼ばれる建設の可能性に関する事前調査を導入している。アリゾナ州の交通局 (ADOT) では、都市内道路において CR を導入している。これらの工事では、社会に影響する設計や工程を再検討し、市民団体の代表者と地方公共団体で交通マネジメントワークグループと称される会合を設けている。ノースカロライナ州の交通局 (NCDOT) では、環境に配慮して重交通路線や都市内道路の新設・修繕工事において CR を導入している。これにより、施工コスト、利用者コストの削減と工期短縮が可能なが証明された。

長所 (メリット)

- ・ 入札、建設の確実性の向上と費用対効果の大きい設計が可能
- ・ 施工着手前の問題の抽出による変更/追加工事の

削減することができる

- ・ 公共の安全と建設の安全性の向上
- ・ 環境制限遵守違反、コンプライアンス違反の削減
- ・ 公共の利便性確保と不法侵入の防止
- ・ 環境要求事項と建設作業の両立性が向上する。

短所 (デメリット)

- ・ CR の実施に関わるコストの増加と工事落札までの期間が長くなる。



No. 9 革新的な再開発プロジェクト (ドイツ) (Innovative Construction Staging)

アメリカのボストンで成された大都市中心部の再開発のような大型プロジェクトが東西ドイツ統一後のベルリンで行われた。ベルリンのポツダム広場の再開発時に設計者は、ヨーロッパを代表するビルをポツダム広場に建設する際に、①建設残土の管理、②コンクリートの供給、③ミキサー車の手配、④建設廃棄物の処分、地下水の管理の5つについて明確な目標を設定した。

建設工事に伴う影響を最小化するために、設計者は、既存の道路を使わずに建設機械や資材を輸送することはできないと認識していた。しかし、建設作業の影響を最小化するために、掘削材600万トンや170万トンのコンクリートの建設資材や骨材など全資材の90%を鉄道で輸送した。

長所 (メリット)

- ・ 道路利用者および沿道住民に与える影響の最小化が図れる。

- ・ 建設資材と廃棄物の処理手続きを一元化できる。
- ・ 既設の道路ネットワークの損傷が少ない。
- ・ 多くの荷物を効果的に現場に搬入出できる。

短所 (デメリット)

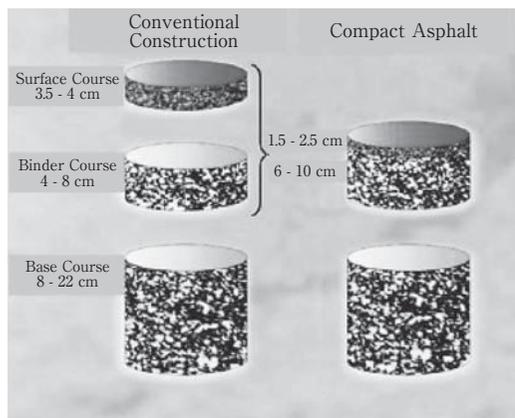
- ・ 緻密な物流計画が要求される。
- ・ プロジェクト入札前に多くの時間がかかる。



No. 10 アスファルト混合物の二層同時舗設工法 (ドイツ) (Two Layer Asphalt Paving)

本技術は、薄い摩耗層の施工後の安定性と品質向上のため、中間層の敷きならし作業と同時に中間層上に敷きならす「ホットオンホット (Hot On Hot)」を可能にした革新的な施工方法である。この方法は、

ドイツで開発された。この方法の革新的な部分は、専用のアスファルトフィニッシャを使用し、二層の異なるアスファルト混合物が同時に舗設可能である。



長所 (メリット)

- ・ 中間層と表層の均一な温度分布によって、より長い転圧時間が可能となり、締め固め度が向上する。
- ・ 摩耗抵抗性を持つ高価な骨材を用いる摩耗層厚の減少
- ・ アスファルト混合物層間の最適な接着
- ・ 総合的な舗設作業時間の短縮
- ・ 天候不良時に施工可能

短所 (デメリット)

- ・ 二層が適切に締め固められるように、注意しなければならない。
- ・ 専用の高額な施工機械が必要である。

No. 11 中温化アスファルト混合物 (アメリカ) (Warm Asphalt Paving)

中温化アスファルト混合物は、通常のアスファルト混合物より20℃～30℃低い温度で製造加工された混合物である。中温化アスファルト混合物の開発目的は、二酸化炭素排出量の減少とエネルギーの節約であった。中温化材は、温度が約80℃において、急速に固体から液体状態へ変える添加剤であり、簡単に瀝性材と混ざり、粘度を下げる。最適温度にまで冷めると中温化材は細かいパターンで結晶化し、瀝性バインダとアスファルト混合物を強化する。

長所 (メリット)

- ・燃料を燃やして製造する伝統的な加熱アスファルト混合物と比較し、製造プラントにおけるエネルギー消費量の減少
- ・製造プラントおよび舗設現場における燃料の排気、蒸気、臭いの減少

短所 (デメリット)

- ・比較的新しい技術であるため、長期供用性が不明
- ・添加剤使用によるコストの上昇



No. 12 集塵システム (オランダ) (Dust Extraction System)

切削作業に使用する切削機から発生するダストは、健康に害を及ぼすことが知られており、その発生を抑制することは難しい。切削により、ダスト、結晶シリカ、多循環式芳香族炭化水素 (PAH) が発生する。通常、切削機の操作員などは、施工機械に近い位置で作業をし、ダストにさらされると呼吸器障害を引

き起こす可能性がある。これらを吸引することにより、作業員の健康に悪影響を与える。

解決方法は、作業員のダストへの暴露を減少させることである。これに対する一つの解決策は、切削チャンバーを密閉し、チャンバーから大気を抽出するという方法である。それは電気掃除機のようなものである。

切削作業からダストを減少させるもう一つの解決策は、切削時に添加物を含むエアゾール化した水を材料に噴霧するという方法である。添加剤を使用することで、発生したダストは団粒化し、集塵することが可能である。

長所 (メリット)

- ・ダスト排出の減少による作業員の健康改善と近隣土地利用者への影響減少リスク
- ・専用設備の使用によるコスト上昇



No. 13 交通規制の事前警告 (オランダ)

(Advanced Warning of Traffic Barriers)

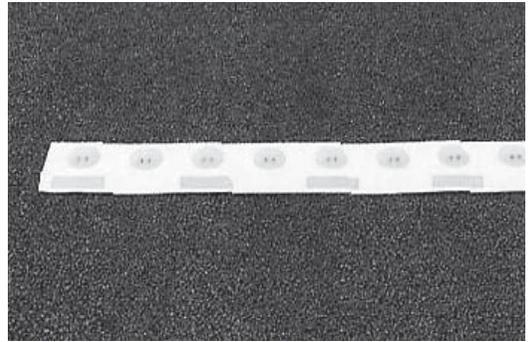
オランダで開発された一時的に路面に凹凸を設ける方法は、“アンドレアスストリップ^{※1)}”と呼ばれるもので、白または黄色のプラスチック製のストリップ(高さ約4cm、幅25cm、長さ200cm、重さ20kg)を、5m間隔に連続して設置するものである。このストリップ上を走行することにより、車両(身体的)へ激しい衝撃や音(聴覚上)をもたらし、夜間でも反射器(視覚的)によって見えやすくなっている。

本ストリップは、オランダにおける全ての高速道路と二車線道路で使用されている。ストリップの設置および除去作業は、衝突吸収装置を備えた特殊車両の保護下で行われる。ストリップ1箇所を設置するために必要な時間は約5分である。

※1) 施工現場の存在をドライバーに警告するため、施工区域の手前に5m間隔で順々に設置するランブルストリップ

長所(メリット)

- ・道路利用者への視覚的、身体的、聴覚的な警告が可能である。
- ・150m手前で警告を受けるため、車線を変更する機



会や、ブレーキをかけるだけの余裕がある。

- ・作業員は防護柵を巻き込む衝突による影響が減り、安全な労働環境となる。
- ・ストリップの設置撤去が簡単にできる。

短所(デメリット)

- ・設置撤去作業の間、作業員への危険を最小にするために使用される衝突吸収装置付き大型トラックは、高価である。
- ・ストリップは、横断により動く可能性があるため、定期的な確認が必要である。この作業のために費用が発生する。
- ・利用者がパニック反応を起こす可能性がある。

No. 14 コンクリート舗装の迅速化(アメリカ)

(Fast Track Concrete Pavement)

政府機関は、交通規制を伴う補修工事の期間を最小にするのは限界があり、車道および都市内道路における交通量の増加に直面している。本技術は、損傷や劣化したコンクリート舗装を迅速に打ち換え、従来のコンクリート舗装工法と比較して早期に交通開放が可能である。破損したコンクリート舗装を撤去し、24時間以内に交通開放が可能なコンクリート舗装で打ち換える。コンクリートの使用材料や施工方法等の要素を変えることが、本技術の鍵である。初期および長期的な強度を効率的に得るために用いる技術は次のとおりである。①均一なグレードの骨材の使用、②硬化促進剤や減水剤の使用、③早強コンクリートの使用、④セメント量の増加。本コンクリートおよび補修工法は、交通量の多い車道、都市内の道路、交差点、広場、バス停に適用できる。



長所(メリット)

- ・工期短縮による交通渋滞の減少
- ・工期短縮による工事現場の交通騒音の減少
- ・北アメリカ全域での十分な施工実績

短所(デメリット)

- ・従来のコンクリートより高額
- ・コンクリート温度がごくまれに気温以上となり、プラスチック収縮ひび割れを避けるための処置が必要
- ・急速な強度発生のため、切断作業時間の減少

No. 15 可動式車線分離壁 (アメリカ) (Moveable Barrier)

専用装置を用いて、コンクリートの分離壁を速やかに、水平方向に移動する。分離壁を動かすことで作業員に安全な作業地帯を与え、それ以外の車線が通行可能になる。ラッシュの時間帯には、車線の通行を可能にするために壁を作業地帯へ移動することが可能である。北アメリカおよびヨーロッパにおいて広く適用されている。



長所 (メリット)

- ・ピーク時の交通容量増加
- ・工事作業員の安全性向上



5. おわりに

PIARCの報告は、道路の建設や維持管理が進んでいる国から比較的遅れている国へ情報を提供し、より効率的な道路基盤の整備が行われることを目的としたものである。そのため、わが国では既に取り組みられている問題が多く、新規性や有用性に欠けた内容になっている。しかしながら逆に、わが国の優れた先進技術(例えば、再生加熱アスファルト混合物の製造技術など)が示されているとも捉えることができる。

本報が、わが国から海外へ発信する先進技術の開発の一助となれば幸いである。

— 参考文献 —

- 1) PIARC TC4.3 : Impact Of Road Construction And Maintenance Activities On Road Users And The Adjacent Land Use, (FINAL DRAFT & APPENDIX A), 2006
- 2) PIARC TC4.3 : Progress in The Design And Construction Of Pavements, Technical Committee On Road Pavements Introductory Report, 2007
- 3) 神谷恵三 : 第23回PIARCパリ総会の報告, 「舗装」 2007年12月号, pp.28-29
- 4) PIARC技術委員会報告セミナーの開催, 「道路」 2007年7月号, pp.82-86
- 5) 第23回世界道路会議PIARCパリ大会報告, 「道路」, 2007年12月号, pp.52-63
- 6) PIARC Technical Dictionary of Road Terms, PIARC, 7th edition, 1997
- 7) Flexible Pavement - Evolution of Specifications and Quality Systems to Deliver Performance, PIARC Reference 08.08.B, 2000
- 8) Special Edition on the Pavement Performance Specifications, Routes/Roads magazine, No.315, July 2002
- 9) Innovative Pavement Design, PIARC Reference 78.03.B, 2003
- 10) A Fact Finding Review of Performance Specifications in 2002, PIARC Reference 78.01.B, 2003
- 11) CD-7802 - Pavement Material Recycling (Guidelines), PIARC Reference 78.02.B, 2003

<統計資料>

1. 石油アスファルト需給実績 (総括表)

(単位: 千 t)

年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対前年度比(%)	輸入	合 計	販 売 (内需)	対前年度比(%)	輸出	小 計	期末在庫	合計
18 年 度	240	453	(101.2)	1	693	281	(100.9)	23	301	240	542
19. 7 月	235	436	(105.6)	5	676	216	(102.8)	23	216	250	466
8 月	250	461	(90.2)	8	719	245	(91.5)	11	245	261	506
9 月	261	440	(103.9)	0	701	285	(94.6)	8	285	232	517
7～9 月	249	446	(99.2)	4	699	248	(95.7)	14	248	248	496
10 月	232	381	(86.5)	10	623	295	(102.0)	3	295	261	556
11 月	261	386	(81.5)	9	656	306	(96.7)	4	306	226	532
12 月	226	510	(96.0)	0	736	321	(97.8)	0	321	233	554
10～12 月	240	426	(88.4)	6	672	308	(98.7)	3	308	240	547
20. 1 月	233	413	(88.3)	7	653	211	(73.3)	0	211	259	470
2 月	259	451	(93.8)	12	722	289	(93.8)	10	289	254	542
3 月	254	471	(76.4)	16	741	388	(91.7)	13	388	219	607
1～3 月	248	445	(85.3)	12	705	296	(87.1)	8	296	244	540
19 年 度	246	414	(91.5)	6	667	270	(96.1)	14	270	244	514
20. 4 月	219	378	(105.4)	9	606	200	(88.9)	16	200	278	478
5 月	278	347	(119.8)	9	634	196	(90.1)	16	196	293	489
6 月	293	349	(92.8)	0	641	300	(122.1)	40	300	246	546
4～6 月	263	358	(104.8)	6	627	232	(101.1)	24	232	272	504

2. 石油アスファルト内需実績 (品種別明細)

(単位: 千 t)

年 度	項 目	内 需 量					対 前 年 度 比						
		ストレート・アスファルト				ブローン アスファ ルト	合 計	ストレート・アスファルト				ブローン アスファ ルト	合 計
		道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
18 年 度		2,270	132	840	3,243	131	3,373	120.8	131.4	149.5	127.6	145.8	128.2
19. 7 月		128	9	70	207	9	216	106.6	95.4	97.2	102.7	104.5	102.8
8 月		150	12	74	236	9	245	90.7	134.8	88.3	91.4	94.1	91.5
9 月		188	13	72	273	11	285	96.3	123.0	87.8	94.9	88.4	94.6
7～9 月		466	33	216	716	29	745	97.0	117.6	90.8	95.8	94.5	95.7
10 月		203	15	66	284	11	295	108.8	161.1	80.5	102.3	95.5	102.0
11 月		215	18	63	295	11	306	99.7	151.5	81.8	97.2	86.1	96.7
12 月		225	15	70	310	12	321	99.8	135.6	84.9	97.2	116.9	97.8
10～12 月		642	48	199	889	34	923	102.5	148.9	82.4	98.8	98.2	98.7
20. 1 月		120	12	69	201	9	211	63.9	125.6	88.9	73.1	77.0	73.3
2 月		195	17	67	279	10	289	90.6	136.1	96.4	93.9	90.6	93.8
3 月		318	21	39	377	11	388	98.6	130.8	51.4	91.3	111.3	91.7
1～3 月		633	51	174	857	30	887	87.2	131.3	78.5	87.0	91.7	87.1
19 年 度		2,200	158	762	3,120	124	3,243	96.9	119.4	90.7	96.2	94.6	96.1
20. 4 月		112	11	69	192	8	200	75.1	121.2	119.4	88.9	88.2	88.9
5 月		106	15	67	188	8	196	77.7	156.1	108.7	90.5	80.8	90.1
6 月		211	15	64	290	10	300	121.5	201.2	120.3	123.7	88.5	122.1
4～6 月		428	41	201	670	26	696	93.4	156.6	115.9	101.8	85.9	101.1

[注] (1) 内需量合計は、石油連盟発行「石油資料月報」より引用。

(2) 道路用ストレート・アスファルト = 内需量合計 - (ブローンアスファルト + 燃焼用アスファルト + 工業用ストレート・アスファルト)

有限責任中間法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

(平成20年9月1日現在)

[メーカー]

出光興産株式会社	(100-8321) 千代田区丸の内3-1-1	03 (3213) 3134
コスモ石油株式会社	(105-8528) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3874
三共油化工業株式会社	(103-0025) 中央区日本橋茅場町1-7-7	03 (5847) 2611
株式会社ジャパンエナジー	(105-8407) 港区虎ノ門2-10-1	03 (5573) 6000
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場2-3-2	03 (5531) 5765
新日本石油株式会社	(105-8412) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 9122

[ディーラー]

● 東北

カメイ株式会社	(980-0803) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022 (264) 6111
---------	----------------------------	----------------

● 関東

株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木7-3-3	03 (5772) 1505
伊藤忠エネクス株式会社	(153-8655) 目黒区目黒1-24-12	03 (5436) 8211
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町1-3-3	03 (5251) 0961
コスモ石油販売株式会社	(140-0002) 品川区東品川2-2-20	03 (6710) 1640
関東礦油エネルギー株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-1-8	03 (5474) 8511
株式会社ジェイエック	(103-0028) 中央区八重洲1-2-1	03 (3272) 3471
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町1-5-5	03 (3251) 0185
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨4-22-23	03 (3915) 7151
丸紅エネルギー株式会社	(101-8322) 千代田区神田駿河台2-2	03 (3293) 4171
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-7-8	03 (3796) 6616

● 中部

鈴与商事株式会社清水支店	(424-8703) 静岡市清水区入船町11-1	0543 (54) 3322
松村物産株式会社	(920-8538) 金沢市広岡2-1-27	076 (221) 6121

有限責任中間法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

● 近畿・中国

出光アスファルト株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津6-3-11	06 (6442) 0031
三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (6394) 1551
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	0792 (26) 2611
千代田瀝青株式会社	(530-0044) 大阪市北区東天満2-10-17	06 (6358) 5531
富士商株式会社	(756-8501) 山陽小野田市稲荷町10-23	0836 (81) 1111
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608
横田瀝青興業株式会社	(672-8057) 姫路市飾磨区細江995	0792 (33) 0555

● 四国・九州

今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131
西岡商事株式会社	(764-0002) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1001
平和石油株式会社高松支店	(760-0065) 高松市朝日町4-17-1	087 (811) 6231

編集顧問

多田 宏行

編集委員

委員長：中村 俊行	武田 将人	峰岸 順一
安崎 裕	下田 哲也	森久保 道生
神谷 恵三	半野 久光	根本 信行
栗谷川 裕造	住谷 義治	野村 健一郎
小島 逸平	田井 文夫	姫野 賢治
		吉村 啓之

アスファルト 第224号

平成20年10月発行

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

☎ 105-8528 東京都港区芝浦1-1-1

コスモ石油株式会社 広域販売部内

問い合わせ先

・コスモ石油株式会社 広域販売部

武田 将人

TEL 03-3798-3112

・出光興産株式会社 販売部

津崎 英二郎

TEL 03-3213-3138

印刷所 キュービシステム株式会社

☎ 101-0041 東京都千代田区神田須田町1-12-6

マルコビル4F TEL 03-5256-0051

Vol.51 No.224 OCTOBER 2008

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**

有限責任中間法人 日本アスファルト協会 ホームページ <http://www.askyo.jp/>