

アスファルト

第54巻 第227号 平成24年1月発行

227

特集・最近のアスファルト事情

[震災関連]

東日本大震災における高速道路の被災と復旧状況	岸田正博	1
千葉県美浜区における液状化被害の報告	関口徹	7
東北地方被災地における舗装の視察結果	竹内康	11

[需給関連]

最近のアスファルト事情	JX日鉱日石エネルギー株式会社	18
-------------	-----------------	----

[技術関連]

アスファルト混合物の持続的なりサイクルに向けて —舗装再生便覧の改訂とその背景—	新田弘之・川上篤史・加納孝志	22
新東名高速道路(御殿場～三ヶ日間)におけるコンポジット舗装の概要について	岡利幸	27
京極発電所上部調整池表面アスファルト遮水壁の設計と品質管理について	安部鐘一	33

<アスファルト舗装技術研究グループ・第59回報告>

佐々木 巖 42

海外の中温化およびリサイクル技術に関する研究紹介

平川一成・岩塚浩二・西山大三・小柴朋広 村井宏美・清水泰成・森石一志・船井俊孝 大場拓也・杉迫泰成・壁下俊介・長尾敏之 加納孝志・長山清一郎	43
---	----

<統計資料>石油アスファルト需給統計資料	63
----------------------	----

ASPHALT

一般社団法人 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。

一般社団法人日本アスファルト協会



第90回 アスファルトゼミナール開催のご案内

一般社団法人 日本アスファルト協会

拝啓 時下ますますご清栄の段、お慶び申し上げます。

当協会主催の「アスファルトゼミナール」を下記要領にて開催致します。

皆様、お誘い合わせの上ご参加くださいます様お願い申し上げます。

敬 具

記

1. 主 催 一般社団法人 日本アスファルト協会
2. 協 賛 一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会、一般社団法人 日本改質アスファルト協会
3. 後 援 国土交通省、社団法人 日本道路建設業協会、社団法人 日本アスファルト合材協会
4. 開催月日 平成24年3月1日(木)～3月2日(金)
5. 開催場所 国立オリンピック記念青少年総合センター センター棟417(セミナーホール)
〒151-0052 東京都渋谷区代々木神園町3-1 ☎03-3469-2525
6. 内 容 裏面「プログラム」をご覧ください。
7. 申込方法 平成24年2月24日(金)までに、下記ホームページの申し込みフォームよりお申し込み下さい。
<http://www.askyo.jp/zemi/index.html>
折返し(3日程度)E-mailにて参加受講券をお送りいたします。
8. 申込問合せ キュービシステム株式会社 アスゼミ担当 村井まで
☎03-5256-0051 E-mail: asphalt@qbs.co.jp
9. 内容問合せ JX日鉱日石エネルギー株式会社
エネルギー・ソリューション1部 野地・宇都まで ☎03-6275-5174
10. 参加費 無料
11. 参加人数 300名(締切日以前でも定員になり次第締め切らせていただきます。)
12. CPD認定 社団法人土木学会の継続教育(CPD)プログラムとして認定されました。
認定番号 JSCE11-0686 6.8単位
13. その他 当日の参加受付はできませんので、必ず上記方法でお申し込み下さい。



開催日時

平成24年3月1日(木)～3月2日(金)

開催場所

国立オリンピック記念青少年総合センター
センター棟417(セミナーホール)
〒151-0052 東京都渋谷区代々木神園町3-1
☎03-3469-2525

会場案内図

- 小田急線(各駅停車) 参宮橋駅より徒歩7分
- 東京メトロ千代田線
代々木公園駅(4番出口)より徒歩10分
- 京王バス
新宿駅西口(16番)より代々木5丁目下車すぐ
渋谷駅西口(14番)より代々木5丁目下車すぐ

プログラム

ー舗装の性能と発注ー

第1日目 平成24年3月1日(木) 13:00~17:35 (敬略称)

1. 挨拶 13:00 ~ 13:05

一般社団法人日本アスファルト協会
ゼミナール委員長 谷田部 靖

2. 挨拶 13:05 ~ 13:20

一般社団法人日本アスファルト協会
アスファルト舗装技術委員長 矢野 善章

3. 維持管理調達と舗装の性能 ~海外事例を中心に~ 13:20 ~ 14:20

八千代エンジニアリング(株)
経営企画本部 経営企画部 部長 水野 高志

(休憩 14:20 ~ 14:25)

4. 高速たわみ測定装置 (デンマーク、イギリスのTraffic Speed Deflectometer) 14:25 ~ 15:25

長岡技術科学大学 名誉教授 丸山 暉彦

(休憩 15:25 ~ 15:30)

5. ストックの時代と性能発注 15:30 ~ 16:30

国土交通省 道路局 国道・防災課長 三浦 真紀

(休憩 16:30 ~ 16:35)

6. トピック① 最近の舗装技術に関する話題 16:35 ~ 17:05

独立行政法人 土木研究所
道路技術研究グループ 舗装チーム 上席研究員 久保 和幸

トピック② 舗装の維持修繕ガイドブック 17:05 ~ 17:35

社団法人日本道路協会 舗装委員会 委員長 吉兼 秀典

第2日目 平成24年3月2日(金) 9:30~12:40

7. 平成24年度道路予算 9:30 ~ 10:30

国土交通省 道路局 道路経済調査室長 吉岡 幹夫

(休憩 10:30 ~ 10:35)

8. 技術冊子「アスファルト乳剤」の改訂について 10:35 ~ 11:35

一般社団法人日本アスファルト乳剤協会 菅原 雅和

(休憩 11:35 ~ 11:40)

9. 舗装の性能向上に貢献するポリマー改質アスファルト 11:40 ~ 12:40

一般社団法人日本改質アスファルト協会 鈴木 とおる

(※講師は都合で変更になる場合があります)

東日本大震災における高速道路の被災と復旧状況

(The Great East Japan Earthquake Damage and Restoration on Expressway)

岸田 正博*

平成23年3月11日14時46分頃、三陸沖を震源としたマグニチュード9.0の我が国観測史上最大の巨大地震が発生した。東北地方から関東地方の広い範囲で強い揺れを観測し、高速道路でも多くの被害を受けた。この地震による被災状況と一般開放までの応急復旧状況や現在行っている本復旧状況について紹介する。

1. はじめに

平成23年3月11日14時46分頃、三陸沖を震源としたマグニチュード9.0の我が国観測史上最大地震が発生した。この地震では、宮城県栗原市で震度7を観測するなど、東北地方から関東地方の広い範囲で強い揺れを観測し、太平洋沿岸では高い津波の発生により大きな被害を受けた。

NEXCO東日本管内の高速道路では、地震発生直後から35路線、約2,300kmの通行止めを実施した。通行止め延長は供用中路線の約65%になった(図-1)。

高速道路に設置している地震計の計測震度は北関東道の水戸南IC6.3を最大に、東北道の大和IC、泉IC、仙台東部道路の仙台東ICで6.2を計測し、870km区間において交通の支障となる被害が発生した。

さらに、本震発生以降、震度4以上の余震は200回以上も観測し、4月7日23時32分に発生したマグニチュード7.1、最大震度6強のこれまでの最大余震や本震から一カ月後の4月11日17時16分に発生したマグニチュード7.0、最大震度6弱の余震により被害を増大させている。

高速道路の復旧は緊急交通路を確保するための緊急応急復旧、一般車両を通すための応急復旧、震災以前の状態に回復させる本復旧の3段階に区分される(図-2)。ここでは、本震及び余震による高速道路の被災状況と緊急応急復旧から本復旧について紹介する。

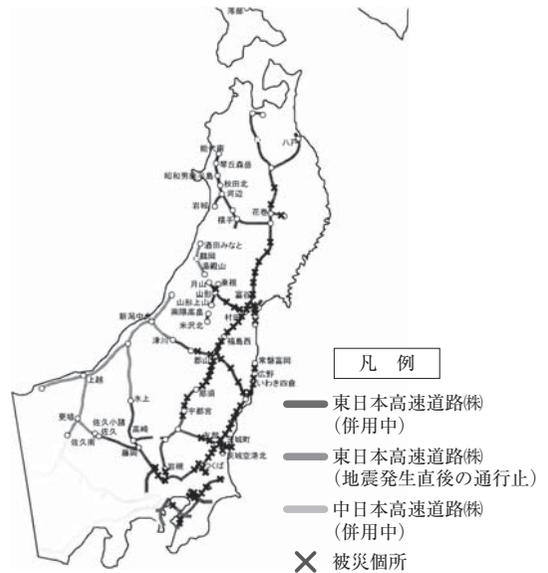


図-1 東日本大震災による高速道路の通行止め及び被災箇所

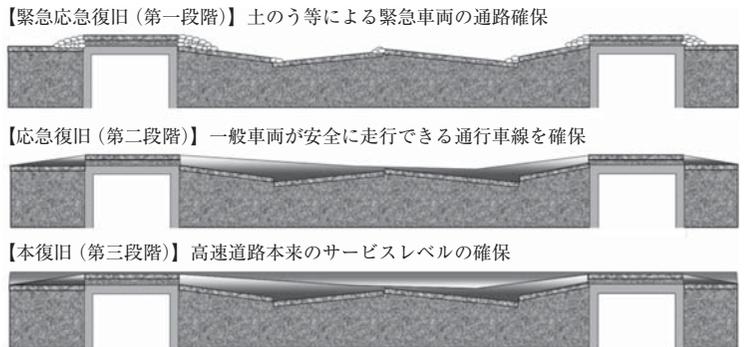


図-2 復旧状況イメージ図

*きしだ まさひろ 東日本高速道路(株) 管理事業本部 保全部 保全課 係長

2. 被害

22路線、約1,200km区間において約5,800箇所の道路構造物の損傷を点検により確認している。

土工区間では路面クラックや段差の損傷が多く発生している(写真-1)。

常磐道水戸IC～那珂IC(上り)では、盛土が約130mに渡り崩落した(写真-2)。



写真-1 東北道 福島飯坂～国見(下り)
路面損傷状況



写真-2 常磐道 水戸～那珂(上り)盛土崩落

4月7日の余震では、東北道水沢IC～平泉前沢IC(上り)において、約70mに渡り盛土崩落が発生している(写真-3)。

また、4月11日の余震では、常磐道いわき勿来IC～いわき湯本IC(下り)で、約50mに渡り切土のり面崩落が発生している(写真-4)。

構造物においては、伸縮装置や支承、桁、下部工などの損傷を確認している(写真-5)。

大規模な橋梁損傷を受けた、仙台東部道路の仙台東部高架橋では、架け違い橋脚で橋軸直角方向の大きな変位により、ゴム支承が破断し、桁が支承台座か

ら外れ、対傾構が変形し、伸縮装置が水平方向に約50cm移動し、鉛直方向にも約40cmの段差が発生した(写真-5)。



写真-3 東北道 水沢～平泉前沢(上り)盛土崩落



写真-4 常磐道 いわき勿来～いわき湯本(下り)
切土崩落



写真-5 仙台東部道路 仙台東部高架橋損傷状況

津波による被害は、三陸道や仙台東部道路で料金所が浸水し料金機械などが被害を受けた。土木構造物では立入防止柵などの倒壊は見られたが、大きな損傷は無かった。しかし、IC、JCTは津波による瓦礫堆積による被害を受けている（写真－6）。



写真－6 仙台東部道路 若林JCT瓦礫堆積

3. 緊急応急復旧

緊急車両の通行を目的として、公安委員会より東北道 浦和～碓ヶ関、常磐道 三郷～いわき中央、磐越道 津川～いわきなど約1,090kmの緊急交通路指定を受け、地震発生から約20時間後には緊急応急復旧工事を行い緊急交通路の確保を行った。

地震発生直後に緊急点検を行うとともに、路面段差箇所には常温合材や土のうを設置し、路面陥没や盛土崩落箇所の車線確保が難しい区間では対面通行を行い緊急交通路の確保を行った（写真－7）。

また、開通を1週間後に控えていた北関東道の太田桐生IC～佐野田沼ICの約19kmを緊急車両の走行のために開放をした。



写真－7 常温合材・土のうによる緊急交通路の確保

4. 応急復旧

緊急交通路の確保後も、一般車への開放に向け、安全に走行できる路面確保を目指し、応急復旧工事を行った。また、一般道は被災が大きく、通行が困難であることから、高速道路の復旧は4車線を確保するべく応急復旧を行った。

原発避難指示区域の常磐道いわき四倉IC～常磐富岡IC間を除き、本震発生から21日目の4月1日10時までに、一般車が通行できる状態に復旧した。その後、常磐道いわき四倉IC～広野IC間が屋内避難指示区域を4月22日に解除されたため、応急復旧工事に着手し4月28日13時に通行止め解除を行った。

路面クラックや段差箇所では、碎石を詰め舗装によりすり付けを行っている。しかし度重なる余震により、同一箇所の補修を何度も繰り返す状況が続いた。

盛土が崩落した、常磐道水戸IC～那珂IC（上り）では、下り線を対面通行にして緊急交通路の確保を行い、崩落土を仮置きし、のり尻を大型土のうにより押さえ、碎石により盛土を行った。作業には延べ約2,000人・時間、延べ作業機械約100台により約6日間で盛土復旧を行った（写真－8～10）。



写真－8 応急復旧状況と対面通行状況



写真－9
盛土応急復旧状況



写真－10
盛土応急復旧完了

東北道水沢IC～平泉前沢IC（上り）の盛土崩落箇所では、進入路の構築、排土、大型土のう設置、碎石盛土により、発災から約54時間後には通行止め解除を行った（写真-11～12）。

切土崩落した常磐道いわき勿来IC～いわき湯本IC（下り）では、崩落した切土のり面には崩落した岩塊があり、余震による被害が拡大の恐れがあった。このため、岩塊を小割りしながら搬出するなど慎重な作業を

行った。応急復旧は、切土のり面勾配を緩やかに切直してモルタル吹付けを行い、発災から約71時間後には通行止め解除を行った（写真-13～14）。

大規模な橋梁損傷を受けた、仙台東部道路の仙台東部高架橋では、鋼製ベントを設置し鉛直ジャッキにて段差を修正後、水平ジャッキにより桁をスライドさせ応急復旧を行った後、ゴム支承の取替を行っている（写真-15～16）。



写真-11 盛土応急復旧状況



写真-12 盛土応急復旧完了



写真-13 常磐道 切土応急復旧状況



写真-14 常磐道 切土応急復旧完了



写真-15 応急復旧完了



写真-16 ゴム支承取替完了

津波被害を受けた三陸道や仙台東部道路では堆積した瓦礫の撤去を行った。瓦礫撤去は、個人所有が特定できるものも含まれていることから慎重な作業が要求された(写真-17~18)。



写真-17 瓦礫撤去状況



写真-18 仙台東部道路 若林JCT瓦礫撤去完了

5. 本復旧

本復旧では、早期に震災前の安全・安心・快適な走行環境を確保する必要がある。そのため集中的に短期間で工事を実施すべく、平成24年12月末までの本復旧工事を計画している。既に東北地方では平成23年9月5日より工事を開始している(図-3)。

土工・舗装復旧については、被害状況の詳細把握と復旧範囲の確定のため、路面性状調査やたわみ測定などの調査を実施し復旧計画を策定している。また、C-BOX裏込め部の沈下やジョイント部や踏掛版周辺の段差発生箇所については空洞調査を行っている。

詳細調査の結果に基づき舗装体の耐力が低下している区間では路盤からの打換えを行い、構造的な耐力の回復を図り、段差や横断クラックが発生した箇所では

縦断測量に基づく縦断修正を行う。本復旧工事で計画している舗装範囲は約34万㎡となる。

構造物裏込めの沈下、段差に対しては、下層路盤面でのセメント改良・再転圧を実施し、損傷の再発抑制を行う。

盛土崩落箇所では、崩落土を良質土に置換え、のり尻にはフトンカゴを積み、種散布などによりのり面保護を行うとともに、盛土内の排水機能を向上させるため、砕石や水抜きパイプの設置を計画している(図-4)。



図-3 本復旧工事範囲図

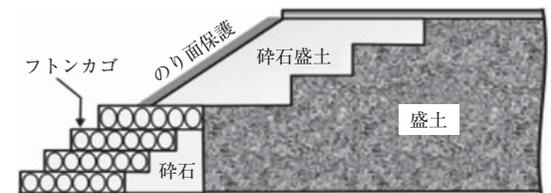


図-4 盛土崩落箇所本復旧イメージ図

橋梁の復旧については、現在、橋桁の仮受けや伸縮装置などの応急復旧が実施されており、本復旧にあたっては、支承受替や橋桁の補強、落橋防止の補修等を計画している。

損傷箇所が広範囲で大規模に発生していることから、交通規制は長時間でかつ大規模とならざるを得ないが、お客様の安全走行の確保を第一とし、また、被災地の復興の支障とならないよう常に交通を確保し、極力渋滞が発生しない計画としている。

舗装工事では、走行車線と追越車線の路面に段差が生じることや、走行性の確保、短期間で工事を完了させることから昼夜連続車線規制を行う区間がある。昼夜連続規制は最大5日間で走行・追越車線の補修を実施する。

暫定2車線区間では、対面通行規制または通行止めによる規制も必要になると考えている。

橋梁工事では、基本的には本線外からの工事としているが、支承取替や桁補強時には車線規制または通行止めを行う必要がある。

交通規制においては、雪氷期間や休日や行楽期間などを考慮し実施して行くが、東日本地域における復興事業の進展に伴い交通量の増加等も予想されことから渋滞への対応も勘案し行っていく。

6. おわりに

広範囲で被害を受けたにも関わらず、このように一般開放を早期にできたことは、阪神淡路大震災以降に進めてきた耐震補強工事により落橋や倒壊が発生していないこと、過去の震災対応の教訓が引き継がれ、社員やグループ会社及び関連会社社員の高い防災意識と早期に高速道路を復旧し一般開放させ、地域の復興を果たすという共通の使命感があったこと、また応急復旧工事にあたり多方面からの資機材・支援物資の応援及び作業ヤードの確保など地元住民の協力や交通確保に向けた、各道路管理者・交通管理者との連携等が寄与したと考える。

広範囲で発生した地震は、今まで以上に、情報収集、応援派遣が困難であり、被災が大きい区間に重点的に資機材を投入するなどの応援が難しい状況であった。今後、広範囲な大規模地震を想定した訓練やマニュアルの整備が必要であると感じている。

1日でも早く本復旧を完了させ、安全で快適な高速道路を提供し、東日本地域の復興に寄与できるよう努力していきます。

千葉県美浜区における液状化被害の報告

(Report of Liquefaction Damage in Mihama Ward of Chiba City)

関 口 徹*

東北地方太平洋沖地震の際に震央から300km以上離れた千葉市美浜区において広い範囲で液状化被害が発生した。被害の状況を把握するため区内のすべての道路における液状化による噴砂の分布を調べた。その結果道幅の広い幹線道路では路面自体からの噴砂や沈下等の被害はほとんど見られず、街区の中の細い道路にて噴砂に伴うアスファルト舗装の亀裂や沈下が見られた。

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では国内観測史上最大となるマグニチュード9.0を記録し、震央から300km以上離れた千葉の東京湾沿岸部においても液状化や燃料タンクの火災などの被害が生じた。ここでは東京湾岸に位置する千葉市美浜区での液状化被害について報告する。

2. 千葉市美浜区の概要

千葉市美浜区は千葉市西部に位置し、東京湾に面しており区内全域が埋立地である。市役所のある中央区に近い南東側から順に工業地区(新港)、住居地区、教育・商業地区(幕張地区)となっている(図-1)。1960年代から1980年代中頃までの間に南東側から順に、おもに砂や砂質シルトからなる東京湾沖の海底を掘り出した浚渫土を用いて埋め立てられた¹⁾。

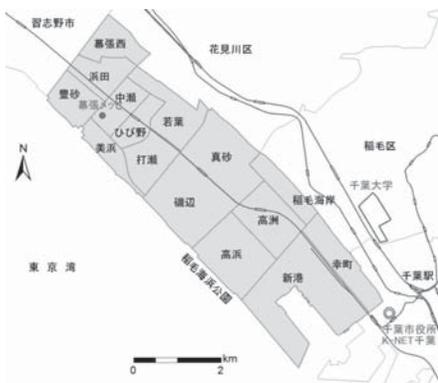


図-1 千葉市美浜区

3. 観測された地震記録

区西部の中瀬にある幕張メッセでは今回の地震により正面広場の一部や北西側の駐車場付近で噴砂(地盤の液状化により地表に噴出した砂)が発生し舗装が割れるなどの被害が発生した(写真-1, 2)。また北西の豊砂地区にある大駐車場では広い範囲で合計約1500㎡もの噴砂が発生した(写真-3)。



写真-1 幕張メッセ正面広場

同施設内には植栽の地盤上に地震計が設置されており(写真-2)、今回の地震の加速度記録が得られている。地震計の近くのコンクリート舗装は大きな地盤変状の被害を受けている。図-2に本震記録の3成分の加速度時刻歴について、全体300秒間とその一部(60~120s)を拡大したものを合わせて示す。最大地動加速度(PGA), 最大地動速度(PGV)がともにEW(東西)成分でそれぞれ2.74m/s², 0.36m/sで、計測震度は5強である。

*せきぐち とおる 千葉大学大学院工学研究科 助教



写真-2 幕張メッセ地震計設置箇所



写真-3 幕張メッセ駐車場

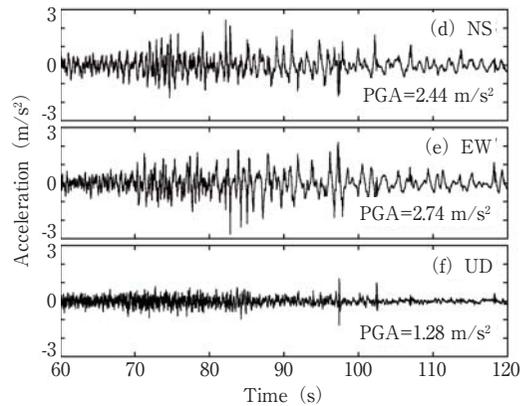
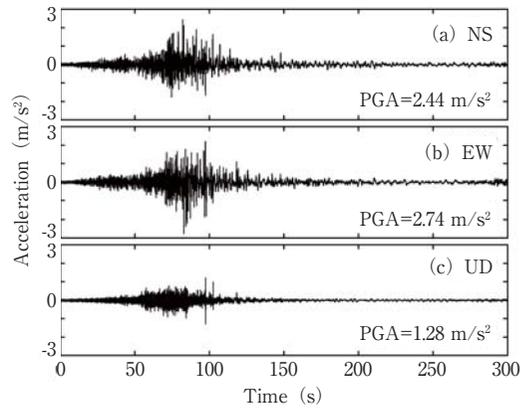


図-2 幕張メッセで観測された加速度時刻歴

今回の地震はマグニチュードが大きいいため非常に地震動の継続時間が長い。そのため震源から遠い同地区においても液状化が発生したとされている。拡大表示した加速度波形に着目すると、80~100s付近でスパイク状の波形が見られその後揺れの周期が長くなっている。これは液状化した地盤に見られる現象で、震動とともに徐々に砂地盤の剛性が低下し揺れの周期が長くなり、その過程で一時的に剛性が回復し記録の波形がスパイク状になる。

4. 液状化被害

4.1 被害の概要

東北地方太平洋沖地震により美浜区内の広い範囲で噴砂が発生した。幹線道路では、路面自体からの噴砂や沈下等の被害はほとんど見られず、側方の縁石との隙間からの噴砂がいくつか見られる程度であった。しかし側方の歩道や、街区の中に入った細い道路において噴砂に伴うアスファルト舗装の亀裂や沈下が広い範囲で発生

していた。千葉市では中央・美浜土木事務所が道路上に噴出した砂を地震後1週間程度で速やかに撤去しており、撤去した道路上の砂の量は8,500 m³に達した。

4.2 被害分布の調査

同区における噴砂の発生状況の調査を3月12日~20日にかけて実施した。調査は美浜区全域の道路と立入り可能な公園を対象とし、各道路と公園について、流出範囲が中心から概ね1mを超える大規模な噴砂が確認された場合、それ以下の小規模な噴砂のみ見られた場合および噴砂が見られなかった場合の3段階に分類した。

図-3に噴砂の分布を100m角程度の大きさに区切ったメッシュを用いて示す²⁾。また中央・美浜土木事務所が地震直後に応急で道路の復旧工事を行った位置を白の丸印で合わせて示す。ここでメッシュ内に調査した道路や公園がないものは空白とした。内陸側(北東側)よりも海側(南西側)において大規模な噴砂が多く、道路の復旧工事箇所も多い。小規模な噴砂のみ見られた箇所は内陸側に多く見られる。大規模な噴

砂が広範囲にわたって見られた地区は、海浜幕張駅の周辺の中瀬・ひび野地区、磯辺地区、高洲地区、高浜地区、稲毛海浜公園、新港地区西部である。一方で、打瀬地区、磯辺・真砂地区と高浜・高洲地区との境界付近、新港地区の内陸側など噴砂がほとんど見られなかった地区(街区)もある。

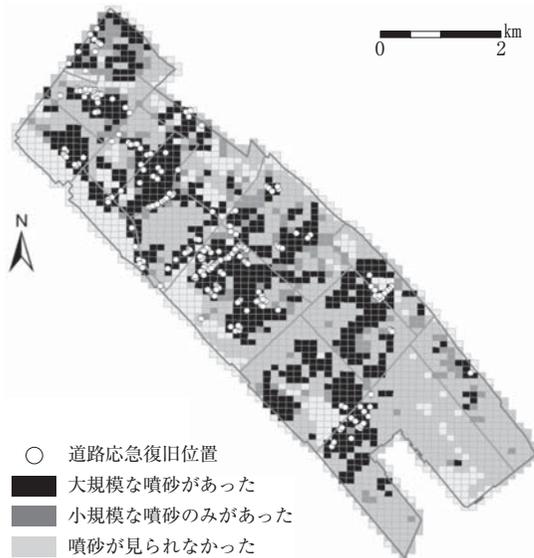


図-3 道路上の噴砂の分布²⁾

4.3 各地区の被害状況

4.3.1 海浜幕張駅周辺

海浜幕張駅周辺は商業地区であり、道路は多くが幹線道路である。幹線道路の路面ではほとんど被害が見られず、側方の歩道において30cm程度の隆起などの地盤変状(写真-4)やマンホールの浮上(写真-5)および噴砂が見られた。



写真-4 歩道の隆起(ひび野地区)



写真-5 浮上したマンホール(ひび野地区)

4.3.2 磯辺地区

磯辺地区は戸建て住宅や集合住宅からなる住居地区である。街区周辺の幹線道路では大きな被害は見られないが、街区に入ると道路が細くなり、路面に生じた亀裂や、側方の縁石との境目から大量の噴砂が広い範囲で発生した(写真-6)。堆積した噴砂の厚さは最大45cmにも達した(写真-7)。中磯辺公園では広場一面で噴砂が発生し、多数の噴砂口が見られた(写真-8)。



写真-6 堆積した噴砂(磯辺地区)



写真-7 堆積した噴砂(磯辺地区)



写真-8 多数の噴砂口(中磯辺公園)

4.3.3 稲毛海浜公園

東京湾に面した稲毛海浜公園では歩道や広場など広い範囲で噴砂が発生した(写真-9, 10)。



写真-9 稲毛海浜公園ビーチセンター



写真-10 稲毛海浜公園芝生広場

4.3.4 新港地区

工業地区である新港地区では、アスファルト舗装が割れてそこから大量の砂が噴出し乗用車が埋もれてしまう被害があった(写真-11)。工場の敷地内では、大量の噴砂とともに建物周辺の地盤が数十cm沈下する被害が多くみられた。また北東の陸側の地区ではほとんど噴砂が見られなかった。



写真-11 大量の噴砂(新港地区)

5. おわりに

東北地方太平洋沖地震の際に千葉市美浜区で発生した液状化被害について報告した。区内の広い範囲で被害は発生したものの、幹線道路では大きな被害は見られず、またほとんど被害の見られない街区もあった。幹線道路ではアスファルト舗装が厚く、割れ目などが発生しなかったため、側方の歩道などから噴出したものと考えられる。

最後に千葉市中央・美浜土木事務所には道路応急復旧位置および埋め立て工事の資料を提供していただいた。

株式会社幕張メッセには地震計の設置および被災状況の説明をしていただいた。ここに記して謝意を示す。

— 参考文献 —

- 1) 千葉市臨海開発部：稲毛海浜ニュータウンのあゆみ, 1984.
- 2) 門叶翔, 関口徹, 中井正一, 石野尋生：千葉市美浜区における東北地方太平洋沖地震による液状化分布の調査, 日本建築学会大会学術講演会, 構造Ⅱ, 2011. 8, P47.

東北地方被災地における舗装の視察結果

(Inspection of the Pavement in the Tohoku District Stricken Area)

竹内 康*

2011年3月11日に宮城県沖を震源とするマグニチュード (Mw) 9.0の東北太平洋沖地震によって、津波、液状化等の災害が発生した。津波災害では、岩手県、宮城県、福島県で死者、行方不明者あわせて約20,000名の尊い命が犠牲になった。また、関東広域では過去最大規模の液状化が発生し、未だに復旧の目処が立っていない場所も多い。

本報告では、2011年4月以降に岩手県から福島県にかけて行った現地調査結果を踏まえ、津波災害、液状化災害によって舗装にどのような被害が及んだのかを考察し、今後の復旧・復興に向けての舗装に関わる技術的な課題について私見を述べるものである。

1. はじめに

日本中の誰もが忘れもしない2011年(平成23年)3月11日14時46分、筆者は北海道札幌市の北海道工業大学にいた。舗装工学の大家、笠原篤先生の最終講義に出席するためである。多くの舗装研究者が集う最終講義であった。そして、最終講義が終盤に差し掛かった「その時」、大きく長い揺れが会場を襲った。また、当日の札幌駅の大画面TVの前では、多くの人が東北地方沿岸に押し寄せる巨大津波を、息を詰めるように見つめていた。

その後、新聞やTVニュースを通じて被災地の状況が明らかになるにつれ、舗装研究者として何ができるのかを自問自答していた筆者の元へ福島県に勤める教え子から届いた調査依頼を皮切りに、現在まで岩手県、宮城県、福島県で農地や道路などの現地調査を行ってきた。

本報告では、これまでに行った現地調査結果から舗装に関連するものを取り上げ、津波災害、液状化災害によって舗装にどのような被害が及んだのかを考察し、今後の復旧・復興に向けての舗装に関わる技術的な課題について述べるものである。

2. 東北地方の被災状況の概要と調査地

図-1は、防災科学技術研究所のK-NET (<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>) で公開されている東

北太平洋沖地震時に日本各地で観測された加速度の最大値の分布図である。震源地のマグニチュードはMw=9.0(四川大地震の32倍のエネルギー)と日本の観測史上の最大値を示し、岩手県から茨城県の沿岸部では非常に大きな加速度が測定されていることがわかる。

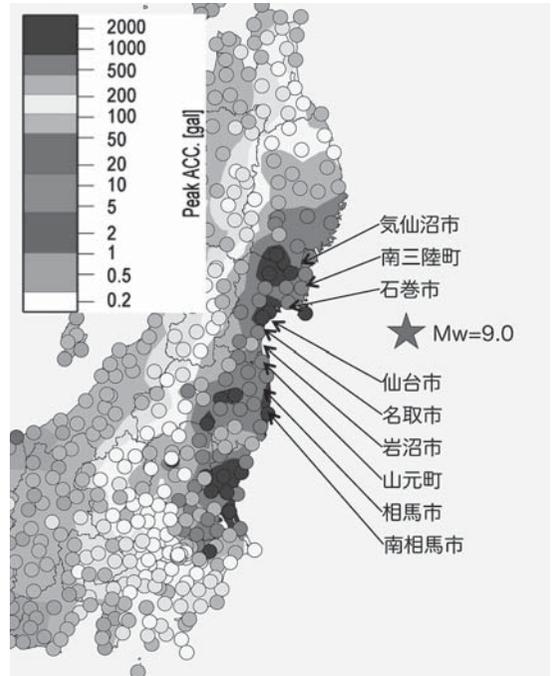


図-1 各地で観測された加速度と調査地

*たけうち やすし 東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科

この巨大地震によって、東北～関東広域の沿岸部では津波災害が生じ、千葉県を中心とする関東地方沿岸部の埋め立て地で過去最大規模の液状化災害が発生したことは周知の通りである。

本報告で被災状況を介绍するのは、図-1に示した宮城県（気仙沼～山元）と福島県（相馬、南相馬）の9市町村の沿岸域で、本文中で示す写真は撮影日時順ではなく、津波災害、液状化災害別に北から南の順番で示すこととする。

3. 津波災害が舗装に及ぼした影響

図-2に北関東～東北地方沿岸部における津波の痕跡高調査結果と津波高さの計算結果の関係¹⁾（原図に地名を加筆）を示す。この図より、本報告で調査対象地とした福島県南相馬市以北の沿岸部では、10m以上の津波が発生していたことがわかる。

写真-1は、気仙沼市の気仙沼港で撮影したものである。津波によって市街地は破壊され、地盤沈下によって道路は冠水していることがわかる。また、写真-2は気仙沼港から数百メートル内陸に入った場所で撮影したもので、大型漁船が津波によって運ばれ道路に乗っている状況で、津波によって家屋は破壊されたが、舗装は破壊されていないことがわかる。また、漁船が倒れないよう、写真-3に示すように支えられているが、その下のインターロッキングブロックは、破壊せずにその荷重に耐えていることがわかる。



写真-1 地盤沈下によって冠水した気仙沼港



写真-2 津波によって内陸部に運ばれた大型漁船



写真-3 大型漁船転倒防止の木製支承

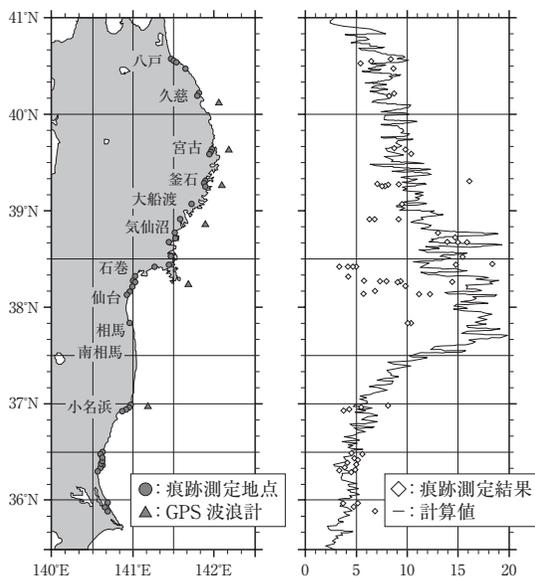


図-2 津波痕跡高の調査結果と計算結果の関係

写真-4は、南三陸町歌津地区の沿岸部で撮影した国道45号の道路橋（歌津大橋）である。津波によって上部の橋桁が破壊され、橋脚のみが残っている状況であった。この写真からも津波の破壊力の強さがうかがえる。

写真-5は、石巻市沿岸部の石巻市民病院横にある駐車場の被災状況である。写真左奥に地盤が広く剥きだしになっていることから、津波によって舗装周辺の地盤が掘削され、引き波によって表層が剥がされたものと推察される。



写真-4 津波によって破壊された道路橋



写真-5 津波によって破壊された駐車場の舗装

写真-6は、仙台市と名取市の間を流れる名取川下流の関上地区で撮影したものである。津波によって市街地は壊滅されているが、舗装は破壊されていないことがわかる。舗装が破壊されていないのは、舗装周辺の家屋の基礎が残っており、舗装が拘束されていたためだと考えられる。ちなみに、この写真は中国の温家宝首相、韓国の李明博大統領が関上地区を訪問する前日に撮影したものである。

写真-7は、岩沼市と亙理町の間を流れる阿武隈川に架かる亙理大橋（県道10号）の岩沼市側の沿岸部（川向地区、貞山運河より海側）で撮影したものである。写真右には防波堤があるが、津波は防波堤を越え、防潮林をなぎ倒していることがわかる。しかし、防潮林の根っこが流れずに留まり舗装を拘束していた（調査時には塩害によって多くの松が枯死していた）ため、表層が流されずに残ったものと考えられる。

写真-8は、山元町高瀬地区（常磐線坂元駅近く）の県道38号線の津波被災状況である。写真中央部の破損した構造物は、農業用水路に架かる歩道の一部である。この部分の道路舗装は、前後100mくらいにわたって破損していた。これは、破損した歩道部から表層が

剥離し、津波の水流に流されたものと考えられる。

写真-9は、相馬市の相馬漁港近くで撮影したものである。歩道にはインターロッキングブロック舗装、車道にはアスファルト舗装が施工されているが、写真奥中央と左の建物は津波によって破壊しているのに対し、両舗装ともに大きな破損が無いことがわかる。もちろん、端部の縁石が津波によって破損したインターロッキングブロック舗装はバラバラになっていたが、ブロック自体が割れているわけではなかった。



写真-6 津波によって破壊された名取市街地



写真-7 岩沼市沿岸部の防潮林の被災状況



写真-8 県道38号線山元町高瀬地区の被災状況



写真-9 相馬市原釜地区の被災状況

写真-10は、南相馬市鹿島区南海老地区の県道74号線で撮影したものである。撮影箇所は、県道74号線が防波堤の真後ろを通るところで、表層は辛うじて残ってはいるが、防波堤（写真右側）を越えた津波によって路肩部が大きくえぐられ、崩落の危機にあることがわかる。



写真-10 県道74号線 南相馬市鹿島区の被災状況

写真-10の位置より5～6kmほど南下した県道280号線（県道74号線の延長）南相馬市原町区下洪佐地区の状況を写真-11に示す。ここは、二級河川新田川に架かる橋梁のすり付け部で、河口から1km程度離れていたこともあり、路肩部が残ったため舗装に大きな損傷は見られなかった。一方、同じ下洪佐地区内であっても写真-11の地点より500mほど南下した区域では、写真-12に示すように表層が剥がれ、激しく損傷している箇所が多く見られた。この原因としては、周辺の農地に消波ブロックや農業用の水路として用いられていたと思われるU字溝が散乱していた（写真-13）ことから、津波によって運ばれたブロック等が舗装表面に衝突し、破損したものと考えられる。



写真-11 県道280号線 南相馬市原町区の被災状況



写真-12 県道280号線 南相馬市原町区の被災状況



写真-13 農地内に転がる消波ブロック

以上の事例より、津波の作用による路肩部の掘削、障害物との衝突による表層の破損あるいは端部の拘束物が消失してしまった場合に舗装は破損するが、津波の水流が舗装表面に引き起こすせん断力によって破損することは無いのではないかと推察される。

4. 液状化災害が舗装に及ぼした影響

図-3は、国土交通省と地盤工学会による関東地方の液状化災害に関する報告書²⁾から抜粋したもの

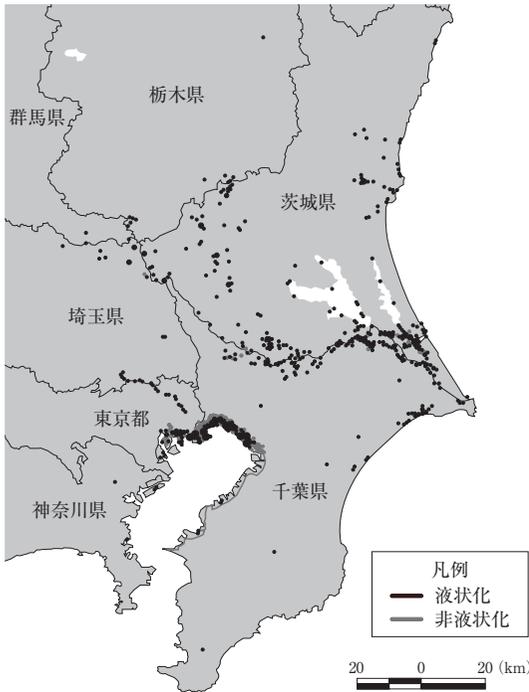


図-3 関東地方の液状化災害マップ

である。関東地方では海沿いの埋立地、河川や湖沼沿岸部において広範囲にわたって液状化災害が発生し、ニュース等で取り上げられている。しかし、関東地方ほど大規模ではないが、東北沿岸部、内陸部でも液状化は発生しており、今後の対応が望まれている。

写真-14は、仙台市若林区の稲荷堂地区（路線番号不明）の水田地帯で発生した液状化災害の状況である。液状化によって電柱が傾いているのがわかる。また、道路上のパイロンは、液状化によって道路が陥没／隆起しているため、ドライバーの注意を喚起するために置いてある。



写真-14 液状化によって傾いた電柱

写真-15は、写真-14の道路と撮影地点で直交している道路（路線番号不明）の写真である。写真右側の路面が縦断方向に長く陥没しているのがわかる。この位置には、写真-16に示すように水道管が埋設されており、周辺の水位が高いために埋戻し砂が液状化を起こしたものと考えられる。



写真-15 液状化によって陥没した路面



写真-16 陥没箇所の延長上にあった上水道の空気弁

写真-17は、岩沼市早股地区の県道10号線で撮影したものである。道路周辺を観察したところ、当該地区は阿武隈川沿いの湿地帯上に盛土を行い造成されたものと推察された。また、沈下した路面上には、通行止めになっていたこともあり、写真-18に示すように噴砂の痕跡が残っていたことから、液状化によって沈下したことがわかった。また、写真-18の陥没箇所の路面下には、深く広い空洞があることを目視確認した。この局所的な陥没は、夏場の路面温度上昇によりアスファルトの粘度が低下し、アスファルト混合物（HMA）の自重によって崩壊したものと考えられる。この陥没地点は、液状化によって表・基層直下に空洞が生じていたことから、自重による崩壊が生じやすい環境にあったものと考えられるが、路盤下に空洞が生



写真-17 液状化により陥没した路面



写真-18 HMAの崩壊により確認できる路面下の空洞

じている場合、あるいは表・基層が厚い場合には、夏場であっても陥没が生じない場合があるものと考えられる。

写真-19は、南相馬市原町区の内陸部、下太田地区の市道（路線番号不明）で撮影したものである。写真中央のパイロンの下方に農村集落排水のマンホールが確認できること、写真右下に噴砂の跡が確認できることから、写真-15と同様に埋戻し砂が液状化を起こしたものと考えられる。



写真-19 液状化により崩壊した路肩と陥没した路面

写真-20は南相馬鹿島区内陸部の永田地区の市道（路線番号不明）で撮影した典型的な液状化現象の跡であり、説明は不要であろう。このマンホールも写真-19と同様に農村集落排水のものである。



写真-20 液状化によって浮き上がったマンホール

写真-15, 19, 20に示した埋設管の埋戻し砂の液状化現象は、2004年の新潟中越地震の調査において報告されており、農村集落排水の下水管の埋め戻しにおいては、図-4に示すような方法が提案されている³⁾。また、今回の被災地においても砕石等を用いた液状化対策としての下水管の埋め戻しが既に実施されている³⁾。

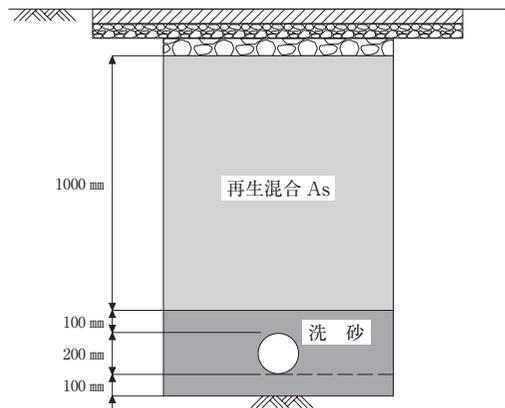


図-4 農村集落排水管の液状化対策

しかし、全ての埋設管に対して液状化対策が施されているわけではなく、今後発生すると想定されている様々な地震によって写真-15~20に示したような液状化による道路の陥没が生じる可能性は極めて高い。例えば、写真-18で示したような陥没は、路盤下に空洞が生じている場合や表・基層が厚い場合には生じにくく、輪荷重が路面に作用した場合に崩壊し始める

可能性を否定できない。そのため、液状化によって支持力が低下している箇所を検出する必要があることは、舗装研究者の誰もが感じていることであろう。

このようなことから、筆者は写真-20の路線の延長上で、路面陥没などの変状が確認されていない箇所を対象に写真-21に示すように小型FWD試験を実施した。詳細な検討結果については、別の機会に紹介することとするが、同じ路線上でマンホールの有る側と無い側の2測線で測定を行った。載荷荷重は8~9 kN程度と小さいが、図-5に示すように、測定たわみが異常に大きい箇所を幾つも検出することができた。このような箇所は、路面下に空洞があると判定せざるを得ず、今後陥没を引き起こす可能性があるものと考えられるため、早急な対応が必要であろう。

以上の結果より、液状化によって路面下に空洞ができてきているものの、現時点で路面陥没などの変状が確認されていない箇所が非常に多く存在するものと考えられる。そのため、復興に向けては液状化災害を受けた(あるいは液状化が想定される)箇所や盛土箇所など



写真-21 小型FWDによる路面下の空洞調査状況

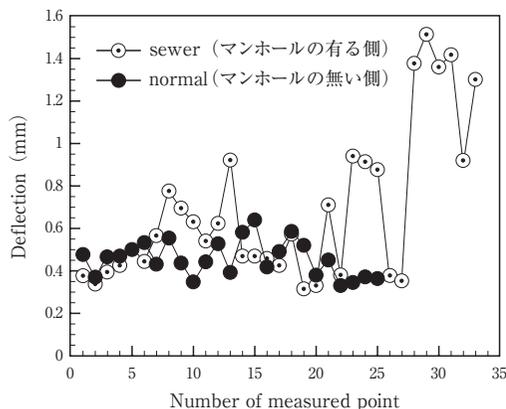


図-5 小型FWDによるたわみ測定結果

における舗装の支持力調査が必要になるものと考えられる。

5. 今後の展望

これまで述べてきたように、東北太平洋沖地震によって生じた津波や液状化によって、舗装は大きなダメージを受けた。特に液状化によるダメージは大きく、路面下に空洞が生じているが路面には変状が生じていない箇所が非常に多く、広範囲に存在するものと考えられる。このような潜在的な破損箇所を検知し、同時に舗装の支持力を検査するためにはレーダーによる空洞探査とFWDによる支持力調査を併用するのが有効であると考えられる。しかし、FWDでは調査点数が限られてくるため、連続的にたわみを測定できるRWD (Rolling Wheel Deflectometer)⁴⁾のような非破壊試験機の開発が重要であると考えられる。

謝 辞

本報告に用いた調査結果は、平成22年度科学研究費補助金(基盤研究(B)22360175, 研究代表者 竹内康)、平成23年度東京農業大学地域環境研究所プロジェクト研究費、NPO法人舗装診断研究会からの補助を受けて実施したものである。また、現地調査にあたっては、東北工業大学村井貞規教授をはじめとする舗装研究者の皆様、宮城大学千葉克己講師をはじめとする農業土木分野の研究者仲間、福島県相双農林事務所の皆様のご多大なるご協力を得た。記して感謝の意を表するものである。

— 参考文献 —

- 1) 高橋重雄 他33名：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報, 港湾空港技術研究所資料, No.1231, 2011.
- 2) 国土交通省関東地方整備局, (社)地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態説明報告書, 2011.
- 3) 毛利栄征, 堀俊和, 松島健一, 有吉 充：平成16年(2004年)新潟県中越地震によるため池と集落排水施設の被災, 農業工学研究所技報, No.205, pp.61-76, 2006.
- 4) Brain, K. D.: Investigation of the Rolling Wheel Deflectometer as a network-level pavement structural evaluation tool, Virginia Transportation Research Council, VTRC 10-R5, 2010.

最近のアスファルト事情

(The Present Status of Petroleum Industry and Asphalt)

JX 日鉱日石エネルギー(株) エネルギー・ソリューション本部 ES1 部 ES3 グループ

燃料油需要の減少によって変革を迫られるわが国の石油業界において、アスファルトがどのような位置付けにあるのか、東日本大震災の影響を踏まえた最近の需給動向を、今後の課題と共に説明する。

1. 石油産業を取り巻く環境の変化

1.1 燃料油需要の減退

経済産業省 資源・エネルギー統計によると、2010年度の国内燃料油需要は、1億9,595万KL(前年比101%)と猛暑の影響もありほぼ前年並みであったものの、2年連続で2億KLを下回った。

ガソリンの需要は、原油価格高騰に伴う価格上昇による買い控えの広がり、自動車離れあるいは燃費の良いハイブリット車や小型車の普及などの需要構造変化などにより、2005年度以降は4年連続前年比マイナスとなった。また、軽油需要も物流合理化の進展などから、1996年度をピークに減少傾向が続いている。

灯油の需要は、電気・ガス機器の普及や、省エネ住宅の普及などにより、減少傾向が顕著である。

重油の主要消費先である工場・発電所においても、省エネ・CO₂対策としてエネルギー転換が進み、産業用エネルギーに占める石油のウェイトは依然として低下傾向にある。

燃料油需要計では、1999年度をピークに減少傾向に転じている。(図-1参照)

1.2 原油価格の動向

国際市場での指標原油であるWTI(ウェスト・テキサス・インターミディエート)原油は、2008年7月の史上最高値(1バレル147ドル)の後、世界的な金融危機による景気後退の影響を受けて僅か半年で30ドル台にまで下落するなど、原油価格の乱高下は激しさを増している。

原油価格はその後再び上昇し、足下では100ドルを中心とした価格水準(2011年11月末現在)となっている。

原油価格の動向は、米国・欧州を筆頭とした金融不安、政情不安定な中東・アフリカ諸国の地政学的リスク、原油先物市場へ流入を繰り返す投機資金の動向など数多くの要因が存在し、先行きの見通しは不透明である。

1.3 能力削減を迫られる石油業界

石油連盟の報告によると、日本国内の原油処理設備能力は、直近のピーク時(2008年度)には490万BD(Barrels per Day)であったが、2011年11月末現在、450万BDまで減少している。(図-2参照)

これは、前述のとおり、国内の燃料油需要が減退していることに伴い、石油元売各社が製油所の閉鎖や原

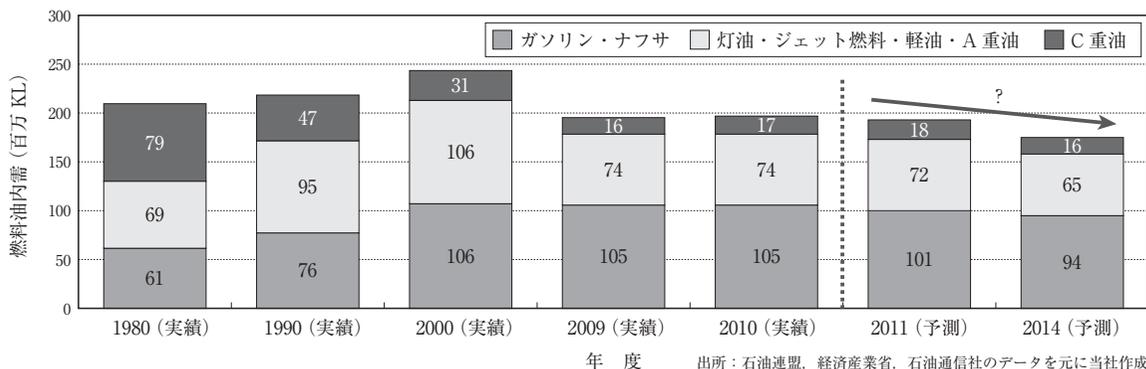


図-1 燃料油内需の推移と予測

出所：石油連盟、経済産業省、石油通信社のデータを元に当社作成

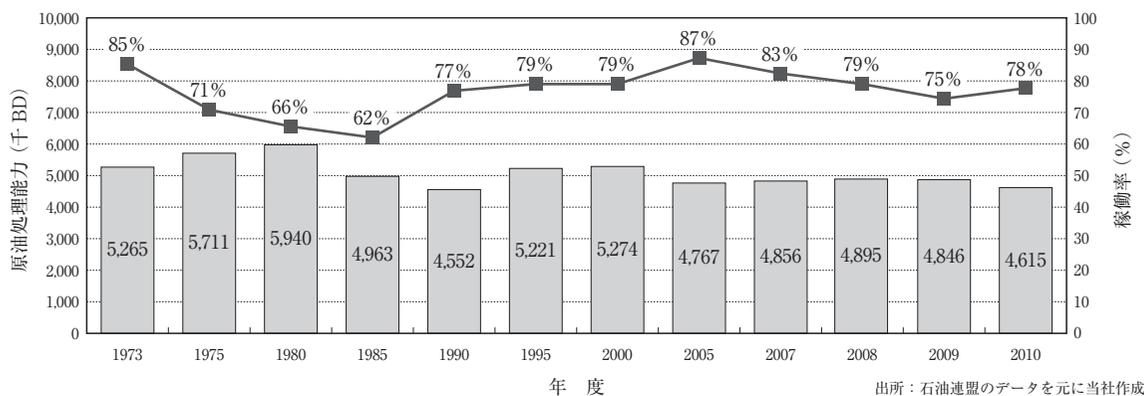


図-2 原油処理能力と稼働率

油処理設備の一部休止など、規模の適正化に取り組んでいるからに他ならない。

また、原油処理設備能力削減の背景には、2009年8月に施行された「エネルギー供給構造高度化法（以下、高度化法と記載）」が後押ししている部分大きい。

高度化法は、エネルギーの効率的な利用を目的として施行されたもので、経済産業省は石油精製業者に対して「重質油分解装置の装備率（以下、装備率と記載）」の向上を義務付ける公告を行っている。

海外での装備率（＝「重質油分解装置の能力（BD）」÷「常圧蒸留装置の能力（BD）」）が欧米で19%程度、アジア諸国ではシンガポール・台湾で22%程度、韓国で16%程度であるのに対して、日本の装備率は10%程度（法律施行時）と大きく立ち遅れており、経済産業省では、これを2013年度までに13%程度まで引き上げることを目標に掲げている。

この装備率の算定式からも分かるように、装備率を高めるためには、分子の「重質油分解装置の処理能力」を増やすか、製油所廃棄・能力削減で分母の「常圧蒸留装置（トッパー）の処理能力」を減らすかの選択肢しかない。

構造的に燃料油需要が減退しているなか、石油元売各社は装備率を高めるために数百億円から数千億円規模の投資を伴う重質油分解設備の増強（分子を増やす）を選択するとは考えにくく、常圧蒸留装置（トッパー）の処理能力削減（分母を減らす）で対応していくことが想定される。

今後も燃料油需要の減退が継続する見通しであることや、足元の装備率は11%程度であり経済産業省が掲げている目標に到達していないことから、原油処理設備能力の削減は道半ばと言わざるを得ない。

当社では、2013年度末までに20万BDを追加削減することを既に決めている。また、出光興産も先日、2013年度末に12万BDを削減することを表明した。

これらが実行されると日本の原油処理設備能力は420万BD弱となり、他の石油元売会社も削減すれば、「ピーク時の2割程度（約100万BD）が余剰」と言われている設備規模の適正化が現実的なものになってくる可能性がある。

2. 道路舗装用アスファルトの需要

道路舗装用アスファルト（以下、単にアスファルトと記載）は、主にアスファルト合材（以下、単に合材と記載）の原料として使用されている。

1999年度に7,140万トンのあった合材製造量は、道路整備や公共事業の見直しなどにより徐々に減少し、2010年度には4,481万トン（1999年度比63%）までになっている。

一方、アスファルトの使用量は、1999年度の330万トンに対して、2010年度は168万トンとほぼ半減しており、合材よりも減少幅が大きい。これは合材の製造において、再生合材の製造量比率が増加していることが主要因である。（図-3参照）

また、毎年傾向として、アスファルトの需要は年度末の3月がピークとなっており、その規模は月間単純平均の1.5~1.6倍である。（図-4参照）

3. アスファルトの供給体制の動向

3.1 生産

石油製品は連産品（原油を精製するとガソリン、灯油、軽油、重油、アスファルトなどの各製品が同時に生産される仕組みのこと）であるので、燃料油の需要減退に伴い原油処理量を減らせば、アスファルト生産

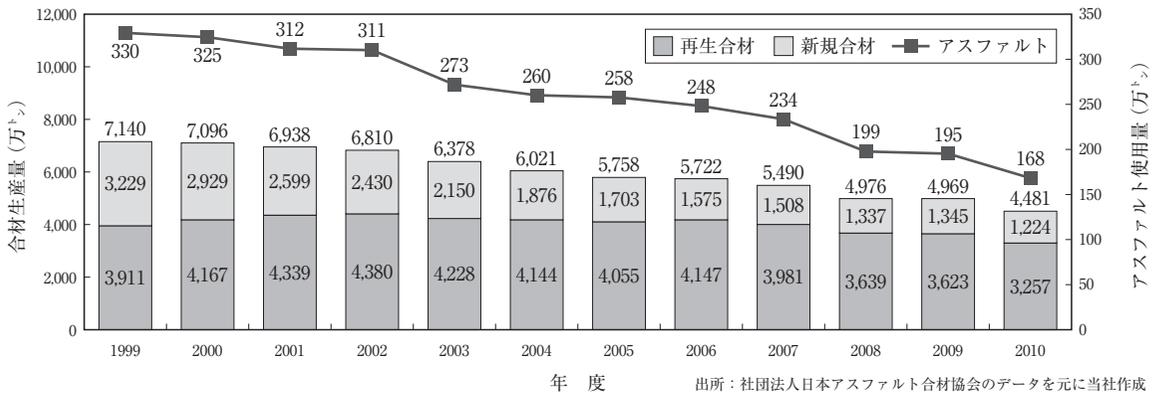


図-3 アスファルトおよび合材需要推移

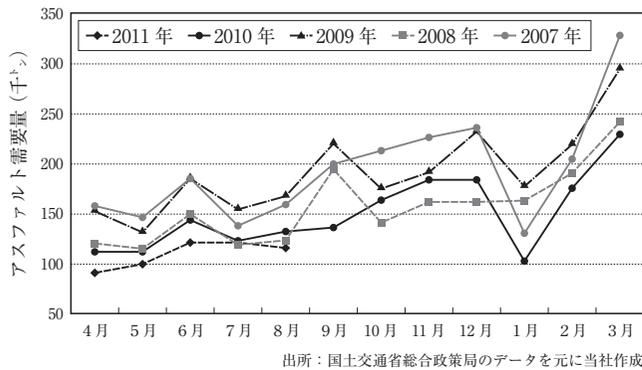


図-4 アスファルト月別需要量

も自ずと減少することになる。

仮にアスファルトの需要が増大した場合、石油元売会社は次の手法によりアスファルトを増産して対応することになる。

1つ目は、原油処理量を増やすことによりアスファルトを増産する手法である。

ただし、原油処理量を増やすと、他の石油製品も同時に増産されてしまうため、他の石油製品の需給バランスを勘案した上で実行しなければならない。

今後、原油処理設備能力の削減が進むと、増産のフレキシビリティが低下する可能性があることは否定できない。

しかし、原油処理設備能力の削減は燃料油需要の減退と並行して進んでいくと想定されることから、今後も設備余力を活用してのアスファルト増産は可能であると考えている。

2つ目は、処理する原油の種類を変えることによりアスファルトを増産する手法である。

石油製品は連産品であると同時に、原油の種類や精

製設備の構成によって、各製品が原油から取得される割合(=得率)は異なってくる。

原油は大別して、ガソリンや灯油などを多く生産できる軽質原油と、重油やアスファルトなどを多く生産できる重質原油があり、重質原油を多く処理することにより、アスファルトの増産が可能となる。

購入した原油が産油国から日本へ輸送され、精製処理を経て製品として国内に流通するまでには、およそ3ヶ月かかる。

逆に、遅くとも3ヶ月前までにアスファルトの需要が増大することが判明していれば、重質原油を多めに購入してそれを処理計画に織り込むことができるため、需要に合わせたアスファルト増産が可能である。

3.2 流通

アスファルト需要が増大した場合の流通面での懸念材料として、製油所や油槽所から合材工場にアスファルトを配送するタンクローリーの台数減少による輸送制約について述べておきたい。

原油価格高騰に伴う軽油価格の上昇や排ガス規制強化による車両維持コストアップなどにより、各輸送会社の経営はますます厳しくなっている。

その結果、輸送会社の廃業または廃車によりローリー台数が減少、需要ピーク時には各合材工場への配送に支障を来す事態も散見されている。

4. 東日本大震災の影響

このような状況下、2011年3月11日に発生した東日本大震災により石油産業を取り巻く状況は更に大きな変化を強いられている。

当社の仙台製油所をはじめとして、東日本の4製油所が一時生産・出荷停止を余儀なくされ、このうち2製油所が今も生産を再開できていない(2011年11月末現在)。

震災は生産・出荷設備に甚大な被害をもたらしただけでなく、燃料油やアスファルト需要などにも影響を与えている。

4.1 燃料油需要の動向

津波で発生したがれきの撤去・運搬に使用する重機・トラック向けの軽油需要や、原発停止に伴って稼働が高まっている火力発電所向けの重油需要が増大している。

過去に類を見ない未曾有の災害であるだけに、震災が与える今後の燃料油需要への影響については、その期間や規模など未だ不透明な部分が多い。

しかし、震災による燃料油の需要増はあくまで一時的なものであり、中長期的には需要減退傾向は継続するものと見込まれている。(再び図-1参照)

4.2 アスファルト需要の動向

今後のアスファルト需要については、既存道路の補修工事や震災前に計画されていた道路新設工事の需要に加えて、震災エリアでの復興需要が発生するものと想定される。

道路舗装はその殆どが公共事業である。公共事業は国の政策により左右されるため、復興需要が発生する具体的な期間・規模などを論じられる立場にはないが、報道されている復興計画案は長期間の工事を前提としているものが多いように見受けられることから、これに伴うアスファルト需要も突発的にではなく長期間に渡って緩やかに発生するものと想定している。

4.3 アスファルトの供給体制

震災により顕著となった流通面での懸念材料についても述べておきたい。

1点目は、製油所から油槽所などにアスファルトを配送する輸送船についてである。

前述のとおり、震災エリアにおけるアスファルトの復興需要が見込まれる一方で、震災エリアの製油所は一部生産停止を余儀なくされている。

震災エリアにおけるアスファルト需要に対応するためには、他のエリアで生産したアスファルトを輸送船によって震災エリアの出荷拠点に持ち込むことが必要であり、これによりアスファルト輸送船の航海数が通常時よりも増加する。

国内を航行可能なアスファルト輸送船の隻数には限りがあるため、需要ピーク時に船舶需給は逼迫することが懸念されるが、需要ピーク前に油槽所などのタンク在庫を可能な限り上積みしておくことや効率的な配船を行うこと、国内のアスファルト輸送船を使用しない輸入などの手段を講じることにより、船舶需給の緩和を目指したい。

2点目は、タンクローリーのさらなる減少についてである。

東北エリアにおいては、もともと需要減退に伴いローリーが減少傾向であったところに、一部が津波による被害を受けた。社団法人日本アスファルト合材協会の調査によると、2010年3月末時点で東北エリアに80台配備されていたローリーが震災後の2011年3月末には62台にまで減少した。

輸送会社はローリーの配置バランスを見直すことや、会社間で融通を行うことなどにより、安定供給に努めている。

5. 今後の課題

確実かつ安定的な供給体制を構築するため、我々サプライヤーはこれまで需要サイドの皆様に対して、①需要見通しの前広なご連絡など連携体制の強化、②可能な限りの需要平準化につき、ご理解、ご協力を賜るよう、お願いしてきた。

この2点がクリアできれば、高度化法後の原油処理設備能力であっても、現状の年間200万トンのアスファルト需要は十分に安定供給可能であると考えている。

震災後の復興需要本格化を前に、需給双方による情報共有や連携体制構築は一部で実現しつつあり、今後もこうした取り組みを継続・発展させることにより、需要サイドの皆様のニーズに応えていきたいと考えている。

これまでも当社および石油業界は、アスファルトの安定供給を通じて、国民の共通財産である道路の整備、およびそれを支える道路舗装事業の健全な発展を原料供給という側面から支えてきたものと考えている。

今後もその一端を担い続け、かつ震災エリアの復興においてもアスファルト供給という側面から最大限の支援を行うべく、一層の取り組みを行っていきたい。

アスファルト混合物の持続的なリサイクルに向けて —舗装再生便覧の改訂とその背景—

(Sustainable recycling technique of a hot mix asphalt
- The background of revision of a Handbook for Pavement Recycling -)

新田 弘之*・川上 篤史**・加納 孝志***

アスファルト・コンクリート塊のリサイクルは古くから行われ、そのほとんどが再生アスファルト混合物や再生路盤材に利用されている。しかし、アスファルト・コンクリート塊のリサイクルが一般化した近年においては、劣化が進んだアスファルトや改質剤を含んだアスファルトが増えてきており、これによる新たな課題も出てきている。今後もアスファルト混合物を持続的にリサイクルしていくためには、これらの課題への対応が急務となっていた。そこで、新たな知見をもとに平成22年11月に“舗装再生便覧”が改訂された。

本報では、舗装再生便覧の改訂箇所のうち、アスファルト・コンクリート塊を再生アスファルト混合物へリサイクルする場合の改訂箇所を取り上げ、“圧裂係数の導入”や“再生用添加剤の品質”、“新アスファルトに使用する石油アスファルトの針入度等級の記述範囲の拡大”を中心に、舗装分野でのリサイクルの現状を整理しつつ、概要と背景について述べる。

1. はじめに

舗装分野でのリサイクルの歴史は古く、これまでに建設副産物であるアスファルト・コンクリート塊（以下、アスコン塊）やセメント・コンクリート塊の再資源化率の向上に寄与してきた。しかし、近年ではリサイクルが普及し、一般化したために新たな問題も発生し始めてきた。特にアスコン塊では、劣化が進んだアスファルトや改質剤を含むアスコン塊をリサイクルしなければならなくなっており、これまでの方法では今後対応が難しくなることが予想されていた。このような中、最新の研究成果をもとに、平成22年11月に舗装再生便覧¹⁾が改訂された。

今回の改訂では、これらの課題に対応し、持続的なリサイクルを可能にし“循環型社会の構築へ更なる貢献”を果たすべく、様々な箇所の記述が見直されている。最も大きな改訂点としては、アスファルト・コンクリート再生骨材（以下、再生骨材）の再生アスファ

ルト混合物への再生利用の可否の判断基準となる“圧裂係数”が新たに盛り込まれたことが挙げられる。また、再生用添加剤の品質や新アスファルトに使用する石油アスファルトの針入度等級の記述範囲なども見直されている。

本報では、これら舗装再生便覧の改訂箇所のうち、特に“圧裂係数の導入”および“再生用添加剤の品質”や“新アスファルトに使用する石油アスファルトの針入度等級の記述範囲の拡大”を中心に、舗装分野でのリサイクルの現状を整理しつつ、その概要と背景を述べる。

2. リサイクルの現状と課題

2.1 アスコン塊のリサイクル

わが国におけるアスファルト舗装発生材のリサイクルの技術開発は、1970年代前半に始まっている。その後の研究により技術図書の整備が行われ、再生利用

*にった ひろゆき（独）土木研究所 材料資源研究グループ（新材料） 主任研究員

**かわかみ あつし（独）土木研究所 道路技術研究グループ（舗装） 主任研究員

***かのう たかし 大成ロテック(株) 事業本部 技術研究所 課長

技術の普及が図られてきた^{2, 3, 4, 5, 6})。平成12年には“建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律(建設リサイクル法)”が制定され、各方面でのリサイクルの努力が精力的に行われた。その結果、図-1に示すように、現在のわが国のアスファルト舗装発生材の再資源化率は98%に達している⁷)。

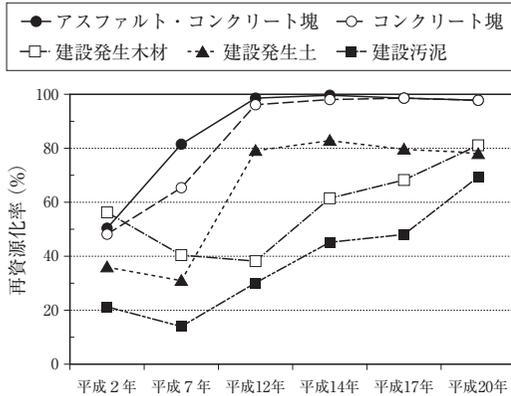


図-1 建設副産物の再資源化率の推移⁷⁾

2.2 アスファルト舗装発生材の現状と課題

(1) 再生アスファルト混合物の製造量

アスファルト混合物の全製造量に占める再生アスファルト混合物(以下、再生混合物)の占める割合の推移を図-2⁸⁾に示す。図から、再生混合物の製造割合は年々増加し、平成10(1998)年度には50%、平成22(2010)年度には約73%に達している。再生混合物の出荷割合が50%を超えてから現在まで14年が経過しており、これらが更新時期を迎えることから、今後は過去に複数回再生され、旧アスファルトに劣化が蓄積したアスファルト舗装発生材が増加することになる。

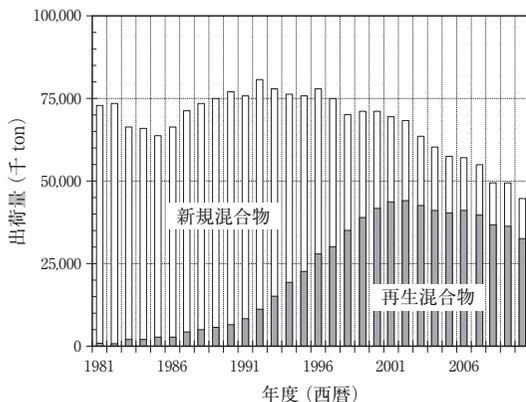


図-2 アスファルト混合物の製造量の推移⁸⁾

(2) 改質アスファルト混合物の製造量

アスファルト舗装の耐久性向上や多機能化を目的として、ポリマー改質アスファルト(以下、改質アスファルト)が使用されたアスファルト混合物(以下、改質混合物)の製造量が年々増加している。図-3⁸⁾に全てのアスファルト混合物の製造量に占める改質混合物の占める割合の推移を示す。改質混合物の製造割合は、平成22(2010)年度には約15%に達している。

このため、今後は改質アスファルトが使用されたアスファルト舗装発生材が増加していくことが予想される。一方、改質アスファルトを含むアスファルト舗装発生材の旧アスファルトの針入度は低くなる傾向があるため、再生骨材中の旧アスファルトの低下への影響が懸念されている。

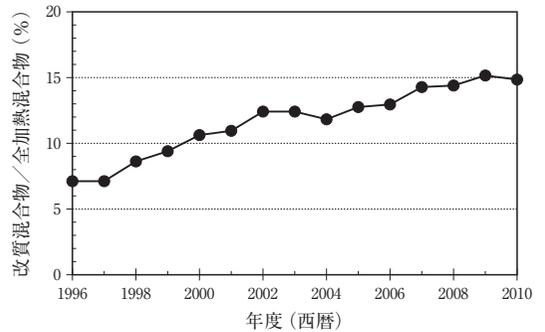


図-3 改質混合物の出荷割合の推移⁸⁾

(3) アスファルト再生骨材の針入度

わが国においては、再生混合物に利用できる再生骨材は、旧アスファルトの針入度が20(1/10mm)以上とされてきた^{5, 6})。これは、過度に劣化した旧アスファルトを含む再生骨材を使用した場合、再生混合物の耐久性などに悪影響を与えると考えられるためである。

近年、この旧アスファルトの針入度が低下傾向にある。図-4⁹⁾に全国の再資源化施設から採取した再生骨材の旧アスファルトの針入度の調査結果を示す。図から、1980年代の調査では、旧アスファルトの針入度が20未満となったものは、76箇所中3箇所(3.9%)であったのに対し、2000年代の調査では、71箇所中19箇所(26.8%)となっており、針入度20未満の出現確率が増加している。この原因としては、前述の通り、再生利用が一般化したことにより複数回繰り返して再生利用されたアスファルト舗装発生材や改質アスファルトを使用したアスファルト舗装発生材の増加が挙げられる。

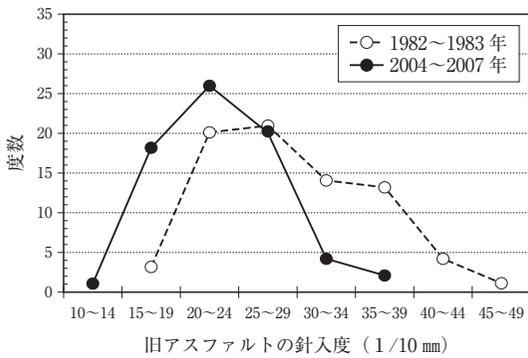


図-4 旧アスファルトの針入度の推移⁹⁾

このように、旧アスファルトの針入度は低下傾向にあり、これまで再生混合物への利用下限値である針入度20未満のものも増加しているため、今後、アスコン塊のリサイクル率への影響も懸念されている。

3. 再生アスファルト混合物に関する検討

以上に示してきたように、アスファルト舗装発生材は、従前の手法でこれまでのように再利用することが困難な状況になりつつある。このため、上記に示した課題について様々な研究機関により検討が行われ、その成果が舗装再生便覧(平成22年版)に反映されている。

3.1 改質由来の再生骨材の有効利用に関する検討

これまでの複数の研究機関での研究結果より、改質アスファルトが使用された再生骨材(以下、改質再生骨材)は、再生混合物へ利用できることが確認されており^{10, 11, 12, 13, 14)}、旧舗装再生便覧(平成16年度版)でも利用を認めていた。しかし、従前の針入度による再生骨材(旧アスファルト)の劣化度の判別方法では、改質再生骨材を判別し、その有効利用を図ることは困難であった¹⁵⁾。そこで、(独)土木研究所と(社)日本アスファルト合材協会は共同研究を実施して、新たな再生骨材の劣化度の評価手法である「圧裂係数」を考案し¹⁶⁾、この研究成果が舗装再生便覧(平成22年版)に反映されている。

圧裂係数は、圧裂試験(20℃)で求めた圧裂強度を破断時の変位量で除した値である(式(1)、(2)参照)。アスファルトが劣化していない場合には変位量が大きくなるため圧裂係数は小さくなり、逆にアスファルトが劣化している場合には変位量が小さくなるため圧裂係数は大きくなる(図-5参照)。

$$\sigma_r \text{ (MPa)} = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times L} \dots\dots(1)$$

ここに、 P :破壊時の最大荷重(N)

d :供試体の厚さ(mm)

L :供試体の直径(mm)

$$\text{圧裂係数 (MPa/mm)} = \frac{\sigma_r}{x} \dots\dots(2)$$

ここに、 σ_r :圧裂強度(MPa)

x :最大荷重までの変位量(mm)

この圧裂係数の導入により、針入度が20未満である改質再生骨材の一部が利用できるようになることから、改質再生骨材の有効利用の促進が期待されている(図-6参照)。

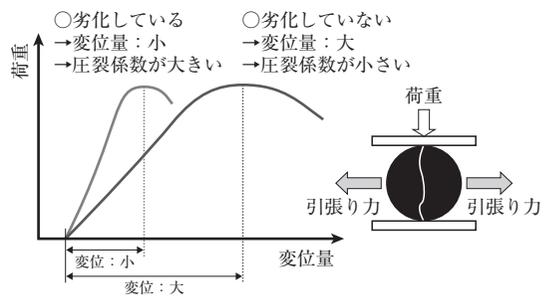


図-5 圧裂係数の概念

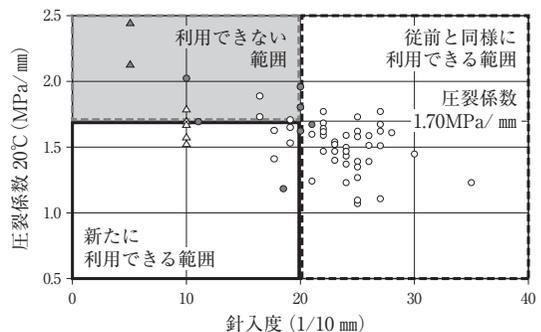


図-6 旧アスファルトの針入度と圧裂係数の関係¹⁶⁾

3.2 繰り返し再生利用を考慮した再生手法

これまでの研究¹⁷⁾より、一般的な再生用添加剤を用いて繰り返し再生されたアスファルトは、アスファルトの物理的・化学的性状が変化し、針入度が元に戻っても繰り返回数が増すごとに、針入度以外の指標が舗装用アスファルトの一般的性状の範囲からはずれることがあることが分かっている。

これらのことを踏まえ、(独)土木研究所では、市販の添加剤9種類および針入度の大きなアスファルト

(以下、軟質アス)を入手して、劣化と再生を繰り返したアスファルトの物理・化学性状および再生アスファルト混合物の性状などから、繰り返し再生利用を考慮したアスファルト混合物に対して望ましいと考えられる再生方法について検討を行った(図-7参照)¹⁸⁾。

研究の結果、再生用添加剤を使用して繰り返し再生されたアスファルトおよびアスファルト混合物は、軟質アス等で再生した場合に比べ、以下のような特徴が見られた。

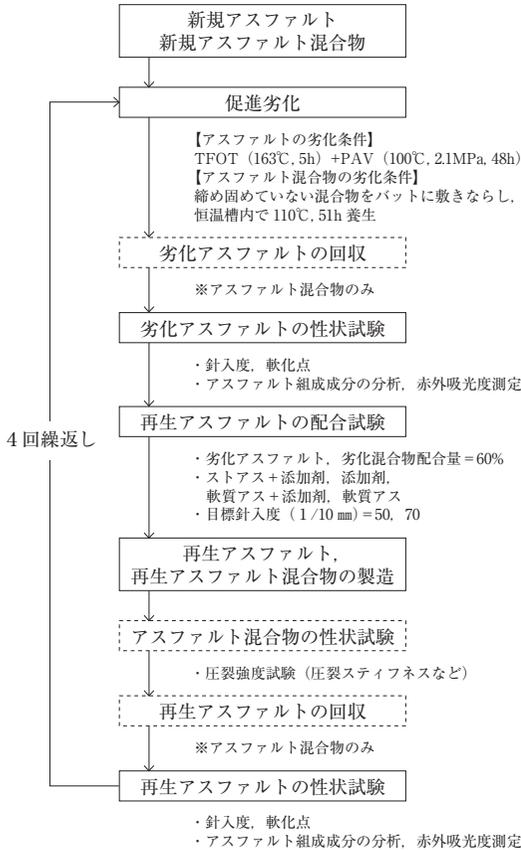


図-7 実験手順¹⁸⁾

- (1) 繰り返し再生されたアスファルトは、再生用添加剤の違いによって酸化度 (Carbonyl Index) の上昇度合いは異なる(図-8参照)。
- (2) 再生用添加剤のみで繰り返し再生したアスファルトは、アスファルトと再生用添加剤の併用または軟質アスのみで繰り返し再生したアスファルトに比べ、再生回数が多くなった場合に軟化点が上昇し、劣化初期のアスファルトより感温性が小さくなる(図-9参照)。

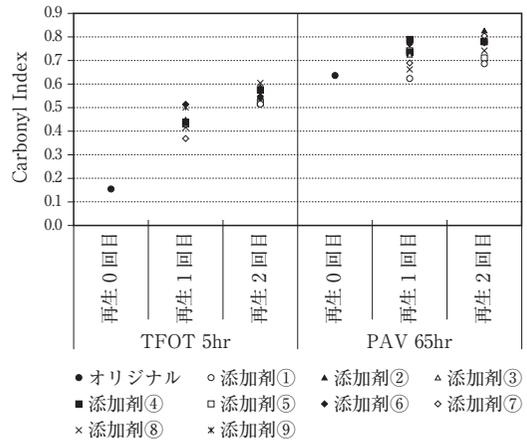
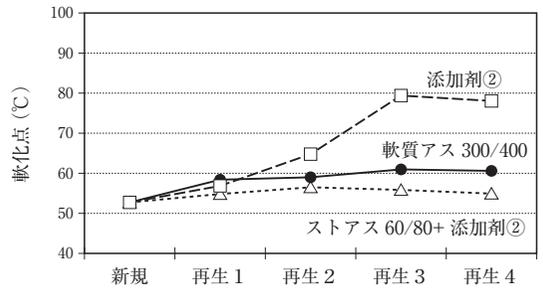


図-8 酸化度測定結果¹⁸⁾

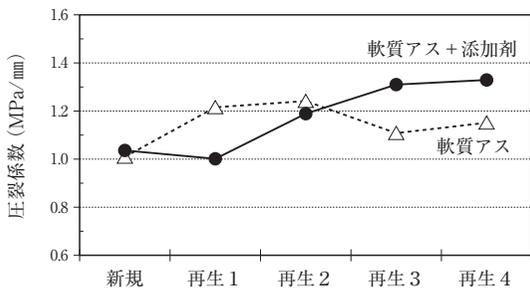


*) 新規とは製造劣化 (TFO) 後

図-9 繰り返し再生による軟化点の変化¹⁸⁾

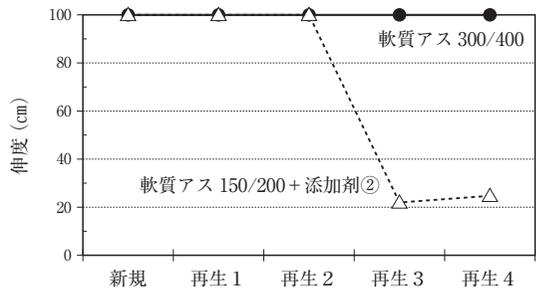
- (3) 再生アスファルト混合物の圧裂係数は、繰返し回数が增加するにしたがって上昇する傾向があるが、再生方法の違いによってその上昇度合いは異なり、軟質アスのみを用いて再生させる方が、圧裂係数の変化が少ない(図-10参照)。
- (4) 繰り返し再生されたアスファルト混合物から回収したアスファルトの性状は再生方法の違いによって異なり、軟質アスにより繰り返し再生を行った場合は、再生用添加剤を単独もしくは併用した場合に比べ、再生アスファルトの物理的性状の変化が少ない(図-11参照)。

以上の結果から、再生用添加剤を使用して繰り返し再生されたアスファルトは、軟質アスのみで再生された場合に比べ、その物理的・化学的性状が劣る場合があると考えられる。このことから、舗装再生便覧(平成22年版)では、“再生用添加剤の品質(望ましい密度や組成の報告)”や“新アスファルトに使用する石油アスファルトの針入度等級の記述範囲(針入度200以上が記述)”などが見直された。



*) 新規とは混合物製造直後

図-10 各再生段階における圧裂係数¹⁸⁾



*) 新規とは新規混合物から回収したアスファルト

図-11 回収アスファルトの伸度の変化¹⁸⁾

4. おわりに

わが国のアスファルト舗装発生材のリサイクル技術および再資源化率の水準は、諸外国と比べても高い水準にある。この水準を維持するためには、改質混合物であれ再生混合物であれ、繰り返し再生利用、つまり“持続的リサイクル”していくことを念頭に技術開発を進めていく必要がある。

舗装再生便覧は、これらのことを考慮して最新の知見を基に改訂されているが、今後も“持続的リサイクル”に寄与する研究を継続し、様々な課題を解決しつつ、“循環型社会の構築へ更なる貢献”を図る必要がある。

— 参考文献 —

- 1) (社)日本道路協会：舗装再生便覧（平成22年版），2010.11
- 2) (社)日本道路協会：舗装廃材再生利用技術指針（案），1984.7
- 3) (社)日本道路協会：路上再生路盤工法技術指針（案），1987.1
- 4) (社)日本道路協会：路上表層再生工法技術指針（案），1988.11
- 5) (社)日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，1992.12
- 6) (社)日本道路協会：舗装再生便覧，2004.2
- 7) 国土交通省：平成20年度建設副産物実態調査結果参考資料，2010.3
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/fukusanbutsu/jittachousa/H20sensuskekka_sankou.pdf（2011年11月13日現在）
- 8) (社)日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報，2011.8

- 9) T. Kanou, H. Nitta, I. Sasaki, A. Kawakami, & K. Kubo: “Highly-aged and Highly-modified Asphalt Concrete Recycling in Japan”, The 11th International Conference on Asphalt Pavement, 2010.8
- 10) 貫井武：排水性混合物発生材の再生技術の検討，アスファルト合材，pp.6～16，2004.4
- 11) 稲葉行則，貫井武：排水性舗装発生材を使用した再生密粒度アスコンの供用3年後の追跡調査結果について，アスファルト合材，pp.18～25，2008.1
- 12) 海老澤秀治，貫井武：再生改質アスファルト混合物の供用三年後の追跡調査結果，アスファルト合材，pp.6～13，2005.1
- 13) 貫井武，岡林正俊：アスファルト混合物の劣化評価指標の検討，第26回日本道路会議論文集，2005.10
- 14) 川上篤史，佐々木巖，久保和幸，加納孝志：排水性舗装発生材を再生利用した再生排水性舗装の供用性調査，土木学会第65回年次学術講演会概要集，pp.227-228，2010.9
- 15) 新田弘之，伊藤正秀：再生骨材中のアスファルトの判別について，第25回日本道路会議，No.09211，2003.11
- 16) (独)土木研究所，(社)日本アスファルト合材協会：アスファルト舗装の再生利用に関する共同研究報告書，第408号，2009.12
- 17) 新田弘之，西崎到：劣化と再生を繰り返し再生したアスファルトの性状，建設用原材料，Vol.14，No.1，pp.37～42，2005.9
- 18) 加納孝志，新田弘之，佐々木巖，西崎到，久保和幸：繰り返し再生を考慮したアスファルト混合物の再生方法に関する研究，舗装工学論文集，第14巻，pp.117～122，2009.12

新東名高速道路 (御殿場～三ヶ日間) における コンポジット舗装の概要について

(The overview of the composite pavement on the New Tomei Expressway between Gotenba and Mikkabi)

岡 利 幸*

本文では、平成24年初夏開通を目指し、舗装工事全面展開中の新東名高速道路の御殿場JCT～三ヶ日JCTの事業概要及び舗装計画について述べる。

また、近年舗装分野で取り組まれている情報化施工・環境対策の関連で、アスファルト舗装の情報化施工の概要・施工状況や中温化舗装、アスファルトプラントの環境対策の概要について述べる。

1. はじめに

新東名高速道路の静岡県内初の開通区間となる御殿場JCT～三ヶ日JCTでは、土工・トンネル・橋梁の本体工事がほぼ完了し、舗装工事・施設工事に全面着手している。当該区間の舗装は、従来NEXCOのトンネル区間で標準採用されているコンポジット舗装¹⁾を土工区間でも標準採用した。コンポジット舗装は、コンクリート舗装の持つ構造的な耐久性と、アスファルト舗装が持つ良好な走行性や補修の容易さ等、両者の長所を併せ持つ舗装である。この舗装を土工部の標準構造として大規模に適用したのは、当該区間が初めてである。

本文では、当該区間の舗装計画について報告するとともに、舗装工事の情報化施工・環境対策への取り組みを紹介する。

2. 新東名高速道路の事業概要

2.1 事業概要

新東名高速道路は、東京と名古屋を結ぶ延長約330kmの高速道路であり、静岡県内区間となる御殿場JCTから三ヶ日JCT間(約162km)は、独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構との協定にもとづき平成24年度の開通を予定している(図-1)。



図-1 新東名高速道路の進捗状況 (平成23年11月現在)

*おか としゆき NEXCO中日本 東京支社 建設事業部

当該区間は、東名高速道路より山側を通過し、富士川・安倍川・大井川・天竜川など静岡県を代表する一級河川を含む多数の河川を横架する。したがって、静岡県内の162kmのうち、土工区間が約69km、トンネル区間が約42km、橋梁区間が約51kmであり、構造物が全体の約6割を占めることが特徴的である。

当該区間では、平成23年11月現在、土工区間92%、トンネル区間100%、橋梁区間100%が完成しており、舗装工事・施設工事に全面着手している。

2.2 事業目的

新東名高速道路の整備の主な目的は、三つある。

第一の目的は、東名高速道路のサービス改善である。新東名高速道路の整備により、東名高速道路の交通量を分担し、交通状況が改善され、高速道路の高速性と定時性を確保できることが期待される。

第二の目的は、ダブルネット化による信頼性の向上である。東海地震が発生する確率は今後30年間で87%以上と予想されており、地震が発生し東名高速道路が長期にわたり寸断された場合、社会的・経済的に与える影響は計り知れない。平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、静岡県沿岸で大津波警報が発令され、東名高速道路の富士～清水間や国道一号線が通行止めとなった。その際は、静岡県との協定に基づき、建設中の新東名高速道路を緊急輸送路として使用し、各県警・消防隊など、計470台の緊急車両が通行し、新東名高速道路の整備によるダブルネット化の重要性を再認識することとなった(写真-1)。

第三の目的は、国土の大動脈として三大都市圏間の連携強化である。新東名高速道路と新名神高速道路の建設により、東名高速道路・名神高速道路と比べて、東京と神戸の距離は約50km、時間は約1時間短縮され



写真-1 新東名緊急輸送路使用状況
(東日本大震災時)

る。これにより、東京・名古屋・大阪の三大都市圏間の人や物の移動が円滑になり、連携がより強化されることが期待される。

3. 新東名高速道路の舗装計画

3.1 土工区間へのコンポジット舗装採用の背景

1980年代半ばから1990年代初めにかけては、高速道路の流動わだち掘れが問題となった。当時の調査の結果によれば、流動わだち掘れは表層だけでなく、表層以下の深い層にまで達するものが確認されたため、路盤に剛性の高いコンクリート版を用いたコンポジット舗装が注目された。

平成2(1990)年、山陽自動車道(河内～西条)において、高速道路の新設で初めてコンポジット舗装が本格的に試験施工された。舗装構造としては、コンクリート版として、連続鉄筋コンクリート版あるいは転圧コンクリート版が採用され、表層には密粒度アスファルト混合物が一層施工された。また、平成7(1995)年、平成8(1996)年に、それぞれ館山自動車道(千葉～市原)、山陽自動車道(三木小野～三木東)において、連続鉄筋コンクリート版と高機能舗装を組み合わせたコンポジット舗装が施工された。これらの試験施工箇所は継続調査され、コンポジット舗装の流動わだち掘れの進行量は、通常のアスファルト舗装の流動わだち掘れの進行量の半分以下となるというデータが得られ、耐久性が高いことが証明された²⁾。

また、近年の舗装の補修サイクルは、ひびわれ率で決まることが多いとされる。図-2に、館山自動車道での舗装種別ごとのひびわれ率の推移を示す。コンポジット舗装のひびわれは、アスファルト舗装のものより、進行が遅いといえる。ひびわれの補修目標値であ

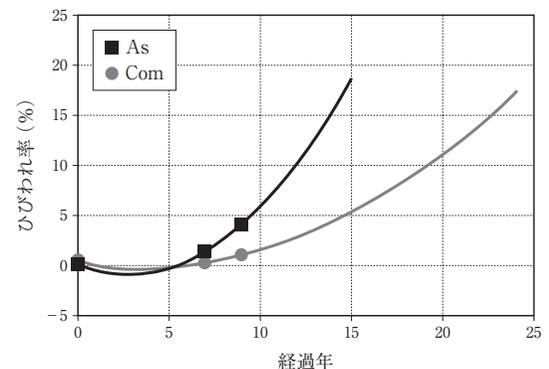


図-2 舗装種別ごとのひび割れ率の推移
(館山道 供用後の実績)

る20%に達する年数を予測すると、アスファルト舗装で15年、コンポジット舗装で25年となり、補修サイクルを通常のアスファルト舗装の1.5倍以上長くすることができ、維持修繕費を大きく削減できるものと考えられる³⁾。

当社では、国民生活に必要な不可欠な高速道路を健全な状態で100年以上維持し、後世に優良な道路資産を引き継ぐべく、「百年道路」計画を推進している。耐久性に優れ、維持修繕が容易であるコンポジット舗装は、この目的に合致するものである。加えて、耐久性の高いコンポジット舗装の採用により、アスファルト舗装と比較して、更新に伴うアスファルト廃材の発生を抑え、環境への負荷軽減が期待される。

また、当該区間は、大型車混入率も高く、日本の大動脈として機能する重交通区間となるため、耐久性の高い舗装構造を採用することにより、補修に伴う交通規制回数を低減し、お客様サービスレベルの低下を避けることが必要である。したがって、当該区間については、路線の利用状況、構造条件および維持管理費を含めたライフサイクルコストの低減効果などを総合的に検討して、土工部においてもコンポジット舗装を採用したものである。

なお、コンポジット舗装はアスファルト舗装と比べて剛な構造体であり、路床面の沈下が大きくなる可能性のある区間では、その追随性に課題がある。したがって、盛土材にロームを使用した区間や軟弱地盤上の盛土区間では、コンポジット舗装を採用せず、従来のアスファルト舗装を採用した。

3.2 土工区間・トンネル区間の舗装構成

新東名高速道路(御殿場～三ヶ日間(清水・引佐連絡路を除く))の土工・トンネル区間の舗装構成を図-3に示す。4cmの表層、4cmの中間層(砕石マスチックアスファルト混合物(SMA))、24cmまたは28cmの連続鉄筋コンクリート版、20cmのセメント安定処理路盤より構成されている。

表層は、排水機能を持ち、雨天時の走行性・安全性に優れた高機能舗装(土工部はI型、トンネル部はII型)とし、その下に遮水機能を有している砕石マスチックアスファルト混合物(SMA)を使用した。その下の連続鉄筋コンクリート版は、横方向目地を一切省いたものであり、コンクリート版に生じる横び割れは、縦方向鉄筋により微細なクラックに分散され、鉄筋とび割れ面での骨材のかみ合わせにより連続性が保持されるものである。

表層(高機能舗装)	4 cm
中間層(砕石マスチックアスファルト(SMA))	4 cm
土工部	28 cm
連続鉄筋コンクリート版(CRC版)	
トンネル部	24 cm
下層路盤(セメント安定処理路盤)	20 cm
計	52, 56 cm

図-3 土工・トンネル区間の舗装構成

3.3 橋梁区間の舗装計画

新東名高速道路(御殿場～三ヶ日間)の橋梁区間の舗装構成を図-4に示す。コンクリート床版上では、4cmの表層、4cmのレベリング層(砕石マスチックアスファルト混合物(SMA))を標準とし、舗装とコンクリート床版の間には、橋梁の耐久性を高めることを目的として、床版防水工を施工する。床版防水工は、シートや樹脂などを用いて不透水層を作り、コンクリート床版への水の侵入を防ぎ、コンクリート床版の劣化を抑え、耐久性を向上するために施工するものである。NEXCO中日本 東京支社では、NEXCO総研と共同で、従来より品質の高い床版防水工やより水密性が高く施工性のよい橋梁レベリング層用混合物の開発に取り組み、当該区間の舗装工事で全面的に採用した。

表層(高機能舗装)	4 cm
レベリング層 (砕石マスチックアスファルト(SMA))	4 cm
計	8 cm

図-4 コンクリート床版上の舗装構成

4. アスファルト舗装の概要

新東名高速道路(御殿場～三ヶ日間(清水・引佐連絡路を除く))では、国で定める整備計画および機構との協定に沿って、標準区間を片側2車線(3.75m+3.50m)の暫定整備とし、一部区間は付加車線(3.50m)を加えた横断構成で整備している。これらに路肩を含めた幅員を約162kmに渡り同時期に舗装するため、前代未聞の規模の舗装工事が展開されている。(写真-2, 3, 4)



写真-2 連続鉄筋コンクリート版（CRC版）の状況



写真-3 砕石マスチックアスファルト（SMA）の状況



写真-4 表層（高機能舗装）の状況
（左側：付加車線区間、右側：暫定2車線区間）

表層としての高機能舗装には、NEXCO 設計要領に基づき、高粘度改質アスファルトや最大粒径13mmの砕石等を用いた目標空隙率20%のアスファルト混合物を使用した。また、土工・トンネル区間の中間層としての砕石マスチックアスファルト（SMA）には、最大粒径13mmの砕石などに改質Ⅱ型のアスファルトを用い、目標空隙率2～3%のアスファルト混合物を使

用した。橋梁用レベリング工用アスファルト混合物としては、先にも述べたように試験施工を行い、従来のSMAより粗骨材量を少なくし、アスファルト量を増加させることにより、施工性を改善するとともに、従来より水密性を高めたアスファルト混合物とした。この舗装については、全橋梁で実施した床版防水工と合わせ、橋梁の長寿命化に寄与するものと考えている。

これらのアスファルト混合物は、新東名高速道路の本線やインターチェンジ、若しくは本線付近に設置した仮設プラント計11基より供給した（写真-5）なお、一部のアスファルト混合物は定置プラントより供給した。



写真-5 仮設プラントの設置状況（富士市付近）

5. アスファルト舗装の情報化施工

平成20年7月に国土交通省により「情報化施工推進戦略」が策定され、建設の施工分野での生産性の向上、品質の向上、安全の確保、熟練労働者の不足への対応を目的として、近年、建設ICT（Information and Communications Technology, 情報通信技術）を用いた情報化施工が積極的に進められている。

当該区間の舗装工事においても、情報化施工を積極的に採用しており、アスファルト混合物の敷き均し、締固めの管理を一部の舗装工事で実施している。具体的には、敷きならしの際にレーザースキャナ等を用いて、舗装の高さ・厚み等を自動計測し、舗設機械のスクリーン高さに反映させることにより、舗装の平坦性の向上に活用している。また、締固めの際には、試験施工で定められた転圧回数・温度を順守することが所定の締固め度・空隙率を満足するための必要条件となるが、転圧機械にGPS機器又はトータルステーションのプリズムを設置することで、転圧機械の位置を把握し、転圧機械が転圧した回数を運転席の画面で確認で

きることにより、適切な転圧管理を実施している（写真－6、7）。さらに、転圧機械に路面温度を非接触で計測できる機器を設け、機械のオペレーターが転圧温度を確認できるようにし、より適切なアスファルト混合物の転圧を可能としている。



写真－6 アスファルト混合物の転圧状況
(GPSによる情報化施工実施中)

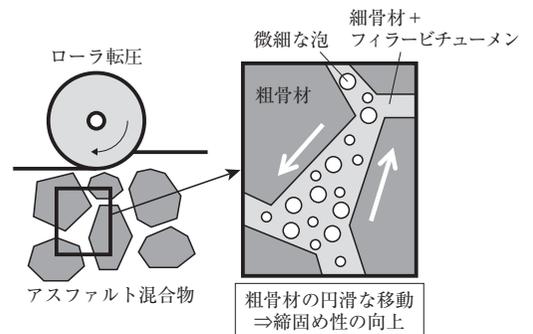


写真－7 運転席に設置された転圧状況の確認モニター

6. アスファルト舗装の環境対策

近年、地球温暖化を抑制するため、二酸化炭素の排出削減に対する社会的要請が強まっている。当社においても、環境方針を定め、二酸化炭素の排出削減に取り組んでいるところである。このような背景から、舗装工事に取り組んでいる事例を2つ紹介する。

最初は、中温化舗装の採用である。中温化舗装とは、特殊添加剤や水を用いて、アスファルト混合物に超微細な泡を発生させ、ベアリング効果によりアスファルト混合物の締め固め特性を向上させるものである（図－5）。これにより、アスファルト混合物の混合温度・締め固め温度を約10～30度低減し、製造時の加熱燃料の使用量を削減し、二酸化炭素の排出を抑えることができる。



図－5 中温化舗装の概念図

当該区間では、表－1に示す区間で中温化舗装を施工したが、各区間において、試験練り・試験施工の結果は品質基準を満足するものであり、特に添加剤で懸念される動的安定度の大きな低下も見られなかった（図－6）。

表－1 中温化舗装の施工箇所一覧

	対象	目的	使用添加剤
A工区	加熱アスファルト安定処理路盤工	混合温度を30度低減	中温化添加剤
B工区	加熱アスファルト安定処理路盤工 碎石マスチックアスファルト (SMA) 基層・表層	混合温度を30度低減	中温化添加剤 (プレミックス)
C工区	加熱アスファルト安定処理路盤工	混合温度を10度低減	中温化添加剤
D工区	加熱アスファルト安定処理路盤工 碎石マスチックアスファルト (SMA) 基層	混合温度を30度低減	中温化添加剤 (プレミックス)
E工区	加熱アスファルト安定処理路盤工 碎石マスチックアスファルト (SMA) 基層	混合温度を20度低減	水
F工区	加熱アスファルト安定処理路盤工	混合温度を30度低減	中温化添加剤

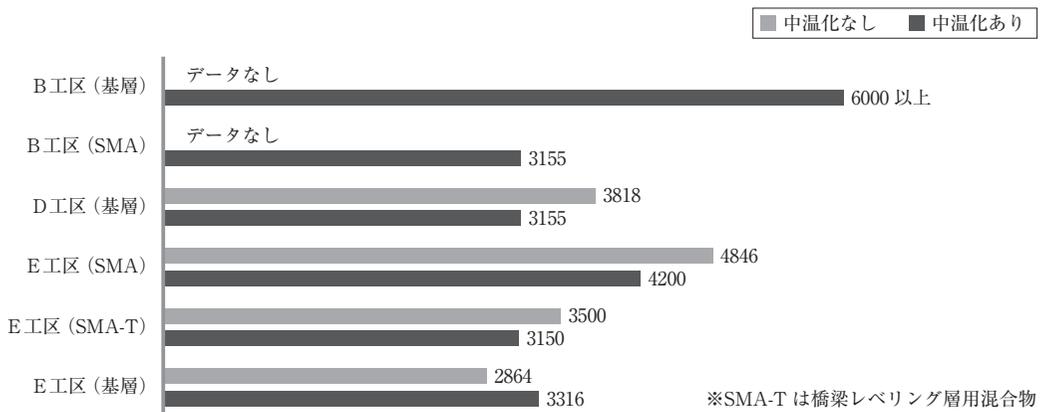


図-6 動的安定度 (DS) 試験結果 (単位: 回/mm, 目標値1,000以上)

次に、仮設プラントでの環境対応である。仮設プラントは、骨材加熱時、混合物製造時に消費される燃料から、二酸化炭素 (CO₂)、窒素酸化物 (NO_x)、硫黄酸化物 (SO_x) を排出し、関連する機器・重機により振動・騒音・粉塵を発生し、使用する電力により間接的に二酸化炭素を排出する。この中で、骨材を加熱する際に使用するバーナーがもっとも二酸化炭素を排出する設備であるといわれている。従来型バーナーを、高性能ターボファンを用いた高性能なバーナーに変更し、燃料の使用量を削減し (▲約6%)、二酸化炭素の排出量を削減した (写真-8)。また、使用する燃料を従来のA重油から灯油 (単位当たりの二酸化炭素発生量が少ない) や木質タールに変更し、二酸化炭素の排出量を削減した。

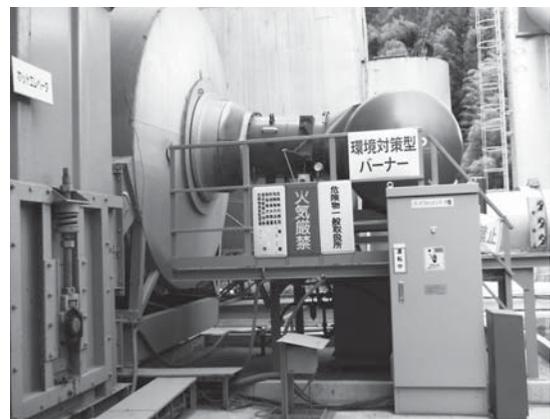


写真-8 仮設アスファルトプラントでの高性能バーナーの使用

7. おわりに

当該区間の舗装工事は、平成22年度より本格的に着手したが、平成23年3月11日の東日本大震災の影響を当然免れることはできなかった。製油工場の被災によるストアスの供給停止、東京電力管内での計画停電の影響、夏季の15%節電への対応が生じたが、関係者の努力により建設事業は着実に進んでいる。

今後とも、関係の皆様のご理解、ご協力を賜りつつ、一日でも早い供用を目指して鋭意事業進捗を図りたい。

— 参考文献 —

- 1) 東日本・中日本・西日本高速道路(株): “コンポジット舗装” 設計要領第一集 (平成21年7月)
- 2) 多田 宏行: 語り継ぐ舗装技術, 鹿島出版会, 2011, pp.195-196
- 3) (財)高速道路技術センター: 平成18年度 第二東名高速道路 舗装構成検討業務 報告書 (平成19年8月)

京極発電所上部調整池表面アスファルト遮水壁の設計と品質管理について

(Design and Quality control of Asphalt Facing on the Upper Reservoir at Kyogoku Project)

安部 鐘 一*

北海道電力(株)が現在、建設を進めている京極水力発電所は、北海道で初めての純揚水式発電所であり、平成26年10月の1号機運転開始を目指して鋭意工事中である。

上部調整池の遮水は内側全面に舗設する表面アスファルト遮水壁により確保する計画である。当該地点は、北海道でも有数の積雪寒冷地に位置することから、低温環境を考慮するとともに、限られた施工可能期間に遮水壁を確実に舗設するための設計および施工の合理化を図ることが必要であった。

本報では、アスファルト遮水壁の施工基盤層に採用した水工フォームドアスファルト混合物や厚層舗設工法を取り入れた遮水壁の設計および品質管理について報告するものである。

1. はじめに

京極発電所は、北海道虻田郡京極町の北部に位置する標高約900mの台地に上部調整池を、尻別川支流のペーベナイ川と美比内川の合流部に京極ダムを建設し、有効落差369m、最大使用水量190.5 m³/s、最大出力60万kWの発電を行う純揚水式発電所である。上部調整池は、1辺約440mの隅角部を持つ正方形形状であり、3辺を盛立部(最大堤体高さ22.6m)、1辺を切取部とするプールタイプであり、遮水は内側全面の約178万m²に舗設する表面アスファルト遮水壁により確保する計画である。上部調整池の諸元を表-1に、平面図を図-1、標準断面図を図-2に示す。

本報では、表面アスファルト遮水壁の設計、施工方法および舗設試験により検証した品質管理について報告するものである。

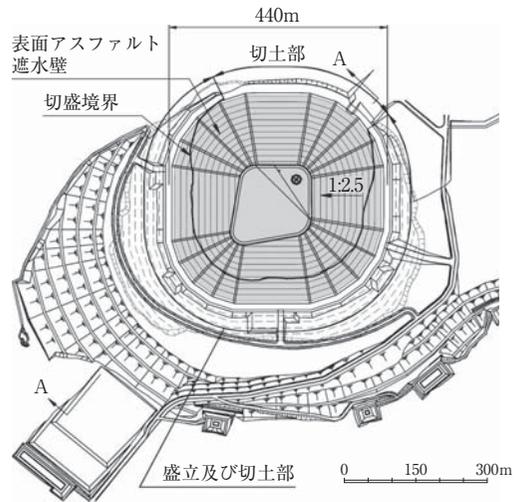


図-1 上部調整池平面図

表-1 上部調整池諸元

項目	諸元		
堤体形式	表面アスファルト遮水壁型フィル		
最大堤高, 堤頂長, 堤体積	22.6m	1,140.9m	1,539 × 10 ³ m ³
湛水面積, 総貯水容量, 有効貯水容量	0.16 km ²	4,400 × 10 ³ m ³	4,120 × 10 ³ m ³
常時満水位, 最低水位, 利用水深	EL. 890.0m	EL. 845.0m	45.0m

*あべ しょういち 北海道電力(株) 京極水力発電所建設所土木第一課長

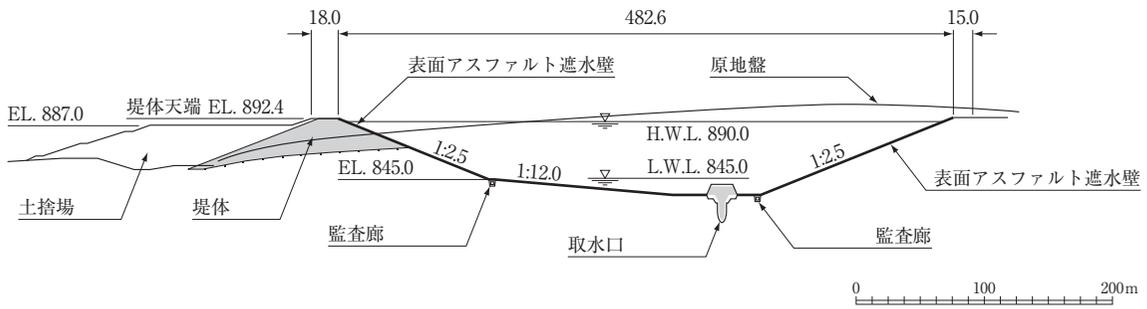


図-2 上部調整池標準断面図

2. 表面アスファルト遮水壁の設計および施工

2.1 遮水壁の層構成

上部調整池の積雪寒冷地という気象条件を考慮し、表面アスファルト遮水壁には、独自の層構成を適用した。この層構成は、これまで我が国で採用されていた層構成と比較し、より効率的で経済的な施工が可能であり、更に、工期短縮に寄与し、環境負荷を軽減するように設計した。遮水壁の構造を図-3に、遮水壁各層の役割を表-2に示す。

表面アスファルト遮水壁の施工基盤層としては、これまで我が国では、レベリング・マカダム層に粗粒度アスファルト混合物が採用されていたが、当社は、道路の上層路盤材として使用されているフォームドアスファルト混合物に着目し、これをベースにアスファルトの分散性を改良した混合物（水工フォームドアスファルト混合物（Foamed Asphalt Mixture）、以下、FAMという）を遮水壁の施工基盤層として採用した。FAMは粗粒度アスファルト混合物に比べて、施工時の気象条件による影響を受けにくく、常温舗設が可能であり、更に、アスファルトフィニッシャなどの特殊機械を必要としない材料であるため、大幅な工期短縮

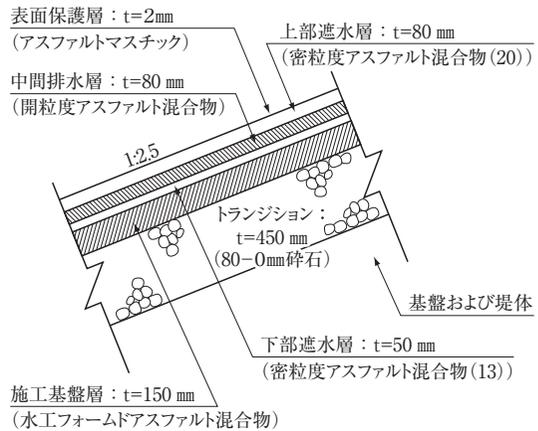


図-3 遮水壁の構造

とコストダウンに寄与することができた。

また、我が国において、これまでに実績のある遮水壁の上部遮水層は、50mm×2層構造が一般的となっていたが、本工事において我が国の遮水壁としては初めて、斜面および底面ともに80mm×1層の厚層舗設工法を採用することにより、高品質の遮水層を短期間で施工することが可能となった。

表-2 遮水壁各層の役割

層名	役割	要求性能
表面保護層	・ 空気、水、紫外線による損傷に対する保護 ・ 雪崩や氷の滑落による浸食作用に対する保護	遮水性、変形追従性、耐流動性、耐摩耗性、耐候性
上部遮水層	・ 貯留水を直接遮水	遮水性、変形追従性
中間排水層	・ 上部遮水層からの漏水を検知 ・ 漏水を監査廊へ導水し、調整池外へ排水	透水性
下部遮水層	・ 上部遮水層からの万一の漏水を遮水するとともに、漏水を監査廊へ導水し、調整池外へ排水 ・ 堤体、地山からの湧水などを遮水	遮水性、変形追従性
施工基盤層	・ 遮水層の施工時における舗設基盤 ・ 越冬時におけるトランジションの保護 ・ 下部遮水層の層厚を確保するための不陸調整 ・ 堤体材料と遮水壁材料の構造的連続性の確保	耐久性、変形性能、平たん性

2.2 FAMの概要

フォームドアスファルトの原理と混合物の製造プロセスを図-4に示す。アスファルトは高温状態（150℃程度）で水と空気を吹き込まれることによってフォームド（泡）化し、10～20倍程度に体積膨張して粘度が低下するため、湿潤状態の骨材と常温で混合することが可能となる。フォームドアスファルトは、加熱アスファルト混合物のように粗骨材を完全には被覆しないが、骨材の細粒分に付着して締固め後に粗骨材と一体化する。FAMは、表-3に示す特長を有しており、施工基盤層への採用による効果は大きい。

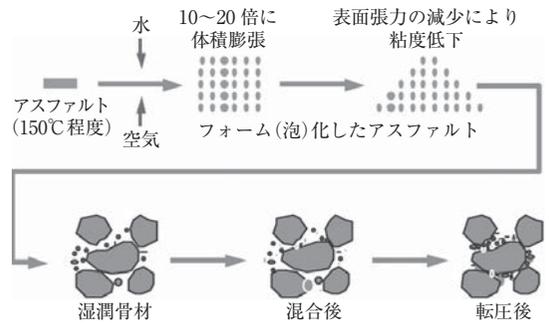


図-4 フォームドアスファルトの原理と混合物の製造プロセス

2.3 FAMの施工

FAMを用いた施工基盤層の施工手順および施工機械を図-5に示す。FAMは、常温混合物であるため加熱アスファルト混合物とは異なり、トランジションと同様、ブルドーザによる敷均しと振動ローラによる転圧により施工を行う。また、気象条件（外気温、降雨）の制約を受けにくいことから、従来のレベリング・マ

表-3 FAMの特長

特長	内容
施工性	一般的な加熱アスファルト混合物と比較し、施工条件の制約が格段に少なく、急速施工が可能（工期短縮）
環境影響	常温混合物であるため、環境への負荷（CO ₂ ）低減が可能
有効利用	現地発生材の有効利用が可能

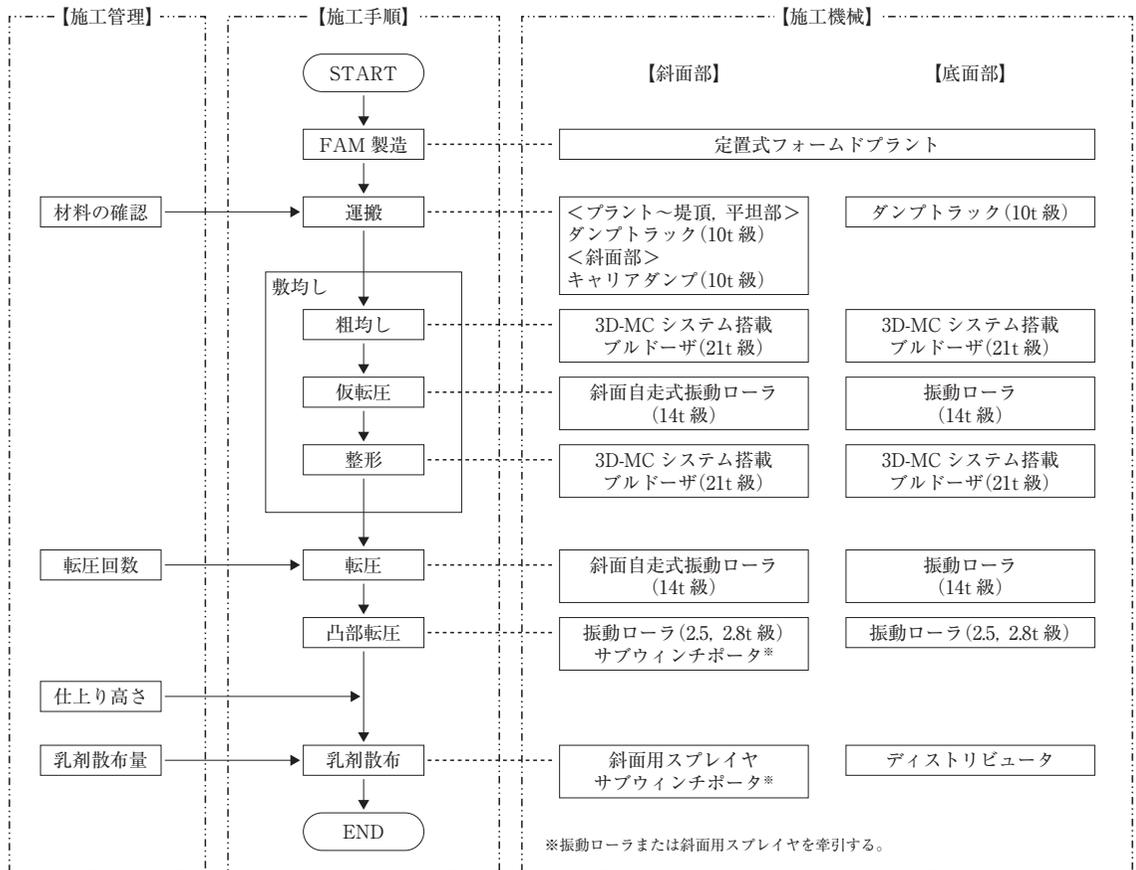


図-5 施工基盤層の施工手順及び施工機械

カダム層（粗粒度アスファルト混合物）と比較して施工期間の短縮が図られている。

2.4 遮水壁の設計

アスファルト混合物の力学性状は、温度と時間（ひずみ速度）に依存する。低温環境におけるアスファルト混合物は、弾性体に近い力学性状を示し、破壊は脆性破壊となる。したがって、冬季において、アスファルト混合物が、堤体の挙動に追従可能かどうかを確認することが重要である。また、特に北海道のような寒冷地では、道路舗装に温度応力による低温ひび割れが発生することから、遮水壁についても、温度応力による低温ひび割れに対する抵抗性を評価することが必要である。

2.4.1 設計温度

各層の温度は、気温の季節変化、調整池の水位変動および日照条件等により異なる。また、観測気温をそのまま全層の設計温度とすることは合理的ではない。したがって、冬期間の設計温度は、表面アスファルト遮水壁各層毎に、各層の熱伝導特性を把握するための室内試験および非定常熱伝導解析により決定した。また、水中の設計温度は全ての層とも0℃とし、夏季の設計温度は、上部調整池における観測最高気温35℃に直射日光による温度上昇を考慮し、全ての層とも60℃とした。表-4に決定した各層の設計温度を示す。

表-4 各層の設計温度

各層	解析最低温度(℃)	設計最低温度(露出部)(℃)	設計最低温度(水中部)(℃)	設計最高温度(℃)
表面保護層	-22.2	-25	0	60
上部遮水層	-18.3	-20	0	60
中間排水層	-13.8	-15	0	60
下部遮水層	-13.3	-15	0	60
施工基盤層	-11.9	-15	0	60

2.4.2 低温ひび割れ抵抗性評価

低温ひび割れ抵抗性を評価するにあたり、ひずみゲージとAE(Acoustic Emission)センサーを使用して、微細ひび割れを検知する低温ひび割れ抵抗性試験を適用し安全性照査を行った。

アスファルト混合物の温度低下に伴う破壊過程は、徐々に微細ひび割れが発生し、それらのひび割れが互いに繋がることで貫通ひび割れに至ると考えられる。

低温ひび割れ抵抗性試験は、線膨張係数の小さいリング状の合金製拘束体（インパルリング）とその

外周の密粒度アスファルト混合物を一体化させた供試体を低温水槽内で温度低下させ、拘束体とアスファルト混合物の線膨張係数の違いからひび割れを誘発させ、微細ひび割れおよび貫通ひび割れ発生温度を計測するものである。

ひび割れ発生温度の同定は、ひずみゲージにより測定されるひずみの変化曲線とAEセンサーにより測定されるAE発生数から決定した。低温ひび割れ試験供試体を図-6に、温度と単位時間（測定時間6分間）内に発生したAE発生数の関係を図-7に、温度と発生したひずみの関係を図-8に示す。

温度の低下に伴うAE発生数は、-20℃付近まではノイズの影響と考えられる微小な変動は見られるもののほぼ横ばい状態であるが、-24℃近辺から急激に増加し（図中拡大図参照）、約-36℃で急激に減少していることがわかる。また、図-8より、拘束体に発生す

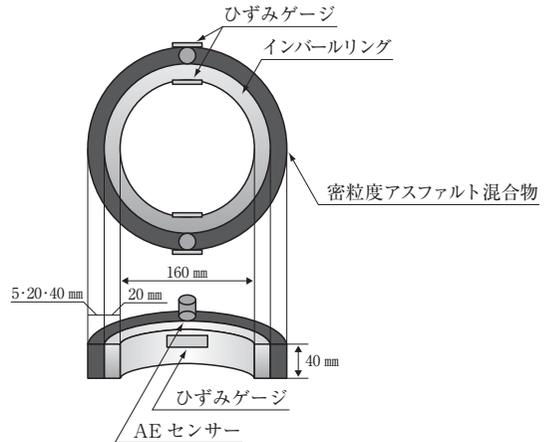
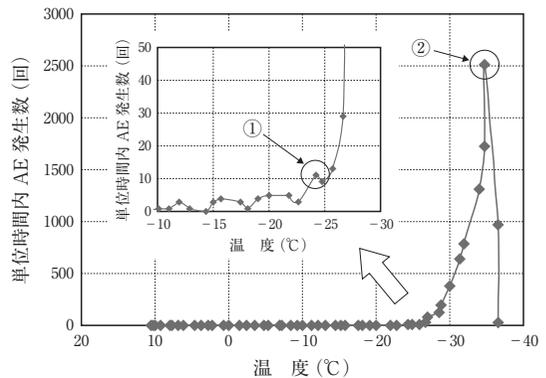


図-6 低温ひび割れ試験供試体



温度低下速度は10℃/hとした。

- ① AE発生数がこの温度で増加（微細ひび割れ発生温度と定義）
- ② 供試体はこの温度で低温ひび割れにより破壊される。

図-7 温度とAE発生数の関係

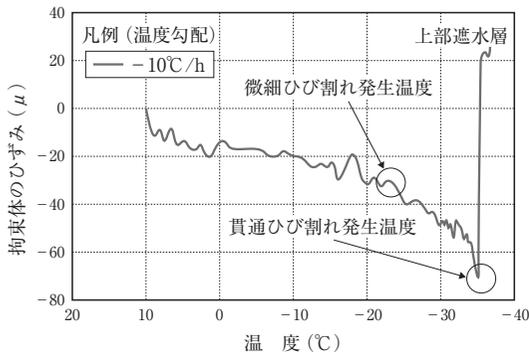


図-8 温度とひずみの関係

るひずみも、AE発生数と同様の傾向を示し約-36°Cで破壊に至っている。

低温ひび割れ抵抗性試験において、AE発生数が増加し始める温度を「微細ひび割れ発生温度」、AE発生数が激減する温度を「貫通ひび割れ発生温度」と定義するが、試験結果は、各々-24°Cおよび-36°C付近であった。したがって、微細ひび割れ発生温度(-24°C)と上部遮水層の冬季の設計温度(-20°C)との差が約4°Cであることから、微細ひび割れは発生せず、安全性は確保されることを確認した。

2.4.3 地震時安全性評価

地震時における堤体と表面アスファルト遮水壁の挙動と安全性を確認するため、2次元FEM等価線形解析を実施した。モデルは、調整池、堤体、基礎地盤、土捨場および遮水壁が一体となったモデルとし、地震応答解析を実施した。

上部遮水層における解析から得られた最大引張ひずみと、室内試験から得られた引張降伏ひずみを比較することにより安全性を評価した。上部遮水層に発生する最大引張ひずみは、地震波が箕面川波、水位が最低水位の時に、切盛り境界の上部で発生した。当

該部位は、水位より上部で発生しているため、設計温度-20°Cの引張降伏ひずみと比較し、所要の安全率(1.1)が確保されていることを確認した。解析条件を表-5に、解析モデルを図-9に、解析結果を図-10に示す。

表-5 動的解析条件

項目	内容
モデル	2次元FEMモデル
入力地震波	箕面川波(1995.1.17)、開北橋波(1978.6.12)
最大水平加速度	220gal(近傍断層におけるマグニチュード6.5の地震を想定し距離減衰させた値)

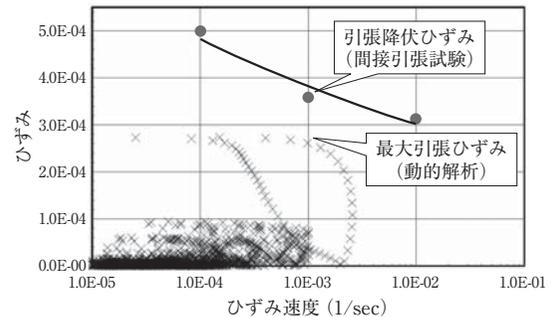


図-10 安全性評価結果(上部遮水層)

2.4.4 舗設試験および施工

表面アスファルト遮水壁は、品質の確認として施工後にコアを採取して品質確認試験を実施することは遮水性を損なう恐れがある。したがって、本遮水壁は、材料、施工機械および施工方法等全てを規定することにより品質を確保することとし、本舗設前に、遮水壁の品質を検証するため舗設試験を実施した。試験は、実際に使用するアスファルトプラントおよび施工機械を用いて、平成20年9月~10月および平成21年6月~9月に上部調整池にて実施した。

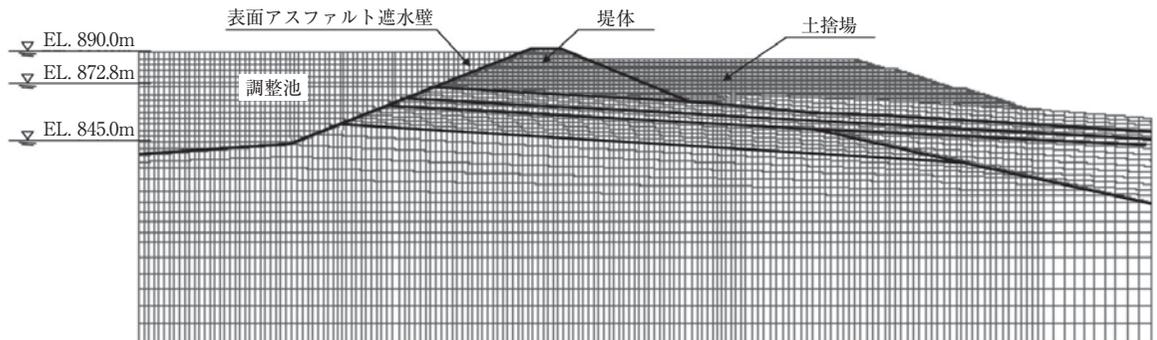


図-9 解析モデル

上部遮水層，中間排水層，下部遮水層の斜面部における施工フローを図-11に示す。

敷均しには，締固め能力の高いダブルタンバ仕様機を使用した。通常のアスファルトフィニッシャに搭載されるタンバは1基であるが，ダブルタンバ仕様のアスファルトフィニッシャは，前後に2基並べたタンバで締固めを行うため，締固め能力が高く，ローラ作業による不陸の発生を最小限に抑えることが可能となり，均一かつ高密度・高精度な舗設が可能となる。転圧には，2.8t級の振動ローラを使用した。斜面部で遮水壁を施工する場合は，アスファルトフィニッシャや振動ローラは自走が不可能であるため，ウィンチポータを使用して牽引する方法とした(写真-1参照)。

また，アスファルトフィニッシャの敷均し幅は，4～5m/レーンであり，レーン間には施工ジョイントが発生する。ジョイント部に対しても一般部と同等の品質を確保するため，敷均し時に既設レーン端部をアスファルトフィニッシャ装着のジョイントヒータにより加熱し，敷均し直後の既設レーン端部が温度低下しないうちに，同じくフィニッシャ装着のジョイントコンパクタにて締め固める方法とした。

トが発生する。ジョイント部に対しても一般部と同等の品質を確保するため，敷均し時に既設レーン端部をアスファルトフィニッシャ装着のジョイントヒータにより加熱し，敷均し直後の既設レーン端部が温度低下しないうちに，同じくフィニッシャ装着のジョイントコンパクタにて締め固める方法とした。

(1) 転圧回数および転圧温度

転圧回数および転圧温度は，表-6に示す試験ケースを実施し，当該箇所から採取した供試体を用いた試験結果を比較することにより最適な回数および温度を決定した。

なお，中間排水層および下部遮水層の二次転圧終了温度は，中間排水層は空隙が大きいため，下部遮水層は層厚が薄いことから，温度低下が顕著であることが予想されたため，試験ケースに70℃以上を加えた。

表-6 転圧回数および転圧温度

層区分	一次転圧回数	二次転圧回数	二次転圧終了温度
上部遮水層	無振2パス	上り有振 0, 1, 2, 4パス	80℃以上
中間排水層	無振2パス	上り有振 0, 1, 2, 4パス	70℃以上 80℃以上
下部遮水層	無振2パス	上り有振 0, 1, 2, 4パス	70℃以上 80℃以上

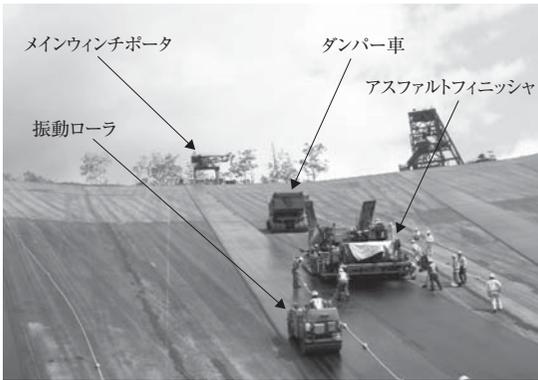


写真-1 舗設状況

a) 遮水性

上部・下部遮水層の遮水性は，空隙率により評価した。試験結果を図-12, 13に示す。

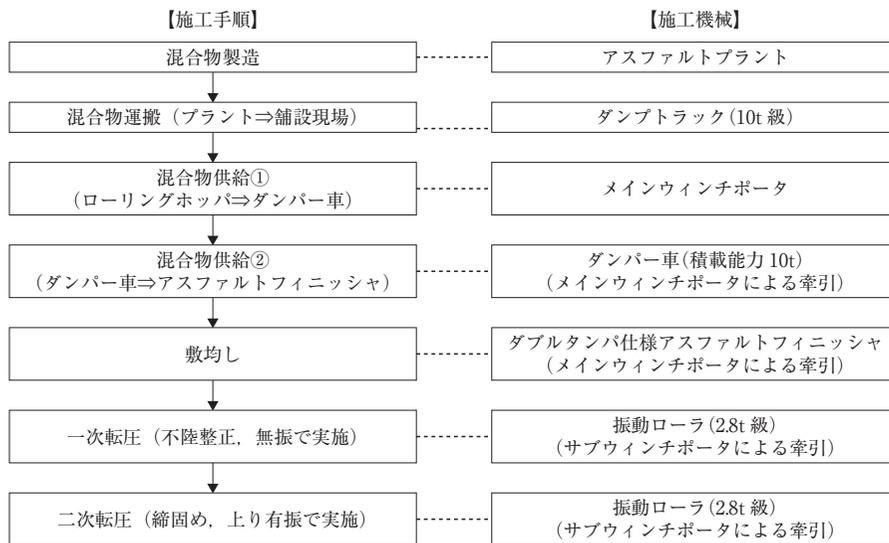


図-11 遮水層施工フロー(斜面部)

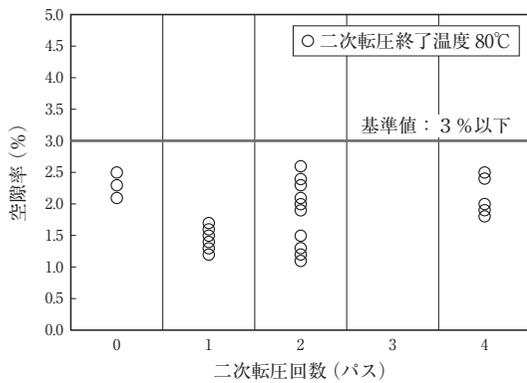


図-12 上部遮水層の空隙率

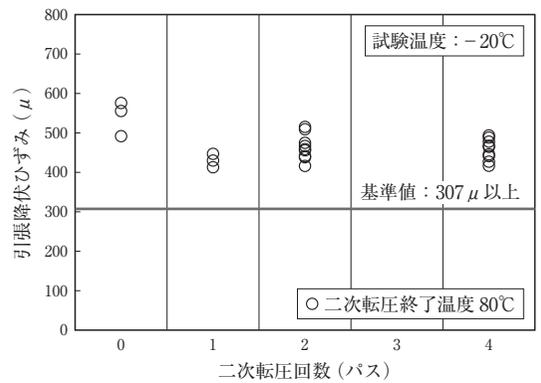


図-14 上部遮水層の間接引張試験結果

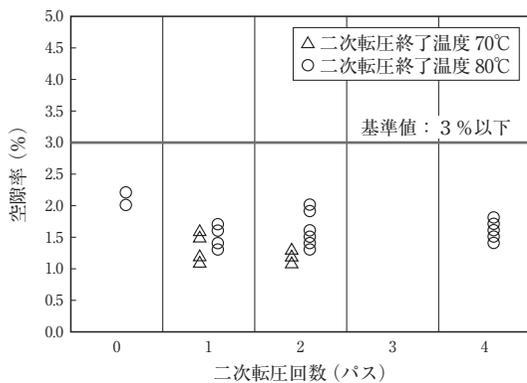


図-13 下部遮水層の空隙率

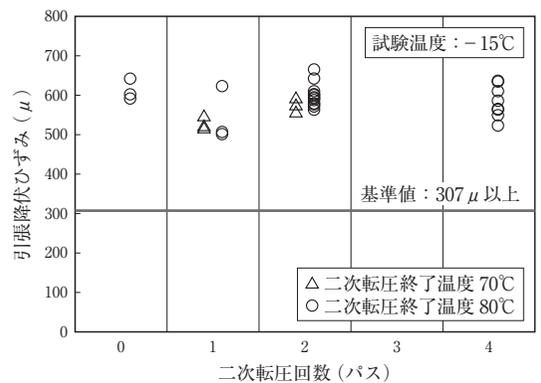


図-15 下部遮水層の間接引張試験結果

試験の結果、全て空隙率3%（京極発電所で設定した基準値。なお、工学的不透水は4%以下¹⁾）を下回ることを確認した。

また、加圧式透水試験（0.5MPa、72時間）も行い、全て不透水であることを確認した。

b) 変形追従性

上部・下部遮水層の変形追従性は、動的解析（2次元FEM解析）により得られた最大引張ひずみと引張降伏ひずみを比較することにより評価した。試験結果を図-14、15に示す。

引張降伏ひずみは全て307μ（京極発電所で設定した基準値。動的解析で求めた最大引張ひずみ279μ×1.1（安全率）を上回っており、地震時の安全性が確保されていることを確認した。

c) 透水性

中間排水層の透水性は、定水位透水試験により評価した。試験結果を図-16に示す。

全て $1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ （京極発電所で設定した基準値。）以上が確保されていることを確認した。

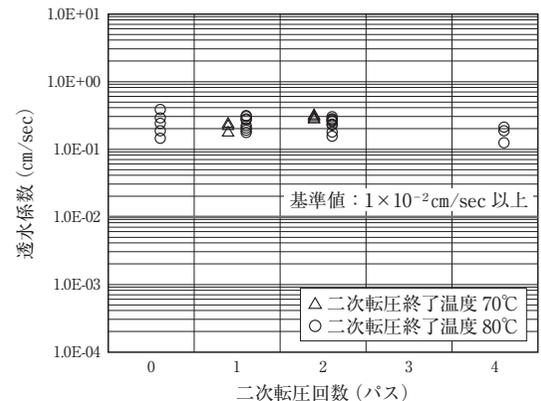


図-16 定水位透水試験結果

d) 決定した転圧回数および転圧温度

敷均しにおいて締固め能力の高いダブルタンバ仕様のアスファルトフィニッシャを使用したことにより、二次転圧回数については、試験結果に大きな差異は認められず、いずれの回数であっても要求性能を満足する結果となった。工期短縮の観点からは、

二次転圧回数0パスが最良であるが、振動ローラの有振転圧により、ニーディングによる骨材の噛み合せおよび表面性状の向上等を期待し、有振1パスを選定した。

また、二次転圧終了温度についても、いずれも要求性能を満足する結果であったことから、中間排水層および下部遮水層については、70℃以上を選定した。決定した施工方法を表-7に示す。

なお、ジョイント部については、一般部より転圧回数を増やし、より確実な品質の確保を図ることとした。

表-7 決定した施工方法

層区分	一次転圧回数	二次転圧回数	二次転圧終了温度
上部遮水層	無振2パス ^{※1}	上り有振1パス ^{※2}	80℃以上
中間排水層	無振2パス ^{※1}	上り有振1パス ^{※2}	70℃以上
下部遮水層	無振2パス ^{※1}	上り有振1パス ^{※2}	70℃以上

※1 ジョイント部は上り有振、下り無振各1パス

※2 ジョイント部は上り有振2パス

(2) 現場配合

遮水壁各層の現場配合は、室内試験から定めた示方配合を基本に舗設試験結果を反映し、表-8に示すとおりに決定した。

(3) 層厚

遮水壁各層の層厚確認は、トータルステーションにより定点で各層の標高を測定し、下層との標高差から層厚を算出する方法で行った。層厚測定位置を図-17に示す。下部遮水層上に中間排水層を舗設する際には、中間排水層が下部遮水層へくい込み、中間排水層上に上部遮水層を舗設する際には、上部遮水層が中間排水層へくい込むこととなる。しかし、くい込み深さを直接測定することはできないことから、くい込み分(供

試体による実測値から5mmと設定)は中間排水層の層厚に含めることとし、くい込み深さを考慮した層厚を基準層厚として定義した。基準層厚を表-9に示す。

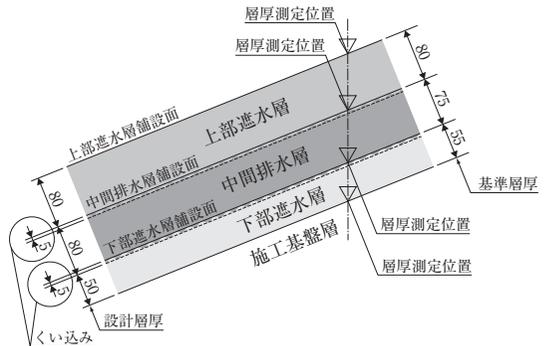


図-17 層厚測定位置

表-9 各層の基準層厚

層区分	設計層厚 (mm)	基準層厚 (mm)	備考
上部遮水層	80	80	
中間排水層	80	75	基準層厚 = 設計層厚80mm - 下部遮水層へのくい込み深さ5mm
下部遮水層	50	55	基準層厚 = 設計層厚50mm + 中間排水層のくい込み深さ5mm

舗設試験における遮水壁各層の層厚測定結果を表-10および図-18~20に示す。

表-10 各層の層厚測定結果

層区分	基準層厚 (mm)	層厚測定結果			
		平均値 μ (mm)	最小値 (mm)	最大値 (mm)	標準偏差 σ (mm)
上部遮水層	80	82.7	62.0	111.4	9.0
中間排水層	75	83.2	61.3	123.5	10.4
下部遮水層	55	66.8	33.4	143.9	13.9

表-8 遮水壁各層の現場配合

層区分	混合物	骨材最大粒径(mm)	アスファルト ^{※1}	骨材	フィラー		繊維 ^{※2}	分散性改良剤
					石粉	消石灰		
表面保護層	アスファルトマスタック	-	40.0 ^{※3}	-	59.0	-	1.0	-
上部遮水層	密粒度アスファルト混合物	20	7.4 ^{※4}	91.45	-	1.0	0.15	-
中間排水層	開粒度アスファルト混合物	20	4.0	94.9	-	1.0	0.1	-
下部遮水層	密粒度アスファルト混合物	13	8.0 ^{※4}	90.85	-	1.0	0.15	-
施工基盤層	FAM	40	4.5	94.5	-	-	-	1.0

※1 アスファルトは、ストレートアスファルト80/100を使用

※2 舗装用セルローズ繊維

※3 アスファルト+軟化点調整剤

※4 施工条件、施工箇所により0.2%を上限值として上乗せすることができる

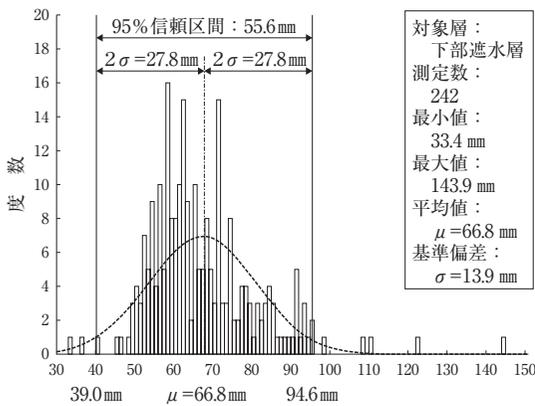


図-18 下部遮水層の層厚測定結果

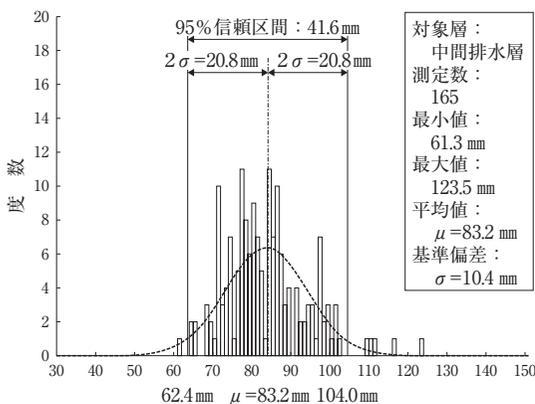


図-19 中間排水層の層厚測定結果

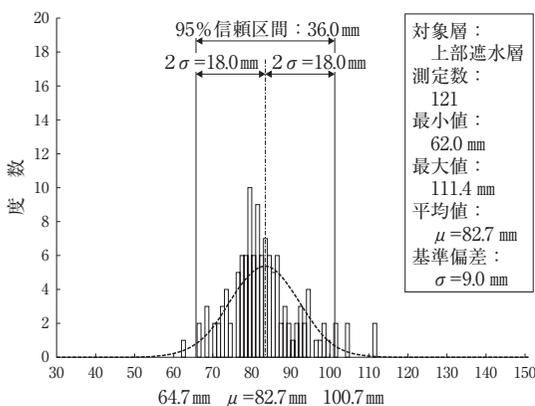


図-20 上部遮水層の層厚測定結果

上記結果より、各層の層厚は上層になるに従いばらつきが小さくなるが、標準偏差で $\sigma = 10$ mm 程度のばらつきを有していることを確認した。

遮水壁の層厚管理としては、骨材最大粒径の3倍程

度を目安に、下部遮水層は40mm、中間排水層はくい込みを考慮し55mm、上部遮水層は60mmを下限層厚として設定し、各層の層厚測定結果の95%信頼区間の最小値 ($\mu - 2\sigma$) が下限層厚以上とするとともに、測定線毎の平均層厚が基準層厚以上とすることとした。

5. おわりに

京極発電所上部調整池は、気象条件により施工可能期間が一年のうち5ヶ月程度に限定されるため、より合理的な設計が必要である。本報は、工期短縮およびコストダウンを図るため、上部調整池の遮水に採用した表面アスファルト遮水壁の設計や品質管理について取りまとめたものである。

水工フォームドアスファルト混合物を用いた施工基盤層の施工は平成17年9月より開始し、平成23年10月現在までに全舗設面積の約95%を終えている。また、下部・上部遮水層および中間排水層の施工は平成22年6月より開始し、既に約75%の施工を終えている。

平成26年10月の1号機の営業運転開始に向け、今後も引き続き、これまでと同様に品質管理および工程管理に万全を期す所存である。



写真-2 上部調整池 (平成22年10月撮影)

参考文献

- 1) 水工アスファルト (昭和51年11月, 監修: 菅原 照雄他, 鹿島出版会, P46~47)
- 2) 安部 鐘一, 世戸 洋行, 渡辺 浩明: 京極発電所上部調整池アスファルト表面遮水壁の舗設試験と施工, 電力土木, No.353, 2011.5, P16
- 3) S.Abe, H.Seto, H.Watanabe, Design and Construction of Asphalt Facing in Cold Heavy Snow Region, International Commission on Large Dams, 1 June 2011, Lucerne, Switzerland

海外の中温化およびリサイクル技術に関する研究紹介

～ISAP2010名古屋会議より～

平川 一成	岩塚 浩二	西山 大三	小柴 朋広
村井 宏美	清水 泰成	森石 一志	船井 俊孝
大場 拓也	杉迫 泰成	壁下 俊介	長尾 敏之
加納 孝志	長山 清一郎		

今回のアスファルト舗装技術研究グループ報告は、平成22年8月に開催されたISAP2010名古屋会議の論文の中から、“中温化技術”と“リサイクル技術”に関する報告の紹介です。

中温化技術は、循環型社会形成推進基本法の個別法の一つである「国等による環境物品等の推進等に関する法律（グリーン購入法）」の特定調達品目にも指定され、さまざまな箇所で試験施工等が行われるなど、わが国で注目されている技術の一つです。海外においても、中温化技術に関する国際会議が開催されるなど同様に注目されています。海外の技術動向を知り、日本の実情にあったかたちで発展させてゆくことが期待されます。

舗装分野でのわが国のリサイクル技術は、世界的に見ても高い水準にあると言われていています。この高い技術水準を維持するためにも、海外からの情報も取り入れつつ深化させてゆく必要があります。海外における再生利用技術の取り組みについては、前回報告においてISAPシンポジウム2008の報文を中心に紹介しましたが、その続編として2010会議から報文をいくつかとりあげて報告します。

研究グループでは、それぞれの視点と問題意識のもと、海外資料の輪読を中心にアスファルト舗装技術に関する討議を重ねており、その中から成果をとりまとめ、今後も報告を続けてゆく予定にしております。

(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

市岡 孝夫	前田道路(株)工務部	常松 直志	日本道路(株)技術研究所
岩塚 浩二	(株)パスコ インフラマネジメント事業部	長尾 敏之	日本道路(株)技術研究所
大場 拓也	東亜道路工業(株)技術研究所	長山清一郎	大成ロテック(株)技術研究所
加納 孝志	大成ロテック(株)技術研究所	西山 大三	(株)NIPPO 技術研究所
壁下 俊介	ニチレキ(株)技術研究所	芳賀 潤一	鹿島道路(株)技術研究所
鎌田 修	鹿島道路(株)技術研究所	平川 一成	大成ロテック(株)技術研究所
菅 航太郎	鹿島道路(株)技術研究所	藤田 浩成	世紀東急工業(株)技術研究所
神下 竜三	鹿島道路(株)技術研究所	船井 俊孝	大林道路(株)技術研究所
小柴 朋広	世紀東急工業(株)技術研究所	村井 宏美	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	森石 一志	大林道路(株)技術研究所
庄嶋 芳卓	西日本地研(株)営業設計課	横山 拓史	ニチレキ(株)道路エンジニアリング部
杉迫 泰成	東亜道路工業(株)技術研究所		

計24名

はじめに

2010年8月、名古屋で行われたISAP2010名古屋会議は、発足以降、半世紀近い歴史の中で初めての日本開催となった。同会議は『環境と安全』をメインテーマに7つの論文テーマについて開催され、40ヶ国以上から600人以上が参加し、活発な研究発表や議論が行われた。

本報告ではISAP2010名古屋会議で発表された論文193編の中で、「中温化 (Warm Mix Asphalt : WMA) 技術」, 「リサイクル技術」に関する海外論文26編のうち、他誌などで紹介されているものを除く9編について取り上げ、諸外国における取り組みを紹介する。

1. 紹介する論文

1.1 WMA 技術に関する論文

本報告で抄訳した論文を表-1に示す。これら論文の中で検討されている中温化剤や確認されている製造時の低減温度を表-2に示す。

表-1 WMA 技術に関する論文

発表国	論文タイトル
ベルギー	Asphalt Production at Reduced temperatures and the Impact on Asphalt Performance
	アスファルト混合物の製造温度の低温化が性能に与える影響
アメリカ	Laboratory Performance Assessment of Sulfur-Modified Warm Mixes
	硫黄改質アスファルト混合物の室内性能評価
チェコ	Stiffness and Low-temperature Behaviour of Selected Warm Asphalt Mixes
	WMAの低温性状とスティフネス
アメリカ	Laboratory Investigation of Rheological and Moisture Susceptibility of WMA Mixture
	WMAの湿気感受性とレオロジーの室内研究
オランダ	Successful Dutch Experiences with Low Energy Asphalt Concrete
	オランダにおける低エネルギー型舗装の成功事例

表-2から添加剤については、WAXやパラフィンをはじめ、多岐にわたり研究が行われている。添加量はバインダー比や混合物比で表され、概ね3.0%以下が多いようである。製造時の温度低減は10~30℃と報告されている。また室内研究結果が多かったことも特徴のひとつであり、各国がWMA技術に着目していることが伺える。

1.2 リサイクル技術に関する論文

本報告で取り扱う論文を表-3に示す。リサイクル技術に関しては、連邦道路管理局 (Federal Highway Administration : FHWA) でのアスファルト舗装発生材 (Reclaimed Asphalt Pavement : RAP) の再利用に関する報告や100%再生アスファルト混合物に関する試験的取り組み、評価方法に関する調査結果などが報告されている。

各国においてもわが国と同様に、良質な骨材の減少に伴い、RAPの再利用や他産業リサイクル材の有効活用が着目されていることが伺える。

表-3 リサイクル技術に関する論文

発表国	論文タイトル
アメリカ	Increasing the Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in United States Highway pavements: A National Effort
	アメリカ合衆国における道路舗装への再生アスファルトの利用促進に関する国家的取組み
アメリカ	Use of 100% Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Material in Asphalt Pavement Construction
	100%再生アスファルト材料を用いたアスファルト舗装の施工
フランス	Results of Interlaboratory Tests on a Laboratory Bituminous Mixtures Aging Protocol
	瀝青混合物の促進劣化方法に関する研究室間の共通試験結果
イラン	Using Hot In-place Recycling of Rehabilitation of Asphalt Pavements Made with Coral Aggregates
	サンゴ骨材を用いたアスファルト舗装への路上表層再生工法の適用

表-2 検討された添加剤と製造時の温度低減

発表国	添加剤 (中温化剤)	添加量	製造時の温度低減	検証内容
ベルギー	WAX	バインダー比で3.0%	15℃	室内 屋外
	ゼオライト	混合物比で0.3%	30℃	
チェコ	アミドワックス (Licomont BS 100)	混合物比で3.0%	10℃	室内
	FTパラフィン (サゾビット)	混合物比で3.0%	20℃	室内
アメリカ	アスファミン	混合物比で0.3%	25℃	室内
	サゾビット	バインダー比で1.5%	25℃	室内
	エボサーム	バインダー比で0.5%	25℃	室内
	硫黄改質材 + 転圧改善剤	硫黄改善剤 : バインダーの30~40%置換 転圧改善剤 : バインダーの1.52%	-	室内

2. WMA技術に関する論文紹介

2.1 アスファルト混合物の製造温度の低温化が性能に与える影響

原題：Asphalt Production at Reduced Temperatures and the Impact on Asphalt Performance

著者：J.DE Visscherほか（ベルギー） 所属：ベルギー道路調査センター

2.1.1 論文概要

近年、ベルギー国内においても環境に配慮した舗装技術が注目されている。アスファルト混合物の製造では、製造温度の低下がCO₂削減等の環境面において最も有効な対策である。そこで本研究では、製造温度を低下させた加熱アスファルト混合物の性能と供用性について検討することを目的として、室内検討および屋外試験施工を行った。本文はその結果を取りまとめたものである。

2.1.2 研究内容

本研究では、実際にベルギーで一般的な表層材として使用されている密粒度アスファルト混合物を標準混合物とし、WAXやゼオライトを添加したWMAとの比較を室内試験や屋外試験施工により行った。本研究で使用した中温化剤は下記の通りである。

(1) WAX

WAXは融点が80–120℃のもので、WAXを添加することにより製造・施工温度領域のアスファルトの粘性を下げる事が可能となる。

(2) ゼオライト

ゼオライトは結晶構造の中に多量の水を含む珪酸アルミニウムである。100℃以上のバインダーにゼオライトを添加すると水蒸気を発生し、水蒸気のベアリング効果により混合性と締固め性を改善する。

2.1.3 研究結果

(1) 締固め特性

締固め特性の評価は、ジャイレトリコンパクタ試験により行った。200回旋回後の締固め温度と空隙率の関係を図-1に示す。比較用の加熱アスファルト混合物(Hot Mix Asphalt: HMA)のアスファルトにはB50/70とB160/200を使用し、WMAはB70/100のアスファルトに3%添加した。図-1より、締固め温度が低くなるにしたがって空隙率が大きくなる傾向が見られたが、締固め温度が135℃のWMAは、締固め温度150℃の比較混合物と空隙率が同程度であった。このことから当該WAXは、15℃程度の温度低減が可能であると考えられる。

ゼオライトを添加したときの締固め温度と空隙率の

関係を図-2に示す。ゼオライトを0.3%添加することによって約15℃、0.6%添加することによって約30℃の締固め温度の低下が可能であることが確認できた。

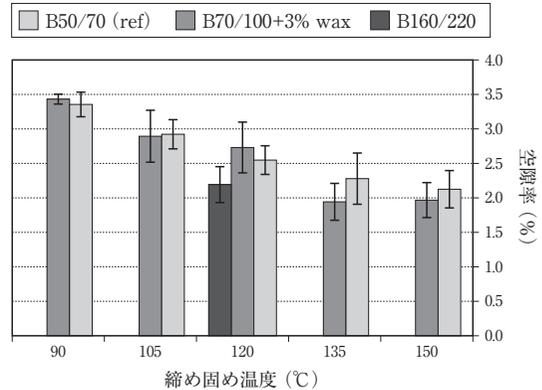


図-1 締固め温度と空隙率の関係 (WAX)

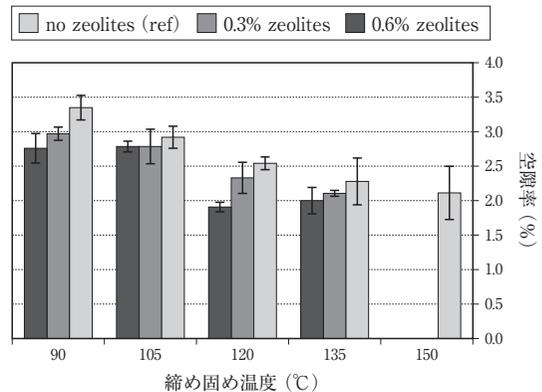


図-2 締固め温度と空隙率の関係 (ゼオライト)

(2) 耐流動性

使用アスファルトの種類とWAXの添加量、締固め温度を変化させホイールトラッキング試験を行い、耐流動性を評価した。サイクル数とわだち掘れ量の関係を図-3に示す。図-3より、B50/70のアスファルトを用いた混合物は、締固め温度が低いほどわだち掘れが大きい傾向にあった。また、B50/70のアスファルトを150℃で締固めたものと、B70/100にWAXを3%添加し135℃で締固めたもののわだち掘れ量

は、同程度となったが、B160/220とB100/150にWAXを5%添加し120℃で締め固めた供試体はわだち掘れ量が大きくなった。このことから、使用するベースアスファルトの種類とWAXの添加量が耐流動性に大きく影響することがわかった。

(3) 屋外試験施工

実際の公道で試験施工を行った。施工面積は1800㎡(L=300m, W=6.0m)でプラントから35km離れている実道で行った。午前7時からゼオライト添加混合物の施工を開始し、午後にWAX添加混合物を施工した。室内実験と比較し、本実路試験で大きく変わった点は気温である。午前7時の気温は7℃であったが、正午までに20℃となり、直射日光が基層を温めたことで開放時間が遅れた。

試験施工では、AF通過後の敷き均し温度を測定し、施工後にコア採取し密度測定、また同様の混合物でホイールトラッキング試験を行い性状の確認を行った。当該試験施工での各項目の測定結果を表-4に示す。表より、比較用のHMAとWAX添加混合物は目標の締め固め温度に近かったが、ゼオライト添加混合物は目標温度より低かった。また密度は、ゼオライト添加混合物とWAX添加混合物を比較すると室内試験結果では同程度であったが、若干ゼオライト添加混合物が小さかった。これは、施工時の気象条件(ゼオライト添加混合物の施工時の温度が低かったこと)によるものと考えられる。動的安定度は、WAX、ゼオライト添加混合物とも10%以上であり、室内試験結果(表中の括弧内)と比較しても大きくなった。

今後は追跡調査を6ヶ月ごとに行い長期供用性について検討していく予定である。現在、施工後6ヶ月の追跡調査を行ったが、わだち掘れやひび割れ、その他の損傷は見られていない。

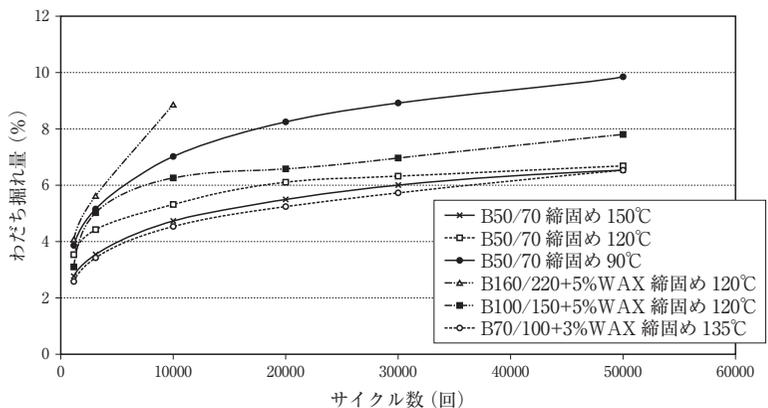


図-3 ホイールトラッキング試験結果

表-4 試験施工結果

項目		比較混合物	中温化混合物	
			WAX	ゼオライト
敷均し温度(℃)	Max-Min	142-157	117-127	99-120
	AVG	148	120	113
密度	(g/cm ³)	2.30±0.02	2.36±0.02	2.28±0.02
転圧回数	(回)	12~14	18~20	14~16
転圧時間	(min)	25±5	45±5	25±5
動的安定度 P _{LD} [*] (30,000回, 50℃)	(%)	6.7 (6.0)	10.5 (5.7)	11.7 (5.7)

※()内の数字は、室内試験結果

2.1.4 結論

本研究は、製造温度を低温化したアスファルト混合物の性能と供用性についての検討を行った。本研究から得られた知見を以下に列挙する。

ジャイレトリコンパクタ試験を用いることにより、WAXやゼオライトを添加した混合物の評価を室内で適切に行うことができた。

WAXやゼオライトを添加することで15~30℃の製造時の温度低減の可能性を見いだすことができた。

2.1.5 翻訳者コメント

本論文の研究技術であるWAXとゼオライトは、弾性調整系や発泡系として日本国内においても検討が行われており、WMA技術として使用している。海外におけるこのような事例では、供用性等の追跡調査データは十分とはいえず、今後のデータの蓄積や分析から得られる知見は興味深いものである。

2.2 硫黄改質アスファルト混合物の室内性能評価

原題：Laboratory Performance Assessment of Sulfur-Modified Warm Mixes

著者：N.Tranほか（アメリカ） 所属：国立アスファルト技術センター（NCAT）

2.2.1 論文概要

加熱アスファルト混合物への硫黄の使用は、1970～1980年代に試みられた。当時は加熱液体硫黄を用いて、バインダー増量剤（バインダーの一部を代替）や混合性改善剤として使用されていた。

バインダーの一部を硫黄に置き換えることで、混合物の性状が変わり、耐流動性が向上する効果が見られた。ところが、混合物製造時に加熱液体硫黄からヒュームと臭気が発生するという事実に加え、硫黄の価格の急激な上昇によって、1980年代後半には道路舗装で使用されることはなくなった。

近年、液体硫黄の加熱により発生するヒュームの問題を克服した、“シェルThiopave”として知られている固体硫黄ペレット技術が開発された。この技術は硫黄で改質した混合物を通常より低い混合温度で製造するもので、製造や施工においてヒュームや臭気の原因を減少させることができる。本報告書では、実験室において製造された通常の加熱アスファルト混合物（HMA）と2種類の硫黄改質アスファルト混合物（硫黄改質WMA）について性能評価（水分感受性、混合物の強度、わだち掘れ、および疲労ひび割れ）を行った結果を示す。

2.2.2 研究内容

実験室において製造されたHMAと2種類の硫黄改質WMA（Rich Bottom, Binder Layer）の合計3種類のアスファルト混合物について評価した。3種類の混合物には同一のアスファルトバインダーを使用しているが、表-5に示すとおりベースバインダーに含まれる硫黄の配合比と、設計空隙率が異なる。また、硫黄改質WMAに使用するバインダーには、転圧改善剤をアスファルトバインダー比に対して1.52%添加している。この転圧改善剤の効果で製造時の混合物の温度を下げても所定の締固め度を得ることが可能となっている。

2.2.3 研究結果

(1) 水分感受性

それぞれの混合物において、供試体厚さ95mm、空気空隙率が $7 \pm 0.5\%$ となるように供試体を2つ作製し、水浸の有無による間接引張強度および引張強度比（TSR）を算出した。

表-6に水分感受性試験の結果を示す。硫黄改質

表-5 配合特性

混合物種類	総バインダー重量に対する硫黄重量 (%)	設計空隙率 (%)	硫黄+バインダー量 (%)
通常混合物	0	4.0	5.30
Rich Bottom	30	2.0	6.30
Binder Layer	40	3.5	6.15

表-6 水分感受性試験の結果

混合物種類	状態	平均空隙率 (%)	飽和率 (%)	間接引張強度 (kPa)	TSR
通常混合物	水浸	6.6	73.1	792.9	0.87
	非水浸	6.8	-	917.0	
Rich Bottom* (30%硫黄改質)	水浸	6.9	71.3	539.2	0.84
	非水浸	6.9	-	638.5	
Binder Layer* (40%硫黄改質)	水浸	7.1	74.5	562.6	0.73
	非水浸	7.0	-	769.5	

※プラントで製造された混合物で作製

WMAは、HMAに比べて、低い間接引張強度とTSRを示している。硫黄改質Binder Layer混合物のTSR値は、一般に分岐点とされている0.8を下回っており、この低い値は、硫黄分の添加によりバインダー全体に占める瀝青分（ビチューメン）が減少していることや硫黄改質WMAに含まれるはく離防止剤が少ないことなどの影響と考えられる。

(2) 混合物の強度

3種類の混合物の強度を比較するために、3つの温度（4.4, 21.1, 46.1℃）と6つの周波数（10, 5, 1, 0.5, 0.1 および0.01Hz）での実験結果から算出した動弾性係数E*のマスターカーブを図-4に示す。HMAと硫黄改質WMAのマスターカーブには著しい乖離が見られた。この乖離は、全ての温度と周波数での実験でも見られた。硫黄改質WMAのE*は、低温度（高周波数）では低い増加率を示したが、高温度（低周波数）では大きな改善を示しており、これらは耐流動性に関連している。硫黄改質Binder Layer混合物（硫黄40%、設計空隙率3.5%）は硫黄改質Rich Bottom混合物（硫黄30%、設計空隙率2%）よりも大きなE*を示しており、HMAが次に高い強度を示している。これは、硫黄改質Rich Bottom混合物のアスファルト量が多くなっているためと推測される。

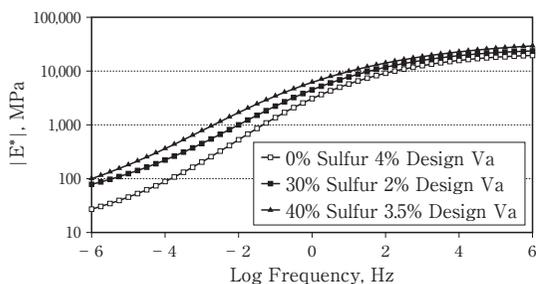


図-4 3つの混合物の動的弾性率マスターカーブ

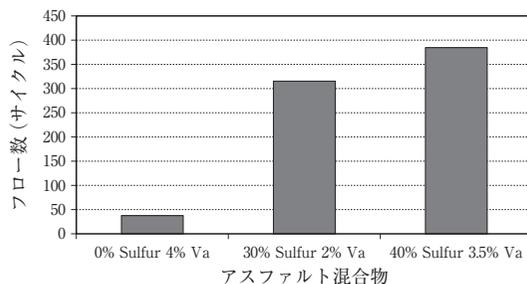


図-5 3つの混合物の平均フロー値

(3) 耐流動性

硫黄改質WMAを利用する最大の利点の一つは、耐流動性の向上である。

図-5には、動弾性試験(AASHTO TP79)結果として軸ひずみが10%に達したときの平均フロー値(Fn)を示す。本研究における試験条件は、試験温度は58℃、供試体は非拘束、偏差応力は70psi(Pounds per square inch)である。図から、硫黄改質Binder Layer混合物(硫黄40%、設計空隙率3.5%)は、供試体が破壊するまでのFnが一番大きいことから、最も高い耐流動性を有することがわかる。

全ての硫黄改質WMAが、HMAに比べて耐流動性に優れている結果を得た。この結果は、動的弾性率試験結果とも一致し、硫黄改質WMAがHMAよりも、特に高温下において高い強度・耐流動性を発揮することを示した。

(4) 疲労ひび割れ

3種類の混合物の疲労抵抗性を確認するために、ビーム曲げ疲労試験(BBF)を実施した。図-6は各混合物の疲労抵抗性(AASHTO T 321)を比較したものである。HMAが、600~400msのひずみ範囲において疲労抵抗性に優れている(疲労破壊回数が大きい)結果を示し、硫黄改質Rich Bottom混合物(硫黄30%、設計空隙率2%)がその次であった。しかし、200msでは、Rich Bottom混合物の疲労破壊回数が、硫黄改質Binder Layer混合物、HMAよりも大きい値を示した。表-7は3種類の混合物の疲労限界(AASHTO T 321)を示している。Rich Bottom混合物(硫黄30%、設計空隙率2%)が3種類の混合物の中で、最も疲労抵抗性に優れる結果を示した。

2.2.4 結論

本研究で得られた知見を以下に列挙する。

- 硫黄改質Binder layer混合物のTSR値は0.8を下回ったが、硫黄改質rich bottom混合物は、HMA

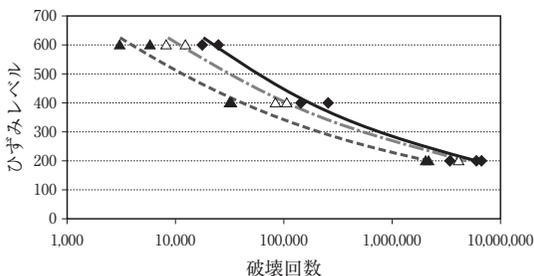


図-6 各混合物の平均フロー値

表-7 各混合物の耐久性限界

混合物種類	硫黄混入量 (%)	設計空隙率 (%)	疲労限界 (微小ひずみ)
通常混合物	0	4.0	102
Rich Bottom	30	2.0	119
Binder Layer	40	3.5	98

とはほぼ同等のTSRを示した。

- 硫黄改質WMAは、温度が高い場合にHMAよりも強固であった。
- HMAと比較して、硫黄改質WMAの耐流動性は向上する。
- 硫黄改質Rich Bottom混合物は、小さなひずみ(200ms)が作用する環境下において、HMAよりも長い疲労ひび割れ寿命を示した。

2.2.5 翻訳者コメント

わが国で生産される硫黄は、全量、石油産業からの原油精製過程の脱硫工程において副生されている。今後、燃料油に対する環境規制が厳しくなれば、硫黄の供給量はますます増加すると考えられる。

当該技術は、バインダーコストの縮減や資源の有効利用の観点から非常に有益なものと考えられ、わが国においても、検討する価値はあると考えられる。

2.3 WMAの低温性状とスティフネス

原題：Stiffness and Low-Temperature behavior of Selected Warm Asphalt Mixes

著者：J.Valentinほか(チェコ) 所属：チェコ技術大学

2.3.1 論文概要

WMAに粘性改良剤を添加した場合、混合性や施工性の改善が期待できるものの、低温下におけるアスファルト舗装の柔軟性が低下する場合がある。本研究では、様々な粘性改良剤を用いたWMAについて、室内実験により剛性係数と低温下での混合物特性を調べた。

2.3.2 研究内容

室内実験では、添加剤を加えたWMAの剛性係数を求めるために、間接引張試験および2PB試験^{註1)}を行った。さらに、混合物の低温化での挙動を調べるために、引張曲げ試験および温度収縮試験を行った。

実験には、針入度が50/70のアスファルトを使用した。作製した供試体は基層用混合物であるACL16S(バインダ量4.2%)とACL16(バインダ量4.4%)とした。どちらの混合物も混合は160℃、転圧は150℃で行った。

間接引張試験では、260×320×50mmの供試体を作製し、断面が50×50mmとなるように整形(カット)した。また、2PB試験では、260×320×50mmの供試体から台形型の角柱に整形した供試体を作製した(写真-1参照)。

低温下での引張曲げ試験供試体の寸法は50×50×300mmとし、収縮試験供試体の寸法を50×50×200mmとした(写真-2参照)。



写真-1 台形型供試体

2.3.3 研究結果

(1) 剛性係数

剛性係数を決定するために、繰り返し間接引張試験を5℃、15℃、27℃において実施した(表-8)。また、幾つかの供試体では40℃でも実施した。剛性係数は変位制御(5μひずみ)で測定した。さらに、台形型供試体を用いて、2PB試験から剛性係数を求めた(表-9)。試験条件は、試験温度を15℃および周波数を5、10、15、20、25Hzとした。供試体数は4~6個とした。

表-8 間接引張試験の結果(MPa)

	添加剤無し	FT パラフィン 3%	アミド ワックス 3%	PPA* 3%	PPA 1.5%
T=5℃	17,000	20,300	13,200	11,000	20,500
T=15℃	10,600	13,200	9,900	8,300	13,200
T=27℃	2,600	3,200	2,100	1,900	5,800
温度感度	6.54	6.34	6.25	5.76	3.53

*PPA：ポリリン酸

表-9 2PB試験の結果(MPa)

	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
添加剤無し	7,479	8,153	8,256	8,653	8,662
Licomont 3%	7,194	7,860	7,982	8,406	8,542
サンビット 3%	7,196	7,831	7,888	8,282	8,388

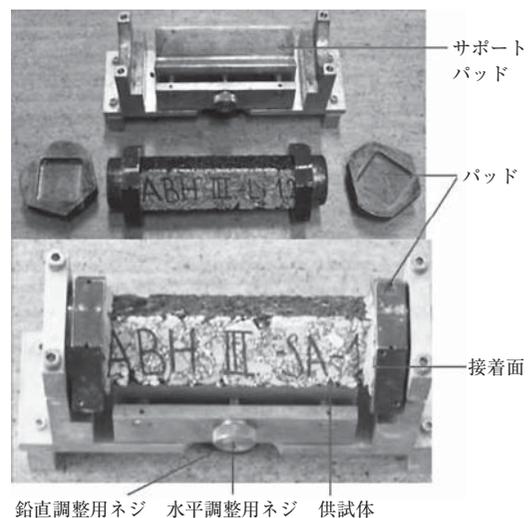


写真-2 低温下での収縮試験用供試体

繰り返し間接引張試験より、以下のことが分かった。

- 15℃における剛性係数は、チェコ共和国の設計基準である7,500MPaを満足した。また、いくつかの供試体では、高剛性係数9,000MPaも満足した。
- FTパラフィンを追加すると、15℃における剛性係数が25%上昇した。
- 温度と剛性係数には強い相関があり、相関係数は0.97～0.99である。
- 添加剤による粘性効果は、剛性係数と温度から判明できた。

台形型供試体を用いた2PB試験結果より、以下が判明した。

- 荷重の周波数と剛性係数に相関が確認された。
- 2PB試験と円筒供試体の非破壊繰り返し引張応力試験の結果に相関があった。

(2) 低温下での挙動

チェコ共和国では低温下での加熱アスファルト混合物の挙動についての評価基準がない。これはヨーロッパ各国において同様であり、統一した標準試験方法が確立されていない。そのため本論文では、引張曲げ強度試験で低温下での挙動を評価した。試験温度は 0 ± 1 ℃とし、荷重速度は、50mm/minおよび1.25mm/min、曲げ強度の評価値は6MPaとした。また、温度収縮で発生する最大引張応力から、凍結ひび割れのクリティカル温度を決定する収縮試験も実施した。

引張曲げ試験結果より、荷重速度に関わらずFTパラフィンを添加した混合物は、評価値6MPaより大きくなった。全ての供試体について、荷重速度が1.25mm/minで曲げ強度が大きくなった。

凍結ひび割れ試験では、添加剤によりアスファルトの粘性が低下するが、低温下での劣化は引き起こさないことが分かった(表-10、写真-3)。

2.3.4 結論

添加剤が加わったWMAを評価するために、間接引張試験、2PB試験、曲げ試験、収縮試験を実施して、剛性係数および引張強度、曲げ強度等々を評価した結果、得られた知見は以下のとおりである。

表-10 ひび割れ発生時の実験結果

	最大荷重 (kN)	最大ひずみ (MPa)	供試体温度 (℃)
添加剤無し	8.48	3.32	-18.8
Licomont 3%	11.82	4.76	-19.7
サゾビット 3%	9.29	3.71	-19.0



写真-3 試験後の供試体

- 剛性係数とWMAの特性から、バインダーに添加される粘度改善添加剤による悪影響は示されなかった。
- FTパラフィンを加えることで、剛性が増加する。剛性は、配合によっては最大で40%も増加した。しかし耐久性や気候と交通量などの影響に対する供用性の検証を必要とする。
- 今後は、塑性変形抵抗や疲労に対する挙動を確認していく。

2.3.5 翻訳者コメント

本論文は、アスファルト混合物の剛性と低温化における挙動を評価するにあたり、日本ではなじみが薄い欧州の試験方法を実施している。供試体の形状が台形である試験法は、ユニークで興味深い。

注1) 台形型供試体の2点支持曲げ試験(2PB試験)：設定された周波数と温度で、台形型供試体に一定のひずみ振幅を与え、剛性係数の減少具合を記録する試験。EN 12697に準拠する。

2.4 WMAの湿気感受性とレオロジーの室内研究

原題：Laboratory Investigation of Rheological and Moisture Susceptibility of WMA Mixtures

著者：Feipeng Xiaoほか（アメリカ） 所属：アスファルトラバー技術公社

2.4.1 論文概要

WMAは、加熱アスファルト混合物(HMA)生産時の消費するエネルギーと排出物を削減する目的で広く使用されている。しかし、WMA用添加剤は混合物内の電荷の分布をより複雑にし、湿気感受性に影響を与える可能性がある。また化学的見地から、骨材、バインダー、WMA用添加剤の間で起こる反応は明確にされておらず、特に消石灰とWMA用添加剤は高温化(110℃程度)で若干の化学反応を起こす可能性がある。本研究は、WMAの湿気感受性を評価することを目的に3種類のWMA用添加剤を添加したバインダーの試験、およびWMAの試験を行った。

2.4.2 研究内容

(1) 材料

本検討ではバインダーはPG 64-22を使用し、骨材は2種類(I, II)、WMA用添加剤は、Asphamin, Sasobit, Evotherm(以下それぞれA', S', E')を使用した。WMA用添加剤の添加量は、A'が混合物に対して0.3wt.%, S'がバインダーに対して1.5wt.%, E'がバインダーに対して0.5wt.%とした。また混合物の湿気感受性評価では、剥離防止の目的で消石灰を骨材に対して1wt.%を使用した。

(2) バインダー性状試験

粘度試験はAASHTO T316に従い測定した。DSR試験はAASHTO T316に準拠し、Superpaveの配合設計仕様に定めるPG64-22の設定値を逸脱する温度を供用可能最高温度として、この供用可能最高温度、位相角および複素弾性率(G^*)を測定した。また、DSR試験はオリジナルバインダーに加え、2種類の手法(RTFOおよびPAV)で促進劣化させたアスファルト対しても試験を行った。BBR試験はAASHTO T316に準拠し、PAV劣化バインダーに対して試験を行った。

(3) 混合物性状試験

混合物の混合および転圧温度を表-11、使用した混合物の基本性状を表-12に示す。使用した混合物の骨材の最大粒径は12.5mmで配合設計はSouth Carolina運輸省(SCDOT)の仕様書に準拠し、空隙率が4.0%となるバインダー量を最適バインダー量とした。

また湿気感受性評価試験はSCT 70に準拠し、その際使用する供試体はジャイレトリコンパクタにて空隙率 $7.0 \pm 1.0\%$ に締固めたものを使用した。

表-11 混合温度と転圧温度

混合物種	混合温度(℃)	転圧温度(℃)
比較(C)	145-150	132-137
比較+A'	121-127	115-121
比較+S'	121-127	115-121
比較+E'	121-127	115-121

表-12 混合物の基本性状

混合物種	最適バインダー量(%)	かさ密度(g/cm ³)	理論密度(g/cm ³)	骨材空隙率(%)	飽和度(%)	F/A
骨材I	4.80	2.541	2.634	15.2	77.3	1.05
骨材II	5.75	2.326	2.421	16.8	76.6	0.92

2.4.3 研究結果

(1) RTFO劣化バインダーに対する試験

RTFO劣化バインダーのDSR試験結果を図-7に示す。(a)より、WMA用バインダーは比較バインダーより高い供用可能最高温度を示し、特にS'を添加していたバインダーが高くなった。また(b)より、A', E'を添加していたバインダーの位相角は、比較バインダーより大きかった。更に(c)より、S'を添加しておくことで、

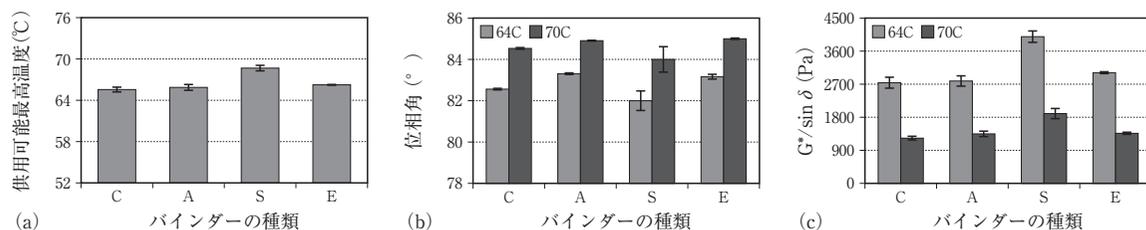


図-7 RTFO劣化バインダーのDSR試験結果

RTFO劣化バインダーの高温抵抗性を改善することを確認した。

(2) PAV劣化バインダーに対する試験

PAV劣化バインダーのDSR試験結果を図-8に示す。WMA用バインダーは、疲労を示す $G^* \sin \delta$ が増加した。

PAV劣化バインダーのBBR試験結果を図-9に示す。A', E'を添加していたバインダーのスティフネスが最も小さく、S'を添加していたバインダーが最も高かった。またS'を添加しておいたPAV劣化バインダーのm値は、Superpaveが定める下限値0.3より小さくなった。

(3) 間接引張試験

湿潤条件での間接引張強度を図-10に示す。消石灰の有無、骨材の種類に関係なくWMA用添加剤を添加することで間接引張強度は低くなった。また引張強度比(湿潤状態/乾燥状態)は、WMA用添加剤や骨材の種類に関係なく、消石灰を1%添加した混合物はSCDOTの定める下限値85%以上となった。また、間接引張強度の統計分析の結果、乾燥条件の間接引張強度には比較混合物とWMAに有意差があったが、湿潤条件の間接引張強度は全ての混合物間に有意差は無かった(有意水準 $\alpha=0.05$)。

(4) 間接引張試験(フロー値)

乾燥条件と湿潤条件の間接引張試験のフロー値を混合物の湿気感受性の評価に用いた。湿潤条件と乾燥条件での間接引張試験のフロー値を図-11に示す。(a)より骨材Iで作製した混合物は骨材IIで作製した混合物より低いフロー値であった。これは、骨材の特性に加え、骨材IIで作製した混合物の最適

バインダー量が骨材Iより多いためである。(b)より、WMA用添加剤を添加した混合物に対する乾燥条件での間接引張試験のフロー値に、明白な傾向はなかった。また湿潤条件の結果同様、骨材Iで作製した混合物は骨材IIで作製した混合物より低いフロー値であった。

2.4.4 結論

本研究の結論は以下のとおりである。

- WMA用添加剤を添加することでバインダーの粘度は低くなるが、間接引張強度やフローに与える影響は小さい。
- 本研究で検討したWMA用バインダーは、オリジナルバインダーより高い供用可能最高温度を示す。
- Sasobitを添加して促進劣化させたバインダーは、オリジナルバインダーより弱い疲労抵抗性を示す。
- 湿潤条件の間接引張試験において、WMAは通常の加熱混合物より低い間接引張強度を示す。
- 骨材の種類は、加熱混合物やWMAのフロー値に大きく影響する。

2.4.5 翻訳者コメント

アメリカで使用されているWMA用添加剤(Asphamin, Sasobit, Evotherm)に関して、バインダーのレオロジーに与える影響、混合物の湿気感受性に与える影響を評価しており、そのデータは国内の研究者にとっても興味のある部分である。

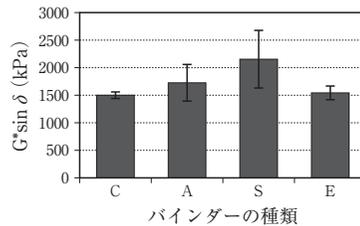


図-8 PAV劣化バインダーのDSR試験結果(25°C)

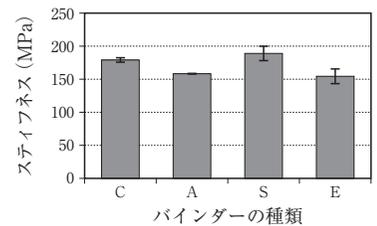


図-9 PAV劣化バインダーのBBR試験結果(-12°C)

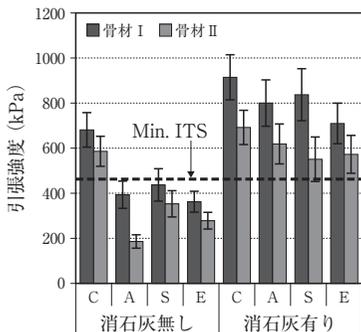


図-10 湿潤条件での間接引張強度

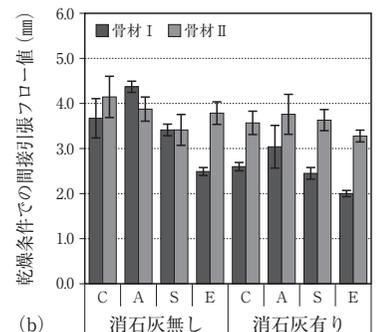
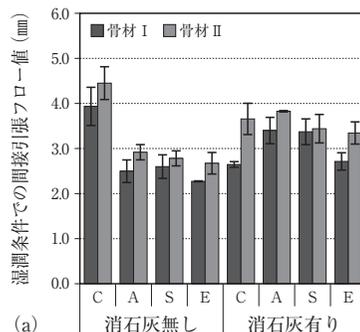


図-11 間接引張フロー値

2.5 オランダにおける低エネルギー型舗装の成功事例

原題：Successful Dutch Experiences with Low Energy Asphalt Concrete

著者：M.M.J.Jacobsほか（オランダ） 所属：BAM Wegen

2.5.1 論文概要

フォームドアスファルト技術は1960年代にCsanyiによって開発され、路盤、舗装建設に使われてきた。環境面においても優れた点が多く、ここ20年間ではいくつかの特許期間が満了したこともあり、さらに普及した。

一般のフォームドアスファルト混合物は130～180℃に加熱した低粘度のアスファルトと骨材を混合した後、2～7%の冷水を添加して製造される。一方、フォームドアスファルト混合物の課題として以下の点が挙げられる。

- ①加水量が少ない場合、十分な混合性が得られないばかりか、骨材とアスファルト間の結合力も失われる。
- ②水が存在する場合、十分な締固めを得るには特別な手法による転圧が必要である。
- ③水分の添加によって合材の温度が低下するため、あらかじめ骨材を所定の温度まで加熱しておく必要がある。

本論文では上記の課題の解決を目指し開発した、製造設備の変更や巨額な投資を行わずに一般的なアスファルトプラントで製造が可能で、低温で通常の加熱混合物と同等の性能を有するアスファルト混合物（Low Energy Asphalt Concrete：LEAB）について紹介する。

2.5.2 研究内容

(1) LEABの概要

一般のアスファルトプラントでは低温で混合物を製造するには限界があり、フォームドアスファルト混合物の最大の課題でもあった。混合機械の改良・開発を経て、最終的に既存の設備に設置が可能となるフォームドアスファルト発生機の開発をすることができた。写真-4に室内実験用の製造装置を示す。開発した装置によって低粘度を特徴とする泡状の瀝青物が得られ、従来のWMA合材と比べさらに低温で製造することが可能となった。

その他の注目すべき特徴は、再生骨材中の旧アスファルトを再利用できることで、再生骨材配合率が50%程度以上の再生合材にも適用が可能である。

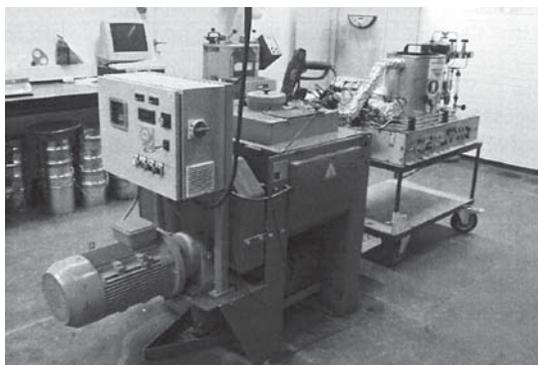


写真-4 室内製造装置

(2) LEABの製造

LEABは針入度グレードが70/100のアスファルトを、開発したフォームドアスファルト発生装置を用いて泡状にした瀝青物を骨材に添加することで製造する。写真-5はプラントに設置したフォームドアスファルト製造装置である。アスファルトを泡状にすることで効率よく骨材に被覆する。骨材との混合は従来と同様の手法が適用可能である。

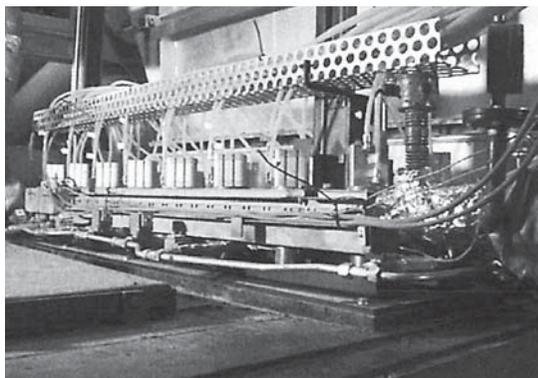


写真-5 フォームドアスファルト製造装置

(3) LEABの特徴

LEABの最大の特徴は一般のフォームドアスファルト混合物と異なり、骨材に水を添加する必要がなく、80～100℃でWMA混合物の製造が可能であることである。もちろん高温製造も可能であるが、エネルギー節約と安全性を考慮して低温施工を推奨する。な

お、LEABでは合材製造の際、添加剤を使用する。添加剤によって混合物製造時、フォームドアスファルトを効率よく製造することができるからである。

BAM社では室内レベルで検証を行った後、プラントにフォームドアスファルト発生装置を設置し、実機レベルで確認を行った。

2.5.3 研究結果

(1) LEABの締固め特性

LEABは、一般的な舗装機械とローラーを用いれば、55～90℃の温度領域でも締め固めることが可能である。

また、図-12に示すように通常の加熱混合物よりも低温、かつ少ない転圧回数で100%近い締固め度を得ることが可能である。このメカニズムは明らかになっていないが、おそらくフォームドアスファルトに含まれる微細な泡がベアリングの役割を果たし、締固め特性の向上に寄与していると考えられる。

LEABは良好な作業性を有し、養生時間が混合物の作業性に影響することはないことから、LEAB製造後から約6時間経過後まで施工が可能である。

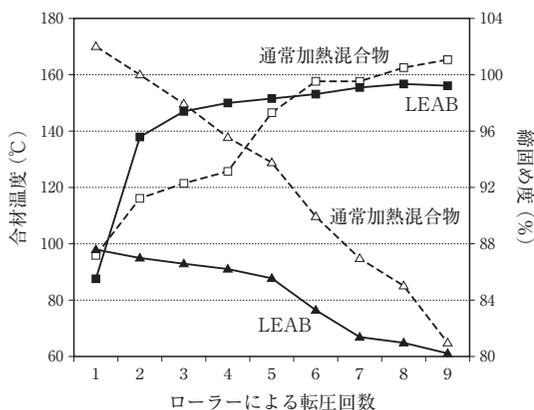


図-12 締固め特性の比較

(2) LEABの混合物性状

LEABが通常の加熱アスファルト混合物と同等の性能を有していることを確認するため、以下の5つの試験を実施した。試験はオランダ国内で一般的に行われている方法で行った。

①40℃、70時間養生後の引張り試験

②アスファルト混合物の剛性係数の測定

③疲労抵抗性試験 (20℃, 30Hz)

④三軸試験によるわだち抵抗性試験

⑤ホイールトラッキング試験 (試験温度50℃)

試験結果からLEABの混合物性状が加熱混合物と同等の性能を有することが確認された。

また、LEABを用いて20箇所以上で行った試験施工の実績からも試験結果が妥当であると言える。

(3) LEABの環境特性の評価

LEABの環境特性をライフサイクル解析 (LCA) から評価した。LCAの計算は構成材料の採掘から始まり、混合物の製造、供給、輸送、そして最終段階である廃棄の方法まで考慮される。この調査の結果、環境関連の製品情報シート (MRPI) が作成される。MRPIは建設材料の環境的側面を定量化したものであり、製品の供給者と顧客間でコミュニケーションを図る場合に非常に役に立つ。

この評価方法によるとLEABの生産過程で二酸化炭素の放出量を25%削減でき、25～40%程度の消費エネルギーの削減が可能であるとの結論が出された。

2.5.4 結論

本研究の結論は以下のとおりである。

- 新規に開発したフォームドアスファルト製造装置によって従来のWMA混合物と比較し、さらに低温で合材の製造が可能である。
- 混合物製造時、新たに水分を添加する必要がないため、さらなる低温製造が可能となった。
- フォームドアスファルト製造装置は既存のプラントに設置可能であるため、設備投資が最小限で抑えられる。
- 通常の加熱アスファルト混合物に比べ、締固め特性に優れる。
- 再生合材を50%程度以上使用可能である。

2.5.5 翻訳者コメント

混合物の製造温度の低下を可能にしたメカニズムの解明など、明らかにしなければならない部分が残るものの、現在の“フォームドアスファルト技術”に比べ効果の持続性が長く、日本においても適用する余地はありと考えられる。

3. リサイクル技術に関する論文

3.1 アメリカ合衆国における道路舗装への再生アスファルトの利用促進に関する国家的取組み

原題：*Increasing the Use of Reclaimed Asphalt pavement(RAP) in United States Highway Pavements : A National Effort*

著者：A.Copelandほか（アメリカ） 所属：Turner Fairbank Highway Research Center

3.1.1 論文概要

2006年から2008年にかけて、米国のアスファルト舗装産業において、アスファルトコストの上昇と良質な骨材供給の減少に伴い、アスファルト舗装発生材(RAP)の使用量が增大してきた。連邦道路管理局(FHWA)ではRAPの配合率が重量比で25%以上の混合物を、「high RAP asphalt mixtures」(以下、高RAP混合物と呼ぶ)と定義している。

これまでに米国では、30年以上にわたってRAPを使用してきた実績があるにもかかわらず、RAPの適正な利用方法に関して、まだ課題が残っている。本文は、従来の成果、現在のRAP使用の水準、および現在のRAP使用量の増大に対する国家的な取組みなどについて議論する。

3.1.2 研究内容

(1) 米国におけるRAPの使用量増大に起因する要素

道路の建設コストは2003年から2009年までにおよそ50%上昇している。建設コストは現在、主に既設舗装の補修や修繕に費やされている。それに加え、高品質な新規材料は不足している。これらの要因のためアスファルト舗装の建設において、リサイクル材料の利用促進が必要である。

(2) SUPERPAVEにおける再生アスファルト舗装の導入

RAPは1990年代後半まで各州の道路局によって一般的に使用されてきた。その後、実施された戦略的道路研究計画(SHRP)では、再生混合物に関する配合設計手法などの手引きが成果として提供されなかったためRAPの使用が控えられてきた。

2005年以降、SUPERPAVEは米国においてバインダーの性能や混合物の配合設計において標準的な手法となった。SUPERPAVE混合物設計におけるRAP使用のためのガイドラインは、道路に関する国家共同研究(NCHRP)のもとで確立された。現在の混合物設計に使用されるガイドラインを表-13に示す。

高RAP混合物の配合には、新アスファルトの針入度に留意する必要がある。混合物の配合設計のためには、

時間が掛かり危険な溶剤を使用する抽出および回収手順が必要である。

表-13 再生アスファルト舗装用混合物のバインダーの選択に関するガイドライン(AASHTO 2007)

推奨するバージンアスファルトバインダーのグレード	RAPの配合割合(%)
バインダーを変えない	<15
通常よりも1段階柔らかいバージンバインダー(例：仮に針入度64-22が標準であれば針入度58-28)	15-25
後述の配合処方からの推奨品*	>25

*配合処方の確立のための手順は付録のAASHTO M 323

(3) 米国における再生アスファルトの水準

多くの道路局はアスファルト舗装や混合物のタイプによってRAPの使用量を制限した仕様書を利用している。米国全州道路交通運輸行政官協会(AASHTO)とFHWAは、2007年に全50州とカナダのオンタリオ州でアンケート調査を行った。以下は質問内容である。

- 1) 加熱アスファルト混合物においてRAPの使用量はどれだけ許可されているか
- 2) 加熱アスファルトにおいてRAPは実際に使用されているか
- 3) RAPの使用量を増大させることに対する主な障害

図-13、図-14はアンケート結果を取りまとめたものであるが、多くの道路局が再生混合物へのRAPの配合率の上限を19%程度以下としていることを示している。

(4) RAP使用量を増加させるための国家的な取組み

アスファルト舗装のリサイクルを促進させるために鍵となる3つの要求性能(コスト的に有効、性能が良い、環境に適合する)がある。FHWAは、これらの要求を満足させることを目的に再生アスファルト舗装の推進に関し、以下の目標を示した。

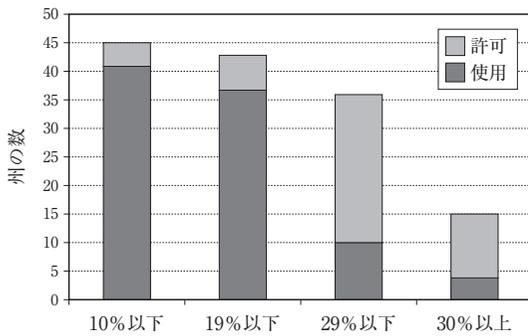


図-13 許可されている使用率と実際の使用率(中間層)

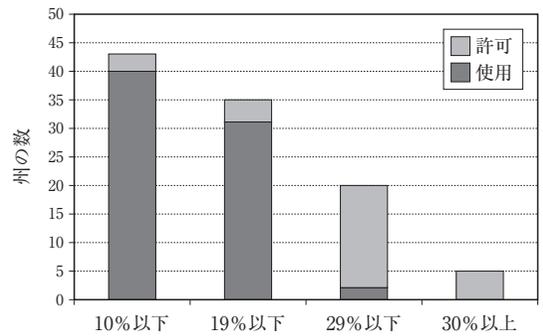


図-14 許可されている使用率と実際の使用率(表層)

- 道路建設における他産業再生資材を含むリサイクル材料の使用の促進
 - アスファルト混合物におけるRAP使用の促進
- これらの目標を達成するため、橋渡しとなる3つの作業が示された。

- ①官と民間の作業グループの設立
- ②研究と実証実験の計画
- ③情報の普及と教育のための研究機関の展開

(5) RAPの専門作業グループの組織化

RAP使用量の増大を目的として、FHWAはアスファルト舗装のリサイクル専門作業グループ(ETG)を作った。ETGの目的は、RAPの使用に関して技術指針などの重要な情報を供給できるようにすることである。ETGは図-15に示す10項目のニーズを発表した。

(6) 国家的な共同研究と実証計画

NCHRPで進行中のプロジェクトの目標は、高RAP混合物が長期的に性能を満足するための配合設計方法や分析手順等、必要な情報を提案することである。

FHWAのアスファルト材料試験室(MAMTL)では再生混合物の配合設計や性能試験を提供している。MAMTLは混合物性能情報を提供し、混合物性能試験(AMPT)を用いた混合物の特性に基づき、配合したバインダーの評価を行うことができる。

3.1.3 結論

アスファルト舗装におけるRAPの使用は循環型社会を構築する上で重要な役割を果たしている。多くの米国の道路局は、コスト低減のため、よりRAPの使用量を増やすことに興味を示している。これらのことを背景にFHWAは、AASHTO、NAPA、およびNCATと共同でRAP使用を増加させる上での課題に対する回答を提供し、加熱アスファルト混合物の使用において、RAPに関する意識と理解が深まるような取組みを

RAP使用の増加に関する上位10のニーズ

1. RAP混合物の評価のための性能試験
2. RAPの有効性も含めた配合設計および施工のための最良慣行とRAPの変化に合わせた良質な混合物製造の指針
3. 危険な方法を用いずにRAPの性状を確認する方策
4. 必要なバインダーグレードの変化の決定
5. プラントでRAPとバージンバインダーを混合する量の決定
6. 高RAP混合物の現場での性能データ
7. 室内においてプラントの加熱を再現する方法
8. 現状におけるRAPを少量あるいは配合しない仕様の場合の国の補助
9. RAPの変化性の理解の改善(骨材、バインダー含有量、改質、バインダー特性)
10. 抽出過程を含んだRAP加工のさらなる理解

図-15 RAP使用の増大に関する上位10のニーズ

行ってきた。

2009年現在、多くの道路局が再生混合物中のRAP配合率を増加させる中、高RAP混合物(例:25%以上)は、まだ米国では一般的なものとなっていない。今後は、新規混合物と高RAP混合物のアスファルトの分析方法、および高RAP混合物の性能の評価試験の改良が期待されている。

3.1.4 翻訳者コメント

米国における再生アスファルト舗装利用の現状について理解が深まった。米国においても原油価格やアスファルト生産量の不安定さなど、わが国と同様の問題に直面していることが分かったが、アスファルト再生骨材の配合量については、日本に比べ少なく、使用に対して慎重であると感じた。

また、当該論文を含めた重要な研究に対する体制については、わが国も参考となる点が多いと考える。

3.2 100%再生アスファルト材料を用いたアスファルト舗装の施工

原題：Use of 100% Reclaimed Asphalt pavement (RAP) Material in Asphalt pavement Construction

著者：Rajib B.Mallickほか（アメリカ） 所属：ウースター工科大学

3.2.1 論文概要

RAPの使用率が增加することによって、舗装工事における経済性および環境維持に大きく貢献することができる。残念なことに、現在のRAPの使用率は低い水準にあり、高RAP混合物の利用促進が見られていない。現在の配合設計手法（SUPERPAVEで示されている高針入度バインダーを使用する手法）では、RAP配合率40%までしか対応していない。そこで、本研究では工業用プロセスオイルを使用する手法を試みた。

3.2.2 研究内容

(1) 材料

室内試験で使用する再生用添加剤としては、最も旧アスファルトを改善する効果の高いReclamite（以下、再生用添加剤）を選択した。再生用添加剤は、旧アスファルト中のマルテンを補充する再生用添加剤である。RAP試料は、PG64-28/AC20が使用された最大骨材粒径12.5mmからなる骨材を選択した。再生混合物のアスファルト量は5.0%とし、目標粒度は、基層用混合物粒度となるように調整した。この混合物は最大粒径12.5mmで、0.075mm通過質量百分率が2～8%、2.36mmが23～49%である。再生用添加剤の添加量はメーカ推奨値である0.9%とした。

(2) 室内試験

室内試験供試体として、再生用添加剤を使用しないRAPのみの再生混合物と、再生用添加剤を使用した再生混合物を作製した。再生用添加剤を使用した混合物は目標空隙率を6～8%とし供試体を作製した。

動的弾性率の試験条件は4温度（-10, 4.4, 21.1, 37.8℃）、4周波数（10, 5, 1, 0.1）とした。また試験は、60℃の乾燥炉にて養生し、1週間毎に5週間試験を行った。動的弾性率試験終了後、その供試体を使用してクリープコンプライアンス試験、間接引張り試験を行った。

3.2.3 研究結果

(1) 空隙率

再生用添加剤を使用しない混合物の空隙率は、平均7%程度、再生用添加剤を使用した混合物は、平均6.5%程度であった。また同等の空隙率になるときのジャイレトリー回転数は、再生用添加剤を使用しない混合物は80回程度、再生用添加剤を使用した混合物は

40回程度であった。このことより、再生用添加剤の利用により、施工性改善効果が期待できると考えられる。

(2) 動的弾性率

試験結果を図-16に示す。図-16より、再生用添加剤を使用した混合物の弾性係数は、養生時間に比例して増大してはいるが、2温度（-10, 38℃）ともに再生用添加剤を使用しない混合物の値よりは下回っており、再生用添加剤の有効性を示す結果となった。

次に、新規混合物とRAP配合率40%混合物との比較を図-17に示すが、再生用添加剤を使用した混合物は、一般的な混合物（新規、再生骨材配合率40%）の性状に相当する結果となった。

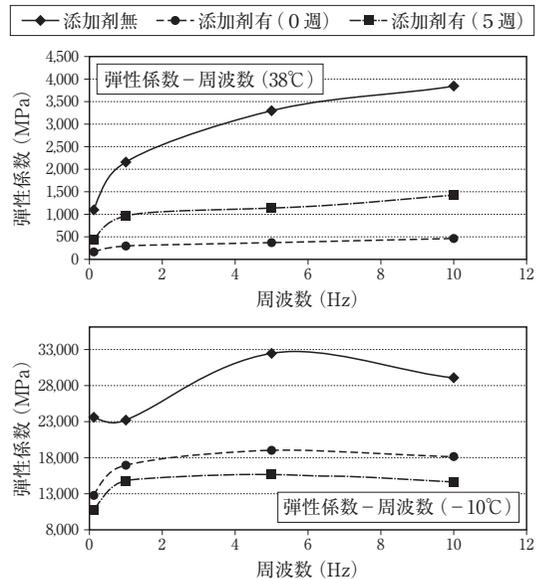


図-16 弾性係数-周波数（温度：38℃、-10℃）

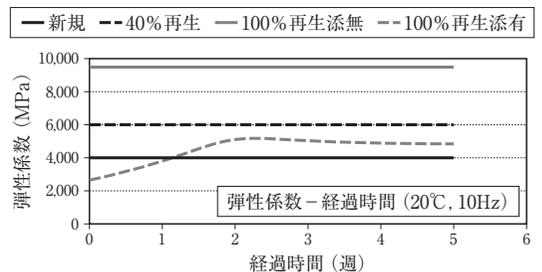


図-17 弾性係数（混合物種類別）

(3) クリープコンプライアンス・間接引張力

図-18にクリープコンプライアンス、間接引張力試験結果を示す。再生用添加剤の使用により、クリープコンプライアンスが増加し、間接引張力はわずかであるが増加した。これは再生用添加剤は、劣化した旧アスファルトの脆化を低下させて、再生混合物の性状を改善させることに効果的なことを意味する。

(4) 現場施工

2001年10月にRAP配合率100%の再生混合物(再生用添加剤有)が通常の施工機械編成にて試験施工され、現在でも健全に供用されている。

(5) 供用中のRAP配合率100%の再生混合物の性状

試験施工箇所からコアを採取し、供用されている再生混合物の性状を確認した。試験は、動的弾性率、IDTクリープコンプライアンスにて行った。比較対象混合物は、RAP配合率15%(現場切取り供試体)と40%(室内作製供試体)、100%(室内供試体:添加剤無)の再生混合物とした。試験結果を図-19に示す。図-19よりRAP配合率100%の再生混合物(再生用添加剤有)は、100%(再生用添加剤無)と15%(現場切取り供試体)と同等以上の性状を示した。-10℃でのIDTクリープコンプライアンス試験(図-20)においてもRAP配合率100%の再生混合物(再生用添加剤有)が最もよい結果を得た。

3.2.4 結論

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 再生用添加剤によって、RAP混合物の剛性を低くすることが可能であり、米国で一般的に採用されている再生混合物と同様の動的弾性率を示す。
- 再生用添加剤の使用は、低温でのクリープコンプライアンスを増加させるのにも有効である。これは、寒冷地域での再生混合物に使用可能であることを意味する。

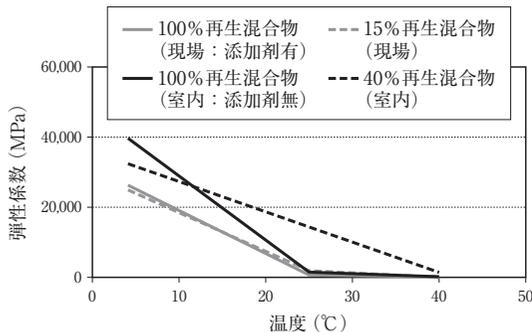


図-19 弾性係数(現場供試体)

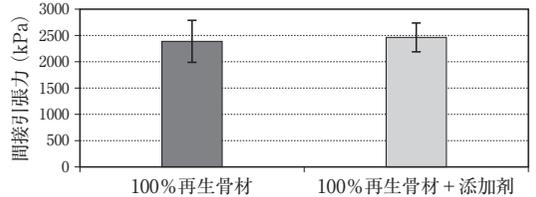
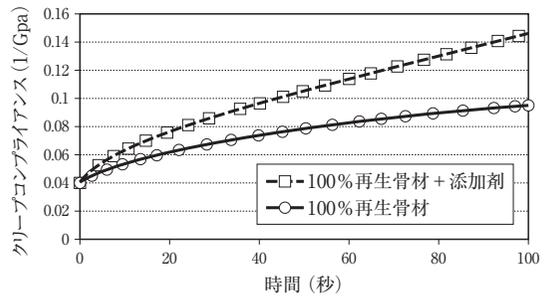


図-18 クリープコンプライアンス・間接引張力

- 今後は、高RAP混合物を製造するために、再生用添加剤を使用する場合の配合設計手法を確立する必要がある。

3.2.5 翻訳者コメント

本稿の技術である再生用添加剤を使用した再生手法は、わが国においては一般的な技術である。しかし、再生骨材配合率100%の再生混合物について試験施工などを行った検討は少数であり、「舗装再生便覧(平成22年版)」には、「アスファルトコンクリート再生骨材の配合率は、(中略)、再度リサイクルされること考えれば過度に高い配合率も避けるべきである」との記述があるが、当該研究は「挑戦的研究」であり、今後の研究、調査結果のとりまとめの報告が望まれる。

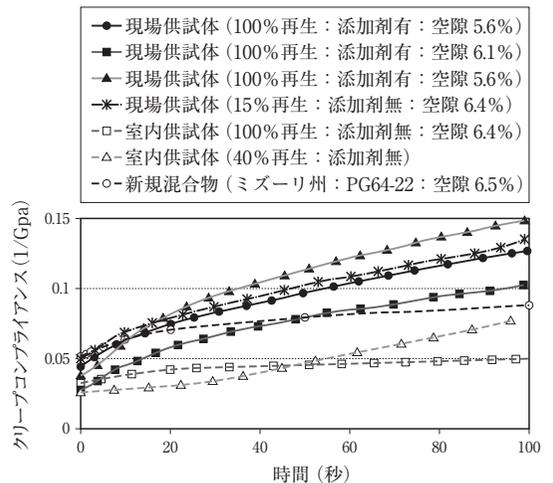


図-20 クリープコンプライアンス

3.3 瀝青混合物の促進劣化方法に関する研究室間の共通試験結果

原題：Results of interlaboratory tests on a laboratory bituminous mixtures ageing protocol

著者：C.de la roche ほか（フランス） 所属：LCPC

3.3.1 研究概要

本文では、室内で促進劣化を行ったアスファルト混合物について、同一の材料および方法を用いて複数の研究機関で物理的および化学的分析の共通試験を行い、試験結果のばらつきを確認するとともに、その促進劣化手法の適用性を検討した結果を報告するものである。

3.3.2 研究内容

(1) 使用材料

表-14に示す配合の混合物を製造し、促進劣化を行った。

表-14 混合物の配合

使用材料		配合
骨材など	11.2~5.6mm	49%
	6.3~2mm	16%
	2~0mm	34%
	石粉	1%
アスファルト (pen35/50)		5.7%

(2) 実験手順

室内およびプラントで製造された混合物を用いて、図-21に示す手順で促進劣化を行った。促進劣化後は、アスファルトを回収し、各種試験を行った。

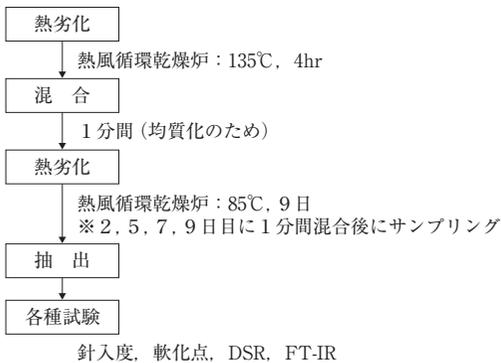


図-21 促進劣化の手順

3.3.3 研究結果

(1) 針入度および軟化点試験結果

試験室内で製造した混合物から回収したアスファルトの針入度および軟化点試験を各機関で行った。針

入度試験結果を図-22に示す。図から、劣化の段階が進むにしたがって針入度は低下する傾向が見られ、促進劣化期間が2日以降では、その低下速度は遅くなり、7日以降はほとんど変化しなかった。しかし針入度の測定結果は、機関ごとに標準偏差で2.5 (1/10mm) 程度の差が見られることがわかった。

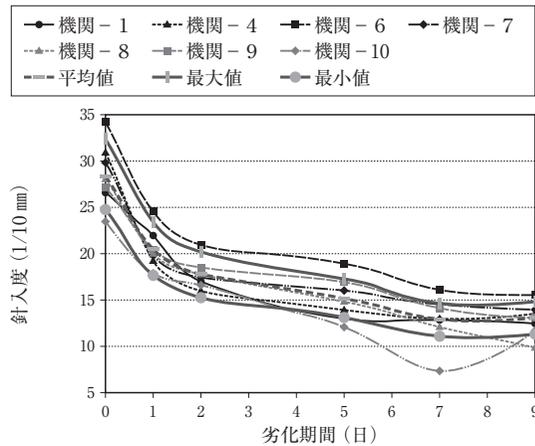


図-22 針入度測定結果（試験室内で製造した混合物）

(2) DSR 試験結果

試験室内で製造した混合物から回収したアスファルトの複素弾性率測定結果を図-23に示す。図から、複素弾性率は促進劣化期間が長くなるにしたがって大き

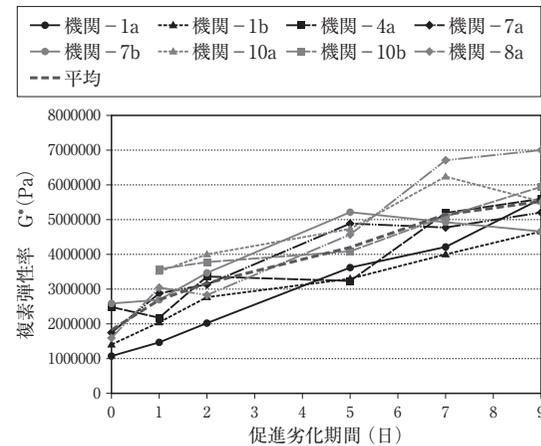


図-23 DSR 試験結果

くなる傾向が見られた。また、各機関の測定結果にも $\pm 1.0 \times 10^6 \text{Pa}$ 程度の差が見られた。

(3) 赤外分光法による測定結果

赤外分光法を用いて試験室内で製造した混合物の各劣化期間で回収したアスファルトのカルボニル・インデックスとスルホキシド・インデックスを測定した。カルボニル・インデックスの測定結果を図-24に示す。図から、促進劣化期間が長くなるにしたがってカルボニル・インデックスは増加する傾向が見られた。また、促進劣化期間が2日以降はカルボニル・インデックスの増加速度が遅くなる傾向が見られた。

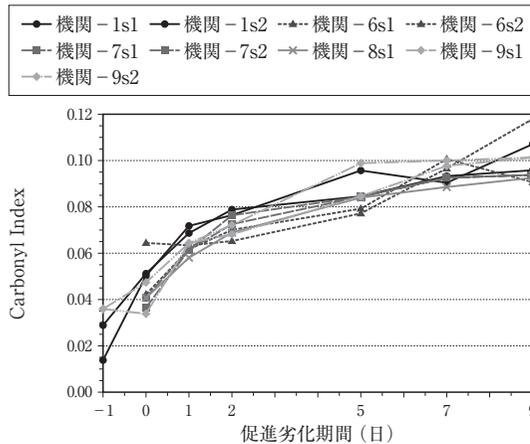


図-24 カルボニル・インデックス測定結果

(4) DSR 試験結果 (RTFOT + PAV)

室内およびプラントで製造したアスファルト混合物の促進劣化期間ごとの複素弾性率を測定した。測定結果を図-25に示す。図から、室内で製造した混合物はプラントで製造したものに比べ複素弾性率が小さくなった。また、RTFOTとPAVにより劣化させたバインダーの劣化度は、提案する促進劣化手法の2日程度となることを確認した。

(5) 赤外分光法による測定結果 (RTFOT + PAV)

室内で製造した混合物とRTFOTとPAVにより劣化させたアスファルトの促進劣化段階ごとのカルボニル・インデックスを測定した。測定結果を図-26に示す。図から、RTFOTとPAVにより劣化させたバイン

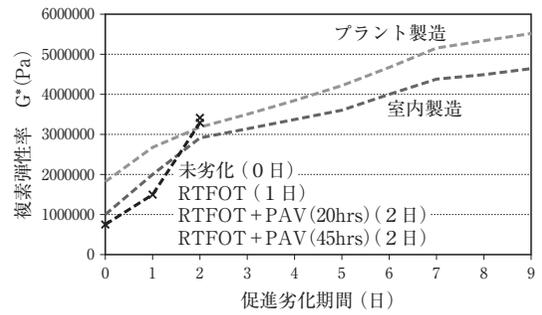


図-25 DSR 試験結果

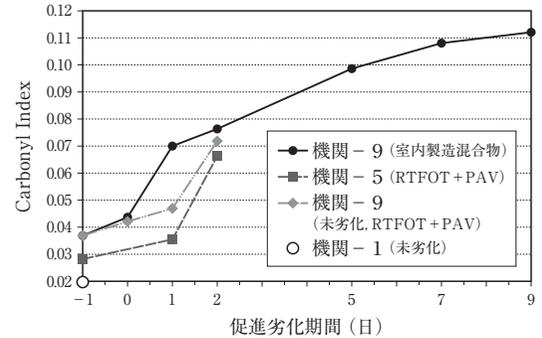


図-26 カルボニル・インデックス測定結果

ダーの劣化度は、提案する促進劣化手法の2日程度となることを確認した。

3.3.4 結論

本研究により得られた知見は以下の通りである。

- 提案した“熱風循環乾燥炉を用いた促進劣化手法”は、研究機関ごとに同様の傾向を示すものの、試験結果に若干の差が見られた。そのため、若干の修正等が必要である。
- “熱風循環乾燥炉を用いた促進劣化手法”の促進劣化期間2日が、RTFOTとPAVにより促進劣化させたものに相当することがわかった。

3.3.5 翻訳者コメント

アスファルト混合物の再生に関する研究を効率的に進めるためには、室内における促進劣化手法の確立が必要である。当該論文では、化学的知見に基づき促進劣化手法を提案しており、わが国の今後の研究にも参考となる要素が含まれていると考える。

3.4 サング骨材を用いたアスファルト舗装への路上表層再生工法の適用

原題：Using Hot In-place Recycling for Rehabilitation of Asphalt Pavements made with Coral Aggregates

著者：S.Sheikh Sandiani ほか（イラン） 所属：Pardad Vista Consulting Engineers Group

3.4.1 論文概要

路上表層再生工法（Hot In-place Recycling：HIR）は損傷状態が軽度のアスファルト舗装の適切な補修技術である。HIRは現位置で既設路面を加熱して掻きほぐし、再生用添加剤、新規の骨材や混合物を加えて混合して、敷均し転圧するものである。

HIRは1パスあるいは2パスの工程で施工される。1パスの施工方法は、再生混合物を新規骨材の追加の有無に関わらず再び混合し、転圧する。2パスの工程では新たに舗設する表層も再転圧された面の上に適用される。

このプロジェクトはイランでHIRを適用した2番目の事例である。最初の適用事例は、以前の現場内加熱再生装置を用いたテヘランの高速道路補修であった。この装置は路面をオープンバーナーで加熱する方式であったため煙などが発生した。そして健康や環境問題を理由に、その後の適用が中止された。

今回のプロジェクトでは、より環境に優しい“熱風循環ヒーティングシステム”を使用したMARTEC社のAR2000が用いられた。当該工法の機械編成を以下図-27に示す。

本研究では1パスで施工した3箇所の適用事例（R1（L=2.4km）、R2（L=1.0km）、R3（L=1.15km））を紹介する。

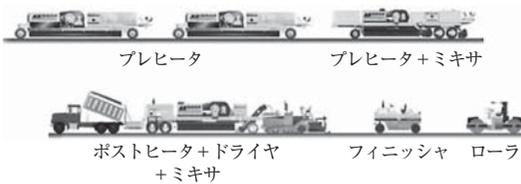


図-27 機械編成

これらの道路はイランの南部のキッシュ島にあり、既設舗装の混合物には一般的な砕石より軟らかい石灰岩（サング骨材）が用いられていた。なお、キッシュ島でサング骨材は混合物に広く一般的に使用されている。



写真-6 施工機械

3.4.2 研究内容

(1) 配合設計

配合設計では、RAP（既設舗装）の評価と抽出、再生添加剤の量と種類の選択、骨材やアスファルト、新規混合物の追加の必要性を検討した。

表-15 再生添加剤の諸性状

アスファルテン（アスファルテン分）	1.5%
マルテン（飽和分、芳香族分、レジン分）	98.5%
キネマティックビスコシティ（動粘度）	210 cst

(2) 品質管理

品質管理では、プラントで製造した新規混合物や再生混合物および現場切り取り供試体（コア）などによる各種試験を行った。室内試験では骨材の粒度分布やアスファルト量、理論最大密度、マーシャル安定度やフローが求められた。試験結果の要点を示す。

- 骨材の粒度分布はそのほとんどが設計の標準粒度

表-16 現場配合

骨材の種類	%	ふるい目 (mm) / 通過百分率							
		19	12.7	9.5	4.75	2.36	0.3	0.15	0.075
粗骨材1	4	100	65.9	32	15.8	8.4	0		
粗骨材2	20	100	95.6	67	17.6	3.2	0.25		0.1
細骨材	70			100	89.7	50.5	2.2		0.2
フィラー	6					100	96.3	60.8	36.2
合成粒度		100	97.8	91	73	42.3	7.4	3.6	2.3
アスファルト量	4.5								

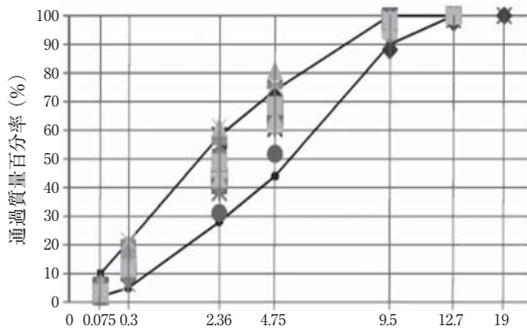


図-28 R1現場サンプルの合成粒度の分布

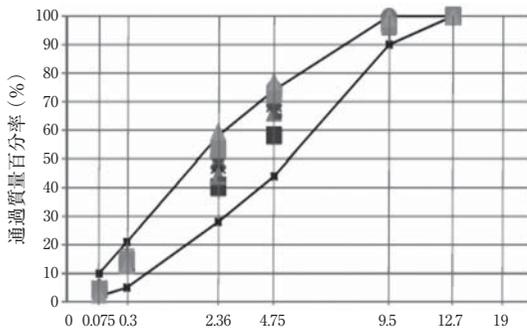


図-29 R2現場サンプルの合成粒度の分布

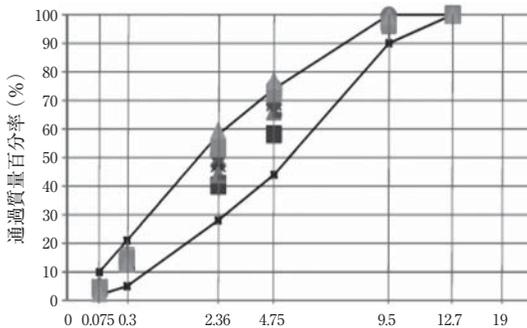


図-30 R3現場サンプルの合成粒度の分布

範囲内であった

- 抽出アスファルト量は概ね5～9%であった
- 空隙率は半数のサンプルが6%以下であった
- マーシャル安定度は規格よりもかなり大きく、フロー値も問題ない
- 締固め度は90%以上を確保し、半数は95%以上であった。

3.4.3 研究結果

補修から4年後に“PCI”で供用性が評価され、いずれも90前後の優れた評価であった。施工時の混合物の温度に関する問題などもあったが、改善された。

3.4.4 結論

HIRは中間的な交通量における舗装の現位置再生工法として適用が可能である。

本プロジェクトにおいて配合設計、施工、品質管理試験および供用後の舗装評価を実施した。試験施工の結果、熱風循環ヒーティングシステムを用いHIRで再生された舗装は、当初の目標を満足することが確認できた。



写真-7 施工前の路面状態



写真-8 施工から4年経過後の路面状態

3.4.5 翻訳者のコメント

近年、わが国での“路上表層再生工法”は、減少傾向にある。それは、施工機械の大きさや施工機械の編成長、沿道環境などの関係から、わが国では適用が困難な箇所が多いためと考えられている。

一方、「舗装再生便覧(平成22年版)」には、従来の機械編成を簡素化した“路上表層再生機等を利用した路面維持工法”が示されており、その適用事例も増加傾向にある。

日本発の“現位置(再生)技術”が海外に発信され、各国の舗装技術の発展に寄与することが望まれる。

4. おわりに

本報では、ISAP2010名古屋会議で報告された、アスファルト混合物のWMA技術やリサイクル技術に関する論文を中心に紹介した。

WMA技術に関する論文については、添加剤を用いた際の混合物性状（耐流動性や間接引張強度、水分感受性など）を通常の加熱アスファルト混合物と比較検討し、試験施工を通じた調査結果を取り扱った。

これに対し、わが国におけるWMA技術とは、『専用の特殊添加剤を用いてアスファルト混合物の製造温度を通常よりも30℃程度低下させ燃料消費量を低減し、CO₂排出量を約15%低減する技術』（社団法人日本道路建設業協会）とされており、CO₂排出量の低減まで言及していることから我が国の技術水準の高さや研究者の環境問題へ対する熱意が感じられる。

その一方で、添加剤を加えたアスファルトバインダーを用いたバインダー性状に関する研究や、その国独自の試験方法と一般的な試験結果の相関性を言及した研究などは、国内では数少なく、WMA技術の更なる発展に向け必要な視点であろうと考えられる。

このほか、我が国ではポーラスアスファルト混合物や再生アスファルト混合物への適用や、更なる製造温度の低下などが研究課題として挙げられており、実用

化が望まれているところである。

リサイクル技術については、アメリカでは循環型社会を構築する上でRAPの使用量を増やす必要があると捉えているもの、再生アスファルト混合物の再生骨材の配合率は19%程度以下が多く、使用に対し慎重である。

また再生骨材を多く使用した再生アスファルト混合物はまだ一般的とは言えない状況である。このような状況の改善に向け、混合物の評価方法や配合設計手法の改良が望まれている。

これに対し、わが国のアスファルトコンクリート塊のリサイクル率はほぼ100%であるものの、加熱アスファルト混合物への再利用率は60%程度といわれている。再利用率の更なる向上を目指し、2010年11月に改訂された「舗装再生便覧」では従来の針入度による方法に加え、近年増大しつつある改質系アスファルト舗装の再生骨材に対応するべく圧裂試験による評価方法を盛り込んでいる。

中温化技術やリサイクル技術は国内外を問わず循環型社会を構築していく上で、今後ますます重要な技術となると考えられる。本報が今後の舗装技術の発展の一助となれば幸いである。

<統計資料>

石油アスファルト需給実績

(単位：千t)

項目 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(%)	内需 (建設用)	対前年 度比(%)	輸出	期末 在庫	合計
15 年 度	245	5,493	(104.8)	0	5,738	3,889	(87.0)	3,229	(96.6)	283	262	4,434
16 年 度	262	5,671	(103.3)	1	5,934	3,693	(64.9)	3,014	(92.3)	299	250	3,985
17 年 度	250	5,373	(94.7)	0	5,373	3,342	(90.5)	2,478	(82.2)	411	231	3,607
18 年 度	231	5,435	(101.2)	26	5,691	3,373	(100.9)	2,401	(96.9)	281	242	3,897
19 年 度	242	4,974	(91.5)	77	5,051	3,243	(96.1)	2,323	(96.8)	171	224	3,338
20 年 度	224	4,694	(94.4)	94	5,012	2,735	(84.3)	1,882	(81.0)	181	247	2,982
21 年 度	247	4,608	(98.2)	106	4,961	2,861	(104.6)	2,302	(122.3)	101	227	3,088
22. 4 月	227	331	(102.1)	11	568	172	(89.7)	112	(73.6)	14	273	446
5 月	273	337	(107.9)	5	616	175	(103.5)	112	(85.3)	15	263	438
6 月	263	316	(101.4)	0	578	196	(86.3)	144	(77.8)	11	233	429
4～6 月	227	984	(103.8)	16	1,227	544	(92.3)	368	(78.5)	40	233	777
7 月	233	348	(90.1)	0	581	195	(100.2)	122	(79.5)	0	213	408
8 月	213	379	(95.1)	4	595	207	(98.7)	132	(78.9)	0	218	425
9 月	218	380	(91.3)	10	609	204	(77.9)	136	(61.9)	0	257	461
7～9 月	233	1,107	(92.2)	14	1,354	606	(91.0)	390	(72.2)	0	257	863
10 月	218	293	(84.0)	10	522	229	(96.3)	164	(93.6)	0	226	454
11 月	226	377	(113.0)	11	614	259	(106.7)	184	(95.3)	0	224	483
12 月	224	417	(97.9)	0	640	258	(95.3)	183	(78.3)	0	202	460
10～12 月	218	1,087	(98.1)	21	1,327	746	(99.3)	530	(88.2)	0	202	948
23. 1 月	202	414	(97.6)	0	616	181	(83.2)	103	(58.2)	0	245	426
2 月	245	413	(91.1)	0	658	262	(97.8)	176	(80.0)	0	229	491
3 月	229	362	(76.9)	0	591	289	(78.5)	229	(77.6)	0	188	478
1～3 月	202	1,190	(88.2)	0	1,392	733	(85.7)	508	(73.4)	0	188	921
22 年 度	227	4,369	(94.8)	51	4,646	2,628	(91.9)	1,796	(78.0)	40	188	2,816
23. 4 月	188	271	(81.9)	6	465	136	(79.1)	90	(80.7)	0	226	362
5 月	226	235	(69.5)	11	471	150	(85.6)	100	(89.4)	0	222	372
6 月	222	266	(84.3)	15	504	173	(88.1)	121	(84.4)	0	216	388
4～6 月	188	772	(78.4)	32	992	459	(84.4)	312	(84.8)	0	216	675
7 月	216	326	(93.5)	18	559	186	(95.4)	121	(99.1)	0	200	386
8 月	200	337	(89.0)	25	562	174	(83.9)	116	(88.4)	0	209	383
9 月	209	334	(88.0)	21	564	198	(97.0)	131	(96.3)	0	198	396
7～9 月	216	997	(90.0)	64	1,276	557	(92.0)	369	(94.5)	0	198	755

出典：生産、輸入、販売（内需）、輸出、期末在庫について、石油連盟発行（石油資料月報）より引用
 内需（建設用）について、国土交通省総合政策局建設市場整備課 主要建設資材月別需要予測より引用

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

(平成23年12月1日現在)

[メーカー]

コスモ石油株式会社	(105-8528) 港区芝浦1-1-1	03 (4434) 5285
JX日鉱日石エネルギー株式会社	(100-8162) 千代田区大手町2-6-3	03 (6275) 5174
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場2-3-2	03 (5531) 5765

[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	(108-8525) 港区芝浦3-4-1	03 (6327) 8000
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
コスモアスファルトカンパニー		
リーフエナジー株式会社	(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) 豊島区巣鴨4-22-23	03 (3915) 7151
富士興産株式会社	(111-0052) 台東区柳橋2-19-6	03 (3861) 4612
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

● 近畿・中国

三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-4-10	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

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
● 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	編集委員
多田宏行	委員長：中村俊行 安崎 裕 鈴木秀夫 根本信行 姫野賢治 神谷恵三 伊藤達也 加納孝志 峰岸順一 松浦精一 田井文夫 半野久光 吉村啓之

アスファルト 第227号
 平成24年1月発行
 一般社団法人 日本アスファルト協会
 ☎ 105-8162 東京都千代田区大手町2-6-3
 JX日鉱日石エネルギー株式会社
 エネルギー・ソリューション1部内
 TEL 03-6275-5174

問い合わせ先
 ・コスモ石油株式会社 販売部販社室 加藤 和美
 TEL 03-4434-5285
 ・昭和シェル石油株式会社 技術商品部 平賀 真視
 TEL 03-5531-5765

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.54 No.227 JANUARY 2012
 Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**
 一般社団法人 日本アスファルト協会 ホームページ <http://www.askyo.jp/>