

コンクリート舗装新時代



社団法人セメント協会 編

コンクリート舗装 新時代

社団法人セメント協会 編

※本書は社団法人セメント協会発行の月刊誌「セメント・コンクリート」No.746から770にかけて不定期連載された「コンクリート舗装 新時代」を一冊にまとめたものです。そのため、各執筆者のご役職は執筆当時のまま表記しています。

コンクリート舗装 新時代 目次

| | | |
|---|--------------------------|----|
| コンクリート舗装の復権 | 小梁川 雅 | 1 |
| いま 舗装を考える コンクリート舗装への期待 再び | 吉兼秀典 | 4 |
| 着々と進む学・協会での研究活動 | | |
| 1. 土木学会, 日本道路協会, 土木研究所での活動 | 西澤辰男 | 7 |
| 2. 「コンクリート舗装の簡易な疲労度試験・評価方法に関する共同研究」の取組み | 熊田一彦 | 10 |
| 3. 舗装用骨材資源の有効利用に関する研究活動 | 山田 優 | 12 |
| 空港施設とコンクリート舗装 -その役割と展開, 今後の期待- | 福手 勤 | 17 |
| 視点1. LCCを考える | | |
| 1. ライフサイクルコストの優位性 | 小梁川 雅 | 21 |
| 2. コンクリート舗装の補修 | 野田悦郎 | 25 |
| 視点2. 環境への貢献 | | |
| 1. ポーラスコンクリート舗装の展開 | 梶尾 聡・小林哲夫 | 28 |
| 2. 舗装種別と重量車の燃費とCO ₂ 排出 | 笠原 篤・吉本 徹 | 31 |
| 視点3. 設計者・施工者への支援 | | |
| 構造設計用ソフトの充実 | 西澤辰男 | 37 |
| 視点4. 施工性と利便性の追求 | | |
| 1. RCCPへの期待 | 多田宏行 | 42 |
| 2. RCCPの新たな展開に向けて | 安藤 豊・飯島 尚 | 43 |
| 視点5. 早期交通開放性の追求 | | |
| 1. プレキャスト版の活用 | 山脇宏成 | 46 |
| 2. 混和剤からのアプローチ | 岡本享久・須藤裕司・長川善彦 | 51 |
| 3. 超早強コンクリートを使ったホワイトトッピング工法 | 野田潤一・吉本 徹 | 54 |
| ズーム・イン活躍現場 | | |
| 1. 成田国際空港での再生骨材コンクリート舗装 | 早川 勇 | 57 |
| 2. コンクリート再生骨材を用いたRCCPの試験施工 | 吉兼 亨 | 62 |
| 3. スリップフォーム工法の展開 | 越川喜孝 | 67 |
| 4. 鋼床版SFRC舗装の展開 | 児玉孝喜・伊藤清志・一瀬八洋・加形 護・鈴木康範 | 70 |
| 5. 新東名高速道路でのコンポジット舗装の採用 | 岡 利幸 | 75 |
| 海外のコンクリート舗装見てある記 | 西澤辰男 | 80 |
| トピックス／コンクリート舗装の機能回復を目指して | | |
| ダイヤモンドグラインディング工法による試験舗装 | 野田好史・吉本 徹 | 87 |
| コンクリート舗装構造の課題 | 福田 正 | 92 |



コンクリート舗装の復権

小梁川 雅*

【舗装】 道路面の耐久力を増すため、煉瓦・木塊・土石・コンクリート・アスファルトなどで路面を築造すること。(広辞苑)

1. 劣勢なコンクリート舗装

人類はその行動範囲を広げるにつれ、スムーズな人の移動、迅速な物資輸送、そして情報伝達のために道路を建設してきた。さらに輸送手段の高度化に伴って、道路の傷みを防ぎ、あるいは大量の軍隊、軍事物資の高速移動のために、路面を硬い物質で被覆する舗装技術を開発してきた。特に自動車という高速移動手段の出現は、舗装技術を格段に進歩させた。高速で移動する車両を安定して走行させるためには、平坦性の確保と耐久性の向上が不可欠であった。これに応える技術としてセメントコンクリートとアスファルト混合物を用いた舗装が生み出され、ほとんど全ての道路がこの2種類の材料によって舗装されている。

ところが主流である2種類の舗装には大きな差が

新連載コーナー コンクリート舗装 新時代

社会基盤整備の分野では、とりわけ環境への貢献、ライフサイクルコスト重視といった側面での社会ニーズに適合したモノ造りと技術が求められています。そうした潮流の高まりが道路整備の分野ではコンクリート舗装を改めて見直そうという機運として盛り上がりを見せています。

このコーナーでは、再認識されつつあるコンクリート舗装への期待と復権への課題を道路管理者や学識者、道路施工会社などの代表者につづっていただきます。あわせて、たゆまざる研究のなかで、明らかになってきた新しい知見と時代のニーズにマッチしたメニューの充実、既存技術の高度化などが可能にする新時代のコンクリート舗装技術の姿を連載で発信して行きます。【編集部】

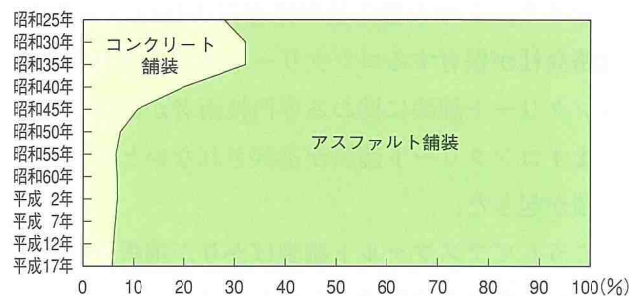


図1 日本の舗装種別比率(道路統計年報より)

出てしまった。現在、わが国の道路舗装のほとんどはアスファルト系の材料を用いて行われており、コンクリート系の舗装は全体の5%程度に過ぎない。図1は、わが国の道路舗装(簡易舗装を含む)の路面種別の変遷である。ここでは、施工当時はコンクリート路面であっても、後からアスファルト混合物によってオーバーレイされた路面は、アスファルト舗装として扱われている。元々、コンクリート舗装の割合は半分以下であったが、昭和35(1960)年頃までは全体の30%以上をコンクリート舗装が占めていた。ところが昭和30年代の後半からアスファルト舗装が急激に増加した。一方、コンクリート舗装は減少の一途をたどり現在に至っている。

2. なぜアスファルト舗装ばかりが…

このようなアスファルト舗装急増の背景には、高度経済成長に伴う急激な交通量増加に対処するための早急な道路整備が必要であったことがある。初期建設コストが安く、早期交通開放が可能なアスファルト舗装が多く選択されたのである。また昭和30年代前半までに舗設されたコンクリート舗装に、目地部やひび割れ部の角欠け、段差が多発し、これが騒

* 東京農業大学 生産環境工学科 教授 工博
A RISING CONCRETE PAVEMENT (by Masashi KOYANAGAWA)

音・振動の原因となって沿道住民から多くの苦情が寄せられたこと、破損に伴う乗り心地が悪化しこれに対する有効な補修技術がなかったことなどから、コンクリート舗装は徐々に敬遠されるようになった。そしてコンクリートは養生を必要とするため、早期交通開放が必要な既存道路の改修や都市内道路舗装ではほとんど用いられることが無くなっていった。このようにコンクリート舗装が敬遠されるようになると、十分な発注量が確保できないことから、道路会社が保有するコンクリート舗装用舗設機械やコンクリート舗装に携わる専門技術者が減少し、ますますコンクリート舗装が選択されないという負の連鎖が起きた。

こうしてアスファルト舗装ばかりが選択されるに従って、発注者の意識からコンクリート舗装は忘れ去られていき、現在では、発注者にとって舗装とは、単にカタログ断面化されたアスファルト舗装を意味するものとなった。本来なら当然行われるべき、施工個所に応じた舗装断面の性能比較や経済性比較も行われることなく、多くの場合、舗装の設計とは旧アスファルト舗装要綱(現舗装技術指針)に掲載されているカタログ断面の選択を意味することとなっている。

アスファルト舗装では、塑性変形によるわだち掘れによって路面性能が早期に低下することが判っていても、簡単にお化粧直しができることから、比較的潤沢な予算を使えたこともあって、面倒な設計段階での検討などよほど特殊な場合を除き行われなかったのである。したがって早期交通開放がそれほど問題とならない新設道路であっても、舗装種別の決定においてコンクリート舗装が選択肢に上ることはほとんど無くなってしまった。

このような悪循環が繰り返され、今やコンクリート舗装は高い、遅い、路面性能が悪いの3拍子そろった悪者とのイメージが定着してしまったのである。

確かにコンクリート舗装には、

- ① 初期建設費用が高い
- ② 養生が必要であり早期交通開放が難しい
- ③ 破損が生じたときに安価で短期間にできる補

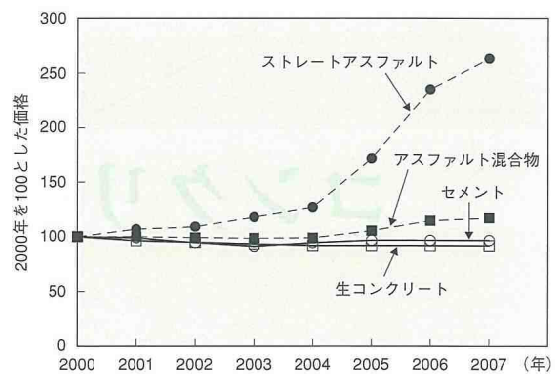


図2 材料価格の推移

修技術がない

- ④ アスファルト舗装に比較すると騒音が大きく、すべり抵抗が少ないなど路面性状が劣る

といった悪いイメージが付きまとう。しかしこれらの欠点は、本当に解決され得ない大きな欠点であるのだろうか。実はこれらの欠点には、解決されたか、解決のための技術開発が行われているものがある。例えば、養生期間を必要としないプレキャストコンクリート舗装や、低騒音を実現できるポーラスコンクリート舗装等の技術がそれである。とりわけ初期建設コストは、これを補ってあまりあるライフサイクルコストの優位性があることが定量的に明らかにされた。これらに関しては、本号からスタートした連載のなかで今後詳しく紹介されていくだろう。

3. 時代は変わった

そして時代は巡り、コンクリート舗装を取り巻く、いや舗装工事自体を取り巻く環境が変化した。2008年の上半期に起こった原油高は、舗装を取り巻く環境を考え直すきっかけとなった。実は、ストレートアスファルトの価格はだいぶ前から上昇傾向にあり、特に2004年頃から急激に高騰している。2008年の原油高騰以前に、すでに2000年の価格の2.5倍となっていたのである。しかしアスファルト混合物の価格は、道路会社の努力や叩き合いのせいもあって、ストレートアスファルトの価格に比較すると上昇していない。だが、現在の経済情勢の中、この価格維持は今後さらに難しくなるであろう。これに対して、セメント価格や生コン価格はほとんど上昇しておら



写真1 優れた耐久性を誇る国道の普通コンクリート舗装(名古屋市)



写真2 プレキャストコンクリート舗装が舗設された交差点(金沢市)

ず、安定的に供給されている。

今や原油はエネルギー資源や原材料資源としての価値よりも、政策的そして投機的価値が高くなっており、これが需要と供給の関係を超えて原油価格の変動を引き起こしている。今後もこの状況は続くであろうし、ほぼ100%輸入原油に依存しているアスファルト材料は、もはや安価で安定供給可能な材料とは言い難くなりつつある。

道路は、言うまでもなく社会活動を維持していくために重要なインフラであり、その整備は着実に進められてはならない。そして舗装は、道路ユーザーに対して直接サービスを提供する構造物である。その整備の多くをアスファルト材料にゆだねることが、国や地方の政策として果たして正しいことなのだろうか。

4. コンクリート舗装の復権へ向けて

舗装の主な機能は言うまでもなく、安全かつ快適な走行を提供することである。そしてこの機能を満足するために、舗装は耐久性やすべり抵抗性などの所要の性能を有することが求められる。今、舗装の設計は仕様規定から性能規定へ移行しつつある。すなわち所要の性能が満足されれば、材料や工法はど

のようなものでもかまわない(もちろん経済性が考慮される)という考え方に変わりつつある。これはコンクリート舗装にとってチャンスである。道路事業に対する世間の風当たりは強く、道路予算の削減が取りざたされている昨今、重要なインフラである道路整備を着実に推進する上で、適材適所の舗装種別選択は欠かせない。日本全国どこへ行っても同じ舗装断面という時代は終わらなければならない。

高規格幹線道路などの重交通で疲労破壊抵抗性や塑性変形抵抗性が重要視される路線、逆に交通量が少ないためメンテナンスフリーの耐久性が要求される山間地域の路線、視認性や塑性変形抵抗性が要求される交差点部など、コンクリート舗装が適している施工場所は多い。

この連載企画では、コンクリート舗装への期待、その長所、欠点克服への技術開発、海外のコンクリート舗装の現状等について、産官学それぞれの識者にそれぞれの立場からの声が寄せられることになる。この誌面を通してコンクリート舗装に対する理解を深めていただき、適材適所の舗装種別選択が行われること、そしてコンクリート舗装の舗設率が増加していくことを期待したい。

[セメント・コンクリートNo.746/2009年4月号]



いま 舗装を考える

コンクリート舗装への期待 再び

吉兼 秀典*

1. 舗装の役割

建設から維持管理の時代と言われてから、もうだいぶ時が過ぎたような気がする。確かにこの10年来の公共事業抑制、道路批判の逆風のなかで新しい道路をつくる機会は減っている。しかしながらこのような厳しい時代にあっても、毎日大勢の方々が道路を利用している以上、安全で円滑な道路サービスを提供することが我々道路事業に携わってきた者の重要な使命であることは今もこれからも変わりはないと思っている。道路サービスの提供という役割の中で道路を利用する方々に対して常に直接関わっているのが路面であり、その中心で頑張っているのが舗装であると言える。

このような意味で今後、公共事業や道路事業がどのような方向に進むにせよ舗装が担わなければならない役割は、高まりこそすれ決して軽んじられることはないと信じている。舗装に関わる技術者や関係者はこのような自分達に課せられた使命を謙虚に受け止め、今後一層厳しくなる財政制約や道路を利用する方々から求められるサービス水準の高まりの中、より質の高い舗装をより安いトータルコストで提供するために不断の努力を積み重ねていかなければならないのではないだろうか。私も長年舗装に携

わってきた者として、新たに自分達に課せられたこのような使命を今、再認識しているところである。

2. 舗装技術の新しい流れ

舗装技術を支える基準類が、従来の仕様規定を基本とするアスファルト、セメントコンクリート舗装要綱等から性能規定を基本とする舗装構造に関する技術基準、舗装設計指針等が変わってから10年近く経とうとしている。仕様規定から性能規定への移行は、舗装の設計、施工の自由度をさらに高めることで、千差万別な現場の状況に的確に対応した、質が高く、供用期間全体に渡るトータルコストの低い舗装をより選択しやすくすることを意図したものである。

残念ながらもまだ、全国の発注者や現場技術者がこのような考え方を熟知し、最適と言えるような舗装の設計、施工が行われている状況には必ずしもないが、(社)日本道路協会でのような舗装の基準類の策定に関わってきた者としては、こうした考え方が少しでも広く現場の関係者に理解していただけるよう今後もさまざまな努力を傾けていきたいと考えている。

性能規定の考え方に立てば、現場の状況に応じて安全で円滑な路面サービスをより低いトータルコストで提供できるのなら、アスファルトとかコンクリートとかいった材料の選択に対して先入観をもつ

* (社)日本道路協会 舗装委員会 舗装設計施工小委員会 委員長
RECONFIRMATION OF IMPORTANCE OF PAVEMENT—EXPECTATION
TO CONCRETE PAVEMENT—(by Hidenori YOSHIKANE)

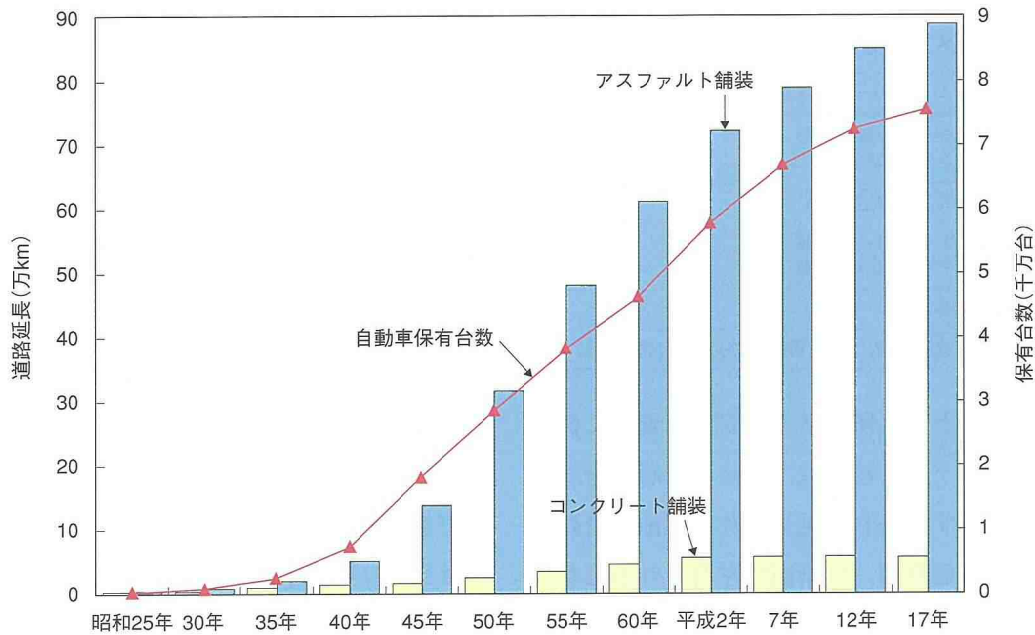


図1 道路延長および車の保有台数の推移(道路統計年報より)

ことなく、より現場に適したものを選択することが必要な時代になったということに関係する方々は是非理解していただきたい。

3. 再び見直される コンクリート舗装への期待

わが国の道路整備が本格的に始まったのは戦後昭和30年代からであり、高度経済成長の時代を経てこの半世紀の間に路面のサービス、舗装の整備という面では、全国的にみて一定の水準に達したと言えるであろう。

道路整備が始められた頃の当面の目標は、当時は雨が降ればぬかるみ、晴ればほこりが舞うような泥や砂利でできた狭い道が大部分であった中、これらの道をまず安定した路面を確保するため舗装の整備を進めることであった。その中で最初はアスファルトとコンクリートという材料それぞれを対象に技術開発が進められ、バランスを保った整備が進められていた。

しかしながら、その後少しでも早く舗装延長を延ばすという強い社会的要請の中で、どちらかという初期コストが低廉で比較的簡易に施工ができるア

スファルト舗装が舗装整備の中心になりその延長を急速に伸ばしてきた(図1)。一方、道路利用者や沿道住民の舗装に対するニーズも社会生活水準の高度化と相まって変化し、騒音や乗り心地等の面で不利だったコンクリート舗装はどちらかという敬遠されるようになってしまった。

アスファルト舗装は確かに初期コストが安く、扱いやすい工法ではあるが、その材料は全面的に海外からの輸入に頼っている。一方、コンクリート舗装は国内で入手できる材料だけで施工できるという大きな利点を持っている。舗装整備の基本はあくまで現地で容易に入手できる材料を活用して少しでも安価な舗装を早く施工することであると従来から言われている。このような考え方に立てば、アスファルト舗装という海外に全面的に依存した工法にあまりにも偏ったわが国の舗装の現状は決して望ましい姿ではないと思う。現状ではわが国のコンクリート舗装の割合は5%程度に対して、諸外国ではコンクリート舗装の利点を活かしながら一定の割合のコンクリート舗装を維持していることは学ぶべきものがある(表1)。

2008年のガソリンの高騰はまだ記憶に新しいこと

表1 諸外国のコンクリート舗装の舗装割合
(セメント協会資料より)

| 国名 | コンクリート舗装の割合の事例 |
|------|---|
| アメリカ | インターステート等幹線道路 コンクリート舗装13%、 コンポジット舗装19% |
| イギリス | 高速道路20%、幹線道路6% |
| ドイツ | 旧西ドイツアウトバーン30% 旧東ドイツアウトバーン82% |
| フランス | 高速道路15% |
| ベルギー | 自動車専用道路40%、国道(幹線道路)20%、県道35% |

ではあるが、原油という限りある不安定な資源に依存しているアスファルト舗装は、今後も一層需給バランスが不安定化する恐れが見込まれる原油供給の世界的な動向に、価格面、供給面で左右されかねない不安定性を抱えている。

わが国の舗装の基礎的材料がアスファルトに全面的に依存している現状は、資材の安定供給という面で見直す必要があるのではないだろうか。私が役所に入ってしばらくした頃、第一次、第二次オイルショックを経験した後で、コンクリート舗装を見直そうという気運が盛り上がり、関係業界の努力もあって高速道路等の幹線道路でコンクリートの施工が進められた時期があった。残念ながらその後原油の供給、価格が安定し、またわが国のさらなる経済成長とともに道路利用者のニーズの高度化、道路整備の拡大に伴う舗装の急速整備の要請が高まる中でコンクリート舗装を見直そうという声は、ほとんどかき消されてしまった。

今、わが国は過去に例をみない景気後退の真っ只中にある。一方、環境問題への国民の関心、限られた資源を大切かつ有効に使うべきという要請も高まっている。過去の高度経済成長、石油依存社会への反省から、新しい経済施策、社会生活スタイルが求められるようになってきた。

このような時代だからこそ、舗装においても今までのようなアスファルト依存の実態を見直し、コンクリート舗装の利点を再確認しながら、その正しい適用可能性を探るべき時ではないか。コンクリート

表2 コンクリート舗装の推奨適用箇所と有効性

| 適用箇所 | 有効性 |
|-----------------|-----------------------|
| 高規格幹線道路、都市間主要道路 | 構造的耐久性、路面性能長期維持 |
| トンネル | 視認性、補修工事削減 |
| 軽交通道路 | 供用性長期維持、メンテナンスフリー |
| 交差点 | わだち掘れ防止、骨材飛散防止、補修工事削減 |

舗装には従来言われてきた欠点はあるものの、耐久性がありトータルコストで有利であるとか、環境への負荷が小さいとか、材料の安定供給が可能であるといった利点が数多くあることをもう一度考えていただきたい。

コンクリートがもつ利点をうまく活用してコンクリート舗装の正しい使い方を検討してみる必要があるのではないか。

このため、(社)日本道路協会では、このようなコンクリート舗装の利点、欠点を分かりやすく解説し、コンクリート舗装の正しい適用のもとで、その普及、拡大に資するための技術資料を作成したところである。今後、道路管理者や施工会社の舗装技術者の方々に広く活用していただき、コンクリート舗装の正しい適用が全国の現場で試みられることを願っている。

技術資料では上記に示すように、コンクリート舗装の適用が推奨される箇所を提案している(表2)。これを参考に現地の状況を十分踏まえながら、コンクリート舗装の利点が真に活かせる場合は、是非その採用を検討していただきたい。

アスファルト舗装に全面的に依存している現状を少しでも変えていくために、また、コンクリート舗装の減少とともに弱体化しているコンクリート舗装に関わる技術と技術者を今後わが国で再び育てていくためにも、今一度コンクリート舗装に対して舗装関係者の関心が高まることを大いに期待している。

[セメント・コンクリートNo.747/2009年5月号]



着々と進む学・協会での研究活動

1. 土木学会, 日本道路協会, 土木研究所での活動

西澤 辰男*

1. 学・協会の連携の動き

日本の道路におけるコンクリート舗装の延長はきわめて少なく、5%以下であるといわれている。その理由は高い初期建設費用や補修の難しさなどが挙げられているが、それにしても欧米や近隣のアジア諸国に比べても少なすぎる。このままではコンクリート舗装技術自体が途絶えてしまうのではないかとこの危機感もあって、学会や協会ではコンクリート舗装の普及に向けて活動を活発化させている。

日本道路協会で制定されたセメントコンクリート舗装要綱は、わが国のコンクリート舗装の技術の成果であり、その内容は世界的に見ても遜色ない。その後、旧建設省(現国土交通省)により舗装の構造に関する技術基準が制定され、その下でアスファルト舗装やコンクリート舗装を含めた設計、施工規準類が整備された。コンクリート舗装に関しては、セメントコンクリート舗装要綱の内容がほぼそのまま踏襲されている。さらに、コンクリート舗装の活用に向け、設計施工小委員会の下にコンクリートWGが設けられ、コンクリート舗装の普及のための活動を行っている。

コンクリート舗装に関する個別の技術的課題を検討すべく、セメント協会には舗装技術専門委員会が設置されている。コンクリート舗装に関する調査研究を行い、それらの結果を各種規準類へ反映させている。また、AASHTO試験結果やAASHTO設計ガイドを翻訳、出版するなど、舗装界全体への貢献も少なくない。現在では、新たなコンクリート舗装構造の開発、コンクリート舗装の供用性調査や経済性の検討など、以前にも増して活発に活動している。

アカデミアである土木学会でもコンクリート標準示方書の中に舗装編があって、学術的な観点からコンクリート舗装の設計の規準を示してきた。その後、土木学会に舗装工学委員会が立ち上がり、アスファルト舗装も含めた舗装標準示方書が制定された。さらに、舗装標準示方書コンクリート舗装編の制定に携わったメンバーを中心に、コンクリート舗装小委員会が発足している。

もともとシェアの小さいコンクリート舗装を専門とする技術者、研究者は数が少なく、上記の活動母体におけるメンバーの大半は、多かれ少なかれすべての活動にかかわっている。自然にこれらの学・協会の活動には連携の動きが生まれており、それぞれの立場の違いを越えてコンクリート舗装の技術継承、発展に努めているところである。本稿では、これらの連携の状況について紹介したい。

* 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 教授
COLLABORATION CAMPAIGN FOR CONCRETE PAVEMENTS
BY ACADEMIC SOCIETIES AND RESEARCH INSTITUTIONS (by
Tatsuo NISHIZAWA)

2. 日本道路協会舗装設計施工小委員会 コンクリートWG

日本道路協会舗装委員会でもコンクリート舗装の技術継承には危機感を抱いており、その対策を検討すべく本WGが設立された。WG長は東京農業大学の小梁川 雅教授で、メンバーには土木研究所、道路会社、高速道路会社および大学、高専から専門家が参加している。このWGでは、コンクリート舗装の普及にはコンクリート舗装自体を正しく知ってもらうことが第一であると考え、そのための技術資料を作成した。

特に舗装工事の発注者である国、地方自治体にコンクリート舗装を認知してもらうことが必要である。このようなことから、コンクリート舗装の道路における現状、長所や短所、設計法、施工法、補修技術、適用個所など、わかりやすく説明する資料とした。これに基づいて、コンクリート舗装の地方への普及行脚を実施する予定である。

3. セメント協会舗装技術専門委員会

セメント協会では、セメント活用の一環として古くからコンクリート舗装に関する調査研究を行う舗装技術専門委員会を設けている。現在の委員長は前出の小梁川教授であり、委員はセメント製造会社の技術者に加え、官側の研究者、道路会社の技術者や学の研究者から構成されている。委員長が日本道路協会のコンクリートWG長でもあるので、両者は緊密な連携関係にある。その活動は、主に舗装用セメントコンクリートの技術的課題の克服を目指してきた。最近では材料だけでなく舗装構造自体の研究も実施しており、RCCP、ホワイトトッピングやポーラスコンクリート舗装(写真1)などの新工法、新技術の開発も行っている。舗装用コンクリート材料の開発、舗装構造の検討、試験舗装による長期供用性の確認などを行い、新材料、新工法の実用化への展

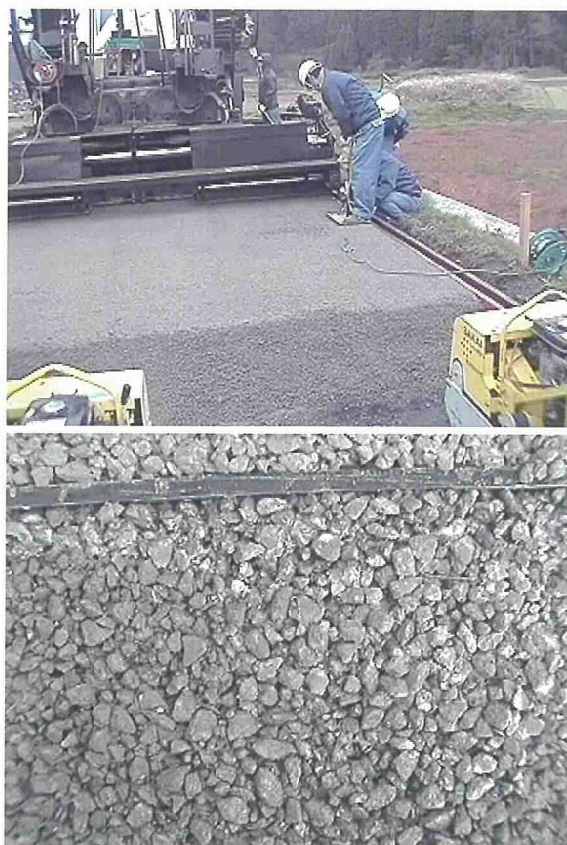


写真1 ポーラスコンクリート舗装の施工と路面

望を開いてきた。

また、全国のコンクリート舗装を調査し、その結果に基づきライフサイクルコスト(LCC)を計算してアスファルト舗装との比較を行い、長期経済性におけるコンクリート舗装の優位性を具体的に明らかにしている。これらの成果は多くの舗装技術専門委員会報告として公表され、コンクリート舗装の技術規準類の策定に活用されている。

4. 土木学会コンクリート舗装小委員会

土木学会には、舗装関係の調査研究を行う舗装工学委員会がある。もともと土木学会には舗装関係の委員会がなく我々舗装研究者は肩身が狭かったが、平成元(1989)年に地盤工学委員会の中に舗装関係の小委員会を発足させることができた。その後の地道な小委員会活動が認められ、平成14年に舗装工学委員会に昇格した。

舗装工学委員会の重要なミッションの1つに舗装

標準示方書の制定がある。これは土木学会コンクリート標準示方書の舗装編を基に、アスファルト舗装も含めて独立させたものである。コンクリート舗装はその中に含まれることになった。舗装標準示方書が最新の技術動向や研究成果に迅速に対応できるように、定期的な改定がなされる予定である。その改定に向け、コンクリート舗装の技術的課題を解決するために、コンクリート舗装小委員会が設立された。委員長は筆者が務め、30名以上の産官学の技術者や研究者、特に学からはコンクリート工学の専門家にも参加していただいている。本委員会は学術的な面からコンクリート舗装の基本的な挙動、破壊のメカニズムを明らかにしていくことを目指している。他の協会の活動を支援するとともに、世界的な動向を踏まえたコンクリート舗装の革新的研究シーズを開拓することも求められる。

委員会は、設計分科会、材料・施工分科会および供用性分科会に分かれて活動している。設計分科会では、舗装標準示方書の利用を促すために、具体的な設計条件の下で試設計を実施している。そこから現行設計法の問題点を明らかにし、新しい設計法への展望を見いだそうとしている。材料・施工分科会では、施工の合理化や初期欠陥の防止に向けた調査研究を行っている。供用性分科会では、供用性データの解析や海外文献の収集を実施している。

5. 共同研究

コンクリート舗装の普及のためには、産官学による具体的な共同研究が重要である。そのような活動として、(独)土木研究所、東京農業大学、セメント協会ならびに石川工業高等専門学校の4者による「コンクリート舗装の構造設計の高度化に関する研究」を紹介する。

適切に設計、施工されればコンクリート舗装の構造が耐久的事であることは疑いないが、あまりに過大な構造はコンクリート舗装の経済性を損なうことに



写真2 走行試験路におけるコンクリート舗装区間

なる。たとえば、コンクリート版の中に設置されている鉄網の役割は、ひび割れ後のコンクリートの飛散防止とされている。しかしながら、このことは必ずしも実証されているわけではなく、むしろ鉄網の設置は施工上、経済上のネックとなっている。もし効果があれば、それを合理的な形で構造設計に組み込むべきである。同様のことがコンクリート版と路盤の間に施工されるアスファルト中間層についてもいえる。中間層については、供用性調査結果からその効果が確認されているが、そのメカニズムは必ずしも明確ではない。本研究では、土木研究所の試験走路において写真2に示すような試験舗装を建設し、これらの効果を含め、現在の構造設計に関わる課題について実証的および理論的に検討していく予定である。

6. 海外の動向

欧米や中国、韓国ではコンクリート舗装がそれなりの役割を与えられている。アメリカ合衆国には、コンクリート舗装建設業協会(ACPA)なる団体があり、アメリカ合衆国連邦道路庁(FHWA)と連携し、莫大な予算を各州の大学に割り当てて開発研究を行っている。たとえば、アイオワ州立大学、アイオワ州道路局およびアイオワコンクリート舗装建設業協会は、国立コンクリート舗装技術センター(NCPTC)なる機関を共同で設立した。そのセン



図1 EUPAVEのWEBサイト

ターでは、コンクリート舗装の研究開発、技術者の研修などを一手に引き受けている。その成果の一部がAASHTO設計法や各州の舗装設計法に活用されている。

また、欧州では国を越えた連携の動きがある。EUPAVEと名付けられた団体は、欧州各国のセメント協会や業界団体の集合体であり、今後コンクリート舗装の技術開発および普及、拡大活動を積極的に展開していくようだ(図1)。さらにお隣の韓国では、政府機関が音頭をとって高速道路に写真3に示すような大規模な試験舗装区間を設け、長期挙動の観測を行っている。この結果は韓国版AASHTO設計法として実を結ぶことになるだろう。



写真3 韓国のコンクリート舗装の試験区間

7. 今後の課題

わが国では、学・協会で連携を取りながら細々とコンクリート舗装の研究、技術開発を続けている。しかしながら、とにもかくにも予算や試験ヤードが決定的に不足している。ある程度の規模を持った技術開発や研究計画が新しい研究者を呼び込み、同時に若い技術者、研究者を育てる場となる。技術の継承もそこから始まる。幸いにして、現在はその芽が出そうな雰囲気がある。今後は国内だけでなく、アジア諸国を巻き込んだ国際的共同作業も模索するべきかもしれない。

2. 「コンクリート舗装の簡易な疲労度試験・評価方法に関する共同研究」の取組み

熊田 一彦*

1. 研究の背景および目的

供用中のコンクリート舗装の繰り返し荷重による疲労度を評価する方法として、現場からの供試体(1供試体当たりの寸法：15×15×53cm)を切り出し、

* (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 主任研究員
JOINT RESEARCH ABOUT SIMPLE FATIGUE TEST AND EVALUATION METHOD IN CONCRETE PAVEMENT(by Kazuhiko KUMADA)

疲労試験を行うことによってコンクリート版の疲労曲線および疲労度を推定する方法がある。

しかしながら、疲労度の推定に関する実証的な報告は数少なく、東・中・西日本高速道路(以下、NEXCOと略)でも過去に疲労試験を実施したデータは数例にとどまる。

この理由の1つとして、供用中の高速道路から曲

資料 高速道路での疲労試験用供試体採取作業の流れ



試験用の供試体を切り出すさいに、長時間の交通規制や多大な労務を必要とすることが挙げられる(資料)。

本稿で紹介する研究は、コンクリート舗装の疲労に関する試験をより簡易に実施することで着実なデータの蓄積が図れるよう、現場から容易に採取できるコアボーリングによる切取り供試体に着目し、円柱コアを用いて疲労度を推定する試験方法および評価方法を検討するものであり、セメント協会と共同研究を実施している。

2. NEXCOのコンクリート舗装

NEXCOでは、従前よりトンネル部でコンクリート舗装を採用してきている。また、近年では連続鉄筋コンクリート版を用いたコンポジット舗装を標準としている。

一方、明かり部では一般的にアスファルト舗装を採用しているものの、1974年に東北自動車道(矢板～白河IC間)で最初のコンクリート舗装が施工されて以降、中央自動車道(葦崎～諏訪南IC間(写真1))をはじめ山陽自動車道、長崎自動車道、東海北陸自

動車道、常磐自動車道などの一部の区間でコンクリート舗装が施工されている。

ここに挙げた区間はいずれも供用から20年以上が



写真1 供用から約30年経過した中央自動車道のコンクリート舗装

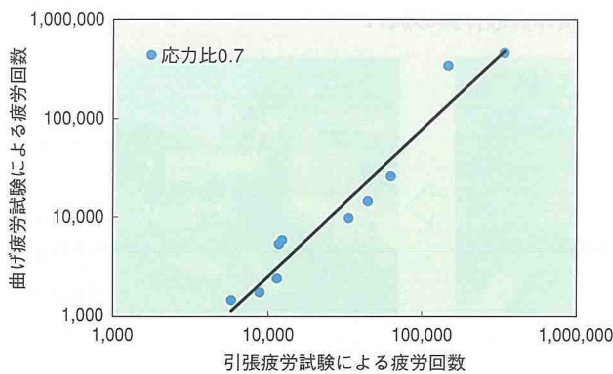


図1 曲げ疲労試験と引張疲労試験による疲労回数の比較イメージ

経過した区間であるが、その多くが構造的な耐久性を十分に有していることが報告されている。

構造的な損傷に着目した場合、これまでのNEXCOでのコンクリート舗装の補修は部分的な打替えが大半である。また一部では関越自動車道などでプレーンコンクリートによる切削オーバーレイなどの面的な補修が実施された例が報告されているが、コンクリート版全体を大規模に補修した事例はない。

また最近では、中央自動車道などで見られるように、路面性状の損傷に対する補修としてアスファルト舗装によるオーバーレイも実施されている。

このように、年々老朽化するコンクリート舗装の資産が増加する一方で、長期間の車線規制を要する全面的な補修が現実的に困難である状況を考慮すれば、部分的あるいは薄層での補修方法を視野に入れ

た対策が望まれる。

このため、現状のコンクリート舗装の疲労度や残存的な耐久性を評価し、損傷レベルや施工環境等に応じた補修方法を選択できる設計手法を構築する必要がある。

3. 研究の考え方

現在、コンクリート舗装の疲労度を円柱コアから推定する方法として、圧縮疲労試験と引張疲労試験の結果を、従来の曲げ疲労試験の結果に換算する方法を検討している。

具体的には、まず円柱コアから圧縮疲労試験と引張疲労試験を実施する試験方法を提案する。

次に、室内試験で得られた曲げ疲労試験の結果と円柱コアによる圧縮疲労試験および引張疲労試験の結果を、応力比と载荷回数との関係から比較評価し、曲げ疲労寿命への換算式の提案を行うことで、残存の曲げ疲労回数の推定に着目した評価方法を検討する(図1)。

また、これら室内試験による基礎的な研究段階を踏まえ、実際の高速道路から採取した供試体を基に、換算式の妥当性や課題等について検証を行う予定である。

このさい、所要の推定精度を確保するために、ひび割れなどの路面性状データやFWDなどの非破壊試験データ等を活用した補完方法も検討していきたい。

3. 舗装用骨材資源の有効利用に関する研究活動

山田 優*

1. はじめに

最近、各分野で産学官の共同研究が盛んになって

* 大阪市立大学名誉教授 工博
A RESEARCH PROJECT ON EFFECTIVE UTILIZATION OF AGGREGATE RESOURCES FOR PAVING MIXTURES (by Masaru YAMADA)

いる。関西での新都市社会技術融合創造研究会(会長:大西有三 京都大学副学長)も、その一つである。2002年度に道路など社会基盤施設の整備、維持、管理に関する新しい技術の研究・普及等を産学官が連携・協力して行うため設立された。この研究会で、

これまで合計18の共同研究プロジェクトが実施あるいは継続中である。

筆者も同会を運営する委員会に参加し、2005～2007年度の「排水性舗装混合物のリサイクル技術の研究」に続き、2008年度より「舗装用骨材資源の有効利用に関する研究」のプロジェクトリーダーを務めさせていただいている。このプロジェクトは、アスファルト舗装の問題を解決しようとして始まったが、コンクリート舗装にも対象を広げた研究に発展している。本稿では、その概要を紹介し、読者諸氏のご批判、ご協力を得たい。

2. 研究の背景と目的

道路等の舗装に用いるアスファルト混合物は、碎石、砂、石粉およびアスファルトを主な原材料にして製造される。それらの使用(質量)割合は混合物の種類により異なるが、表層に一般的に用いてきた密粒度アスファルト混合物では、粗骨材としての碎石が45～60%、細骨材としての砂が30～40%程度を占める。ゆえに、アスファルト混合物の製造には大量の碎石と砂を必要とし、それらの安定供給は道路等の整備を続ける上で不可欠である。ところが、碎石は原料となる岩石が全国的に存在し、地元の府県または近隣の府県から供給を続けるのが可能なものの、砂については天然砂が採取できず安定供給が困難な地域がある。

日本道路協会舗装設計施工小委員会・材料WGが全国138個所のアスファルト合材プラントに対して実施したアンケート結果¹⁾によると、粗骨材となる碎石は入手が難しいという回答が特に多い地域は見られないが、細骨材となる砂では、関西、中国、四国地区で入手が難しい。特に関西では粗砂、細砂ともに入手が難しいという結果が出た。

図1に、日本アスファルト合材協会近畿地区連絡協議会が近畿各府県の合材プラントにおける砂の使用状況を調査した結果から、2005年度分の概要を示

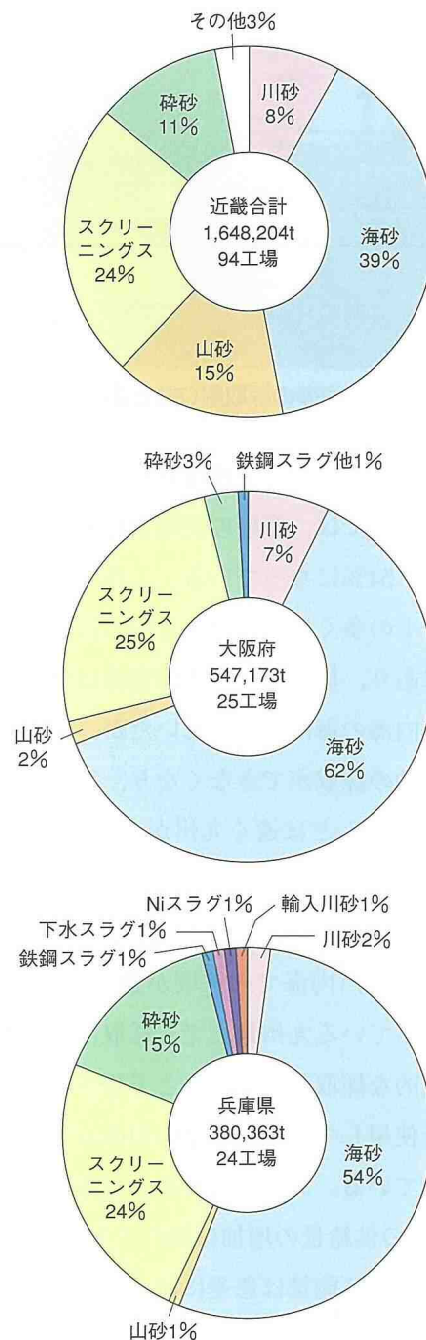


図1 近畿地方のアスファルト合材プラントにおける砂の使用状況 [2005年度分、日本アスファルト合材協会近畿地区連絡協議会調査資料より]

す。調査対象となったアスファルト合材プラントは94工場である。これらのプラントで年間、合計160～170万t、1工場当たり平均1.7～1.8万tの砂を使用していて、砂の種類は天然砂である川砂、海砂および山砂、人工砂であるスクリーニングス、砕砂などである。

近畿地方全体では、砂の使用量の39%が海砂であ



写真1 海砂の採取船(左)と運搬船(右)

る。近畿の府県で最も砂使用量が多い大阪府、次いで多い兵庫県では、海砂の使用割合が特に多く、それぞれ62, 54%になっている。これらの府県での合材プラントの多くは阪神地区を中心に大阪湾に面した地域にあり、従来から天然砂資源は少なく、少し前は瀬戸内海の手砂に頼っていたが、最近では瀬戸内海で海砂の採取ができなくなり、現在使用している手砂のほとんどは遠く九州から運ばれている(写真1)。また阪神地区のある工場では、2006年度まで海外(中国)産の輸入川砂も使用していた。

手砂は、瀬戸内海での採取が禁止されたように、現在採取している九州地方でも採取は制限されており、全面的な採取禁止も近いと予想される。一部プラントで使用していた中国産の川砂もすでに輸出禁止になっている。わずかに使用してきた山砂と川砂も、今以上の供給量の増加は期待できない。むしろ、それらの採取可能量は急速に減少していると予想される。

ゆえに、手砂の採取が完全禁止になれば、深刻な事態となることから、早急に対策を講じなければならない。幸い、近畿にはまだ採石山はあり、また鉄鋼業が盛んでスラグも生産されている。都市ごみや下水汚泥の溶融もされていてそこからスラグが産出する。

ダム湖やその上流の河川には土砂が堆積し、それを浚渫して利用することが求められている。さらに、舗装材のリサイクルも可能である。人工砂、再生砂

の開発、供給増により、近畿における舗装用砂の自給率を上げることが可能と考えられる。しかし、それらを一般的な舗装用骨材とするには、品質特性を十分に把握し、使用方法、品質の評価・管理方法等について関係者間のコンセンサスが必要となる。

そこで、近畿地方では砕砂のほか、鉄鋼スラグ、ごみ・下水汚泥の溶融スラグ、ダム堆砂、アスファルト再生骨材、コンクリート再生骨材等が舗装用骨材として供給可能と考え、それらの活用と品質管理の方法を検討することを目的に、産官学共同研究プロジェクトを開始した。研究予定期間は、2008年度～2010年度の3年間である。

3. プロジェクトでの具体的課題と取り組み状況

3-1. ワーキングテーマ

現在、次の8テーマでワーキンググループを設けて研究を進めている。それぞれのテーマと主な検討課題を紹介する。

(1) 排水性舗装・各種環境舗装のリサイクル技術の開発

- ① 排水性舗装・各種環境舗装発生材の品質
- ② 既設舗装混合物の撤去方法
- ③ 舗装発生材からの効率的骨材回収方法
- ④ 骨材回収後残物の有効利用方法

(2) 鉄鋼スラグのアスファルト混合物用骨材としての適用性の検討

- ① 高炉水砕スラグ砂および製鋼徐冷スラグ砂のアスファルト混合物用細骨材としての適用性
- ② 製鋼徐冷スラグのポーラスアスファルト混合物用骨材としての適用性

(3) ごみ溶融スラグのアスファルト混合物用細骨材としての適用性の検討

- ① 溶融スラグの品質
- ② 溶融スラグのアスファルト混合物用細骨材としての適用性

(4) コンクリート再生細骨材のアスファルト混合物用細骨材としての適用性の検討

① コンクリート塊を全量破碎して製造した再生細骨材のアスファルト混合物用細骨材としての適用性

② 特に再生細骨材の吸油性が及ぼす影響

(5) ダム堆積土砂の舗装用骨材としての適用性の検討

① ダム堆積土砂の品質と採取可能量

② ダム堆積土砂の採取ならびに細骨材分の分離方法

③ 細骨材分離後の残物の有効利用方法

(6) 細骨材としての砕砂の製造で発生する碎石粉のアスファルト混合物用フィラーとしての適用性

① 各碎石工場における碎石粉の品質

② 碎石粉のアスファルト混合物用フィラーとしての適用性

(7) 下水汚泥焼却灰のアスファルト混合物用フィラーとしての適用性

① 下水汚泥焼却灰の品質

② 下水汚泥焼却灰のアスファルト混合物用フィラーとしての適用性

(8) コンクリート舗装の普及と再生骨材・碎石粉等の有効利用

① 普及しやすいコンクリート舗装の工法とその設計方法

② コンクリート再生骨材のコンクリート舗装への適用性

③ 碎石粉のコンクリート舗装用材料としての利用方法

3-2. 参加メンバー

現在、次の企業・機関から研究者が参加している。
産：大林道路(株)、奥村組土木興業(株)、鹿島道路(株)、昭和瀝青工業(株)、世紀東急工業(株)、大成ロテック(株)、東亜道路工業(株)、(株)NIPPOコーポレー

表1 試験施工の概要

| |
|---|
| 施工箇所：国道28号線淡路市東浦地区，下り車線，約200m 施工日：2009年2月13日 施工者：淡路土建(株) 施工に使用したアスファルト混合物：次の人工砂を用いた密粒度改質アスファルト混合物 1) 転炉スラグ砂(転炉による製鋼工程で産出したスラグ塊を破碎，ふるい分けして製造) 2) 溶融スラグ(ごみの高温溶融処理で産出した溶融物を水砕処理して製造) 3) コンクリート構造物の解体で発生した良質なコンクリート塊を破碎処理して製造 |
|---|



写真2 試験施工のようす

シオン，日本道路(株)，前田道路(株)，(株)大阪碎石工業所，近畿碎石協同組合，(株)森組，鐵鋼スラグ協会，新日鉄エンジニアリング(株)，セメント協会，大阪兵庫生コンクリート工業組合

学：大阪市立大学，近畿大学，神戸大学，立命館大学

官：国土交通省近畿地方整備局(道路部，兵庫国道事務所，近畿技術事務所)，大阪府，兵庫県，大阪市，神戸市

オブザーバー：堺市，姫路市，(財)道路保全技術センター，奈良県，奈良市，(独)水資源機構

3-3. 試験施工

2008年度には，まず転炉スラグ砂，溶融スラグ砂およびコンクリート再生細骨材を用いて，アスファルト舗装の試験施工が行われた(表1，写真2)。

これらの試験施工は，通常の天然砂使用の場合と変わらず行われた。今後，路面性状の追跡調査も実

施される。

なお、2009年度以降も、これら人工砂、再生砂の使用実験のほか、舗装材のリサイクル率の向上、ダム堆砂、碎石粉、下水汚泥焼却灰の利用策、再生骨材を利用しやすくするコンクリート舗装工法などについての研究結果を実証するため、順次、試験施工を進めるよう働きかけを行っている。

4. おわりに

資源の有効利用のためには、アスファルト舗装だけでなく、コンクリート舗装も採用すべきと考えている²⁾。海外からの資源でつくられるアスファルトでなく、国内で豊富な石灰石からつくられるセメントをもっと活用すべきである。アスファルト舗装よりも、コンクリート舗装で利用しやすいと考えら

れる骨材資源もある。たとえば、コンクリート再生骨材や碎石粉は、転圧コンクリート舗装で利用しやすいと予想される。

しかし、コンクリート舗装の施工実績が激減してから久しい。現状に合った施工技術、設計方法の再検討も必要であろう。

[参考文献]

- 1) 海老澤秀治, 向後憲一, 坂本浩行/アスファルトプラントアンケート調査による混合物骨材の実態, 舗装, Vol.42, No.8, pp.3~11, 2007
- 2) 山田 優/コンクリート舗装への期待と課題, セメント・コンクリート, No.735, pp.5~11, 2008.5

[セメント・コンクリートNo.748/2009年6月号]



空港施設とコンクリート舗装

－その役割と展開，今後の期待－

福手 勤*

1. わが国の空港コンクリート舗装

滑走路，誘導路，エプロンは，空港の機能を支える空港基本施設である。わが国では，滑走路，誘導路は一般にアスファルト舗装であるが，大型機が就航する空港のエプロンはコンクリート舗装となっている。これは1脚当たりの荷重が100tにも上る大きな静止荷重にはアスファルト舗装で対処することは難しく，必然的に耐荷性能に優れたコンクリート舗装が採用される。

わが国の空港コンクリート舗装は，一般には施工目地，収縮目地の配置を伴う無筋コンクリート舗装である。これに対し構造上の弱点となりやすい収縮目地をなくした連続鉄筋コンクリート舗装，地盤の沈下に追従しやすく目地の数も減らすことができるプレストレストコンクリート舗装，補修性能を向上させたプレキャスト版舗装などもいくつかの空港で採用されている。

写真1は現在再拡張事業が進む羽田空港の航空写真¹⁾である。現空港の第1，第2ターミナル周辺，南側の整備場地区周辺，西側で整備中の国際線地区周辺のエプロン舗装は全てコンクリート舗装(白舗装)であることが伺える。



写真1 羽田空港の航空写真(撮影日：2009年3月15日)¹⁾

2. 現場のニーズをとらえた性能設計へ

従来の空港コンクリート舗装の版厚の設計は，弾性バネ支床上のコンクリート平板を対象としたWestergaard理論から計算される曲げ応力に基づく古典的方法であった。これは路盤支持力と航空機荷重が決まれば，交通量に応じてあらかじめ定められた安全率を介して，舗装版厚が決定される，いわゆる「仕様規定型設計法」であった。

これに対し平成20年7月に航空法施行規則が改定され，空港施設の耐震化のための基準の整備などとともに，舗装の設計に性能設計の考えが導入された。性能設計法は，図1のイメージのように，舗装が保有すべき性能をあらかじめ定めておき，設計された舗装が所要の性能を満たすことが確認できれば，断

* 東洋大学 理工学部 都市環境デザイン学科 教授 工博
AIRPORT FACILITIES AND AIRPORT CONCRETE PAVEMENTS
(by Tsutomu FUKUTE)

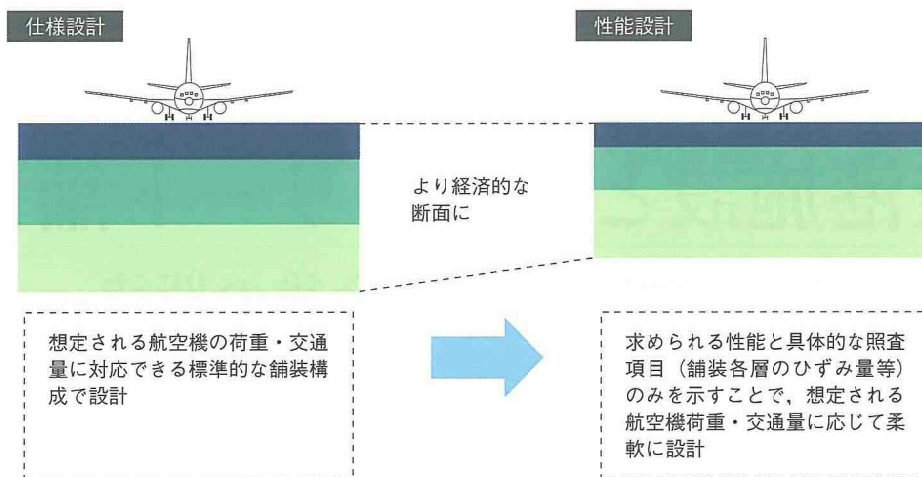


図1 性能設計法のイメージ

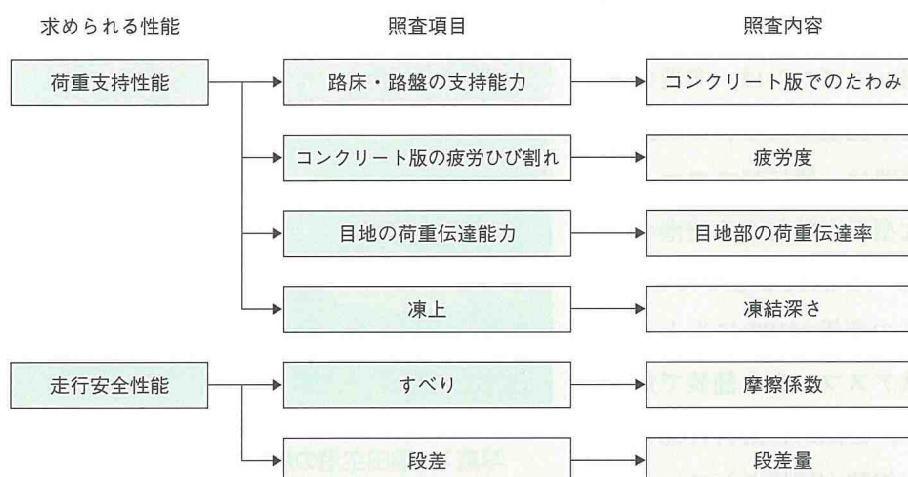


図2 コンクリート舗装の性能照査の内容の一例

面，材料，工法などは問わないというもので，技術の国際化に対応した考え方である。

空港舗装の分野では，これまでも羽田空港，成田空港，関西国際空港，中部国際空港などの整備に当たり，荷重条件，地盤条件などがそれまでの設計基準が想定としていた範囲を超えてきたこともあって，新たな技術開発やそれらの採用が積極的に行われてきた。つまり従来の基準にとらわれずに整備を進めて行かざるを得ない状況があったため，有限要素法や多層弾性理論を用いた設計法が採用され，プレキャスト版舗装，不同沈下対策のためのジャッキアップ工法など，当時の基準には記述がなかった新しい考え方，工法が多く採用されてきた。つまり現場のニーズに対応した技術開発のスピードが速く，

ようやく基準がそれに追いついてきた状況であるといえる。

もちろんこれらの新技術の採用に当たっては，当時の運輸省港湾技術研究所（現在の国土交通省国土技術政策総合研究所，（独）港湾空港技術研究所）が中心となり，官学民が協同して室内実験，試験舗装など入念な事前検討を行い，その性能照査を行ったことがあったことは言うまでもない。

現在では制度自体が性能設計へ移行したことから，これまで以上に新しい材料，工法が認知・採用されやすいシステムとなった。また従来は主に「荷重支持性能」が念頭に置かれてきたが，現在ではそれ以外に，図2に示すように「走行安全性能」をはじめ，さらにはコンクリート舗装にとって重要な

「補修性能」,「排水性能」なども必要に応じて考慮できるようになった。換言すれば、個々の空港に固有の条件を考慮し、それに対応した新しい断面、構造、材料を提案することが技術者に要求されるようになったとも言える。このように技術者の責任が重くなったことは、優れた技術者への期待やその存在価値が高まることになる。今後性能設計の考え方が広範囲に普及し、技術開発に繋がることが期待されている。

3. 舗装のライフサイクルマネジメントへの展開

「社会資本の高齢化の時代」を迎え、その管理システムの重要性が指摘され、多くの分野で導入が進んでいる。その嚆矢となったのは舗装分野のPMS (Pavement Management System)であった。これは一般的な社会資本に比べて、舗装のライフサイクルが短く、ある技術者が舗装の設計、施工、維持管理、再舗装といった一連のステップを一通り経験できるため、PDCA (Plan・Do・Check・Act)を通じたシステムの運用と改良が進みやすいことに起因する。例えば、空港アスファルト舗装では、大きな荷重によってわだち堀れなどの塑性変形が生じやすいこと、時間経過とともに材料劣化が進むため、供用開始後10年位で大規模補修やオーバーレイがなされることが多い。

これに対しコンクリート舗装ではさらに長い寿命が期待でき、ライフサイクルコストに優れるとも言われている²⁾。しかしコンクリート舗装ではいったん舗装の破損が発生すると、補修性能に劣ることが課題である。つまり予期せぬひび割れの補修やオーバーレイ補強が必要となったときに対処が難しいこと、コンクリートで補強すると長い養生時間が必要となり、施設運用面で課題が出ることなどである。このためコンクリート舗装の最大の課題はメンテナンス技術の改良であると言っても過言ではない。そ

のためコンクリート舗装においてもライフサイクルマネジメントが必要となる。

舗装では、舗装の持つべき性能を明らかにし、それが限界レベルを下回らないようにマネジメントをしていく必要がある。その際、舗装の力学挙動を管理目標とすることはもちろん重要であるが、今後は特にユーザーの立場に立って、航空機の安全な離着陸、定時性といった観点から舗装のマネジメントを行うことが強く要請されている。そのためにはいくつかの課題があるが、まずは舗装が持つべき性能の明確化であり、舗装の性能変化(低下)の予測技術、予防保全技術、確実な補修補強技術などが重要な課題となる。

4. 今後の期待

現在、社会資本を資産(Asset)と考え、そこから得られる便益を最大にしようとする「社会資本のアセットマネジメント」が注目されている。海外では空港アセットマネジメントの考え方が普及し始めている。そこでは空港管理者(空港経営者)が、安全性は言うまでもなく、さらに利用者の利便性、快適性、定時性の向上などを通じ、他空港との競争に勝ち抜いて、その空港から得られる便益を最大にする行為を指すことになる。この場合、舗装は空港のアセットのある一部を占めるに過ぎないが、空港の経営に当たって滑走路、誘導路、エプロンの舗装はなくてはならない最もコアとなる資産であることは確かである。

わが国で舗装の設計が性能設計に移行したことを受け、メンテナンス技術の高度化と相まって、空港アセットマネジメントの展開へと繋がることを期待したい。

最後に、この原稿を書いている5月11日、ロサンゼルス空港で誘導路を走行中の日本航空機のエンジンに、航空貨物用のコンテナが挟まったとのニュースに接した。今回は幸い事故にはつながらなかった

が、舗装の破片がエンジンに吸い込まれることも大事故につながることは容易に想像できる。このニュースに接することによって、空港にとっての「縁の下の力持ち」である舗装の重要性をいっそう強く感じる事ができた。

[参考文献]

- 1) 国土交通省関東地方整備局HP/<http://www.pa.ktr.mlit.go.jp/haneda/haneda/index.html>
- 2) (社)セメント協会/既存コンクリート舗装のライフサイクルコスト調査結果、舗装技術専門委員会報告、2009.1

[セメント・コンクリートNo.750/2009年8月]



視点1. LCCを考える

1. ライフサイクルコストの優位性

小梁川 雅*

1. はじめに

コンクリート舗装の道路におけるシェアはかつては30%程度あったが、現在では5%程度しかない。このようにコンクリート舗装が敬遠されている主な理由は、初期建設コストが高いことと、その補修の困難さにある。その一方で、標準的な設計期間はアスファルト舗装が10年であるのに対してコンクリート舗装は20年とされており、コンクリート舗装の最大の長所が耐久性にあることは多くの道路管理者に認識されている。そこで従来から、アスファルト舗装に比較して供用期間が長いことから、コンクリート舗装が経済的であると考えられてきた。しかしながらこれはあくまでイメージであり、その経済的効果について定量的に語られることはなかった。また、流動わだち掘れのため定期的な補修は必要であるが、10年で打ち替えられるアスファルト舗装はほとんど無く、コンクリート舗装の経済的優位性がはっきりと認識されるには至っていない。

そこで(社)セメント協会舗装技術専門委員会では、コンクリート舗装の経済的優位性を明確にするべく、長期供用されたコンクリート舗装の調査を実

施し、そのライフサイクルコストの算定を試みた。この調査そのものは、日本道路協会舗装委員会・設計施工小委員会で、コンクリート舗装の現状を把握すべく計画されたものである。セメント協会では舗装委員会の依頼を受けて、コンクリート舗装の現況調査およびこれに基づいたライフサイクルコストの算定を実施した。

2. コンクリート舗装現況調査

前述のように、コンクリート舗装は設計寿命20年を標準としてきた。しかし施工されたコンクリート舗装の実際の供用寿命や、供用に伴う性能の経時変化、破損状態は、いくつかの報告はあるものの未だ明確となっていない。このため、現在用いられている設計法の評価も行われていないのが現状である。一方で過去に施工されたコンクリート舗装は年々姿を消しており、コンクリート舗装の性能変化を把握し、設計に反映させていくことはますます難しくなっていくと考えられる。

このような現状を踏まえて、平成18年から3年間にわたって全国のコンクリート舗装の現況調査が実施された。調査に当たってはまず、(独)土木研究所より提供された直轄国道の路面性状データを用いて、平成17年現在で路面がコンクリート舗装である箇所(トンネル部、橋梁部を除く)を抽出し、これらの個

* 東京農業大学 生産環境工学科 教授 工博
THE GREAT ADVANTAGE OF CEMENT CONCRETE TO ASPHALT
CONCRETE IN LIFE CYCLE COST OF PAVEMENT (by Masashi
KOYANAGAWA)

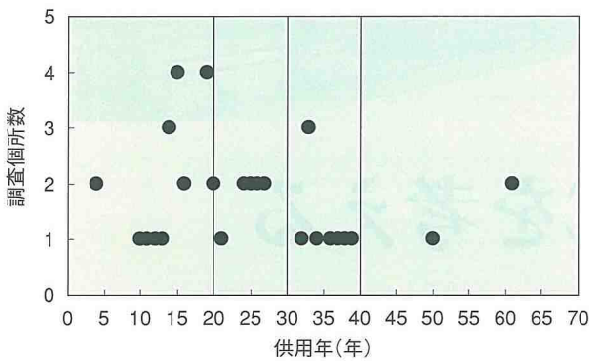


図1 調査舗装の供用年分布

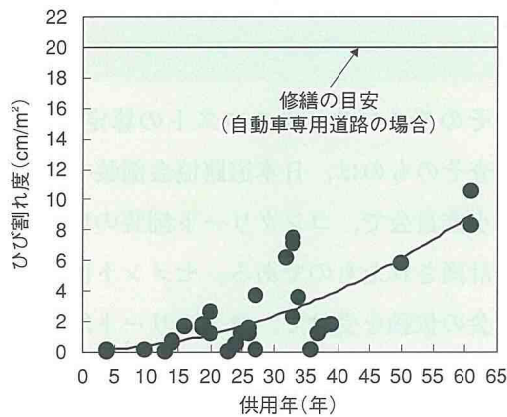


図2 供用年とひび割れ度

所を担当する管理部署にコンクリート舗装の有無を確認した。そして、存在が確認されたコンクリート舗装の供用年数を考慮した結果、現況調査を実施することとしたのは、直轄国道15路線、42箇所となった。

現地調査は舗装技術専門委員会委員の協力を得て実施され、コンクリート版のひび割れ状況、段差量、交通量、車輪通過位置分布、路面温度、路面反射率、環境騒音を測定した。

調査対象舗装の供用年の分布を図1に示す。調査対象の約半数がコンクリート舗装の一般的な設計期間である20年を超過しており、50年を超える箇所が3箇所あった。

各調査区間のひび割れスケッチから算出したひび割れ度と供用年数の関係は、図2に示すようになっている。ひび割れ度は供用年とともに増加する傾向にあるが、その値は小さく、中には20年以上の供用

でもひび割れがほとんど発生していない区間も見られる。図から判るように供用60年を経過しても、修繕の目安となるひび割れ度 20cm/m^2 を遙かに下回っていることが判る。ひび割れ度 20cm/m^2 とは、版の大きさにもよるが、ほぼコンクリート版を横断するようなひび割れを意味している。ただしここで示したひび割れ度は、調査区間の全長にわたるいわば平均値を示しており、調査区間のコンクリート版の中には、コンクリート版を横断するようなひび割れも発生している。

3. ライフサイクルコストの算定

上記のように今回の調査箇所のコンクリート舗装は極めて良好な状態を維持していた。またこれらの舗装については、その舗装構造および補修履歴もほぼ明らかとなっている。そこで調査箇所のコンクリート舗装を対象に、ライフサイクルコスト算定を試みた。さらに、対象コンクリート舗装と同路線にあるアスファルト舗装でも同様にライフサイクルコストを算定し、両者の比較を行うこととした。ライフサイクルコスト算定の条件は以下の通りである。

(1) 初期建設費用と補修工事費用のみを考慮する
通常、ライフサイクルコストの算定に当っては、利用者の便益を考慮するために特に補修工事に要する時間損失費用を算定する。しかし今回の算定では、対象とするコンクリート舗装でほとんど補修がないこと、およびアスファルト舗装では補修が行われているが、前もって試算した結果によれば時間損失費用はほとんど発生しないことから、直接工事費のみを算定することとした。

(2) 建設に要する費用は現在価格として算定する
算定対象の舗装は舗設および補修された時期がまちまちであり、その当時の材料価格や工事費が算定できたとしても、現在までの物価上昇や貨幣価値の変動を考慮して比較することには困難を伴う。そこで現時点でそれぞれの舗装を施工した場合の費用を

算出することとした。また工事費には直接工事費と間接工事費があるが、間接工事費は諸条件により変動が大きいことから、直接工事費のみを算定対象とした。一方で材料価格は地域差が大きいことから、算定対象地域の現状を反映させることとした。

(3) 200m以上の連続した舗装を対象に、単位面積当りの費用として算出する。

建設費用や補修費用は延長によって異なる。そこで200m以上の連続区間を選んで費用算出を行った。これは比較対象のアスファルト舗装でも同様である。

(4) 比較するコンクリート舗装とアスファルト舗装の供用年は同じものを用いる

隣接するアスファルト舗装は、コンクリート舗装と同じ供用年のものを選択した。しかし同路線上の近傍に同じ供用年のアスファルト舗装がない場合には、できるだけ供用年の近いものを選択した。また対象舗装で補修回数の異なる区間が存在する場合には、最も多い回数の補修が対象舗装の全延長にわたって行われたとして算定した。

(5) 建設時の断面が不明の場合には、建設当時の標準断面と仮定する

ライフサイクルコストの算定で利用した建設時のデータでは、詳細な舗装断面が欠落している場合があった。ただしその場合でも、大型車交通量と路床のCBRが記載されていることが多い。そこで建設時の舗装断面が不明な場合には、路床CBRを参考に、建設時代に用いられていた舗装要綱(日本道路協会)に掲載されている標準断面を当該舗装断面とした。

(6) 補修工法が不明の場合には、切削オーバーレイが実施されたものとする

補修履歴が記載されていても、工法や使用材料の詳細が判明しない場合には、5cmの切削オーバーレイが行われたものと仮定した。比較的最近の補修では材料として改質アスファルト混合物が用いられたことも考えられるが、記載がない場合には最も一

般的である密粒度アスファルトが用いられたと仮定した。

4. ライフサイクルコスト算定結果

上記のような条件の下でライフサイクルコストの算定を試みたところ、算定可能な個所は、全42個所の内19個所であった。表1に算定結果を示す。なお表中の費用は、全て円である。

図3に示すのは、算定されたライフサイクルコストと供用年の関係の一例である。この場合にはコンクリート舗装では補修が行われていないが、アスファルト舗装では3回の補修が行われており、一度目の補修ですでにこのアスファルト舗装のライフサイクルコストは、コンクリート舗装の初期建設コストを上回っている。

5. ライフサイクルコスト比較

ライフサイクルコスト算定結果よりコンクリート舗装とアスファルト舗装のライフサイクルコストを比較してみた。

新設費用は、コンクリート舗装の場合に6,200~9,595円/m²であるのに対して、アスファルト舗装では5,301~8,020円/m²であり、コンクリート舗装の方が平均で約1,200円/m²高くなった。

補修回数は、コンクリート舗装の場合にはほとんど無いのに対して、アスファルト舗装では平均で2.3回行われており、補修費用は平均で4,603円/m²掛かっている。

この結果LCCの平均値は、コンクリート舗装の場合に平均24年の供用年数で8,128円/m²であり、アスファルト舗装の場合の平均29年の供用で11,126円/m²を約3,000円/m²下回った。したがってアスファルト舗装では、コンクリート舗装と同程度の供用年数を確保するためには補修が必要であり、この結果LCCではコンクリート舗装が勝ることが判明した。

多くの場合、アスファルト舗装で一度でも補修

表1 ライフサイクルコスト算定結果

| No. | 延長 (m) | 施工年 | 版厚 (cm) | コンクリート舗装 | | | | | アスファルト舗装 | | | | |
|-----|-----------|------|------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|---------------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|---------------------------|
| | | | | 供用年 | 新設費用 (/m ²) | 補修 回数 | 補修費用 (/m ²) | LCC (/m ²) | 供用年 | 新設費用 (/m ²) | 補修 回数 | 補修費用 (/m ²) | LCC (/m ²) |
| 1 | 4,000 | 1980 | | 28 | 9,595 | 0 | 0 | 9,595 | 28 | 7,959 | 3 | 6,064 | 14,023 |
| 2 | 3,100 | 1970 | | 38 | 6,612 | 4 | 6,545 | 13,157 | 38 | 7,542 | 1 | 2,912 | 10,454 |
| 3 | 3,000 | 1990 | 28 | 16 | 8,106 | 0 | 0 | 8,106 | 16 | 5,881 | 1 | 3,780 | 9,661 |
| 4 | 1,810 | 1987 | 28 | 19 | 8,106 | 0 | 0 | 8,106 | 19 | 5,881 | 1 | 3,270 | 9,151 |
| 5 | 1,575 | 1992 | 30 | 14 | 8,484 | 0 | 0 | 8,484 | 16 | 7,588 | 1 | 1,963 | 9,551 |
| 6 | 672 | 1986 | 30 | 20 | 8,484 | 0 | 0 | 8,484 | 20 | 7,588 | 2 | 3,940 | 11,528 |
| 7 | 8,250 | 1971 | 28 | 20 | 8,921 | 0 | 0 | 8,921 | 29 | 6,747 | 3 | 4,735 | 11,482 |
| 8 | 5,400 | 1982 | | 25 | 6,708 | 0 | 0 | 6,708 | 37 | 5,433 | 3 | 4,638 | 10,116 |
| 9 | 2,010 | 1982 | 25 | 25 | 6,708 | 0 | 0 | 6,708 | 33 | 5,310 | 4 | 9,161 | 14,471 |
| 10 | 1,193 | 1973 | 25 | 34 | 6,708 | 0 | 0 | 6,708 | 33 | 5,301 | 4 | 9,170 | 14,471 |
| 11 | 1,050 | 1974 | 25 | 33 | 6,708 | 0 | 0 | 6,708 | 33 | 5,301 | 4 | 9,170 | 14,471 |
| 12 | 6,100 | 1981 | | 28 | 8,866 | 0 | 0 | 8,866 | 37 | 6,149 | 3 | 5,112 | 11,261 |
| 13 | 1,300 | 2002 | 23 | 24 | 6,200 | 0 | 0 | 6,200 | 28 | 5,920 | 2 | 3,583 | 9,503 |
| 14 | 1,500 | 1987 | 28 | 19 | 7,959 | 0 | 0 | 7,959 | 39 | 5,906 | 2 | 1,355 | 7,261 |
| 15 | 1,300 | 1967 | 23 | 38 | 6,900 | 0 | 0 | 6,900 | 39 | 5,906 | 2 | 1,355 | 7,261 |
| 16 | 540 | 1985 | 30 | 23 | 8,237 | 0 | 275 | 8,502 | 26 | 7,430 | 2 | 4,525 | 11,955 |
| 17 | 1,080 | 1990 | 30 | 18 | 8,156 | 0 | 8 | 8,164 | 31 | 8,020 | 3 | 4,561 | 12,581 |
| 18 | 500 | 1982 | 25 | 26 | 7,859 | 0 | 0 | 7,859 | 34 | 6,701 | 1 | 6,913 | 13,614 |
| 19 | 460 | 1993 | 30 | 14 | 8,278 | 0 | 26 | 8,304 | 14 | 7,327 | 1 | 1,257 | 8,584 |
| 範 囲 | | | | 14~39 | 6,200~ 9,595 | 0~3 | 0~6,545 | 6,200~ 13,157 | 14~39 | 5,906~ 8,020 | 1~4 | 1,257~ 9,161 | 7,261~ 14,471 |
| 平 均 | | | | 24 | 7,768 | 0.2 | 344 | 8,128 | 29 | 6,521 | 2.3 | 4,603 | 11,126 |

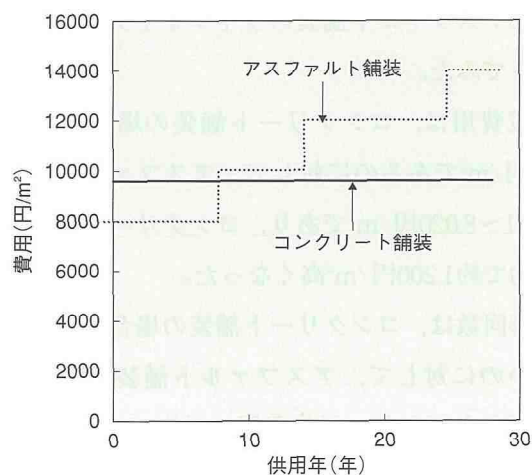


図3 ライフサイクルコストの比較

が行われるとLCCはコンクリート舗装を上回っていた。

6. まとめ

今回の試算で対象としたコンクリート舗装は全て、調査時点でコンクリート路面のまま供用されていたものである。実際には、建設当初はコンクリ

ート舗装であっても、現在ではアスファルト混合物でオーバーレイされたものが数多く存在している。本来はこれらについても、アスファルト混合物によるオーバーレイ費用も含めたライフサイクルコストを算定すべきである。しかし調査の結果、オーバーレイされたコンクリート舗装であることが判明しても、新設時の記録が残っていないため舗設年や舗装構成が不明であったり、オーバーレイが行われた理由が不明確であることが多い。したがって今回の試算では、調査時点でコンクリート路面であったものを対象としたのである。

現況調査結果に示されるように、標準的な設計期間である20年を超えて供用されているコンクリート舗装は決して例外ではない。したがって今回の調査から、適切な設計・施工・維持が行われたコンクリート舗装は長期供用が可能であり、そのライフサイクルコストがアスファルト舗装に勝ることは、単なるイメージでは無いことが示されたものと考えられる。

2. コンクリート舗装の補修

野田 悦郎*

1. はじめに

耐久性の高いコンクリート舗装も永遠にメンテナンスフリーではない。適切な時期における、健全度(損傷度)の判断とそれに基づく補修こそ、さらなる延命を可能にする。本稿では、一般的な普通コンクリート舗装の損傷判断の事例と、最近のヨーロッパでのコンクリート舗装の補修工法の状況や話題を紹介する。

2. コンクリート舗装の構造的損傷と補修工法

コンクリート舗装の損傷には機能的損傷(すべり、騒音)と構造的損傷(ひび割れ, 目地段差など)がある。もちろん構造的損傷が機能的損傷の原因となる場合もある(目地段差⇒振動・騒音の発生の事例など)。

ここでは、構造的損傷の状態と補修法との概念¹⁾を示した事例を図1に示す。

付着型コンクリートオーバーレイは構造的破損が初期の段階で、分離型コンクリートオーバーレイは構造的破損が進んだ状態でも使えることを示す概念である。

3. コンクリート舗装の損傷判断基準

コンクリート舗装の破損の損傷基準は、高速道路、道路、空港などにより独自に設けられている。

最近中央道ではコンクリート舗装の大規模な路面改良工事²⁾が実施された。補修原因は、開通後約30年が経過し、乗り心地や車内騒音についてユーザー

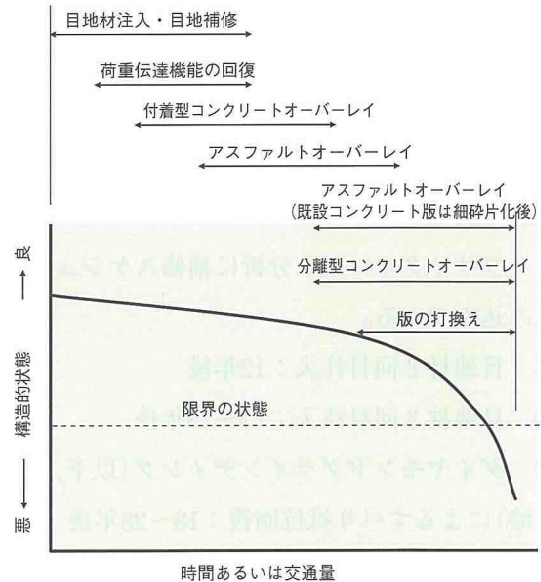


図1 コンクリート舗装の構造的状態と補修の概念 [参考文献¹⁾を修正]

表1 中央道のコンクリート舗装の損傷判断基準と補修工法 [参考文献²⁾を修正]

| | | 荷重伝達率 | | | |
|------|---------|-------|-------|-------|------|
| | | 70%未満 | | 70%以上 | |
| | | 補修個所数 | 補修工法 | 補修個所数 | 補修工法 |
| たわみ量 | 0.4mm以上 | 40 | US+BS | 42 | US |
| | 0.4mm未満 | 99 | BS | 349 | - |

US: アンダーシーリング

BS: パーステッチ

○: 補修個所

から早期改善を要請されたとしており、車輛走行時の目地のがたつきや段差によるものと推定される。ここでは、表1のような損傷判断基準を用いて主として既設コンクリート舗装版の目地部の補修を行い、そのうえでアスファルトオーバーレイし補修している。

損傷判断は、目地部のたわみ(98kN載荷のFWD)と荷重伝達率からアンダーシーリング、パーステッチ工法(ダウエルバーの再設置, retrofit)を実施したとしており、大規模な補修事例として今後の推移

* 日本道路(株) 技術本部 技術研究所
MAINTENANCE OF CONCRETE PAVEMENT (by Etsuro NODA)

が注目される。

4. 欧米のコンクリート舗装の補修技術の状況

欧米のコンクリート舗装の補修技術の現状と方向性について、米国の技術者によるカナダ・ヨーロッパへの調査団報告³⁾から概観してみた。

4-1. カナダ

●ライフサイクルコスト分析に補修スケジュールを組み込んでいる。

- ① 目地材 2 回目注入：12年後
- ② 目地材 3 回目注入：12～18年後
- ③ ダイヤモンドグラインディング(以下、DGと略)によるすべり抵抗回復：18～28年後
- ④ 一部版打換え、DG、目地材注入を含む、全厚および薄層補修をする修繕工事を28年後

●オンタリオ州では、補修としてプレキャスト版を試験施工、11：00～17：00までの間に補修できる唯一の工法で、天候の影響を受けにくい利点あり。

4-2. ドイツ

●既設コンクリート版の打換えに、施工日夕方には交通開放可能な超早強コンクリートを用いている(セメント量 $360\sim 400\text{kg}/\text{m}^3$ 、6時間圧縮強度 12MPa)。

4-3. オーストリア

●ウィーンの高速道路で、金曜日の夕方か、土曜日の朝に補修を開始し、日曜日の夕方には交通開放することになっており、3日後の開放には、水セメント比 0.42 、1日間では 0.4 以下、12時間以下では 0.36 以下のコンクリートを用いている。

●最近ホワイトトッピングの研究が行われている。コンクリートとアスコンの界面強度の評価には、くさび型割裂試験(写真1)が直接引張試験より望

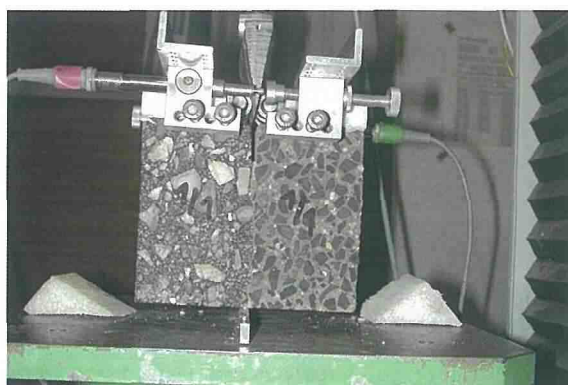


写真1 くさび型割裂試験結果(左アスコン, 右コンクリート)

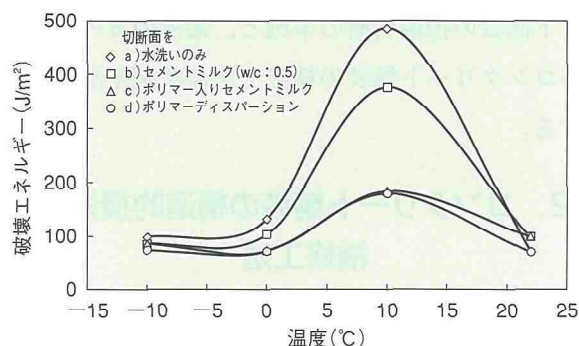


図2 くさび型割裂試験結果

ましく、それによれば表面切削し清掃したアスファルト舗装上のホワイトトッピングでは、付着剤適用は付着力を阻害する⁴⁾(図2)。

4-4. ベルギー

●既設アスファルト舗装や既設コンクリート舗装上の、コンクリートによるオーバーレイや切削オーバーレイ(インレイという)がよく実施される。最近では昼夜突貫工事で一日当たり平均 1200m 施工した連続鉄筋コンクリートオーバーレイ工事もある。

●超早強コンクリートも補修に使い、その強度は $30\sim 36$ 時間で圧縮強度 40MPa である。

●プレキャスト版施工は試験したが、目地段差ができたため計画を破棄した。



写真2 道路でのプレキャストRC版の施工例



写真3 空港での付着型コンクリートオーバーレイ

4-5. オランダ

- 連続鉄筋コンクリート舗装は最初の15年間はメンテナンスは不要である。
- 1980年代に、普通コンクリート舗装に目地材の注入をしていたが、供用性に及ぼす効果不明のため、現在目地には目地材は注入していない。

5. 日本のコンクリート舗装の補修技術と課題

欧米の状況を見ると、コンクリート舗装の補修に関しては、制約条件の多いわが国での補修技術の方が先行している感がある。

超早強コンクリートは、近年はone dayコンクリートからさらに強度発現の早いhalf dayコンクリートが実用化段階になっている。

また、プレキャストコンクリート版は、PCやRC版(写真2)が多く施工され、海外では課題になっている版通しの荷重伝達装置や方法についても豊富な経験と実績がある。

付着型コンクリートオーバーレイ工法は、欧米では長い経験はあるが、確実な工法とはなっていないようであり、空港舗装の例を引き合いに、重要事項のレビュー⁵⁾などがされている。一方、わが国では空港舗装ではウォータージェットを用いた処理によるコンクリートオーバーレイ工法で成田空港で30万m²以上、新千歳空港で6400m²(写真3)の実績があり、

これら技術の海外発信が望まれる。

今後の課題としては、診断技術などソフト面の技術の後れがあるように思われる。特にコンクリート舗装には、長期に定量的調査観測した事例が少なく、FWDなどの経時的なデータの収集が必要である。

また、コンクリート舗装では大規模補修に至る前の角かけ部のパッチング補修や目地材の管理が本来重要であるが、パッチング材料の実地比較試験など地道なデータの積み重ねが少ない、あるいは公表されてない場合が多い。また、注入目地材に関しても、そもそも目地材は必要かといった検討もオランダや米国ではなされているようであり、補修の考え方の基本に立ち返ってみる点もありそうである。

[参考文献]

- 1) Highway agency, Britpave/Concrete Pavement Maintenance Manual, 2001
- 2) 岩崎洋一郎, 佐野昌嗣, 佐藤俊一/コンクリート舗装路面の改良-中央道 蕨崎~諏訪南間-, EXTEC No.80-26
- 3) FHWA/Long life Concrete Pavements in Canada and Europe, Aug.2007 FHWA-PL-07-027
- 4) J.Macht, E.K.Tschegg, M.Jamek, J.Steigenberger/WHITE TOPPING-ASSESSMENT OF ASPHALT CONCRETE INTERFACES, 10th International Symposium on Concrete Roads 2006
- 5) Peter M.Semen and Raymond S.Rollings/A Review and Discussion of Current Developments Involving Bonded Concrete Overlays of Airfield Pavements, 8th International Conference on Concrete pavements 2005

[セメント・コンクリートNo.751/2009年9月号]



視点2．環境への貢献

1. ポーラスコンクリート舗装の展開

梶尾 聡*¹

小林 哲夫*²

1. ポーラスコンクリート舗装とは

道路舗装では、雨天時の走行安全性の向上、沿道環境に配慮した騒音低減、走行時の快適性など多機能化が求められてきた。セメントコンクリート舗装では、これらの機能を併せ持つ技術として空隙が多量に形成されているポーラスコンクリートを用いた透・排水性舗装が検討されてきた。これは、1988年に米国で透水性を目的とした歩道や駐車場に適用され、1990年代には欧州で車道に適用されて低騒音性や供用性の検討が行われた。国内では、1983年に透水性舗装として施工されたが、当時は強度面の制約から歩道や駐車場などへの適用に限定されていた。その後、1997年にコンクリート舗装の設計基準曲げ強度45kgf/cm²(旧セメントコンクリート舗装要綱)を満足する高強度ポーラスコンクリートが開発され、促進載荷試験により強度、供用性および耐久性に問題がないことが確認された。その後、高速道路料金所や県道などの舗装に適用され、実道における供用性の評価が行われた。本稿では、車道に適用されたポーラスコンクリート舗装について紹介する。

2. ポーラスコンクリート舗装の要求性能

セメント協会ホームページで車道に適用された

*1 太平洋セメント(株) 中央研究所

*2 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所
 POROJS (PERVIOUS) CONCRETE PAVEMENT IN JAPAN (by Satoshi KAJIO, et al.)

表1 車道用ポーラスコンクリートの目標性能¹⁾

| 項目 | 設計値 |
|-----------------|----------------------|
| 空隙率 | 15~20% |
| 設計基準曲げ強度(材齢28日) | 4.4N/mm ² |
| 透水係数 | 0.01cm/sec |

ポーラスコンクリート舗装をとりまとめた資料¹⁾が公開されている。車道用ポーラスコンクリートの設計値の例を表1に示す。空隙率の下限値は透水係数0.01cm/sec以上を達成するために15%以上、上限値は設計基準曲げ強度を達成するために20%以下とすることが多い。このほかの基準値として、舗装工事の施工管理や舗装性能に関するものがある。ポーラスコンクリート舗装の設計・施工では、セメント協会が発刊した技術資料²⁾が参考となる。例えば、舗装性能として平坦性や浸透水量の基準値があり、さらに舗装性能としては走行安全性や耐久性などの観点から動的摩擦抵抗値やわだち掘れ量も重要なデータとなる。これらの性能は、従来の舗装と同等以上であることが試験舗装などにより確認されている。

また、日本道路協会では透水性舗装ガイドブックとして技術を取りまとめている。

3. ポーラスコンクリート舗装の施工事例

前述したように、国内では透水係数0.01cm/sec以上、曲げ強度45kgf/cm²以上を満足するポーラスコンクリートが未開発であったため、車道用途へは適用されていなかった。日本セメント(現太平洋セメ

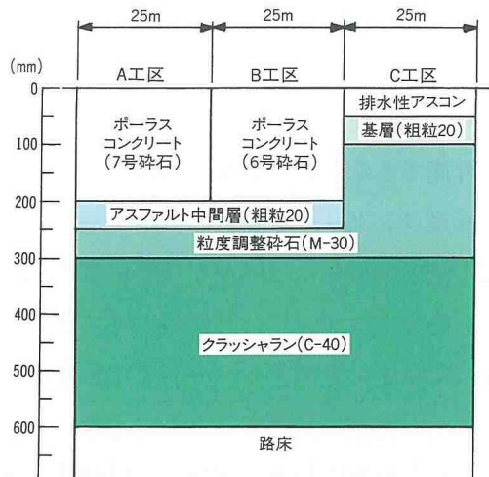


図1 試験舗装の断面⁴⁾



写真1 奥三面ダム内管理用道路⁵⁾

ント)社は、1996年に車道に適用可能なポーラスコンクリート「トーハイクリート」の研究成果を発表³⁾し、1997年に日本道路社と共同で透・排水性コンクリート舗装「アメニクリート」を開発し、土木研究所舗装走行実験場にて、図1に示す舗装における促進載荷試験を行った⁴⁾。この結果、車道への適用はポーラスアスファルト舗装との比較で耐久性面での優位性が確認された。その後、1998年にL交通ではあるが新潟県奥三面ダム内管理用道路(写真1)へ適用された⁵⁾。

また、同年に先端建設技術センターは、愛知万博アクセス道をはじめとする車道への採用を目的として「環境に配慮した道路構造の開発」に関する技術公募を行った。その結果、技術応募は42件あり、実証技術として4件に絞り込まれた。そのなかの1件が、住友大阪セメント社と鹿島道路社との共同研究



写真2 車道用ポーラスコンクリート舗装

で開発した車道用ポーラスコンクリート舗装「ハイベック(ハイブリッド浸透性コンクリート舗装)」である。これは、曲げ強度と透水係数の異なるコンクリート版を wet on wet で打ち継ぎ、表層部を透水性に優れたコンクリート、基層部に曲げ強度を有する浸透性コンクリートにして一体化し、ハイブリッド構造とした舗装である。さらに、路盤に高強度浸透性セメント安定処理混合物を用いることにより、透水性コンクリート舗装とすることも可能で、アスファルト舗装に比べ、路面温度の上昇を抑制できることから、ヒートアイランド現象を抑制し、自然環境を優しく保持する舗装工法といえる(写真2)。2000年に重交通車道(N7交通)の愛知県豊田市国道155号バイパスで試験施工した現場では、施工後9年経過の現在でも良好な路面性状を維持している⁶⁾。また、より安価となるように基層部には転圧コンクリート舗装(RCCP)や連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)を用いることも可能で千葉県(香取郡栗源町)、島根県等での排水性コンクリート舗装の施工実績もある⁷⁾。

一方、セメント協会の動きとしては、1998年に舗装用ポーラスコンクリートを公募し、16種中8種が車道用の目標値を満足することを確認した⁸⁾。この結果を踏まえて、1999年から実道での試験舗装による施工性や供用性の調査を開始し、福井県、千葉県(香取郡栗源町)、福岡県および宮城県で実施した調査結果を報告書として発刊し、ポーラスコンクリート舗装の性能を示す重要なデータとなっている。



写真3 料金所の試験施工⁹⁾

また、日本道路公団(現NEXCO)では、1998年から回転式舗装試験機によるポーラスコンクリート舗装の耐久性試験を実施した⁹⁾。ここでの舗装は、普通コンクリート版上に厚さ5cmのポーラスコンクリートを打ち継いだ舗装構造であり、基層との付着性も要求性能の一つとなった。この結果、耐摩耗性、耐流動性、付着性は問題ない性能を有するものが確認され、透水性はポーラスアスファルト舗装と比べても遜色なかった。さらに、耐油性はポーラスアスファルト舗装では簡単に骨材が剥離したが、ポーラスコンクリート舗装では剥離が認められず、カットバックは見られないことが確認された。この結果を踏まえて、1999年大分PAのトレーラーヤードで事前試験施工が行われ、同年11月に大分宮河内ICにて最初の試験施工が実施され、その後2003年3月までに23個所の料金所で施工された(写真3)。

4. 今後の展開

ポーラスコンクリート舗装は、コンクリート舗装の特長である耐摩耗性や耐油性などを有し、付加性能としてポーラスアスファルト舗装と同等な透・排水性や低騒音性も有する高機能型の舗装である。低騒音性は粗骨材に小粒径骨材を使用することで効果が高くなることが確認されている¹⁰⁾。

また、コンクリート舗装の課題となっている早期交通開放技術と補修技術についての取り組みとしては、2001年2月に供用中である料金所のコンクリー

ト舗装を切削し、薄層付着型オーバーレイ工法の試験施工を行い(写真3)、早強系・超速硬系ポーラスコンクリートの使用により、養生期間1～3日で交通開放可能であること、供用性も問題ないことを確認し、既設コンクリート舗装の修繕工法ないしは高機能化工法の実用化の目処が立っている¹¹⁾。さらに、セメント協会では2004年11月にポーラスコンクリートを用いた薄層付着型オーバーレイ工法をポーラスコンクリート舗装に適用することにより、ポーラスコンクリート舗装の修繕工法ないしは機能回復・高機能化も可能となることも確認している。

以上のように、ポーラスコンクリート舗装はすでに多くの実績があり、耐流動性、耐摩耗性や耐油性が高いことから、大型車両の駐車場やすえ切りが発生する交差点部など、コンクリート舗装の特長である耐久性、夜間・雨天時の視認性や安全性が要求される舗装へ適用するのが良いと考えられる。今後は、まだポーラスコンクリート舗装は広く知られていないことから、国内の発注者や利用者への周知を目的とした普及活動が重要であり、技術面では、普及を促進するための課題解決やコスト面での研究開発が必要となると考えられる。

[参考文献]

- 1) セメント協会/ポーラスコンクリート舗装データ集, 2004.12[http://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/je3_all.pdf]
- 2) セメント協会/車道用ポーラスコンクリート舗装設計施工技術資料, 2007.10
- 3) 北條泰秀他/透水性舗装コンクリートの強度と透水性, 土木学会第51回年次学術講演会, pp.50～51, 1996.9
- 4) 新田弘之/ポーラスコンクリート舗装の車道での活用, コンクリートテクノ, Vol.20, No.8, pp.32～36, 2001.8
- 5) 峰村 修他/高空隙な車道用ポーラスコンクリートの配合に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.53, pp.495～500, 1999
- 6) 加形 護他/環境に優しいポーラスコンクリート舗装-ハイベック舗装, コンクリートテクノ, Vol.20, pp.49～56, 2001.8
- 7) 上島 慶他/料金所でのポーラスコンクリート舗装施工事例, 第24回日本道路会議論文集, pp.104～105, 2001.10
- 8) セメント協会/舗装用ポーラスコンクリート共通試験結果報告, 舗装技術専門委員会報告, R-11, 1999.10
- 9) 川村和将/高速道路におけるポーラスコンクリート舗装の取り組み, コンクリートテクノ, Vol.20, No.8, pp.57～62, 2001.8
- 10) 菊地 歩他/供用9ヶ月を経たポーラスコンクリート舗装の性能, セメント・コンクリート, No.664, pp.35～42, 2002.6
- 11) 中原大磯他/早期交通開放型ポーラスコンクリート舗装の実用化検討, 舗装, 37-9, pp.9～14, 2002.9

[セメント・コンクリートNo.752/2009年10月号]



視点2. 環境への貢献

2. 舗装種別と重量車の燃費とCO₂排出

笠原 篤^{*1}

吉本 徹^{*2}

1. まえがき

二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量削減が地球規模の大きな課題として取り上げられている中、わが国における二酸化炭素排出量の2割に当たる運輸部門では、その約88%が自動車からの排出(2006年度)となっている。そのような状況で、自動車の燃料消費効率の向上を目的にエンジンの改良やハイブリッド化による自動車単体での対策をはじめ、渋滞解消などの交通流対策などさまざまな角度から対策・施策が講じられている。

一方、北米では舗装路面の種別により、重量車の燃料燃費率(以下、燃費と略)が異なるという報告^{1,2)}がなされており、わが国でも舗装の種類や使用材料の選定が温暖化防止対策となる可能性がある。

本稿では、舗装路面の種類と自動車の燃費に関する海外情報を紹介するとともに、筆者らが行っている走行抵抗に着目した調査結果について述べる。

2. 北米での調査概要

カナダでは1998年から2003年にかけて、NRC(National Research Council Canada)が自動車の燃

料消費に対する舗装種別の影響について、カナダ国内の国道(Highway)のコンクリート舗装とアスファルト舗装を対象に、主に重量車による燃費の実測調査を実施した。本稿では、燃費の調査方法(以下、調査①³⁾および調査②²⁾)とその結果について概要を述べる。

2-1. 供試車両と試験条件

【供試車両】

調査①は、後輪2軸駆動の全3軸トラクタと2軸のタンクタイプのセミトレーラを組み合わせた大型自動車を使用(車両A)。調査②は、後輪2軸駆動の全3軸トラクタと53フィート3軸のバンタイプのセミトレーラを組み合わせた大型自動車を使用(車両B)。

【荷重/供試車両の質量】

荷重は、①積載なし(車両A:17,100kg, 車両B:16,000kg)、②実用レベルの積載(車両A:28,400kg, 車両B:43,660kg)、および③満載(車両A:39,700kg, 車両B:49,400kg)の3種類。

【車速】

一定速度での燃費を調査。その速度は100km/h, 75km/h(調査①のみ)、80km/h(調査②のみ)および60km/h。ドライバーの技量の影響を除くために、速度の制御は自動車が搭載しているクルーズコント

*1 北海道工業大学 工学部 社会基盤工学科 教授 工博
*2 (社)セメント協会 研究所 コンクリート研究グループ
FUEL AND CO₂ EMISSION SAVINGS OF HEAVY TRUCKS ON CONCRETE PAVEMENT(by Atsushi KASAHARA, et al.)

ロールにより測定を実施。

【環境条件】

通年の環境温度下(-20~25℃)。

【道路舗装】

調査対象となった道路舗装は、ケベック州(QC)とオンタリオ州(ON)の国道のコンクリート舗装とアスファルト舗装である。一部コンポジット舗装も調査をしている。調査箇所は、調査①ではコンクリート舗装4路線、アスファルト舗装は6路線で調査を行った。調査②では、調査①の測定箇所に加えて、コンクリート舗装3路線、アスファルト舗装2路線を追加している。

【測定条件】

選定された路線での測定条件は、路面がドライ、風速10km/h(2.8m/s)以下、さらに道路舗装の縦断勾配が0.5%以下の区間データを有効データとして取り扱った。

2-2. 測定方法と結果

【測定方法】

測定は、専用のコンピュータソフトウェアによりエンジンマネジメントシステムから走行時の燃料の流量と車速をリアルタイムに収集することで、瞬間燃費を計測した。さらに走行車両から計測した風速や別途収集したIRI(International Roughness Index)、GPSによる地形情報などを組み合わせて、距離および時間を基軸としたデータ群を作成した。

【データ処理】

一連のデータ群を用い、統計解析ソフトウェアMinitabにより多変量解析を行い、100kmの距離を走行したときの燃料消費量(L)の推定式を作成した。

【統計解析結果】

調査①と調査②による燃費の推定結果によると、IRIや縦断勾配、風速等の条件を同一とした場合、コンクリート舗装の方がアスファルト舗装よりも、

調査①では4.1~6.9%、調査②では0.8~3.9%燃費が優れていると述べている。調査①と調査②では舗装種別による影響の度合いが異なるが、その理由は明らかにされていない。また、カナダセメント協会に筆者がヒアリングを行ったところ、調査①と調査②の結果を振り所に、コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べて、燃費が0.8~6.9%よいとしており、燃料コストの節約だけでなく、CO₂やNO_x、SO₂の排出削減も路面の違いによりもたらされると主張している。

3. 日本における調査

筆者らはこの結果に注目し、同様な調査を日本国内でも実施することを検討した。その結果、直接燃費を測定する方法は膨大な時間と費用がかかることはもとより、日本ではコンクリート舗装が一般道にほとんど存在しない現実から、カナダの手法とは異なるアプローチを取ることにした。すなわち、自動車の走行抵抗を測定することで、路面と自動車の転がり抵抗を評価することを試みた。

具体的な方法は、ある一定速度(例えば50km/h)まで加速した後、ギアをニュートラルにし、極力ハンドル操作を行わないで惰行させ、速度が5 km/hになるまでの時間を測定することで得られる経過時間と速度の関係から、走行抵抗を算出する方法である。速度が早く低下するような場合は走行抵抗が大きいことになる。この方法でアスファルト舗装とコンクリート舗装に対して、同じ車両を用いて走行抵抗を測定すれば、その走行抵抗の差が路面による走行抵抗の差ということになる。

この走行抵抗の測定方法は現場で試験を行うことよりかなりシビアな測定条件を要する。例えば風速・風向による影響が挙げられる。アスファルト舗装を測定しているときは追い風でコンクリート舗装を測定しているときは向かい風であると、走行抵抗の差は路面によるものか風によるものか判別がつか

表1 試験条件

| 試験場所 | 成田国際空港 | | 国総研 |
|----------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|
| 供試車両 | 車軸数：3(前軸1 後軸2) 試験時質量：19407kg | | 車軸数：3(前軸1 後軸2) 試験時質量：25720kg |
| コンクリート舗装 | B滑走路端誘導路(A) | | 走行路往路直線部(D) |
| 種類 | 連続鉄筋コンクリート舗装 | | 連続鉄筋コンクリート舗装 |
| 版厚 | 25cm | | 36cm |
| 平坦性 | 1.29 | | 1.22 |
| 縦断勾配 | 0% | | 0% |
| アスファルト舗装 | B滑走路端誘導路ショルダー部(B) | 場周道路(C) | 走行路復路直線部(E) |
| 版厚 | 密粒5cm アス安19cm | 粗粒5cm 粗粒5cm | 密粒4cm 粗粒6cm |
| 平坦性 | 1.17 | 1.07 | 1.72 |
| 縦断勾配 | 0% | 0% | 0% |



写真1 成田空港での走行抵抗試験状況
(舗装C, 場周道路アスファルト舗装)



写真2 国総研での走行抵抗試験状況
(舗装D, 往路直線部コンクリート舗装)

なくなる。路面の勾配も重要である。往復で測定し平均すれば縦断勾配の影響をキャンセルすることが理論的には可能であるが、風の影響がキャンセルできない。このようなことより、走行抵抗の舗装種類による影響の調査で、容易にかつ信憑性の高いデータを得るためには、コンクリート舗装とアスファルト舗装が平行に隣接していることが重要な測定条件となると考えた。また、走行抵抗の測定に十分な惰行距離を確保する必要がある。これらの条件を満足する場所を探した結果、成田国際空港(株)が運営・管理する空港内の誘導路と国土交通省国土技術政策総合研究所(以下、国総研)所有の試験走路が候補に挙がり、両者の協力により試験が実現した。その後、実際の道路での実施を検討し、高速道路で試験を

行っている。これについては現在データを取りまとめており、近々公表する予定である。

成田国際空港および国総研で行った試験条件等の概要は表1に示すとおりであり、供試車両は満載状態の重量車を使用した。試験状況を写真1, 2に示す。

走行抵抗の測定方法の詳細は文献^{4, 5)}を参照いただくとして、走行抵抗試験の結果を図1, 2に示す。ここでいう走行抵抗は空気抵抗と転がり抵抗の和であり、エンジン以外の損失抵抗の総称である。また、転がり抵抗は駆動系の回転により生じる機械抵抗とタイヤが路面と接触・回転することによって生じる抵抗である。これらの図から走行抵抗は速度の上昇とともに大きくなること、および舗装の種類ごとの

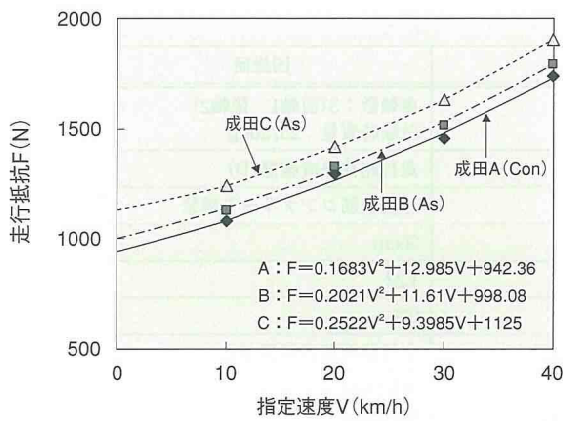


図1 走行抵抗試験の結果(成田国際空港)

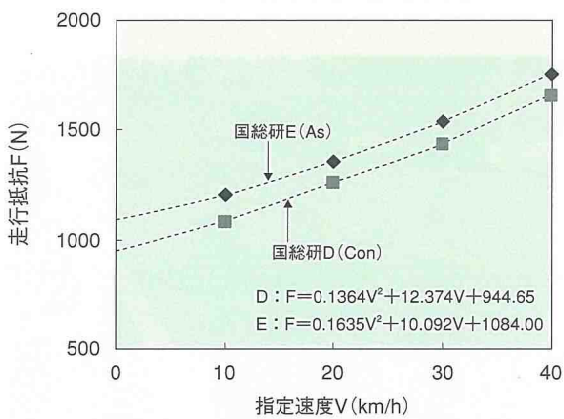


図2 走行抵抗試験の結果(国総研)

走行抵抗の差は速度に関わらずほぼ一定であることがわかる。この走行抵抗の差は、それぞれの試験場

表2 走行抵抗測定結果

| | 成田国際空港 | 国総研 |
|----------|--------------|--------------|
| コンクリート舗装 | 942N(100) | 945N(100) |
| アスファルト舗装 | 998N(105.9) | 1084N(114.7) |
| | 1125N(119.4) | |

所にて同一の供試車両を使用していることより、タイヤと路面の間の転がり抵抗の差であると考えられる。すなわち、コンクリート舗装の方がアスファルト舗装よりも転がり抵抗が小さいことが明らかになった。また、指定速度ごとの走行抵抗の形状が図1と図2とで異なるが、これは成田と国総研とでは別々の試験車両を使用したことによる空気抵抗の違いが影響しているものと思われる。

転がり抵抗は空気抵抗がゼロとなる、速度ゼロ時の走行抵抗に等しいことより、コンクリート舗装とアスファルト舗装ごとの転がり抵抗の算出を行った。その結果が表2である。この表を見てわかるように、コンクリート舗装の転がり抵抗を100とするとアスファルト舗装は105.9~119.4になることが明らかになった。

図3はPIARC(世界道路協会)による路面の幾何形状による路面の特性を分類したものである。この図

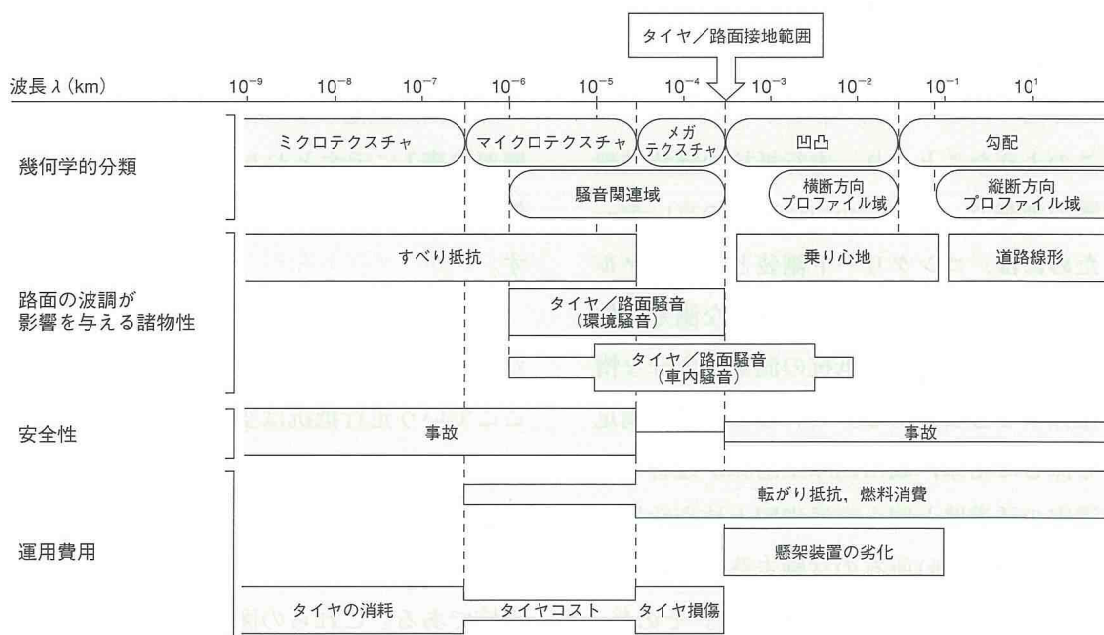


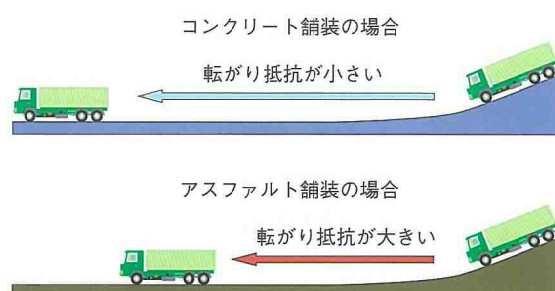
図3 路面の幾何形状による分類(PIARC)

には転がり抵抗(ROLLING RESISTANCE)の影響はメガテクスチャ以上の比較的大きな路面波状特性が影響を与えるとされている。素人的には転がり抵抗が小さいとすべり抵抗も小さいのではないかと疑問を持つが、この図から双方の特性に影響するテクスチャ範囲が異なることがわかる。

4. 転がり抵抗が及ぼす 燃費/CO₂への影響

その転がり抵抗が及ぼす燃費への影響は、重量車の燃費基準(トップランナー基準)に採用されている燃費の測定方法であるシミュレーション法から推定することができる。この方法に関する詳細は文献^{3,4)}を参照いただきたいが、結果として、図4のとおりコンクリート舗装はアスファルト舗装よりも燃料を節約できることがわかる。上述のカナダでの結果と比較しても我々の結果は的外れではないといえる。

では、燃費改善がどの程度CO₂排出削減できるか少し触れてみたい。ガソリンエンジンやディーゼルエンジンから排出されるCO₂は、ガソリン1ℓで2.359kg-CO₂、軽油1ℓでは2.644kg-CO₂である⁶⁾。わが国の2006年度のCO₂総排出量は1,274百万t-CO₂/年であり、運輸部門はその19.9%を占めている。運輸部門のうち、自動車が87.5%を占めており、その中で貨物車が40.8%となっている。ここで貨物車がすべて重量車であると仮定すると、重量車からのCO₂排出量は90.6百万t-CO₂/年と試算することができる。重量車の走行比率が高い「高速道路、一般国道の指定区間(以下、幹線道と略)」は1999年センサスデータによれば、貨物自動車走行台キロの37.1%に相当する。これより、幹線道を走行する重量車からのCO₂排出量は、推定33.6百万t-CO₂/年となる。このCO₂すべてが軽油を燃やして排出されているとすると、消費した軽油の量は約1,200万ℓ/年となる。ここで当該道路舗装がすべてアスファルト舗装でそれをコンクリート舗装に置き換えたとすると、



※図は転がり抵抗のイメージ(実際の測定とは異なる)

コンクリート舗装の転がり抵抗を100としたときの
アスファルト舗装の転がり抵抗

| | |
|------------|-------------|
| 成田国際空港内の舗装 | 105.9~119.4 |
| 国総研内試走路の舗装 | 114.7 |

コンクリート舗装の燃料消費率(100km/ℓ)を100としたときの
アスファルト舗装の燃料消費率

| | |
|------------------------|-------------|
| 都市内走行モード ^{※2} | 100.8~103.4 |
| 都市間走行モード ^{※3} | 101.4~104.8 |

- ※1 日本自動車研究所による重量車の燃費シミュレーションにより算出
- ※2 JE05モード、都市内を走行するモードで加減速が比較的多いモード
- ※3 縦断勾配付き定速モード、速度は80km/h一定で東名高速道路を模擬したモード

図4 舗装種別ごとの転がり抵抗と燃費への影響

消費する軽油量は、年間で約10万~55万ℓ(平均33万ℓ)節約でき、そのCO₂排出削減量は23.6万~145.4万t-CO₂/年(平均87.2万t-CO₂/年)となる。数%の燃費改善が大きなCO₂排出削減効果を生む可能性があり、まさに“ちりも積もれば山となる”である。

5. おわりに

今回は、重量車の走行抵抗の調査の結果を述べた。この転がり抵抗の議論は、より荷重の大きい航空機にも適用することができると思われる。例えば羽田空港で建設が進む新D滑走路は、駐機しているターミナルビルから6kmも離れていると聞く。もちろん航空機は滑走路まで自走するわけである。その航空機の走行する道である誘導路は、通常アスファルト舗装である。今回の重量車の事例が当てはまるとは断言できないが、航空機の輪荷重や脚荷重を考えると、アスファルト舗装をコンクリート舗装に置換える効果は期待できると思われる。航空業界では燃

油サーチャージなどかなり厳しい燃料事情と聞
が、これも“ちりも積もれば…”となるのではない
だろうか。

[参考文献]

- 1) Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption-Phase 2: Seasonal Tests, National Research Council Canada, Canada, August 2000
- 2) Additional Analysis of the Effect of Pavement Structure on Truck Fuel Consumption, G.W.Taylor Consulting in collaboration with Dr. Patrick Farrell and Anne Woodside, Carleton University, August 2002
- 3) Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption-Phase III, National Research Council Canada, Canada, January 2006
- 4) 吉本 徹／道路舗装の種別と重量車の燃費，自動車／タイヤ／路面の安全・環境・省資源技術，No.10-7 JSAE SYMPOSIUM，(社)自動車技術会，pp.40～44，2008
- 5) 吉本 徹，早川 勇，泉尾英文，長坂堅二／重量車の燃費と舗装路面に関する検討，舗装，Vol.43，No.5，pp.24～28，2008
- 6) 笠原 篤／PAVEの時代，舗装，Vol.42，No.1，pp.3～4，2007

[セメント・コンクリートNo.753／2009年11月号]



視点3. 設計者・施工者への支援

構造設計用ソフトの充実

西澤 辰男*

1. モデル化の変遷

コンクリート舗装では剛性の高いコンクリート版が主要な構造部材であり、構造設計ではコンクリート版の応答を求めることが中心となる。この目的のために、図1に示されるようなコンクリート舗装の特徴を表現した弾性平板モデルが提唱された。このモデルは、コンクリート版を薄い弾性平板とし、路盤以下の作用を1次元のばねで置き換えるものである。Westergaardは、このモデルを用いて荷重が作用した場合のコンクリート版に発生するたわみや曲げ応力を求める式を導き出した¹⁾。この一連の式は、改良を加えられて現在でも使われている。

この式の欠点の一つは、路盤の作用の単純化であり、路盤層の荷重分散機能を反映できないことである。そこで、路盤にせん断ばねを導入したVlasovモデルや、半無限弾性体でモデル化するなどが開発されたが、いずれのモデルも路盤や路床の多層構造を考慮してそれらの応答を計算することができない。また、コンクリート舗装に特徴的な目地やひび割れの影響を考慮できないという欠点も有している。

2. 構造解析技術の発展

2-1. 平板FEM

その後、コンピュータを用いた数値解析技術である有限要素法(FEM)が発展し、コンクリート舗装の構造解析に適用されるようになった。基本的なモデルはWestergaardと同じで弾性平板モデルであるが、目地の荷重伝達を合理的な形でモデル化できること、多様な交通荷重を取り扱えることなどが特徴である²⁻⁵⁾。目地のモデルとしては、最初は単純なせん断ばねに置き換えたものであったが、その後ひび割れ面のかみ合わせとダウエルバーの作用を分けて表現したモデルが開発された^{6, 7)}。

FEMの入力データ作成や出力データの整理は面倒なものであるが、このような作業を支援するグラフィカルインターフェースを用いた入力、プリポストプロセッサが整備されてきている。代表的なパッケージとしては、AASHTO設計法である

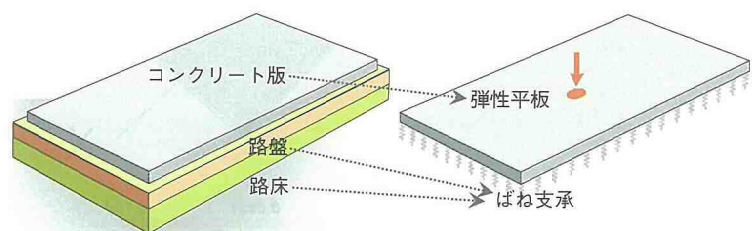
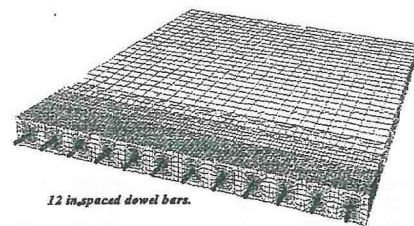
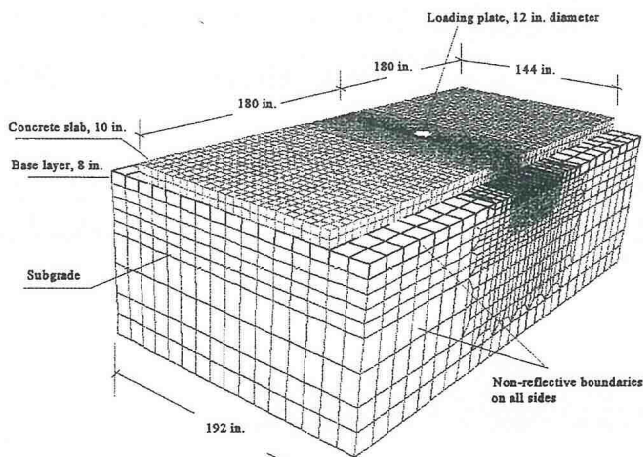
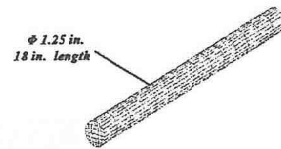


図1 弾性平板モデル

* 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 教授
FEM PACKAGES FOR STRUCTURAL ANALYSIS OF
CONCRETE PAVEMENT (by Tetsuo NISHIZAWA)



a. Slab Mesh



b. Dowel Bar Mesh

図2 商用パッケージによるコンクリート舗装の大規模3DFEM解析

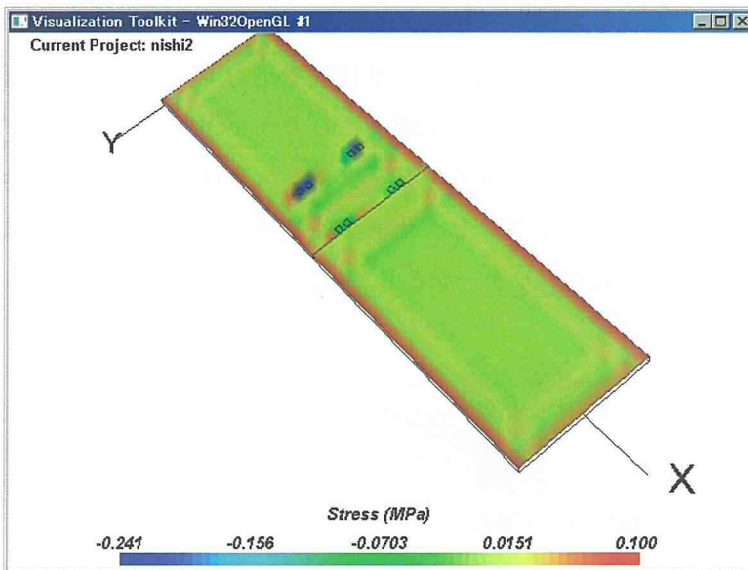
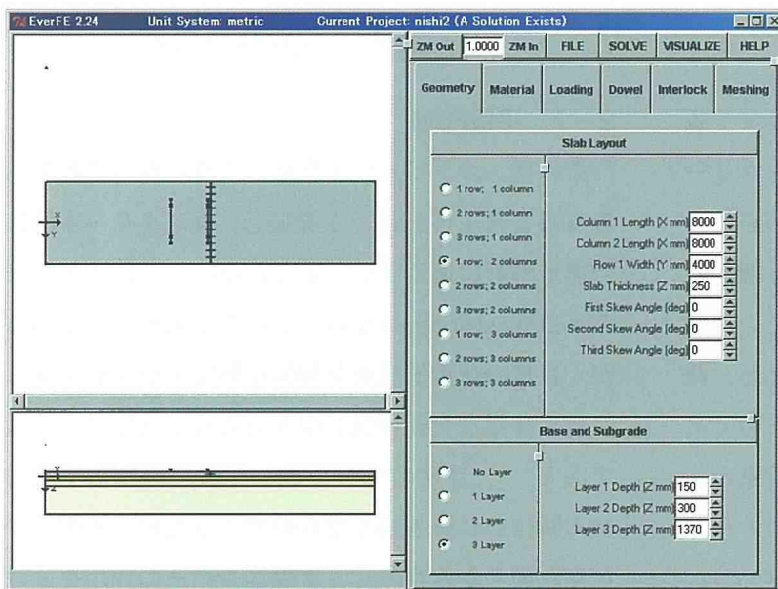


図3 EverFEのインターフェース
(<http://www.civil.umaine.edu/everfe/>)

ME-pdgの標準解析法になっているイリノイ大学のISLAB2000や⁸⁾、舗装のテキストとして有名な“Pavement Analysis and Design”に付属しているケンタッキー大学のKEN-SLABなどがある⁹⁾。わが国でも、著者が開発したコンクリート舗装構造解析パッケージCPがある。しかしながら、FEMであっても路盤や路床自体が持つ荷重分散性を考慮できない、路盤や路床の応答を計算できないという弾性平板モデルの欠点をそのまま引き継いでいる。

2-2. 3DFEM

そこで登場したのが3次元有限要素法(3DFEM)によるコンクリート舗装のモデル化である。このモデルでは、コンクリート版だけでなく路盤や路床も含めてソリッド要素に分割するため、交通荷重によるこれらすべての応答を求めることができる。3DFEMでは要素分割が複雑になり構造モデルの作成自体が大変な作業となる。また、3次元の出力データも膨大であり、

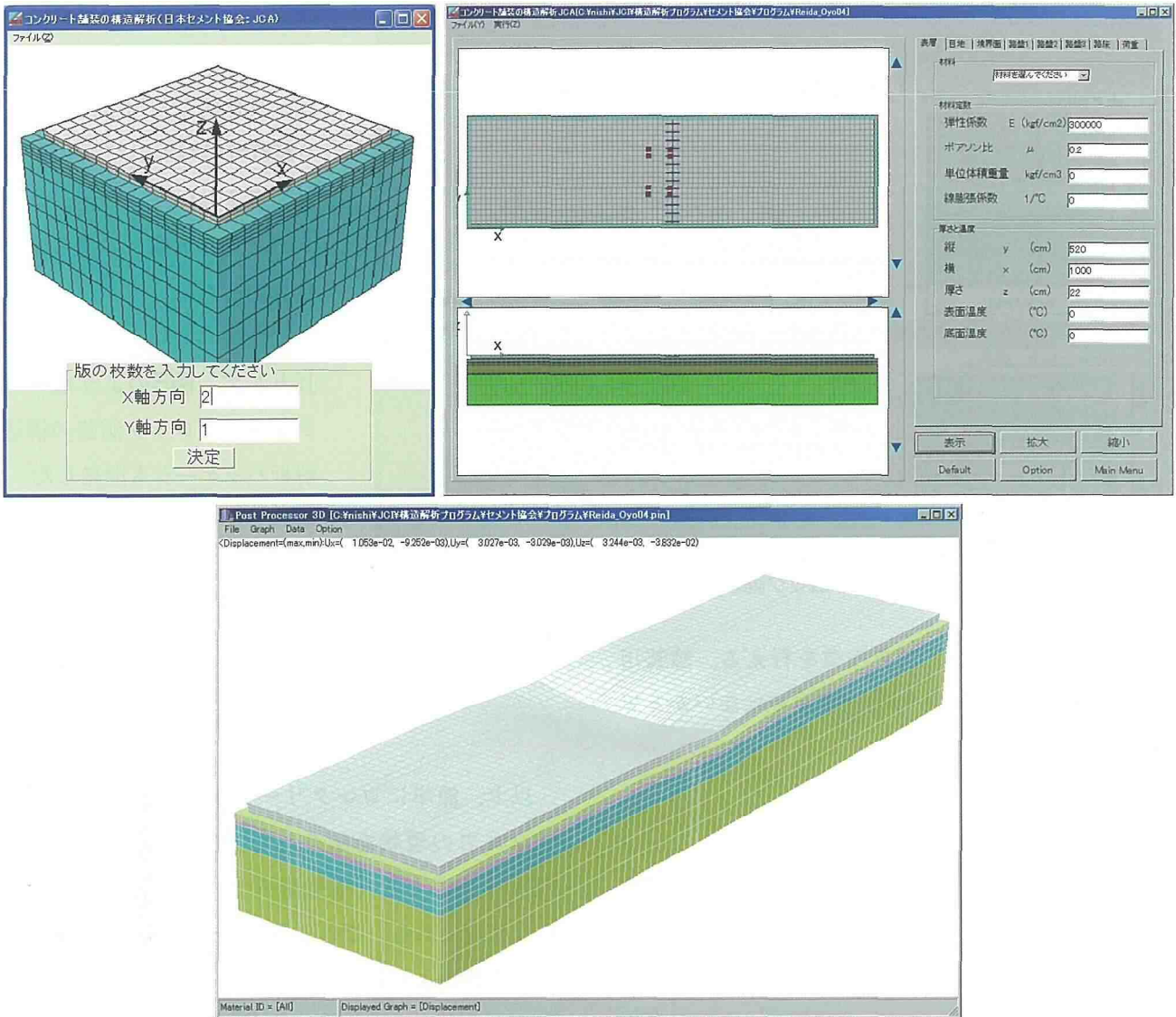


図4 国産3DFEMパッケージ

データの整理にはグラフィカルな表現手段が不可欠である。幸い、優れたプリポストを有する市販の商用パッケージABAQUSやANSYSなどがあり、これらをコンクリート舗装の構造解析に利用することができる。

商用パッケージを駆使した先進的なモデルと考えられているのは、図2に示すようなものである¹⁰⁾。目地のダウエルバーまでもソリッド要素に分割されている。ただし、このような大規模な解析には相当の時間と労力を要する。また、商用パッケージは複雑な構造物を解析するさまざまな機能を有しており、これらを駆使して舗装用モデルを構築するため

にはかなりの熟練を必要とする。そこで、舗装用に特化した比較的軽いコンパクトなパッケージが開発されている。

EverFEは代表的なフリーパッケージである^{11, 12)}。図3に示すように、コンクリート舗装に関連するパラメータのみを入力することにより、手軽にコンクリート舗装の3DFEM解析を行うことができる。このパッケージでは、限られた舗装構造(コンクリート版も含めて4層、9枚のコンクリート版に限定)であるが、斜め目地、ダウエルバーの隙間やそれらの傾きなどの影響を考慮することができる。使い方はいたって簡単で、コンクリート舗装に関する知

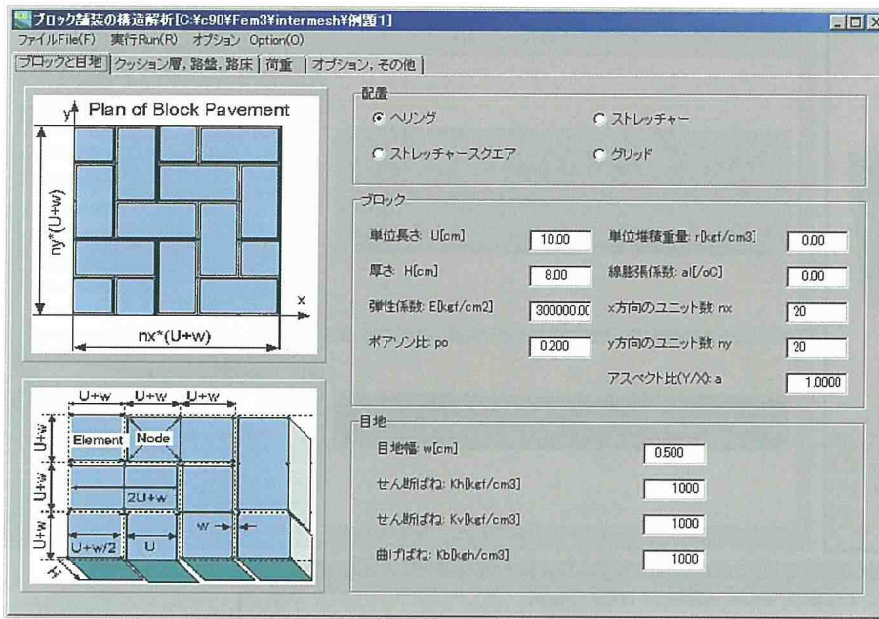


図5 コンクリートブロック舗装の構造解析パッケージ

識があれば不自由なく解析作業を行える。舗装用3DFEMパッケージの1つの到達点ではないかと思う。

2-3. 国産パッケージの開発

このパッケージに触発された著者は、わが国でもこのような舗装用3DFEMパッケージが必要と考え、その開発を行ってきた¹³⁾。舗装用3DFEMでは、材料モデル、境界面モデル、目地モデルなど舗装構造に特有なモデル化のノウハウが必要で、そのようなコア部分は国産であるべきと考えたからである。その成果の一部として、コンクリート舗装用のインターフェースを加えたパッケージを、セメント協会

研究所と共同で開発している(図4)。このプロジェクトでは、具体的な使用事例を数多く紹介するマニュアルの整備に力点をおいた。今後、ユーザの意見を頂戴してさらに改良を加えたい。

またこのプロジェクトの延長として、図5のようなコンクリートブロック舗装の構造解析パッケージも開発した¹⁴⁾。このインターフェースによって、ブロックの配置を考慮した図6のような要素分割を生

成することができる。

3. むすび

以上、簡単にコンクリート舗装の構造解析ソフトウェアの現状を紹介した。技術系の世界では、FEMを中心とした構造解析ツールは使えて当然という状況にある。このようなツールは使いやすい反面、中身のよくわからないブラックボックスになりやすい。これらのツールを使いこなす能力(構造解析リテラシー)に加えて、出力された結果を的確に解釈する技術者の洞察力が依然として重要である。そのような洞察力を身につけるためには、いろいろな問題を解析する経験が必要であり、モデル自体が

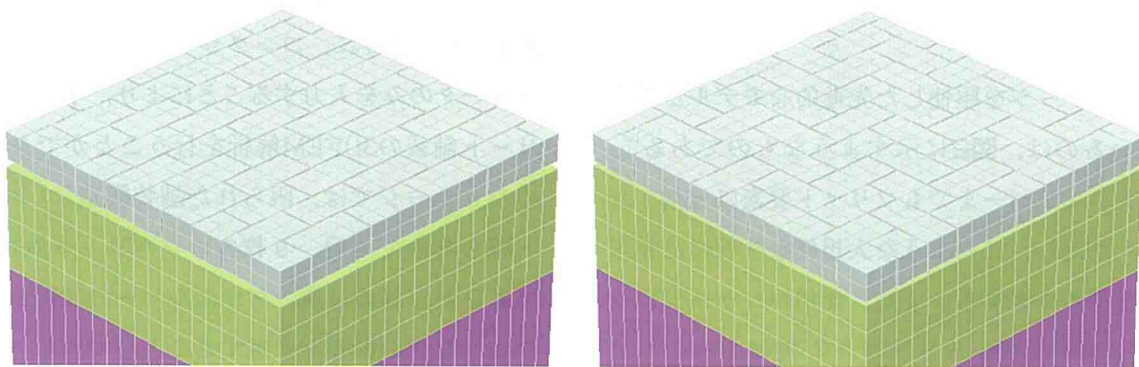


図6 ブロック舗装の要素分割例

吐き出す結果と現場の状況とを比較する作業を積み重ねることが大切である。

[参考文献]

- 1) Westergaard, H. M./Computation of Stresses in Concrete Roads, Proceedings, Highway Research Board, Vol.5, Part 1, pp.90 ~ 112, 1925
- 2) Tabatabaie, A.M., and Barenberg, E.J./Finite Element Analysis of Jointed or Cracked Concrete Pavements, Transportation Research Record 671, Transportation Research Board, pp.11~17, 1978
- 3) Huang, Y.H., and Chou, Y.T./Discussion on Finite Element Analysis of Jointed or Cracked Pavements, Transportation Research Record 671, Transportation Research Board, pp.17 ~ 18, 1978
- 4) Tayabji, S.D., and Colley, B.E./Analysis of Jointed Concrete Pavements, FHWA-RD-86-04, Turner-Fairbank Highway Res. Ctr., McLean, Va., 1986
- 5) Ioannides, A.M./Analysis of Slab-on-grade for a Variety of Loading and Support Conditions, Ph.D thesis, University of Illinois, Urbana, Ill., 1984
- 6) Nishizawa, T., Fukuda, T., and Matsuno, S./A Refined Model of Doweled Joints for Concrete Pavement Using FEM, Proceedings of 4th International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, pp.735~745, 1989
- 7) Guo, H., Sherwood, J.S., and Snyder, M.B., Component Dowel-Bar Model for Load Transfer Systems in PCC Pavements, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol.121, No.3, pp.289~298, 1995
- 8) Khazanovich, L., Yu, H.T., and Beckemeyer, C./Application of ISLAB2000 for Forensic Studies, Proceedings of 2nd International Symposium on 3D Finite Element for Pavement Analysis, Design, and Research, Charleston, West Virginia, pp.433~450, 2000
- 9) Huang, Y.H./"Pavement Analysis and Design" 2nd ed. Pearson Education, 2004
- 10) Shoukry, S.N., and William, G./3D FEM Analysis of Load Transfer Efficiency. Proceedings of National Symposium on 3D Finite Element Modelling for Pavement Analysis, Design, and Research, Charleston, West Virginia, pp.40~50, 1998
- 11) Davids, W.G., and Mahoney, J.P./Experimental Verification of Rigid Pavement Joint Load Transfer Modeling with EverFE, Transportation Research Record 1684, Transportation Research Board, pp.81~89, 1998
- 12) David, W.G./3D Finite Element Study on Load Transfer at Doweled Joints in Flat and Curled Rigid Pavements, Proceedings of 2nd International Symposium on 3D Finite Element for Pavement Analysis, Design, and Research, Charleston, West Virginia, pp.25~42, 2000
- 13) 西澤辰男/3次元FEMに基づいたコンクリート舗装構造解析パッケージの開発, 土木学会舗装工学論文集, Vol.5, pp.112~121, 2000
- 14) 西澤辰男/3次元有限要素法に基づいたブロック舗装の構造解析プログラムパッケージの開発, 土木学会舗装工学論文集, Vol.13, pp.133~140, 2008

[セメント・コンクリートNo.754/2009年12月号]



視点4．施工性と利便性の追求

1. RCCPへの期待

多田 宏行*

転圧コンクリート舗装(Roller Compacted Concrete Pavement, RCCP)は、通常の舗装用コンクリートよりも著しく水量を減じた硬練りのコンクリートを路盤上に敷きならし、これをローラで締め固めて得られる舗装で、従来のコンクリート舗装に比較して次のような特徴がある。

- ① アスファルト舗装用の舗設機械で施工できるため、施工速度が速い。
- ② 型枠を用いない施工も可能なため、版厚を自由に変えられる。
- ③ コンクリートの初期材齢時の耐荷力に優れているので、早期に交通開放ができる。
- ④ コンクリートの乾燥収縮量が小さいため、目地の省略あるいは設置間隔を拡大することができる。

スペイン、フランス、カナダ、アメリカ等の普及に刺激されて、わが国で初めてRCCPの道路試験施工があったのは、大阪のセメント工場の構内で1987年2月のことだった。それから20年余を経て施工面積も282万 m^2 (2008年現在)に達しているが、2000年代後半から実績が伸び悩んでいるように思われる。

RCCPは、硬化後の見かけが普通コンクリート版と変わらないところから、従来のコンクリート舗装と同一視されがちだが、その特徴を活かすためには既成概念にとらわれぬ考え方が必要である。

たとえば、RCCPに用いられる一連の機械がそっ

くり路盤工にも適用できるセメント安定処理路盤を採用するなど、最も有利な設計・施工を見出すべきである。

つぎにコンクリートにつきものの収縮ひび割れに対する評価である。諸外国では転圧コンクリート版に発生する収縮ひび割れは、その開き幅が狭く、ひび割れ面での噛み合せによる荷重伝達が期待できるとして、意に介さない場合が多い。不規則に発生した収縮ひび割れが好ましくないことはいうまでもないが、その実害を危惧するより、むしろユーザーにひび割れを破損あるいは欠陥と見なされたくないばかりに、その対応に追われてはいないか。

またRCCPの平坦性や表面のキメが、従来のコンクリート舗装と比較して多少劣るという見方がある。しかし、仮にそのような場合であっても重車両が低速走行するヤードや軽交通道路などの舗装では、実用上全く支障はない。

さらに高度の平坦性とキメが求められる道路には、転圧コンクリートをホワイトベースとし、これを瀝青系材料による表層で被覆するコンポジット舗装とするとよい。これはコンクリート舗装とアスファルト舗装の両者の利点を採り入れた舗装で、幹線道路ではこの構造が理想的と思われる。

大型振動ローラや高締固め型アスファルトフィニッシャを駆使してのわが国のRCCPの施工技術は、最高水準にあると確信する。RCCPをもっと熱心にユーザーに対してPRしなければならない。

* 工学博士

EXPECTATION OF RCCP(by Hiroyuki TADA)

2. RCCPの新たな展開に向けて

安藤 豊^{*1} 飯島 尚^{*2}

1. はじめに

コンクリート舗装の長所は、この連載で数多くの有識者の方々が書かれているように、アスファルト舗装と比較して耐久性が良好なこと、主材料のセメントが国内で生産されており安定供給が可能なこと、などが挙げられる。一方、短所は、大型機械と人手が必要で初期建設費用が高いこと、1～2週間程度の養生が必要であること、などが挙げられている。

このようなコンクリート舗装が抱える課題を解決する工法として、転圧コンクリート舗装(RCCP)が注目されてきた。RCCPの特長と期待は、前文で多田氏が報告されている通りである。いまこそコンクリート系舗装全体の復権が図られるべきであるが、その中でも3日間程度の養生(普通ポルトランドセメントの場合)で早期交通開放が可能など優れた長所を持つRCCPは、もっと見直されてよい舗装である。本稿ではRCCPの新たな展開に向け、RCCP技術の再整理と復活に向けた提言を行いたい。

2. RCCPの設計方法と耐久性調査結果

多田氏が報告されているように、RCCPはコンクリート舗装の弱点である目地の間隔を延長化できる可能性を有した舗装である。ただし、(社)日本道路協会「舗装設計便覧」(平成18年12月)¹⁾では、RCCPが無筋コンクリート舗装であることから収縮目地間隔を原則5mとすることが記載されている。また、RCCPを表層として適用できる交通量区分がN₆交通(舗装計画交通量1,000～3,000台/日・方向)までとされている。

一方、セメント協会ではRCCPの復活に向け、2005～2007年にかけて、既設RCCPの耐久性目視調査を行った²⁾。その結果、維持補修作業を軽減でき、かつ長期供用が期待できる条件は以下のものであった。

- ① 横断ひび割れの発生を抑制するためには、収縮目地間隔は舗装設計便覧に記載されている5mが望ましい。
- ② スケーリングおよび材料分離の発生を抑制するためには、細骨材率は42%以上が望ましい。
- ③ 段差の発生を抑制するためには、アスファルト中間層を設置することが望ましい。

3. 復活に向けた課題への取組み案

次にRCCPの長所拡大と、耐久性向上に向けた課題への取組み案について検討する。

(1) 使用材料

セメント協会のRCCP耐久性調査結果報告書²⁾の中で、**図1**に示すように、横目地間隔が長くなるに従い横断ひび割れの発生が多くなることが報告されている。また、同報告書の中で、**図2**に示すように、膨張材を使用すると目地間隔を延長化できる可能性も指摘されている。**図2**は常磐道五百川PAでの施工例(1990年6月施工)であるが、普通ポルトランドセメントに膨張材を添加すると、舗装用セメント³⁾

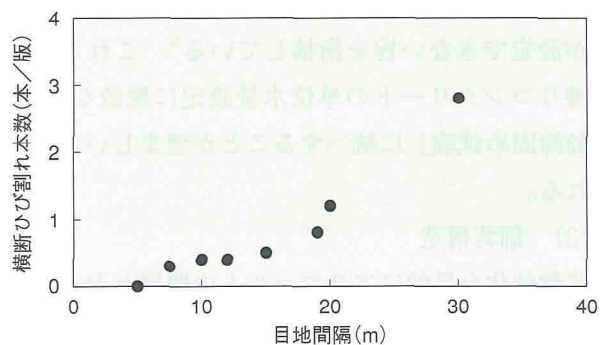


図1 目地間隔と横断ひび割れ発生本数

*1 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所

*2 鹿島道路(株)

NEW DEVELOPMENT OF ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENT (by Yutaka ANDO, et al.)

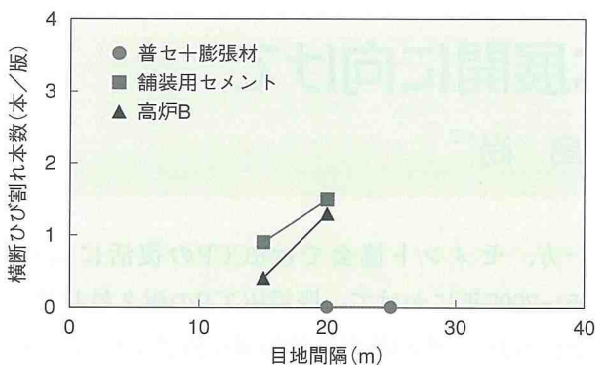


図2 膨張材を用いた場合の横断ひび割れ発生本数 (五百川PA)

や高炉Bを用いた場合より横断ひび割れの発生が抑制されていた。普通ポルトランドセメントに膨張材を添加すると、収縮目地間隔を20m前後に延長しても、横断ひび割れの発生本数を抑制できる可能性が認められた。多田氏も指摘されているRCCPのノージョイント化に向け、さらなる検討が望まれる。

使用材料での不具合事例は、混合セメントを用いて、養生期間を十分確保できなかった場合に多い。普通ポルトランドセメントを用いた場合の養生期間は3日間であるが、混合セメントを用いた場合はそれ以上の湿潤養生期間を確保する必要がある。

(2) 配合設計方法

配合設計方法の中で単位水量はコンシステンシー評価を行い設定するが、その試験方法として(社)日本道路協会「舗装設計施工指針(平成18年版)」⁴⁾では、「マーシャル突固め試験」,「ランマ突固め試験」,あるいは「VC振動締固め試験」で行うことが併記されている。しかし、加形等が「マーシャル突固め試験」および「ランマ突固め試験」の両試験方法では、突固めエネルギーが大きすぎて、硬練りコンクリートの単位水量設定に鈍感であり、適切な配合が設定できない旨を指摘している⁵⁾。これらから硬練りコンクリートの単位水量設定に鋭敏な「VC振動締固め試験」に統一することが望ましいと考えられる。

(3) 舗装構造

路盤強化を目的にアスファルト中間層とセメント安定処理を併用した例として、堺泉北港荷捌場(1994年3月施工)があげられる。舗装構造は、下層路



写真1 堺泉北港荷捌場の供用状況

盤に粒調碎石10cm, 上層路盤にセメント安定処理20cm, 中間層に密粒度アスファルト混合物5cm, 表層にRCCP25cmであった。収縮目地間隔は5mであった。

15年経過後現在、60tの特殊車両が1日約80台走行する荷捌場として引き続き供用されているが、写真1に路面状況や利用状況を示すように、超重荷重車走行による破損は認められず、ヤード舗装としての供用性に問題は認められない。目地間隔を5mとしたことと、支持力確保とエロージョン対策のためにセメント安定処理路盤の上にアスファルト混合物を中間層として組み合わせた舗装構造が良好な供用性の維持に貢献しているものと推測される⁶⁾。

4. 新たな展開に向けて

RCCPの新たな展開先として、多田氏も指摘されているように、コンポジット舗装への用途が考えられる。

(1) RCCPコンポジット舗装

RCCPをホワイトベースとしたコンポジット舗装は、収縮目地部からのリフレクションクラックの発生が懸念される。しかし、近年、RCCPコンポジット舗装も行われるようになってきた。

2002年7月から2003年2月にかけて、名古屋市の国道19号(若宮付近)でRCCPコンポジット舗装が施工された。これは地下構造物(地下鉄および大型共同溝)の整備が完了し、バリアフリー化など舗装修繕工事が実施されたことに伴い、RCCPが排水性ア



写真2 RCCPコンポジット舗装での供用状況
(国道19号)



写真3 RCCP・ポラコン複合版舗装での供用状況
(千葉県)

スファルト舗装のホワイトベースとして施工された。RCCP用生コンの出荷は複数の工場から出荷されたため、配合設計におけるコンシステンシー評価方法は、品質安定化のためにVC振動締固め試験に統一して実施された。

この路線の交通量は、平成17年度道路交通センサスによると64,000台/日であった。このような重交通路線で供用7年後の状況は、一部にリフレクションクラックと思われるひび割れが発生しているものの全体的には良好である。新東名高速道路で実施されているCRCPコンポジット舗装に加えて、RCCPコンポジット舗装も見直されてよい技術だと考えられる。RCCPコンポジット舗装での供用状況を写真2に示す。

(2) RCCP・ポラコン複合版舗装

RCCPをコンクリート複合版の下層に用いた車道用ポーラスコンクリート(以下、ポラコンと略)舗装も施工されている⁷⁾。交通量区分がN₅交通(舗装計画交通量250~1,000台/日・方向)の路線で、舗装構造は下層RCCPが17cm、上層ポーラスコンクリートが8cmであった。両層の接着に2.5ℓ/m²の無収縮セメントモルタルが使用された。

施工は、2002年1月に千葉県香取郡栗源町でセメント協会のポラコン舗装普及に向けた公開試験施工として実施された。収縮目地間隔は5mであった。7年経過後現在、表層のポラコン舗装にはひび割れの発生や目地部での角欠けもなく、良好に供用されている。ポラコン舗装の普及に向け、RCCP・ポラ

コン複合版舗装は今後の展開が期待される舗装である。RCCP・ポラコン複合版舗装での供用状況を写真3に示す。

5. おわりに

RCCPの特長は、施工が簡便であることと標準養生期間が3日間と比較的に早期に交通開放が可能であることである。これらの特長を生かし、簡易道路やヤード舗装への積極的な展開が望まれる。米国でのRCCPは、昭和50年代から早期供用性が認められ軍施設を中心として採用された。近年このRCCPが再度見直され、とくに平成10年以降は、民間工業施設(ヤード舗装等)を中心に急速に普及し、現在では年間で50~60万m²程度が採用されている。この多くの可能性を秘めたRCCP工法が広く活用され、コンクリート舗装の新しい需要源となっていくことを願うものである。

[参考文献]

- 1) (社)日本道路協会/舗装設計便覧, 2006
- 2) (社)セメント協会/転圧コンクリート舗装の耐久性目視調査報告書, 2007
- 3) 中村修吾, 豊福俊泰/東北自動車道に用いた舗装用セメントの品質, セメント技術年報, XXIX, 1975
- 4) (社)日本道路協会/舗装設計施工指針, 2006
- 5) 加形 護, 加藤寛道, 児玉孝喜, 林 信也, 山田 優/転圧コンクリート舗装用コンクリートの配合設計方法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第10巻, 2005
- 6) 加形 護, 児玉孝喜, 口分田渉, 田中耕作/空港・港湾ヤード舗装に適用したRCCPの長期供用性評価, 舗装
- 7) 三浦宏一/車道用排水性コンクリート舗装 千葉県道に3タイプでトライ, セメント・コンクリート, No.660, 2002

[セメント・コンクリートNo.755/2010年1月号]



視点5．早期交通開放性の追求

1. プレキャスト版の活用

山脇 宏成*

1. はじめに

最近の公共工事の設計施工では、建設コストの縮減と環境負荷の軽減に関する検討は欠かせない条件となってきた。舗装工事でも主要な防災拠点や重要港湾空港等を結ぶ道路や渋滞が無くスムーズに走行できる道路の実現等の事業では、その対策技術が重要になる。高強度RCプレキャスト舗装版(以下、高強度PRC版と略)は、このような条件下で対応可能な新しいタイプのコンクリート舗装版で、特に長期供用が可能であり、路上工事期間の短縮、補修時の部分交換が可能であることから、ライフサイクルコストの低減が期待できる。

高強度PRC版は、平成12(2000)年より開発を始め¹⁾、平成13年より国土交通省国土技術政策総合研究所、(株)ガイアートT・K、ジオスター(株)の共同研究²⁾により開発・改良を重ねながら、これまでに重交通道路、空港エプロン・誘導路、コンテナヤードと重荷重で早期交通開放が求められる個所での施工実績をあげてきている。本稿では、高強度PRC版の概要、道路での施工事例を紹介する。

2. 高強度PRC版の概要

2-1. 本体の構造

高強度PRC版は強度・剛性を高めて変形しにくい構造を可能とするため、高強度コンクリート($f'_{ck}=60\text{N/mm}^2$)を用いて鉄筋を上下二段に配置し、圧縮鉄筋と引張鉄筋を部分的に組み入れたラチストラス鉄筋を使用している。ラチストラス鉄筋を接合した鉄筋籠とラチストラス鉄筋を写真1に示す。これにより、道路舗装の場合、舗装版の版厚が薄くでき、運搬が比較的容易になるとともに、路床・路盤の工事量が低減され、構造物の長期供用が可能となる。高強度PRC版の本体を写真2に示す。なお、空港用の場合、ひび割れ発生の抑制およびひび割れ発生後のコンクリートの飛散防止の観点より、版の表面から70mm程度の範囲で繊維補強コンクリートとしている。

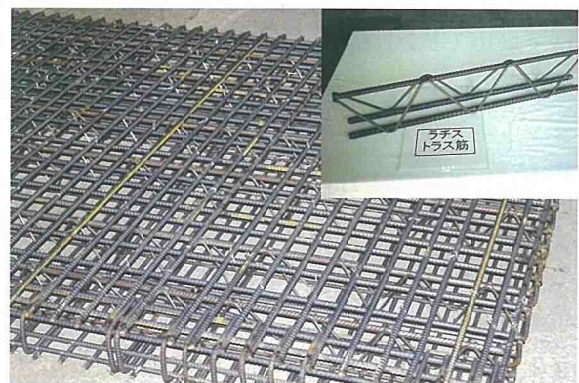


写真1 鉄筋籠とラチストラス鉄筋

* (株)ガイアートT・K 技術研究所
APPLICATION OF PRECAST FC PANEL TO CONSTRUCTION SITES (by Hironari YAMAWAKI)

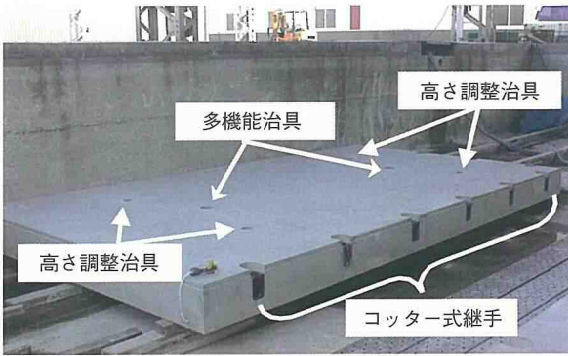


写真2 高強度PRC版本体構造

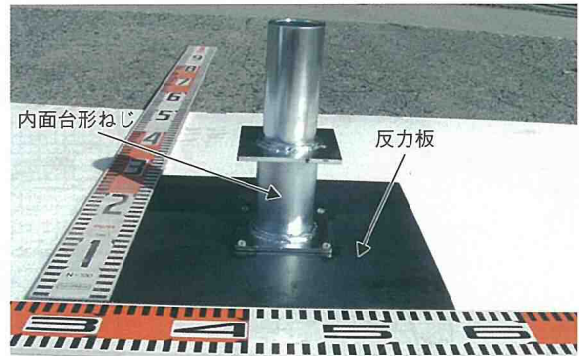


写真4 高さ調整治具

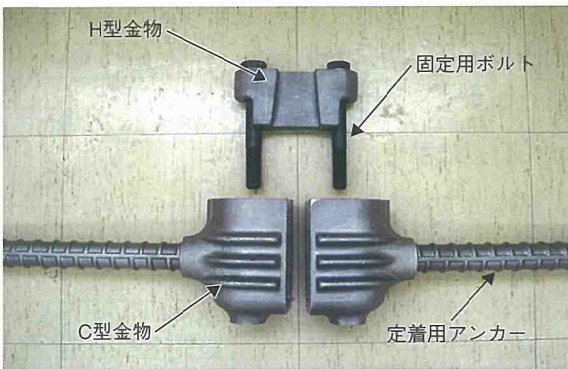


写真3 コッター式継手



写真5 油圧ジャッキの装着

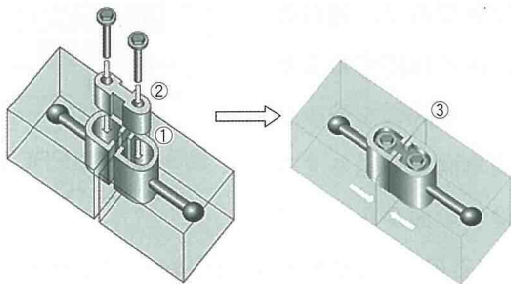


図1 コッター式継手による接合の仕組み

2-2. 継手構造

高強度PRC版同士の接合は、写真3に示すコッター式継手を用いて行う。高強度PRC版は、隣り合う版の間隔(目地)を7~10mm程度設けて敷設し、その間隔に目地グラウト(材齢2時間で20N/mm²以上の圧縮強度を発現)を注入する。その後、くさび状のH型金物をあらかじめ高強度PRC版に内蔵してあるC型金物内に圧入することにより、継手面に圧縮力を導入する構造となっている。H型金物は図1のようにボルトで固定することにより、荷重が繰返し作用した場合でも抜け出さないような構造となっている。この継手構造により、これまでの目地構造よ

りも剛性が増し、荷重の伝達能力が高まり、平面一体化が可能となった。なお、ボルトを緩めてH型金物を取り外せば、高強度PRC版の部分交換も可能である。

2-3. 内蔵部品

高強度PRC版は、版敷設時に版の高さを調整するための高さ調整治具(写真4)と、不同沈下を起こした場合、リフトアップを行うためのジャッキ装着を可能にする治具とグラウト注入孔および高強度PRC版敷設時の吊り治具を兼用できる多機能治具を内蔵している。多機能治具に油圧ジャッキを装着しリフトアップした試験事例³⁾を写真5に示す。

2-4. 裏込めグラウト

高強度PRC版の施工では、路盤と高強度PRC版の空隙に裏込めグラウト材を充填する。このグラウト材に要求される性能は、施工の迅速性、セルフレベ

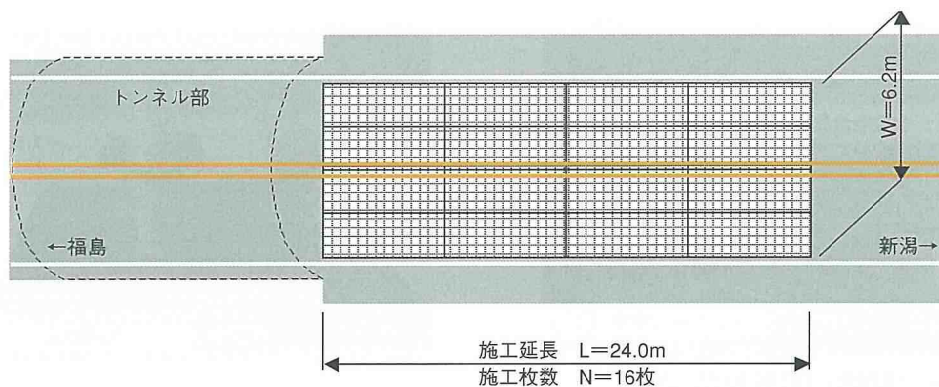


図2 高強度PRC版の割付図

リング性および速硬性とともに寒冷期での強度発現性などである。これらの要求を満足させるために、以下のような特性をもった裏込めグラウト材を開発し使用している。

- ① 車道用では材齢3時間、空港用では材齢2時間で $3\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の一軸圧縮強度となる。
- ② 注入作業時間を確保するため40分の可使用時間を確保する。
- ③ 自然流下で充填可能とするため、JAルートで60秒以下の流下時間となる。
- ④ 寒冷期の夜間施工で外気温が -5℃ 以上であれば施工可能である。

3. 急速施工への適用例

これまで、道路舗装に高強度PRC版を適用した実績は5現場ある。今回、平成15年度に実施した国土交通省北陸地方整備局管内での事例を紹介する。

3-1. 工法採用の背景

この工事では、トンネル坑口のコンクリート舗装版部(既設はタイバー・スリップバーを使用したプレキャストRC版)で現場打ちコンクリートによる打換えが含まれていた。

既設の舗装版は施工後約10年経過しており、表面にはひび割れが発生し目地部には段差を解消するための摺り付けが行われている。このような破損が生じた原因は、縦断勾配がトンネル内から坑口に

向かって下り勾配であるためにトンネル内の湧水が坑口付近に集中し、路盤・路床の支持力が部分的に低下したと考えられた。また、トンネル内の幅員が狭く、コンクリートフィニッシャーでの施工は困難であり、通行帯幅員2.5mを確保することが難しく車線幅を減少し長期間車両を通過させることは安全面から問題で

あった。そのため、早期の交通開放ができ、タイバー・スリップバーより荷重伝達性能が高いコッター式継手で版同士を接続し平面一体化が可能な高強度PRC版の採用となった。

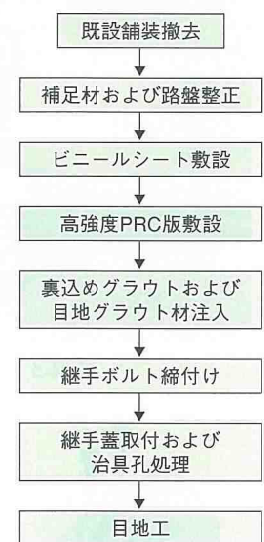


図3 高強度PRC版の施工フロー

3-2. 実施工

高強度PRC版の形状は、施工性を考慮し、図2に示すような割付を考え、 $6 \times 1.5 \times 0.2\text{m}$ とした。施工は、図3に示す施工フローに従い、工事は片車線ごと2回に分けて以下のように実施した。

- ① 既設のコンクリート版の目地部にカッターを入れ舗装版を撤去した後、補足路盤材を入れ路盤整正後、ビニールシートを敷設した(写真6)。
- ② ビニールシートを敷設後、所定の位置に50t



写真6 ビニールシートの敷設



写真9 裏込めグラウトの注入



写真7 PRC版の敷設



写真10 目地グラウトの注入



写真8 高さの調整

のトラッククレーンによりトレーラーで搬入した高強度PRC舗装版の敷設を行った(写真7)。

- ③ 版敷設時に既設舗装や隣接する版との段差をなくすために、版に内蔵した高さ調整治具(4個所/枚)によりミリ単位の微調整を行いながら平坦性の確保に努めた(写真8)。また、版連結

後に高強度RC版の製品誤差の蓄積により平面的にずれが生じないように、目地幅を調節した。

- ④ コッター式継手のH型金物の固定ボルトで仮締付けを実施した後、グラウト注入孔(多機能治具)よりグラウトミキサで練り上げた裏込めグラウト材を自然流下方式で充填した(写真9)。また、並行して目地グラウト材を注入し(写真10)、硬化後トルクレンチで250N・mのトルクを導入した(写真11)。

なお、高強度PRC版1枚当りの設置時間は12~15分であり、既設舗装撤去から目地工まで約7時間程度で高強度PRC版8枚(72m²)の施工が終了した(写真12)。

また、施工後の追跡調査では、多少路面が荒れてきてはいるが、健全な状態を保っていることが観測されている。



写真11 シグナル付トルクレンチによる締付け



写真12 高強度PRC版施工完了状況

4. おわりに

高強度PCa版は、平成12年より目地挙動、ひび割れの発生、荷重伝達等の各種確認調査を実施してきた結果、十分な強度・剛性を有しており、またコッター式継手の採用により、版同士の平面一体化が可能となった。さらに、その後の空港エプロンや誘導路での実施工から、実用的な施工効率の範囲内で十分に施工可能であることが確認された。

これらのことから、部分的に路盤支持力の低下が想定できるような個所、規制時間が取れないような個所で適用可能となってきた。

また、防災拠点となる空港のエプロン舗装での地震後の早期復旧性⁴⁾や積雪寒冷地仕様⁵⁾等の実物大実験を行い、適用範囲の可能性を探っている。

しかしながら、高強度PRC版は、道路舗装では高価であることからコストダウンについての検討や長期供用性に関して今後継続的な調査が必要と考える。

[参考文献]

- 1) 小島逸平, 伊藤彰彦, 並木 豊/高強度RCプレキャスト舗装版の開発研究, 道路建設, No.646, pp.32~37, 2001.11
- 2) 八谷好高他/高強度RCプレキャスト版舗装の空港への適用性, 国土技術政策総合研究所資料, No.113, 2003.9
- 3) 後藤隆臣, 倉形 徹, 小竹勇太/RCプレキャスト版舗装のリフトアップ実証試験結果と一考察, 第27回日本道路会議, 2007.11
- 4) 菅野高弘, 中澤博志/液状化対策に関する実物大の空港施設を用いた実験的研究, 港湾空港技術研究所報告, No.1195, pp.253~259, 2009.6
- 5) 伊藤彰彦, 山脇宏成, 田中秀樹/寒冷地における高強度RCプレキャスト舗装版の開発, 第28回日本道路会議, 2009.10

*

[編集部より] 本稿の執筆者である山脇宏成氏は2009年12月26日に逝去されました。ここに謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

[セメント・コンクリートNo.756/2010年2月]



視点5. 早期交通開放性の追求

2. 混和剤からのアプローチ

岡本 享久^{*1} 須藤 裕司^{*2} 長川 善彦^{*3}

1. はじめに

現在の日本の道路舗装は、アスファルト舗装が一般的であり、コンクリート舗装が占める割合は全体のわずか5%程度である。そのコンクリート舗装普及の弊害は、施工に手間がかかる、初期コストが高いなどの要因が挙げられるが、養生が必要であり交通開放までに時間を要することが一番の原因であると言われている。

しかし、コンクリート舗装は耐久性が高い、ライフサイクルで考えるとアスファルト舗装よりもコストを抑えることができ、大型車では燃費が向上するなどのメリットも多々ある。

そこで、これまでのコンクリート舗装の歴史を探り、どのように改善すべきかを考えてみた。

2. コンクリート舗装の流れ^{1, 2)}

コンクリート舗装が実際の道路に使われるようになったのは1930年前後からである。そして1950年代に最盛期を迎え、その後はアスファルト舗装に追いやられる形となっている。戦後、日本が急速に発展していった中、即座に施工ができるアスファルト舗

装が時代に合っていたという部分もあるだろう。また、アスファルトが安価で安定的に供給が可能となったことも理由の一つである。

1960年代以降は、ほとんどがコンクリート舗装の耐久性や視認性の良さといった特徴を活かすことのできる場所(つまりトンネル内の舗装)にのみ施工されているように思われる。

そして1990年頃、新技術として転圧コンクリート舗装が施工されるようになった。アスファルト舗装で使用する機械を使用し施工でき、それまでのコンクリート舗装に比べ早期交通開放が可能となったが、普通ポルトランドセメントを使用した場合で3日間、早強ポルトセメントを使用しても1日以上養生が必要である。

また、緊急時の補修工事などでは超速硬コンクリートが用いられることもあるが、1m³当り十数万円程度とコストが非常に高く、中・大規模工事には向かない。

そこで、コストを抑えつつコンクリートの養生期間の短縮に向け、混和剤を使用し改善することを試みた。これまでのコンクリートの性能向上は混和材料の発展によるところが非常に大きい。ワーカビリティや耐久性の向上に用いられるAE剤、単位水量低減のための減水剤、さらには大幅に単位水量を低減することができ、高強度コンクリートには必要不

*1 立命館大学 理工学部

*2 同上 客員教授

*3 立命館大学大学院 理工学研究科

APPROACHING FROM ADDITIVES(by Takahisa OKAMOTO, et al.)

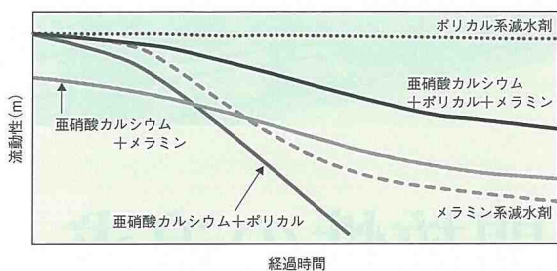


図1 新しい舗装用コンクリートの流動性変化概念図

可欠である高性能AE減水剤など、コンクリートの高性能化には必要不可欠なものばかりである。

そこで、比較的安価で早期交通開放を目指す舗装コンクリート用混和剤の開発を行った。

3. 促進剤について

早期交通開放を目指すため、促進剤を使用し、「目標スランプ $10.0 \pm 2.0\text{cm}$ 、可使時間として1時間程度固まらない時間を確保し、強度についてはモルタル・コンクリートにおいて練混ぜ後12時間で設計曲げ強度 4.5N/mm^2 の70%として 3.2N/mm^2 」を目標値とした。

促進剤の代表的なものとして塩化カルシウムがあるが、鉄筋を腐食させるためコンクリート舗装にはほぼ使用できない。そこで、防錆性もあり、注水10時間の範囲では亜硝酸カルシウム2%添加が最も高い強度発現性があるという報告もあり³⁾、亜硝酸カルシウムを使用した。

4. 亜硝酸カルシウムの添加効果

亜硝酸カルシウムを多量に添加すると硬化促進効果が得られる。しかし、用いる減水剤により練混ぜ後の性状に大きく違いが現れることが分かった。

ポリカルボン酸系高性能AE減水剤(以下、ポリカル系減水剤と略)を使用すると、練混ぜ直後のスランプは高い値を得ることができるものの、10分程度で硬化が進んでしまう。メラミン系高性能減水剤(以下、メラミン系減水剤と略)を使用すると、初期のスランプを得るためにはポリカル系減水剤に比べ多

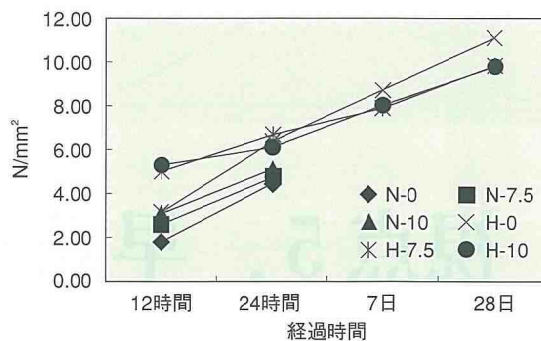


図2 モルタル曲げ強さ

[配合名は「使用セメント-亜硝酸カルシウム添加量」とする]

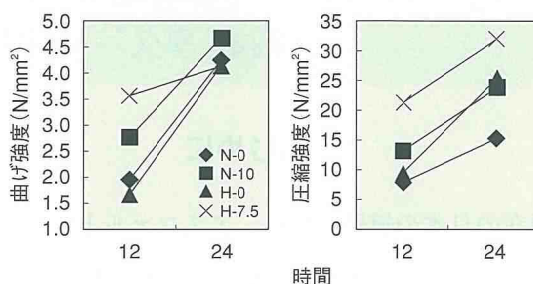


図3 コンクリート曲げ強度

く添加しなければならないものの、60分経過時にも所定のスランプを得ることができた。

一般的に、ポリカル系減水剤・メラミン系減水剤を使用したコンクリートの流動性は、図1の破線のような概念となるが⁴⁾、亜硝酸カルシウムと併用した場合、実線のような傾向となり、通常とは異なる結果となった。

5. 実験概要および結果

混和剤に亜硝酸カルシウム・ポリカル系減水剤・メラミン系減水剤の三成分を使用し、セメントは普通ポルトランドセメント(N)・早強ポルトランドセメント(H)を用いて、モルタルおよびコンクリートによって強度測定を行った。

モルタルによる曲げ強さは、図2のとおり、早強ポルトランドセメントを使用し、亜硝酸カルシウムを添加したものでは注水後12時間ではかなりの促進効果が得られる。また、注水24時間後以降では亜硝酸カルシウムの添加に関わらずほぼ同程度となる。

図3はコンクリートによる強度測定結果である。

表1 維持修繕計画

| | アスファルト舗装 | 普通コンクリート舗装 | 転圧コンクリート舗装 | |
|--------|--------------------------|-----------------------|------------|-------------|
| 補修工法 | 切削オーバーレイ および打換え工法 | 打換え工法(普通ポルトランドセメント使用) | | 打換え工法(NA配合) |
| 標準耐用年数 | 8年ごとにオーバーレイ 24年ごとに打換え | 24年 | | |
| 工事期間 | 30日 | 100日 | 85日 | 75日 |

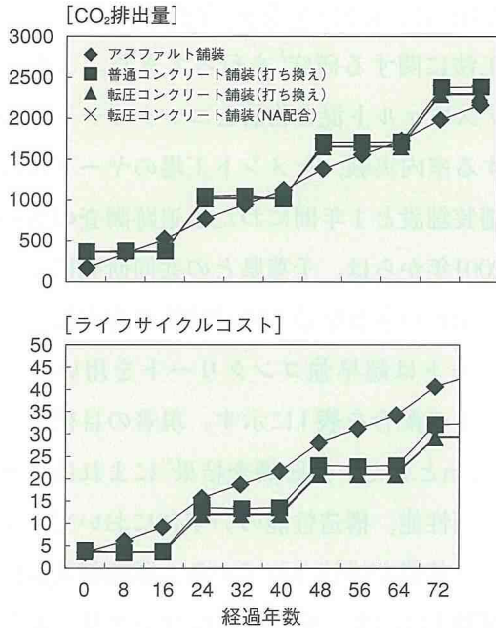


図4 アスファルトと各種コンクリート舗装との比較結果

モルタルと同傾向であり、早強ポルトランドセメントを使用し、亜硝酸カルシウム添加量7.5%のもので目標強度を得ることができた。

6. 経済性・LCC/LCAについて

今回開発を行っている混和剤を使用したコンクリートは、1 m³当り数万円程度である。超速硬コンクリートに早強性は若干劣るものの、価格としては約1/10に抑えられる。

また、大まかにではあるが、LCC/LCAを試算した。施工場所を滋賀県の西大津バイパス(国道161号線)の2車線500m(3,780m²)とし、初期施工を通常のアスファルト舗装・普通コンクリート舗装・転圧

コンクリート舗装とした。また、補修計画としては、表1のとおりである。今回の亜硝酸カルシウム・ポリカル系減水剤・メラミン系減水剤を使用したコンクリートはNA配合(New Admixture配合)とした。耐用年数は、セメント協会発行の舗装技術専門委員会報告のライフサイクルコスト調査結果⁵⁾を基に設定した。

また、表中の工事期間と設定した日数を交通規制するという条件で、時間損失に配慮した。

その結果が図4である。CO₂排出量では、初期施工時はアスファルト舗装が低いものの長期ではほぼ互角となった。コストに関しては、一度でも補修を行えばアスファルト舗装が高くなり、その差は補修回数に比例して開いていく。コンクリート舗装だけで見ると通常の転圧コンクリート舗装、NA配合がやや有利となった。

今後原油が枯渇していく中、少しでもこの混和剤がコンクリート舗装を広める足がかりになればと思う。

[参考文献]

- 1) 岩間 滋/技術展望 コンクリート舗装の歴史, 土木学会論文集, No.451, V-17, pp.7~11, 1992
- 2) 山田 優/コンクリート舗装への期待と課題, セメント・コンクリート, p.5, 2008.5
- 3) 笠井芳夫, 坂井悦郎/新セメント・コンクリート用混和材料, p.239
- 4) 児島孝之/コンクリート混和材料ハンドブック, pp.119~127
- 5) 小梁川 雅他/舗装技術専門委員会委員会報告 既存コンクリート舗装のライフサイクルコスト調査結果, (社)セメント協会, 2009

3. 超早強コンクリートを使った ホワイトトッピング工法

野田 潤一* 吉本 徹*

コンクリート舗装は、その特徴の一つとして、舗設後にコンクリート版の養生期間を必要とする。コンクリートの打設から交通開放までの期間は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート舗装の場合、14日間¹⁾とされている。路面の転圧後、即時交通開放されるアスファルト舗装の施工と比較して、この養生期間の存在は、コンクリート舗装を施工する上で、不便な要素の一つとされている。

現在、コンクリート舗装はさまざまな材料や工法が確立され、養生期間の短縮が可能な方法も見出されている。例えば、転圧コンクリート舗装(RCCP)は、交通開放までの時間が一般のコンクリート舗装と比較して短く、養生期間は、普通ポルトランドセメントを使用した場合で3日間¹⁾である。また、超早強コンクリートを利用すれば、材齢1日²⁾で普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの材齢7日の強度を発現するため、養生期間は著しく短縮される。さらに、即時交通開放できる工法としては、プレキャストコンクリート版を利用する方法もある。

本稿ではホワイトトッピング工法の実道での施工例と早期交通開放を目的とした工場構内道路の試験舗装の施工例について紹介する。ホワイトトッピング工法は、通常、アスファルト舗装のわだち掘れに対する補修工法であるが、高強度なコンクリートを用いるため、短時間で所定のコンクリート強度が確保され、早期交通開放が可能な工法である。

(社)セメント協会 舗装技術専門委員会(以下、委

員会と略)は、1997(平成9)年からホワイトトッピング工法に関する研究³⁾を行ってきた。この研究では、アスファルト混合物層とコンクリート版の付着に関する室内実験、セメント工場のヤードにおける試験舗装舗設と1年間にわたる追跡調査の実施、その後2001年からは、千葉県との共同研究により、千葉県流山市の主要県道での試験施工を実施した。コンクリートは超早強コンクリートを用いた。コンクリートの配合を表1に示す。現着の目標スランプは、8cmとした。追跡調査結果⁴⁾によれば、材料性能、路面性能、構造性能のいずれにおいても現在まで良好な状態が維持されている。試験舗装区間の近況を写真1に示す。交通開放はコンクリート打設後2日目に行った。ただし、打設後1日での現場養生供試体の曲げ強度は、4.8N/mm²であり、目標の4.5N/mm²を上回っていた。交通開放は、路面性能等の試験後に行われており、結果的には養生期間1日でも可能であったと考えられる。

次は東京都墨田区道(墨121号線)で施工されたホワイトトッピング工法の工事事例⁵⁾である。これは2004年3月、区道のバス停付近でわだち掘れが生じる約200m²の路面に実施した改修工事である。交通量が少ない土曜日から月曜日のバス始発までの時間帯で既設アスファルト舗装の撤去・コンクリートの打設・養生等を完了し、交通開放することを目標にした工事である。本工事は汎用セメントである早強ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートを使用したことが最も大きな特徴である。コンクリートの配合を表2に示す。施工時期が3月と寒冷期であるため、養生期間中の平均気温が5℃でも材

* (社)セメント協会 研究所 コンクリート研究グループ
WHITETOPPING METHOD USING ULTRA HIGH EARLY STRENGTH
CONCRETE(by Junichi NODA, et al.)

表1 超早強コンクリートの基本配合

| W/P | s/a | 単位量 (kg/m ³) | | | | | |
|-----|-----|--------------------------|-------|-------------------|-----|------|-------------------|
| | | 水 | 粉体(P) | | 細骨材 | 粗骨材 | 混和剤 ^{※2} |
| | | | セメント | 混和材 ^{※1} | | | |
| 38 | 42 | 152 | 380 | 20 | 748 | 1037 | 3.4 |

※1 超早強性混和材 ※2 超早強コンクリート用高性能AE減水剤

表2 コンクリートの配合

| W/C | s/a | 単位量 (kg/m ³) | | | | |
|-----|-----|--------------------------|--------------------|-----|-------------------|-------------------|
| | | 水 | セメント ^{※1} | 細骨材 | 粗骨材 ^{※2} | 混和剤 ^{※3} |
| 30 | 40 | 150 | 500 | 697 | 1090 | 10 |

※1 早強ポルトランドセメント ※2 粗骨材最大寸法20mm ※3 高性能AE減水剤

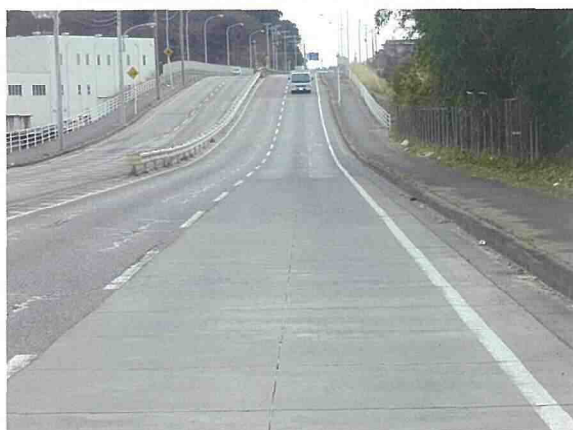


写真1 千葉県道 試験舗装区間の近況



写真2 東京都墨田区道の近況(施工後6年)

齢42時間で4.5N/mm²の曲げ強度が確保できるよう事前に室内配合試験で確認し、その結果、W/Cを30%とした。現着の目標スランプは、高性能AE減水剤を使用し、迅速な施工性に配慮して、舗装用コンクリートとしては破格の大きさである22±2cmとした。また、実際は養生時の平均気温が10.8℃と高かったため、材齢26時間で6.3N/mm²の曲げ強度が確保され、舗装版の目地材挿入作業の終了後、バス始発を待たずただちに交通開放を行った結果、施工開始から32時間での交通開放となった。写真2に最近の供用状況を示す。

最後に太平洋セメント(株)熊谷工場(埼玉県熊谷市)内の構内道路で実施された試験舗装の事例である。試験区間は1日数百台程度の大型車(平均約20t, 最大約50t)が通行し、大きくカーブする手前にあたり、車両が減速するため、路面に負担がかかり、舗装前は、わだちやひび割れが目立つ個所であった。

委員会では前述のホワイトトッピング工法研究の成果より、汎用的な材料で早期交通開放が可能な舗装用コンクリートの開発^⑥を行っており、この個所で試験施工を行うことになった。試験舗装は2009年5月に実施した。舗装区間は延長が64m、幅員が4mの約250m²である。施工では早強ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートを使用した。コンクリートの配合を表3に示す。現着の目標スランプは、迅速な施工性に配慮して、舗装用コンクリートとしては大変軟らかいスランプフロー40±2.5cmとした。ただし、本研究の前段である室内試験で、このコンクリートが勾配4%でもダレないことを確認している。水セメント比は、施工時期の気温とコンクリートの施工性を考慮して35%とし、室内試験結果から導いた。室内試験結果で検討した養生温度とコンクリート曲げ強度の関係を図1に示す。実際の試験施工では、材齢1日の現場養生供試体の曲げ強

表3 コンクリートの配合

| W/C | s/a | 単位量(kg/m ³) | | | | |
|-----|-----|-------------------------|--------------------|-----|-------------------|-------------------|
| | | 水 | セメント ^{※1} | 細骨材 | 粗骨材 ^{※2} | 混和剤 ^{※3} |
| 35 | 42 | 165 | 471 | 705 | 991 | 9 |

※1 早強ポルトランドセメント ※2 粗骨材最大寸法20mm ※3 高性能AE減水剤

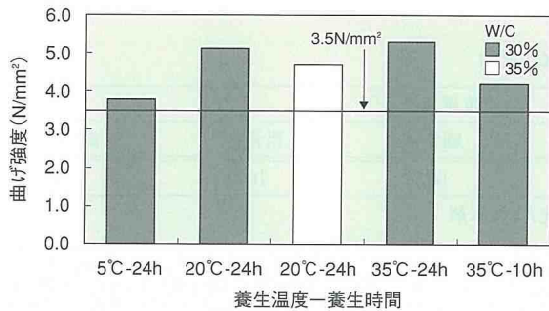


図1 養生温度とコンクリート曲げ強度の関係

度は5.7N/mm²であった。

これは目標強度の3.5N/mm²を大きく上回っている。舗設開始から交通開放までの実測時間は、26時間であったが、曲げ強度試験結果を考慮すると24時間以内での交通開放が十分可能であることが確認された。さらに図1に示すとおり、養生温度が5℃であっても水セメント比を30%まで低くすれば24時間で3.5N/mm²を確保でき、養生温度が35℃であれば養生時間が10時間で済む可能性もある。

この試験舗装も、材料性能、路面性能および構造性能では現在まで良好な状態が維持されている。今後も継続して、追跡調査を実施する予定である。写真3に舗設後の状況を示す。

このようにコンクリート舗装の養生期間はさまざまな工夫によって大幅に短縮することが可能となっている。しかし、良いコンクリートを造るには養生



写真3 工場構内道路 舗設後の近況

は欠かせないものである。この兼ね合いを上手くコントロールすれば、舗装用コンクリートは多様な状況に対応可能である。

[参考文献]

- (社)日本道路協会／舗装施工便覧, pp.165~167, 2006.2
- (財)土木研究センター／超早強コンクリート技術の開発, 技術研究委員会／超早強コンクリート利用技術マニュアル, (財)土木研究センター, p.13, 2000.8
- 佃 美伸／薄層完全付着型ホワイトトッピング工法の開発, 舗装, 38-9, pp.25~31, 2003.9
- セメント協会 舗装技術専門委員会／供用5年を経過した千葉県道のホワイトトッピング試験舗装の性能, セメント・コンクリート, No.734, pp.4~9, 2008.4
- 青木伸行, 菊原信隆, 佃 美伸／わだち掘れのアスファルト舗装をコンクリートで補修, セメント・コンクリート, No.691, pp.20~25, 2004.9
- 小梁川 雅, 安藤 豊, 野田潤一／早期交通開放を目的とした舗装用コンクリートの室内試験結果, 土木学会 年次学術講演会講演概要集, V147, 2008.9

[セメント・コンクリートNo.757／2010年3月号]



ズーム・イン活躍現場

1. 成田国際空港での 再生骨材コンクリート舗装

早川 勇*

1. はじめに

日本の空の玄関、成田国際空港。その成田国際空港に年間22万回離発着する航空機の脚もとを支えている舗装のうち、航空機が高速走行する滑走路・誘導路にはアスファルト舗装が用いられ、航空機が低速走行および静止荷重が作用する滑走路・誘導路の端部、エプロンには連続鉄筋コンクリート舗装(CRC舗装)が用いられている。

成田国際空港では「エコ・エアポート基本構想」のもと、資源循環に配慮した空港として空港建設廃材の発生抑制と有効利用に取り組んでおり、空港内のCRC舗装改修工事では、当社で開発した「完全付着型コンクリートオーバーレイ工法(OL工法)」と「打換え工法」が採用されている。このOL工法は打換え工法に比べ、既存舗装を有効活用するものであり、環境負荷低減に寄与するものである。一方、打換え工法によって発生したコンクリート殻、アスファルト殻は、破砕プラントで再生砕石を生産し路

盤材として再利用を図っているが、現在、再生砕石の付加価値の高いコンクリート舗装版への適用性についても検討を実施している。本稿では、主な検討概要と再生骨材コンクリートを用いた試験舗装を紹介する。

2. 再生骨材および 再生骨材コンクリートの性状

2-1. 再生骨材の性状

再生骨材コンクリートに使用する再生骨材は、エプロンから発生したコンクリート殻を用い、破砕プラントにて破砕処理を行った後に、スクリーンにて再生粗骨材(4020, 2005)(写真1, 2)、および再生細骨材に分類している。その性状を表1に、粒度分布を図1に示す。試験を行った時点では再生骨材に関連するJIS規格が制定されていなかったが、粗骨材は、試験を行っていない微粒分量、塩化物量以外は後に制定された「再生骨材Mを用いたコンクリート(JIS A 5022)」附属書Aに規定する「コンクリート用再生骨材M」に相当する。しかし、再生細骨材は吸水率が9.8%と大きく再生細骨材Mの基準値外となった。表1には、後述する新材を用いた天然骨材の性状も併記している。

* 成田国際空港(株) 空港運用部門 運用計画部 技術安全計画グループ 主席
THE APPLICATION OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE
PAVEMENT AT NARITA INTERNATIONAL AIRPORT (by Isamu
HAYAKAWA)



写真1 再生粗骨材4020

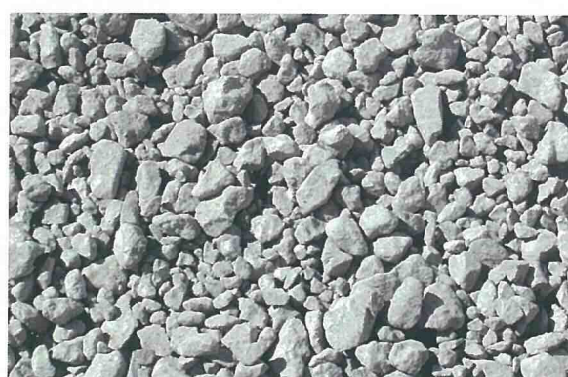


写真2 再生粗骨材2005

表1 骨材の性状

| 試験項目 | 試験方法 | 再生骨材(成田空港発生処理材) | | | 再生骨材M JIS A 5022 | | 天然骨材(新材) | | |
|--------------------------|-----------------|-----------------|------|------|------------------|-------|----------|------|------|
| | | 4020 | 2005 | 細骨材 | 粗骨材 | 細骨材 | 4020 | 2005 | 細骨材 |
| 絶乾密度(g/cm ³) | JIS A 1109・1110 | 2.46 | 2.48 | 2.28 | 2.3以上 | 2.2以上 | 2.69 | 2.67 | 2.59 |
| 吸水率(%) | JIS A 1109・1110 | 4.49 | 4.35 | 9.80 | 5.0以下 | 7.0以下 | 0.34 | 0.49 | 2.31 |
| 粒径判定実積率(%) | JIS A 1104 | 57.5 | 60.2 | 69.2 | 55以上 | 53以上 | 57.5 | 61.5 | 65.8 |
| アルカリシリカ反応性試験 | JIS A 1145 | 無害 | 無害 | 無害 | - | - | - | - | - |
| すりへり減量(%) | JIS A 1121 | 26.2 | 25.3 | - | 規定値なし | | 12.7 | 16.1 | - |
| 微粒分量(%) | JIS A 1103 | - | - | - | 1.5以下 | 7.0以下 | - | - | - |
| 塩化物量(%) | JIS A 5002 | - | - | - | 0.04 | 0.04 | - | - | - |

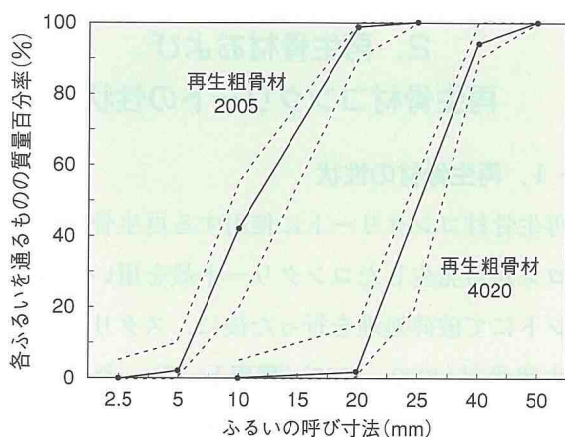


図1 再生骨材の粒度分布

2-2. 再生骨材コンクリートのフレッシュ性状および強度特性

フレッシュ性状および強度実験に供した通常コンクリート、再生骨材コンクリートの配合は、表2に示すとおりである。なお、表中のそれぞれの配合の呼称は、骨材の使用に応じて、

V_v配合(通常コンクリート：粗骨材-新材(V), 細骨材-新材(v)), R_v配合(再生骨材コンクリート：

粗骨材-再生材(R), 細骨材-新材(v)), R_{vr}配合(再生骨材コンクリート：粗骨材-再生材(R), 細骨材-新材(v) + 再生材(r) (v:r比率 1:1))とした。

再生骨材コンクリートのR_vおよびR_{vr}配合は、新材を用いた配合V_vとほぼ同等としており、V_v配合は当社の空港コンクリート舗装に用いている曲げ強度5.0N/mm²、現着時(練落とし後30分)のスランプ2.5±1cm、空気量4.0±1.0%に基づいて決定したものである。R_vおよびR_{vr}は、前述のスランプ、空気量を満足するように混和剤等で配合を調整したものである。

図2に、実機プラントから練落としした各コンクリートのスランプ、空気量の経時変化を示す。また、図3には、各コンクリートの曲げ強度、圧縮強度および割裂強度に対する発現強度結果(標準養生・現場養生)を示している。これらの図から、再生骨材コンクリート(R_vおよびR_{vr})はV_vに比べそれぞれの強度に関して低くなる傾向にあり、その傾向は

表2 Vv, Rv, Rvr各コンクリートの配合

| 配合名 | W/C (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | | | | |
|-----|---------|--------------------------|--------|------|-----|------|------|------|-------|----------|-------|
| | | 水 W | セメント C | 細骨材S | | 粗骨材G | | | AE減水剤 | 高性能AE減水剤 | AE助剤 |
| | | | | 天然 | 再生 | 天然 | | 再生 | | | |
| | | | | | | 4020 | 2005 | | | | |
| Vv | 40.0 | 134 | 335 | 671 | - | 744 | 496 | - | 0.825 | - | 0.034 |
| Rv | 40.0 | 135 | 338 | 600 | - | - | - | 1206 | - | 2.704 | 0.041 |
| Rvr | 40.0 | 135 | 338 | 300 | 264 | - | - | 1206 | - | 2.535 | 0.061 |

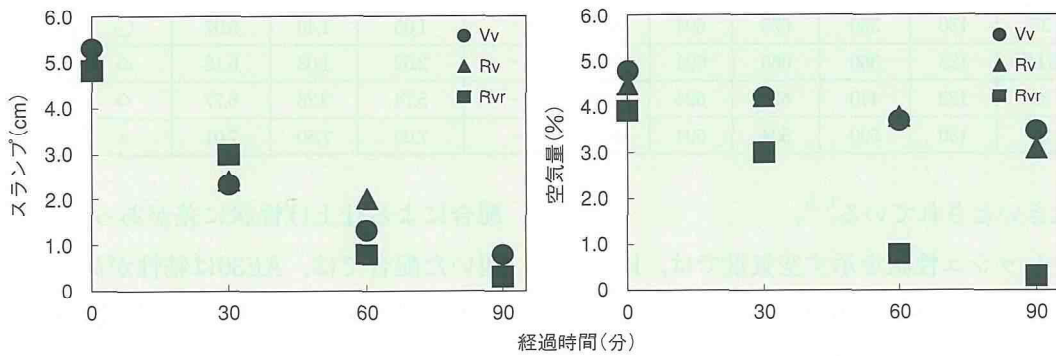


図2 Vv, Rv, Rvr各コンクリートのフレッシュ性状変化

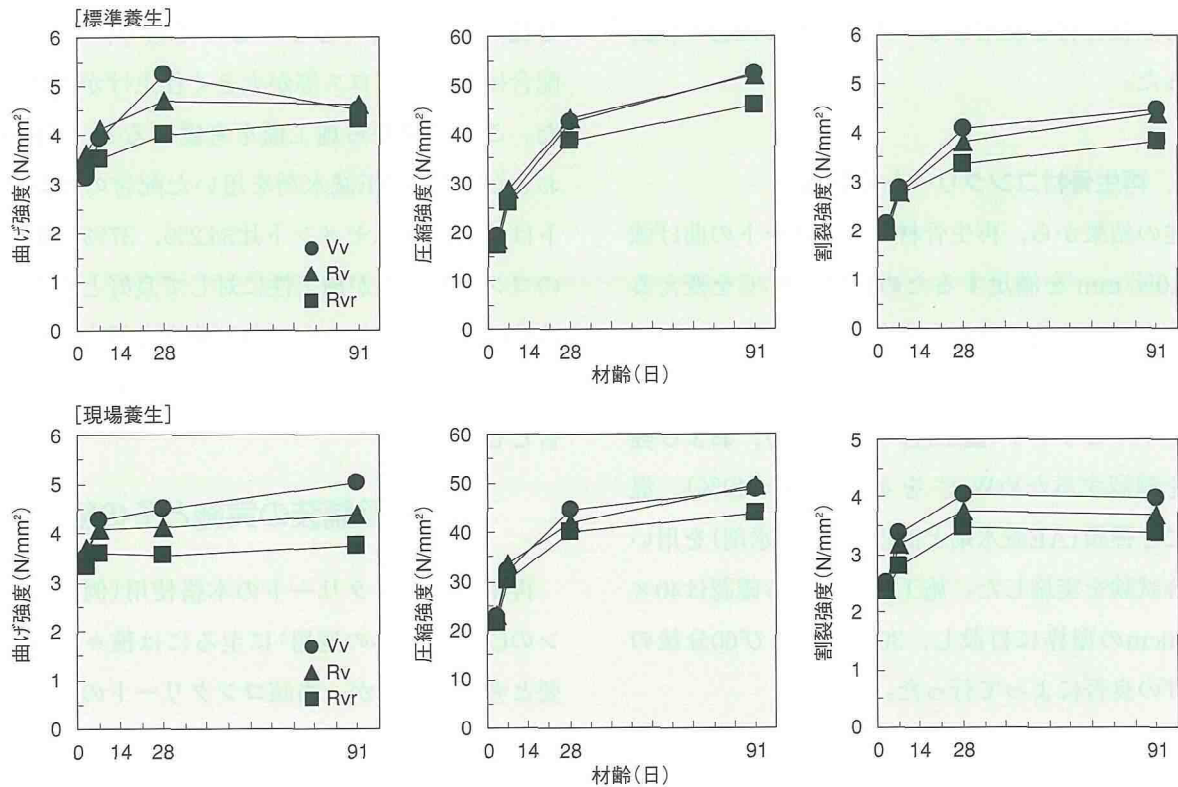


図3 Vv, Rv, Rvr各コンクリートの強度試験結果

Rvrでは顕著となる。この結果は、既往の研究でも同様の結果が示されており、再生骨材コンクリートの強度低下は再生骨材の吸水率が影響し、再生骨材

より滲出した水分がセメントペースト部の水セメント比を増加させ、強度低下を起こしていると考えられている。特に吸水率の大きい再生細骨材の場合での強

表3 再生骨材コンクリートの配合試験結果

| 配合名 | 配合 | | | | | | | | | 試験結果 | | | |
|--------|--------------------------|-----|------|-------------------|---------------|------|------|------|------|------------------------------|-----------------------------|-----|----|
| | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | | | | 曲げ強度 (N/mm ²) | 仕上げ性状確認 ○：良, △：難あり, ×：不可 | | |
| | W/C (%) | 水 | セメント | 細骨材 川砂 (天然) | 再生粗骨材 4020 | 2005 | 混和剤 | | | | 木コテ | 金コテ | 箒目 |
| AE40 | 40 | 136 | 340 | 647 | 694 | 462 | 0 | — | 1.36 | 5.50 | ○ | ○ | ○ |
| AE37 | 37 | 130 | 350 | 655 | 694 | 462 | 0.88 | — | 1.05 | 5.68 | ○ | ○ | ○ |
| AE34.2 | 34.2 | 123 | 360 | 665 | 694 | 462 | 1.35 | — | 1.44 | 6.11 | ○ | ○ | ○ |
| AE30 | 30 | 123 | 410 | 626 | 694 | 462 | 1.54 | — | 2.46 | 5.91 | × | × | × |
| SP37 | 37 | 130 | 350 | 655 | 694 | 462 | — | 1.05 | 1.40 | 5.97 | ○ | ○ | ○ |
| SP34.2 | 34.2 | 123 | 360 | 665 | 694 | 462 | — | 2.52 | 1.08 | 6.18 | △ | △ | △ |
| SP30 | 30 | 123 | 410 | 626 | 694 | 462 | — | 5.74 | 3.28 | 6.77 | △ | △ | △ |
| SP26 | 26 | 130 | 500 | 534 | 694 | 462 | — | 7.00 | 7.50 | 7.01 | × | × | × |

度低下は大きいとされている^{1, 2)}。

一方、フレッシュ性状を示す空気量では、Rvrはそのロスが多く、実施工でのワーカビリティ(フィニッシャービリティ)の低下が懸念された。

以上の結果から、当面は、再生骨材コンクリートには再生細骨材を使用しない方針として配合の検討を行った。

2-3. 再生骨材コンクリートの配合

前述の結果から、再生骨材コンクリートの曲げ強度が5.0N/mm²を満足するためには、W/Cを変えることによって達成されるものと考えられる。このことを踏まえ、今後の広範な使用における強度、フィニッシャービリティ(施工性、仕上げ性)、および経済性を確認するためW/Cを4種類(26~40%)、混和剤に2種類(AE減水剤と高性能AE減水剤)を用いて配合試験を実施した。施工性に対する確認は40×60×20cmの型枠に打設し、30分後および60分後の仕上げの良否によって行った。

表3は、8種類の配合における材齢91日の曲げ強度試験結果および施工性・仕上げ性に関する試験結果を示したものである。施工性・仕上げ性の評価は、コテ仕上げ、箒目仕上げ時における良否を3段階評価とした。

すべての配合で、目標の5.0N/mm²を満足したが、

配合による仕上げ性状に差があった。AE減水剤を用いた配合では、AE30は粘性が高く通常の仕上げが不可能であった。また、高性能AE減水剤を用いた配合におけるSP37は良好であったが、SP34.2、およびSP30配合では粘性が高くなり通常の仕上げと比べると許容できないものであり、さらにSP26配合はスランプロス等が大きく仕上げが困難であった。この結果から施工面を考慮すると、AE減水剤および高性能AE減水剤を用いた配合のコンクリートはそれぞれ水セメント比34.2%、37%以上の配合のコンクリートが施工性に対して良好となるが、経済的に有利であり、かつ曲げ強度も所定の強度を満足するAE37配合を再生骨材コンクリートの基本配合とした。

3. 試験舗装の実施とその経過

再生骨材コンクリートの本格使用(例えばエプロンのCRC舗装への適用)に至るには種々の検討が必要と考えられるが、当該コンクリートの施工性、ひび割れ性状等を調査するため、載荷荷重(設計荷重70t)の小さい実規模舗装エリア180m²に試験舗装を実施した。この試験舗装の舗装種別は、無筋コンクリート舗装であり、版寸法は4×4mである。

用いた再生骨材コンクリートは、前述した8種のコンクリートのうち、施工性も良好であり、曲げ強

表4 試験施工時の再生骨材コンクリートの配合

| 配合名 | W/C (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | |
|-----------------|---------|--------------------------|------|--------|-------|------|-------|------|
| | | 水 | セメント | 細骨材 | 再生粗骨材 | | 混和剤 | |
| | | | | 川砂(天然) | 4020 | 2005 | AE減水剤 | AE助剤 |
| 再生骨材コンクリート (Rv) | 37 | 138 | 373 | 722 | 622 | 415 | 3.73 | 2.61 |
| | 34.5 | 138 | 400 | 700 | 622 | 415 | 4.00 | 2.80 |



写真3 試験舗装の施工風景



写真4 試験舗装後の供用状態

度も5.0N/mm²を満足する2種類(W/C=34.2および37%の2種)のコンクリートを試験的に採用した。また、施工面積が180m²であることから、人力施工となるためスランプを6.5±1.5cmとし、表3に示す配合を補正した(表4)。

施工に際しては、特別な機械編成ならびに施工手順を採らず、大過なく施工することができ(写真3)、通常コンクリートと比較すると粘性が大きいものの施工性・仕上げ性としては満足するものであった。また、施工時に作製した品質管理用供試体の曲げ強度は、W/C=34.2および37%のそれぞれに対して5.6, 5.3N/mm²(材齢91日)となり所定の曲げ強度を満足した。

施工後の供用性については、2年が経過しているが構造上のひび割れ、角欠け、ポップアウト等の確認はされておらず良好な舗装面を保っている(写真4)。

4. 今後の展開

今回の施工は無筋コンクリート版で行ったが、航空機荷重下のCRC舗装への適用へ向け、再生骨材

コンクリートを使用した場合のCRC舗装を模倣した拘束実験体によるひび割れ性状(ひび割れ幅、ひび割れ間隔、鉄筋応力等)の調査や、ルーマニア法によるひび割れ部の荷重伝達特性についても実験を行っている。今後は、再生細骨材の適用も含めた実施工時の再生粗・細骨材の品質の安定供給方法および管理方法を検討しながら、それに応じた種々の実験を実施し、再生骨材コンクリートを広範囲に活用していきたいと考えている。

そして、その他の舗装発生材を含めて、最終的には「空港内における舗装廃材のゼロエミッション化」を達成したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 麓 隆行, 山田 優 / 再生細骨材の使用がコンクリート性状に及ぼす影響とその原因について, 土木学会論文集, No.767/V-64, pp.61~73, 2004.8
- 2) 河中諒一他 / 再生骨材の吸水率が再生コンクリートの強度及び耐久性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, 2003

[セメント・コンクリートNo.758/2010年4月号]



ズーム・イン活躍現場

2. コンクリート再生骨材を用いた RCCPの試験施工

吉兼 亨*

1. はじめに

建設工事廃材のセメントコンクリート塊(以下、コンクリート塊と略)は、1976年頃から再生クラッシュランとして舗装の路盤¹⁾に用いられてきたが、資源の有効利用の面から付加価値のより高い再生用途へのニーズが高まりつつある。その動きの一端として再生骨材や再生コンクリートのJIS規格の制定も2000年を過ぎた頃より話題になり始めた。しかし、再生骨材の品質を高めるのに粗骨材からのモルタル分や細骨材からのペースト分を、除去すればするほど再生骨材の生産歩留まりが悪くなり、2次廃棄物の発生率が高くなる。

そこで、コンクリート塊を簡単なプロセスで破砕したもの(以下、再生骨材という)の粒度分布が連続性を有していることに着目し、舗装用転圧コンクリート(以下、RCCという)の骨材として、コンクリート中の骨材の全量を再生骨材を用いた舗装(以下、再生RCCPという)の適応性を確かめるため試験施工を平成4(1992)年9月に実施した。本稿ではその概略を報告する。

* 宇部生コンクリート㈱
TEST PAVEMENT OF RCCP USING THE RECYCLE CONCRETE
BY CONCRETE RECYCLE AGGREGATE (by Toru YOSHIKANE)

2. RCC用骨材の製造

RCC用再生骨材は、再生路盤材および再生粒調路盤材を製造している工程を一部切り替えて製造した。この破砕プラントの特徴はインパクトクラッシュャーの回転速度がインバータ制御できるので、粒度の調整が容易な点にある。なお、今回用いた再生骨材は粒度変動と分離の影響を避けるために、25～5 mmおよび5～0 mmの2種類に分級した。

3. 再生骨材の物性

再生骨材の物性の変動を数日間にわたり調べた結果を表1に示す。モルタルやペースト分が付着するので、普通骨材に比べて密度が小さく、吸水率や微粒分量が大きい。すり減り減量は舗装に用いる場合の基準値35%を満足しており、粒形判定実積率も碎石の基準値である56%を十分に満足している。また、再生粗骨材の塩酸溶解法²⁾による付着モルタル量は30～40%であった。

また、分級前の再生骨材の粒度を示す図1によると5 mmふるい通過分で最大20%の差が生じているが、粗骨材・細骨材に分級して使用することによりRCC用としての骨材全粒度の安定化が図れる。

表1 再生骨材の物性

| 試験項目 | 20~5mm | 5mm以下 |
|--------------------------|----------------------|---------------------|
| 絶乾密度(g/cm ³) | 2.34 (2.25~2.40)* | 2.12 (2.05~2.20) |
| 表乾密度(g/cm ³) | 2.45 (2.40~2.55)* | 2.31 (2.25~2.40) |
| 吸水率(%) | 4.92 (4.20~5.90)* | 8.94 (7.50~10.5) |
| 単位容積質量(kg/ℓ) | 1.38 | 1.30 |
| 実積率(%) | 59.0 | 61.3 |
| 粒形判定実積率(%) | 57.9 | 58.3 |
| 微粒分量(%) | 1.2 | 7.0 |
| すり減り減量(%) | 25.9 (粒度区分:C) | - |
| モルタル付着量 [塩酸溶解法](%) | 33.3(30~40)* | - |

*: 日間の変動範囲

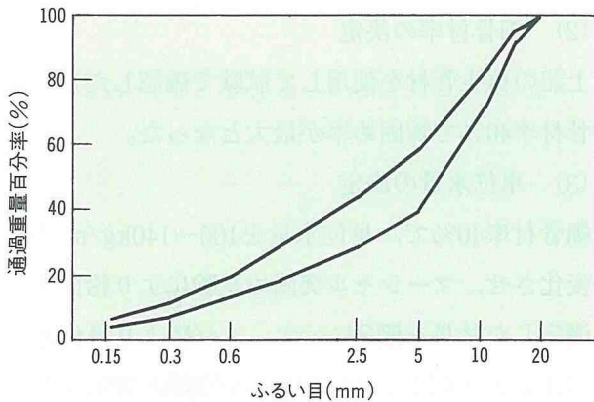


図1 再生骨材の全粒度分布(粗・細連続粒度)

4. 室内試験における再生骨材を用いたRCCの物性

(1) 使用骨材

最大粒径を20mmとし粒度の違いの影響を避けるため、普通骨材の全粒度を再生骨材のそれと近似させた。それぞれの物性を表2に示す。

(2) 配合

配合設計は「骨材の物性試験」「細骨材率の決定」「単位水量の決定」「水セメント比の決定」の順で実施した。その結果は表3に示すように再生骨材、普通骨材の最適締固め率の得られる細骨材率は、それぞれ40%および38%である。また、同一締固め率を得る単位水量は、それぞれ110および105kg/m³などと若干の差がある。なお、普通のコンクリート用の粒度

表2 使用骨材の物性値

| 骨材種 | 区分 | 表乾密度(g/cm ³) | 吸水率(%) | 粗粒率 | 粒形判定実積率(%) |
|------|--------|--------------------------|--------|------|------------|
| 再生骨材 | 20~5mm | 2.48 | 4.39 | 6.61 | 57.9 |
| | 5~0mm | 2.37 | 7.60 | 2.79 | - |
| 普通骨材 | 碎石2005 | 2.65 | 0.65 | 6.63 | 59.8 |
| | 川砂 | 2.57 | 2.10 | 2.84 | - |

表3 再生骨材と普通骨材の配合比較

| 骨材種 | 細骨材率(%) | 単位水量(kg/m ³) | 修正VC値(秒) | 締固め率(%) |
|------|---------|--------------------------|----------|---------|
| 再生骨材 | 40 | 105 | 65 | 95.3 |
| | | 110 | 50 | 96.0 |
| | | 115 | 45 | 97.0 |
| 普通骨材 | 38 | 100 | 70 | 95.0 |
| | | 105 | 50 | 96.1 |
| | | 110 | 35 | 97.7 |

注 単位セメント量は普通骨材で250kg/m³前後であるのに対し、再生骨材では320kg/m³前後になる。

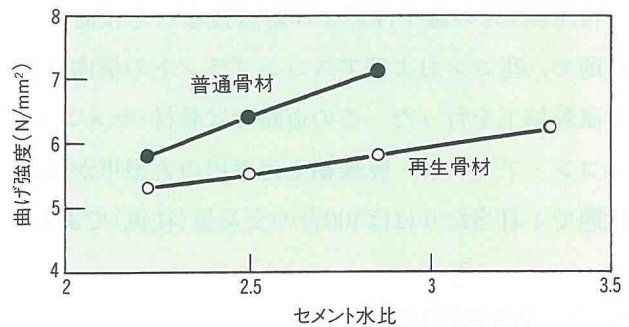


図2 セメント水比と曲げ強度の関係

に調整された再生骨材を用いたスランプ2.5cmの舗装コンクリートでは、単位水量の増加が普通骨材の場合に比べて15kg/m³以上³⁾になることからすれば、RCCでの単位水量の増加はわずかであるといえる。

(3) 曲げ強度

セメント水比と曲げ強度との関係の図2から分かるように、普通セメントの場合と比べ、同一セメント水比では劣るものの、セメント水比が2.86以上(水セメント比で35%以下)であれば、設計基準強度45kgf/m²(4.4N/mm²)に割り増し強度および割り増し係数を加味した配合目標曲げ強度58kgf/m²(5.7N/mm²)を得ることができる。

(4) 乾燥収縮率

1週間の標準水中養生後に室温20℃、湿度60±5

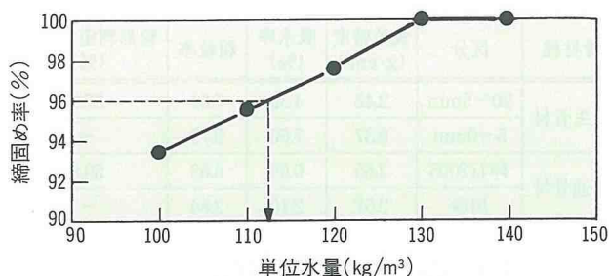


図3 単位水量と締固め率との関係

%で測定した結果、材齢90日の再生RCCは普通骨材のRCCでの 450μ よりは若干大きい 500μ だが、普通の舗装コンクリートの 610μ に比べれば小さかった。

5. 再生RCCPの試験施工結果

5-1. 施工個所の交通条件

再生RCCPの施工性および耐久性などを検討する目的で、生コンおよびアスコンプラントの構内道路で試験施工を行った。この道路では骨材・セメント・生コン・アスコン・乾燥粘土運搬用の大型車が積載状態で1日当たりほぼ100台の交通量(往復)である。

5-2. 再生RCCの配合設計

配合設計は日本道路協会の転圧コンクリート舗装技術指針(案)(以下、技術指針(案)と略)に従った。ただし、コンシステンシーの測定はマーシャル突固め試験とVC振動締固め試験を併用し、荷卸し個所での目標値は前者で96%以上、後者で 50 ± 5 秒とした。

設計基準強度はB交通を対象に材齢28日の曲げ強度を 45kgf/m^2 とし、技術指針(案)の割り増し強度 8kgf/m^2 (0.8N/mm^2)、割り増し係数1.09を用い配合目標曲げ強度を 58kgf/m^2 (5.7N/mm^2)とした。

(1) 使用材料

室内試験とは別に試験施工用に破碎した再生骨材からの代表サンプルの試験結果は、再生粗骨材では表乾密度= 2.45g/cm^3 、吸水率= 4.0% 、実積率= 59.0% 。同様に再生細骨材では表乾密度= 2.35g/cm^3 、吸水率= 7.7% 、実積率= 61.3% であった。なお、室内

表4 RCCの配合

| W/C (%) | 細骨材率 (%) | 単位量 (kg/m³) | | | | AE減水剤 |
|---------|----------|-------------|-----|-----|------|--------|
| | | W | C | S | G | |
| 35 | 40 | 115 | 330 | 696 | 1128 | C×1.5% |

試験では普通骨材との比較のため、再生粗骨材の最大粒径を20mmとしたが、より多くの再生利用を図る目的から最大粒径を25mmとした。なお、再生粗・細骨材ともに使用前日に十分なプレウエッチングを行い、混合直前に表面水率を測定し計量水量の補正をした。

セメントは普通ポルトランドセメント、混和剤はAE減水剤を用いた。

(2) 細骨材率の決定

上記の再生骨材を使用して試験で確認したところ細骨材率40%で締固め率が最大となった。

(3) 単位水量の決定

細骨材率40%で、単位水量を $100 \sim 140\text{kg/m}^3$ の間で変化させ、マーシャル突固め試験により締固め率の測定した結果を図3に示す。これにより単位水量が 112kg/m^3 の時に、目標とする締固め率96%が得られ室内試験ともよく整合した。なお、運搬・敷均し中の蒸発分などを加味して単位水量を 115kg/m^3 とした。

(4) 水セメント比の決定

配合目標曲げ強度は前述のように 58kgf/m^2 となるので、これを満足する水セメント比は室内試験と同様に35%とした。試験施工に用いたRCCの配合を表4に示した。

5-3. 試験施工概要

図4に示す設計断面で、幅員3.5m、延長30m、面積 105m^2 を施工した。なお、コンポジット舗装のホワイトベースとしての試験も実施したので、両端の擦り付け部分は別として再生RCCPの区間およびコンポジットの区間はそれぞれ延長12mとし、その中間部分の6mをRCCP面高さ変更の調整区間とし

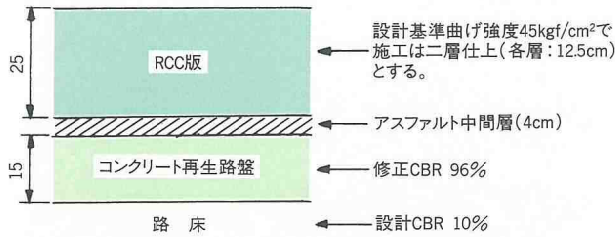


図4 設計断面図

た。コンポジット区間はこの試験施工終了後に表層のみ切削の上、他種のオーバーレイの試験に使用されたので、表層部分は現在では当初の状態が持続されていない。

敷均しは通常のアスファルトペーパーを用いたので、タンパーの振動力に締固めを期待できないところから、密度不足を防ぐため2層施工⁴⁾とし、層間にはセメントペーストを塗布した。締固めは初転圧および2次転圧を7t振動ローラの無振動で2往復、有振動で4往復し、仕上げ転圧は15tタイヤローラで6往復とした。施工中の状況を写真1、2に示す。



写真1 施工状況



写真2 完成路面状況

5 - 4. 施工後の調査試験結果

(1) RCCの物性

練り上がり直後の物性は、1層目、2層目ともに修正VC値で45～50秒、マーシャル締固め率で96.0～96.9%と設計値に近く目視状態も良好であった。敷均し時に採取した供試体の強度を表5に示した。圧縮強度が少し低かったが、曲げ強度は設計値を充分満足するものが得られた。

(2) 路面状態

施工翌日の3mプロフィールメータによる路面平坦性は、技術指針(案)の基準値3.0mm(標準偏差)よ

り若干大きい3.41mmであったが、これは計測の延長が12m×2とわずかであったことの影響と見られる。また、すべり抵抗値はBPN(英国式ポータブルスキッドレジスタンステスター)で湿潤面の平均が84であり、通常のコンクリート舗装の新設面と同程度であった。

(3) 静的載荷試験結果

施工1か月後に自由縁部で5t輪荷重による静的載荷試験を行った。現場空中放置の供試体での弾性係数を用いて求めた縁応力は、上面で -14.4kgf/cm^2 (理

表5 強度および弾性係数試験結果

| 区分 | 曲げ強度(kgf/cm ²) | | 圧縮強度(kgf/cm ²) | | 弾性係数(kg/cm ²) | ポアソン比 |
|------|----------------------------|-----|----------------------------|-----|---------------------------|-------|
| | 7日 | 28日 | 7日 | 28日 | | |
| 標準養生 | 47 | 52 | 161 | 243 | 305,000 | 0.20 |
| 現場空中 | 46 | 55 | 145 | 216 | 293,000 | 0.20 |



写真3 切取り供試体状況



写真5 施工18年後の路面



写真4 接着不良個所のコア

論値 - 14.4kgf/cm²), 下面で +12.6kgf/cm² (理論値 + 14.4kgf/cm²) と理論値に近い応力の発生であり, かつ中立軸は中心より 7 mm 上方となった。中間の応力変化も直線的で, 2 層仕上げであっても一体化した構造であることが確認できた。

一体化の状況は写真3によっても確認できるが, 縁

部の一部に写真4のように 2 層間の境界面にやや粗骨材粒の分離が認められる個所が見受けられたので, 細骨材率やコンシステンシーについて検討の必要があると思われる。

6. 現状の観察

平成 4 年 9 月に施工され, 現状で 18 年間余り供用している。コンポジット舗装の部分を除く 12m の間の中央付近と, コアボーリングホールが横断方向に連続する部分や, 大型サンプルを切り出した部分に横断方向のひび割れが見られる。中央付近のひび割れはコンポジット区間を含めた延長 30m の間に横断目地はなく, かつ, コンポジット部分は表層厚 5 cm 分のために, 再生 RCCP がその分レベルが下げられているので, 中間の 6 m 区間での高さの差により再生 RCCP 内に不規則な水平方向の収縮応力が発生し

たことによるものと思われる。写真5に現状の路面状況を示す。骨材運搬車からの路面への砂利・砂のこぼれが多く路面摩耗がやや進んでいるが, 普通コンクリートに比べて差があるほどとは見られない。

7. まとめ

- (1) RCCの骨材の全量に再生骨材を用いることで, 通常RCCより若干単位水量が増加する。
- (2) 再生RCCは, 通常RCCに比べて曲げ強度の面で若干水セメント比を小さくする必要があり, そのため単位セメント量の増加を招くが, 材齢90日における乾燥収縮率は普通の舗装コンクリートに比べて小さい。
- (3) 再生骨材は使用前に十分プレウェッチングする必要がある。
- (4) 運搬時間のある場合や, 夏期の施工では練上がり直後の修正VC値を30秒, あるいはマーシャル突固め密度を98%程度に設定する工夫も必要であろう。

[参考文献]

- 1) 吉兼 亨/コンクリート廃材の路盤材としての再利用, コンクリート工学, Vol.29, No.7, July.1996, p.100
- 2) 山田 優他/コンクリートがらからの回収骨材に関する研究, 建設用原材料, Vol.2, No.2, 1993
- 3) 吉兼 亨/セメントコンクリート塊の高度化再生利用技術, 建設用原材料, Vol.2, No.2, 1993
- 4) 住井孝紀他/特殊大型車輛専用道路への転圧コンクリート舗装の適用, 舗装, 1990

[セメント・コンクリート No.759 / 2010年 5月号]



ズーム・イン活躍現場

3. スリップフォーム工法の展開

越川 喜孝*

1. はじめに

スリップフォーム工法(以下、SF工法と略)は、敷きならし、締固め、成型、表面仕上げ等の機能を備えた施工機械を使用し、型枠を設置しないでコンクリート版やコンクリート構造物を連続的に構築する工法である。

従来のセットフォーム工法に対するSF工法の長を以下に示す。

- ① 型枠やレールの設置・撤去が不要であるため、省力化が図れる。
- ② 施工能力が大きく、施工工程を短縮できる。
- ③ 省力化、施工工程の短縮などによりコスト低減が期待できる。
- ④ センサラインを基準とした自動制御による機械施工であり、良好な仕上がり精度が期待できる。

本稿は、SF工法によるコンクリート舗装について、工法の導入、現況、施工例および効率化への取り組みについて取りまとめたものである。

2. SF工法の導入

SF工法は、1950年代に米国で施工の合理化を目的として開発・実用化され、現在欧米ではコンクリート舗装の標準的な工法として採用されている。

わが国でも、1960年代にコンクリート舗装を対象にSF工法を導入したが、建設環境の相違などにより定着には至らなかった^{1, 2)}。

1990年代に入り、熟練労働者不足の深刻化や建設コスト縮減要請など、建設業界を取りまく環境の変化に伴い、SF工法が再び着目されるようになり、1992年にはSF工法の実用化・普及を目的に「日本スリップフォーム工法協会」(現在、正会員39社、賛助会員9社)が設立され、コンクリート舗装や道路付帯構造物へのSF工法の普及活動が続けられてきた。

3. SF工法の現況

SF工法によるコンクリート舗装の施工年度と累計施工面積の関係を図1に示す。1994～2008年までの総累計施工面積約500万m²に対して、2002～2008年は約450万m²(年平均施工面積：約65万m²)と、近年の施工実績は飛躍的な増加傾向を示している。

* 日本スリップフォーム工法協会舗装委員会委員
(大成コテック(株) 生産技術本部 技術部)
DEVELOPMENT OF THE SLIPFORM (by Yoshitaka ECHIKAWA)

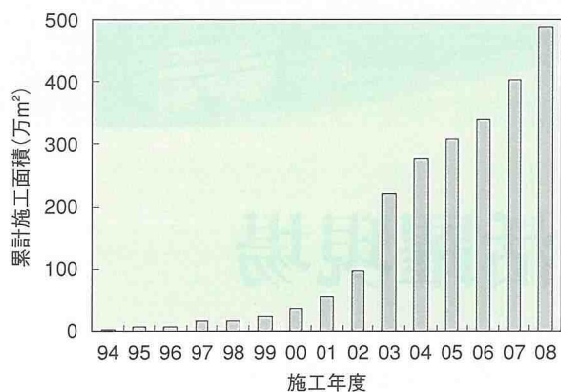


図1 コンクリート舗装版の施工実績

2002年以降のSF工法によるコンクリート舗装の対象は、①一般道路のコンクリート舗装、②新幹線の路盤鉄筋コンクリート、③高速道路におけるコンポジット舗装の連続鉄筋コンクリート版(以下、CRC版と略)、④中部国際空港のエプロンコンクリート舗装、など幅広い分野のコンクリート舗装に採用されている。

このことが、2002年以降の施工実績の増加につながり、ひいてはSF工法がコンクリート舗装の一般工法として認知され、定着しつつある証左ではないかと考える。

それに伴い、わが国に導入されているスリップフォームペーバの保有台数も、1994年には2車線施工が可能な舗装専用の大型機(舗装幅員6m以上)が2台、舗装および構造物の施工が可能な中型機(舗装幅員6m未満)が6台であったものが、現在では、大型機が11台、中型機が22台と大きく増加している。

4. SF工法の施工例^{3, 4)}

次に、舗装専用の大型機と中型機を用いた2施工例を紹介する。

4-1. 大型機を用いた施工例

大型機を用いたSF工法は、空港のエプロン舗装⁵⁾や高速道路明かり部の多車線コンクリート舗装⁶⁾など、舗装幅員が6mを超える大規模な施工にも対応可能である。CRC版や明かり部2車線施工などで

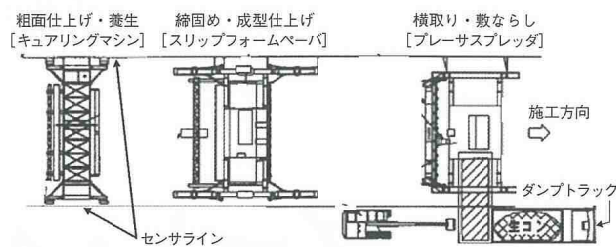


図2 大型機の標準的な機械編成例



写真1 大型機の施工状況

側方からコンクリートを供給する標準的な機械編成例を図2に示す。機械編成は、プレーサスプレッダ、スリップフォームペーバ、キュアリングマシンの3台で構成される。各機械の機能は、プレーサスプレッダがコンクリートの横取り・敷きならし、スリップフォームペーバが締固め・成型仕上げ、キュアリングマシンが粗面仕上げ・養生である。大型機を用いた高速道路明かり部における施工状況を写真1に示す。

4-2. 中型機を用いた施工例

中型機を用いたSF工法は、一般のコンクリート舗装やトンネル内のCRC版など、汎用的に採用されている。トンネル内のCRC版への適用例では、2車線を分割し、スリップフォームペーバ1台で片側1車線を施工する例が多いが、他の施工機械(コンクリート供給機等)と組み合わせ、2車線を同時に施工(全幅施工)した例もある⁷⁾。2車線分割施工の編成例を図3に示す。使用する機械は、横取り装置

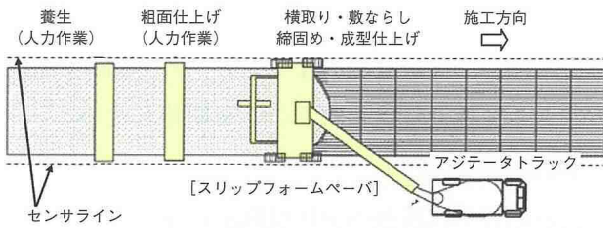


図3 2車線分割施工の機械編成例



写真2 2車線分割施工の施工状況

を備えたスリップフォームペーバ1台のみである。なお、2車線分割施工では、未施工車線がコンクリート供給などの通行帯となる。トンネル内の2車線分割施工状況を写真2に示す。

5. SF工法の効率化への取り組み

SF工法のより一層の効率化を目指して、トンネルのCRC版の全幅施工に対するコンクリート供給方法や鉄筋組み立ての効率化⁸⁾、穿孔によるスリッ

プバー設置⁵⁾など、これまでもさまざまな工夫や取り組みが行われてきた。ここでは、情報化施工への取り組み⁹⁾を簡単に紹介する。現在、生産性と品質の向上を目的に、三次元マシンコントロール(以下、3DMCと略)を取り入れた情報化施工が急速に普及している。3DMCには、①GNSS(Global Navigation Satellite System)とレーザ技術を用いた「高精度GNSSシステム」、②測量機器の1つであるトータルステーション(以下、TSと略)を利用した「自動追尾式TSシステム」がある。

高精度GNSSシステムは、GPS情報を測位するため、上空遮蔽物がなく複数の施工機械を同時に稼働させるような大規模工事に適しており、自動追尾式TSシステムは、GPSを用いないため、トンネル内の施工やスリップフォームペーバ1台のみの制御には有効である。

これらのシステムは、リアルタイムに三次元を測位しながら施工を行うため、

- ① 従来のセンサーラインに比べ、より高精度の施工が可能となり出来形などの品質向上を図ることができる。
- ② センサーライン設置などの施工前準備作業を簡素化でき、作業エリア内の障害物が無くなるため、作業の安全性が向上する。
- ③ 機械制御から施工管理までを一元管理できる

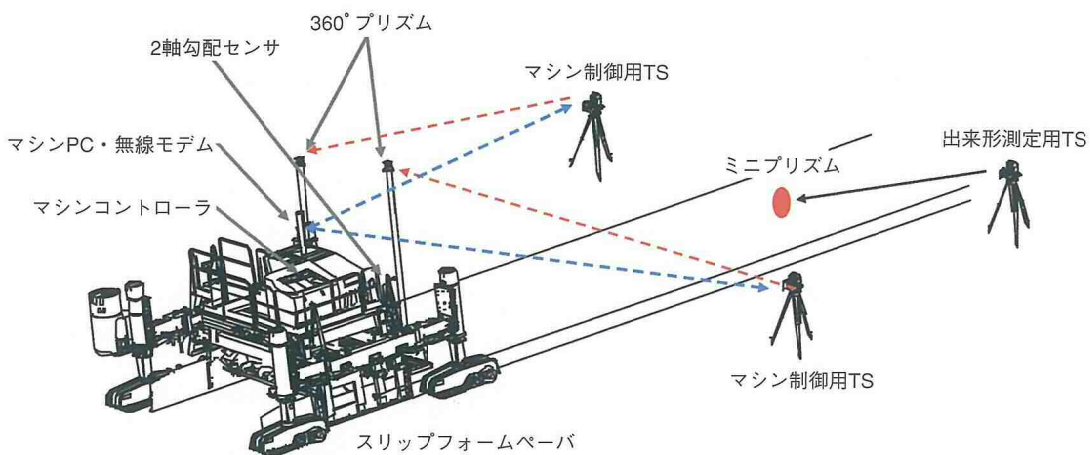


図4 3DMCシステムの概要



写真3 自動追尾式TSシステムの適用状況

ので施工の合理化が図れる。

などのメリットがある。

現在、SF工法の施工は、自動追尾式TSシステムを用いたものが主流である。スリップフォームペーバに自動追尾式TSを用いた3DMCシステム概念を図4に、適用状況を写真3に示す。

6. おわりに

SF工法は、省力化、施工効率の向上が期待される工法として、実績が増加している。

今後は、SF工法の特長をさらに発揮するため、

より効率的な舗装構造の検討および施工技術の研鑽に努め、当工法が合理的なコンクリート舗装の施工方法として位置付けられることを期待したい。

[問い合わせ先]

☎104-0031 東京都中央区京橋3-13-1

☎03-3561-7755 FAX03-3567-9647

日本スリップフォーム工法協会事務局〔大成ロテック(株)生産技術本部内〕

[参考文献]

- 1) (社)日本道路協会/日本道路史, pp.1151~1153, 1977
- 2) 近藤他/道路舗装の施工, 山海堂, pp.381~386, 1971
- 3) 日本スリップフォーム工法協会/スリップフォーム工法施工マニュアル(コンクリート舗装編), 平成20年3月
- 4) 中丸 貢/スリップフォーム工法による連続鉄筋コンクリート版の施工現況, 舗装, pp.28~32, 2002.10
- 5) 小林郁美/佳境を迎えた中部国際空港の建設(SF工法による53万m²の空港舗装), セメント・コンクリート, pp.10~17, No.681, 2003.11
- 6) 酒井他/東関東自動車道におけるコンポジット舗装の試験施工, 舗装, pp.16~23, 1995.9
- 7) 草西他/スリップフォームペーバを用いたトンネル舗装の施工事例について, 第22回日本道路会議, 2003.11
- 8) 田中他/トンネル内における連続鉄筋コンクリート舗装, 舗装, pp.7~12, 2000.5
- 9) 平野他/3DMCシステムを適応したコンクリート舗装の事例ースリップフォーム工法への情報化施工技術の活用事例ー(LMGS-TS), 舗装, pp.22~26, 2008.8

4. 鋼床版SFRC舗装の展開

児玉 孝喜*¹ 伊藤 清志*¹ 一瀬 八洋*¹ 加形 護*² 鈴木 康範*³

1. はじめに

近年、重車両の多く通行する鋼床版橋梁では、床版の疲労損傷き裂発生が数多く報告^{1) 2)}されている。

*1 鹿島道路(株) 技術部

*2 同上 技術研究所

*3 住友大阪セメント(株)

APPLICATION OF SFRC ON ORTHOTROPIC STEEL DECKS (by Takayoshi KODAMA, et al.)

特に、デッキプレート溶接部に生じるき裂は鋼床版上のアスファルト舗装の損傷を招き、まれにデッキプレートを貫通して路面陥没に至った事例も報告^{3, 4)}されており、橋梁鋼床版の疲労対策は路面管理上の大きな課題となっている。この疲労損傷の対策として、鋼床版の変形に追随可能なよう設計されたたわみ性に富むアスファルト舗装に換えて、剛性の高

い鋼繊維補強コンクリート(Steel Fiber Reinforced Concrete/以下, SFRCと略)を用いることで輪荷重による鋼床版の局部変形を抑えて疲労耐久性を向上させるために床版とSFRCとを接着接合したSFRC舗装が実施⁵⁾されている。

本稿は、鋼床版疲労対策として適用されている鋼床版上接着接合SFRC技術について、技術の概要と主な適用事例を紹介する。

2. 鋼床版へのSFRCの適用

異方向性版である鋼床版は局部的な変形が大きい。SFRCの曲げによるひび割れ発生ひずみ(3時間~7日程度の初期材齢)は $200\sim 250 \times 10^{-6}$ 程度⁶⁾であるのに対して、特に実橋での主桁腹板上で曲げによる局部変形によって生じる引張りひずみはFEM解析等によればほぼ同程度と想定⁷⁾されており、活荷重の繰り返し載荷やSFRCの収縮を考慮するとひび割れの発生は避けられない。SFRCは内在している内部ひび割れの進展を鋼繊維が拘束し、ひび割れ発生後の特性に優れている。ひび割れの発生後は、ひび割れを横切っている鋼繊維に引張力が伝達されて力の釣りが保たれることから、ひび割れ発生後も鋼床版の局部変形に追従可能であるとともに相当の耐力を保持しながら漸次破壊に至るよう、つまり急激な破壊(特に付着界面の剥離)に至らないようコンクリートの曲げ靱性が大幅に改善される。鋼繊維を用いない場合には、ひび割れ後は脆性的に破壊し、特に変形が大きい鋼床版挙動への追従性が悪く、ひび割れ発生後には早期に剥離に至ることも懸念⁸⁾されるために鋼繊維を用いることとしている。

3. 鋼床版とSFRCの接合(接着材)

接着接合における良好な付着とは、目標強度を満足した上で、かつオーバーレイしたコンクリートの内部で破壊が生じること(内部破壊)または接着剤の中で破断(凝集破壊)^{9, 10)}することである。これは、特

表1 高耐久型エポキシ樹脂系接着材の仕様

| 項目 | 基準値 | 備考 | |
|-------------|------------------------------------|------------|--------|
| 外観 | 主剤 | 白色ペースト状 | 異物混入なし |
| | 硬化剤 | 青色液状 | |
| 混合比(主剤:硬化剤) | 5:1 | 重量比 | |
| 硬化物比重 | 1.4±0.2 | JIS K 7112 | |
| 圧縮強さ | 50N/mm ² 以上 | JIS K 7181 | |
| 圧縮弾性係数 | 1000 N/mm ² 以上 | JIS K 7181 | |
| 曲げ強さ | 35N/mm ² 以上 | JIS K 7171 | |
| 引張せん断強さ | 10N/mm ² 以上 | JIS K 6850 | |
| コンクリート付着強さ | 1.6N/mm ² 以上 または母材破壊 | JIS K 6909 | |

に一般に付着強度はバラツキの大きい特性値であるため、この特性を考慮して付着のバラツキを小さくするために、試験値個々の最小値を定めるのではなく破壊位置も要求性能としている。例えば、付着界面で破壊している場合には、その界面は鋼床版表面の凹凸度の変化、微小粉塵の程度、湿度や分子レベルでの水分量の差異等の状態変化によっても試験値が大きくばらつくこととなり、条件によっては必要な付着強度を確保できなくなることが想定される。界面破壊の場合にはたとえ試験によって得られる値が大きくても、界面の状態変化によって影響を受ける特性から、バラツキを考慮して避けなければならない破壊形態としているものである。これは、当該補強方法は接着接合の性能によってその補強効果が左右されることから、接着接合を構造部材として用いる場合の信頼性確保としてこのような基準を設けているといえる。

一方、SFRCはフレッシュコンクリートを接着材上に打ち込んでデッキプレートとの一体化を図る。そのため、フレッシュコンクリートとの接合で付着ならびに耐久性が良好な専用開発されたエポキシ樹脂系接着材(KSボンド)¹¹⁾を用いた。表1に接着材の仕様を示す。

4. 鋼床版上SFRC舗装の適用フロー

SFRC舗装を施工する前に、鋼桁のき裂調査な

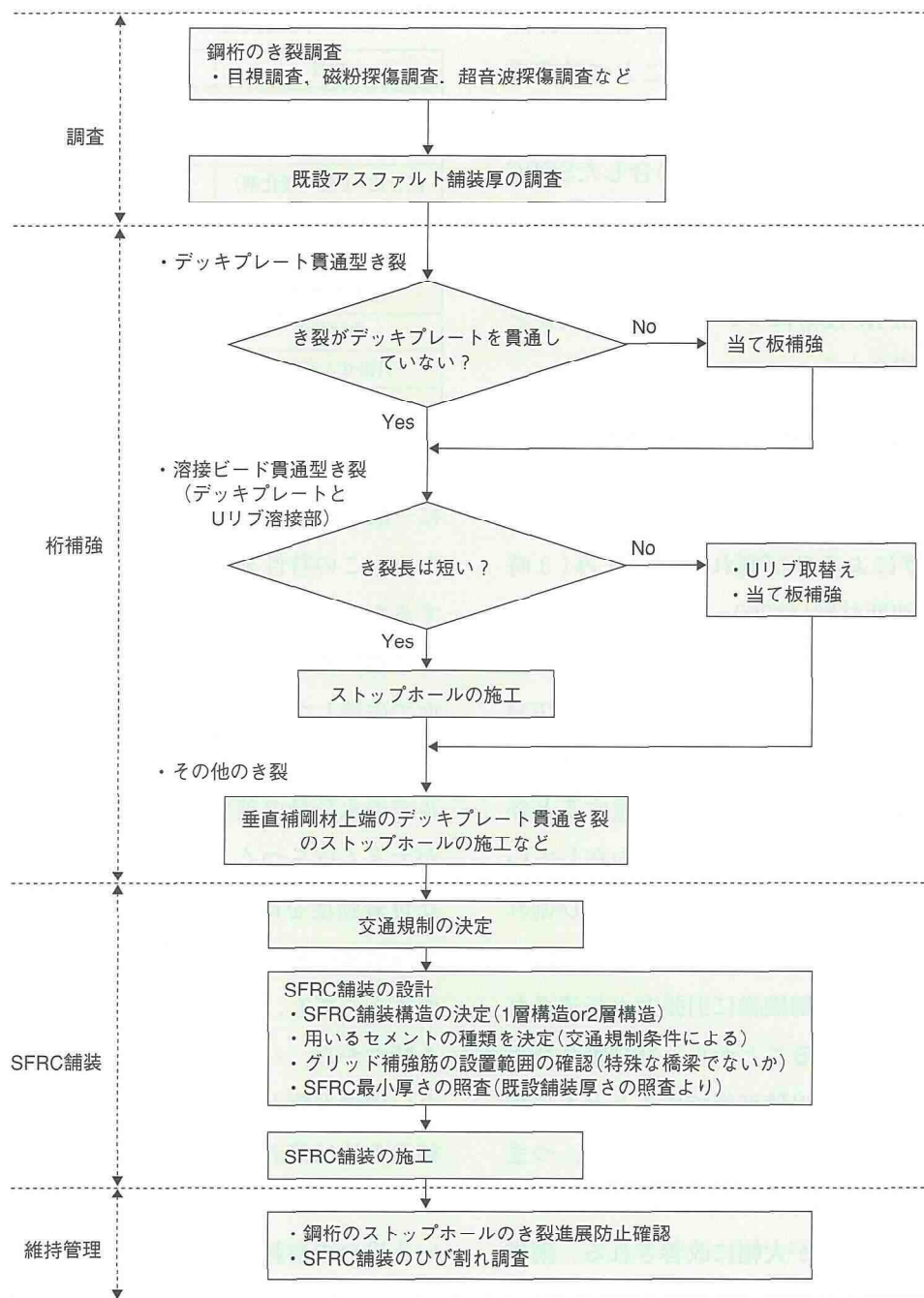


図1 SFRC舗装工法適用フローの例

らびに必要なに応じた補修を実施する必要がある。SFRC舗装はデッキプレートに内在しているき裂などを抑制する効果が確認¹²⁾されており、すべてのき裂を補修する必要はないが、デッキプレートを貫通しているき裂や、長いき裂は、当て板などで補強を行う必要がある。したがって、鋼桁の損傷が軽度の時期に、つまりできるだけ早い時期にSFRC舗装を施工すれば、桁補修費を最小限に抑えられると考

えられる。SFRC舗装工法の適用について、一般的なフローを図1に示す。

5. 主な適用事例

施工の仕様は、交通規制の条件、規制可能日数、コンクリート供給の制約、施工幅員等の条件に応じて、使用するセメントの種類(早強ポルトランドセメントもしくは超速硬セメント)、コンクリートフィ

表2 鋼床版SFRC適用の事例

| | 湘南大橋 (神奈川県藤沢市) | 大平高架橋 (栃木県小山市) | 城南島大橋 (東京都内) | 首都高速道路 | |
|----------------------|--|---|--|---|--------------------------|
| 舗装構成図 |  | | |  | |
| 橋梁形式 | 3径間連続 鋼床版桁桁2連 | 3径間連続鋼床版桁桁・単 純鋼床版桁桁 | 3径間連続鋼床版桁桁 | 3径間連続 鋼床版桁桁など | |
| 建設年次 | 1986年 | 1983年 | - | 1977年(M橋) | |
| 鋼桁の補修補強 | <ul style="list-style-type: none"> ・デッキプレート貫通型き裂深さが6mm以上の個所に当て板補強 ・垂直補剛材上端の切断 | <ul style="list-style-type: none"> ・デッキプレートを貫通したき裂の当て板補強 ・垂直補剛材上端の切断 ・溶接ビード貫通型き裂へのストップホルルの施工 | - | <ul style="list-style-type: none"> ・デッキプレートを貫通したき裂の当て板補強 ・溶接ビード貫通型き裂長300mm以上の当て板補強, 300mm未満のストップホルル施工 | |
| SFRC施工年次 | 2005年(20年後) | 2007年(25年後) | 2010年 | 2007年から | |
| 施工面積 | 3,600m ² | 1,526m ² | 2,870m ² | 7,300m ² | |
| SFRC舗装厚 | 80~90mm | 75mm | 75mm | 50mm (+アスファルト舗装30mm) | |
| 設計基準強度 | 24N/mm ² (材齢3時間) | 29.4N/mm ² (材齢7日) | 29.4N/mm ² (材齢7日) | 24N/mm ² (材齢3時間) | |
| 配合 | セメント | 超速硬セメント | 早強ポルトランドセメント (膨張材使用) | 早強ポルトランドセメント (膨張材使用) | 超速硬セメント |
| | 粗骨材最大寸法 | 20mm | 15mm(13mm) ^{※1} | 15mm(13mm) ^{※1} | 15mm(13mm) ^{※1} |
| | スランプ | 5.0±1.5cm | 6.5±1.5cm | 6.5±1.5cm | 6.5±1.5cm |
| | SF混入量 | 100kg/m ³ | 120kg/m ³ | 120kg/m ³ | 100kg/m ³ |
| 交通規制 | 夜間の全面交通止め 21時~翌朝6時 | 全面交通止め約1か月間 | 1車線規制約1か月間 | <ul style="list-style-type: none"> ・24時間1車線規制 ・夜間1車線規制 | |
| 既設アスファルト舗装 | 80~90mm シート防水 | 75mm シート防水 | 75mm 基層：グース | 80mm 基層：グース | |
| 施工 | 切削方法 | 1次：切削機+人力+ウォータージェット 2次：仮舗装撤去 | 切削機+人力 +ウォータージェット | 切削機+人力 | 切削機+人力が多い |
| | 研掃処理 | 1種ケレン | 1種ケレン | 1種ケレン | 1種ケレン |
| | CFRP格子筋 100×100mm | 全面配置 | 主桁ウェブ上1.0m幅 | 主桁ウェブ上1.0m幅 | 主桁ウェブ上1.0m幅 |
| | スタッドジベル | SFRC版舗設個所の端部と 施工継目に設置 | SFRC版舗設個所の端部と 施工継目に設置 | SFRC版舗設個所の端部と 施工継目に設置 | 使用しない |
| | 接着剤 | K工区：高耐久型エポキシ系 N工区：エポキシ系 | 高耐久型エポキシ系+専用 プライマ | 高耐久型エポキシ系+専用 プライマ | 高耐久型エポキシ系 |
| | コンクリート供給 | 横ベルコン | バックホウ | 縦送りベルコン | 縦ベルコン |
| | コンクリートフィニッシャ | 増厚用大型フィニッシャ | 増厚用大型フィニッシャ | 増厚用大型フィニッシャ | 専用小型フィニッシャ |
| | 養生 | シート | シート | 真空養生, シート | シート |
| SFRC舗装, 桁補強以外の 対策 | 走行車線を変更し疲労損傷 部への輪載荷をさげた | なし | なし | なし | |
| 施工または適用上の課題 | <ul style="list-style-type: none"> ・98個所の当て板補強があるためグリッド補強筋を全面に配置 ・交通規制の制約から1次施工で既設舗装撤去し仮舗装, 2次施工でSFRC舗装を実施 | <ul style="list-style-type: none"> ・デッキプレートを研掃後に専用プライマで保護 ・既設シート防水をウォータージェットで撤去 | <ul style="list-style-type: none"> ・供用中における早強SFRCの打設 ・横断勾配への対応 | <ul style="list-style-type: none"> ・1車線規制に対応したコンクリートフィニッシャ, ベルコンの開発 ・冬期での養生時間短縮のために養生方法を検討 | |
| SFRCの効果確認等 | SFRC補強前後の活荷重によるひずみ計測 | SFRC補強前後の活荷重によるひずみ計測, 3か月間の乾燥収縮計測 | - | SFRC補強前後の活荷重によるひずみ計測, 1年間の乾燥収縮計測 | |

※1：実際は13mmトップ(6号砕石)を使用しているがコンクリートのふるい目に13mmがないため表示は15mmトップとした。



写真1 鋼床版SFRC舗装の施工事例

ニッシャの種類やコンクリートのスランプの範囲等が設定されている。これまで施工されたSFRC舗装の適用事例の概要を表2に示す。

6. おわりに

鋼床版溶接部の疲労損傷は、供用中の舗装損傷にもつながる緊急の課題である一方、鋼床版はその変形が大きいことから解決に向けての技術的課題は大きい。特に接着接合材料として専用の高耐久型エポキシ樹脂系接着材(KSボンド)が開発された2005年度以降、本工法は実物大実験ならびに実橋での施工等で不具合の発生は一切なく、期待される補強効果が得られている。しかしながら、実橋への適用にさ

いしては形式や施工条件の相違等がある。今後も適用にさいしては、十分な検討を重ね、一橋梁ごとに損傷原因と状況調査を行いながら状況に応じて下部補修との組み合わせ等丁寧に対応することが、鋼床版の疲労損傷対策において最も重要なことと考えられる。

[参考文献]

- 1) 平林泰明他／首都高速道路における鋼床版疲労損傷，土木学会第10回鋼構造と橋に関するシンポジウム，2007.8，pp.39～53
- 2) 堀江佳平他／阪神高速道路の鋼床版疲労損傷の現状と取り組み，土木学会第10回鋼構造と橋に関するシンポジウム，2007.8，pp.55～69
- 3) 西川和廣／SFRCによる鋼床版舗装－鋼とコンクリートの新しい関係－，橋梁と基礎，2005.8，pp.84～87
- 4) 山田健太郎／重交通下における鋼床版の疲労損傷－名古屋周辺での事例－，土木学会第10回鋼構造と橋に関するシンポジウム，2007.8，pp.11～18
- 5) 加形 護他／SFRC舗装による鋼床版の疲労損傷対策－一般国道357号横浜ベイブリッジ舗装工事－，橋梁と基礎，2004.10，pp.27～32
- 6) 小栗直幸他／鋼床版上に用いる鋼繊維補強コンクリート舗装の基本物性に関する一考察，土木学会年次講演会，2006.9
- 7) 宇井 崇他／鋼床版上SFRC舗装の負曲げモーメント発生部を対象とした実験(その1)，土木学会年次講演会，2007.9
- 8) 荻野 啓他／鋼床版上のSFRC補強の負曲げ対策とその効果，土木学会年次講演会，2006.9
- 9) 新保正樹編／エポキシ樹脂ハンドブック，日刊工業新聞社，p.299
- 10) 原賀康介／信頼性の高い接着設計のための基本条件と耐久性評価法，接着学会誌，2007.8，pp.319～324
- 11) 児玉孝喜他／SFRC舗装による鋼床版の疲労耐久性向上対策，第12回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，2009.8
- 12) 下里哲弘／疲労損傷を受けた鋼床版におけるSFRC補強後の疲労耐久性検証試験，土木学会年次講演会，2006.9

[セメント・コンクリートNo.760／2010年6月号]



ズーム・イン活躍現場

5. 新東名高速道路でのコンポジット舗装の採用

岡 利幸*

1. はじめに

現在、静岡県内では新東名高速道路の建設工事が最終段階に入っている。新東名高速道路の建設は、平成7(1995)年に最初の本体工事に着工し、現在では本体工事の大部分が完了し、舗装工事や施設工事が始まっている。新東名高速道路のうち、御殿場JCT～引佐JCT間の舗装には、土工区間、トンネル区間において、基本的にコンポジット舗装を使用する計画としている。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。

本稿では、新東名高速道路(御殿場JCT～引佐JCT間)の舗装計画、連続鉄筋コンクリート版を用いたコンポジット舗装などを紹介する。

2. 新東名高速道路の事業概要

2-1. 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、現東名高速道路とほぼ並

行して計画されている。このうち、神奈川県横浜市から愛知県豊田市間を中日本高速道路(株)が建設しており、静岡県内区間となる御殿場JCTから引佐JCT間(約164km、清水連絡路・引佐連絡路含む)は、平成24(2012)年度の供用を予定している。

新東名高速道路(御殿場JCT～引佐JCT間)は、東名高速道路より山地部を通過し、静岡県を代表する一級河川である富士川・安倍川・大井川・天竜川を含む多数の河川を横架している。したがって、静岡県内の164kmのうち、土工区間が約71km、トンネル区間が約42km、橋梁区間が約52kmとなっており、構造物比率が全体の約6割を占めることが特徴となっている。

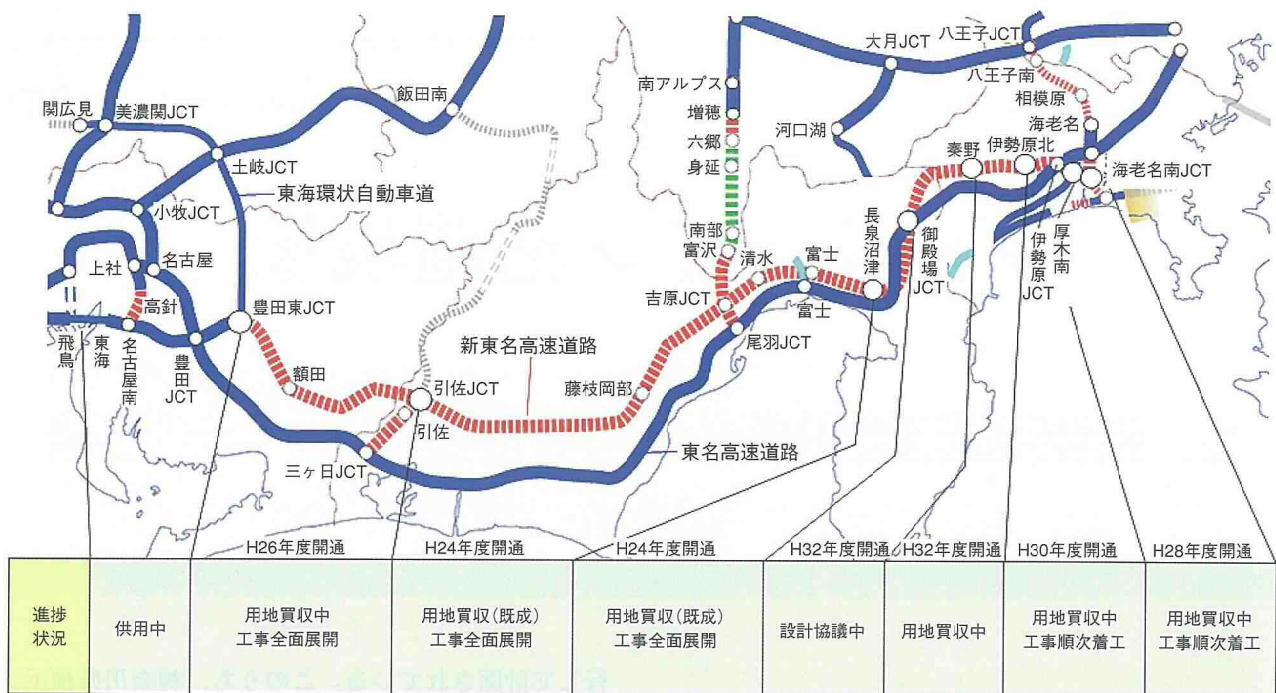
この区間では、平成22(2010)年9月末で、土工区間86%、トンネル区間93%、橋梁区間69%が完成している。

2-2. 整備の目的

新東名高速道路の整備による効果は次の3つとなっている。

- ① 東名高速道路の抜本的サービス改善
- ② ダブルネット化による信頼性の向上
- ③ 国土の大動脈として三大都市圏間の連携強化

* 中日本高速道路(株) 東京支社 建設事業部 建設チーム
BROADER ADOPTION OF THE COMPOSITE PAVEMENT IN THE
NEW TOMEI EXPRESSWAY (by Toshiyuki OKA)



(平成22年8月現在)

図1 新東名高速道路の事業進捗

東名高速道路は、全線供用後約40年を経過し、その間日本の大動脈を担ってきた。その間、経済・産業の発展とともに、東名高速道路の交通量は急激に増え、交通集中による渋滞回数は297回(平成20年、御殿場IC～三ヶ日IC間)であり、高速道路をご利用されるお客様へのサービスレベルは低下している状況が続いている。新東名高速道路の建設により、これらの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と考えている。

また、静岡県では近い将来東海地震が発生することが想定されている。平成21(2009)年8月に発生した駿河湾を震源とした地震では、東名高速道路の牧之原サービスエリア付近の本線盛土が崩落し、東名高速道路が5日間にわたって通行止めとなった。そのさいは、高速道路から一般道へ迂回することにより渋滞が発生し、周辺の地域のみならず広範囲に影響を与えた。また、開通後約40年を経過した東名高速道路の大規模な補修工事が急務となっており、交通規制時の代替路が必要である。

新東名高速道路は、東海地震の影響が比較的小さ

いと想定される内陸部を通過し、兵庫県南部地震の教訓を活かした耐震性の高い道路であり、東名の代替性を有する新東名高速道路を整備することにより、日本の重要幹線の信頼性を高めることとなる。

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時間短縮されることとなる。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を円滑にし、連携をより強化することになる。さらには、これらの地域の社会的活動・経済的発展の発展に寄与することになると考えている。

3. 新東名高速道路の舗装計画

3-1. 土工区間・トンネル区間の舗装計画

(1) 概要

新東名高速道路(御殿場JCT～引佐JCT間)の土工区間やトンネル区間の舗装は、基本的にコンポジット舗装としている。舗装構成は図2のとおりとなっており、4 cmの表層、4 cmの中間層(砕石マスチツ

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

図2 コンポジット舗装(土工区間・トンネル区間)の舗装構成

クアスファルト混合物(SMA)), 24~28cm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。土工区間の表層は, 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としており, その下に遮水機能を有している碎石マスチックアスファルト混合物(SMA)を使用している。連続鉄筋コンクリート版は, 横方向目地をいっさい省いたものであり, コンクリート版に生じる横ひび割れは, 縦方向鉄筋により微細なクラックに分散され, 鉄筋とひ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。

(2) 選定・採用理由

新東名高速道路(御殿場JCT~引佐JCT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, お客様へのサービスレベルの低下を避けることが必要である。

よって, 当該区間では, 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, コンポジット舗装を採用したものである。

また, 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, 環境への負荷を軽減できると考えている。

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

図3 橋梁区間(コンクリート床版)の舗装構成

3-2. 橋梁区間の舗装計画

新東名高速道路の橋梁区間の舗装構成は, 図3のとおりとなっており, コンクリート床版上では4cmの表層, 4cmのレベリング層(碎石マスチックアスファルト混合物(SMA))を使用することを標準としている。表層は, 土工区間と同様に, 高機能舗装を採用している。また, 舗装とコンクリート床版の間に, 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こととしている。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浸入を防ぎ, コンクリート床版の劣化を抑えるために施工するものである。

4. 連続鉄筋コンクリート版

4-1. 使用するコンクリート

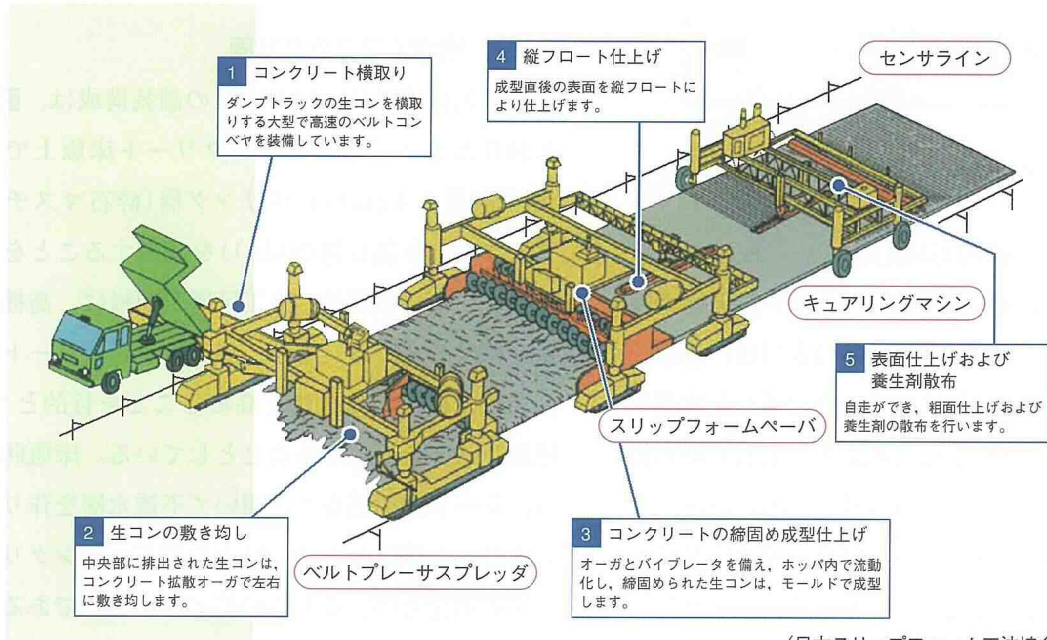
コンポジット舗装の連続鉄筋コンクリート版に用いるコンクリートの配合例を表1に示す。このコンクリートを新東名高速道路(御殿場JCT~引佐JCT間)では全体で約60万m³使用する予定としている。

4-2. 施工

連続鉄筋コンクリート版はスリップフォーム工法で施工している。スリップフォーム工法とは, 締固めと整形が可能な自走式施工機械を用い, 連続した同一断面のコンクリート構造物を構築する工法である(図4)。この工法では, 従来のセットフォーム工法で必要な型枠や施工機械の移動のためのレールが不要となる。したがって, これらの資材費用・労務費を削減できるだけでなく, 移動作業の省略により施工効率化および工程短縮にも繋がっている。現在施工中の富士市の区間では, 日当たり平均約

表1 連続鉄筋コンクリート版のコンクリートの配合

| 材齢28日における圧縮強度 (N/mm ²) | 粗骨材の最大寸法 (mm) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | セメントの種類 |
|---------------------------------------|------------------|--------------|------------|----------|
| 曲げ 4.5 | 20 | 3.5±1.5 | 5.5±1.5 | 高炉セメントB種 |



(日本スリップフォーム工法協会資料より抜粋)

図4 スリップフォーム工法の概要



写真1 連続鉄筋コンクリート版の施工状況

600m³、延長約250m(幅8.75~12.75m)の連続鉄筋コンクリート版を施工している(写真1)。

また、新東名高速道路の舗装工事では、建設ICT(Information and Communications Technology, 情報通信技術)が積極的に活用されており、スリップフォーム工法の施工では、トータルステーションを用いた情報化施工を取り入れている(写真2)。こ

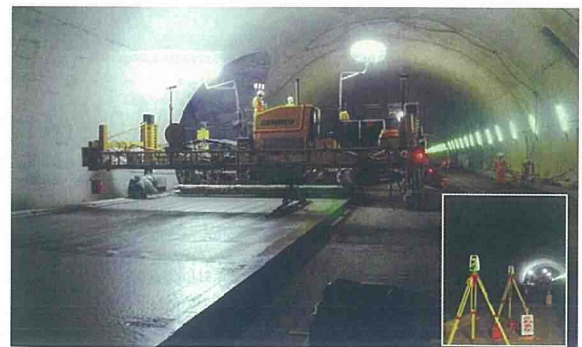


写真2 情報化施工(スリップフォーム工法)

れは、トータルステーションにより、スリップフォーム工法の機械を自動制御し、連続鉄筋コンクリート版の敷均し高さを自動制御するものである。この方式により、平坦性などの出来形の精度を高めることができると考えている。加えて、従来連続鉄筋コンクリート版の高さ管理のため設置していたセンサラインが不要となり、センサラインの設置工の省力化、設置誤差の解消、センサラインでの転倒事故を回避できるというメリットが期待できる。

5. おわりに

本稿で紹介した新東名高速道路の御殿場JCTから引佐JCT間では、舗装工事が本格的に着手され、今後、連続鉄筋コンクリート版の施工も最盛期を迎え

ようとしており、新東名高速道路の最終的な形も徐々に見えつつある状況となっている。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。

[セメント・コンクリートNo.765/2010年11月号]



海外のコンクリート舗装見てある記

西澤 辰男*

1. はじめに

わが国のコンクリート舗装の割合は道路の種別にかかわらず5%程度であるが、海外ではどのようなものであろうか。表1はいろいろな情報から大雑把なコンクリート舗装の使用状況をまとめたものである。主に重交通道路で、コンクリート舗装の割合が高いことがお分かりいただけると思う。道路舗装にコンクリート舗装を採用する理由についてはさまざまだが、だいたいにおいて重車両に耐え、長期間補修の必要がないということが共通的にいわれている。

中国のようにコンクリート舗装のほうがアスファルト舗装よりも建設費が格段に安いというのは例外である。いずれにせよ、コンクリート舗装は重要な舗装工種としてその国の事情に応じて適材適所で使用されているという印象を受ける。

本稿では、北米、欧州および東アジアにおけるコンクリート舗装の様子について、個人的な経験や筆者が入手できる情報に基づいて、簡単に紹介したい。

2. 北米

北米はいうまでもなく道路先進国であり、広大な国土を縦横無尽に道路が走っている。アメリカ

表1 主な国のコンクリート舗装の割合

| 国名 | コンクリート舗装の割合 |
|---------|-------------------------|
| アメリカ合衆国 | インターステイツの60% |
| カナダ | 超重交通道路で使用 |
| ドイツ | 重交通道路の25%, CRCPは無い |
| オーストリア | 高速道路の2/3(延4000km) |
| フランス | 国道の10% |
| オランダ | 高速道路の5%(JCP&CRCP) |
| ベルギー | 高速道路の40%(CRCP), 全体で17% |
| イギリス | 全体の0.5% |
| 中国 | 高速道路の20% |
| 韓国 | 一般国道290km(2%), 高速道路の60% |
| 日本 | 全体の5%前後 |

では、州をまたぐインターステイツの総延長だけでも80,000km弱あり、末端の道路まで合わせると6,000,000km以上ある(日本は約1,000,000km)。これだけの道路網を維持管理するのは、よほど大変であろうことは容易に想像される。アスファルト舗装は、アスファルト混合物の材料的な特性により、荷重がなくても紫外線や空気的作用によって劣化(硬化)していく。むしろ、車が通らない方が劣化が早いとも言われている。一方、コンクリートにはこのような劣化はないので、一度建設してしまえばかなり長持ちする。このような長寿命を期待して、アメリカではコンクリート舗装が多用されている。もう一つコンクリート舗装が多い理由があって、それは補修のしやすさである。アメリカの道路構造は非常にゆったりとしていて、方向別の車線数が多いばかりでなく、道路周辺のスペースも非常に広い(写真1, 2)。

* 石川工業高等専門学校 教授 工博
CONCRETE PAVEMENTS IN NORTH AMERICA, EUROPE, AND EAST ASIA(by Tatsuo NISHIZAWA)



写真1 アメリカの道路(コンクリート舗装)

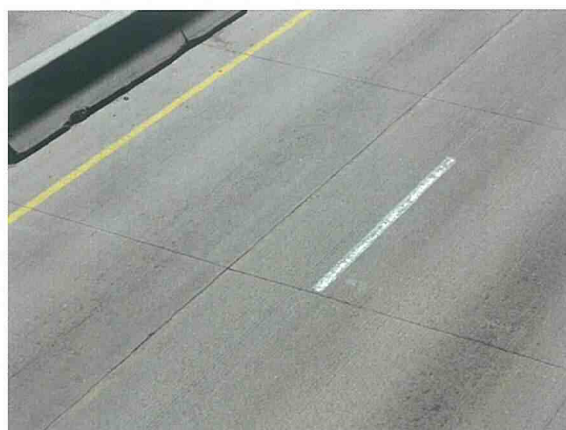


写真3 アメリカの道路のコンクリート舗装

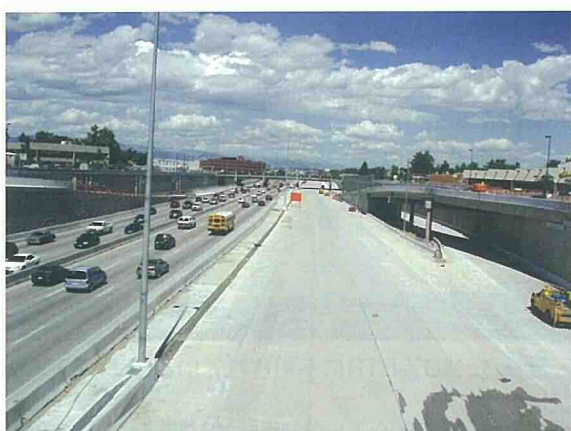


写真2 拡張中の道路(コンクリート舗装)



写真4 ダイヤモンドグラインディングによって縦方向に溝が切られたコンクリート舗装の路面

大規模な補修は、仮りの車線あるいは道路そのものを隣に建設し、工事中の交通を処理することが可能である。このような状況は、コンクリート舗装の補修のように時間がかかる工事を容易にする。このようなことも相まって、コンクリート舗装に対する抵抗が少ない。また、アメリカのドライバーは、コンクリート舗装で問題になる目地やひび割れの段差もあまり気にしない。車が大きく、サスペンションが緩いので、段差をあまり感じないのだろう。

アメリカの典型的なコンクリート舗装の様子を写真3に示す。目地間隔は5m前後が多く、表面には縦方向にほうき目が入れている。目地にはダウエルバーを使用しており、日本のような鉄網は使用していない。

とはいえ、もちろん問題がないわけではない。コンクリート舗装が破損すると補修が容易でないこと

は同じなので、コンクリート舗装の急速補修が課題となっている。平坦性や騒音の悪化という問題に対して、日本はアスファルト舗装でオーバーレイをすることが一般的であるが、アメリカでは逆にコンクリート路面を削って新しい路面を作り出す。このような方法をグラインディング工法という。たとえば目地に段差が生ずるとその前後のコンクリート表面を数センチ削り取ってしまうのである。表面には細かな溝をつけるが、この溝の間隔や深さによっては低騒音機能が発揮されることがわかっている。この点については現在、大規模な研究プロジェクトが進行中である。

また、ある程度の規模の補修では、プレキャストコンクリート版を使うことが検討されている。プレキャストコンクリート舗装はFHWAが中心となって調査研究が行われているようで、この技術については先行しているわが国にも情報提供が要請されている。



写真5 ダイヤモンドグラインディングに使用する
カッターの刃



写真6 アメリカのプレキャストコンクリート舗装

アメリカのコンクリート舗装の大きな話題の1つに100年コンクリート舗装研究計画というものがある。これはコンクリート舗装を100年間使い続けるための戦略を立ててみようということらしい。100年供用するために必要な材料、構造、維持管理などの技術を研究していくものである。材料的耐久性では、コンクリートそのものの耐久性よりも、舗装に使われている鉄筋の耐久性が問題になる。そこで鉄鋼業界と連携して錆びない舗装用の鉄筋の開発も行っているようだ。

環境問題に関しても積極的に取り組んでいる。その一環としてGreen Highwayなるものを推進している。これは、道路建設のさい、どの程度環境に配慮されているかが審査され、一定の基準を満足した道路に与えられる称号のようなものらしい。Green Highway Partnershipという協議会によって運営さ



写真7 カナダの大動脈401号線

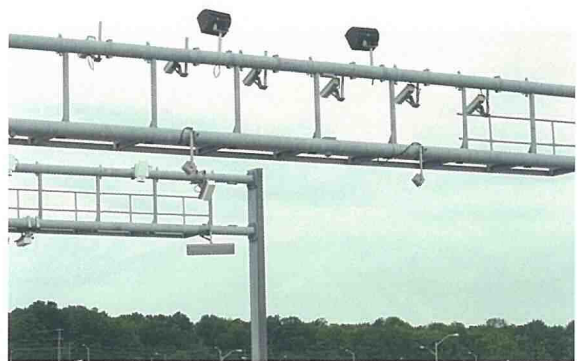


写真8 407-ETRに使用されている車両感知器

れ、道路建設業のイメージアップに一役買っている。

これらの取り組みにはアメリカコンクリート舗装建設業協会(ACPA)という業界団体が大きな役割を果たしている。ACPAはコンクリート舗装に関する普及、啓蒙、ロビー、教育、研究開発の事業を直接あるいは支援の形で行っており、発注者や学に対してかなりの発言権を持っている。

カナダでは、各州(プロビンス)ごとに道路が管理運営されている。最近オンタリオ州政府は50年間のLCC解析に基づいた道路舗装工事の発注を実施した。その結果6つの大きな工事区間のすべてにおいてコンクリート舗装を提案した工事計画が採用された。また国道407号の一部区間(約60km)はPublic-Private-Partnershipで民間会社にリースされ、有料道路として運営されている。407-ETR (Electric Toll Road)と呼ばれるこの道路では、ETCのようなシステムで料金が徴収されている。この区間の中央車線は全線コンクリート舗装になっている。



写真9 フランスの高速道路(きれいに維持されたアスファルト舗装)

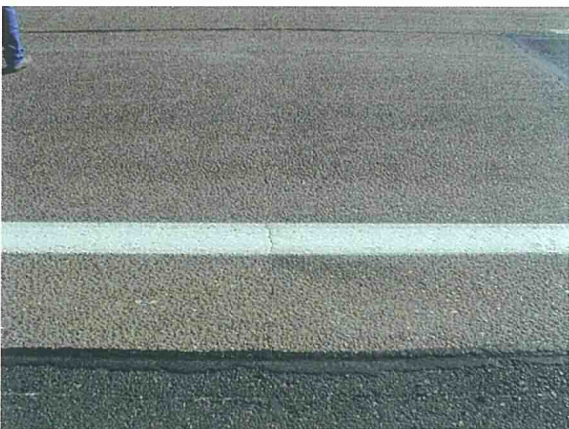


写真10 フランスのCRCPの骨材露出工法による路面



写真11 旧東ドイツのアウトバーンのコンクリート舗装(松野三郎氏提供)³⁾

3. 欧州

欧州は歴史的な背景から一つの文化圏とみなされるが、個々の国の舗装技術はかなり様相が異なり、独自の技術を持っている。コンクリート舗装に関してそのいくつかを紹介する。

(1) フランス

フランスの高速道路はわが国より一足早く民営化された。いくつかの地域ごとに道路会社が設立され、道路会社ごとに舗装の維持管理が行われている。フランスでは連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)が有名である。フランスの連続鉄筋コンクリート舗装は、プレストレストコンクリート技術で有名なフレシネが開発した帯鉄筋を用いたCRCPが知られていた。フランスのコンクリート舗装の路面は写真10のように骨材が露出したものが多い。これはこのような

路面によってタイヤのポンピング音を減少させる機能を持たせており、欧州では騒音対策としてよく使われている。

(2) ドイツ

ドイツのコンクリート舗装はもっぱら目地ありの普通のコンクリート舗装が用いられている。ドイツの高速道路であるアウトバーンは、現在ほとんどがアスファルト舗装である。旧東ドイツ側に古いコンクリート舗装が残されていたが、最近はずべて補修されているようである。現在ではアスファルト舗装が多く、コンクリート舗装は25%程度である。コンクリート版厚は日本とほぼ同じかやや薄い。セメント安定処理路盤とコンクリート版の間に不織布を敷いて、コンクリート版と路盤を分離させるとともに、不織布の対引張効果も期待しているようだ。筆者がドイツ統一直後に東側のアウトバーンを走行した時には目地段差がひどく、高速道路並みの速度で走行するとまるでヘリコプターに乗っているようなすごい音がした(写真11)。



写真12 骨材露出工法によるコンクリート路面

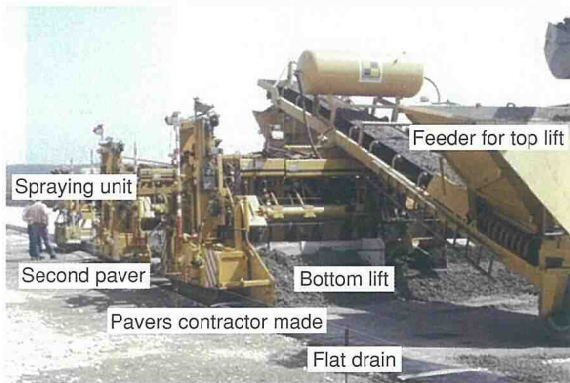


写真13 2層式コンクリート舗装用ペーバ

(3) オーストリア

お隣のオーストリアの高速道路ではコンクリート舗装が多く、60%を占める。もともとアウトバーンの時代からコンクリート舗装を使っていたが、建設費や騒音などの問題から1980年ごろから下火になっていた。ところが、最近になって復活してきた。写真12のような骨材露出工法が開発され騒音問題が解決されたこと、再生材を使用するようになったためである。コンクリート版厚はやや薄いですが、路盤との間にアスファルト中間層がある。コンクリート版は写真13に示すような2層施工で、下層部には通常の骨材(20mm)や再生骨材を用い、上層部には摩耗に強い粒径の小さな骨材(8mm)を用いる。路盤やコンクリート版の下層に再生骨材を多く使うので、環境にも良いと考えられている。

(4) イギリス

イギリスでのコンクリート舗装の肩身は狭い。わ



写真14 ベルギーにおけるコンポジット舗装のひび割れ対策の研究

が国と同じく国土が広くないので補修がやりにくいのと、都市部などでは騒音が問題となるからである。イングランドではコンクリート路面には必ずアスファルト層をかぶせることになっており、連続鉄筋コンクリート舗装をベースとしたコンポジット舗装が推奨されているようである。しかし、郊外の周辺騒音などが問題にならないところでは連続鉄筋コンクリート舗装が用いられている。

(5) ベルギー

ベルギーでは、連続鉄筋コンクリート舗装が高速道路で多く用いられている。特にコンクリート舗装を基層とし、ポーラスアスファルト層を表層としたコンポジット舗装の研究を進めており、試験舗装を実施して長期供用性の観測を行っていた。さらに、コンクリート舗装の目地やひび割れがアスファルト層にどのような作用を及ぼすかについて、写真14のような室内試験で検討していた。

(6) オランダ

お隣の国オランダではコンクリート舗装自体は4%程度で、それほど多くはない。自転車の利用が盛んなオランダでは写真15のような自転車道路が整備されており、車、自転車、歩行者は完全に分離されている。ちなみに、自転車道路におけるコンクリート舗装は10%程度である。またオランダはコンクリートブロック舗装が非常に多い。写真を見ると、



写真15 オランダの自転車道

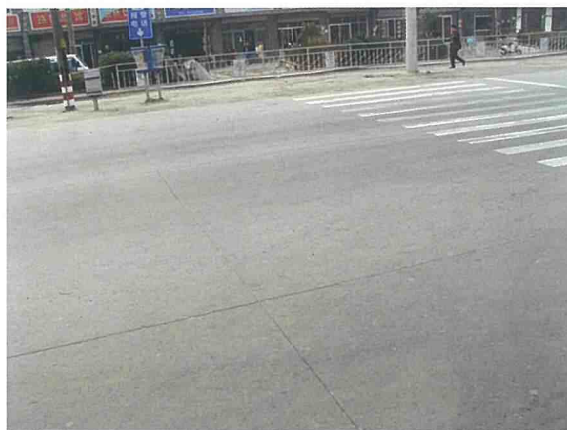


写真16 中国の地方で見かけたコンクリート舗装道路

自転車道路(中央の車線)と歩道(右側の車線)がコンクリートブロック舗装になっている。

コンクリート舗装に関しては、EUで連携の動きがある。最近発足したEUPAVEと名付けられた団体は、欧州各国のセメント協会や業界団体の集合体であり、今後コンクリート舗装の技術開発および普及、拡大活動を積極的に展開していくようだ。

4. アジア

(1) 中国

経済発展著しい中国は、現在道路建設の真っただ中にある。高速道路の延長は日本をはるかに上回る30,000km以上で、今も拡張を続けている。これまでの道路建設は沿岸部であったがこれからは内陸部に向けて延長する計画である。

中国ではコンクリート舗装が多い。その理由は、コンクリート舗装の建設は人力作業が主流で、建設コストがアスファルト舗装よりかなり安価なためである。写真16のような地方の道路の多くはコンクリート舗装であるが、施工の品質に問題があるようで補修作業が多い(写真17)。

(2) 韓国

韓国の道路の規模は高速道路が3000km強、道路全体で約100,000kmである。その高速道路の60%がコンクリート舗装である。韓国では、韓国セメント

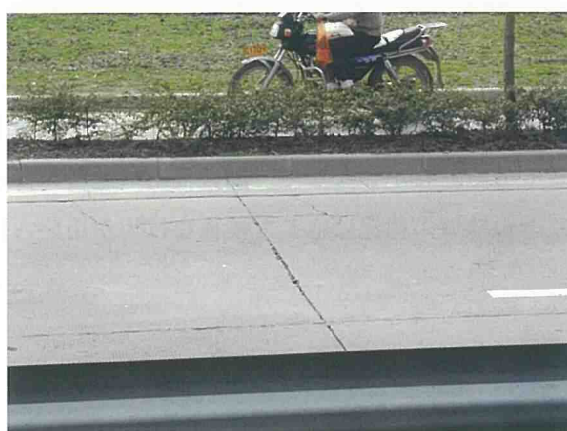


写真17 ひび割れのある新しいコンクリート舗装

協会の働きかけとともに、重交通道路のアスファルト舗装に破損が目立ったことから、重交通道路にコンクリート舗装が多く使われている。最近では、ポラスコンクリートブロック舗装、PC舗装、プレキャスト舗装、ラテックスを用いた早期交通開放型のコンクリート舗装などの技術開発が行われている。

2000年から韓国建設研究所と韓国高速道路公社の主導で、韓国舗装研究計画(KPRP)が実施されている。この計画の目的は、アメリカにならって、韓国版の力学的経験的舗装設計法を開発することにある。そのために、産官学が共同して写真18のように高速道路の一部分に試験舗装を建設して供用性観測を行っている。本線に試験舗装を施し、調査時には並行して設置されている付加車線に交通を迂回させる。この成果は近々、韓国版ME-PDGとして公表される予定だと聞いている。



写真18 韓国的高速道路における試験舗装区間

5. おわりに

世界の主要国の舗装の主流はやはりアスファルト舗装である。しかしながら、舗装技術の進展に伴って、その地域の状況に応じて多様な技術が用いられ

るようになってきている。コンクリート舗装はコンクリート技術の進歩に加え、LCCや環境問題などの観点から見直されているようである。わが国ではややアスファルト舗装に偏りすぎている印象である。重交通路線や頻繁な補修ができない路線についてはコンクリート舗装が使われるべきだし、実際、諸外国ではそうしている。わが国でも、このような幅広い観点からコンクリート舗装の活用が考えられていくことになる。

[参考文献]

- 1) FHWA-PL-07-027, Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada. <<http://international.fhwa.dot.gov/links/pubs.cfm>>
- 2) 松野三郎／コンクリート舗装の破損写真集(非公表)
- 3) Yoon-Ho Cho／Concrete Pavements in Korea. 土木学会平成22年度全国大会，研究討論会資料，2010

[セメント・コンクリートNo.768／2011年2月号]



トピックス／ コンクリート舗装の機能回復を目指して

ダイヤモンドグラインディング工法による試験舗装

野田 好史*¹

吉本 徹*²

1. はじめに

コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べて耐久性がよく、ライフサイクルコストに有利といわれている¹⁾。しかし、ここでいう耐久性とは、自動車等の繰返し荷重に対して、長期に渡ってひび割れ等が生じず供用できるという構造的な性能に関する耐久性であって、乗り心地(走行快適性)や騒音・振動などの路面の性能に関しては、長期供用により劣化する。したがって長期供用すればするほど騒音・振動などが徐々に増大し、都市部では周辺住民からの苦情原因になるとともに、走行快適性の低下、骨材が露出・擦り磨かれることによるすべり抵抗性の低下が懸念される。このようなこともコンクリート舗装が敬遠される原因の一つとなっていると思われる。

これまでの長期供用したコンクリート舗装の路面劣化対策は、コンクリート表面にアスファルト混合物で覆うアスファルトオーバーレイが行われてき

た。この工法では基層となるコンクリート版の目地やひび割れが表層のアスファルト混合物にリフレクションクラックを誘発するなど問題がある。今回、東京都北区のコンクリート舗装において表面処理工法「ダイヤモンドグラインディング」による路面性能の回復試験を実施した。本稿ではその概要を述べる。

2. ダイヤモンドグラインディング工法とは

ダイヤモンドグラインディング(以下、DGと略)工法は、スパーサーを嚙ませながらダイヤモンドカッターブレードを数十枚重ねたブレードドラムを用いて、コンクリート表面を研削する工法であり、米国で開発・普及している²⁾。基本的に、縦断方向(自動車の走行方向)に研削するため、路面の平坦性が向上するため、自動車の走行快適性の向上や振動の軽減が図れるほか、コンクリートの表面に細かなテクスチャーが形成されることから、自動車走行時のタイヤと路面との間に発生するポンピング音が抑制され、騒音が小さくなる。路面とタイヤとの接地の概念図を図1に示す。

*1 東成建設(株) 取締役 工務部長

*2 (社)セメント協会 普及部門 リーダー兼

研究所 コンクリート研究グループ サブリーダー
AN APPLICATION OF DIAMOND GRINDING METHOD ON CONCRETE
PAVEMENT (by Yoshifumi NODA, et al.)

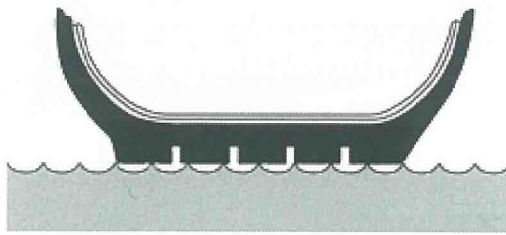


図1 路面とタイヤの接地イメージ



図2 試験施工箇所



写真1 コンクリート舗装の路面状況

3. 試験概要

(1) 試験工区の概要

東京都北区の道路管理者へのヒアリングによると、北区が管理しているコンクリート舗装による区道のうち生活道路を除いた、一定の延長と幅員を有した道路は、3路線で総延長約2kmである。これらの舗装はいずれも昭和30年代中ごろから40年代前半に施工され、供用開始後40～50年を経ている舗装とのものである。近年では長期供用により、騒音・振動が問題になる一方で、舗装打換えのコスト高の懸念から補修工事の実施も見送られている状況であった。

今回、この3路線のうちから北区王子六丁目2番

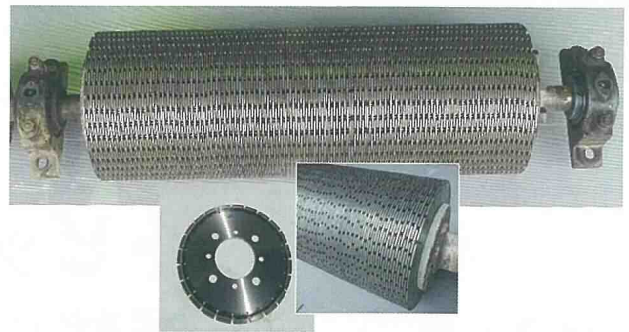


写真2 カuttingヘッドとそれを構成するダイヤモンドブレード

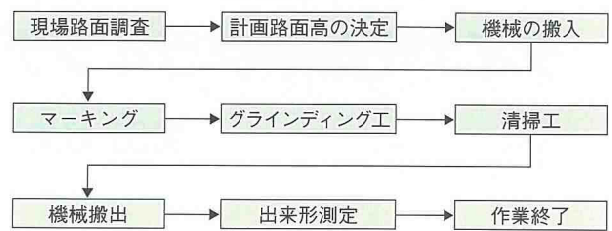


図3 施工手順

先に位置する北区道1263号線での試験施工を北区の協力により実施した。同路線は、北本通り(国道122号線)と主要地方道(都道)307号線を結ぶ、延長約400mの両側4車線の道路である。このうち、図2に示した60mを試験施工区間とした。この区間も例にもれず騒音・振動の問題を抱えている。路面の状況を写真1に示す。この写真に示されているように、長期間の供用によりモルタルがはがれ、粗骨材が露出していることがわかる。なお、本試験施工区間のコンクリート版の破損の状況は、ひび割れ度が2cm/m程度で目地の幅が広い箇所があるものの、目地シールの維持状態が良好で、目地段差はほとんどない状況であった。

(2) ダイヤモンドグラインディングの施工概要

研削の原理は円筒状シャフトに複数のダイヤモンドブレード(写真2)と所定のピッチにスペーサーを重ねたカuttingヘッド(全幅1,000mm)が下から上向きにかき上げるように回転しつつ、計画面に沿って移動することによって路面を所定の深さに研削していくものである。

施工の手順は、図3に示すように作業手順は極め



写真3 施工状況



写真4 施工前後の表面の様子



写真5 施工後のコンクリート舗装

表1 試験項目

| 試験項目 | 試験方法 | 試験箇所 | 使用試験機 |
|-----------|-------------------------|------------------|-------------|
| タイヤ路面騒音測定 | 舗装調査・試験法便覧〔第1分冊〕S027-1T | 全延長 | 鹿島道路㈱ 所有試験車 |
| 平坦性測定 | 同 S028 | OWP, IWP | MRP-1000 |
| すべり抵抗測定 | 同 S021-3 | OWP3箇所 BWP2箇所 | DFT |

てシンプルであり、機械編成もカッティングヘッドを有するグラインダーの他、給水車と汚泥吸引車のみである。施工状況と施工前後の路面の状況を写真3～5に示す。

(3) 試験概要

今回実施した試験項目を表1に示す。各試験は、DG工法を適用する前後で実施し、DGによる研削の効果を確認した。各試験の詳細な試験位置を図4に示す。

4. 試験結果

(1) タイヤ路面騒音

1) 気象条件と路面の状態

測定時の気象条件および路面状態を表2に示す。

2) 騒音測定の概要

測定用タイヤと舗装路面から発生するタイヤ路面騒音は、対象とする舗装区間において測定車両(小型家用自動車)を一定速度(40km/h)で走行させ、

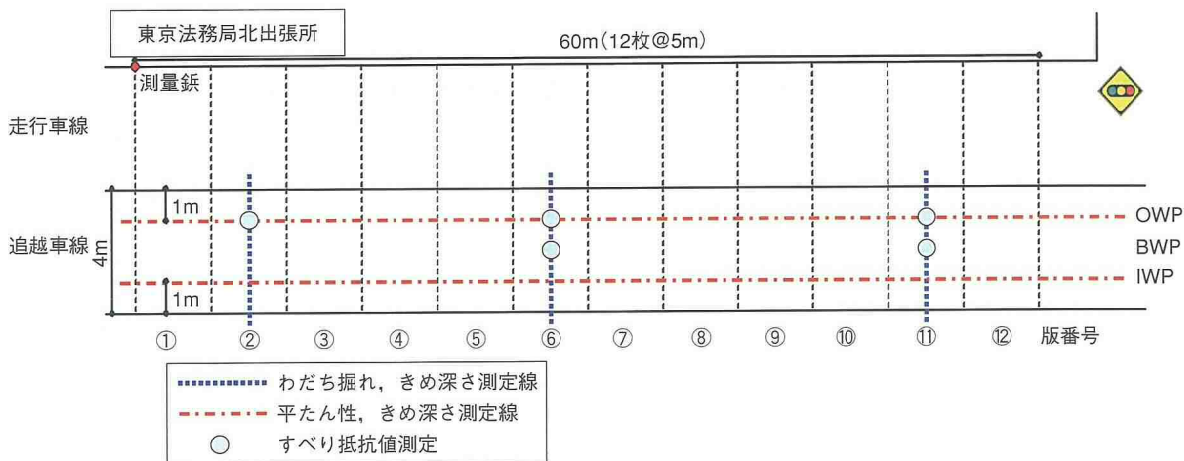


図4 試験位置

表2 気象条件および路面状態

| 調査日 | 調査時間帯 | 天候 | 調査時の気温(大気温度) | 路面状態 |
|------------|----------------------------------|----|--------------------------|---|
| 2010年4月21日 | 施工前：7:40～8:10 施工後：16:50～17:10 | 晴れ | 施工前：16～17℃ 施工後：22～23℃ | 乾燥状態 (試験施工後は、測定に影響のない表乾状態になるのを待って測定) |



写真6 測定車とマイクロホン設置位置

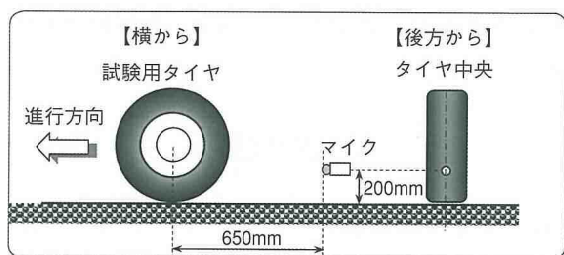


図5 タイヤ近接音のタイヤとマイクロホンの位置

後輪のタイヤ近傍に取付けたマイクロホン(写真6, 図5)によって測定した。周波数補正はA特性とし

た。

3) 測定結果

DG工法実施前後の測定結果(測定回数5回)を図6に示す。この図に示されているように、測定ごとにややばらつきはあるものの、DG工法実施前は90～92dB程度の騒音値であったが、DG工法を行うことで84dB程度まで騒音値が低下することが分かった。これらの結果について平均すると、表3のとおりとなり、DG工法施工前後で、7 dBの低下が認め

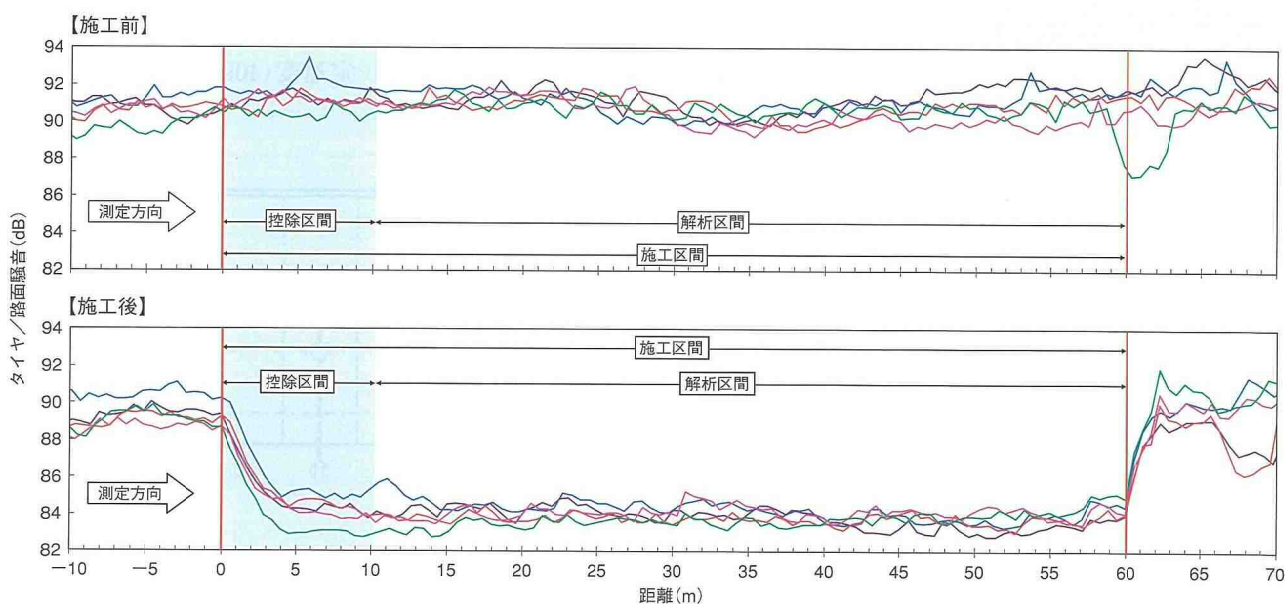


図6 タイヤ路面騒音の測定結果

表3 路面/タイヤ近接音 試験結果

| | |
|-----------|-----------|
| DG施工前 | DG施工後 |
| 90.9dB(A) | 83.9dB(A) |

表4 平坦性 試験結果(σ値)

| | | |
|-----|--------|--------|
| | DG施工前 | DG施工後 |
| OWP | 4.47mm | 1.98mm |
| IWP | 2.69mm | 2.10mm |

られた。

(2) 平坦性試験

3mプロファイルメータ相当の平坦性試験結果を表4に示す。この表に示されているようにDG工法の実施前の平坦性はOWPが4.47mm, IWPが2.69mmであり, 特にOWPはかなり平坦性が大きく損なわれている結果となった。その後DG工法を実施することで平坦性は, OWPおよびIWPともに2mm程度にまで回復した。これは新設時の平坦性の性能評価基準である2.4mmを満足する結果である。

(3) すべり抵抗

すべり抵抗性試験結果として, 当該路線の法定速度である40km/h時の動的摩擦係数 μ_{40} を図7に示す。

図7より, 動的摩擦係数 μ_{40} について, 試験施工前では0.53~0.63であったものが, 試験施工後には0.65~0.85と, DG工法によりすべり抵抗が回復する結果を得た。ただし, 今回使用したDFTは, 測定原理として回転する円盤上に取り付けられたゴムスライダーが路面と接触した際の抵抗値を測定するため, DG工法のように一方向にテクスチャーを形成する路面のすべり抵抗の評価としては最適とはいえない。今後は, すべり抵抗車等での評価を検討する必要があると考えている。

5. まとめ

長期供用したコンクリート舗装にDG工法を適用し, その路面性能の評価を施工前後で行った。DG

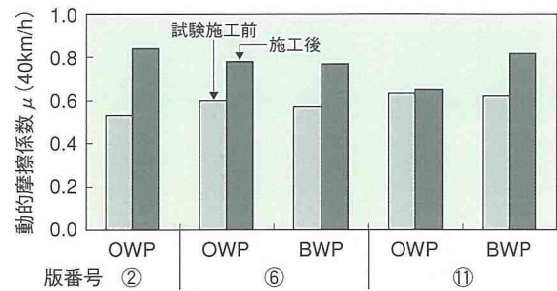


図7 すべり抵抗性試験結果(μ₄₀)

工法適用前のコンクリート舗装の路面は, タイヤ路面騒音, 平坦性の試験結果から, かなり路面性能が低下していたことが分かった。これは当該舗装を40~50年供用し続けた結果である。ただし, すべり抵抗に関しては, 動摩擦係数が0.5以上と走行安全性には全く問題がないことが分かった。

このようなコンクリート舗装にDG工法を適用すると, 騒音値は平均で7dB低下し, 平坦性もOWPでは値が半減するなど極めて良好な路面を再構築できることが分かった。DFTによるすべり抵抗性に関しても全く問題ない結果であり, DG工法はアスファルトオーバーレイ工法に代わる, 長期供用したコンクリート舗装の路面性能の回復・向上を実現できる工法であることが明らかになった。今後は本試験施工個所のDGによるコンクリート表面のテクスチャーの耐久性(耐磨耗性)を調査するべく追跡調査を実施し, その性能の持続性を確認する予定である。

最後に, 本調査を実施する貴重な機会と多大なるご指導・ご協力を頂きました, 東京都北区まちづくり部道路公園課・荒木良一氏, 米山昌男氏, 同工事課・有賀 孝氏をはじめ関係各位に深く謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 舗装技術専門委員会/既存コンクリート舗装のライフサイクルコスト調査結果(舗装技術専門委員会報告R-24), セメント協会, 2009
- 2) Mark B. Snyder/Pavement Surface Characteristics: A Synthesis and Guide, ACPA (American Concrete Pavement Association), 2006



コンクリート舗装構造の課題

福田 正*

1. 低迷の原因

本シリーズの第1回「コンクリート舗装の復権」に、わが国の舗装種別比率(シェア)の推移が示されている。これによれば、私が大学を卒業した昭和34年頃に、コンクリート舗装のシェアは約30%の最高値であったことになる。それが現在では5%程度に過ぎない。低迷の原因はいろいろあるが、私はわが国のコンクリート舗装の構造設計自体にも原因があるように思う。

わが国のコンクリート舗装の技術指針としてセメントコンクリート舗装要綱、現在では舗装設計施工指針が刊行されてきた。舗装要綱の初版は昭和30年であるが、内容の大幅な改訂は昭和39年に行われた。それ以来45年間、これらの技術指針はたびたび改訂されてきたが、コンクリート舗装の構造設計法、構造細目などの設計コンセプトはほとんど変わっていない。

現行のコンクリート舗装構造設計法が、実際のコンクリート舗装の破損現象を正しく捉えているか、また構造細目がコストパフォーマンスの観点から合理性に欠けていないかなど、コンクリート舗装の構造設計に問題があるのではなかろうか。コンクリート舗装が低迷した原因には、そのような観点からの

改善を怠った結果、アスファルト舗装との競争力を失ったということがあるのではなかろうか。

2. 構造設計法の問題

(1) コンクリート舗装の破損現象

現行の技術指針である舗装設計施工指針のコンクリート舗装の構造設計法では、コンクリート舗装は荷重応力と温度応力(そり応力)の合成応力によって疲労破壊すると考えている。一方で、米国のポルトランドセメント協会(PCA)の構造設計法は、1984年に大幅に改訂され(文献¹⁾に翻訳紹介)、荷重応力による疲労破壊と舗装のエロージョンダメージによって版厚を決定するようになった。同じ力学系設計法でもコンクリート舗装の破損現象を異なる要因に考えている。

ある土木専門誌で、長大トンネル内のコンクリート舗装について検討した論文を読んだ。トンネル内は温度応力の影響がないから版厚を薄くできるという論旨であるが、この結論に私は疑問を持っている。この論文の著者は、コンクリート舗装の破損現象を現行指針のコンクリート舗装の構造設計法で理解したのであろう。

水による舗装材料の損傷をエロージョンと言っている。これは路盤材料に雨水が浸透し、さらに交通荷重によるコンクリート版のたわみ繰り返しによって路盤が損傷する。トンネル内に限らず、コンクリー

* 東北大学名誉教授 工博
SOME PROBLEMS IN CONCRETE PAVEMENT DESIGN (by Tadasni FUKUDA)

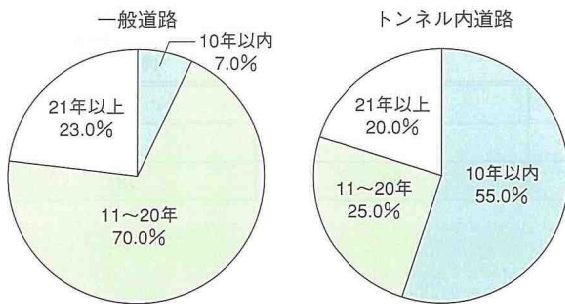


図1 ひび割れ度30cm/m²以上に至るまでの供用年数²⁾

ト舗装は水に弱い。後述のAASHO道路試験³⁾におけるコンクリート舗装の破損は、エロージョンに起因していると指摘されている。

(2) コンクリート舗装の破損状況調査

昭和56年度に東北地方のコンクリート舗装の破損状況調査²⁾を行った。調査したコンクリート舗装の総数は2829個所である。昭和31年度から昭和51年度施工のものが多く、鉄網、ダウエルバーなどの有無、版厚、目地間隔など多様な構造のコンクリート舗装が残存していた。

図1はひび割れ度(ひび割れ延長を舗装面積で割った数値: cm/m²)が30cm/m²以上に達した版厚20, 23cmの供用年数を、一般道路とトンネル内道路の場合について比較したものである。トンネル内のコンクリート舗装は10年以内にひび割れ度が30cm/m²以上のものが全体の55.0%であって、一般道路の場合の7.0%と比較してきわめて寿命が短い。トンネル内は一般に湧水が多いことが原因である。

3. 鉄網の問題

(1) 鉄網の効果

わが国では鉄網の使用が原則とされ、ほぼ全面的に使用されている。鉄網の効果は技術指針によれば、“コンクリート版にひび割れが生じた場合にこれを開かないようにする効果がある。このため、ひび割れが発生しても急速に破損しない特徴を持っている”とされている。



写真1 スリップフォーム方式による舗装
—鉄網は施工のネックになる

鉄網にはこのようなひび割れ緊結の機能があるので、鉄網コンクリート版は一般に長い目地間隔に設計されている。わが国では鉄網コンクリート版の目地間隔は8mまたは10mとされているが、米国の場合、州によって異なるが20~25m、英国の場合25mと目地間隔を長く取れることをメリットとしている。この点でわが国の場合、鉄網コンクリート舗装の場合でも現実にはひび割れ発生は嫌われ、目地間隔が比較的短く中途半端で、鉄網の効果を十分に取り入れているとは言えない。

鉄網を使用した場合、施工のさいに2層仕上げが必須となり、施工工程が増えて建設コストが増える。そのようなコスト増に対するいわゆるコストパフォーマンスは評価されているのだろうか。特に高性能のスリップフォーム方式を採用する場合、鉄網は施工のネックになりやすい(写真1)。そのようなことから、1970年頃以降、特に欧州諸国で無筋コンクリートが増えてきた。英国では昔は鉄網コンクリート舗装のみであったが、設計法の改訂で無筋コンクリート舗装も選択できるようにした。ドイツ(当時は西ドイツ)もそれまで長い伝統であった鉄網を無筋に変更した。フランスも無筋で、さらにダウエルバーも使用せず、セメントで強化した路盤を用いている。

(2) AASHO道路試験³⁾における評価

AASHO道路試験は舗装、橋梁に関する大規模

表1 鉄網コンクリート版と無筋コンクリート版のひび割れ指数(m/1,000m²)の比較³⁾

| ひび割れ指数を比較した時点 | 鉄網の区間 | 無筋の区間 | 両者の差 |
|--------------------------------------|-------|-------|------------------|
| 供用性指数1.5における比較 | 596 | 528 | 68 ^{*1} |
| 供用性指数2.5における比較 | 374 | 308 | 66 ^{*2} |
| 軸荷重通過数1,114,000 ^{*3} における比較 | 98 | 20 | 78 ^{*4} |

*1 有意の差がない

*2 90%の確からしきで有意

*3 この時の平均供用性指数は4.15であった

*4 99%の確からしきで有意

試験で、約10年の歳月を経て1962年に報告書が公表された。コンクリート舗装に関しては版厚6.4～31.8cm、収縮目地間隔は鉄網のある場合は12m、無い場合は4.5mの構造で種々の軸荷重で走行実験が行われた。その結果の1つを表1に示す。破損初期には両者のひび割れ指数(コンクリート版の縦横軸へのひび割れの投影長を舗装面積で割った値：m/1000m²)の差には90%の確からしきで有意差があるが、破損終期には有意差は認められない。すなわち、鉄網はコンクリート舗装の寿命に影響を与えない(すなわち、鉄網の効果はない)との結論であった。

(3) 破損状況調査²⁾による評価

前述の2.(2)コンクリート舗装の破損状況調査の中で、版厚23cmのコンクリート版は鉄網使用と無筋のものがほぼ半々に混在している。そこで交通履歴などの記録が良好な調査区間109箇所を抽出して、コンクリート舗装のひび割れに対する鉄網の効果について統計分析した。鉄網のある場合、ない場合のひび割れ度を比較すると、ひび割れ破損に対する鉄網の効果はほとんど認められなかった。

4. コンクリート舗装への期待

コンクリート舗装が全盛の頃には、“道路整備はガソリン税が担っているのだから、石油残渣物のアスファルトは道路で使用する義務がある”などと言われたものである。しかし、いまや自動車産業は地球環境の保全のためにガソリン消費を抑えたエコカーが主役になりつつある。

コンクリート舗装は、材料生産、リサイクルの過程において、環境保全の観点からみてアスファルト舗装に勝っている。たしかに、アスファルト舗装は施工期間が短く、施工性などで優れた点がある。しかしながら、わが国の社会はより耐久性のある質の高い社会資本に価値を求める時代に変化しつつある。メンテナンスフリーのコンクリート舗装の復活を期待したい。

〔引用文献〕

- 1) コンクリート舗装の版厚設計法(米国ポルトランドセメント協会)／セメント協会道路技術専門委員会翻訳、昭和61年
- 2) 植木一浩、村井貞規、福田 正／コンクリート舗装の破損調査とその分析結果、セメント技術年報37、昭和58年
- 3) AASHO道路試験／高橋国一郎、多田宏行、松野三朗、柳田 力、荻原 浩、岩間 滋、福田 正(抄訳編集)、(社)日本セメント技術協会(現(社)セメント協会)、昭和41年

今回をもちまして『連載／コンクリート舗装新時代』を終了します。2009年4月号より計18回、30名の皆様にコンクリート舗装の意義・必要性・最新技術・今後の展開などについて論じていただきました。ご寄稿いただいた皆様にはこの場を借りてお礼申し上げます。

安心・安全・安定的な社会資本整備が望まれる昨今、コンクリート舗装が果たすべき役割は今後さらに大きくなると予想されます。当協会では、引き続きこの普及に努めるとともに皆様に関与する情報を本誌はじめホームページなどを通じて提供させていただきます。どうぞご期待下さい。

〔編集部〕

〔セメント・コンクリートNo.770／2011年4月号〕

コンクリート舗装 新時代

2011年12月 第1版第1刷 発行

発行所：社団法人セメント協会
〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-9-4
Daiwa日本橋本町ビル7階
☎03-5200-5051(代表)

本書で紹介しているコンクリート舗装に関するお問い合わせは
ホームページ <http://www.jcassoc.or.jp>
または社団法人セメント協会 普及部門 ☎03-5200-5060 まで
お問い合わせ下さい。