

この資料は平成 22 年 4 月 10 日の第 13 回建設技術セミナーのためにとりまとめた総論です。この後、随時順不同で各論を続ける予定ですので参考にして下さい。

平成 22 年 4 月 10 日
建設技術セミナー

舗装の先行きを読む

小 西 徹

舗装は快適な都市環境整備、歩行環境や車両系の交通にはなくてはならない施設として、道路・空港等で、広く供用されている。

古代から都市の発展さらに近代以降は車両系交通の発達とともに世界中に普及してきた。

わが国では車両系交通が発達しなかったことから、舗装の普及は西欧諸国に大きく遅れた。戦後の1956年、世界銀行によるワトキンス調査団の「日本の道路は信じがたい程に悪い。工業国にして、これほど完全にその道路網を無視してきた国は日本の他にない。」という有名な報告から今日まで50年余りの期間で道路網の整備とともに、舗装の施工延長を急速に伸ばしてようやく先進国の水準に追いついた。

その一方で、舗装は路面を不透水の方法で覆い尽くすという構造から近年、都市型洪水、都市のヒートアイランド現象、地下水の枯渇、すなわち都市の砂漠化などの原因という負の環境側面として問題提起されることも増えてきている。

舗装をダムのように不要、あるいは否定する声はさすがにないが、上記の環境問題からの改善・調整のニーズは少なくない。さらに石油等資源の枯渇、中国やインドなど新興国での都市の拡大・発展と自動車の普及により、資源が急速に乏しくなることや環境悪化への影響、今後継続して維持管理すべき膨大なストックが蓄積していることも懸念されている。舗装の歴史を振り返ってその功罪から、これからの舗装の先行きを考えてみる。

1. 舗装の沿革

古代～近世までは道路の大半は、土を踏み固めただけの路面であった。

その中で紀元前 2000 年頃から始まったとされる舗装は、ローマ帝国の時代に大きく発展した。古代ローマでは「すべての道はローマに通ず」とまでいわれるように、道路網の延長が 85,000Km にも及び直線線形により最短距離を結んだ。車（馬車）と人、側道を分離し、側溝による排水路を設け、石材を豊富に使用しセメントコンクリートを発明して耐荷重性、耐久性の高い工法を開発・普及させたことが特徴である。



ポンペイ市街の遺跡

しかし最後の西ローマ帝国滅亡（AC478年）の後、ヨーロッパでの道路整備は約1000年以上永く停滞した。

それ以後18世紀ころまでロンドン、パリなど人口が集中し、馬車交通が増加した大都市の路面は最悪の状態であったという。（その時代のエピソードやファッションのなごりが多く残っている）また近代は鉄道の発展が、道路整備の低落にいつそうの拍車をかけた。20世紀初頭には馬車交通から自動車交通の転換に伴い、また内燃機関の燃料生産の副産物であるアスファルトの利用がマッチングして、急速な発展をみた。

都市の発展に伴う舗装と下水道の整備による、お互いの宿命的な因果関係

舗装の普及が都市環境（衛生）をむしろ劣悪化させた悪循環



舗装が普及することにより路面の水（汚水）が地下に浸透しなくなった。路上に投棄され腐敗したゴミや尿が、土壌による浄化されなくなって直接河川に流れ込み、悪臭、伝染病の蔓延など都市環境が急激に悪化した。それに伴い舗装とセットで下水道の整備がすすめられるようになった。近代舗装技術（碎石による）の先駆者

ペロネ、トレサゲ（仏） テルフォード、マカダム（英）
（1700年代後半～1800年代前半）

都市環境が劣悪だったフランス（パリ）が近代舗装技術の先進国であった。その後英国（ロンドン）が続いた。

それまでは、主に碎石・砂によって構築されていた舗装が、現代のようにアスファルト舗装へ転換していったのは、建築防水に使用するため天然アスファルト塊を馬車で運搬していた荷がこぼれて踏み固められるという、偶然の効用の発見からはじまった、といわれている。

天然アスファルト（レーキアスファルト、ロックアスファルト等：

トリニダードレーキアスファルト、ギルソナイト等の名称で産出）

コンクリート舗装はすぐに破損するため出現時から悪評で、すぐに廃れた。その代わりに石油製品の副産物だった石油アスファルトが、舗装材料の主役になった。世界初の高速道路であるドイツ・アウトバーンの建設により、アスファルト舗装とともにコンクリート舗装の機械化施工も普及し、続いて米国で発展した。

世界には、近年もまだまだ多くのコンクリート舗装が大規模に施工されている国も多い。日本では昭和 30 年代後半まではコンクリート舗装と半々であったが、40 年代以降急速に増えたアスファルト舗装に偏り過ぎてしまった。（日本では現在全体の約 95% がアスファルト舗装）

一方で、元々路面を不透水性にして泥濘化、防塵することから始まった舗装が、かつてパリ等で皮肉にも都市汚染の元凶になったように、今日では環境改善のために透水性も要求され、不透水と透水という相反する機能を調整することが求められている。

また、資源供給の限界が見えてきた近年、膨大なストックとして存在している舗装をいかに効率的に維持管理していくか、が重要な課題となっている。

2. 舗装技術の簡単な知識

材料・設計・施工

砕石・砂、フィラー（炭カル）、アスファルト、セメント・石灰系改良材
アスファルト改質材（ポリマー等） その他副産物系（鉄鋼スラグ、石炭灰、
溶融スラグ等） 現地発生材（火山礫、しらす、山砂、山砂利等）再生材

アスファルト舗装の設計法：CBR-TA法（経験法）

AASHTOの道路試験等を元に、各試験舗装の成果により

「アスファルト舗装要綱」制定

配合設計：マーシャル試験法

多層弾性論による計算法（理論的設計法 - 弾性体でないが）

舗装体の、温度と（载荷）時間という複雑なパラメータ

（粘弾性体 レオロジー）

コンクリート舗装の設計法：上載（交通）荷重による舗装版の自由縁部

に着目した曲げ応力の大きさと、体積変化（主に温度
変化と乾燥による伸縮とそり）によって発生する温度
応力を考慮する理論的な設計法

配合設計：設計基準曲げ強度 $b=4.5\text{N/mm}^2$ スランプ 2.5cm

「コンクリート舗装要綱」

2つの「舗装要綱」は統合され「舗装の構造に関する技術基準・同解説」

「舗装設計施工指針」「舗装設計便覧」「舗装施工便覧」として発行されている。

SHARP計画：AASHTO道路試験に続く20世紀末に費用と時間をかけた舗装
の先端的研究成果であったが・・・

舗装のバリエーション（機能・構造・材料・用途等）

アスファルト舗装

（連続粒度・ギャップ粒度・ポーラス・大粒径・マスチック・ロード・グー
ス 改質・繊維補強、 明色・着色 等 SMA(ストーンマスチック)

コンクリート舗装

（連続粒度 ポーラス
転圧（ゼロスランプ）
（連続）鉄筋補強
繊維補強（鋼、ポリマー）
着色

機能性舗装

透水性舗装 排水性舗装

吸音性 保水性

遮熱・発熱・吸熱・蓄熱

凍結抑制 大気汚染物質（NO_x、SO_x等）の吸着 道路振動抑制

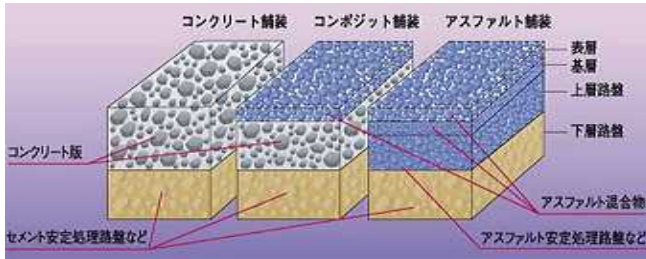
注意喚起舗装（ランプ、速度抑制、切削型注意喚起、音を出す舗装）

（舗装本来の機能以外の、付加機能を有する舗装）



鋼床版グースアスファルト舗装の施工

複合構造



コンポジット舗装 ((社)日本道路建設業協会 HP より)

半たわみ性舗装

材料： 石塊 木塊 ウッドチップ 芝 土 レンガ

コンクリートブロック 合成樹脂 ゴム セラミック・・・



旧日光街道の土系舗装

ロンドンの石畳

舗装用途別：道路、橋面、歩行者系・自転車道 空港・港湾 貨物ヤード・
駐車場構内・床面 公園園路 スポーツ・競技施設 農林・水利施設・・・

施工機械・施工技術

施工機械・技術は S20 年代～30 年代に日本はアメリカから導入した。その後大部分は国産化されたが、大型のアスファルトフィニッシャーと路面切削機は現在世界でドイツが圧倒的にシェアを持っている。

建設機械全般に日本製は高い評価はあるが、舗装機械 (AF) はドイツが優位。

コンクリート舗装機械も国産化されたが、今は生産されずその後ドイツ、米国が主流に。アスファルトプラントは現在ほとんど国産で、アジア諸国への輸出に日本製は健闘している。 新規導入はすべてスリップフォームペーバ

(移動型枠方式 セットフォーム)



セットフォームによる連続鉄筋コンクリート舗装

スリップフォーム工法

施工機械の普及（リース、レンタルの普及）と自動化により、一般的な舗装施工には特別な設備投資や熟練は求められず、誰にでも施工がそこそこの性能でできるようになった。

需要の急激な拡大とともに地元業者の優遇策、その結果である上請け、アスファルト合材販売の普及と供給過剰の設備投資による販売の過当競争から、大手舗装業者から中小業者への技術移転も進んだ。

維持管理

維持管理の時代に移行し、維持管理手法として路面性状測定車、FWD（動的たわみ量）等の測定車の普及、舗装のアセットマネジメントシステム（PMS）へハード・ソフトが転換しつつある。

路盤材、アスファルト表層・基層材は現在ほぼ100%再生利用されている。

アスファルト舗装とセメントコンクリート舗装の違い

アスファルト舗装から見た特徴の比較

養生期間が短い（施工から交通解放までの期間が短い）

平坦性、すべり抵抗、静音性、走行快適性（目地なし）に優れる

舗装厚を薄くすることが可能（ただし重交通では同等）

施工機械が普及、施工が早い（小規模な施工では施工費が安価）

維持・補修（切削、取り壊し オーバレイ）が容易 段階的な施工が可能

路面切削機、プラントリサイクル、サーフェスリサイクルの一般化

特殊な用途を含め、多くの用途にほぼ対応できる多様性

たわみ性舗装（コンクリートは剛性舗装）

耐久性が低い（わだち掘れ、ひび割れ、老化が生じやすい）

静荷重、油、熱に弱い（変形しやすい）

色調が暗い（トンネル内では不利） 着色しにくい

経験的な設計法から理論的設計法への転換は普及せず

アスファルト舗装は歴史的に、ひび割れ（名神）とわだち掘れ（東名）の繰り返しは、今も基本的には変わりなし

セメントコンクリート舗装は、わが国ではなぜ廃れたのか

舗装施工の需要の急速な拡大と、早急な交通解放の要請

軽交通の道路延長が圧倒的に多いため、初期投資のコストで不利

（アスファルトの価格抑制政策にもよる価格競争での不利）

軟弱地盤への対応、人家連坦地域（市街地）、平面交差部や地下埋設物の多さ（コンクリートでは不利）

戦後復興下の「とりあえず防塵処理・簡易舗装」の要請

コンクリート舗装の寿命は、目地の維持・補修で伸びることはわかっている・・・

セットフォーム工法に固執、その間に世界のスリップフォーム工法の普及に取り残される。施工効率は改善されず相変わらず人海戦術

転圧コンクリート舗装（RCCP）が救世主と考えられたが期待に応えられず（完璧症の国民性）

生コンクリート業界の事情（固練り、ダンプ運搬をきらう）

連続鉄筋コンクリート舗装（CRCP） 耐久性は高いが、しかし・・・
バイパスや高速道路で採用したものの・・・その後続かず

長大トンネル内、空港エプロン、重量貨物ヤード等に限定使用が現状



トンネル内コンクリート舗装の全幅施工（セットフォーム）

やがてコンクリート舗装は、発注者側にも、設計・施工側にも、知識と経験ある技術者が少なくなった

交通量が多い道路でのアスファルト舗装の最初の補修（切削オーバーレイなど）までの期間：6年～10年

一方、コンクリート舗装の平均供用期間：30年超

上層（砕石）路盤とコンクリート版の間にアスファルト層（褥層 4cm）を入れることが一般化（昭和 40 年代前半以降）して以来、コンクリート舗装の寿命が格段に延びた。

初期投資では多少高いが、耐用年数が永くトータルコストでは圧倒的に有利なコンクリート舗装であるが・・・欧米ではコンクリート舗装の施工が、なぜ続けられているのか？

3. 舗装の功罪からみた先行き

技術の観点から

舗装が都市環境の悪化の原因のひとつになっているという負の評価から考え出された「歩道を透水性舗装に」という発想は、日本独自のアイデア・・・

続いて車道透水性舗装が検討・研究されているが、成功・普及の見込み？

多機能舗装あるいは高機能舗装といわれる「排水性舗装」はこれからも続くか？
省エネルギーとして加熱式でなく常温で施工できるアスファルト乳剤による工法は、フランス等で普及しているが、わが国では問題が多い

中温化、半加熱という技術 SMA（ストーンあるいは砕石マスチック）舗装は伸びていくか？ 技術開発は停滞状態？

資源の観点から

舗装の需要はなくならないが、資源確保の観点から見ると先行きは暗い。

石油アスファルトは原油の精製残渣である（あった）

原油とともにアスファルトは確実に枯渇する

アスファルト分が多い原油（重質油）は歓迎されない

アスファルトは、かつてアスファルトそのものとしてしか利用できなかったが、

今では分解して燃料、オイルにも石油製品の原料にもできる
アスファルトの生産量・売価は国策（道路政策）として統制されてきたが、需要低迷、採算悪化のため、最近国内ではあいついで減産されている
アスファルトは流通、運搬、貯蔵時に加温、保温装置を必要とするので、他の油種よりコストがかかり利益が少ない
一方で中国での旺盛な需要により国際価格が高騰し、輸入が困難
巨大化する中国市場にアスファルトだけでなく舗装廃材すら吸い込まれつつある。（資源のブラックホール化）
約 40 年～50 年後、原油の枯渇の前にアスファルトは生産・供給されなくなる。
一定の埋蔵量があると目される資源として「オイルサンド」がある
天然砂の供給不足がすでに先に来ている？ 次は良質の粗骨材が不足する
アスファルトに代わりうる材料はあるのか？これほど安価で大量に存在し、流通、加工、施工が容易な材料は今のところ存在しない。急に代替品は見つからない

環境負荷の観点から

都市型洪水、都市のヒートアイランド現象、地下水の枯渇、都市の砂漠化など、舗装が原因のひとつであることに相違はない。これを改善するために「車道透水性舗装」「保水性舗装」や「涼しい舗装・蓄熱しにくい舗装」に代えていくには広い面積を占めるゆえに、相当のコストと時間、革新的な技術が必要。

骨材の乾燥、施工性確保のためだけに、材料を高熱に加熱する今の工法は、環境に負荷が大きい工法といえる。

リサイクルは容易であるが、同じく加熱（エネルギー）を必要とする
アスファルト舗装の繰り返しリサイクルは可能か

すでに既設舗装は大部分再生さらに再再生されている

組成成分のうち酸化により硬い成分が増え柔軟性が乏しくなっている

永遠に再生を続けることは今の方法では困難

再生産可能な（例えば植物起源の油等から）材料を開発することや、新たな原料資源の開発確保が必要 常温で施工できる工法・材料の開発

トータルコストの観点から

過去に様々な舗装の効用について比較検討が行われてきたが、利用者便益コスト、環境コスト、採用の前提条件の比較等間接コストの比較まで踏み込んだ検討は少ない。舗装することによって生じる損失に比べ、得られる便益の方が圧倒的に多いことには、検討の余地が少ないゆえとみられる。

資源確保の先行きの面だけでなく、ライフサイクルコスト（トータルコスト）が有利との観点から、アスファルト舗装からコンクリート舗装への転換も幾度となく繰り返し検討されてきた。しかし現状のとおり、日本ではコンクリート舗装は現在舗装全体の約 5 %に過ぎない。

舗装の先行きへの一論考

まだ国内そして、世界に豊富に存在する石灰石を主原料とするセメントコンクリートは、アスファルトが枯渇し次の舗装材料が出現するまでのつなぎとすることも考えられる。

仮にセメントコンクリート舗装を主役として復活させることは資源供給面では可能であると考えられる。その場合必要な技術、解決・改善すべき課題としては、

- 養生期間短縮（超速硬セメント、早強用混和剤）
- 目地・金物類の問題改善（目地の構造・施工法、配置、維持管理）
- 鉄筋等による補強の施工を効率化する方法（連続鉄筋の施工法）
- 共同溝の整備（舗装掘り返しの防止）
- スリップフォームペーパーの普及（施工の効率化）
- 施工技術・技能の継承・新規技術開発　コスト縮減
- 高機能化（静音化、すべり抵抗、メンテナンス軽減、高強度薄層化・・・）
- アスファルト舗装との使い分け（複合化、役割分担、適材適所）

一方でセメントの生産には熱エネルギーを多く必要とし、CO₂を多く発生させる

過去に幾度となく、セメントコンクリート舗装の有利さと普及の必要性が各方面から訴え続けられたが・・・

次回に、コンクリート舗装技術の現状と、今後解決すべき課題について論考する。

以上