

## 技術展望

## コンクリート舗装の歴史

HISTORICAL DEVELOPMENT OF CONCRETE PAVEMENT IN JAPAN

岩間 滋

Shigeru IWAMA

正会員 工博 (株)道路計画代表取締役  
(〒160 新宿区荒木町7番地安藤ビル3階)**Keywords** : concrete pavement, historical  
development, type of pavement

コンクリート舗装は、あるいは舗装一般は、土木構造物の中で、かなり変わった存在である。

ユーザーである人、車、航空機との直接的な接点であるからには、耐久性のほかに安全性や快適性が要求される。その反面損傷を受けたからといって、一挙に無価値になるわけではない。

## 1. コンクリート舗装の流れ

コンクリート舗装が道路に実際に使われるようになったのは、関東大震災以後のことである。

ドイツが世界に魁けてアウトバーンの建設を開始した時期とたまたま符合する。しかしアウトバーンのように9割強をコンクリート舗装が占めるには至らなかった。

第2次世界大戦後の建設省の直轄による道路工事は、同時に直営工事でもあった。直轄直営時代にコンクリート舗装は最盛期を迎えた。

しかしながら直営工事から請負工事への転換とほぼ期を一にしてアスファルト舗装化が進み、1959年には逆転した。現在は、耐久性、対摩耗性、明色性などの特徴に着目された場合だけコンクリート舗装が採用されると、言えそうである。

空港は、道路と違って単発的であるので、全体の流れをいうのはむづかしい。しかしエプロン、誘導路等ではコンクリート舗装が主流を占めるに至っている。ローディング・ブリッジを使う場合には、コンクリート舗装しか考えられない。

## 2. コンクリート舗装における舗装工種の変遷

## (1) 車 道

大まかには以下のものであろう。

1924~35 膠石コンクリート舗装。

1930~55 無筋コンクリート舗装(1層施工と2層施工

の共存から1層施工へ)。

1955~90 無筋コンクリート舗装(市町村道路)と鉄網コンクリート舗装(幹線道路)の共存。

連続鉄筋コンクリート舗装、PC舗装も試験段階から実用段階へ。

1990~ 上記のほか転圧コンクリート舗装。

膠石舗装は、容積配合1:3:6のコンクリートを厚さ13~15cmに打ち込んで、まだ固まらないうちに、厚さ4~5cmのに膠石(セメント1:碎石1.2~2.0)をよく突き固めて密着させたものであって鉄輪時代の申し子であった。

無筋コンクリート舗装のうち2層式施工は膠石舗装の流れを汲むが、施工性から下層が固まった後上層を打ち込むことが多かつたらしく、結局失敗に終わっている。

同じ1層施工の無筋コンクリート舗装でも、戦前と戦後では大いに異なる。戦前は不等版厚で、車道中心で15cm、両縁で20cmくらいだったの対し、戦後はごく初期を除けば、一貫して等厚断面を採用している。

戦前は路盤らしきものを置かなかつたのに、戦後は必ずこれを置き、コンクリート版と路盤をあわせて舗装と呼ぶようになった事も、特筆すべきことであろう。

コンクリート版に横収縮目地をおくこと、それをスリップバーを補強することは、1955年以降定着するようになった。コンクリートの収縮性は、舗装のように長い(広い)構造物にとっての泣き所であるが、溝切りによって版厚を縮少したところにひびわれを誘導し、その代りそこを補強しておくという考え方は、わが国の舗装技術者が受け入れやすいコンセプトだったと考えられる。

いずれにせよ、無筋コンクリート舗装では、横収縮目地間隔を4~5mにおさえないと、不規則ひびわれを完全に防ぐことはできない(経験法則)。

これに対して、鉄網コンクリート舗装は、不規則ひび

われが発生したとしても鉄網がそのひびわれを開かせないので、粗骨材のかみ合せによる荷重伝達があり、したがって横収縮目地間隔を無筋コンクリート舗装の2倍程度にのばせるという考え方である。

このコンセプトもわが国では共感を持って迎えられた。世界的には、しかし、連続鉄筋コンクリート舗装と無筋コンクリート舗装へ2極化する傾向にあると思われる。

連続鉄筋コンクリート舗装は、コンクリート版の横断面面積の0.6%程度の異形鉄筋を縦方向に連続して埋め込み、横収縮目地を全廃するものである。横ひびわれは多数発生し、その間隔は最終的には1mを下まわるに至ることが確かめられている。そのために個々のひびわれ幅は十分に狭くその結果耐久性は損なわれないというのが、その設計理念である。

連続鉄筋コンクリート舗装は、実用段階に入ったが、道路では主流を占めるには至っていない。

転圧コンクリートは、最近急発展をあげている。幸い、本技術展望シリーズの3年前の8月号に、“転圧コンクリート舗装の現状と課題”（多田宏行）が発表されているので、そちらを御覧戴きたい。わが国独自の開発技術であるとされるRCD工法（ダムの転圧コンクリート）とは一脈相通ずるものがあるが、微妙な相違点もあることだけ付言しておく。

## (2) 歩道

コンクリート平板は、歩道に永らく愛用されてきた。過激派がこれを壊して投石する事態が相次いで発生するに及び、一時期その使用が減ったが、美観等から再び見直され、1年間の施工量は400万平方メートルに達するに至っている。

インターロッキングブロック舗装は、1973年以降の新規参入であるが、美観を始めとするその特徴を買われて、歩道のみならず、いわゆるコミュニティ道路を中心とした車道にも盛んに使われるようになってきた。平成2年度の年間施工量は、600万平方メートルを上廻っている。

## (3) 空港

空港におけるコンクリート舗装は、伝統的に無筋コンクリート（目地補強型）が多かった。

しかしながら、連続鉄筋コンクリート舗装は、“空港コンクリート舗装構造設計要領”の1971年版から既に採用され、新東京国際空港（成田）Ⅰ期工事で見事に、開花した。Ⅱ期工事でもこれが主流を占めるが、Ⅱ期ではこれを転圧コンクリート工法で施工することも試みられている。

P.C.（プレストレストコンクリート）舗装は、耐荷力と軟弱地盤に対する順応性を買われて、青森空港で採用された後、羽田空港の沖合展開事業では、実に30万平方メートルを施工中である。

プレキャストPC舗装は、急速施工の利をとって、大阪空港のエプロンと千歳空港の滑走路の改築に採用された。この技術は道路トンネル舗装の改築へとつながってゆく。

## 3. 路盤

路盤の概念は、戦後の産物であるが、さらに大胆に言えば、見返り資金（現在の用語では商品援助）で施工した箱根等のコンクリート舗装の失敗から学んだ教訓の一つである。

路盤は、コンクリート版の支持層であって、下の路床の支持力と路盤材料の如何に応じて、道路では15～60cm、空港では15～75cm厚をとっている。

路盤面の支持力を直径75cmの剛性載荷版で測ったときの支持力 $K_{75}$ が、 $7\text{ kg/cm}^3$ になるように路盤を構築するという設計法は、1958年の道路構造令以後、道路、空港共に一貫して採用してきている。載荷版の直径こそ変れ、実質的目標値は変わっていない。谷藤正三博士ら先達の先見の明に、今さらながら敬意を表したい。

この見当が良すぎたために、路盤を強化しようとする動きが弱かった気もするが、それは後輩の責に帰すべきものであろう。

路盤の材料は、河川産材料が豊富だった時代には、いわゆる切込み砂利が多かったが、現在では碎石が主流を占め、高速道路等ではセメント安定処理した粒状材料が使われている。

また、1966年に発表されたAASHTO道路試験報告書の刺激の一つとして、路盤の最上層に厚さ4～5cmのアスファルト中間層が、広く使われるようになっていく。

歩道舗装の路盤も車道のそれに近いが、ブロック舗装であるために3cmのサンドクッションが必要である。

## 4. コンクリート版の厚さ

コンクリート版の厚さは、型枠を使って舗装する工法に頼ってきたことを背景として、標準版厚が使われている。ただし空港は任意厚に近い。

1953	道路構造令	20, 23, 25 cm
1972	舗装要綱	25, 30 cm
1984	〃	15, 20, 25, 28, 30 cm
1971	空港設計要領	20～39 cm
1977	〃	20～38 cm

この中で、道路の車道が1972年に30cmを採用したことは、世界的に見ても画期的な出来事であった。このような厚さは、コンクリート舗装の膨大な実績の調査並びに分析に基づくものであるが、最も直接的な動機として、国道4号大宮バイパス上り線の25cmのコンクリート舗装を、供用開始後僅か数年でオーバーレイせざるを得なかった事実をあげておきたい。

表-1 日本のコンクリート舗装;年表

年 (西暦)	特記すべきコンクリート舗装工事 技術基準 材料:機械 背景としての出来事
1875	セメントの生産開始.
1912	最初のコンクリート舗装:名古屋大須観音入口(15+2.5cm).
1919	鉄輪車両 100%
1923	第4回国際道路会議:コンクリート道路に関する決議.
1924~26	関東大震災後の試験舗装(の一部).
1928~30	路面構造の運輸経済に及ぼす影響(藤井真透, 土木試験所報告 10, 16, 17, 19号).
1929	コンクリート舗装 800 000m <sup>2</sup> :うち 80%が膠石舗装.
1930	セメントコンクリート舗装道路示方書.
1931	膠石舗装標準示方書.
1931	直轄工事開始(内務省).
1932	ゴムタイヤ自動車 <sup>が</sup> 88%.
1932	福岡市の試験舗装(吉田徳次郎教授指導).
1933~34	京都市百万遍のコンクリート試験舗装(近藤泰夫教授指導).
1946~47	戦後最初のコンクリート舗装(京浜国道10.3km). パッチャープラント(重量計量).
1948	セメントコンクリート舗装工法(道路協会).
1948	占領軍覚書による道路維持修繕五ヶ年計画.
1948	AE剤の導入.
1950	見返り資金による舗装工事(川崎~横浜, 平塚, 箱根).
1951	セメント生産:戦前最盛期600万トン/年を突破.
1952	スクリュウ型スプレッド, フィニッシャの地方建設局配備.
1953	道路整備費の財源等に関する特別措置法(特定財源).
1954	建設省直轄工事の82%をコンクリート舗装が占める.
1955	セメントコンクリート舗装要綱(道路協会).
1956	道路整備特別措置法(有料道路制度).
1957	ブレード型スプレッド(西ドイツ)の導入.
1957~59	第1~3回舗装コンクール(建設省直轄).
1958	道路構造令(コンクリート版20, 23, 25cm, $K_{75} > 7 \text{ kg/cm}^3$ )
1958	道路整備緊急措置法(五ヶ年計画).
1958	最初のプレストレストコンクリート舗装(大阪府).
1959	目地カッタの導入, 表面振動式フィニッシャの導入(西ドイツ).
1959	羽田空港のコンクリート舗装工事(最初).
1960~63	国道4号大宮バイパス工事(版厚30cmへの動機).
1962	縦仕上げ機.
1963	最初の連続鉄筋コンクリート舗装(国道4号鏡石).
1963~65	羽田空港のコンクリート舗装工事(本格的, 無筋24cm版+切込砕石20cm).
1964	セメントコンクリート舗装要綱.
1966	AASHO道路試験報告書(米国).
1967	空港整備第1次5ヶ年計画.
1967	自動車1000万台突破.
1967	国道19号春日井バイパス工事(アスファルト中間層, 2車線幅施工, 斜め仕上げ機等).
1968	国道1号西湘バイパス工事(ボックス型スプレッド導入:西ドイツ).
1969	国道4号新大宮バイパス工事(スリップフォームペーパー導入:米国).
1971	空港コンクリート舗装構造設計要領(運輸省).
1971~72	新東京国際空港(成田)舗装工事(エプロン連続鉄筋コンクリート, 30cm).
1972	セメントコンクリート舗装要綱(版厚30cmへの導入).
1973	(インターロッキング)ブロック舗装.
1974	東北自動車道矢板~白川工事(4車線×48km, 舗装用セメントの生産と使用).
1975	ファイバーコンクリート舗装(国道4号黒磯バイパス).
1977	空港コンクリート舗装構造設計要領(航空振興財団).
1979	タイングルーピング粗面仕上げ(国道286号笹谷トンネル).
1979	セメントの生産9000万トン/年弱に到達.
1981	プレキャストプレストレストコンクリート舗装(大阪空港誘導路25cm, ホーンジョイント).
1982	プレキャストプレストレストコンクリート舗装(千歳空港, 水平ジョイント).
1984	セメントコンクリート舗装要綱(膨張目地のスリップペーパー32mm).
1987	転圧コンクリート試験舗装.
1988~89	リフトアップ可能なプレストレストコンクリート舗装(青森空港).
1989~	新東京国際空港(成田)II期舗装工事(640 000m <sup>2</sup> :厚35, 36cmの連続鉄筋コンクリート舗装と25 000m <sup>2</sup> の18~25cm厚プレストレストコンクリート舗装).
1990	空港コンクリート舗装構造設計要領(三訂版, 航空振興財団).
1990	転圧コンクリート舗装技術指針(案)(道路協会).
1990	自動車6000万台突破.
1991	羽田空港沖合展開事業(無筋コンクリート舗装600 000m <sup>2</sup> , 厚さ18cm, リフトアップ可能なプレストレストコンクリート舗装300 000m <sup>2</sup> を西側エプロンに).

表-2 舗装用セメントの仕様

	道路公園舗装用セメント	中庸熟セメント (JIS)
粉末度 (cm <sup>3</sup> /g)	3 000±100	2 700以上
28日曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	65以上	30以上
7日水和熱 (cal/g)	65以下	70以下
無水硫酸 (%)	2～3	3.0以下
珪酸三石灰 (%)	40～50	50以下
アルミン酸三石灰 (%)	5以下	8以下

(注) 上記以外は JIS R 5210 中庸熟ポルトランドセメントの規格に合格すること。

その際、法律に違反して過載している大型貨物車の存在を、事実として認識するかどうかの選択があったと考えられる。少なくともコンクリート舗装においては、現実路線を選択したものである。

歩道のブロック厚は、平板の場合 8 cm、インターロッキングブロックの場合は 6 cm が多い。後者を車道に使う場合は 8 cm を標準としている。

## 5. 目 地

コンクリート舗装には縦目地(施工目地とめくら目地)と横目地(膨張目地と収縮目地)が必要悪であり、横目地を不要とする連続鉄筋以外のコンクリート舗装の泣き所である。舗装が破壊する前に、目地に段差が発生し、乗心地を損なうことが多かった。

そのために、目地構造は、補強方法の絶えざる強化の歴史だったともいえる。第1の強化は、突合せ目地型の収縮目地を、めくら目地型(溝切りで版厚を縮小し、そこにひびわれを誘導するもの)に修正したことであり、第2はスリッパーの使用とその強化である。

道路の基準	収縮目地のスリッパー	チェア横筋
1948 舗装工法	使用の推奨	φ 6 mm
1955 舗装要綱	φ 19 mm	〃
1964 〃	φ 22 mm	φ 13 mm
1972 〃	φ 25 mm	〃
1984 〃	φ 28 mm	〃

車道の横収縮目地間隔は、鉄網使用の場合 10 m が多くなっている。

横膨張目地間隔は用心深い 15 m に始まったが、現在では 60～480 m、版厚の厚い高速道路では全廃するに至っている。膨張目地は座屈対策であり、版厚の増加と目地の強化に無縁ではあり得ない。

空港のコンクリート版の横目地も、めくら目地構造となっていて久しい。施工目地(縦、横)は、突合せ型のほかに、かぎ型(ホゾ)も使っている。

空港舗装のスリッパーの直径は、25～44 mm であるが、事実上太いものの採用が増しているものと見られる。

空港の無筋コンクリート版の目地間隔は、厚さが厚い

ことや、滑走路全幅員が 15 m の倍数であることを背景として、7.5 m が主流を占めている。

## 6. 舗装コンクリートの材料と配合

新設の舗装用には普通ポルトランドセメントが使われているが、一時高炉セメントが好まれたこともあった。

高速道路工事においては、工事規模が大きい利点を生かし、発注者支給制度にも助けられて、舗装用セメントを使用している。舗装用セメントの仕様は、中条金兵衛博士の研究に負うところが大きい(表-2)。

AE 剤および減水剤の使用は、1972 年の舗装要綱から標準化されている。米国での AE 剤の発見が凍結融解に強かったコンクリート舗装の原因調査にあったことを考えると、自然な気がする。しかし温暖な地方の舗装にも必ず使われるのは、単位水量の減少による低収縮性と、ワーカビリティの改善によるものであろう。

因みに舗装コンクリートの単位水量は、碎石の使用にもかかわらず 130～135 kg であって、ダムコンクリートに次いで少ない。

舗装コンクリートの材令 28 日の配合強度は、戦前圧縮で 140 kg/cm<sup>2</sup> にすぎなかったものが、戦後は著しく改善され、1964 年以降は曲げで 50 kg/cm<sup>2</sup> 強となっている。これは構造設計で使われている 45 kg/cm<sup>2</sup> に、ばらつきを考慮を加えたものである。

高速道路では、一般道路より高いすべり抵抗が必要であるが、最初の工事(1974 年東北道)で、危惧の念を持たれたため、年表に記したタイングルーピングのほか、骨材強度とモルタル強度にコントラストをつけることを狙って、材令 90 日で所要の強度を求める慣行が定着している。

## 7. コンクリート版の舗設方法と機械

コンクリート版の舗設方法は、戦前の人力施工から、戦後の機械化へと著しい進歩をとげた反面、遅々とした感じも否めない。

コンクリートの練り混ぜは戦前の容積配合から重量配合へ変わり、それを受けてパッチャープラント、ミキシングプラントへと進み、今では JIS 規格化したレデーミク

ストコンクリートの供給に頼ることが多くなっている。

舗設機械については年表に詳しく記述したので、1日あたり舗設能力 ( $\text{m}^2/\text{日}$ ) に着目して、進歩の跡をふり返らう。以下の進歩は、機械の導入と改良だけでなく、施工幅の拡大 (1車線施工から2車線へ) に負うところが大きい。

～55 人力敷均し+フィニッシャ (F) 200～350  
1946～70 スクリュー+または  
ブレード・スプレッド+ (F) 300～900  
1968～ ボックス・スプレッド+ (F) 2,000～3,500

この生産性は、2～3車線幅のスリップフォーム・ペーパーを使って、8,000～12,000  $\text{m}^2/\text{日}$  を施工する欧米諸国に比べて著しく低い。年報に示すとおり、米国レックス社の1車線幅スリップフォーム・ペーパーを1969年に建設省が導入し、貸与によって、新大宮バイパス、桐生バイパス、甲府バイパス、水戸バイパスおよび佐野バイパスの5区間212,000  $\text{m}^2$  を施工したが、横断構造物の多いわが国の道路では、使いにくいとのことで、中断している。

1989年に始まった転圧コンクリート舗装は、アスファルト舗装の舗設機械の利用ないし応力という側面を持っているので、本章に加えても良いかと考えられる。

## 8. 舗装設計の解析的アプローチ

建設省土木研究所は、輪荷重応力のほかに温度応力も加えた上での疲労問題として解く、コンクリート舗装の構造設計法をまとめた。この方法は1972年の舗装要綱に採用され、今に至るも使われている。

ただし解析的設計法は、あくまでも裏付け資料の作成に使用され、設計の実際は、標準版厚に頼っていることは、既にのべたところである。

この解析法では、輪荷重応力をスプリング路盤の仮定によって解くウェスターガードの式を微修正の上使っており、それがまた  $K$  値で路盤を設計する思想につながっている。

これに対して、福田正教授は、1975年にせん断力伝達される2層構造としてコンクリート版+路盤の応力を解析する複合版理論を発表した。それによると、通常の粒状材料で路盤をつくる時は、どの理論を使っても大差ないが、セメント安定処理のように、変形係数の大きい材料を使うときには、複合版理論の方が良く適合することが解った。

この理論はしかし舗装要綱に採り入れられては至っていない。

空港舗装の設計も、その実際は別として、基本的にはウェスターガードの式を採用している。しかし、空港は、工事が単発的かつ集中的である利点を生かして有限要素法による設計も、実務的に行われ、その結果は十分に役立つ情報の一つとして使われている。

## 9. 失敗と経験の歴史～まとめに代えて～

コンクリート舗装の歴史をまとめるにあたって、実際面を重視し、理論面を軽視した。

技術とはそういうものであろうが、中でも舗装は過去の失敗の学習によって、たえず発展している。また、舗装は冒頭に述べたように、破壊=無価値ではないという特徴を持っているために、失敗に対する反省の鈍さというマイナス面ばかりでなく、試験工事をどしどし採用するというすばらしいプラス面も遺憾なく発揮してきた。

残念ながら年表には、吉田徳次郎教授の御指導によるものと、近藤泰夫教授の御指導によるものの2例しかのせられなかったことをお詫びしておきたい。

わが国のコンクリート舗装は、1) 歴史が短い、2) 進歩はしているが遅い、3) 全体として保守化の傾向にあるがイノベーションの発芽も見られるとまとめることができるであろう。

## 10. 将来の展望

幸か不幸か申し分のない舗装というものは出現していない。そうである以上、流動しない、すりへりし難い、明色性がある、耐久的である、集中荷重や停止荷重に強い等々の利点を生かしての生き残る道は、コンクリート舗装に残されている。

今後進むべき道の一つは、施工における生産性の向上、そのことを反映して設計理念の飛躍、すべり抵抗の向上と騒音の低下のパラドックスの解決、維持修繕の技術並びにシステムの改良などであろう。

### あとがき

コンクリート舗装の現状は、正確でない部分もあるが、以下のとおりである。

道路統計年報による1990年3月末のコンクリート舗装延長(アスファルトでオーバーレイされたものは除く)は、高速道路293 km、一般国道1,917 km、都道府県道1,740 km、市町村道48,611 kmである。

PC舗装は、道路よりも港湾施設や空港の方が多いが、約70万平方メートルである。

インターロッキングブロック舗装は3,100万平方メートルである。

空港では、エプロン及びタクシウェイで多く用いられている。

なお本技術展望を書くにあたっては、各種技術基準のほかに、日本道路史(日本道路協会)、セメントコンクリート舗装技術の変遷(雑誌「舗装」27-5、福田万大)、舗装機械の変遷(同上、高野漢)等を参考にさせて戴いた。

(1992.6.8受付)