■ 舗装技術の変遷

鹿島道路株式会社
北海道支店　工務部長
辻本　明人

舗装技術の歴史という題名の書物はないと思うが、道路の歴史・舗装の歴史について書かれている本は結構ある。本誌にも「ＲＯＡＤ ＨＩＳＴＯＲＹ」として、三浦　宏氏によって興味のある内容が第１号から毎号掲載されている。道路の歴史については『日本道路史』が、北海道のそれについては『北海道道路史』が詳しい。特に北海道の舗装の歴史は、『北海道舗装史』（土木技術会・舗装研究委員会）に大変良くまとめられている。時代の流れと要求に基づいて、道路、舗装の構築に取り組んだ人々の苦労や、現在の舗装技術の基礎となる工法の開発経緯など興味深い内容が紹介されており、ぜひ一読されることをお勧めする。

ここでは、舗装技術をあえて設計、材料、施工に分けてその変遷を紹介する。

1. 舗装の歴史

表－１は、土木学会編集の『舗装工学』より抜粋した舗装の歴史概要である。これとは別に、最近の遺跡発掘の成果として、日本でも縄文時代の遺跡から整備された道路が発掘されている。これにともなって、日本の舗装の歴史もさらに古くまでさかのぼることになる。

「道路舗装があるところ、舗装技術がある」のは当然とすると―新潟県朝日村の奥三面遺跡群（4000 年前～ 2300 年前）で発見された〈砂と石を用いた舗装〉や、埼玉県大宮市の寿能遺跡（4500 年～ 4000 年前）で発見された〈木材を用いた道路舗装〉―これらの設計あるいは施工の技術と、現在同じことをやる場合の技術の違いについて想像を働かせるのも興味深い。しかし、そこまで追求する知識も資料もなく勝手に想像すると、今も昔もあまり変わりはないのでは、という気もする。

2. 技術と技能、設計と施工

舗装技術について書く前に、「技術」という言葉の意味についてふれてみたい。技術開発、施工技術、管理技術など色々な使い方をする言葉であるが、広辞苑を引くと二つの意味が書いてある。一つは、史記の貨殖伝にある「物事をたくみに行うわざ。技巧、技芸」であり、もう一つは、Technique の「科学を応用して自然の事物を改変加工し、人間生活に利用するわざ」とある（最近はこの二つを一つにした解釈になっているようであるが）。この二つの意味にあえて分けると、「設計は Technique」で「施工は技能（技巧）」という見方もできる。

施工に必要なのは材料、機械と人である。アスファルト舗装の場合に欠かせないのは、適正に配合されたアスファルト混合物、整備されたアスファルトフィニッシャやローラ類と、訓練された作業員である。そこで大雑把なとらえ方であるが、進歩しているのはアスファルト混合物と機械の性能であり、作業員の技能は低下していると思われる。

表 -1　舗装の歴史概要

年代	世　界	年代	日　本
BC2600 頃	・エジプト　ピラミッド建設用石積道路		
2000 頃	・琥珀の道、絹の道		
1600 頃	・古代クレタ島の道路（石膏モルタルの使用）		
600 頃	・バビロンの王の道（魯薄街道：アスファルトが初めて使用された）		
312	・ローマの道（アッピア街道、アウレリア街道、フラミニア街道、アエミニア街道、ボストミュミア街道、アエミリア・アカウリ街道、ユリア・アウグスタ街道）国営の公道（幹線道路）372本、約 8,500km		
		AD 326	・難波に日本初めての架橋
		668	・燃土、燃水（天然アスファルト、石油）が献上される（日本書記）
		701	・「大宝律令」に「駅制」成文化 駅路七道が幹線道路として整備
AD1184	・パリ・シテ島に市街地舗装（石張り舗装）		
1415	・フランスで道路舗装用に寸法均一のブロック		
1595	・トリニダッド島で天然アスファルト鉱床発見		
		1604	・日本橋を起点に五街道整備
		1625	・日光杉並木の整備開始
		1632	・会津藩白河街道全道の整備
1650	・フランスで街道整備の改善開始（車道路面を反り、両側に側溝）		
1662	・イギリス有料道路会社に関する法律制度発効 ～1750 年までに 1,382 マイルのターンパイク完成		
		1680	・箱根で石畳舗装
		1738	・大津街道で石舗装

年代	世　界	年代	日　本
1764	・フランスでトレサゲ式工法開発		
1765	・ロンドンで段差式歩道		
1814	・イギリスでテルホード式舗装開始		
1816	・イギリスでマカダム式舗装開始		
1822	・アメリカでトレサゲ式舗装採用、補修にはマカダム式舗装を採用		
1846	・アメリカで仮舗装		
1854	・フランスパリベルゲーラ街でロックアスファルトを用いたシートアスファルト舗装		
		1863	・長崎グラバー邸内でコールタール舗装
1870	・アメリカニュージャージ州でシートアスファルト舗装	1873	・銀座煉瓦街建設起工
		1878	・神田昌平橋にアスファルト舗装
		1900	・東京に初めて自動車出現
		1907	日本橋通り土避青舗装
1910	・アメリカでアメリカハイウェイ協会結成　（後のAASHO）	1910	・東京市コンクリート、アスファルト、木煉瓦試験舗装
1912	・アメリカカンサス州トペカ市でトペカ舗装始まる		
1918	・アメリカフィラデルフィアでソイルセメント	1918	・道路法、都市計画法成立
	・アメリカアーリントンの道路試験 （輸荷重の衝撃力を測定）	1919	・道路構造令及び街路構造令制定
1920～23	・アメリカベーツ道路試験 （舗装構造設計の検討）		
1921～22	・アメリカピッツバーグ道路試験		
1930～36	・アメリカアーリントン道路試験		
1933～44	・ドイツアウトバーン（約 4,000km）		
1950～51	・アメリカカメリーランド道路試験		
1958～61	・アメリカ AASHO 道路試験	1957	・名神高速道路着工

アスファルト舗装が導入されて 100 年以上経過しているが、今も作業員の技能（技巧）によって品質、出来映えが左右される部分が非常に多い。優れた熟練者の仕上げ方は過言すれば芸である。この芸を文章で表すことは非常に難しい。今も作業の手順書を作って教育訓練に用いているが、この芸の分野について書き残すとすれば、剣術の奥伝書のような表現になると思われる。熟練工の減少には幾つかの背景があるが、大きな要因として新しい機械の進出は熟練工の出番を少なくしているのかも知れないし、あるいはその逆かもしれない。むしろ自動車産業など他の産業に比べて舗装業の機械化は遅れていると考えると、熟練工の減少はこれからさらに進むであろう。

設計と施工という点から考えると、少し前までは設計の時点で大概の施工方法を決めることが必要だった。技術革新、国際化などが叫ばれるこれからは、設計内容をより良く実現する施工方法の開発や、新工法を用いた設計などの場面では、それぞれが協力して考え、工夫し、利用し合うということになろう。

すでに工事の発注形態の中に技術力を問う方式が取り入れられて来ており、新たな観点に立った技術開発の時代に入っているといえる。これらへの対応が問われている。

3. 設計方法の変遷

舗装の技術は、時代のニーズや社会環境の変化によって作り出されて来た。技術の標準化という意味で、設計方法もそれに対応して変化している。

＜アスファルト舗装＞

わが国のアスファルト舗装の設計法は、米国の設計法を参考にしている。表－2、表－3は米国のアスファルト舗装設計方法の変遷の概要と、日本のアスファルト舗装要綱の変遷を取りまとめたものである。現在、アスファルト舗装要綱の役割自体の見直しを含めた改訂が行われている。

＜セメントコンクリート舗装＞

セメントコンクリートの設計方法の歴史は、1865 年頃から 1910 年頃までの無筋コンクリートから始まるといわれる。当時はおそらく経験的に厚さや長さが決められていたとされている。表－4は、米国のセメントコンクリート舗装設計方法の変遷の概要を取りまとめたものである。

一方わが国の設計法は、1955 年（昭和 30 年）にセメントコンクリート舗装要綱が、わが国の技術を体系的に集成したことから始まる。表－5は、日本のセメントコンクリート舗装要綱の変遷をまとめたものである。

現在各機関でアスファルト舗装と同様に PMS（舗装マネジメントシステム）の概念を導入したセメントコンクリート舗装の最適設計システムが検討されている。

＜その他の舗装の設計＞

アスファルト舗装要綱には歩行者系道路舗装、

表 -2 米国のアスファルト舗装設計方法の変遷

年　代	設　計　法	備　　考
1900 年	マサチューセッツの公式	荷重分散の仮定と力のつり合い
1930 年	米国道路局法	PR 分類法
1940 年	CBR 設計法	アメリカ陸軍技術部隊
1950 年	AASHO の総土質分類	(日本) アスファルト舗装要綱初版
1960 年	AASHO 道路試験 AASHO 設計法	
1970 年	AASHO 暫定指針	
1980 年	AASHTO 指針	

表 -3　アスファルト舗装要綱の変遷

年	要綱類の種類	主な改訂内容
昭和 25 年	道路工法叢書第 6 集として作成	・AI のハンドブックを参考にアレンジしたもの（アメリカ合衆国アスファルト協会）
昭和 36 年	アスファルト舗装要綱 第 1 回改訂版	・設計 CBR 法による構造設計 ・マーシャル試験の採用
昭和 42 年	アスファルト舗装要綱 第 2 回改訂版	・AASHO 道路試験結果より T_A の概念を導入 ・設計 CBR 試験法の簡略化 ・ひび割れ発生への配慮（アスファルト量を多くする）
昭和 50 年	アスファルト舗装要綱 第 3 回改訂版	・交通量区分の増加（L 交通） ・アスファルト混合物の種類を増加 ・路床の石灰やセメント安定処理 ・配合設計時の耐流動対策（突き固め回数 75 回）
昭和 53 年	アスファルト舗装要綱 第 4 回改訂版	
昭和 63 年	アスファルト舗装要綱 第 5 回改訂版	・多層弾性計算の概念導入
平成 4 年	アスファルト舗装要綱 平成 4 年版	・ライフサイクルコスト概念導入 ・多層弾性理論を用いた設計方法導入

表 -4　米国のセメントコンクリート舗装設計方法の概要

年	設　計　方　法	備　　考
1919 年	Goldback の公式	道路の破損の観察結果より提案
1924 年	Older の隅角公式	Bats 道路試験において確立
1926 年	Westergaerd の公式	路床、路盤をばねと仮定した支床上の版の理論
1930 年	Sheets,Braddury,Rckett,Kelley などの公式	
1946 年	PCA の設計法	PCA アメリカポルトランドセメント協会
※1948 年	日本では PCA 設計法の翻訳を主体として「セメントコンクリート舗装工法」出版	
1966 年	PCA 設計法の改訂	疲労破壊曲線修正
1972 年	AASHO 暫定指針	
1972 年	ACI 連続鉄筋設計法	AASHO 道路試験結果

表 -5　セメントコンクリート舗装要綱の変遷

年	要 綱 類 の 種 類	備　　考
昭和 23 年	道路工法叢書第 9 集として発刊	PCA 設計法の翻訳が主体
昭和 30 年	セメントコンクリート舗装要綱 初版	PCA 設計法を参考にしているが隅角公式に Sheets を用いる
昭和 49 年	セメントコンクリート舗装要綱 改訂版	温度応力を加味して版厚を求める「土木研究所公式」
昭和 55 年	セメントコンクリート舗装要綱 昭和 55 年版	
昭和 59 年	セメントコンクリート舗装要綱 改訂版	

表 -6　特殊な機能や構造を持った舗装

利用者	要求機能	舗　装　名	主な使用箇所
運転者	・水のはねない（排水性）	・排水性舗装	高速道路、交通量の多い道路
	・すべりにくい	・グルービング ・すべり止め舗装（開粒アスコン、樹脂舗装）	坂道、交差点
	・凹凸の少ない（平坦性）	・耐流動舗装（半たわみ性舗装、改質アスコン）	重交通車道
		・耐摩耗舗装	スパイク走行部トンネル
	・みやすい（視認性）	・明色舗装（半たわみ性舗装、転圧コンクリート）	
歩行者	・足ざわりの良い（歩行性）	・弾性舗装（ウレタン樹脂舗装、ゴムチップ舗装、クレー系舗装）	歩道、歩経路、スポーツ施設
	・水がたまらない	・透水性舗装	歩道
	・楽しい（色彩、形状）	・カラー舗装、タイルブロック舗装	商店街、広場
	・すべりにくい	・すべり止め舗装	交差点部歩道
その他	・たわみ振動に追従	・グースアスファルト	橋面
	・遮水性	・水工アスファルト	ダムフェーシング
	・凍結抑制	・凍結抑制舗装（凍結抑制材を混入したアスコン、表面を加工した舗装）	寒冷地車道
	・リサイクル	・再生合材	

特定箇所の舗装や特殊な機能・構造をもつ舗装が位置づけられている。

舗装の目的は古くは馬車のためであり、近くは車のためであった。したがって歩行者系道路舗装に関して公に取り上げられたのは比較的新しく、1919 年の街路構造令に「街路は原則として車道及び歩道を区別する」との記述がある。その後、1958 年の道路構造令の改正により、市街地道路（第 4 種道路）には歩道を設置し、車道、歩道ともに舗装することを原則とした。1967 年のアスファルト舗装要綱の改訂版に、はじめて歩行者系道路舗装に関して記述された。1980 年代になると、コミュニティー道路や商店街のモール化事業が盛んになり、都市景観と調和した舗装への指向が時代の趨勢となった。1985 年「建設省施設における景観マニュアル（案）」により、設計に魅力性、快適性等の配慮がされるようになった。1993 年の道路技術 5 箇年計画では「歩行者にやさしい舗装材料」がテーマとして上げられており、その中で膝に負担のかからない、視覚的快適性が高い、環境との調和がとれた、耐久性の高い舗装材料の開発を行うとしている。さらにこれからは障害者、老齢者、年少者に対しても安全で快適な歩行性と楽しさを与える配慮が今まで以上に要求されるようになっている。

特定箇所の舗装や特殊な機能・構造をもつ舗装の主なものは、表－6 のようにニーズの多様化に対応して開発された。半たわみ性、ブロック舗装の設計方法はアスファルト舗装要綱に従っている。樹脂カラーは構造設計には入れていない。

4. 材料・工法の変遷

舗装用バインダーとしては、アスファルト系、セメント系、高分子系が主なものである。アスファルト系材料は、石油アスファルト、改質アスファルト、天然アスファルト、アスファルト乳剤などがある。

石油アスファルトが本格的に用いられるようになったのは、昭和 29 年度に始まる第 1 次道路整備 5 箇年計画からである。表－7 のように、石油アスファルトの昭和 36 年と平成 4 年の品質規格を並べると、数値の違いより項目が増えている点が注目される。原油の産地により石油アスファルトの性状は異なるが、石油精製技術によっても変化してきている。アスファルトが使われ始めた頃

は、原油中の重質油の性状がバインダーとしての性状を大きく左右していたが、現在は、基本的には変わらないとしても、規格に合わせたアスファルトの製造が可能となっている。

アスファルトの組成と物理性状および供用性状の関連づけは、現在必ずしも明確になっていないが、新たな技術開発はこれを可能にすると期待している。

改質アスファルトは、アスファルト舗装に耐摩耗、耐流動性が要求されるようになって、添加剤（ゴムラテックス、石油樹脂等）の開発と共に進んできた。最近増えてきている排水性舗装のバインダーは、外国の技術の導入と同時に国内での開発も進んでいる。最近米国が中心となって開発されたSHRP（Strategic Highway Research Program 新道路研究計画）試験方法が日本でも取り入れられようとしており、官民の試験研究機関で導入され、試験が始められている。画期的試験

大型機械施工

方法とされており、データの蓄積が待たれる。

アスファルト舗装の施工方法については、アスファルトプラントで混合物を製造し、アスファルトフィニッシャで敷均し、ローラで転圧して仕上げるという編成は従来から変わりなく、機械の性能が向上している。

高分子バインダー、いわゆる樹脂の利用は益々多くなっている。エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、アクリル樹脂、シリカ系樹脂などが30年以上前からカラー舗装用バインダー、スポーツ施設の舗装材として利用されている。景観を重視した舗装材の一分野を開拓するものとして、現在も性状の改良に取り組まれている。

表-7　石油アスファルトの規格（日本道路協会）

	種類	針入度 25℃ 100g 5sec	軟化点 ℃	伸度 A型	蒸発量 %	蒸発後の針入度（原針入度に対して）%	四塩化炭素可溶分%	引火点 ℃	三塩化エタン可溶分%	蒸発後の針入度比%	密度 15℃ (g/cm³)
昭和三六年舗装要綱	40～60	40～60	40以上	25℃ 100以上 15℃ 100以上 10℃ 100以上	0.5以下	70以上	99.5以上	230以上	－	－	－
	60～80 80～100	60～80 80～100		25℃ 100以上 15℃ 100以上 10℃ 100以上					－	－	－
	100～120 120～150	100～120 120～150	35以上	10℃ 100以上 5℃ 100以上				210以上	－	－	－
	150～200 200～300	150～200 200～300	30以上	10℃ 100以上 5℃ 100以上				200以上	－	－	－
平成四年舗装要綱	40～60	40℃ 60以下	47～55	10以上	0.6以下	58以上	－	260以上	99以上	110以下	1000以上
	60～80	60以上 80以下	44～52	100以上	0.6以下	55以上	－	260以上	99以上	110以下	1000以上
	80～100	80以上 100以下	42～50	100以上	0.6以下	50以上	－	260以上	99以上	110以下	1000以上
	100～120	100以上 120以下	40～50	100以上	0.6以下	50以上	－	260以上	99以上	110以下	1000以上

5. これからの舗装技術

過去何十年にも亘って作られてきた道路の維持補修への取組みも欠かすことはできない。舗装の評価方法は、表面の観察測定のみならず、ＦＷＤなどを用いた構造評価を行えるようになっている。

ライフサイクルコストの考え方に基づく維持補修の設計方法、材料、工法の選択が必要となる。

一方で舗装は、従来の道路の定義を超えた分野に入ろうとしている。

ヨーロッパを中心に進められているファンタジアプロジェクト（夢世界プロジェクト）、アメリカを中心に進められているマグレブ（磁気浮上交通）開発などに関連したＩＴＳ（高度道路交通システム）やスマートウェイ（知能道路）に対応する舗装技術の開発は新たな課題となる。

舗装技術の変遷というには大雑把な捉え方になった。土木構造物の非常に狭い一分野で、新しい工法を常に追求してきた舗装技術は、大昔から綿々と続いている。「わが国の文化は江戸時代以前は和魂漢才、明治は和魂洋才、戦後は無魂洋才であり、そして現在は、洋魂洋才をもってしても世界に通用しない時代に入っている」という人がいる。技術の分野を取り上げてもそのような感がある。それゆえ、混沌とした時代こそ新たな方向を見出せると信じれば技術開発を進める意欲が湧いてくる。