

技術展望

舗装廃材の再生利用の現状について

STATUS REPORT ON THE DEVELOPMENT OF RECYCLING PAVEMENT WASTE

河野 宏*・吉兼秀典**

By Hiroshi KONO and Hidenori YOSHIKANE

1. はじめに

わが国の舗装廃材の再生利用に関する研究は昭和20年代から始められたといわれているが、本格的な技術開発が行われるようになったのは昭和50年代に入ってからである。

再生利用工法が注目されるに至った背景としては、①昭和46年に「廃棄物の処理および清掃に関する法律」が制定され舗装廃材が産業廃棄物に指定されたため、その処分に制約が生じるとともに、舗装ストックの増加、交通量の増大により維持修繕工事が増加し舗装廃材の発生量が多くなり埋立地等の処分地の確保が困難になってきたこと、②昭和48年の第一次石油ショックが契機となり省資源、省エネルギーが社会的趨勢となってきたこと、③昭和55年度以降の財政事情の悪化によりこれまで以上に経済的かつ効率的な維持修繕工法が求められるようになったことなどが挙げられる。

再生利用工法には、廃材を混合所に搬入し再生する方法（プラントリサイクリング工法）と現地の路上で破損した供用中（既設）の舗装をそのまま再生する方法とがある。

前者については昭和59年に日本道路協会から「舗装廃材再生利用技術指針（案）」が発刊され技術の標準化がはかられている。後者のうち路盤にかかわるものについては、昭和62年1月に同協会から「路上再生路盤工

法技術指針（案）」が刊行されており、表層にかかわるものについても同協会が現在標準化の作業が進められているところである。

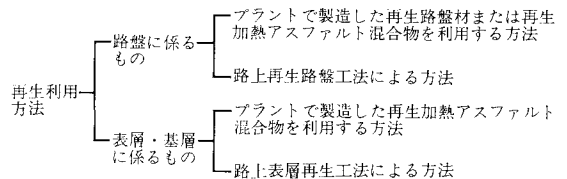
本稿では、昭和50年以降の技術開発の歩みを振り返った後、各種工法の利用状況、技術の標準化の現況等を整理し報告するとともに、再生利用工法の実用化を可能とするうえで重要な役割を果たしてきた再生用機械についてもその概要を紹介する。

2. 技術開発の歩み

(1) 再生利用工法の分類

再生利用工法には、①発生した廃材を混合所に持ち込み所要の品質に再生して利用する方法と、②現地の路上で既設舗装をそのまま再生して使用する方法とがある。また再生材の使用に注目すると、路盤に使用する場合と表層に使用する場合に分けられる。

一般に①をプラントリサイクリング工法とよび、そのうち路盤に適用するものについては、加熱混合して製造するものと常温で製造するものがある。また②のうち路盤に適用するものを路上再生路盤工法、表層に適用するものを路上表層再生工法とよんでいる（図—1）。



(注) 表層・基層に係るものについては、上記の他、可搬式の簡易な装置を利用した現場再生方式などがある。

図—1 再生利用工法の分類

* 国土庁計画調整局調整課長

** 正会員 建設省関東地方建設局道路計画第二課長(前・土木研究所舗装研究室主任研究員) (〒100 千代田区大手町1-3-1)

Keywords : pavement, recycling, plant recycling, surface recycling, base recycling

表一 諸外国の舗装廃材の再生利用

		アメリカ	オランダ	西ドイツ	スイス	フランス	(日本)	
実用 化工法	プラント/加熱	○	○	○	○	○	○	
	路上/表層	○	○	○	○	○	○	
	路上/路盤	○					○	
実績	プラント/加熱	3500万t(1983年) (純生産量の約10%)	3年間で計100万t (1980~1983年)	約75万t** (1982年)			約200万t (1984年)	
	路上/表層	~1976年* 計640km・ レーン	30万m ² (1982年) 1975~1982年** 計120万m ²	220万m ² (1981年) 1983年までに 計1200万m ²	欧州では最も 古い実績を有 す	170万m ² (1982年) 1976~1983年 計860万m ²	約170万m ² (1984年)	
再生 プラント /加熱	再生 プラント	バッチ式 ドラム式	不詳 (3500基) 不詳 (500基)	有 有	150基(600基中) 1基(研究用)	20基 1基 (170基中)	75基(200基中) 12基 (75基中)	70基 (1700基中)
	再生 骨材 混入 率	バッチ式	30~40%	20~30式 スチーム解砕式 90~100%	15% (0~30%)	20~30%	20%程度	20~30%
		ドラム式	40~50%	50%			60%程度	50~100%
	再生用 添加剤		軟質Asが 一般的	軟質As スチーム解砕式 は再生用添加剤			軟質As	再生添加剤
	使用 層名		表層~ As安定処理	基層, As安定処理	基層, As安定処理	基層, As安定処理		表層~ As安定処理

注 1) アメリカはプラント方式が主流。現在、新規プラントの95%以上がドラム式。
注 2) 欧州は、プラント方式と路上表層方式とを併用。西ドイツ、フランスのはかイタリアの絶対数量が多い。

表一は欧米諸国の舗装廃材の再生利用状況をまとめたものである。わが国ではプラント/加熱、常温、路上/表層、路盤の4つの工法について技術開発が並行的に進められているが、実績量やプラントの基数などから判断すると、アメリカではプラント/加熱、欧州ではプラント/加熱と路上/表層が主流となっているようである。またわが国の技術レベルは、施工実績、工法の多様さからも窺えるように欧米諸国と同水準あるいはそれ以上のものと考えられる。

(2) 技術開発の歩み

舗装における新技術の開発・実用化は一般に次のような順序で展開される。

- ・新技術に関心をもつ公的機関および私的企業による先進的かつ個別の実験・試験舗装の段階
 - ・日本道路会議の特定課題あるいは建設省技術研究会の指定課題などに取り上げての全国的かつ組織的な検討の段階
 - ・これらの成果をもとに新技術の標準化(具体的には技術指針案の作成)を行う段階
- この際必要に応じてアンケート方式などによる現況調査や土木研究所、地方建設局等の参加した本格的な試験舗装が実施されることもある。

・技術指針案に従って実施された舗装の追跡調査等により、より合理的かつ実用的な標準化を目指す段階

舗装廃材の再生利用についてもほぼ同様な経過をへて技術開発が進められてきた(表一2)。

先にも述べたようにプラントリサイクリング工法および路上再生路盤工法についてはすでに技術指針(案)が刊行され一応標準化がなされた段階であり、路上表層再生工法は現在技術指針(案)作成の最終段階にある。

以下これまでの推移のうち主要な事項についてその概要を紹介する。

1) 第14回日本道路会議特定課題「舗装廃材の再生利用と問題点」(昭和56年10月)

提出された論文は15編で、うちプラントリサイクリングに関するもの12編、路上再生路盤工法関係のもの3編であった。

主たる成果としては、プラント方式についてはほぼ実用可能の評価がなされたこと、路上再生路盤工法についても施工および供用性が良好との報告がなされたことなどである。

2) 建設省技術研究会指定課題「舗装廃材の再生利用に関する研究」(昭和57年度~59年度)

試験舗装を中心に国内外の文献調査、室内試験による

表一2 技術開発の経緯

混合所で再生する方法	路上再生路盤工法	路上表層再生工法
昭51 建設省建設技術研究補助金による研究	昭52 一般自治体で試験施工	昭53 外国機械の導入
昭54 日本道路協会 舗装廃材再生利用分科会（昭60より舗装廃材再生利用小委員会）		
現場での試み	昭54 一部自治体で設計施工マニュアル作成	昭55 国産機械による試験施工
昭56 第14回日本道路会議指定課題「舗装廃材の再利用と問題点」		
昭56 日本道路協会「舗装廃材再生利用に関する現況報告書」		
昭57 国道357号 東雲試験舗装		昭56 日本道路公団試験舗装
昭57～59 建設省技術研究会指定課題「舗装廃材の再生利用に関する研究」		
昭59 日本道路協会「舗装廃材再生利用技術指針(案)」	昭58 宇都宮益子線(栃木県)試験舗装	昭58 日本道路公団路上表層再生工法研究委員会
	昭59 日本道路協会「路上再生路盤工法に関する現況報告書」	昭59 国道4号 梅島試験舗装 昭59 日本道路協会「路上表層再生工法に関する現況報告書」
	昭60 第16回日本道路会議指定課題「舗装の路上再生利用による維持修繕工法」	
	昭62 日本道路協会「路上再生路盤工法技術指針(案)」	

混合物の評価試験などを実施している。

試験舗装の箇所数は41か所、うちプラント式加熱混合物の利用19か所、プラント式再生路盤材の利用3か所、路上表層再生工法の適用7か所、切削廃材の利用12か所であった。

主たる成果は、プラント方式による再生加熱アスファルト混合物の物性は新規アスファルト混合物（以下新材という）と同程度であることが認められるもの、これを重交通道路の表層に用いた場合に問題があったこと、またプラント方式による再生路盤材中のアスファルト廃材の混入率が50%程度になった場合問題があることが指摘されたことおよび路上表層再生工法については現時点までの短期の供用性が新材と同程度との評価がなされたことなどである。

3) 第16回日本道路会議特定課題「舗装の路上再生利用による維持修繕工法」(昭和60年10月)

提出された論文数は17編、うち路上再生路盤工法に関するもの4編、路上表層再生工法に関するもの13編であった。主たる成果としては、路上再生路盤工法は新設路盤と同等の品質をもつと認められたことおよび路上表層再生工法についても、長期的な供用性の評価や再生

用添加材料の開発、配合設計法の検討等が必要とされるものの新材と同等の品質を確保することは十分可能と判断されたことなどである。

3. プラントリサイクリング工法

(1) 工法の概要と実績

a) 工法の概要

プラントリサイクリング工法は、舗装の打換えや切削オーバーレイ等で発生した舗装廃材を主材料とし、これを混合所に持ち込み所要の品質に再生して新たに舗装材料として使用する方法で、再生路盤材に再生する場合や再生加熱アスファルト混合物に再生する場合がある。

この工法は、舗装廃材の適正処理ならびに資源の有効利用といった観点から舗装廃材の再生利用が着目された昭和50年頃から技術的な検討が始められたもので、その後実用化を目指した試みが積極的に進められ、これらの成果を取りまとめた形で昭和59年に日本道路協会より「舗装廃材再生利用技術指針(案)」が出版され、適用設計等の基本的な考え方については一応の方向が示されている。

プラントリサイクリング工法における

再生材の適用設計に関する基本的な考え方を挙げると以下のとおりとなる。

- ① 再生材の品質は、アスファルト舗装要綱、セメントコンクリート舗装要綱および簡易舗装要綱（以下要綱等という）に適合することを原則とする。
- ② 再生材を用いた材料、工法による舗装の等値換算係数は新しい材料のみを用いた場合と同等とする。
- ③ 再生材の適用にあたっては、原則として新しい材料のみを用いた場合と同等に扱うものとする。ただし、再生材を用いた舗装の長期的挙動が十分解明されていないので、重交通道路の表層への適用は当面避けることとする。

これらの考え方は、現場で既設舗装をそのまま再生利用する路上再生工法を含めて舗装廃材の再生利用全般について基本となっているものである。

b) 混合所で製造された再生材の利用実績

再生材の利用実績をまとめたのが図一2である。

再生加熱アスファルト混合物は全国で54万tの実績であり、アスファルト系の舗装廃材が約1000万tと見込まれているので、このうち約5%程度が再生利用されていると推定される。再生路盤材は全国で38万m³の

利用であり、路盤廃材発生量 630 万 m³ の約 6% 程度が再生利用されていると推定される。これらをブロック別にみると関東地方の発生量が最も多く、そのシェアは再生加熱アスファルト混合物で 58%，再生路盤材で 72% であり、主として関東地方を中心とする大都市圏で実績が積み上げられていることがわかる。

また、再生加熱アスファルト混合物について実績の経年変化をみたのが図-3 である。これによると昭和 56 年以降急激に伸びていることがわかる。

(2) 試験舗装と実態調査

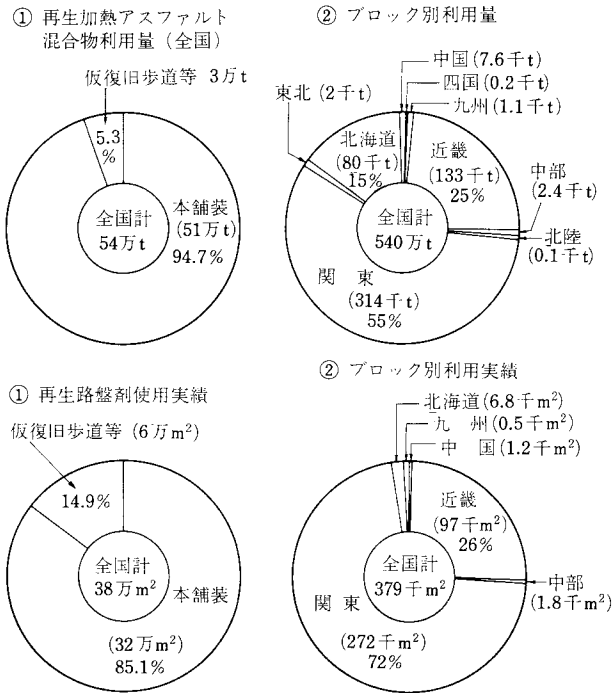


図-2 再生材の利用実績 (57 年度建設省調べ)

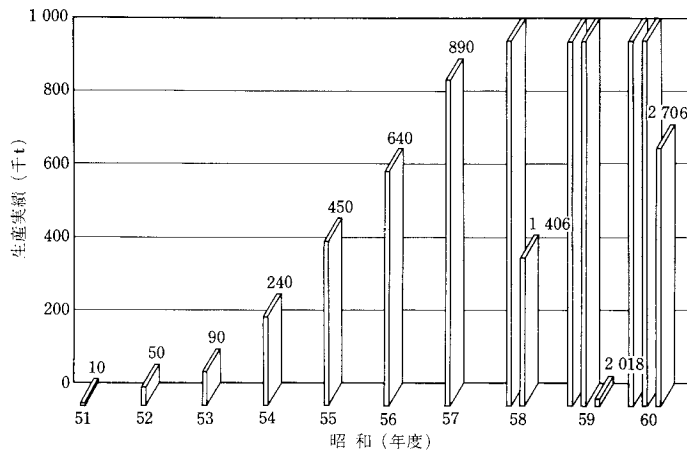


図-3 再生加熱アスファルト混合物の生産実績の推移 (道建協調べ)

建設省では、建設省技術研究会の研究の一環として、混合所で製造した再生加熱アスファルト混合物の評価を行うために全国的な試験舗装を実施した。

試験舗装では、アスファルト廃材から製造した再生骨材を再生プラントで加熱混合し、これを表層、基層、上層路盤の品質基準に適合するように調整して、これらを適宜組み合わせ、新材工区を含む全国 120 あまりの箇所で行った。

再生材を用いた工区について、ひびわれ率、わだち掘れ量と累積大型車交通量との関係を整理したのが図-4

である。これによると累積大型車交通量が 300 万台時点では、再生材を用いた箇所は新材を用いた箇所と同程度の供用性状を示しているが、ひびわれ率が 10～35% であるところもいくつかあり、その原因を究明するとともに今後の追跡調査で再生材の耐久性をより明確にしていくことが望まれる。

これらの試験舗装のうち、一般国道 357 号の東雲地区で実施した試験舗装では、路面性状を中心とした供用性状だけでなく切り取りコアによる混合物、アスファルトの性状調査も合わせて耐久性の評価を行っている。この結果より再生用添加剤使用量と供用前後のアスファルトの針入度、ひびわれ率との関係をまとめたのが図-5 である。これより、アスファルトの物性でみると再生用添加剤の使用量が増加するに従って混合物中のアスファルトは劣化しやすくなる。また、ひびわれ率についてみても再生用添加剤を多く用いる場合の方がひびわれが発生しやすくなる傾向がある。このことより、アスファルトの物性、再生材の耐久性といった観点からみた場合、再生骨材の使用率、再生用添加剤の使用量については、配合設計上なんらかの制限を設ける等の配慮が必要と思われる。これについては、今後さらに詳細な検討を進めていく必要がある。

(3) 工法の現状

本工法の標準的な設計施工基準として「舗装廃材再生利用技術指針(案)」(日本道路協会)がある。以下にその概要を紹介する。

a) 適用と設計：指針(案)における舗装の構造設計および再生材の品質

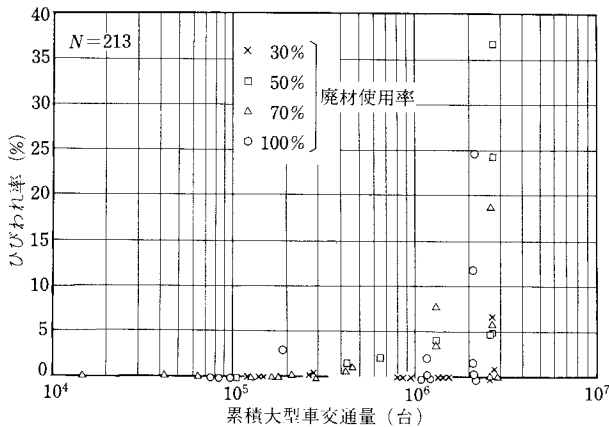


図-4(a) 累積大型車交通量とひびわれ率の関係 (再生材)

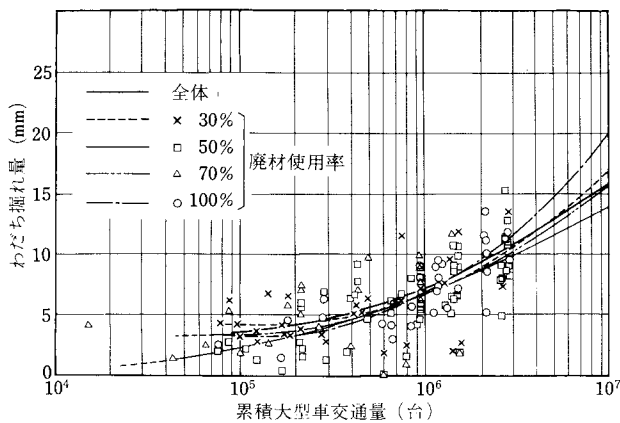


図-4(b) 累積大型車交通量とわだち掘れ量の関係 (再生材)

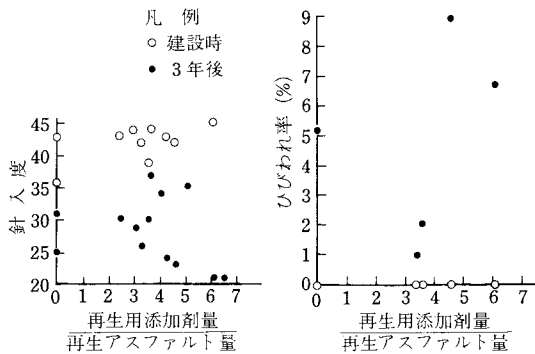


図-5 再生用添加剤量と供用性

は、要綱等に適合することを原則とする。しかしながら、重交通道路の表層への適用については当面避けることとする。

b) 再生材の品質：再生材の品質は、要綱等の基準を満足するものとし、その適用や評価については原則として新しい材料のみを用いた場合と同等に扱うものとする。

る。

c) 再生材の材料：再生材に用いる材料のうち補足材料として加えるアスファルトや路盤材料については、要綱等の材料規定に従うものとし、再生路盤材は要綱の規定に準じた材料規定が定められている。再生材に特徴的なものであるアスファルトコンクリート再生骨材や再生用添加剤、再生アスファルトについては指針(案)のなかでその材料規定が示されている。

d) 配合設計：再生路盤材ならびに再生加熱アスファルト混合物の配合設計は、原則として要綱等に規定されている品質を満足するように行わなければならない。加熱アスファルト混合物の配合設計では、必要とする再生アスファルトの品質に応じて目標とする針入度を設定し、これへの調整と骨材粒度、アスファルト量の決定を行う。

e) 混合所：再生材の混合所は原材料となる舗装廃材の発生時期と再生された材料の需要時期にずれがあるため、通常の混合所に比べて材料置場を広く確保する必要がある。また、都市近郊に建設される場合が多いため騒音対策や粉塵対策設備が必要である。

f) 品質管理および検査：品質管理、出来形管理および検査の一般的な事項は要綱に従うものとする。再生材にかかわる追加項目としては、再生骨材の旧アスファルトの含有量、旧アスファルトの針入度、洗い試験で失われる量、および再生加熱アスファルト混合物から回収した再生アスファルトの針入度、再生骨材の配合率、再生アスファルト量がある。

g) 今後の課題：舗装廃材の再生利用については、まだ開発途上の技術であり、今後の新たな技術開発の状況ならびに供用性にかかわる追跡調査の結果に応じて検討していかなければならない課題がまだ残されている。プラントリサイクリング工法についてこのような技術的課題を整理すると以下ようになる。

- ① 耐久性に関するデータの蓄積
- ② 重交通道路に対する評価
- ③ 再生用添加剤の効果
- ④ 再生路盤材の支持力に及ぼすアスファルトコンクリート廃材の影響

4. 路上再生路盤工法

(1) 工法の概要と実績

a) 工法の概要：本工法は図-6に示すように破損の進んだ既設アスファルト混合物を路上現位置で破碎し、

同時にこれをセメントやアスファルト乳剤等の添加材料と既設粒状路盤材料とともに混合し締め固めて安定処理した路盤をつくるものである。

この工法の特長は舗装廃材がほとんど発生しないことにあり、従来の工法に比べて施工速度が速く、一般交通および沿道住民への影響が少ない等の利点もある。

添加材料はセメント単独またはセメントとアスファルト乳剤の併用が一般的であるが、石灰単独あるいはアスファルト乳剤単独などの場合もある。

施工には、既設舗装の破碎および安定処理を同時に行う路上破碎混合機が用いられる。セメント単独による一般的な施工手順では、まず既設舗装面上に添加材料を散布し、次に路上破碎混合機に破碎混合を行い、その後モータグレーダより整形し、タイヤローラおよびマカダムローラ等により締め固める。

b) 施工実績：本工法の実績を経年的に示したのが図一七である。施工量は昭和54年頃から急増し、昭和60年度には約340万 m^2 に達している。昭和62年1月日本道路協会より技術指針(案)が発刊され技術の標準化がはかられたこともあり、今後さらに実績は伸びるものと期待されている。

適用された道路の種別、交通の区分についてまとめたものが図一八である。道路種別では都道府県道と市町村道が92%、交通区分では比較的交通量の少ないL、A

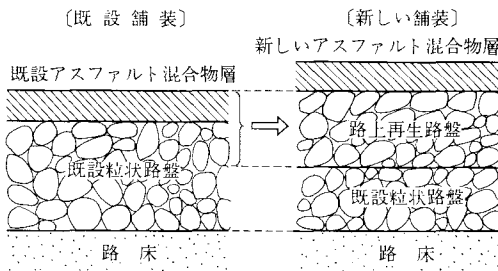
交通とB交通が98%と大半を占めている。

(2) 試験舗装と実態調査

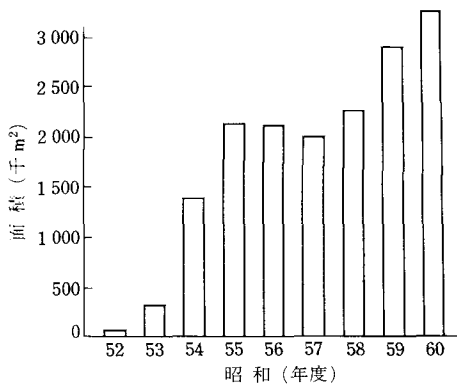
a) 試験舗装：本工法の施工性、供用性等を検討するため昭和58年2月に主要地方道宇都宮益子線栃木県真岡市内において試験舗装を行い、施工後定期的に追跡調査を実施した。

追跡調査から得られた工区ごとのPSI(供用性指数)の経年変化を図一九に示す。図一九からもわかるように、路上再生路盤工法(第1~第3, 第7~第9工区)のPSIは通常の工法(第4, 5, 6工区)のものと同程度になっている。特に本工法の主流となるセメントおよびセメント・アスファルト乳剤はそれぞれ通常のセメント安定処理、瀝青安定処理と比較して遜色がなく、本工法を通常の安定処理工法と同等に扱うことは可能と考えられた。

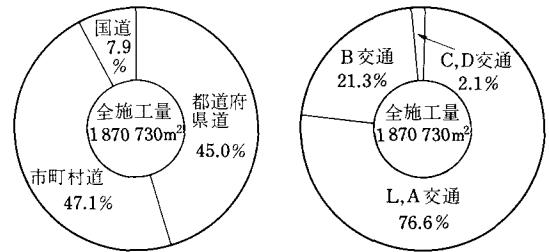
b) 実態調査：日本道路協会は昭和58年11月に全国の都道府県、市町村を対象に本工法施工箇所の実態調査を行った。調査数は327か所(セメント132か所、セメント・アスファルト乳剤176か所、その他19か所)



図一六 路上再生路盤工法での断面構成の一例

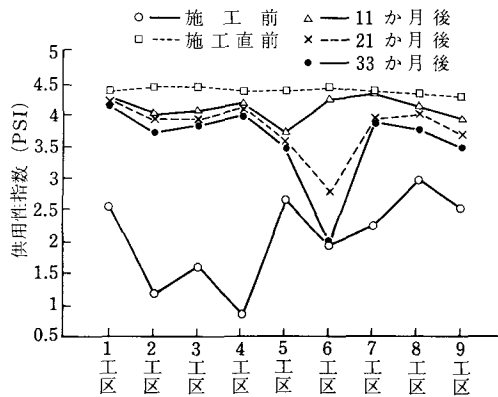


図一七 路上再生路盤工法の施工実績の推移(道建協調べ)



交通量の区分	大型車交通量(台/日・一方向)
L 交通	100 未満
A 交通	100 以上 250 未満
B 交通	250 以上 1,000 未満
C 交通	1,000 以上 3,000 未満
D 交通	3,000 以上

図一八 施工の実態(昭和57年度実績)



図一九 経年別供用性指数の工区比較

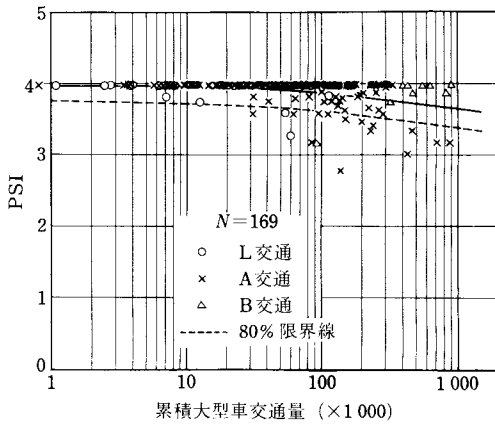


図-10 累積大型車交通量とPSI (セメント安定処理)

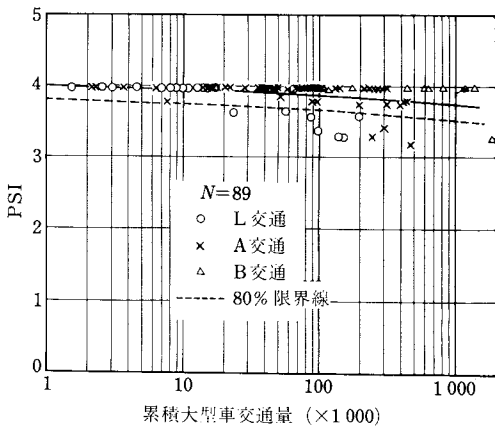


図-11 累積大型車交通量とPSI (セメント・アスファルト乳剤安定処理)

であり、土木研究所が解析を実施したが、図-10、11はそのうちの累積大型車交通量とPSIの関係を示したものである。維持修繕を要しない路面のPSIの下限値は3.5くらいとされているが、両安定処理とも大型車100万台通過時点においてPSIの80%限界値が3.5程度であることから本工法の実用性は十分あるものと判断された。

c) 等値換算係数：等値換算係数とは、舗装を構成する各層の耐久性・支持力等に寄与する強さを、表層・基層用の加熱アスファルト混合物の強さを基準として表わしたものである。舗装要綱では、表層・基層用加熱アスファルト混合物1.0、上層路盤用歴青安定処理（加熱混合）0.80、同（常温混合）0.55、上層路盤用セメント安定処理0.55、同石灰安定処理0.45と定められている。

技術指針（案）の作成にあたっては、本工法によるセメント安定処理およびセメント・アスファルト乳剤安定処理の等値換算係数を定める必要があった。推定は室内

表-3 路上再生路盤の等値換算係数

	室内試験に基づく評価	実態調査に基づく評価	等値換算係数の評価
セメント安定処理 (20 kg/cm ²)	0.45	0.51~0.61	0.45
〃 (25 kg/cm ²)	0.50	0.57~0.61	0.50
〃 (30 kg/cm ²)	0.55	0.54~0.68	0.50
セメント・アスファルト乳剤安定処理	0.65	0.73~0.81	0.65

試験で得られる材料強度の評価と実態調査で得られる供用性の評価からの2種の推定を行っている。

室内試験については、セメント安定処理は一軸圧縮強さ（7日）を、またセメント・アスファルト乳剤安定処理は応力緩和試験より得られる緩和変形係数を強度特性とした。供用性については次式を用いて等値換算係数を求めている。

$$a_r = (T_A - \sum (a_n \times h)) / h_r$$

a_r ：路上再生路盤の等値換算係数

T_A ：PSIより算定される T_A

$\sum (a_n \times h)$ ：路上再生路盤以外の層の T_A

h_r ：路上再生路盤の層厚

推定の結果は表-3に示すとおりである。

セメント安定処理では従来一軸圧縮強さの目標値30 kg/cm²が用いられていたが、路上再生路盤工法の場合は、既設アスファルト混合物の混入により30 kg/cm²を目標とすると供用性等が通常のものより低下する傾向が見受けられるので、一軸圧縮強さの目標値は25 kg/cm²としその等値換算係数は0.50とした。またセメント・アスファルト乳剤安定処理は室内試験からの推定値もあり0.65を採用することとした。

(3) 工法の現状

本工法の標準的な設計・施工基準としては「路上再生路盤工法技術指針（案）」（日本道路協会、昭和62年1月）がある。以下その概要を紹介する。

a) 基本的な考え方：

- ・対象は施工実績の多いセメントおよびセメント・アスファルト乳剤による安定処理とする。

- ・「アスファルト舗装要綱」で規定する上層路盤として扱うことを原則とする。

- ・当面簡易舗装および交通区分L、A、Bの道路に適用する。

b) 調査：既設舗装の一部を材料として利用し、現道上で施工するものであり、その適用にあたっては事前調査を行い、現場条件、既設舗装の性状等について十分把握することが重要である。

c) 設計：設計の方法はアスファルト舗装要綱に準じ、等値換算係数はセメント安定処理0.50、セ

メント・アスファルト乳剤安定処理0.65とする。また既設アスファルト混合物の厚さは15 cm 以下が望ましい。

d) 配合設計：セメント安定処理では通常の一軸圧縮試験（目標7日強さ25 kg/cm²）を行い最適セメント量を決定する。セメント・アスファルト乳剤安定処理の場合は、乳剤の添加量は骨材の粒度、既設アスファルト混合物の混入率により算出する。セメント量はマッシュアル安定度試験用供試体を使用した一軸圧縮試験（CAEの一軸圧縮試験）を行い決定する。

e) 施工機械：破碎混合に使用される路上破碎混合機に要求される能力としては、i) 既設アスファルト混合物を最大粒径がおおむね50 mm 以下に破碎できること、ii) このように破碎した再生骨材と補足材料、添加材料等を均一に混合できること、iii) 破碎混合厚を的確に調整できること、iv) 乳剤量や散水量の調整ができることなどである。

f) 品質管理および検査：アスファルト舗装要綱で示されている小規模な工事の方法に準じる。

g) 簡易舗装への適用：適用、設計の扱いは「簡易舗装要綱」で規定されている安定処理工法の扱いに準じるが、配合設計、施工等については本指針（案）に従う。

5. 路上表層再生工法

(1) 工法の概要と実績

a) 工法の概要：路上表層再生工法は、既設アスファルト舗装のうち表層の路面性状改善や品質改善を目的として、既設表層を対象に現位置にて加熱、かきほぐし、混合、締め固め等の作業を連続的に行い、新しい表層として再生する工法であり、以下のような特徴を有する。

① 既設表層材を現位置で再生利用するため、舗装廃材が発生せず、廃材の運搬や捨場の確保が不要である。

② 既設表層材を再利用するため、新規アスファルト混合物等の使用量は少なくてすむ。

③ 一工程で施工が完了するため、一般交通や沿道住民への影響は少なく、しかも、急な降雨や施工機械の不備により施工を中断する場合でも、そのまま交通開放を行うことができる。

④ 工事に伴う振動、騒音が小さく、市街地での夜間作業にも適している。

標準的な作業工程と機械編成を図-12に示す。本工法は、施工方式の相違によりリミックス方式とリペーブ方式とに分けられる。リミックス方式は、加熱、かきほぐした既設表層材に必要に応じて添加材料を加え、これと新規アスファルト混合物とを混合して敷きならし、締め固めて仕上げる方法であり、リペーブ方式は加熱、かきほぐした既設表層材に必要に応じて添加材料を加えて

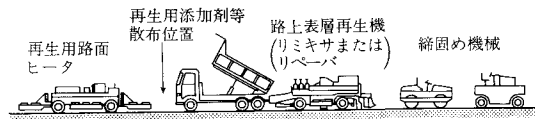


図-12 標準的な作業工程と機械編成

表-4 各方式の作業の流れ

方式	作業の流れ
リミックス	<p>(添加材料) 新規混合物</p> <p>加熱 かきほぐし 混合 敷きならし 締め固め</p> <p>(再生用路面ヒータ) (路上表層再生機) (締め固め機械)</p>
リペーブ	<p>(添加材料) 新規混合物</p> <p>加熱 かきほぐし(攪拌) 敷きならし 締め固め</p> <p>(再生用路面ヒータ) (路上表層再生機) (締め固め機械)</p>

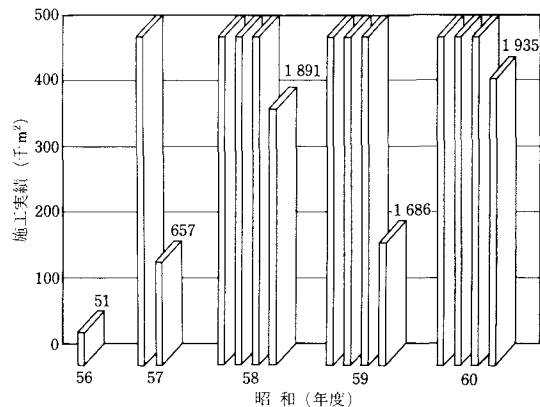


図-13 路上表層再生工法の施工実績の推移（道建協調ペ）

攪拌し敷きならし、その上部に新規アスファルト混合物を所定厚さに敷きならし、これらを同時に締め固めて仕上げる方法である。リミックス方式、およびリペーブ方式の作業の流れを表-4に示す。

b) 工法の実績：路上表層再生工法の施工実績の推移を図-13に示す。発注機関別に実績をみると、日本道路公団、建設省、地方官庁が多く日本道路公団では、既設舗装の品質や破損形態に対して適用限界を設けているが、本工法の実用化を進めているところで、一方建設省、地方官庁では、維持的なものを主体に実績を積んでおり、合わせて修繕的なものを対象にした試験舗装も行っている。

(2) 試験施工と工法開発

路上表層再生工法のごく初期のものとして、既設舗装面を路面ヒータで加熱後、碎石を圧入し、その上にオーバーレイを実施する工法が昭和53年に実施された。その後、本格的な路上表層再生工法としては最初の試験施工が昭和56年7月東北自動車道の盛岡地内において日本道路公団により実施された。これは当地が積雪寒冷地でアスファルト混合物の摩耗が著しいため、新規合材を補うリペーブ方式で行った。既設混合物の品質改善を特に考慮したものではないが、配合設計のためのかきほぐし合材の供試体作製を110°Cで行い、空隙率が3~6%となるように管理すれば良好な路面が得られることを指摘するなど、この試験施工がその後の設計施工技術の確立に果たした役割は大きい。

また建設省でも昭和57年より直轄国道において試験施工が実施され、そこではリペーブ方式のみならず、リミックス方式についても調査が行われた。また昭和59年には新規アスファルト混合物を補足混合するリミックス工法を都内の重交通路線に初めて適用し、新しい修繕工法としての耐久性を評価するための追跡調査を行っている。施工後2年経過した時点での評価では、①再生アスファルトの経時的な変化は新設舗装とほぼ同程度で、②リミックス工法を用いた舗装のわだち掘れや平坦性の変化傾向は切削オーバーレイ工法あるいは一般的なアスファルト舗装と同程度という報告がなされている。これらの箇所の試験施工はアスファルトの劣化があまり進行していない舗装での路上表層再生工法の適用であったが、昭和61年には、同じ都内の国道で既設表層混合物の老化が進んだ舗装（針入度10~27、平均17）にも乳剤系の再生用添加剤を使用して品質改善を行う目的の試験施工を実施した。再生後の混合物性状については当初の目標をほぼ達成することができ、その耐久性について現在、追跡調査を行っている。

また、路上表層再生工法に関し、現在、日本道路協会において技術指針（案）の検討作業がなされているが、その指針（案）の骨子に準拠した試験舗装が全国の国道17か所、延べ38工種について昭和62年に実施され、その施工性、耐久性について調査が進められている。

（3）工法の現状と課題

路上表層再生工法については、上記で示したように、供用性状の確認を主とした工法の評価を行うため、全国的に試験舗装を実施し、現在これらの追跡調査を進めているところである。設計施工の標準化を目指した技術指針の作成は、これら試験舗装の最終的な評価を待ってとりまとめられるものであるが、試験舗装を含む当面の適用に資するため、日本道路協会において現状での実績ならびに試験舗装の一部の短期的な供用性状をもとに、技術指針（案）として設計、施工の基本的な考え方をとり

まとめるべく現在検討中である。ここでは現段階における指針（案）の概要を紹介する。

a) 本工法適用にあたっての注意事項

① 本工法の適用にあたっては、路面状況、沿道状況等の現場条件について十分調査を行い、施工上問題がなく、連続した作業帯が確保できることを確認しておく必要がある。

② 本工法によって再生された表層の品質は、既設舗装の性状に大きく影響されるので、本工法の適用にあたっては、既設舗装の品質性状の評価とそれにかかわる事前調査が特に重要である。既設舗装の評価では、破損の原因と程度を十分に把握し、これに基づいて、本工法の適用性を確認するとともに、適切な設計、施工を行うよう努めなければならない。

③ 本工法は、維持修繕工法の1つとして適用されるものなので、その適用にあたっては、通常行われている維持修繕工法と対比したうえで、その適用性、経済性を確認し、実施しなければならない。

b) 適用と設計：本工法は専用機械を用いた機械化施工が前提で、現道上で施工するので、周辺の状況および道路構造等によりその施工は制約を受ける。また、舗装構造は特に変更せずに、既設表層混合物の一部を新しい表層の材料として再生利用するので、その適用にあたっては、現場条件や既設舗装の品質ならびに破損原因を事前に調査し、工法の適用性を確認したうえで、適切な施工方式の選択と断面設計とを行わなければならない。

本工法によって再生されるアスファルト混合物の品質性状およびそれを含む舗装断面の設計は、本指針（案）ならびに「アスファルト舗装要綱」、「道路維持修繕要綱」に示すものによる。

事前調査は、本工法の適否を判断するための概略調査と設計施工の詳細を決めるための詳細調査に分けて整理し、それぞれについて調査項目、調査内容をとりまとめた。工法の適用については、既設舗装の性状にかかわる条件と現場状況にかかわる条件に分けて整理して示すとともに、リミックス方式とリペーブ方式の選択については、品質改善の必要性の程度等を考慮した使い分けの考え方を示している。断面設計については、「道路維持修繕要綱」に基づく考え方を準用している。

c) 材 料：本工法に使用される材料は、既設アスファルト混合物、新規アスファルト混合物および添加材料に大別され、添加材料は、さらに再生用添加剤と特殊人工骨材とに分けられる。ここではこれらの材料の品質規格を示している。

再生用添加剤は、既設舗装材に含まれる老化した旧アスファルトの針入度等の性状を回復させる目的で既設舗

装材に添加するものをいい、リミックス方式においては新規アスファルト混合物と併用して、リペーブ方式においては単独でそれぞれ既設舗装材に添加混合して用いられる。再生用添加剤にはエマルジョン系とオイル系のものがある。

d) 配合設計：リミックス方式における再生表層混合物は、原則としてアスファルト舗装要綱等に示される品質を満足するように配合設計を行う。このため、旧アスファルトの品質に応じた目標針入度への調整および粒度改善、設計再生アスファルト量の決定等を行う。その方法は、品質改善の必要性の程度および施工方式の種類によって異なり、新規混合物および必要に応じて添加材料を用いる。品質改善目標としては、既設混合物の舗設当初の性状への回復を図ることもあるが、一般的にはより一層積極的に耐流動、耐摩耗対策等の品質改善を行う。

リペーブ方式では、既設混合物の品質改善は添加材料のみによって行う。なお、リペーブ方式の上部に用いる新規混合物については、配合設計の方法はアスファルト舗装要綱に示すものによる。

e) 施工機械：本工法に用いる施工機械には、再生用路面ヒータ、路上表層再生機および締固め機械などがある。

再生用路面ヒータおよび路上表層再生機は、本工法専用の施工機械であり、それぞれ所定の機能を保有したものでなければならない。また、締固め機械など従来の機械であっても、目的に合った適切な機種を選定しなければならない。

f) 施工：本工法は、専用機械を主体とする機械化施工が前提であり、かつ従来にはない新しい施工技術を含むものである。したがって、施工前に現地を十分に踏査し現場条件の確認と設計内容の吟味とを行い、合理的な施工計画を立案する必要がある。特に施工上は、連続施工に心がけ均一な仕上りを確保することが大切である。本工法では、加熱、かきほぐし、混合、転圧等の工程を経て再生混合物がつくられるが、再生混合物の品質確保には、各段階での適切な温度管理が重要で、寒冷期に施工を行う場合等では特に注意する必要がある。

g) 品質管理および検査：路上表層再生工法は、既設の舗装を現地で再利用するものであるから、事前に既設舗装の性状把握を主体とした事前調査、および施工時の温度管理などが出来上がりの舗装の品質に影響を及ぼす度合いが大きいため厳密に行うことが必要である。なお、出来型管理、品質管理および検査の一般的事項は、「アスファルト舗装要綱」に従うものである。

h) 今後の課題：以上、現在検討が進められている技術指針（案）の概要を示したが、これらの内容は現状

での実績をもとに、本工法を維持修繕工法の1つとして実際に適用する場合の基本的な考え方として示したものである。しかしながら、本工法も、他の再生利用工法と同様まだ開発途上の技術であり、今後の技術開発の状況あるいは現在追跡調査を行っている試験舗装の結果に応じて、技術指針（案）の内容についても見直し検討していかなければならない。

検討の対象となる技術的課題を整理すると以下のようなものが挙げられる。

- ① 維持修繕工法として適用する場合の適用条件、適用範囲
- ② 再生層の耐久性評価（等値換算係数の評価）
- ③ 再生用添加剤の検討
- ④ 配合設計法の検討
- ⑤ 温度管理、かきほぐし厚さの管理等に関する新しい管理手法の検討

6. 再生工法用機械

舗装廃材の再生工法に使用される標準的な施工機械を表—5に示す。このうち路面切削機、再生アスファルトプラント、路上表層再生機および路上破碎混合機を取り上げ、開発の経緯、現在の状況等を簡単に紹介する。

(1) 路面切削機

アスファルト舗装の不陸整正には、路面を加熱・軟化させ備え付けのブレードで削り取るヒータプレーナが用いられていたが、処理厚が2cm程度で施工能力が小さなものであった。また舗装の剥ぎ取りにプレーカ等が使用されていたが、振動、騒音が伴うものであった。これらを改良するものとして、昭和40年代後半に入るとドラムカッタ（ドラム外周に切削用のビットやタインを取り付けたもの）を装備した機械、すなわち路面切削機が開発されるようになった。当時の開発機としては、45年建設省中国地建が開発した常温式のものや46～47年首都高速道路の維持修繕工事のために舗装業者が開発した常温式2機種、加熱式2機種がある。維持修繕工事に

表—5 再生工法の使用機械

再生工法	使用機械
混合所における再生加熱アスファルト混合物の製造	○路面切削機(またはその代用機械) ○再生アスファルトプラント ○アスファルトフィニッシャ ○各種ローラ
路上表層再生工法	○再生用路面ヒータ ○路上表層再生機 ○各種ローラ
路上再生路盤工法	○路上破碎混合機 ○モーターグレーダ ○各種ローラ

おける路面切削機の利用価値は高く、以降わが国のメーカーも独自の技術開発によって機械の改善・改良を進め、昭和50年代には中～小型機を中心に実用化の域に達している。

一方、アメリカでは路面切削機の大形化、高性能化が進められ、一般にコールドプレーナとよばれる大型機が実用化された。コールドプレーナは現在ではアメリカ、西独、スウェーデン等で製造され、わが国にも輸入されている。

(2) 再生アスファルトプラント

再生アスファルトプラントは、すでに1915年にアメリカに存在したとされるが、昭和48年の石油ショック以降主としてアメリカにおいて本格的な開発がなされ、逐次欧州、日本などへと技術が伝わっていった。

再生プラントは再生骨材の加熱方式により高温加熱骨材方式とドラムドライヤ方式とに分けられる。前者はパッチミキサで混合物を製造する際新規骨材を通常より高温に加熱しておき、これに新規アスファルトおよび舗装廃材から得られた常温の再生骨材とを混合し再生加熱混合物を製造する方式である。新規骨材の熱をミキサ中で再生骨材に供給することから「ミキサ熱交換法」ともよばれているこの方法は、再生骨材を最大40%程度までしか混入できないが、既存のプラント設備を若干改造すればよくわが国でも広く採用されている。

一方、ドラムドライヤ方式はドラムドライヤで再生骨材を加熱するものである。この方式は、1つのドラムで新規骨材、新規アスファルトおよび再生骨材を混合することができるもので、再生骨材に含まれるアスファルトの加熱劣化を防止する種々の改良がなされ、今ではセンターフィード方式が一般的である。このプラントは構造が単純で、架設費や運転コストが安いうえ能力が大きく、しかも再生骨材混入率を70～80%まで高められるなど長所も多い。わが国においては昭和51年度建設技術研究補助金による研究により、熱風循環式のセンターフィード型ドラムドライヤが開発され試作されている。

昭和61年3月現在のアスファルトプラント数は1834基であり、うち再生プラントは113基である。その内訳は高温骨材方式65基(58%)、ドラムドライヤ方式42基(37%)、その他6基(5%)となっているが、製造能力からみるとドラムドライヤ方式が全体の61%を占めており、今後既設プラントの更新などに合わせその基数は増加してゆくものと思われる。

(3) 路上表層再生機

アスファルト舗装を加熱、削り取る機械としてヒータプレーナが開発されたが、これはさらに加熱かきほぐしのできる機械、すなわちヒータスカリファイアへと発展する。昭和50年代になるとスカリファイアをさらに改

良し均一なかきほぐし、混合ができるリペーバまたはリミキサとよばれる専用機が開発された。リペーバはアメリカで開発が始まったが、その後昭和51年頃から西独でより高性能、多機能のものへと発展しリミキサへとつながってゆく。リペーバは既設舗装を加熱、かきほぐし、整正した後その上部に新規混合物を同時に舗設するものであり、リミキサは加熱かきほぐした既設混合物と別途供給される新規混合物とを腹部に装備したバグミキサ等で均一に混合し舗設する機械である。わが国では機械の運搬、現道上での操作性などを勘案して、リペーバ、リミキサともに加熱ユニットと再生ユニットを分離させているのが一般的である。

(4) 路上破砕混合機

路上再生路盤工法の実用化は路上破砕混合機の開発とともに進んできた。路上破砕混合機は従来のスタビライザのミキサ(ロータ)を強化しアスファルト表層の破砕と路盤材との混合を同時に行えるようにしたもので、クローラ型とホイール型があるが、いずれもアスファルト舗装を粒径50mm以下まで破砕できる。クローラ型は前部か後部に、ホイール型は腹部にロータを装備するのが一般的であるが、ロータのサイドシフトが可能なものもある。また予備破砕用のリッパを装備しているものもある。

わが国独自のものとしては、仕上り面の高さの調整ができるように、路床土をすき取りながら路盤の再生を行える機械も開発されている。

7. おわりに

以上わが国の舗装廃材の再生利用の現状について技術面を中心に紹介した。

21世紀に向けてわが国の経済社会の活力の保持と国民生活の向上を図るためには、社会資本を充実させてゆかなければならないことは多くの人の認めるところでもあり、その整備も十分ではないにしろ着実に進められている。

増大する社会資本のストックを適切に管理することは、今後ますます切実なそして重要な問題となってくる。

舗装の分野でいえば、多量の舗装資産を適切かつ効率的に維持補修してゆかなければならない。

今回紹介した舗装廃材の再生利用工法、特に路上再生工法は、第10次道路整備五箇年計画(案)でも「合理的・経済的な修繕を行うため、「舗装廃材を利用した路上再生工法による舗装修繕」等の技術開発を推進する」と述べられているように、廃材を廃棄することなく有効利用する省エネルギー省資源的工法であり効率的かつ経済的な維持補修工法として期待されているものである。

本工法の実用化をさらに高めるうえでの当面の課題と

しては、長期供用性の評価の確立、適用範囲の拡大の検討、事前調査や品質管理・検査で使用される測定法・試験法の省力化・迅速化、本工法特有の機械・材料の改良・開発が考えられる。

本稿中でも述べたように、欧米諸国でも本工法の技術開発は進められているが、わが国の技術レベルは諸外国に比して決して劣るものではない。これは本工法の開発に従事されてこられた諸先輩をはじめ関係各位の努力の賜物であり、今後ともこれらの成果を踏襲しつつ当面の課題に取り組み、国際的協力のもとで技術開発を進展させ、わが国はもとより他の国々にとっても有効な工法として完成を図ってゆくことが肝要と考えられる。

最後に再生工法用機械については羽山高義氏（日本舗道・技術開発部）より多大の協力を頂いたことをお断りするとともに同氏に対し感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) アスファルト舗装要綱，日本道路協会，昭和53年。
- 2) 舗装廃材再生利用技術指針（案），日本道路協会，昭和59年。
- 3) 路上再生路盤工法技術指針（案），日本道路協会，昭和62年。
- 4) 第1回海外技術調査団報告書，日本道路建設業協会，昭

和59年。

第2回海外技術調査団報告書，日本道路建設業協会，昭和60年。

- 5) 第14回日本道路会議特定課題論文集，日本道路協会，昭和56年。
- 6) 第16回日本道路会議特定課題論文集，日本道路協会，昭和60年。
- 7) 建設省技術研究会報告（昭和57，58，59年度），建設省。
- 8) 「再生合材を用いた東雲試験舗装の追跡調査結果」，土木技術資料，Vol.28，No.11。
- 9) 路上再生路盤工法に関する現況報告書，日本道路協会，昭和59年。
- 10) 路上再生路盤工法の現況と評価，建設省舗装研究室，昭和62年。
- 11) 舗装のリサイクリング（エプス博士とバーナード氏の報告），高速道路技術センター，昭和58年。
- 12) Equipment for Hot Recycling, D.G Brown, TRR 780, 1980.
- 13) プラント再生加熱アスコンの実態調査報告書，日本アスファルト合材協会，昭和62年。
- 14) 高野 漢・桃井 徹：アンダーカットFRB工法，道路建設，昭和58年5月号。
- 15) アスファルト舗装の再生利用技術に関する研究，日本舗道，昭和52年。

（1987.12.24・受付）