

土木研究所資料

省エネ型資材に関する調査

平成7年2月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室
道路部舗装研究室

Copyright © (1995) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

省エネ型資材に関する調査

材料施工部長

池村 雅司*

材料施工部新材料開発研究官

片 脇 清

材料施工部化学研究室

室 長 坂 本 浩 行

研究員 寺 田 剛

道路部舗装研究室

室 長 中 村 俊 行

研究員 久 保 和 幸

要 旨

地球環境問題を契機として、CO₂による温暖化を防止するためにエネルギー消費の削減が求められている。

建設事業は、事業の中のエネルギーに加え、大量の資材を消費する部門でもある。そのためにも、資源・エネルギー利用の効率化など環境への配慮を一層推進していく必要がある。

建設省総合技術プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」では、研究の一環として「省資源・省エネルギー型土木工法の開発」として常温型舗装及び省エネセメントの利用技術の開発を行っている。

本報告は、この研究を進めるにあたり、(財)土木研究センターに「省エネ型資材に関する現状調査研究会」を平成6年1月～3月まで設置し、省エネ型資材としての常温型舗装と省エネセメントに関する現状調査を行ったのでこの結果について報告するものである。

キーワード：地球環境問題，省資源，省エネルギー，CO₂，常温型舗装，乳剤
省エネセメント，ポリマー舗装

* 現 (財)日本デジタル道路地図協会企画調査部長

ま え が き

近年、先進国における資源・エネルギーの多消費や開発途上国における人口増加、都市集中、工業化等を背景として、地球温暖化など地球規模の環境問題が顕在化しつつある。この地球環境問題を経済成長と調和させつつ解決していくためには、資源・エネルギー利用の効率化や未利用資源・エネルギーの利用およびその開発が強く求められている。

建設事業は、多くの資源・エネルギーを消費する多消費産業である。建設事業においても、エネルギー原単位の小さい資材を使用することにより、資源・エネルギー利用の効率化、二酸化炭素の発生量低減など地球規模の環境問題への配慮を一層推進していく必要がある。

建設省総合技術プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」では、研究の一環として「省資源・省エネルギー型土木工法の開発」として常温型舗装及び省エネセメントの利用技術の開発を行っている。

本報告は、この研究を進めるにあたり、（財）土木研究センターに「省エネ型資材に関する現状調査研究会」を平成6年1月～3月まで設置し、省エネ型資材としての常温型舗装と省エネセメントに関する現状調査を行ったのでこの結果について報告するものである。

目 次

まえがき

1. 調査概要	1
1.1 調査目的	1
1.2 調査内容	2
1.3 研究会メンバー	3
2. 省エネセメントに関する調査	
2.1 調査項目及び方法	4
2.1.1 セメントの生産の現状	4
2.1.2 セメントの規格	4
2.1.3 省エネ技術の現状	4
2.1.4 セメントの用途に関する調査	4
2.1.5 省エネセメントの分類と適用	5
2.1.6 省エネセメントの利用に関する課題	5
2.2 省エネセメントに関する調査結果	6
2.2.1 セメントの生産の現状	6
2.2.2 セメント規格の調査結果	10
2.2.3 現状技術の調査結果	23
2.2.4 セメントの用途に関する調査	29
2.2.5 省エネセメントの分類と適用	34
2.2.6 省エネセメントの利用に関する課題	36
2.2.7 まとめ	38
2.2.8 今後の課題	38
3. 常温型舗装に関する調査	
3.1 乳剤系常温舗装	40
3.1.1 調査項目及び方法	40
(1) 乳剤系舗装と加熱アスファルト舗装の必要なエネルギーの比較	40
(2) 日本における乳剤の取扱われ方	40
(3) アスファルト乳剤の取扱われ方	40
(4) アスファルト乳剤の規格	40
(5) アスファルト乳剤に関する現状技術	41
(6) 施工機械に関する現状技術	41
(7) 乳剤舗装に関する現状技術	41
3.1.2 調査結果	43
(1) 乳剤系舗装と加熱アスファルト舗装のエネルギー消費量の試算結果	43
(2) 日本における乳剤の取扱われ方	45
(3) アスファルト乳剤の生産の現状	50
(4) 規格の調査結果	51

(5)アスファルト乳剤の現状技術の調査結果	6 7
(6)施工機械の現状技術	6 8
(7)乳剤舗装の現状技術	7 5
3.1.3 まとめ	8 4
3.1.4 今後の課題	9 0
3.2 ポリマー系常温型舗装	9 4
3.2.1 調査項目及び方法	9 4
(1)ポリマー系常温型舗装と加熱アスファルト舗装の必要なエネルギーの比較	9 4
(2)日本におけるポリマー系常温型舗装材の取扱われ方	9 4
(3)ポリマー系常温型舗装材の規格・仕様	9 4
(4)ポリマー系常温型舗装材に関する現状技術	9 4
(5)ポリマー系常温型舗装材の用途と実績	9 5
3.2.2 調査結果	9 6
(1)文献調査結果	9 6
(2)ポリマー系舗装と加熱アスファルト舗装の必要なエネルギーの比較	9 8
(3)日本におけるポリマー系常温型舗装材の取扱われ方	1 0 1
(4)ポリマー系常温型舗装材の規格・仕様	1 0 2
(5)ポリマー系常温型舗装材に関する現状技術	1 0 4
(6)ポリマー系常温型舗装材の用途と実績	1 0 7
3.2.3 まとめ	1 1 1
(1)ポリマー系舗装と加熱アスファルト舗装の必要なエネルギーの比較	1 1 1
(2)日本の舗装要綱でのポリマー系舗装材の取扱われ方	1 1 1
(3)ポリマー系常温型舗装材の規格・仕様	1 1 1
(4)ポリマー系常温型舗装材に関する現状技術	1 1 1
(5)ポリマー系常温型舗装材の長所・短所	1 1 2
3.2.4 今後の課題	1 1 3
(1)技術開発の方向	1 1 3
(2)対策	1 1 3
(3)技術開発の目標	1 1 3
4. 総括	
4.1 省エネセメントに関する調査	1 1 4
4.2 常温型舗装に関する調査	1 1 5
4.2.1 乳剤系常温型舗装	1 1 5
4.2.2 ポリマー系常温型舗装	1 1 7
あとがき	

1. 調査概要

1.1 調査目的

建設省総合技術プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」では平成3年度より、建設事業及び土木事業全体における資源、エネルギー消費量及びCO₂排出量の算定、代表的な土木分野の工事毎や工程毎における資源・エネルギー消費量及びCO₂排出量の算定及び土木事業における各資材のエネルギー消費量やCO₂排出量の算定などについて調査を行ってきた。

この結果、土木事業におけるエネルギー消費量は約 3.1×10^{14} kcal(全産業の7.6%)、CO₂排出量は、約3,031 t(全産業の9.7%)であることが分かった。

土木事業における各資材のエネルギー消費量及びCO₂排出量の結果では、図-1及び図-2に示すように、エネルギー消費量では第1位は鉄鋼、第2位はセメント、第3位はアスファルト、CO₂排出量では第1位はセメント、第2位は鉄鋼、第3位は、アスファルトという結果であった。

これらの結果より、省エネ型資材の利用技術の開発として貢献度が高い常温型舗装と省エネセメントについて平成6年度より利用技術の開発を行うことにした。

そこで、利用技術の開発を行うまえに、事前にこれら資材の現状調査を行い、効果や目標設定、課題などを整理することを目的として(財)土木研究センターに「省エネ型資材に関する現状調査研究会」を平成6年1月～3月まで設置し、調査を行った。

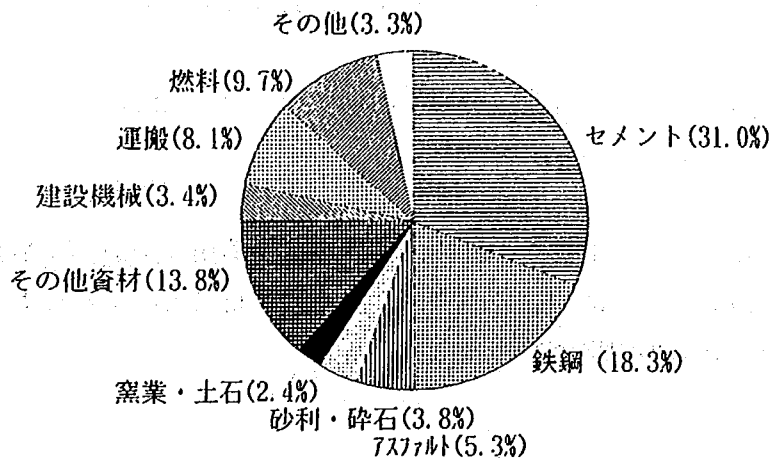


図-1 CO₂ 排出量の資材・燃料別内訳 (総量 3.03×10^7 kcal 炭素換算ト)

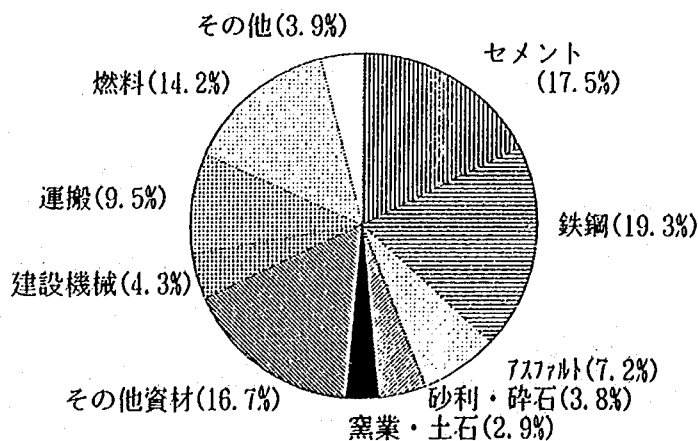


図-2 エネルギー消費量の資材・燃料別内訳 (総量 3.10×10^{14} kcal)

1.2 調査内容

本調査は、省エネ型資材である省エネセメントと常温型舗装に関する現状調査として以下に示す内容について調査を行った。

1.2.1 省エネセメントに関する調査

(1) 現状規格の調査

JIS, 土木学会, セメント協会, コンクリート工学協会, 各メーカー等の日本国内及び国外において規格化されているセメントやコンクリートの規格, 基準類を調査した。

(2) 現状技術の調査

セメント及びコンクリートにおける製造技術と工法について現状技術と省エネ, 省資源, 省CO₂の可能性のある技術について調査した。

(3) 用途の調査

土木分野におけるコンクリートの現状調査として省エネセメント, 省エネコンクリートの適用可能性や用途について調査した。また, 併せて, それぞれの用途におけるセメント, コンクリートの規格値を調査した。

1.2.2 常温型舗装に関する調査

常温型舗装として乳剤系及びポリマー系の2種類について下記に示す項目を調査した。

(1) 現状規格の調査

JIS, 道路協会, 道路公団, 乳剤協会, ポリマー協会, 各メーカー等の日本国内や国外において, 規格化されている乳剤系及びポリマー舗装の規格, 基準類を調査した。

(2) 現状技術の調査

乳剤及びポリマー舗装における製造技術や工法について現状技術と省エネ, 省資源, 省CO₂の可能性のある技術について調査した。

(3) 用途の調査

土木分野において乳剤系及びポリマー舗装の現状における用途や省エネ乳剤系, ポリマー舗装の適用可能性のある用途について調査した。また, 併せて, それぞれの用途における乳剤系及びポリマー舗装の規格値を調査した。

1.3 研究会メンバー

省エネ型資材に関する現状調査研究会に参加頂いた委員のメンバーは、以下の通りである。なお、各メンバーの所属及び役職は、平成6年1月研究会発足時点のものである。

(敬称略)

主 査	池村 雅司	建設省土木研究所材料施工部長
委 員	近田 孝夫	(社)セメント協会 技術幹事委員 新日鉄化学(株)セメント部部長代理
	北林 勇一	(社)セメント協会 環境幹事会委員 日本セメント(株)生産部生産課長代理
	植村 正	(社)アスファルト乳剤協会技術委員長 技術委員長 東亜道路(株)技術研究所長
	斉藤 弘志	ポリマー舗装協会 理事 ショーボンド建設(株)技術開発部長
	片脇 清	建設省土木研究所材料施工部化学研究室長
	中村 俊行	建設省土木研究所道路部舗装研究室長
	河野 広隆	建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室長
	坂本 浩行	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員
	寺田 剛	建設省土木研究所材料施工部化学研究室研究員
	久保 和幸	建設省土木研究所道路部舗装研究室研究員
	田中柳之助	(財)土木研究センター顧問
事務局	森 芳徳	(財)土木研究センター技術研究所調査試験部長
	杉田 好春	(財)土木研究センター技術研究所調査試験部研究員

2. 省エネセメントに関する調査

2.1 調査項目及び方法

2.1.1 セメントの生産の現状

現在生産されているセメントの種類とその生産高並びに各種セメントの一般的性質を調査する。

参考文献：セメントハンドブック（セメント協会）

セメントの常識（セメント協会）

2.1.2 セメントの規格

日本、欧州、英国、米国の規格を比較し、項目、範囲、試験値等の比較検討を行う。

参考資料 日本：JIS R 5210, JIS R 5211,

JIS R 5212, JIS R 5213

欧州：ENV 197-1

英国：BS 12, BS 4027, BS 1370, BS 146,

BS 6588, BS 4246, BS 6610,

BS 5224, BS 4248, BS 915

米国：ASTM C 150, ASTM C 595,

ASTM C 91, ASTM C 845

2.1.3 省エネ技術の現状

セメント産業での省エネの現状と今後の方向、並びに現状での省エネセメントについて調査する。

参考文献：飯塚：「セメント産業と環境対策」，セメント・コンクリート

No. 563, Jan 1994

2.1.4 セメントの用途に関する調査

我が国におけるセメントの用途及び使用状況の調査として、需要部門別セメント販売量、都道府県別セメント販売量及び種類別セメント販売量について、（社）セメント協会の統計資料をもとに最近5ヶ年の実績を調査する。また、使用者側のセメントの使用規定、規準の現状について、土木学会コンクリート標準示方書（施工編）、日本道路協会道路橋示方書及び建設省各地方建設局土木工事共通仕様書等における“セメント”に関する規定の内容を調査する。

2.1.5 省エネセメントの分類と適用

現在、我が国で生産・販売されている各種セメントのうち、2.1.3 で調査された結果をふまえて、現状で省エネセメントと位置づけられるセメントを取り上げ、それらの使用状況について調査する。また、今後開発が期待される省エネセメントについても提案する。

2.1.6 省エネセメントの利用に関する課題

今後、省エネルギー、CO₂ 排出削減の観点から有効と考えられる省エネセメントの使用を拡大するための課題について整理し、それらへの対応策について言及する。

2.2 省エネセメントに関する調査結果

2.2.1 セメントの生産の現状

(1)セメントの種類と生産高

現在、生産されているセメントの種類とその生産高及び主な使用場所を表-1に示す。

表-1 セメントの種類と生産高（セメント協会資料より）

セメントの種類				1992年度生産高		主な使用場所	
				生産高 (千t)	比率 (%)		
J S I で 規 定 セ メ ン ト	ポ ル ト セ メ ン ト	普通ポルトランドセメント		同低アルカリ形	69,480	76.6	土木、建築構造物
		早強		〃	3,417	3.8	緊急工事、寒冷期の 工事、コンクリート製品
		超早強		〃			
		中庸熟		〃	92	0.1	ダム、大規模な橋脚基礎
	耐硫酸塩		〃	5	0.0	硫酸塩環境の所の工事	
	混 合 セ メ ン ト	高炉セメント A種			327	0.4	土木工事
		〃 B種			16,374	18.1	
		〃 C種			39	0.0	
		シリカセメント A種			—	—	耐薬品性を必要とする 化学工場
		〃 B種			49	0.1	
		〃 C種			15	0.0	
		フライッシュセメント A種			15	0.0	ダム マス（大量）コンクリートの 建造
		〃 B種			346	0.4	
		〃 C種			300	0.3	
特 殊 セ メ ン ト	白色ポルトランドセメント			約 170		装飾材料	
	セメント系固化材			4,792		地盤改良、舗装処理	
	アルミセメント 超速硬セメント コロイドセメント 油井セメント			188	0.2		
特 殊 セ メ ン ト	地熱井セメント 膨張セメント 低発熱セメント その他の特殊セメント						
合 計				90,645	100.0		

注1) 白色ポルトランドセメントの生産高は推定値。又、合計生産量には含まない。

注2) セメント系固材用のセメント生産高はポルトランドセメント、混合セメント生産高に含まれる。

(2) 各種セメントの一般的性質

1) 普通ポルトランドセメント

土木・建築構造物の建設用として、最も汎用性の高いセメントが普通ポルトランドセメントである。また、左官用モルタルとしても使われている。

2) 早強ポルトランドセメント

エーライト (C_3S) の含有量を多くし、粉末度を高めたセメントで、短期間で高い強度を発現することができるセメントである。たとえば、普通ポルトランドセメントが材令3日で発現する強さを1日で、また、7日で発現する強さを3日で発現する。この特性を利用して、緊急工事用、寒冷期の工事用、コンクリート製品用などに使用されている。

3) 超早強ポルトランドセメント

早強ポルトランドセメントよりも、さらに短時間で強度を発現するセメントである。緊急補修用などに利用できるセメントである。

4) 中庸熱ポルトランドセメント

マスコンクリート工事用として、水和熱を低くすることを考慮してつくられたセメントである。水和熱を低くするために、エーライト (C_3S) とアルミネート相 (C_3A) の含有量を少なくしてある。したがって、相対的にビーライト (C_2S) の多い組成になっている。その結果、水和熱が低いだけでなく、①短期強度が普通ポルトランドセメントに比べると低い、②乾燥収縮が小さい、③硫酸塩に対する抵抗性が大きいなどの特徴がある。ダムや大規模な橋脚基礎工事などに適している。

5) 耐硫酸塩ポルトランドセメント

セメント中のアルミネート相 (C_3A) は、硫酸塩に対する抵抗性が弱いので、その含有量を極力少なくしたセメントが耐硫酸塩ポルトランドセメントである。硫酸塩は海水中、土壌及び地下水中に含まれていることもあり、このような硫酸塩環境の場所の工事に使用するのに適している。

6) 低アルカリ形のポルトランドセメント

前記の1)～5)のそれぞれのポルトランドセメントには、酸化ナトリウム (Na_2O) あるいは酸化カリウム (K_2O) の含有量を少なくし、0.6 %以下であることを保証したセメントがある。このセメントを「低アルカリ形のポルトランドセメント」と呼ぶ。このセメントはコンクリート用骨材がアルカリ反応性である場合に使用されて

いる。

7) 高炉セメント

水を用いて急冷した高炉スラグを混合材として用いたセメントが高炉セメントである。混合する高炉スラグの量によって、A種、B種、C種の3種の高炉セメントがつけられている。

一般に、高炉セメントの特性は、短期強度は普通ポルトランドセメントに比べると低い。高炉スラグの水和反応が遅いため、4週間程度経過すると、普通ポルトランドセメントと同程度かそれ以上になることもある。それは、高炉スラグの水和反応が遅いためである。その他に、①海水に対する抵抗性が優れていること、②水和反応によってできた組織が緻密であることなどの性質がある。この特徴を生かして、おもに土木工事に使われている。

8) シリカセメント

混合材として、シリカ質混合材を用いたセメントがシリカセメントである。

混合するシリカ質混合材の量によって、A種、B種、C種の3種のシリカセメントがJISで定められている。シリカ質混合材とは、二酸化けい素(SiO_2)を60%以上含んでいるポゾラン活性のある物質を指し、水和するとき生成する二酸化カルシウム(Ca(OH)_2)と水酸化けい素とが反応してできた水和物は緻密で耐久性が良好である。しかし、短期の強度発現が低く、高強度発現までに比較的長期間を要するため、その用途は耐薬品性を必要とする化学工場などごく一部である。

9) フライアッシュセメント

混合材として、火力発電所のボイラー排ガス中から集塵機で捕集した石炭灰の微粉のうち、きわめて微細で球形をした灰で未燃焼の炭素が残っていないフライアッシュを用いたセメントがフライアッシュセメントである。このセメントも、フライアッシュの量によって、A種、B種、C種の3種のフライアッシュセメントがある。

良質なフライアッシュを混合したフライアッシュセメントは、比較的少ない練り混ぜ水量で流動性が良く、打ち込みやすいコンクリートをつくることができる。また、水和熱を低く、乾燥収縮を小さくできるという優れた性質もあるので、これらの特性を利用して、ダムなどのようなマス(大量)コンクリートの建造に使用されている。

10) 白色ポルトランドセメント

ポルトランドセメントは、独特の灰色をしている。その原因はいくつかの着色成分を含んでいるためだが、酸化第二鉄(Fe_2O_3)が一番影響する。白色ポルトランドセメントをつくるには、酸化第二鉄をできる限り含まないように原料の選別を厳重に行うが、その他の成分は、ポルトランドセメントの成分と変わらない。白色ポルトランドセメントは、各種建造物の「表面仕上げ用モルタル」や「装飾材料」として使われている。また、顔料を混合して「カラーセメント」をつくることもできる。

11) セメント系固化材

セメント系固化材は、水を大量に含む軟弱地盤や有機質土壌の地盤を固化し、堅固な地盤に変えるための材料である。また、ベトベトのヘドロ地帯をサラサラの砂状土にして、処理しやすくする効果もある。このような性質を利用して下水汚泥や有害物質を含む土壌の固化にも使用されている。

12) 超速硬セメント

超速硬セメントは、水和反応が速く、短時間で凝結・硬化が進行して強度を発現するセメントである。たとえば、2～3時間でJIS試験の圧縮強さが 100kgf/cm^2 以上にもなる。最適用途としては、短時間で終了しなければならない緊急工事用であるが、その他に「吹付けコンクリート」や「グラウト（細かいすき間に充填すること）」なども使用されている。

13) 膨張性セメント

空气中に放置されたコンクリートは、乾燥して収縮し、収縮が大きいとひびわれを起す。これを防止する目的で、セメントに「膨張材」を混合したものが膨張性セメントである。市販されている膨張材としては、「カルシウムサルホアルミネート(CSA)系」のものと、「生石灰系」のものとがあり、グラウト工事などに用いられている。

14) 超微粒子セメント

超微粒子セメントは、普通のセメントよりも微粒子になるように粉砕してつくるが、成分は用途により異なる。例えば、トンネル工事の場合の岩盤の割れ目から流出する水の止水などに用いるが、この場合は、圧入したセメントが割れ目の先端まで達して、短時間で硬化する必要がある。また、油井、地熱井などの掘削にも用いるが、この場合は、水和反応が促進される高温高圧の環境下で使われるので、水和反応が遅く、長時間粘性を低く保持できるような性質が要求される。このように用途によってまった

く逆の性能を要求されるので、それに応じた化学成分の調整を行っている。

15) アルミナセメント

アルミナセメントは、ポルトランドセメント系のセメントとは全く異なる種類のセメントである。注水後の強さの表現がきわめて早いことが特徴で、練り混ぜ後6～12時間で普通ポルトランドセメントの材令28日強さに匹敵する強さとなる。また、耐火性、耐酸性にも優れているので、これらの性質を利用して「緊急工事」、「寒冷期の工事」、「耐火物」、「化学工場」などで用いられている。

16) 低発熱ポルトランドセメント

中庸熱ポルトランドセメントより水和熱の低いセメントで、中庸熱よりも更にエーライト(C₃S)やアルミネート相(C₃A)の含有量の低いセメントである。最近開発されたセメントで、低発熱、高流動、高強度に応えることのできるセメントとして注目されている。

17) その他のセメント

ポルトランドセメントを基材とし、微粉末の高炉スラグ、フライアッシュなどを混合したセメントで、水和熱の発生を低くしたセメントや収縮低減材を混合して乾燥収縮を小さくした低収縮セメントなどがある。

2.2.2 セメント規格の調査結果

(1) 日本の規格(JIS)

詳細は表-2(後添)に示すが、以下の規格がある。

JIS R 5210-1992 ポルトランドセメント

(普通, 早強, 超早強, 中庸熱, 耐硫酸塩セメント)

JIS R 5211-1992 高炉セメント(A, B, C種)

JIS R 5212-1992 シリカセメント(A, B, C種)

JIS R 5213-1992 フライアッシュセメント(A, B, C種)

ポルトランドセメントの種類は普通, 早強, 超早強, 中庸熱, 耐硫酸塩の5種類である。また、これらの全アルカリが0.6%以下の「低アルカリ形のポルトランドセメント」も規定されている。

混合セメントとしては、混合材に高炉スラグを用いた高炉セメント、シリカ質混合材を用いたシリカセメント、フライアッシュを用いたフライアッシュセメントが規格化されている。また、その混合材の添加量によりA種, B種, C種と分類されている。

表-2 日本の規格

セメントの種類		混合材 (質量%)	比表面積 (cm ² /g)	凝 結		安 定 性	圧縮強さ (kgf/cm ²)				水和熱 (cal/g)		化 学 成 分 (%)						
				始発 (min)	終結 (h)		1日	3日	7日	28日	7日	28日	MgO	SO ₃	Loss On Ignition	N ₂ Oeq	Cl	C ₃ O	C ₃ A
				MIN	MAX		MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
ポルトランドセメント	普 通	5以下	2,500	60	10	良	—	70	150	300	—	—	5.0	3.0	3.0	0.75	0.02		
	早 強	—	3,300	45	10	良	65	130	230	330	—	—	5.0	3.5	3.0	0.75	0.02		
	超 早 強	—	4,000	45	10	良	130	200	280	350	—	—	5.0	4.5	3.0	0.75	0.02		
	中 庸 熱	—	2,500	60	10	良	—	50	100	230	70	83	5.0	3.0	3.0	0.75	0.02	50	8
	耐硫酸塩	—	2,500	60	10	良	—	70	140	280	—	—	5.0	3.0	3.0	0.75	0.02		4
高炉セメント	A 種	5~30	3,000	60	10	良	—	70	150	300	—	—	5.0	3.5	3.0				
	B 種	30~60	3,000	60	10	良	—	60	120	290	—	—	6.0	4.0	3.0				
	C 種	60~70	3,000	60	10	良	—	50	100	280	—	—	6.0	4.5	3.0				
シリカセメント	A 種	5~10	3,000	60	10	良	—	70	150	300	—	—	5.0	3.0	3.0				
	B 種	10~20	3,000	60	10	良	—	60	120	260	—	—	5.0	3.0	—				
	C 種	20~30	3,000	60	10	良	—	50	100	210	—	—	5.0	3.0	—				
フライアッシュセメント	A 種	5~10	2,500	60	10	良	—	70	150	300	—	—	5.0	3.0	3.0				
	B 種	10~20	2,500	60	10	良	—	60	120	260	—	—	5.0	3.0	—				
	C 種	20~30	2,500	60	10	良	—	50	100	210	—	—	5.0	3.0	—				

従って、これら以外の混合材や2種類以上の混合材を使用したセメントはJIS規格外となる。

(2) 欧州の規格 (ヨーロッパ予備規格 ENV 197-1 : 1992)

詳細は表3.1～3.6(後添)に示すが、欧州各国の規格を包含した規格となっているので、セメントの種類がJIS規格よりも幅広いものとなっている。従って、この規格の特徴は以下の通りである。

①混合セメントの種類が多く、さらに、2種類以上の混合材を使用した複合セメントが規格化されている。

JIS : 高炉, シリカ, フライアッシュセメント

ENV 197-1 : 複合, 高炉, フライアッシュ, ポゾラン, 石灰石,
シリカフェーム, バークトシェールセメント

②混合材の添加量が35%以下(ただし、シリカフェームは10%以下)のものは、ポルトランドセメントに分類されている。

③混合材の添加範囲がJISよりも広い。例えば、

高炉セメント JIS : 5～70%

ENV 197-1 : 6～95%

シリカセメント JIS : 5～30%

ENV 197-1 : 6～55%

(ポゾランセメント)

フライアッシュセメント JIS : 5～30%

ENV 197-1 : 6～35%

④日本ではセメントの種類は機能で分類し、それに対する強度を規定しているのに対し、セメントの種類と強度(全てのセメントの種類に6等級の強度がある)で分類している。また、比表面積は規格化されていない。

なお、このヨーロッパ予備規格は欧州セメント協会(センビューロー)の欧州セメント標準規格委員会で1992年に採用が決定され、特に問題なければ3年後には正式にヨーロッパ規格となる予定である。今後の国際規格(ISO)化に際しては、この規格が中心となり、検討されていくことが予想され、日本としてもその動向を見守っていくことが大切と考えられる。

(3) イギリスの規格 (BS)

表-3. 1 ヨーロッパ予備規格(その1/6)

セメントの種類		強さ種類	混 合 材 (質量%)					凝 結	安定性	圧縮強さ(N/mm ²)				化学成分(%)			
			スラグ	ポゾラン	フライッシュ	石灰石	その他 MAX	始発 (min)	ルシャテリエ	2日 MIN	7日 MIN	28日 MIN	28日 MAX	Loss On Ignition	Insol Residue	Cl	SO ₃
								MIN						MAX	MAX	MAX	MAX
ポルトランドセメント		32.5	—	—	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	5.0	5.0	0.10	3.5
		32.5R	—	—	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	5.0	5.0	0.10	3.5
		42.5	—	—	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	5.0	5.0	0.10	3.5
		42.5R	—	—	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		52.5	—	—	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	5.0	5.0	0.10	4.0
		52.5R	—	—	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	5.0	5.0	0.10	4.0
複合ポルトランドセメント	A 種	32.5	< — — — — — >		6~20			60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	< — — — — — >		6~20			60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	< — — — — — >		6~20			60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	< — — — — — >		6~20			60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	< — — — — — >		6~20			45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	< — — — — — >		6~20			45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
	B 種	32.5	< — — — — — >		21~35			60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	< — — — — — >		21~35			60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	< — — — — — >		21~35			60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	< — — — — — >		21~35			60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	< — — — — — >		21~35			45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	< — — — — — >		21~35			45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0

表-3. 2 ヨーロッパ予備規格(その2/6)

セメントの種類		強さ種類	混 合 材 (質量%)					凝 結	安定性	圧縮強さ(N/mm ²)				化学成分(%)			
			スラグ	ポゾラン	フライッシュ	石灰石	その他 MAX	始発	引張り MPa	2日	7日	28日	28日	Loss On Ignition	Insol Residue	Cl MAX	SO ₃ MAX
								(min) MIN									
ポルトランド高炉セメント	A 種	32.5	6~20	—	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	6~20	—	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	6~20	—	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	6~20	—	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	6~20	—	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	6~20	—	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
	B 種	32.5	21~35	—	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	21~35	—	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	21~35	—	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	21~35	—	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	21~35	—	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	21~35	—	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
ポルトランドフライッシュセメント	A 種	32.5	—	—	6~20	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	—	6~20	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	—	6~20	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	—	6~20	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	—	6~20	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	—	6~20	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
	B 種	32.5	—	—	21~35	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	—	21~35	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	—	21~35	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	—	21~35	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	—	21~35	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	—	21~35	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0

表-3. 3 ヨーロッパ予備規格(その3/6)

セメントの種類		強さ種類	混 合 材 (質量%)					凝 結	安定性	圧縮強さ(N/mm ²)				化学成分(%)			
			スラグ	ポゾラン	フライッシュ	石灰石	その他 MAX	始発 (min)	引裂 リテリエ	2日 MIN	7日 MIN	28日 MIN	28日 MAX	Loss On Ignition MAX	Insol Residue MAX	Cl MAX	SO ₃ MAX
								MIN									
ポルトランド ポゾランセメント	A 種	32.5	—	6~20	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	6~20	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	6~20	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	6~20	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	6~20	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	6~20	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
	B 種	32.5	—	21~35	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	21~35	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	21~35	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	21~35	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	21~35	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	21~35	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
ポルトランド 石灰石セメント	A 種	32.5	—	—	—	6~20	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	—	—	6~20	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	—	—	6~20	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	—	—	6~20	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	—	—	6~20	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	—	—	6~20	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
	B 種	32.5	—	—	—	21~35	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	—	—	21~35	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	—	—	21~35	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	—	—	21~35	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	—	—	21~35	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	—	—	21~35	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0

表-3. 4 ヨーロッパ予備規格(その4/6)

セメントの種類		強さ種類	混 合 材 (質量%)					凝 結	安定性	圧縮強さ(N/mm ²)				化学成分(%)			
			スラグ	ポゾラン	フライッシュ	石灰石	その他	始発	ルンゲリエ	2日	7日	28日	28日	Loss On	Insol	Cl	SO ₃
								(min)						Ignition	Residue		
								MIN		MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
ポルトランド シリカフェームセメント	A 種	32.5	—	6~10	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	6~10	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	6~10	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	6~10	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	6~10	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	6~10	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
ポルトランド ハートシェール セメント	A 種	32.5	—	6~20	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	6~20	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	6~20	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	6~20	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	6~20	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	6~20	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
	B 種	32.5	—	21~35	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	4.5
		32.5R	—	21~35	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	4.5
		42.5	—	21~35	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.5
		42.5R	—	21~35	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.5
		52.5	—	21~35	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.5
		52.5R	—	21~35	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.5
高炉セメント	A 種	32.5	36~65	—	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		32.5R	36~65	—	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		42.5	36~65	—	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		42.5R	36~65	—	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		52.5	36~65	—	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	5.0	5.0	0.10	4.0
		52.5R	36~65	—	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	5.0	5.0	0.10	4.0

表-3. 5 ヨーロッパ予備規格(その5/6)

セメントの種類		強さ種類	混 合 材 (質量%)					凝 結	安定性	圧縮強さ(N/mm ²)				化学成分(%)			
			スラグ	ポゾラン	フライッシュ	石灰石	その他	始発	ルンデリエ	2日	7日	28日	28日	Loss On	Insol	Cl	SO ₃
								(min)						Ignition	Residue		
								MIN		MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
高炉セメント	B 種	32.5	66~80	—	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		32.5R	66~80	—	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		42.5	66~80	—	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		42.5R	66~80	—	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	5.0	5.0	0.10	4.0
		52.5	66~80	—	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	5.0	5.0	0.10	4.0
		52.5R	66~80	—	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	5.0	5.0	0.10	4.0
	C 種	32.5	81~95	—	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	5.0	5.0	0.10	4.5
		32.5R	81~95	—	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	5.0	5.0	0.10	4.5
		42.5	81~95	—	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	5.0	5.0	0.10	4.5
		42.5R	81~95	—	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	5.0	5.0	0.10	4.5
		52.5	81~95	—	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	5.0	5.0	0.10	4.5
		52.5R	81~95	—	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	5.0	5.0	0.10	4.5
ポゾランセメント	A 種	32.5	—	<—11	~35—>	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	<—11	~35—>	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	<—11	~35—>	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	<—11	~35—>	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	<—11	~35—>	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	<—11	~35—>	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
	B 種	32.5	—	<—36	~55—>	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	—	<—36	~55—>	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	—	<—36	~55—>	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	—	<—36	~55—>	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	—	<—36	~55—>	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	—	<—36	~55—>	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0

表-3. 6 ヨーロッパ予備規格(その6/6)

セメントの種類		強さ種類	混 合 材 (質量%)					凝 結	安定性	圧縮強さ(N/mm ²)				化学成分(%)			
			スラグ	ポゾラン	フライアッシュ	石灰石	その他	始発	ルソナリエ	2日	7日	28日	28日	Loss On Ignition	Insol Residue	Cl	SO ₃
								(min)									
								MIN		MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
複合セメント	A 種	32.5	<—	18~30	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	<—	18~30	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	<—	18~30	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	<—	18~30	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	<—	18~30	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	<—	18~30	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
	B 種	32.5	<—	31~50	—	—	5	60	10	—	16	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		32.5R	<—	31~50	—	—	5	60	10	10	—	32.5	52.5	—	—	0.10	3.5
		42.5	<—	31~50	—	—	5	60	10	10	—	42.5	62.5	—	—	0.10	3.5
		42.5R	<—	31~50	—	—	5	60	10	20	—	42.5	62.5	—	—	0.10	4.0
		52.5	<—	31~50	—	—	5	45	10	20	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0
		52.5R	<—	31~50	—	—	5	45	10	30	—	52.5	—	—	—	0.10	4.0

詳細は表-4 (後添) に示すが、以下の規格がある。

- BS 1 2 : 1991 ポルトランドセメント (強さ等級別に分類)
- BS 4 0 2 7 : 1991 耐硫酸塩ポルトランドセメント (強さ等級別に分類)
- BS 1 3 7 0 : 1984 低熱ポルトランドセメント
- BS 1 4 6 : 1984 高炉ポルトランドセメント
- BS 6 5 8 8 : 1985 フライアッシュセメント
- BS 4 2 4 6 : 1984 低熱高炉ポルトランドセメント
- BS 6 6 1 0 : 1985 ポゾランセメント
- BS 5 2 2 4 : 1978 メーソンリーセメント
- BS 4 2 4 8 : 1984 高耐硫酸塩セメント
- BS 9 1 5 : 1983 高アルミナセメント

①1991年にポルトランドセメント、耐硫酸塩の規格が改訂され、ほぼヨーロッパ予備規格 (ENV 1 9 7 - 1) と同一になっている。

②混合材としてはスラグ、ポゾラン、フライアッシュ、石灰石が認められている。

(4) アメリカの規格 (ASTM)

詳細は表-5.1 ~5.2(後添) に示すが、以下の規格がある。

ASTMC 1 5 0 : 1989 ポルトランドセメント

(普通, 早強, 中耐硫酸塩, 高耐硫酸塩,
中庸熱, 低熱セメント)

ASTMC 5 9 5 : 1989 混合ポルトランドセメント

(高炉, ポゾランポルトランドセメント)

ASTMC 9 1 : 1989 メーソンリー, スラグセメント

ASTMC 8 4 5 : 1990 膨張セメント

①ポルトランドセメントについては日本と同様に種類別で分類。

②混合材としてはスラグとポゾランしかなく、フライアッシュ、石灰石等は認められていない。

③混合ポルトランドセメントは母体セメントの種類 (普通, 中庸熱, 中耐硫酸, 塩, 低熱セメント) 別に分類されている。

④添加材料としてAE剤を用いたものはすべて別種類のセメントとして定義されている。

表-4 イギリスの規格

セメントの種類	強さ種類	混 合 材 (質量%)					凝 結 始発 (min)	安定性 ルソナリエ	圧縮強さ(N/mm ²)					水和熱 (kJ/kg)		化 学 成 分 (%)									
		スラグ	ポゾラン	フライ アッシュ	石灰石	その他			2日	3日	7日	28日	28日	7日	28日	Loss On Ig- nitition MAX	Insol- Re- sidue MAX	Al ₂ O ₃ MAX	MgO MAX	Cl MAX	Na ₂ O MAX	SO ₃ MAX	C ₃ A MAX	C ₃ S MAX	
ポルトランドセメント	32.5N	—	—	—	—	5	60	10	—	—	16	32.5	52.5	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	3.5	—	—	
	32.5R	—	—	—	—	5	60	10	10	—	—	32.5	52.5	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	3.5	—	—	
	42.5N	—	—	—	—	5	60	10	10	—	—	42.5	62.5	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	3.5	—	—	
	42.5R	—	—	—	—	5	60	10	20	—	—	42.5	62.5	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	3.5	—	—	
	52.5N	—	—	—	—	5	45	10	20	—	—	52.5	—	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	3.5	—	—	
	62.5N	—	—	—	—	5	45	10	20	—	—	62.5	—	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	3.5	—	—	
耐硫酸塩 ポルトランドセメント	32.5N	—	—	—	—	—	60	10	—	—	16	32.5	52.5	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	2.5	—	—	
	32.5R	—	—	—	—	—	60	10	10	—	—	32.5	52.5	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	2.5	—	—	
	42.5N	—	—	—	—	—	60	10	10	—	—	42.5	62.5	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	2.5	—	—	
	42.5R	—	—	—	—	—	60	10	20	—	—	42.5	62.5	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	2.5	—	—	
	52.5N	—	—	—	—	—	45	10	20	—	—	52.5	—	—	—	3.0	1.5	—	—	0.10	—	2.5	—	—	
低熱ポルトランド	19	0	0	—	0	0	60	10	—	10	—	28	—	250	290	3.0	1.5	—	4.0	—	—	2.5	≤5.0	—	
高炉ポルトランド	22	≤65	0	0	0	0	45	10	—	15	23	34	—	—	—	3.0	1.5	—	7.0	—	—	3.0	—	—	
フライアッシュポルトランド	22	0	0	15~35	0	0	45	10	—	—	—	—	—	—	—	4.0	1.5	—	4.0	—	—	3.0	—	—	
低熱高炉ポルトランド	14	50~90	0	0	0	0	60	10	—	8	14	28	—	250	290	3.0	1.5	—	9.0	—	—	3.0	—	—	
ポゾラン	16	0	0	35~50	0	0	45	10	—	—	—	—	—	—	—	4.5	1.5	—	4.0	—	—	3.0	—	—	
メソソリー	6	≤35	≤35	≤35	≤25	≤25	45	10	—	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.0	—	—	
高硫酸塩	26	≥75	—	—	—	≤25	45	5	—	14	23	34	—	—	—	—	3.0	—	9.0	—	—	4.5	—	—	
高アルミ	—	0	0	0	0	0	120	—	—	49	—	—	—	—	—	—	—	32	—	—	—	—	—	—	

表-5. 1 アメリカの規格(その1/2)

セメントの種類	強さ 種類	混 合 材 (質量%)					凝 結				安定性 オート クレープ (%)	比表 面積 (m^2/kg)	圧縮強さ(N/mm ²)				水和熱		AE処理		化 学 成 分 (%)																							
		スラグ	ポゾラン	フライ アッシュ	石灰石	その他	ギガセツ針		ビーカー針				1日	3日	7日	28日	(kJ/kg)		(%)	Loss On Ig- nition	Insol Re- sidue	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	SO ₃	CaO	C ₂ S	C ₃ A															
							始発	終結	始発	終結							7日	28日												MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
							(min)	(h)	(min)	(h)																																		
							MIN	MAX	MIN	MAX																																		
ポルトランド	27.6	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	280	—	12.4	19.3	27.6	—	—	—	12	3.0	0.75	—	—	6.0	0.60	3.0	8	—															
AEポルトランドセメント	22.1	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	280	—	10.0	15.5	22.1	—	—	16	22	3.0	0.75	—	—	6.0	0.60	3.0	8	—															
早強ポルトランド	—	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	—	12.4	24.1	—	—	—	—	—	12	3.0	0.75	—	—	6.0	0.60	3.5	8	—															
早強ポルトランドAEセメント	—	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	—	10.0	19.3	—	—	—	—	16	22	3.0	0.75	—	—	6.0	0.60	3.5	8	—															
中耐硫酸塩ポルトランド	27.6	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	280	—	10.3	17.2	27.6	—	—	—	12	3.0	0.75	6.0	6.0	6.0	0.60	3.0	8	—															
中耐硫酸塩ポルトランド AEセメント	22.1	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	280	—	8.3	13.8	22.1	—	—	16	22	3.0	0.75	6.0	6.0	6.0	0.60	3.0	8	—															
高耐硫酸塩ポルトランド	20.7	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	280	—	8.3	15.2	20.7	—	—	—	12	3.0	0.75	—	—	6.0	0.60	2.3	5	—															
中庸熱ポルトランド	22.1	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	280	—	10.3	17.2	27.6	290	—	—	12	3.0	0.75	6.0	6.0	6.0	0.60	3.0	8	58															
中庸熱ポルトランド AEセメント	17.7	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	280	—	8.3	13.8	22.1	290	—	16	22	3.0	0.75	6.0	6.0	6.0	0.60	3.0	8	58															
低熱ポルトランド	17.2	0	0	0	0	—	60	10	45	6.25	0.80	280	—	—	6.9	17.2	250	290	—	12	2.5	0.75	—	6.5	6.0	0.60	2.3	7	—															
スラグポルトランド	24.1	<25	0	0	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	—	—	—	12	3.0	1.0	—	—	—	—	3.0	—	—															
スラグポルトランドAEセメント	19.3	<25	0	0	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	9.9	15.5	19.3	—	—	16	22	3.0	1.0	—	—	—	—	3.0	—	—															
中耐硫酸塩 スラグポルトランド	24.1	<25	0	0	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	—	—	—	12	3.0	1.0	—	—	—	—	3.0	—	—															
中庸熱スラグポルトランド	19.3	<25	0	0	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	293	335	—	12	3.0	1.0	—	—	—	—	3.0	—	—															
ポゾランポルトランド	24.1	0	<15	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	—	—	—	12	5.0	—	—	—	5.0	—	4.0	—	—															
ポゾランポルトランド AEセメント	19.3	0	<15	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	9.9	15.5	19.3	—	—	16	22	5.0	—	—	—	5.0	—	4.0	—	—															
中耐硫酸塩 ポゾランポルトランド	24.1	0	<15	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	—	—	—	12	5.0	—	—	—	5.0	—	4.0	—	—															
中庸熱ポゾラン ポルトランド	19.3	0	<15	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	293	335	—	12	5.0	—	—	—	5.0	—	4.0	—	—															

表-5. 2 アメリカの規格(その2/2)

セメントの種類	強さ 種類	混 合 材 (質量%)					凝 結				安定性 オート クレーブ	比表 面積 (m ² /kg)	圧縮強さ(N/mm ²)				水和熱 (kJ/kg)		AE処理 (%)	化 学 成 分 (%)											
		スラグ	ポゾラン アッシュ	石灰石	その他	ギルメ7針		ビーカー針		1日			3日	7日	28日	7日	28日	Loss On Ig- nitition		Insol Re- sidue	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	SO ₃	C ₃ A	C ₃ S				
						始発	終結	始発	終結																						
						(min)	(h)	(min)	(h)																						
						MIN	MAX	MIN	MAX																						
ポルトランド 高炉	24.1	25~70	0	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	—	—	—	12	3.0	1.0	—	—	—	—	3.0	—	—		
中耐硫酸塩 ポルトランド 高炉	24.1	25~70	0	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	10.3	17.2	24.1	—	—	—	12	3.0	1.0	—	—	—	—	3.0	—	—		
中庸熱ポルトランド 高炉	19.3	25~70	0	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	293	335	—	12	3.0	1.0	—	—	—	—	3.0	—	—		
ポルトランドポゾラン	24.1	0	15~40	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	—	—	—	12	5.0	1.0	—	—	5.0	—	4.0	—	—		
中耐硫酸塩 ポルトランドポゾラン	24.1	0	15~40	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	10.3	17.2	24.1	—	—	—	12	5.0	—	—	—	5.0	—	4.0	—	—		
中庸熱ポルトランド ポゾラン	19.3	0	15~40	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	12.4	19.3	24.1	—	—	—	12	5.0	—	—	—	5.0	—	4.0	—	—		
低熱ポルトランドポゾラン	16.6	0	15~40	—	0	—	—	—	45	7	0.50	—	—	—	10.3	20.7	251	293	—	12	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—		
メーソリー (N)	6.21	—	—	—	—	—	120	24	—	—	1.0	—	—	—	3.45	6.21	—	—	12	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
“ (S)	14.49	—	—	—	—	—	90	24	—	—	1.0	—	—	—	8.97	14.49	—	—	12	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
“ (M)	20.01	—	—	—	—	—	90	24	—	—	1.0	—	—	—	12.42	20.01	—	—	12	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
スラグ	10.3	≥70	—	—	—	≤30	—	—	45	7	0.50	—	—	—	4.1	10.3	—	—	—	12	4.0	1.0	—	—	—	—	4.0	—	—		
スラグAEセメント	8.6	≥70	—	—	—	≤30	—	—	45	7	0.50	—	—	—	3.4	8.6	—	—	16	22	4.0	1.0	—	—	—	—	4.0	—	—		
膨張 (K)	24.5					—	—	—	75	—	—	—	—	—	14.7	24.5	—	—	—	12.0	4.0	1.0	—	—	5.0	0.60	—	—	—		
“ (M)	24.5					—	—	—	75	—	—	—	—	—	14.7	24.5	—	—	—	12.0	4.0	1.0	—	—	5.0	0.60	—	—	—		
“ (S)	24.5					—	—	—	75	—	—	—	—	—	14.7	24.5	—	—	—	12.0	4.0	1.0	—	—	5.0	0.60	—	—	—		

2.2.3 現状技術の調査結果

(1) 省エネの現状

セメント産業は、1973年の第1次石油危機以来、省エネルギーに大きな成果をあげてきた。その結果、現在では図-3～6に示すようにエネルギー原単位は世界のトップレベルに達している。ゆえにCO₂排出原単位も世界のトップレベルと言える。一方、セメント産業では表-6に示すように、幅広く他産業から排出される産業廃棄物や副産物の積極的活用を図ってきた。このことは、省資源だけにとどまらず、廃棄物はいずれ焼却処理がなされるとすると、大局的な観点からみて省エネルギーとCO₂排出量の削減に貢献している。

表-6 セメント製造における資源の有効活用状況

年度 種類	1990年度 (t)	1991年度 (t)	1992年度 (t)	前年比 (%)
廃油	141,347	78,081	91,237	116.8
再生油		60,711	77,181	127.1
廃白土	40,892	36,855	34,633	94.0
廃タイヤ	101,038	127,084	170,819	134.4
高炉スラグ	12,288,325	13,498,066	13,554,903	100.4
転炉スラグ	778,728	1,269,871	1,132,305	89.2
非鉄鉱滓	1,232,726	1,415,723	1,368,608	96.7
鑄物砂	168,501	294,435	298,082	101.2
ボタ	1,600,476	1,807,455	1,880,149	104.0
未燃灰、ばいじん	477,970	439,096	474,724	108.1
石炭灰	2,020,975	2,382,745	2,545,398	106.8
汚泥、スラッジ	311,571	532,525	622,334	116.9
副産石こう	2,299,709	2,216,436	2,212,486	99.8
建設廃材	6,164	9,257	4,948	53.5
その他	354,518	246,767	240,421	97.4
合計	21,762,940	24,415,107	24,708,226	101.2

〔注〕1990年度は受入量

図-3 熱量原単位の維持

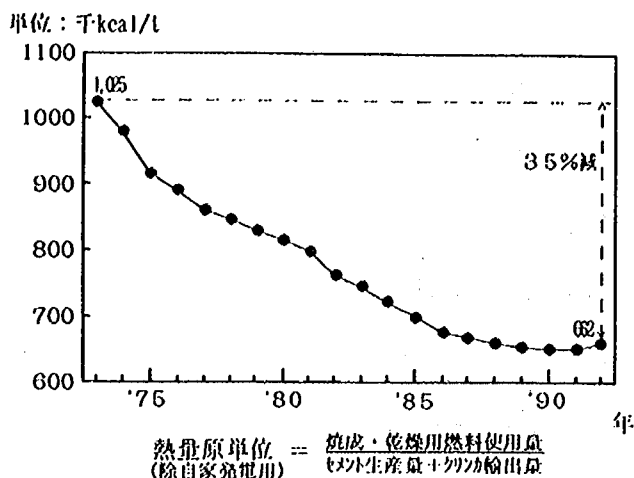


図-4 電力原単位の維持

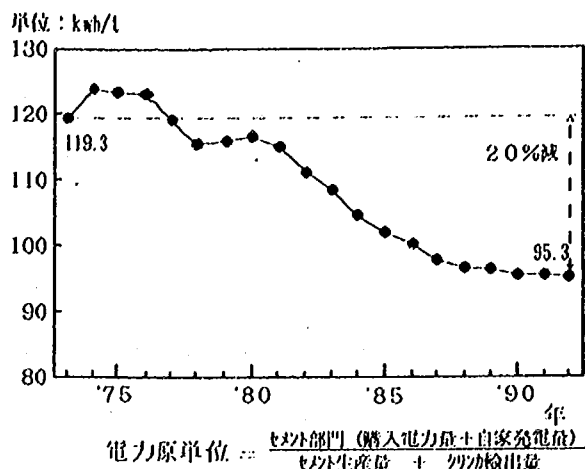


図-5 総合エネルギー原単位の維持

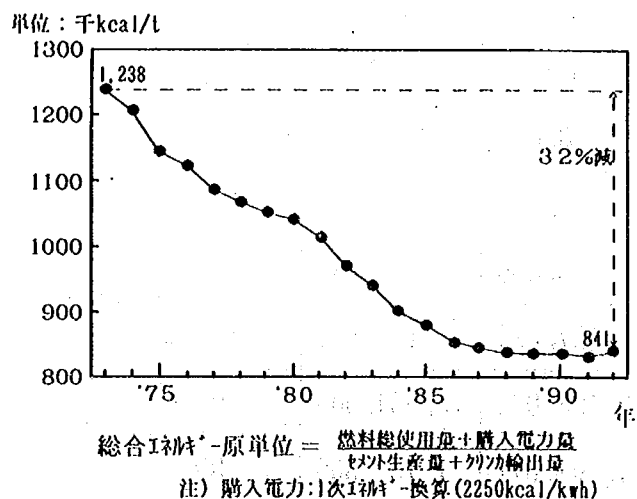
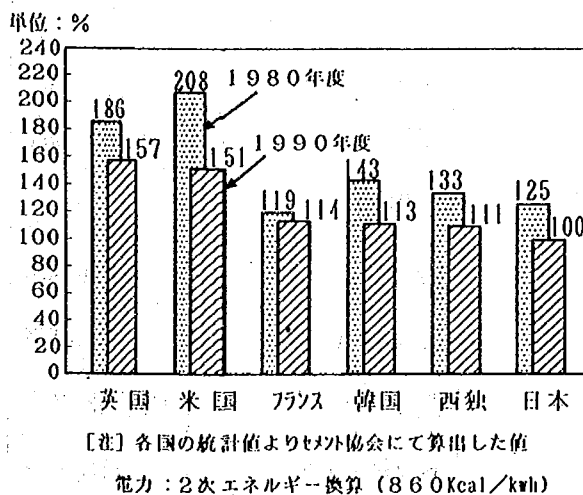


図-6 エネルギー原単位国際の比較



(2) 今後の省エネ、CO₂ 排出量削減のための対策

今後の省エネルギー、CO₂ 排出量削減のための対策としては以下のことが考えられる。

- ①設備改善による省エネ
- ②発熱性廃棄物処理量の拡大
- ③原料として脱炭酸した石灰分を含む原料の使用の拡大
- ④混合セメントの使用量の拡大
 - イ) JIS 品の使用量拡大
 - ロ) 新規混合セメントの開発

⑤焼成熱量の少ないセメントの開発

⑥流通段階での省エネ

⑦セメント使用体系全体としての総合的省エネ

しかしながら、現状の延長線上の①～③及び④のイ)の施策はほとんどが実施されており、今後④～⑦の項目について研究・開発していく必要がある。

以下に、それぞれの項目について説明を行う。

1) 設備改善による省エネ

設備面については、経済的可能性のあるものはほとんど実施されており、今後の省エネの可能性はごくわずかである。

2) 発熱性廃棄物処理量の拡大

廃棄物は何れ焼却処理がなされるとすると、セメント製造工程で熱量の有効利用を図ることは間接的ではあるが、省エネになると考えてよく、今後とも廃タイヤ等の発熱性廃棄物の利用促進を図っていく。

3) 原料として脱炭酸した石灰分を含む原料の使用の拡大

セメントの主原料である石灰石はセメントの焼成過程で分解（脱炭酸）され、 CO_2 を発生する。よって、原料として脱炭酸した石灰分（ CaO ）を含む原料の使用の拡大を図ることは CO_2 排出量削減につながる。その代表的なものは高炉スラグである。しかし、今後急冷スラグの比率が高くなり、高炉セメントの混合材として活用が進むと予想される。これに伴い、原料用としてのスラグ確保は困難となり、表－7に示すように今後は減少してくると予想される。

表－7 高炉スラグ 供給量見通し

	発生量			セメント向け			高炉セメント 生産量 千t/年	高炉 セメント 比率 (%)
	徐冷 千t/年	急冷 千t/年	合計 千t/年	徐冷 千t/年	急冷 千t/年	合計 千t/年		
1991年	9,110	15,371	24,481	2,312	12,361	14,673	15,483	16.8
2000年	2,980	18,304	21,284	1,120	15,700	16,820	23,200	24.9
2010年	2,980	18,304	21,284	1,120	15,700	16,820	23,200	24.9

注1) 高炉スラグ発生量想定：粗鋼生産量 2000年=95,000千t, 2010年=95,000千t で算出

注2) セメント生産量（含クリカ- 輸出）想定：2000年=93,000千t, 2010年=93,000千t

注3) 高炉セメント比率：セメント生産量（含クリカ- 輸出）に対する比率

4) 混合セメント

セメント製造においては焼成・粉砕工程で多量のエネルギーを消費する。他方、混合セメント用の混合材はセメント製造過程における焼成用エネルギーが不要であり、かつ、セメント焼成過程で発生する石灰石からのCO₂発生がないため、セメントへの混合率とほぼ同率のエネルギー及びCO₂削減が可能である。

普通セメントに対する混合セメントの省エネ・CO₂削減率を表-8に示すが、その省エネ・CO₂削減率は大きい。よって、混合セメント量の拡大を図れたならば、その効果は大きなものとなる。

しかしながら、現状規格品の高炉セメント、フライアッシュセメントの混合材は他産業より排出される副産物を使用しているため、その供給に限度がある。例えば、フライアッシュの供給は現時点でもタイトであり、高炉スラグについても今後急冷スラグの比率が高くなると予想はされるものの、やはり供給に限度があり、高炉セメント比率で25%程度が上限となる。(表-7参照)

一方、石灰石微粉末を混合材として使用する研究が一部進められているが、石灰石は資源的に問題がない。また、セメントは石灰石を原料として使用している関係上、セメント工場であれば石灰石の入手は容易である。よって、後述するセメント使用体系全体として省エネとなるかも含めた今後の研究に期待されるところが大きい。その場合の今後の問題点並びに検討課題としては以下がある。

①石灰石微粉末が30%を超えるような多量混合についての性能は未確認なので、性能確認試験が必要である。

②石灰石微粉末を5%以上混合したセメントは現状ではJIS規格外となる。また、後述する使用者側のセメントの使用規定、規準では、使用セメントについてはJIS規格適合品またはこれと同等以上の品質を有するものと記述されている。他方、ヨーロッパ予備規格等では石灰石を混合したセメントが混合セメントとして認められている。よって、上述のことを勘案すればJIS化についての検討もなされることが望ましい。

③セメントの種類が現在よりも一種類増えることになり、市場での普及に際しては、生産及び流通部門の整備(サイロ増設等)が必要となるため、そのコストは高いものとなる。よって、納入に際しては経済性の点で健全な生産が継続できる価格が認められることが望まれる。

表-8 普通セメントに対する混合セメントの省エネ・CO₂ 削減率

セメント	混合率 (%)	J I S 規格	省エネ率 (%)	CO ₂ 削減率 (%)
高炉セメント	10	A種	7.9	9.4
	20		15.9	18.9
	30		23.8	28.3
	40	B種	31.8	37.8
	50		39.7	47.2
	60		47.7	56.6
	70	C種	55.6	66.1
シリカセメント	10	A種	8.8	9.7
	20	B種	17.7	19.4
	30	C種	26.5	29.1
フライアッシュ セメント	10	A種	10.0	10.0
	20	B種	20.0	20.0
	30	C種	30.0	30.0
石灰石微粉末を 混合したセメン ト	10	—	9.1	9.7
	20	—	18.2	19.5
	30	—	27.2	29.2

注1) 省エネ率：普通セメントに対するエネルギー削減率

注2) CO₂ 削減率：普通セメントに対するエネルギー及び石灰石から発生
するCO₂ 削減率

5) 焼成熱量の少ないセメント

セメントの主要な化合物であるエーライト (C₃ S), ビーライト (C₂ S), アルミネート相 (C₃ A), フェライト相 (C₄ A F) は焼成工程において、およそ次の温度で生成される。

C₃ S : 1350-1450℃

C₃ A, C₄ A F : 1200-1300℃

C₂S : 950-1200℃

したがって、最近開発されたエーライト、アルミネート相の含有量が低く、相対的にビーライトの含有量が高い高ビーライト系ポルトランドセメントは理論的には普通セメントに比べ5%程度焼成熱量の少ないセメント、つまり省エネ型セメントと言える。しかしながら、実際の製造に際しては、原料調合の段階から品質設計を異なるものとする必要があるため、原料調合段階より順次品種切替を行っていく。したがって、の製造工程でのロス等が大きく現在の小ロット生産の段階ではほとんど省エネに寄与していないどころかかえってエネルギー消費がかさんでいるのが現状である。また、将来汎用化が進んできたとしても、前述の通り製造工程でのロスは必ず発生し、省エネへの寄与については大きな期待は難しいものと思われる。

6) 流通段階での省エネ

セメントの流通に際しては、セメント工場よりトラックでユーザーに直送されているものが約30%であり、残りはセメントタンカー船（約60%）、列車（約7%）により中継基地であるサービスステーションに輸送され、そこからユーザーに輸送されている。また、その96%はバラ（セメント袋に入っていない）の状態では輸送されている。よって、セメント産業は輸送効率の進んだ産業とされてはいるが、今後更に効率化を図っていくには、現在実施されている「セメント製造業の物流合理化ガイドライン」に沿った物流効率化の他、以下に示す規制緩和の検討が望まれる。

①沿海船の20海里航行規制の見直しによる航行距離の短縮

②セメント船の帰路の荷積規制の解除による復荷利用

③トラック輸送上の重量、幅、高さ等の規制の見直しによる輸送効率の向上

④貨物自動車運送エリア規定の見直しによる帰り便の活用

7) セメント使用体系全体としての総合的省エネ

使用用途に応じた最適部材の選択、例えば、普通セメントを鉄筋構造物、無鉄筋系用途の全ての箇所に使用するのではなく、無鉄筋用途には新種の省エネ型セメント等を用いるなどすれば、全体として省エネの可能性はある。

他方、構築物としての耐久性を向上させることは、セメント使用体系全体としてみれば省エネとなる。この点、材料的耐久性を延すことは当然大切であるが、実際的には材料的寿命に達していなくても、時代の趨勢により社会的寿命を失い解体されるケースも多い。

以上のように、セメント使用体系全体として省エネを図っていくことも一つの方法であり、今後の検討課題である。

2.2.4セメントの用途に関する調査

(1)需要部門別、都道府県別及び種別セメント販売量統計

(社)セメント協会の統計資料により、最近5ヶ年における需要部門別のセメント販売量の実績を表-9~12に示す。表-9に示したデータは需要部門別のセメント販売量の実数であり、全体を100とした場合の構成比率を表-10に示している。また、表-11は表-9に示した需要部門のうち生コンクリートに分類されたセメント販売量を各々の需要部門別に展開した後の実数を示しており、表-12はそれを構成比率で示したものである(いずれも出典は(社)セメント協会発行のセメントハンドブック1993年度版によった)。

これらの調査結果から、現在、我が国におけるセメントは約70%が生コンクリートとして使用され、約15%がセメント製品に使用され、これらの2経路で全体の85%のセメントが消費されていることが分かる。また、生コンクリートの部分を各需要部門別に展開した後のデータをみると、建築部門で40%弱(官公需10%弱、民需30%程度)、鉄道・電力、港湾及び道路・橋梁も含めて土木部門とみなせば、土木部門全体で約40%のセメントが使用されており、土木と建築のセメント消費量の比率はほとんど同等である。

次に、都道府県別のセメント販売量の実績を表-13に示す。地区別でみると、関東地区で全体の約30%が消費され、東京を中心とした関東地区のセメント需要の大きさが分かる。これに続いて近畿地区が約15%、九州地区が12%、東海地区が10%の需要比率であり、その他の地区はいずれも10%以下の需要比率である。

これらの調査結果からみて、我が国におけるセメント需要は大都市を中心とした地区にかなりの比率で集中していると言える。

表-14に種別国内セメント販売量の最近5ヶ年の推移を示す。全体の約75%は普通ポルトランドセメントであり、我が国におけるセメントの代表種類と言える。それに続くものは高炉セメントであり、近年、徐々に増加しており、全体の20%を占め、さらに残り5%の大半は早強ポルトランドセメントが占めており、その他の種類のセメントはいずれも1%以下とわずかな販売量にとどまっている。

表-9 需要部門別セメント販売量（実数）

（単位：千t）

年度 部門		1988	1989	1990	1991	1992
鉄 道		32	31	43	48	50
電 力		445	314	375	542	544
セメント製品		10,925	11,191	12,462	12,692	12,381
生コンクリート		51,776	53,054	58,870	58,743	56,007
港 湾		250	212	265	311	506
道路・橋梁		344	457	600	505	460
土 木		2,544	2,656	3,355	3,468	4,029
建 築	官公需	223	247	276	206	249
	民 需	1,468	1,349	1,661	1,433	1,303
	計	1,692	1,596	1,937	1,639	1,552
自 家 用		86	85	76	72	67
そ の 他		5,798	5,513	6,014	5,737	5,452
国 内 計		73,893	75,110	83,997	83,757	81,049
輸 出		5,133	6,964	6,243	8,090	11,843
合 計		79,026	82,073	90,240	91,847	92,893

（注）輸入は除く

表-10 需要部門別セメント販売量（構成比）

（単位：%）

年度 部門		1988	1989	1990	1991	1992
鉄 道		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
電 力		0.6	0.4	0.5	0.7	0.7
セメント製品		14.8	14.9	14.8	15.2	15.3
生コンクリート		70.1	70.6	70.1	70.1	69.1
港 湾		0.3	0.3	0.3	0.4	0.6
道路・橋梁		0.5	0.6	0.7	0.6	0.6
土 木		3.4	3.6	4.0	4.1	5.0
建 築	官公需	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
	民 需	2.0	1.8	2.0	1.7	1.6
	計	2.3	2.1	2.3	1.9	1.9
自 家 用		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
そ の 他		7.9	7.4	7.2	6.9	6.7
国 内 計		100.0 (93.5)	100.0 (91.5)	100.0 (93.1)	100.0 (91.2)	100.0 (87.3)
輸 出		(6.5)	(8.5)	(6.9)	(8.8)	(12.7)
合 計		(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)

表－１１ 生コン展開後の需要部門別セメント販売量（実数）
（単位：千t）

年度 部門		1988	1989	1990	1991	1992
鉄 道	電 力	1,456	1,347	1,409	1,758	1,933
	セメント製品	10,925	11,191	12,462	12,692	12,491
港 湾	道路・橋梁	2,874	2,765	3,048	3,221	3,555
	土 木	5,852	5,944	6,607	6,784	7,141
建 築	官公需	18,691	18,813	20,928	21,029	19,981
	民 需	5,792	5,675	6,176	6,695	7,328
	計	22,419	23,776	27,277	25,769	23,678
自 家 用		28,211	29,451	33,453	32,463	31,006
そ の 他		86	85	76	72	65
国 内 計		5,798	5,513	6,014	5,737	5,515
輸 出		73,893	75,110	83,997	83,757	81,687
合 計		5,133	6,964	6,243	8,090	11,492
		79,026	82,073	90,240	91,847	93,179

（注）1985 年度より生コン四半期報（通産省）の統計様式が変更されたため、鉄道、電力部門は一本化された

表－１２ 生コン展開後の需要部門別セメント販売量（構成比）
（単位：％）

年度 部門		1988	1989	1990	1991	1992
鉄 道	電 力	2.0	1.8	1.7	2.1	2.4
	セメント製品	14.8	14.9	14.8	15.2	15.3
港 湾	道路・橋梁	3.9	3.7	3.6	3.8	4.4
	土 木	7.9	7.9	7.9	8.1	8.7
建 築	官公需	25.3	25.0	24.9	25.1	24.5
	民 需	7.8	7.6	7.4	8.0	9.0
	計	30.3	31.7	32.4	30.8	28.8
自 家 用		38.1	39.3	39.8	38.8	37.8
そ の 他		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
国 内 計		7.9	7.3	7.2	6.8	6.8
輸 出		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		(93.5)	(91.5)	(93.1)	(91.2)	(87.7)
合 計		(6.5)	(8.5)	(6.9)	(8.8)	(12.3)
		(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)

表-1 3 都道府県別セメント販売量

(単位:千t、%)

地区別	都道府県別	88			89			90			91			92		
		88	前年比	地区比	89	前年比	地区比	90	前年比	地区比	91	前年比	地区比	92	前年比	地区比
北海道	北海道	4,090	105.1	5.5	4,239	103.6	5.6	4,433	104.6	5.3	4,177	94.2	5.0	4,208	100.7	5.2
	青森	806	93.7		853	105.7		872	102.3		895	102.7		935	104.5	
	岩手	954	98.7		969	101.6		992	102.4		1,085	109.4		1,044	96.2	
	宮城	1,265	96.4		1,267	100.2		1,562	123.3		1,518	97.1		1,383	91.1	
	秋田	949	110.8		842	88.7		955	113.5		870	91.1		869	99.8	
	山形	869	105.0		857	98.6		872	101.8		801	91.8		750	93.7	
	福島	1,433	95.2		1,543	107.6		1,748	113.3		1,758	100.6		1,756	99.9	
	計	6,276	99.2	8.5	6,329	100.8	8.4	7,001	110.6	8.3	6,927	98.9	8.3	6,738	97.3	8.4
関東	埼玉	3,256	110.7		3,316	101.8		3,755	113.2		3,654	97.3		3,316	90.8	
	千葉	2,430	103.1		2,651	109.1		3,324	125.4		3,372	101.4		3,282	97.3	
	東京	4,716	110.7		4,696	99.6		5,450	116.1		5,363	98.4		5,352	99.8	
	神奈川	3,867	107.8		3,988	103.1		4,698	117.8		4,657	99.1		4,685	100.6	
	小計	14,269	108.6	19.3	14,650	102.7	19.4	17,228	117.6	20.6	17,046	98.9	20.4	16,635	97.6	20.6
	茨城	1,928	102.8		2,128	110.4		2,515	118.2		2,546	101.2		2,422	95.1	
	栃木	1,134	104.9		1,185	104.4		1,415	119.4		1,394	98.6		1,327	95.2	
	群馬	1,323	105.3		1,391	105.1		1,581	113.6		1,513	95.7		1,380	91.2	
	山梨	749	95.2		793	105.9		881	111.1		844	95.8		820	97.1	
	長野	1,443	104.4		1,596	110.6		1,738	108.9		1,712	98.5		1,628	95.0	
	小計	6,578	103.1	8.8	7,094	107.8	9.5	8,130	114.6	9.8	8,011	98.5	9.5	7,576	94.6	9.3
	計	20,847	106.8	28.1	21,744	104.3	28.9	25,358	116.6	30.4	25,056	98.8	29.9	24,211	96.6	29.9
	富山	955	105.9		995	104.1		1,026	103.2		995	97.0		960	96.5	
	石川	748	107.0		748	100.0		797	106.5		800	100.4		800	100.0	
	福井	885	104.3		821	92.8		846	103.0		809	95.7		740	91.4	
	小計	2,588	105.7	3.5	2,564	99.1	3.4	2,668	104.1	3.2	2,604	97.6	3.1	2,500	96.0	3.1
北陸	新潟	1,867	97.1	2.5	1,921	102.9	2.6	1,956	101.8	2.3	1,913	97.8	2.3	1,962	102.5	2.4
	計	4,455	101.9	6.0	4,485	100.7	6.0	4,624	103.1	5.5	4,517	97.7	5.4	4,462	98.8	5.5
	岐阜	1,445	103.0		1,501	103.9		1,787	119.0		1,833	102.6		1,824	99.5	
	静岡	2,213	105.4		2,298	103.8		2,448	106.5		2,386	97.5		2,204	92.4	
	愛知	2,992	100.2		2,975	99.4		3,374	113.4		3,366	99.8		3,000	89.1	
	三重	1,240	108.9		1,251	100.9		1,448	115.7		1,560	107.8		1,525	97.8	
東海	計	7,890	103.5	10.7	8,025	101.7	10.8	9,056	112.9	10.7	9,145	101.0	10.9	8,553	93.5	10.6
	滋賀	1,001	107.3		994	99.2		995	100.2		1,047	105.1		1,010	96.5	
	京都	1,254	95.2		1,315	104.9		1,489	113.2		1,358	91.2		1,300	95.7	
	大阪	3,415	112.2		3,182	93.2		3,997	125.6		4,319	108.1		4,298	99.5	
	兵庫	3,336	106.6		3,530	105.8		3,960	112.2		4,052	102.3		3,737	92.2	
	奈良	721	102.5		724	100.5		867	119.6		807	93.1		704	87.2	
	和歌山	807	102.3		840	104.1		962	114.5		986	102.5		978	99.2	
	計	10,534	106.2	14.3	10,586	100.5	14.0	12,271	115.9	14.6	12,569	102.4	15.0	12,027	95.7	14.9
四国	徳島	802	118.0		738	92.0		771	104.4		889	115.3		836	94.0	
	香川	784	98.8		802	102.3		905	112.9		908	100.3		810	89.2	
	愛媛	1,231	103.9		1,257	102.1		1,413	112.5		1,331	94.2		1,315	98.8	
	高知	839	104.4		844	100.7		874	103.5		882	100.9		876	99.3	
	計	3,657	105.6	5.0	3,642	99.6	4.9	3,964	108.8	4.7	4,010	101.2	4.8	3,837	95.7	4.7
	鳥取	534	111.5		436	81.7		416	95.3		454	109.2		431	94.9	
中国	島根	685	96.0		778	113.6		735	94.5		661	90.0		624	94.5	
	岡山	1,160	96.8		1,261	108.7		1,490	118.1		1,645	110.5		1,620	98.4	
	広島	1,965	104.3		1,988	101.2		2,080	104.6		2,210	106.2		2,210	100.0	
	山口	1,181	103.2		1,146	97.0		1,172	102.3		1,094	93.4		1,164	106.3	
	計	5,524	101.9	7.5	5,609	101.5	7.4	5,893	105.1	7.1	6,065	102.9	7.2	6,049	99.7	7.4
	福岡	2,591	107.5		2,609	100.7		3,085	118.2		3,004	97.4		2,775	92.4	
九州	佐賀	743	106.6		721	96.9		704	97.7		733	104.1		767	104.6	
	長崎	1,322	104.3		1,186	89.7		1,191	100.5		1,164	97.7		1,241	106.6	
	熊本	1,421	109.0		1,365	96.0		1,536	112.5		1,652	107.6		1,509	91.3	
	大分	930	105.7		925	99.4		1,045	113.0		1,048	100.3		1,008	96.1	
	宮崎	812	103.1		896	110.3		943	105.3		937	99.4		903	96.3	
	鹿児島	1,614	105.9		1,560	96.6		1,687	108.1		1,587	94.1		1,571	99.0	
	計	9,434	106.3	12.8	9,261	98.2	12.4	10,190	110.0	12.0	10,125	99.4	12.1	9,774	96.5	11.9
	沖縄	1,184	100.8	1.6	1,190	100.5	1.6	1,206	101.4	1.4	1,166	96.6	1.4	1,190	102.1	1.5
国内計		73,893	104.7	100.0 95.3	75,110	101.6	100.0 95.4	83,997	111.8	100.0 97.3	83,757	99.7	100.0 98.2	81,049	96.8	100.0 98.7
輸入		3,616	123.2	4.7	3,651	101.0	4.6	2,289	62.7	2.7	1,531	66.9	1.8	1,149	75.1	1.3
内計		77,509	105.4	100.0	78,761	101.6	100.0	86,286	109.6	100.0	85,287	98.8	100.0	82,142	96.3	100.0

表-14 種類別国内セメント販売量

種類	年度	1988			1989			1990			1991			1992		
		1988	前年比	構成比	1989	前年比	構成比	1990	前年比	構成比	1991	前年比	構成比	1992	前年比	構成比
ポルトランドセメント	普通	56,074	104.0	75.9	56,802	101.3	75.6	64,279	113.2	76.5	63,791	92.2	76.2	60,477	94.8	74.6
	早強	3,137	108.2	4.2	3,369	107.4	4.5	3,577	106.2	4.3	3,484	97.4	4.2	3,312	95.1	4.1
	中熱	163	73.6	0.2	196	119.9	0.3	290	148.1	0.4	186	64.1	0.2	80	43.1	0.1
	耐硫酸塩	5	204.8	0.0	7	151.2	0.0	6	74.8	0.0	5	88.4	0.0	6	123.5	0.0
	その他	0	-	0.0	-	-	-	1	-	0.0	12	196.1	0.0	28	231.1	0.0
	計	59,379	104.1	80.3	60,374	101.7	80.4	68,153	112.9	81.2	67,478	99.0	80.6	63,903	94.7	78.8
混合セメント	高炉	13,655	110.7	18.5	13,985	102.4	18.6	15,143	108.3	18.0	15,462	102.1	18.5	16,371	105.9	20.2
	シリカ	109	96.9	0.2	112	103.1	0.2	110	98.6	0.1	103	93.1	0.1	76	73.7	0.1
	フライアッシュ	726	71.4	1.0	609	83.9	0.8	556	91.3	0.7	685	123.1	0.8	682	99.6	0.9
	その他	23	31.6	0.0	29	125.9	0.0	34	117.5	0.0	29	83.6	0.0	18	62.6	0.0
	計	14,514	107.2	19.7	14,736	101.5	19.6	15,844	107.5	18.8	16,279	102.7	19.4	17,146	105.3	21.2
合計		73,893	104.7	100.0	75,110	101.6	100.0	83,997	111.8	100.0	83,757	99.7	100.0	81,049	96.8	100.0

(4)セメントの用途に関する規準，規格

我が国におけるセメントの使用規準，規格として，まず土木学会コンクリート標準示方書（施工編）について調査してみた。その3章材料，3.2 セメントの項には，ポルトランドセメント，高炉セメント，シリカセメント及びフライアッシュセメントについてはJIS規格に適合したものを使用することが基本となっている。また，JISに規定されていないセメントについてはその品質を確かめ，その使用方法を十分に検討しなければならないと規定している。次に日本道路協会道路橋示方書（I．共通編）についてみると，3.2 コンクリート，3.2.1 コンクリート材料の項に，セメントは原則として普通ポルトランドセメント，早強ポルトランドセメント及び高炉セメントの3種類の使用が表示されている。これら両示方書は我が国における土木用コンクリート構造物の設計，施工の基本的指針を示すものと考えられ，使用セメントについても，JIS規格で品質が規定されているものあるいは，使用実績の大きい種類のセメントを用いることが原則になっているものと推察される。

一方，官公庁のコンクリート工事におけるセメントの使用規準の一例として，建設省関東地方建設局の土木工事共通仕様書の第2章材料，第6節セメント及び混和材料の条文をみると，工事に使用するセメントは普通ポルトランドセメントを使用するものとし，ほかのセメント及び混和材料を使用する場合は，設計図または特記仕様書によるものとする記述されており，さらにセメントはJIS規格に適合したものまたはこれと同等以上の品質を有するものでなければならないと規定している。これについてもJIS規格として品質の確定されたものでその中でも使用実績の大きい種類のセメントを規準の中心に位置づけたものと考えられる。

2.2.5 省エネセメントの分類と適用

生産工程におけるエネルギー使用量及びCO₂発生量の観点から，現在我が国で生産・販売されているセメントの代表である普通ポルトランドセメントに比較して省エネ，CO₂抑制型の種類のセメントを省エネセメントと位置づけて，それらを分類し，その適用についてまとめた。

(1)焼成熱量の少ないセメント（高ビーライト系ポルトランドセメント）

最近開発されたセメントで，中庸熱ポルトランドセメントよりもさらにクリンカー構成鉱物中のエーライト(C₃S)及びアルミネート相(C₃A)が少なく，ビーライト(C₂S)の多いポルトランドセメント系セメントである。クリンカー構成鉱物の組成比率が

ら、普通ポルトランドセメントなどに比較して、原料中の石灰石(CaCO_3)の配合量が少なく、焼成に要するエネルギー及び焼成時の CO_2 発生量は小さく、ポルトランドセメント系として省エネ型セメントと考えられるものである。

その性質は、クリンカー鉱物の有する性質を反映して水和熱が小さく、長期強度の発現が大きいという特徴をもち、マスコンクリート用低発熱セメント及び高強度、高流動コンクリートへの対応が可能なセメントとして注目されている。しかし、初期強度の発現は普通ポルトランドセメントなどに比較してかなり遅れる性質も有しているため、実構造物への適用に際しては養生期間の設定等を適切に修正する等の考慮が必要である。また、最近開発されたセメントであるため、今後さらに性能改良や使用規準の確立等の研究開発が期待される。

(2)混合セメント

現在、我が国で生産・販売されている混合セメントは高炉セメント、フライアッシュセメント及びシリカセメントであり、その中では高炉セメントの生産・販売量が多い。混合セメント用混合材はセメント工場での焼成用エネルギーが不要であり、かつクリンカー焼成工程での CO_2 発生がないため混合材のセメントへの混合比率にはほぼ比例して省エネルギー及び CO_2 発生量抑制が可能である。現行のJIS規格では、それぞれ混合材の混合比率は最も大きいC種で、高炉セメントは70%まで、フライアッシュセメント及びシリカセメントで30%まで認められている。従って、省エネルギー、 CO_2 発生量抑制の観点からは、なるべく混合材使用比率の大きい混合セメントを用いることが有効である。

しかしながら、高炉セメント、フライアッシュセメントの混合材である高炉スラグおよびフライアッシュはいずれも他産業で発生する副産物である。特にフライアッシュについては現状でもセメント用の良質品の供給はタイトである。また、高炉スラグについても、今後、セメント用急冷高炉スラグの発生量は増大していくとは予想されるものの、年間約2,000万t程度が限度であると言われている。一方、混合セメントの一般的性質としては、長期強度の発現性が大きいこと、硬化体組織が緻密になり海水等に対する化学抵抗性が優れていること、また、水和熱を低くできる等の特徴があり、マスコンクリート、海洋コンクリート等を主体とした土木用コンクリートに用いられている。しかし、混合セメントはその混合材量が多くなるにつれて初期強度の発現が遅れる性質があり、実構造物への適用に際しては、初期養生期間等に注意を要す

る。

以上のように、高炉セメント、フライアッシュセメント等の混合セメント、特に混合材量の多い品種は省エネルギー、CO₂発生量抑制の観点から有効であり、今後さらに拡大が図られることが期待される。しかし、前述のごとく、その生産量に限界もあること、施工に際しての留意点を含め、特性を活かした使用規準の見直し整備も必要と考えられ、使用者側の政策的判断による使用方法の確立が期待される。また、それに対する生産者側の対応としても、生産、流通面からの整備がさらに必要と考えられ、今後、使用者、生産者両サイドの意見が反映された方策が確立されることが望まれるであろう。

(3)新しい省エネセメント

現在、普通ポルトランドセメントのJIS規格では、高炉スラグ、フライアッシュ、シリカ質混合材及び石灰石の混合がその質量で全体の5%まで認められている。高炉スラグ、フライアッシュ、シリカ質混合材については混合率が5%を越えるものは、それぞれJISに規定された高炉セメント、フライアッシュセメント及びシリカセメントに対応し、その規定が定められ、既に使用されている。しかし、石灰石については5%を越えて混合されたセメントの規定はなく、我が国で実際に用いられた例はない。一方、最近石灰石微粉末を混合材として使用したセメントの研究が一部すすめられており、省エネルギー及びCO₂発生量抑制の観点からは既存の混合セメントと同等の効果が期待され、また、石灰石は我が国では豊富に産出する資源であることを考えれば、省エネセメントとしての発展拡大の可能性は十分考えられる。今後、石灰石を比較的多量に混合したセメントあるいは石灰石と高炉スラグ等の混合材を複合使用した新しい混合セメントの研究開発が、省エネルギー、CO₂発生量抑制の観点から、さらには、資源の有効利用の観点からも期待されるところである。

2.2.6 省エネセメントの利用に関する課題

今後、省エネルギー及びCO₂発生量抑制の観点から既存のあるいは新しい省エネセメントを普及拡大していくに際して、予想される課題とその対応策について、それぞれ、発注者、施工者、コンクリート製造者及びセメント生産者の立場からまとめた。

(1)発注者の立場から

前述のとおり、官公庁の仕様書では、セメントはJISに規定されたセメント、その中でも使用実績の多いセメントを主体として使用する規準となっている。省エネセ

メントはその観点からは使用実績の少ないかほとんど無いセメントに該当することが考えられる。従って、省エネセメントの普及拡大のためには発注者の仕様にセメントの種類は弾力的に幅広く使用できる考え方及び省エネセメントをその適性に応じて優先的に使用できる規準の策定及び積算方式の導入が必要と考えられる。その場合には、省エネセメントの特性を活かした適用方法と適用構造物の選定及びそれに伴う施工規準の改定も必要であろう。

また、発注者として、政策的に省エネセメントを普及拡大していくことを考えれば、施工者等工事関係各者への指導者的立場として、省エネセメントのパイロット事業への取り込みや講習会の開催等の普及活動を展開していくことも望まれるであろう。

(2) 施工者の立場から

施工者としては所要の性能を有した構造物を確実に完工させていくことが目的であると考えられる。従って、新しい材料を用いる場合にも、その特性を十分に把握し、実構造物への適用に反映させていくことが重要であり、省エネセメントの普及拡大のためにも、施工者の省エネセメントの性質に関する詳細で正しい理解とその適切な使用方法の標準化が不可欠である。ここでは、発注者、施工者、生産者が一体となった共同の研究開発体制を創出し、その中で、施工に関する課題の解決の役割を施工者が担うことが一つの方策として期待される。

(3) コンクリート製造者の立場から

生コンクリートあるいはセメント製品の製造者の立場としては、第一に省エネセメントの特性を考慮した適切な配合設計と安定した品質管理方法を確立することが重要であると考えられる。そのためには、施工者、生産者と一体となった組織的開発の枠組みに積極的に参画し、材料としてのセメントの特性の理解と適切な施工に対応できるコンクリートの生産体制を確立していくことが期待される。この場合、特に生コンクリート生産者としては多品種のセメントを十分に使いこなす生産設備の充実と品質管理体制の拡充が、セメント製品生産者としては省エネセメントの性質に合ったコンクリート製品の製造設備の充実と適正な養生方法、貯蔵方法の確立が必要とされるであろう。

(4) セメント生産者の立場から

セメント生産者の立場としては、既存の省エネセメントについては生産・流通における安定供給体制の確保が、新しい省エネセメントについてはその研究開発の推進が

重要な役割である。また、生産者として材料としての省エネセメントの特性を関係各者に適切に報告し、理解が得られる活動を展開していく役割も担う必要があると考えられる。

以上、省エネセメントを今後、普及拡大していくための課題と対応策について、それぞれの立場から提案したが、特に新しい種類のセメントを普及させていく過程では、関係各者がそれぞれの立場で単独で活動するのには限界があると思われ、発注者、施工者、コンクリート製造者、セメント生産者が一体となった共同体制による効果的な開発が期待される。具体例としては、官学産が参加した総合開発プロジェクトによる推進や学会等公的機関における設計・施工指針の作成活動等が考えられる。

2.2.7 まとめ

セメント産業における今後の省エネルギー、CO₂ 排出量削減のための対策としては以下のことが考えられる。

①設備改善による省エネ

②発熱性廃棄物処理量の拡大

③原料として脱炭酸した石灰分を含む原料の使用の拡大

④混合セメントの使用量の拡大

イ) JIS品の使用量拡大

ロ) 新規混合セメントの開発

⑤焼成熱量の少ないセメントの開発

⑥流通段階での省エネ

⑦セメント使用体系全体としての総合的省エネ

現状の延長線上の①～③及び④のイ)の施策はほとんどが実施されており、今後④～⑦の項目について研究・開発していく必要がある。

2.2.8 今後の課題

1) 石灰石微粉末を混合材として使用する研究が一部進められているが、石灰石は資源的に問題がない。また、セメントは石灰石を原料として使用している関係上、セメント工場であれば石灰石の入手は容易である。よって、後述するセメント使用体系全体として省エネとなるかも含めた今後の研究に期待されるところが大きい。その場合の今後の問題点及び検討課題としては以下がある。

①石灰石微粉末が30%を超えるような多量混合についての性能は未確認なので、性

能確認試験が必要である。

②石灰石微粉末を5%以上混合したセメントは現状ではJIS規格外となる。また、後述する使用者側のセメントの使用規定、規準では、使用セメントについてはJIS規格適合品またはこれと同等以上の品質を有するものと記述されている。他方、ヨーロッパ予備規格等では石灰石を混合したセメントが混合セメントとして認められている。よって、上述のことを勘案すればJIS化についての検討もなされることが望ましい。

③セメントの種類が現在よりも一増えることになり、市場での普及に際しては、生産及び流通部門の整備（サイロ増設等）が必要となるため、そのコストは高いものとなる。よって、納入に際しては経済性の点で健全な生産が継続できる価格が認められることが望まれる。

2) セメント産業は輸送効率の進んだ産業とされてはいるが、今後更に効率化を図っていくには、現在実施されている「セメント製造業の物流合理化ガイドライン」に沿った物流効率化の他、以下に示す規制緩和の検討が望まれる。

①沿海船の20海里航行規制の見直しによる航行距離の短縮

②セメント船の帰路の荷積規制の解除による復荷利用

③トラック輸送上の重量、幅、高さ等の規制の見直しによる輸送効率の向上

④貨物自動車運送エリア規定の見直しによる帰り便の活用

3) 他方、構築物としての耐久性を向上させることは、セメント使用体系全体としてみれば省エネとなる。この点、材料的耐久性を延すことは当然大切であるが、実際的には材料的寿命に達していなくても、時代の趨勢により社会的寿命を失い解体されるケースも多い。

以上のように、セメント使用体系全体として省エネを図っていくことも一つの方法であり、今後の検討課題である。

4) 新しい種類のセメントを普及させていく過程では、関係各者がそれぞれの立場で単独で活動するのには限界があると思われ、発注者、施工者、コンクリート製造者セメント生産者が一体となった共同体制による効果的な開発が期待される。具体例としては官学産が参加した総合開発プロジェクトによる推進や学会等公的機関における設計・施工指針の作成活動等が考えられる。

3. 常溫型舗装に関する調査

3.1 乳剤系常溫舗装

3.1.1 調査項目及び方法

(1) 乳剤系舗装と加熱アスファルト舗装のエネルギー消費量の比較

CO₂の排出は地球温暖化の原因であり、その排出の削減が望まれている。平成2年10月の閣議において決定した「地球温暖化防止行動計画」により、CO₂の総排出量を2000年以降概ね1990年レベルで安定化させるよう努めることが決定している。このため、省エネルギー型道路資材の開発し、利用技術を確立することが望まれており、乳剤系常溫舗装材はその候補の1つである。

そのため、乳剤系常溫舗装と加熱アスファルト舗装のエネルギー消費量の比較を行った。なおエネルギー消費量の試算は、雑誌、アスファルト、vol. 20, No113「道路舗装に必要なエネルギー」(Asphalt Institute MISC-75-3)のデータを使って計算した。

(2) 日本における乳剤の取り扱い方

日本において乳剤が、下記の要綱でどの様に取り扱かれているかについて調査する。

- ① アスファルト舗装要綱
- ② 簡易舗装要綱
- ③ 路上再生路盤工法技術指針(案)
- ④ 道路維持修繕要綱

(3) アスファルト乳剤の生産の現状

日本及び各国の乳剤の生産量を、日本アスファルト乳剤協会及びフランス乳剤協会の資料により調査する。

(4) アスファルト乳剤の規格

各国の乳剤の特徴を調査するために、米国、フランス、英国、日本の乳剤規格について下記の項目について調査する。

- ① 各国の乳剤の規格
- ② 試験項目の比較
- ③ 試験方法及び試験値の比較
- ④ 各国の乳剤の種類の整合

(5) アスファルト乳剤に関する現状技術

各国の乳剤に関する技術のうち、現在規格に規定されている乳剤及び規格にないが既に技術開発され使用されているもの、また、技術開発されて間もないもの、技術開発中のものについて調査する。

(6) 施工機械に関する現状技術

下記に示す施工機械に関する技術について調査する。

- ① チップスプレッド
- ② ディストリビュータ
- ③ スラリーマシーン
- ④ 常温中央プラント混合機
- ⑤ 組立式プラント混合機
- ⑥ ミックスペーバ
- ⑦ 路上混合機

(7) 乳剤舗装に関する現状技術

下記に示す外国を含めた乳剤舗装の技術について調査する。

- ① 表面処理（チップシール）
- ② グラウト
- ③ 常温混合式舗装
- ④ スラリーシール（マイクロサーフェイシング工法）
- ⑤ コールドリサイクル
- ⑥ グレーヴ乳剤混合物

参考資料

- (1) アスファルト舗装要綱
- (2) 簡易舗装要綱
- (3) 路上再生路盤工法技術指針（案）
- (4) 道路維持修繕要綱
- (5) J I S K 2 2 0 8

- (6) J E A A S
- (7) A S T M D - 9 4 4
- (8) A S T M D - 2 3 9 7
- (9) N F T 6 5 - 0 1 1
- (10) B S - 4 3 4
- (11) Asphalt Institute Manual Series No. 19
- (12) フランスアスファルト乳剤協会資料
- (13) 英国アスファルト乳剤協会資料
- (14) 「アスファルト」 Vol. 20 No. 113

3.1.2 調査結果

(1) 乳剤系舗装と加熱アスファルト舗装のエネルギー消費量の試算結果

1) 舗装材料におけるエネルギー消費量

①舗装材料

a) アスファルト

アスファルトを1バレル(159ℓ)生産するのに必要なエネルギーは約13,200kcal, その後の加工・取扱に要するエネルギーが約13,200kcalであり, 合計26,400kcalとなる。

アスファルトの比重を1.02として換算すると163,000kcal/t (587,500Btu/米t) となる。

b) アスファルト乳剤

乳剤中のアスファルト濃度を60%として, その他製造に要する燃料や電力, 乳化剤などを加えると140,000kcal/t (2,200Btu/ガロン) となる。

c) ポルトランドセメント

2,120,000kcal/t (7,570,000Btu/米t) とする。

d) 碎石

採掘法などにより異なるが, 妥当な値として19,450kcal/t (70,000Btu/米t) とする。

e) 砂

4,170kcal/t (15,000Btu/米t) とする。

②舗装用混合物の製造におけるエネルギー消費量

a) 加熱アスファルト混合物

i) 骨材の乾燥と加熱

- 骨材1tから水1%除去するのに, 7,780kcal 必要

(骨材1米t (0.9t) 水分1%除去するのに, 28,000Btu 必要)

- 骨材1tを, 1℃加熱するには235kcal 必要

(骨材1米t (0.9t) 1華氏度上昇させるのに470Btu 必要)

ii) その他プラントにおける作業

プラントの作業のためのエネルギーは混合物1t当たり次のように推定される。

・ アスファルトの貯蔵	1,780kcal/ t (6,400Btu/ 米 t)
・ コールドフィード	1,300kcal/ t (4,730Btu/ 米 t)
・ ドライヤ及び排気装置	1,330kcal/ t (4,770Btu/ 米 t)
・ ミキサの稼働	1,090kcal/ t (3,920Btu/ 米 t)

計 5,500kcal/ t

b) 常温乳剤混合物

骨材の乾燥と加熱及びアスファルトの貯蔵、ドライヤの稼働は必要ないので、必要なエネルギーはつぎのようになる。

・ コールドフィード	1,300kcal/ t
・ ミキサの稼働	1,090kcal/ t

計 2,390kcal/ t

③材料の運搬におけるエネルギー消費量

3 軸のトラックで約740kcal/ t・km(4,270Btu/ 米 t・マイル)

4 軸のトラックで約740kcal/ t・km(4,270Btu/ 米 t・マイル) 必要となる。

④材料の敷均しと舗装の仕上げにおけるエネルギー消費量

i) 加熱アスファルト混合式舗装

4, 6 4 0 kcal/ t (16,700Btu/ 米 t)

ii) 常温混合式舗装

加熱工法と同様に 4, 6 4 0 kcal/ t とする。

ii) 碎石路盤

4, 7 2 0 kcal/ t とする。

⑤プライムコートの散布におけるエネルギー消費量

1.3 ℓ/m² 散布で 3, 7 2 0 kcal/m² とする。

2) 舗装工事に必要なエネルギー消費量の試算結果

舗設時のエネルギーも含めた、各種混合物 1 t 当たりのエネルギー消費量を試算した。加熱アスファルト混合物の試算結果を表-15、乳剤系常温混合物（中央プラント方式）のエネルギー消費量の試算結果に表-16、碎石路盤のエネルギー消費量の試算結果に表-17、プライムコートのエネルギー消費量の試算結果を表-

18に示す。

設定条件は、雑誌「アスファルト」Vol. 20, No. 113「道路に必要なエネルギー」の試算例と同じ条件で行った。以下に主な条件を示す。

- ① アスファルト、アスファルト乳剤は、製油所または乳剤工場から4軸トラック(875kcal/ t km)で混合プラントまで80km(50mile)の距離を輸送するものとする。
- ② 混合物の骨材配合は碎石60%, 天然砂35%, フィラー5%, アスファルト5%とする。
(常温混合物の場合は、乳剤量8%)
また、フィラーの製造に要するエネルギーは、碎石と同一とする。
- ③ 骨材は平均5%の水分を含んでいるものとし、それを乾燥し、さらに21℃から150℃まで加熱する。
- ④ 骨材は3軸トラック(740kcal/ t・km)でプラントまで16km(10mile)、現場まで28km(17.5mile)の距離を運搬するものとする。
- ⑤ 混合物は3軸トラック(740kcal/ t・km)で12km(7.5mile)の距離を現場まで運搬するものとする。
- ⑥ 混合物の締固め密度は、加熱混合物で2,350kg/m³、常温混合物で2,268kg/m³、碎石路盤で2,100kg/m³とする。

3) 試算結果

以上の結果から各舗装材料の1m²当たりのエネルギー消費量を試算すると、表-19、各舗装材料1m²当たりのエネルギー消費量の試算結果に示す結果となった。また、舗装の工種、等値換算係数、舗装構造の組合せを種々変化させて1m²当たりのエネルギー消費量を試算した結果を表-20に示す。この結果、加熱混合物に比べてエネルギー消費率の高いものは表層、路盤とも常温混合物の組合せであり、なかでも特に削減率が高かったのは等値換算係数をそれぞれ1.0と設定したもので、加熱混合物に対して約40%の削減が可能である。

また、加熱混合物と常温混合物の組合わせでも、常温混合物の等値換算係数を現行の0.55から0.8にアップしたものが開発されれば約20%の削減が可能と算定された。

(2) 日本における乳剤の取扱われ方

アスファルト乳剤が記載されている要綱は、アスファルト舗装要綱、簡易舗装要

表-15 加熱アスファルト混合物のエネルギー消費量の試算結果

項 目	エネルギー消費量
・アスファルトの製造 ・アスファルトの運搬	$80\text{km} \times 875\text{kcal/t} \cdot \text{km} \times 2 = 163,000 \text{ kcal/t}$ $= 140,000 \text{ kcal}$
小 計	303,000 kcal/t
・碎石 ・天然砂 ・フィラー ・骨材の運搬	$19,450\text{kcal/t} \times 0.6 \text{ t} = 11,670 \text{ kcal}$ $4,170\text{kcal/t} \times 0.35\text{t} = 1,460 \text{ kcal}$ $19,450\text{kcal/t} \times 0.05\text{t} = 970 \text{ kcal}$ $16\text{km} \times 740\text{kcal/t} \cdot \text{km} \times 2 \times 1.05 = 24,860 \text{ kcal}$
小 計	38,960 kcal
①混合物1t当たりのエネルギー消費量 (アスファルト0.05t, 骨材0.95t)	$(303,000\text{kcal/t} \times 0.05\text{t})$ $+ (38,960\text{kcal/t} \times 0.95\text{t}) = 52,150 \text{ kcal}$
②プラントの運転 ・骨材の乾燥(水分5%) ・骨材の加熱(128℃) ・プラントにおける作業	$7,780\text{kcal/t} \times 5\% \times 0.9 \text{ t} = 35,010 \text{ kcal/t}$ $235\text{kcal/t} \times 128^\circ\text{C} \times 0.9 \text{ t} = 27,070 \text{ kcal/t}$ $= 5,500 \text{ kcal/t}$
小 計	67,580 kcal/t
③混合物の運搬	$12\text{km} \times 740\text{kcal/t} \cdot \text{km} \times 1.0\text{t} \times 2 = 17,760 \text{ kcal/t}$
④混合物の敷均しと舗設	$4,640\text{kcal/t} \times 1.0\text{t} = 4,640 \text{ kcal/t}$
合 計 (①+②+③+④)	142,130 kcal/t

表-16 乳剤系常温混合物(中央プラント方式)のエネルギー消費量の試算結果

項 目	エネルギー消費量
・アスファルト乳剤の製造 ・アスファルト乳剤の運搬	$80\text{km} \times 875\text{kcal/t} \cdot \text{km} \times 2 = 140,000 \text{ kcal/t}$ $= 140,000 \text{ kcal}$
小 計	180,000 kcal/t
・碎石 ・天然砂 ・骨材の運搬	$19,450\text{kcal/t} \times 0.6 \text{ t} = 12,640 \text{ kcal}$ $4,170\text{kcal/t} \times 0.35\text{t} = 1,460 \text{ kcal}$ $16\text{km} \times 740\text{kcal/t} \cdot \text{km} \times 2 \times 1.05 = 24,860 \text{ kcal}$
小 計	38,960 kcal
①混合物1t当たりのエネルギー消費量 (アスファルト0.08t, 骨材0.92t)	$(280,000\text{kcal/t} \times 0.08\text{t})$ $+ (38,960\text{kcal/t} \times 0.92\text{t}) = 58,240 \text{ kcal}$
②プラントの運転 ・プラントにおける作業	$1,840\text{kcal/t} \times 1.0\text{t} = 1,840 \text{ kcal/t}$
小 計	1,840 kcal/t
③混合物の運搬	$12\text{km} \times 740\text{kcal/t} \cdot \text{km} \times 1.0\text{t} \times 2 = 17,760 \text{ kcal/t}$
④混合物の敷均しと舗設	$4,640\text{kcal/t} \times 1.0 = 4,640 \text{ kcal/t}$
合 計 (①+②+③+④)	82,480 kcal/t

表-17 碎石路盤のエネルギー消費量の試算結果

項 目	エネルギー消費量
・ 碎石の製造 ・ 碎石の運搬 ・ 敷均し及び転圧	$28\text{km} \times 740\text{kcal/t} \cdot \text{km} \times 2$ = 19,450 kcal/t = 41,440 kcal/t = 4,720 kcal/t
合 計	65,610 kcal/t

計

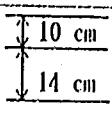
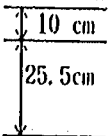
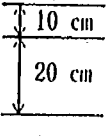
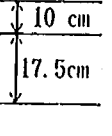
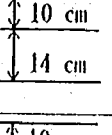
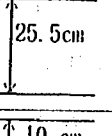
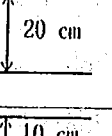
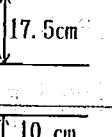
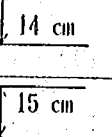
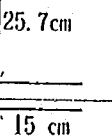
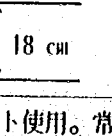
表-18 プライムコートのエネルギー消費量の試算結果

項 目	エネルギー消費量
・ プライムコート	(1.3 t/m ² 散布として) = 3,720 kcal/m ²
合 計	3,720 kcal/m ²

表-19 各舗装材料 1 m² 当たりのエネルギー消費量の試算結果

工 種	層 厚	エネルギー消費量
加熱アスファルト 混合物	表層 10 cm厚	$0.1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.350 \text{ t/m}^3 \times 142,130\text{kcal/t} = 33,400 \text{ kcal}$
	路盤 14 cm厚 (フルデプス)	$0.14\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.350 \text{ t/m}^3 \times 142,130\text{kcal/t} = 46,760 \text{ kcal}$
	表層 15 cm厚	$0.15\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.350 \text{ t/m}^3 \times 142,130\text{kcal/t} = 50,100 \text{ kcal}$
乳剤常温混合物	表層 10 cm厚	$0.1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.268 \text{ t/m}^3 \times 82,480\text{kcal/t} = 18,710 \text{ kcal}$
	路盤 14 cm厚	$0.14\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.268 \text{ t/m}^3 \times 82,480\text{kcal/t} = 26,190 \text{ kcal}$
	路盤 17.5 cm厚	$0.175\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.268 \text{ t/m}^3 \times 82,480\text{kcal/t} = 32,740 \text{ kcal}$
	路盤 20 cm厚	$0.2\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.268 \text{ t/m}^3 \times 82,480\text{kcal/t} = 37,410 \text{ kcal}$
	路盤 25.5 cm厚	$0.255\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.268 \text{ t/m}^3 \times 82,480\text{kcal/t} = 47,700 \text{ kcal}$
碎石	路盤 18 cm厚	$0.18\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.100 \text{ t/m}^3 \times 65,610\text{kcal/t} = 24,800 \text{ kcal}$
	路盤 25.7 cm厚	$0.257\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} \times 2.100 \text{ t/m}^3 \times 65,610\text{kcal/t} = 35,410 \text{ kcal}$

表-20 アスファルト舗装工種とエネルギー必要量(1㎡当たり)

舗装の工種	設定等値 換算係数	舗装構造	各層別材料- 必要量 (kcal)	全材料- 必要量 (kcal)	工種間の材料- 比較
加熱混合物による カルデス 舗装	表層: $a=1$ 路盤: $a=1$		表層: 33,400 路盤: 46,760	80,160	1.00 (比較材)
表層: 加熱混合物 路盤: 常温混合物	表層: $a=1$ 路盤: $a=0.55$		表層: 33,400 路盤: 47,700	81,100	1.01
	表層: $a=1$ 路盤: $a=0.7$		表層: 33,400 路盤: 37,410	70,810	0.88
	表層: $a=1$ 路盤: $a=0.8$		表層: 33,400 路盤: 32,740	66,140	0.83
	表層: $a=1$ 路盤: $a=1$		表層: 33,400 路盤: 26,190	59,590	0.74
表層: 常温混合物 路盤: 常温混合物	表層: $a=1$ 路盤: $a=0.55$		表層: 18,710 路盤: 47,700	66,410	0.83
	表層: $a=1$ 路盤: $a=0.7$		表層: 18,710 路盤: 37,410	56,120	0.70
	表層: $a=1$ 路盤: $a=0.8$		表層: 18,710 路盤: 32,740	51,450	0.64
	表層: $a=1$ 路盤: $a=1$		表層: 18,710 路盤: 26,180	44,900	0.56
表層: 加熱混合物 路盤: 碎石	表層: $a=1$ 路盤: $a=0.35$		表層: 50,100 フィルト: 3,720 路盤: 35,410	89,230	1.11
	表層: $a=1$ 路盤: $a=0.5$		表層: 50,100 フィルト: 3,720 路盤: 24,800	78,620	0.98

*加熱混合物: バインダーにアスファルト使用。常温混合物: バインダーにアスファルト乳剤使用。
*エネルギーの算定は、太田訳: 道路舗装に必要なエネルギー, ASPHALT, vol.1, No.113と同じである。

綱，路上再生路盤工法技術指針（案），道路維持修繕要綱がある。

① アスファルト舗装要綱

アスファルト舗装要綱では第2章構造の設計，第3章材料，第4章工法と配合，第5章施工，第8章特定箇所の舗装，第10章補修でアスファルト乳剤についての記載がある。この要綱の主な内容は加熱混合物であり，乳剤は使用材料の一部に過ぎない。しかし，改訂舗装要綱でセメント・瀝青安定処理が取り入れられたことは特筆される。

第2章では上層路盤の安定処理にセメント・瀝青安定処理が取り入れられて，等値換算係数が0.65と規定された。これはセメント・乳剤を使用した路上再生路盤工法がかなりの実績があり，また，アスファルト乳剤協会の追跡調査によれば，セメント・乳剤の路上再生路盤の等値換算係数が0.65以上であることなどを考慮すれば妥当なことと思われる。しかし，日本においては，路上混合以外での実績はほとんどなく，中央プラント混合では路上混合以上の高品質の混合物が期待されるので，これからの展開が期待される。第3章では乳剤の品質規格を示している。

第4章では，常温混合瀝青安定処理及びセメント・瀝青安定処理の品質規格を示し，解説している。また，セメント・瀝青安定処理の配合設計法についても触れている。

第5章では，プライムコート，タックコート，セメント・瀝青安定処理路盤の施工について述べている。

第8章では，タックコートについて述べている。

第10章では，補修工法の1つとして表面処理工法（チップシール，スラリーシール）の説明があり，また，セメント・瀝青安定処理による上層路盤のTA0の計算に用いる換算係数について示している。

② 簡易舗装要綱

簡易舗装要綱では3. 路盤，4. 表層，6. 維持修繕でアスファルト乳剤についての記載がある。本要綱は日本における要綱類の中では最も乳剤舗装のことを詳細に説明している。しかし，昭和54年版以来改訂が行われていないため，その点を注意しながら参考にする必要がある。

3. では乳剤は，常温混合による瀝青安定処理工法の材料，配合設計，施工の項で述べられている。特に配合設計の項において，常温混合物のマーシャル試験法に

についての規定があり、日本では多くの場合この規定により常温混合物の試験が行われている。

4. では浸透式工法、常温混合式工法の詳細な説明を行っている。

6. では維持修繕工法の1つである表面処理について詳細な説明を行っている。乳剤を使用した表面処理としてフォグシール、シールコート、アーマーコート、スラリーシールがある。

③ 路上再生路盤工法技術指針（案）

路上再生路盤工法技術指針（案）では、2. 調査と設計、3. 材料、4. 配合設計、5. 施工機械、6. 施工、7. 品質管理及び検査でアスファルト乳剤についての記載がある。

本工法は乳剤を使用した常温混合式工法として、唯一日本で広く施工されているものであり、施工実績も多く、今後混合式乳剤工法を行うにあたって参考になるものと思われる。

2. ではセメント・乳剤安定処理による路上再生路盤のTAの計算に用いる等値換算係数を0.65として示している。

3. ではセメント混合用アスファルト乳剤の規格が示されている。

4. では路上再生セメント・アスファルト乳剤安定処理の配合設計法が説明されている。

5. では乳剤散布装置のついた路上破碎混合機について説明している。

6. では標準的な施工手順、予備破碎をとまなう施工手順を説明している。

7. では乳剤についての品質管理の頻度と標準的な管理の限界について示している。

④ 道路維持修繕要綱

本要綱の中では、1.2.4 アスファルト舗装の維持修繕工法の選定及び1.2.5 修繕工法においてシールコート、アーマーコート、フォグシール、スラリーシールが記載されている。しかし、詳細については「簡易舗装要綱を参考にするとよい。」となっている。

(3) アスファルト乳剤の生産の現状

過去10年の日本におけるアスファルト乳剤の出荷数量を表-21に、1990年にお

ける各国の乳剤販売量を表-22に、各国におけるアスファルト生産量、アスファルト乳剤に使用したアスファルト量及びその比率を表-23に示す。

日本のアスファルト乳剤出荷数量は過去10年間30万t強で、横這いに推移している。

1990年における乳剤販売量は、米国が最も多くフランス、スペイン、日本、英国と続き日本は第4位である。

フランスは乳剤生産量は世界第2位だが、アスファルト生産量に対する乳剤製造に使用したアスファルトの比は最も大きく、28%が乳剤に使用されている。日本は4%とその比率は小さい。

(4) 規格の調査結果

① 各国の乳剤規格の調査結果

表-24にJIS K 2208の品質及び性能を、表-25にJBAAS（日本アスファルト乳剤協会規格）の品質及び性能を、表-26にASTM D-977（アメリカアニオン系乳剤規格）を、表-27にASTM D-2397（アメリカカチオン系乳剤規格）を、表-28にNF T-65-011（フランスアニオンカチオン乳剤規格）を、表-29にBS-434（イギリスアニオンカチオン乳剤規格）を示す。

② 試験項目の比較

試験項目の比較を一覧表にしたのが、表-30である。また、各試験方法の概略を表-31に示す。これらの表より以下のことが言える。

1. 粘度；日本、フランス、英国は主としてエングラ一度、米国はセイボルトフロール度で行っている。
2. 粗粒子；使用するふるい目の開きは、日本、米国、英国、フランスの順で小さくなる。粗粒子に関しては、米国、ヨーロッパの方が日本より厳しい性状を要求している。
3. 付着度；日本とは試験法が異なったり、規格がなかったりして比較が出来ない。付着度は、次の骨材皮膜度、骨材混合性と並んで日本独自の試験項目である。
4. 骨材皮膜度；日本以外の国では、規格がない。
5. 骨材混合性；日本以外の国では、規格がない国は英国及びフランスで、該当

する試験項目のない国は米国である。

6. セメント混合性；各国とも規格がある。セメントと乳剤を併用する工法は、外国でも主要な乳剤使用法であると思われる。
7. 粒子の電荷；各国とも規格がある。各国とも重要視している試験項目であることがわかる。
8. 残留分試験；日本は蒸発試験だが、日本以外は蒸留試験このことから外国の乳剤の多くは、多少溶剤が入っていることがわかる。
9. 残留物試験；日本と米国は規格があるが、フランス、英国には規格がない。乳剤の性能として必要と思われるが、フランス、英国では使用者と製造者が現場に則した残留物量を話し合いで決めているようである。
10. 貯蔵安定度；日本と米国は24時間だが、フランスは5日、英国は3カ月である。日本も以前は5日間であったが、1993年にJISを改定したとき、ASTMに整合させて24時間に変更した。
11. 外国にあって日本にない試験項目

(a) ASTM

イ) 乳剤破壊度

ロ) 骨材皮膜度及び耐水性試験

ハ) フロード試験

(b) NF T65-011

イ) 破壊度

③ 試験方法及び試験値の比較

日本と外国で共通する試験項目について、試験方法と試験値の比較を行う。なお道路用乳剤は、日本では主としてカチオン系なので、日本のカチオン系乳剤と外国のカチオン系乳剤とを比較する。

1. 粘性

各国の乳剤の粘性の比較を、表-32に示す。なおセイボルトフロール度で表示しているASTMについては、エングラードに換算した。(換算式は、JIS K 2208

5.4.3による)

日本と各国の乳剤の粘度を比較すると、浸透用(散布用)乳剤については、米国、フランスの乳剤の粘度が高い。その理由としては、これらの乳剤は表面処理に使用されるためアスファルト濃度が高いためと思われる。

混合用乳剤の粘度は、各国ともほぼ同じである。

表-21 日本における過去10年間の
アスファルト乳剤出荷量

年 度	出荷量 (千ト)
1983	311
84	334
85	308
86	318
87	333
88	331
89	320
90	323
91	312
92	335

表-22 各国におけるアスファルト乳剤
販売量(1990 年)

国 名	販売量 (千ト)
フランス	1,100
スペイン	500
英国	200
ドイツ	130
イタリア	100
スウェーデン	70
オランダ	60
ポルトガル	50
オーストリア	30
ベルギー	30
ノルウェー	30

表-23 各国におけるアスファルト生産量、乳剤に使用したアスファルト量
及びその比率 (千ト, 1990年)

国 名	アスファルト生産量 (T_1)	乳剤に使用したアス ファルト量 (T_2)	T_2/T_1 比率
米国	26,000	1,900	0.07
フランス	2,800	780	0.28
スペイン	1,800	310	0.17
日本	5,900	250	0.04
ドイツ	2,500	80	0.03
イタリア	2,400	70	0.03
メキシコ	1,000	70	0.07
ベネルックス	1,000	60	0.06
オーストラリア	600	60	0.10
アルゼンチン	500	30	0.06

表-24 品質及び性能

種類及び記号 項目		カチオン乳剤							アニオン乳剤							ノニオン乳剤
		PK-1	PK-2	PK-3	PK-4	MK-1	MK-2	MK-3	PA-1	PA-2	PA-3	PA-4	MA-1	MA-2	MA-3	MN-1
エン グラー度(25℃)		3~15		1~6		3~40			3~15		1~6		3~40			2~30
ふるい残留分(1.18 mm)質量%		0.3以下							0.3以下							0.3以下
付着度		$\frac{2}{3}$ 以上			—				—							—
骨材被膜度(40℃, 5 min)		—							$\frac{2}{3}$ 以上							—
粗粒度骨材混合性		—			均等であること	—		—				均等であること	—		—	
密粒度骨材混合性		—				均等であること	—		—				均等であること	—		—
土混り骨材混合性 質量%		—					5以下		—					2以下		—
セメント混合性 質量%		—							—							1.0以下
粒子の電荷		陽(+)							陰(-)							—
蒸発残留分 質量%		60以上		50以上		57以上			60以上		50以上		57以上			57以上
蒸発残留物	針入度(25℃) $\frac{1}{10}$ mm	100 を超え 200 以下	150 を超え 300 以下	100 を超え 300 以下	60 を超え 150 以下	60 を超え 200 以下	60 を超え 200 以下	60 を超え 300 以下	100 を超え 200 以下	150 を超え 300 以下	100 を超え 300 以下	60 を超え 150 以下	60 を超え 200 以下	60 を超え 200 以下	60 を超え 300 以下	60 を超え 300 以下
	伸度(15℃)cm	100以上				80以上			100以上				80以上			80以上
	三塩化エタン可溶分 質量%	98以上				97以上			98以上				97以上			97以上
	貯蔵安定度(24 hr) 質量%	1以下							1以下							1以下
凍結安定度(-5℃)		—	粗粒子, 塊がないこと	—				—	粗粒子, 塊がないこと	—						—

備考 エングレー度が15以下のアスファルト乳剤については、5.3によって求め、15を超えるアスファルト乳剤については、5.4によって粘度を求めエングレー度に換算する。

表-25 品質及び性能

項 目		記 号	PK-P	PK-H	PKR-T		PKR-S		MK-C
					1	2	1	2	
.エングラ度 (25℃)			1~6	—	1~10		3~30		—
セイボルト		(50℃) s	—	20~500	—				
フロール秒		(25℃) s	—	—					30~500
ふるい残留分 (1.18mm)質量%			0.3以下						
付 着 度			$\frac{2}{3}$ 以上						—
浸 透 性 s			300 以下	—					
密粒度骨材混合性			—						均等であること
粒子の電荷			陽 (+)						
蒸発残留分 質量 %			—	—	50以上		57以上		—
蒸 発 残 留 物	針入度 (25℃) $\frac{1}{10}$ mm		—	—	60 を超え 100 以 下	100 を超え 150 以 下	100 を超え 200 以 下	200 を超え 300 以 下	—
	伸 度	(7℃) cm	—	—	100 以上	—			
		(5℃) cm	—	—		100 以上			—
	軟化点 ℃		—	—	48.0以上	42.0以上		36.0以上	—
	タ フ ネ ス	(25℃) kgf・cm (N・m)	—	—	30 以 上 (2.9 以上)	—			
		(15℃) kgf・cm (N・m)	—	—		40以上 (3.9以上)		30 以 上 (2.9 以上)	—
	テ ナ シ テ イ	(25℃) kgf・cm (N・m)	—	—	15 以 上 (1.5 以上)	—			
		(15℃) kgf・cm (N・m)	—	—		20以上 (2.0以上)		15 以 上 (1.5 以上)	—
灰 分 質量 %			—	—	1.0以下				—
留出油分 (360℃までの)			15 以 下	5 以 下	—				3~20
蒸留残留分(360℃における) 質量%			40 以 上	65 以 上	—				50以上
蒸 留 残 留 物	針入度 (') (15℃) $\frac{1}{10}$ mm (100g 5s)		100を 超え 300 以下	80を超え 300 以下	—				
	伸 度	(15℃) cm	100 以上	100 以上	—				
		(10℃) cm	—	—					80 以 上
	フロート時間 (60℃) s		—	—					20~170
貯蔵安定度 (24h) 質量%			2 以 下	—	1以下				
凍結安定度 (-5℃)			—	—	—	粗粒子、塊 のないこと	—	粗粒子、塊 のないこと	—

注 (') PK-IIについては、夏期に使用するものの蒸留残留物の針入度は、25℃における値とする。

表-26 アメリカアニオン乳剤規格

(ASTM D-977-86)

項 目			急 分 解 性			中 分 解 性							遅 分 解 性	
			RS - 1	RS - 2	HFRS - 2	MS - 1	MS - 2	MS - 2h	HFMS - 1	HFMS - 2	HFMF - 2h	HFMS - 2S	SS - 1	SS - 1h
乳 剤 試 験	粘 度	セイボルトフロール度 (25℃) 秒	20~100			20~100	100 以上	100 以上	20~100	100 以上	100 以上	50以上	20~100	20~100
		セイボルトフロール度 (50℃) 秒		75~400	75~400									
	貯蔵安定度 (24時間) %		1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下
	乳剤破壊度 (35 ml, 0.02N CaCl ₂) %		60以上	60以上	60以上									
	骨材被膜 度 及 び 耐 水 性	乾燥骨材の被膜度 (①)				良	良	良	良	良	良	良		
		①に水をかけた後の被膜度				普通	普通	普通	普通	普通	普通	普通		
		湿润骨材の被膜度 (②)				普通	普通	普通	普通	普通	普通	普通		
		②に水をかけた後の被膜度				普通	普通	普通	普通	普通	普通	普通		
	セメント混合性 %													
	ふるい残留分 %		0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	2.0 以下	2.0 以下
	蒸留試験	蒸留残留分 %	55以上	63以上	63以上	55以上	65以上	65以上	55以上	65以上	65以上	65以上	57以上	57以上
		蒸留油分 %												
蒸留残 留物の 試 験	針入度 (25℃, 100 g, 5 秒) 1/10mm							40~90			40~90	200 以上		40~90
	伸 度 (25℃, 5cm/min) cm		40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上
	トリクロロエチレン可溶分 %		97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上
	フロート試験 (60℃) 秒				1200以上				1200以上	1200以上	1200以上	1200以上		

表-27 アメリカカチオン乳剤規格

(ASTM D-2397-85)

項 目			急 分 解 性		中 分 解 性		遅 分 解 性	
			CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
乳 剤 試 験	粘 度	セイボルトフロール度 (25℃) 秒					20~100	20~100
		セイボルトフロール度 (50℃) 秒	20~100	100~400	50~450	50~450		
	貯蔵安定度 (24時間) %		1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
	分類試験		合格	合格				
	骨材被膜 度 及 び 耐水性	乾燥骨材の被膜度 (①)			良	良		
		①に水をかけた後の被膜度			普通	普通		
		湿潤骨材の被膜度 (②)			普通	普通		
		②に水をかけた後の被膜度			普通	普通		
	粒子電荷試験		陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)
	ふるい残留分 %		0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下
	セメント混合試験 %						2 以下	2 以下
	蒸留試験	蒸留油分 vol %	3 以下	3 以下	12以下	12以下		
		蒸留残留分 %	60以上	65以上	65以上	65以上	57以上	57以上
蒸留残 留物の 試験	針入度 (25℃, 100 g, 5 秒) 1/10mm		100~250	100~250	100~250	40~90	100~250	40~90
	伸 度 (25℃, 5cm/min) cm		40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上
	トリクロロエチレン可溶分 %		97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上	97.5以上

表-28 フランスアニオン・カチオン乳剤規格

項 目	試 験 方 法	急 分 解 性 (R)				緩 分 解 性 (L)			遅分解性 (S)	
		E A R 50	E A R 55	E A R 60	E A R 65	E A L 55	E A L 60	E A L 65	E A S 55	E A S 60
水分量 %	N F T 66-023	49~51	44~46	39~41	34~36	44~46	39~41	34~36	44~46	39~41
エングレー度 (25℃)	N F T 66-020	6 未満	15 未満	2 以上	6 超	15 未満	2 超	6 超	15 未満	2 超
STV粘度 (25℃) (流出孔の直径4mm)		—	—	18 未満	—	—	18 未満	—	—	18 未満
ふるい残留分 % ・0.63mmを超える粒子 ・0.63~0.16mmの粒子	N F T 66-016	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満
破壊度	N F T 66-019	0.5 超	0.5 超	0.5 超	0.5 超	0	0	0	—	—
セメント混合性 %	N F T 66-024	—	—	—	—	2 超	2 超	2 超	2 以下	2 以下
粒子の電荷	N F T 66-021	陰 (-)	陰 (-)	陰 (-)	陰 (-)	陰 (-)	陰 (-)	陰 (-)	陰 (-)	陰 (-)

項 目	試 験 方 法	急 分 解 性 (R)			中 分 解 性 (M)			緩 分 解 性 (L)			遅分解性 (S)	
		E C R 60	E C R 65	E C R 69	E C M 60	E C M 65	E C M 69	E C L 55	E C L 60	E C L 65	E C S 55	E C S 60
水分量 %	N F T 66-023	39~41	34~36	30~32	39~41	34~36	30~32	44~46	39~41	34~36	44~46	39~41
エングレー度 (25℃)	N F T 66-020	2~15	6 超	—	2 超	6 超	—	15 未満	2~15	6 超	15 未満	2 超
STV粘度 (25℃) (流出孔の直径4mm)		—	—	9 以上	18 以下	—	9 以上	—	—	—	—	18 以下
ふるい残留分 % ・0.63mmを超える粒子 ・0.63~0.16mmの粒子	N F T 66-016	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満	0.1 未満 0.25 未満
貯蔵安定度 (5日間) %	N F T 66-022	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満
付着度 (1) - 貯蔵期間限定の乳剤(1)	N F T 66-018	90 以上	90 以上	90 以上	90 以上	90 以上	90 以上	—	—	—	—	—
試験第一部		75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	—	—	—	—	—
試験第二部		—	—	—	75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	—	—
(2) - 貯蔵可能の乳剤(1)		—	—	—	75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	75 以上	—	—
破壊度	N F T 66-017	100 未満	100 未満	100 未満	80~140	80~140	80~140	120 超	120 超	120 超	—	—
セメント混合性 %	N F T 66-024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2 以下	2 以下
粒子の電荷	N F T 66-021	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)	陽 (+)

(1) 5℃を超える温度で期間Tの間貯蔵した乳剤をかき混ぜたとき表面に上澄液が生じても差支えない。ただし攪拌によって上澄液は消滅し、乳剤の分解の徴候が観察されないものでなければならない。

用語の定義 : Tを15日以下と定めたものは、「貯蔵期間限定の乳剤」とする。

Tを15日から3カ月と定めたものは、「貯蔵可能の乳剤」とする。

(2) 付着度は、定められた性質の骨材について規定する。

表-29 イギリスアニオン・カチオン乳剤規格

(BS-434)

項 目	A 1-60	A 1-55	A 1-40	A 2-57	A 2-50	A-3	A-4
粒子の電荷	—	—	—	—	—	—	—
BS710 μ mふるい残留分(%(m/m), 以下)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
BS150 μ mふるい残留分(g/100ml, 以下)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
粗粒度骨材混合性 (凝固物の%)	20~80	20~80	20~80	40	40	5	5
セメント混合性 (凝固物の%)	—	—	—	2	2	2	—
蒸発残留分 (%(m/m), 以上)	58	53	38	55	48	55	56
エングラー度 (20℃)	6~9	5~8	4以下	8以下	5以下	9以下	8以下
凍結安定度	0	0	0	0	0	0	0
貯蔵安定度 (短期) (試験管の底の沈でん物がなくなるまでの転倒回数, 以下)	60	60	60	60	60	60	60
貯蔵安定度 (長期) (%水分量の差, 以下)	2	2	—	2	2	2	2

(BS-434)

試 験 項 目	カチオン乳剤の種類				
	K 1-70	K 1-60	K 1-40	K-2	K-3
粒子の電荷	+	+	+	+	+
BS710 μ mふるい残留分(%(m/m), 以下)	—	0.05	0.05	0.05	0.05
BS150 μ mふるい残留分(g/100ml, 以下)	—	0.15	0.15	0.15	0.15
蒸発残留分 (%(m/m), 最小)	67	57	38	57	56
エングラー度 (20℃)	—	6~9	4以下	10以下	10以下
レッドウッド粘度No11 (85℃における秒数)	25~35	—	—	—	—
凍結安定度	—	0	0	0	0
貯蔵安定度 (短期) (試験管の底の沈でん物がなくなるまでの転倒回数, 以下)	—	60	60	60	60
貯蔵安定度 (長期) (%水分量の差, 以下)	—	2	—	2	2

表-30 各国の乳剤規格の試験項目の比較

試験項目	JIS K 2208 (日本)	JEAAS (日本)	ASTM D-977, D-2397 (米国)	NF T65-011 (フランス)	BS-434 (英国)
粘度	エングラー度	エングラー度(散布用) とセイボルトフロール度 (混合用)の併用	セイボルトフロール度	エングラー度と STV 粘度の併用	エングラー度 及びレッドウッド 粘度の併用
粗粒子	1. 18mmふるい	1. 18mmふるい	0. 85mmふるい	0.63mm, 0.16mm	0.71mm, 0.15mm
付着度	2/3 以上	規格あり	規格なし	試験法異なる	規格なし
骨材皮膜度	2/3 以上	規格なし	規格なし	規格なし	規格なし
混合性	均等であること	均等であること	該当するものなし	規格なし	規格なし
セメント混合性	規格あり	規格なし	規格あり	規格あり	規格あり
粒子の電荷	規格あり	規格あり	規格あり	規格あり	規格あり
固形分試験	蒸発試験	蒸発及び蒸留試験	蒸留	蒸留	蒸留
残留物試験	規格あり	規格あり	規格あり	規格なし	規格なし
貯蔵安定度	24時間	24時間	24時間	5日間	3ヵ月

表-31 試験法の概略

試験項目	試 験 法	備 考
エングラード	規定温度で規定量(50ml)の試料がエングラード計の細孔を流下するのに要する時間と、同温度、同量の蒸留水が試験器の細孔を流下するのに要する時間との比	JIS, JEAAS, NF T-65-011, BS-434
セイボルトフロール秒	乳剤の粘性を表すもので、規定温度で規定量(60ml)の試料が試験器の細孔を流下するのに要する時間。秒で表す。	(JIS), JEAAS ASTM D-2397
レッドウッド粘度	レッドウッド粘度計から 50ml 流出する時間を秒で報告する。	BS-434
ふるい残留分	乳剤中にアスファルトの粗粒子又は塊を生じているかどうかを判定するもの。規定のふるいに試料を注ぎ、水洗後ふるい残留物を乾燥秤量して、残留物の試料に対する質量百分率で表す。	JIS, JEAAS NF T-65, ASTM BS-434
骨材皮膜度	骨材に対するアスファルト皮膜の付着の良否を表すもの。規定の碎石の規定量を試料中に1分間浸して室温に24時間放置し、さらに規定温度に保った水中に5分間浸して付着の残存状態を調べ、付着面積を比率で表す。	JIS K 2208, ASTM D-977, 2397
粗粒度骨材混合性	規定条件で碎石、粗目砂、水及び試料を混合したときの均一性を目視で判定する。	JIS K 2208, BS-434
密粒度骨材混合性	規定条件で碎石、細目砂、石灰石粉、水及び試料を混合したときの均一性を目視で判定する。	JIS K 2208, JEAAS
土混じり骨材混合性; 欧米ではこれがセメント混合性	セメントと乳剤とを1対2の割合で混合してふるいに注ぎ、ふるい上に残った塊や粗粒物の量によって、混合の良否を調べる。	JIS, JEAAS, ASTM, NF T-65, BS-434
セメント混合性	骨材にセメントを加えたものと、乳剤との混合の均一性の良否を表すもの。セメントと乳剤を1対1の割合で混合し、その混合物をふるいに注ぎ、塊や粗粒物の量によって、混合の良否を調べる。	JIS K 2208
粒子の電荷	乳剤中に直流の電気を流し、試料中に含まれるアスファルト粒子の電荷を調べる。日本ではアスファルト粒子の動きを顕微鏡で見て調べるが、外国ではアスファルトが付着する電極により調べる。	JIS, JEAAS, ASTM, NF T-65, BS-434
蒸発残留分	乳剤中に含まれるアスファルト量を確かめるために行うもので、水分を蒸発させ、アスファルト残留分を調べる。	JIS, JEAAS
蒸留残留分	乳剤を蒸留して、油分及び水分を留出させ、アスファルト残留分を調べる。	ASTM, NF T-65 BS-434
貯蔵安定度	試験用の容器に一定量の乳剤を入れて静置し、上部試料と下部試料の蒸発残留分の差で表す。	JIS, JEAAS, ASTM
凍結安定度	凍結融解後の乳剤の使用の可否を判定するもので、規定条件で凍結融解を繰り返した試料中の粗粒子又は塊の有無で表す。	JIS, JEAAS

表-32 各国の乳剤粘度の比較（エングラー度）

乳剤 種類	測定温 度 °C	JIS K 2208	JBAAS	ASTM D 2397	NF T65-011	BS-434
PK-1, 2	25	3 ~ 15				
PK-3, 4	"	1 ~ 6				
MK-1, 2, 3	"	3 ~ 40				
PK-P	25		1 ~ 6			
PK-II	50		5.6~140			
PKR-T	25		1 ~ 10			
PKR-S	"		3 ~ 30			
MK-C	"		8.4~140			
CRS-1	50			5.6 ~ 28		
CRS-2	"			28~112		
CMS-2(h)	"			14~126		
CSS-1(h)	25			5.6~ 28		
ECR 60	25				2 ~ 15	
ECR 65	"				6 以上	
ECM 60	"				2 以上	
ECM 65	"				6 以上	
ECL 55	"				15 未満	
ECL 60	"				2 ~ 15	
ECL 65	"				6 以上	
ECS 55	"				15 未満	
ECS 60	"				2 以上	
K1-60	20					6~ 9
K1-40	"					4 以下
K-2	"					10 以下
K-3	"					10 以下

注) 粘度が高いECR 69, ECM 69はSTV 粘度計を, K1-70 はレッドウッド粘度計を使用する。

2. 粗粒子

各国における粗粒子の許容限度の比較を表－33に示す。

欧米特にヨーロッパにおいて、粗粒子に対する品質の要求は厳しい。しかし、日本においては施工上問題がないと見ているためか、欧米の規格と比較してゆるいようである。

3. セメント混合性

JISの土混じり骨材混合性試験と各国のセメント混合性試験は、基本的に同じである。異なる点はふるい目の大きさと、試験用乳剤の調整濃度が少し違う程度である。また、規格値も2%以下と各国とも同じである。

4. 粒子の電荷

JIS法では顕微鏡を利用し、アスファルト粒子の移動方向から判定しているが、外国では3カ国とも電極をバッテリーに接続して、電極に付着するアスファルトから判定している。

5. 残留分

各国のアスファルト乳剤の残留分の比較を表－34に示す。

米国の散布用及びフランスも主として散布用乳剤の残留分が多い。表面処理には高濃度の乳剤の方が結果が良好なため、濃度を高くしているものと考えられる。

④ 各国の乳剤種類の整合

各国の乳剤規格は、試験項目も試験法も同一でなく比較しにくい、強いて整合性について検討したものが表－35である。

⑤ 調査結果のまとめ

国によって試験項目及び試験法が異なっているということは、それぞれの国に合わせて規格が制定されたためと考えられる。

欧米では表面処理が乳剤工法の主流であり、高濃度（高粘度）で付着性を改良するために溶剤を添加してあるものが多く、それが規格に反映している。また、混合用乳剤は室内試験と現場の性状が必ずしも一致しないことが多く、それが骨材混合性や骨材皮膜試験が欧米の規格にない理由の1つと考えられる。また、このような試験者個々の主観的な判断にたよる試験は、結果に誤差が多く欧米の規格の項目には、ASTMで1項目あるのを除けば存在しない。

表-33 各国の乳剤粗粒子ふるい残留分の比較

ふるい目(mm)	JIS K 2208	JEAAS	ASTM D-2397	NF T65-011	BS-434
1.18	0.3 % 以下	0.3 % 以下			
0.85			0.1%以下		
0.71					0.05% 以下
0.63				0.1%未満	
0.63 ~0.16				0.25% 未満	
0.15					0.15% 以下

表-34 各国の乳剤の残留分の比較

* 残留分%	3.8	4.0	5.0	5.5	5.7	6.0	6.5	6.7	6.9
JIS K 2208			PK-3, 4		MK-1, 2, 3	PK-1, 2			
JEAAS		PK-P	PKR-T MK-C		PKR-S		PK-H		
ASTM D-2397					CSS-1(h)	CRS-1	CRS-2 CMS-2(h)		
NF T65-011				ECL55 ECS55		ECR-60 ECM-60 ECL-60 ECS-60	ECR-65 ECM-65 ECL-65		ECR-69 ECM-69
BS-434	K1-40				K1-60 K-2, K-3			K1-70	

注)*NF T65-011はこの数値±1%, それ以外の規格はこの数値以上

表-35 各国の乳剤の種類の実合性

浸透用

JIS K 2208		PK-1, 2	PK-3, 4				
JEAAS				PK-H		PK-P	PKR-T
ASTM D-2397		CRS-1		CRS-2			
NF T65-011		ECR-60		ECR-65	ECR-69		
BS-434	K1-40	K1-60		K1-70			

混合用

JIS K 2208	MK-1	MK-2	MK-3				
JEAAS		*		MK-C			
ASTM D-2397			CSS-1 (h)				
NF T65-011	ECM-60	ECL-55 ECL-60	ECS-55 ECS-60			ECM-65 ECM-69	ECL-65
BS-434		K-2	K-3				

注) (1) *残留分が異なっている。

(2) 後部についている(h)の記号は、ベースアスファルトに固いものを使っているという意味である。

(5) アスファルト乳剤の現状技術の調査結果

① 通常のアスファルト乳剤

現在各国ともカチオン系乳剤とアニオン系乳剤が規格に載っている。しかし、米国以外の日本及びヨーロッパでは舗装用として使用される乳剤は、ほとんどがカチオン系である。米国では石質によりアニオン系とカチオン系を使い分けている。

濃度は38～69%と広範囲であるが、70%以上は粘度が高くなり過ぎて実用にならない。分解性も急分解性から遅分解性まで各種あり、工法、材料、季節等により使い分けている。

ベースアスファルトの固さは、乳剤が分解した直後の粘着性を出すために、欧米においては揮発性の溶剤が少し入っている製品が多い。そのため初期強度が小さく、日本において乳剤舗装を行う場合改良が必要と思われる。

② 分解時間を制御出来る乳剤

乳剤舗装は、表面処理にしても常温混合物にしても舗設した後養生を行う必要がある。また、養生時間は天気や気温、湿度、骨材の状態等に左右され自由にコントロールすることが出来ない。分解時間を制御出来る乳剤はこのような乳剤舗装の欠点を解決するために開発されたものである。この乳剤の原理は、乳剤の分解を引き起こす物質を併用することにある。

当然のことながら乳化剤と分解剤の化学的な組合せが重要となる。分解は作業性を持たせるために急激にではなく20～30分から数時間までのあいだに起こるようにする。

この技術は現在フランスにおいて主として表面処理に対して使用されている。

③ ポリマー入りアスファルト乳剤

ポリマー入り乳剤は、以前は天然ゴムラテックスやSBRラテックスを乳剤中に混合する方法が行われていた。しかし最近SBS（スチレン・ブタジエン・スチレン共重合体）やEVA（エチレン・ビニル・アセテート）で改質したアスファルトを乳化する方法も行われるようになった。これらのポリマーは、アスファルト中のマルテンにより膨潤しバインダの感温性の改良、骨材把握力の改良、骨材との接着性の改良等を行う。ポリマー中のポリスチレン鎖は高温でアスファルトに溶解するが、低温になると析出し粘度を増加させる。

ポリマーアスファルト乳剤の歴史は古いが、いろいろ検討され始めたのはそう古

くはない。

④ ミクロ乳剤

乳剤製造時、アスファルトと乳化液の高い界面張力が粒子の粗い乳剤を作る原因となる。アスファルト中に低分子のポリアミンを添加すると、イミダゾリンタイプの活性剤が形成され、酸性乳化液との間で界面張力は殆ど0となる。このように処理したアスファルトにより製造した乳剤は粒子直径1～2ミクロンの微小粒子となる。

ミクロ乳剤は貯蔵安定性や骨材との接着性が良好であるばかりでなく、骨材上のバインダの膜厚をより薄く出来るという利点がある。そのためかなり乳剤量を減らせることができ、コストダウンへの可能性につながる。

⑤ 高濃度乳剤

現在一般の乳剤で最も高い濃度の乳剤は、フランスで製造している69%のものである。それ以上の乳剤は、粘度が高くなり過ぎて作業が出来ない。しかし、ポリマー入りのある種の乳剤は、70%以上でかつ粘度もそれほど高くないものにすることが出来る。

乳剤中の水は少ない方が供用後の強度発現は早くなるので、作業性がとれる範囲内で濃度を高くすることが望ましい。最近では80%の濃度を乳剤も開発されている。

(6) 施工機械の現状技術

散布式工法

① チップスプレッダ

表面処理(チップシール)は正確かつ均一な骨材散布が重要であり、各種のチップスプレッダが開発されている。

基本的には2つのタイプがある。第1はいわゆるテールゲートと呼んでいるもので、トラックの後部に骨材散布装置が付いていて、車両の運転手と骨材散布のオペレーターが別にいる。作業する場合は車両をバックさせながらオペレーターがゲートを操作する。この機械は運転手が補修面を十分確認出来ないため、車両速度とゲートの開閉が連動しているような工夫もされているようであるが、作業者の熟練がある程度必要と思われる。(写真-1参照)

第2のタイプは、走行方向の前方に骨材散布装置がついており、骨材は後部から

ダンプトラックなどで補給する。運転手がオペレーターを兼務するため速度に合わせて散布量を調整し易く、均一かつ正確な骨材散布が期待出来る。(写真-2 参照)

② ディストリビュータ

乳剤を送る方法に、圧力式とポンプ式があり、基本的には外国も日本も同じであるが、表面処理を行う場合は、均一性と既設路面に合わせた散布量が大切なため、乳剤の散布を操作するオペレータが別に付く場合が多い。(写真-3 参照)

また、高濃度の乳剤を散布する場合は、乳剤タンクに加熱装置がついている。

混合式工法

③ スラリーマシーン (写真-4 及び 5 参照)

大きく分けて以前からあるバッチ式のものと、最近出来た連続式のものがある。施工はこのスラリーマシーンとスプレッターボックスにより行う。スプレッターボックスも施工対象にあわせて、各種のものが作られている。

④ 常温中央プラント混合機 (写真-6 参照)

ミキサーはバッチ式又は連続式ミキサーで、バッチ式ミキサーで1日200～800 t、連続式ミキサーでは1日500 t以上製造できる。ミキサー以外のレイアウトは、加熱合材工場と類似している。

⑤ 組立式プラント混合機

施工現場の近くにまでプラントをブロックに分けて運搬し、現地で組み立てるもので、数時間で組立たり分解したりすることが出来る。

⑥ ミックスパーバ (写真-7 及び 8 参照)

自走式の機械で、1つの機械にミキサと敷均し装置が付いている。材料はトラックやローリから供給する場合と、路面上にウィンドローを作っておき、それを掬い取って連続して混合物の製造と敷均しを行う方式がある。

⑦ 路上混合機 (写真-9 参照)

自走式機械にロータリーミキサが付いているものである。ロータリーミキサは横方向回転軸とそれにタイン又は切削用ブレードが取り付けられている。これらのブレードには既設路面を所定の深さにまで切削することと、骨材と乳剤を混合する役割がある。



写真-1 テールゲート型チップスプレッダ



写真-2 前方から骨材散布するチップスプレッダ

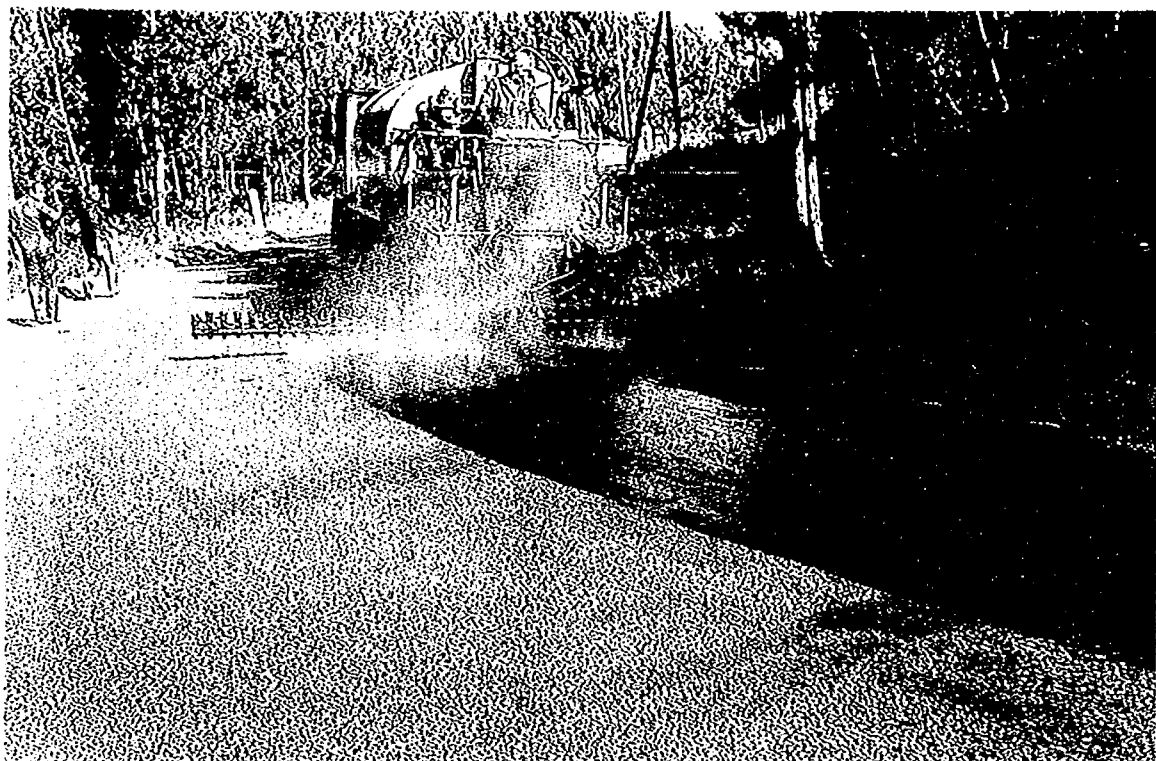


写真-3 分解剤散布装置付ディストリビュータ

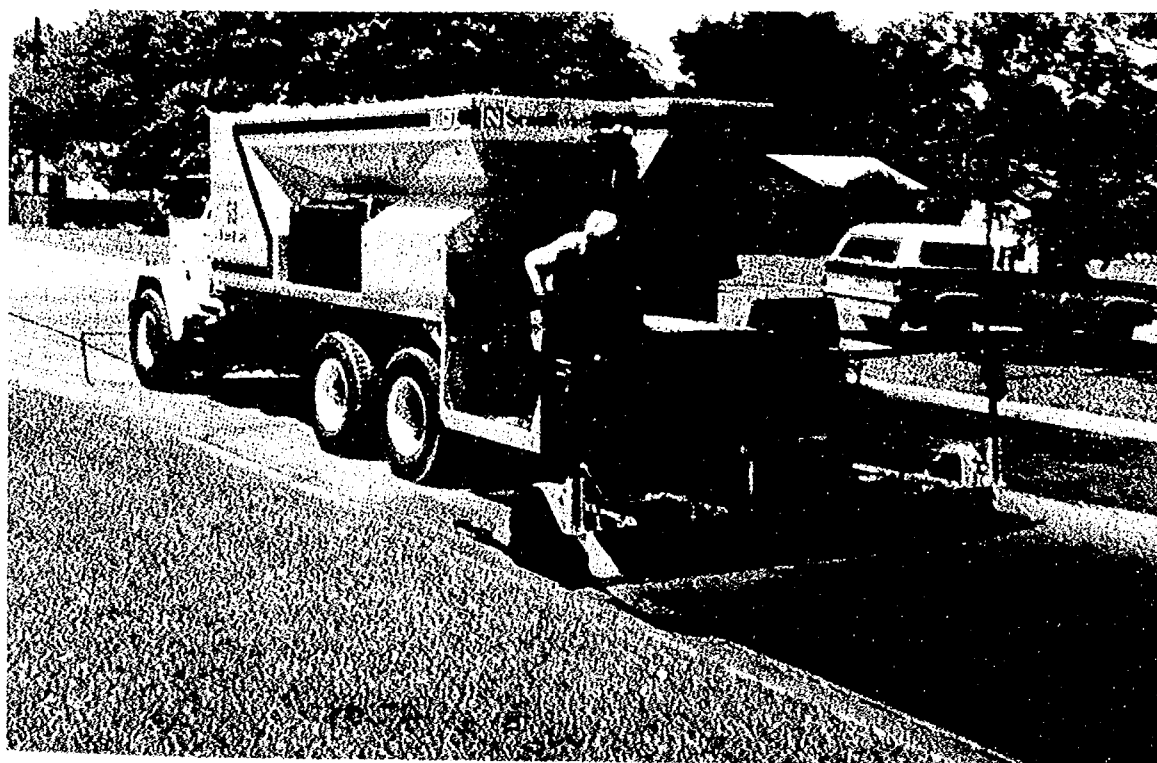


写真-4 バッチ式スラリーマシーン

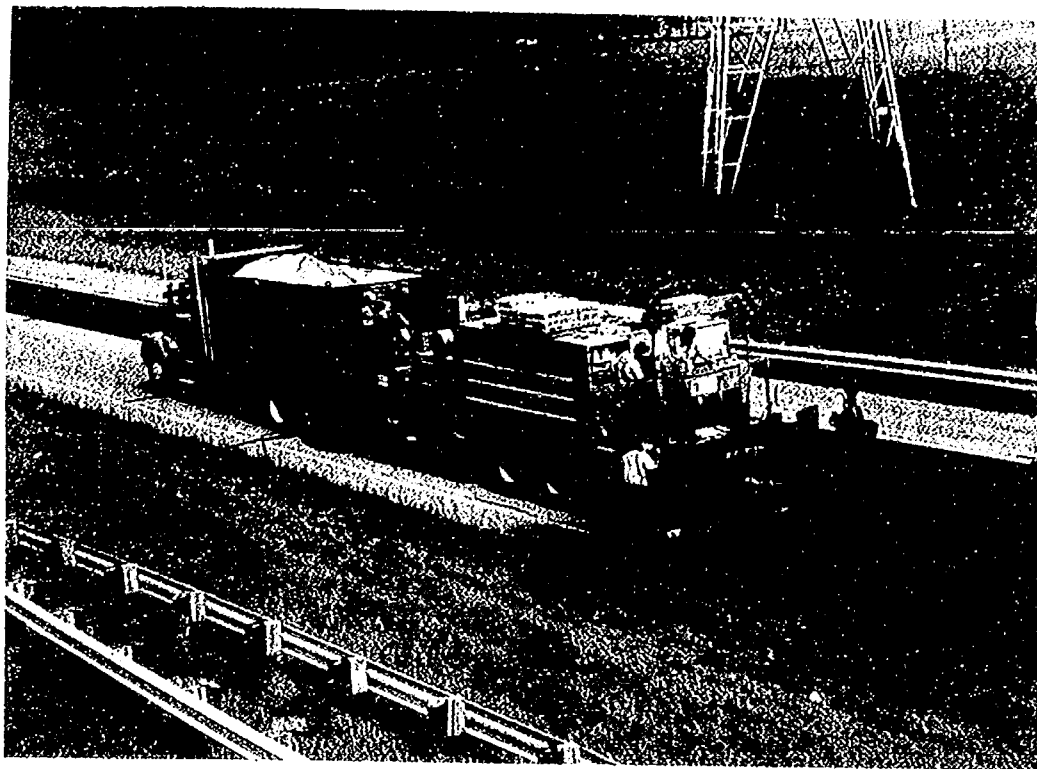


写真-5 連続式スラリーマシーン

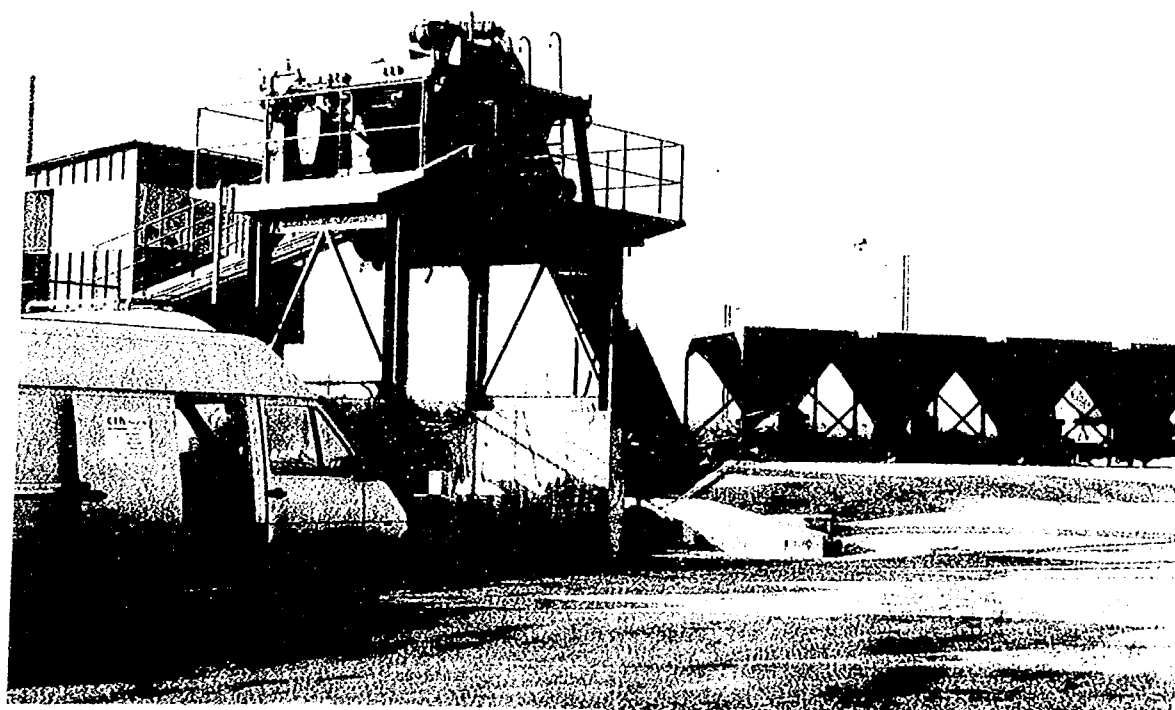


写真-6 常温中央プラント混合機

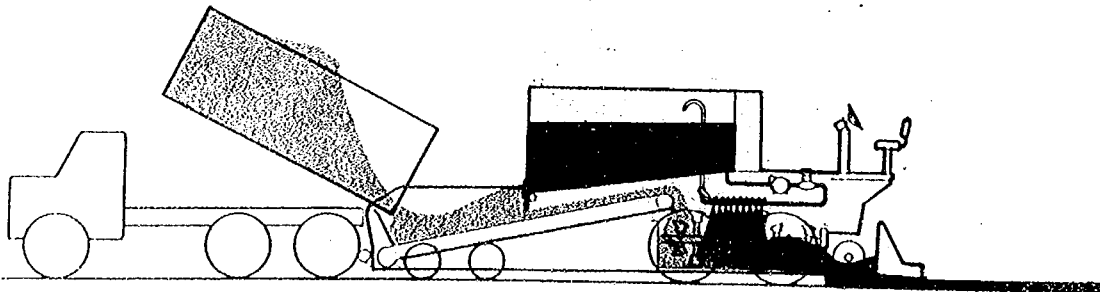
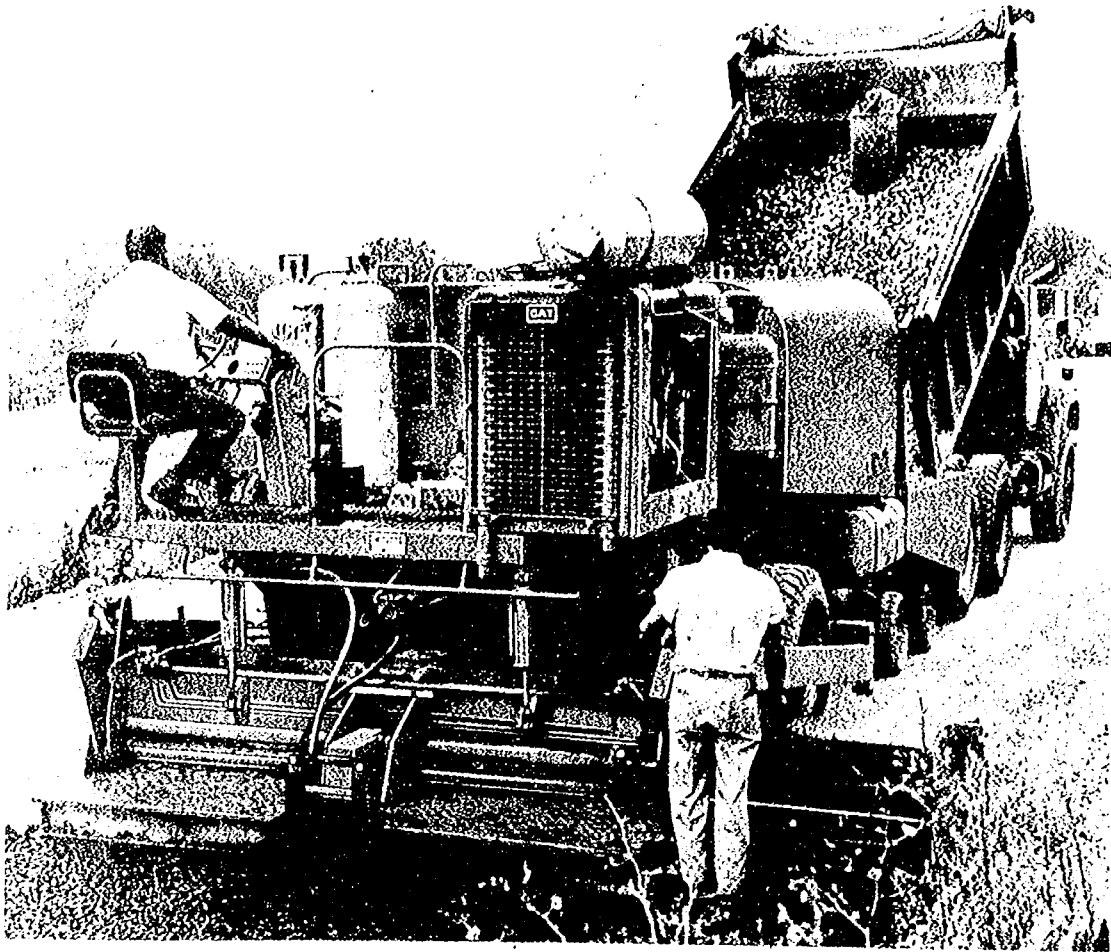


写真-7 ミックスパーバ

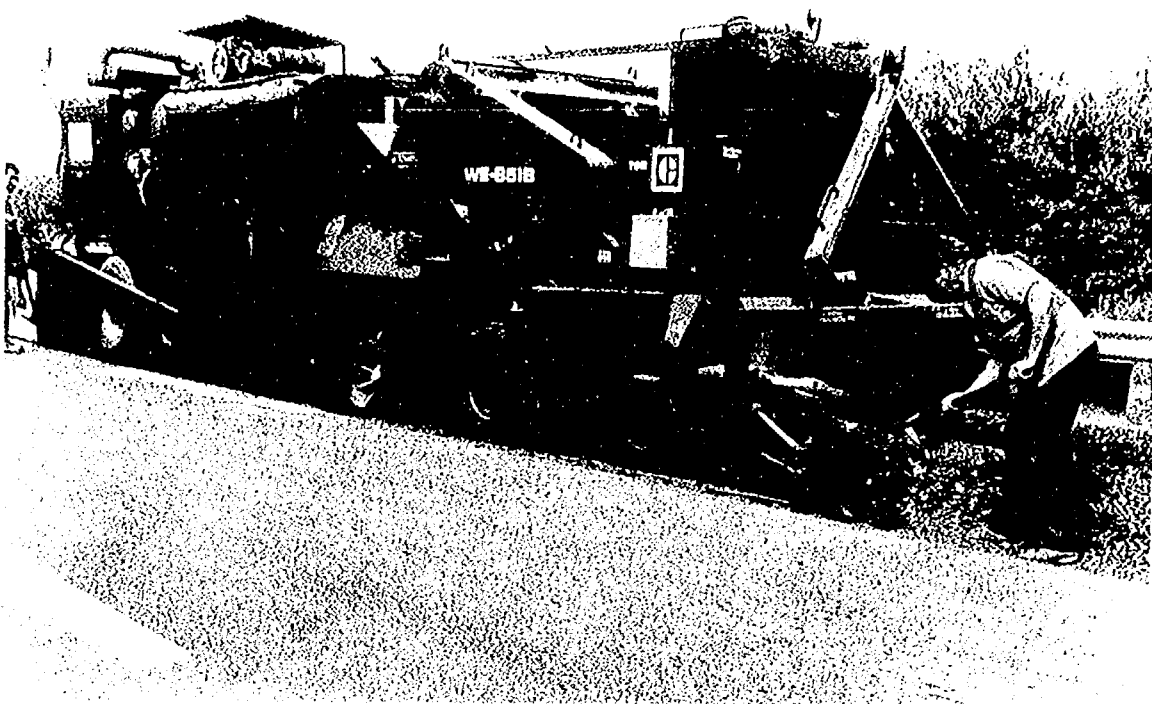


写真-8 ミックスパーバ型路上混合機

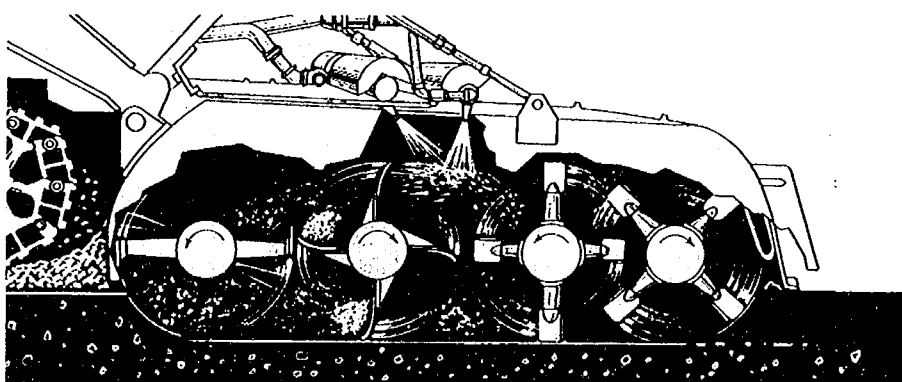


Figure VII-5 Processing chamber of a multiple rotary mixer.



写真-9 ロータリーミキサ型路上混合機

(7) 乳剤舗装の現状技術

各国で行われている乳剤舗装及び使用される乳剤の種類

各国で行われている乳剤舗装工法と使用される乳剤の種類を表-- 3 6 に示す。

乳剤の使用方法には、大きく分けて散布式と混合式の2通りがある。

ここでは散布式工法として表面処理、小面積の補修、グラウト、について取り上げ、混合式工法としては常温混合、スラリーシール、コールドリサイクルについて述べる。

散布式工法

① 表面処理（チップシール）

1. 概説

表面処理は欧米では広く行われている工法であり、乳剤使用量の60～70%がこの工法に使用されている。表面処理は施工単価が安く、単位時間の施工量が大きいので舗装の維持工法としては適している。

以前は1層表面処理、2（または3）層表面処理だけであったが、最近はそれらを改良した表面処理がヨーロッパで行われている。

2. 種類

イ) チップシール

日本でシールコートと呼んでいるもので、最も簡単で安価な方法である。乳剤を散布してから骨材を敷並べ転圧して仕上げる。この時骨材は隙間なく密になるようにする。

ロ) ダブルシール

日本でアーマーコートと呼んでいるもので、乳剤を散布してから大きな骨材を敷並べ、次に乳剤を散布してから小さな骨材を敷並べて仕上げる。

ハ) ラックドローイン

乳剤散布後、大きな石を粗に（路面の約2/3を覆う程度）敷並べ、その隙間に小さな石を充填する1種の1層表面処理である。この工法の方が耐久性があり、また、良好な排水性とすべり抵抗性を有するといっている。

ニ) サンドイッチ

既設路面に大きな石を粗に（ラックドローインよりやや密に）敷並べ、乳剤を散布してから小さな石をその隙間に充填するように散布し仕上げる。この工法はコストが安いうえで耐久性が有り排水性とすべり抵抗性を有するといっている。

表-36 各国の乳剤舗装工法とそれに使用される乳剤の種類

日 本		米 国		フランス		英 国	
工 法	使用乳剤	工 法	使用乳剤	工 法	使用乳剤	工 法	使用乳剤
<u>散布用</u>							
表面処理(シーコート, アーマーコート)	PK-1, 2 PK-H, PKR-S	表面処理	CRS-1, 2	表面処理	ECR60, ECR65 ECR69	表面処理	K1-60, K1-70
プライムコート	PK-3, PK-P	プライムコート	CSS-1(h)	プライムコート	ECS55, ECS60	プライムコート	K1-60, K1-70
タックコート	PK-4, PKR-T	タックコート	CSS-1(h)	タックコート	ECS55	タックコート	K1-40
浸透式マカダム	PK-1, 2 PK-H, PKR-S	浸透式マカダム	CRS-1 CRS-2	小面積の補修	ECR60	グラウト	K1-60, K1-70
フォグシール	MK-2, 3	フォグシール	CSS-1(h)			貧配合ミックスシール	K1-40, K1-60
セメント養生用	PK-3	ひびわれ充填	CMS-2(h) CSS-1(h)			フォグシール	K1-40
						パッチング	K1-60
<u>混合用</u>							
常温混合	MK-1, 2, 3	常温混合	CMS-2(h) CSS-1(h)	常温混合	ECM60, ECL60 ECS60	常温混合	K-2, K-3
スラリーシール	MK-3	スラリーシール	CSS-1(h)	スラリーシール	ECS60	スラリーシール	K-3
補修用混合物	MK-C	補修用混合物	CMS-2(h)	グレーヴ乳剤	ECL65, ECS60	再処理	K-2
セメント・乳剤混合物	MN-1						

ホ) パッドコート

乳剤散布後小さな石を敷並べ、次に乳剤を散布してから大きな石を敷並べて仕上げる。この工法は固い既設路面の場合、接着が良好になるといっている。

3. 施工

先ず路面を清掃後ディストリビュータにより乳剤を散布し（サンドイッチシールの場合は骨材を散布）次にチップスプレッドにより骨材を敷均し、ローラにより転圧して仕上げる。人家の多い箇所や交通量の多い箇所では、余剰のチップ又は接着不良のチップをスウィーパーで掃きとる。

4. 適用箇所

軽～中交通の道路の維持工法として広く使用されている。しかし、表面処理の構造や骨材の粒径、使用乳剤の種類等を選択することにより、あらゆる交通量のところに適用される。

5. 注意点

乳剤散布も骨材散布も、規定量を均一にかつ正確に散布する必要がある。乳剤が多すぎるとフラッシュを生じ、また、骨材量が多すぎると石が飛散する。

また、転圧が終了し交通開放を行う場合、車両の速度を制限しながら通行させることが望ましい。その場合時速20km以下に制限する。できれば車両群を先導する先導車を用意しておくことが望ましい。

② グラウト

1. 概説

路盤上に散布した碎石の間隙に乳剤を充填することによって1層目で50～75mm、2層目で100mmになる表層を形成する工法である。

2. 骨材及び施工法

骨材は清浄、陵角に富むもので乾燥する必要がなく、交通開放時に高い破碎抵抗力をもっているものを使用する。粒度は施工厚と使用する骨材の特性を参考にして選定する。

例として下に示す粒度がある。

（a）締固め厚さ50mmの場合

粒径40mmの材料； 60%

粒径28mmの材料； 30%

粒径14mm～20mmの材料; 10%

(b) 締固め厚さ50mmの場合

粒径50mmの材料; 60%

粒径40mmの材料; 30%

粒径14mm～20mmの材料; 10%

各粒径の骨材を完全に混合することが重要であるが、14mm～20mmの材料は、大きい材料を敷均した後、その上に散布し振動をかけて間隙にはいるようにする。

骨材の敷均しは、最終厚が75mmになるように人力または機械により敷均す。

転圧は6～10tローラまたは発注者が認めた重量のローラで行う。

乳剤は、全浸透の場合は層の全厚の骨材を十分に被覆するだけの乳剤量で2回に分けて使用する。半浸透の場合はスラリーや水締め層の上層部分の骨材を被覆するのに十分な乳剤使用量を使用する。

乳剤を散布するとただちに6～10mmのチップを路面の隙間を十分充填するように散布し、表層を再転圧する。

しばらくしてから表面を清掃し、10～14mmの骨材で表面処理を行う。

3. 適用箇所

軽交通または歩道に使用される。

混合式工法

③ 常温混合

1. 概説

乳剤と骨材の混合物には各種のものがあり、適用箇所も軽交通から重交通道路まで使用され、使われる部分も摩耗層から路盤にまでと巾が広い。

広い意味での常温混合にはスラリーシール、コールドリサイクル、グレーヴ乳剤なども入ると思われるがここではそれらは別の項で述べることにする。

2. 常温混合の種類

i) 常温混合物の粒度による分類

(a) 開粒度混合物

この混合物の空隙率は一般に15%以上であり、乳剤による開粒度混合物は欧米では長年にわたって上層路盤や表層に使用されている。混合法はプラント混

合と現場混合の2通りがあるが、いずれにしても簡単な設備で製造できる。

この混合物は施工厚を自由に変えることができ(3~22cm), 柔軟性があるため、疲労やリフレクションクラックに対する抵抗性が大きい。また、排水性があるため降雨時におけるハイドロプレーン現象や路面のぎらつきを防止する。

細粒分が少ないため乳剤使用量が少なく、かなりのコストダウンになる。

(b) 密粒度混合物

この混合物は広範囲の種類の骨材及び粒度を使用することができ、上層路盤ならびに表層に使用することが出来る。使用する乳剤は一般に揮発性の溶剤が入っていないものを使用する。

混合物は大きな粘着性を持っており、舗装厚を厚くして施工出来る。

ii) 混合物の貯蔵性による分類

(a) 貯蔵可能な混合物

この混合物は連続式またはバッチ式のプラント混合により製造され、使用するまでに数時間から1カ月位貯蔵する。使用する乳剤のベースアスファルトは柔らかいものか、乳剤に揮発性の溶剤が入っている。

使用者に対しての製品の配送は、トラックを使用したバラ積みで行う場合もあるし、小面積の補修作業に便利のように袋入りや缶入りで行う場合もある。

(b) 貯蔵出来ない混合物

この混合物は多くの場合密粒度混合物で、製造には揮発性の溶剤が入っていない乳剤を使用する。

ペーパーで製造する場合、使用する骨材は碎石場ですでに粒度調整したものを使用する。

この混合物は乳剤が分解すれば硬化がはじまるので、大きい初期強度を必要とする舗装に使用する。

3. 施工

貯蔵可能な混合物の施工には、グレーダー、フィニッシャーまたはモーターペーバ等いろいろな施工方法で行うことが出来る。

貯蔵出来ない混合物の場合、フィニッシャーでも施工するが、モーターペーバで現場混合し、すぐその場で敷均すことが多い。

4. 適用箇所

(a) 開粒度混合物

フランスでは使用する箇所はT 1より交通量の少ない道路である。米国では州間道路への適用例もあるが、それほど交通量が多いとは思えない。日本における施工例もほとんどが地方道であり、現在の技術では交通量の多い表層には無理と考えられる。

(b) 密粒度混合物

この混合物は開粒度混合物よりは強度があると思われるが、各国の交通量に関する適用基準は不明であるが、しかし、交通量の多い道路の表層への適用は、難しいと考える。

5. 注意点

乳剤への溶剤添加は、混合物の可使時間を長くし骨材との接着性を向上させるが、初期強度が弱くなるので、使用条件を考えて溶剤の量と質を選択する必要がある。

④ スラリーシール（マイクロサーフェイシング）

1. 概説

スラリーシールは1960年代に開発され、米国特にテキサス州で発展し現在は欧米だけでなくアジアにおいても行われている。しかし、スラリーシールは2つの点すなわち耐久性の向上、すべり抵抗性の向上について改良が望まれていた。1970年代に改良スラリーシールが開発されマイクロサーフェイシングと呼ばれている。両者は基本的には同種の工法であるが、マイクロサーフェイシングは次の点でスラリーシールと異なっている。

- (a) 使用している乳剤が改質アスファルト乳剤である。
- (b) 骨材の最大粒径が大きい。
- (c) 施工厚が厚い。スラリーシールが0.8cm 以下であるのに対して、0.8~1.5cm の厚さで施工できる。

2. 製造と施工

製造はスラリマシンといわれる専用の機械によって行われ、スプレッドボックスにより敷均していく。

スラリマシンには2種類あり、1つは以前からあるタイプで材料を全部マシ

ンに積込み、材料を使い切ると材料置き場にとりにいくタイプである。他のタイプは、フィニッシャのように材料を前方からトラックやタンクローリから受入れ、連続的に施工していくものである。

スプレッドボックスには、通常の表面処理用とは別にわだち掘れの部分にだけ施工出来るタイプがあり、車輪が通過する箇所で安定性が得られるように、わだちの最深部に最大粒度の骨材が入るように設計されたものもある。

1日の製造量は約500 tであり、これは約10mmの舗装厚で10km施工でき、これは20,000~30,000m²に相当する。

3. 適用箇所

(a) フランスでは交通量がT Iまでの道路の維持工法として適しているといっている。

(b) 安定処理層の上に施工する表層として

(c) 飛行場の滑走路や駐車場、工場の構内舗装等

4. 注意点

この工法は特に予防的な維持作業と、構造的な強化が目的でない修繕作業に適している。また、新設道路にも適用することができる。

この工法は、かなり断面の矯正を要する道路や交差点に使用する場合は注意を要する。3 m定規で2 ~4cm の凹凸ならば2回施工により補修することができる。4 cmより大きい凹凸の場合は切削するか加熱混合物によりオーバーレイを行う。

この工法は路面の変形が既設舗装のクリープによる場合は適用出来ない。また、進行中のひびわれがある既設路面に適用した場合は、ひびわれが再発する可能性がある。

⑤ コールドリサイクル

1. 概説

リサイクルを行う場合、表層だけ切削し再混合・再舗設する方法と、路盤材料も含めて或いは既設舗装体全部を対象とする方法がある。

また、混合する方法も、路上混合だけでなく取除いた材料を中央プラントに運搬して混合する方法や、現場に設置されたミックスパーバで乳剤と再混合・再舗設する方法などいろいろある。

コールドリサイクルは、最近ヨーロッパでも行われるようになってきたが、米

国では以前から行っており工法の種類や実績も多い。

リサイクルの対象となる道路は、交通量の増大に対して構造的な強度が不足していて破壊した箇所や、表面が老化していてバインダがその機能を失いひびわれが生じているような箇所である。そのような道路に単にオーバーレイを行うだけでは、舗装厚をかなり厚くしなければならず得策でない。

2. 施工法

(a) 現場混合

この方法は広く行われており、日本ではこの方法でのみ常温再生工法が行われている。

米国においては、まずハンマ型ミルを用いて舗装を小さい粒子に破碎する。破碎した材料は破碎機から排出したままその場に残すか、またはウィンドローに成形する。

このように破碎した材料に対し、最も簡単な乳剤の混合法はモータグレーダを用いて行うやりかたである。乳剤はディストリビュータにより散布する。場合によっては乳剤を散布する前に水を撒いて含水調整を行う。十分な混合と皮膜が達成され、混合物の締固めが行えるようになるまでブレードにより混合を行う。

混合をより効率よく行いたい場合は、ロータリミキサを使用する。現在ほとんどのロータリミキサは混合時に乳剤を添加するための散布装置がついている。乳剤を添加する前の骨材の含水比は3%を超えていないことを確認する。

(b) 移動プラント方式

この機械にはミキサ、骨材貯蔵ビン、アスファルト乳剤タンクが装備されている。この機械は自走式であり、混合しながら敷均していくことが出来る。

破碎した材料は、通常工事現場から離れた場所に山積みし、施工時移動プラントに輸送してその骨材ホッパーに投入する。

もう1つの方法は、現場に骨材のウィンドローを作り、乳剤を添加しながら混合する。混合物はその後部で敷均していく。

(c) 中央プラント

この方法は、舗装各層の破碎、粒度調整も行う。再生する舗装の試料は、骨材の粒度と古いアスファルトの量とコンシステンシーの管理を行う。それによ

って適切な混合物を製造するための追加の骨材、添加予定の乳剂量などを決定する。

3. 適用箇所

この工法は再生した層を上層路盤（または基層）に使用する場合と表層に使用する場合がある。上層路盤に使用する場合、フランスではT0のような重交通道路に適用しても問題はないといっている。

しかし、表層への適用の場合、施工実績のある米国でみると、その上にシーリングコートをかけ、どちらかという交通量の少ない地方道で行っている。

4. 注意点

この工法を成功させる条件は、事前の室内試験である。これにより補正用の粒状骨材の添加が必要かどうか、使用する再生用乳剤の種類を推定することが出来る。再生材中のバインダが非常に固くアスファルテン量が多い場合は、軟質の乳剤を使用する必要があるが、バインダ量が少ないだけならば、単に混合用乳剤を添加するだけでよい。

⑥ グレーヴ乳剤（混合物）

1. 概説

この工法は25年ほど前から主としてフランスで行われている。この材料は粒度調整された骨材に定められた割合の乳剤を混合したものである。強度は乳剤だけでは不足で、骨材の内部摩擦を利用する。使用される乳剤は遅硬化性カチオン乳剤で非常に安定なものを使用する。

グレーヴ乳剤の1つの特徴は、バインダの大部分が塑性のモルタルを作るために使用されることである。このモルタルは、既設路面の変形に対して追随性がある。グレーヴ乳剤の第2の特徴はその骨材粒度が大きな骨材の入った骨格構造をしており、それによる内部摩擦によって車両の応力を伝達するため、わだち掘れに対しても優れた抵抗性を持っている。

2. 製造と施工

グレーヴ乳剤の製造は、移動式の混合プラントにより行う。このプラントは4、5時間で組立てることができ、加熱プラントから離れた辺鄙な箇所の道路の建設や維持に適している。

処方によっては4、5カ月の間貯蔵することができ、必要なとき小面積の補修

に使用することが出来る。

グレーヴ乳剤は、また、施工性が良く、新設道路の上層路盤として使用する場合グレーダーでもフィニッシャーでも敷均すことが出来る。

3. 適用箇所

この工法の対象は主として交通量の少ない地方道である。その使い方としては、

- (a) 表層を施工する前に行う既設路面の整形
- (b) 古くなった道路のオーバーレイとして
- (c) 加熱混合物による表層を施工するに先立っての上層路盤として

また、これは最近改良され、リフレクションクラック防止のために基層に使用され始めた。この時の配合は従来のもものと異なっており、重交通道路にも使用されている。

4. 注意点

グレーヴ乳剤の施工にあたって特別な注意を必要としないが、十分な転圧は必要である。

表層の舗設を待つ間、交通開放した車両によるダメージを防止するため、シーリングコート施工する。シーリングコートだけで数カ月間供用することが出来る。

3.1.3 まとめ

- (1) 乳剤系舗装と加熱アスファルト舗装の必要とするエネルギーの比較施工条件により多少異なるが、耐久性等他の条件が同等とすれば、乳剤系舗装は中央混合プラント方式で約12%、現場混合移動プラント方式で約29%エネルギーが少なくてすむ。

(2) 日本の要綱での乳剤の取扱い方

① アスファルト舗装要綱

乳剤の使用法としてプライムコート、タックコートのほかに常温瀝青安定処理、セメント・瀝青安定処理について説明している。とくにセメント・瀝青安定処理は平成4年の改訂時に新たに取り入れられたものである。

表-37は、種類別アスファルト乳剤出荷量である。

混合用アスファルト乳剤は、ここ数年暫増の傾向にあるが、その大部分が路上再生路盤用セメント・乳剤混合物に使用されているものと思われる。しかし、中

表-37 日本における過去10年間の種類別アスファルト乳剤出荷量
(単位 トン)

年度	浸透用	混合用	高濃度	その他	計
1983	258,032	42,060	10,004	1,282	311,378
84	282,135	41,602	8,938	1,714	334,389
85	263,115	35,953	6,129	2,732	307,929
86	269,974	41,193	5,625	1,483	318,275
87	285,406	41,534	5,077	1,392	333,409
88	283,058	41,582	5,106	1,301	331,074
89	275,275	39,956	3,115	1,484	319,830
1990	277,104	42,138	2,611	1,206	323,059
91	265,949	42,157	2,165	1,326	311,597
92	283,410	47,356	1,946	2,282	334,996

央プラント方式のセメント・瀝青安定処理はほとんど行われていない。

② 簡易舗装要綱

要綱類の中では、簡易舗装要綱が最も詳しく乳剤舗装について述べている。しかし、内容は技術的にやや古く、表層に現在ほとんど行われていない浸透式工法や常温混合式工法が載っている。しかし、常温混合物の試験法や表面処理に関する詳細な説明を行っているのは、この要綱だけである。

③ 路上再生路盤工法技術指針（案）

この工法は再生路盤の処理材として、セメントを単独で使用する場合とセメント・アスファルト乳剤を併用する場合について説明している。そしてセメント・乳剤混合物の配合設計についてはこの要綱で説明がなされており、現在も広く使用されている。

④ 道路維持修繕要綱

維持工法としてチップシールやスラリーシール等の表面処理処理工法の紹介がある。しかし、詳細な説明は簡易舗装要綱に委ねられており、また、最近では表面処理工法は実際にそれほど行われていない。

（3）日本と各国のアスファルト乳剤の規格比較

付着度、骨材皮膜試験、骨材混合性は日本で行われているが、外国の規格にはない。一方乳剤破壊度、骨材皮膜度及び耐水性試験、フロート試験は外国で行われているが日本の規格にはない。

このように試験項目の面からみて日本と外国の規格の相関性はあまり大きくない。

今後アスファルト乳剤規格の改定するとき、外国の規格を参考にし、日本でも必要とおもわれる項目は取り入れ、また、規格値の整合を検討する必要があるだろう。

（4）アスファルト乳剤に関する現状技術

通常乳剤に関しては性状、構成において若干の違いはあるが技術の差は各国ともそれほどないものと思われる。

しかし、規格に載っていない新しいタイプの乳剤に関しては、表面処理に改質乳剤や分解時間を調整出来る乳剤が使用され、また、マイクロサーフェイシング工法には改質乳剤が使用されている。

その他高濃度乳剤やマイクロ乳剤等も実用化されつつあり、乳剤の技術については外国の方が一步進んでいると思われる。

(5) 乳剤舗装用施工機械

散布式工法に関しては、外国では表面処理が盛んに行われていることもあって骨材を正確かつ均一に散布するチップスプレッダー、分解剤を同時に散布出来るディストリビュータ等日本にはない機械が開発使用されている。

混合式工法についても、組立式プラント混合機やミックスパーバ等日本にはないものがあり、また、スラリーシーラマシーンも各種のタイプがある。

(6) 舗装の現状技術

乳剤舗装の種類別乳剤出荷量は、各国とも正確な統計資料がないため、概略の数字を表-38に示す。日本以外の国で乳剤の主用途は表面処理であるが、日本だけはプライムコート、タックコートが乳剤の主用途となっている。

① 常温混合物式舗装（上層路盤又は基層への適用）

乳剤混合物は初期には粘着性が小さく、引張り力或いはせん断力に対しては弱い。が、圧縮応力に対しては、骨材粒度や材料を少し工夫することにより、かなり強い材料にすることが出来る。

これには新材又はリサイクル材の使用が考えられ、また、工法的にも中央プラント混合、現場移動式プラント混合、路上混合等がある。日本においてはリサイクル材を使用した路上混合しか行っていないが、米国やフランスでは各種の工法が行われており、施工実績も多く結果も良好である。今後日本でも路上混合だけでなく、品質の安定したプラント混合の検討が望まれる。

また、リサイクル材を使用した場合、資源及びエネルギーを節減出来る工法であり、これからの社会にニーズにマッチしたものである。

② 常温混合式舗装（表層への適用）

使用する常温混合物の種類には密粒度混合物と開粒度混合物がある。前者は後者に比較して骨材相互の粘着力が強く、丈夫な混合物になる。その反面水分の蒸散がしにくく、舗装厚内部の分解が遅くなり、また、分離した水も内部に保持されるため強度の発現が遅くなる。

表-38 各国の用途別乳剤使用割合
(%)

国 名	表面処理	フイルム・ケック	スラリー・シール	混合用	その他
スウェーデン	75	10	7.5	7.5	
米 国	65	5	5	15	10
英 国	70	30			
スペイン	60	10	5	20	5
日 本		80		15	

開粒度混合物を使用したときは、乳剤が分解し分離した水は流下又は蒸発し硬化は早い。また、揮発性の添加が可能なため混合物を貯蔵することも出来る。

現在表層の対する適用は欧米でかなり行われているが主として中～軽交通量の箇所が多い。重交通の箇所への適用は、更に短時間での強度発現、耐久性の向上、耐水性の向上などの改良が必要である。

③ スラリーシール

この工法は表面処理の1種で、チップシールと同様既設路面の維持修繕工法である。改良版（マイクロサーフェイシング工法）が出来たことにより、重交通道への適用が可能になったといわれるが、適用限界があるともいわれている。

日本においては重交通道路への施工例が少ないため、供用性、耐久性等を検討し必要に応じて改良が必要となろう。

また、この工法は1度に大面積を施工することにより、施工コストが安くなるため、日本の実情とどうマッチさせるかも考慮する必要があるだろう。

④ 表面処理

いわゆるチップシールと呼ばれているもので、既設路面の維持工法として欧米で広く行われている。特長として施工速度が速く、施工コストは比較的安価である。以前は軽交通道路は1層表面処理、中交通道路は2～3層表面処理で行っていたが、工法、施工機械、乳剤のいずれもが改良され、重交通道路にまでの施工出来るようになった。このように交通開放後ある程度の時間が経過し、骨材が安定してきた状態ではかなりの重交通に耐えるようになってきている。しかし、骨材量、乳剤量を正確かつ均一に散布したとしても、初期の骨材飛散はあるものと考えられ、日本において受け入れられるかどうかの問題である。

（7）乳剤系常温舗装と加熱アスファルトの長所・短所

① 乳剤系常温舗装の長所

常温舗装の長所を列記すると次のようになる。

- a. 骨材を加熱する必要がないので省エネルギーであり、また、その分燃料を必要としないので炭酸ガスの排出を抑制でき、地球環境に対する負荷を軽減する。
- b. 混合物製造時に加熱しないので、アスファルトの加熱による劣化がない。

- c. 混合、敷均しを常温で行うので温度管理をする必要がない。
- d. 適当な方法で硬化速度を早くすれば、施工後すぐに交通開放してもわだち掘れが生じない。

② 常温舗装の短所

- a. 従来の方法では、乳剤の分解・硬化に時間がかかり、初期強度が弱い。
- b. 乳剤の分解・硬化が骨材の石質、細粒分の量、含水、気温等により影響を受け、混合物の品質管理が難しい。
- c. アスファルトの乳化という工程が1つはいるので、バインダーの価格が割高になる。
- d. 耐久性、耐水性が劣る。

3.1.4 今後の課題

(1) 技術開発の方向

- ① 乳剤舗装中の水の影響を受けず加熱アスファルト舗装と同等かより短時間で強度がでるようにすること。
- ② 石質、粒度、含水、気温などに影響を受けないような分解・硬化時間を制御する方法を開発すること。

コストダウンや低温時舗装が行えるようにすることも必要であるが、取りあえず上記の2点が改善を要する重点課題である。その改善策の1つとして、分解時間を制御出来る乳剤の使用がある。遅分解性の乳剤を使用することにより、石質、粒度、気候等の影響を弱め、分解調整剤により任意の作業性と硬化性が得られる可能性がある。

(2) 対策の可能性

- ① 乳剤舗装中の水の影響をなくするには、乳剤の高濃度化、分解・硬化時間調整剤の使用などが考えられる。また、改質乳剤を検討することにより、現在の乳剤舗装よりかなりのレベルアップが期待できる。
- ② ミックスペーバのような機械を使用すれば、混合物を製造後すぐ敷きならすことができ長時間の作業時間を必要とせず急分解性または中分解性の乳剤を使用することが出来る。

③ 外国の報告ではダブルミキシング法すなわち舗装材料の混合順序を工夫することにより、混合物の大幅な性能向上が報告されている。

上記のように乳剤舗装の改良は、乳剤、機械、混合法などまだ日本では検討されていないのが実情であり、今後の改善の余地は大きいものと思われる。

(3) 技術開発の目標

技術開発の目標としては、バインダについてと混合物についてがある。しかし、実際に使用するのは混合物としてであり、骨材の性状も含んだ混合物を目標とするのが妥当と思われる。

混合物としては舗装のどの部分に使用されるかにより、それぞれ異なった物性が要求されるため、表層用材料、安定処理用材料、表面処理用材料に分けるのが適当と思われる。

① 表層用材料

加熱アスファルト混合物と同等以上の強度・耐久性を持つことである。特に最近では交通量の増加に対応するため改質アスファルト混合物が使用される場合があり、乳剤系常温混合物も重交通用舗装に対しては改質アスファルト混合物と同等以上の品質が求められる。

現在加熱アスファルト混合物は、マーシャル安定度試験により品質管理が行われている。また、改質アスファルト混合物については、さらにホイールトラッキング試験による高い品質が要求されている。乳剤系常温混合物においても、上記試験による品質管理値は満たす必要があろう。ただ上記試験値を満足したから加熱アスファルト混合物と同等とは必ずしも言えない。一軸圧縮強度試験、曲げ試験、圧裂試験疲労試験などにより加熱アスファルト混合物と同様なたわみ性を保持していることを確認する必要がある。その他耐水性、耐老化性についても確認する必要がある。

② 安定処理用材料

安定処理用材料についても、乳剤系常温混合物の品質目標は加熱混合物と同等以上である。

アスファルト舗装要綱に上層路盤用の常温混合物及びセメント・瀝青混合物の品質規格が示されているが、等値換算係数が0.55、0.65となっており、この程度の品

質ではエネルギーの削減にならない。したがって安定処理用材料の場合も、マーシャル安定度試験が加熱アスファルト混合物と同等以上で(350kgf 以上),かつ加熱混合物と同様なたわみ性を有し、水により剝離等を起こさないことが必要であろう。

③ 表面処理用材料

表面処理にはチップシールとスラリーシールがあるが、これに対応する加熱材料はない。日本においてはチップシールの骨材飛散が嫌われる傾向にあり、スラリーシールの方が受け入れられ易いものと思われる。

スラリーシールに求められる物性は、耐摩耗性とすべり抵抗性であり I S S A (国際スラリーシール協会)では各種の評価方法を提案している。しかし、加熱アスファルト混合物との相関性が不明なため、加熱混合物に適用する摩耗試験を行い、加熱混合物同等以上であることを確認する必要がある。

今後弾性係数や疲労耐久性試験を行うとして、取りあえず各材料の品質規定の目安として、表-39に示す。

表-39 各材料の品質規定の目安

材 料 名	試 験 項 目	品 質 規 定
表層用材料	マーシャル安定度試験 動的安定度(DS)	7.35 kN 以上 3000回/mm 以上
安定処理用材料	マーシャル安定度試験 一軸圧縮強度試験 一次変位量 残留強度	3.43 kN 以上 1.5 MPa 以上 0.5 mm 以上 65% 以上
表面処理用材料	ラベリングすり減り深さ (0℃, 3万回)	0.5 mm 以下

その他乳剤を使用した補修用材料としては、表面の荒れに表面処理、スラリーシー
ルが、わだち掘れに粒度の粗いスラリーシーلが、また、舗装面の修正にギャップ粒
度の常温混合物が使用されている。日本においてもこれらの適用について検討する必
要があろう。

乳剤舗装は強度的に弱いということで以前は軽交通、簡易舗装等に使われていた
が、近年はこれらも加熱アスファルト混合物が使用されている。乳剤特有の用途とし
ては、常温で施工出来るという特性を生かした薄層表面処理、褥層工法などがあるが、
それだけではなしに、常温舗装を加熱舗装に劣らない作業性と強度を備えたものに改
良していくことが必要と思われる。

3.2 ポリマー系常温型舗装

3.2.1 調査項目及び方法

ポリマー系常温型舗装材の車道への利用について、その実情を把握するとともに今後の検討課題を明らかにするため、以下に示す調査項目{(1)から(5)}を設定し、その調査方法について述べる。

(1) ポリマー系常温型舗装と加熱アスファルト舗装の必要なエネルギーの比較

CO₂の排出削減のため、省エネルギータイプの舗装材の開発が望まれており、ポリマー系舗装材はその候補材料の一つである。

そこで、ポリマー系常温型舗装材と加熱アスファルト舗装の必要なエネルギーの比較を行う。なお、所要エネルギーの算定は、Asphalt Institute MISC-75-3を参考にした。なおポリマーのエネルギーの算出はメーカーの調査に依る。

(2) 日本におけるポリマー系常温型舗装材の取り扱い方

日本においてポリマー系常温型舗装材が、下記の要綱でどのように取り扱われているかについて、調査する。

① アスファルト舗装要綱

② 簡易舗装要綱

③ 道路維持修繕要綱

(3) ポリマー系常温型舗装材の規格・仕様

ポリマー系舗装材の国内及び国外の規格・仕様については、J I C S T及び道路関連の各種刊行物（道路会議論文集・土木技術資料・舗装・道路建設・アスファルト等）による文献検索から調査する。また、官公庁の特記仕様書については、メーカーの調査による。

(4) ポリマー系常温型舗装材に関する現状技術

ポリマー系舗装材が利用されている現状の技術について、材料・工法・性能・施工等の面から調査する。

調査は、J I C S Tによる文献検索と特許検索、道路関連の各種刊行物（道路会議論文集・土木技術資料・舗装・道路建設・アスファルト等）による文献検索、土木研究センター内に設置されていた「舗装新材料研究会」による調査資料「舗装新材料に関する調査報告書」及び同センターが平成5年に実施した「ポリマー系舗装材料の利用状況に関する調査」を用いて行った。

(5) ポリマー系常温型舗装材の用途と実績

ポリマー系舗装材の用途及び施工実績については、メーカー調査及び(4)の現状技術の調査を基にして行った。

参考資料

- (1) アスファルト舗装要綱
- (2) 簡易舗装要綱
- (3) 道路維持修繕要綱
- (4) ポリマー系舗装材料の利用状況に関する調査報告書, 土木研究センター
平成5年8月
- (5) 舗装新材料に関する調査報告書, 舗装新材料研究会, 昭和63年
- (6) 「アスファルト」Vol.20 NO.113

3.2.2 調査結果

(1) 文献調査結果

1) JICSTによる文献検索結果

JICSTの文献検索範囲を1981年から1991年の10年間とし、キーワードは舗装・樹脂・ポリマーを用いて検索した。

JICST	{1} 舗装	14,050件
	{2} 樹脂	22,891件
	{3} ポリマー	7,319件
	{4} 1×2	112件
	{5} 2+3	30,061件
	{6} 1×5	191件

キーワードから、191 件の資料が検索できた。

2) 道路関連の各種刊行物の文献検索結果

各種刊行物の文献検索は、1969年から1989年の20年間の資料について、キーワードを樹脂舗装・樹脂モルタル舗装・セラミック舗装・ゴムチップ舗装・塗布式舗装・ニート式舗装・浸透式舗装・型枠式舗装・自然色舗装を用いて検索した。また、調査した文献名は以下のとおりである。

舗装

日本道路会議論文集

アスファルト

土木技術資料

道路建設

建設省技術研究会報告

東北技術

北海道開発局技術研究発表会論文集・土木試験所月報

日本道路公団試験所報告

土木学会誌

東京都土木技術研究所年報

土木学会論文集

以上の資料の中で、ポリマー系常温型舗装材として報告されている文献は、19件が該当した。

a) 対象箇所別区分

対象箇所別の区分を表-40に示す。

表-40 文献の区分

対象箇所	工 法	目 的
車道 13件	ニート工法 樹脂モルタル	すべり止め 橋面舗装 カラー
歩道 3件	自然色・塗布式 型枠式	カラー
不明 3件	歩車道区別無し	

b) 樹脂の種類

使用されている樹脂の種類を表-41に示す。

表-41 樹脂の種類

エポキシ樹脂	15件
アクリル樹脂	2件
ポリエステル樹脂	1件

3) JICSTによる特許検索結果

JICSTによる特許検索は、1984年から1994年の10年間の範囲について行った。

キーワードを樹脂・ポリマー・舗装として検索した。

樹脂×ポリマー×舗装 = 308件

この中で、本調査に関係するものは、60件であった。また、実用新案については、67件を検索したが本調査に関係する実用新案は、0件であった。

4) JICST による外国文献検索結果

JICST による外国文献の検索は、1981年から1987年の8年間について調査した、舗装新材利用研究会の資料「舗装新材料に関する調査報告書」をもとにした。検索した文献574件について内容を調査した結果、道路に適用したポリマー系舗装は1件であった。その文献の概要は、韓国において、合成樹脂バインダーを用いた熱間混合カラー舗装をテスト施工している。

(2) ポリマー系舗装と加熱アスファルト舗装の必要なエネルギーの比較

1) 道路舗装における部門別必要エネルギー量

①基礎舗装材料

a) アスファルト

アスファルトを1バーレル(159ℓ)生産するのに必要なエネルギーは約13,200kcal、その後の加工・取り扱いに要するエネルギーが約13,200kcalであり、合計26,400kcalとなる。アスファルトの比重を1.02として換算すると163,000kcal/tとなる。

b) ポリマー

ポリマーには各種の合成樹脂材料が含まれるので、ここでは土木分野に多く使用されているエポキシ樹脂を代表として選んだ。文献等にはエポキシ樹脂を1kg生産するのに必要なエネルギーを算出した資料は見あたらないため、メーカーにて概略のエネルギーを試算した数値を用いることとした。試算によると、300,000kcal/tとなる。

c) 碎石

採掘法などにより異なるが、妥当な値として、22,000kcal/tとする。

d) 砂

4,700kcal/t とする。

②舗装用混合物の製造

a) 加熱アスファルト混合物

イ) 骨材の乾燥と加熱

水分5%の骨材を、20℃から160℃まで加熱するとして、9,800kcal/tの熱

量が必要である。

II) その他プラントにおける作業

プラントの作業のためのエネルギーは混合物 1 t 当たり次のように推定される。

アスファルトの貯蔵	1,980kcal/t
コールドフィード	1,440kcal/t
ドライヤ及び排気装置	1,480kcal/t
プラントの稼働	1,200kcal/t
計	6,100kcal/t

b) ポリマー系舗装混合物

骨材の乾燥と加熱は必要がないので、必要なエネルギーは次のようになる。

コールドフィード	1,440kcal/t
プラントの稼働	1,200kcal/t
計	2,640kcal/t

③材料の運搬

3 軸のトラックで約580kcal/t・kmと推定される。

④材料の敷き均しと舗装の仕上げ

a) 加熱アスファルト舗装

5,100kcal/t と推定される。

b) ポリマー系常温型舗装

加熱アスファルト舗装と同様に、5,100kcal/t とする。

2) 舗装工事に必要なエネルギーの試算例

①設定条件

a) 加熱アスファルト舗装

アスファルトはトラックで50kmの距離を輸送するものとする。骨材は採取場からプラントまで10kmの距離を運搬するものとする。混合物のアスファルト量を5%, また、骨材配合は碎石60%, 天然砂30%, 無機質フィラー5%とする。フィラーの製造に要するエネルギーは碎石のそれと同一とする。混合物は現場まで10km 運搬するものとする。

b) ポリマー系常温舗装

表-42 舗設費を含めた加熱アスファルト混合物とポリマー系
常温型舗装材のエネルギー消費量
(1トン当たり)

設定条件

- 1) アスファルトまたはポリマー材は混合プラントまで50kmの距離を輸送する。
- 2) 加熱混合物の配合は碎石60%、天然砂30%、フィラー5%、アスファルト5%とする。
- 3) ポリマー系舗装材の配合は、加熱混合物と同一とする。
- 4) 骨材は混合プラントまで10kmの距離を運搬する。
- 5) 混合物は施工現場まで10kmの距離を運搬する。

1) 加熱アスファルト混合物 材料 アスファルトの製造 アスファルトの運搬 碎石 天然砂 フィラー 骨材の運搬 プラントの運転 骨材の加熱・乾燥 プラントにおける作業 混合物の運搬 混合物の敷き均しと舗設	<table> <tr> <td>$163,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$</td><td>= 8,150kcal</td></tr> <tr> <td>$50\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.05\text{ト} \times 2$</td><td>= 2,900kcal</td></tr> <tr> <td>$22,000\text{kcal/ト} \times 0.6\text{ト}$</td><td>= 13,200kcal</td></tr> <tr> <td>$4,700\text{kcal/ト} \times 0.3\text{ト}$</td><td>= 1,140kcal</td></tr> <tr> <td>$22,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$</td><td>= 1,100kcal</td></tr> <tr> <td>$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.95 \times 2$</td><td>= 11,020kcal</td></tr> <tr> <td>小計</td><td>37,510kcal</td></tr> <tr> <td>$9,800\text{kcal/ト} \times 0.95\text{ト}$</td><td>= 9,310kcal</td></tr> <tr> <td>$6,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$</td><td>= 6,100kcal</td></tr> <tr> <td>小計</td><td>15,410kcal</td></tr> <tr> <td>$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 1.0\text{ト} \times 2$</td><td>= 11,600kcal</td></tr> <tr> <td>$5,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$</td><td>= 5,100kcal</td></tr> <tr> <td>合計</td><td>69,620kcal</td></tr> </table>	$163,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$	= 8,150kcal	$50\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.05\text{ト} \times 2$	= 2,900kcal	$22,000\text{kcal/ト} \times 0.6\text{ト}$	= 13,200kcal	$4,700\text{kcal/ト} \times 0.3\text{ト}$	= 1,140kcal	$22,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$	= 1,100kcal	$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.95 \times 2$	= 11,020kcal	小計	37,510kcal	$9,800\text{kcal/ト} \times 0.95\text{ト}$	= 9,310kcal	$6,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$	= 6,100kcal	小計	15,410kcal	$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 1.0\text{ト} \times 2$	= 11,600kcal	$5,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$	= 5,100kcal	合計	69,620kcal
$163,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$	= 8,150kcal																										
$50\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.05\text{ト} \times 2$	= 2,900kcal																										
$22,000\text{kcal/ト} \times 0.6\text{ト}$	= 13,200kcal																										
$4,700\text{kcal/ト} \times 0.3\text{ト}$	= 1,140kcal																										
$22,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$	= 1,100kcal																										
$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.95 \times 2$	= 11,020kcal																										
小計	37,510kcal																										
$9,800\text{kcal/ト} \times 0.95\text{ト}$	= 9,310kcal																										
$6,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$	= 6,100kcal																										
小計	15,410kcal																										
$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 1.0\text{ト} \times 2$	= 11,600kcal																										
$5,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$	= 5,100kcal																										
合計	69,620kcal																										
2) ポリマー系常温型舗装 材料 ポリマーの製造 ポリマーの運搬 碎石 天然砂 フィラー 骨材の運搬 プラントの運転 プラントにおける作業 混合物の運搬 混合物の敷き均しと舗設	<table> <tr> <td>$300,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$</td><td>= 15,000kcal</td></tr> <tr> <td>$50\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.05\text{ト} \times 2$</td><td>= 2,900kcal</td></tr> <tr> <td>$22,000\text{kcal/ト} \times 0.6\text{ト}$</td><td>= 13,200kcal</td></tr> <tr> <td>$4,700\text{kcal/ト} \times 0.3\text{ト}$</td><td>= 1,410kcal</td></tr> <tr> <td>$22,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$</td><td>= 1,100kcal</td></tr> <tr> <td>$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.95\text{ト} \times 2$</td><td>= 11,020kcal</td></tr> <tr> <td>小計</td><td>44,630kcal</td></tr> <tr> <td>$2,640\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$</td><td>= 2,640kcal</td></tr> <tr> <td>$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 1.0\text{ト} \times 2$</td><td>= 11,600kcal</td></tr> <tr> <td>$5,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$</td><td>= 5,100kcal</td></tr> <tr> <td>合計</td><td>63,970kcal</td></tr> </table>	$300,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$	= 15,000kcal	$50\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.05\text{ト} \times 2$	= 2,900kcal	$22,000\text{kcal/ト} \times 0.6\text{ト}$	= 13,200kcal	$4,700\text{kcal/ト} \times 0.3\text{ト}$	= 1,410kcal	$22,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$	= 1,100kcal	$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.95\text{ト} \times 2$	= 11,020kcal	小計	44,630kcal	$2,640\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$	= 2,640kcal	$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 1.0\text{ト} \times 2$	= 11,600kcal	$5,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$	= 5,100kcal	合計	63,970kcal				
$300,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$	= 15,000kcal																										
$50\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.05\text{ト} \times 2$	= 2,900kcal																										
$22,000\text{kcal/ト} \times 0.6\text{ト}$	= 13,200kcal																										
$4,700\text{kcal/ト} \times 0.3\text{ト}$	= 1,410kcal																										
$22,000\text{kcal/ト} \times 0.05\text{ト}$	= 1,100kcal																										
$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 0.95\text{ト} \times 2$	= 11,020kcal																										
小計	44,630kcal																										
$2,640\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$	= 2,640kcal																										
$10\text{km} \times 580\text{kcal/ト} \cdot \text{km} \times 1.0\text{ト} \times 2$	= 11,600kcal																										
$5,100\text{kcal/ト} \times 1.0\text{ト}$	= 5,100kcal																										
合計	63,970kcal																										

ポリマーはトラックで50kmの距離をプラントまで輸送するものとする。骨材は採取場からプラントまで10kmの距離を運搬するものとする。混合物のポリマー量を5%，また、骨材配合は加熱アスファルト舗装と同じとする。混合物は10km運搬し、混合物の締固め比重を2.35とする。

②混合物1t当たり（舗設費を含む）のエネルギー消費量

上記の設定条件におけるエネルギー消費量の試算例を表-42に示す。

試算結果は次のようになる。

加熱アスファルト混合物 : 69,620kcal/t

ポリマー系舗装混合物 : 63,970kcal/t

このエネルギー消費量は、初期に要するものであり舗装材の耐久性が同じと設定したときの差である。その場合ポリマー系舗装混合物のほうが約8.1%エネルギーの消費が少ない。

(3)日本におけるポリマー系常温型舗装材の取り扱い方

ポリマー系舗装材が記載されている要綱は、アスファルト舗装要綱と道路維持修繕要綱にあり、簡易舗装要綱にはその記述がない。

1) アスファルト舗装要綱

アスファルト舗装要綱では第3章材料、第4章工法と配合、第7章歩行者系道路舗装、第9章特殊な機能や構造を持つ舗装、第10章補修においてポリマー系舗装材についての記述がある。この要綱の主たる内容は汎用舗装材である加熱アスファルト混合物についてであり、ポリマー系舗装材は、近年施工実績が増えてきている現状を考慮し、舗装材の一材料として取り上げられてきている。特に歩行者系舗装材料にポリマー系舗装材料が取り入れられたことは特筆される。

第3章では樹脂系結合材料が取り上げられている。歴青系材料以外のエポキシ樹脂、アクリル樹脂及びウレタン樹脂を用いる場合には、その特性を十分考慮して使用すると記述されている。その利用方法は、接着剤や混合物の結合材あるいは着色材の結合材としての利用がある。ポリマー材料の特性として、付着性、強度、たわみ性、耐水性、耐油性、耐摩耗性、硬化速度、弾性等に優れていることが評価されているものと考えられる。

第4章では基層及び表層用加熱アスファルト混合物に対する特別な対策のなかで、耐流動対策、耐摩耗対策等において、特殊工法の採用を積極的に検討するとよいと記

述され、ポリマー系舗装材料もその候補に取り上げられている。

第7章では歩行者系道路舗装の分類に合成樹脂混合物舗装や常温塗布式舗装が明記され、その活用が積極的に図られるベースができてきた。その適用範囲は歩道、自転車道等の歩行者系道路が中心で車道を対象としていない。

第9章では特殊な機能や構造を持つ舗装として、着色舗装に熱硬化性のバインダーを用いる舗装やすべり止め舗装に樹脂材料を使用し硬質骨材を接着させる工法が取り上げられている。

第10章では補修工法の種類のなかに表面処理工法やパッチング及び段差すり付け工法があり、その補修材料に樹脂系材料が取り上げられている。

2) 道路維持修繕要綱

本要綱の中では、1.2.4 アスファルト舗装の維持修繕工法の選定及び1.2.5 修繕工法において樹脂系表面処理工法が記述され、1.3.5 コンクリート舗装の維持修繕工法では樹脂系材料によるパッチング材やすべり止めに樹脂系表面処理工法が取り上げられている。

(4) ポリマー系常温型舗装材の規格・仕様

国内において、車道を対象としたポリマー系常温型舗装材の規格・仕様は、ニート式舗装にのみ設定されている。表-43を参照。

規格は、エポキシ樹脂の性能について設定である。

国外においては、規格・仕様等は見あたらない。

表-43 すべり止め舗装用エポキシ樹脂の品質規格¹⁾

試験項目			試験温度	規格値	試験方法
比 重			20℃	1.30以下	JIS K 6911-5.28に準ずる。 試験片20×20×20mm、20℃7養生
耐腐耗性 (mg)			20℃	150以下	JIS K 7204に準ずる。 試験片φ100×5mm、20℃7日養生 磨耗輪cs-17、荷重1000g、1000回転
指触硬化時間 (hr)			20℃	6以内	JIS K 5400-5.10(C)に準ずる。 塗布厚1.5kg/m ²
促進耐候性試験 200時間後 重量変化(%)			63±3℃	-2.0 以下	JIS K 5400-6.16に準ずる。試験片 は150×75×1mmのアルミ板面に1.5 kg/m ² 、120×50mmの面積に塗布20 ℃で7日養生、試験機はサツインウイサ -メーカー。
引 張	強度 kg/cm ²	材令 1日	20℃	20以上	JIS K 6911-5.18.3に準ずる。 試験片厚5から6mm、引張速度5 mm/min 伸びは、試験片のつかみ間隔をL つかみ間隔の伸びをΔLとしΔL/ L×100(%)で求める。
		材令 7日	-10℃ 20℃ 60℃	200以上 50以上 5以上	
	伸び (%)	材令 7日	-10℃ 20℃ 60℃	5以上 15以上 50以下	
樹脂表面処理層 とアスコンとの 接着性 ¹⁾			20℃	12以上、または アスコンの凝集 破壊	密粒度アスコン面に樹脂を1.5kg /m ² 塗布しその上にエメリーを 6kg/m ² 散布する。20℃で7日養生 後、φ100mmの接着板を表面処理 層上面に接着し、引張接着力試 験を行う。

備考 1) 樹脂表面処理層とアスコンとの接着性試験については、実施工での
現場管理試験に用いることも有効であろう。

(5) ポリマー系常温型舗装材に関する現状技術

道路舗装は、加熱アスファルト舗装材により大部分が施工されてきた。近年に至るまで、耐久性を主体とした機能優先主義で進められてきた。最近では、人及び地球環境に優しい機能を有する材料が求められてきている。そうした状況の変化に対して、カラー化、透水性、排水性の機能も合わせ持つ舗装材の研究開発が盛んに行われている。そうした中、従来から使用されているアスファルトに対し、熱可塑性樹脂系材料・繊維・ゴム系材料等の添加により、本質的な性能の欠点を補った改質アスファルトに関する研究報告が多くみられ、また、それらの施工実績も増加している。

このような社会的ニーズに対して、最も対応の可能性が高いと考えられるポリマー系舗装材は、機械的性能とたわみ性、弾力性、透水性、カラー化等の機能性付与に優れることから、現在では主に歩道用舗装材への応用が多く見られる。平成5年度に、土木研究センターが実施したアンケート調査結果を表-44に示す。また、体育施設関連の床材やトラック等への使用例も多く見られる。これらは歩行者や運動選手を対象とした舗装材の性能についての研究報告が数多く発表されていることから言える。

表-44 各舗装材の施工状況（平成3年度）²⁾

舗装の種類	施工状況(%)	施工面積(m ²)
樹脂モルタル舗装	8%	159,000
天然石舗装	16%	318,000
セラミック舗装	2%	34,000
ゴムチップ舗装	14%	287,000
塗布式舗装	28%	564,000
ニート式舗装	25%	494,000
型枠式カラータイル舗装	1%	13,000
弾力ゴムブロック舗装	3%	63,000
天然色・自然色舗装	1%	25,000
その他	2%	35,000
合 計		1,993,000

一方、車道を対象として実用化されているポリマー系常温型舗装材には、舗装要綱等で取り上げられている、すべり止めを目的とした表面処理工法の一つであるニート式舗装がある。既設アスファルト表面にエポキシ樹脂を 1.5kg/m^2 塗布し、その上に耐摩耗性に優れた骨材を 8kg/m^2 散布して舗装を形成する工法である。この舗装は、舗装厚さが3から5mmの薄い舗装である。また、寒冷地やトンネル内の舗装に、特殊舗装材である耐摩耗対策用にポリエステル樹脂やアクリル樹脂をバインダーとした樹脂コンクリートを成形板あるいは現場打設して厚さ20mm程度に施工されている例がある。

また、既設のアスファルト表層の補修（段差修正やパッチング）材に、速硬化性や接着性に優れたエポキシ樹脂モルタル等の使用例があるが、舗装の一部を応急的に補修することを目的とした使われ方のケースが殆どである。

文献及び特許調査から、取り上げられているポリマー系舗装材料には、エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂、アクリル樹脂、メタクリル樹脂等があるが、エポキシ樹脂をバインダーとする舗装材料への応用報告が多い。また、新しい舗装材の機能には、熱伝導が良好な舗装材や磁気誘導を持つ舗装材及び蛍光を発する舗装材等の考案が見られる。

ポリマー系常温型舗装材の施工法は、大部分が現場で強制練りミキサーによるバッチ式混合攪拌で行われ、大量連続打設方式は殆ど見られない。これは、これまでの利用のされ方が、小規模の面積を施工する事が殆どであったためと考えられる。機械による施工については、施工面積が大きい場合、あるいは表面の仕上げの精度が要求された場合に、特殊な仕上げ機を開発して使用する事があるが、通常は使用されることは少ない。

以上のように、車道（C、D交通）へのポリマー系舗装材の利用の現状は、特殊な条件に限られており、一般的な舗装材料としての位置づけになっていないのが現状である。その主たる原因は、ポリマー材の価格にある点と、施工法及び舗装構造に関する検討課題が十分解明されていない点であると考えられる。それらの課題を解決されるならば、ポリマー系舗装材はアスファルト舗装材の持つ性能（ひび割れ、わだち掘れ、流動性、摩耗性等）より優れた性能を有しており、その性能を生かすことにより耐久性に優れた新しい舗装材として、位置づけされるものと考えられる。一例として、アスファルト舗装材やコンクリート舗装材と性能比較した資料を表-45に示す。

この資料から、車道用（C、D交通）舗装材料としての展開の可能性（性能面のみならず機能性付与面においても）は、充分考えられる。

表－４５ 各舗装材料の性能比較³⁾

材料名 項目	アクリル樹脂系 コンクリート	エポキシ樹脂・ ポリエステル樹脂系 コンクリート	アスファルト 混合物	セメント コンクリート
硬化時間	早い	早い	早い	遅い
交通の解放 （供用開始）	打設後 2.5時間 温度にかかわ らず硬化時間 を一定にでき る	打設後 8～24時間 温度によって 硬化時間が変わ る	打設後 24時間程度 温度によって 冷却時間が変わ る	打設後 7～14日 通常ポルトランドセ メントで14日早強ポ ルトランドセメントで7日 度
最小打設厚	10mm	10mm	30mm	50mm
耐摩耗性	きわめて良い	良い	セメントコンクリート より劣る	良い
夏場の流動	なし	なし	あり	なし
耐薬品性	良好	良好	溶剤、ガソリン 等に侵され やすい	酸に侵され やすい
最低施工 可能温度	-25℃	+5℃ 以下の場合 保温養生 必要	+5℃ 気温が低下す ると合材が冷え やすく密度が出 にくいのため、路 盤をあたためて 施工する	+5℃ 以下の場合 保温養生必要
養 生	自然 打設後2.5時間 程度雨等の場 合シート養生が必 要	自然 打設後5時間 程度雨等の場 合シート養生が必 要	自然	散水養生、 および湿潤 養生が必要
機械化施工	フィニッシャー 施工が可能	フィニッシャー 施工が難しい	フィニッシャー 施工が可能	フィニッシャー 施工が可能
インシャルコスト	高い	高い	安い	安い

(6) ポリマー系常温型舗装材の用途と実績

歩行者系道路舗装分野におけるポリマー系舗装材の用途と施工実績は、「ポリマー系舗装材料の利用状況に関する調査報告書」（表－44参照）によると、塗布式舗装が最も多く次いでニート式舗装となっている。その2工法で約50%を占めている。その他に天然石舗装、樹脂モルタル舗装の施工数量が多く、広場、歩道、遊歩道、公園等に広く用いられている。それらの施工実績の集計は、日本全国で平成3年度では年間300万 m^2 程度以上は、ポリマー系舗装材料による舗装が施工されていると推計している。

一方、車道へ適用されているポリマー系舗装材はニート式舗装が多く、すべり止め対策が要求される交差点部、曲線部、坂道等に用いられている。施工実績は、450,000 m^2 （平成4年度）である。表－46参照。また、発注者別施工実績を表－47に示す。

寒冷地における耐摩耗対策の樹脂コンクリート舗装の施工実績は、3,700 m^2 （平成4年度）である。適用箇所としてはトンネルが多い。樹脂モルタルの施工実績は、2,200 m^2 （平成4年度）である。適用箇所は、段差修正部と橋面の薄層舗装である。

以上のように、車道への施工実績はすべてを集計し多く見積もっても1,000,000 m^2 程度である。

表-46 ニート式舗装の用途別施工実績⁴⁾

単位: m^2

用途	H4.4~H5.3		H3.4~H4.3		H2.4~H3.3	
	面積	%	面積	%	面積	%
交差点付近	95,166	20.9	115,970	26.9	139,160	37.6
曲線部	112,520	24.7	80,619	18.7	104,368	28.2
坂道	136,212	30.0	84,499	19.6	48,853	13.2
単路部その他	42,232	9.3	69,415	16.1	—	—
バスレーン	5,025	1.1	2,150	0.5	3,701	1.0
歩道その他	63,639	14.0	78,463	18.2	74,020	20.0
計	454,794	(100)	431,116	(100)	370,102	(100)

(付記) a. 交差点付近とは、交差点流入部、交差点手前、交差点内、横断歩道などを含む。

b. 単路部その他とは、交差点付近、曲線部、坂道以外の車道部で、且トンネル内、橋面上、踏切手前などを示す。

c. 歩道その他とは、歩道部の他にスクールゾーン、路側帯などを含む。

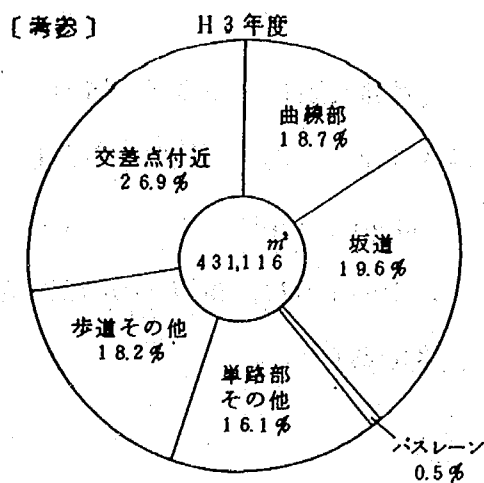
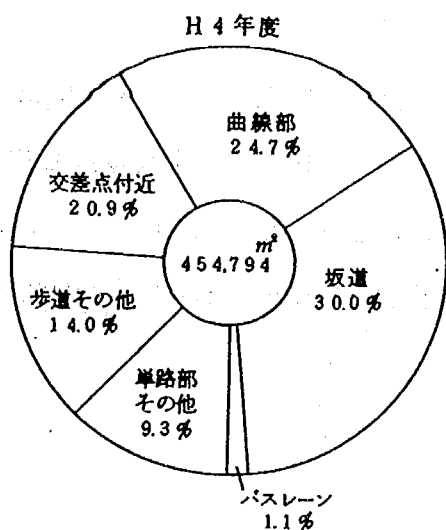


表-47 ニート式舗装の発注者別施工実績 4)

単位: m^2

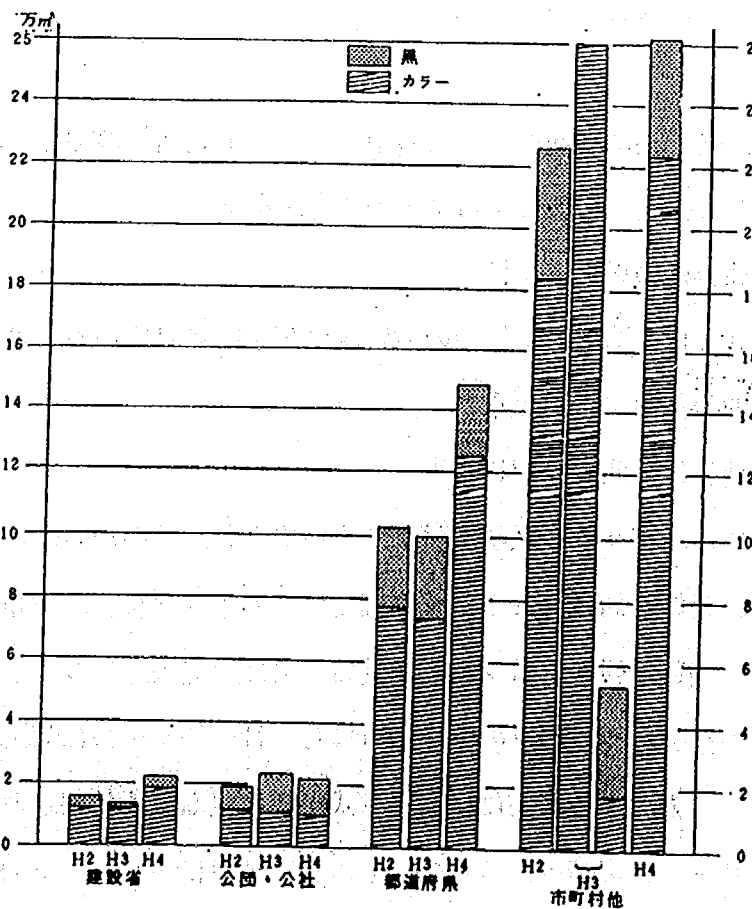
年 発注者	H 4.4~H 5.3			H 3.4~H 4.3			H 2.4~H 3.3			H 4 年度	
	件	面積	面積比	件	面積	面積比	件	面積	面積比	前年対比	1件当り m^2
建設省	(36) 40	(18,940) 20,402	% 4.5	(17) 27	(9,490) 11,365	% 2.6	(27) 48	(9,547) 15,577	% 4.2	% 179.5	 498
公団(公社)	(33) 64	(12,520) 23,037	 5.1	(14) 54	(5,945) 25,299	 5.9	(12) 38	(5,905) 19,824	 5.4	 91.1	 360
都道府県	(256) 324	(123,379) 157,763	 34.7	(160) 217	(71,150) 99,727	 23.1	(156) 249	(76,226) 105,500	 28.5	 158.2	 487
市区町村他	(758) 861	(225,808) 253,592	 55.7	(710) 784	(265,133) 294,725	 68.4	(535) 615	(197,861) 229,201	 61.9	 86.0	 295
計	(1,083) 1,290	(380,647) 454,794*	 100.0	(901) 1,077	(351,718) 431,116	 100.0	(730) 950	(289,539) 370,102	 100.0	(108.2) 105.5*	 353
(参考) カラー/黒 の比率		83.6/16.4			81.6/18.4			78.2/21.8			

()内はカラーによる件数、面積の内数を示す、又、発注者別の地方明細は4項に示す。

〔発注者別施工実績図〕

※中部地区より追加分4,600

m^2 の申請あり、ゆえに
459,394 m^2 、前年対比
106.6%に修正する。



3.2.3 まとめ

(1) ポリマー系常温型舗装と加熱アスファルト舗装の必要とするエネルギーの比較

施工条件により多少異なるが、耐久性等などの条件が同等とすれば、ポリマー系舗装の方が約8.1 %必要とするエネルギーが少なくてすむ。

また、舗装材の混合を現場混合とした場合は、表-42の資料から混合物の運搬に要するエネルギーが減り、約25%の省エネルギー効果となる。

更に、ポリマー系舗装材の耐久性が加熱アスファルトより2倍あるとした場合には、約50%の省エネルギーとなる。

(2) 国内でのポリマー系舗装材の取り扱い方

① アスファルト舗装要綱

舗装材料として歴青材料以外に樹脂系結合材料が取り上げられ、使用する時はその特性を十分考慮して使用することが説明されている。表面処理工法の中で、すべり止めを目的としてニート式舗装が取り上げられている。歩行者系道路舗装材には樹脂系舗装材が取り上げられている。

② 道路維持修繕要綱

道路舗装の維持修繕工法に表面処理工法の中で、ニート式舗装の紹介がある。

また、パッチングに樹脂系材料による施工の紹介がある。

(3) ポリマー系常温型舗装材の規格・仕様

国内にはニート式舗装材のエポキシ樹脂の品質規格が設定されているだけである。

国外には規格・仕様等の基準が見あたらない。

(4) ポリマー系常温型舗装材に関する現状技術

歩行者系道路舗装には、ポリマー系舗装材が多く使用され、その舗装混合物の種類は樹脂モルタル舗装、天然石舗装、セラミック舗装、ゴムチップ舗装、塗布式舗装、ニート式舗装、型枠式舗装、弾性ゴムブロック舗装、自然色舗装等数多く上市されている。また、それらの舗装材には種々の機能を付与し、社会的ニーズに対応した製品の形態をとっている。一方、車道舗装にはニート式舗装が最も多く使用され、樹脂モルタル、樹脂コンクリートは実績はあるもののその施工数量は少ない。その他のポリマー系舗装材は殆ど使用されていない。また、それらの舗装材の機能は、ポリマーの接着性を生かして硬質骨材の固定を行い、舗装表面を耐摩耗性とすべり止め効果を有する仕上げとする利用が主流である。

ポリマーの種類は、エポキシ樹脂が最も多く使用され、アクリル樹脂やポリエステル樹脂は少ない。

施工は、現場にて強制練りミキサーを用いてバッチ式混合方法がとられており、人力施工が中心である。機械施工は施工面積が小さいため、普及が進んでいない。

しかしながら、ポリマー系舗装材は、機械的性能が加熱アスファルト舗装より優れているのみならず、カラー化、透水性、排水性等の機能を付与する事もでき、車道のC、D交通の重交通への適用に可能性をもっている舗装材と思われる。そのためには、ポリマー系舗装材についてコストに見合う性能を付与する事と、ポリマー系舗装材が有効に機能する舗装構造についての研究開発を推進させる事が必要である。

(5) ポリマー系常温型舗装材の長所・短所

ポリマー系常温型舗装材と加熱アスファルトを比較し、ポリマー系常温型舗装材の長所と短所を下記にまとめた。

1) ポリマー系常温型舗装材の長所

- ①骨材を加熱する必要がないので省エネルギーであり、また、その分燃料を必要しないので炭酸ガスの排出を抑制でき、地球環境に対する負荷を軽減する。
- ②ポリマーそのものも加熱する必要がないので、省エネルギーである。
- ③混合、敷き均しを常温で行うので温度管理をする必要はない。
- ④ポリマーの種類によっては、舗装材の硬化速度の調整に自在性がある。
- ⑤耐摩耗性、耐流動性、わだち掘れ性等の機械的性能に優れるため、耐久性が加熱アスファルト舗装より優れる。したがって舗装の厚さをある程度薄くすることが可能である。
- ⑥カラー化、透水性等の機能の付与が比較的容易である。
- ⑦舗装材の硬さをポリマーの選択により、硬質から軟質の範囲に設計できる。

2) ポリマー系常温型舗装材の短所

- ①ポリマーの種類によっては骨材の水分に影響を受ける場合がある。
- ②ポリマー系舗装材の価格が加熱アスファルト舗装材より高い。バインダー量が同じとして、1tあたり約10倍である。
- ③ポリマーの取り扱いを充分理解して使用する必要がある。材料によっては、火気厳禁なものがある。

3.2.4 今後の課題

(1)技術開発の方向

技術開発の方向は、以下に示す。

- ①コストと性能のバランスにおいて、舗装混合物の適正な配合の設定を行うこと。
- ②新しい機能の付与（カラー化、排水性、視認性等）を行い、付加価値のある舗装材とすること。
- ③舗装構造について、基層部や表層部及び路盤まで考慮した検討を行い、経済的な舗装厚さを設定すること。
- ④耐久性について、舗装材自体の補修までの供用期間の目途を立てること。
- ⑤大量施工可能な施工機械の開発を行うこと。

(2)対策

- ①これまでのポリマー材を基本とした舗装材は、ポリマー量の多いものが中心であったが、コスト面からよりポリマー量を少なくした混合物配合へ検討することになる。骨材の粒度分布を細密充填とし、骨材への濡れ（なじみ）性に優れたバインダー処方の利用が考えられる。
- ②舗装材の材料としての要求特性や施工性からの要求内容によって、ポリマーの選定が行えるので、配合設計上自由度が高い。
- ③舗装厚さについては、これまでのアスファルト混合物の特性値をポリマー系舗装材について同様に評価し、施工性を考慮にいて設定する事になる。
- ④耐久性については、ポリマー自体の耐久性に関係するため、経時的な特性の変化を促進試験等により評価する。またアスファルト舗装との比較も必要と考えられる。
- ⑤アスファルト舗装に使用されている施工機械の利用についての検討が必要である。また、混合をどこで行うか（プラントまたは現場）によって施工機械の構造が変わる可能性があり、新規に施工機械を開発することも考えられる。

(3)技術開発の目標

技術開発の目標は、車道のC、D交通に適用できるポリマー系常温型舗装材を開発する事である。これまでのポリマー系常温型舗装材の利用のされ方を考慮し、舗装材に新しい機能が要求される箇所を第1の目標と設定する。一例として、バスレーンが考えられる。

ポリマー系舗装材は、アスファルト舗装に比べひび割れ抵抗性、わだち掘れ抵抗性、流動抵抗性、耐摩耗性等に優れており、舗装材料に求められる動的安定度、マーシャル安定度、スティフネス等の性能目標は十分満足するものが得られると考えられる。したがって、コストと性能のバランスにおいて舗装材の適正な配合設計を行うことが、課題となる。また、ポリマー系舗装材で全ての舗装構造とすることはなく、路盤、基層との関係において荷重の伝達を含め、全体の舗装体としての性能明らかにしながら、舗装の厚さについて検討する課題がある。

施工機械については、現場混合方式をとるかプラント方式をとるかについて、品質安定性、経済性、省エネ効果を考慮にいれながら検討する必要がある。

リサイクル性についての検討も重要な課題である。

以上の技術開発によって、その成果が十分利用する価値（省エネルギー性・機能性・耐久性等）があると認められた時点で、舗装要綱等にポリマー系常温型舗装の位置づけをし、広く普及していく啓蒙活動を推進する必要がある。

引用文献

- 1) 蒔田, 坂本, 吉村, 寺島: すべり止め舗装用エポキシ樹脂の品質性状と品質規格の提案, 土木技術資料, Vol21, No4, 1979
- 2) (財)土木研究センター: ポリマー系舗装材料の利用状況に関する調査報告書 平成5年8月
- 3) (財)土木研究センター: 耐摩耗性樹脂コンクリート舗装補修材「マーベルレック」, 土木系材料技術・技術審査証明報告書, 平成5年9月
- 4) 樹脂舗装技術協会: 施工実績集計表, 平成4年度

4. 総括

4.1 省エネセメントに関する調査

4.1.1 セメント産業における省エネの現状

セメント産業は、1973年の第1次石油危機以来、省エネルギーに大きな成果をあげているため、エネルギー原単位は世界のトップレベルに達している。

4.1.2 セメントの用途に関する規準、規格の現状

我が国におけるセメントの使用規準、規格として、土木学会コンクリート標準示方書、日本道路協会道路橋示方書の2つがあるが、これら両示方書は我が国における土木用コンクリート構造物の設計、施工の基本的指針を示すものと考えられ、使用セメントについても、JIS規格で品質が規定されているものあるいは、使用実績の多いセメントを用いることが原則になっている。一方、官公庁のコンクリート工事におけるセメントの使用規準として、土木工事共通仕様書がある。この条文をみると、工事に使用するセメントは普通ポルトランドセメントを使用するものとし、他のセメント及び混和材料を使用する場合は、設計図または特記仕様書によるものとする記述されており、さらにセメントはJIS規格に適合したもの。または、これと同等以上の品質を有するものでなければならないと規定している。

4.1.3 省エネ、CO₂排出量削減のための方策

セメント産業において省エネルギー、CO₂排出量削減のための方策として、①設備改善による省エネ、②発熱性廃棄物処理量の拡大（廃タイヤの利用等）、③原料として脱炭酸した石灰分を含む原料の使用の拡大、④混合セメントの使用量の拡大、⑤焼成熱量の少ないセメントの利用（高ビーライト系ポルトランドセメント）、⑥流通段階での省エネ、⑦セメント使用体系における省エネ、⑧新しい省エネセメントの開発、が考えられる。しかし、①～③の方策はほとんどが実施されているため、今後は④～⑧の項目について研究・開発していく必要がある。

4.1.4 省エネセメントを利用する際の課題

省エネセメントを使用する際の今後の問題点及び検討課題としては以下のことが考えられる。

①省エネセメントを用いたコンクリートの性能は未確認なので、性能確認試験が必要である。

②省エネセメントを用いたコンクリートやセメントはJIS規格外であるため、使用者

側の規格、基準、施工方法など利用基準の作成が必要である。

③セメントの種類が現在よりも一増えることになり、市場での普及に際しては、生産及び流通部門の整備（サイロ増設等）が必要となるため、そのコストは高いものとなる。よって、納入に際しては経済性の点で健全な生産が継続できる価格が認められることが望まれる。

4.2 常温型舗装に関する調査

4.2.1 乳剤系常温型舗装

（1）エネルギー消費量の比較

乳剤系舗装と加熱アスファルト舗装の必要とするエネルギーの比較を行った結果、施工条件により多少異なるが、耐久性等他の条件が同等とすれば、乳剤系舗装は中央混合プラント方式で約12%、現場混合移動プラント方式で約29%エネルギーが少なくすむ。

（2）乳剤系常温型舗装の規格・基準

日本の要綱類で乳剤が取り上げられているのは、アスファルト舗装要綱、簡易舗装要綱、路上再生路盤工法技術指針（案）、及び道路維持修繕要綱の4つである。要綱類の中では、簡易舗装要綱が最も詳しく乳剤舗装について述べている。しかし、内容は技術的にやや古く、表層に現在ほとんど行われていない浸透式工法や常温混合式工法が載っている。しかし、常温混合物の試験法や表面処理に関する詳細な説明を行っているのは、この要綱だけである。

（3）日本と各国のアスファルト乳剤の比較

1) アスファルト乳剤の規格

付着度、骨材皮膜試験、骨材混合性は日本で行われているが、外国の規格にはない。一方、乳剤破壊度、骨材皮膜度及び耐水性試験、フロート試験は外国で行われているが日本の規格にはない。

2) アスファルト乳剤に関する現状技術

通常の乳剤に関しては、技術の差は各国ともそれほどないものと思われる。しかし、新しいタイプの乳剤に関しては、表面処理に改質乳剤や分解時間を調整出来る乳剤が使用され、また、マイクロサーフェイシング工法には改質乳剤が使用されている。その他、高濃度乳剤やマイクロ乳剤等も実用化されつつあり、乳剤の技術については外国の方が一歩進んでいると思われる。

3) 乳剤舗装用施工機械

散布式工法に関しては、外国では表面処理が盛んに行われているため、骨材を正確かつ均一に散布するチップスプレッダー、分解剤を同時に散布出来るディストリビュータ等日本にはない機械が開発使用されている。混合式工法についても、組立式プラント混合機やミックスパーバ等日本にはないものがあり、また、スラリーシールマシンも各種のタイプがある。

4) 現状技術

日本以外の国で乳剤の主用途は表面処理であるが、日本だけはプライムコート、タックコートが乳剤の主用途となっている。工法としては、上層路盤又は基層への適用は、日本においてはリサイクル材を使用した路上混合しか行っていないが、米国やフランスでは各種の工法が行われており、施工実績も多く結果も良好である。表層の対する適用は、現在、欧米でかなり行われているが主として中～軽交通量の箇所が多い。重交通の箇所への適用は、更に短時間での強度発現、耐久性の向上、耐水性の向上などの改良が必要である。

この他に、表面処理（維持修繕工法）の1種で、スラリーシールとチップシールがある。スラリーシールはマイクロサーフェイシング工法が出来たことにより、重交通道への適用が可能になったといわれるが、施工例が少ないため、供用性、耐久性等を検討し必要に応じて改良が必要である。チップシールは、既設路面の維持工法として欧米で広く行われている。しかし、初期の骨材飛散があるため、日本において受け入れられるかどうか問題である。

(4) 乳剤系常温舗装の長所・短所

① 乳剤系常温舗装の長所

- a. 骨材を加熱する必要がないので省エネルギーであり、炭酸ガスの排出も抑制でき、地球環境に対する負荷を軽減できる。
- b. 混合物製造時に加熱しないので、アスファルトの加熱による劣化がない。
- c. 混合、敷均しを常温で行うので温度管理をする必要がない。

② 常温舗装の短所

- a. 従来の方法では、乳剤の分解・硬化に時間がかかり、初期強度が弱い。
- b. 耐久性、耐水性が劣る。

(5) 技術開発の今後の課題

- 1) 乳剤舗装中の水の影響を受けず加熱アスファルト舗装と同等かより短時間で強度が

できるように開発すること。

- 2) 石質、粒度、含水、気温などに影響を受けないような分解・硬化時間を制御する方法を開発すること。

4.2.2 ポリマー系常温舗装

(1) エネルギー消費量の比較

施工条件により多少異なるが、耐久性等などの条件が同等とすれば、ポリマー系舗装の方が約8.1 %必要とするエネルギーが少なくてすむ。また、舗装材の混合を現場混合とした場合は、約25%の省エネルギー効果となる。更に、ポリマー系舗装材の耐久性が加熱アスファルトより2倍あるとした場合には、約50%の省エネルギーとなる。

(2) 国内でのポリマー系舗装材の取り扱い方

①アスファルト舗装要綱

舗装材料として歴青材料以外に樹脂系結合材料が取り上げられ、表面処理工法の中で、すべり止めを目的としてニート式舗装が取り上げられている。

②道路維持修繕要綱

維持修繕工法に表面処理工法の中で、ニート式舗装とパッチングに樹脂系材料による施工の紹介がある。

(3) ポリマー系常温型舗装材の規格・基準

国内にはニート式舗装材のエポキシ樹脂の品質規格が設定されているだけである。国外には規格・仕様等の基準が見あたらない。

(4) 現状技術

歩行者系道路舗装には、ポリマー系舗装材が多く使用されている。一方、車道舗装にはニート式舗装が最も多く使用され、樹脂モルタル、樹脂コンクリートは実績はあるもののその施工数量は少ない。その他のポリマー系舗装材は殆ど使用されていない。

(5) ポリマー系常温型舗装材の長所・短所

1) ポリマー系常温型舗装材の長所

①骨材を加熱する必要がないので省エネルギーであり、ガスの排出を抑制でき、地球環境に対する負荷を軽減する。

②混合、敷き均しを常温で行うので温度管理をする必要はない。耐摩耗性、耐流動性、わだち掘れ性等の機械的性能に優れるため、耐久性が加熱アスファルト舗装より優れる。

したがって舗装の厚さをある程度薄くすることが可能である。

③カラー化、透水性等の機能の付与が比較的容易である。

2) ポリマー系常温型舗装材の短所

①ポリマー系舗装材の価格が加熱アスファルト舗装材より高い。

②ポリマーの取り扱いを充分理解して使用する必要がある。

(6) 技術開発の今後の課題

①コストと性能のバランスにおいて、適正な配合の設定を行うこと。

②基層部や表層部及び路盤まで考慮した舗装構造の検討が必要である。

③耐久性について、評価が必要である。

④大量施工可能な施工機械の開発を行うこと。

(7) 技術開発の目標

車道のC、D交通に適用できるポリマー系常温型舗装材を開発する必要がある。

ポリマー系舗装材は、アスファルト舗装に比べひび割れ抵抗性、わだち掘れ抵抗性、流動抵抗性、耐摩耗性等は十分満足するものが得られると考えられる。したがって、コストと性能のバランスにおいて舗装材の適正な配合設計を行うことが、課題となる。

リサイクル性についての検討も重要な課題である。

あ と が き

本調査により、省エネ資材として、省エネセメント、常温型舗装の利用は、エネルギー及びCO₂の削減に有効であることが分かった。今後は、これらを有効利用するために材料試験、施工性試験、耐久性試験などを行い、省エネセメントを用いたコンクリートや資材、常温型舗装の規格基準、設計、施工法などを検討し、最終的には利用技術指針（案）を作成する予定である。

最後に、本調査のとりまとめにあたり、多大なるご協力を頂きました（社）セメント協会技術幹事会委員、近田孝夫氏、（社）セメント協会環境幹事会委員、北林勇一氏、（社）アスファルト乳剤協会技術委員長、植村正氏、ポリマー舗装材料協会理事、斉藤弘志氏及び（財）土木研究センター関係各位に深甚なる感謝の意を表する次第です。

要 旨 地球環境問題を契機として、CO₂による温暖化を防止するためにエネルギー消費の削減が求められている。

建設事業は、事業の中のエネルギーに加え、大量の資材を消費する部門でもある。そのためにも、資源・エネルギー利用の効率化など環境への配慮を一層推進していく必要がある。

建設省総合技術プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」では、研究の一環として「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」として常温型舗装及び省エネセメントの利用技術の開発を行っている。

本報告は、この研究を進めるにあたり、勸土木研究センターに「省エネ型資材に関する現状調査研究会」を平成6年1月～3月まで設置し、省エネ型資材としての常温型舗装と省エネセメントに関する現状調査を行ったのでこの結果について報告するものである。

キーワード：地球環境問題，省資源，省エネルギー，CO₂，常温型舗装，乳剤
省エネセメント，ポリマー舗装

郵便はがき

50円切手
はって下さ
い

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室

寺田 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 3

No. 3

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第3349号 部
「省エネ型資材に関する調査」
上記のとおり受領しました。

所 属 (住 所)

氏 名

印

土木研究所資料第3349号
「省エネ型資材に関する調査」

