

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3278号

土 木 研 究 所 資 料

コンクリート舗装の設計に関する資料集

平成6年5月

建設省土木研究所
道路部舗装研究室

Copyright © (1994) 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。

コンクリート舗装の設計に関する資料集

道路部舗装研究室 室長	中村俊行
主任研究員	吉田武
研究員	森修二
	小森谷一志

要 旨

常設国際道路会議協会（PIARC）のコンクリート道路技術委員会（TC7）からの3つの報告書を和訳し、とりまとめたものである。

第1は、コンクリート舗装の低騒音化に関するワークショップの概要、第2は、転圧コンクリート舗装（RCCP）の道路への利用に関する報告、そして第3は、連続鉄筋コンクリート舗装（CRCP）に関する報告である。

キーワード：PIARC，セメントコンクリート舗装，低騒音化，RCCP，転圧コンクリート舗装，CRCP，連続鉄筋コンクリート舗装，コンポジット舗装

まえがき

PIARC (常設国際道路会議協会: Permanent International Association of Road Congress) は、道路の建設、改良、維持、利用の進歩と発展を助成し、世界全域の道路網の発達をはかることを目的とする国際技術協力機関で、また、国連協力機関であり、世界67ヶ国が会員となっている。日本は、1908年のバリの国際道路会議以来、その活動に参加し、先進国の道路政策、道路技術を学び、わが国の道路行政に生かしてきた。PIARCには、13の技術委員会と4の特設委員会および4のワーキンググループが組織されており、このうちコンクリート道路技術委員会(TC7)がコンクリート舗装に関する活動成果を報告している。

本資料は、PIARC/TC7からの3つの報告書を和訳し、とりまとめたものである。

第1の報告は、PIARC/TC7の後援を得て、ウィーンセメント研究所が、1992年2月にウィーンで開催したコンクリート舗装の低騒音化に関するワークショップの概要についての報告である。

第2の報告は、転圧コンクリート舗装(RCCP)の道路への利用に関する報告である。内容は(社)日本道路協会の「転圧コンクリート舗装技術指針(案)」とほぼ同様であるが、今後の我国のRCCPの課題に関係すると思われる部分も多く含まれる。

第3の報告は、連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)に関する報告である。CRCPに関して、近年飛躍的な技術的发展があり、また本工法には技術上あるいは経済上の長所があることから、関係諸機関に対し、CRCPの設計、施工に関する必要な情報を示すことを目的としている。

最後に、関係資料の入手、和訳にあたり、日本道路(株)技術研究所の野田悦郎氏に全面的なご協力を頂いた。心より感謝する次第である。

コンクリート舗装の設計に関する資料集

目次

コンクリート舗装の低騒音化に関するワークショップの概要

1. 本ワークショップの歴史、目的およびプログラム	1
2. タイヤ路面騒音の測定と路面の形状	2
3. 種々の舗装におけるタイヤ路面騒音	6
4. ポーラスコンクリート	10
5. 縦方向のきめ	12
6. 骨材露出コンクリート	14
7. 既存コンクリート舗装の低騒音化	16
8. コストと便益	20
9. まとめ	23
参考文献	31

転圧コンクリート舗装（RCCP）の道路への利用に関する報告

1. はじめに	35
2. 材料および配合設計	37
3. RCCPの構造設計法	45
4. 施工	47
5. RCCPの供用性	59
6. 経済的見地	59
7. 結論	60
参考文献	61

連続鉄筋コンクリート舗装（CRCP）に関する報告

1. はじめに	67
2. 定義	68
3. 用語	68
4. 開発	69
5. 選定基準	69
6. 適用箇所	69
7. CRCPの要素	71
8. 設計	78
9. 施工	83
10. CRCPの供用性	85
11. 主要な破損	86
12. メンテナンスと補修	87
13. 主な勧告	87
14. 新技術	89
15. 結論	90
参考文献	91

コンクリート舗装の低騒音化に関するワークショップの概要

1. 本ワークショップの歴史、目的およびプログラム	1
2. タイヤ-路面騒音の測定と路面の形状	2
2. 1 タイヤ-路面騒音の測定方法	2
2. 2 測定トレーラによる方法と通過車両による方法の相関	3
2. 3 タイヤの影響	4
2. 4 路面の影響	5
3. 種々の舗装におけるタイヤ-路面騒音	6
4. ポーラスコンクリート	10
5. 縦方向のきめ	12
6. 骨材露出コンクリート	14
7. 既存コンクリート舗装の低騒音化	16
7. 1 研磨	16
7. 2 サーフェスドレッシング	17
7. 3 セメント処理サーフェスドレッシング	19
8. コストと便益	20
8. 1 コスト	20
8. 2 便益	21
8. 3 種々の路面の評価	22
9. まとめ	23
9. 1 総括	23
9. 2 セッションI「タイヤ-路面騒音の測定と路面形状」の結論	24
9. 3 セッションII「種々の路面におけるタイヤ-路面騒音」の結論	25
9. 4 セッションIII「ポーラスコンクリート」の結論	26
9. 5 セッションIV「縦方向のきめ」の結論	26
9. 6 セッションV「骨材露出コンクリート」の結論	27
9. 7 セッションVI「既存のコンクリート舗装の路面」の結論	29
9. 8 セッションVII「耐久性、コストおよび便益」の結論	29
9. 9 種々の低騒音化路面の評価	30
参考文献	31

1. 本ワークショップの歴史、目的およびプログラム

1988年、PIARC/TC7には、H. SOMMER氏を議長に指名した“コンクリート舗装の低騒音化”の小委員会が設立された。

種々な国における有用な経験を収集し、評価したところ¹⁾、コンクリート舗装の施工における若干の相違が、タイヤ路面騒音に大きな差を生じさせることがわかった。さらに、舗装表面の形状を適切にすることによりタイヤ路面騒音を最小にできることもわかってきた²⁾。

これらの知見は、1989年から始まったオーストリアでの施工に生かされ、小粒径骨材露出工法³⁾の開発、および既存コンクリート舗装へ3-4mm粒形のチップングを行う表面処理工法⁴⁾の適用に結びついた。オランダおよびフランスにおいては、研究と開発はもっぱらポーラスコンクリートに集中した。

1990年の終わりまでに得られた技術水準は、すべて別の報告⁵⁾に述べられている(1991年のPIARCマラケシ大会におけるレポート)。

さらに最近の施工経験を収集・評価するために、ウィーンセメント協会は、PIARCの小委員会のメンバーと、その他エキスパートを1992年2月24、25日ウィーンで開催されたワークショップに招待した。ここにはヨーロッパ8ヶ国と日本より28人のエキスパートが集まり、31論文が提出され、7セッションで討議した。

セッションⅠ：タイヤ路面騒音の測定と路面形状

セッションⅡ：種々の路面におけるタイヤ路面騒音

セッションⅢ：ポーラスコンクリート

セッションⅣ：縦方向のきめ

セッションⅤ：骨材露出工法

セッションⅥ：既存のコンクリート舗装の路面

セッションⅦ：耐久性、コストおよび便益

以下には、各セッションの要約を述べるが、詳細な内容は別の報告⁶⁾を参照されたい。

2. タイヤ-路面騒音の測定と路面の形状

2. 1 タイヤ-路面騒音の測定方法

タイヤ-路面騒音は、通常、通過車両による方法か、測定トレーラによる方法のいずれかで測定される（表-2・1）。前者の方法は、道路の近隣の住民が感ずる騒音に着目したものであり、また後者は、路面の影響にのみ興味があり、エンジン、排気音、その他車両のパーツにより生ずる騒音には興味のない道路建設者の仕様に合致するものである。

表-2・1 タイヤ-路面騒音の測定方法

方法		通過車両による方法		測定トレーラによる方法	
測定	位置	沿道		タイヤ近傍	
	車両	一般交通	特殊車両	1輪トレーラ	4(5)輪トレーラ
長所		沿道住民の条件に合致している		タイヤ-路面騒音（路面）のみを考慮している	
短所		面倒		吸音を過小評価している	
				路面の評価がタイヤに左右される	

ISO TC 43/SG 1/WG 33⁷⁾に種々の方法に関するISO-標準が提案されている。

2. 2 測定トレーラによる方法と通過車両による方法の相関

最近まで、異なる方法で得られる結果は、満足すべき相関が得られないと考えられてきた。しかし、タイヤを同一のものを用いるならば、両者の相関はかなり良いことがわかってきた（図-2・1）。測定トレーラによる方法はポーラス舗装の吸音を過小評価しているが、その勾配は一定（ただし、タイヤの種類によるが）である⁸⁾。

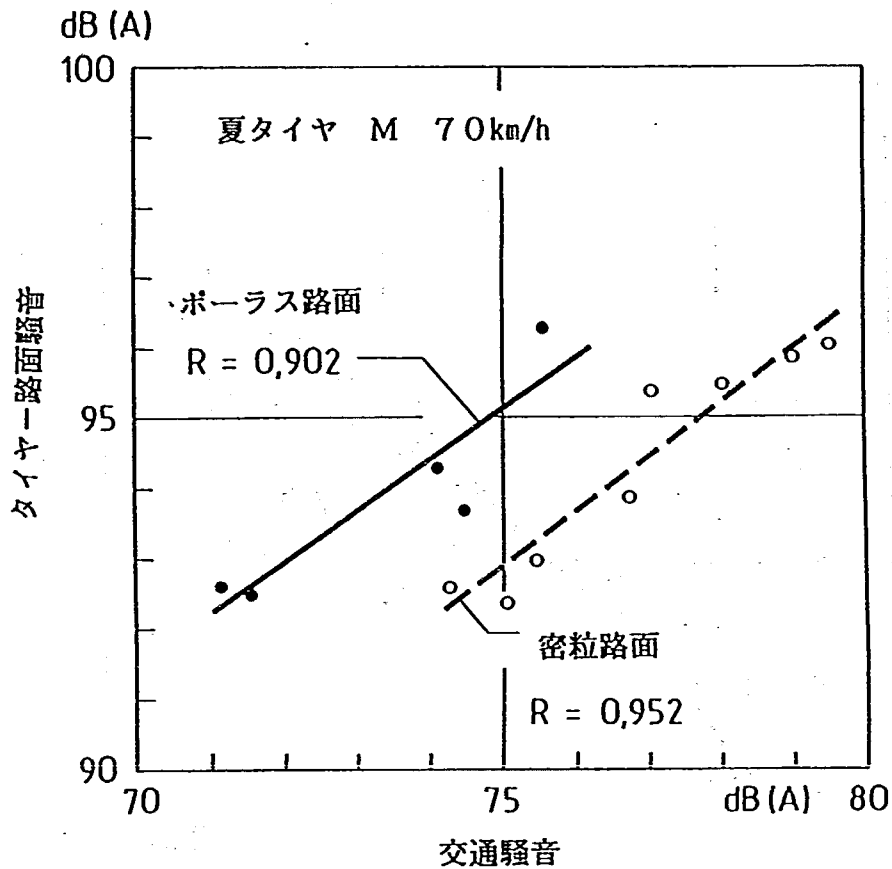
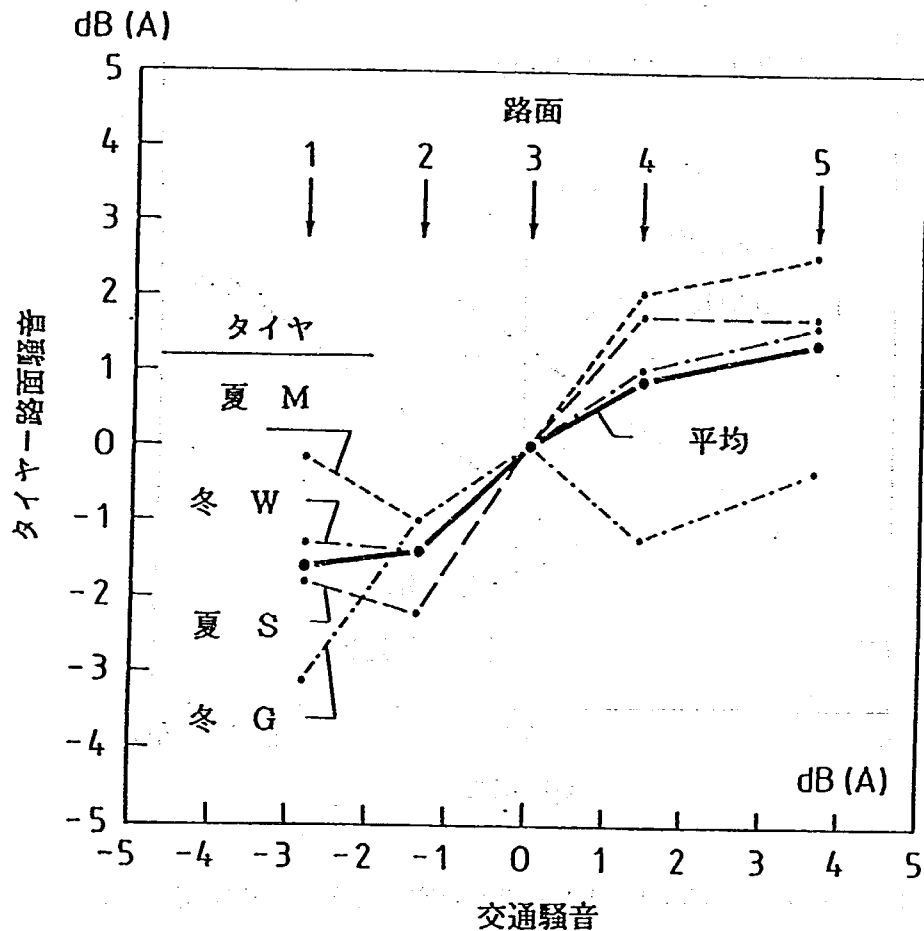


図-2・1 タイヤ-路面騒音（トレーラ）と交通騒音（一般の通過交通）

2. 3 タイヤの影響

先に述べた差異は、同じ路面でもタイヤの種類が異なることで騒音性状が異なることで説明できる。

タイヤと路面の間の相互作用により、2つの路面において、用いているタイヤの種類によって著しく値が異なることが示されている（図-2・2）。それゆえ、ドイツでは、4輪の異なるタイヤを備えたトレーラを建設し、それらの騒音測定値の平均値によって種々な路面の騒音性を測定し、1輪トレーラ法より実際の評価を得ようとしている。



注： 路面1：ポーラスアスファルト、2：アスファルト（新設）、3：アスファルト（既設）、
4：ダブルサーフェスドレッシング、5：シングルサーフェスドレッシング⁸⁾

図-2・2 トレーラによる方法と通過交通による方法：70 km/h

2. 4 路面の影響

今日、タイヤ路面騒音は路面の形状により支配されるということが一般的に認められている。すなわち 20mm以上の幅の波形やでこぼこはタイヤを振動させる。これらコブ間の凹みが、深くなればなるほど、タイヤにより生ずる騒音は大きくなる。一方、10mm以下のでこぼこは、タイヤを大きく変形させることはなく、タイヤ接地面直下から空気を（圧搾することなく）逃すこととなる。これらのコブの凹みが深くなればなるほど騒音は小さくなる²⁾。

実際の路面における騒音測定からかなり前に見いだされた上記の考え方は、最近ドイツのBASTにおけるドラム状交通シミュレータによる試験で確認された。すなわち、極めて粗なサンディングペーパー（これは、小粒形チップング材を用いたサーフェスドレッシングか、小粒径骨材を用いた骨材露出工法をシミュレートしたもの）は、かなり低いタイヤ路面騒音を示した¹⁵⁾。

今日、多くの研究機関は、レーザー技術を用いて路面の形状を測定している。それによって、たった1m²の路面であっても路面の形状を測定することでタイヤ路面騒音を正確に予測しようと期待されている。

DescornetとSaudbergは、タイヤ路面騒音の予測に関して次式を提案した。

$$\text{タイヤ路面騒音 (dB(A))} = a \cdot L_{s0} - b \cdot L_s + 60 \text{ dB(A)}$$

ここに、 L_{s0} 、 L_s : 80mmおよび5mmの波長におけるきめ深さ

a 、 b : 定数（タイヤおよび車両の種類による）

3. 種々の舗装におけるタイヤ路面騒音

それぞれの舗装種類において、タイヤ路面騒音はかなりのバラつきがあり、これは他の舗装種類とも重複する（図-3・1）。

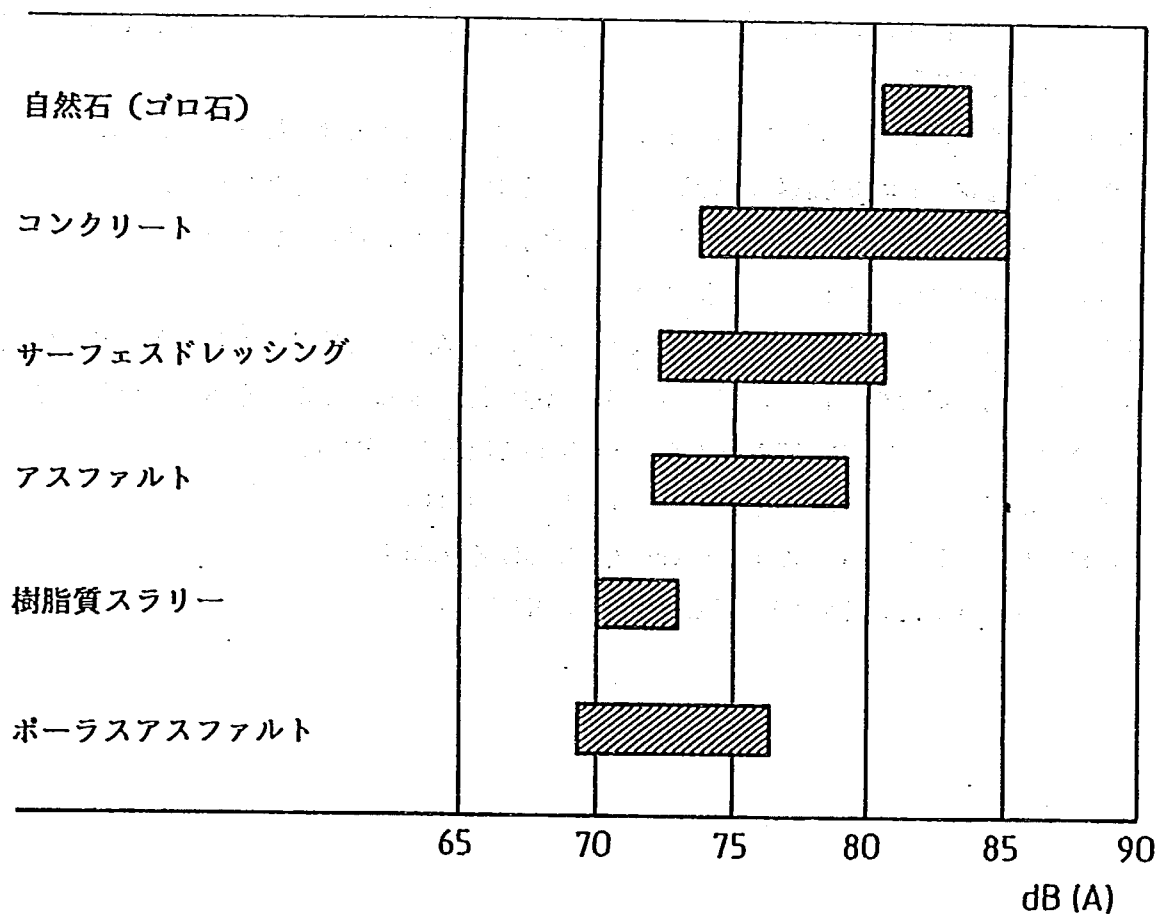


図-3・1 種々の舗装における通過車両による騒音レベル

古い施工法（すなわち、縦方向スーサなし、横方向ブルーム仕上げ、ベルギーではさらに深い横方向グルーヴィングさえしていた）で建設されたコンクリート舗装は、アスファルト舗装よりもタイヤ路面騒音は高い。これらのコンクリート舗装は、同程度のマクロテクスチュア（でこぼこ間の深さが例えば3mm、通常タイヤ路面騒音を減らす）であるが、かなり大きなメガテクスチュア（でこぼこ間の深さが例えば80mm、通常タイヤ路面騒音を大きくする）を持っている（図-3・2）。

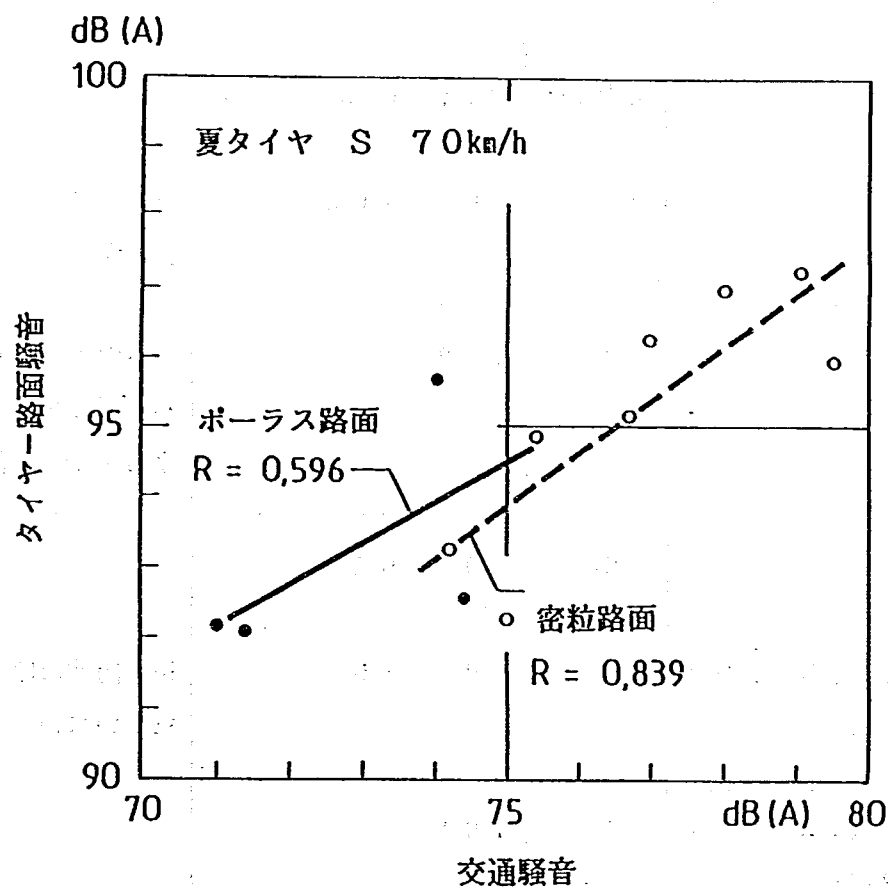


図-3・2 アスファルトおよびコンクリートのマクロテクスチュアとメガテクスチュア
(横方向仕上げ)

しかし、コンクリート舗装を施工したとき、ペーパによりできる横方向波形が縦方向スーサより消されるならば、あるいは、22mmあるいは32mmの最大寸法の骨材のかわりに8mmサイズの骨材を用いるならば、それによってできる路面は静かなものとなろう（表-3・1）。

表-3・1 オーストリアにおけるトレーラ測定法の結果
（溝ありPIARCタイヤ、100km/h、後部および横マイクロ）

表面	最大粒径	タイヤ-路面騒音dB(A)	摘要
1 古いコンクリート	25	108-109	縦方向スーサなし 横方向ブルーム仕上げ
2 新しいコンクリート	22	103	縦方向スーサおよび バーラップドラッグに よるブルーム仕上げ
3 露出骨材	8	99-102	
4 エポキシサーフェスドレッシング 粒径3-4mm（1層）	4	102-103	横方向波形は一様化さ れていない
5 エポキシサーフェスドレッシング 粒径3-4mm（2層）	4	101	

コンクリートブロック舗装でさえ、かなりの改善が可能であろう（図-3・3）；すなわちブロックが平らで、きめが細かく、溝がない場合、さらに目地溝が小さく、平らな路面であれば、30および50km/hにおけるタイヤ路面騒音はアスファルト舗装0/11mmと同程度の低い騒音である⁹⁾。

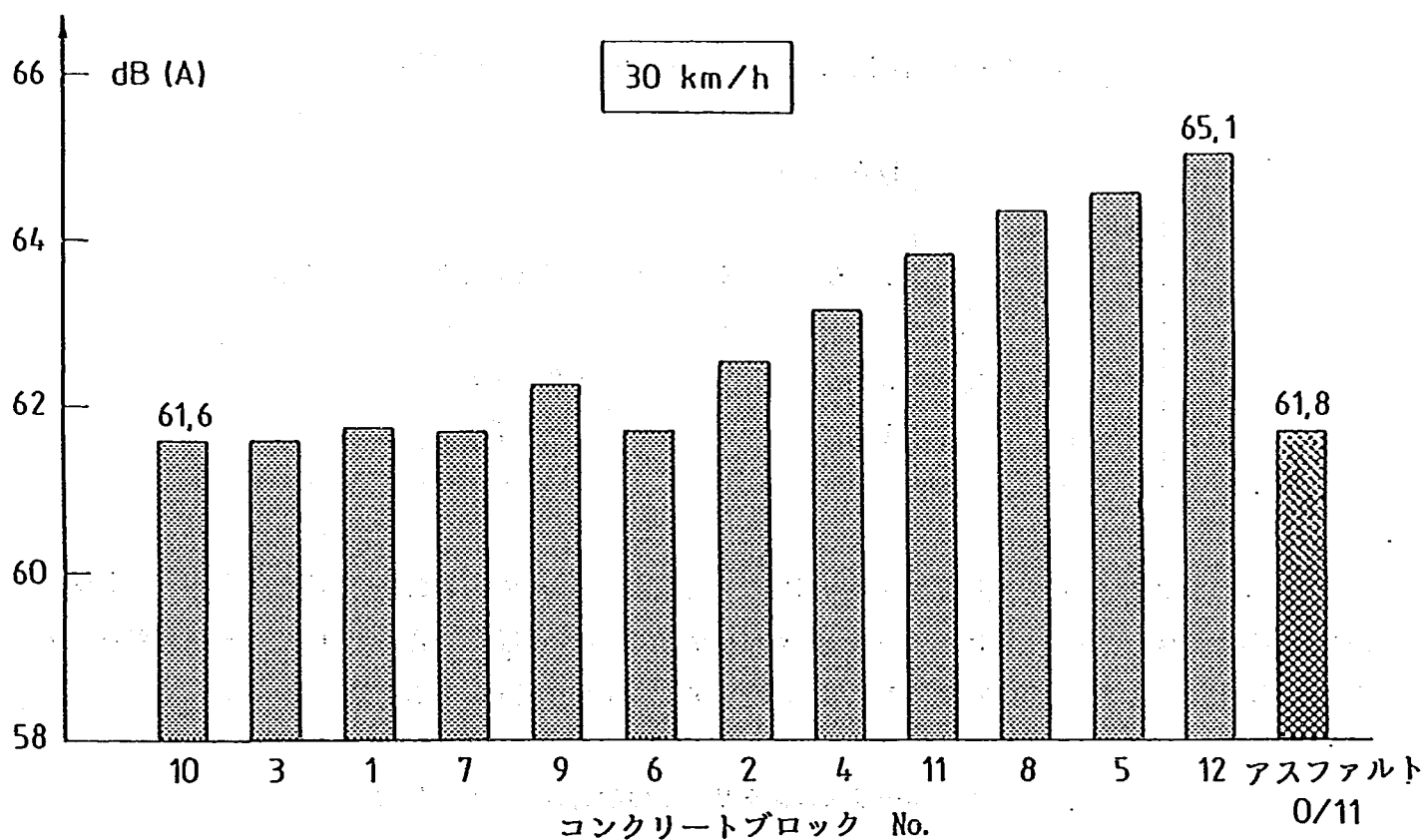


図-3・3 種々のコンクリートブロック舗装における通過交通騒音

4. ポーラスコンクリート

日本では、100万㎡以上のポーラスコンクリート舗装が1984年より施工されているが¹⁰⁾、それらは重交通路線でなく、歩道、駐車場、歩行者空間である（表-4・1）。このポーラスコンクリートは、騒音低減を目的としたものでなく、雨水を路盤を通して地下に染み込ませることを目的としたものである。

表-4・1 日本におけるポーラスコンクリートの利用¹⁰⁾

利用	厚さ (cm)	
	ポーラスコンクリート	下層路盤 (クラッシュラン)
歩道、歩行者空間	5 - 8	10 - 15
駐車場	10 - 15	15 - 25

ポーラスコンクリートの重交通路線への適用については多くの国で検討されている^{11) 12) 13) 14)}。凍結-塩分抵抗性を確保し、十分な曲げ強度を得るためにはポリマー添加が必要である。コンクリートはギャップグレードとして、25%の空隙を持っている。オランダでの試験道路での配合を表-4・2に示す。

表-4・2 ポーラスコンクリートの配合設計 (例 ¹¹⁾)

成分	分量 (kg/m ³)
チップング 6/8	1370
砂	100
セメント	230
ポリマー (50%個体)	45
水	60

また、ポーラスコンクリートであっても、タイヤ路面騒音の低減のためには、最適な路面形状が必要条件であり、これはすなわち縦方向スーサや11mm、望むべくは8mmの最大寸法という小粒形骨材の使用を意味する。そうしなければ、舗装の空隙が吸収しうる以上の騒音が生ずるであろう。

多くの試験断面では、5cm厚のポーラスコンクリートを用いている（通常のコンクリート舗装層上にこの層を載せる）。これはこの厚さが、最大1000Hz（高速走行での支配騒音）の吸収性を示すからであ

る。市内道路であれば、ポーラスコンクリートは40cmの厚さまで施工されている。これは低周波数領域においても高い騒音吸収を得ようとするからである。

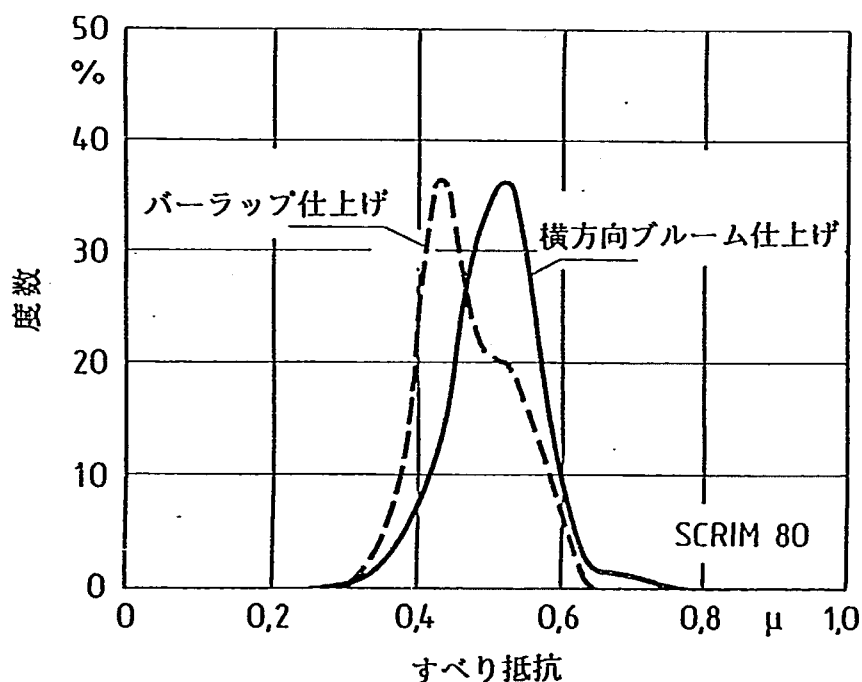
ただ、この施工経験は、これまでのところあまり多くない。厚層ポーラスコンクリートは市内道路としてはかなりの騒音吸収性を持つがゆえに有効なものであろう。しかし、冬期気象条件が厳しい地域における使用は推奨できない。これは、多量の凍結防止剤を用いたとしてもかならずしも氷の形成を防ぎきることは難しいからである。この問題は、ポーラスアスファルトにも言えることではある。

5. 縦方向のきめ

バーラップ仕上げは、縦方向スーサ（あらゆる騒音低減路面にとって不可欠）と組み合わせることにより 100 km/h 走行時の沿道レベルでの騒音が約 4 dB (A) ほど、これまでの施工法よりも低くなり、ほぼアスファルト舗装 $0/11\text{ mm}$ の騒音とほぼ同じとなることがドイツで報告されている¹⁵⁾。

コンクリート内のモルタルが少ない場合、粗骨材が表面にあらわれてくる。最大寸法 22 mm の骨材のかわりに 8 mm の最大寸法の骨材を用いるなら、このバーラップ仕上げでもさらに騒音は小さくなるであろう。但し、小粒形骨材を用いるには2層施工が必要である（上層にのみ 8 mm の最大寸法の骨材使用）。

バーラップ仕上げは適用し易いが、以下の2つの短所がある；すなわち、①モルタルのすり減り抵抗性が比較的小さい、すなわち、冬期に砂やスパイクタイヤを用いるような地域では問題となる。②すべり抵抗も横方向ブルーム仕上げよりも低い（図-5・1）。

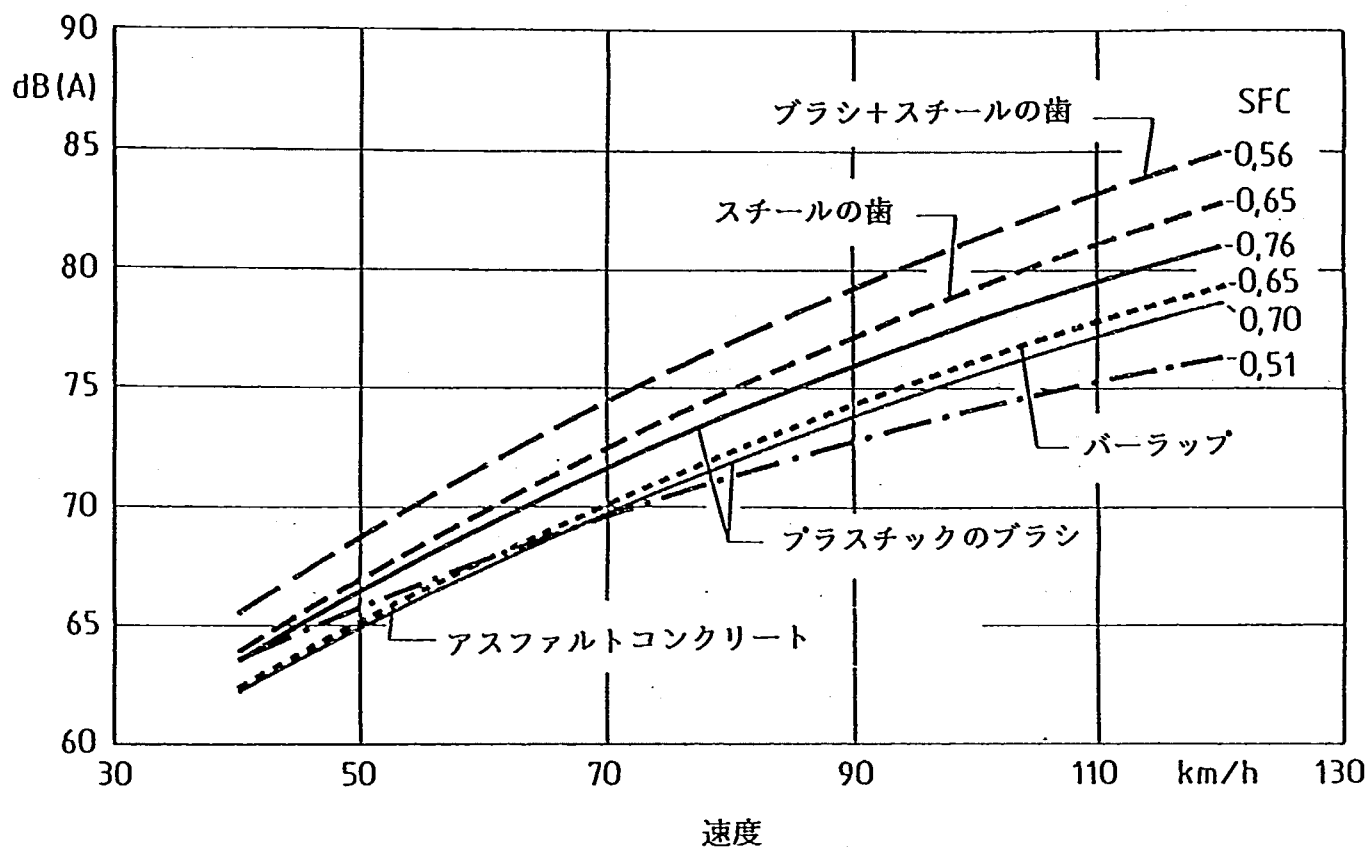


注：SCRIM=Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine

図-5・1 バーラップ仕上げと横方向ブルーム仕上げの滑り抵抗

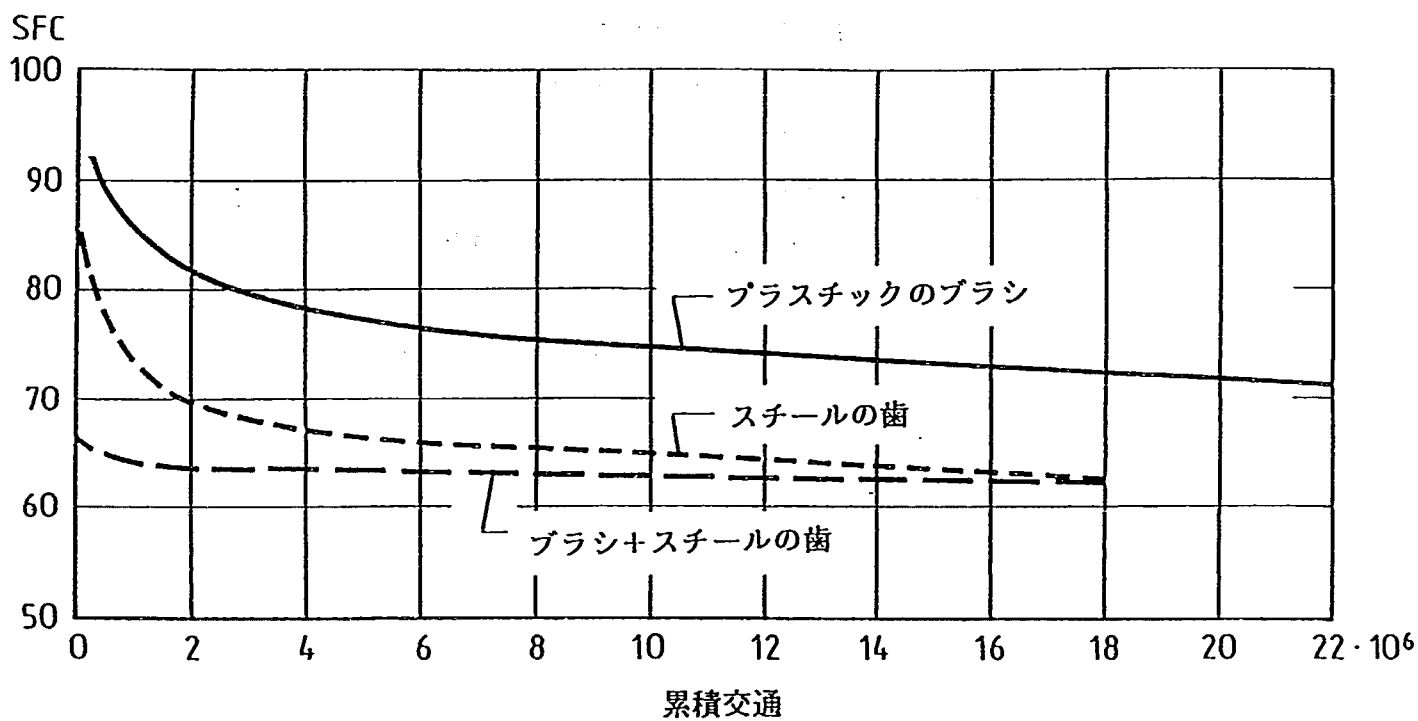
高いすべり抵抗性を得るには、縦方向仕上げを深くする必要がある。モルタルを多く含むコンクリートを用いるなら、プラスチックのブラシ、プラスチックのくし、メタルの歯が約 2 mm の深さの縦溝を作るために用いられる¹⁶⁾。スペインでは、1971年以来 1260 km の車道がこの方法で建設されてきた。コンクリートの質や縦方向のきめによっては、かなりタイヤ路面騒音は異なるようである（図-5・2）。すべり抵抗は経時的に若干低下してくるが、それでも十分高い値を保持している（図-5・3）。英国では、高速時（ 130 km/h ）のすべり抵抗の仕様としてこの選択を排除している。

また、縦方向仕上げに必要なことは、どんな場合でもポリッシング抵抗のあるモルタルを用いることであり、いいかえれば、砂は最低 $1/3$ はシリカ質のものとすべきである。



注：SFC=Sideway-Force Coefficient

図-5・2 種々の縦方向のきめに対する通過交通騒音レベル



注：SFC=Sideway-Force Coefficient

図-5・3 種々の縦方向のきめに対する滑り抵抗

6. 骨材露出工法

ベルギーでは、1981年以来800万㎡にわたって、骨材露出工法が適用されてきた。コンクリートの配合は通常と同じであり、表面には遅延剤を散布（特殊添加剤入りの砂糖溶液）し、プラスチックのシートでカバーすることで蒸発を防ぐ。また、翌日にブラッシングにより細かいモルタルを取り除く¹⁷⁾。この技術の開発の目的は高いすべり抵抗の確保であり、騒音低減ではなかった。

オランダの試験箇所では、このベルギーの技術を使った。ただ、骨材の最大寸法を32mmから20mmに下げ、小粒径碎石量を増やすことによって、タイヤ路面騒音は2dB(A)減った¹⁸⁾。骨材最大寸法は20mm以下とはしなかった、これは、2層施工が必要になることからである。

オーストリアでは2層施工は一般的工法である、なぜなら、すり減り、摩耗に強い骨材は高価であるからである。1990年以来、47kmの車道において、8mm最大寸法の骨材を用いた4cm厚のトップ層の施工が行われてきた¹⁹⁾（図-6・1）。これは、4/8mm碎石をベルギーの手法で露出させるものであり、下層コンクリートは砂利または碎石（最大寸法32mm）のものを用いている。

骨材露出コンクリート

最大粒径 8mm

砂	0/1
骨材	4/8 (≥65%)
セメント	430-450 kg/m ³
w/c	0.38 → 耐久性 → E、収縮
起泡、遅延剤、プラスティサイザー	
骨材4/8	ロサンゼルスすりへり減量≤19%
	ポリッシュドストーン値≥50

図-6・1 骨材露出コンクリート、最大粒径8mm

上記の手法の（トレーラ法で測定した）タイヤ路面騒音は、エポキシと3/4 mm碎石を用いたサーフェスドレッシング（7. 2 参照）と同程度に低く、また施工したばかりのポーラスアスファルトと2, 3年経過したポーラスアスファルトの騒音値の中間程度であった（図-6・2）。

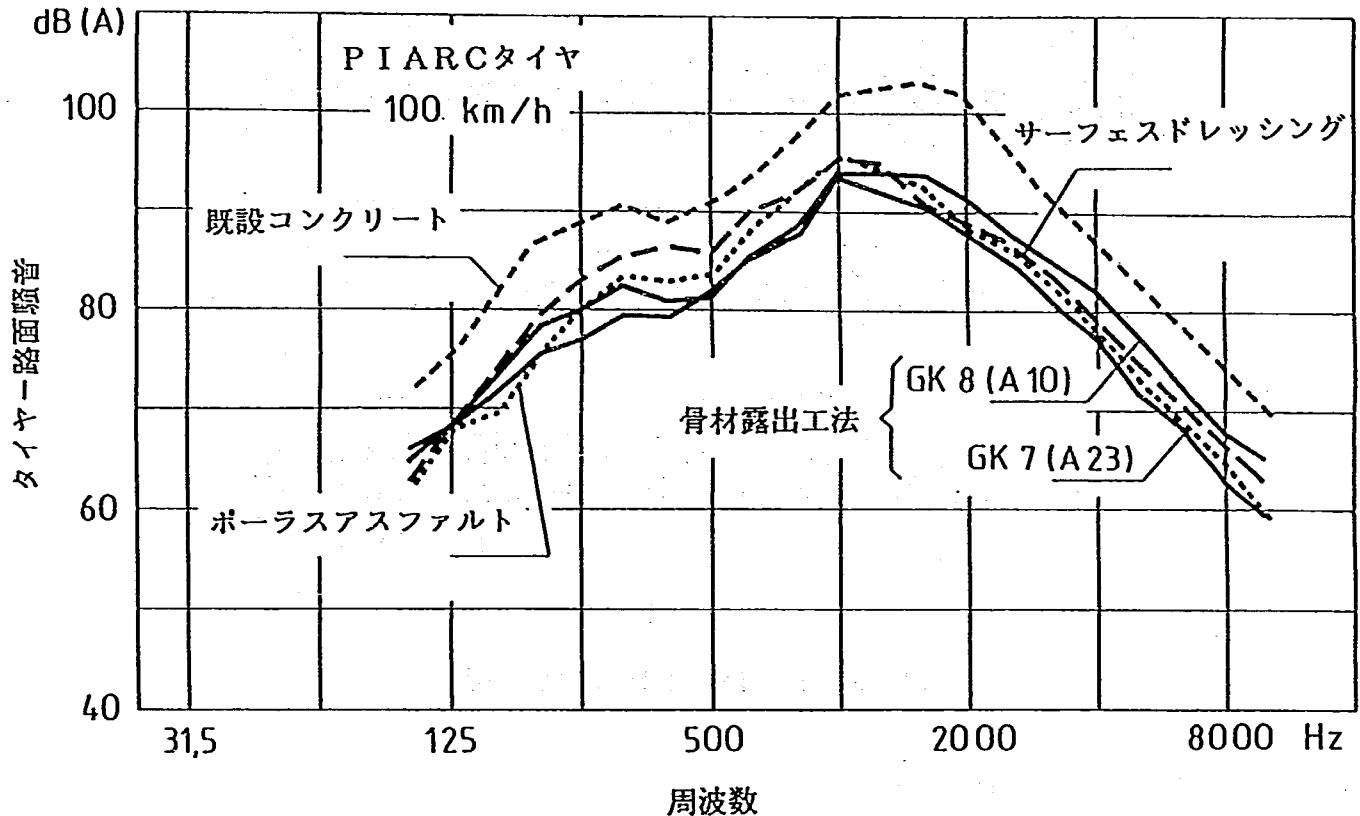


図-6・2 骨材露出コンクリート（最大粒径8 mm）、エポキシサーフェスドレッシングおよびポーラスアスファルト（3年経過）におけるタイヤ路面騒音（トレーラ、P I A R Cタイヤ、100 km/h）

騒音低下に加えて、この小粒径骨材露出工法は高いすべり抵抗も示した（例えば、シュトゥッツガルトライバングスメッセ、80 km/h、すべり抵抗0.5）。

今日までの供用下では（最も古い施工で2冬経過し、日平均交通量約100,000台）、何ら目にみえる変化も、冬期における問題もなく、塩分をさらに追加する必要もなかった。

この新しい技術は、タイヤ路面騒音を減らす最良の方法ではあろうが、まだ課題が残っている。施工者がこれを知るまでにはまだ時間を要するし、また一般的には最初の試みでは最適な成果が得られない。

施工の簡略化に貢献する新しい材料がウィーンセメント研究所で試験されている（図-6・3）：

- 遅延剤；散布量を、施工時気温と関係なく決定できる
ブラッシングまでの時間を長くが確保できる
- 養生剤；遅延剤の上に散布することができる
すぐに雨水防水対策になる

- プラスチックシートと同様に、水の蒸発を防ぐ
- 遅延剤を含んだ養生剤；何ら有機質溶媒を含まない
- 単に散布するだけの工程で済む

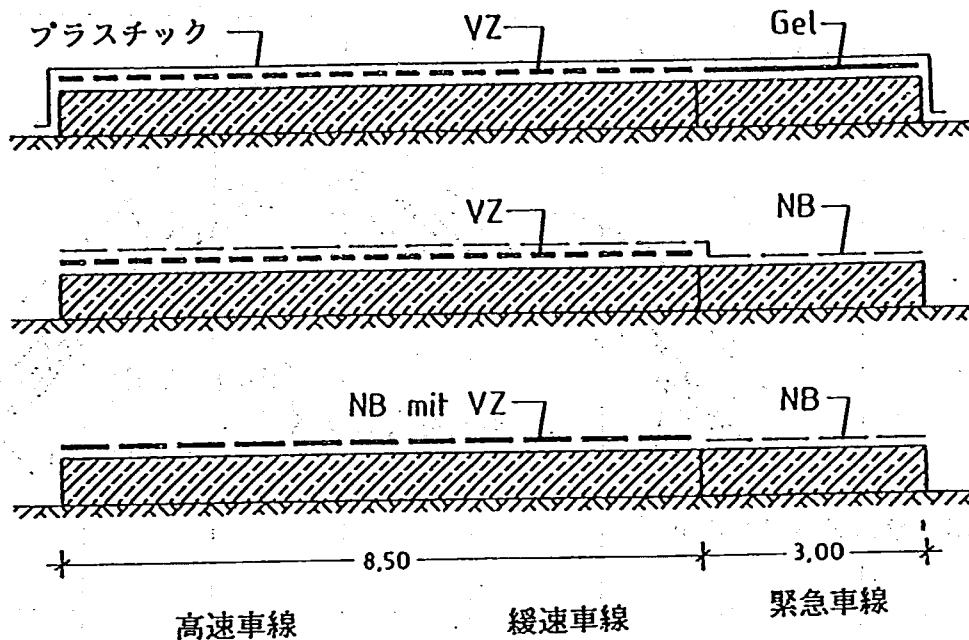


図-6・3 骨材露出路面の建設方法

7. 既存コンクリート舗装の低騒音化

7. 1 研磨

3mm厚のダイヤモンドディスクを、ディスク間隔3mmで用いれば、研磨は、平坦性を改良するばかりか、縦方向のきめも改良し、騒音を低減する。この騒音低下量は、表-7・1に例示するように5-6dB(A)程度である。

表-7・1 研磨によるタイヤ-路面騒音の低減（1991年、ベルギー、ルーヴェン-ディエスト自動車道）

測定	事前	研磨	事後
自動車台数	205		207
平均速度	108		111
沿道における騒音レベルの平均差	90.0	-5.3	84.7

7. 2 サーフェスドレッシング

エポキシ樹脂と3/4mm碎石（EPグリップ）を用いたサーフェスドレッシングは、1989年よりオーストリアで使われている。2/3mm碎石を用いればエポキシ樹脂の量は少なくて済むが、3/4mm碎石を用いた場合よりも騒音低減効果は低い⁴⁾（これはきめの深さが浅いことによるか？）。

サーフェスドレッシングの厚さはたった5mmなので、既存コンクリートの横断形状（わだち掘れ）や粗骨材間のくぼみを、サーフェスドレッシングによって完全に平滑にはできない。

サーフェスドレッシングは、（縦方向スーサを用いないで施工したような）既存コンクリート舗装上に適用した場合は、（縦方向スーサを用いて施工した）新設コンクリート舗装上に適用した場合よりも1～2dB(A)ほどタイヤ路面騒音は高いであろう。

表-7・2 サーフェスドレッシング（エポキシ、3/4碎石）におけるタイヤ路面騒音
（トレーラ、溝ありPIARCタイヤ、100km/h）

コンクリート舗装	車線	タイヤ路面騒音dB(A)
既設 ¹⁾	緩速 ³⁾	103
	高速	102
新設 ²⁾	緩速	101
	高速	101

注1) 縦方向スーサを用いずに施工

2) 縦方向スーサを用いて施工

3) 粗骨材間のモルタルはスパイクタイヤにより取り除かれている

また、既存コンクリート舗装があまりにでこぼこで粗い場合には、サーフェスドレッシングを施すまえにまず研磨が必要である（図-7・1）。

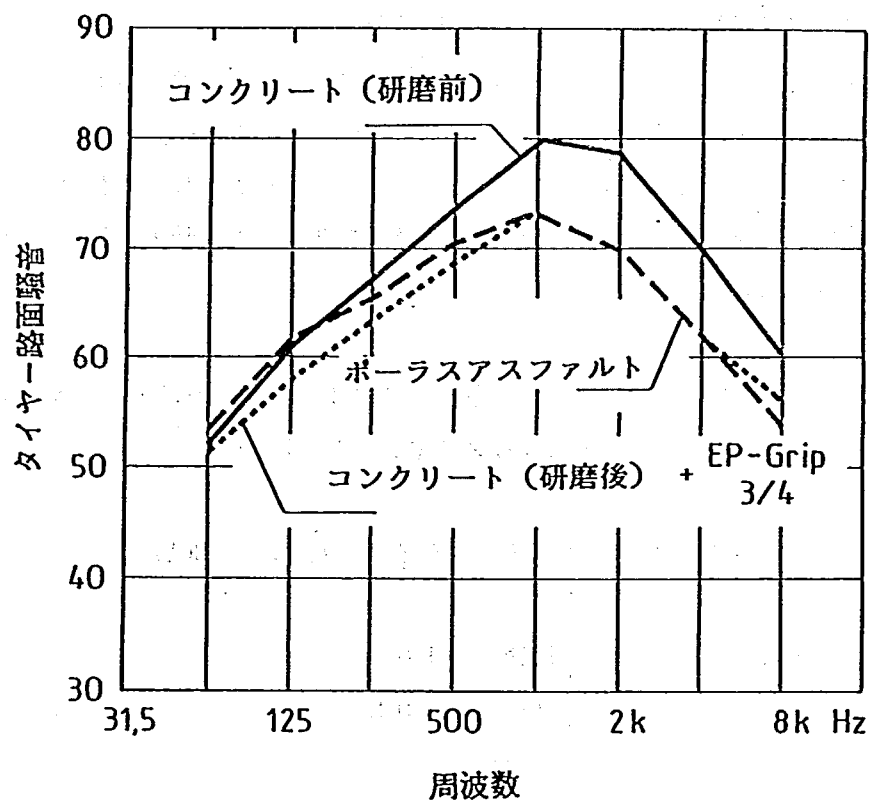


図-7・1 騒音低減（通過交通騒音、3／4 mmエポキシサーフェスドレッシング）

7. 3 セメント処理サーフェスドレッシング

エポキシサーフェスドレッシングは技術的に大変良いが、樹脂を使用するため極めて高価である。

そこで、代替工法として、セメント処理サーフェスドレッシングがオーストリアで開発された¹⁶⁾。ここでは、付着性と凍結-融解抵抗性を向上させるために、セメントモルタルにはポリマーを添加しなければならない。しかし、その添加量はエポキシでは 1.2 kg/m^2 に対し、 0.4 kg/m^2 である。

まず、既存コンクリート表面を清掃し、(高圧水ブラストによって)湿潤化し、ポリマー入り0/1mmセメントモルタルを 1.7 mm 厚で施工、その後3/4mm碎石を散布し、転圧によってモルタル中に圧入する。そして膜形成養生剤を散布する(図-7・2)。

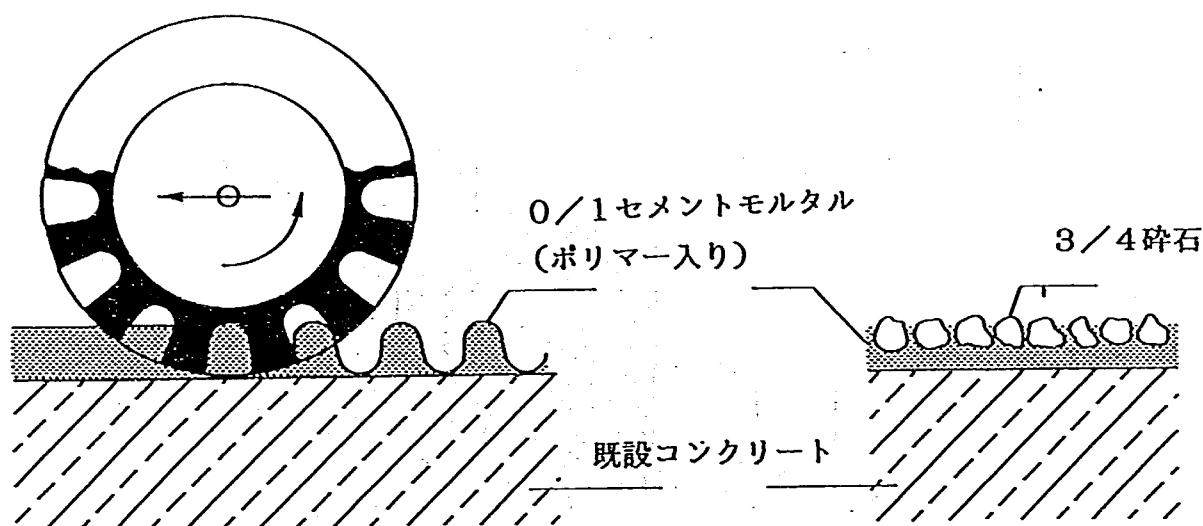


図-7・2 セメント処理サーフェスドレッシング

碎石を使わない代替法もある。これは 2.3 mm 厚のモルタルを敷き、成形ローラできめを付けるものである。

室内試験は完了し、ウィーンの都市内道路で小規模ながら試験施工がなされ、約2年間十分に供用している。ただ、この手法は重交通路線に適用するについての課題が残されている。

8. コストと便益

8. 1 コスト

舗装の新設においては、舗装の建設費のみが既知であり、そのメンテナンスコストは不明である。

必要なメンテナンスについてやや有利な場合と不利な場合の両方を仮定すると、種々の代替工法の経済性を十分に比較できる（図-8・1）¹⁹⁾。

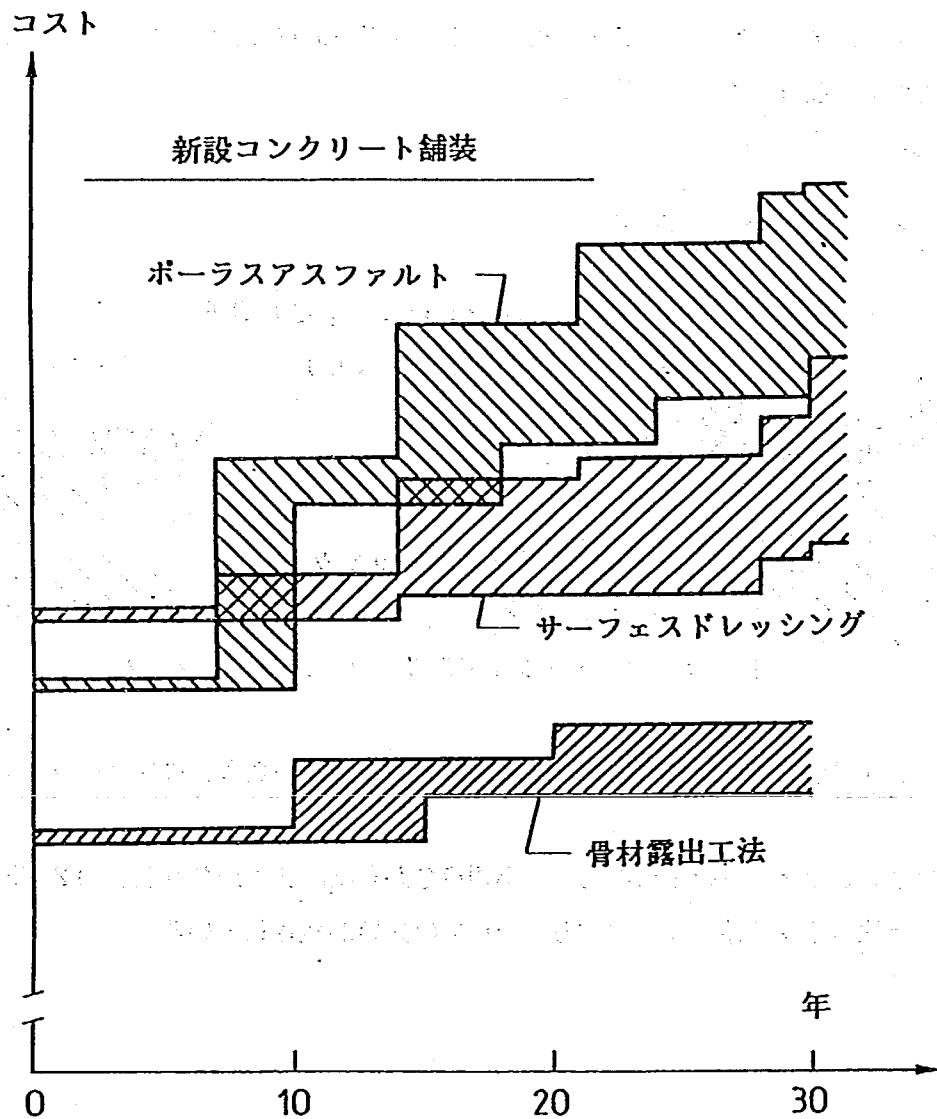
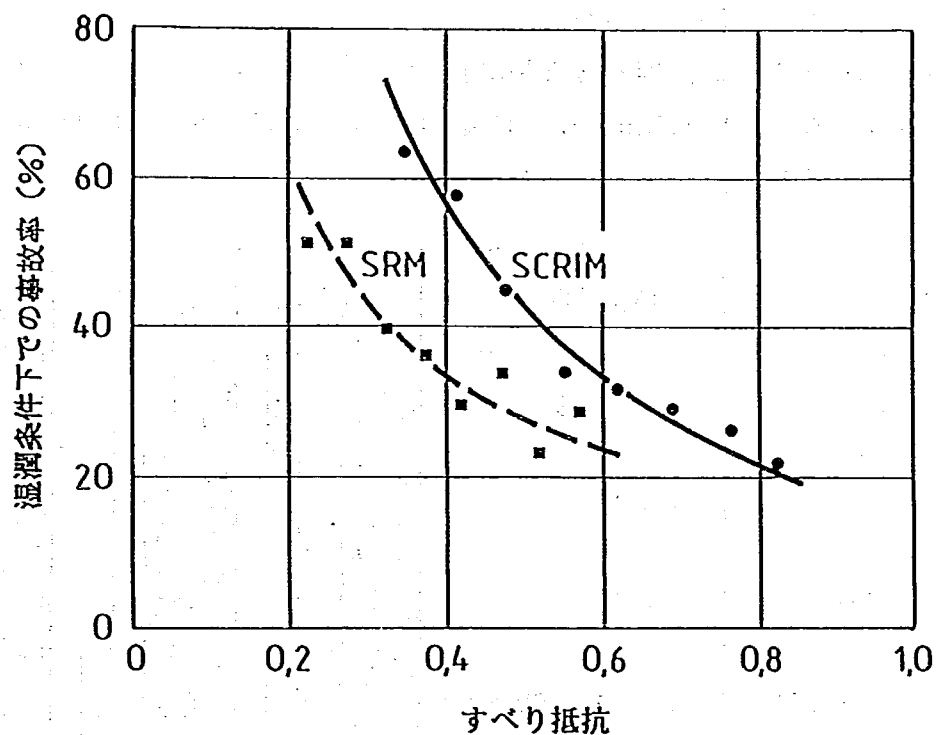


図-8・1 長期におけるコストの比較

8. 2 便益

今日、騒音低減が重要な課題ではあるが、将来的にはすべり抵抗がもっと注目されよう。

湿潤条件下での交通事故率とすべり抵抗には明確な相関がある(図-8・2)。もし、スキッドレジスタンス(シュトゥッツガルト ライバングスメッセ、80 km/h)を例えば、0.3から0.5に引き上げると、事故は50%ほど低下する。



注: SRM=Stuttgarter Reibungsmesser

SCRIM=Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine¹⁵⁾

図-8・2 湿潤条件下での交通事故率とすべり抵抗

8. 3 種々の路面の評価

種々の路面が種々の国々で種々の方法で評価されている。これは、以下の理由による。

- すり減り、摩耗に対する抵抗性のある砂や碎石の入手可能性が異なること
- 湿潤条件下での高い事故率が高いすべり抵抗を要求するかどうか
- 冬期気象条件が厳しいために、すり減り抵抗、路面上に形成される氷の危険性、融氷剤使用量について特段の考慮を必要とするかどうか

種々の低騒音路面を評価する際に考慮すべき観点は別の文献²⁰⁾に示してある。オーストリアにおける騒音低減効果、すべり抵抗およびコストの評価については図-8・3に示した。小粒径骨材露出工法は、かなりコスト-便益比が高いといえる。

表面	必要条件	dB (A)		μ_{SRM}		$\ddot{O}S / m^2$		
		100	102	0,4	0,6	20	40	60
バーラップ仕上げ	シリカ砂							
露出骨材	$LA \leq 19, PSV \geq 50$							
ポーラスコンクリート	暖冬							
サーフェスドレッシング	$LA \leq 19, PSV \geq 50$							
研磨	—							

注) dB(A) : タイヤ-路面騒音、トレーラによる測定、100 km/h、溝ありPIARCタイヤ、
2つのマイクの平均値

μ_{SRM} : すべり抵抗、Stuttgarter Reibungsmesser

図-8・3 騒音低減コンクリート路面のコストと便益

9. まとめ

9. 1 総括

(1) 路面の「騒音性」は、通過交通による方法（これは、住居地域の状態に相当）か、トレーラーによる方法（これは、タイヤから生ずる音のみ測定）のどちらかで判断される。最近まで信じられてきたことと異なり、タイヤが同一であれば、異なる方法で測定しても、測定結果に明確な相関があることが明らかとなった。また、密粒路面とポーラス路面とを区別できることもわかった。

従来報告されていた差異は、タイヤが異なることが大きく影響していたといえる。ドイツでは、4種の異なるタイヤを備えたトレーラーを作成した。これによって、1種類のタイヤによる評価よりもより正確に路面評価ができるであろう。しかし、将来的にはたった1㎡の面積であってもレーザー測定することで、タイヤ-路面騒音レベルを、満足しうるほど正確に予測できるに違いない。

(2) ポーラスコンクリートが、日本、オランダ、フランス、スペインで開発されている。ただし、重交通路線への適用については、さらに研究が必要である。40 cmにも達する厚層のポーラスコンクリートは、都市内道路では極めて重要である、これは、低周波数領域の騒音をも吸収するからである。かなりの量の凍結防止剤を用いたとしても、氷の形成を完全に防ぐことは困難であるため、ポーラスコンクリートの適用は冬季の条件が穏やかな地域に限られよう。

(3) 密粒路面については、新設舗装および既設舗装の両方に対して、路面の低騒音化のための十分にテストされた方法がある。

(4) バーラップ仕上げは、縦方向スムーサ（あらゆる騒音低減路面にとって不可欠）と組み合わせることにより、タイヤ-路面騒音を4から5 dB (A) ほど、これまでの施工法（横方向ブルーム仕上げ、縦方向スムーサなし）よりも低減させ、小粒径骨材アスファルトの騒音とほぼ同程度にする。バーラップ仕上げは、容易で安価な工法ではあるが、すべり抵抗は、横方向ブルーム仕上げより低い。そこで、高いすべり抵抗を得るためには、モルタルを多く含むコンクリートとし、約2 mm深さの縦溝をプラスチックのブラシやメタルの歯を使って形成する必要がある。どの場合でも、モルタルはすべり抵抗の高いものとしなければならない。すなわち、砂の1/3以上はシリカ質のものをを用いることが必要である。

(5) 骨材露出工法は、高いすべり抵抗値と騒音低減効果の両方の特性がある。最大寸法8 mmの骨材を用いれば、そのタイヤ-路面騒音は、新設のポーラスアスファルトの騒音と、それが2、3年経過したものとの騒音との中間程度の値となる。ここで重要なことは、骨材としてすべり抵抗およびすり減り抵抗の高い3/7 mmあるいは4/8 mmの碎石を用いることと、2層施工とすることである。したがって、これらの施工に合うようにペーパーを改良する必要があり、また、施工者はそれになれるまで若干の時間を要するであろう。このような路面を施工するために追加すべきコストは、1㎡あたり25 シリング以下である。さらにコストを下げ、施工を容易にするための新しい添加剤（遅延剤、養生剤）が、開発中で

ある。

(6) 研磨(3mm厚のダイヤモンドディスク使用)あるいはエポキシ樹脂と3/4mm碎石を用いたサーフェスドレッシングにより、既存のコンクリート舗装を低騒音化することもできる。セメント処理サーフェスドレッシング(ポリマー添加)が、安価な代替法として研究中である。

(7) 今日、騒音低減が重要な課題となっているが、将来は、湿潤条件下の事故率を低減させるために高いすべり抵抗も必要となるであろう。

9. 2 セッションI「タイヤ-路面騒音の測定と路面形状」の結論

U. Sandberg氏の報告の重要な点は以下のとおりである。

タイヤ-路面騒音測定のための主な方法には、通過交通による方法とトレーラを用いた方法がある。通過交通による方法には、SPB (Statistical Pass-by Method) とCPB (Controlled Pass-by Method) がある。トレーラを用いた方法には、1つの試験輪(リブ付きあるいはリブ無しのPIARCタイヤ)を用いたものと4つあるいは5つの異なる車輪を用いたもの(および追加のトラック用タイヤを備えた特殊トレーラ)がある。

SPBは、実際の道路周辺部の騒音状態に最も近いものといえるが、多くの労力を要する。トレーラを用いた方法は多くの国で採用されているが、この測定法は、ポーラス路面の吸収成分を2から3dB(A)程度過小評価するという問題があり、また、1種類のタイヤのみで測定した場合、タイヤと路面との相互作用により結果にひずみが生じるという問題もある。

測定法は早く統一することが望ましい。この作業は、ISO TC43 SC1 WG33によってなされている。この結果は、1994年にも発表される。

スウェーデンにおけるように5種類のタイヤを備えたトレーラを用いた方法(ドイツにおいては4種類のタイヤを用いての試験段階)で測定すれば、また、過小評価されがちなポーラス舗装の吸音効果に所用の修正が加えられれば、この2つの測定法にさらに良い相関が認められるであろう。

た。

Stehno教授が報告したように、路面のきめの測定技術は、かなり進んでいる。レーザースキャニングは、今日広く使われているが、タイヤ-路面騒音発生についての説明にはまだ限界がある。経験によれば、数cm以上の長い幅のでこぼこにおける深いきめが、騒音を増加させるということ、また、3-4mmほどの粒子による小さな幅のでこぼこにおけるきめ(5-8mmの露出骨材による洗い出し路面も同様)が騒音を低下させることがわかっている。これらの方法による低減の度合いは、古いコンクリート舗装(骨材の最大寸法30mm以上で、表面にはほとんどモルタル分が無く、縦方向スーサなしで仕上げられたもの)と比較して、トレーラによる方法で評価すると、6から8dB(A)である。すなわち、古いコンクリート舗装で108~109dB(A)、バーラップで縦方向にきめを仕上げたコンクリートで103dB(A)、最大寸法8mm骨材による露出コンクリートで99~102dB(A)、3/4エポキシ処理した新設コンクリートで1

01 dB (A) である。

これらの結果は、G. Descornet と U. Sandberg の 2 人の協力の下で実施した最近の研究によって、理論的にも確認された。彼らは、タイヤ騒音と路面のきめとの定量的関係について、異なる幅 (80 mm : 騒音発生、5 mm : 騒音低減) におけるきめの深さに基づいて、求めた。騒音性 E R N L (Estimated Road Noise Level) は次式で求められる。

$$E R N L = a \cdot L_{s0} - b \cdot L_s + 60 \text{ dB (A)}$$

ここで a, b は車種別、タイヤ種別および季節別の定数である。

本方法で推計された騒音値と実際の測定騒音レベルの相関関係は、十分妥当であった。S P B 値とトレーラ法の間の相関関係と同程度あるいはそれ以上の相関関係を示した。しかし、これはこの議事録に対して、議長がセッション後に追加したコメントである。たぶん 4 輪ないし 5 輪のタイヤを用いた (ポーラス舗装の吸音効果についても測定してあれば) トレーラ法であれば、測定法間の相関はより良くなるであろう。

9. 3 セッション II 「種々の路面におけるタイヤー路面騒音」の結論

(1) 用語

種々の機関からの報告を単純に比較するため、以下の項目に関して統一した定義が必要である。

(a) すべりおよび騒音に関する組織的方法

(b) 基本的用語

(2) ポーラスでないコンクリート舗装

①ポーラスでないコンクリート舗装についても、ポーラスアスファルト路面と同程度の低騒音のコンクリート舗装路面を形成しうる。これを達成する最良の方法は骨材露出工法である。これに関連して、Descornet と Fuchs の論文の図-4 は、多大な関心がもたれた。この論文は、他の良好な施工実績との関連から、騒音をコントロールするに必要なマクロテクスチャあるいはメガテクスチャの関わりを決定したことに意義がある。

②他の良好な施工実績との関連から言えば、施工中に、メガテクスチャをコントロールする最善の方法は縦方向摺動スクリード (スーパースムーサ) を用いることである。

③英国の経験によれば、滑り抵抗が等しいアスファルト舗装とコンクリート舗装について、発生する騒音レベルが同一であったとしても、コンクリート舗装 (横方向ブラシによるきめ) からの騒音の方が、高い周波数の騒音を生ずるために、主観的には、耳ざわりに感ずる。

(3) コンクリートブロック舗装

① (大きくもなく小さくもない) 中程度の大きさのコンクリートブロックでは、ブロック間の目地が、騒音特性に影響する。

②表面が平滑で滑らかなブロックは、タイヤ/ブロック界面で発生するの騒音は最も小さい。

③中程度の大きさのコンクリートブロックでは、敷ならしパターンの軸方向は、無関係である。ただし、

これは、大きなサイズあるいは小さなサイズのブロックにはあてはまらない。

9. 4 セッションⅢ「ポーラスコンクリート」の結論

(1) 本課題については、現時点では重交通路線への適用事例が十分でないので、結論を出すには尚早である。

(2) これまでの研究（オランダ、日本およびスペインで実施された）によれば、約1, 000Hzの周波数域における騒音について最大の吸音性を示す条件は、以下の通りである。

①版厚が4～5 cm

②空隙が25%以上

③骨材の最大寸法が8あるいは10 mm

フランスでは、都市内施工において、厚さを15から40 cmと増して、吸音の領域を低周波数領域まで拡大している。

(3) これらの舗装の施工では、現場適用にあたっては、以下のような解決すべき課題が残されている。

①ポリマー添加したコンクリートの最適配合設計

②アスファルトフィニッシュあるいはコンクリートスリップフォームペーパーによる敷ならし

③“wet in wet”あるいは“wet on dry”施工法

④コンクリートの養生

(4) ポーラスコンクリートの長期的な挙動についても、以下の点が解明されていない。

①舗装の耐久性

②空隙の目詰まりと、その後の維持管理

③冬季における挙動と冬期の維持管理

④路面性状（すべり抵抗、騒音）の経年変化

9. 5 セッションⅣ「縦方向のきめ」の結論

Messrs、Jofre、Albrecht、Kampladeからの報告および討議より以下の結論が得られた。

(1) いかなる場合にも縦方向スーサの使用が前提である。

(2) 縦方向のきめのための方法としては；

①バーラップ

②プラスチックのブラシ

③メタルの歯

④プラスチックブラシとメタル歯の組み合わせ

⑤プラスチックのくし

⑥バーラップとプラスチックブラシ

(3) 騒音測定

縦方向のきめが、騒音の発生に大きな影響を及ぼす。そこで種々の最適なきめが開発されている。

①スペインでは、バーラップ仕上げとプラスチックブラシ（ないしはくし）の組み合わせが一般的な方法である。

②ドイツでは、バーラップ仕上げが一般的な方法である。このときのタイヤ路面騒音は通常の密粒アスファルトと同程度である。

(4) すべり抵抗

騒音が低く、かつすべり抵抗の強いコンクリート舗装は可能である。とくに、スペインで開発された縦方向きめ仕上げ法を用いたときにはそうである。一方、縦方向のきめは横方向のきめに比べてすべり抵抗は小さいかもしれない。きめを最適化する場合には、騒音とすべりの両方を考慮する必要がある。砂分のうち少なくとも30%はシリカ質であることが必要である。

(5) 耐久性

20年間縦方向仕上げを用いてきたスペインにおける経験では、耐久性は良好な状態にある。

結論

(1) 適切な縦方向のきめであれば、コンクリート舗装のタイヤ路面騒音を低減することができる。

(2) バーラップあるいはプラスチックブラシあるいはその両方と縦方向スモータを組み合わせる手法が一般的である。

(3) 十分なすべり抵抗を確保するには、シリカ質の砂を用いるのがよい。

9. 6 セッションV「骨材露出工法」の結論

骨材露出仕上げは、新設、打換え、再生コンクリート舗装にも使える。また、現時点では、低騒音を確保するうえで、最も確実な方法と考えられている。しかし、この技術は、容易に適用できるというものではない。施工者は、この技術を習得する必要があるし、一般的には、最適な結果が得られるまでには、何度も経験が必要である。

最適のマクロテクスチャと低いメガテクスチャを得ることが重要である。低いメガテクスチャは、骨材露出仕上げをするまえに、以下の方法を採用することで得られる。

①縦方向スーサ

②できるだけ小さな骨材最大寸法

骨材露出すべき骨材のサイズは4から7mm（少し、劣るが4から8mm）が最適のマクロテクスチャを得るうえでは望ましい。モルタルには、0から1mmの砂（0から2mmでは少し劣るが、可能である）を使用すべきである。粗骨材は、 $PSV \geq 50$ 、 $LA \leq 19$ とすべきである。

4から8mmの碎石を用いた場合、得られるマクロテクスチャの深さは通常0.9mm（サンドパッチ法）である。プロフィルのピークは約10mm間隔で生ずる。

骨材露出法としては以下のうちのいずれかをとる。

1. ロータリーブラシによって、硬化しかけたコンクリート路面上に散水とブラッシングを同時に実施。

これは古い手法であり、今日では採用されない。

2. コンクリート打設後すぐに、フレッシュコンクリート上に適量の遅延剤を散布する。打設後24から30時間後、コンクリートが硬化してから、表面を機械によりブラシがけして、未硬化のモルタルを除去する。ここでは、最小限の水を使う。

0から32あるいは0から20mmの碎石を用いるベルギーの方法は施工し易いが、騒音低減の転ではオーストリアの方法よりも効果が少ない。オーストリアでは、古いコンクリート舗装のリサイクルが一般的であるが、そのとき一体打ちする3から4cmの最上層には骨材露出仕上げをする。

日本では、最大寸法が40mmの骨材を用いてきており、その施工経験は良好である。しかし、この工法の採用は、騒音低減が主目的ではない。（注：トレーラ法が用いられているので、この手法が正確にポーラス路面の騒音性を評価できるかどうか、に多大な興味を示された）

オランダの20mm碎石を用いた例（ここでは、ベルギーの骨材露出工法と比較しているが）では、骨材最大寸法を32mmから20mmにするとかなりの騒音の低下を示していた。このことはMr. Onstenkにより指摘された。さらに彼は、ベルギーの舗装は、オランダの舗装よりも高いメガテクスチャを持っており、このため騒音に差があることを示した。

2種類の試験工区におけるオーストリアでの経験によれば、最適なきめでは、既設コンクリート舗装に比べて5から7dB（A）ほど騒音が小さくなり、縦方向にきめを仕上げられた路面に比べて、0から2dB（A）ほど騒音が低くなった。そのノイズレベルは2、3年経過したポーラスアスファルトとほぼ同じであることも強調された。排水性アスファルトは、新設の場合はより有効であるが、すぐにその有効性は低下する。オーストリアにおける冬期の挙動については、骨材露出路面の方が排水性路面より良いようである。氷結条件下では、ポーラスアスファルトには、安全性の問題がある。

一般的な論点は、騒音低減方法としてポーラスアスファルトと競合する必要性についてであった。なぜ、もっと一般的でもっと頻繁に使用される密粒アスファルトと比較しないのか。しかし、多くの状況のもとで騒音低減が必要とされており、最も可能性の高い手法が使われるべきであると結論づけた。

結局、骨材露出工法にかかわる追加費用は、小さく、約10%のコストアップですむ。そして、リスクは、多かれ少なかれ、この追加費用としてのロスの範囲内である。

9. 7 セッションVI「既存のコンクリート舗装の路面」の結論

このセッションの目的は、徹底的に検証したり、技術水準をまとめたりすることではなく、幾つかの国で開発されている新しい技術（例えば、縦方向研磨、合成樹脂を用いたサーフェスドレッシング、ポリマー添加セメント処理サーフェスドレッシングのような革新的研究および実績）に焦点をあてることである。

縦方向研磨技術に関しては、騒音低減効果でいえば、5から6 dB (A) 程度のものである。そのコストは、主に用いる骨材の性質と、研磨深さに依存し、かなりバラつくものである。

この工法は、薄層アスファルトオーバーレイと比肩しうるほどの代替工法であり、特に、目地部の耐久性は向上する。この工法により解決される問題は、さらに多く、平坦性、メガテクスチュア、マクロテクスチュア、ミクロテクスチュア等の騒音低減やすべり摩擦に関連するものである。

小粒径あるいは極小粒径の碎石を用いたサーフェスドレッシング工法も騒音、すべり抵抗、耐久性の間でバランスのとれた有効な手法である。

この方法では6から8 dB (A) の騒音低減が見込めそうであるが、既存コンクリート舗装に大きなメガテクスチュアがあると、その効果は期待ほど高まらないだろう。したがって、本工法を選択する前に、舗装の評価の問題が生ずることになる。

セメント処理サーフェスドレッシングは、革新的で将来性のある工法である。既設舗装に良好な処理を施すには十分に注意しなければならない。ピーニングもまた優れた路面修復技術であり、土台の清掃に効果的である。（1991年マラケシュ大会における報告）

最終的には、本セッションは以下の3主要意見を指摘したい。

(1) このワークショップは騒音の評価と測定に関し、共通言語を用いることの困難性を示した。技術を比較するための手法の標準化と、舗装と表層の分類のための完璧な手法を必要としている。

(2) 道路により条件が異なり、我々は広範囲な技術が必要である。最適工法の選定は、経済的観点に基づくかねばならないが、同時に技術的観点にも基づかねばならない。我々には評価の基準が必要であり、より適切な測定装置が必要である。我々は、コンクリート舗装に関するPIARC委員会が本問題に関し、勧告すれば、大いに喜びとするところであり、またそれに騒音測定に関する情報が含まれることを提案する。

(3) 最後に、興味の領域をこの限定された範囲に押しとどめないよう努力が必要である。騒音を小さくすることは重要ではあるが、その他の要求を無視してはならない。新しい低騒音舗装は、構造においても表面性状においても良好なものでなくてはならない。

9. 8 セッションVII「：耐久性、コストおよび便益」の結論

現在、騒音低減のためのコンクリート舗装としては幾つかの技術がある。低騒音は、ユーザーが要求する一連の表面性状のある1つの特性である。したがって、施工の容易性、耐久性、コスト/便益比も考慮した最適化には、妥協も必要である。

耐久性に関しては、天候が極めて重要である。特に冬季の条件が厳しい地域（頻繁な塩分散布、スパイクタイヤの使用等）ではこのことがいえる。コンクリート版が存続する限り、解決しなくてはならない。

縦方向きめ仕上げや骨材露出工法は多年にわたり、幾つかの国で、十分満足すべき使われ方をしてきたが、

表面処理やポーラスコンクリートのような工法は、極めて最近のもの、あるいは、開発中のものである。とくに、ポーラスコンクリートについては、結論をつけるにはあまりに時期尚早であるが、将来的には有望である。既に結論つけられているその他の方法についてもさらに改良が望まれる。

PMS手法につながる経済的評価についても推奨される。たとえ幾つかのパラメータが十分にわかっていないとしても、維持作業中の利用者の遅延や、事故のような最も鋭敏な因子は、この分析で指摘されるべきである。いかなる場合でも、追跡調査を行い、種々の条件下でのパフォーマンスデータとメンテナンスコストを収集することが必要である。

9. 9 種々の低騒音路面の評価

表- 9・1 コンクリート舗装の低騒音化のための各技術の得失

	縦方向のきめ	骨材露出コンクリート	エポキシ路面処理	ポーラスコンクリート
すべり抵抗	±	+	+	±
排水	±	±	±	+
跳水と水煙	±	±	±	+
反射率	±	+	+	+
タイヤのすり減り	±	±	±	+
ころがり抵抗	+	+	+	+
車外騒音	+	+	+	+
車内騒音	+	+	+	+
耐久性/維持管理	±	+	±	±

表- 9・1 は、コンクリート舗装の低騒音化のための各技術の、その他の路面特性における得失（良い影響を+、悪い影響を-）を概観するものである。

どの工法も、ころがり抵抗、車外騒音、車内騒音については良い影響を与えていることがわかる。

縦方向のきめは、主にスペインで実施されており、すべり抵抗と耐久性に関しては、議論の余地のある効果を示している。しかし、最も安価で最も施工の容易な工法とはいえる。

小粒径サイズの骨材露出工法およびエポキシサーフェスドレッシング（高く、耐久性のある付着強度が得られれば）は、すべり抵抗と耐久性の点で最も有効である。しかし、ポーラスコンクリートよりは排水性、水はね、水しぶき、タイヤのすり減りに関しては、劣るであろう。

ポーラスコンクリートは、ポーラスアスファルト摩耗層と同様に、騒音吸収と、車両走行時の水はね、水しぶきの減少に関しては、有効である。しかし、現時点では、特に冬季におけるすべり抵抗および耐久性、空隙の目づまりに係る維持に関しては議論の余地がある。

参考文献

- [1] Sommer, H.: Möglichkeiten zur Herabsetzung des Rollgeräusches bei Betonfahrbahndecken. Straße und Autobahn, Heft 7/1990.
- [2] Descornet, G.; Sandberg, U.: Road Surface Influence on Tire/Road Noise. International Conference on Noise Control, Proceedings, Miami 1980.
- [3] Sommer, H.: Herabsetzung des Rollgeräusches. Abschlußbericht zum Forschungsauftrag Nr. 3.038 des BMWA, Wien, Dezember 1991. Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 000, BMWA, Wien 1992.
- [4] Stehno, G.: Verringerung der Lärmemission von Belondecken durch Aufbringung von Rauhbelägen auf Epoxidharzbasis. Zement und Beton, Heft 2/1991.
- [5] PIARC-Bericht: Ways of Reducing Tyre-Road Noise on Concrete Pavements. XIXth World Road Congress, Marrakesh, September 1991, Technical Committee on Concrete Roads, Reports B.
- [6] Noise-Reducing Concrete Surfaces. Proceedings of a PIARC-Workshop held 24/25 February 1992 in Vienna. Mitteilungen aus dem Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Heft 41. Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Wien 1992.
- [7] Sandberg, U.: Measuring method for comparing noise on different road surfaces. Status report ISO/TC 43/SC 1/WG 33, October 1991.
- [8] Ejsmont, J. A.: Classification of road surfaces with respect to traffic noise by using the trailer method. VTI meddelande, Nr. 66A, Linköping, 1992.
- [9] Pauls, H.: Messungen mit dem Reifengräschen-Meßanhänger der TU Berlin auf der Versuchsstrecke Großburgwedel der BAB A7 — aktuelle Ergebnisse. Auszug aus Bericht, TU Berlin, 1992.
- [10] Matsuno, S.: Experience with Porous Concrete Pavement. Manuscript, Tokyo, 1990.
- [11] Onstenk, J. J. C. M.: Experiments with porous concrete in the Netherlands. Annex A: Brite/Euram research program. Annex B: Exposed surface aggregate. Intron, Sittard, March 1992.
- [12] Pipien, G.; Christory, J.-P.; Combelles, F.; Raimbault, G.: Porous structured road. 1992.
- [13] Matsuno, S.: Topics on concrete pavement surfaces and porous pavements in Japan. Manuscript, Tokyo, 1992.
- [14] Oleaga, L. G.: Porous Concrete: Brite-Euram BE 3415—89. Summary of Spanish Laboratory tests, Manuscript, Madrid, 1992.
- [15] Kamplade, J.: Verminderung von Lärm und Unfallrisiko bei Fahrbahndecken aus Beton — Herausforderung und Lösungswege in der Bundesrepublik Deutschland. Manuskript, Februar 1992.
- [16] Jofre, C.: Spanish practice and experience with longitudinal finishes, Madrid 1992.
- [17] Descornet, G.; Fuchs, F.: Concrete Paving Texture. Manuscript, Brussels, 1992.
- [18] Kloner, M.: Zementgebundener Rauhbelag. Zement und Beton, Heft 2/1991.
- [19] Pichler, W.: Economic Evaluation of Different Surfaces. Klagenfurt, 1992.
- [20] Fuchs, F.: The various techniques for obtaining low-noise concrete surfaces and their effect on other surface characteristics. Manuscript, Brussels, 1992.

転圧コンクリート舗装（RCCP）の道路への利用に関する報告

目 次

1. はじめに	3 5
2. 材料および配合設計	3 7
3. RCCPの構造設計法	4 5
4. 施工	4 7
4. 1 練り混ぜと運搬	4 7
4. 2 敷きならし	4 7
4. 3 締固め	4 8
4. 4 目地	5 3
4. 5 養生と表面保護	5 7
5. RCCPの供用性	5 9
6. 経済的見地	5 9
7. 結論	6 0
参考文献	6 1

1. はじめに

舗装への利用ということに関していえば、転圧コンクリート（RCC）は、セメント処理粒状材料と舗装コンクリートの中間にあるものと位置付けられよう。すなわち、セメント安定処理路盤に用いられると同じ施工機械を用いて建設され、また、セメント処理粒状材料と同様に、ローラによって転圧できる程度に含水量を減らした超硬練りの材料である（図-1・1）。一方、そのセメント量やその他の特性は、通常の舗装コンクリートとほぼ同じである。したがって、転圧コンクリート舗装（RCCP）は、直接交通荷重に耐えられるものであるといえ、そこがセメント安定処理路盤とは異なる。

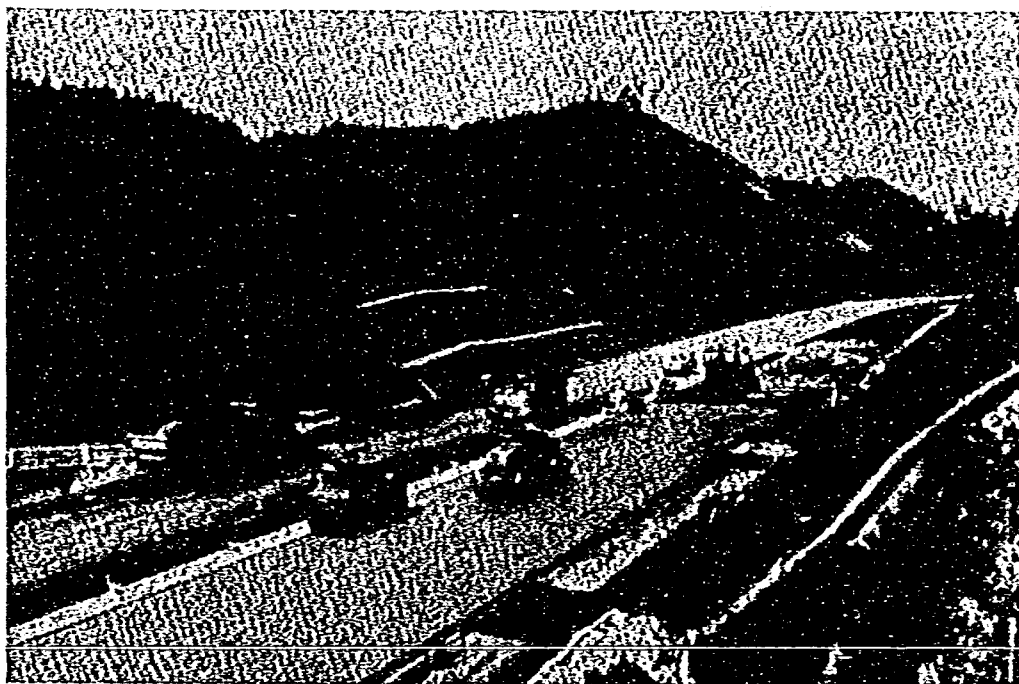


図-1・1 ローラによる転圧

RCCPは、全く新しい舗装技術というわけではない。初めてのコンクリート舗装は、1865年にスコットランドで施工されたことが報告されているが、現在の舗装用コンクリートを用いた施工はその50年後に始まっているのである。つまり、第一次世界大戦前後にはコンクリート舗装は多くの国では転圧によって建設されていたのである¹⁾。1930年代に入り、コンクリートを振動させる技術が、舗装も含む土木のあらゆる分野で導入され始め、ローラによる締め固めは禁止された。これは、当時の施工機械では振動締め固めを通じて得られる品質を得られなかったためである。しかし、ローラ転圧はセメント安定処理路盤の施工では使用されてきた。この分野における改良が、1970年代に現在のRCCPを開発するときに大いに役立った。当時は、瀝青材のコスト上昇から瀝青材の使用を抑える代替工法が重要となった時期であった。

今日のタイプのRCCPは、1970年スペインの軽交通道路に初めて登場したことが知られている²⁾。重交通道路における適用では、1976年カナダにおいて林業用に実施されたのが最初である³⁾。1980年以降、別の少なくとも10ヶ国（フランス、アメリカ、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、デン

マーク、ドイツ、オーストラリア、アルゼンチンおよび日本)で、それぞれ10万㎡以上の転圧コンクリート舗装の施工を行ってきている。一方、7ヶ国(チリ、ウルグアイ、メキシコ、コロンビア、エクアドル、アイスランドおよび南アフリカ)では、RCCPはほとんど用いられておらず、試験施工として実施されているにすぎない。1990年末時点で、総面積は1200万㎡に達するが、そのうち半分はスペインでの施工実績⁴⁾である。このうち150万㎡については、自動車専用道路や主要高速道路に施工されているものであり、平坦性確保の点からRCC版上にアスファルト表層を被せた構造となっている。残りの1050万㎡は、副次道路や工業地域内あるいは軍事用の道路等の高速走行を要求されない道路に採用されており、多くの場合、アスファルト表層は被せてはいない。

このように、RCCPの適用が拡大しているのには幾つかの理由がある。まず、第1に、RCCPの施工には特別な機械は不要であり、普通に用いられ他の施工に流用できる一般的な機械を用いていることである。これに加えて、施工が簡単であること、省力化施工であること、高い生産性を有することから、その他の舗装施工技術に比較してかなりの初期建設費の削減ができる。さらに、既設舗装の強化のためにRCCPを用いる場合には、締固めにより骨材のかみ合わせが安定するため、早期に交通開放することを可能にする⁵⁾。

もちろん、RCCPにも幾つかの課題がある。既存の施工機械で得られる平坦性は、高速走行に耐えられるほど良くはない。そのため、数cmのアスファルト表層を被せるのがこれまでのところ必要である。一方、最近の施工機械の開発によって、平坦性は向上しつつあることは強調しておかねばならない。第2に、施工管理には十分注意する事が大事である。というのは、RCCPの供用性は、RCCPの締固め不足と、RCC内の水分変動にかなり影響されるためである。長期供用性に関するデータの不足も、数カ国で採用するのをためらわせている一要因でもある。

2. 材料および配合設計

骨材に関していえば、一般的には骨材の最大寸法は20mmもしくは22mmあるいはそれ以下にする傾向にある。これにより、混合を容易にし、平坦性を改善するだけでなく分離を防ぐことも目的としている。唯一の例外はスペインの低交通道路での事例であり、ここでは最大寸法38mmの骨材が使用された。ただし、この場合にはプロペラ仕上げを実施して、RCCPの施工で生じた表面の空隙を充填した。

幾つかの国では、粒度規格を設け、骨材の合成粒度はその中に入らねばならないとしている。フランス⁶⁾とスペイン⁷⁾では、セメント量も、この粒度曲線に含まれている。表-2・1は、スペインの粒度範囲を示しており、ここでは、最大寸法として16mmと20mmが認められている。75ミクロンフルイ目通過量については規定を設けることが多い。一般に、締固めたRCCに十分な骨材のかみ合わせをもたせるため、碎石を多めに用いることが多い。

表-2・1 骨材とセメントの合成粒度範囲（スペインの仕様⁷⁾）

フルイ目	フルイ目通過量 (%)	
	最大寸法：16mm	最大寸法：20mm
25mm		100
20mm	100	85-100
16mm	88-100	75-100
10mm	70-87	60-83
5mm	50-70	42-63
2mm	35-50	30-47
400 μ m	18-30	16-27
80 μ m	10-20	9-19

骨材は、少なくとも2つに分別されたもの、例えば0-5mmと5-20mm、を用いるべきである。特に平坦性を必要としない場合にのみ、骨材分離の少ないピットラン骨材あるいはバンクラン骨材や、粗細骨材をあらかじめ混合して、単粒サイズとしてストックパイルされたものを用いてもよい。

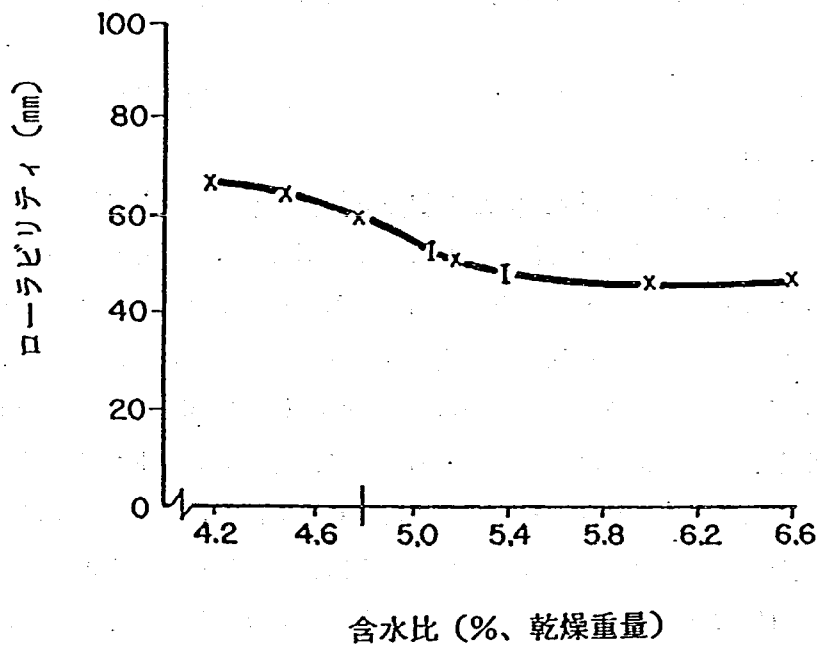
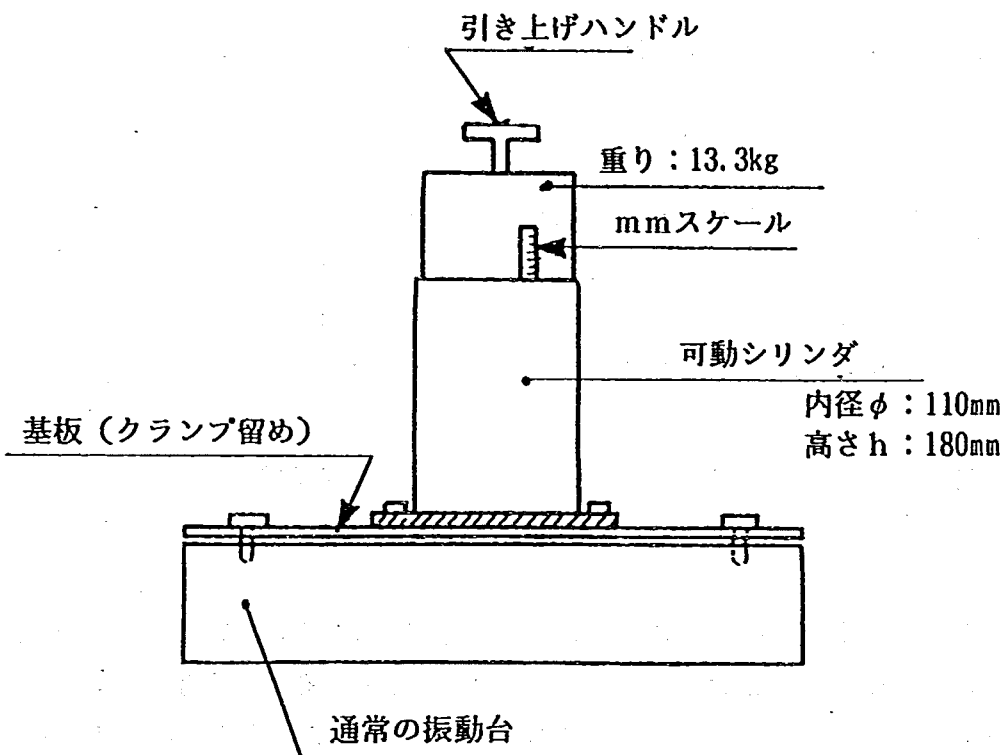
オーバーレイ工事では、締固められた後の混合物に高いかみ合わせが得られるような骨材を選ぶのが重要である。フランスで実施された包括的な研究によって、このような骨材が選ばれた場合、RCCは遅滞なく交通開放できることが示された。かみあわせは直接支持力試験によって評価できる。これは、CBR試験に用いると同一の装置を用いて、締固めたフレッシュな供試体を実施するものである。直接支持力指数が65以上であれば、RCCには十分な骨材のかみ合わせがあると考えられている⁸⁾。碎石を用いた場合には、こ

の値を上回るとは簡単である。

セメント量に関しては、乾燥重量で10～17%、単位体積重量で $300 \pm 30 \text{ Kg/m}^3$ が一般的である。セメントとフライアッシュの組み合わせも、フランスやスペインで使用されている混合セメントと同様によく使われている。スペインでは、活性添加材の割合は通常50%を越す⁹⁾。これらのセメントは普通ポルトランドセメントより安価であり、加えて凝結時間を著しく遅らせるので、施工性が改良できる。さらに、フライアッシュはRCCのワーカビリティを改善し、ひびわれが発生しにくくなる効果もある。これは舗設時の気候が温暖である場合には特に有利となる。気候が寒冷である地域においては、フライアッシュの使用は別の理由から評価される。フライアッシュの添加は凍結融解抵抗性を減少させる場合もあると考えられている。したがって、厳しい冬期を有するスカンジナビアの国では、フライアッシュは使用されていない^{9) 10)}。シリカフュームに関しては、バインダー重量の10%までの使用であれば、高い強度と耐久性のような良好な性状をもたらすことが、スウェーデン⁹⁾、ノルウェイ¹⁰⁾、デンマーク¹¹⁾およびオーストラリア¹²⁾で報告されている。

セメント安定処理材料と同様に、含水比は4.5～6.5%（乾燥重量比）である。水量の設定に関しては、2つの手法がある。修正プロクター法やKANGO振動ハンマを用いた方法などの締固め法では、一定範囲の含水比の供試体を締め固めることで、乾燥密度と含水比の関係を求める。最適含水比は、含水比と密度の関係曲線で最大値を示すところと定義する。修正Vebéコンシストメータやスウェーデン型RA装置⁹⁾のようなコンシステンシー試験は、フレッシュな材料の供試体に、振動と載荷重を加えて最適なワーカビリティを見出すものである。よく知られているように、Vebé法では、コンシステンシーの尺度は、コンクリートが完全に締固められるまでに要する振動時間（秒単位）であらわす。室内実験によれば、通常の載荷重より重い載荷重22.7kg（50lb）の下での修正Vebé時間が30から40秒の時はRCCPの混合物にとって最適のようである。スウェーデン法（図-2・1）では、20秒後に材料が沈下するものは、“転圧性（ローラビリティ）”あるいは転圧できる能力があるといわれる。これらコンシステンシー測定装置の幾つかは、含水比-密度曲線を求める場合あるいは供試体を作成する場合にも用いることができる。これらの試験法では、突固め法ではしばしば見られる突固め時の骨材の破壊するほどの強烈な衝撃荷重は受けない。これらの理由により、この試験法の使用が増加している。

減水剤や硬化遅延剤を用いている国もある。硬化遅延剤は、フランスで一般的に用いられており、仕様書⁶⁾で決められているワーカビリティ時間（表-2・2）を確保すること、すなわち、セメントの硬化凝結が始まらないので、内部の構造を壊すことなく材料を締固められる時間的余裕を確保することを目的としている。AE剤については限られた範囲でしか使用されていない。室内調査によれば、混合物中に適切に空気が連行され、凍結融解のダメージの恐れが少なくなることが示されている¹³⁾。しかし、実施工で空気を連行したRCCを製造することに関する現実性はまだ立証されておらず、締固めたRCCに空気を連行することは、現在でも重要な課題である。



(a) ローラビリティ測定のためのRA装置

(b) 含水比によるローラビリティの変化

図-2・1 RA法

表-2・2 施工形態に基づく最小ワーカビリティ時間（フランスの仕様⁶⁾）

施工形態	ワーカビリティ時間
新設道路や即時交通開放を要しないオーバーレイ	
－ トリミングなしの全幅施工	6時間
－ 半幅施工	10時間
－ トリミングありの全幅施工	10時間
即時交通開放を要するオーバーレイ	12時間

RCCのワーカビリティ時間を求めるために、いくつかの試験法が提案されている。通常、超音波装置を用いる。フランスでは、供試体の硬化過程における超音波の伝播時間の変化を連続的にモニタしている。この伝播時間が初期値の60%¹⁴⁾にまで小さくなったときに、ワーカビリティ時間が終了したと考えられている。一方、スペインで開発された超音波エネルギーを測る方法¹⁵⁾は、さらに正確な結果をもたらすようである。ワーカビリティ時間は、温度条件に大きく左右される¹⁴⁾ため、温度制御できるキャビネット内で試験を実施する必要がある。

厳しい冬期を有する国々では、硬化後のコンクリートについて、強度試験の他に、凍結融解抵抗性や摩耗抵抗性に関する試験も実施されている。

強度試験に関しては、圧縮、曲げないしは割裂試験が規定されている。フランス⁶⁾や、スペイン⁷⁾では、3.3MPaの圧裂強度を、また低交通道路では2.8MPaの割裂強度を規定している。これらの値は、通常の舗装コンクリートで必要とされる曲げ強度とほぼ同一である。ドイツでは、RCCを表層として用いる場合には、40MPaの圧縮強度と3.0MPaの割裂強度を推奨し、また路盤として用いる場合にはそれぞれ30MPa、2.7MPaの強度を推奨している¹⁷⁾。試験材令は、用いるセメントの種類によるが、通常は28日である。しかし、スペインでは、活性添加剤を多量に含むセメントを多く用いることから、90日の材令での強度を規定している。これは、材令28日と90日では、強度が25%以上も上昇する¹⁶⁾からである。逆にスウェーデンでは、前述したように、RCC中にフライアッシュを入れることが許されていないが、ここでも材令28日における圧縮強度を40MPaとしており、これは通常の舗装コンクリートの場合と同一である⁹⁾。設計強度を決定するには、統計的な手法を用いる。したがって、RCCは、強度面での大きなばらつきを補うために、平均強度を通常の舗装コンクリートよりも高くしなければならない。また、オーストラリア³⁾における24時間、60℃での促進試験も特記するに値する。これは、材令経過による強度の増加傾向を示している（図-2・2）。

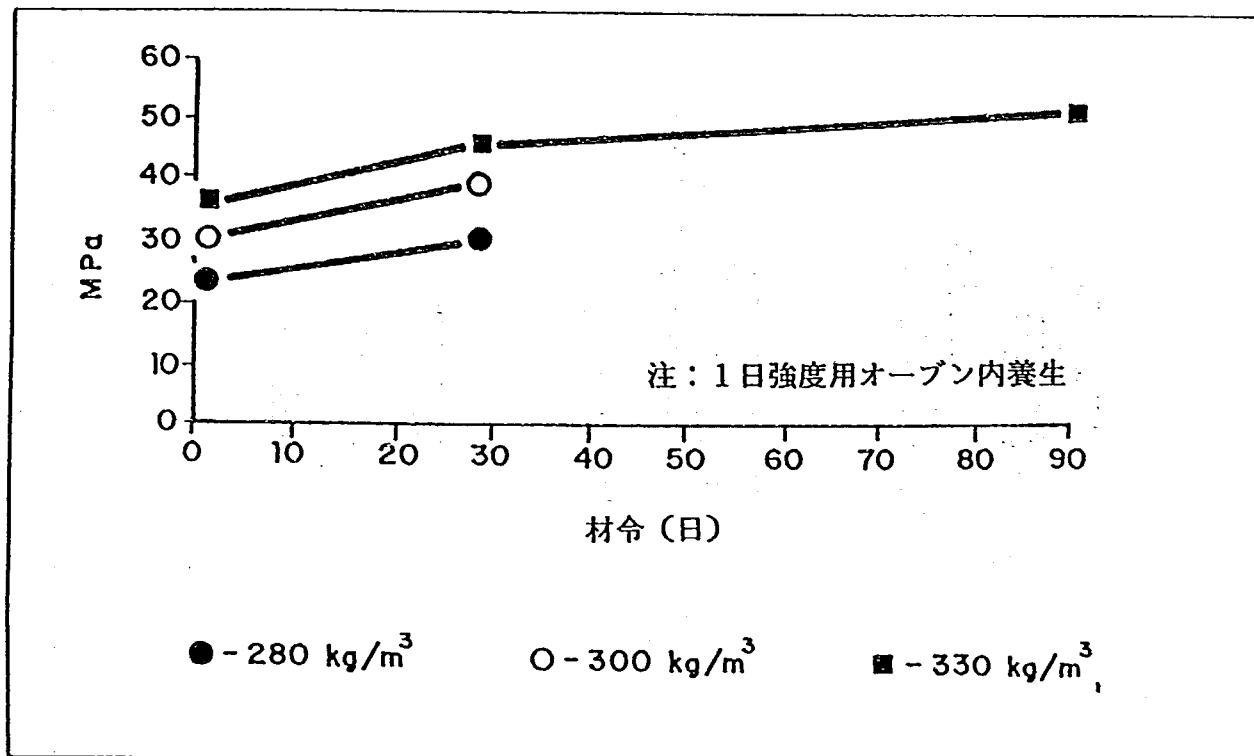


図-2・2 材令経過による強度の増加傾向

配合設計過程で単位水量を求めるのに用いられる試験装置の多くは、供試体の作成にも用いられている（プロクターハンマ、Kango振動ハンマ、修正Vebeコンシストメータなど）。フィンランドで開発された強突き固め試験機（図-2・3）では、供試体には圧縮応力の他にせん断変形も同時に加わる¹⁸⁾。曲げ強度試験のためのビームの作成も徐々に増加しつつある。RCCの供試体も、舗装コンクリートと同様に、振動台上で締め固めて作成するが（図-2・4）、振動時には材料の上に重錘の平板を載せるのが異なっている¹⁹⁾。RCCの強度は密度の大小に大きく影響を受ける²⁰⁾ので、供試体は現場で必要とされると同じ密度にまで締め固めるべきである。この点に関して、スペインでは最大修正プロテクター密度の97%の密度の供試体を作成することとしている²¹⁾。

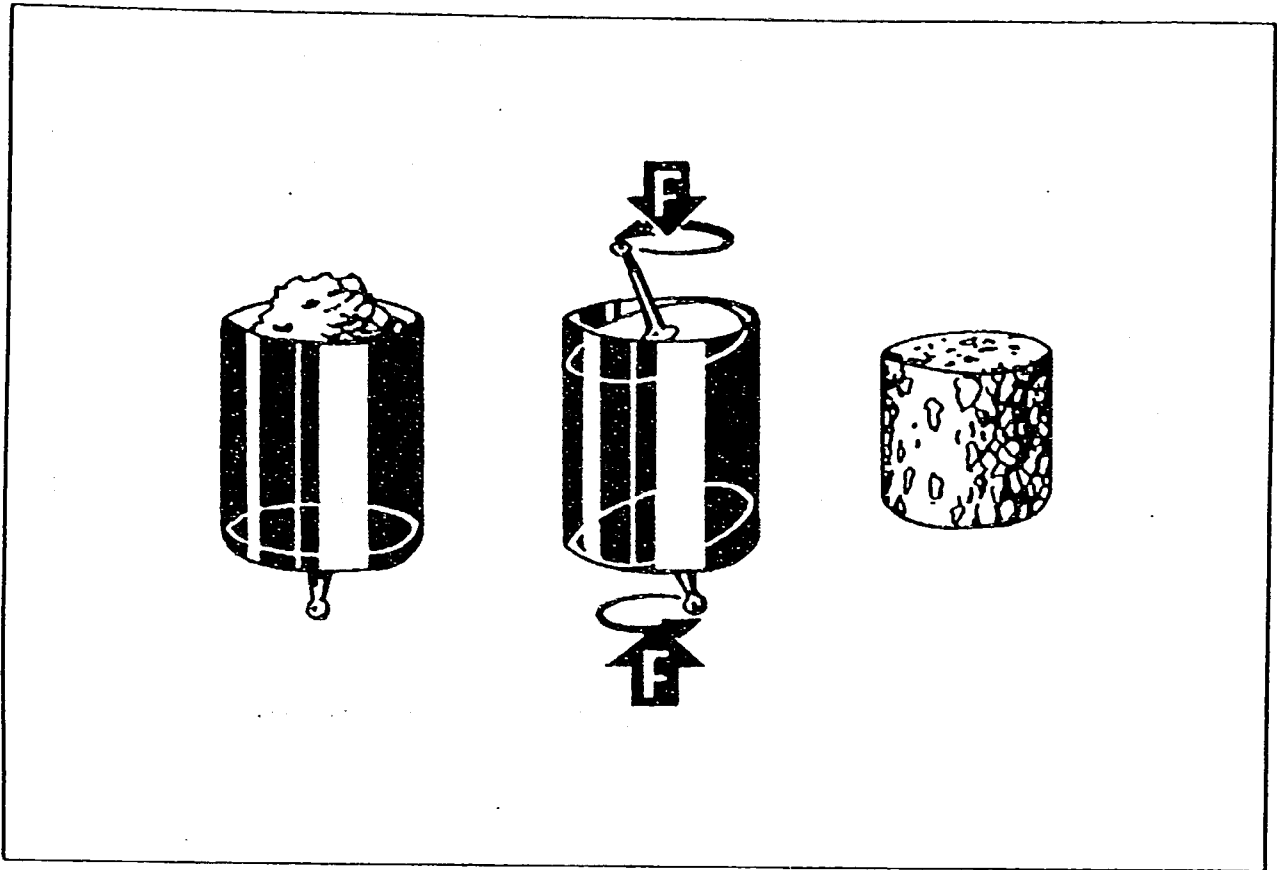


図-2・3 強突き固め試験機による供試体の突き固め



図-2・4 RCCビーム作成のための振動台

RCCの弾性係数は、通常の舗装コンクリートと同様に、曲げ強度と関係がありそうである（図-2・5）²¹⁾。

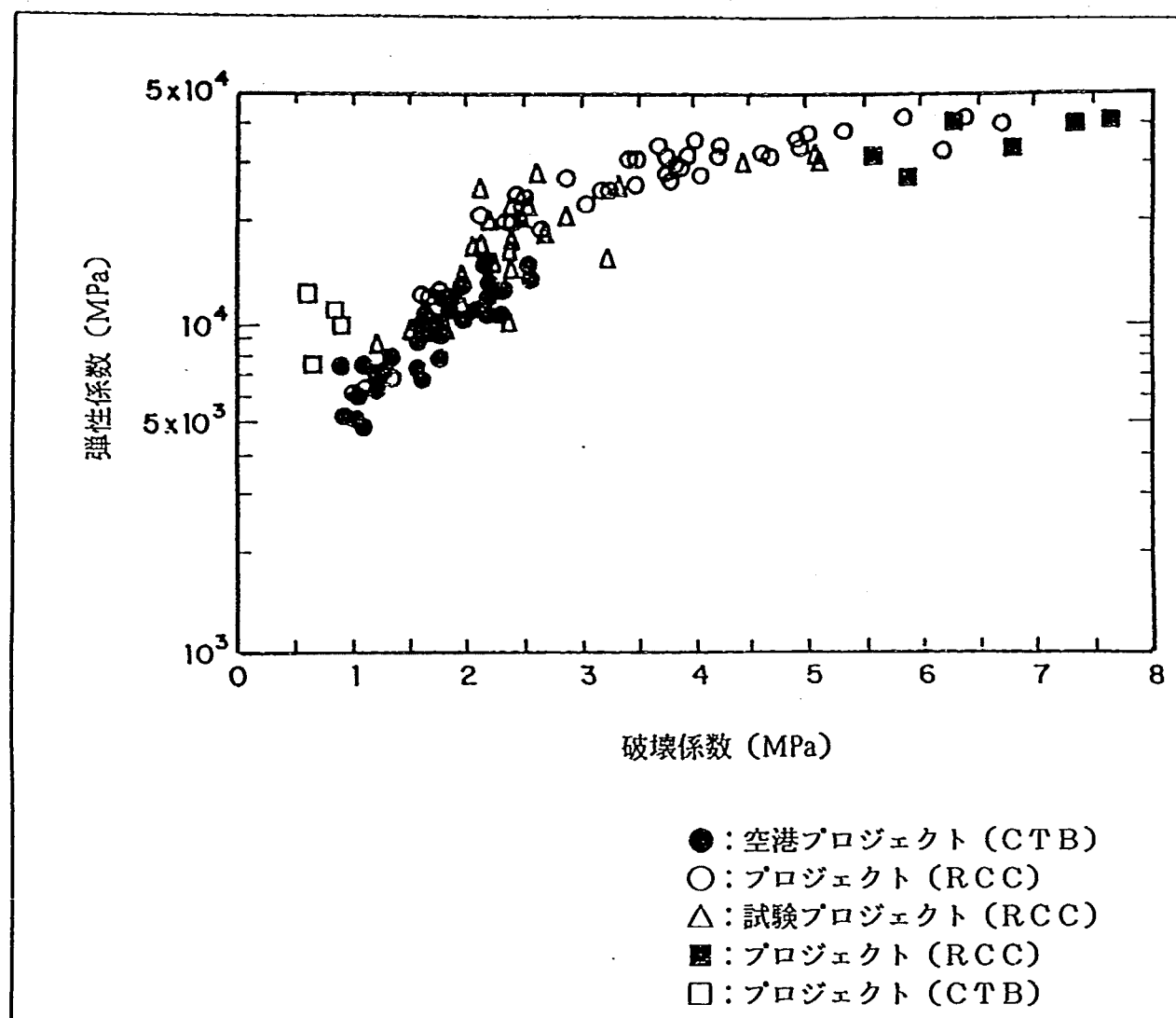


図-2・5 曲げ強度と曲げ破壊係数の関係

RCCの疲労特性については、米国¹⁹⁾と日本²¹⁾で試験が行われている。疲労曲線は、通常の舗装コンクリートで得られるものとほぼ同じである。

凍結融解抵抗性に関しては、RCCのためにはそれ専用の特殊な試験法を開発する必要があるとする意見もある。これは、ASTM C666やASTM C671等を適用した場合の室内試験結果は良くないにもかかわらず、寒冷地（米国の北部、カナダ、スウェーデン、ノルウェイ）のRCCPの供用性は十分満足すべきものがあるから²²⁾である。この点に関して、米国陸軍工兵隊は、実寸大の試験に基づき、RCCPはどんな気象条件下でも選択できる工法のひとつであることを認めた²³⁾。スウェーデンにおいて、スウェーデン規格SS 13 72 44に基づき、凍結融解抵抗性の試験がなされた。これは、合計56サイクルの24時間温度変化（-18℃から20℃）を課するものである⁹⁾。試験は3%の塩化ナトリウム水溶液中で

行われる。凍結融解抵抗性に関する要求水準は、56サイクル後の時点で、最大のスケーリング量を1.0 kg/m²以下とすることである。本試験でも、供試体は、現場で得られると同程度の密度とすべきである。

摩耗抵抗性も、冬期にスパイクタイヤが使用されている国では非常に重要な評価項目である。舗装コンクリートと同様に、摩耗抵抗性は強度に大いに関係がある。ノルウェイにおける実寸大のすり減りシミュレータによる試験によれば、RCCのスパイクタイヤに対する抵抗性はアスファルト舗装よりも良好であることが示された¹⁰⁾。ドイツにおけるサンディングディスク（ボーマー摩耗機）を用いたいくつかの試験では、平均的な荷重から厳しい荷重まで十分抵抗できる結果を示していた²⁴⁾。

3. R C C Pの構造設計法

R C Cを表層として使用する国の多くでは、R C C Pは、通常のコンクリート舗装と同様に設計される。

アメリカでは、ポルトランドセメント協会²⁵⁾も陸軍工兵隊²⁶⁾も、通常のコンクリート舗装用の既存の設計法を若干修正することで、R C C P用の構造設計法を開発した。陸軍工兵隊の設計法では、R C C Pの設計曲げ強度を通常のコンクリート舗装のそれより2.5%高くしている。これは、R C C Pが、ひびわれ部および縦施工目地における荷重伝達性の点で通常のコンクリート舗装より劣るためである。これに関連して、陸軍工兵隊の設計ポリシーは、打設後24時間以内に過度のゆるみが生じていない状態で目地を切削できれば、目地間隔を長く設定する(15から23 m)ものである点に注意しておかねばならない。一方、R C C Pは、ひびわれのランダムな発生を認めている²⁷⁾。

フランス²⁸⁾やスペイン²⁹⁾のような国々では、R C Cを用いた工法を含む舗装構造のカタログを発表している。表-3・1はフランスの、表-3・2はスペインの標準設計の一部を示している。どちらの国も、最大軸重を130 kNとしている。

表-3・1 フランスのカタログにおけるR C Cを用いた舗装構成(1988)²⁸⁾

交通区分	T ₂			T ₃		
商用車台数(台/日)	300-150			150-50		
R C C+表面処理(mm)	240	240	220	220	220	220
R C C(mm)	180	150	150	180	150	-
路床等級	P F ₁	P F ₂	P F ₃	P F ₁	P F ₂	P F ₃

注)・路床等級は、参考文献30)による

・商用車台数は、供用開始年の交通量が最も多いレーンにおける値

表-3・2 スペインのカタログにおけるR C Cを用いた舗装構成(1989)²⁹⁾

交通区分	T ₀	T ₁	T ₂			T ₃		T ₄	
商用車台数(台/日)	>2000	2000-800	800-200			200-50		<50	
アスファルト(mm)	80**	80**	80**	80**	80**	***	***	***	***
R C C(mm)	250	220	200	200	200	200	200	200	200
ソイルセメント(mm)	200	200	200	200	150	150	-	-	-
粒状材(mm)	-	-	200	-	-	-	-	200	-
路床等級	E2-E3	E2-E3	E1	E2	E3	E1-E2	E3	E1-E2	E3

注)・路床等級 E1: $5 \leq \text{CBR} < 10$ E2: $10 \leq \text{CBR} < 20$ E3: $20 \leq \text{CBR}$

・商用車台数は、供用開始年の交通量が最も多いレーンにおける値

・** : 継ぎ目あるいはひびわれの影響をくい止める処置をアスファルト表層内に施さない場合は100mm

・*** : 表層は、表面処理あるいは40mmのアスファルト

スペインの低交通道路では、15 cm R C C Pがよく施工されているが、特に問題はない²⁹⁾。

低交通道路では、粒状路盤材料もたまに用いられる。より重交通の道路では、フランスやスペインで規定されているように、セメント安定処理路盤を用いることが必要である。これらは、R C Cを支える良好な支持層になるとともに、施工時にR C Cを十分に締め固めるのにも役立つのである。

R C C Pは、特に低交通道路や構内道路では、しばしば表層として使われる。フランスでは、R C Cの表面を保護し、そのすべり抵抗性を改善するため、表面処理が行われる²⁸⁾。スペインでのように、R C Cの上に数cm厚さのアスファルト表層を施す場合には、同一交通量で設計される通常の舗装コンクリート版厚よりも若干R C Cの版厚を減らすことが許されている²⁹⁾。

縦方向縁部は、しばしば道路におけるR C C Pの弱点となる。これは、側方の拘束がないため、その付近の転圧が十分に行えないためである。したがって、R C C Pの場合には、通常のコンクリート舗装版のとき以上に、側方までR C C版を伸ばしておくことが重要であるといえる。

初期のR C C Pの多くは、目地を設けず、任意の間隔でのひびわれの発生を許していた。発生したひびわれの幅はかなり大きいのが一般的であり、十分な荷重伝達性を確保することは困難であった。したがって、現在では、一般的に目地を使用する傾向にあるといえる。目地間隔は一般に5～8 mであり、これにより目地の開きを1 mm以下に抑えている。最近、2.5～4 m間隔の目地、時には斜め目地、を設け、アスファルト表層でR C C Pを被覆したときのリフレクションクラックを防いだ事例もある。日本で行われた試験施工での結果²¹⁾によれば、荷重伝達性は、目地やひびわれの開き、版厚、路盤の支持力に大きく関係するということであった。荷重伝達性は、セメント安定処理路盤上では著しく改善される。R C Cと路盤の間に大きな摩擦が観察されており、これは転圧という施工形態をとるためと考えられる。このため、目地の開きの変化は、同じ目地間隔とした場合の通常のコンクリート舗装よりも一般には小さい。

4. 施工

4. 1 練り混ぜと運搬

連続型パグミルミキサ、コンクリートバッチングプラント、時にはドラムトラックミキサ車が用いられていた。最近では、混合物に添加するセメントを正確に計量できる機能を持った高生産能力の連続ミキサを用いる傾向にある。これは、比較的簡単に現場に運搬、架設ができ、かつ生産能力が高いためである。セメント安定処理材料を製造するように作られているプラントを用いる場合は、RCCに必要な多量のセメントに適用できるように若干の改良を加えるのが普通である。一方、コンクリートバッチングプラントでは、混合時間を長くとる必要性（少なくとも60秒）より、生産能力が低下することはやむを得ない。にもかかわらず、スウェーデンのような数ヶ国では、通常RCCはレディミクストコンクリート工場から出荷されている³¹⁾。以上、いずれの場合にも、材料の分離を防ぐため、排出時の落下高さは小さくすることが必要である。

通常、運搬はダンプトラックにて行う。RCCの水分の変動は重要な問題である。そこで、暑中や風の強い日など天候が悪い場合には、荷台をシートで覆う等しなければならない。

4. 2 敷きならし

暑い時期の施工では、コンクリートを敷きならす直前に路面を湿らせなければならない。これは、濃色で熱吸収性の高い既設舗装にオーバーレイを行う場合には特に重要である。一方、凍結した路盤上にRCCを敷きならすことはドイツでは禁止されている¹⁷⁾。

グレーダ、オートグレーダやフィニッシャ（図-4・1）など種々の機械が敷きならしに用いられている。しかし、一般的な傾向としては、敷きならし時の締め固め密度（修正プロクタ最大密度）が90%以上確保できるフィニッシャを用いる方向にある³²⁾。一般的に、この目的のためにダブルタンパ機械を備えたフィニッシャを用いるが、スペインでは強力な振動プレートを備えた改良型スリップフォームペーパーを用いて成功した施工例⁴⁾もある。敷きならし時の高い締め固めは、路面の平坦性を向上させる。これは、その後の転圧下における材料の変形が小さくなるからである。反対に、グレーダによる敷きならしは、施工能力においても敷きならし時の締め固めにおいても良い結果をもたらさない。ただし、都市内道路によくみられるような不規則なレイアウトの道路に対しては、グレーダは最も適した機械であるといえる。

フィニッシャやその他ペーパーを用いる場合には、これらが連続的に移動することによりコブや窪みが生じることのないようにプラントに高い生産能力があることが極めて重要である。オートグレーダや改良型スリップフォームペーパーの直前で材料を敷きならすカートにフレッシュコンクリートが荷卸しされると、作業は楽になる。

1層で施工する場合には、その敷きならし厚は一般には25cmを越えないようにし、全厚を通じて適切な密度を確保しなくてはならない。

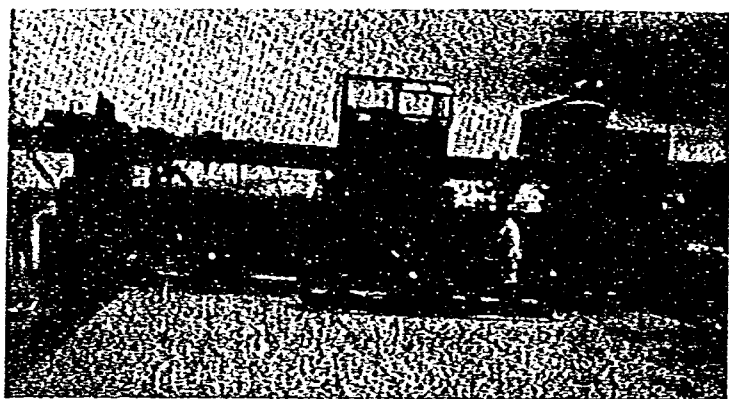
RCCの敷きならし厚がフィニッシャの敷きならし能力を越えている場合には、下層の数cmはグレーダで敷きならし、その上にフィニッシャで敷きならしてこの問題を解決している例もある。



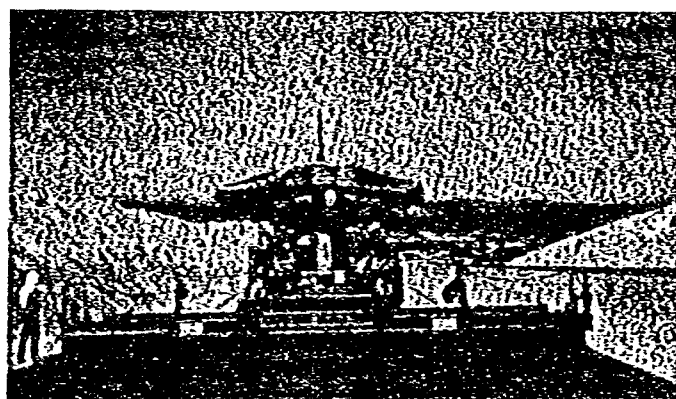
(a) グレーダ



(b) オートグレーダ



(c) 改良型スリップフォームペーパー



(d) 高密度スクリード付きフィニッシャー

図-4・1 RCC敷きならしのための機械

4. 3 締固め

RCCは、大型振動ローラにより、また多くの場合タイヤローラとの併用により締め固めるのが普通である(図-4・2)。振動ローラでは、駆動輪の幅1cmあたりの静荷重は30kg以上、タイヤローラでは輪荷重は3t以上で接地圧が0.8MPa以上とすることが推奨されている⁷⁾。一般的な転圧パターンは、まず、振動ローラを無振の状態ですべて2パス(1往復)転圧し、次に数回、一般には4回以上、振動ローラを有振にして転圧し、所定の密度が得られるようにする(図-4・3)。なお、転圧方向を切り替える瞬間は、振動を切ることが望ましい⁸⁾。その後に、タイヤローラにより数パス転圧して、表面の間隙やクラックを消して転圧を完了する。ゴムコーティングした鉄輪ローラは、所要密度を得るための有振パスにも、また、表面仕上げにも用いられる。これは、すべり抵抗の高い表面を得る効果もある⁹⁾。この転圧パターンにはいくつかのバリエーションがある。タイヤローラが無い場合には、鉄輪ローラを無振状態で数回転圧し、最終仕上げとすることもある。混合ローラ(前軸が鉄輪、後輪がタイヤローラ)でもよい結果が得られる。連続してローラ転圧を行う場合は、わだちあとを生じないように、千鳥風なパターンで行わなくてはならない。各施工レーンの最後には、すりつけ区間を設けて機械が転圧を完了できるようにしておく。

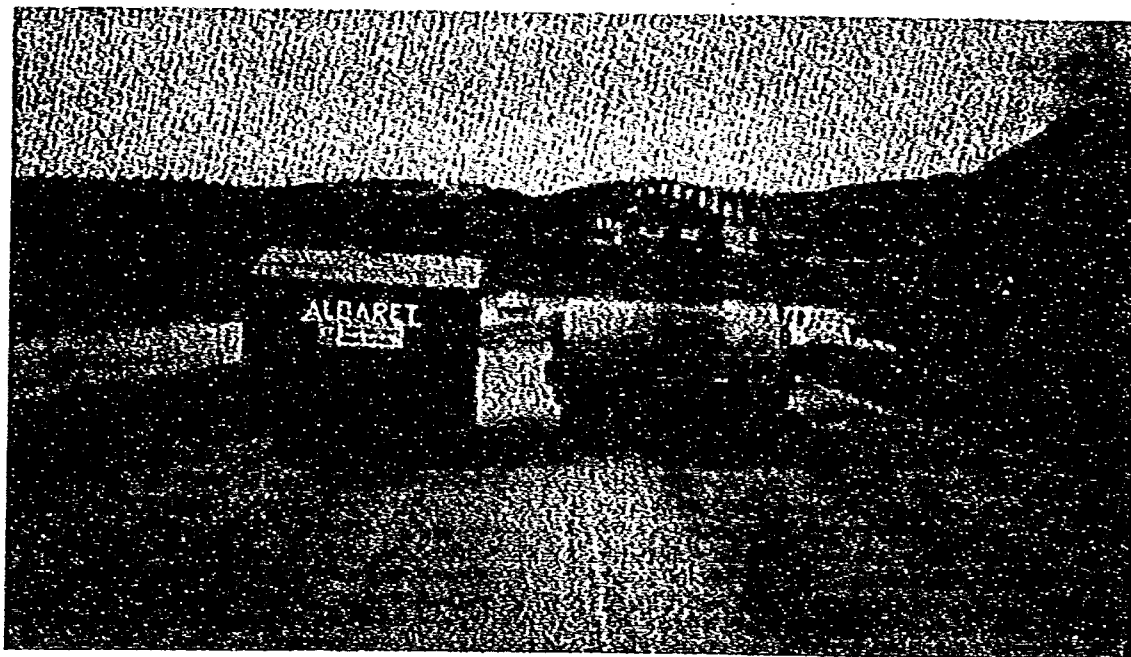
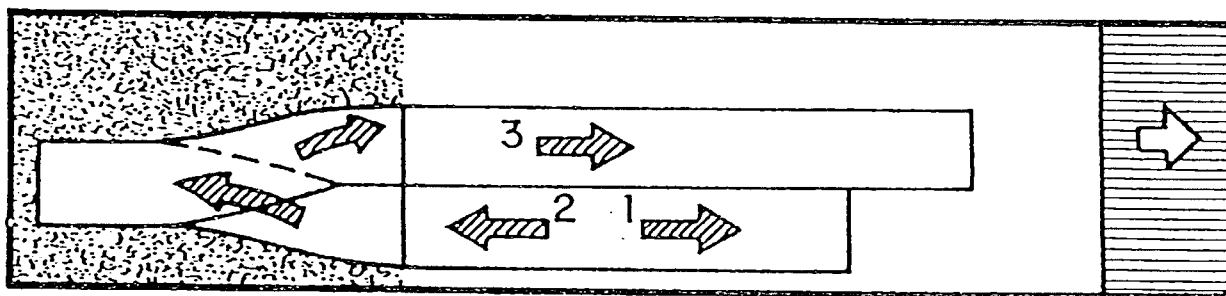


図-4・2 大型振動ローラとタイヤローラとの併用によるRCCの締め固め



注：転圧方向を切り替える時には、振動を止める

図-4・3 RCCの締め固めの概要

無振状態の転圧下でのフレッシュコンクリートの挙動を観察すると、その材料の転圧に対する能力をよく判断できる。適切なコンシステンシのRCCであれば、均等にたわむ。しかし、ウェット過ぎれば、表面は光って、ペーストが浮いている感じにみえ、転圧下ではゴムのようにフワフワし、極端な場合には足で踏んだだけでそのような状態になる。反対に、ドライ過ぎれば、表面はほこりっぽく、かつ粒のようにみえ、水平方向のせん断をひき起こすこともある。したがって、RCCの水量は厳密に管理されねばならない。

先述したように、舗装作業における施工の連続性を保つことが重要である。ローラを、特に振動状態下では、フレッシュなコンクリート上で止めてはならない。これは、最終的な表面に不規則なコブを残してしまうことになるからである。

RCCの密度とその強度が大いに関係がある(図-4・4)ことを考慮すれば、十分に締め固めることが非常に重要である。最低限の密度が一般には規定されている。この点に関して、スペインの仕様書⁷⁾は、平均密度は修正プロクタ最大密度の97%以上、RCC層の底面における密度は95%以上と規定している。一般的には、RI密度計で締め固め過程における密度の状態をモニタする方向にある。

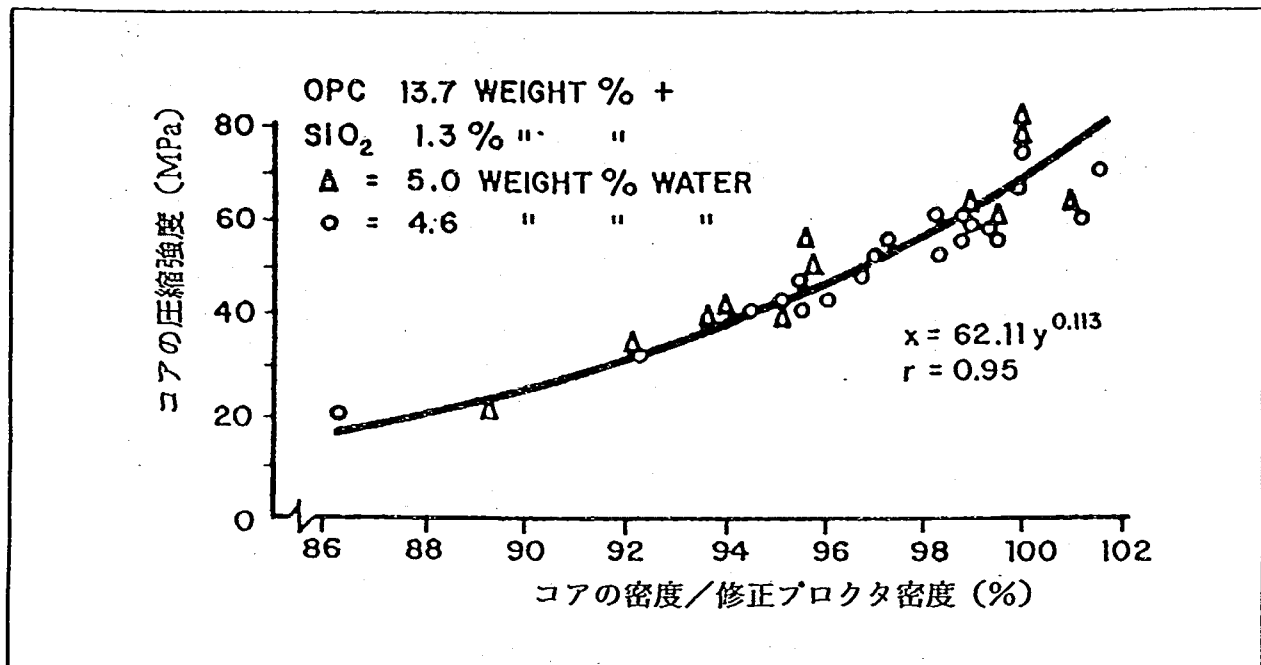


図-4・4 圧縮強度と締め固め度との関係¹⁹⁾

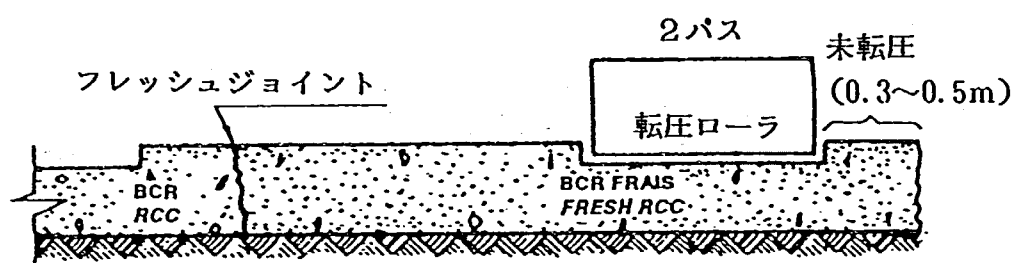
多くの国では、RCC混合後60～90分以内に転圧を完了させなくてはならないことを規定している。しかし、これらの時間は、混和材が多いセメントや遅延剤を用いる場合にはさらに延長できる。フランス⁶⁾やスペイン⁷⁾では、数時間のワーカビリティ時間を規定していることは、前に述べた。

層の厚さも、施工中にはチェックすべきである。低くなっている箇所や厚さが薄い箇所を、新たに材料を盛って直しても、後から薄片となって裂けることがよくある。このため、フランス⁶⁾では、数cm厚さのコンクリートを敷きならして、部分的に転圧した後に、トリミングすることを推奨している。そのあと、規定された密度が得られるまで転圧を行う。このトリミングは平坦性も改善する。一般に、厚さが不十分であれば支払いの引き下げが求められる。また、過度に悪い箇所を除去し、RCCあるいは舗装コンクリートで、適正な厚さになるように打ち換えることも、要求される。

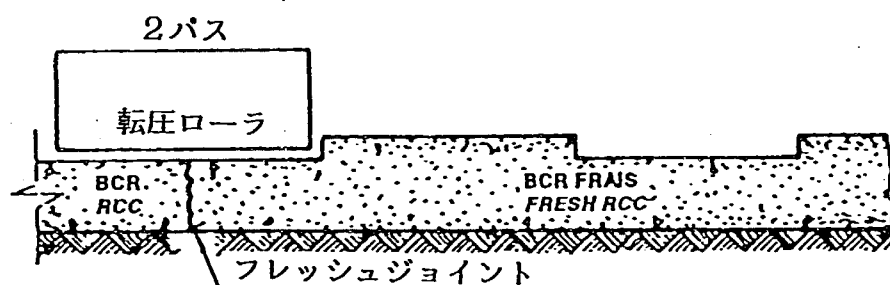
工場内舗装などでは、60cmに達する厚層の舗装が必要とされる場合もある。25cmを越える場合には、RCCPは多層にて施工し、各層はそれぞれ十分に締め固めるのが普通である。これらの場合には、各層間の十分な付着を得ることが非常に重要である。このために、下層のワーカビリティ時間内に上層を敷きならすという時間制限を設けるのが一般的である。さらに、この場合には下層の表面は湿潤状態を保っておかねばならない。しかし、ワーカビリティ時間を越えてしまったとき、付着のためのセメントスラリーを用いて、成功した例がアメリカとカナダにはある。数カ所の試験施工では、薄層のポーラスコンクリート層をRCC上に載せる場合³³⁾もあった。この場合、前述したような2つの方法が取られた。すなわち、RCCの敷きならし直後にポーラス層を敷きならす方法（ウェットーオンーウェット法）と、付着用セメントスラリーを用いる方法（ウェットーオンードライ法）である。

RCCPが主に表層として施工され、しかも複数レーンを施工するようなアメリカやカナダの施工経験よ

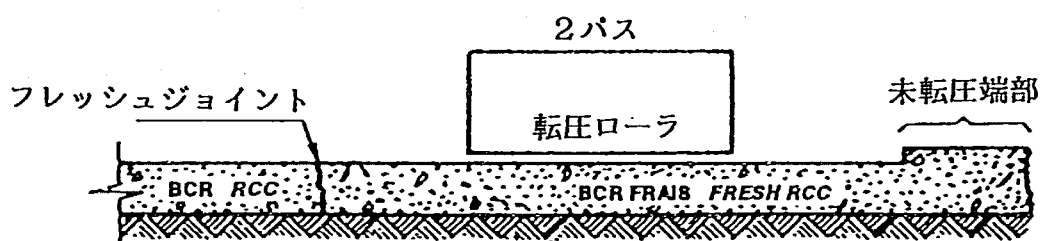
り、縦方向のコールド目地を設けないための施工方法が開発された³⁴⁾。すなわち、一般に最初に施工したレーンについて0.3～0.5mの幅を未転圧のままにしておき、この部分を材料が横方向に流れるのを防ぐ拘束物として機能させる。そして、次のレーンが敷きならされた後、目地部にローラを中心をあてて、隣接レーンの縁部を同時に通過させて、転圧する(図-4・5、図-4・6)。



(1) 端から0.3m部分の転圧



(2) フレッシュジョイントの転圧



(3) 未転圧部分の転圧

図-4・5 レーン間のフレッシュジョイントの施工

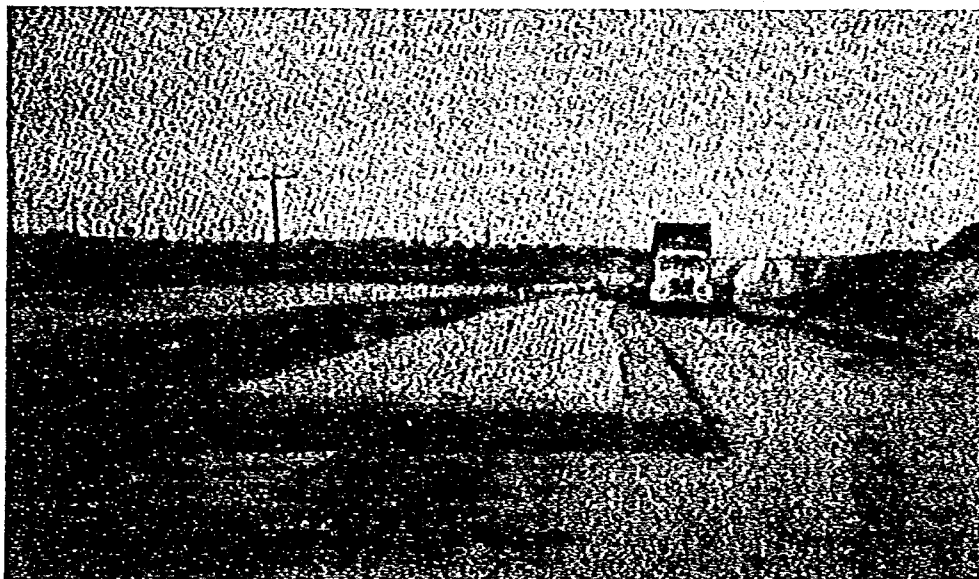


図-4・6 レーン間のフレッシュジョイントの施工

側方縁部の締め固めは、非常にデリケートな問題である。良い結果を得るためには、しっかりした側方拘束構造をあらかじめ配置しておく必要がある。例えば、都市内道路の縁石のようなものである。さもなければ、密度と強度が著しく低下する。型枠を用いた施工は成功していない。路肩がある場合は、RCC層と一緒に締め固めるのが望ましい。この場合、最初の1パスは無振状態で転圧するが、ドラム幅の2/3をコンクリート側に、残り1/3を路肩側にかけて実施する⁶⁾。続いて、もう一度無振状態でRCC層だけを転圧し、RCCを路肩側に押さえつける。その後、標準の締め固めを再開する。

転圧中のコンクリートの乾燥は、避けねばならない。この注意は、複数レーンを施工するときは特に重要である。というのは、先述したように、各レーンの帯状の部分が、次のレーンが敷きならされるまで未転圧のまま残っているからである。暑中や風の強い日には、しばしば表面に水を噴霧しておき、養生を開始するまで、その部分を湿った状態に保持しておくことが必要であろう（図-4・7）。このために用いられる装置は、霧を作り出すものであり、RCC表面に水たまりや水の流れを生じさせるようなものであってはならない。

“ペーバ コンパクティッド コンクリート”と称される新しい工法が最近デンマークで開発された¹¹⁾。すなわち、高い締め固め能力を有するペーバーを用いて、著しい強度発現をもたらすドライな混合物を敷きならすものであり、ここでは、ローラによる転圧は全く行わないので、平坦性は損なわれないのである。コンクリートの配合は、普通ポルトランドセメント（ $200 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ ）、フライアッシュ（ 200 kg/m^3 まで）、シリカフューム（ $20 \sim 30 \text{ kg/m}^3$ ）、高品質のギャップ粒度碎石およびかなり多量の減水剤とからなる。水/セメント比は、 $0.20 \sim 0.25$ である。水セメント比が低くフライアッシュ量が多い混合物の場合には、高性能減水剤を用いることが推奨されている。現場から抜いたコアでも、現場養生供試体のどちらでも材令28日における圧縮強度は $60 \sim 90 \text{ MPa}$ が得られている。

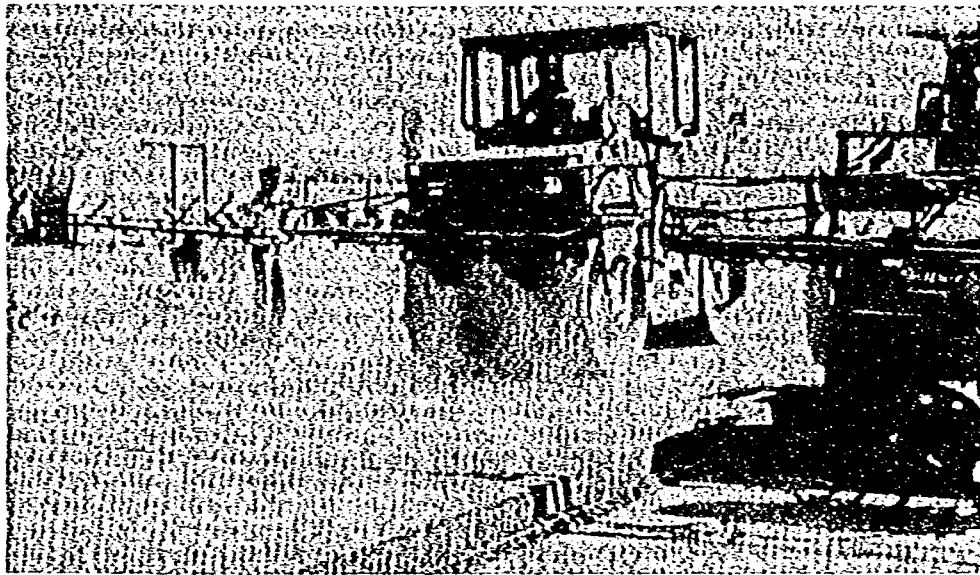


図-4・7 転圧されたばかりのRCCを乾燥から守るための噴霧

4. 4 目地

RCCPに目地を設ける傾向にあることは、すでに指摘したとおりである。横目地は、通常、カッタによって切削して設けるが(図-4・8)、その切削時期は、天候条件やRCCの強度発現状態に大きく依存し、数時間の場合から数日間の場合まで多様である。しかし、フランス、ドイツおよびスペインでは打ち込み目地工法がかなり実施されている。半剛性舗装にも使われているいくつかの装置を利用できる³⁵⁾。例えば、ドイツでセメント安定処理路盤に溝をつける為に用いられたナイフを底面に溶接した振動プレート(図-4・9)やカッティングリングを備えた小型ローラ等である。この点に関して、フランスではいくつかの革新的な装置が開発された。たとえば、未転圧の材料を全厚カットできるもの等である。同時に、切削装置となっている2枚の刃の間に、アスファルト乳剤が噴き出される(図-4・10)。この乳剤は、目地の端部が再び付着するのを防ぐものである。打ち込み目地工法により目地施工のコストが低減するため、より短い目地間隔に目地を設定できるようになった。



図-4・8 目地の切削

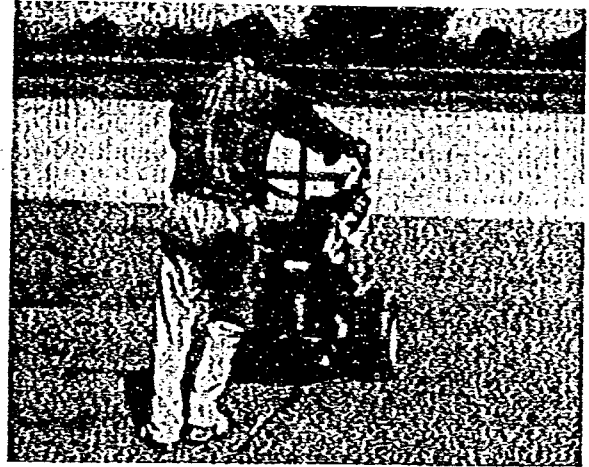
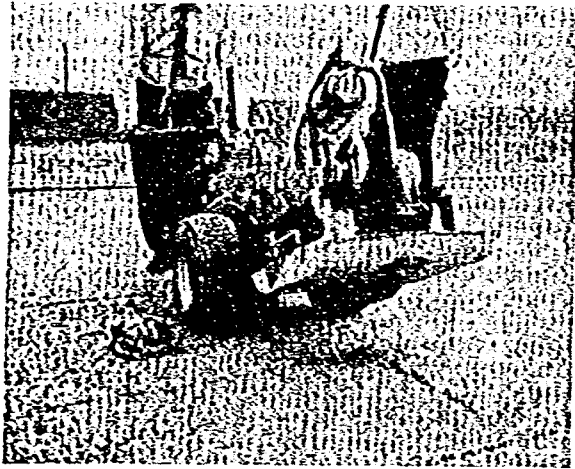


図-4・9 フレッシュなRCCに切れ目を入れるためのナイフを備えた振動プレート

縦方向でも横方向でも、施工目地に関しては、その端面はできるかぎり垂直にすることが必須である。さもなければ、気温が高温になった場合、隣接版の端部が、上にせり上げる危険が生ずる。このように必要な垂直性を確保するために幾つかの手法が挙げられる。縦施工目地でも、横施工目地でも、最後のすりつけ部分のフレッシュコンクリートを除去するか、外側の未転圧縁部をグレーダで取り除くか、あるいは、硬化した材料を版厚の $1/2$ までカッタで切削し、その後トリミングする方法により形成される(図-4・11)。残りの部分を、手はつりでとり除き、掘削面がほぼ直角な面となるようにする(垂直に 15 度以内)。横目地を作成するもう一つの方法は、締固めが完了する前に、最終すりつけ部付近のフレッシュ材料を約 30 cm 幅の溝として取り除き、その溝を未処理粒状材料で充填し、転圧を終了させるというものである(図-4・12)。翌日、端部すり付け部とともにこの未処理材料を除去し、その後コンクリートの打設を開始する⁶⁾。

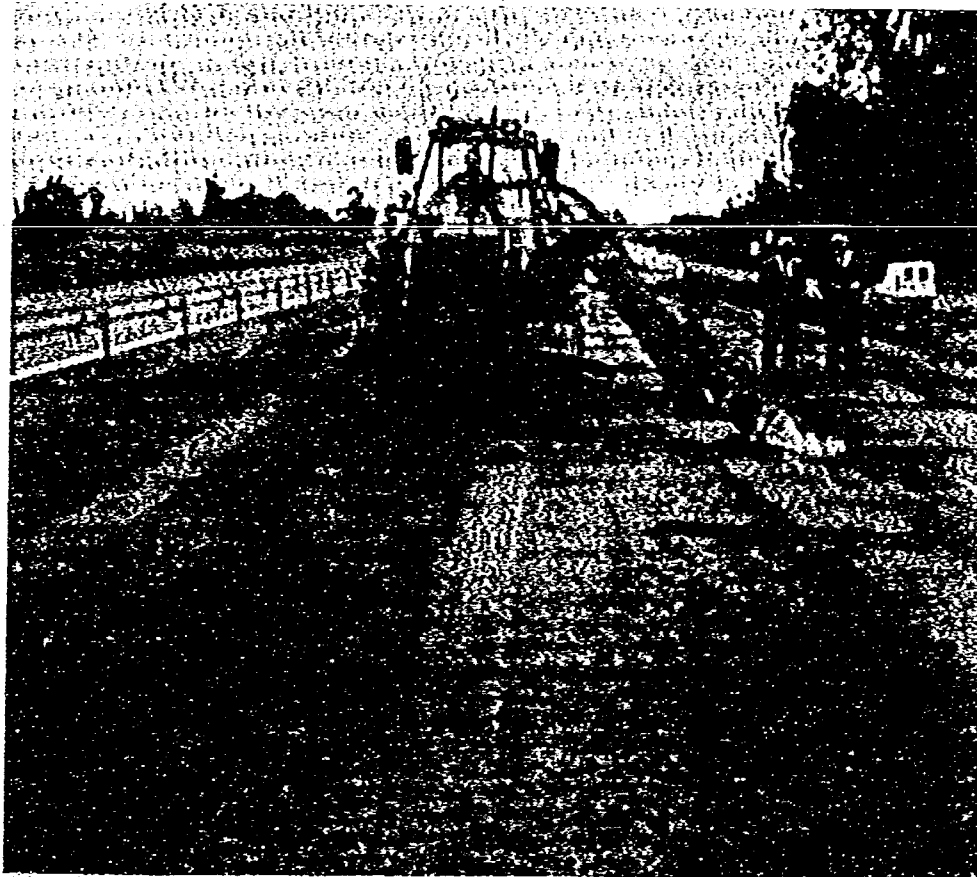
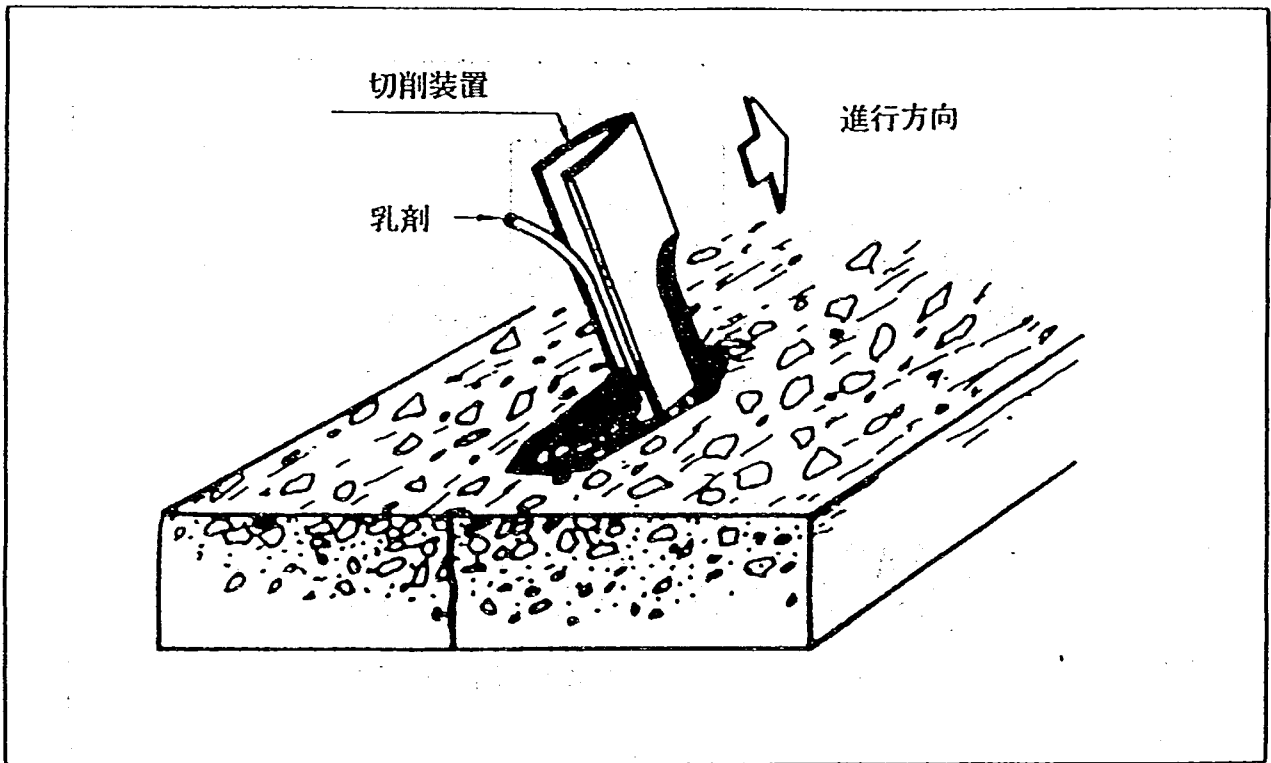
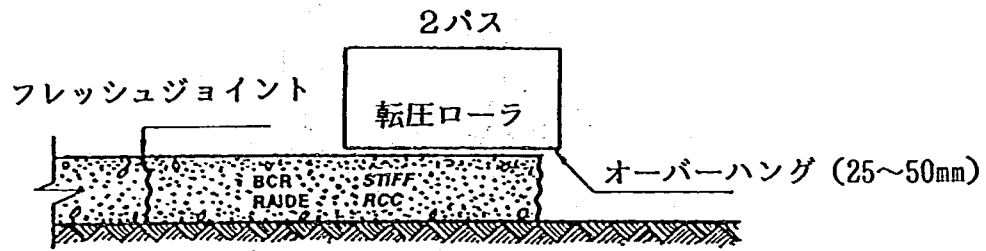
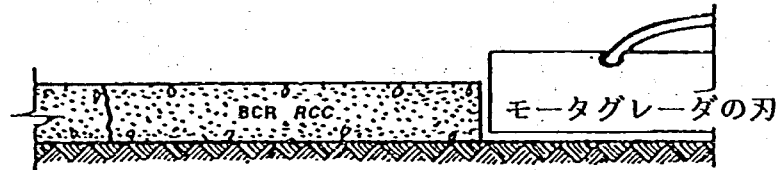


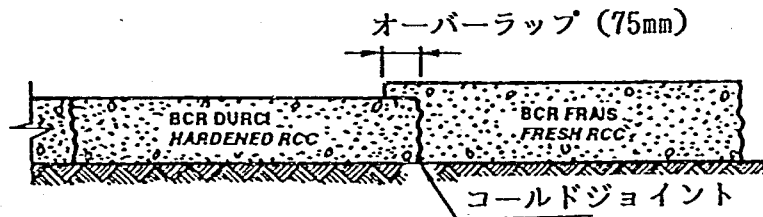
図-4・10 フレッシュなRCCに全深の切れ目を入れる装置



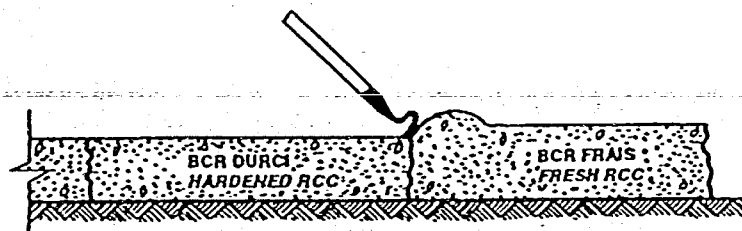
(1) 最終レーンの外側端部の転圧



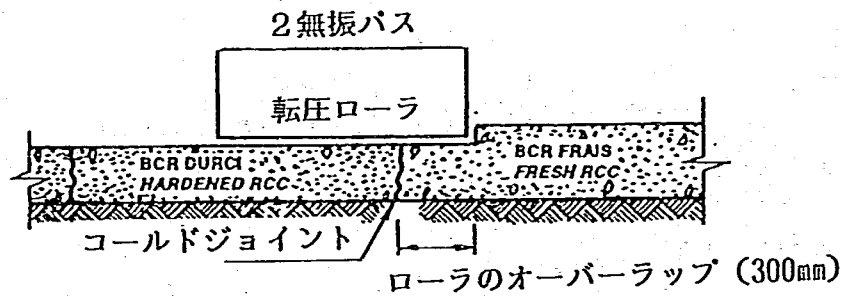
(2) モータグレーダによる端部のトリム



(3) 湿潤硬化した端部へフレッシュRCCの打設



(4) レイキによるフレッシュRCCの押し戻し



(5) 無振パスによるコールドジョイントの転圧

図-4・11 縦方向コールド目地の設置³³⁾

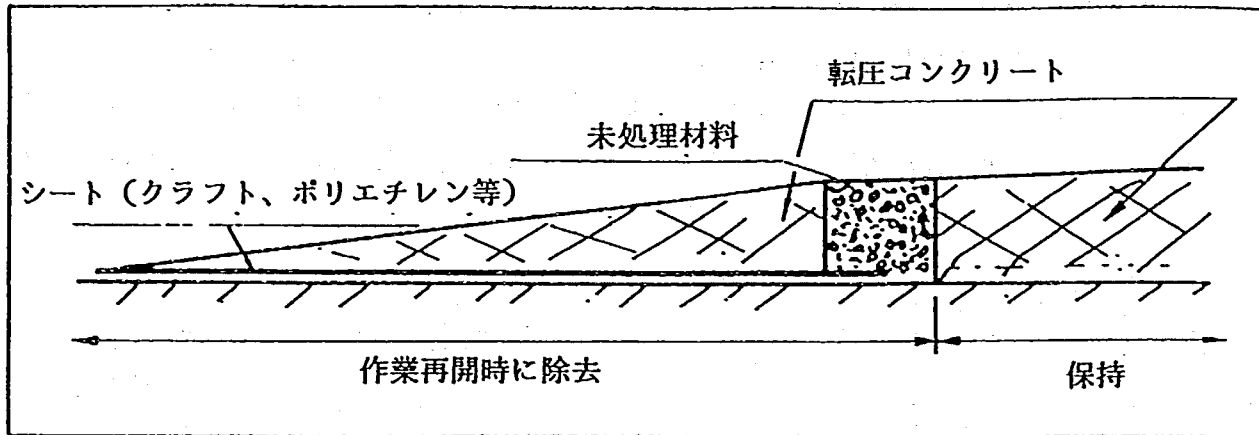


図-4・12 横方向施工目地の設置⁶⁾

多くの国では、RCCPの目地には目地材の注入などを行わない（シールしない）。しかし、オーストラリア¹²⁾、ドイツ¹³⁾、アルゼンチン³⁶⁾および陸軍工兵隊工事で義務付けられているアメリカ³⁷⁾では、目地はシールされる。カナダの街路や道路では自然発生させた収縮ひびわれを1～2年でシールするようにしている。シーリングの材料や方法は、通常のコンクリート舗装に用いるべきものと同じである。

4.5 養生と表面保護

RCCは、単位水量が小さいため、効果的な養生が重要である。締固めが終了次第できるだけ早く養生を開始せねばならない。RCCにアスファルト層を被せない場合には、一般に、一週間の散水養生を行う。被膜養生剤やアスファルト乳剤も養生に用いられる。このうち、アスファルト乳剤はRCC版上にアスファルトコンクリート層を被せたり、表面処理を行うときの一般的な方法である。この乳剤上を車両が走行する場合には、碎石や砂で保護しなければならない。

低速の道路であれば、RCCに特殊な仕上げ作業は行わない。スペインの低交通道路の工事では、プロペラ仕上げを行って、すべり抵抗性を改善している²⁾。この仕上げで得られる表面のきめは、時速60km以上の走行速度である道路には推奨できないが、住区内道路や工場内駐車場等では十分である（図-4・13）。

ゴムコーティングした振動ローラを用いたスカンジナビアのいくつかの施工例ではかなり良い摩擦抵抗が得られている。S A A B摩擦試験機で測定された時速70kmでの摩擦係数は0.60～0.82であり、これは高速道路の規格を十分満足するものであった³⁸⁾。

先述したように、フランスでは歴青表面処理を規定している。この方法は、オーストラリアやスペイン¹⁶⁾での幾つかの工事でも採用されている。スペインでは、高速道路や主要幹線道路における平坦性の確保を目的として、RCC版上に数cm厚のアスファルトコンクリートによる摩耗層を設けている。この方法は、ドイツ、アルゼンチン、オーストラリア³⁹⁾における幾つかの道路でも実施されている。

アスファルトコンクリートによる表層を設ける場合には、RCC版の目地やひびわれの表層へのリフレクションクラックは生じさせないのが望ましい。このため多くの手法が用いられている。その多くはセメント

安定処理路盤を用いた舗装のために開発されたものである³⁵⁾。例えば、ポリマー添加アスファルトで作った成形品で目地をシーリングしたり、RCC表面に、歴青含浸ジオテキスタイルや砂アスファルト層を設けたり、短い間隔（3 m以下）で打込み目地を設けて、目地の動きを小さくする、などである。これらの方法を用いた工区がまだ2、3年しか経過していないため、これらの方法の有効性を評価できる十分な経験は得られていない。

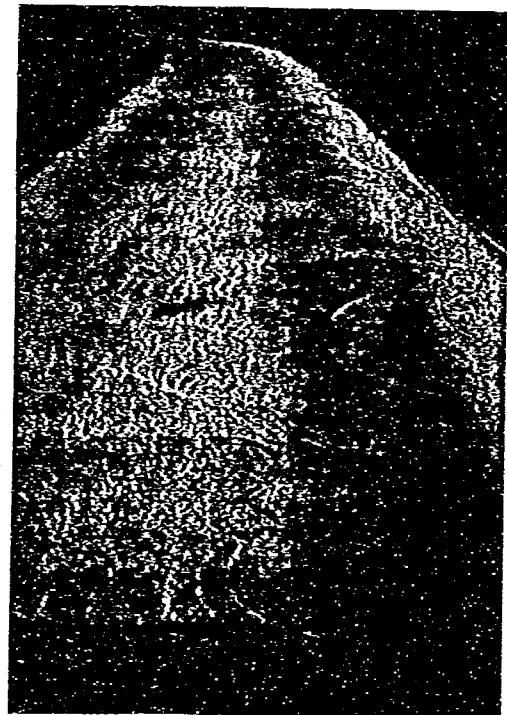
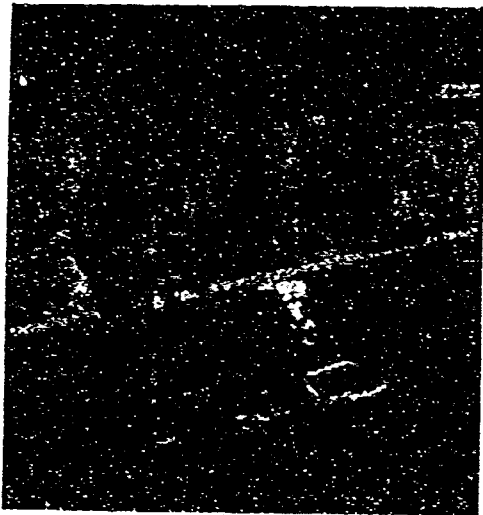


図-4・13 RCCPのプロペラ仕上げとその結果得られたきめ

リフレクションクラックを防ぐ処置をとらないならば、アスファルトコンクリート層を舗設する時期を少なくとも数日は遅らせ、RCCにできるだけ多くのひびわれを発生させることが望ましい。

交通開放に関しては、スペインやフランスのような幾つかのヨーロッパの国では、碎石骨材を用いると簡単に得られる骨材のかみ合わせがあれば、いったん締固めを行い、養生保護剤を施し、これが凝結したら、ただちに交通開放できるとしている。交通を処断せずに建設される多くのオーバーレイ工事の結果から、この工法は有効であるとみなされる。しかし、アメリカ、カナダ、オーストラリアでは、少なくとも3～14日間は、交通開放しないようにしている。

5. R C C Pの供用性

一般に、どのようにR C C Pが適用されていても、その挙動は満足すべきものとなっている。見受けられる破損は、不十分な締固めや水分の損失のような不十分な施工に起因するものである。

適切に施工された舗装であれば、現場から抜いたコアでも高い強度が得られる。例えば材令28日での圧裂強度は2.5～4 MPaである。また、長期材例強度も観察されている。例えば、スウェーデンの古い舗装では、5年後の圧縮強度が60～95 MPaであった¹⁹⁾。日本の試験工区で行われた試験によれば、強度の増加は、累積温度(℃×時間)の対数にほとんど比例している²⁰⁾。

交通量の少ない道路では、版厚が薄くなるおかげで締固めを容易に行うことができるため、高い密度と強度が報告されている。

多層施工に関して、コアからのデータによれば、適切に施工された舗装であれば、十分な界面付着強度が得られ、一体化した層として挙動する。

摩耗抵抗も満足すべきものがある。しかし、R C Cでは養生が通常のコンクリート舗装以上に重要である。不十分な養生は、表面性状の劣化につながる。しかし、摩耗抵抗は、材令すなわち強度の増進とともにかなり良くなる。

R C C Pに生じるひびわれに関しては、目地を設けない場合には、R C C Pのひびわれはさまざまな間隔で発生するようであり、一般には10～30 mである。このような(目地を設けない)長い版においては、温度変化によるひびわれの開きは非常に重要であり、また、適切な荷重伝達性が得られない。さらに、ひびわれの縁部は、交通によってかなり破損する。これらのことから目地を設置の工法の重要性がわかる。しかし、チリにおける多くの舗装のように、温度勾配や水分勾配が大きい個所では、ひびわれ間隔は5 m時には3 mに達する⁴⁰⁾。表面に生じた望ましくないひびわれは、アスファルトマスチックでシールして、水が入ったり、その縁部が破損しないようにする。

一般に、R C C Pの平坦性は、現時点では、高速走行に見合う規格を満足しておらず、通常の道路あるいは低交通量道路の中速域に適している。しかし、高締固め型のフィニッシャーを用いるようになって以来、多くの国ではかなりの平坦性の向上が見られる。

凍結抵抗性に関しては、冬季条件の厳しい地域(スカンジナビア諸国⁹⁾、カナダ⁴¹⁾、アメリカ北部²¹⁾)におけるR C C Pの挙動は十分満足すべきものがある。

6. 経済的見地

ドイツ²⁷⁾、オーストラリア¹²⁾、スペイン⁴²⁾、アメリカ³²⁾およびカナダ³⁾のような国々から収集したデータによれば、同一交通量で設計される通常のコンクリート舗装よりも建設費が10～40%低減できる。

これらの低減は、種々の作業に用いることができる一般的機械を用いられること、高い施工能力があること、混和材を多く含み、結果的に経済性に結びつくバインダを使用できること等によるものであろう。しかし、メンテナンスコストに関しては、より一層の情報が必要である。

7. 結論

特別な建設機械が利用できない場合は特に、通常のコンクリート舗装に比較してかなりの建設費の低減が可能であることから、RCCは多くの国で、低速道路に適した工法であると考えられている。また、自動車専用道路や主要高速道路においては、平坦性の点よりアスファルト表層を必要とし、このためリフレクションクラック防止のための処置が必要であり、これらの問題が十分には解決されていないにも関わらず、RCCPは、経済的な代替案である。ローラによるパスを軽減しあるいは不要にする高締固めフィニッシャの開発により、乗心地性が改善され、その結果、RCCPがさらに適用を拡大していくものと予想されている。

参考文献

- [1] NISSOUX J.E. : "L'emploi du béton compacté pour la construction des routes". Rapport du Comité technique des Routes en Béton de l'AIPCR, XVIII^e Congrès Mondial de la Route, Bruxelles 13-19 septembre 1987. PIARC, Paris, 1987.
"The use of roller compacted concrete for road-building". Report of the PIARC Technical Committee on Concrete Roads, XVIIIth World Road Congress, Brussels, 13-19 september 1987. PIARC, Paris, 1987.
- [2] CARRASCÓN S., DÍAZ J., JOSA A. : "RCC applications in low-volume roads in Spain". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / *6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 october 1990. Cembureau, Brussels, 1990.*
- [3] PIGGOT R.W. : "Roller compacted concrete for heavy duty pavements: past performance, recent projects, recommended construction methods". ACI Special Publication SP-93 "Concrete in Transportation". American Concrete Institute, Detroit, 1986.
- [4] JOFRÉ C., VAQUERO J., LÓPEZ-PERONA R., GARCÍA-ROJO A., ORTÍZ F. : "Roller compacted concrete (RCC) pavements for motorways and main highways: the Spanish practice". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / *6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 october 1990. Cembureau, Brussels, 1990.*
- [5] WILLIAMS R.I.T. : "Cement-treated pavements". Elsevier Applied Science Publishers Ltd, London, 1986.
- [6] Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports : "Réalisation des chaussées en béton compacté" (*Construction of roller compacted concrete pavements*) LCPC - SETRA, Paris, 1985. (in French)
- [7] Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo : "Instrucción sobre secciones de firme en autovías". (Instruction sur les structures types de chaussées pour routes à 2x2 voies / *Instruction on pavement sections for expressways*). Boletín Oficial del Estado, 5 septembre 1986, Madrid. (en Espagnol / in Spanish)
- [8] FERNÁNDEZ R. : "Nuevas tecnologías: los hormigones secos compactados con rodillo" (New technologies: roller compacted concretes). II Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón, Córdoba, 28-30 mars/March 1984. Instituto español del Cemento y sus Aplicaciones, Madrid, 1984. (en Espagnol / in Spanish)
- [9] ANDERSSON R., CARLSSON V. : "Interaction between mix design, construction and properties for RCCP". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / *6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 october 1990. Cembureau, Brussels, 1990.*
- [10] NAIMAK T. : "Use of roller compacted concrete (RCC) in Norway". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / *6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 september 1990. Cembureau, Brussels, 1990.*
- [11] BAGER D.H. : "Paver compacted concrete for roads". Technical presentation at Bauma, Munich, 1992.

- [12] BRETT D.M., PETRIE R.E., MATHEWS S. : "Development in Australian RCC". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / *6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 september 1990. Cembureau, Brussels, 1990.*
- [13] RAGAN S.A. : "Evaluation of the frost resistance of roller-compacted concrete pavements". Transportation Research Record 1062. Transportation Research Board, Washington, 1986.
- [14] Ministère des Transports: "Réalisation des assises des chaussées en graves traitées aux liants hydrauliques". (*Construction of cement treated bases and subbases*). SETRA -LCPC, Paris, juin 1983. (in French)
- [15] BOLLATI M.R., DÍAZ C. : "Properties of roller compacted and vibrated concrete at early ages. Evaluation through ultrasonic energy measurements". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / *6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 september 1990. Cembureau, Brussels, 1990.*
- [16] JOSA A., JOFRE C., MOLINA F. : "An experimental overlay with roller concrete". ACI Special Publication SP-93 "Concrete in Transportation". American Concrete Institute, Detroit, 1986.
- [17] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: "Merkblatt für Tragschichten und Tragdeckschichten aus Walzbelton" (*Instructions sur les revêtements et bases en béton compacté / Instructions for roller compacted concrete bases and pavements*). Cologne/Köln, 1992 (en Allemand / in German)
- [18] PAAKINEN I. : "Intensive compaction tester. Device for testing the compactability of no-slump concrete" Nordic Concrete Research Publication n° 5, The Nordic Concrete Federation, Oslo, December 1986.
- [19] GÓMEZ J., SCHOLER CH.F. : "Fatigue strength of roller compacted concrete". 4th International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, Indiana, April 18-20, 1989.
- [20] ANDERSSON R. : "Pavements of roller-compacted concrete-Physical properties". Nordic Concrete Research Publication n° 5, The Nordic Concrete Federation, Oslo, December 1986.
- [21] INOUE T., SAWA T. : "Structure analysis of roller compacted concrete pavement". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / *6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 october 1990. Cembureau, Brussels, 1990.*
- [22] PITTMAN D.W., WHITE T.D. : "Roller compacted concrete pavements". 3rd International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, Indiana, April 23-25, 1985.
- [23] Mc CORMICK JR. W.W. : "Engineer Technical Letter 1110-1-126" Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, January 1985.
- [24] KERN E. : "Experience with roller concrete for traffic areas in the Federal Republic of Germany". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / *6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 october 1990. Cembureau, Brussels, 1990.*

- [25] "Structural design of roller-compacted concrete for pavements". Concrete Information IS233.012, Portland Cement Association, Skokie (Illinois), 1987.
- [26] ROLLINGS R.S. : "Design of roller compacted concrete pavements". Roller Compacted Concrete II, American Society of Civil Engineers, New York, 1988.
- [27] BOURGEOIS M.M., HERSEL O. : "Roller compacted concrete for pavements in military areas within the Federal Republic of Germany". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / 6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 october 1990. Cembureau, Brussels, 1990.
- [28] Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports: "Actualisation du Catalogue des structures types de chaussées neuves" (*Updating of the Catalog of standard sections of new pavements*). SETRA, Bagneux (France), avril/April 1988. (*in French*)
- [29] Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo: "Instrucción 6.1 y 2-I.C. Secciones de Firme" (*Instruction 6.1 et 2-I.C. sur structures types de chaussées / Instruction 6.1 and 2-I.C. Pavement sections*). MOPT, Madrid, avril/April 1990. (*en Espagnol / in Spanish*)
- [30] Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire: "Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves" (*Catalog 1977 of standard sections of new pavements*) SETRA-LCPC, Paris, december 1977. (*in French*)
- [31] ANDERSSON R. : "Swedish experiences with RCC". Concrete International, February 1987. American Concrete Institute, Detroit.
- [32] POTTKÄMPER M.L. : "Various construction techniques in North America, Asia and Europe. Economic construction with roller-compacted concrete". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / 6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 october 1990. Cembureau, Brussels, 1990.
- [33] OLEAGA L. : "Tramo experimental del Culebro" (*La section expérimentale du Culebro / El Culebro test section*). XIX Semana de la Carretera, Toledo, 19-23 octobre 1992. Asociación Española de la Carretera, Madrid, 1992. (*en Espagnol / in Spanish*)
- [34] PITTMAN D.W. : "Construction of roller-compacted concrete pavements". Transportation Research Record 1062. Transportation Research Board, Washington, 1986.
- [35] Comités techniques AIPCR des Routes souples et des Routes en Béton / PIARC Technical Committees on Flexible Roads and on Concrete Roads : "Chaussées semi-rigides/Semi-rigid pavements" AIPCR/PIARC, Paris, 1991. (*bilingue Français-Anglais / in English and French*)
- [36] GALIZZI J.A. : "The use of roller compacted concrete pavements in Argentina". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / 6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 october 1990. Cembureau, Brussels, 1990.
- [37] "Roller compacted concrete (RCC) pavements for airfields, roads, streets, and parking lots". Corps of Engineers Guide Specification CEGS - 02520, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg (Mississippi), January 1988.

- [38] HULTQUIST B.A. and CARLSSON B. : "Vällbetong på lagtrafikerade vägar" (Roller compacted concrete for light-traffic roads). UTI-meddelande 672. (en Suèdois / in Swedish)
- [39] PETRIE R.E., MATTHEWS S. : "Roller compacted concrete pavements: recent Australian developments and prospects for the 90's" Proceedings 15th Australian Road Research Board Conference, 26-31 August 1990.
- [40] POBLETE M., VALENZUELA R., GONZÁLEZ J., LORENZINI S. : "Behaviour of roller compacted concrete: results of measurements in experimental pavements". 6^e Symposium international des Routes en Béton, Madrid, 8-10 octobre 1990. Cembureau, Bruxelles, 1990 / 6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, 8-10 October 1990. Cembureau, Brussels, 1990.
- [41] PIGGOT R.W. : "Ten years of heavy-duty pavement in Western Canada". Concrete International, February 1987. American Concrete Institute, Detroit.
- [42] JOFRÉ C., JOSA A., FERNÁNDEZ R., KRAEMER C. : "RCC Pavements in Spain". 4th International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, Indiana, April 18-20, 1989.

連続鉄筋コンクリート舗装（CRCP）に関する報告

1. はじめに	67
2. 定義	68
2.1 連続鉄筋コンクリート（CRCP）	68
2.2 コンポジット舗装あるいは多機能舗装	68
3. 用語	68
4. 開発	69
5. 選定基準	69
6. 適用箇所	69
7. CRCPの要素	71
7.1 コンクリート	71
7.2 鉄筋	76
8. 設計	78
8.1 概説	78
8.2 CRCPの構造	78
8.3 CRCPのための路盤	79
8.4 縦方向鉄筋比の算定	80
8.5 横方向鉄筋の計算	80
8.6 端部の動き	80
9. 施工	83
9.1 路盤面の処理	83
9.2 鉄筋の設置	83
9.3 コンクリートの混合と舗設	84
9.4 表面仕上げとコンクリートの養生	84
10. CRCPの供用性	85
11. 主要な破損	86
11.1 縁部パンチアウト	86
11.2 施工目地	86
11.3 ひびわれ部の角欠け	86
11.4 縦方向ひびわれ	86
11.5 鉄筋の腐食	87

12. メンテナンスと補修	87
12.1 メンテナンス	87
12.2 補修	87
13. 主な勧告	87
13.1 概念と設計	87
13.2 施工	88
14. 新技術	89
15. 結論	90
15.1 技術的観点	90
15.2 経済的観点	90
参考文献	91

1. はじめに

連続鉄筋コンクリート舗装（C R C P）に関して近年飛躍的な技術的發展があり、また本工法には技術的あるいは経済的長所があるため、P I A R Cはコンクリート道路に関する技術委員会に対し、本舗装の技術水準のとりまとめを委任した。

このため、C R C Pに関する小委員会が設立された。メンバーは以下のとおりである。

小委員長: Pierre SION	ベルギー
委員: L. DOMENICHINI	イタリア
John HALLIN	アメリカ
野田 悦郎	日本
岩間 滋	日本
Carlos JOFFRE	スペイン
Marinus LEEWIS	オランダ
John MERCER	イギリス
J. E. CORREIA DE MATOS	ポルトガル
専門家: Jacques AUNIS	フランス
E. BALASUBRAMANIAM	マレーシア
Van A. RAHMAN YAACOB	マレーシア
Raoul DUMONT	ベルギー
John HODGKINSON	オーストラリア
Marcello LUMINARI	イタリア
Louis R. MARAIS	南アフリカ
Karel VERHOEVEN	ベルギー

この小委員会の活動には、11カ国（オーストラリア、ベルギー、スペイン、フランス、イギリス、イタリア、日本、マレーシア、オランダ、ポルトガル、南アフリカ）とアメリカの12州（イリノイ、メリーランド、オクラホマ、オレゴン、テキサス、バージニア、ミシシッピ、ウィスコンシン、アーカンソー、サウスダコタ、ノースダコタ、ノースカロライナ）が参加した。アメリカに関する情報については、Mr. John HALLIN が収集した。インド、チェコスロバキアそして特に韓国も、C R C Pを用いているが、それらについては何の情報も得られなかった。

本報告の目的は、道路網の建設および管理を所管する関係諸機関に対し、意志決定に必要な情報を提供することで、見識のある判断を促すことである。

2. 定義

2. 1 連続鉄筋コンクリート舗装 (CRCP)

CRCPの特徴は、コンクリート内に連続した鉄筋があることと、施工目地以外には横目地を設けないことにある。コンクリート版の温度による体積変化は、目地に集中する代わりに、無数の微小ひびわれによって分散される。したがって、縦目地と横施工目地を除いて、全く目地が不要である。

縦方向鉄筋の量は、ひびわれをコントロールする観点と舗装の構造的連続性を保つ観点から決定する。その目的は、極めて幅の狭いひびわれを多数発生させ、雨水の浸透を防ぐとともに、骨材のかみ合せを確保して、十分な荷重伝達性を確保することにある。

2. 2 コンポジット舗装あるいは多機能舗装

CRCPを道路の構造的剛性を確保する支持層として用いる国もある。そこでは、瀝青材料で表基層を構成させている。

英国では、8～12 cmの瀝青表基層をCRC版に被せており、表基層厚は、構造設計で考慮に入れられる。このCRC版を「連続鉄筋コンクリート路盤 (CRCR)」と呼んでいる。

他の国、特にイタリア及び条件次第ではベルギーでも、CRC版を2から5 cmの薄層の開粒アスファルトコンクリートあるいは密粒アスファルトコンクリートで被覆する。これは路面性状の改善を目的としており、これらの層は構造設計には考慮されない。

フランスでは、人工着色コンクリートやポーラスコンクリートをCRC版の上に薄層で用いる試みも行われている。

3. 用語

(1) 縦方向鉄筋

道路軸に平行に配置された鉄筋

(2) 横方向鉄筋

縦方向鉄筋に対し、直角もしくは斜めに配置した鉄筋

(3) 鉄筋の支持

舗装内の所定の位置に鉄筋を支持し、コンクリートの舗設作業中にその位置を保持する装置や道具

(4) 縦方向鉄筋比

鉄筋断面積のコンクリート断面積に対する比率

(5) 版端処理

CRCPの版端の動きを吸収する版端部の処理で、定着梁あるいは膨張目地よりなる。

4. 開発

コンクリート舗装の最大の問題は、目地に関連したものであり、このため、目地の数を少なくする、あるいは無くす研究が始まった。CRCPの最初の試験が始まったのは、1921年、アメリカのワシントンD.C近くのコロンビアパイクにおいてであった。

その版は、長く、1㎡当り2～3kgの鉄筋で補強されていた。CRCPは、1938年インディアナ州で初めて実施されたが、技術的に大きく発展したのは、第2次世界対戦後であった。

目地の設計概念と施工に関してはかなりの進歩があったものの、目地有りコンクリート舗装では、定期的なメンテナンスが、交通の流れを止めたり、道路の一般的な利用の妨げになる問題が残された。

CRCPは必要なメンテナンスをかなり少なくする非常に魅力的な工法である。

現在、アメリカでは38州において48,000km（2車線道路に換算した場合）のCRCPが建設されている。

表-4・1は、アンケートに回答してきた各国のCRCPの施工に関して示したものである。

5. 選定基準

CRCPが道路建設において選定される際に、述べられる利点のうち最も多用されるのが、メンテナンスがほとんど不要である点である。これは、維持管理費用自体の削減もさることながら、道路利用者コストも低減させるものである。後者の費用は、最近では、道路投資費用の計算に考慮されるようになってきた。

多くの場合、鉄筋の使用により増加するコストは、メンテナンスコストが低くなることで相殺される。これまで行われた研究によれば、CRCPを鉄筋なしのコンクリート舗装と比較すれば、道路利用者コストを除いても、10～15年でトータルコストは同一となる。

その他のCRCPの利点は、長期にわたる良好な供用性と平坦性の持続にある。

6. 適用箇所

CRCPは主として、地方部の高速道路に用いられている。また、都市内高速道路への利用は、アメリカ、オーストラリア、マレーシアで、主要道路への適用については、アメリカ、ベルギー、オランダ、イギリス、日本で行われている。

また、空港の滑走路、誘導路、駐機場にも多く使われている。

さらに、既設舗装がアスファルト舗装やコンクリート舗装の場合のオーバーレイとしても用いられている。

日本では操業中の炭坑地域を通る道路への適用が、ベルギーではかなりの不等沈下が予測される湿地や泥炭質地帯での適用が報告されている。鉄筋があることとひびわれ間隔が狭いことにより、CRCPはある程度のたわみ性を有しており、また、版下へのグラウトの注入によって簡単に高さを戻すことができる。

表-4・1 CRCPの実績

#	国名	開始年度				延長	
		試験舗装		通常舗装		新設	オーバーレイ
		新設	オーバーレイ	新設	オーバーレイ		
							アスファルト上 コンクリート上
1	オーストラリア	1970		1975	-	320	-
2	ベルギー	1950	1964	1970	1977	2,430	320 180
3	フランス		1983	1986	1984	185	* 47+4 250
4	イタリア			1988	1988	20	** 43
5	日本	1963	-	1972		45	-
6	マレーシア	1986				160	-
7	オランダ	1968	1977	1990	-	8	6
8	ポルトガル	1990	-	1991	-	27	-
9	南アフリカ	1978	1981	-	1988	-	93
10	スペイン	1962	-	1975		172	-
11	イギリス	1975	1979	1981	1981	163	4.6 3.2
12	イリノイ州		1947		1961		4,200
13	メリーランド州		1959		1967		400
14	オクラホマ州		1968		1968		115
15	オレゴン州		1963		1965		480
16	テキサス州		1951		1959		14,500
17	バージニア州		1966		1967		400
18	ミシシッピ州		1959 以前		1959 以前		1,500
19	ウィスコンシン州		1962 以前		1963		700
20	アーカンサス州		1963		1967		250
21	ノースダコタ州		1963		1964		800
22	サウスダコタ州		1963		1968		580
23	ノースカロライナ州		1967		1968		650

注) * : + 4 は、切削オーバーレイ

** : 43 は、切削オーバーレイ

7. CRCPの要素

7. 1 コンクリート

CRCPに用いるコンクリートは、通常のコンクリート舗装に用いるものと粗骨材の最大寸法を除き、実際に何ら異なるところがない。これは、鉄筋間隔 (e) あるいは、縁部鉄筋と版縁端のスペース (eb) の関数として示される。最大寸法は、 e と eb の小さい方の半分の値 ($D = e/2$ あるいは $eb/2$) を越えてはならないと考えられている。

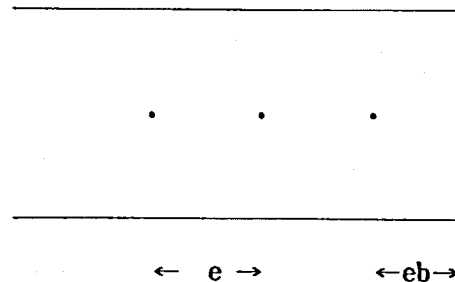


図-7・1 鉄筋の配置

鉄筋とコンクリートの十分な付着を得るために、コンクリートのワーカビリティは、鉄筋を十分に包み込めるほどのものでなければならない。

7. 1. 1 骨材

アメリカで研究が行われ、骨材の種類がCRCPの挙動に影響することが示されたが、他の国々では、その影響は認めてないようである。表-7・1は、この点に関して示している。0.5以上のPSV値の骨材を規定している国もあるが、これは、すべり抵抗を確保するためのものである。

7. 1. 2 セメント

多くの国では、ポルトランドセメントないしは高炉セメント等標準的なセメントが使われている。南アフリカ、日本、アメリカおよびポルトガルでは、フライアッシュないしは微粉末スラグを用いたセメントの使用についても述べている。オランダでは25%のフライアッシュを含むポルトランドセメントをコンクリート舗装の施工に用いている。

7. 1. 3 混和剤

混和剤自体の塩分含有量を除き、混和剤の使用に何ら制限はない。塩分含有量は、鉄筋の腐食に影響があるからである。

一般的に用いられている混和剤は、ワーカビリティと凍結融解抵抗性を改善するAE剤、遅延剤および減水剤である。

表-7・1 使用材料

#	国名	コンクリート材料						
		骨材	セメント			混和剤		
			ポルトランド	高炉セメント	混合	A E	遅延	減水
1	オーストラリア	玄武岩、珪質砂利	×	—	—	×	×	×
2	ベルギー	珪質砂利、斑岩、砂岩	×	×	—	無	×	×
3	フランス	石灰岩、珪質砂利、斑岩		CP5/45		×		×
4	イタリア	石灰岩	×	—		×		×
5	日本	砂利、碎石	×	時々	まれに	×		×
6	マレーシア	花崗岩、珪質石灰岩	×	—	—	×	—	×
7	オランダ	砂利	×		×			×
8	ポルトガル	石灰岩、珪質砂利	×		注1		×	
9	南アフリカ	珪岩、花崗岩	×	—	注2		無	
10	スペイン	珪質石	×	—	—			×
11	イギリス	珪岩、火打石、石灰岩	×		×			
12	イリノイ州	無規定	×		—	×		
13	メリーランド州	無規定	×	×	—	×		
14	オクラホマ州	無規定	×		—	×		
15	オレゴン州	無規定	×		—	×		
16	テキサス州	無規定	×		—	×		
17	バージニア州	無規定	×	×	—	×		
18	ミシシッピ州							
19	ウィスコンシン州							
20	アーカンサス州	無規定	×			×		
21	ノースダコタ州							
22	サウスダコタ州	無規定	×			×		
23	ノースカロライナ州							

注1：フライアッシュ添加

注2：時々、50/50

7. 1. 4 コンクリートの配合

コンクリートの骨材粒度は、一般的には、連続粒度である。セメント量についてはとりわけ大きく異なっており、 $280 \sim 375 \text{ kg/m}^3$ （時には 400 kg/m^3 も）に分布している。また、良好なモルタルを得て、耐久性を確保する観点から、水セメント比の上限を設定することも奨励されている。最大値は、 $0.55 \sim 0.45$ である。表-7・2は、コンクリートの主要な性状を示している。

7. 1. 5 強度の基準

コンクリートの強度は、縦方向鉄筋量を計算する際の重要な因子ではあるが、得られたアンケートの回答より比較結果を示すことは困難なようである。すなわち、供試体の形状（円柱、立方体、直方体）だけでなく、試験方法（圧縮、曲げ、引張）も異なることから、結果同士に確実な関係を見いだせなかった。表-7・3にアンケートの集計結果を示す。

しかし、使用するコンクリートは、交通荷重を支える十分な強度を有するだけでなく、コンクリートと鉄筋間に十分な付着を与える品質のものでなければならないことは明らかである。

さらに、融氷剤を散布する地域では特に、コンクリートの耐久性も重要である。

表-7・2 コンクリートの配合設計

#	国名	最大粒径 (mm)	粗骨材/砂比	最小セメント量 (kg/m ³)	水セメント比	空気量 (%)
1	オーストラリア	20	60/40	300~320	無規定(0.55)	4 ~ 7
2	ベルギー	32	無規定	375	0.45	—
3	フランス	40	無規定	330	無規定(0.48)	3 ~ 6
4	イタリア	40	無規定	370	0.45以下	5±1
5	日本	40	70/30	280~340	0.45~0.50	4±1
6	マレーシア	40	無規定	280	0.55以下	—
7	オランダ	32	無規定	350~375	—	—
8	ポルトガル	40	70	340	0.48	—
9	南アフリカ	26.5	65/35	320~340	0.50以下	2 ~ 4
10	スペイン	40	無規定	300	0.46	4 ~ 6
11	イギリス	40	無規定	320	0.45	4±1.5
12	イリノイ州	38		—	—	5 ~ 8
13	メリーランド州	38		361	0.5	5 ~ 8
14	オクラホマ州	63		335	0.53	5 ~ 7
15	オレゴン州	38		335	0.53	3 ~ 6
16	テキサス州	44		280	0.55	4 ~ 6
17	バージニア州	25.5~38	無規定	335	0.49	4 ~ 8
18	ミシシッピ州	63				
19	ウィスコンシン州	38				
20	アーカンサス州	38	無規定			6±1.5
21	ノースダコタ州	50				
22	サウスダコタ州	25~38	無規定			5 ~ 8
23	ノースカロライナ州	38				

表-7・3 強度規定

#	国名	供試体 (mm)	材令 (日)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	その他
1	オーストラリア	φ150 H300	28	30	3	4~4.5 注3	空気4±1% 空気3%以下
2	ベルギー	φ112 H100	90	60±1.645σ	—	—	
3	フランス	140x140x560	28	—	—	5.5以上	
4	イタリア	150x150x150	28	50以上 注1	3.5±5.5注2	5.5以上	
5	日本	150x150x530	28	—	—	4.5	
6	マレーシア	φ150 H300	28	—	2.35	—	
7	オランダ	φ112 H100	28	45以上	—	—	
8	ポルトガル	150x150x600				4.5	
9	南アフリカ	150x150x700	28	33 注1	—	3.79 4.9	
10	スペイン	150x150x600	28	—	—	4~4.5	
11	イギリス	150x150x150	28	40	—	—	
12	イリノイ州		14	24.5	—	4.55	—
13	メリーランド州		28	—	2.45	—	—
14	オクラホマ州		28	—	—	—	—
15	オレゴン州		14	—	—	—	—
16	テキサス州		7	—	—	4	—
17	バージニア州		14	—	—	4.2	—
18	ミシシッピ州		14	—	—	3.85	—
19	ウィスコンシン州		28	—	—	3.75	—
20	アーカンサス州		28	—	—	4.2	—
21	ノースダコタ州		3	—	—	3.5	—
22	サウスダコタ州		28	—	—	3.85	—
23	ノースカロライナ州		14	—	—	3.85	—

注1 : 150 x 150 x 150

注2 : φ150 H300

注3 : 材令90日

注4 : 密度95%、空気4±1.5%

7. 2 鉄筋

表-7・4は、アンケートの回答をまとめたものである。

7. 2. 1 縦方向鉄筋

使用する鉄筋は、弾性限界が400～500MPaの異形鉄筋である。ベルギーでは、既設コンクリート舗装上の厚さが変化するオーバーレイとしてCRCPを用いる場合には、600MPaの弾性限界の鉄筋を用いる。これは、この種の適用においてオーバーレイ厚さに変動があるため、それが鉄筋にもたらす応力の増大を補償するためである。

縦方向鉄筋の直径は、一般に13～22.5mmである。この直径の選択は、所要鉄筋比および鉄筋間隔から決まる。

縦方向鉄筋の重ね長さは、480～700mmであり、用いる鉄筋径の関数として示されることが多い（直径の2.5～3.5倍）。継手の位置は、同一横断方向に全てが集中しないようにずらす。継手の1/3以上が、同一横断位置に並んではならない。継手位置を斜め（雁行）に配置する国もある。

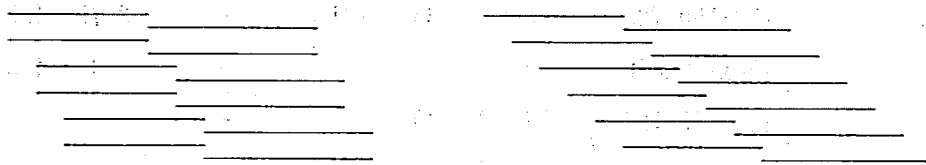


図-7・1 継手位置の配置

一般に、鉄筋は版厚の上表面から1/3の所に配置されるが、中心に入れる国もある。アンケートの回答をみると、コンクリート表面のひびわれのひらきを制限することから、前者の方が望ましいようである。しかし、鉄筋上の十分な被りも、鉄筋の腐食の問題を防ぐためには必要なようである。最小被りは60mmといわれている。

エポキシコートした鉄筋の使用例は極めてまれであり、わずかに、イリノイ州、ウィスコンシン州、オクラホマ州、メリーランド州およびイギリスで試験舗装として行われたにすぎない。

表-7・4 縦方向鉄筋

#	国名	鉄筋比 (%)	継ぎ手パターン		継ぎ手長さ	鉄筋間隔	
			斜め	千鳥		最大	最小
1	オーストラリア	0.67	×	×1/2			
2	ベルギー	0.85~0.67 0.72	×60°		35xφ	150	150
3	フランス	0.67		×	35xφ		3xD (粒径)
4	イタリア	0.72		×	700mm		
5	日本	0.52~0.80	×60°		25xφ		
6	マレーシア	0.65	×60°		35xφ		
7	オランダ	0.67~0.72			500mm		
8	ポルトガル	0.67	—	×	30xφ 500mm	150	150
9	南アフリカ	0.60~0.62		×	24xφ	無規定	無規定
10	スペイン	0.84~0.7	×20°	×	30xφ		
11	イギリス	0.6	×	×1/2	30xφ or 450mm		
12	イリノイ州	0.7					
13	メリーランド州	0.61		×	480mm	150	
14	オクラホマ州	0.61		×	460mm	200	150
15	オレゴン州	0.7	×		480mm	197	146
16	テキサス州	0.49~0.63			33xφ	229	150
17	バージニア州	0.65	×		460mm	150	
18	ミシシッピ州	0.585			508mm	165	
19	ウィスコンシン州	0.61~0.65~0.70			482mm		
20	アーカンサス州	0.60		×	406mm		
21	ノースダコタ州	0.60			457mm		
22	サウスダコタ州	0.60			457mm		
23	ノースカロライナ州	0.60			457mm		

7. 2. 2 横方向鉄筋

横方向鉄筋を用いる場合は、異形鉄筋とし、縦方向鉄筋と同一の弾性限界有するものとしなければならない。

直径は12～16mmである。ただし、テキサス州は例外で、19mmを使う場合もある。

これらは縦方向鉄筋の下に、直角ないしは斜めに配置する。

斜めの敷設法は、1970年にベルギーで行われて以来、その他5ヶ国で採用されている。横方向鉄筋は比較的直径は小さいけれど、直角に配置したときは、ひびわれを誘発し、それが横方向鉄筋直上に発生することもあり、横方向鉄筋の腐食をもたらす危険性があるからである。横筋の間隔は400～1000mmである。

7. 2. 3 鉄筋の支持

コンクリート打設中に所要の高さに鉄筋を維持するための金属性の装置である。

ベントシートスチールあるいは格子ビームからなる種々の支持システムがある。前者は、縦方向鉄筋を取り込んで固定するもの、後者の場合は、横方向鉄筋が上側サポートバーとなる。

これらの装置は、人が乗っても変形しないものでなければならない。

8. 設計

8. 1 概説

舗装構成（各層の厚さ）の設計と、鉄筋比の計算とは明確な相違があることを認識しておく必要がある。

鉄筋の主要な役割は、コンクリートの温度変化によって生ずる応力を引受け、ひびわれを適切に分散させることにある。したがって、これに基づき鉄筋量が計算される。

8. 2 CRCPの構造

CRCPを用いた道路構造の計算は、通常の日地ありコンクリート舗装の場合と同じである。

それでもこれに関しては二つの方向性がある。

ひとつは、フランスやスペインのような国で、あるいは最近までのベルギーでみられる。CRC版は構造的連続性があるため（縦方向で荷重伝達性の均一性があるため、版隅角部の载荷はない）、版厚を日地有りコンクリート舗装に比べて5～10%程減らせるとしている。

さらに、コンクリート路肩の採用などはさらに版厚を減らせるとする考え方もある。

この方法で設計された舗装の挙動が良好であるだけでなく、版厚を減らせ、鉄筋量を減らせるという経済的面もこの方法を推進する理由となっている。

もう一つの方向性は、アメリカのFHWAが1990年から推奨するものであり、これはコンクリート舗装は連続鉄筋であろうと、日地ありであろうと、同一版厚を採用すべきとする考え方である。

アメリカでは、1981年の「AASHTO舗装設計指針案」の改訂で、その地域で版厚が小さくても十分満足すべき供用性を示してきたという経験がないかぎり、CRCPの版厚は日地有りコンクリート舗装と

同一とすべきことを推奨した。さらに、1986年のAASHTO設指針では、版厚設計の際のインプットとして荷重伝達係数(J)を選択するようになった。Jの値は、目地有りコンクリート舗装の場合は3.2である。CRCPの場合は2.9から3.2であり、その値は横方向ひびわれ部の骨材の噛み合わせによる荷重伝達能力の大きさによるとしている。その結果、各機関は、その地域の骨材や気象条件に応じて基準を設定することとなっている。ちなみにJが2.9であれば版厚は10mmほど薄くできる。

実際、これらの2つの方向性のひとつを選択することは難しい。というのは、そのほかの多くの要因がCRCPの版厚に影響するからである。その代表的なものとしては、路盤の性状、交通荷重、コンクリートの性状および鉄筋比などがある。

なお、CRCPでも目地ありの通常コンクリート舗装でも、構造は実際的には同じであり、一般に、路床、路盤、コンクリート舗装版から構成されている。

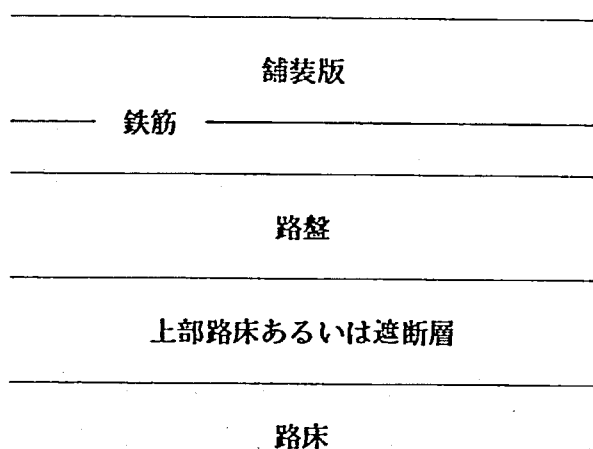


図-8・1 CRCPの層構成

8.3 CRCPのための路盤

原則的には、CRCPの路盤は通常のコンクリート舗装のものと同じでなければならない。しかし、非エロージョン性の材料を用いること、スラブ路盤境界面の迅速な排水を確保することが極めて重要である。

上記の2点は、CRCPが重交通路線に適用される場合に特に重要である。境界面における水の存在、あるいは路盤のエロージョン性は、ひびわれ間隔が狭い箇所における外側端部のパンチアウトにつながる(11.1参照)。

セメント安定処理路盤の場合には、アスファルト中間層を挿入することを推奨している国もある。

ポーラスで非エロージョンな路盤を採用したときに、最も良好な供用性が得られている。

8. 4 縦方向鉄筋比の算定

多くの計算手法があり、その多くは、コンクリートと鉄筋の曲げモーメントの比率に基づいている。その他のものとして、鉄筋の応力、ひびわれの間隔および幅を考慮したものがある。

各国は、これらの方法の1つあるいはその他の方法を用いているが、最終的には鉄筋断面積については、それぞれの国の経験によって修正決定している。例えば、湿潤な気候条件で融氷剤を多く用いる地域では、鉄筋比は若干高くする。アメリカ南部地域では0.6%あるいはそれ以下の鉄筋比であり、一方、アメリカ北部では0.7%あるいはそれ以上とする地域もある。

用いた設計法に関わらず、収集されたデータ(表-7・4)をみると、2, 3の例外を除いて、鉄筋比はコンクリートの強度に無関係に0.6~0.7%である。

しかし、ひびわれの分布状況とひびわれ幅は、本調査では明確でないものの、種々異なっていることは明らかであるので、さらに定量化していく必要がある。

8. 5 横方向鉄筋の計算

横方向鉄筋比は0.05~0.1%になっている。本鉄筋の目的は、万一の縦方向ひびわれの開きを抑え、一方で縦方向鉄筋を所定の位置に保持することにある。鉄筋量の計算方法は、鉄筋生産者協会から提案されている。

8. 6 端部の動き

CRCPの端部は、主に版温度変化による動きを受ける。これらの動きは、温度変化に連れて大きくなるが、版と路盤の摩擦係数に反比例する。このような理由から、数百mにわたって路盤と版の摩擦を増加させることを行っている国もある。このことについて、採用された工法に関わらず、以下に述べる。

CRCPの膨張によって生ずる動きは、実際非可逆的であり、版端の50~100mにおけるひびわれの幅を開かせる要因となる。加えて、これらの動きは、隣接する構造物(表層や土木構造物)に圧縮応力を生じさせる。

このため、これら動きを相殺するために、膨張目地(橋梁タイプ目地)、ワイドフランジビーム付き目地および定着梁の3つの方法がとられている。

しかし、CRCPと目地有りコンクリート舗装との突き合わせ部では、先述した版と路盤間の摩擦力を高めること以外に特殊な方法は使われない。

8. 6. 1 膨張目地

6ヶ国で版端の動きを吸収する目地を使用している。これらの膨張目地には、鉄とゴム、あるいは橋梁に用いられるくしタイプ(フィンガータイプ)のものが使われている。

本システムの欠点は、まずコストであり、次に、それが正常に動くには定期的なメンテナンスを必要とすることである。

8. 6. 2 ワイドフランジビーム付き目地

4ヶ国が本システムを使用している。これは、枕版に固定された金属性ワイドフランジビームからなっており（図-8・2）、ビームのウェブと舗装版の間には圧縮可能な材料を挿入する。

この種の目地を用いる場合には、2～3の通常の膨張目地も設けるのが一般的である。

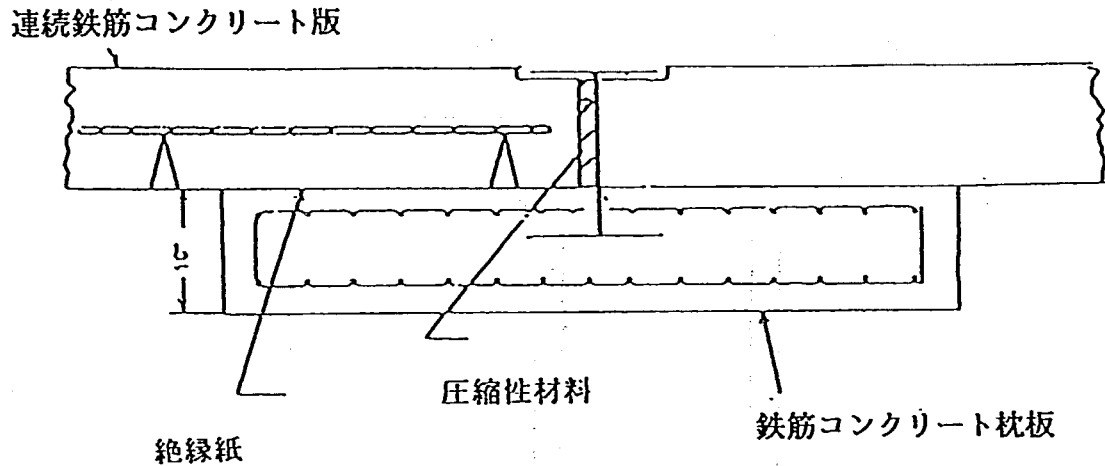


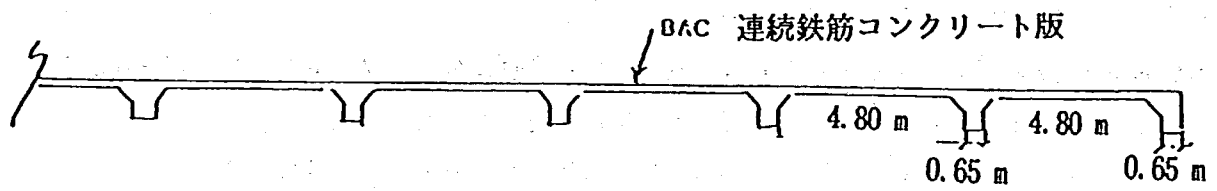
図-8・2 ワイドフランジビーム付き目地

8. 6. 3 定着梁

これは、3～6ヶの横方向梁を路盤内に埋設するものである（図-8・3）、重量摩擦タイプ1つである。梁の数は、路床の土質によって、3～6ヶと異なる。

この種のシステムを用いる場合にも、2～3ヶの通常の膨張目地を設ける。版の鉄筋は、梁の上ではダブルとする。

本システムの利点は、メンテナンスが不要な点にある。



DETAIL D'UN VOILE

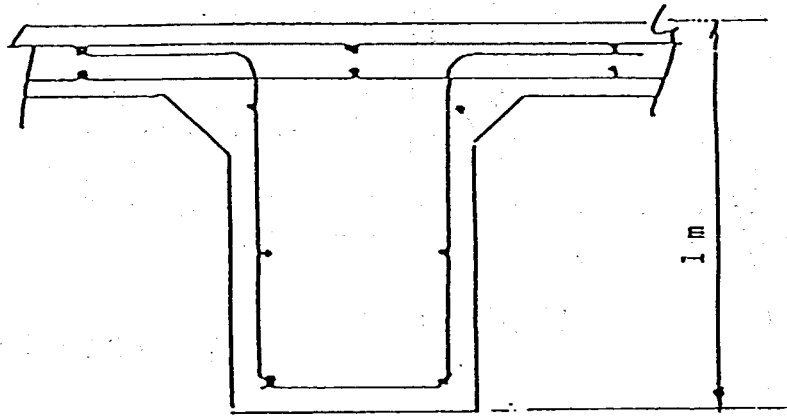


図-8・3 定着梁

8. 6. 4 既設コンクリート舗装上のCRCオーバーレイ

本ケースの場合には、ピンを既設スラブに半分、オーバーレイコンクリートに半分打ち込んで定着構造とする。

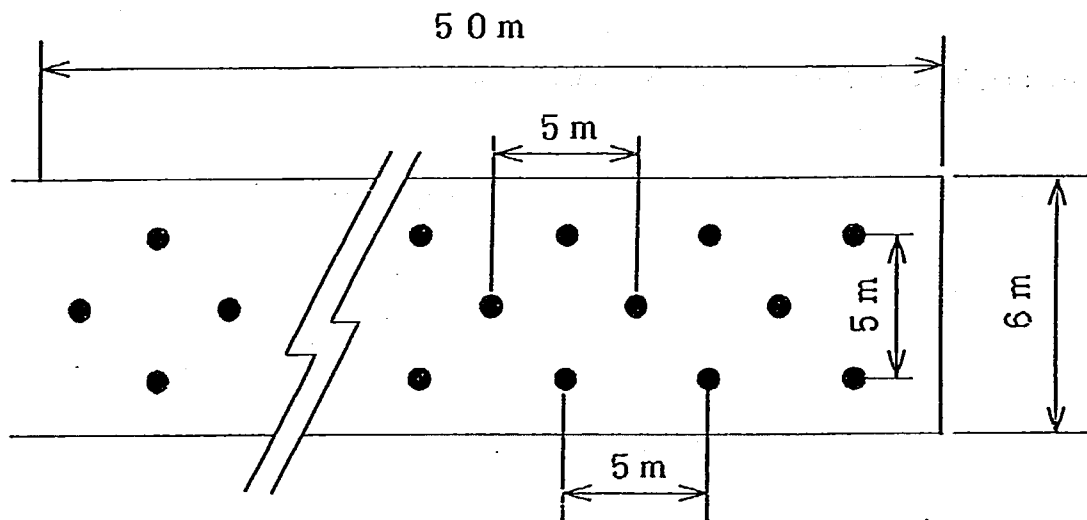


図-8・4 CRCオーバーレイのアンカー筋の平面配置

9. 施工

CRCPの供用性には、他のタイプの舗装と同様に、打設時の施工上の注意が大きく影響してくる。特に施工目地で見られる破損には、施工ミスに寄因しているものもある。

施工方法を詳述することは本レポートの目的ではないが、この点に注意を向けることは必要である。

9. 1 路盤面の処理

路盤面を完全に仕上げ、支持の安定、すなわち、鉄筋の適正な位置とコンクリート版厚の一様性を確保しなければならない。生じた路盤面の不良箇所は、鉄筋敷設前に補修せねばならない。

9. 2 鉄筋の設置

最も一般に使われている方法は、鉄製のチェアや鉄筋格子の上にセットするものであり、後者の場合、格子の上部は横方向鉄筋を兼ねている。幾つかの国では、フィダーチューブ（スリップフォームペーパーに組み込まれ、横方向鉄筋を省略して縦方向主鉄筋だけを敷き込むもの）を備えた機械を用いている。この方法による結果は様々であり、例えばフランスではかなり満足すべき結果を得たが、オーストラリアやアメリカの数州では鉄筋の位置が所要の位置にセットできないという点で妨げられた。これまでの経験によれば、縦方向鉄筋の位置に最大75 mmものずれが生じている。幾つかの国では本方法を禁止した。

鉄筋マットをフレッシュコンクリート中に振動させてゆり込む方法もあるが、アメリカの1州のみ行われており、7州では禁止されている。これは、鉄筋位置がきちんと確保できないことによるものである。3州では、2層敷きならし法を用いている。すなわち、下層を締固めた後鉄筋をその上に置くというものである。その他の場合とは、1層敷きならし締固めである。

この2層施工法はある州では禁止されている、これは供用成績にかなりばらつきがあるため推奨できない。

しかし、フランスのように、1台のスリップフォームペーパーを用いて、2層のコンクリートを打設する施工法を開発したところもある。本方法による施工箇所は8年経過しているが供用性は満足できる。

鉄筋の設置法が何であれ、次の点に常に留意する必要がある。

①鉄筋の状況（腐食の有無）

②全幅員内の縦方向鉄筋の数

③縦方向鉄筋の継手長とその継手方法

④鉄筋の位置

⑤支持の安定性

⑥横方向鉄筋の間隔

⑦鉄筋間隔

⑧縁部鉄筋と版縁端の間隔

9. 3 コンクリートの混合と舗設

コンクリートミキシングプラントにおける厳密な管理が極めて重要であり、特に、材料の配合と、混合時間を適切に管理し、均一なコンクリートとなるようにしなければならない。単位水量と混和剤量は、ワーカビリティとコンクリートの強度に直接影響してくるので特に重要である。

ワーカビリティは、舗設方法に見合ったものでなければならない。すなわち、型枠を用いて表面振動型で締固めるものと、スリップフォームペーパーを用いて内部棒状振動バイブレータを用いる場合である。棒状バイブレータを用いる場合には、その位置を鉄筋に触れない位置となるよう調整しなければならない。コンクリート版全厚についてコンクリートを完全に締固めることと、鉄筋の間に十分コンクリートを行き渡らすことが必要である。

特に、その日の施工の開始時と施工の終了時（施工目地において）では、締固め作業と締固め程度が極めて重要である。これら施工目地付近では、良好な仕上げを確保するためには、補足的な振動締固めを用いることが不可欠である。さらに、施工目地では縦方向鉄筋を2倍とする国もあり、あるいは、その日の最初と最後の配合では、単位セメント量を約25 kg/m³増加させることも推奨している国もある。

9. 4 表面仕上げとコンクリートの養生

9. 4. 1 表面仕上げ

表面仕上げにより、道路利用者が快適、安全に走行できるような平坦性を確保しなければならない。

表面仕上げについては、「コンクリート道路（PIARC、1987）」と「コンクリート舗装のタイヤ／路面騒音の低減」（1981年マラケシュ大会において、コンクリート道路技術委員会から刊行された報告書）に報告されている。とりわけ後者の報告では、種々の仕上げ法で得られる騒音レベルと、騒音を低減するための手法について述べている。

9. 4. 2 コンクリートの養生

フレッシュコンクリート表面が乾燥するのを防いで、以下のことを確保することが絶対に必要である。

①コンクリートの耐久性（すり減り、凍結および融氷剤の影響への抵抗性）

②ひびわれの均等な分散（開きの大きいひびわれを防ぐ）

③表面仕上げ効果の長期的持続

最後の機械が通過したあと、ただちに養生を開始する。養生剤は、白色か金属着色のもので、効果的（レジンベース）であり、適当な量（±200 g/m²）散布しなければならない。

コンクリート舗装表面の破損は、その多くが養生が不十分であることに起因している。特に、気温が高い（30℃以上）のときには、養生剤量を増やすとか、湿潤にしたマットで覆うとか、養生後表面に散水噴霧するとかの特別な処置が必要である。

コンクリートが冬期に打設される場合は、養生剤散布後、コンクリートが凍結しないような適切な処置を執らねばならない。

10. CRC Pの供用性

良好に設計され、施工されたCRC Pは良好な供用性を示すことが、供用年数35年や40年の多くのプロジェクトにより証明されている。ここでは、ほとんど最小のメンテナンスコストで済んでいる。これが、最近CRC Pの適用が増加している理由である。

これらの供用性は、ひびわれの発生状況（ひびわれ間隔、開き）に明らかに関係する。最終的なひびわれ間隔、ひびわれ幅、鉄筋に加わる応力は、CRC Pの供用性に大きく影響する。そして、いつもコントロールできるとは限らない多くの要因が絡むため、ひびわれ程度を正確に予測することは困難である。

第1の要因は、舗装厚の設計と鉄筋比である。しかし、他の要因、例えば、路盤と版の摩擦係数、打設時の温度と版が供用中に蒙る最低温度の差、鉄筋の径、間隔、位置なども無視できない。

初期ひびわれは、最初の版温度の低下と、それによるコンクリートの温度収縮によって生ずる応力により発生する。その他のひびわれは、その後に起こる版温度の低下と交通荷重により発生する。内部（収縮）応力と外部（輪荷重）応力の組合せ状態は、その道路の種類と、気候条件によって明らかに異なり、それゆえ、先述したように、ひびわれの発生程度を予測するのが難しいのである。

幸いにもあまり多くはないが、大部分の失敗は、以下の事項に起因する。

a. 設計段階

- ①舗装構造ないしは版の過小設計
- ②縦方向鉄筋の不足（気候によるが、0.6～0.7%必要）
- ③システムにおける排水機能ないしは連続性の欠如（特に、路盤とスラブの境界面）
- ④エロージョンしやすい路盤（ポーラスで非エロダブルな路盤では最善の供用性が得られている）

b. 施工段階

- ①低品質骨材（凍結の影響を受けやすい骨材や偏平な骨材は禁止）
- ②低配合コンクリート
- ③路盤および版の施工時の不注意
- ④フレッシュコンクリート養生の省略や怠慢（蒸発および乾燥からの保護）
- ⑤鉄筋の敷設の不良（最小被り、間隔、継ぎ手長、高さが不十分）
- ⑥施工目地での施工不良

要約すれば、どの舗装種類にもあてはまるが、施工だけでなく、設計の面でも良好なものであることが必要である。

このように述べた注意点はあるものの、CRC Pで耐久的な舗装を建設するのは、その他の舗装の建設よりも特に難しいというものではない。

11. 主要な破損

11.1 縁部パンチアウト

版の外側縁部で生ずるパンチアウトは、一般にCRCPの主要な破損形態の1つとみなされている。スラブと路盤間の排水が不十分であったり、路盤がエロージョンを起こしている場合に、版端に重い荷重が載ると、ひびわれ間隔が狭いところ（50cm以下）で、パンチアウトが生じる。

この問題には、多くの要因が絡んでくる、例えば

- ①鉄筋位置（版中心に置く方法は、版表面1/3に置く方法より良いとはいえないようである）
- ②縁部鉄筋と版縁端の距離（この距離が大きいほど、危険性が大きい）。
- ③鉄筋量（鉄筋比が小さいほど、ひびわれ幅が大きくなる（0.5mm以上）危険性が大きくなる。一方、あまり鉄筋比が大きすぎるとひびわれ間隔が狭くなり、路床、路盤が弱い場合には早期の破損を生じる）
- ④不十分な厚さ（版厚が薄いほど、危険性が大きい）
- ⑤縦目地における目地材の不足ありは欠如、特に、版とハードショルダーの間の目地

11.2 施工目地

いくつかの国では、施工目地における破損が観察されている。これは、目地の下部あるいは上部のコンクリートが十分に締固っていないために生ずるものである。暑い時期の施工では、偏芯した圧縮応力が版を持ち上げ、その際に目地に沿ったコンクリートの破損が伴うのである。これは、施工が悪いため生ずるものであり、この種の目地の施工には、多大な注意を払わねばならない。

良く知られている対策は以下のとおりである。

- ①その日の最初と最後のバッチは約25kg/m³セメント量を増加させること
- ②人力により、棒状パイプレータを用い、目地の両側を十分に締固めること
- ③目地断面における鉄筋量を増すこと

11.3 ひびわれ部の角欠け

これは、ひびわれ幅が広い（0.5mm以上）（これは鉄筋比が小さすぎることを示す）場合に生じ、また、劣った品質のコンクリートを用いた場合にのみ見られる。融氷剤の作用もこの現象を促進するようである。

11.4 縦方向ひびわれ

舗装構造または版の設計が過小であると、それは版縁から1m内側のところに生ずる縦ひびわれという形であらわれる。これらが、近接した（0.5m以下の間隔）横ひびわれと交わる場所でパンチアウトにつながり、ひいては舗装寿命の低下につながる。

11.5 鉄筋の腐食

破損の原因として、これはほとんど見られない。これは、舗装をよほど悪く設計（鉄筋比が小さすぎて、0.5mm以上の開きのひびわれが生ずるとか、2層締固めで施工した場合の数ケースとか、鉄筋の被りが不十分（60mm以下）な場合とか）しないかぎりあらわれない。被りについては、粗骨材の最大寸法の2倍は必要である。

エポキシでコートした鉄筋の使用は、米国の4州と英国で試験施工として行われているにすぎない。

12. メンテナンスと補修

12.1 メンテナンス

CRCPは、ほとんどメンテナンスを要しない、これが本舗装の利点の1つである。しかし、排水が有効に機能しているかをモニタすることと、縦目地の目地材（特に、版とハードショルダーの間の目地）を良好な状態にメンテナンスすることは、必要である。

12.2 補修

補修方法について詳細に述べるのは、本報告の範囲外である。しかし、その作業を実施せねばならぬときに役に立つ基本的原則については述べておくことは有用であろう。

- a) 他のタイプの舗装と同様に、破損の原因を注意深く診断することがまず必要である。破損の原因が、除去できないあるいは緩和できないならば、どんな補修も永く持ちこたえない。
- b) 部分的な補修（パンチアウト、施工目地、局部破損など）においても、舗装の構造的連続性を保つことは不可欠である。

アスファルト混合物による暫定的な補修は、非連続性の問題と挙動の問題があるため避けた方がよい。

13. 主な勧告

13.1 概念と設計

コンクリート舗装の概念と設計は、それが目地有りの場合か、CRCPの場合かによって特に大きく異なるわけではない。しかし、設計者にとっては、以下の注意すべき点がある。

13.1.1 概念

断面設計にあたっては、以下の点を考慮しなくてはならない。

- ①排水は効果的で長期間保たれること、特に版と路盤の境界面
- ②路盤材料は、非エロダブルであるべきで、さらに透水性のものが望ましい。また、路盤の幅は、CRC版よりも少なくとも2mは広くしなければならない。もしハードショルダーがあれば、路盤は路肩の下まで伸ばさねばならない。
- ③緩速車線側の幅は、走行車線よりも少なくとも0.5m以上広げるのがよい。ハードショルダーを使うならば、縁部載荷による発生応力を小さくするため、車線と路肩は鉄筋で結合する。この拡幅部分は、道

路利用者に、走行車線と異なることを認識させるため、表面処理等も施工できる。オーストラリアではCRCPの車道に目地有りのコンクリート路肩を設けている。このコンクリート路肩は、RCP施工後に施工されねばならない。

④横断勾配は最小1.5%とする。もちろん、これはその地域の気候条件や縦断勾配に適合させねばならない(縦断勾配が小さければ、横断勾配を増すなど)。雨の多い国では、2.5%が望ましい。

⑤縦目地部の定着にも格段の注意を払うものとする。すなわち、鉄筋量は $3.5\text{ cm}^2/\text{m}$ 以上とする。また、これらの鉄筋は、直径16~18mm、配置間隔500~700mmとして、縦方向鉄筋の下に配置する。各車線毎に施工した場合には、硬化した既設舗設レーン側面に削孔して設置するのが望ましい。

13. 1. 2 設計

①CRCPの設計は、通常のコンクリート舗装同様に行う。凍結を考慮せねばならない地域もある。ある国では満足すべき結果を示したCRCPの版厚の縮小が容認できるか否かを知ることが残された課題である。

増大する過大荷重も考慮する必要がある。

②鉄筋比を算定するときには、その地域の気象条件を考慮しなければならない。一般に、乾燥地域なら0.6%、湿潤もしくは、融氷剤を用いるような寒冷(凍結)地では0.7%であろう。

③弾性限界が少なくとも400MPaで、直径が12~23mmの高付着(異形)の鉄筋を用いるべきである。最小鉄筋間隔は粗骨材の最大寸法の21/12とし、最大値は200mmとする。継手長さは直径の30倍以上とする。その際、継手位置は、雁行かあるいは同一横断面に鉄筋継手の1/3以上が集中しないようにする。横方向鉄筋を用いる場合は、その間隔は400mm以上、1000mm未満とする。

13. 2 施工

これについては、「第9章 施工」で述べているが、主要項目だけもう一度示しておく。

①鉄筋の設置

機械的設置装置(フィーダーチューブ)による方法でも良い結果が得られている国もあるが、本方法は多くの国で禁止されており、金属性チェアのうえに、人力で設置した方が望ましいようである。誤差は、鉄筋位置の高さでは15mm、間隔については20mm以内とする。縁部鉄筋と版縁端の距離は、鉄筋間隔より大きいものであってはならない。

②コンクリートの打設

一般のコンクリート舗装時の施工上の注意点の他に、鉄筋を十分に被覆し、保護できるようにコンクリートのワーカビリティに注意することが大事である。また、施工目地における施工上の注意を守ること大事である。

14. 新技術

1983年、フランスにおいて、高速道路の既設コンクリート舗装上のオーバーレイとしてCRCPが施工された。そして、1986年からは、高速道路の新設工事にも用いられ始めた。

本工法は、いわゆる「伝統的」CRC技術、すなわち鉄筋比0.67%、弾性限界500MPaの16mm径異形鉄筋を版厚20cmのものに15cm間隔で配置する技術、であった。横方向鉄筋は、当初12mmのものを道路軸に直角に配置していたが、その後本方法は中止され、チューブフィーダーによる方法を用いるようになった。

1986年に、異形丸鋼のかわりに、弾性限界700MPaの亜鉛引き異形平鋼を用いた最初の試験施工が行われた。この平鋼は厚さ2mm、幅40mmであった。この技術は、Flexarmという商品名で知られており、鉄筋比を0.3ないしは0.4%に減らしうるものであった。3年経過時点の供用性も極めて良好である。

1988年10月より、パリーリヨン間の高速道路にて、最初の施工が Societe des Autoroutes Paris-Rhin-Rhone によって行われた。

1991年の時点では、2車線換算で100kmの実績があった。

その後、平鋼の厚さは2.3mmに増し、弾性限界800MPaのものを用いるようになったので、鉄筋比は0.37%となった。

本工法は、鉄筋量を著しく減らせるばかりか、コンクリート打設前に特別な準備が不要である平鋼リールを用いているため一日当りの施工量をかなり大きくすることができる。加えて、工事現場の長さは約100mとかなり短くなる。

供用3年後の調査によれば、ひびわれ間隔は大きく、ひびわれ幅が1.2mmに達する場合もあるが、全体的な供用性は良い。亜鉛のコンクリートに及ぼす化学的影響の可能性を心配する国もあるが、鉄筋を亜鉛メッキすることで、少なくとも鉄筋の腐食の問題は生じない。

0.37%と低い鉄筋比（通常の異形丸鋼を用いる場合の約1/2）は、縦方向鉄筋比の計算手法に関する問題を再び提起している。この場合、鉄筋とコンクリートの付着強度が極めて重要となろう。

15. 結論

15.1 技術的観点

CRCPは、当時の技術水準により施工されたものの多くが良好な長期供用性を示している。この工法は難しい技術であるといわれているが、適用にあたっては他の工法よりもさほど難しいものでもないこともわかってきた。しかし、これまで述べてきた諸注意は必要である。

15.2 経済的観点

道路建設の投資効果を評価するためには、初期建設コストだけでなく、以下の因子も考慮する必要がある。

①舗装の寿命と借入金の利率

②舗装の残存価値（予測寿命の最後における）

③メンテナンスと運用のコスト

*初期建設コストは、材料供給（特にセメントと鉄）および施工機械とその熟練工に依存する。

*CRCPの寿命は、世界各国の例で示されるように、40年と推定される。しかし、それも施工技術に制限され、設計に特に依存する。CRCPの技術は、版厚を少し加えるだけでかなりの寿命が伸ばせる工法の一つであることはまちがいない（版厚2cm増で、寿命は2倍になる）

*借入金利率とローンの支払いは、それが舗装の寿命と関係するので重要である。

*CRCPの残存価値は高い。耐久性の限界に至っても、単純なオーバーレイで補修できる。

*メンテナンスコストはかなり小さく、それは縦目地の目地材の再注入や排水システムの機能回復に限られている。

*運用コストは重要である。それらには部分的破損の補修費の他、道路利用者コストも含まれる。

運用コストは、道路メンテナンスによる交通速度の低下や、交通渋滞が道路の合理的運用に影響するところでは、特に重要である。

重交通路線、トンネルとそのアプローチ、空港滑走路と駐機場およびいくつかの都市内道路がこれに相当する。

道路が全運輸の70%以上を支えている今、交通の流れを妨害するものは、大きな影響を持つ。さらに、ある研究によれば、道路作業によって、車線が制限されたり、交通が誘導される箇所では、事故が増加しているといわれている。

本報告の範囲内では、各国の異なる条件下でコストを推定、計算するのは不可能である。道路の構造を選択する際の比較検討は、それぞれの国の所管官庁に委ねる。

参考文献

1. C.P. VETTER - Stressés in reinforced concrete due to volume changes - American Society of civil engineers papers - pp. 197-211 - Feb. 1932
2. Y. DECHAMPS - Revêtements en béton de ciment avec armatures - Etude d'information - F 33/63 - Centre de Recherches Routières - Bruxelles
3. Design of terminals for rigid pavements to control end movements - State of the art - N.A.S. Washington D.C. - Special report 1973
4. NOBLE C.S. - MACCULLOUGH B.F. - Nonographs for the design of CRCP steel reinforcement - Center for Highway Research - University of Texas - Austin - 1979
5. DARTER M.I. - LACOORSIERE S.A. & SMILEY S.A. - Structural distress mechanisms in continuously reinforced concrete pavements - Transportation research records nr. 175 - 1979
6. TAUTE A. & MACCULLOUGH B.F. - Manual for condition survey of continuously reinforced concrete pavements - University of Texas - Austin - Center for transportation research - Bureau of engineering research - Research report 177 - 19 - FHWA/TX - 79/92 + 177 - 1981
7. DARTER M.I. - Continuously reinforced concrete pavement - Rehabilitation needs and methods - Proceedings of the CRCP workshop - New Orleans - 15-16/2/78
8. RAY G.K. - Concrete shoulders for CRCP - Proceedings of the CRCP workshop - New Orleans - 15-16/2/78
9. YODER E. - Identifying distress and failures in CRCP - Proceedings of the CRCP workshop - New Orleans - 15-16/2/78
10. MACCULLOUGH B. - MA J. - NOBLE C. - Limiting criteria for the design of continuously reinforced concrete pavements - Transportation research record - 756 - 1980
11. ROLLINGS R. - Gasps of engineers design procedures for rigid airfield pavements - Proceedings - 2nd International Conference on concrete pavement design - Purdue University - April 14-16/1981
12. MACCULLOUGH B. & CAWLEY M. - CRCP Design on theoretical flex performance - Proceedings 2nd International Conference on concrete pavement design - Purdue University - April 14-16/1981

13. C.R.S.I. (Concrete reinforcement steel institute) - Construction of continuously reinforced concrete pavements - CRST - 1983
14. NISHIZAWA T. - MATSUNO S. - FUKUDA T. - Mechanical model for the rational design of CRCP - 3rd International Conference on concrete pavement design - Purdue University - West Lafayette - 1985
15. AUNIS J. - CAHORS R. & DUTARD Y. - Recouvrements en béton armé continu sur différentes autoroutes françaises. - Contraintes techniques et d'organisation des chantiers exécutés sans circulation. - Cembureau - 5ème Symposium International des routes en béton - Aachen - Cembureau - Bruxelles 1986
16. SION P. - Recouvrements épais en béton de ciment en Belgique - Cembureau 5th International Symposium on concrete pavements - Bruxelles - Cembureau 1986
17. MERCER J. - Continuously reinforced roadbase pavements in the United Kingdom - Routes Roads - 1988
18. Effect of course aggregates on the design and performances of CRPC in Texas - F. Mac Cullough - C.L. Saraf - Center of transportation research - The University of Texas - Austin - Proceedings 4th International Conference on concrete pavement design and rehabilitation - * 1984 - Purdue University - West Lafayette Ind.
19. DAVID L. STRAND P.E. - Designing for quality - 3rd International Conference on concrete pavement design and rehabilitation - Purdue University - April 1985
20. AASHTO - Guide for design of pavement structures (1986)
21. CRCP Performance. An evaluation of continuously reinforced cement pavements in six states. Th. L. Neff - G.K. Ray (CRSI PG2M-11-86)
22. MACCULLOUGH B.F. - Criteria for the design and construction of CRCP-concrete pavements. - Ed. Stock - 1988
23. ARBP - CRSI - Design of continuously reinforced concrete for highways
24. SION P. - La route en béton de ciment - Fédération de l'Industrie Cimentière - Belgique - 1988
25. FHWA - Technical advisory T 5080-14 June 1990 - Continuously reinforced concrete pavement - U.S. Department of transportation.

26. K. VERHOEVEN - Le comportement du béton armé continu - Rapport de recherche - R.R. CRIC 53f-1992 - Centre de Recherches Scientifiques et Techniques pour l'Industrie Cimentière - rue César Franck 46 - 1050 Bruxelles
27. HODGKINSON J.R. - Continuously reinforced concrete pavements - Cement and Concrete Association of Australia - Technical note TN 36 - March 1992

コンクリート舗装の設計に関する資料集

ISSN 0386-5878

土研資料 第3278号

平成6年5月(1994)

道路部舗装研究室 室長 中村 俊行

主任研究員 吉田 武

研究員 森 修二

小森谷 一志

要 旨 常設国際道路会議協会(PIARC)のコンクリート道路技術委員会(TC7)からの3つの報告書を和訳し、とりまとめたものである。

第1は、コンクリート舗装の低騒音化に関するワークショップの概要、第2は、転圧コンクリート舗装(RCCP)の道路への利用に関する報告、そして第3は、連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)に関する報告である。

キーワード: PIARC, セメントコンクリート舗装, 低騒音化, RCCP, 転圧コンクリート舗装, CRCP, 連続鉄筋コンクリート, コンポジット舗装

○

郵便はがき

3 0 5 - □ □

五十円切手
をはって下
さい。

建設省土木研究所

舗装研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

○

○

土木研究所資料 第 3 2 7 8 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

○