

転圧コンクリート試験施工について

Test Construction of Roller Compacted Concrete Pavement

中川 伸一** 川村 和幸* 石田 樹** 吉野 雅之***

Shin'ichi NAKAGWA, Kazuyuki KAWAMURA, Tateki ISHIDA and Masayuke YOSHINO

転圧コンクリート舗装 (Roller Compacted Concrete Pavement, 以下, RCCP) は、従来のコンクリート舗装に比べて、施工性、工期の短縮、経済性などの点で優れた特徴を有している。

アスファルト舗装より維持管理コストの安いコンクリート舗装が見なおされてきている中で、前述したような従来のコンクリート舗装の欠点を補う特徴を理由に、近年、RCCP に強い関心を持たれてきている。

このような背景の中で、RCCP の積雪寒冷地での適用性を調査するために、平成元年度から 3 年度に北海道開発局技術活用パイロット事業として、5 件の施工が行われた。

本報文は、その施工の概要および試験調査結果について報告するものである。

《転圧コンクリート》

Roller Compacted Concrete Pavement(RCCP)have better workability, their construction and require less time and expenses than usual concrete pavements.

In recent years,concrete pavements have been reevaluated due to their low maintenance costs, lower than asphalt pavements.

Here RCCP has attracted attention.

Five pilot roads were constructed during from 1989 to 1991, to evaluate the application of RCCP in cold and snowy areas.

This report outlines the pilot road construction and the results of the research.

Keyword : roller compacted concrete pavement.

まえがき

RCCP は、単位水量の少ない超硬練りのコンクリートを路盤上に敷均し、ローラーにより締固める舗装工法である。その特徴としては、以下のことがあげられる。

- (1) 大型フィニッシャー、振動ローラー、タイヤローラーなどのアスファルト舗装用の機械を用

いて施工が行える。

- (2) 施工速度が速く、工期の短縮が期待できる。
- (3) 初期強度が大きく、養生期間を短縮することができる、早期交通開放が期待できる。
- (4) 大型の施工設備を必要としないことから、小規模の工事にも適用できる。
- (5) 従来のコンクリート舗装に比べて、横収縮目地の間隔を拡大することができるため、走行性の改善が期待できる。

* 維持管理研究室長 ** 同室研究員 *** 同室員

(6) 従来のコンクリート舗装に比べて、建設費が節減できる。

RCCP は、第一次オイルショック (1973 年) を契機として関心が高まり、その後、欧米諸国では、試験施工から一般施工への適用の段階に移り、施工量が増加してきている。

日本においても、数年前より全国各地で試験施工が行われている。

なお、北海道の主要道路におけるの施工実績としては、昭和 27 年に札幌～千歳間にホワイトベースとして施工されている。しかし、当時の施工技術の水準は現在とは大きな隔たりがある上に、表層にはアスファルトを用いているため、RCCP の供用性に関するデータはまったく得られていない。

また、平成 2 年に日本道路協会より「転圧コンクリート舗装技術指針 (案)」(以下指針案) が発行されるにいたっているが、その中に積雪寒冷地での適用については記述されていない。

このような背景のもとで、平成元年度から 3 年度に北海道開発局技術活用パイロット事業として、5 件の RCCP の施工が行われた。これらの調査結果から、以下 4 点について報告する。

- (1) 凍結融解作用に対する耐久性と単位セメント量、締固め度との関係
- (2) 収縮目地の設置間隔と施工時期
- (3) 供用後の表面形状の変化
- (4) すべり抵抗

1. 施工の概要

5 件の施工の概要、配合、品質について示す。

1-1 位置、施工概要、舗装構成

本文での略称および施工概要を表-1 に、施工位

置、舗装構成を図-1、2 に示す。木古内においては、供用性の比較を行うために、転圧コンクリートを基層として用いたコンポジット舗装 (以下、RCCB) および従来のコンクリート舗装 (以下、CCP) を RCCP と隣接させて施工した。また、RCCB の表層としては、標準アスファルトと繊維入りアスファルトを用いた。木古内の概略図を、図-3 に示す。

1-2 配合設計

平成 3 年度に施工された 3 件 (日高、富和、留萌) においては、指針案に基づいた配合試験を行い、配合決定している。ただし、富和、留萌での単位セメント量の決定においては、曲げ強度から求められた値がいずれも 220 kg 程度とこれまでの実績に比べ非常に小さかったため、凍結融解作用への耐久性を考慮し、増加させている。

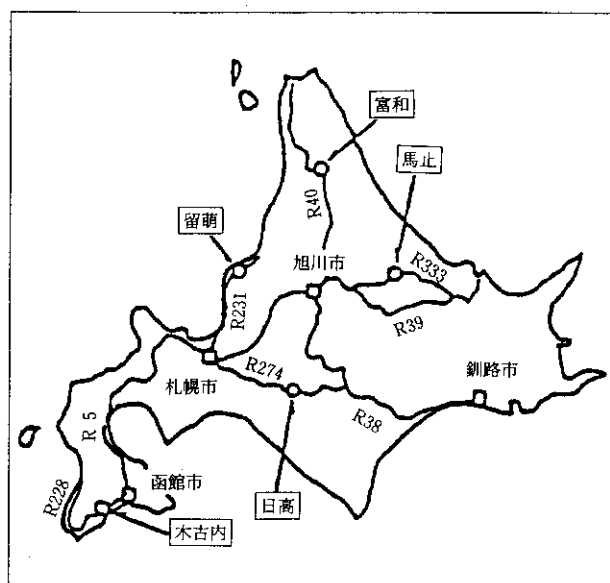


図-1 位置図

表-1 施工の概要

本文中での略称	木古内	馬止	日高	富和	留萌
路線	R 227	R 333	R 274	R 40	R 231
所在地	木古内町	白滝村・丸瀬布町界	穂別町・日高町界	音威子府村・中川町界	増毛町
施工延長 (トンネル内) (トンネル外)	150.0m (-) (150.0m)	242.0m (242.0m) (-)	739.5m (739.5m) (-)	1,360.0m (955m) (405m)	964.5m (802m) (162.5m)
施工面積	1,425m ²	1,836m ²	5,164m ²	10,955m ²	7,591m ²
施工時期	平成元年 7 月	平成 3 年 1 月	平成 3 年 6 月	平成 3 年 9 月	平成 3 年 8 月
舗装厚	28cm	20cm	25cm	25cm	20cm
交通区分	C	A	B	B	A

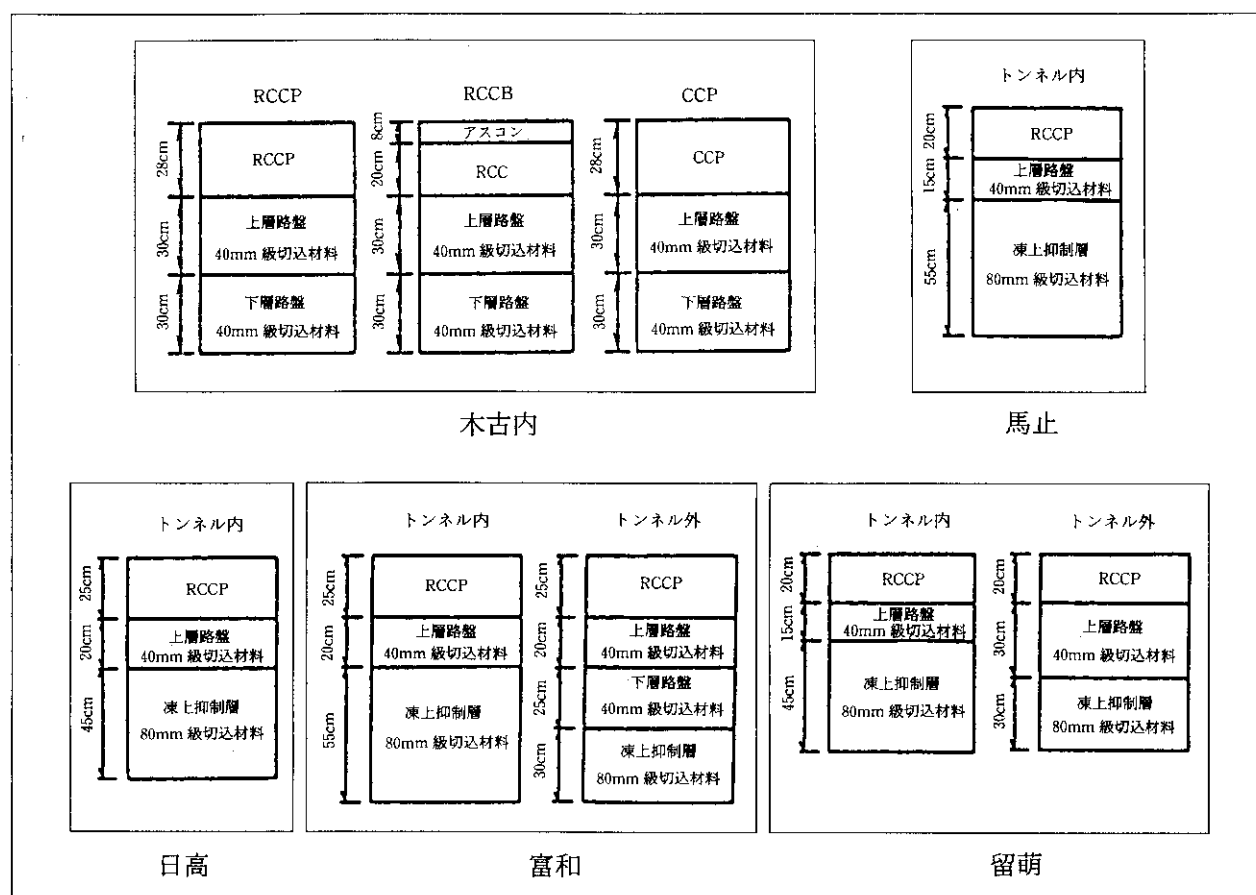


図-2 舗装構成

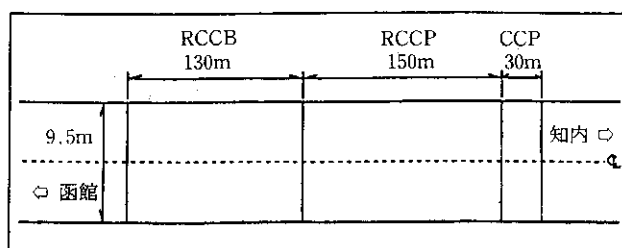


図-3 木古内の概略図

平成元年度に施工した木古内の配合設計を行った時点では、指針案が発行されていなかったが、結果的に指針案と同じ設計方法であった。

平成2年度に施工した馬止は冬期施工であり、その配合においてはドイツにおけるRCCPの配合設計を参考としている。また、低温での養生となるため、配合曲げ強度の割増しを行った。

表-2に、決定された現場配合を示す。

表-2 現場配合

	設計基準 曲げ強度 (kg/cm ²)	配合曲げ 強度 (28日) (kg/cm ²)	粗 骨 材 最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	水 セ メ ン ト 比 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					理論最大 密 度 (g/cm ³)
						水	セメント	細骨材	粗骨材	フ ラ イ アッシュ	
木古内(RCCP)	45	58	20	41.9	34.0	113	332	855	1230	—	2.530
(RCCB)	—	—	20	41.9	80.0	97	121	865	1291	122	2.496
馬止	45	70	20	60.0	38.6	114	295	1090	897	105	2.501
日高	45	58	20	50.0	36.0	108	300	993	1125	93	2.619
富和	45	58	20	42.4	33.3	90	270	918	1249	—	2.527
留萌	45	58	20	41.5	32.0	90	290	860	1223	86	2.552

表-3 曲げ強度, 圧縮強度

[kg/cm²]

	曲げ強度			圧縮強度	
	設計 強度	標準養生		現 場	
		7 日	28 日	7 日	28 日
木古内	45	68.3	75.9	365	465
馬 止	45	—	90.1	281	336
日 高	45	60.9	75.4	261	311
富 和	45	54.5	70.0	264	451
留 萌	45	64.3	70.2	300	322

1-3 品質管理結果

a) 強度

室内標準供試体の曲げ強度試験結果は、表-3に示すとおり、すべて設計基準曲げ強度 45 kg/cm² を満たしている。また、現場抜き取りコアの圧縮試験結果も併せて示す。曲げ強度試験は 10 cm×10 cm×40 cm の供試体を、圧縮強度試験は ϕ 10 cm×20 cm の供試体をそれぞれ用いている。

b) 締固め度

現場品質管理として行った RI 密度計による締固め度の測定結果および抜き取りコアによる締固め度の測定結果を、表-4に示す。これらは、すべて指針案に示される締固め度の合格判定を満足するものであった。

c) 初期平坦度

現場品質管理として行った平坦度の調査結果を、図-4に示す。いずれも、指針案により管理基準とされる 3 mm を満足している。また、RCCP の施工規模と平坦度の分布の関係を図-5^{*)}に示す。富和、留萌はコンクリート舗装要綱により CCP の管理基準とされる 2 mm 以下を満たしており、また、図-5において、中央線より下方に位置し、良好な結果であった。木古内、馬止では 2 mm を越えているが、中央線上、もしくは下方に位置し、施工規模

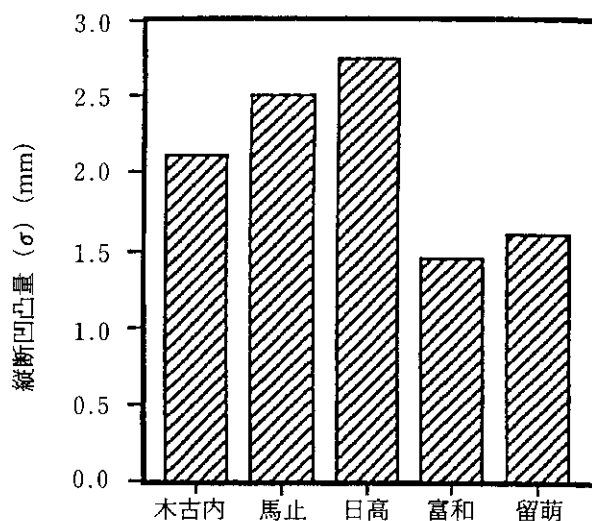


図-4 初期平坦度

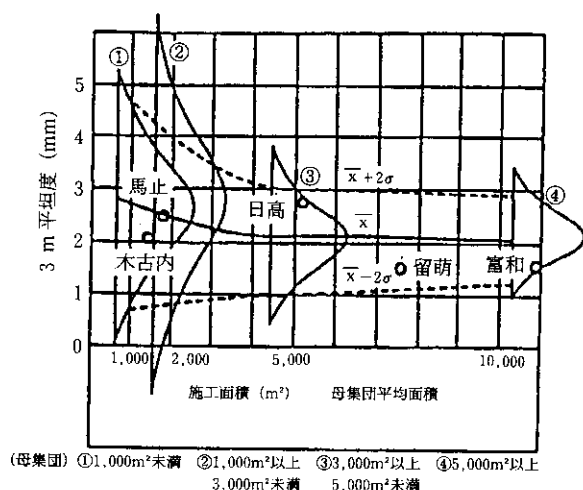


図-5 施工規模と平坦度

表-4 締固め度

	$\overline{X}_{10}$ の 基準値	抜 取 り コ ア			R I 密 度 計		
		平 均 (%)	σ (%)	個 数	平 均 (%)	σ (%)	個 数
木古内	97.5	100.4	—	3	100.8	1.3	24
馬 止		99.8	1.0	15	98.0	2.1	15
日 高		98.9	1.0	12	99.5	1.5	108
富 和		99.9	0.9	10	98.7	1.2	147
留 萌		97.7	0.7	36	98.0	1.3	60

を考慮すれば良好な結果であったと言える。日高は中央線より上方に位置するが、トンネルの構造上の理由で大型機械による連続施工が妨げられたことが原因であり、現場の制約上やむをえなかったものである。

これらの試験施工において、RCCPの初期平坦度は施工上の障害がなく、施工面積が大きければCCPと同程度の平坦度を確保できることが確認された。

2. 凍結融解作用に対する耐久性

北海道においては、凍結融解作用がコンクリート舗装の損害の大きな要因となる。よって、配合設計や品質管理において、凍結融解作用に対する耐久性の考慮が必要となる。

ここでは、室内での凍結融解試験により単位セメント量、締固め度と耐久性指数との関係について検討した。

a) 単位セメント量との関係について

木古内バイパスにおいて施工したRCCP(単位セメント量=332 kg)、RCCB(同121 kg)の現場採取供試体(材例28日)を用いて凍結融解試験(300サイクル)を行った結果、RCCBにおいては相対動弾性係数(以下、DF)=85程度で良好であったが、RCCBにおいてはDF=14と低い値であった。この結果から凍結融解作用への耐久性は、単位セメント量に依存することが推測された。

富和、留萌のRCCPの配合試験においては、曲げ強度によって定まる単位セメント量は220 kg程度という結果が得られたが、これまでのRCCPの配合に比べ著しく低い値であり、凍結融解作用への耐久性の上で不安が残ったため、施工にあたっては単位セメント量を上げた。

この結果を受け、富和、留萌の配合において、単位セメント量のみを210~290 kgに変化させた供試体を作製し、凍結融解試験を行った。供試体は室内において型枠を用いて作製し、トンネル内にて7日の湿潤養生を行い、その後も28日までトンネル内に保管した。供試体個数は各3本である。

試験結果は図-6、7に示すように、単位セメント量によらずDF=80程度を示し、良好な結果を示した。このことから、凍結融解作用に対する耐久性は、単位セメント量210 kg以上であれば問題はなく、曲げ強度によって単位セメント量を決めて良い

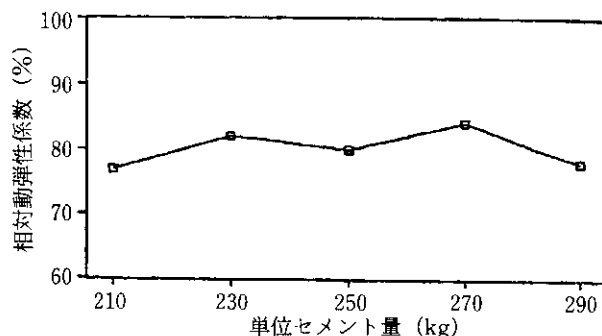


図-6 単位セメント量と相対動弾性係数(富和)

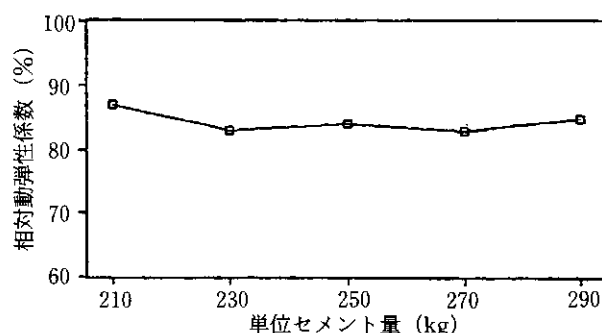


図-7 単位セメント量と相対動弾性係数(留萌)

ものと思われる。

b) 締固め度との関係について

また、日高、富和、留萌の3現場において、現場採取供試体を用いて凍結融解試験を行った。供試体は各現場とも上層(表面~表面下10 cm)、下層(表面下10~20 cm)の2種類の供試体を採取し試験を行った。締固め度と耐久性指数を表-5に、相関図を図-8に示す(木古内から採取した供試体については、締固め度を測定していないため除く)。どの現場においても、締固め度は下層が上層に比べ低く、耐久性指数も同様であった。両者の間で $R=0.841$ (危険率5%において、有意)であったことか

表-5 締固め度と耐久性指数

			締固め度 (%)	対動弾性 係数(%)
木古内 RCCP 上層			—	85
RCCB 上層			—	14
馬止			—	—
日高	上	層	101.6	90
	下	層	98.4	62
富和	上	層	101.6	79
	下	層	98.6	76
留萌	上	層	98.8	80
	下	層	95.0	58

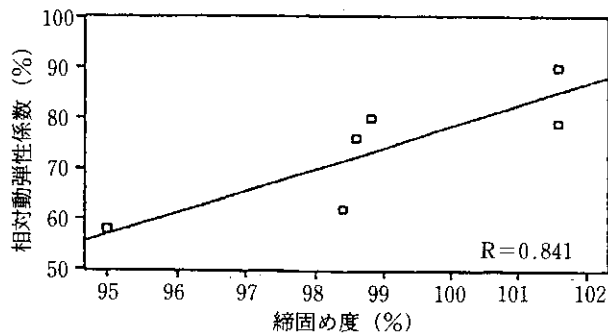


図-8 締固め度と相対動弾性係数

ら、凍結融解作用に対する耐久性においても、締固め度を指標とすることができる。

凍結融解試験により求められるDFと、現地での凍結融解作用による舗装版の破壊までの年数との関係は今後の追跡調査により求められるため、現時点では目標値の提案は行わない。舗装版強度確保のため目標とされる締固め度95.5%においてはDF=60程度を示しているため、短期間での著しい損傷は考えにくく、当面は指針案に従い、締固め度管理を行うことが適切と思われる。

3. 収縮目地の設置間隔、施工時期

RCCPは、単位水量が少なく乾燥収縮が小さいため、目地間隔を長くすることが可能と考えられる。しかし、長すぎる目地間隔は不規則なクラックの発生を招く可能性がある。

よって適当な間隔に収縮目地を設置し、適切にクラックを誘導することが重要となる。ここでは、目地設置間隔および施工時期について検討した。

a) 目地間隔について

走行性の上からは、目地間隔は大きいことが望ましく、クラック抑制効果を得られる範囲内で最大の目地間隔が適切といえる。

適切な目地間隔についての検討を行うため、富和、留萌において、目地間隔を変化させた区間を設け、重錘落下式たわみ測定機(Falling Weight Deflectometer, 以下,FWD)による調査を行い、目地が割れているか否かの推定を行った。排水柵の位置に目地が必要なため、目地間隔は排水柵間隔と同じおよびその2等分、3等分とした。測定および解析は、以下のように行った。FWDの測定値については、荷重載荷中心からx(mm)の点でのたわみを D_x と表す。また、以下において便宜上、載荷版中心を基準

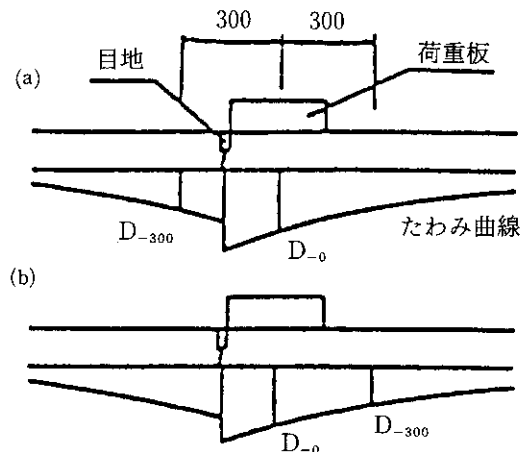


図-9 FWDによる測定

とし、目地をまたぐ側を-側、反対側を+側とする。

- ① 各目地について図-9 a)に示すように、目地をまたいでの測定を行い、 D_{-0} 、 D_{-300} を計測する。
- ② 目地荷重伝達率 Eff^- を、式-1²⁾により算出する。

$$Eff^- = \frac{D_{-300}}{(D_{-0} + D_{-300})/2}$$

- ③ 各目地について図-9 b)に示すように、目地をまたがないで測定を行い、 D_{+0} 、 D_{+300} を測定し、同様に Eff^+ を算出する。

- ④ Eff^- と Eff^+ との相関図を用いて目地割れの有無の検討を行い、適切な目地間隔の推定を行う。

④においては、 Eff^- と Eff^+ がほぼ等しい値を示せば、目地割れがないものと判断する。

富和、留萌についての Eff^- と Eff^+ との相関図を、図10、11に示す。明かり部に関してはこれまでの調査結果からの判断は困難であり、今後、舗装版

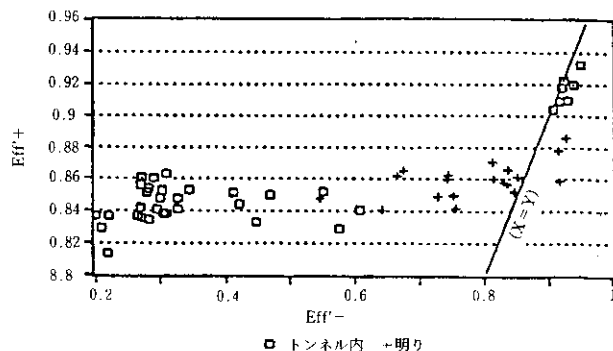


図-10 荷重伝達率の相関図(富和)

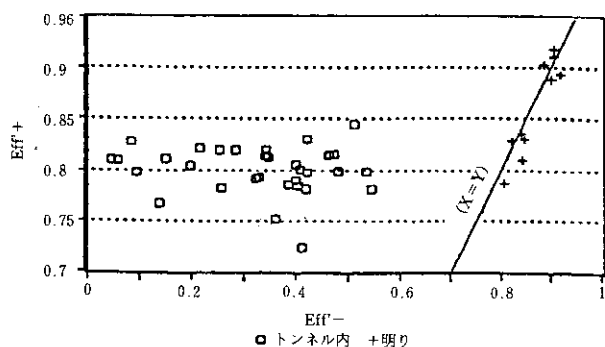


図-11 荷重伝達率の相関図(留萌)

温度等の条件も考慮した調査を行いたい。トンネル部での目地割れ有無の推定結果と、クラック発生数を表-6, 7に示す。

以上の結果を基にして、現時点での評価を行った。

富和においては舗装版厚 25 cm であり、目地間隔 16 m 以下においては割れていない目地が存在し、目地間隔 31.5 m においてもクラックは発生していない。よって、排水桁間隔と同じ 31.5 m が適切なものと思われる。

留萌においては舗装版厚 20 cm であり、すべての目地が割れており、目地間隔 32 m においてはクラックの発生がみられた。よって、クラック抑止の上からは 16 m が適切なものと思われる。

以上の評価は、施工後 2～3 カ月での一応の評価

表-6 目地数、クラック数
(富和：舗装版厚 25 cm)

	目地数	割れていない目地数	クラック発生
31.5m	19	0	0
約16m	13	4	0
約10m	5	3	0

表-7 目地数、クラック数
(留萌：舗装版厚20cm)

	目地数	割れていない目地数	クラック発生
32m	14	0	4
16m	9	0	0
約10m	10	0	0

表-8 クラック発生数

	目地切削前	目地切削後
富和	3	4
留萌	3	1

であり、供用後 1 年程度経過した時点での調査結果から目地間隔についての判断を行いたい。

イ. 目地施工時期について

これまでの試験施工において、目地施工は舗装の翌日もしくはそれ以降行われており、クラックの 8 割程度が目地施工以前に発生した例が報告されている。クラック抑止のためには、目地施工時期は可能な限り早期に行うことが望まれる。

富和、留萌の本線外試験施工において、舗設後およそ 6 時間ごとシュミットハンマーを用いた反発硬度の測定を行い、同時に目地を切削し、切削状況などを目視観察した。その結果、角かけなどを生じなくなったのは、富和では 12 時間後、また、留萌では 18 時間後であり、そのときの反発硬度はどちらも 20 (推定圧縮強度 110 kg/cm²) 程度であった。この結果に基づいて、本線施工を行った。目地切削前後でのクラック発生数を表-8に示す。目地切削前に発生したクラックはどちらも 3 本であり、比較的良好な結果であった。このことから、目地切削時期が適切であったため、クラックが抑制されたものと判断できる。

よって、今後の施工においては、試験施工を行う場合は同様の試験を行い、試験施工を行わない場合は、反発硬度 20 程度となった時期に目地施工を行うことが望ましい。

4. 供用後の路面形状

木古内バイパス試験舗装において施工した RCCP, CCP, RCCB および通常のアスファルト舗装 (以下, ASP) の供用後の表面形状の追跡調査を行った結果について述べる。

a. 平坦度

各舗装タイプについての平坦度の調査結果 (σ) を、図-12に示す。ASP では、供用後 1 年間の性状の低下が見られるが、その他では著しい変化が見られず、供用後 2 年においても施工完了後とほぼ同等の平坦度を示した。また、RCCP は CCP とほぼ

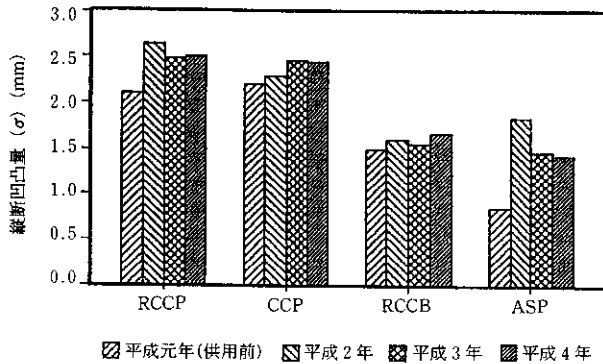


図-12 平坦度の経年変化

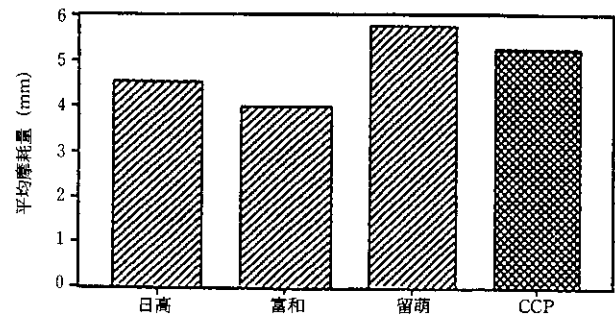


図-14 室内試験の摩耗度

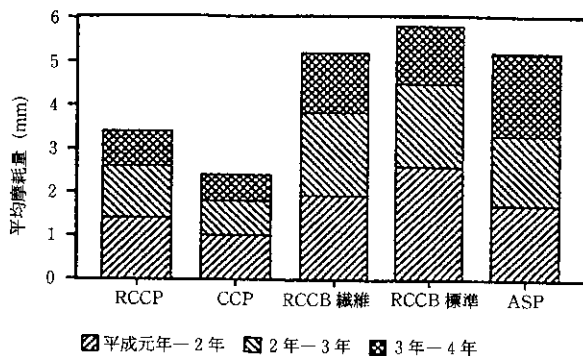


図-13 摩耗量の経年変化

同等の平坦度を示した。

b. 耐摩耗性

供用後1年, 2年での平均摩耗量を図-13に示す。RCCBの表層として標準アスコンおよび繊維入りアスコンを施工しており, 各々について測定した。

RCCPは, CCPとASPの中間的な値を示した。

また, 3現場のRCCPおよび穂高トンネルのCCPを用いてスパイクラベリング試験を行った結果, 図-14に示すように, 配合の違いによるばらつきはあるが, 総体的にはRCCPはCCPと同程度の摩耗量であった。

以上述べたように, 追跡調査と室内試験は幾分異なる傾向の結果を示した。耐摩耗性状は配合, 材料によって影響を受けるものであり, 総体的にCCPとRCCPの優劣を示すには至らなかった。

5. すべり抵抗

4現場において, 振子式ポータブルスキッドテスターによるすべり抵抗値(BPN)の測定を行った。BPNの評価に関しては, TRRL(イギリス道路局)に表-9のような基準が定められている。

表-9 TRRLにおけるポータブルスキッドテスターによる必要すべり抵抗値指針

分類	現場状況	濡れた路面すべり抵抗	すべり抵抗標準
A	非常に困難な場所 (1) ロータリー (2) せまい道路で半径500ft以下の曲線 (3) 坂道1/20またはそれ以上で距離100ヤード以上 (4) せまい道路で信号灯間近	65以上	良好: 高速走行でも必要条件を満たしたすべり事故を繰返さないような所
B	一般的必要条件, すなわちAおよびC分類に該当しない道路または状態	55以上	一般的に申し分ない: 道路が遭遇する最も困難な状態を除いて, すべての条件にかなった所
C	容易な位置, すなわち直線道路でなだらかな勾配とカーブで交差点がなく, 特別条件(混合交通, 特に緊急状態を起こす危険)のない道路	45以上	短調な状態の場合だけ申し分ない
D	全般的場所	45以上	すべる可能性もある

表-10 ポータブルスキッドテスター
によるすべり抵抗測定値

		平成2年	平成3年	平成4年
馬止	トンネル内	67	64	77
日高	トンネル内	—	66	74
富和	トンネル内	—	66	67
	トンネル外	—	73	72
留萌	トンネル内	—	68	66

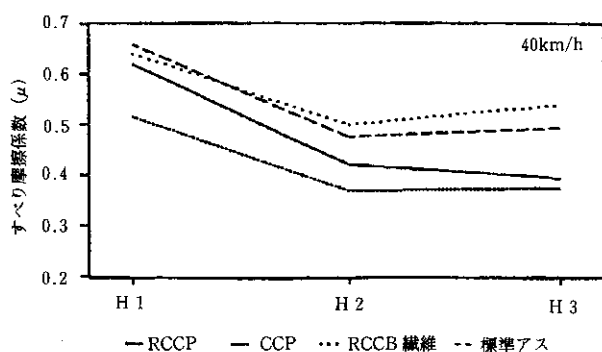


図-15 木古内のすべり摩耗係数

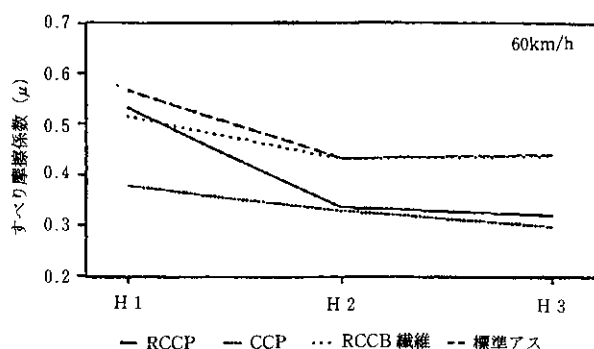


図-16 木古内のすべり摩耗係数

各現場での BPN 測定結果を、表-10 に示す。いずれも 65 程度を確保しており、問題ないものであった。

また、木古内バイパス試験舗装でのすべり試験車による測定結果を、図-15, 16 に示す。

木古内バイパスの RCCP においては、供用後 1 年間に於いて低下が見られたが、その後 1 年間では同程度の値を示した。

長期的な変化を捉えるため、今後も調査を続ける必要がある。

6. ま と め

これまで述べたことは、以下のようにまとめられる。

- (1) 初期平坦度は施工上の障害がなく、施工面積が大きければ CCP と同等の値を確保することが可能である。
- (2) 単位セメント量は、210 kg 以上であれば凍結融解作用への耐久性は確保されるものと思われる。この範囲内では曲げ強度により決定してよい。
- (3) 締固め度は凍結融解作用への耐久性に影響を与えるが、その管理目標値は経年観測の結果から判断する必要がある。当面は、指針案により締固め度管理を行うのが適当である。
- (4) トンネル内の目地間隔は施工後 2～3 カ月での一応の評価ではクラック抑止の上からは、舗装版厚 25 cm においては 30 m 程度、舗装版厚 20 cm においては 16 m 程度が適当と思われる。平成 4 年度の調査結果から判断を行う。
- (5) 目地施工時期は試験施工において試験を行い決定すべきであるが、試験施工を行わない場合は反発硬度 20 程度となった時期とするのが望ましい。
- (6) 平坦度は経年観測の結果、供用後 3 年までに於いて、初期平坦度とほぼ同等であり、また CCP と同程度であった。
- (7) 耐摩耗性は、総体的には CCP と同程度であるものと思われる。
- (8) すべり抵抗は供用後 1 年間に低下が見られるが、施工直後および供用後 2 年までに於いて安全な範囲にある。

参 考 文 献

- 1) 日本道路建設業協会技術振興委員会 RCCP 部会：転圧コンクリート舗装 (RCCP) 工法の実態調査、道路建設 No.511, pp. 72～77, 1990 年 8 月。
- 2) 川村和幸, 中川伸一, ニノ宮秀彦：RCCP の目地挙動について、開発土木研究所月報 No.460, pp. 8～17, 1991 年 9 月。