

VI-3

ローラ転圧コンクリート(RCCP)舗装の技術の現状

北海道大学 正員 菅原照雄

1. ま え が き

転圧コンクリート舗装(Roller Compacted Concrete Pavement 以下 RCCP という)は、水量の小さい硬練りコンクリートを、アスファルト舗装用フィニッシャーで敷均し、ローラによって転圧して得られる舗装である。

RCCP は在来のセメント安定処理、コンクリート舗装、アスファルト舗装技術からそれぞれ技術の提供を受けている。在来舗装技術の集大成として見ると非常に興味ある工法であった。

諸外国でも、多くの国が本格的に採用し、また試験施工を始めている。欧州諸国と北米ではこの工法の採用の根拠に若干の差がある。前者においては第一次オイルショックの時期に、アスファルト舗装の代替工法として開発されたのに対し、後者はオフロード超重量車を対象とした安価なコンクリート舗装の開発を目指したものである。この意味ではわが国が現在目指しているものはいささか異なる方向にある。

RCCP については各国の政府機関が研究開発を進めているが、とくにアメリカ工兵隊(以下 CoE と略称する)は豊富な経験と実績をもち、軍施設の施工と同時に民間用途についても指導的な立場にあり、その技術は非常に高い水準にある。一方ドイツの道路への利用に関する最近の動きは注目に値する。

かつて北海道は RCCP 先進地であった。故高橋敏五郎氏によって行われた札幌-千歳間の転圧コンクリート舗装は、世界に先駆けて施工されたものであり、その先進性は今日でもなお輝きを失っていない。本稿の末尾に参考としてその概要を示しておく。

2. 第3の舗装としての RCCP への期待

RCCPは、多くの問題点を抱えているにも関わらず、道路技術にとって極めて魅力的な工法である。これは単に新しい技術への興味のみならず、現在の道路舗装では困難な課題を解決する手段が切実に期待されていたためとみることも出来る。

官側の研究と同時に民間でも独自に研究が進められている。この背景には単に道路への利用のみならず、輸送形態、各種ヤードの機能の高度化など、物流拠点整備が一段と進行して、かなりの民間需用が期待されるからである。昨年北海道に於て施工された約1万平方メートルの RCCP 木材ヤードは原木輸入から製材輸入への荷姿の変化に対応した需要であった。

RCCP の用途としては、トラックヤードの舗装トラックヤード等オフロード重量車を対象にした舗装、道路舗装(これには重交通道路を含めるものと、軽交通道路のみを考える2つの見方がある)、コンポジット舗装として表層にアスファルト舗装によるオーバーレイを



写真 苫小牧木材ヤードのRCCP(1988年6月施工)

行うことを前提としたもの、住宅地、農道などへの簡易な利用などが考えられている。

著者は流動わだち掘れ対策、寒冷地のアスファルト舗装の横断亀裂対策としてこの工法に注目している。

3. 材 料

3. 1 セメントおよび混和剤

最も広く利用されるのは普通セメントに 20 ないし 30% のフライアッシュを添加した結合材である。CoEはこれを利用したもの以外には成功例はないといっており、収縮の低減、コンシステンシーの向上、骨材微粒分の補填など重要な意味を持つと考えられる。日本では利用の実績がなく、また将来にわたって生産が先細りにあるといわれ、その対策も大きな課題になる。

遅延剤の利用については、十分その根拠が認められるが、A E 剤や流動化剤等の使用についてはその効果は明かではない。これらの利用の事例は多いがその効果についての結論は現時点で得られていない。

3. 2 骨材

骨材は一般に連続粒度で、世界的に最大寸法20mm以上での成功例はまれで、最大寸法 20mm 以下のものが多い。最近の道路への利用では 欧州を中心に16mm を最大寸法としている例が多く見受けられ、将来道路用について 16mm 級が主流になる可能性が高い。また骨材中の微粒分については、CoE は 3 ないし7% の No. 200 通過材料を規定し、微粒分を補う意味でスクリーニングスの利用例、フライアッシュを増量する例もみられる。場合によっては石粉の利用も考えられる。

3. 3 配合設計

(1) 配合設計のコンセプト

この材料は従来のコンクリートの配合設計に加えていくつかの要因が加えられる必要がある。その最大の考慮要因は、ローラをかけることである。経験によれば実験室的に得られた結果と現場での結果の乖離が大きい材料であり、施工経験も重視される。

諸外国の例、わが国での試験施工例をみれば、二つに大別されるコンセプトがあるように見受けられる。

1) 通常の硬練りコンクリートの配合設計概念に基づくもの

この考えはあくまでセメントペーストで飽和した材料でなければならないとするコンクリートの常識に立脚している。細骨材の空隙をセメントペーストで埋め、粗骨材の空隙をモルタルで埋め、振動ローラをかけて表面にセメントペーストが若干浮くものとする考え方である。日本以外でこの考えが採用された例は非常に少ない。

2) 連続粒度をもつ骨材を用いて最大乾燥密度を得る方法

この方法の基本はローラをかける以上材料は飽和してはならず、若干の空隙を残さなければならないという考え方である。安定処理の流れを汲む方法で、CoE をはじめとし世界の大半がこの方法に準拠している。

この二つのコンセプトは基本的には合い容れない考え方である。従って将来の技術開発にあっては、この考え方の何れをとるのかについて答えを出さねばならない。要はローラをかけるということの力学的な作用の評価、認識の問題であろう。

(2) 骨材粒度の選定

諸外国の施工例をみると、全骨材中の砂（ここでは5mm以下の材料、セメント、フライアッシュを含まず）の割合は、50%前後に集中し、日本の施工例は 35 から40% に集中している。表は 諸外国の仕様、施工例、苫小牧での施工例などの骨材粒度を示したものである。著者が特に注目しているのは骨材中の砂分量である。歴史的な過程に於て、アスファルト舗装に於けるフィニッシュ舗設、ローラ転圧技術の進展、総合的な品質の向上が、骨材最大寸法の低下、砂分の増加によってもたらされたことを考えれば、諸外国のとり砂量が比較的多いことはよく理解できる。

表 世界各国のRCCPの骨材粒度の仕様と施工例

ふるい 寸法		CoE	アメリカ ホーランド 空港工場の 実績	スペイン	フランス	ドイツ フィンラン 実績 (註)	苦小牧 木材ヤード	
外国	日本	仕様	実績	仕様	仕様	(註)	実績	実績
1 in. (25mm)	25mm			100	100 (31.5)		100	100
3/4 (19)	20	100	100	85-100	85- (20)		93	95
5/8 (16)	15			75-100		100 (16)	85	87
1/2 (12.5)		90-100	91					
3/8 (9.5)	10	75-90	76	60-83	60-83 (10)	76 (8)	70	74
1/4 (6.3)		55-75	56		47-69(6.3)			
No. 4 (4.75)	5			42-63	39-59 (4)	50 (4)	44	50
	2.5						35	44
No.10 (2)		32-48	25	30-47	29-47 (2)	35 (2)		
No.16 (1.18)	1.2					26 (1)	28	36
No.20 (0.85)			17					
No.30	0.6						16	25
No.40 (0.425)		11-24	11	16-27	18-30 0.5	11(0.5)		
No.50	0.3					2(0.25)	7	18
No.80 (0.18)		6-15			13-23 0.2			
No.100 (0.15)	0.15						2	12
No.200 (0.075)	0.074	3-7	6.6	9-19	10-20 0.08		-	11
参考 結合材の使用量			セメント 289kg/m ³ フライアッシュ 71kg/m ³			セメント 277kg/m ³ フライアッシュ 156kg/m ³	セメント 300kg/m ³	

* 結合材を含む粒度

** 結合材を含まない粒度

ドイツ、フランスの欄の()内はふるいの寸法を示す。

スペイン、フランスにはこれらの他16mm級骨材のための粒度がある

仕様では結合材の使用量の幅は広い、強度で仕様する例が多い。

(3) セメント量

結合材(セメントもしくはセメントとフライアッシュの和)の量は、外国の方がわが国での施工例よりかなり大きい(殆ど全ての場合 300 をこえ 350kg/m³ までに集中している)。これは砂が多いことに基づく。このような配合については練り混ぜは通常のコンクリートに比して、困難なことは避けられない。

(4) 水量

世界のほとんどの例は最適含水比である。小さな水量の差で仕上がりが極端に変化するので、その管理は非常に困難で、言葉を変えればこの工法の最大の泣きどころといえる。この観点からは、配合設計の時点で如何に水量の変化に鈍感な配合を選ぶかもキーポイントの一つになるとみられる。

(5) 締め固め度の判定

施工性の観点から配合設計をローラをかけた場合の骨材の配向や密度にシミュレートさせた、ジャイレトリ試験機、ニーディングコンパクタを利用して行うことも有効な手段の一つであろう。

4. RCCP の施工

4.1 概要

一層の最大施工厚は、外国の事例では 20cm と 25cm の間にあるが、フィンランディアの能力からみてむしろ 20 cmに近い側と考えられる。それ以上の所要厚さについては、路盤の強度で調整するか、2層打設とするかの経済性比較になると思われる。施工幅は5m以上も可能だがフィンランディアのタンバ、スクリードなどの横断方向の剛性に配慮した選定が必要であろう。

現在行われている標準的な施工法は、

- 1) バグミルの様な強制練り（多くの場合2軸）ミキサで混合し、
- 2) 高性能アスファルトフィニッシャで敷均し、
- 3) 振動ローラで無加振で表面の引き裂きひび割れを消し同時に予備的に締め固める（この作業は省略されることもある）、ついで加振転圧で締め固め、
- 4) タイヤローラで、表面の緻密性を高め、同時に平坦な表面を仕上げ、
- 5) コンクリートに準じた養生

を行う手順である。施工に関しては CoE の方法に準拠して行うことにより、比較的容易に可能である。ここでは詳細を省略し、問題点についてのみ記しておく。

4. 2 練り混ぜ

練り混ぜにはバッチ式も利用されるが主流は連続式強制練り2軸バグミルである。わが国では生コンプラントの例が多いが、アスファルトプラントからみれば生コンプラントの水準は低く、一層の設備の高度化が要求される。また運搬時間の制約、容量、骨材の粒度管理などの観点から専用プラントへの要求が高まろう。細骨材の表面水の管理は赤外線水分計などを利用したりリアルタイムに近い形で測定やオンラインでのプラントの制御が必須の条件になろう。

4. 3 フィニッシャによる舗設

多くの場合高性能フィニッシャが利用される。残念ながら現在の時点において国産機で条件を満たすものはない。これらのフィニッシャで95%、96%の密度を得ることも可能であるが、フィニッシャでどこまで密度を得るかについてもまた二つのコンセプトがある。フィニッシャの段階でできるだけ高い密度を得ようとするものと、フィニッシャ段階の密度をある程度におさえ、ローラ転圧に大きく依存しようとするものである。

前者では間隔の狭い引き裂きひび割れ（これをティアリングクラックと呼ぶ）が数多く発生し、また深さ方向に均一な密度が得難い。それに対し後者では、ひび割れはほとんど見られず、また全厚について高密度が得られる。諸外国は最近プロクター密度の90%程度をフィニッシャでの締め固めの目標としている。

4. 4 ローラ転圧

CoE が採用した転圧パターンによれば容易に所定の密度が得られる。ローラ転圧のメカニズムは複雑で、材料を‘こねる、Kneading、ローラで骨材を動かしその配向を変えて最もすわりのよいものにする作用’が非常に大きな意味をもつ。フィニッシャで表面だけが過度に締め固められた場合、下部ではこねかえしが利かなくなり高密度が得られない。この作用を配合設計に如何に反映させるかが、この技術の最大のキーポイントではないかと著者は考えている。

4. 5 養生

養生は通常のコンクリート舗装の養生に準拠する。

5. RCD技術との対応

RCCP に於けるローラの役目は、ニーディング作用を与えて締め固めを助け、表面に緻密性を与え、平坦性を確保するの3つである。

RCCP ではフィニッシャである密度を確保するが、それは多くの場合表面に近い部分で高い密度が与えられるのみで底部にまでは届いていないと見た方がよい。従ってローラ転圧に依存する度合いが大きい。

一方 RCD に於いては、大型のブルドーザで敷均しを行うことから、締め固めの相当部分がこの段階で行われ、特に層の底部ではその効果が大きいとされる。ローラ転圧は表面に近い部分での仕上げの締め固めの色彩が強い。従ってローラは主として移動式の振動締め固め機として作用し、ニーディング作用は大き

くは働かないようにみられる。グリーンカットを行うことから表面の緻密性や平坦性についての要求はさして大きいものではない。また骨材の最大寸法が著しく異なっているので、所要の砂率にも差が存在するのは当然である。これらの理由によって、RCC 技術をそのまま踏襲することは困難であり、RCCP 独自の技術の展開が必要である。

6. RCCB（コンポジット舗装）との関連

荷重への抵抗性を RCCP に求め、アスファルト舗装の表面で乗り心地、耐久性、維持の簡易化を図る RCC-BASE（RCCB）も非常に有力な工法の一つと期待される。アスファルトによるオーバーレイがある場合はリフレクションクラック対策が非常に大きな問題になる。

7. 構造設計の問題点

構造設計に関しては未だ十分の検討が行われるに至っていない。これは諸外国では用途が限定されており、重交通道路への利用がなかったためと考えられ、もしこれらの道路への利用を目指すとするれば、本格的な検討が必要と思われる。

構造設計に当たっては、厚み、路盤支持力、タイバーの問題などの検討が必要になるが、基本的な問題として、在来コンクリート舗装と同じ考え方をとるのか、全く発想を変えて RCCP 独自の設計法を開発するのもこれから話題になると思われる。アスファルト、コンクリート舗装の在来型の舗装についてはすでに概念が定まっているが、RCCP については柔軟な考え方で＜層の構成＞そのものについて在来の概念を見直すべきではないかと筆者は考えている。

タイバーの設置も 2 層打設の場合には不可能ではないと見られるので技術の開発が期待される。最近ドイツが国道 B 266 号線で実施した試験施工では、凍上抑制層の上に直接 2 層の RCCP を舗設し、その上に 2 ないし 8cm のアスファルト舗装を舗設している。この工法の利用形態の将来の方向について、多くの示唆に富んだ試験計画で興味深い。

8. 今後の課題

ここでは残された課題の主要なものについて述べておく。

a. 構造強度、供用性の評価

構造強度の均一性、2 層構造の場合には上下層の荷重分担、ひびわれ部の荷重伝達効果など、供用性を含めた構造評価が必須の検討課題であることはいうまでもない。

b. 平坦性

現在まで施工されたものについての評価は、国の内外をとわず平坦性において在来舗装に及ばないとされる。要求される平坦性は走行速度によって定まるが、重交通道路で、高い平坦性が要求される場合には、表面を処理するなどの技術開発が必要となろう。セメント系、アスファルト系、その他高分子系の何れを用いてもその実現性はかなり高いと思われる。多少表面の処理を実施しても、経済性におけるこの工法の優位性が失われることはないと思われる。

c. 耐久性、耐摩耗性

RCCP は大荷重への実績は豊富だが道路のような大交通量への実績に乏しい。著者の材料研究の結果では、繰り返し載荷への抵抗性即ち疲労に関しては、通常のコンクリートに比して遜色はない。一方凍結融解抵抗性に関しては、まだ十分の結論がでない段階にある。とくに表面における凍結融解抵抗性は今後の大きな課題である。文献によれば、標準的な凍結融解試験では把握出来ないとの結果もあり、表面の処理をも含め幅広い対策の検討が望まれる。

d. 目地について

収縮に伴う横断ひび割れの発生は概して規則的であり、世界の最近の傾向は予めカッター目地を入れる、もしくは振動押し込み目地をいれておく方向にある。重交通道路への利用が少ない諸外国では、タイバーなどを入れるための研究はみられない。タイバーの設置で実現の可能性の高いのは2層打設の場合で、下層打設後振動などの方法でバーを下層表面に押し込み、その上に上層を舗設する方法である。適切な工法が開発されるなら経済的なバーの設置も可能になるろう。

e. 凍上対策

一般的にコンクリート系の舗装は凍上に敏感であり、アスファルト舗装に比して、さらに入念な凍上対策が要求されよう。

9. おわりに

著者は、外国の実情、いくつかの現場の経験などからこの技術に開発推進すべき十分な価値があるものと考えている。先にも述べたように、日本がこの工法に寄せる期待は、北米が求めているもの、ヨーロッパの諸国が期待しているものとは様相を異にしている。その意味では、構造、材料、施工法等についてバリエーションに富んだ自由な発想のもとに、幅広い研究開発が進められることを期待したい。またアスファルト舗装にくらべ RCCP は施工技術に支配される度合がとくに大きいので、施工側での研究の一層の進展が待たれる。

ここ数年にわたり著者の RCCP 研究に協力を戴いた北海道電力 k k の諸氏、また苫小牧ヤードその他の現場で種々ご教示を戴き、著者の要望をいれ、また討議を繰り返して戴いた大成道路 k k の諸氏とくに同社札幌技術試験所石谷雅彦君に感謝の意を表するものである。同時に資料の提供を戴いたセメント協会にも感謝の意を表したい。

参考：千歳－札幌道路に於ける転圧コンクリート

昭和 27 年ないし 28 年に札幌－千歳間に於て施工された転圧コンクリートは、切込み砂利を用いたセメント量 $210\text{kg}/\text{m}^3$ の貧配合コンクリートで、故高橋敏五郎氏の偉大な業績の一つであった。

この貧配合転圧コンクリートは札幌－千歳間道路の千歳側区間に、延長 13.625 m、施工面積 $104,386\text{m}^2$ にわたって大規模に採用された。表層はトバカで、配合 1 : 3 : 7 の極硬練りコンクリート（水セメント比 40 %）をローラで転圧して、厚さ 18cm に仕上げて基礎とした。その供用性は当時に於て十分満足なものであり、現在もかなりの部分で路盤の一部として健在である。当時の記録を振り返って、35年前にこの工法が採用されたこと、そしてそれが RCCP 工法が脚光を浴びている今日でも決して新鮮さを失っていないばかりか現在でも参考になる事項が多く含まれていることに驚かせられる。またほぼ同じ時期に著者らはこの技術の応用として北海道内数カ所の鉄道の荷捌ヤードの施工を行っている。