

# 無目地ポーラスコンクリート舗装の施工と品質管理

竹井利公<sup>1</sup>・柄澤治<sup>2</sup>・丸山暉彦<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 (株)ガイアートクマガイ 技術研究所 (〒300-24 茨城県筑波郡谷和原村小絹 216-1)

<sup>2</sup>正会員 (株)ガイアートクマガイ 技術研究所 (〒300-24 茨城県筑波郡谷和原村小絹 216-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 長岡技術科学大学教授 環境・建設系 (〒940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

無目地ポーラスコンクリートを使用した舗装の施工実績は、これまでに5169㎡(20件)であるが、室内で作製したコンクリートと同じ品質のものを現場で実現させるための施工方法および品質管理方法は十分でないのが現状である。

そこで、室内試験と試験施工を行った。これらの結果から室内で作製したコンクリートと同じ品質のものを現場で実現させるための実用的な施工方法および品質管理方法を示すことができた。

*Key Words: pavement, non-jointed porous concrete, construction, quality control*

## 1. はじめに

排水性舗装または透水性舗装の機能の高度化、長寿命化を計ること、常温生産によるCO<sub>2</sub>排出量の削減、省エネルギー化を目的として、無目地ポーラスコンクリート(以後、non-jointed porous concrete =NJPCと記す)を開発した<sup>1)</sup>。

このコンクリートの特徴は次の通りである。

- ① ペースト分の伸び能力が、通常のもの約2000倍であり、また、ペースト分の硬化収縮、乾燥収縮によって生ずるひずみは、転圧し締め固められた開粒度の骨材によって拘束されてコンクリート中にはほぼ均等な割合で分散することから収縮目地を省くことができ、厚さを5cmとすることができる。
- ② 空隙潰れが生じないので、アスファルト系のものと比較して透水・排水機能、吸音機能の持続性がある。空隙詰まりは生ずるが、予想される路面の最高温度60℃のときでも土砂等の付着がないので、機能の回復が計りやすい。
- ③ 連続空隙を確保し易く、使用する骨材の最大粒径を5mmとしても十分な連続空隙を得ることができる。アスファルト系と比較して、発生音が小さくなる。
- ④ 一般の生コン工場で製造できる。
- ⑤ 通常のアスファルト舗装で使用しているアスファルトフィニッシャ、ローラを使用して施工できる。

NJPCを使用した排水性舗装(図-1に舗装構成例を示す)は、これまでの室内試験と、試験施工から実用化の可能性が極めて高いことを確認している<sup>1), 2), 3)</sup>。



図-1 舗装構成例

NJPCを使用した透水性舗装<sup>4)</sup>(構内道路、歩道を対象)は、実施工を行っており、これまでの施工実績は5169㎡(20件)である。

NJPCの施工方法、品質管理方法は、材料が特殊であること、ローラやパイプロプレートで締め固めなければならないこと、また、施工実績が少ないこともあって、まだ十分でないのが現状である。

そこで、今回の研究の目的は、室内で作製したNJPCと同じ品質のものを現場で実現させるための実用的な施工方法および品質管理方法を示すこととした。

## 2. 現行の問題点

ポーラスコンクリートに関する研究は従来からさまざまな研究が行われてきた<sup>5), 6)</sup>。しかし、NJPCのようなポリマー含有量の多いポーラスコンクリート(ポ

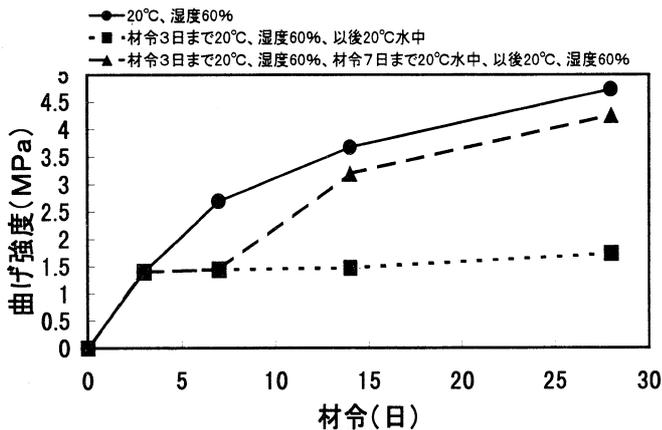


図-2 曲げ強度の経時変化

リマーセメント比=40%)を厚さ5~10cmにローラで締固め舗装体とする研究は行われておらず未知な点が多い。

これまでの実施工をとおして、配合設計どおりのコンクリートを現場で実現するために問題となっている点は、運搬、転圧、養生である。品質管理ではコンシステンシー、空隙率、強度の管理である。

これらの点についての詳細は以下のとおりである。

- ① 運搬はダンプトラックを用いている。荷台のコンクリートは、運搬中にコンクリートの水分が蒸発しエマルジョンが造膜しないよう水を軽く含ませた養生マットと防炎シートで二重に覆っている。現在運搬時間の限度は、セメントコンクリート舗装要綱に準じて1時間を目標としているが、コンクリートが特殊なために短い可能性がある。
- ② 転圧はシート転圧を行っている。この方法を行っている理由は、敷き均しから転圧までの間に生ずる表面の造膜を防ぐことと、既存のどのようなタイプのローラであっても、シート無しに直接転圧すると必ずローラ面にコンクリートが付着してしまい敷き均し面を荒らしてしまうので、これを防げることである。しかし、シート転圧は無風の時にはスムーズに行えるが、風が吹くとシートがめくれ上がり転圧が著しく困難となる。また、シート上からはローラマーク有無が確認し難いため作業効率が著しく低下してしまう。
- ③ 通常のコンクリートの強度発現は空気中で小さく水中で大きいので、養生は湿潤養生を行っている。これに対してNJPCの強度発現は、図-2に示すように通常のコンクリートと全く逆で、空気中の方が大きい。NJPCが水中で強度増進しない理由は、水中に移されることにより多量に混入されているエマルジョンの脱水が停止し、ポリマーの造膜強度が伸びないためと思われる。また、空気中で強度が増

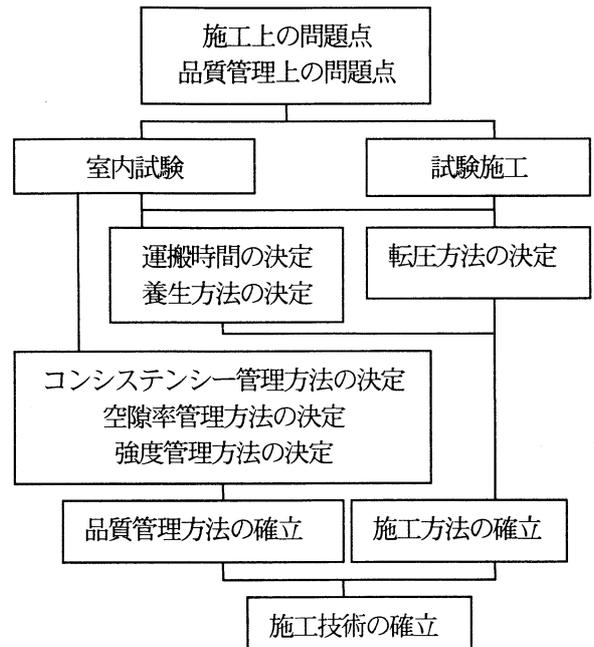


図-3 施工技術確立のフロー図

進する理由は、セメントが練り混ぜ水およびエマルジョン中の水分と水和反応して硬化するため、エマルジョン中の水分がセメントの水和反応に使用されることによりエマルジョン中のポリマーが3次元の網目状に強固に増膜するため、および、空気と接している部分の水分蒸発作用が著しいことからポリマーが速く増膜して皮膜養生剤と同じようにコンクリート内部の水分蒸発を防ぐ働きをするためと思われる。

そこで、NJPCの養生は現在、直射日光、風等による表面部分の急速な水分蒸発を防ぐ目的で浸透型養生剤のみを使用している。しかしながら、この方法で屋外環境における表面付近の急速な水分蒸発を防ぐことができるか明らかでない。

- ⑤ コンシステンシーの評価にはマーシャル突き固め試験を用いている。NJPCは、使用している骨材の品質によっては単位水量が $10\text{kg}/\text{m}^3$ 変化するとコンシステンシーが著しく変化することがある。したがって、骨材の表面水率の管理、練り水量の管理は十分に行う必要がある。これらの管理が十分行われているかを確認するためにコンシステンシー試験を行うのであるが、マーシャル突き固め試験のみの評価では測定に時間を要し、実現場で十分に対応できていない。
- ⑥ 空隙率の管理は、コアを採取し、その全空隙を測定することでおこなっている。しかし、この空隙率と配合設計で使用している締固め直後空隙率との関係が不明確である。締固められたコンクリートの品質、特に強度を管理するために、現場の締固め時空隙率を管理する必要がある。この空隙率は直接

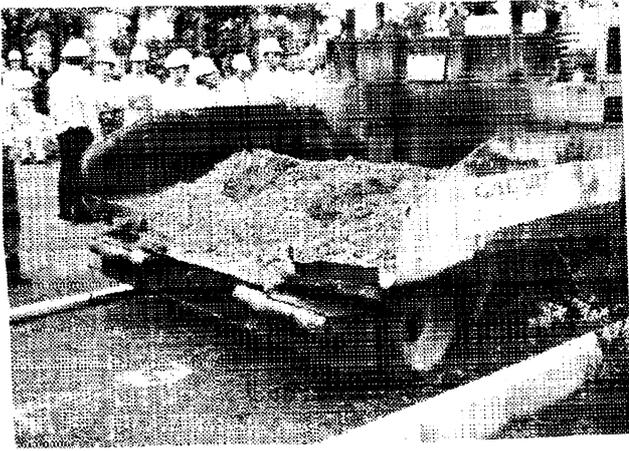


写真-1 試験施工状況

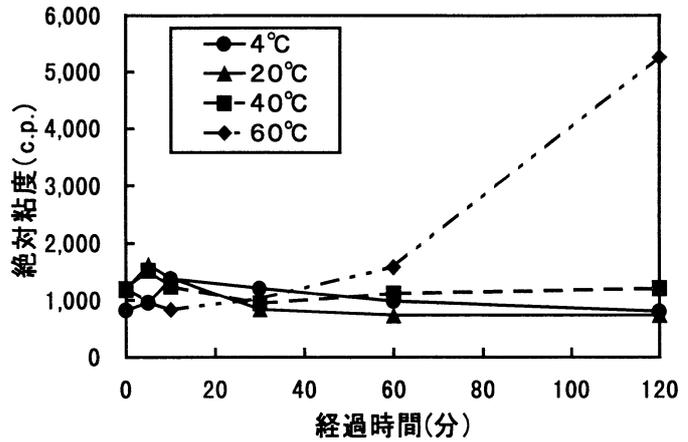


図-4 パースト分絶対粘度の経時変化

### 3. 研究の概要

N J P C 施工技術確立のフローを図-3 に示す。

室内試験と当社合材工場内で試験施工（写真-1）を行い、その結果を用いて N J P C の施工技術を確認した。

### 4. 検討方法

#### (1) 室内試験

##### 1) 運搬時間について

荷下ろし開始から養生剤噴霧終了までの施工時間を現在までの施工実績をもとに 30 分として、練り混ぜ開始から荷下ろし開始までの運搬時間の検討を行った。

一般に夏期の施工で運搬時間が短くなること、および、図-4 に示す N J P C パースト分の各環境温度での粘度経時変化で、環境温度 40~4°C では経時変化の傾向が同程度であることを考慮して、環境温度は 40°C のみとした。

40°C に調整した材料を用いてコンクリートを製造し、これを 8kg ずつビニール袋に入れ封緘し、40°C の恒温室内に入れ、コンシステンシーと強度の経時変化を調べた。コンシステンシーの評価はマーシャル突き固め試験により、強度の評価は、空隙率 20% で作製したマーシャル供試体を 60°C、湿度 60% の環境で 28 日間養生したものを圧裂試験することにより行った。

##### 2) 転圧方法について

シート転圧の代替方法として、図-5 に示すような工夫を施した両鉄輪ローラ（以後、改良型ローラと記す）を用い、施工中いつも両鉄輪面が濡れ布で拭かれるようにして施工を行う方法を検討した。布は織布等であり、これを濡らすためにローラに備えつけの噴霧装置を用いる。過剰に噴霧された水は布をつたわりトイへ落ち、水受けへと流れるので転圧面に余剰水が落ちない。

この方法で行えば、ローラへのコンクリート付着も僅かですぐに上がりも良好となること、これまでの施工経

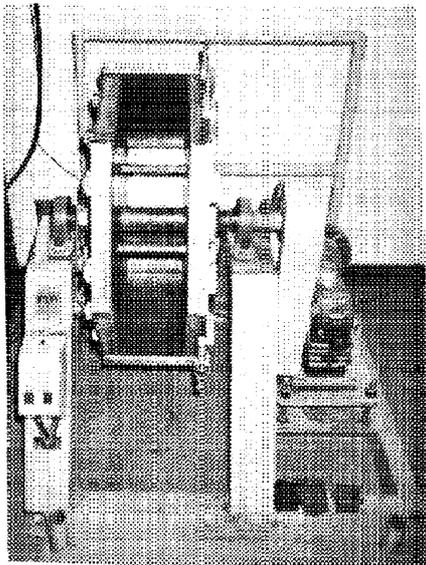


写真-2 回転摩耗試験機

測定できないので、コア空隙率との関係を明らかにし、この関係から求める必要がある。

- ⑦ 強度の管理は、現場で設計空隙率になるよう作製した曲げ供試体を 20°C の空気中で 28 日間養生後に試験し、その結果が 3MPa 以上あることを確認することで行っている。この管理は現場で設計空隙率に締固められていることが前提となっていることから先の空隙率の管理が重要となる。

現場で問題となることが多いのは、曲げ試験用の装置（治具等）を所有する生コン工場が極めて少なく、この装置を所有する工場を見つけることが困難なことである。

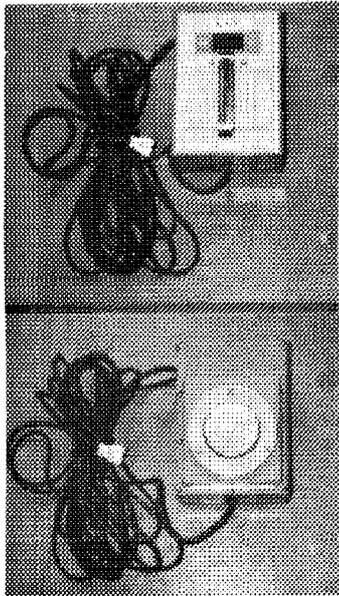


写真-3 水分計

表-1 空隙率測定用供試体

骨材トップサイズ	突固め回数 (回)
6号	5, 10, 20, 30, 50
7号	5, 10, 20, 30, 50

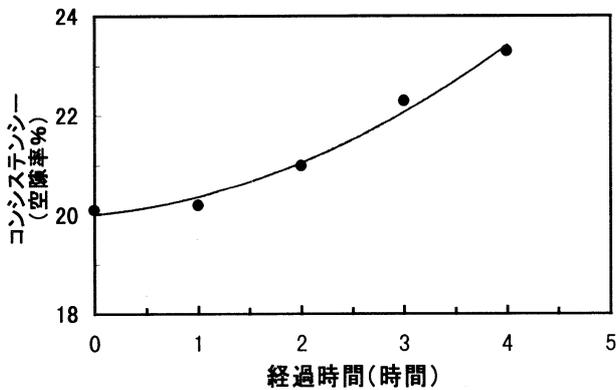


図-6 コンシステンシーの経時変化

験で十分に予想できる。しかし、ローラに付着している水の影響で、路面物性、特に骨材飛散抵抗力が悪くなるのではとの懸念がある。そこで、この水の影響を調べるために、ローラからつたわって路面へ流れ込む水の量を変化させた供試体を作製し、回転摩耗試験を行った。

この試験は、写真-2に示す回転摩耗試験機の回転六角ドラムの壁に供試体を張り付け、ドラム内に一辺が

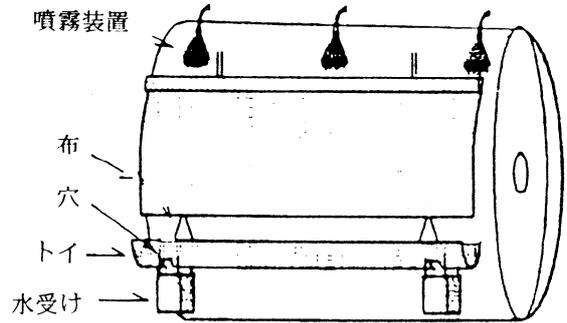


図-5 改良型ローラ

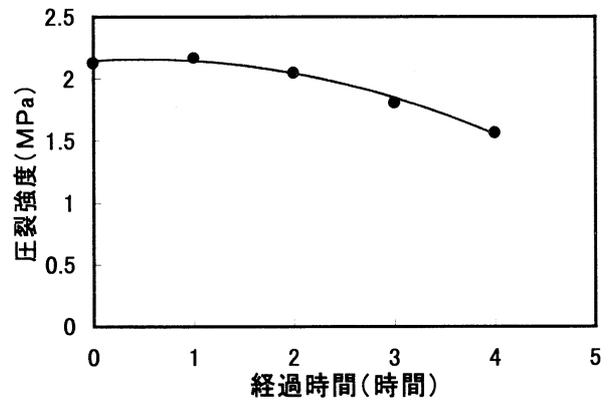


図-7 締固め終了までの経過時間と圧裂強度の関係

5cm、重さ 77.5gの角座金 2枚を溶接したものを6個入れ毎分 33回転のスピードで 1000回転させた時の供試体単位面積あたり損失重量を測定することで行った。

供試体は、ローラに噴霧する水の量を噴霧器で調整し、供試体の単位面積あたりに入り込む水の量を調整して作製した。養生は 20℃、湿度 60%の空気中と 20℃の水中で行った。試験材令は 7日、28日とした。

### 3) 養生方法について

養生剤のみの養生が屋外環境における表面付近の急速な水分蒸発を防ぐことができるかの検討を行った。

温度を 20, 40, 60℃、湿度を 20, 60, 100%に変化させたそれぞれの環境室に、練り上がり温度を環境室温度と同じになるよう調整したコンクリートを 28日間養生し、これをカンタブロ試験により評価することで行った。ただし、湿度 100%の時は、実現場の養生を考慮して、供試体を絞った濡れ布で包み、さらに、ビニール袋で封緘して環境室に入れた。

表-2 強度試験用供試体

骨材トップサイズ	水セメント比 (%)	空隙率
6号	12.5, 25, 37.5	マーシャルランマーで片面だけ 10, 40, 100 回突き固めた時の空げき率
7号	12.5, 25, 37.5	マーシャルランマーで片面だけ 3, 10, 20 回突き固めた時の空げき率

養生：温度 20℃，湿度 60% 材令：28 日，ただし，各トップサイズの標準配合のみ 3, 5, 7, 14 日でも試験した。  
注) 水セメント比の水は，エマルジョン中の水を含んでいない。

表-3 締め固め直後空隙率とコア空隙率の相関係数

	コア空げき率					
	気乾空隙率		全空隙率		連続空隙率	
	6号トップ	7号トップ	6号トップ	7号トップ	6号トップ	7号トップ
締め固め直後空隙率	1.000	1.000	0.997	0.991	0.983	0.977

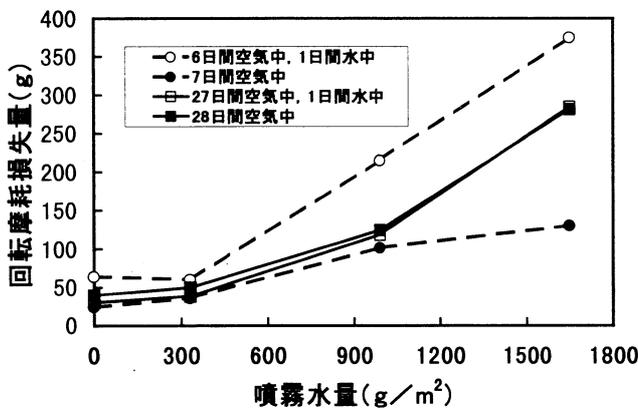


図-8 回転摩擦損失量と噴霧水量の関係

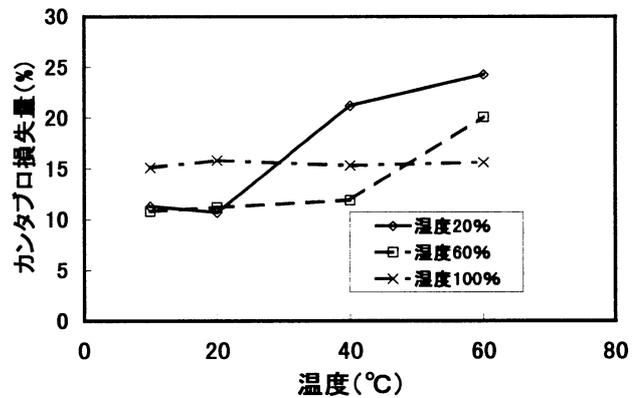


図-9 カンタブロ損失量と養生環境の関係

4) コンシステンシーの管理方法について

NJPCを生コン工場で製造する場合，最もコンシステンシーに影響を及ぼすものは単位水量であり，単位水量を管理することでコンシステンシーをある程度管理できる。測定に時間のかかるマーシャル突き固め試験によるコンシステンシーの評価を補助する目的で練り落とされたコンクリートの含水比（単位水量）を迅速に測定する方法の検討を行った。

検討した含水比測定方法は写真-3に示す機械（以後、水分計と記す）を用いる方法である。この水分計は生コン工場では骨材の表面水率を管理する目的で使用されているものをハンディータイプに改造したものである。

含水比を変えたコンクリートを練り混ぜ，それぞれのコンクリートの練り混ぜ直後含水比を直火法と水分計により測定し，その結果を比較することで水分計を用いる方法の検討を行った。

5) 空隙率の管理方法について

配合設計で使用している締め固め直後空隙率と，採取コアより得られる気乾空隙率，全空隙率，連続空隙率との関係を調べた。前2者の空隙率はノギス法で，後2者

の空隙率は日本コンクリート工学協会のポーラスコンクリートの空隙率測定方法（案）に準じて測定した。

空隙率測定に供したNJPCは表-1に示す。

6) 強度の管理方法について

曲げ強度と，マーシャルモールドで作製した供試体の圧裂強度との関係を試験により調べた。

圧裂試験（引っ張り強度試験）は，JIS A 1113 に準じて行った。

強度の管理に，圧裂試験の検討を行う理由は次のとおりである。

- ① 特別な装置が必要なく，JIS 工場ならばどこでも試験できる。
  - ② マーシャルモールド，マーシャルランマーは比較的軽量であり，現場で準備し易い。
  - ③ 均一に締め固められた供試体を作製し易い。
  - ④ 現場コンクリートの強度が知りたい時には，コアを採取し，これを試験して評価できる。
- 強度試験に供したNJPCを表-2に示す。

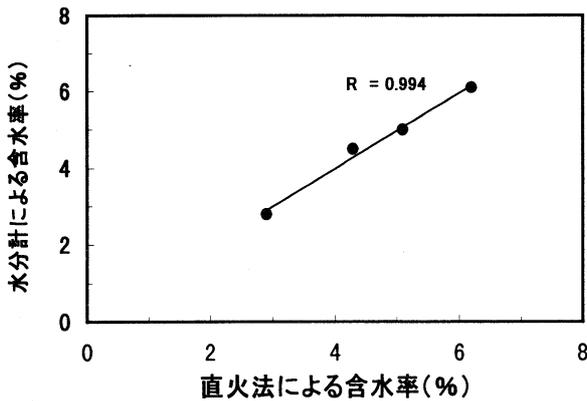


図-10 水分計の含水率と直火法による含水率の関係

## (2) 試験施工

室内で新しい転圧方法を検討する際、この方法で行えばコンクリートがローラに付着しないという推定で行っている。このことを検証するために試験施工を行った。

施工面積は 150 m<sup>2</sup>、施工厚さは 5 cm である。このうち 50 m<sup>2</sup>は通常の 2.5 t 鉄輪ローラを用いて転圧した。転圧の際はローラにコンクリートが付着しないように、ローラに水を噴霧した。残りの 100 m<sup>2</sup>を図-5 に示す 2.5 t 改良型ローラで転圧した。

## 5. 検討結果

### (1) 運搬時間について

図-6 にコンシステンシーの経時変化を示す。コンシステンシーは時間の経過とともに低下しているが、90 分程度までは、急激な変化がない。これは、ポリマーがセメント粒子の周りを覆い、水和速度を遅くしているためと考えられる。

図-7 に圧裂強度の経時変化を示す。圧裂強度は、練り上がり後 2 時間までは低下していない。

図-6 と図-7 より、時間の経過とともにコンシステンシーが若干変化しても材令 2 時間以内に設計空隙率に締め固めれば強度に変化がないこと、および、運搬時間が 1 時間を超える場合は、コンシステンシーのロスを考慮した配合で出荷すべきであることが分かる。

以上のことを考慮すると、水分の蒸発を防ぎ運搬した時の運搬時間の限度は、90 分と判断できる。

### (2) 転圧方法について

図-8 にローラを介して転圧路面 1 m<sup>2</sup>あたりに加えた水量 (以後、噴霧水量と記す) と回転摩耗損失量の関係を示す。この図から次のことが分かる。

- ① 噴霧水量が 330 g/m<sup>2</sup> までは、路面物性に悪影響を及ぼさない。これはエマルジョンが、セメントと水の分離を妨げる効果を持つことと、噴霧した水のほとんどが、路面より蒸発する水の補給水として

使用されることによるものと思われる。

- ② 噴霧水量が 330 g/m<sup>2</sup> 以上になると、損失量は著しく大きくなる結果となった。これは、路面から蒸発する水よりも噴霧される水の量が多くなり、この水が路面付近のセメントペースト分を下へ洗い流すためである。

試験施工の結果は次の通りである。

- ① 通常の鉄輪ローラに、コンクリートが付着しないように転圧するには、1 パス、路面 1 m<sup>2</sup>あたり 150 g/(m<sup>2</sup>・回) の水を鉄輪に噴霧する必要がある。
- ② 改良型ローラを使用した場合は、1 パスの噴霧水量を 30 g/(m<sup>2</sup>・回) として施工できる。
- ③ 改良型ローラへのコンクリートの付着はごくわずかで、品質に悪影響を及ぼさない (室内供試体作製時と同程度)。
- ④ 改良型ローラに付着したコンクリートの 9 割以上は布をつたってトイに落ちた。その量は、施工面積 100 m<sup>2</sup> に対して 612 g であった。
- ⑤ 改良型ローラに噴霧しすぎた水は、布をつたってトイ、貯水槽へ流れ、路面へは落ちなかった。
- ⑥ 施工して 11 ヶ月経過したが、供用状況は良好な状態である。

以上の室内試験と試験施工の結果から、次のことが判断できる。

- ① 通常の鉄輪ローラで、水を噴霧しながら転圧した場合は、3 パス以上転圧すると、その噴霧水のために路面物性が悪化する。実施工では、標準的な転圧スピードよりも遅く転圧することや、転圧回数を 2 パスと決定していても、それ以上転圧してしまう箇所が生じることもあるので、この方法は実用的でない。
- ② 改良型ローラを使用した場合、単純に計算すると 11 パス (損失量が著しく大きくなる噴霧水量 330 g/m<sup>2</sup> ÷ 改良型ローラ 1 パスの噴霧水量 30 g/(m<sup>2</sup>・回)) までは路面物性に悪影響を及ぼさない。NJPC は、通常、所定のローラ 3 ~ 5 パスで設計空隙率となるよう配合設計されているので、改良型ローラを使用する方法は、実用的な転圧方法である。

### (3) 養生方法について

温度、湿度とカンタプロ損失量の関係を示す図-9 から次のことが分かる。

- ① 湿度が 60% の時には路面温度が 40℃ 以上、20% の時には 30℃ 以上になると、コンクリートの物性が著しく低下する。これは、コンクリート中水分の著しい蒸発が急激に生じセメントの水和反応がほとんど行われていないことが原因と考えられる。
- ② 湿度 100% の場合は、温度による悪影響を受けないが、カンタプロ損失量は、比較的大きい。これは、

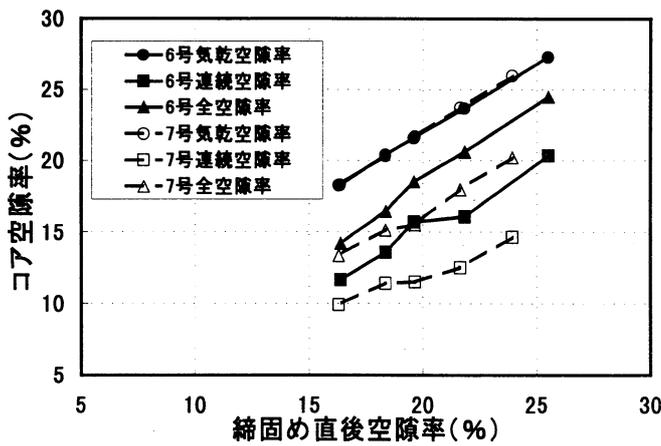


図-11 コア空隙率と締固め直後空隙率の関係

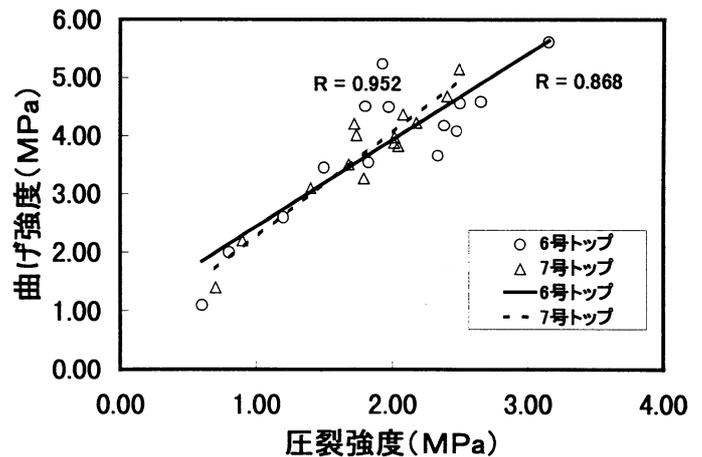


図-12 曲げ強度と圧裂強度の関係

ポリマーの造膜強度が高湿度のために低下しているためと考えられる。

- ③ 夏期において、路面温度は、外気温より10~20℃高くなるので、養生マット等による湿潤養生が必要と判断できる。ただし、NJPCは水分が過剰に供給される環境では、強度が増進しないので養生マットに散水する水の量は養生マットが湿る程度とすべきである。図-2 からもうかがえるように、湿潤養生中は、温度20℃、湿度60%で養生したものと比較して物性は劣るが、気乾状態にすると同等の物性となる。

#### (4) コンシステンシーの管理方法について

図-10 にNJPCの含水比を水分計で測定した値と直火法で測定した値との関係を示す。

両者の相関係数は、0.994で相関が非常に高い。

このことから、操作が容易で、スピーディーに測定できる水分計がNJPCの単位水量の管理に有効であると判断できる。

#### (5) 空隙率の管理方法について

図-11 にコア空隙率(気乾空隙率、全空隙率、連続空隙率)と締め固め直後空隙率の関係を示す。

それぞれのコア空隙率と締め固め直後空隙率の相関係数は、表-3に示す。

図-11と表-3から、次のことが分かる。

- ① 締め固め時空隙率はそれぞれのコア空隙率と相関が高い。
- ② 6号トップの配合が、7号トップの配合より連続空隙を確保し易い。
- ③ 使用骨材の最大粒径が大きく、高空隙率ほど、全空隙率と締め固め直後空隙率が近くなる。これは、全空隙の測定方法が、最大粒径が大きく、空隙率も大きい植栽コンクリート等の空隙率測定用の試験条件に設定されているためと考えられる。
- ④ 気乾空隙率と締め固め直後空隙率の関係は、骨材

最大寸法の影響を受けない。これは、作製した供試体を28日間空气中に放置した時の気乾空隙率で、コンクリートの含水比が十分に安定していたこと、および、水分の蒸発量は、練り水(エマルジョン中の水も含む)から、セメントの水和に必要な水量(セメント重量の25%)とゲル水として取り込まれる水量(セメント重量の15%)を差し引いた量に極めて近い結果となったためと考えられる。

以上のことから、事前に使用する配合での相関を求めていれば、どのコア空隙率からでも締め固め時空隙を求めることができること、および、気乾空隙率を求める際の供試体の状態を一定の方法で定めれば(例えば、50℃の乾燥炉内に24時間放置後の状態)、事前に相関を求めなくても気乾空隙率から締め固め時空隙率を求められる可能性が高いことが分かる。

#### (6) 強度の管理方法について

図-12は、曲げ強度と圧裂強度の関係である。

6号トップの場合の相関係数は0.868、7号トップの相関係数は0.952であり、両者とも相関が高い。

この結果から、配合設計時に、曲げ強度と圧裂強度の関係を確認すれば、現場での品質管理は圧裂強度で行えると判断できる。

## 6. まとめ

室内で作製したNJPCと同じ品質のものを現場で実現させるために、現行での問題点を明らかにし、これについて検討を行った。

その結果次のことが分かった。

- ① 運搬時間の限度は、外気温に関係なく90分を目標とすべきである。
- ② 運搬時間が60分を越える時は、コンシステンシーのロスを考慮した配合で出荷すべきである。
- ③ 図-5に示すような改良型ローラによる転圧は、

コンクリートに悪影響を与えない実用的な締固め方法である。

- ④ 浸透タイプの養生剤を使用しても、湿度 60%で路面温度が 40℃以上の時、湿度 20%で 30℃以上の時には急激な水分の蒸発を防ぐことができないので、養生マット等による養生が必要となる。
- ⑤ 写真-3 に示す水分計は、NJPCの単位水量を管理するのに有効であり、正規のコンシステンシー評価試験の簡易法として位置づけることができる。
- ⑥ コア空隙率から強度管理に必要な締固め時空隙率を求めることができる。
- ⑦ 強度の管理は圧裂強度で行える。

## 7. おわりに

NJPCの施工技術の中で最も重要なものは、所定の時間内に所定の空隙率内に締固める技術であると思う。

この技術を確認なものとするためには、締固め直後に空隙率を測定できることが望ましいので、今後、この点について検討を行う方針である。

## 参考文献

- 1) 木村公平, 竹井利公: 目地なしセメント系排水性舗装の開発, 道路建設, No.570, pp.41-51, 1995.7
- 2) 幾田茂義, 竹井利公, 瀧川勝則: 目地なしセメント系排水性舗装の追跡調査結果, 第 21 回日本道路会議一般論文集 (B), pp.498-499, 1995.10
- 3) 竹井利公, 柄澤治, 丸山暉彦: 排水性舗装用ポーラスコンクリートの配合設計に関する研究, 舗装工学論文集, 第 2 巻, pp173-180, 1997.12
- 4) 竹井利公, 橋本喜正: 目地無し透水性コンクリートを使用した舗装の供用性調査, 第 22 回日本道路会議一般論文集 (B), pp.564-565, 1997.11
- 5) (社) 日本コンクリート工学協会 エココンクリート研究委員会: 自然環境と調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集, 1995.11
- 6) (社) 日本コンクリート工学協会: エココンクリート研究委員会報告書 自然環境と調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望, 1995.11

# CONSTRUCTION AND QUALITY CONTROL OF NON-JOINTED POROUS CONCRETE PAVEMENT

Toshihiro TAKEI, Osamu KARASAWA and Teruhiko MARUYAMA

Total amount of construction of non-jointed porous concrete pavement has reached to 5169m<sup>2</sup> including 20 construction sites until now. However, it has been realized that the reproduction of the quality of the material in fields equivalent to laboratory specimens was very difficult, because of the reason that the method of construction and quality control has not been examined thoroughly.

In order to solve the problems, the laboratory tests and trail field construction were carried out. Based on the results of these investigations, the practical method of construction and quality control could have been established.