

論文

[1087] 透水コンクリートの透水・透湿・吸音特性

松尾 伸二*1・丸山 久一*2・清水 敬二*3・江本 佑橋*4

1. はじめに

道路の排水[1]、水路水の土中への浸透[2]、微生物の棲息による海洋浄化[3]等の目的で、透水性を有するコンクリートが開発され、コンクリートの多機能化が注目されている。これまでの透水性コンクリートは、細骨材を用いないで、粗骨材をセメントペーストで固めた、いわゆるまぶしコンクリート[4]であるが、筆者らはそれとは逆に細骨材を用いることを主とし、起泡剤によりコンクリート中に連続空隙を発生させる透水性コンクリートを開発してきた[5], [6]。

このコンクリートは、軽量であること、空隙径が細かいこと等から、透水性を目的とする使用の他に、湿度調整や吸音効果を目的とする用途への適用も考えられる。

そこで、本研究では透水性コンクリートの製造過程による空隙形成への影響を検討する他に、このコンクリートの透湿性状や吸音特性を検討することを目的とした。

2. 試験概要

2. 1 供試体作成方法

透水コンクリートに用いた材料として、セメントは、早強ポルトランドセメント(C:比重3.13)を使用し、骨材は細骨材として川砂(S)、粗骨材として人工軽量粗骨材(G)を用いた。さらに細骨材は、5~1.2mm, 1.2~0.6mm, 0.6mm以下の3粒度区分にふるい分けして、粒径の違いによる影響を検討することとした。使用した骨材の物理的性質を表-1に示す。また、使用した混和剤は、起泡剤として特殊界面活性剤(Fa:比重1.16)、減水剤としてナフタリン系(Sp:比重1.20)および増粘剤(Ad)としてアクリル系高分子化合物を主成分とする特殊水中コンクリート混和剤を使用した。透水コンクリートは、透水性の増大に伴い強度低下が著しいが、本研究では、圧縮強度として50kgf/cm²程度を目安とした。配合を表-2に示す。

製造方法は著者らのこれまでの方法と同様である[7]。すなわち、モルタルミキサーにより、水と混和剤を攪拌し、気泡を作成する。この気泡に、セメントを加えて練り混ぜ、さらに、このペーストPに細骨材、あるいは粗骨材を混入した供試体(前者をM、後者をC1とする)、およびモルタルに軽量粗骨材を混入した供試体C2を作成した。モルタルおよびコンクリートは、練り混ぜ終了後、湿潤状態で1時間静置(前置き時間)し、練り返しの後、型枠に打設した。1日後に脱型し、各試験日まで水中または気中養生を行った。なお、空隙率の変化は、ペーストあるいはモルタルの攪拌時間により調整した。また、空隙径は前置き時間により影響を受けることから、前置き時間もパラメータとした(0, 30分, 1時間, 2時間)。

*1 ショーボンド建設株式会社 工修 (正会員)

*2 長岡技術科学大学助教授 工学部建設系 Ph.D. (正会員)

*3 長岡技術科学大学教授 工学部建設系 農博

*4 大木建設株式会社

表-1 骨材の物理的性状

骨材	粒径 (mm)	比重	F, M	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/l)	実積率 (%)
細骨材	0-5.0	2.6	2.47	2.36	1.67	65.8
	0-0.6		1.47		1.6	62.8
	0.6-1.2		3		1.52	59.84
	1.2-5		4.37		1.51	59.45
軽量粗骨材	5.0-15	1.64	6.35	25.5	0.99	75.68

表-2 配合表

	W/C (%)	Fa/C (wt.%)	Sp/C (wt.%)	Ad/W (wt.%)	S/C (wt.)	G/V (vol.%)
ペースト (P)	35	0.2	0.2	0.025		
モルタル (M)	35	0.2	0.2	0.025	1	
コンクリート (C1)	35	0.2	0.2	0.025		20,25,30
コンクリート (C2)	35	0.2	0.2	0.025	1	20,25,30

Fa: 起泡剤, Sp: 高性能減水剤, Ad: 増粘剤, S: 細骨材, G: 粗骨材, V: モールドの容積

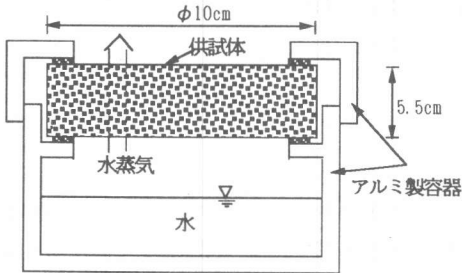


図-1 透湿試験装置

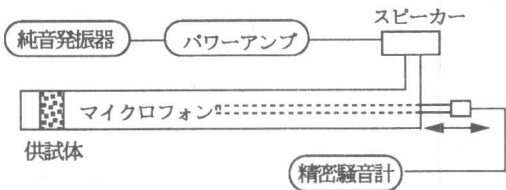


図-2 管内法吸音率測定機器

2. 2 試験項目および方法

本試験で指標とした透水コンクリートの物性値は、透水係数、透湿率および吸音率で、それらを空隙率（連続空隙率）および空隙径をパラメータとして検討した。

1) 全空隙率および連続空隙率の測定

全空隙率は、打設時のフレッシュコンクリートの重量を測定し、配合から算出した。連続空隙率の算定においては、まず供試体の側・底面を布テープで密閉し、上面より水を注ぎ入れて供試体を十分に飽水させ、その重量を表乾状態になるまで乾燥させ（温度 20℃、相対湿度 75% の雰囲気中で 12 時間放置）、その重量差を連続空隙を満たしている水の重量として算出し、連続空隙率を求めた。

2) 透水性試験

透水性試験は、著者らがこれまで行ってきたものと同じである[7]。すなわち、「JIS A 1218」で規定されている土の定水位透水試験に準じていて、水頭差は約 15 cm である。供試体サイズは 10.5 × 16.5 × 6 cm とし、試験材令は水中養生 7 日とした。

3) 透湿性試験

本試験は、建築材料の透湿性評価に用いられている水蒸気拡散法「JIS Z 0208」を応用したものであり、水を水蒸気の状態にして、供試体内を通過させ、その透湿性を測定するものである[8]。図-1 に示す容器に水 200 cc 程度入れ、φ10 × 5.5 cm の乾燥状態にした供試体をセットして、温度 65℃、湿度 0% の環境に設置し、経時的に装置の重量を測定した。この

時の重量減少量を装置内の水が水蒸気として供試体内を通過した重量とした。なお、装置内の湿度は100%と仮定した。

4) 吸音性試験

吸音率の測定は、「JIS A 1405」の管内法による建築材料の垂直入射吸音率測定方法にしたがった。管内法吸音率の測定機材の概要を図-2に示す。まず、純音発信器により、測定する周波数の純音を設定し、管内に設置されている音源スピーカーより音波を放射し、管内に定在波を発生させる。次にマイクロフォンを前後させることにより、定在波の極大値、極小値を探しだし、吸音率を測定した。周波数は125Hz~2000Hzまでの1/3オクターブ間隔ごとに吸音率の測定を実施した。供試体サイズは $\phi 10 \times 4, 6, 8$ cmとした。

5) 硬化断面の観察

空隙の質を評価するため、「ASTM C 457」のリニアトラバース法により、空隙の大きさおよび分布を観察した。

3. 試験結果および考察

3.1 連続空隙率と透水性

連続空隙率と透水係数の関係、全空隙率と圧縮強度の関係を図-3、図-4に示す。これより、透水性は連続空隙率に、圧縮強度は全空隙率に相関性がある。望ましい透水コンクリートとは、ある程度の透水性を確保し、高い強度を持つことである。言い換えれば、連続空隙率をある程度保持し、かつ強度を支配する全空隙率を小さくすることである。

図-3より、ペースト、モルタルおよびコンクリートでは、連続空隙率が同じでも、透水係数が異なっており、単に連続空隙率だけでなく、細・粗骨材の混入により、空隙の径や空隙の連続の状態も透水性能に影響していると考えられる。

細骨材の粒径が空隙形成に及ぼす影響を検討するために、モルタルにおいて、細骨材粒径を4種類に変えて透水性に及ぼす影響を示したものが図-5である。ここでは、骨材粒径の大きい方が、同一連続空隙率において高い透水性を示している。そこで、細骨材粒径による気泡径の分布を測定したものが図-6である。気泡個数はトラバース長770mm当たりのものである。透水性に関して言えば、空隙径が大きい方が水流の摩擦抵抗が小さくなるため、骨材粒径によって空隙径の分布に違いが生じると思われたが、十分に説明できる結果は得られていない。

また、空隙径の大小は、前置き時間に影響す

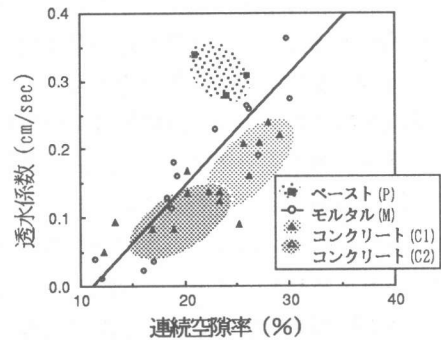


図-3 連続空隙率と透水係数の関係

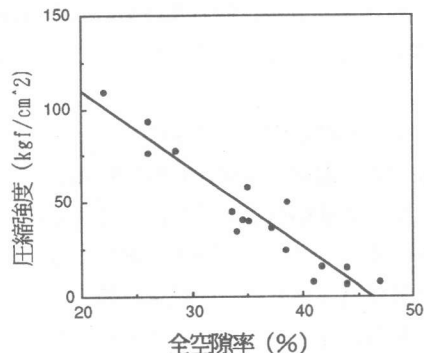


図-4 全空隙率と圧縮強度の関係

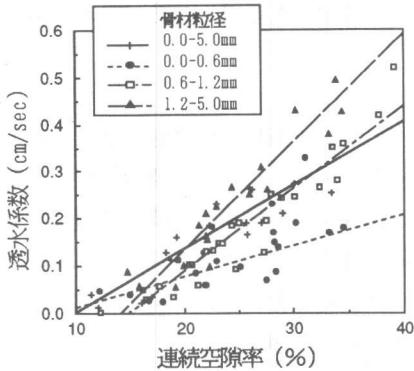


図-5 使用細骨材粒径による透水係数

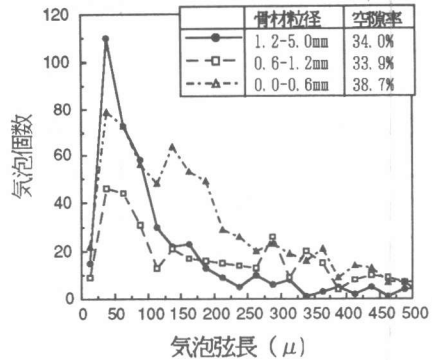


図-6 気泡分布

ることが著者らの既往の研究で認められている[6]。そこで、モルタルについて、前置き時間による連続空隙率と透水係数の関係を調べたものを図-7に示す。これによれば、前置き時間の長短によっても透水性が異なることが認められる。時間の経過にともなう気泡の変化を模式的に表すと図-8のようになると考えられる。前置き時間を設けない場合、連続空隙率は多いが、細かい空隙が数多く分布すると考えられる。一方、前置き時間を設けることによって、気泡同士が合体し空隙径が大きく、かつ経路が直線的となると考えられる。さらに、強度面で考えると、前置き時間を設けることは強度の改善にもつながっている(図-9)。

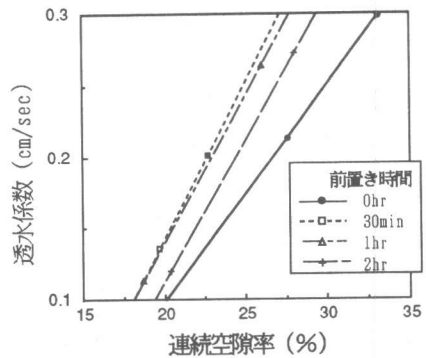


図-7 前置き時間による透水係数

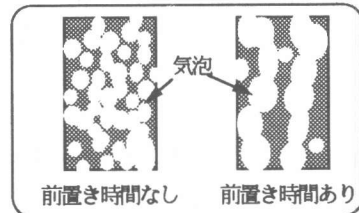


図-8 前置き時間のメカニズム

以上より、本コンクリートの透水性は、単に連続空隙率だけの関数で示されるものではなく、空隙の大きさ、分布状態およびそれらの連続性に依存するものと考えられる。

3.2 連続空隙率と透湿性

透湿性は、湿度、温度、材料特性によって決まり、水分の移動は、湿度の高い方から低い方へ移動する。本コンクリートにおいても、透湿性は空隙構造(空隙率、連続空隙率、空隙の大きさ、分布、経路)によるところが大きいと思われる。

図-10にモルタル供試体(前置き時間1時

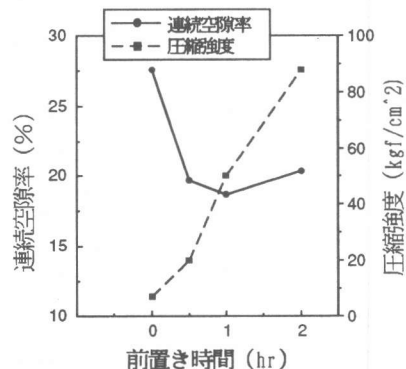


図-9 前置き時間による連続空隙率と圧縮強度

間)を装置内にセットした後の水の減少量の経時変化の一例を示す。この図より、減少量はほぼ線形増加しており、経時的に安定したものとなっていることが分かる。また、普通モルタルと比較すると著しく減少量が多く、さらに、連続空隙率の大きい方が水の減少量が多い。

このような結果をもとに、連続空隙率と透湿率の関係を示したものが図-11である。このことから、連続空隙率が大きくなると透湿率も大きくなっていることが認められる。なお、細骨材粒径による影響は、透水性におけるもの程は著しくなかった。

透湿性に関しても、透水性と同様、連続空隙の大きさ、分布および経路を把握し、定量的に評価することが必要である。

3.3 吸音特性について

吸音性を左右する要素には、連続空隙率の大小、その形状、分布、供試体の厚さ等がある[9]。

連続空隙率と吸音率の関係の一例を図-12に示す。なお、使用細骨材は粒径無調整のもので、供試体厚さは6cmである。これより、透水コンクリートは普通モルタルに比べ、吸音性が著しく高いことが分かる。また、連続空隙率が大きくなるにつれて、ピーク吸音率が高周波側にずれる傾向を示している。

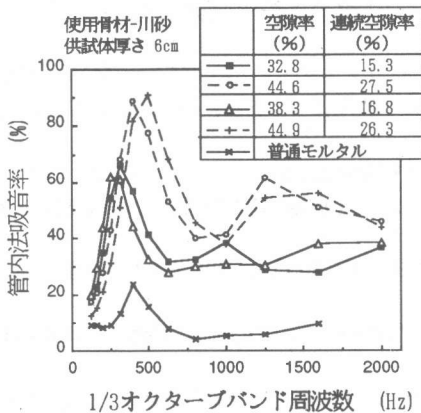


図-12 連続空隙率による管内法吸音率

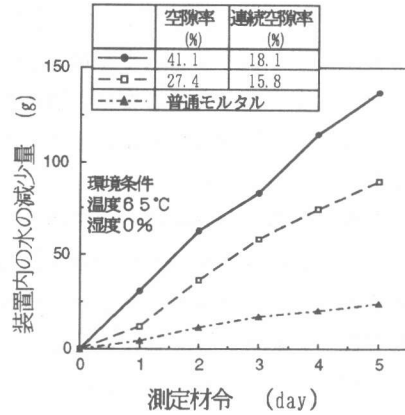


図-10 装置内の水の減少量の経時変化

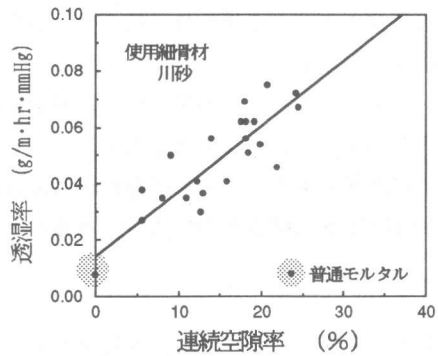


図-11 連続空隙率と透湿率の関係

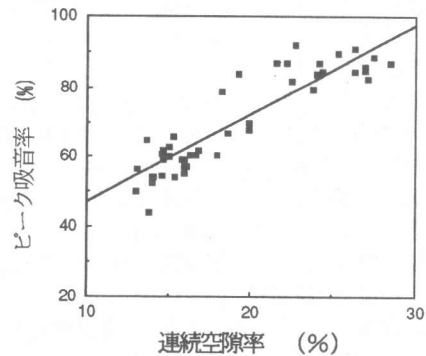


図-13 連続空隙率とピーク吸音率の関係

連続空隙率とピーク吸音率の関係を図-13に示す。これより、ピーク吸音率は、連続空隙率が大きくなるにしたがい、大きくなる。使用細骨材による吸音率に与える影響は、透水係数のような粒径による影響がほとんど認められない結果となった。

供試体厚さと吸音率の関係の一例を図-14に示す。なお、使用細骨材は1.2~5mm、連続空隙率24%の供試体である。図より、厚さによる吸音特性の変化が大きいことが分かる。供試体厚さが増加するにしたがって、ピーク吸音率周波数は低周波数側に移り、吸音率が波長と供試体厚さ（連続空隙の長さ）に依存していることが分かる。

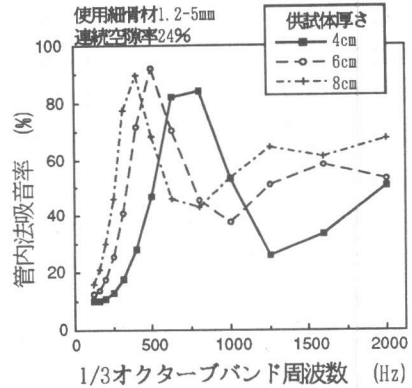


図-14 供試体厚さによる管内法吸音率

4. まとめ

透水コンクリートの機能性に関して、透水、透湿および吸音性試験を実施し検討した結果、以下の結論が得られた。

- (1) 本コンクリートの透水性は、基本的には連続空隙率に支配されるが、骨材の混入による空隙の径や経路にも影響される。
- (2) 透水コンクリートの透湿性状および吸音特性も、連続空隙率に相関性があり、さらに吸音特性は供試体厚さの影響を受けることが認められた。

[謝辞]

本研究の実施において、吸音率測定の際には福田道路(株)、(株)ブリヂストン、気泡径測定の際には住友セメント(株)に多大なる御援助をいただきました。ここに謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 中丸貢・鈴木秀輔・福田萬大：透水性セメントコンクリート舗装の車道への適用に関する検討，土木学会第47回年次学術講演概要集，pp.152-153，1992
- 2) 小沢コンクリート工業(株)：小沢ポラコン，セメント・コンクリート，No.485，pp.56-62，1987
- 3) 玉井元治ら：まぶしコンクリートの海中における性質と水質浄化の可能性，第46回セメント技術大会講演集，pp.942-947，1992
- 4) 玉井元治：連続空隙を有する固化体の透水性，セメント技術年報，Vol.42，pp.591-594，1988
- 5) 大友武臣・丸山久一・清水敬二・江本佑橋：透水性コンクリートの開発に関する研究，第45回セメント技術大会講演集，pp.750-755，1991
- 6) 高橋知生・丸山久一・清水敬二・松尾伸二：透水性コンクリートの開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，pp.351-356，1992
- 7) 松尾伸二・丸山久一・清水敬二・江本佑橋：起泡剤を用いた透水性コンクリートの特性，第46回セメント技術大会講演集，pp.948-953，1992
- 8) 伊藤洋・前村辰二・坂口雄彦：水蒸気拡散法によるコンクリートの透水性評価試験について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，pp.733-738，1992
- 9) 水野卓哉・帆苅浩三・丸山暉彦：球の充填モデルによる球音特性の検討，土木学会第47回年次学術講演概要集，pp.138-139，1992