

論文

[1058] 透水性コンクリートの開発

正会員○高橋知生（新潟県）

正会員 丸山久一（長岡技術科学大学建設系）

清水敬二（長岡技術科学大学建設系）

松尾伸二（長岡技術科学大学大学院）

1. はじめに

透水性を有するコンクリートは、既に歩道・駐車場等の舗装材として、雨水の地下への還元を目的として使用されている[1]。近年、その連続した空隙を利用し、機能性という観点からのアプローチがなされつつある[2]。例えば、空隙内に微生物を生息させた環境保全材としての利用、空隙内で音波が乱反射するため吸音材としての利用等である。その他各種方面での利用が可能と考えられるが、本研究は従来とは異なる製造方法を開発し、新たな利用方法を探ろうとする目的で開始された[3]。

通常のコンクリートに透水性を持たせるには、連続した空隙を形成する必要がある。本研究で採用した手法は、起泡剤を使用してコンクリート中に多量の気泡を発生させ、その結果として連続した空隙を形成するものである。コンクリート中の空隙を透水性に関与すると思われる連続空隙と、そうでない独立空隙とに分けるならば、透水性においては連続空隙量を増加させることが、強度面では総空隙量を低下させることが望ましい。この相反する事象を両立することは難しいと考えられるが、起泡剤によって発生させた気泡を、独立させることなく連続空隙に変えることが出来るならば、望ましい状態に近づくものと考えられる。

本論文は、新たに開発した手法によって得られた透水性コンクリートの透水性、強度特性について、空隙形成の視点から、練り混ぜ方法、配合条件等を検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

セメント（C）は早強ポルトランドセメントを、また細骨材（S）は人工軽量骨材（比重1.91、粗粒率2.61）を使用した。混和剤として、起泡剤（Fa）はアニオン系界面活性剤を、増粘剤は（A）は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用混和剤を、減水剤（Sp）はナフタリン系のものを使用した。混和剤添加量は、 $Sp/C = Fa/C = 0.2\text{wt.}\%$ 、 $A/W = 0.025\text{wt.}\%$ と一定とした。

2.2 供試体製造方法

図-1に供試体の製造方法を示す。練り混ぜはペーストミキサーを用いた。まず、水と混和剤を低速で20秒、高速で60秒攪拌して気泡を作製した。この気泡にセメントを加え2分間練り混ぜた後、細骨材を投入し、さらに1分間練り混ぜた。練り混ぜ終了後は湿潤状態で静置（以下、前置

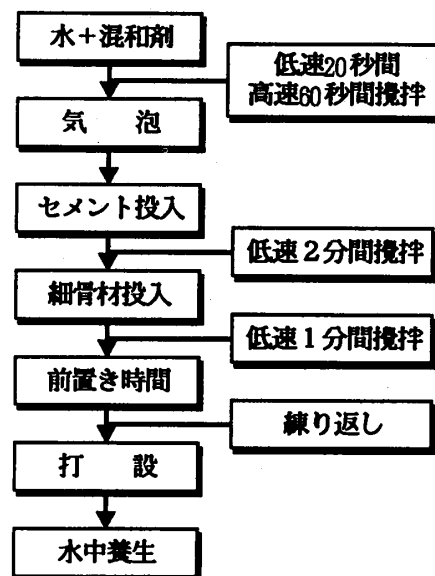


図-1 供試体製造方法

き時間と呼ぶ) し、練り返しの後に打設を行なった。この前置き時間と練り返しの工程は本製造方法の特色と言えるが、その連続空隙形成のメカニズム等については次章で考察する。脱型後は、試験日まで水温 $18 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中養生を行なった。

2.3 試験方法

本研究で指標として用いた透水性コンクリートの物性は、透水係数と圧縮強度、そして空隙率である。コンクリート中の空隙の形成を変化させる手段として表-1に示す項目を選定した。供試体中に発生する気泡量は、混和剤添加量でも調整可能であるが、本実験では、細骨材添加後の攪拌時間で調整を行なった。

表-1 実験パラメータ

練り混ぜ方法	前置き時間	0,1,2,3 hr
	攪拌時間	空隙率0.2~0.6の間で調整
配合条件	W/C	35,40,45,50 %
	S/C	0,0.5,1.0

透水係数は JIS A 1218 土の定水位透水試験方法に準じて、供試体寸法 $10.5 \times 16.5 \times 6\text{cm}$ の角柱体を用い、材令7日で測定を行なった。圧縮強度は JIS A 1108 に準じて、供試体寸法 $10.5 \times 7.8 \times 6\text{cm}$ の角柱体を用い、材令7日で測定を行なった。

空隙率は、供試体体積に対する比で表し、総空隙率(以下、空隙率と呼ぶ)と連続空隙率の測定を行なった。測定方法は、空隙率は打設時の試料の重量を測定し、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測定した。次にこの重量と表乾重量(温度 20°C 、相対湿度75%の雰囲気中で12時間放置)との差を、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。また、空隙の構成を見るために、硬化後の供試体をコンクリートカッターで切断し、切断面の観察を行なった。

3. 実験結果及び考察

3.1 前置き時間が透水性、圧縮強度に及ぼす影響

セメントペーストにおいて、練り混ぜ時間を一定とし、W/Cと前置き時間のみを変化させた供試体を作製し実験を行なった。

図-2に透水係数と前置き時間の関係を、図-3に圧縮強度と前置き時間の関係を示す。透水係数はW/Cの大きなものほど大きく、W/C=35%を除き、前置き時間をある程度長くするとさらに大きくなる傾向にある。また、圧縮強度も前置き時間を長くすることで大きくなる。

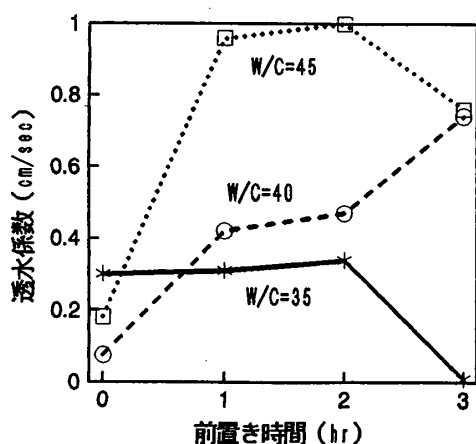


図-2 透水係数と前置き時間の関係

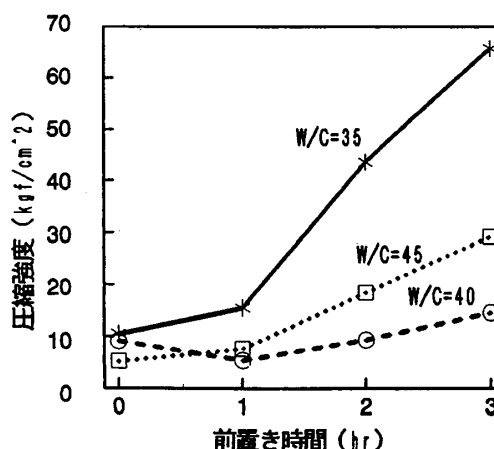


図-3 圧縮強度と前置き時間の関係

図-4に空隙率と前置き時間の関係、図-5に連続空隙率と前置き時間の関係を示す。前置き時間を長くすることにより、空隙率はいずれのW/Cでも低下するが、W/C=40、45%では連続空隙率が増加する場合もある。このため、W/C=40、45%では前置き時間を長くすることにより圧縮強度が増加し、透水係数も増加したといえる。W/Cにより空隙率が異なるのは、攪拌時間を一定としているため、W/Cの大きなものほど粘性が低く、攪拌による泡立ちが大きいためである。また、空隙率が減少するのは、気泡の安定性が時間経過と共に低下するため、型枠に打設する時の練り返し作用によって気泡が容易に消えてしまうためである。

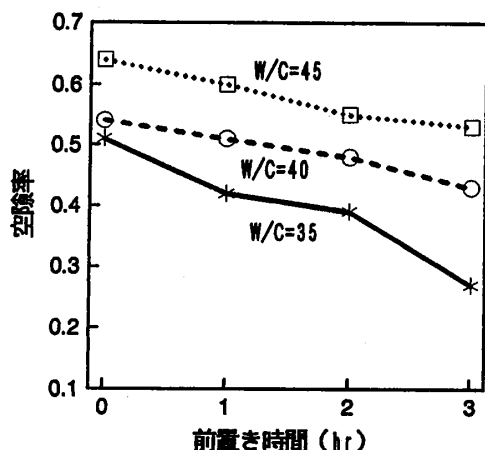


図-4 空隙率と前置き時間の関係

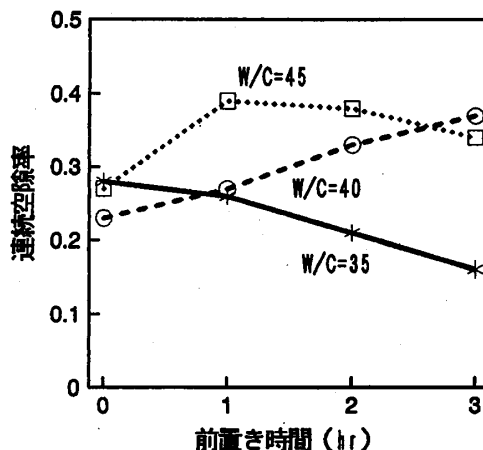


図-5 連続空隙率と前置き時間の関係

硬化セメントペーストの切断面を観察した結果、前置きの有無によって構造に明らかな変化が生じていることが確認された。図-6 (a)、(b)に、前置き時間の有無による供試体の切断面のモデル図を示す。前置き時間を設けずに打設した供試体(a)は、セメントペーストのだまと、細かな空隙を多量に含むペーストからなっている。ペーストのだまは、練り混ぜ時に発生したもので、増粘剤と起泡剤の併用により現われたものである。このペーストの空隙は、粒径が約1mm以下と細かく、それぞれが幾重にも積み重なった構造をなしており非常に脆い。また、空隙の約6割が独立空隙であり連続性に乏しい状態である。これは、気泡の安定性が高い状態で型枠に打設したために、型枠に拘束されて練り混ぜ直後の状態を保持したまま硬化したものと考えられる。

一方、前置き時間を置いて、練り返しを行ってから打設した供試体(b)は、ペースト部分が減少し、粒径1~3mm程度の大小のペーストのだまが積み重なり、1~3mm程度の空隙を形成する構造をなしている。この時、最大で空隙の約8割が連続空隙となっている。この構造は、前置き時間中のペーストの変化と練り返しによってもたらされたものと考えられる。ペーストの状態を詳細に観察した結果、前置き時間中にペースト中の気泡は径が拡大し、気泡を形成する膜が薄くなり、消えやすい状態となっていることが確認された。この状態で練り返しを行なった結果、気泡の一部が消え、だまが積み重なった構造となったものと考えられる。

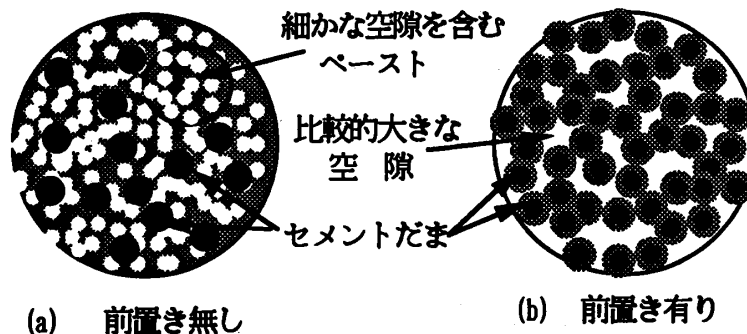


図-6 硬化セメントペーストの構造

なお、W/Cによっても構造は異なり、練り混ぜ時に発生するセメントのだまは、W/Cの小さいものほど大きく、量も多い事が確認された。このため形成される空隙径は大きくなるが、同じ前置き時間で比較した場合、総空隙量が少ないために透水性は低い。W/C=35%の場合に連続空隙率が低下しているのは、発生した気泡量が少ないうえにさらに練り返しによって気泡が消えるため、高性能減水剤の粒子分散性能の時間経過による低下ともあいまって、ペースト全体の粘性が高まり、空隙を保ったまま打設が出来なくなったからである。施工性と透水性の両面を考慮した場合、打設時に必要な最低限度の空隙率があり、およそ 0.4 程度であると考えられる。

3.2 砂セメント比 (S/C) が透水性、圧縮強度に及ぼす影響

前置き時間を設けることにより、空隙率は減少するが連続空隙率は増加することが判明したため、前置き時間を 1 時間に設定し、攪拌時間も一定とし細骨材量による空隙の構成の違いについて検討を行なった。図-7 に透水係数と S/C の関係、図-8 に圧縮強度と S/C の関係を示す。S/C を増すことにより、透水係数は低下し圧縮強度は増加する。図-9 に空隙率と S/C の関係、図-10 に空隙の連続性と S/C の関係を示す。S/C を増すことにより空隙率は低下するが、同時に空隙の連続性も低下する。練り混ぜ時間を一定としているため、細骨材を除いたセメントペースト部に発生している空隙は等しいと考えられることから、連続性を低下させるように構造が変化していることが推測される。

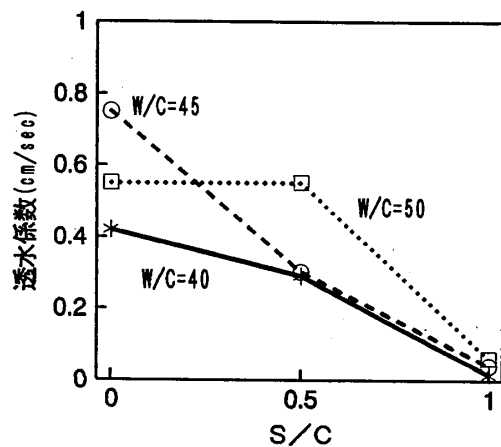


図-7 透水係数と S/C の関係

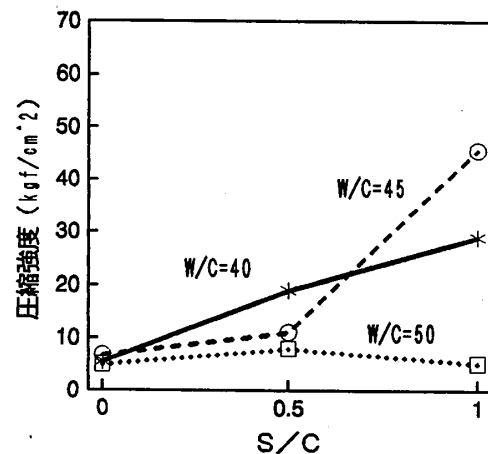


図-8 圧縮強度と S/C の関係

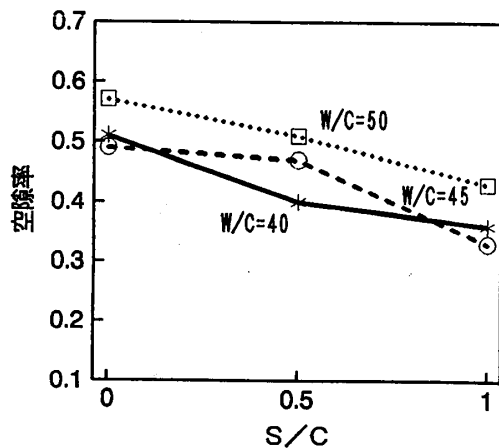


図-9 空隙率と S/C の関係

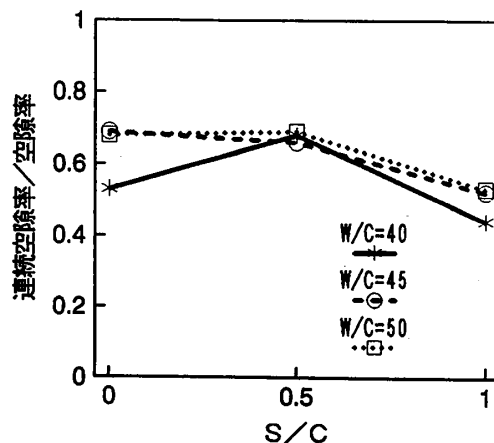


図-10 空隙の連続性と S/C の関係

切断面の観察より、空隙の形成は細骨材量の影響を受けることが判明した。

図-11に供試体切断面の観察モデルを示す。セメントペーストに見られたようなだまは観察されなかった。ペーストは細骨材周りで相をなし、骨材粒が単独で積み重なって形成する比較的小さな空隙

(粒径1mm以下)と、複数の

骨材とペーストが一体化し、その塊同士が積み重なって形成する比較的大きな空隙(粒径1~3mm程度)がある。

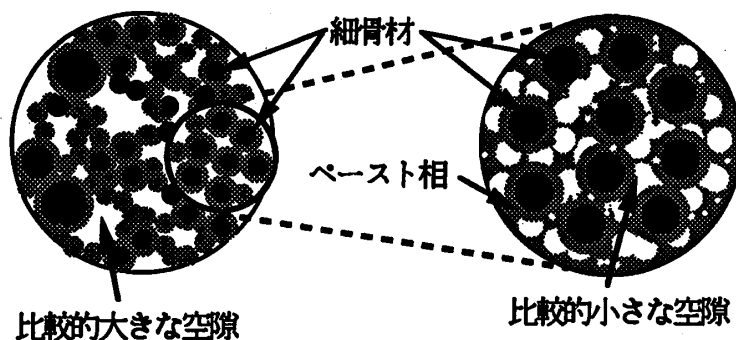


図-11 硬化モルタルの構造

S/Cが小さい場合、骨材粒が単独で形成する空隙が多く、骨材間隔は長く、また形成される空隙は大きくなるが、骨材間は空隙が幾重にも重なったペーストで満たされるため、骨材同士の結合は弱い。反対にS/Cが大きい場合、骨材とペーストが一体化した部分が多くなり、その間に挟まれる独立空隙も多くなる。このため連続空隙の割合が減少するものと考えられる。また、骨材間隔は短くなり、空隙も小さくなるが骨材同士の結合は強くなる。さらに、W/Cによっても構造が異なることが観察された。同一細骨材量の場合、W/Cの大きいほうが空隙量も多く、また径も大きくなるため、若干空隙の連続性は高まる。

3.3 空隙率及び連続空隙率が透水性、圧縮強度に及ぼす影響

空隙量の違いによる影響を検討する目的で、練り混ぜ時間を調節することにより空隙率を0.2~0.6の範囲で変化させた供試体を作製し、実験を行なった。なお、S/Cによって空隙の構成が変化することが分かっているので、S/C=1に一定とし、W/Cのみを変化させた。

図-12に空隙率と圧縮強度の関係を示す。空隙率が増加するとともに圧縮強度は低下する傾向を示す。また空隙率0.4以下ではW/Cの小さいほうが強度の出る傾向にあり、W/Cの影響があることが考えられる。これは、空隙量が小さくなると骨材間隔が短くなり、骨材と骨材を結ぶペーストの強度が影響してくるためと考えられる。空隙量が大となると、連続空隙等の構造的な弱点が強度を支配するようになるため、W/Cによる違いが少なくなるものと考えられる。

図-13に連続空隙率と透水係数の関係を示

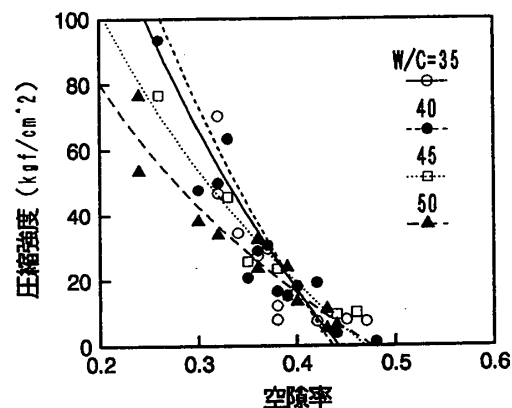


図-12 空隙率と圧縮強度の関係

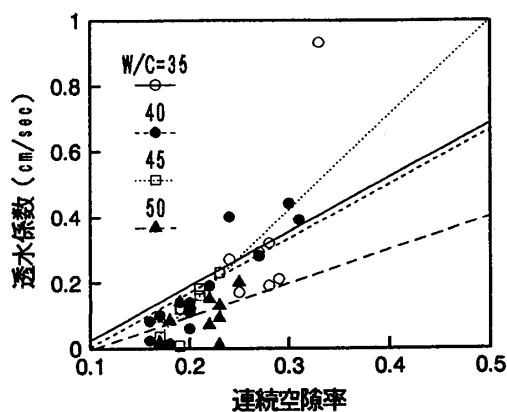


図-13 連続空隙率と透水係数の関係

す。連続空隙が増加すると透水係数も増加する傾向にある。また、連続空隙率が同じ場合では、 W/C の大きいほうが透水係数の高くなる傾向にある。これは、 W/C によって形成される空隙の大きさが異なり、 W/C の大きいほど空隙が大きくなるためと考えられる。

図-14に空隙率と連続空隙率の関係を示す。空隙率が増加すると連続空隙率も増加する傾向にある。同一空隙率では、空隙率が0.35以上の場合、 W/C の小さいほうが連続空隙率が多くなる傾向にある。

図-15に空隙の連続性と空隙率の関係を示す。 W/C の小さいほうが空隙の連続性は高く、 W/C の大きい場合は空隙率の増加にともない連続性が低下する傾向にある。同一の気泡量をペースト中に発生させる場合、 W/C の小さいほうが単位体積当りの水量が少ないため、形成する気泡の膜が薄くなり、練り返しの作用によって消えやすいものと考えられる。

尚、 $S/C=0.5$ 、0（セメントペースト）でも類似の関係が得られている。

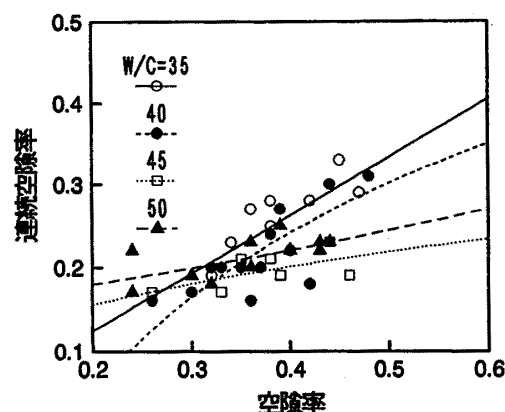


図-14 空隙率と連続空隙率の関係

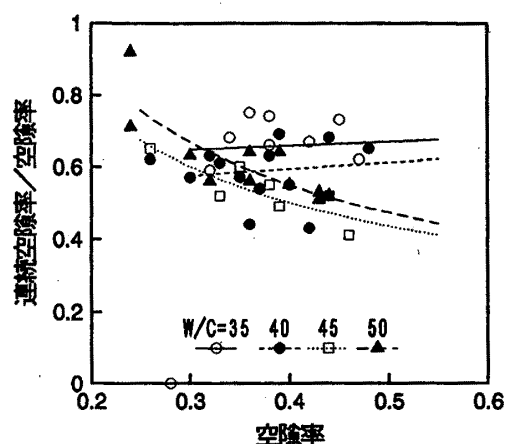


図-15 空隙の連続性と空隙率の関係

4. まとめ

新たに開発した手法による透水性コンクリートについて以下の結論が得られた。

- (1) 前置き時間を設けることは、空隙が減少し且つ連続性が増加するため、透水性、強度面で有効となる。
- (2) S/C を増すと形成される空隙は小さくなり、また連続性も低下する。
- (3) 空隙率と圧縮強度には相関性があり、空隙率が小さい場合、 W/C の影響が大きくなっていく。
- (4) 連続空隙率と透水係数には相関性があり、連続空隙が同じ場合では、 W/C の大きいほうが透水係数は大きい。
- (5) 空隙率と連続空隙率には相関性があり、 W/C の小さいほうが空隙は連続空隙に発達しやすい。

【謝辞】

本研究の実施において、大木建設㈱の江本佑橋氏に多大なるご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) 佐藤道路㈱：技術資料 パーミアコン舗装、1983
- 2) 玉井元治：連続空隙を有する硬化体による海洋浄化の可能性に関する研究、第17回セメント・コンクリート研究討論会研究報告集、pp.73-78、1990
- 3) 大友・丸山・清水・江本：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