

早稲田大学理工研究科 学生員 スジヨノ、A.S.
早稲田大学理工学部 正会員 関 博

1. まえがき

コンクリート構造物の劣化現象は、主にコンクリート中の細孔を劣化の原因となる物質が移動することによって引き起こされる。したがって、コンクリート構造物の耐久性を評価するにあたっては、コンクリート中の物質移動のメカニズムを明らかにするとともに、その移動経路であるコンクリート中の細孔構造を定量的に予測することが必要であると思われる。

そこで本研究は、その前段階として、硬化セメントペースト中における細孔構造を示す指標のうちの空隙率の予測を目的としたものである。最近、セメント水和反応モデルによる水和度を予測手法が検討されており、水和度で材齢の経過による空隙率の変化を予測することが望ましいと考えられる。今回、実験要因として W/C 及びセメントの種類を取り上げ、空隙率と水和度の関係について検討した。

2. 実験方法

2.1. 実験条件

水セメント比（以下 W/C）及びセメント種類を変化させた硬化セメントペーストに対して、材齢 0.5, 1, 3, 7, 14, 28, 56 日で水銀圧入法（作用圧力=1~2000bar）による総細孔量測定とかさ密度測定を行った。また、材齢 0.5, 1, 3, 7, 14, 28, 56 日で JIS R 5202（ポルトランドセメントの化学分析方法）の強熱減量の定量方法に準拠した強熱減量測定から結合水量の算定を行い、完全水和時の結合水量との比をとることで水和度を推定した。

2.2. 使用材料

セメントの種類は、普通ポルトランドセメント（以下 OPC、比重:3.16、比表面積:3320cm²/g）、早強ポルトランドセメント（以下 HPC、比重:3.14、比表面積:4500cm²/g）、低熱ポルトランドセメント（以下 LPC、比重:3.22、比表面積:3430cm²/g）を使用した。セメントペーストの配合、養生条件及びフロー値は表1のとおりである。

表1 セメントペーストの配合

W/C (%)	セメント種類	単位量(kg/m ³)		養生条件	フロー値
		W	C		
40	OPC	558	1396	封緘して 20℃ 水中養生	164×167
50		612	1225		262×266
60		655	1091		295×305
50	HPC	611	1222		183×185
50	LPC	617	1234		171×172

また、完全水和時の結合水量は OPC、HPC 及び LPC でそれぞれ 25%、25.3%、25.9%と仮定した。

2.3. 試料の作成

作成した供試体の形状は ϕ 50mm×100mm であり、所定材齢において供試体を水槽から取り出して脱型した後、粉碎し、5mm ふるいにかけたものを試料とし、試験に供するまでの間水和反応を停止させるためアセトンに浸した。そして、試験前日にアセトンを蒸発させるために真空脱気を施した。

3. 実験結果及び考察

3.1. 空隙率の予測モデル

図1に参考文献(2)による空隙率変化のモデルを示す。セメント水和生成物(以下 HC)は固体水和生成物とゲル空隙であるため、空隙率としては毛細管空隙と考えられる。

図1のモデルにより水和度0%ときの空隙率が水容積に等しく、水和度の増加に伴い空隙率が減少していくと考えられる。水和反応のメカニ

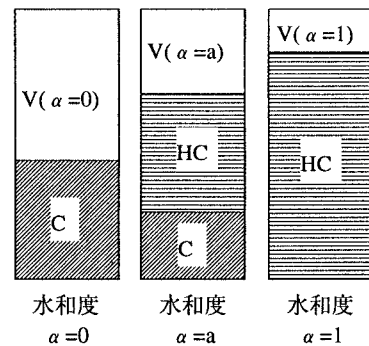


図1 空隙率変化のモデル²⁾

ズムが複雑であるため、セメント水和生成物と空隙率は線型関係にあるのではなく、本研究ではセメント水和生成物の指数関数として空隙率が減少すると考えた。従って、空隙率は(1)式のように水和度の関数として

キーワード：セメントペースト、水和度、空隙率、結合水量、予測モデル

連絡先：〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学 理工学部 51 号館 16 階 09 室

ph. 03-5286-3407 fax. 03-3208-8749

求めることができた。

$$V_p(\alpha) = Ae^{-k \times B\alpha} \quad (1)$$

ここで、

$V_p(\alpha)$ = 水饱和度 α のときの空隙率

$$A = \frac{\text{水饱和度0\%のセメントペースト}1\text{mm}^3\text{の水体积(空隙体積)}}{\text{水饱和度0\%のセメントペースト}1\text{mm}^3}$$

$$= \frac{\rho_c w/c}{1 + \rho_c w/c}$$

$$B = \frac{\text{セメントペースト}1\text{mm}^3\text{のセメント体積}}{\text{水饱和度0\%のセメントペースト}1\text{mm}^3}$$

$$= \frac{1}{1 + \rho_c w/c}$$

k = 定数

ただし、 W/C : 水セメント比、 ρ_c : セメントの比重、 α : 水饱和度である。

(1)式を適用するために、様々な実験要因で k 定数の値を検討する必要がある。3.2 および 3.3 は k 定数の値に対して水セメント比とセメントの種類に及ぼす影響の結果を示している。

3.2.水セメント比の影響

図2に水セメント比が空隙率と水饱和度の関係に及ぼす影響を示す。図より水セメント比が空隙率に及ぼす影響を明確に区別することができる。これは、3.1のモデルより水セメント比が大きいほど水饱和度0%の空隙体積が大きいと考えられる。また、水セメント比が異なる場合、近似曲線における定数 k の値はほぼ同一（3.03～3.18）であり、セメントの比重と近い値が得られた。

3.3.セメント種類の影響

図3にセメントの種類が空隙率と水饱和度の関係に及ぼす影響を示す。セメントの種類にかかわらず、空隙率と水饱和度の関係はほぼ同一曲線で表される。これは、水セメント比が同じであり、セメントの比重がほとんど変わらないため A と B の定数の値も変化しないことによると考えられる。3.2と同様に k の値はセメントの比重と近い値（3.05～3.20）に得られた。

4.まとめ

水セメント比とセメント種類の影響について、セメントペースト中の空隙率は水饱和度との関係では(1)式により表現することができた。定数 k の値がセメント比重と近い値（3.00～3.20）に得られた。今後は、(1)式をさらに精査すると共に養生温度、骨材の量、セメントの比重などの影響に関しても検討する必要がある。

謝辞：本研究を実施するに当たり、早稲田大学の卒論生西塔 俊介、宋 泰徹の協力を得ました。ここに、記して感謝致します。

【参考文献】

- 1) Neville, A. M. : Properties of Concrete, Pitman Publishing, pp. 24-35, 1963
- 2) Breugel, K. Van : Simulation of Hydration and Formation of Structure In Hardening Cement-based Material, Delft, Netherlands, 1991
- 3) 羽原 俊祐 : 硬化コンクリートの組織及び空隙構造と物性の関係に関する研究（平成4年度）

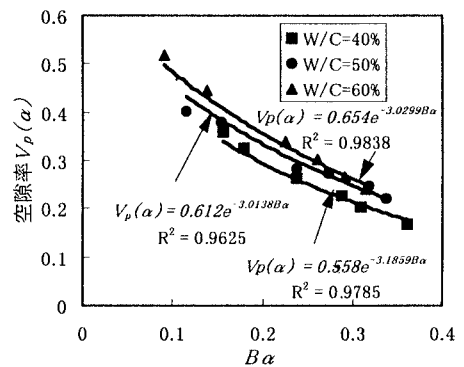


図2 水セメント比の影響

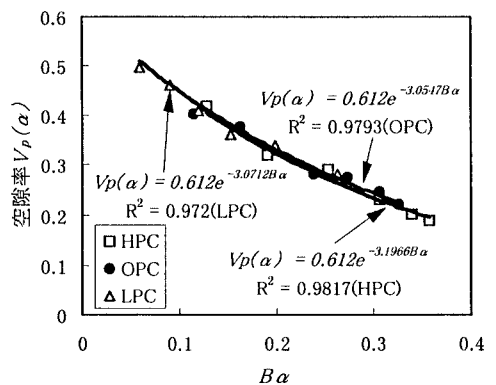


図3 セメントの種類の影響