

硬化コンクリート中の空隙と強度ならびに変形特性について

鳥取大学 正員 ○藤村 尚 木山英郎
阪田 善次 西林新蔵

1. はじめに

硬化コンクリートの強度や変形特性は硬化コンクリートの構成成分と配合条件や養生条件との関係を説明することによって明らかにすることができると考えられる。

ある硬化温度におけるセメントペーストは, *unhydrated cement*, *hydrated cement (solid products)* (結合水は *non-evaporable water*) + *gell pores filled with gell water (evaporable water)*, *capillary pores (empty capillary pores + capillary pores filled with water (evaporable water))*, *entrained air*, *entrapped air* 等によって構成されている。これら各成分の力学的性状はそれぞれ固有のものとして、かつ成分割合には一定の量的関係が存在するから、強度や変形特性は固体量に因係づけるか、あるいは空隙量に因係づけるかのいずれかの方法によっても最終的には同じ結果が得られるべきである。

硬化モルタルや硬化コンクリートにおいて、骨材自身(空隙を含む)の特性は硬化前後において不変であると考えられるから、骨材以外の部分をセメントペースト部として考えれば上述の方法をそのまま適用できる。この場合骨材と接するセメントペースト(接着層ペーストと呼ばれる)の空隙が上述のセメントペーストの計の場合の空隙と異なり、性質を示すか、あるいは量的な変化の計を示すかは興味深い問題である。

2. 空隙率の理論値

まず、つぎのような仮定を設ける。普通セメントが完全水和するのに必要な結合水はセメント重量の23%とし(仮定1)、これにより生成する *solid products* の体積は結合水体積の25.4%減少し、これが *empty capillary pores* となる(仮定2)、この *solid products* が *gell water* で吸着結合されて *hydrated cement* 構造体をつくるのに必要な *gell water* の体積(*gell pores* の体積)は *hydrated cement* 体積の28%とする(仮定3)。またこのとき未反応の水はすべてとり込まれて *capillary pore* をつくり、その中で *capillary water* として存在する(仮定4)。

これらの仮定のもとに、種々の W/C ならびに水和度における硬化セメントペーストの空隙率を計算した結果を図-1に示す。

図-1

$$\begin{aligned} \text{ここに、} \quad & \text{capillary 空隙率: } P_c = (\text{capillary pores の体積}) / (\text{セメントペーストの体積}), \\ & \text{gell 空隙率: } P_g = (\text{gell pores の体積}) / (\text{セメントペーストの体積}), \\ & \text{総空隙率: } P_t = P_c + P_g. \end{aligned}$$

同じ仮定のもとに *solid products* の比重, *hydrated cement* の比重, *cement paste* の比重も計算できる。

つぎにモルタルやコンクリートについても、前述したように骨材中の空隙は骨材特性に含まれて仮設い、ペースト中に生成する空隙を対象に P_c^* , P_g^* , P_t^* が計算できる。このときペースト部の空隙率

は図-1の P_c , P_g , P_e と同じである。これらは境界層ペーストの空隙が変化しない場合であって、この空隙率が増加すれば、 P_c^* , P_g^* , P_e^* および P_c , P_g , P_e は図より大きい値となるはずである。

ところでこれらの諸量は種々の配合条件、環境条件のもとにおける供試体の水中重量 W_c 、表乾重量 W_b 、乾燥重量 W_a を測定することによって求められる。ただし乾燥重量を測定するに当たっては、100℃以下の炉乾燥や乾燥剤による方法では capillary water の蒸発が主で gell water は蒸発し難く、105℃の炉乾燥あるいは常温真空乾燥においては evaporable water (capillary water + gell water) が取り除かれ、105℃以上の炉乾燥では solid products 中の結合水が破壊し始めることに注意しなければならない。ここでは 150℃炉乾燥重量 W_{a1} と常温シリカゲル乾燥重量 W_{a2} を測定した。

3. 空隙率実験結果

セメントペーストならびにモルタル供試体の寸法は $5\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ で、養生は $20 \pm 1\text{ deg}$ の水中で行った。なお、モルタルは普通標準砂(真比重 2.65, 空隙率 4.2%)を用い砂・セメント比を 2:1 とした。 W/C (重量比)は 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 (モルタル), 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 (ペースト) と選び、養生日数は 3, 7, 14, 28 日としそれぞれ3個の供試体について重量測定を行いその平均値を用いることにした。

測定結果; セメントペーストおよびモルタルの W/C および養生日数別の空隙率を示すと図-2となる。

図-2

図中上段 P_c , P_g^* は乾燥重量 W_{a1} を用いたもので、 P_c , P_g^* はシリカゲル乾燥重量 W_{a2} を用いたものである。考察の詳細は講演会も述べることにし、結論のみ記すと、空隙率に図1では、2節で設けた仮定1) ~ 3) はほぼ成り立ち、4) の capillary water の実際的な消失を検討することによって、理論値と実験値はほぼ近い値を示すものと思われる。

4. 強度ならびに変形特性と空隙率との関係

セメントペーストならびにモルタル供試体の配合条件と養生条件は前節で述べたのと同じである。なお、供試体寸法は $10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ とした。

測定結果: 平均圧縮強度 σ_c を図-1に示した P_c と対応させると図-3の通りである。

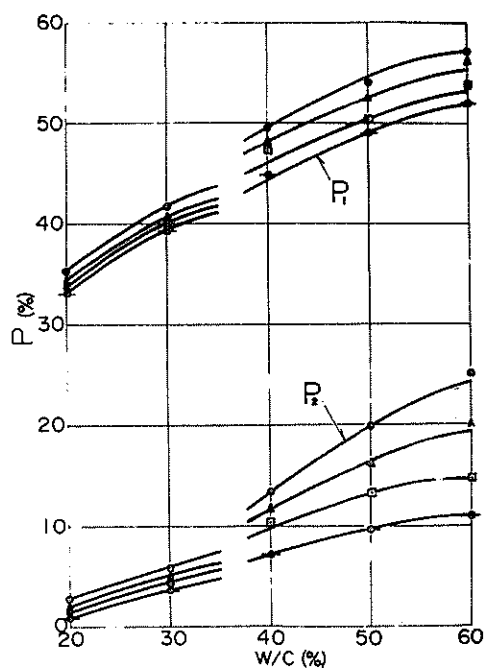
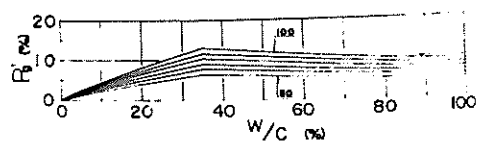
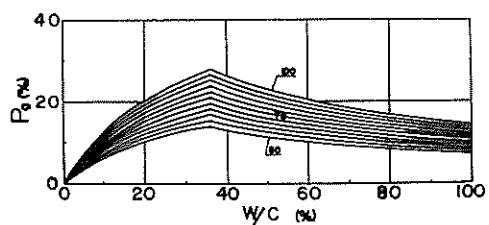
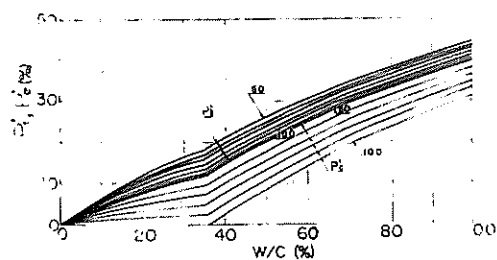
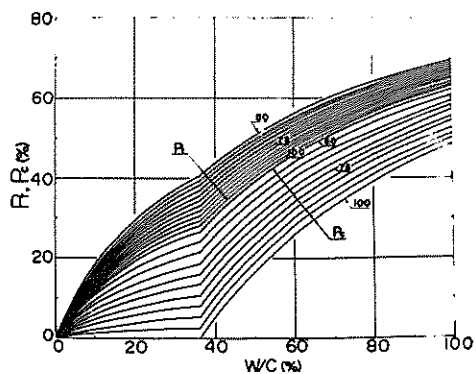
図-3

なお養生日数 3, 7, 14, 28 日における水和度の値はコンクリートハンドブックによる 40, 50, 60, 65% の場合 (a) と D. Chandra が求めた 60, 70, 80, 90% の場合 (b) と比べて示してある。

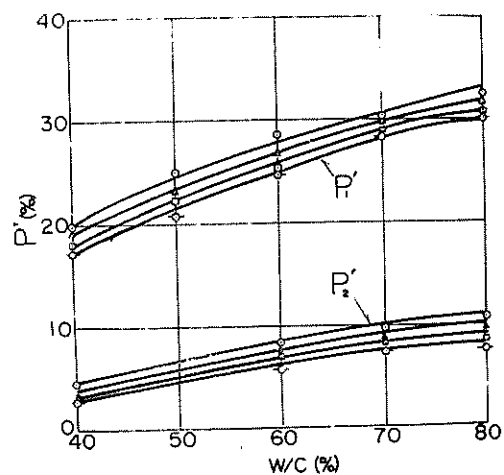
硬化したセメントペーストならびにモルタルのいずれにおいても、 P_c と σ_c との間にほぼ比例関係が成立することが認められる。その他強度変形特性と空隙率の関係の一例として圧縮強度 σ_c , 1/3 変位線ヤング率 E , と P_c との関係を示すと図-4の通りである。

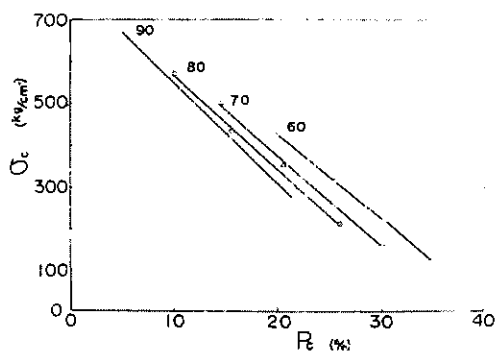
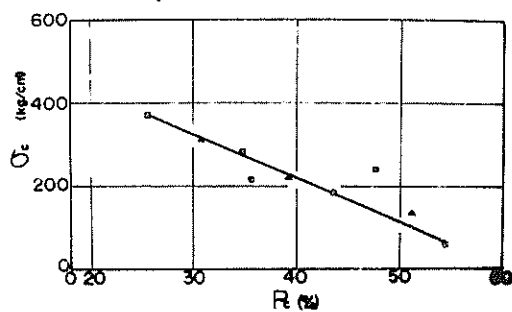
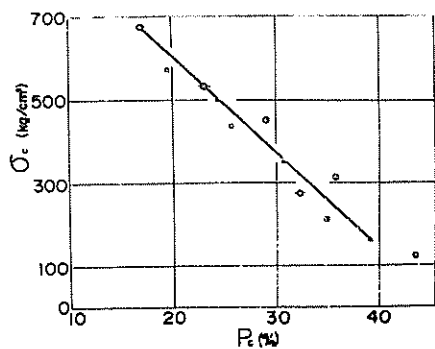
図-4

これらの試験結果よりペーストとモルタルいずれの場合もまた配合条件や養生条件が異なっても、セメントペーストの体積に対する capillary pores の割合 (P_c) によって、強度および変形特性は一義的に表わされ、両者の関係の大部分がほぼ直線で示されると結論が導かれる。



ペースト	モルタル
図-1	
図-2	





ペースト	モルタル
図-3(a)	図-3(a)
図-3(b)	
図-4	

