

V-25 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

阪田 憲次

木山 英郎

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究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。

ある硬化過程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なされ、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関係づけるか、あるいは空隙量に関係づけるかのいずれかの方法によって最終的には同じ結果が得られるはずである。

硬化モルタルや硬化コンクリートにおいても、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(境界層ペーストと称することもある)の空隙が上述のセメントペーストのみ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みを示すかは興味深い問題である。

2. 空隙率の理論値

まず、つぎのよう仮定を設けた。普通セメントが完全水和する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。また、同じ仮定のもとに *solid products* の比重、*hydrated cement* の比重 (*solid products*, 水で満たされたゲル空隙)を計算し、空隙率と併せてその結果を図-1、図-2 に示した。ここに

ρ : *solid products* の比重

ρ' : *hydrated cement* の比重

P_c : *capillary* 空隙率 (*capillary pore* / セメントペーストの体積)

P_t : 全空隙率 ($P_t = P_c + P_g$, なお P_g は *gell* 空隙率である)

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取扱うと、ペースト中に生成する空隙はセメントペーストの空隙率と同じである。ただし、これらは境界層ペーストが増加しない時であって、この空隙が増加すればペーストのみの空隙率の値より大きくなるはずである。

3. 実験概要

セメントペーストならびにモルタル供試体の寸法は $5\phi\text{cm} \times 10\text{cm}$ で、養生は $20^\circ\text{C} \pm 1\text{deg.}$ の水中で行なった。なお、モルタルは豊前標準砂（比重 2.65, 空隙率 4.2%）を用い砂セメント比を 2:1 とした。水セメント比は 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）と選り、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ないその平均値を用いることとした。なお空隙ならびに比重は種々の配合条件、養生方法のもとにおける供試体の水中重量、表乾重量、乾燥重量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っては、 105°C 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°C 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°C 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。今までに 150°C 炉乾燥による空隙率測定から 105°C 以上の高温乾燥では Solid products 中の一部が破壊し始めていることを認めた。また同様にシリカゲル乾燥剤による Capillary water のみを蒸発させて P_c を得る試みに対しては Capillary water にも蒸発性に多少の差があることを認めた。ここでは 105°C 炉乾燥と 80°C 炉乾燥重量を測定した。

4. 空隙率の測定結果

セメントペーストの水セメント比、養生日数別（図-3の○印は3日、①印は7日、⊖印は14日、⊙印は28日）の Solid products の比重 (ρ)、ならびに空隙率 (P_t) を示すと図-3の如く

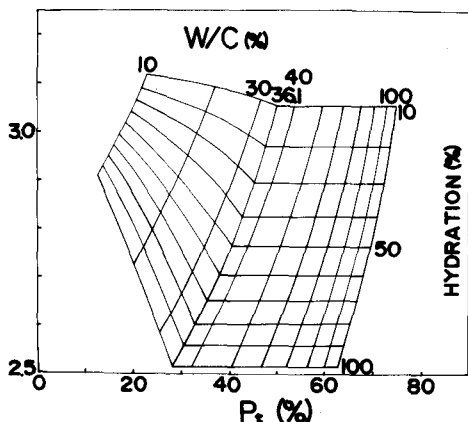


図-1

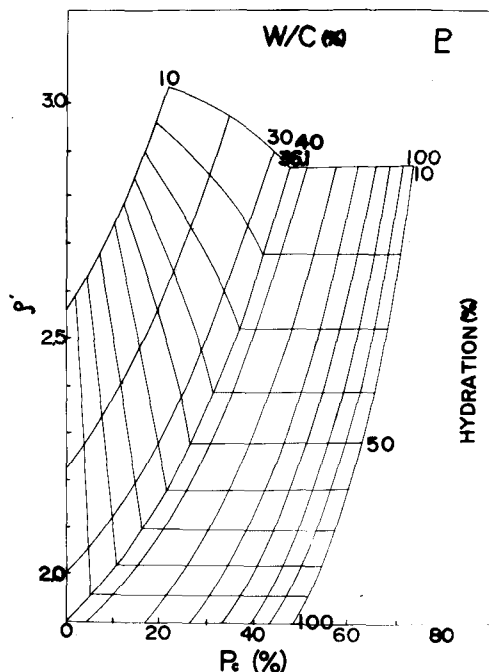


図-2

なる。この図は 105℃ 炉乾燥によって P_c , ρ を求めたものである。図に示されるように実験値は理論値にほぼ近い値を示した。また養生日数と水和度の関係は 3 日, 7 日, 14 日, 28 日の水中養生における水和度を図からほぼ 50%, 55%, 60%, 65% と推察される。これはコンクリートハンドブック等による同じ配合における水和度と近い値を示した。なお 80℃ 炉乾燥によって最も蒸発性の高い capillary water を蒸発させて P_c を得ようとしたが理論値より大きい値を示し充分果せなかった。また、境界層ペーストの増加に対しては、セメントペーストとモルタルを対象に行なった配合条件が一様のもので不明な点が残る今後の問題である。以上のことを要約すると、105℃ 炉乾燥による空隙率ならびに Solid products の比重の測定では理論値と一致したと思われる。さらに、それらから水和度を推定した。すなわち養生日数 3 日, 7 日, 14 日, 28 日における水和度は 50%, 55%, 60%, 65% となるであろう。これから 105℃ 炉乾燥によって evaporable water (capillary water, gell water) は充分取り出せるということである。また最も蒸発性の高い Capillary water のみを蒸発させる試みの 80℃ 炉乾燥においては gell water の一部が蒸発しているものと思われる大きい値を示した。これに対しては乾燥温度を下げる必要があると思われる。以上ことから結論を記すと 2 節で設けた仮定 1) ~ 3) はほぼ成立するが 仮定 4) に対しては capillary water の実際的な消失を検討することによって、実験値と理論値は近い値となるであろう。

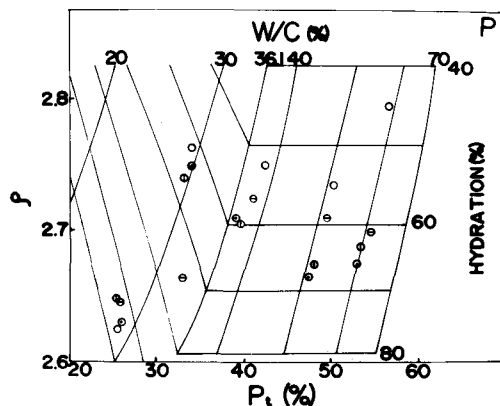


図-3

5. 強度ならびに変形特性と空隙率の関係
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方法は前節のろに述べたのと同じである。なお供試体寸法は 10 cm × 20 cm とした。

5. 強度ならびに変形特性と空隙率の関係

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方法は前節のろに述べたのと同じである。なお供試体寸法は 10 cm × 20 cm とした。

測定結果;

まずセメントペーストおよびモルタルにおける圧縮強度 (σ_c) を図-2 に示した各 W/C における P_c と対応させると図-4 の通りである。なお養生日数 3 日, 7 日, 14 日, 28 日における水和度の値は空隙および比重の実験から推定した 50%, 55%, 60%, 65% で示してある。図-4 に示されるように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 と圧縮強度との間にほぼ比例関係が成立することが認められた。その他の強度ならびに変形特性と空隙率の関係の一例として引張強度 σ_t , 1/3 割線ヤング率 E , と P_c との関係を示すと図-5 の通りである。(なお図-4, 5 中、ペースト; P, モルタル; M で示した。) これらの試験結果よりペーストとモルタル、(モルタルにおいてはいく分その強度、変形に骨材の影響が現われているように思われるが) いずれの場合も、また配合条件や養生方法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直線で示されるといえる。

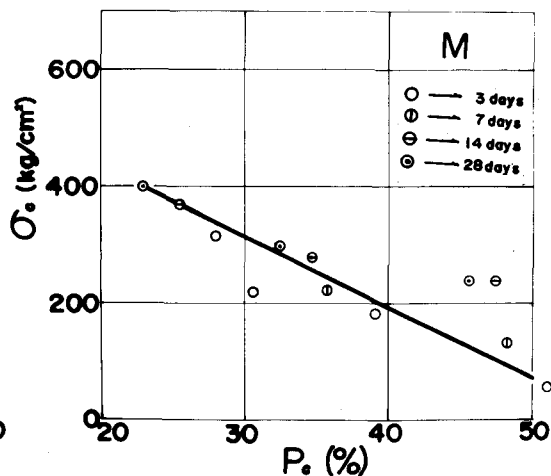
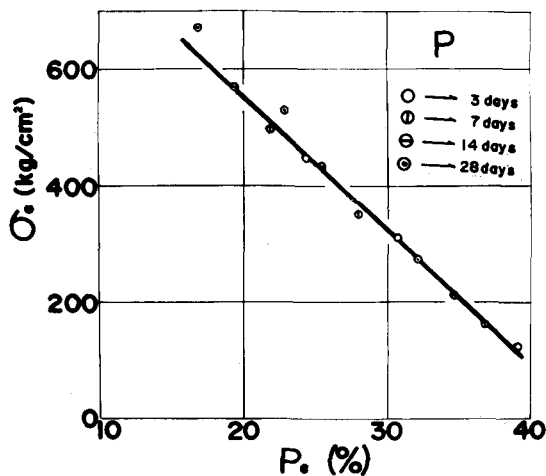


图 - 4

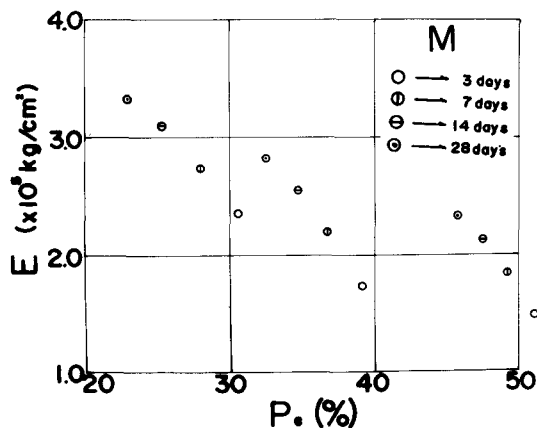
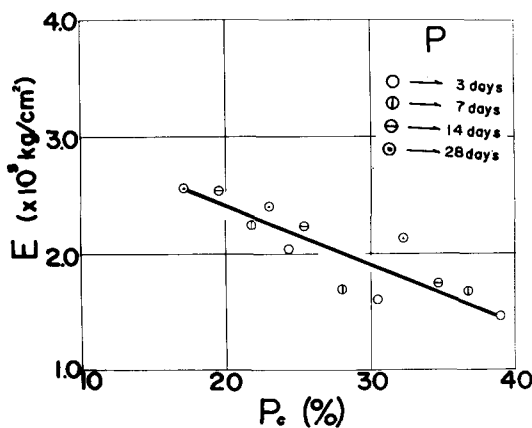
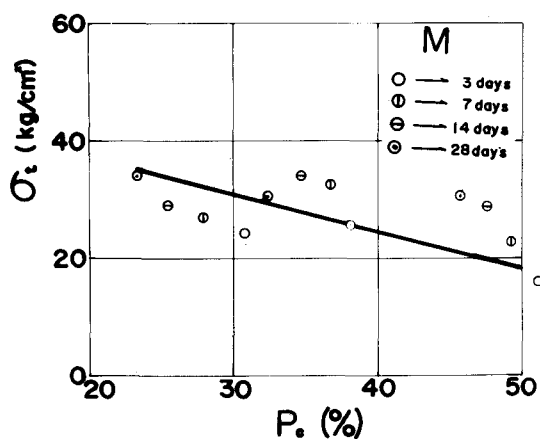
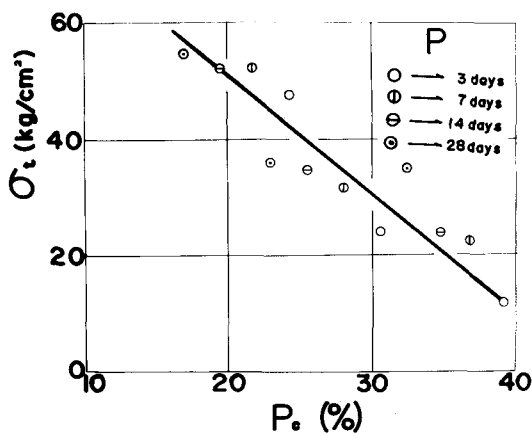


图 - 5