

セメントペースト中における空隙の挙動に関する研究

藤村 尚・阪田 憲次・木山 英郎・西林 新蔵

Experimental Studies on the Behavior of the Porosity in Cement Paste

by

Hisashi FUJIMURA, Kenji SAKATA, Hideo KIYAMA and Shinzo NISHIBAYASHI

(Department of Civil Engineering)

Synopsis

In this paper, the authors describe theoretical and experimental studies on the behavior of the porosity in cement paste or mortar. Main results which have been obtained by them are as follows.

(1) The porosity (capillary-, gel- and total-porosity) in cement paste and mortar, and specific gravity of matrix (solid products and hydrated cements) can be theoretically determined with following assumptions, that is, the amounts of minimum combined water required for complete hydration and the volume of gel water. And, the rate of hydration of cement can be estimated from the experimental relations between porosity, specific gravity and water cement ratio.

(2) In cement paste, the strength and elastic properties are shown on linear relationship to the capillary porosity in cement paste, irrespective of the conditions of mix proportion and methods of curing. (Received May 1, 1971)

1 ま え が き

硬化したコンクリートの強度、弾性係数などの力学的性質は、コンクリートを構成している材料によってかなりの影響を受ける。ことに、セメントの種類、配合条件、環境条件などによって種々変化するセメントペーストならびに骨材とセメントペーストとの境界面の状態は、硬化コンクリートの力学的性質を支配する主要な因子であり、これらの特性を十分に把握することによって硬化コンクリートの強度や変形特性に関連する機構を解明し、さらに、それに基づいた配合設計方法の開発を図ることも可能になると考えられる。

本研究は、硬化コンクリート中に生成される空隙に注

目し、この空隙によってセメントペーストならびに境界面の特性を定量化し、さらにこの定量化した空隙と強度ならびに変形特性との関係を実験的に検討し、若干の考察を加えたものである。

2 理論的検討

2.1 Notation

以下の各章で用いる記号を一括して記す。

P_c : 毛細空隙率 (毛細空隙の体積 / セメントペーストの体積)

P_g : ゲル空隙率 (ゲル空隙の体積 / セメントペーストの体積)

P_t ：総空隙率 ($P_t = P_c + P_g$)

ρ_1 ：固形生成物 (Solid product) の比重

ρ_2 ：水和セメントの比重

v_c ：未水和セメントの体積 (cm^3)

v_g ：ゲル水の体積 (cm^3)

v_s ：固形生成物の体積 (cm^3)

v_{sa} ：細骨材の体積 (cm^3)

V ：フレッシュ・セメントペーストの体積 (cm^3)

V_m ：フレッシュ・モルタルの体積 (cm^3)

w_c ：未水和セメントの重量 (g)

w_g ：ゲル水の重量 (g)

w_s ：固形生成物の重量 (g)

w_{sa} ：細骨材の重量 (g)

W_a ：供試体の乾燥重量 (g)

W_b ：供試体の表乾重量 (g)

W_c ：供試体の水中重量 (g)

2.2 セメントペーストの空隙および比重の算定

ある硬化過程におけるセメントペーストの組成に対し、Neville の研究結果¹⁾を参考にして、以下に示す4つの仮定を設けた。

i) 普通ポルトランドセメントが完全に水和するのに必要な結合水量はセメント重量の23%である。

ii) 完全水和によって生成した固形物 (Solid products) の体積は全結合水体積よりも少なくなり、その減少率を25.4%と仮定する。この減少分が水の入り込めない空の毛細空隙 (empty capillary pore) となる。

iii) この固形生成物は、ゲル水 (gel water) によって吸着結合されて水和セメント (hydrated cement) をつくるが、これに必要なゲル水の体積 (ゲル空隙 (gel pore) の体積) は水和セメントの体積の28%である。

iv) このとき未反応の水は、全てとり込まれて毛細空隙 (capillary pore) をつくり、その中で毛細管水 (capillary water) として存在する。

これらの仮定を基にして、水セメント比や水和度の異なる硬化セメントペースト中に生成した空隙率や比重を算定することができる。

さらに、モルタル中に含まれる細骨材の性質はセメントの硬化前後において不変であり、細骨材以外の部分はペースト部と考えてもよいから、硬化モルタルに対しても同様に空隙率ならびに比重を算定することができる。なお、骨材とペースト部との境界面の空隙についてはここでは考慮せず別途検討を加えることにする。

2.3 セメントペーストにおける特性値の計算

いま、水セメント比を $a\%$ 、水和度を $x\%$ とした場合の P_t , ρ_1 , P_c , ρ_2 , P_g , それぞれの計算式は式(1)~(5)に示す通りである。

$$P_t = \frac{V - (v_s + v_c)}{V} \quad (1)$$

$$\rho_1 = \frac{w_s + w_c}{v_s + v_c} \quad (2)$$

$$P_c = P_t - P_g \quad (3)$$

$$\rho_2 = \frac{w_s + w_c + w_g}{v_s + v_c + v_g} \quad (4)$$

$$P_g = \frac{v_g}{V} \quad (5)$$

つぎに、水セメント比を2段階に分け、式(1)~(5)を用いて行なった具体的な計算例を示す。

i) $a \geq 36.1\%$ の場合

$$\left. \begin{aligned} P_t &= \frac{a - 0.171x}{31.8 + a} \\ \rho_1 &= \frac{100 + 0.23x}{31.8 + 0.171x} \\ P_g &= \frac{0.19x}{31.8 + a} \\ P_c &= \frac{a - 0.361x}{31.8 + a} \\ \rho_2 &= \frac{100 + 0.42x}{0.361x + 31.8} \end{aligned} \right\} (6)$$

ii) $a < 36.1\%$ の場合

$$\left. \begin{aligned} P_t &= \frac{a - 0.0047 \cdot ax}{31.8 + a} \\ \rho_1 &= \frac{100 + 0.0067 \cdot ax}{31.8 + 0.0047 \cdot ax} \\ P_g &= \frac{0.0053 \cdot ax}{31.8 + a} \\ P_c &= \frac{a - 0.01 \cdot ax}{31.8 + 0.01 \cdot ax} \\ \rho_2 &= \frac{100 + 0.0117 \cdot ax}{31.8 + 0.01 \cdot ax} \end{aligned} \right\} (7)$$

なお、完全水和に必要な最少水量以下の場合 ($a < 36.1\%$) には、水和度を $a/36.1$ として計算した。

2.4 モルタルにおける特性値の計算

モルタルの場合、ペースト中に細骨材が混入されていると考え、細骨材の体積および重量を計算の過程に導入した。計算式を式(8)~(12)に示す。

$$P_t = \frac{V_m - (v_s + v_c + v_{sa})}{V_m} \quad (8)$$

$$\rho_1 = \frac{W_s + W_c + W_{sa}}{V_s + V_c + V_{sa}} \quad (9)$$

$$P_g = \frac{V_g}{V_m} \quad (10)$$

$$P_c = P_t - P_g \quad (11)$$

$$\rho_2 = \frac{W_s + W_c + W_{sa} + W_g}{V_s + V_c + V_{sa} + V_g} \quad (12)$$

2.5 算定結果

(1) ペースト

表一に示すように、要因として結合水の量とゲル水の体積を選び、それぞれの要因に対し4水準を採り、計16通りの組み合わせについて特性値を算定した。このうち、結合水：16%とゲル水：24%の組み合わせおよび結合水：26%とゲル水：30%の組み合わせの場合の理論曲線を探り上げて若干の考察を加えてみる。算定結果を図一1～4に示す。これらの図は、横軸に P_t あるいは P_c 、縦軸に ρ_1 あるいは ρ_2 を採り、水和度と水セメント比(w/c)

Table I Conditions of theoretical calculation

elements	conditions
amounts of combined water (% of cement (wt.))	16, 20, 23, 26
volume of gel water (% of hydrated cement (vol.))	24, 26, 28, 30

をパラメーターとして画いたものである。

結合水が一定でゲル水が増加するとき、あるいはゲル水が一定で結合水が増加するとき、完全水和に要する最少水量は増加し、さらに、 P_t 、 P_c および ρ_1 、 ρ_2 はともにやや減少する。また、全般的に、これら比重および空隙の量は水和度の大きいものほど減少幅が大となる。

ゲル水と結合水が一定の場合（たとえば、ゲル水：28

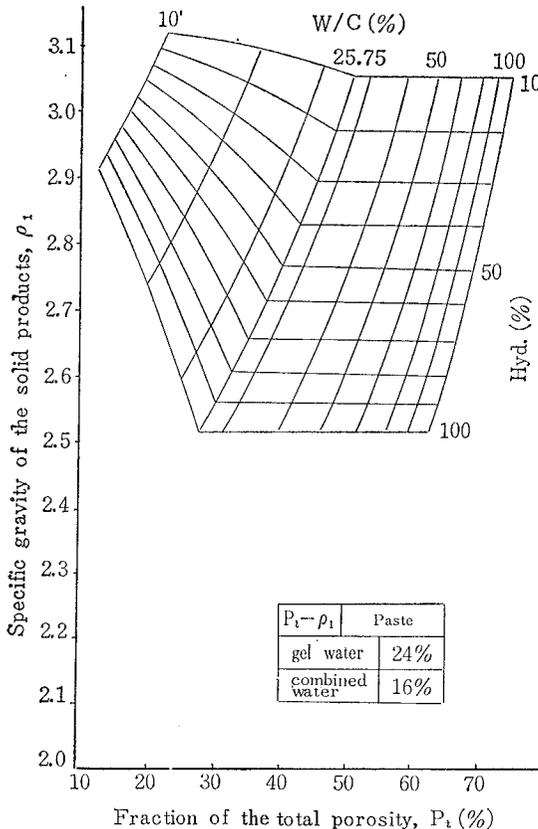


Fig. 1 Theoretical relations between ρ_1 and P_t in which are expressed as the parameters w/c and rate of hydrtion

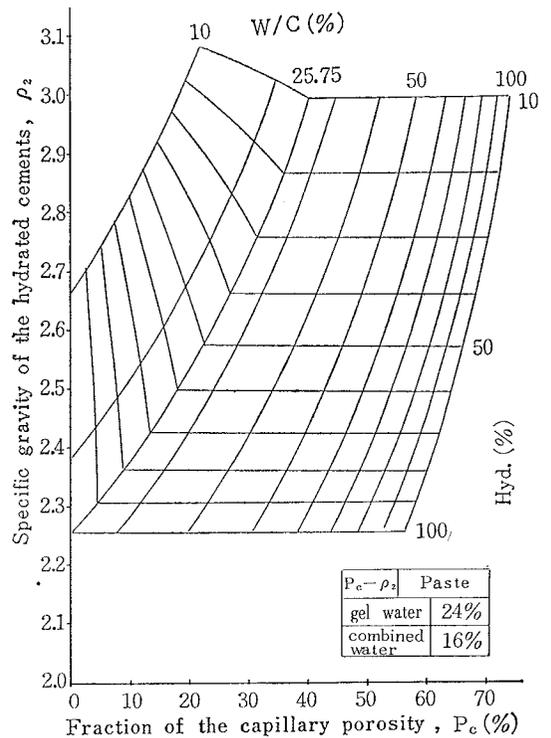


Fig. 2 Theoretical relations between ρ_2 and P_c in which are expressed as the parameters w/c and rate of hydration

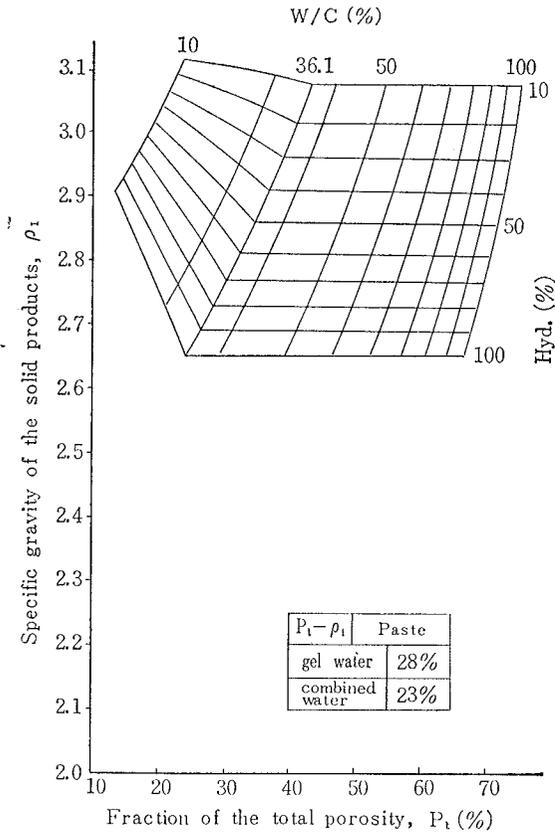


Fig. 3 Ditto Fig. 1

%, 結合水:23%, 図-3~4) は, w/c が增加するに従って空隙量も増大するが, 水和に必要な最少水量以上 ($w/c \geq 36.1\%$) では空隙の増加率は次第に小さくなる。一方, 最少水量に対する水セメント比 以下の場合 ($w/c < 36.1\%$) は, w/c が大きくなるに従って ρ_1, ρ_2 はほぼ直線的に低下するが, それ以上の w/c ではほとんど変化しない。さらに, 水和度 (H) が進行すると, 空隙率, 比重はともに減少する。

(2) モルタル

結合水:23%, ゲル水:28%, 配合比 1:2 および 1:4 のモルタルにおける P_1 と ρ_1 , あるいは P_c と ρ_2 の関係を図-5~8 に示す。骨材を配合しているため単位ペースト量は少なくなるので, 全般的に, ペーストの場合と比較して, 空隙率, 比重ともに各パラメーターに対する変化幅は小さく現われている。しかし, 各特性値の示す傾向はペーストの場合と同様である。

3 実験概要

3.1 使用材料および配合

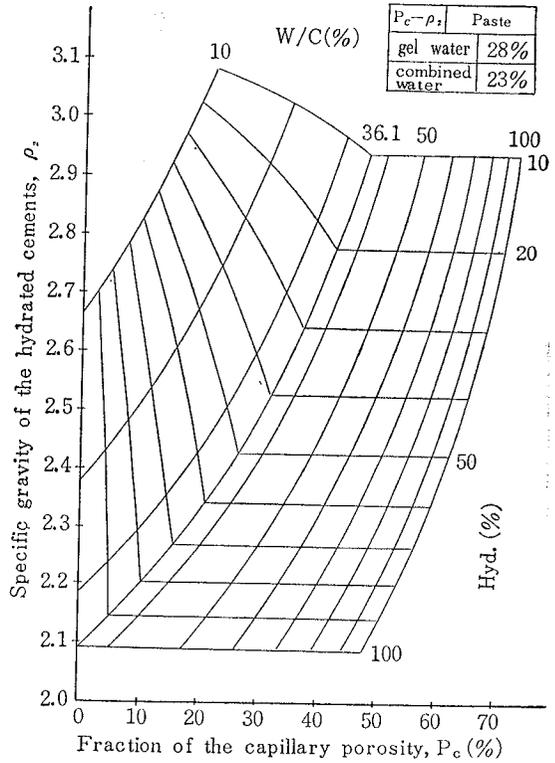


Fig. 4 Ditto Fig. 2

(1) セメント

使用したセメントは普通ポルトランドセメント (大阪セメント社製) で, その物理的性質ならびに化学分析試験結果を表-2, 表-3 に示す。

(2) 骨材

細骨材には豊浦標準砂を用いた。なお, この標準砂の比重は 2.65, 骨材中の空隙率は 4.2% である。

(3) 配合

空隙率の測定, 強度試験に用いたペーストおよびモルタルの配合条件を表-4 に示す。

3.2 供試体

(1) 空隙率および比重測定用供試体

ペーストおよびモルタル供試体の形状はつぎの 2 種類である。

i) 厚さ 1.5cm, 直径 5.0cm の塊状供試体

ii) 直径 10cm, 高さ 20cm のシリンダーをコンクリート用カッターで厚さ 10 ± 1 mm に切断した供試体。

これらの供試体はいずれも, 打設後 24 時間は恒温恒湿

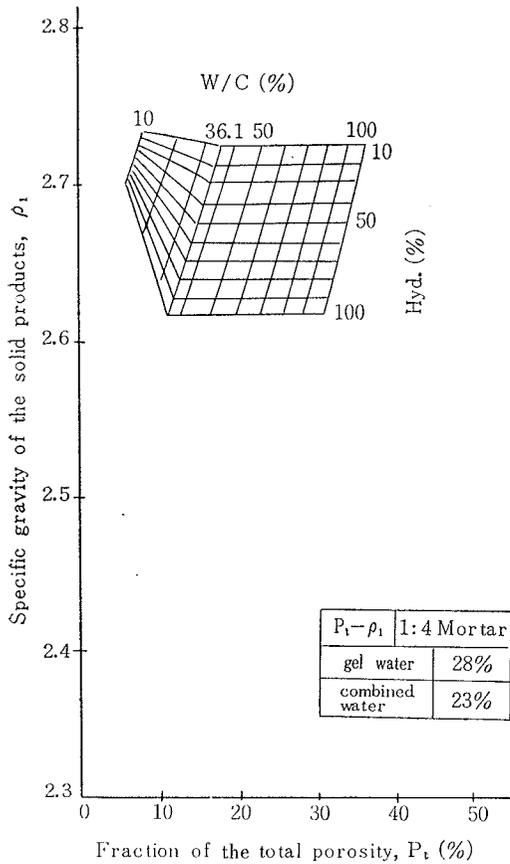


Fig. 5 Theoretical relations between ρ_1 and P_t in which are expressed as the parameters w/c and rate of hydration

室中 (21°C ± 2 deg., R.H. : 90~95%) に保存し, 脱枠後は所定の材令まで水中養生 (20°C ± 1 deg.) を施した。試験時の材令は, 塊状供試体については 3, 7, 14, 28, 56, 105日, 切断供試体については 3, 7, 14, 28日と選んだ。なお, 供試体数は各配合ごとに18個ずつ合計286個である。

(2) 強度ならびに変形測定用供試体

強度試験用供試体はφ10×20 cmのシリンダーで, 他の条件は(1)と同様である。試験時材令は 3, 7, 14, 28日に選び, 各材令において圧縮強度試験, 引張強度試験, 荷重~変形曲線の測定を行なった。供試体数は各配合ごとに18個ずつ合計252個である。

3.3 試験方法

(1) 空隙率ならびに比重の測定

供試体の乾燥重量を測定するに当っては, ペーストを構成している成分の一部である水の取扱いが問題とな

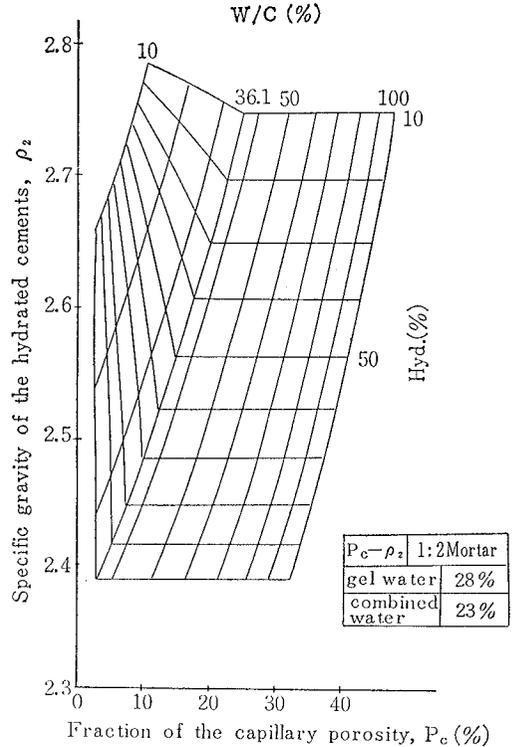


Fig. 6 Theoretical relations between ρ_2 and P_e in which are expressed as the parameters w/c and rate of hydration

る。ペーストの一構成成分である水には, 蒸発性水分と非蒸発性水分とが考えられる。前者は, 水和物のゲル表面に表面力によって強固に付着し, ゲル粒子相互を緊結する役割を果しているゲル水と, ペーストの間げきを埋め外力によって自由に移動する毛細管水の2種類が考えられる。後者は水和物と強固に結合した結合水(結晶水)である。

本試験においては, 毛細管水を取除いた状態で P_e , ρ_2 を, 毛細管水とゲル水を取除いた状態で P_t , ρ_1 を求めるため, つぎのような乾燥方法を採用した。すなわち, 一般に, 非結合水は 105°C 炉乾燥あるいは常温真空乾燥を施した場合に残留している水分といわれているので, 110°C 炉乾燥重量に基づいて P_t , ρ_1 を, 80°C 炉乾燥によって P_e , ρ_2 を算定した。なお, 乾燥重量は炉に入れた翌日から5日間毎日とそれ以後は5日ごとに測定し, 乾燥重量が一定の値に近づくまで行なった。

比重および空隙率は, 供試体の乾燥重量の他に, 水中

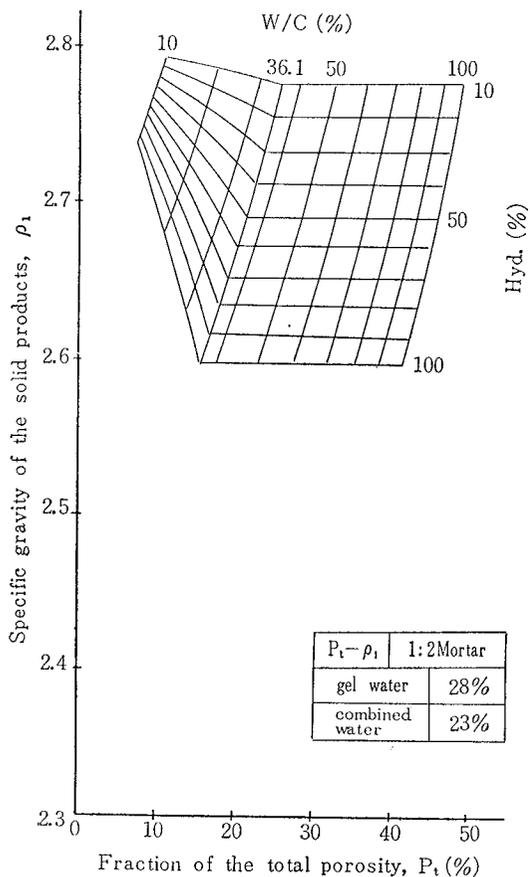


Fig. 7 Ditto Fig. 5

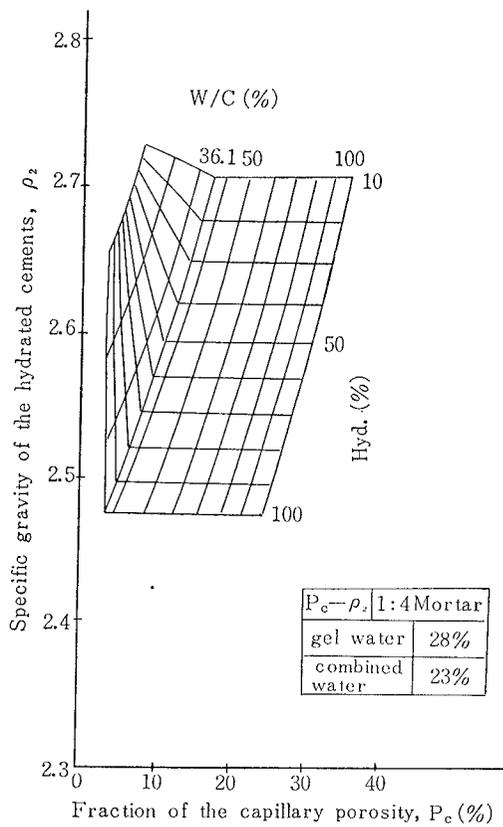


Fig. 8 Ditto Fig. 6

Table II The physical properties of used cement

Specific gravity	Fineness Blain's specific surface (cm ² /g)	Setting time (in hr. -min.)			Strength (kg/cm ²) (4×4×16cm mortar)					
		amount of water (%)	Initial	Final	Flexural			Compressive		
					3 days	7 days	28 days	3 days	7 days	28 days
3.15	3230	28.4	2-55	4-05	34.9	52.1	74.8	143	244	416

Table III The chemical compositions of used cement

Ig. loss	Insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
0.6	0.2	22.2	5.3	3.0	64.3	1.4	2.3	99.3

Table IV Testing programs

Items of testing	Mixing conditions		
	Paste	Mortar	
	w/c (%)	w/c (%)	Mixing proportion (cement : sand) (by wt.)
Porosity	20, 60	40, 60	1 : 2
		60, 80	1 : 3
		70, 90	1 : 4
Strength	30, 50	30, 70	1 : 2
		60, 80	1 : 3
		70, 90	1 : 4

重量と表乾重量も測定し、次式から算定した。

$$\text{比重} (\rho) = \frac{W_a}{W_a - W_c} \quad (13)$$

$$\text{空隙率} (P) = \frac{W_b - W_a}{W_b - W_c} \times 100 (\%) \quad (14)$$

(2) 強度試験および静弾性係数の測定

圧縮強度試験および、引張強度試験は、それぞれJIS A 1108 と JIS A 1103 に準拠して行ない、さらに圧縮強度試験の際に差動トランス型変位計で荷重～変形曲線を求め、強度の1/3の割線弾性係数 (Secant Modulus) を供試体の静弾性係数として採用した。

4 空隙率、比重の測定結果および考察

4.1 セメントペースト

実測の供試体重量を式(13), (14)に代入して算定した空隙率および比重を、前述した理論曲線上にプロットすると図-9~13に示すようになる。なお、以後の考察においては、ゲル水：28%と結合水：23%とを組合わせて画いた理論曲線と実測算定値を取扱う。

(1) 総空隙率 (P_t) と w/c および材令 (水和度) との関係

図-9 は P_t と w/c あるいは材令との関係を示したもので、これによると、w/c が大きくなるに従って P_t は増大し、材令が進むと、すなわち水和度が進行するに従って P_t は逆に減少する傾向が見られる。この現象は、w/c が大きくなると非結合水がそれだけ多くなること、および水和度が進行するに従って非蒸発性の結合水の量が多くなることから説明できる。なお、比重については明確な傾向は見られなかったが、限界水セメント比 (水和に必要な最少水量から求めた水セメント比) 以

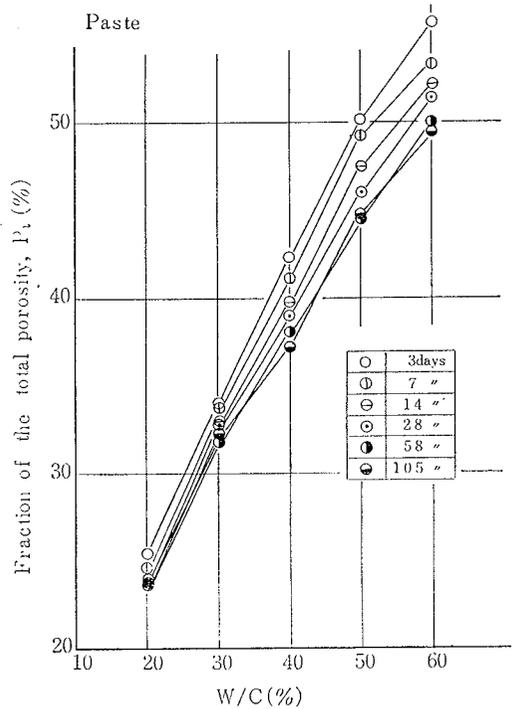


Fig. 9 Relations between P_t and w/c (Paste)

下の場合には、比重がやや大きくなる傾向が伺われた。

(2) 実測空隙率 (P_t, P_c), 比重 (ρ₁, ρ₂) と理論値との比較

図-10は、実測値から算定した P_t, ρ₁ を理論曲線上にプロットしたものである。前述した一般的な傾向と同様に、w/c が大、すなわち使用水量が増えるに従って空隙率 (P_t) は増大し、さらに水和度が進むと水和セメント量が次第に増加して空隙率が低下する傾向が見られる。また、比重 (ρ₁) も、試験体の製作が困難であった w/c=20%の場合を除けば、ほぼ理論曲線上に載っている。すなわち、限界水セメント比以下においては w/c の増加とともに ρ₁ は減少するが、それ以上の水セメント比では w/c の増加にかかわらず ρ₁ はほぼ一定とみなすことができる。

前述した測定結果を詳しく見ると、空隙率に比して比重の方がばらつきが大きく現われている。そこで、まず P_t と w/c との関係のみを理論曲線上にプロットし、つぎに理論値との適合性を検討した上で、ρ₁ と水和度との関係を帰納的に推定することを試みた。図-11を見ると、w/c と P_t との関係は理論値と極めてよく適合しており、さらにペーストの水和度は、材令 3, 7,

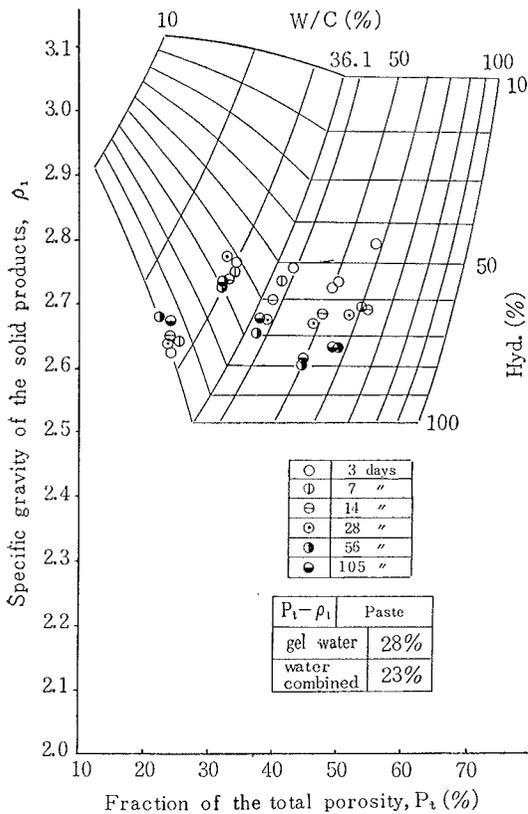


Fig. 10 Relations between ρ_1 and P_1 , in which plotted values are calculated with parameters of ρ_1 , P_1 and w/c (Paste)

14, 28, 56, 105日においてそれぞれ、50, 55, 60, 65, 70, 80%と推定され、材令初期における水湿度は極めて大きく、その後の水湿度の進行は緩慢となる傾向が見られる。なお、ここで推定された水湿度の値は、他の研究者の報告とほぼ一致している。

図-12は、 P_c と ρ_2 との関係を示したものである。 P_c と w/c あるいは水湿度との関係は、前述した考察結果とほぼ同様であるが、 ρ_2 は限界水セメント比に関係なく、 w/c が大きくなるに従って低下する傾向が見られる。さらに、 P_c と w/c との関係のみを理論線上にプロットした図-13からは、 w/c と P_c あるいは水湿度との間に明確なる関係は見出されない。

4.2 モルタル

モルタルにおいては、練混ぜ時に約10%のエントラップトエアが導入され、このうちの幾らかはモルタル中に取り込まれることが認められている。このような現象を考慮して、水中重量の5%の空気がモルタル中に取り

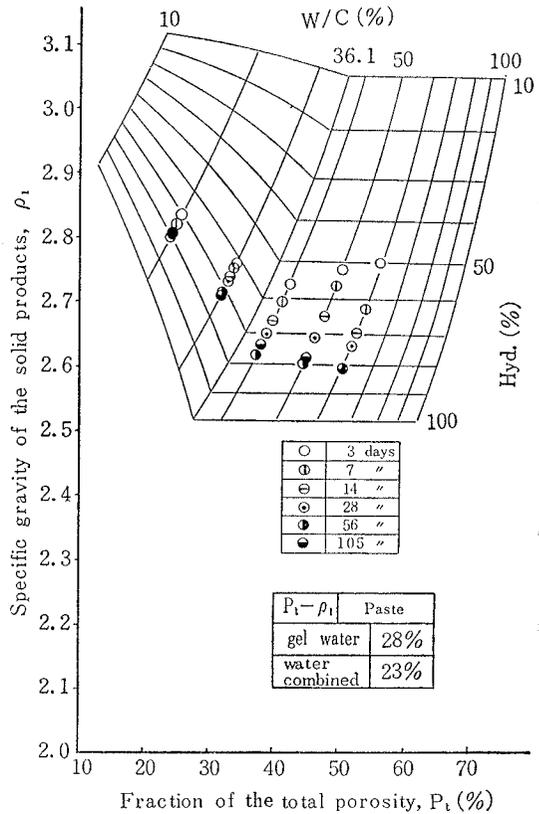


Fig. 11 Relations between ρ_1 and P_1 , in which plotted values are calculated with parameters of P_1 and w/c (Paste)

込まれているものと仮定し、この空気量を修正した値で空隙率および比重を算定した。いま、1:2モルタルについて図示すると図-14~15のようになる。

全般的に考察すると、ペーストの場合よりも理論値との適合性はよくないようである。また、モルタルの場合は、いずれの配合も限界水セメント比以上であるので、それ以下の w/c と比重(ρ_1 , ρ_2)との関係については考察を加えることはできない。しかし、 w/c が大きくなるとモルタル中の空隙率は増大し、比重は、 w/c が大きくなるにつれて減少する傾向が見られる。

さらに、モルタルにおいては、微細な骨材粒子はセメント粒子と同様にその表面に水が吸着し、それが空隙率に大きな影響をおよぼすものと予想される。ここでは、モルタル中には一率に5%の空気が取り込まれていると仮定して測定値を修正したが、骨材量あるいは骨材粒度を考慮した空気量の補正を行なう必要があると考えられる。このように、モルタルにおいては、骨材とペースト

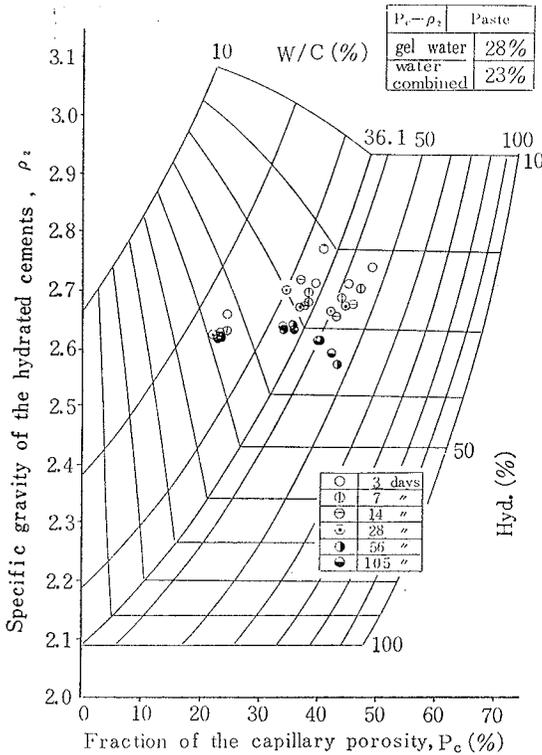


Fig. 12 Relations between ρ_2 and P_c , in which plotted values are calculated with parameters of ρ_2 , P_c and w/c (Paste)

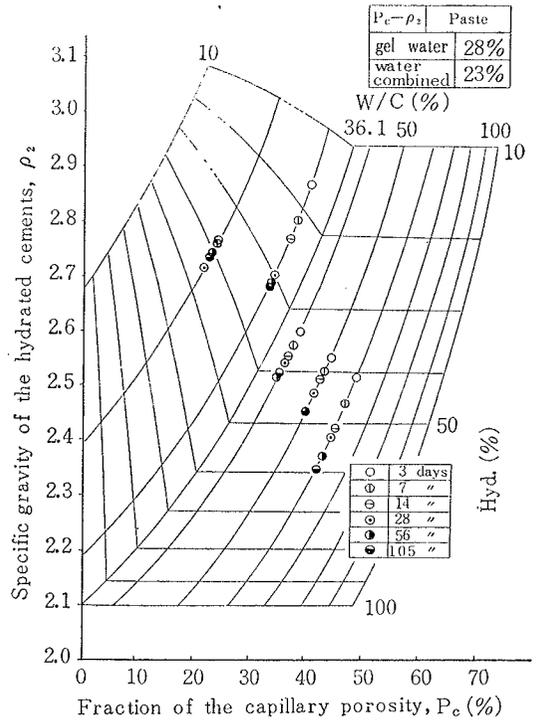


Fig. 13 Relations between ρ_2 and P_c , in which plotted values are calculated with parameters of P_c and w/c (Paste)

との境界面における特性，とくに骨材粒のまわりに取り込まれた空気量をいかに評価するかが今後の問題点である。

5 空隙と強度ならびに変形特性

5.1 空隙と強度との関係

ある硬化過程のセメントペーストは，未水和セメント，水和セメント，毛細管空隙，ゲル空隙，エントレインドエア，エントラップトエアなどによって構成されている。これらの構成成分の力学的性状はそれぞれ固有のものともみなされ，さらにこれら構成成分の割合には一定の量的関係が存在する。従って，強度，変形特性を固体量（使用材料あるいは構成要素の割合）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の方法によっても最終的には同じ結果が得られるはずであると考えられる。

さらに，硬化したセメントペーストの破壊機構を考えてみると，荷重に比例した変形が起っている間は弾性体とみなすことができ，供試体内部の空隙も破壊していない。さらに荷重を増加して行くと内部の空隙は次第に破

壊し，その間応力～ひずみ曲線は直線から曲線に移行し，空隙が全て破壊したときに供試体も破壊する。すなわち，空隙は強度あるいは変形特性と linear な関係にあると考えることができる。硬化したモルタルやコンクリートにおいても，骨材自身の特性は硬化前後において不変であり，さらに骨材以外の部分をセメントペースト部とみなせば，上述した考え方をそのまま適用することができる。

5.2 試験結果と考察

空隙試験で得られた理論毛細管空隙率 (P_c) と圧縮強度 (σ_c)，引張強度 (σ_t)，静弾性係数 (E) との関係を図-16~22に示す。

図-16~18に示すように，セメントペーストにおいては P_c と σ_c ， σ_t ， E との間に，いずれも直線関係が認められる。すなわち，配合条件，養生方法が異なっても P_c が決まればペーストの強度ならびに変形特性は一義的に決ってくる。

一方，図-19~21に示すようにモルタルの場合， P_c と強度ならびに静弾性係数の間にはペーストの場合ほど

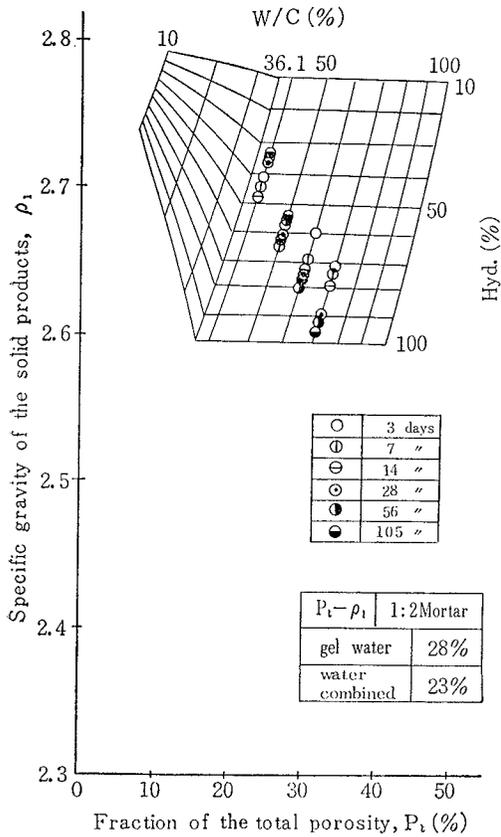


Fig. 14 Relations between ρ_1 and P_t (Mortar)

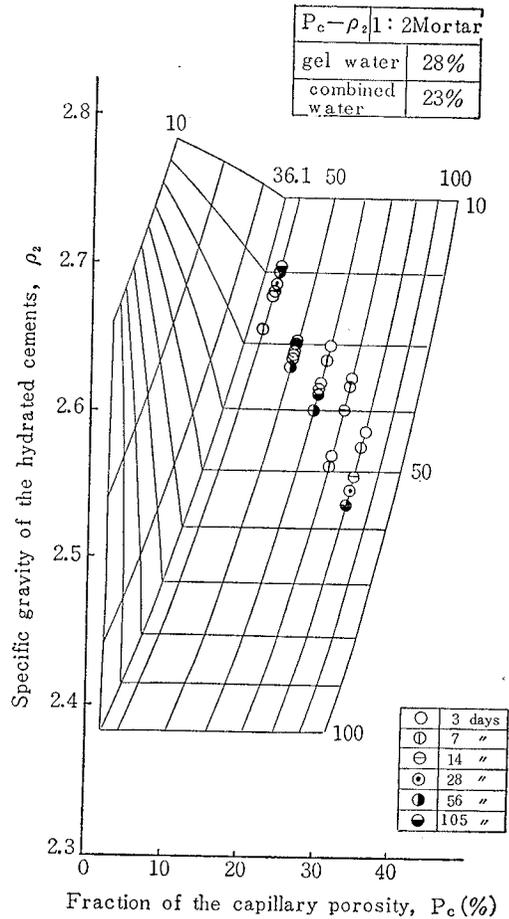


Fig. 15 Relations between ρ_2 and P_c (Mortar)

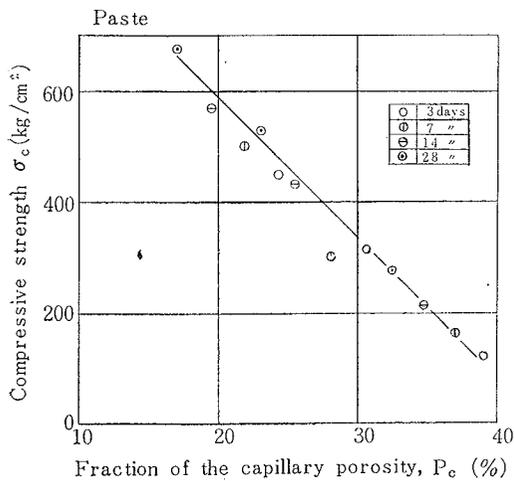


Fig. 16 Relations between compressive strength and the capillary porosity (Paste)

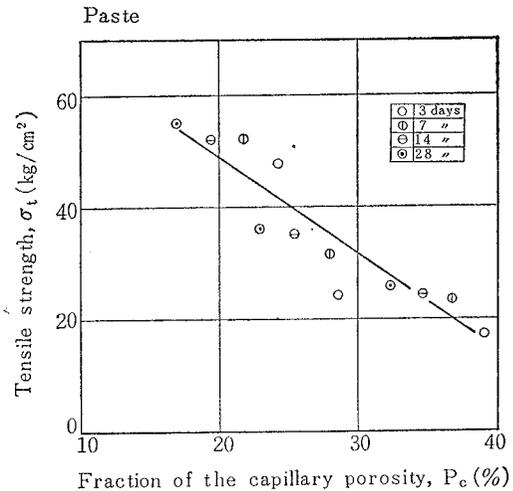


Fig. 17 Relations between tensile strength and the capillary porosity (Paste)

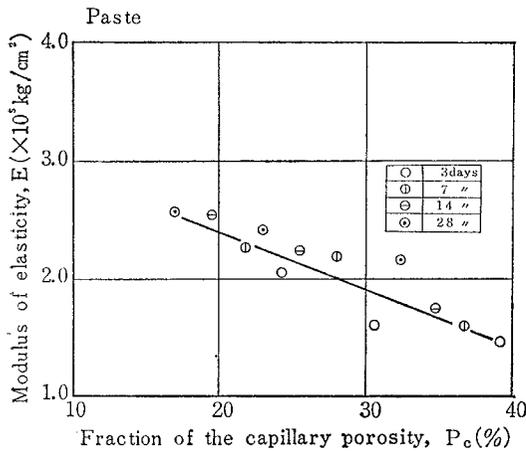


Fig. 18 Relations between modulus of elasticity and the capillary porosity (Paste)

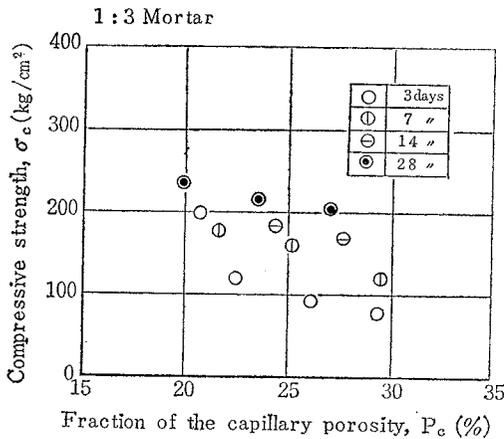


Fig. 19 Relations between compressive strength and the capillary porosity (Mortar)

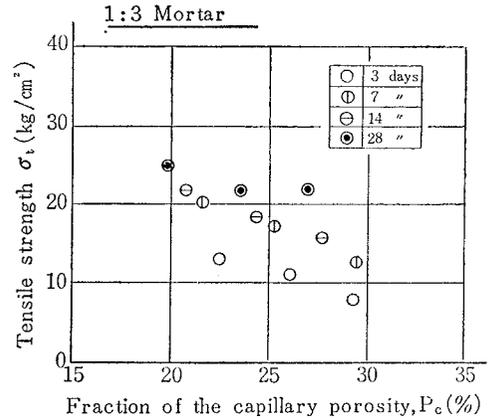


Fig. 20 Relations between tensile strength and the capillary porosity (Mortar)

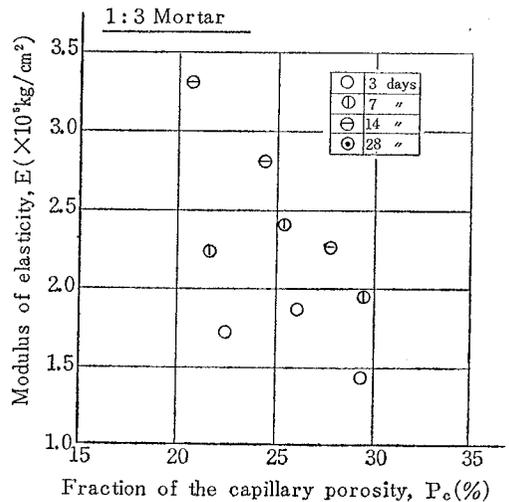


Fig. 21 Relations between modulus of elasticity and the capillary porosity (Mortar)

明確な比例関係は認められず、むしろ水セメント比の影響が顕著に現われている。

モルタルとペーストとで上述したような相違が現われた原因について以下考えてみる。

一般に、モルタルの水和度はセメントペーストのそれと同じ程度か、あるいはやや低いといわれている²⁾。これは骨材混入の影響が現われたためと考えられているが、この影響の程度は主として初期材令において大きく現われ、材令が進むに従ってペーストの水和度に近づくものである。そこで、いま細骨材の混入割合(セメント:砂)は水和度に影響をおよぼさないものと仮定して、材令3日における水和度を45%に採って P_c の変化を検

討すると、1:2モルタルで約1.2%、1:3モルタルで約1.0%、1:4モルタルで約0.8%、 P_c が変化する。以上のような修正を施せば、モルタルにおいても圧縮強度、引張強度あるいは静弾性係数と空隙率との間にある程度の直線関係が認められるようになるが、厳密に観察すると w/c と強度あるいは静弾性係数との関係の方がより密接であると判断せざるを得ない。さらに、特性値として採り上げた水和セメントの空隙率 P_c そのものの評価が十分なされていないとはいえない。すなわち、骨材粒とペーストとの境界面の空隙やペースト中に取り込まれた空気の影響を考慮した P_c の算定、ゲル空隙の強度・変形特性におよぼす影響、境界面の特性(空

気や骨材とペーストとの付着性)と強度との関係等を総合的に判断する必要があると考えられる

6 結 論

本試験によって得られた結果を要約するとつぎのようになる。

(1) 空隙について

1) ペーストあるいはモルタル中に含まれる空隙率(総空隙率： P_t 、毛細管空隙率： P_c 、ゲル空隙率： P_g)および構成物質の比重(固形生成物の比重： ρ_1 、水和セメントの比重： ρ_2)は、完全水和に必要な結合水の量とゲル水の体積を適当に仮定しこれらを組み合わせることによって理論値を求めることができる。本研究の結果、結合水を23%、ゲル水を28%とするのが最も妥当であると考えられる。

2) w/c と水和度をパラメーターとして空隙率と比重との関係を表わしておく、 w/c や水和度から空隙率、比重を求めることができ、さらに w/c 、 P 、 ρ を実験から求めてやれば水和度を推定することもできる。

3) 実験値からペーストの水和度を推定すると、材令3、7、28、56、105日においてそれぞれ50、55、60、70、80%となる。

4) 理論値と実測値との適合性を検討すると、ペーストにおいては極めて良いが、モルタルではやや劣る。モルタルの場合には、ペーストと骨材との境界面における空隙(エントラップトエアーあるいはエントレインドエアーを含む)の評価をさらに詳しく行なう必要があると考えられる。

(2) 空隙と強度ならびに変形特性との関係について

1) ペーストにおいては配合条件や養生方法が異なっ

ても、ペーストの毛細管空隙率(P_c)によって強度・変形特性は一義的に表わされ、両者の間には比例関係が成立する。

2) モルタルにおいては、ペーストで観察されたような明確な比例関係は認められず、むしろ水セメント比との関係の方が支配的である。この原因として、モルタルの一構成成分であるペーストが、ペースト単身の場合と同じ特性値をもつと仮定したこと、骨材とペーストとの境界面における空隙の挙動について十分検討していないことなどが考えられる。今後、水で満されていない毛管空隙の取扱いとその定量化、練混ぜ中に取り込まれた空気の影響などを究明することによって、モルタルにおいても空隙と強度との間に一義的な関係が見い出されるものと考えられる。

以上、セメントペーストあるいはモルタル中に含まれる空隙を取り上げ、その定量化を図るとともに強度、変形特性との関連性についても若干の検討を加えた。今後は、本文中で指摘した問題点を究明するとともに人為的に空気を連行したAEペースト、AEモルタルについて研究を進め、将来はこの方法論をコンクリートにまで発展させ度いと考えている。

本研究を実施するに際して、本学吉川敏明技官、専攻科学生三木収、山田博司の諸氏をはじめ材料研究室関係者の協力を得たことを付記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) A. M. Neville: Properties of Concrete.
- 2) 内川進:水和セメントの強度,セラミックス[3], 1968. 3.