

[24] 圧縮成型されたセメントペースト及びモルタルの圧縮強度

正会員 岡島達雄 (名古屋工業大学)

正会員 ○棚橋 勇 (同上)

一瀬賢一 (同上)

1. はじめに

従来、高強度を得る方法としては、上質の材料を使用する以外に、調合において、骨材粒度、骨材容積比を調整し、水セメント比を小さく、単位セメント量を多くすること、また施工方法において、充分締めかため、適当な養生を行なうことなどが提案されている。

D. A. Abrams¹⁾は1919年、円柱供試体に、 $35\text{kg}/\text{cm}^2$ までの圧力を、15分～6時間作用させて成形したとき、成形圧の増加とともに、水セメント比が減少し、強度が大となってゆくこと、すなわち材令28日で最大圧縮強度 $250\text{kg}/\text{cm}^2$ を得たこと、および加圧成形後、ただちに圧力を除去したときは、強度は著しく減少することを述べている。また吉田徳次郎は、1940年、やはり円柱供試体に、突き固め、振動打ち後、 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力を8分間作用させ、さらに試料を、型枠のままひっくり返して、同様の手法で加圧したものを蒸気養生したところ、材令6ヶ月で、 $1,000\sim 1,200\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧縮強度を得たとの報告をしている。そのほか、セメント板の成形法などを目的とした研究が報告されている²⁾が、いずれも、作用圧が低いものである。また水セメント比を小さくする方法では、ポンプによって直接水を抜く真空コンクリート法がある。

本研究は、高強度セメント硬化体を得ることを目的としてセメント・ペーストおよびセメント・モルタル供試体を、金型順押法³⁾により圧密成形したときの、1日気乾養生後、水中養生した供試体の3日、4週の圧縮強度性状を、成形法および調合との関係において述べたものである。これと併行して高温養生を行なった圧密供試体について同様の実験を行なった。更に、これらの実験結果に Powers のゲル空間比説、山崎による固相容積比説との関係について検討した。

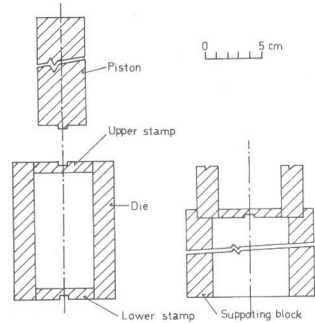


図-1 金型概要図

2. 実験方法

2.1 圧密成形供試体(常温)

2.1.1 使用材料

普通ポルトランドセメント、豊浦標準砂および水道水を使用した。

2.1.2 調合、養生および材令

調合を次のように行なった。すなわち骨材・セメント比で0, 1, 2の3水準を、また各骨材、セメント比に対する水セメント比を、25%, 65%の2水準とした。このほか、成形圧を0, 100, 300, 500, $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ の5水準としたため、圧密による密度の増加、水セメント比の減少により実質調合は、さらに変化する。すなわち、 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の各成形圧に対して、低水比とは、成形中圧密により密度のみが増加するものであり、高水比とは、密度の増加に加えて脱水現象を伴うものである。なお、これら具体的な水比の決定は、便宜的に行なったものであるから、例えば異なった骨

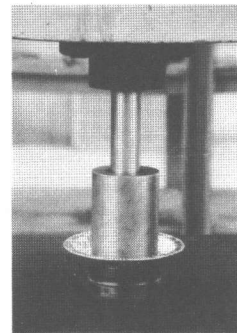


写真-1 圧密成形装置(常温)

材セメント比に対する低水比調合の軟度などは等しくならない。

成形後1日間気乾養生し、その後材令3日、28日まで水中養生した。(20℃±1℃)

2.1.3 供試体の作製方法

使用金型は、図-1、写真-1に示すような形状、寸法のものであり、ダイおよび上下スタンプの材質は、SK-5とした。圧密時の試料と金型間の摩擦を減じ、脱型時の型抜性を良くするため、ダイおよびスタンプに鉱油を塗布してから使用した。

下部スタンプをつけた金型中に、練り上がりの試料を数層にわけて入れ、各層をつき棒で20回づつ突きながら充填し、後に上部スタンプを落し込む。試料を充填した金型を、金型付属のピストンを介して圧縮試験機にかけ、毎分100~200kg/cm²の荷重速度で、所定の成形圧まで加圧する。加圧を3~5秒間維持した後除荷し、ピストンを取り除く。次に金型を裏返して、同様の操作を行なう。いわゆる順押し法である。最後に支持台を挿入し、さらに加圧して脱型する。この間、あふれ出た水を、スポイトを沓紙で吸い取りその量を測定する。併せて供試体の形状、寸法および重量を測定して記録しておく。

このようにして圧密成形された供試体の高さは、成形圧や調合の差によって一定にならない。一方、成形圧0の供試体は、通常の50mm ϕ ×100mmh型枠を用い、JISA-1108に準じて作成した。従って、供試体の形状、寸法は、50mm ϕ ×50~100mmhであった。このように形状、寸法の異なる供試体の強度性状は同率に比較できないため、形状効果についてGonnermanの補正曲線⁴⁾を用いた。

2.2 圧密成形供試体(高温・常温)

2.2.1 使用材料

普通ポルトランドセメント、豊浦標準砂および水道水を使用した。

2.2.2 調合、養生および材令

水セメント比20%のセメントペーストを用意した。高温養生するものは、供試体の膨張を拘束し250℃で1時間養生し、冷却後圧縮試験を行った。常温養生するものは、成形後1日間気乾養生し、その後材令28日まで水中養生した。

2.2.3 供試体の作成方法

高温養生するものは、直径1.27cm高さ2~3.5cmの供試体を前述の金型順押し法に準じて3500kg/cm²で加圧成形した。常温養生する供試体は、500, 1,500, 2,500および3,500kg/cm²の4種類の成形圧について作製した。使用した金型圧密成形装置を写真-2に示す。

2.3 水和反応率の測定

セメントの水和反応率を調べるため、試験後の試料から約2~3gの試料をとり出し乾燥器で105℃まで温度を上げCapillary Waterを取り除き、再び坩に入れて900℃で強熱減量させ Nonevaporable

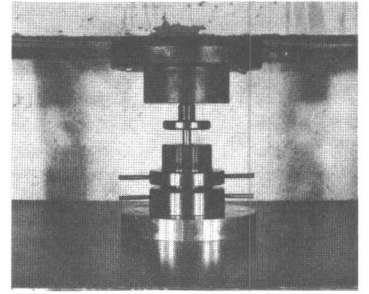


写真-2 圧密成形装置(高温)

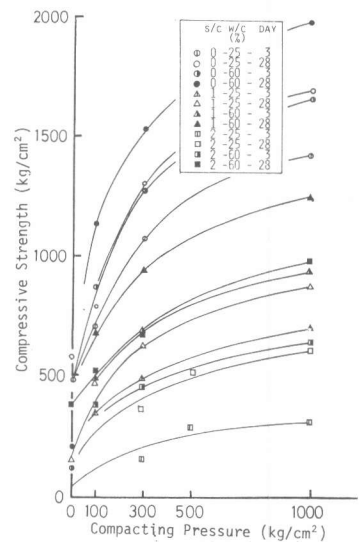


図-2 圧縮強度と成形圧との関係 (常温養生)

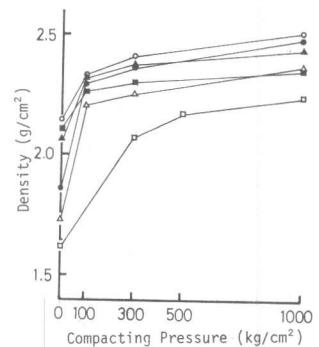


図-3 密度と成形圧との関係 (常温養生)

Waterを取り除いた。各段階における重量を1/10000まで測った。それぞれの重量を x_1, x_2 (g) とすると水和反応率は次式で表わせる。

$$\beta = \frac{x_1 - x_2}{0.25 x_2} \dots \dots (1) \quad \begin{array}{l} x_1 ; 105^\circ\text{Cで乾燥させた時の重量(g)} \\ x_2 ; 900^\circ\text{Cで乾燥させた時の重量(g)} \end{array}$$

3. 実験結果

3.1 圧縮強度と成形圧 (常温養生)

セメントペーストとモルタルの各種調合の材令3日, 28日について圧縮強度と成形圧の関係を示したのが図-2である。結果は、成形圧の増加に伴って、密度が大きくなり、それにほぼ比例して、圧縮強度は増加している。これは、加圧による空隙の減少、粒子相互の Locking および接触による粒子間引力の向上などによるものであろうと考えられるが、強度の増加は成形圧1000kg/cm²程度で頭打ちになりそうな傾向もある。

骨材セメント比が一定のものでは、初期水セメント比の大きいもの程、圧縮強度が大きくなる傾向がある。これは、初期水セメント比の大きいものは、圧密後も水比は大きい、密度もまた大きくなっていることに起因すると考える。

上記の議論は、いずれも加圧によって脱水の起こる試料についてだけ適用されるのであって、初期水セメント比が極端に小さく、加圧によって、その値が低下しないものは、同列には取扱えない。

3.2 密度と成形圧 (常温養生)

図-3は、密度と成形圧の関係を示したものである。成形圧が0~1000kg/cm²では、成形圧の大きいほど密度も大となり、密度の増大が強度に寄与するものと考えられる。

3.3 水和反応率と成形圧

図-4は、水和反応率と成形圧の関係を示したものである。成形圧の増加に伴い、水和反応が進みにくくなり水和生成物が常圧下におけるときよりも少なくなっている。しかし、水和反応率の低下にもかかわらず強度が上昇するのは、成形圧の増加により、セメント粒子間隔が小さくなるためにゲル同志の接触面積が大きくなり強度が上昇すると考えられる。

4. 圧密されたセメント硬化体の強度発現機構に関する検討

モルタル及びコンクリートの強度則として、材令・養生条件が強度に与える影響を考慮したものには、T. C. Powers⁵⁾によるセメントペーストの水和率とゲル容積を導入したゲル空間比説、山崎⁶⁾による水和率に未水和率のセメント及びゲル容積を強度発現の要因に加えた、固相容積比説などがある。それぞれの式を以下のように示す。

○ゲル空間比説 $F = 2396X^{2.4} \dots \dots \dots (2)$

$$X = \frac{2.06 \alpha C}{(\alpha C + W + V)} \dots \dots \dots (3)$$

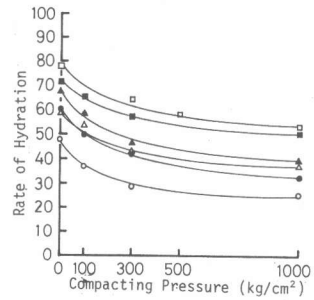


図-4 水和率と成形圧との関係 (常温養生)

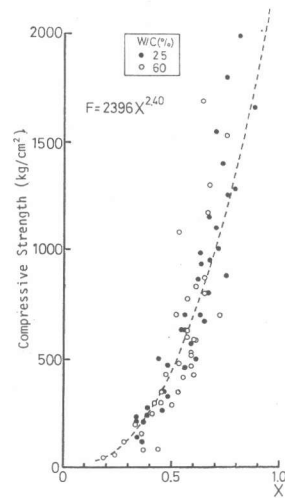


図-5 圧縮強度とゲル空間比との関係

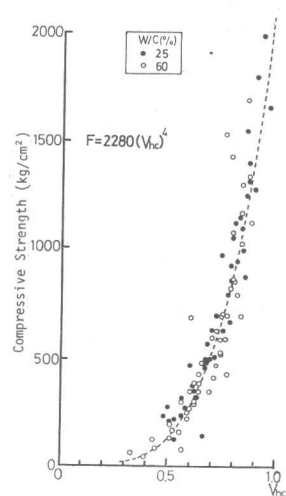


図-6 圧縮強度と固相容積比との関係 (常温養生)

○ 固相容積比説

$$F = 2280 (V_{hc})^4 \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$V_{hc} = \frac{(1.06\alpha + 1)C}{(C+W+V)} \quad \dots \dots \dots (5)$$

F ; 圧縮強度 (kg/cm²) C ; 供試体中セメント量 (cm³)
 X ; ゲル空間比 W ; 供試体中水量 (cm³)
 V_{hc} ; 固相容積比 V ; 供試体中空隙量 (cm³)
 α ; 水和反応率

(2)~(5)式を用い、本実験の結果とゲル空間比説または固相容積比説の関係を図-5, 6, 7および8に示した。図-5, 6には常温養生の結果を、図-7, 8には、高温及び常温養生の結果を示した。

図-5, 6より常温においては、セメントペーストおよびモルタルの圧縮強度は、材令、養生に関わらずゲル空間比説および固相容積比説で表わすことができる。

実験結果の収斂は、ゲル空間比説よりも固相容積比説の方がよい。

図-7, 8のように高温養生の場合も含めて考えるとゲル空間比説では表わすことはできない。このことから、セメント硬化体の強度を考える場合、水和したセメントのみならず、未水和セメントの影響も考慮に入れる必要がある。

5. まとめ

- a) 成形圧が0~1,000kg/cm²では、成形圧の大きいほど密度も大となり、圧縮強度が大となる。これは材令にかかわらず適用される。
- b) セメント・砂比が一定であれば、初期水セメント比の大きいものほど強度は大となる。
- c) モルタルの調合による効果は、通常コンクリート同様単位セメント量、密度が大きい程、また最終水セメント比の小さい程、圧縮強度は大となる。
- d) セメントペーストおよびモルタルの圧密成形体の圧縮強度は材令、養生に関わらず、ゲル空間比説および山崎の提案する固相容積比説で示され、その適用精度は、後者の方がよい。

本研究は文部省科学研究費の補助によつた。

参考文献

- 1) Abrams, D. A., Effect of Vibration Jigging and Pressure on Fresh Concrete, Proc. A. C. I. (1919)
- 2) 栗山寛, セメントモルタル板の加圧成型に関する研究, 成型時圧力のセメント製板に及ぼす影響について 日本建築学会
- 3) 岡島達雄, 一軸圧密されたセメントペーストおよびセメントモルタルの機械的性質, 名工大学報, (1969)
- 4) Gonnerman, H. F., Effect of Size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete, Proc. of ASTM (1925)
- 5) Powers, T. C., Chemistry of Cement, Proc. 4th Intern. Symp. Washington (1960)
- 6) 山崎寛司, 鉱物質微粉末がコンクリートの強度に及ぼす効果に関する基礎研究, 土木学会論文集(第85号)

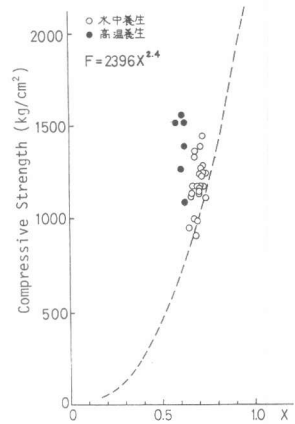


図-7 圧縮強度とゲル空間比との関係(高温、常温養生)

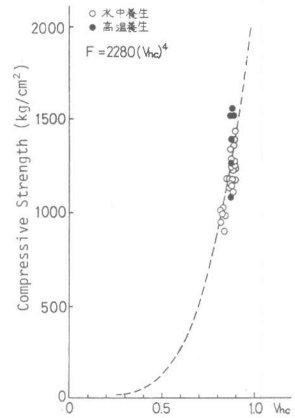


図-8 圧縮強度と固相容積比との関係(高温、常温養生)