

フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの圧密特性
に関する基礎的研究FUNDAMENTAL STUDY ON CONSOLIDATION CHARACTERISTICS
OF FRESH MORTAR AND CONCRETE

坂本英輔*, 畑中重光**, 三島直生***

Eisuke SAKAMOTO, Shigemitsu HATANAKA and Naoki MISHIMA

A series of consolidation tests of fresh mortar and concrete was carried out to construct a consolidation model of fresh concrete and to predict the behavior of fresh concrete consolidated by a various kinds of dewatering methods. This paper reports results of a couple of experiments I and II. In the experiment I, the effect of various factors on the quantity of consolidation was examined. In the experiment II, the distribution of the excess pore water pressure in specimens was measured. As a result, it was made clear that the consolidation theory can be largely applied to fresh mortar and concrete, and there is a strong relationship between the final quantity of consolidation and the water content per unit volume of mortar except for specimens consolidated from the time of finishing of bleeding.

Keywords : Consolidation theory, Fresh mortar, Fresh concrete and Excess pore water pressure

圧密理論, フレッシュモルタル, フレッシュコンクリート, 過剰間隙水圧

1. はじめに

筆者らは、コンクリート床スラブの品質改善を目的として、これまで軟練りコンクリートにも適用可能な真空脱水処理工法を提示¹⁾し、一連の実験によって、真空脱水処理されたコンクリートの品質改善効果の把握、およびそのメカニズムの解明を試みてきた。また、既報^{2), 3)}では、土質工学で用いられる圧密理論^{4), 5)}をフレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートに適用することによって、真空脱水処理による品質改善効果を定量的に推定する手法を提案し、一連の基礎実験によって例証した。しかし、同推定手法においては、フレッシュコンクリートの圧密特性および間隙水圧の分布特性を既知のものとして与える必要があるが、現時点では、これらのいずれについても不明な部分が多く、定量化されるには至っていない。それらが定量化できれば、真空脱水工法だけではなく、加圧脱水工法、透水性型枠工法などの各種透水・脱水工法⁶⁾の品質改善効果を定量的に推定することが可能となり、同工法の最適化、製品の品質の向上および安定化を実現できると考えられる。

このため本論文では、上記の2つの特性のうちフレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの圧密特性をモデル化し、定量化するための基礎段階として、圧密理論の適用性の確認を行うとともに、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの圧密特性

の把握を試みた。実験 I では、試料全体としての圧密挙動を明らかにするため、圧密処理時のフレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの圧密量に注目した検討を行った。実験 II では、試料内部での圧密の進行状況を明らかにするため、圧密処理時のフレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの過剰間隙水圧分布に注目した検討を行った。

2. フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの圧密特性に関する既往の研究

フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの圧密特性を取り扱った研究は数が少ない上に、試験体の寸法や試験装置などの測定条件もまちまちで、各測定結果を直接比較することは困難である。以下にフレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの脱水メカニズムと圧密特性の関係について言及した報告を紹介する。

河井⁷⁾は、水結合材比、圧密圧力、混和剤の種類を実験要因として、フレッシュモルタルを用いた下面排水の加圧脱水実験を行い、フレッシュモルタルの加圧脱水特性について検討している。その結果、加圧脱水処理では、試料内部の間隙水圧が減少し始める面(脱水境界面)の下側では圧密が生じており、上側では脱水が生じていないとし、フレッシュモルタルの加圧脱水過程は圧密を含めたる過

本論文は、参考文献19), 20)に修正・加筆したものである。

* 三重大学大学院工学研究科 大学院生・工修
(日本学術振興会 特別研究員)

** 三重大学大学院工学研究科 教授・工博

*** 三重大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)

Graduate Student, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., M. Eng.
(Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science)
Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
Assist. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

過程と見なせると報告している。また、水結合材比が大きいほど、また圧密圧力が大きいほど、脱水ひずみは大きくなると報告している。

神代ら⁸⁾は、水セメント比および圧密圧力を実験要因として、鋼管コンクリート構造用の充填コンクリートを対象とした加圧ブリーディング試験を行っている。その結果、コンクリートの加圧脱水特性に対して、概ね圧密理論が適用できると考えられ、水セメント比が大きいほど、また圧密圧力が大きいほど、圧密係数および最終体積ひずみは大きくなると報告している。

フレッシュコンクリートの圧密特性に関連したその他の研究として、加圧脱水工法による品質改善に関する考察^{9), 10), 11), 12)}やトンネル覆工時の場所打ライニング工法におけるコンクリートの充填性に関する考察^{13), 14), 15), 16)}などが見られる。

一般に、圧密理論は水で飽和した粘土・シルトを含む粘性土に適用されるが、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートにも適用できるとする報告⁸⁾もある。しかし、飽和した粘性土と比べて固相の粒径範囲が比較的近いという点以外は、材料の構成比率やセメントの水和など異なった点も多い。本論文では、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの脱水挙動に対する圧密理論の適用性の確認を行ったうえで、圧密特性に関して定量的な議論を行う。

3. 圧密理論

3.1 圧密現象

図1に、本研究で適用する圧密現象の概念図を示す。対象とする試料は、固相および液相の2相に分け、それぞれを非圧縮性と仮定している。圧密現象とは、土が内部間隙水の排水を伴いながら徐々に圧縮していく現象をいい、その過程において土の密度は増加していくとされている。

3.2 Terzaghi の一次元圧密方程式⁴⁾

Terzaghi は、過剰間隙水圧の消散過程を式(1)で定式化している。本研究では、圧密現象を表す最も基本的な同式を用いることにした。ここで、過剰間隙水圧とは、荷重によって発生する間隙水圧の増加分である。なお、式(1)は均質な試料に対応しており、自重および過大な層厚の変化の影響は考慮されていない。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここに、 u : 過剰間隙水圧 (MPa), t : 時間 (s),
 c_v : 圧密係数 (cm²/s), z : 層の深さ (cm)

式(1)は、片面透水の境界条件 [式(2) および式(3)] および初期条件 [式(4)] のもとで、変数分離法で解くと式(5)となる。 U_u, Z, T_v は、変数 u, z, t を無次元化したものであり、式(6)~(8)で定義される。

$$z=0, t=t \text{ で, } u=0 \quad (2)$$

$$z=H, t=t \text{ で, } \frac{\partial u}{\partial z}=0 \quad (3)$$

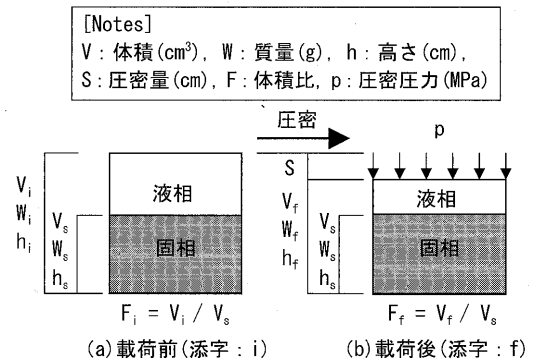


図1 圧密現象の概念図²⁾

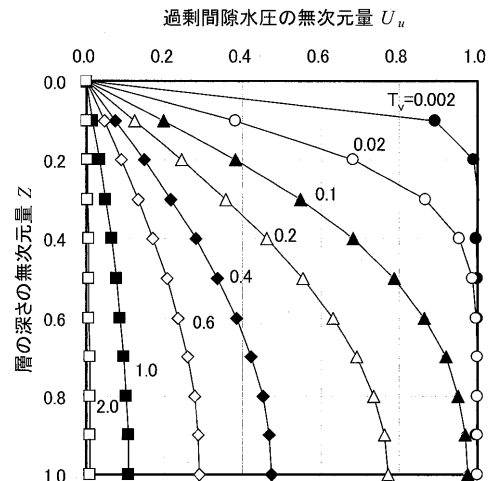


図2 過剰間隙水圧分布の時刻歴

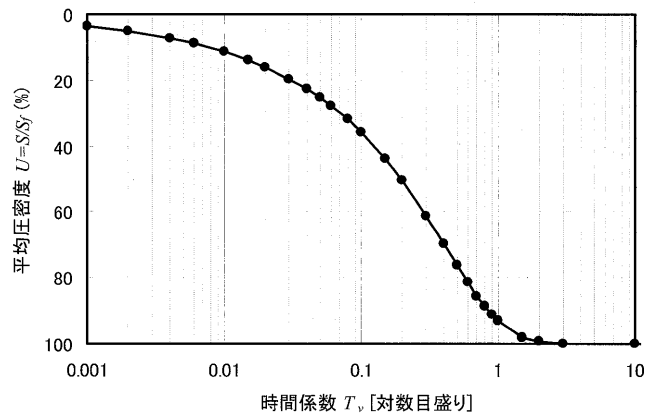


図3 平均圧密度と時間係数の関係

$$t=0, z=z \text{ で, } u=u_0 = p_z \quad (4)$$

ここに、 H : 片面透水の層厚 (cm), u_0 : 初期過剰間隙水 (MPa), p_z : 圧密圧力 (MPa)

$$U_u(Z, T_v) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n 2}{\alpha_n} \cos(\alpha_n Z) \exp(-\alpha_n^2 T_v) \quad (5)$$

ここに、 $\alpha_n = \pi(2n+1)/2$ で、 n は正の整数である。

$$U_u = \frac{u}{p_z} \tag{6}$$

$$Z = \frac{z}{H} \tag{7}$$

$$T_v = \frac{c_v}{H^2} t \tag{8}$$

図2に、式(5)から求めた層の深さ z を片面透水の層厚 H で除した値 Z と圧密圧力 p_z で過剰間隙水圧 u を除した値 U_u の関係を示す。同図によれば、排水面(上面)の過剰間隙水圧は瞬時に消散し、内部の過剰間隙水圧も排水面に近い位置から徐々に消散し、最終的には、非排水面(下面)の間隙水圧も消散していくことが分かる。また、図2において各等時線の右側の面積は、圧密量の無次元量 S/S_f (以下、圧密度)となり、図3に示すように、圧密度 U と時間係数 T_v の関係は一本の曲線で示される。したがって、最終圧密量 S_f および圧密係数 c_v が既知であれば、式(8)および図3より圧密量 S と時間 t の関係を導くことができる。

ここで、式(1)中の圧密係数 c_v は、圧密の速さを支配する係数であり、本研究では圧密終了時までを対象としていることから、曲線定規法¹⁷⁾により、これを求めることとした。圧密係数 c_v は、曲線定規法では、片面透水の場合、式(9)で表される。

$$c_v = \frac{0.197 \cdot \bar{h}^2}{t_{50}} \tag{9}$$

ここに、 \bar{h} : 試験体の平均高さ (cm),

t_{50} : 理論圧密度50%になる時間 (s)

4. 圧密挙動に関する実験 (実験1)

本章では、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの試料全体としての圧密挙動を明らかにするため、圧密量に及ぼす各種要因の影響について検討した。まず、最終脱水量と最終圧密量の関係、および圧密量と時間の関係からフレッシュモルタルおよびフ

表1 要因および水準

要因		水準
モルタル	水セメント比 (%)	35, 50, 65
	圧密圧力 (MPa)	0.05, 0.10, 0.15
	細骨材容積比	0.45, 0.50, 0.55
	フロー値 (mm)	180, 220, 260
圧密開始時期		打設直後, プリーディング終了時*
コンクリート	粗骨材最大寸法 (mm)	13, 20

[註]下線は基本水準を示す。

* 打設後190分(プリーディング試験は、JIS A 1123に準拠)

表2 調合表

(a) モルタル

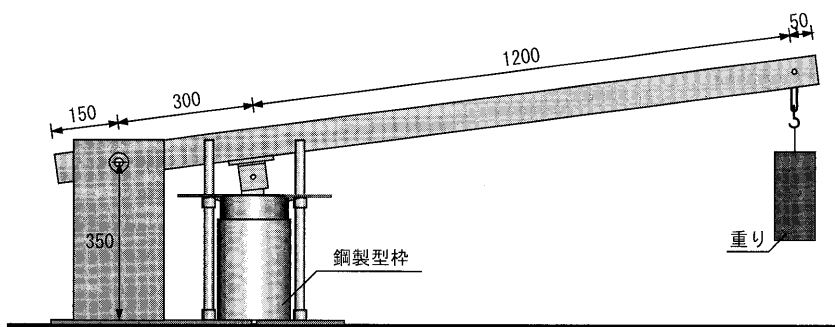
W/C (%)	s/m	目標値		単位量(kg/m ³)			混和剤添加率(%)			実測値	
		FL (mm)	Air (%)	W	C	S	SP/C	AE/C	AF/C	FL (mm)	Air (%)
35	0.50	220	6.8	227	648	1295	0.84	0.0005	0	216.4	6.8
	0.45	220		295	590	1166	0	0.009	0	213.4	5.6
50	0.50	180		265	529	1295	0	0.010	0	184.5	5.8
		220					0.60	0.006	0	219.9	5.8
	260	0.63					0.008	0	252.4	6.7	
65	0.50	220		234	468	1425	1.00	0.002	0.001	214.4	6.0
		220	291	447	1295	0	0.012	0	213.9	3.9	

[註]W/C:水セメント比, s/m:細骨材容積比, FL:フロー値, Air:空気量, W:水, C:セメント, S:細骨材, SP:高性能AE減水剤, AE:空気連行剤, AF:消泡剤

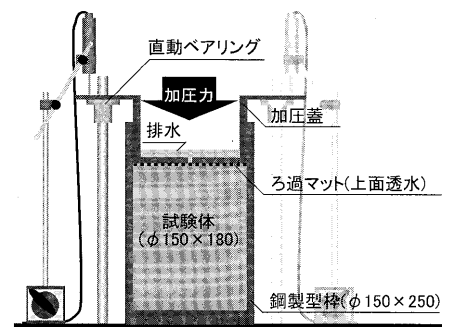
(b) コンクリート

W/C (%)	s/a (%)	s/m	G _{max} (mm)	目標値		単位量(kg/m ³)				混和剤添加率(%)			実測値	
				SL (cm)	Air (%)	W	C	S	G	SP/C	AE/C	AF/C	SL (cm)	Air (%)
50	50	0.50	13	18.0	4.5	176	353	863	887	0.85	0.001	0.002	16.0	3.8
			20							0.60	0.001	0.002	18.5	5.2

[註]W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, s/m:細骨材容積比, G_{max}:粗骨材最大寸法, SL:スランプ, Air:空気量, W:水, C:セメント, S:細骨材, G:粗骨材, SP:高性能AE減水剤, AE:空気連行剤, AF:消泡剤



(a) 圧密試験装置



(b) 圧密処理時の試験体周囲の拡大図

図4 実験装置の概要

フレッシュコンクリートに対する圧密理論の適用性について検討した。次に、圧密の速さを支配する圧密係数 c_v を算出するために必要な、最終圧密度 S_f および理論圧密度 50% になる時間 t_{50} に及ぼす割合および載荷条件の影響について検討した。

4.1 実験要因および調査表

表 1 に要因水準を、表 2 に調査表を示す。フレッシュコンクリートの脱水特性は、加圧ブリーディング試験の結果によると、水セメント比、圧密圧力、単位粗骨材量、高性能 AE 減水剤による粒子の分散状態、水の粘性、単位水量など、多くの要因の影響を受けると考えられている⁷⁾。そこで本研究では、水セメント比、圧密圧力、細骨材容積比、フロー値、圧密開始時期および粗骨材最大寸法を実験要因とした。粗骨材最大寸法の影響については、基準調合のモルタルおよび粗骨材最大寸法の異なる 2 種類のコンクリートを用いて実験を行った。なお、基本調合のモルタルに関しては、2 回の圧密試験を行った。

4.2 実験方法

図 4 に、独自に開発した圧密試験装置の概要を示す。本装置は、てこの原理を利用して、作用点にある試料に所定の圧密圧力を加えることができる。なお、作用点での荷重は、装置の自重も含めてロードセルを用いて事前に確認した。

試験体は、 $\phi 150 \times 255 \text{mm}$ の鋼製の型枠に、試料を高さ 180mm まで打設したものとし、所定の圧密圧力を加えた。なお、持続圧密時の水の流れ、およびセメント分の流出を考え、試験体上面にろ過マットを敷いて上面のみの片面透水とした。試験体の打設後から、温度 20°C ・湿度 60% の恒温恒湿室内で圧密が終了するまで持続載荷を行った。ここで、圧密開始直前の試験体上面には、処理開始時期がブリーディング終了時のものを除き、ブリーディング水はほとんど見られなかった。処理開始時期がブリーディング終了時のものは、ブリーディング量を計測後に、ブリーディング水を再び試料に戻して圧密処理を行った。

4.3 測定項目

測定項目は、圧密量の時刻歴（サンプリング周期 5Hz）および最終脱水量である。圧密量は、ストローク 25mm の接触型変位計で加圧蓋上面の対角線上 2 箇所計測し、その平均値とした。最終脱水量は、加圧蓋内に溜まる排水をスポイトで採取した合計量から固形分量を差し引いて補正したものとした。

4.4 実験結果および考察

4.4.1 最終脱水量と最終圧密度 S_f の関係

図 5 に、全試料に関する最終脱水量から算出した最終圧密度 S_{fd} と実測した最終圧密度 S_f の関係を示す。なお、ブリーディング終了時から圧密を開始した試験体の最終圧密度 S_f は、ブリーディング水を取り除いた脱水量から計算した。ここで、圧密処理時に試料内部の空気が排出あるいは圧密される場合、および排水が適切に採取できていない場合には、最終脱水量から算出した最終圧密度 S_{fd} は、実測値 S_f より小さくなると考えられる。しかし、同図によれば、両者の間には、強い相関が見られ、前述のような測定誤差および空気量の影響は見られなかった。また、既往の研究によれば、加圧脱水を行った硬化後のコンクリートの空気量および気泡間隔係数は、脱水を行っていないものとほとんど変わらないと報告されている¹⁶⁾。

以上のことから、本試験装置による圧密挙動の把握は可能であり、

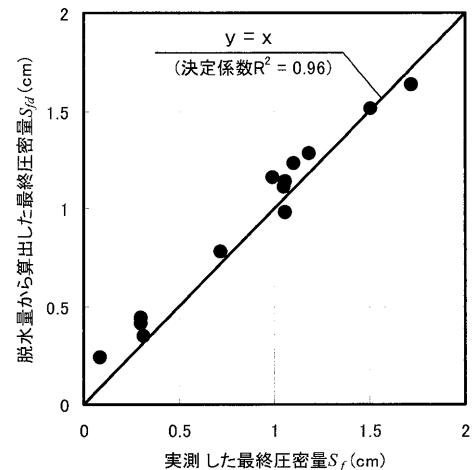


図 5 脱水量から算出した最終圧密度 S_{fd} と実測した最終圧密度 S_f の関係

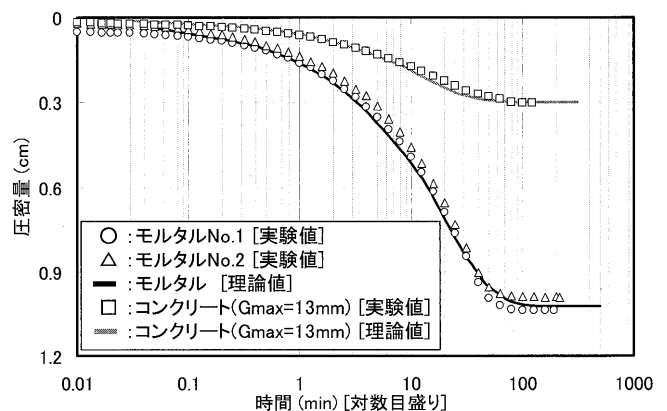


図 6 圧密量と時間の関係の一例 (圧密圧力: 0.1MPa, W/C : 50%)

試料内部の空気が圧密挙動に及ぼす影響はほとんどないものと考え、以下の議論を進める。

4.4.2 圧密量と時間の関係

図 6 に、圧密量と時間の関係の一例を示す。なお、実測値のサンプリング周期は 5Hz であるが、見やすくするためにプロットを減らしてある。同図によれば、最終段階に至るまでの圧密量の増加傾向は、コンクリートおよびモルタルともに実験値と理論値が比較的よく一致している。他の水準に関してもほぼ同様の結果となったことから、モルタルおよびコンクリートの脱水過程には、圧密理論の適用が可能であると考えられる。

また、モルタルの実測値 (No.1, 2) の比較から、測定方法および試料のバラツキはそれほど大きくないことが分かる。さらに、モルタルおよびコンクリートの 100min 以降のデータに注目すると、圧密量はほぼ一定値になっている。すなわち、本実験の圧密圧力 0.05 ~ 0.15MPa の範囲では、1 次圧密終了後に起こる圧密現象である 2 次圧密¹⁷⁾ がほとんど起こらないことが分かる。これは、モルタルおよびコンクリートともに、初期水和によって骨格構造が形成されるためと考えられる。以上の結果より、モルタルおよびコンクリートでは、一度骨格構造が形成されれば、それ以降はほとんど圧密されないと仮定して、圧密量がほぼ一定値に収束したときの値を最終圧密度 S_f と定義した。

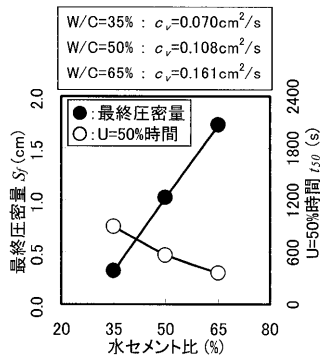


図7 水セメント比の影響

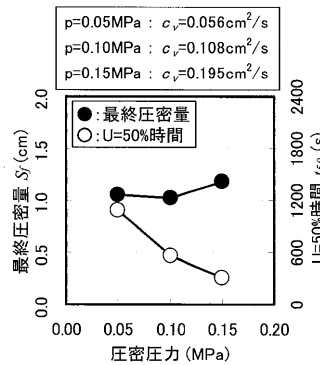


図8 圧密圧力の影響

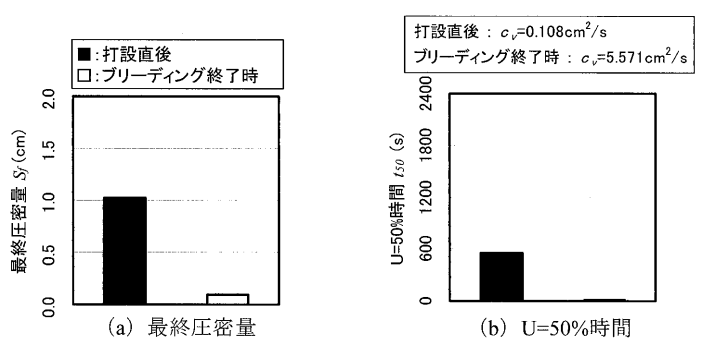


図12 処理開始時期の影響

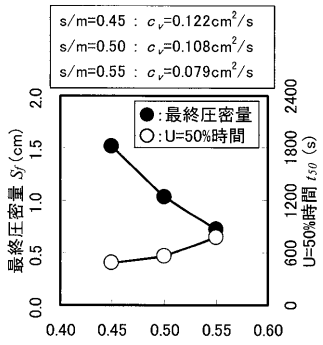


図9 細骨材容積比の影響

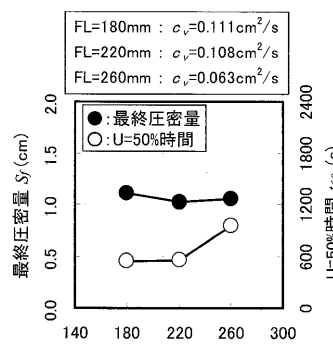


図10 フロー値の影響

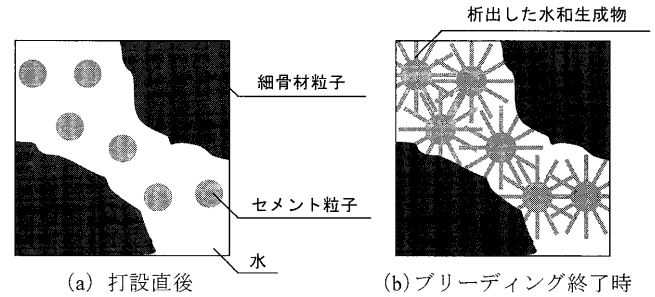


図13 処理開始時期による骨格形成状態の違い

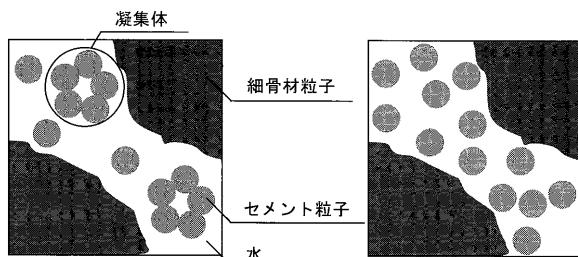


図11 フロー値の影響によるセメント粒子の分散の違い

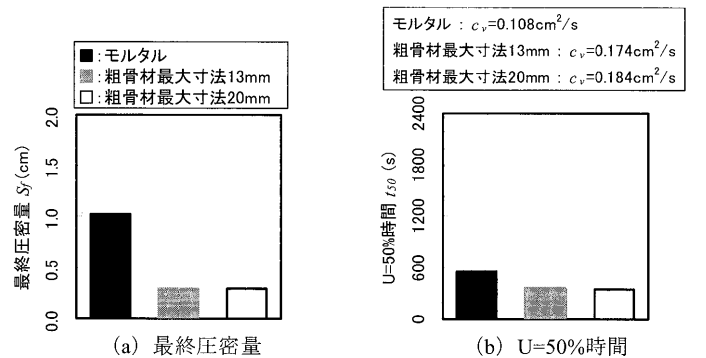


図14 粗骨材の影響 (コンクリートの圧密挙動)

4.4.3 最終圧密度 S_f および理論圧密度 50% になる時間 t_{50}

図7~10, 12 (以上, モルタル) および図14 (コンクリート) に, 最終圧密度 S_f および理論圧密度 50% になる時間 t_{50} と各種要因の関係を示す。基本調査のモルタルに関する最終圧密度 S_f および理論圧密度 50% になる時間 t_{50} は, 2 回の圧密試験結果の平均値から求めた。また, 図中には圧密係数 c_v を併示した。

(1) 水セメント比の影響

図7によれば, 水セメント比が大きいくほど, 最終圧密度 S_f は大きくなり, 理論圧密度 50% になる時間 t_{50} が小さくなる。これは, 今回の調査では水セメント比が大きいくほど, 液相の量が多く, かつ透水性が高くなるためと考えられる。

(2) 圧密圧力の影響

図8によれば, 圧密圧力が最終圧密度 S_f に及ぼす影響は小さいが, 圧密圧力が大きいくほど理論圧密度 50% になる時間 t_{50} は小さくなる。圧密圧力が最終圧密度 S_f に及ぼす影響がほとんどないのは, 試料の構成がほぼ同じであるためと考えられる。

(3) 細骨材容積比の影響

図9によれば, 細骨材容積比が大きいくほど, 最終圧密度 S_f が小さ

くなり, 理論圧密度 50% になる時間 t_{50} が大きくなる。細骨材容積比が大きいくほど最終圧密度 S_f が小さくなる原因は, 骨格となる骨材の量が多くなるためと考えられる。一方, 細骨材容積比が大きいくほど理論圧密度 50% になる時間 t_{50} が長くなる原因は, 今回の調査では細骨材容積比が大きいくほど, 液相の量が少なく, かつ透水性が低くなるためと考えられる。

(4) フロー値の影響

図10によれば, フロー値が最終圧密度 S_f に及ぼす影響はほとんど見られないが, フロー値が大きいくほど理論圧密度 50% になる時間 t_{50} は大きくなる。これは, 本実験では同一調査のモルタルに対して化学混和剤の添加量のみでフロー値を変化させていることから, 図11に示すように, フロー値の大きい試験体は, 混和剤の影響によりセメント粒子の分散が良好になり, 透水性が低くなるため t_{50} の値が大きくなったものと考えられる。

(5) 処理開始時期の影響

図12によれば, 処理開始時期が遅くなると, 最終圧密度 S_f および理論圧密度 50% になる時間 t_{50} が極端に小さくなる。最終圧密度 S_f が小さくなる原因は, 図13に示すように, ブリーディングが終了

するまでの間に進行した水和反応によって形成された骨格構造の影響であると考えられる。一方、理論圧密度 50%になる時間 t_{50} が小さくなる原因は、ブリーディングにより液相の分布が上層に偏っているためと考えられる。

(6) 粗骨材の影響 (コンクリートの圧密挙動)

図 14 によれば、粗骨材の混入により、最終圧密度 S_f および理論圧密度 50%になる時間 t_{50} が小さくなる。また、本実験の範囲では、粗骨材最大寸法が最終圧密度 S_f および理論圧密度 50%になる時間 t_{50} に及ぼす影響はほとんどないことが分かる。

4.4.4 最終圧密度 S_f と単位水量の関係

図 15 に、最終圧密度 S_f と単位水量の関係を示す。なお、ブリーディング終了時から圧密を開始したものの単位水量は、ブリーディング量 (22.8g) を差し引いている。図中の近似直線は、コンクリートおよびブリーディング終了時から圧密を開始したモルタルのデータを除いたものについて求めた。

同図によれば、最終圧密度 S_f と単位水量には、強い相関が見られる。すなわち、最終圧密度 S_f に関しては、水セメント比、圧密圧力、細骨材容積比、フロー値によらず、調査中の液相の量の影響が支配的であることが分かる。ただし、水和反応の影響の大きな試料 (ブリーディング終了時から圧密を開始したもの) および粗骨材を混入した試料 (コンクリート) においては、この傾向が当てはまらない。コンクリートについては、粗骨材の混入により粒径比 (最大粒径に対する最小粒径の比) が大きくなることで実積率が大きくなる¹⁸⁾ことが原因の一つであると考えられる。

0.1MPa とした。圧密開始直前の試験体上面には、4 章と同様、ブリーディング水がほとんど見られなかった。

5.3 測定項目

測定項目は、過剰間隙水圧、圧密度の時刻歴および最終脱水量である。過剰間隙水圧は、間隙水圧計を深さ 30, 70, 110 および 150mm

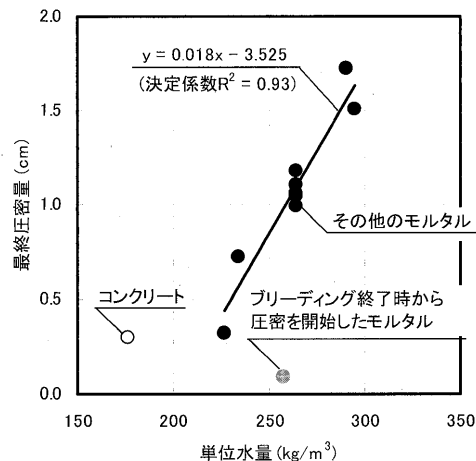


図 15 最終圧密度 S_f と単位水量の関係

表 3 要因および水準

要因	水準
試料の種類	モルタル, コンクリート
水セメント比 (%)	35, 50, 65

[註]下線は基本水準を示す。

5. 過剰間隙水圧分布に関する実験 (実験 II)

本章では、試料内部での圧密の進行状況をより適確に検討するため、圧密処理時のフレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの過剰間隙水圧分布に及ぼす各種要因の影響について調べた。

5.1 実験要因および調査

表 3 に要因水準を、表 4 に調査表を示す。実験要因は、水セメント比および試料の種類とした。ここで、コンクリートとして、基本調査のモルタルに対して最大寸法 13mm の粗骨材を混入したものをを用いた。

5.2 実験方法

試験装置および試験体は、4 章と同様のものをを用い、圧密圧力は、

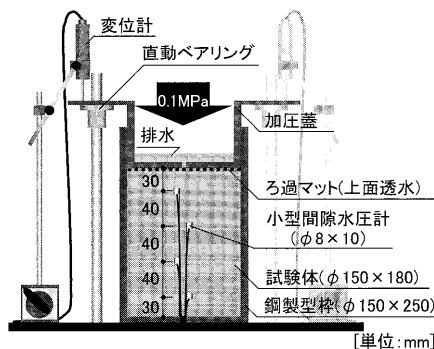


図 16 圧密処理時の試験体周囲の拡大図 (過剰間隙水圧の測定時)

表 4 調査表

(a) モルタル

W/C (%)	s/m	目標値		単位量(kg/m³)			混和剤添加率(%)		実測値	
		FL (mm)	Air (%)	W	C	S	SP/C	AE/C	FL (mm)	Air (%)
35	0.50	220	6.8	227	648	1295	0.85	0.0005	212.2	5.8
50				265	529	1295	0.45	0.006	219.1	6.4
65				291	447	1295	0	0.012	223.5	4.8

[註]W/C:水セメント比, s/m:細骨材容積比, FL:フロー値, Air:空気量, W:水, C:セメント, S:細骨材, SP:高性能AE減水剤, AE:空気連行剤

(b) コンクリート

W/C (%)	s/a (%)	s/m	G_{max} (mm)	目標値		単位量(kg/m³)				混和剤添加率(%)			実測値	
				SL (cm)	Air (%)	W	C	S	G	SP/C	AE/C	AF/C	SL (cm)	Air (%)
50	50	0.50	13	18.0	4.5	176	353	863	887	0.85	0.001	0.002	20.5	4.0

[註]W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, s/m:細骨材容積比, G_{max} :粗骨材最大寸法, SL:スランプ, Air:空気量, W:水, C:セメント, S:細骨材, G:粗骨材, SP:高性能AE減水剤, AE:空気連行剤, AF:消泡剤

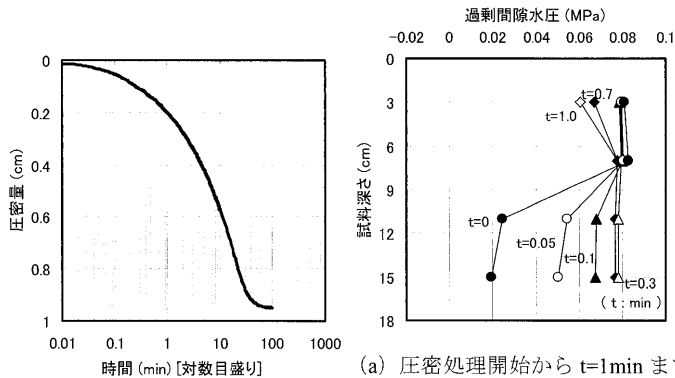


図 17 圧密量と時間の関係 (W/C = 50%)

の位置にピアノ線で作製した骨組みで固定して試料内に埋設し、この状態における静水圧を初期値として測定した (図 16 参照)。圧密量および最終脱水量の測定方法は、4 章と同様である。

5.4 実験結果および考察

図 17 および図 18 に、W/C=50%のモルタルの圧密量と時間の関係および過剰間隙水圧分布を示す。図 18 (a) によれば、過剰間隙水圧の値は、圧密処理を開始した後、時間の経過とともに上層から徐々に上昇し、 $t=0.3\text{min}$ 程度で下層が最大値に達することが分かる。この傾向は、全ての試験体に見られ、最下層が最大値に達するまでの時間は最長で 1min 程度であった。この過剰間隙水圧分布におけるタイムラグの原因は、打設時に緩く形成された骨格構造が荷重によって崩壊するためと考えられる。しかし本実験では、過剰間隙水圧が消散する段階での圧密挙動の把握を目的としているため、最下層の過剰間隙水圧が最大値に達した $t=1\text{min}$ 以降に注目して、以下の議論を進める。

図 18~21 は、各試料について実測値と解析値を比較したものである。これらの図によれば、各試料ともに実測された過剰間隙水圧分布の消散挙動の傾向は解析値と比較的によく一致しており、4 章と同様に、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの脱水過程には、圧密理論の適用が可能であると判断できる。なお、ここでの解析値は、式 (5) の U_v に $t=1\text{min}$ 時の過剰間隙水圧の実験値の最大値をかけたものとしており、 c_v には、間隙水圧計の影響を排除するため、実験 I で得た値を用いている。

(1) 水セメント比の影響

図 18 (b), 19 (a) および図 20 (a) の比較から、水セメント比が大きいほど、過剰間隙水圧がほぼ 0 になるまでの時間が短くなることが分かる。また、 $t=1\text{min}$ 時点での過剰間隙水圧を比較すると、水セメント比に関わらず、過剰間隙水圧は約 0.07MPa となっている。圧密圧力が 0.1MPa であることから、残りの 0.03MPa は、有効応力として力が伝達されていると想定される。図 18~20 の解析値と実験値を比較すると、両者は、傾向だけでなく定量的にもほぼ同等な値となること分かる。

(2) 粗骨材の影響 (コンクリートの圧密挙動)

図 18 (b) および図 21 (a) の $t=1\text{min}$ 時点での過剰間隙水圧を比較すると、コンクリートでは、モルタルに比べて過剰間隙水圧の値が小さくなる。これは、相対的に大径の粗骨材粒子によって骨格構造が形成されやすく、この骨格構造が、圧密圧力の一部を有効応

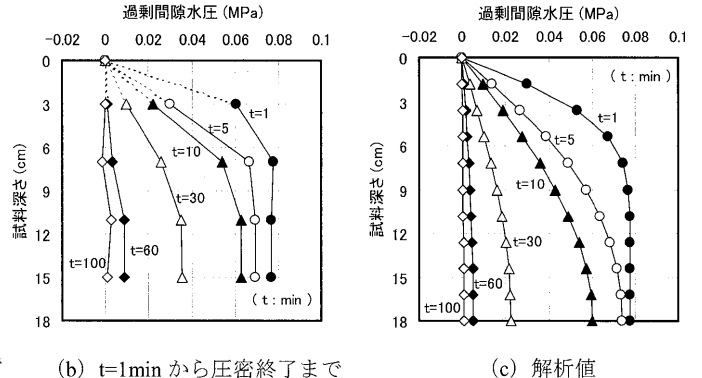


図 18 過剰間隙水圧分布 (W/C = 50%)

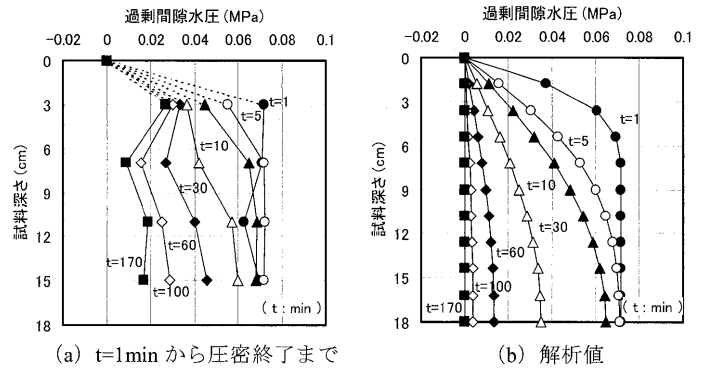


図 19 過剰間隙水圧分布 (W/C = 35%)

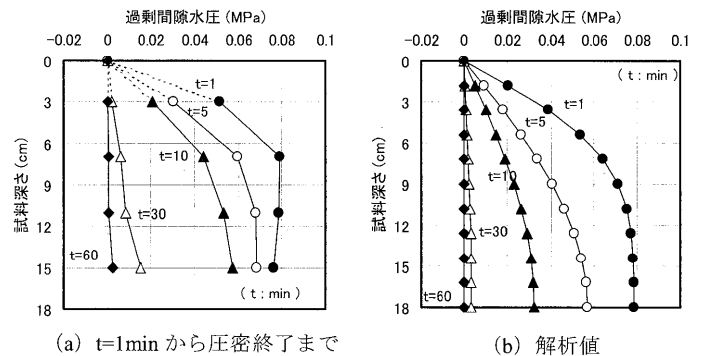


図 20 過剰間隙水圧分布 (W/C = 65%)

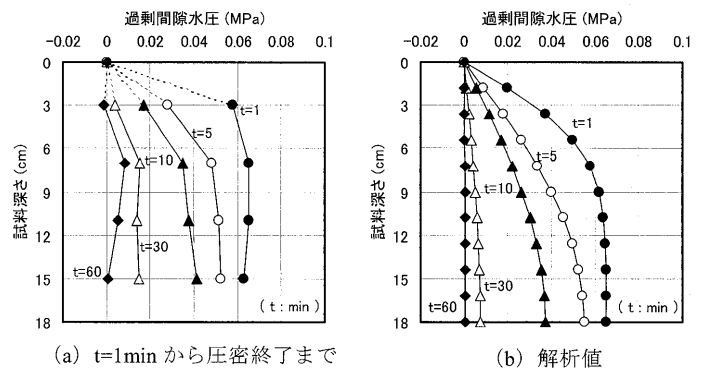


図 21 過剰間隙水圧分布 (コンクリート)

力として負担したためと考えられる。図 18 および図 21 の実験値と解析値を比較すると、両者は、傾向だけでなく定量的にもほぼ同等な値となること分かる。

なお、過剰間隙水圧分布の実験値と解析値との整合性に関する定

量的な評価については、今後、データを増して統計的な処理などにより詳細な検討を行う必要がある。

6. まとめ

本論文では、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの圧密特性をモデル化し、定量化するための基礎段階として、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートに関する一連の実験結果に基づき圧密理論の適用性を確認し、実験パラメータの定量化を試みた。その結果、表1および表3に示した本実験の範囲では以下のような知見が得られた。

- (1) 圧密量と時間の関係および過剰間隙水圧分布ともに、実験値と解析値は比較的良好に一致しており、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの脱水過程には、既往の圧密理論の適用が可能である。
- (2) 水和反応の影響の大きな試料および粗骨材が混入した試料を除くと、調合中の液相（単位水量）が多いほど、最終圧密量 S_f が大きくなり、両者の関係は一本の直線に近似できる。
- (3) 過剰間隙水圧分布を解析する際、圧密圧力 p_c で過剰間隙水圧 u を除した値 U_u の理論値に、 $t=1\text{min}$ 時の過剰間隙水圧の実験値の最大値をかけたものを用いると、実験値と比較的良好に一致する。

以上の結果を踏まえ、今後、フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの圧密挙動の推定モデルを提案する予定である。また、フレッシュ状態の圧密特性が、真空脱水処理を行った硬化後のモルタルおよびコンクリートの品質改善メカニズムにどのような影響を及ぼしているかについて、詳細な検討を行う予定である。

謝辞

本研究費の一部は、平成17・18年度科学研究費補助金特別研究員奨励費（坂本英輔）によった。本実験に際して犬飼利嗣氏（東海コンクリート工業株式会社）、和藤浩氏（三重大学技術員）、古市護君（三重大学大学院生）、内藤理子さん（東京都世田谷区役所）に御協力頂いた。付記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 畑中重光, 和藤浩, 三島直生, 村松昭夫: 真空脱水工法によるコンクリート床スラブの表層および内部強度性状改善に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.558, pp.7-14, 2002.8
- 2) 服部宏己, 畑中重光, 三島直生, 坂本英輔: 圧密理論を適用した真空脱水工法の脱水メカニズムに関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.585, pp.7-13, 2004.11
- 3) 畑中重光, 服部宏己, 坂本英輔, 三島直生: 圧密理論を適用した真空脱水コンクリート中の圧縮強度分布の発生メカニズムに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.596, pp.1-8, 2005.10
- 4) 地盤工学会: 土と基礎 Vol.54, No.10, Ser.No.585, pp.37-46, 2006
- 5) 三笠正人: 軟弱粘土の圧密, 鹿島出版会, 1963
- 6) 日本コンクリート工学協会: 「透水・脱水によるコンクリートの品質改善に関するシンポジウム」委員会報告書・論文集, 2004.9
- 7) 河井徹: モルタルおよびコンクリートの加圧脱水のメカニズムに関する研究, 日本コンクリート工学協会「透水・脱水によるコンクリートの品質改善に関するシンポジウム」委員会報告書・論文集, pp.307-314, 2004.9
- 8) 神代泰道, 大池武, 川口徹: 加圧ブリーディング試験によるCFT造充填コンクリートの充填性評価に関する基礎的研究, 日本コンクリート工学

- 協会「透水・脱水によるコンクリートの品質改善に関するシンポジウム」委員会報告書・論文集, pp.315-320, 2004.9
- 9) 内山宏: C&C エンサイクロペディア 養生(3), セメント・コンクリート, No.520, pp.46-48, 1990
- 10) 土師秀人, 林寿夫, 田村富雄: 加圧脱水コンクリートの基礎物性, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.42, pp.588-589, 1987.9
- 11) 吉田克弥, 伊藤伸一郎, 弘中義昭: 高流動コンクリートの表面に発生する気泡の除去方法に関する実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.49, pp.344-345, 1994.
- 12) Somnuk Tangtermsirikul and Maekawa Kohichi: Modeling of the Quasi-static Behavior of Fresh Concrete, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.12, No.2, pp.813-818, 1990.
- 13) 神田亨, 青景平昌, 鎌田正孝: 加圧脱水を受けるフレッシュコンクリートの充填性, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.43, pp.352-353, 1988.10
- 14) 笹谷輝勝, 青景平昌, 神田亨: フレッシュコンクリートの加圧脱水特性, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.45, pp.776-777, 1990.9
- 15) 布谷一夫, 神山行男, 胡麻田博治: 加圧脱水コンクリートの打継ぎ目止水処理工法に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.47, pp.530-531, 1992.9
- 16) 佐藤文則, 出頭圭三, 渡部正, 原夏生: 直打ちライニング工法における加圧脱水コンクリートの品質特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.1, pp.639-644, 1989.7
- 17) 土質試験の基本と手引き, 地盤工学会, 2001
- 18) 竹内輝典, 寺西浩司: 骨材の実積率に及ぼす骨材粒度の影響に関する研究, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.42, pp.113-116, 2004.2
- 19) 坂本英輔, 畑中重光, 三島直生, 内藤理子: フレッシュモルタルおよびコンクリートの圧密挙動に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.1-6, 2007.6
- 20) 坂本英輔, 三島直生, 畑中重光: 圧密処理時のフレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリート内部の間隙水圧分布に関する実験的研究, 建築学会大会学術講演梗概集, pp.533-534, 2007.7

(2007年9月10日原稿受理, 2008年2月6日採用決定)