

論文 真空脱水処理を行ったコンクリートの内部強度分布とその要因分析

山本 景司*1・畑中 重光*2・和藤 浩*3・山口 武志*4

要旨：真空脱水処理を行ったコンクリート試験体の内部強度分布性状を支配する因子を明確にすることを目的として、試験体の空隙構造および水セメント比分布を調べ、圧縮強度分布との関係を検討した。その結果、真空脱水処理を行った試験体の圧縮強度分布は、ブリーディング水を吸引することによって生じる水セメント比の分布性状の変化および細孔構造の緻密化という2つの物理量の変化を分析することでほぼ説明できることが分かった。

キーワード：真空脱水処理, 圧縮強度分布, 細孔構造, 空隙構造, 水セメント比

1. はじめに

1.1 経緯と目的

コンクリート床スラブでは、ブリーディングにより、表面に不可避な弱化層が生じる。また、仕上工事では、その性能が下地材で決まってしまうことが少なくない。この問題を根本的に改善するために考案された施工方法として真空処理工法がある。筆者らは、従来の真空処理工法（以下、従来工法）の問題点を整理し、一般に軟練りコンクリートを使用する建築分野でも適用可能な新たな真空脱水締め固め工法（以下、提案工法）を提案した（図-1、図-2）。

筆者ら¹⁾は、これまでに提案工法の位置付けを明らかにするとともに、本工法の更なる改善を目標とする基礎的実験を行ってきた。強度レベルの異なるコンクリート床スラブで真空脱水処理を行った試験体を4層に分割して各層の圧縮強度分布を測定したところ、圧縮強度は下層から上層に行くに従って大きくなるという結果が得られている。

本報では、前報¹⁾で取り扱った真空脱水処理を行ったコンクリート試験体の強度発現性状を支配する因子を明確にすることを目的として、試験体の大径の空隙構造および水セメント比分布を調べ、圧縮強度分布との関係を検討した。

1.2 既往の研究

コンクリートの強度に影響する要因には、材料・調査・施工・試験方法などが挙げられるが、山本ら²⁾は組成の異なる3種類のセメントを用いて、水セ

メント比を変化させた時のセメントペーストの強度発現および空隙構造について考察している。それによると、若材齢で強度が低い時には、強度の空隙率依存性は非常に大きく、7.5nm から 7.5 μ m の細孔半径を持つ毛細管空隙量は、材齢を問わず、空隙率、強度と一定の関係を持つと報告している。また、長期養生したペースト硬化体のゲル空隙は、水セメント比に関係なく材齢の進行に伴い減少し、強度は毛細管空隙率および全空隙率に依存すると報告している。

神田ら³⁾は、厚さ18cmのスラブコンクリートの打込み後の断面各部における水セメント比の経時変

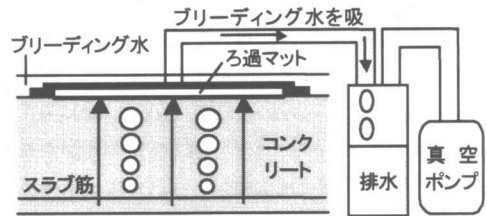


図-1 真空脱水締め固め工法の概

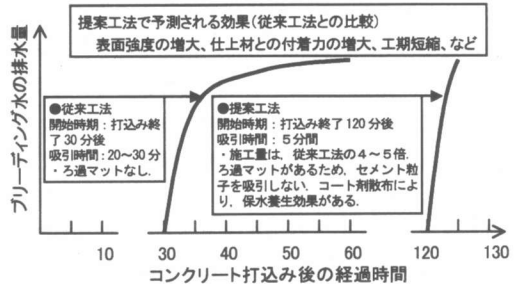


図-2 従来工法と提案工法的主要な比較

*1 株式会社 永楽開発 工修 (正会員)
 *2 三重大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)
 *3 三重大学技術官 工学部建築学科 (正会員)
 *4 山口技研

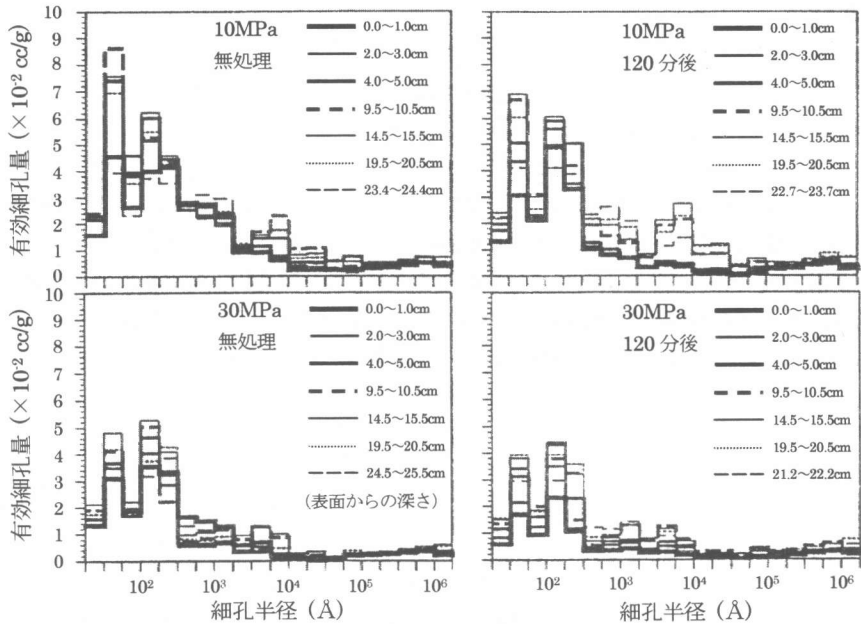


図-3 真空脱水締固め工法により施工されたコンクリートの細孔径分布（湯浅らによる）

化を調べ、練混ぜ直後の水セメント比に対して、その分布性状を考察した。その結果、上層部と下層部との間の水セメント比の差は、軟練りコンクリートの場合、約8%にも及ぶことが注目され、上層部と下層部では水セメント比にかなりの差異を生じた状態で、凝結・硬化の過程に移行すると述べている。

湯浅ら^{4) 5)}は、筆者らが真空脱水締固め工法により施工した強度レベルの異なる（10, 30, 40MPa）コンクリート床スラブにおける細孔構造の検討を行っている。図-3は、無処理および真空脱水処理を施したコンクリート床スラブの深さごとの細孔径分布を示したものである。無処理の試験体において、表層から深さ方向に細孔径分布の相違を見ると、表層に近い程、細孔径が大きな径に偏るとともに全体の細孔量は増大する。一方、処理を施した試験体においては、逆に表層に近い程、細孔量は小さな径に偏り、全体の細孔量は減少している。また、総有効細孔量の高さ分布および細孔構造による推定圧縮強度の高さ分布についても調べており、総有効細孔量は真空脱水処理を施したことにより減少する傾向が見られ、この傾向は、圧縮強度が小さい試験体ほど顕著である。真空脱水処理が及ぶ深さについても圧縮強度が小さい試験体ほど深いという結果になってい

る。さらに細孔構造による推定圧縮強度については、真空脱水処理による高さ方向の圧縮強度分布の特徴、すなわち表層ほど高強度になるという傾向を示す結果となった。しかしながら、真空脱水処理開始時期の違い（打設後30分と120分）による改善効果に明確な差異は見られなかったと報告されている。

2. 実験概要

2.1 使用材料および実験要因

コンクリートの材料および調査表を表-1、表-2に、実験要因を表-3に示す。圧縮強度分布の測定および大径空隙の測定に使用する試験体の目標圧縮強度（ F_c ）は、10, 20, 30, 40MPaとし、コンクリートの打設は練混ぜ直後に行った。真空脱水処理は、各強度レベルの試験体において打設後30分または120分に行い、無処理の試験体については、打設後120分にブリーディング水のみを真空ポンプで真空度を0に近い状態にして吸い取った。水セメント比の測定は、目標圧縮強度が20MPaの試験体についてのみ行った。

2.2 実験方法

(1) 大径の空隙測定

圧縮強度分布の測定を行った各強度レベルのコン

クリート試験体から、材齢 180 日の時点で $\phi 5\text{cm}$ のコア試験体を抜き取り、それをコンクリートカッターにて水平方向に 12 分割し (図-4)、カット面の比較的大きな空隙 (空隙径 1.0mm 以上) を目視によって測定した。なお、図-5 に示すように、空隙の測定において、空隙が楕円の場合、縦と横の長さの平均値をその空隙の直径として扱い、空隙面積は、その平均値を直径とする円の面積として算定した。

表-1 使用材料

使用材料	特性
セメント	普通ポルトランドセメント ($\rho=3.15$)
細骨材	町屋川産川砂：硬質砂岩 ($\rho=2.64$)
粗骨材	志摩産砕石：硬質砂岩、 $\phi_a=13\text{mm}$ ($\rho=2.68$)
混和剤	高性能 AE 減水剤

(注) ϕ_a ：最大寸法， ρ ：密度 (g/cm^3)

表-2 調合表

Fc (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)				SP (C×%)	SL (cm)
			W	C	S	G		
10	80	52	195	243	945	884	0.2	18
20	65	50	185	285	904	917	0.4	
30	55	49	180	327	874	924	0.5	
40	40	47	175	438	802	918	0.6	

(注) Fc：目標圧縮強度，W/C：水セメント比，s/a：細骨材率，SP：高性能 AE 減水剤，SL：設計スランブ

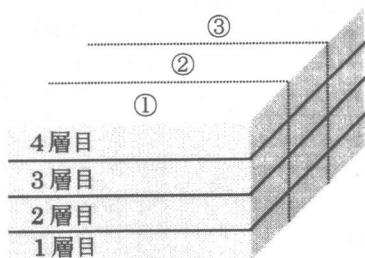


図-6 試料の採取位置

(2) 水セメント比の測定

目標圧縮強度 20MPa のコンクリート試験体について圧縮強度分布と対応する 4 層それぞれの水セメント比を測定した。なお試験体は、真空脱水処理開始時間がコンクリート打込み後 30 分と 120 分のもの、および無処理の 3 試験体とした。

水セメント比測定用試料の採取方法は、いずれの試験体についても、打設後 120 分に上層から 6cm ずつ 4 層に分け、それぞれから 5mm のふりいでウェットスクリーニングしてモルタルを採取し、これを測定用試料とした。なお、試料の採取は、それぞれの層から 3 箇所 (図-6 の①, ②, ③) に示す位置) とした。

測定方法⁶⁾は、あらかじめ 100°C で乾燥させて水分をとばした磁器器つぼ (容量 30ml)

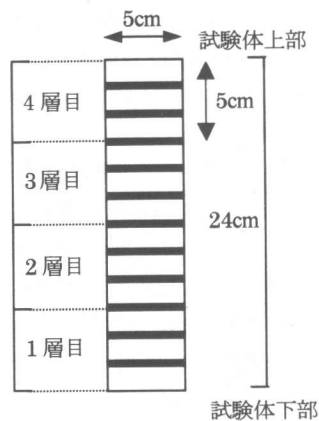


図-4 コア試験体の切断位置

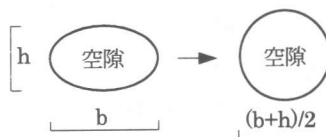


図-5 空隙測定における定義

表-3 実験要因

Fc (MPa)	スラブ 厚さ (cm)	SL (cm)	真空脱水			測定項目
			ろ過 マット	開始時間 (分後)	コート剤 散布	
10	24	18	使用	30	無	<ul style="list-style-type: none"> 空隙構造 (10,20,30,40MPa) 水セメント比分布 (20MPa) 圧縮強度分布 (材齢 28 日)
20				120		
30			無処理			
40			無処理			

に各層から採取した試料を詰め、質量 $W1$ (g) を測定する。その後、るつぼに詰めた試料を、乾燥機に入れ $100\sim 110^\circ\text{C}$ になるまで乾燥させてから、 500°C の乾燥機で質量が一定になるまで乾燥させ、質量 $W2$ (g) を測定する。試料は、 500°C で乾燥させることから、試料中の自由水および結合水までがなくなったものとする。試料を 2 度に分けて乾燥させるのは、急激な温度上昇により、るつぼがひび割れるのを防ぐためである。次に、試料中のセメントが塩酸と反応しやすくするために、試料をるつぼと一緒にハンマで粉々にし、それをピーカに入れ、300ml の水を加えて掻き混ぜながら塩酸 (1 級塩酸を水道水で容積比 1:1 の割合で薄めたもの) 500ml を加えて試料を溶かす。ピーカを約 20 分間加熱した後、プフナーろ斗に入れて水をかけながら吸引ろ過する。その後、試料を $105\sim 110^\circ\text{C}$ で一定質量になるまで乾燥し、こ

れを放冷した後、質量 $W3$ (g) を測定する。試料を塩酸と反応させることにより、セメントは塩酸により溶かされ、砂とるつぼのみが残ったものとする。セメントの強熱減量は、別にセメントを 500°C で乾燥させて求め ($\text{ig.loss} = 0.42\%$)、算出されるセメント量に加算し、かつ水量から差し引くことにより考慮した。これら一連のフローを図-7 に、計算式を以下に示す。

①強熱減量

$$C.\text{igloss} (g) = (W2 - W3) \times 0.0042$$

②水分量

$$W (g) = (W1 - W2) - C.\text{igloss}$$

③セメント分量

$$C (g) = (W2 - W3) + C.\text{igloss}$$

④水セメント比

$$W/C (\%) = W/C \times 100$$

3. 実験結果

図-8 に、比較のため、空隙測定に供したコンクリートコア試験体内部の圧縮強度分布を示す¹⁾。いずれの強度レベルの試験体において

も、無処理の場合は、最下層 (1 層目) より上層 (2~4 層目) にいくに従って圧縮強度は漸減していく。一方、真空脱水処理を行った試験体では、逆に上層にいくに従って圧縮強度は増加した。また、脱水時期の影響については、いずれの強度レベルの試験体においても、打設後 120 分に真空脱水処理を行った方が 30 分後に真空脱水処理を行ったものより、圧縮強度の値は大きくなった。

3.1 大径空隙

ここでは、空隙構造を把握するための基本的データとして 1mm 以上の大径空隙の総面積に着目する。それぞれの強度レベルの試験体について、図-9 には各層における空隙面積を示す。なお、圧縮強度分布と対応させるため、1 層分の空隙面積とは、図-4 に示すように試験片 3 つ分の空隙面積の総和を表す。

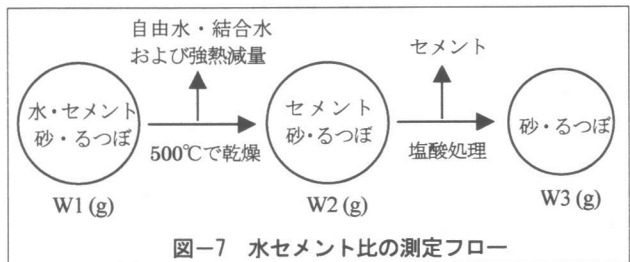


図-7 水セメント比の測定フロー

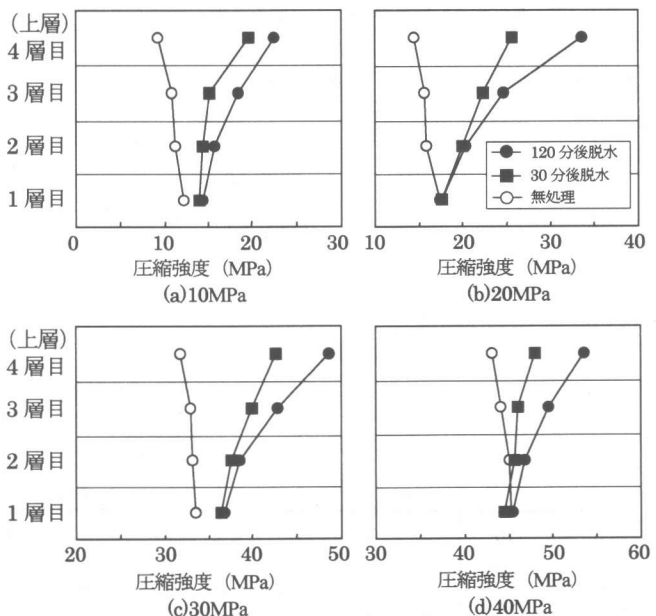


図-8 圧縮強度分布

(1) 10MPa 試験体

各層において、120 分後に真空脱水処理を行った試験体の空隙面積が最も小さくなっている。しかし、真空脱水処理を行った試験体では、下層から上層に行くに従って空隙面積が増加していく結果となり、その傾向は、圧縮強度分布とは対応していない。

(2) 20MPa 試験体

真空脱水処理を行うことにより、各層の空隙面積は無処理のもの比べて減少しているが、真空脱水処理を行った試験体の両者(30 分後脱水と 120 分後脱水)で比較すると、ほとんど差は見られない。

(3) 30MPa 試験体

真空脱水処理と無処理の試験体とでは明らかな差は見られない。

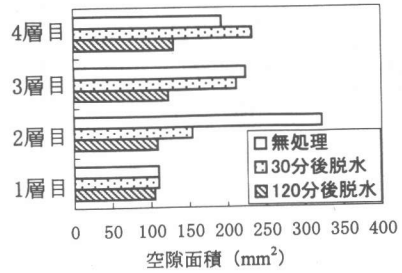
(4) 40MPa 試験体

全ての層において、打設後 30 分に真空脱水処理を行った試験体の空隙面積が最も小さい。一方、打設後 120 分に真空脱水処理を行った試験体は、無処理のものと差が見られない。

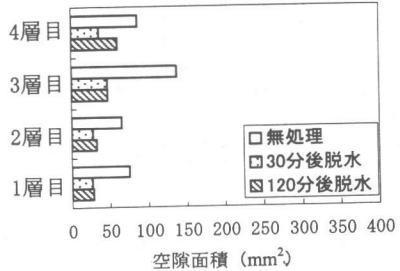
3.2 水セメント比

図-10 に、それぞれの試験体の各層における水セメント比の測定値を位置別で示した。無処理の試験体では、上層に行くに従って水セメント比が大きくなる傾向が見られる。それに対し、真空脱水処理を行った試験体では、測定位置の違いにより水セメント比に若干の差が見られるが、下層から上層に向けて値が小さくなっていく傾向はどの位置でも同様である。

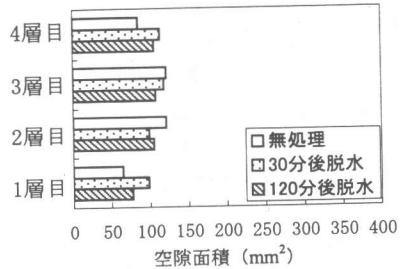
図-11 は、それぞれの試験体の各層における3つの測定位置での水セメント比の平均値を示したものである。無処理の試験体ではブリーディングの影響により下層から上層に行くに従って、水セメント比が増加していくのに対し、真空脱水処理を行った試験体では、下層から上層に行くに従って水セメント比が大幅に減少している。これは、各層の圧縮強度分布を示した図-8 と同様な傾向であり、最下層では、水セメント比においても無処理の試験体と真空脱水処理を行った試験体とでは差が見られなかった。すなわち、真空脱水処理の効果は、20MPa の試験体については、試験体表面から 18cm ぐらいの深さまで及ぶと考えられる。また、真空脱水処理を行った



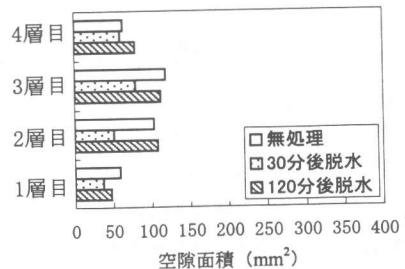
(a) 10MPa 試験体



(b) 20MPa 試験体



(c) 30MPa 試験体



(d) 40MPa 試験体

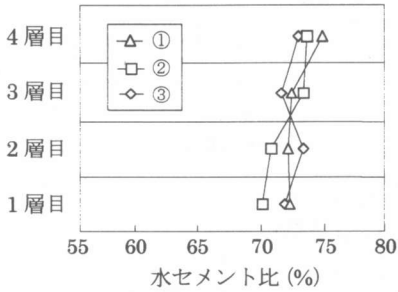
図-9 各層における空隙面積

試験体の両者を比較すると、それぞれの層における水セメント比に顕著な差は見られなかった。

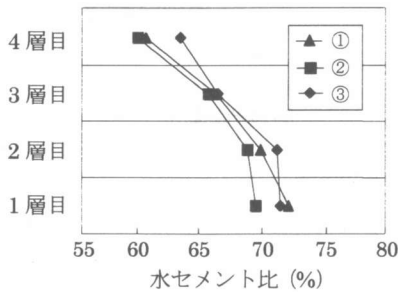
4. まとめ

真空脱水処理を行ったコンクリート床スラブ試験体の圧縮強度分布の発生原因を、空隙構造および水セメント比に着目して検討した結果を以下に示す。

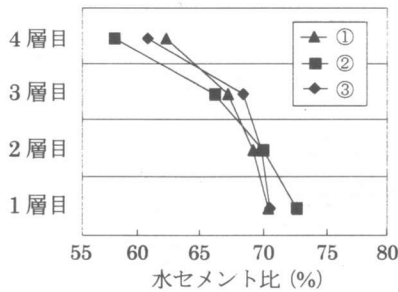
- (1) 真空脱水処理により、有効細孔量は減少し、表層に行くほど細孔構造は緻密化され、締固めの効果が得られるのに対し、大径の空隙構造については、一定の傾向が得られなかった。すな



(a) 無処理試験体



(b) 30分後脱水試験体



(c) 120分後脱水試験体

図-10 各位置における水セメント比

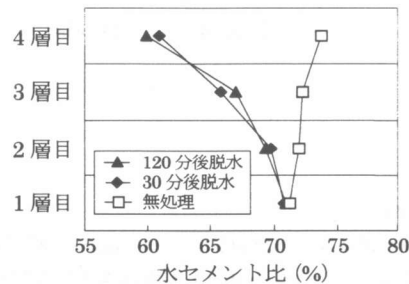


図-11 各試験体における各層の水セメント比

わち、真空脱水処理を施すことにより、自由水が吸引されるが、大径の空隙には明確な影響を及ぼさないと考えられる。

- (2) 試験体内部の水セメント比は、真空脱水処理により大幅に減少し、その傾向は、圧縮強度の分布性状と対応する。しかし、真空脱水処理開始時期の違いによる影響は確認できなかった。
- (3) 真空脱水処理を行った試験体の圧縮強度分布、すなわち上層部ほど強度が大きくなる主な理由として、ブリーディング水を吸引することによる水セメント比の低下、およびこれに起因する細孔構造の緻密化が考えられる。

謝辞

本実験に際し、ご協力を頂いた湯浅昇先生（日本大学）および湯浅幸久氏（三重県工業技術総合研究所）に謝意を表します。なお、本研究の一部は平成12年度三重大学教育改善推進費（学長裁量経費）萌芽研究重点経費によったことを付説する。

参考文献

- 1) 和藤浩, 村松昭夫, 山口武志, 畑中重光: 真空脱水締固め工法によるコンクリート床スラブの内部強度分布の改善, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.1321-1326, 2000.
- 2) 山本昌彦, 高橋俊之, 後藤誠史: 強度発現に及ぼすセメントの組成と水セメント比の影響, 第48回セメント技術大会講演集, pp.260-265, 1994.
- 3) 神田衛, 吉田八郎, : コンクリート打込み後のスラブ断面における水セメント比の分布性状, セメント・コンクリート, No.322, pp.8-12, 1974.
- 4) 石上康史, 湯浅昇, 松井勇, 畑中重光, 和藤浩, 村松昭夫, 山口武志: 真空脱水締固め工法により施工したコンクリート床スラブの改善—細孔構造からの検討—, 日本大学生産工学部第33回学術講演会梗概, 2000.
- 5) 山本景司, 村松昭夫, 山口武志, 和藤浩, 湯浅昇, 畑中重光: 真空脱水締固め工法を行った建築床スラブコンクリートの強度分布性状と空隙構造の関係, 日本建築学会東海支部研究報告集, pp.77-80, 2001.
- 6) 全生工組連試験方法: スラッジ固形分中の砂分含有率試験方法, ZKT-103 (1980).