

# 論文 真空脱水処理過程におけるモルタルおよびコンクリート中の空気泡の挙動

坂本 英輔<sup>\*1</sup>・畑中 重光<sup>\*2</sup>・服部 宏己<sup>\*3</sup>・三島 直生<sup>\*4</sup>

**要旨**：前報で提案した脱水過程における空気泡の挙動予測の妥当性を検証するため、真空脱水処理過程におけるモルタルおよびコンクリートの間隙水圧の測定と表層部における空隙の発生条件について検討を行った。その結果、真空脱水処理時のモルタルおよびコンクリート中の間隙水圧は負圧となり、上層ほど、また処理継続時間が長くなるほど間隙水圧が低下することが明らかになった。また、いずれの試料においても、真空脱水処理を長時間継続することにより表層部の空隙が増加する傾向が得られ、空気泡の挙動予測の妥当性が確認された。本実験の範囲では、コンクリートを用いた場合、現場で適用されている処理継続時間 5min 間という条件での空隙量は、無処理と同程度となった。

**キーワード**：真空脱水処理、空隙、空気泡、可視化実験、コンクリート、モルタル

## 1. はじめに

筆者らは、軟練りコンクリートにも適用可能な真空脱水処理工法の提案および同工法の改善を目的として、諸要因を変化させたときの脱水率、表層硬度および内部圧縮強度分布等に関する検討を行ってきた<sup>1)</sup>。真空脱水処理工法とは、ブリーディング水を含むコンクリートの余剰水を、真空ポンプを使って強制的に脱水し、コンクリートを緻密化する工法である。真空脱水工法で得られるコンクリートは、表層強度および耐久性をはじめとする各種品質が飛躍的に改善されることが既に報告されている<sup>2)</sup>。本研究では、土質工学の分野で扱われている圧密理論<sup>3)</sup>を応用して、同工法にお

ける脱水過程および圧縮強度分布の発生メカニズムを定量的に明らかにすることを目的としている。

前報<sup>4)</sup>では、真空脱水処理を行ったコンクリートの品質改善効果に及ぼす空気泡の挙動を明らかにするため、脱水過程における空気泡の挙動予測および可視化材料を用いた模擬実験による

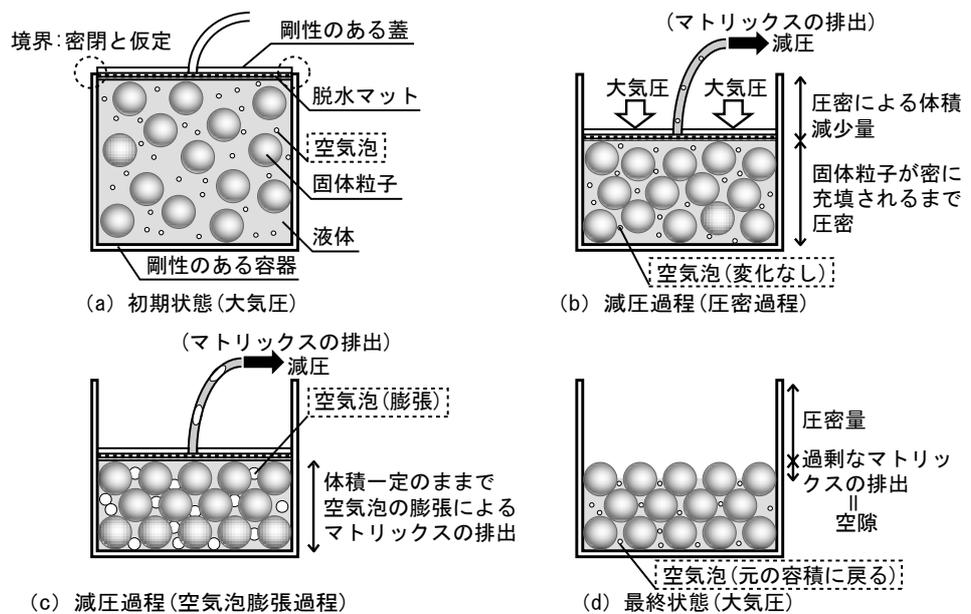


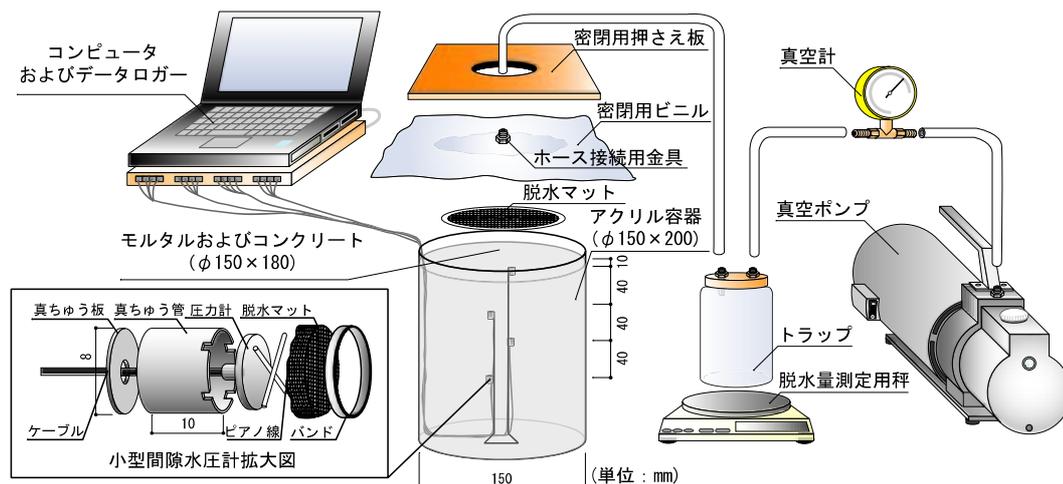
図-1 真空脱水処理過程における空気泡の挙動(予測図)

\*1 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

\*2 三重大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

\*3 東急建設 (株) 名古屋支店 工修 (正会員)

\*4 三重大学 工学部建築学科助手 博士 (工学) (正会員)



図－2 間隙水圧測定装置の概要

検証を行った。その結果、真空脱水処理における脱水過程は、図－1に示すように、大気圧によって固体粒子が密に充填されるまで圧密・脱水（圧密過程）され、その後、さらに処理を継続すると、間隙水が減圧されて内部の空気泡が膨張（空気泡膨張過程）することで脱水が継続されるという過程をたどることが示された。また、空気泡膨張過程が起こる場合には、真空脱水処理によって試料内部に空隙が増加する可能性があることが示された。

本報では、脱水過程における空気泡の挙動予測の妥当性を検証するため、実際のモルタルおよびコンクリート中における間隙水圧の測定を行い、次いで、試料表層の空隙の発生条件について検討を行う。

## 2. 間隙水圧の測定

脱水過程における空気泡の挙動予測は、真空脱水処理時の間隙水圧に負圧が発生することが前提である。そこで、真空脱水処理過程におけるモルタルおよびコンクリート内部の間隙水圧の測定を行った。

### 2.1 実験要因

表－1および表－2に、実験要因および調査表を示す。

### 2.2 実験装置および測定方法

図－2に実験装置の概要を示す。図－2中の

表－1 実験要因

要因	水準
試料	モルタル, コンクリート
処理開始時期	打設直後, ブリーディングほぼ終了時

表－2 調査表

#### (a) モルタル

W/C (%)	s/m (%)	単位質量(kg/m <sup>3</sup> )			AE/C (%)	Air (%)
		W	C	S		
60	55	271	451	1311	0.2	8.0

[註] W/C:水セメント比, s/m:砂の容積/モルタルの容積, C:セメント, S:細骨材, AE:空気連行剤, Air:空気量

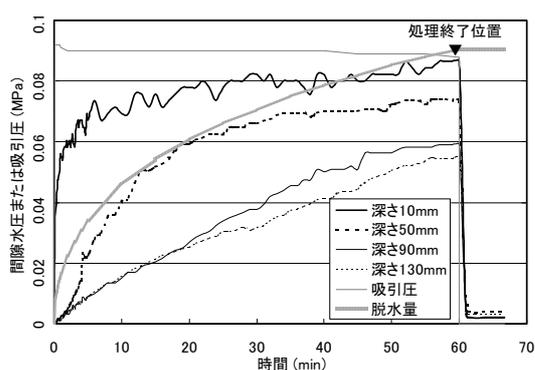
#### (b) コンクリート

W*/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m <sup>3</sup> )				SP/C (%)	AE/C (%)	Air (%)
		W*	C	S	G			
65	56	185	285	993	801	0.7	0.03	4.0

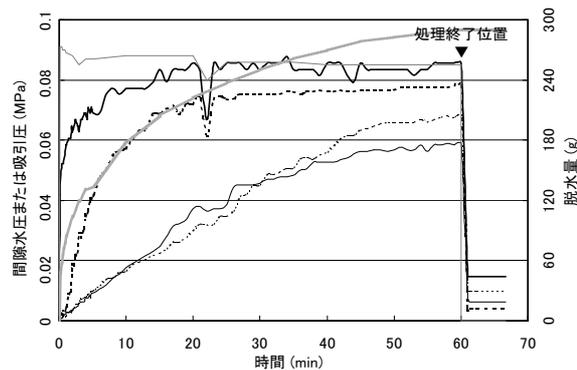
[註] W\*/C:水セメント比[W\*{水+高性能AE減水剤(SP)}], s/a:細骨材率, C:セメント, S:細骨材, G:粗骨材, AE:空気連行剤, Air:空気量

拡大図に示した小型間隙水圧計は、筆者らの作製したものである。なお、別に行った密閉容器を用いた間隙水圧の測定により、間隙水圧の値が信頼し得るものであることを確認している<sup>5)</sup>。

実験では、図－2に示すようなφ150mmの亚克力容器に試料を高さ180mmまで入れ、上部を押さえ板で密閉した状態で真空脱水処理を60min間行った。真空脱水処理の開始時期である「ブリーディングほぼ終了時」は、φ150mmのプラスチック容器に試料を高さ180mmまで入れて行ったブリーディング試験から判断し、モルタルおよびコンクリートともに打設後120minであった。

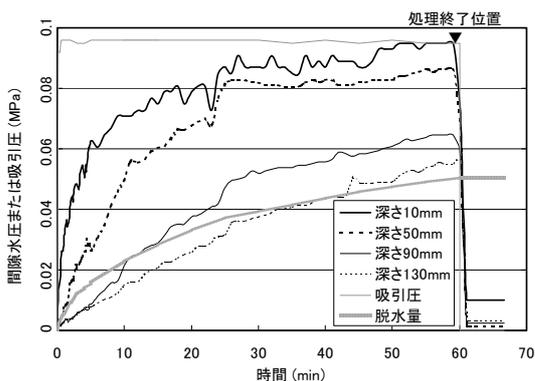


(a) 打設直後

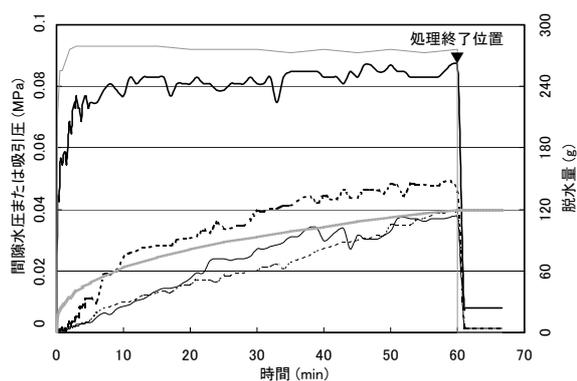


(b) ブリーディングほぼ終了時

図-3 モルタルの間隙水圧の時刻歴



(a) 打設直後



(b) ブリーディングほぼ終了時

図-4 コンクリートの間隙水圧の時刻歴

間隙水圧計は、深さ 10mm, 50mm, 90mm および 130mm の位置に、ピアノ線で作製した骨組みで固定し、試料内に埋設した。測定項目は、真空ポンプによる吸引圧、脱水量の時刻歴および試料内部の間隙水圧とした。

## 2.3 実験結果および考察

### (1) 間隙水圧および吸引圧の時刻歴

図-3 および図-4 に、モルタルとコンクリートの間隙水圧、吸引圧および脱水量の時刻歴を示す。間隙水圧および吸引圧は、負圧を正としている。

同図から、モルタルおよびコンクリートでは、間隙水圧の挙動に大きな差はないことが分かる。

深さ 10mm の位置における間隙水圧は、試料に関わらず、ブリーディングほぼ終了時に真空脱水処理を行うと、約 15min 程度で収束するのに対し、打設直後では、処理終了まで緩やかに上昇していることが分かる。また、深さ 90mm および 130mm における間隙水圧は、60min 経過しても上昇傾向を示していることが分かる。

脱水量は、試料に関わらず、処理開始から徐々に勾配が小さくなるのが分かる。

### (2) 間隙水圧分布の時刻歴

図-5 および図-6 に、それぞれブリーディングほぼ終了時に真空脱水処理を行った場合のモルタルおよびコンクリートの間隙水圧分布の時刻歴を示す。ここで、深さ 0mm の値は吸引圧としている。同図より、試料に関わらず各時刻における間隙水圧は、上層ほど大きくなるのが分かる。また、処理継続時間が長くなるに従って、間隙水圧の増加が下層部分を中心に進行することが分かる。

以上のことから、実際のモルタルおよびコンクリートでも、空気泡の挙動予測における空気泡膨張過程が起こり、上層ほど、また処理継続時間が長くなるほど、間隙水圧が低下し、膨張量が増加することが予想される。

### (3) 空気泡の膨張量の概算

表-3 は、ブリーディングほぼ終了時に真空脱水処理を行った場合のコンクリートの間隙水

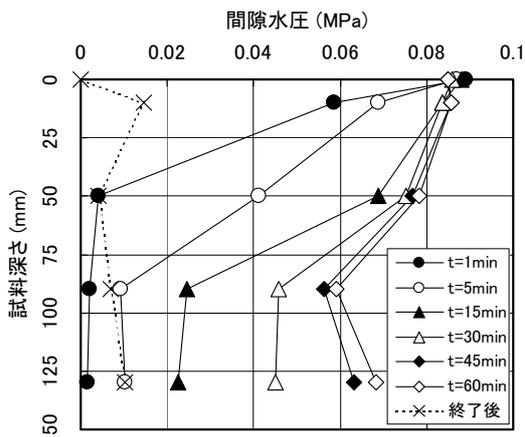


図-5 モルタルの間隙水圧分布の時刻歴  
(ブリーディングほぼ終了時)

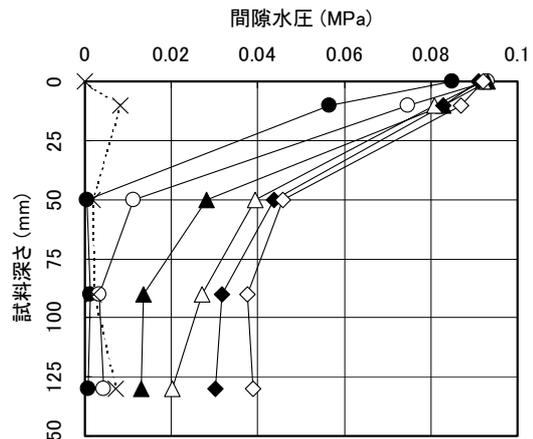


図-6 コンクリートの間隙水圧分布の時刻歴  
(ブリーディングほぼ終了時)

圧分布 (図-4 (b)) に基づき、真空脱水処理過程における空気泡の変化量を概算した結果を示している。概算には、ボイルの法則を用いた。

同図から、上層ほど空気泡の体積は大きくなり、最大で 14.3 倍となっていることが分かる。間隙水圧が大気圧状態になる脱水終了後では、膨張していた空気泡は収縮して元の大きさに戻ることが分かる。しかし、負圧の大きな表層部では、処理終了後に間隙水圧が大気圧状態となっても、膨張した空気泡に外気が流入して空隙が発生する可能性がある。これについては、3 章で検討する。

また、図-5、6 の脱水終了後に注目すると多少の負圧が保持されていることが分かる。これは、間隙水圧計周辺のもルタルが脱水により圧力が開放されないほど締固められたためと考えられる。この場合、負圧の値に応じて空気泡は膨張したままとなり、硬化後に空隙となる可能性がある。

ここで、処理終了後に残存する間隙水圧によって空隙が発生すると仮定した場合の圧縮強度の減少率を概算する。なお、空気量が 1%増加すると、圧縮強度が 5%減少<sup>9)</sup>すると仮定した。表-3 から、処理終了後の空気泡の体積が大気圧状態の 1.09 倍の状態と考えると、空気量が 4%のコンクリートにおける圧縮強度の減少率は 1.8%であった。このことから、残存した負の間隙水圧による空気泡

表-3 脱水処理過程における空気泡の膨張量の概算 (図-4 (b) 参照)

試験体深さ (mm)	処理継続時間 (min)							
	0	1	5	15	30	45	60	終了
0	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.00	6.67	14.29	14.29	12.50	11.11	12.50	1.00
10	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.00	2.30	3.96	5.83	5.22	5.83	7.63	1.09
50	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.00	1.01	1.13	1.39	1.65	1.78	1.84	1.02
90	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.00	1.01	1.03	1.16	1.37	1.46	1.60	1.02
130	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.00	1.01	1.05	1.15	1.25	1.43	1.63	1.08

[註] 上段: 大気状態の空気泡 (○) を基準とした時の球の断面積  
下段: 大気状態の空気泡の体積を 1 とした時の比率

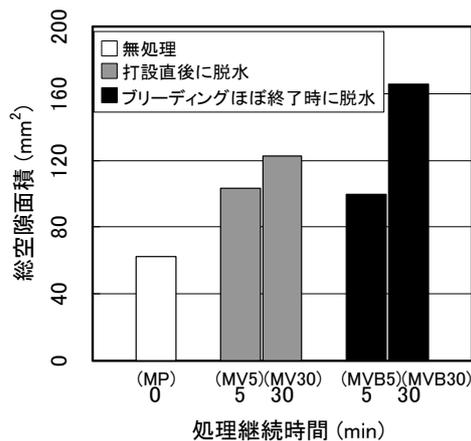
表-4 実験要因

要因	水準
試料	モルタル, コンクリート
処理開始時期	打設直後, ブリーディングほぼ終了時
処理継続時間 (min)	5, 30

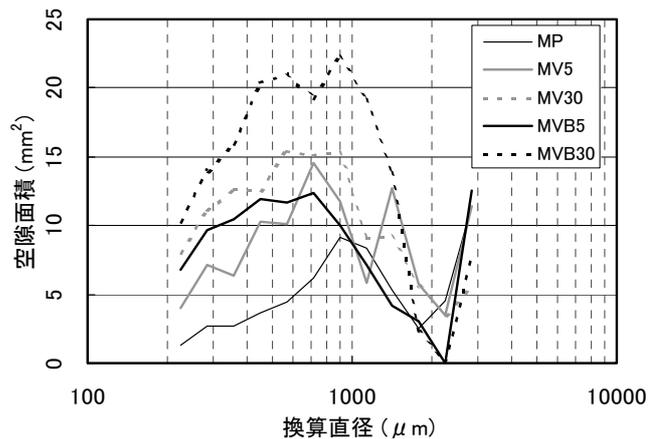
の膨張に応じて生じる圧縮強度の減少率小さく、無視できるものと考えられる。

### 3. モルタルおよびコンクリートの空隙発生条件に関する実験

前章の間隙水圧の測定結果から、試料上層では、間隙水圧が最も大きく、早く圧密過程が終了するため、脱水過程における空気泡の挙動予測が妥当であれば、処理継続時間が長くなると空隙が増加する可能性がある。そこで、本章では、実際のモルタルおよびコンクリートを用いて、表層部の空隙の発生条件について検討する。

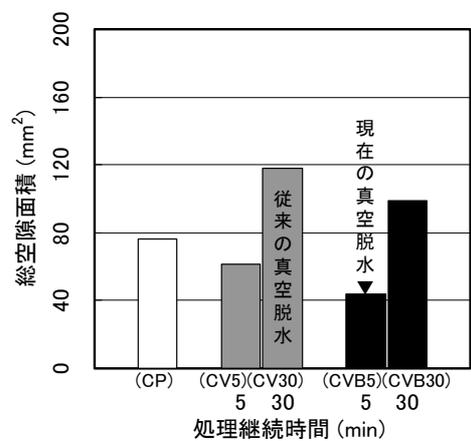


(a) 総空隙面積

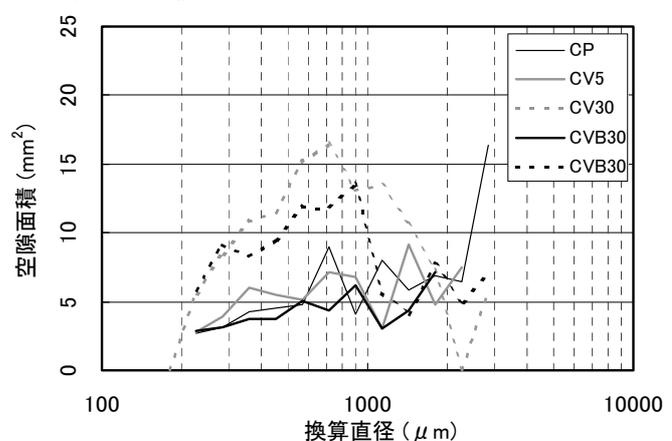


(b) 空隙の粒径分布

図-7 モルタルにおける空隙の総面積および粒径分布



(a) 総空隙面積



(b) 空隙の粒径分布

図-8 コンクリートにおける空隙の総面積および粒径分布

### 3.1 実験要因

表-4に、実験要因を示す。処理継続時間：5min 間、処理開始時期：ブリーディングほぼ終了時、という条件は現場を想定している。調査表は、表-1と同様である。

### 3.2 実験装置および測定方法

実験装置は、図-2に示した真空脱水装置を用い、φ100×200mmの型枠を使用した。試験体寸法は、φ100×190mmとした。

試験体は、材齢1日で脱型し、その後、研磨可能な強度が発現するまで水中養生した。水中養生期間は、18~22日であった。養生終了後、試験体の上面(試験面)を研磨機で3mm程度研磨し、さらに、#180の耐水ペーパーで研磨した後に、研磨面にせっこうを塗布した。せっこうの硬化後、塗布表面を#180の耐水ペーパーで研磨して試験面を仕上げた。次に、試験面の画像をス

キャナで取り込み、試験面中央の35×35mmをデジタル画像計測・解析ソフトを用いて2値化し、空隙の面積を自動計測させた。空隙面積の計測範囲は0.037mm²以上とし、それ以下のデータは除外した。試験体のナンバリングは、試料(M:モルタル, C:コンクリート)、処理方法(P:無処理, V:真空脱水処理)、処理開始時期(打設直後, B:ブリーディング終了ほぼ終了時)、処理継続時間(5:5min, 30:30min)である。

### 3.3 実験結果および考察

図-7(a), (b)に、深さ3mmにおけるモルタル断面の空隙の総面積および粒径分布を示す。同図(a)から、真空脱水処理を行うと、無処理(MP)に比べて空隙が増加し、その増加量は、処理継続時間を30minと長くしたMV30およびMVB30の方が大きくなる傾向がある。処理開始時期が空隙の発生に及ぼす影響は明確な傾向が見

られない。同図 (b) からは、真空脱水処理を行うと、処理継続時間に関わらず、換算直径 300～1000  $\mu\text{m}$  程度の空隙が増加することがわかる。

図-8 (a), (b) に、深さ 3mm におけるコンクリート断面の空隙の総面積および粒径分布を示す。同図 (a) からは、モルタルと異なり、処理継続時間が 5min である CV5 および CVB5 は無処理 (CP) に比べて空隙が減少し、反対に、処理継続時間を 30min と長くした CV30 および CVB30 の場合には空隙が増加する傾向がみられる。同図 (b) からは、CV30 および CVB30 は、モルタルと同様に直径 300～1000  $\mu\text{m}$  程度の空隙が増加することがわかる。

以上の結果から、モルタルとコンクリートの傾向の違いについては、試料ごとに圧密の終了する時間が異なり、モルタルの方が圧密の完了する時間が短かったために、5min 間のうちに空気泡の膨張過程にまで至ったと考えられる。これに対して、コンクリートでは圧密終了が 5min 前後であったために、締固め効果により空隙が減少したものと考えられる。

また、いずれの試料においても、真空脱水処理を長時間継続することにより、表層部の空隙が増加する傾向は共通して得られており、前報で提案した脱水過程における空気泡の挙動予測が妥当であることが確認された。

#### 4. まとめ

本実験の結果をまとめれば、以下のようになる。

- 1) 真空脱水処理時のモルタルおよびコンクリート中の間隙水圧は、負圧となり、上層ほどその値は大きくなる。
- 2) 処理継続時間を長くすると、間隙水圧の増加が下層部で進行する。
- 3) 残存した負の間隙水圧による空気泡の膨張に応じて生じる圧縮強度の減少率は小さく (約 1.8%)、無視できる。
- 4) 実際のモルタルおよびコンクリートを用いて、長時間 (本実験では 30min 間) の真空脱水処理を行うと、表層部において直径 300～1000  $\mu\text{m}$

程度の空隙が増加する傾向がある。

- 5) 前報で提案した脱水過程における空気泡の挙動予測の妥当性が確認された。

以上の結果から、コンクリートを試料とした場合には、現在、現場で採用されている真空脱水処理の条件 (処理継続時間: 5min 間, 処理開始時期: ブリーディングほぼ終了時) では空隙の増加は見られなかったが、処理継続時間をさらに延長することにより、表層部の空隙が増加することが予想される。このため、実施に際して、空隙の増加を抑制するためには、なるべく短時間で効率よく真空脱水処理を行うよう注意する必要がある。

#### 謝辞

本研究費の一部は、平成 16 年度日本学術振興会科学研究費補助金・基盤 B (研究代表者: 畑中重光) によった。本実験に際し、三重大学学生の増田卓也君、張民秀君、出口純平君に感謝します。

#### 参考文献

- 1) 畑中重光ほか: 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) 例えば畑中重光ほか: 真空脱水処理したコンクリートの中酸化特性に関する実験的研究, セメント・コンクリート論文集, No. 57, pp. 349-354, 2004. 2
- 3) 三笠正人: 軟弱粘土の圧密, 鹿島出版会, 1963
- 4) 坂本英輔ほか: 真空脱水処理過程におけるコンクリート中の空気泡の挙動に関する可視化実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, pp. 1233-1238, 2004. 7
- 5) 服部宏己ほか: 真空脱水処理時におけるモルタルおよびコンクリート内部の間隙水圧分布に関する実験的研究 (その 1. 実験概要), 2004 年度大会 (北海道) 学術講演梗概集, A-1 材料施工, pp. 245-248, 2004. 8
- 6) 小林一輔: コンクリート工学, 森北出版株式会社, p. 65, 1992