# 論文 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

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: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影響を明らかにする ことを目的として,モルタルおよびコンクリートを想定した透明なモデル材料を用いて可視化実 験を行った。その結果,真空脱水処理時には,試料は大気圧により固体粒子の実積率まで圧密・ 脱水され,その後,さらに処理を継続すると間隙水が減圧され,内部の空気泡が膨張することで, 排水が継続されるという過程をたどることが示された。この結果は,真空脱水処理継続時間を長 くしすぎると,過剰な排水によってコンクリート内部に空隙が増加する可能性があることを示し ている。

キーワード:真空脱水処理,空隙,空気泡,可視化実験,可視化モデル,実積率

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>。しかし、真空脱水処理工 法をより効果的なものとするには、その脱水過 程および圧縮強度分布の発生メカニズムを解明 することが不可欠であると思われる。

本研究では,真空脱水コンクリートの脱水過 程は,大気圧による圧密現象で説明できると仮 定し,土質工学の分野で扱われている圧密理論<sup>2)</sup> を応用して前記の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。

図-1に示すように, 圧密による脱水と真空 脱水の応力状態は, 脱水終了時の有効応力が両 者とも同じ値となることから, 真空脱水の脱水 過程は, 圧密理論によって推定可能であると推 測している<sup>3)</sup>。しかし, 図-1中の間隙水圧に注 目すると, 圧密脱水と真空脱水では大きく異な り, 真空脱水時には負圧が発生していると考え られる。この間隙水圧の違いによるコンクリー



\*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 真空脱水処理における空気泡の挙動の予想図

ト中に存在する空気泡の挙動の違いが, 圧密脱 水と真空脱水で得られるコンクリートの品質の 違いに影響している可能性がある。

既往の研究によれば、コンクリート締固め後 に真空度 90%、処理時間 15 分という条件下で行 われた真空脱水処理後のコンクリートの容積は 脱水量ほど減少せず、コンクリート中に空隙が 増加するという報告もある<sup>4),5)</sup>。

しかし,空気泡の挙動を実際のコンクリート 中で直接観察することは不可能である。本研究 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影響を明らかにす ることを目的とする。ここでは,透明なモデル 材料を用いて行った可視化実験の結果について 報告する。

#### 2. 真空脱水処理時の空気泡の挙動

ー般に、一定温度において、一定量の気体の 体積は、式(1)に示すような圧力に反比例すると いうボイルの法則が成立する。

$$PV = constant$$
 (1)  
ここに、P:気体の体積(cm<sup>3</sup>),

V:気体の圧力(MPa)



図-3 実験装置の概要

この仮定に基づいて,以下に真空脱水処理時 の空気泡の挙動に関する考察を加える。

図-2に、コンクリートを気体・液体・固体 の3相にモデル化して、真空脱水処理過程にお ける空気泡の挙動の予想図を示す。

図-2(a)には気体・液体の2相モデル材料(マ トリックス)が剛性のある容器に充填された場 合を示す。まず,真空処理が開始された直後に 間隙水圧は減少し,内包された空気泡は膨張す るために,その体積膨張分のマトリックスはホ -スより排出される。この時の排出量は真空度 および内包される空気泡の量により変化する。 その後,真空処理を終了し,圧力を大気圧に戻 したときには,膨張していた空気泡が初期の大 きさに収縮し,容器内に残されたマトリックス 全体の容積が減少する。

上記の現象を考慮して, 骨材粒子の影響まで 含めて, 実際の真空脱水処理に近い状態をモデ ル化したものを図-2(b)に示す。境界条件は, 次のように仮定する。すなわち, 側面および底 面は剛性のある容器とし, 上面は固体粒子を通

表-1 実験条件

可視化モデル	気・液2相モデル材料	
材料	気・液・固3相モデル材料	
実験方法	条件 A :	
	剛性のある容器内で密閉して減圧	
	条件 B(真空脱水処理):	
	試料上面のみ可動して減圧	

表-2 使用材料

種類	材料	
気相	空気	
液相	コンクリート用増粘剤 ,水 , NaOH	
固相	セラミック骨材	
	(直径 25mm,密度 2.60g/cm³)	
	ナイロン骨材	
	(直径 19mm,密度 1.14g/cm³)	

表-3 液相モデル材料の調合

水(g)	増粘剤(g)	NaOH (g)
1000	15	適量



(a) 処理時間:0s 真空度 :0% (初期状態)

(b) 処理時間:5s (c) 処理時間:30s 真空度 真空度 :96% :96% (空気泡膨張過程) (空気泡膨張過程) 図-5 気・液・固3相モデル(条件 A)

(d) 処理時間:70s 真空度

:0% (最終状態)

さない処理マットと剛性のある蓋をかぶせ、蓋 についているホースにより減圧することでマト リックスが排出される。処理マットと蓋は上下 方向には自由にスライドするものとし、蓋と容 器側面は気密とした。

初期状態では,固体粒子がマトリックス中に 浮いた状態となっている。この状態で真空脱水 処理を行うと,大気圧による圧密効果で固体粒 子相が圧密され, 圧密された分だけマトリック スが排出される。試料の圧密は固体粒子が実積 率となるまで継続した後に終了する。

圧密終了後も真空脱水処理を継続すると, 試 料全体としての体積は変化しないため、図-2 (a)の過程と同様な現象が起こる。最終状態では, 図-2(b)(iii)の過程で排出されたマトリック ス分だけ固体粒子間に空隙が発生する。

#### 3. 実験概要

### 3.1 実験条件

本実験の実験条件を表-1に示す。ここで, 条件 A とは、剛性のある容積一定の密閉容器内 で減圧を行うことであり、図-2(a)の条件に相 当する。条件 B とは、通常の真空脱水処理を再 現したものであり試料上面が上下に可動し、減 圧することで試料が圧密される。図-2では, (b)の条件に相当する。

# 3.2 実験装置および測定方法

図-3に実験装置の概要を示す。試料を容器 に充填した後, 直ちに真空ポンプを用いて試料 容器内の減圧を開始した。なお,条件 A には, ガラス瓶 (φ88×H175mm) を,条件 B (真空脱 水処理)には、ガラス水槽(H94×48×98mm) をそれぞれ用いた。

測定は,各処理時の試料および真空計の様子



(a) 処理時間:0s 真空度 :0% (初期状態)



(b) 処理時間:30s :75% 真空度 <sub>逞)</sub> (圧密過程) 気・液 2 相モデル(条件 B) (圧密過程) - 6 义



(c) 処理時間:60s

:78%

真空度



(d) 処理時間:120s 真空度 :0% (最終状態)



(a) 処理時間:0s 真空度 :0% (初期状態)



(b) 処理時間:60s (c) 処理時間:150s 真空度 :82% 直空度 :94% (圧密過程) (空気泡膨張過程) 図-7 気・液・固3相モデル(条件B)



(d) 処理時間:180s 真空度 :0% (最終状態)

をビデオカメラで撮影した。

# 3.3 可視化モデル材料

本実験に使用したモデル材料およびその調合 をそれぞれ表-2および表-3に示す。気・液2 相モデル材料は、液相中に空気泡を保持させる 粘性を得るために、コンクリート用のセルロー ス系増粘剤の水溶液に適量の NaOH 水溶液をア ルカリ性付与剤として添加して作製した(表一 3参照)。空気量は、0.1%であった。気・液・固 3相モデル材料は、2相モデル材料に単粒度球形 粒子を混入したものである。

#### 4. 実験結果

# 4.1 条件 A に関する実験

図-4(a)~(d)は、気・液2相モデルにおけ る条件 A の様子を時系列で示したものである。 図-4(a)~(c)より,時間が経つにつれて,気・ 液2相モデル中の空気泡の体積が膨張し、それ にともない液面および空気泡が上昇する様子が 分かる。また, 図-4(a)および(d)の段階の比 較からは,減圧を終了し、大気圧に戻すと初期 状態の空気泡の径へと収縮していく様子が観察 された。

図-5(a)~(d)は、固体粒子に密度の大きな セラミック骨材を用いた気・液・固3 相モデル における条件 A の様子であり, 固体粒子が実積 率の状態で動かない場合のマトリックスの挙動 を想定している。空気泡の挙動は、気・液2相 モデルと同様であるが, 図-5(b)の段階におい て, 膨張した空気泡が骨材間を縫って上昇して いく様子が観察された。

# 4.2 条件 B に 関する 実験

図-6(a)~(d)は、気・液2相モデルにおけ る条件 B (真空脱水処理)の様子を時系列で示 したものである。図-6(a)~(d)より、マトリ ックス中の空気泡の径は初期状態と変化するこ となく、マトリックスが吸引され液面が徐々に 下降する様子が分かる。これは,条件 A の場合 には水圧が減圧されるのに対し,条件 B (真空 脱水処理)では、大気圧により試料上面が加圧 されマトリックスの排出が起こるため,水圧は 大きく変化しないことによる。

図-7(a)~(d)は、固体粒子に軽量のナイロ ン骨材を用いた気・液・固3相モデルにおける 条件 B (真空脱水処理)の様子を時系列で示し たものである。図-7(a)および(b)より,マト リックス中の空気泡は初期状態と変化すること なくマトリックスが吸引され、固体粒子が締め 固められながら徐々に圧密される様子が分かる。 図-7(c)の固体粒子が実積率に至った状態以 後は、マトリックス中の空気泡が膨張する様子 が観察された。これは、固体粒子のブリッジン グにより条件 A と同様な条件となったためと考 えられる。図-7(a)および(d)の段階の比較か らは,真空脱水処理を終了し大気圧に戻すと, 空気泡は初期状態の直径へと収縮し、液面が固 体粒子最高点に比べて下降している様子が観察 された。

### 5. まとめ

可視化モデル材料を用いて,真空脱水処理時 の空気泡の挙動を把握するための実験を行った。 その結果,本研究で予測した真空脱水処理時の 気泡の挙動は,概ね正しいことが確認された。 すなわち,真空脱水処理では以下のような過程 で脱水が行われる。

- (1) 大気圧により固体粒子の実積率まで圧密 される。
- (2) 圧密の終了後に真空脱水処理を継続する と、マトリックス内部の気泡の膨張により 更にマトリックスが排出される。

また,上記 (2)のような現象が起こった場合に は,真空脱水処理によってコンクリート内部に 空隙が増加する可能性がある。

ただし、本実験結果はあくまで真空脱水処理 過程における空気泡の挙動解明を目的としたモ デル実験であり、構成材料の密度・粘性など、 対応性が充分に考慮されていない要因もあり、 実際のモルタルおよびコンクリート中における 挙動を定量的に表現するものではない。

今後,実際のモルタルおよびコンクリートを 用いて空気泡が密度および圧縮強度にどのよう に影響するかを明らかにする必要がある。

#### 謝辞

本研究は、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研 究委員会」(委員長:畑中重光)の一環として行 われたものである。本研究費の一部は、2002 年 度セメント協会研究奨励金(代表:三島直生) によった。本実験に際して宮本太郎君(三重大 学学生)の助力を得た。付記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 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) 三笠正人: 軟弱粘土の圧密, 鹿島出版会, 1963
- 3) 服部宏己、畑中重光、三島直生、和藤浩: 圧密理論を適用したモルタルの脱水メカニ ズムに関する基礎的研究、コンクリート工 学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.881-886, 2003
- 4) 中沢隆雄,津山繁昭,谷川和夫,黒崎達雄: 真空処理がコンクリートの強度に及ぼす影
   響,セメント・コンクリート論文集, No.44, pp.342-347, 1990
- 5) 陳滄耀,和美廣喜,柿崎正義:真空コンク リート工法による床スラブの施工性に関す る研究,日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東),pp.383-384,1979.9