# 論文 可視化手法に基づく透水・脱水コンクリート中の自由水の挙動評価 に関する実験的研究

犬飼 利嗣\*1・畑中 重光\*2・三島 直生\*3・張 珉秀\*4

要旨:筆者らはこれまでに、モルタルやコンクリートのブリーディング挙動を解明するこ とを目的として研究を進めてきた。その結果、自由水の挙動は、水みちの形成状態によっ て大きく異なることを示した。本研究では、透水型枠工法、加圧脱水工法、および真空脱 水工法によってモルタルやコンクリートの外部に排出される自由水の挙動を解明すること を目的として、前報に引き続き、模擬材料を用いた二次元可視化実験を行った。実験結果 から、透水・脱水工法による固体粒子の移動と自由水の挙動を視覚的に確認した。 キーワード:自由水,透水型枠工法,加圧脱水工法,真空脱水工法,二次元可視化実験

### 1. はじめに

評価方法により, モルタルやコン

クリートのブリーディングによる 自由水の挙動は,水みちの形成状 態によって大きく異なることを示 した<sup>1),2)</sup>。さらに,写真-1に示す ように, 模擬材料を用いた二次元 可視化実験により、ブリーディン グにともなう自由水の挙動を実験 的に検証した2)。

本研究では、コンクリートの打 込み後に自由水の一部を外部に排 出する工法である透水型枠工法, 加圧脱水工法,および真空脱水工 法による自由水の挙動を解明する ことを目的として,前報<sup>2</sup>に引き続 き, 模擬材料を用いた二次元可視 化実験を行った。

# 2. 透水・脱水工法のメカニズム<sup>3)</sup>

2.1 透水型枠工法

コンクリートから、自由水を透水ならびに排水 筆者らはこれまでに,着色液を用いた視覚的 層を経て,型枠の外部に排出する工法である。





(a) 実験開始直後



# (2) 模式的に水みちを配置した場合

透水型枠工法は,打込み直後の 写真-1 二次元可視化実験によるブリーディング挙動。

\*1 東海コンクリート工業(株) 技術部技術グループ係長 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 三重大学助手 工学部建築学科 博士(工学) (正会員) \*4 三重大学卒業生 工学部建築学科



本工法では、コンクリートの自重により内部の 間隙水圧が上昇し、自由水が排出される。図-1(a)に、排水面が型枠側面にある透水型枠工 法のモデルを示す。

# 2.2 加圧脱水工法

加圧脱水工法は、打込み後のコンクリートを 加圧することで自由水を圧密排水する工法であ り、土質工学の分野で扱われている圧密理論が 適用できるという報告<sup>41</sup>がある。図-1(b)に、 排水面が上面にある加圧脱水工法のモデルを示 す。

### 2.3 真空脱水工法

真空脱水工法は,打込み後のコンクリートに 大気圧を利用した締固め(間隙水圧を減圧する ことにより固体粒子相を加圧)をすることで, 自由水を外部に排出する工法である。本工法で は,大気圧により圧密された固体粒子相に押し 出されることで,自由水が排出される。図-1 (c)に,排水面が上面にある真空脱水工法のモ デルを示す。

### 3. 二次元可視化実験

# 3.1 模擬材料

本実験では、フレッシュモルタルおよびコン クリートを、液体中に固体粒子が分散した固液 二相材料と仮定した。固相と液相の体積比率は、 固相の移動状況と、それにともなう液相の挙動 を確実に捉えるため、一般的なモルタルやコン クリートより固相の体積割合を意図的に小さく した。透水型枠工法に関する実験では,固体粒 子の体積率を54%に,加圧脱水工法や真空脱水 工法に関する実験では53%とした。

セメント粒子や骨材粒子にあたる固相には, ¢25mm,長さ30mmのポリアセタール樹脂製の円 柱体(密度:1.41g/cm<sup>3</sup>,以下,単に固体粒子と いう)を用いた。練混ぜ水にあたる液相には, セルロース系増粘剤の1.0wt%水溶液(密度: 1.00g/cm<sup>3</sup>,以下模擬水という)を用いた。B型 回転粘度計によって測定した模擬水の粘度は 1.43Pa・sであった。また,自由水の挙動を観察 するマーカとして,模擬水100gにアクリル塗料 1.5gを混合した着色液(密度:1.00g/cm<sup>3</sup>)を用いた。

なお本実験で対象としているのは、定性的な セメント粒子や骨材粒子の移動、および自由水 の挙動であり、セメントの水和や凝集による影 響は考慮していない。また、固体粒子の大きさ や密度、および模擬水の粘性が、実際のモルタ ルやコンクリートとは異なるので、固体粒子の 沈降速度や模擬水の脱水速度などの定量的な評 価はできない。しかし、急激な動きに影響され ない固液二相材料の基礎的な挙動は再現される ものと考え、この点に関して考察を加える。 3.2 実験方法

### (1) 透水型枠工法

着色液の注入位置と固体粒子の配置を図-2 (a)に示す。図-3(a)に示すように、容器上面 の空気孔と側面の排水孔をあらかじめテープで



図-2 着色液の注入位置と固体粒子の配置

ふさぎ,固体粒子を透明のアク リル製容器に配置して模擬水を 充填した。その後,注射針を模 擬水の所定の位置(着色液の注 入深さ:背面から約10mm)に挿入 し,着色液を1箇所あたり20µL ずつ注入した。着色液注入後, 透明のアクリル板で容器を密閉 し,立て起こした直後にテー プをはがして固体粒子の移動, および着色液の挙動をデジタル ビデオカメラで撮影した。実験 の繰返し回数は3回とした。

(2) 加圧脱水工法

着色液の注入位置と固体粒子 の配置を図-2(b)に示す。図 -3(b)に示す容器に,(1)と同 様に模擬材料を配置した後,透 明のアクリル板で容器を密閉 し,加圧板のハンドルを手動 で水平方向にスライドさせ,固 体粒子の移動および着色液の挙 動をデジタルビデオカメラで撮

影した。実験の繰返し回数は、(1)と同様に3回 とした。なお本実験では、圧密圧力による影響 のみを抽出するために、固体粒子の自重による



沈降の影響を排除した。

(3) 真空脱水工法

着色液の注入位置と固体粒子の配置を図-2

(c)に示す。図-3(c)に示す 容器に、(1)と同様に模擬材料 を配置した後,透明のアクリ ル板で容器を密閉し、さらに 加圧板の動作には支障がない ように留意しながら, 容器全 体をビニル袋で密閉した。真 空ポンプを作動(真空度:60%) し、大気圧によって加圧板を 水平方向にスライドさせ,固 体粒子の移動および着色液の 挙動をデジタルビデオカメラ で撮影した。実験の繰返し回 数は、(1)と同様に3回とした。な お、水平方向に真空脱水したの は、(2)と同様の理由によるもので ある。

# 4. 実験結果および考察

### 4.1 透水型枠工法

写真-2に,透水型枠工法によ る二次元可視化実験状況を示す。 (a)に示すように立て起こした直後 は,固体粒子が規則正しく並んで いる。排水開始後,間もなくする と排水孔のある容器側面の近傍に 注入した着色液は,容器の外側に 流出している。また,(c)に示すよ うに排水孔のある容器側面では, 固体粒子の充填により排水孔が詰 まり,排水孔より高い位置に液面 があるにもかかわらず排水が終了 している。(d)に,着色液の軌跡を

示す(①~⑨または⑫は着色液の注入位置, ↑ は着色液の軌跡を示す)。(d)に示すように, 容 器側面近傍に注入した着色液(③, ⑥, ⑨, ⑫) は, すべて排水孔に向かって移動している。ま た固体粒子の沈降にともない, ①, ⑤, ⑧, ⑪ の位置に注入した着色液は, 下方に移動してい る。これは, 写真-1(1)(d), (2)(d)に示すよ



(c)真空脱水工法

図-3 二次元可視化実験方法の概略





写真-3 加圧脱水工法による二次元可視化実験状況

うに、1節で示したブリーディングによる二次 元可視化実験<sup>2</sup>ではみられない挙動であるが、 コンクリートで可視化実験を行った既往の研究 結果<sup>9</sup>とほぼ一致しており、側面からの排水の 影響がブリーディング(固体粒子の沈降にとも なう自由水の上昇)挙動より卓越したものと考 えられる。このように、透水型枠工法による排 水では,ブリーディングや他の脱 水工法と異なり,自由水と固体粒 子が同一方向に移動することに特 徴がある。また自由水の排出は, 透水面にセメント粒子や骨材粒子 が充填され終了することが視覚的 に確認された。

### 4.2 加圧脱水工法

写真-3に,加圧脱水工法によ る二次元可視化実験状況を示す。

(a)~(c)に示すように,固体粒子は上層から充 填され,それにともない着色液も上層から順に 移動して排水されている。一方,下層の固体粒 子および着色液には,ほとんど移動はみられな い。また(c)に示すように,加圧を続けると上 層の固体粒子が詰まり,排水することが不可能 となった。同様な実験結果は,繰返し観察され た。(d)に,着色液の軌跡を示す。(d)に示すよ うに,上層に注入した着色液ほど移動距離が長 くなっている。

このように、コンクリート中の自由水は加圧 脱水により、セメント粒子や骨材粒子が上層か ら順に圧密されると、それにともない上層から 順に移動して排出されることを視覚的に確認し た。これらの結果は、加圧脱水による圧密効果 がコンクリートの全層で、ほぼ同じであるとい う報告<sup>®</sup>とは異なるが、これは本実験を二次元 のもとで行った(固体粒子を円柱体とした)こと で、上層部に閉塞が生じたことが原因と考えら れる。しかし、実際のモルタルやコンクリート でも、これほど顕著ではないが、固体粒子の粒 度分布や粒子形状、または体積割合によっては 同様の傾向がみられると推察される。

### 4.3 真空脱水工法

写真-4に,真空脱水工法による二次元可視 化実験状況を示す。(a)~(c)に示すように,固 体粒子は上層から充填され,それにともない着 色液も上層から脱水されている。一方,下層の 固体粒子および着色液には移動はみられない。 また(c)に示すように,真空脱水を続けると加



圧脱水工法と同様に,上層の固体粒子が詰まり 脱水することが不可能となった。(d)に,着色 液の軌跡を示す。(d)に示すように脱水された 着色液の挙動から,真空脱水による脱水効果は 中層までとなっている。これは,真空脱水によ るコンクリート内部の間隙水圧を測定した既往 の研究結果<sup>40</sup>と同様の傾向を示している。

このように、コンクリート中の自由水は、真 空脱水により、加圧脱水工法とほぼ同様の挙動 を示すことが視覚的に確認された。

### 4.4 自由水の移動状況

図-4は、実験結果から自由水の移動状況を 整理して、模式的に表したものである。(a)、 (b)と(c)、(d)との比較から分かるように、透 水や脱水による自由水の挙動は、ブリーディン グによる自由水の挙動とは明らかに異なる。透 水型枠工法では(c)に示すように、透水面近傍 の自由水は、透水面に向かって横方向や下方に 移動している。これは、既往の研究モデル<sup>®</sup>と は異なるが、本実験では、固体粒子の充填密度 や模擬水の粘度を比較的小さな条件としている ので、極端な透水による自由水の移動状況を観 察した結果によるものと考えられる。しかし、 このような挙動は、透水面のごく近傍にある自 由水の挙動を表していると推察される。

加圧脱水工法と真空脱水工法による自由水の 移動状況は,(d)に示すように同様の傾向を示 している。加圧脱水工法による自由水の移動状 況に関しては,4.2で既往の研究結果<sup>4</sup>と異なる ことを述べた。しかし,真空脱水工法に関して は、既往の解析結果<sup>n</sup>とほぼ同 様の傾向を示していると推察さ れる。

### 5. まとめ

透水型枠工法,加圧脱水工 法,および真空脱水工法によっ て外部に排出される自由水の挙 動を解明するために,模擬材料 を用いた二次元可視化実験を行 った。実験結果からは,以下の 事項が推察される。

- 1)透水型枠工法では、透水シート近傍の自由水 が排水され、それにともないセメント粒子や 骨材粒子が透水シート面に充填される。
- 2)加圧脱水工法では、セメント粒子や骨材粒子 は上層から充填され、それにともない自由水 も上層から移動して排水される。
- 3)真空脱水工法では、加圧脱水工法と同様に、 セメント粒子や骨材粒子は上層から充填され、 それにともない自由水も上層から移動して排 水される。

今後は、実際のモルタルやコンクリートを用 いて本実験結果を検証し、ブリーディングや透 水・脱水工法による自由水の挙動について定量 化していきたいと考えている。

### 謝辞

本実験に際し,三重大学大学院生・坂本英輔 君,東海コンクリート工業(株)技術部のご助力 を得た。また本研究費の一部は,平成16年度日 本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究(B) (2)(研究代表者:畑中重光)によった。付記し て謝意を表します。

### 参考文献

 大飼利嗣,畑中重光,三島直生,金子林爾: 視覚的評価方法によるコンクリート中のブリ ーディング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. 26, No. 1, pp.



609-614, 2004.7

- 2) 犬飼利嗣,畑中重光,三島直生,金子林爾: 視覚的評価方法にもとづくモルタル中の自由 水のブリーディング挙動に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集,第590号,pp.1-7,2005.4
- 3)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方法研究委員会報告書,日本コンクリート工学協会,2004.9
- 4)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,第585号, pp.7-13,2004.11
- 5) 犬飼利嗣, 牛丸浩至, 山口昇三, 松山高之, 三島直生, 畑中重光:視覚的評価方法を用い て測定した透水・脱水によるコンクリート中 の自由水の挙動, 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論文集, pp. 231-236, 2004.9
- 6)伊藤康司,丸山久一,清水敬二,橋本親典: フレッシュコンクリートの脱水機構に関する 解析的研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.12, No.1, pp.263-268, 1990.7
- 7) 平川博也,小野貴史,大下英吉:真空脱水処 理工法に伴うコンクリート内部の水分移動性 状に関する実験的研究,コンクリート工学年 次論文集, Vol. 26, No. 1, pp. 1359-1364, 2004.7