

論文 真空脱水処理工法に伴うフレッシュコンクリートの品質改善効果に関する実験的研究

平川 博也*1・中村 英章*2・大下 英吉*3

要旨：著者らは現在、真空脱水処理工法によるコンクリートからの脱水メカニズム構築を目的として、一連の研究を行っている。既往の研究では、コンクリート表面での真空状態ならびにコンクリート内部での水分移動性状についてその詳細を明らかとした。そこで本研究では、それら諸要因に伴うコンクリートの変形性状ならびに水セメント比および圧縮強度分布について実験的検討を行った。その結果、コンクリートの変形性状は脱水口からの距離に応じて異なること、また水セメント比および圧縮強度分布に関しても脱水口直下においてもっとも顕著な効果となることを明らかとした。

キーワード：真空脱水処理工法, 変形性状, 水セメント比分布, 圧縮強度分布

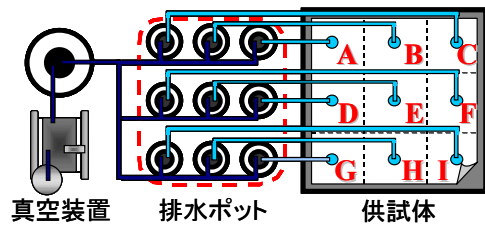
1. はじめに

現在、真空脱水処理工法は打設後に生じるブリーディング現象によって引き起こされるコンクリート表層部の力学的特性および耐久性の低下を改善するための施工方法として実施工にも用いられている。既往の研究においても本工法を施したコンクリートの品質改善効果には、表層強度の向上、早期強度の発現、凍結融解作用に対する抵抗性の増大、美装性の向上など数多くの効果を促すことが報告されており¹⁾、今後更なる実施工への適用例が増えるものと予想される。

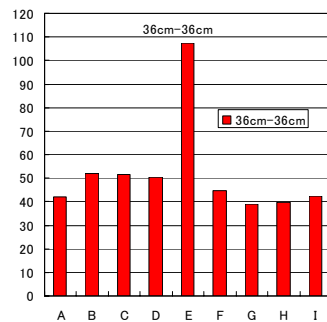
著者らはこれまで、真空脱水処理工法適用時におけるコンクリートからの脱水メカニズムの構築を目的として、コンクリート表面の局所的に異なる領域における脱水量分布および真空の影響領域、それに伴うコンクリート内部の水分移動性状などについて一連の検討を実施してきた^{2), 3)}。その結果、図-1に示すように、コンクリート表面からの脱水量は局所的に異なり、その性状はコンクリート表面における真空の状態の不均一性に起因していること、またそれに

伴うコンクリート内部の水分移動は真空脱水処理工法適用時において時々刻々と変化し、下層部においてはコンクリート表面に対して垂直な水分移動が生じていることに対して、コンクリート表層部に近づくに従い脱水口へと向かう集約的な性状となることを指摘している。

しかしながら、それら品質改善効果と脱水メ



(a) コンクリート表面の領域定義



(b) 脱水量分布

図-1 コンクリート表面の脱水量分布

*1 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*2 中央大学 理工学部土木工学科 (非会員)

*3 中央大学 理工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

表-1 コンクリート配合表

W/C	粗骨材の最大寸法	細骨材率	設計スラブ
55%	20mm	50%	15cm
単位量(kg/m ³)			
水	セメント	細骨材	粗骨材
180	333	852	874
AE剤 (%)			
C×0.1			

表-2 実験条件

継続時間	脱水開始時期	真空度
10(min)	打設後:120(min)	100(%)

カニズムを関連付けたコンクリートの力学的特性や耐久性の評価には至っていないのが現状である。実施工で実施されるような大規模コンクリートにおいては、著者らが指摘した性状はより顕著に生じるものと想定される。特に、本工法の特徴である強制的な脱水作用は水分とコンクリート骨格との摩擦作用によってフレッシュコンクリートに変形を生じさせ、その変形状は本工法適用構造物全体においても局所的に異なるものと考えられる。すなわち、本工法を施したコンクリートの力学的特性を議論する上で、脱水メカニズムと変形状を関連付けた詳細な評価を行うことが重要となるわけである。

そこで本研究では、真空脱水処理工法適用時におけるコンクリートの変形状を評価するとともに、水分移動性状との関連性について検討を行った。さらに、脱水口からの距離に応じた領域におけるコンクリートの品質改善効果の検討を行う目的として、真空脱水処理終了直後のコンクリートについて水セメント比の測定を実施するとともに圧縮強度試験を行った。

2. 真空脱水処理を施すコンクリートの概要

2.1 供試体の概要

本実験で使用した供試体形状寸法は、36×36×20(cm)のスラブ供試体である。コンクリートの配合は、表-1に示す通りである。

2.2 実験条件

表-2に実験条件を示す。なお、すべての実験項目において、条件は同一とした。真空脱水処理開始時期は、既往の研究において提案され

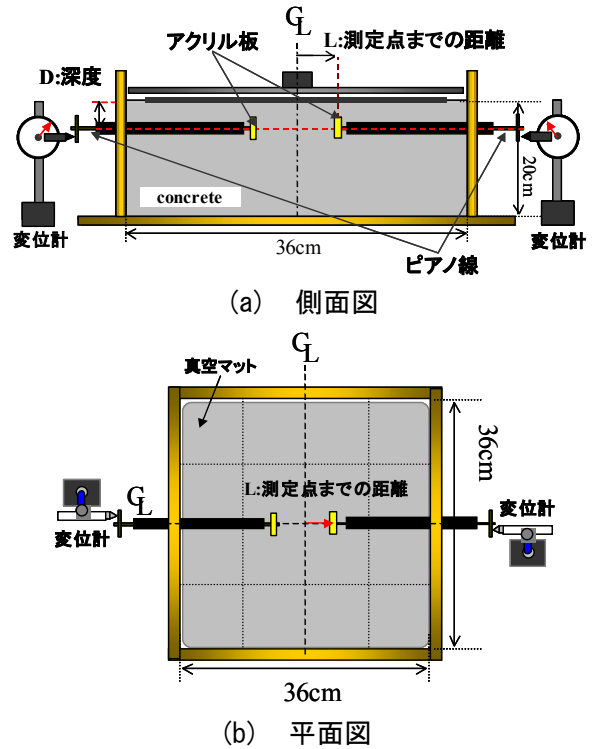


図-2 変形量測定の実験概要図

ているブリーディング終了後であり、本研究では事前に JIS A 1123 「ブリーディング試験方法」に準じたブリーディング試験により、2時間と設定した。また、脱水保持時間は10分間とし、真空度[=吸引圧(MPa)/大気圧(MPa)×100(%)]は、100(%)で行った。

2.3 実験項目

本研究では、真空脱水処理工法に伴うコンクリートの変形状ならびに脱水メカニズムと品質改善効果の関連性について評価することを目的として、

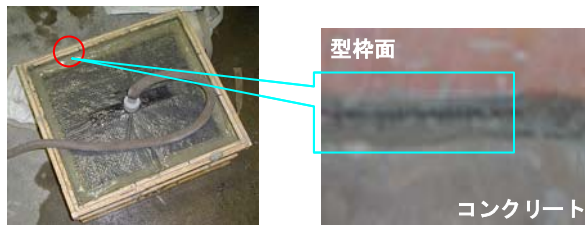
- 1). フレッシュコンクリートの変形状
- 2). コア抜き試験による圧縮強度の分布
- 3). 真空脱水処理直後の水セメント比の分布

の3項目について実験的検討を行った。なお、各項目の実験概要および実験結果については各章にて記すこととする。

3. 真空脱水処理によるコンクリートの変形

3.1 変形量の測定概要

図-2に変形量測定の実験概要図を示す。変形量の測定については、図-3に示すように本工法適用時においてコンクリートと型枠面との



(a) 全体図 (b) 拡大図

図-3 型枠面との剥離現象

表-3 変位量の測定位置

測定深度	測定位置
15mm	±30・±60・±90・±120・±150mm

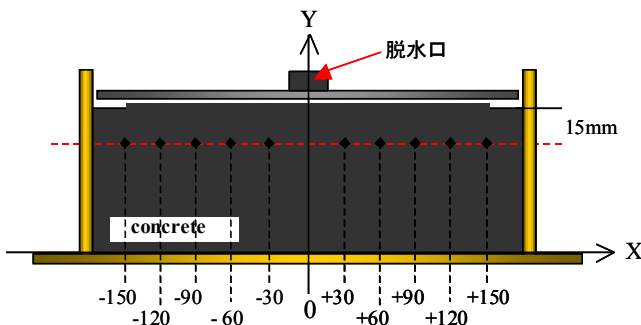


図-4 各測定点の概要図

剥離現象が確認されていることから、図-2 (a) に示すような脱水口に向かう変形量を測定することとした。変形量の評価においては、縦:10mm, 横:10mm, 厚さ:2mm のアクリル板にピアノ線を接続させ、本工法適用時におけるアクリル板の移動量を本工法適用時におけるフレッシュコンクリートの各測定点の変位量と定義した。なお、アクリル板に接続するピアノ線の重量はいずれの領域を測定する際においても同一とし、その影響を無くした。

表-3 に変位量の測定位置を示す。変形量の測定は、真空脱水処理表面から深度方向へ15mmの位置で実施した。これは先にも述べたように、コンクリート表層部での水分移動が集約的な性状であり型枠面との剥離現象をも生じさせるほどの変形が生じていることから、コンクリート表面付近の変形を詳細に評価することを目的としたためである。また、同一断面内においては、図-4 に示すようにコンクリート中心部から型枠側面方向へ±30, ±60, ±90, ±120 および±150mm の全10箇所を実施した。

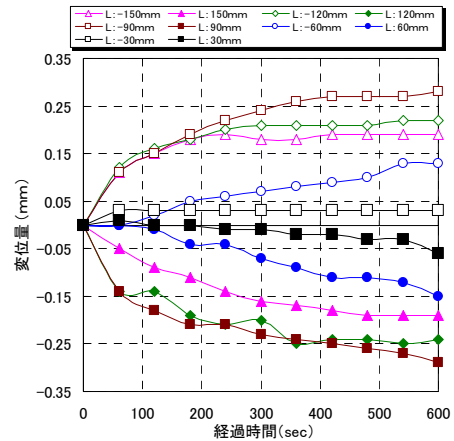


図-5 各測定点の水平方向への変位量

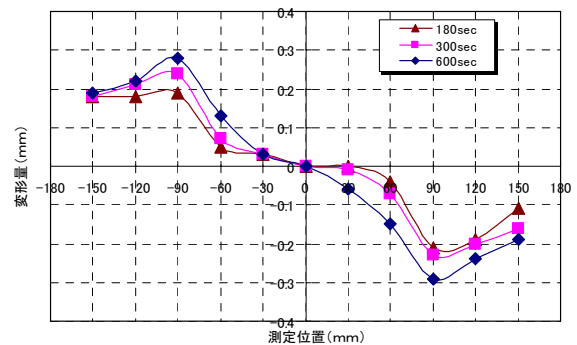


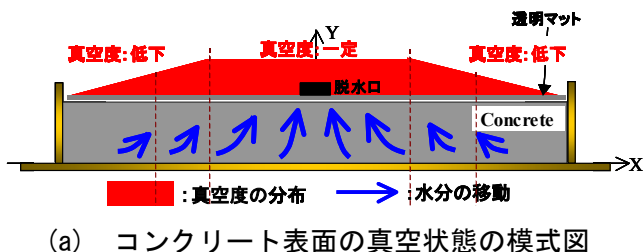
図-6 変位量の分布

3.2 真空脱水処理工法に伴うコンクリートの変形状評価

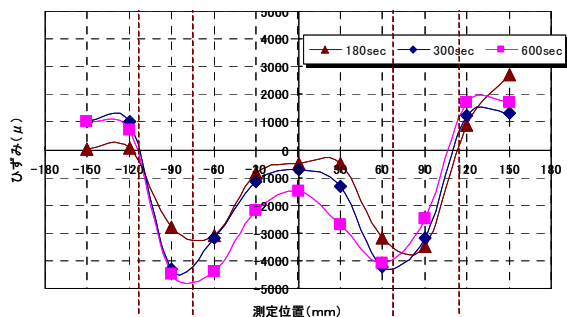
(1) 各測定点の変位量

図-5 に各測定点における水平方向への変位量の時刻歴の結果を示す。中塗り記号が+領域、中抜き記号が-領域の変形量を示している。なお、変位量は+方向への変位を正としている。

同図から、いずれの測定点においてもコンクリートの変形は縮みを生じていることがわかる。これは、真空脱水処理による水分の移動がコンクリート表面に対して垂直な移動ではなく、脱水口に向かう集約的な移動が生じていることによるものと考えられ、既往の研究と一致する結果である。また、各測定点の時間的な変位量の差異については、測定点 30mm, 60mm および 90mm においては真空脱水処理適用時全体を通じて増加傾向を維持していることに対して、測定点 120mm および 150mm においては真空脱水処理開始およそ5分経過時からの変位量に変化は生じておらず、その値はほぼ一定となっている。このことは、コンクリート表面での真空の



(a) コンクリート表面の真空状態の模式図



(b) ひずみ分布

図-7 コンクリート表面の局所的なひずみ分布状態が脱水口からの距離に応じて低下しているために、コンクリートの締固め度合いがコンクリート中心部付近と比べて早くに安定したためであるものと考えられる。

(2) コンクリートの経時的な変形状

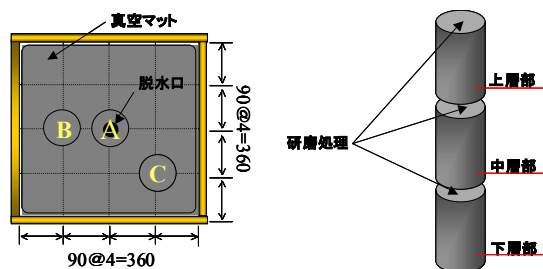
図-6に、経過時間 180, 300 および 600sec における変位量の分布を示す。

同図から、いずれの経過時間においても、脱水口から 90mm までの領域においては脱水口からの距離に応じて変位量は大きくなっている。しかしながら、120mm および 150mm においては、徐々に小さくなっており 90mm までの領域とは異なる性状を示す結果となっている。これは、先にも述べたようにコンクリート表面における真空度に差異が生じていることにより、真空マツト端部付近の変位量が小さくなったものと考えられる。

(3) コンクリートのひずみ分布

図-7に、コンクリート表面の真空状態の模式図および図-6の変位量の分布から算出したひずみ分布を示す。ひずみの算出方法は、任意の測定点とその両隣りの変位量を 2 次式で近似し微分することにより算出した。なお、測定点両端部におけるひずみは、それぞれ端部および片隣りの変位量を結んだ勾配とした。

同図から脱水口近傍では圧縮ひずみは小さく、脱水口から離れるにしたがって徐々に大きくな



(a) コア試験体の採取位置 (b) 各領域のコア試験体

図-8 圧縮強度分布試験の概要

る。そして、マツト端部近傍では圧縮ひずみは徐々に小さくなり、端部ではひずみは引張に転じている。これらの性状は、コンクリート表面の真空度の不均一性²⁾ および端部における未真空領域の影響によるものである。すなわち、脱水口近傍では上方に向かう水分移動が支配的となるため、ひずみは小さく、脱水口から離れるにつれて水平方向の水分移動によりひずみが大きくなる。そして、真空度の低下および未真空領域の影響によりひずみが小さくなり、端部では変位の適合条件により引張ひずみとなる。なお、ひずみの絶対値が硬化したコンクリート、例えば圧縮破壊時のひずみと比べて大きくなっているが、これは対象がフレッシュコンクリートであることを考えると、その限りではない。

また、本工法による強制的な脱水作用は、鉛直方向にも変形を生じてさせているものと考えられる。そこで今後は、鉛直方向への変形状についても検討を行う予定である。

4. 真空脱水処理工法によるコンクリートの品質改善効果

本章では、真空脱水処理工法を施したコンクリートの品質改善効果について、圧縮強度試験および水セメント比測定の結果に着目し議論することとする。

4.1 圧縮強度分布試験

(1) コア試験体の概要

図-8に圧縮強度試験用供試体の概要図を示す。圧縮強度分布試験は、同図(a)に示すように脱水口からの距離に応じた領域においてコア試験体を採取し、各領域でのコア試験体を同図

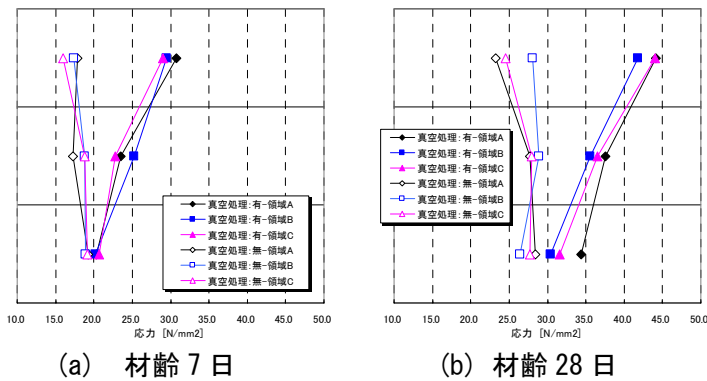


図-9 圧縮強度分布

(b)に示すように上層部、中層部および下層部の3層にコンクリートカッターを用いて切断することにより圧縮試験を実施した。コア試験体の採取は真空処理を行わない供試体(以下、無処理供試体と称す。)と真空脱水処理を行った供試体(以下、有処理供試体と称す。)の2供試体である。また、採取位置に関して両供試体において、コンクリート中心部、型枠近傍部および型枠隅角部の3領域であり、それぞれ領域A、BおよびCと名称区別し今後この名称を使用することとする。なお、コア抜き作業に使用したコンクリートコアドリルは、回転数：1000r.p.m、ダイヤモンドコアビット：呼び外径52mm(呼び内径46mm)のものを用いた。

(2) 圧縮強度分布結果

図-9に材齢7日および28日の圧縮強度試験結果を示す。なお、図中における◆、■および▲はそれぞれ領域A、領域Bおよび領域Cの圧縮強度である。

同図から、圧縮強度分布はいずれの材齢においても、無処理供試体についてはコンクリート表面に近づくに従い圧縮強度が低下していることに対して、有処理供試体については圧縮強度が大きくなっていることが分かる。これは、既往の研究と同様な結果である⁴⁾。

ここで有処理供試体の圧縮強度分布に着目し議論を行うこととする。まず、材齢28日における圧縮強度分布についてであるが、各領域における圧縮強度には程度の違いはあるもののいずれの層においてもコンクリート中心部である領域Aの圧縮強度が他の領域と比べて大きくなっ

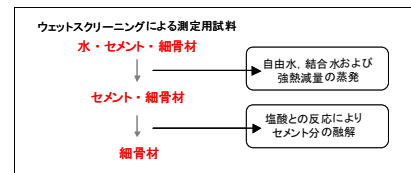


図-10 水セメント比の測定フロー

表-4 水セメント比の算定式

手順	測定項目	算出式
1)	強熱減量	$C_{igloss}(g) = (W2 - W3) \times ig_{loss}$
2)	水分量	$W(g) = (W1 - W2) - ig_{loss}$
3)	セメント量	$C(g) = (W1 - W2) - ig_{loss}$
4)	水セメント比	$W/C(\%) = W/C \times 100$

ており、これは既往の研究と異なる結果と示している。このような結果に関しては、コンクリート表面での真空度の影響によるものと考えられる。すなわち、本研究においては、真空度が100%という非常に大きい真空度を用いて真空脱水処理を施したことにより、著者らが指摘した現象³⁾すなわち脱水口からの距離による真空の影響の低下が生じているために、真空の影響がもっとも大きくなる領域Aにおいて脱水の効果が大きくなり圧縮強度に差が生じたものと考えられる。すなわち、本工法を施したコンクリートの品質改善効果には、真空度の影響が顕著に現れるものと考えられ、可能な限り高真空度で真空脱水処理を行うことが望まれる。

4.2 水セメント比の測定(配合推定試験)

(1) 水セメント比測定の概要

水セメント比の測定は、真空脱水処理を施さない供試体(以下、無処理供試体と称す。)と真空脱水処理を施した供試体(以下、有処理供試体と称す。)の2供試体について実施した。なお、本稿で実施した水セメント比の測定方法は、畑中ら⁴⁾が実施した方法と同様なものとした。

水セメント比の測定用試料は、真空脱水処理を施した直後のコンクリートに対してウェットスクリーニングを行い、これを測定用試料とした。なお、測定用試料の採取位置は図-8に示すように圧縮強度分布試験においてコア試験体を採取した位置と同様である。

図-10および表-4に水セメント比の測定方法のフローおよび計算式を示す。水セメント比の測定方法は、あらかじめ100℃の乾燥炉におい

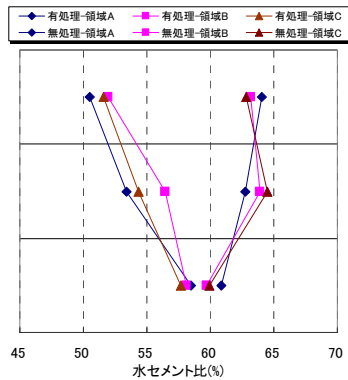


図-11 水セメント比の分布

て水分を蒸発させたるつばに測定用試料を詰め、質量 $W1(g)$ を測定する。その後、るつばに詰めた測定用試料を $500^{\circ}C$ の乾燥炉に入れ試料質量が一定となるまで乾燥させ、このときの試料質量を測定し $W2(g)$ とする。質量が一定となることにより自由水および結合水は完全に蒸発したものとす。次に、乾燥させた試料を水の入ったビーカーに入れ、水：一級塩酸=1：1 に薄めた塩酸を加えながら試料を溶かす。塩酸と反応させることによりセメント分は完全に反応したものとす。溶かした試料は、十分攪拌させた後 20 分間加熱し、冷却させたのちにろ過する。ろ過させた試料を $100^{\circ}C$ の乾燥炉に入れ質量が一定となったときの試料質量 $W3(g)$ を測定する。また、セメントの強熱減量は打設に用いたセメントを $500^{\circ}C$ で乾燥させることにより求めた。

(2) 水セメント比測定の結果

図-11 に水セメント比測定の結果を示す。なお、図中における◆、■および▲はそれぞれ領域 A、B および C の水セメント比である。

同図から水セメント比の分布は、無処理供試体においてはコンクリート表面に近づくに従い水セメント比は大きくなっている。これは先にも示したとおりブリーディングの影響である。一方、有処理供試体においては真空脱水処理による脱水作用により水セメント比が小さくなっており、無処理および有処理供試体の水セメント比分布の傾向は前節で述べた圧縮強度分布試験と対応した結果となっている。

有処理供試体の水セメント比分布に着目すると、領域 A の水セメント比がもっとも顕著な低

下を示しているのがわかる。これは脱水口直下の領域であるために脱水の影響がもっとも顕著となったためである。

5. まとめ

本研究では、真空脱水処理工法に伴うコンクリートの変形性状ならびに品質改善効果について、各領域における変形量、圧縮強度分布および水セメント比分布に着目することにより実験的な検討を行った。

以下に本研究で得られた結果を示す。

- (1) コンクリートの変形性状は、脱水口からの距離に応じて異なり、真空マット端部付近の変形がコンクリート中心部に比べて小さくなることが明らかとなった。
- (2) 真空脱水処理工法を施したコンクリートの圧縮強度は、コンクリート表層部ほど大きくなることがわかった。
- (3) 水セメント比の分布は、圧縮強度の分布と対応する傾向を示し、上層部ほどその値は小さくなることがわかった。

参考文献

- 1) 和藤浩, 村松昭夫, 山口武, 畑中重光: 真空脱水締固め工法による建築床スラブコンクリートの性能改善, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.1393- 1398, 1999
- 2) 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
- 3) 平川博也, 鈴木康介, 大下英吉: 真空脱水処理工法におけるコンクリート中の水分移動に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.427- 432, 2005
- 4) 山本景司, 畑中重光, 和藤浩, 山口武志: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.385- 390, 2001