

論文 フレッシュコンクリートの余剰水の真空脱水方法に関する実験的検討

浦野 真次^{*1}・栗田 守朗^{*2}・太田 達見^{*3}

要旨：比較的簡易な方法で振動締固め中やその前後の時間にコンクリート中から直接余剰水を吸引・集水する装置を試作し、新たな真空脱水処理方法によってコンクリートの品質向上を図ることが可能か検討した。その結果、フレッシュコンクリートから余剰水を脱水でき、単位水量が多いコンクリートほど一定時間に多くの余剰水を脱水することができた。圧縮強度は、供試体のレベルでは5分程度の脱水でコンクリートの品質向上を図ることができることが示された。また、真空脱水を行うことにより、振動締固めのみの場合と比較して、累積加速度が大きくなり、振動を広範囲に伝播していることが分かった。

キーワード：真空脱水、有孔管、透水シート、余剰水、振動締固め

1. はじめに

フレッシュコンクリートには施工上必要なワーカビリティを得るため、ある一定量の水が使用されている。施工上必要な水は、配合上の単位水量に限らず、軽量骨材や再生骨材などのプレウェッティングが必要な骨材が有する水なども含まれると考えられる。しかしながら、これらの水はすべて硬化に至る時の水和反応などで必要な水ではなく、打ち込んだ後にその一部が余剰水となり、表層強度の低下、沈下ひび割れの発生、乾燥収縮の増大および密実さの低下などの原因となる。特にコンクリート構造体のかぶり部分は、耐久的なコンクリートであるための保護層としての役割を持つため、密実なコンクリートであることが望まれる。したがって、ブリーディング水などをはじめとする余剰水は、耐久性の確保や品質保証の点からもできる限り除去することが望ましいと考えられる。

打ち込まれたコンクリートの品質向上を目的として、ブリーディング水などの積極的な排出を行う方法に真空脱水工法や透水型砕工法がある¹⁾。コンクリートの真空脱水工法は、真空ポン

プにより余剰水を吸引することによりコンクリートを高品質化する方法であり、これまでコンクリート舗装分野を中心として実施されてきた。コンクリート表面にろ過マット等を敷設し、真空ポンプによって減圧空間とし、表層から脱水させるものである²⁾。

一方、一般のコンクリート構造物の施工における余剰水の排水を行う場合、真空脱水工法は構造物の形状や鉄筋などの障害物などによって施工上困難な場合が多く、一部の建築床スラブを除いてはほとんど適用されていないのが現状である。一方、透水型砕工法は有効な方法の一つであるが、コンクリートの打込み・締固めの時間の前後において簡易にコンクリートから脱水を行うことができれば、簡便さやコストの点からも品質向上を行う方策としてより有効であると考えられる。そこで本研究では、比較的簡易な方法で振動締固め中やその前後の時間にコンクリート中から直接余剰水を吸引・集水する装置を試作し、新たな真空脱水処理方法によってコンクリートの品質向上を図ることが可能か検討した結果について報告するものである。

*1 清水建設（株） 技術研究所 社会基盤技術センター 工博（正会員）

*2 清水建設（株） 技術研究所 社会基盤技術センター 工博（正会員）

*3 清水建設（株） 技術研究所 生産技術開発センター 工修（正会員）

2. 実験概要

2.1 真空脱水装置

本実験で試作した真空脱水装置は、図— 1 に示すように、真空ポンプ、ホース、集水ビンおよび集水部によって構成される。真空脱水方法に関する基礎的研究として、集水部の形状・寸法は、コンクリート強度供試体作製時にモールド内に挿入できるように、管内径 13mm、長さ 200mm の円筒形のものおよび 5mm×25mm の矩形断面の長さ 200mm の角形の 2 つとし、塩化ビニル樹脂製の有孔管を試作した。

それぞれの管は、1～2mm の径の孔を 5mm 程度の間隔に空けたものであり、長手方向の端部が真空ポンプと接続されている。また、有孔管のみではセメント粒子等まで吸引してしまうので、周面に有孔フィルムと不織布からなる透水シートを隙間なく貼り付けることとした（図— 2 参照）。

2.2 使用材料

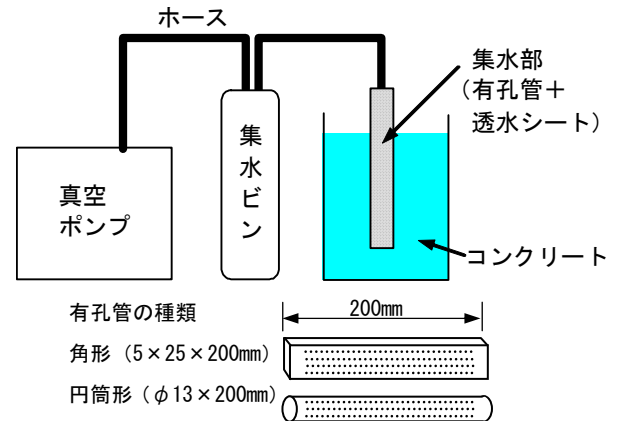
実験に使用したコンクリートの使用材料および配合を表— 1 および表— 2 に示す。配合は、水セメント比を 57% で一定とし、単位水量の異なる 2 種類とした。

2.3 実験方法

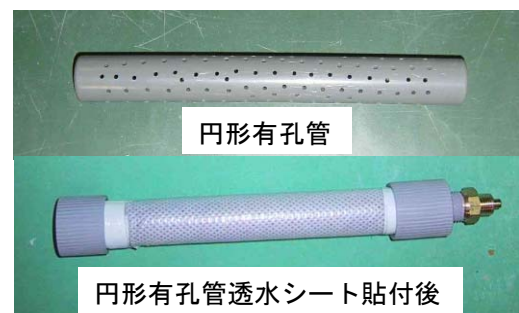
(1) 脱水量の測定

コンクリートを $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体容器に 2 層に分け 10 回ずつ突き棒で突き固めて充てんし、試料の中央に真空脱水の集水部を挿入する。この状態において、表— 3 に示す要因により、真空ポンプによる脱水を行った。まず、本脱水装置による供試体レベルでのコンクリートの脱水のしやすさを検討するため、円筒形の集水部を挿入した状態で、配合 No. 1 の単位水量 165kg/m^3 のコンクリートの真空脱水開始後 1, 2, 5 分での脱水量を測定した。

次に、余剰水が比較的吸水しやすいと考えられる振動締固め中における脱水量の差の有無を検討するため、同配合を用いて 10 秒間の振動中に 2 つのタイプの有孔管からの脱水量を測定した。



図— 1 真空脱水装置および集水部の形状



図— 2 集水部（有孔管+透水シート）の例

表— 1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm^3
細骨材	山砂 表乾密度 2.64g/cm^3 吸水率 1.51. %
粗骨材	硬質砂岩碎石 表乾密度 2.71g/cm^3 吸水率 0.66%
混和剤	AE 減水剤, AE 助剤

表— 2 コンクリートの配合

配合 No.	SL (cm)	Air (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m^3)			
				W	C	S	G
1	12	4.5	57	165	288	855	1015
2	15	4.5	57	180	315	855	952

表— 3 実験要因

内部振動機	有孔管	脱水時間
脱水中の振動なし	円筒形	1, 2, 5 分
	円筒形	
脱水中の振動あり	円筒形	10 秒
	角形	

(2) 振動締固めに及ぼす影響

次に、飽和砂地盤の液状化対策振動締固め工法において、振動締固め中の吸水が締固め効果の顕著な向上をもたらすことが明らかとなっている³⁾ことから、真空脱水を行うコンクリートの

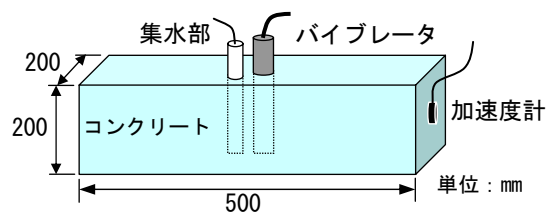


図-3 振動締め中の加速度の測定の概要

振動締め中の振動の加速度を計測し、振動締め効果に及ぼす脱水の影響を評価することとした。図-3に示すように、500×200×200mmの合板型枠内にコンクリートを充てんし、試料の中央に真空脱水の集水部を挿入して、(1)コンクリート中央で振動締めのみを行った場合、(2)コンクリート中央で2分間真空脱水を行った後、振動締めを行った場合、(3)振動締めを行うと同時に真空脱水を行った場合について長手方向の側面中央に設置した加速度計を用いて加速度の計測を行った。

なお、本実験において、振動締めはいずれの場合においても径φ28mm、振動数258Hz、振幅1.4mmのバイブレータを用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 実験状況

脱水を開始すると、集水部から徐々に脱水された水、集水ビンに図-4に示すような状態で脱水された。脱水停止後、コンクリートを観察すると、図-5に示すような表面は水分の光りがなく、集水部が抜けにくい程度に脱水固化した状態となった。このため、集水部の引き抜き時にはバイブレータをかけ、引き抜き後に空隙の残らないよう、10秒程度振動締めを行った。

3.2 脱水量

図-6は、配合No.1のコンクリートについて、φ10×20の供試体容器に充てんしたコンクリートから脱水した場合の脱水時間と脱水量の関係、およびその脱水量から求められる水セメント比W/Cの計算値を併せて示す。脱水量は、脱水時間1分までは少なく(4.8g)、2分後には増加の程度が大きくなるが、その後5分後にかけては緩



図-4 脱水の状況の例



図-5 脱水されたコンクリートの表面状態

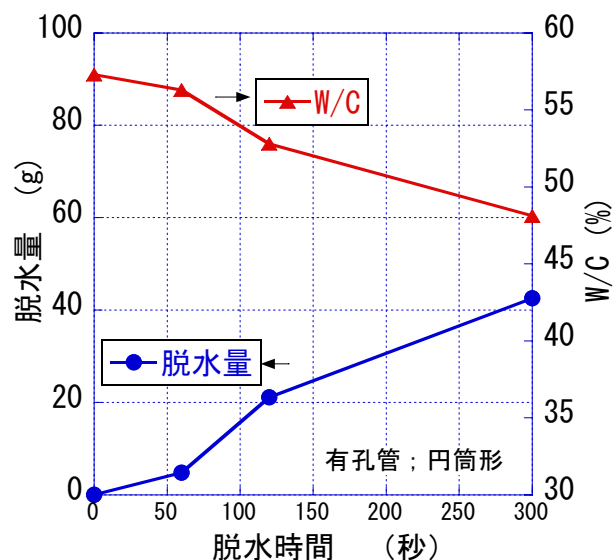


図-6 脱水時間と脱水量・W/Cの関係
(脱水中の振動なし)

やかに増加する傾向となった。脱水開始直後に脱水量が少ないのは、コンクリートが密実に締め固めた状態でないため、まず始めに巻き込み空気が吸引されること、集水部内部に脱水が溜まってから集水ビンに移動することなどの理由によると考えられる。基本的には脱水初期に脱水

表－４ 単位水量の相違による脱水量の相違

配合 No.	5 分間脱水量 (g)	単位水量に対する 脱水率 (%)
1	42.6	16.1
2	60.7	21.0

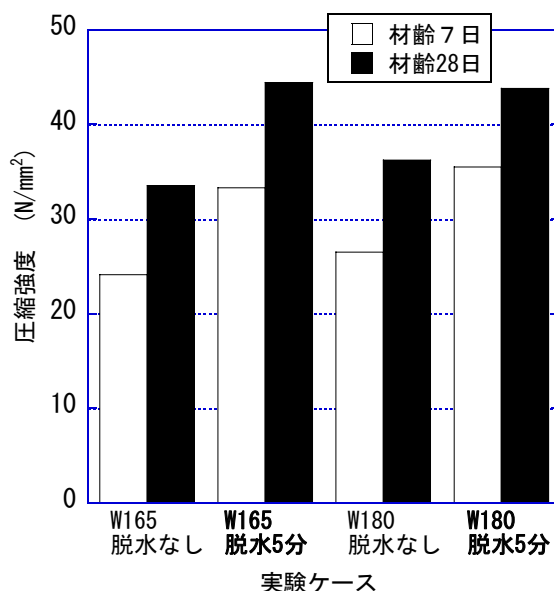
量が増加し、経過時間と共に脱水がほぼ 0 となって終了していく状態となると考えられる⁴⁾。コンクリートの水セメント比は、脱水量から計算した供試体全体の見掛けの値として、脱水前 57%であったものが 5 分脱水後で約 48%まで低下する結果となった。

配合 No. 1 および No. 2 の単位水量の異なる配合のコンクリートについて、5 分間脱水を行い、このときの脱水量およびその脱水量から求められる単位水量に対する脱水率を表－４に示す。単位水量 180kg/m^3 と多い配合 No. 1 のほうが脱水量が多く、単位水量に対する脱水率も大きくなった。同一時間脱水を行った場合には、水セメント比が一定であっても、単位水量が多いコンクリートのほうが脱水量が多くなり、かつ脱水しやすくなるといえる。これは、単位水量が多くスランブが大きいコンクリートは脱水率が大いという既往の知見と一致する¹⁾。

$\phi 10 \times 20$ の供試体容器に充てんしたコンクリートを内部振動機によって 10 秒間締め固めると同時に真空脱水した場合の脱水量および算定した水セメント比を表－５に示す。脱水を行わなかった場合および 1 分間振動締め固めなしで脱水した条件の場合も併記した。脱水量は、円筒形および角形でそれぞれ 4.1、7.1g となり、1 分振動なしで脱水した場合の量 4.8g と比較して、10 秒という短時間に同程度以上の脱水が可能であることが分かった。これは、振動機による液化化作用によって脱水が容易になったものと考えられる。また、角形の有孔管を用いた場合の方がより脱水量が増加する結果となった。これは、集水部の有孔部面積が角形 100cm^2 、円筒形 80cm^2 と異なるためと考えられるが、形状によっても脱水のしやすさが異なる可能性があり、今後よ

表－５ 脱水量および圧縮強度（振動時間 10 秒）

有孔管	脱水量 (g)	W/C (%) 計算値	圧縮強度 (N/mm^2) (7day)
脱水無し	0	57.3	22.0
円筒形・振動なし	4.8 (1 分)	56.3	24.0
円筒形	4.1	56.4	24.4
角形	7.1	55.8	23.0

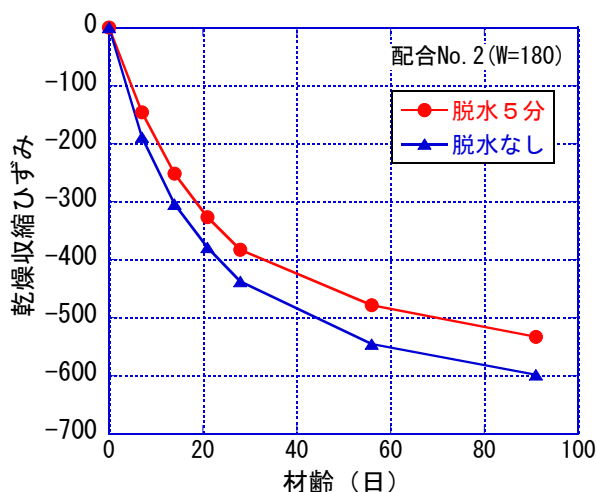


図－７ 脱水の有無による圧縮強度の相違

り詳細な検討を行う予定である。また、本実験において、集水部のコンクリート中への挿入・引抜きが 3 回程度では脱水量の変化やシートの破損などは認められなかった。実用上の転用回数などについても今後検討を行う予定である。

3.3 脱水量が圧縮強度に及ぼす影響

$\phi 10 \times 20$ の供試体容器を用いて、充てんしたコンクリートを内部振動機によって 10 秒間締め固めると同時に、真空脱水を実施した場合の脱水量および圧縮強度を表－５に示す。振動締め固めを行っている 10 秒という比較的短い時間の場合、脱水量も少なく圧縮強度が大幅に増加するという傾向は認められなかった。真空脱水した方が $1 \sim 2\text{N/mm}^2$ 程度強度が増加する傾向にあるものの、脱水量の増加や水セメント比の低下との関係は明確ではない。振動なしで 1 分程度脱水した場合についても同様であった。短い時間では集水部近傍のみの水セメント比が低減し、全体としては不均一となり、水セメント比の低



図－8 脱水の有無による乾燥収縮の相違

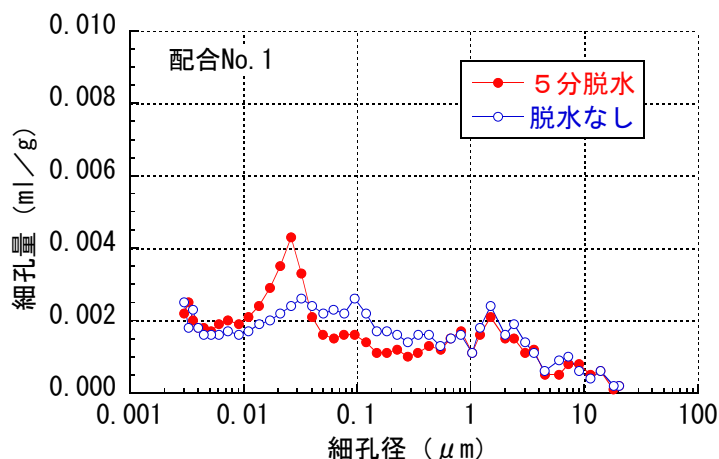
減していない部分に影響されることも一つの原因と考えられる。

一方、5 分間脱水を行った場合について、配合 No. 1 および No. 2 の単位水量の異なる配合のコンクリートの材齢 7 日および 28 日の圧縮強度を図－7 に示す（脱水量は表－4 参照）。配合および材齢に関わらず、脱水を 5 分行うことにより脱水なしの場合と比較して、圧縮強度が大幅に増加した。脱水を比較的長い時間行うことにより、水セメント比が圧縮強度に有効な程度にまで供試体全体で低減され、圧縮強度が向上したものと考えられる。

3.4 脱水量が乾燥収縮・細孔量に及ぼす影響

ある一定量以上の脱水を行うことにより圧縮強度が向上することから、ここでは乾燥収縮（JIS A 1129-3-2001 に準拠）および細孔量（水銀圧入法）について測定を行った。配合 No. 2 のコンクリートについて、5 分間脱水を行った場合と脱水なし場合の乾燥収縮性状を図－8 に示す。乾燥収縮量の顕著な減少は認められないが、低減される傾向が示された。図－7 に示したように圧縮強度も増加していることから、相対的にひび割れに対する抵抗性は向上しているものと考えられる。

図－9 に配合 No. 1 のコンクリートについて、5 分間脱水を行った場合と脱水なし場合の細孔分布の測定結果を示す。脱水したものは、脱水なしの場合と比較して $0.1 \mu\text{m}$ 程度の空隙が減少



図－9 細孔分布の測定結果

表－6 振動締固め時の累積加速度

実験ケース	累積加速度 (m/s)
振動締固めのみ	249.0
2 分間脱水後振動締固め	366.4
振動締固めと同時に脱水	540.3

して $0.01 \sim 0.04 \mu\text{m}$ 程度の空隙が増加する傾向となった。水セメント比が減少した影響によるものと考えられるが、明確な原因は不明である。他の配合のケースや脱水方法についても今後検討し、考察を行う予定である。

3.5 振動締固めに及ぼす影響

飽和砂地盤の液状化対策振動締固め工法では、振動締固め中の吸水（脱水）が締固め効果の顕著な向上をもたらすことが既往の研究により明らかとなっている³⁾。コンクリートの施工では振動締固めについて一般的な方法が定められているが、コンクリートの配合と振動の伝播範囲（作用領域）との関係を考慮したものとはならない⁶⁾。そこで、本真空脱水方法による振動締固め効果に及ぼす脱水の影響を評価することとした。

ここでは、振動締固め効果の指標の参考値として、振動を開始して 15 秒間の加速度の経時変化の測定結果を積分して、累積加速度⁵⁾を求めた。表－6 に各実験ケースの累積加速度を示す。真空脱水を行うことにより、いずれのケースも振動締固めのみの場合と比較して累積加速度が大きくなる結果となった。特に、振動締固めと同

時に脱水を実施した場合には、累積加速度が大幅に大きくなることから、振動を広範囲に伝播しているものと考えられる。したがって、脱水による水セメント比の低下と振動締固め作用領域の拡大により、本脱水手法はコンクリートの密実さ向上に寄与する方法である可能性が示された。しかし、既に述べたように振動締固めと同時に脱水した場合の脱水量は比較的少量であることから、脱水量の確保と振動締固め効果の向上の両立について今後検討を行う必要がある。

4. まとめ

本研究は、比較的簡易な方法で振動締固め中やその前後の時間にコンクリート中から直接余剰水を吸引・集水する装置を試作し、新たな真空脱水処理方法によってコンクリートの品質向上を図ることが可能か検討した。得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 有孔管の周面に有孔フィルムと不織布からなる透水シートを隙間なく貼り付けた有孔管からなる集水部を用いることにより、フレッシュコンクリートから余剰水を脱水できる。脱水後は集水部が抜けられない程度に脱水固化した状態となる。
- (2) 同一時間脱水を行った場合には、水セメント比が一定であっても、単位水量が多いコンクリートほど一定時間に多くの余剰水を脱水でき、単位水量に対する脱水率も大きくなった。
- (3) 供試体のレベルでは、真空脱水を5分程度と比較的長い時間行うことにより、水セメント比が圧縮強度に有効な程度にまで供試体全体で低減されて、圧縮強度が大幅に向上した。
- (4) 5分間脱水を行った場合、乾燥収縮量の顕著な減少は認められないが、低減される傾向が示された。
- (5) 振動締固めと同時に脱水を実施した場合には、累積加速度が大幅に大きくなることから、振動を広範囲に伝播しているものと考えら

れる。

以上の結果から、本脱水手法はコンクリートの密実さ向上に寄与する方法である可能性が示された。今後は、脱水部分からの距離によってはコンクリートの品質が不均一になっていると考えられることなどから、より実規模レベルに近い状況において、集水部の形状・寸法、脱水時間やそのタイミングなどの脱水条件とコンクリートの品質の関係についてより詳細な検討を行い、実用化を目標とした検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 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シンポジウム委員会報告書，JCI-C63，pp.10-29，2004.9
- 2) 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シンポジウム委員会報告書，JCI-C63，pp.80-83，2004.9
- 3) 石黒健，飯島健，菅井正澄，嶋田三朗：過剰間隙水圧の除去を併用した飽和砂の振動締固めに関する基礎的研究，土木学会論文集，No. 505/III-29，pp.79～88，1994.12
- 4) 河井徹：モルタル及びコンクリートの加圧脱水のメカニズムのに関する研究，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.307～314，2004.9
- 5) 大野誠彦，加賀谷誠：ボックス形充てん装置を用いた加速度計測による普通コンクリートの締固め性評価，フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題(II)シンポジウム論文集，pp.II-49～II-54，2003.7
- 6) 岩崎訓明：振動によるフレッシュコンクリートの液状化と内部振動機の作用領域に関する考察，土木学会論文集，No.426/V-14，pp.1～18，1991.2