# 一般財団法人新潟県建設技術センター 平成 30 年度 研究助成事業報告書

コンクリート工の技術伝承を目的とした締固め作業方法及び 締固め完了判断手法の検討に関する事業

# 平成 31 年 3 月

長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 陽田 修 (代表者) 一般社団法人新潟県コンクリートメンテナンス研究会 幹事 吉原 敬 (構成員) 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 井林 康 (構成員) 金沢工業大学 工学部 環境土木工学科 田中 泰司 (構成員) 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 村上 祐貴 (構成員)

## 1. はじめに

コンクリート構造物は、適切な締固め作業を行うことで所定の品質を確保し耐久性が向上する。 特に、打込み時の締固め作業は、密実なコンクリートを造るために重要な作業である。しかし、締固め作業は、作業者の経験値に依存してきた部分が多く、熟練技能者が不足する現状では、技量不足による品質低下が懸念される。

本事業は、熟練技能者の経験値に依存している コンクリート締固め作業完了の判断指標を、コン クリート内部の間隙水圧の変化から示すことを目 的として、2つの実験的検討を行い、その結果を報 告する。

1つ目の実験的検討として、小型試験体(幅700 mm×高さ300 mm×厚さ300 mm)を用いて、スランプと締固め時間による間隙水圧と振動加速度の変化を捉えるとともに、コンクリート硬化後の密度と透気係数から密実性の評価を行った。また、硬化したコンクリートの粗骨材分布から、締固め時間によって材料分離が生じていないか評価を行った。

2つ目の実験的検討は、大型試験体(幅 1800 mm×高さ 900 mm×厚さ 300 mm)のコンクリート打込み作業を熟練技能者が一般的な締固め方法で行い、打込み作業中、コンクリート内部の間隙水圧を捉えるとともに、ンクリート硬化後の透気係数から表層部の密実性の評価を行った。また、表層部の超音波伝搬速度測定および細孔径分布測定を行い、表層部の密実性評価を行った。

## 2. 小型試験体による実験

#### 2.1 実験方法

## 2.1.1 試験体概要

本研究の試験体を図-1,図-2に示す。試験体は700mm×300mm×400mmの型枠を作成し、間隙水圧計と加速度センサーを型枠内面から60mm,深さ150mmに2か所設置した。また、型枠全体に振動機の振動が伝わり共振することを防ぐために、表層部を想定した1面以外の型枠面に厚さ50mmの緩衝材を取り付けた。表-1に実験パラメータとしてスランプと締固め時間の設定を示す。また、表-2に使用したコンクリートのスランプ測定結果を示す。

また、本研究で使用したコンクリートの配合を 表-3に示す。

## 2.1.2 締固めと間隙水圧・振動加速度の測定

締固め厚が 300mm となるようにコンクリートを

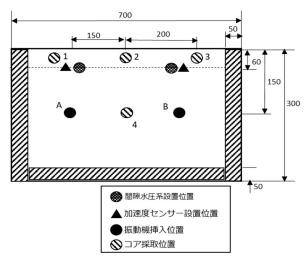


図-1 試験体平面図

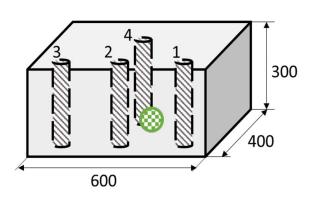


図-2 試験体立面図

表-1 スランプと締固め時間の設定

試験体名	スランプ	締固め時間
SL8 5s		5s
SL8 15s	8cm	15s
SL8 40s		40s
SL12 5s		5s
SL12 15s	12cm	15s
SL12 40s		40s

表-2 試験体打込み時のスランプ

試験体名	スランプ
SL8 5s	9cm
SL8 15s	7.9cm
SL8 40s	7.5cm
SL12 5s	13.5cm
SL12 15s	11.0cm
SL12 40s	11.7cm

表-3 実験で使用したコンクリート配合

スランプ c m	体積 m³	水セメン ト比 %	細骨材率 %	空気量 %	セメント kg	水 kg	細骨材 kg	粗骨材 kg	混和剤① (AE減水剤) kg	混和剤② (AE剤) kg
SL8	0.069	55	42	4.5	20.92	11.46	52.88	73.87	0.209	0.042
SL12	0.069	55	42	4.5	21.17	11.60	52.64	73.53	0.212	0.042

型枠内に投入したのち、図-1 に示す、位置(A)にバイブレータ(振動部直径 28mm、振動数 220~270Hz)を挿入する。バイブレータの先端が型枠の下面に当たらない程度の深さまで振動を与えずに挿入し、間隙水圧計と加速度センサーを 0 セットしたのち、1 回目の締固めを行った。

締固めは、バイブレータを挿入した位置で保持したまま、表-1に示す締固め時間をストップウォッチで計測し振動の ON、OFF を操作した。次に、バイブレータを図-1に示した位置(B)に振動を与えずに移動し1回目と同様の深さで2回目の締固めを行った。2回目の締固め時間は、1回目と同じ時間をストップウォッチで計測し挿入した位置で保持したまま振動の ON、OFF を操作した。この間、間隙水圧計と加速度センサーはリセットせずに連続して測定を行った。

# 2.1.3 密度測定および粗骨材分布評価

コンクリート硬化後,図-1,図-2に示す位置でコアを採取し密度測定を行った。コアは,内径49.6 mmのコアビットにより試験体下面から採取した。採取したコアを湿式コンクリートカッターにより下面側から10cm間隔で切断した。

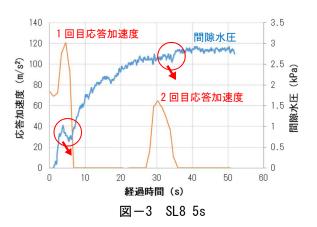
密度測定は、粗骨材の密度及び吸水率試験方法(JIS A 1110)に準拠した方法で行った。コアを水中に 2 日間浸漬した後、飽水状態でコアの体積を測定し、その後 2 日間炉乾燥(105° $\pm 5$ °)。を行い、乾燥状態の質量測定を行った。これらの測定結果を用いてコアの密度を求めた。

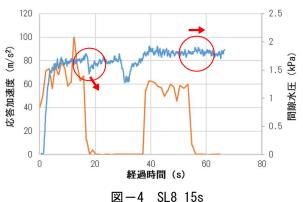
粗骨材分布評価は、密度測定後のコアを打込み 深さ方向で半分に割裂し、深さ方向の粗骨材分布 を目視で確認した。

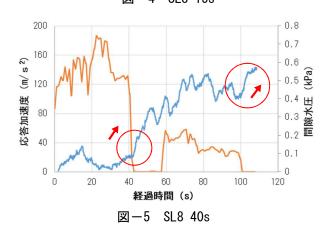
# 2.1.4 表層透気試験 (トレント法)

材齢 28 日以上経過後,表層透気試験 (トレント法) により表層透気係数 (kT値) の測定を行った。

表層透気試験は、コンクリート表層を真空状態にし、内部の空気が吸引され真空状態が回復するまでの時間から一次元方向の透気性を評価する手法である。測定された表層透気係数(kT 値)が小さい値ほど、密実性が高いと評価される<sup>1)</sup>。







測定は、図-2 に緑色で示す表層部を想定した面で行った。

# 2.2 実験結果と考察

#### 2.2.1 スランプと間隙水圧の関係性

本研究では、1回目の締固め地点(A)に近い間隙水圧計と加速度センサーの結果に着目し関係性の検討を行った。

加速度センサーの測定結果は、振動加速度の波 形が得られる。本研究では、1秒間の最大振動加速 度と最小振動加速度の絶対値を平均した値を応答 加速度とした。

スランプ 8 cmのコンクリートに対して、締固め時間  $5_8 \times 2$  回、 $15_8 \times 2$  回、 $40_8 \times 2$  回の締固めによる間隙水圧と応答加速度の測定結果を、それぞれ、図 - 3、図 - 4、図 - 5 に示す。

また、スランプ 12 cmのコンクリートに対して、 締固め時間  $5_8 \times 2$  回、 $15_8 \times 2$  回、 $40_8 \times 2$  回の締固 めによる間隙水圧と応答加速度の測定結果を、そ れぞれ、図-6、図-7、図-8 に示す。

スランプ 8cm では,1回目の締固め中,応答加速 度が上昇すると間隙水圧が上昇する。また,2回目 の締固めを行うと間隙水圧が緩やかに上昇する。

一方,スランプ 12cm では,1回目の締固め中,応答加速度が上昇すると間隙水圧が低下する(負圧となる)傾向が見られた。また,2回目の締固めを行うと間隙水圧が低下,または変化しなくなる傾向が見られた。

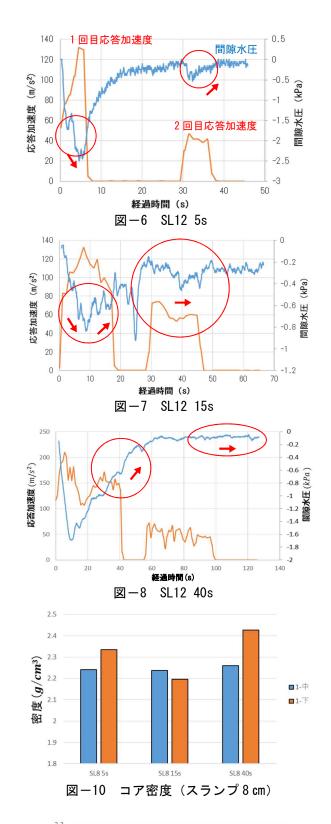
これは、スランプ 8cm では流動性が低く、コンクリートを型枠に投入しただけでは、コンクリート内に空隙が多く、間隙水圧センサー周辺にも空隙が生じる。その後、1回目の振動によってセンサー周辺が密になり、間隙水圧が上昇したと考えられる。一方、スランプ 12cm では 8cm に比べ流動性が高く、型枠に投入した時点で間隙水圧センサー周辺がコンクリートで覆われる。そして、振動によって構成材料が沈降し、その際、センサーに付着した間隙水に表面張力が生じ、負圧が生じたと考えられる。

## 2.2.2 間隙水圧から推定する適切な締固め時間

スランプ 8 cm では,  $\mathbf{2} - \mathbf{3}$ ,  $\mathbf{2} - \mathbf{4}$  に示すように, 締固め時間  $5_{s1}$  回目と 2 回目の締固め,  $15_{s}$  1 回目の締固め停止時に間隙水圧が低下している。これは,締固めが不十分で,振動を止めた際にセンサー周辺の骨材などが緩み,間隙水圧が低下するものと考えられる。このことから,締固め時間が  $15_{s}$  以下では締固めが不十分であると考えられる。

また、図-4、図-5 に示すように、締固め時間 15s2 回目の締固めと 40s1 回目および 2 回目の締固 め停止時に間隙水圧が低下しないことから、スランプ 8cm の適切な締固め時間は 30~40s であると思われる。

スランプ 12 cmでは、図-6に示すように、締固 め時間 5s では、間隙水圧が応答加速度の上昇と同時に低下した。しかし2 回目の締固めでは、締固め



2.25 2.25 2.15 型 2.15 2.05

図-11 コア密度(スランプ 12 cm)

開始 2 秒後に間隙水圧の低下が停止し、その後上昇し始めた。図-7に示す締固め時間  $15_8$  でも同様の傾向がみられ、2 回目の締固め開始  $5_8$  後に間隙水圧の変化がみられなくなった。この傾向は、図-8 に示すように、締固め時間  $40_8$  でも同様の傾向がみられた。このことより、スランプ 12cm の適切な締固め時間は  $10\sim20_8$  であると思われる。

## 2.2.3 コア密度による密実性の評価

採取したコアから試験体の深さ方向の密実性について評価を行った。その結果を図-10,図-11に示す。 締固め時間が長いほど密度が増加した。

# 2.2.4 粗骨材分布から見た材料分離評価

密度測定後のコアを打込み深さ方向で半分に割裂し、深さ方向の粗骨材分布を目視で確認した。図 -12~図-15 に示すように、深さ方向で粗骨材の分布に大きな差異は無く材料分離は確認されなかった。

### 2.2.5 表層透気係数による密実性の評価

表層透気試験の結果を図-16 に示す。いずれの測定結果も,透気性の評価指標として示される  $^{2)}$  表-4 の評価基準では「優」に区分される。また,僅かであるが,スランプ毎に,締固め時間によって表層透気係数 kT 値に差がみられる。

スランプ 8 cmでは、締固め時間  $15_s$  の表層透気係数 kT 値が締固め時間  $5_s$  の値より高く、締固め時間  $5_s$  の値より高く、締固め時間  $5_s$  、 $15_s$  (2 回の合計  $10_s$  、 $30_s$ ) では、締固めが不十分で表層部の密実性が不均質であると思われる。また、締固め時間  $40_s$  の表層透気係数 kT 値が最も小さい値となり、締固め時間  $5_s$  、 $15_s$  (2 回の合計  $10_s$  、 $30_s$  )より密実性が高いと言える。これは、間隙水圧の変化から予測した適切な締固め時間 ( $30_s$ ~ $40_s$ ) と関係性があると思われる。また、より長い時間締固めを行うことで、表層透気係数 kT 値が小さくなると思われる。

一方,スランプ 12 cmでは,締固め時間が長くなるに従い,表層透気係数 kT 値が比例的に小さくなっている。間隙水圧の変化から予測された適切な締固め時間  $(10s\sim20s)$  と関係性は見られるが,より長い時間締固めを行うことで,表層透気係数 kT 値が小さくなる結果となった。

# 2.3 小型試験体による実験のまとめ

小型試験体による実験によって得られた知見を 下記に記す。

・締固め時の間隙水圧の変化には、スランプ毎に関係性が存在し、スランプの違いによる間隙水圧の変化傾向について考察を示すことができた。

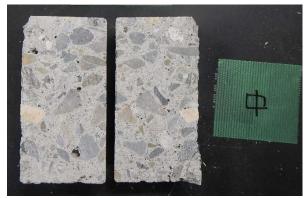


図-12 粗骨材分布状況 (スランプ 8 cm 40s 中)

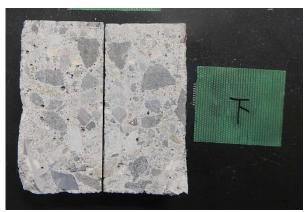


図-13 粗骨材分布状況 (スランプ 8 cm 40s 下)

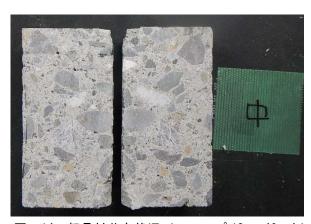


図-14 粗骨材分布状況 (スランプ 12 cm 40s 中)

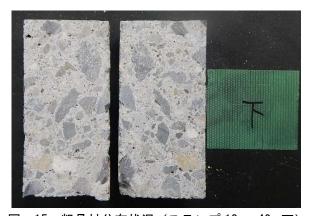


図-15 粗骨材分布状況 (スランプ 12 cm 40s 下)

- ・スランプ 8 cmでは、コアの密度と表層透気係数 kT 値より、間隙水圧の変化から予測した適切な 締固め時間( $30_8$ ~ $40_8$ )より短い時間では、密実性 が低く、間隙水圧の変化から最低限必要な締固め 時間を設定できる可能性がある。
- ・コアの密度と表層透気係数 kT 値より 締固め時間 が長いほど密実性が向上することが分かった。

これらの知見より、間隙水圧の変化から、最低限必要な締固め時間をスランプ毎に設定できる可能性があり、今回の実験範囲では、より長い時間締固め作業を行うことで、密実性が向上する結果となった。しかし、闇雲に長い時間、連続して締固め作業を行うことは、材料分離が生じ、表層品質が低下することとなる。そのため、締固め時間の上限を設定するには、表層品質の評価を材料分離の観点から評価する必要がある。

今後は, 更に長い締固め時間及びスランプが大きい場合に, 間隙水圧の変化と表層部の密実性, 材料分離の有無について検討していく。

## 3. 大型試験体による実験

## 3.1 実験方法

#### 3.1.1 試験体概要

本研究の試験体を図-17 に示す。試験体は,壁 状構造物を模した,幅 1800mm,高さ 900mm,厚さ 300mm の形状とした。また,試験体は,表層品質 の向上に効果があるとされる <sup>3)</sup>透水型枠を試験体 の半分に適用している。

コンクリート標準示方書 [施工編] に示されるコンクリートの打込み方法に準じて、1 層目の打込み高さを 50 cm, 2 層目の打込み高さを 40 cmとして打込みを行った。

各層の打込み作業中および締固め完了後のコンクリート中の間隙水圧測定を目的として、間隙水圧計を設置した。図-18に示すように、1層目打込み高さの中央と1層目の上から10cmの深さに2つの間隙水圧計を設置した。

使用したコンクリートの示方配合を表-5に示

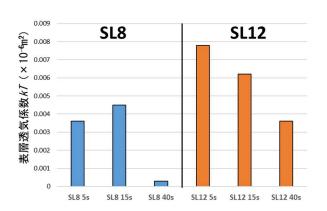


図-16 表層透気係数 kT値測定結果

表-4 トレント法による評価基準

	優	良	一般	劣	極劣
透気係数 kT	0.001	0.01	0.1	1.0	10
$(10^{-16} \text{m}^2)$	~	~	$\sim$	$\sim$	$\sim$
	0.01	0.1	1.0	10	100



図-17 大型試験体概要図

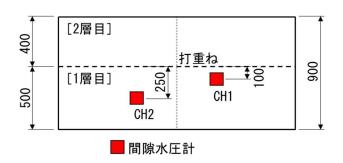


図-18 間隙水圧計配置図

表-5 大型試験体示方配合表

スランプ	呼び	最大骨	水セメ	細骨材率		単位	体積重量(	kg/m³)	
c m	強度	材寸法mm	ント比 %	%	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
8	24	25	53	41.2	265	140	783	1161	2.82

す。また**,表-6**に打込み時に測定したコンクリートの性状試験結果を示す。

#### 3.1.2 締固めと間隙水圧の測定

1層目の打込み高さが 50 cmとなるようにコンクリートを型枠内に投入したのち, 2 つの間隙水圧計を 0 セットし, 1 層目の締固めを行った。

バイブレータは,振動部直径 31mm,振動数 200 ~240Hz を使用した。

締固めは、バイブレータの挿入間隔および締固め完了の判断を熟練作業者の判断とし、締固め作業時間をストップウォッチで計測した。尚、締固め時間の計測は、バイブレータをコンクリートから抜き、移動する時間は計測を中断し、1層目の累積締固め時間を計測した。測定時間を表-7に示す。

1層目の締固め完了後、計画高さまで2層目のコンクリートを投入した。2層目も1層目と同様に熟練作業者の判断で締固めを行った。ただし、バイブレータは、コンクリート標準示方書[施工編]に示されるコンクリートの打込み方法に準じて、バイブレータを1層目に10cm程度挿入して締固めを行うよう指示し、バイブレータに挿入深さの目安をマークしている。また、1層目と同様に締固め累積時間を計測した。

2層目の締固め完了まで、間隙水圧計はリセットせずに連続して間隙水圧の変化を測定した。

#### 3.1.3 コンクリート打込み後の養生

試験体は、型枠を 12 日間存置し、試験体をシートで覆うことで乾燥を防ぎコンクリート表層部の湿潤状態を確保した。( $\mathbf{Z}-19$ )

## 3.1.4 表層品質評価試験

材齢 28 日が経過した時点で,**表-8** に示す表層 品質評価試験を行った。

表層透気試験は、コンクリート表層を真空状態にし、内部の空気が吸引され真空状態が回復するまでの時間から一次元方向の透気性を評価する手法である。測定された表層透気係数(kT 値)が小さい値ほど、緻密であると評価される」。

表層透気試験は,試験体正面と背面を 1 辺 30 cm 角の測定エリアに分割し,合計 36 測点の測定を行った。尚,測定は,表面含水率が 5%以下であることを確認し,測定時間は 12 分とした。

超音波法による試験は、試験体を貫通するコアを2本採取し、コンクリート表面から深さ方向に1cm間隔で超音波伝搬速度の測定を行った。超音波伝搬速度は、緻密性が高いほど速度が速く、緻密性の評価試験方法として提案されている4。

細孔径分布測定は,超音波伝搬速度を測定し

表-6 打込み時のフレッシュ性状

スランプ	空気量	コンクリート温度
(cm)	(%)	(°C)
7.5	4.0	17.5

表-7 締固め時間

打込み層	累積締固め 時間	1回あたりの 推定締固め時間
1層目	3分41秒	37秒
2層目	4分31秒	45 秒



図-19 試験体養生状況

表-8 表層品質評価試験

試験種別	測定箇所	測定日
表層透気試験	正面・背面 36 測点	
超音波伝搬速度	貫通コア断面 表面~深さ 10 cm	材齢 28 日
細孔径分布測定	採取コア正面 表面〜深さ 15 mm	

たコアの試験体正面側 10 cmを切断し、外部の試験機関に測定を委託した。細孔径分布測定は、コンクリート表層部の細孔構造を把握することを目的として、表面から 15 mmまでの深さを対象とした。試験は、湿式ダイヤモンドカッターを用いて、表面より 5 mm間隔で 15 mmまでの範囲を切断して円盤状片とした後、ニッパを用いて粗骨材を除去した 5 mm角程度の小片に加工し、凍結乾燥機で一週間乾燥したものを測定に供した。

測定には、micromeritics 社製水銀圧入式ポロシメーターAutoPoreIV 9520 を用いている。

## 3.2 実験結果と考察

### 3.2.1 熟練作業者が判断した締固め時間

バイブレータ挿入間隔は、コンクリート標準示方書 [施工編] に示されるコンクリートの打込み方法で、水平方向に 50 cm以下を目安とされている。コンクリート打込み時の観察から、熟練作業者はバイブレータをおよそ 30 cm程度の間隔で挿入していた。これは、型枠締め付け材(セパレーター)の水平方向間隔が 50 cmであることから、この間隔に2回挿入したことによる。また、一般的にバイブレータ直径の10倍程度が振動の伝わる範囲とされていることによる。ここで、バイブレータ挿入間隔を30 cmとし試験体の幅1800 mmに6回挿入したと仮定すると、1回あたりの締固め時間が、締固め累計時間より、1層目で約37s、2層目で約45sとなる。(表-7)これは、小型試験体で間隙水圧の変化か

(表-7) これは、小型試験体で間隙水圧の変化から推定したスランプ 8 cmの適切な締固め時間 (30s~40s) とほぼ同程度の時間となる。

#### 3.2.2 間隙水圧の変化

測定深さが異なる間隙水圧の測定結果を図-20 に示す。測定は1秒間隔で行い、1分間の平均値を 図に表している。

1 層目の中央に配置した間隙水圧計 (CH2) は、 締固めを開始すると間隙水圧は上昇し、締固め継続中もある程度の値で上昇が止まる。その後、2 層目の打ち重ねにより、再び間隙水圧が上昇し、2 層目の締固め作業完了後も 14kPa 程度まで上昇し変化が止まる。これは、2 層目の締固め振動による水圧の上昇と、2 層目コンクリートの重量増加による圧密による変化と考えられる。

1層目の上から 10 cmの深さに配置した間隙水圧計 (CH1) は、1層目の締固め作業中にほとんど変化が無い。これは、深さ 10 cm程度では間隙水圧が

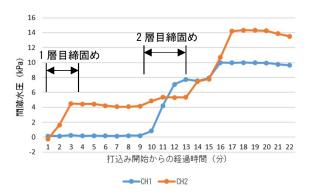


図-20 打込み中の間隙水圧変化

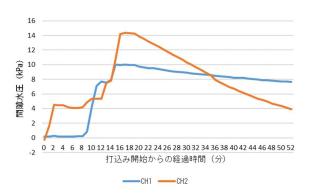


図-21 締固め終了後の間隙水圧変化

上昇するまでの締固め圧力,またはコンクリートの圧密による圧力が生じないものと考えられる。その後,2層目の打ち重ねにより,間隙水圧が上昇し,2層目の締固め作業完了後も10kPa程度まで上昇し変化が止まる。これは,1層目中央の間隙水圧変化と同様に,深さ50cmに配置した間隙水圧計(CH2)に,2層目コンクリートの圧密による水圧上昇が生じていると考えられる。

また、コンクリート打込み開始から 50 分後程度までの間隙水圧測定結果を図ー21 に示す。1 層目の中央に配置した間隙水圧計 (CH1)で、打込み開始 20 分程度から間隙水圧が低下し、36 分程度経過時点で、1 層目の上から 10 cm深さでの間隙水圧 (CH1)より小さい値となった。これは、ブリーディングによる水圧の低下が考えられるが、15 cm程度の深さの差でこれ程の差が生じるか疑問である。また、1 層目の中央に配置した間隙水圧計 (CH2)は、型枠に透水型枠を使用した範囲に配置している。そのため、型枠面を通して排水され、水圧が大きく低下した可能性がある。これらについては、今後の検討課題としたい。

#### 3.2.3 表層透気試験結果

試験体正面と背面の合計 36 測点の測定結果を図 -22 に示す。図中の上段の数値は、表層透気係数

## 大型試験体【正面】

上層	0. 1481	0. 0187	0. 18	0. 0021	0. 0031	0. 0241
	4. 80	4. 66	4. 67	4. 90	4. 77	4. 93
	0 4. 70	4.87	0 4. 70	0. 0099 5. 50	0.0169 5.27	0. 0099 5. 40
下層	0. 0002	0. 0001	0. 0003	0. 0062	0. 6787	0. <mark>0213</mark>
	5. 00	4. 93	4. 93	5. 07	5. 00	5. 17

図-22 表層透気試験結果

(kT値),下段の数値は、測定時の表面含水率を示した。

透気性の評価指標として示される  $^2$  表 -4 の評価基準で評価した場合,一部を除き「優」もしくは「良」に区分され,良好な打込み作業が行われたと考えられる。ただし,1層目の下部と2層目の上部に kT 値が約 0.3, 0.4, 0.7 という「一般」と評価される測点がある。この測点は,軽微な豆板と表面気泡が目視で確認された。局部的に,締固め不足あるいは,過振動による材料分離が生じたものと考える。

次に、試験体の上部と下部で表層透気係数(kT値)を比較すると、上部で「良」、下部で「優」の評価基準におおよそ区分される。これは、間隙水圧の測定結果で下部は上部より水圧が大きくなることと相関があり、間隙水圧の変化を締固め判定の評価に適用できる可能性がある。

## 3.2.4 超音波伝搬速度測定結果

超音波伝搬速度の測定結果を図-23に示す。

超音波伝搬速度は、コンクリート表面から 10 cm までの深さで測定を行っているが、普通型枠では、 締固めにより水が集まりやすい表層部で速度が遅く、内部で早くなる。一方、表層部に集まる水を排水する透水型枠では、表層部と深さ 10 cmでほぼ同じ速度が測定されている。過度な締固めや締固め不足があった場合は、大きな気泡の残存や材料分離により緻密性が下がり、超音波伝搬速度が遅くなることから、今回の打込み方法で、密実性に影響する過度な締固めや締固め不足はなかったと考える。

# 3.2.5 細孔径分布測定結果

細孔径分布の測定結果を図-24に示す。

細孔径分布は、コンクリート表面から 15 mmまでの深さで細孔構造を分析している。超音波伝搬速度の結果と同様に、普通型枠では、締固めにより水が集まりやすい表層部で細孔径の大きな細孔が分



0. 0937	0. 2957	0. 084	0. 0054	0. 0031	0. 0055
4. 83	5. 10	5. 20	5. 07	5. 43	5. 10
0. 0052	8	0	0. 0108	0.0656	0. 0284
5. 10		4. 93	5. 13	83	5. 40
<b>0</b> 5. 23	0 4. 90	0. 0099 5. 13	0. 0015 4. 97	0. <b>4071</b> 5. 37	0.0048

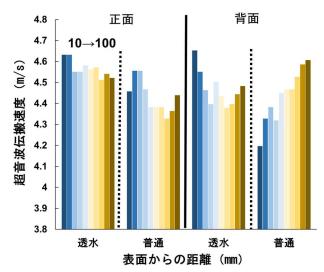


図-23 超音波伝搬速度試験結果

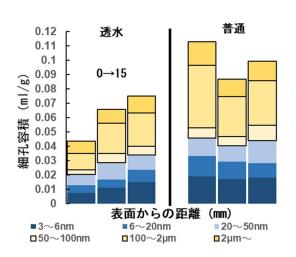


図-24 細孔径分布測定結果

布し、内部まで同様の構造となっている。一方、表層部に集まる水を排水する透水型枠では、細孔量が表面ほど少なく、総細孔量も少ない構造となっている。過度な締固めや締固め不足があった場合は、大きな気泡の残存や材料分離による細孔構造への影響が生じることから、今回の打込み方法で、表層部の細孔構造に影響する過度な締固めや締固め不足はなかったと考える。

## 3.3 大型試験体による実験のまとめ

大型試験体による実験によって得られた知見を 下記に記す。

- ・熟練作業者の判断で行った締固め時間は,小型試験体で間隙水圧の変化から推定した,スランプ8 cmの適切な締固め時間(30s~40s)とほぼ同程度の時間となった。
- ・小型試験体の実験で得られたスランプ 8 cmの間 隙水圧変化と同様に,締固めを開始すると間隙水 圧は上昇傾向を示した。
- ・締固め継続中も、ある程度の値に達すると間隙水 圧の上昇が止まる。その後、上層の打ち重ねにより、再び間隙水圧が上昇し、上層の締固め作業完 了後もある程度まで上昇し変化が止まる。これは、 上層の締固め振動による水圧の上昇と、打ち重ね コンクリートの重量増加による圧密による変化 と考えられる。
- ・コンクリートの深さ 10 cm程度では、間隙水圧が 上昇するほどの締固め圧力、またはコンクリート の圧密による圧力が生じないものと考えられる。
- ・表層透気係数 (kT 値) の結果から、締固め作業 後に間隙水圧が高い下層部は、上層部に比べて表 層部の密実性が高いことが確認された。

これらの知見より,打込み中に間隙水圧の変化 を捉えることで,締固め完了を判断できる可能性 がある。

### 4. 事業のまとめ

本事業は、熟練技能者の経験値に依存している コンクリート締固め作業完了の判断指標を、コン クリート内部の間隙水圧の変化から示すことを目 的として、2つの実験的検討を行った。 その結果,間隙水圧の変化から,最低限必要な締固め時間をスランプ毎に設定できる可能性があり,また,打込み高さによって間隙水圧の上限があり,打込み中に間隙水圧の変化を捉えることで,締固め完了を判断できる可能性がある。

しかし、今回の実験範囲では、材料分離の有無を評価できていない。実際の施工現場では、充填不良を警戒し締固め時間を長く、締固め間隔を狭くする傾向となる。間隙水圧が上限に達した後の締固めが、過振動となり材料分離を生じ、表層品質が低下する可能性がある

そのため、締固め時間の上限を設定するには、表層品質の評価を材料分離の観点から評価する必要があり、今後は間隙水圧の変化と表層部の密実性、材料分離の有無について検討していく。

# 参考文献

- 小松怜史
   https://www.kozobutsu-hozen-jourmal.net/series/detail.php?id=68&page=3
- R.J.Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Material and Structures, Vol.25, pp.358-365, 1992
- 3) 陽田 修, 井林 康, 田中泰司, 吉原 敬: 細骨材 率が異なるコンクリートの表層品質確保のための 実験的検討, コンクリート工学年次論文集 40(1) 1269-1274, 2018.7
- 4) 非破壊・微破壊試験によるコンクリート構造物の検 査・点検マニュアル:独立行政法人土木研究所・社 団法人日本非破壊検査協会,pp165-168