

表層透気試験を用いた実構造物の調査方法における課題と対策に関する一検討

(一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 工博 ○渡邊 晋也
 中日本高速道路株式会社 (株) 正会員 野島 昭二
 エフティーエス (株) 藤原 貴央

キーワード：表層透気試験，非破壊調査，熱風乾燥

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の長期耐久性を確保することは、LCC や安全面の観点から重要な要素となっている。長期耐久性を持たせるコンクリート構造物を施工するには、コンクリートの配合・締固め・養生などを適切に検討し、施工を行わなければいけない。しかしながら、コンクリート構造物は『工場』ではなく、『現場』で施工されていることが多いことから、目の行き届かない箇所も当然ある。したがって、コンクリートの品質が良い箇所と悪い箇所が混在することが考えられる。良い箇所については、当初の設計通りの劣化予測に当てはめ、今後の対策を講じれば良いが、品質が悪い箇所については、施工時に何らかの対策を行い、設計通りの品質に戻すことが必要になる。このようなことから、コンクリート構造物の良し悪しについて、施工初期の段階で調査を行い、評価を行わなければならないと考えられる。

そこで、近年ではコンクリート構造物の品質について調査する手法として透水試験法¹⁾や表層透気試験法²⁾などの非破壊検査手法について、数多く研究^{3) 4) 5)}がなされ、実際に活用されている。しかしながら、現場の状況やコンクリートの状態によって、得られる値に差異が生じているのも、周知の事実である。特に、得られる結果に差を与える影響としては、コンクリート中の『水分』であると考えられる。この『水分』については、静電容量式水分計 (ASTM F2659) や 4 電極法 (Wenner 法) で測定を行い、測定結果により非破壊調査実施の可否や測定値の補正を行っている。しかしながら、コンクリート中の水分測定による定量化については、非常に難しいことも周知の事実である。

以上のことから、コンクリート中の『水分』に関する問題を解決するには、測定対象物の前処理をある程度、標準化する必要がある筆者らは考えている。

本報告ではコンクリートの初期品質に用いられる表層透気試験方法に着目し、実際に調査を行った実構造物の例を示し、課題を抽出した後、その対策方法について検討を行った結果について考察を行うものである。

2. 現場測定について

2.1 コンクリート構造物の概要

本調査で実施したコンクリート構造物は、新設の橋脚である。コンクリートの配合を表-1に示す。水セメント比 42.5%で呼び強度が 40N/mm²のコンクリートである。打込みから 28 日経過した後、表層透気試験を実施した。なお、養生条件は、脱枠後コンクリート保水養生テープで封緘養生 (写真-1) としている。



写真-1 構造物の養生状況

表-1 コンクリートの配合

水セメント比	細骨材率	単位量(kg/m ³)				
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
(%)	(%)					
42.5	44.7	376	160	776	1010	2.256

2.2 測定概要

本調査にはダブルチャンバーセルを用いたトレント法による表層透気試験により透気係数の測定を行った。また、測定を行う前に、コンクリートの水分状態を把握するため、静電容量式水分計と電気抵抗式水分計（写真-2）の2種類を用いてコンクリート表層の水分率を測定した。静電容量式水分計は ASTM 規格に準拠したものであり測定深は 20mm（カタログ値）である。一方、電気抵抗式水分計は、電極間距離が 15 mm であることから、測定深さは極表層部を測定しているものである。

測定対象のコンクリート構造物は、測定の前日に養生テープを剥がして自然乾燥をさせた面を用いて測定を行っている。測定状況を写真-3に示す。

測定時の条件として、対象コンクリート構造物が日陰（午前 10：15-10：40）にある時と、日向（午前 11：24-11：42）にあるときの2条件で測定を行った。なお、測定位置は同一の場所で行っている。

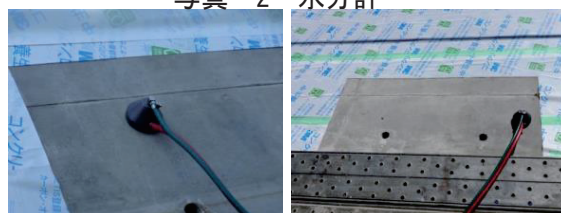
2.3 測定結果

(1) 水分計の結果

図-1 に静電容量式、図-2 に電気抵抗式の水分率測定結果を示す。また、図-3 に測定時のコンクリート表面温度を示す。その結果、静電容量式水分計では、日陰と日向での顕著な違いが見られなかった。トレント法の基準水分率 5.5%を全ての測点で下回り、水分の影響を無視できるという結果となっていた。一方で、電気抵抗式の水分計では、日陰時と比べて日向時では 15%~35%程度、水分率が低くなる結果が得られた。この理由として考えられるのは、静電容量式の場合、コンクリート表層か



1) 静電容量式 2) 電気抵抗式
水分計



1) 日陰時の測定 2) 日向時の測定
写真-3 表層透気試験の実施状況

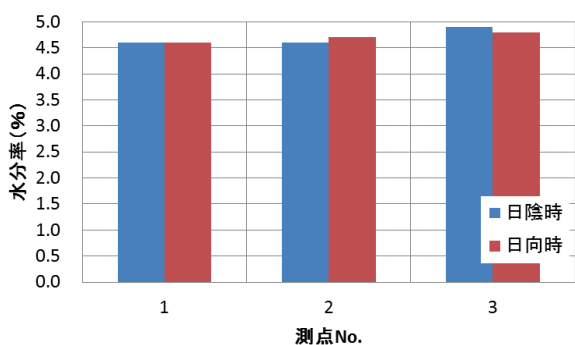


図-1 水分率（静電容量式）

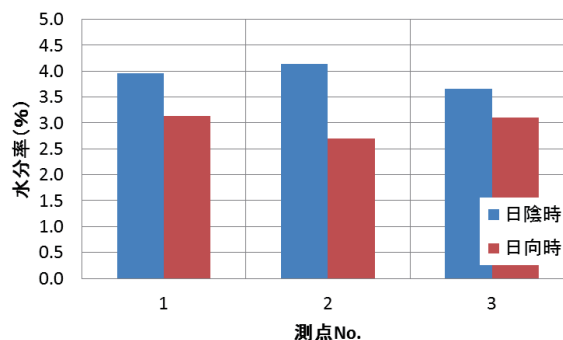


図-2 水分率（電気抵抗式）

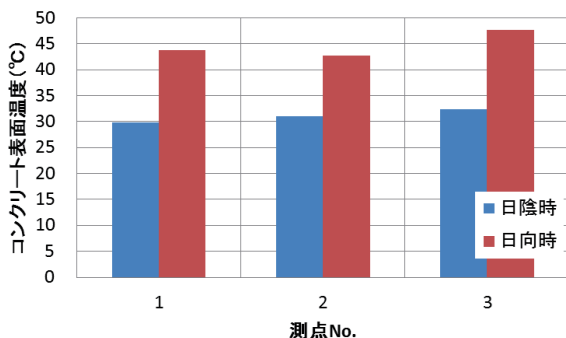


図-3 測定時のコンクリート表面温度

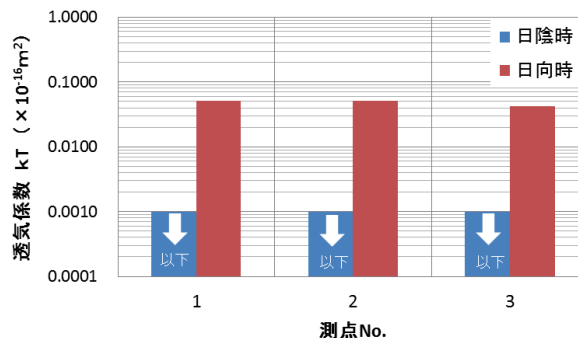


図-4 トレント法による透気係数

ら 20mm までの深さを測定しているのに対して、電気抵抗式では極表層を測定しているため、コンクリート表層の乾き具合がより顕著に現れたものと考えられる。

(2) 表層透気試験の結果

図-4 にトレント法による表層透気試験の結果を示す。日陰時に測定した場合、 $<0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の測定結果が得られた。その後、日向になり、再度測定した結果、 $0.042 \sim 0.051 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の測定結果となった。Torrent が示している透気ランクが Very Low から Low へと 1 時間の間隔で変化する結果となった。この結果が得られた理由として、極表層部にある水分が影響していると推察した。

2.4 課題の抽出

本調査で、表層透気試験法の課題として考えられることを以下に示す。

- 1) コンクリート表層から調査する場合、対象コンクリート構造物の『水分』が測定結果に大きく寄与する。
- 2) コンクリート中の水分率を測定する機器は市販されているが、この値をどこまで信じて良いのか疑問が生じる。
- 3) 例えば、実構造物の調査を行う前日に降雨の影響で、測定対象のコンクリート構造物に水がかかってしまった場合、実際とは異なる結果が得られ、見かけ上のコンクリート品質が向上する。

以上に記したように、コンクリート表面からの品質を評価するには、コンクリート中もしくはコンクリート表層の水分を適切に評価する必要がある。しかしながら、前述したように、市販されている水分計についてもどの程度の水分を評価しているのかが不明である。そこで、筆者らは、コンクリート表層にある『水分』を除去し、コンクリートの品質を評価する方法を検討した。

3. コンクリート表層の水分除去に関する検討

コンクリート表層の水分を除去するには、強制的に乾燥させる方法が簡易であり、現場に適用することが可能である。そこで、コンクリート表面に直接熱風を当てて乾燥させる方法について検討を行った。

3.1 乾燥方法の概要

本研究では、熱風温度や風量を調整できるヒートガンを用いて行った。ヒートガンの仕様としては、熱風温度が $50^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ 、風量が $0.25 \sim 0.5 \text{m}^3/\text{分}$ のものを使用した。コンクリート表面と熱風ノズル口の間隔を 12 mm に統一し、実験を行っている。乾燥状況を写真-4 に示す。



写真-4 熱風を用いた乾燥の実施状況

3.2 ヒートガンの温度・乾燥時間の設定に関する検討

ヒートガンの温度を設定する際に、最も考慮しなくてはならないことは、熱によるセメント組織の変質である。そこで、本実験では 200°C 以下で最も効率の良い温度と乾燥時間について検討を行った。

3.3 実験概要

水セメント比 51.5% の普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート試験体を用いて検討を行った。試験体寸法は $\phi 150 \text{mm} \times$ 高さ 200mm である。標準養生を 6 ヶ月行った後、室内に 48 時間静置させた試験体を用いている。

乾燥の条件として熱風温度は 100°C 、 150°C 、 200°C とし、乾燥時間を 5、10、15、20、25 および 30 分とした。各乾燥時間で、トレント法による透気係数の変化および静電容量式水分計による水分率の測定を行っている。

3.4 実験結果

図-5 に水分率の変化, 図-6 に透気係数の変化を示す。水分率は, 乾燥開始前は 5.4~5.7%であった。その後, 200℃乾燥では 5 分後から定量となり, 100℃, 150℃では 10 分後から定量となる結果が得られた。透気係数は, 水分率が大きかった 150℃の試験体は, 乾燥開始前は $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の測定結果が得られた。その他の試験体では $0.006 \times 10^{-16} \text{m}^2$, $0.012 \times 10^{-16} \text{m}^2$ であった。その後, 表層を乾燥させるに連れて透気係数の値が大きくなり最大で $0.058 \sim 0.084 \times 10^{-16} \text{m}^2$ となった。値の変動としては, 乾燥温度に関わらず 15 分程度で定常になる結果が得られた。

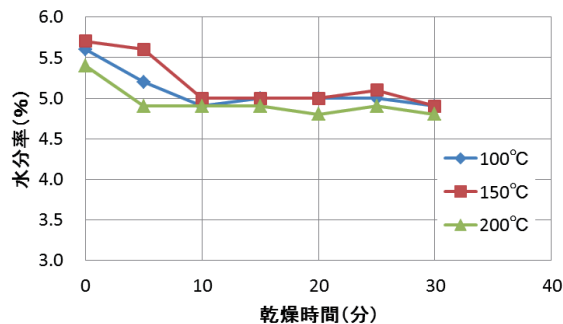


図-5 乾燥過程における水分率の変化

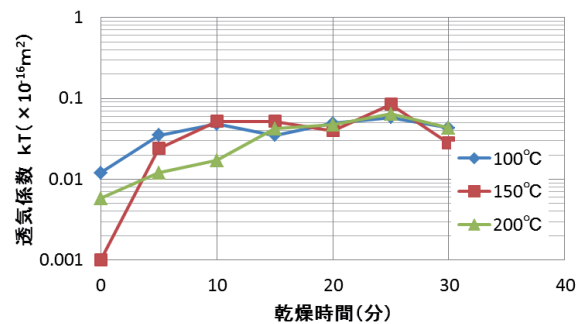


図-6 乾燥過程における透気係数の変化

4. 結論

本研究では, コンクリート中の水分率が透気係数に与える影響について検討を行った。本検討で得られた知見を以下に示す。

- 1) 現場で測定した透気係数は, 日陰時と日向時で測定結果に違いが確認された。この理由としては, コンクリート中の水分が影響を及ぼしているものと考えられる。
- 2) 水分率の測定には, 静電容量式水分計や電気抵抗式水分計などがあるが, 市販されている測定機の精度に疑問があるため, それらの数値をもちいて補正等を行うことは困難であると考えられる。
- 3) コンクリート表層の水分除去に関する検討として, 熱風による乾燥方法について検討を行った。その結果, 水分率や透気係数の値から乾燥させることで, 水分を除去させることができる結果が得られた。
- 4) 熱風の温度および乾燥時間については, 効率的かつなるべく温度が高くない 150℃とし, 乾燥時間は現場での測定に影響を与えないように 15 分間が適当であると判断した。

参考文献

- 1) 林和彦, 細田暁: コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1769-1774, 2011
- 2) R.J.Torrent : A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, Vol.25, No.150, pp.358-365, 1992
- 3) 蔵重勲, 廣永道彦: コンクリートの中酸化抵抗性と表層透気係数の関連分析に基づいた品質検査判定基準の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.718-723, 2012
- 4) 野島昭二, 渡邊晋也, 藤原貴央, 谷倉泉: 透気係数を用いたコンクリートの品質評価と測定条件に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.2134-2139, 2014
- 5) 半井健一郎, R.J.Torrent: 表層透気試験 (トレント法) の実務展開, コンクリート工学, Vol.52, No.7, pp.595-600, 2014