

論文 屋外暴露された中規模柱試験体を対象とした表層品質の継続的計測および空隙構造分析による養生効果の検証

横山 勇気*1・酒井 雄也*2・岸 利治*3

要旨：複数の配合・養生条件にて作製され、屋外に暴露された中規模柱試験体を対象に、継続的に表層透気試験を行うとともに、表面吸水試験や空隙構造分析を実施することで、実環境に置かれたコンクリートの表層品質に及ぼす養生や材料配合の長期的な影響の把握を試みた。その結果、降雨の影響を受ける箇所では、材齢が数年経過すると表層透気係数や10分間の吸水量、閾細孔径には養生による明確な差異は見られなくなることを確認した。

キーワード：養生, 表層品質, 表層透気試験, 表面吸水試験, 空隙構造, 経年変化, 中規模柱試験体

1. はじめに

コンクリート構造物の長期耐久性は材料や配合, 施工方法, 周辺環境, 養生など複数の要因による影響を受ける。その中でも養生については近年様々な手法が開発されるとともに^{1,2)}, 東北地方の復興道路・復興支援道路では耐久性向上の取組みの一環としてトンネルの坑口部分の型枠存置期間が1週間に設定されるなど, 数多くの実構造物にて養生による品質確保に向けた積極的な工夫が施されている³⁾。

養生の影響を受けるコンクリート表層部の品質評価には透気性や吸水性等に着目した試験方法^{4,5)}が提案されており, 国内外で研究が行われている。これらの試験方法を用いて表層品質を検討する場合, 実構造物を対象とした既往の研究⁶⁾や海外の規格⁷⁾では材齢28~91日の竣工時点での表層品質が主な検討対象とされている。しかし数十年あるいは100年を超える構造物の寿命を想定すると, これらの検討における試験期間はごく初期の材齢に留まっており, 長期の耐久性を議論するには不十分であると考えられる。表層品質の継続的な計測も実施されているが試験期間が1年を超える検討は僅かである。長期的な検討例として, Sanjuánらが床版の模擬試験体を用い20年間継続的に透気試験を実施しているが, 養生による影響は検討されていない⁸⁾。Parrottはセメントの種類や養生条件が透気係数に及ぼす影響を検討しているが, 温湿度一定の室内で試験が行われており, 試験期間は最長で18ヵ月である⁹⁾。Nakaraiらはボックスカルバートやその模擬供試体を用い, 材齢39ヵ月まで表層透気試験やコンクリート中の含水率, 中性化深さの測定を継続的に実施している¹⁰⁾。しかし, 降雨の影響を直接受ける箇所での検討や表層部の吸水性, 空隙構造などの分析は行われていない。以上のように長期的かつ実環境下での

養生に関する検討が不足しているのが現状である。そのため, 養生期間の長期化や新たな養生手法の構造物への適用が進む中でも実構造物の長寿命化に対して養生が担う役割は十分に明らかになっておらず, 養生に必要以上の労力や費用, 時間が割かれている可能性も考えられる。

そこで本研究では, 表層品質の評価指標の一つである表層透気係数に着目し, 複数の養生条件・材料配合で作製され屋外に暴露された中規模柱試験体を用い, 94ヵ月間にわたる継続的な計測を実施することで, 降雨の影響の有無も含めた表層品質の経年変化を検討した。さらに吸水量の観点からも表層品質を把握するとともに, 劣化因子の移動経路となる空隙構造を分析することで, 養生方法や材料配合がコンクリート構造物の耐久性に及ぼす影響を多角的に検討した。

2. 実験方法

2.1 試験体概要

本検討では屋外に暴露された中規模RCラーメン模擬高架橋を用いた(写真-1)。この模擬高架橋は, 複数の養生条件・材料配合で作製された柱試験体20本から構成されている。柱試験体の概要を表-1, 配合, 形状・寸法を図-1, スランプ, 空気量, 材齢28日時点の圧縮強度の試験結果を表-2, に示す。試験体の半分(写真-1の左奥側)は夏季に, 半分(写真-1の右手前側)は冬季(2010年3月4日)に施工されており, 上部はスラブで覆われている。夏季施工分のスラブ下面には水切りが設置されており, 冬季施工分には水切りがない。本検討では, 同一の柱試験体で降雨の影響の比較検討が可能である冬季施工の柱試験体を検討対象とした。セメントには, 普通ポルトランドセメント(N, 密度:3.15g/cm³)または高炉セメントB種(BB, 密度:3.04g/cm³)が使用されて

*1 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 修士(工学) (学生会員)

*2 東京大学 生産技術研究所 講師 博士(工学) (正会員)

*3 東京大学 生産技術研究所 教授 博士(工学) (正会員)

いる。水セメント比 (W/C) は、N を使用した試験体では 32.0%, 58.0%, 64.8% (W/C58.0%の打込み時に約 20kg/m³加水) の 3 種類 (以下 N32, N58, N64.8 と略記), BB を用いた試験体では 57.5% の 1 種類に設定されている (以下 BB57.5 と略記)。柱試験体の高さは 2800mm, 断面は 300×400mm, かぶり厚さは 47mm である。主筋は D13 を 6 本, 配力筋には D10 を 15 本配し, 型枠にはコンクリート型枠用合板を使用している。N32 の目標スランプフローは 60cm, その他の柱試験体の目標スランプは 12cm, 目標空気量は全ての試験体で 4.5% に設定されている。細骨材には茨城県神栖市産の砂 S1 (表乾密度 2.60g/cm³, FM2.20) と栃木県佐野市産の砕砂 S2 (表乾密度 2.70g/cm³, FM3.20) を 7 : 3 で混合した砂, 粗骨材 G には茨城県笠間市産の砕石 G1 (表乾密度 2.65g/cm³, 実積率 60.0%) と栃木県佐野市産の石灰砕石 G2 (表乾密度 2.70g/cm³, 実積率 60.0%) を 1 : 1 で混合したものをを使用した。混和剤 Ad1 にはリグニンスルホン酸とオキシカルボン酸の複合 AE 減水剤, 混和剤 Ad2 にはポリカルボン酸エーテル系の高性能 AE 減水剤を用いた。試験体の作製にはレディミストコンクリートを使用し, ポンプ圧送による打込み後, 振動締固めを実施している。打込み時のコンクリートの温度は 11.2~13.6℃, 外気温は 7.6~9.6℃であった。気象庁の観測 (千葉) によると, 試験体を作製した 2011 年の年間降水量は 1258.5mm, 平均気温は 16.3℃, 平均湿度は 66% であった。試験体の打込みと並行して圧縮強度試験用のテストピースを作製した。テストピースは材齢 1 日で脱型し, 材齢 28 日に圧縮強度試験を行うまで封緘養生を施した。養生方法は, 早期脱型 (材齢 1 日にて脱型) とコンクリート標準示方書相当の養生 (N では 5 日脱型, BB では 7 日脱型) の 2 水準を基本とした。養生による影響を比較するため, N58 の柱試験体では密封養生 (材齢 5 日にて脱型後, フィルムにより材齢 28 日まで密封) や給水養生 (材齢 1 日にて脱型後, 養生マットにより材齢 28 日まで水を供給) の条



写真-1 中規模 RC ラーメン模擬高架橋

表-1 柱試験体の概要

| 配合名 | セメント種類 | 水セメント比 (%) | 養生方法 | 養生終了時の材齢 (日) |
|--------|--------|------------|-------|--------------|
| N32 | N | 32.0 | 早期脱型 | 1 |
| 示方書相当 | | | 5 | |
| N58 | | 58.0 | 早期脱型 | 1 |
| | | | 示方書相当 | 5 |
| | | | 密封 | 28 |
| 給水 | 28 | | | |
| N64.8 | 64.8 | 示方書相当 | 5 | |
| BB57.5 | BB | 57.5 | 早期脱型 | 1 |
| | | | 示方書相当 | 7 |

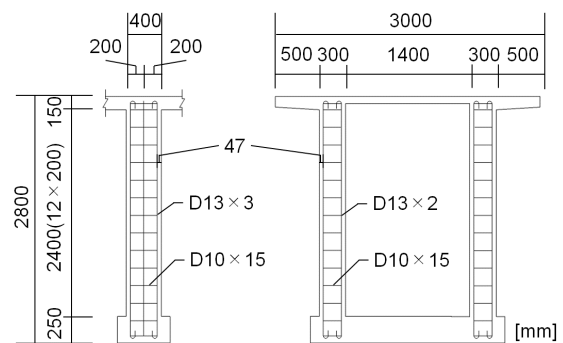


図-1 柱試験体の形状・寸法

表-2 柱試験体の配合, スランプ, 空気量, 圧縮強度の試験結果

| 粗骨材の最大寸法 (mm) | セメント種類 | スランプ (cm) | 水セメント比 (%) | 空気量 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | | | 圧縮強度*3 (N/mm ²) |
|---------------|--------|-----------|------------|---------|----------|-------------------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | | | | | 水 W | セメント C | 細骨材 1 S ₁ | 細骨材 2 S ₂ | 粗骨材 1 G ₁ | 粗骨材 2 G ₂ | 混和剤 1 Ad ₁ | 混和剤 2 Ad ₂ | |
| 20 | N | 59.5*1 | 32.0 | 4.5 | 47.4 | 170 | 532 | 530 | 238 | 429 | 437 | - | 8.78 | 59.75 |
| | | 13.0 | 58.0 | 4.7 | 45.2 | 168 | 290 | 572 | 254 | 506 | 513 | 2.90 | - | 26.77 |
| | | 22.0 | 64.8*2 | 5.8 | 45.2 | 184 | 284 | 560 | 249 | 496 | 503 | 2.84 | - | 22.53 |
| | BB | 14.5 | 57.5 | 5.1 | 44.9 | 167 | 291 | 567 | 251 | 506 | 513 | 2.91 | - | 26.85 |

*1 : スランプフロー値, *2 : W/C58%の配合の打込み時に外割で 20kg/m³加水したものを 1m³に換算

*3 : 材齢 1 日で脱型後, 材齢 28 日まで封緘養生を実施。表中の試験結果はテストピース 3 体の平均値

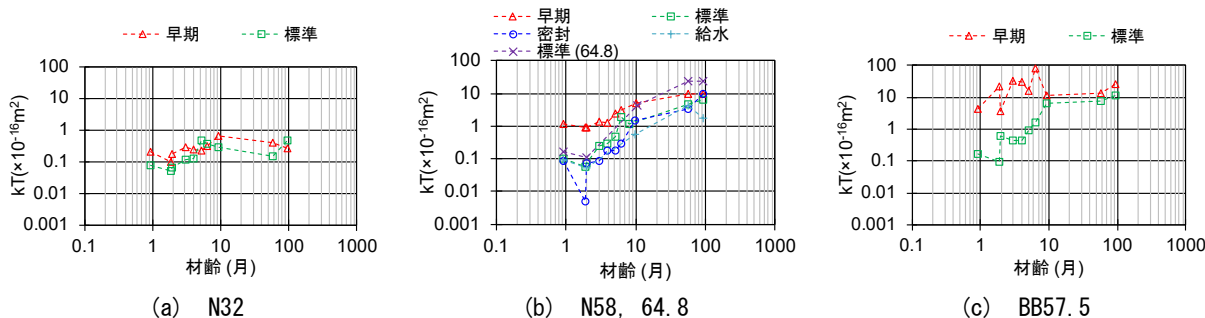


図-2 降雨の影響が無い箇所での kT の経年変化

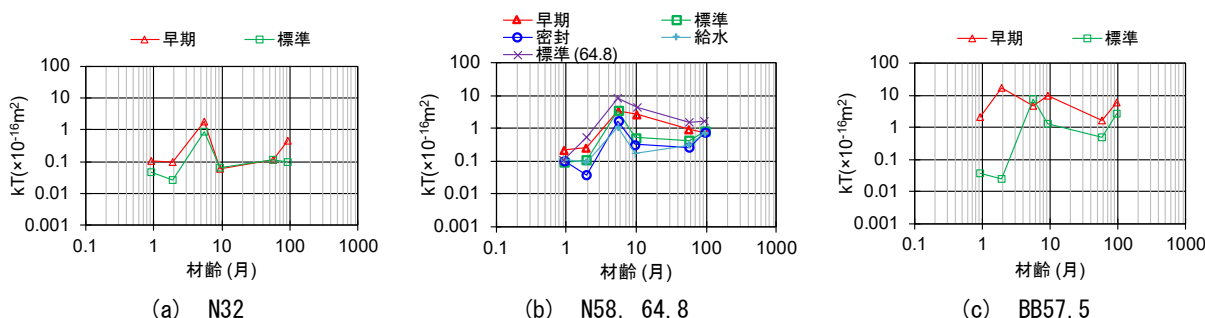


図-3 降雨の影響がある箇所での kT の経年変化

件も加えている。なお後述するように、柱試験体では過去に表層品質に関する複数の試験が実施されている^{11,12)}。

2.1 表層品質に関する非破壊試験

本検討では表層透気試験 (Torrent 法)⁴⁾と林、細田らによって開発された表面吸水試験 (Surface Water Absorption Test)⁵⁾を用い柱試験体の表層品質を評価した。

(1) 表層透気試験 (Torrent 法)

透気性の観点から表層品質を評価するため表層透気試験を実施した。また本検討では、表層透気試験により得られる表層透気係数 kT を評価指標としている。試験は材齢の 1~6, 9~10, 56, 94 ヶ月時点にて、試験体の外側に面した降雨の影響がある箇所と、試験体の内側に面した降雨の影響が無い箇所で行った。測定位置の高さは 1000~1350mm とし、1~3 点の測定点数の平均値を用いて評価した。検討対象となる冬季施工の柱は、材齢半年までの降雨の影響が無い箇所における kT の経時変化が蔵重ら¹¹⁾、材齢 10 ヶ月時点での kT が家辺ら¹²⁾により報告されている。測定を実施する季節により kT の値が変動することも予想されるが、材齢 9~10, 56, 94 ヶ月の測定は 11~1 月の期間で実施している。

(2) 表面吸水試験 (Surface Water Absorption Test)

吸水性の観点からも表層品質を評価するため表面吸水試験を実施した。本検討では、注水完了時から 10 分間の吸水量¹³⁾を評価指標としている。試験は材齢 95 ヶ月の時点にて実施し、測定箇所は、表層透気試験と同様に降雨の影響のある箇所と降雨の影響のない箇所とした。測定位置の高さは 1000mm, 1350mm の 2 か所とし、2 点の

測定点数の平均値を用いて評価した。

2.2 空隙構造分析

空隙構造を分析するため水銀圧入ポロシメトリー (MIP) を用いた。MIP で使用するコアサンプルは、材齢 96 ヶ月の時点で各柱試験体の高さ 1000mm の箇所より採取した。コアサンプルの採取後、表層から深さ 50mm までを 10mm 間隔で切断し、粗骨材が含まれていないことや細骨材が大半を占めていないことに注意しつつ、5mm 角程度の立方体となるよう整形した。その後、試料をアセトンに 24 時間浸漬し、D-dry 法により 24 時間乾燥させ分析した。細孔径が 10nm に相当する圧力を超えると細孔が破壊される可能性が指摘されているため¹⁴⁾、本検討で測定する空隙の最小径は 10nm とした。また、細孔空隙の中でも物質移動に関与すると考えられている閾細孔径¹⁵⁾を算出するに当たり、本検討では酒井らの手法¹⁶⁾を参考とし、セメントペースト体積の 16% に相当する水銀が圧入された時点の細孔直径を閾細孔径とした。

3. 実験結果および考察

3.1 表層品質に関する非破壊試験の結果

(1) 表層透気係数 kT の経年変化

図-2 に降雨の影響が無い箇所、図-3 に降雨の影響がある箇所の各柱試験体の kT の経年変化を示す。

まず養生が kT に及ぼす影響について考察する。N32 (図-2(a), 図-3(a)) では、材齢により変動はあるが養生による差は kT に見られない。W/C が低く空隙構造が緻密であるために養生による差異が確認されなかった

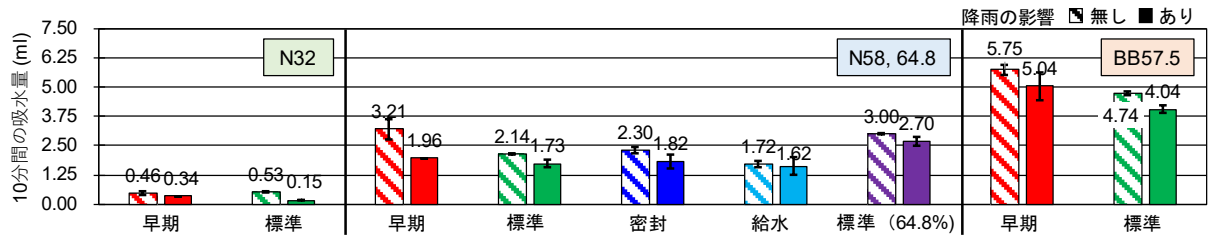


図-4 材齢 95 ヶ月時点の 10 分間の吸水量

と考えられる。

N58, 64.8 に着目する。降雨の影響が無い箇所(図-2(b))の場合、材齢 1, 2 ヶ月の時点では早期脱型の試験体を除き、kT に養生方法や打込み時の加水による違いは見られない。しかし材齢 3 ヶ月の時点から kT は増加し、養生や加水による差異が kT の値に現れ始め、材齢 94 ヶ月では養生や加水による kT の差は最大で約 13 倍となっている。以上の結果より、降雨の影響が無い箇所では材齢が数年経過した後でも kT に養生や加水による影響の差異が見られることを確認した。降雨の影響がある箇所(図-3(b))においても、材齢 1 ヶ月では養生や加水による明確な差異は kT に見られない。さらに養生や加水による違いは、材齢 2 ヶ月以降から kT に現れ、材齢 6 ヶ月まで kT は増加している。しかし材齢 6 ヶ月以降、kT は減少する。これは降雨の影響が無い箇所では見られなかった傾向である。その後、養生方法により kT の増減は異なるが、材齢 94 ヶ月時点の養生による kT の差は約 2 倍に収まっている。現時点で上記のような結果が得られた原因は明らかになっていない。そのため 1 つの仮説ではあるが、試験体作製から間もない材齢 1, 2 ヶ月では、コンクリート中の含水率は比較的高く養生による差は現れにくい。しかしながら材齢の経過に伴いコンクリート中の水分が逸散し含水率が低下するため、kT は増加する。材齢が 1 年以上経過すると、水分逸散に伴う含水率の変化に比べ、降雨などの周辺環境が kT へ及ぼす影響が卓越する。その結果、材齢 94 ヶ月時点では降雨の作用の有無により kT は異なる傾向を示したと推察した。

BB57.5 (図-2(c), 図-3(c)) に関しては、降雨の影響の有無によらず、材齢 1, 2 ヶ月では養生方法による差異が kT に見られる。しかし材齢の経過とともに標準養生の kT は増加し、材齢 1 ヶ月の時点で最大 55 倍であった養生による差は材齢 94 ヶ月で約 2 倍にまで縮小している。BB は N に比べ養生による影響を受けやすい¹⁷⁾。そのため、材齢 1, 2 ヶ月では養生方法により含水率や空隙構造に差が生じ、kT にもそれらの違いが反映されたと考えられる。また N を使用した場合と同様に、材齢の経過とともに、降雨や日射などによる乾湿繰り返しの作用によって養生による含水率や表層部の空隙構造の差が減少したために、kT の差異は縮小したと思われる。

続いて降雨が kT に与える影響について考察する。図-2, 図-3 より、試験体の配合によって違いはあるもののほぼ全ての試験体において、降雨の影響がない箇所と比べ降雨の影響がある箇所の kT は小さくなった。これは降雨の作用を受けることでコンクリート中の含水率や水和反応の進行程度が変化し、より緻密な空隙構造が形成されたことが要因として考えられる。

(2) 10 分間の吸水量

図-4 に材齢 95 ヶ月時点における各試験体の 10 分間の吸水量を示す。

まず養生が 10 分間の吸水量に及ぼす影響を考察する。N32 (図-4 左) に関しては、吸水量は 0.6ml 以下と他の材料配合の試験体に比べ少なく、養生による差異は明確には見られない。W/C が低く緻密な空隙構造が形成されたことが影響していると考えられる。

N58, 64.8 (図-4 中央) に注目する。降雨の影響が無い箇所では、早期脱型と打込み時に加水した試験体の吸水量は 3.0ml 以上である。これに対し、給水養生の試験体は他の養生方法に比べ吸水量が 2.0ml 以下であり、養生や加水による影響を確認することができる。一方降雨の影響がある箇所は、吸水量が 2.0ml 以上である打込み時に加水した試験体を除くと、それ以外の試験体には養生による明確な差異は見られない。降雨の影響の考察で述べたように、含水状態や水和度、空隙構造が降雨の作用により変化したことが要因として考えられる。

BB57.5 (図-4 右) は、降雨の影響の有無に関わらず、標準養生を施した試験体の吸水量は、早期脱型した試験体に比べ 1ml 程度減少している。本検討では材齢 1 年以内に吸水試験を実施していないため、吸水量の経年変化は不明である。しかしながら kT の結果を踏まえると、養生による吸水量の差異は材齢の経過に伴い縮小した可能性がある。

次に降雨が 10 分間の吸水量へ与える影響を考察する。試験体の配合により吸水量に差はあるが、降雨の影響が無い箇所と比べ降雨の影響がある箇所の吸水量は小さい。また kT と 10 分間の吸水量は同様の傾向を示しており、降雨の影響を受ける箇所では、含水率や水和反応の進行程度が変化し、空隙構造がより緻密になったことが影響したと考えられる。

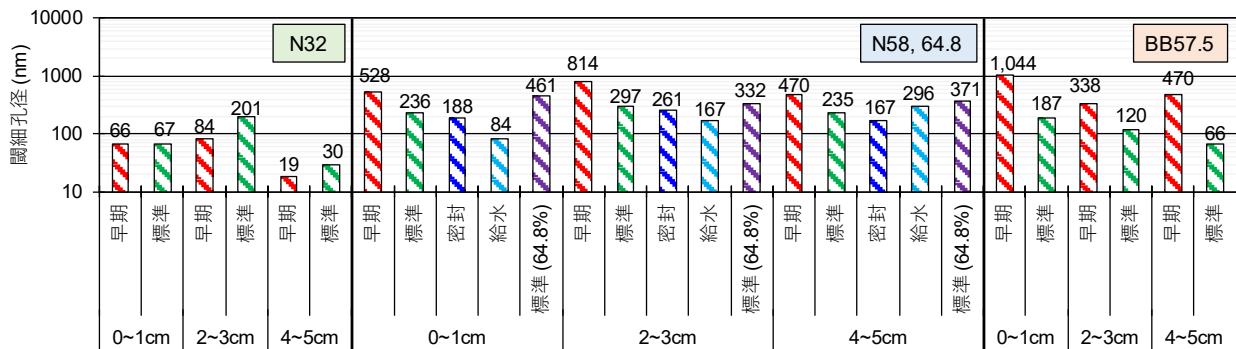


図-5 材齢96ヵ月時点の閾細孔径（降雨の影響無し）

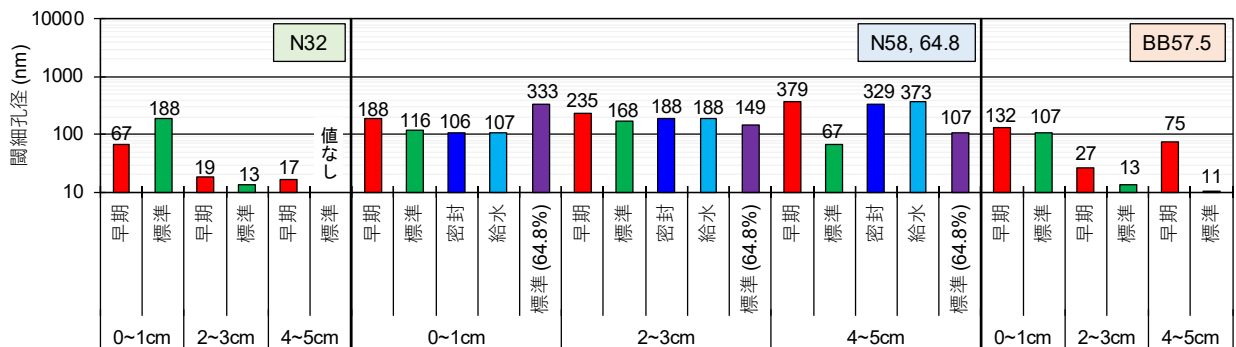


図-6 材齢96ヵ月時点の閾細孔径（降雨の影響あり）

3.2 空隙構造分析

図-5、図-6に材齢96ヵ月時点の各柱試験体の表層から深さ5cmまでの閾細孔径を示す。なお、図中の縦軸は対数で表記している。

(1) 降雨の影響が無い場合（図-5）

N32（図-5左）の場合、閾細孔径には養生による影響は見られない。これはW/Cが低く緻密な空隙構造であることが原因と思われる。

N58, 64.8, BB57.5（図-5中央、右）に関しては、閾細孔径に養生や打込み時の加水による差異が見られる。N32と比べW/Cが高く空隙構造が粗大であるため、養生による差異が閾細孔径に見られたと推察される。したがって本実験結果より、W/Cが60%程度の場合、降雨の作用を受けない箇所では材齢が96ヵ月経過した時点でも養生や打込み時の加水による影響が閾細孔径の差として現れることを確認した。

(2) 降雨の影響がある場合（図-6）

N32（図-6左）の場合、降雨の影響の有無によらず閾細孔径には養生の影響は見られない。要因として、前項で述べたように空隙構造が緻密であることが考えられる。

N58, 64.8, BB57.5（図-6中央、右）では、降雨の影響が無い場合に比べ養生や加水による差異が縮小している。降雨の作用を受ける場合、液状水が定期的にコンクリート内へ浸透するため、表層から数センチの深さの相対湿度は比較的高い状態に保たれる。この影響によって

未水和セメントや高炉スラグ微粉末の反応が進み、空隙構造がより緻密になり、養生の差異が縮小した可能性が考えられる。

次にN58の中でも標準、密封、給水養生が施された試験体に着目する。一般的に養生の影響を受ける範囲は表層から約3cm¹⁸⁾と考えられている。しかし、N58の標準、密封、給水養生を施した試験体における表層から3cmまでの閾細孔径の差異は最大で20nmであり、各養生方法による明確な差は見られない。この結果より、Nを使用し水セメント比を約60%としたコンクリートを想定すると、降雨の作用を受ける箇所では、材齢が経過するに伴い標準、密封、給水養生の間には表層品質の差が見られなくなる可能性が示唆された。

BB57.5に関しては、表層から深さ2~3cmの閾細孔径が30nm以下となり、N32と同程度の緻密な空隙構造が形成されている。使用材料により乾燥や降雨による乾湿繰り返しの作用が含水率や空隙構造の変化に及ぼす影響の程度が異なることが要因の一つとして考えられるが、詳細なメカニズムは明らかになっていない。なおN32の中でも標準養生が施された試験体では、表層から深さ4~5cmの閾細孔径の値が得られていない。これは酒井らの方法¹⁶⁾で閾細孔径として定義される、セメントペースト体積の16%に相当する水銀が圧入された時点の細孔直径が、本検討における最小の空隙径である10nmを下回ったためである。

4. まとめ

本研究では、屋外に暴露した中規模柱試体を対象に表層透気試験 (Torrent 法) を継続的に行うとともに、表面吸水試験 (SWAT) や空隙構造分析を実施し、それらの結果を分析することで、養生が耐久性に与える効果を検討した。本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 普通ポルトランドセメントの場合、降雨の影響を受ける箇所では、材齢の経過に伴い養生による差異が縮小することをコンクリート表層部の透気性の観点より確認した。さらに、材齢が94ヵ月以上経過した時点で吸水性や空隙構造に関する試験を実施したところ、降雨の影響を受けない箇所に比べ、養生や打込み時の加水による影響が減少していた。本検討結果を踏まえると、降雨の作用を受ける場合、材齢初期に見られる養生による表層品質の差異は、数年後には明確な違いとして現れなくなる可能性が考えられる。
- (2) 高炉セメントを用いた場合、降雨の影響を受ける箇所では、材齢の経過に伴い養生による表層部の品質の差は縮小した。また降雨の作用を受ける箇所では、表層から一定の深さにおいて極めて緻密な空隙構造が形成されていることを確認した。

5. 謝辞

本研究は、(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構「平成21年度運輸分野における基礎的研究推進制度」、国土交通省の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」による研究助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 白井達哉, 宮原茂禎, 坂本淳, 岸利治: 排水・湿润連続養生によるコンクリートの耐久性向上技術, コンクリート工学, Vol.53, No.10, pp.867-873, 2015.10
- 2) 渡邊賢三, 坂井吾郎, 坂田昇, 石田哲也: 水分逸散抑制養生が表層品質に及ぼす影響, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.74, No.4, pp.247-255, 2018.
- 3) 佐藤和徳: 復興道路・復興支援道路に関する取組み, コンクリート工学, Vol.53, No.1, pp.15-20, 2014.1
- 4) Torrent, R.J.: 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.6, pp.358-365, 1992.
- 5) 林和彦, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.69, No.1, pp.82-97, 2013.
- 6) 細田暁, 小松怜史, 中川恵理, 佐藤和徳: コンクリート構造物の品質向上の取組みと非破壊試験による効果の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1273-1278, 2015.
- 7) 半井健一郎, 蔵重勲, 岸利治: かぶりコンクリートの透気性に関する竣工検査—スイスにおける指針—, コンクリート工学, Vol.49, No.3, pp.3-6, 2011.3
- 8) Sanjuán, M.A., Muñoz-Martialay, R.: Variability of the concrete air permeability coefficient with time, *Building and Environment*, Vol.32, No.1, pp.51-55, 1997.
- 9) Parrott, L.J.: Influence of cement type and curing on the drying and air permeability of cover concrete, *Magazine of Concrete Research*, Vol.47, No.171, pp.103-111, 1995.6
- 10) Nakarai, K. et al.: Long-term permeability measurements on site-cast concrete box culverts, *Construction and Building Materials*, Vol.198, pp.777-785, 2019.2
- 11) 蔵重勲, 西田孝弘, 秋山仁志, 岸利治: 中規模柱試験体を対象とした非破壊評価による表層品質の要因分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1835-1840, 2011.
- 12) 家辺麻里子, 秋山仁志, 蔵重勲, 岸利治: 表層透気試験による養生条件を変化させた中規模柱試験体の表層品質詳細把握, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.659-664, 2011.
- 13) 井川倫宏, 玉岡優児, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価基準に関する基礎的研究, コンクリート工学論文集, Vol.29, pp.101-109, 2018.
- 14) 吉田亮, 岸利治: 水銀の漸次繰返し圧入による空隙の連続性抽出と有効圧力範囲に関する研究, 生産研究, Vol.60, No.5, pp.516-519, 2008.
- 15) Mehta, P.K., Manmohan, D.: Pore Size Distribution and Permeability of Hardened Cement Pastes, 7th Int. Congress on Cement Chemistry, Vol.3, pp.71-75, 1980.3
- 16) 酒井雄也, 岸利治: 臨界浸透確率に基づく閾値孔径の抽出とコンクリート中の液状水移動の定量評価, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.72, No.2, pp.83-96, 2016.
- 17) 檀康弘ほか: 高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの養生条件と耐久性の関係, 土木学会論文集 E, Vol.65, No.4, pp.431-441, 2009.
- 18) Parrott, L.J.: Moisture profiles in drying concrete, *Advances in Cement Research*, Vol.1, No.3, pp.164-170, 1988.