

# コンクリートの養生と表層品質

## 表層品質確保技術と養生モニタリング技術

伊代田 岳史

### 8. 養生不足による構造物の不具合

養生が不足することで、硬化不良や初期強度不足などに加え、寒冷地でのコンクリート表面の初期凍害、温度ひび割れや乾燥収縮ひび割れ、微細な表面ひび割れやドライアウト、表面剥離、色むらなどの不具合が生じることが懸念される。このような状態に陥ったコンクリート構造物は、再養生を施したり補修をしたりすることで対応することになる。工期などにより養生期間が確保できないケースでは、表面含浸剤の塗布や塗膜養生の採用、養生剤や配合、使用材料の変更などが実施されるが、なかなか発注者にその費用を認めてもらえないケースも多々ある。できるだけ計画段階にて養生を考慮した設計・施工計画を立てる必要がある。その上で、湿潤養生が不足してしまうと、表面ひび割れやコンクリート構造物の表層部（特にかぶり）の品質低下への影響も懸念される。最終回の今回は、このような表層コンクリートの品質を守るために、湿潤養生（乾燥）の影響範囲の整理と新たに提案されている湿潤養生方法の紹介、さらには養生をモニタリングする技術について紹介する。

### 9. 湿潤養生の影響範囲

#### 9.1 養生の影響範囲と表層品質への影響

湿潤養生はあくまでも表層コンクリートの保水・給水を行うものであり、コンクリート構造物全体への効

果は大きくないと考えられる。そのため、コンクリート構造物全体の強度への影響よりも表層（かぶり）コンクリートへの影響が大きいと推測される。水和反応の停止や粗大空隙が原因となり、鉄筋腐食に影響すると考えられる各種物質移動抵抗性が低下することが懸念される。そこで、まず養生の影響する範囲を特定する必要がある。ここでは、W/C55%の一般的な普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの試験体に湿度計を埋設することで、表層からどの深さまで乾燥の影響を受けるのか調査した結果<sup>1), 2)</sup>を図-1に示す。これより、初期段階において表層から20mm程度の深さ位置までは非常に大きく影響を受けており、急激な湿度変化が認められた。なお、時間が経過することで試験体内部まで乾燥が及んでおり、50mm程度までの影響が確認できた。

同様に、連続した粗大空隙の領域を計測するために、

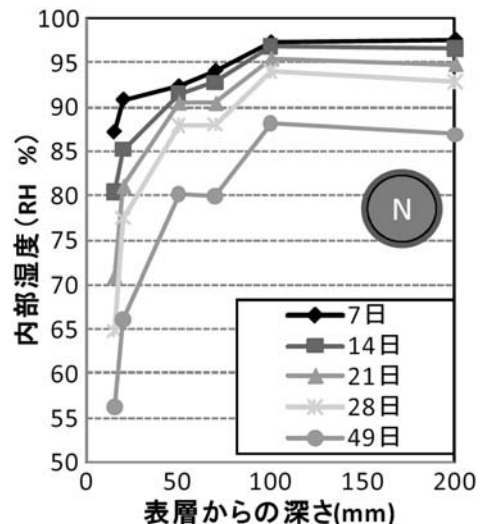


図-1 乾燥面からの距離に応じた内部湿度測定結果

筆者：(いよだ・たけし) 芝浦工業大学工学部 准教授

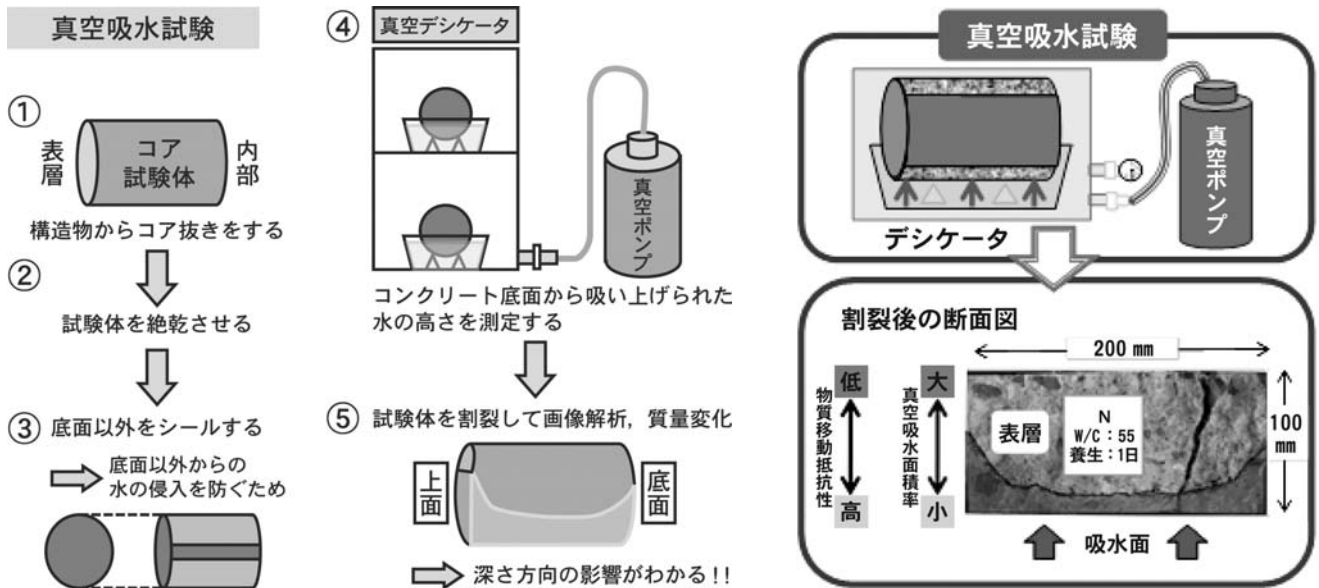


図-2 真空吸水試験の概要

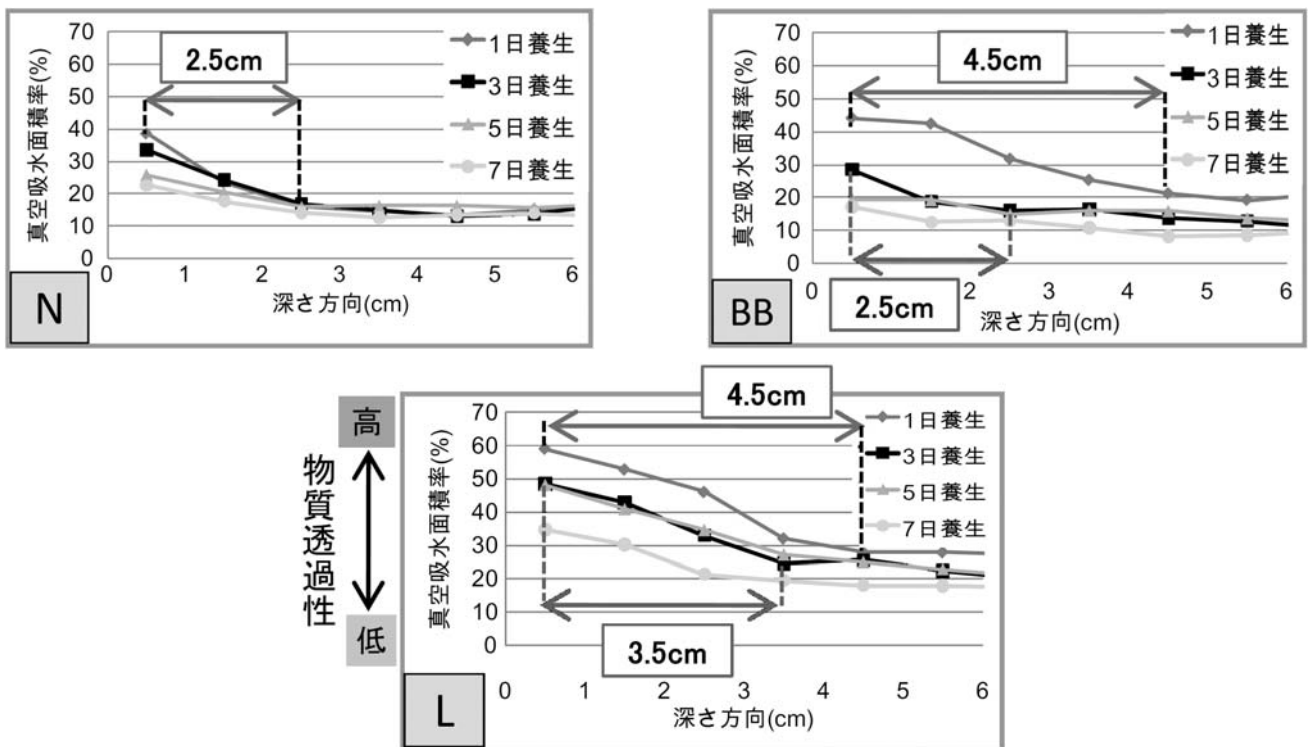


図-3 真空吸水試験法による養生時の乾燥の影響範囲の同定

養生期間を離れた試験体を用いて吸水試験（真空吸水試験）を行った。この試験は、図-2に示すように絶乾状態にした試験体を用いて試験体下面から5mmを浸水させて真空に脱気することで、吸い上げられた水の高さから空隙の量とその連続性を判断する方法である。空隙の量や連続性が高ければ、吸い上げられる水の高さが高くなり、物質移動抵抗性も低くなると想定できる。ここでは、10mm幅ごとに吸い上げられた面積をそ

の全面積で除することで真空吸水面積率を算出し、その結果<sup>4)</sup>を図-3に示す。ここからも分かる通り、表層より25mm程度までは養生の影響を受けて空隙が粗大化していると推測できる。なお、水和反応の遅延により硬化が遅延することが知られている、混合セメントや低熱ポルトランドセメントでは、養生期間が短いほど、45mm程度とその影響範囲が拡大しており、養生の重要性を見ることができる。

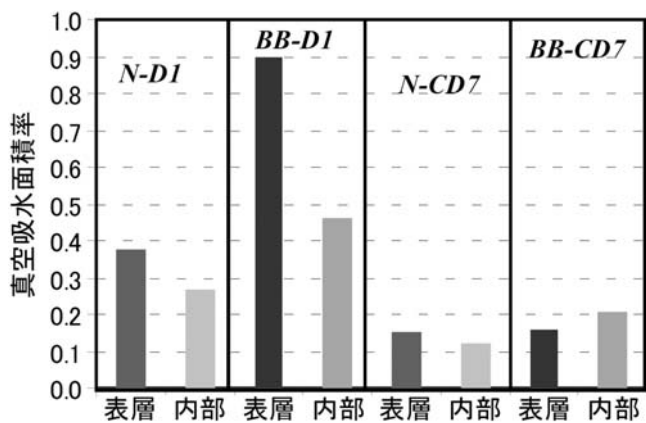


図-4 表層と内部のコンクリートの相違 (真空吸水試験結果)

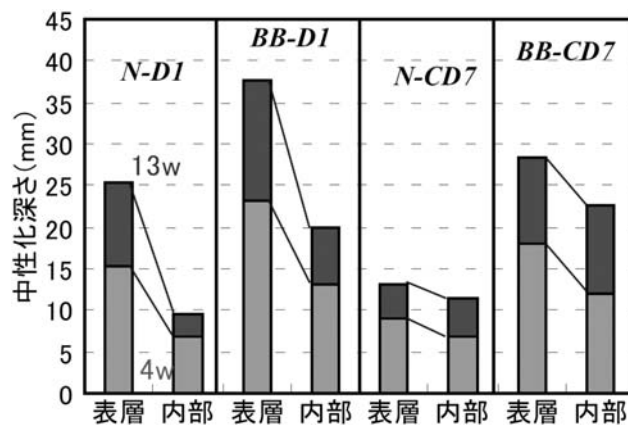


図-5 表層と内部のコンクリートの相違 (中性化促進試験)

次に、養生（乾燥）の影響が与える耐久性への検討結果<sup>3)</sup>として、W/C55%のNおよびBBのコンクリートを平板（300×600×100mm）に打込み、300×600mm面を1日（D1）および7日（CD7）に開放して乾燥開始材齢とした。材齢28日後にコアを採取し、真空吸水試験、中性化促進試験、塩分浸透試験を実施して、表層と内部の相違を確認した。なお、真空吸水試験では、表層と内部を区別するために30mm厚に切断したコアを用いた。中性化と塩分の試験では、100mm高さの試験体の両面から物質を浸透させて、その深さの比較を行った。その結果を図-4～6に示す。真空吸水試験および中性化促進試験では、D1の試験結果において、NおよびBBで表層と内部に差が認められた。その差はBBが顕著であった。一方、CD7では表層と内部で若干の差は認められるものの、大きな差は認められず、養生の影響はほとんどなくなっていると推測できる。また、塩分については、前号でも紹介したが、D1では未水和セメントが残存しているためか、浸透深さは大きな変化はなく、BBのほうが固定化現象などにより、浸透深さが小さくなる結果を示した。

このように養生を施さない、または養生期間を短縮した場合には、表層コンクリートにおいて劣化因子が急激に浸透することから、養生不足により極材齢初期において劣化因子が浸透しやすくなることが考えられる。一方で、ある程度の養生を施せば、表層と内部のコンクリートを均一化でき、高い耐久性を有するコンクリート構造体を作製できると考えられる。

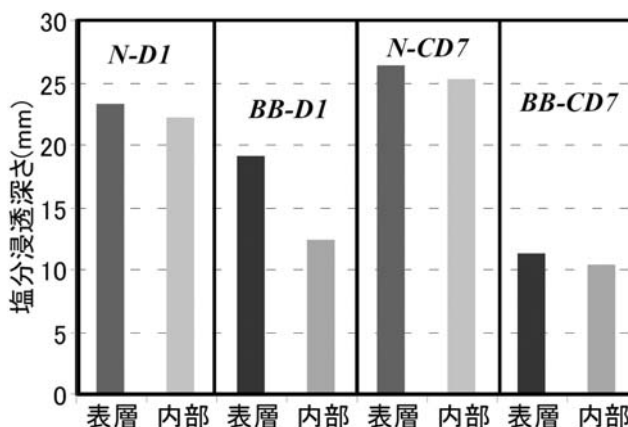


図-6 表層と内部のコンクリートの相違 (塩分浸漬試験)

## 10. 保水・給水に関わる 新規養生方法の提案

近年、保水・給水に関わる新規養生方法や工法の提案が数々なされている。その中からNETIS等に登録されているものを中心にその一部を紹介する。なお、この文章は著者がセメントコンクリート誌2014年9月号にて紹介したものを転用する。

### 10.1 アクアカーテン（給水）

【株式会社安藤・ハザマ】<sup>5)</sup>

アクアカーテンは、図-7に示したとおり、型枠を取り外したコンクリート面を給水養生シートで覆い、コンクリート面と養生シートの隙間に養生水を流下させることで、コンクリート面に水膜を形成する給水養生工法である。脱型後から実施することができ、水中養生のような養生環境を提供することで、コンクリートの強度・耐久性発現を実現しているとしている。

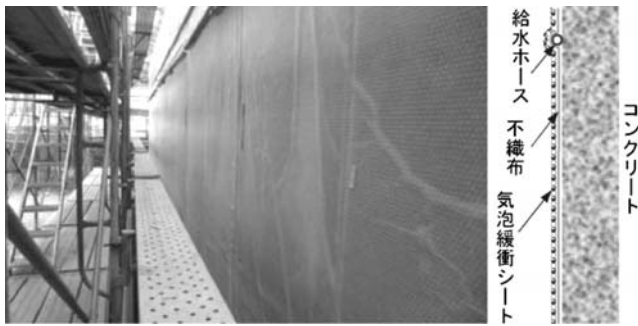


図-7 アクアカーテンの概念図<sup>5)</sup>

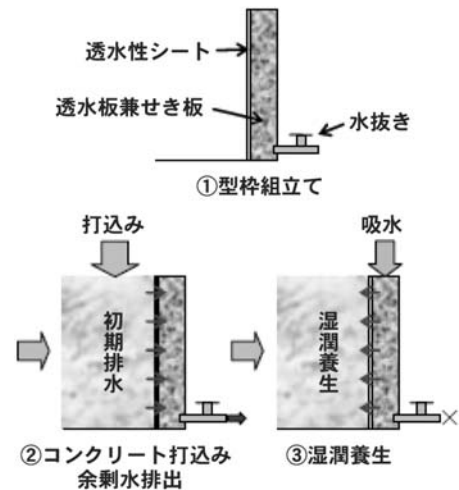


図-8 排水・湿潤連続工法の概念図<sup>6)</sup>

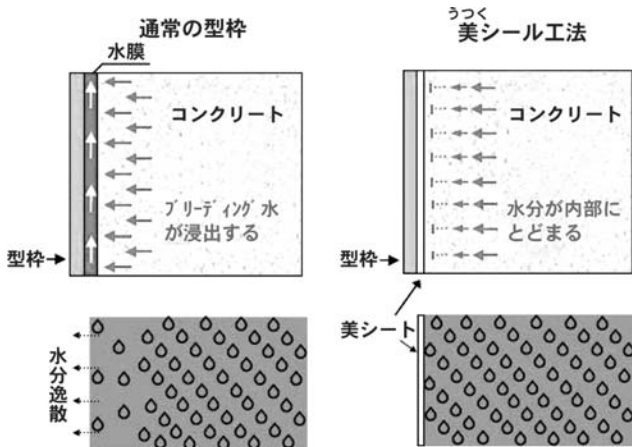


図-9 美シールの概念図<sup>7)</sup>



図-10 キュアリングシール工法<sup>9)</sup>

## 10.2 排水・湿潤連続工法（脱水・給水）

【大成建設株式会社】<sup>6)</sup>

コンクリート中に存在する余剰水の排出とその後の湿潤養生を両方連続的に行うことができる型枠として考案されている。設置した型枠を脱型せずに、排水と湿潤養生を連続的に行うことにより、表層コンクリートを緻密化することが可能である。型枠は、図-8に示すように打設面に対して内側が市販の透水型枠用シート、外側が樹脂製の透水板となっており、型枠下部は水抜き管が設けている。

## 10.3 美シール工法R（保水）

【鹿島建設株式会社】<sup>7)</sup>

型枠に高撥水性特殊シートを貼り付けてコンクリートを打設することで、気泡の少ない鏡面仕上げコンクリート表層を実現できる工法である。コンクリート表層部の緻密化により、劣化因子の浸透を抑制することができる。図-9のように厚さ200 $\mu$ mの美シートを型枠に貼り付けることで、コンクリート表面側の水分の移動を抑制し、型枠との間に水膜を作ることなく、

水分をコンクリート内部にとどめることができる。コンクリート自身が自ら保水養生することで緻密化を実現しているとしている。

## 10.4 塗膜養生剤「ニュートラックSK」（保水）

【清水建設株式会社】<sup>8)</sup>

コンクリート表面に高性能被膜養生剤を塗布することで水分蒸発を抑制し、乾燥収縮ひび割れの発生を抑制した。主成分の水分分散系ポリエステルがコンクリート表面から浸潤することで、被膜を形成し従来の養生剤と比較して保湿効果を約4割向上させることで、コンクリート表面を緻密にすることが可能であるとしている。

## 10.5 キュアリングシール工法（保水）

【佐藤工業株式会社】<sup>9)</sup>

図-10のように片面に防湿加工、もう片面は粘着剤をコートしたロール上の紙を脱型直後のコンクリート面に貼り付けることで、コンクリート表面からの水分蒸発を防ぐ保水養生工法である。その効果は、封緘養生と同程度であり、強度増進や表面の緻密化、初期の



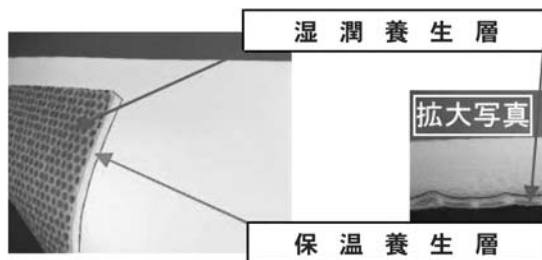


図-11 うるおんマット<sup>10)</sup>

乾燥収縮ひび割れ抑制に加え、防汚効果が付与できるとしている。

## 10.6 うるおんマット（保水）

【戸田建設株式会社】<sup>10)</sup>

図-11のようにコンクリートの湿潤養生と保温養生を同時に行えるマットとして開発された。厚さ約1mmの不織布に水膨潤ウレタンを点在させた湿潤養生層と厚さ10mmの吸水性のない発泡ウレタン性保温養生層を積層した二重構造養生マットである。緻密な表面層を形成するとともに、保温機能を付与している。

## 11. 養生期間中のモニタリング技術

養生中の水分保持することは、コンクリートが所要の性能を発揮するためには必要なことであることは解説の通りである。そこで、もっとも簡易的に水分逸散を防止するためには、工程の問題はあるが、せき板存置することである。しかしながら型枠の中のコンクリートは外側からは、現在の状況を確認することができず硬化度合いや強度発現、さらには所要の耐久性を保有しているかなどが確認できる手法の開発が必要な技術となる。近年、そのような検討がなされている。そこで、ここでは代表して3つの手法を紹介する。

### 11.1 表面温度計測

野口ら<sup>11), 12)</sup>は、「スマートセンサ型枠システム」と称する温度測定による強度推定システムを提案している。型枠に微小なスマートセンサを設置することで、作業員に負担をかけることなく、型枠の存置状況、使用回数、コンクリート表面温度履歴といった情報を収集できる。さらに、その温度データから養生中のコンクリート表面強度推定などの品質管理を行うことがで

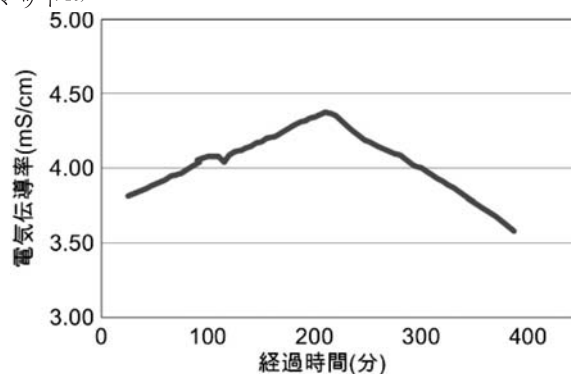


図-12 電気伝導率の経時変化

きる品質管理システムである。温度計によるコンクリート表面の温度をモニタリングすることで、セメントの水和発熱を計測し、コンクリートの表面強度を有効材齢法に基づき推定することができることを提案している。

### 11.2 電気伝導度の計測

型枠内に流し込んだコンクリートに直接的に電気伝導を計測可能な装置を埋め込み、計測を行う<sup>13)</sup>と、図-12のようにフレッシュ時に最大値を迎え、その後数値が減少している過程が計測できる。これは、11.3における四電極法による電気抵抗値においても、同一時間付近において抵抗値が最小値を向かえ、その後上昇する傾向が認められる。このピーク値または、最小値を示す時間は、コンクリートが水和反応を開始し硬化が始まる時間であると推測できる。そこで、電気伝導度のピーク値を1として各材齢での伝導度を伝導率比とすることで得られる数値が、図-13で示すように型枠脱型時のコンクリートの強度と相関があることが報告<sup>14)</sup>されている。このような方法により、継続的にコンクリートをモニタリングすることで、型枠内のコンクリートの強度を推測できる可能性が示唆された。

### 11.3 四電極法による電気抵抗値の計測

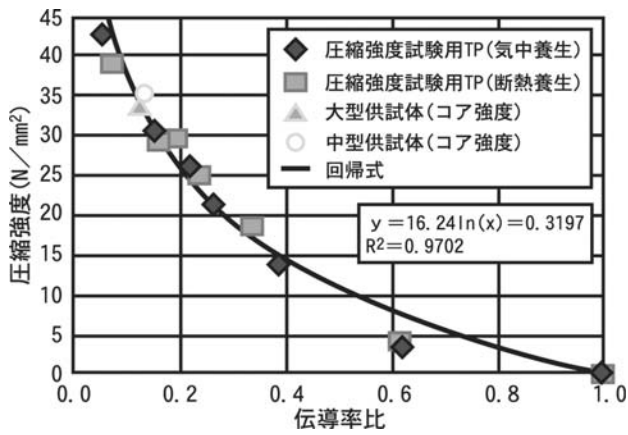


図-13 伝導率比と圧縮強度の関係<sup>14)</sup>

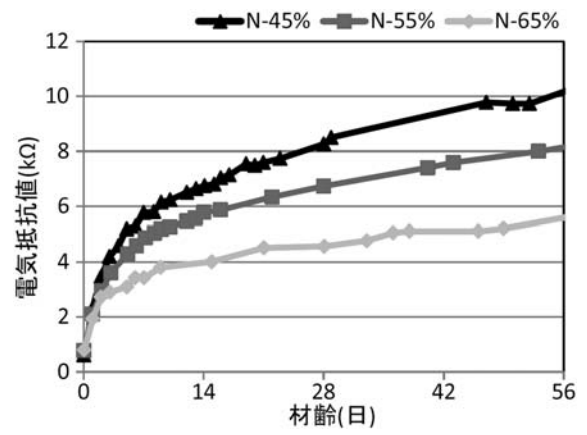


図-14 電気抵抗値の経時変化

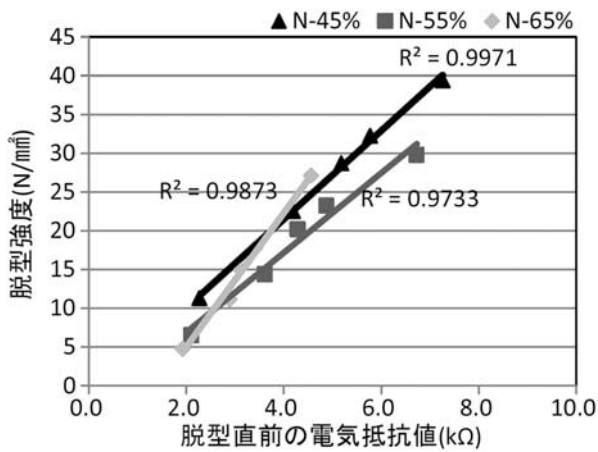


図-15 脱型直前の電気抵抗値と脱型時強度の関係

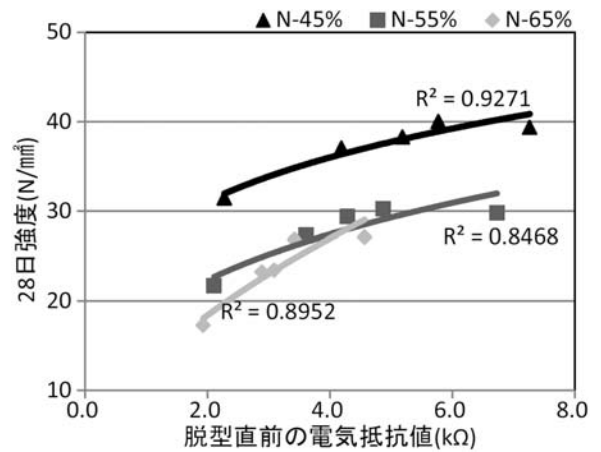


図-16 脱型直前の電気抵抗値と28日圧縮強度

型枠に4本の電極を設置し、コンクリートを流し込むことで、壁構造物や柱における任意の深さ位置での電気抵抗を計測可能となる。図-14は計測結果の一例<sup>15)</sup>であるが、型枠内（封緘状態で水分逸散がない系）においては、電気抵抗値は徐々に増加する傾向を示す。電気抵抗値は、自由水等の水を選択的に電気が流れることで計測できていると考えられており、水分が減少していくと抵抗値が上昇すると推測される。つまり、セメントの水和反応が進行することにより、コンクリート中の自由水が水和反応に消費されることで系内の水分が減少することで抵抗値が増加すると考えられる。この抵抗値を計測した同一時間まで封緘養生していたテストピースの圧縮強度との関係をとると図-15のように相関性が認められ、型枠内での強度が推測可能であることを示している。加えて、その時点で養生を終えて恒温室内に暴露した試験体の28日強度との関係を図-16に示すが、強い相関性が認められる。加えて、養生終了後から中性化促進試験を実施した結果

とも強い関係を見出すことができる。このように、型枠内のコンクリートを簡易な電極設置と継続的な計測により、推測できることを示唆できる。

## 12. おわりに

この連載では、養生の重要性をセメント化学から考え、コンクリートに与える影響を整理しながら、筆者の疑問も織り交ぜて執筆させていただきました。より良い構造物の建設において、素晴らしい施工を施したとしても、コンクリートの養生を怠ると構造物の表層品質に影響を与え、構造物の寿命を短命化してしまうことが明らかです。そのために、養生の大切さを共有しながら、新しい養生方法の開発や養生を終了してもよい時期の判断ができるシステム開発などが進められることを祈っております。さらに、養生の重要性を施工者のみならず、設計者や発注者が理解・補助しながら、一丸となってより良い構造物の建設に向かうことを祈って、連載を終わらせていただきます。

### 【参考文献】

- 1) 伊代田岳史, 松崎晋一郎, 井ノ口公寛, 歌川紀之: 養生とその後の環境による内部湿度の相違が乾燥収縮に与える影響, コンクリート工学年次論文集Vol.32, CD-ROM, pp.111-116, 2010
- 2) 井ノ口 公寛, 歌川 紀之, 伊代田 岳史: コンクリートの表層と内部の湿度の相違が乾燥収縮と耐久性に与える影響, コンクリート工学年次論文集Vol.33, No. 1, CD-ROM, pp.563-568, 2011
- 3) 檀康弘, 伊代田岳史, 大塚勇介, 佐川康貴, 濱田秀則: 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
- 4) 井ノ口公寛, 豊村恵里, 伊予田岳史: 高炉コンクリートの養生相違が乾燥の影響範囲に与える影響, 日本コンクリート学会, 混和材を積極的に使用するコンクリートに関するシンポジウム, pp.69-74, 2011
- 5) NETIS登録情報「アクアカーテン」: [http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG\\_NO=HR-110011&TabType=2&nt=nt](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=HR-110011&TabType=2&nt=nt)
- 6) 宮原茂禎, 丸屋剛, 久壽米木義昭, 中田愼一: 排水・湿潤連続養生によるコンクリートの耐久性向上技術の開発, 大成建設技術センター報 第45号, pp.23-1~23-7, 2012
- 7) 鹿島建設(株) PRESS RELEASE: <http://www.kajima.co.jp/news/press/201404/24c1-j.htm>
- 8) 清水建設(株) ニュースリリース: [http://www.shimz.c.jp/news\\_release/2012/2012032.html](http://www.shimz.c.jp/news_release/2012/2012032.html)
- 9) 佐藤工業(株) 技術とサービス: [http://www.shimz.co.jp/news\\_release/2012/2012032.html](http://www.shimz.co.jp/news_release/2012/2012032.html)
- 10) NETIS登録情報「うるおんマット タイプS, タイプR」  
[http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail.asp?REG\\_NO=CG-100007](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail.asp?REG_NO=CG-100007)  
[http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail.asp?REG\\_NO=CG-090024](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail.asp?REG_NO=CG-090024)
- 11) 西島茂行, 野口貴文, 北垣亮馬, 山本秀之: 小型集積回路によるスマートセンサ型枠システムを利用したコンクリートの養生・品質管理システムの開発: その1 静電容量センサによる自動計測制御と表面強度推定, 2012年度日本建築学会大会(東海) 学術講演会, 学術講演梗概集2012(材料施工), 653-654, 2012
- 12) 山本秀之, 北垣亮馬, 野口貴文, 西島茂行: 小型集積回路によるスマートセンサ型枠システムを利用したコンクリートの養生・品質管理システムの開発: その2 無線ネットワークシステムによる現場管理・温度分布・推定強度分布の可視化2012年度日本建築学会大会(東海) 学術講演会, 学術講演梗概集2012(材料施工), 655-656, 2012
- 13) 村上祐, 阿保寿郎, 伊代田岳史: コンクリートの新たな凝結管理手法の有効性に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集第11巻, pp.87-92, 2011
- 14) 槇島修, 寺澤正人, 川里麻莉子, 伊代田岳史: コンクリート構造物の導電率測定による躯体内の強度発現の推定法に関する基礎的研究, 土木学会第69回年次学術講演会, V-032, pp.63-64, 2014
- 15) 伊代田岳史: 養生終了のタイミングを推測する手法の一提案, コンクリートテクノ 6月号 Vol.33, No. 6, p. 29-35, 2014