

論文 導電率を用いた型枠脱型時期の推定手法の提案

Proposal for Estimation of Demolding Time by Using Electrical Conductivity

○中村 純也^{*1}・渋谷 俊貴^{*2}・楳島 修^{*3}・伊代田 岳史^{*4}

Junya NAKAMURA, Toshiki SHIBUYA, Osamu MAKISHIMA and Takeshi IYODA

要旨：コンクリート構造物の施工では、養生を行った供試体の圧縮強度から躯体コンクリートの圧縮強度を推定しているが、雰囲気温度等によりコンクリートの水和進行が異なるため、躯体内の強度を直接推定することは困難である。本研究では、非破壊かつ簡易に初期強度を推定するために導電率を用いた。異なるセメント種と雰囲気温度により強度発現を変化させたコンクリートの導電率と圧縮強度の関係を検討した。その結果、導電率と圧縮強度は雰囲気温度によらず、同一の関係を示したことから、導電率によって圧縮強度の推定が可能なことが示された。

キーワード： 圧縮強度、雰囲気温度、非破壊試験、導電率、脱型時期

1. はじめに

建設現場におけるコンクリートの脱型は、表-1に示すコンクリート標準示方書「施工編」¹⁾に記載されている型枠・支保工を脱型してもよいコンクリート圧縮強度の参考値に実施されている。しかしながら、実際の建設現場では、打込みしたコンクリートの圧縮強度をリアルタイムで計測することは難しい。そのため脱型時期は、安全側の判断となるように余裕をもった設定となっている。また、脱型時期の判断には現場で作製した供試体の圧縮強度試験によって確認している。そこで、コンクリート構造物の圧縮強度をリアルタイムで予測することができれば、施工を合理的による工期の短縮も期待されている。

筆者らは非破壊かつ簡易的にコンクリートの強度を推定する方法の一つとして、コンクリートの導電率(電気伝導率)に着目した。既往の研究²⁻⁴⁾では、コンクリートの導電率と圧縮強度には相関関係があることが報告されている。しかしながら型枠を脱型するような初期の材齢時における圧縮強度と導電率の関係は十分に検討されていない。

本研究は、導電率を用いて初期における材齢の圧縮強度を推定し、適切な型枠の脱型時期を判断することを目的とした。そこで、はじめに導電率から圧縮強度を推定するために測定精度を検証した。その後、初期の材齢における圧縮強度を変化させるため、異なるセメントの種類と雰囲気温度のコンクリートを作製し、導電率と圧縮強度の関係を検討した。その関係から導電

表-1 型枠および支保工を取り外してもよい時期のコンクリート圧縮強度の参考値

部材面	例	コンクリートの圧縮強度(N/mm ²)
厚い部材の鉛直または鉛直に近い面、傾いた上面、小さいアーチの外面	フーチングの側面	3.5
薄い部材の鉛直または鉛直に近い面、45°より急な傾きの下面、小さいアーチの内面	柱、壁、はりの側面下面	5.0
橋、建物等のスラブおよびはり、45°より緩い傾きの下面	スラブ、はりの底面、アーチの内面	14.0

率の値を用いて、雰囲気温度の変化に応じた、コンクリートの圧縮強度を推定できるか検証した。

2. 導電率の測定精度の検証

導電率とは、ある物質における電気の通りやすさを表す指標であり、主に水質調査や塩分濃度の測定などに使用される。本研究における導電率の測定には写真-1に示す交流2電極法の導電率計を用いた。プローブの電極部の寸法は2cm程度であり、作業にそれほど手間がいらず、手軽で扱いやすくコンクリートやモルタル等の導電率の計測が可能である。

2.1 試験概要

導電率で計測できる値は、セメントの水和反応が進行するにつれて、セメント中からイオンが溶出するため、時間の経過とともに変化することが確認されている⁵⁾。導電率の測定精度を検証するため、セメントに対

*1 芝浦工業大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology

*2 元芝浦工業大学 工学部土木工学科

Dept. of Civil Engineering, Shibaura Institute of Technology

*3 飛島建設株式会社 技術研究所

Technical and Development Center, Tobishima Corporation

*4 芝浦工業大学 工学部土木工学科

Dept. of Civil Engineering, Shibaura Institute of Technology



写真-1 导電率計

して高炉スラグ微粉末を置換することで水和の進行を緩やかにした。これによる導電率の変化を正確に計測できるか検証した。

2.2 試験方法

導電率計を2つ用い、連続測定とその都度測定における測定精度の相違を検証した。具体的には、セメントに対して高炉スラグ微粉末を置換したモルタルを作製し、一方の導電率計のプローブの先端部にモルタルを詰め、導電率の値を連続的に計測し続ける。もう一方のプローブに関しては、各試験材齢にて作製した同一配合のモルタルを先端に詰め導電率計測後、モルタルを洗い流し繰り返しな測定を行った。計32点で計測を実施して、両者における相違を確認した。

2.3 試験結果

図-1に導電率計の測定精度の結果を示す。誤差の平均値は 0.33mS/cm 、変動係数は6.61%程度と小さいものであった。本研究においては、導電率の値が大きいもので 2.5 mS/cm 程度であり、これと比較して変動係数が6.61%の導電率は比較高い測定精度を有することが確認された。本研究においては、この誤差は測定精度に有意な影響はない判断した。

3. 実験概要

3.1 使用材料および供試体諸元

表-2に初期における圧縮強度発現を変化させるために行なったコンクリートの配合と養生温度を示す。本研究ではセメントの種類を普通ポルトランドセメント（以下：OPC）と高炉セメントB種（以下：BB）を用いた。供試体の試験体寸法は $\Phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体で、水セメント比は50%とした。また雰囲気温度を5℃、20℃、35℃とし、あらかじめ骨材を各養生温度になるように恒温恒湿槽に静置した。さらに練りあがり後の養生温度がそれぞれ5℃、20℃、35℃となるようにし、型枠存置による封緘養生を各養生温度の恒温恒湿槽にて実施した。

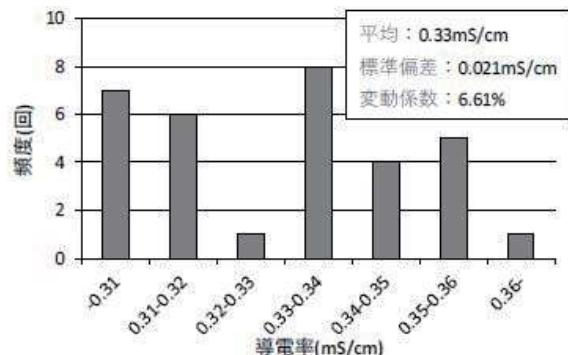


図-1 導電率の測定精度の検証

表-2 コンクリートの計画配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				雰囲気温度(℃)
			W	C	S	G	
OPC-5℃	50	48	175	349	840	938	5
OPC-20℃							20
OPC-35℃							35
BB-5℃	50	48	175	349	837	931	5
BB-20℃							20
BB-35℃							35

3.2 圧縮強度試験

実験方法は、「コンクリート圧縮強度試験（JIS A 1108-2006）」に準拠して行った。試験材齢まで恒温恒湿槽にて各試験材齢はOPCが6, 9, 12, 15, 21, 24時間及び3, 28日とし、BBでは6, 12, 15, 18, 24時間及び3, 28日とした。また、強度発現の遅い雰囲気温度5℃の試験材齢はOPCでは18, 21, 24, 27, 30時間、BBでは21, 24時間で実施した。

3.3 導電率の計測

導電率の計測に関しては、圧縮強度試験の際に作製したコンクリートを用いて実施した。プローブの先端部は小さいため、計測箇所にはウェットスクリーニングしたモルタルを詰め込んだ状態で、 $\Phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱型枠の中央に配置し、残りをコンクリートで覆った。水分の逸散を防ぐためラップで型枠を封し、各雰囲気温度中で導電率の計測を行った。

4. 実験結果

4.1 圧縮強度試験

図-2, 3にOPCとBBの圧縮強度試験の経時変化を示す。それぞれの雰囲気温度にて作製したコンクリートの強度発現はそれぞれ異なる結果となった。雰囲気温度が高いほど強度発現が速く、OPCの20℃における圧縮強度が 5.0N/mm^2 に到達するまでに要する時間の差は約17時間、BBの場合は約27時間であった。

図-4, 5に計測された導電率の経時変化を示す。い

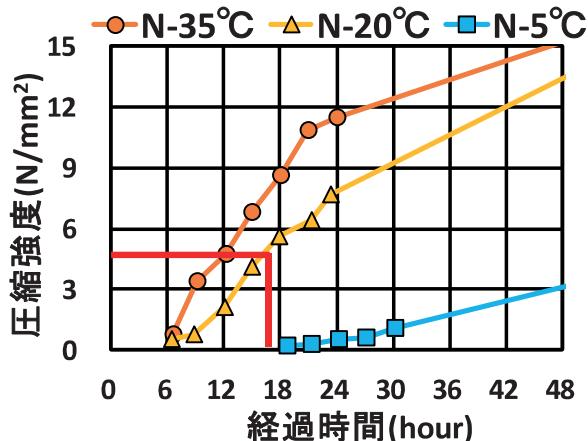


図-2 OPC 壓縮強度の経時変化

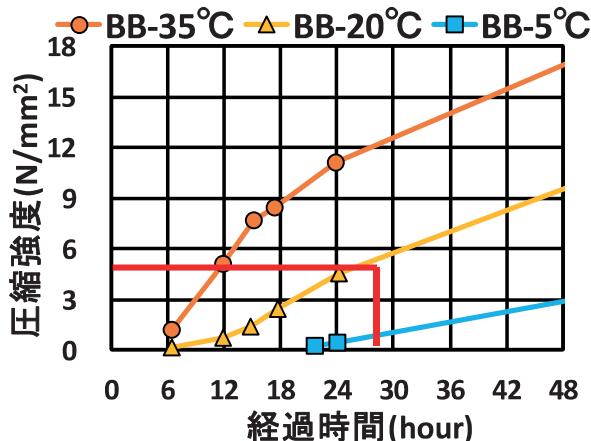


図-3 BB 壓縮強度の経時変化

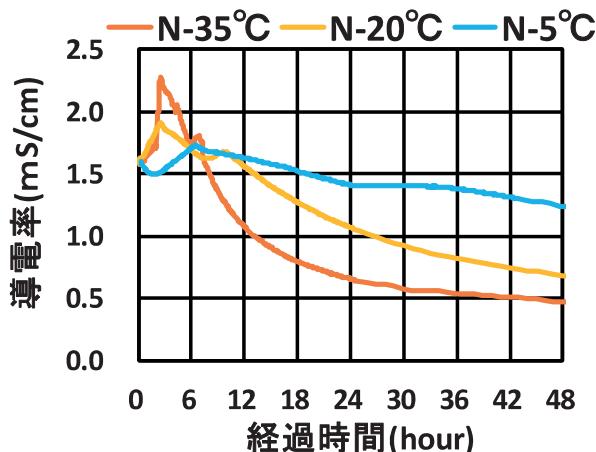


図-4 OPC 導電率の経時変化

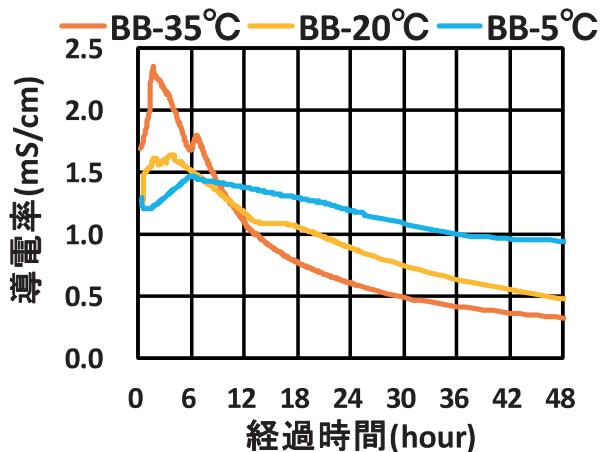


図-5 BB 導電率の経時変化

ずれのセメント種においても導電率のピーク値は 35°C が最も高くなり、5°C で最も低くなつた。ピークの位置は雰囲気温度が高いものほど早い時間で表れた。また、雰囲気温度が高くなるほど導電率の値の変化が大きいことが確認されている。

5. 導電率と圧縮強度の関係

図-6, 7 に導電率と圧縮強度の関係を示す。OPC, BB において計測したすべての導電率と圧縮強度の関係に対数近似曲線を描くことで両者の関係を示した。その結果、標準偏差はそれぞれ 0.96 と 0.97 と良好であった。これにより、コンクリート内部で計測された導電率は圧縮強度と強い相関関係があることが示された。つまりコンクリートの導電率を計測すれば圧縮強度は概ね推定することができ、型枠および支保工を取り外す時期がリアルタイムで分かるため、施工をより合理的かつ、工期を短縮することにつながると考えられる。

ここで、任意の雰囲気温度における圧縮強度を導電率より推定できるか検証した。この検証には OPC における対数近似曲線の式を用いて雰囲気温度が 28°C にて

封緘養生したコンクリートを用いた。図-8 に推定強度と実際に圧縮強度試験より得られた値を比較した。すべての点において推定強度よりも実強度の方がわずかに大きな値を示す結果となり、施工する上では、実圧縮強度が推定値よりも大きな値を示したことから、推定値は安全側であるといえる。よって、雰囲気温度によらず圧縮強度の推定することの妥当性が認められた。またここで生じた誤差の原因としては、本試験では圧縮強度試験は同一材齢で 3 本取得しその平均値を用いたため、若材齢の強度の変動が大きいことからだと考えられる。今後の課題としては強度発現が小さいコンクリートの圧縮強度の正確な測定方法、およびセメント種類の異なる試験体での導電率による圧縮強度推定などが考えられる。

6. まとめ

- 1) 本研究の測定手法による導電率の測定精度は、変動係数が小さく、信頼性の高い計測が可能であるといえる。
- 2) コンクリートの圧縮強度と導電率の関係は、OPC

と BB の両方において雰囲気温度によらず、ほぼ同一の相関関係を示した。

- 3) 雰囲気温度が異なる環境においても導電率から圧縮強度が推定できることが示唆された。
 - 4) 導電率と若材齢圧縮強度の関係を用いることで推定した強度と実強度は、比較的精度が高く、また推定値は若干小さいために安全側に推定できることが分かった。
7. 参考文献
- 1) 土木学会：2017 年制定 コンクリート標準示方書〔施工編〕, pp.157, 2017.3
 - 2) 横島修, 寺澤正人, 川里麻莉子, 伊代田岳史 : コンクリートの構造物の導電率測定による軸体内の強度発現の測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.441-442, 2014
 - 3) 太田真帆, 寺内和子, 伊代田岳史 : 電気伝導率計を用いた圧縮強度推定メカニズムの検討, 第 70 回セメント技術大会講演要旨, pp.172-173, 2016
 - 4) 伊藤孝文, 伊代田岳史 : 電気伝導率を用いた圧縮強度推定メカニズムの検討, 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 16 卷, pp.227-232, 2016
 - 5) 三坂岳広, 太田真帆, 伊代田岳史 : まだ固まらないコンクリートの水和反応が直列四電極法で測定される電気抵抗に与える影響, コンクリート工学年次論文集., Vol-39, No.1, 2017

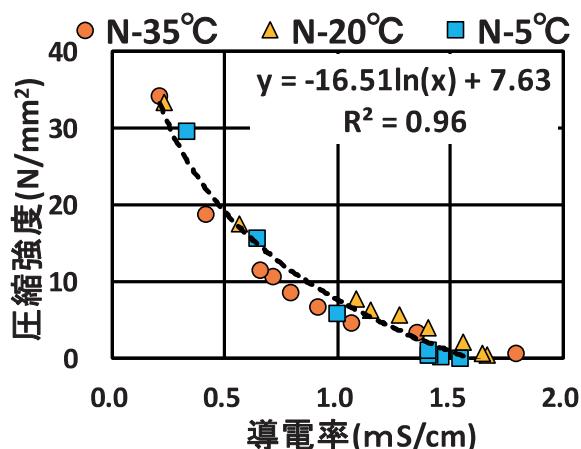


図-6 OPC 圧縮強度と導電率の関係

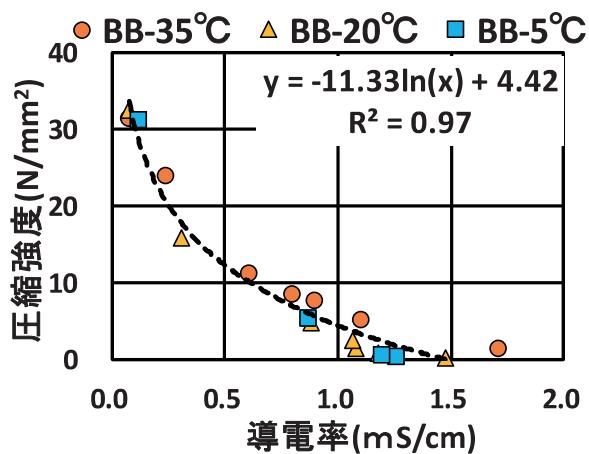


図-7 BB 圧縮強度と導電率の関係

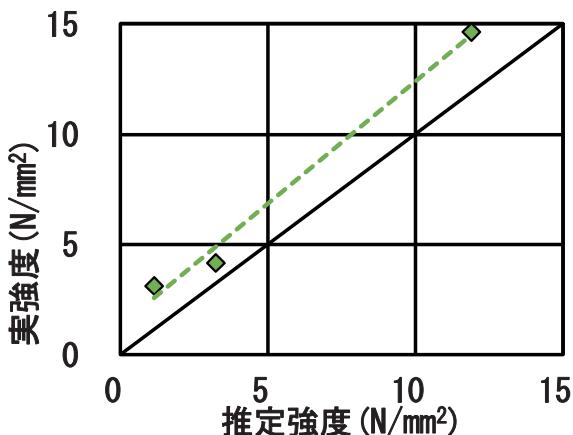


図-8 推定強度と実強度の比較