四電極法によるコンクリート養生終了時期判定技術の現場適用に関する検討

佐藤工業　正会員　伊藤　　正[*1]
佐藤工業　　本多　生吾[*1]
佐藤工業　正会員　宇野洋志城[*2]

1．はじめに

四電極法によるコンクリートの養生終了時期判定技術に関しては，これまで実験的検討が積み重ねられており，実験段階を経て実際の現場で適用できる段階にまで至っていることは既に報告済みである[1),2),3)]．本技術の特徴は，電極を型枠に設置してからコンクリートを打ち込むことにより，コンクリート内部に電極を埋め込むことにある．各材齢における電気抵抗値と圧縮強度との間には相関関係が認められており，この関係性を用いることによって養生期間中のコンクリート性状を把握することができる．例えば，型枠を外すために必要な強度が発現しているか否かの判定や，材齢 28 日の強度発現不足が判断できることによって養生の継続も可能となる．また，十分な養生がなされたと判断できた場合には養生を早期に終了できる可能性もあり，施工期間の短縮が可能となる．

本報告は現場適用に備えた準備の一端について述べたものである．

2．試験条件

現場適用の対象は橋梁工事における上部工であり，四電極法により養生終了時期の判定を行った．コンクリートの電気抵抗値と圧縮強度との関係は常に一定ではなく使用するコンクリート材料によって変わるので，事前に基礎データを採取する必要があった．そこで，適用部位に使用するコンクリートを供給するレディーミクストコンクリート工場から諸材料を入手し，使用配合を試験練りによって確定，その後若材齢時から電気抵抗値の計測と圧縮強度の試験を行い，関係式を求めることにした．

材料物性を表-1，示方配合を表-2，四電極法の計測概要を図-1 に示す．電気抵抗値の計測は恒温恒湿室（室温度 20±2℃, 相対湿度 60±5%）内で作製, 養生した 100×100×400mm の角柱試験体の側面に電極を設置して行った．

電極にはφ1.6mm のステンレスの針金を使用し，2mm の通電部分を残して絶縁コーティングを施した．通電深さは型枠表面から 50mm とし，電極間隔 50mm で埋め込まれるようにセットした．印加電圧は 10V とし，5 秒間の通電後の電流から電気抵抗値を算出した．電気抵抗値の計測条件を表-3 に示す．圧縮強度試験用の円柱試験体は封緘養生のまま角柱試験体と同一環境条件下に静置し，通電材齢に合わせて脱型，圧縮強度試験を実施した．

脱型後は同一環境条件下で気中養生を継続し，次回以降の通電材齢においても圧縮強度試験を実施した．

表-1　材料物性

セメント	: (C) 普通ポルトランドセメント　密度 3.16 g/cm^3
細骨材	: (S1) 嘉瀬川産川砂，表乾密度 2.54 g/cm^3，粗粒率 2.85 (S2) 呼子産海砂，表乾密度 2.58 g/cm^3，粗粒率 2.64
粗骨材	: (G) 武雄産砕石（2005），表乾密度 2.60 g/cm^3，実積率 59.0%
混和剤	: (AD) AE 減水剤　主成分は変性リグニンスルホン酸化合物と ポリカルボン酸系化合物の複合体

表-2　示方配合

配合	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量　(kg/m^3)					
				W	C	S1	S2	G	AD
24-12-20N	55.0	12	4.5	168	305	317	483	983	2.135

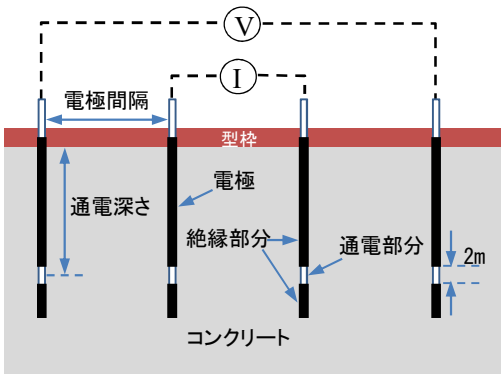

図-1　四電極法の計測概要

キーワード　四電極，電気抵抗，コンクリート，脱型，若材齢
連絡先　　*1　〒843-0233　佐賀県武雄市東川澄町永野 5393　佐藤 JV　TEL：0954-28-9426　FAX：0954-28-9427
*2　〒243-0123　神奈川県厚木市森の里青山 14-10　TEL：046-270-3091　FAX：046-270-3093

３．試験結果

圧縮強度を表-4，表-5 に示す．は電気抵抗値と同様に材齢とともに増加しており，両者の間には図-2 に示すような関係性が得られた．これより，電気抵抗値と圧縮強度との間には極めて高い相関関係が認められることから，電気抵抗値を計測することで圧縮強度を推定することは十分可能であることがわかる．

ここではパターン①の計測結果のみ示したが，若材齢時からの通電，24 時間の連続通電，あるいは材齢 7 日以降からの通電を行ったとしても，電気抵抗値に及ぼす影響はないことは確認済みである．

また，脱型前（材齢 1,3,7,14 日）に電流抵抗値を計測し，その時点で脱型（＝養生終了）した場合の材齢 28 日，91 日の圧縮強度との関係を図-3 に示す．これより，脱型時（＝養生終了時）の電気抵抗値と長期材齢（材齢 28, 91 日）における圧縮強度との間には極めて高い相関関係が認められることから，電気抵抗値を計測することで，その時点で養生終了した場合の長期材齢における圧縮強度を高い精度で推定できることがわかる．

４．おわりに

現場適用に際して，これまでの研究から既にコンクリート温度が電気抵抗値に及ぼす影響，および補正方法に関しては明らかとなっている[4]．現在，電気抵抗値とコンクリート温度をパラメータとする圧縮強度の算定式を取り込んだ計測機器を用い，現場ならではの課題を抽出，必要に応じた改善を行っている段階にあり，今後の適用に備える予定である．

表-3　計測条件

項目	パターン ①
計測方法	直流四電極法
印加電圧	10V（パルス波）
電極間隔	50mm
電極直径	1.6mm
打設面からの距離	50mm
通電深さ	50mm
電極金属	ステンレス
電極加工	通常
通電材齢	1, 3, 7, 14, 28, 91 日
通電パターン	材齢 1 日から 5 秒間

表-4 電気抵抗値計測結果

計測材齢	パターン①の電気抵抗値（kΩ）
1 日	1.163
3 日	2.004
7 日	2.569
14 日	3.125
28 日	3.901
91 日	5.310

表-5 圧縮強度試験結果

試験材齢＼脱型材齢	圧縮強度（N/mm²）					
	1	3	7	14	28	91
1 日	4.19	—	—	—	—	—
3 日	12.7	15.7	—	—	—	—
7 日	17.7	22.8	23.7	—	—	—
14 日	19.7	27.3	29.5	29.2	—	—
28 日	21.3	29.4	33.7	34.3	34.7	—
91 日	25.4	31.9	35.5	37.7	40.9	36.0

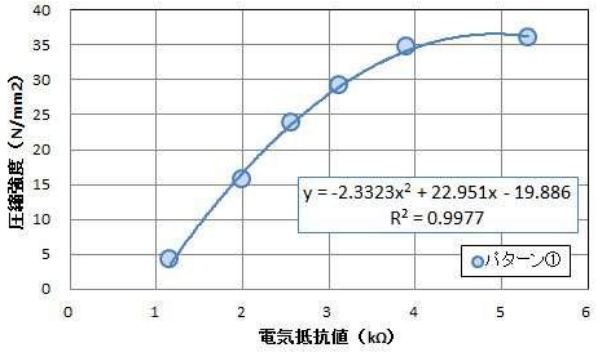

図-2　電気抵抗値と圧縮強度との関係

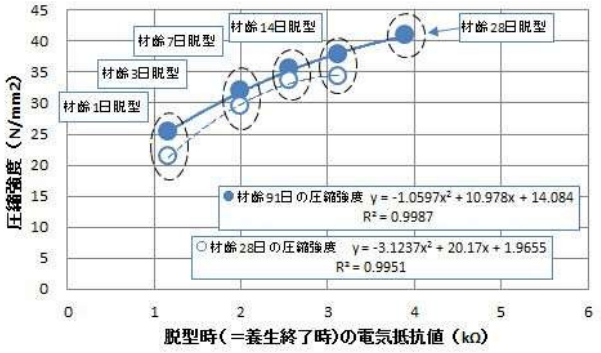

図-3　電気抵抗値と養生終了後の圧縮強度との関係

参考文献

1) 豊村恵理，上原菜津葵，伊代田岳史：直流比抵抗を用いたコンクリートの養生終了タイミング判断手法に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1348-1353，2012
2) 三坂岳広，原沢蓉子，伊代田岳史：直流四電極法による養生終了判定時期判定手法の確立および現場適用性の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1606-1611，2014
3) 宇野洋志城，加藤麻由：四電極法によるコンクリート養生終了時期判定技術の現場適用，佐藤工業技術研究所報，No.41，pp.5-8，2016
4) 三坂岳広，伊代田岳史：直流四電極法により計測される電気抵抗に影響をおよぼす測定方法および計測条件の検討，佐藤工業技術研究所報，No.40，pp.11-16，2015