

電気抵抗値を用いた各種コンクリートの中性化速度係数推定手法の検討

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○宮崎 幹太
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. 背景および目的

コンクリートの打込みを行った際、所要の強度、劣化に対する抵抗性などを確保するために、セメントの水和反応を十分に進行させる必要があるため、十分な湿潤状態と適切な温度を保つ養生を行う必要がある。施工者は打込み後の型枠内のコンクリートの状態を把握することが難しいため、コンクリート標準示方書〔施工編〕では打込み後の湿潤養生期間の標準がセメント種類と日平均気温により設定されている。しかし、コンクリートの養生は水結合材比などの配合条件、混和材等の使用材料、構造物の寸法や施工環境などの様々な影響を受けると考えられるため、適切な養生期間は、現場ごとに異なると考えられる。既往の研究¹⁾では、電気抵抗とセメント硬化体の強度の関係、水和反応率との関係などの検討が行われ、養生終了時期判定手法に関する研究が行われている。しかしながら、耐久性と電気抵抗の関係についての検討はあまり行われていない。

本研究では、直流四電極法を用いて養生期間、水結合材比、BFS置換率が異なるコンクリートの電気抵抗の計測を行い、計測された電気抵抗と中性化速度係数の関係について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

供試体に使用したコンクリートの計画配合を表-1に示す。中性化抵抗性を変化させる要因として使用セメント種類、水結合材比、養生期間の3つに着目し、同一材料で、水結合材比が異なる供試体と同一水結合材比でセメント種類が異なるコンクリートを打設した。配合は水結合材比を45%、55%、65%と変化させた。セメント種類は、OPCと高炉セメントB種（置換率40%）及びC種（置換率70%）相当とした。その後、封かん養生期間を1、3、5、7、28日と設定した。

2.2 直流四電極法による電気抵抗測定

本実験で実施した直流四電極法では、電極は型枠に設置し、その後、コンクリートを打ち込むことにより、電極をコンクリート内部に埋め込んだ。また、表-2に電気抵抗の測定条件を記す。コンクリートの帯電現象を防止するためパルス波を使用した。電気抵抗計測用供試体の概略を図-1に示す。供試体は100×100×400mmの角柱供試体とし、型枠側面に電極を設置した。養生方法は、封かん養生とし、材齢1日で脱型を行い、供試体のすべての面をラップフィルムとアルミテープで覆い、水分の蒸発を防止した。

表-1 コンクリートの計画配合

略号	セメントの種類	W/B (%)	s/a (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						W	OPC	BFS	S	G
N45	OPC	45	46	12	4.5	172	382	-	808	971
N55		55	48				313	-	869	968
N65		65	50				265	-	928	949
BB	BB	55	48				188	125	863	965
BC	BC		50				92	219	903	927

キーワード：養生、水和反応、直流四電極法、電気抵抗

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 TEL 03-5859-8356

表-2 電気抵抗の測定条件

要因	水準
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	φ2.6mm
通電深さ	50mm
電極金属	ステンレスの針金

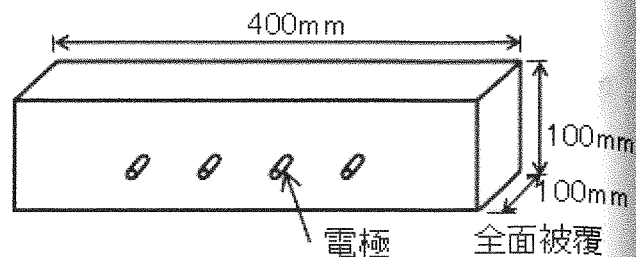


図-1 電気抵抗測定用供試体の概略

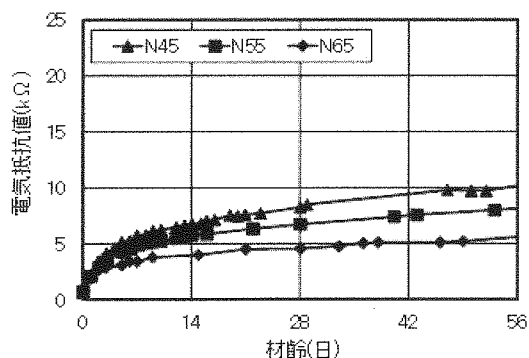


図-2 W/B が異なるコンクリートの
材齢ごとの電気抵抗値

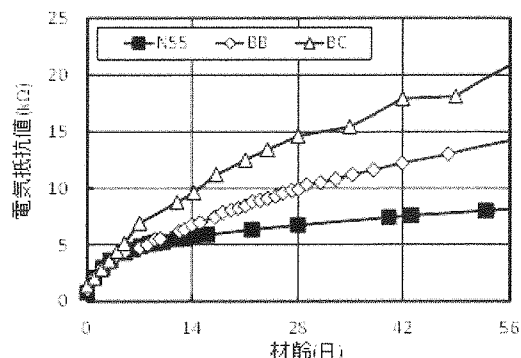


図-3 BFS 置換率が異なるコンクリートの
材齢ごとの電気抵抗値

2.3 促進中性化試験

促進中性化試験は JIS A 1153:2012 に準拠して行い、供試体に 100×100×400mm の角柱供試体を用いて打設面を除く側面 2 面以外をアルミテープで覆い二酸化炭素の侵入を防いだ。また、測定面は各種養生期間中にラップフィルムで覆うことにより、封かん養生とした。各封かん養生期間は 1, 3, 5, 7, 28 日と設定した。養生が終了した供試体は、材齢 56 日まで恒温恒湿室（温度：20±1℃、相対湿度：60±5%）の中に静置して乾燥させ、供試体の含水状態を統一した。促進中性化の開始材齢は、材齢 56 日とした。試験結果は、促進材齢 28 日の中性化深さから算出した中性化速度係数で結果を示した。

3. 試験結果および考察

3.1 電気抵抗測定

図-2 に水結合材比ごとの電気抵抗の測定結果を示し、図-3 に BFS の置換率ごとの電気抵抗の測定結果を示す。封かん養生中に電気抵抗の測定を行った結果、双方で材齢の進行に伴って電気抵抗が増加する傾向を示した。

図-2 に着目すると、水結合材比が低いほど電気抵抗が大きくなる傾向が得られた。既往の研究²⁾より電気抵抗が、結合水率と相関を持つことが確認されている。このことから、水結合材比が小さいほど粉体量が大きくなるため、電気抵抗が大きくなったと考えることができる。また、水結合材比が小さいコンクリートほど、セメント硬化体が緻密化し、空隙の連続性がなくなることにより、電気が通りにくくなり、電気抵抗が大きくなったことが考えられる。

図-3 に着目すると、材齢が進行するとともに、置換率が高いものの電気抵抗が大きくなる傾向が得られた。これは、高炉スラグを使用したコンクリートは OPC と比較して水和に必要な水分が多いことならびに、緻密なセメント硬化体を形成するため^{3) 4)}、空隙の連続性が低下したと考えられる。

3.2 中性化深さ

図-4に封かん養生期間の異なる W/B50%のコンクリートの中性化材齢と中性化深さを示す。この結果から、養生期間が短い試験体ほど、乾燥期間中に中性化が進行しているため促進中性化試験開始時の中性化深さが深いことがわかる。図-5、図-6に各配合の養生期間と中性化速度係数の算出結果を示す。中性化速度係数は、促進材齢4週の促進中性化試験結果から算出されたものである。それぞれ、中性化速度係数は養生期間が短くなるほど大きな値を示し、養生期間1日の値は特に大きな値を示した。養生期間が短いとコンクリート中の水分の逸散による乾燥により、表層コンクリートの水和反応が阻害されたことが原因と考えられる。

水結合材比に着目すると、W/Bが小さいほど、中性化速度係数は小さい結果となっている。また、BFS置換率に着目すると、BFSの置換率が高いほど中性化速度係数が大きくなる。特にBCに関しては、全体的に中性化速度係数が大きく、N55の2倍程度の値となっている。

3.3 電気抵抗値と中性化速度係数の関係

図-7および図-8に養生終了時の電気抵抗値と、中性化速度係数を示す。水結合材比が異なるコンクリート及びBFSの置換率が異なるコンクリート双方で、養生終了時の電気抵抗と中性化速度係数に負の相関が得られた。

水結合材比に着目した場合、W/Bが大きいほど中性化速度は大きくなっているが、電気抵抗値が最も小さい若材齢では、同程度の電気抵抗値における中性化速度係数はW/Bが大きいほど大きい値となった。しかし、それ以降の材齢ではW/Bの違いによる中性化速度係数違いは比較的小さいものとなっている。

BFSの置換率に着目すると、BCはN55とBBと比べ全体的に中性化速度係数が大きい結果となり、養生終了時

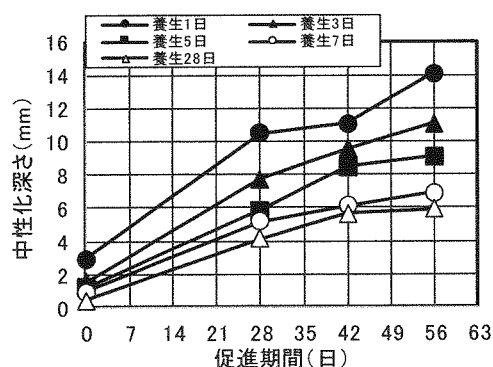


図-4 W/B55%のコンクリートの
促進期間ごとの中性化深さ

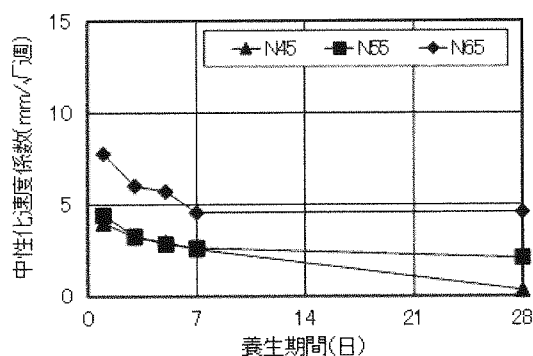


図-5 W/Bが異なるコンクリートの
養生期間ごとの中性化速度係数

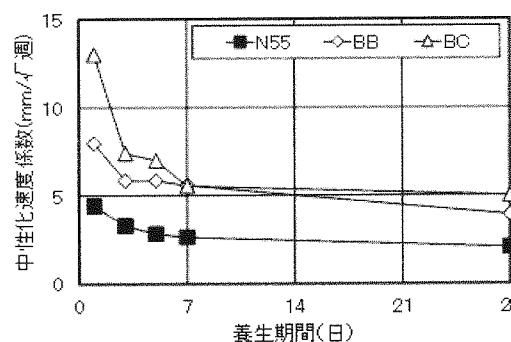


図-6 BFS置換率が異なるコンクリートの
養生期間ごとの中性化速度係数

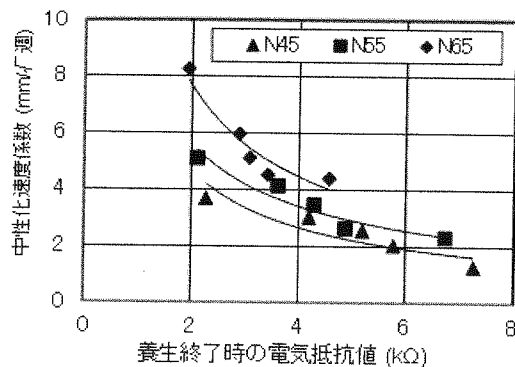


図-7 W/B がコンクリートの中性化速度係数と養生終了時の電気抵抗値

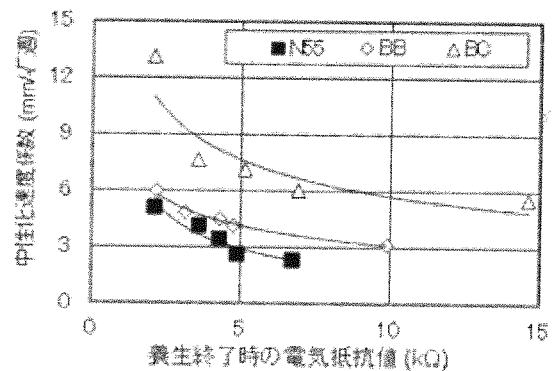


図-8 BFS 置換率が異なるコンクリートの中性化速度係数と養生終了時の電気抵抗

の電気抵抗と中性化速度係数の近似曲線はセメント種類ごとに異なる結果となった。

以上の結果より、養生終了時の電気抵抗性により、中性化速度を推定することが可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究の成果を以下にまとめる。

- コンクリートの W/B が大きくなるほど、電気抵抗値が低い値となった。これは水結合材比が低いほどセメントの水和反応により消費される水の量が多くなるため、電気抵抗が大きくなったと考えられる。
- コンクリートに使用したセメントの BFS 置換率が大きくなるほど電気抵抗値が大きい値となった。これは、高炉スラグ微粉末が OPC と比較して緻密なセメント硬化体を形成するため空隙の連続性が低下したものと考えられる。
- W/B が異なるコンクリートの中性化速度係数と養生終了時の電気抵抗値に相関が認められた。これにより、同じセメント種を使用したコンクリートの中性化速度係数を電気抵抗から測定できる可能性がある。
- BFS 置換率が異なるセメントを使用したコンクリートでは、セメントの種類ごとに、中性化速度係数と養生終了時の電気抵抗値に相関が認められた。

参考文献

- 1) 中村絢也, 渋谷俊貴, 槇島修, 伊代田岳史: 導電率を用いた型枠脱型時期の推定手法の提案, 第六回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム, 日本非破壊検査協会 339-342
- 2) 渋谷俊貴, 三坂岳広, 槇島修, 伊代田岳史: 導電率を用いたコンクリートの若材齢の強度の推定, コンクリート工学年次論文集, Vol. 40, No. 01, 399-404 2018. 7
- 3) 郭度連, 國府勝朗, 李昌洙, 李譽東: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの内部組織の形成に及ぼす置換率の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, pp. 783-788, 2004. 7
- 4) 太田真帆, 伊代田岳史: 高炉セメントの水分消費方法の違いが収縮特性に与える影響の把握, 第 44 回土木学会関東支部技術研究発表会, V-37 2017. 3