

## 硬化前のコンクリートにおける電気抵抗値の挙動要因の分析

芝浦工業大学 工学部土木工学科マテリアルデザイン研究室

○太田真帆

伊代田岳史

### 1. 背景・目的

コンクリート構造物の要求性能を満足し、長期間構造物を供用するためには、若材齢時におけるコンクリートの水和反応を促す必要がある。そのため、型枠内のコンクリートの水和反応をモニタリングすることは重要である。硬化した後のコンクリートにおいて四電極法を用いた計測により得られる電気抵抗値が強度や中性化速度係数と相関があることは筆者らが報告<sup>1)</sup>している。そこで、さらに硬化前においても四電極法を用いた計測により得られる電気抵抗値で水和反応を測定可能であれば、型枠内のコンクリートの水和挙動やその後の品質を連続的に評価できると考えた。そこで、まだ固まらないコンクリートの電気抵抗値の測定を行ったところ図1のような結果を得た。これより W/C によらず電気抵抗値は接水後 120 分前後までは減少し、その後上昇する挙動が確認できた。

そこで本研究では、まだ固まらないコンクリート中の電気抵抗値の挙動要因の分析をおこなった。電気抵抗値が表す挙動がコンクリート中のどのような変化を捉えているのかを明確にすることを目的とした。

### 2. 実験概要

#### 2.1 四電極法による電気抵抗値の測定

まだ固まらないコンクリートは液相であることを考慮して、化学分析実施のためにセメントペーストを用いて供試体作製を行った。図1に示したコンクリートの結果より硬化前の電気抵抗値は W/C によらないことより、セメント種の影響を確認するため、高炉スラグ微粉末の置換率を 0,45,70%と変化させ W/C=50%一定とした。供試体は図2に示すように 60×60×300mm の角柱型枠に電極を設置して打設した。電極にはアルミニウムを使用し、表層から 30mm、電極間隔 40mm、通電長さ 2mm とした。

電気抵抗値の測定は、既往の研究同様、直流電流の四電極法により打設直後から電気抵抗値の測定を行った。直流電流を用いた計測装置は交流電流装置に比べて小型で電圧発生装置と計測が一台で可能である。しかし、直流電流は帯電を生じさせるためにパルス波を利用し抑制をおこなった。印加電圧を1Vとした。

#### 2.2 コンダクションカロリメーター試験

電気抵抗値の挙動の解明のためにまずは、2.1 と同様の材料を用いてコンダクションカロリメーターから得られる水和発熱速度を計測した。試料は水と接水後 2 分間攪拌した直後から計測を行った。

#### 2.3 液相中の Ca<sup>2+</sup>濃度の測定

セメントペースト中の自由水内における Ca<sup>2+</sup>濃度の測定を行うために、イオンクロマトグラフィーを用いた測定を行った。分析に使用した試料は、遠心分離を用いてセメントペースト中の自由水を抽出し、得られた自由水を吸引ろ過した。得られた自由水を 100 倍希釈したものを試料として使用した。測定はノンサプレッサー法で行った。

#### 2.4 示差熱重量分析試験(TG-DTA)

硬化過程においては、溶出した Ca<sup>2+</sup>が水酸化カルシウム(Ca(OH)<sub>2</sub>)を生成することで消費すると考え、示差熱重量分析による Ca(OH)<sub>2</sub>の定量を行った。TG-DTA に用いた試料は、2.3 でろ過した残渣を用いて、大量のアセトンにより水和を停止させたものを使用した。Ca(OH)<sub>2</sub>生成量はDTA 曲線の変曲点から TG 曲線の重量変化量を用いて算出を行った。

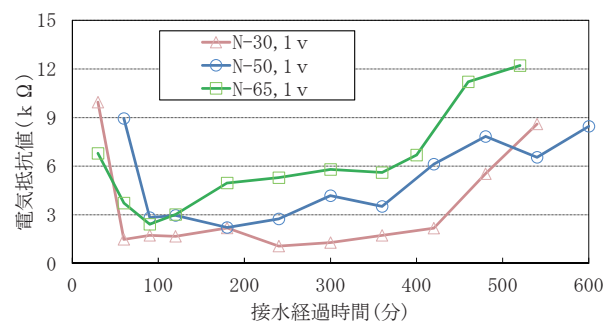


図1 コンクリートの測定結果

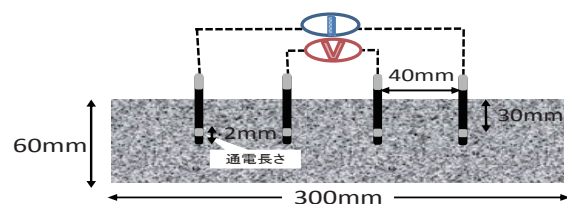


図2 コンクリート供試体概要図

### 3. 試験結果と考察

#### 3.1 電気抵抗値ならびに水和発熱速度の試験結果

コンダクションカロリメーターにより得られた水和発熱速度と電気抵抗値の関係をセメント種類ごとに図3～5に示す。まず電気抵抗値はセメントペーストにおいても接水後120分前後まで減少しその後は増加する挙動を示した。同様に測定した水和発熱速度を比較すると、電気抵抗値がピークを迎えた時間と水和発熱速度のピーク時間とが一致した。このことは、電気抵抗値の挙動はセメントの水和反応と相関があるのではないかと考えられる。

#### 3.2 液相中のCa<sup>2+</sup>量の測定結果

図6にイオンクロマトグラフィーを用いて測定を行ったCa<sup>2+</sup>濃度の変化と電気抵抗値の相関を示す。N50ならびにB45では水和発熱速度が急激に減少している領域において、Ca<sup>2+</sup>量が増加しており、一方、水和反応が開始する120分以降ではCa<sup>2+</sup>量が減少に転じていることがわかる。しかし、B70ではその傾向は認められなかった。以上の結果より電気抵抗値の挙動は高炉スラグ微粉末の置換率が低い混合材においてはイオンの溶出と消費を捉えていることがいえる。

#### 3.3 Ca(OH)<sub>2</sub>量の分析試験

図7に示差熱重量分析試験で得られたCH量の結果と電気抵抗値の測定結果を示す。水和反応が開始し電気抵抗値が増加に転じた領域で、高炉スラグ微粉末の置換率によらず、電気抵抗値とCH量には相関があった。よって、電気抵抗値の増加する挙動はCa<sup>2+</sup>の消費によりCa(OH)<sub>2</sub>が生成する挙動を捉えているものと考えられる。

### 4 まとめ

- 1) 硬化前の電気抵抗値はコンクリートでもセメントペーストでも同じ挙動を示し、電気抵抗値の挙動は水セメント比、混和材の影響は受けない。
- 2) 電気抵抗値は水和発熱速度と相関がある。
- 3) 高炉スラグ微粉末の置換率が低いものは電気抵抗値の減少する挙動はCa<sup>2+</sup>濃度の溶出を捉えている、一方電気抵抗値が増加する挙動はCa<sup>2+</sup>の消費を捉えている。
- 4) 電気抵抗値の挙動により、硬化前のコンクリートの水和反応の進行を捉えることができる

### 5 参考文献

- 1) 原沢蓉子ほか：電気抵抗値を用いた養生期間内における強度の推定手法の一提案：土木学会第68回講演会概要集、V-336、2013、9
- 2) 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, p29-35, 2014

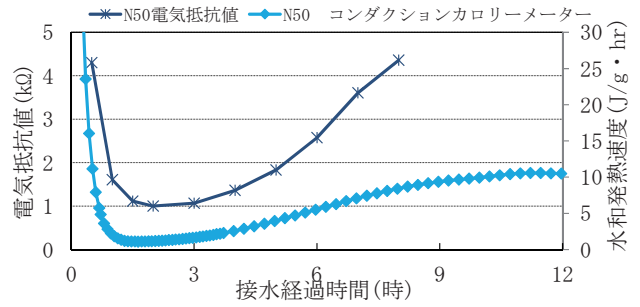


図3 N50における電気抵抗値と水和発熱の相関

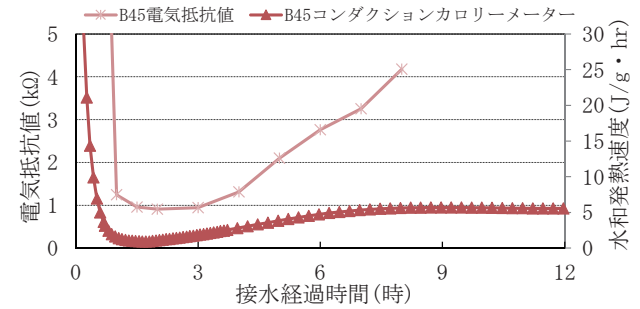


図4 B45における電気抵抗値と水和発熱の相関

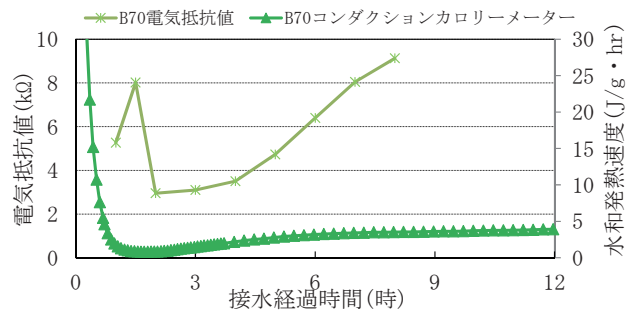


図5 B70における電気抵抗値と水和発熱の相関

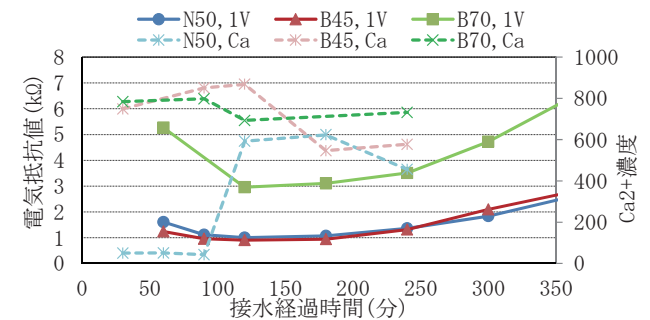


図6 電気抵抗値とCa<sup>2+</sup>濃度の相関

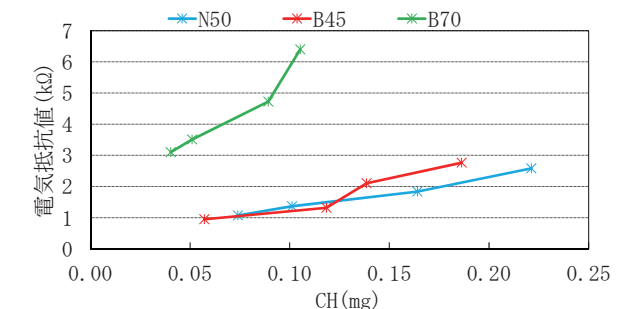


図7 電気抵抗値とCH生成量の相関