

# 電気抵抗率によるコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性の迅速評価

技術本部 技術研究所 鈴木雅博

## 1. はじめに

コンクリートの電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数は相関性が高いことが知られており、電気抵抗率を測定することで、プレキャストプレストレストコンクリート(以下、PCaPC)部材の塩化物イオン浸透抵抗性が推定できる。そのため、土木研究所とPC建協との共同研究委員会は、PCaPC部材の品質の信頼性をさらに高めることを目的に、出荷時の品質管理に電気抵抗率試験を加えることとし、電気抵抗率から塩化物イオン拡散係数を算出する推定式および塩化物イオン抵抗性の区分を提案した(表-1参照)。ただし、電気抵抗率試験が供試体の寸法や温度および含水状態の影響を受けるため、試験はφ100×200mmの円柱供試体(以下、円柱供試体)とし、水中養生した供試体を用いること、測定前にコンクリート温度を20℃とすること(測定前に20℃水中浸漬の実施)としている(表-2参照)。ここで、推定式は、同一材齢の蒸気養生後に20℃水中養生した円柱供試体の電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数を用いており、蒸気後に所定の材齢まで水中養生し、その後気中養生とするPCaPC部材の養生と異なる。

本報告では、蒸気養生後に20℃水中養生した円柱供試体の電気抵抗率および塩化物イオン拡散係数とPCaPC部材と同じ養生とした塩化物イオン拡散係数の測定結果からPCaPC工場における品質管理方法について検討した結果を述べる。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験要因

実験要因と水準を表-3に示す。本実験は①電気抵抗値と塩化物イオン拡散係数との推定線との比較、②円柱供試体の養生をPCaPC部材と同じ養生とした場合と蒸気養生後に20℃水中養生とした場合の塩化物イオン拡散係数の比較、③PCaPC部材を蒸気養生後に所定の材齢まで20℃水中養生した電気抵抗率から材齢91日の電気抵抗率を推定する方法を検討することを目的に実施した。塩化物イオン拡散係数を把握する円柱供試体の養生は蒸気養生後に20℃水中養生とした場合および製品と同じ養生とした場合の2種類とした。

### 2.2 使用材料および配合

実験は設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>のPCaPC部材の製造時に採取したコンクリートを用いた。使用材料を表-4に、配合を表-5に示す。配合は早強ポルトランドセメントの50質量%を比表面積6000cm<sup>2</sup>/gの高炉スラグ微粉末で置換したコンクリート(以下、BFS-CON)と早強ポルトランドセメント単味のコンクリート(以下、HC-CON)の2種類とした。

### 2.3 試験方法

電気抵抗率試験の方法は、JSCE-G 581に準拠し、本試験ではB法を用いた。試験は4電極法、電極間隔50mm、周波数10

表-1 塩化物イオン浸透抵抗性の区分(委員会報告)

| 区分 | 塩化物イオン抵抗性                                      | 非定常電気泳動法による拡散係数 (×10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s) | 電気抵抗率 (Ωm) |
|----|--|--|------------|
| 1  | 塩害の影響度が最も厳しい区分では、かぶりのみでは防食できない                 | 4<   | <100       |
| 2  | 塩害の影響度が最も厳しい区分では、かぶり70mm位置の塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度以下 | 2~4  | 100~200    |
| 3  | 塩化物イオンが停滞するため、塩害の影響を受けない                       | <2   | 200<       |

表-2 電気抵抗率試験の留意点と対処方法

| 留意点                              | 対処方法  |
|----------------------------------|---|
| 寸法による影響を受ける                      | JSCE-G 581(電気抵抗率試験)に示すセル定数により補正する。ただし、品質管理の1つとするため、円柱供試体を用いることとし、影響を取り除く。   |
| 供試体の温度による影響を受ける                  | テストピースの場合は温度の影響を取り除く方法が提案されている。測定前に20℃水中浸漬を行い、円柱供試体の温度を20℃とすることにより、影響を取り除く。 |
| 供試体の含水状態の影響を受ける(供試体の乾燥による影響を受ける) | 20℃水中養生とすることにより、影響を取り除く。なお、脱型直後は乾燥した状態でないとみなしていい。                           |
| 配筋による影響を受ける                      | 無筋の試験体とする。  |

表-3 実験要因

| 検討項目  | 結合材    | 養生条件                    | 試験名      | 試験材齢(日)         |
|---|--------|-------------------------|----------|-----------------|
| 電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係                           | BFS,HC | 蒸気養生→20℃水中養生            | 電気抵抗率    | 0.7,0.4,7,28,91 |
|   |        | 非定常電気泳動法                | 91       |                 |
| 製品と同じ養生とした場合と蒸気養生後に20℃水中養生とした場合の塩化物イオン拡散係数の比較 | BFS    | 蒸気養生→材齢4日まで20℃水中養生→気中養生 | 非定常電気泳動法 | 91              |
|   | HC     | 蒸気養生→気中養生               | 非定常電気泳動法 | 91              |

表-4 使用材料

|          | 記号  | 仕様  |
|----------|-----|---|
| 早強セメント   | HC  | 密度: 3.14g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 4440cm <sup>2</sup> /g |
| 高炉スラグ微粉末 | BFS | 密度: 2.91g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 6010cm <sup>2</sup> /g |
| 細骨材      | S   | 砕砂(表乾密度: 2.68g/cm <sup>3</sup> )                        |
| 粗骨材      | G   | 砕石(表乾密度: 2.74g/cm <sup>3</sup> )                        |

表-5 配合

| 配合名     | W/B (%) |     |     |     |     | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |    |     |   |   |
|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-------------------------|----|-----|---|---|
|         | W       | HC  | BFS | S   | G   | W                       | HC | BFS | S | G |
| BFS-CON | 33.0    | 160 | 242 | 242 | 769 | 957                     |    |     |   |   |
| HC-CON  | 37.4    | 157 | 420 | —   | 732 | 1066                    |    |     |   |   |

空気量 4.5%

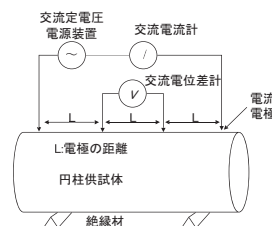


図-1 電気抵抗率試験概要 写真-1 電気抵抗率試験状況

~10000 Ωmの装置を用いて行った(図-1, 写真-1参照)。電気抵抗率は円柱供試体3体の平均値とした。塩化物イオン拡散係数試験は、JSCE-G 571に準拠した電気泳動法を用いた。ただし、塩化物イオン拡散係数は、JSCE-G 571が陽極側への塩化物イオンの移動が定常状態に達したときの移動流を用いて算出するのに対して、本試験では通電時間(6時間, 24時間)と塩化物イオンの浸透深さの傾きから算出した(土木研究所: 非定常電気泳動法による塩化物イオンの拡散係数試験方法(案))。

### 3. 実験結果

#### 3.1 電気抵抗率の経時変化

BFS-CON と HC-CON の電気抵抗率の経時変化を図-2 に示す。蒸気養生後に所定の材齢まで 20℃水中養生した直後 (BFS-CON 材齢 4 日, HC-CON 蒸気養生終了時) から材齢 91 日までの電気抵抗率の増分率 (材齢 91 日の電気抵抗率/20℃水中養生終了時の電気抵抗率) は, BFS-CON において 2.24, 2.53, 3.28 倍, HC-CON において 1.37, 1.38, 1.40 倍となった。材齢 91 日の塩分浸透抵抗性は BFS-CON においてランク 3, HC-CON においてランク 1 となり, BFS-CON の塩分浸透抵抗性が HC コンクリートより高くなることが認められた。

#### 3.2 電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係

材齢 91 日の電気抵抗率と非定常電気泳動法による塩化物イオン拡散係数の関係を図-3 に示す。同図には, 式(1)に示す委員会の電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の推定線をあわせて示す。試験結果は推定線と概ね合致することが認められた。

$$\text{塩化物イオン拡散係数} = 690.43 / \text{電気抵抗率} - 0.2323 \quad (1)$$

#### 3.3 製品と同じ養生とした場合の塩化物イオン拡散係数の推定方法

同一バッチで蒸気養生後に所定の材齢まで 20℃水中養生し, その後, 材齢 91 日まで気中養生した (以下, 製品と同じ養生) 円柱供試体と蒸気養生後に材齢 91 日まで 20℃水中養生した円柱供試体の塩化物イオン拡散係数の比較を図-4 に示す。BFS-CON と HC-CON とともに製品と同じ養生とした供試体の塩化物イオン拡散係数は蒸気養生後に 20℃水中養生した供試体と比較して同等かそれより小さくなることが認められた。このことから, 蒸気養生後に所定の材齢まで 20℃水中養生した直後の電気抵抗率から材齢 91 日まで 20℃水中養生した供試体の電気抵抗率の推定値を用いて式(1)から算出した塩化物イオン拡散は製品と同じ養生とした円柱供試体の塩化物イオン抵抗性を安全側に評価することができると考えられる。

推定した材齢 91 日の電気抵抗率を用いて算出した塩化物イオン拡散係数と実測値を図-5 に示す。ここで, 材齢 91 日まで 20℃水中養生した円柱供試体の電気抵抗率の推測は前述の電気抵抗率の増分率の最小値 (BFS-CON 2.24 倍, HC-CON 1.37 倍) を用いることとした。HC-CON のバッチ番号 10 を除き, 塩化物イオン拡散係数の推定値は同程度かそれより大きくなることが認められた。このことから, 蒸気養生後に所定の材齢まで 20℃水中養生した直後の電気抵抗率から材齢 91 日までの電気抵抗率の増分率を適正に評価することにより, 製品と同一の養生とした円柱供試体の塩化物イオン拡散係数を安全側に推定することができると考えられる。ただし, 電気抵抗率の増分率は蒸気養生の設定温度や配合により異なるため, 予め試験により確認しておく必要がある。

#### 4. おわりに

電気抵抗率を用いた出荷時のPCaPC部材の塩化物イオン抵抗性を把握する品質管理方法を検討した結果, 製品同一養生した供試体の20℃水中養生終了時の電気抵抗率から適正な増

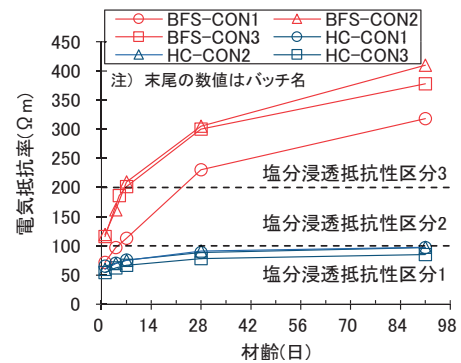


図-2 電気抵抗率の経時変化

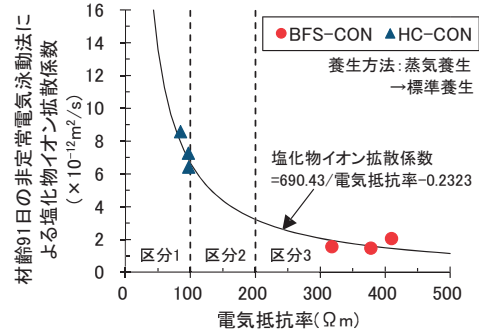


図-3 電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係

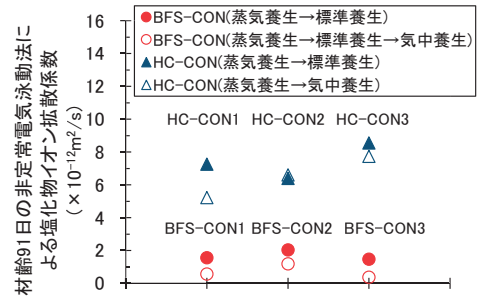


図-4 異なる養生方法の塩化物イオン拡散係数の比較

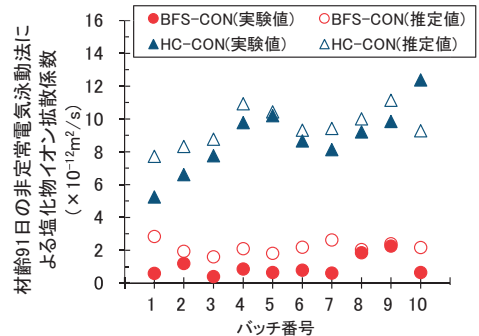


図-5 塩化物イオン拡散係数の実測値と実験値の比較

分率により推定した材齢91日の20℃水中養生した供試体の電気抵抗率から推定線を用いて算出した塩化物イオン拡散係数により, 塩化物イオン浸透抵抗性を安全側に評価することができることが認められた。

**Key Words** : 電気抵抗率, 塩化物イオン浸透抵抗性



鈴木雅博