

80 年前のコンクリートに対する中性化による影響評価

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○永井 新悟  
東日本旅客鉄道(株) 正会員 須田 聡  
(株)八洋コンサルタント 正会員 高橋 幸一

1. はじめに

既存コンクリート構造物の将来の性能を予測することは、維持管理や既存構造物の利活用の観点からも重要である。しかし、古い年代に施工された構造物等、配合が不明なコンクリートに対して将来予測を行うことは難しいという課題がある。

そこで本文では、屋内環境下において施工後 80 年を経過したコンクリート構造物を対象として示方配合推定や中性化促進試験を行い、将来の中性化による影響評価をした結果を報告する。

2. 対象構造物の概要

対象とする構造物は、昭和 14 年に発電開始され、経年 80 年を迎える水力発電設備周辺のコンクリートである。図-1 に発電機全体構造図を、図-2 にアーチ梁・副梁の写真を示す。発電機の構造は水車発電機荷重を支持するアーチ梁部と水流により水車を回転させる流路（ケーシング）周りに充てんされているケーシング部の 2 つから構成されており、施工時の配合記録や材料特性に関する記録は残っていない。

現状の健全性調査の結果<sup>1)</sup> から圧縮強度、最小鉄筋かぶりを確認している。圧縮強度は、共鳴振動試験、打撃試験、反発硬度法の実測値の平均値からアーチ梁部で 25.8~40.6N/mm<sup>2</sup> 程度、ケーシング部で 18.8~30.8N/mm<sup>2</sup> 程度と推定される。最小鉄筋かぶりは、アーチ梁部で主筋が 76~206mm、配力筋が 62~201mm 程度、ケーシング部は無筋であった。

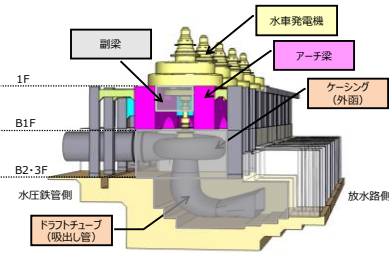


図-1 発電機全体構造図

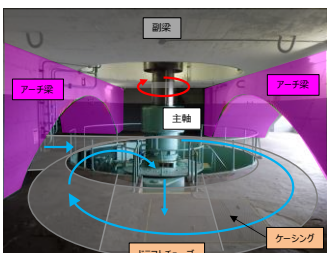


図-2 対象としたコンクリート構造物(アーチ梁・副梁)

3. 中性化による影響評価の概要

対象構造物は、屋内環境下であり、風雨や塩害、凍結融解等の環境作用がなく、健全性調査の結果からも劣化の兆候が認められない。そのため、コンクリートの劣化要因のうち、中性化のみを対象として現地で採取したコアから示方配合推定を行い、作成する再現供試体を用いての中性化促進試験の実施によって中性化による影響を評価することとした。

3. 1 配合推定方法および結果

配合推定は、セメント協会法<sup>2)</sup>によって行った。配合推定に用いるコアはアーチ梁部でφ100×3カ所、ケーシング部でφ200×3カ所で採取した。表-1 にセメント協会法による配合推定結果を示す。また、気泡分布（リニアトラバース法 ASTM C457）測定を加えることにより、単位水量も含めた施工時の示方配合を推定した。表-2 にリニアトラバース法による気泡分布測定結果を表-3 にリニアトラバース法を加えた示方配合推定結果を示す。

表-1 セメント協会法による配合推定計算結果

| 項目                          |     |                                    | コア記号                          |       |       |        |       |       |      |
|-----------------------------|-----|------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|------|
|                             |     |                                    | アーチ梁部                         |       |       | ケーシング部 |       |       |      |
|                             |     |                                    | No.1                          | No.2  | No.3  | No.4   | No.5  | No.6  |      |
| 硬化コンクリートの<br>単位容積質量<br>と含水率 | A   | 単位体積質量                             | 2,247                         | 2,206 | 2,320 | 2,263  | 2,355 | 2,194 |      |
|                             | —   | (kg/m <sup>3</sup> )               | 2,387                         | 2,351 | 2,435 | 2,391  | 2,466 | 2,340 |      |
|                             | —   | 乾燥単位容積質量                           |                               |       |       |        |       |       |      |
|                             | —   | 吸水率 (%)                            | 6.3                           | 6.6   | 5.0   | 5.7    | 4.7   | 6.7   |      |
| 化学分析値                       | 試料  | B                                  | 酸化カルシウム量 (%)                  | 8.5   | 10.8  | 7.8    | 6.0   | 5.4   | 5.3  |
|                             |     | C                                  | コンクリート                        | 78.5  | 73.3  | 79.3   | 83.3  | 83.8  | 83.9 |
|                             |     | —                                  | 加熱減量600℃ (%)                  | 3.0   | 4.2   | 3.5    | 3.2   | 2.9   | 3.0  |
|                             |     | —                                  | 加熱減量1000℃ (%)                 | 6.3   | 7.3   | 5.4    | 5.4   | 4.4   | 4.0  |
|                             | 原材料 | D                                  | セメント                          | 64.5  |       |        |       |       |      |
|                             |     | E                                  | 酸化カルシウム量 (%)                  | 0.4   |       |        |       |       |      |
|                             |     | F                                  | 骨材                            | 95.2  |       |        |       |       |      |
|                             |     | G                                  | 吸水率 (%)                       | 1.7   |       |        |       |       |      |
|                             |     | H                                  | 骨材量 C×100/F (%)               | 82.5  | 77.0  | 83.3   | 87.5  | 88.0  | 88.1 |
|                             |     | I                                  | セメント量 [B-(H×E/100)]×100/D (%) | 12.7  | 16.3  | 11.6   | 8.8   | 7.8   | 7.7  |
| 推定単位量                       | J   | 骨材量 A×H/100                        | 1,854                         | 1,699 | 1,933 | 1,980  | 2,072 | 1,933 |      |
|                             | K   | 乾燥 J×100/(100-G)                   | 1,886                         | 1,728 | 1,966 | 2,014  | 2,088 | 1,966 |      |
|                             | L   | セメント量 A×I/100 (kg/m <sup>3</sup> ) | 285.0                         | 360.0 | 269.0 | 199.0  | 184.0 | 169.0 |      |
|                             | L   | セメント量 A×I/100 (kg/L)               | 6.6                           | 4.8   | 7.3   | 10.1   | 11.5  | 11.6  |      |

表-2 リニアトラバース法による気泡分布測定結果

| コア記号   |      | 供試体寸法 (mm) | 細骨材率 s/a (%) | ベースト量 p (%) | 空気量 A (%) | ベースト空気比 p/A |
|--------|------|------------|--------------|-------------|-----------|-------------|
| アーチ梁部  | No.1 | 100        | 45.3         | 36.2        | 2.6       | 13.9        |
|        | No.2 | 100        | 26.6         | 24.1        | 0.8       | 30.1        |
| ケーシング部 | No.4 | 200        | 40.9         | 25.3        | 1.5       | 16.9        |
|        | No.5 | 200        | 21.1         | 16.2        | 1.7       | 9.53        |

表-3 リニアトラバース法を加えた示方配合推定結果

| 部位     | 粗骨材最大寸法 (mm) | 水セメント比 W/C (%) | 細骨材率 s/a (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |
|--------|--------------|----------------|--------------|-------------------------|------|
|        |              |                |              | 水                       | セメント |
| アーチ梁部  | 40           | 53.5           | 36           | 168                     | 314  |
| ケーシング部 | 80           | 79.7           | 31           | 149                     | 187  |

キーワード 中性化促進試験 配合推定 再現供試体

連絡先 〒370-8543 群馬県高崎市栄町 6 番 26 号 東日本旅客鉄道(株) 上信越工事事務所 027-324-9363

3. 2 中性化促進試験および中性化後の試験概要

表-4 に再現供試体配合を示す。再現供試体は、アーチ梁部 2 配合とケーシング部 2 配合の計 4 配合をコンクリートの強度・質的变化を確認するために無筋で作成することとし、配合はそれぞれ推定した示方配合(X)と示方配合の精度、水セメント比の影響を確認するための示方配合(X)+W/C10%とした。

表-5 に中性化促進試験および中性化後の試験項目を表-6 に採取コアと再現供試体との細孔径分布比較結果を示す。中性化促進試験は、JIS A1153 に準じて行い、作成した再現供試体を 50%中性化（供試体切断断面から 50%中性化促進幅を確認）と全中性化に分けて促進させることとした。中性化後の試験は、中性化促進させた再現供試体と未中性化の再現供試体を用いて中性化後の強度変化を把握するために圧縮強度および静弾性係数試験の比較を行い、質的变化を把握するために細孔径分布試験の比較を行った。また、作成した再現供試体の精度を確認するため、採取したコアとの細孔径分布による比較をした結果、いずれの配合も 9 割程度の高い再現精度を確認することが出来た。

表-4 再現供試体配合

| 部位     | 粗骨材<br>最大寸法<br>(mm) | 水セメント比<br>W/C<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |           |          |                           |     |         |
|--------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------|----------|---------------------------|-----|---------|
|        |                     |                      |                    | 水<br>W                  | セメント<br>C | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G80≧<br>G40<br>G20 |     |         |
| アーチ梁部  | 示方配合(X)             | 40                   | 53.5               | 36                      | 168       | 314      | 674                       | —   | 742 498 |
|        | 示方配合(X)<br>+W/C10%  | 40                   | 63.4               | 38                      | 168       | 265      | 728                       | —   | 733 492 |
| ケーシング部 | 中心配合                | 80                   | 79.7               | 31                      | 149       | 187      | 628                       | 491 | 477 477 |
|        | 示方配合(X)<br>+W/C10%  | 80                   | 89.8               | 33                      | 149       | 166      | 672                       | 481 | 467 467 |

※80～40mmを40～20mmに置き換えて練り混ぜた

表-5 中性化促進試験および中性化後の試験項目

| 試験項目             | 試験数量        | 備考                                                                                             |
|------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 再現供試体作成<br>(無筋)  | 4配合×12本=48本 | ・アーチ梁部2配合とケーシング部2配合の計4配合を作成する。<br>・配合はそれぞれ、示方配合(X)、示方配合(X)+W/C10%とする。<br>・中性化促進用6本+未中性化6本の計12本 |
| 中性化促進試験          | 4配合×6本=24本  | ・50%中性化3本+全中性化3本の計6本                                                                           |
| 圧縮強度および<br>静弾性係数 | 4配合×12本=48本 | ・50%中性化3本+全中性化3本+未中性化6本の計12本                                                                   |
| 細孔径分布            | 4配合×2本=8本   | ・中性化促進用1本+未中性化1本の計2本                                                                           |

4. 調査結果

図-3 に圧縮強度および静弾性係数比較結果を示す。圧縮強度および静弾性係数は、50%中性化、全中性化ともに水セメント量によらず中性化させた方が値は高くなることが分かった。表-7 に細孔径分布比較結果を示す。細孔径分布は、アーチ梁部で 2.0×0.01 cm<sup>3</sup>/g 程度、ケーシング部で 1.0×0.01 cm<sup>3</sup>/g 程度、全中性化させた方が値は小さくなることから中性化に伴い、コンクリートが密実になることで圧縮強度が高くなったものと推定される。

表-6 採取コアと再現供試体との細孔径分布比較結果

|        | 総細孔容積 (×0.01cm³/g) |       |       |                  |     |                             |     |
|--------|--------------------|-------|-------|------------------|-----|-----------------------------|-----|
|        | 採取コア               |       |       | 再現供試体<br>示方配合(X) | 比較  | 再現供試体<br>示方配合(X)<br>+W/C10% | 比較  |
| アーチ梁部  | No.1               | 8.13  | 8.26  | 8.53             | 97% | 8.92                        | 93% |
|        | No.2               | 8.21  |       |                  |     |                             |     |
|        | No.3               | 8.44  |       |                  |     |                             |     |
| ケーシング部 | No.4               | 9.48  | 10.25 | 9.51             | 92% | 10.11                       | 99% |
|        | No.5               | 8.87  |       |                  |     |                             |     |
|        | No.6               | 12.40 |       |                  |     |                             |     |

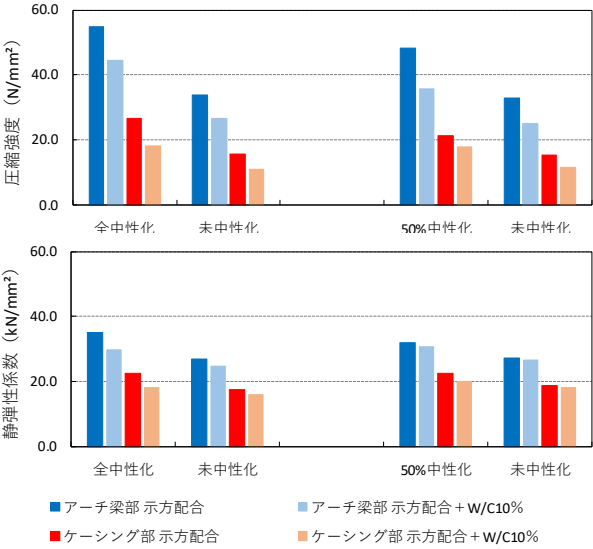


図-3 圧縮強度および静弾性係数比較結果

表-7 細孔径分布比較結果

| 部位     |                     | W/C<br>(%) | 総細孔容積<br>(×0.01cm <sup>3</sup> /g) | 比表面積<br>(m <sup>2</sup> /g) | 平均径<br>(μm) | 中心径<br>(μm) |        |
|--------|---------------------|------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|--------|
| アーチ梁部  | 示方配合(X)<br>+ W/C10% | 53.5       | 未中性化                               | 8.53                        | 7.30        | 0.0234      | 0.1252 |
|        |                     |            | 全中性化後                              | 5.80                        | 10.60       | 0.0110      | 0.0594 |
|        | 示方配合(X)<br>+ W/C10% | 63.4       | 未中性化                               | 8.92                        | 9.94        | 0.0179      | 0.1385 |
|        |                     |            | 全中性化後                              | 6.86                        | 11.88       | 0.0116      | 0.0668 |
| ケーシング部 | 示方配合(X)<br>+ W/C10% | 79.7       | 未中性化                               | 9.51                        | 12.96       | 0.0147      | 0.1526 |
|        |                     |            | 全中性化後                              | 8.61                        | 12.11       | 0.0142      | 0.1535 |
|        | 示方配合(X)<br>+ W/C10% | 89.8       | 未中性化                               | 10.11                       | 11.40       | 0.0177      | 0.2247 |
|        |                     |            | 全中性化後                              | 9.26                        | 11.55       | 0.0160      | 0.2010 |

5. まとめ

施工時の配合記録や材料特性に関する記録がなく、経年 80 年を迎える対象構造物の将来の中性化による影響を評価するため、示方配合推定や中性化促進試験を行った。

調査結果より、対象構造物については、中性化に伴いコンクリートが密実に変化することで圧縮強度および静弾性係数による強度が高くなると推定されることが分かった。これより、今回と同条件下で屋内環境下であり、劣化要因が中性化のみ進行する対象構造物の将来の耐力は担保されると評価した。

最後に、この方法による耐久性評価が現地コンクリートの利活用において一助となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 東日本旅客鉄道(株) 経年 79 年のコンクリート構造物の品質調査結果 2018
- 2) セメント協会 コンクリート専門委員会報告 F-18 1967