

配合が相違するコンクリート中鋼材の腐食膨張率に関する実験的検討

清水建設(株) 正会員 ○矢ノ倉 ひろみ 杉橋 直行 小倉 大季 高橋 圭一

日本原燃(株) 正会員 庭瀬 一仁 工藤 淳

(株)ニュージェック 正会員 枝松 良展

1. 検討概要

低レベル放射性廃棄物処分施設の長期状態設定の解析的な検討事例において、鋼材の腐食膨張が構造物のひび割れを引き起こし、施設を変形させる要因として考えられている。しかし、長期状態設定の解析的な検討で使用したパラメータは、既往の文献調査によって設定されているもので、処分施設固有の条件など実験的に検証されたものではない。またひび割れの発生や低拡散層へのひび割れの進展状況などについても明らかになっていない。そこで、コンクリート中鋼材の腐食に関するパラメータの検証や腐食膨張によるひび割れの発生状況と進展について検討することを目的とした一連の実験を実施している<sup>[1]</sup>。このうちここでは、施設のコンクリート材料や配合の違いが鋼材の腐食膨張率にどのような影響を与えるか検討した結果を報告する。

2. 試験概要

表-1 に示す余裕深度処分施設で検討している LPCFA 配合と、浅地中処分施設で検討している BB 配合の 2 種類の配合で電食試験と油圧試験を実施した。供試体寸法を図-1 に、試験水準を表-2 に示す。電食試験はコンクリート中の鉄筋を電気化学的に腐食させることにより、腐食生成物の膨張圧によってコンクリートにひび割れを発生させるものである。供試体を水中に浸漬し、定電流出力装置を用いて陽極を丸鋼、陰極材を銅板として通電する。既報<sup>[2]</sup>の結果から、15 日後にひび割れを発生させることが可能な電流は 0.2A であるため、本試験でも 0.2A の定電流で通電することとした。この電食試験方法によって、ひび割れの状態やひび割れ発生時の腐食量などを把握する。

油圧試験は油圧により腐食膨張圧を模擬的にコンクリートに作用させる。コンクリート中の仮想鋼材位置で油圧を経時的に増加作用させて、コンクリートにひび割れが発生する時点の油圧を把握する。既報<sup>[2]</sup>の結果から、およそ 15 日間でひび割れを発生させる油圧は 15MPa であったことから、4 時間ごとに 0.15MPa ずつ油圧を増加させる設定とした。

表-1 供試体の示方配合表

| 種別      | W/B (%) | s/a (%) | スランプ <sup>o</sup><br>or スラン<br>プ フロー<br>(cm) | 空<br>気<br>量<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |     |     |     |    |     |     |     |      |
|---------|---------|---------|----------------------------------------------|--------------------|--------------------------|-------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|------|
|         |         |         |                                              |                    | W                        | 結合材 B |     |     |     |    | LS  | S1  | S2  | G    |
|         |         |         |                                              |                    |                          | LPC   | BB  | FA  | LEX | EX |     |     |     |      |
| LPCFA 配 | 45.0    | 53.4    | 65                                           | 2.5                | 160                      | 229   | －   | 107 | 20  | －  | 178 | 885 | －   | 780  |
| BB 配合   | 53.7    | 45.8    | 12                                           | 4.5                | 145                      | －     | 240 | －   | －   | 30 | －   | 530 | 354 | 1048 |

BB：高炉セメントB種，LPC：低熱ポルトランドセメント，FA：フライアッシュ，EX：膨張材，LS：石灰石微粉末

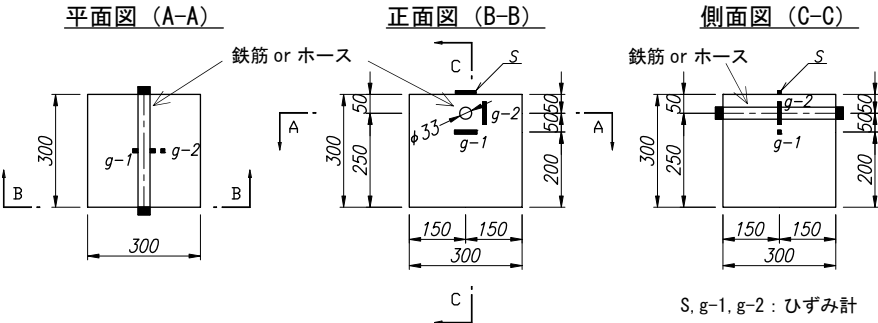


図-1 供試体寸法

表-2 試験水準

| 供試体<br>記号 | 芯かぶり<br>C<br>(cm) | 鉄筋orホース<br>外径<br>φ<br>(mm) |
|-----------|-------------------|----------------------------|
| a         | 5                 | 33                         |
| b         | 10                | 41                         |
| c         | 10                | 33                         |
| d         | 12.5              | 33                         |

キーワード 余裕深度処分施設，浅地中処分施設，腐食生成物，体積膨張率，ひび割れ，電食，油圧

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設 TEL 03-3561-3919

### 3. ひび割れ状況

かぶり 5cm の a 供試体のひび割れ状況を写真-1, 2 に示す. 電食試験体の鉄筋端面では, 鉄筋の直上に垂直に 1 本, その左右上面に向って放射状に 1 本ずつ, 鉄筋下方に向って放射状に 2, 3 本のひび割れが発生していた. 油圧試験体の鉄筋端面では, 油圧ホースの上に 1 本と水平から 60° 程度斜め上に 1 本, さらに水平から 60° 程度斜め下に 1 本のひび割れが発生していた. a 供試体はかぶりが 5cm と薄く, 電食試験も油圧試験でも, かぶり部分がはく離するようなひび割れパターンとなった. かぶりが 12.5cm と厚い d 供試体などは鉄筋直上に垂直に 1 本, 鉄筋に沿って発生するひび割れパターンとなっており, かぶりによりひび割れパターンが異なる一般的な傾向に合致していた. 一方で, 配合の違いによるひび割れ発生状況に大きな違いは認められなかった.

### 4. 腐食生成物の体積膨張率の算定

腐食生成物の体積膨張率の算定は, 電食試験によるひび割れ発生時の腐食重量減と, 油圧試験を数値解析により再現してひび割れ発生時の膨張変位を算出した結果を用いて算定した. 解析にはコンクリートのひび割れの発生・進展挙動を容易に表現できる離散型の解析手法である RBSM(Rigid-Body-Spring Model)を用いた<sup>[3]</sup>. 解析モデルを図-3 に示す. 解析パラメータは割裂引張試験, 圧縮静弾性試験結果等を参考に表-3 のとおり設定した.

a 供試体の解析結果例を図-4 および図-5 に示す. 図-4 中のひずみは, 図-1 における位置 S で測定したコンクリートの表面ひずみである. 圧力とコンクリートひずみの関係およびひび割れ性状を実験と比較すると, 解析から得られた結果は良好に実験結果を再現できている. 他の供試体についても概ね実験結果と整合することから, 解析により膨張変位を算定する妥当性を説明できると考えた.

膨張率の算定結果を表-4 に示す. 体積膨張率は LPCFA 配合, BB 配合ともに 2 以下であり, 概ね同等の傾向であることが確認された.

### 5. まとめ

本実験検討の範囲で LPCFA 配合, BB 配合でひび割れ発生状況に大きな相違は無く, 腐食生成物の膨張率は 2 程度以下であった.

今回 15 日間程度でひび割れが発生する状況を模擬したが, 今後ひび割れ発生までの時間をパラメータとした実験を実施し, ひび割れ発生までの時間が腐食膨張率などに与える影響を検討していく.

### 参考文献

- [1] 矢ノ倉ひろみほか: 余裕深度処分施設のコンクリートピット中鉄筋の腐食膨張によるひび割れについて, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011. [2] 杉橋直行ほか: 放射性廃棄物処分施設のコンクリートピット中鉄筋の腐食膨張率に関する研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, 2012. [3] 川井忠彦, 竹内則雄: 離散化極限解析プログラミング—コンピュータによる極限解析法シリーズ 2, 培風館, 1990.

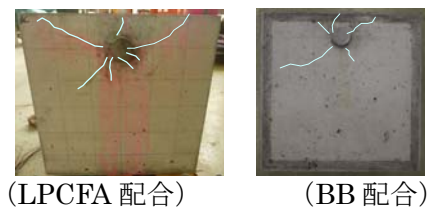


写真-1 電食試験ひび割れ状況

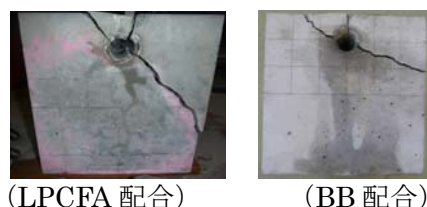


写真-2 油圧試験ひび割れ状況

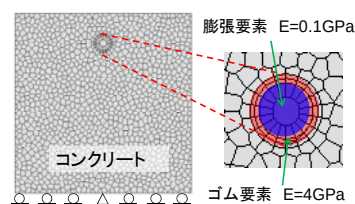


図-3 解析モデル

表-3 解析パラメータ設定値

| 種 別      | 弾性係数<br>(GPa) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破壊エネルギー<br>(N/mm) |
|----------|---------------|------------------------------|-------------------|
| LPCFA 配合 | 38.3          | 2.0                          | 0.04              |
| BB 配合    | 38.4          | 3.8                          | 0.11              |

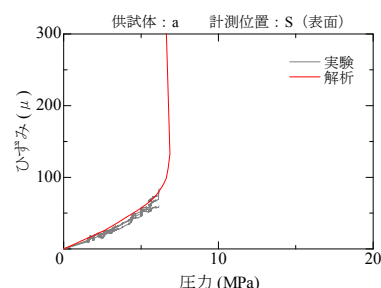


図-4 圧力と表面ひずみの関係



図-5 ひび割れ性状 (左: 実験, 右: 解析)

表-4 膨張率の算定結果

| 種別       | C:5cm<br>Φ:33mm | C:10cm<br>Φ:41mm | C:10cm<br>Φ:33mm | C:12.5cm<br>Φ:33mm |
|----------|-----------------|------------------|------------------|--------------------|
| LPCFA 配合 | 1.55            | 1.98             | 1.74             | 1.73               |
| BB 配合    | 1.17            | 1.68             | 1.4              | 1.52               |