

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

清水建設(株)	正会員	○矢ノ倉ひろみ	杉橋直行	田中博一	名倉健二
日本原燃(株)	正会員	庭瀬一仁	伊藤裕紀		
東電設計(株)	正会員	河原忠弘			
(株)ニュージェック	正会員	枝松良展			

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分施設では、核種の閉じ込めやセメント系人工バリアの力学安定性を確保するために、図-1に示すコンクリートピット（以下、ピットと呼ぶ）を設置することが検討されている。ピットは鉄筋コンクリート構造であり、その内側には鋼製の廃棄体が配置される。これらの鋼材が腐食膨張し、コンクリートにひび割れが発生すると人工バリアの機能に影響を及ぼす可能性があることから、鋼材腐食の状態予測は重要な評価項目となる。

ピットは外側に低拡散層、内側に充てん材があるため内外とも無筋モルタル部材と打継ぎを有することになる。しかしながら、このようなコンクリートとモルタルの打継ぎ部で鋼材腐食膨張によって発生するひび割れがどのように伝達するか検討された事例は無い。このためここでは、施設の状態設定に資するために鋼材を配置したコンクリートに無筋のモルタルを打ち継いだ部材を製作し、この鋼材を電食によって腐食膨張させて、ひび割れのモルタルへの進展状況を実験的に確認した。

2. 実験方法

ピットを模擬した圧縮強度 80N/mm^2 の高強度コンクリートと、低拡散層を模擬した 90N/mm^2 の高強度モルタルを用いて、図-2に示す供試体を作製した。打継ぎには、実際に計画されている処理方法と同様に、剛性のある凹凸を有するエンボス加工樹脂シートを用いた。鉄筋は主筋として用いられる可能性のある D32 を $\phi 31$ のみがき丸鋼で模擬した。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15日程度でひび割れが発生するように 0.3mA （結果的に、腐食速度は $2300\sim 2600\ \mu\text{m/y}$ 程度）の定電流で通電した。表面にひずみゲージを貼付し、ピットと低拡散層の表面ひずみの経時変化を確認した。

3. ひび割れ状況

ひび割れ状況を写真-1, 2に示す。発生したひび割れは幅 0.1mm 程度以下であった。15.7日後にそれまで斬増していた全ての表面のひずみが急減に小さくなり、15.9日後に上面のひび割れを目視で確認し、通電を中止した。写真-1のとおり、鉛直筋に沿ったひび割れは低拡散層に進展せずに打継ぎ部を伝達し、これと逆側に進展したひび割れはピット表面手前 5cm で止まっていた。水平筋に沿ったひび割れも写真-2のとおり鉛直筋と同様の傾向であった。低拡散層にひび割れが進展しない理由としては、低拡散層がピットよりも強度が高い

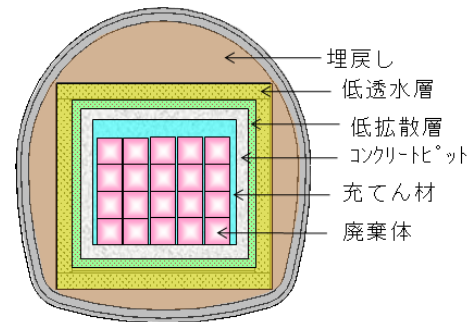


図-1 低レベル放射性廃棄物余裕深度処分施設

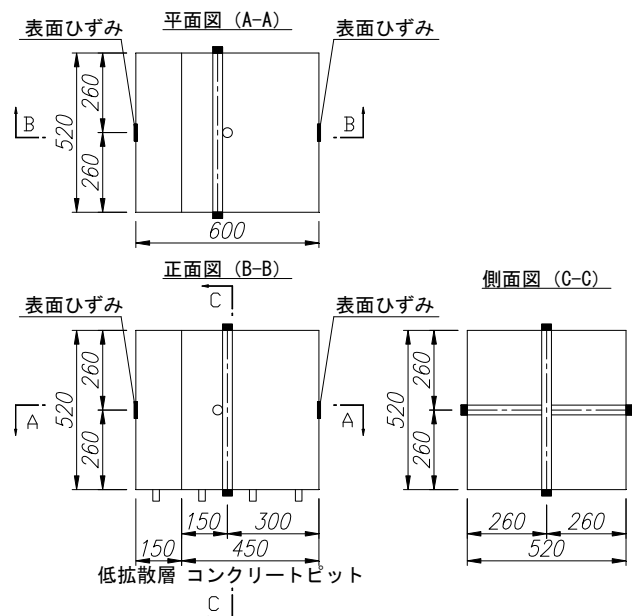


図-2 模擬供試体

キーワード 余裕深度処分施設, 腐食膨張, 腐食速度, ひび割れ, 打継ぎ, 電食

連絡先 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 清水建設 TEL 03-5441-0594

こと, モルタルであるため内部に潜在的欠陥がでにくいこと, 膨張応力が打継ぎ部を伝達することなどから, ひび割れの進展方向が2方向に分散したことが考えられる. 実構造物では端部の拘束度が今回の実験と異なる等の理由から, 低拡散層方向へのひび割れ進展については今後解析的な検討等で検証する必要があるものの, 低拡散層にひび割れが進展していく可能性が低いことが確認できた.

4. 腐食生成物と腐食重量減

腐食状況を写真-3に示す. ほぼ一様に黒錆が生成しており, 丸鋼を取出した直後から赤錆が増加した. X線回折による同定分析の結果, マグネタイト (Fe_3O_4) が主要生成物と考えられた. 余裕深度処分施設における鋼材の主要腐食生成物もマグネタイトと想定されており, 基本的な力学条件は余裕深度処分施設を模擬出来ていると考える. ただし, 想定されている腐食速度は酸化環境で $1\mu\text{m/y}$, 還元性環境で $0.01\mu\text{m/y}$ であり^[1], 今回の実験ではそれぞれ 2,500 倍, 25 万倍程度, 腐食速度を促進した実験であり, 材料のクリープや腐食生成物の溶液中への溶出などの速度の影響は今後検討する予定である. ひび割れ確認後鉄筋を取り出し, クエン酸Ⅱアンモニウム溶液に浸漬して腐食生成物を溶解除去し, その質量を計測して腐食量を求めた. 腐食量は鉛直筋で $90\text{mg}/\text{cm}^2$, 水平筋で $80\text{mg}/\text{cm}^2$ 程度となった. ひび割れ発生時の腐食量と腐食生成物の体積膨張率の関係は, 肉厚円筒モデルと電食試験結果を基に式-1^[2]により試算した.

$$W_c = \frac{\rho_s}{\pi(\gamma - 1)} \alpha_0 \beta_0 \frac{0.22\{(2c + d)^2 + d^2\}}{E(c + d)} f'_c{}^{2/3} \quad \text{式-1}^{[2]}$$

ここで, W_c : 鉄筋の腐食量 (mg/mm^2)
 ρ_s : 鉄の密度 ($7.85\text{mg}/\text{mm}^3$)
 γ : 腐食生成物の体積膨張率
 c : かぶり (mm)
 d : 鉄筋直径 (mm)
 E : コンクリートヤング率 (N/mm^2)
 f'_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)
 α_0 : かぶりと鉄筋直径に関する補正
 $\quad = (-0.0005d + 0.028)c + (-0.0292d + 1.27)$
 β_0 : コンクリート圧縮強度に関する補正
 $\quad = -0.0055 f'_c + 1.07$

今回の実験で得られた腐食量 $80\sim 90\text{mg}/\text{cm}^2$ の時の, 腐食生成物の体積膨張率は $1.77\sim 1.87$ であり一般的に言われている $2\sim 3$ より小さくなった. これは, ピットや低拡散層が高強度部材であることと, かぶりが通常構造物よりも大きいこと等から拘束度が大きかったことによると考えられる. 今回の実験結果から腐食生成物の体積膨張率は 2 程度と評価しても保守側の設定となる可能性を示している.

5. まとめ

本実験範囲内で得られた知見は以下のとおりである.

- (1) ピット中鋼材の腐食膨張によるひび割れは, 打継ぎ面に沿って進展し低拡散層に伝達しなかった.
- (2) ひび割れ発生時の腐食量から算定される腐食生成物の体積膨張率は, 一般的な $2\sim 3$ よりも小さいと推察された.

今後さらに拘束度の影響に関する要素実験や解析的検討などを実施し, 本実験結果を検証する.

参考文献

[1] 枝松良展ほか: 余裕深度処分施設におけるセメント系人工バリア内の鋼材腐食速度について, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, 2009. [2] キ路寛ほか: 鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ発生状況及びひび割れ幅に関する研究, 土木学会論文集, No.669/V-50, pp.161-171, 2001.

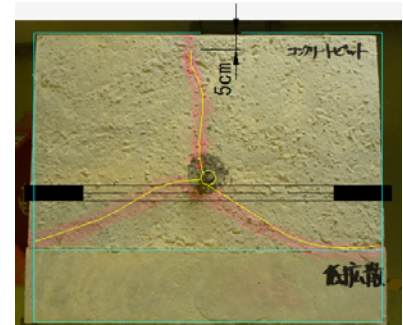


写真-1 ひび割れ進展状況 (上面)

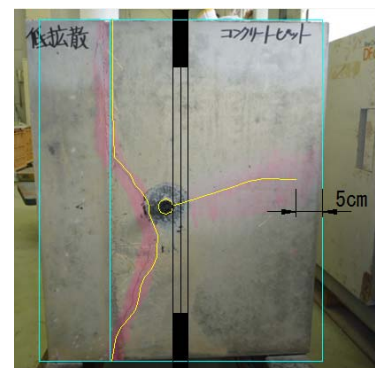


写真-2 ひび割れ進展状況 (側面)



写真-3 腐食状況