

## 低レベル放射性廃棄物処分施設のコンクリート中鋼材の腐食速度に関する実験的検討

清水建設(株) 正会員 ○杉橋直行 名倉健二 矢ノ倉ひろみ  
 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

「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」平成22年制定では、①放射性物質の廃棄物埋設地から生活環境への移行を安全上支障のないレベル以下になるように抑制すること、②人工バリアの構成部位が有する低透水性、低拡散性、収着性、低溶出性、その他の特性に着目して長期的な状態を設定すること、が定められ、余裕深度処分施設に適用されるとともに、既に操業中の浅地中処分施設（ピット処分）についてもこの考え方を適用することが示された。諸特性の長期状態設定には、人工バリアとなるコンクリートピット中の鉄筋の腐食膨張によるひび割れの影響が大きいと考えられている<sup>[1]</sup>。このようなコンクリート中の鋼材の腐食膨張によるセメント系人工バリアの状態評価を行うには、長期における腐食速度等のパラメータを決定する必要がある。既報<sup>[1], [2]</sup>では文献調査によって余裕深度処分施設を対象に整理された条件下における腐食速度の設定を試みた。しかしながら、低レベル放射性廃棄物処分施設に使用するコンクリートピット中の鉄筋の腐食速度を評価した研究は行われていない。このためここでは、人工バリアの長期状態設定に資することを目的として、低レベル放射性廃棄物処分施設の模擬環境で腐食速度を実験的に検討した。具体的には、コンクリートピットの細孔溶液を高圧抽出、組成分析し、この模擬溶液中で鋼材の分極試験を実施して腐食速度の検討を行うものである。

## 2. 細孔溶液の組成分析

余裕深度処分施設と浅地中処分施設のコンクリートピットの配合を表-1に示す。各配合のコンクリートを練り混ぜ、これをウェットスクリーニングしたモルタルによりφ5×10cmの円柱供試体を作製した。円柱供試体は現地の養生条件を参考に材齢7日まで標準養生後、材齢91日まで封緘養生した。材齢91日において、円柱供試体の細孔溶液を高圧抽出装置によって抽出し、ICP発光分光分析装置を使用してCa, Na, K量を求めpH計によりpHを確認した。分析結果を表-2に示す。

高炉スラグやフライアッシュなどの混和材を使用しているため、両配合ともにNa, K濃度が既往の研究よりも低くpHが13程度となった。

表-2 細孔溶液分析結果

分析項目	余裕深度処分施設 mmol/L	浅地中処分施設 mmol/L
Ca	3.9	4.2
K	32	27
Na	45	65
pH	12.96	13.02

表-1 供試体の示方配合

種別	W/B (%)	s/a (%)	スランプ or スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
					W	粉体 P				LS	S	G
						結合材 B						
						BB	LPC	FA	EX			
余裕深度処分	45.0	53.4	65	2.5	160	—	229	107	20	178	885	780
浅地中処分	53.7	45.8	12	4.5	145	240	—	—	30	—	884	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

キーワード 余裕深度処分施設，浅地中処分施設，腐食速度，ひび割れ，低レベル放射性廃棄物

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(株)土木技術本部 TEL 03-5441-0594

### 3. 分極試験

水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化カルシウム試薬を調整して、余裕深度処分施設と浅地中処分施設の2種類の細孔模擬溶液を作製した。模擬溶液中に浸漬したみがき丸鋼（φ10×100mm）をポテンシヨ・ガルバノスタットによって電位挿引速度を10mV/minとして分極した。対極材はプラチナとした。

分極試験の結果を図-1, 2に示す。どちらの分極曲線もほぼ同様の曲線形状となっており、両施設での顕著な差は認められない。図中の青線がアノード分極、赤線がカソード分極曲線であり、交点の-250mV (vs.CSE) 付近が自然電位である。アノード分極曲線については、図中に示すとおり領域①と②に分けられる。領域①が $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 反応の促進領域、領域②が酸素発生反応 $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ 領域と考えられる。図中赤線で示されるカソード分極曲線は領域③と④、⑤に分けられる。領域③は酸素還元反応 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ の促進領域、領域④は③の酸素還元反応速度が酸素拡散律速で決まる領域、領域⑤は水素発生反応 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow$ 領域である。図-2には鉄の腐食反応 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 直線の延長と $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ 反応直線と $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 反応直線をそれぞれ延長した交点を示す。この場合の電流密度はそれぞれ $0.02 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ,  $0.001 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度であり、腐食速度に換算すると約 $0.2 \mu\text{m}/\text{y}$ ,  $0.01 \mu\text{m}/\text{y}$ となることが分かる。これは鉄の腐食反応とそれぞれのカソード反応との平衡速度を示していると評価できる。すなわち酸化環境では約 $0.2 \mu\text{m}/\text{y}$ 、還元性環境下では $0.01 \mu\text{m}/\text{y}$ の腐食速度となることが想定される。従来の文献調査では、酸化環境で $1 \mu\text{m}/\text{y}$ 、還元性環境下で $0.01 \mu\text{m}/\text{y}$ の腐食速度と設定<sup>[2]</sup>しており、これらの保守性を検証する結果がえられた。

自然電位における維持電流密度の計測は困難であることから、ほぼ自然電位の状態と等価と考えられる50mVアノード側に分極した時の維持電流密度を図-3に示す。安定した維持電流密度は $0.02 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  ( $0.2 \mu\text{m}/\text{y}$ )で、分極曲線から得られた $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 反応と $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ 反応との平衡点の電流密度 $0.02 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ と同等で、整合した試験結果となっている。今後は浸漬時間や温度、溶存酸素の影響を検討し、本試験結果の精度向上や評価の検証をさらに進める。

#### 謝辞

本実験については早稲田大学創造理工学部関研究室に多大なるご支援ご助言を頂いた。記して謝意を表す。

#### 参考文献

[1]杉橋直行ほか：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に関する一考察，土木学会第63回年次学術講演会講演概要集，2008。 [2]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。

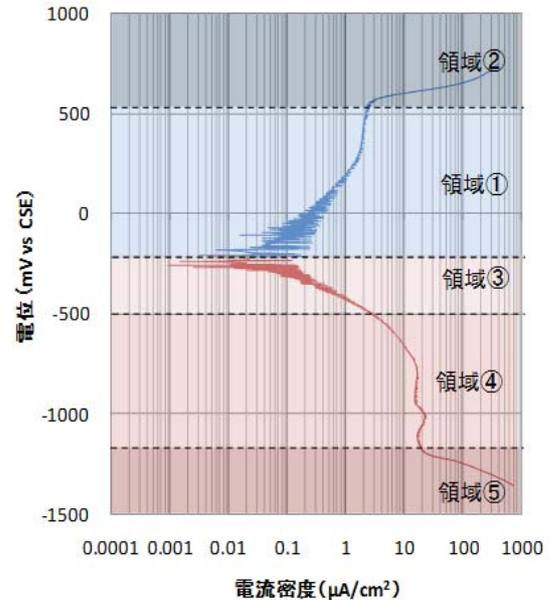


図-1 分極曲線（余裕深度処分施設）

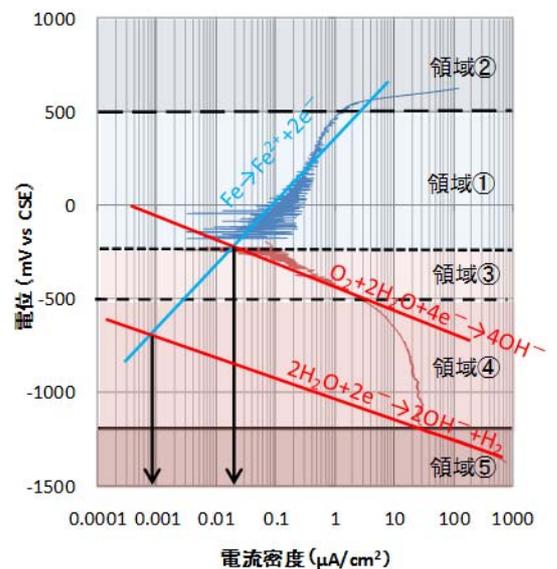


図-2 分極曲線（浅地中処分施設）

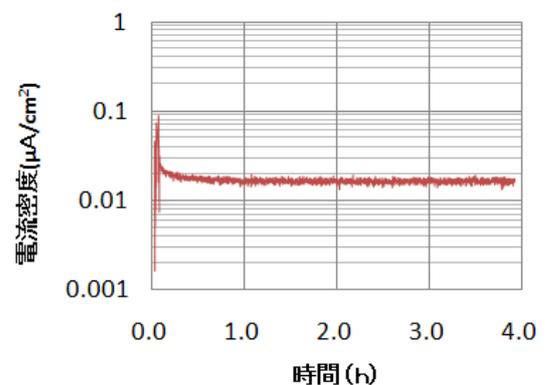


図-3 不動態維持電流（浅地中処分施設）