

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

(株)ニュージェック 正会員○枝松良展
日本原燃(株) 正会員 庭瀬一仁
東電設計(株) 正会員 金子岳夫
清水建設(株) 正会員 杉橋直行 田中博一

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）を設置する計画である。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要求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。腐食膨張圧によるセメント系人工バリアの状態予測を行なうには、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^[1]では、腐食速度や腐食生成物等が鋼材の置かれる条件（pH や塩分、酸素濃度）によって大きく変わることから、鋼材腐食に影響を及ぼす条件が経年でどのように変化するかを設定している。本報告では、既報^[1]などで整理された条件下において、文献調査によって鋼材腐食速度を設定することを試み、長期間に亘るピットの状態予測に資する事を目的とした。

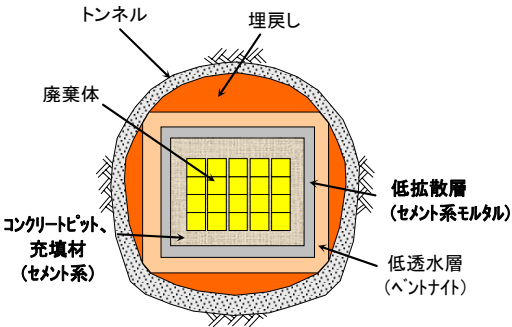


図-1 低レベル放射性廃棄物余裕深度処分施設^[1]

表-1 人工バリア内鋼材の腐食シナリオ^[1]

腐食環境 ステージ	対象 鋼材	環境 温度	腐食 メカニズム	p H	腐食生成物 腐食形態	腐食速度
ステージⅠ 建設・操業段階～ 再冠水	炭素鋼	10～60℃	酸素 消費型	11.5～13 程度	Fe ₃ O ₄ 全面腐食	腐食速度 Ⅰ
ステージⅡ 再冠水後～ 鉄筋位置まで溶脱			水素 発生型			腐食速度 Ⅱ
ステージⅢ 鉄筋位置まで溶脱後				10～11.5 程度以下		腐食速度 Ⅲ

本検討における腐食速度の設定は、「最も確からしいパラメータ」と「安全裕度を考慮したパラメータ」について行った（以下、これらを腐食速度パラメータと呼ぶ）。「最も確からしいパラメータ」は精度の良い実験データにおいて多く提唱されている値と定義し、「安全裕度を考慮したパラメータ」は精度の良い実験データなど提唱されている値のうち、最大値近傍の値あるいは理論上で予想される値と定義した。さらに、これ以上保守的に扱う事が科学的に否定できる値を検討し棄却できる範囲として示すこととした。

2. 腐食速度の設定

表-1 に示す腐食速度Ⅰ～Ⅲについて、腐食速度パラメータおよび棄却できる範囲を表-2 に示すように設定した。各腐食速度のパラメータは、既往研究における実験条件と腐食シナリオ（表-1）との適合性を判断基準として精度の良い実験データであるか判断をして設定したものである。

(1) 腐食環境ステージⅠ

腐食環境ステージⅠに適合する既往研究 6 件において示される腐食速度は 5 件が 1 μ m/y 以下^[2]、1 件が 0.2 μ m/y 以下^[3]である。pH13 (KOH 飽和溶液) における不動態保持電流密度を実験的に測定して、腐食速度を 0.4～1 μ m/y としている研究があるが、みがかれた純鉄を試料としており炭素鋼と比較して腐食しやすくその値も大きめであったと想定される。ここでは「最も確からしいパラメータ」を既往の研究で多く提唱されてい

キーワード 余裕深度処分施設, 廃棄体, 腐食, ひび割れ制御, 鉄筋

連絡先 〒135-0007 東京都江東区新大橋 1-12-13 株式会社ニュージェック TEL 03-5625-1954

る値である $1\mu\text{m/y}$ 以下, 「安全裕度を考慮したパラメータ」を最大値近傍の値 $1\mu\text{m/y}$ と設定した. 一方, 古代遺跡から腐食速度を推定している研究^[2]では $0.5\sim 8\mu\text{m/y}$ が示されているが, そのほとんどが大気中で経年を経ているコンクリート中のものであることから中性化の進行により pH はかなり低下していると想定される. このため, 腐食環境ステージⅠの想定よりも pH が小さく, 腐食速度Ⅰは $8\mu\text{m/y}$ より小さい値を示すと想定される. このようなことから, 腐食速度Ⅰとしては $10\mu\text{m/y}$ より大きい範囲を棄却できると考えた.

(2) 腐食環境ステージⅡ

腐食環境ステージⅡに適合する既往研究 8 件^[4]において示される腐食速度は, 多くの場合が $0.01\mu\text{m/y}$ あるいはそれ以下である. 一方, 最大値近傍の値は $0.02\mu\text{m/y}$ ^[5]である. 試験期間が長い方が腐食速度Ⅱは小さくなる傾向が認められるが, 試験期間が短い場合のデータもほぼ $0.02\mu\text{m/y}$ 以下となる. このようなことから, 「最も確からしいパラメータ」を $0.01\mu\text{m/y}$, 「安全裕度を考慮したパラメータ」を $0.02\mu\text{m/y}$ と設定した. また, 腐食速度Ⅱの範囲は, 腐食により発生する水素の発生速度から $0.002\sim 0.2\mu\text{m/y}$ ^[6], 鉄の不動態域の溶解平衡速度^[7]から $1\times 10^{-3}\mu\text{m/y}$ オーダー以上と想定される. これらの事や腐食速度Ⅰの棄却できる範囲から, $1\times 10^{-4}\mu\text{m/y}$ より小さい範囲, $10\mu\text{m/y}$ より大きい範囲を腐食速度Ⅱの棄却できる範囲と設定した.

(3) 腐食環境ステージⅢ

腐食環境ステージⅢに適合する既往研究 8 件^[8]において示される腐食速度のうち, 最大の腐食速度は試験期間を 30 日間としているものである. 試験期間を 90 日以上としたデータで考えた場合には, 腐食速度は $0.3\sim 0.5\mu\text{m/y}$ となっている. 一方, 試験期間の短い場合を網羅できる最大値近傍の値は $2.0\mu\text{m/y}$ である. このことから腐食速度Ⅲの「最も確からしいパラメータ」を $0.5\mu\text{m/y}$, 「安全裕度を考慮したパラメータ」を $2.0\mu\text{m/y}$ に設定した. さらに腐食速度Ⅲの棄却できる範囲は, 腐食速度Ⅱよりも小さくなることが無いと想定されることからその棄却できる範囲として $1\times 10^{-4}\mu\text{m/y}$ より大きい範囲と想定した.

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] CHITTY Walter-John, et. : Long-term corrosion resistance of metallic reinforcements in concrete-a study of corrosion mechanisms based on archaeological artefacts, Corros Sci, Vol. 47, No. 6, 2005
- [3] 例えば, 腐食防食協会: コンクリート構造物の環境劣化 (2) 鉄筋の腐食速度 (1), 腐食センターニュース, 2006
- [4] 例えば, 三原守弘ほか: 低酸素かつアルカリ条件における炭素鋼, ステンレス鋼及びジルカロイからのガス発生率及び腐食速度の評価, サイクル機構技報, No. 15, 2002
- [5] 例えば, 西村務ほか: 地層処分場における金属腐食に伴う水素ガス発生量評価, R&D/神戸製鋼技報, Vol. 53, No. 3, 2003
- [6] 炭素鋼の腐食による水素ガス発生の実験的検討について, 原環センタートピックス, No. 55, 2000
- [7] G. Wranglen (共訳: 吉沢四郎ほか): 金属の腐食防食序論, 化学同人, 1973
- [8] 例えば, 加藤淳ほか: アルカリ・還元性の模擬地下水環境下における炭素鋼の腐食挙動, 材料と環境, Vol. 56, No. 5, 2007

表-2 腐食速度パラメータ一覧

	最も確からしいパラメータ ($\mu\text{m/y}$)	安全裕度を考慮したパラメータ ($\mu\text{m/y}$)	既往の研究		棄却できる範囲
			$\mu\text{m/y}$	論文数	
腐食速度Ⅰ	1以下	1	1以下	3	$10\mu\text{m/y} <$
			0.01~1	1	
			0.1以下	1	
			0.4~1	1	
腐食速度Ⅱ	0.01	0.02	0.01	3	$1\times 10^{-4}\mu\text{m/y} >$, $10\mu\text{m/y} <$
			0.002	2	
			0.004~0.01	1	
			0.02以下	1	
腐食速度Ⅲ	0.5	2.0	0.02	1	$1\times 10^{-4}\mu\text{m/y} >$
			0.3	2	
			0.3~0.39	1	
			0.35	1	
			0.37~2.4	1	
			0.49	1	
			1.1	1	
			2.0	1	