

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

清水建設(株) 正会員○杉橋直行 田中博一
日本原燃(株) 正会員 庭瀬一仁
(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、核種の閉じ込めや構造物の力学安定性を目的に図-1の通りセメント系人工バリアを用いる計画である。このうちコンクリートピット（以下、ピット）は鉄筋コンクリート構造で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、セメント系材料にひび割れが発生すると核種移行抑制機能に影響を及ぼす可能性があることから、鋼材の腐食の状態予測は重要な評価項目となる。また、余裕深度処分施設では人工バリアの状態を数万年の長期間にわたり環境条件などから想定される影響要因にもとづき、現状の

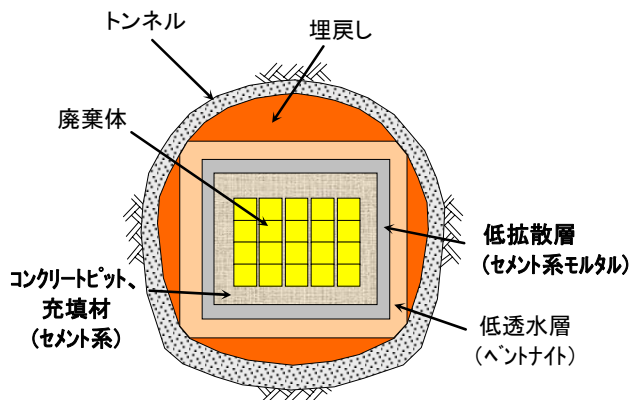


図-1 低レベル放射性廃棄物余裕深度処分施設

技術的知見を用いて評価する必要がある。このような長期間にわた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、腐食速度や腐食生成物の膨張率等を決定する必要がある。しかし、腐食速度や腐食生成物等は鋼材が置かれる条件（Ph や塩分、酸素濃度）によって大きく変わる。このためまず、人工バリア内での、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想定することが重要となる。ここでは、安全評価上人工バリアが比較的有效な期間と考えられる 5 万年後までを想定し、鋼材腐食に影響を及ぼす条件について既往の文献調査を行なった結果を検討し、余裕深度処分施設の人工バリア内における鋼材腐食に影響を及ぼす基本的な条件を整理することとした。今後、整理した条件下における腐食速度等を検討し、長期間にわたる鋼材腐食による人工バリアの状態予測に資する事を目的とした。

2. 検討結果

2.1 鋼材の種類

余裕深度処分施設で処分予定の低レベル放射性廃棄物は、容器の材料を従来の使用実績や経済性の観点から炭素鋼とし、ピットの鉄筋についても炭素鋼を使用する。したがって、腐食の検討対象鋼材は炭素鋼とする。

2.2 環境条件

(1)環境温度：廃棄体発熱による温度上昇は 60℃程度以下に制御する計画であり、試験空洞内で測定した最低温度が 10℃程度である。したがって、環境温度の範囲は、10℃～60℃と想定される。

(2)地下水組成：試験空洞内の平面、深度方向近傍の地下水組成の分析結果¹⁾から、鋼材腐食に影響を与えるデータとして、酸化還元電位・200～0mv, pH8.3～9.5, 塩化物イオン濃度約 11～18mg/l が示されている。

(3)酸化還元性：建設・操業時は大気中の酸素によって酸化性環境にあると想定される。その後、埋戻しが完了し再冠水する間に、残留酸素がベントナイトに含まれる黄鉄鉱や人工バリア中の鋼材の不動態保持や酸化反応によって消費され徐々に酸化性が弱まり、再冠水後数十年で地下水本来の還元性環境になると想定される。

(4)pH：コンクリート中は pH12.5 程度の高アルカリ環境と考えられるが、再冠水後の溶脱によって pH が低下する可能性がある。溶脱については、3 種類の解析コードで検討しているが、いずれの解析コードにおいても、

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 〒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

5 万年後の溶脱による影響範囲は低拡散層内に留まりピットまでは達しないと想定されている。したがって、pH については5 万年後程度まで pH12.5 程度の高アルカリ環境を維持すると想定される。

2.3 腐食の種類および腐食生成物

(1)塩化物イオンによる孔食とすきま腐食：埋戻し後再冠水まではピットおよび低拡散層ともに飛来塩分や地下水にふれることがないために塩化物イオンによる腐食は考慮する必要がない。再冠水後、地下水に含まれる塩化物イオンが低拡散層から浸入すると想定される。図-2[2]は地下水模擬溶液で高還元性環境($O_2 < 0.1 \text{ vol.ppm}$)下における塩化物濃度と pH による鋼材の腐食電位と孔食、隙間腐食発生電位の関係を示したものである。本処分施設で想定される $O_2 < 10 \text{ vol.ppm}$ の場合における同文献で求められている腐食電位を図に併記する。本施設では隙間腐食や孔食は発生しないと推察される。

(2)中性化による腐食：土木学会コンクリート示方書[維持管理編]で示されている中性化予測式から算出したピットの材料と配合の 100 年間にわたる中性化深さの経年変化を図-3 に示す。ピット、低拡散層ともに建設時から埋戻し完了までの間、大気に曝され中性化が進行すると想定されるが、それ以降大気にふれることはなく中性化は停止する。仮に残存する二酸化炭素等によって埋戻し後再冠水するまでの想定 100 年間中性化が外側から進行したとしても 22.2mm 程度しか進行せず、低拡散層の厚さが 500mm であればピットは中性化しない。一方、ピット内側が空の状態が約 10 年程度続き、ピット内側から中性化が進行したとしても中性化深さは 7mm 程度で、かぶりが 70mm であることから中性化による腐食を考慮する必要性はほとんど無いと想定される。

(3)腐食生成物：通常大気中（酸化性環境）におけるコンクリート中の鋼材の腐食生成物はX線回折結果からマグネタイト Fe_3O_4 、ゲータイト $\alpha\text{-FeOOH}$ 等が生成されることが確認されており、一般に主要腐食生成物はマグネタイトであると言われている[3]。一方、還元性環境下における試験結果は少ないものの、そのほとんどでマグネタイトの生成が言及されて[4]おり、現状ではマグネタイトが主な腐食生成物と想定される。

3. まとめ

人工バリア内鋼材の腐食に影響する条件を次の通り整理、想定した。5 万年の間高アルカリ性環境を保ち、初期の酸化性環境から、溶存酸素濃度の減少により還元性環境に変わる。再冠水後は本来の地下水の還元性環境となる。塩化物イオンによる孔食や隙間腐食、中性化の影響は酸化還元性に関係無く無視できる程度と考えられる。腐食生成物はマグネタイト Fe_3O_4 が主な生成物と想定される。

参考文献

- [1]日本原燃株式会社：低レベル放射性廃棄物の次期埋設に関する本格調査結果について、プレスリリース資料，2006.9
- [2]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，Vol. 56, No. 5, Page. 198-207
- [3]例えば森川雅行ほか：鉄筋の腐食膨張によるひび割れの発生機構に関する基礎的研究，土木学会論文集，第 378 号/V-6，1987
- [4]例えば原子力環境整備促進資金管理センター：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

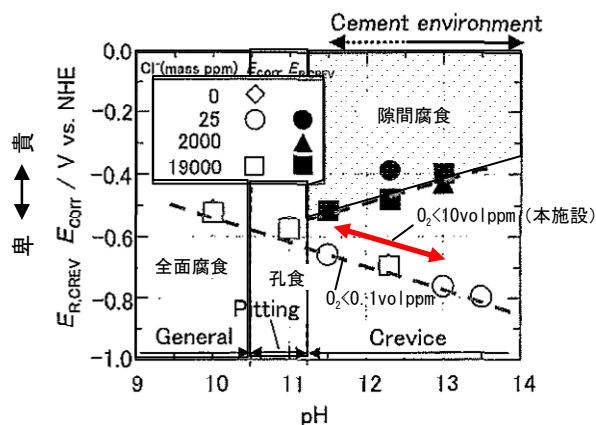


図-2 塩化物イオンと pH による孔食と隙間腐食

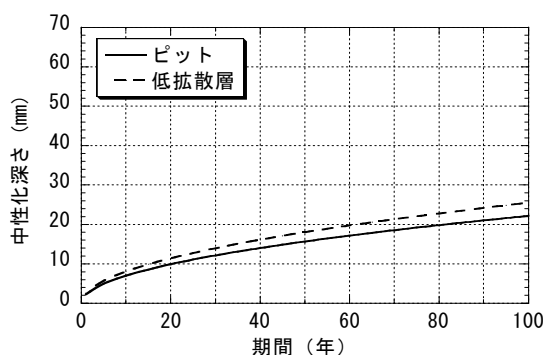


図-3 中性化深さの経年変化