



オーバーパック材料に関する 研究開発の現状

石川 博久 手島 孝弥* 鶴留 浩二
湯佐 泰久 佐々木 憲明

東海事業所環境技術開発部
* // (現在日本ガイシ㈱)

資料番号: 77-9

Current Status of Development for Overpack Materials

Hirohisa Ishikawa Takaya Teshima* Koji Tsurudome
Yasuhiro Yusa Noriaki Sasaki
(Waste Technology Development Division, Takai Works
* // (NGK Insulators, Ltd))

高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリアの一つであるオーバーパックの最も重要な機能は、処分開始後長期にわたりガラス固化体への地下水の浸入を防止し、すべての放射性核種を封じ込めておくことである。封じ込め期間の目標は、数百年以上の長期間であり、したがってオーバーパック材料の研究では長期腐食挙動の予測が重要課題となる。オーバーパックによる放射性核種の封じ込めに対しては、耐圧強度も重要な要件である。処分場は地下深部の地層中が考えられており、そこで発生する地圧等に耐えることが必要となるからである。本報ではオーバーパック候補材の選定、腐食試験研究の現状および強度、遮蔽解析に基づく実規模大オーバーパックの試作について報告する。

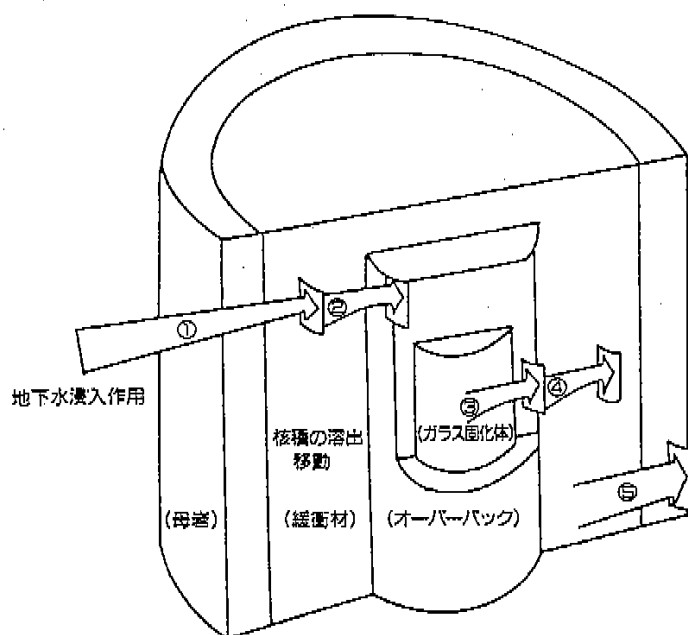
1. はじめに

高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化後30年から50年間程度冷却のために貯蔵した後、地層処分することが考えられている。ガラス固化体は、処分の際オーバーパックに入れ、地層中に埋設される。オーバーパックと地層との間には粘土質材等の緩衝材を充填する。これらの人工的に設けられる多層の安全防護系を人工バリアと呼び、これに対して地下水を浄化する等の安全防護機能を本来的に有している地層を天然バリアと呼ぶ。地層処分においては、これらの多層の人工バリアと天然バリアが持つ、種々の機能を多重に組み合わせた多重バリアシステムによって安全を確保する¹⁾。(図1参照) オーバーパックは、その容器材料の腐食が生じにくく、ガラス固化体に封じこまれた放射性核種を長時間閉じ込めておく機能を有しており、地下水が廃棄物と接触するのを抑制する機能を有する。オーバーパックの有するこの機能を「放射性核種の閉じ込め機能」と言う。閉じ込め機能を喪失させる要因としては、オーバーパックの腐食、岩盤等からの外部応力による破壊が考えられることから、それらに対するオーバーパック材料の長期健全性の評価に関する研究開

発の現状について述べる。

オーバーパックの候補材料としては、長期健全性、強度等の観点から金属材料が第一の候補と考えられる。金属の腐食は一般に水と酸素の共存下で起こる化学反応であるが、処分場で考えられる環境条件は、その両者とも抑制された条件と考えられることから、材料の長期健全性が期待される。したがって、金属材料の中から有望な材料を絞り込み、腐食試験等を実施し、長期の腐食挙動の予測に関する研究を実施している。

また、金属に代わる候補材としては、現在、材料開発が進みつつあるセラミック材料が挙げられる。セラミック材料は、耐食性が非常に優れており、強度の面でも金属材料に比べ軽量で強度の高い材料であることから、オーバーパック重量の大幅な軽量化が期待できる。開発課題として、大型構造物の製作技術や材料の品質管理の面があるが、現在、製造技術を含め材料開発が進められ、品質管理の面でも安定した製造法が確立されつつあり、ガスタービンエンジン等の工業製品に実用化されている。しかし、その腐食機構や劣化機構については、まだ十分に解明されていないことから、比較的長期的見地で基礎



安全確保の要件	地下水浸入作用の防止・抑制		核種の溶出・移動の抑制		環境安全の確保	
想定される事象	①緩衝材に地下水が浸入	②地下水がオーバーバックと接触	③地下水がガラス固化体と接触	④核種を含む地下水が緩衝材中を移動	⑤核種を含む地下水が地層中を移動	
多重バリア機能	低透水性により地下水の浸入を制限 地下水透水抑制機能	地下水とガラス固化体の接触防止 放射性核種閉じ込め機能	ガラスが核種の地下水への溶出を制限 核種溶出制限機能	緩衝材の拡散・吸着による移動の制限 核種吸着保持機能	地質環境の阻層作用により移動を制限 核種移動遅延機能	分散・希釈による濃度の低減 核種希釈分散機能
安全確保上の位置づけ	初期の高い放射能を確実に減衰させる		核種を確実にエアフィールド内にとどめる		人間に影響を及ぼさないことを更に確かなものとする	

図1 地層処分の安全確保の仕組み（多重バリアシステム）

的項目からオーバーバック材としての研究を進めている。

2. オーバーバック候補材の選定

2.1 金属材料

オーバーバック候補材としては、金属材料が第一候補と考えられるが、金属材料の中から候補材を選定するにあたり、一般的な腐食挙動²⁾を参考に材料を絞り込んだ。

金属材料の処分環境における腐食挙動を予測する場合、まず一般的な腐食挙動の判定方法として、電位(Eh) pH図³⁾を用い、自然界の天然水環境である中性領域 (pH 4～9) における腐食挙動を分類すると概略三つに分類できる。

- ① 天然水環境で腐食する可能性のある金属
(例Fe、Al、Mg、Zn等)

このグループの金属は、天然水の中性領域で、

電位(Eh) が負の領域でも腐食領域がある金属である。したがって、溶存酸素の少ない還元性の環境でも、ある程度腐食する可能性がある。この中ではFeが比較的広い不動態領域を有する。

- ② 天然水環境で不動態を形成する金属
(例Ti、Cr、Ni等)

このグループの金属は不動態を表面に形成することにより、腐食速度が非常に小さい金属で、単体金属以外に合金のステンレス鋼やハステロイ等もこのグループにはいる。この中では、Tiが天然水の中性領域をほぼ全面的に包括する広い不動態領域を有しており最も有望と考えられる。さらに合金でハステロイ、ステンレス鋼が候補と考えられる。

- ③ 天然水環境で不変態領域にある金属
(例Au、Cu等)

このグループの金属は、天然水で電位(Eh) が

負の領域では熱力学的に安定な不変態領域にある。したがって、その領域ではほとんど腐食しない。しかし、溶存酸素が多い酸化性の天然水環境まで安定なのはAuのみである。Cuは、酸性側で、電位(Eh)が高い領域では腐食する可能性がある。Cuは酸性側については①のグループと同様、腐食速度の評価を行っていく必要がある。

上記の一般的评价および海外での研究事例⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾を参考に、オーバーバックの候補材として炭素鋼、銅、チタンおよびチタン合金、ハステロイの4材料を選定し、腐食の評価方法の観点から以下の2種類に分類し、各分類の中で優先順位をつけた。

(1) 速度論的評価を行う材料：炭素鋼、銅

天然水環境である程度腐食する可能性があるが、応力腐食割れ(SCC)等の割れを発生する腐食は生じにくい。したがって、腐食速度を評価し、数百年以上の期間に見合う腐食代を設定することが課題となる。耐圧強度、遮蔽性、コストおよび腐食に伴い酸素を消費し環境を還元性にする点から炭素鋼を優先的に評価することとした。

(2) 決定論的評価を行う材料：チタン、ハステロイ

緻密な不動態皮膜を形成し耐食性に優れた材料である。不動態皮膜が安定な条件では腐食速度が非常に小さいが、不動態皮膜が破壊される条件では局部腐食が発生し、その際は腐食速度が大きく腐食代を設定することが困難である。したがって、局部腐食が発生しない条件を把握することがこれらの材料の課題である。またこれらの材料を用いる場合腐食代は十分小さいので、耐圧強度や遮蔽性を考慮すると内側に比較的厚肉の強度支持および遮蔽容器が必要となり、耐食性を担保する外側容器と強度、遮蔽性を担保する内側容器の二重容器が考えられる。

この材料の中では、耐食性に優れ、一般構造物材としての使用実績も多く、応力腐食割れも発生しにくいと考えられるチタン(チタン合金)を優先的に評価することとした。

2.2 セラミック材料

オーバーバックの主要候補材料としては、セラミック材料も有望な候補材料と考えられる。セラミック材料は化学的安定性の点で優れた材料であるが、まだ一般構造物材としての使用実績は少ない。しかし、今後材料開発の進む分野である。

海外での研究成果⁽⁷⁾から、製作性および耐食性の点でオーバーバック材として有望と考えられる以下の6種類の材料を選定し、これらの耐食性と腐食メカニズムを把握するための腐食試験を開始した。

① ファインセラミック—— Al_2O_3 、 SiC 、 ZrO_2 、

TiO_2

② 伝統的セラミック——磁器、ステアタイト

3. 腐食評価方法

3.1 速度論的評価を行う材料

炭素鋼等速度論的評価を行う材料の腐食速度に影響する環境因子⁽⁸⁾としては、地下水組成(溶存イオンの種類と濃度)、溶存酸素量、温度、緩衝材(緩衝材の組成、圧縮密度、接触状態)、放射線照射、バクテリア等が考えられる。

ここで処分場におけるこれらの因子の範囲および経時変化は次の通りと予想される。

① 地下水組成

処分場候補地が特定していない現時点では幅広い地下水組成を考慮する必要があるが、深部地下水組成としては蒸留水に近い組成から海水組成程度までが範囲となる。腐食に対し特に考慮すべきイオンとしては、不動態皮膜を破壊し孔食の発生原因となる塩素イオン、逆に保護膜を形成する傾向にある炭酸イオン、特に銅に対しては硫化物イオン等が挙げられる。

pHについては、地下水が緩衝材を通過する間に緩衝材の持つイオン交換作用による化学的緩衝機能により一定範囲(弱アルカリ性)になると考えられる。

② 溶存酸素

地下水中の溶存酸素濃度は、金属製オーバーバックの腐食挙動と密接に関連する。今までの研究成果⁽⁹⁾から、深部地下水の溶存酸素濃度は著しく低いことが示されている。しかし、処分場の掘削、埋め戻し等の際に地上から持ち込まれる酸素により、処分場閉鎖直後は通常の深部地下水の溶存酸素濃度よりも高いレベルになると予想される。その後、オーバーバックの腐食および周囲の岩盤への拡散等で処分場の溶存酸素濃度は徐々に低下し、最終的に深部地下水の溶存酸素濃度に等しくなると考えられる。

③ 温度

処分場の温度は、ガラス固化体の定置間隔、緩衝材の厚さ等、処分場の設計に依存する。処分場周囲の岩盤の温度は、深度1000メートルで50℃程度と予想される。処分孔周辺の温度分布について熱解析を実施した結果⁽¹⁰⁾、オーバーバックの周囲の温度は、ガラス固化体の発熱により処分開始直後は徐々に上昇し、数十年で最高温度に達した後、指数関数的に低下し、最終的には周囲の岩盤の温度に等しくなる。この場合、最高温度は緩衝材の変質防止から100℃程度に抑えることが望ま

しいと考えられる。

④ 緩衝材

オーバーパックの周囲に設置される緩衝材としては、ベントナイトが最も有力な候補材と考えられる。ベントナイトは水を通しにくい粘土質材で、この中の物質移動は拡散現象が支配的である。処分場に当初持ち込まれる酸素は、緩衝材の空隙中に存在し、地下水に溶けオーバーパックまで運ばれる。腐食に寄与する酸素や水の拡散で律速され、水中における金属材料の腐食速度に比べ緩衝材中の腐食速度は低くなると考えられる。さらに腐食生成物の移動も緩衝材で抑制され、腐食速度は低くなる。また、緩衝材とオーバーパックの接触状態も腐食挙動、特に局部腐食に影響を与えると考えられる。

⑤ 放射線照射

オーバーパック表面の照射線量は、オーバーパックの設計から決まる肉厚に依存する。廃棄物のハンドリング上、輸送容器並みの遮蔽機能を持つ自己遮蔽のオーバーパックと非遮蔽型のオーバーパックが考えられるが、特に非遮蔽型では放射線の影響で地下水組成が変化する可能性があるため、腐食への影響を評価する必要がある。

⑥ バクテリア

バクテリアによる腐食への影響は、カソード反応の促進、代謝生成物（硫酸、硫化水素等）による腐食の促進が考えられる。バクテリアは大気中で繁殖する好気性バクテリアと酸素の無い状態で繁殖する嫌気性バクテリアがあり、各々繁殖条件が限定されているので、繁殖条件に対応した評価が必要である。

速度論的評価を行っていく材料については、上記の各因子について浸漬試験等の腐食試験、文献調査および埋設物の調査等を行い全面腐食速度および局部腐食速度についてモデル化を行っていく。

3.2 決定論的評価を行う材料

チタン等不動態皮膜により耐食性を担保する材料については、平均的な腐食速度は非常に小さいことから、処分環境において不動態皮膜の破壊に伴う局部腐食発生の有無の評価が処分環境での使用の可否を決める。

チタンでは局部腐食の中で、すきま腐食がもっとも生じやすいと言われており^{11), 12)}、すきま腐食に対しては温度と環境中の塩素濃度の影響が大きいと言われている。したがって、すきま腐食の発生限界を求め、それが処分場の環境に比べ厳しい環境であ

れば処分場の環境条件ではすきま腐食は発生せず、長期間にわたり腐食性を有すると言える。

すきま腐食の発生限界条件を求めるためには、通常の浸漬試験による方法と電気的化学的方法（再不動化法）¹³⁾の両者を用いて評価を行っている。

3.3 セラミック材料

セラミック材料の腐食は、金属材料の酸化作用とは異なり、ガラスの浸出のような構成元素の溶解に依るものと考えられる。したがって、評価方法についてもガラスの浸出試験に準拠し、浸出率に基づく腐食速度の測定、表面観察による局部腐食の評価を実施している。

4. 腐食試験結果

4.1 炭素鋼の腐食試験

(1) 陰イオンの影響評価試験

地下水中に含まれ、炭素鋼の腐食に影響を与える可能性のある陰イオンである、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 F^- 、 CO_3^{2-} の濃度をパラメータとした浸漬試験を実施した。試験は、試験液単独およびベントナイトと試験液を重量比1で混合した中へ試験片を浸漬を行った¹⁴⁾。試験条件を以下に示す。

材質：軟鋼 (S20C)、鋳鋼 (SCW42)

試験片の形状：30mm×30mm×2mm

試験液：蒸留水、人工海水、NaCl溶液、 Na_2SO_4 溶液、 Na_2CO_3 溶液

温度：90℃

平均腐食速度についてみると、試験液単独およびベントナイトと混合したいずれの条件についても陰イオンの濃度や種類による顕著な腐食速度の差異は見られなかった。また、軟鋼と鋳鋼の腐食速度は同程度であった。（図2、図3参照）

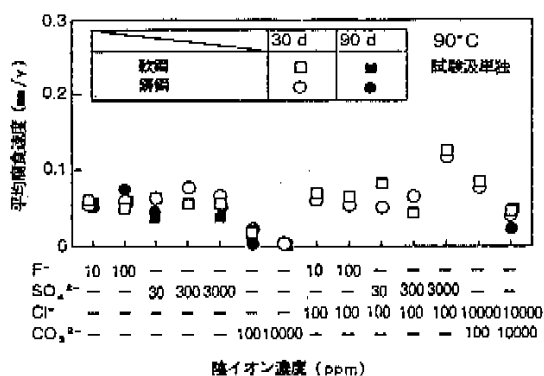


図2 炭素鋼の平均腐食速度と陰イオン濃度の関係

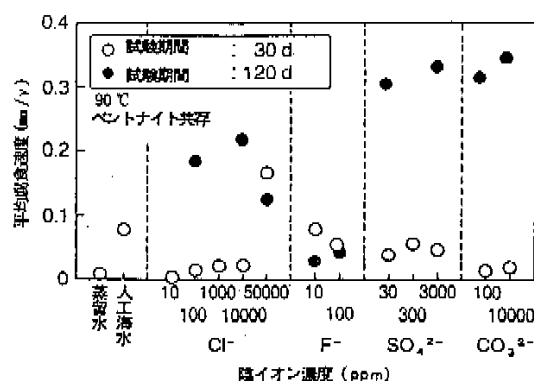


図3 炭素鋼の平均腐食速度と陰イオン濃度の関係
(ベントナイト共存)

(2) 溶存酸素濃度の影響評価試験

炭素鋼の腐食速度に対する溶存酸素の影響を評価するために、液中の溶存酸素量を制御した条件で、浸漬試験を実施し腐食速度を調べた¹⁵⁾。

材質：軟鋼(SM41B)

試験片の形状：60mm×120mm×5mm

試験液：人工海水

浸漬条件：試験液単独、ベントナイト共存

温度：80℃

溶存酸素濃度：大気平衡(約3ppm)

7%酸素+93%窒素混合(約1ppm)

純窒素吹き込み(<0.01ppm)

平均腐食速度に関してまとめると次の通りとなった。(図4参照)

- ① 溶存酸素濃度が低くなるにつれて平均腐食速度は著しく低下する。
- ② ベントナイト共存条件では、試験液単独に比べ腐食速度がやや高かった。

一方、局部腐食については、溶存酸素濃度が高い条件では凹凸の激しい局部腐食形態に対して、溶存酸素濃度の低い条件では小さい孔食状の腐食形態を示した。

(3) ベントナイトの影響評価試験

炭素鋼の腐食に対するベントナイトの影響は、上記のように、ベントナイトと試験液を混合した系へ試験片を浸漬した場合は、局部腐食が著しくなる傾向にあるが、緩衝材として考えられている圧縮ベントナイト中では、水や酸素の移行が非常に小さいことから腐食速度も小さくなることが予想される。その影響を評価するために試験を実施した。

試験はあらかじめ圧縮成形したベントナイトの間

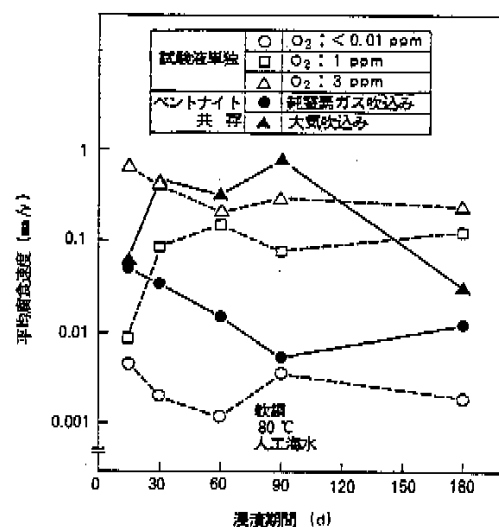


図4 炭素鋼の平均腐食速度と溶存酸素濃度の関係

に試験片をはさみ、容器に入れ空間に試験液を満たしベントナイトの膨潤により隙間が埋まるようにした。

材質：軟鋼(S20C)

試験片の形状：30mm×30mm×2mm

試験液：蒸留水、人工海水

温度：80℃

圧縮ベントナイト密度：0.69~1.33g/cm³(膨潤後)

圧縮ベントナイト中の腐食速度は、試験液単独(図2参照)および圧縮していないベントナイト中(図3参照)に比べ小さくなっており、密度(膨潤後)の増加とともに腐食速度は低下する傾向にあった。(図5参照)

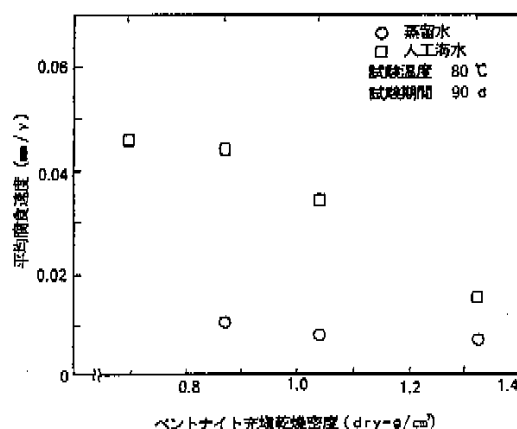


図5 圧縮ベントナイト中の炭素鋼の平均腐食速度

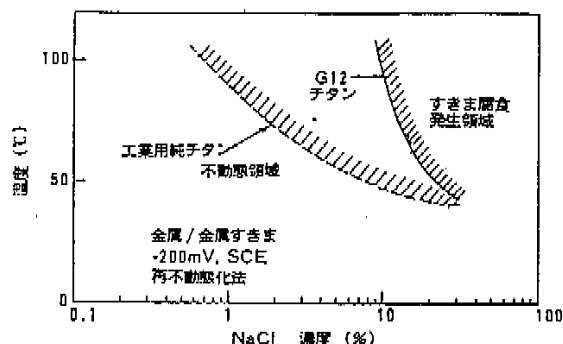


図6 再不動態化法による工業用純チタンおよびG12チタンのすきま腐食発生限界条件

4.2 チタンの腐食試験

チタンのすきま腐食の発生限界条件を求めるために、電気化学的試験と浸漬試験の両者を実施した。

試験は、工業用純チタンおよびASTM Grade12チタンについて、温度とNaCl濃度をパラメータに再不動態化法と浸漬試験からすきま腐食発生限界条件を求めた。図6は再不動態化法により求めたすきま腐食の発生限界条件をすきま腐食マップとして表したものである¹⁶⁾。これよりGrade12チタンは工業用純チタンに比べて、高温、高NaCl濃度でもすきま腐食は発生しにくいことが認められた。図7は工業用純チタンについて、浸漬試験および再不動態

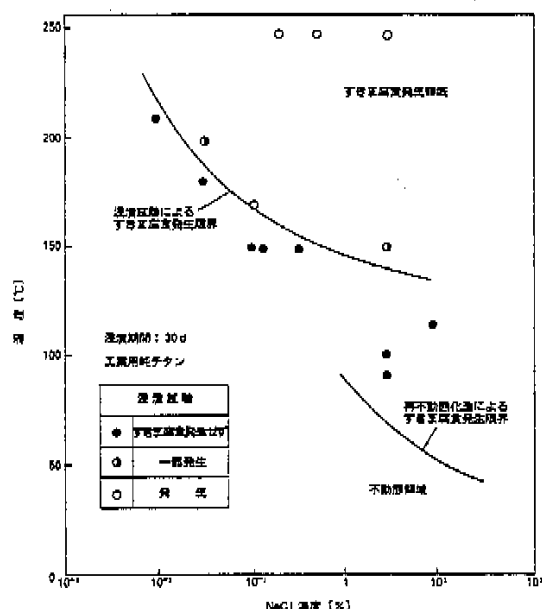


図7 温度とNaCl濃度に関する純チタンのすきま腐食発生限界条件

化法ですきま腐食の発生限界条件を求めたものである¹⁷⁾。低温および高NaCl濃度で両者の結果には差異が見られるが、浸漬試験によるすきま腐食の発生には潜伏期間があり、環境がマイルドの場合あるいは耐食性の優れた材料ではこの潜伏期間は長くなると言われている¹⁸⁾。したがって、浸漬期間を長くすることにより、浸漬試験から求められるすきま腐食の発生限界条件は低温側へシフトすることが予想される。

4.3 セラミックの腐食試験

セラミックの腐食試験については、ガラス固化体の浸出特性評価で実施している静的浸出試験(MCC-1 P法)に準拠して行った¹⁹⁾。90℃、56日間での人工海水、NaOH溶液および蒸留水中での平均浸出率では、伝統的セラミックに比べアルミナ等のファインセラミックの浸出率は一桁程度低い値となった。この浸出率を平均腐食速度に換算すると、0.1~数 $\mu\text{m/y}$ となった。腐食形態としては、均一腐食形態であった。(図8参照)

5. オーバーバックの試作

5.1 炭素鋼製オーバーバックの試作

炭素鋼製オーバーバックについて、形状や肉厚を検討するとともに、製作上の課題を抽出するために実規模大のオーバーバックの製作方法の設計検討および試作を行った²⁰⁾。

遮蔽性に関しては、自己遮蔽型のオーバーバックについて検討し、製造方法としては、鍛造、鋳造、圧延の中から溶接性、加工性の観点から鍛造を採用した。また、形状については、両端が平坦な単純円筒形と両端が半球型の2種類が考えられるが、製作性や設置時の安定性を考慮して単純円筒形とした。、蓋の溶接については、溶接部の健全性、溶接の効率や確実性、自動溶接の可能性の観点から、電子ビーム溶接を選定した。

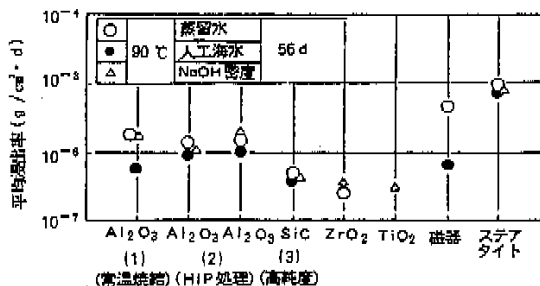


図8 セラミック材料の平均浸出率

表1 炭素鋼オーバーバックの強度解析

強度評価による肉厚設定		計 算 結 果	
前 提 条 件		外 圧 (kg/cm ²)	必要肉厚 (mm)
設計条件	1. 設計圧力 ・ 垂直 280kg/cm ² ・ 水平 280kg/cm ² 420kg/cm ² 560kg/cm ²	280	88
		420	138
		560	212
計算方法	ASME CODE SECTION III SUBSECTION NE に準拠 使用済核燃料輸送容器 の強度計算に使用	280	124
		420	152
		560	176

有限要素法による解析
肉厚を250mmに設定して
発生応力のチェック
↓
いずれのケースも発生応力は
材料の許容応力を下回る

次に、オーバーバックの肉厚を評価するために、強度解析と遮蔽解析を行った。強度解析では、オーバーバックに作用する外圧として、初期地圧を仮定した。初期地圧の垂直成分は、280kg/cm²（地下1000m、岩盤の密度2.8g/cm³）とし、水平成分は場所によるばらつきがあるため、垂直成分の1、1.5、2倍の3ケースを考えた。

解析の前提条件および結果を表1に示す。最も厳しい条件での強度上必要な肉厚は212mmとなった。これに安全をみて強度上必要な肉厚を250mmとして、腐食代の50mm（スイスNAGRAの値）²¹⁾を加え、オーバーバックの肉厚を300mmとした。

この結果に基づき遮蔽解析を実施した。解析条件と解析結果を表2に示す。解析の結果、中間貯蔵期間が30年の場合は、オーバーバック表面（側面）の線量率は0.84mSv/hとなり、輸送容器に対する基準値である2mSv/hを下回ることが確認された。

以上の検討結果に基づき、次の仕様の自己遮蔽型オーバーバックを試作した。

① 形状：単純円筒形（図9）

② 寸法

外径：1,040mm

肉厚：300mm

全高：1,950mm

③ 重量：11.5ton

今回の試作に基づく検討結果から、炭素鋼製オーバーバックの製作上の課題として、電子ビーム溶接による厚肉溶接技術の開発が必要であることがわかった。

5.2 セラミック製オーバーバックの試作

セラミック材料は、現状では大型構造物としての使用実績は少なくその製作技術は確立していない。このため、設計・製作面での今後の課題を抽出するために、セラミック材料による実規模大オーバーバックの設計・製作検討を行った²²⁾。

候補材料としては、一般産業で構造材料への適用実績および海外での研究成果等を考慮して、伝統的

解 析 条 件		線 量 率 (mSv/h)			
ガ ラ ス 固 化 体	・ フランスのガラス固化体に準拠		中 間 貯 蔵 期 間 30 年		
	・ 中間貯蔵期間 30年及び50年				
寸 法	固化体	420mm		側 面	蓋 面
	キャニスタ	5mm	表 面	0.84	0.34
	オーバーバック	300mm	1 m	0.20	0.27
	固化体/キャニスタ	0mm	中 間 貯 蔵 期 間 50 年		
	キャニスタ/ オーバーバック	5mm		側 面	蓋 面
計 算 コ ー ド	・ 中性子：ANISコード		表 面	0.40	0.16
	・ γ線：QADコード		1 m	0.10	0.13

表2 炭素鋼オーバーバックの遮蔽解析

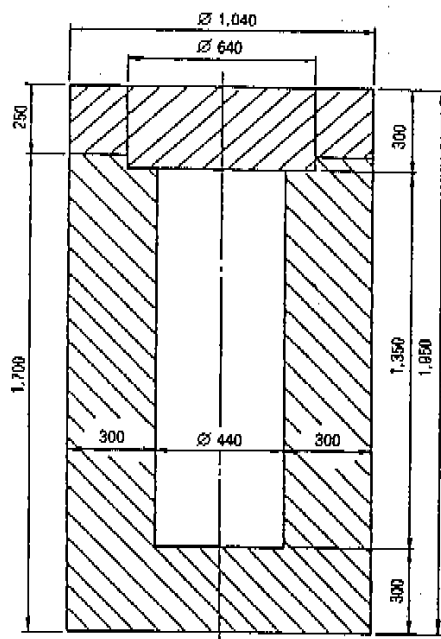


図9 試作した炭素繊維オーバーバックの構造図と外観



セラミックに属する高圧碍子磁器およびファインセラミックに属する Al_2O_3 を対象として検討を行った。形状については、強度上の観点から円筒状の胴部と半球形の両端部から構成する形状を選定したが、この形状は、外部荷重が均一であればセラミック材料にとって厳しい条件となる引張応力が発生しない利点を有する。

オーバーバックの肉厚に関しては、主に強度上の観点から検討した。オーバーバックに作用する外圧は、前項で想定した外圧に加え、水平圧力が不均一な条件（最小圧力/最大圧力=1/3）を想定した。

解析の結果、磁器材料の場合、外部荷重が均一であれば、強度上必要な肉厚は119mmとなり、腐食代20mm（海外の研究例）⁷⁾を加え余裕をみて必要な肉厚は150mmとなった。また、外部荷重が不均一な場合は、磁器材料では必要肉厚が300mm以上となり、現状では製作限界を超える。これに対し Al_2O_3 の場合、薄肉化が可能で、必要な肉厚は140mmとなった。この値は、製作可能な肉厚と考えられる。

以上の検討結果に基づき、次の仕様のセラミックオーバーバックを試作した。今回の試作は、現状の製作技術レベルを考慮し、高圧碍子磁器材料を用いた。

① 形状：円筒、両端半球状（図10）

② 寸法

外径：800mm

肉厚：150mm

全高：2,200mm

③ 重量：1.7ton

一連の設計製作から、今後の課題として、胴部と蓋部の封着技術の開発および特にファインセラミック材料に対して大型構造物製作技術の開発が挙げられた。

6. まとめ

オーバーバックの候補材料として、金属材料については、炭素繊維およびチタンを主要候補材料として選び、処分環境条件をパラメータに試験および解析を実施し、セラミック材料については、海外等の実績を参考に6種類の材料を選定し基礎試験を開始した。

炭素繊維の腐食試験の結果、処分環境で想定される圧縮ベントナイト中および低溶存酸素条件では、腐食速度は低く、長期健全性が期待できることがわかった。ただし処分場の建設時に処分場に酸素が取り込まれるので、初期酸素量に基づいた腐食量を評

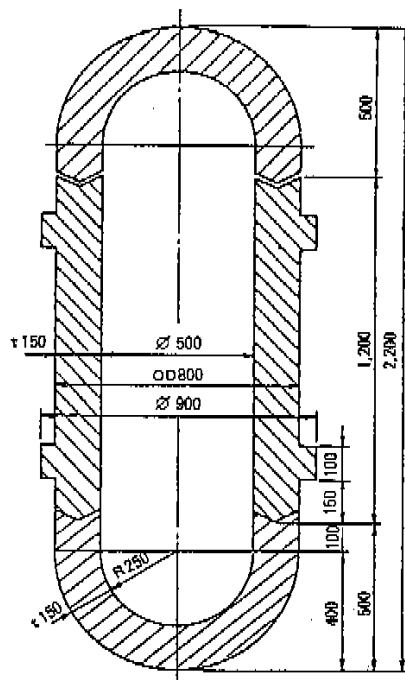
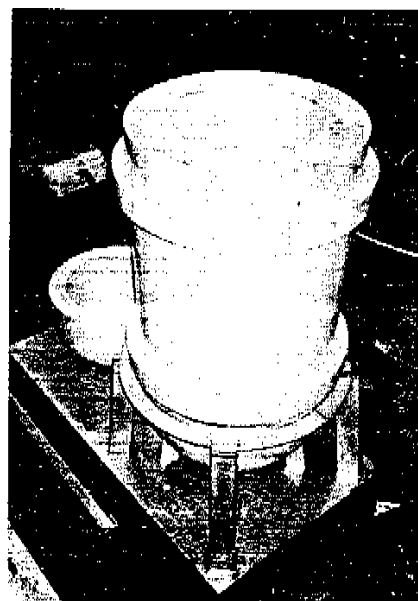


図10 試作したセラミックオーバーバックの構造図と外観



価して、腐食代を見積もることが必要である。また、孔食等の局部腐食の定量的評価が今後の課題である。

チタンについては、温度とNaCl濃度の関数としてすきま腐食の発生限界条件を求めた。しかし、電気化学的方法と浸漬試験による結果には高濃度側で差異がみられた。これは、浸漬試験の期間が短いことに起因していると考えられるので、より長期の浸漬試験により両者の整合性を評価する必要がある。

セラミックについては、基礎的試験から腐食速度（浸出率）は非常に小さいことがわかった。今後はさらに腐食メカニズムの解明や腐食による強度劣化等の評価が必要である。

炭素鋼およびセラミック製の実規模大オーバーバックの試作を通して設計・製作上の課題が明らかになった。炭素鋼については、厚肉溶接技術の開発、セラミックについては、胴と蓋の封着技術および大型構造物の製作技術の開発が課題である。

参考文献

- 1) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の重点項目と進め方、原子力委員会、(1989)
- 2) H.H. Uhlig, R.W. Revie, Corrosion and Corrosion Control, John Wiley & Sons, New York, (1985)
- 3) M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Pergamon Press, New York, (1966)

- 4) R.D. McCright and H. Weiss, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. vol.44, p.288, (1985)
- 5) R.P. Antamula, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. vol.26, p.119, (1984)
- 6) G.P. Marsh, Nuclear Energy, vol.21, p.253, (1982)
- 7) IAEA, Waste Management Research Abstract No.13-No.18, (1981-1986)
- 8) 伊藤直郎, 改訂腐食科学と防食技術, コロナ社, (1979)
- 9) Y.Ochiai, M.Yamashita, S.Takeda, F.Harashima, Natural Analogue Study on Tono Uranium Deposit in Japan, Natural Analogue Workshop Proc., Salt Lake, (1988)
- 10) 原啓二, 新井隆, 湯佐泰久, 佐々木憲明, 石原和夫, 熱的側面から見た処分場の設計概念, 日本原子力学会1989秋の大会予稿集, (1989)
- 11) K.Nuttall, J.A. Chadha, T.J. Carmichael, Engineered Barrier Research in Canada Siting Design and Construction of Underground Repositories of Radioactive Wastes, Proc. Symp. Hannover 1986, IAEA, (1986)
- 12) T.M. Ahn et al., Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol.15, p.761, (1983)
- 13) 岩崎史郎, 辻川茂男, 鉄と鋼, 第72号, p.292-299, (1986)
- 14) M. Nodaka, H.Ishikawa, Y.Yusa, N.Sasaki, Corrosion Studies on Candidate Overpack Materials, 1989 Joint International Waste Management Conference Proc., Kyoto, (1989)
- 15) 井上邦博, 鶴田浩二, 中野孝雄, 湯佐泰久, 佐々木憲明, オーバーバック材としての炭素鋼の腐食挙動に及ぼす圧縮ベントナイトの影響, 日本原子力学会, 1990年秋の大会予稿集, (1990)
- 16) 野高昌之, 石黒勝彦, 湯佐泰久, 滝沢亨司, 辻川茂男, オーバーバック材としてのチタンおよびチタン合金の耐食性, 日本原子力学会, 昭和62年秋の大会予稿集 (1987)
- 17) 野高昌之, 鶴田浩二, 本田 明, 石川博久, 湯佐泰久, 佐々木憲明, オーバーバック材としてのチタン及びチタン合金の耐食性 (II), 日本原子力学会, 1989年平会予稿集, (1989)
- 18) 藤原 正, すき間腐食試験に関する二、三の問題点, 第74回腐食防食シンポジウム資料, 腐食防食協会, (1988)
- 19) 中野孝雄, 石川博久, 湯佐泰久, 佐々木憲明, オーバーバック材としてのセラミック腐食試験 (その1), 日本原子力学会, 1990年平会予稿集, (1990)
- 20) 武田和生, 寺田進, 谷内廣明, 長浜道雄, 野高昌之, 石川博久, 湯佐泰久, 佐々木憲明, 応力及び環境解析による炭素鋼オーバーバックの設計, 日本原子力学会, 1989年秋の大会予稿集, (1989)
- 21) NAGRA, Project Gewähr 1985, NGR 85-09, (1985)
- 22) T.Teshima, Y.Karita, K.Katsumoto, H.Ishikawa, N.Sasaki, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. vol.176, p.541 (1989)