

PNC ZJ1150 92-002

配布限定

チタンのすきま腐食に関する研究

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果概要)

1992年2月

石川島播磨重工業株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

限定資料

PNC ZJ1150 92-002

1992年 2月

チタンのすきま腐食に関する研究

石川島播磨重工業株式会社

要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分に使用されるオーバーパック容器の有力な候補材料の一つと考えられているチタンの長期の健全性に対する阻害要因は地下水によるすきま腐食が主たるものと考えられているので、これに対する検討が極めて重要である。

本研究では、チタンの長期腐食挙動を評価する上で重要と考えられるすきま腐食発生下限界電位の評価の一環として、塩化物環境のすきま腐食再不働態化電位に及ぼす他のアニオン、即ち SO_4^{2-} 及び HCO_3^- の2種類のアニオン、共存の影響を評価するとともに、塩化物以外のハロゲン環境として Br^- 環境でのすきま腐食再不働態化電位を評価した。

一方、チタンとともにオーバーパックの有力な候補材料と考えられる炭素鋼については処分環境における炭素鋼のマクロセル腐食について、その生成プロセスの理解を深めるとともにモデル化を行った。

本報告書は、石川島播磨重工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号 : 030D0170

事業団担当部課室 : 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室 井上邦博

COMMERCIAL PROPRIETARY
PNC ZJ1150 92-002
FEBRUARY , 1992

Study on Crevice Corrosion of Titanium

Ishikawajima-Harima
Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract

Titanium is one of the most promising candidate materials for overpacks to be used for geologic disposal of high-level radioactive waste. One of the major factors which are crucial for the corrosion life prediction of Titanium in the deep geologic environment is considered to be the crevice corrosion due to groundwater.

In this study, as a part of the study on the evaluation of the critical potential for crevice corrosion initiation which is considered to be important to assess the long-term corrosion behavior of Titanium, the effect of two anions, i.e. SO_4^{2-} and HCO_3^- , on the crevice corrosion repassivation potential in the chloride environment was evaluated. The crevice corrosion repassivation potential in the bromide environment was also evaluated.

As to carbon steel which is also one of the major candidate materials for overpacks, the process and the modelling of the long range electrochemical cells in the deep geologic environment were studied.

Work performed by Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

Contract No. : 030D0170

PNC Liaison : Geologic Isolation Technology Section, Tokai Works

Kunihiro Inoue

目次

1. はじめに	1
<参考文献>	2
2. チタンのすきま腐食再不働態化電位 $E_{R, CREV}$ の測定	
2.1 背景	3
2.2 目的と研究の位置付け	3
2.3 実験	4
2.4 試験結果	4
2.5 考察	5
2.6 今回の研究で得られた知見のまとめ	7
2.7 今後の課題	7
<参考文献>	8
3. 炭素鋼製処分容器（オーバーパック）上での 長範囲腐食セルに関する検討	
3.1 成果の概要、結論および勧告	9
3.2 研究対象	10
3.3 研究対象の概要	10
3.4 完全な均一腐食	12
3.5 不均一全面腐食	12
3.6 長範囲腐食セル	12
3.7 腐食セル内部での他の腐食反応	13
3.8 継続的進展の可能性：進展臨界条件	14

1. はじめに

ガラス固化された高レベル放射性廃棄物30～50年間の貯蔵後、オーバーバックに入れられ深地層中に処分される。オーバーバックには超長期の健全性が要求されており、各国で種々の材料が検討されている。

カナダでは、チタン合金がオーバーバックの候補材であり、すきま腐食の進展速度に関する研究がカナダ原子力公社で行われている[1]。米国の Yucca Mountain Project のオーバーバック候補材は、従来ステンレス鋼等であったが、特に局部腐食に対するより優れた耐食性が必要であるとの観点から、チタン合金およびNi-Cr-Mo合金に変更されている[2]。スイスおよび我が国では炭素鋼が、スウェーデンでは銅が第一候補材料となっている。

本報告書は、これらの候補材のうち炭素鋼とチタン合金を対象を絞り、これらの材料の超長期の腐食寿命評価手法の確立に資するために作成した。

チタン合金については、中性水溶液環境中における種々の腐食損傷形態のうち最も重要と思われるすきま腐食に関する研究が精力的におこなわれてきた。すきま腐食発生臨界電位に関する研究では、すきま腐食再不動態化電位の $[Cl^-]$ 濃度および温度依存性と自然腐食電位との関係から対すきま腐食可使用範囲の研究が精力的に実施されてきた[3]。また、すきま腐食生起寿命に関する定量的評価に関する研究アプローチも行われてきた[4]。

炭素鋼については、中性環境中の全面腐食に関する研究がこれまで行われてきたが、今後はベントナイト存在下の弱アルカリ性環境における局在化過程に関する検討を精力的に行う必要がある。

第2章ではチタン合金のすきま腐食発生臨界電位に関する研究の一環として、すきま腐食再不動態化電位におよぼす $[Cl^-]$ 、 $[Br^-]$ および共存アニオンの影響評価を実施した。

第3章では炭素鋼の種々の腐食形態のうち長範囲腐食セルについてその生成プロセスを考察し、モデル化に関する検討を行った。

<参考文献>

- [1] 例えば B. M. Ikeda et al., " Localization in the Crevice Corrosion of Titanium ", Proc. of 6th Int. Conf. on Mechanical Behaviors of Materials, Kyoto, Japan, 1991, Vol. 2, p. 619, (Soc. Mater. Sci., Jpn., 1991)
- [2] G. E. Gdowski and R. D. McCright, " Degradation Mode Surveys of High Performance Candidate Container Materials", Proc., 2nd Int. Conf. on High Level Radioactive Waste Management, Las Vegas, U. S. A., Vol. 2, p. 932 (ANS and ASCE)
- [3] 例えば T. Fukuda and M. Akashi, " The Critical Chloride Ion Concentration for the Initiation of Crevice Corrosion of Titanium Alloy Used for Nuclear Waste Package", Paper presented at FOCUS' 91 : Nuclear Waste Packaging, Las Vegas, U.S.A., (ANS, 1991)
- [4] 例えば T. Fukuda and M. Akashi, " Effect of Chloride Ion Concentration for the Initiation on the Crevice Corrosion Initiation of C.P.-Titanium Used for Nuclear Waste Package", CORROSION/92, Paper No. 92, Nashville, U.S.A.

2. チタンのすきま腐食再不動態化電位、 $E_{R,CREV}$ 、の測定

2.1 背景

現在提案されている高レベル放射性廃棄物処分施設では、オーバーパックは地下1000mに埋設され、キャニスター、オーバーパック等からなる人工バリアと、岩盤、地層からなる天然バリアの多重バリアシステムにより安全が保証されている。

Ti合金等の不働態金属をオーバーパックへの適用に際しては、局部腐食の生起臨界条件をはっきりさせておく必要がある。すきま腐食生起の臨界条件は孔食の臨界条件より厳しくなる事が知られているため、すきま腐食生起の臨界条件を検討する事が重要である。

なお、すきま腐食生起臨界条件としては、辻川らが提案したすきま腐食再不動態化電位により評価される。

2.2 目的と研究の位置付け

Ti合金で処分容器を製作し、地層処分を行った場合構造上のすきまは工業的に回避できないため、すきま構造下でのTi合金の耐食性を評価する必要がある。すきま腐食を起こさない環境下では、それ以外の腐食を考慮する必要は無い。

また、すきま腐食の可能性のある領域においても、すきま腐食発生までの寿命が設計寿命より十分に長ければその環境下で材料は問題無く使用できる。

従って、実質的な可使用領域を評価するためには、1)すきま腐食生起臨界条件の検討 2)すきま腐食生起寿命の二本立てで行う必要がある。

すきま腐食生起試験結果は、一般に大きくバラツキ、定量的な評価を行うためには大繰返し数でかつ多くのパラメータで試験を実施しなければならない。

また、環境系が十分に限定されていない条件では、環境因子毎にすきま腐食生起臨界条件を評価する事が優先される。

2.3 実験

Ti合金のすきま腐食再不動態化電位におよぼす各種イオンの影響について実験を行った。試験マトリックスを表2.3.1に示す。0.5% [NaCl]水溶液中では $[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{HCO}_3^-]$ 各イオン濃度のすきま腐食生起臨界条件におよぼす影響を検討した。さらに、ハロゲン族として塩化物と同様のもしくはそれ以上の影響を与える可能性のある $[\text{Br}^-]$ 濃度のすきま腐食生起臨界条件におよぼす影響を検討した。

2.3.1 供試材

工業用純Ti (Ti-Gr.1, ASTM)板を供試材とした。

2.3.2 試験片、試験溶液の調整

供試材より機械加工にて試験片を切り出し研磨・洗浄後、ポリサルフォン(PSF)製のワッシャーをチタン製のボルト・ナットで締め付けることにより、PSF/Metalすきまを導入した。すきま腐食再不動態化電位は、すきまを付与した試験片の往復分極から求めた。この測定は複雑な電位操作を伴うため、マイクロコンピュータによる自動測定を実施した。

2.4 試験結果

0~3.5 (%) [NaBr]濃度範囲でTiのすきま腐食再不動態化電位測定を測定した結果、 $E_{R,CREV}$ は[NaBr]濃度の増加に伴い単な値を示す事が確認された。また、0~3000 ppm $[\text{SO}_4^{2-}]$ 、0~200 ppm $[\text{HCO}_3^-]$ の範囲で $E_{R,CREV}$ は硫酸イオンおよび重炭酸イオン濃度に依存しない事が示された。

2.5 考察

Ti合金の $E_{R,CREV}$ に及ぼす各種イオンの影響について、特に $[Cl^-]$ 、 $[Br^-]$ 、 $[SO_4^{2-}]$ 、 $[HCO_3^-]$ 、および $[S_2O_3^{2-}]$ イオンの影響について従来の知見を併せて考察する。

2.5.1 $[Cl^-]$ の影響

今回の実験に準じて実施された研究[1]に従って整理する。90℃、20% $[NaCl]$ 環境中でのTi-Gr.1の $E_{R,CREV}$ は-0.4 (V vs. SHE)程度とかなり低い(図2.5.1)。

$E_{R,CREV}$ は、塩化物濃度および温度の低下と共に上昇する。中性水による溶存酸素が飽和した状態での自然腐食電位は+0.32 (V vs. SHE)であるからこれを上回る $E_{R,CREV}$ を示す環境中では実質的なすきま腐食感受性を示さない。

定電位すきま腐食試験の結果(図2.5.2)すきま腐食は高電位側では数分以内に生起するが、 $E_{R,CREV}$ 直上の電位では2000時間経過後もすきま腐食の生起は認められず、Ti合金に対しても $E_{R,CREV}$ の正当性が追認された。

すきま腐食生起寿命は $[NaCl]$ 濃度に依存し低濃度側では生起寿命が長時間側にシフトする事、大気中/水溶液中で形成した不働態皮膜の影響により同様の現象が観察されている。

同一条件で複数回実施したすきま腐食発生寿命データは、大きなバラツキを有する。これらは、図2.5.3に示すように指数確率分布で整理され、すきま腐食の発生時間は、偶発確率に支配される事を示している。

2.5.2 $[Br^-]$ の影響

純Tiの孔食電位におよぼす $[Br^-]$ の影響は $[Cl^-]$ より低く温度による変化が小さい[2]。また、孔食電位は約0.05 - 0.1 (V vs. SCE)であるため、 $[Br^-]$ を含む水溶液環境中で純Tiは十分に孔食を発生する可能性がある。

しかし、一部の材料について測定された孔食電位のデータ[3]では $[Br^-]$ の方が $[Cl^-]$ より著しく高い値を示している。このため、現状においては純Tiの局部腐食感受性に

およぼす $[\text{Br}^-]$ と $[\text{Cl}^-]$ の影響について、十分にコンセンサスの得られた評価がなされていない。

図2.5.4に今回の $[\text{NaCl}]$, $[\text{NaBr}]$ のデータと $[\text{NaCl}]$, $[\text{NaBr}]$ に関するIHIデータを比較する。総合的に見て、Ti合金のすきま腐食生起臨界電位条件におよぼす両者の影響は同等であると考えられる。

2.5.3 $[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{HCO}_3^-]$ 、および $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$ イオン濃度の影響

すきま腐食生起臨界条件は、主としてその臨界条件を決定するイオン種、例えばハロゲンに対して共存イオンの影響があると考えられる。 $[\text{NaBr}]$ 溶液系に $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ を添加した場合、その量の増大とともに孔食に対するインヒビターの効果を強く示すようになる[3]。

今回の実験範囲では、 $[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{HCO}_3^-]$ 、および $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$ は、純Tiのすきま腐食再不動態化電位に影響を与えないことが示された。

$[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{HCO}_3^-]$ は処分環境中で実験の範囲を越えて存在する可能性は少ないと想定されるため、実質的にこれらの影響は少ないと判断される。

チオ硫酸イオン $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$ は硫酸塩還元細菌(SRB)の活動により生成する事が知られており、ステンレス鋼のすきま腐食生起臨界条件に影響を与える事が示されている。純Tiのすきま腐食再不動態化電位には同様の影響は認められなかった。このため、Ti合金は微生物腐食に関してもより耐食的であることが示された。

2.6 今回の研究で得られた知見のまとめ

今回の研究において得られた知見は以下にまとめられる。

1. $[\text{SO}_4^{2-}]$, $[\text{HCO}_3^-]$ イオンの低濃度の共存はTi合金のすきま腐食の臨界条件に影響を与えない。
2. $[\text{NaBr}]$ のTi合金のすきま腐食生起臨界条件に与える影響は $[\text{NaCl}]$ によるそれと同等である。
3. Ti合金の局部腐食感受性は従来のステンレス鋼に関する知見と一部異なっている。

2.7 今後の課題

Ti合金の処分環境における性能評価として、下記に示す課題が残されている。

1. すきま腐食発生寿命に関する検討/データの蓄積
2. すきま腐食生起臨界条件(すきま腐食再不動態化電位)に関する検討/データ蓄積
3. すきま腐食生起臨界濃度条件の検討
4. Ti合金の合金種による耐食性の検討
5. 不働態保持電流による微量腐食の定量化
6. 微生物誘起腐食の検討
7. Ti製容器製造法の検討
8. Ti合金の応力腐食割れ感受性の検討

本研究では、1, 2については実験を含む検討を6~8については文献調査を中心とした検討を実施した。

Ti合金の可使用位領域の判定においては、塩化物濃度 - すきま腐食発生寿命の関係がキーポイントとなる。このため、ベントナイト/金属すきま、pHの影響などを含む総合的検討が必要である。

<参考文献>

- [1] T. Fukuda and M. Akashi, "Effect of Chloride Ion Concentration for the Initiation on the Crevice Corrosion Initiation of C.P. -Titanium Used for Nuclear Waste Package", CORROSION/92, Paper No. 92, Nashville, U.S.A.
- [2] T. Koizumi, and S. Furuya: "Pitting Corrosion of Titanium in High Temperature Halide Solutions, "in" Titanium Science and Technology," Proc. 2nd Inter. Conf. of Titanium, Vol. 4 (London: Plenum Press, 1972), p. 2383.
- [3] W.L. Silence, and P. E. Manning; "Laboratory and Field Corrosion Test Results Related to Flue Gas Desulfurization System", Corrosion 83, Paper No. 185 (1983)

3. 炭素鋼製処分容器（オーバパック）上での長範囲腐食セルに関する検討

3.1 成果の概要、結論および勧告

- (1) 炭素製処分容器に想定される最悪の腐食形態は、長範囲腐食セルによる井戸型の腐食進展である。腐食セルにより、応力腐食割れの生起が可能な腐食環境が形成される可能性がある場合、さらに深刻な事態にいたる可能性がある。
- (2) もし腐食セルにより半球状もしくは横方向に進展する形態の腐食が形成した場合貫通の可能性は低い。
- (3) 長範囲腐食セルの生起条件を決定するためには、モデル開発および実験による検討が必要である。
- (4) 今回の実験・解析では井戸型腐食生起条件について以下の5点に関する情報が不十分であり、検討を進める必要がある。
 - a) 半球状および井戸型を分類する基準
 - b) 長範囲腐食セルが生起し得る環境
 - c) 長範囲腐食セルの進展を制限する因子
 - d) 単位面積当たりに発生・進展する長範囲腐食セルの確率
 - e) 長範囲腐食セル生起・進展に影響を与える可能性のあるペントナイト特性の相乗効果：電導度、酸素拡散性、腐食セル遠方で形成する鉄酸化合物、酸化物以外の鉄化合物
- (5) 予測および確認のための総合的な戦略立案が推奨される。このようなプログラム（早期損傷が実際に起こるかの検討）を研究機関と共同で実施する事を強く推奨する。
- (6) Romanoffらが1900年代前半に実施した土壌腐食結果を統計的に解析した。なだらかな腐食面と著しい凹凸有する腐食面に関する重要な過渡課程が観察された。

3.2 研究対象

研究TASKは、長範囲腐食セルモデルの検討および実験計画であり酸素還元起因した長範囲腐食セルが最悪の事態を引き起こす仮定に基づいている。

3.3 研究対象の概要

3.3.1 寸法

図3.1に示すオーバーパックおよびボアホールの寸法に基づき腐食に関与する酸素量を計算した。

3.3.2 背景

本研究の重要な目的は、供用期間中の貫通損傷発生の可能性の検討および貫通損傷の可能性がある場合の貫通時期の評価方法を検討する事である。これらの問題に対する主な検討項目は以下である。

- (1) 反応に関与する酸素量
- (2) 周囲の化学組成：ベントナイト、岩盤
- (3) 周囲の環境もしくは長範囲腐食セルにより形成される環境中で貫通にいたる局部腐食の可能性
- (4) 鋼の化学組成
- (5) コンテナの残留応力の存在

完全な均一腐食ではコンテナ貫通に至る事態は発生しないが 1.長範囲腐食セル 2.SCC 3.HE 4.不完全均一腐食等の発生による貫通損傷を懸念する必要がある。

3.3.4 水の還元

コンテナが大深度地下に埋められる場合、水圧力増加に伴い水素発生平衡電位が変化する。酸素のない100気圧の水環境中에서도鉄は熱力学的に不安定であるが、腐食の駆動力は低いため腐食速度は、無視できる程度と考えられる。

長期間を考えた場合、HEは僅かな水素吸蔵で発生するため、検討する必要がある。

水の還元反応により腐食速度が支配される場合、腐食速度は遅いため、大量の水素ガスが放出される可能性は少ない。

3.3.5 供用期間と酸素

酸素還元および水の還元を念頭に一般的に2つの時間分類ができる。初期には酸素が酸化剤として働き、SCC、孔食、局部腐食セル、長範囲腐食セル等が生起する可能性がある。後期には、酸素が無くなり水が酸化剤として働く。この場合、水素ガスの発生に伴うHE発生の可能性を検討する必要がある。酸性領域があれば水素発生反応を加速する。

3.3.5 長範囲腐食セル概要

酸素支配型の腐食セルは、コンテナに貫通したる損傷を与える可能性が一番高い。セル形成によるアルカリ域と酸性域の分化した状態での重要な問題は、応力腐食割れの問題である。腐食セル形成前ではSCCは発生しないが、アノード、カソード分化に伴いpH、電位が変化するためSCC発生の懸念が増加する。

3.4 完全な均一腐食

均一腐食による板厚減少は5個のポアホール中の酸素が1個のコンテナの腐食に消費されたとしても0.15cm程度である。このような検討はコンテナの健全性評価のために役に立たない。

3.5 不均一全面腐食

全面腐食過程後の腐食形態として孔食の発生過程が存在するという仮説は、しばしば言及されている。進展性の孔食は、孔食電位以上の環境で発生するものであり、全面腐食過程で生じる凹凸とは違う。完全な均一腐食と孔食の間の腐食形態として、不均一全面腐食を位置付ける。

Romanoffらのデータを解析した結果最大侵食深さと平均侵食深さの比はほぼ6と一定である。また、腐食速度は土壌の電気抵抗と良い相関性を示し、塩素イオンは全面腐食の局在化に影響しない。

ランダムに腐食が発生しその腐食部が進展する全面腐食の生起・進展過程の結果、材料表面はなだらかな凹凸を有する様になる。しかし、このような腐食が進展し、他の進展性の腐食が生起する前に酸素を消費しつくす事には疑問が残る。

3.6 長範囲腐食セル

3.6.1 半球状、井戸型の形状

1つの長範囲腐食セルが形成し、腐食が進展する事が、コンテナ貫通損傷にいたる最悪のケースである。長範囲腐食セルの発生の可能性、腐食の形状、その速度に関する事項が本質的問題である。

最も危険な腐食形状は、井戸型の腐食であり貫通する井戸型腐食はその直径が小さくなると仮定すればするほど数が多くなる。

3.6.2 長範囲腐食セル形状のモデル化

モデル開発に際し考慮しなければならない基本的事項は 1.腐食部の端部以遠の不働態化され腐食が横方向に進展せず井戸型の形状を作る可能性とその影響因子 2.横方向への腐食の進展による半球状の腐食孔を形成する可能性とその影響因子である。

3.6.3 現状のモデル

孔食やすきま腐食のモデルは、多くの研究者により検討されている。これらのモデルは1次元的であり、反応は孔食部先端で起きてると仮定している、外部のカソード反応、物質移動、特に制限された物質移動は考慮していない等の点で不十分である。また、これらの殆どは、長範囲腐食セル臨界環境での検討というよりは、高い塩素イオン濃度環境すなわち孔食発生環境での検討である。

本研究は、長範囲腐食セルについて最低2次元解析するとともに、セル内部および外部のモデルを検討する。

3.7 腐食セル内部での他の腐食反応

どのようなモードの腐食が起こるかは、モデル化が終了しないうちは、決定できない。また、モデル実証のための実験が必要である。

3.8 継続的進展の可能性：進展臨界条件

3.8.1 進展の原理

形状、大きさを問わず、長範囲腐食セル進展に関する本質的問題は、発生したセルの継続性の問題である。セルが生起したとしても、進展速度、形状の検討と同様に進展の可能性を検討することが必要である。長範囲腐食セルの進展を考えた場合、1.酸素存在下で進展臨界条件となる単位面積当たりの溶解量の存在 2.進展のためアノード部、カソード部の必要面積の存否が重要な問題となる。

3.8.2 進展に関する実験室的検討

長範囲腐食セル進展の臨界条件の存否を検討するため、含水ベントナイト中の炭素鋼に試験片に15V/9h条件で強制通電後、アノード試験片とカソード試験片を短絡した。

実験の結果、外部電源より切り離れた後の腐食量は $0.18\mu\text{m}$ と非常に小さい。しかし、電流が検出限界以下に達するまでには70hと非常に長い時間を要したため、進展臨界条件が存在するという仮説は意味があると考えられる。

3.8.3 進展に関するモデル化

長範囲腐食セル進展に関するモデルを作成するためには 1.進展性のセルが生起するプロセス 2.アノード面積比に対するアノード、カソード面積 3.物質移動に関するベントナイトの特性 4.セル進展方向：半球型、井戸型、皿型 5.腐食反応などにより生成するレイヤーの寸法および拡散を阻害する特性。 6.進展が加速される可能性のあるプロセス 7.セル内部の電気化学特性。特にSCC等の他の腐食モード発生の可能性等を検討しなければならない。

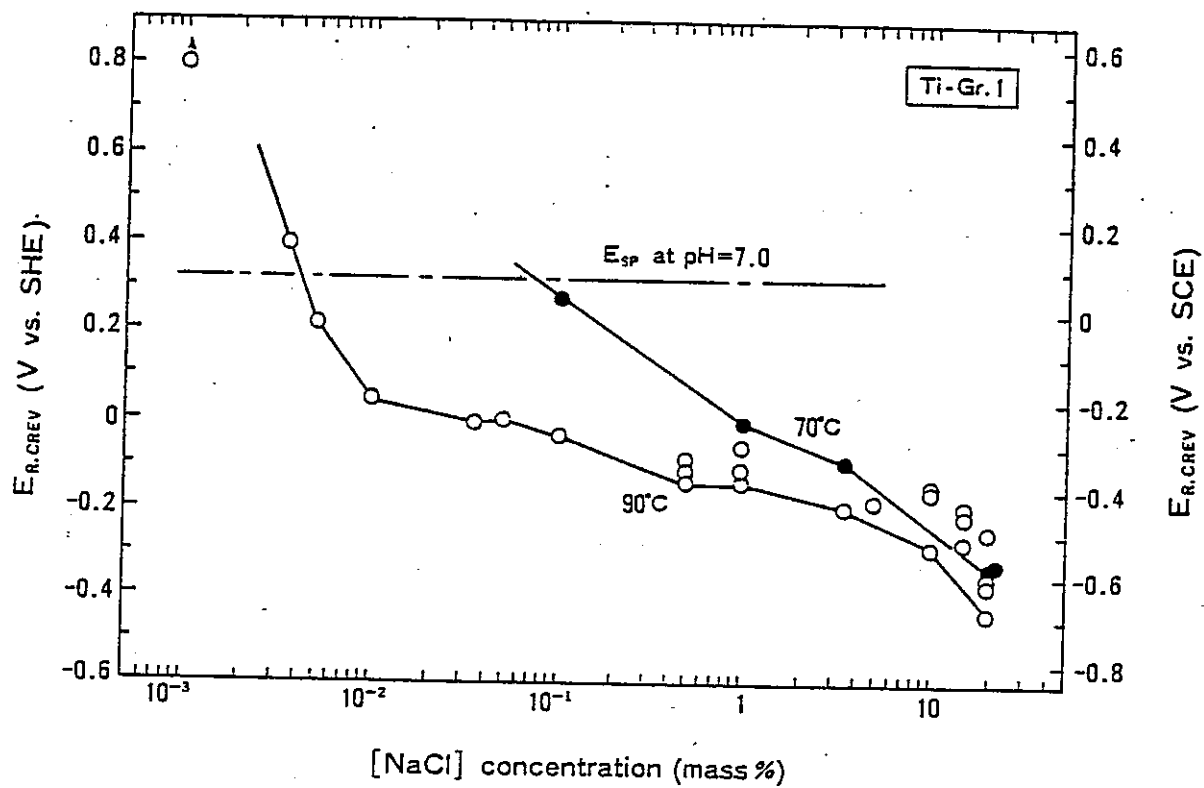


図 2.5.1 すきま腐食再不動態化電位に及ぼす塩化物濃度、温度の影響[1]

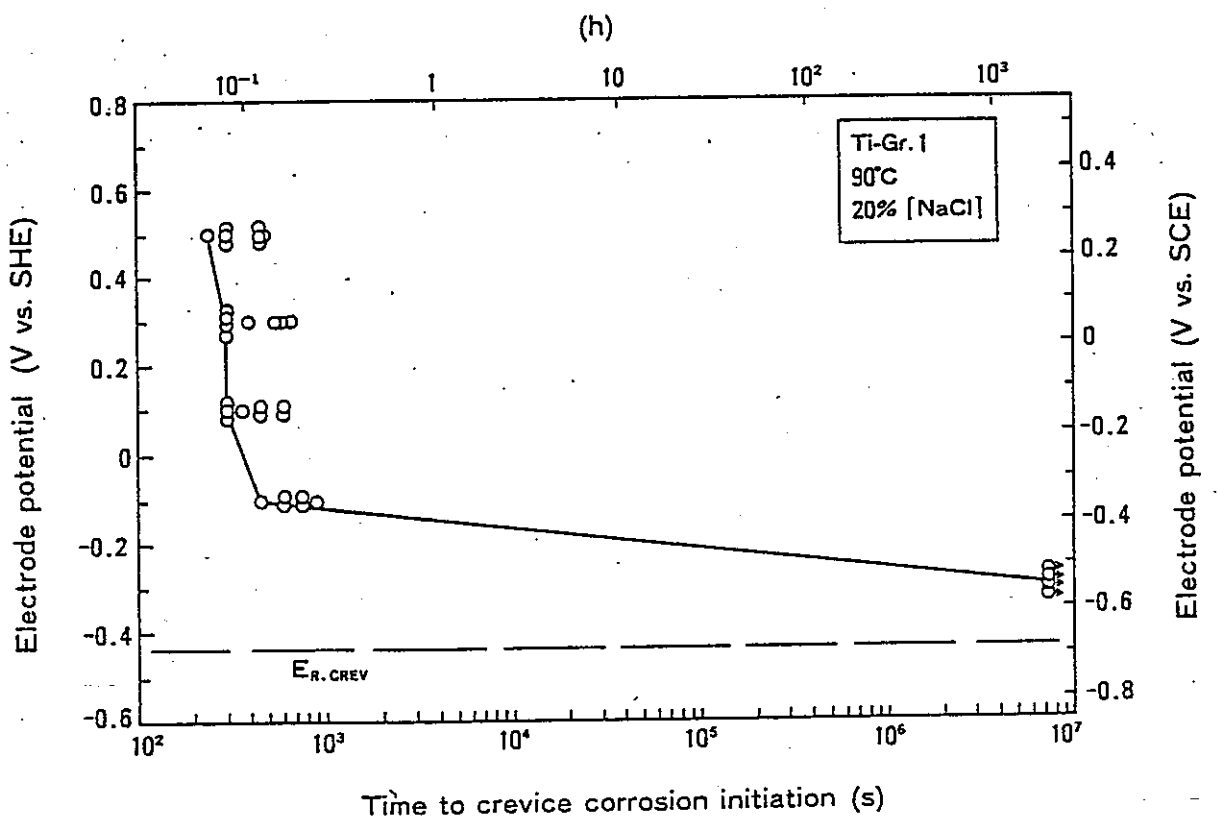


図 2.5.2 すきま腐食発生寿命における保持電位の影響[1]
(90°C、20%[NaCl])

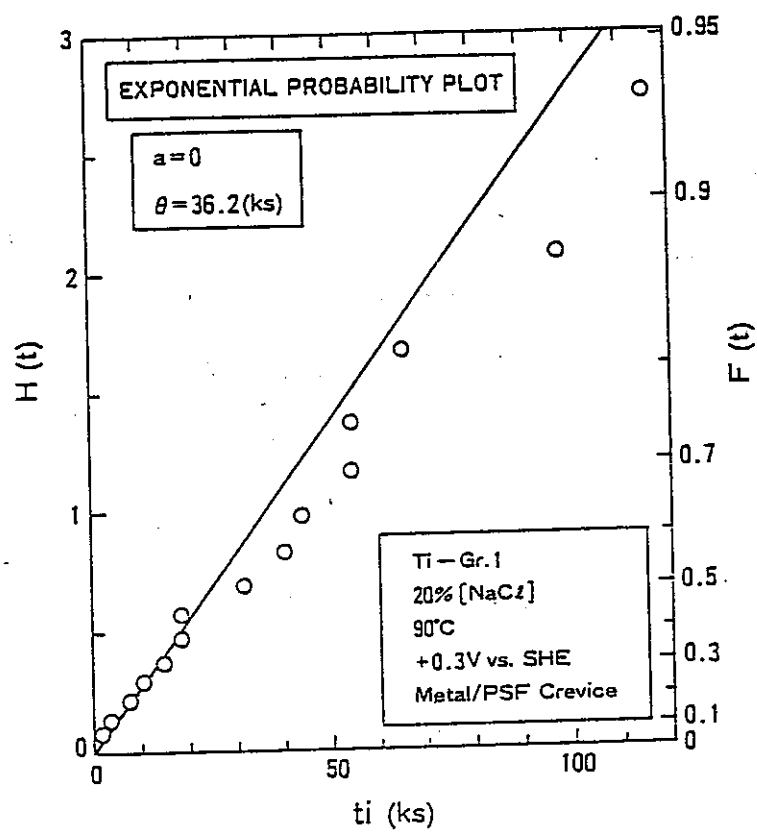


図 2.5.3 すきま腐食発生時間の指数確立プロット[1]

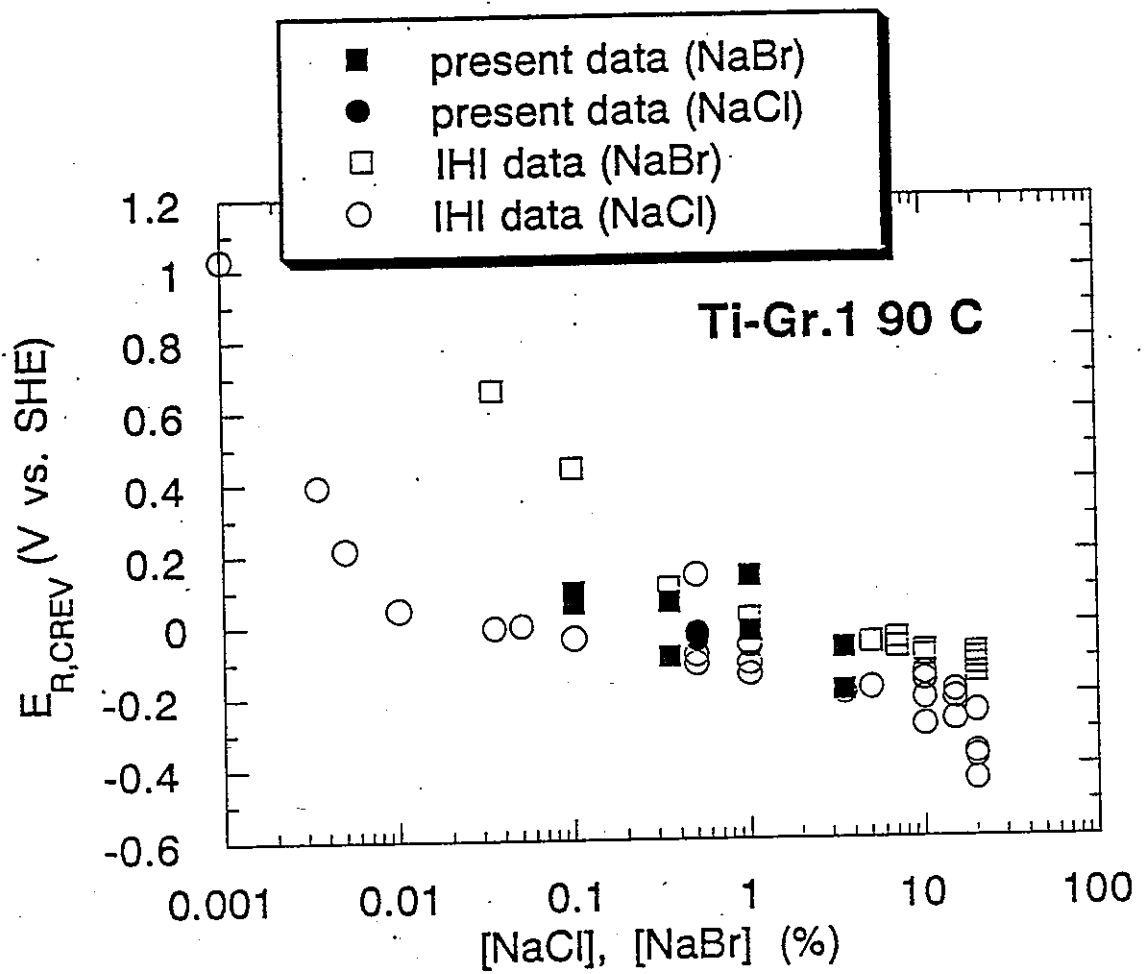


図 2.5.4 すきま腐食再不動態化電位に及ぼす[NaBr]/[NaCl]濃度の影響 (IHIデータとの重ね合わせ)

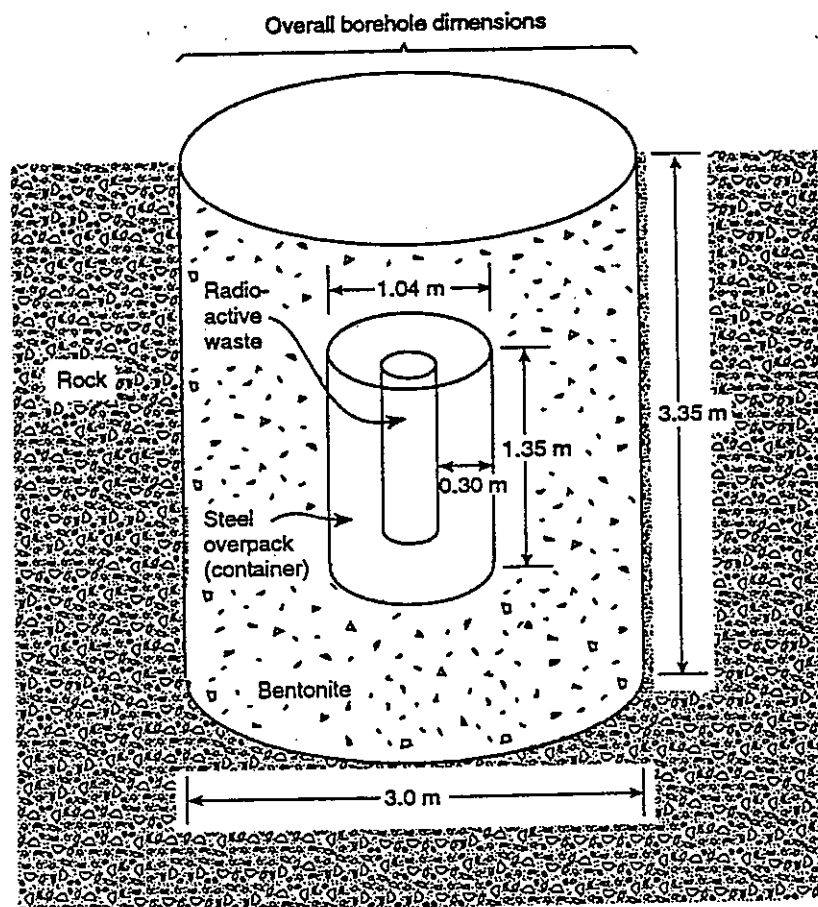


Figure 3.3.0-1 Schematic view and dimensions of borehole, bentonite, overpack (container), and space for radioactive waste.

The steel overpack is 0.30 meter thick, and this is the basis for considering critical conditions for the perforation of corrosion.

2. H. Ishikawa, A. Honda, and N. Sasaki, Proceedings of Life Prediction of Corrodible Structures, NACE, Meeting held November 1991 in Kauai, Hawaii.

図3.1 ボアホール、ベントナイト、オーバーパックスの概寸

表 2.3.1 実験のマトリックス

供試材	Ti-Gr.1	温 度	90℃			
繰返し数	2回 / 各試験条件					
イオン / 濃度	試験条件	X				
	0.5% [NaCl] + X ppm [SO ₄ ²⁻]	0	50	3000		
	0.5% [NaCl] + X ppm [HCO ₃ ⁻]	0	200			
	X % [NaBr]	3.5	1.0	0.35	0.1	