

分置01

PNC ZJ1150 98-001

限定資料

# ベントナイト含水比の局所的不均質 に起因する腐食局在化の可能性の検討

(動力炉・核燃料開発事業団 研究概要)

技 術 資 料		
開示区分	レポート No.	受領日
Σ	J1150 98-001	1998.7.9
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1998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。従ってその取扱い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、引用等には、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い合わ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

# ベントナイト含水比の局所的不均質 に起因する腐食局在化の可能性の検討

(動力炉・核燃料開発事業団 研究概要)

1998年2月

石川島播磨重工株式会社

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 ZJ 1150 98-001

1998年2月

ベントナイト含水比の局所的不均質に起因する腐食局在化の可能性の検討

石川島播磨重工業株式会社

要旨

オーバーパック表面近傍でベントナイト含水比の局所的不均質が生じることが予想されるが、これに起因して、アノード/カソードの場所的分離が成立し、腐食の局在化から活性態/不動態電池の形成に至る可能性が懸念される。本研究では、この可能性の有無を評価するための試験方法の妥当性、試験装置の最適化を実施した。

数種の試験セルを作製し、妥当な試験ができる試験装置を作製できた。この装置では、短絡電流の経時変化を、試験片電位の経時変化と共に測定することが可能である。

また、中心部が高含水比ベントナイト、周辺部が低含水比ベントナイトの時、中心部の炭素鋼試験片がアノード反応を担うことになり、周辺部の大カソードによりマクロセル腐食が達成され、腐食速度は海水中における炭素鋼の定常腐食速度の数倍に達した。

---

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 : 090D 0258

事業団担当部課室および担当者 : 東海事業所 環境技術部 地層処分開発室  
(谷口 直樹)

Commercial Proprietary  
PNC ZJ1150 98-001  
February, 1998

Study on the possibility of partial corrosion in carbon steel Overpacks as a result of the heterogeneity of water-content in compacted bentonite.

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co.,Ltd.

### A b s t r a c t

It is estimated that the heterogeneity of water content in compacted bentonite occurs on the surface of carbon steel Overpacks, then the separation of anodic area and cathodic area is formed on the carbon steel. And it is possibility formed of passive-active cell with partial corrosion. In the evaluated on the possibility of partial corrosion, the suitable method and equipment of its corrosion test was studied.

The some kind of equipments were prepared for the corrosion test. The one of equipment was suitable for testing. And these equipments were able to measure the process of the couple current and the specimen's potential.

In the high water content in center of compacted bentonite and the low water content in around of its, the specimen of carbon steel was formed of macro-cell corrosion. Then the anodic reaction on center of the specimen and the cathodic reaction on around its was occurred. It was increased the corrosion rate by several times, compared with the stationary corrosion rate of carbon steel in sea water.

---

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

Contract No. :090D0258

PNC Liaison :Geological Isolation Technology Section  
Tokai Works  
(Naoki Taniguchi)

## 目次

1	はじめに	1
1. 1	背景	1
1. 2	目的	1
1. 3	研究の概要	1
2	研究内容	1
2. 1	試験装置概要	1
2. 2	試験の基本条件	2
2. 3	検討項目・試験条件	2
3	試験	3
3. 1	試験1	3
3. 2	試験2	5
3. 3	試験3	7
3. 4	試験4	9
3. 5	試験5	11
3. 6	試験6	13
3. 7	試験7	15
3. 8	試験8	17
3. 9	試験9	19
3. 10	結果のまとめ	21
4	まとめ	24
5	今後の課題	24
	参考文献	24

## 1 はじめに

### 1.1 背景

ベントナイトは止水材であるために、ベントナイト中の水の透過が局所的に差が出て来る可能性がある。ベントナイトと接する炭素鋼表面に局所的な含水比の不均一状態が形成された場合、アノードとカソードが分離することによる腐食の局在化が起こりうるのかを評価し、局在化が起こり得るとすれば、その持続性を定量的に評価する必要がある。

### 1.2 目的

ベントナイト含水比の局所的不均一に起因する腐食の局在化から活性態／不働態電池の形成に至る可能性が懸念されている。本年度はこの腐食局在化の可能性の有無を評価するための予備検討として、試験方法の妥当性の確認および試験装置の最適化検討を実施する。

### 1.3 研究の概要

同心円上に絶縁された炭素鋼試験片に対して、中心部および周辺部に含水比を変化させた高含水比、低含水比の圧縮ベントナイトを静置する。絶縁された2枚の炭素鋼試験片を無抵抗電流計で短絡し、両者の間に流れる短絡電流をモニターすることによって腐食の局在化；アノード／カソードの分離の有無を評価する試験方法および試験装置について検討する。

## 2 研究内容

### 2.1 試験装置概要

#### ①炭素鋼試験片

供試材は炭素鋼：SM-400Bを用いた。機械加工により、中心部寸法：9φ×5t、周辺部：100φ×5tの円盤形に切り出し、ベントナイトとの接触面を#800まで湿式研磨したものをを用いた。

#### ②アルミナ管

ベントナイトの中心部／周辺部の境界となる多孔質管については、種々の気孔率を持つ数種の管を検討した結果、見かけの気孔率は非常に大きいですが、極めて目が細かいため非常に止水性に優れていたF電解隔膜(ニッカトー製)を試験に供した。

#### ③圧縮ベントナイト

試験に供した圧縮ベントナイトは、クニゲルV1(クニミネ工業製)を乾燥密度1.8g/cm<sup>3</sup>に圧縮したものから、中心部に10φ×5t、周辺部に100φ×5tの円盤状のものを機械加工によって作製し、炭素鋼試験片上に静置した。



## 2.2 試験の基本条件

### ①試験溶液

試験に用いた溶液は、海水系地下水を想定して、0.55M/LNaCl 水溶液を主に用いた。

### ②試験温度

試験温度は、基本的に 25℃に制御された室温である。恒温恒湿器を用いた実験ではすべて 30℃に制御して試験を実施した。

## 2.3 検討項目・試験条件

①中心部に高含水比ベントナイト、周辺部に低含水比ベントナイトを静置するパターンを基本条件として、数種の試験セルを作製し、腐食試験を実施する。結果の状況を見ながら、試験セルを改良してゆくことにより、試験セルの最適化を行う。(6 データ)

②中心部のベントナイトの膨潤による体積変化を抑制したときの腐食挙動に対する影響を調べるために、ベントナイトの拘束方法を検討するとともに、試験片の電位を測定するための方法も検討する。結果を①の最適化検討と併せて総合評価する。(3 データ)

従って、試験数は 9 データとする。

### 3 試験

#### 3.1 試験 1

##### 3.1.1 試験 1 の試験条件

試験 1 の主な試験条件を表 3.1-1 に示す。また試験 1 に用いた試験装置の概要図を図 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 試験 1 の主な試験条件

試験溶液	0.55 mol/L NaCl
試験温度	室温(25℃)
中心部環境	試験溶液で飽和
周辺部環境	大気開放(RH~40%)
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li></ul>

##### 3.1.2 試験 1 の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図 3.1-2 に示す。図にみるように、試験期間のほぼ全域で短絡電流の符号が+になっていることから、中心部試験片がアノード反応、周辺部試験片がカソード反応を受け持ったことが推察される。腐食電流密度値を腐食速度に換算すると、0.55mm/y から 1.09mm/y 程度となる。

試験装置の課題であるが、まずアルミナ管内の試験溶液の周辺部ベントナイトへの移行が予想以上に早く、数時間で溶液切れを起こす不具合があるため改良する必要がある。また、周辺部ベントナイトへの水分の移行により、徐々に同心円上に湿ってきて、その結果として中心部付近が浮き上がってくる不具合にも対応する必要がある。

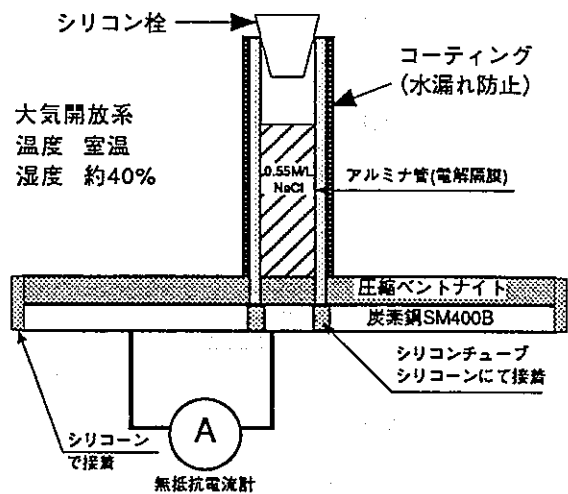


図3.1-1 試験1の試験装置の概要図 (縦断面図)

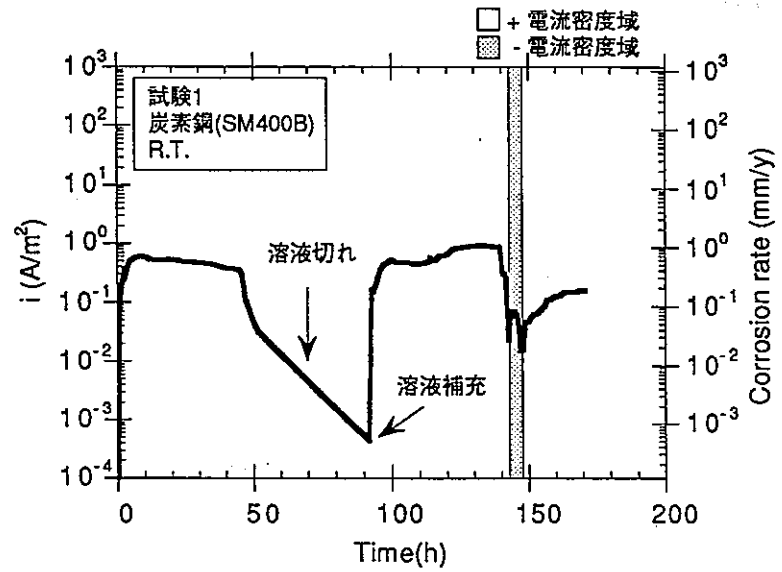


図3.1-2 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化 (試験1)

## 3.2 試験 2

### 3.2.1 試験 2 の試験条件

試験 2 の主な試験条件を表-2 に示す。また試験 2 に用いた試験装置の概要図を図 3.2-3 に示す。

表 3.2-2 試験 2 の主な試験条件

試験溶液	0.55 mol/L NaCl
試験温度	室温(25℃)
中心部環境	試験溶液で飽和
周辺部環境	大気開放(RH~40%)
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 中心部と周辺部の試験片をポテンショスタットで短絡</li><li>・ アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li><li>・ 装置全体を内径 100 φ のアクリルパイプにはめ込む</li></ul>

### 3.2.2 試験 2 の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図 3.2-4 に示す。図にみるように、試験期間のほぼ全域で短絡電流の符号が+になっていることから、中心部試験片がアノード反応、周辺部試験片がカソード反応を受け持ったことが推察される。腐食電流密度値を腐食速度に換算すると、0.42mm/y から 1.13mm/y 程度となる。

試験装置の課題としては、ほぼ試験 1 と同様な問題がみられたため、試験装置を改良する必要がある。

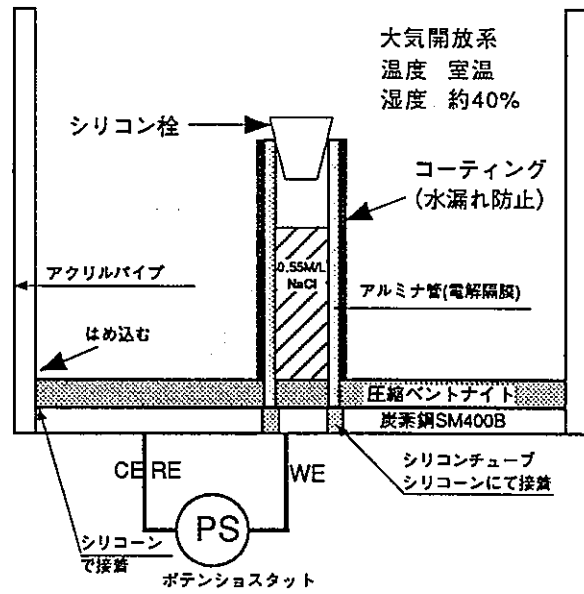


図3.2-3 試験2の試験装置の概要図（縦断面図）

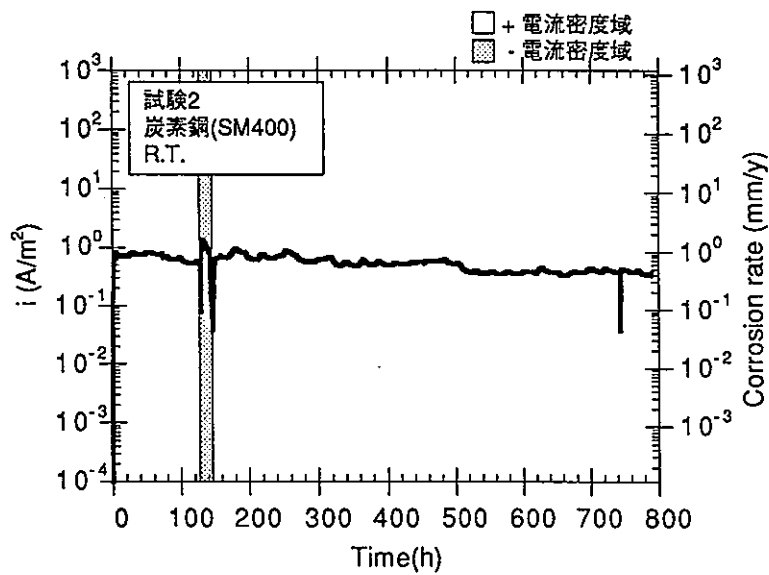


図3.2-4 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化（試験2）

### 3.3 試験3

#### 3.3.1 試験3の試験条件

試験3の主な試験条件を表3.3-3に示す。また試験3に用いた試験装置の概要図を図3.3-5に示す。試験装置に一部改良を加えた。

表3.3-3 試験3の主な試験条件

試験溶液	0.55 mol/L NaCl
試験温度	室温(25℃)
中心部環境	試験溶液で飽和
周辺部環境	大気開放(RH~40%)
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li><li>・周辺部ベントナイト上に30×60×60のステンレス鋼製のおもりを静置</li><li>・溶液注入に点滴装置を利用</li></ul>

#### 3.3.2 試験3の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図3.3-6に示す。図にみるように、試験期間の全域で短絡電流の符号が+になっていることから、中心部試験片がアノード反応、周辺部試験片がカソード反応を受け持ったことが推察される。腐食電流密度値を腐食速度に換算すると、0.20mm/yから1.38mm/y程度となる。

試験装置についてであるが、試験溶液注入に点滴装置を利用することにより試験溶液切れを起こすことなく、長期にわたる試験が可能になった。また、おもりを静置することにより、ある程度周辺部のベントナイトを拘束できるものと思われる。また、現状での課題はおもり下部のベントナイトも乾燥させること、および恒湿器などを導入し、より周辺部の相対湿度を低くして乾燥効果を検討することである。

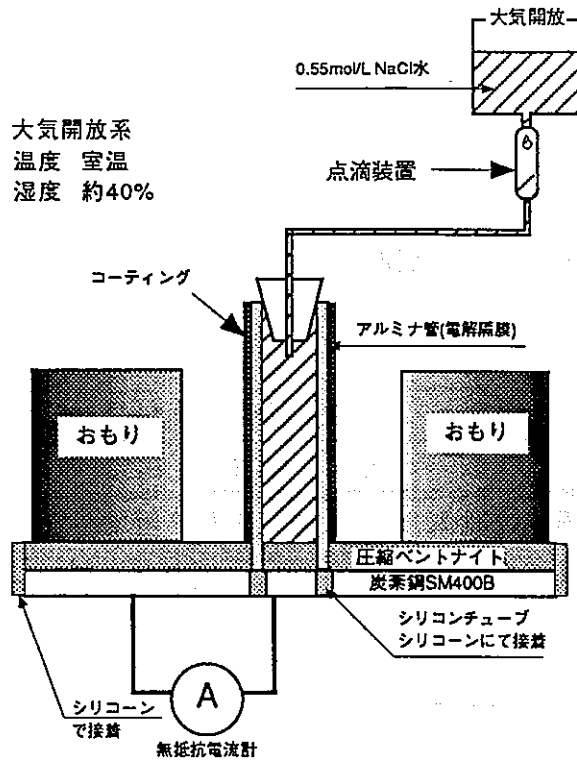


図3.3-5 試験3の試験装置の概要図 (縦断面図)

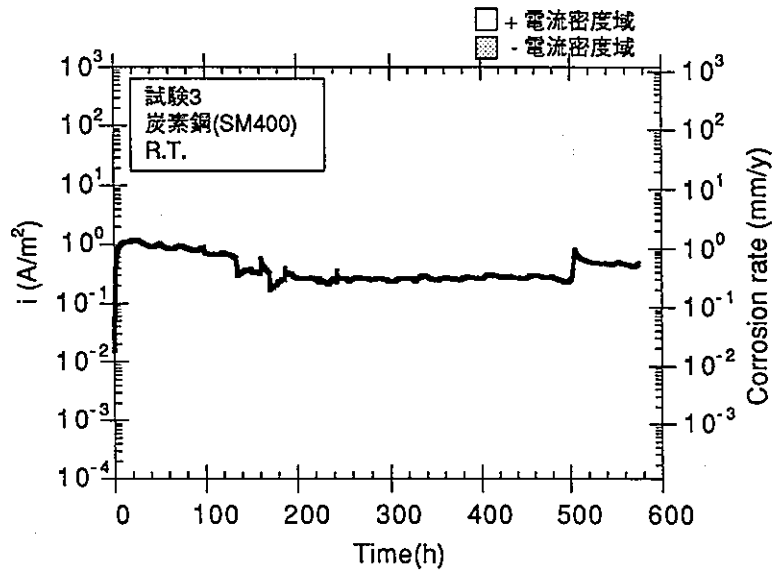


図3.3-6 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化 (試験3)

### 3.4 試験 4

#### 3.4.1 試験 4 の試験条件

試験 4 の主な試験条件を表 3.4-4 に示す。また試験 4 に用いた試験装置の概要図を図 3.4-7 に示す。湿度制御など試験装置に一部改良を加えた。

表 3.4-4 試験 4 の主な試験条件

試験溶液	0.55 mol/L NaCl
試験温度	30℃
中心部環境	試験溶液で飽和
周辺部環境	恒温恒湿器で RH20%、温度 30℃に制御
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li><li>・ 周辺部ベントナイト上に 30×60×60 のステンレス鋼製のおもりを静置</li><li>・ 溶液注入に点滴装置を利用</li><li>・ 恒温恒湿器により湿度制御</li></ul>

#### 3.4.2 試験 4 の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図 3.4-8 に示す。図にみるように、試験期間のほぼ全域で短絡電流の符号が+になっていることから、中心部試験片がアノード反応、周辺部試験片がカソード反応を受け持ったことが推察される。腐食電流密度値を腐食速度に換算すると、0.36mm/y から 1.81mm/y 程度となる。

今回は恒湿器により相対湿度を 20% に設定したが、乾燥能力の向上はあまりみられなかった。従って湿度制御によって周辺部のベントナイトに含まれる水分を蒸発させるのは困難である。そこで対応策として一つは周辺部への水分の移行そのものを抑制すること、もう一つはある程度の水分の移行は仕方がないとして、その代わりに周辺部の含水比分布を調査し、定量的に評価するという方法を以後の試験で検討する。



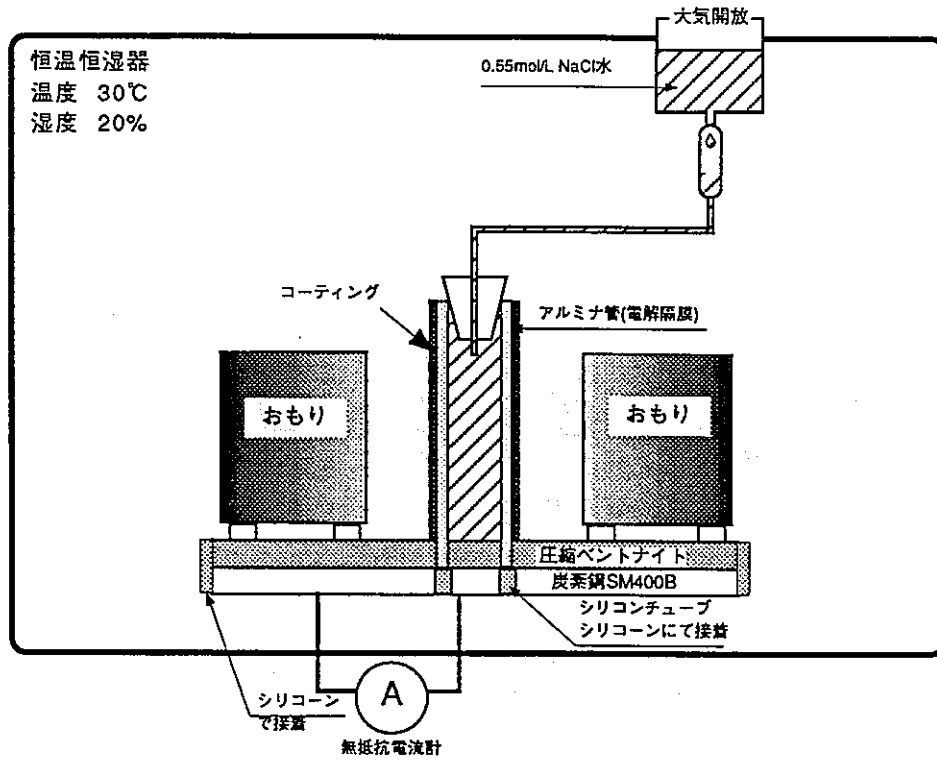


図3.4-7 試験4の試験装置の概要図 (縦断面図)

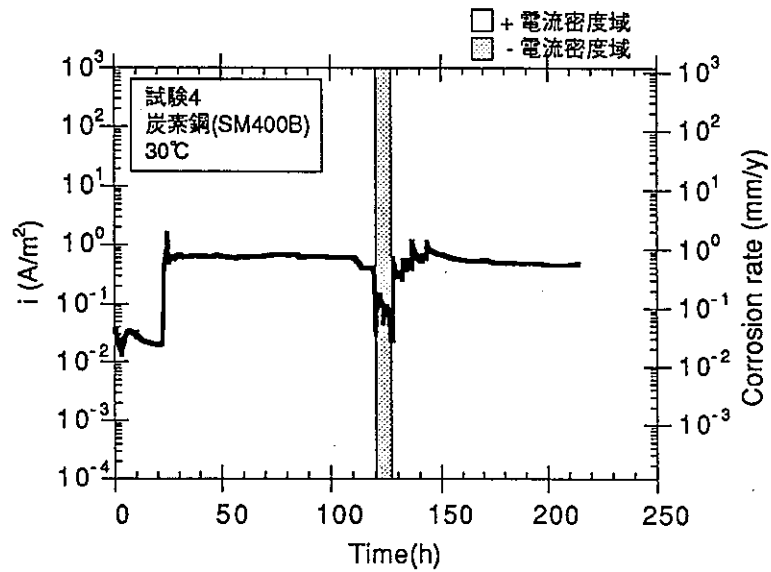


図3.4-8 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化 (試験4)

### 3.5 試験5

#### 3.5.1 試験5の試験条件

試験5の主な試験条件を表3.5-5に示す。また試験5に用いた試験装置の概要図を図3.5-9に示す。試験装置に一部改良を加えた。またAg/AgCl電極を用いて電位計測を試みた。

表3.5-5 試験5の主な試験条件

試験溶液	0.001mol/L[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ] + 10ppm[Cl <sup>-</sup> ] + 5ppm[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]
試験温度	30℃
中心部環境	試験溶液で飽和
周辺部環境	恒温恒湿器でRH20%、温度30℃に制御
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li><li>・ 周辺部ベントナイト上に30×60×60のステンレス鋼製のおもりを静置</li><li>・ 溶液注入に点滴装置を利用</li><li>・ 恒温恒湿器により湿度制御</li><li>・ Ag/AgCl電極を用いて電位計測</li><li>・ ベントナイトの中心部/周辺部境界部分の6割をコーティング</li><li>・ 試験後の周辺部ベントナイトの含水比分布評価</li></ul>

#### 3.5.2 試験5の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図3.5-10に示す。腐食電流密度値を腐食速度に換算すると、0.095mm/yから0.29mm/y程度となり、これまでの結果よりも若干小さい値となった。これについては今後検討する必要がある。

周辺部ベントナイトの含水比分布を調べると水分の移行はこれまでの結果と比較してやや少なかった。結果として、中心部/周辺部の含水比差は本試験の中で最も大きくなっていることが予想されるにもかかわらず、短絡電流値は最も小さく、海水中の炭素鋼の定常速度に比して、ほぼ同様の値を示している。周辺部がカソードとして機能するためには、ある程度の含水比が必要であることから、本試験においては含水比が低すぎた可能性もあるが、これについては今後検討する必要がある。

電位測定については、今回の試験では、試験開始後5h程度で中心部、周辺部共に測定不能となった。従って別の方法も検討する必要がある。

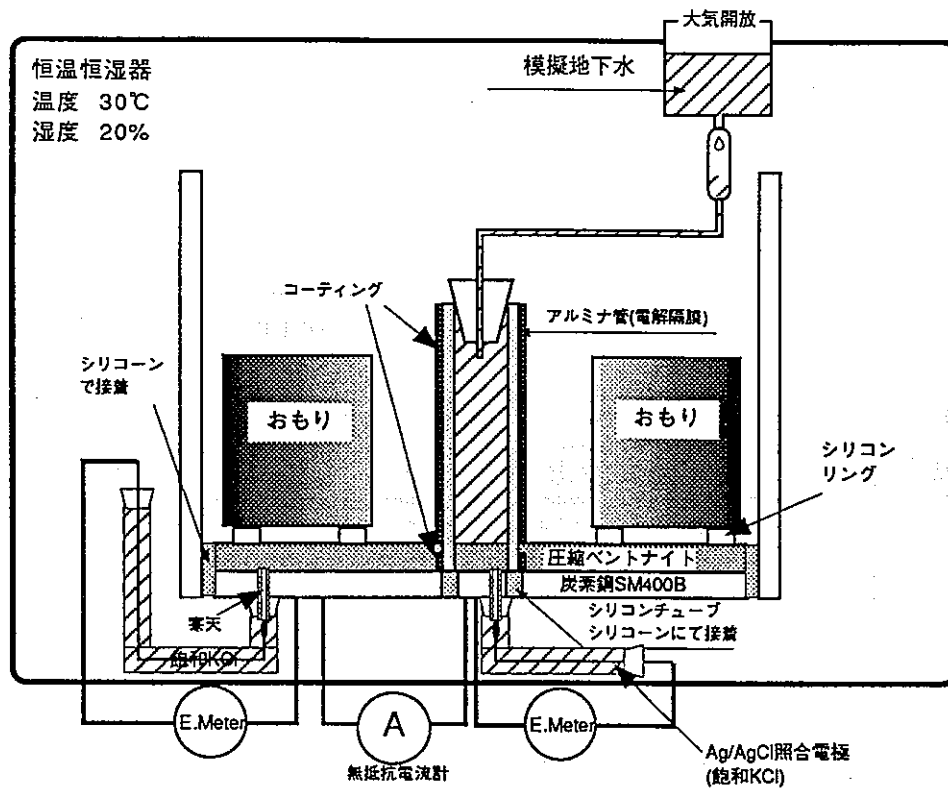


図3.5-9 試験5の試験装置の概要図 (縦断面図)

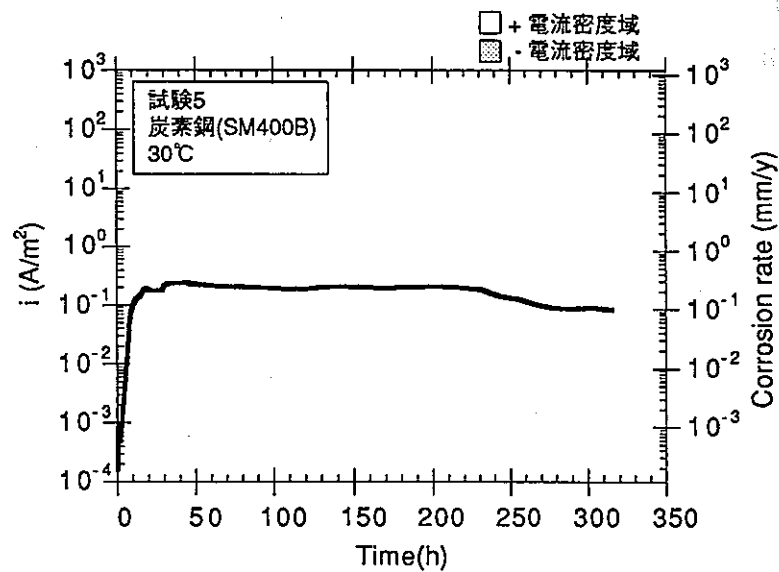


図3.5-10 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化 (試験5)

### 3.6 試験 6

#### 3.6.1 試験 6 の試験条件

試験 6 の主な試験条件を表 3.6-6 に示す。また試験 6 に用いた試験装置の概要図を図 3.6-11 に示す。電位計測方法を改良した。また、周辺部ベントナイトの含水比分布を測定した。

表 3.6-6 試験 6 の主な試験条件

試験溶液	0.55 mol/L NaCl
試験温度	室温(25℃)
中心部環境	試験溶液で飽和
周辺部環境	大気開放(RH20~30%)
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li><li>・ 周辺部ベントナイト上に円管状の鉛製のおもりを静置</li><li>・ 溶液注入に点滴装置を利用</li><li>・ Ag/AgCl 照合電極および飽和かんこう電極を用いて電位計測</li><li>・ 試験後の周辺部ベントナイトの含水比分布評価</li><li>・ ベントナイトの中心部/周辺部境界部分の 6 割をコーティング</li></ul>

#### 3.6.2 試験 6 の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図-12 に示す。腐食電流密度値を腐食速度に換算すると、0.58mm/y から 1.62mm/y 程度となる。

試験前後の中心部試験片の重量変化は 0.0283g であった。一方、電流密度変化から試験期間に流れた電気量を計算し、Fe が 2 価のイオンとして溶出したとしてファラデーの電解の法則を用いて重量変化に換算すると 0.0223g となり、実際の重量変化との良い一致が確認された。したがって本試験で得られた短絡電流密度値は妥当なものであるといえる。

電位測定についてであるが、まず Ag/AgCl 照合電極は試験 5 と同様に、試験開始直後に液絡が切れてしまい、電位測定不能となった。従って Ag/AgCl 照合電極は本試験には適さない。しかしながら、風糸を利用した飽和かんこう電極によって電位測定が可能であることがわかった。試験期間を通じて、常に中心部試験片の電位の方が卑な値を示しており、この電位挙動は、短絡電流値の符号から推察される、中心部がアノード反応、周辺部がカソード反応という現象を裏付ける結果となっている。

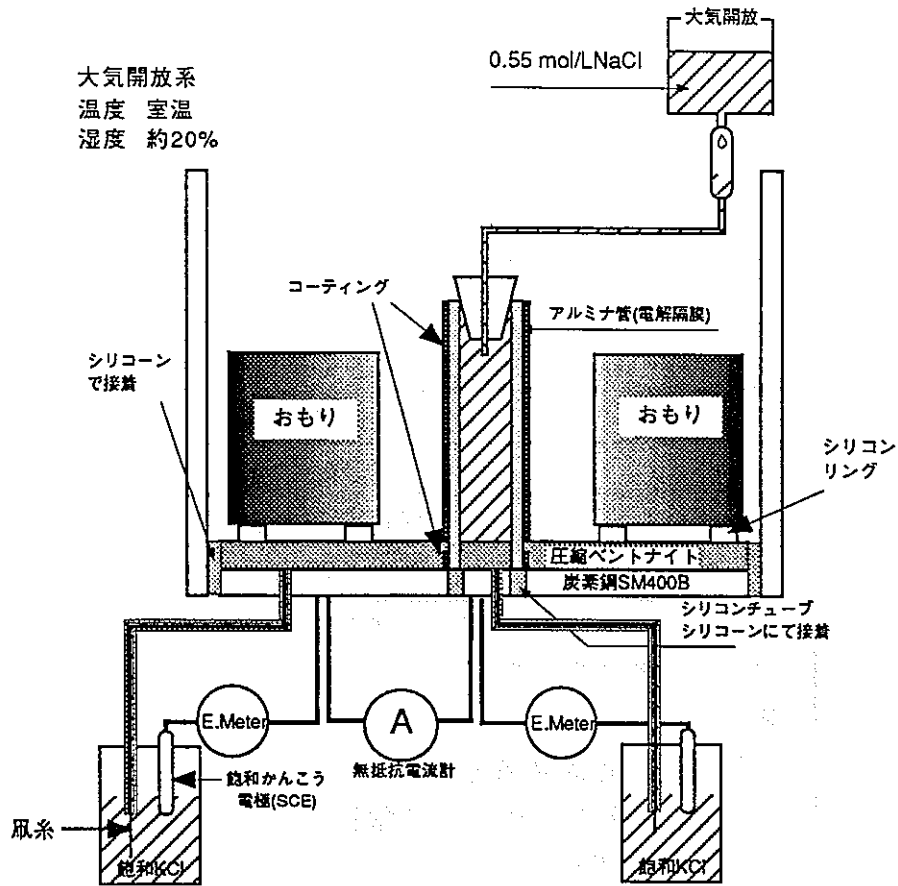


図3.6-11 試験6の試験装置の概要図 (縦断面図)

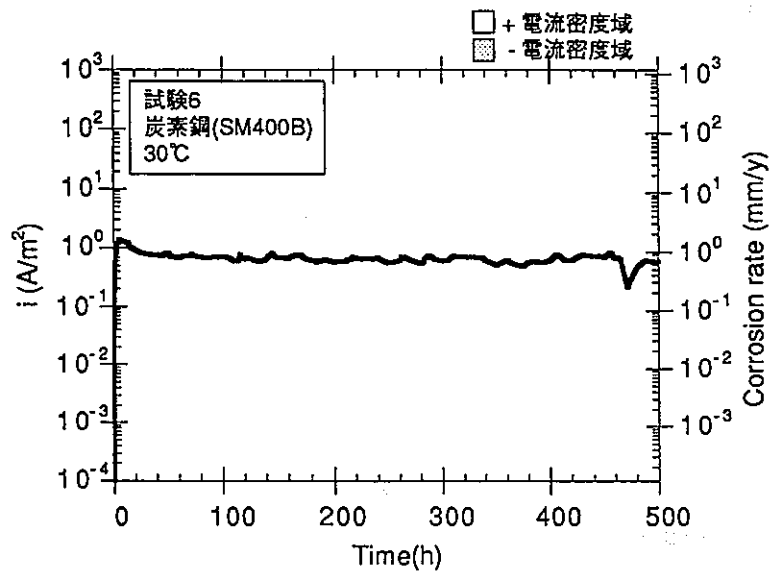


図3.6-12 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化 (試験6)

### 3.7 試験 7

#### 3.7.1 試験 7 の試験条件

試験 7 から試験 9 にかけては、中心部のベントナイトの膨潤による体積変化を拘束する方法を検討するとともに、中心部ベントナイトを拘束した場合の影響について評価する。試験 7 の主な試験条件を表 3.7-7 に示す。また試験 7 に用いた試験装置の概要図を図 3.7-13 に示す。

表 3.7-7 試験 7 の主な試験条件

試験溶液	0.55 mol/L NaCl
試験温度	30℃
中心部環境	試験溶液で飽和(拘束処理)
周辺部環境	恒温恒湿器で RH20%、温度 30℃ に制御
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li><li>・ 周辺部ベントナイト上に円管状の鉛製のおもりを静置</li><li>・ 溶液注入に点滴装置を利用</li><li>・ 恒温恒湿器により湿度制御</li><li>・ 試験後の周辺部ベントナイトの含水比分布評価</li><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ 中心部ベントナイトを拘束</li></ul>

#### 3.7.2 試験 7 の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図 3.7-14 に示す。腐食電流密度値を腐食速度に換算すると、0.70mm/y から 1.51mm/y 程度となり、これまでの結果とほぼ同様の値であった。

本試験では、約 260h 後に電流値が急変したが、装置上の問題はみつからなかった。中心部のベントナイトは初期の形を保っていたので、拘束されていたことは明らかである。短絡電流密度の値がこれまでとほぼ同じ値であることから、ベントナイトを拘束したことによる影響は小さいと考えられる。

試験終了後の周辺部ベントナイトの含水比分布は試験 6 とほぼ同様であった。

また試験中に試験溶液中の NaCl 濃度はおよそ 4.2 倍程度に濃縮している計算になった。ただし厳密には、ベントナイト上面にかなりの量の NaCl 分が析出しているため、実際の濃縮率はこの値より小さいものと思われる。

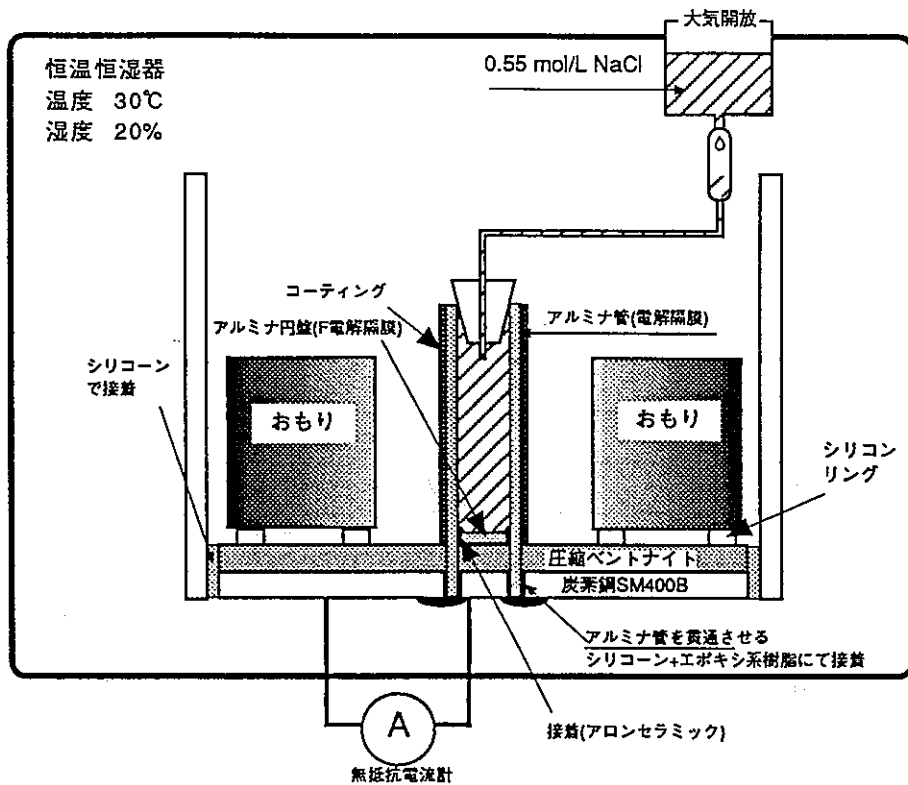


図3.7-13 試験7の試験装置の概要図 (縦断面図)

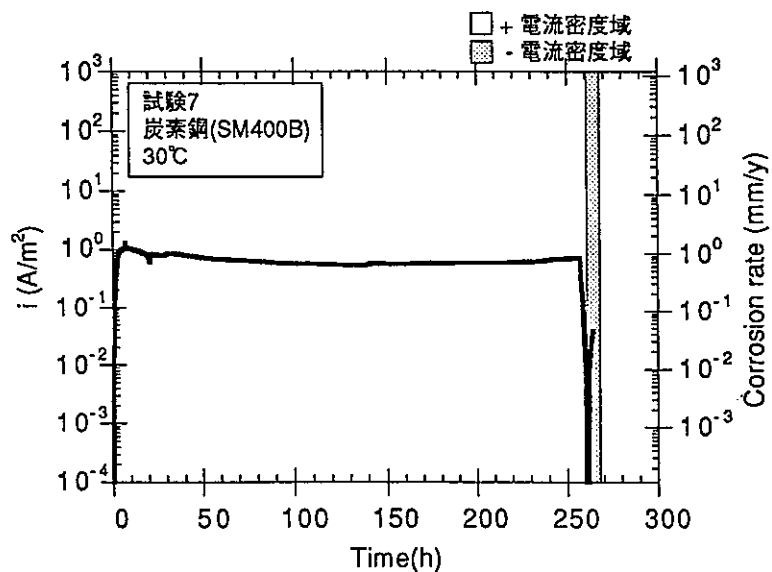


図3.7-14 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化 (試験7)

### 3.8 試験 8

#### 3.8.1 試験 8 の試験条件

試験 8 の主な試験条件を表 3.8-8 に示す。また試験 8 に用いた試験装置の概要図を図 3.8-15 に示す。拘束方法以外は試験 7 と同様である。

表 3.8-8 試験 8 の主な試験条件

試験溶液	0.55 mol/L NaCl
試験温度	30℃
中心部環境	試験溶液で飽和(拘束処理)
周辺部環境	恒温恒湿器で RH20%、温度 30℃に制御
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li><li>・ 周辺部ベントナイト上に円管状の鉛製のおもりを静置</li><li>・ 溶液注入に点滴装置を利用</li><li>・ 恒温恒湿器により湿度制御</li><li>・ 試験後の周辺部ベントナイトの含水比分布評価</li><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ 中心部ベントナイトを拘束</li></ul>

#### 3.8.2 試験 8 の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図 3.8-16 に示す。腐食電流密度を腐食速度に換算すると、0.46mm/y から 1.16mm/y 程度となり、これまでと同様の結果を示した。

しかしながら試験 7 と同様に、約 400h 後に電流値が急変したが、装置上の問題はみつからなかった。これについては今後検討する必要がある。中心部のベントナイトについては試験 7 と同様に初期の形を保っていた。従って試験 7 の結果と併せて、ベントナイトを拘束したことによる影響は小さいと考えられる。

試験終了後の周辺部ベントナイトの含水比分布は試験 6 および 7 とほぼ同様であった。

また試験中に試験溶液中の NaCl 濃度はおよそ 6.2 倍程度に濃縮している計算になった。ただし厳密には、ベントナイト上面にかなりの量の NaCl 分が析出しているため、実際の濃縮率はこの値より小さいものと思われる。



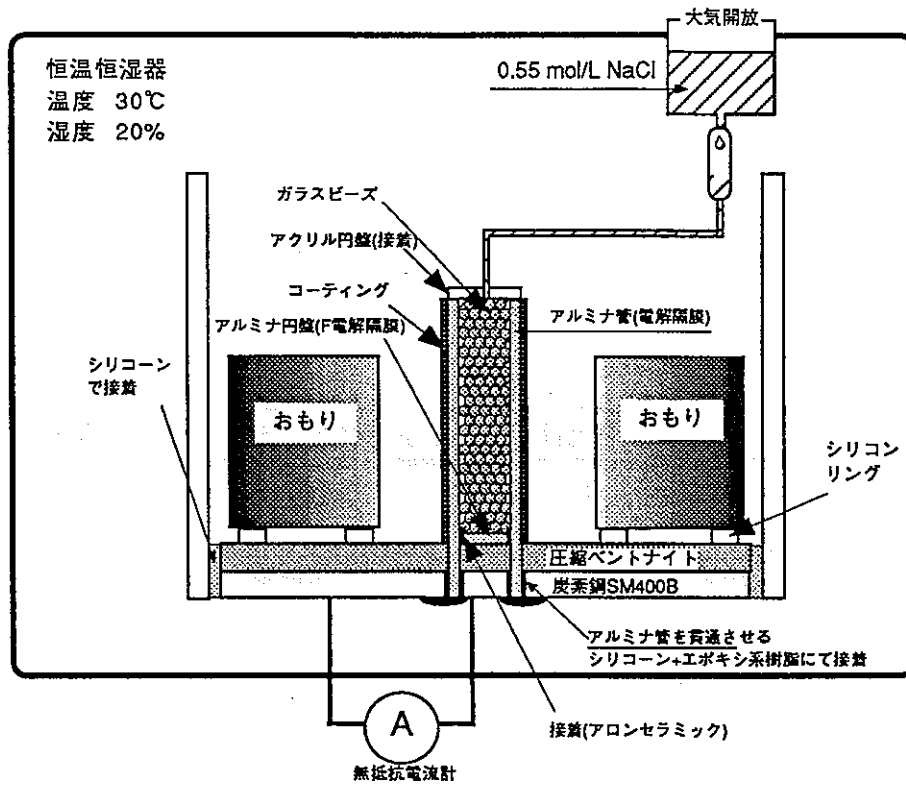


図3.8-15 試験8の試験装置の概要図 (縦断面図)

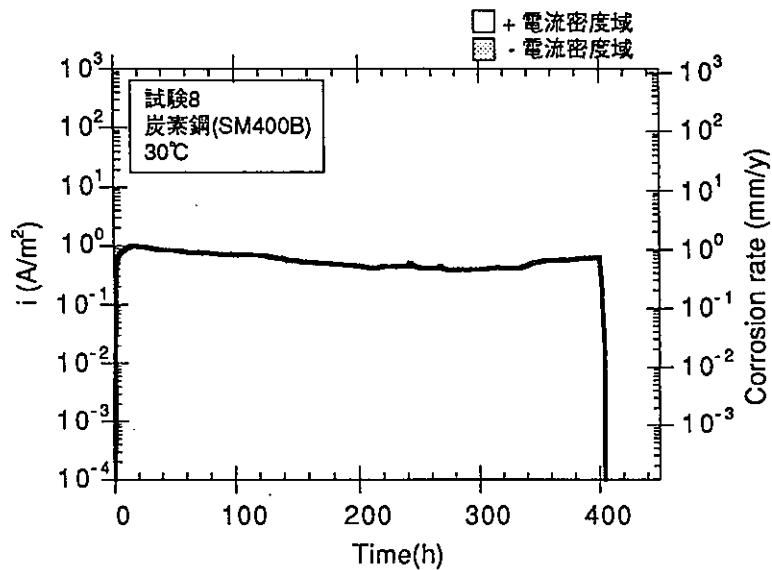


図3.8-16 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化 (試験8)

### 3.9 試験9

#### 3.9.1 試験9の試験条件

試験9の主な試験条件を表3.9-9に示す。また試験9に用いた試験装置の概要図を図3.9-17に示す。中心部ベントナイトを拘束した状態で電位計測を試みた。

表3.9-9 試験9の主な試験条件

試験溶液	0.55 mol/L NaCl
試験温度	室温(25℃)
中心部環境	試験溶液で飽和(拘束処理)
周辺部環境	大気開放(RH10~20%)
特記事項	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ アルミナ管の露出部分をゴム系マスキング材でコーティング</li><li>・ 周辺部ベントナイト上に円管状の鉛製のおもりを静置</li><li>・ 溶液注入に点滴装置を利用</li><li>・ 試験後の周辺部ベントナイトの含水比分布評価</li><li>・ 中心部と周辺部の試験片を無抵抗電流計で短絡</li><li>・ 中心部ベントナイトを拘束</li><li>・ 飽和かんこう電極を用いて電位計測</li></ul>

#### 3.9.2 試験9の結果及び考察

測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化を図3.9-18に示す。腐食電流密度値を腐食速度に換算すると、0.35mm/yから1.62mm/y程度となる。これらの結果はこれまでの結果と同様である。

中心部および周辺部の炭素鋼試験片電位の経時変化は試験6での結果とほぼ同様であった。ベントナイトの拘束の電位に対する影響は小さいと思われる。また、試験6でも述べたように、これらの電位挙動は、短絡電流値の符号から推察される、中心部がアノード反応、周辺部がカソード反応という現象を裏付ける結果となっている。中心部のベントナイトについては試験7と同様に初期の形を保っていた。

試験終了後の周辺部ベントナイトの含水比分布は傾向としては7、8と同様であるが、全体的に若干値が小さい。

また試験中に試験溶液中のNaCl濃度はおよそ5.3倍程度に濃縮している計算になった。ただし厳密には、ベントナイト上面にかなりの量のNaCl分が析出しているため、実際の濃縮率はこの値より小さいものと思われる。

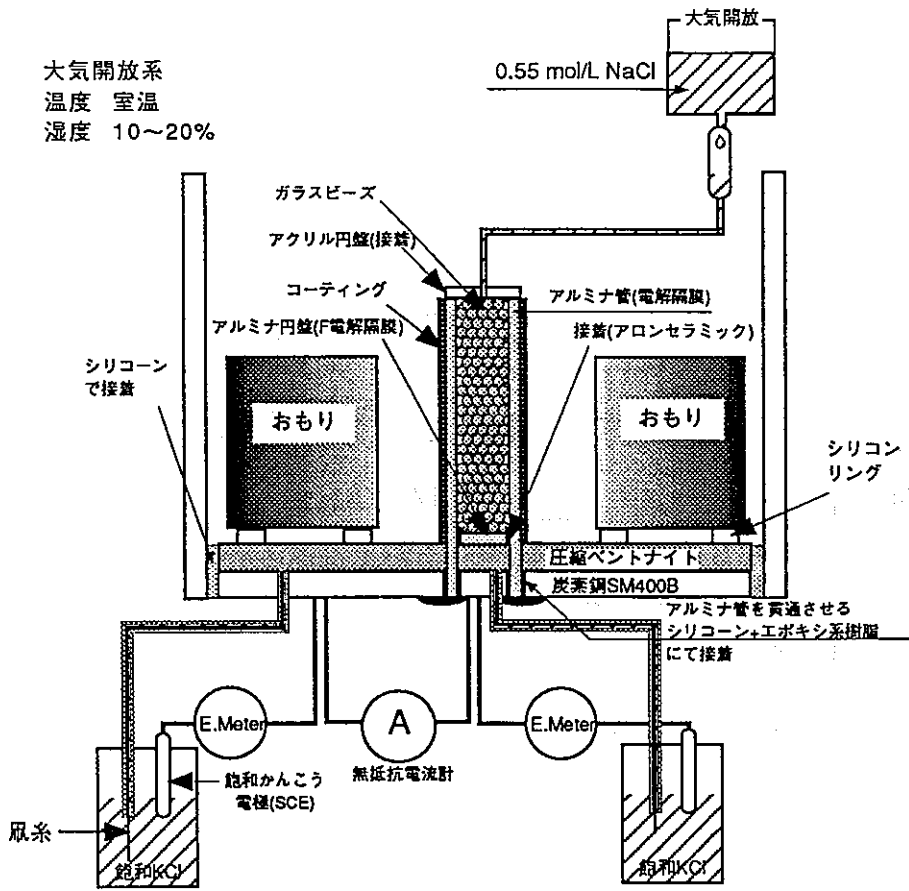


図3.9-17 試験9の試験装置の概要図 (縦断面図)

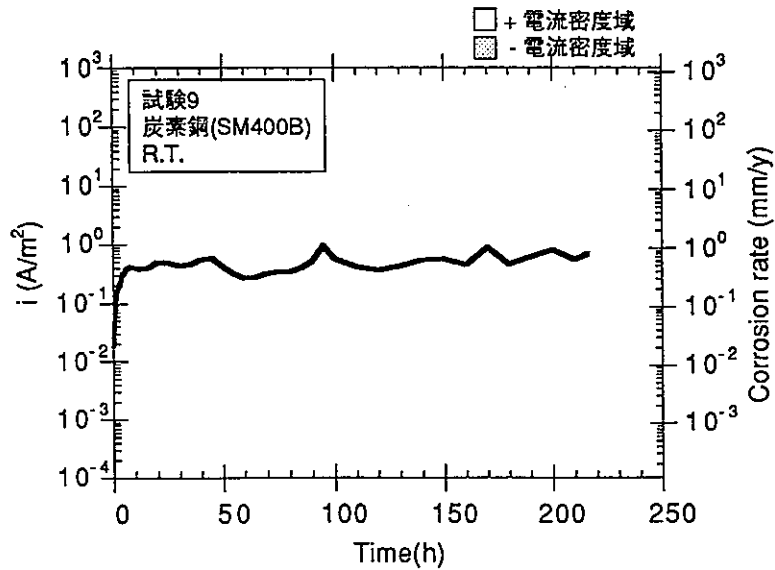


図3.9-18 測定された短絡電流値から算出した、中心部炭素鋼試験片の腐食電流密度の経時変化 (試験9)

### 3.10 結果のまとめ

試験 1 から試験 9 までの主な試験条件をまとめて表 3.10-10 に示す。

試験 5 から試験 9 までの結果について周辺部ベントナイトの平均含水比と、短絡電流値から換算した中心部試験片の平均腐食速度との関係を図 3.10-19 に示す。なお、試験 5 の結果は他の結果と溶液組成が異なることから参考として図中に( )で示した。ここで、周辺部ベントナイトの平均含水比は、試験終了後の 20 箇所(試験 7 は 15 箇所)の含水比測定結果の平均値とした。また、図 3.10-20 に模式的に示すように電流密度が試験開始後急増し一旦極大を示した時刻を 0 とし、試験終了時間  $t$  までの腐食電流密度から期間  $t$  における総腐食量を換算した後、試験時間  $t$  で割ったものを平均腐食速度とした。

腐食進展速度式モデルとしては、平均侵食深さが時間のべき乗に比例するとするモデル(べき乗則)が一般的であって、べき数を  $1/2$  とするモデル(放物線則)が一般に適用されている。速度式モデルの一例として、初期速度を  $r_0(\text{mm/y})$ 、速度定数を  $k(\text{yr})$  として平均侵食深さ  $a(\text{mm})$  と時間  $t(\text{yr})$  との関係は次式で表され、1 気圧の大気と平衡する海水中では  $r_0=0.285$ 、 $k=0.80$  でモデルと炭素鋼/自然海水系の文献データとがよく一致することが知られている<sup>1)</sup>。

$$(a+kr_0)^2 = 2kr_0^2t+k^2r_0^2 \quad \dots \dots (1)$$

ここで(1)式を用いて本試験の実施時間における海水中の炭素鋼の平均腐食速度を算出する。試験 5 から試験 9 までの試験時間は最短で 250h、最長で 492h であり、海水中の炭素鋼の平均腐食速度を(1)式から算出すると 250h は 0.280mm/y、492h は 0.276mm/y となる。これらの値も図 3.10-19 中にあわせて示した。図にみるように周辺部ベントナイト平均含水比の増加にともない腐食速度は直線的に増加する傾向を示し、18%および 24%では通常の海水中の平均腐食速度に比して 3 倍程度まで腐食速度が加速された。ある程度周辺部の含水比が増してくると周辺部の炭素鋼試験片が大カソードとして機能し、長範囲電気化学セルが形成して腐食が加速するものと推察される。しかしながら中心部と周辺部のベントナイト含水比が等しくなれば、中心部/周辺部が同環境になり原理的に腐食速度は加速されない。すなわち周辺部ベントナイトの含水比が 18%から 34%の間で腐食速度は極大になることが予想されるから、今後周辺部の含水比を変化させたデータをさらに蓄積し検討する必要がある。

表3.10-10 主な試験条件のまとめ

		試験1	試験2	試験3	試験4	試験5	試験6	試験7	試験8	試験9
主な 試験 条件	試験溶液	0.55 mol/L [NaCl]	0.55 mol/L [NaCl]	0.55 mol/L [NaCl]	0.55 mol/L [NaCl]	模擬* 地下水	0.55 mol/L [NaCl]	0.55 mol/L [NaCl]	0.55 mol/L [NaCl]	0.55 mol/L [NaCl]
	温度 (°C)	25	25	25	30	30	25	30	30	25
	周辺部 湿度(%)	約40	約40	約40	20	20	20~30	20	20	10~20
基準装置性能 把握		○	○							
電流挙動概要 把握		○	○							
周辺部bentonite 横方向拘束			○			○	○	○	○	○
周辺部bentonite 上下方向拘束				○	○	○	○	○	○	○
溶液切れ防止				○	○	○	○	○	○	○
周辺部 湿度制御					○	○		○	○	
水分移行抑制 処理						○	○			
溶液組成依存 評価						○				
電位測定方法 検討						○	○			○
周辺部bentonite 含水比測定						○	○	○	○	○
中心部bentonite 含水比測定								○	○	○
中心部拘束 方法検討								○	○	○

\* ) 模擬地下水組成 ; 0.001mol/L[NaHCO<sub>3</sub>]+10ppm[NaCl]+5ppm[Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]

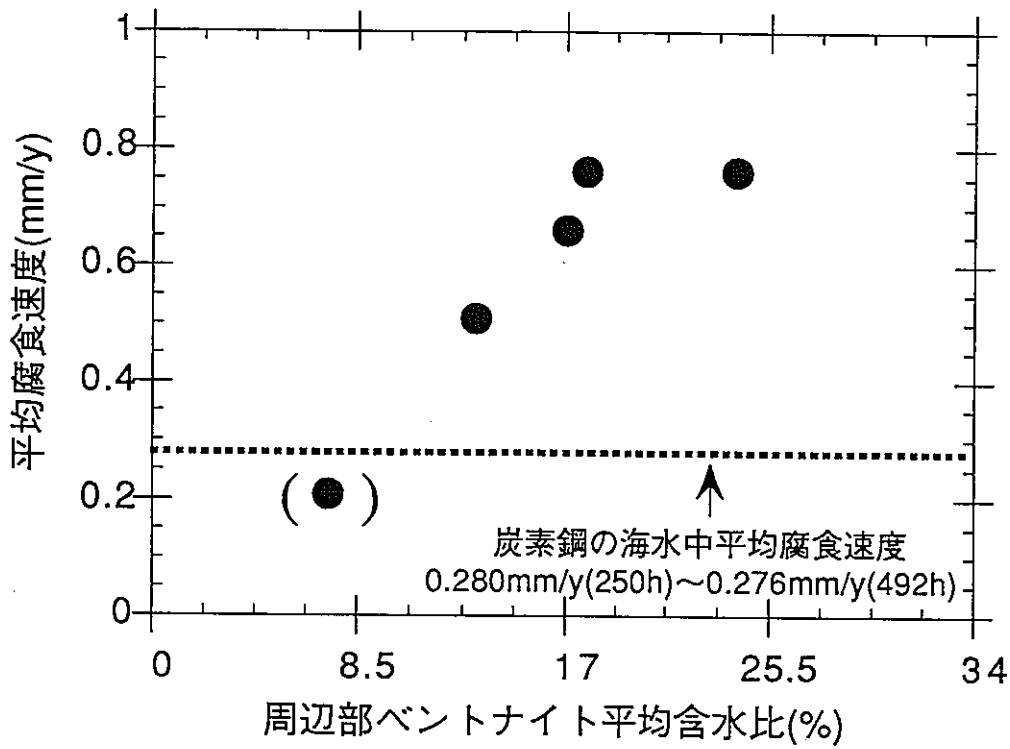


図3.10-19 中心部炭素鋼試験片の平均腐食速度に対する周辺部ベントナイトの平均含水比の影響

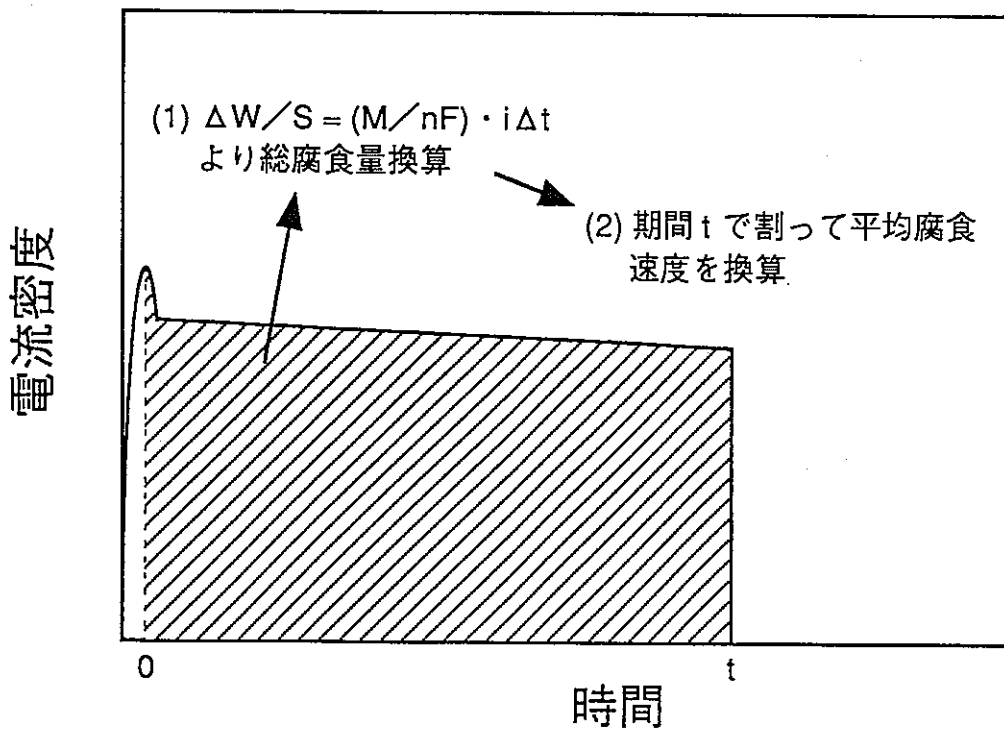


図3.10-20 短絡電流密度測定結果からの平均腐食速度の換算

#### 4 まとめ

本年度は、含水比の局所的不均一に起因するアノード/カソードの場所的分離による、腐食の局在化の有無を評価するための予備検討として、試験方法の妥当性の確認および試験装置の最適化検討を実施することにより、以下の知見を得た。

1)数種の試験セルを作製し、改良を重ねた結果、図4-21に示した試験装置により、妥当な試験が行うことができる。またこの試験装置により、中心部のベントナイトの膨潤による体積変化を抑制した状態での短絡電流の経時変化を、試験片電位の経時変化と共に同時に測定することが可能である。

2)中心部に高含水比ベントナイト、周辺部を低含水比ベントナイトを静置した場合、中心部の炭素鋼試験片がアノード反応を担うことになり、周辺部の大カソードによりマクロセル腐食が達成され、腐食速度は海水中における炭素鋼の定常腐食速度の数倍に達する。

#### 5 今後の課題

まず、長期間の試験を実施するために、最適化した試験装置において、アルミナ管と炭素鋼試験片の接着部分の構造に若干の手を加える必要がある。

本試験で最適化した試験装置の場合、周辺部のベントナイトの含水比は中心から外側に直線的に減少する傾向を示すが、電気伝導性を保証する関係から、これ以上大きな含水比差を達成するのは困難である。したがって、周辺部の環境において設定湿度を変化させることにより、周辺部の含水比をパラメータとして短絡電流値を評価することが必要である。さらに長期試験を行うことにより周辺部の含水比が中心部のそれとほぼ同じになってゆく過程における短絡電流の挙動を調べることは非常に重要である。

本試験において、試験溶液の供給が止まった場合、短絡電流の符号が逆転する現象が幾度かみられた。これについて検討するために、周辺部に高含水比ベントナイト、中心部に低含水比ベントナイトを静置した試験を実施して、本試験結果と比較検討する必要がある。

本試験において、短絡電流値が試験溶液に依存する可能性がみられたため、これについても溶液組成を変化させて検討する必要がある。

#### [参考文献]

1)腐食防食協会編，金属の腐食・防食 Q&A—コロージョン 110 番—：初版，丸善，東京，p.11(1988)

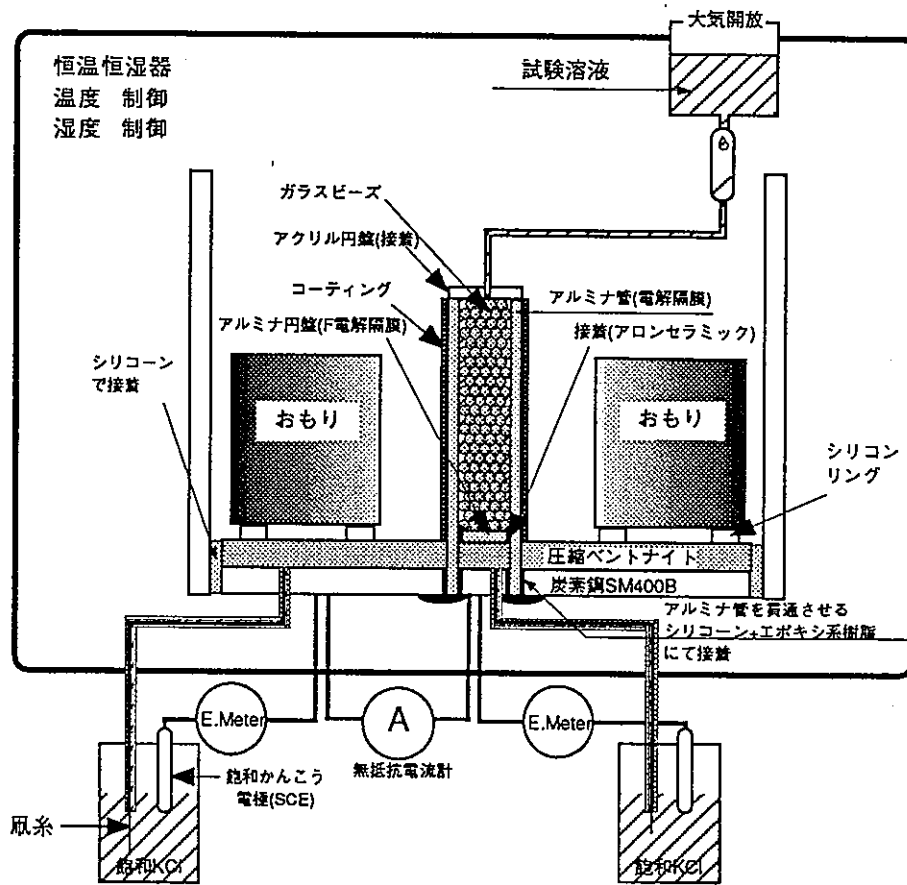


図4-21 最適化した試験装置の概要図