

オーバーパックの長期耐食性に関する  
ナチュラルアナログの調査

成果 概要

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1989年3月

日本鋼管株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1989年3月

## オーバーパックスの長期耐食性に関する ナチュラルアナログの調査

平林 清照\*、 玉田 明宏\*\*  
磯崎 総一郎\*\*\*、 加藤 賢次\*\*

### 要 旨

本研究はナチュラルアナログ研究により、オーバーパックスの第一候補材である炭素鋼の土中環境での長期腐食挙動を評価し、腐食モデルの解明に資することを目的として実施したものである。本報告書ではまず土中埋設鋼構造物の腐食に関する過去の文献から研究事例を調査・検討し、腐食挙動と環境条件との関係を整理するとともに長期腐食挙動を評価するための解析手法について述べている。

さらに、履歴の明らかになっている50～100年間埋設されていた掘上げ展示品を2種類選り長期埋設構造物の腐食事例として調査評価した。最後に、オーバーパックスの長期腐食挙動を予測する上での問題点を明らかにし、これを踏まえてナチュラルアナログ研究としてデータを採取し、現象を解明していく必要のある項目を抽出して今後の研究課題を明らかにした。

---

本報告書は、NKK（日本鋼管）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の概要である。

契約番号：630D194

事業団担当部課室および担当者：環境資源部 地層処分対策室（財津 知久）

\*：応用技術研究所 津研究センター（京浜駐在） 原子力研究室

\*\*：応用技術研究所 津研究センター 第2研究部 防食チーム

\*\*\*：応用技術研究所 津研究センター 第1研究部 構造土木チーム

PNC T14369 89-001(1)  
March, 1989

Study on Natural Analogues of Long Term Corrosion Properties  
for Overpack Materials

Kiyoteru Hirabayashi\*  
Akihiro Tamada\*\*  
Soichiro Isozaki\*\*\*  
Kenji Katoh\*\*

A b s t r a c t

The purpose of this study is to estimate the long term corrosion behavior and clarify the corrosion models of carbon steel and cast iron which are primarily nominated as the overpack materials, in underground soil environment, by means of natural analogues methods.

This report firstly states the study result on corrosion behavior of steel structure in underground soil environment referred from the past papers. Secondary, it states the study of relation between corrosion behavior and soil environment and then the analyzing method to evaluate the long term corrosion behavior. Thirdly, two kinds of digged out samples with historical records, had been laid under ground in the past 50 ~ 100 years, are studied and estimated on corrosion behavior. Finally, some subjects to estimate the long term corrosion behavior of overpack materials is clarified. As a result the prospective study themes are clarified by method of sampling the data on the natural analogues and screening the necessary items of analyzing the corrosion phenomena.

---

Work performed by NKK Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison :Waste Isolation Office, Waste Management and Raw Materials Division. (Tomohisa Zaitso)

\* :Nuclear Plant Lab., Engineering Research Center

\*\* :Corrosion Protection Team, Tsu Research Labs., Engineering Research Center

\*\*\* :Structures/Civil Engineering Team, Tsu Research Labs., Engineering Research Center

# オーバーパックスの長期耐食性に関する ナチュラルアナログの調査

## 成 果 概 要

放射性廃棄物を地層処分した場合に想定される現象に類似する天然の現象はナチュラルアナログ (Natural Analogues) と定義されている。

動燃事業団殿におけるナチュラルアナログの研究は地層処分の研究開発項目の中でも重要事項と位置付けられており、天然バリアと人工バリアのナチュラルアナログ研究が総合的に進められている。

人工バリアの中で、高レベル放射性廃棄物の地層処分に使用するオーバーパックスを開発するうえで、その長期腐食挙動を把握することが重要な課題であり、ナチュラルアナログ研究は金属の長期腐食挙動を評価するための有力な手法である。

本研究においては以下に示される成果を得た。

### 1. 炭素鋼を中心とした金属の土中埋設環境における腐食挙動に関する文献調査

本章では炭素鋼を中心とした金属の土中埋設環境における腐食挙動に関する過去の文献を収集調査した。土中における腐食のメカニズムは表1に示すように分類され、迷走電流による腐食 (電食) やガルバニック腐食を除けば腐食は自然腐食 (マイクロセル腐食) とマクロセル腐食に区分される。各々の腐食メカニズムを記述し、腐食に関する土壌、土壌比抵抗、pH、酸化還元電位等の土壌環境成分・因子と腐食メカニズムの関係を明らかにした。次に各種鋼構造物の土壌腐食に関する長期データを収録した。鋼構造物としては埋設環境が同時に調査されている基礎杭、パイプライン、タンク底板を文献から選び、腐食の状況や腐食速度と腐食因子との関係を明らかにした。1例として国内亜鉛メッキガス鋼管225路線について、年代別、立地状況別に腐食速度を調査した結果を表2に示す。また、これらの調査結果を用い

て土壌環境条件から長期の腐食量を推定するための腐食診断、推定及び予測技術について述べ、その解析方法を明らかにした。土壌の腐食性を診断する方法としてはANSI, DINの点数加算法が有名である。一方、海水を除く中性環境下では、腐食により生成した錆が保護被膜として働くようになるために、長期間の最大孔食量は図1に示されるように経年による変化が小さくなる傾向があり、土壌もこの環境下にあるとされる。一般に腐食の予測は1式で表される。

$$\text{腐食評価量 } H = a \times (\text{期間 } Y)^n \quad (n < 1) \dots\dots\dots(1)$$

NBSの埋設試験結果では2、3式で示される。

$$\text{重量減少 } WT = 7.4W(Y/10)^{0.57} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{最大孔食深さ } PT = (25.2W + 45)(Y/10)^{0.44} \dots\dots\dots(3)$$

ガス埋設配管では4式で示される。

$$\text{最大腐食度 } H = 0.25Y^{0.4} \dots\dots\dots(4)$$

Y: 経過年数、 W: 6ヶ月間の腐食減量、 a: 常数、 n: 常数

以上のことから、土壌腐食は極長期では $Y^{0.5}$ で近似でき、腐食速度は $\text{mm}/Y$ より $\text{mm}/Y^{0.5}$ の方が妥当である。

## 2. 既掘上げ展示品調査

本章では当社既掘上げ展示品土中埋設鋼管のうち、パイプ資料から履歴の明らかになっているものを2件（横浜ガス局埋設管、長崎水道管）選んで管体の腐食調査、埋設想定地の土壌環境調査を実施するとともに、ナチュラルアナログについて50～100年間の土壌腐食推定に関する手法の一検証とした。写真1に横浜ガス局ガス管（鑄鉄製）、写真2に長崎水道管（炭素鋼製）の外観及び孔食部の状況を示す。横浜ガス局ガス管及び長崎水道管の平均腐食速度はそれぞれ0.02～0.03mm/Y、0.012mm/Yで、最大孔食度は0.048mm/Y、0.082mm/Yとなり、一般的な値として考えることができ、かつ普通の土壌に埋設されていたものである事が分かった。

### 3. ナチュラルアナログ研究課題の研究

本章ではオーバーパックの長期腐食挙動を予測する上での問題点を明らかにし、これを踏まえてナチュラルアナログ研究としてデータを採取し、現象を解明していく必要のある項目を抽出して今後の研究課題を明らかにした。即ち図2に示されるようにナチュラルアナログを研究する上での腐食量の評価は腐食経過年が5年以内のもの（ステージⅠ）、50年前後のもの（ステージⅡ）、500年前後のもの（ステージⅢ）、1000年前後のもの（ステージⅣ）に分けて考えた方が妥当である。ステージⅠは実験室的に腐食挙動の再現が比較的容易に行え、腐食メカニズムを検証することが可能であり、ステージⅡは埋設環境が明らかにしうる条件下での埋設配管などの調査が可能範囲である。ステージⅢ、ステージⅣは腐食量の経年による変化が小さくなるので、ステージⅡ迄の領域から推定がある程度可能であり、一方既掘上げ品が多いので、考古学的手法によっても腐食挙動を検証することが必要である。それ故、腐食環境の明らかにできるステージⅡのサンプルを実際に掘上げ調査することも、ステージⅠの実験室検討と平行して必要かと考えられる。本文ではこれらの一連の研究を実施するための方向付け、手法、問題点なども記述した。

#### —付録—

最後に付録として、文献調査から地下深部の粘土、コンクリート環境下、岩石中およびベントナイト中での各々の環境特性と金属腐食のメカニズムとの関係ならびに腐食事例や腐食診断・推定技術の手法をも調査し記述した。

本成果報告書が動燃殿のナチュラルアナログ研究にささやかでも役立てば幸いである。

表1 土壤腐食の分類

Table 1 Classification of Corrosion in Soils

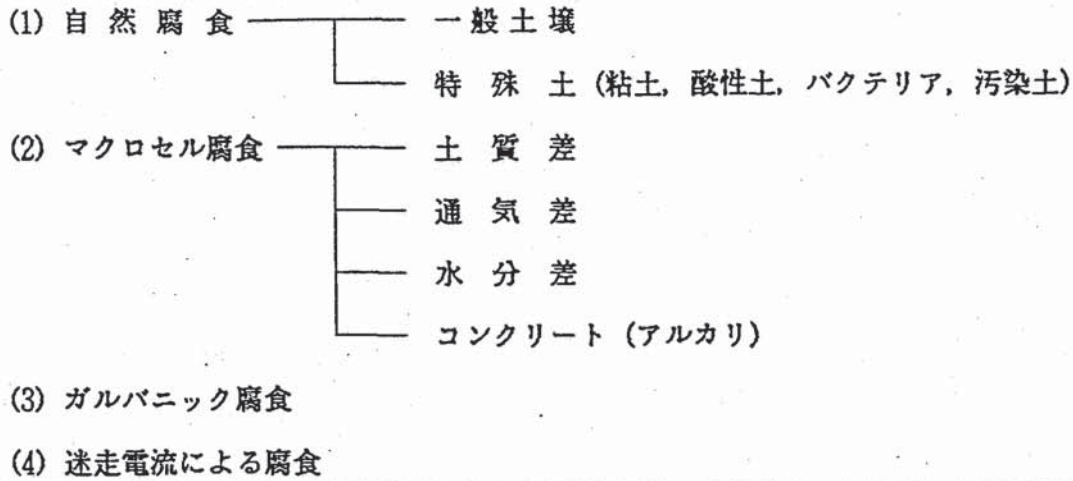


表2 腐食速度比較表 (年代別, 立地状況別 N=225)<sup>12)</sup>

Table 2 Comparison of Corrosion Rate (Classified by Buried Ages and Conditions of Location, N=225)

埋設年代	立地状況	路線数	平均腐食速度	最大腐食速度	平均腐食速度	最大腐食速度
			$H_n/\sqrt{Y}$ (mm/ $\sqrt{Y}$ )	$H_m/\sqrt{Y}$ (mm/ $\sqrt{Y}$ )	$H_n/Y$ (mm/Y)	$H_m/Y$ (mm/Y)
30年後半	水田	2	.073	.220	.015	.046
	畑	4	.095	.221	.020	.047
	丘陵	3	.162	.389	.034	.083
	全体	9	.112	.277	.024	.059
40年前半	水田	26	.113	.256	.026	.060
	畑	16	.101	.214	.023	.049
	丘陵	24	.096	.268	.023	.064
	全体	66	.104	.250	.024	.059
40年後半	水田	26	.098	.232	.026	.062
	畑	25	.106	.229	.028	.060
	丘陵	31	.096	.220	.026	.059
	全体	82	.100	.226	.026	.060
50年前半	水田	19	.137	.298	.048	.103
	畑	15	.125	.283	.042	.096
	丘陵	34	.105	.289	.035	.097
	全体	68	.118	.290	.040	.099
総計	水田	73	.113	.257	.032	.072
	畑	60	.109	.238	.030	.065
	丘陵	92	.101	.263	.029	.075
総平均		225	.107	.255	.030	.071

(注) 腐食速度は短管10cm当たりの最大孔食深さより求めたもの。



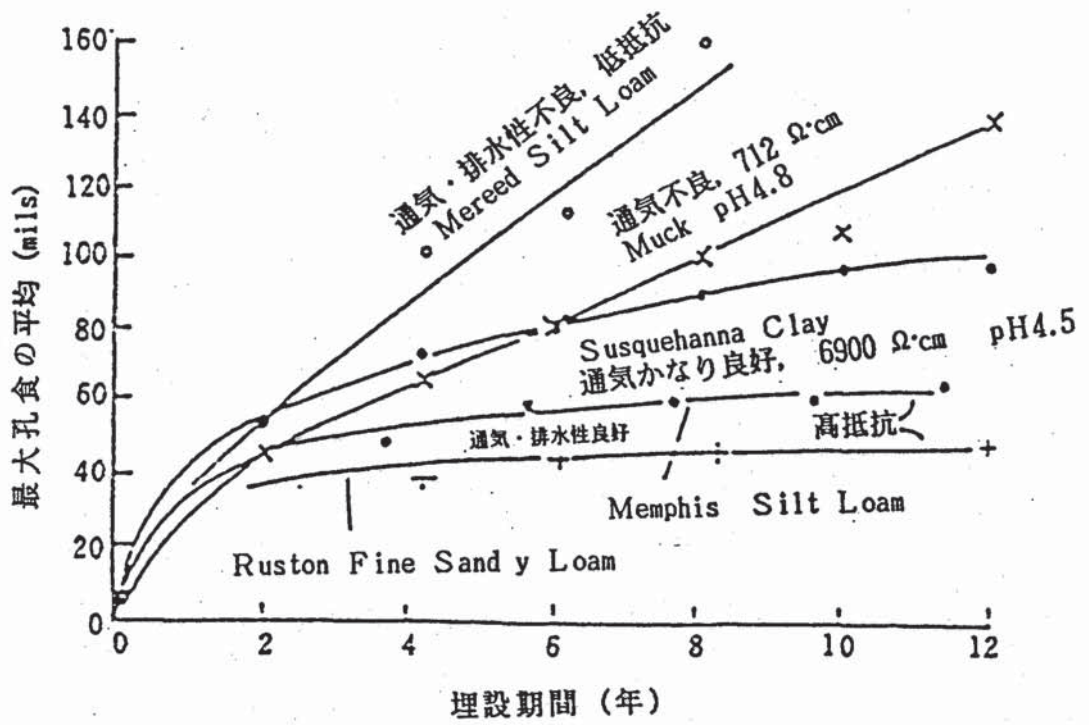
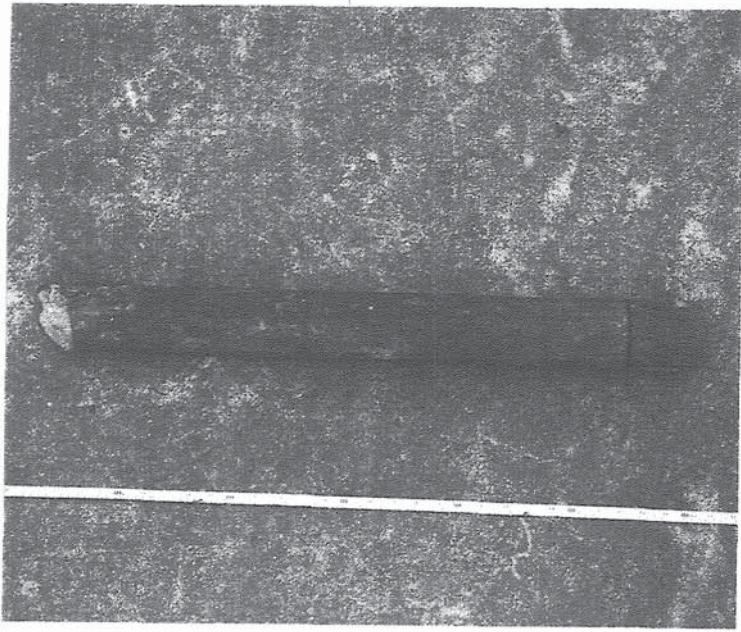


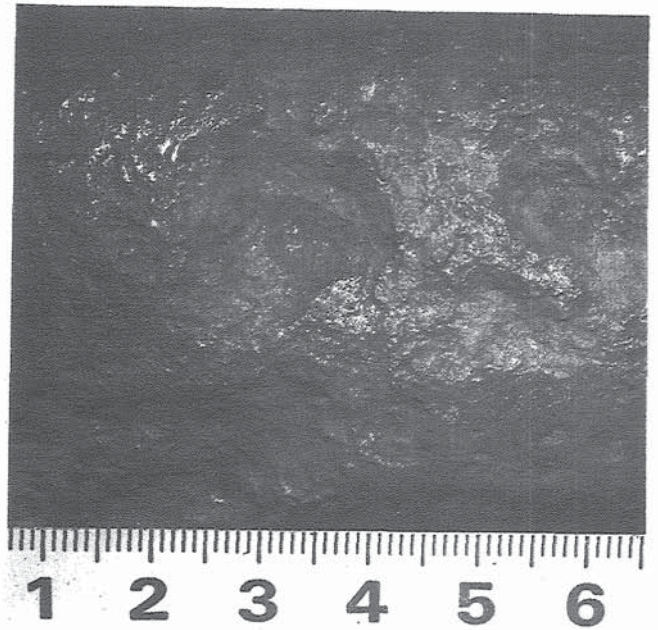
図1 最大孔食の経年変化<sup>13)</sup>

Figure 1 Change of Maximum Pitting Rate by Years

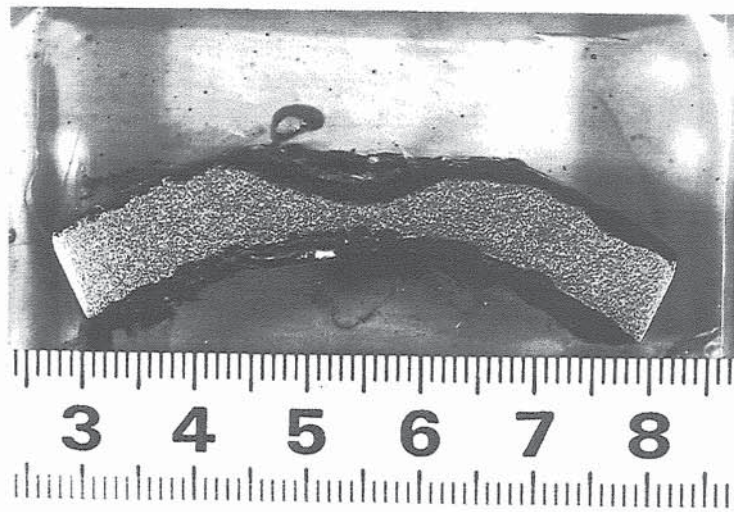
This is a blank page.



外 観 状 況



孔 食 部 状 況



マ ク ロ 断 面 (×1.5)

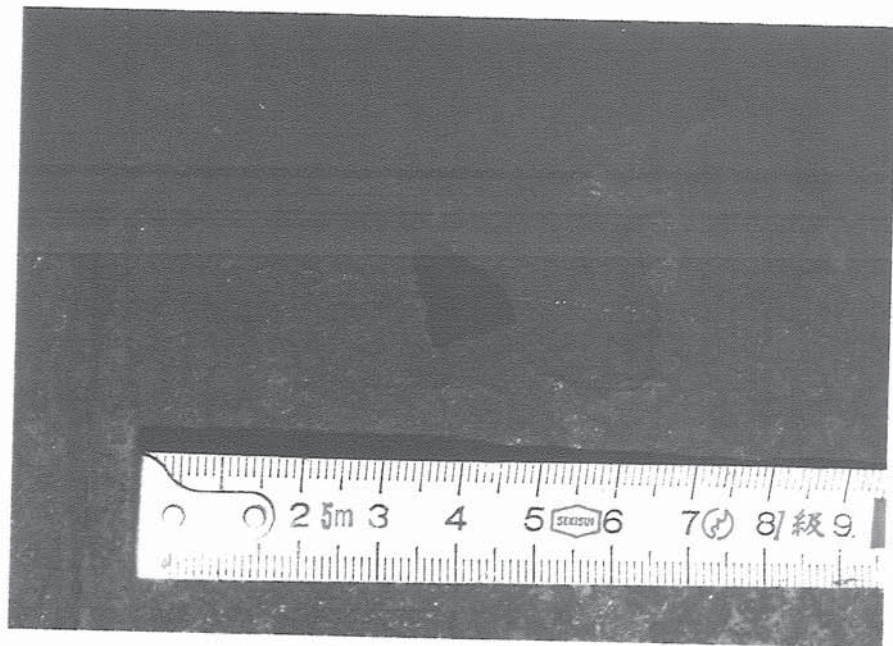
写真1 横浜ガス局ガス管（鑄鉄製）の外観及び孔食部の状況

Photo 1 Appearance of Pipe and Pitting Area of Yokohama Gas Service Pipe (Cast Iron Pipe)

This is a blank page.



水道管外観状況



孔食部状況

写真2 長崎水道管（炭素鋼製）の外観及び孔食部の状況

Photo 2 Appearance of Pipe and Pitting Area of Nagasaki Water Service Pipe (Steel Pipe)

This is a blank page.

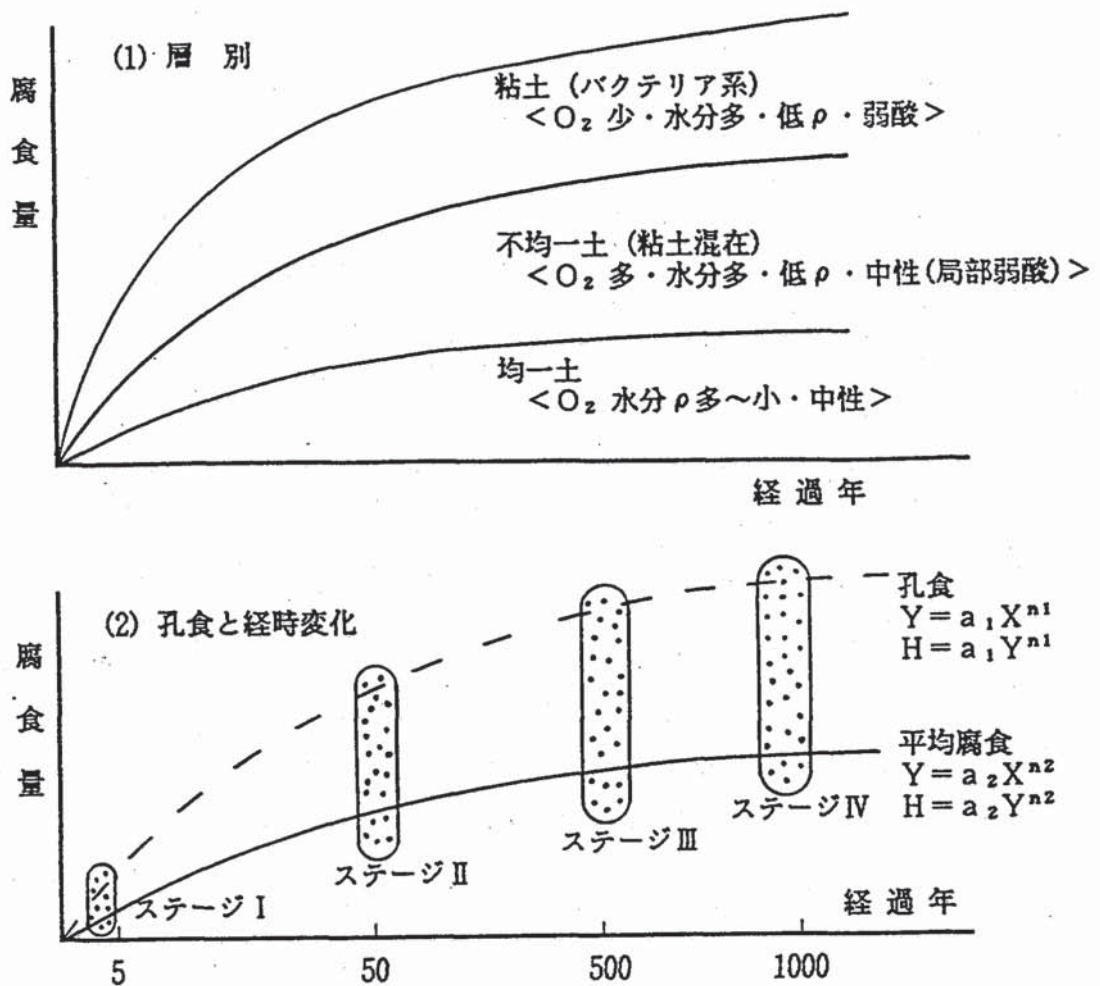
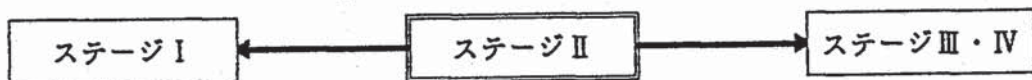


図2 腐食のモデル化  
Figure 2 Making the Model of Corrosion

表3 検討課題  
Table 3 Subjects to be Studied



- 1) 層別の検証
- 2) 層別支配因子の検証
- 3) 各腐食のメカニズムの検証
- 4) 温度・圧力の影響の検討
- 5) 腐食速度の経時変化の検討
- 6) 検証・検討法 (電気化学・腐食試験)
- 7) プローブ法の検証 (E<sub>c</sub>, ρ, R<sub>p</sub>)

- 1) 層別
- 2) 層別と環境因子
- 3) 平均腐食と孔食
- 4) 腐食推定式と外挿  
H = aY<sup>n</sup>  
H = F(X<sub>i</sub>)  
(層別, 平均・最大)
- 5) 因子のばらまき (マクロ, ミクロ)
- 6) 極値統計法 (孔食)
- 7) 腐食生成物 (錆) と環境因子の相関

- 1) H = aY<sup>n</sup> の検証・補正
- 2) H = F(X<sub>i</sub>) の検証・補正
- 3) 腐食の推定法
- 4) 環境因子推定法 (錆の分析と推定)
- 5) 長期腐食の確定 (1000年)
- 6) 非破壊計測法 (腐食, 錆)