

II-288 鋼製港湾構造物の腐食への多変量解析の適用

日本大学工学部 正会員 寺 中 啓一郎
 東京都港湾局 正会員 和 野 信 市
 東京都港湾局 菊 池 政 信
 ㈱建設技術研究所 正会員 吉 田 靖

1. まえがき

東京港内および運河部の鋼製構造物の腐食実態を把握し、その対策を図るために昭和56年度に鋼製護岸腐食実態調査を行い、翌昭和57年度に腐食解析調査を実施した。しかし、1回の調査データでは解明が不十分であったため、その後、昭和60年度において再び腐食実態調査を行った（図-1 調査位置図参照）。

今回、上記データに加えて既往の関連調査資料を整理し、鋼構造物の腐食現況、経過年数・構造型式等の人為的腐食要因、及び塩分・溶存酸素・付着生物等の環境的腐食要因についてとりまとめ、これらのデータに対して多変量解析を適用し、その結果が得られたのでここに報告する。

2. 多変量解析の適用

鋼材の腐食現象には、多くの要因が複雑に関わっているものと考えられるため、このような現象の解明に有効な手段である多変量解析手法を用いて、これらの関係を解きほぐすことを試みた。ここで用いた手法をその解析目的とともに、表-1に示した。

3. 解析に用いたデータ

腐食要因としては多数考えられるが、ここではデータとして得られている表-2に示したものを採用した。重回帰分析や判別分析などでは、これらの要因を説明変数として、目的変数である腐食速度（腐食量）の推定あるいは集中腐食の有無の判定を行った。解析には、これらの生データの他に平均値、最大値や上下差、夏冬差等の処理を行ったデータについても用いた。なお、人為的要因における鋼材タイプ、防食工の実施の有無および種類や、環境的要因における地域特性は他のデータと異なり質的データ（例えば鋼材タイプはU形、Z形等）であるため、これらについてはデータを数量化（例えばU形→1、Z形→2、等）することにより数量化Ⅰ類およびⅡ類の解析に適用した。

4. 解析結果

各手法の解析結果を表-3～表-6に示した。以下に、各解析毎に結果の概要を示す。

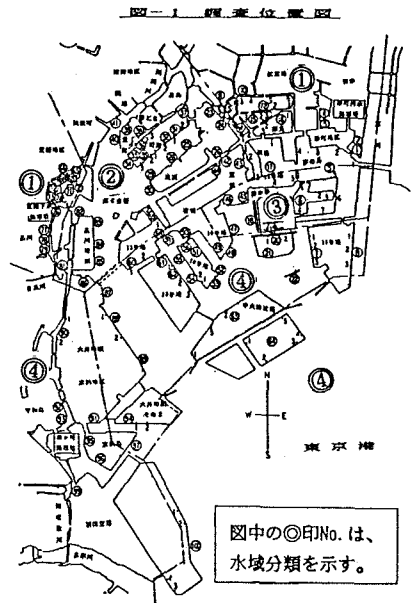


表-1 手法と解析目的

手 法	解 析 目 的
因 子 分 析	腐食の促進要因、抑制要因の抽出
クラスター分析	水域分類、鉛直方向腐食パターン分類
重 回 帰 分 析	腐食量（速度）推定式の導出
判 別 分 析	集中腐食の判定式の導出
数 量 化 Ⅰ 類	質的データも含めた腐食量（速度）推定式の導出
数 量 化 Ⅱ 類	質的データも含めた集中腐食の判定式の導出

表-2 要因一覧表

人 為 的 要 因	- 経過年数 - 鋼材タイプ - コーピング下端高 - 海底面高 - 防食対策工の実施の有無、種類
環 境 的 要 因	- 塩 分 - 飛沫塩分 - アンモニウム性窒素 - COD - DO - 生物付着量（フジツボ、ムラサキガイ） - 水 温 - pH - 比 低 抗 O. R. P（酸化還元電位） - 地域特性

(1) 因子分析による解析結果を表-3に示す。これより、同じ要因でも構造物の部位によってその影響内容（促進，抑制）が異なる結果となっており、腐食機構の複雑さがうかがえる。

(2) 環境要因データによるクラスター分析の結果、水域が港奥運河部，港中央部，港口水域部等に分類され、図-1に示した4つの水域分類が可能であった。しかし、鉛直方向腐食パターンについては明瞭な分類ができなかった。

(3) 重回帰分析による予測結果の一部を表-4に示した。これより、大気部（A.P. > 0.5m）ではコーピング下端高，イガイが腐食速度との相関が高く、一方、海中部では塩分，経過年数の相関が高い。なお、大気部と海中部では、相関の高い説明変数が逆転する傾向にあった。

(4) 大気部と海中部とにおいて局部腐食（集中腐食）の発生の有無の判定のため、判別分析を行ったが、結果の適中率は各々約60％程度であった。

(5) 数量化理論を用いた解析結果

ここでは、(3)，(4)で用いたデータ以外に鋼材タイプ，防食の有無等および地域分類等の質的データを追加して解析を行った。

1) 数量化Ⅰ類を用いた解析による予測結果を表-5に示したが、重相関係数が重回帰分析の場合より幾分高くなっている。

2) 数量化Ⅱ類を用いた解析による判定結果を表-6に示したが、適中率は約75％程度となっており、判別分析の場合よりも若干高くなっている。

5. ま と め

以上の解析を行った結果、以下の事柄がうかがえる。

- (1) 鋼材の腐食は、ひとつには局部電池の構成で説明され、同一部位であっても他の部位との相対関係が問題となり、腐食機構が複雑であるため、腐食に対する促進要因と抑制要因は区別できないようである。
- (2) 環境要因データを用いたクラスター分析により、水域分類がある程度可能である。
- (3) 重回帰分析あるいは数量化Ⅰ類による解析では、今回の場合、腐食現象の変動のほぼ40％程度の説明ができた。
- (4) 判別分析あるいは数量化Ⅱ類による解析での集中腐食の有無の判別は、適中率約60～70％程度と比較的良好に判別できることが分かった。
- (5) 今回の場合、数量化理論を用いて質的データを追加することによってモデルの説明力は若干であるが向上した。

表-3 因子分析による解析結果

ケース	主成分	腐食速度		腐食量	
		促進	抑制	促進	抑制
コーピング下端高下平均	塩分 ・イガイ	・コーピング下端高 ・海底面高		不明	不明
コーピング下端高下最大	同上	同上		不明	不明
A.P. > 0.5mでの平均	・コーピング下端高 ・海底面高	塩分 ・イガイ	・コーピング下端高 ・海底面高	・イガイ	
A.P. > 0.5mでの最大	同上	同上	同上	塩分 ・イガイ	
A.P. ≤ 0.5mでの平均	塩分 ・イガイ	・コーピング下端高 ・海底面高 ・水温・フツブ	・塩分 ・イガイ	・コーピング下端高 ・海底面高 ・水温・フツブ	
A.P. ≤ 0.5mでの最大	同上	同上	同上	同上	

表-4 重回帰分析による解析結果

目的変数	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	資源係数 (R)	F 値
A.P. 30L 30D の平均食料速度 (デューン=25) (夏年=25)	7 (+)	5 (+)	6 (-)	2 (-)	4 (-)	3 (+)		0.607	1.764
A.P. 30L 30D の最大食料速度 (デューン=25) (夏年=25)	4 (+)	7 (+)	5 (-)	2 (-)	6 (+)	3 (+)		0.729	2.261
A.P. 30L 30D の 平均食料速度 (デューン=75)	4 (+)	4 (+)	8 (+)	6 (-)	4 (+)	2 (-)		0.534	3.988
A.P. 50L 30D の 最大食料速度 (デューン=25)	5 (+)	3 (-)	4 (-)	6 (+)	1 (-)	7 (+)		0.448	1.972
A.P. 50L 30D の 平均食料速度 (デューン=75)	5 (+)	8 (+)	4 (-)	6 (+)	2 (+)	1 (-)		0.554	2.508