

実測データによる補修杭の混ざる港湾鋼構造物への 劣化度評価手法適用の妥当性の検討

防食・補修工法研究会 ○柏木達夫
横浜港埠頭株式会社 技術部 施設課 長津安洋

1. はじめに

筆者は昨年開催された第 36 回防錆防食技術発表大会に於いて『実測データによる港湾鋼構造物全体の劣化度評価方法の妥当性の検討』との演題で発表を行った。鋼管杭の劣化度実測データを提案している理論式に適用し、維持管理調査を実施する際の鋼管杭の調査本数を決定する理論算定式の妥当性を示した。また、フィールドに於ける実劣化度と理論的に抽出した杭から導出される推定劣化度の間にも良い相関性があることも示した。

その際、防食工法の竣工後に一度も補修が施されていない事例は少なく、港湾施設を構成する鋼管杭には多くの場合、経年変化などに伴う劣化により補修されたものが混ざる場合が多いと付言した。そして、可能であれば補修杭の混ざる施設の劣化度実測データを手し、発表した理論的劣化度評価手法がそのような環境条件に対しても適用可能なものであるか否かについて検討を加えたい旨コメントした。

幸いなことに、多くの岸壁施設を実際に管理している横浜港埠頭株式会社と共同で研究をすることとなり、鋼管杭の劣化度実測データによる解析が可能となった。そこで、劣化度実測データを理論式に適用し、種々の解析を実施した結果、補修杭の混ざる環境においても理論式の適用が可能であるとするに十分な相関性を得ることが出来た。因って、この検討内容に関する詳細を以下に報告するものである。

2. 事前検討

2. 1 調査対象岸壁施設

調査対象である 287 本の鋼管杭から成る岸壁施設は、1975 年にモルタル被覆工法にて防食され竣工したが、経年劣化などから 2007 年に、そのうちの 55 本にペトロラタム被覆工法による防食補修を行った。施設の現在の概要を図 1 に示す。

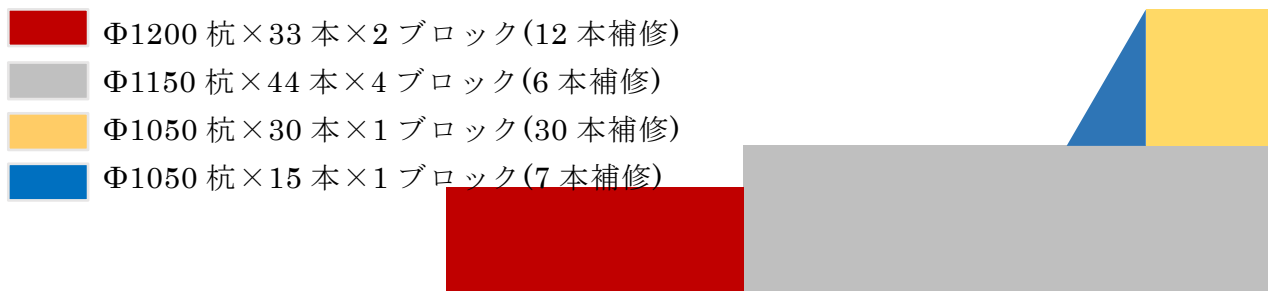


図 1 調査対象岸壁施設の現状 (平面図)

2. 2 防食工のグレードと評価点

港湾鋼構造物に適用されている防食工の劣化度は、長年に渡り培われた経験等に基づき通常4ランクのグレードに分類され評価されている。

解析に必要な評価点の決定に当り、自然界の統計量の殆どは正規分布に従うことを考慮し、グレードに応じた正規分布の占有面積比の逆数を防食工の劣化度評価点比とすることにより最終的な評価点を決定した。その結果を表1に示す。

表1 防食工のグレードに応じた劣化度の専有面積と評価点の関係

グレード	劣化度	専有面積 (%)	専有面積比	評価点比	評価点
d	防食性能の低下なし、変状無し	60	12	1.00	10
c	防食性能の低下なし、変状発生	25	5	0.42	4
b	防食性能が低下	10	2	0.17	2
a	防食性能が著しく低下	5	1	0.08	1

2. 3 総合平均評価点に応じた序列と対策

等比的な値である評価点を用い計算した総合平均評価点の分布が、等比的であることを考慮し、それらの総合平均評価点を等比的に分配した評価点で区分けすることにより各々の序列を決定した。

尚、対策の重要性を考慮すると、最悪の序列AはA1およびA2の2種類に分けて設定せざるを得ず、表2に示す様な対策とした。

表2 総合平均評価点に応じた序列と対策の関係

総合平均評価点	序列	対策
8 ≧	D	不要
6 ≧ < 8	C	暫く検査継続
3 ≧ < 6	B	部分補修
1.5 ≧ < 3	A1	全面補修、部分取換
1 ≧ < 1.5	A2	全面取換

2. 4 調査施設のグレード分布

調査施設に於けるグレード毎の実杭本数と理論杭本数の分布結果を表3に示す。

表3 実杭と理論杭本数のグレード分布

グレード	ペトロラタム補修を含まず		ペトロラタム補修を含む	
	理論杭本数	実杭本数	理論杭本数	実杭本数
d	139	139	172	194
c	58	72	72	72
b	23	12	29	12
a	12	9	14	9

2. 5 適合度検定とその結果

グレード分布結果の解析を行うには、このグレード分布が、提案している理論式のグレード分布に沿うものであることを確認する必要がある。一般的に、この種の適合度を検定するに際しては、統計学の χ^2 分布が広く適用されている。

χ^2 分布は自由度に応じて関数の分布が図2の様に異なるが、本事例のグレードは4種類のため、その自由度は3となる。尚、適合度計算には $\chi^2 = \sum \frac{(\text{観測値} - \text{予測値})^2}{\text{予測値}}$ が用いられている。例えば、信頼度95%で確かめたい場合には、図3に示す χ^2 分布表の赤丸境界値の7.81を基準として適合するか不適合かの判定を下す。表4に示す本事例の検定結果から両者とも理論分布に適合していない事が分かる。

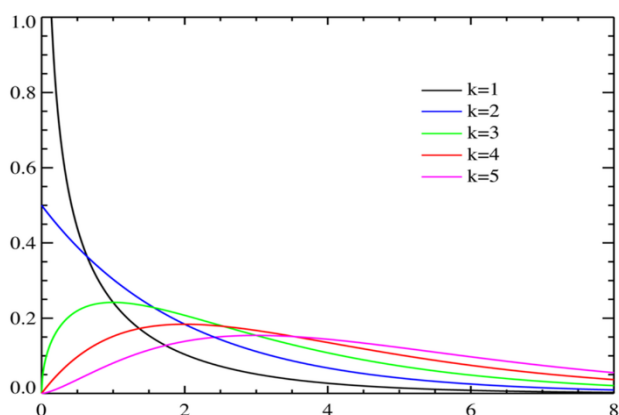


図2 χ^2 分布グラフ

	有意確率													
df	0.99	0.98	0.95	0.9	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.15	0.46	1.07	1.64	2.71	3.84	5.41	6.63	10.83
2	0.02	0.04	0.10	0.21	0.45	0.71	1.39	2.41	3.22	4.61	5.99	7.82	9.21	13.82
3	0.11	0.18	0.35	0.58	1.01	1.42	2.37	3.66	4.64	6.25	7.81	9.84	11.34	16.27
4	0.30	0.43	0.71	1.06	1.65	2.19	3.36	4.88	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28	18.47
5	0.55	0.75	1.15	1.61	2.34	3.00	4.35	6.06	7.29	9.24	11.07	13.39	15.09	20.52
6	0.87	1.13	1.64	2.20	3.07	3.83	5.35	7.23	8.56	10.64	12.59	15.03	16.81	22.46
7	1.24	1.56	2.17	2.83	3.82	4.67	6.35	8.38	9.80	12.02	14.07	16.62	18.48	24.32
8	1.65	2.03	2.73	3.49	4.59	5.53	7.34	9.52	11.03	13.36	15.51	18.17	20.09	26.12
9	2.09	2.53	3.33	4.17	5.38	6.39	8.34	10.66	12.24	14.68	16.92	19.68	21.67	27.88
10	2.56	3.06	3.94	4.87	6.18	7.27	9.34	11.78	13.44	15.99	18.31	21.16	23.21	29.59

図3 χ^2 分布表

表4 適合度検定結果

ケース	有意水準 5%値	計算値
ペトラタム補修を含まず	7.81	9.39
ペトラタム補修を含む		14.56

2. 6 問題点の解決

そこで、劣化度の従来基準によるグレード分布を現実に沿う様に見直し、表5に示す新たな劣化度分類を構築し、適合度の検定を行った。新たな分類に基づく実杭本数と理論杭本数のグレード分布を表6に、そして新たな適合度検定の実施により両者とも理論分布に適合していることを表7に示す。

表5 新たな劣化度分類

グレード	劣化度	
	従来基準	今回適用基準
d	異常なし	異常なし
c	損傷面積 < 5%	ファスナー又は袋のみ損傷
b	5% ≤ 損傷面積	モルタルに損傷が見られる
a	10% ≤ 損傷面積	10% ≤ 損傷面積

表 6 新たな実杭と理論杭本数のグレード分布

グレード	ペトロラタム補修を含まず		ペトロラタム補修を含む	
	理論杭本数	実杭本数	理論杭本数	実杭本数
d	139	132	172	187
c	58	55	72	55
b	23	31	29	31
a	12	14	14	14

表 7 新たな適合度検定結果

ケース	有意水準 5%値	計算値
ペトロラタム補修を含まず	7.81	3.62
ペトロラタム補修を含む		5.46

3. 解析結果

3. 1 抽出本数

200 本以上ある鋼管杭から抽出本数を選定するに当たり、以下の様な仮定条件に基づき作成した抽出本数算定式を適用した。

- ・調査対象杭の総本数を N 本
- ・グレード a の劣化度の占有率を P%
- ・グレード a の劣化度が少なくとも 1 本含まれる確率を R%
- ・調査対象杭の最小限の抽出本数を T 本
- ・グレード a の劣化度が 1 本も含まれない確率 $1 - R/100$

$$T \geq \left(\left(1 - \frac{P}{100} \right) N + 1 \right) \left(1 - \sqrt[PN/100]{1 - R/100} \right)$$

ペトロラタム補修杭を含まない場合と含む場合に分けて求めた結果を表 8 に示す。

表 8 劣化度 a の占有率と抽出本数

N(本) 総本数	P (%) a の占有率	R (%) a を最低限 1 本含む確率	T(本) 最小抽出本数
232	5	60	17
		80	29
		90	40
287		60	17
		80	30
		90	41

3. 2 抽出方法

29 本と 30 本の鋼管杭を抽出するに当り作為的な抽出は極力避けねばならない。このため、統計学では最上の方法とされている表 9 に示す乱数表を使い、抽出を行った。乱数表による抽出法には、①単純無作為抽出法、②系統抽出法(等間隔抽出法)の 2 種類があり、その違いを確認するため両手法を適用して解析を実施した。

表 9 乱数表の一部(日本工業規格(JIS) Z9031 : 2001)

93	90	60	02	17	25	89	42	27	41	64	45	08	02	70	42	49	41	55	98	34	19	39	65	54	32	14
02	06	84	43	65	97	97	65	05	40	55	65	06	27	88	28	07	16	05	18	96	81	69	53	34	79	84
83	44	07	12	00	38	95	16	61	89	77	47	14	14	40	87	12	40	15	18	54	89	72	88	59	67	50
45	95	10	48	25	29	74	63	48	44	06	18	67	19	90	52	44	05	85	11	72	79	70	41	08	85	77
03	32	46	28	83	22	48	61	93	19	98	60	19	31	85	29	48	89	59	53	99	46	72	29	49	06	58
65	69	06	87	09	14	58	90	27	73	67	17	08	43	78	71	32	21	97	02	25	27	22	81	74	28	04

3. 3 全鋼管杭のナンバリング

表 10 に示す様に、ブロック 1 の 1 行 A 列を 1 とし、順次ナンバリングを行い、全鋼管杭のナンバーを決定した。

表 10 鋼管杭のナンバリング(ブロック 1 の例)

列 行	バース・ブロック										
	1										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
4	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209
3	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
2	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

3. 4 全鋼管杭の評価点分類

抽出鋼管杭のグレードに応じた評価点を明確にするため、表 11 に示す様に 287 本全ての鋼管杭の評価点を分類した。

表 11 全鋼管杭の評価点分類

評価点	鋼管杭ナンバー
10	5 6 10 11 12 13 14 15 16 17 18 評価点 1,2 および 4 以外の全て
4	2 8 20 22 23 24 27 31 35 36 37 38 39 40 41 42 44 47 58 61 82 101 105 120 121 124 153 161 164 171 173 176 177 178 180 184 187 188 193 194 198 199 221 223 228 231 233 234 237 238 240 241 251 279
2	4 7 9 25 26 29 30 32 33 46 72 100 115 117 123 126 151 157 159 162 163 179 181 182 195 196 197 201 204 216 287
1	1 3 28 34 102 103 138 155 156 252 253 260 261 270

3. 5 系統抽出・単純無作為抽出による検討・解析結果

補修杭を含まずに解析した結果を踏まえ、補修杭も加えた場合の解析を系統・単純無作為抽出法により 287 本の鋼管杭から 30 本ずつ抽出する作業を 10 回繰り返し、各々のケースの相乗平均値から序列判定を行った。結果の一部を表 12 に示した。また、これらのデータから得られる総合序列判定結果に関しては表 13 に整理した。

表 1 2 系統抽出結果の一部

評価点	ケース				10 ケースの 総計・平均
	1	2	9	10	
10	20	20	14	21	197
4	7	4	8	5	58
2	2	2	4	3	32
1	1	4	4	1	13
相乗平均値	6.72	5.85	4.65	6.77	6.39
序 列	C	B	B	C	C
	2	272	153	136	
	11	281	162	145	
	20	3	171	154	
	29	12	180	163	

表 1 3 抽出法と総合序列判定結果

抽出法	実測値		系統抽出		単純無作為抽出	
	個数	割合(%)	個数	割合(%)	個数	割合(%)
A2	0	0	0	0	0	0
A1	0	0	0	0	0	0
B	4	50	3	30	6	60
C	2	25	6	60	4	40
D	2	25	1	10	0	0
総合判定	C		C		B	

3. 6 検討・解析結果のまとめ

補修杭の混ざる岸壁施設に於ける鋼管杭の劣化度実測データに、提案している劣化度評価総合判定手法を適用して解析を行った結果、

- ①劣化度実測データを用い、補修杭を分離せずに解析した場合と分離して解析した場合のどちらでも、現地調査から導出された劣化度判定結果に良く適合する事が判明した
- ②施設の経年変化に応じた補修杭の混ざる港湾鋼構造物の劣化度評価を行う場合、補修杭と既設杭を分離せずに劣化度評価総合判定手法を適用できることが判明した

4. まとめ

調査対象岸壁施設の劣化度実測データに、提案している理論解析手法を適用した結果、補修杭の混ざる施設に対しても、調査時に於ける鋼管杭の抽出本数を決定する理論算定式と劣化度評価総合判定手法を適用できることが判明した。

しかし、今回の結果はある特定の一環境に於けるものに過ぎず、今後も種々の条件に於ける劣化度実測データに検討を加え、解析を行うことにより本手法をより確度の高い信頼性のおけるものとして行く所存である。