

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

防食・補修工法研究会 柏木達夫

1. はじめに

筆者は昨年開催された第 35 回防錆防食技術発表大会に於いて『防食工の劣化度による港湾鋼構造物全体の評価に関する一考察』と言う演題で発表を行った。その際、統計学で使用されている確率の概念を適用し、過去の経験に裏打ちされた信頼度の高い算定条件を仮定する事により、劣化度調査対象として数多ある鋼管杭から、調査に必要とされる最小限度の杭本数を決定する抽出本数算定式を導出するとともに理論式として提案した。

更に、劣化度を統計的に数量化するため、そのグレード毎に等比的な評価点を与えたデータ値の相乗平均値(評価点の等比性から相加平均値でなく、相乗平均値を適用)を算定し、これらの平均値に基づき算定した総合平均評価点の序列化を行った。最終的にはその序列に応じた対策案まで提示し、フィールドで計測した実測値に本手法を適用し、理論値と実測値の相関性を把握できる日が一日でも早く来ることを期待するという形で締め括った。

今般、幸いにも実測データを理論式に適用する機会に恵まれ、昨年提案した港湾鋼構造物全体の劣化度評価方法の妥当性について考察を行った。その結果、抽出本数算定理論式に基づき決定した調査杭の抽出本数の妥当性および総合平均評価点から算定したフィールドに於ける実劣化度とサンプリング杭から導出される理論推定劣化度との間に良い相関性を得る事が出来た。因って、この検討内容に関する詳細を以下に報告する。

2. 検討方法

2. 1 防食工のグレードと劣化度合

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、その劣化度合は表 1 に示す様に決められている。

表 1 防食工のグレードと劣化度合

グレード	劣化度合
d	防食性能の低下なし、変状無し
c	防食性能の低下なし、変状発生
b	防食性能が低下
a	防食性能が著しく低下

2. 2 抽出本数算定式

数多ある鋼管杭からの抽出本数算定式を導出するに当たり、諸先達により長年に渡り営々と積み上げられた種々のデータ値に基づき、以下の様な仮定条件を設定した。

- ・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 $1 - R/100$

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

そこで今、調査対象施設 A が 200 本の鋼管杭から成り立つものとし、P と R の値を仮定し計算すると、求める T は表 2 に示す様になる。

表 2 占有率 P と抽出本数 T の関係

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
200	5	10	3
		30	7
		50	13
		60	17
		80	29
		90	40

2. 3 劣化度の専有面積と評価点

評価点の決定に当り、自然界の殆どの統計量は正規分布に従うという事実を考慮し、正規分布の占有面積比の逆数を防食工の劣化度合に応じた評価点比とすることにより評価点を決定した。その結果を表 3 に示す。

表 3 劣化度の専有面積と評価点の関係

グレード	専有範囲	専有面積 (%)	専有面積比	評価点比	評価点
d	$\mu - 0.85\sigma \leq \leq \mu + 0.85\sigma$	60	12	1.00	10
c	$-1.45\sigma + 0.85\sigma \leq \leq 1.45\sigma - 0.85\sigma$	25	5	0.42	4
b	$-1.96\sigma + 1.45\sigma \leq \leq 1.96\sigma - 1.45\sigma$	10	2	0.17	2
a	$-\infty + 1.96\sigma \leq \leq \infty - 1.96\sigma$	5	1	0.08	1

2. 4 総合平均評価点に応じた序列と対策の関係

等比的な値である評価点を用い計算した平均値に基づく総合平均評価点の分布が等比的である事を考慮し、それらの総合平均評価点を等比的に分配した評価点で分けする事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 4 に示す様な対策とした。

表 4 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
$8 \geq$	D	不要
$6 \geq < 8$	C	暫く検査継続
$3 \geq < 6$	B	部分補修
$1.5 \geq < 3$	A1	全面補修、部分取換
$1 \geq < 1.5$	A2	全面取換

3. 検討・解析作業の流れ

実測データの検討・解析は以下に記述する順番で実施した。

- ①実測データの劣化度合に応じたランキング分類
- ②調査バースの鋼管杭のナンバリング
- ③全鋼管杭の評価点の分類
- ④乱数表を使い評価対象杭を抽出
- ⑤抽出鋼管杭を評価点により序列化

3. 1 調査バースの概要

図 1 に示す様にバースは 1 ブロック 20 本の鋼管杭で形成され、10 ブロックの床版から成る。即ち、鋼管杭の総数は 200 本である。尚、防食工はモルタルライニングである。図 2 には一例として①、②、⑨及び⑩ブロックの杭各々の実測劣化度データを示す。

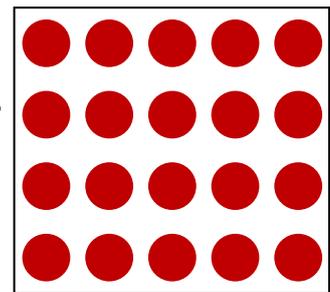
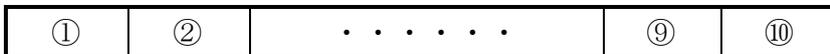


図 1 バース概要と杭本数

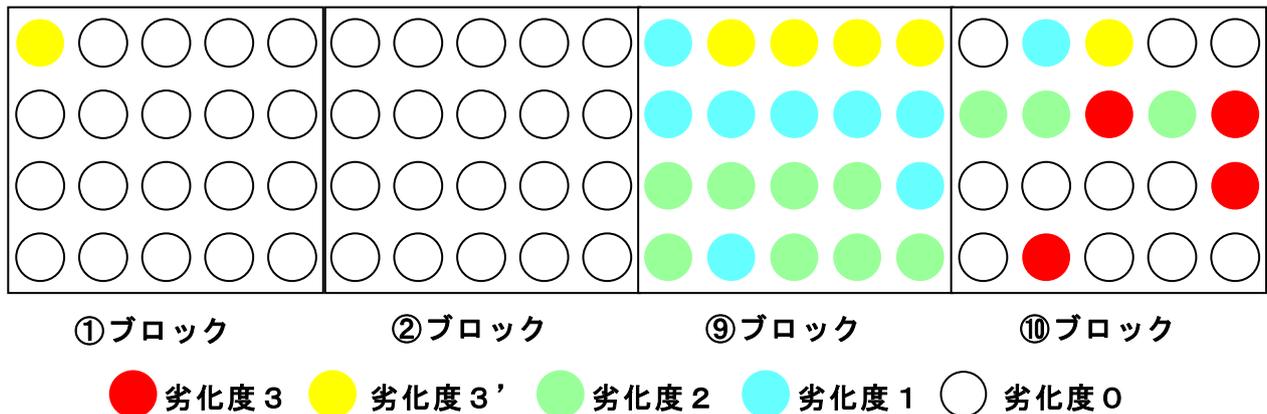


図 2 4 ブロック鋼管杭の実測劣化度

3. 2 実測データ劣化度合のランキング分類

上述した様に実測データの劣化度は 0~3 の 5 グレードで評価されているが、理論検討では 4 グレードである。そこで、劣化度とランキングを対応させる際に考えられる 4 種類の組み合わせ各々について検討した結果、理論検討時の条件にほぼ近い表 5 に示す様な組み合わせケースで検討・解析を加える事にした。

表 5 実測データと理論値によるランキング分類

実測データによる分類				理論値による分類		
劣化度	ランキング	杭本数	割合 (%)	ランキング	杭本数	割合 (%)
0	d	127	63.5	d	120	60
1	c	51	25.5	c	50	25
2						
3'	b	13	6.5	b	20	10
3	a	9	4.5	a	10	5
杭総本数		200			200	

3. 3 実測データによる序列算定結果

200 個の実測データをグレードに応じた評価点に分類し、10 個のブロック各々の相乗平均値を算定し、その値に基づき序列の判定を行った。また、これらのブロック全てを加算し、バースの総合序列を決定した。この算定により本バースの序列は C と最終的に判定された。この結論に至る相乗平均値および序列判定結果の詳細を表 6 に示した。

表 6 実測データによる序列算定結果

ブロック No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	バース
グレード	評価点	個 数										
d	10	19	20	12	16	19	13	9	10	0	9	127
c	4	0	0	2	4	1	6	8	10	16	4	51
b	2	1	0	3	0	0	1	3	0	4	1	13
a	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	6	9
相乗平均値		9.2	10	5.1	8.3	9.6	7.0	5.4	6.3	3.5	3.9	6.4
序 列		D	D	B	D	D	C	B	C	B	B	C

3. 4 調査鋼管杭の抽出方法

実測データを使い解析を実施するに当り、200 本の鋼管杭から 29 本抽出すれば良いが、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。尚、乱数表は表 7 に示す日本工業規格(JIS) Z9031 : 2001 の付表を使用した。

表 7 乱数表の一部

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

4. 検討・解析結果

4. 1 鋼管杭のナンバリング1および2

表8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、ブロック10の4行E列を200とした。これに加え、ナンバリングの無作為性を確認するため、全く逆に、ブロック10の4行E列を1とし、順次ナンバリングを行い、ブロック1の1行A列を200と逆転させたものも解析した。各々の呼び名をナンバリング1と2とした。

表8 鋼管杭のナンバリング1

列	バース・ブロック														
	1					2	3	～	8	9	10				
行	A	B	C	D	E						A	B	C	D	E
4	151	152	153	154	155	.....					196	197	198	199	200
3	101	102	103	104	105	.....					146	147	148	149	150
2	51	52	53	54	55	.....					96	97	98	99	100
1	1	2	3	4	5	.....					46	47	48	49	50

4. 2 全鋼管杭の評価点分類

抽出鋼管杭の劣化度に応じた評価点を明確にするため、200本全ての鋼管杭の評価点を分類した結果を表9に示す。

表9 全鋼管杭の評価点分類

評価点	鋼管杭ナンバー
10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 16 17 18 20 21 22 23 24 25 27 28 30 34 37 39 40 46 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 66 67 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 87 90 96 98 99 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 113 114 116 117 118 119 120 121 122 123 124 127 128 130 134 137 138 140 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 166 167 170 171 172 173 174 175 177 178 180 184 185 186 190 199 200
4	15 19 26 31 33 35 36 38 41 42 43 44 45 68 77 86 88 89 91 92 93 94 95 112 125 126 129 131 133 136 139 141 142 143 144 145 146 147 149 168 169 176 179 181 182 183 187 188 191 196
2	12 29 32 65 115 132 135 151 192 193 194 195 198
1	47 97 100 148 150 163 164 165 197

4. 3 単純無作為抽出および系統抽出による検討・解析結果

単純無作為抽出法により200本の鋼管杭から29本ずつ抽出する事を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。全く同様な手法で系統抽出法による検討・解析も実施した。その結果の全てを示す事は、発表論文の許容枚数の関係から不可能なため、その一部を表10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に関しては表11に整理した。

表 10 ナンバリング 1 の単純無作為抽出結果の一部

評価点	ケース				10 ケースの 総計・平均
	1	2	9	10	
10	17	18	20	17	188
4	6	7	7	10	73
2	3	3	1	2	17
1	3	1	1	0	12
相乗平均値	5.52	6.27	7.00	6.52	6.57
序 列	B	C	C	C	C
	31	24	42	29	
	32	43	98	36	
	47	97	112	65	
	90	149	165	159	
	97	195	194	196	

表 11 抽出法と総合序列判定結果

	ナンバリング 1				ナンバリング 2			
	単純無作為抽出		系統抽出		単純無作為抽出		系統抽出	
	序列	個数	総合序列	個数	総合序列	個数	総合序列	個数	総合序列
A2	0	C	0	C	0	C	0	C
A1	0		0		0			
B	1		3		4		0	
C	9		7		6		10	
D	0		0		0		0	

4. 4 検討・解析結果のまとめ

これまで述べた検討・解析結果を以下にまとめて記述する。

- ①算定式に基づき 29 本の抽出を 10 回繰り返した結果、最悪劣化度が最小限 1 本含まれる確率は 90%と、理論検討時の仮定値 80%を上回り、本算定理論式の妥当性が示された
- ②単純無作為抽出法と系統抽出法により抽出した 29 本の評価点による検討・解析結果から本バースの総合序列は理論的に C と判定され、実測データによる総合序列判定値 C との良い相関性が示された

5. まとめ

防食工が施された鋼管杭の劣化度を把握する際に抽出本数を決める理論算定式の妥当性が示された。また、フィールドに於ける実劣化度と抽出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事が判明した。しかし、今回の結果は、ある特定環境に於けるものに過ぎず、今後より多くの環境に於ける実測データの検討・解析を行い、本理論をより確度の高い、信頼性の置けるものとして行く所存である。最後に実測データの提供と共に本研究に協力下さった横浜港埠頭(株)殿に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。