

栈橋鋼管の腐食部位に応じた水平耐力の強度特性に関する解析的研究

琉球大学大学院 学生会員 ○塚原雄介, 琉球大学 正会員 下里哲弘, 有住康則
電源開発(株) 正会員 鷲尾朝昭

1. 研究の背景と目的

一般的に港湾鋼構造物の減肉分布は図-1 の b, c 箇所のように、飛沫帯と干満帯の 2 カ所で腐食が激しいことが知られている。しかし、既往の研究¹⁾では、さらに RC 床版-鋼管杭境界部 (図-1 の a 位置) を含めた 3 ヶ所で減肉が激しいことが報告されている。そのため、栈橋構造等の海洋鋼構造物には飛沫帯や大気中に対してライニング防食を施すことがある。しかし、ライニング材内において腐食が発生することが懸念され、減肉分布も位置によって異なると考えられる。そのため、維持管理の観点から、腐食部位に応じて、効率的かつ確実に強度特性を明確にすることが重要である。

そこで本研究では、栈橋構造の鋼管杭を対象として、腐食の激しい RC 床版-鋼管境界部、飛沫部、干満部の 3 ヶ所に着目し、腐食部位に応じた水平耐力の強度特性について解析的に検討を行った。

2. 解析方法

2.1 解析モデル

既往の栈橋鋼管の水平耐力解析²⁾と十分良好な一致がみられる解析モデルを用いて、鋼管杭の残存水平耐力の検討を行った。

図-2 に解析モデル、図-3 に解析モデルを示す。解析対象の鋼管の寸法はφ1,500mm、高さは39.7mである。解析モデルは事前に行った栈橋構造モデルと等価な変形性状を示すことを確認できている鋼管杭1本のみのモデル(単杭モデル)とした。使用する要素は飛沫帯と海中部、海底土中部は Shell 要素とした Beam-Shell 混合モデルとした。また、海底土中部には既往研究²⁾を参考に地盤ばねを設定した。鋼管の要素分割は周方向に150分割、長手方向は上端から1.5m位置の範囲を30mmピッチ分割とした。解析には、汎用有限要素法解析プログラム MSC. Marc を使用して弾塑性解析を行った。RC床版-杭結合部は剛と仮定し、杭上端に剛体要素を作成した。拘束条件は杭上端の剛体要素上に回転拘束と水平方向の強制変位、上載荷重を作用させ、鋼管基部は完全拘束とした。また、鋼材の弾性係数、ポアソン比はそれぞれ $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ 、 $\nu = 0.3$ とした。構成則は降伏応力を $\sigma_y = 235 \text{ MPa}$ とする完全弾塑性体とした。

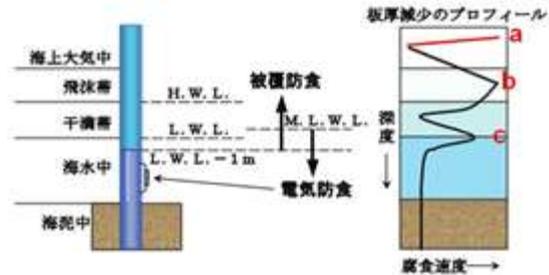


図-1 鋼管杭の減肉分布例

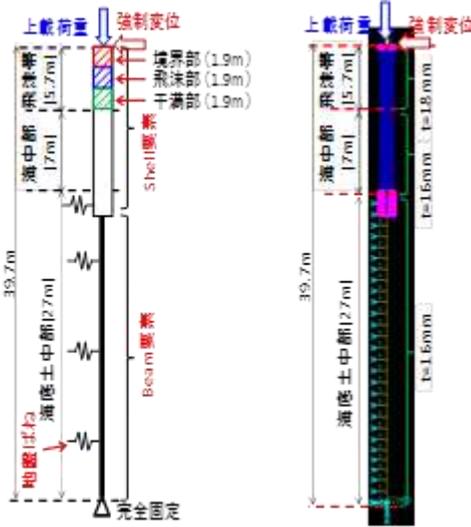


図-2 解析モデルの概要 図-3 解析モデル

表-1 解析パラメータ

No.	解析モデル	減肉箇所	軸力	残存板厚(mm)	φ	径厚比
a-1	健全			18.0		0.08
a-2	一様20%減肉	全面		20%減肉(14.4)		0.10
a-3	// 40%減肉		40%減肉(10.8)		0.13	
a-4	// 60%減肉		60%減肉(7.2)		0.20	
a-5	// 80%減肉		80%減肉(3.6)		0.40	
a-6	境界部20%減肉		境界部	有り	20%減肉(14.4)	
a-7	// 40%減肉	40%減肉(10.8)				0.13
a-8	// 60%減肉	60%減肉(7.2)				0.20
a-9	// 80%減肉	80%減肉(3.6)				0.40
a-10	飛沫部20%減肉	飛沫部	有り	20%減肉(14.4)		0.10
a-11	// 40%減肉			40%減肉(10.8)		0.13
a-12	// 60%減肉			60%減肉(7.2)		0.20
a-13	// 80%減肉			80%減肉(3.6)		0.40
a-14	干満部20%減肉	干満部	有り	20%減肉(14.4)		0.10
a-15	// 40%減肉			40%減肉(10.8)		0.13
a-16	// 60%減肉			60%減肉(7.2)		0.20
a-17	// 80%減肉			80%減肉(3.6)		0.40
n-1	健全			18.0		0.08
n-2	一様20%減肉	全面		20%減肉(14.4)	1,500	0.10
n-3	// 40%減肉		40%減肉(10.8)			0.13
n-4	// 60%減肉		60%減肉(7.2)			0.20
n-5	// 80%減肉		80%減肉(3.6)			0.40
n-6	境界部20%減肉		境界部	無し		20%減肉(14.4)
n-7	// 40%減肉	40%減肉(10.8)				0.13
n-8	// 60%減肉	60%減肉(7.2)				0.20
n-9	// 80%減肉	80%減肉(3.6)				0.40
n-10	飛沫部20%減肉	飛沫部	無し	20%減肉(14.4)	0.10	
n-11	// 40%減肉			40%減肉(10.8)		0.13
n-12	// 60%減肉			60%減肉(7.2)		0.20
n-13	// 80%減肉			80%減肉(3.6)		0.40
n-14	干満部20%減肉	干満部	無し	20%減肉(14.4)	0.10	
n-15	// 40%減肉			40%減肉(10.8)		0.13
n-16	// 60%減肉			60%減肉(7.2)		0.20
n-17	// 80%減肉			80%減肉(3.6)		0.40

※○内は残存板厚値

2.2 解析パラメータ

表-1に解析パラメータを示す。解析は図-2に示す境界部、飛沫部、干満部の3ヶ所の減肉とした。また、一様減肉は比較参照用とした。さらに、軸力の有無でそれぞれ解析を行うことで、上載荷重が水平耐力に与える影響についても検討を行った。

3. 腐食部位別の水平耐荷力特性

3.1 水平荷重-水平変位関係

図-4(a), (b)に水平荷重-水平変位関係を示す。図の破線は軸力有りモデル、実線は軸力無しモデルを示す。

(1) 軸力の有無による影響

図-4(a), (b)より、軸力の有無により最大耐力に差異がみられ、最大耐力後の変形性能にも差異がみられた。

(2) 減肉位置による影響

図-4(b)より、最大耐力は境界部減肉、飛沫部減肉、干満部減肉の順に低下しており、減肉位置がRC床版-杭結合部に近いほど、最大耐力が低下する結果となった。

3.2 変形性能・塑性化の拡がり

図-5に最大耐力時変形図及び塑性化の拡がり特性を示す。図より、部分減肉モデルは健全と比較して塑性域が異なり、変形モードの差異がみられた。また、図-5(d)の干満部では、減肉箇所、杭結合部の順に塑性化が生じており、健全よりも最大耐力が増加する結果となった。

3.3 径厚比-最大耐力関係

図-6に径厚比-最大耐力関係を示す。横軸は径厚比パラメータ R_t 、縦軸は最大耐力を健全の最大耐力で除して無次元化した値を示す。横軸の径厚比パラメータ R_t を以下に示す。

$$R_t = 1.65 \cdot \frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{r}{t} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 σ_y は降伏応力、 R_t は径厚比パラメータ、 r は鋼管の半径(中心から外径までの距離)、 E はヤング率、 t は板厚である。板厚 t は減肉部の板厚とした。図より、一様減肉と比較して部分減肉は安全側となる結果となった。最大耐力の低下は境界部減肉、飛沫部減肉、干満部減肉の順に大きい。

4. まとめ

本研究では、栈橋構造の鋼管杭を対象に、腐食部位に応じた水平耐力の強度特性について解析的に検討を行った。以下に本研究で得られた知見を示す。

- (1) 一様減肉と比較して部分減肉は安全側となる結果となった。また、最大耐力は境界部減肉、飛沫部減肉、干満部減肉の順に低下しており、減肉位置がRC床版-杭結合部に近いほど、最大耐力が低下する結果となった。
- (2) 部分減肉モデルは健全と比較して塑性域が異なり、変

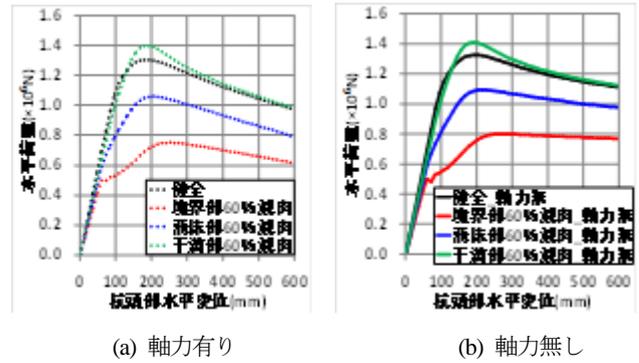


図-4 水平荷重-水平変位関係

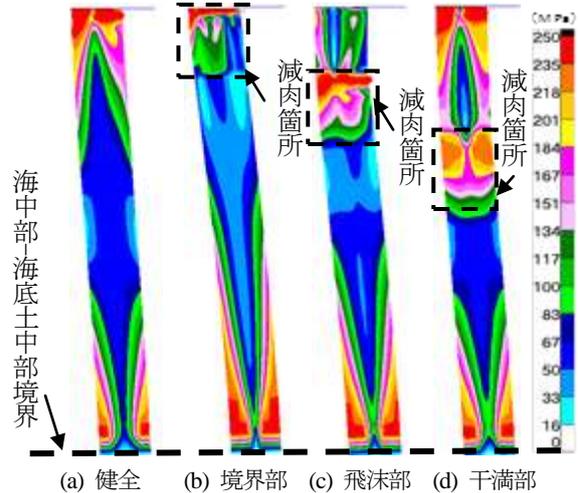


図-5 最大耐力時変形図及び塑性化の拡がり (軸力無し)

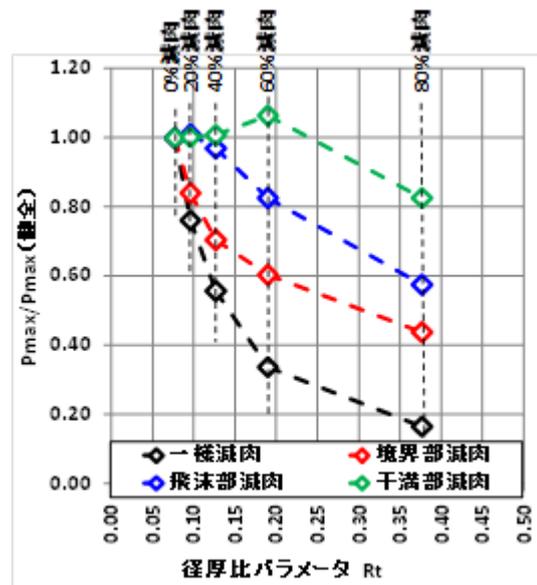


図-6 径厚比-最大耐力関係

形モードの差異がみられた。

参考文献

- 1) 下里, 有住ら: 海洋環境下で腐食した鋼管構造物における渦流計測法の適用性に関する研究, 土木学会第69回年次学術講演会講演概要集, Vol.67, I-619, 2014
- 2) 山根, 田中ら: 海洋鋼管構造物のLCC評価に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 第4号, 2006年