

腐食円形鋼管の残存圧縮耐力

広島大学 学生会員 ○近藤 恒樹
 広島大学大学院 正会員 藤井 堅
 名古屋大学大学院 フェロー 伊藤 義人

京都大学大学院 学生会員 田村 功
 京都大学大学院 フェロー 渡邊 英一
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

腐食は、鋼構造物の維持管理において重要課題の一つであるが、腐食鋼材の残存強度評価技術は未だ確立されていない。本研究では、約 19 年間海洋環境において曝露された腐食円形鋼管の腐食形態を調べ、さらに圧縮試験を行って、腐食円形鋼管の残存圧縮耐荷力を調べる。あわせて弾塑性有限変位解析を行い、腐食した円形鋼管の残存耐荷力評価式を提案する。

2. 腐食鋼管の表面形状計測

対象とした鋼管供試体は、直径約 400mm 初期の板厚 9mm 全長 1200mm のスパイラル鋼管で、飛沫帯、干満帯、海中部に対応する位置から採取した合計 6 体である。鋼種は STK50 及び STK41 である。腐食表面の形状は、座標値を直接計測できる 3 次元座標計測装置を用いて計測した。Fig.1 に STK50 鋼管 NO.1 (飛沫帯) の板厚等高線の展開図を示す。

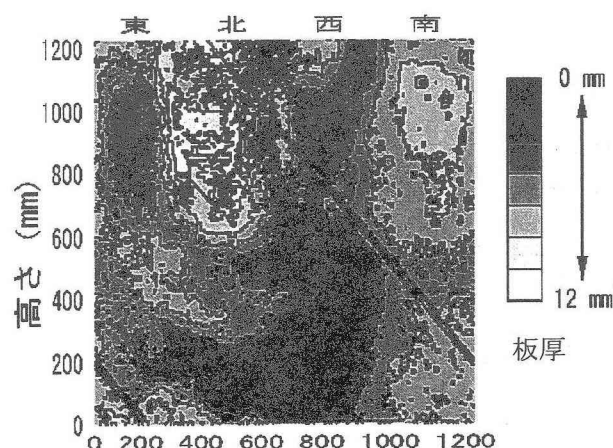


Fig.1 板厚等高線

腐食損傷は、飛沫帯で最も激しく、次いで干満帯、海中部の順である。また部位により腐食形状は異なり、図に示すように、局部的に腐食損傷が激しい現象が見られる。

3. 腐食鋼管の圧縮試験

水平載荷型強度試験機により軸圧縮試験を行って、腐食鋼管の耐荷性状を調べた。荷重を測定するためにロードセルを 3 台設置し、ロードセルの荷重が均等に

なるように調整し、平押しの境界条件で実験を行った。Fig.2 に実験風景、Table.1 に実験結果を、Fig.3 に荷重変位曲線を示す。

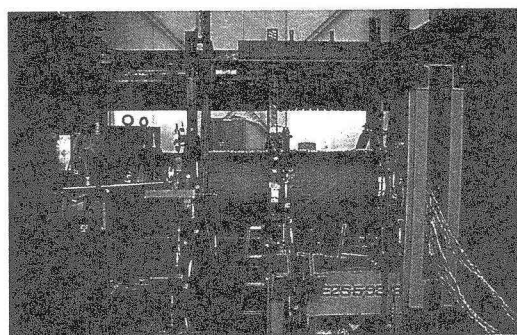


Fig.2 実験風景

Table.1 計測および実験結果

鋼種	曝露環境	試験体	平均板厚 (mm)	平均腐食量 (mm)	標準偏差 (mm)	最大荷重 (KN)
STK50	飛沫帯	NO.1	5.48	3.60	2.41	868
	干満帯	NO.2	7.35	1.70	1.39	2489
	海中部	NO.3	7.75	1.29	1.02	3680
	海中部	NO.4	7.99	1.06	0.94	3829
STK41	飛沫帯	NO.5	5.11	3.91	1.69	893
	海中部	NO.6	7.89	1.15	0.83	3790

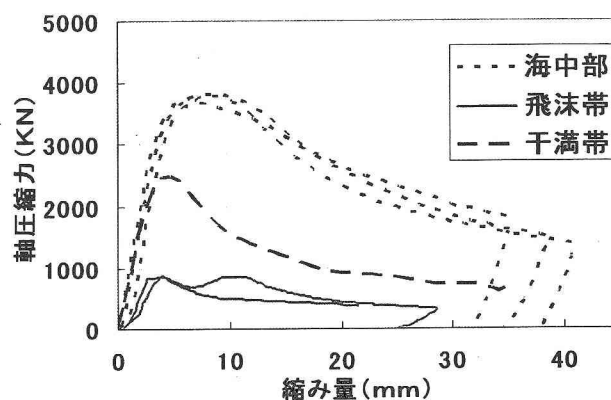


Fig.3 荷重変位曲線

腐食鋼管の残存耐荷力は、腐食損傷が激しい飛沫帯で最も低く、次いで干満帯、海中部の順であった。局部的に腐食が著しい場合、残存耐荷力は大きく低下することがわかった。

4. 腐食円形鋼管の圧縮強度解析

腐食表面計測により得られた座標値と板厚を用いて弾塑性有限変位解析を行った。4 節点アイソパラメトリ

ックシェル要素を用い、要素幅は 8mm×8mm とした。Fig.4, Fig.5 に実験値と解析値を比較して示す。各鋼管とも、解析結果は実験結果と良く類似していることがわかる。このように表面計測結果を解析に反映させれば、精度の良い耐荷力解析が可能となる。

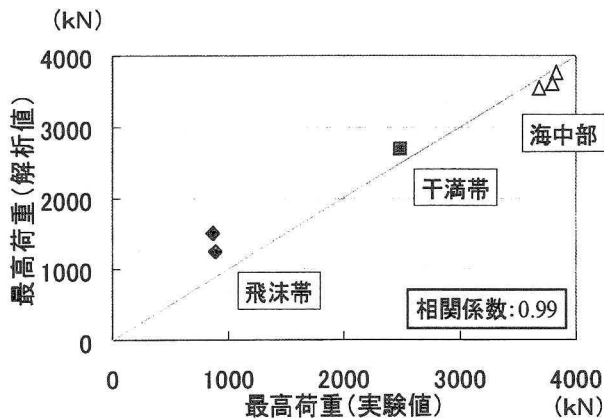


Fig.4 実験値-解析値の相関図

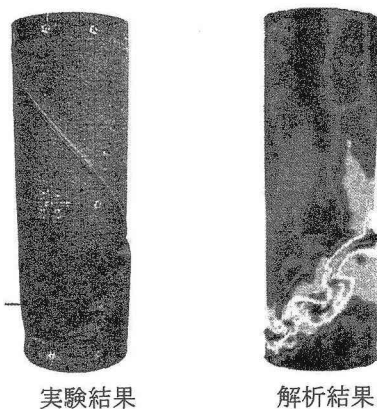


Fig.5 実験-解析変形結果

5. 残存強度評価法

腐食の無い鋼管の座屈強度評価式 (Plantema) を用いて、腐食鋼管の圧縮耐荷力を評価する。横軸は径厚比パラメータ Rt 、縦軸は圧縮強度比 σ_u/σ_y で

$$R_t = 1.65 \times (2R/t_R) \times (\sigma_y/E)$$

$$\sigma_u/\sigma_y = \frac{P_u}{2\pi R t_R \sigma_y}$$

で表される。ここに t_R は代表板厚、 E は弾性係数、 σ_y は降伏応力、 R は半径、 P_u は圧縮耐荷力である。代表板厚に $t_R = t_{ave}^* - 0.6s^*$ (t_{ave}^* : 最小断面平均板厚、 s^* : 最小断面の板厚の標準偏差) を用いて、残存耐力を示すと Fig.6 のようになる。また、Fig.6 には円筒シェルの座屈波形の長さは $3\sqrt{\text{半径} \times \text{板厚}}$ 区間幅で発生するとされていることから、代表板厚として $t_R = t_{ave}^{**} - 0.8s^{**}$ (t_{ave}^{**} :

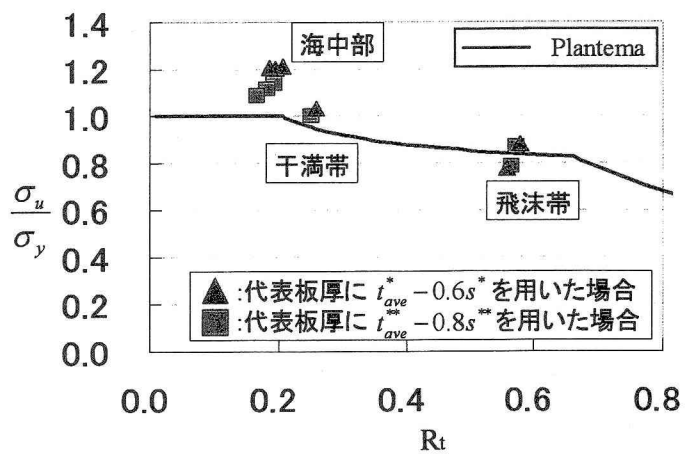


Fig.6 座屈強度曲線

最小断面を中心とした $3\sqrt{Rt_{ave}^{**}}$ 区間幅の平均板厚、 s^{**} は

その区間の板厚の標準偏差) を用いて整理した結果もあわせて示す。

代表板厚に $t_R = t_{ave}^* - 0.6s^*$ を用いると相関係数は 0.91 となり、 $t_R = t_{ave}^{**} - 0.8s^{**}$ を用いると相関係数は 0.93 となり両者とも良い相関が得られ、特に後者の方がより精度の良い結果が得られた。

6. 結論

腐食損傷は飛沫帯で最も激しく、次いで干満帯、海中部の順である。残存耐荷力は腐食損傷が激しいほど、残存耐力は低くなることがわかった。

腐食鋼管の圧縮強度評価は、代表板厚として最小断面平均板厚を標準偏差で補正した $t_{ave}^* - 0.6s^*$ や、象脚形の座屈波形の長さ $3\sqrt{\text{半径} \times \text{板厚}}$ の区間を考慮した代表板厚、 $3\sqrt{Rt_{ave}^{**}}$ 区間の平均板厚を標準偏差で補正した $t_{ave}^{**} - 0.8s^{**}$ を適用すれば Plantema の圧縮耐荷力評価式を用いて、残存耐力を簡易的に求めることができる。

謝辞

本研究は、土木学会構造工学委員会 沿岸環境における鋼・複合構造物の防食及び耐久性性能評価に関する研究小委員会(委員長: 渡邊英一教授)活動の一部として実施されたものである。供試体作成等については、(社)日本鉄鋼連盟の多大な御協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

田村功, 渡邊英一, 他: 腐食損傷を有する海洋鋼構造物の耐荷力とライフサイクルコストに関する一検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 I 部 No. 58, pp. 957-958, 2003