

第 I 部門

経年水圧鉄管の腐食形状測定とその評価

京都大学工学部

学生員 ○西田瑛太郎

関西電力(株) 土木建築室 正会員

片岡幸毅

京都大学大学院工学研究科

正会員 宇都宮智昭

関西電力(株) 土木建築室 正会員

梅崎昌彦

関西電力(株) 土木建築室

木村哲也

1. はじめに

腐食は、疲労とともに鋼構造物の経年にもなう耐力劣化の支配的要因のひとつであり、経年した鋼構造物の維持管理においては、腐食状態の正確な把握と腐食にもなう残存耐力の的確な評価が必要となる。本研究では、経年水圧鉄管の腐食形状を精密に測定するとともに、腐食鋼板の残存耐力の評価指標としてよく用いられる有効板厚¹⁾を、計測された板厚データを反映させた解析モデルに対する弾塑性解析により算出した。また、同じ範囲を計測間隔 1mm と 5mm で形状計測し、そのデータを反映させた同解析を行い、計測間隔と解析結果の精度の関係についても考察した。

2. 経年水圧鉄管の形状測定

およそ 50 年間使用された水圧鉄管から 3 体の試験体 (No. 1 ~ No. 3) を切り出し、計測間隔 5mm で板厚計測を行った。試験体の全長はすべて 1,000mm とし、内径は設計値で 350mm である。いずれも塗膜除去後、ショットブラスト処理により母材を露出処理した。使用した計測装置・方法は、文献 2、3 と同様である。計測結果を図 - 1、表 - 1 に示す。尚、目視観察により、板厚減少は内面での腐食および磨耗を原因としている。

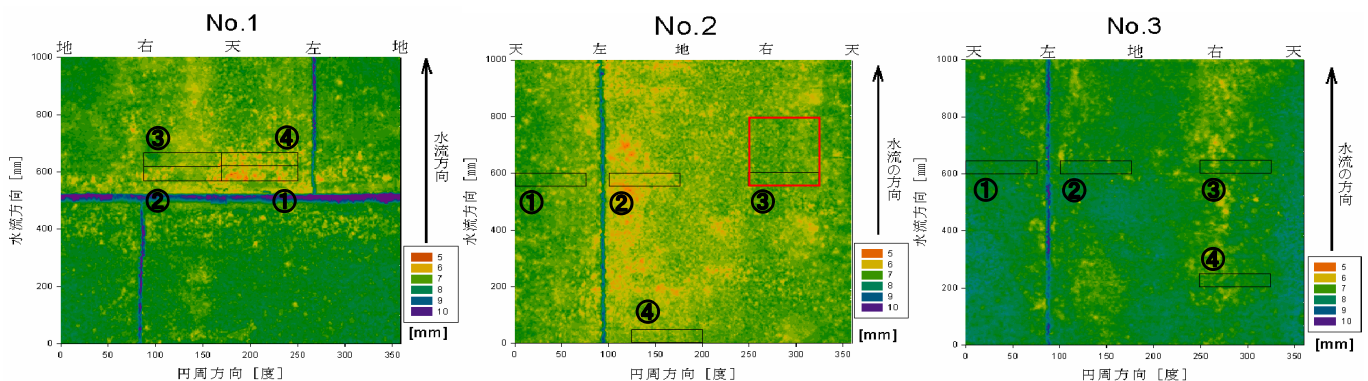


図 - 1 板厚分布図 (展開図)

試験体 No.1 は、中央部の円周継手部の下流側、特に天部で板厚減少が激しいことが分かる。中央部の円周継手部の上流側ではあまり腐食が進行しておらず、部位によって大きく腐食度が異なっているのが特徴的である。

試験体 No.2 は、平均板厚が 6.62mm となっており、3 本の試験体の中で最も腐食の度合いが大きい。全体的に腐食が進行しており、特に縦継手部付近で板厚減少が激しく、また天部よりも地部の方が板厚減少が進行しているのが特徴として現れている。

試験体 No.3 は、平均板厚が 7.34mm となっており、最も腐食の度合いが小さい。縦継手付近とその反対側で最も板厚減少が激しいことが分かる。これは試験体 No.1、試験体 No.2 と同様に継手部による影響が大きいと考えられる。

また一例として、図 2 より No.2 の板厚分布図の赤実線で囲った一辺 250mm の正方形部分の板厚のヒストグラムの分布形は正規分布 (赤実線) に近い形状となることが分かる。尚、黒実線は対数正規分布を表している。

表 - 1 形状計測データまとめ

	供用年数(年)	平均板厚(mm)	標準偏差(mm)
No.1	45	7.17	0.61
No.2	47or50	6.62	0.37
No.3	47or50	7.34	0.39

(注：溶接部を除く)

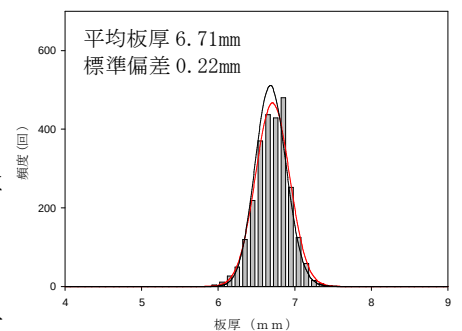


図 - 2 部分的な板厚分布の一例

3. 経年水圧鉄管の有効板厚評価

汎用有限要素解析ソフト「ABAQUS」(Ver.6.4)を用いて、形状計測により得た板厚データを反映した解析モデルを作成し引張試験の解析を行い、最大荷重時、降伏時でそれぞれ有効板厚を算出し評価する。尚、最大荷重時の有効板厚 t_{ef} 、降伏時の有効板厚 t_{es} をそれぞれ次式で定義する。

$$t_{ef} = \text{最大荷重} / \{(\text{試験片幅}) \times (\text{最大引張応力})\} \quad t_{es} = \text{降伏荷重} / \{(\text{試験片幅}) \times (\text{降伏時の引張応力})\}$$

また、有効板厚 t_{eff} は次式によって評価されることが多い。

$$t_{eff} = t_{ave} - \alpha \times \sigma \quad (t_{ave}: \text{平均板厚}, \sigma: \text{板厚の標準偏差}, \alpha: \text{係数})$$

算出した有効板厚の評価方法として、水圧鉄管においては $\alpha=2$ が用いられている事例があるため、この値と今回の最大荷重時及び降伏時の α を比べて考察する。

解析対象範囲は図-1の黒実線で囲った部分とし、この長手方向に引張荷重を与えた。解析モデルの要素分割例を図-3に示す。尚、No.1①～④の範囲については計測間隔1mmの計測で得た板厚データも用いて解析を行った。

材料特性に関しては別途行われた切り出し材に対する引張試験データを用いた。すなわち、鋼材はSS400とし、ヤング係数 $E=200\text{GPa}$ 、降伏応力 295MPa 、ポアソン比は0.3、破断ひずみは0.29とした。その真応力-真ひずみ曲線を図-4に示す。尚、塑性ひずみが0.29を超える要素が現れた時点を破断とし、この破断に至るまでの荷重の最大値を最大荷重とする。また、応力が 295MPa となる要素が現れた時点を降伏時とする。

全てのケースで、最大荷重時と降伏時の α の値

の間には大きな差異は認められない。一方、1mm

ピッチと5mmピッチそれぞれの結果には差異が

あり、5mmピッチでの計測ではまだ十分な精度

を有していないともいえる。しかし、例えば有

効板厚の算出を $\alpha=2$ を用いた上で上式を用いる

場合において、1mmピッチ計測の場合と5mmピ

ッチ計測の場合を比較すると、両者の標準偏差に

大きな差異はなく、有効板厚の算出を目的とする

時には、5mmピッチ計測で十分といえる。

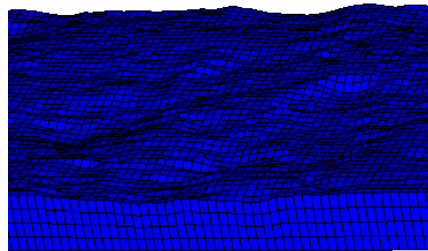


図-3 解析モデル一例

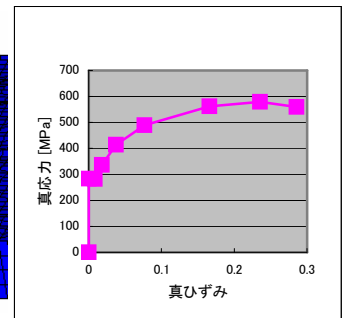


図-4 応力-ひずみ曲線

表-3 解析結果

表-2 解析対象範囲の詳細データ(単位: mm)

	試験片長	試験片幅	平均板厚	標準偏差	最小板厚	有効板厚($\alpha=2$)
No-1 ① (1mm)	253.45	50	6.25	0.46	4.57	5.33
① (5mm)	253.45	50	6.29	0.47	4.76	5.35
No-1 ② (1mm)	253.44	50	6.53	0.33	4.88	5.87
② (5mm)	253.44	50	6.57	0.34	4.91	5.89
No-1 ③ (1mm)	253.44	50	6.67	0.29	5.13	6.09
③ (5mm)	253.44	50	6.71	0.29	5.17	6.13
No-1 ④ (1mm)	253.45	50	6.40	0.37	5.03	5.66
④ (5mm)	253.45	50	6.42	0.38	5.42	5.66
No-2 ①	244.75	50	6.76	0.25	5.86	6.26
No-2 ②	245.17	50	6.13	0.39	4.75	5.35
No-2 ③	244.80	50	6.69	0.23	5.98	6.23
No-2 ④	244.88	50	6.57	0.21	5.92	6.15
No-3 ①	244.30	50	7.43	0.24	6.22	6.95
No-3 ②	244.38	50	7.31	0.30	5.98	6.71
No-3 ③	244.47	50	7.18	0.27	6.13	6.64
No-3 ④	244.45	50	7.20	0.26	6.28	6.68

	最大荷重(N)	有効板厚(mm)	α
No-1 ① (1mm)	135810	5.66	1.29
① (5mm)	141710	5.90	0.82
No-1 ② (1mm)	149150	6.21	0.96
② (5mm)	152080	6.34	0.69
No-1 ③ (1mm)	155280	6.47	0.69
③ (5mm)	157380	6.56	0.53
No-1 ④ (1mm)	143570	5.98	1.13
④ (5mm)	147460	6.14	0.73
No-2 ①	157730	6.57	0.75
No-2 ②	135370	5.64	1.26
No-2 ③	158240	6.59	0.42
No-2 ④	155670	6.49	0.40
No-3 ①	174450	7.27	0.67
No-3 ②	173050	7.21	0.33
No-3 ③	163920	6.83	1.30
No-3 ④	168820	7.03	0.64

	降伏荷重(N)	有効板厚(mm)	α
No-1 ① (1mm)	84441	5.74	1.10
① (5mm)	86516	5.89	0.86
No-1 ② (1mm)	91129	6.20	1.00
② (5mm)	92593	6.30	0.80
No-1 ③ (1mm)	95337	6.49	0.64
③ (5mm)	96442	6.56	0.51
No-1 ④ (1mm)	88586	6.03	1.01
④ (5mm)	90274	6.14	0.73
No-2 ①	96578	6.57	0.76
No-2 ②	82668	5.62	1.30
No-2 ③	96967	6.60	0.41
No-2 ④	95464	6.49	0.36
No-3 ①	106500	7.24	0.77
No-3 ②	106120	7.22	0.30
No-3 ③	100600	6.84	1.25
No-3 ④	103210	7.02	0.69

4. 結論

形状計測のデータを反映させた引張試験の解析の結果、 $\alpha=2$ で算出される有効板厚で腐食鋼板の残存耐力を評価することは、今回の解析結果の範囲内では安全側の評価となっていることが確認された。また、細かい計測ピッチとなる程、細かい腐食形状を再現できるために、応力集中による強度低下が生ずることもうかがえた。

(参考文献)

- 1) 松本勝, 他: 腐食鋼材の有効板厚評価法の一提案, 橋梁と基礎, Vol.23, No.12, pp.19-25, 1989.
- 2) 中村和男: 海洋環境において腐食した鋼管の腐食形状と残存耐力に関する考察, 京都大学卒業論文, 2004.
- 3) 田村功, 渡邊英一, 他: 海洋環境において腐食した鋼管の形状計測と残存耐力に関する検討, 構造工学論文集, Vol.51A, pp. 1103-1110, 2005.