

経年水圧鉄管の補修または取替判断に用いる最大応力算定式に関する考察

東電設計(株) (広島大学) フェロー会員 ○中村 秀治

1. はじめに

既設水圧鉄管の多くは明治から昭和にかけて建設されており、供用年数 100 年近いものも現存している。年間当りの腐食量 0.02mm/年程度は一応の目安と考えられているが、主要耐圧部の余裕厚 1.5mm に 75 年で達することになる。一方、管厚の減少に伴う補修又は取替えの応力的判断は、局所の最大応力又は管胴の平均応力が、降伏応力の 90%又は 65%を超えて破壊の恐れが認められる時とされている¹⁾。最大応力の算定式は、図-1 に示す鋼板凹み形状を念頭に提示されたものであるが、一様引張力下における平板円孔周りの応力分布(図-2)と、円孔無しの場合を滑らかに内挿したものと考えられる。

本報告においては、高経年の既設水圧鉄管の存在に鑑み、本算定式を数値解析的視点で見直し、最大応力の算定結果について考察するものとする。

2. 円筒形の凹みのある鋼板に一様引張力が作用した場合の最大応力算定式

水門鉄管技術基準の初版(1960 年)以来、補修又は取替え規定(第 5 回改訂版、第 104 条 解説)に次の最大応力算定式が与えられている²⁾。

$$\sigma_{\max} = \frac{3}{1+2d} \cdot \sigma \quad (0 < d = t'/t < 1) \quad (1)$$

ここで、 t' : 凹みの部分の最小厚さ(mm)、 t : 鋼板の平均厚さ(mm)、

$\sigma_{\max}$: 凹み縁の最大応力(N/mm²)、 σ : 凹みのない場合の平均応力(N/mm²) 図-1 鋼板凹み周りの応力分布

式(1) は腐食形状として図-1 の凹みを想定し、孔周りの最大応力を算出するものであるが、2次元弾性理論解による応力集中を考慮した最大応力 3σ と、凹みの無い場合の平均応力 σ の関係について、板厚比 d の関数として表したものである(図-5 中、青線)。

3. 水力鋼構造物の腐食面形状

経過年数 50 年以上の水力鋼構造物について、腐食面の残存板厚計測は超音波板厚測定器を用いて古くから行われてきたが、腐食面形状計測と統計的検討がなされたのは、1990～2000 年頃からと思われる。

腐食面形状及び腐食量は設置環境により異なり、孔食や摩耗、波状腐食等が発達した場合において、図-1 の腐食面形状が必ずしも当てはまるわけではないが、管胴の平均応力から局所の最大応力を推定する意味において式(1)に実務的有用性が存することから、現行の水門鉄管技術基準に取り上げられているものと考えられる。

4. FEM 解析モデル

図-1 の腐食面形状について最大応力を FEM 解析するため、図-3 に示す FEM 解析モデルを用いた。8 節点ソリッド要素を用い、鋼板寸法は 100×100×10(mm)、孔径 20(mm)とし、平板の境界形状が孔周り応力分布に影響しないように、平板の幅は孔径の 5 倍として、板厚方向に 20 要素分割している。円孔深さは、 $d=0.05$ ピッチで変更可能である。

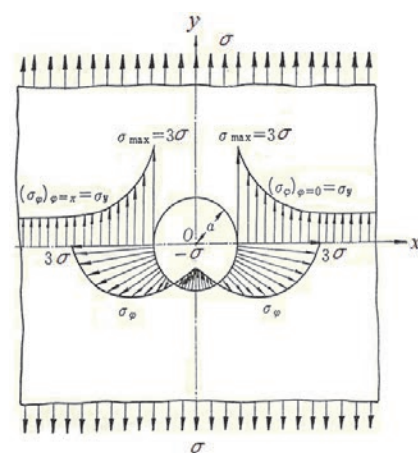
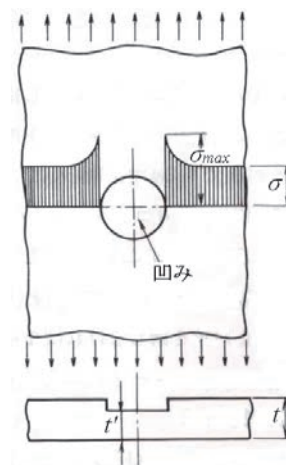


図-2 平板円孔周りの応力分布³⁾

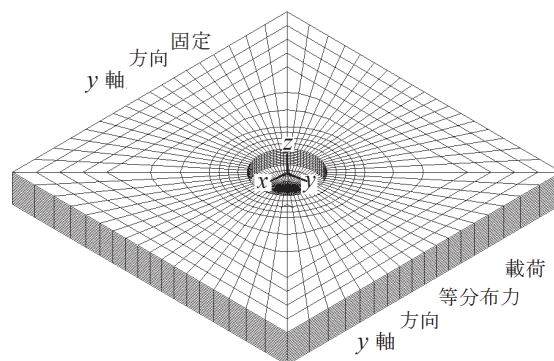


図-3 FEM 解析モデル

キーワード 水圧鉄管、管厚減少、最大引張応力、補修、取替え

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12(KDX 豊洲グランスクエア) 東電設計(株) TEL.03-6372-5720

5. 円孔深さを变化させた解析結果

$d=t'/t=0.25$ の場合の解析結果を図-4 に示す. σ_1 は上面円孔縁の最大応力であり, σ_2 は下面円孔縁の応力である. 図-4 中, 赤色部分は応力の高いことを示しているが, 円孔の底に向って狭くなって行く様子が分る.

次に, 円孔深さを $d=0.0\sim1.0$ の間で, 0.05 ピッチで变化させた結果と, 併せて算定式(1)による値を図-5, 表-1 に示す. 図-5 中の赤線 (FEM 解析) と青線 (算定式) のカーブ特性には明らかに相違が見られる. 原因としては, 円孔壁部における応力集中が深さ方向に一樣でなく, 上面の最大応力発生個所の方に集まる傾向が指摘できる.

図-5 中の赤線 (FEM 解析) に近い値を与える算定式を提案するならば, 次の 2 次式であろう.

$$\sigma_{\max} = (3 - 2d^2)\sigma \tag{2}$$

ここで, 記号の意味は式(1)と全て同じである.
式(2)の値は, 図-5 中に黒点線で示した通りであり, 赤線と概ね良く一致していることがわかる.

6. (孔径 D /板厚 t) 比の最大応力への影響について

上記の検討は $D/t=20/10=2$ についてであったが, 更に広い範囲の D/t で最大応力への影響を検討した.

$D/t=0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0$ に対して, 上記と同じ解析を行い, $d=t'/t=0.5$ について比較したのが表-2 である. 孔径が小さく針穴のような場合を除いて, $D/t=0.5\sim10$. 程度の範囲で, 式(2)により概略近似できることが分る.

7. 結 び

現行の水門鉄管技術基準において, 鉄管の補修、取替判断に用いる最大応力算定式について考察した.

高経年の水門鉄管が多数を占めて, 補修, 取替時期が迫りつつある今日, 腐食鋼構造物の実態に即した耐力評価の重要性は高まっている. 計測技術の進歩を踏まえた研究成果⁴⁾を反映すべく, 更に議論すべき課題であろう.

参考文献

1) ㈲水門鉄管協会：水門鉄管技術基準，水圧鉄管・鉄鋼構造物編，第 5 回改訂版，pp.231-234, 2007.

2) 神谷貞吉, 本間尚雄：局部的に凹みのある引張試験片の応力について (水圧鉄管の研究その 2) 電力技術研究所所報, 土第 1806 号, 1949.

3) 林毅編：軽構造の理論とその応用 (上), 日科技連, 1967.

4) 土木学会鋼構造委員会：腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル, 鋼構造シリーズ 18, pp.1-225～1-226, 2009.

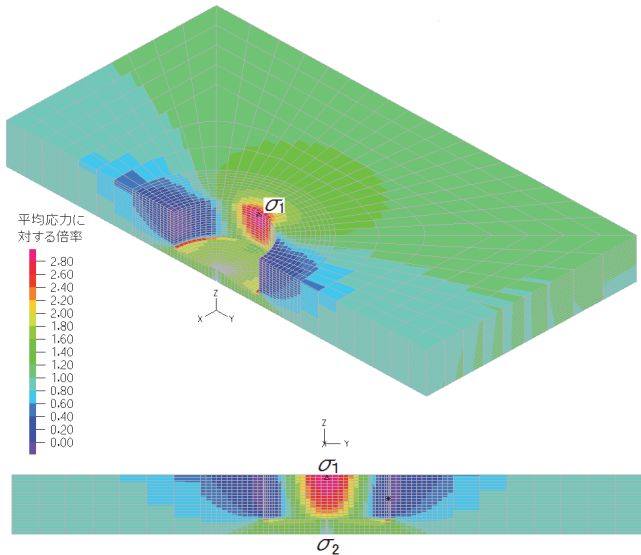


図-4 $d=0.25$ の場合の y 軸方向応力分布

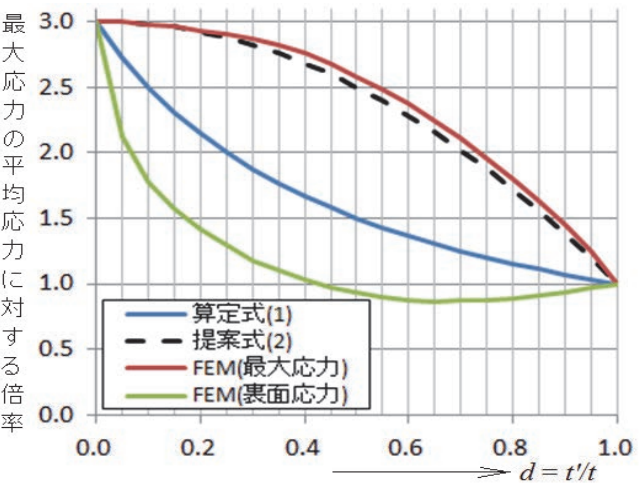


図-5 円孔部の板厚比 d と最大応力の倍率比較

表-1 円孔周り最大応力の平均応力に対する倍率

$d=t'/t$	FEM 解析結果		算定式 (1)	提案式 (2)
	最大応力 σ_1	裏面応力 σ_2		
0.00	3.00	3.00	3.00	3.00
0.05	3.00	2.12	2.73	3.00
0.10	2.98	1.78	2.50	2.98
0.15	2.96	1.57	2.31	2.96
0.20	2.93	1.41	2.14	2.92
0.25	2.90	1.29	2.00	2.88
0.30	2.87	1.18	1.88	2.82
0.35	2.82	1.10	1.76	2.76
0.40	2.76	1.03	1.67	2.68
0.45	2.68	0.97	1.58	2.60
0.50	2.58	0.93	1.50	2.50
0.55	2.48	0.90	1.43	2.40
0.60	2.37	0.88	1.36	2.28
0.65	2.24	0.86	1.30	2.16
0.70	2.11	0.87	1.25	2.02
0.75	1.96	0.87	1.20	1.88
0.80	1.80	0.89	1.15	1.72
0.85	1.63	0.91	1.11	1.56
0.90	1.45	0.94	1.07	1.38
0.95	1.25	0.97	1.03	1.20
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表-2 円孔周り最大応力に対する D/t の影響($d=0.5$)

D/t	0.1	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
$\sigma_{\max}$	3.00	2.75	2.65	2.58	2.51	2.44