

内部腐食を有する鋼管部材の残存耐力評価

その1 減肉を有する鋼板部材の数値解析

東レ 正会員 ○松井 孝洋
 豊橋技術科学大学 正会員 山田 聖志, 松本 幸大
 同 Ngyuen Duc LONG, 花田 幸大

1. はじめに

高度成長期から50年以上を経た我が国の構造物において、構造部材の腐食やそれに伴う性能劣化が懸念されている^{1,2)}。こうした背景から、腐食により断面が欠損した構造部材の耐力評価やその対策は緊要な社会的課題となっている。腐食鋼部材の耐力評価や補強に関しては、H型断面に対して、幾何学的に整形な断面欠損や、腐食を数値シミュレーションして不整形な断面欠損を扱い、断面欠損の大きさと耐力との関係が検討されている³⁾。また、それら鋼部材の補修・補強に関してFRP補強の有効性についての報告もみられる^{4,5)}。一方、本研究開発で対象とする閉断面に対しては、その内部調査が困難であることから、腐食の現状や残存耐力評価に関する研究資料は極めて限定されている。最近の内部調査事例によれば、腐食・断面欠損の現状が極めて深刻であるという指摘もされている²⁾。鋼管部材によって構成される構造物は数多く存在するが、中でも土木構造物は社会基盤として重要な役割を担う構造物であり、有事に備え健全な構造性能を確保しておく必要がある。以上を踏まえ、本研究では、鋼管部材の内部腐食の補修を想定した、残存耐力評価法と外面補修法の効果・可能性を整理することを目的としている。

本報ではまず、腐食等の原因により断面欠損を有する鋼部材を想定し、有限要素解析を通してその残存耐力を分析する。対象部材は鋼管とすることが望ましいが、要素実験との整合を考え、鋼板を対象としてその性状を整理・報告する。

2. 解析モデルの概要

図1に解析モデルを示す。解析モデルは、幅100mm、長さ500mm、厚さ3mmの鋼板とし、その中央部片側に幾何学的に整形な減肉を考慮する。ただしモデルの対称性を考慮し、板幅方向に対して1/2のモデルにて解析を行っている。境界条件は図1に示す通りで、荷重は鋼板両端部に荷重を作用させている。要素分割は4面体2次要素、解析は材料および幾何学的非線形性を考慮した増分解析とした。鋼の弾性係数は205GPa、ポアソン比0.3、降伏応力度は235MPa、降伏後の弾性係数は0としている。解析変数は、断面欠損の形状、深さとし、形状は極度の応力集中を避けるため円形または楕円形、深さは50%に相当する1.5mm(残厚1.5mm)と、円形のみ80%に相当する2.4mm(残厚0.6mm)を設定した。断面欠損の形状を表1に示す。解析モデル名は、t3w20h50d50のように記し、t3は板厚 $t=3\text{mm}$ 、w20は減肉幅 $w=20\text{mm}$ 、h50は減肉長

$h=50\text{mm}$ 、d50は深さ50%を意味する。

3. 解析結果

3.1 初期降伏応力度

図2に各モデルの初期降伏応力度を示す。初期降伏応力度は w が大きいほど、また、 h が小さいほど低い値となり、断面欠損部の応力集中が大きいことが推察される。図3は $p=10\text{N/mm}^2$ におけるt3w10h10d50, t3w10h100d50, t3w50h10d50について、図1A-A'上の鋼板表面軸方向応力度をプロット

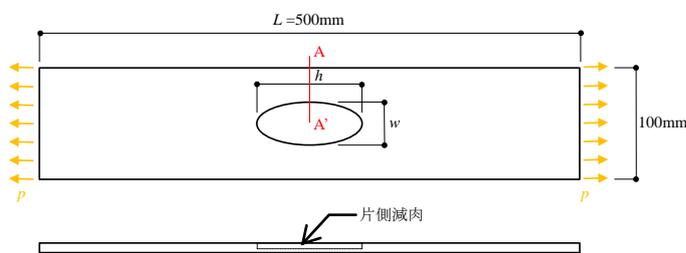


図1 解析モデル

表1 断面欠損の形状

幅 mm	長さ mm	形状	軸方向断面欠損率 % (50%/80%)
10	10	円形	5/8
	20	楕円形	
	50	楕円形	
	100	楕円形	
20	10	楕円形	10/16
	20	円形	
	50	楕円形	
	100	楕円形	
50	10	楕円形	25/40
	20	楕円形	
	50	円形	
	100	楕円形	

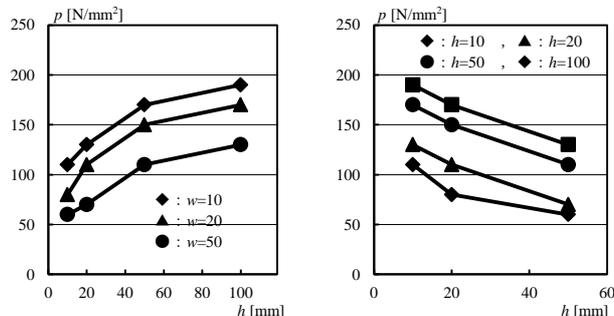


図2 初期降伏応力度

キーワード 腐食, 断面欠損, 鋼管, 鋼板, 残存耐力, 有限要素解析

連絡先 〒455-8502 名古屋市港区大江町9番地の1 東レ株式会社 名古屋事業場 (Tel)052-613-5968

したものである。実線が断面欠損側、点線はその反対側の値を意味している。図2と対応して応力集中が観察できるとともに、断面欠損の反対側についても応力分布の変化が見られる。図4は各モデルの応力集中係数を w/h でプロットしたものである。実線が d50, 点線は d80 の値を意味している。弾性設計の観点

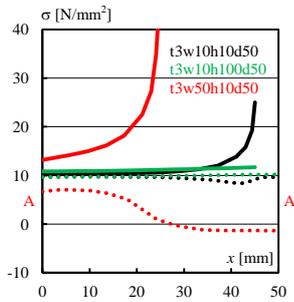


図3 中央部軸応力度分布

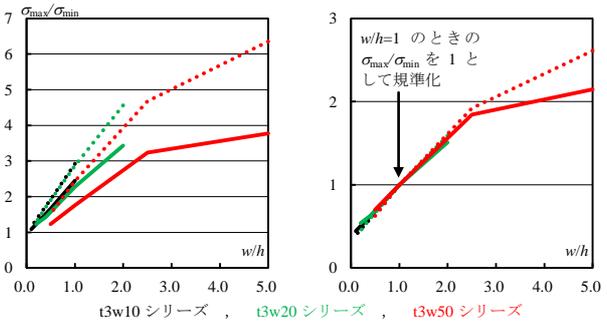


図4 各モデルの応力集中係数

では, $w/h < 1$ であれば応力集中係数 3 にて評価できることがわかり, また, $w/h = 1$ のときの応力集中度で基準化した場合, 全てのモデルがほぼ同一曲線上にプロットされ, 今後の耐力評価に援用できる可能性がある。

3.2 荷重・変位関係

図5に荷重変位関係を示す。図中の黒色点線は断面欠損の無い鋼板の荷重変位関係の意味する。w10 シリーズにおいては降伏まで, 剛性の低下は見られないが, w50 シリーズについては早期の剛性低下が見られる。全てのモデルについて終局強度は表1の欠損断面積を考慮した終局耐力と良く対応している。

3.3 部材剛性

図6は増分解析ステップ i 毎に等価な軸方向弾性係数 E^* を次式のように評価し, 205GPa で基準化したものである。

$$E^* = (p_{i+1} - p_i) / \{(d_{i+1} - d_i) / L\} \quad (1)$$

これより, w50, d50 シリーズでは 2~6% 程度, w50, d80 シリーズでは 5~12% 程度の剛性低下が生じている。また h が小さい場合は初期降伏応力度が小さいが, 降伏後の剛性低下は緩やかであることが分かる。

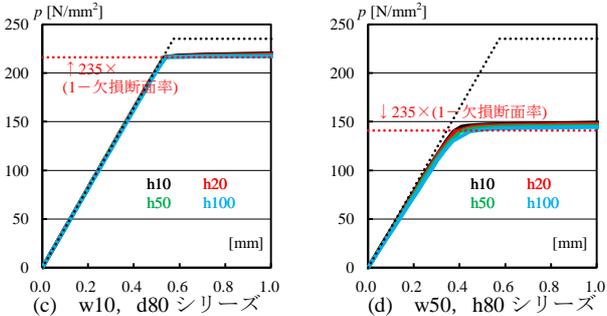
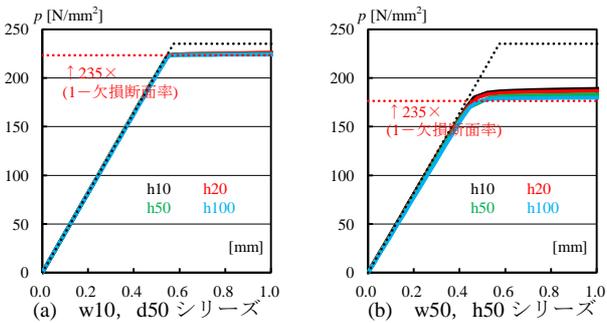


図5 荷重-変位関係

4. おわりに

本報では, 近年問題となっている腐食により断面に欠損を有する鋼部材を想定した鋼板について, 有限要素解析を通して残存耐力の分析を行った。その結果, 以下の知見を得た。

- 1) 初期降伏応力度については, 欠損幅と長さに関して変化し, 荷重方向に対して直交方向に長い形状になるにつれて小さくなる。本研究の範囲では w/h が 1 以下であれば応力集中係数 3 で評価できる。
- 2) 鋼管内部に断面欠損が生じている場合でも, 外側の歪を調査することで, その大きさや深さを推定できる可能性があることを示した。
- 3) 弾性剛性については幅 50%, 深さ 50% 程度まで欠損が大きくなると部材の弾性剛性低下が顕著となる。

本解析と並行して, 図1の解析モデルに対応する構造実験, ならびに CFRP による補修効果の検討を行っており, 順次報告する予定である。

参考文献

- 1) 土木学会: 鋼構造シリーズ 18 腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル, 2009.3
- 2) 電気学会: 電気学会技術報告 架空送電設備の鋼材腐食・摩耗現象, 2009.7
- 3) 森猛, 渡邊一, 正井資之: 腐食した鋼板の表面形状シミュレーションと腐食鋼桁の曲げ耐力, 構造工学論文集 Vol.49A, 2003.3

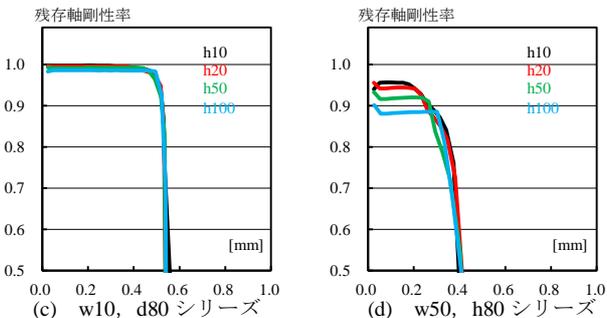
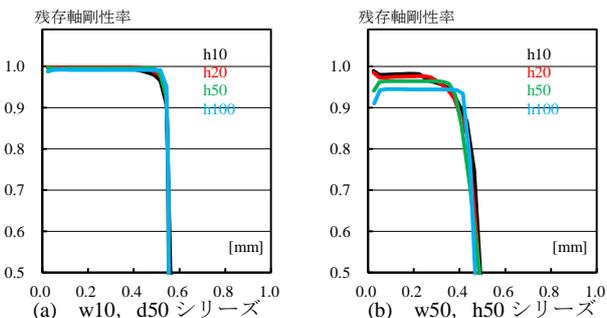


図6 残存軸剛性率-変位関係

- 4) 杉浦江, 小林朗, 稲葉尚文, 本間淳史, 大垣賀津雄, 長井正嗣: 鋼部材腐食損傷部の炭素繊維シートによる補修技術に関する設計・施工法の提案, 土木学会論文集 F, pp.106-118, 2009.3