

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○橋口 丈人  
 大阪大学大学院工学研究科 成 雨軒  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 廣畑 幹人

## 1. 研究背景と目的

鋼橋の桁端部付近では腐食による損傷事例が多い<sup>1)</sup>。腐食した鋼橋の補修や補強の必要性を判断する際には、力学的な根拠に基づいて行われるのが望ましい。有限要素法を用いた既往の研究では、減厚後の形状を初期状態として耐荷性能を算定している。しかし、供用開始後の鋼部材には溶接残留応力および死荷重が作用しており、腐食の進行に伴い応力状態が変化する。そのため、溶接残留応力および減厚による応力の再配分を考慮した上で部材の耐荷性能を検討する必要がある<sup>2)</sup>。本研究では、初期不整の導入を考慮したうえで、減厚のない健全な状態および腐食を想定した減厚を与えた鋼板の耐荷性能について一連の解析的検討を実施した結果を報告する。

## 2. 解析モデルと初期不整の導入

本研究では、トラス橋やプレートガーター橋の圧縮部材を想定した鋼板パネルを対象に解析モデルを作成した。解析モデルの寸法を図-1に、境界条件を図-2に示す。モデルはアスペクト比1で両端に溶接線を有する周辺単純支持板である。解析には汎用有限要素解析ソフト Abaqus を使用し、8 節点ソリッド要素で対称性を考慮して 1/4 のモデルとした。板厚  $t_b$  は 12mm であり、幅厚比パラメータ  $R$  が約 0.5, 1.0, 1.5 となるように板幅  $b_b$  をそれぞれ 300, 600, 900mm とした。鋼種は SM400B (降伏応力 306 N/mm<sup>2</sup>, 引張強度 451 N/mm<sup>2</sup>) であり、温度依存型の材料特性を定義した。

初期不整に関して、熱弾塑性解析を実施して導入する方法を採用した。導入過程を図-3に示す。たわみ形状は正弦波を目標とし、最大たわみ  $w_{0max}$  は部材幅の 1/150 とした。入熱条件として、当て板溶接の実験値 (CO<sub>2</sub> 半自動溶接,  $I=157$  A,  $V=23$  V,  $v=5.75$  mm/s) を参考にして、1 秒間の瞬間熱源を物体熱流束で与えた。なお、瞬間熱源による解析は、溶接残留応力の予測に関して

妥当であることが確認されている<sup>3)</sup>。熱弾塑性解析を行うと、入熱による変形増分  $\Delta w$  を生じる。ここで、補正係数  $\alpha$  により初期たわみ  $w_0$  を補正して再度解析を行う。この過程を導入目標のたわみが所定の精度で再現されるまで繰り返した。いずれのモデルでも、目標とするたわみ形状を精度よく再現した。 $b_b=600$  の場合を例として、解析結果を図-4 と図-5 に示す。溶接線付近では溶接線方向に大きな引張応力が、溶接線から離れた領域では圧縮応力が発生した。その他の面外 3 成分  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$  は  $\sigma_y$  と比較して十分小さかった。

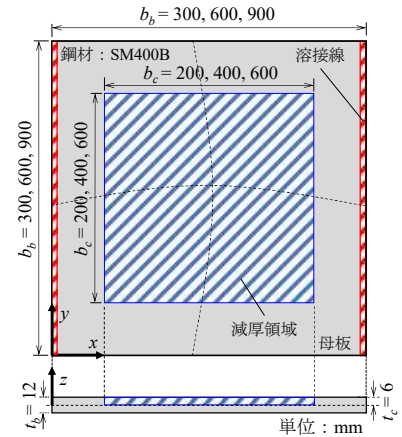


図-1 解析モデルの寸法条件

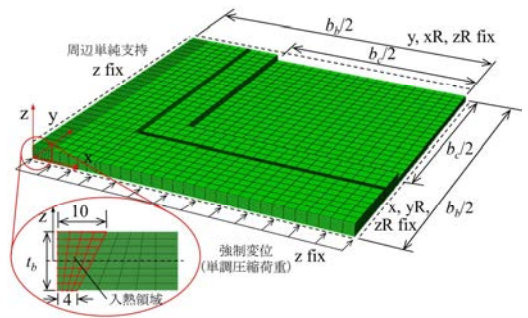


図-2 1/4 モデルの境界条件

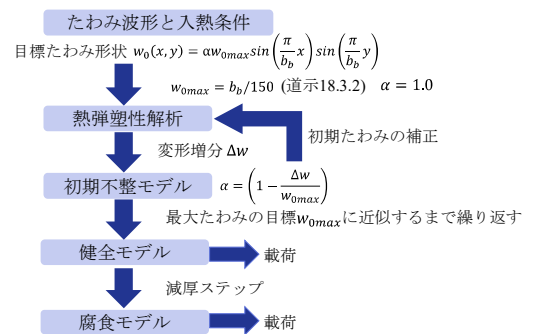


図-3 初期不整の導入と載荷過程

### 3. 鋼板の減厚と載荷解析

初期不整の導入過程に続けて鋼板に減厚を与え、圧縮挙動のシミュレーションを実施した。腐食を模擬した減厚領域の形状は正方形とし、減厚幅  $b_c$  を板幅の 2/3、減厚量  $t_c$  を板厚の 50% とした。1 ステップにつき要素 1 層を削除することで、腐食に伴う応力の再配分とたわみの増減を確認した (図-4、図-5)。支持条件は初期不整の場合と同様で、一边を固定し他辺から  $y$  軸方向に強制変位による単調圧縮荷重を負荷した。なお、減厚のない健全モデルでも同様に圧縮解析を行った。

健全モデルにおける荷重-変位関係を図-6 に示す。圧縮残留応力が導入された領域は、ほかの領域より早い段階で降伏する。残留応力がないモデルとの比較から、残留応力を考慮しない圧縮解析では、最大荷重が過大に評価されることが確認される。また、健全、腐食モデルにおける応力-ひずみ関係を図-7 に示す。腐食モデルは健全モデルと比較して耐荷性能が大幅に低下した。最大圧縮応力と、幅厚比パラメータ  $R$  との関係を図-8 に示す。健全モデルに対する腐食モデルの耐荷性能低下率は、 $R=0.5$  で 40.7%,  $R=1.5$  で 26.6% であった。板幅が小さいほど、減厚領域の中心に近い部分でも溶接による圧縮残留応力が大きくなり、耐荷性能がより大きく低下したと考えられる。

### 4. まとめ

- (1) 圧縮部材を模擬したアスペクト比 1 の周辺単純支持板のモデルに、熱弾塑性解析により初期たわみと残留応力を導入する方法を提示した。
- (2) 減厚のない初期不整モデルから健全な状態と、腐食を想定した減厚を与えたモデルを作成し、一方向の単調圧縮荷重を載荷する解析を実施した。溶接残留応力を考慮しない場合、耐荷性能が過大に評価された。幅厚比が小さいほど健全モデルに対する腐食モデルの耐荷性能低下率が大きかった。

### 5. 参考文献

- 1) 名取暢, 西川和廣, 村越潤, 大野崇: 鋼橋の腐食事例調査とその分析, 土木学会論文集, No.668/1-54, pp.299-311, 2001.
- 2) 玉川新悟, 三好崇夫, 奈良敬: 鋼板腐食に伴う応力再配分を考慮したシェル要素による解析法の開発と実用問題への適用, 応用力学論文集, No.11, pp.979-989, 2008.
- 3) 金裕哲, 李在翼, 澤田守, 猪瀬幸太郎: 溶接の理想化による変形・残留応力の予測とその精度—突合せ溶接—, 溶接学会全国大会講演概要, pp.129, 2004.

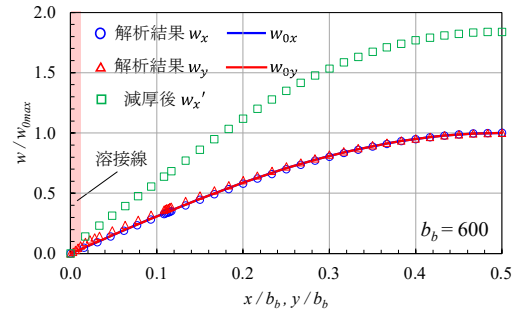


図-4 たわみ分布

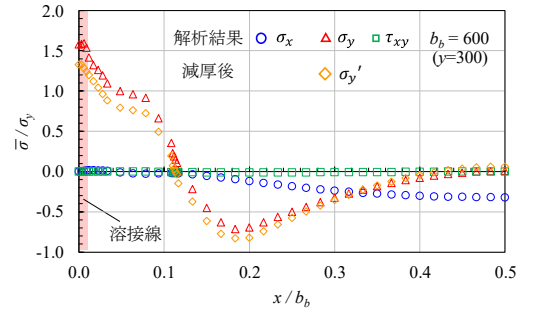


図-5 溶接残留応力分布と応力の再配分

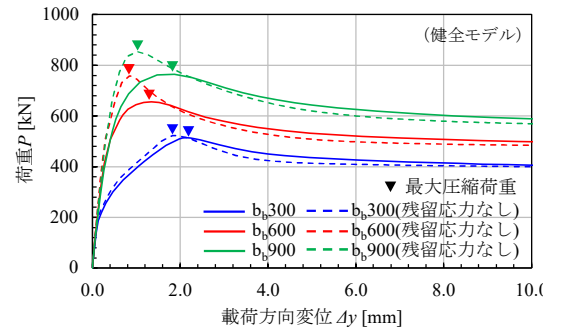


図-6 荷重-変位関係

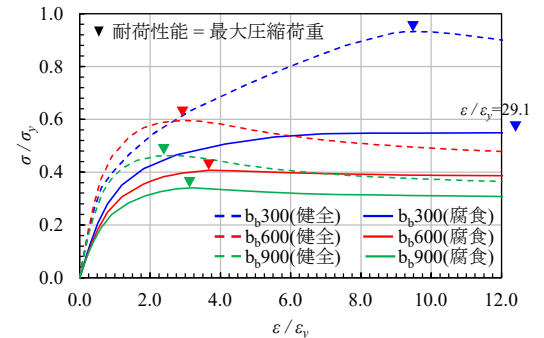


図-7 応力-ひずみ関係

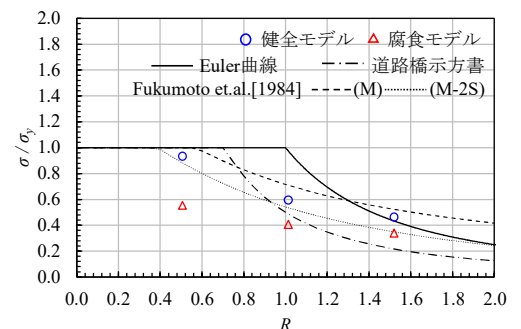


図-8 最大応力と幅厚比パラメータの関係