

腐食損傷を有する組立柱の弱軸まわりの曲げ座屈強度に関する解析的研究

熊本高等専門学校 正会員 ○岩坪 要
株式会社 横河ブリッジ 中来田 幸
九州工業大学 正会員 高井 俊和

明石工業高等専門学校 正会員 三好 崇夫
株式会社 修正建設コンサルタント 上月 凜
舞鶴工業高等専門学校 正会員 玉田 和也

1. 背景と目的

経年鋼橋の組立柱では、溝形鋼やエンドタイププレート (E.T.P.)、レーシングバー (L.B.) に、腐食損傷も発生している。先行研究^{1),2)}では、圧縮力を受ける実橋の組立柱（本研究では、組立柱と称する）の強軸まわり（主構面外方向）の耐荷力特性が解析的に検討されている。本研究の目的は、汎用有限要素法解析コード Marc を用いた弾塑性有限変位解析により、腐食損傷を持つ同部材の弱軸まわりの曲げ座屈強度について明らかにすることである。

2. 解析モデル

対象とする組立柱は、溝形鋼 (250 x 90 x 9 x 7525) 2本、L.B. (60 x 9 x 520) 40枚と E.T.P. (450 x 9 x 700) 4枚からなり、ガセット部

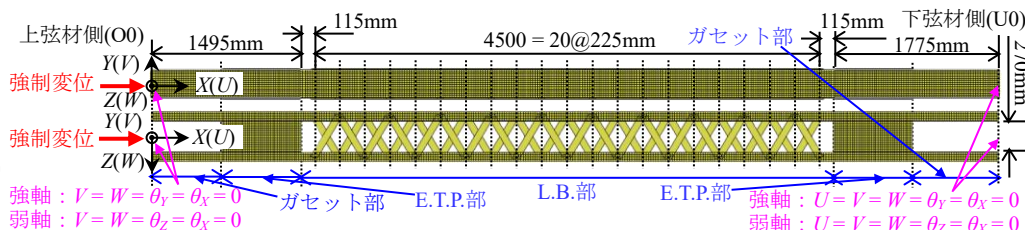
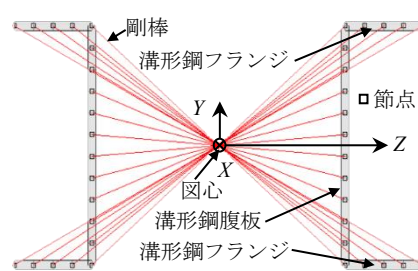


図-1 解析モデルの荷重条件と境界条件

を介して両端が上下弦材に連結されている。本研究では、図-1に示すように、同部材の溝形鋼と E.T.P.を4節点シェル要素、L.B.を2節点トラス要素でモデル化した。また、リベットのモデル化は省略し、L.B.のリベット中心位置に節点を定義し剛棒により溝形鋼フランジと接続した。図-2に示すように、部材両端断面には図心位置に節点を定義し溝形鋼の板厚中心に位置する節点間を剛棒で連結した。ガセット部を除く部材は、弾性係数 $E = 200kN/mm^2$ 、Poisson



比 $\nu = 0.3$ を有する SS400 相当材とし、応力-ひずみ曲線は降伏応力 $\sigma_y = 235N/mm^2$ 、二次勾配 $E_T = E/100$ を有するバイリニア曲線とした。ガセット部は溝形鋼の 10^3 倍の剛性を持つ線形弾性体とみなした。初期不整は、正弦半波形状の初期たわみのみを仮定し残留応力は無視した。

3. 解析ケース

腐食欠損を持つケースとして、図-3に示すように、実鉛直材と同様に+Y側9連目のL.B.が1本消失した解析ケース 9PLBP, 同部材に設計圧縮力を載荷した際に生ずる軸力

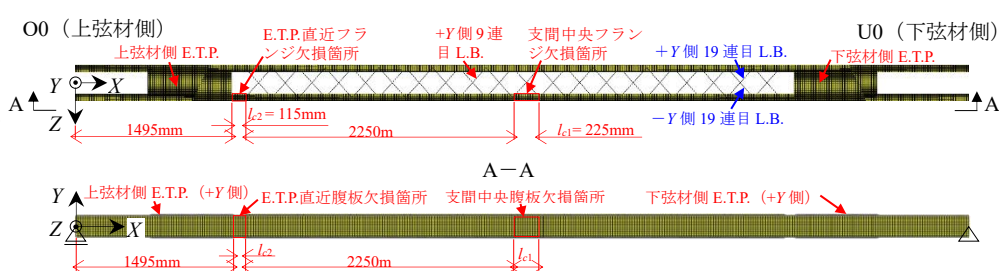


図-3 組立柱の部材名称, 欠損箇所

が最大となる+Y側19連目のL.B.が1本消失した解析ケース 1LBP, 19連目のY軸方向にペアをなすL.B.が2本消失した解析ケース 2LBPを設定した。溝形鋼の腐食欠損ケースは、図-3に示すように、支間中央、E.T.P.直近のフランジと腹板が欠損した+Y軸側に凸な初期たわみをもつ解析ケース CW1P, CW2P, CF1P, CF2P, 支間中央、E.T.P.直近のフランジが欠損した-Y軸側に凸な初期たわみをもつ解析ケース CF1N, CF2N, 上、下弦材側の+Y軸側のE.T.P.がそれぞれ消失し、+Y軸側に凸な初期たわみをもつ解析ケース UETP, LETP, -Y軸側に凸な初期たわみをもつ解析ケース UETN, LETN, +Y軸側のE.T.P.2枚が消失した+Y軸側に凸な初期たわみをもつ解析ケース 2ETP,

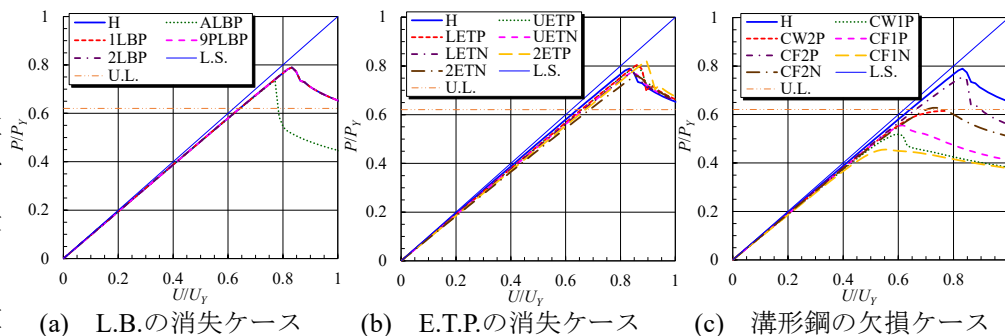
キーワード：組立柱、腐食損傷、弱軸、強軸、曲げ座屈強度

連絡先（〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627, TEL：0965-53-1339, FAX：0965-53-1339）

－Y 軸側に凸な初期たわみをもつ解析ケース 2ETN，全ての L.B.が欠損した解析ケース ALBP を設定した．また，比較のため，腐食欠損のない健全状態の解析ケース H を設定した．

4. 解析結果

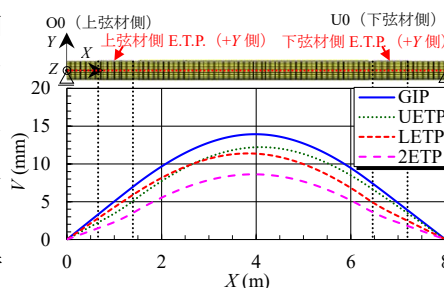
各解析ケースの圧縮力 P と
 載荷点の圧縮 (X) 軸方向変位
 U の解析結果として，それぞ
 れ溝形鋼 2 本分の断面の降伏
 軸力 P_Y , P_Y に到達するときの
 変位 U_Y で無次元化した荷重
 －変位曲線を消失 (欠損) ケ



図－4 欠損 (消失) 部位に着目した荷重－変位関係

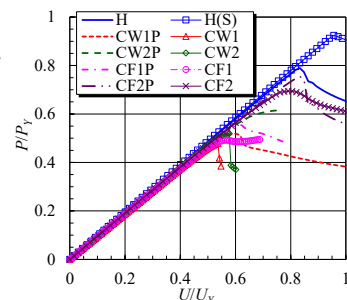
ースごとに図－4 に示す．同図中には，溝形鋼と E.T.P.の剛性を考慮した両者間の関係の線形理論値 L.S.，溝形鋼 2 本分を有効断面とみなして，道路橋示方書³⁾の耐荷力曲線に基づいて得られる設計耐荷力 U.L.も示した．

図－4 より，L.B.と E.T.P.が消失した組立柱の最大荷重は設計耐荷力を上回り，曲げ引張側の E.T.P.が消失すると健全状態よりも僅かに強度が上昇している．これは，図－5 に最大荷重時のたわみ分布として示すように，消失した E.T.P.部断面の図心が偏心し，同部で初期たわみと逆向きのたわみが生じたためである．一方，溝形鋼が欠損した組立柱は，欠損部が支間中央に位置し，欠損箇所が腹板であるほど，曲げ圧縮側のフランジの欠損であるほど最大荷重が低下する傾向にあり，最大荷重は殆どの解析ケースで設計耐荷力を下回る結果を示した．



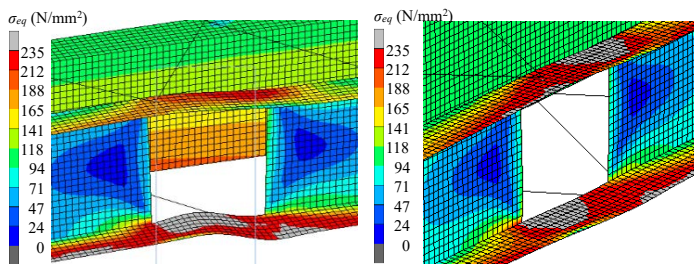
図－5 最大荷重時のたわみ分布

溝形鋼が欠損した組立柱の荷重－変位関係の一例として，強軸まわりの曲げ座屈強度に関する解析結果²⁾と比較して図－6 に示す．弱軸まわりの解析ケース H, CW1P, CW2P, CF1N, CF2N に対応する強軸まわりの解析ケース名は H(S), CW1, CW2, CF1, CF2 であり，腹板，フランジいずれの欠損も曲げ圧縮側にある．図－6 より，フランジや腹板に欠損がある組立柱は，強軸まわりの最大荷重が弱軸まわりに比べて小さい．この原因として，最大荷重時の断面欠損部の変形状況と相当応力の分布を図－7 に示し解析ケース CW1P と CW1 に関して考察すると，同図(a)に示すように，弱



図－6 強軸まわりとの比較

軸まわりの曲げを受ける CW1P は面外曲げ圧縮によって一方のフランジに塑性化が生じ，同図(b)に示すように強軸まわりの曲げを受ける CW1 では，フランジ面内の曲げ圧縮によって双方のフランジに塑性化が生じて強度低下につながったと考えられる．他の解析ケースについても，板面外への曲げによって，弱軸まわりに比べて強軸まわりの最大荷重が低下したものと考えられる．



図－7 断面欠損部の変形

5. まとめ

本研究から主に以下の知見が得られた．

- (1) 溝形鋼に欠損のある場合を除けば，組立柱の弱軸まわりの曲げ座屈強度は設計耐荷力を上回る．
- (2) 欠損により初期たわみと逆向きの曲げ変形が生ずるような場合には，健全時の強度を上回る場合がある．
- (3) 溝形鋼の欠損箇所によっては，強軸まわりの最大荷重が弱軸まわりのそれよりも低下する場合がある．

【参考文献】 1) 中來田ら：経年溝形鋼の残留応力とレーシングバーが消失した組立柱の圧縮強度，構造工学論文集，Vol.68A，pp.112-122，2022 2) 中來田ら：腐食損傷を有する組立柱の終局挙動，土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会 講演集，I-182，2022. 3) 日本道路橋会：道路橋示方書 II 鋼橋・鋼部材編，2017.