

腐食損傷を有する組立柱の終局挙動

明石工業高等専門学校 学生会員 ○中来田 幸
熊本高等専門学校 正会員 岩坪 要

明石工業高等専門学校 正会員 三好 崇夫
九州工業大学 正会員 高井 俊和
舞鶴工業高等専門学校 正会員 玉田 和也

1. はじめに

鋼橋の腐食は、1965年頃までに採用された組立材にも散見されている。この種の鋼橋を管理する市町村の多くは、その老朽化対策コストが財政に重くのしかかっており、合理的な耐荷性能評価法の確立が求められている。しかし、腐食損傷を有する組立柱（圧縮力を受ける組立材）の耐荷性状は明確にされていない。本研究の目的は、種々の腐食損傷を有する組立柱の終局挙動と耐荷力について、解析的に明らかにすることである。

2. 検討方法

本研究では、汎用有限要素法解析プログラム Marc 2021 を用いて、組立柱のモデル化に関する検討を行った後に、同結果に基づく解析モデルを用いて腐食損傷を有する組立柱の終局挙動と耐荷力について検討した。

3. 解析モデル

解析対象とする組立柱は、**図-1**のように、溝形鋼（250×90×9×7525）2本、レーシングバー（L.B.）（60×9×520）40枚とエンドタイププレート（E.T.P.）（450×9×700）4枚からなり、ガセット部を介して両端が上下弦材に連結されている。同図中に示す、 U, V, W はそれぞれ X, Y, Z 軸方向の併進変位、 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ はそれぞれ X, Y, Z 軸まわりの回転変位である。圧縮力は X 軸方向の強制変位として上弦材側の格点O0に作用させた。部材両端断面では、**図-2**に示すように、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。溝形鋼とE.T.P.は4節点シェル要素でモデル化し、溝形鋼とE.T.P.間の板厚中心間の偏心を考慮するため、

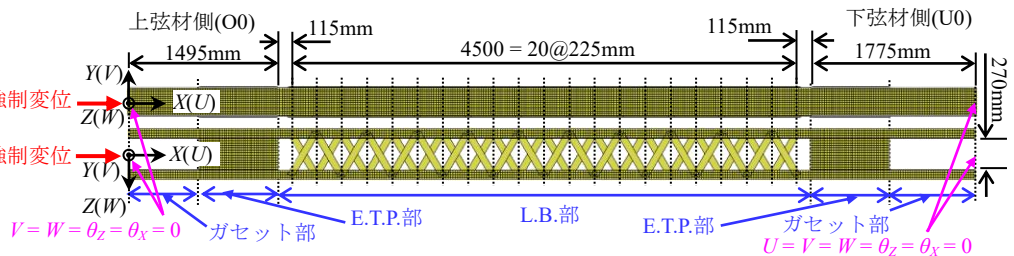


図-1 解析モデルの荷重条件と境界条件

Marc の接着接触機能を用いて両節点間を接続した。また、リベットのモデル化は省略し、リベット中心位置に節点を定義した。部材の材質はいずれもSS400相当とみなし、その応力-ひずみ曲線はバイリニア曲線でモデル化した。ガセット部のモデル化に関して検討の余地は残されているが、同部の溝形鋼はL.B.部の剛性の 10^3 倍を有する線形弾性体とみなした。また、L.B.は2節点トラス要素でモデル化し、シェル要素の1辺の長さは概ね12mmとした。弾性係数 E は200kN/mm²、Poisson比 ν は0.3、降伏応力 σ_Y は235N/mm²、二次勾配 E_T は弾性係数の1/100倍とした。初期不整としては、**図-3**に示すように、その最大値 W_{0max} が支間長 L の 10^{-3} 倍である正弦半波形状の初期たわみのみを仮定した。既往の溝形鋼に関する残留応力の計測結果¹⁾に基づいて、溝形鋼の残留応力は無視した。

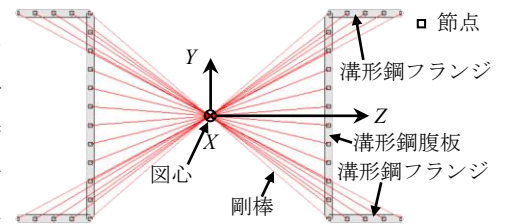


図-2 部材両端断面の有限要素モデル

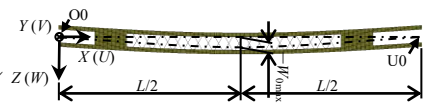


図-3 初期たわみ形状

また、リベットのモデル化は省略し、リベット中心位置に節点を定義した。部材の材質はいずれもSS400相当とみなし、その応力-ひずみ曲線はバイリニア曲線でモデル化した。

ガセット部のモデル化に関して検討の余地は残されているが、同部の溝形鋼はL.B.部の剛性の 10^3 倍を有する線形弾性体とみなした。また、L.B.は2節点トラス要素でモデル化し、シェル要素の1辺の長さは概ね12mmとした。弾性係数 E は200kN/mm²、Poisson比 ν は0.3、降伏応力 σ_Y は235N/mm²、二次勾配 E_T は弾性係数の1/100倍とした。初期不整としては、**図-3**に示すように、その最大値 W_{0max} が支間長 L の 10^{-3} 倍である正弦半波形状の初期たわみのみを仮定した。既往の溝形鋼に関する残留応力の計測結果¹⁾に基づいて、溝形鋼の残留応力は無視した。

4. 解析ケース

腐食欠損を持つケースとして、**図-4**に示すように、+Y軸側のL.B.がそれぞれ1本ずつ欠損した解析ケースLBP3、LBP9、Y軸方向にペアをなすL.B.が2本欠損した解析ケースLBNP4を設定した。これらのL.B.は設計圧縮力を載荷した際の軸力、現地調査結果に基づいて設定した。また、溝形鋼の腐食欠損ケースとして、**図-4**に示すように、

キーワード：組立柱、腐食損傷、終局挙動、耐荷力

連絡先（〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3, TEL : 078-946-6173, FAX : 078-946-6184）

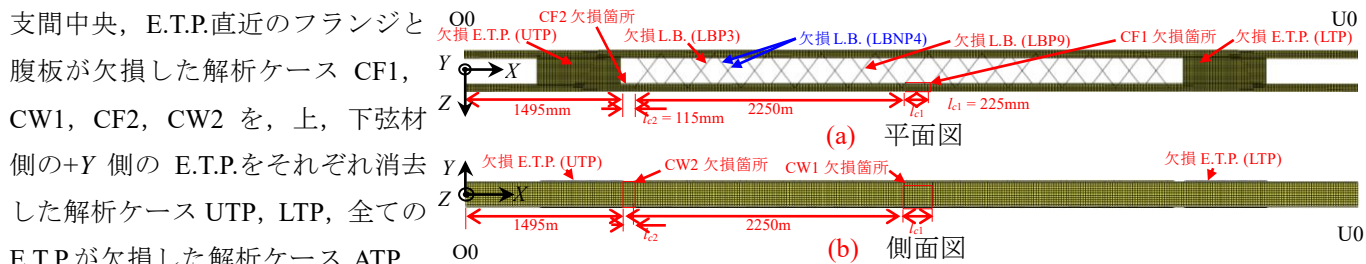


図-4 各解析ケースの欠損箇所と寸法

支間中央，E.T.P.直近のフランジと腹板が欠損した解析ケース CF1，CW1，CF2，CW2 を，上，下弦材側の+Y 側の E.T.P.をそれぞれ消去した解析ケース UTP，LTP，全ての E.T.P.が欠損した解析ケース ATP，全ての L.B.及び E.T.P.が欠損した解析ケース ALE を設定した．また，欠損のない健全状態の解析ケース H を設定した．

5. 解析結果

一例として，解析ケース H，溝形鋼に欠損を持つ解析ケース CF1，CW1，CF2 と CW2 について，圧縮力 P と部材軸方向変位 U の関係とその線形理論値 (LS) と比較して図-5 に示す．これより，いずれも LS に比べて欠損断面積に応じて若干低い剛性を示すが，ほぼ剛性を維持したまま最大荷重に到達してぜい性的に破壊することがわかる．欠損を持つ場合の最大荷重は，欠損が支間中央であるほど，欠損断面積が大きい腹板ほど低下する傾向が見られた．

図-6 は， P と横方向変位関係 W の関係を図-5 と同様に示している．ただし，同図中には，溝形鋼 2 本分を有効断面とみなし，道路橋示方書²⁾の耐荷力曲線に基づいて算定した設計耐荷力 UL と降伏軸力 YL も示した．これより，支間中央部に欠損を持つ方が，横方向剛性は低下すること，いずれも YL には到達しないが，解析ケース H のみが UL を上回ることがわかる．

図-7 は，溝形鋼に欠損を持つ解析ケースについて，最大荷重時の欠損部近傍の変形と相当応力 σ_{eq} の分布を示している．これより，欠損部を迂回し圧縮力が伝達されるため，解析ケース CF1 では欠損部の腹板に局所的な面外変位が，解析ケース CW1 と CW2 ではフランジに降伏領域が，解析ケース CF2 の腹板には欠損部を持つ E.T.P 部から支間方向に斜めの降伏領域がみられる．

図-8 は，縦軸に各解析ケースの最大荷重 P_{max} を解析ケース H の最大荷重 P_H で無次元化して比較したものである．これより，本研究で設定した L.B.と E.T.P.の欠損数，位置の範囲では，最大荷重は健全状態に比べてさほど低下しないことが分かる．一方，溝形鋼に欠損がある場合や，全ての L.B.が欠損している場合については，健全状態に比べて著しく最大荷重の低下することが分かる．

6. まとめ

- (1) 全ての L.B.が欠損する場合を除けば，設定した L.B.や E.T.P.の欠損本数や枚数，位置では，健全状態と比べて最大荷重はさほど低下しない．
- (2) 溝形鋼の欠損は組立柱の耐荷力低下に及ぼす影響が大きく，欠損位置が支間中央であるほど，欠損断面が大きいほど最大荷重は低下する．

【参考文献】 1) 中來田ら：建設から 115 年が経過する鋼トラス橋組立柱の残留応力分布，土木学会第全国大会 第 76 回年次学術講演会，I-289，2021. 2) 日本道路協会：道路橋示方書 II 鋼橋・鋼部材編，2017.

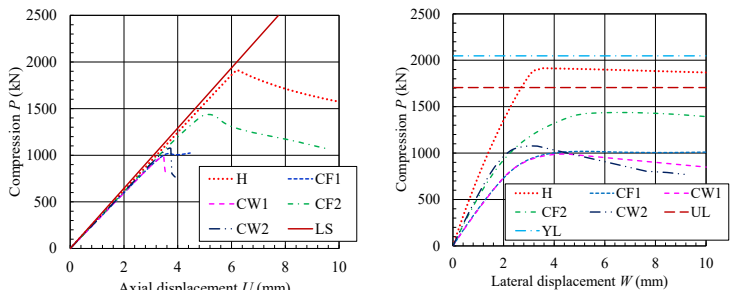


図-5 荷重一軸方向変位関係 図-6 荷重一横方向変位関係

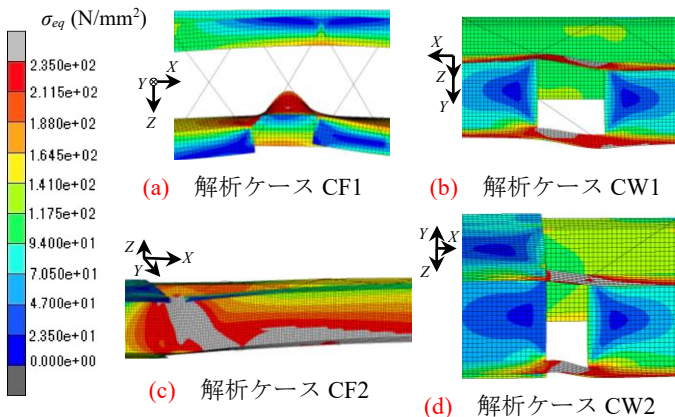


図-7 最大荷重時の変形および相当応力のコンター

