第Ⅰ部門　　ジャッキアップ補強部の高力ボルト本数が補剛材の軸力分担に及ぼす影響

大阪公立大学大学院　学生員　○田中　陽和
大阪公立大学大学院　正会員　森山　仁志
大阪公立大学大学院　正会員　山口　隆司

1. 研究背景および目的

既設鋼橋の支承取替工事において，仮受け部となるウェブパネルの座屈防止を目的として，補剛材を高力ボルト摩擦接合により添接することがある．著者らは，このジャッキアップ補強部の必要ボルト本数の計算方法を確立するための基礎的検討として，補剛材を有した小規模Ⅰ桁の FE モデル（図-1）により，ボルト本数と座屈荷重の関係やメタルタッチ有無の影響を調査している [1]．

ジャッキアップ補強部の必要ボルト本数は，当て板補剛材のすべり耐力がジャッキアップ荷重を上回るように計算しているのが現状である．しかしながら，メタルタッチにより軸力が直接伝達すること，ウェブパネル自体も抵抗することを踏まえると，必要ボルト本数は合理的に決定できる余地があると考えられる．そこで本研究では，ジャッキアップ補強部のボルト本数が当て板補剛材の軸力分担に及ぼす影響を調査した．

2. 数値解析モデル

解析ソルバーには Abaqus Standard 2023 を用い，6 面体低減積分 1 次要素でモデリングした．Ⅰ桁の鋼種は SM400A，高力ボルトセットは F10T-M22 を想定し，それぞれの材料構成則は，図-2 に示す通り，それぞれマルチリニア型とトリリニア型とした [2,3]．

境界条件は，載荷面である上ソールプレートに一様な強制変位を与え，シムプレートを完全固定とした．有限要素同士の接触面には，接触・離間・すべりを考慮できる境界条件を与えた．ウェブパネルと当て板補剛材の接合面の摩擦係数には，道路橋示方書 [4]のブラスト粗面のすべり係数の設計値 0.40 を採用した．高力ボルトセットと連結板や孔壁の接触面には 0.01 を，当て板補剛材と上下フランジの接触面には 0.20 を摩擦係数として与えた．

ウェブパネルの座屈パラメータを表 1 に示す．細長比パラメータ λ_c と幅厚比パラメータ R は式(1), (2)で計算した．当て板の剛比 γ は，必要剛比 γ_{req} 以上としている．

$$R_c = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}\frac{l_e}{r} \quad (1) \qquad R_p = \frac{L}{t}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}\frac{12(1-\nu^2)}{kn^2\pi^2}} \quad (2)$$

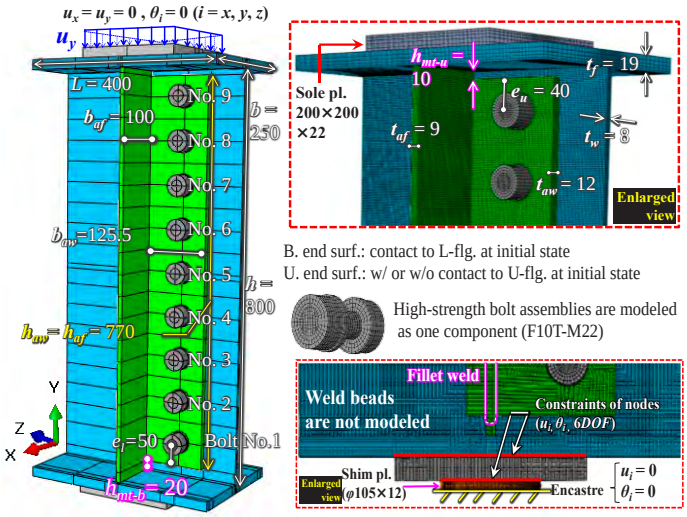


図-1　数値解析モデル(p85 を例に)

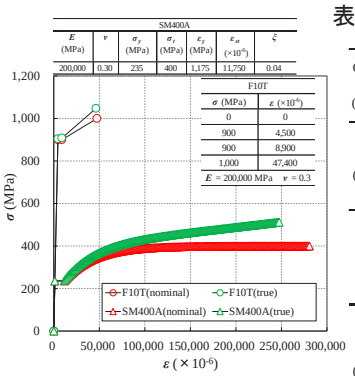


図-2　FEA に用いた σ-ε 関係

表-1　ウェブパネルの座屈パラメータ

Column buckling mode (only web panel)	Non-dimentional slenderness R_c	Both ends pinned	3.780 (r = 2309, l_e = 800)
Column buckling mode (Web panel with two angles)	Non-dimentional slenderness R_c	Both ends pinned	0.235 (r = 37.20, l_e = 800)
		Both ends fixed	0.117 (r = 37.20, l_e = 400)
Plate buckling mode (Only web panel)	Non-dimentional plate slenderness R_p	4×Simple support (S.S.)	0.901 (n = 1, k = 4.00)
		2×S.S.and 2×Fixed S.	0.819 (n = 1, k = 4.85)
Plate buckling mode (Web panel with two angles)	Non-dimentional plate slenderness R_p	4×S.S	0.451 (n = 2, k = 4.00, γ = 251.5 > γ_{req} = 43.1)
		2×S.S.and 2×Fixed S.	0.409 (n = 2, k = 4.85, γ = 251.5 > γ_{req} = 43.1)

ここに，h_w (= 800 mm)：ウェブパネル高，L (= 400 mm)：ウェブパネル幅，σ_{yield}：降伏応力，E：弾性係数，l_e：有効座屈長，r：断面二次半径，ν：ポアソン比，k：座屈係数，n：補剛材で区切られたパネル数である．

パラメータは当て板補剛材のボルトピッチ p = 85, 113, 136, 170mm の 4 水準である．本稿では，上下の縁端距離をそれぞれ 40mm, 50mm と一定としているため，p の大小とボルト本数 n が対応し，n = 3, 5, 7, 9 と変化する．すべり係数を 0.4 とし，すべり耐力がジャッキアップ荷重を上回るように計算した場合，必要本数は 9 本となる．

3. 解析結果およびその考察

荷重 P - 強制変位 u_y 関係を図-3 に示す．図中には，局

Hiyori TANAKA, Hitoshi MORIYAMA and Takashi YAMAGUCHI
sn26088a@st.omu.ac.jp

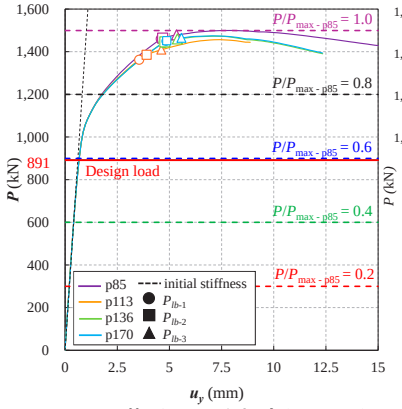


図-3　荷重 P - 強制変位 u_y 関係

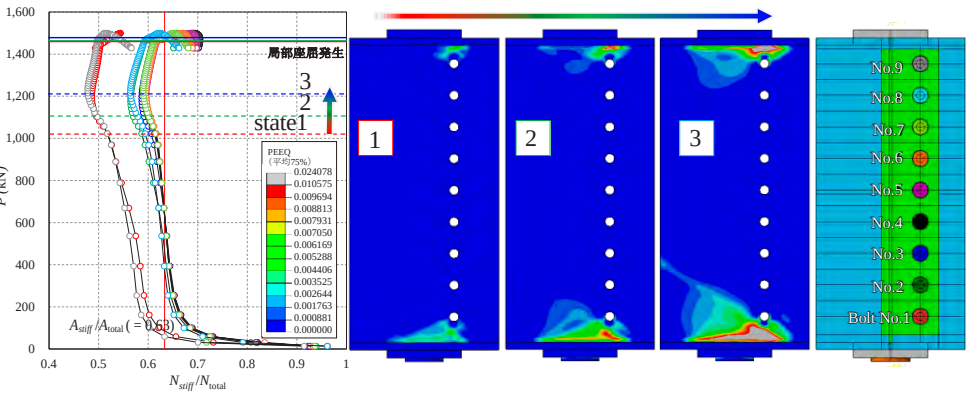
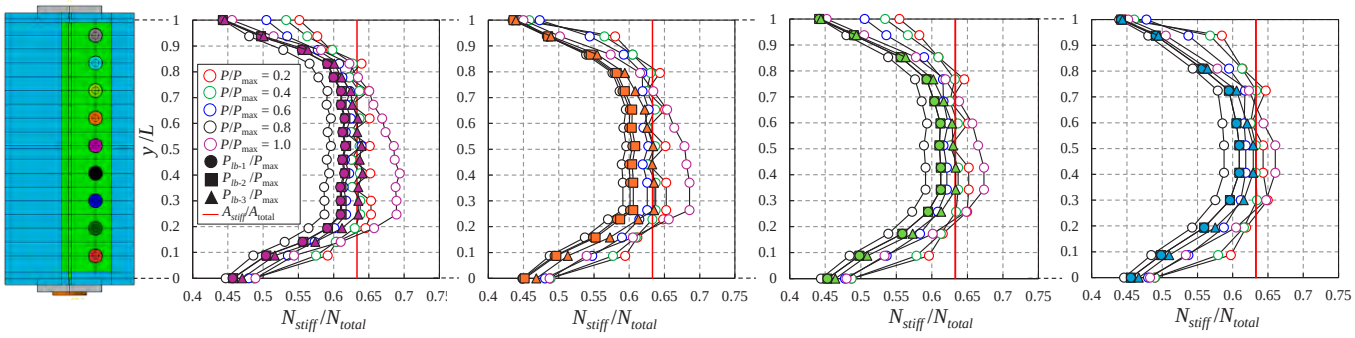


図-4　荷重 P – 補剛材の軸力分担率 N_{stiff}/N_{total} 関係(p85)



(a)　p85　　(b)　p113　　(c)　p136　　(d)　p170

図-5　各荷重段階における補剛材の軸力分担率分布

部座屈荷重 $P_{lb\text{-}i}$ をプロットしており，$P_{lb\text{-}i}$ は第 1~3 次の順に○，□，△のシンボル形状で示している．ウェブパネルの局部座屈発生時点は，未補剛パネル自由辺の曲げひずみ ε_{bend} が，降伏ひずみ ε_y に達した時点と定義している[1]．また，純断面のウェブパネルと当て板の分担軸力 N_w, N_{stiff} を算出し，荷重 P -補剛材の軸力分担率 $N_{stiff}/N_{total}(=N_w+2N_{stiff}=P)$を図-4 に示す．

補剛材の軸力分担率 N_{stiff}/N_{total} は，ボルト位置に依らず，荷重に応じて減少する特徴がある．比較的線形性を示す 300~1,000kN の領域において，軸力分担率がウェブパネルと当て板補剛材の断面積比 A_{stiff}/A_{total} に近い値を示すのは，端部を除くボルト No.2~8 であった．1,000kN から軸力分担率の低下傾向が加速するのは，上下フランジと当て板補剛材の隙間において，ウェブパネルが局所降伏することが理由である．実構造では溶接ビードが存在するため，この影響は緩和されると考えられる．

一方，上下端部ボルト No.1, 9 では，最大荷重 P_{max} に至るまで，軸力分担率が断面積比 A_{stiff}/A_{total} に到達することはなかった．ウェブパネルの塑性ひずみが加工硬化域に到達した 1,200kN 頃から分担率が増加しているのは，ボルト No.1, 9 が支圧状態に移行したためである．

各荷重段階の補剛材の軸力分担率分布を図-5 に示す．全体的な傾向として，ピッチが大きいほど（高力ボルト本数が少ないほど），断面積比 A_{stiff}/A_{total} に近い軸力分担率 N_{stiff}/N_{total} を確保できる領域が狭まる．また，軸力分担率分布は放物線状となっている．図中の $y/L=0,1$ の軸力分担率は概ね 45%程度であり，断面積比の約 1.6 倍に達した．よって，メタルタッチによる荷重分担効果は，ボルト本数にはよらず十分に発揮することが確認された．高力ボルト摩擦接合による荷重分担率は約 15~20%であり，ボルト本数による影響も僅かであった．

4. まとめ

補剛材の軸力分率がウェブパネルと補剛材の断面積比に近い値を示すのは，上下端部のボルトを除く No.2~8 のボルトであった．また，ボルト本数が少ないほど，分担率は断面積比に一致しない傾向にあった．メタルタッチによる荷重分担はボルト本数によらず，その大きさは断面積比の約 1.6 倍で十分な荷重分担効果を発揮する．

謝辞　本研究は（一社）日本鉄鋼連盟の鋼構造研究・教育助成事業の支援を受けて行った．ここに記し謝意を示す．

参考文献　1)田中ら：高力ボルト摩擦接合によりジャッキアップ補剛材を添接した I 桁の座屈耐荷力に関する一考察，土木学会第 81 回年次学術講演会講演概要集, I-467, 2pages, 2026.9.　2)土木学会鋼構造委員会：鋼・合成構造標準示方書耐震設計編，2018.　3)　彭雪ら：厚板多列高力ボルト摩擦接合継手の母材純断面降伏挙動に関する解析的研究，土木学会論文集 A1, Vol. 71, No.1, pp.45-54, 2015.　4)　日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II鋼橋・鋼部材編，2017.