

腐食した桁端部の高力ボルト摩擦接合による片面当て板補修に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生会員 ○郎 宇

大阪市立大学大学院

正会員 山口 隆司

熊本大学大学院

正会員 森山 仁志

1. 研究背景および研究目的

腐食した桁端部の補修は、高力ボルト摩擦接合による当て板補修が広く行われている。腐食が軽微な場合や中桁側から施工できない場合には、高力ボルトや高力ワンスайдボルトを用いて1面摩擦状態で片面当て板を行う場合があることが想定される。その場合、設計通りに当て板が荷重を分担しているかについて詳細な検討がなされていないことも多く、これまでの当て板補修に関する知見では不十分である。

本研究では、支点上補剛材の両側下端が欠損した桁端部を対象としてFEAを行い、片面当て板の構造詳細・接合位置が腐食桁端部の耐荷メカニズムに与える影響を検討した。

2. 解析モデル

対象橋梁は文献¹⁾の主要幹線道路橋に対する単純プレートガーダー橋とした。対象とした主桁の詳細図を図-1に示す。支点上付近の構造諸元を変えないことを条件に、端対傾構と隣接する中間対傾構の間隔を支間とする単純桁としてモデル化している。当て板とウェブ、支点上補剛材、座金、下フランジの接合面の摩擦係数はそれぞれ、 $\mu = 0.5, 0.5, 0.01, 0.01$ である。支点は線支承とし、支点上補剛材の直下にソールプレート幅にわたり回転端とする境界条件を与えた。支間中央では橋軸方向の対称条件を与えた。解析モデルを図-2に示す。与えた σ - ϵ 関係は図-3の通りである。

死荷重は、モデル化範囲の床版とアスファルト舗装の重量のみを考慮し、上フランジに一樣圧力として与えている。活荷重は、垂直補剛材の直上に載荷板を介して、フランジ幅に一樣な強制変位として与えた。

3. 当て板補修部の必要ボルト本数

必要ボルト本数は次式のように通りで計算した。

$$n_{conv} \geq \frac{\sigma_a \times A_e}{m \times \mu_d N_d} \quad (1), \quad n_{pro} \geq \frac{\sigma_a \times A_{red}}{m \times \mu_d N_d} \quad (2)$$

ここに、 n_{cov} ：柱座屈の有効断面積の全強を分担するとした場合のボルト本数、 n_{pro} ：有効断面の欠損範囲の全強を分担するとした場合のボルト本数、 m (=1)：接合面数、 μ_d ：設計すべり係数、 N_d (=205 kN)：設計ボルト軸力、 σ_a (=210 Mpa)：許容軸方向圧縮応力度、 A_e ：柱座屈に対する有効断面積(図

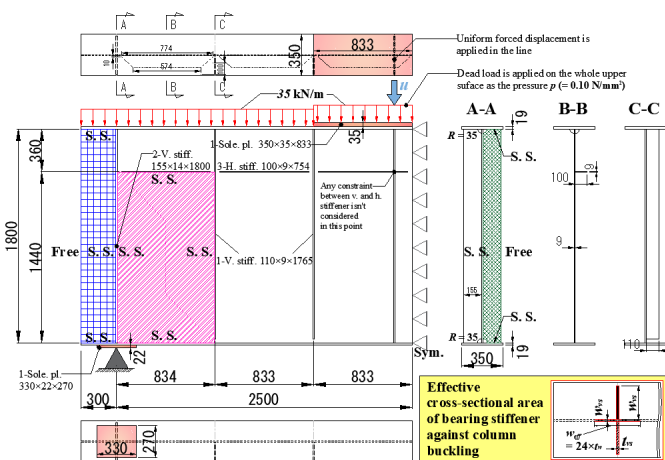


図-1 対象とした主桁の詳細図(モデル化範囲)

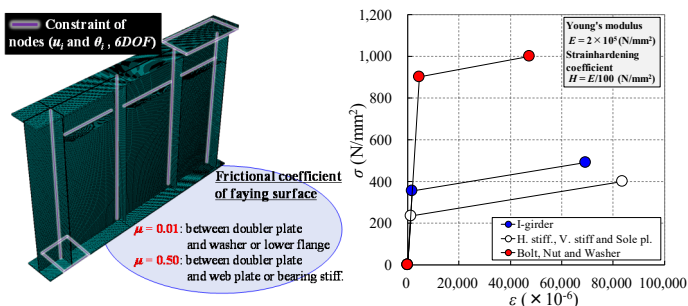


図-2 解析モデル(Abaqus使用)

図-3 応力-ひずみ関係

-1), A_{red} ：腐食により欠損した有効断面積である。

必要ボルト本数 n と設計すべり係数 μ_d の関係を図-5に示す。本研究では文献^{2),3)}を踏まえて2種ケレン(母板)と無機ジンクリッチペイント(当て板)による異種接合面の μ_d を0.50とした。図-5に示すように、 $\mu_d = 0.50$ のとき $n_{cov} = 16$, $n_{pro} = 9$ となり、設計上の仮定が必要本数に与える影響は大きい。

必要ボルト本数を踏まえ、解析ケースは表-1の通りとした。基本ケースC-NO1は必要ボルト本数 n_{pro} である9本を確保した。図-4には各ケースの当て板補修の様子を示す。

4. 解析結果

最大荷重 P_{max} 、健全時ケースbaseに対する最大荷重の比率 $\alpha = P_{max}/P_{max-int}$ 、当て板重量あたりの補修・補強効果 α/W 、ボルト本数あたりの補修・補強効果 α/n を表-1に示す。支点反力と載荷辺の平均鉛直変位の関係を図-6に、最大荷重時のミーゼス応力コンターを図-7にそれぞれ示す。

未補修時C-100の P_{max} は健全時の55%となり、大きく低

キーワード：耐荷力、鋼桁桁端部、片面当て板補修、高力ボルト摩擦接合

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 橋梁工学研究室 TEL&FAX 06-6605-2765

下した。これは支点上補剛材が抵抗に寄与せず、支点直上のウェブが早期に座屈するためである。補修ケースについては C-No2 を除いて十分な補修効果が確認され、C-No1, C-No3, C-No6 は健全時の耐力まで回復することができた。C-No2 は、支点上補剛材が当て板を介して下フランジと接地していないため荷重が伝達されず、また、穿孔による断面積減少の影響を受けて、未補修の C-100 より耐力が低下している。一方、C-No1, C-No3, C-No6 は、図-7(a)に示すように、支点直上のウェブの板座屈を抑制し、桁端側ウェブや支点上補剛材など他の位置で高次モードの座屈を誘引している。最大荷重時は支間側ウェブのせん断座屈で迎えた。特に、C-No3 は基本補修ケース C-No1 と同程度の補修効果を確保しつつ、ボルト本数を約 33.3%、当て板重量を約 22.7%削減しており、構造詳細と接合位置が共に優れたケースであったといえる。

単一アングルによる片面・片側補修を行った C-NO5 は図-7(b)に示すように、支間側ウェブの座屈を抑制できていない。また、支点上補剛材が下フランジと接触できておらず、片側自由端の境界条件で座屈が発生しており、C-No1 のように両側固定端の境界条件を維持できていない。これらの理由から、C-NO5 の補修効果 α は 0.86 に留まっている。しかしながら、当て板重量当たり、ボルト本数あたりの補修効果 $\alpha/W, \alpha/n$ は他のケースよりも優れているため、損傷程度が軽微な場合には効率の良い補修ケースであると考えられる。

C-No7 のケースは C-NO2 を除いたケースのうちでは当て板重量 W が最も小さい。このケースでは、図-7(c)の通り、支点上補剛材の供したボルトが 1 本であるため、支点反力により両側アングルの隙間が広がり、アングル上端が面外に変形して支点上補剛材から離間している。

5. まとめ

本研究では、両側支点上補剛材の下端が欠損した状態でボルト接合により補修した桁端部を対象に、片面当て板の構造詳細や接合位置が耐荷メカニズムに与える影響を FEA により検討した。以下に、得られた結果をまとめる。

- 1) 当て板補修部の必要ボルト本数は、支点上補剛材の柱座屈の照査で考える有効断面積のうち、欠損範囲の全強を当て板が分担すると仮定して計算することで、設計上削減できた。また、解析結果によれば、より少ないボルト本数でも十分な補修効果を確保できると考えられる。
- 2) 片面当て板補修では、複数のボルトを用いてウェブと支点上補剛材を連結すること、当て板と下フランジは接地あるいは連結すること、支点上補剛材は桁端側と支間側の両方から当て板して拘束することが望ましい。

表-1 解析ケースの詳細および最大荷重

ケース名	当て板枚数	当て板重量 W (N)	ボルト本数 n	最大荷重 P (kN)	$\frac{P_{max}}{P_{max-int}}$	$\frac{P_{max}}{P_{max-int} \cdot W}$	$\frac{P_{max}}{P_{max-int} \cdot n}$
base	—	—	—	2391	1.00	—	—
C-100	—	—	—	1326	0.55	—	—
C-No1	2-Angles	99.1	9	2441	1.02	0.0103	0.1134
C-No2		44.8	6	1274	0.53	0.0119	0.0888
C-No3		76.6	6	2367	0.99	0.0129	0.1650
C-No4	1-Angle, 1-flat pl.	80.6	4	2237	0.94	0.0116	0.2339
C-No5	1-Angle	50.0	4	2053	0.86	0.0172	0.2147
C-No6	2-Angles	100.1	6	2407	1.01	0.0101	0.1678
C-No7		64.1	5	2113	0.88	0.0138	0.1767

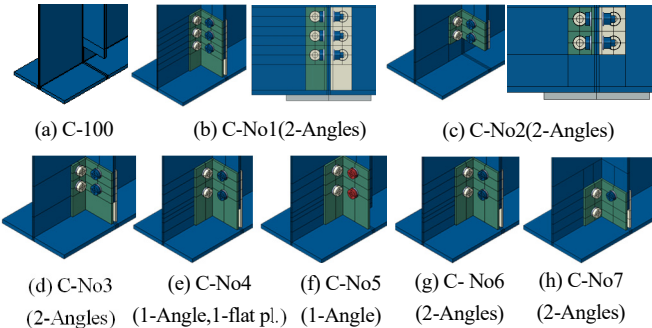


図-4 各ケースの当て板補修部の様子

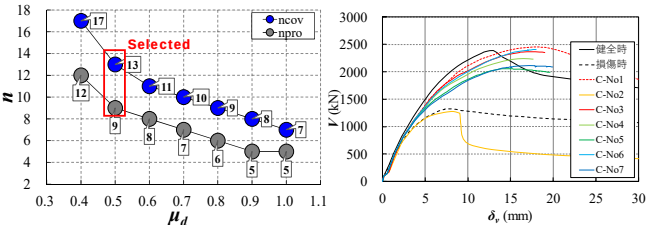


図-5 片面当て板補修部の必要ボルト本数の計算例

図-6 支点反力（片側） V と載荷変位 δ_r の関係

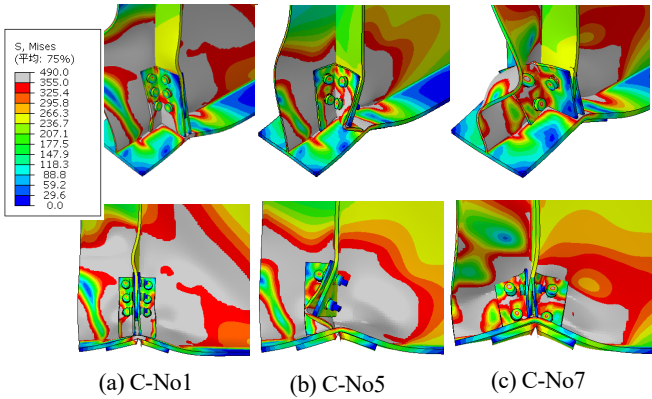


図-7 最大荷重時のミーゼス応力コンター（変形倍率：10）

謝辞

本研究は（一社）日本鉄鋼連盟 2018 年度「鋼構造研究・教育助成事業」の助成を受けました。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

1) 玉越隆史, 中洲啓太, 石尾真理, 武田達也, 水津紀陽: 鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究, 国土技術政策総合研究所資料, No. 294, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2006.
2) 丹波寛夫, 木村聡, 杉山裕樹, 山口隆司: 無機ジンクリッチペイント面とそれと異なる接合面処理がなされた高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験, 構造工学論文集, Vol. 58A, pp.803-813, 2012.3.
3) 丹波寛夫, 行藤晋也, 木村聡, 山口隆司, 杉浦邦征: 接合面が鋼材粗面と無機ジンクリッチペイント面の高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の提案, 土木学会論文集 A1, Vol. 70, No. 1, pp.137-149, 2014.