第Ⅰ部門　　鋼Ⅰ桁の当て板補強における上フランジ側当て板分割部の応力伝達を目的とした中フランジ当て板の有効性に関する研究

大阪公立大学大学院　学生員　○武田　彩夏
大阪公立大学大学院　正会員　山口　隆司
大阪公立大学大学院　正会員　森山　仁志
日本ファブテック株式会社　正会員　彭　雪
日本ファブテック株式会社　正会員　奥村　学

1.　研究背景と目的

床版取替による重量増加や設計荷重の改定に伴い，設計耐力不足と判定される既設鋼橋が存在している．このような橋梁では，高力ボルト摩擦接合を用いた当て板補強により対策がなされることが少なくない．ところで，**図-1** に示すような合成Ⅰ桁を当て板補強する場合，垂直補剛材との干渉・取合い，施工性の観点から，分割した当て板構造を用いることが想定される．著者らは，上フランジ当て板の分割に伴い低下する応力伝達量を補うため，垂直補剛材を回折するバイパス形状の中フランジを併用する方法を検討している．本稿では，中フランジ当て板の応力伝達機構および有効性について数値解析的に調査する．

2.　有限要素解析モデル

FE モデル（**図-1**）は対称性を考慮した 1/2 モデルとし，高力スタッドボルトで当て板補強をしている連続活荷重合成Ⅰ桁の実橋を参考に作成した．中フランジ当て板は上フランジ当て板と板厚を一致させ，上フランジの上縁の垂直応力が上フランジ当て板取り付け時と一致するように，板幅を決定している．

解析ケースは，連続した上フランジ当て板を配置（UC），分割上フランジ当て板を配置（DC），分割上フランジ当て板と中フランジを配置（DC-MF）の 3 つを用意した．

鋼Ⅰ桁・当て板・床版・座金はソリッド要素，高力スタッドボルトは梁要素でモデル化した．材料構成則は，すべて加工硬化係数を $E/100$ とするバイリニア型とし，導入した材料特性は**表-1** に示す通りとしている．

中間支点に位置する P4 側断面の全節点を完全固定し，C5 断面側には合成断面の図心位置に参照点を設け，**表-2** に示すせん断力に相当する鉛直荷重と集中モーメントを与えた．モデル化範囲を考慮して**図-2** に示す片持ち梁の載荷条件を採用し，設計と解析のせん断力の差は許容し，曲げモーメントを完全に一致させている．載荷方法は，死荷重（DL）による断面力を鋼桁の図心に，活荷重（LL）による断面力を参照点に与えることで対応した．DL+LL 載荷後は，LL のモーメントと鉛直荷重の比率を維持しつつ，演算が発散するまで両者を増分させた．解析ソルバーに Abaqus/Standard2023 を用いた．

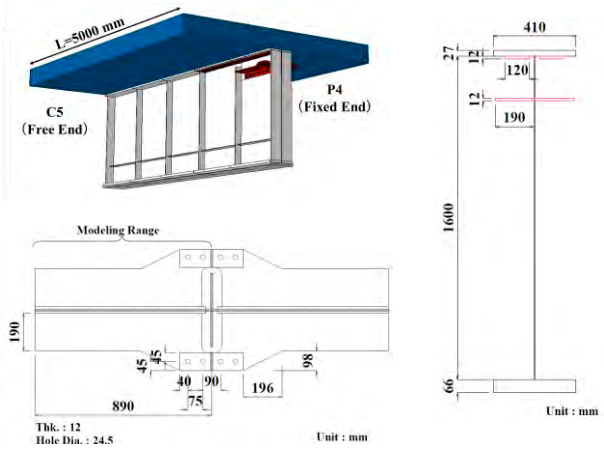


図-1　解析モデル

（左上：全体図，左下：中フランジ寸法，右：断面図）

表-1　材料特性

Materials	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Compressive Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Poisson's ration
Concrete		5	50	3.3×10^4	0.167
H.S.B.(F8T)	640	800		2.0×10^5	0.3
Steel(SM490A)	315	490			

表-2　設計荷重

		Vertical Load（kN）	Moment（kN・m）
Design	DL	-330.9	-448.4
	LL	-505.6	-1106
FEA	DL	-381.4	-448.4
	LL	-227.1	-1106

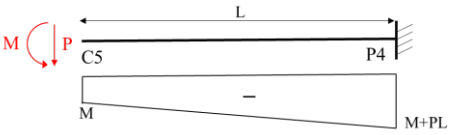


図-2　モーメント分布

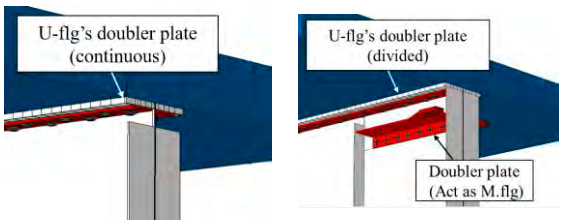


図-３　連結構造（左：UC，右：DC-MF）

Ayaka TAKEDA, Hitoshi MORIYAMA, Takashi YAMAGUCHI, Setsu HOU, and Manabu OKUMURA
sg22290w@st.omu.ac.jp

3. 解析結果と考察

荷重―たわみ関係を**図-4** に示す．各ケースを比較すると，初期剛性はどのケースでも概ね一致しているが，線形限界荷重は DC が最も小さくなった．そこで，死活荷重（DL+LL）608.5 kN および，DC-MF の線形限界荷重 1566.4 kN を荷重レベル 1,2 と定義しその応力性状を調べ，中フランジ当て板の荷重伝達効果を明らかにする．

P4 側断面周辺の上フランジ上縁の von Mises 応力コンター発生応力を**図-5** に，ケース DC に対する DC-MF の上フランジの直応力低減率を**図-6** に，中フランジ当て板の直応力コンターを**図-7** にそれぞれ示す．**図-5** より，荷重レベル 1 において，ケース DC-MF は DC と比較して応力が低減しており，**図-6** より，DC に対する応力低減率は最大で 8%程度である．最大応力については，DC-MF は UC より 7MPa 程度大きく，DC より 9MPa 程度小さい．

図-6 より，中フランジの応力低減効果は設置範囲外でも確認されていることから，上フランジから中フランジに応力が伝達していることがわかる．中フランジに伝達された応力は，**図-7** に示すように，垂直補剛材を回折している．他方，高力ボルト摩擦接合継手において，2 つのボルト孔周りの応力に差異があることから，フィレットを含む断面の拡幅形状やボルト配置には合理化の余地が残されている．

図-5 より荷重レベル 2 において，ケース DC-MF は DC，UC と比較して応力が低減しているものの，荷重レベル 1 ほど優位な差は確認されていない．**図-6** より，DC に対する応力低減率は最大 3%程度と小さく，その結果として，最大応力は DC-MF と DC でほぼ一致している．また，中フランジの設置範囲外では上フランジの応力が増加している．これは，すべりが生じたことから，すべりにより応力伝達ができなかったためと考えられる．

4. まとめ

本研究では，垂直補剛材との取合いから上フランジの当て板を補剛材位置で分割し，中フランジとして機能させる当て板をウェブに併設した構造を対象に，活荷重合成 I 桁における，中フランジ当て板の応力伝達機構および有効性を調査した．

1) 上フランジの直応力は，中フランジ当て板の端部に向かって長手方向に徐々に伝達され，低減していた．その結果として，主桁の荷重―たわみ関係より線形限界荷重が向上した．
2) 分割当て板構造の応力低減効果は，中フランジの定着長だけでなく，拡幅形状や摩擦接合継手の性能によっても変化する．

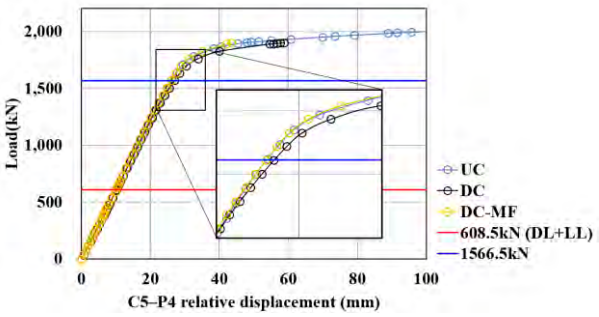
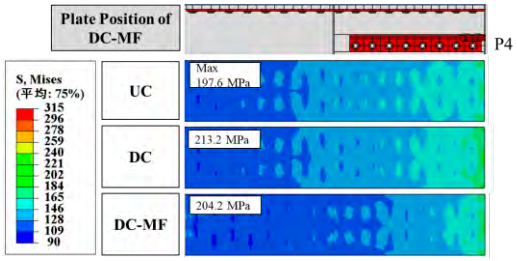
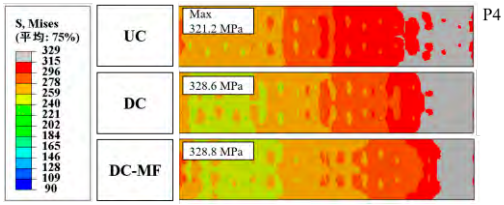


図-4 荷重―たわみ関係



(a) 荷重レベル 1



(b) 荷重レベル 2

図-5 上フランジ上縁の応力分布

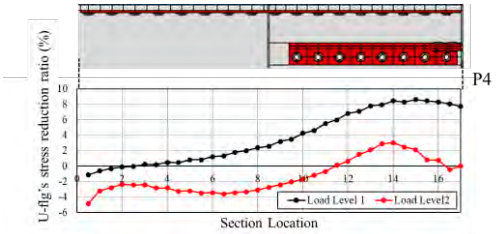
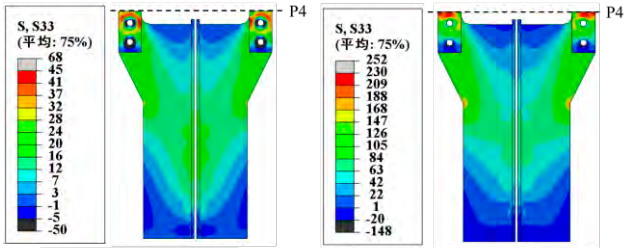


図-6 DC-MF の DC に対する上フランジの直応力低減率



(a) 荷重レベル 1　　(b) 荷重レベル 2

図-7 中フランジ当て板の直応力コンター（DC-MF）

参考文献

1) 彭ら：高力スタッドボルトを用いた鋼 I 桁補強の当て板連結構造に関する解析的検討，鋼構造年次論文報告集，Vol. 32, pp.384-389, 2024.
2) 土木学会 鋼構造委員会：鋼構造シリーズ 37 補修・補強のための高力ボルト摩擦接合技術―当て板補修・補強の最新技術―，2021.