

二重合成構造のI桁橋への適用に関する基礎的研究 ー圧縮フランジの座屈挙動に着目してー

大阪工業大学大学院

学生会員 ○岡山尚輝, 藤井裕也

日本ファブテック株式会社

正 会 員 柳 尾 唯, 山本将士

大阪工業大学

正 会 員 今川雄亮, 大山 理

1. 研究背景・目的

本研究では、複合構造の更なる合理化を目指し、欧州を中心に設計・施工が行われている二重合成I桁橋(写真-1)に着目した。二重合成I桁橋は、連続合成桁橋の負曲げ域において鋼桁圧縮域にコンクリート下床版を設置し、ずれ止めを介して合成を図った構造形式であり、橋梁全長にわたって鋼桁圧縮域にコンクリート床版が存在するため合理的な構造形式であると言える。欧州では、一例として、圧延桁が用いられるなど、鋼桁寸法は合成桁においてもコンパクト断面として設計されている。一方で、本研究では、更なる構造合理化を図るため、鋼桁をスレンダー断面の幅厚比としながらもコンクリートの拘束効果により局部座屈の発生が防止されることで、定義される以上の耐荷力を有するのではないかと期待する。しかし、その際、鋼桁外側の自由突出部(図-1)においては局部座屈の発生が懸念され、課題として挙げられる。

そこで、本研究では、二重合成I桁橋の自由突出部を模した試験体など計2体の試験体を製作し、コンクリートによる圧縮フランジ自由突出部における局部座屈の抑制効果の確認を行うことを目的として、静的4点曲げ試験を実施した。本稿では、その結果について報告する。

2. 試験概要

本試験では、鋼モデル(U9-S)および二重合成モデル(U9-DC)の計2体の試験体について、本学が所有する2000kN長柱万能試験機を用いてスパン中央700mmに静的4点曲げ試験を実施した。なお、試験機が単純支持であるという制約上、実橋における中間支点上の応力状態を再現



写真-1 二重合成I桁橋

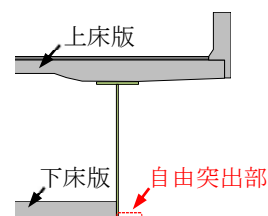


図-1 自由突出部

するため、試験体を上下反転させて設置をしている。

両試験体の試験体寸法について、鋼部材寸法は等しく、圧縮フランジ幅厚比は複合構造標準示方書¹⁾に準拠し、スレンダー断面に分類される鋼部材断面とした。なお、U9-S、U9-DCは、それぞれ、鋼部材のみ、試験体圧縮フランジ片側のみ頭付きスタッド($\phi 16 \times 80$)を介してコンクリートを合成し、二重合成I桁橋の自由突出部を模した試験体である。一例として、U9-DCの試験体寸法を図-2、試験体設置状況を写真-2に示す。

3. 試験結果

本研究では、座屈荷重等の強度予測については道路橋示方書等²⁾に準拠してファイバー法により算出し、変位やひずみの算出についてはFE解析を実施した。なお、各解析に用いた両試験体の材料特性値について、鋼材(SM400材)、鉄筋(SD295)はミルシートの値、コンクリート($f'_{cd}=30\text{N/mm}^2$)は材料試験結果とした。

本研究で行った各解析について、強度予測では、座屈応力 σ_{acr} を道路橋示方書²⁾に規定されている自由突出部の圧縮応力度の制限値(U9-S: $R_f=1.25[\sigma_{acr}=0.50\sigma_y]$, U9-DC: $R_f=1.19[\sigma_{acr}=0.53\sigma_y]$)とした。FE解析では、汎用解析プログラム DIANA を用いて材料非線形性を考慮した解

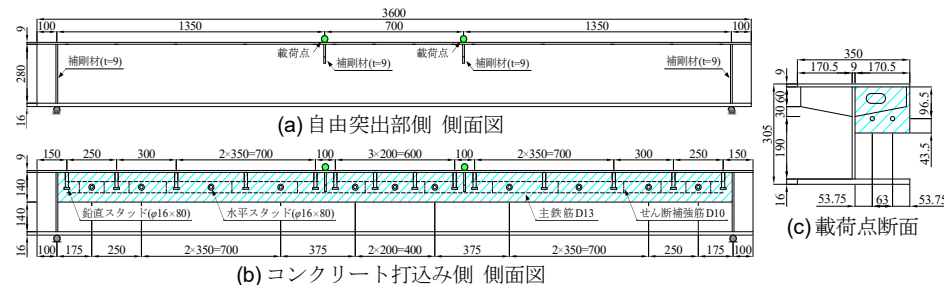


図-2 試験体 U9-DC の試験体寸法(寸法単位: mm)



写真-2 試験体設置状況(U9-DC)

キーワード : 二重合成I桁橋, 圧縮フランジ自由突出部, 局部座屈, 耐荷力, 限界状態設計法, 有限要素解析

連絡先 : 〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5丁目16番1号(9号館6階 橋梁工学研究室) TEL: (06)6954-3315

析を行った。FE 解析モデルの諸条件を表-1 に示す。なお、FE 解析において幾何学的非線形性は考慮していない。

(a)試験体 U9-S : 試験体 U9-S の荷重-変位関係を図-3 に示す。図-3 より、U9-S の最大荷重 $P_{max}=492.6\text{kN}$ ($P_{max}/P_{ay}=0.93$) であることがわかる。圧縮フランジにおいて局部座屈 ($P_{ecr}=356.6\text{kN}$) の発生が確認され、試験体 U9-S は想定通りスレンダー断面に分類されることが確認できた。

(b)試験体 U9-DC : 試験体 U9-DC の荷重-変位関係を図-4、ひずみ計測位置を図-5、圧縮フランジの荷重-ひずみ関係を図-6 に示す。図-4 より、U9-DC の最大荷重 $P_{max}=547.1\text{kN}$ ($P_{max}/P_{ay}=0.87$) であることがわかり、U9-S と比較し終局耐力は合成効果により約 1.1 倍増加した。また、図-6 より、U9-DC は自由突出部側(計測位置:U5)において、荷重 $P_{ecr}=287.1\text{kN}$ ($P_{ecr}/P_{acr}=0.79$)、圧縮ひずみ $\epsilon_{ecr}=-804\mu$ ($\epsilon_{ecr}/\epsilon_{acr}=0.98$) 時に局部座屈の発生が確認された。以上より、U9-DC は自由突出部側において解析値の座屈ひずみ相当の圧縮ひずみが作用した時に局部座屈が発生することを確認でき、U9-DC はスレンダー断面として評価を行う結果となった。一方、コンクリート打込み側では局部座屈が発生せず、コンクリートの拘束効果が確認された。

FE 解析結果より、局部座屈が発生した 287.1kN までは、試験結果と概ね等しい挙動であり、鋼とコンクリートは合成挙動を呈している。しかし、局部座屈発生以降は試験および解析結果に差異が見られ、要因は局部座屈の影響に加え、図-6 より、コンクリートをフランジ片側のみ合成していることによるねじれ等の影響が想定される。

4. まとめ

試験結果より、自由突出部を模した試験体 U9-DC の圧縮フランジ上縁において解析値相当の圧縮ひずみが作用する時、局部座屈が発生することが確認された。このことから、二重合成 I 桁橋を設計する場合、圧縮フランジ自由突出部は幅厚比の制限を行う必要があるといえる。

一方で、本試験では圧縮フランジ自由突出部への局部座屈に対して試験体形状および載荷方法によるねじれの影響が懸念されたため、今後は実橋と同様に 2 主桁形式として FE 解析および実験を行う予定である。また、本試験の知見を活かして圧縮フランジをコンクリート側に偏心させ、自由突出部の突出幅を変化させた新たな形式の二重合成 I 桁橋の検討を行う必要があると考えられる。

【参考文献】
1) (公社)土木学会 複合構造委員会：2014 年制定 複合構造標準示方書【原則編・設計編】，pp.191-199, 2015.5.
2) (公社)日本道路協会：道路橋示方書(II 鋼橋・鋼部材編)・同解説，pp.99-102, 2017.11.
3) (公社)土木学会 コンクリート委員会：2017 年制定 コンクリート標準示方書[設計編]，pp.280-282, 486-489, 2017.3.
4) 橋吉宏ら：SC デッキの構造と内部応力について，川田技報，Vol.27, pp.24-29, 2008.

表-1 解析モデルの諸条件

材料名	材料モデル	要素特性
鋼材，鉄筋	弾性硬化塑性モデル (ひずみ硬化係数: $E_s/100$)	鋼材：構造ソリッド要素 鉄筋：Bar 要素(埋込み鉄筋)
コンクリート(圧縮側)	前川-福浦モデル ³⁾	構造ソリッド要素
コンクリート(引張側)	引張軟化を考慮した 2 直線モデル ³⁾	(全ひずみひび割れモデル)
頭付きスタッド ⁴⁾	線形弾性モデル	節点ばね要素(摩擦・付着×) $k_{(せん断)}: 1.875 \times 10^5 \text{ N/mm}$ $k_{(軸方向)}: 3.23 \times 10^5 \text{ N/mm}$

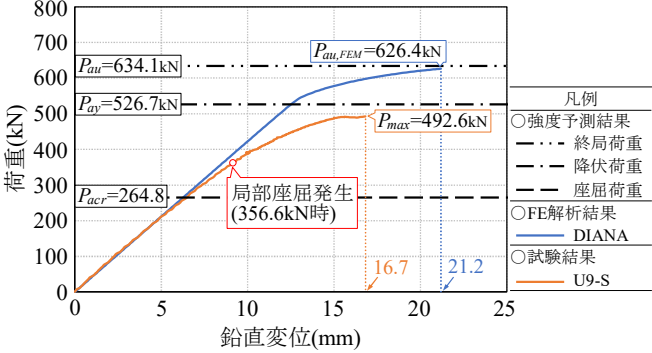


図-3 支間中央部の荷重-変位関係(試験体 U9-S)

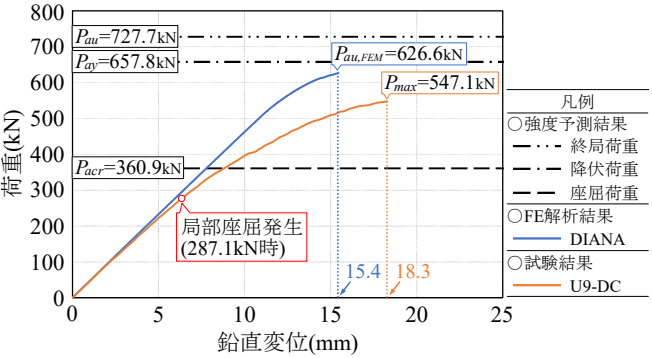


図-4 支間中央部の荷重-変位関係(試験体 U9-DC)

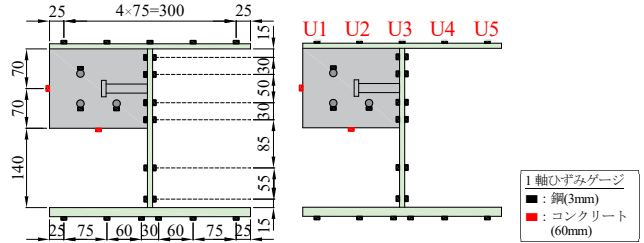


図-5 試験体 U9-DC のひずみ計測位置(寸法単位: mm)

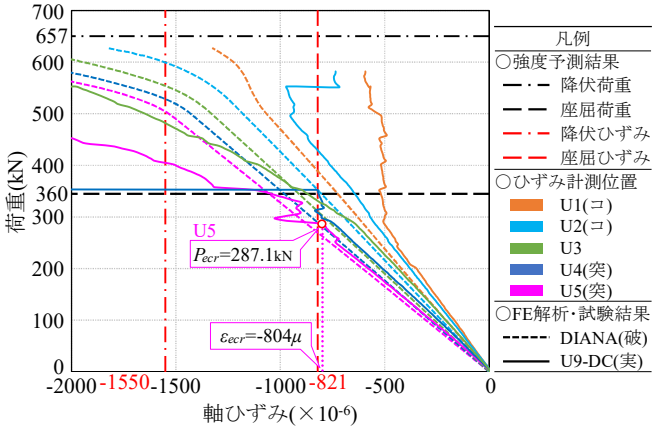


図-6 圧縮フランジの荷重-ひずみ関係(試験体 U9-DC)