(45) RC 床版と鋼桁上フランジの付着が合成桁の弾 塑性挙動に与える影響に関する実験的研究

方 超越1・小野 潔2・宮下 剛3・白戸 真大4・佐藤 悠樹5・橘 肇6

¹学生会員 早稲田大学大学院 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1) E-mail:fangchaoyue@toki.waseda.jp

²正会員 早稲田大学(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1) E-mail:k-ono@waseda.jp

³正会員 長岡技術科学大学 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1) E-mail:mtakeshi@vos.nagaokaut.ac.jp

⁴非会員 国土技術政策総合研究所(〒300-2632茨城県つくば市旭1番地) E-mail:shirato-m92ta@mlit.go.jp

⁵正会員 駒井ハルテック (〒110-0005 東京都台東区上野 1-19-10) E-mail:satoy@komaihaltec.co.jp

⁶正会員 駒井ハルテック (〒110-0005 東京都台東区上野 1-19-10) E-mail:tachi@komaihaltec.co.jp

国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究において、塑性化を考慮した設計法開発のための研究が 実施している。その研究テーマの1つとして、RC 床版と鋼桁上フランジの付着が合成桁の弾塑性挙動に 与える影響に関する検討があり、付着ありの供試体、付着なしの供試体の2種類の供試体を用いて3点載 荷実験を実施した。その実験結果によれば、RC 床版と上フランジの付着が最大耐力に与える影響はほと んどなく、供試体の最大耐力は全塑性モーメントに対応する耐力を上回ることが分かった。また、RC 床 版と上フランジのずれはスタッドに大きなひずみの変化をもたらし、ずれ発生後では、ずれ発生前と比較 して、2つの供試体でスタッドの荷重-ひずみの履歴曲線が近いものとなった。

Key Words: partial factor design method, plastic design, composite girder, bonding

1. はじめに

道路橋の設計基準である道路橋示方書¹⁾(以下,「道示」という)は平成29年11月に改定され,設計体系が部分係数設計法及び限界状態設計法へと移行した.従来は,設計における安全余裕を許容応力度として一律で与えていたが,部分係数法が導入され,安全余裕が作用側と抵抗側それぞれでばらつきを与える要因ごとに,部分係数を設定して設計する体系となり,構造条件に応じて合理的な設計が可能となっている.

ところで、日本の道路橋では、現在、塑性化を考慮し た鋼桁の設計法は導入されていない¹⁾.他方、アメリカ ²⁾、ヨーロッパ³⁾の鋼桁の設計法では、塑性化を考慮し た設計法が導入されているが、それら2つの設計法では 異なった照査式が用いられている.また、日本において も塑性化を考慮した鋼桁の設計法開発のための研究も幾つかは実施されている^{例えば4,5,0}. 今回,道示が部分係数 設計法に移行したことにより,塑性化を考慮した鋼桁の 設計法が導入しやすい環境が整ったと言える.

そのような状況下,平成 29 年度から,国土交通省国 土技術政策総合研究所の委託研究「部分係数設計に向け た塑性化を考慮した鋼桁設計法の研究開発」において, 現行の道路橋示方書の設計法と異なる合成桁の塑性域で の各種特性を考慮した設計法開発のための研究が実施し ている.その受託研究テーマの1つとして,RC床版と 鋼桁の上フランジの付着が合成桁の弾塑性挙動に与える 影響について,実験による検討が実施されている.本論 文では,その結果について報告を行う.

(1) 供試体

RC 床版と鋼桁の上フランジの付着が合成桁の弾塑性 挙動に与える影響について検討を行うため、付着ありの 供試体 A、付着なしの供試体 Bの2体の供試体を用いて 3 点曲げ実験を実施した.2 体の供試体の側面を図-1 に、 テストパネルである供試体支間中央部断面の形状と寸法 をそれぞれ図-2 よび表-1 に示す.

図-1 に示すように供試体全長は 8550mm, 支点間隔 7950mm, ウェブ高 860mm, コンクリート床版厚 200mm の合成1桁である.

RC 床版の鉄筋 SD345 の詳細を図-3 に示す. コンクリ ート下面から 50mm に D16 の鉄筋を 4本, 150mm に 5本 を配筋した. 補強筋について, D13 を補強筋として使用 した.

スタッドは図-1 にコンクリート床版の赤い部分に示 すように、スタッド間隔は両端部で 175mm, それ以外 では 200mm である.また、図-4 に示ように、スタッド は SS400 であり、その頭部は板厚 10mm, 直径は 35mm, 軸径は 22mm である.そして、上フランジの上面から 15mm の位置に、供試体の軸方向に対して 2 枚の弾性ゲ ージを貼付した.

RC 床版と上フランジのずれ変位を測定するため、図−5 に示すように、左右両端に 575mm、1175mm の位置に 変位計を設置した.また、付着の有無がスタッドの挙動 に与える影響について検討するため、図−6 に示すよう に、スタッドの基部付近の供試体長手方向の表裏 2 箇所 にひずみゲージを貼付した.

付着なしの供試体 B については、コンクリートを打 設する前にコンクリート床版と上フランジの間に剥離剤 を塗布し、そのことにより、RC 床版と上フランジの付 着切れを実施した.

本研究で使用した合成桁の供試体に用いた鋼材 SM490, コンクリートの材料試験結果を表-2 に示す. コ ンクリートについては, 27 N/mm²の呼び強度で設計した が, 圧縮試験で実際に得られた強度はそれぞれ 38.3 N/mm², 36.9 N/mm²となっていた.

(2) 実験方法

図-1 に示すように、実験は供試体の中心に荷重を載荷する3点載荷で実施した.荷重の載荷方法を表-3 に示す.表-3 に示すように、降伏荷重に近い1085KNまでは荷重に着目して試験を実施した.そして、繰り返しによる残留変位の影響を確認するため、約500KN,650KN,800KN,950KN,1085KNの荷重で3回の繰り返し載荷を実施した.それ以降は、1085KNに達した変位を降伏変

位 δ_y とし、その降伏変位を基準に約 $1.5\delta_y$ 、 $2.0\delta_y$ の点で 3回の繰り返し載荷を実施した. $2.0\delta_y$ の後は、単調載荷 を行い最大耐力を確認し、RC 床版が圧壊するまで実験 を実施した.

表-1 支間中央部の寸法(単位:mm)

	供試体A	供試体B
床版幅 <i>b_c</i>	500	500
床版厚 <i>t_c</i>	200	200
上フランジ幅 <i>b_{uf}</i>	200	200
上フランジ厚 t_{uf}	12	12
ウェブ高 <i>D</i> w	860	860
ウェブ厚 <i>t</i> w	6	6
下フランジ幅 b _{lf}	200	200
下フランジ厚 <i>t_{lf}</i>	20	20

表-2 鋼材とコンクリートの材料試験結果a) 鋼材引張試験結果

		供試体A	供試体 B
降伏点 (N/mm²)	上フランジ	433	433
	ウェブ	427	427
	下フランジ	403	403
引張強度 (N/mm ²)	上フランジ	551	551
	ウェブ	556	556
	下フランジ	539	539

b) コンクリート圧縮試験結果

	供試体 A	供試体 B		
呼び強度 (N/mm ²)	27	27		
材齢	43 日	37 日		
強度 (N/mm ²)	38.3	36.9		



[単位:mm]

図-1 供試体の全体図





図−3 配筋詳細図

[単位:mm]

表−3 載荷パターン				
制御	供試体A	供試体 B		
荷重 (KN)	$0 \rightarrow 500$	$0 \rightarrow 500$		
	$500 \rightarrow 0$	$500 \rightarrow 0$		
	$0 \rightarrow 650$	$0 \rightarrow 650$		
	$650 \rightarrow 0$	$650 \rightarrow 0$		
	$0 \rightarrow 800$	$0 \rightarrow 800$		
	$800 \rightarrow 0$	$800 \rightarrow 0$		
	$0 \rightarrow 950$	$0 \rightarrow 950$		
	$950 \rightarrow 0$	$950 \rightarrow 0$		
	$0 \rightarrow 1085 \ (\delta_y)$	$0 \rightarrow 1085 \ (\delta_y)$		
	$1085 \rightarrow 0$	$1085 \rightarrow 0$		
変位 VL2 - δ _y - (mm) -	$0 \rightarrow 1.5\delta_y$	$0 \rightarrow 1.5\delta_y$		
	$1.5\delta_y \rightarrow 0$	$1.5\delta_y \rightarrow 0$		
	$0 \rightarrow 2.0\delta_y$	$0 \rightarrow 2.0\delta_y$		
	$2.0\delta_{\nu} \rightarrow 0$	$2.0\delta_{\nu} \rightarrow 0$		

(2) 45-D13 x 840 (SD345)

(3) 実験結果

a) 載荷荷重-鉛直変位関係

供試体中央位置 VL2 における載荷荷重-鉛直変位関係 を図-7 に示す.図中,青線は付着ありの供試体 A,オ レンジは付着なしの供試体 B,黒線は供試体 A と供試 体 B の全塑性モーメントに対応する荷重の理論値 1349KN を表す.実験から得られた最大耐力は,供試体 A が 1468KN,供試体 B が 1466KN である.よって,本 実験結果によれば,付着ありなしが最大耐力に与える影 響はほとんど見られず,2 体の供試体の最大耐力とも理 論の全塑性モーメント対応する耐力を上回っている.



[単位:mm]







さらに、最大耐力に達する前の領域について、降伏荷 重前、降伏荷重後のいずれも繰り返し載荷においても、 繰り返しによる残留たわみの増加はほとんど見られない.

b) 床版と上フランジのずれ

図-8~図-10 に, RC 床版と上フランジのずれ変位に ついて,供試体 A と供試体 B を比較したものを示す. 供試体 A については,いずれの図においても,荷重が 1000kN 付近の荷重で、変位が急激に増加しており、変 位計の設置位置で RC 床版と上フランジの付着が切れ、 滑りが発生したと考えられる.また、すべりが発生する 以前では、付着のある供試体 A が付着のない供試体 B の履歴曲線の傾きに対して非常に大きくなっている.そ れに対して、滑り発生後は、図-10 に示す R1 で差が大 きめではあるが、2つの供試体の履歴曲線の性状は近い ものとなっている.



c) スタッドの荷重-ひずみ関係

図-11~図-14 は図-6 に示す各スタッドの荷重-ひず み関係について供試体 A と供試体 B を比較したものを 示す.なお、図-11~図-14 について、(a)は実験全体の、 (b)は供試体 A で急激なひずみの増加が発生する前の、 (c)は供試体 A で急激なひずみの増加が発生した後の荷 重-ひずみ関係をそれぞれ示している.なお、(b)につ いて、供試体 B は最初から RC 床版と上フランジの付着 がなく急激なひずみの増加が観察されないため、供試体 A とほぼ同じ値の荷重までのデータを(b)の図に示してい る.図-11~図-14 の(b)より、急激なひずみの増加が発 生する前までは、付着のありなしの影響で、供試体 A と供試体 B での履歴曲線の勾配、形状に関して、大き な差が見られる.それに対して、(c)の図に示すように、







図-10 載荷荷重とずれ変位関係(R1)

急激なひずみの増加後は、2 つの供試体の履歴曲線が勾 配、形状が(b)の図と比較して近いものとなっている. ひずみゲージの位置と前述の b)のずれの変位計の設置位 置が同じでなく、図-8~図-10 が大きな変位が発生した 荷重と図-11~図-14 で急激なひずみの増加が発生した 荷重に若干の差が見られるが、急激なひずみの増加は、 床版と上フランジの付着が切れたことが原因ではないか と考えられる.

d)破壊モード

図-15, 図-16 に実験床版の損傷状況を示す.供試体 A, 供試体 B いずれもコンクリートが圧壊し,終局に至った.



3. 結論

RC 床版と鋼桁の上フランジの付着が合成桁の弾塑性 挙動に与える影響について検討を行うため、付着ありの 供試体、付着なしの供試体の2種類の供試体を用いて3 点曲げ実験を実施した. 本研究の実験で得られた知見を以下に示す.

付着ありなしが最大耐力に与える影響はほとんど見られず、2体の供試体の最大耐力とも理論の全塑性モーメント対応する耐力を上回っていた。





(b) ひずみ急増前



- 付着あり、付着なしの供試体のいずれも、最大耐力 に達する前の領域では、各ステップ3回の繰り返し 載荷において供試体中央位置での鉛直方向変位の残 留変位はほとんど発生しなかった。
- ・ RC 床版と上フランジのずれはスタッドに大きなひ ずみの変化をもたらし、ずれ発生後では、ずれ発生









前と比較して、付着ありおよび付着なしの供試体で スタッドの荷重-ひずみの履歴曲線が近いものとなった.

付着あり,付着なしのいずれの供試体も RC 床版の コンクリート圧壊し,終局に至った.



図-15 供試体Aの破壊モード

参考文献

- 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 Ⅱ鋼橋・鋼 部材編, 2017.
- AASHTO: LRFD bridge design specifications, Eighth Edition, 2017.
- 3) CEN: Eurocode 3, Design of steel structures, 2003.
- 岡田 淳,加藤 真志:高強度鋼を用いて塑性化を考慮した合成 I 桁の曲げ耐荷力特性の評価,土木学会論文集, Vol.65, pp.151-164, 2009.



図-16 供試体 B の破壊モード

- 5) 長井 正嗣, 稲葉 尚文, 奥井 義昭, 宮下 剛, 平山 繁幸, 細見 直史: 合成1桁の正, 負曲げ及び相関強度評価に関 する一考察, 構造工学論文集, Vol.55 A, pp.115-123, 2009.
- 6) 稲葉尚文,奥井義昭,長井正嗣,本間 淳史,春日井 俊 博,野呂 直以:合成1桁の曲げ,せん断相関強度解明に 関する実験的研究,土木学会論文集,Vol.66, pp.393-405, 2010.

(Received August 30, 2019)

AN EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECTS OF BONDING BETWEEN RC SLAB AND UPPER FLANGE ON ELASTO-PLASTIC BEHAVIOR OF COMPOSITE GIRDER

Ho Choetsu, Kiyoshi Ono, Takeshi Miyashita, Masahiro Shirato, Yuki Sato And Hajime Tachibana

Sponsored by the National Institute for Land and Infrastructure Management, a research on new design method of composite girder with the consideration of plastic behavior was conducted. As one of the research themes, effects on the elasto-plastic behavior of composite girder due to the bonding between the RC slab and the steel upper flange were investigated in this paper. Three-point flexural test was conducted on two composite girders, one with the bonding and the other without. Comparing the test results obtained in this study, it was found that the bonding between the RC slab and the upper flange had little effect on the maximum strength. Moreover, the maximum strength exceeded the loading corresponding to the full plastic moment in both specimens. In addition, the slip between the RC slab and the steel upper flange caused large change of strain in the studs. Comparing with the results obtained before the occurrence of slip, the hysteresis curve turned out to be similar to the hysteresis curve after the occurrence of the slip.