

I形鋼を用いた新たな複合構造の付着特性に関する研究

宇都宮大学

学生員

○ 馬場翔太郎

正会員

藤倉修一

正会員

Thay Visal

五洋建設株式会社

正会員

宇野州彦

正会員

池野勝哉

日本コンクリート技術株式会社

正会員

篠田佳男

1. はじめに

近年の日本国内における大地震を受けて、構造物に求められる耐震性能は大幅に向上している。また、近年の山岳部の道路建設においては、用地の制約から高橋脚化が求められている。そのため、従来の設計法では太径の鉄筋を多段配置する必要があり、さらに帯鉄筋や中間帯鉄筋を密に配筋する必要がある。また、現場作業の省力化は重大なテーマで、構造物の施工には一層の合理化が求められている。

これらの課題を改善するために、著者らはこれまでに主鉄筋をI形鋼に置き換え、I形鋼のウェブにスタッドを溶植した新たな複合構造を提案し、この提案構造を用いた梁試験体の静的2点曲げ試験および両引き試験を実施した^{1,2)}。その結果、提案構造はRC構造と同様にじん性のある変形性能を有していることが分かった。また、ウェブに引張力が作用することによるポアソン効果によって、ウェブの軸直角方向に圧縮力が生じることを確認し、形鋼とコンクリートとの付着性能の向上が期待されている。しかし、実際に付着性能が向上するかどうかは検証されていない。

本研究では、提案構造におけるI形鋼とコンクリートとの付着特性に着目し、頭付きスタッドを有するI形鋼およびH形鋼の引抜き試験を実施した。試験結果から、形鋼のひずみ分布を用いて形鋼とコンクリート間の付着力を算定し、付着応力について検証した。

2. 試験体概要

引抜き試験体の概要図を図-1に示す。試験体は、全長668mm、I形鋼の長さは632mm、コンクリートブロックの高さは320mmで、断面は300×400mmである。コンクリートブロックの四隅には、かぶり30mmの試験体固定用の孔(φ40)を設けており、コンクリートブロック上端の形鋼には、20mmの非付着部を設けている。試験体には比較のために形鋼寸法の異なる2ケース用意し、I形鋼ウェブの両面に上下2本ずつスタッドを溶植したCase1、H形鋼ウェブに、同様にスタッドを溶植した試験体をCase2とした。それぞれの形鋼はI-150×75×5.5×9.5、H-175×90×5×8であり、それぞれ断面積はほぼ等価である。ウェブにスタッドを配置しているため、ウェブから引張力を作用させるために形鋼上側のフランジを一部切断するとともに、ジャッキを取り付ける上鋼板とウェブを補剛材によって繋いでいる。スタッドは軸径10mm、高さ40mmであり、スタッド間隔は100mmとした。鋼材の機械的性質とコンクリートの材料特性を、それぞれ表-1、表-2に示す。I形鋼、H形鋼、頭付きスタッドには鋼種SS400を用いた。なおコンクリートの材料特性は、試験日材齢におけるものである。全ての試験体は同一日にコンクリートの打設を行い、スランプは10.0cm、空気量は4.3%であった。

荷重方法は、コンクリートブロックの四隅を荷重フレームに固定し、形鋼上部に溶接した鋼板とクレビスを接続して、押引き300kNの油圧ジャッキにより鉛直方向に荷重し

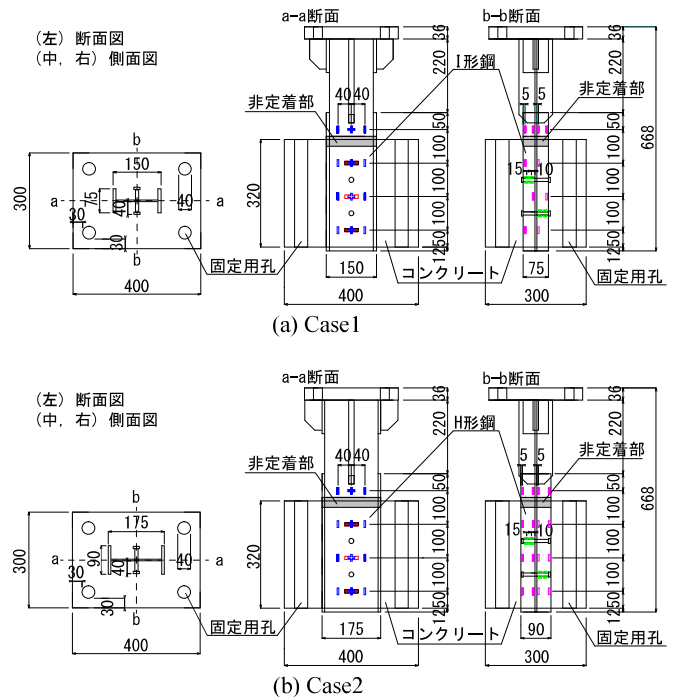


図-1 試験体概要図

表-1 鋼材の機械的性質

部材	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
I形鋼 (150×75×5.5×9.5)	385.6	461.2	203.3
H形鋼 (175×90×5×8)	394.1	471.8	203.0
頭付きスタッド (φ10, h=40mm)	430.0	489.7	-

表-2 コンクリートの材料特性

試験体名	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
Case1	31.1	3.0	30.4
Case2	35.8	3.6	27.3

た。荷重サイクルは、50kN毎に除荷する繰り返し荷重とし、大幅な荷重の低下または試験体の破壊状況を確認して荷重を終了した。各荷重サイクルではそれぞれ1回ずつ荷重を行った。図-1内に、コンクリート内外の形鋼の軸ひずみ計測位置を示し、青い四角でウェブひずみを、ピンクの四角でフランジ外側ひずみを示す。なお、ウェブについては、四角の塗りつぶしは手前側、白抜きは裏側を、フランジについては、四角の塗りつぶしは手前のフランジ外側、白抜きは奥のフランジ外側の計測を意味する。

Key Words: 複合構造, 引抜き試験, 付着特性, ポアソン効果

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 Tel.028-689-6227

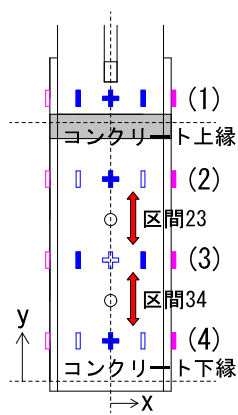
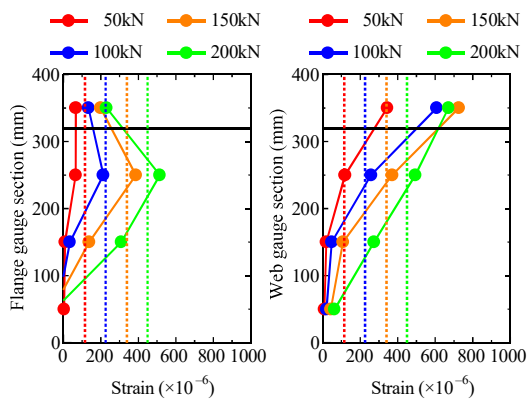
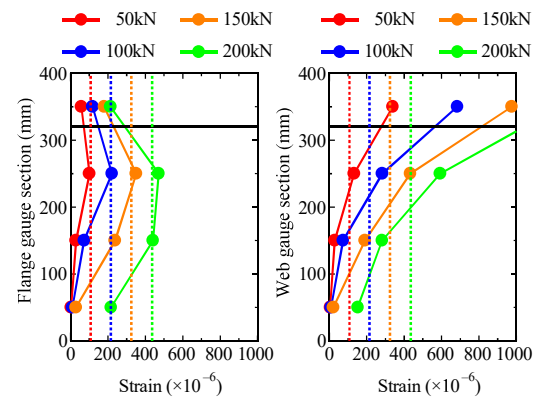


図-2 ひずみ計測位置



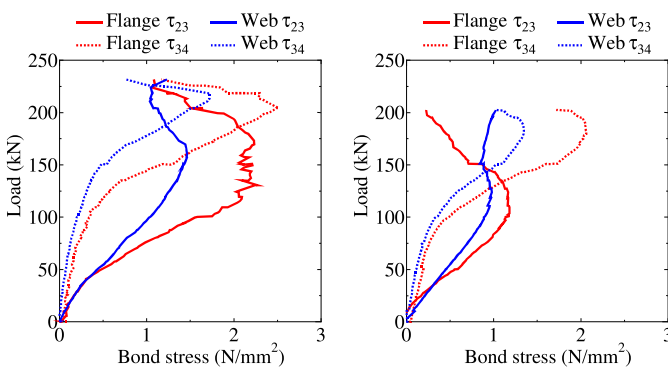
(a) フランジひずみ分布 (b) ウェブひずみ分布

図-3 高さ方向ひずみ分布 (Case1)



(a) フランジひずみ分布 (b) ウェブひずみ分布

図-4 高さ方向ひずみ分布 (Case2)



(a) Case1

(b) Case2

図-5 荷重-付着応力関係

3. 試験結果

(1) 高さ方向ひずみ分布

図-3, 図-4に, 2つの試験体における形鋼の高さ方向ひずみ分布を示す。ここで, 横軸は形鋼の軸ひずみを示し, 縦軸はコンクリートブロック下縁からの距離 (= y) を示している。 y はそれぞれ 350mm, 250mm, 150mm, 50mm であり, 図-2中にそれぞれの高さを (1)~(4) として示している。それぞれの高さのひずみは平均値を用いており, 荷重ごとに色分けして結果を表示している。各色の縦の点線は各荷重を形鋼の断面積で除すことによる形鋼ひずみの平均値を, 黒の実線はコンクリート上縁の位置を示している。

Case1 および Case2 ともに, コンクリート部内においてフランジおよびウェブのひずみ分布では, コンクリート上縁からコンクリート下縁に向かって軸ひずみの大きさが小さくなっている。これは, コンクリートと形鋼との間に働く付着抵抗によるものである。しかし, 図-4(a)に示す Case2 の 200kN 時において, (2) と (3) の間の区間 23 でのフランジひずみにほとんど差がないが, これは区間 23 でコンクリートと形鋼との間に作用する付着が切れたと考えられる。

(2) 付着応力

図-3, 図-4のひずみ分布より, ある高さ方向の区間における形鋼とコンクリート間の付着力 f_b を, 軸ひずみを用いて式 (1) より算定した。

$$f_b = (\varepsilon_m - \varepsilon_n) \times E_s \times A_s \quad (1)$$

ここで, ε_m および ε_n は対象区間にける上端および下端の鉛直方向軸ひずみ, E_s は形鋼の弾性係数, A_s は形鋼の断

面積を示している。付着力はフランジとウェブでそれぞれ算定し, 対象区間におけるフランジおよびウェブとコンクリートとの接触面積で除すことで付着応力 τ を求めた。荷重-付着応力関係を図-5に示す。横軸は付着応力を, 縦軸は荷重を示し, τ の添え字は付着応力を算定した区間を表しており, 図-2の高さ (1)~(4) に対応している。

両試験体とも, 荷重 100kN 程度までは区間 23, 区間 34 ともに荷重の増加とともに付着応力が大きくなる傾向であり, 区間 23 の方が区間 34 よりも付着応力は大きい。荷重が 100kN 程度以降から, 荷重とともに区間 23 での付着応力が減少し, 区間 34 での付着応力が増加し始める。このことから, 荷重が 100kN 程度までは区間 23 の付着で主に抵抗していたが, 区間 23 での付着が切れることで 100kN 程度以降から区間 34 の付着で抵抗し始めていることを示している。また, フランジとウェブの付着応力を比較すると, フランジの付着応力の方が大きい傾向にある。付着応力は, 式 (1) により算定した付着力に対して対象区間の形鋼とコンクリートとの接触面積で除しているが, ウェブに引張力が作用することでポアソン効果によってフランジ間のコンクリートが圧縮され, フランジとコンクリート間の付着応力が大きくなったと考えられる。また, 区間 23 におけるウェブの付着応力は, フランジの付着応力の低下と比較してそれほど低下していない。これは, 頭付きスタッドが形鋼のずれに対して抵抗したためであると考えられる。

4. まとめ

本研究では, ウェブにスタッドを溶植した I 形鋼の引張特性を把握するために, 引抜き試験を実施した。以下に, 本研究における知見を示す。

1. 形鋼の軸ひずみは, コンクリート上縁から下縁に向かって小さくなっており, 形鋼とコンクリート間の付着抵抗によるものである。
2. コンクリートと形鋼の間の付着応力はウェブに比べてフランジの方が大きく, フランジ間のコンクリートが圧縮されることによるポアソン効果の影響であると考えられる。

参考文献

- 1) 藤倉修一, 柳谷一輝, 宇野州彦, 篠田佳男: I 形鋼を用いた新たな複合構造の曲げ耐荷性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.943-948, 2021.7.
- 2) 宇野州彦, 池野勝哉, 藤倉修一, 篠田佳男: I 形鋼のウェブにスタッド配置した複合構造のコンクリート付着特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.937-942, 2021.7.