

孔あき I 形鋼を用いた複合構造の曲げ耐荷性能に関する実験

宇都宮大学 学生員○和栗辰樹 正会員 藤倉修一 正会員 タイウィサル 学生員 尾崎光城  
五洋建設(株) 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) 正会員 篠田佳男

1. はじめに

兵庫県南部地震をはじめ、我が国では大地震により数多くの橋梁構造物に甚大な被害が生じており、構造物の耐震性能向上が進められている。これによって、特に、鉄筋コンクリート構造（以下、RC 構造）においては、鉄筋量の大幅な増加に伴って、過密配筋が原因で施工が困難になり、コンクリートの充填性等が大きな課題となっている。この課題を解決するために、著者らは RC 構造における主鉄筋の代わりに I 形鋼を用い、ずれ止めとしてウェブにスタッドを配置した複合構造（以下、既往の提案構造）を提案<sup>1)3)</sup>している。既往の提案構造は複数の鉄筋を単一の I 形鋼に置き換えるため、配筋作業の省力化による施工性の向上が期待できる。しかし、既往の提案構造を頂版やフーチング等の構造物に用いる場合、I 形鋼ウェブを水平に配置するため、コンクリート打込み時に、I 形鋼下側に空気が溜まるコンクリートの充填不良が懸念される。そこで、本研究ではウェブに孔をあけた I 形鋼を主鋼材とする新たな複合構造（以下、本提案構造）を提案する。本提案構造では、I 形鋼を水平に配置する場合、打込み時に I 形鋼の孔が空気孔として機能し、I 形鋼下側に形成しやすい空隙を防ぐ役割が期待できる。さらに、既往の提案構造で確認されたポアソン効果<sup>1)3)</sup>に加え、孔にコンクリートが充填されることによって孔あき鋼板ジベルとして作用し、コンクリートとの付着性能向上が期待できる。ここでは、本提案構造の梁試験体に対して静的 2 点載荷試験を実施し、ずれ止めに頭付きスタッドを用いた試験体と比較することで、本提案構造の曲げ耐荷性能および付着性能について検証した。

2. 試験体概要および試験方法

試験体は Type-A～C の合計 3 タイプで、いずれも I 形鋼を主鋼材に用いている。試験体の断面図を図-1、側面図を図-2 に示す。いずれの試験体も全長 3200mm、250×400mm の矩形断面である。Type-A はウェブに頭付きスタッドを配置した既往の提案構造、Type-B はウェブに孔をあけた本提案構造であり、Type-C はウェブに孔をあけ、さらに頭付きスタッドを配置した構造である。曲げ試験日の材齢におけるコンクリートの材料特性を表-1 に、鋼材の材料特性を表-2 に示す。試験は図-2 に示したように、梁試験体の両端からそれぞれ 100mm の位置に支点を設置して、等曲げ区間を 1000mm とし静的に 2 点載荷した。載荷は 3 サイクルに

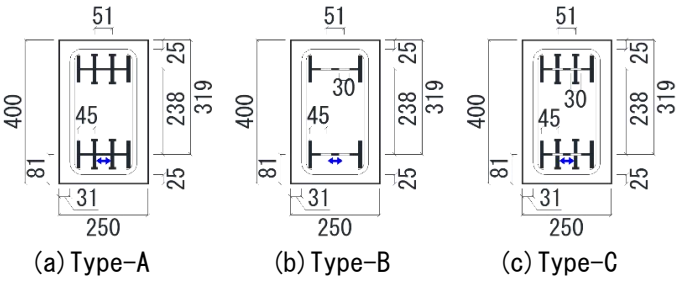


図-1 断面図

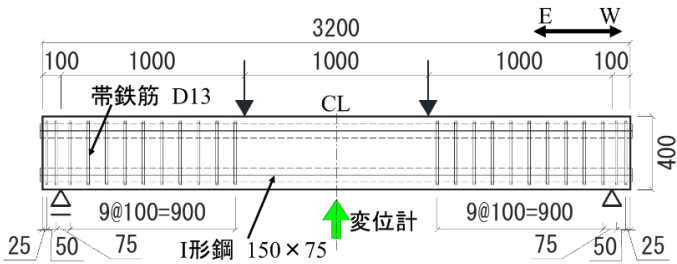


図-2 側面図

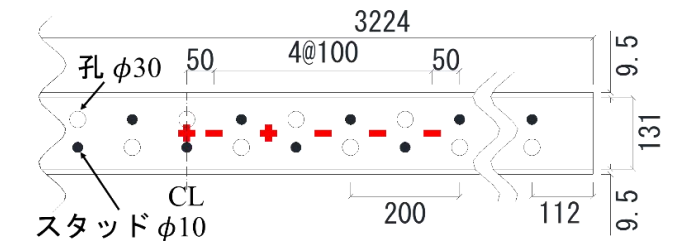


図-3 ウェブ詳細図

表-1 コンクリートの材料特性

| 試験体名   | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 静弾性係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Type-A | 40.8                         | 3.3                          | 3.0×10 <sup>4</sup>           |
| Type-B | 39.6                         | 3.5                          | 3.1×10 <sup>4</sup>           |
| Type-C | 42.7                         | 3.5                          | 3.1×10 <sup>4</sup>           |

表-2 鉄筋、I 形鋼および頭付きスタッドの材料特性

| 部材      | 降伏強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏ひずみ<br>(×10 <sup>-6</sup> ) |
|---------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 帯鉄筋     | 389                          | 1.8×10 <sup>5</sup>           | 2123                          |
| I 形鋼    | 378                          | 2.1×10 <sup>5</sup>           | 1839                          |
| 頭付きスタッド | 430                          |                               |                               |

分けて行い、第 1 サイクルではひび割れ発生後、第 2 サイクルでは主鋼材降伏後、第 3 サイクルでは終局状態の後にそれぞれ除荷した。主な測定項目は、試験体下面中央のたわみ、主鋼材のひずみ、コンクリート中の圧縮ひずみである。

Key Words: 複合構造, 孔あき鋼板ジベル, 静的載荷実験, 付着性能, 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

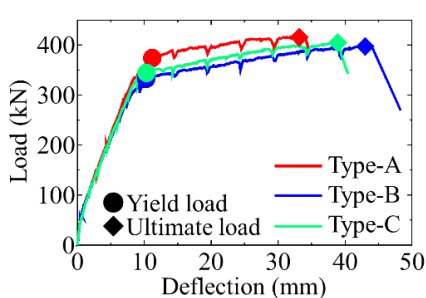


図-4 荷重-中央変位関係

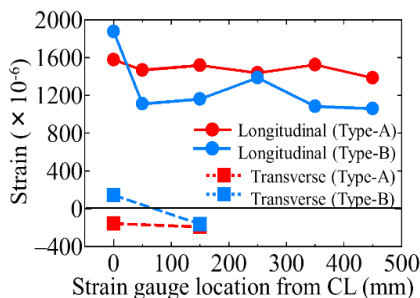


図-5 ウェブのひずみ分布（降伏時）

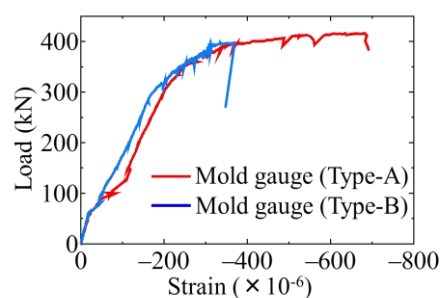


図-6 フランジ間のコンクリートひずみ

これらの計測位置を図-1～3に示す。また、梁の左右位置を図-2に示すようにE側とW側と定義する。図-1に示した青色の両矢印はコンクリート用モールドゲージ位置で、フランジ間ウェブ近傍のコンクリート圧縮ひずみを計測している。図-3には、引張側I形鋼ウェブの下面におけるひずみゲージ計測位置を示す。軸方向に生じるウェブ中央のひずみを6箇所計測し、さらに、CL上およびCLから150mm W側の位置では、これらに直交するひずみも計測している。

### 3. 実験結果

#### (1) 荷重-中央変位関係

各試験体の荷重-中央変位関係を図-4に示す。全ての試験体で、主鋼材降伏後も荷重が低下することなく、じん性のある変形性能を示している。また、いずれの試験体においても、実験終了時における計測したI形鋼の引き込み量は最大で0.04mmであり、終局時に至るまで、スタッドおよび孔あき鋼板ジベルがずれ止めとして作用したことを示している。また、孔のみのType-Bと孔とスタッドを配置したType-Cの荷重-中央変位関係はほぼ等しいことから、孔あき鋼板ジベルのみでコンクリート中における付着性能を十分に確保できることが分かる。

#### (2) ポアソン効果

図-5にType-AおよびType-Bにおける引張側I形鋼ウェブの降伏時のひずみ分布を示す。縦軸は計測ひずみ、横軸は試験体中央からの計測位置である。赤色はType-A、青色はType-Bを表し、実線は軸方向の中央ひずみ、破線は軸直角方向の中央ひずみを表している。いずれの試験体においても軸方向には引張応力が作用し、軸直角方向には、Type-Bの中央位置を除いて、圧縮応力が作用している。なお、Type-Bの中央位置における軸直角方向ひずみは、軸方向のウェブが降伏してから、圧縮に転じている。また、中央位置におけるモールドゲージによって計測した荷重-ひずみ関係をType-AおよびType-Bについて図-6に示す。図-6から、両試験体において載荷荷重の増加とともに、フランジ間のコンクリートにおける圧縮ひずみが増加している。これは、図-5でも示したが、I形鋼ウェブの軸方向に引張力が作用することによって、鋼材のポアソン効果によりフランジが軸直角方向に変形し、内部コンクリートに圧縮力が作用したと考えられる。また、Type-Cについても同様の傾向が確

認された。これらのことから孔を有するI形鋼においても、引張力作用下でのポアソン効果の影響が確認された。ポアソン効果によるI形鋼とコンクリートの付着力に着目した引抜き試験では、ポアソン効果によってフランジとコンクリート間の付着力が大きくなることが示されており<sup>2)</sup>、本提案構造においてもポアソン効果による付着性能の向上が期待される。

### 4. まとめ

本研究では、従来のRC構造に代わる新たな複合構造として、鉄筋の代わりにI形鋼を用い、ずれ止めとしてウェブに孔をあけた複合構造を提案した。この梁試験体に静的2点載荷試験を実施し、ずれ止めにスタッドを用いた試験体と比較することで提案構造の曲げ耐荷性能および付着性能について検証した。本研究より得られた結果および知見を以下に示す。

1. ウェブにずれ止めとしてスタッドや孔を配置した全ての試験体で、主鋼材降伏後も荷重が低下することなく、じん性のある変形性能を示した。
2. I形鋼ウェブに孔のみを配置した試験体と孔とスタッドを配置した試験体の荷重-中央変位関係はほぼ等しいことから、孔あき鋼板ジベルのみでコンクリート中における付着性能を十分に確保できた。
3. スタッドを配置したI形鋼と同様に、孔あき鋼板ジベルを配置したI形鋼においても、引張力作用下でのポアソン効果による影響が確認され、軸直角方向のウェブおよびフランジ間のコンクリートに圧縮応力が作用した。

### 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) 藤倉修一, 馬場翔太郎, 宇野州彦, 篠田佳男: I形鋼を用いた新たな複合構造の付着特性に着目した引抜き試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.2, pp.1075-1080, 2022.7.
- 3) 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.