

CS-88

ウェブ鋼板によりせん断補強された合成はりの力学性状に関する実験と解析

首都高速道路公団 正員 鳥羽正樹 足利工業大学 正員 阿部英彦
宇都宮大学 正員 中島章典 北海道大学大学院 学生員 中井勝彦

1. はじめに

コンクリートを鋼板で補修・補強する場合、施工が比較的容易であり、また、鋼板でコンクリートの底面と側面を包むような箱型の構造を採用すれば型枠としても利用できる。このような合成構造の特徴を利用するために、鋼板のせん断補強効果やせん断抵抗性状を明らかにする必要がある。そこで、本研究ではスタッド付き鋼板をコンクリートの底面にあて、また、スタッド付き鋼板をコンクリートのウェブ部分に埋め込んだ合成はりを用い、スタッドの配置や鋼板の厚さをパラメータとして、実験と解析を行い、この合成はりがせん断力に抵抗するときのメカニズムや耐力力を検討した。

2. 実験概要

実験においては図1に示すように、せん断力に抵抗するためにスタッド付き鋼板(ウェブ鋼板)をコンクリートはりのウェブ部分に埋め込み、曲げモーメントに抵抗するためにスタッド

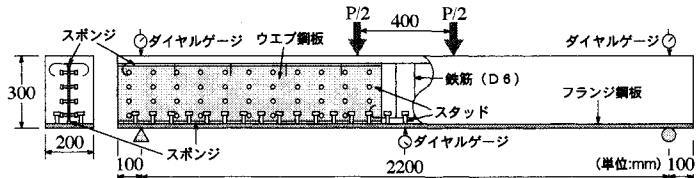


図1 合成はり試験体の概要および荷荷状況

付き鋼板(フランジ鋼板)を底面にあてた合成はり試験体を用い、単純支持の静的2点荷重を行った。試験体は、長さ1100mm、高さ230mmのウェブ鋼板全体にスタッドを配置したA1、A2タイプ、鋼板の上下縁に配置したBタイプおよび鋼板中央に配置したCタイプの4体を製作した。ウェブ鋼板の厚さは、A1タイプでは3.2mm、それ以外では2.3mmとした。なお、ウェブ鋼板の曲げに対する補強効果をできるだけ小さくするために、ウェブ鋼板ははり中央部で分離させ、上下縁にスポンジを付けて設置した。荷重試験ではスパン中央のたわみ、ウェブ鋼板のひずみ、フランジ鋼板のひずみを計測し、併せてコンクリート部のひびわれを観察した。

3. 実験結果

ロゼットゲージから求めたウェブ鋼板のせん断応力分布を図2に示す。コンクリートの斜めひびわれ発生前の荷重20tf時(図中の点線)では、いずれの試験体も応力分布に特に違いはみられない。これに対して、実線で示した最高荷重時では、A1、A2、Bタイプのせん断応力分布はほぼ放物線を描いており、水平方向、鉛直方向に対して、ウェブ鋼板の中央ほどせん断応力の値は大きくなっている。しかし、BタイプはA1、A2タイプと比較して鋼板の上縁と下縁の応力が大きくなっており、鋼板全体に力が伝達されていることがわかる。一方、Cタイプは中央部のみ応力が大きくなっているだけであり、局所的に力が伝達されている。以上のことから、このような合成はりのウェブ鋼板もせん断力を負担するが、特にA1、A2、Bタイプではウェブ鋼板によるせん断補強効果が大きいことが認められる。しかし本実験では、すべての試験体において支点付近のフランジ鋼板のスタッドが降伏し、それによって定着部および荷重点付近のコンクリートが破壊したため、ウェブ鋼板の厚さやスタッドの配置の違いが耐力力に及ぼす影響は顕著には認められなかった。

4. 剛体ばねモデルを用いた2次元弾塑性解析の概要

ウェブ鋼板の厚さやスタッドの配置が本研究で対象とした合成はりの耐力力に及ぼす影響や合成はりの破壊メカニズムを明かにするために、剛体ばねモデルによる2次元弾塑性解析を行った¹⁾。解析では、実験で用いた合成はりのコンクリートと鋼板を2次元の平面剛体要素およびそれらを結ぶばねにモデル化し、対称性を利用して合成はりの

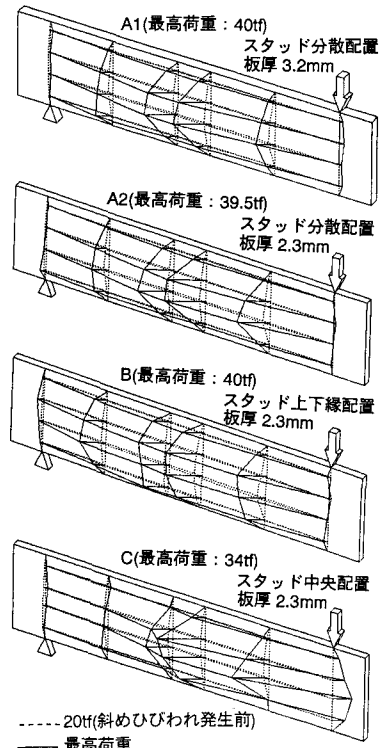


図2 ウェブ鋼板のせん断応力分布

スパン中央より左半分について図3のように要素分割した。コンクリートおよび鋼板要素には、境界面に対して垂直なばね(直ばね)と、境界面に対して平行なばね(せん断ばね)を設け、コンクリート要素の直ばねは、図4に示す応力とひずみ関係を適用し、引張強度 σ_{t0} に達した時にはせん断ばねのばね定数を1/4に低下させた。また、直ひずみが圧縮限界ひずみ ϵ_{cu} に達した時、2方向のばね定数をゼロとした。コンクリートの直ばねとせん断ばねの応力の相関関係には、モール・クーロン型の降伏曲面を用い、鋼板要素のそれにはミーゼスの降伏条件を用いた。フランジ鋼板のスタッドとウェブ鋼板のスタッドは、それぞれ図5(a)、(b)のような2つのばねにモデル化し、水平せん断力を表すフランジの水平ばねおよびウェブの2つのばね特性を完全弾塑性型とした。

5. 解析結果および考察

解析では、実験と同様にウェブ鋼板のスタッドの配置や厚さによってA1、A2、B、Cタイプの4つのモデルを考えた。図6(a)に荷重と解析モデルのスパン中央の変位との関係を示す。ここでは、材料試験より得られた各種定数をほぼそのまま用いた(解析パターン1)。この図でCタイプ以外をみると、A1、A2タイプの最高荷重はほぼ同じで、Bタイプの最高荷重はこれらより10tf程度小さい値となったが、いずれのタイプも実験より大きな値を示している。この場合、図6(b)に示すように、ウェブ鋼板とそのスタッドの降伏に伴って、コンクリート断面に作用する力が増し、ひびわれやせん断破壊のメカニズムが生じ、変位が急に大きくなった。以上から、もし実験において定着破壊が生じなければ、ウェブ鋼板のスタッドの配置が最高荷重に影響を及ぼしたと予想される。

次に、実験における定着破壊を再現するために、支点付近のフランジ鋼板のスタッドの降伏強度を小さくし、これを降伏させた場合(解析パターン2)の荷重と変位の関係を図6(c)に示す。この図から、Cタイプ以外は、解析による変位が実験のそれと比較して大きいものの、荷重と変位の関係は解析パターン1の場合より実験値に近くなっていることがわかる。また、実験結果と同様にA1、A2、Bタイプにおいて荷重と変位の関係および最高荷重にほとんど差がみられない。これは、支点付近のフランジ鋼板のスタッドが降伏しているために定着部がコンクリートの変形に対して抵抗できなくなり、ウェブ鋼板のスタッドの配置による耐荷力への影響が現れる前に破壊メカニズムが構成されたことによると考えられる。

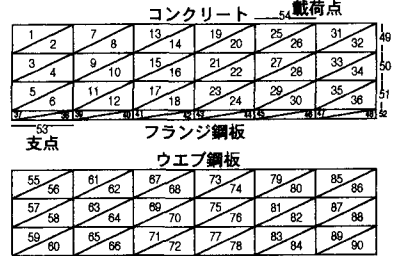


図3 解析モデルの要素分割

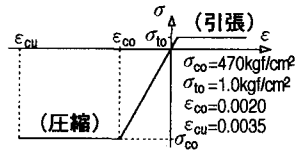
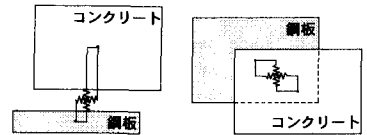


図4 コンクリートの直応力とひずみの関係



(a) フランジ鋼板 ずれ止め (b) ウェブ鋼板 ずれ止め

図5 ずれ止めのモデル化

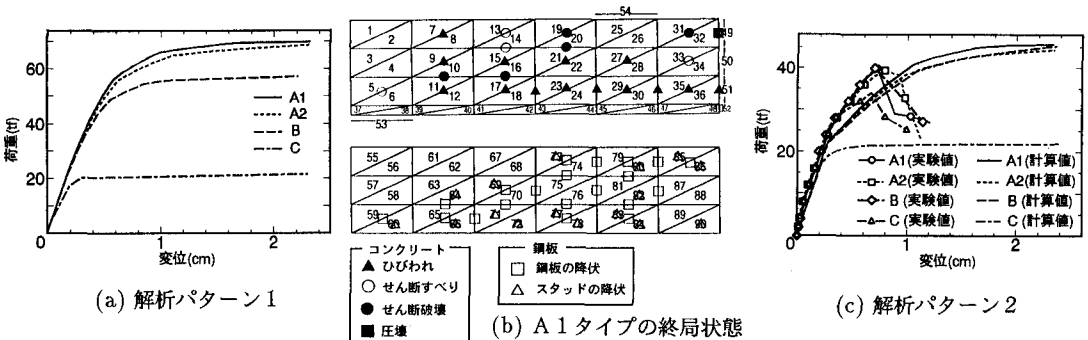


図6 解析による荷重と変位の関係および終局状態

6. まとめ

スタッド付き鋼板をコンクリートはりの内部に埋め込むことで、鋼板によるせん断補強効果が認められた。また、解析によって合成はりのせん断抵抗性状と破壊メカニズムが調べられ、ウェブ鋼板の厚さやスタッドの配置の差異などが耐荷力に影響を及ぼすことがわかった。

参考文献

- 1) 川井忠彦・竹内則雄：離散化極限解析プログラミング、コンピュータによる極限解析法シリーズ2、培風館、1990