

早稲田大学大学院 学生員 松本貴宏

早稲田大学大学院 学生員 小玉乃理子

早稲田大学理工学部 正会員 依田照彦

1.はじめに

合理的な構造形式である鋼とコンクリートの合成構造において、最近注目されているずれ止めの1つに孔あき鋼板ジベルがある。孔あき鋼板の押抜き、引抜き試験は数多く実施されており、せん断耐力に関する力学的特性は明らかになりつつある^{1),2)}。しかし、面外曲げ試験に関しては研究例が少なく、未解明な部分が多い。そこで、面外曲げによる破壊のメカニズムを把握することを目的としてFEM解析を行った。さらに、押抜きと面外曲げが混在するような複雑な応力状態における、破壊機構を調べ、ずれ止めとしてのせん断耐力を確認した。

2.解析モデル

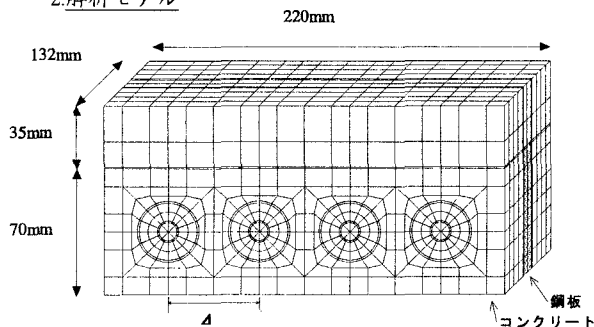


図1. 解析モデル

解析モデルは図1に示すように、孔径 $d=34\text{mm}$ 、孔と孔の間の距離 $\Delta 50\text{mm}$ 、鋼板の厚さ 12mm 、鋼板の高さ 70mm 、コンクリートのかぶり 35mm である。図1に示すように8節点ソリッド要素を用いて、押抜きせん断試験及び、面外曲げ試験のFEM解析を行った。材料の諸元を表1に示す。

表1. 材料係数

	項目	単位	数値
コンクリート	圧縮強度	N/mm^2	33
	ヤング係数	N/mm^2	3.1×10^4
	ポアソン比		0.17
鋼	降伏点応力	N/mm^2	330
	ヤング係数	N/mm^2	2.1×10^5
	ポアソン比		0.30

また、コンクリートと鋼が接触する部分には、コンクリートの付着力 P_s として、

$$P_s = 0.01 \times A_s \times \sigma_c$$

σ_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm^2)

A_s : 鋼とコンクリートの付着面積(mm^2)

を用いた。

3.解析結果

(1) せん断を受ける場合

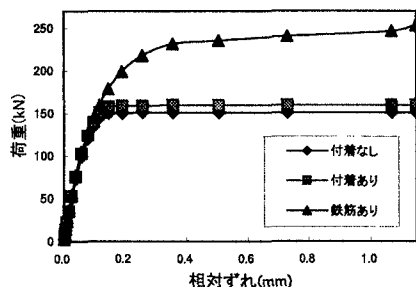


図2. 荷重-相対ずれ曲線

レオンハルトによる孔1つ当たりのせん断耐力 P_c は

$$P_c = 1.44 \times d^2 \times f_c$$

d : 孔の径(mm)

f_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm^2)

と表される¹⁾。貫通鉄筋がない場合、孔径 $d=34\text{mm}$ 、孔数4個では、せん断耐力の計算値はおおよそ200 (kN)となるので、解析結果は理論値の約80%程度となった。ただし、貫通鉄筋を施すことによって、コンクリートにかかる横方向の引張力を抑えることができ、鉄筋が降伏する時点で理論値とほぼ等価になる。さらに、鉄筋の曲げ抵抗が累加され、最大せん断耐力は無筋の場合より約50%増加した。これは、他機関で行われている実験結果とも整合する。

さらに、ジベル付近の最大主応力を調べると、図3のように分布しており、その直交方向にひび割れが生じると考えられる。最大引張応力の発生方向は図4のようにジベルが押抜かれる方向にメロン状に広がっている。

キーワード：孔あき鋼板、ずれ止め 合成構造

連絡先：早稲田大学理工学部 〒169-8555 新宿区大久保3-4-1 Tel/Fax:03(5286)3399

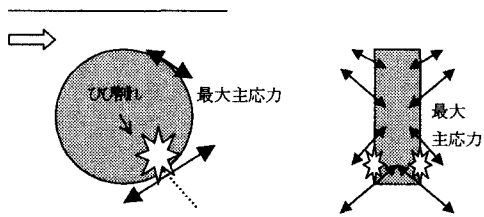


図3. ジベル内の主応力とひび割れ発生位置

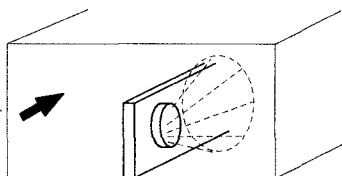


図4. 最大引張応力の広がり

(2) 面外曲げを受ける場合

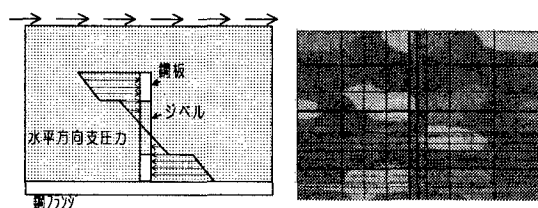


図5. 初等理論による応力分布 図6. 軸直角方向応力分布

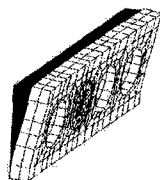


図6. 変形図

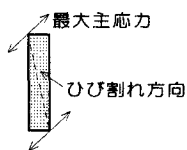


図7. ジベル内のひび割れ方向

図4のようにかぶりコンクリート上面の節点上に集中荷重を一樣に载荷し、面外曲げを受ける場合のコンクリートジベルの応力状況を調べた。本解析において、孔が鋼板のほぼ中心に位置しているため、最大主応力は孔の中心を対称に発生し、ひび割れはその直交方向にジベルを斜めに縦断する方向に生じると考えられる。また、ジベルを含む軸直角方向の応力分布は初等理論²⁾によれば図5のようになると考えられるが、図6に示すようにFEM解析の

結果は初等理論と異なっている。また、孔のない鋼板部分の軸直角方向に比べて応力のオーダーは大きかった。

(3) セン断と面外曲げを受ける場合

押抜きセン断と面外曲げが同時に作用する場合、コンクリートジベルのセン断耐力が低下するかどうかを調べた。FEM解析によれば、図9に示すようにセン断耐力の低下はほとんど見られなかった。これは(1)、(2)の解析結果から考えると、ジベル付近におけるセン断によりひび割れが発生する部分と、面外曲げによりひび割れが発生する部分がずれているため、破壊機構に関して相互に影響を及ぼさないからであると思われる。

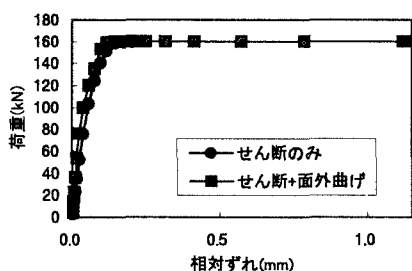


図9. 荷重-相対ずれ曲線

4. 考察

(1) セン断に関しては貫通鉄筋を通さない場合、レオンハルトによって提案されたコンクリートジベルのセン断耐力の約80%である。貫通鉄筋を通す場合、鉄筋が降伏する時点で提案式と等価になる。さらに、鉄筋が理想的に配置されている場合、鉄筋の曲げ抵抗が累加され、耐力は無筋の場合より約50%増加する。

(2) セン断を受ける場合、押抜き方向の鋼とジベルと鋼との接触部分のやや下側に最大引張主応力が発生する。また、面外曲げを受ける場合、孔の鉛直方向上下部に最大主応力が発生する。したがって、セン断と面外曲げが混在する複雑な応力状態においてはひび割れが発生するまでは、セン断と曲げが相互に影響しないと考えてよい。

(3) 面外曲げを受ける場合、鋼とコンクリートの境界部分に応力集中が発生し、その分布は複雑で、孔直上の軸直角方向は孔のない鋼板部分の軸直角方向より応力を大きく負担する。

参考文献:1) Fritz Leonhardt et.al: New, improved bonding means for composite loading structures with high fatigue strength, Beton und Betonstahlbau, 12/1987, pp325-331 (in German), 2) 中洲啓太・依田照彦: 鋼板孔を用いたずれ止めの設計法に関する一考察, 第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.151-156, 1999