

孔あき鋼板ジベルの設計式に関する解析的考察

九州大学大学院 学生会員 ○手嶋 康博 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. はじめに

鋼やコンクリートなどの長所を組み合わせることにより、より合理的な構造を目指した複合構造は、これまでに数多く設計・施工されている。複合構造は異種材料からなるために、それぞれの材料を接合し十分な応力伝達が成される必要がある。鋼とコンクリートの複合構造では機械的なすべり止めとして、安価なスタッドジベルが頻繁に用いられてきたが、近年では穿孔した鋼板をコンクリート中に埋め込むことで高い疲労強度を発揮する孔あき鋼板ジベルもしばしば用いられている。孔あき鋼板ジベルの設計式については Leonhardt の式を始め、これまでに複数提案されているが、これらの設計式は経験式であり、解析的な見地から詳細な検討を行ったものは少ない。そこで、本研究では FEM による孔あき鋼板ジベルの解析手法の確立と設計式に関する検討を行う。

2. 孔あき鋼板ジベルの解析手法

孔あき鋼板ジベルはその構造により、(1)孔内のコンクリートの2面せん断破壊(図-1(a)参照)、(2)孔あき鋼板のせん断破壊、(3)孔内のコンクリートの圧壊のいずれかの破壊モードを示す。このうち(3)に関しては過去の知見から孔あき鋼板の板厚が孔径と比較して非常に小さい場合に生じることがわかっているため、ここでは十分な板厚を確保し、(1)、(2)の破壊モードに限定して論ずる。(1)の2面せん断破壊が生じた場合、孔内のコンクリートは鋼板と共にずれることになるが、FEM で解析を行う場合はこのずれ挙動を再現するための工夫が必要となる。本解析では図-1(b)に示すように孔内のコンクリート要素と鋼板周囲のコンクリート要素の間に薄い等方弾性体の要素を作成し、この要素のせん断ひずみエネルギー（つまり偏差応力の2次不変量 J_2 ）が閾値を越えた場合にせん断弾性係数に低減係数 β を乗ずることにより、ずれ挙動を擬似的に再現することを試みている。この低減係数 β は図-2 に示すようなせん断ひずみエネルギーの増大にともなう減少関係を仮定した。

3. 解析概要

本研究では(1)解析手法の妥当性の確認、(2)設計式に対する解析的な評価を目的として、2種類の解析を行った。(1)に関しては図-3 に示す過去に行われた実験¹⁾を模した解析モデルを用いて、実験結果と解析結果の比較を行った。(2)に関しては図-4 に示すような孔を1つだけ持つ簡易な孔あき鋼板ジベルを想定し、2で示した解析手法を用いて得られた解析結果を、設計式から求められる耐力と比較検討を行った。なお、孔径 d については 30~80mm の範囲で6つのモデルを作成し、孔径に対する耐力変化の傾向を調べた。境界条件はいずれのモデルに関してもコンクリートの底面を完全拘束し、孔あき鋼板をスライドさせ、孔中のコンクリートにせん断力を作用させている。鋼とコンクリートの材料構成則については、鋼は降伏後の剛性を初期剛性の 1/100 としたバイリニアの硬化を考慮し、コンクリートは圧縮強度の 0.85 倍で降伏する弾完全塑性モデルとした。コンクリートについては圧壊を考慮していないが、これは前述したように圧壊が生じないような十分な板厚を確保しているためである。また、鋼とコンクリートの界面の接触条件については摩擦や付着の影響を無視し、支圧のみを伝達する簡易なモデルとしている。

4. 解析結果

(1) 解析手法の妥当性の確認

図-5 に荷重と鋼-コンクリート間の相対ずれ量関係を示す。なお、図中には実

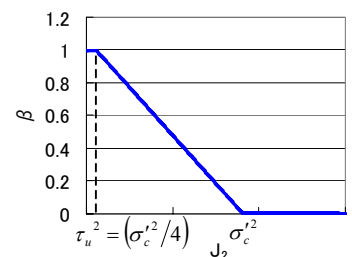
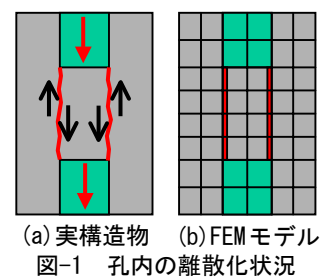
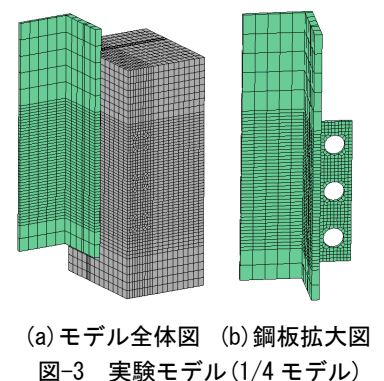
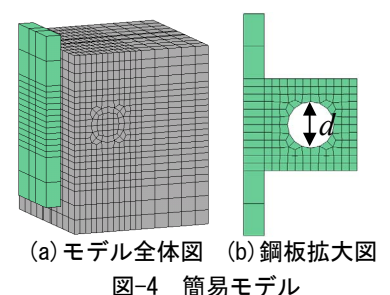


図-2 低減係数の減少



(a) モデル全体図 (b) 鋼板拡大図
図-3 実験モデル(1/4モデル)



(a) モデル全体図 (b) 鋼板拡大図
図-4 簡易モデル

験値のおおよその値も示している。これらを比較すると、実験では約 500kN で最大耐力を示し、その後徐々に剛性が低下しているのに対し、解析結果では約 600kN 付近まで耐力が上昇し、変位量も大きく出ている。また、初期勾配も解析値の方が小さい。この初期勾配や変位量の差は現実に存在する付着や摩擦の影響を無視していることが一つの要因となっていると考えられる。また、最大耐力については、実験値は 500kN 程度であるが、設計式から計算した値は 646kN であり、解析値と近いものである。したがって、この耐力差は実験供試体の個体差によるものと推測される。この結果から、本解析手法は厳密な変形量を求めるには不向きであるが、耐力評価には十分に用いることが可能であると考えられる。

(2) 設計式の評価

次に図-4 のモデルを用いて孔径が耐力に与える影響に関する検討を行った結果を図-6 に示す。また、各モデルについて最大耐力を示したときの鋼板の相当ひずみ分布について図-7 に示す。図中の灰色に表示されている部分は降伏している領域を示している。図-6 から、孔径 30~60mm の範囲では孔径の拡大に伴い最大耐力の増加が見られる。これは孔径の拡大によって、作用するせん断力を受け持つ面積が大きくなることに起因している。ただし、 $d=60\text{mm}$ 以上になると耐力に大きな違いは見られない。これは、図-7 に示すように孔径の拡大により鋼板の肉厚が薄くなり、孔内コンクリートのせん断破壊に先行して鋼板がせん断破壊することにより剛性が低下したことが原因であると考えられる。

図-6 の最大耐力を、Leonhardt が提案する孔あき鋼板ジベルの耐力を示すグラフ上にプロットすると、図-8 のようになる。Leonhardt の式は以下の 2 形式の破壊に対する耐力を示したものである。

$$P_c = 2 \cdot \left(\pi d^2 / 4 \right) \cdot 0.9 \cdot 1.18 \sigma'_c \quad \text{コンクリートのせん断破壊に対する耐力}$$

$$P_s = 1.44 A_s \sigma_{sy} \quad \text{鋼板のせん断破壊に対する耐力}$$

この図から、 $d=30\sim 60\text{mm}$ の孔中コンクリートがせん断破壊するモデルに関しては設計式と解析結果の両方がほぼ同様の傾向を示している。 $d=70\text{mm}$ に関しては設計式とは逆の破壊モードを示したが、これは本解析モデルが板高 100mm という大きな板を想定しており、作用外力と孔の間の距離が大きくなるために、曲げが作用していることが要因であると考えられる。以上の結果から、破壊モードが遷移する領域ではずれが見られるが、Leonhardt の式の妥当性が概ね確認できた。

5. まとめ

本研究から以下の知見が得られた。

- 1) 今回用いた手法により FEM 解析によって、現実には不連続となる破壊状態を再現することが可能であることがわかった。
- 2) 本解析により Leonhardt の式の耐力評価式が概ね妥当なものであることが確認できた。

今後は本解析手法を用いて、複数の孔を設けた孔あき鋼板ジベルについて耐力評価および孔の配置による破壊モードの変化などについて考察を行う予定である。

参考文献

- 1) 古市耕輔, 平陽平, 山村正人: 孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に関する実験的研究, 鹿島技術研究所年報, 第 46 号

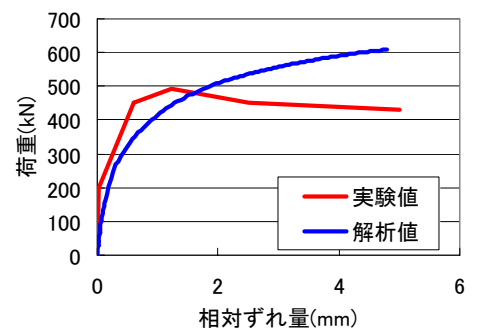


図-5 実験モデルの荷重-相対ずれ量関係

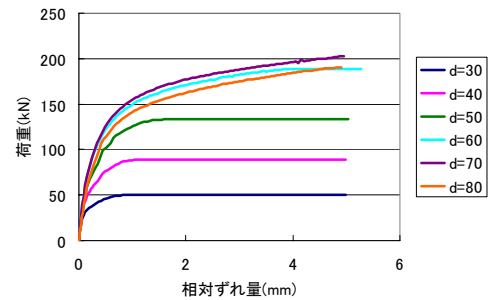


図-6 簡易モデルの荷重-相対ずれ量関係

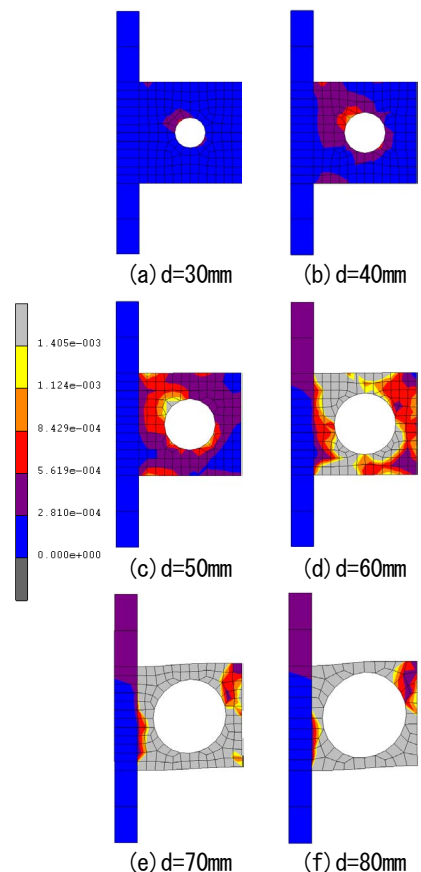


図-7 鋼板の相当ひずみ分布

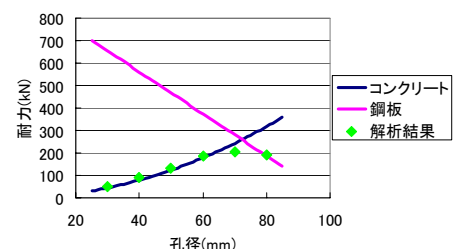


図-8 設計式と解析結果の比較