長手方向に複数配置した孔あき鋼板ジベルの設計法に関する検討

宇都宮大学 学生

1. はじめに

鋼コンクリート複合構造物において,Leonhardt ら¹⁾が 提案した孔あき鋼板ジベルの施工事例が増加している.孔 あき鋼板ジベルの使用時には,まず,その特性を表す設計 式が必要である.既往研究¹⁾⁻³⁾により,ジベル孔1個あ たりのせん断耐力やせん断力-ずれ変位関係が明らかにされ てきた.しかし,孔あき鋼板ジベルは長手方向に複数配置 することが一般的で,複数配置した各ジベル孔のせん断挙 動の把握も重要となる.また,複数配置した場合には,ジ ベル鋼板の挙動にも着目する必要がある.一般に,ジベル 鋼板に生じる応力は長手方向で変化し,ジベル鋼板が降伏 した場合には,孔あき鋼板ジベルのせん断挙動にも影響を 及ぼすと考えられる.

そこで、本研究では、ジベル鋼板の塑性化の影響も考慮 して、長手方向に複数配置した孔あき鋼板ジベルのせん断 挙動を解析的に調べ、複数配置した孔あき鋼板ジベルの使 用性や安全性の照査方法を検討する.

(1) 解析モデルと解析方法

長手方向に配置した、各ジベル孔のせん断挙動を確認す るために、図-1のような押抜き試験体に対して、剛体ばね モデル解析を行った.モデル化に際して,図-1のジベル鋼 板及びコンクリートブロックを長手方向に分割し、図-2の ようにそれぞれに節点と軸ばね要素を設けた.また,両材 料モデル間にはずれ止めを模擬し, せん断力-ずれ変位関 係を表す鉛直ばね要素を設定した.この鉛直ばね要素には, 著者らのせん断耐力評価式2)及びせん断力-ずれ変位関係 式³⁾を設定している.また,ジベル鋼板は,図-2で緑四角 のばね要素が示すジベル孔位置の鋼板幅を 30~100mm の 変断面構成として,ジベル孔の配置による断面減少を表し た. ここでは, ジベル孔数は 10 個, ジベル孔径は 40mm, ジベル鋼板幅は100mm,厚さは12mm,鋼板の降伏応力は 400N/mm², 鋼板の弾性係数は 2.05×10⁵N/mm², コンク リート圧縮強度は 30N/mm², コンクリートの静弾性係数 は 3.0×10⁴N/mm² と設定した. なお,本解析モデルのジベ ル孔1個あたりのせん断耐力は上記のせん断耐力評価式²⁾ によると 66kN である. さらに、鋼板の応力-ひずみ関係 はバイリニア型とした.

(2) 使用性の照査

複合構造標準示方書⁴⁾では,ジベル孔1個あたりの孔あ き鋼板ジベルの使用性の限界値を,せん断耐力の1/3とし ている.そこで,ジベル孔10個分のせん断耐力の1/3とな る220kNまでの荷重を与えて,その挙動を確認した.

図-3-a には,縦軸にジベル鋼板上端に載荷した荷重を, 横軸にジベル鋼板上端の鉛直変位を取り,両者の関係を示 している.また,線の色は変断面位置の鋼板幅に対応して いる.この図から,橙線で示す幅 30mm の場合が他の場合 よりも荷重 150kN 以上になると変位は急激に大きくなって いる.これは,幅 30mm の場合,最上段位置のジベル孔位 置のジベル鋼板が降伏したためである.

図-3-b は荷重 220kN 時の変断面位置の鋼板の応力の高 さ方向分布を示している.縦軸はジベル孔位置で,上段の

学生員	○ 水取未流	フェロー会員	中島章典
正会員	Nguyen Minh Hai	正会員	藤倉修一



500



図-2 剛体ばねモデルによるモデル化

位置を1としている.なお,ジベル孔位置の鋼板の応力と は、図-2の緑丸で示すジベル孔位置の上下のばね要素で生 じた、応力の平均値である.この図からジベル孔位置の鋼 板幅が 30mm の場合のみ、ジベル鋼板の応力が降伏応力を 超えていることが分かる.一方、図-3-cには、荷重 220kN 時のジベル孔が伝達するせん断力の高さ方向分布を示して いる.この図から、荷重 220kN 時において、高さ方向のせ ん断力分布はジベル鋼板幅の影響をあまり受けないことが 分かる.ただし、上から5番目までのジベル孔位置のせん 断力が、図中に黒点線で示すジベル孔1個あたりの使用性 の限界値であるせん断力 22kN を超えていることが分かる. つまり、長手方向にジベル孔を複数配置する場合、全ての ジベル孔のせん断力が使用性の限界値を満足するための荷 重はせん断耐力の 1/3× ジベル孔数分の載荷荷重より小さ いことが言える.

(3) 安全性の照査

図-4-aに、横軸に変断面位置の鋼板幅を、縦軸に解析モ デルの上端に載荷した荷重の最大値を黒線で示している.な お、赤線は最上段のジベル孔が複合構造標準示方書⁴⁾規定 の終局ずれ変位 0.8mm に達する時の荷重、青線は最上段の ジベル孔位置が降伏した時の荷重、橙点線はジベル孔 10 個 分のせん断耐力の合計値 660kN である.



変断面になっていない,つまり,ジベル鋼板幅がすべて 100mmの場合においても,その最大荷重は橙点線で示す 660kNの荷重に達していない.これは,ジベル鋼板の降伏 領域が大きくなったことで,ジベル鋼板下方への伝達荷重 に影響したためである.また,赤線で示す,最上段のジベル 孔が終局ずれ変位に達する時の荷重は,黒線で示す最大荷 重より大幅に小さく,その1/2程度である.さらに,最上 段のジベル孔位置の鋼板が降伏する荷重を表す青線は,鋼 板幅が 60mmより小さい場合,赤線の荷重以下で最上段の 変断面位置の鋼板が降伏していることが分かる.

ここで,最上段のジベル孔位置が終局ずれ変位に達する時について,変断面位置の鋼板の応力の高さ方向分布を図 -4-bに,ジベル孔が伝達するせん断力の高さ方向分布を図 -4-cに示す.縦軸はジベル孔位置,横軸はジベル鋼板の応 力あるいは各孔が伝達するせん断力であり,線の色は変断 面の鋼板幅が 30,60,80,100mmの場合を示している.

図-4-cより,変断面位置の鋼板幅 30mm の場合には,他 よりも2段目以降のジベル孔の伝達せん断力は小さい.こ の理由は,最上段位置のジベル鋼板が降伏したことにより, それより下の鋼板に伝達される力が大きくなる前に,最上 段のジベル孔の伝達せん断力が終局ずれ変位に対応するせ ん断力に到達したためであると考えられる.この荷重段階 のジベル鋼板位置が降伏していることがわかる.その他の 鋼板幅の場合には,せん断力の高さ方向分布に大きい差異 はないが,いずれにしても2段目以降のジベル孔が伝達す るせん断力は徐々に小さくなっており,終局ずれ変位に対 応するせん断力に到達していない.そのために,図-4-aに 赤線で示すように,最上段のジベル孔の位置のずれ変位が 終局ずれ変位に達したときの荷重は,同図に黒線で示す最 大荷重よりも小さくなっている.

3. まとめ

本研究では、ジベル鋼板の塑性化の影響も考慮し、長手 方向に複数配置した孔あき鋼板ジベルのせん断挙動を、剛 体ばねモデルを用いた弾塑性解析により検討した.ここで は、特に、複合構造標準示方書に規定されている孔あき鋼 板ジベルの使用性、安全性の限界値に着目して、複数配置 した孔あき鋼板ジベルのせん断力分担などを検討した.そ こで得られた主な結果を以下に示す.

- 複合構造標準示方書の使用性あるいは安全性の限界値 を考慮すると、複数配置した孔あき鋼板ジベルの長手 方向せん断力分担は一様にならず、限界値を満足する 荷重は孔あき鋼板ジベル1個分の限界値に孔数を乗じ た荷重よりもかなり小さくなる。
- ジベル鋼板が顕著に塑性化した場合,載荷される荷重 が大きくなるほど,複数配置した孔あき鋼板ジベルの 長手方向のせん断力分担は影響を受ける.

- Leonhardt, F., Andrä, W., Andrä, H. P. and Harre, W.
 Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, *Beton- und Stahlbetonbau*, 82, Heft 12, pp. 325-331, 1987.
- 中島章典,小関聡一郎,橋本昌利,鈴木康夫,グエンミンハイ:単純な押抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルのせん断耐力 評価,土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.2, pp.495-508, 2012.8.
- Nguyen Minh Hai,大野将季,中島章典,藤倉修一:貫通鉄筋の無い孔あき鋼板ジベルのせん断力-ずれ変位関係式の再検討,土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.74, No.5, 2018.5.
- 土木学会複合構造委員会:複合構造標準示方書 2014 年制定, pp.74-78, 2015.5.

参考文献