

千鳥配置された高力ボルト摩擦接合継手の設計法に関する一検討

大阪大学大学院 学生員○石川 誠 大阪大学大学院 正会員 亀井義典
大阪大学大学院 フェロー 西村宣男 駒井鉄工（株） 正会員 秋山寿行

1. まえがき 鋼道路橋設計図の標準化基準（案）¹⁾では千鳥配置する場合、先端4行以上と規定されているが、連続合成2主桁橋引張側フランジにおいて、高力ボルトが先端2行で千鳥配置された設計が行われている。先端2行で千鳥配置された場合、連結板先端部に対応した母材のボルト孔周辺で応力集中的な現象が起こり、継手の挙動に何らかの影響を及ぼすことが考えられる。本報告では、高力ボルト摩擦接合継手を対象に開発した弾塑性有限要素法を利用し、解析的に千鳥配置継手の挙動を明らかにするとともに、千鳥配置された高力ボルト摩擦接合継手の設計法に関する検討を行う。

2. 解析手法と解析モデル 高力ボルトを千鳥配置することにより母材の外側ボルト孔周辺において応力集中が、現れ、また各ボルト列における母材一連結板間の伝達せん断力にばらつきが生じることを確認している²⁾。本解析では、限界強度に着目し、以下に示す2つの解析パターンを用いる。

- (1) ボルト本数、鋼材の板厚、板幅を矩形配置および千鳥配置モデルではほぼ一定にし、ボルトの配置の仕方のみが異なるモデルを作成し、すべり強度・母材降伏強度比（ $\beta = N_{SL}/N_{FYn}$ ） $\beta = 1.0 \sim 1.4$ 、連結板・母材降伏強度比（ $\gamma = N_{SYn}/N_{FYn}$ ） $\gamma = 1.2$ の範囲でパラメトリック解析を行う。（A～Cシリーズ）
- (2) 先端2行で千鳥配置された実際の設計にあわせた解析を行う。（Y、Zモデル）

図-1に鋼I型断面主桁の摩擦接合継手部フランジの実績調査から算出した β 、 γ の分布および本解析ケースの名称を示す。千鳥配置継手では各ボルト列によって純断面積が異なるので、 β 、 γ の算出の際には最内ボルト列での純断面積降伏強度を用いた。図-2に解析モデルを示す。本解析では高力ボルト（F10T、M22）の2面せん断継手とする。ボルト軸力は道路橋示方書の規定値201kNの1割増し221kNを導入する。ボルト間隔 d は100mm、縁端距離 e は50mmとする。母材および連結板の鋼種はSM490Yを採用し、解析パラメータとなる β 、 γ に基づいて母材厚 t_1 および連結板厚 t_2 を決定する。図-3に矩形配置モデルと千鳥配置モデル（片側先端2行）の要素分割を示す。解析対象は、継手の対称性から、継手全体の1/8モデルとする。荷重は継手端部に強制変位として与える。母材と連結板、連結板と座金の全接触面にはジョイント要素を導入する。

図-1に鋼I型断面主桁の摩擦接合継手部フランジの実績調査から算出した β 、 γ の分布および本解析ケースの名称を示す。千鳥配置継手では各ボルト列によって純断面積が異なるので、 β 、 γ の算出の際には最内ボルト列での純断面積降伏強度を用いた。図-2に解析モデルを示す。本解析では高力ボルト（F10T、M22）の2面せん断継手とする。ボルト軸力は道路橋示方書の規定値201kNの1割増し221kNを導入する。ボルト間隔 d は100mm、縁端距離 e は50mmとする。母材および連結板の鋼種はSM490Yを採用し、解析パラメータとなる β 、 γ に基づいて母材厚 t_1 および連結板厚 t_2 を決定する。図-3に矩形配置モデルと千鳥配置モデル（片側先端2行）の要素分割を示す。解析対象は、継手の対称性から、継手全体の1/8モデルとする。荷重は継手端部に強制変位として与える。母材と連結板、連結板と座金の全接触面にはジョイント要素を導入する。

3. 解析結果 図-4に荷重-全伸び関係を示す。図の縦軸は載荷荷重 P を母材純断面積降伏強度 N_{FYn} で無次元化した値 P/N_{FYn} 、図の横軸は全伸びを継手全長で無次元化した値を表す。図中のマークは主すべり発生時、断面初期降伏時、全断面降伏時を示す。すべり先行型の継手であるAシリーズでは千鳥配置す

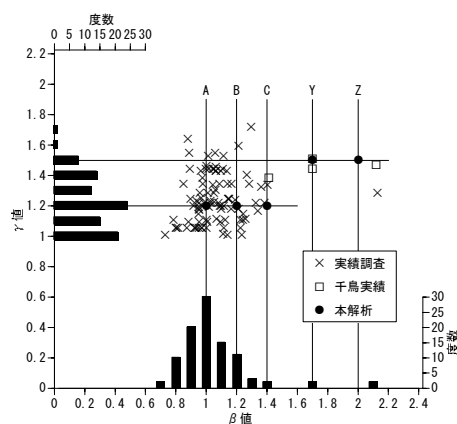


図-1 β 、 γ の分布および
本解析ケースの名称

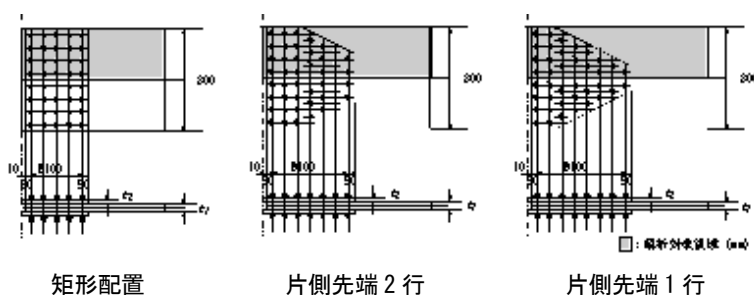


図-2 解析モデル

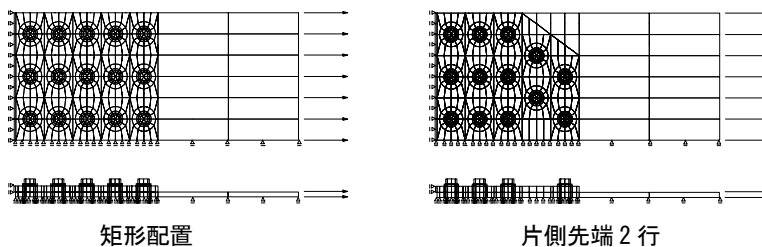


図-3 要素分割概要

キーワード：高力ボルト摩擦接合継手、千鳥配置、有限要素解析、荷重伝達機構

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL:06-6879-7598 FAX:06-6879-7601

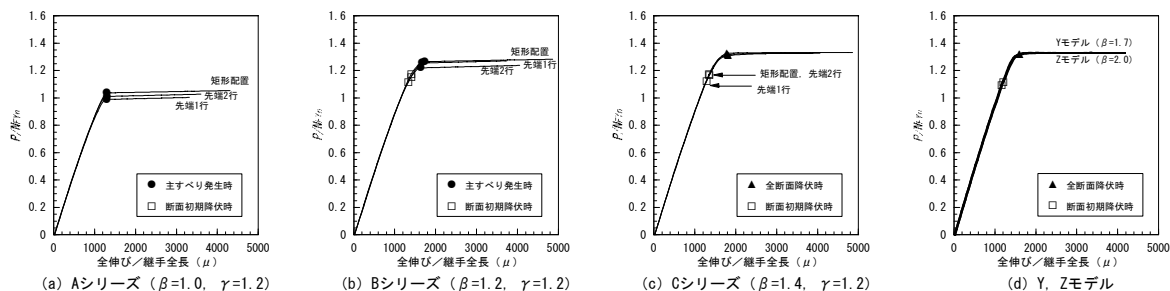


図-4 荷重-全伸び関係

ることにより、すべり強度が若干低下する。すべり先行型でも降伏が関与するBシリーズでも同様の傾向が見られるが先端2行モデルと先端1行モデルで強度限界 P_{SL}/N_{FYn} が逆転する。Cシリーズは降伏先行型の継手であるためこのような傾向は見られず初期降伏が若干低下する程度である。Y、Zモデルについて、このモデルもCシリーズと同様に降伏先行型の継手であるため β 値の大小による差異は見られず、強度限界 P_{FYn}/N_{FYn} は1.3程度である。

図-5にAシリーズの主すべり発生時 P_{SL} に対応した母材、連結板の断面中央における応力分布図を示す。応力は相当応力を降伏応力で無次元化した値で図示している。黒塗りの部分が降伏領域である。高力ボルトを千鳥配置することにより母材の外側ボルト孔周辺において応力集中が助長される。

図-6にAシリーズの各ボルト列における母材-連結板間の伝達せん断力の分布を示す。図中には戴荷荷重 P とすべり強度 P_{SL} の比 P/P_{SL} を記載している。図中の点線はボルト1本分のすべり強度の公称値 (44.2kN) を表す。また、図中の実線の右側から千鳥配置部分である。通常の矩形配置継手では主すべり発生時には全ボルト列でボルト1本分のすべり強度の公称値を上回る。高力ボルトを千鳥配置した場合、各ボルト列で伝達せん断力の分布にばらつきが生じ、特に千鳥配置の始まる1つ前のボルト列における荷重分担が極端に小さくなり、ボルト1本分のすべり強度の公称値を大きく下回る。これが、すべり強度が低下した大きな要因の1つであるといえる。

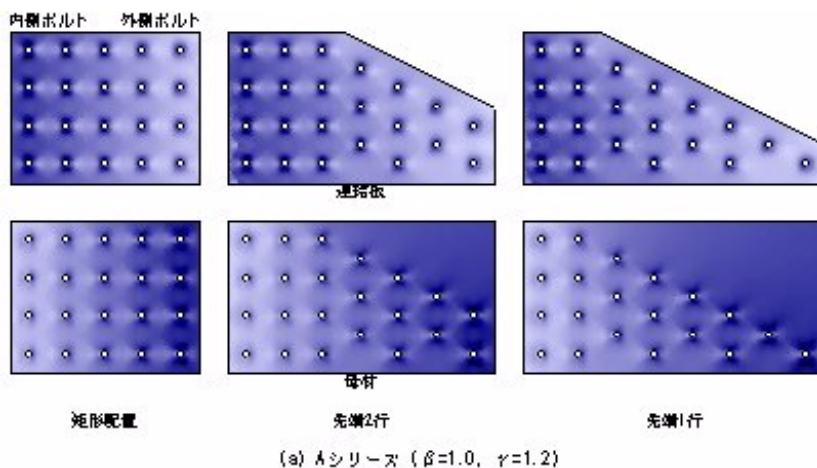
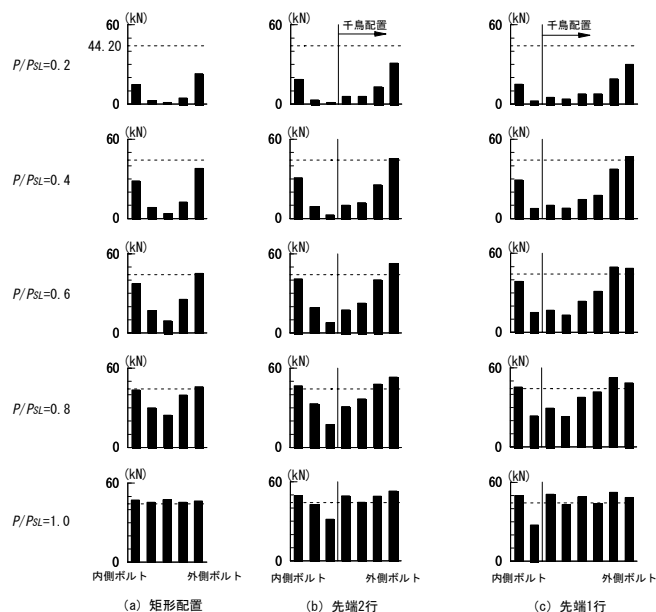
4. 設計法に関する検討

本解析結果より千鳥配置継手の設計の際における留意点を挙げる。

- ① 高力ボルトを千鳥配置することにより、母材の外側ボルト孔周辺において応力集中が助長される。
- ② すべり先行型継手では高力ボルトを千鳥配置することにより、すべり強度が5%程度低下する。
- ③ 純断面の算出法について、本解析の範囲では道路橋示方書の規定に従っておれば問題がないことを確認した。

参考文献

- 1) 長大橋技術研究会設計分科会：鋼道路橋設計図の標準化基準（案），鋼けた編（改訂版），1982.3.
- 2) 石川誠・亀井義典・西村宣男・秋山寿行：千鳥配置された高力ボルト摩擦接合継手の強度と荷重伝達機構，土木学会関西支部年講，2001.6.

図-5 応力分布 (Aシリーズ $\beta=1.0$, $\gamma=1.2$)図-6 伝達せん断力の分布 (Aシリーズ $\beta=1.0$, $\gamma=1.2$)