

大阪大学工学部 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すべり強度と荷重伝達機構について考察する。

2. 解析手法と解析モデル

表-1に解析モデルの諸元と各ケースの名称を示す。本解析では、実施工を念頭におき、すべり発生を限界状態と考えるため、すべり強度・母材降伏強度比($\beta = N_{SL}/N_{Fm}$)、連結板・母材降伏強度比($\gamma = N_{SL}/N_{Fm}$)は、 $\beta = 0.8$ 、 $\gamma = 1.2$ のすべり先行型継手とする。千鳥配置継手ではボルト列によって純断面積が異なるので、 β 値、 γ 値の算定においては、母材は最外ボルト列、連結板は最内ボルト列での純断面積降伏強度を用いる。参考までに、表中には、 β_1 として連結板等幅部に対応したボルト列での母材純断面積降伏強度を用いて算出した値も示す。同様に γ_1 、 γ_2 として、それぞれ連結板等幅部、連結板先端部での連結板・母材降伏強度比も示す。図-1に等幅部3行の解析モデルを示す。本解析では高力ボルト(F10T, M22)の2面せん断継手とする。図-2に等幅部3行の正方配置と千鳥配置(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²⁾を導入する。

3. 解析結果

図-3に case1, case2(等幅部3行モデル)の荷重-全伸び関係を示す。case2(等幅部3行, SM570)の場合のみ千鳥配置することにより、すべり強度が公称値を下回る。また、case2を除く他のケースで先端ボルト行数の減少に伴い、主すべり発生以前に接線剛性が低下する傾向が認められた。

表-1 各モデルの諸元

No.	高力ボルト		ボルト 間隔(d)	縁端 距離(e)	板幅		板厚		β 値 N_{SL}/N_{Fm}	β_1	γ 値 N_{SL}/N_{Fm}	γ_1	γ_2	先端部
	等級	呼び			(b_1)	(b_2)	(t_1)	(t_2)						
case1 等幅部3行(SM490Y)														
1	F10T	M22	120	60	720	360	33.00	19.80	0.80	0.80	1.20	1.20	1.20	
2	F10T	M22	120	60	720	240	26.30	17.20	0.80	0.86	1.20	1.31	0.80	
3	F10T	M22	120	60	720	120	22.50	15.80	0.80	0.93	1.20	1.40	0.40	
case2 等幅部3行(SM570)														
1	F10T	M22	85	42.5	510	255	40.50	24.20	0.80	0.80	1.20	1.20	1.20	
2	F10T	M22	85	42.5	510	170	31.00	21.10	0.80	0.91	1.20	1.36	0.80	
3	F10T	M22	85	42.5	510	85	25.50	19.50	0.80	1.02	1.20	1.53	0.40	
case3 等幅部4行(SM490Y)														
1	F10T	M22	150	75	1200	600	35.00	21.00	0.80	0.80	1.20	1.20	1.20	
2	F10T	M22	150	75	1200	300	25.00	16.50	0.80	0.88	1.20	1.32	0.60	
3	F10T	M22	150	75	1200	150	21.80	15.00	0.80	0.92	1.20	1.38	0.30	
case4 等幅部4行(SM570)														
1	F10T	M22	120	60	960	480	36.00	21.60	0.80	0.80	1.20	1.20	1.20	
2	F10T	M22	120	60	960	240	25.00	16.90	0.80	0.90	1.20	1.35	0.60	
3	F10T	M22	120	60	960	120	21.50	15.40	0.80	0.96	1.20	1.43	0.30	

(注1) No.1: 等幅モデル, No.2: 先端2行モデル, No.3: 先端1行モデル

(注2) N_{SL} : すべり強度, N_{Fm} : 母材純断面積降伏強度, N_{FL} : 連結板純断面積降伏強度, 各々公称値を示す。

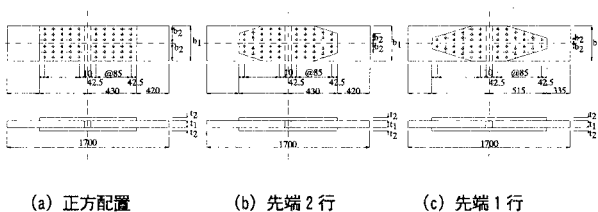


図-1 解析モデル [単位: mm]

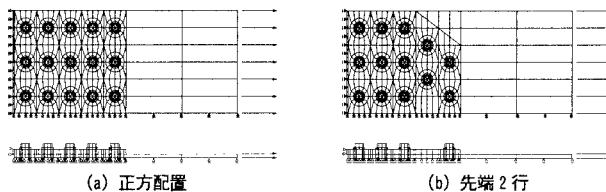


図-2 要素分割概要

図-4 に case3 (等幅部 4 行, SM490Y モデル) の主すべり発生時での母材・連結板の断面中央における応力分布を示す。応力は相当応力を降伏応力で無次元化した値で図示する。先端ボルト行数の減少に伴い母材の外側ボルト孔周辺において応力集中が生じ降伏領域が大きくなる。

図-5 に case3 (等幅部 4 行, SM490Y モデル) の荷重-ボルト軸力関係を示す。正方配置モデルでは内側ボルト列における連結板の板幅減少が直接的に影響し内側ボルトの軸力が減少する。高力ボルトを千鳥配置した場合、母材の外側ボルト孔周辺での応力集中により外側ボルト列の軸力が著しく減少する。

図-6 に等幅部 3 行, SM490Y モデル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。図の横軸には各ボルト列におけるボルト本数を表記している。図中には載荷荷重 P とすべり強度 P_{SL} の比を記載している。主すべり発生時になると正方配置では各ボルト列でばらつきが少なくなるが、千鳥配置した場合、均一な分布にならず、千鳥が始まる 1 つ前のボルト列における荷重分担が極端に低下する。

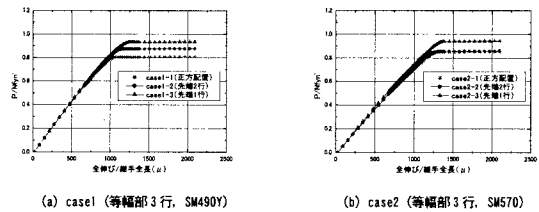


図-3 荷重-全伸び関係

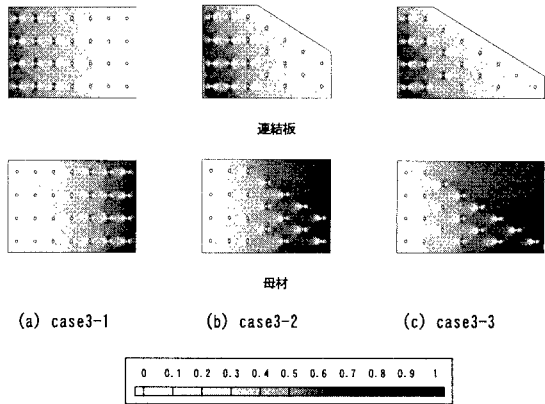


図-4 応力分布図 (case3 : 等幅部 4 行 SM490Y)

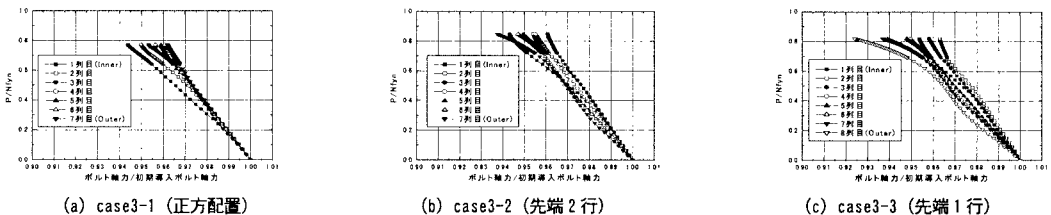


図-5 荷重-ボルト軸力関係 (case3 : 等幅部 4 行 SM490Y)

4. 結論

高力ボルトを千鳥配置した場合、最外ボルト列において連結板には、さほど大きな応力は発生しないが、母材のボルト孔周辺で応力集中が顕著となり、先端のボルト軸力が極端に低下する。また、主すべり発生時での母材 - 連結板間の伝達せん断力は正方配置とは異なり、均一な分布にならず各ボルト列で分担する荷重レベルに大きな差が生じる。

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) Nishimura, N., Kamai, Y., and Ikohata, B.: Analysis of HSFG Bolted Joints Considering Local Slip, TECHNOLOGY REPORTS OF THE OSAKA UNIVERSITY, Vol. 46, No. 257, pp. 227-236, 1996.10.

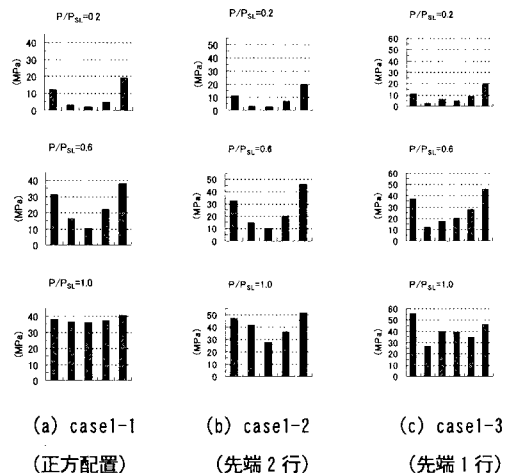


図-6 母材 - 連結板間の伝達せん断力