

第 I 部門

高力ボルト摩擦接合部のすべりを考慮した鋼製橋脚の耐震性能

神戸大学工学部

学生員 ○岩本 望

神戸大学大学院工学研究科

正会員 橋本国太郎

1. 研究背景および目的 1995年に発生した阪神淡路大震災では道路橋の鋼製橋脚が倒壊するなど、大きな被害を受けた。また被害の一つとして鋼製橋脚では、高力ボルト摩擦接合継手（以下、継手）のすべり現象も見受けられた。これにより耐震設計法も大幅に変わったが、変更された耐震設計法では継手のすべり挙動などは考慮されていない。そこで本研究では1層ラーメン橋脚において、地震などで橋脚に大きな水平力が作用した時の継手のすべりを考慮した橋脚の挙動を解析的に検討する。継手は鋼製橋脚でよく用いられている高力ボルト摩擦接合継手とする。

2. 実験概要 解析の継手のすべり挙動などのパラメータを求める為に、実験を行った。試験体としては母板および連結板にSS400、ボルトはF10TM16の高力六角ボルトを2本用い、2面摩擦接合とした。試験体ケースはショットブラスト処理をした鋼材を用いたすべり先行型、無機ジンクリッチペイント処理をしたすべり先行型、母板降伏先行型、連結板降伏先行型の4種類で変位を3mm、サイクル数は30サイクルで一定振幅繰返載荷試験を行った。これにより得られた荷重-変位関係のデータを解析に用いる。また図-1には一例として無機ジンクリッチペイント処理をした鋼材を用いたすべり先行型における荷重-変位関係を示している。また継手のすべり先行型、降伏先行型は式(1)に示す β より決定した。

$$\beta = \mu \cdot m \cdot n \cdot N / (W \cdot d) \cdot t \cdot \sigma_y \quad (1)$$

ここで、 μ ：すべり係数(=0.45)、 m ：摩擦面数、 n ：ボルト本数、 N ：設計ボルト軸力、 W ：板幅、 d ：孔径、 t ：母板厚、 σ_y ：鋼材の降伏点である。

3. 解析モデル 過去の研究を参考にしてコンクリート充填された1層ラーメン橋脚を、はり要素を用いて解析モデル化し有限要素解析コードABAQUSを用いて解析を行った。橋脚の材料はSM490Yで箱形断面を想定しフランジの板厚は30.32mm、ウェブの板厚

は23.02mmとし、材料特性、応力-ひずみ関係の値は表-1および図-2に示している。また接合部に用いる鋼材はSM490Y、ボルトはF10TM22の高力六角ボルトを使用する。ボルト本数を式(2)および式(3)を用いて導出した。

$$n \geq P / \rho_a \quad (2)$$

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} \leq \rho_a \quad (3)$$

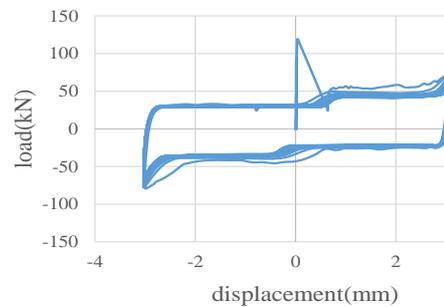


図-1 荷重-変位関係

表-1 材料特性

使用材料	SM490Y
ヤング率(MN/m ²)	205800
ポアソン比	0.3
降伏応力(MN/m ²)	370.4
梁の長さ(mm)	14500
柱の長さ(mm)	12500

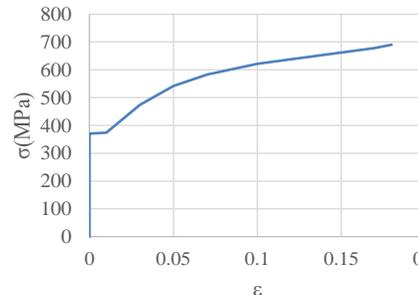


図-2 応力-ひずみ関係

ここで n : 引張、または圧縮力をうける部材における高力ボルトの所要本数, P :作用引張力または作用圧縮力(全強の75%以上), ρ_a :高力ボルト1本の許容応力, ρ : 高力ボルト1本に作用する力, ρ_p : 曲げモーメントおよび軸方向力による垂直応力によって高力ボルト1本当たり作用する力, ρ_s :せん断力によって高力ボルト1本当たり作用する力である. これよりすべり先行型には, フランジ 68 本, ウェブ 40 本, 降伏先行型にはフランジ 70 本, ウェブ 66 本用いる. 接合部のモデルについては, 2 節点を2本のコネクタ要素でつなぎ, 1本に弾性, 破壊挙動(初期すべり), もう1本は弾塑性挙動(2回目以降のすべり)を定義したモデルとした. また継手モデルのデータは前述した実験で得られた値を用いる. 図-3のように橋脚の継手をつける場所(梁部において左, 右端からそれぞれ 2020mm の場所)に剛体はり要素を取り付け, 梁の上フランジ, ウェブ, 下フランジにそれぞれ継手モデルを組み込めるようにする. そして左, 右の継手において継手モデルを組み込む.

4. 解析ケース 継手を考慮しない場合を case0, 継手の種類として無機ジンクリッチペイント処理をしたすべり先行型を用いた場合を case1-1, ショットブラスト処理をした鋼材を用いたすべり先行型を用いた場合 case1-2 とし, 連結板降伏先行型を用いた場合を case2, 母板降伏先行型を用いた場合を case3 として検討する. それぞれにおいて橋脚基部を完全固定とし, 左隅角部に水平変位を $\delta=51.03\text{mm}$ として $\pm 10\delta$ まで与え, 繰り返し载荷を行った.

5. 解析結果 一例として水平荷重-水平変位関係において case0 と case1-1 を比較したものを図-4に示す. case0 の方がその他のケースに比べ, 荷重が大きくなった. case1-2~case3 においても同様の結果となった. 次に柱基部, 角部において積分点での直応力の比較を行った. 柱基部, 角部における応力を一例として case0 と case1-1 において比較したものを表-2に示す. また, 継手のすべり時の変位に関してはフランジにつけた継手については case1-1~case3 のどの場合も 1δ ですべりが発生したが, ウェブにつけた継手につ

参考文献: 石原靖弘, 小林剛, 皆田理, 西村宣男: 地震被害を受けた高力ボルト摩擦接合継手の特性調査と繰り返しすべり実験, 土木学会論文集 No.745 p53, 2003.10

いては case1-1 では 2δ , case1-2, case2 では 3δ , case3 では 3δ でそれぞれすべりが発生した.

6. 結論 継手を考慮しない場合の方が橋脚全体にかかる荷重が大きくなり, 橋脚にかかる応力に関しては継手を考慮しない場合と考慮した場合において柱基部にかかる応力に大きな違いはみられなかったが, 隅角部にかかる応力は継手を考慮した場合の方が小さくなった. このことより安全側で考えると継手を考慮しない方が良いと考えられるが, 継手のすべりを考えると構造合理性が高くなると考えられる. 接合部の種類に関しては case1-1 から case3 において橋脚にかかる荷重, 応力にあまり違いはみられなかった. またボルトすべり後の支圧挙動は現在のところ考慮していない.

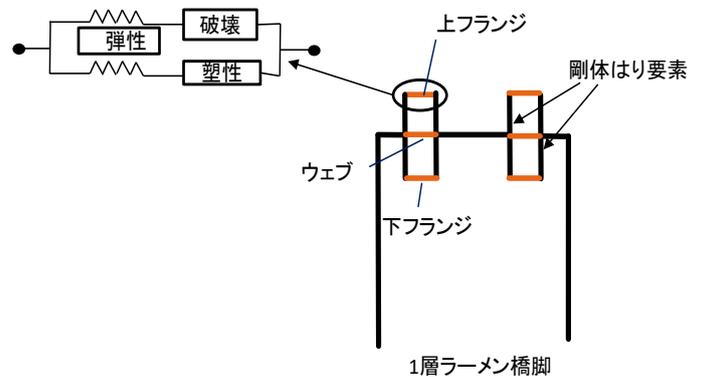


図-3 継手概要

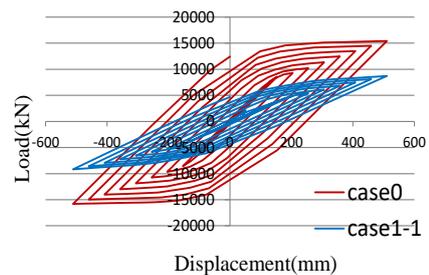


図-4 荷重-変位関係

表-2 応力の比較

位置	Case0 (N/mm ²)	Case1-1 (N/mm ²)	変化率
柱基部(左)	263	192	-27%
角部(左)	255	22	-91%
柱基部(右)	260	208	-20%
角部(右)	277	37	-87%