

薄板における高力ボルト摩擦接合部の力学的挙動

23413528 氏名 熊谷 真伍

指導教員名 佐藤 篤司 准教授

1.はじめに

本研究では初めに高力ボルト単体での一方向加力実験を行い荷重変位関係の定式化を行う。次に高力ボルト接合部の繰返し载荷実験を行う。高力ボルト単体での評価式をボルト群へと展開した場合においてもその評価式が有効であるかを確認し、荷重変位関係の再現モデルを提案することを最終的な目的とする。

2.高力ボルトの一方向加力の実験計画

高力ボルト単体での単調载荷、繰返し载荷実験を行う。単調载荷では、高力ボルトに初期導入張力は与えない状態で载荷を行う。繰返し载荷では支圧状態に入る以前の変位振幅 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm で载荷を行う。試験体計画を表 1 に示す。

試験体は図 1 に示すように、1 本の高力ボルトで接合した高力ボルト 2 面接合である。高力ボルト接合部における支圧の変位 δ は両サイドに取り付けた変位計 d_1, d_2 で測定した値の平均値を用いる。

3.高力ボルトの実験および力学モデル

3.1.単調载荷実験の結果および再現化

縦軸に荷重 P を $dt\sigma_u$ で除した値、横軸に平均変位 δ をボルト径 d で除した値の関係の一例を図 2 に示し、次式を用いて回帰分析する¹⁾。ここで σ_u は鋼材の引張強さであり, PL4.5 で $431(\text{N}/\text{mm}^2)$, PL6.0 で $429(\text{N}/\text{mm}^2)$ である。

$$\frac{P}{dt\sigma_u} = \{1 - \exp(-b \cdot \delta/d)\}^c \quad (1)$$

全試験体を (1) 式により回帰した結果、形状を決める係数 b, c はそれぞれ (2), (3) 式で示す 1 次関数で近似することができる。

$$b = 3.40(d/t - 1) \quad (2)$$

$$c = 0.62(d/t - 1) \quad (3)$$

各試験体の基準化最大耐力 $P_{\max}/dt\sigma_u$ 及びその時の基準化最大変位 δ_{\max}/d の平均値を表 2 に示し, (1) 式に代入することで再現結果を得られ, 図 3 にその一例を示す。

3.2.繰返し载荷実験の結果および定式化

変位振幅 1.0mm の試験体の荷重変位関係を図 4

表 1 試験体計画

F10T	M16	M20	M22	M24
単調	PL4.5	—	○	○
	PL6.0	○	○	○
繰返し	PL4.5	—	○(3体)	—

表 2 基準化最大耐力及び最大変位

	M16	M20	M22	M24
$P_{\max}/dt\sigma_u$	3.09	3.55	3.15	2.91
δ_{\max}/d	0.63	1.02	0.67	0.73

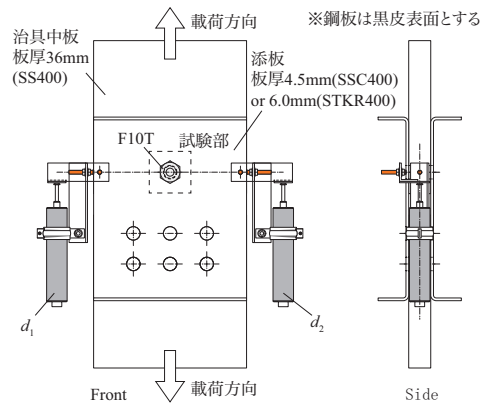


図 1 試験体概要図、変位計設置図

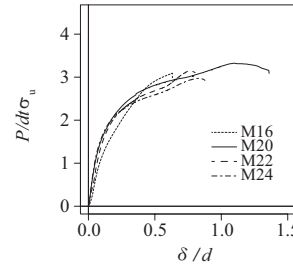


図 2 板厚 6.0mm 実験結果

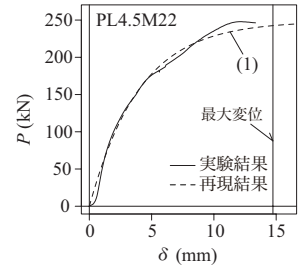


図 3 再現結果

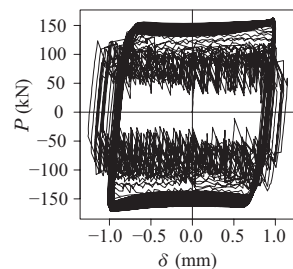


図 4 荷重変位関係

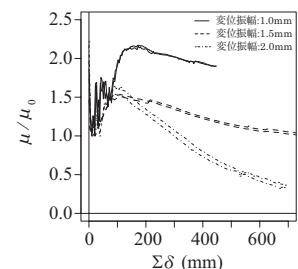


図 5 基準化すべり係数

に示す。縦軸にすべり係数を初すべり時のすべり係数 μ_0 で除した値 (基準化すべり係数)、横軸にサイクルごとの変位 δ を足し合わせた累積変位 $\Sigma\delta$ の関係を図 5 に示す。すべり初期、その後で (4), (5) 式により回帰し、その結果を表 3 に示す。

$$\mu/\mu_0 = \alpha \Sigma \delta + 1.0 \quad (4)$$

$$\mu/\mu_0 = \left(\frac{\exp(\delta_0/10)}{\exp(\Sigma \delta/10)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \times (\mu_{\max} - 0.17) + 0.17 \quad (5)$$

4.高力ボルト群の実験計画

試験体概要および変位計設置位置を図6に示す。変位計測は矢印の向きを正とする。接合部は図7に示すように3パターン計画した。荷重は層間変形角 R で制御し層間変形角 0.375%, 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 以降は 1.0% 刻みでそれぞれ 2 サイクルずつの繰返し荷重を基本として行った。 δ は荷重点の水平方向の相対変位である。

5.高力ボルト群の実験結果

柱頭部荷重点の相対変位 δ は梁の変形による変位 δ_b 、柱変形による変位 δ_c 、高力ボルト接合部のすべりと支圧による変位 δ_{sb} によって次式で構成される。

$$\delta = \delta_b + \delta_{sb} + \delta_c \quad (6)$$

図8に荷重変位関係の一例を示す。初すべり時の荷重を接合部のすべり耐力として、鋼構造接合部設計指針²⁾に記載されている耐力式から逆算した接合面のすべり係数はそれぞれの試験体で 0.26 ~ 0.33 と接合指針で規定されている 0.23 よりも大

変位振幅	1.0 mm	1.5 mm	2.0 mm	avg.
α	0.087	0.054	0.064	0.068
β	216	173	34	141

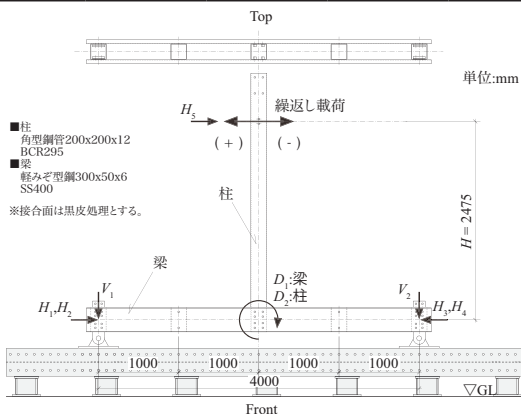


図6 試験体概要図、変位計設置図

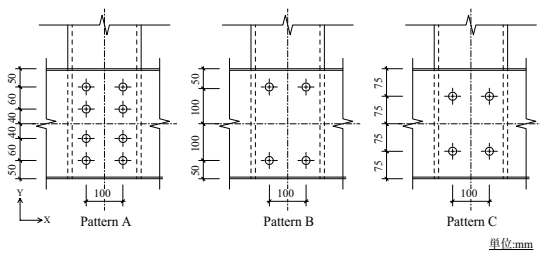


図7 接合部パターン

きな値となった。

6.高力ボルト群の力学モデルの提案

図9に示した再現化モデルのフローに沿って抵抗力 R_i を導く。接合部での力の釣り合いより荷重 P を求め、荷重 P による柱梁の変形による変位 δ_c 、 δ_b を δ_{sb} に足し合わせることで変位 δ を得る。再現化モデルによる荷重変位関係の再現結果を図10に示す。また実験結果を満たす (4), (5) 式における α , β の4つの試験体での平均はそれぞれ 0.021 と 17.2 となった。

7.まとめ

高力ボルト単体での荷重実験では支圧状態での荷重変位関係を評価式により再現できることを示した。また累積変位に対してのすべり係数の推移に関しての定性的結果を得た。さらに高力ボルト接合部の荷重実験により、高力ボルト単体での評価式を用いた支圧曲線の再現結果は実験結果を追従できることを示した。すべり係数に関しては、実験結果を追従するための係数 α , β を算出したが、ボルトが支圧状態にあったため単体での実験結果とは異なる結果であったと考え、さらなる研究が必要である。

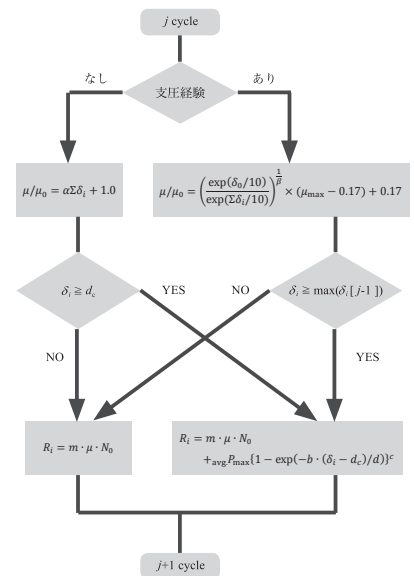


図9 再現化フロー

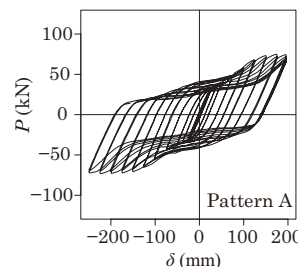


図8 荷重変位関係

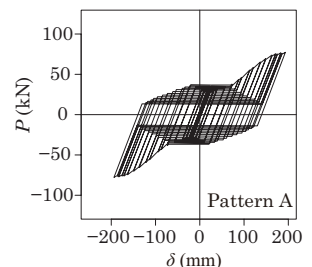


図10 再現結果

【参考文献】

- 熊谷真伍：薄板における高力ボルト摩擦接合部の力学的挙動、名古屋工業大学卒業論文、2010.12
- 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、2012
- AISC: Steel Construction Manual 14th Edition, pp.7-6 - 7-8, 2011.