

タワークレーンマストで使用されるボルト偏心引張接合部の力学性状

正会員 ○牛尾好孝*1 同 桑原進*2 同 永野康行*3

2. 構造—10. 鉄骨構造—c. ボルト・高力ボルト
ボルト, 偏心引張接合, タワークレーン, 単調引張試験

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震や2002年台湾地震ではタワークレーン（以下、クレーン）の被害が報告されている。マストの接合部で破壊した事例も見受けられるため、被害の検討にはマストならびに接合部の力学性状を反映させた応答解析等が必要となる。

タワークレーンのマストの接合部の例を写真1に示す。写真のようにマストの四隅に位置するエンドプレートを、高強度ボルトを使用した引張接合形式で組み立てるのが一般的である。図1にはクレーンの規模に応じた引張接合部の例を示す。クレーンのクライミングを考慮して、マストを構成する柱の内側にエンドプレートを設けているため、多くの場合、引張接合部は偏心軸力が作用することになる。

本報では同接合部を対象とした単調引張実験を実施し、その力学性状を明らかにし、別途実施される応答解析に用いる解析モデルの比較対象とする。

2. 試験体・実験方法

図2にリブ有りの場合の試験体形状と寸法を示す。試験体は表1に示す3体で、エンドプレート厚



写真1 タワークレーンマスト接合部例

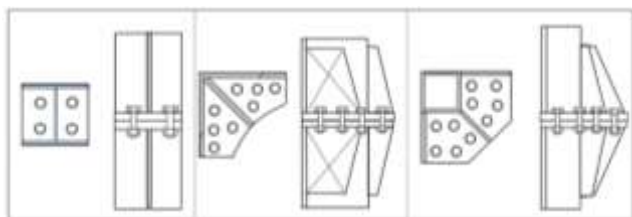


図1 タワークレーンマスト接合部例

t (20, 30mm)、リブプレートの有無が変数となる。リブ無し No.2 は No.1 よりリブプレートを除外したものである。試験体は柱がアンクル材となる事例の縮小モデルを想定している。柱には L-175×175×12 (SS400)、リブプレートには PL12(SN490)、エンドプレートには PL 22, 32 を切削加工により 20mm, 30mm に調整した SN490 を使用する。表2に鋼材の機械的性質を、表3には各試験体のエンドプレート厚の実測値を示す。表2に板厚ごとに3体

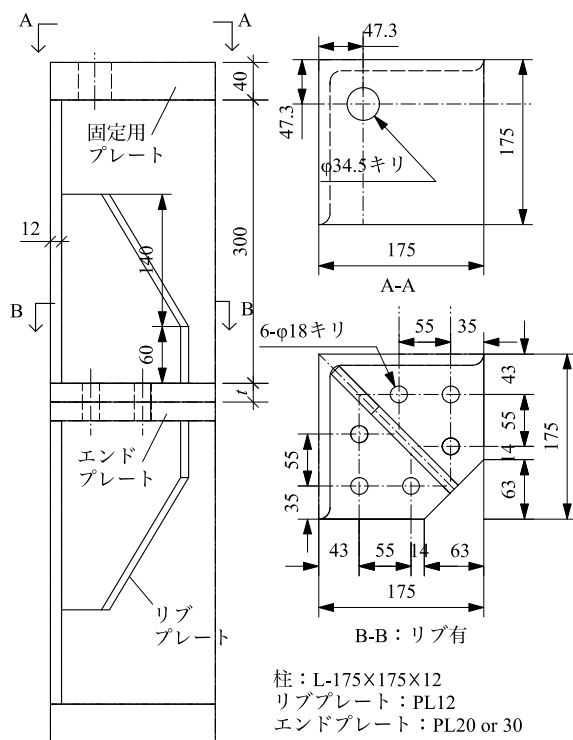


図2 試験体形状・寸法 (リブ有り: 単位 mm)

表1 試験体一覧

No.	エンドプレート厚 t	リブプレートの有無
1	20mm	有
2	20mm	無
3	30mm	有

Mechanical Property of Eccentric Bolted Tension joint used in a tower crane mast

USHIO Yoshitaka, KUWAHARA Susumu and NAGANO Yasuyuki

表 2 鋼材の機械的性質

PL	Grade	降伏応力度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)
PL-12	SS400	269	421	30
PL-22	SN490A	320	516	28
PL-32	SN490A	355	551	32

表 3 エンドプレートの実測板厚

試験体	実測板厚 (mm)	
	上	下
No.1	17.49	18.50
No.2	17.78	18.77
No.3	27.76	29.69

の JIS 1 号試験片による素材試験結果の平均値を示す。

ボルトには F10T, M16 を 6 本使用する。本実験では軸部にひずみゲージを添付したボルトゲージを使用し、初期導入ボルト張力、ならびに、試験体載荷時のボルト張力の推移を測定する。一本当たりの初期導入ボルト張力 B_0 は 10, 50, 75kN の 3 種類とする。所定の B_0 にて締付けを行い、その後、試験体の固定用プレートを介して 1000kN 万能試験機に PC 鋼棒にて固定し、単調引張載荷を行う。固定プレートの PC 鋼棒用の孔位置はアングルの図心と一致させている。同一の試験体を使用して 初期導入ボルト張力が 10, 75, 50kN の順番で載荷を行う。初期導入ボルト

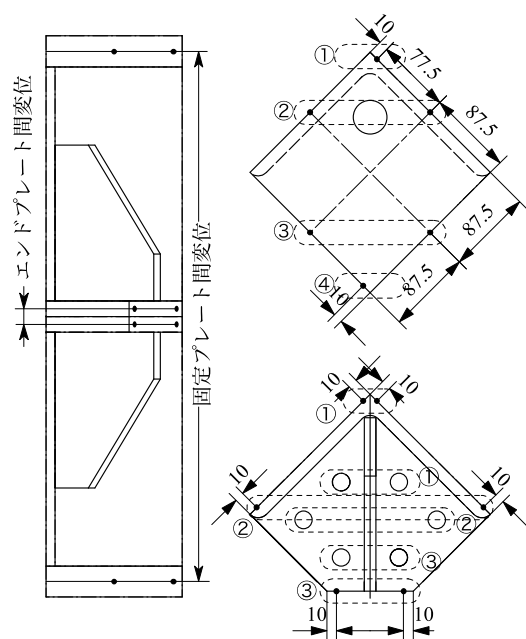


図 3 変位測定位置

ト張力が 10, 75kN の場合は引張載荷時の最大ボルト張力が 80~100kN となる（高力ボルトが弾性を維持する）まで載荷、50kN の場合はボルト張力が低下するまで載荷し、その後除荷する。試験体に使用した山形鋼の断面積は 40.52cm²、降伏軸力は 1090kN となる。一方、ボルト 1 本当たりの耐力は公称値で 141kN、6 本で 848kN となり、一様に引張力が作用すると考えた場合、ボルトが山形鋼よりも先行降伏する設計となっている。

図 3 に変位の測定位置を示す。図中の黒丸が測定位置を表す。測定項目は固定プレート間変位 d_f 、エンドプレート間距離 d_e 、ボルト張力 B 、引張荷重 P の 4 種類である。それぞれ 6 点ずつ測定し、アングル頂部から同じ距離にある測定点（図中破線で囲んだ測定点）を平均して以下では結果を示す。試験体ならびに変位計の設置状況を写真 2 に示す。

3. 実験結果

図 4 に実験結果を示す。いずれも初期導入ボルト張力 B_0 を 50kN とする試験体であり、上から No.1, No.2, No.3 試験体の結果を示す。左側から (a) 荷重-ボルト張力関係、(b) 荷重-エンドプレート間変位関係、(c) 荷重-固定プレート間変位関係を示す。縦軸には引張荷重 P を、横軸にはそれぞれボルト張力 B 、エンドプレート間変位 d_e 、固定プレート間変位 d_f を示す。凡例に示す①~④は図 3 の測定位置と対応して

いる。なお、No.2, 3 試験体の図 4(c) では、④の位置で測定の不備があったため削除している。図 4(a) の赤破線は初期導入ボルト張力を示す。

図 4(b), (c) の①の測定値の比較より、固定プレート間変位の概ね 80~90% 程度がエンドプレート間変位で占められており、両者の挙動はよく対応しているため、以降では (b) に注目して考察する。図 4(b) より、①>②>③の順にエンドプレート間変位が大きくなっており、写真 3 に示すように、アングルの図心位置に近い①の方



写真 2 変位測定状況

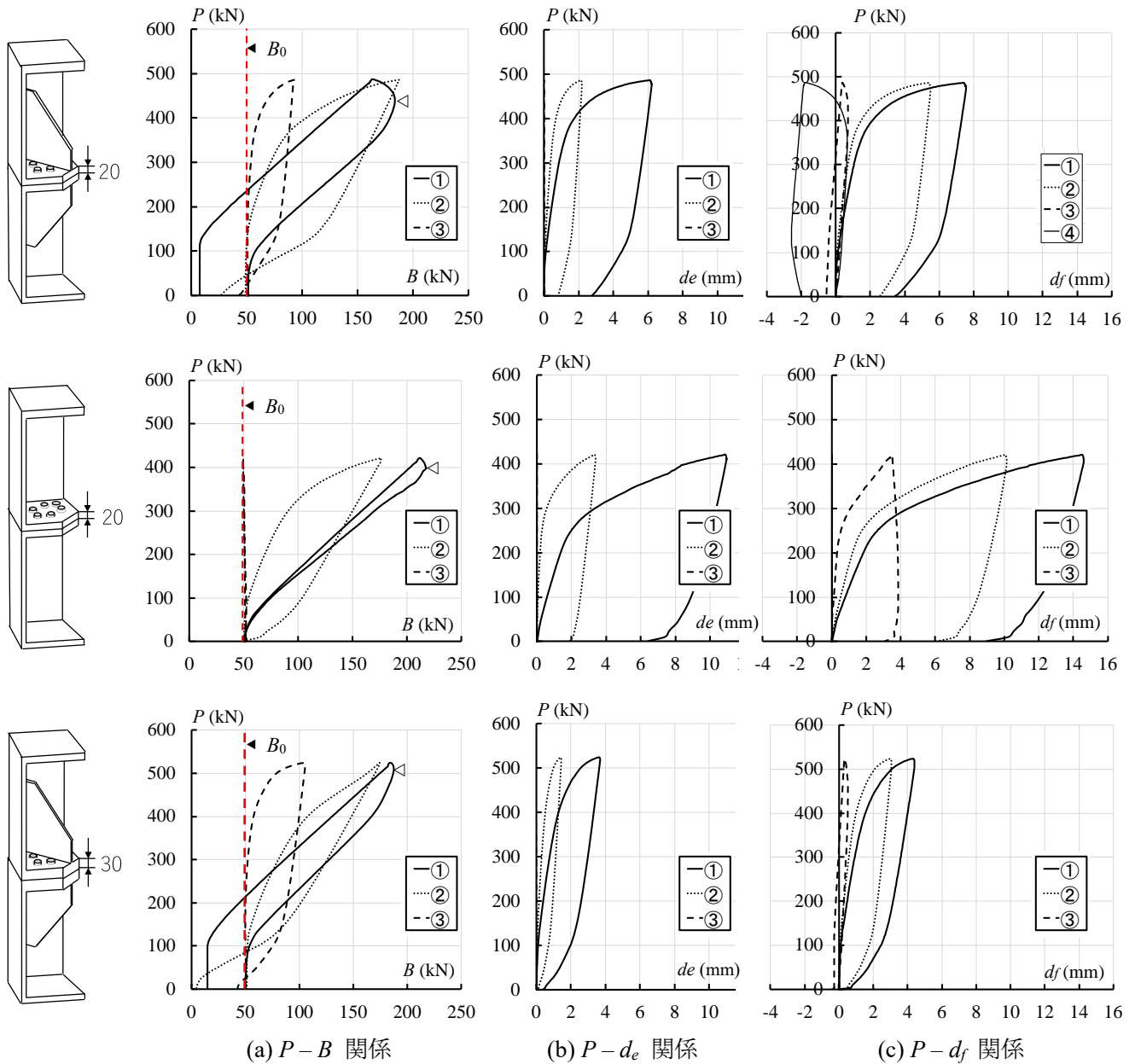


図4 実験結果 ($B_0 = 50\text{kN}$, 上 : No. 1, 中 : No. 2, 下 : No. 3)

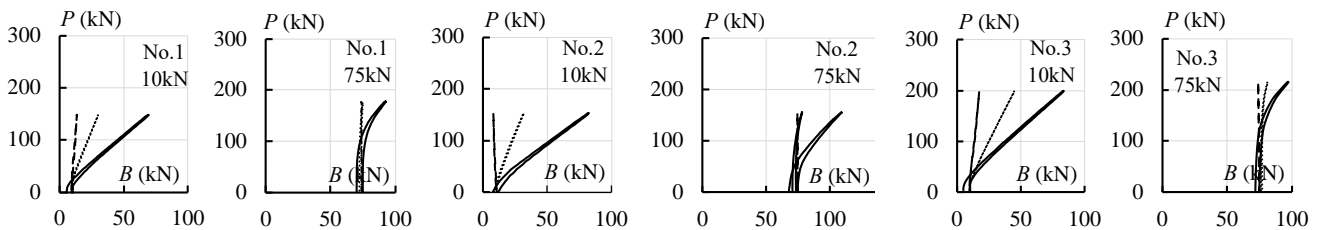


図5 荷重—ボルト張力関係 ($B_0 = 10, 75\text{kN}$)

からエンドプレートが開くように変形していることがわかる。③はエンドプレートが接触しているため、変位はほぼ0となる。引張荷重が300kNのときの①のエンドプレート間変位は、No.1 : 0.87mm, No.2 : 3.34mm, No.3 : 0.77mm となり、③>①>②の順番で

剛性が小さくなる。また③・①と比較して②では大きく剛性が低下することから、エンドプレート厚よりもリブプレートの有無が剛性に大きく寄与していることがわかる。図6に、FEMによる予備解析結果を示す。素材特性はBi-linear、降伏応力度は規格

下限値，試験体寸法は設計値とする．8節点6面体ソリッドモデルを使用している．解析プログラムにはMSC.NASTRAN.2017を使用する．図6には示されていないが，図7のようにボルトと座金をモデル化し，実験と同様に初期導入ボルト張力50kNを導入後，引張荷重を与えている．図6には各試験体の変形と相当応力度分布を示す．変形率は5倍である．図よりリブプレートが無いNo.2試験体では，ボルト①，②を結ぶ位置にヒンジラインが確認され，エンドプレートに面外曲げ変形が生じている．一方No.3ではリブプレートとエンドプレートの板厚によって面外曲げ変形が抑制され，エンドプレートが剛体的に回転している．

図4(a)より，①>②>③の順に早期に離間し，ボルト張力が初期導入ボルト張力より増加することがわかる．これは(b)のエンドプレート間変位の動きと対応している．1本当たりの初期導入ボルト張力が50kNであるから，エンドプレートが剛で均等な変位が生じる場合は300kNで離間が生じるのに対し，No.3試験体では約100kN，No.2では約30kNとなり，



写真3 エンドプレート間変位状況

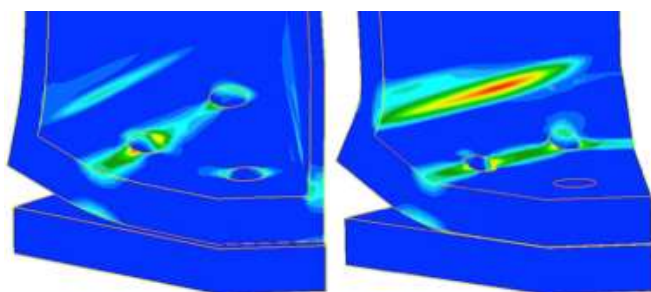


図6 FEM解析による変形状態 (変形倍率5倍, 左からNo. 1, 2, 3試験体)

ボルトには不均一なボルト張力が作用すること，また，その傾向はエンドプレートの面外曲げ剛性が低いほど強くなることを示す．アングル材の図心に近い①のボルトでは，図中◁の位置でボルト張力が低下に転じ，継続して載荷するとボルトが破断することが予想される．No.1, No.3ではボルト張力が180kN程度で低下に転じるのに対し，No.2では210kNを超えて低下に転じる．これはボルトゲージのゲージ添付位置の塑性化による計測の不備と考えられる．図7にはNo.2試験体の予備解析での①ボルトの変形状態 (倍率1倍) と応力分布を示す．エンドプレートの曲げ変形に伴い，ボルトにも曲げの作用が確認できる．図5には初期導入ボルト張力が10, 75kNの場合のボルト張力の推移を示す．50kNと同様な傾向が確認できる．

4. まとめ

本報では，タワークレーンマストの接合部に使用されるボルト偏心引張接合部縮小試験体の単調引張試験を行い，今後行われるタワークレーンの応答解析に用いられる解析モデルの比較対象データを得た．また，エンドプレートの面外曲げ変形を抑制し，作用ボルト張力の均等化にリブプレート，エンドプレートの増厚が有効であることを示した．これらの効果の定量化については今後の課題である．

謝辞：本実験ならびに予備解析の実施にあたって，大阪大学4年生の嶋田健人君に多大な貢献を頂いた．また，実験に協力を頂いた大阪大学鉄骨系構造学領域の教員・学生諸氏に感謝の意を表す．

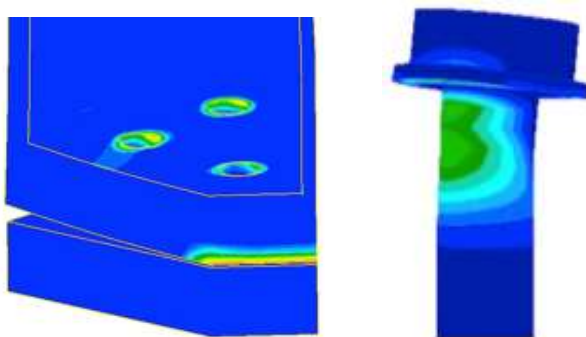


図7 ボルトの変形状態

*1 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 博士後期課程院生
 *2 大阪大学大学院工学研究科 准教授・博士 (工学)
 *3 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 教授・博士 (工学)

Graduate Student, Graduate Sch. of Sim. Studies, Univ. of Hyogo
 Assoc. Prof., Graduate Sch. of Engineering, Osaka Univ., Dr. Eng.
 Prof., Graduate Sch. of Sim. Studies, Univ. of Hyogo, Dr. Eng.