

片面施工された高力ボルト摩擦接合当て板の力学的挙動に関する基礎的研究

大阪市立大学
川田工業株式会社

学生員 ○神野 巧矢
正会員 小笠原 照夫

大阪市立大学大学院
法政大学
熊本大学大学院

正会員
正会員
正会員

山口 隆司
内田 大介
森山 仁志

1. 研究背景と目的

腐食した鋼部材の補修方法の一つに高力ボルト摩擦接合を用いた当て板工法がある。本工法は溶接工法と比較して疲労耐久性が高く、狭あいな箇所でも施工可能なことから一般的に使用される¹⁾。狭あいな箇所での作業や片側に腐食した場合、片面施工の当て板(以下、片面当て板という)が施工上有利となる。一方、片面当て板は偏心により面外変形を生じるが、これが当て板補修部の力学的挙動に与える影響は明らかでない。

本研究では両面および片面当て板とした供試体で引張载荷実験と FEM 解析を行い、ボルト軸力や当て板の荷重分担率に着目し、片面当て板の面外変形が当て板補修部の力学的挙動に与える影響を明らかにする。

2. 引張载荷実験

供試体形状および寸法を図-1 に示す。母板および当て板、高力ボルトの鋼種は図-1 に示す通りである。接合面処理について、母板はショットブラスト処理、当て板に無機ジンク（目標 75μm）を塗布した。

引張载荷は高力ボルトの締め付けおよび 12 時間のリラクゼーションを測定後、载荷速度 1kN/sec を目標に実施した。実験ケースは表-1 に示す通りで、両面および片面当て板の 2 ケースを 1 体ずつ用意した。

3. 有限要素解析

解析には汎用有限要素解析コード Abaqus6.14 を用い、弾塑性有限変位解析を実施した。解析ケースは実験に対応したケースに加え、片面当て板の面外変形を拘束するケースを実施した。解析モデルの 1 例として両面当て板のモデルと要素分割の詳細を図-2 に示す。母板と当て板の材料特性は材料試験結果を用い、表-2 に示す通りである。母板-当て板間の摩擦係数は、case1(実験)のすべり荷重とその時のボルト軸力から算出し、その他は文献 3 を参考にした。面外変形を拘束するケースは、母板の非接合面に対し、z 軸方向の変位(面外変位)を 0 に拘束した。

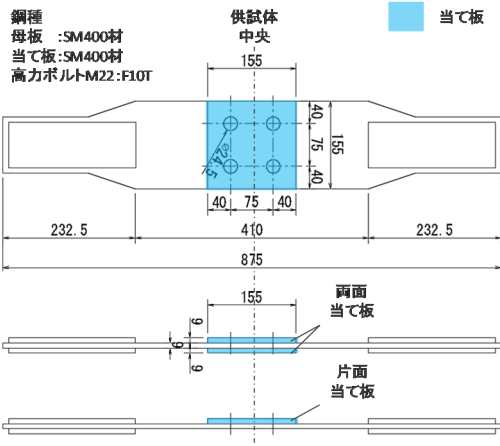
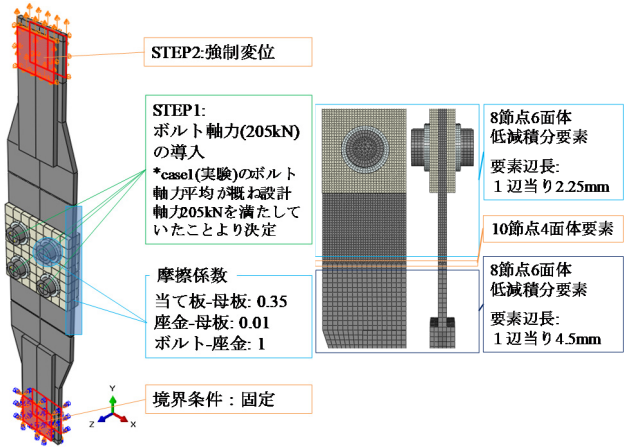


図-1 供試体形状および寸法 (単位 : mm)

表-1 実験・解析ケース

ケース	方法	当て板	試験体数	内容
case1(実験)	実験	両面	1体	両面当て板の引張载荷実験
case2(実験)		片面		片面当て板の引張载荷実験
case1(解析)	解析	両面		case1(実験)の再現解析
case2(解析)		片面		case2(実験)の再現解析
case3(解析)		片面		case2(解析)モデルの母板において当て板がない面の面外変形を拘束したケース



(a) 全体図 (b) 要素分割の詳細

図-2 両面当て板の解析モデル

表-2 材料特性

	ヤング率 [Mpa]	ポアソン比	降伏点 [Mpa]	構成則
母板(SM400)	209,810	0.29	309.5	降伏棚を有するひずみ硬化型 ²⁾
高力ボルト(F10T)座金	200,000	0.30	900	トリリニア E/100

キーワード 当て板工法, 片面当て板, 面外変形

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 応用構造工学研究室 TEL&FAX 06-6605-2765

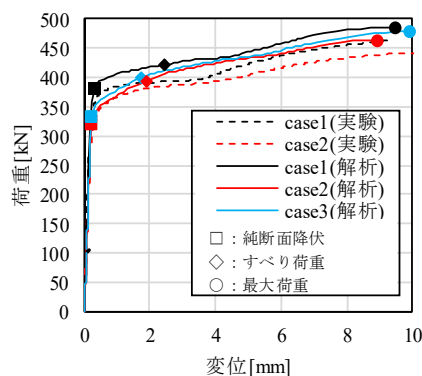


図-3 継手全体変位

*すべり荷重は供試体中央から10mm離れた位置の相対変位が0.2mmに達する荷重とした。

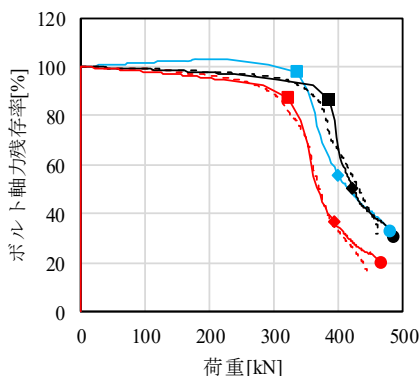


図-4 ボルト軸力残存率

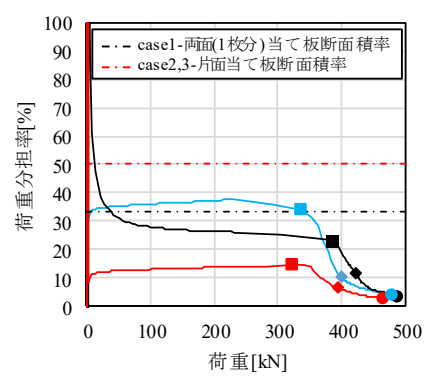


図-5 当て板中央の荷重分担率

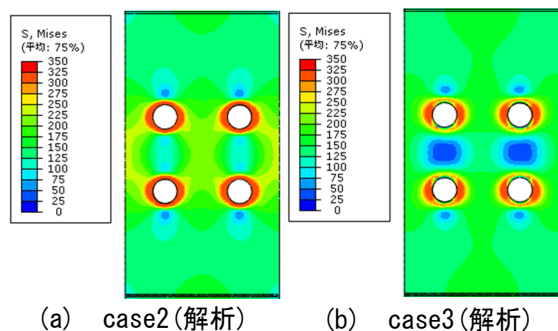


図-6 約200kN時の母板非接合面におけるMises応力コンター図

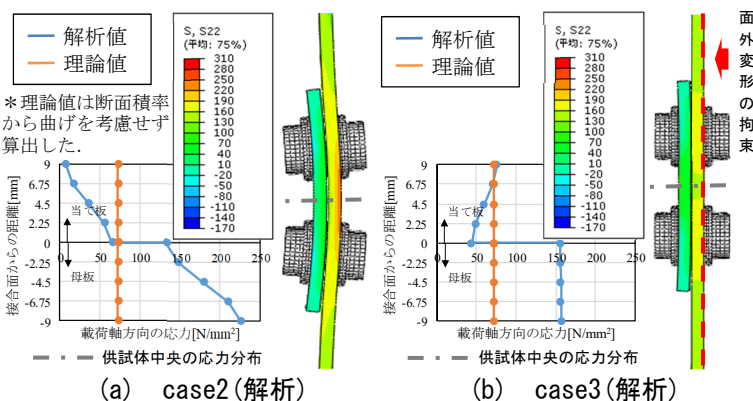


図-7 約200kN時の载荷軸方向の応力コンター図 (変形倍率: 30倍)

4. 結果と考察

実験および解析結果の継手全体変位とボルト軸力残存率を図-3, 4に、解析結果のモデル中央における当て板の荷重分担率を図-5に示す。図-3~5より、解析結果は実験結果の概形が一致しており、実験結果の傾向を概ね再現できている。図-3の解析結果より片面当て板のcase2は、両面当て板のcase1より純断面降伏およびすべり荷重、最大荷重が小さい。図-4より、ボルト軸力残存率の低下が、case1よりcase2の方が小さい荷重で見られる。図-5よりcase2の当て板中央の荷重分担率は断面積率と比べて大きく低下した。一方、面外変形を拘束したcase3は、case2と比較してボルト軸力残存率および当て板中央の荷重分担率が増加した。

図-6に示すように、片面当て板は板曲げによる母板の応力増加が生じる。これにより母板の降伏が進展して板厚が減少し、ボルト軸力残存率とすべり荷重は、両面より片面当て板の方が小さい荷重で生じる。また片面当て板における当て板中央の荷重分担率は、図-7に示すように曲げによる圧縮力が作用することで当て板中央の荷重分担率が断面積率と比べて大きく低下する。一方、図-6, 7より片面当て板でも面外変形を拘束すると、板曲げによる母板の降伏進展と当て板に働く圧縮力が軽減されるため、ボルト軸力残存率とすべり荷重、

当て板中央の荷重分担率が増加すると考えられる。

5. まとめ

本研究は、両面および片面当て板とした供試体の引張載荷実験と片面当て板の面外変形を拘束したモデルを加えたFEM解析を実施した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 片面当て板は偏心荷重により曲げが生じ、板曲げによる応力増加に伴って母板の降伏が進展する。これにより片面当て板におけるボルト軸力の低下が小さい荷重で生じ、すべり荷重が低下する。
- (2) 片面当て板は曲げによる圧縮力が当て板に作用するため、当て板の荷重分担率は断面積率と比較して大きく低下する。
- (3) 片面当て板の面外変形を拘束すると、板曲げによる応力増加と当て板に働く圧縮力が抑えられる。これにより母板の降伏が抑えられてボルト軸力の低下が軽減され、すべり荷重が増加した。また当て板に働く圧縮力が軽減され、荷重分担率は増加した。

<参考文献>

- 1)土木学会：腐食した鋼構造物の性能回復事例と性能回復設計法，pp.48，2014
- 2)土木学会：2016年制定 鋼・合成構造標準示方書，pp.34-36，2016.7
- 3)山口隆司，北田俊行，池田敬之，吉岡夏樹：圧縮力を受けるF18T級超高力ボルト摩擦接合継手の力学的挙動に関する解析的研究，構造工学論文集，Vol55A，pp.1005-1013，2009.3