

高力ボルトと2液形アクリル樹脂系接着剤を併用した2面せん断接着継手の引張試験結果

正会員 〇小川 大輝*¹ 正会員 紺野 誠*²
同 花井 勉*³ 同 小林 博一*⁴
同 三井 和也*⁵ 同 佐藤 篤司*⁶

鋼構造 高力ボルト 摩擦接合
接着剤 継手 単調載荷

1. 序論

高力ボルトを用いた摩擦接合は鉄骨構造において広く使用されている。摩擦面の表面処理方法としては、赤錆発生処理とブラスト処理が採用されており、ブラスト処理の場合、すべり係数 0.45 以上を確保するために、表面粗さ 50 μ mRz 以上とすることが規定されている¹⁾。一方で、接着接合の場合は、接着剤の粘性や主成分となる樹脂の種類に応じて適切な表面粗さがあり、ショットブラストよりも表面粗さの小さいサンドブラストの方が高い接合強度を発現することが知られている²⁾。すなわち、高力ボルト摩擦接合とは異なる表面粗さで強度を最も発揮する。

そこで本報では、高力ボルト接合と接着接合を併用するハイブリッド接合を新たな接合方法として提案することを念頭に、その接合性能を評価すると共に、表面粗さや接着層の厚みが与える影響を検討する。

2. 接着接合の2面せん断試験概要

本報では、高力ボルトと接着剤を用いて2面せん断接着継手にて評価を行った。試験条件を表1に、試験体の形状・寸法を図1に示す。鋼材はSN490Bを使用し、表面処理としてショットブラスト(50 μ mRz)あるいはサンドブラスト(10 μ mRz)を施した。高力ボルトはトルシア形高力ボルト(M16, 孔径18mm)を使用した。

接着剤は、既往の研究^{3),4)}ではエポキシ樹脂系あるいはアクリル樹脂系が使用されるが、①寒冷環境での高い硬化性、②混合比、混合状態のバラツキの影響が小さく、施工性が高い点、③油面接着が可能などなどの理由から、アクリル樹脂系(2液形アクリル樹脂系接着剤)を選択した。接着厚み200 μ mの試験体では、スペーサーとして ϕ 200 μ mのガラスビーズを使用することにより、接着剤層の厚みを確保した。変位測定にはパイ型変位計を使用し、接合面のすべり変位(中板と側板の相対変位)及び側板端部のはく離変位を測定した。

3. 接着接合の2面せん断試験結果

3.1 すべり変位挙動

試験結果を表2に、荷重-すべり変位関係を図2, 3に示す。引張せん断接着強さは、JIS K6850⁵⁾に記載される接着接合のせん断応力であるが、便宜上本報ではすべり荷重を接着面積で除した応力を引張せん断接着強さと表記する。また、No.1試験体では明瞭なすべりが生じなかったため、鋼構造接合部設計指針⁶⁾の付7すべり係数評価試験法に基づいてすべり量0.2mmに対応する荷重をすべり

表1 高力ボルトと接着剤を用いた2面せん断接着継手の試験条件

試験 No.	接合形態	接着 厚み	表面処理
1	高力ボルト摩擦接合	-	ショットブラスト
2	高力ボルト摩擦接合	-	サンドブラスト
3	高力ボルト×接着接合	密着	ショットブラスト
4	高力ボルト×接着接合	密着	サンドブラスト
5	高力ボルト×接着接合	200 μ m	ショットブラスト
6	高力ボルト×接着接合	200 μ m	サンドブラスト

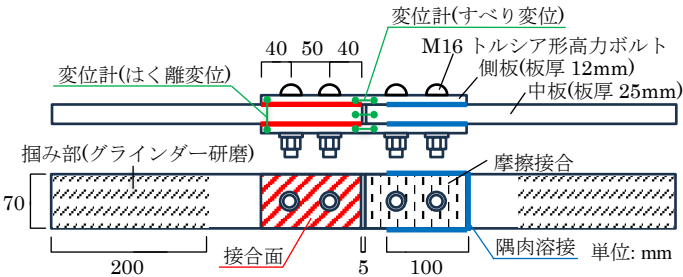


図1 高力ボルトと接着剤を用いた2面せん断接着継手の試験体の形状、寸法

表2 高力ボルトと接着剤を用いた2面せん断接着継手の試験結果

試験 No.	接合形態	接着 厚み	表面処理	すべり 荷重 (kN)	引張せん断 接着強さ (N/mm ²)
1	高力ボルト摩擦接合	-	ショットブラスト	273	-
2	高力ボルト摩擦接合	-	サンドブラスト	214	-
3	高力ボルト×接着接合	密着	ショットブラスト	501	29.2
4	高力ボルト×接着接合	密着	サンドブラスト	534	31.1
5	高力ボルト×接着接合	200 μ m	ショットブラスト	537	31.3
6	高力ボルト×接着接合	200 μ m	サンドブラスト	547	31.8

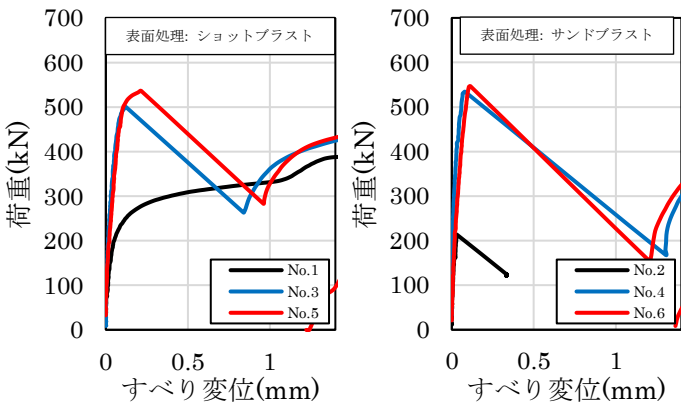


図2 荷重-すべり変位関係

荷重とした。サンドブラスト処理を施した No.2 試験体では、すべりが生じたものの、試験機側の破断検出により載荷停止したため、以降の試験では破断検出範囲を縮小して試験を実施した。No.2 試験体のすべり荷重としては 214kN となり、No.1 よりも低下する結果であった。

高力ボルトと接着剤を併用した No.3, 4 では、それぞれすべり荷重 501, 534kN, 引張せん断接着強さ 29.2, 31.1 N/mm² が観測された。接着を併用することで No.1, 2 と比較しすべり荷重が倍以上になり、その後緩やかに支圧挙動に移行した。更に No.5, 6 では、スペーサーを使用しない接着厚み密着の条件から接着厚み 200 μ m に変更することにより、2~7%のすべり荷重の向上が確認された。せん断接着継手の引張試験では、接合面に対して主にせん断方向の応力が作用するが、鋼材の板厚や降伏荷重、試験荷重によっては破断前に鋼材の軸降伏が起こり、面外方向への応力も生じる。接着接合では、接着厚みの増加に伴い引張せん断接着強さは低下するのが一般的である⁷⁾。本報にて使用した接着剤は高靱性で変形追従性に優れるため^{8),9)}、接着厚みの増加に伴って接着層の変形する体積が確保されたことにより、面外方向の変形に対しても追従し、引張せん断接着強さが向上したと考える。

図3に高力ボルトと接着剤の併用試験体における表面処理の影響を比較する。いずれの接着厚みの条件でもショットブラスト処理よりも表面粗さが小さいサンドブラスト処理の方がすべり荷重が高い傾向が見られた。これは表面粗さが大きい試験体では、接着剤がブラスト処理による凹凸に十分に入り込めず接着部に欠陥が生じることで、局所的な応力集中が生じたためと考えられる¹⁰⁾。

3.2 はく離変位挙動

図4に、試験荷重を横軸、側板端部のはく離変位を縦軸とする側板端部のはく離変位挙動を示す。

No.3~No.6 の高力ボルトと接着剤の併用試験体では、No.1, 2 の高力ボルト接合試験体での荷重増加に伴うのはく離変位の増加と比較し、すべり発生まではく離変位の大きな増加は確認されなかった。

せん断接着継手では、接合面のせん断方向の載荷に伴い、せん断応力とはく離応力（接合面に対して垂直方向の応力）を受ける。高力ボルト接合においては、ボルト孔周辺でボルト軸力による接合面への圧縮応力によって拘束されているが、試験体の側板端部ではこの圧縮応力の影響が小さく、載荷に伴ってはく離方向に変形が生じる¹¹⁾。一方で、接着接合を併用した No.3~No.6 は、高力ボルト接合と比較して、接着接合によって接合面が側板端部まで拘束されることにより、試験荷重 500kN 程度ですべりが生じるまではく離を抑制したと考える。

4. 結論

本報では、高力ボルトと2液形アクリル樹脂系接着剤を併用した2面せん断接着継手において、表面処理、接着厚みをパラメータとして、すべり荷重、すべり変位及び側板端部のはく離変位挙動への影響を確認し、本接着剤による接着接合と高力ボルト接合を併用したハイブリッド接合方法の可能性を提案した。

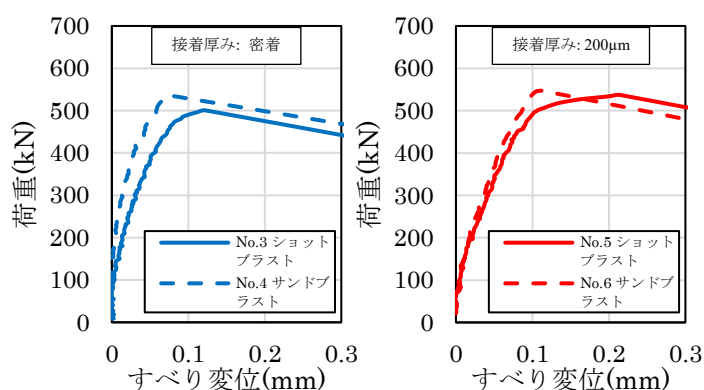


図3 表面処理の影響比較

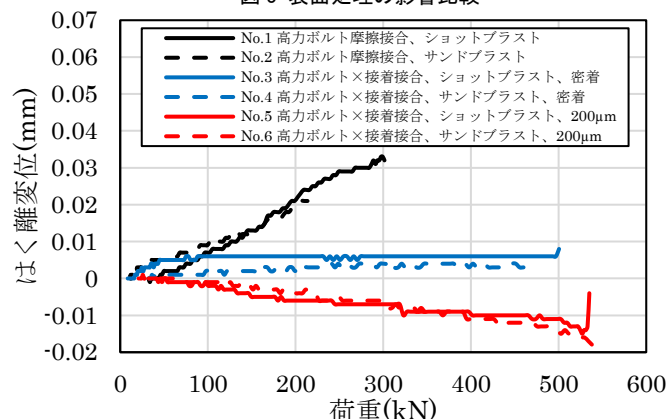


図4 荷重-はく離変位の関係

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事，2017
- 2) 北根安雄，吉村浩寿，上山裕太，伊藤義人，土木学会第70回年次学術講演会講演概要集，70，15-16，2015.9
- 3) 氏家大介，成原弘之，森田仁彦，安田聡，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.779-780，2019.9
- 4) 林天裕，岡崎太郎，堀井久一，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.901-902，2021.9
- 5) JIS K6850: 1999，接着剤-剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法
- 6) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針 第4版，2023.6
- 7) 高野春菜，渡邊洋介，岡崎太郎，鋼構造論文集，第31巻，第123号，pp.37-47，2024.9
- 8) 中川慎吾，井戸田秀樹，花井勉，小林博一，秋本雅人，紺野誠，日本建築学会東海支部研究報告集，第62号，pp.137-140，2024.2
- 9) 長谷川鈴，五十嵐規矩夫，三井和也，花井勉，小林博一，秋本雅人，紺野誠，小川大輝，鋼構造年次論文報告集，第32巻，pp.369-375，2024.11
- 10) 岸武保，吉田孝裕，日本機械学会中国四国支部第41期総会・講演会講演論文集，No.035-1，2003.2
- 11) 濱崎瑞生，宮阪裕一，鈴木公平，佐藤壯大，松井孝洋，松本幸大，日本建築学会技術報告集 第29巻 第72号，pp.812-817，2023.6

^{*1} セメダイン株式会社 修士 (理学)

^{*2} セメダイン株式会社 修士 (工学)

^{*3} えびす建築研究所 代表取締役・博士 (工学)

^{*4} えびす建築研究所 修士 (工学)

^{*5} 東京科学大学 准教授・博士 (工学)

^{*6} 名古屋工業大学 教授・博士 (工学)

^{*1} CEMEDINE Co., Ltd., M. Sc.

^{*2} CEMEDINE Co., Ltd., M. Eng.

^{*3} President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.

^{*4} Ebisu Building Laboratory Co., M. Eng.

^{*5} Assoc. Prof., Dept. of Arch., and Build. Eng., Institute of Science Tokyo, Dr. Eng.

^{*6} Prof. Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.