

接合面に接着剤を塗布した高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動に関する基礎的研究

大阪市立大学大学院
大阪市立大学大学院
阪神高速道路株式会社

学生会員 ○藤田 翔吾
正 会 員 山口 隆司
正 会 員 丹波 寛夫

阪神高速道路株式会社
ユニシ株式会社

正 会 員 杉山 裕樹
正 会 員 堀井 久一

1. 研究背景及び目的

鋼部材の腐食減肉部に対する当て板補修では、不陸調整・防食を目的として、減肉箇所にパテ状のエポキシ樹脂等を充填した上で高力ボルトを配置する例が見られる¹⁾。また、エポキシ樹脂（以下、接着剤という。）と高力ボルトの併用接合（以下、接着摩擦併用接合という。）を対象とした研究は実施されている²⁾ものの、接着剤がすべり耐力に与える影響について不明確な点が多く、その設計法の確立には至っていない。また、接合面をブラストと無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンクという。）とした接着摩擦併用接合³⁾では、無機ジンク層の凝集破壊が支配的であり、接着剤の接着力を十分に発揮できていないことが考えられる。

本研究では、無機ジンクに低粘度接着剤（以下、プライマーという）を浸透させ、それを強化し、接合面に接着剤を塗布した高力ボルト継手供試体の引張試験を実施し、そのすべり挙動やプライマーの効果を検討した。

2. 実験供試体

実験供試体の内訳、標準形状、母板形状を表-1、図-1、2にそれぞれ示す。鋼種は高張力鋼 HT590、使用ボルトは F10T M20 である。供試体はすべり先行となるように、すべり／降伏耐力比 β を、すべり係数を 1.2 と仮定して 0.60 とした。母板は既設部材を想定して、その接合面はブラスト処理を行った。連結板は、当て板する新設部材を想定して、100～200 μ m の膜厚の無機ジンクとした。接着剤は、ペースト状の 2 液混合型金属接着用エポキシ樹脂系接着剤（製品名：E258RS）、プライマーは超低粘度形注入補修用エポキシ樹脂系接着剤（製品名：E205）を用いた。実験供試体のパラメータは接着剤及びプライマーの有無、ボルト軸力、接着面積とした。Case-A が接着剤無、Case-B が接着剤及びプライマー有、Case-C が Case-B をプライマー無としたもの、Case-D は Case-B の接着面積を変化させたものである。Case-B では、B1、B2、B3 のボルト軸力を締付ボルト軸力の 100、50、0%と変化させ、Case-D では、D1、D2 の接着面積を Case-B のそれからそれぞれラップ幅方向に 1.5 倍、

ラップ長方向に 1.15 倍と変化させている。

3. 試験方法

供試体の締付は、接着剤が硬化する前に行い、そのボルト軸力は設計ボルト軸力の 1 割増しである 182kN とした。本試験では、固定側を作らず、全てのボルトに同様の軸力を導入した。載荷は、載荷速度 1kN/sec を目標とし、両側がすべるまで行った。なお、接着剤のクリープ変形およびボルト軸力のリラクセーションを考慮するため、締め付け完了から 1～2 週間後に試験を行った。

4. 試験結果と考察

試験結果のまとめ（平均値）を表-2 に、Case-A～C の代表供試体の荷重-相対変位関係を図-3 に示す。なお、相対変位は、内側ボルト位置における母板-連結板の相対変位とし、先すべり側の結果とする。

接着剤の有無について、A1 と B1 とを比較すると、B1 のすべり荷重が A1 より 50%近く大きい値を示しており、接

表-1 実験供試体の内訳

Case	供試体No	母板形状	連結板接合面処理	ボルト軸力 (%)	接着剤の有無	プライマーの有無	試験体数
A	A1	通常	無機ジンク	100	無	無	3
	B1 [※]			100			3
B	B2	通常	無機ジンク	50	有	有	3
	B3			0			3
C	C1	通常	無機ジンク	100	有	無	2
D	D1	ラップ幅150mm	無機ジンク	100	有	有	3
	D2	ラップ長230mm					3

※標準供試体

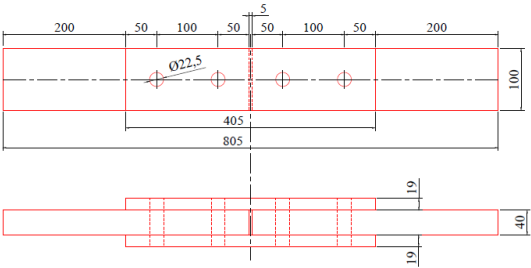


図-1 試験供試体の標準形状（単位：mm）

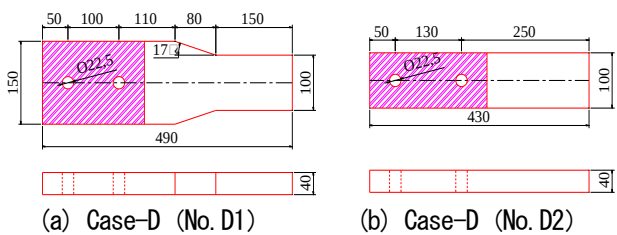


図-2 各供試体の母板形状

キーワード 高力ボルト、接着剤、接着摩擦併用接合、すべり試験
連絡先 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 TEL 06-6605-2765 FAX 06-6605-2765

表-2 試験結果のまとめ (平均値)

Case	供試体 No.	試験前軸力 (kN)	軸力低下率 (%)	すべり荷重 (kN)	有効すべり係数 (試験前軸力)
A	A1	171.07	6.35	483.7	0.71
B	B1	176.03	3.48	717.9	1.02
	B2	85.23	6.99	439.2	1.29
	B3	-	-	269.3	-
C	C1	170.90	8.31	677.4	0.99
D	D1	174.34	4.51	730.8	1.05
	D2	176.02	3.82	787.5	1.12

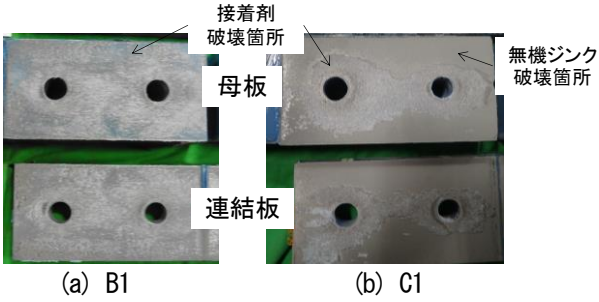


写真-1 試験後接合面の状況

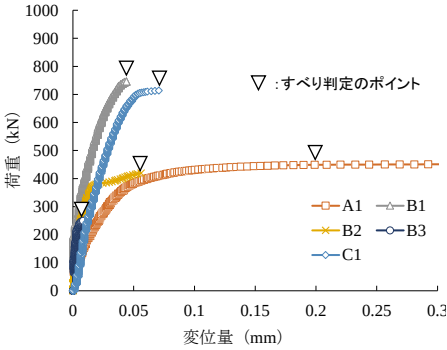


図-3 荷重-相対変位関係

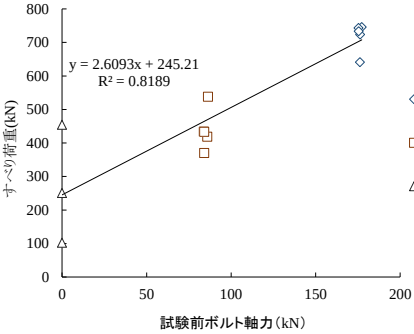


図-4 すべり荷重と試験前ボルト軸力の関係

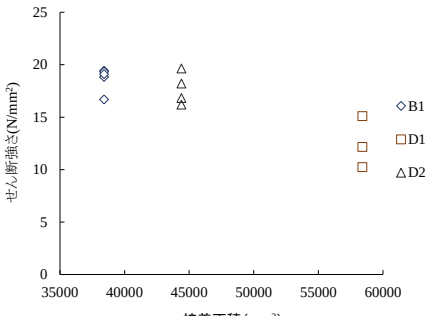


図-5 セン断強さと接着面積の関係

着剤を塗布した接着摩擦併用接合供試体のすべり荷重は摩擦接合継手以上となると判断される。

プライマーの有無について、B1 と C1 とを比較すると、C1 の平均軸力低下率が B1 のそれと比較して 2 倍以上大きい値を示している。これは、プライマーが無機ジンクに含浸し無機ジンクの空隙を埋めることにより、無機ジンク層のクリープを減少させたためと考えられる。また、平均すべり荷重は B1 の方が 6%程度 C1 より大きく、破壊モードについては、写真-1 に示すように、無機ジンクの破壊から接着剤の破壊に遷移しており改善されている。

図-4 にボルト軸力とすべり荷重の関係を示す。ボルト軸力が小さくなるに従って、すべり荷重のばらつきは大きくなるものの、ボルト軸力の増加に従ってすべり荷重が線形に増加している。したがって、接着接合としての荷重分担(ボルト軸力がないときのすべり荷重)に、ボルト軸力による荷重増加分を足し合わせ、見かけのすべり係数を算出することにより併用接合の設計が可能になると考えられる。

図-5 に接着面積とすべり荷重を接着面積で除したせん断強さの関係を示す。接着摩擦併用接合では、接着接合と異なりラップ長方向に接着面積を増加させた D1 のせん断強さ B1 と変わらないが、ラップ幅方向に接着面積を増加させた D2 は B1 と比較して 30%程度せん断強さが低下する傾向を示した。

5. 結論

無機ジンクにプライマーを浸透させ強化し、接合面に接着剤を塗布した高力ボルト継手供試体(接着摩擦併用接合)の引張試験を実施した。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 接着剤を塗布した接着摩擦併用接合供試体のすべり荷重は摩擦接合継手以上となった。
- (2) 本実験の条件において、無機ジンクにプライマーを塗布することにより、ボルト軸力の低下率が半分以下に抑えられるとともに、接合面の破壊モードが改善されることによりすべり荷重が 6%程度増加した。
- (3) ボルト軸力の増加に伴いすべり荷重は線形に増加する。
- (4) 接着摩擦併用接合では、接着接合と異なり、ラップ幅方向に接着面積を広げても、必ずしもそれに比例してすべり荷重が増加しない。

参考文献

- 1) 土木学会 鋼構造委員会 鋼構造の残存耐荷性能評価と耐久性向上方策研究小委員会：腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル，2009.3
- 2) 村越潤，田中良樹，船木孝仁：接合面にエポキシ樹脂を塗布したボルト継手の力学的挙動に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.54A，pp.563-574，2008.3.
- 3) 丹波寛夫，行藤晋也，山口隆司，杉浦邦征，飛ヶ谷明人，田畑晶子：腐食孔を模擬した凹部を有する接合面に接着剤を塗布した高力ボルト継手の力学的挙動に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.60A，pp.703-714，2014.3.