

接着剤と高力ボルト摩擦接合を併用した継手の力学的挙動に関する実験的研究

大阪市立大学大学院 学生会員 ○藤本 高志
 阪神高速道路株式会社 正会員 青木 康素

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
 コニシ株式会社 正会員 堀井 久一

1. 研究背景及び目的

鋼部材の腐食に対する当て板補修では、不陸調整や防食を目的として腐食部にエポキシ樹脂（以下、接着剤という。）を充填する場合があります¹⁾。高力ボルト摩擦接合部に接着剤を用いる場合の検討²⁾はいくつか行われているが接着剤によるすべり耐力向上効果などは明確ではない。

本研究では、接合面に接着剤と高力ボルト摩擦接合を併用した接合（以下、併用接合という。）を想定し、接着剤の有無、無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンクという。）補強用プライマーの有無、ボルトピッチの変化が接合部の力学的挙動および破壊状態に与える影響を把握することを目的として、継手形式での引張試験を実施した。

2. 試験供試体

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：E258RW）を青に着色し、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。それぞれの材料特性を表-1に示す。試験供試体の内訳、形状例を表-2、図-1にそれぞれ示す。使用鋼種はSM490Y、使用ボルトは高力六角ボルトF10TM22である。供試体の母板は既設部材を想定して、接合面にブラスト処理を行った。連結板は、新設部材を想定して、無機ジンク（膜厚75 μ m以上）とし、空隙を充填することによる強度向上を狙ってプライマーを塗布した。試験供試体のパラメータは接着剤の有無、プライマーの有無、ボルトピッチとした。NA-75は接着剤無、A-75は接着剤有およびプライマー有、A-75-NPはA-75をプライマー無としたもの、A-66はボルトピッチを66mmとした。

3. 試験方法

供試体の組立は、無機ジンク面にプライマーを塗布し、30分養生後に接着剤を塗布する。接着剤が硬化する前に高力ボルトの締付を行い、そのボルト軸力は設計ボルト軸力の1割増しである226kNとし、先に行ったキャリブレーション試験結果よりひずみで管理した。本試験では、全てのボルトに同様の軸力を導入した。载荷は载荷速度1kN/secを目標とし、両側ですべりが生じるまで行った。接着剤の養生およびボルト軸力のリラクゼーションを考慮するため

に締付から7日後に引張試験を行った。

計測項目は、载荷荷重、ボルト軸力、各供試体の母板と連結板の相対変位である。相対変位の計測位置は図-1に示す。

4. ボルトのリラクゼーション結果

締付から7日後のリラクゼーションによるボルト軸力の低下率を表-3の軸力低下率に示す。

表-3より、締付から7日後のボルト軸力低下率についてA-75-NPはNA-75と比較して11%程度の低減であるが、A-75はNA-75よりも25%程度低減した。これより、無機ジンク面にプライマーを塗布した場合、プライマーにより無機ジンクの空隙が充填され、無機ジンクのクリープ量が減少し、軸力低下が抑制されたと考えられる。

表-1 接着剤とプライマーの材料特性

使用種別	接着剤	プライマー
主剤	エポキシ樹脂	エポキシ樹脂
硬化剤	ポリアミドアミン 変性ポリアミドアミン 脂環式ポリアミン	脂環式ポリアミン
混合剤	2:1（質量比）	3:1（質量比）
混合後の状態	ペースト状	液体
混合粘度	80 \pm 40Pa \cdot s(20 $^{\circ}$ C)	100 \pm 50mPa \cdot s(20 $^{\circ}$ C)
可使用時間	約70分（20 $^{\circ}$ C, 500g）	40 \pm 10分（20 $^{\circ}$ C, 500g）
硬化時間	約10時間（20 $^{\circ}$ C）	-
引張強度（20 $^{\circ}$ C, 7日後）	34MPa	38MPa
引張せん断接着強さ（20 $^{\circ}$ C, 7日後）	28MPa	19MPa
圧縮降伏強さ	67MPa	68MPa
圧縮弾性係数	2.5 \times 10 ⁵ N/mm ²	1.2 \times 10 ⁵ N/mm ²

表-2 実験供試体の内訳

供試体 Case	母板（ブラスト）			連結板（無機ジンク）			ボルト			接着剤	
	板厚 (mm)	板幅 (mm)	長さ (mm)	板厚 (mm)	板幅 (mm)	長さ (mm)	径 (mm)	孔径 (mm)	ピッチ (mm)	接着剤	プライマー
NA-75	40	120	375	19	120	355	22	24.5	75	無	無
A-75			有							有	
A-75-NP			有							無	
A-66			有							有	

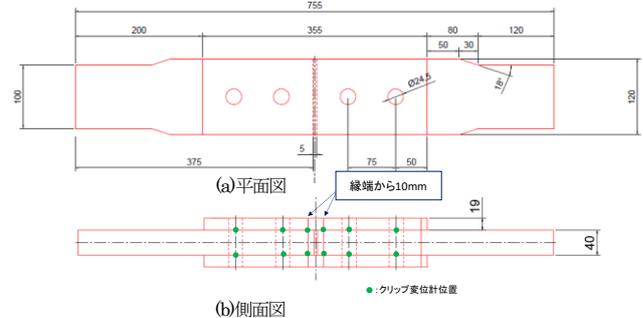


図-1 供試体の形状例（単位：mm）

キーワード 接着剤、接着摩擦併用接合、すべり試験、当て板補修

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

5. 試験結果と考察

試験結果のまとめを表-3 に、各代表供試体の荷重相対変位関係を図-2 に、すべり係数の比較を図-3 に、試験後の接合面を図-4 に示す。すべり荷重は、すべり音と共に明確な荷重低下の生じた際の第一ピーク荷重、また、明瞭なすべりが生じない場合は継手中央の母板縁端から 10mm 位置の相対変位が 0.2mm に達した荷重とする。すべり係数は先にすべりが生じた側のボルトの試験前軸力を用いて算出した。

図-2 に相対変位 2mm までの荷重相対変位関係を示すが、併用接合においても摩擦接合と同様にすべり（相対ずれ）の発生が 0.2mm 程度までであり、また明瞭なすべり（ずれ）音とともに急激な荷重低下および相対変位の増加が見られ、摩擦接合のすべりと同様に評価できると考えられる。また、荷重と相対変位の傾き（以下、剛性という）を比較すると、併用接合を用いた供試体 A-75, A-75-NP, A-66 の剛性は摩擦接合の NA-75 と比べ高くなっている。これは併用接合の場合、軸力影響範囲外における接着接合により荷重伝達がなされているためと考えられる。

表-3 および図-3 より、摩擦接合と比べ併用接合の方がすべり荷重が高いことがわかる。また、A-75 のすべり係数は NA-75 に比べ 12%大きい、しかし、A-75-NP のすべり係数は NA-75 よりも大きいとその差は 3%程度であった。よって無機ジンク面にプライマーを塗布することで無機ジンクのせん断強度が向上し、すべり係数が向上することがわかった。

図-4 より、接合面のすべり痕を比較すると、摩擦接合の供試体 NA-75 ではボルト孔周辺に主に軸力影響範囲ですべり痕が見られる。併用接合の供試体 A-75 もボルト孔周辺の軸力影響範囲で接着剤の破壊（青色部分）によるすべり痕が見られる。さらに、ボルト孔間において接着剤の破壊がみられ、摩擦接合よりも抵抗している面積が大きくすべり耐力が向上したと考えられる。

6. 結論

併用接合を用いた継手の力学的挙動の解明を目的に引張試験を実施した。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 荷重相対変位関係および接合面の破壊状態が摩擦接合のそれと同様であるため、併用接合も摩擦接合のすべり挙動と同様な方法で評価できると考えられる。
- (2) 併用接合の場合、軸力影響範囲外の接合面は初期荷重段階では荷重伝達するが、すべり時には軸力影響範囲およびそのボルトピッチ間の接合面で抵抗していると考えられる。

表-3 試験結果のまとめ

供試体 Case	供試体 No.	軸力低下率 (締付7日後) (%)		すべり荷重 (kN)		すべり係数 (試験前軸力) β	
		供試体別	平均	供試体別	平均	供試体別	平均
NA-75	NA-75-1	5.60	5.69	617.3	622.2	0.73	0.73
	NA-75-2	5.67		617.6		0.72	
	NA-75-3	5.82		631.7		0.74	
A-75	A-75-1	4.29	4.27	713.8	710.7	0.82	0.82
	A-75-2	4.14		701.1		0.81	
	A-75-3	4.38		717.2		0.83	
A-75-NP	A-75-NP-1	4.46	5.08	659.3	650.4	0.76	0.75
	A-75-NP-2	5.30		645.0		0.74	
	A-75-NP-3	5.49		646.8		0.76	
A-66	A-66-1	3.91	4.04	660.6	665.1	0.76	0.76
	A-66-2	4.21		644.6		0.74	
	A-66-3	4.01		690.1		0.78	

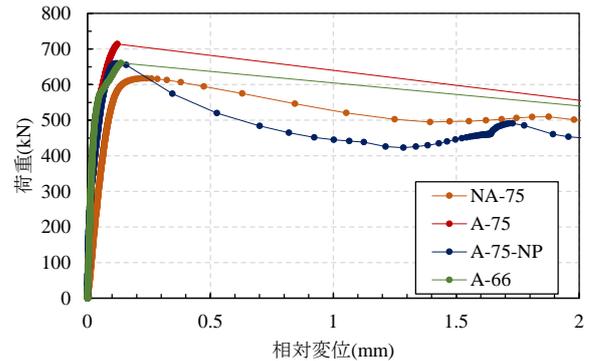


図-2 荷重相対変位関係

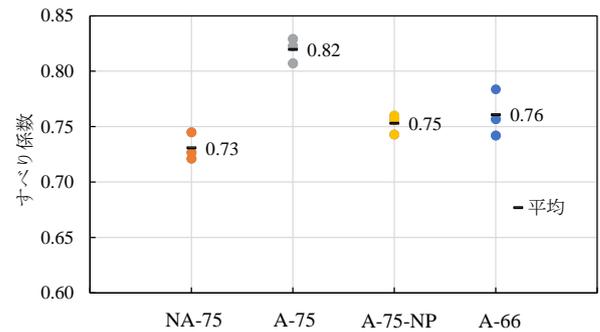
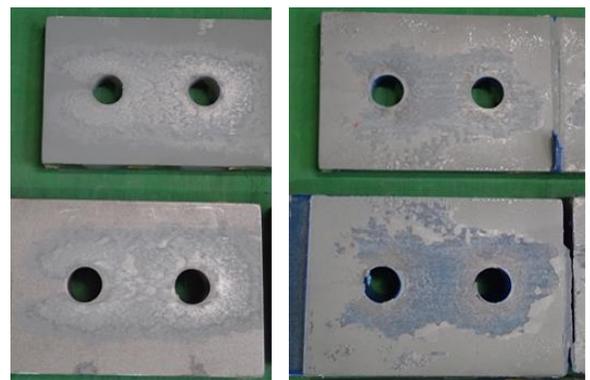


図-3 すべり係数の比較



(a)NA-75 (b)A-75

図-4 試験後の接合面

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) 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