

腐食部に接着剤を塗布した高力ボルト併用接合の力学的挙動に関する研究

STUDY ON MECHANICAL BEHAVIOR OF HIGH STRENGTH BOLTED JOINTS WITH ADHESIVES FOR CORRODED DAMAGED STEEL MEMBERS

橋梁工学分野 行藤晋也

腐食した鋼部材に対する当て板補修を行う際、減肉した箇所には不陸調整・防食を目的とした樹脂等を充填し、高力ボルトを配置する例があるが、接着力や、高力ボルトの軸力に伴うすべり耐力の増加を設計上考慮していない。本研究では、接着剤と高力ボルトの併用接合に関して、凹部とボルト軸力、すべり係数との関係を明らかにするため静的載荷実験を実施する。腐食減肉部に配置した高力ボルトも有効とした高力ボルト摩擦接合継手として設計を行うことが可能であると考えられる。In case that the corroded steel member is repaired by adding steel patch plate, epoxy resin is usually used to make the corroded plate flat and to prevent from further corrosion. But it is not clear that how epoxy resin might influence on the slip resistance of the joint, so the current practical design code does not generally consider increase of slip resistance due to adhesive effect of epoxy resin. In this study, static load test is carried out in order to clarify the relationship between the location of concavities with the epoxy resin and bolts, and an influence on the slip resistance by some concavities. It is concluded that the high strength bolted joints with adhesives can be designed as the high strength bolted frictional joints.

1. 研究背景と目的

既設の鋼橋に見られる主な劣化要因として、腐食が挙げられる。鋼部材の腐食は、道路橋の架け替え理由の1つでもあり、鋼道路橋の長寿命化を図るためには、定期的な塗り替え、腐食因子の除去や当て板による補修・補強など適切な維持管理が必要とされている。高力ボルトを用いた当て板補修を行う場合、減肉した箇所には、主に不陸調整・防食を目的として、写真-1のように、腐食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⁾。

エポキシ樹脂と高力ボルトを併用した継手を対象とした研究は実施されている²⁾ものの、エポキシ樹脂がすべり耐力に与える影響について不明確な点が多いため、エポキシ樹脂の接着力や、エポキシ樹脂部に配置した高力ボルトの軸力に伴うすべり耐力の増加を設計上考慮していない。

そこで、減肉した凹部に接着力のあるエポキシ樹脂（以下、接着剤という。）を充填するとともに、接合面全面に接着剤を塗布した高力ボルトの併用継手供試体、当て板補強効果を確認するための供試体の引張試験を実施する。接合面に減肉を模擬した凹部がすべり耐力、ボルト軸力に及ぼす影響について摩擦接合継手を基本として検討する。当て板補強の効果を確認するため、軸力、接着剤および当て板厚

を変更し、各種の試験ケースでの荷重と相対変位関係、母板に生じる断面力の比較を行い荷重の伝達を評価する。また、接着剤と無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンクという。）を有する接合面の破壊形状の検討を行うことにより、接着剤と高力ボルトの併用接合の力学的挙動を明らかにする。本研究のフローを図-1に示す。



写真-1 接着剤を併用した鋼板当て板工法

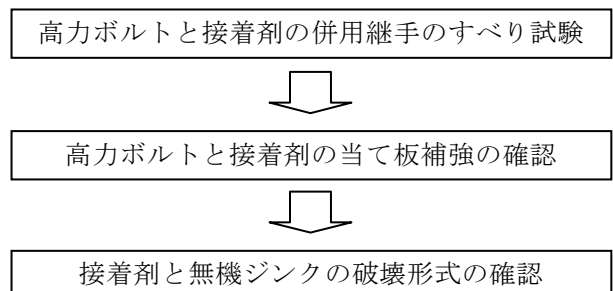


図-1 研究フロー

2. 凹部を有する接合面の併用継手のすべり試験

2.1 供試体形状と試験ケース

減肉した凹部に接着力のある接着剤を充填するとともに、接合面全面に接着剤を塗布した高力ボルト継手試験供試体を用いて引張試験を実施し、接着剤の有無や凹部の形状の違いがすべり耐力に及ぼす影響について検討するとともに、高力ボルトの軸力低下について検討した。

図-2 に供試体の寸法を示す。供試体には、高張力鋼 HT590 を用い、母板は 40mm 厚、連結板は 16mm 厚とし、高力ボルトは M20 (F10T) を用いた。接着剤は、上向きや立向きの塗布が可能であるペースト状の 2 液混合型金属接着用エポキシ樹脂系接着剤 (製品名: E258) としている。接着剤の基本性能は表-1 に示す。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い、一方、連結板は、当て板する新設部材を想定して、その接合面は阪神高速道路 (株) の土木工事共通仕様書³⁾に従い、無機ジंक 75 μm を目標とするのを基本とした。

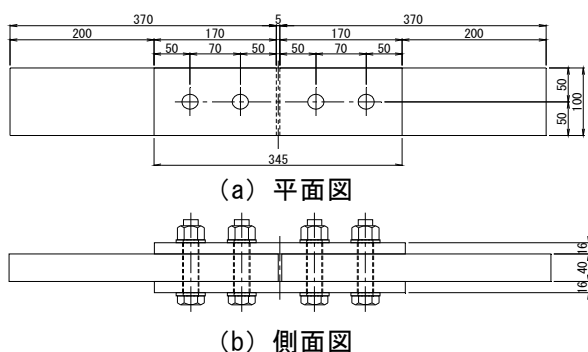


図-2 試験供試体の標準形状 (単位: mm)

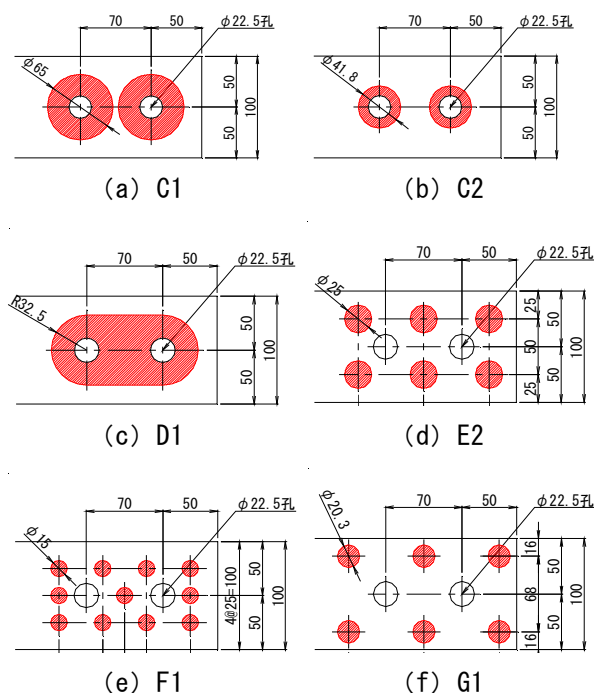


図-3 減肉を模擬した母板凹部の形状の一例 (単位: mm)

腐食を模擬した凹部の形状 (径、深さ、個数) (図-3)、並びに連結板の表面処理の違い、高力ボルトの有無、および接着剤の有無をパラメータとした。試験供試体の内訳を表-2 に示す。

2.2 試験方法

供試体の組み立ては、まず凹部に接着剤を充填し、接合面全面に接着剤を薄塗りとした後、母板と連結板の孔位置を合わせて組み立てた。その後、仮ボルトを組立用スパナで力いっぱい締め付けた状態 (スナッグタイト) で締め付け、余剰な接着剤を排出し接着剤厚を極めて薄くした状態で養生した。1 週間の養生後に、仮ボルトを取り外し、キャリブレーション試験と同様にボルト軸部に対称かつ平行に 2 枚のひずみゲージを貼り付けた高力ボルトを、トルクレンチを用いて人力で締め付けた。

載荷は、載荷速度 1kN/sec を目標として行った。なお、接着剤のクリープ変形およびボルト軸力のリラクゼ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。なお、すべり荷重は、明瞭なすべり音もしくは明瞭な主すべりが生じた場

表-1 接着剤の基本性能

主剤	エポキシ樹脂
硬化剤	ポリアミドアミン 変性脂選式ポリアミン
混合比 (主剤: 硬化剤)	1:1 (質量比)
混合後の状態	ペースト状
可使時間	50分/20°C
硬化時間	8時間/20°C
引張強度 (20°C, 7日後)	25MPa
せん断強度 (20°C, 7日後)	24MPa
圧縮降伏強さ (20°C, 7日後)	53MPa
圧縮弾性係数	1200N/mm ²

表-2 試験供試体の内訳

Case	供試体 No	供試体形状と凹部		連結板	ボルト軸力	接着剤
		凹部径×深さ×個数 (Dmm×hmm×個数)	凹部面積 (mm ²)			
A	A1	なし	-	無機ジंक	100%	無
	B1	なし	-	無機ジंक	100%	有
	B2	なし	-	無機ジंक	ボルト無し	有
	B3	なし	-	無機ジंक	50%	有
	B4	なし	-	ブラスト	100%	有
C	B5	なし	-	ブラスト	ボルト無し	有
	C1	65φ×5mm×4個	11,677	無機ジंक	100%	有
	C2	41.8φ×5mm×4個	3,897	無機ジंक	100%	有
D	C3	65φ×2mm×4個	11,677	無機ジंक	100%	有
	D1	(65φ+平行凹部)×5mm×2個	14,144	無機ジंक	100%	有
E	E1	20.3φ×5mm×12個	3,882	無機ジंक	100%	有
	E2	25φ×5mm×12個	5,888	無機ジंक	100%	有
	E3	30φ×5mm×12個	8,478	無機ジंक	100%	有
	E4	20.3φ×2mm×12個	3,882	無機ジंक	100%	有
F	F1	15φ×5mm×22個	3,886	無機ジंक	100%	有
	F2	15φ×2mm×22個	3,886	無機ジंक	100%	有
G	G1	20.3φ×5mm×12個	3,882	無機ジंक	100%	有

合、主すべり発生直後に荷重が低下もしくは一定の値を保つためそのときの初回のピーク荷重をすべり荷重と定義した。

2.3 試験結果

(1) 荷重と相対変位の関係

荷重と相対変位の関係を図-4に示す。ここで、相対変位は、先にすべりが生じた側における内側ボルト軸上の相対変位としている。試験の結果、すべての供試体において、荷重の増加に伴い相対変位が増加し、その後、明瞭なすべり音の発生とともに、荷重が低下したことが確認できた。

接着剤の有無の違いを把握するため、凹部のない供試体 No.A1 と No.B1 の荷重と相対変位関係の傾き（以下、剛性という。）を比較すると、No.A1 はすべりが生じるまでほとんど線形的な挙動を示すのに対して、No.B1 は 200kN 程度までは線形的に増加し剛性は高いが、載荷荷重が大きくなるに従い剛性は低下し、非線形の挙動を示している。この理由として、相対変位は供試体の側面で計測しており、接着剤が接合面全面に塗布された No.B1 では、載荷荷重が 200kN 程度までは、接着剤の効果によりボルト位置以外の箇所においても連結板と母板が拘束され、相対変位が大きくならないと考えられる。

(2) 軸力低下率

ボルト軸力の低下率を図-5に示す。接着剤の有無による軸力低下の差異は見られなかった。これは接着剤

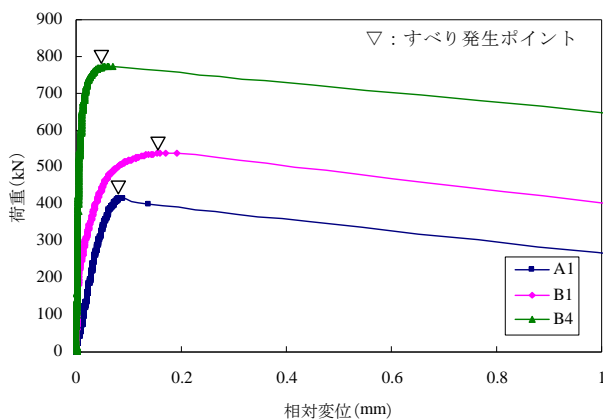


図-4 荷重と相対変位の比較

厚が極薄のため、接着剤のクリープ変形の影響は少なく、無機ジンクのクリープ変形による軸力低下への影響が支配的であると考えられる。また、ボルト孔直下以外に凹部が位置する供試体 Case-E~G の平均軸力低下率がすべて 6%程度であり、No.B1 と同等であることから、ボルト孔直下以外の凹部は、面積、深さ、個数に関わらず軸力低下に影響を及ぼさないことがわかった。

一方、ボルト孔直下に凹部が位置する供試体の平均軸力低下率は No.C1 が 11.4%、No.C2 が 8.1%、No.C3 が 12.3%であり、ボルト孔直下以外に凹部が位置する供試体に比べ大きい値となった。また、No.C2 より No.C1 と No.C3 の軸力低下率が大きいことから、ボルト孔直下の凹部面積が大きくなると軸力低下率が大きくなることがわかる。これは、ボルトの締め付けに伴い連結板が局部的に塑性変形するためであり、凹部の範囲が大きくなるに従い、連結板の変形量も大きくなるためと考えられる。また、No.C1 と No.C3 の軸力低下率に差異が見られないことから、凹部深さが 5mm と 2mm では軸力低下にほとんど影響しない結果となった。全供試体の中で最も軸力低下率が大きい供試体 No.D1 の平均軸力低下率は 15.4%であり、凹部面積が最も大きく、ボルト軸力の影響範囲に接着剤を充填した凹部が位置することが、軸力低下の原因となったものと考えられる。

(3) すべり荷重と有効すべり係数

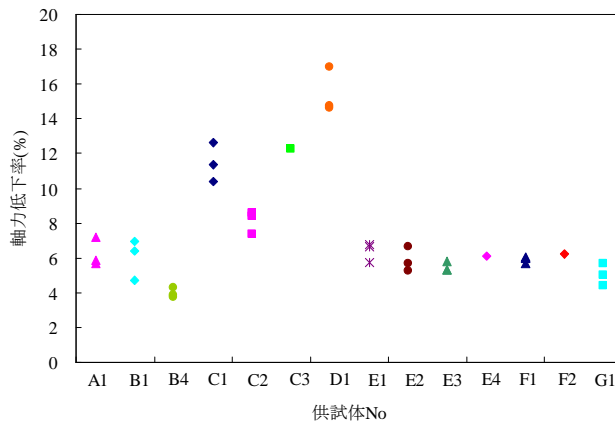


図-5 軸力低下率の比較

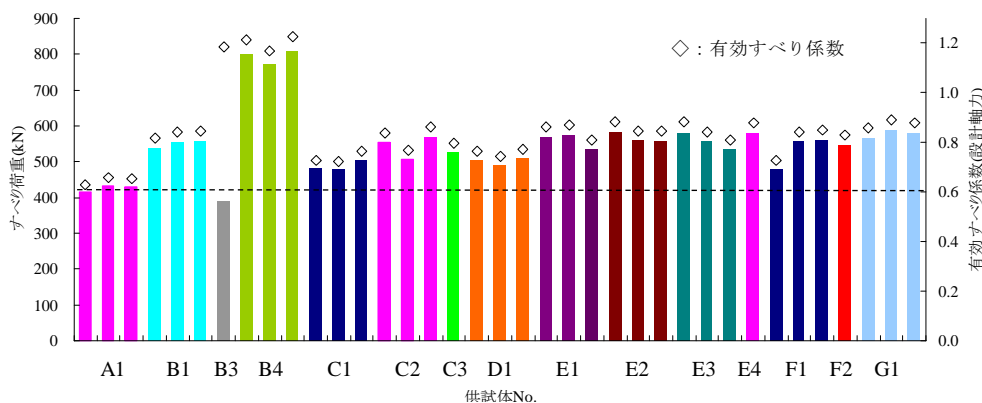


図-6 すべり荷重とすべり係数の比較

すべり荷重および有効すべり係数の比較を図-6に示す。高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数と比較するために、接着剤を併用した供試体のすべり係数（以下、有効すべり係数という。）を、高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案）⁴⁾より式(1)を用いて算出した。なお、ボルト軸力は、設計ボルト軸力 165kN と、ボルトの締め付け完了から 1~2 週間後に行った引張試験の開始直前に計測したボルト軸力（以下、試験前軸力という。）の 2 種類を用いた。

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N} \quad (1)$$

ここに、 μ ：有効すべり係数 P ：すべり荷重
 m ：接合面の数 (=2) n ：ボルト本数 (=2)
 N ：設計ボルト軸力、試験前ボルト軸力

接着剤を塗布し、かつ 100%で締め付けたすべての供試体において、接着剤を塗布していない供試体 No.A1 の平均すべり荷重 427kN より高いことがわかった。つまり、凹部の有無、位置、深さ、表面処理方法の違いに関わらず、接着剤を塗布した供試体のすべり荷重は、摩擦接合継手以上のすべり荷重を得ることができた。また、連結板をブラスト処理し、接着剤を塗布し、ボルト軸力を 100%で締め付けた供試体 No.B4 が最も高いすべり荷重を得た。接着剤を塗布した全供試体において、No.A1 の平均すべり係数 0.65 に比べて、有効すべり係数は高くなる結果となった。これより、接合面に接着剤を塗布した継手においても、道路橋示方書・同解説⁵⁾において、接触面に条件を満足する無機ジンクを塗装する場合に規定されているすべり係数 0.45 以上を確保することがわかった。ボルト孔直下に凹部が位置する供試体 No.C1, No.D1 では軸力低下が大きいため、設計ボルト軸力により算出した有効すべり係数は、それぞれ 0.74, 0.76 と他の供試体に比べおよそ 7%程度低い値となった。

3. 当て板補強供試体の引張試験

3.1 供試体形状と試験ケース

供試体の設計にあたっては、高力ボルトの軸力、接着剤の有無、当て板長、当て板板厚の違いをパラメータとした。供試体の寸法・形状は図-7に示す。使用する鋼材は SM490A であり、母板はブラスト処理、当て板には無機ジンクを塗布した。供試体ケースの内訳は表-3に示す。Case-1 は高力ボルトのみで軸力 100%、Case-2 は軸力 50%の摩擦接合を基本とした設計である。母板の断面減少分の降伏荷重を当て板に伝達することを仮定とし、必要ボルト本数を算出したところ、軸力 100% (165kN) では片側で 2 本、軸力 50% (83kN) では 4 本となった。Case-2 では、十分に荷重を伝達することができず、補強としては満足しないケースを想定している。Case-3 は Case-2 に接着剤を塗布した併用接合とし、接着剤の有無による影響を検討する。Case-4 は断面欠損部での高力ボルトを有効と仮定し、当て板長を減少させた供試体である。Case-5 は Case-4 の当て板板厚を半分の 6mm としたものである。

3.2 試験結果

(1) 荷重と相対変位の関係

図-8 に外側ボルト位置における母板と当て板の相対変位を示している。試験の結果、すべての供試体において、荷重の増加とともに相対変位が増加し、その後、初回の最大荷重を向かえ荷重の増加が収束し、相対変位が大きく増加している。一般的な摩擦接合継手の荷重と相対変位の関係では初回の最大荷重時で、急激な荷重の低下が生じ、相対変位が増加することで明確なすべりとされている。しかし、本試験での供試体においては、明確なすべりの挙動とは異なっている。そのため、母板のボルト孔純断面の降伏荷重(図中の破線)に対する比較を行う。Case-1, 2, 3 での大きな差異は見られず、母板純断面以上の 700kN 程度で傾きが変化しており、母板純断面での降伏が先行したものと考えられる。このことから、軸力が低い場合または接着剤を塗布した場合での補強効果は十分であった。一方、

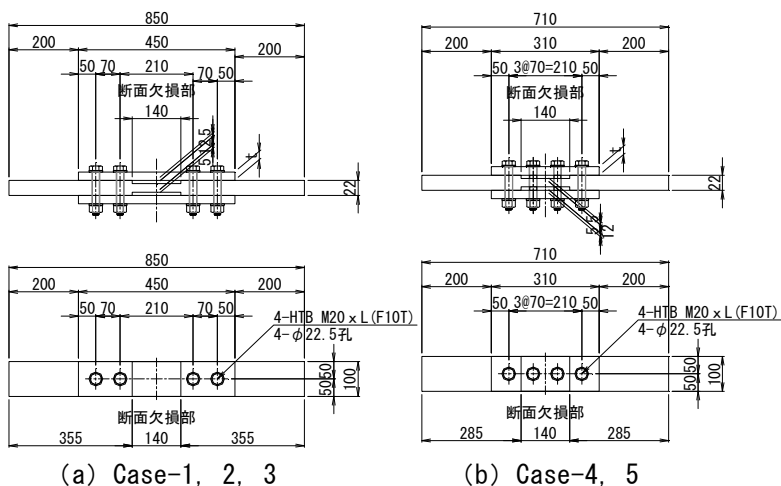


図-7 試験供試体の標準形状 (単位 : mm)

表-3 試験供試体の内訳

Case	高力ボルト		接着剤	母板			当て板	
	本数	軸力 (%)		全長 (mm)	腐食長 (mm)	減肉量 (mm)	全長 (mm)	板厚 (mm)
1	4	100	-	850	140	5	450	12
2		50						
3		50						
4		100		710			310	12
5		100						

Case-4, 5 は母板純断面の降伏荷重に達しておらず、断面欠損部での降伏が先行したものと考えられ、補強効果としては不十分であったと判断する。

(2) 断面力

図-9, 10 に示す断面力とは引張試験中に得られた母板のひすみの値を元に各断面での引張方向の力(断面力)を算出し、母板と当て板の非接触の断面(図-9, 10 の std 断面)で無次元化した値である。なお、断面力は鋼材が弾性域内かつ無機ジンクまたは接着剤の破壊が生じていないと考えられる載荷荷重 200kN 時での値である。

軸力が断面力に与える影響を検討するため、図-9 中の Case-1 と Case-2 を見ると、Case-1 の母板に生じる断面力が最大で 20% 程度の低いことが見られた。また、接着剤の有無による母板に生じる断面力への影響を検討するため、図-9 中の Case-2 と Case-3 の比較する。内側ボルト以降の断面⑤, ⑥, ⑦, ⑧で Case-3 の方が母板に生じる断面力が低く最大で 20% 程度 Case-2 に比べ減少していることがわかる。以上のことから、高い軸力を導入することまたは接着剤を塗布することにより母板から当て板への荷重伝達が増加すると考えられる。次に、当て板板厚が断面力に与える影響を検討するため、図-10 中の Case-4 と Case-5 を見ると、Case-4 の母板に生じる断面力は Case-5 の断面力に比べ 20% 程度低い結果となった。これは、当て板板厚の減少に伴う当て板の荷重分担の低下と考えられる。従って、Case-5 においては荷重と相対変位の関係での母板のボルト孔純断面の降伏荷重を大きく下回り、母板の断面欠損部での降伏が先行した。

(3) 軸力低下率

図-11 にケース毎の締め付けから試験までの軸力低下率を示す。接着剤の有無に関わらず、断面欠損部以外に位置する高力ボルトでは軸力低下率は 13% 程度であった。このことから、接着剤のクリープ変形の影響は少なく、無機ジンクのクリープ変形による軸力低下への影響が支配的であると考えられる。一方、断面欠損部に位置する高力ボルトの軸力低下率は大きく、23~45% 程度となった。これは、ボルトの締め付けに伴う、断面欠損部での当て板の局所的な弾性変形が起因していると考えられ、特に Case-5 の当て板板厚が少ない場合においては、締め付け時での初期の弾性変形も大きくなり軸力低下率も大きくなった。

4. 接着剤と無機ジンクの破壊メカニズム

無機ジンクは亜鉛末と樹脂から成り立っており、塗料内に空隙が全体の 20%~30% とされている。無

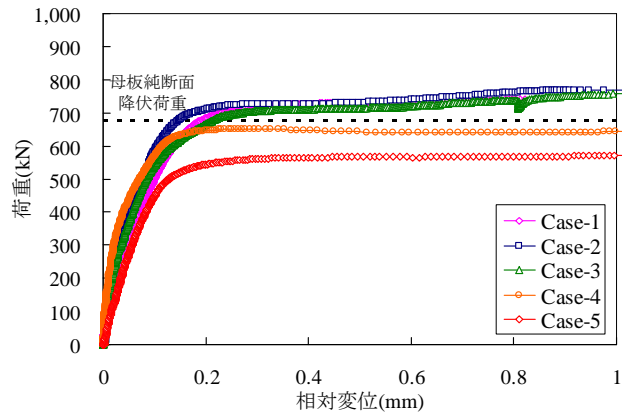


図-8 荷重と相対変位関係

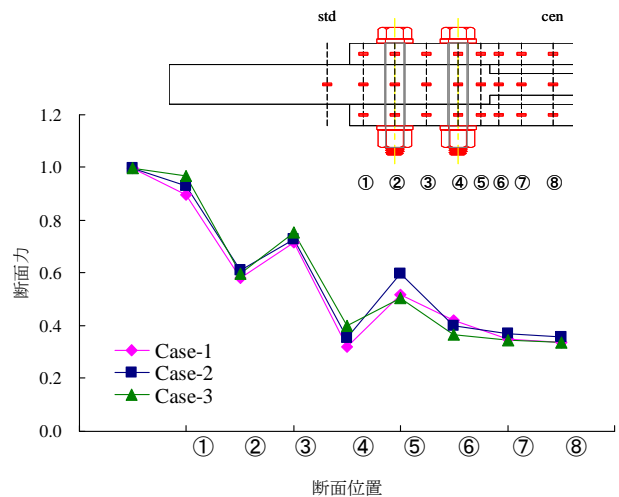


図-9 母板の断面力比較 (軸力・接着剤の違い)

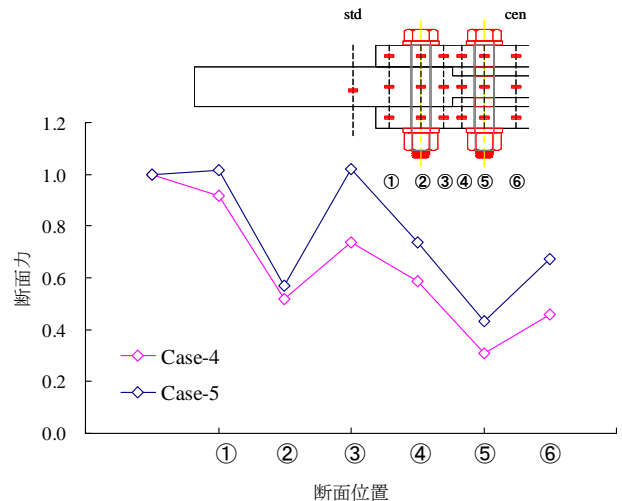


図-10 母板の断面力比較 (板厚の違い)

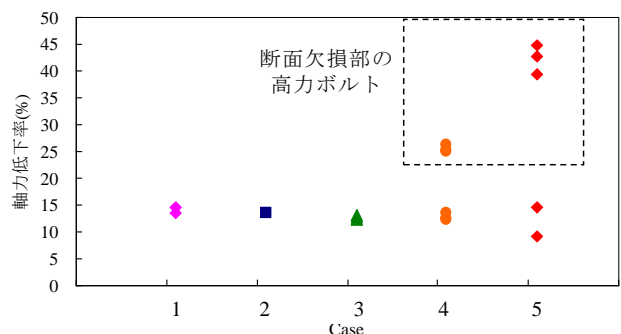


図-11 軸力低下率の比較

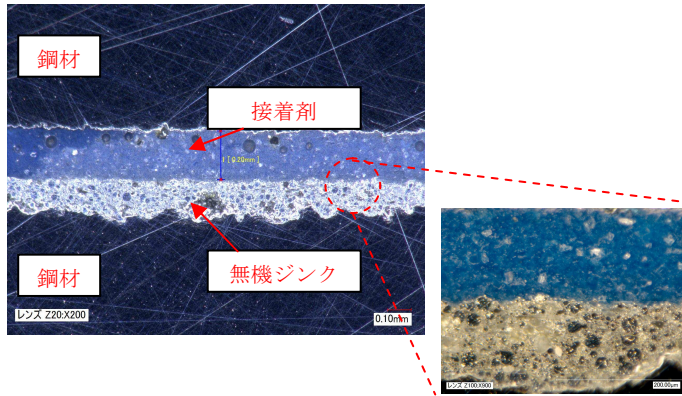


写真-2 切断面の観察（左：200倍，右：900倍）

機ジンクの抵抗力は凝集力により生じるものであり、その力によって、摩擦接合継手のすべり耐力およびすべり係数が決定されている⁶⁾。接合面が無機ジンク同士の摩擦接合継手と、連結板と母板の接合面に接着剤を塗布した継手での破壊箇所はいずれも無機ジンクの凝集破壊であるが、接着剤を塗布した場合の方がすべり係数は大きくなる。

そこで、片面ブラスト処理での鋼材粗面、片面無機ジンクを塗布し、接合面に青色に着色したエポキシ系接着剤を塗布した供試体の切断面を観察する。観察機器は超解像デジタルマイクロスコープを使用し、拡大倍率は200倍と900倍とした。接着剤を塗布しない摩擦接合供試体では無機ジンクの表面での破壊が生じるのに対して、写真-2に示すように接着剤を塗布した供試体では、接着剤が無機ジンク表面の凹凸部分に入り込むことによって、無機ジンク表面が補強され、無機ジンクの層内もしくは無機ジンクと粗面付近の破壊となる。従って、接着剤を塗布することにより無機ジンクの凝集力が十分に発揮できると考えられる。

5. 結論と今後の課題

本研究では、無機ジンクリッチペイントを塗布した当て板を用い、接合面に接着剤を塗布した高力ボルト併用接合の力学的挙動の解明を行うことを目的に、継手試験体を用いての引張試験、当て板補強効果確認のための引張試験および拡大顕微鏡での観察を実施し、接着剤と無機ジンクリッチペイントを有する接合面の破壊形状の検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 接合面に接着剤を塗布し高力ボルトを併用した供試体においても、高力ボルト摩擦接合継手供試体と同様に、無機ジンクの凝集破壊が生じ、荷重と相対変位の関係においても荷重の増加に伴い母板と連結板の相対変位が増加し、その後、明瞭な音の発生とともに荷重が低下した。その際、発生する相対変位量についても、大きな差異は

見られなかった。したがって、実務設計の簡便さから、高力ボルト摩擦接合継手の設計を基本とした設計が可能であると考えられる。

- (2) ボルト孔直下に凹部（断面欠損部）が位置する供試体の軸力低下率は、ボルト孔直下に凹部がない供試体の軸力低下率よりも大きく、また凹部の範囲が大きくなると軸力低下率が大きくなった。これは、ボルト孔直下に凹部が位置すると、ボルトの締め付けに伴う連結板の局所的な塑性変形に起因すると考えられ、凹部の範囲が大きくなるに従って、連結板の変形量が大きくなっていると考えられる。
- (3) 軸力が低い場合または接着剤を塗布した供試体での当て板補強効果は十分であった。一方、当て板長を減少させた供試体においては、母板純断面の降伏荷重に達しておらず、断面欠損部での降伏が先行したものと考えられ、補強効果としては不十分であったと判断する。また、当て板厚を減少させることで荷重の伝達が大きく低下することがわかる。
- (4) 接着剤を塗布しない摩擦接合継手では無機ジンクの表面での破壊が生じるが、接着剤を塗布した供試体では、接着剤が無機ジンク表面の凹凸部分に入り込むことによって、表面が補強され、無機ジンクの層内もしくは無機ジンクと粗面付近の破壊となる。従って、無機ジンクの凝集力が十分に発揮できると考えられる。

接着剤と高力ボルトを併用した当て板補強の合理的な設計法を提案したとは言い難い。そこで、接着剤と高力ボルトの併用した当て板供試体に対する曲げ試験、疲労試験等を実施し、合理的な設計法を提案する必要があると考えている。

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) 阪神高速道路株式会社：土木工事共通仕様書，2009.2.
- 4) 土木学会 鋼構造委員会 高力ボルト摩擦接合継手の設計法に関する調査検討小委員会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案），2006.12.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，2012.3.
- 6) 宇野暢芳，井上一朗，志村保美，脇山広三：固さが異なる鋼材間の摩擦係数に関する基礎的研究，日本建築学会構造系論文集，第494号，pp.123-128，1997.4.

謝辞

本研究を実施するにあたり、終始懇切なるご指導とご鞭撻を賜りました山口隆司教授、松村政秀准教授の先生方に対し、衷心より謝意を表します。

一般財団法人阪神高速道路技術センターの丹波寛夫氏、迫田治行氏、阪神高速道路株式会社の飛ヶ谷明人氏には接着剤と高力ボルトの併用継手に関する知識・情報ならびに貴重なご助言を頂きました。また、コニシ株式会社の堀井久一氏、中別府二郎氏には接着剤のご提供頂き、その充填・塗布作業のご協力ならびに接着剤に関する知識、貴重なご助言を頂きましたことに感謝の意を表します。特に、丹波寛夫氏には、2年間にわたり数々のご助言を頂き、大変お世話になりました。

試験体の製作にあたっては、ダイワ工業株式会社の和田貴宏氏、供試体の表面処理・情報提供にあたっては、株式会社新免鉄工所の新免俊典氏、有田豊氏、高塚哲郎氏、無機ジンクリッチペイントの技術・情報提供にあたっては、関西ペイント株式会社の長野考行氏、加藤裕司氏、計測器およびひずみゲージの情報提供にあたっては、株式会社東京測器研究所の岩城勝美氏に大変お世話になりました。この場を借りて深謝の意を表します。

討議

討議 [谷口 与史也 教授]

トルシアボルトを用いる場合では、軸力の管理はどのように行っているのか。また、接着剤塗布後の軸力導入時の管理はしているのか。

回答

本研究では、接着剤を塗布して仮ボルト施工の後に、接着剤の養生を行い、一度仮ボルトを取り外し、ボルト孔部を清掃後、本ボルトを締め付けている。仮ボルトはスナッグタイト（これは余剰な接着剤を排出する目的である。）、本ボルトは、軸力 100%で締め付けることから、トルシアボルトでも締め付けは可能である。仮ボルトを取り外す理由は、ボルト孔部に接着剤が回ってきており、接着剤により、そのまま締め付けられないことがあるため。

討議 [谷口 与史也 教授]

接着剤の硬化時間はどのくらいか。

回答

接着剤製造メーカーが定める指触硬化時間は約 4 時間（20℃）である。

本研究では、使用した接着剤の接着性や物性が所定

の強度に達する期間として 1 週間（7 日間）の養生期間を設けた。接着剤の強度に関しては養生中の気温に大きく左右されるが、本試験での接着剤のせん断強度は規格値を十分に満足していた。

討議 [松村 政秀 准教授]

当て板（母板が連続している）の設計を継手（母板中央で切断されている）として設計した場合の違いは何か。また、凹部の影響は何に効いているのか。

回答

（母板中央が切断されている）継手では、接着剤を塗布した場合においても摩擦接合継手と同様のすべり挙動が見られた。（母板中央が連続している）当て板供試体の引張試験の際には、明確なすべり挙動が生じなかった。また、高力ボルトの直下に凹部が位置する場合は、軸力の低下が大きく、それに伴うすべり耐力の低下が生じた。

討議 [角掛 久雄 講師]

高力ボルトの軸力はどの程度導入すれば満足するのか。

回答

本試験の結果では、継手形式供試体のすべり耐力は軸力に依存しており、軸力の増加に伴い、すべり耐力が増加した。また、軸力の低下率は最大で 15% 程度であったことから、高力ボルトの設計軸力の 1 割増しで軸力を導入すれば問題ないと考えられる。一方、当て板形式の供試体の引張試験の結果を見ると、ある一定の軸力以上があれば、母板純断面位置での降伏で耐力が決定している。現時点では、その軸力の閾値については、確認できておらず、今後の課題としたい。

討議 [山口 隆司 教授]

当て板の引張試験において導入する軸力の違いは何に影響を及ぼすのか。

回答

軸力の導入が不十分であれば、母板の断面欠損部での降伏が先行するが、ある一定の軸力以上があれば、母板の純断面位置での降伏で耐力が決定する。これは、導入する軸力の違いによって母板から当て板への荷重伝達が異なるためと考えている。

討議 [松村 政秀 准教授]

より流動性の高い接着剤を用いた場合でも、凹部の周辺は拘束されているため、問題ないのでは。また、使用している接着剤の選定理由は、

回答

接合面に凹部を有する供試体においても破壊箇所は無機ジンクリッチペイントであり、凹部に塗布する接着剤はある程度の強度を有していれば、より流動性の高い接着剤を使用しても問題ないと考える。本研究での接着剤は、上向きやたて向きの塗布が可能であるペースト状のエポキシ樹脂系接着剤であり、常温硬化方で接着強さが大きく、揺変性があり、塗布作業が容易である。また、腐食した鋼板の鋼板接着による性能回復に関する研究などの既往の研究でも用いられており、本試験においても使用した。