

不陸整正用接着剤の効果を検討した高力ボルト 摩擦接合による当て板補修設計法の合理化検討

阪神高速道路(株)技術部技術推進室 谷口 祥基
阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 福辻 菜絵
(一財)阪神高速先進技術研究所調査研究部橋梁・構造研究室 赤松 伸祐

要 旨

当社は、鋼腐食部の補修工法として鋼板当て板補修を実施している。現状、当て板補修設計法は確立されたものがなく、基本的には摩擦接合継手の力学的挙動をもとに既設部材は力を分担しないものとして補修設計を行っている。また、断面欠損を伴う腐食部では、不陸整正材用の接着剤を塗布した後、当て板をボルトで取付けているが、設計上はこの接着剤の効果を検討していない。本稿では、これまで実施してきた各種検討内容を踏まえ、接着剤併用高力ボルト摩擦接合による当て板補修設計法を提案する。これにより設計合理化（ボルト本数の低減、それに伴う当て板範囲の低減等）が可能となり、既設構造物の狭隘な施工条件等への対応に貢献できる。

キーワード: 鋼腐食部、当て板補修、接着剤併用接合、限界状態設計法、設計合理化

はじめに

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。特に、桁端部では伸縮装置から浸入した雨水が滞水し、また、土砂やゴミの堆積により湿気を保持し、厳しい腐食環境になることから、桁端部のウェブ、フランジ、垂直補剛材の腐食損傷が数多く報告されている。腐食により減肉した鋼部材に対する補修方法の1つとして、当社でも鋼板当て板補修を実施している。本補修法は、写真-1 に示すように、腐食による減肉箇所および当て板設置箇所に、不陸整正や密着性の確保および防食を目的に、エポキシ樹脂（以下、接着剤という）を充填した後、無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンクという）を塗装した当て板を高力ボルトで連結させる工法である。現時

点で、接着剤の劣化等による不具合の報告はなく、本補修法自体に大きな問題はないといえる。

一方で、腐食部の当て板補修設計法は未だ確立されておらず、現在の当て板補修設計は、既設部材が力を負担しない設計となっている。つまり、



(a) 腐食部へのエポキシ樹脂充填



(b) 当て板補修完了

写真-1 当て板補修の事例

図-1 (a) に示す一般的な摩擦接合継手のように、既設部材が腐食部で連続していないと仮定し、すべての作用断面力を当て板に伝達させるために必要なボルト本数を配置している（以下、継手設計という）。また、前述した不陸整正材用の接着剤によりすべり耐力の向上が見込まれるが、現在の設計ではその効果を考慮していない。このような安全側の設計により必要ボルト本数が多くなり、狭隘部の当て板においては、ボルトが配置できない場合がある。

しかしながら、当て板の荷重伝達機構は図-1 (b) に示す通り、腐食部のみが先行して降伏・破断しない限り、作用断面力すべてを当て板が負担することはなく、既設部材も力を伝達すると考えられる。さらに、不陸整正材用の接着剤の効果を考慮することで、設計合理化の余地がある。

これまで、高力ボルトと接着剤を併用した（以下、併用接合）継手や当て板補修に関する研究は実施されており、すべり挙動について、併用接合継手のすべり耐力は、高力ボルト摩擦接合のみの場合と比較して同等以上となること、摩擦接合と同様にボルト軸力影響範囲でのすべりが見られることが確認されている^{2),3)}。著者らは、併用接合のすべり耐力を評価するため、小型鋼板を用いたすべり試験（以下、小型すべり試験という）を実施し^{4),5)}、接合面圧とせん断強度に正の相関があることを示した。この関係を用いることですべり耐力を定量的に評価できる可能性がある。

また、併用接合当て板について、摩擦接合当て板補修と同様に純断面の降伏が先行することが確認されている。しかし、併用接合当て板の限界状態については、腐食部の降伏が先行する場合について明らかになっていない。道路橋示方書が平成29年度に改定され、終局限界状態に相当する限界状態3の照査が必要とされていることから、併用接合の限界状態、特に、腐食部での降伏先行型の場合のそれを明らかにすることが必要となる。

本稿では、これまで実施してきた各種検討を踏まえ、併用接合による当て板補修設計の合理化に向けた検討を行う。まず1. で、不陸整正材とし

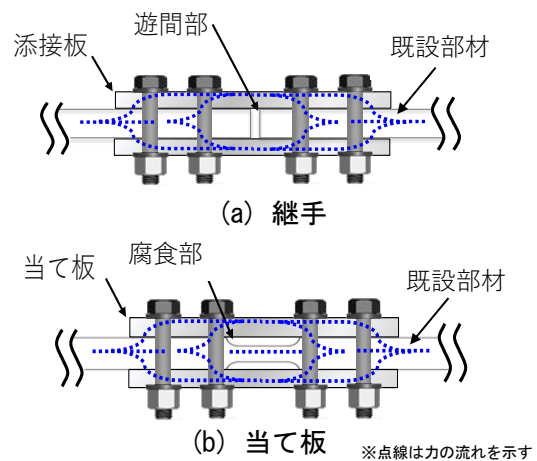


図-1 荷重伝達メカニズムのイメージ

ての接着剤の効果を見極め、併用接合のすべり係数を提案する。次に2. で、併用接合を用いた当て板における荷重変位関係、破壊メカニズムから限界状態を整理する。3. で、これらを踏まえた照査項目を提案する。4. でまとめを述べる。

1. 併用接合のすべり係数の提案

道路橋示方書・同解説⁶⁾ II 編鋼橋・鋼部材編（以下、道示IIという）では、高力ボルト摩擦接合におけるすべり係数として、継手のすべり試験および解析より接触面を塗装しない場合は0.40、接触面に無機ジンクを塗布する場合は0.45が規定されている。本章では併用接合のすべり係数を提案する。すべり係数設定の手順は以下の通りとし、各手順詳細を以降の節に示す。

1-1 荷重伝達に対する有効面積 (A1) の設定

1-2 有効面積のせん断強度 (S) の設定

1-3 せん断耐力 (Ps) の算出

1-4 併用接合のすべり係数の算出

1-1 荷重伝達に対する有効面積 (A1) の設定

荷重伝達に対する有効面積を図-2 に示す。これまでの実験で得られた接合面の破壊状況から、ボルト軸力を導入することで接合面に接触圧が作用する範囲（以下、軸力影響範囲）とその間（図-2 に示す楕円部分）とした。有効面積は、式(1)より算出する。

$$A_1 = r^2 \cdot \pi + 2r \cdot p - \frac{d^2 \pi}{2} \quad (1)$$

ここで、

r : 軸力影響範囲の半径 (mm)

p : ボルトピッチ (mm)

d : ボルト孔直径 (mm)

なお、軸力影響範囲の半径 r は文献 7)を参考に、道示Ⅱに規定されるボルト径およびボルト種別に対して、図-3 に示す通りナットから 45°で軸力が均一に分散すると仮定して算出し、当て板の厚さは 22 mm とした。

1-2 有効面積のせん断強度 (S) の設定

図-4 に小型すべり試験 4),5)により得られた接合面圧-せん断強度の関係を示す。有効面積のせん断強度 (S) は、安全側の設定として、実験データ平均値から 2σ を考慮した下限値相当の近似線と、各ボルト等級・ボルト径の接合面圧の交点から設定した。図-4 には、接合面圧の最小値として、道示Ⅱに規定される高力ボルトのうち、設計ボルト軸力が最も小さいボルト径 M20 (ボルト等級 F8T) を用いた場合における面圧 25.9 N/mm² と近似線の交点の 22.6 N/mm² とした場合を示す。なお、各ボルト等級・ボルト径の接合面圧は、前節と同様、軸力影響範囲を仮定し、設計軸力をその面積で除した平均面圧である。

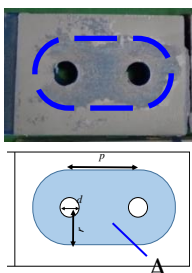


図-2 荷重伝達に有効な面積

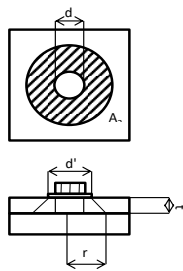


図-3 軸力影響範囲

1-3 せん断耐力 (Ps) の算出

せん断耐力 (P_s) は、式(2)に示す通り、式(1)で算出した荷重伝達に対する有効面積 (A_1) と 1-2 で定義した有効面積のせん断強度の積から算出した。

$$P_s = A_1 \cdot S \quad (2)$$

1-4 併用接合のすべり係数の算出

併用接合のすべり係数は式(3)により算出した。

$$\mu_{Ps} = \frac{2P_s}{m \cdot N_d} \quad (3)$$

ここで、

μ_{Ps} : すべり係数

m : 接合面数 (= 2)

N_d : 設計ボルト軸力 (kN)

表-1 に、各ボルト等級・ボルト径に対して算出した併用接合のすべり係数を示す。当て板の厚さは、現状の上部工の腐食に対する当て板厚の最大相当の 22 mm で固定している。ボルト等級やボルト径によって 1 面当たり破壊面の面積 (A_1) や設計ボルト軸力が異なることから、併用接合のすべり係数の値は 0.62~0.87 となる。ここでは、現場での施工性に伴うばらつき等も考慮して、併用接合のすべり係数は 0.60 と設定した。

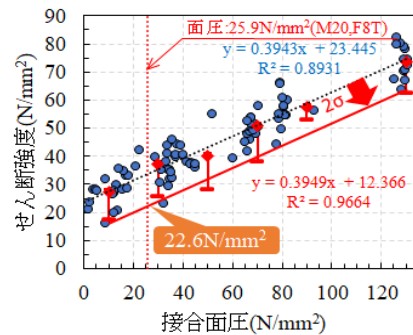


図-4 せん断強度の設定

表-1 各ボルト等級・ボルト径に対する併用接合のすべり係数の設定

ボルト等級	ボルト径 (mm)	ピッチ p (mm)	設計ボルト軸力 N_d (kN)	1面当たり破壊面の面積 A_1 (mm ²)	せん断強度 $y=0.3949x+12.366$ S (N/mm ²)	1面あたりのせん断耐力 P_s (kN)	せん断耐力 $2P_s$ (kN)	設計耐力すべり係数 μ_{Ps}
F8T	M20	65	133	10207	22.6	230.7	461.4	0.87
	M22	75	165	11739	23.1	271.2	542.4	0.82
	M24	85	193	13365	23.8	318.1	636.2	0.82
F10T S10T	M20	65	165	10207	24.1	246.0	492.0	0.75
	M22	75	205	11739	25.7	301.7	603.4	0.74
	M24	85	238	13365	26.5	354.2	708.4	0.74
S14T	M22	75	299	11739	31.8	373.3	746.6	0.62
	M24	85	349	13365	33.1	442.4	884.8	0.63

2. 併用接合当て板の限界状態の整理

2-1 併用接合当て板の引張試験

併用接合当て板は、**図-5** に示す通り、当て板と既設部材の界面に塗布された接着剤と健全部に配置したボルトによって、荷重を伝達させるものである。併用接合当て板の限界状態については、既設部材純断面の降伏が先行する場合は検討されており、特に腐食部の降伏が先行する場合には明らかになっていない。この構造の破壊メカニズムを確認するため、ボルト本数や腐食を想定した欠損率をパラメータとした併用接合当て板の引張試験を実施した⁸⁾。

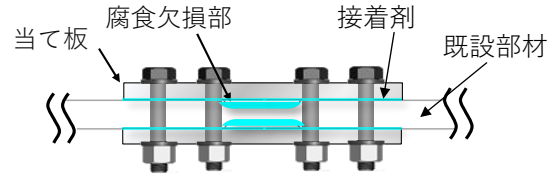


図-5 当て板補修部

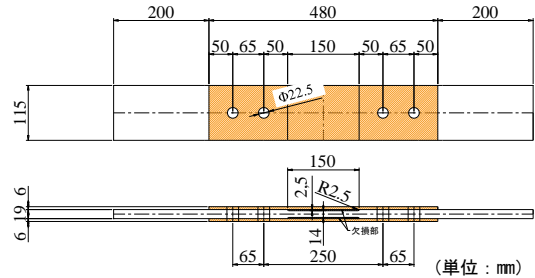


図-6 試験体形状と寸法

(1) 試験体

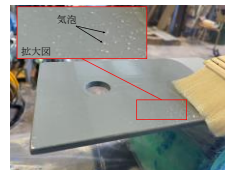
試験体の形状および寸法を**図-6** に示す。試験体の材質はSM490Yであり、既設部材を模擬した母材（以下、本章では母材という）は19mm、当て板は6mm、高力ボルトはボルト径M20（ボルト等級F10T）である。ボルトの中心間隔は、道示IIで規定される最小中心間隔である65mmとした。母材の接合面は表面処理におけるばらつきの影響をなるべく排除するため、ブラスト処理（ISO-Sa21/2）とし、当て板は工場製作を想定して、ブラスト処理後、目標膜厚を75~120μmとして無機ジンクを塗布した。

試験ケースを**表-2** に示す。パラメータは、接着剤の有無、欠損率およびボルト列数である。欠損率およびボルト列数を変化させることで、設計上降伏が先行する箇所を制御した。試験体の製作状況を**写真-2** に示す。当て板の無機ジンク面には超低粘度形エポキシ樹脂系接着剤（以下、下地処理剤）を塗布した。既往研究から、この下地処理剤を塗布することで、無機ジンクの空隙が充填され、無機ジンクの強度が向上することが確認されており⁹⁾、本試験においても下地処理剤を使用した。無機ジンクの空隙に下地処理剤を十分に含浸させるため、約1時間の塗置き時間を設けた。

次に、無機ジンク面およびブラスト面の両面に接着剤を塗布し、空気が入らないよう、鋼板同士を接着させた。使用した接着剤は、2液混合型金

表-2 試験ケース

Case	接着剤の有無	母材			欠損率(%)	当て板		ボルト列数	先行降伏箇所	体数
		板厚(mm)	表面処理	欠損部板厚(mm)		板厚(mm)	表面処理			
NA-f25-b2	無	19	ブラスト	14	25	6	無機ジンク	2	純断面	2
A-f25-b2	14			25	2			純断面		
A-f70-b2	6			70	2			腐食部		
A-f70-b1	6			70	1			腐食部		



(a) 下地処理剤の塗布



(b) 接着剤の塗布



(c) 締付け完了



(d) 腐食部 (A-f70-b2)

写真-2 試験体の製作状況

属接着用エポキシ樹脂系接着剤である。締付け時期は、現場での施工手順に統一させ、接着剤の硬化前に締付けを行った。

(2) 結果（荷重－変位関係）

載荷荷重－全体変位関係を**図-7** に示す。各ケース2体で同じ傾向が見られたため、代表例として1体のみを示す。同図に、すべり、純断面降伏、腐食部降伏の各載荷荷重をプロットしている。すべりは、**図-8** に示す載荷荷重－相対変位関係における剛性変化点とし、降伏は母材純断面のコバ面または腐食部表面での計測ひずみが、材料試験

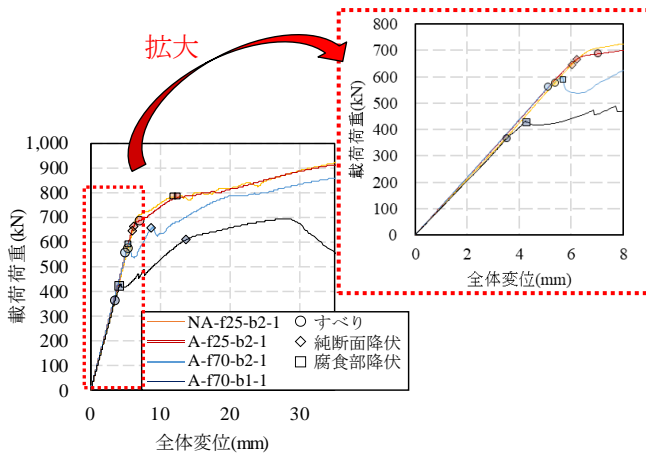


図-7 載荷荷重—全体変位関係

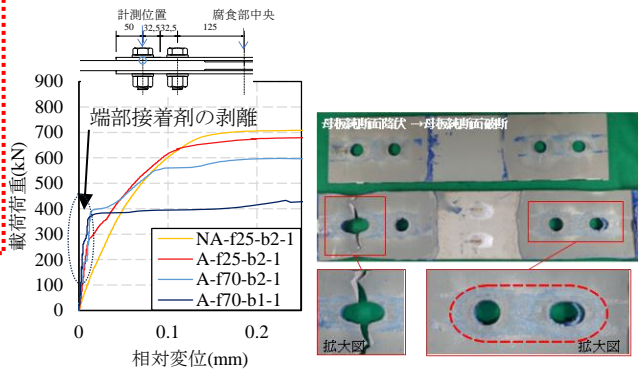


図-8 載荷荷重—相対変位関係 写真-3 試験後接合面 (A-f25-b2-1)

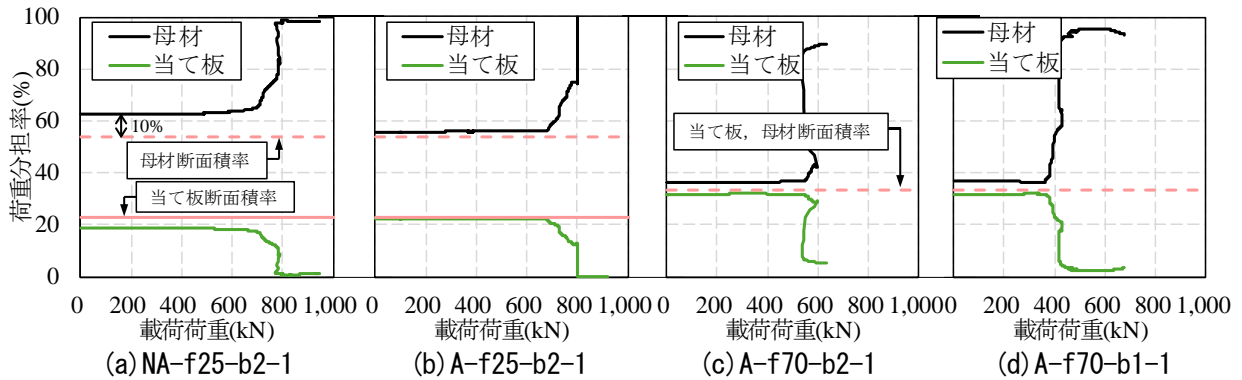


図-9 荷重分担率—載荷荷重関係

から得た降伏ひずみに到達した荷重とした。

接着剤無の NA-f25-b2 ではボルト位置でのすべり後、純断面の降伏が発生したが、接着剤有の A-f25-b2 ではすべりと純断面降伏の順番が逆転した。NA-f25-b2 では載荷荷重の低下が発生したが、A-f25-b2 では見られず、接着剤により安定した挙動となった。A-f70-b1 では腐食部での降伏とすべりがほぼ同時に発生しており、載荷荷重低下は腐食部降伏によるものと考えられる。その後、全ケースで、初期剛性よりも低い剛性で載荷荷重が増加し、最大荷重を迎え、終局状態に至った。図-8 から、当て板端部の接着剤は降伏、すべりよりも早く剥離するが、全体の耐力に及ぼす影響が小さいこと、接着剤有の方が相対変位を抑制することが確認できる。

(3) 結果 (荷重分担率—載荷荷重関係)

荷重分担率—載荷荷重関係を図-9 に示す。図-7, 8 と同様、代表例として1体のみを示す。荷重分担率とは、母材または当て板が分担する荷重を当て板接合部全体に作用する荷重で除した割合で

ある。NA-f25-b2 では、既往研究¹⁰⁾と同様、母材の荷重分担率は断面積率よりも約10%高いが、接着剤有の A-f25-b2 では、両者はほぼ一致した。A-f70-b2, A-f70-b1 においても、断面積率よりもわずかに母材の荷重分担率は高いが、NA-f25-b2 よりも断面積率に近い。以上より、併用接合では、腐食部における荷重分担率と断面積率がほぼ一致することを確認した。これは、接着剤によりボルト位置およびボルト間での相対変位の増加が抑制されるためであると考えられる。

(4) 結果 (破壊形式)

A-f25-b2 では、写真-3 に示す通り母材純断面での破断であった。A-f70-b2-1, A-f70-b1 では母材腐食部での破断、A-f70-b2-2 は母材純断面での破断であった。A-f70-b2 は、欠損率を増加させ(当て板厚を欠損厚以下とし)、腐食部で破断するように設計したが、試験体2体のうち1体では純断面での破断が発生した。前述の通り併用接合では、腐食部における断面積率に応じて母材と当て板の分担荷重が決定される。実際の設計では、欠損厚

よりも厚い当て板を設置し、必要なボルト本数を確保するため、併用接合において当て板と母材の相対変位を抑制し、荷重分担率が断面積率に近くようにボルトを配置する場合、腐食部が先行して破断する可能性は十分低いといえる。

継手設計では、腐食部が先行破断し、図-1(a)に示す継手に移行することを想定した設計になる。この場合、荷重が上がると、明確なすべりが生じ、ボルトが支圧状態へ移行し、母材・添接板・ボルトのいずれかが破断するメカニズムとなる。当て板補修部のうち、仮に腐食部からの降伏・破断が先行すると、継手に移行することが想定される。しかしながら本試験により、必要ボルト本数を満足し、欠損厚以上の当て板厚を確保した場合は、併用接合当て板において母材腐食部の降伏・破壊が先行する可能性が十分低いと考えられる。

2-2 併用接合当て板の限界状態の設定

前節の結果をもとに、必要ボルト本数を満足し、かつ、欠損厚以上の当て板厚を確保した場合の併用接合当て板の荷重-変位関係を図-10に示す。イベントとしては、最外縁ボルト位置の母材降伏後に剛性が低下し、母材と当て板の相対変位の増加とともに荷重が増加して最大強度を発現し、最終的には母材純断面の破断に至るものである。

併用接合当て板の限界状態を整理する。道示Ⅱの高力ボルト摩擦接合継手で規定される限界状態1を最外縁ボルト部の母材降伏と初期すべりとし、その特性値を鋼材の降伏強度とすべり強度とした。ここで、初期すべりとは、高力ボルト摩擦接合継手のすべりの定義を参考に、最外縁ボルト部の0.2mm相対変位発生時と定義した。また、限界状態3を最外縁ボルト部の母材の破断とし、その特性値を鋼材の降伏強度とした。なお、必要ボルト本数を満足し、かつ、欠損厚以上の当て板厚を確保した場合の併用接合当て板においては、純断面破壊が先行するため、母材腐食部に関する限界状態の照査は省略できると考えられる。これにより、ボルトが支圧状態へ移行することを考慮する必要がなく、ボルトのせん断に対する限界状態の

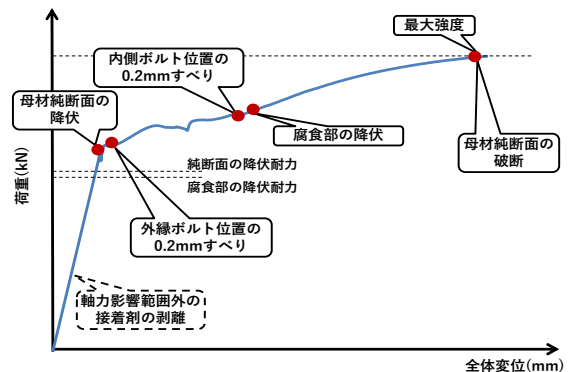


図-10 併用接合当て板の荷重-変位関係

照査についても省略できることになる。

3. 併用接合当て板の照査法の提案

前章に示す限界状態を踏まえ、併用接合当て板の照査項目を提案する。

3-1 当て板に流れる力

当て板補修設計においては、既設構造物特有の狭隘な施工条件等への対応が求められる場合がある。このため、当て板の鋼種および断面積について、著しく不経済になる場合などは、当て板の引張試験¹⁰⁾を参考に、式(4)により、当て板に流れる力を算出して必要厚を算定することとした。ここで、腐食部の断面力比は既設部材と当て板の断面積比とならないことが知られている^{11),12),13)}が、前述の通り、接着剤を施した場合は、断面積比の分担率となるため断面積比(1.0)としている。

$$P_p = \gamma_1 \{2t_p / (t_{bd} + 2t_p)\} P \quad (4)$$

ここで、

P_p : 既設部材から当て板に伝達する力 (N)

γ_1 : 分担率の補正係数 (=1.0)

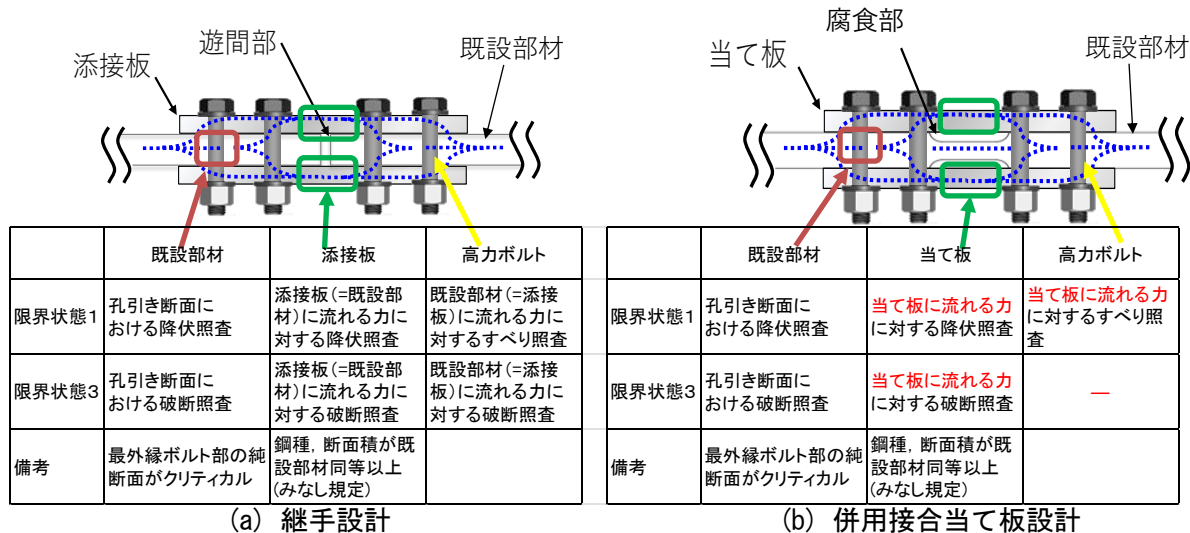
t_{bd} : 腐食部の既設部材の最小板厚 (mm)

t_p : 当て板の板厚 (mm)

p : 周辺部の既設部材に流れる力 (N)

3-2 併用接合当て板の照査項目

併用接合当て板の各限界状態における照査項目について、継手設計と比較する形で図-11に示す。既設部材では、設計上クリティカルとなる最外縁



(a) 継手設計

(b) 併用接合当て板設計

図-11 継手設計と併用接合当て板の照査項目の比較

ボルト部で、孔引き断面による照査を規定する。これは、継手設計と、作用力も抵抗断面も同じである。

当て板では、既設構造物の補修設計であることも考慮し、前節で述べた通り、当て板に流れる力を算出して必要厚を算定してよいこととした。

高力ボルトでは、設計作用力については、当て板に流れる力ですべり照査を行うこととした。なお、限界状態3については、必要ボルト本数と必要当て板厚を確保することで、腐食部が破断して継手に移行しないことが確認されたため、ボルトの破断を照査項目から外した。なお、必要ボルト本数を確保した上で必要厚以上の当て板を施した場合は、腐食部有効断面積(当て板と腐食断面の面積の和)が既設部材最外縁ボルト部の純断面の有効断面積より大きくなり、それに伴い腐食部の降伏荷重も大きくなるため、腐食部の照査は省略できることとした。ここで最外縁ボルト部は当て板に力が伝達されない¹⁰⁾こととしている。

4. まとめ

本稿では、接着剤併用高力ボルト摩擦接合による当て板補修設計の合理化に向けた検討を行った。その概要を以下に列挙する。

- ・併用接合のすべり係数は0.60と設定した。
- ・併用接合当て板の限界状態1を最外縁ボルト部

の既設部材降伏とすべりとし、その特性値を鋼材の降伏強度とすべり強度とした。また、限界状態3を最外縁ボルト部の既設部材の破断とし、その特性値を鋼材の降伏強度とした。

- ・必要なボルト本数・当て板厚を確保した場合は、純断面破壊が先行することが確認されたため、純断面先行破壊(継手に移行しないこと)を前提に併用接合当て板の照査項目を整理した。継手に移行しないことから、限界状態3における、ボルトの破断を照査項目から外した。
- ・当て板補修設計において、当て板に流れる力を既設部材と当て板の断面積率により算出して当て板必要厚を算定することも可能とした。
- ・今回提案する当て板補修設計法を継手設計と比較し、合理化が期待される事項を以下に述べる。
 - ①既設部材と当て板に流れる力をそれぞれ算出して照査を実施するため、当て板、ボルト照査時の設計作用力が下がる。一方で、最外縁ボルト部純断面の設計は、設計法によらず同じであり、安全余裕は変わらない。
 - ②既設部材と当て板に流れる力をそれぞれ算出し、当て板の必要厚を算定できるため、当て板厚を合理化できる可能性がある。
 - ③限界状態3の照査としてボルト破断の照査が不要となること、不陸整正材用の接着剤を考慮することでボルト本数を低減できる可能性がある。

今後、本稿で述べた設計法やこれまでの実験等で確認された施工手順などを取りまとめ、試験施工を行う予定である。試験施工により、設計から施工までの一連の手順確認、施工性等の確認を実施した上で、『鋼構造物の腐食部に対する当て板接着剤併用高力ボルト摩擦接合による補修設計・施工の手引き』として制定する予定である。

謝辞：本稿は大阪公立大学山口先生との共同研究成果の一部である。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 八田法大ら：接着剤併用高力ボルト接合による鋼桁腐食箇所補強効果，阪神高速道路第 47 回技術研究発表会論文集，2015.
- 2) 丹波寛夫ら：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,2014.3.
- 3) 丹波寛夫ら：接着剤と高力ボルトを併用した軸方向力を受ける当て板補修に関する実験的検討，構造工学論文集，Vol.61A,2015.3.
- 4) 神野巧矢ら：無機ジンクリッチペイント面を介した接

- 着接合のせん断強度と接合面圧の関係，第 75 回年次学術講演会，2020.9.
- 5) 福辻菜絵ら：無機ジンクリッチペイント面に接着剤を塗布した接合面のせん断強度に関する検討，第 77 回年次学術講演会，2022.9.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2017.
- 7) 日本鋼構造協会：高力ボルト接合基準の現状と課題，JSSC テクニカルレポート No.96，2013.
- 8) 福辻菜絵ら：接合面に接着剤を塗布した高力ボルト摩擦接合当て板接合部の限界状態に関する実験的研究，第 78 回年次学術講演会，2023.9.
- 9) 丹波寛夫ら：無機ジンクリッチペイント面に接着剤を塗布した高力ボルト併用継手の引張耐力に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.64A,2018.3.
- 10) 永田和寿ら：高力ボルト鋼板当て板補修部の荷重伝達機構に関する検討，構造工学論文集，Vol.64A,2018.3.
- 11) 土木学会鋼構造委員会 高力ボルト摩擦接合の設計およびそれをういた鋼部材の補修・補強に関する調査研究小委員会：補修・補強のための高力ボルト摩擦接合技術－当て板補修・補強の最新技術－，pp.1-63-70,2021.
- 12) 石川敏之ら：断面欠損した鋼板の当て板補修効果，土木学会論文集 A2，Vol.69,No.2,pp.I_595-I_604,2013.
- 13) 永田和寿ら：引張を受ける高力ボルト鋼板当て板接合部の荷重伝達機構に関する解析的検討，鋼構造論文集，第 23 巻，第 90 号，pp.27-37,2016.

**A STUDY FOR RATIONALIZATION OF REPAIR DESIGN METHOD
BY FRICTION JOINTS WITH HIGH-STRENGTH BOLTS CONSIDERING
THE EFFECT OF ADHESIVES**

Yoshiki TANIGUCHI, Sae FUKUTSUJI and Shinsuke AKAMATSU

The Hanshin Expressway uses a steel plate repair method to repair steel corrosion. Currently, there is no established repair design method for the steel plate repair, and the repair design is basically based on the mechanical behavior of friction joints, assuming that the existing members do not share the load. When sectional defects are present, bolts are used to attach the plate after applying an adhesive to correct the defects, but the effect of this adhesive is not considered in the design. In this paper, we propose a design method for corrosion repair by friction bonding with high-strength bolts in combination with adhesives, based on various studies that have been conducted so far. This method enables rationalization of the repair design (reduction of the number of bolts, reduction of the area of the plate, etc.) and provides solution to construction in a limited space on existing structures.

谷口 祥基



阪神高速道路株式会社
技術部 技術推進室
Yoshiki TANIGUCHI

福辻 菜絵



阪神高速道路株式会社
管理本部 管理企画部 保全技術課
Sae FUKUTSUJI

赤松 伸祐



(一財)阪神高速先進技術研究所
調査研究部 橋梁・構造研究室
Shinsuke AKAMATSU