

金属補修材と高力ボルトを用いた当て板補修部の解析的検討

法政大学大学院 学生会員

○関根 英人 正会員 内田 大介
首都高速道路(株) 正会員 平野 秀一

1. 研究目的

鋼橋の腐食部の補修工法の一つに、高力ボルトを用いた当て板補修がある。当て板補修に関する技術基準類は整備されていないため、高力ボルト摩擦接合継手の設計が準用されているが、終局状態に至るメカニズムは異なると考えられる。本研究では、文献 1)で報告された引張試験を模擬できる解析モデルを構築することである。引張耐力実験後の当て板表面の蛍光 X 線分析などの剥がれ調査より金属補修材接合部のモデルの構築を行った。さらに、高力ボルトの孔明け箇所が異なる場合の降伏耐力と引張耐力を解析的に検討した。

2. 接触面の剥がれ調査

文献 1)で実施された試験体の形状を図 1 に示す。ここでは、高力ボルトと金属補修材を用いた当て板補修した試験体 H-28-100 を対象に接触面の分析を実施した。

初めにプローブ径 30mm の蛍光 X 線分析機を用い、簡易的に接触面に付着する元素を確認した。分析した 3 体のうち、1 体目の結果を図 2 に示す。事前に金属補修材、鋼材(プラスト処理)、無機ジンクリッチペイント(以下無機ジンク)塗布面の各標準試験の結果より、Fe, Zn, および金属補修材に含まれる Ti 元素の割合に応じて分類した。その結果より、当て板の幅中央では無機ジンクの主成分である Zn を示した。

次に詳細な表面分析を行うため図 2(c)の 6 箇所を対象に電子顕微鏡による観察を行った。その際の選定根拠は、①当て板表面に元素 Zn, 母板に元素 Fe, Ti 成分を多く示す箇所。②母板の塑性変形の影響が小さい内側ボルト円孔付近。③組み立て時に当て板, 母板で対となる測定箇所。以上 3 つ特徴を示す箇所である。

観察した全 6 箇所の内、母板表面の円孔部付近 1 箇所の結果を図 3 に示す。図 3(b)では無機ジンク特有の球形の付着物が見られた。また、模擬腐食穴内に充填された金属補修材が確認できる。そして、表層に異なる形状の付着物がみられた 2 箇所を対象に EPMA を行ったところ、Zn を示すコンター図において図 3(b)で示した球形物は無機ジンクであることを特定した。以上の分析結果より、接触面に介在する物質が無機ジンクと金属補修材による当て板試験体においては、無機ジンクの凝集的な破壊、または金属補修材と当て板間の界面破壊が支配的であると考えた。

3. 再現解析

(1) 解析モデル・解析条件

文献 1)の引張試験体を対象に再現解析を行った。解析ソルバーは

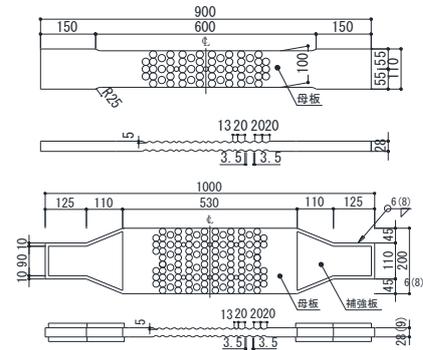


図 1 試験体形状¹⁾ (単位:mm)

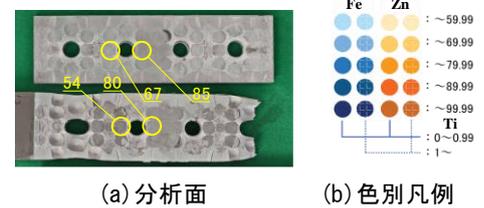


図 2 蛍光 X 線分析結果 (H-28-100, 抜粋)

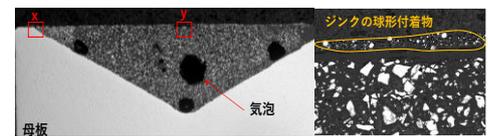


図 3 断面観察結果 [符号 80]

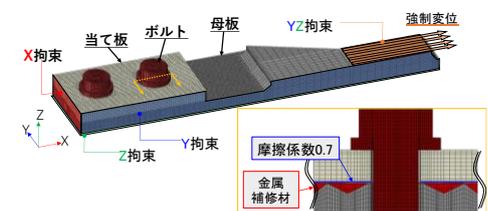


図 4 解析モデル [H-28-200-a]

表 1 解析で用いた材料特性値

	降伏強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	ポアソン比	ヤング係数 [N/mm ²]
SM570	510	588	0.262	204000
SM400A	268	436	0.282	214000
SS400	272	440	0.282	177000
BOLT	900	-	0.3	200000
金属補修材	圧縮	引張	0.4	圧縮
	46	34		5530

キーワード： 金属補修材, 高力ボルト, 当て板補修, 有限要素法,
連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 TEL 042-387-6279

Abaqus 2019 を使用し、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した。解析モデルを以下の図 4 に示す。ボルト頭部は、ナットと面積の等しい円形としワッシャは一体でモデル化した。金属補修材もソリッド要素でモデル化し、その厚さは試験後の試験体の実測値を参考に 0.4mm とした。なお、母板の金属補修材との境界は節点を共有させている。そして、前項の分析結果より、解析上当て板と金属補修材要素間に接触要素を導入することとした。摩擦係数については、別途実施した模擬腐食穴を有する継手形式の 5 体のすべり試験より得られたすべり係数に対し解析で同定した。その結果、後述の解析モデルでの収束性なども勘案し 0.7 とした。なお、ワッシャと当て板の摩擦係数は 0.4 としている。

解析で使用した材料特性値について表 1 に示す。各鋼種は一軸引張試験結果、金属補修材は圧縮および引張の剛性試験(JIS7161-2)の結果とした。解析上の応力ひずみ関係を図 1 に示す。鋼材は降伏棚を設けたマルチリニアとし、金属補修材はせん断的破壊を模擬するために弾塑性体とした。その際、軸力導入時に発生する応力値を材料試験より得られた圧縮強度に付加している。ボルト軸力および引張荷重は節点を強制変位より与えた。

(2) 再現解析結果

荷重ひずみ関係の一例を図 6 に示す。当て板のひずみ挙動について概ね再現できている。また、図 7 に実験で定義した降伏および引張強度との比較を示す。その結果、図中の 10%誤差に対して十分再現できた。以上より、降伏、引張強度の評価において今回のモデル化は妥当だと判断した。

4. パラメータ解析

(1) 解析ケース

模擬腐食穴区間の母板板厚を変化させ、最大断面欠損率を 30%と 40%を想定した場合の当て板補修効果を解析的に検討した。解析ケースを表 2 に示す。文献 1)の試験体幅 100mm の H-28-100,C-28-100 を基本形状とした。さらに、ボルト数を 1 本増やし健全部にも配置したケースを検討した。解析条件は前項と同様である。

(2) 解析結果

表 2 に結果より、強度比で比較したところ、H-30 は C-30 と比較して降伏で 1.036、引張で 0.825 となり、降伏耐力は 4%の補修効果があるものの、依然として引張強度は小さい結果であった。また、腐食率 40%についても同様な傾向である。ボルト数を増やした H-20-M22 は C-20 と比較して、降伏耐力、引張強度ともに小さい。

しかし、同補修方法のモデル H-20(30,40)-M22 を比較すると、最大断面欠損率が異なっても降伏強度、引張強度に差は小さい。これは、強度に影響を及ぼす当て板端部のボルト孔を健全部に設置したためであると考えられる。その結果、H-40-M22 では腐食のみに対する引張強度比は 1.141 と補修効果があることを示した。終局時の変形図を図 8 に示す。補修試験体はいずれもボルト孔断面の破断であった。今後、異なった断面欠損形状や最大断面欠損率の違いが耐力にどの程度影響するか検討していく。

参考文献

- 1) 深谷ら：金属補修材と高力ボルトを用いた当て板補修部の実験的検討，土木学会第 76 回年次学術講演会，2021.9

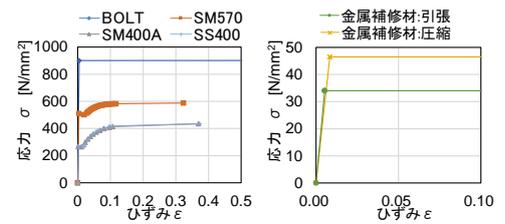


図 5 各材料の応力ひずみ関係

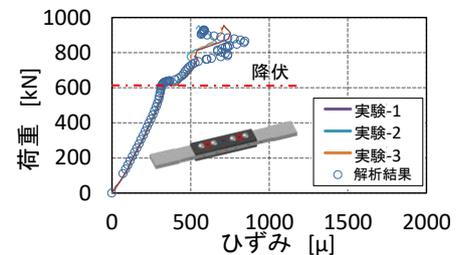


図 6 荷重—ひずみ関係

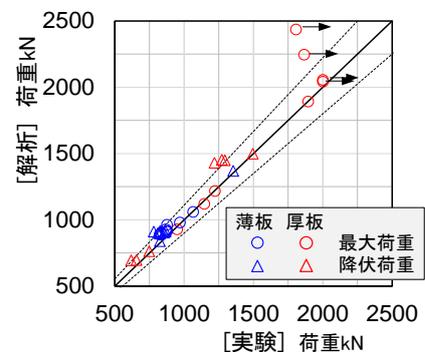


図 7 解析と実験の比較

表 2 解析ケースと解析結果

ケース名	ボルト本数	最大断面欠損率	断面欠損率(外側ボルト)	解析結果		腐食のみに対する強度比	
				降伏強度	引張強度	降伏	引張
C-20	2	17.9%	-	684.2	1119.9	-	-
C-30		30.0%	-	598.9	969.0	-	-
C-40		40.0%	-	528.0	843.8	-	-
H-20		31.6%	17.9%	681.3	906.2	0.996	0.809
H-30	62.3%	30.0%	620.6	799.5	1.036	0.825	
H-40	67.4%	40.0%	570.5	710.8	1.080	0.842	
H-20-M22	3	31.6%	24.5%	671.9	965.0	0.982	0.862
H-30-M22		62.3%	24.5%	672.7	963.0	1.123	0.994
H-40-M22		67.4%	24.5%	674.4	962.5	1.277	1.141

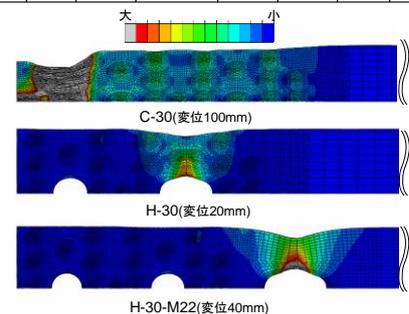


図 8 母板の最大主ひずみ[変形倍率 1 倍]