

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

首都高速道路(株)	○正会員	深谷 卓央	正会員	平野 秀一
大阪市立大学大学院			正会員	山口 隆司
法政大学大学院	学生会員	関根 英人	正会員	内田 大介
日本エンジニアリング			正会員	政門 哲夫

1. 研究の背景・目的

鋼橋の腐食部の補修では、高力ボルトを用いた当て板の適用が一般的である。一方、当て板補修に関する技術基準類は整備されておらず、高力ボルト摩擦接合継手の設計が準用されている。

先行研究¹⁾²⁾では、摩擦接合形式の試験体を対象に、腐食により断面欠損した凹凸部に樹脂を塗布する場合の施工手順や樹脂厚の違い等の検討を行っている。その結果、すべり係数 0.4 以上およびリラクセーション(10%程度)を満足する施工方法について報告している。本研究では、腐食部材を高力ボルトと当て板で補修した場合の引張強度を確認することを目的に、当て板形式による実験的検討を行った。

2. 実験概要

(1) 試験体ケース

試験体の構造諸元と基本形状を表1および図1に示す。補修効果を比較するために、鋼材の腐食が無く新規部材と同様な試験体(以下、健全試験体)、機械加工により鋼材を削孔し、腐食による減肉を模擬した試験体(以下、腐食試験体)、そして、腐食試験体に金属補修材を用い不陸修正を行い、当て板と高力ボルトで補修した試験体(以下、補修試験体)の形状を検討した。さらに、補修試験体については、母板—当て板の板厚構成、当て板の材質、ボルトの配置の違いをパラメータとした。母板厚は2種類とし、母板厚9mmの試験体を「薄板試験体」、28mmの試験体を「厚板試験体」と呼ぶ。母板の材質は、実橋を想定し、厚板試験体でSM400A、薄板試験体でSM570とした。当て板の材質は、厚板試験体、薄板試験体ともにSS400とし、材質の違いによる影響を確認するため、薄板試験体に関しては母板と同種のSM570も追加した。母板表面はブラスト処理(ISO Sa2.5)を実施し、当て板表面はブラスト処理後、厚膜形無機ジンクリッチペイントを塗布している。

鋼材腐食の模擬方法，不陸修正に用いた金属補修材，および試験体の組み立て手順等については先行研究¹⁾²⁾と同様である．今回，研削機を用いた模擬腐食の加工について，円錐底面の直径は $\phi 20\text{mm}$ ， $\phi 13\text{mm}$ の2種類で，最大腐食深さは母板厚 9mm と 28mm に対し，

表 1 試験体の構造諸元

Case	母板			当て板			ボルト		腐食 有:○ 無:×	当て板 有:○ 無:×	補強 タイプ	断面欠損率(%)			
	幅 [mm]	板厚 [mm]	材質	幅 [mm]	板厚 [mm]	材質	行数	列数				①断面	②断面	③断面	④断面
N-28-100	100	28	SS400	-	-	-	-	-	×	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
C-28-100				-	16	SS400	-	-	○	×	-	0.0	17.9	10.7	10.7
H-28-100				100	-	-	1行	1列	○	○	a	0.0	17.9	31.6	31.6
N-28-200			-	-	-	-	-	×	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	
C-28-200			-	-	-	-	-	○	×	-	0.0	17.9	10.7	10.7	
H-28-200-a			-	-	-	-	-	○	○	a	0.0	17.9	31.6	31.6	
H-28-200-b	200	28	SM400a	200	16	SS400	2行	○	○	b	0.0	17.9	25.6	31.6	
H-28-200-c								○	○	c	0.0	17.9	19.4	31.6	
N-9-200								-	-	-	-	×	-	0.0	0.0
C-9-200				-	-	-	-	×	-	0.0	17.8	10.7	10.7		
H-9-200-a				-	-	-	-	○	○	a	0.0	17.8	31.6	31.6	
H-9-200-b				-	-	-	-	○	○	b	0.0	17.8	25.6	31.6	
H-9-200-c			-	-	-	-	○	○	c	0.0	17.8	19.4	31.6		
H-9-200-a-SM			9	SM570	200	9	SS400	2行	○	○	a	0.0	17.8	31.6	31.6
H-9-200-b-SM									○	○	b	0.0	17.8	25.6	31.6
H-9-200-c-SM									○	○	c	0.0	17.8	19.4	31.6
					SM570	1列	○	○	a	0.0	17.8	31.6	31.6		
							○	○	b	0.0	17.8	25.6	31.6		
	○	○					c	0.0	17.8	19.4	31.6				

※つかみ部の補強板については省略している

...最大欠損断面

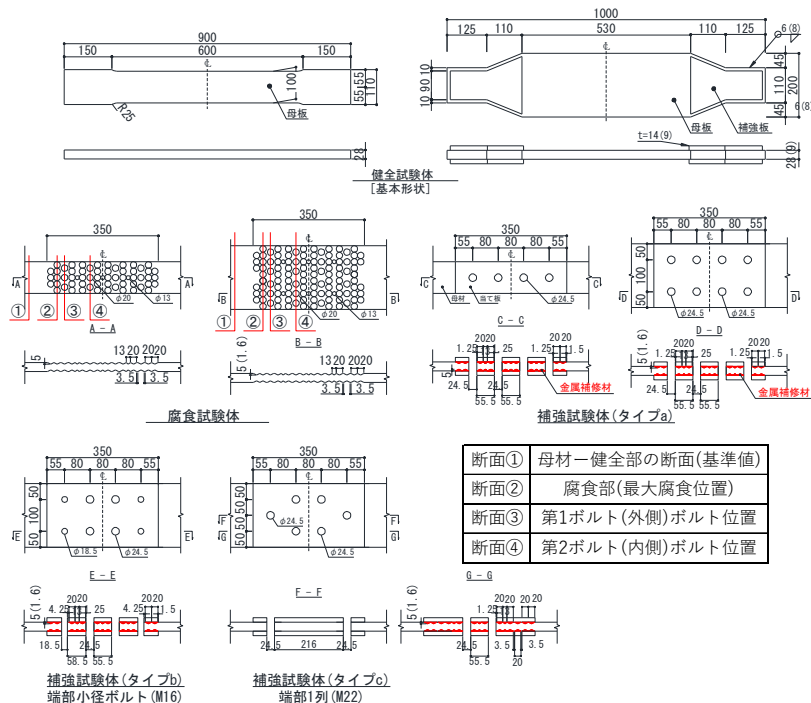


図1 基本形状と寸法〔単位:mm〕 ()内は薄板試験体

それぞれ 1.6mm と 5mm とした。試験体幅 200mm 補修試験体では、

キーワード： 引張強度，金属補修材，高力ボルト，当て板補修

連絡先：〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1 TEL 03-3539-9545

2 列目のボルト径およびボルトの配置を変化させた 3 タイプ(a,b,c)を検討した。使用したボルトは、トルシア形高力ボルトで強度等級は S10T、ボルトの呼びは M22 と M16 である。なお、これらのボルトには、導入軸力の確認と後述のリラクセーション試験のため、ボルト頭部に ϕ 3mm の孔を設け、軸部と平行な対称位置に 2 枚のひずみゲージを貼付している。

(2) 試験方法・計測項目

引張载荷は、最大能力 2,000kN の試験機を用い、载荷速度 100kN/min で鋼材が破断するまで载荷した。なお、一部の厚板試験体は試験機の最大出力で破断しない断面設計であるため、荷重ひずみ関係において、降伏とその後の加工硬化域まで载荷していることを確認した上で、载荷上限付近で試験を終了した。

試験時の計測項目は、载荷荷重、母板と当て板のひずみ、ボルト軸力である。

3. 実験結果と考察

表 2 に高力ボルトのリラクセーション試験の結果を示す。軸力低下率は、先行研究¹⁾と比較して 1 行 1 列の試験体は同様であったが、2 行 2 列にすることで導入軸力が標準軸力より小さくなる傾向があった。

引張試験結果を表 3 に示す。降伏強度は、文献³⁾を参考に外側ボルト位置の母板側面に貼付したひずみゲージの値が降伏ひずみに達した時の荷重とした。なお、計測範囲内において、最大荷重以降に降伏ひずみに達した試験体についてはハイフン(-)とした。引張強度は、载荷荷重が最大となった値とした。厚板試験体の大半は破断しなかったため試験終了時点での最大値を示している。破断箇所は、健全試験体、腐食試験体では中央部付近であったが、補修試験体では、外側ボルト位置の母板断面であった(写真 1)。実験結果のまとめを以下の各項に示す。

3.1 腐食の有無および当て板の影響

表 3 より引張強度については、健全試験体および腐食試験体と比較して補修試験体の方が小さかった。降伏強度についても大半は補修試験体の方が小さかったが、一部の薄板試験体では、腐食試験体よりも大きくなっており降伏強度の改善が確認された。今回、腐食試験体は平均板厚換算で 6.4%の減肉を模擬しているが、この腐食の程度に対する高力ボルトを用いた当て板はボルト孔による断面欠損が大きく影響していると考えられる。

3.2 ボルト配置の影響

ボルトの配置が異なる試験体(a,b,c)の引張強度の関係は、厚板試験体および薄板試験体いずれも補修タイプ c,b,a の順で小さくなり、タイプ a の引張強度が最も小さかった。これらの結果は、表 1 における外側ボルト位置の断面欠損率の順と一致しており、外側ボルト位置の母板純断面積が、引張強度に影響していると考えられるが、応力集中や軸力の影響等についても、より詳細な考察が必要である。

3.3 当て板材質の影響

H-9-200-a(b,c)と H-9-200-a(b,c)-SM の降伏強度および引張強度から、当て板の材質に起因すると考えられる違いは確認できず、当て板材質が補修部の強度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

4. 参考文献

1) 平野ら：腐食部に対する不陸整正当て板補修の施工方法検討，土木学会第 75 回年次学術講演会，I-106，2020.9

2) 深谷ら：不陸整正当て板補修を行った腐食部の耐久性及び施工条件の検討，土木学会第 75 回年次学術講演会，I-107，2020.9

3) 名取ら：腐食部材の添接板補強に関する研究，土木学会論文集，No.682，I-56，pp.207-224，2001.7

表 2 リラクセーション試験結果

試験体名	締付け直後[kN]	17日後	軸力低下率	使用ボルト
H-28-100-a	227.4	206.3*	9.3%	M22
H-28-200-a	202.5	174.3	13.9%	
H-28-200-b	204.5	178.7	12.6%	M16
	97.7	84.4	13.7%	
H-28-200-c	201.1	174.1	13.4%	M22
H-9-200-a	188.1	160.6	14.6%	
H-9-200-b	184.7	157.2	14.9%	M16
	90.0	75.6	16.1%	
H-9-200-c	190.1	163.9	13.8%	M22
H-9-200-a-SM	200.1	173.2	13.5%	
H-9-200-b-SM	193.6	167.2	13.7%	M16
	92.1	77.7	15.6%	
H-9-200-c-SM	198.0	174.9	11.7%	M22

[*]・・・リラクセーション7日後



写真 1 試験後の解体写真 [H-28-200-a]

表 3 引張試験結果

試験体	No.	降伏強度[kN]		引張強度[kN]		健全に対する比率		試験体	No.	降伏強度[kN]		引張強度[kN]		健全に対する比率				
		平均	平均	平均	平均	降伏強度	引張強度			平均	平均	降伏強度	引張強度	降伏強度	引張強度			
N-28-100	-1	735.0	747.7	1212	1222.7	100%	100%	N-9-200	-1	826.0	826.0	1064.4	1064.4	100%	100%			
	-2	746.0		1222					-1	815.6	961.5	970.0	100%	91%				
	-3	762.0		1234					-2	838.8	982.9							
C-28-100	-1	659.0	655.7	1147	1146	88%	94%	C-9-200	-3	822.2	965.6	817.7	823.9	99%	77%			
	-2	645.0		1151					-1	821.4	824.6							
	-3	663.0		1140					-2	819.0	821.2							
H-28-100	-1	612.5	617.5	944	950	83%	78%	H-9-200-a	-3	812.8	825.9	817.7	823.9	99%	77%			
	-2	620.0		953					-1	-	875.4					870.3	105%	82%
	-3	620.0		953					-2	864.9	865.4							
N-28-200	-1	1496.0	1496.0	1806 ≦	1806 ≦	100%	-	H-9-200-b	-3	867.7	870.2	811.6	877.6	98%	82%			
	-1	1357.7	1868 ≦	1864.7 ≦	90%	-	-1		837.3	887.2								
	-2	1346.6	1896 ≦	-	-	-2	770.2		865.7									
C-28-200	-3	1356.3	1830 ≦	-	-	-	-	-3	827.2	880.7	824.9	830.5	100%	78%				
	-1	1206.9	1889	-	-	-1	823.8	835.6										
	H-28-200-a	-2	1232.5	1896	1894 ≦	81%	-	H-9-200-a-SM	-2	827.1					824.9	828.6	830.5	100%
-3		1214.3	1897	-	-	-3	823.8		827.3									
-1		1283.0	-	-	-	-	-1		856.5	872.6								
H-28-200-b	-2	1265.1	1271.1	2000 ≦	2000 ≦	85%	-	H-9-200-b-SM	-2	865.6	856.7	869.2	868.9	104%	82%			
	-3	1265.2	-	-	-	-	-3		848.0	864.9								
	-1	1292.3	-	-	-	-	-1		785.5	877.1								
H-28-200-c	-2	1287.6	1294.8	2000 ≦	2000 ≦	87%	-	H-9-200-c-SM	-2	780.6	780.5	877.1	877.0	94%	82%			
	-3	1304.4	-	-	-	-	-3		775.6	877.1								