

すべり先行とした高力ボルト摩擦接合当て板補修部の荷重伝達に関する実験的検討

大阪市立大学大学院
西日本高速道路(株)

非会員
正会員

神野 巧矢
浅野 貴弘

大阪市立大学大学院
NEXCO 西日本コンサルタンツ(株)

正会員
正会員

○山口 隆司
小山 雅己
水内 将司

1. 研究背景と目的

腐食した鋼部材の補修方法の 1 つに高力ボルト摩擦接合を用いた当て板補修がある。既往研究¹⁾では、当て板のすべりは腐食欠損部の降伏に起因し、降伏伸びにより当て板とのずれを生じることで明瞭なすべりを生じるとされる。そのため、当て板では欠損部の降伏前に明瞭なすべり挙動を呈することはないとされる。一方、摩擦抵抗力を越える荷重が作用した場合の荷重伝達メカニズムは解明されるには至っていない。

本研究では、当て板補修部における摩擦抵抗力の超過が当て板の荷重伝達に及ぼす影響を明らかにするため、当て板補修および継手供試体の引張載荷を行った。

2. 供試体と実験ケース

供試体形状と計測位置を図-1 に示す。母板欠損厚は両側から 3mm とし、当て板は母板と同厚・同材質(SS400)とした。使用したボルトは F10T の M16 高力六角ボルトである。供試体の接合面はブラスト処理(ISO-Sa2 1/2)、当て板は高い摩擦抵抗力を得るためアルミニウム溶射とした。

計測項目は、全体変位、母板と当て板の相対変位 δ_r 、母板および当て板のコバ面ひずみ、ボルト軸部のひずみとし、計測はすべり側のみで行った。載荷は載荷速度 1kN/s を目標に、当て板補修供試体は破断まで、継手供試体はすべり（荷重低下）を生じるまで行った。

実験ケースを表-1 に示す。供試体は各ケース 1 体用意した。当て板補修供試体の導入ボルト軸力は、M16 高力ボルトの設計軸力(=106kN)、その 1/2 倍、1/4 倍の 3 種類とした。

3. 実験結果

荷重－全体変位の関係を図-2 に、各ケースのすべり荷重と降伏荷重をまとめて表-2 に示す。すべり荷重および降伏荷重はそれぞれ荷重低下時の最大値、計測ひずみが材料試験で得られた降伏ひずみに到達した荷重と定義した。図-2 には材料試験で得られた降伏点と母板純断面および欠損部の断面積から計算される降伏耐

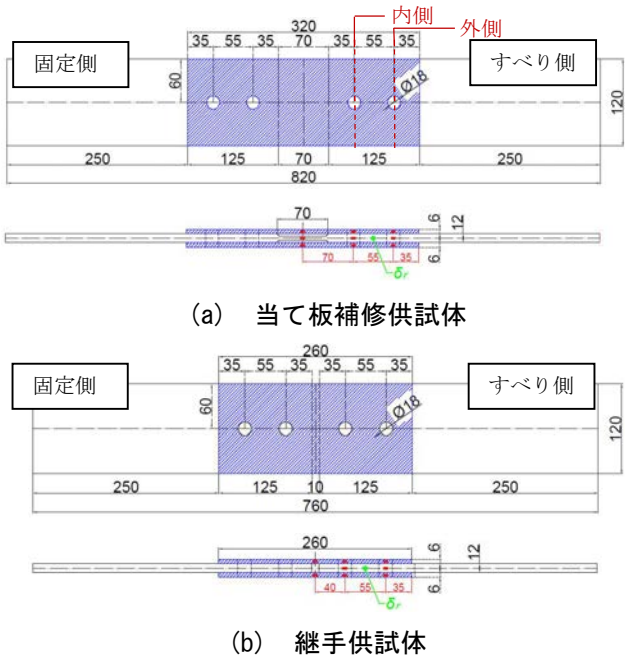


図-1 供試体形状と計測位置

表-1 実験ケース

ケース名	供試体形状	接合面処理		導入ボルト軸力(kN)	供試体数
		母板	当て板(添接板)		
AI-106N	当て板補修	ブラスト処理	アルミニウム溶射	106	1体
AI-53N				54	
AI-27N				27	
Joint	継手			106	3体

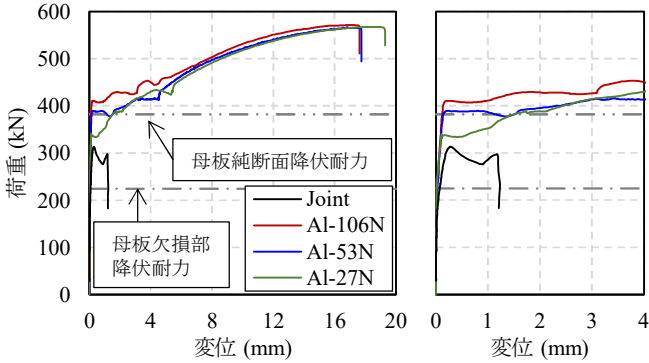


図-2 荷重 P－全体変位の関係

力も併せて示す。表-2 に示されるように、ボルト軸力 27kN では欠損部が、ボルト軸力 54, 106kN では外側の純断面で降伏が初めて生じた。ボルト軸力 106kN では欠損部の降伏が見られず、純断面が降伏することで、

表-2 すべり荷重と降伏荷重のまとめ

case	すべり荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)		すべり・降伏の発生順序	備考 *すべり前に生じた降伏
		母板純断面	母板欠損部		
AI-106N	410.4	409.9*	444.4	純断面降伏⇨すべり→欠損部降伏	すべり・降伏の発生順序は、すべりと降伏荷重の差が1%以下のものは⇨で表示
AI-53N	389.2	389.1*	388.6	純断面降伏⇨欠損部降伏⇨すべり	
AI-27N	339.9	381.3	339.0	すべり⇨欠損部降伏→純断面降伏	

表-3 すべり試験結果

case	最大 荷重 (kN)	試験前 ボルト軸力 平均(kN)	すべり係数		最大荷重時 ボルト軸力 平均(kN)	摩擦係数	
			-	平均		-	平均
Joint_1	313.2	106.2	0.737	0.73	77.7	1.008	0.99
Joint_2	307.2	106.1	0.724		79.2	0.970	
Joint_3	305.8	104.5	0.732		77.9	0.982	

すべりが見られた。

荷重－欠損部の当て板ひずみの関係を図-3 に示す。図中には、式(1)から算出した摩擦抵抗力の限界値を当て板ひずみに換算した摩擦限界ひずみ ε_{fl} を、併せて示している。

$$\varepsilon_{fl} = \mu n N / (E A_p) \quad (1)$$

ここで、 μ ：すべり試験で得られた摩擦係数、 n ：ボルト本数、 N ：導入ボルト軸力(kN)、 E ：材料試験で得られたヤング係数(N/mm²)、 A_p ：当て板の断面積(mm²)

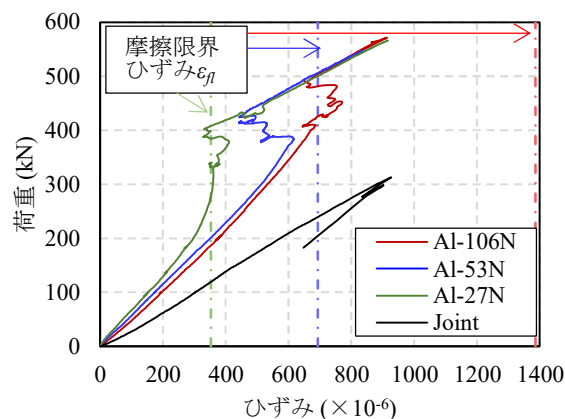
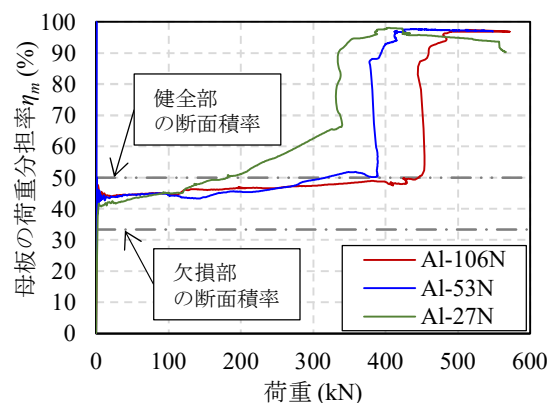
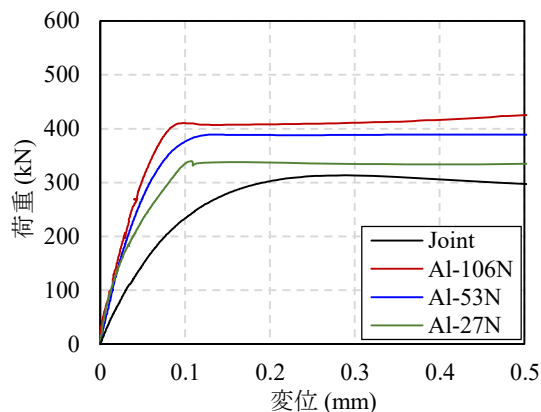
図-3 より、AI-27N の当て板ひずみ ε_p は、荷重 200kN 程度から非線形挙動を示し、 ε_{fl} で一定となった。これは、当て板の断面力が摩擦抵抗力の限界（以下、摩擦限界）に到達すると、当て板はそれ以上の荷重を分担しないことを意味している。摩擦限界後は当て板がそれ以上の荷重を分担しないため、図-4 のように母板欠損部の荷重分担率 η_m は増加した。なお、 η_m は欠損部の母板、当て板ひずみ $\varepsilon_m, \varepsilon_p$ を用い、式(2)から算出している。

$$\eta_m = \varepsilon_m / (\varepsilon_m + \varepsilon_p) \quad (2)$$

図-5 に荷重－相対変位の関係を示す。AI-27N を見ると、荷重 200kN 程度から曲線勾配が低下し、荷重 300kN 以降で相対変位の顕著な増加が見られる。曲線勾配の変化は摩擦面の剛性変化に起因しており、摩擦限界後の剛性は低下した。一方、相対変位の顕著な増加まで、AI-27N の相対変位は Joint のそれに比べて小さい。このことから、当て板補修部は摩擦限界後に摩擦面の剛性が低下するが、相対変位は継手部より小さく、摩擦限界が当て板部の剛性に及ぼす影響は小さいと考えられる。

4. 結論

当て板補修および継手供試体の引張載荷行った結果、すべり先行とした当て板補修部は、摩擦抵抗力の限界に到達すると、当て板がそれ以上の荷重を分担せず、以

図-3 荷重 P －欠損部の当て板ひずみ ε_p の関係図-4 母板欠損部の荷重分担率 η_m －荷重 P の関係図-5 荷重 P －相対変位 δ の関係

降の荷重増分に対して母板の荷重分担率が増加することを実証できた。本供試体では摩擦限界後、摩擦面の剛性が低下したが、相対変位は継手より小さく、摩擦限界が当て板部の剛性に与える影響は小さい。

参考文献

- 1) 永田和寿, 藤本高志, 小川和花, 山口隆司: 高力ボルト摩擦接合を用いた腐食損傷に対する当て板補修部のすべり挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.65A, pp.377-515, 2019.3