添接板をエネルギー吸収部材とする高力ボルト継手の設計手法の一検討

石川工業高等専門学校　学生会員　○村田　俊　　石川工業高等専門学校　正会員　三ツ木　幸子

1. はじめに

巨大地震が発生すると, 想定外の荷重が載荷され, 摩擦接合で使用されている高力ボルト継手は，すべりを起こす可能性がある．そこで本研究室では，すべり後の挙動に着目し，高力ボルト継手の引張載荷試験を行い，継手形状によっては，終局状態においてエネルギー吸収が期待できることを示してきた[3-4].

そこで本研究では，このエネルギー吸収性能を考慮した設計方法を検討するため，一設計手法を設定して検討を行った.

2. 設計手法

高力ボルト継手の終局状態におけるエネルギー吸収能を考慮した設計法を検討するため，ここでは，以下の設計手法を設定し，検討を行う.

2. 1　設計手順

継手を以下の設計手順に従って行い，継手の終局耐力と破断部位を把握するとともに，継手のエネルギー吸収能および，母材と添接板の引張およびせん断に対する安全率，ボルトのせん断に対する安全率を把握する.

(1)　継手形状の仮定.

(2)　終局状態における各ボルトの分担力の計算による終局耐力(耐荷力の計算)，破断モードの推定．[4]

(3)　終局状態における母材と添接板の純断面の引張応力，せん断応力，支圧応力の計算およびボルトのせん断応力の計算.

(4)　各ボルトによる吸収エネルギー計算と継手としての吸収エネルギーの計算.

(5)　各断面の終局耐力に対する安全率の計算

2. 2　試算

今研究では，過去に行った添接板をエネルギー吸収部材とするケースと母板をエネルギー吸収部材とするケースを用いて試算を進める.

2. 2　継手形状の仮定

今回使用するする継手の試験体図を図 1 に示す. 継手は 1 行 2 列とする．縁端は 60mm としている. 鋼種は全て SM400A 材を使用し，引張強度σ_u，降伏点σ_yは公称値を用いる．ボルトは全て M22(F10T)を使用し，デザインデータブック[2]に基づいて設計した．[1]

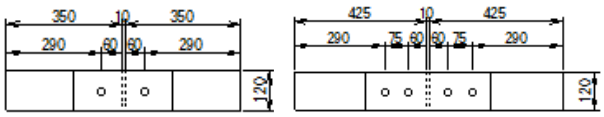
今研究で検討する試験体ケースを以下に示す.

①　母材厚 22mm，添接板厚 9mm，ボルト首下長さ 80mm の試験体[3]

②　母材厚 22mm，添接板厚 12mm，ボルト首下長さ 90mm の試験体

③　母材厚 28mm，添接板厚 12mm，ボルト首下長さ 95mm の試験体

以上を仮定して試算を行う．各タイプの材料特性値を表 1 に示す.



(a)1 本ボルトの場合　　(b)2 本ボルトの場合

図 1 試験体図(単位:mm)

表 1　材料特性値

	板厚	σy(N/mm²)	σu(N/mm²)
母板	22mm	235	400
	28mm		
添接板	9mm	245	
	12mm		
ボルト首下長さ	80mm	900	1000
	90mm		
	95mm		

表 2　終局耐力と破断モードの算定

試験体ケース	終局耐力(kN)	破断モード
①	682	ボルトせん断破断
②	840	純断面引張破断
③	917	純断面引張破断

キーワード　高力ボルト継手，終局挙動，分担力，設計計算

連絡先：　〒929-0392　石川県河北郡津幡町北中条タ 1　石川工業高等専門学校　TEL：076-288-8165

表 3　耐荷力と応力の試算

各項目			①		②		③	
			耐荷力(kN)	応力(N/mm²)	耐荷力(kN)	応力(N/mm²)	耐荷力(kN)	応力(N/mm²)
母材	純断面	内側ボルト	333	158	411	196	448	168
		外側ボルト	682	325	840	400	917	343
	せん断面	内側ボルト	333	317	411	391	448	335
		外側ボルト	349	314	429	386	469	332
添接板	純断面	内側ボルト	682	397	840	366	917	400
		外側ボルト	349	203	411	179	469	205
	せん断面	内側ボルト	333	387	411	359	448	391
		外側ボルト	349	384	429	354	469	387
内側ボルト			333	438	411	541	448	589
外側ボルト			349	459	429	564	469	617

2．4　試算結果

以下の式を用いて試算を行った結果を表 2，3，4，5 に示す．[3]

$$p_{u(bolt)} = \left(\left(\frac{\mathrm{d}}{2}\right)^2 * \pi * \mathrm{m}\right) * \left(\frac{\sigma_u}{\sqrt{3}}\right) \quad (1)$$

$$p_{eu} = \left(\left(\mathrm{e} - \frac{\varphi}{2}\right) * \mathrm{t} * \mathrm{m}\right) * \left(\frac{\sigma_u}{\sqrt{3}}\right) \quad (2)$$

$$p_{pu} = \left(\left(\mathrm{e} - \frac{\varphi}{2}\right) * \mathrm{t} * \mathrm{m}\right) * \left(\frac{\sigma_u}{\sqrt{3}}\right) \quad (3)$$

$$\mathrm{Pu} = \left(\mathrm{t} * (\mathrm{B} - \varphi)\right) * \sigma_u \quad (4)$$

$$\delta = 14.776\mathrm{x}_1 + 4.617\mathrm{x}_2 - 9.367 \quad (5)$$

ここで、

$p_{u(bolt)}$：ボルトのせん断耐力

p_{eu}：縁端の終局耐力

p_{pu}：ピッチ間の終局断耐力

p_u：純断面の引張耐力

d：ボルト径

m：せん断面数(2 面)

e：縁端距離 (60mm)

p：ピッチ間(75mm)

φ：ボルト孔径(24.5mm)

t：板厚(母板または添接板の板厚)

B：板幅(120mm)

δ：ボルト孔径の変形量予測値

x_1：純断面引張強度

x_2：縁端せん断強度

3．考察

本研究では，一設計手法を提案し，試算を行い，その適応性を検討した．このように添接板を薄くすることで吸収エネルギー量の低下はないとされる．

表 4　各孔径による吸収エネルギー量

各項目		吸収エネルギー量(J)		
		①	②	③
母材	内側ボルト	2328	4460	3554
	外側ボルト	5870	9810	8579
添接板	内側ボルト	7455	8188	10146
	外側ボルト	3448	3410	4707

表 5　各応力の安全率

各項目			安全率(σu/各応力)		
			①	②	③
母材	純断面	内側ボルト	2.5	2.0	2.4
		外側ボルト	1.2	1.0	1.2
	せん断面	内側ボルト	0.7	0.6	0.7
		外側ボルト	0.7	0.6	0.7
添接板	純断面	内側ボルト	1.0	1.1	1.0
		外側ボルト	2.0	2.2	2.0
	せん断面	内側ボルト	0.6	0.6	0.6
		外側ボルト	0.6	0.7	0.6
内側ボルト			1.3	1.1	1.0
外側ボルト			1.3	1.0	0.9

今後さらに，ケースを増やし，ボルト孔変形量の式の精度を上げる必要がある．

4．参考文献

[1] 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，2012.3

[2] 日本橋梁建設協会 : デザインデータブック，2006.6

[3] 村田俊，ほか : 添接板をエネルギー吸収部材とした高力ボルト継手の終局挙動，土木学会中部支部研究発表会，I-003，pp.5-6，2016.3

[4] 舟山耕平，ほか : 板厚 19mm の高力ボルト継手の終局挙動に関する実験的研究，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，I-488，pp.975-976，2015.9