

高張力ボルト継手(引張接合)の疲労強度

京都大学工学部 正 員 小西一郎
 京都大学工学部 正 員 山川純雄
 川崎重工業 K.K. 正 員 佐岡暖也
 京都大学大学院 学生員 松井五郎

1. まえがき

高張力ボルト引張接合の疲労特性については、すでに W.H. Munse¹⁾らの報告にもあるように、ボルト初張力を大きくすれば疲労強度が上昇し、また接合板の *Prying action* (テコ作用) によって疲労強度がいくぶん低下することが判明している。筆者らはかかる現象をさらに究明し、引張接合の合理的な耐疲労設計のための基礎資料を得る目的で、以下に述べるような 2, 3 の実験を行ない、考察を加えた。また本研究より得た結論については、むすびにおいて要約した。

2. 高張力ボルト片振引張疲労試験

2.1. 試験の概要——高張力ボルトの片振引張疲労強度を調べるために、JIS F11TW 高張力ボルト 20 本について疲労試験を行なった。実験にさいしては、下限荷重を 0, 15^t の 2 種類にえらび、上限荷重を種々に変化させ両シリーズについてそれぞれ 10 本ずつのボルトを試験した。使用ボルトは神戸製鋼製 F11TW $\frac{3}{4}$ (ボルト長 140^{mm}, ϕ 19.1^{mm}) で、その機械的性質は表-1 に示す。また使用試験機は京都大学工学研究所に設置されている Losenhausen Fatigue Testing Machine: UHS 型 (動的容量 $\pm 20^t$) で、くりかえし速度は 800 ^{cycle}/_{min} である。

2.2. 試験結果および考察——疲労試験の結果は表-2 に要約し、また P-N 線を図-1 に示した。図-1 からわかるように下限荷重 $P_{min}=0$ の場合に比して、 $P_{min}=15.0^t$ の P-N 線の勾配が平坦になっている。このことは下限荷重が高くなると疲労強度は上昇するが、荷重振幅に対し敏感となることを示している。破断箇所については、疲労破断した 16 本のボルトのうち、 $P_{min}=0$ のシリーズで上限荷重が比較的高い 3 本のボルトが軸部とねじ部の境界 (図-2, 断面 4-A) で破断し、残り 13 本のボルトはナット端に近いねじ谷部 (断面 B-B) で破断した。しかし破断箇所が異なっても破断面の形状には明らかな差異は認められない。各シリーズについて、P-N 線より求めた 200 万回疲労限の値を表-3 に示す。

2.3. T-stub Connection の耐疲労性——図-3 に示すような T-stub Connection の静的実験についてはすでに報告したが²⁾、ここでは前節で述べた疲労試験の結果をもとにして T-stub Connection の耐疲労性について論ずる。表-4 は T-stub Connection の供試体 C-1, C-2 について静的試験の結果えられた、ボルト線離開時のボルト張力の値を示す。また図-4 は高張力ボルトの 200 万回疲労限に対する Goodman Diagram であるが、図中斜線を施した範囲ではボルトの疲労が生じない。供試体 C-1, C-2 について表-4 のボルト初張力 B_0 を図-4 の P_{min} に対たさせ、また離開時のボルト全張力 B を P_{max} に対応させて図中に記入したが、C-1, C-2 はともにほぼ斜線内にあるといえる。すなわち T-stub Connection では、初張力には無

関係に、理論上の離間荷重が 200 万回疲労限度荷重と考えられる。この離間荷重以下の荷重をくりかえし受けても、ボルトは疲労破壊を起さないといえる。換言すれば、*T-stub Connection* においては離間荷重（ボルト線上で接合板が離間を生ずるさいの荷重）が耐疲労設計の基準となるといえよう。

3. End Plate Connection をもつ桁の曲げ疲労試験

3.1. 試験の概要——実験供試体の詳細な形状寸法は図-3に示すとおりで、Type A と Type B の基本的な 2 形状について実験を行なった。使用鋼材はウェブとフランジに SM50A、end plate に SM50B を用いた。使用ボルトは大同製鋼製 F13TM22（降伏点強度 $110 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ 、引張強度 $130 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ ）である。ボルトの締付力としては摩擦接合の設計ボルト軸力に相当する 24.3^t を採用した。使用試験機は京都大学工学部土木工学教室に設置されている構造物試験装置（Losenhausen Testing Machine）で、接合部に曲げモーメントのみを作用させるため、動的容量 20^t の油圧ジャッキ 2 基により左右対称 2 点載荷とした。載荷荷重は表-5 に示すとおりである。なお、くりかえし速度は $200 \frac{\text{cycles}}{\text{min}}$ である。

3.2. 試験結果および考察——曲げ疲労試験の結果を Type A、B と同スパン、同断面の接合部のない溶接桁の疲労試験結果³⁾と比較して表-5 に示す。表-5 において明らかなように、引張型継手を有する供試体は、継手のない場合に比べて非常に低いくりかえし数でキレツが生じている。また破断箇所は end plate と下フランジの溶接部（L 型溶接）であり、破断面にはブローホールが認められた。かようにこの種の継手を有する桁は end plate とフランジ、ウェブの溶接線が 3 本交差するため、疲労に対して弱点となりやすい。一方、表-6 は Type A、B の供試体の静的試験の結果²⁾であるが、表-5、表-6 を比較すればわかるように曲げ疲労試験においては、離間荷重以上の荷重をくりかえし載荷したが、ボルトの下限荷重（ボルト初張力）が 24.3^t と高いこと、またボルトに生ずる付加張力が 1.0^t 以下で荷重振幅が非常に小さいことなどから疲労限が高くなり、ボルトにおいては疲労が生じなかった。

4. おわりに

高張力ボルト継手（引張接合）の疲労強度について得られた結論を要約する。

- (1) ボルトの片張り張疲労強度は、下限荷重が高くなれば上昇するが反面、荷重振幅は著しく減少する。
- (2) *T-stub Connection* では上限荷重を理論上の離間荷重以下におさえれば、ボルトに疲労破壊は生じないものと推察される。
- (3) *End Plate Connection* の曲げ疲労については、ボルトよりも end plate の溶接部分における疲労が問題になる。
- (4) したがって動的荷重を受ける構造物に対しては高張力ボルト引張接合は適用できない。おえて適用する場合には、*T-stub* を用いた集成継手にするのが望ましい。

5. 参考文献

- 1) C.W. Lewitt, E. Chasson and W.H. Munse: "Fatigue of Bolted Structural Connections", Proc. ASCE, Feb. 1963
- 2) 小西一郎, 山川純雄, 佐田陽也, 松井五郎: "Tension Type Joint における Prying Effect について", 土木学会講演要録 昭 41. 5 月
- 3) 小西一郎: "溶接 I ビームの疲労試験結果報告" 昭 39. 1 月

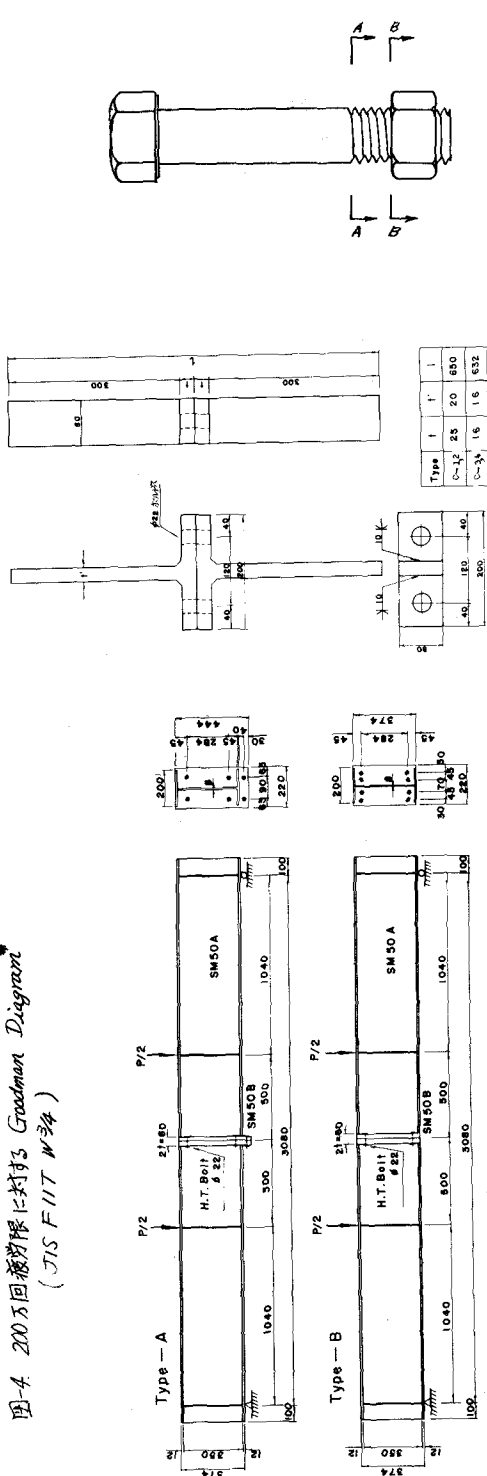
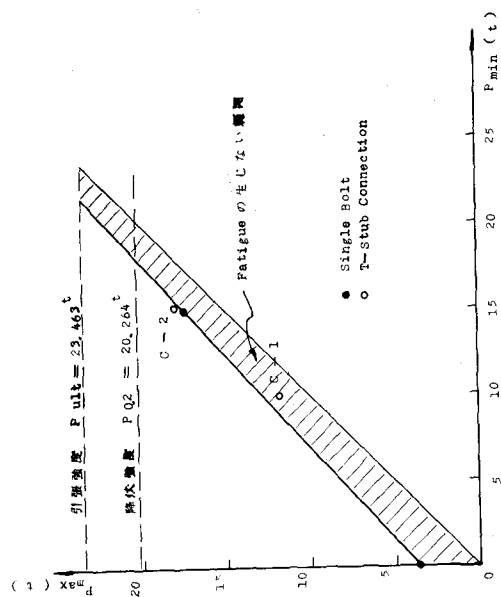
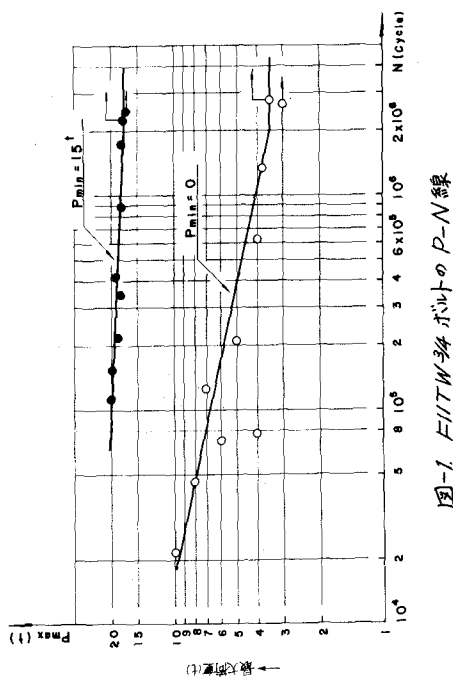


図-2 ボルト破断箇所

図-3 曲げ疲労試験ならびに T-stub 静的試験の試験試体

表-1. ボルトの機械的性質

ボルト	$\sigma_{0.2}$ (N/mm^2)	110.5
	σ_u ()	116.7
	伸び (%)	19.2
	絞り (%)	65.5
	硬度 (HRC)	36.0
	素材	SCM24
ナット	硬度 (HRC)	100.0
	素材	S45C
ワッシャー	硬度 (HRC)	44.1
	素材	S40C
トルク係数		0.137

表-3. 片張引張 200 万回疲労限度

シリーズ	下限荷重		200 万回疲労限度		荷重振幅	
	P_{min} (t)	σ_{min} (N/mm^2)	P_{200} (t)	σ_{200} (N/mm^2)	P_a (t)	σ_a (N/mm^2)
No. 1	0	0	3.5	16.4	3.5	16.4
No. 2	15.0	70.3	17.5	82.0	2.5	11.7

表-5. 離間荷重と付加張力

Type	A		B	
	実験値	理論値	実験値	理論値
離間荷重	—	30.3^t	—	19.4^t
付加張力	1.275^t	1.075^t	0.815^t	1.075^t

表-2. 高張力ボルト片張引張疲労試験結果

シリーズ	T_{max} (t)	T_{min} (t)	有効断面積 $A_e = 213.3 \sim 235.6 \text{ mm}^2$		N_{cycle} ($\times 10^4$)	破断箇所
			σ_{max} (N/mm^2)	σ_{min} (N/mm^2)		
No. 1	8.0	0.0	37.5	0.0	4.7	A
	7.0	"	32.8	"	12.4	A
	6.0	"	28.1	"	7.2	B
	5.0	"	23.4	"	21.0	B
	4.0	"	18.8	"	7.8	A
	3.0	"	14.1	"	265.7	破断せず
	3.5	"	16.4	"	280.2	破断せず
	4.0	"	18.8	"	61.7	B
	3.8	"	17.8	"	133.6	B
	10.0	"	48.9	"	2.2	B
No. 2	20.0	15.0	93.8	70.3	15.6	B
	19.0	"	89.1	"	42.4	B
	18.0	"	84.4	"	174.9	破断せず
	17.5	"	82.0	"	227.2	B
	18.5	"	86.7	"	21.9	B
	18.2	"	85.3	"	34.1	B
	18.0	"	84.4	"	35.1	破断せず
	17.0	"	79.7	"	246.4	B
	20.0	"	93.8	"	11.5	B
	17.8	"	83.4	"	89.9	B

(1) 破断箇所については図-2 参照

表-4. 曲げ疲労試験結果

供試体	荷重 (t)		荷重くり返し数	破断箇所
	上限	下限		
Type A	36.5	15.0	420,000	破断箇所 and plate と下フランジ との溶接部
Type A	40.0	15.0	175,030	同上
Type B	40.0	15.0	64,300	同上
溶接材	40.0	15.0	1,260,000	2点載荷点の offset の近くの下フランジ