

本州四国連絡橋公団 正員 阪本謙二
 埼玉大学 " 田島二郎
 建設機械化研究所 " 伊藤文夫
 石川島播磨重工業 飯野 暢

1. 目的

高力ボルト摩擦継手は、ボルト列数が増加するに従い、応力集中の影響により疲労強度が低下することが知られており¹⁾、本四公団でも、昭和57年の設計基準の改訂により、それを考慮した許容応力範囲を制定した²⁾。

多列高力ボルト摩擦接合については、これまでM30、18列までの継手の静的試験があるが、疲労に関する研究はほとんど実施されていない。そこで、防錆処理を施した多列高力ボルト摩擦継手の静的引張試験、疲労試験を実施し、その継手性能、疲労強度を明らかにし、設計基準の妥当性を検証することにした。

表 - 1 供試体の諸元

試験体番号	4 F	8 F	12 F	16 F
試験体形状 F 10 T, M 22 孔 径 25mm				
1 母材板厚 (mm)	16	32	32	64
2 添接板板厚 (mm)	8	16	16	32
3 板 幅 (mm)	118	118	160	118
4 母材総断面積 A_g (cm ²)	18.9	37.8	51.2	75.5
5 母材純断面積 A_n (cm ²)	14.9	29.8	43.2	59.5
6 A_g/A_n	0.788	0.788	0.844	0.788
7 母材許容力 $P_a = \sigma_{ta} \cdot A_n(t)$	38.7	77.4	112.3	154.8
8 母材規格降伏力 $P_y = \sigma_y \cdot A_n(t)$	68.4	136.9	198.7	273.8
9 母材規格破断力 $P_u = \sigma_B \cdot A_n(t)$	86.3	172.6	250.6	345.2
10 ボルト列数	M22×4	M22×8	M22×12	M22×16
11 ボルトせん断面積 (cm ²)	30.4	60.8	91.2	121.6
12 σ_n/r	2.04	2.04	2.11	2.04
13 設計締付力 $\Sigma No(t)$	81.9	163.8	245.8	327.7
14 許容すべり耐力 $P_{sa}(t)$	38.4	76.8	115.2	153.6

2. 供試体

供試体は表-1に示すように、4~16本のボルトを1行に並べたものである。鋼板はSM58B、素材引張試験の結果は表-2に示す通りである。防錆処理として施したジंकリッチペイントの塗膜厚は4Fの10体(720ヶ所)の測定結果、 $84 \pm 14 \mu m$ である。

3. 試験結果

疲労試験に先立ち、4Fにおいてすべり試験を実施した。また、疲労試験開始前および疲労試験中の任意の繰返し数毎に母材と添接板の相対変位量、ボルト軸力の変化量、添接板の応力等を測定した。さらに、疲労試験で破断しなかった供試体および母材破断した供試体について、疲労試験後にすべり試験を実施した。

3.1 疲労試験

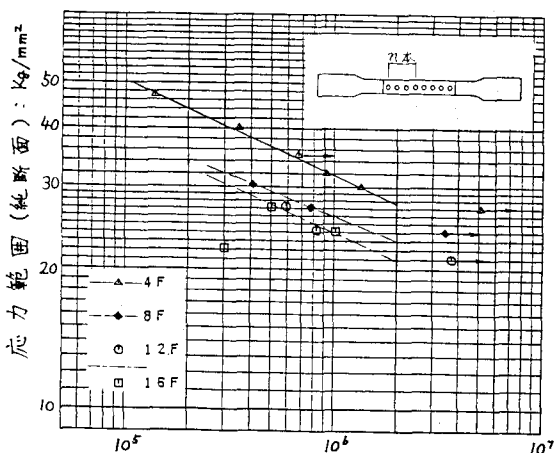
総断面での応力範囲で整理したS-N線図を図-1に示す。200万回時間強度は、4Fで 27.6 kg/mm^2 となり、これは防錆処理を施さない2列ボルトの値と同等である⁴⁾。これに比べ8Fは 4.5 kg/mm^2 低い値となったが、12F、16Fでは両者同程度の値となり、さらに 2 kg/mm^2 低下した。ただし、16F-3は非常に低い結果となった。

また、この結果を総断面での応力範囲で整理すると、疲労強度が特に低い16F-3においても本四設計基準のC等級を満足し、他はすべてA等級を満足している。また、16F-3を除き、設計寿命曲線の勾配($m=5$)と良好一致を示している。

表 - 2 供試鋼材の機械的性質

板厚(mm ²)	σ_y (kg/mm ²)	σ_u (kg/mm ²)	伸び(%)
8	60.4	66.4	30.0
16	59.6	67.8	34.4
32	61.9	69.0	45.6

図 - 1 S-N線図(純断面)

破断寿命: N_f

3.2 すべり試験

すべり試験結果を表-3に示す。摩擦面に防錆処理を施した疲労試験後の供試体においても、すべり係数は0.5以上を確保した。すべり荷重に対する供試体の応力は、純断面でほぼ破断強度に近い値を示している。

3.3 母材と添接板の相対変位量

図-2に示すように、静的載荷における母材と添接板の残留すべり量は、ボルト本数が増えるに従い増加する傾向がみられるが、12F、16Fでは顕著な差はみられない。残留すべり量は各供試体とも疲労試験中、漸次増加するが、100万回の繰返し載荷でも最大 $74\mu\text{m}$ (12F-1)程度であるため、実構造物では問題ないと思われる。

3.4 ボルト軸力変化量

ボルト軸力は本締め直後に急激に抜けていく傾向があるが、数日後には収束状態となり、試験開始前までに、3~5t(減少率13~15%)減少していた。静的載荷におけるボルト軸力減少量は除荷した状態で0.2~0.6tであり、ボルト本数が増えるに従い増加する傾向がみられるが、12F、16Fでは顕著な差はみられない。

図-3に疲労試験中の荷重0におけるボルト軸力の変化の1例を示す。繰返し載荷によりわずかながら軸力は減少し、1万回の載荷後では、0.7~1.4tほどの軸力の減少がみられる。

3.5 端ボルト孔縁の応力集中と疲労強度

疲労試験中における端ボルト孔縁の応力を平均応力(純断面)で除した応力集中率は4Fで 1.55 ± 0.08 、8Fで 1.49 ± 0.08 、12Fで 1.71 ± 0.18 および16Fでは2.39となった16F-3を除き、1.82であった。

この応力集中部の応力範囲で整理したS-N線図を図-4に示す。なお図中に里友付素材の疲労試験の1例を示す。この結果から孔縁の応力範囲で整理すると継手の疲労強度は素材の疲労強度に近いことが認められる。

4. 結言

以上の実験結果より多列高力ボルト摩擦継手の応力、疲労強度等についてその性状を示すことができる。また、本設計基準は安全側であることが確認された。

表-3 すべり試験結果

供試体 記号	すべり荷重 (t)	すべり係数 (μ)	すべり応力 (純断面) kg/mm^2	備 考	基準とした ボルト軸力
4F-1 -2 -3	90.6 90.2 90.8	0.51 0.53 0.52	60.9 60.6 61.0	静的試験	実測初期 ボルト軸力
-9 -10	90.0 89.9	0.51 0.51	60.5 60.4		
8F-1 -2 -3	200.0 198.0 191.0	0.55 0.55 0.53	67.2 66.5 64.2	疲労 試験後	標準ボルト 軸力 (22.6t)
12F-1 16F-1	284.0 364.0	0.52 0.50	65.7 61.2		

図-2 初回の載荷による残留すべり(無負荷時)

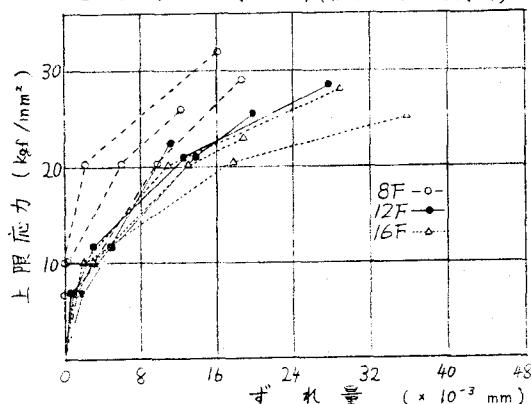


図-3 ボルト軸力の変化(0 ton時)

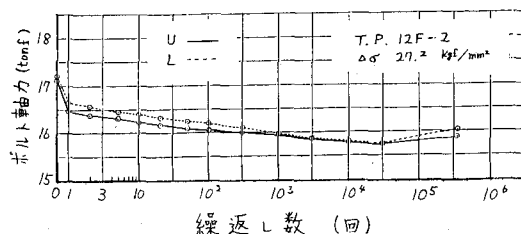
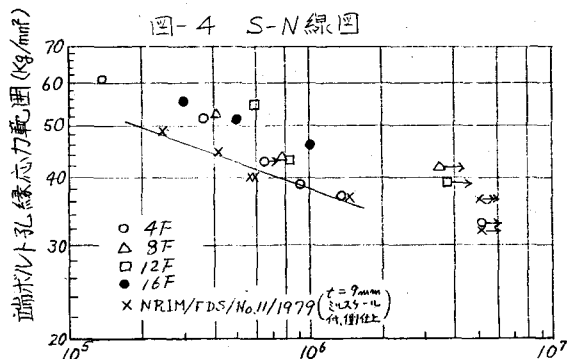


図-4 S-N線図



文献 1) 土木学会；国鉄建造物設計標準解説(鋼鉄道橋), P78 破断寿命: N_f

2) 土木学会；本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書, 昭和57年度

3) 田島他；太径多列高力ボルト摩擦継手の静的引張試験, 土木学会年講概要集, 昭和58年

4) 田島；鉄道技術研究報告 No. 283, 1962年4月