

引張りボルト継手に対するくり返し荷重による緩み

国鉄 構造物設計事務所 正員 田島 二郎

" " " " 〇阿部 英彦

" 技術研究所物理試験研究室 江口 保平

1. 概要 高力ボルトに軸方向引張力を与える様な継手型式において、断面の経過と共に、又、比較的高い荷重やくり返し荷重によって初期締めつけ力が減少する現象が見られる。この初期締めつけ力の緩みが著しい場合には、継手の剛度の低下や、くり返し荷重を受ける継手では疲労強度の低下するおそれがある。

著者等はこれに関連して2種類の実験を行なった。すなわち、試験Aは引張ボルト接合部の接触面間の接着材の有無、ボルトの長さ、初期張力などを変化させて、比較的高い外力を数回与えて、ボルト締めつけ力の低下を調べた。試験Bは長ボルトと短ボルトの継手に対して同じく初期張力と外力との関係を種々に変えて、荷重のくり返し数を約1万回とし、少数くり返し荷重の影響を調べた。

2. 試験体 試験A、Bとも同様の治具を用いた。ただし試験Aではボルトの長さを4種類、(締つけ長さ 44, 188, 288 および 488 mm)とし、試験Bでは2種類(締つけ長さ 44, および 288 mm)とした。図-1に試験体を示す。表-1は治具(接触する板)およびボルトの機械的性質を示す。試験Aに用いた接着剤はエポキシ系で、2液性のものをそのまま用いたものと、そ

表-1 試験体の材料の機械的性質

部 材		降伏点(kg/mm ²)	引張強度(kg/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	備 考
治具のプレート		26.3	45.6	24.7		厚さ 22mm
ボ ル ト	試験 A	106	117	18.6	54.3	長ボルト 短ボルト
		112	120	18.4	55.6	
	試験 B	142	156	14.4	54.3	
		114	126	22.3	44.2	

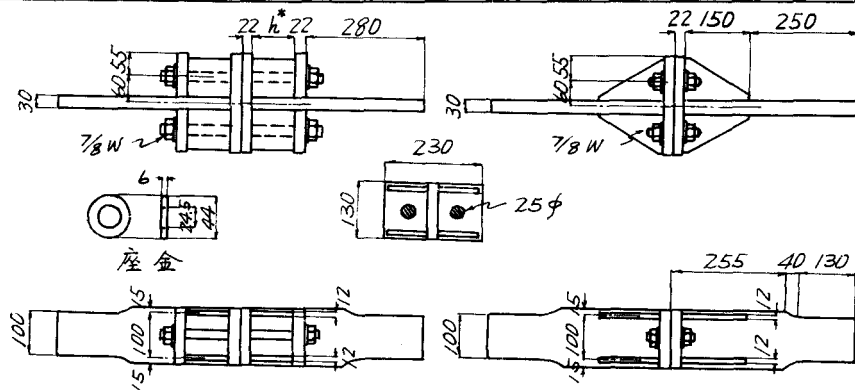


図-1
試験体
(注*
h = 50,
100 および
200 の 3
種類ある)

れは砂を混ぜたモルタルとあるが、せん断試験の結果、バラツキが小さく、 $20 \sim 60 \text{ kg/cm}^2$ 程度で前者の平均は 35 kg/cm^2 、後者の平均は 56 kg/cm^2 であった。試験Bにおいては接触面に何もはさまなかった。

3. 試験方法

試験A 試験機はアムスラー式100トンの万能試験機で荷重の変化には次の様にした。すなわち
 $(\text{外力} / \text{2本のボルトの初期締め付け力の合計}) = 0.8 \rightarrow 0.1 \rightarrow 1.0 \rightarrow 1.1 \sim 1.4 \rightarrow 0$ でその都度、計測を行なった。計測は各ボルトの軸部に対称に4枚貼った電気抵抗線歪ゲージによりボルト軸力、又、ダイヤルゲージおよびフランク特ゲージにより接合部端板同士の開きについて行なった。

試験B 試験機はローゼンハウゼン製H S S型疲労試験機150/100tで、最大荷重2トン、くり返し数は毎分400回、1, 2, 5, 10, 100, 1,000, 10,000の各回数の後はボルトの歪を測定した。ボルト強力の計測は短ボルトに対しては軸の中央辺りに、又、長ボルトに対しては軸の1/4中央辺りに対称に2枚づつ電気抵抗線歪ゲージを貼り、ボルトの曲げの影響を除くことのできるように行なった。短ボルトについては治具の接触面を細い溝を作り、リード線を出した。

4. 試験結果

試験A 表-2の結果をとりまとめる。表中Tは荷重、 P_0 はボルト1本あたりの初期張力である。

表-2 試験Aのボルト初張力の変化率

試験片記号	接合面処理	ボルト初張力 1本当り(t)	ボルト初張力の变化率(%) (ボルト2本の初)					
			$T/2P_0 = 0.8$	$= 0.1$	$= 1.0$	$= \text{最大}$	$= 0$	
A-1 締め付け長 88mm	そのまゝ	10	+5	-2	+11	+27 (1.25)	-15	
	そのまゝ	20	+4	-5	+8	+19 (1.20)	-26	
	エポキシ	10	0	-1	+18	+26 (1.15)	-7	
	エポキシモルタル	10	0	0	0	+37 (1.40)	-4	
A-2 締め付け長 188mm	そのまゝ	10	+4	-1	+7	+24 (1.25)	-7	
	そのまゝ	20	+3	-1	+7	+24 (1.20)	-13	
	エポキシ	10	+5	0	+8	+34 (1.25)	-5	
A-3 締め付け長 288mm	そのまゝ	10	+5	0	+8	+18 (1.15)	-2	
	そのまゝ	20	+3	-1	+6	+13 (1.10)	-5	
	エポキシ	10	+4	0	+5	+34 (1.30)	-1	
A-4 締め付け長 488mm	そのまゝ	10	+6	0	+2	+21 (1.20)	-3	
	そのまゝ	20	+4	-1	+8	+18 (1.15)	-5	
	エポキシ	10	+6	0	+7	+19 (1.15)	-2	

ボルト初張力の80%の外力をうけた時の付加張力の率は大体、数%であるが、短ボルト(A-1)では接合部の効果があり0となつてゐる。(しかし長ボルトでは接合部の効果が現れてゐない。外力が初張力に達した時、短ボルト・エポキシのものを除いて付加張力の率は1%以下であつた。

初張力を10~25%上まわつた外力を与えた後のスルミの率は(1)ボルトの短いものの方が著しい。(2)初張力の高いものの方が著しい。 $T/2P_0 = 1.0$ まではこの様な傾向は見られない。(3)接合部をばさんだものにはいくらその効果も認められる。

図-2はスルミが顕著に現れたA-1の(ボルト軸力/初張力)と(外力/初張力)と関係を図示したものであるが、理論線は治具が非常に大きい剛度をもち、かつ接合面は完全に合つてゐると仮定した

ものである。エポキシモルタルをはさんだものは接着効果のため載荷途中の性状が他と異なることがわかる。エポキシをはさんだものは偶々早く接着面がはがれてしまふ特徴のある性状を示していない。

試験 B 荷重のくり返し回数とエルミの率との関係を図-3に示す。試験体2つつ同条件で試験を行なったが図の右側の数字は左が初期張力を右が荷重を示す。図-4は荷重1回後のエルミと1万回後のエルミとを比較

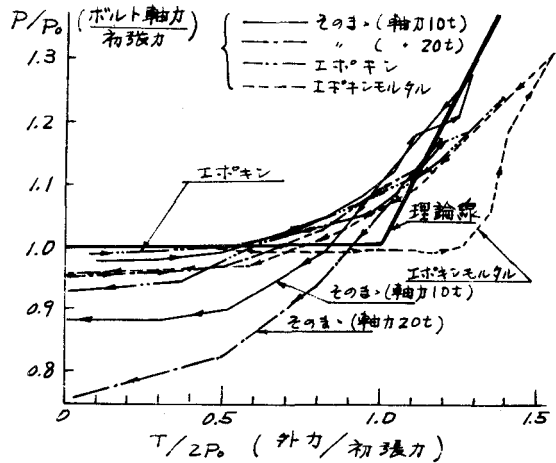


図-2 締めつけ長 88mm のボルトの軸力変化

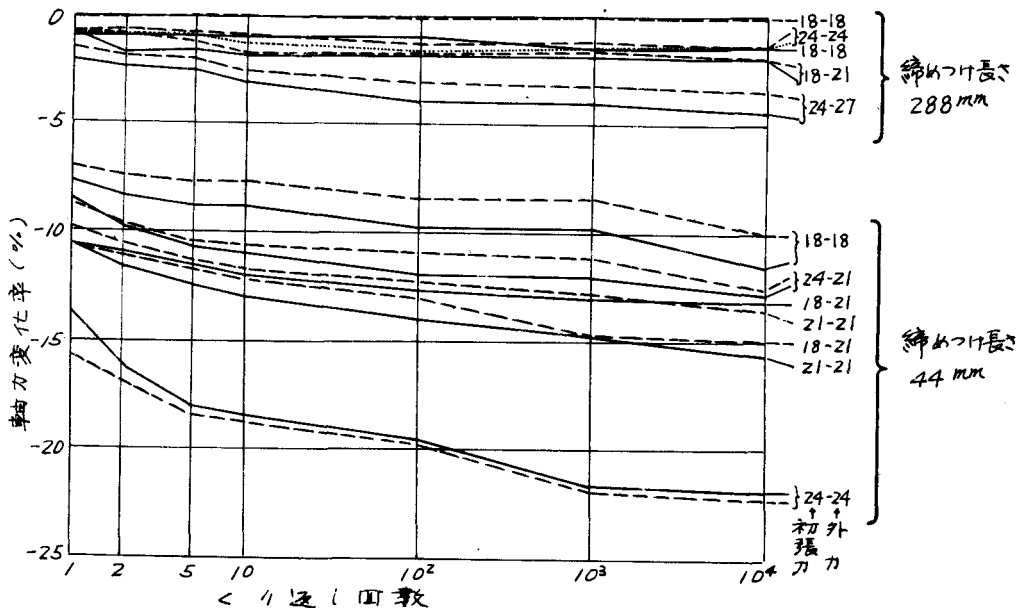
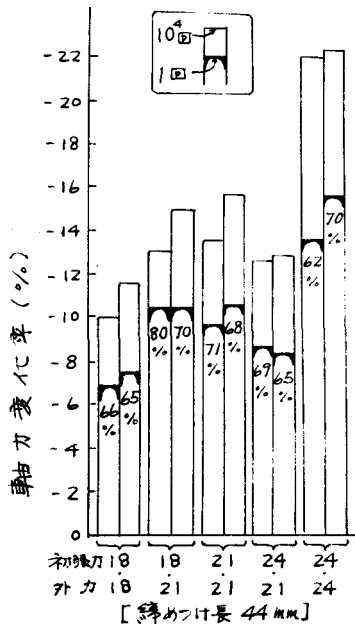
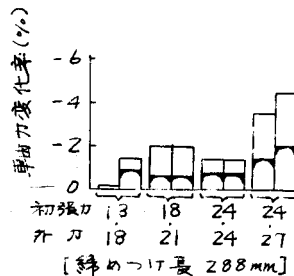


図-3 くり返し回数と軸力変化率との関係 (そのI)

したものである。又、図-5はエルミが最も顕著であった短ボルトで初張力、最高荷重ともに24tの物の試験を例にとってボルトの径と荷重の大きさ、くり返し数との関係を示したものである。以上の諸図から次の様な傾向を見る事ができる。(1) 条件の等しい2個の試験体の結果の差は一般に小さい。(2) 長ボルトと短ボルトではエルミの程度が相当異なる。すなわち、短ボルトのエルミの方が顕著である。(3) 短ボルトの場合、多数くり返し後のエルミの60~70%は第1回目の荷重で起る。(4) 長ボルトの場合、上記の値は50%以下である。(5) いづれの場合も、くり返し数の増加と共に



徐々にではあるが、エルミは進行し、1万回程度でも未だ一定値になることは認められない。(6) 短ボルトにおいて外力が21kgの場合、初張力が18kgから24kgまで変えても軸力の変化する割合が変らず、むしろ小さくなる傾向を認められる。(7) 長ボルト、短ボルトとも、初張力の一定の場合には外力の大きい方が軸力変化する割合が大きくなっている。(8) 長ボルトでは荷重の相対的な範囲でボルトの歪は直線性を示すが、短ボルトでは最初から曲線を示す傾向がある。(図-5参照)



5. 考察

エルミの原因としては、
 ①部材接触面のなじみ、②ボルト孔のハタリ、③ナットとネジ山とのなじみ、④くり返し荷重の場合には摩滅、⑤応力の高い場合にはネジ部および軸部の降伏、⑥材肉の経過と共に部材の圧縮、ボルトの引張りやリラクセーションがおこることなどが考えられる。観察や測定によりこれらの原因のうちいづれによるものか判明する場合もあるが、これらが普遍、複雑に影響し合っているものと思われる。

図-4 くり返し回數と軸力変化率との関係 (そのⅡ)

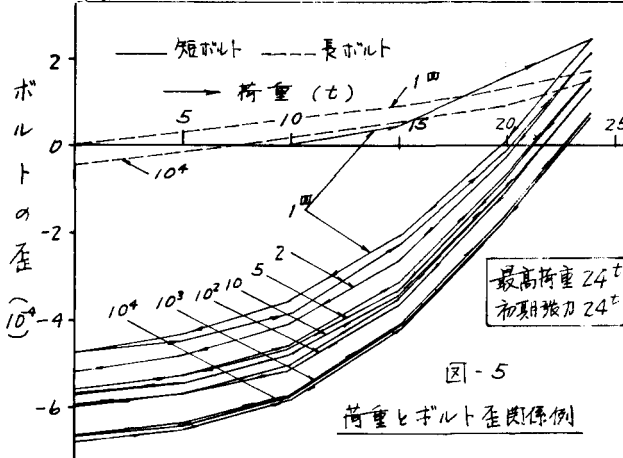


図-5

荷重とボルト歪関係例

エルミを少なくするためには、部材同士のなじみとボルトとのなじみをよくすることなどが有効であるが、短ボルト

に較べて長ボルトが明らかに有利である。それも余り長くする必要はない。ネジ部や軸部が降伏するような高い荷重をうければ必ず相対的なエルミが生ずるので、設計の際、よく考慮すべきである。ボルトによって圧縮される部材が非常に剛であれば、荷重がボルトの初期張力に達してはじめて、ボルトの張力は増し始めるわけであるが、実際にはボルトと部材の剛比によって、ある程度のボルト張力の増加は最初のうに起る。しかし測定するとこれによる上は張力が増す様で、これもエルミに関係すると思われる。くり返し荷重に対しては本実験の場合、摩滅のあととは認められなかった。一応1万回のくり返しの場合、エルミはほぼ一定値になると予想したが、この実験によれば更に減少する傾向にある。特にくり返し荷重の場合、エルミの量、ボルト軸力の変動量からみて長ボルト型式がよいと思う。