

名古屋大学工学部 正員 菊池 洋一  
 阪神高速道路公団 “ 河井 章好  
 “ “ 中林 正司

## 1. ま え が き

近年あらゆる分野において、構造物の大型化の傾向は著るしく、橋梁においても長大橋の建設が各地で進められている。使用鋼材においても、 $80\text{kg}/\text{mm}^2$ 級の高張力鋼が一般的になりつつあり、その現場接合法も従来のリベット接合法にかわり、高力ボルトを用いた接合法が大半を占める様になって来ている。しかしながら高張力鋼を用いた大型継手を高力ボルトによってマサツ接合した場合の継手性状は未だに充分解明されてきているとは言えない。阪神高速道路公団が現在建設中である南港連絡橋では、HT70、HT80の高張力鋼が大量に使われ、現場接合には高力ボルトマサツ接合法を採用しており、その継手が多行多列にボルト配置された大型継手であり、又M24、M30といった太径のボルトを使用する事から、早急にこの継手性状を明らかにする必要があるわけである。本実験は、 $80\text{kg}/\text{mm}^2$ 級の高張力鋼を用いた大型継手を多列の太径高力ボルトでマサツ接合した場合の継手特性及び、列数の変化に伴う継手性状を把握しようとするものである。

## 2. 実 験 内 容

HT80鋼材による大型継手を製作し、南港連絡橋に予定されている高力ボルトF11T×M24、F11T×M30の2種のボルトでマサツ接合し、静的引張試験により以下の性状を検討する。

- (1) 継手長さのすべり係数に及ぼす影響について。
- (2) 表面粗さのすべり係数に及ぼす影響について。
- (3) 締め付け順序によるボルト軸力の変化について。

実験は、(I)F11T×M24×200のボルトによる実験、  
 (II)F11T×M30×210のボルトによる実験、に分けた。  
 (I)、(II)とも継手主板にはHT80板厚70mm鋼材、亜接板にはHT70板厚40mm鋼材を用い、ボルト列数は単ボルト( $n=3$ )と荷重方向に8列、12列、16列、20列に並べた

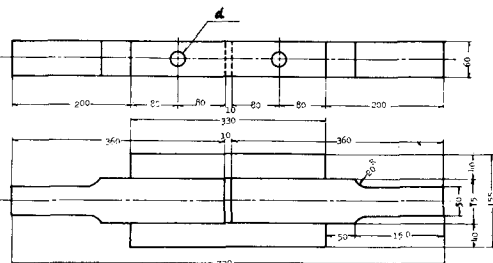


図-I 単ボルト供試体

継手( $n-1$ )の5種類である。各供試体の形状、寸法、及び諸元は、図I、図II、表Iに示してある。

ボルトの締め付けは標準ボルト軸力(表2参照)を目標に行ない、締め付け方法は、トルク値によるものと、ボルト軸部に貼付したwire strain gaugeの歪量によるものとの2方法を用いた。20列継手につ

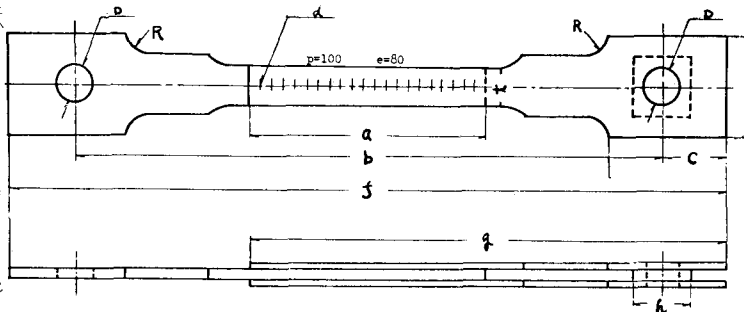


図-II 多列ボルト供試体

いては、締め付け順序(図Ⅲ参照)によるボルト軸力も測定しかつクリープ現象を捉えるために時間経過による軸力の変化も測定した。添接板のピッチ間の伸び、及び主板と添接板のズレ量を載荷重ごとにダイヤルゲージで測定した。測定位置は図Ⅲ中の△印で示してある。又母枝の応力分布状態及び、鋼板の降伏を調査する目的で母枝の表面にwire strain gaugeを貼付してひずみを測定した。すべり荷重は、枝片間のマサツ抵抗が限度に達して、急にすべり始め、相当の音響を発生してすべりを終了する事で確認し、破断荷重はボルトの破断をもって確認した。

供試体番号 諸元	I-1~3	I-4	I-5	I-6	I-7	Ⅱ-1~3	Ⅱ-4	Ⅱ-5	Ⅱ-6	Ⅱ-7
ボルト数	1	8	12	16	20	1	8	12	16	20
鋼板材料	HT.80 母枝 $\phi$ 75 <sup>mm</sup>					添接板 $\phi$ 40 <sup>mm</sup>				
ピッチP(mm)	100									
孔径(mm)	26					32				
P/d	3.8					3.1				
R(mm)	200					300				
板中t(mm)	60	100	160	200	230	80	220	320	410	510
公称断面積 Ag (mm <sup>2</sup> )	4 500	12.000	12.000	15.000	17.230	6.000	16.500	24.000	30.750	38.250
公称断面積 Au (mm <sup>2</sup> )	2.500	10.010	10.010	13.050	15.300	3.600	14.100	21.600	28.350	35.850
ボルト断面積 As (mm <sup>2</sup> )	905	7.230	10.850	14.470	18.100	1.413	11.304	16.956	22.608	28.260
A <sub>u</sub> /A <sub>g</sub>	0.567	0.835	0.835	0.870	0.887	0.600	0.855	0.900	0.922	0.937
A <sub>u</sub> /A <sub>s</sub>	2.82	1.32	0.92	0.90	0.845	2.54	1.25	1.27	1.25	1.27
d		860	1260	1660	2060		860	1260	1660	2060
b		4200	4200	5100	5100		5100	5100	5100	5100
c		400	500	520	580		450	500	600	650
f		5000	5200	6140	6260		5900	6100	6300	6400

表-1 供試体継手諸元

### 3. 実験結果と考察

引張試験結果を表2に示す。供試体I-6、Ⅱ-1~3、Ⅱ-6、Ⅱ-7に異常に低いすべり係数が出たが、実験終了後、マサツ面を調べたところ試験体表面にグラインダー掛けした跡が発見されたので、再ショットの後、すべり係数のみに着目した再試験を行った。その結果を表2の( )で示す。Ⅱ-7での締め付け順序-ボルト軸力の関係を表3に示す。

道路橋示方書によると、マサツ接合による高力ボルト1本当たりの耐力Pは、 $P = \tau_a \times A$ で与えられる。ここで、 $\tau_a$ はボルト耐力により異なるもので、その値は表4に示してある。Aはボルト呼び径に対する断面積である。上式はすべり係数が0.4以上確保出来るという前提のもとに導かれているものであり、今回の実験においても南港連絡橋の高力ボルト接合の設計に上式を適用する事から、このすべり係数の確認が主な目的の一つであった。すべり係数に影響を及ぼす要素として、枝片接触面の状態、接触枝片の種類、継手長さ、ボルト配置パターン等が考えられ、こういった要素が複雑に組み合わさって、ある継手のすべり係数が決定される。継手の設計にあたっては、これらの条件をすべてすべり係

	すべり荷重 (F)	すべり係数	破断荷重 (F)	平均ボルト 剪断耐力 (kg/cm <sup>2</sup> )		すべり荷重 (F)	すべり係数	破断荷重 (F)	平均ボルト 剪断耐力 (kg/cm <sup>2</sup> )	表面粗さ
I-1	24.8	0.45	62.4	69.0	II-1	32.0 (38.0)	0.36 (0.43)	101.5	71.9	5~40 (90~150)
I-2	29.1	0.53	62.2	69.0	II-2	34.0 (61.6)	0.38 (0.70)	99.5	70.4	5~40 (100~150)
I-3	29.9	0.54	63.1	69.8	II-3	23.0 (43.1)	0.26 (0.49)	101.0	71.5	5~40 (80~180)
I-4	178.8	0.41	516.0	71.3	II-4	381.0	0.54	81.5	72.1	40~45
I-5	300.0	0.45	754.0	69.5	II-5	497.5	0.47	1220	72.0	40~50
I-6	296.0	0.34	1023.0	70.7	II-6	530.0 (597.0)	0.38 (0.42)	1604	70.9	10~40 (90~95)
I-7	518.0	0.47	1229.0	68.0	II-7	595.0 (902.5)	0.34 (0.51)	2.008	70.8	40 (60~75)

表-2 引張試験結果

数に含ませているため、すべり係数を決定する事は非常に困難かつ慎重を要するものであり、選定如何によっては、マサツ接合が支圧接合に比して信頼性の低いものになったりする。本実験の結果は、表2に示したとおりであるが、(I)、(II)ともすべり係数のバラツキは大きく、全般的に低い値を示した。ここでは、これらの原因を追求するため、前述の項目について検討する。

△継手長さのすべり係数への影響について、ボルト列数とすべり係数との関係を図示したのが図IVであるが、この図からは、列数とすべり係数の関係は促える事は出来ない。継手長さのみに注目して過去の実験データを見てみても、ボルト列数の増加がすべり係数を下げるとの結論は出されてはならず、本実験に現われた低いすべり係数も継手長さが原因とは考えられない。ここでの供試体は、(I)についての $A_u/A_s$ を1.39~0.84まで変化させてあるが、(II)については1.25~1.27ではば一定である。(I)についての $A_u/A_s$ の変化は、長いボルト継手に特徴的なunbolting現象を促えようとしたものであるが、今回の実験では、その現象を明確に促える事は出来なかった。

図-III ズレ量測定位置及び締付け順序(↑印測定位置)

ボルト列数		ボルト番号 (ボルト軸力)																			
ボルト	位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					

表-3 締付け順序-ボルト軸力

△表面粗さのすべり係数への影響について

すべり係数は枝片接触面の粗さ、硬さ、母材の種類等により異なる事は明らかである。(I)、(II)とも、異常に低いすべり係数が出た供試体があり、これらの供試体には、顕著なグラインダー掛けした後があった事は前述した。その表面粗さを測定してみると、部分的には5.4~10.4の低い値を示し、この部分が締め付け軸力の影響圏に分布している事が重なって、すべり係数を異常に低く、また、バラツ

等級	呼び	断面積 A (cm <sup>2</sup> )	許容引張力 Ca (kg/cm <sup>2</sup> )	1マサツ面当りの 耐力P (kg)	設計ボルト軸力 NO. (ton)	締め付けボルト 軸力N (ton)
FIOT	M22	3.801	1.250	4.752	20.5	22.5
	M22	3.801	1.300	4.942	21.6	23.8
FIIT	M24	4.524	1.300	5.881	25.1	27.6
	M30	7.009	1.300	9.189	39.9	43.9

表-4 高力ボルト1マサツ面当りの耐力及び軸力

キを大きくしたものとと思われる。再試験の結果をみると、サンドorショットブラストを十分に施し、表面粗さを大にした時のすべり係数の上昇が、確認出来る。

△締め付け順序によるボルト軸力の変化について、

ボルトの締め付けは、まず目標ボルト軸力(設計ボルト軸力×1.1)の80%まで締めつけ、さらに目標ボルト軸力まで締めつける2段締めを行った。締め付け中を通じ、各ボルト軸力はほとんど一定(表を参照)で、本実験で用いた締め付け順序で施工するならば、バラツキの少ない均一なボルト張力が得られるであろう。ボルト締め付け後の時間経過による軸力の変化は

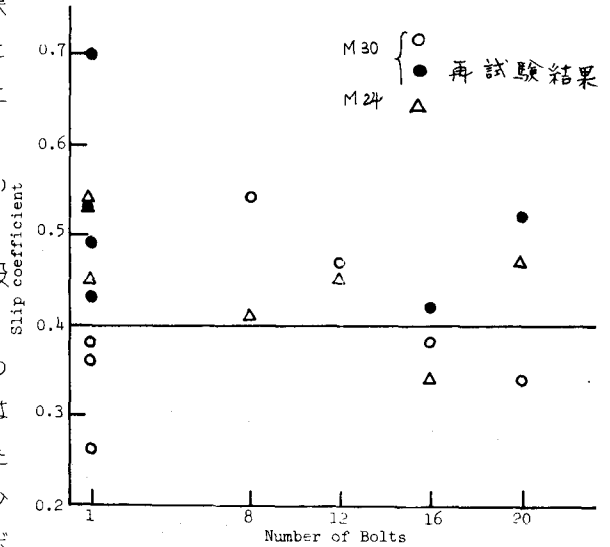


図-IV ボルト列数とすべり係数

Ⅱ-アで測定した。締め付け完了時の $t=0$ の時の平均ボルト軸力は27.65トンであったが $t=22$ 日後には26.75トンと約3%の減少を示した。これはボルトのクリープ現象によるものであると思われるが、これまでの研究では、クリープによる軸力の減少は、最大で数パーセントまでとされている事から、さらに時間が経過しても軸力に対する影響は極微と考えるべきであろう。荷重載荷後の軸力の変化は最大で40%に達したが、バラツキが大きいため、荷重増加に対しての一定の傾向は促える事が出来なかった。

#### 4. 結論

本実験で得られた結論を次に示す。

- (1) すべり係数は、はなはだ不安定で、表面状態によって、大きな影響を受ける。したがって、施工にあたっては、次の事項に注意を要する。
  - i) 黒皮は、ショットブラスト等により除去すること。
  - ii) 部材製作上、溶接変形、表面状況、肌すき等により、グラインダー掛け、サンダー掛け、または切削加工を行なう場合があると思われるので、部材製作完了後、接合仮組後、肌すき検査後などに、再度ショットブラスト、あるいはサンドブラストを施す必要がある。
- (2) 高張力鋼で、しかも、 $A_u/A_s$ が比較的高い場合の継手では、Unbolting現象を考慮する必要はないと思われる。それは、 $A_u/A_s$ の低い、balanced design された継手においては、考慮すべきであろう。