

阪神高速道路公団 正員 笹戸松二
 名古屋大学工学部 ≷ 菊池洋一
 ≷ ≷ 〇川上 悟
 ≷ ≷ 内藤又詩

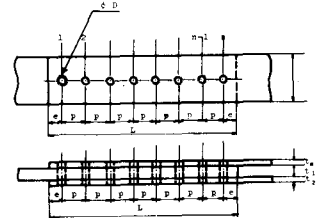
1. まえがき

本論文は高力ボルト工型継手の弾塑性挙動と耐力に関するものである。特に、本研究は unbuttoning を明らかにすることとを目的としている。Unbuttoning とは、列方向に多数のボルトを有する継手において、列方向のボルトのせん断荷重分配が不均一な状態のまま端ボルトが早期の破断に至る現象である。ここでは、まず高力ボルト工型継手の実験概要を示され、その後電子計算機による解析値と実験値の比較が行われる。なお、解析値は J.W. Fisher の方法¹⁾によって求めたものである。

2. 実験概要

主板、蓋板の板材としては HT80 (板厚 7.5 mm と 4.0 mm)、ボルトは F11T (M24 と M30) が使用された。試験体の幾何形状は Table-1 に示される。A, B, C, D 継手は M24 ボルト継手であり、E, F, G, H 継手は M30 ボルト継手である。継手の断面定数は Table-2 に、板とボルトの機械的性質が Table-3 に示される。Table-2 から分かるように、 A_m/A_s 比は通常の摩擦型継手とは異なり、Unbuttoning が促され易いように設計された。実験は、M24 ボルト継手については広島大学工学部入型強度試験室の 150t 引張試験機により行われ、また M30 ボルト継手については神戸製鋼所、構造研究所の 300t 引張試験機により行われる。多列ボルト継手の実験とともに M24, M30 ボルトそれぞれ 3 コの引張型単ボルトせん断試験が行われる。そのさいせん断ジグの板材には、多列ボルト継手の板材と同一のものを使用し、充分の剛性を与えた。

Table-1 DIMENSIONS OF TEST JOINTS



	D	L	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
A	8	860	160	75.0	40	100	26.2	80		
B	16	1260	160	75.0	40	100	26.1	80		
C	16	1660	200	75.0	50	100	26.3	80		
D	20	2060	230	75.0	40	100	26.2	80		
E	8	860	720	75.0	40	100	32.0	80		
F	12	1260	320	75.0	40	100	32.0	80		
G	16	1660	410	75.0	40	100	32.0	80		
H	20	2060	510	75.0	40	100	32.0	80		

Table-2 CROSS SECTIONAL PROPERTIES

Joint	A	B	C	D	E	F	G	H
A_g (cm ²)	120.0	120.0	150.4	172.5	169.0	240.0	307.5	382.5
A_s (cm ²)	128.0	128.0	165.0	184.0	176.0	256.0	328.0	408.0
A_m (cm ²)	100.4	100.4	130.7	152.0	143.0	216.0	283.5	358.5
A_p (cm ²)	107.0	107.0	143.4	172.5	150.1	230.4	302.4	382.4
I_g (cm ⁴)	72.37	100.6	144.7	180.9	183.0	169.6	226.1	282.6
A_m/A_s	1.287	0.925	0.933	0.840	1.248	1.214	1.224	1.269

Table-3 MECHANICAL PROPERTIES OF PLATE AND BOLT

1) PLATE (FOR M 24)				2) BOLT (M 24)			
Item	Material	Stress at 0.2% Strain (kg/cm ²)	Tensile Strength (kg/cm ²)	Item	Tensile Strength of JIS (kg/cm ²)	Product (10 ⁴ kg/cm ²)	Product
Ultimate	HT 80	77.6	84.5	Bolt	119.0	61.30	117.8
Yield Point	HT 80	76.0	83.1	PLT M 24	119.0	61.30	117.8
				Ultimate	Tensile	Ultimate	Shearing
				Strength	Strength	Strength	Strength
				(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)

1) PLATE (FOR M 30)				2) BOLT (M 30)			
Item	Material	Stress at 0.2% Strain (kg/cm ²)	Tensile Strength (kg/cm ²)	Item	Tensile Strength of JIS (kg/cm ²)	Product (10 ⁴ kg/cm ²)	Product
Ultimate	HT 80	77.6	84.6	Bolt	116.5	65.8	117.4
Yield Point	HT 80	76.0	83.2	PLT M 30	116.5	65.8	117.4
				Ultimate	Tensile	Ultimate	Shearing
				Strength	Strength	Strength	Strength
				(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)

3. ボルト継手の解析法

ボルト継手の解析法の概略は次のようである。まず解析法は次の 2 項目の仮定を有している。

- a) すべり後、すべりの作用荷重はボルトのせん断と変位によって与えられる。
- b) 解析が適用される領域はすべり荷重と極限荷重の間であり、その領域においては摩擦力を無視できる。

主板から添板にi番目のボルトが伝える荷重を R_i とすると適合条件式は次のようである。

$$f(R_i) + \Psi \left(\sum_{k=1}^i R_k \right) = f(R_{i+1}) + \Phi \left(P_0 - \sum_{k=1}^i R_k \right) \quad (1)$$

(1)式において P_0 は作用荷重、 $f(R_i)$ と $f(R_{i+1})$ はi番目とi+1番目のボルトの変形量を示す関数、 $\Psi \left(\sum_{k=1}^i R_k \right)$ と $\Phi \left(P_0 - \sum_{k=1}^i R_k \right)$ はそれぞれi番目とi+1番目のボルト間の添板と主板のピッチ伸びを示す関数である。つりあい条件式は次のようである。

$$P_0 - \sum_{k=1}^M R_k = 0 \quad (2)$$

f 、 Ψ 、 Φ の関数はJ.W. Fisherによつて求めらるゝとあり、(1)、(2)式は解くことができる。

4. 実験値と解析値の比較

Table-4に実験値と解析値を示す。

Fig-1は荷重と継手全長についての伸びの関係を示すものである。Fig-2は荷重と1,2ボルトの変形量の関係を示す。

Fig-3は1,2,3,4のピッチ間の伸びの状況を示す。これらの図は関数 f 、 Ψ 、 Φ をさらに検討を要するものであることを示している。Fig-4の上図は、解析値による各ボルトのせん断荷重分配状況を示すものである。荷重の増加とともにせん断荷重の分配が均一化してくることを示している。下図は解析値による主板各ピッチの伝える荷重状況を示している。

Table-4のD継手の実験値と解析値からHT80鋼、F11TM24ボルト継手については、厚板Unbuttoningによるボルト継手の極限耐荷力の減少は否のことである。

なお、本実験は阪神高速道路公団から名古屋工科大学工学部への依頼研究費によるものである。

Table-4 TEST RESULTS AND COMPUTED VALUES

Type	PITCH							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Clamping Force(kn)	270.8	331.2	441.6	552.0	662.4	772.8	883.2	993.6
Slip Load(kn)	178.8	306.0	396.0	518.0	631.0	741.5	850.0	955.0
Slip Coefficient	0.41	0.45	0.38	0.47	0.51	0.41	0.38	0.38
Ultimate Load(kn)	516.0	775.0	1023.0	1299.8	1650.0	2000.0	2400.0	2800.0
Bolt Shear Str.(%)	76.9	71.4	70.7	72.9	72.1	72.0	70.9	70.8
Plate Strain(Net Area)(%)	51.3	77.1	108.0	151.4	211.8	286.5	366.0	450.0
Unbuttoning Ratio	1.01	2.03	2.02	2.04	2.03	2.03	2.05	2.05
Ultimate Load(kn)	499.0	746.3	993.3	1293.3	1650.6	2007.0	2409.5	2807.9
Clamping Force(kn)	516.0	492.6	492.6	492.6	492.6	492.6	492.6	492.6
Ultimate Load(kn)	509.7	509.7	509.7	509.7	509.7	509.7	509.7	509.7
Unbuttoning Ratio	0.997	0.998	0.999	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000
Plate Strain(Net Area)(%)	0.998	0.996	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
Ultimate Total Elongation (mm)	5.34	7.19	8.53	10.44	12.97	16.52	20.07	23.62
Ultimate Bolt Elongation (mm)	5.88	7.82	10.35	12.88	15.41	18.94	22.47	26.00

PLATE FAILURE

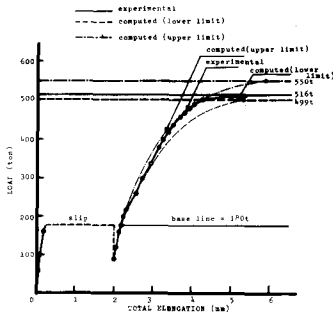


Fig-1 LOAD VS. TOTAL ELONGATION (JOINT A)

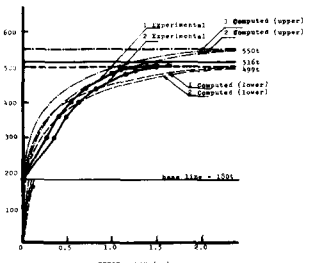


Fig-2 LOAD-DEFORMATION CURVE FOR BOLT (JOINT A)

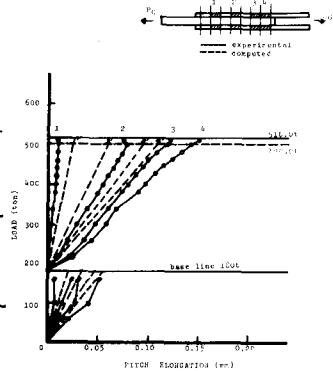


Fig-3 LOAD - PITCH ELONGATION RELATIONSHIP (JOINT A)

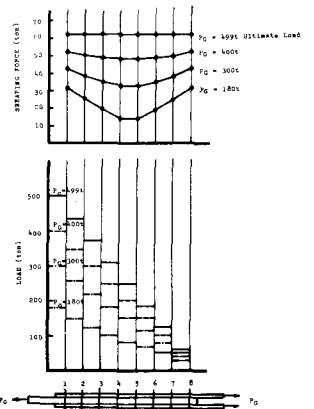


Fig-4 SHEARING FORCE CONTRIBUTION IN BOLT AND LOAD DISTRIBUTION IN MAIN PLATE (JOINT A)

1) Fisher, J.W. and Rumpf, J.L., "Analysis of Bolted Butt Joints," Proc. ASCE. 91 (1965)