土木試驗所報告

第五十四號

吊橋用鋼索の强さ及伸びに關する
研究……内務技師 青木楠男… 1
内務技手 宮澤岩雄

木橋の弦材接合部の實大引張及び
壓縮試驗並に之に基く接合構造
に關する研究……村上永一…17

昭和十五年七月

内務省土木試驗所

建設省沼津支所圖書
分類 II-K 番号 1-46
購入年月日 年 月 日

正　誤　表

（報告第 54 號）

頁	行	誤	正
3	下から 1	試科	試料
9	上から 1	E_{B1}, E_{B2}, E_{C1}, E_{C2}	B_1, B_2, C_1, C_2,
9	上から 2	E_{E5}	E_5
9	上から 3	E_{B1}, E_{B2}, E_{C1}, E_{C2}	B_1, B_2, C_1, C_2,
15	下から 6	子繩强度を子繩數	子繩强度と子繩數
19	脚註 2	Bd. 76 (1932)	Bd. 76 (1932) S. 887
21	〃 1	1937	1936
23	〃 1	Holz-Pachkonst.....	Holz-Dachkonst.....
70	下から 4	デュベル滅込	デュベル滅込

吊橋用鋼索の強さ及伸びに關する研究

内務技師　青　木　楠　男
内務技手　宮　澤　岩　雄

目　次

I. 緒　言……（1）
II. 素線試驗成績……（1）
III. 子繩試驗成績……（3）
IV. 鋼索試驗成績……（3）
V. 素線强度と子繩强度と鋼索强度との關係……（10）
VI. 鋼索の破斷個所……（12）
VII. 結　言……（15）

I. 緒　言

この研究は群馬縣土木課及び北海道廳帶廣治水事務所の依頼による强度試驗に使用した吊橋用鋼索について，其强度を求むると共にこれが伸量と荷重との關係，豫備伸長による伸量の變化，彈性係數値，素線，子繩並に鋼索强度の相互關係等を明かにしたものである．

試驗に供した鋼索は下揭の5種であつて，2つの製作所の製品である．試料數の比較的少數であることは結果の一般性に關して幾分の懸念を抱くものであるが，この種試驗成績の發表されたるもの尠き今日，關係方面の參考資料として多少の意義あるものと信じこゝに其概要を發表する次第である．

種別	A	B	C	D	E
直徑	44	48	46	22	44
構造	37本6撚 共心 普通撚	37本6撚 共心 普通撚	37本6撚 共心 普通撚	37本6撚 共心 普通撚	37本6撚 麻心 普通撚
製造會社の保證破斷力噸	110	127	117	—	106.48
試料	素線 子繩 ——	素線 子繩 鋼索	素線 子繩 鋼索	— — 鋼索	— — 鋼索

Aは群馬縣利根郡内利根川に架設された久呂保橋の親線に，Bは群馬縣勢多郡内利根川に架設された吸島橋の親線に，Cは群馬縣利根郡内片品川に架設された二堰二見橋の親線に，DはBを使用した吸島橋の吊線に，Eは北海道十勝國内十勝川に架設された河西橋の支保工木造竪拱用に使用された．

II. 素線試驗成績

鋼索を構成して居る素線の引張强度は表—1 の如く 148.9～163.2 kg/mm², 平均 156.0 kg/mm² で伸率は4.4

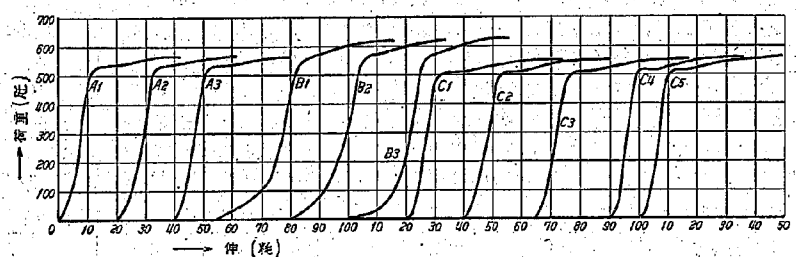
～5.41%，平均 4.9 %である．

表—1　素線強度試験成績

種目	番號	直徑	斷面積	極限強度		標點距離	伸		切斷個所
				荷重	強度		伸量	伸率	
		mm	mm²	kg	kg/mm²	mm	mm	%	
A	1	2.1	3.46	564	163.1	250	11.0	4.4	中央部
	2	2.1	3.46	567	163.7	250	11.0	4.4	〃
	3	2.1	3.46	563	162.7	250	11.0	4.4	〃
	平均				**163.2**			**4.4**	
B	1	2.25	3.97	620	156.0	200	9.4	4.7	中央部
	2	2.25	3.97	617	155.4	200	9.5	4.75	〃
	3	2.25	3.97	612	154.2	200	9.5	4.75	〃
	平均				**155.2**			**4.73**	
C	1	2.19	3.767	550	146.0	200	11.0	5.5	中央部
	2	2.187	3.760	556	148.0	200	10.0	5.0	〃
	3	2.18	3.733	557	149.3	200	10.6	5.3	〃
	4	2.175	3.718	561	150.8	200	11.0	5.5	〃
	5	2.18	3.733	562	150.6	200	11.5	5.75	〃
	平均	**2.18**	**3.740**		**148.9**			**5.41**	

素線試驗に當り試驗機に自記せしめた荷重—伸曲線は圖—1 の如くであるが，伸量は試驗機の構造上前記試驗成績表に示した伸量には符合しない．

圖—1



又鋼索の純斷面積は素線斷面積の

$37 \times 7 = 259$(倍)

である．

之と鋼索の通稱直徑を有する圓の面積とを比較して見ると右表の如く純斷面積

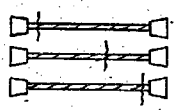
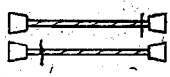
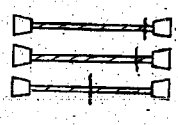
	素線面積 mm²	素線數 本	純斷面積 mm²	公稱直徑 mm	圓の面積 mm²	純斷面積／圓の面積
A	3.46	37 × 7	896	44	1,521	0.589
B	3.97	37 × 7	1,026	48	1,808	0.569
C	3.74	37 × 7	968	46	1,662	0.582
平均						**0.580**

は通稱直徑を基礎とする圓の面積の約58%に當る.

III. 子繩試驗成績

素線37本を以つて構成されて居る子繩は6本或は7本1組に撚り合されて鋼索を形成する.
此の子繩の強度を求めた處表—2 の成績を得た.

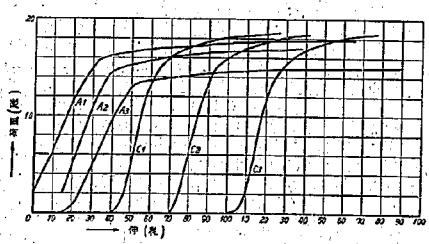
表—2　子繩强度試驗成績

種目	番號	直徑	「ピッチ」撚り	「ピッチ」撚り／直徑	破斷荷重	破斷個所
		mm	mm		kg	
A	1	14.9	142	9.53	16,100	
	2	14.8	142	9.60	15,150	
	3	14.9	142	9.53	15,500	
	平均				15,583	
B	1	16.0	150	9.37	19,800	
	2	16.0	150	9.37	20,200	
	平均				20,000	
C	1	15.9	179	11.25	18,550	
	2	15.9	179	11.25	18,400	
	3	15.9	179	11.25	18,500	
	平均				18,483	

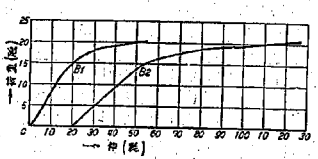
試驗に當つては子繩の端部より約 15cm 程の處を細い索を以つて確りと締め付け，端部の撚りを戻して素線とし充分洗滌してから此の部分を鍛製圓錐形ソケットの中に挿入し，熔融點の低い合金を鑄込んで試驗機の握持部に適合せしめた.

圖—2 の (1) (2) は試驗機に自記せしめた荷重—伸曲線である.

圖—2　(1)



圖—2　(2)



IV. 鋼索試驗成績

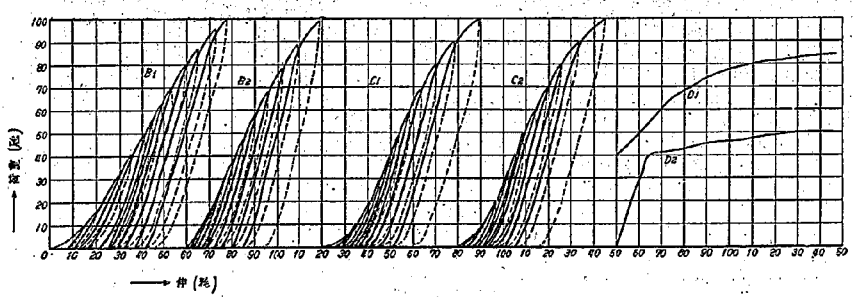
試料の握持部は子繩試驗のときと同樣に加工した.

試験材の大部分は當所備付の水平引張試験機の最大容量100瓲以上の破斷力を有して居つたので破斷することが出來なかつたが，荷重に對する伸びの關係を測定し橋梁を架設する場合，荷重に對する鋼索の伸量を豫測して現場工事に便ならしめることとした．

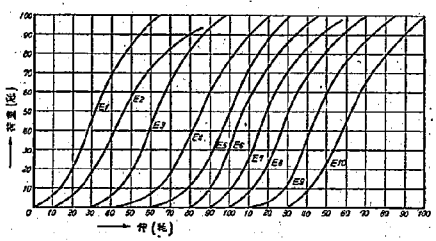
表—3　鋼索引張試驗成績

種目	番號	直徑	「ピッチ」撚り	「ピッチ」撚り／直徑	破斷荷重	破斷個所	摘要
		mm	mm		ton		
B	1	49.0	300	6.12	100以上	243cm	
	2	48.0	300	6.25	100以上	210	
C	1	46.2	440	9.55	100以上	230	
	2	46.0	440	9.56	100以上	233	
D	1	22.3	205	9.2	22.3	160	麻芯のもの
	2	22.0	187	8.5	25.4	167	共芯のもの
E	1	46.0	390	8.48	100以上	162	
	2	46.0	325	7.06	94	168	握持部の合金滑る
	3	46.0	325	7.06	100以上	172	
	4	46.0	395	8.59	100以上	169	
	5	46.0	395	8.59	100以上	170	
	6	46.0	330	7.17	100以上	160	
	7	45.8	330	7.20	98	139	素線の切れた音あり荷重を取除く
	8	45.0	350	7.80	100以上	140	
	9	46.0	380	8.26	100以上	139	
	10	46.0	330	7.18	100以上	180	

圖—3　(1)



圖—3 (2)



測定に當つては一定荷重に對する彈性伸を求める目的で伸量及び殘留伸を測定したのであるが使用した測長器が普通の耗目鋼尺であつたこと，標點が荷重の增加に從つて索の軸線と直角の方向に移動を生じたため充分な正確さが得られなかつた．

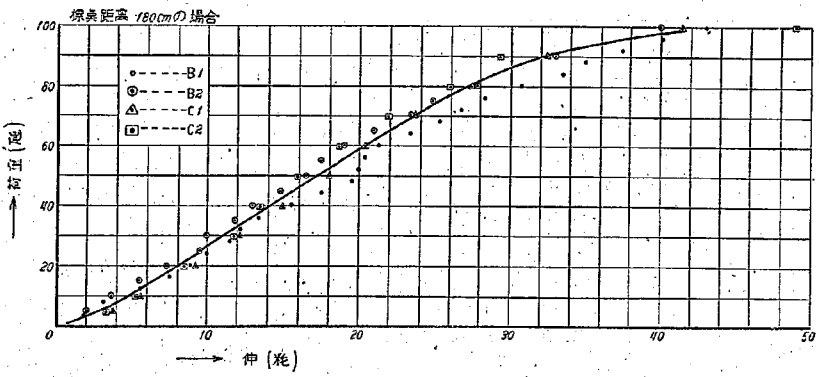
表—3 は引張試驗成績であり．圖—3 の(1)(2)は試驗の際試驗機に自記せしめた荷重—伸曲線である．表—4 の(1)(2) は試料の中央部に一定の標點距離をとつてその間の伸を荷重を增す毎に測定した結果であり，圖—4 の (1)(2)(3) は，これら測定伸量と荷重との關係を線圖としたものである．

表—4 (1) 鋼索引張試驗伸量測定値 (其一)

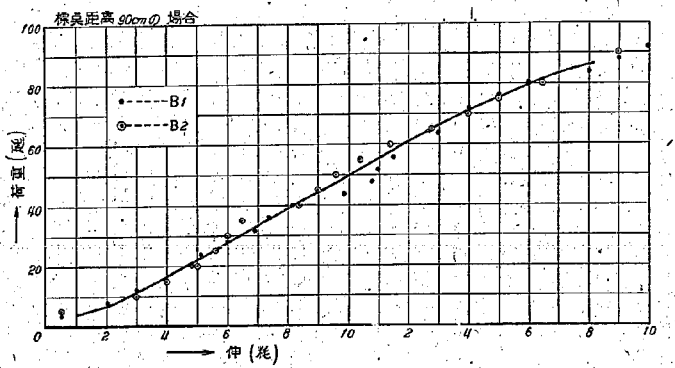
荷	鋼索種目 B. No. 1						荷	鋼索種目 B. No. 2						荷	鋼索種目 C No.1			鋼索種目 C No.2		
	標點距離 180 cm			標點距離 90 cm				標點距離 180cm			標點距離 90cm				標點距離 180 cm					
重	伸量	彈性伸	每 8 噸彈性伸	伸量	彈性伸	每 8 噸彈性伸	重	伸量	彈性伸	每10噸彈性伸	伸量	彈性伸	每10噸彈性伸	重	伸量	彈性伸	每10噸彈性伸	伸量	彈性伸	每10噸彈性伸
噸	mm	mm	mm	mm	mm	mm	噸	mm	mm	mm	mm	mm	mm	噸	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0	0			0			0	0			0			0	0			0		
8	3.1			2.0			10	3.7			3.0			10	5.5			5.4		
0	0	3.1	3.1	0	2.0	2.0	0	0.5	3.2	3.2	0	3.0	3.0	0	0	5.5	5.5	0	5.4	5.4
16	7.5			4.0			20	7.3			5.0			20	9.0			8.5		
0	0.1	7.4	4.3	0	4.0	2.0	0	0.9	6.4	3.2	0	5.0	2.0	0	0	9.0	3.5	1.5	7.0	1.6
24	9.9			5.1			30	10.0			6.0			30	12.0			12.0		
0	0.6	9.3	1.9	0	5.1	1.1	0	1.5	8.5	2.1	0.5	5.5	0.5	0	1.5	10.5	1.5	2.0	10.0	3.0
32	12.2			6.9			40	13.0			8.4			40	15.0			13.5		
0	0.5	11.7	2.4	0.1	6.8	1.7	0	1.5	11.5	3.0	0.4	8.0	2.5	0	3.0	12.0	1.5	3.0	10.5	0.5
40	15.5			8.2			50	16.5			9.6			50	18.0			16.0		
0	2.4	13.1	1.4	1.4	6.8	0	0	4.5	12.0	0.5	1.7	7.9	−0.1	0	4.5	13.5	1.5	4.5	11.5	1.0
48	19.5			10.8			60	19.0			11.4			60	20.5			19.0		
0	4.3	15.2	2.1	2.5	8.3	1.5	0	6.5	12.5	0.5	3.0	8.4	0.5	0	6.0	14.5	1.0	6.0	13.0	1.5
56	20.5			11.5			70	23.4			14.0			70	23.4			22.0		
0	6.5	14.0	−1.2	3.0	8.5	0.2	0	9.7	13.7	1.2	4.0	10.0	1.6	0	8.5	14.9	0.4	8.5	13.5	0.5
64	23.3			13.0			80	27.8			16.5			80	27.5			26.0		
0	8.6	14.7	0.7	4.8	8.2	−0.3	0	12.1	15.6	1.9	6.0	10.5	0.5	0	10.5	17.0	2.1	11.0	15.0	1.5
72	26.7			14.0			90	33.0			19.0			90	32.5			29.5		
0	10.5	16.1	−1.6	5.0	11.0	2.8	0	16.9	16.1	0.5	9.5	9.5	−1.0	0	16.0	16.5	−0.5	13.0	16.5	1.5
80	30.8			16.0			100	40.0			24.2			100	41.5			49.0		
0	10.5	20.3	4.2	6.0	10.0	−1.0	0	23.5	16.5	0.4	13.0	11.2	1.7	0	23.5	18.0	1.5	33.0	16.0	−0.5
88	35.0			19.0																
0	15.2	19.8	−0.5	8.7	10.3	0.3														
96	40.1			21.5																
0	20.8	19.3	−0.5	11.0	10.5	0.2														
平均			1.95			1.07				1.52			0.85				1.37			1.37

備考，每 8 噸彈性伸の平均は荷重—伸曲線の比較的直線狀をなす荷重 24～56 噸間について行つたものである．

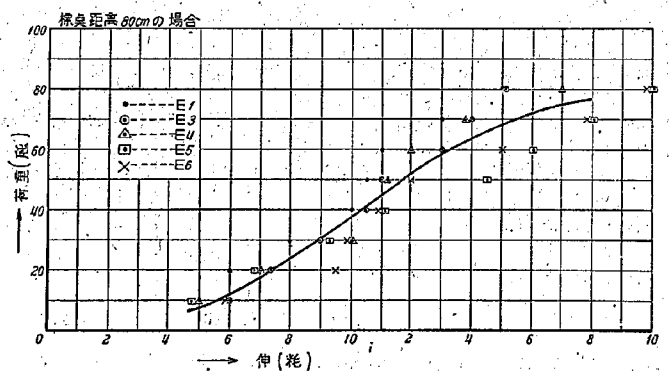
圖—4 (1)


標点距離 180cmの場合
B1
B2
C1
C2
荷重(瓲)
伸(粍)

圖—4 (2)


標点距離 90cmの場合
B1
B2
荷重(瓲)
伸(粍)

圖—4 (3)


標点距離 60cmの場合
E1
E3
E4
E5
E6
荷重(瓲)
伸(粍)

表—4·(2)　鋼索引張試驗伸量測定値（其二）

荷重 瓲	標點巨離 80 cm 伸量				
	E_1 mm	E_3 mm	E_4 mm	E_5 mm	E_6 mm
10		6.0	5.0	5.0	6.0
20	6.0	7.4	7.0	7.0	9.5
30	8.0	9.0	10.0	9.5	10.0
40	10.0	10.5		11.0	11.0
50	10.5	11.0	11.0	14.5	12.0
60	11.0	13.0	12.0	16.0	15.0
70	13.0	14.0	14.0	18.0	18.0
80	15.0	15.0	17.0	20.0	20.0

備考　本表はE種鋼索について測定したものである.

圖—4 (1)(2)(3)に於ける曲線を見るに荷重 20～60 瓲附近は略直線と見做せるので之を式示すれば

B，C，試料に對し標點距離 180 cm の場合

$$e = 0.31\ W + 1.7 \quad \cdots\cdots (1)$$

B，C，試料に對し標點距離 90 cm の場合

$$e = 0.18\ W + 1.1 \quad \cdots\cdots (2)$$

E試料に對し標點距離80種の場合

$$e' = 0.144\ W + 4.5 \quad \cdots\cdots (3)$$

となる.

此の式を標點距離 1 mの場合に換算するとそれぞれ

$$e = 0.166\ W + 0.944 \quad \cdots\cdots (1')$$

$$e = 0.2\ \ W + 1.22 \quad \cdots\cdots (2')$$

$$e' = 0.18\ W + 5.62 \quad \cdots\cdots (3')$$

一般に安全率を見込んで設計に使用される範圍は本試料の如きものでは 20～60 瓲であるので此の式を用ひて伸量の算定を行つて差支へないと考へる.

然し乍ら此の式は製作されたばかりの鋼索を試料として算定したものであり 1 條の鋼索の總伸量の中には荷重を除去した場合原形に復する所謂彈性伸も含まれて居る.

表—5 はE種鋼索の兩端を同表附圖の如く加工したるものの負荷試驗を行つた際測定した伸量にして圖—5 は表—5 の伸量と荷重との關係を線圖としたものである. 3 試驗片の成績から伸量と荷重との關係式を求めめると試驗片の長さ平均 1 m當り

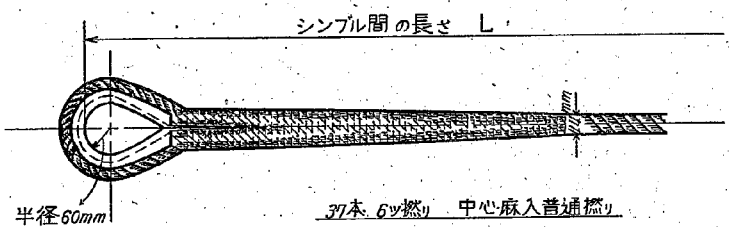
$$e = 0.243\ W + 6.68 \quad \cdots\cdots (試驗片\ No.1)$$

$$e = 0.263\ W + 2.45 \quad \cdots\cdots (\ 〃\ \ No.2)$$

$$e = 0.2635\ W + 2.91 \quad \cdots\cdots (\ 〃\ \ No.3)$$

表—5 E種鋼索の伸量表

番號	シンプル間の長さ及び伸び																	
	無荷重時	10瓲負荷時		20瓲負荷時		30瓲負荷時		40瓲負荷時		50瓲負荷時		60瓲負荷時		70瓲負荷時		荷重取除後	
	L_1	長 L_{10}	伸 $L_{10}-L_1$	長 L_{20}	伸 $L_{20}-L_1$	長 L_{30}	伸 $L_{30}-L_1$	長 L_{40}	伸 $L_{40}-L_1$	長 L_{50}	伸 $L_{50}-L_1$	長 L_{60}	伸 $L_{60}-L_1$	長 L_{70}	伸 $L_{70}-L_1$	長 L_2	殘留伸 L_2-L_1
	m	m	cm	m	cm	m	cm	m	cm	m	cm	m	cm	m	cm	m	cm
1	16.465	16.615	15.0	16.655	19.0	16.695	23.0	16.730	26.5	16.775	31.0	16.825	36.0	16.880	41.5	16.700	23.5
2	16.350	16.435	8.5	16.480	13.0	16.520	17.0	16.565	21.5	16.605	25.5	16.655	30.5	16.710	36.0	16.525	17.5
3	16.510	16.600	9.0	16.650	14.0	16.695	18.5	16.730	22.0	16.770	26.0	16.820	31.0	16.870	36.0	16.700	19.0
平均	16.442																



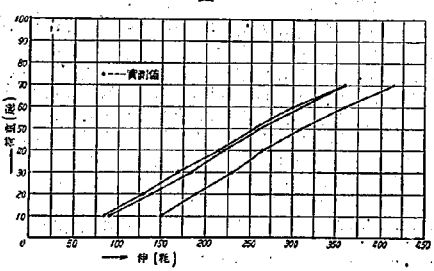
37本 6ツ撚り 中心麻入普通撚り
コンポヂション塗 保證破斷力 106T/8

となる．これを前記(3′)式に比較すると稍趣を異にしてをるが測定値が端部を表—5 附圖に示した樣に加工した鋼索について求めたものである故，加工部の緩み，シンプル部の變形等があり，又鋼索自體にも撚りに起因する各索固有の伸びがあるため前記の式で示されたものと合致しないことは止むを得ぬことと思ふ．

一般に鋼索の螺旋針金は索の平均應力より4～5%高い應力を受け，中心針金は索の平均應力より約15%高い應力を負擔すると云はれて居るので試驗に際し歪によつて此の點を明かにし樣と努めたが判然と爲し得なかつた．

鋼索は荷重を受ければ初伸長を生ずる故小荷重の間は荷重の增加量に比較して伸量多く，荷重の增加するに從つて次第にその量を減ずる．

圖—5



此の伸も鋼索個々について相異することはその構造上止むを得ぬことであると思ふ．斯くの如き不均等なる伸量を示す鋼索についての正確な彈性率の測定は頗る困難なる仕事と云はねばならぬ．

鋼索の彈性率としては初伸長をうくる鋼索にて700,000～1,000,000 kg/cm², 初伸長をすでにうけたる後の鋼索にては彈性率は 1,400,000kg/cm² 程度までに達すべしと云はれてをる．

今當所にて行つた前掲の鋼索引張試驗の結果か

ら彈性率を算出して見た．計算を2種に區別しーは E_{B1}, E_{B2}, E_{C1}, E_{C2} について求めたる初伸長をうけたる際の彈性率量に基き，二は初伸長の後再度の試驗を行つて率量を測定した E_{E5} 試片についての計算である．E_{B1}, E_{B2}, E_{C1}, E_{C2} についての測定値としては表—4 に示した値を使用し，鋼索の斷面積としては

B種 $3.97 \times 37 \times 7 = 10.28\ \text{cm}^2$

C種 $3.74 \times 37 \times 7 = 9.68\ \text{cm}^2$

を用ひ，彈性率 E を

$$E = \frac{P/F}{Y/L}$$

P = 荷重 (kg)　　F = 面積 (cm^2)

Y = 伸　(cm)　　L = 標點距離 (cm)

より求めることとする．彈性伸としては荷重—伸曲線が直線狀をなす荷重 24～56 噸間をとることとすると

標點距離 180 cm の場合

$$E_{B1} = \frac{8 \times 1{,}000 \times 180}{10.28 \times 0.195} = 718{,}000\ \text{kg/cm}^2$$

$$E_{B2} = \frac{10 \times 1{,}000 \times 180}{10.28 \times 0.152} = 1{,}150{,}000\ \text{kg/cm}^2$$

$$E_C = \frac{10 \times 1{,}000 \times 180}{9.68 \times 0.137} = 1{,}357{,}000\ \text{kg/cm}^2$$

標點距離 90 cm の場合

$$E_{B1} = \frac{8 \times 1{,}000 \times 90}{10.28 \times 0.107} = 694{,}000\ \text{kg/cm}^2$$

$$E_{B2} = \frac{10 \times 1{,}000 \times 90}{10.28 \times 0.085} = 1{,}030{,}000\ \text{kg/cm}^2$$

となる．次にE種試料の內 E_5 につき試驗機の最大能力 100 噸迄負荷したる後，荷重を取除き再び荷重を增加して前記同樣の方法を行つて伸量を測定した結果は表—6 の通りである．

此の場合の試驗機の自記した荷重—伸曲線は圖—6 の通りである．圖—7 の(1)(2)は表—6 の伸量と荷重との關係を線圖としたものである．

此等の結果を代入して彈性率を求めると次の樣になる．

標點距離 150 cm の場合

$$E_{E5} = \frac{10 \times 1{,}000 \times 150}{8.3 \times 0.165} = 1{,}095{,}000\ \text{kg/cm}^2$$

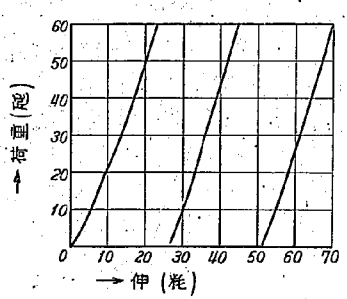
標點距離 100 cm の場合

$$E_{E5} = \frac{10 \times 1{,}000 \times 100}{8.3 \times 0.114} = 1{,}058{,}000\ \text{kg/cm}^2$$

表—6 鋼索 E_6 種の伸量表

荷重	鋼索種目 E																	
	標點距離 150 cm									標點距離 100 cm								
	第1回			第2回			第3回			第1回			第2回			第3回		
	伸量	彈性伸	荷重10瓲毎彈性伸	伸量	彈性伸	荷重10瓲毎彈性伸	伸量	彈性伸	荷重10瓲毎彈性伸	伸量	彈性伸	荷重10瓲毎彈性伸	伸量	彈性伸	荷重10瓲毎彈性伸	伸量	彈性伸	荷重10瓲毎彈性伸
瓲	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
5	0			0			0			0			0			0		
10	1.0			1.5			1.5			1.5			0.5			0.5		
5	0	1.0	1.0	0	1.5	1.5	0	1.5	1.5	0.5	1.0	1.0	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5
15	3.0									2.0								
5	0	3.0								0.5	1.5							
20	4.0			3.5			4.0			3.0			2.0			2.5		
5	1.0	3.0	2.0	0	3.5	2.0	0	4.0	2.5	1.0	2.0	1.0	0	2.0	1.5	0	2.5	2.0
25	5.0									4.0								
5	1.0	4.0								1.5	2.5							
30	6.0			5.5			5.5			5.0			3.0			3.5		
5	2.0	4.0	1.0	0	5.5	2.0	0.5	5.0	1.0	1.5	3.5	1.5	0	3.0	1.0	0	3.5	1.0
35	7.0									6.0								
5	2.0	5.0								1.5	4.5							
40	8.0			7.0			7.1			6.5			4.0			5.0		
5	2.0	6.0	2.0	0	7.0	1.5	0.5	6.6	1.6	2.0	4.5	1.0	0	4.0	1.0	0	5.0	1.5
45	9.0									7.0								
5	2.0	7.0								2.0	5.0							
50	10.0			8.5			9.0			7.5			5.5			6.2		
5	2.0	8.0	2.0	0.5	8.0	1.0	1.0	8.0	1.4	2.0	5.5	1.0	0.5	5.0	1.0	0.5	5.7	0.7
55	11.0									8.5								
5	2.0	9.0								2.0	6.5							
60	12.5			10.0			10.7			9.5			7.0			7.5		
5	2.0	10.5	2.5	0.5	9.5	1.5	1.0	9.7	1.7	2.0	7.5	2.0	0.5	6.5	1.5	1.0	6.5	0.8
平均			1.750			1.585			1.617			1.250			1.085			1.085
	1.6507									1.140								

圖—6



この計算に使用した鋼索斷面積は鋼索の外徑及び構造がC種と同樣であり心の材質が相違して居るのみであるからC種の素線面積をそのまゝ使用し素線數を

$$37 \times 6 = 222 \text{ (本)}$$

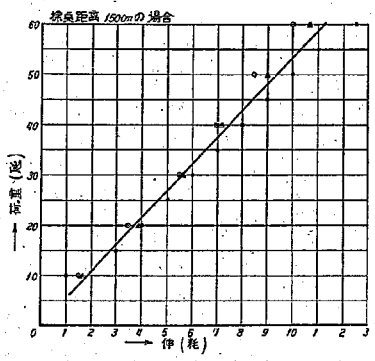
として算定したものである.

以上の測定結果を見るに, 初伸長及び再伸長の場合を通じて鋼索彈性率は 700,000～1,400,000 kg/cm² となつてをり, 初伸張のものと再伸張のものとの間にはつきりした區別は認められない. 再伸張のものに於ても初伸張のものと同樣永久變形は可成の量に達してをるので兩者に著しい區別を見出し得なかつたものと考へられる. 試驗機の能力から充分なる初伸張を加へ得なかつた事が其主なる原因と見做される.

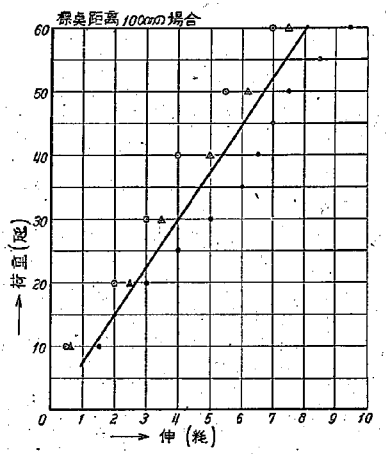
V. 素線强度と子繩强度と鋼索强度との關係

素線及び子繩について試驗したものは A, B, C 種のみであり, 鋼索試料の大部分は切斷しなかつた樣な狀態

圖—7 (1)



圖—7 (2)



であるので此等のものの強度關係を比較することは事實上不可能であるが，鋼索の實際の破斷力は製造會社の保證破斷力より大きいのが通例であるので，此の保證破斷力を鋼索の強度として A，B，C 種のもの〻關係を比較して見る．

子繩は37本の素線より構成されて居り，鋼索は7本の子繩を撚つて作られて居る．從つて素線，子繩，鋼索 3 者の間には

$$C = \frac{P}{fAN}$$

C＝比率

P＝鋼索又は子繩の破斷荷重（kg）

f ＝子繩又は素線の平均破斷强度（kg/cm²）

A＝素線の平均斷面積（mm²）

N＝素線又は子繩の數

の關係が成立する．

而して比率 C の値は表—7 の通りとなる．即ち子繩の强度は素線を撚り合せた爲に素線强度を基準にして算出した値より平均17%減少する．

又鋼索の强度は素線强度を規準に算出した場合約22%減少する．

此の算出に當つては鋼索强度として製造會社の保證破斷力を取つたのであるが，實際には保證破斷力以上の荷重に耐え得るものと思はれるので少くとも實際破斷力に對し20%或はそれ以下の强度減少を示すに過ぎぬであらうと想像される．

又鋼索强度は子繩破斷力を基準として算出した場合約6%の減少を示してをるが，此の場合にも前記同樣のことが云へるので實際破斷力と比較するときは減少率は尙減少し鋼索によつては强度減少を示さぬのではないかと

考へられる.

元來鋼索は一般に子繩の撚りのピッチが大となる程，撚りに起因する强度減少率は低下すると云はれて居るが一面可撓性も減少するが故に使用個所によつては兩者を充分考慮して製作する必要がある.

表—3「子繩の撚りのピッチと直徑との比」と表—7 に於ける「比率」とを對照するとき，素線と鋼索强度との關係に於ては前說の通りと見做して差支へないと思ふが，子繩と鋼索との關係に於ては一致せず逆な傾向をさへ示して居る.

表—7 鋼索，子繩，素線の强度比較表

	目種	子繩又は鋼索の破斷荷重	素線又は子繩の平均破斷强度	素線の平均斷面積	素線又は子繩の數	比率
		kg	kg/mm²	mm²		
素線と子繩	A	15,583	163.2	3.46	37	0.745
	B	20,000	155.2	3.97	37	0.879
の關係	C	18,483	148.9	3.74	37	0.895
	平均					**0.828**
素線と鋼索	A	110,000	163.2	3.46	37 × 7	0.752
	B	127,000	155.2	3.97	37 × 7	0.796
の關係	C	117,000	148.9	3.74	37 × 7	0.810
	平均					**0.785**
		kg	kg			
子繩と鋼索	A	110,000	15,583		7	1.008
	B	127,000	20,000		7	0.907
の關係	C	117,000	18,483		7	0.904
	平均					**0.940**

VI. 鋼索の破斷個所

子繩及び鋼索の端部を素線とし此の部分に合金を鑄込んで試驗機に握持せしめ，引張試驗を行つた場合，供試體は握持端近くで破斷することが多い．この原因として考へられる點は

(イ) 鋼索端部の鑄込溫度

鋼索の端部を素線とし此の部分をソケット內に鑄込む場合一般には

P_b 68%, S_b 12%, Z_n 20% ……(1)

P_b 83%, S_b 17% ……(2)

の様な合金を用ひる.

(1)の熔融點は約 280°C であり，(2)は約 200°C である.

本試驗には (2) を使用した.

素線は炭素含有量約 0.6 %，の炭素鋼を冷間引拔を行ひ所要直徑として燒鈍を施したものであるが，此の素線をソケットに入れ前記合金を以つて鑄込んだ場合，熱影響を受けて强度の變化を生じはせぬかと思つた.

そこで素線試料の長さの半分を熔解合金の中に一定時間浸した後，引張試驗を行つた處表—8 の様な成績を得た.

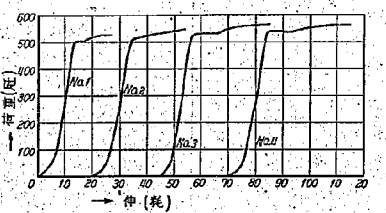
圖—8 は試驗機に自記せしめた荷重—伸曲線である.

試驗試料が少くて確たる判定はなし難いが熔解合金による熱影響全然なしとは云ひ得ぬ樣に思ふ。

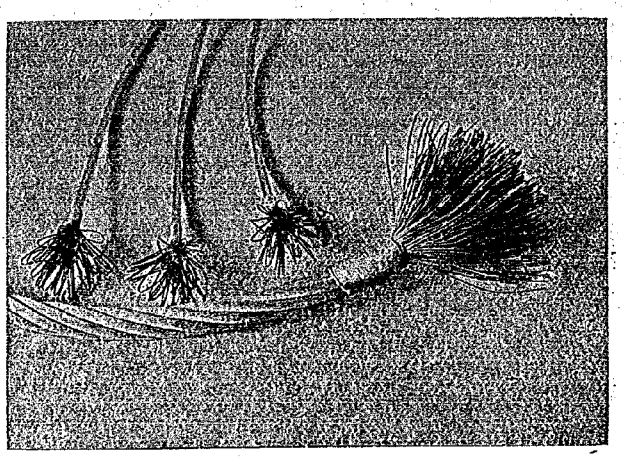
表—8　加熱による素線の强度の變化

番號	直徑	面積	荷重	强度	標點距離	伸		加熱時間	摘要
						伸量	伸率		
	mm	mm^2	kg	kg/mm^2	mm	mm	%	分　秒	
1	2.1	3.46	521.5	150.5	250	5.5	2.2	1　10	加熱部切斷
2	2.1	3.46	549.0	158.6	250	8.0	3.2	1　20	〃
平均				**154.5**					
3	2.1	3.46	563.0	162.8	250	12.0	4.8	6　30	原質部切斷
4	2.1	3.46	563.0	162.8	250	12.5	5.0	6　30	加熱部切斷
平均				**162.8**					

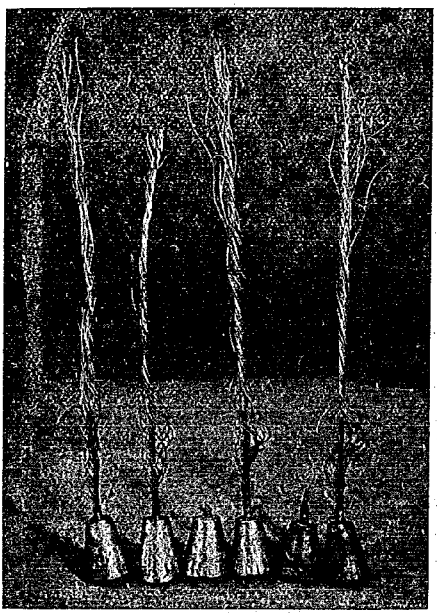
圖—8



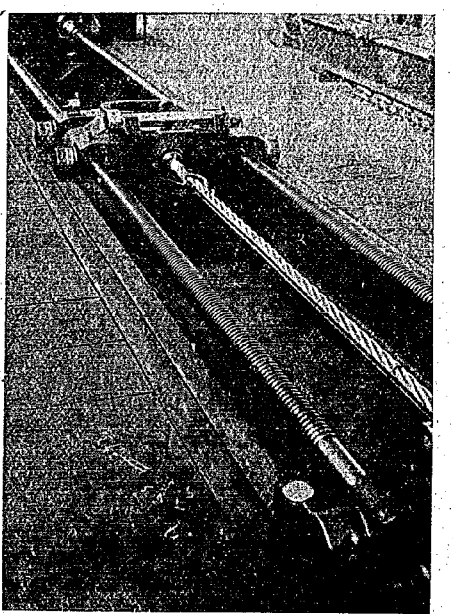
寫眞—1　C種鋼索及び子繩の端部にして合金鑄込み前の狀態



寫眞--2　C種鋼索用子繩の引張試驗後の破斷狀況



寫眞—3　C種鋼索の引張試驗狀況
(引張試驗機にて80瓲積荷したる狀態)



(ロ)　撚りの締り

子繩の場合には素線が鋼索の場合には子繩が何本か，機械的に略一定のピッチに撚り合はされて子繩となり鋼索となつて居る．

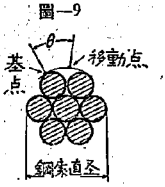
引張試驗に際して試料に索の心線に平行に長さ全般に亘つて墨線して置いてから荷重をかけると荷重の增加に從つて墨線は一定の方向に移動を開始する．

此の移動は索を構成して居る素線及び子繩の撚りの緩みが締るために生ずるものと思はれる．

表—9 は子繩B 1及び鋼索B 1の引張試驗に於ける心線に印したる墨線の移動を測定した結果である．

同表に於ける移動量は基點よりの角度 θ を以つて示し矢印は移動方向を示す，(圖—9 參照)

圖—9

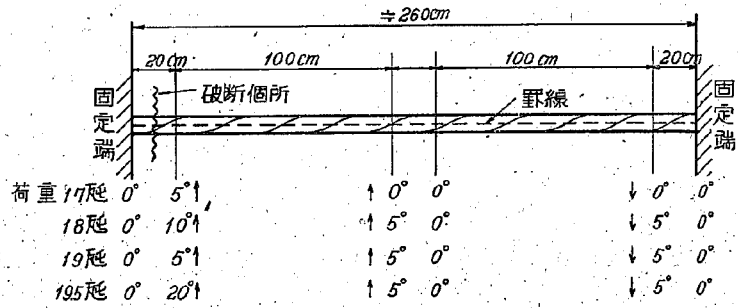


表—9 を見るとき握持端に近い部分が多く動き中央部は余り動いて居らず移動方向も撚りの緩び方向であり移動量の多い個所に切斷が生じて居る．

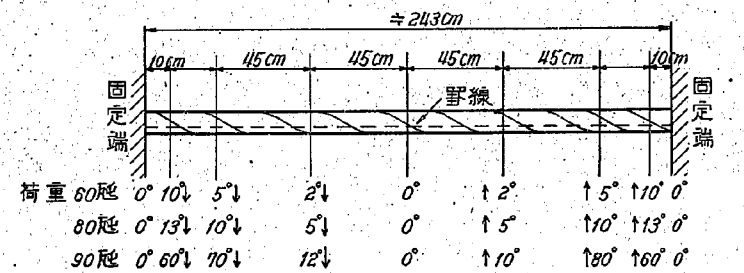
是等の事項は端部に切斷が生ずる原因の一部ではないかと思ふ．

表—9　鋼索の引張試験中の撓れ

子縄 B1



鋼索 B1



備考　←印は罫線の移動方向を示す.

VII. 結　言

以上の結果より，素線は約 156 kg/mm² の强度を有し，子繩强度は素線强度と素線數とより算出したものより約17%低値となり，鋼索强度は素線强度と素線數とより算出したものより約20%低値を示した.

又鋼索强度は子繩强度を子繩數とより算出したものと大差ない結果を得た.

彈性係數も一般文獻に表れて居るものに近似な値を得た.

吊橋の組立を行ふ際最も重要視すべき鋼索の伸は各索個有の初伸長を有するため明示し難い，現場に使用する場合，出來得る限り初伸長を取去つたものを使用することが望ましい.

鋼索の握持端に使用する合金は成可く，熔融温度の低ひものを選び，鋼索に熱影響を及ぼさぬ樣注意すべきである.

木橋の弦材接合部の實大引張及び壓縮試驗竝に之に基く接合構造に關する研究

村　上　永　一

要　旨

本試驗は木橋接合部の實大强度試驗を行ひ，設計上必要なる接合部の許容耐荷力を求めたものである．部材接合試驗として4吋及び5吋の引拔鋼管を輪切にして造つた輪形デュベル及び φ16 mm のボルトに依り 20×10cm の斷面の部材を接合した實大試驗材を用ひて强度試驗を兩部材の方向が平行竝に45度，90度の場合に就いて行ひ，夫々の許容耐荷力を算定し，接合部の加工及び細部構造に就いて論じた．更に輪形デュベル接合との比較のため，ボルト接合，鯱接合，コマ形鉄接合の强度試驗を行ひ，木橋設計直接の必要より弦材の添木附切缺接合の實大引張試驗を行ひ，その缺點を補强した．最後に輪形デュベルと部材の切缺とを併用した引張試驗を行つた．

尙，輪形デュベル接合試驗に就いては，デュベルの回轉止金具を使用し，又割裂防止の爲に部材端に針金巻を施した．輪形デュベル接合に此の種の補强を試みたものは本試驗を以て嚆矢とするものであつて，その效果は後者に於て極めて顯著であつた．

目　次

I. 總　　說……(2)
II. 木材の接合方法……(2)
［1］ ボルト接合よりデュベル接合への發達……(2)
［2］ デュベルの種類……(4)
（1） 噛合せデュベル……(5)
（2） 楔型デュベル及び鯱……(6)
（3） 輪形デュベル……(7)
III. 輪形デュベル接合部の强度に關する試驗……(10)
［1］ 材料試驗……(10)
（1） 比重及び含水率……(10)
（2） 歪の測定と彈性係數の算定……(11)
（3） 壓縮强さ……(12)
（4） 剪斷强さ……(13)
［2］ 兩部材方向の平行なる場合の接合部試驗……(14)
（1） 試驗方法及供試體……(14)
（2） 4吋輪形デュベルを用ひたる接合部に關する試驗……(16)
（3） 5吋輪形デュベルを用ひたる接合部に關する試驗……(21)
［3］ 斜材を有する部材接合部の横方向の壓縮試驗……(25)
（1） 試驗方法及供試體……(25)
（2） 45度の斜材を有する接合部に關する試驗……(27)
（3） 90度の斜材を有する接合部に關する試驗……(28)
［4］ 接合部耐荷力竝に安全率の算定……(30)
（1） 應力の分布……(30)
（2） 接合部の破壞の性狀……(33)

（3） 安全率及許容耐荷力……（35）
［5］ 輪形デュベル接合の細部構造……（39）
（1） 加　工……（39）
（2） 部材の寸法とボルト及座鐵……（40）
IV. その他の接合方法に關する試驗及び輪形デュベル接合との比較……（42）
［1］ ボルト接合に關する試驗……（42）
［2］ 鎖接合に關する試驗……（43）
［3］ コマ形鐵接合に關する試驗……（45）
V. 弦材と斜材との接合部分が弦材の接合部分に重なる場合の接合方法……（48）
［1］ 片側切缺接合方法……（48）
［2］ 片側切缺接合の補强方法……（50）
VI. 輪形デュベル，部材切缺を併用した接合に關する試驗……（52）
VII. 結　　語……（53）

I. 總　　說

最近の鐵材不足は吾々技術家をして再び木橋を架設せしめんとする氣運を醸した．從來我が國にては小徑間の桁橋以外には純粹の木橋の架設されたる例は殆どなく，ハウ・トラスと雖も引張部材に鐵材に使せるが故に鐵材不足の今日，吾々の要求に應じ得るものでなく，此の際最も必要なる各部材總て木材を使用せる全木橋の架設である．

木材は通常引張强度，壓縮張度共に 200～500 kg/cm² あつて構造材料として相當の强度を有するものであるが，之が充分に構造用に利用されざるは，木材の接合方法の不完全なる爲である．

若し接合方法が改良進歩するならば，木材はその强度と材料の豐富とにより最も經濟的なる構造材料となり得るものと信ずる．

接合方法の内で特に缺點とされるところは引張接合であり，之が改良は木材の引張部材としての利用範圍を擴大し，從つて全木橋の設計も可能となる．本試驗所には 100 瓲水平引張試驗機あり，之に依れば供試體 4m 迄の試驗を行ひ得るに依り，木材接合の最弱點たる引張接合を實大にて試驗し得たのである．

尙，本試驗の結果に基いて 2, 3 の接合方法（噛合せデュベル）に就いて研究して見たいとは思つてゐるが，時局柄木橋設計に緊急を要するものなることを慮り，取り敢へず輪形デュベル接合を中心とした一群の試驗結果を纒めて報告することとした．之に依り木橋設計に少しでも便宜と思はれる資料を提供致し得たならば，小生の誠に幸甚と致すとこである．

本試驗に當り，田中豐教授の御指導と，青木，鈴木，齋藤各技師の協力と尾之内，左合兩君の助力とを受けたり，玆に厚く謝意を表するものである．

II. 木材の接合法

［1］ ボルト接合よりデュベル接合への發達

今日に於てもデュベル接合は發達の過程にあるが，現在迄のデュベル接合が如何にして發達せるかを考察するは，デュベル接合の概念を得る上に於て必要であると信ずる．

デュベルの發達はボルト接合の應力分布の研究と密接なる關係あり，ボルト接合の缺點を除却せんとする努力

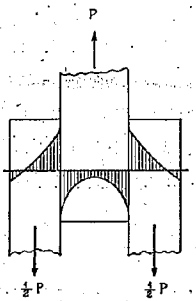
がデュベルを生んだものである.

ボルト接合[1]の破壞に至る經過は次の三段階を經る.

1. 荷重の小さい間はボルトの締附けに依る部材間の摩擦に依り行はれる.

2. 荷重が增加すると摩擦力は克服され, ボルトの硬直さに依り, 木材と鋸材の强度に關係を有し, 2面剪斷ボルト接合では荷重がそれ程大でなくとも, 應力の分布は均等でなくgraf氏が測定した如く, 支壓應力は部材端に於て最大なる樣分布する.

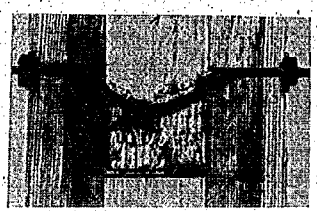
圖—1 ボルト接合の應力分布



3. 更に荷重が增加するとボルトは著しく變形をなし, 部材のボルト孔も減込變形をなす. 故にボルトは變曲しつゝ木材に減込んで行くため, 荷重が增加しない間に部材間の滑りは大きく接合としての機能を失つて行く. 圖—2はgraf氏の取つた寫眞である.

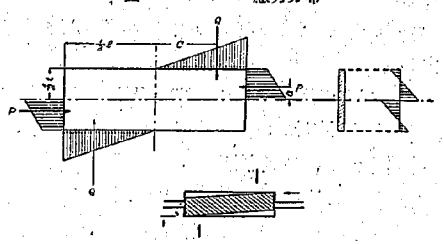
以上の2及3の場合の何れに於てもボルト接合にありては部材緣部にて應力は最大となる結果, その耐荷力は部材緣部の減込强度に支配され, 若し應力分布が一樣であるならば充分耐荷力を有するにも拘らず, 緣部に於ける減込强度を克服して, 接合としての機能を喪失する. 卽ちボルトは鋸材使用量に比して不滿經なる耐荷力を有するものである.

圖—2 ボルト接合の減込變形



此の集中せる部材緣部應力を減少せしめんが爲に2部材間に, 金屬又は木製のデュベルと稱する一種の楔を入れ, 之の部分の支壓面積を增加することに依り, 應力の分散を計つた. 斯くして簡單なるデュベル卽ち, 木製矩形デュベル (一名, 鍔と稱す) が生れたのは可成り前のことであつた. 然し此の樣式に屬する鍔もある場合には必要缺くべからざるものであり, 最近のデュベル工法の根本的原則を示せるものであるから簡單に說明する.

圖—3 デュベル應力分布



通常の矩形6面體のデュベルの應力分布狀況[2]は圖—3の如くである. 此の場合デュベルは部材の引張力又は壓縮力を一部材より, 之と接合せる他の部材に傳達するために次の力を受ける.

a. デュベルの兩端に於ける支壓應力

b. 長さの方向の剪斷應力

c. 更にデュベルを廻轉せんとする廻轉モーメントに依る力の方向と直角の支壓力

今矩形6面體を $b \times l$ (橫斷面) $\times$ l (力の作用方向の長) とすれば,

1) F. Kollmann; Technologie des Holzes (S. 586) O. Graf; Bauing Bd. 3 (1922) S. 100, 141. T. Stamer; Z. V. D. I. Bd: 76 (1932) W. Anderson; Bautechnik. Mai 1931 Heft 21.

2) F. Kallmann; Technologie des Holzes (S 594). Forest Products Laboratory; Modern Connectors for Timber Construction.

a. 支壓應力に抵抗してデュベルの端面の半分, $\frac{1}{2}bt$ が充分であらねばならぬ. 即ち端面に生ずる最大支壓應力が木材の支壓强度を越してはならぬ.

b. 剪斷に抵抗して斷面 $b.l$ が充分であれば良い.

c. 廻轉モーメントに對しては, 之と同等の抵抗モーメントがあらねばならぬ. 之の抵抗モーメントは纖維に垂直方向の木材の支壓應力である. 而して廻轉モーメント $P\times 2a$ に依り, デュベルが傾斜して部材間の遊離を防止するものは, 實にボルトに依る締附である.

廻轉モーメントに依り部材は變形し, デュベルは少しすれると P の作用點は部材間の接觸面の方に動く結果, 最初に均一の應力分布に近かつたものは梯形になり, 極端の場合には三角形となる. 以上は力の作用方向に適當に長さのあるデュベルであるが, 之に對して力の作用方向に長さのない即ち極端に薄い金屬板の場合には圖一 3 の右圖の如くになる. 之の場合廻轉モーメントに抵抗する纖維に垂直なる方向の支壓應力は生じ得ないから, デュベルに働く前面の支壓應力はそれ自身で廻轉モーメントに抵抗しなければならぬ.

$$p_{max}=2\left(\frac{P}{bt}\pm\frac{P\frac{b}{2}}{\frac{b^2t}{6}}\right)=\frac{2P}{bt}(1\pm 3)$$

短形デュベルの理想的なる場合の $p_{max}=\frac{2P}{bt}$ であるからデュベル端の p_{max} は $\frac{2P}{bt}$ と $\frac{8P}{bt}$ との間にある. 更に廻轉モーメントに抵抗するものに, 先に述べた纖維に垂直なる支壓應力の外に, 部材とデュベルとの間の摩擦があり, 輪形デュベルの場合は殊に大きいと考へられる.

最後にデュベル接合に於てもボルトの場合と同じく部材相互間に摩擦があるが, 之は接合の種類に依り異なりその値の正確なる測定も出來ず, 製作後の年月と既往の荷重の繰返度に依つても異なるに依り, 設計に當つて之を無視するのが適當と考へる.

何れの場合にありてもデュベル接合に用ひたボルトは, ボルト接合の場合と全く異なつた意味を持ち, その支壓應力に依りて荷重を分擔することは極めて少く, デュベルの回轉モーメントの爲に生ぜんとする部材の遊離を防止し, その應力傳達を全からしめ, 又摩擦利用のデュベルにありては部材の摩擦の增加をもたらす爲に絕對必要である.

從つてデュベル接合に用ふるボルトの座鐵は, 所要のボルト引張力に依り木材中に減込まない大きさを必要とする.

斯の如くして考へたデュベルはその目的に應じて種々の形に發達したのであるが, 次の節に示せる如くその種類は極めて多種多樣なるものがある.

[2] デュベルの種類[1]

廣い意味でデュベルなる用語で呼ばれてゐる接合具を大別すれば次の如く分けられる.

1. 2部材間に挾みボルトの締附けに依り, その兩面に出た齒爪或は溝等のある金屬板を押附けて, 部材間に一種の摩擦抵抗を增大せしめ, 部材の變位を防止するもの嚙合せデュベルと假稱す.

2. 短形又は楔形の金屬又は硬木製の栓で部材間にありて部材の變位を防止し, ボルトの彎曲及び縁部應力の增大を防ぐもの, 栓型デュベル, 單と稱す.

3. 輪形をなし殘め部材中に穿つた溝にその兩半を嵌め, 材の支壓抵抗と剪斷抵抗に依り, 部材間の變位を防

1) Modern Connector for Timber Construction.
Kollmann: Technologie des Holzes.

止せんとするもの輪形デュベル，と稱す．

（1） 噛合せデュベル[1]

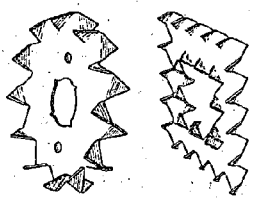
a. ブルドック・デュベル

圓形又は矩形の金屬板で，その周邊に沿うて齒が兩側に交互に板と約 100° の角をなして出てゐる．之をデュベル中央の穴を通るボルトの締附けに依り，部材間に押込んで接合部をつくる．押込に要する力は

75mmφ の圓形	5,000～4,000kg
100×100mm 正方形	8,500～10,000kg
125×125mm 正方形	16,000kg

この特徴は木材の纖維方向との傾斜角に依る强度の低下の少いこと，繰返し荷重に對し優れた性質を示すことである．その許容荷重は表—1 にあげてある

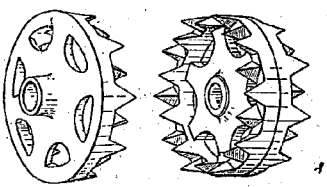
圖—4 ブルドック・デュベル
a. 圓形　b. 正方形



b. S. B. U. デュベル (Siemens-Bauunion Verbinder)

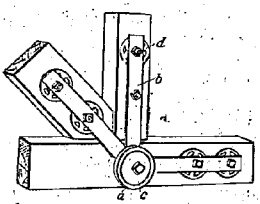
圖—5 の如き直徑 105mm ～ 150mm の鋼鑄製の有爪圓形鈑で左圖はその一半を示せるもので，中央の突起に依り他の一半に應力を傳達し，右圖は兩半を合はしたところを示す．

圖—5 S. B. U デュベル



本デュベルは引張力，壓縮力何れも極めて合理的に傳達し，デュベル數を增して傳達應力を增加せしめ得る．然しその製造には鋼材を多量に要し，構造が頑丈すぎる爲に費用が掛り過ぎる缺點がある．

圖—6 S. B. U デュベルを用ひた格點



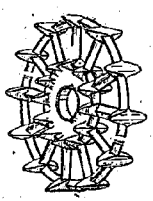
c. G. S. スパイク・デュベル (Gösta Smitt Krallenplate)

圖—7 の如き直徑 60mm ～ 142mm の鑄鋼製有爪デュベルで，ボルトに依り締附けて接合部を造ることは前の 2 つと同じ．

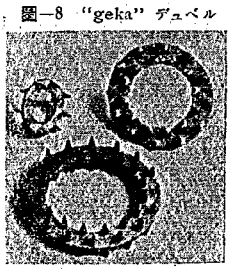
d. "geka" 壓入デュベル[2]

圖—8 の如き圓形鋼鈑の兩側に眞直な角が出來たデュベルである．

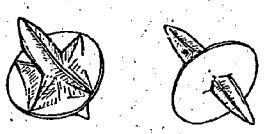
圖—7
G. S. スパイク・デュベル



圖—8 "geka" デュベル



圖—9 コマ形鋲



1) E. Gaber: Alte und Neue Einpressdübel, Bautechnik 20 nov 1937.
2) H. Simons; Holzbrücke für Fassganger uber dem Mittelland-Kanal, Bauingenieur 30 Juni 1939.

e. コマ形鉄

最近我が建築界で考案された壓入デュベルで，前に示した嚙合せデュベルの爪の一つ一つを分離したもので，之に關する實驗は後で記載する．

以上に示した嚙合せデュベルの既往實驗に依つて決めた許容耐荷力を擧げれば，表—1 の如くである．

表—1 嚙合せデュベルの許容耐荷力

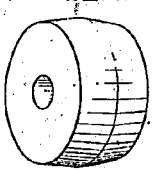
	生産者の示す使用耐力纖維に平行	米國林業試驗所に於ける試驗成績		
		纖維に平行	45°	90°
ブルドツク・デュベル	(kg)	(kg)	平行の場合に對して	平行の場合に對して
2—75mmφ及ボルト1/2吋	1,400	1,270	0.95	0.90
2—95mmφ及ボルト1/2吋	1,800	1,610	0.95	0.90
2—100×100mm及ボルト1/2吋	2,600	1,960	～0.90	～0.75
2—100×100mm及ボルト3/4吋	3,400	2,510	～0.90	～0.75
2—125×125mm及ボルト3/4吋	4,600	3,310	～0.90	～0.76
2—125×125mm及ボルト1吋	6,000	3,720	～0.90	～0.75
G. S. スパイク・デュベル				
2—90×90mm及ボルト3/4吋	4,800	—	—	—
2—110mmφ及ボルト3/4吋	—	4,620	0.67	0.67
2—S. B. U. デュベル及ボルト1/2吋	4,000	2,900	0.84	0.72
Geka 壓入デュベル				
2×80mmφ	3,600	—	—	—
2×115mmφ	6,000	—	—	—

（2） 楯型デュベル及鍵

本型に屬するデュベルは最も原始的なるものであるが，加工が良好なる場合にはかなりの良結果を得るも，實際の加工は相當困難である．

その一例として圓盤形の木製又は金屬製の楯型デュベルを示せば，表—2 の如くである．

圖—10 楯型デュベル



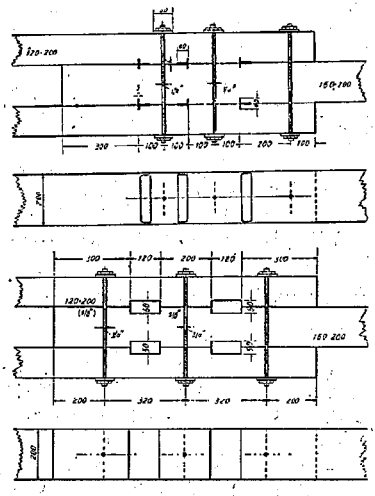
表—2 楯型デュベルの成績及び寸法

型式	纖維に平行		直徑		厚さ	最小間隔
	許容耐荷力	最高荷重	端	中央		
大型木製	2,000 kg	6,570 kg	98 mm	102 mm	40 mm	20 cm
小型木製	1,000	3,850	61	64	32	14
鑄鐵製	1,000	3,570	40	45	50	12

鍵は種々の型のものあるも矩形斷面，T型，矢型のもの等が一番よく用ひられる．良好なる結果を得たもの>一例として O. graf 及び Erhart 兩氏が行つた實驗結果[1] を示せば次の如し．

1) E. Erhart: Zwei Grossversuche mit Holz Konstruktionen. (Bauingenieur mai 1937 Heft 19/20)

圖—11　供試體 上圖は E_1E_2　下圖 E_3E_4



表—3　供試體 E_1 ～ E_4 の試驗結果

供試體	計算上の許容耐荷力	破壞荷重	許容耐荷力	滑り 2mm の荷重
E_1	16.8 t	51.0 t	20.4 t	30.2 t
E_2	16.8	50.3	20.1	27.2
E_3	14.0	44.0	17.6	25.5
E_4	14.0	47.4	19.0	39.0

但し安全率は 2.5

（3）輪形デュベル

最近に發達した輪形デュベルとは，接合せんとす部材に嵌めデュベルを嵌込む輪形の溝を穿ち，それにデュベルの一半を埋込み，ボルトの締附けで輪形デュベルの回轉モーメントに依る部材間の遊離を防止して，一部材より他の部材に應力を傳達するものである．

輪形デュベルは大別すれば，切目あるものと切目なきものとに分けられる．

1. 切目なき輪形デュベル

a. 平板輪形デュベル

パイプを輪切にすれば容易に得られるもので，最も簡單なる型に屬するものである．

b. T型輪形デュベル[1]

平板輪形デュベルに剛性を與へんがために考へたもので，輪形の內側中央に突緣をつけたものであるが，製作が面倒な割にその效果は疑はしいものである．

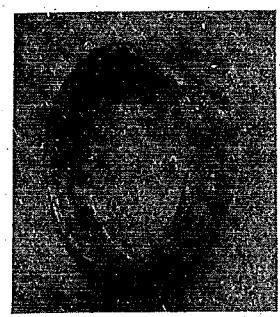
表—4 T型輪形デュベルのの許容荷重

外　徑	デュベル幅	許容荷重	座　鐵
(mm)	(mm)	(kg)	(mm^3)
80	25	1,600	45×45×5
100	30	2,025	50×50×6
120	35	2,535	55×55×6
140	40	3,130	60×60×7

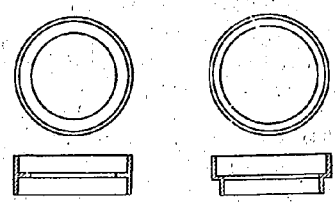
c. Z型輪形デュベル[2]

部材が傾いてゐる場合纖維に傾いた力を受ける部材に

圖—12　平板輪形デュベル



圖—13 T型輪形デュベル　圖—14 型輪形デュベル



1) Tils; Holz-Pachkonstruktion im Bereich der Reichsbahn direktion, Köln (Bautecknik 29 März 1929 Hoff 14.)

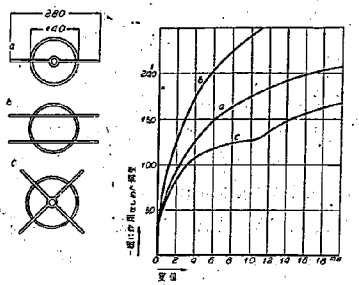
2) Ch. Chopard; Festigkeits Versuche an Holzverbindungen mit abgestuften, geschlossenen Ringdübeln (Schweizerische Bauzeitung 22 Feb 1930 Nr 8.)

は，その支壓强度低いとの理由で直徑大なる方を嵌込むと云ふ趣旨のものである．

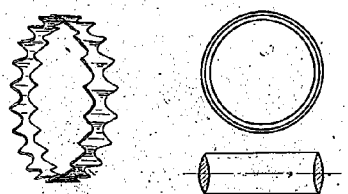
d. 有翼輪形デュベル

輪形デュベルの支壓面積及び剪斷面積を增加せしめんとするもので，纖維に傾いた力を受ける部材の接合には良結果の様である．

圖—15　有翼輪形デュベルの試驗結果

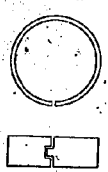


圖—16
Appel 輪形デュベル　Alligatar デュベル

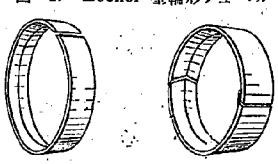


圖—17
Krüger 型輪形デュベル

圖—18
Tuchscherer 型輪形デュベル



圖—19　Locher 型輪形デュベル



e. 彈性圓盤デュベル

デュベルが常に木材と密着する様に工夫したもので，Appel 輪形デュベル，Alligator デュベルはこの例で，前者は狹く掘られた溝に壓入するもので，後者は直ちに壓入する．

米國林業試驗所の試驗に依れば，Alliator デュベルの許容耐荷力は次の如し．

直　　徑 (吋)	許 容 耐 荷 (kg)
$4\frac{1}{2}$	3,100
$5\frac{1}{2}$	4,230

但し安全率は 4 とする．

2. 切目を有する輪形デュベル

嵌込後に木材の收縮又は膨脹は多少は生ずる．この場合木材とデュベルが滑かに接觸することは接合として必要なることである．切目を附けた輪形デュベルは荷重を受けると比較的變形が自由であるから，變形して密着し應力を內材（溝に圍まれた部分）と徐材（溝の外側にして剪斷面積のあるところ）とに等分する．この趣旨により獨逸の Smuel Voss，スエデンの Krüger に依り考案きれた．

Krüger の實驗に依れば切目なき輪形デュベルに較べて，切目あるデュベルは 50～75% 耐荷力が增加すると報告してるる．然し之はデュベルの肉厚，形狀，切目の設計如何に依るもので常に耐荷力が增大すると考へるは危險である．

a. Krüger 型輪形デュベル

b. Tuchscherer 型輪形デュベル

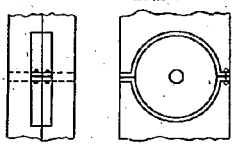
a，b は單に切目の形が異なるもので，その許容耐荷力は表—5 に示す．

c. Locher 型輪形デュベル

切目は直徑と約 35° の方向をなし，輪形の中央は厚く造られ剛性を

增し，回轉モーメントに依る歪によく抵抗する様になつてゐる．更に溝との密着を完全にし，輪自身の二次應力を却くために，切目と反對側に S 型の繼手を附したものを後に考案した．

圖—20 Schuller 型輪形デュベル



d. Schuller 型輪形デュベル[1]

圖—20 の如く半圓デュベルをつ合した様なもので其の端に於て各 2 cm の耳を有し，一方の耳は鉄で接合し一方の耳は遊離してゐる．此の耳は他方に於て支壓面積と剪斷面積とを增加して耐荷力を大きくしてゐる．

切目あり輪形デュベル許容耐荷力を擧ぐれば表—5 の如くである．

表—5　切目あり輪形デュベル許容耐荷力表

Tuchscherer 型輪形デュベル

內　徑 (mm)	幅 (mm)	ボルト徑 (mm)	デュベル一組に對する許容耐荷力 (kg)
80	16	15	2,011
100	20	16	3,142
120	26	16	4,528
140	29	16	6,158
160	32	16	8,042

Krüger 型輪形デュベル

內　徑 (mm)	幅 (mm)	ボルト徑 (mm)	デュベル一組に對する許容耐荷力 (kg)	最大荷重 (kg)
100	31	16	2,600	6,800
125	37	16	4,000	9,400
150	43	16	6,000	12,600

Locher 型輪形デュベル (米國林業試驗所安全率 4)

內　徑 (mm)	幅 (mm)	ボルト徑 (mm)	デュベル一對の許容耐荷力 (gk)	最大荷重 (kg)	繊維の傾きに依る影響	
					45°	90°
100	30	16	5,180	20,700	0.90	0.80
140	41	16	6,600	26,400	0.85	0.70
200	—	16	7,420	29,700	0.75	0.50

Schuller 型輪形デュベル

內　徑 (mm)	幅 (mm)	ボルト徑 (mm)	デュベル一對の許容耐荷力 (kg)	最大荷重 (kg)
200	40	26	12,400	49,500
260	50	28	19,800	31,000

1) E. Erhart; Zwei Grossversuche mit Holz Konstruktionen. (Bauingenieur 8 mai 1937 Heft 19/20)

III. 輪形デュベル接合部の强度に關する試驗

[1] 材料試驗

本試驗に使用せる木材は伊豆産の杉材にして，伐採後2ヶ年貯木池にありたるものを取出し，7×3.5寸の角材に製材したもので，その含水率は搬入當時次表の如くであつた．

表—6 搬入時木材含水率及絕對乾燥時の比重

試片	大さ (cm)	搬入時の試片重量 (gr)	絕對乾燥時の重量 (gr)	搬入時の含水量 (%)	絕對乾燥時の容積 (cm^3)	絕對乾燥時の比重
A_1	5×5×5	101.0	37.9	166	118.40	0.321
A_2	5×5×5	99.2	38.0	161	117.92	0.322

斯く如き含水率多き木材を時間の關係上充分に乾燥せしめず，1ヶ月半乃至3ヶ月屋内に放置して，順次供試體を製作した．

(1) 比重及含水率

比重　木材の比重はその材料の力學的性質の目安をつける最も簡單な方法である．木材物質の比重に就いては多くの實驗があるが，Dunlap は7種の材の實測の結果，最小 1.4790 (ブナ) 最高 1.539 (米松) が得られ，實用上木材物質の比重は樹種の如何に拘らず，略一定で 1.54 と考へてよい．從つて木材の比重と稱するは見掛の比重にして，木質中の空隙と含水率に依り支配される故に，その强度に關係するは云迄もない．木材の比重としては生木の比重，氣燥狀の比重，絕對乾燥狀態の比重及飽水狀態の比重の4種あるが，此處では氣乾燥狀態の比重及絕對乾燥狀態の比重のみを測定した．

表—7 使用木材の比重

試片	氣乾			乾燥	絕對乾燥			平均年輪幅 (mm)
	重量 (gr)	容積 (cm^3)	比重	含水量 (%)	重量 (gr)	容積 (cm^3)	比重	
B_1	41.0	131.36	0.312	10.4	36.7	117.29	0.312	2.3
B_2	42.0	121.427	0.345	10.0	37.8	116.17	0.325	2.5
B_3	41.5	122.907	0.337	9.8	37.4	118.98	0.314	5.0
B_4	41.7	122.916	0.339	9.8	37.6	119.16	0.315	5.0

含水量　次式に依つて求めた．

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

W_1 =試片の重さ

W_0 = 絕對乾燥時の重さ

接合部試驗に於ては各供試驗毎に夫々の含水率を求めた．

纖維飽和點　纖維飽和點は木材を構成する細胞膜が水分を含み得る最大限度であつて，これ以上に組織中に入込んだ水分は遊離水として組織の間隙を滿す．之の遊離水は常に纖維飽和點を超えた場合に存在し，遊離水の增減はミセル相互の凝集力に影響なく，從つて木材の强さに影響しない．接合部試驗の供試體の含水率が纖維水飽和點より高いか低いかは大いに强度に關係を有する．然し此の點を測定するのは本試驗の目的でないから，纖維

和點を含水率 30% の點と定め，含水率 30% 以上では木材の力學的性質は均一で，それ以下では含水率に逆比例して强度が上るものとした．而して試驗供試體の含水率は大部分纖維飽和點以上で，本實驗の結果は此の點より見て屋外構造物に適用に對し安全側にあるわけである．

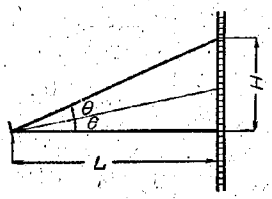
平均年輪幅　各供試體毎に平均年輪幅を測定した．平均年輪幅の大小は强度及比重に關係を有するが，或る場合には全く無關係又は逆の關係を示すことがある．嚴密には秋材率を測定すれば良いが，本試驗に於ては行はなかつた．

（2）歪の測定と彈性係數の算定

木材は方向性を有する．即ち纖維方向，年輪の切線方向及年輪の直徑方向に依りその力學的性質を異にし，彈性係數も異るものであるが，此處では纖維方向の彈性係數のみを測定した．

測定方法は壓縮，引張，曲げに依るものとあるが壓縮に係る方法をとり，試體は高さ 8 cm，直徑 3 cm の斷面を持つ圓筒形にして，標點距離 5 cm のミラー・エキステンソメーターに依り，觀測は常に試體の左右對稱の點に於て行つた．その左右の讀みの和を H_1+H_2 とすれば 圖—21 の如く Δl の値はミラーの廻轉角 θ，從つて H の函數として求められる．

圖—21



此のテンソメーターの倍率は 500 倍なるに依り，

$$\Delta l = \frac{H_1+H_2}{1000}\ \text{cm}$$

今試片の斷面積を $A\ \text{cm}^2$ 荷重を $P\ \text{kg}$ とせば

$$E = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{P \cdot l}{\Delta l A}\ \text{kg/cm}_2$$

$$E = \frac{P \times l \times 10^3}{(H_1+H_2)A}$$ として求められる．

表—8　彈性係數

試片	荷重	200 kg	400 kg	600 kg	800 kg	1,000kg	含水率(%)	含水率16%の時の比重	平均年輪幅(mm)	壓縮强度(kg/cm²)	含水率16%の壓縮强度(kg/cm²)
a_1	單位應力 (kg/cm²)	28.3	56.6	84.9	113.2	141.5	22	0.418	2.00	230.8	*
	彈性率 (10^3kg/cm²)	74.42	73.64	71.24	68.64	67.98					353.3
a_2	單位應力 (kg/cm²)	27.9	55.9	83.8	111.7	139.7	22	0.413	1.44	223.4	245.9
	彈性率 (10^3kg/cm²)	61.79	74.28	76.73	78.45	77.58					
a_3	單位應力 (kg/cm²)	28.7	57.4	86.1	114.8	143.5	19	0.478	1.44	269.1	275.7
	彈性率 (10^3kg/cm²)	107.05	108.67	96.92	77.12	44.83					
a_4	單位應力 (kg/cm²)	28.3	56.6	84.9	113.2	141.5	30	0.474	1.54	261.7	366.5
	彈性率 (10^3kg/cm²)	86.22	89.28	94.27	94.23	47.77					

* 含水率 16% の壓縮强度は清水元氏の杉松に對する公式

$$F_{16} = F\varphi + 7.49\ (\varphi - 16)\quad \varphi < 30$$ に依る．

表—8 に於て P kg の時の彈性係數は $P+50$ kg と $P-50$ kg 間の Δl より求めた.

表—8 に依り杉材の彈性係數は大體 70,000～100,000kg/cm^2 の間にあり，比重の大なるものの方が彈性係數は大きいが，その間の關係は數字的に明かにしえなかつた.

(3) 壓縮强さ

壓縮强さは木材の三方向，卽ち纖維方向，年輪の切線方向，年輪の直接方向に就いて行つた.

1. 纖維方向の壓縮强さ

使用部材の全體を含める意味を以つて，赤味質，白木質及その中間の稍赤味の入つた材質の 3 種（便宜上 A, C, B 級とす）に就いては夫々 4 個の供試體を造つた.

試片は 4×4×8 cm の六面體でその强度は比較のために清水元氏の杉材に對する公式 $F_{16}=F\varphi+7.49(\varphi-16)$ (但し $\varphi>30$) に依り 16% の含水率に換算した.

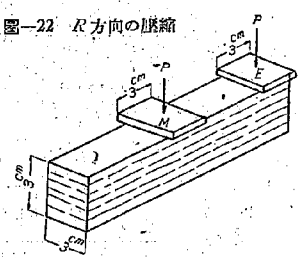
表—9

	A_1	A_1	A_3	A_4	B_1	B_2	B_3	B_4	C_1	C_2	C_3	C_4
平均年輪幅 (mm)	2.73	2.73	2.50	2.70	2.24	2.50	4.28	4.28	6.00	5.80	6.66	6.00
含水率 16% 强度 (kg/cm^2)	259.8	275.5	270.3	257.8	245.7	235.7	214.9	242.9	207.8	200.0	207.7	200.2
絶對乾燥時の比重	0.351	0.356	0.343	0.353	0.294	0.299	0.298	0.301	0.305	0.323	0.327	0.330

2. 纖維に直角方向の壓縮强さ

年輪の切線方向 (T) と年輪の直徑方向 (R) との壓縮試驗を，赤味質の試片 (E) と白木質の試片 (F) に就いて圖—22 に示す如く，荷重點の位置 M 及 E の二種を行つた. 試片は 3×3×18 cm の細長い角材にして，加壓面積は 3×3 cm である.

圖—22　R 方向の壓縮



表—10　纖維に直角方向の壓縮强度

試片	平均年輪幅 (mm)	力の作用方向及壓縮位置		下の歪の場合の壓縮應力 (kg/cm^2) 1.66%	3.33%	5.00%	6.66%	8.33%	10%	11.66%	含水率 (%)
E_1	2.50	R	M	18.8	31.4	41.2	45.8	50.0	53.9	57.9	22.4
			E	27.7	45.6	47.8	5.00	52.3	53.3	54.2	
E_2	2.50	R	M	25.0	41.8	48.2	55.0	60.0	62.4	66.3	20.8
E_3	2.50	T	M	33.4	55.4	64.4	68.9	73.3	78.0	82.6	22.6
			E	25.4	46.7	62.9	71.5	75.0	77.8	80.0	
E_4	4.50	T	M	21.1	44.4	60.0	64.3	66.6	68.9	73.2	25.9
F_1	5.00	R	M	38.8	49.5	55.5	61.5	69.5	73.5	76.4	10.6
			E	38.3	47.3	51.1	53.3	56.1	55.4	57.3	
F_2	3.33	R	M	44.4	50.6	55.5	58.8	64.9	67.5	70.2	15.6
F_3	3.10	T	M	53.3	82.2	85.6	77.7	85.7	85.7	82.2	18.3
			E	16.0	37.3	6.08	75.5	79.5	75.4	78.7	
F_4	3.15	T	M	58.9	48.8	86.7	87.3	85.5	88.3	94.0	16.8

歪 10% の時の減込强度は平均すれば,

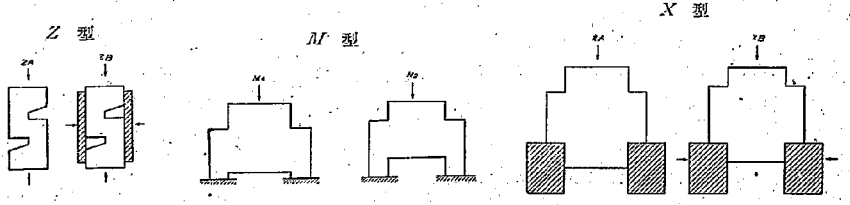
R方向　64.2 kg/cm²　　T方向　80.2 kg/cm²

で年輪の切線方向の減込强度の方が大である. 又左右に纖維が存在する場合 (M) と一方にのみ纖維が存在する場合 (L) とは歪 10% 迄の狀態ではその影響なく, 10%を越すと M の方が强度は大きくなる.

（4）剪斷强さ

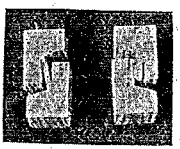
純粹の剪斷試驗を行ふことは困難であり, 殆ど不能と云つても良い. 種々の試片を造つてみたが滿足すべきものはなかつた.

圖—23　剪斷試驗供試體

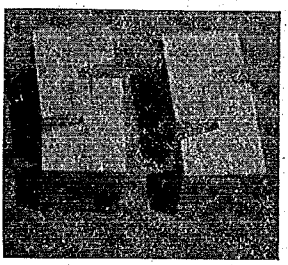


この破壞狀況は 圖—24 ～ 圖—29 に示す如く之等の內で比較的に良好なる結果を得たのは X 型にして,

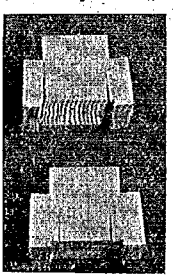
圖—24　ZA の破壞狀況



圖—25　ZB の破壞狀況

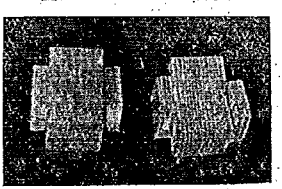


圖—26　M_1 の破壞狀況

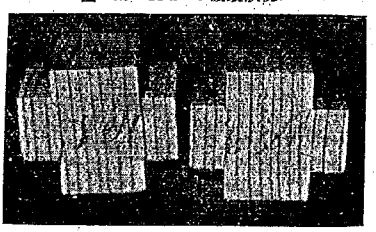


圖—27　ZB の破壞狀況

圖—28　XA の破壞狀況



圖—29　XB の破壞狀況



XA の方は一方が剪断破壊した場合に鍔ブロックは横にづれ試片は斜めになり，他方は剪断破壊しない．XB はブロックをボルトで一定間隔に保つたので剪断破壊は兩方に於て同時に起つた．

表—11　各試片剪斷强度

試片	剪斷强度 (kg/cm²)				年輪との關係
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
ZA	63.5	82.2	80.0	69.2	T
ZB	64.3	54.7	55.8	50.7	R
M_1	52.0	48.6	—	—	T
M_2	48.3	39.8	—	—	T
XA	18.4	14.7	—	—	T
XB	22.0	34.3	48.5	28.0	T

[2] 兩部材方向の平行なる場合の接合部試験

(1) 試驗方法及供試體

引張試驗は 100 t 水平引張試驗機，壓縮試驗は 200 t 壓縮試驗機により行つた．

1. 輪形デュベル及ボルト

本試驗に使用せる輪形デュベルは引拔鋼管を所要の幅に輪切りにした．內徑4吋及5吋の2種にして，その寸法は 表—12 の如くである．

表—12　使用輪形デュベルの大さ

管の稱呼 (吋)	外徑 (mm)	近傾厚 (mm)	近傾內徑 (mm)	幅 (mm)	1個當り重量 (gr)
4	114.3	4.5	105.3	30	366
5	139.8	4.5	130.8	35	525

輪形デュベルの幅は後節に示す計算及內外の實例に依り，輪形デュベルの直徑の $1/3$〜$1/5$ が良結果を得るに依り，玆に外徑の約 $1/4$ を以つて定めた．

切目の有無　4吋及5吋輪形デュベルの夫々に幅約 3 mm にして，直徑に對して 45° の角をなして切斷したものを切目ありデュベル，然らざるものを完全デュベルと假稱することとせり．切目の效果については後に述ぶるところを參照されたし．

圖—30　輪形デュベル

ボルトは何れも φ 16 mm，座鍔は φ 50 mm の圓形，80×80×6 mm 正方形 100×100×9mm 正方形を使用した．

輪形デュベルは殘めデュベル挿溝機に依り部材に穿たれたる溝に嵌込まれ，ボルトにて締附けて接合部は出來上る．

2. 引張試驗

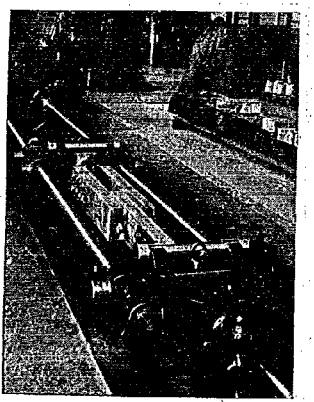
圖—31 は輪形デュベル接合引張試驗體で 10×20×110cm の部材

3個，輪形デュベル2個及ボルト1本より成り，引張力を供試體に傳へるグリップは，厚 18mm の內側に凹凸のある鐵板2枚と φ 19mm のボルト7本より成り，約 20 t の載荷をなしうる様に設計してある．

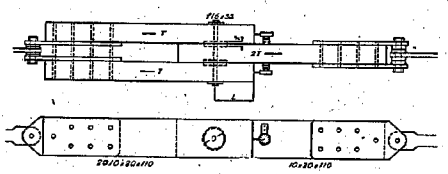
試驗機は 圖—32 に示す如く 100 t 水平引張試驗機を使用し，荷重 200 kg を增す毎に部材間の相對變位を側材端に於て2個のダイアルゲーヂに依り，$^1/_{100}$ mm 迄まで讀み，相對變位が 10 mm を越え，ダイアルゲーヂ使用不能の範圍では中央材と側材との間に取附けた尺度に依り $^1/_{10}$ 迄讀んだ．

圖—32 は水平引張試驗機に供試體を取附けた全景を示す．供試體の數及細部寸法は 表—13 の如くである．

圖—32　引張試驗機と供試體



圖—31　引張試驗供試體



表—13　引張試驗供試體一覽表

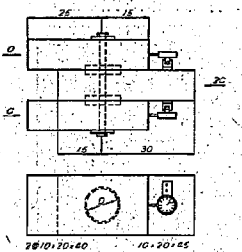
記號	輪形デュベル 內徑(吋)	輪形デュベル 切目	平均年輪幅 (mm) 側材	平均年輪幅 (mm) 中央材	平均年輪幅 (mm) 側材	含水率 (%)	餘材長 (cm) 側材	餘材長 (cm) 中央材	座鐵 (mm)	備考
4*Ia*1	4	ナシ	3.3	2.5	2.0	121	20	20	φ50	
4*Ia*2	4	ナシ	5.0	4.2	2.3	93	20	20	φ50	ボルト2本使用
4*Ib*′	4	アリ	2.7	3.4	2.5	85	20	20	100×100×9	
4*Ib*1	4	アリ	2.0	3.3	2.8	68	20	20	80×80×6	
4*Ib*2	4	アリ	2.5	3.7	3.3	32	20	20	80×80×6	繰返荷重を掛ける
4*Ib*3	4	アリ	2.7	2.5	2.7	67	20	20	80×80×6	繰返荷重及長時間載荷をなす
5*Ia*1	5	ナシ	4.0	2.2	5.6	51	20	20	100×100×9	
5*Ib*A1	5	アリ	6.3	3.8	3.0	56	20	24	100×100×9	デュベル廻轉止金具使用
5*Ib*A2	5	アリ	2.8	4.0	3.6	48	20	24	80×80×6	デュベル廻轉止金具使用
5*Ib*1	5	アリ	4.0	2.8	2.8	63	20	20	100×100×9	
5*Ib*2	5	アリ	2.8	3.6	3.3	29	25	25	100×100×9	10 番線を部材に巻く
5*Ib*3	5	アリ	4.0	3.6	4.2	32	25	25	100×100×9	繰返し荷重をなす

3. 壓縮試驗體

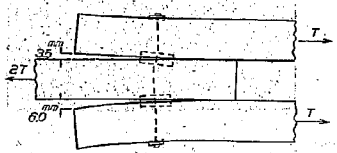
供試體の部材の寸法は 圖—33 に示す如くで，5吋デュベル及4吋デュベルを用ひて接合部を造り，200 t 壓

縮試驗機により加壓試驗を行つた．ダイアルゲーデは2個取附け，兩側材と中央材との相對變位を $^1/_{100}$ mm 迄讀み，變位 $^1/_{10}$ mm 以上では部材後部に取附けた尺度に依り，$^1/_{10}$ mm 迄讀んだ．供試體の材質は白木質で平均年輪幅及輪形デュベルは次の如し，

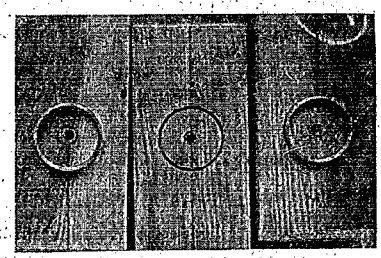
圖—33　壓縮試驗供試體



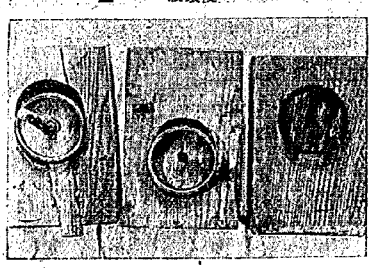
圖—34　引張試驗に於ける部材間遊離



圖—35　試驗前の 4*Ia*



圖—36　破壞後の 4*Ia*1



表—14　壓縮供試體一覽表

記號	輪形デュベル		平均年輪幅 (mm)			含水率 (%)	座鍛 (mm)
	內徑 (吋)	切目	側材	中央	側材		
4*IIa*	4	ナシ	3.3	2.7	2.5	62	80×80×6
4*IIb*	4	アリ	3.7	4.0	2.5	57	80×80×6
5*IIa*	5	ナシ	2.8	4.0	3.8	43	100×100×9
5*IIa*	5	アリ	3.3	3.7	4.2	52	100×100×9

（2）　4吋輪形デュベルを用ひたる接合部に關する試驗

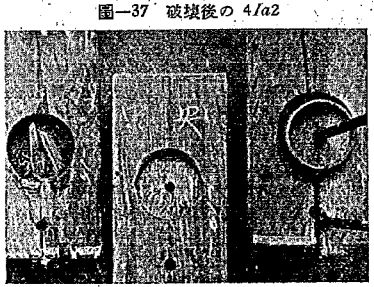
4*Ia*

座鍛は φ 50 mm の圓形にして 4*Ia*1 にはボルト1本を使用せるに，輪形デュベルに働く廻轉モーメントの爲ボルトに引張力生ずるが，座鍛の面積小なる爲座鍛は部材中に滅込み，部材の遊離を生ぜしめた．荷重＝6,500kg の時に於て左圖の如き部材遊離があつた．それ故に部材の締附けを增す爲に 4*Ia*2 デュベルの中心を貫くボルトの外に側材の端より 6 cm の點に φ 16mm ボルトをもう1本併用した．

4*Ia*1 及 4*Ia*2 の荷重と部材間變位の平均は，圖—39 に示す．

破壞は先づ內材(輪形デュベルに圍まれた部分)の剪斷破壞，次に餘材の滅込が大となり耐荷力は低下する．

圖—37　破壞後の 4*Ia*2



No. 1 では內材は全部剪斷破壞し，一方向の側材の餘材は一部剪斷破壞し，同部材の割裂が最後的の破壞を接合部にもたらした．輪形デュベルの廻轉は 4mm 程度あつた．

No. 2 も心材は總て剪斷破壞をなし，兩側材のボルトに沿ふ割裂が最後的破壞をもたらした．ボルト 2 本を用ひたことに依り部材間の遊離は 7,000 kg 迄は 2 mm 程度で非常に少く良好であつたが，ボルト 2 本使用は部材の割裂を助長せしめる缺點は爭へない．故に豫期した耐荷力の增大はなく，4*Ia*1 は 9,000kg，4*Ia*2 は 9,050kg が最高荷重であつた．

減込係數 $\frac{dx}{dp}$ No. 1 = 0.413mm/t　No. 2 =0.300mm/t

試驗結果を綜合すれば次の通りである．

1. 餘材長 L（ボルトより部材端までの距離）は本供試體のものは充分なることが分つた．即ち餘材の剪斷破壞及割裂は內材の剪斷破壞後で，而もデュベルの支壓に依り木材が減込破壞を起してから初めて生じた（圖—36，37 參照）即ち $L=2.0\,Di$（Di は輪形デュベルの內徑）に取れば充分である．

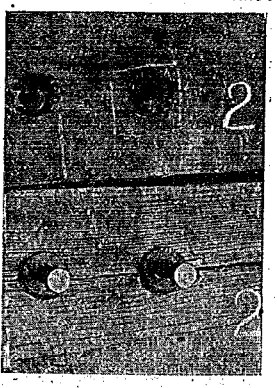
2. ボルトの座鐵は φ 50mm の圓形では 4 吋輪形デュベルの廻轉モーメントに抵抗するボルトの引張力に對して小さすぎる．

3. 輪形デュベルの破壞に最大の影響を及すものは部材の割裂である．而して割裂に抵抗せしむるには餘材長を長くしてもその效果微弱である．

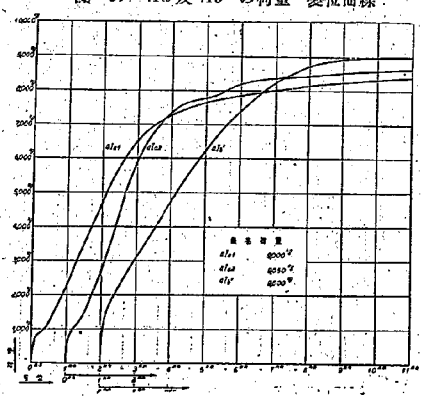
4. 輪形デュベルの廻轉は部材の遊離を生ぜしめ，デュベルと部材との接觸面が傾斜する樣になる故，部材間の變位を大きくする．

5. 輪形デュベルは切目なき場合は本試驗の結果，少しも變形をうけず破壞の傾向は少しもなく，ガスパイプ輪切で充分その目的を達せり．

圖—38　破壞後の 4*Ia*3 の側面割裂



圖—39　4*Ia* 及 4*Ib*′ の荷重—變位曲線



6. ボルト 2 本併用はその效果少く，部材に最惡なる割裂を生ぜしめる．故に部材の締附力を增加せしむるには座鐵を大きくするのがよい．

7. 內材の剪斷破壞は 7,500～8,000kg で起り，その結果內材に掛つてゐた荷重は總て餘材に掛るので部材間の變位は增大し急速に破壞が起る．

4*Ib*′

荷重—變位曲線は 圖—39 に示せる如く試驗結果は

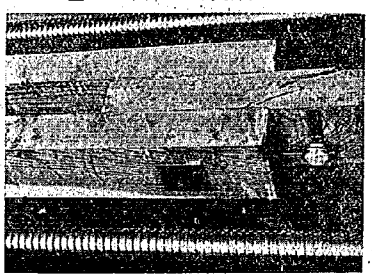
1. 部材間の廐擦は 1,600kg 頃迄續いた．その後に於けるデュベル減込抵抗による減込係數 $\frac{dx}{dp}$ は 0.617 mm/t で 4*Ib* No. 2 の倍近くであつた．

2. 內材は 1 側材と中央材の一方とが剪斷破壞した．之は 9,000kg に於てその徵候を認めた．デュベルに切

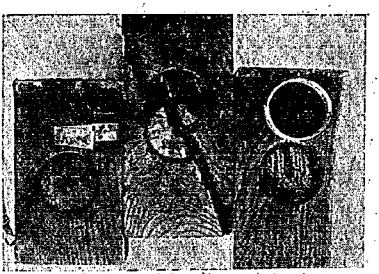
目のあることは内材の破壊に好結果であつた.

3. 9,600 kg で中央材が引張に依り破壊した. 之の破壊點はデュベルの位置より離れてゐて, 接合に關係ない引張力に依る破壊で, この附近で木材の纖維が彎曲して居り, 傾いた纖維間に剪斷應力と張力とが生じた爲である. 故に木造物の部材として纖維が部材と平行に通つてゐることは重要なことである.

圖—40　4*Ib'* の中央部材の破壊



圖—41　破壊後の4*Ib'*



4. 輪形デュベルの切目を力の方向に直角なる點に置いた結果, デュベルは廻轉モーメントに依る變形大きく, 圖—41 の左に示す如く, 切目でリングは喰違を生じた. ガスパイプを使用した輪形デュベルでは切目の位置を 4*Ib'* の如くした場合充分の硬性を有しない.

5. 座鐵は 100×100×9mm の正方形で, ボルト引張力に對して充分すぎる程大きいもので部材の遊離はなく, 側材端で開いたに過ぎない.

4Ib

切目は總て力の方向と平行なる點に置く.

4Ib1, *4Ib2*, *4Ib3* の荷重—變位曲線は 圖—42 の如し.

4Ib1 の試驗結果

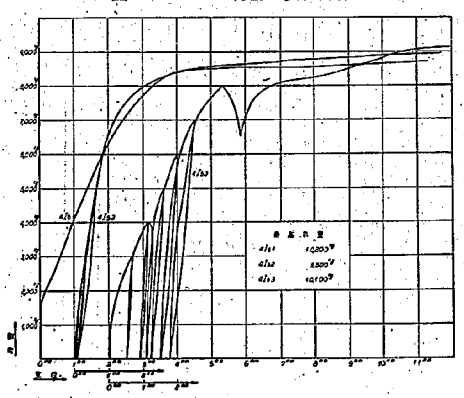
1. 座鐵は 80×80×6mm で充分にデュベル廻轉に依るボルトの引張力に耐へた.

2. 最高荷重は 10,200 kg, 減込係數は 0.415 mm/t であつた.

3. 破壊後の狀況は 圖—43 の如く滑外壁は押しつぶされたのみで, 內材は何れも完全には剪斷破壞せず, 中央材の內材は半分剪斷破壞してゐた. 最後破壞は中央部材の割裂に依るものであつた.

4. 最初の破壞的徴候は 8,500kg でミリと音のした時で, この頃から荷重に對する變位は大きくなり, 漸次に荷重が上昇して 10,200kg 迄單調に增加した. 之は *4Ia* に比して約 13% の耐荷力上昇があつた.

圖—42　4*Ib* の荷重—變位曲線



4Ib2 の試驗結果

1. 3,000kg 及 5,000kg で一度荷重を 0 にもどして繰返荷重をなしたが，3,000kg では殘留變位は 0.045mm, 5,000kg では 0.080mm で微小なるものであり，

減込係數 = 0.255 mm/t

最高荷重 = 9,500 kg

2. 破壞は中央材の溝外壁の壓挫と同材の割裂であり，側材は 圖—44 でも分る如くほとんど完全なる狀態で，內材の剪斷破壞は中央のみで 8,100kg の時に起つた．而して割裂の生じたのは變位 34mm の時で，この時に初めて荷重が下つた．デュベルの廻轉は 2,0 mm であつた．

4Ib3 の試驗結果

繰返し荷重と長時間載荷を行つた．その載荷順序は 3,000 kg，4,000 kg で繰返し，4,000 kg を 20 時間載荷 5,000kg，6,000kg，7,000kg で繰返し，8,000kg で 26 時間載荷をなした．

1. 3,000kg 以上の各荷重毎の繰返し荷重にては，殘留變位は相當あつたが外接する曲線はかなり滑かになつてゐる．

2. 長時間載荷は 4,000 kg を 20 時間掛けたが，この時間の間に荷重は 4,000kg→3,770kg に下り，部材間の變位は兩側材の平均値で 0.05mm 增加した．部材間の遊離は一方の側材は 0.01mm，他方の側材は 0.03mm 增加したのみであつた．8,000kg の場合は 26 時間載荷せるに，此の荷重は破壞荷重に近いために相當の變位增加があつた．荷重は 26 時間で 8,000kg より 6,500kg に低下し，部材間變位は 0.56mm の增加があつた．但しこの變化は最初の 1～3 時間の間に猛烈で，最後の 5 時間の間には少しも變化しなかつた．

3. 破壞は中央材のデュベル溝外壁の壓挫と同材の割裂とであり，側材は完全であつた．內材は中央材のみが剪斷破壞した．

減込係數 = 0.405 mm/t

最高荷重 = 10.100 kg

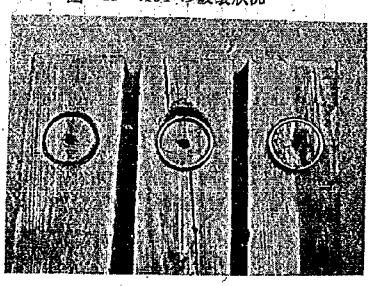
デュベルの廻轉は 2.3mm であつた．

4Ib の部材間の遊離

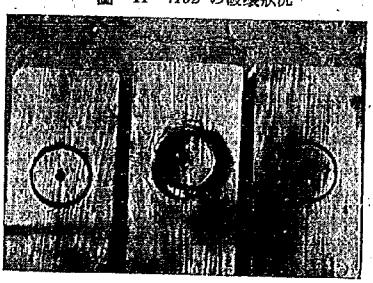
4Ib2，*4Ib3* に於て側材の遊離を測るために 2 個のダイアルゲージを附けて測定をなした．

4 吋の輪形デュベルに 80×80×6mm の正方形座鐵を用ひた場合は部材の遊離は少く，充分にボルトの引張力に抵抗し得ることが分つた．その曲線は 圖—46 に示すが，*4Ib2* では 8,000 kg で 10.72mm, *4Ib3* では 5,000 kg で 0.91mm であつた．

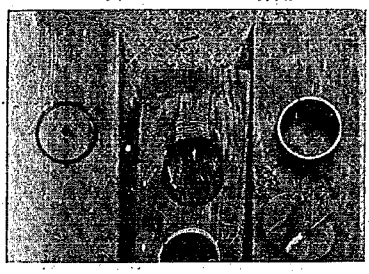
圖—43　*4Ib1* の破壞狀況



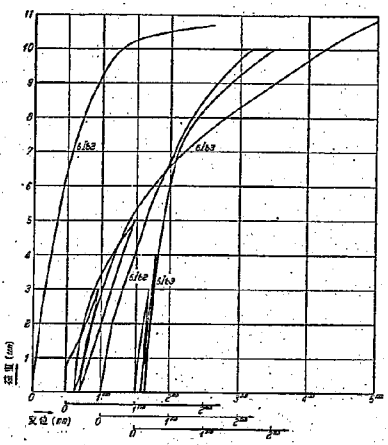
圖—44　*4Ib2* の破壞狀況



圖—45　4*Ib3* の破壊狀況



圖—46　荷重と部材間遊離



4IIa

本供試體は壓縮試驗であり試驗結果は次の如し.

1.　荷重—變位曲線は圖—47 に示せる如くで 8,400 kg で變位が急に大きくなり 9,000kg でミリと音がした. 故にこの邊で內材が剪斷破壞したものである. 最高荷重 11,200 kg の時は變位 33 mm であつた.

減込係數 = 0.27 mm/t

最高荷重 = 11.200 kg

最高荷重は同一狀態の引張試驗 4*Ia* の最高荷重 9,000 kg に比して 2,200 kg 上昇した. この原因をなすものは部材間の摩擦力增加と加壓面の接觸に依る. 割裂力の減殺に依る.

2.　破壞は內材が先づ剪斷破壞をなし, この頃より變位は大きくなり, 最後破壞は側材の割裂に依つたもので圖—48 にて見る部材面のイライラは摩擦力が相當にあつたことを示す.

4IIb

本試驗も壓縮試驗であり試驗結果は次の如し.

1.　變位は 8,600kg を越すと急に大きくなり 9,000kg でミリと音のしたことは 4*IIa* と全く同じであつた.

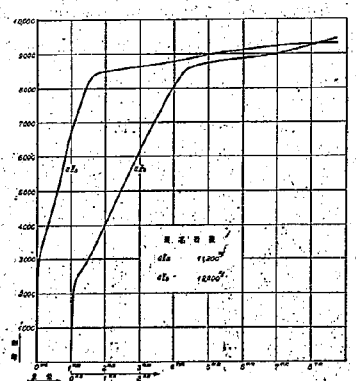
減込係數 = 0.472 mm/t

最高荷重 = 12,400 kg

で 4*Ib* の平均 9,930 kg に比して約 2,500 kg の上昇であり, その原因は 4*IIa* の場合と同じである.

2.　破壞は內材が先づ剪斷破壞をなし, 最後破壞は側材の割裂であつた. 輪形デュベルは相當に變形をなしてゐる.

圖—47　4*II* の荷重—變位曲線

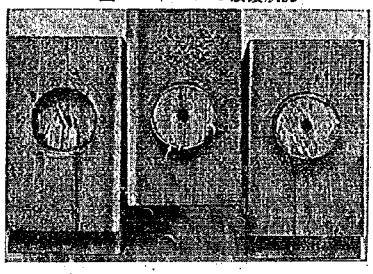


引張試驗と壓縮試驗との相異

次の點に於て相異してゐる.

1.　引張試驗の最高荷重に比して壓縮試驗最高荷重は 2,200～2,500kg 高い.

圖—48　4*IIa* の破壞狀況



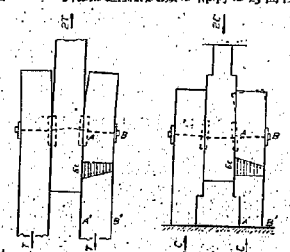
圖—49　4*IIb* の破壞狀況

2. 引張試驗にありては部材は相互に遊離せんとして側材端に於て隙間を生ずるが，一方壓縮試驗では部材は益々密着せんとする傾向を有する．

1の原因をなすものは壓縮試驗にありては，部材間の摩擦の增加と部材割裂の力が餘材端に於て，試驗機に接觸する爲に幾分弱められるに依り，輪形デュベル接合に最惡の部材割裂が引張試驗の場合より遲くなつてあらはれる．

2の原因は圖—50 の如く部材に不均一に應力が分布する結果，引張試驗の場合は AA' 側に大なる δ_t があり，伸び $\Delta AA' > \Delta BB'$ となり，部材は圖の如くなる．反對に壓縮試驗では δ_c は AA' 側で大となり，縮み $\Delta AA' > \Delta BB'$ なるに依り $AA' < BB'$ となり，部材は點線にて書ける樣に成らうとする結果，部材間の摩擦力は增大する傾向を有す．さて以上の傾向の差に依り引張接合の時の方が大なるボルト引張力を受けることが實驗結果よりして分つた．故に引張接合にあつては座鐵の大きいのを用ひなければならぬ．

圖—50　引張及壓縮試驗の部材の彎曲傾向



（3）5吋輪形デュベルを用ひたる接合部に關する試驗

5Ia

1. 荷重—變位曲線は圖—56 に示す如く 2,400 kg 迄は部材間の滑りは微少で，此の點までは 100×100×9 mm の座鐵の締附の摩擦に依り耐荷したものと思はれる．2,400kg と 2,600kg の間で約 0.85mm の大なる滑りを見たが，之はデュベルの密着を得るための滑りだと思はれる（5吋デュベル穿溝機の刃はデュベルの肉厚より少し厚くし過ぎた）．即ち之は製作上の滑りで接合が荷重に克服されたことを意味してゐない．一度デュベルが完全に木材に接觸すると荷重と變位は直線的に上昇するが，此の時の

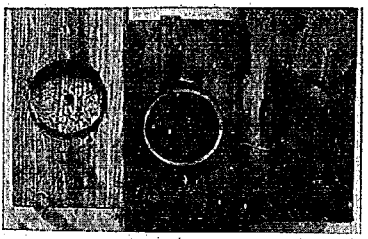
減込係數 = 0.358 mm/t

最高荷重 = 10.900 kg

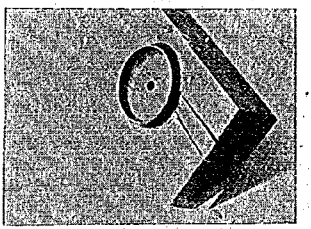
2. 變位の急な增加は 10,000kg を越してからで，ミリと云ふ破壞傾向は 10,800kg に起り，直ちに部材は割裂して荷重は低下した．溝外壁は少し壓挫して居り，側材の一方の內材は剪斷破壞せるも中央材の內材は剪斷破壞してなかつた．之の破壞結果より餘材長 20 cm は5吋デュベルでは短かきに過ぎると思ふ．デュベルの廻轉は 4.5 mm であつた．

5IbA

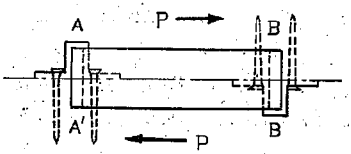
圖—51　5*Ia* の破壊狀況



圖—52　5*Ia* の中央材の割裂狀況



圖—53　輪形具デュベル廻轉止め金具



5*Ia* 試驗結果に依りデュベル廻轉はかなりあるに依り，圖—53 に示すが如き幅 2cm，厚 1.5mm 金具をデュベル 1 個につき 2 個づつ取附け，デュベルの廻轉を防止することとした．

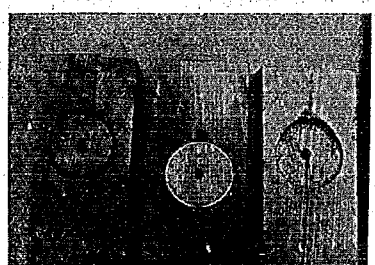
5*IbA*1 の試驗結果

1. 側材の施工悪くグリップからボルト中心迄の距離か異つてゐた爲に，一方の側材のみに荷重か掛り，その爲にその側材か先づ破壞（割裂）し，他の側材が次に割裂して，一番早く破壞する傾向にある中央材は圖で見る如く何等變化しない．廻轉止め金具を用ひた爲にデュベルとの廻轉は少く 1 mm 以下であつた．

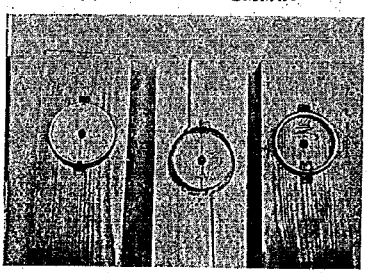
減込係數 = 0.554 mm/t

最高荷重 = 10,700 kg

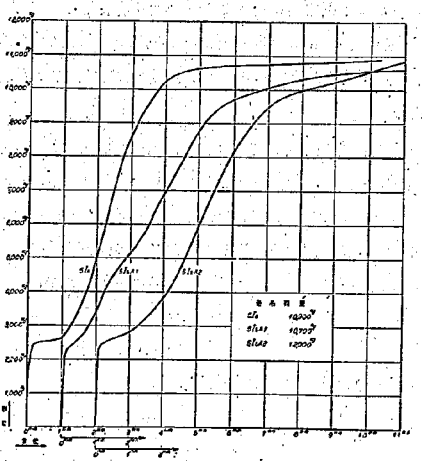
圖—54　5*IbA*1 の破壞狀況



圖—55　5*IbA*2 の破壞狀況



圖—56　5*Ia* 及 5*IbA* の荷重—變位曲線



5Ib A2 の試驗結果

1. 9,600kg で內材破壞の微候たるミリなる音をなし，變位もこの邊より急激に上昇した．內材は中央材の一方のみが剪斷破壞した．最後的破壞は中央材の割裂であり，輪形デュベルの廻轉は 1.5mm で微小であり，デュベルの變形は殆どなかつた．

減込係數 = 0.427 mm/t

最高荷重 = 12,000 kg

5Ib

5Ib1 の試驗結果

1. 部材の滑り大であり，比例限界も早く來て內材は何れも剪斷破壞せず．中央材の割裂で荷重は低下した．卽ち 圖—58 で見る如く外の何れの應力も充分あるに拘らず，部材の割裂の入つたことに依り接合の耐荷力を失つた．依つて餘材長 20 cm は 5 吋デュベルにとつて短か過ぎたものと思ふ．

減込係數 = 0.413 mm/t

最高荷重 = 10,800 kg

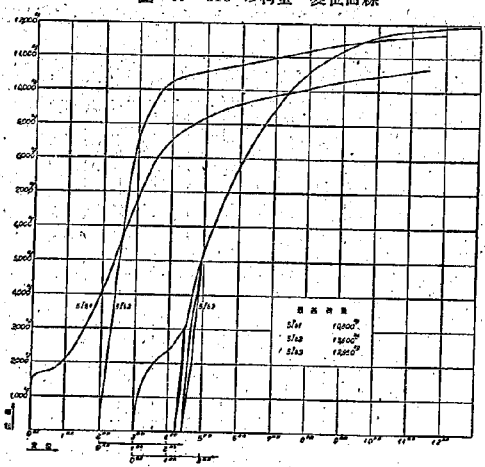
5Ib2 の試驗結果

1. 5 吋輪形デュベルは內材が剪斷破壞した場合，餘材に急に大なる荷重が掛り，從つて部材を割裂せしめんとする力が倍加するに依り，之の割裂を防ぐ目的を以つて 10 番線針金を中央材には 6 卷き，側材には 4 卷した．此の結果針金の卷附により部材の割裂は著しく防止され，最高荷重は 13,6000 kg まで上昇した．部材に割裂が完全に入らなかつたので，荷重は急に低下することなく安全性が大いにあつた．デュベルは稍々變形をなしてゐた．

2. 荷重—變位曲線を見ると本供試體の減込係數は非常に小さなのは殊め 5,000 kg 迄荷重を掛て置いてからの曲線である．

減込係數 = 0.113 mm/t

圖—57　*5Ib* の荷重—變位曲線



最高荷數 = 13,600 kg

5Ib3 の試驗結果

1. 內材の剪斷破壞は側材の一方に於て不完全ながら起つた外何れも完全であつた．その結果餘材に働く荷重が增大せず 12,950 kg に至るまで部材の割裂はなく，木材の壓挫とデュベルの變形及デュベルの廻轉とによりてそれ以上に荷重は增さなかつた．デュベル廻轉は 6.5mm で非常に大きかつた．

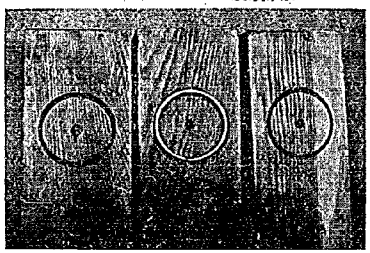
本供試體の木材は材質及平均年輪幅より見て他の材に秀たものでないが，斯く良好なる結果を得たは含水率が 22% であつたためである．

減込係數 = 0.326 mm/t

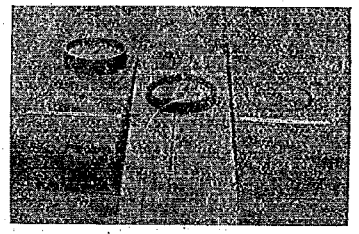
最高荷重 = 12,950 kg

2. 繰返し荷重に依る殘留變形は初めの施工上の滑りを除けば極めて小さく，可成り良好なる曲線を得てゐる．

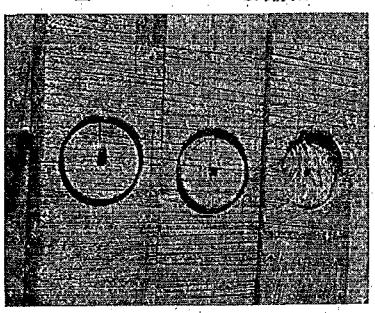
圖—58　5*Ib* No. 1 の破壞狀況



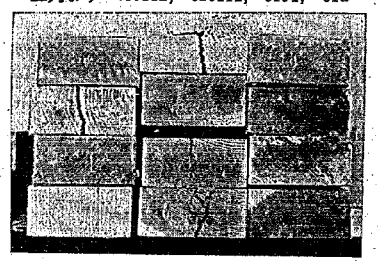
圖—59　5*Ib* No. 2 の破壞狀況



圖—60　5*Ib* No. 3 の破壞狀況



圖—61　部材の割裂狀況
上列より　5*IbA*2,　5*IbA*1,　5*Ib*1,　5*Ia*



5*IIa* 及 5*IIb* の試驗結果

1.　載荷は何れも 10,000kg 迄とした．5*IIa* では 9,700kg でミリと音を出した．之は中央材の內材が剪斷破壞した音である．之に反して 5*IIb* は各部材の內材は何れも完全である．內材の剪斷破壞に對して輪形デュベルに切目のある 5*IIb* の方が良好であることが分つた．

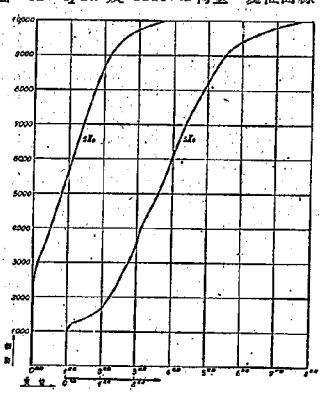
2.　5*IIa*, 5*IIb* 共に 9,200kg 以上になると減込係數が大きくなる．10,000 kg 迄の載荷では 圖—63 及圖—64 に見る如く，5*IIa* の中央材の內材破壞を除いては何らの變形も受けてゐない．

減込係數

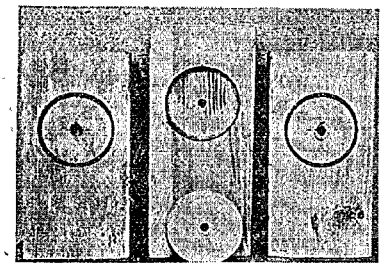
5*IIa* = 0.314mm/t

5*IIb* = 0.414mm/t

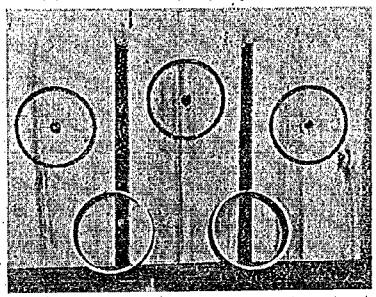
圖—62　5*IIa* 及 5*IIb* の荷重—變位曲線



圖—63　5*IIa* の 10t 載荷後の狀況



圖—64　5*IIb* の 10t 載荷後の狀況



[3]　斜材を有する部材接合部の横方向の壓縮試驗

(1)　試驗方法及供試體

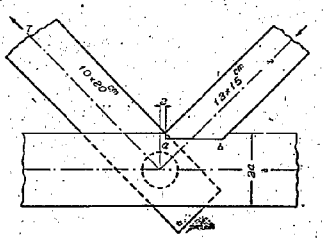
1.　45° の斜材を有する場合の供試體

供試體の性質上引張試驗を行ふことが困難であつた爲壓縮試驗のみを行つた.

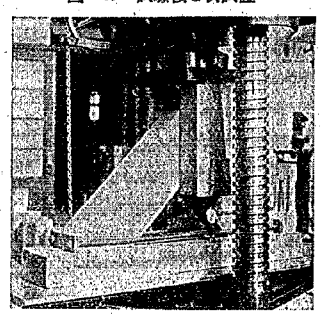
强材の支持點 *a*, *b* の位置は後にで述べる如く接合部の强度に大なる關係を有するが, 土木局第二技術課設計の4次のワーレン・トラスと同じ關係に取ることとした. 又 圖—65 の場合は弦材2本に對し斜材1本であるが, 本試驗に於ては弦材1本に對して斜材2本を左右より抱合した型となつてゐるが, 之は安全側にあることは[5]で述べる如くである.

供試體は 圖—66 の如くで 200t 壓縮試驗機に依り, 加壓試驗を行ひ 圖—67 の如くダイアルゲーヂを2個取着けて, 部材間の變位を荷重 200kg 毎に讀んだ.

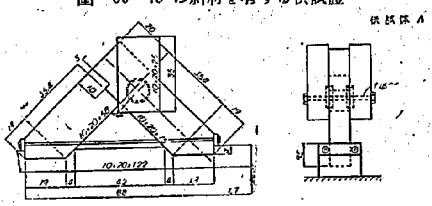
圖—65　土木局設計のワーレントラスの格點



圖—67　試驗機と供試體



圖—66　45° の斜材を有する供試體



供試體は次の如し.

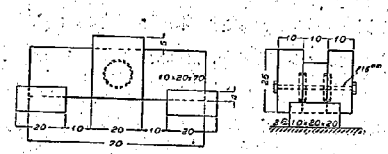
表—15 45° の斜材を有する供試體一覽表

記號	輪形デュベル 内徑(吋)	輪形デュベル 幅(mm)	輪形デュベル 切目	含水率(%)	平均年輪幅(mm) 側材	平均年輪幅(mm) 中央材	平均年輪幅(mm) 側材	座鉄(mm)	備考
4*Da*	4	30	ナシ	62	1.6	2.2	2.5	80×80×6	
4*Db*	4	30	アリ	58	2.8	2.5	2.2	80×80×6	切目は斜材の纖維と平行
5*Da*	5	35	ナシ	71	2.5	2.5	2.5	100×100×9	
5*Db*	5	35	アリ	46	2.2	2.5	2.2	100×100×9	切目は斜材の纖維と平行

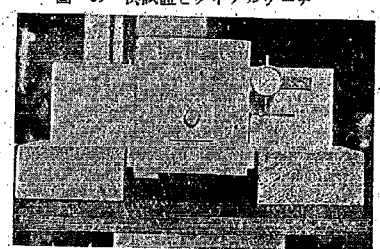
2. 90° の斜材を有する場合の供試體

部材の支持する點は4吋輪形デュベル切目なし (4*Va*) 及5吋輪形デュベル切目なし (5*Vb*) にありては圖—68 の如く支點間の純徑間 40cm であるが, 4吋切目あり (4*Vb*) 及5吋切目あり (5*Vb*) にありては支點間の純

圖—68 供試體



圖—69 供試體とダイアルゲーヂ



徑間 24cm 而も 4*Vb* に 20×8×6 cm のブロックを, 5*Vb* には 20×4×6 cm のブロックを置いて水平部材の曲げに依る破壞を防いだ.

本供試體も 200 t 壓縮試驗により 圖—69 に示せる如きダイアルゲーヂにより, その變位を 200 kg 毎に $^1/_{100}$ mm 迄讀んだ.

材質は何れも白木質のものにして平均年輪幅その他は次の如し.

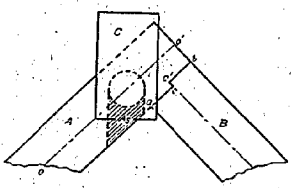
表—16

記號	輪形デュベル 内徑(吋)	輪形デュベル 切目	平均年輪幅(mm) 側材	平均年輪幅(mm) 中央材	平均年輪幅(mm) 側材	含水率(%)	座鉄(mm)	支點純徑間(cm)	備考
4*Va*	4	ナシ	6.4	5.0	3.6	41	80×80×6	40	
4*Vb*	4	アリ	3.0	4.0	3.0	34	80×80×6	24	20×8×6cm のブロックを剪斷面積繊に置く
5*Va*	5	ナシ	5.0	3.7	3.3	43	80×80×6	40	
5*Vb*	5	アリ	5.0	6.3	6.0	36	80×80×6	24	20×4×6 のブロックを剪斷面積に置く

（2） 45 度の斜材を有する接合部に關する接合試驗

弦材 A に對する支持材 B は ab で A に接觸し，ab は剪斷面 As の下にないので，弦材 A の破壞は接合部の應力のみならず，桁としての影響が入つて來る．A は 45° に傾いてゐる關係上壓縮試驗ではあるが，部材間の摩擦力が增加した樣な傾向は見られなかつた．之は 圖—71～74 を見ても $4\text{II}a$ の場合の如く部材面にイライラが立つてゐないことに依つても分る．

圖—70　弦材と對角材



1.　斜材 A は剪斷力を受けた爲に中心線 OO' に沿ふて剪斷應力に依つて割裂した．之の割裂は剪斷力を減少するか，部材 A が上に長い場合に輕減出來る．$4Db$ の弦材の割裂が明かでないが，之は弦材が割裂すると直ちに載荷を中止した爲に割裂は目立つてゐない．剪斷面 As は剪斷破壞と云ふよりは，荷重に依り纖維が引離されて破壞したので As の左右の材に大いに關係する．この點より考へて cd と支持面を 2 段にすることは惡影響を及してゐる．

更に弦材 A の中心線 OO' より上にある部分は，この接合の應力傳達に何ら關係してないことは破壞狀況の寫眞を見れば分る．故に輪形デュベルを部材の中心に置かずもつと上の方に置く方が良い．

2.　內材の剪斷破壞は次の如し．

輪形デュベルの廻轉は 4 吋にありては 1.5mm ぐらいで少いが，5 吋では $5Da$ の場合 4.4 mm $5Db$ では 3.5 mm もあつた．

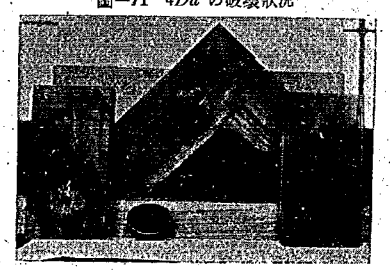
輪形デュベルの變形は殆どなかつた．

表—17

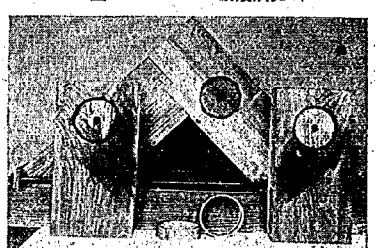
記號	側材	中央材 右	中央材 左	側材
$4Da$	破壞	破壞	破壞	完全
$4Db$	破壞	80%破壞	OO' 以上のみ破壞	完全
$5Da$	完全	破壞	破壞	完全
$5Db$	完全	破壞	破壞	完全

3.　部材方向が傾いてゐるデュベル接合に於ては，その弱點は斜めに力を受ける部材にあり，部材方向に平行に力を受ける部材の破壞は問題とならない．土木局設計 4 次ワーレン橋では本試驗の弦材 A は 2 本で，斜材 C は 1 本の場合であるから，弦材 A の破壞は本試驗の破壞以上の荷重に於て起るであらう．

圖—71　$4Da$ の破壞狀況



圖—72　$4Db$ の破壞狀況

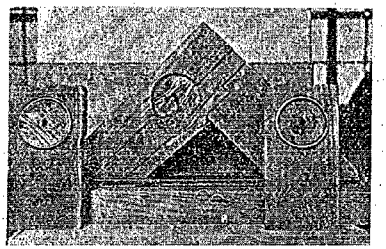


4.　減込係數は次の如し，

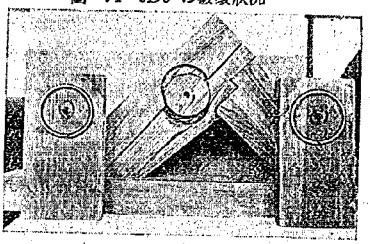
$4Da = 0.437$ mm/t　　$4Db = 0.550$ mm/t

$5Da = 0.305$ mm/t　　$5Db = 0.423$ mm/t

圖—73 5Da の破壞狀況

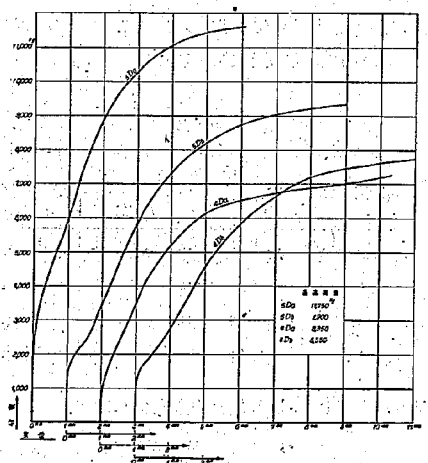


圖—74 5Db の破壞狀況



內材と餘材との荷重の分配は平行部材の如く內外にほぼ $\frac{1}{2}$ になるのではなく，傾斜せる場合は餘材の方は變形が大きいので，大部分の荷重が內材に掛るものである．

圖—75 斜材を有する接合部の荷重—變位曲線



5. 纖維に 45° の方向より力を受ける部材の大きさは，輪形デュベルを部材の中心に置き，面の兩側より作用した場合 4 輪形デュベルに對しては 20 cm で充分であるが，5 吋輪形デュベルの場合は 20 cm では充分であるとは云へない．卽ち 5 吋デュベルに對してはもつと大きい部材を使用するか，中心線より偏心させるか，支持面 $a\ b$ を剪斷面 As の下にもつて來るかしなければならぬ．

（3） 90 度の斜材を有する接合部に關する試驗

4Va

1. 支持點の間隔は 40cm であつた爲に弦材は剪斷力を受けて，中心線に沿ふて剪斷破壞し上下の二部分に分離したことは 圖—76 に依つて分る．之の爲に內材は上半分のみが剪斷破壞し，下半分は應力を受けなかつた．

2. 最高荷重は 5,700kg で非常に低いが 圖—76 に見る如く餘材部分の狀態も良好である．之に依つても弦材は接合の破壞に依るものでなく斯くの如く支持した．高さの高い桁の曲げ破壞に依つたものと考へられる．

4Vb

1. *4Va* の結果を顧みて支點の間隔を 24cm とし，剪斷面稍端（デュベルの眞下）に弦材幅 10cm より 2cm 少い 8 cm 幅のブロックを置いた．然し此のブロックは弦材と密着しなかつた爲に，幾分弦材に曲げモーメントが生じたが大したことはなかつた．この結果 圖—77 に見る如く弦材の劃裂は左半分に現はれただけである．

2. 最高荷重は 9,000 kg で最後破壞は弦材の餘材の減込强度の克服に依るもので，幾分剪斷面の兩側の纖維が引離れて來てゐた．內材は弦材のみが破壞し垂直材に異狀はなかつた．之により剪斷面稍端を支持したときは平行部材の接合に對し，耐荷力の減少は殆どないことが分つた．

5Va

1. 4*Va* と同じ支持狀態で剪斷面積端は支持してない．この場も桁として弦材は破壞し 圖—78 で見る如く上下2部分に分離したことは 4*Va* と全く同じである．

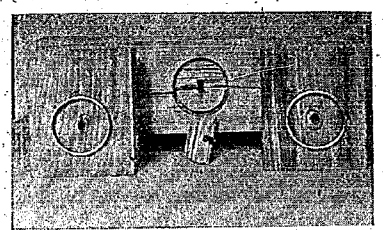
2. 之の場合弦材の心材は剪斷破壞せず，餘材も何ら破壞的傾向を示してゐないから全く桁としての破壞をしたものと考へられる．最高荷重は 7,060 kg で平行部材の 5 吋輪形デュベル接合に較ぶれば大なる耐荷力低下である．

5Vb

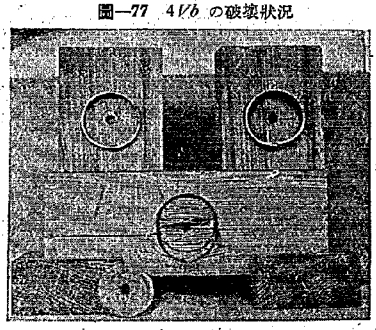
1. 4*Vb* の場合と同じく支壓間隔を 24 cm とし剪斷面積端に弦材の幅より 6 cm 少い 4 cm 幅の小ブロックを置き，弦材の彎曲を防止せんとした．此の場合弦材の彎曲は完全に防止し得たが，剪斷面積端を完全に支持しなかつたので餘材は剪斷破壞した．

2. 最高荷重は 8,600 kg で 5 輪デュベルとしては 4*Vb* の場合より劣が悪いが，之はブロックの大きさの影響かと思はれる．心材は完全には破壞せずにあつた．

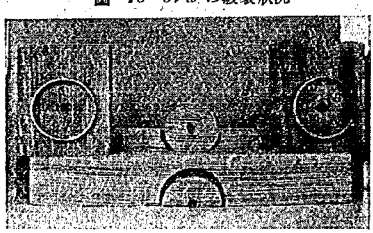
圖—76　4*Va* の破壞狀況



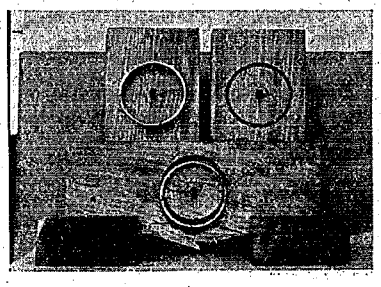
圖—77　4*Vb* の破壞狀況



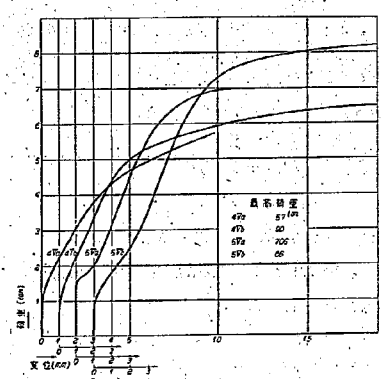
圖—78　5*Va* の破壞狀況



圖—79　5*Vb* の破壞狀況



圖—80　4*V*, 5*V* の荷重—變位曲線



以上の試験結果だけでは確實とは云へないが，垂直材を有する弦材の輪形デュベル接合では，一番耐荷力高いのは剪斷面積端を完全に支持する場合で，この支持の面積の少くなるに從つて耐荷力は減少し，支持點が 4*Va* 及 5*Vb* の如く剪斷面積端にない場合は非常に弱いと云ふ傾向を知る．之に就いては［5］で再述する．

［4］ 接合部耐荷力並に安全率の算定

輪形デュベル接合に限らず何れのデュベル接合に於てもその耐荷力を計算することは，木材の力學的性質の千差萬別，加工の精密度，加工後の材齡，デュベルの形狀の相異等の種々の不均一性と不確實性とに依り極めて困難であり，計算は大體の目安をつけるにすぎないものである．

一方この情勢を認識せるプロシヤ法規地上建築木構造施工規則 (Bestimmungen für die ausfuhrung von Bauwerkén aus Holz im Hochbau DIN 1052) の接合法の項に於て次の如く述べてゐる．

〃種々なる接合法「楔形デュベル，輪形デュベル，ボルト，釘」等は定評ある試驗所の實驗を基礎として計算をなすことを得．但し其の實驗は接合の作用，效果を異論なく說明したるものたるを要す．此の實驗結果は構造物に於て豫め考慮せる接合の仕樣及施工，特にボルトの太さ及座鐵の大さが實驗と正確に一致せる場合にのみ，實驗結果を建築施工に轉用することを得．許容荷重は實驗破壞荷重の平均値より安全率 3 を以て計算すべし．接合部は許容荷重の下に於て，相互に最大限 1.5 mm だけ變位することを許す．(以下略)〃

（1） 應力の分布

輪形デュベルの應力の分布を理論的にも實驗的にも之を測定するは難事であるが，以下幾多の假を設けつゝ說明をなさんとす．

ボルトとデュベルとの力の分配

二面剪斷の場合は

l = 木材幅　　t = デュベル幅

D_o = デュベル外徑　　D_i = デュベル內徑

d = ボルト徑

とせば，ボルトに掛る荷重 P_b は心材が破壞する前は

$$P_b = P\frac{(l-t)d}{(D_o+D_i)t+(l-t)d} \quad \cdots\cdots(1)$$

心材が剪斷破壞した後は

$$P_b' = P\frac{(l-t)d}{D_o t+(l-t)d} \quad \cdots\cdots(1)'$$

デュベルに掛る荷重 P_d は

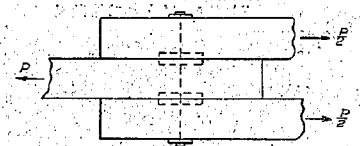
$2P_d = P - P_b$ であることは云ふ迄もない．

但しこの場合は摩擦に依る耐力を考慮せず部材間の變位の小さい範圍の場合である．

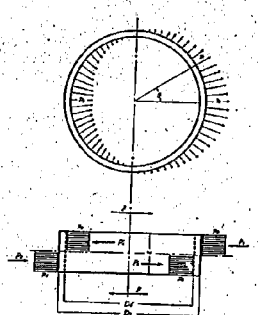
デュベルと木材と間の應力

デュベルと木材との接觸が完全にして木材が等方性を有する彈性體，且支壓應力をその接觸面に垂直にしてその大きさを $p = p_o\cos\theta$ に從ふものとせば

圖—81　二面剪斷接合



圖—82　輪形デュベルの應力分布圖



應力分布を 圖—82 の如く假定し得る.

心材に作用する合力を P_d, 余材に作用する合力を P_o とすれば

$$P_o+P_i=P_d$$

$$P_o=\frac{t}{2}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} p\cos\theta\,ds=\frac{tp_oD_o}{4}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\cos^2\theta\,d\theta=\frac{\pi p_o}{8}tD_o$$

$$P_i=\frac{t}{2}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} p\cos\theta\,ds=\frac{p_oD_it}{4}\int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi}\cos^2\theta\,d\theta=\frac{\pi p_o}{8}tD_i$$

$$P_o=\frac{D_o}{D_o+D_i}P_d \qquad P_i=\frac{D_i}{D_o+D_i}P_d$$

$$\therefore\ p_o=\frac{8P_d}{\pi(D_o+D_i)t} \qquad \cdots\cdots(2)$$

心材が剪斷破壞すれば $P_i=0$ で $P_o=P_d$ となるから

$$p_o'=\frac{8P_d'}{\pi D_ot} \qquad \cdots\cdots(2)'$$

部材を割裂せしめんとする力 S は

$$S=\frac{t}{2}\int_o^{\pi} p\sin\theta\,ds=\frac{p_oD_ot}{4}\int_o^{\frac{\pi}{2}}\sin\theta\cos\theta\,d\theta=\frac{p_oD_ot}{8}$$

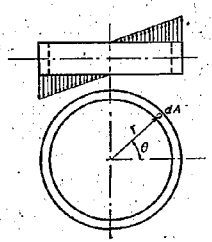
(2) の p_o を代用すれば

心材の破壞前は　$S=\dfrac{P_dD_o}{\pi(D_o+D_i)}$ ……(3)

心材の破壞後は　$S'=\dfrac{P_d}{\pi}$ ……(3)'

若し反壓應力が深さの方向即ちの方向に依りて變化する場合は p_o の最大は (2) 及 (2)' の値より大きくなる.

圖—83
輪形デュベルの横方向の應力分布



輪形デュベル双口の木材に及す纖維に垂直なる支壓應力

此の應力の最大なるを q_o. その合力を Q とし, 任意の點の q をデュベルの廻轉軸よりの距離に比例するとせば,

デュベルに作用する廻轉モーメントは q が深さの方向に等分布なりとして

$$M=\frac{P_dt}{2}$$

輪形デュベル双口の任意の一點の應力 q は廻轉せんとする軸よりの距離に比例するに依り

$$q=\frac{r\cos\theta}{\frac{D_o}{2}}q_o$$

依つて次の式が成立す.

$$\frac{P_d t}{2}=2\times\frac{1}{\frac{D_o}{2}}\int\int q_o r\cos\theta\cdot r\cos\theta\,dA$$

$$=\frac{4}{D_o}q_o\int_{\frac{Di}{2}}^{\frac{D_o}{2}}r^3dr\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\cos^2\theta\,d\theta$$

$$=\frac{1}{2D_o}\pi\,q_o\frac{1}{16}(D_o^4-D_i^4)$$

$$\therefore\quad q_o=\frac{16\,P_d t D_o}{\pi(D_o^4-D_i^4)}\qquad\cdots\cdots(4)$$

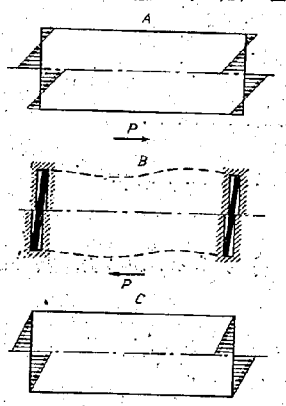
$$Q=\int\int q_o\frac{2r\cos\theta}{D_o}dA$$

$$=\frac{4q_o}{D_o}\int_{\frac{Di}{2}}^{\frac{D_o}{2}}r^2dr=\frac{4q_o}{3D_o}\frac{1}{8}(D_o^3-D_i^3)$$

q_o を代入すれば

$$Q=\frac{16\,P_d t D_o}{\pi(D_o^4-Di^4)}\times\frac{4q_o}{3\times8D_o}(D_o^3-D_i^3)=\frac{8P_d t(D_o^3-D_i^3)}{3\pi(D_o^4-D_i^4)}\qquad\cdots(5)$$

圖—84
輪形デュベルトの應力分布の種々の型



反力の中心が無限遠點なる場合にはボルトに働く引張力 T は

$T=Q$ となる

以上の說明にてはデュベル前面の木材に及す反壓應力は 圖—82 の如く，深さの方向に一樣に分布する場合であるが，實際に深さの方向に變化して分布するものである．

その最も極端の場合は 圖—84 の A の如き分布で，この場合廻轉モーメントを生ぜず，又斯樣な應力分布をなす爲には輪形デュベルは圖—84 の B 圖に示す以上に變形をなさねばならぬ．然し實際には廻轉モーメントも生じ，實驗後のデュベルを見ても大した變形をしてない．故に A 圖の如く應力は分布せず，大體 C 圖の如く分布するものと思はれる．

若し 圖—84 の C の如く應力分布をなすものと假定すれば

$$p_o\max=2p_o\qquad\cdots\cdots(6)$$

デュベルの受ける廻轉モーメントは

$$M=\frac{P_d t}{3}\quad\text{となり}$$

$$q_o\max=\frac{32\,P_d t\,P_d}{3\pi(D_o^4-D_i^4)}\qquad\cdots\cdots(7)$$

$$Q=\frac{16\,P_d t(D_o^3-D_i^3)}{9\pi(D_o^4-D_i^4)}\qquad\cdots\cdots(8)$$

デュベルトに於て大體 $D_i\fallingdotseq0.9\,D_o$ であるから

$$Q=0.446\frac{P_d t}{D_o}$$

反力の中心は實際には無遠點よりデュベルに近くから $T=\frac{1}{0.446}Q$ とおけば

$$T=\frac{P_d t}{D_o} \quad \cdots\cdots(9)$$

以上の式に 4 吋及 5 吋デュベルの數値を

管の稱呼	外徑 (D_o)	內徑 (D_i)	幅 (t)
4 吋輪形デュベル	115 mm	0.9 D_o	30 mm
5 吋輪形デュベル	140 mm	0.9 D_o	35 mm

として計算すれば次の如し.

表—18　4 吋輪形デュベル應力表

應力 ＼ 作用荷重 P (kg)	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000
P_d (kg)	420.0	840.0	1,260.0	1,680.0	2,100.0	2,520.0	2,940.0	3,360.0	3,780.0	4,200.0
						(心材破壞の場合)	2,639.0	3,016.0	3,393.0	3,770.0
$p_o$max (kg/cm²)	33.2	66.4	99.6	132.8	166.0	199.2	232.4	265.6	298.8	332.0
						(心材破壞の場合)	389.9	445.6	501.3	557.0
$q_o$max (kg/cm²)	8.34	16.7	25.0	33.3	41.7	50.0	58.4	66.7	75.1	83.0
						(心材破壞の場合)	51.5	58.9	66.2	73.6
P_i (kg)	202.0	404.0	607.0	809.0	1,011.0	1,213.0	1,415.0	1,618.0	1,820.0	2,022.0
τ_i (kg/cm²)	2.5	5.1	1.7	10.3	12.8	15.4	18.0	20.6	23.1	—
S (kg)	140.8	281.6	422.4	563.2	703.8	884.8	985.4	1,126.2	1,267.0	1,407.8
						(心材破壞の場合)	1,681.0	1,921.0	2,161.0	2,401.0
T (kg)	169.5	219.1	328.7	438.26	547.8	657.4	766.9	876.5	986.1	1,095.5

表—19　5 吋輪形デュベル應力表應力

應力 ＼ 作用荷重 P (kg)	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000
P_d (kg)	450.0	900.0	1,350.0	1,800.0	2,250.0	2,700.0	3,150.0	3,600.0	4,050.0	4,500.0	—	—
							(心材破壞の場合)	3,296.0	3,708.0	4,120.0	4,532.0	4,944.0
$p_o$max (kg/cm²)	24.6	49.3	78.9	98.5	123.2	147.8	172.4	197.0	221.7	246.3	—	—
							(心材破壞の場合)	342.4	385.2	428.0	470.8	513.6
$q_o$max (kg/cm²)	5.7	11.4	17.1	22.7	28.4	34.1	39.8	45.5	51.2	56.9	—	—
							(心材破壞の場合)	41.6	46.8	52.0	57.2	62.4
P_i (kg)	213.1	426.2	639.3	852.4	1,065.0	1,278.0	1,492.0	1,705.0	1,918.0	2,131.0	2,344.0	—
τ_i (kg/cm²)	1.7	3.4	5.1	6.8	8.5	10.3	11.9	13.7	15.4	17.1	18.9	—
S (kg)	150.8	301.6	452.6	603.4	754.2	905.0	1,055.8	1,206.8	1,357.6	1,508.4	—	—
								2,099.0	2,362.0	2,624.0	2,886.0	3,149.0
T (kg)	117.4	234.8	352.2	469.6	587.0	704.4	821.8	939.2	1,056.8	1,174.0	1,291.4	1,408.8

（2）　接合部の破壞の性狀

輪形デュベル接合部は如何なる經過を得て破壞に至るかを述ぶれば大體次の如くである.

1. 荷重の小なる間はボルトの締附に依る部材の摩擦に依り耐荷す．この範圍では部材間の相對變位は非常に少い．之の摩擦に依る耐荷は座鐵の大さに關係するが1屯～2屯ぐらの範圍であるが，輪形デュベル接合ではこの摩擦力は耐荷力には何ら役立つところはない．

2. 摩擦が克服するとデュベルと木材との支壓應力に依り耐荷するのであるが，施工上デュベルと木材とは完全に接觸することは期待し得ない．故にデュベルが木材に完全に接觸する迄部材間の滑りが生ずる．之の滑りは4吋輪形デュベルより5吋輪形デュベルが大きいのは，デュベル穿溝機の刃幅が5吋輪形デュベル用のものは，デュベル肉厚に較べて厚い爲である．實際上は荷重に依る部材間變位より之の滑りを除くことが必要である．

3. デュベルが木材に完全に接觸した後は木材の減込應力に依りて荷重は負擔される．此の減込應力は材質に依つて定つた減込強度に達する迄信賴し得るものである．此の範圍にある荷重—變位曲線は直線的の關係であり．この曲線の傾き $\frac{dX}{dP}$ を接合部の減込係數と稱し，使用木材デュベルの形狀に依り夫々異るものであるが，本試驗に於ては 表—20 の如きものであつた．

而して繰返し荷重を行つた場合，この減込係數が直線的である間は變位の增加は極めて少い．又長時間載荷の場合も減込係數の直線的範圍内で，デュベル前面の支壓應力の最大 $p_0$max があまり大きくない時は之により惡影響は認められない．4吋輪形デュベルは4屯荷重の時 $p_0$max = 132.8 kg/cm² であり，この場合は使用部材の壓縮强度の約 1/2 で長時間載荷の影響はなかつた．

4. 減込係數は荷重が上昇すると次第に大きくなり，比例限界に達する．此の比例限界は均一なる減込係數に比して，2倍の減込係數となつた點を取ることにした．此の比例限界荷重は次表の如くであつた．

表—20　平行部材接合の減込係數及比例限界荷重

	$_4Ia_1$	$_4Ia_2$	$_4Ib'$	$_4Ib_1$	$_4Ib_2$	$_4Ib_3$	$_5Ia$	$_5IbA_1$	$_5IbA_2$	$_5Ib_1$	$_5Ib_2$	$_5Ib_3$	$_4IIa$	$_4IIb$	$_5IIa$	$_5IIb$
減込係數 (mm/t)	0.413	0.300	0.613	0.415	0.255	0.405	0.358	0.554	0.427	0.413	0.113	0.326	0.257	0.472	0.314	0.414
比例(kg)限界荷重	6,000	6,400	7,600	7,000	7,600	6,800	10,000	9,290	9,400	8,200	9,000	9,000	8,400	8,600	9,400	9,200
その時の (kg/cm²) $p_0$max	199.2	208.1	252.3	232.4	252.3	225.8	246.3	226.6	231.58	201.9	221.7	221.7	278.7	285.5	231.6	226.6
その時の (kg/cm²) $q_0$max	50.0	56.0	63.4	58.4	63.4	56.7	56.9	52.3	53.5	46.7	51.2	51.2	70.0	71.7	53.5	62.3

此の時の $p_0$max は 200 ～ 250kg/cm² で，使用木材の壓縮强度附近の應力である．

5. 木材が壓挫が起る荷重附近になると内材の剪斷應力は相當に大きくなり剪斷破壞する，内材の剪斷破壞は外見的には知り難いが，ある場合には音その他の徵候により想像しうる．

$_4I$ では 8,500kg ～ 8,800kg　$_4II$ 9,000kg

$_5I$ 9,900kg ～ 10,800kg

4吋輪形デュベルでは 20.6 ～ 22.2 kg/cm²，5吋輪形デュベルでは 17.0 ～ 18.4 kg/cm² の剪斷應力で内材は剪斷破壞したことになる．この剪斷强度は材料試驗で行つた剪斷强度の最低値に近いものである．

6. 内材が剪斷破壞すると今迄内材に掛つてゐた荷重の大部分が餘材に掛ることになるので，デュベルの木材に及す支壓應力度は大きくなり，木材は壓部的に壓挫して減込變形が大となり，恰も輪形デュベルは楔となつて木材に押込まれる樣な作用をなし部材は割裂する．内材が剪斷破壞した前後の $p_0$max 及割裂力 Q の値は 表—18 及 表—19 を參照されたい．此の缺點を除くために $_5Ib2$ では餘材に針金を卷附けたが，最高荷重 13,600 kg

と極めて良好なる結點を得た．依つて輪形デュベルでは餘材の剪斷破壞より割裂の方が起り易く，之を調べるには引張試驗に依つてのみ可能である．

（3）安全率及許容耐荷力

1. 許容耐荷力に就いて

構造物の安全率は一樣であることが最も望ましい．即ち最低の安内率はその全構造物の生命を決するものである．

木材の接合の許容しうる安全率は未だ確定してゐない．然し部材接合の安全率は使用木材の安全率以上であることは云ふ迄もない．一方部材自身の安全率も木材の場合には未知なものである．

獨逸國鐵の Schachterle 博士及 Hugo Seitz 博士等は木材接合部の相互變位を最大 2 mm，安全率を 2.5～3 に制限せんと提案し，この説を汲んだ．1938 年 7 月 1 日より實施せるプロシヤ法規地上建築木構造施工規則 (DIN 1052) 及獨逸木橋設計示方書 (DIN 1074) にては安全率を 3 とし，且前者は接合の許容耐荷力に依り 1.5 mm，後者 2.0 mm 迄の部材間變位を許してゐる．

一方オストリーの E. Erhart 博士及 O. Graf 教授は Schuller 型輪形デュベルの試驗報告[1] に於て，安全率 2.5，部材間變位 2mm 以下であれば充分との見地より，許容耐荷力を算定してゐる．又 Seitz 博士は特に重要なる點では安全率を 3.5，最大部材間變位を 1 mm にしやうと提案してゐる．

米國では安全率は 4 以下にすることは稀であり，米國林業試驗所の實驗[2] では許容耐荷力は最高荷重に對して 4 にして，比例限界に對して 1.8 で割つたものより小さければならぬとしてゐる．

許容耐荷力は

$$\text{歐洲}\quad \frac{\text{最高荷重}}{2.5\sim3}\quad \text{以下}$$

$$\text{米國}\quad \begin{cases} \dfrac{\text{最高荷重}}{4} & \text{以下} \\ \dfrac{\text{比例限界荷重}}{1.8} & \text{以下} \end{cases}$$

に依つて決めてゐる．

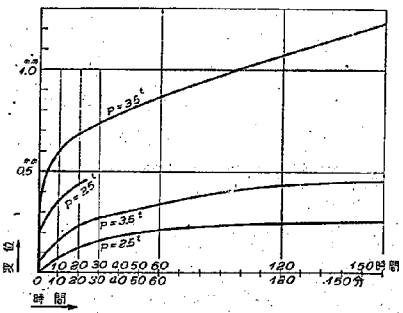
木材は Plastic deformation をなす故に，長時間載荷の場合には變位は增加するもので，米國材業試驗所は次の興味ある報告をなしてゐる．

S. B. U. デュベルの許容耐荷力は $\frac{25,150\ \text{lbs}}{4}$ =6,300 lbs であり，之に 6,000 lbs の荷重を 360 時間纖維と平行に掛けた．6,000 lbs に依る直接の變位は 0.046 吋であり，長時間による變位增加は 0.024吋，360 時間後には合計 0.070 吋であつたが，194 時間後には變位は增加しなかつた．

又ブルドツク・デュベルでは 4 吋正方形 1/2 吋ボルトの場合許容荷重は 4,800 lbs で，この荷重に依る直接の變位は 0.019 吋で 80時間後には 0.018 吋增加したが，時間を掛けてもそれ以上にはならなかつた．而して最高荷重に近い荷重では Plastic deformatoin は止まることなく，遂に破壞に至つたことは G.S. スパイク・デュベルの報告にある．G. S. スパイク・デュベルは 60 mm 鈑 1/2 吋ボルトでは，その最高荷重 4,15 t であるが，之に 3.5 t の荷重を長時間作用せしめると變位—時間曲線は 圖—85 の如くとなる．即ち 170 時間後では變位 1.2mm

1) E. Erhart; Zwei Grossversuche mit Holzkonstruktionen (Bauingenieur 8 mai 1937 Heft 19/20).
2) American Forest Product Laboratory; Modern connector for Timber Construction.

圖—85 G. S. スパイク・デュベルの長時間載荷試験表



となり，その後は 0.06mm/24 時間の割で變位は增加して接合としての機能を喪失した．

以上の點を考慮すれば接合部の許容耐荷力を決定するには，

a. 接合部試驗の最高荷重に對し適當なる安全率 (2.5 ～ 3.5) を確保すること．

b. 比例限界荷重を 1.8 にて割つたものより低いものであること．

c. 繰返し荷重を受けても部材間變位が增加しないものであること．

d. 長時間載荷により變位增加が少く，接合部として許容し得べき範圍にあること．

e. 部材間變位は 2.0mm 以上にならざるものなること．

2. 平行部材の輪形デュベル接合の許容耐荷力

輪形デュベルの他のデュベルと異る點は內材の存在にある．內材は剪極の破壞荷重には何ら影響をもたらさない．最高荷重をのみ問題にするならば輪形デュベルと外接等しき鎖接合と同じ耐荷力しか理論には得られない．然らば同じ安全率で割つたとせば兩者の許容耐荷力は等しくなる．

一方此の許容耐荷力の場合の輪形デュベル接合と鎖接合との應力の分布を考へると，輪形デュベル接合は此の場合は內材は健在で，荷重は內材及餘材の兩方に分布するが，鎖接合にあつては內材かないから餘材のみが荷重を負擔する結果[1] デュベルが部材に及す支壓應力は，鎖接合は輪形デュベルに較べて 2 倍近くになる．

例を 4 吋輪形デュベルに取れば，荷重 3,000 kg の場合 $p_o$max は輪形デュベルでは 99.6 kg/cm² に對し，之と外經等しき鎖接合では 167.1kg/cm² であり，同じ安全率を確保した場合には輪形デュベルの方が內部的に良好なる狀態にある．此の結果は繰返荷重及長時間載荷に對し良影響をもたらすものである．

長時間載荷はで 4*Ib*3 で 4,000 kg を 20 時間掛けたが，變位の增加は 0.03 mm で極めて良好な結果を示した．此の場合 $p_o$max 132.8kg/cm² であつた．$_5I$ の場合には行はなかつたが，荷重 5,000kg で 123.5kg/cm² であるから，長時間の影響はほとんどないと思はれる．然し比例限界を越した 8,000kg を 26 時間 4*Ib*3 に掛けた場合は $p_o$max＝265.6kg cm² で相當に變位の增加があつた．

繰返し荷重は比例限界以內の荷重では繰返しに依る變位の增加はないことは 4*Ib*3 の實驗で分つた．

以上の如く輪形デュベルでは繰返し荷重及長時間載荷に對して極めて良好なる結果を得るもので，之は一に比例限界以內では內材は完全に存在し，而も 4 吋デュベル 4,000 kg 荷重の場合の內材の剪斷應力は 10.3kg/cm 5 吋デュベル 5,000kg では 8.6kg/cm² で許容剪斷應力に近いものである．

此の內材の存在を顧慮するならば，內材のない他のデュベル（鎖接合，嚙合せデュベル等）に比して破壞荷重に對する安全率を低下し得ることになる．

依つて輪形デュベル接合の許容荷重は次の如く定めることとした．

1) Ch, chopard; Festigkeits Versüche an Holzverbndungen mit abgestuften geschlossenen Ringdubeln (Schweizerische Bauzeitung 22 Feb 1930 Nr 8).

含水率 30% 以上の部材で試驗した場合

$$\frac{\text{最高荷重}}{2.5} \quad \frac{\text{比例限界荷重}}{1.8} \text{ 以下}$$

氣乾狀態（含水率 16%）の部材で試驗した場合

$$\frac{\text{最高荷重}}{3.0} \quad \frac{\text{比例限界荷重}}{1.8} \text{ 以下}$$

含水率 30%，16% 間では安全率を直線的に定める．

表—21　部材方向平行なる部材の輪形デュベル接合の許容耐荷力表

記號	含水率（%）	最高荷重（kg）	最高荷重より求めた許容耐荷力（kg）	減込係數（mm/ton）	比例限界荷重（kg）	比例限界荷重より求めた許容耐荷力（kg）	許容耐荷力（kg）	許容耐荷力時の變位 試驗結果（mm）	許容耐荷力時の變位 計算上（mm）	接合種類
${}_4I_{a1}$	121	9,000	3,600	0,413	6,000	3,330	3,300	1.45	1.36	引張接合
${}_4I_{a2}$	98	9,050	3,620	0,300	6,400	3,550	3,500	1.25	1.05	〃
${}_4I_b'$	85	9,600	3,840	0,617	7,600	4,220	3,800	1.43	2.34	〃
${}_4I_{b1}$	68	10,200	4,075	0,415	7,000	3,890	3,800	0.90	1.57	〃
${}_4I_{b2}$	32	9,500	3,800	0,255	7,600	4,220	3,800	0.45	0.96	〃
${}_4I_{b3}$	67	10,100	4,040	0,405	6,800	3,780	3,700	0.95	1.49	〃
${}_4II_a$	40	11,200	4,470	0,257	8,400	4,670	4,400	0.45	1.13	壓縮接合
${}_4II_b$	42	12,400	4,950	0,472	8,600	4,780	4,700	1.30	2.21	〃
${}_5I_a$	51	10,900	4,360	0,358	10,000	5,560	4,300	1.60	1.53	引張接合
${}_5I_bA_1$	56	10,700	4,280	0,554	9,200	5,100	4,200	1.32	2.32	〃
${}_5I_bA_2$	48	12,000	4,800	0,427	9,400	5,220	4,800	2.52	2.04	〃 (圓棒止め金具附き)
${}_5I_{b1}$	63	10,800	4,320	0,413	8,200	4,560	4,300	2.10	1.77	〃
${}_5I_{b2}$	29	13,600	5,430	0,113	9,000	5,000	5,000	0.50	0.56	〃 (部材に釘金を避く)
${}_5I_{b3}$	22	12,950	4,630	0,326	9,000	5,000	4,600	1.65	1.49	〃
${}_5II_a$	43	——	——	0,314	9,400	5,200	5,200	0.85	1.63	壓縮接合
${}_5II_b$	39	——	——	0,414	9,200	5,100	5,100	1.60	2.11	〃

以上の平均値より引張接合の場合の一組の輪形デュベル許容耐荷力は次の如し．

4 吋輪形デュベル（切目なし）＝3,400 kg

4 吋輪形デュベル（切目あり）＝3,700 〃

5 吋輪形デュベル（切目なし）＝4,300 〃

5 吋輪形デュベル（切目あり）＝4,600 〃

3.　斜材を有する部材の輪形デュベル接合の許容耐荷力

斜材を有る部材の接合は支持點の狀態に關係することは前に一寸觸れたが，之に關する Otto. Graf の興味ある實驗[1]を示さう．

1) O. graf: Versuche über die Widerstandsfahigkeit von Knotenpunktverbindungen aus Bauholz (Bauingenieur 19 april 1930 Heft 16).

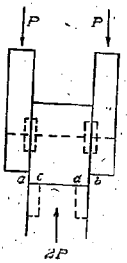
此の實驗には外徑 10.2cm，幅 4.0 cm の環型デュベルを用ひたのであるが，その最高荷重に關しては輪形デュベルと同じ關係にあると思ふ．

表—22　支持點の相違と最高荷重

試體	纖維方向と力の方向との角 (θ)	支持點	最高荷重 (kg)
1	0°	ab	12,570
2	0°	ab	13,190
5	90°	ab	15,710
6	90°	ab	14,140
7	90°	cd	6,820
8	90°	cd	7,070
1′′	60°	ab	16.260
2′′	60°	ab	18,300
3′′	60°	cd	7,800
4′′	60°	cd	7,600
5′′	30°	ab	14,500
6′′	30°	ab	12,500
7′′	30°	cd	13,850
8′′	30°	cd	12,500

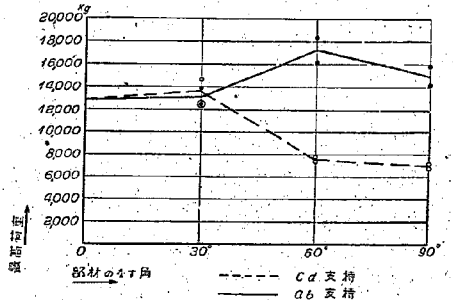
圖—86 は如く a, b で支持した場合と c, d で支持した場合とを比較したもので，試驗結果は 表—22 に示す．

圖—86
支持點の狀態



圖—87 で見る如く 30° までは支持點の影響は少いが 30° 以上になると大きくなり，60′ ～ 90° の間が著しい．更に支持點の幅の問題以外に剪斷面積端より離れた場合には，弦材は剪斷力を受けるから一層耐荷力は低下する．

圖—87　最高荷荷の角度に依る變化



45° の場合の試驗結果を示せば 表—23 の如し

表—23　45° の斜材を有する部材の輪形デュベル接合の許容耐荷力表

記號	含水率 (%)	最高荷重 (kg)	最高荷重 / 2.5 (kg)	比例限界荷重 (kg)	比例限界荷重 / 1.8 (kg)	許容耐荷力 (kg)	平行の場合との比較
${}_4D_a$	72	8,350	3,340	5,800	3,200	3,200	0.94
${}_4D_b$	64	8,550	3,420	6,400	3,560	3,400	0.90
${}_5D_a$	33	11,750	4,700	9,800	5,450	4,700	1.11
${}_5D_b$	75	9,900	3,960	7,600	4,220	4,900	0.85

${}_5D_a$ は例外的に強度が出てゐるが，之を除いて平均すれば平行部材接合に對して約 0.90 となる．依つて少數の供試體であるから安全を取つて平行部材接合の許容耐荷力の 85% を取れば，一對の輪形デュベルに對し，

4 吋輪形デュベル（切目あり）＝ 3,100 kg

5 吋輪形デュベル（切目あり）＝ 3,900 kg

90° の場合には支持點は非常に影響が大きいことは ${}_4V$ 及 ${}_5V$ の試驗に示したが，剪斷面積端を完全に支持する場合は平行部材接合の耐荷力と異るところないが，安全を取つて 90% を取りうるが剪斷面積端を支持しない

場合には 60% 位しか取れないと思ふ.

更に弦材が1本あるか，2本あるかに依つて耐荷力の異なることは E. Melan が實驗[1] してゐる. 即ち D_i = 26cm の Schuller 型デュベル接合で B' = 15cm (水平部材の餘材長) $\theta = 90°$ の場合

水平部材1本のとき　最高荷重　22 t

水平部材2本のとき　〃　31.5 t

前者に較べて後者は 1.4 倍の耐荷力增加がある.

以上の如く力を斜めに受ける部材の數と支持點を考慮すれば，

45° の斜材を有する弦材の一對の輪形デュベル接合の許容耐荷力は

剪斷面端支持狀態 ${}_4D_a$ と同じの場合

弦材1本　斜材2本　(平行部材接合の 85%)

弦材2本　斜材1本　(　〃　95%)

剪斷面積端完全支持の場合

弦材1本　斜材2本　(　〃　90%)

弦材2本　斜材1本　(　〃　100%)

に採つてもよいと信ずる.

[5] 輪形デュベル接合の細部構造

(1) 加　工

輪形デュベル接合の加工はボルト孔とデュベル溝の製作である.

ボルト孔は3個以上の部材に於て嚴密に一致する樣穿孔されねばならぬから，部材に正しく垂直であることが必要である. 而して構造物の場合は各格點に於けるボルト孔が正しく一致する樣に施工することは云ふ迄もない.

デュベル嵌込溝は通常ボルト孔を中心として一定半徑に穿つものであるから，ボルト孔の正しき一致は直接にデュベル嵌込溝の一致を意味する.

然らばボルト孔を中心としたデュベル嵌込溝を作る器具に如何なるもの用ふれば良いか，此の器具に就いては可成りの人々に依り製作されてゐるが，何れも一長一短で手頃に工事現場に於て使用し得るものは殆どない. 本所に於は次の點を考慮して極めて能率良い穿溝器を考案した.

1. 器具は簡單にし輕量如何なる現場にても使用し得るために，手動に依るものでありたい.
2. 穿つ溝の直徑，幅及深さは常に正しくデュベルと一致すること. 之が爲に當桉輪形デュベルの現物に一致した穿溝器を製作する.

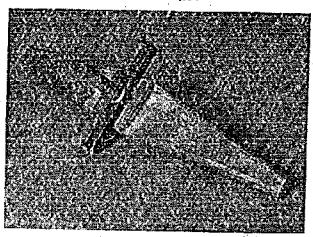
穿溝機に就いては 圖—88 を參照されたし.

穿溝器は溝の直徑を調節しうる樣にしようとすると大きなものになる恐れあり，一方デュベルにはガスパイプを輪切にして使用するならば 4吋，5吋 及 6吋の3種で充分であるから，輕量のもの數個を製作する方が經濟的である.

穿溝器は豫め部材に穿つたボルト孔にその中央の圓筒部を入れて 圖—89 に示す如く，兩腕のモーメントに依

1) E. Erhart; Zwei grossversuche mit holzkonstrukionen (Bauingenieur 8 mai 1937 Hoft 19/20).

圖—88　穿溝器



圖—89　その使用

つて穿溝するもので，溝一個を製作するに要する時間は次の如し．

4吋輪形デュベル溝　4分30秒

5吋　〃　6分

本器1個に要する費用は材料費及加工費を合計して約7圓であつた．

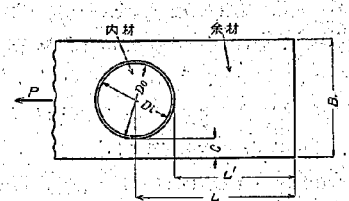
尙ほ加工上より 2，3 の點を述ぶれば

1. ボルト孔の位置を部材の收縮膨脹のない狀態に於て正確にプロットされたい．

2. デュベル嵌込溝の深ければデュベルの廻轉を助長するから警戒せねばならぬ．所要の深さより 1 mm 程度淺いものにデュベルを押込んだ方が好い．

3. 輪形デュベルは切目なき完全なものに較べて切目を附したものの方が，木材の收縮に依り溝が楕圓形になつた場合でも嵌込が容易である．而も切目あり輪形デュベルは同大の完全デュベルより耐荷力は 10～20% 大であることは先の實驗が實證した．

圖 — 90



4. 穿溝器の作製に成功せば輪形デュベル接合は鯱接合に比して加工は容易で，而も信賴し得るものを造ることが出來る．

（2）部材の寸法とボルト及座鉄

1. 纖維方向に力が作用する場合

圖—90 に示す如く輪形デュベルの內外徑を夫々 D_i，D_o とし餘材長（ボルトの中心から材端までの距離）を L，部材幅を B とすれば，輪形デュベルの大さに依り部材の大さは變化しなければならぬ．本試驗に於ては之の部材の大さに就いては比較實驗はなさなかつた．海外に於ける例を示せば

○C. Kersten[1]

$$L' = 1.3\,D_o \qquad B = 1.08\,D_o + 2\Delta$$

$$\Delta = 2\,\text{cm}$$

○T. gesteschi[2]

T 型輪形デュベルに對し次の表を示してゐる．

1) C. Kersten: Freitragende Holzbauten.
2) T. gesteschi: grundlagen des. Holzbaues.

表—24

デュベル 内徑	デュベル 外徑	L	B	座鐵
mm	mm	mm	mm	mm
70	80	120	104	45×45×5
90	100	150	130	50×50×6
110	120	180	156	55×55×6
129	140	210	182	60×60×7
148	160	245	210	60×60×7
168	180	275	236	65×65×8
186	200	310	262	70×70×8

◦ Tuchscherer 型輪形デュベル　獨逸に於て概ね 表—25 に依つてゐる.

表—25

デュベル 外徑	L'	C
mm	mm	mm
80	90	25
100	120	40
120	140	40
140	160	40
160	190	40
180	200	50

◦ Krüger[1]

Krüger 型輪形デュベルに對し次の式を示す.

$$L\min = 1.25\,D_o$$

$$B = D_o + 25\ \text{mm}$$

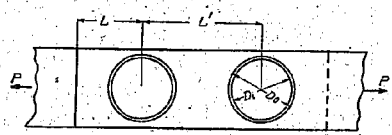
◦ E. Erhart,　E. Melan[2]

Schuller 型輪形デュベルの實驗に於て次の數値を採用した.

$$D_i = 160\text{mm} \quad L = 200\text{mm} \quad B = 200\text{mm}$$

デュベルを 2 個並べた場合（圖—91）

圖—91



◦ C. Kersten　$L' = 1.8D_o$

◦ C. Chopard　$L = L' = 2.5D_o$

◦ E. Erhart　$D = 160\text{mm}$ に對し $L' = 240\text{mm}$

餘材長は內材が剪斷破壞した場合に同時に破壞すると云ふ主旨に依るものは短かくて良いが，內材破壞後も餘材のみで耐荷せんとするものは長くしなければならぬ. 然し餘材を長くしたからと云つてそれに應じて剪斷抵抗及劈裂抵抗が一樣に增加するものでなく，長くすれば單位當りの之らの抵抗は低下するものである. 依つて本實驗結果と併せ考へて次の如く定めた.

餘材長 (L)

側材 $= 1.5D_o$　中央材 $= 1.8D_o$

部材幅は　4 吋輪形デュベルは 15cm 以上　5 吋輪形デュベルは 18cm 以上とする.

部材厚は　輪形デュベルの幅 30mm の場合

側材 50mm 以上　中央材 65mm 以上

輪形デュベルの幅 35mm の場合

1) Modern connector p. 93.

2) E. Erhart: zwei grossversuche mit Holzkonstsuktionen (Banengenieur 8. mai Heft 19/20).

側材 60mm 以上　中央材 75mm 以上

ボルトは4吋，5吋輪形デュベル共に φ16mm を使用すれば充分である．

座鐵　4吋輪形デュベル　60×60×6mm

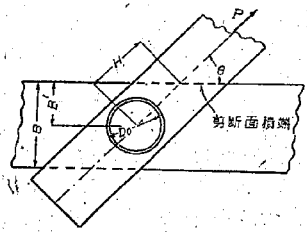
5吋輪形デュヘル　70×70×6mm．

を用ふれば充分である．

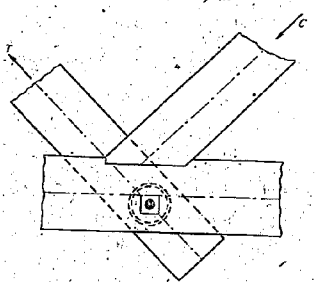
2. 繊維方向に斜めの力が作用する場合

此の場合の幅の決定は非常に困難である．即ち剪斷面積端を支持するとしないとでは，その耐荷力及破壞狀況が非常に異つたものになることは D 及 V の實驗値及 O. Graf の實驗が示すところである．O. Graf の實驗では剪斷面積端が完全に支持されてゐる場合 $D_0=10.2$ cm に對し，$B'=80$ cm で充分であつた．然し剪斷面積端が少しも支持されてゐない場合には之より大きくせねばならぬ．又力を斜めに受ける弦材の2本の場合と1本の場合とでは B' の幅は異つて來るべきである．

圖—92



圖—93　格點の構造



以上の點を考へて先の試驗結果を考慮し 45° 以上の斜いた力を受ける部材1本の場合は

$$B' = 1.1D_0$$

但し剪斷面積端が完全に支持された場合は $B'=0.8D_0$ で充分である．

斜いた力を受ける部材2本の場合は

$$B' = 1.0D_0$$

B' を充分に取るためにデュベル中心を張材中心より偏心させる方が材の使用上經濟である．即ち格點の構造として 圖—93 の如く引張部材と壓縮部材とをなるべく接近せしめた方が良い．

IV. その他の接合方法に關する試驗及輪形デュベル接合との比較

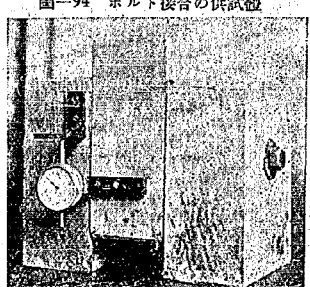
[1] ボルト接合に關する試驗

一般的にボルト接合の强度試驗をなすにあらず，輪形デュベルその他のデュベル接合に用ひた φ16 mm ボルトの 10 cm 幅部材の2面剪斷の場合の强度を求める目的であつた．

供試體

供試體は 10×20×25cm の角材3本より成り，φ16mm ボルトに φ50m の圓形の座鐵を用ひ，No.1 の含水率は 120%，No.2 の含水率は 41% で兩面に2個のダイアルケンヂに依り部材間の變位を讀んだ．荷重は 200t 壓縮試驗機によりて載荷し 200kg 毎に變位を讀んだ．供試體の全景は 圖—97 によりて理解されたい．

圖—94　ボルト接合の供試體



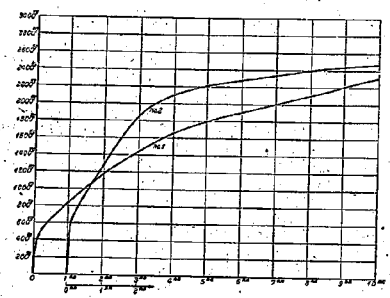
試驗結果

1. No.1 にては 400 kg, No.2 にては 600 kg 迄は部材間の變位少く，明かにボルトの締附に依る摩擦で耐荷してゐた．摩擦が克服されるとボルトの減込强度によつて耐荷するのであるが，No.1 にては 1,000kg 迄 No.2 にては 1,800kg 迄はほぼ一定の減込係數（No.1＝2,333mm/t, No.2＝1.50mm/t）を示したが，之も明瞭でなく輪形デュベルの減込係數 0.2～0.5 mm/t に較べて非常に大きい．

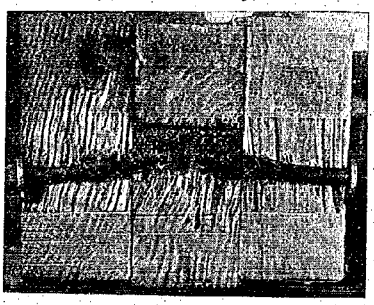
2. それ以後は木材は減込變位をなしボルトは彎曲して，變位は增加して止るところを知らない．ボルトは彎曲のために引張力を受ける結果座鐵は減込んだ．然し外形的には何ら破壞的の現象を生じない．

荷重變位曲線及ボルトの彎曲は 圖—98 及 99 に示す．

圖—95　ボルト接合の荷重變位曲線



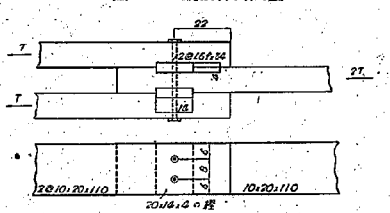
圖—96　ボルトの彎曲



[2] 鯱接合に關する試驗

硬木には檜を使用しその大さは 20×14×4cm で，φ16mm のボルト 2本を 80×80×6cm の座鐵で締附けてある．供試體は 圖—97 に示せる如きもの 2個で 2個のダイアルケージにより部材間變位を他の 2個は部材間遊離を測定した．試驗は水平引張試驗機で引張試驗を行つた．供試體の平均年輪幅及含水率は 表—26 の如し．

圖—97　鯱接合供試體



表—26

試片	平均年輪幅 (mm)			含水率 (%)
	側材	中央材	側材	
No.1	2.5	3.1	2.2	30
No.2	3.3	2.8	3.1	28

試驗經過及結果

1. 鯱接合は木材との接觸面積大なる爲に荷重に依る部材間の變位は少なかつたことは，輪形デュベル接合より秀れてゐると云ひうる．

減込係數　　No.1 = 0.299mm/t

　　No.2 = 0.251mm/t

1個のデュベル配合される荷重は $2P_d = \dfrac{t \times B}{t \times B + 2(h-t)\,d} P$

t = デュベルの厚　　B = 部材の幅

h = 部材の厚　　d = ボルトの直接

$Pd = 0.403\,P$

デュベル前面の支壓應力の分布を梯形とし，底邊の比を 2 : 3 とせば支壓應力の最大値は

$$p\max = \frac{3}{4} \times \frac{Pd}{2 \times 20} \fallingdotseq \frac{Pd}{30} \text{kg/cm}^2$$

表—27　　荷 重 と 應 力

荷重 (t) / 應力	2	4	6	8	10	12	14
Pd (kg)	806.0	1,612.0	2,418.0	3,224.0	4,030.0	4,836.0	5,642.0
$p\max$ (kg/cm²)	26.9	53.4	80.6	107.5	134.3	161.2	188.0
τ (kg/cm²)	2.7	5.3	8.1	10.8	13.4	16.1	18.8
T (kg)	255.0	511.0	766.0	1,022.0	1,277.0	1,533.0	1,788.0

但し τ は部材の剪斷應力　　T はボルトの 2 本の引張力

應力の增加率から云へば減込係數の小さいのは當然である．

2. 最高荷重は何れも 13,800 kg で條材が剪斷破壞した．表—27 に依りこの時の剪斷應力は 18.5 kg で，之の剪斷强度は輪形デュベルの內材の剪斷强度 20 kg/cm² ～ 17 kg/cm² と大體同じである．

許容耐荷力　$\frac{13{,}800\text{ kg}}{3} = 4{,}600\text{ kg}$

3. 圖—98 の曲線で見る如く部材間の遊離は部材間の變位より大きい狀態である．之はボルト 2 本と座鉄 80×80×6 cm を使用して締附たのにも拘らず，斯くの如き結果を示した事に依り鏡の廻轉モーメントは 5 吋輪形デュベルの 2 倍以上あつたことは確實である．

廻轉モーメントを　$\frac{4}{9}t\,\text{Pd}$ とせば

纖維に直角方向の廻轉を止める反力 Q は

$$Q = \frac{2t}{3a}\text{Pd} \qquad a \text{ はデュベル長さ}$$

反力の中心を鏡の角の點にありせばボルトの張力 T は

$$T = \frac{5}{3}Q = \frac{10t}{9a}Pd = 0.317\,\text{Pd}$$

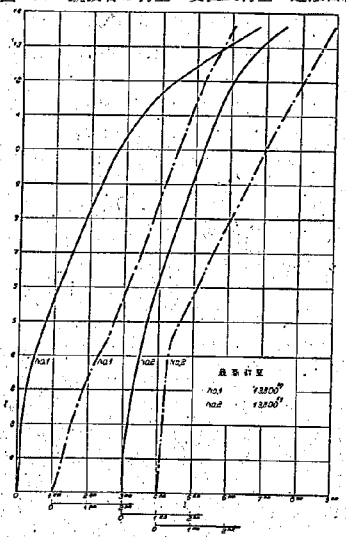
荷重に依る引張力の增加は 表—27 に擧げてある．座鉄の面積は 2 枚で約 123cm² で，14 t の時 14.5kg/cm² で少し減込んだのみであつた．ボルト 1 本の場合は 14 t で 39kg/cm² になるから減込が相當に生ずるものと思ふ．ボルトの引張力の大きかつたことと實際に部材が遊離して口を開いたことによつて分り鏡を使用した場合ボルト 2 本を使用せねば接合として效果を充分に發揮しないであらう．

4. 鏡接合に於て支持面の壓挫に達すると同時に剪斷强度に達する樣にするには，全材長を更に長くする必要がある．之は一方に於て接合に要する空間を增加することとなり，構造上空間の餘裕のない場合には使用しえない．殊に斜材を有する弦材には餘材長を充分に取りえない缺點があるから，平行部材の接合に用ひた場の强度は出し

得ない.

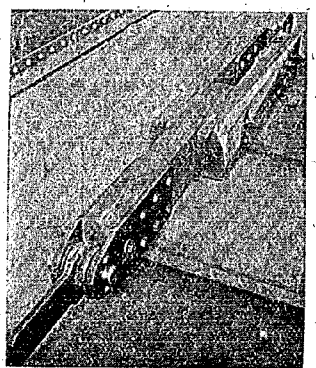
5. 加工上より考へて鏃を入れるべき切欠の製作は非常に困難であり，ボルト孔の一致も相當に苦心する．此の點より先づボルト孔を一致せしめて造り，これを基準として切欠を造るのであるが之も亦綿密なる注意を要す．殊に斜材を有する弦材の接合には一層の困難を伴ふ．要するに鏃接合は空間の餘裕のある場合の平行部材の接合に使用しうるものであり，空間の餘裕と材料の經濟を無視すれば部材を全張に接合しうるものである．

圖—98　鏃接合の荷重—變位及荷重—遊離曲線

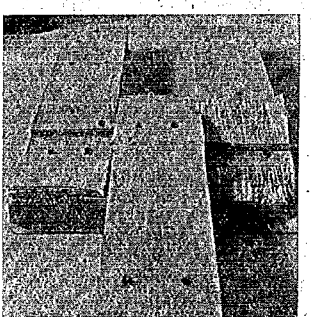


—— 部材間の變位
---- 部材間の遊離

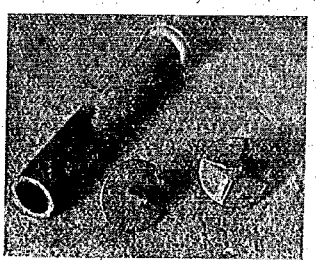
圖—99　破壞の外側狀況



圖—100　破壞の內側狀況



圖—101　コマ形鋲



[3]　コマ形鋲接合に關する試驗

コマ型鋲は圖—101に示す如くその形のコマに似てゐるもので，大藏省營繕管財局の堀重藏氏考案改良し漸く成型を得たものである．

此のコマ形鋲は壓入デュベルの施工に對する利點を活用し，その缺點を除却する樣に考案したもので，その原理は先に述べた geka 壓入デュベルの爪を一個々々分離したものである．

コマ形鋲は鑄鐵製1個の重量約 17gr であり，之が使用方法は豫め圖—101の左圖の如きパイプ樣のものを用ひて鋲を接合部材の一方に打込み置き，之に他の部材をボルトの締附に依り押付けて接合部を造るものである．卽ちコマ

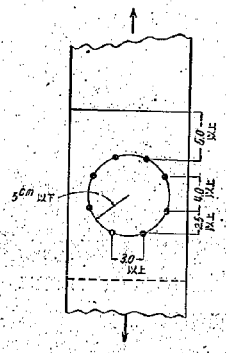
形鉄の上下の爪が兩方の部材に入るのである.

土木構造物にコマ形鉄を使用する場合，出來るだけ大なる荷重に耐へねばならぬことは建築方面よりも一層痛感するものである．然るに營繕管財局の試驗研究の結果に依れば，ボルト1本に使用しうるコマ形鉄の配置及數には次の如き制限がある.

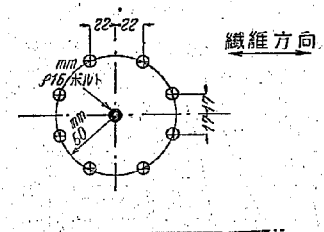
打込み得る鉄の間隔は纖維に平行の方向に於て 40 mm 以上，纖維に直角の方向に於て 30mm 以上を要し，ボルトの中心より半徑 50mm 以内に打込まねばならぬ.

此の條件に忠實に從へばボルト1本に對し，一面8個を打込む場合が最大となる．更に材端より 60mm 以上離れてゐれば充分であると云ふから，輪形デュベルに較べて小さい面に於て接合が行はれ得ることとなる.

圖—102　コマ形鉄配置制限



圖—103　コマ形鉄8個の配置



（1）　一面に8個を用ひた接合の引張試驗

8個のコマ形鉄を 圖—103 の如く打込んだ.

ボルト　　φ16mm

座　鐵　　80×80×6 mm

8個のコマ形鉄の押込みはボルトの締附けに依り樂に行はれた.

供試體は3部材より成り輪形デュベル接合引張試驗供試體と同じ樣にして載荷され，部材の何れも 10×20×85mm でボルトより材端迄の距離は No.1 にては中央材側材側材共に 12cm，No.2 にては中央材 20cm 側材 12 cm とした.

含水率は No.1 は 71%，No.2 は 56%

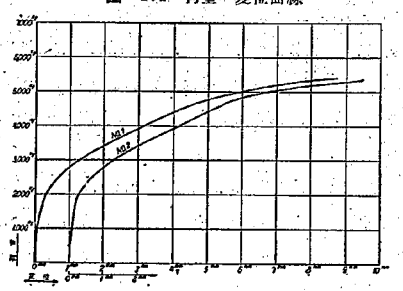
平均年輪幅は次の如し.

	側　材	中央材	側　材
No.1	2.7mm	2.3mm	6.0mm
No.2	2.5	2.3	3.3

部材間の變位は荷重 200kg を增す毎に2つのダイアルゲーヂに依つて讀んだ.

最高荷重 No.1 7,030kg　　No.2 7,400kg

圖—104　荷重—變位曲線



試驗結果を要約すれば次の如し.

1. 荷重—變位曲線はボルトのそれに非常に良く似た性質を持つ. 即ち初めは荷重は著しく上昇するが變位は增加しない. 次に變位が增加して遂に荷重は昇らなくなる. この間に於て減込係數が一定である區間はない. 之に依りコマ形鋲接合はボルトの集合と同じ性質を示す.

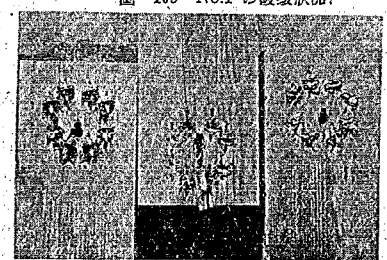
2. 最高荷重は平均して 7,200kg は大藏省の杉材に對する實驗の 9,200kg の約 78% に相當する. 之は材質が軟弱であることにも依るが, 大藏省の實驗は壓縮試驗であるから, 之の位差は 4 吋輪形デュベルの引張及壓縮試驗結果見より見て順當のものと思ふ.

3. 變位 34mm 程度で最高荷重となりそれより荷重は低下するが, 外部的には破壞狀況は現はれない. 之はコマ形鋲の良性質である. コマ形鋲の破壞したものは 1 個もなく 圖—105 及 圖—106 に示す如くコマ形鋲は廻轉した.

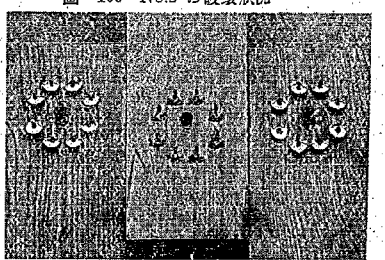
廻轉の狀態に依り No.2 の方が耐荷力大であつたことは合點が行く. 而して之は施工上の進歩が影響せるものなることが立證された.

コマ形鋲 1 個の强度は 450kg で安全率を 3 に取れば, 1 個の許容荷重は 150kg となる.

圖—105　No.1 の破壞狀況



圖—106　No.2 の破壞狀況



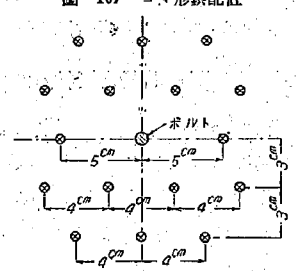
（2）一面に 16 個を用ひた場合の壓縮試驗

一面に 8 個を打込んだ場合の許容荷重は橋梁の接合にとつて不充分である. 之に對して 1 面に 16 個を打込んで造つた接合の試驗を行つて見た. 16 個のコマ形鋲は 圖—110 に示す如く打込んだ.

ボルト　φ16mm

座　鐵　80×80×6 mm

圖—107　コマ形鋲配置



ボルトの締附けに依るコマ形鋲の押込は非常に困難を伴つたが, 部材の材質軟弱なるに依りやつと押込むことが出來た.

材質は白木質で側材 3.3mm, 中央材 2.5mm, 側材 3.7mm の平均年輪幅であつた.

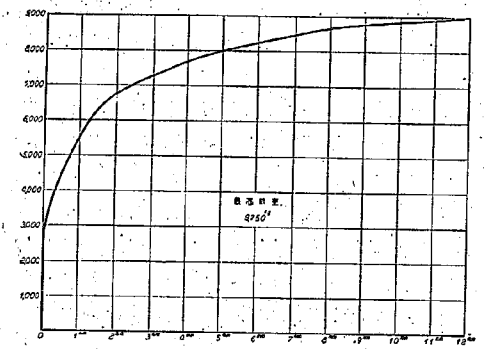
部材の寸法は側材 10×20×40 cm, 中央材 10×20×45 cm

荷重による變位の增加は 圖—111 に示す,

試驗結果を要約すれば次の如し.

1. 3,000 kg 迄は變位は殆どなく 3,000 kg と 6,000 kg の間では, 一

圖—108　荷重—變位曲線



300 kg で可成り不經濟となる.

（3）結　　論

コマ形鋲の施工は可成り容易であることは1つの利點である. 然し切目あり輪形デュベルに較べて格段の差あるとは思はれない. 即ちコマ形鋲接合もボルト孔の一致が必要であるから.

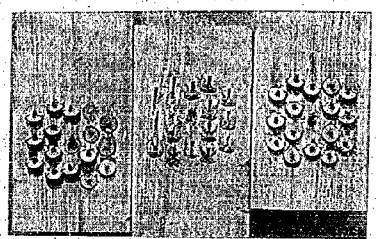
コマ形鋲は個々に分離することは利點であると同時に缺點である. 即ち個々に分離してゐる爲にコマ形鋲の轉倒は極めて容易に行はれること, 及單位面積當りの爪の數が geka 壓入デュベルに較べて少い. これは單位面積當りの耐荷力の低きことを意味する.

定の滑込係數（= 0.403mm/t）を示し, 輪形デュベルの場合と大體同じである. 7,000 kg を越えると急に變位が大きくなる. 最高荷重は 9,750kg で意外に低く 8 個使用に比して 35% 增加したに過ぎない.

2. 壓縮試驗の特長として部材間摩擦が增加すべきであるが, コマ形鋲の廻轉力に對してボルトの締附は不足したから, 部材は 1.5mm も遊離した. 之はボルト 1 本にとつて 16 個の使用は多きに過ぎることを示す.

3. 以上の點より考へてボルト 1 本に 16 個使用することはコマ形鋲 1 個當りの强度

圖—109　破壞狀況



ボルト 1 本の締附けに依るコマ形鋲の最大使用は大體 12 個程と思ふ. 然し經濟的には 8 個がよい.

座鐵は 8 個使用の場合 60×60×5 mm で充分である.

ボルト 2 本を使用する場合は次節の切缺接手の試驗に見られる樣に 18 ～ 20 個を一面に使用しうる.

コマ形鋲は接合せんとする範圍が制限された場合, 輪形デュベルより狹い處に入るから便利に使用され, 又耐荷力を補ふ必要ある場合に補助的に使用しうる（補助的使用に關しては次節添木附切缺接手の補强を參照されたし）.

輪形デュベルに較べて鐵材使用が少いのも特長の 1 つである.

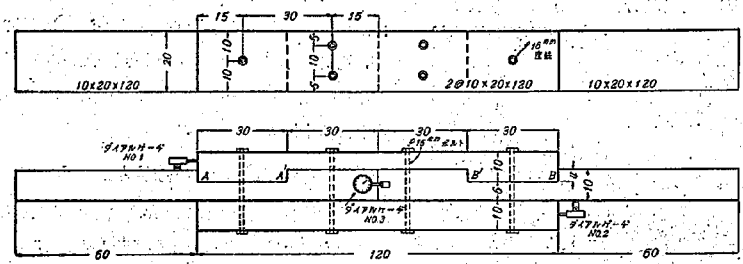
V. 弦材と斜材との接合部分が弦材の接合部分に重なる場合の接合方法

木橋に於ける弦材の接手には從來添木附切缺接手を用ひてゐる. 土木局設計の 4 次のワーレン橋では格點の間隔が狹いから, 從來使用されてゐた兩側に切缺添木を附けた接手を用ふることは出來ぬ. 之に依り弦材の外側には從來と同じ切缺添木を附け, 內側には格點間を滿す短かい填材を入れただけである.

斯くの如き變則的な添木附切缺接手の引張試驗を爲すために 圖—110 の如き供試體を造つた.

[1] 片側切缺接合方法

圖—110　添木附片側切缺接合供驗體



供試體は 圖—110 の如きものである．之を 100 t 水平引張試驗機に依り載荷したが，非對稱的の接手であるから，載荷と共に彎曲すを恐があつたが，中心點の左右の移動は最大 1 mm で此の場合彎曲は無視して差支へないものであつた．

材質は赤味を少し帶びたもので平均年輪幅は次の如きである．

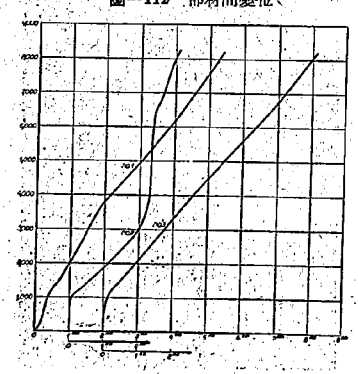
右弦材	左弦材	切缺添木	切缺なき添木
2.5 mm	3.7 mm	2.2 mm	8.2 mm

ダイアルゲージは 圖—110 に示す如く No.1, No.2, No.3 を取附け，荷重 200 kg の夫々の變位を結んだ．荷重が昇るに從つて切缺添木は曲げモーメントを受けて非常に彎曲した．その A, B 點の彎曲狀況は次の如きであつた．

圖—111　切缺添木の彎曲

	5 t	6 t	7 t
A	5.2 mm	8.5 mm	9.8 mm
B	3.4	4.1	4.8

圖—112　部材間變位



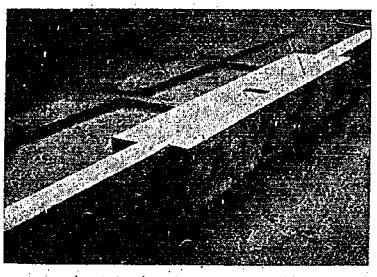
荷重に依る部材間變位はダイアルゲージ No.1, No.2, No.3 に於て 圖—112 の如くであつた．

No.3 の變位は No.1 の變位より少し大きいだけであつたのは面白い現象であつた．

No.2 の變位は 3,500 kg を越すと殆ど變化しないのは，切缺なき添木は初めはボルトにより應力を傳達したが，3,500kg 以上では傳達應力の增加はほとんどなかつたことを示す．之はボルト試驗で示した如く 1 本のボルトの許容荷重が 1,000~1,200kg であること併せ考へて豫想される．一方 No.1 の變位は 3,600kg より增加してゐる．之は切缺添木に掛る荷重の割合が增加じたことで，切缺添木の A B 點の遊離が增加し出したのが矢張 3,600 kg であつた．

接合の破壞は 8,550 kg で切缺添木の B の側に於け

圖—113　添木附片側切缺接合の破壞狀況



る剪斷破壞であつた．此の時切缺添木に依つてのみ應力が傳達されたとせば，剪斷强度 14.2kg/cm² で意外に小さいが，彎曲を受けてゐたことと剪斷長が長いことを併せ考へて木材の剪斷强度を過信することは危險であると思ふ．破壞狀況は 圖—113 に示す．

［2］　片側切缺接合の補强方法

先の試驗の强度では木橋の弦材の接手としては不充分である．之が耐荷力の增加は木橋設計上必要なるものである．

之に對し切缺添木は曲げモーメントを伴ふから，剪斷强度の高い木材を使用することは第1に考へられる．然し切缺なき添木がボルトに依り應力を傳達するのみでは材の使用上不經濟である．之に對し次の點を考慮した．この短かき添材は 60cm である．

（イ）　部材面に摩擦を大きくするか，之を助長させるブルドツク・デュベル類似のデュベルを用ふる．前者は施工上確實性なく後者は我國にては，その製品なく之が使用は急には出來ない．

（ロ）　切缺添木とする．之の場合剪斷長は 15cm であるから，剪斷强度 20kg/cm² として强度 6t である．之は添木を用ひた場合考慮する必要はある．

（ハ）　輪形デュベルを入れる．之には無理をすれば4吋輪形デュベルは一個入るが餘材長が短かいから，强度は 4～4.5t 程度であらう．

（ニ）　コマ形鋏を打込む．之のコマ形鋏はボルト2本に對し 18 個（圖—114）を打込み得る．その强度は1個 450kg とせば 8.1t を期待し得る．

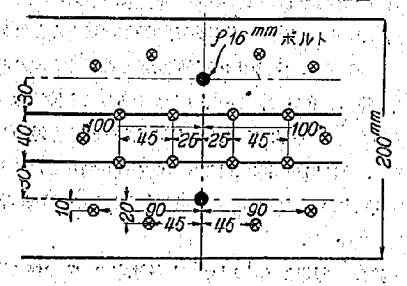
以上に依り（ロ）及（ニ）の場合が考慮に價するが，（ニ）の場合が一番耐荷力を增加しうる．

更に切缺添木には欅を使用したが，之に早く應力を移して弦材の切缺の剪斷應力を減ずる意味で，外側ボルトに8個のコマ形鋏を使用した．この配置はコマ形鋏8個の引張試驗の場合と同じである．

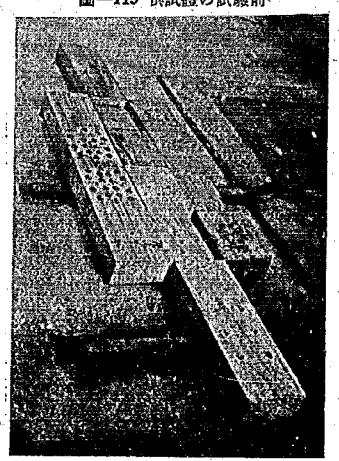
之の接手に依る計算上の强度は次の如し．

弦材切缺	コマ形鋏 18 個	コマ形鋏 8 個	合計
10,000kg	8,100kg	3,600kg	21.7kg

圖—114　ボルト2本コマ形鋏 18 個の配置

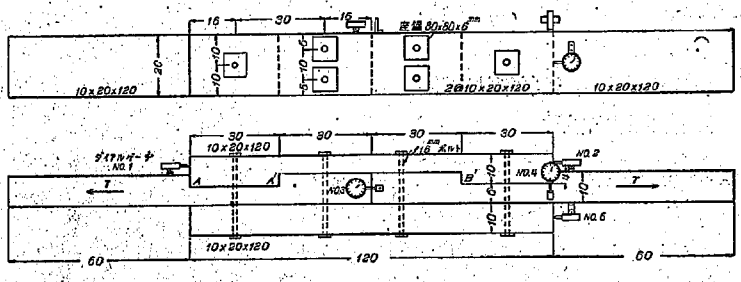


圖—115　供試體の試驗前



ボルトは 16mmφ，座鉄は 80×80×6 mm を使用し，供試體及部材間變位は 圖—116 に示す如く 5 點に於て測定した．

圖—116　供 試 體

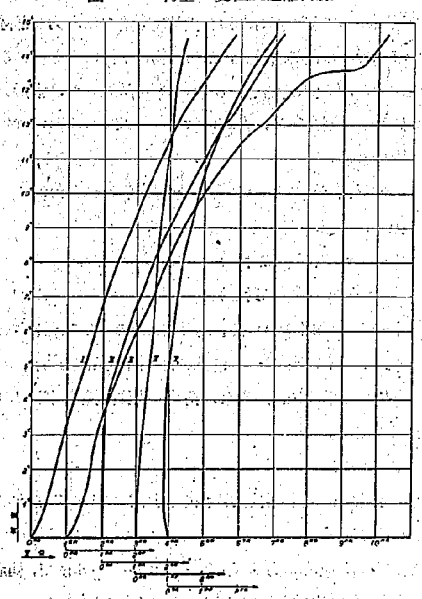


試驗經過及結果は次の如し．

1．供試體の切缺添木と弦材の切缺とが施工か良好ならざる爲に完全に密着しなかつた．故に 13 t 迄は荷重は切缺に依り傳達されず，コマ形鉄，ボルト及部材間の摩擦に依り傳達された．

13.4 t で No.2 の讀が增加したのは之に近い切缺添木に挿入んである 8 個のコマ形鉄が少し滑り，切缺が接觸した爲である．次に 14.2 t で No.1 に近い 8 個のコマ形鉄が働き出して，切缺が接觸しやうとした時に 14.7 t で 圖—118 で見る如く弦材が破壞した．

圖—117　荷重—變位及遊離曲線



2．之の弦材の引張破壞强度は引張力のみだとして 123kg/cm² で非常に少いが，然し弦材には曲げモーメントが働いてゐたので無理もない．曲げモーメントの生じた理由は次の如し．

切缺なき添木には 8 個のコマ形鉄は 14.7t に至るまで完全になり荷力を示したことは，No.5 の曲線に依つて分る．即ち切缺なき添木は 3mm 程度の滑りであるに反し，切缺添木はの方で 6.5mm No.2 の方で 9.25mm 程度の滑を示したので，當然接合部全體として切缺添木の方を凸として彎曲した．之に加ふに弦材の切缺點に鋭角に切つてあるので應力の集來たし，曲げモーメントと引張力とを受けて，この切缺點より弦材が引切れ始めた．之は 圖—118 で見る如くである．

3．弦材の破壞は 圖—118 で見る如く，接合部の以外の母材で接合部には少しも破損したる徵候を見られない．18 個のコマ形は完全であり切缺は之から荷重を傳達せんとするところである．故

に本接合は充分の耐荷力を尚ほ保留してゐたことは明かである．然るに本家の抜材が破壊したので之以上の試験をなすことが出来なくなつた．實際には母材は1本でないから斯くの如き彎曲は起らず，更に大なる荷重に耐えうるものと思はれる．

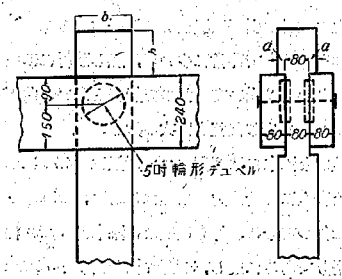
VI. 輪形デュベル，部材切缺を併用した接合に關する試験

輪形デュベル接合は兩部材方向が垂直である場合には，兩部材方向が平方なる場合の耐荷力に比して著しく低下するものである．先に述べた如く垂直の場合には，部材方向に垂直に力の作用する部材の支持狀況により，耐荷力の増減はあるも平行接合の65% 以上の耐荷力を取ることは危險である．今65% と假定せば5吋，4吋の輪形デュベル1組の許容耐荷力は次の如くなる．

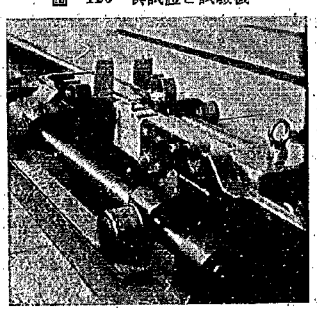
4吋輪形デュベル　　3,700kg×0.65＝2,400kg

5吋輪形デュベル　　4,600kg×0.65＝3,000kg

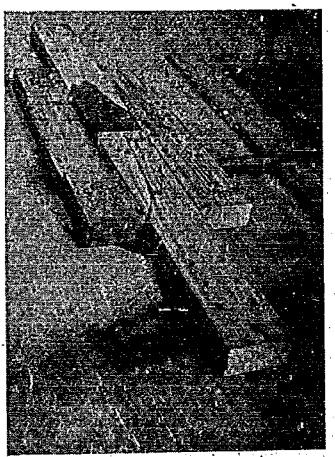
圖—119　輪形デュベル部材切缺併用接合試驗供試體



圖—120　供試體と試驗機



圖—118　破壞狀況



之の許容耐荷力を增加せしめんとして，部材に切缺を附した接合の試驗を行つた．

之の試驗の爲に圖—122の如き供試體を造つた．力を部材方向に垂直に受ける部材は杉材，部材方向に平行に力を受ける部材は松材とし，2種の供試體 ${}_5R_1$，${}_5R_2$ を試驗した．輪形デュベルは何れも5吋を用ひ，φ16mm ボルト及80×80×6mm 座鐵で締附けた．

部材幅 $b=180$mm　　切缺剪斷長 $h=150$mm

切缺の深さは

$a=3$cm（${}_5R_1$ に對し）

$a=4$cm（${}_5R_2$ に對し）

とし圖—120の如く100t水平引張試驗機によりて引張試驗を行ひ，2個のダイアル・ゲーヂに依に部材間の變位を $1/100$mm迄荷重 200kg を增す毎に讀んだ．荷重—變位曲線は圖—121に示す如くである．

${}_5R_1$ に就いて

${}_5R_1$ の計算上の許容耐荷力は纖維に垂直なる許容支壓應力を20kg/cm² とせば

切缺に依る許容耐荷力は $2\times20\times18\times3=2{,}160$kg で，輪形デュベル（5吋）に依る許容耐荷力は 3,000kg であるから，これ

が同時に作用するとせば

總許容耐荷力＝5,160 kg

試驗の結果を見るに 5,160kg の時の部材間變位は約 1 mm で極めて良好なるものであつた. 9,600kg を越すと變位の增加が大きくなるが, ほぼ均一の傾きを以つて 18,00kg 迄荷重が昇つたが, 變位があまり大きくなつたので, 完全破壞を待たず載荷を中止した. 切缺の接觸面は非常に變形したが, 內材は破壞したものはなかつた. 最高荷重は 18,000 kg であるから安全率を 3 とせば許容耐荷力 6,000 kg であるから, 前述の切缺と輪形デュベルが同時に働くと假定した許容耐荷力 5,160 kg は充分安全である.

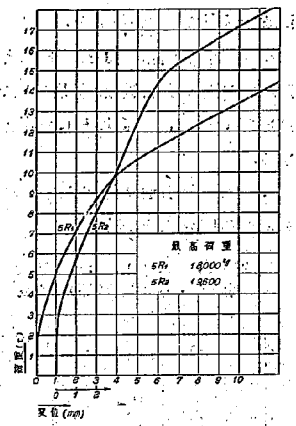
$_5R_2$ に就いて

切缺に依る許容耐荷力は $2\times20\times18\times4=2,880$ kg であるから

總許容耐荷力＝3,000＋2,880＝5,880 kg

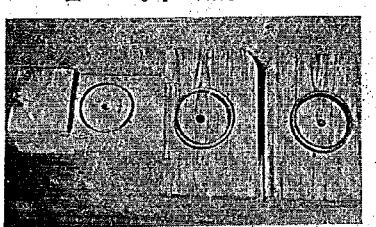
試驗結果を見るに 5,880kg の部材間變位は同じく約 1mm である.

圖—121 $_5R_1$, $_5R_2$ の荷重—變位曲線

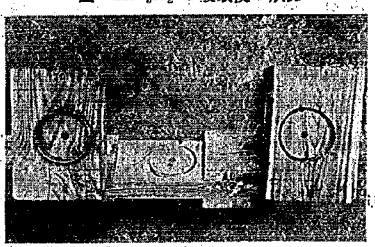


減込係數は 3t と 14t の間ではほぼ一定で 0.426mm/t であり, 15t を越すと 1.810mm/t のほぼ一定の減込係數を示し, 19,600kg に於て 圖—123 で見る如く切缺を有する部材が破壞した. 最高荷重より求めた許容耐荷力は 6,500 kg であり之亦前述の合計より次ぎい. 故に輪形デュベルと切缺とが同時に働くと考へた計算法を適用してもよいことが證明されたのである.

圖—122 $_5R_1$ の載荷後の狀況



圖—123 $_5R_2$ の破壞後の狀況



この場合に輪形デュベルの中心を少し偏心させた方が部材を有效に利用することとなる.

此の試驗は部材方向が垂直なる輪形デュベル接合の耐荷力の低下を補强したもので, 細部構造を工夫すればハウ・トラスの垂直材として使用しうるものと考へられる. 而してハウ・トラスは弦材が 3 本あるにより, 2 列に竝ぶれば, 合計 4 本の垂直材を一格點に集中しうるに依り, 合計 $5,880\times4=23,520$ kg まで設計が出來ることとなる. 又之に依り足らざる部分は鐵材を併用して充分に補ひうるものである.

VII. 結　　語

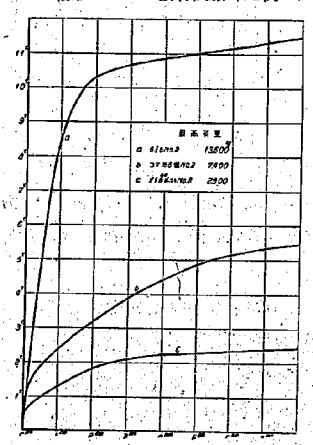
1. 本試驗に使用せる木材は伊豆產の杉材にして材料試驗の結果の示す如く, 杉材として最低の强度に屬するものであり, 本試驗結果は木橋設計資料として安全側にあるものである. 木材の剪斷强度は材料試驗に於て最も困難なものであり, 部材の場合には意外に小さく, 14.2kg/cm² の强度しかない場合もあり, 木材の剪斷强度を過

信するはよくない．又繊維が彎曲してゐる部材で 50kg/cm² の引張強度しかない場合（$l_4 l_6'$）があつた．此の點の注意が部材選擇上必要である．

2. 木橋は屋外構造物である故に他の構造物よりも，部材が濕潤する機會が大なるものであるが故に，氣乾狀態にある木材の接合試驗の結果のみに信賴してはならぬ．この點より見て本試驗の供試體の含水率は 2, 3 の供試體を除いては，30% 以上（繊維飽水點以上）であつたことは屋外構造物の設計資料として信賴度高きものと信ずる．

3. デュベル接合に就いて要言すればボルト接合に比して耐荷力は 3～5倍（圖--124）あり，その部材間の變位の極めて小なることが特徴である．

圖—124　ボルト，コマ形鉄及輪形デュベル接合試驗の比較



而してデュベル接合中で何れの型のものが秀れてゐるかの比較は次の如し．

（1）　鯱接合　施工が良に行はれた場合は耐荷力大であるが，施工を完全にするのに最も困難な而も手取の掛る接合方法である．又接合に要する面積が廣いことが必要であるから，構造上之を用ひうる範圍は著しく制限を受ける．

（2）　輪形デュベル接合　挿薄器の製作に成功すれば構造物に於ける施工は比較的容易で耐荷力にひらがない．而もガス・パイプを輪切にして出來，入手も容易であることが特徴である．

（3）　噛合せ或は壓入デュベル接合　接合に要する面積は小であり S. B. U デュベル，geke 壓入デュベル，ブルドック・デュベル等は輪形デュベルより耐荷力大と思はるるが，之らの締附には壓縮器が必要である．日本には之らの製品なく早急の使用には間に合はないが，將來之の型のデュベルを造つて木橋に應用して見たい．

以上の點より現在はガス・パイプを輪切にした輪形デュベルを推薦するものである．試驗結果よりの許容耐荷力はデュベル 1 組（2 個）に對し次の如し．

4 吋輪形デュベル	切目なし	3,400kg
	切目あり	3,700kg
5 吋輪形デュベル	切目なし	4,300kg
	切目あり	4,600kg

4. 輪形デュベルの部材に及す破壞作用は内材の剪斷，繊維に平行方向の壓挫，繊維に直角方向のデュベルの減込，餘材の剪斷，部材の割裂及ボルト引張力に依る座鉄の減込等である．

最初の 2 つは輪形デュベルを大きくして内材の面積及接觸面積を大きくするより他に方法がない．

繊維に直角方向のデュベル減込は廻轉止め金具を附けて防止しえたが，最高荷重を少し增加せしめたのみであつた．卽ちデュベルの廻轉は極度に大きく（4 吋では 3 mm，5 吋では 4mm 以上）ない限りは耐荷力に大なる影響をもたらさない．

餘材の剪斷に對しては餘材長（ボルト孔より材端先の距離）を長くすれば良いが，餘材長のみを長くすると單

位當の剪斷抵抗は低下するもので，$L=1.5D$。以上にすれば却て不經濟である．

部材の割裂は輪形デュベル接合に致命傷を與へるもので，之が防止法として5吋輪形デュベルの場合に材端に10番線を卷附けて見たが，平均 11,470kg の最高荷重は一躍 13,600kg に上昇せしめた．

5. ボルトは4吋及5吋輪形デュベル共に φ16mm で充分であり，座鐵は4吋の場合 60×60×6mm，5吋の場合は 70×70×6mm 以上を使用してほしい．

6. 木橋に直接の必要がある 45 度の斜材と弦材との接合に就いては，本試驗は弦材1本に對し斜材2本で而も部材の中心が一點に交る場合であるが，兩部材の方向平行なる接合の 85% は充分に取りうる．

即ち　4吋輪形デュベル（1組に對し）（切目あり）＝3,100kg

5吋　〃　（　〃　）（切目あり）＝3,900kg

の許容耐荷力を採用しうる．尙ほ斜材1本に對し弦材の2本の場合は 95%，格點の狀態を工夫して良好になせば（圖—93參照）100% の許容耐荷力を取りうることは III［4］で述べた．

7. 片側切缺接合引張試驗に依り4次の複ワーレン・トラスの如く，格點の近接せる場合の下弦材の引張接合は意外の弱點を有し，切缺添木に硬木，切缺なき眞材にコマ形鋏を併用し，補強した時に於てのみ安全であることが分つた．

8. 最後に兩部材方向が垂直である場合に部材の切缺を併用して，約 5,900 kg の設計荷重に耐へる接合の試驗を行つた．之はハウ・トラスの垂直材に從來鐵材に木材を以つて代用しうる前提であると思ふ．

9. 5吋輪形デュベルを使用しうる最小部材斷面は 7.5×18cm＝135cm² で，本試驗の場合使用木材强度を 220 kg/cm² とすれば，部材强度は 27,700kg で，接合部の强度は最良なるもので 13,600 kg であつたから，全强の約 49% の接合をなしたにすぎない．之の點より未だ多くの工夫と改良の餘地があると思ふ．