

スタッド合成桁について

大阪大学工学部 赤尾親助

まえがき

合成桁は、戦後急速に発展、普及した構造であるが、我国では、ドイツ流の所謂、剛なずれ止めが主に用いられて来た。一方、米国では、スタッド、チャンネル、或いはらせん鉄筋等の柔なずれ止めが普及しているようである。特に、スタッドをずれ止めとして用いると、溶接が迅速、容易である上に、桁の溶接変形が極めて少ないこと、床版の配筋が容易なこと、ずれ止め作用に方向性がないこと等の利点があり、スタッドの国産化に伴い、すでに実施例もあらわれており、今後急速に普及するものと思われる。

以下に、スタッドジベル、およびスタッド合成桁について、実験結果を参照しつつその概略を述べて御参考に供したい。

1. スタッドの材質と形状

スタッドの材質としては、米国では A I S I 1015, 1017, または 1020 cold drawn steel が用いられ、これは A S T M, A-108¹⁾ に相当する。成分は表-1 に示す如くである。

第1表 A-108, 61T 化学成分

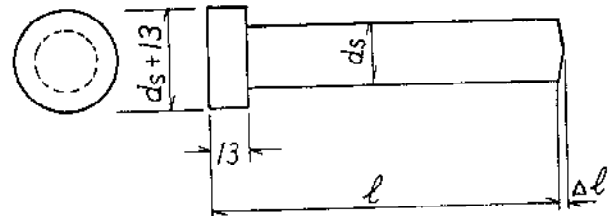
等級*	C %	Mn %	P %	S %
1015	0.13~0.18	0.30~0.60	0.040max	0.050max
1018	0.15~0.20	0.60~0.90	"	"
1020	0.18~0.23	0.30~0.60	"	"

* 等級は A I S I No. に相当する。

物理的性質は

引張強度	min psi	65,000 (45 kg/mm ²)
降伏点	min psi	50,000 (35 kg/mm ²)
伸び	min %	20
断面減少率	min %	55

ジベルとして用いられるスタッドの形状は、図-1の如くで、頭部が床版の浮き上りに抵抗する。頭部を付ける代りに、スタッドを直角に曲げたものもある。径は、13 mm~25 mm, 長さは 50 mm~200 mm が実用的であるが、ジベルとしては、径 19 mm, および 22 mm, 長さ 100 mm 前後が推奨されている。



第1図 スタッドの形状

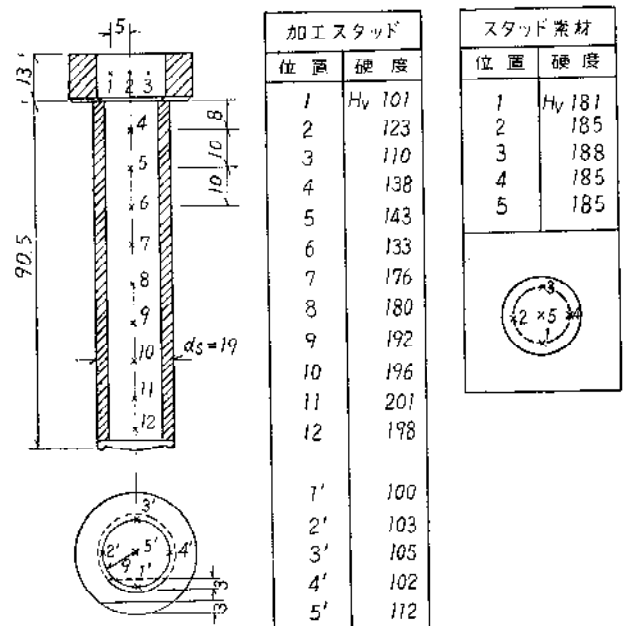
大阪変圧器株式会社で国産化されたスタッドは、引抜鋼棒 S S 34B-D, または S S 41B-D で, C は 0.15 ~ 0.2% におさえられている。表-2 に一例を示す。

第2表 スタッドの材質と成分 (大阪変圧器 K K 試作)

寸法 22 mm (径) × 130 mm (長さ)
 材質 S S 34B-D, 引張強度 53 kg/mm²
 硬度 206 Hv
 成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.16	tr.	0.43	0.010	0.024	0.09

スタッドは、鍛造加工を受けるから、素材とは多少性質が異なるおそれがある。硬度分布を調べた結果は 図-2 の通りで、熱間鍛造される頭部以外は殆んど変化はな



第2図 スタッドの硬度分布

い。

2. スタッドの溶植

スタッドは始め主として英国において発達し、Crompton Parkinson 社が Cyc arc (サイク アーク) 法を完成し、米国では、Gregory Industries Corp が、いわゆる Nelson stud 法を完成している。我國では、大阪変圧器株式会社がサイクアーク法の技術を導入しており、国産化されたスタッド溶接機も販売されている。

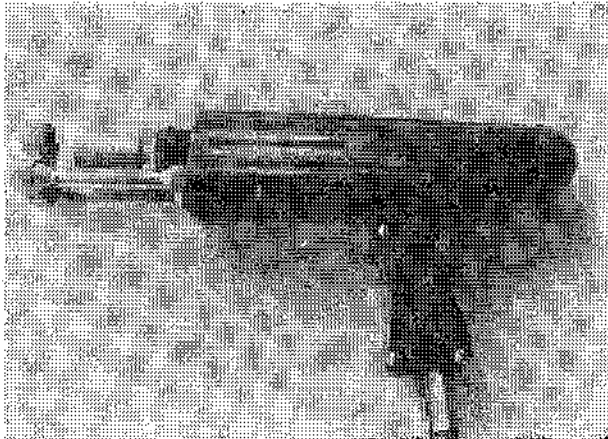
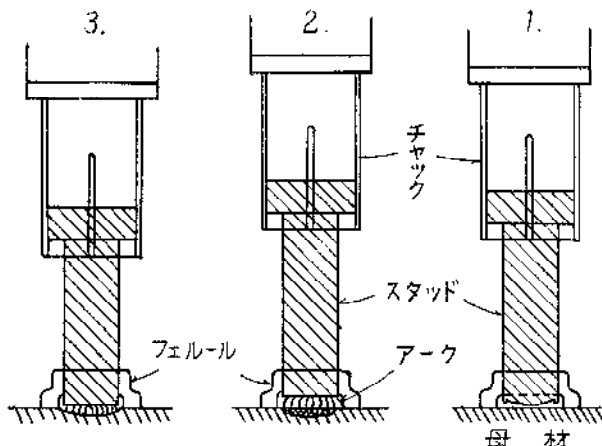


写真-1 NS-9型 ウェルディングガン

スタッド頭部を、ウェルディングガンのチャックにはさみ、ガンを押して引き金をひくと、ソレノイドコイルの作用でスタッドが引き上げられ、アークを発生し、予め調整された時間 ($\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{8}$ 秒) 後にソレノイドの励磁が断たれてスタッドが溶融池に押しつけられて溶着される (図-3)。フェルル (Ferrule) はフラックスの散逸を防ぎ、外気を遮断して、溶着が完全に行われる役目をする。スタッドの先端部には、溶剤が内封されるか (ネルソン式)、塗布されている (サイクアーク式)。

従来のジベルに比べて、溶接熱量が少ないので、変形に殆んど注意を払わなくてよく、I型桁集成溶接後の溶植、旧桁を合成桁に補強する場合の現場溶接も容易であ



第3図 スタッドの溶植過程

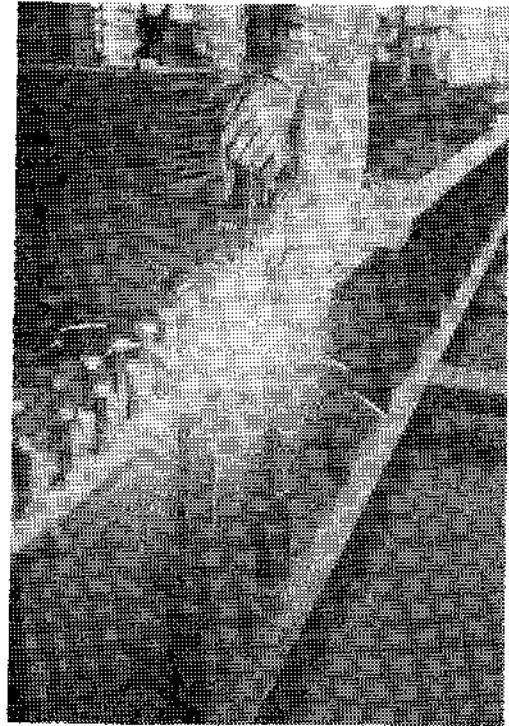


写真-2 I形桁にスタッド溶植の状況

ることが大きな特徴である (写真-2)。

電源は、径 19 mm で約 2000 A の大電流が要り、電源設備容量として 60~80 KVA (キロボルト アンペア ……最大負荷時) が必要であるが、電力消費量は剛なジベルの溶接に比し数分の1で済む。

3. スタッド溶着部の強度

a. 引張試験

表 3 にスタッド溶着部の引張試験結果²⁾を示す。母材寸法は、巾 200 mm、長さ 300 mm、厚さ 19 mm で材質は、SS-41、HT-60、HT-80 (成分は表-4) の3種で、SS-34B-D、径 22 mm (成分は表-2) のスタッドを母材の上下面に軸が一致するように溶接した後、軸を中心に母材を 60×60 mm に切断して試験を行つた。母材が HT 材になつても、引張強度は大きくならない。溶着部の硬度は、HT 材では多少高くなるが、WES の手溶接による規格の最大許容硬度は HT

第3表 スタッド溶着部の引張試験結果

母材の 材質	引張強度* kg/mm ²	硬 度 (Hv/10 kg)		
		母 材	溶 融 部	熱影響部 max
SS-41	45.7	140	210	210
HT-60	47.5	180	235	350
HT-80	45.7	280	330	396

* いずれも試験体3ヶの平均値、破断ヶ所は HT-60 の1本のみスタッド素材、他はすべて溶着部。

第4表 供試母材成分 (%)

材 質	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Al	B
SS-41	0.16	0.014	0.49	0.019	0.067				0.12			
HT-60	0.17	0.42	1.26	0.010	0.015					0.05	0.013	0.003
HT-80	0.15	0.24	0.92	0.007	0.012	0.83	0.42	0.50	0.25			

-60で380 Hv, HT-80で450 Hvまでで、許容範囲に入っている。硬度を下げるには予熱を要する。ハンマーによる90°曲げ試験は何れも良好である。

b. せん断試験

せん断強度は、スタッドジベルの強度の上限値を与えるものである。母材はa項の試験と同様で、これに径19mm (SS-41B-D) および径22mm (SS-34B-D) のスタッド (素材の引張試験結果は表-5) を溶接し、図-4の装置により実施した。結果は表-6に示す通りで、せん断強度は、ほぼHT-60材では15%、HT-80材では30%増す。本項の供試スタッドの素材強度は、表-5のように比較的lowだが、せん断試験結果から、その物理的性質の差異はジベルの強度には殆んど

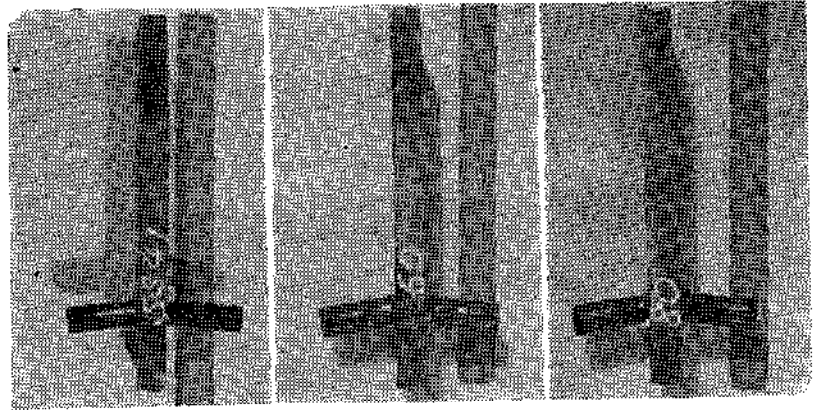


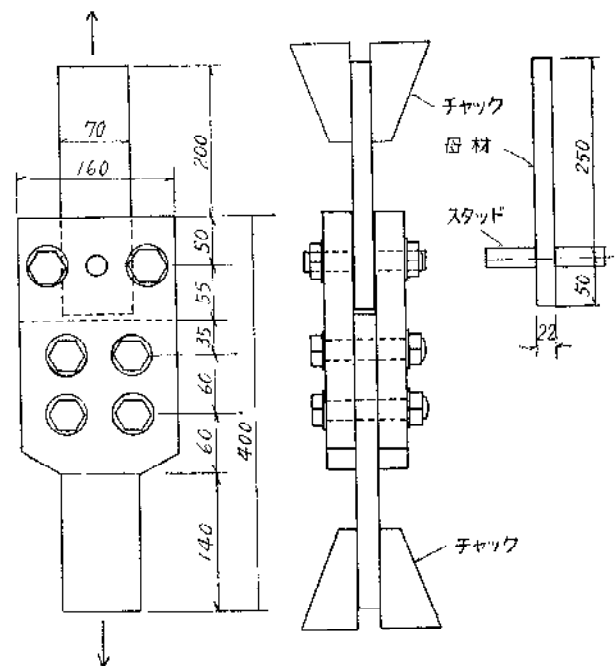
写真-3 せん断試験片 (終了後)

第5表 供試スタッドの引張試験結果

番号	公称直径 mm	断面積 cm ²	降伏点 kg/cm ²	破断強度 kg/cm ²	伸率 %	標点距離 mm
1	19	2.91	2,850	4,330	33.5	152
2	"	2.85	3,050	4,460	33.5	"
3	"	2.82	3,085	4,470	30.3	"
平均	19		2,995	4,420	32.4	"
4	22		2,430	3,415	34.4	176
5	"		2,580	4,000	31.7	"
6	"		2,340	3,415	33.5	"
平均	22		2,450	3,607	33.2	"

第6表 スタッドのせん断試験結果

番号	公称直径 mm	断面積 cm ²	最高荷重 t	せん断強度 τkg/cm ²	母材の 材 質
1	19	5.64	28.6	5,070	SS41
2	"	5.63	25.2	4,480	"
3	22	7.42	33.4	4,500	"
4	"	7.23	33.6	4,650	"
5	"	7.26	38.9	5,360	HT60
6	"	7.28	38.2	5,250	"
7	"	7.33	46.4	6,330	HT80
8	"	7.38	41.4	5,610	"



第4図 スタッドせん断試験装置, 単位 mm

影響しないものと判断される。

4. スタッドジベルの有効荷重 (Useful capacity, Quc)

スタッドジベルは、荷重が大きくなるとずれ (Slip) が大きくなり、ジベルとしての役を成さなくなるので、せん断強度を基準にする訳にはいかない。よつて、ずれのある限度におさえて、その時の荷重を有効荷重 (Useful capacity) としている。

ジベルに用いられる径 19 mm, 22 mm 程度の場合、

破壊を支配するのは、スタッドの曲げによる溶着部附近のコンクリートの支圧であつて、溶着部は殆ど破損しない。スタッド径に比して、長さがある限度以下では、強度は長さ……支圧面積……に略、比例するが、ある限度以上では長さに関係しなくなる。

有効荷重は、押抜試験に基いて決められる実験式による。米国で用いられる実験式³⁾を、C. G. S. 系に換算すると、

$$Q_{uc} = 88 d_s^2 \sqrt{\sigma_{28}} \quad h_s/d_s \geq 4.2 \quad (1)$$

$$Q_{uc} = 21 h_s d_s \sqrt{\sigma_{28}} \quad h_s/d_s < 4.2 \quad (2)$$

ここに Q_{uc} : スタッド1本当りの有効荷重 (kg)

h_s : スタッドの長さ (cm)

d_s : " の公称径 (cm)

σ_{28} : コンクリート標準試験体28日強度 (kg/cm²)

我々の行った実験の範囲では、 $d_s=19\text{mm}$ では $h_s \geq 50\text{mm}$, $d_s=22\text{mm}$ では $h_s \geq 75\text{mm}$ で(1)式が略妥当且安全側の評価をあたえることが認められ、(1), (2)両式の適用境界は、ほぼ $h_s/d_s \approx 3$ 程度になるようである。然し、長さが短い程、スタッド廻りのコンクリートの品質、打込みが良好でないと強度が下る傾向がある。そこで、応 径 22mm で $h_s \geq 7.5\text{cm}$ ($h_s/d_s \geq 3.4$) を前提にすると、(1) から、

$$Q_{uc} = 90 d_s^2 \sqrt{\sigma_{28}} \quad (\text{kg}) \quad (3)$$

とおくことが出来る。

今、スタッドの許容設計荷重に対し、安全率を3にとれば、設計荷重⁴⁾は、

$$Q = 30 d_s^2 \sqrt{\sigma_{28}} \quad (\text{kg}) \quad (4)$$

となる。合成桁設計施工指針に拠り設計する場合、実際的な断面諸値、死活荷重比の組合せに対しては、安全率を3にとれば、通常桁の塑性破壊迄合成作用を確保することが充分期待出来る。

次に、動的荷重の作用については、我々の実施した押抜疲労試験の結果は、大きな変形はおこらず、母材熱影響部でせん断破壊を生じた。 $N = 2 \times 10^6$ で $\tau \approx 14\text{kg/mm}^2$ で、この値は、ほぼ、すみ肉溶接部の純せん断疲労強度⁵⁾に近い。スタッドのせん断疲労破壊に対する安全度は、他の鋼部等の安全度と同等でなければならないから、一応、値の同等なすみ肉溶接部の強度を比較の基準にとつて、 $\tau_a = 800\text{kg/cm}^2$ と仮にきめると、次式が得られる。

$$Q \leq 620 d_s^2 \quad (5)$$

(4), および (5) 式の Q が等しくなるときの σ_{28} は約 430kg/cm^2 である。従つて、安全率が3以上ならば、通常 (5) は充分カバー出来る。

5. スタッドジベル押抜試験

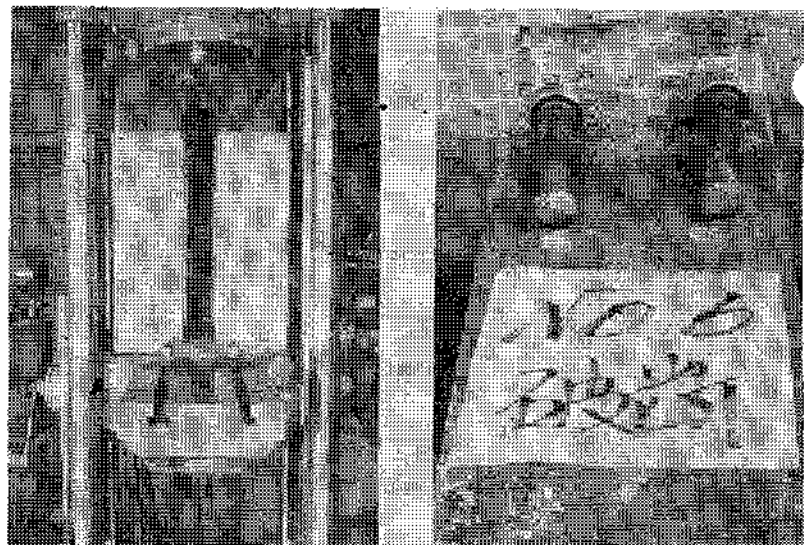
試験装置は図-5、写真-5、結果は、図-6~11に示す。C および D-Group の結果から、スタッドの長さは、殆んどその強度に影響しないことが認められる。E および F-Group はコンクリート強度変化の影響、長さの影響をあらわしている。いづれにしても、残留ずれを、 0.2mm 程度におさえれば、(1), (2) 式は安全側の評価を与えており、(3) 式が充分実用的であることが認められる。

スタッド溶植が可能な最少横間隔は、 $d_s + 25\text{mm}$ であるが、実験の結果、横間隔をつめると多少1本当りの強度が落ちるようである。スタッドを縦方向に2本並べた場合の押抜試験⁶⁾では、1本当りの強度が約 $1/2$ になると報告されているが、このような試験条件は苛酷に過ぎると思われる。実物桁試験より得られた荷重ずれ曲線〔後述、(図-14)〕を参照しても、桁に対して、斯様に不利な動作状態を考える必要は認められない。

6. 合成桁の断面応力におよぼすずれの影響

図-12は、剛なジベルと、それと等強なスタッドジベル (安全率は4にとつた) の荷重ずれ曲線を、押抜試験結果から比較したものである。スタッドでは、 Q_{uc} 以上では大きなずれを生ずるが、それ以下で用いる限り、性能は剛なジベルと殆ど変りはないことがわかる。

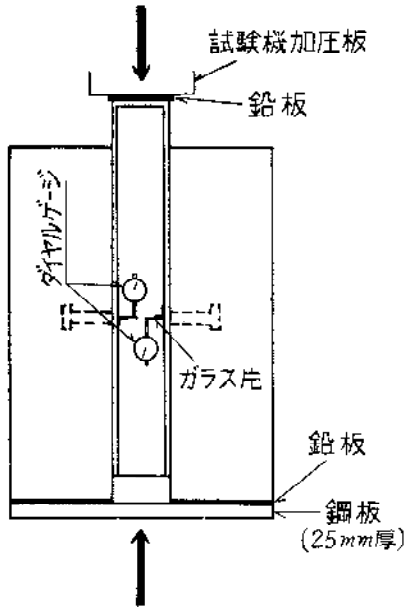
然しながら、安全率を小さくとるときは (例えば、ジ



a) 載荷中

b) 破断状況

写真-4 スタッドジベル押抜疲労試験



第5図 押抜試験装置

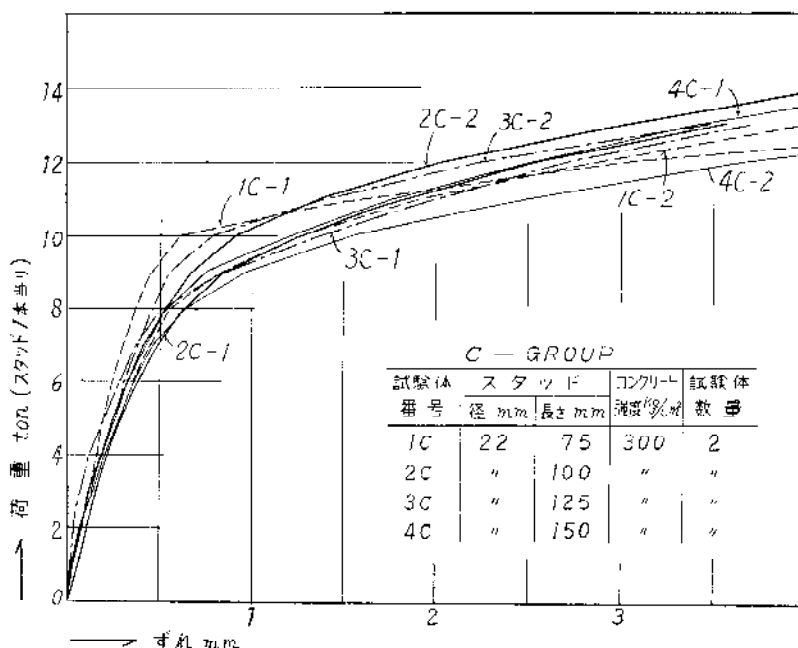
ベルの有効荷重を、鋼部フランジの降伏時のせん断力に等しくする場合は、安全率は2程度となることあり) ずれは多少大きくなるし、またせん断力の小さい場所で、ジベル間隔を大きくすると断面応力に影響してくるおそれがある。そこでその程度を弾性合成理論によりしらべてみると次のようになる。

コンクリート床版と鋼桁の接触部に働らく長さ方向の単位長当りのせん断力 T と、接触面のずれ δ との間に、

$$T = k\delta \quad (6)$$

の関係が成立するものとする。

今、支間 20 m, 25 m, 30 m の活荷重合成単純桁橋



第6図

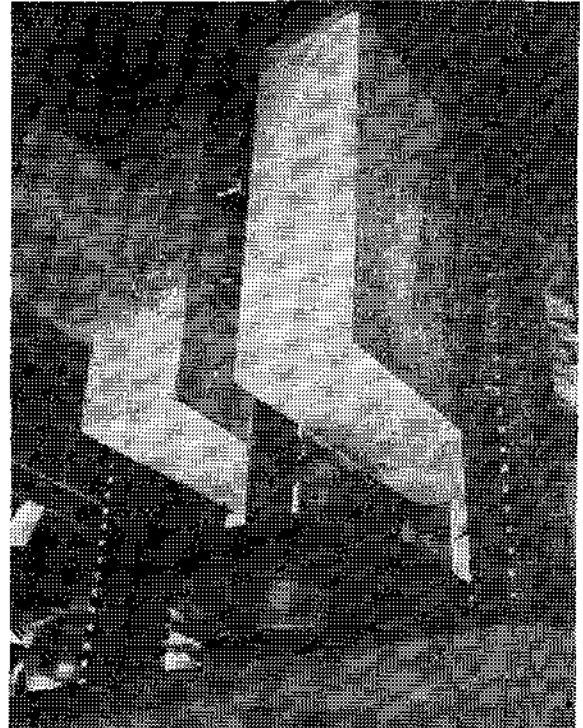


写真-5 スタッドジベル静的押抜試験

(一等橋、桁断面は 図-13) について (6) 式のずれ定数 $k=0.01 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $0.02 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ および ∞ の場合について、鋼部の応力度を計算すると 表-7 のようになり、いずれの場合も、鋼桁下フランジ応力度にはほとんど影響はないこと、上フランジでは、短スパンの融合 $k=0.01 \times 10^6$ では 10% をこす応力増加となるが、 $k=0.02 \times 10^6$ では、数% の増加に止まること等がわかる。尚、床版コンクリート応力度は、何れの場合もほとんど影響を受けない、 $k=0.02 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ を確保する

スタッド間隔 t を C, D-Group の押抜試験の有効荷重におけるずれ平均値に基いて求めてみると、

スタッド 1 本当り

径 22 mm では $t \approx 8 \text{ cm}$

径 19 mm " $t \approx 6 \text{ cm}$

m 本を横に並べて用いるときは、 t は m 倍になる。

7. H形鋼利用スタッド合成桁の実物試験⁷⁾

支間 10 m の試験桁の鋼部は、集成断面の代わりに H 形鋼を切断し、ウェブを突き合せ溶接したものを用いた。この方が加工上、疲労強度上からも当然優秀性が期待し得る。加工費は約 10

第7表 合成桁鋼部応力度の比較

支間	合成法	k (kg/cm ²)		集中荷重	等布荷重	死荷重	合計応力度	増減
20 m	弾性合成	0.01×10 ⁶	σ_{su}	-140	-46	-1048	-1234	+10.1%
			σ_{sl}	391	263	652	1306	+1.9
		0.02×10 ⁶	σ_{su}	-111	-38	-1048	-1197	+6.9
			σ_{sl}	385	261	652	1298	+1.2
	完全合成	∞	σ_{su}	-73		-1048	-1121	-
			σ_{sl}	630		652	1282	-
25 m	弾性合成	0.01×10 ⁶	σ_{su}	-122	-60	-1005	-1187	+7.4
			σ_{sl}	341	291	675	1307	+1.4
		0.02×10 ⁶	σ_{su}	-101	-53	-1005	-1159	+4.9
			σ_{sl}	338	289	675	1297	+0.6
	完全合成	∞	σ_{su}	-100		-1005	-1105	-
			σ_{sl}	619		675	1289	-
30 m	弾性合成	0.01×10 ⁶	σ_{su}	-114	-71	-1035	-1226	+5.4
			σ_{sl}	294	302	700	1296	+0.7
		0.02×10 ⁶	σ_{su}	-99	-71	-1035	-1205	+3.6
			σ_{sl}	291	301	700	1292	+0.4
	完全合成	∞	σ_{su}	-128		-1035	-1163	-
			σ_{sl}	587		700	1287	-

表中、 σ_{su} ：鋼桁上フランジ応力度 (kg/cm²)
 σ_{sl} ：“下” “ ” (“ ”)

劣弱節減されることになる。また、ジベルの価格を比較すると表-8のようになる。

桁曲げ試験(写真-6)の結果は良好で、破壊安全率3.9(床版にクラックは入ったが、完全破壊には至っていない)を示した。尚、設計荷重内のたわみ、応力分布は、計算結果と良く一致した。

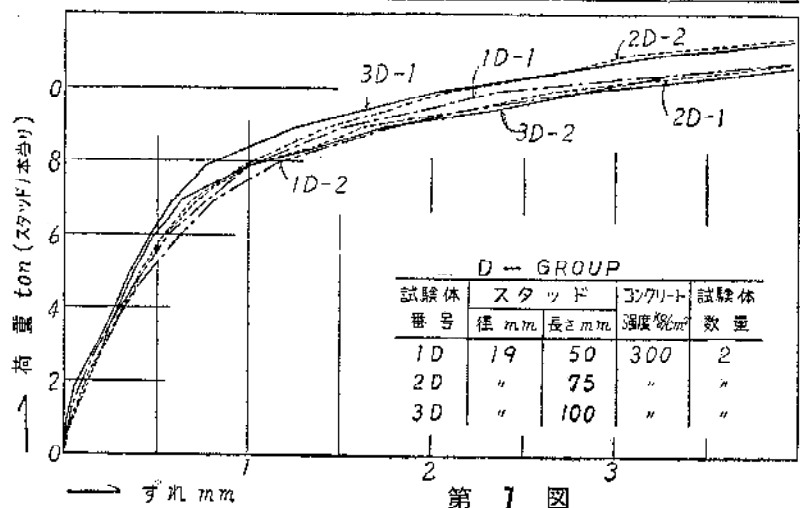
図-14は、同じ試験桁で曲げ試験後実施したせん断試験(写真7)の結果より求めた桁端における荷重ずれ曲線である。図中の点線は、曲げ試験の際生じた残留ずれを補正したものである。押抜試験のものとは比べて、ずれが甚だ少なく、その作用は優秀である。なお、鋼部ウェブのせん断応力度は、ほとんど完全合成断面の計算結果に等しい分布状態を示した。

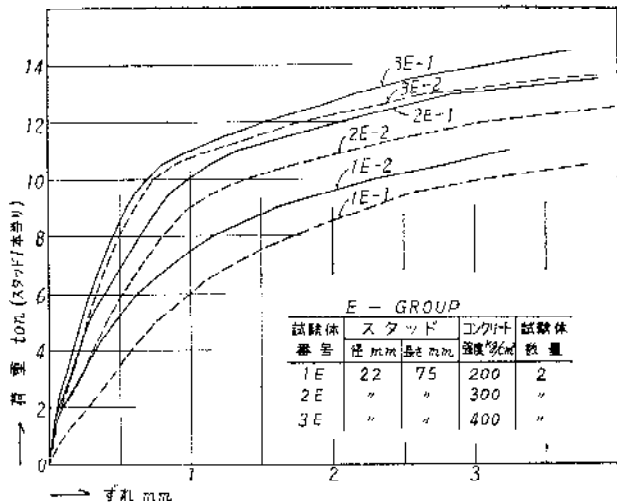
むすび

スタッド合成桁は、設計、施工を適切に行えば、その合成作用は剛ジベル使用のものと同様であり、価格的にも現状で、剛ジベルと同様、若しく

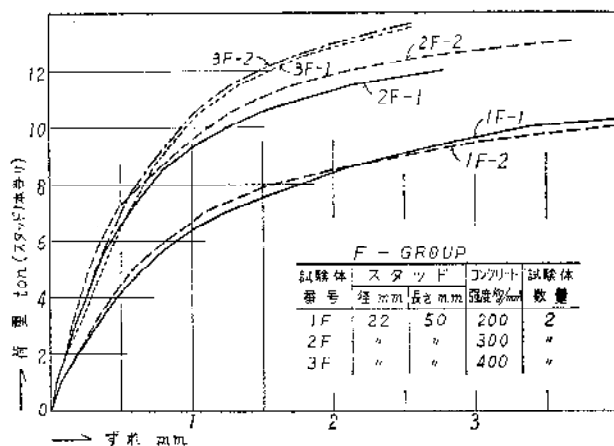
第8表

ジベルの種類			
費用内訳		(安全率=4)	(安全率=3)
鋼材費	75 ^円 73	60 ^円 00	20 ^円 00
副資材	28.00	24.80	18.60
加工	83.23	37.90	28.40
諸経	18.60	30.27	22.70
合計	204.56	252.97	189.70
電力量	0.92 KWH	0.136 KWH	0.102 KWH

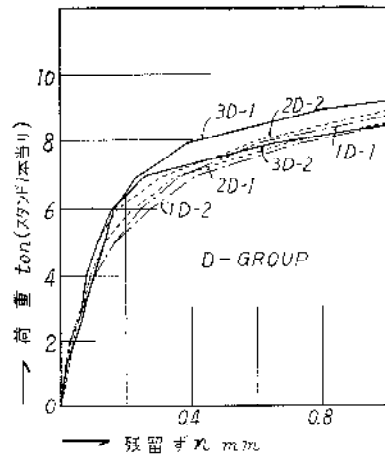
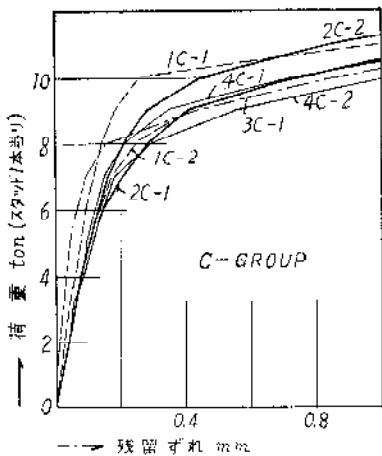




第 8 図



第 9 図



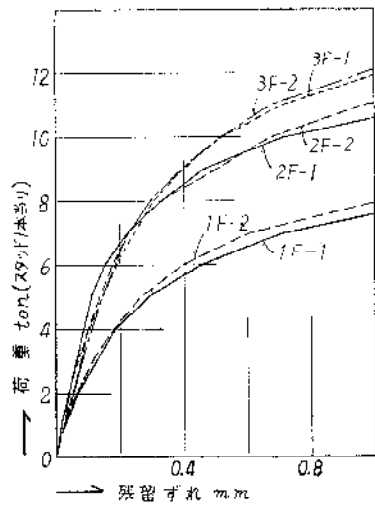
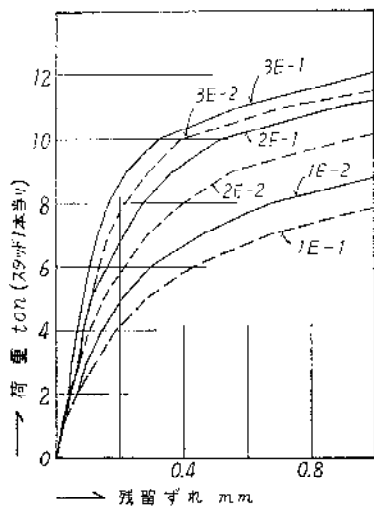
第 10 図

は多少経済的と考えられるので、今後、急速な普及をみるものと期待される。ジベルとしての強さは、スタッドの物理的性質にはほとんど関係しないが、溶接性の見地より、その普及に伴い、スタッド材質の規格化が望ましいと考えられる。

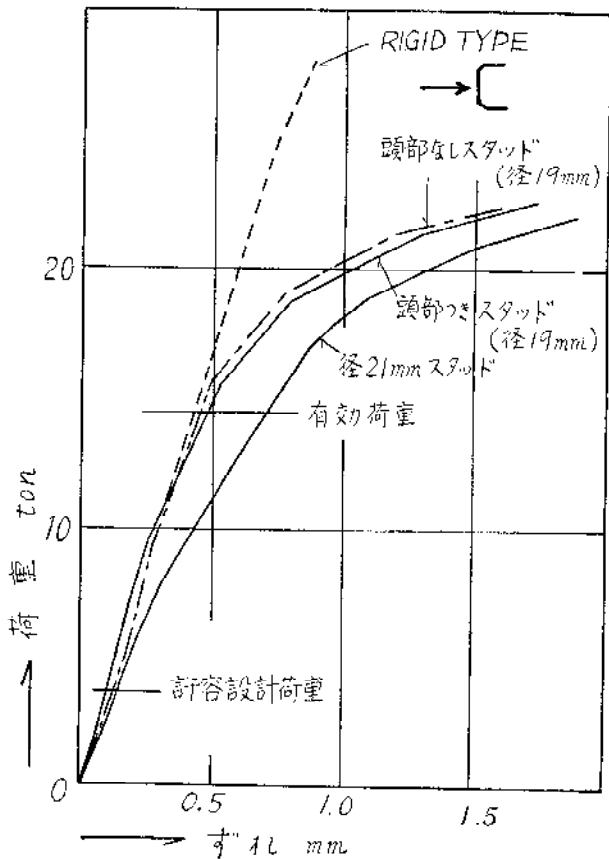
ここに述べた実験の一部は、文部省科学研究費の補助を受けており、また、末尾、註に記載の関係諸社の協力を得ていることを付記して拙稿を閉じる。

参 考 文 献

- 1) 1961 Book of ASTM Standards part 1 p 703
- 2) 大阪変圧器株式会社溶接機事業部研報 No. R-36-N16
- 3) I.M. Viest "Composite construction in steel and concrete" MCGRAW-HILL 1958. p 45
- 4) 安宅, 赤尾: スタッドジベルの設計について; 土木学会年次講演会講演概要 昭 36.5
- 5) 多田, 外 4: 溶接組立梁のせん断疲労強度に関する研究; 日本橋梁株式会社 1960.8



第 11 図



第12図 等強ジベルの荷重いずれ曲線の比較

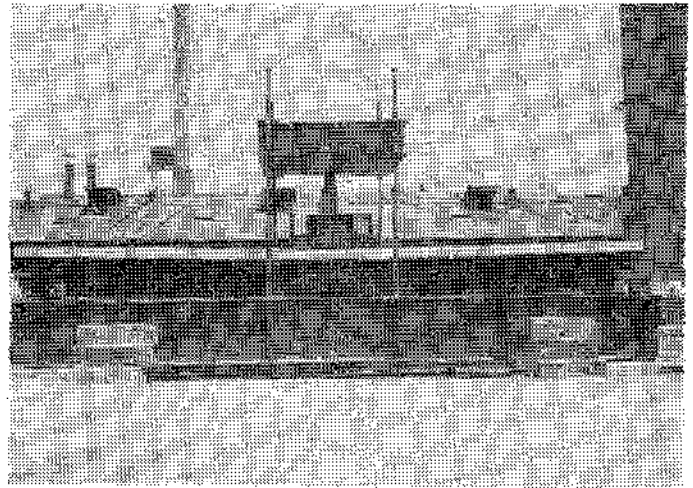


写真-6 スタッド合成桁曲げ試験終了後

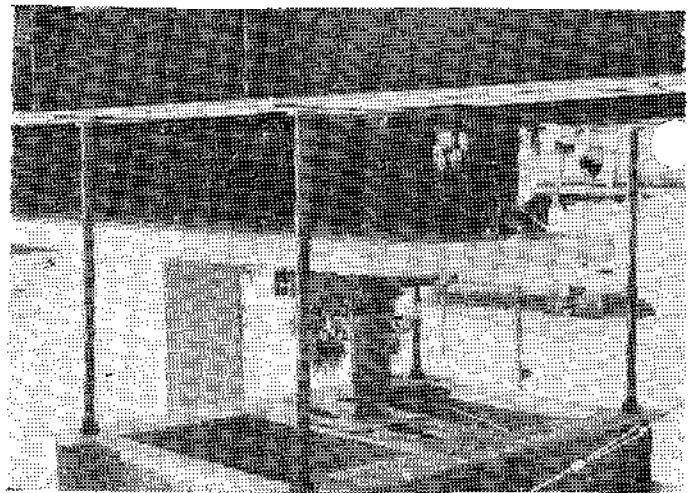
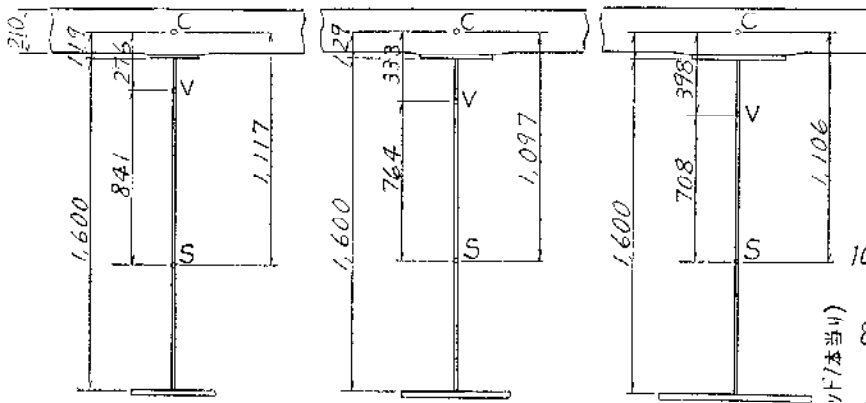
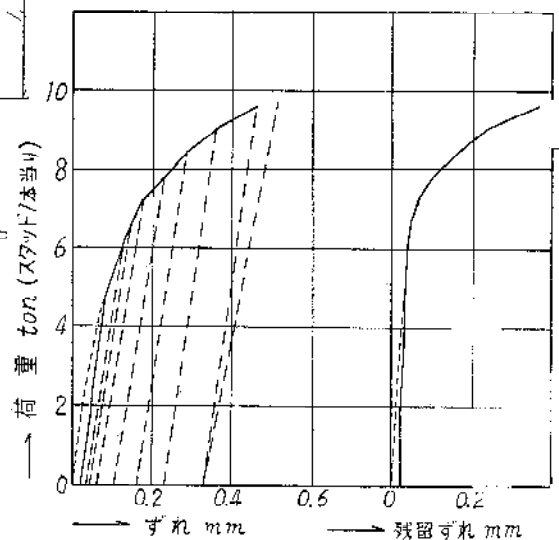


写真-7 スタッド合成桁せん断試験 (荷重位置を桁端近くによせる)



第13図 桁中央断面 単位 mm

- 6) 上野, 外3: スタッドジベルの実験的研究; 土木技術 1961.7 p 21
- 7) 安宅, 赤尾: H形鋼とスタッドジベルを用いた合成桁の破壊実験について; 附 35.9 本実験は, 八幡製鉄株式会社, 日本橋梁株式会社, 大阪変圧器株式会社の3社の協力により実施されたものである。



第14図 荷重いずれ曲線 (実物桁せん断試験)