

80キロ鋼部材の高力ボルト摩擦接合について

多 田 安 夫 *
篠 原 洋 司 **
山 木 崇 史 ***

1. 序 言

現在建設省、鉄道建設公団が調査中の本州四国連絡橋においては中央径間1500m級の長大吊橋、あるいは400～500mのゲルバートラス等、長大支間の鋼橋が対象となっている。これらの橋梁の使用鋼材としては、HT 36/50、50/60、70/80 級の高強度鋼が考えられているが、現場接合は作業環境、工期等を考慮すると高力ボルト接合が適当であろう。これには摩擦、支圧、引張型接合があるが当面もつとも一般的である摩擦接合をとりあげ、ボルトは効率のよい4種(F13T)を用い、部材の鋼種をHT 70/80とした場合の設計、施工について調査を行ったのでこれについて報告するものである。調査は設計の基本となるすべり係数の把握をまづ第一にし、それとボルト行数とすべり耐力、継手部分の応力状態、施工性等について実験を行って確かめたものである。

なお実験作業を担当していただいた日本鋼管(株)関係各位ならびに当研究室小山技官に厚く感謝をする次第である。

2. 実験計画

2.1 実験の種類とその目的

実験にあたって主眼とした項目とその目的はつぎのとおりである。

(1) 接合部接触面の表面処理の種類とすべり係数

施工管理が容易でかつ材質にも影響を与えない表面処理法数種の中からもっともすべり係数の高いものを求める。

(2) ボルト行数と1本当りすべり耐力の関係

母材強度ならびに部材断面が大きいことを考えると、ボルト行数が10行以上になることは明らかであるが、行数増加はどこまで許せるか不明なのでこの基礎資料を得る。

(3) 導入ボルト軸力のバラッキ

現在施工性をもっともよいと考えられるインパクトレンチを用いその導入軸力のバラッキを求め、すべり耐力ならびにボルトの安全度をたしかめる。

この他、解析の際の資料として各ボルト付近のずれ量、応力状態等を調査した。

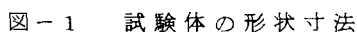
2.2 供試体

供試体の種類は図-1に示すとおりで供試体数は78、ボルト本数は748である。

* 建設省土木研究所橋梁研究室長

** 建設省道路局国道二課

*** 建設省土木研究所橋梁研究室



供試鋼板の性質は表-1、摩擦面処理の種類は表-2のとおりである。A型のねらひは母材を傷めず用いることを、B~Fは、いわゆる赤サビ発生面を、Gはもっとも経済的な方法として、H型はもっとも経費がかかるが耐食性を考慮したものである。A型は基本的なものと考え供試体も多くとった。

形 状 (mm)	成 分 (%)										引 張 試 験			曲げ試験 (角度180°)	衝 撃 試 験 (2mmV)			
	C	Si	Mn	P	S	Mo	V	Cu	Cr	Ni	炭素当量 Ceq * (kg/mm ²)	降伏点 ** (kg/mm ²)	引張強さ * (kg/mm ²)	伸び (%)	判定	試験 温度 (°C)	衝撃値 (kg·cm ²)	試験 温度
19x1219x4877	0.12	0.24	0.80	0.015	0.020	0.51	0.05	0.31	0.50	0.78	0.514	87	93	31	Good	室温	13.5	-15°C
28x1524x6086	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	84	89	37	"	"	16.3	-5°C
28x1524x6096	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	88	92	32	"	"	18.8	"
28x1524x6096	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	85	90	36	"	"	21.3	"

-74-

表 - 2 摩 擦 面 処 理 の 種 類

試験体 No.	製鉄メーカーの処理	日 数	工場製作後の処理	現場の処理	日 数	接 合 作 業 時
A 型	ショットブラストをかけて ウオッシュプライマー処理	30	サンドブラスト(SPグリット) 後ビニール系樹脂塗膜	露天放置(海浜 地帯雨天含む)	10	塗膜の剥離直後に締め つけ
B 型	"	"	サンドブラスト(SPグリット)	"	7	ワイヤーブラッシ・ウエス により浮錆除去
C 型	"	80	な し	室 内 放 置	10	ガスバーナーでプライマー を焼き(600°C 3 min.) ワイヤーブラッシがけ
D 型	"	"	プライマー剥離剤を3回塗 りにより除去	"	"	ワイヤーブラッシがけ
E 型	"	"	プライマー剥離剤を1回塗 りにより除去	"	"	"
F 型	"	"	な し	"	"	サンドブラスト (SPグリット)
G 型	"	"	"	"	"	処理なし
H 型	"	150	サンドブラスト後亜鉛メタリ コン厚さ約80 μ をスプライス のみにほどこす	"	5	"

- 1) サンドブラスト : SPグリットを使用, グリットの主成分 FeO 54.5%, SiO_2 28.8%,
 Al_2O_3 0.0%, 吹付け圧力 6 Kg/cm^2 , ノズル口径 8mm,
グリットの粒径約 100~400 μ 。
- 2) ウオッシュプライマー : 亜鉛マストゴム系溶剤(東亜ペイント)
- 3) 剥 離 剤 : 主成分メチレングロライド(江戸川合成K.K)
- 4) ビニール系樹脂膜 : 主成分塩ビニール・ケトン系溶剤(大阪ワニス)
- 5) 表面アラサ : サンドブラッシ直後では約 20S

(2) 供試ボルトセット

供試ボルトセットは J I S B 1 1 8 6¹⁾ の規格を準用しているが鋼種およびその化学成分については規定がないので、現在 F 1 3 T 級としては一応安定して供給されている大同製鋼製 S M K 22 を用いた。供試材の化学成分、機械的性質は表 - 3 のとおりである。

表 - 3 - a ボルトセットの化学成分表(リード分析)

項	目	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti
ボルト F13TW/8 SMK22	規格値	0.17~ 0.22	0.60~ 0.90	1.00~ 1.40	≦0.035	≦0.030	≦0.30		1.30~ 1.70	0.03~ 0.20
	分析結果	0.20	0.78	1.14	0.017	0.009	0.19	0.07	1.36	0.08
ナット F10TW/8 S45C	規格値	0.42~ 0.48	0.15~ 0.35	0.60~ 0.90	≦0.030	≦0.035	≦0.30	0.20	0.20	
	分析結果	0.47	0.21	0.64	0.014	0.006	0.10	0.06	0.09	
座 金 F45W/8 SMn1	規格値	0.43~ 0.48	0.15~ 0.35	1.50~ 2.00	≦0.030	≦0.030	≦0.35	≦0.30	≦0.25	
	分析結果	0.44	0.22	1.68	0.022	0.010	0.19	0.09	0.17	

表-3-b ボルトセットの機械的性質

	ボルト							
	製品引張試験			切出し引張試験(4号)				
検査項目	破断荷重(t)	カタサ(Hrc)	切断位置	耐力 kg/mm^2	引張強さ kg/mm^2	伸び(%)	絞り(%)	カタサ(Hrc)
規格値	38以上	36~45	ネジ部	110以上	130以上	14以上	35以上	36~45
試料の大きさ	3	3	ネジ部	2	2	2	2	2
合格 ¹⁾ 上限		42.30						43.55
判定値 ²⁾ 下限	39.81	38.70		117.0	136.21	15.6	39.2	37.45
平均	46.0	41.1		121.3	145.2	15.7	53.4	42.65
範囲	1.3	2.4		5.4	8.0	0.2	6.8	0.1
ロットの合否	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	ボルト				ナット	座金	トルク係数	
	切出し衝撃試験片(3号 ²⁾)							
検査項目	シャルピー(満)	同左カタサ	シャルピー(0℃)	同左カタサ	カタサ(Hrc)	カタサ(Hrc)	組トルク	
規格値	参考	36~46	参考	36~46	30~40	45~55	0.04~0.14(ロット平均値)	
試料の大きさ	3	3	3	3	6	6	6	
合格 ¹⁾ 上限		43.55		43.55	36.3	52.55	0.145	
判定値 ²⁾ 下限		37.45		37.45	31.7	47.45	0.084	
平均	8.7	43.1	7.4	43.4	35.1	50.2	0.116	
範囲	0.5	1.0	0.2	0.4	1.8	1.0	0.015	
ロットの合否					OK	OK	OK	

1) 合格判定値上限 $\bar{X}_U = S_U - k\sigma$ 下限 $\bar{X}_L = S_L + k\sigma$ (S_U, S_L は規格値)

2) JIS Z 2202 3号試験片(2mm Uノッチシャルピー試験片)

2.3 実験

2.3.1 実験方法

締付け作業は施工性をみるため現場の足場と同様なものを設けその上で行った。軸力導入はメガネスパナによる手締め後設計軸力(締めつけのバラツキをみるため標準軸力を用いなかった。)にカットしたインパクトレンチ(インガーソールランド社製形式5340T能力55~76mkg)で2回締付けて行った。締めつけに必要なトルクは約66mkgである。C~Hは供試体の数が少いのでトルクレンチで締めつけた。設計軸力はつぎのとおりである。

$$N = \frac{0.9}{1.14} \sigma_{0.2} A_e = \frac{0.9}{1.14} \times 110 \times 2947 = 2559t$$

$$T_a = \frac{1}{\nu} \cdot \mu \cdot N \cdot n = \frac{1}{1.7} \times 0.42 \times 2559 \times 2 = 1204t$$

ここでN:設計軸力(t)、1.14:ねじりせん断の影響を考慮した係数で、実験に使用したと同一ロットのボルトのねじり切り試験より求めた値。 $\sigma_{0.2}$:0.2%耐力、 A_e :ボルトの有効面積(mm^2)

T_a :1本あたり許容耐力(t)、 ν :安全率(=1.7)、 μ :すべり係数、 n :摩擦面の数

引張試験は日本鋼管の600tアムスラー型試験機を用いた。

2.3.2 測定項目と測定方法

A. 締付け作業前

(1) 表面状態

試験後の変化を調べるため試験前にa)表面アラサ(東京精機KK触針式表面アラサ計、ERC-CD型、No.540071)b)表面硬度(東京衡機ブリネル硬度計3ton、10mmボール)、

c) 金属顕微鏡の観察(ユニオン光学×50～2000)を行った。

B. 締付け作業時

(1) 導入軸力

インパクトレンチ(新品)による導入軸力のバラッキを調べるためa). ボルト軸力計(SKIDMORE WILHELM 製 M型№2422)によって20本締付ける毎にキャリブレーションを行う。b) 電気抵抗線歪計(以下W.S.G.)を任意抽出した20本のボルトの軸に貼付して歪を測定する。なお初めの手締め時にも上記の測定を行う。

(2) 回転角

回転角法の利用の資料とするためボルト全数回転角を測定する。測定は、手締め後と第1回締めつけ後、第2回締めつけ後を罫書き棒でマーキングし分度器で測定した。

C. 引張試験時

(1) すべり荷重

いわゆるボン荷重をすべり荷重として測定し音のしないものについては伸びすべり曲線に突然大きな変位を生ずるときをすべり荷重と推定した。

(2) 最大荷重

母材もしくはボルトの何れかの破断の場合がほとんどである。

(3) 荷重一ずれ曲線、ずれ量

各供試体毎に表-4のようにG.L.をきめ1/1000ダイヤルゲージを添接板端部にセットしずれ量を測定し荷重一ずれ曲線を作成した。また継手部の数点に1/1000ダイヤルゲージを取付けて母材と添接板の各位置における相対ずれ量を測定した。

(4) 応力状態

継手各部の応力状態を知ために80-7-B-9について図に示す位置をW.S.G.により歪測定した。

D. 引張試験後

A.(1)と同じく試験後の状態を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 表面処理の種類とすべり係数

この関係は図-2のとおりである。

(1) A 型

この型より低いのは塗膜の剥離が十分でなかったのではないかとも思われたが後述のようにすべりは鋼材表面直下の層で生じているので顕微鏡写真の観察から接触面積が少いことによる内部せん断抵抗力が小さい影響であろう。

(2) B 型

SS41～HT60まではもっとも一般的でかつ効率のよい処理方法と考えられているものであるが、今回も同じ結果をえた。

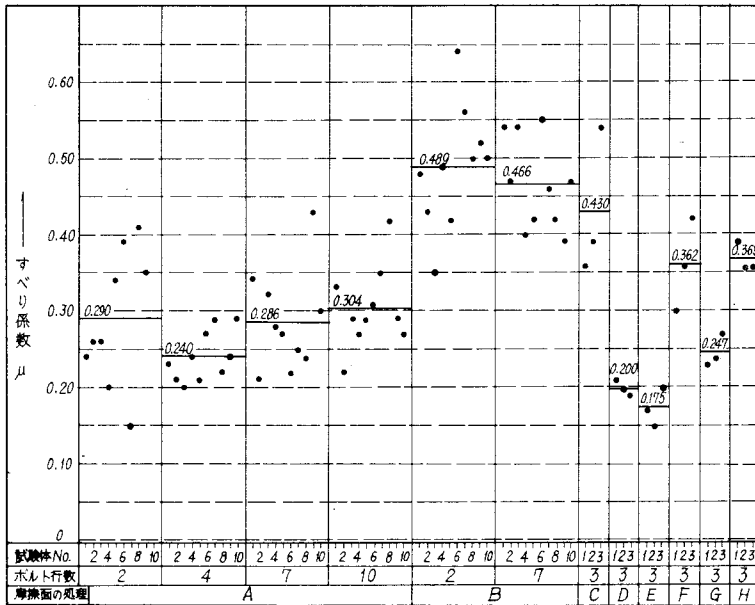


図-2 表面処理とすべり係数の比較 (ボルト軸力は25.6tonとした)

(3) C～H型

供試体数が少ないので有意の解析はできないが傾向としてはB型に及ばないようである。ウォッシュプライマー剥離剤を使用した場合はその後の処理が重要で、或程度曝露を行って発錆せしめB型に準じたものにするのがよいようである。A型と同じように夾雑物がすべりやすくしているのではないと思われる。たゞしC型が一番よいがドイツ²⁾でいわれているような高い値 (St. 5.2で0.6) がでないのは火炎の強さのちがいとも思われるがよくわからない。

(4) F 型

これは吹付け亜鉛層のセン断抵抗力が小さいためである。

3.2 ボルト行数とすべり耐力

今回の実験では、10行までであったが、A型・B型とも行数増加による耐力の低下に有意差の存在は認められない。図-3は、実験結果から12行の場合の耐力を推定したものである。この推定は十分成立すると考えられるので12行程度までは1本あたりの耐力の低下を考える必要はなからう。

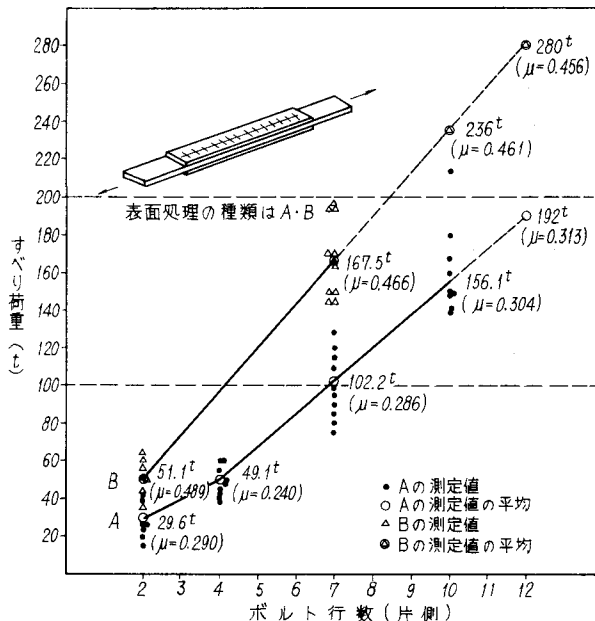


図-3 ボルト行数とすべり耐力

3.3 導入ボルト軸力のバラッキ

表-4に測定結果を示す。すなわちインパクトレンチでは、最悪の場合 $3\sigma = \pm 22.8 \sim 36.9\%$ の変動があることになる。これは作業中度々故障したこととあわせてこの器具の能力の不足を示している。上記の変動は設計で $0.9\sigma_y (= 0.9 \times 0.85\sigma_B = 0.765\sigma_B)$ まで応力の生ずることを許しているので、標準ボルト軸力に対する係数1.1をそのまま加えると、 $0.765\sigma_B \times 1.1 \times (1.228 \sim 1.369) = (1.04 \sim 1.15)\sigma_B$ となり引張強さの規定値を越えることになる。実際は表-3-bにみごとく σ_B は規格値に対して下限でも10%程度高いのが普通であるからその確率は非常に少ないが、 σ_B を越える可能性は十分あるものと考えられる。高力ボルトの破断は強い力で抜け飛ぶので危険であり注意すべき問題である。このことは締めつけ器具の改善、締めつけ作業の管理、トルク係数の安定、等がきわめて重要であることを示すものと云えよう。またこれらが早急に改良し得ない場合は、とくに重要な個所に於ける使用応力を $0.9\sigma_y$ より低減することを検討すべきであろう。一方ボルトの材質そのものを塑性域の伸びを長くして仮りに締めすぎた場合でも破断しないように変えることも一方法ではなかろうか。

表-4 導入ボルト軸力測定結果の分散

測定法	平均値(元)	標準偏差($\hat{\sigma}$)	$(\hat{\sigma}/\bar{x}) \times 100$
手締めをキャリブレターで測定	5.62 ^t	0.532 ^t	9.5%
インパクトレンチをキャリブレターで測定	25.04	1.919	7.6
W.S.G.による軸力の測定	22.96	2.840	12.3

3.4 回転角

回転角のバラッキは、図4に示すように、変動範囲は100%に近い。このことは、現行の導入軸力・ボルトの性質のままでは回転角法に安定した結果を期待しにくいのではないと思われる。^{3) 4)}

3.5 荷重とずれの関係

すべり前とすべり後の継手の長さの変化は、表5に示すように、すべり後でも0.2%程度である。このことはすべり後を含めて0.2%耐力を許容耐力の算出の対象としうる可能性を示している。もしこれが可能であれば、許容耐力は、さらに高くとり得るであろう。また現在の孔径の許容差でも支圧型ボルトの考えを導入できる可能性を示している。

各部のずれ量の一例を図-5に示す。⁵⁾

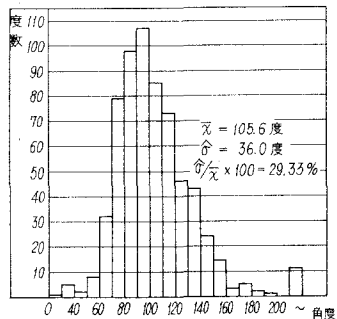


図-4 ヒストグラム-回転角

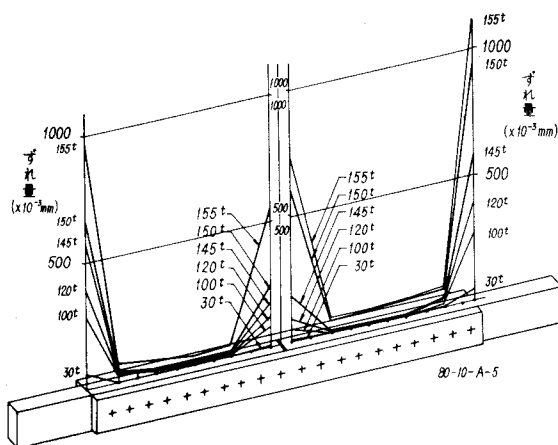


図-5 継手各部のずれ量

3.6 継手部の応力状態

図-6 に各部の応力状態 (W.S.G. 測定) の一例を示す。⁶⁾

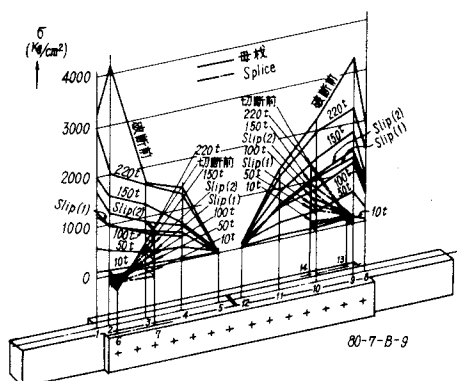
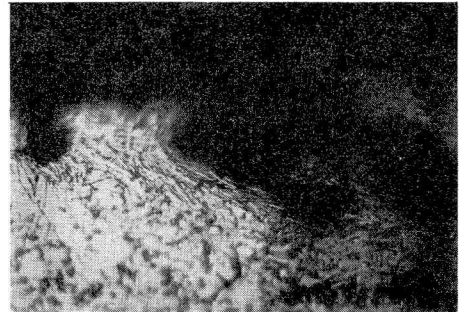
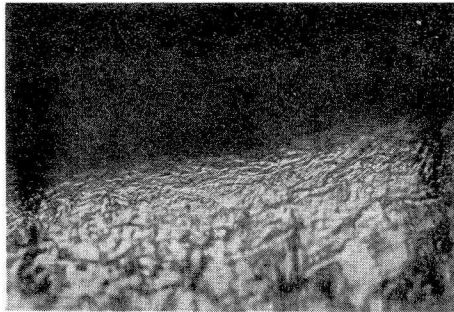
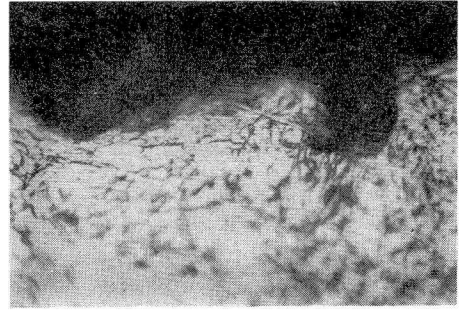
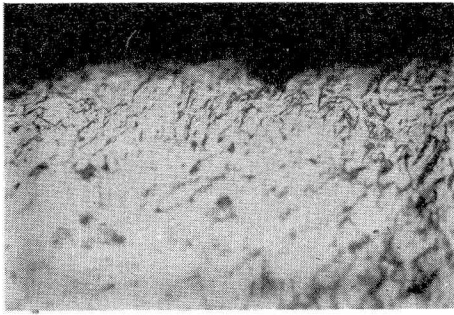


図-6 継手各部における応力

3.7 表面状態の変化

80-2-A-8、80-2-B-8、80-7-A-8、80-7-B-8 について試験後表層に生じている引かき傷をもとに、この個所のみ接触していたと考えて接触面積を算定したところ全摩擦面に対し9.2%、12.7%、12.9%、9.3%であった。つぎに2-A-1、2-B-1の傷面をさらに金属顕微鏡を観察すると、表層は極く局部的に塑性変形しているが、B型では腐食により生じた凹凸部がかみ合いを容易にし、そのため広範囲に著しい塑性変形を生じているのがわかる。この観察からB型の優位であることが十分うなづけるであろう。

写真-1 にすべり前とすべり後の状態を示す。



80-2-A-1

80-2-B-1

写真1 すべり前後の表面状態

4. 結 言

上記のことからF13TW7/8 ボルトを用いたHT70/80部材の三枚合せ(70mm程度)高力ボルト摩擦接合ではつぎのことがいえよう。

- (1) HT70/80を用いた部材の高力ボルト摩擦接合におけるすべり係数は0.4として十分安全である。
- (2) 表面処理は赤錆発生法が効果的である。
- (3) ボルトの行数は12行程度でも1本あたりすべり耐力の低下は考慮する必要はない。
- (4) 回転角法による締めつけ法の導入軸力のバラツキは大きく、ボルトの性質・導入軸力の程度を変えないかぎりむづかしい。
- (5) ボルトの使用応力は導入軸力のバラツキと使用鋼種の塑性域の伸び率を考慮して選定すべきである。

以上、現在までの調査について報告したが、今後実際連絡橋に用いるまでに、さらにおくれ破壊・応力腐食・腐食による切欠効果、大量生産と品質管理等の種々問題を検討すべきであろう。

参考文献

- 1) J I S B 1 1 8 6 - 1 9 6 4 摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット
- 2) Vorläufige Richtlinien für Berechnung, Ausfuhrung und bauliche Durchbildung von gleitfesten Schraubenverbindungen (H V - Verbindungen) für stählerne Ingenieur - Hochbauten, Brücken und krane 2 Ausgabe 1963
- 3) SPECIFICATIONS FOR STRUCTURAL JOINTS USING ASTM A325 OR A490 BOLTS 1964
- 4) B.S. 3294 Part.1 SPECIFICATION FOR THE USE OF HIGH STRENGTH FRICTION GRIP BOLTS IN STRUCTURAL STEELWORK 1960
- 5) Klaus Dornen : Die Untersuchung der Schubsteifigkeit von Verbindungen mit bschfest vorgespannten (H V -) Schrauben in Stahlbau und die daraus sich ergebenden konstruktiven Massnahmen.
- 6) 田島二郎：継手構造－応力分布およびその強さ－