

京都大学工学部 正員 工博 小西一郎
住友金属 中研 正員 工修 山川純雄
富士製鉄 正員 工修 武野 優
京都大学大学院 学員 竹村勝之

1. まえがき

高力ボルト支圧接合を設計する場合の問題点は(1)接合母材の材質と使用ボルトの材質の選定, (2)最適引張一せん断比の決定, (3)継手長さの問題, (4)耐疲労性の問題, など未知の問題が多い。本研究ではこれらの諸問題に関連した基礎資料を得る目的で図-1に示すような支圧継手, 摩擦継手, リベット継手を有する溶接試験桁を製作し, それらの静ならびに疲労試験を行ない, 支圧接合継手部の力学性状を摩擦接合, リベット接合などと比較検討したので, その概略を報告する。試験桁に用いた鋼材はSM50Aであり, 支圧接合用打込ボルトは材質9T, 公称径 $W7/8$ でリブも含めた外径は23.8mmで, これに対しボルト穴径は23.5mmとした。一方摩擦接合用ボルトはF11T, $W7/8$, リベットはSV41を用いた。導入ボルト軸力は支圧ボルト接合の場合17.0t, 摩擦ボルト接合の場合23.1tとした。また桁の許容荷重は, 引張フランジの許容応力を 1900 kg/cm^2 とすると総断面に対し36.3t, 純断面に対しては27.8tとなる。ただし載荷法は図-1に示すとおり静および疲労試験とも2点対称載荷である。

2. 実験結果と考察

2.1. 静的試験 図-1に示す試験桁に対し, 図示のとおり2点対称載荷により接合部に曲げモーメントのみを作用せしめ, スパン中点のたわみ, フランジおよびウェブのひずみ, 接合部の本接板と主板間のずれおよびボルト軸力の変化などを測定した。支圧接合用打込ボルト(Interference Body Bolt)の場合はナット側で導入軸力が17.0tになるように締付を行なったが, その際のボルト・ヘッド側軸力はナット側よりも大体1.6t~0.2t程度低かった。この軸力差は主としてボルト外径と穴径の差およびグリップ長によって左右されるもので, 本実験供試体ではフリアランスは -0.3 mm , グリップ長は28mmである。しかし実際にはグリップ長はさらに長くなるのが普通であり, 軸力差は一層大きくなるものと考えられ, したがって接合板間摩擦抵抗に寄与する有効軸力はかなり低下するものと予想される。図-2はスパン中点の荷重-たわみ曲線であるが, これから明らかなように比較実験として行なったリベット接合桁(T-R-50)の剛性は他の2型式のものより非常に小さい。支圧接合桁T-B-50-Iは片側1列にボルト2本を配置したものであるが, これと摩擦接合桁T-F-50と比較すれば, 載荷荷重30~45tの間では支圧接合桁(T-B-50-I)の方がややたわみが大きく, 荷重が50tに達すると両者のたわみは等しくなりその後再びT-B-50-Iの方が大きなたわみを示している。この挙動の差異を考察すればおよそつぎのようである。すなわちT-B-50-Iの理論上のすべり荷重は支圧ボルトの有効軸力を16.0t, 板間のすべり係数を0.4と仮定すると, 40.8tとなる。それゆえ荷重が40t前後になると支圧作用が発生しはじめ, フランジの板厚が12mmと比較的薄いため支圧変形はかなり大きいものと考えられる。その結果, 付加たわみが発生し図-2にみられる前述の挙動の差異が生じたものと推測される。片側1列にボルトを3本配置した支圧接合桁(T-B-50-II)と摩擦接合桁(T-F-50)は支圧ボルトと摩擦ボルトを1対1で対応させたものであるが, この場合両者の間にほとんど差異は認め

られず、継手なしと考えた場合の理論たわみとほとんど一致している。

図3に下フランジ継手の主板と添接板のずれ量を示す。この測定方法は主板および添接板に鋼球を十字状に打込み、斜め方向の長さの変化量をコンタクト歪計(BAM型)で測定(ゲージ長20mm, 傾斜角30°)しその水平成分を求めたものである。図から明らかのようにリベット接合桁(T-R-50)におけるずれ量は非常に大きくかつ全徹に一様に分布している。この理由としては(1)リベットとリベット穴側壁は完全に充填されておらず0.1~0.2mm程度のすきまが存在し、かつリベット軸力(締付力)は高々8t¹⁾で高力ボルト接合に比べ著るしく低いためすべりが非常に低い荷重時より発生すること、(2)リベットはボルトより材質が軟かく変圧変形、せん断変形が比較的起りやすい、などが考えられる。これに対し、変圧接合桁T-B-50-I, T-B-50-II および摩擦接合桁(T-F-50)のずれ量はリベット桁に比べ非常に小さく、ずれの分布はほぼ類似しており、継手部中央(主板突合せ面)および継手端部で大きく、その中間で小さい。なお継手端部のずれが継手中央部のそれより大きい²⁾が、これは主板の方が添接板(上下2枚分)より板厚が小さいため、理論上からも説明できる。

図4は変圧ボルト接合、摩擦ボルト接合および引張ボルト接合におけるボルトの軸力変化を示すものである。これを見ると変圧ボルト接合桁および摩擦ボルト接合桁における引張フランジのボルト軸力ははじめのうちは荷重とともに増加し、ある荷重以降はじょじょに減少し、板あるいはボルトの降伏が始まると急激に減少する。他方圧縮フランジのボルト軸力ははじめから減少の一途をたどる。なお変圧ボルトにおいてはボルトのヘッド側とナット側の軸力変化の傾向は似ているが、変化量は異なる³⁾。図中に同一断面同スパンの高力ボルト引張接合桁のボルト軸力変化を示したが、これに用いたボルトは13T, M22, 締付力は24.3tである。以上図より明らかなことは上記3種類のボルト接合におけるボルト軸力変化は、設計荷重以内では比較的小さく、しかもほとんど差異はなく、むしろ引張接合における方が変化量の小さいのが注目される。

つぎにウエブのひずみ測定から得られた中立軸に関しては、摩擦接合桁の場合には桁高の中央にあり、リベット接合桁の場合中央より約20cm上方に、変圧接合桁(T-B-50-I)では約12cm上方にあった。また継手部より10cm離れた桁ウエブのひずみ測定の結果、中立軸の位置は、摩擦接合桁では桁高中央、リベット接合桁および変圧接合桁の場合は継手部より若干下がっていた程度である。継手部の中立軸の位置は種々の要素によって影響を受けるものであるが、実験結果では変圧ボルト接合においては最初から中立軸が桁高中央より上方に存在していたことから考えて、変圧接合桁の引張フランジ有効断面積は摩擦接合桁のそれより若干小さいのではないかと考えられる。

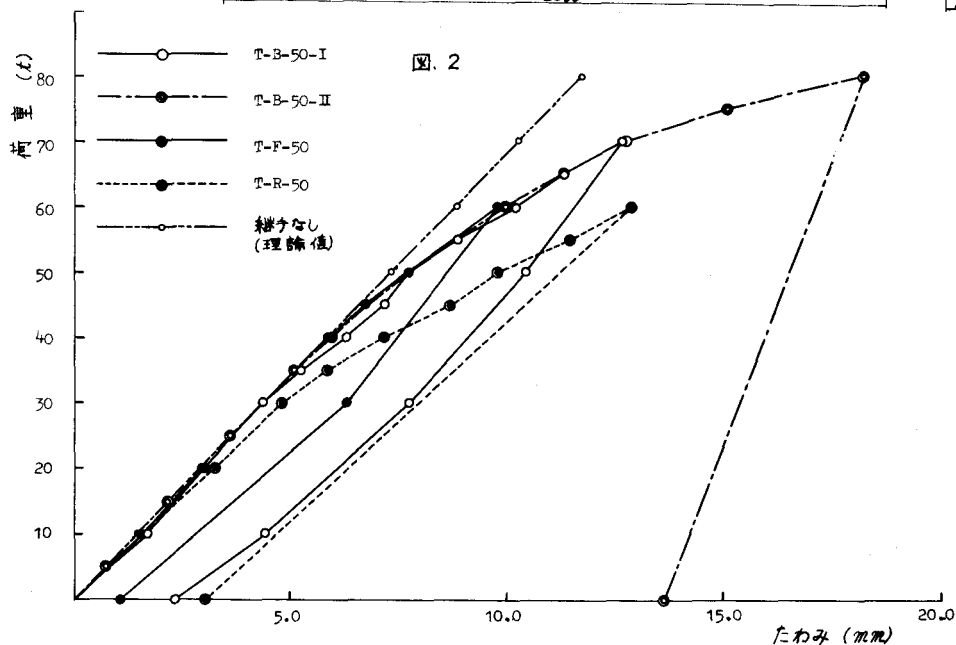
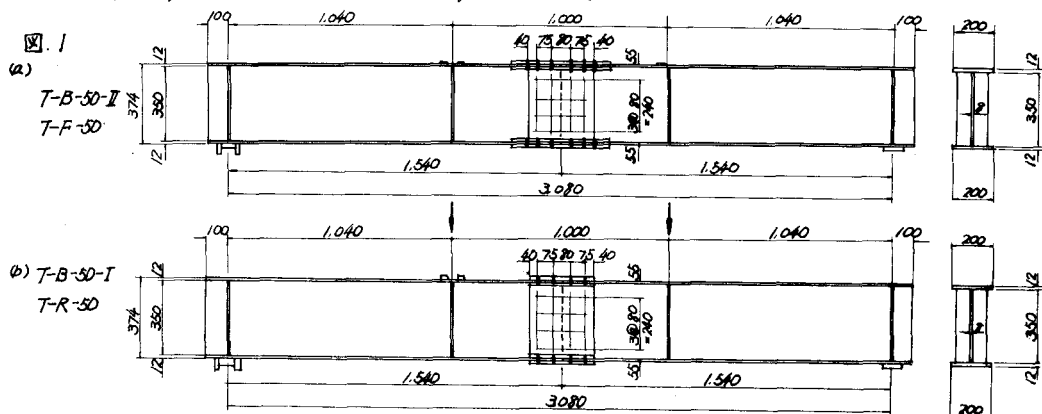
6. 疲労試験結果とその考察

高力ボルト変圧接合の耐疲労性に関しては、ボルト打込みに際しボルト穴壁に傷がつけられ、またボルトの有効締付力も摩擦接合の場合ほど信頼性がないため、ボルト穴周辺に応力集中を起し、これらが継手の疲労強度を低下させるおそれがある。以上の諸点より、静的試験に用いたのと同じ寸法供試体について疲労試験を行なった。その結果は表-1にとりまとめ示した。載荷荷重は設計荷重に相当する上限36.5tと^(その110%に相当する)40tについて行ない、下限荷重15tは道路橋における死荷重に相当するよう決定した。以上疲労試験結果を要約するとつぎのとおりである。(1)リベット接合は桁の設計荷重で疲労破壊し、しかも非常に低い降伏比で継手部純断面で破壊した。(2)変圧ボルト接合、摩擦接合の桁は設計

荷重を2x10個繰返し載荷しても破壊せず、上限を40tとした場合に200万回以下で疲労破壊を生じた。

(3) しかし支圧接合部は継手部ではなくて荷重直下のせん断応力が作用する側で破壊した。⁽³⁴⁾ 薄板接合部に上限40tを載荷した場合継手部端ボルトのやや外側(ワッシャーの外径あたり)で破壊したが、支圧接合より寿命は長かった。以上の疲労試験結果を総合して、変動荷重を受ける溶接集成断面部材に支圧接合と適用しても設計荷重以下の荷重に対してはほぼ部材の全強を伝達することができようである。しかし設計荷重以上の大きな変動荷重を受ける場合を考えると、継手の荷重伝達はほとんど支圧とせん断になり、ボルト穴の応力集中が大となり、その結果低サイクル疲労強度は低下するおそれがある。よってそのような異常荷重に対する安全性を向上させるため、ある程度穴控除する必要もあるかと思う。

参考文献 1) B. Bresler, T.Y. Lin; Design of Steel Structures, Wiley, p. 67. 2) 例は、奥田秋夫氏2名氏試、フラヒ；鋼橋の理論と計算，コロナ，558，pp. 324-334. 3) I. Konishi & S. Yamakawa; Behavior of High-Strength Bolted End-Plate Connections, Proc. of the Symposium on High-Strength Steel and Its Joint, Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Sept. 1966, pp. 97-111.



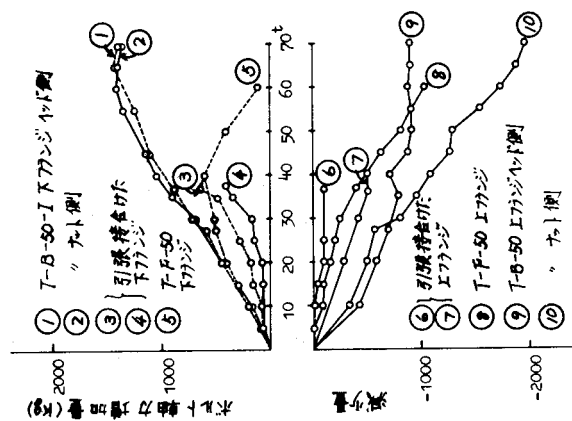


表-1 疲損試験結果

供試体	断面積 (cm ²)	荷重 (t)		繰返し回数	破断面所
		上限	下限		
T-B-50-I	17.0	36.5	15.0	2,000,000	破断せず
" II	"	40.0	"	1,340,000	荷重低下 下フランジ
T-F-50	23.1	"	"	1,790,000	下フランジ部
T-R-50	—	36.5	"	302,650	端部引張部
継手部	—	40.0	"	1,260,000	荷重低下 下フランジ

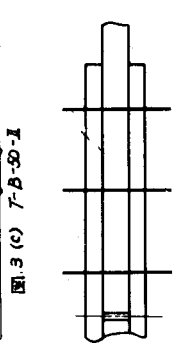
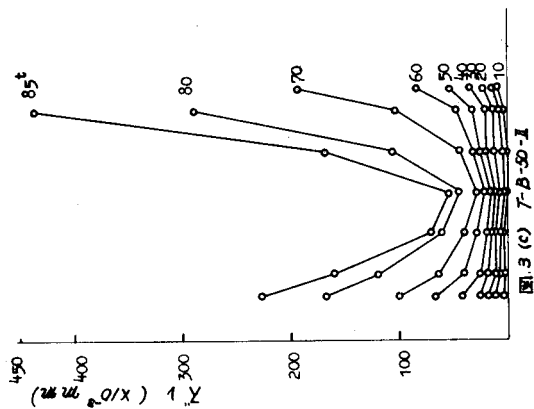


図-3 (c) T-B-50-I

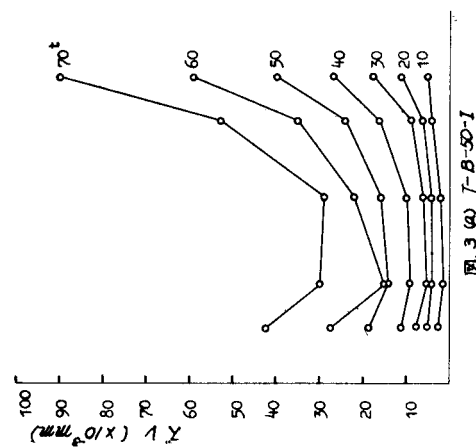


図-3 (a) T-B-50-I

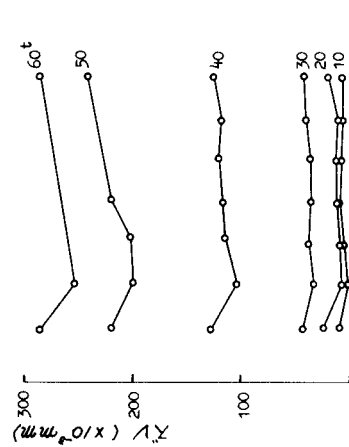
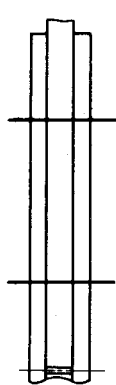


図-3 (b) T-R-50