

(18) トラス型ジベルの押し抜きせん断挙動

九州大学工学部 太田俊昭 今井富士夫
山口大学工学部 日野伸一 浜田純夫
九州大学工学部 ○今金真一
建設省 北之園 宏

1. 序論

近年、橋梁床版の新設や架替えに対して、死荷重の低減や工事の省力化、急速施工などの要求から、鋼板を型枠と引張材として併用した各種の鋼・コンクリート合成床版が広く利用されるようになってきた。しかし、このような合成床版を場所打ち工法で架設する場合、底部鋼板の剛性が低いために、支保工による支持または特定な鋼材を用いて剛性アップを行わなければならないのが現状である。

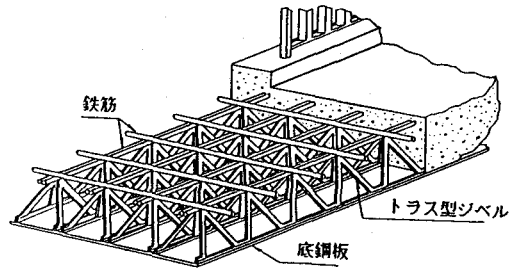


図-1 立体トラス型ジベルを用いた合成版

本研究は、図-1に示すような底部鋼板上にフラットバーまたは丸鋼をピラミッド状に溶接加工した、新しいタイプの立体トラス型ジベルを用いた合成版構造の開発を目的とするものである。その特徴は、①立体トラス型ジベルが鋼板とコンクリートの間の2方向ずれ止め（水平せん断）およびアップリフト力に対し、スタッド以上の優れた効果を期待できること、②トラス型ジベル付き鋼板は架設系においても曲げ剛性が高く、支保工が不要となり、従来の形鋼を用いたものより鋼重が少なく経済的になりうること、③コンクリートのまわりがよく、ブリージングを生ぜずコンクリート打設時の品質管理が容易であること、などである。また、この合成版構造は橋梁床版だけでなく、他の土木構造物への幅広い適用性をその特色とする。

そこで、ここでは、このような立体トラス型ジベルのせん断挙動を把握するため、立体、平面トラス型ジベル4種類およびスタッドジベルの合計5種類のずれ止めに対し、静的押し抜き試験を実施し、それらの力学特性を比較検討するものである。

2. 供試体と試験方法

2.1 供試体

本研究では、図-2に示す5種類のずれ止めについて実

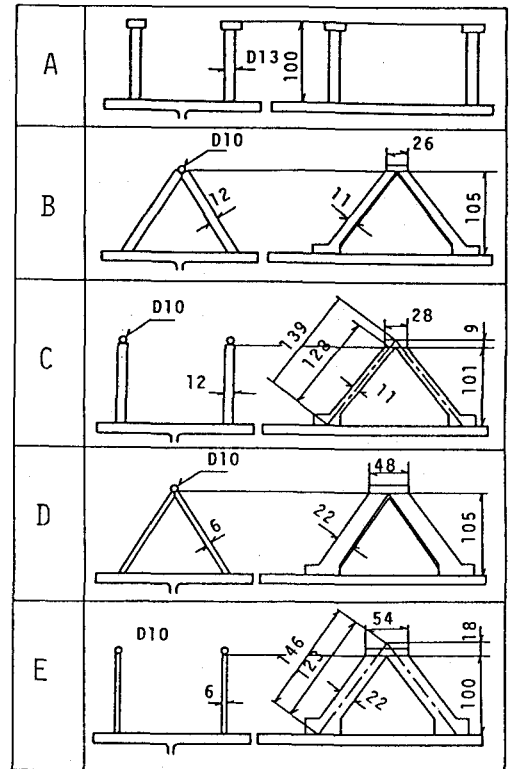


図-2 ジベルの形状

験を行った。Aタイプはトラス型ジベルのせん断挙動を検討する上で基準としたスタッドジベルである。トラス型ジベルについては、断面寸法の異なるジベル材についてそれぞれピラミッド状に組み立てた立体型（B，Dタイプ）とせん断方向に平行な配列の平面型（C，Eタイプ）である。これらのトラス型ジベルの製作に際しては、所定の断面寸法に加工したフラットバーを、頂部において圧縮鉄筋となる丸鋼を介して溶接した。なお、比較のため、各タイプのジベルの断面積および溶接長は等しくした。

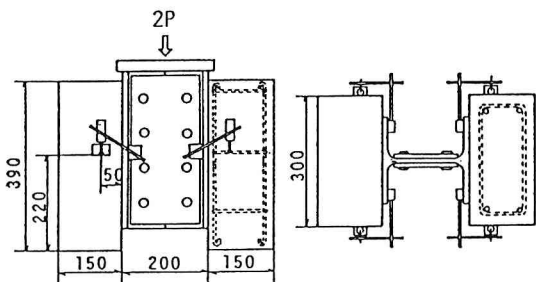


図-3 供試体の形状寸法

表-1 コンクリートの配合1 表-2 コンクリートの配合2

目標強度 (Kg/cm ²)	270
スランプ (cm)	10
水セメント比 (%)	62
水 (Kg/m ³)	192
セメント (Kg/m ³)	310
細骨材 (Kg/m ³)	744
粗骨材 (Kg/m ³)	1087

目標強度 (Kg/cm ²)	400
スランプ (cm)	10
水セメント比 (%)	42
水 (Kg/m ³)	167
セメント (Kg/m ³)	331
細骨材 (Kg/m ³)	717
粗骨材 (Kg/m ³)	1155

試験方法は、通常ずれ止めのせん断耐力を究明するのに多用される2面押し抜きせん断試験である。図-3に示すようにH形鋼の両フランジに各タイプのジベル材を溶植して（片面あたりスタッド4本相当）、それにコンクリートを打設した。供試体数はコンクリートの圧縮強度を変え、それぞれ各タイプ3体、合計30体である。コンクリートの圧縮強度を270kg/cm²、および400kg/cm²スランプの目標値を10cmとし、表-1，2に示すような配合を決定した。使用材料として、鉄筋はSD30、その他の鋼材はSS41を用いた。

供試体の作成にあたっては、実際の構造物における場合とコンクリートの打設方向を同一にするため、各ジベル材をフランジ部に溶植した後、H形鋼をウェブ中立位置で2分割して、図-3に示す供試体の両コンクリート部分を同時に打設した。打設後は屋内において28日間以上の散水養生を行い、載荷試験時に高力ボルト接合により組み立てた。なお、鋼材とコンクリートの接触面は、自然付着状態とするため、コンクリート打設前に鋼材に付着した不純物をアセトンでふきとり除去した。

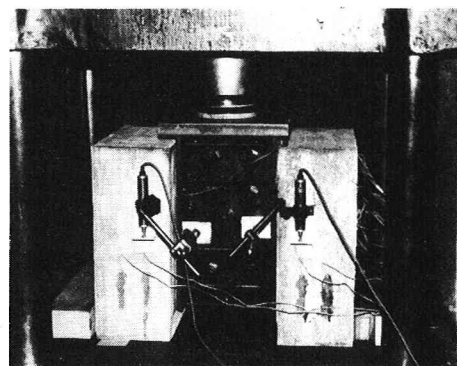


写真-1 実験風景

2. 2 載荷試験

載荷試験は、100 t 万能試験機を用いて行い、H形鋼上部より載荷した。試験に先立ち、供試体と載荷台および加圧板

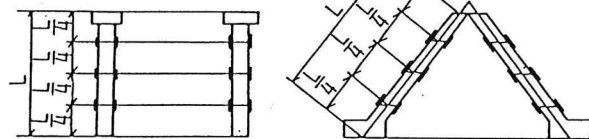


図-4 ひずみゲージ

間の不整を除去し、密着性と荷重の均等分布を確保するため石膏の充填、プラスチック板の挿入を施した。また、荷重の増加に伴い曲げの影響で供試体の脚部が開いてくるのを防ぐため、P C鋼棒を用いて両側のコンクリート部を拘束した。荷重は、0 t→2 t→0 t→2 t→4 t→0 t→…のように、2~5t 刻みで最大荷重を増加させながら繰り返し載荷させた。荷重速度はできるだけ一定になるように注意した。また、接合面のずれが 0.5~1.0 mm を越える頃より荷重が安定しにくくなるので、それ以上は除荷をせず最大荷重に至るまで漸増した。

測定項目は、最大荷重の他に各荷重段階における(1) H形鋼とコンクリートの接合面のずれ、(2) ジベル材のひずみ、(3) H形鋼フランジのひずみである。ずれの測定には変位計（精度 1/1000mm 又は 1/200mm）を用い、4箇所で計測した。また、ひずみ測定にはワイヤ・ストレインゲージ（ゲージ長 5mm）を使用し、1 供試体につきジベル材には、高さ方向 3 箇所の両面に合計 12 枚（図-4 参照）、フランジの内側にはせん断方向に沿って 10 枚ずつそれぞれ貼付した。写真-1 に、押し抜きせん断試験の様子を示す。

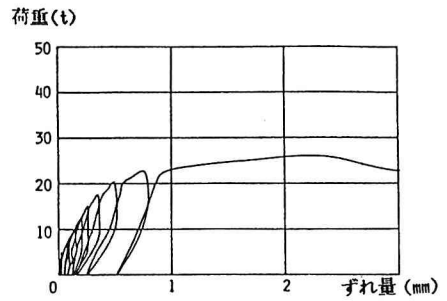


図-5 荷重-ずれ量

3. 試験結果および考察

3. 1 接合面のずれ

図-5 は、繰り返し荷重と接合面のずれ量の関係を示したものの一部である。図-6、図-7 は、各載荷ステップ毎の最大荷重とその時のずれ量および残留ひずみの関係を示したものである。これらの図より、いずれのタイプのジベルについても、荷重の増加につれて、総ずれ量及び残留ずれ量ともに、載荷初期においては弾性的に増加し、その傾きはずれ量が 0.5mm を越えるあたりから各タイプとも急激に大きくなっている。また、タイプ別の比較では、A タイプ（スタッド）が載荷初期における総ずれ量並びに残留ずれ量が最も大きく、B タイプが最も小さいことが顕著に示されている。

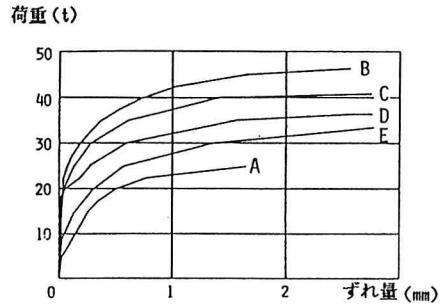


図-6 ステップ最大荷重-ずれ量

3. 2 破壊状況

試験終了後のジベルの変形状況及び、トラス内部のコンクリートの破壊状況を写真-2 に示す。スタッドジベルでは、スタッドがすべて根元の溶植部から破断され、スタッドには大きな曲げ変形が見られた。また、スタッド近傍のコンクリ

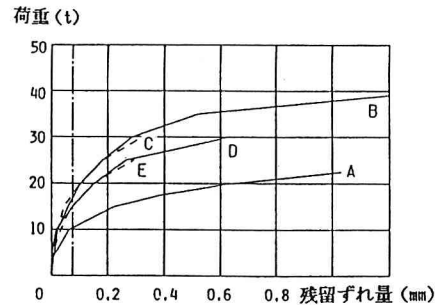
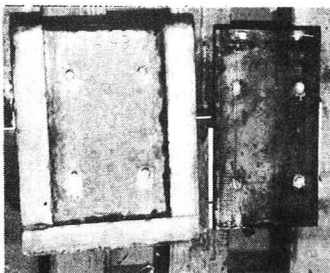
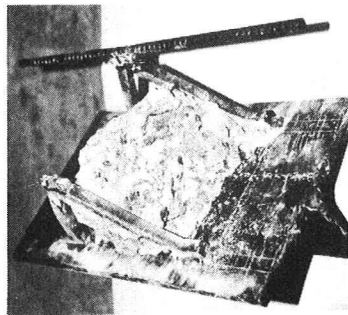


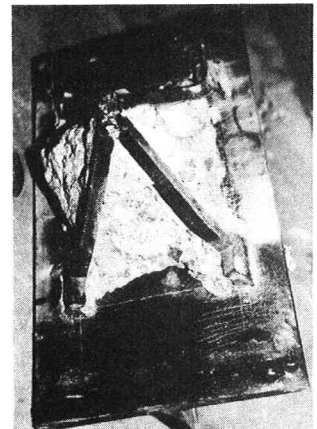
図-7 ステップ最大荷重-残留ずれ量



(a)



(b)



(c)

写真-2 ジベルの破壊状況

ートは破壊され、鋼板とコンクリートは完全に付着が切れていた。平面および立体トラス型ジベルについては、すべて中央部からジベル中央部に大きな曲げ変形が生じており、最終的には上弦材と斜材の溶接部が破断していた。また、立体トラス型ジベル内部のコンクリートには欠損がみられず、付着も比較的良好な状態であることが確認された。このことは、ジベル近傍の部分的なコンクリートの破壊後も立体トラス型ジベル内部のコンクリートがせん断力を分担し、結果的に耐力の増加をもたらしたのと考えられる。また、立体トラス型ジベルが、鋼板とコンクリートの間の浮き上がり防止に効果的な働きをすることが判明した（写真-2(C)参照）。

3. 3 ジベル材のひずみ分布

図-8～9は、スタッドジベル、平面および立体トラス型ジベルのひずみ分布の変化を示したものの一部である。なお、プロットした各点は10mm刻みの測定値である。スタッドジベルでは、載荷側、非載荷側と

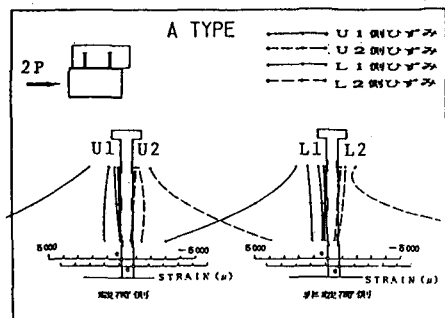


図-8 ジベルのひずみ分布

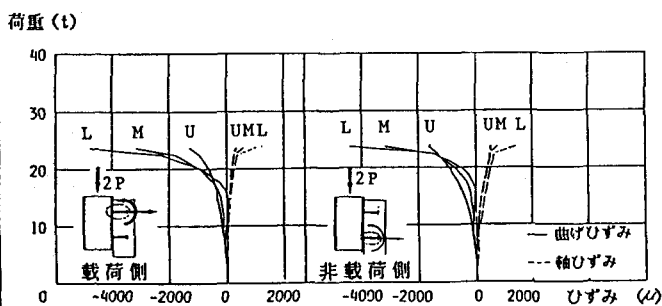


図-11 ジベルのひずみ分布

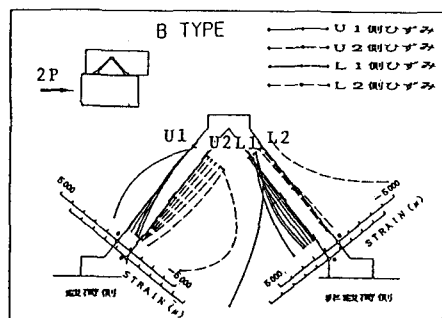


図-9 ジベルのひずみ分布

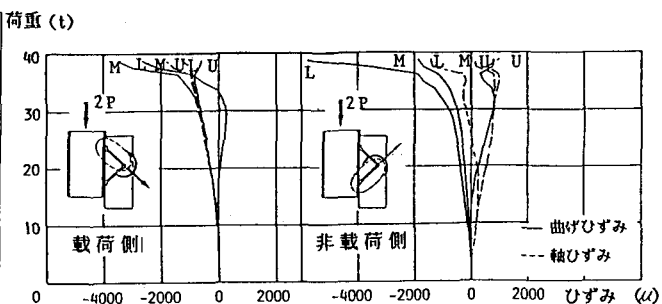


図-12 ジベルのひずみ分布

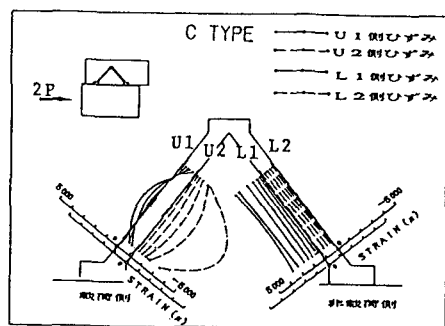


図-10 ジベルのひずみ分布

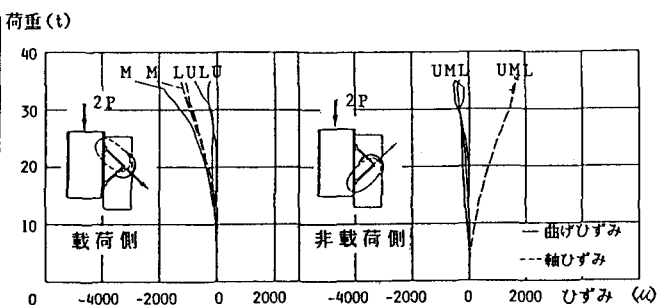


図-13 ジベルのひずみ分布

もに同じような分布傾向を示している。トラス型ジベルでは載荷側は圧縮ひずみが、また、非載荷側では引張ひずみが支配的である。これはジベルに対して、曲げと同時に軸力が大きく影響を及ぼしているためだと考えられる。さらに、両側とも終局荷重付近でひずみが急増しており、それぞれ引張、圧縮降伏している。図11～13はスタッドジベルとトラス型ジベルの曲げおよび軸ひずみ分布を示したものの一部である。スタッドジベルでは、載荷側、非載荷側ともに最大荷重の80%付近までは、スタッド頭部が根元部分に比べ、曲げひずみが大きい。荷重の増加に伴い、中央部からジベル下部の曲げひずみが急増し、終局荷重付近では根元部分の曲げが卓越している。トラス型ジベルでは、スタッドジベルに比べ軸力の影響が大きく、載荷側は圧縮力、非載荷側では引張力がそれぞれ支配的となっている。なお、ひずみに関しては、立体トラス型ジベルと平面トラス型ジベルとの間に明確な差異はみられない。

3.4 セン断耐力

スタッドジベルの許容せん断耐力は、道路橋示方書より次式で規定されている。

$$Q_a = 30 d^2 \sqrt{\sigma_{ck}} \quad (H/d > 5.5) \quad \cdots \cdots (1)$$

また、トラス型ジベルの許容せん断耐力は、輪形筋によるずれ止めを参考にし、次のように許容せん断耐力を算定した。すなわち、図14に示すように接合面に生ずる水平せん断力を一組の山形トラス構造で抵抗すると仮定すれば、その許容せん断力は

$$Q_a = 2 F \cos \theta = 2 \sigma_{sa} A_s \cos \theta \quad \cdots \cdots (2)$$

となる。ここで、 A_s ：トラス断面積、 σ_{sa} ：許容引張応力、 θ ：トラス材と鋼板のなす角度である。なお、本実験供試体では、一面あたりの許容せん断力は図の山形トラスが2組であるため(2)式で算出される値の2倍である。また限界耐力は、残留ずれ量が0.075mmとなった時の荷重である。また終局耐力 Q_u は、各供試体の最大荷重より求めた。以上の許容せん断耐力 Q_a 、限界せん断耐力 Q_c 、及び終局耐力 Q_u について、各タイプにおける比較を表3、4に示す。なお各耐力は供試体一面あたりの値である。また、限界耐力及び終局耐力における安全率 Q_c/Q_a 、 Q_u/Q_a も示す。

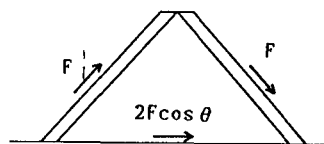


図14 トラス型ジベルの許容せん断耐力

表3 ジベルのせん断耐力の検討(配合1)

供試体 タイプ	許容耐力(t) Q_a	限界耐力(t) Q_c	終局耐力(t) Q_u	$\frac{Q_c}{Q_a}$	$\frac{Q_u}{Q_a}$
A	3.3	10.6	25.8	3.2	7.8
B	4.5	18.5	43.5	4.1	9.7
C	4.5	18.2	38.7	4.0	8.6
D	4.5	15.3	37.3	3.4	8.3
E	4.5	15.2	36.9	3.4	8.2

表4 ジベルのせん断耐力の検討(配合2)

供試体 タイプ	許容耐力(t) Q_a	限界耐力(t) Q_c	終局耐力(t) Q_u	$\frac{Q_c}{Q_a}$	$\frac{Q_u}{Q_a}$
A	4.1	13.8	21.5	3.4	5.2
B	4.5	22.3	43.0	5.0	9.6
C	4.5	22.0	36.8	4.9	8.2
D	4.5	15.9	37.6	3.5	8.4
E	4.5	18.4	36.0	4.1	8.0

この表をみると、各耐力についてはスタッドジベルに比べ、トラス型ジベルが限界耐力、終局耐力ともに配合1では、1.4～1.7倍程度になっている。また配合2では、限界耐力で1.2～1.6倍、終局耐力で1.7～2.0倍程度になっている。同一断面形状の立体トラス型ジベルと平面トラス型ジベル(BとC、DとE)を比較すると立体トラス型ジベルがやや耐力が大きい。これは立体トラス型ジベルの方がせん断力を有効に分担するためと考えられる。また断面形状の異なるB、CタイプとD、Eタイプを比較するとB、Cタイプの方がD、Eタイプより限界耐力及び終局耐力ともに上回っている。これは、ジベルの載荷方向断面積、すなわちコンクリートの支圧面積が大きいためだと考えられる。

次に図6の荷重—ずれ曲線において、一面あたりの限界耐力に対する割線係数をずれ定数として表5

に示す。この表をみると、平面および立体トラス型ジベルのずれ剛性が、スタッドジベルに比べかなり高いことがわかる。

合成構造物のずれ止めの優劣は、ずれ止めの製作ならびに施工等の経済性の問題も考慮しなければならないが、上記のせん断耐力及びずれ性状という力学的な観点から考慮すれば、スタッドジベルよりトラス型ジベルの方がすぐれていると考えられる。

4. 結論

本研究によって以下の結果を得た。

- 1) トラス型ジベルのせん断耐力は、断面積の等しいスタッドジベルと比較して、1.2～2.0倍程度になる。
- トラス型ジベルの断面形状に着目すると、載荷方向断面積の大きい方が耐力が大きい。
- 同一断面形状のトラス型ジベルでは、平面トラス型ジベルに比べ立体トラス型ジベルの方が大きい耐力を有する。
- 2) 限界耐力時に対するずれ定数より、平面および立体トラス型ジベルはスタッドジベルに比べかなり高いずれ剛性を有する。
- 3) スタッドジベルが、主としてせん断に基く曲げによる抵抗機能型であるのに対し、平面および立体トラス型ジベルは、せん断に基く軸力と曲げの複合抵抗機能を有している。
- 4) ジベルの破壊状況は、スタッドが根元溶接部の破断であるのに対して、平面および立体トラス型ジベルにおいては非載荷側斜材上部の引張破断であった。

謝辞：本研究を実施するにあたり、供試体作製では鶴石川島建材工業に、また実験では九州大学工学部技官手島氏、および山口大学工学部技官兼行氏に御協力を得たことを付記し、ここに深謝の意を表します。

＜参考文献＞

- 1) 太田、日野、今金、佐々木：トラス型ジベルのせん断耐力に関する実験的研究：土木学会西部支部発表会講演概要集 1986
- 2) 高崎、原、鬼頭：縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験：宮地技報 NO.1 1985
- 3) 山本、中村：Studd Shear Connectorの試験報告：土木研究所報告 1961
- 4) 山本、中村：Block, Channel および Hoop Shear Connector の試験報告：土木研究所報告 1960
- 5) R.P.Johnson, D.J.Oehlers：Analysis and design for longitudinal shear in composite T-beams: Proc.Inst Civ.Engrs,Part2,1981,71
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、鋼橋編 1980
- 7) 太田、今井、井口、安田：繰返し荷重を受ける合成床版の力学的挙動：土木学会西部支部発表会講演概要集 1986
- 8) 太田、冉、興石：立体トラス型ジベルを有する合成床版の解析：土木学会第39回年次学術講演会講演概要集 1984
- 9) 太田、安田、大塚、興石、今井：トラス型ジベル付鋼板の力学性状に関する研究：土木学会西部支部発表会講演概要集 1985

表-5 ずれ定数

供試体	単位(10 ⁶ Kg/cm)	
	配合1	配合2
A	0.90	0.89
B	2.21	2.20
C	1.68	2.14
D	1.79	1.65
E	1.20	2.24