

鉄道用連続合成桁に用いるずれ止め構造のせん断特性に関する実験的研究

An Experimental Study on Characteristics of Shear Connectors
in Composite Continuous Girders for Railway Bridges

保坂鐵矢*, 平城弘一**, 小枝芳樹***, 橘 吉宏****, 渡辺 滉*****

Tetsuya HOSAKA, Hirokazu HIRAGI, Yoshiki KOEDA, Yoshihiro TACHIBANA
and Hiroshi WATANABE

- | | | |
|-------|----------------------|----------------------------|
| * | 日本鉄道建設公団, 設計技術室 | (〒100 東京都千代田区永田町 2-14-2) |
| ** | 工博 摂南大学工学部土木工学科, 助教授 | (〒572 大阪府寝屋川市池田中町 17-8) |
| *** | 川田工業株式会社技術開発本部技術研究室 | (〒550 大阪府大阪市西区北堀江 1-22-19) |
| **** | 工博 川田工業株式会社橋梁事業部技術部 | (〒114 東京都北区滝野川 1-3-11) |
| ***** | 川田工業株式会社橋梁事業部技術部 | (〒114 東京都北区滝野川 1-3-11) |

This paper deals with shear characteristics on the slippage behavior of shear connectors used in composite continuous girders for railway bridges. The main purpose of this investigation was to study the relationships of shearing force between the steel connectors and the concrete blocks by the static push-out method. As a result, authors were able to acquire the useful slippage data (for example; the spring constant, maximum of shear strength, the condition of destruction and others) of shear connectors, for the design of composite continuous bridges with two plate girders.

Key words: shear connector, composite continuous girders, slippage characteristics

1. まえがき

現在, 鉄道橋として適用されている鋼橋は, 列車走行時における騒音への配慮から, 鋼主桁とコンクリート床版とを鋼主桁上フランジに溶接されたずれ止めで合成させた合成桁橋が主流になっている¹⁾。また, 今後の鉄道用合成桁橋は, 既往の数多くの研究成果^{2,3)}が再評価され, これまで実績を得ている連続構造化に加えて2主I断面桁橋を採用すれば, 材片数, 溶接延長および塗装面積の低減による製作時の省力化, 現場施工時の工期短縮および維持管理費の低減などが可能となり, その建設面においてますます合理化されていくものと期待できる。この2主I断面桁橋は, フランスではTGVの高架橋で実績のある形式である。一方, わが国の鉄道橋では, 実用化に向けて各種の研究開発を実施し, それらから得られた知見をもとに設計を行っているところである。

ここで言う連続合成2主I断面桁橋を適用するにあたり, ずれ止めの構造や床版のひび割れを含めた中間支点部の設計法が問題となってくる⁴⁾。この形式におけるずれ止め構造として, 一般に鉄道橋で使用されている馬蹄形ジベルの適用を考えた場合, 2主桁化に伴って桁から床版

に伝達される水平せん断力が増加するため, 従来の馬蹄形ジベルでは物理的な配置が困難となることも予想される。また, 馬蹄形ジベルにおいて橋軸直角方向の力の伝達に対する構造的配慮は多少なされてはいるものの十分であるとは言えないため, 地震・風荷重などの横方向(橋軸直角方向)荷重の桁1本に作用する力の増大に対して, 不都合が生じることも考えられる。このようなずれ止めの構造と配置の問題を解決するには, 連続合成桁の中間支点部近傍の負曲げ区間におけるコンクリート床版の挙動も考慮に入れた設計法に関連づけて検討する必要がある。

そこで, 道路橋の合成桁において一般的に用いられるスタッドジベル⁵⁾を鉄道橋においても使用することとし, 鉄筋配置やコンクリート条件によって有害なひび割れ幅の発生を防ごうとするひび割れ制御の考え方を設計に採用することも検討されてきている⁶⁾。また, 鉄道橋には連続桁の中間支点付近(負曲げモーメント区間)でずれを許容する非合成作用を持った柔なずれ止め(以下, 柔ジベルと記す)を設置した断続合成桁が適用された例もある^{6,7)}。さらに床版部の省力化を目的としているプレキャストコンクリート床版を鋼主桁上フランジに結合させる

ために頭付きスタッドをグループ配置したずれ止め（以下、群ジベルと記す）や、ドイツのレオンハルトらによって開発された耐疲労性を考慮し、鋼主桁フランジと床版との間のずれを全く許容しないずれ止め（以下、孔あき鋼板ジベルと記す）を使用する合成桁などが試みられるようになってきている⁹⁾。したがって、これらのずれ止め構造を適用するに当っては、ずれ性状および耐荷力などの特性をまず把握することが重要であると言えよう。

そこで、本研究では連続合成桁に適用される5種類のずれ止めを対象に、静的押抜きせん断試験を行った。その結果、①各ずれ止めタイプのずれ挙動データの収集、②各ずれ止め構造のせん断特性とずれ定数の把握、③破壊性状の確認など、今後合成桁のずれ止め構造を選定・配置・設計する上において有用なデータが得られた。ここにその結果を報告する。

2. ずれ止めタイプ

今回着目した鉄道用連続合成桁に適用される異なる5つのずれ止め構造の種類とその諸元を表-1に示した。

まず、タイプ1のスタッドジベルは、多くの研究と疲労実験⁹⁾を踏まえた上で、使用実績が増えてきており、施工性がよくしかも経済的であることから、従来の合成桁に多用されてきた馬蹄形ジベルに加え、使用頻度が今後さらに増えていくものと推測できる。

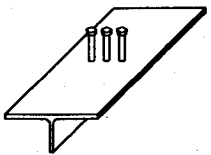
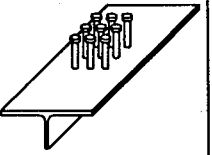
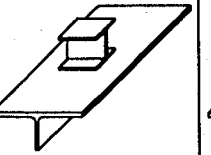
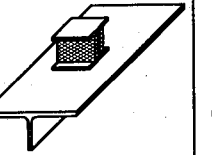
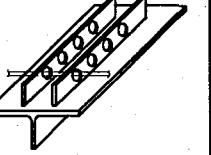
タイプ2の群ジベルは、少数主桁化に伴う主桁間隔の増加による対策や床版自体のひび割れ制御、現場施工の工程短縮を主目的として適用されるようになったプレキャストコンクリート床版を鋼主桁上フランジと合成させるために採用される方法であり、著者らが知る限り、頭付きスタッドをグループ配置させた場合のずれ挙動や耐力に関して、今のところ十分な実測データが少ないように思える。

タイプ4の柔ジベルは、連続合成桁の中間支点付近の負曲げモーメント域で適用されるずれ止めで、今まで数多くの研究成果^{2,3,6,7)}が報告されており、現在では実用化に至っている。なお、ここでフレキシブルなずれ性能をもたせるためにH形鋼のウェブ両側に取り付けている発泡スチロール（厚さ10mm）の効果を確認する目的で、発泡スチロールを有さないH形鋼を用いたタイプ3のようなH鋼ジベルも製作している。

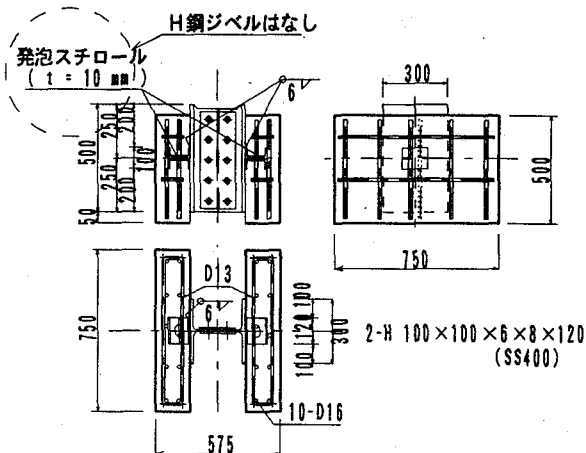
タイプ5の孔あき鋼板ジベルは、孔を貫通しているコンクリートのせん断力と鋼板表面の付着力で床版と鋼製フランジを接合したものである。海外での施工例は報告されてはいる⁹⁾が、日本国内では合理的な鋼・コンクリート複合構造において近年注目され、構造特性に関する研究^{9,10)}はなされているが、合成桁橋においてはまだ実用化に至っていない。

以上のことを考慮に入れて、押抜きせん断試験を実施し、それぞれの力学性状を把握することとした。

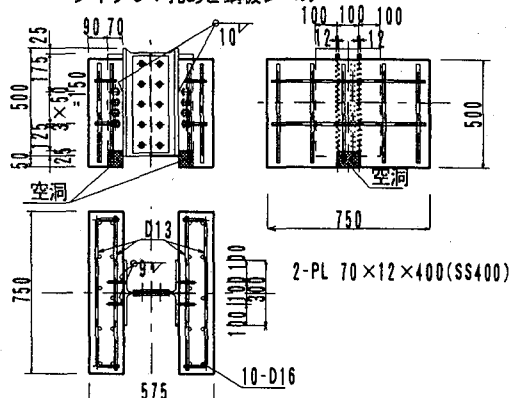
表-1 ずれ止め構造の種類および諸元

概略図	ずれ止めタイプ				
	スタッドジベル (タイプ1)	群ジベル (タイプ2)	H鋼ジベル (タイプ3)	柔ジベル (タイプ4)	孔あき鋼板ジベル (タイプ5)
概略図					
特徴	道路橋における合成桁で一般的に多用されているずれ止め。	合理化施工として、近年試みられているプレキャストコンクリート床版を対象としたずれ止め。	タイプ4の柔ジベルと比較するために製作したずれ止め。	負曲げ区間における床版の浮き上がりを防止する目的で用いられている柔なずれ止め。	ヨーロッパにおいて床版との合成を孔の開口部による付着力でより高めるために開発された剛なずれ止め。
ずれ止め諸元	頭付きスタッドジベル 軸径: $d=19\text{mm}$, 高さ: $H=100\text{mm}$ 間隔: 50mm 取付方法: スタッド溶接 本数: 3本 配列: 3行1列		H形鋼 材質: SS400 寸法: $100\times100\times6\times8\times120$ 取付方法: 6mm の全周すみ肉溶接		孔あき鋼板 材質: SS400 寸法: $70\times12\times400$ 取付方法: 10mm の全周すみ肉溶接 孔径: $4-\phi 35$ 孔 孔間隔: 50mm ※ 1つの孔に D13 鉄筋貫通

タイプ3 : H鋼ジベル / タイプ4 : 柔ジベル



タイプ5：孔あき鋼板ジベル



3. 押抜きせん断試験方法

り付け、フランジ部のみに荷重が作用するようにウェブを切欠き、若干低く加工した。また、鋼T形部材とコン

200t 万能試験機
200t (球座付き)
支圧板
200t 荷重計
L型フック
設置位置(高さ方向)は、中心位置とする。
載荷用治具
鉛板($t = 1\text{mm}$)
高感度変位計
500
160 265 160
575
750
供試体下面に土を敷く
変位計の設置位置(高さ方向)は、中心位置とする。

図-2 載荷・計測システム

クリートブロックとの相対ずれ変位量は4箇所に取り付けた高感度変位計($500 \times 10^{-6} / \text{mm}$)を用いて静ひずみ測定器で計測した。載荷方法は図-3に示す変位(ずれ)制御による漸増繰返し載荷法で行い、最大せん断耐力 $Q_{\max}$ とその破壊モードが確認できるまで載荷を繰り返した。ここで押抜きせん断試験を行うに当たって、「頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状」¹¹⁾を参考とした。文献11)によれば、図-3中に示している最大ずれ量($\delta_{\max}$)は最大せん断耐力($Q_{\max}$)に達した時に発生した相対ずれ変位量で、ずれ定数(K)は荷重-ずれ曲線における $Q_{\max}/3$ 荷重点の初期割線の傾き(初期ずれ剛性とも言う)である。

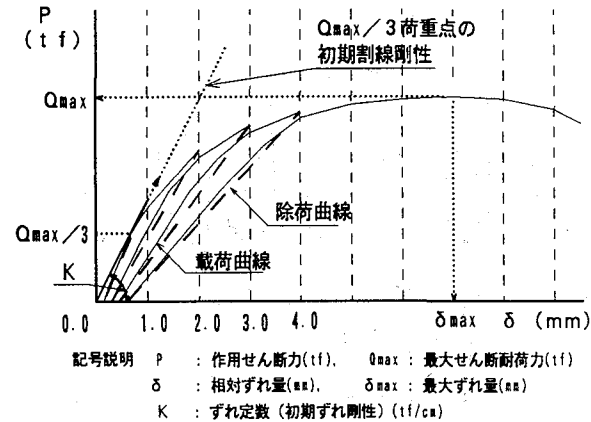


図-3 載荷方法

4. 押抜きせん断試験結果

4.1 終局破壊状態

ここでは、今回行った静的押抜きせん断試験により得られた各ずれ止めタイプの試験体の破壊状態をもとに破壊過程を推測した。

(1) スタッドジベルと群ジベル

図-4にスタッドジベルタイプの終局破壊状態を示す。スタッドジベルを用いた試験体の終局破壊状態は、3体とも溶接余盛り上面のスタッド軸部でせん断破断しており、軸部の曲げ変形している区間はスタッド取付位置(鋼T形部材面)からスタッド軸径(d_s)の1.5倍程度の高さまでであった。また、コンクリートが圧壊している区間はスタッド軸芯からせん断方向に向かってスタッド軸径(d_s)の3.0倍程度の範囲であった。

また、群ジベルの終局破壊状態は、3体ともコンクリートブロックの圧壊であった。これは水平せん断力が作用することによって、スタッド間のコンクリートがお互いに干渉し合い、早期にひび割れが発生し、それらが連係したためと考えられる。すなわち、群ジベルの場合はほとんどがコンクリートの圧壊で終局破壊状態を迎え、コンクリートの圧縮強度で終局耐力が決定されると推測できる。なお、スタッド自身は曲げ変形が起こっているだけで破断に至っていない。

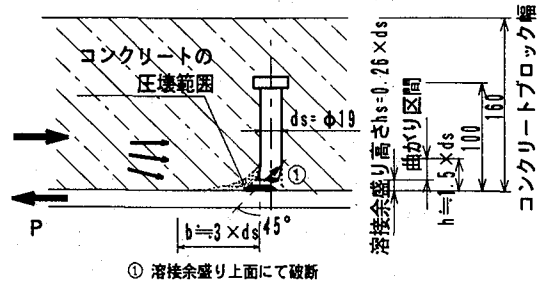


図-4 スタッドジベル破壊状態

(2) H鋼ジベルと柔ジベル

図-5にH鋼ジベルおよび柔ジベルタイプの終局破壊状態を示す。H鋼ジベルと柔ジベルの試験体の破壊性状は、発泡スチロールの貼付によるコンクリート側の支圧破壊の進行の相違はあるものの、ほとんど同じ性状であると推測でき、終局破壊状態はともにH形鋼ウェブ部の破断であった。破壊に至る過程を考察すると、まず最初にH形鋼下フランジ部とH形鋼ウェブ下曲面部でコンクリートの支圧破壊がほぼ同時に発生し、進行していく、コンクリートブロックにせん断すべり面が形成されていく。その後、そのせん断破壊面にて、ずれ止めの支圧前面のコンクリート部がすべり始め、ずれ止めに大きな変形を伴い、ウェブの曲面端部で斜め引張による破断を起こすものと考えられる。

なお、現在実用化されている断続合成桁橋(連続合成桁橋)の中間支点付近における柔ジベルは、桁支間中央付近の床版圧縮域での主桁との高い合成のため、このような鋼主桁とコンクリートとの付着が切れてずれていくような挙動を起こさないことを付記しておく。

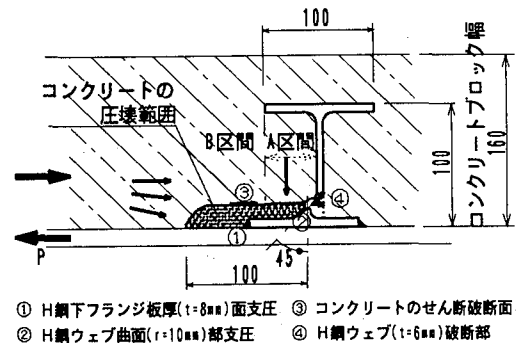


図-5 H鋼・柔ジベル破壊状態

(3) 孔あき鋼板ジベル

図-6に孔あき鋼板ジベルタイプの終局破壊状態を示す。孔あき鋼板ジベルの試験体の終局破壊状態は、孔あき部のコンクリートがせん断破壊した後、鉄筋が貫通している1つの孔において鋼板がずれることで鉄筋にせん断力が作用し、その鉄筋のせん断変形が進んだことによる鉄筋の破断であった。なお、2枚の孔あき鋼板に挟まれたコンクリート部は圧壊せずに、鋼板の先端を結ぶ線でせん断断面(図-6中のI-I面)を形成してせん断破壊した。

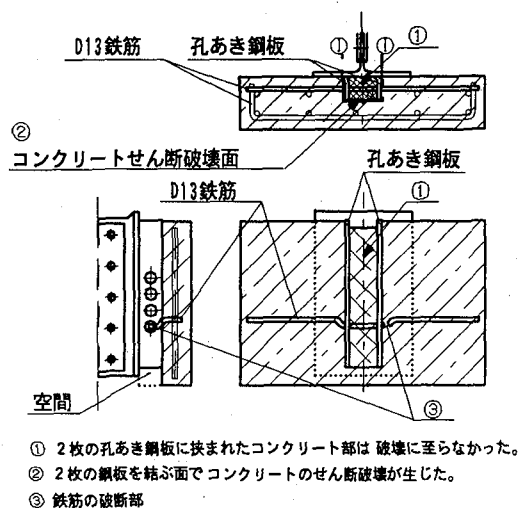


図-6 孔あき鋼板ジベル破壊状態

4.2 相対ずれ性状とずれ定数（初期ずれ剛性）

相対ずれ性状は各ずれ止めに対し、静的に繰返しせん断荷重を作用させた時の基本的なずれ特性を、またずれ定数は初期ずれ剛性を把握する目的で算出したものである。表-2には静的押抜きせん断試験の結果を、図-7には5つのずれ止めタイプの相対ずれ性状について比較したものを、図-8には各ずれ止めタイプ別に相対ずれ関係を比較したものを示す。なお、ここに示している曲線は漸増繰返し載荷法の各載荷ステップの最大相対ずれ量を示す包絡線のみをプロットしたものである。表-2の静的押抜きせん断試験の結果より、最大せん断耐力に達した時の最大ずれ量はスタッドジベルで11.6mm、群ジベルで5.1mm、H鋼ジベルで7.2mm、柔ジベルで14.9mm、孔あき鋼板ジベルで0.8mmとなり、また、ずれ定数はスタッドジベルで671.9 tf/cm/面、群ジベルで918.9 tf/cm/面、柔ジベル（発泡スチロールをウェブのみ貼付）で487.6 tf/cm/面、H鋼ジベルで1,058.6 tf/cm/面、孔あき鋼板

表-2 静的押抜きせん断試験結果

タイプ	供試体 NO.	最大せん断耐力 $Q_{max}(tf)$		最大ずれ量 ^{※1)} δ_{max} (mm/面)	ずれ定数 ^{※2)} $K(tf/cm)$		最終破壊形式
		(/面)	(/本)		(/片面)	(/本)	
(タイプ1) スタッドジベル 3-stud	NO. 1	45.225	15.075	13.0	621.9	207.3	スタッド破断
	NO. 2	47.000	15.667	10.7	753.2	251.1	"
	NO. 3	46.025	15.342	11.2	640.6	213.5	"
	平均	46.083	15.361	11.6	671.9	224.0	
(タイプ2) 群ジベル 9-stud	NO. 1	96.100	10.678	4.7	1038.0	115.3	コンクリート圧壊
	NO. 2	92.775	10.308	4.1	941.1	104.6	"
	NO. 3	85.200	9.467	6.4	777.5	86.4	"
	平均	91.358	10.151	5.1	918.9	102.1	
(タイプ3) H鋼ジベル 1-(H-section)	NO. 1	50.100	-----	8.3	886.8	-----	H鋼破断
	NO. 2	45.300	-----	5.1	1364.5	-----	"
	NO. 3	47.875	-----	8.4	924.6	-----	"
	平均	47.758	-----	7.2	1058.6	-----	
(タイプ4) 柔ジベル 1-(H-section) + 発泡スチロール(ウェブのみ貼付)	NO. 1	35.350	-----	14.6	582.9 ^{※3)}	-----	H鋼破断
	NO. 2	45.075	-----	14.0	463.3 ^{※3)}	-----	"
	NO. 3	42.225	-----	16.2	416.7 ^{※3)}	-----	"
	平均	40.883	-----	14.9	487.6 ^{※3)}	-----	
(タイプ5) 孔あき鋼板ジベル 2-PL (4×φ35)	NO. 1	51.100	-----	0.8	2253.1	-----	鉄筋破断
	NO. 2	52.825	-----	0.9	1724.2	-----	"
	NO. 3	48.000	-----	0.7	1966.5	-----	"
	平均	50.642	-----	0.8	1981.3	-----	

※1) 最大ずれ量 (δ_{max}) は、最大せん断耐力の到達時に発生するずれ量とする。

※2) ずれ定数 (K) は、荷重-ずれ曲線における初期接線の傾き（初期ずれ剛性）とする。

※3) 柔ジベルのずれ定数は、H形鋼下フランジ部の支圧に対する抵抗を含むものとする。

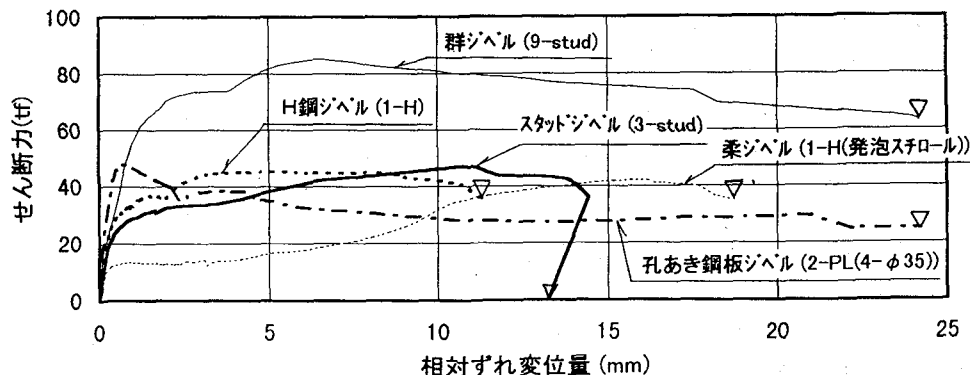


図-7 相対ずれ性状の比較

ジベルで1,981.3 tf/cm/面となり、ずれ止めタイプによって、かなり合成作用に差異が認められた。

図-7と図-8より、スタッドジベルを用いたタイプ1は、最大せん断耐力(平均値46.083tf)に至るまで11~13mm程度とかなり大きなずれを伴っているが、最大せん断耐力に達した後はずれをほとんど伴わずに破壊したものであった。すなわち、スタッドは高い変形性能を期待できるずれ止めであると言える。

群ジベルのタイプ2は、T形鋼フランジの片面に配置したスタッド9本あたりのずれ定数(平均値918.9tf/cm/面)はかなり大きいものの、スタッド1本あたりに換算(平均値102.1tf/cm/本)すると、タイプ1のスタッドジベルの1本あたりのずれ定数(平均値224.0tf/cm/本)に比べ、小さくなるのがわかる。これは頭付きスタッド自身のせん断耐力に達しないうちにコンクリートブロックのひび割れがかなり進行していたことに起因していると考えられる。

H鋼ジベルのタイプ3の最大ずれ量はスタッドジベルのタイプ1(平均値11.6mm)に比べ、若干小さい7.2mm程度であるが、ほとんどスタッドジベルのタイプ1に近いずれ挙動を示していると言える。さらに柔ジベルのタイプ4とH鋼ジベルのタイプ3を比較すると、最大せん断耐力はほとんど変わらないことがわかる。しかし、H形鋼のウェブに厚さ10mmの発泡スチロールを貼付したことで、そのウェブ下側の曲げ変形が先行し、発泡スチロールが壊れるまでの間のコンクリートの支圧破壊の進行が遅れることにより、その初期剛性が小さくなり、さらには最大ずれ量(最大せん断耐力に達した時の相対ずれ量)にも大きな違いが認められた。すなわち、発泡スチロールをウェブに貼付すれば、比較的低い荷重レベルにおいても高い変形性能を大いに期待できると考えられる。

孔あき鋼板ジベルを用いたタイプ5については、平均値で0.8mmと極めて小さいずれ量で最大せん断耐力(平均値50.6tf)に達している。その後、徐々に荷重が減少しつつ、ずれのみが進行している。すなわち、ずれに対する耐力は孔を貫通しているコンクリートのせん断破壊と2枚の孔あき鋼板間に挟まれたコンクリート部のせん断破壊によって決まるものであった。ここで最大せん断耐力を示した後も大きく載荷荷重が低下しなかった原因として、孔に貫通している1つの鉄筋が孔の側面に接触し、ダウエル作用により、その鉄筋が曲げ変形を起こしていたものと考えられる。また、ずれ定数が平均で1,981.3 tf/cm/面とかなり高い値が得られたことから、かなり強い合成作用を有しているずれ止めであると理解できる。

以上のことから、スタッドジベルは過去の研究・実績からも証明されているように、高い変形性能を持った合成作用のあるずれ止めであると言える。その反面、相対ずれ変位量を極力小さく抑え、高いずれ剛性を必要とする場合には孔あき鋼板が適切であると考えられる。また、群ジベル構造に関しては、スタッドの使用本数に比例し

た耐力の向上は望めず、スタッドの耐力を十分期待できないまま、コンクリートの強度でその構造上の耐力が決まってしまう。柔ジベルは発泡スチロールの使用により初期剛性において非合成作用に近い挙動が得られることがわかった。

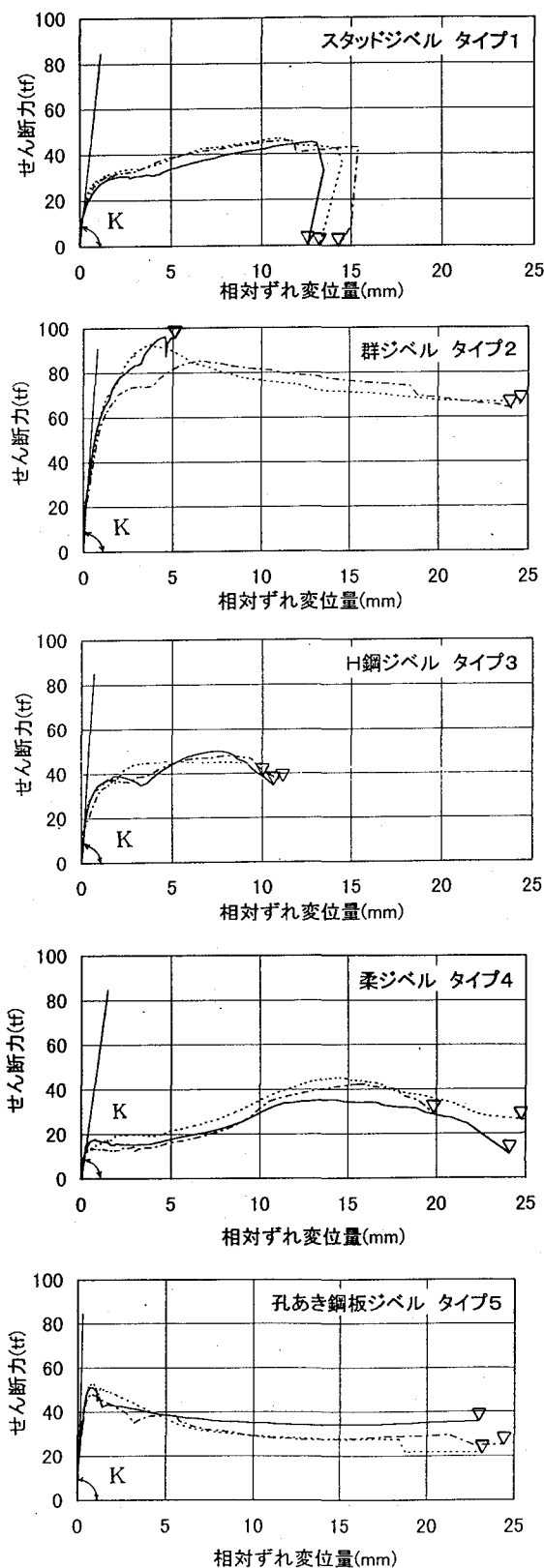


図-8 相対ずれデータ

4.3 終局強度（最大せん断耐力）の評価

(1) スタッドジベル

以下の強度式をもとに今回実測で得られた終局せん断耐力の妥当性を評価することとした。

① Fisherらが提案した実験式による評価⁴⁾

Fisherらが提案した実験式で次のような値を算出する。

$$Q_u\text{-Fisher} = 0.5 \times A_s \times \sqrt{(f_{cu} \times E_c)} \quad (1)$$

$$= 16,690 \text{ kgf/本} \rightarrow 50,070 \text{ kgf/面}$$

ここに、 $Q_u\text{-Fisher}$ はスタッドジベルの終局強度(kgf/本)、 A_s はスタッド軸断面積(cm^2)、 f_{cu} はコンクリートの実圧縮強度(462 kgf/ cm^2)、 E_c は実測ヤング係数($3.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)を表わす。

② 平城らが提案した終局強度評価式による評価⁴⁾

平城らが提案した終局強度評価式で次のような値を算出する。

$$Q_u\text{-Hiragi} = 100 \times A_s \times \sqrt{((h_s / d_s) \times f_{cu}) + 1,000} \quad (2)$$

$$= 14,980 \text{ kgf/本} \rightarrow 44,940 \text{ kgf/面}$$

ここに、 $Q_u\text{-Hiragi}$ はスタッドジベルの終局強度(kgf/本)、 h_s はスタッドの全高(10.0 cm)、 d_s はスタッドの軸径(1.9 cm)を表わす。

以上の結果より、実験値(平均値46.083tf/面)は(1)式と(2)式の間の値でほぼ一致していると言える。

(2) 群ジベル

表-3は、鉄道構造物等設計標準¹²⁾(限界状態設計法)により、スタッドジベル(タイプ1)と群ジベル(タイプ2)のスタッド1本あたりにおける強度を比較したものである。また、同表には参考までに道路橋示方書¹³⁾に基づいた設計(許容応力度設計法)の場合の比較も追記している。なお、この表中に示している降伏せん断耐力は、初期ずれ割線を相対ずれ量0.2mmまでオフセットしたときの荷重でずれの急変点でもある。また、低減率はスタッドジベル1本あたりの耐力に対するグループ配置したときの耐力の比率である。表-3より、群ジベルの場合、

スタッドの耐力に達しないうちに最大せん断耐力に達してしまい、設計上、ジベルとしての耐力はスタッドジベルタイプの1本あたりの耐力の66%程度までに低下することがわかる。また、鉄道橋の設計値に対する最大せん断耐力の比率も3.96から2.62と低下する結果となった。降伏せん断耐力について着目すると、スタッドジベルタイプは鉄道橋の設計耐力の2倍に相当しているが、群ジベルタイプでは同じく設計耐力の1.5倍程度まで低減している。

(3) H鋼ジベルと柔ジベル

H鋼ジベルと柔ジベルの終局強度は、ともにH形鋼のウェブの斜め引張によるせん断破断であったため、終局強度式を次式で与えられる。

$$Q_{\max} = H\text{形鋼ウェブ破断面の断面積} \times \text{鋼材の引張強度}$$

$$= 44,700 \text{ kgf/面}$$

ここに、H形鋼ウェブ破断面の断面積は幅12.0cm、板厚0.6cm、引張方向斜め45°として計算で求めたもので、鋼材の引張強度はミルシートより、4,390 kgf/ cm^2 とした。ほぼ実験値と一致していることがわかる。

(4) 孔あき鋼板ジベル

レオンハルトらが提案した孔あき鋼板のずれ止めとしての設計式は次式で与えられる。ただし、孔あき鋼板の取付部の溶接が破壊に対して十分強度があるという前提のもと、終局状態として孔を通過しているコンクリートがせん断破壊するものとして換算された設計式である。

$$Q_d\text{-Leonhardt} = 1.4 \times d^2 \times \sigma_c' \times n$$

$$= 56,600 \text{ kgf/面}$$

ここに、 $Q_d\text{-Leonhardt}$ はコンクリートが破壊する場合の設計値、 d は孔径(35mm)、 σ_c' はコンクリートの実立方体圧縮強度{5.5 kgf/ mm^2 ：円柱供試体強度からの換算値($\sigma_c' = 1.20 \times f_{cu}$)}、 n は孔の数(孔は8個であるが、内2個は鉄筋が貫通しているため計算上は6個とする)を表わす。以上のとおり、計算値とほぼ一致していることがわかる。

表-3 スタッドジベルと群ジベルの強度比較

タイプ	供試体 NO.	ジベルの設計値 (tf/本)	最大せん断耐力 $Q_{\max}$ (tf) (/本)	低減率	設計値に対する最大せん断耐力の比率		降伏せん断耐力 Q_y (tf/本)
					鉄道構造物設計基準 ($Q_{\max}/\text{本}$)/ Q_u	道路橋示方書 (安全率) ($Q_{\max}/\text{本}$)/ Q_a	
(タイプ1) スタッドジベル 3-stud	NO. 1	鉄道構造物設計標準 設計耐力: Q_u 3.880	15.075		3.89	6.71	6.99
	NO. 2		15.667		4.04	6.98	8.35
	NO. 3		15.342		3.95	6.83	7.87
	平均		15.361	1.00	3.96	6.84	7.74
(タイプ2) 群ジベル 9-stud	NO. 1	道路橋示方書 許容せん断力: Q_a 2.246	10.678		2.75	4.75	5.88
	NO. 2		10.308		2.66	4.59	5.47
	NO. 3		9.467		2.44	4.21	5.90
	平均		10.151	0.66	2.62	4.52	5.75

1) 降伏せん断耐力 Q_y ：初期ずれ剛性をずれ量0.2mmまでオフセットしたときの荷重

2) 鉄道構造物設計標準は限界状態設計法に基づいた設計。

(道路橋示方書の場合は許容応力度設計法に基づいた設計)。

3) スタッドジベル1本あたりの耐力に対するグループ配置したときの耐力の低下率
(タイプ1に対するタイプ2の低下率)

5. まとめ

本論文は、鉄道用連続合成2主I断面桁橋の実務設計に向けてのずれ止め構造のせん断特性を検討することを目的とし、5つのずれ止めを用いて実施された静的押抜きせん断試験の結果を述べたものである。本研究で得られた主な結果を以下にまとめる。

- (1) スタッドジベルは過去の研究や実績から証明されているように、終局強度や破壊性状に対する評価はある程度可能で、静的耐力については十分に確立されたものであると言える。ずれ特性としては、高い変形性能をもったずれ止めであることがわかった。
- (2) スタッドをグループ配置した群ジベルの評価として、スタッドの1本あたりの耐力は単列配置したスタッドの1本あたりの耐力よりかなり低減され、スタッドの耐力が十分に発揮されないうちにコンクリートのひび割れが進行し、コンクリートの圧壊に至ってしまう。よって、群ジベルの終局耐力はコンクリートの圧縮強度に大きく起因していると考えられる。
- (3) H鋼ジベルと柔ジベルの最終破壊状態はともにH形鋼のウェブの斜め引張によるせん断破壊で、ウェブの発泡スチロールの有無に関係なく、終局耐力はほとんど変わらないものであった。しかし、H形鋼のウェブに発泡スチロールを貼付した柔ジベルは、発泡スチロールの弾性変形が先行し、コンクリートの支圧破壊の進行を遅らせることで初期剛性をかなり小さくすることができ、そのずれ性状も非合成に近い挙動を呈した。なお、発泡スチロールをフランジの支圧破壊面（H形鋼下フランジ部）にも配置すれば、低い荷重レベルでの変形性能が著しく向上し、ずれ定数（初期剛性）は大幅に小さくなると思われる¹⁵⁾。
- (4) 孔あき鋼板ジベルは、孔を貫通しているコンクリートのせん断破壊と2枚の孔あき鋼板に挟まれたコンクリートのせん断破壊によって最大せん断耐力が決まる。しかし、最大せん断耐力に達しても、孔に貫通している鉄筋のダウエル作用により、載荷荷重は大きく減少しなかった。また、初期剛性がかなり高く、最大せん断耐力に達しても相対ずれ量はごくわずかであった。すなわち、孔あき鋼板ジベルはずれを認めない、かつ大きな初期剛性を必要とする場合に最適であり、静的耐力については十分設計可能であると言える。なお、一定量の変形性能を保証するために、孔あき鋼板の孔の部分に鉄筋を貫通させておく必要がある。

今後は、省力化を期待した合成桁である連続2主I断面桁の鉄道橋への適用を考えた中間支点部近傍の設計手法や構造詳細の提案して開発すべく、さらにずれ止めに軸引張力とせん断力が同時に作用するような載荷試験を行い、詳細な検討を実施していく所存である。また、本研究を実施するにあたり、大阪工業大学の栗田章光教授に

は貴重なご意見をいただきました。紙面を借りて厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 阿部英彦：鉄道橋合成桁のずれ止めに関する実験的研究，鉄道技術研究報告No.961，1975年3月。
- 2) 阿部英彦，中島章典，堀内 博：合成桁におけるスラブ分割の影響と柔ずれ止めの開発，構造工学論文集，Vol.35A，pp1205～1211，1989年3月。
- 3) 保坂鐵矢：免震支承と柔ジベルを用いた部分合成桁，土木技術，48巻11号，pp43～51，1993年11月。
- 4) 平城弘一：頭付きスタッドの静的および疲労強度と設計法に関する研究，大阪大学博士学位論文，1990年2月。
- 5) 牛島祥貴，保坂鐵矢，橘 吉宏，栗田章光，渡辺 滉：連続合成桁における中間支点部のひび割れ挙動に関する実験的研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，I-A123，pp246～247，1997年9月。
- 6) 稲葉典昭，井口光雄：鉄道橋用断続合成桁の設計法の提案，構造工学論文集，Vol.41A，pp1085～1096，1995年3月。
- 7) 稲葉典昭，宮崎竜聖，井口光雄，武居秀訓：鉄道橋用断続合成桁の簡易的な設計方法について，第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp31～35，1995年11月。
- 8) Leonhardt Fritz, et. al.: Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton-und Stahlbetonbau, Heft 12/1987.
- 9) 緒方紀夫，村山 陽，沖本真之，今西直人：鋼製エレメントとコンクリートとの付着性能に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.2，pp1165～1170，1994年。
- 10) 平 陽兵，天野玲子，大塚一雄：孔あき鋼板ジベルの疲労特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.2，pp1503～1508，1997年。
- 11) 日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜き試験方法（案）とスタッドに関する研究の現状，1996年11月。
- 12) 鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物），丸善株式会社，1992年10月。
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（鋼橋編），丸善株式会社，1994年2月。
- 14) Ollgaard, J.G. et. al.: Shear Strength of Stud Connectors in Lightweight and Normal-Weight Concrete, AISC Engineering Journal, Vol.8, No.2, pp55～64, 1971.
- 15) 保坂鐵矢：北陸新幹線の複合鉄道橋，JSSC, No.25, 1997年。

(1997年9月26日受付)