

合成桁のずれ止めのせん断耐力評価法

中原 正人* 谷口 望**
池田 学*** 福岡 寛記#

Shear-Capacity Evaluation Method for the Shear Connectors for Composite Girders

Masato NAKAHARA Nozomu TANIGUCHI
Manabu IKEDA Hiroki FUKUOKA

There are many types of shear connector for composite girders. For railway bridges, U-shaped and headed studs shear connector generally have been applicable. In recent years, perforated-bond rib shear connector has been adoptable. In this report, we reevaluated the shear-capacity evaluation method for U-shaped and headed studs shear connector by comparing with experimental results. In addition, we carried out push-out test for the perforated-bond rib shear connector and proposed the shear-capacity evaluation method.

キーワード：合成桁，ずれ止め，馬蹄形ジベル，スタッドジベル，孔あき鋼板ジベル

1. はじめに

合成桁は，ずれ止めを介して鋼桁とコンクリート床版を一体化させた構造であり，ずれ止めは重要な部位である。合成桁のずれ止めには数多くの種類があり，鋼桁とコンクリート床版の結合条件やコンクリート床版の応力状態に応じたものが用いられてきた。鉄道橋合成桁に用いるずれ止めには，従来から馬蹄形ジベルやスタッドジベル（以下，スタッド）がある^{1, 2)}。馬蹄形ジベルは，馬蹄形をしたブロックジベルに輪形筋を取り付けた構造を基本としている（図1 (a)）。輪形筋は主としてコンクリート床版の浮き上がりに抵抗する目的で取り付けられているが，45度の傾斜に取り付けることを標準として水平せん断力も分担するようにしている。スタッドは，全周方向にずれ抵抗機能を有する特徴があり，鋼桁上に溶植するため施工能率がよく経済的である（図1 (b)）。溶着部は繰返し荷重に対する安全性に十分配慮すべきと判断されており，国内外でスタッドについて多く疲労実験がなされ，使用実績も多くなっている。

最近では，長スパン化等による水平せん断力の増加や連続合成桁の採用に対応すべく，高いせん断耐力を有した孔あき鋼板ジベル（図1 (c)，以下，PBLジベルという）が用いられるケースが増えている。PBLジベルは，鋼板にあけた孔とコンクリートのせん断抵抗によって鋼とコ

ンクリートの境界面におけるずれを拘束するものであり，鋼桁に連続溶接ができるため製作が容易である利点を有している。また，PBLジベルは，スタッドよりもずれ剛性や耐疲労性が高いこと³⁾が知られており，一般に連続合成桁における負曲げモーメント区間に用いられている。

一方，鉄道橋合成桁は完全合成桁を主として対象としており，ずれ止めの設計せん断耐力は，ずれがほとんど生じない状態を想定して定めている。また，設計せん断耐力は，疲労の影響やひび割れの発生を考慮して，押抜きせん断試験で得られる最大せん断力に対して余裕をもって定めている。したがって，ずれ止めは，上述のような水平せん断力の増加等に対応できるようにするため，所要の安全性を確保し，かつ合理的なせん断耐力評価法が望まれる。また，PBLジベルについては，これまでの設計標準にはせん断耐力評価法が示されていない。

本稿では，馬蹄形ジベルとスタッドについて，押抜きせん断試験結果をもとに，せん断耐力評価法の再検討を行った。また，PBLジベルについては，既往の研究成果等から，鉄道橋合成桁用のせん断耐力評価法を新たに提案することとした。

2. ずれ止めのせん断耐力評価法

2.1 馬蹄形ジベル

「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）」¹⁾（以下，現行の設計標準という）における馬蹄形ジベルのせん断耐力算定式を表1に示す。表中には本稿で提案する式も併せて示している。両式の第1項は，ブロックジ

* 構造物技術研究部（現 中央復建コンサルタンツ(株)）
** 京都大学大学院（工学研究科）
*** 構造物技術研究部（鋼・複合構造）
JR 四国土木技術センター（前 鋼・複合構造）

特集：鋼・合成構造物の設計技術

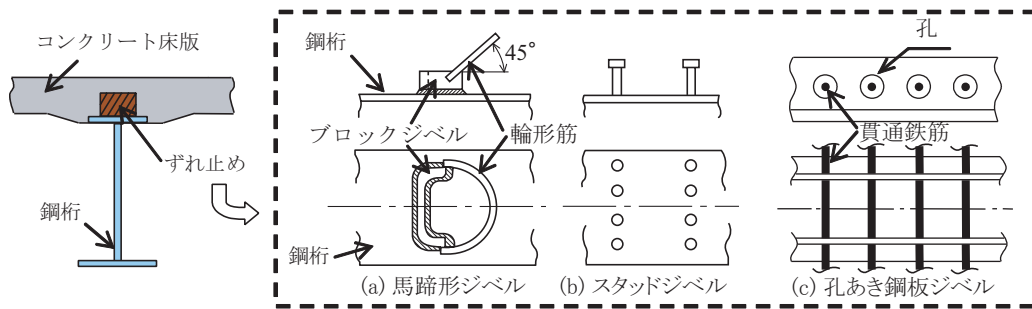


図1 ずれ止めの概要と種類

表1 馬蹄形ジベルの設計せん断耐力 Q_{ud} の算定式の比較

現行の設計標準	提案式
以下の2つの式によって計算した値の小さい方を用いる。 $Q_{ud} = (f_{ad} \cdot A_1 + 0.7 \sigma_m \cdot A_2 / \gamma) / \gamma$ (1) $Q_{ud} = (f_{ad} \cdot A_1 + 30 \phi_m \cdot B / \gamma) / \gamma$ (2)	以下の2つの式によって計算した値の小さい方を用いる。 $Q_{ud} = (f'_{ad} \cdot A_{ab} + \mu \cdot f_{yd} \cdot A_t) / \gamma$ (3) $Q_{ud} = (f'_{ad} \cdot A_{ab} + f'_{ad} \cdot \phi \cdot B) / \gamma$ (4)

注) 表中の記号は, f_{cd} , f'_{ad} : コンクリートの設計支圧強度, A_1 , A_{ab} : ずれ止めの有効支圧面積, σ_m : 鋼材の引張降伏強度の特性値, f_{yd} : 鋼材の設計引張降伏強度, A_2 , A_t : 輪形筋の断面積, ϕ_m , ϕ : 輪形筋の直径, B : ずれ止めの幅, γ : 輪形筋の材料係数 (=1.0), γ_c : コンクリートの材料係数 (=1.3), γ_s : 部材係数 (=1.3), μ : 輪形筋とブロックジベルとが同時に働かないことを考慮する低減係数 (=0.7) を示している。

表2 既往の試験体の諸元^{4, 5)}

	No.1,2	No.3
ブロックジベルの有効支圧面積 A_1 , A_{ab}	15600 (mm ²)	2750 (mm ²)
輪形筋の断面積 A_2 , A_t	1608 (mm ²)	127 (mm ²)
輪形筋の引張降伏強度の特性値 σ_m , f_{yk}	235 (N/mm ²)	345 (N/mm ²)
輪形筋径 ϕ_m , ϕ	32 (mm)	9 (mm)
ブロックジベルの幅 B	260 (mm)	110 (mm)

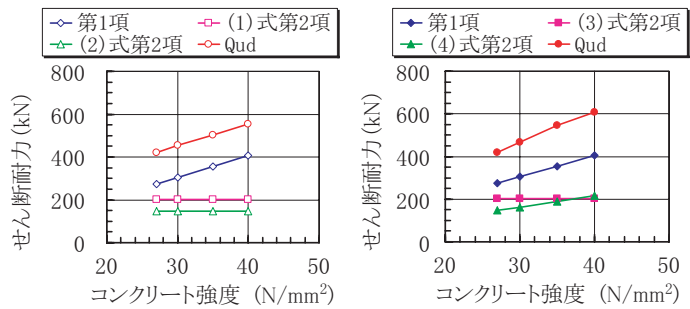


図2 設計せん断耐力算定結果 (No.1,2)

表3 既往の実験結果^{4, 5)} とせん断耐力算定結果の比較

No.	f'_{ck} (N/mm ²)	現行の設計標準によるせん断耐力 (kN)	提案式によるせん断耐力 (kN)	実験における最大せん断力 (kN)	最大せん断力 / 現行の設計標準耐力比	最大せん断力 / 提案式耐力比
1	28	730	736	2528	3.46	3.43
2	40	936	951	3038	3.25	3.19
3	28	115	116	409	3.56	3.53

注1) コンクリートの設計基準強度は実験の条件と合わせて, 28 (N/mm²) と 40 (N/mm²) の2種類としている。
 注2) せん断耐力算定時の安全係数はすべて 1.0 としている。

ベル前面のコンクリートの支圧耐力, (1), (3)式の第2項はブロックジベルに取り付けられた輪形筋の耐力, (2), (4)式の第2項は輪形筋前面のコンクリートの支圧耐力を表している。(2)式の第2項の係数30は, ずれ止めのせん断耐力を算定する際の最小支圧強度として設定したものである。つまり, 現行の設計標準では, コンクリートの設計基準強度 f'_{ck} (以下, コンクリート強度) は「鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)」に準拠し, 27 N/mm²以上としている。コンクリートの設計支圧強度 f_{cd} は, $f_{cd} = \eta \cdot f'_{ck} / \gamma_c$ ($\eta \leq 2$) で表されるが, ずれ止めとコンクリート床版の支圧状態がコンクリート

構造物における一般的な局部荷重の状態とは性状が異なること等から, 従来と同程度の安全性を確保するために, 現行の設計標準において η は最大 1.1 としている。よって, 十分なかぶりを有する輪形筋の最小設計支圧強度を $27 \times 1.1 = 29.7 \approx 30$ N/mm² としていた。そのため, 現行の設計標準の式では, 輪形筋前面のコンクリートの支圧強度がコンクリート強度によらず下限値で一定となっている。しかしながら, 実際の支圧強度はコンクリート強度に応じて大きくなると考えられ, せん断耐力を過小に評価していると考えられる。そこで, 現行の設計標準の(2)式の第2項にコンクリート強度に応じた支

表4 スタッドの設計せん断耐力の算定式の比較

現行の設計標準	複合指針(案)
終局限界状態 ^{注1)} $H/d \geq 5.5$ の場合 $Q_{ud} = (16d^2 \sqrt{f'_{ck}}) / \gamma_b$ $H/d < 5.5$ の場合 $Q_{ud} = (3.0d \cdot H \sqrt{f'_{ck}}) / \gamma_b$	(1) 終局耐力(次の2式のうち小さい方、ただし、 $h_{ss}/d_{ss} > 4$) $V_{sud1} = (31 \cdot A_{ss} \sqrt{(h_{ss}/d_{ss}) f'_{cd} + 10000}) / \gamma_b$ $V_{sud2} = A_{ss} \cdot f_{sud} / \gamma_b$ (2) ずれ限界耐力 $V_{sud} = 0.5 V_{sud}$

注1) 疲労の影響を考慮しない場合の式として示している。注2) 表中の記号は、 H 、 h_{ss} ：スタッドの高さ(mm)、 d 、 d_{ss} ：スタッドの径(mm)、 f'_{ck} ：コンクリートの設計基準強度、 f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度、 A_{ss} ：スタッドの断面積(mm²)、 f_{sud} ：スタッドの設計引張強度(N/mm²)、 γ ：部材係数(=1.3)を示している。

圧強度を用いることが可能かどうか検討を行った。提案する算定式を表1の提案式の(4)式に示す。

表2に示す既往の試験体の諸元を用いて、現行の設計標準式と提案式により算定される設計せん断耐力の比較を行った。ここでは、実物大の試験体であるNo.1および2を用いてせん断耐力を算定した。設計せん断耐力の算定結果を図2に示す。コンクリート強度は、合成桁に一般に用いられる27~40(N/mm²)とした。図2より、コンクリート強度が大きくなるにしたがって、提案式では、(4)式の第2項のコンクリートの支圧耐力は大きくなるが、コンクリート強度が40(N/mm²)の場合では、(3)式の第2項の輪筋筋の耐力の方が小さくなる。その結果、(3)式と(4)式で算定する値の小さい方である設計せん断耐力(図2に示す Q_{ud})は、提案式を用いる場合、現行の設計標準式を用いる場合と比べて最大で1割程度(=610/554=1.1)の増加となる。

次に、既往の押抜きせん断試験結果(試験体No.1~3)^{4, 5)}と現行の設計標準式と提案式によるせん断耐力を比較した結果を表3に示す。試験体の諸元は表2に示すとおりである。表3より、どちらの算定式を用いても、押抜きせん断試験における最大せん断力とせん断耐力算定結果との比は3以上となっており、提案式を用いても現行の設計標準とほぼ同等の安全率を確保できる。

以上のことから、馬蹄形ジベルのせん断耐力評価法として、輪筋筋前面のコンクリートの支圧耐力にコンクリート強度に応じた支圧強度を用いる提案式を用いることができると考えられる。なお、本提案式の適用範囲は、コンクリート強度が27~40N/mm²である。

2.2 スタッド

スタッドのせん断耐力評価法は実験に基づきスタッドの変形や疲労を考慮して定められている。現行の設計標準におけるスタッド1本当りのせん断耐力算定式を表4に示す。表中には後述する土木学会の「複合構造物の性能照査指針(案)」⁶⁾(以下、複合指針(案)という)におけるせん断耐力算定式も併せて示している。ここでは、押抜きせん断試験を実施して、せん断耐力算定式の再検討を行った。

押抜きせん断試験は、日本鋼構造協会「頭付きスタッドの押抜き試験方法」⁷⁾に従い3体の試験を実施した。押抜きせん断試験状況を図3、試験結果⁸⁾を表5、試験体の概要および諸元を図4および表6、試験体Bにおけるせん断力-ずれ変位関係を図5に示す。図5(b)に示すずれ剛性とは、せん断力-ずれ変位曲線における最大せん断力の1/3のせん断力点における初期割線の勾配である。また、降伏せん断力とは、ずれ剛性(初期割線)に平行でずれ変位0.2mmを通る直線とせん断力-ずれ変位曲線の交点における荷重値である。

現行の設計標準式によりせん断耐力を算定した結果は表7に示すように85.8kNとなる。試験における最大せん断力の平均値との比は3.6(=305.1/85.8)となっており、最大せん断力に対して余裕のある結果となっている。

そこで、スタッドの新たな設計せん断耐力評価法として複合指針(案)におけるせん断耐力算定式の適用について検討を行った。複合指針(案)における終局耐力は、スタッド周辺のコンクリートの支圧耐力とスタッド自体の耐力の小さい方の値としている。これらによりせん断耐力を算定した結果は表7に示すように、それぞれ323.4kNと262.0kNとなり、試験における最大せん断力とほぼ等しい結果となっている。複合指針(案)の終局耐力の算定式は、実験結果における最大せん断力を精度よく評価できることがわかった。また、ずれ限界耐力は、図6に示す作用せん断力/最大せん断力比と残留ずれの関係⁹⁾から過大なずれが発生する限界として設定されたものであり、残留ずれは0.18mm程度、ずれ限界耐力は最大せん断力(終局耐力)の0.5倍としている。なお、残留ずれとは、押抜きせん断試験において、荷重を除荷してゼロにした状態で生じているずれ量のこと、作用せん断力は除荷する直前の荷重である。ずれ限界耐力を算定した結果は、表7に示すように131.0kNであり、これは現行の設計標準式によるせん断耐力よりも大きい。

また、現行の設計標準式によるせん断耐力における残留ずれは、前述の最大せん断力とせん断耐力の比3.6より $Q/Q_u = 1/3.6 \approx 0.3$ として求めると、図6より0.1mmとなる。

図5に示す試験結果においても、現行の設計標準式によるせん断耐力(85.8kN)におけるずれ変位は0.1mmであ

特集：鋼・合成構造物の設計技術

表5 スタッドの押抜きせん断試験結果

試験体	A	B	C	平均
最大せん断力 Q_{max} (kN)	302.1	316.2	296.9	305.1
降伏せん断力 Q_y (kN)	191.1	209.3	203.8	201.4
最大せん断力の1/3 (kN)	100.7	105.4	99.0	101.7
最大ずれ量 (mm)	11.7	10.9	9.6	10.7
最大せん断力の1/3時の ずれ量 (mm)	0.13	0.10	0.08	0.10
ずれ剛性 (kN/mm)	774.6	1081.1	1276.9	1044.2

表6 試験体の諸元

試験体 A, B, C 共通	
スタッドの高さ H, h_{st}	100 (mm)
スタッドの径 d, d_{st}	19 (mm)
スタッドの断面積 A_{st}	283.5 (mm ²)
スタッドの引張強度 f_{sud}	462 (N/mm ²)
コンクリートの圧縮強度	56.6 (N/mm ²)

表7 せん断耐力算定結果

適用式	せん断耐力
現行の設計標準式 Q_{sd} (kN)	85.8 (kN)
複合指針 (案)(1)式 V_{sud1}	323.4 (kN)
複合指針 (案)(1)式 V_{sud2}	262.0 (kN)
複合指針 (案)(2)式 V_{scd}	131.0 (kN)

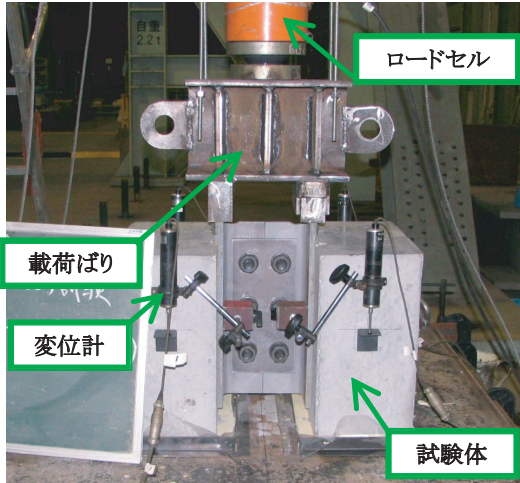


図3 押抜きせん断試験状況

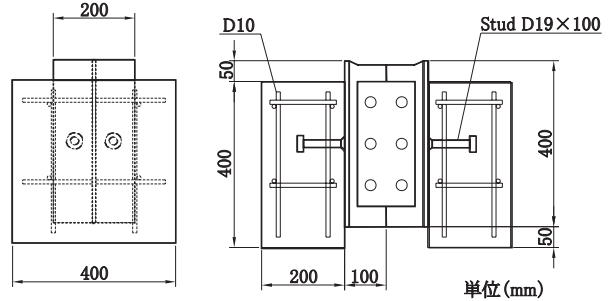
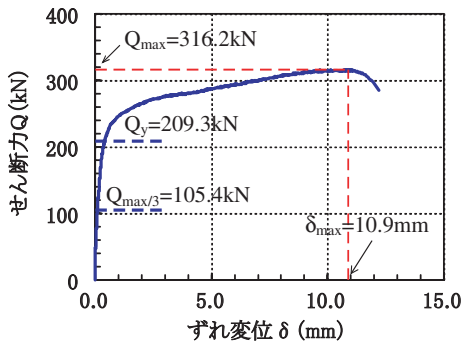
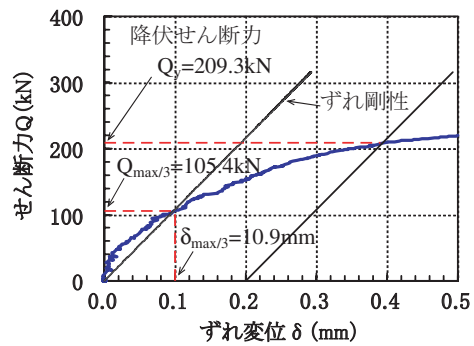


図4 試験体概要



(a) 全体



(b) ずれ変位0~0.5mmの範囲の拡大

図5 せん断力-ずれ変位関係 (試験体B)

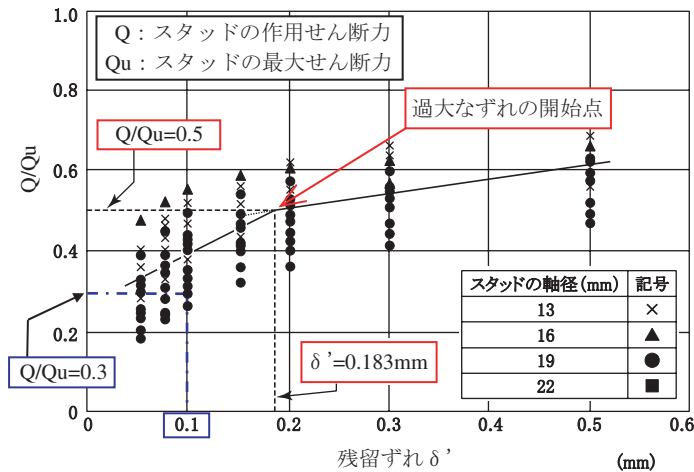


図6 作用せん断力/最大せん断力比 Q/Qu と残留ずれ δ' の関係⁹⁾

表8 PBL ジベルの設計せん断耐力の算定式の比較

設計マニュアル	提案式
<p>・終局限界状態 $Q_{sd} = (1.85A - 106.1) / \gamma$ (kN) ここに、A：最大せん断耐力を示す基準強度 で下記の式で算出する。</p> $A = \frac{\pi(d^2 - \phi_{st}^2)}{4} \cdot f'_{cu} + \frac{\pi \cdot \phi_{st}^2}{4} \cdot f_{st}$ <p>ただし、$56.0\text{kN} \leq A \leq 380.0\text{kN}$</p> <p>・使用限界状態 $Q_{sd} = \gamma (1.85A - 106.1) / \gamma$ (kN) ここに、γ：使用限界状態の照査に用いる 安全係数 (=0.33)</p>	<p>$Q_{sd} = k_e (1.85A - 106.1) / \gamma$ (kN) ここに、A：最大せん断耐力を示す基準強度 で下記の式で算出する。</p> $A = \frac{\pi(d^2 - \phi_{st}^2)}{4} \cdot f'_{cud} + \frac{\pi \cdot \phi_{st}^2}{4} \cdot f_{ryd}$ <p>ただし、$70.0\text{kN} \leq A \leq 380.0\text{kN}$ k_e：最大せん断耐力と設計に用いる せん断耐力とを補正する係数で、 一般に0.33とする。</p>

注) 表中の記号は、 d ：孔径 (mm)、 ϕ_{st} ：貫通鉄筋径 (mm)、 f'_{cu} 、 f'_{cud} ：コンクリートの設計支圧強度 (N/mm²)、 f_{st} 、 f_{ryd} ：貫通鉄筋の設計引張強度 (N/mm²)、 γ ：部材係数を示している。

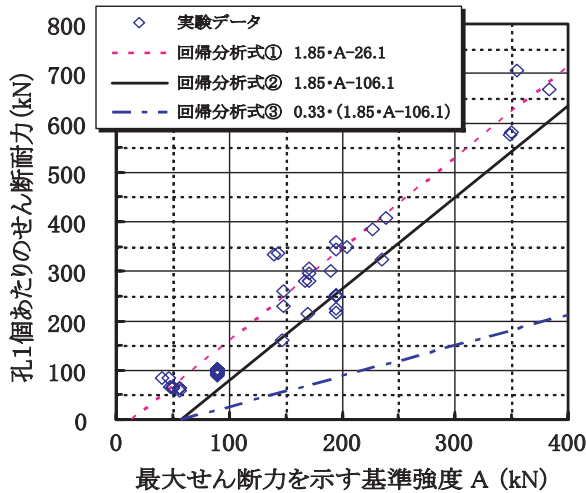


図7 試験結果と回帰分析式¹⁰⁾

ることから残留ずれもこれ以下であることが確認できる。スタッドは、馬蹄形ジベルと比較してずれ剛性の小さいずれ止めであり、ずれがほとんど生じない荷重レベルに留めるためには、残留ずれを0.1mm以下とし、現行の設計標準のせん断耐力以下で使用するのがよいと考えられる。

以上より、複合指針(案)による設計せん断耐力は、押抜きせん断試験における最大せん断力を精度よく評価できるが、押抜きせん断試験における最大せん断力に対する安全率の考え方が前述の馬蹄形ジベルとは異なる。一方、現行の設計標準による設計せん断耐力は、押抜きせん断試験における最大せん断力に対する安全率を前述の馬蹄形ジベルと同等の3以上確保でき、さらにその荷重レベルではずれが0.1mm以下でほとんどずれが生じないと考えられる。そのため、鉄道橋合成桁のスタッドの設計せん断耐力の算定式は、現行の設計標準の算定式を用いることを基本とするのがよいと考えられる。なお、本設計せん断耐力算定式の適用範囲は、コンクリート強度が27～40N/mm²、スタッドの軸径 ϕ が16mm～22mmである。

表9 鉄道橋合成桁のPBL ジベルの実績とAの範囲

項目		実績
鋼板	板高 h (mm)	100～224
	板厚 t (mm)	12～16
	孔径 d (mm)	40～80
貫通鉄筋	径 ϕ_{st} (mm)	13～19
	間隔 (mm)	100～300
	設計引張降伏強度 f_{yk} (N/mm ²)	345
コンクリート	設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	27～40
最大せん断耐力を示す基準強度 A		71.5～258.4

2.3 PBL ジベル

PBL ジベルのせん断耐力評価法は、土木学会の孔あき鋼板ジベル設計マニュアル¹⁰⁾ (以下、設計マニュアル) や鋼・合成構造標準示方書¹¹⁾ (以下、鋼示方書) に定められている。設計マニュアルにおける設計せん断耐力算定式を表8に示す。表中には後述する提案式も併せて示している。設計マニュアルにおける設計せん断耐力算定式は、鋼板の孔に貫通鉄筋が配置するものとして、孔一つあたりのせん断耐力を既往の押抜きせん断試験結果より得られたデータから、PBL ジベルのせん断耐力に影響を及ぼすコンクリートの支圧耐力と貫通鉄筋の引張耐力を考慮した基準強度(表8におけるA)を用いた回帰分析式を用いて評価し、実験データのほぼ下限値を包絡するように定めた式を基にしている。既往の実験データと回帰分析式を図7に示す。なお、鋼示方書には、貫通鉄筋がないものについてせん断耐力算定式が示されている。著者らも押し抜きせん断試験⁸⁾を実施して検討を行ったが、一般に貫通鉄筋を配置した方が最大せん断力や最大ずれが大きく、かつ最大せん断力到達後の荷重低下が小さいことが確認されているため、ここでは、貫通鉄筋が配置されたものを対象とすることとした。図7において、回帰分析式①は既往の実験データを回帰分析し

特集：鋼・合成構造物の設計技術

た式である。回帰分析式②は実験値の下限値を包絡するように標準偏差の2倍低い方にシフトした式である。回帰分析式③は実験におけるずれ開始時のせん断力と最大せん断力との比(=0.33)を考慮したせん断耐力の式である。回帰分析式②および③は、それぞれ設計マニュアルにおける終局限界状態および使用限界状態における設計せん断耐力 Q_{ud} 、 Q_{ad} となっている。

設計マニュアルにおける終局限界状態の設計せん断耐力算定式は、押抜きせん断試験における最大せん断力を評価する式となっている。PBL ジベルのせん断耐力は、押抜きせん断試験における最大せん断力に対する安全率を他のずれ止めと同等の3以上を確保し、さらにその荷重レベルではほとんどずれが生じないようにするために、表8の提案式に示すように設計マニュアルにおける使用限界状態の設計せん断耐力算定式を用いて評価するのが良いと考えられる。

また、過去に鉄道橋合成桁に使用されたPBLジベルの実績調査を行った結果と最大せん断耐力を示す基準強度Aの範囲を表9に示す。実際に用いられているPBLジベルの諸元でAの最小値を計算すると71.5kNとなる。このため、提案式ではAの下限値を70kNとした。

本提案式の適用範囲は、コンクリート強度が27~40N/mm²である。

3. まとめ

本稿では、鉄道橋合成桁に使用するずれ止めの設計せん断耐力評価法について、馬蹄形ジベルおよびスタッドについては、押抜きせん断試験結果を基に現行の設計標準の評価法の再検討を行った。PBLジベルについては、既往の研究成果等から、新たにせん断耐力評価法を提案した。

本検討において得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 馬蹄形ジベルの設計せん断耐力算定式について、輪筋筋前面のコンクリートの支圧耐力にコンクリート強度に応じた支圧強度を用いる提案式は、既往の押抜きせん断試験における最大せん断力に対して現行の設計標準とほぼ同等の安全率を確保できることから、馬蹄形ジベルのせん断耐力評価法として用いることができると考えられる。
- (2) スタッドの設計せん断耐力算定式について、複合指針(案)の評価法の適用の検討を行った。現行の設計標準と複合指針(案)とでは、押抜きせん断試験における最大せん断力に対する安全率の考え方やずれ量の設定が異なるため、現行の設計標準の算定式

を用いることを基本とするのが良いと考えられる。

- (3) PBLジベルの設計せん断耐力算定式について、既往の研究成果等を用いて、押抜きせん断試験における最大せん断力やずれ量に対して、他のずれ止めと同等の安全率が確保できるように提案した。

また、鉄道橋合成桁に上記以外のずれ止めを適用する場合は、本稿で示した押抜きせん断試験における最大せん断力に対する安全率の考え方やずれ量の設定を考慮して、せん断耐力の評価法や安全係数等を定めるのがよいと考えられる。

謝 辞

本研究は、国土交通省から委託を受けて実施した「鉄道技術基準整備のための調査研究」の一環として行ったものである。また、押抜きせん断試験については川崎重工業株式会社にご協力を頂いた。関係各位に謝意を表する。

文 献

- 1) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物)，2000.7
- 2) 阿部英彦：鉄道用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.961，1975.3
- 3) 保坂鐵矢，光木香，平城弘一，牛島祥貴，橘吉宏，渡辺澁：孔あき鋼板ジベルのせん断特性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.46A，2000.3
- 4) 出原守，市川篤司，大槻正幸：合成桁ジベルの押抜き試験，構造物設計資料，No.72，1982.12
- 5) 鈴木喜弥，阿部久義，平城弘一，児島哲郎，橘吉宏：軽量骨材コンクリートを用いたずれ止めのせん断特性に関する実験的研究，構造工学論文集 Vol.50A，2004.3
- 6) 土木学会：複合構造物の性能照査指針(案)，2002.10
- 7) 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，1996.11
- 8) 池田学，福岡寛記，富澤雅幸，大垣賀津雄：ゴムラテックスを用いたずれ止めの押抜きせん断試験，第61回土木学会年次学術講演会，2006.9
- 9) 土木学会：鋼構造物設計指針 PART B(合成構造物)，1998.10
- 10) 土木学会：孔あき鋼板ジベルの設計マニュアル(案)，2001.11
- 11) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書(総則編・構造計画編・設計編)，2007.3