

せん断力一ずれ変位関係に着目した各種ずれ止め形式の比較

(株) サクラダ 正会員 ○大口 真司 伊藤忠テクノソリューションズ (株) 久保 典之
 (株) バコーポレーション 正会員 酒井 武志 (株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 木村 淳
 (株) セントラルコンサルタント 正会員 梅原 郁弘 宇都宮大学 フェロー 中島 章典

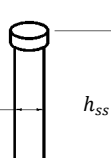
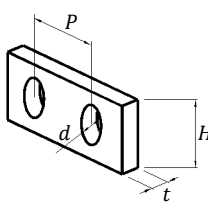
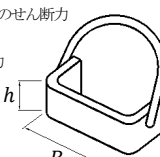
1. 目的

近年、コンクリート床版と鋼桁を組み合わせた合成桁を始めとした、鋼とコンクリートの複合構造物が盛んに建設されている。鋼とコンクリートの接合部に使用されている各種ずれ止めのうち、広く普及しているものとして「頭付きスタッド」、「孔あき鋼板ジベル」、「ブロックジベル（馬蹄形ジベル）」がある。しかし、これら各種ずれ止めを配置間隔などの細目に従って一定の区間や面積に配置した場合の耐力やせん断力一ずれ変位関係について比較を行っている事例は見られない。そこで、各種ずれ止めの比較を行い考察する。

2. 比較方法

各種ずれ止めを、以下の項目に従って配置した場合の「一方向荷重に対するせん断力 (V) - ずれ変位 (δ) 関係」(以下、V- δ 関係) について比較するものとした。比較項目は①ずれ止め1個あたりのV- δ 関係、②一定の大きさの荷重に対して必要なずれ止めの数、③作用力方向の1mに配置可能な1列当たりのV- δ 関係、④1m²あたりに配置可能なV- δ 関係の4項目である。なお、②の一定荷重の大きさは、設計せん断耐力が大きいブロックジベルの配置個数を考慮して、5MNとした。また、③・④の配置方法は、土木学会から出版された複合構造標準示方書¹⁾で定める、最小・最大配置間隔をもとに決定した。比較に使用した具体的な形状については、制約事項の範囲内で実構造物において多用されていると判断したものの中から最小と最大になる形状を著者らが選定した。表-1にせん断力一ずれ変位関係式と選定形状、配置状態を示す。馬蹄形鋼板前面の設計支圧強度算出に係る係数について、今回は断面を定義していないことから最大値を用いた。

表-1 せん断力一ずれ変位関係式と選定形状

	頭付きスタッド (STUD)	孔あき鋼板ジベル (PBL)	ブロックジベル																																																											
せん断力一 ずれ変位式	$V_{SS} = V_{SSud}(1 - e^{-\alpha\delta_{SS}/d_{SS}})^{\beta}$ <p>V_{SS}: 頭付きスタッド1本あたりのせん断力 V_{SSud}: 頭付きスタッド1本の設計せん断耐力 δ_{SS}: 頭付きスタッド位置における鋼板とコンクリートの相対ずれ変位 d_{SS}: 頭付きスタッドの軸径 α, β: 係数 ($\alpha=60, \beta=0.8$)</p> <p>1本の設計せん断耐力について $V_{SSud} = (31A_{SS}\sqrt{(h_{SS}/d_{SS})f'_{cd} + 10000})/\gamma_b$ あるいは $V_{SSud} = A_{SS}f_{SSud}/\gamma_b$ のうち小さい方を用いる。</p> <p>A_{SS}: 頭付きスタッドの断面積 h_{SS}: 頭付きスタッドの高さ f_{SSud}: 頭付きスタッドの設計引張強度 (440N/mm²) f'_{cd}: コンクリートの設計圧縮強度 (36N/mm²) γ_b: 部材係数 (1.3)</p> 	<p>貫通鉄筋を有する場合 $0 \leq \delta_{ps} \leq \delta_{ps0}$</p> $V_{ps} = V_{psud}(1 - e^{-\alpha\delta_{ps}/\theta})^{\beta}$ <p>$\delta_{ps0} \leq \delta_{ps} \leq \delta_{psu}$</p> $V_{ps} = V_{psud}(1 - e^{-\alpha\delta_{ps0}/\theta})^{\beta} + V_{psud}\left\{\frac{2}{15}\left(1 - \frac{\delta_{ps}}{\delta_{ps0}}\right)\right\}$ <p>$\alpha = \frac{50}{(d/t)} \quad \beta = \frac{1}{3}$</p> <p>$V_{psud} = (1.85A - 26.1 \times 10^3)/\gamma_b$ $A = \frac{\pi(d^2 - \phi^2)}{4}f'_{cd} + \frac{\pi\phi^2}{4}f'_{ud}$ ただし、$4.1 \times 10^3 \leq A \leq 383.3 \times 10^3$</p> <p>貫通鉄筋を有さない場合 $0 \leq \delta_{ps} \leq \delta_{psu}$</p> $V_{ps} = V_{psud}(1 - e^{-\alpha\delta_{ps}/a})^{\beta}$ <p>$\alpha = \frac{500}{(d/t)} \quad \beta = \frac{1}{3}$</p> <p>$V_{psud} = (4.31A - 39.0 \times 10^3)/\gamma_b$ $A = \frac{\pi d^2}{4}\left(\frac{t}{d}\right)^{1/2}f'_{cd}$ ただし、$17.3 \times 10^3 \leq A \leq 152.4 \times 10^3$</p> <p>$V_{ps}$: 孔あき鋼板ジベルの孔1個あたりのせん断力 V_{psud}: 孔あき鋼板ジベルの孔1個あたりの設計せん断耐力 δ_{ps}: 相対ずれ変位 δ_{ps0}: 最大せん断力時のずれ変位 δ_{psu}: 終局ずれ変位 θ: 貫通鉄筋径 d: 孔径 α, β: 係数 t: 鋼板の板厚 f'_{cd}: コンクリートの設計圧縮強度 (36N/mm²) f'_{ud}: 貫通鉄筋の設計引張強度 (180N/mm²) γ_a: 部材係数 (1.3)</p> 	$V_{bs} = V_{bsud}(1 - e^{-\alpha\delta_{bs}/B})^{\beta}$ <p>V_{bs}: ブロックジベル1個あたりのせん断力 V_{bsud}: ブロックジベル1個あたりの設計せん断耐力 δ_{bs}: 相対ずれ変位 B: 馬蹄形の鋼板の前面の幅 h: 馬蹄形の鋼板の前面の高さ α, β: 係数 ($\alpha=60, \beta=0.8$)</p> <p>1個あたりの設計せん断耐力について $V_{bsud} = (f'_{ad}A_{ab} + \mu f_{ryd}A_r)/\gamma_b$ $V_{bsud} = (f'_{ad}A_{ab} + f'_{cd}\phi B)/\gamma_b$ のうち小さい方を用いる。</p> <p>f'_{ad}: 馬蹄形の鋼板前面の設計支圧強度 $f'_{ad} = \eta_b f'_{cd}$ η_b: 係数 (4.5) f'_{cd}: コンクリートの設計圧縮強度 (36N/mm²) μ: 輪筋の破壊と馬蹄形の鋼板前面のコンクリートの支圧破壊が同時に生じないことを考慮した係数 f_{ryd}: 輪筋の設計引張降伏強度 (235N/mm²) A_{ab}: 馬蹄形の鋼板の支圧面積 = Bh A_r: 斜めに取り付けた輪筋の断面積の2倍 = $\pi\phi^2/2$ ϕ: 斜めに取り付けた輪筋の直径 γ_b: 部材係数 (1.3)</p> 																																																											
	形状	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>d_{SS}</th> <th>h_{SS}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大形状 (STUDmax)</td> <td>22</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>最小形状 (STUDmin)</td> <td>19</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>		d_{SS}	h_{SS}	最大形状 (STUDmax)	22	200	最小形状 (STUDmin)	19	100	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>H</th> <th>d</th> <th>t</th> <th>P</th> <th>ϕ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>貫通鉄筋</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">あり</td> <td>最大形状(PBLmax)</td> <td>100</td> <td>80</td> <td>16</td> <td>130</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>最小形状(PBLmin)</td> <td>100</td> <td>40</td> <td>12</td> <td>120</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">なし</td> <td>最大形状(PBLmax)</td> <td>100</td> <td>60</td> <td>16</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>最小形状(PBLmin)</td> <td>100</td> <td>35</td> <td>12</td> <td>95</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>最大材寸法: 25mm</p>		H	d	t	P	ϕ	貫通鉄筋						あり	最大形状(PBLmax)	100	80	16	130	22	最小形状(PBLmin)	100	40	12	120	13	なし	最大形状(PBLmax)	100	60	16	100		最小形状(PBLmin)	100	35	12	95		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>B</th> <th>h</th> <th>ϕ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大形状 (ブロックジベルmax)</td> <td>260</td> <td>60</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>最小形状 (ブロックジベルmin)</td> <td>180</td> <td>50</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table>		B	h	ϕ	最大形状 (ブロックジベルmax)	260	60	28	最小形状 (ブロックジベルmin)	180	50
	d_{SS}	h_{SS}																																																												
最大形状 (STUDmax)	22	200																																																												
最小形状 (STUDmin)	19	100																																																												
	H	d	t	P	ϕ																																																									
貫通鉄筋																																																														
あり	最大形状(PBLmax)	100	80	16	130	22																																																								
	最小形状(PBLmin)	100	40	12	120	13																																																								
なし	最大形状(PBLmax)	100	60	16	100																																																									
	最小形状(PBLmin)	100	35	12	95																																																									
	B	h	ϕ																																																											
最大形状 (ブロックジベルmax)	260	60	28																																																											
最小形状 (ブロックジベルmin)	180	50	16																																																											
配置 ③ ④	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">作用力方向</th> <th colspan="2">作用力直角方向</th> </tr> <tr> <th>配置間隔</th> <th>本数</th> <th>配置間隔</th> <th>本数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大形状</td> <td>110mm</td> <td>9.1</td> <td>52mm</td> <td>19.2</td> </tr> <tr> <td>最小形状</td> <td>600mm</td> <td>1.7</td> <td>600mm</td> <td>1.7</td> </tr> </tbody> </table>		作用力方向		作用力直角方向		配置間隔	本数	配置間隔	本数	最大形状	110mm	9.1	52mm	19.2	最小形状	600mm	1.7	600mm	1.7	形状、貫通鉄筋の有無に関わらず、リブ並列設置間隔をリブ高さの3倍となる300mmとし、孔間隔は上欄のとおり。	配置に作用力方向、作用力直角方向について、最小、最大間隔の規定がないため、標準としている500mm間隔とした。																																								
	作用力方向		作用力直角方向																																																											
	配置間隔	本数	配置間隔	本数																																																										
最大形状	110mm	9.1	52mm	19.2																																																										
最小形状	600mm	1.7	600mm	1.7																																																										

キーワード 複合構造, ずれ止め, 頭付きスタッド, 孔あき鋼板ジベル, ブロックジベル, せん断力一ずれ変位関係
 連絡先 〒272-0002 千葉県市川市二俣新町21番地 (株) サクラダ 市川工場 設計部 TEL: 047(328)3159

3. 比較検討

図-1~4に、比較項目とした①~④の検討結果を示す。各グラフの終局ずれ変位は、文献1)に従って定めている。

図-1に示す1個あたりV- δ 関係(①)の比較では、PBLの貫通鉄筋ありの方が貫通鉄筋なしに対して、終局ずれ変位は92%大きくなっている。これは貫通鉄筋がコンクリートのひび割れによる早期の耐力劣化を防ぐためである。ブロックジベルは最大せん断力到達後の劣化領域を考慮していないため、他ずれ止めと比較して、ずれ変位の伸びは見られない。

図-2に荷重5MNあたりに必要なずれ止め個数(②)を示す。PBLのずれ止め個数とは、孔個数を示す。スタッドは、軸径の2乗に比例して個数が変化するため、軸径22mmの場合の方が本数は少ない。PBLは、貫通鉄筋ありが貫通鉄筋なしに対して、必要個数が約半分となり、形状寸法によっても大幅に必要な個数が変化する。ブロックジベルについては、必要個数が2.3個と他と比較して少ない。

図-3にずれ止めを1列に1m区間配置した場合のV- δ 関係(③)を示す。頭付きスタッドは実際には1列で配置されることはないが、比較のため1列配置としている。

①の比較では、頭付きスタッドの最小形状はPBLの最小形状よりも最大せん断力大きい。しかし、1列で配置すると、頭付きスタッドの最小形状はPBLの最小形状を下回った。

さらに最大せん断力について、ブロックジベルに対してPBL最大形状は、①の比較で20%であるのに対し、③の比較では76%になっており、配置間隔の制約からPBLの割合が大きくなり、差が小さくなっている。頭付きスタッドについても、同様の傾向になっている。

図-4に、1m²あたりに配置した場合のV- δ 関係(④)を示す。せん断力の最大、最小は頭付きスタッドの最大、最小配置となり、頭付きスタッドの構造選定の自由度が高いと言える。①の比較で大きなせん断耐力を持ったブロックジベルについては、PBLとほぼ同等のせん断耐力となった。頭付きスタッドやPBLは、ブロックジベルに比べると1個あたりの耐力は小さいが、1m²あたりでは多段配置可能であるため、実配置を考慮すればブロックジベルと同等もしくはそれ以上の耐力が見込める。また、初期剛性は頭付きスタッド最大形状が最も大きく、次いでPBL、ブロックジベルとなった。

4. まとめ

本検討により得られた知見は、以下のとおりである。

- ・ずれ止め1個あたりでは、大きなせん断耐力を持つずれ止めも、配置可能な間隔を考慮すると、必ずしも大きなせん断耐力を有するものではない。
- ・頭付きスタッドやPBLは、初期剛性が非常に大きい。(既往のせん断試験結果から見られるような、終局ずれ変位に到達するまで緩やかなカーブを描くものではなかった。)

謝辞

本検討は、鋼橋技術研究会にて行ったものであり、貴重なご助言を頂いた研究会各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 複合構造物標準示方書2009年制定 平成21年12月 (社) 土木学会

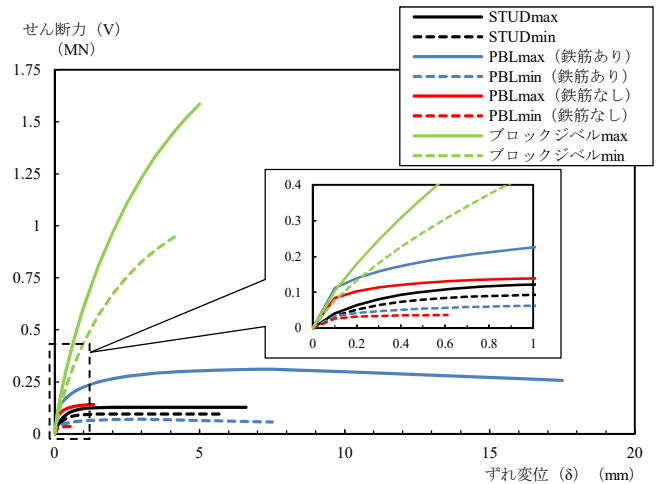


図-1 ① V- δ 関係 (1個あたり)

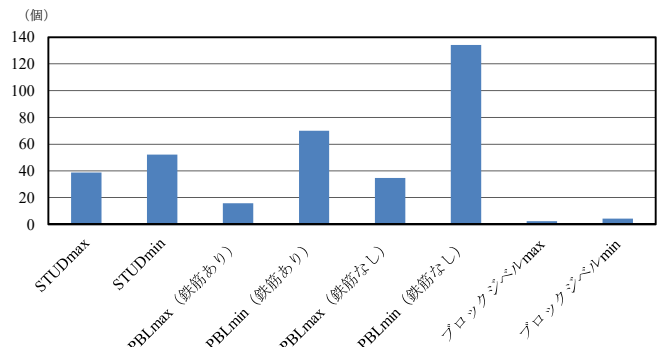


図-2 ② 5MNあたりに必要なずれ止め個数

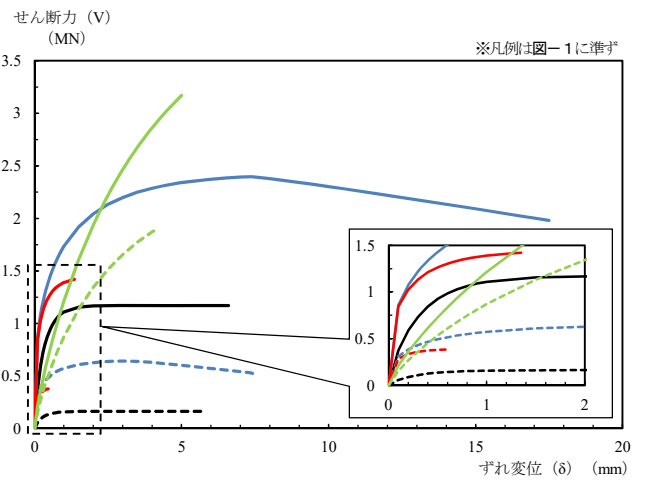


図-3 ③ V- δ 関係 (1列1m当たり)

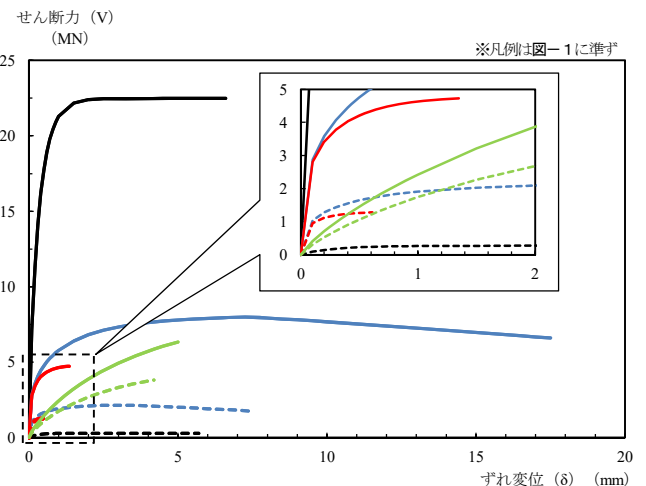


図-4 ④ V- δ 関係 (1m²あたり)