

## 大型のトラス型ジベルを用いた押し抜きせん断実験に関する一考察

### Experimental Study on Push-out Tests of Large Size Truss-typed Shear Connectors

山本晃久\*, 久保拓也\*\*, 山本龍哉\*\*\*, 猪本真\*\*\*\*, 武山真樹\*\*\*\*\*, 堀川都志雄\*\*\*\*\*

Akihisa YAMAMOTO, Takuya KUBO, Tatsuya YAMAMOTO, Makoto INOMOTO,

Masaki TAKEYAMA and Toshio HORIKAWA

- \* 工修 川崎重工業(株) 鉄構ビジネスセンター 橋梁・水門技術部 グループ長 (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 8)  
 \*\* 工修 川崎重工業(株) 鉄構ビジネスセンター 橋梁・水門技術部 主事 (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 8)  
 \*\*\* 工修 川崎重工業(株) 鉄構ビジネスセンター 橋梁・水門技術部 主事 (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 8)  
 \*\*\*\* 川崎重工業(株) 鉄構ビジネスセンター 橋梁・水門技術部 (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 8)  
 \*\*\*\*\* 川崎重工業(株) 鉄構ビジネスセンター 橋梁・水門技術部 (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 8)  
 \*\*\*\*\* 工博 大阪工業大学 工学部土木工学科 教授 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

In recent years, the development of bridge slabs with high strength and durability as well as low maintenance costs instead of the ordinary reinforced concrete slabs tends to be required strongly by several administrators. On the recent studies, the composite slabs tend to be attracted attention as the slabs that satisfy these requirements.

This paper reports push-out tests of large size Truss-typed Shear Connectors that intends to be applied to the long-span slabs. Principal results and conclusions are as follows,

- ① Large size Truss-typed Shear Connectors has high proof and ultimate strength for transverse push-out loading as well as longitudinal one.
- ② In case Truss-typed Shear Connectors are welded on the bottom plate of 6mm thickness, the strength for push-out tests is as high as the push-out test results of the connectors on H-steel of which flange thickness is 15mm.
- ③ As to shear spring constants for the proof strength, the constants of the connectors on the bottom plates of 6mm thickness are reduced to the about 70~85% of constants for the ones on H-steel.

**Key Words:** large size Truss-typed Shear Connectors, push-out test

#### 1. はじめに

最近、鋼とコンクリートとを合成・一体化した構造物が、種々の分野で利用されてきている。これらの合成構造は、建設費の縮減や耐久性向上などの観点から着目されており、それらの合成構造の一つとして合成床版があげられる。鋼橋においては、合理化・省力化や耐久性の観点から少主桁橋等の合理化橋梁の建設が進められている。この種の橋梁床版には耐久性のある長支間床版の適用が不可欠であり、最近の研究<sup>1)~3)</sup>により合成床版がこれらの要求を満たす床版として注目されている。著者らはこれらの要求を満たす床版として、図-1に示すようなトラス型ジベル合成床版を開発し、ジベルの押し抜きせん断実験をはじめ、各種の静的実験および輪荷重走行実験を実施<sup>4)~13)</sup>した。ここ数年は合成床版の採用が増加してきており、広幅員の橋梁計画の中には、さらに床版支間の長大化(8m~10m級)を図った合成床版が計画されつつある。これらに対応するとともに構造の合理化を図るには、部材断面の大型化が必然となるため、一連の機能検証実験を実施することとした。この内、まず要素実験として大型のトラス型ジベルを用いた押し抜きせん断

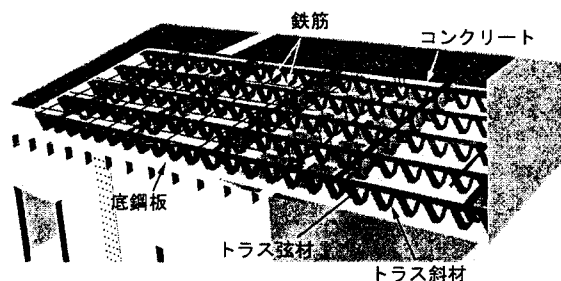


図-1 トラス型ジベル合成床版の概要

断実験を実施し、せん断力を受ける条件下でのジベルの挙動を確認した。

本文では、これらの実験概要とその結果および考察を報告するものである。

#### 2. 実験の概要

##### (1) 使用材料

供試体に使用した材料は、鋼材にSS400材を、コンクリートに $\sigma_{ck}$ が30N/mm<sup>2</sup>の早強ポルトランドセメント

を用いた。鋼材の規格および材料試験結果を表-1に、コンクリートの種別および配合を表-2および表-3に示す。なお、実験時のコンクリート強度は、載荷実験の開始から終了までで32N/mm<sup>2</sup>~37N/mm<sup>2</sup>の範囲にあった。

(2) 押し抜きせん断実験供試体

トラス型ジベルの押し抜きせん断実験に関しては、既往の研究<sup>4),7)</sup>として、図-2に示すように、9種類の押し抜きせん断実験を実施した。

表-1 鋼材の規格および材料試験結果

記号	呼び名 (寸法)	規格値			材料試験結果		
		降伏点	引張強さ	伸び	降伏点	引張強さ	伸び
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%
SD345	D19	345~440	490以上	18以上	392	569	20
	D22				391	559	24
SS400	FB-75×9	245以上	400~510	17以上	285	445	31
	FB-50×6				337	457	29

表-2 コンクリートの種別

圧縮強度 $\sigma_{28}$ (N/mm <sup>2</sup> )	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (mm)	空気量 (%)	セメントの種類
30	20	80±25	4.5±1.5	早強ポルトランドセメント

表-3 コンクリートの配合

単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位細骨材料 (kg/m <sup>3</sup> )	単位粗骨材料 (kg/m <sup>3</sup> )	混和剤の種類
265	165	794	1058	AE減水剤

今回実施した大型のトラス型ジベルの押し抜きせん断実験供試体は、以下の3点に着目して設定した。

- A シリーズ：トラス斜材の大型化および溶接長の増大に着目した押し抜きせん断挙動
- B シリーズ：ジベル直角方向（配力筋方向）の押し抜きせん断挙動
- C シリーズ：実構造と同様の底鋼板厚がジベルの押し抜きせん断挙動に及ぼす影響

供試体の製作にあたって、コンクリートと接触する鋼板面にはグリースを塗布して自然付着を排除し、実構造のコンクリートの打設方向に合わせた状態で施工した。

供試体の種類を表-4に、供試体概要図を図-3に示す。なお、供試体は各種類ごとに原則3体製作した。ただし、A5供試体に関しては、トラス型ジベルの溶接脚長を変化させて、溶接脚長6mmを2体、同7mmを1体として製作した。

荷重の載荷は、既往の研究<sup>4)</sup>より、残留ずれ変位0.08mm付近で荷重-変位関係の変化点が現れることがわかっていることから、残留ずれ変位  $\delta$  が0.08mmになるまで載荷と除荷とを数回繰り返し行い、その後、破壊に至るまで単調増加で載荷した。

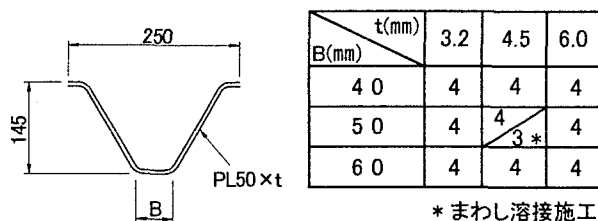


図-2 既往の研究の押し抜きせん断実験の種類

表-4 押し抜きせん断実験供試体の種類

シリーズ	供試体 No.	ジベル サイズ	ジベル 溶接長 B(mm)	すみ肉 溶接サイズ S(mm)	溶接線数 (1供試体)	備考
A	A1	FB50×6	60	5	4	1ジベルの押し抜きせん断特性
	A2	FB50×6	75	5	4	
	A3	FB75×6	75	5	4	
	A4	FB75×9	75	6	4	
	A5-1	FB75×9	90	6	4	
	A5-2	FB75×9	90	7	4	
	A6	FB75×9	100	7	4	
B	B1	FB50×6	60	5	4	2ジベル直列配置の押し抜きせん断特性
	B2	FB75×9	90	7	4	
C	C1	FB50×6	60	5	4	ジベルを溶接する底鋼板(t=6mm)の板厚の影響を受ける押し抜きせん断特性
	C2	FB75×9	90	7	4	

注) 表中の供試体は、3供試体とする。  
ただし、A5-1供試体は2体、A5-2供試体は1体とする。

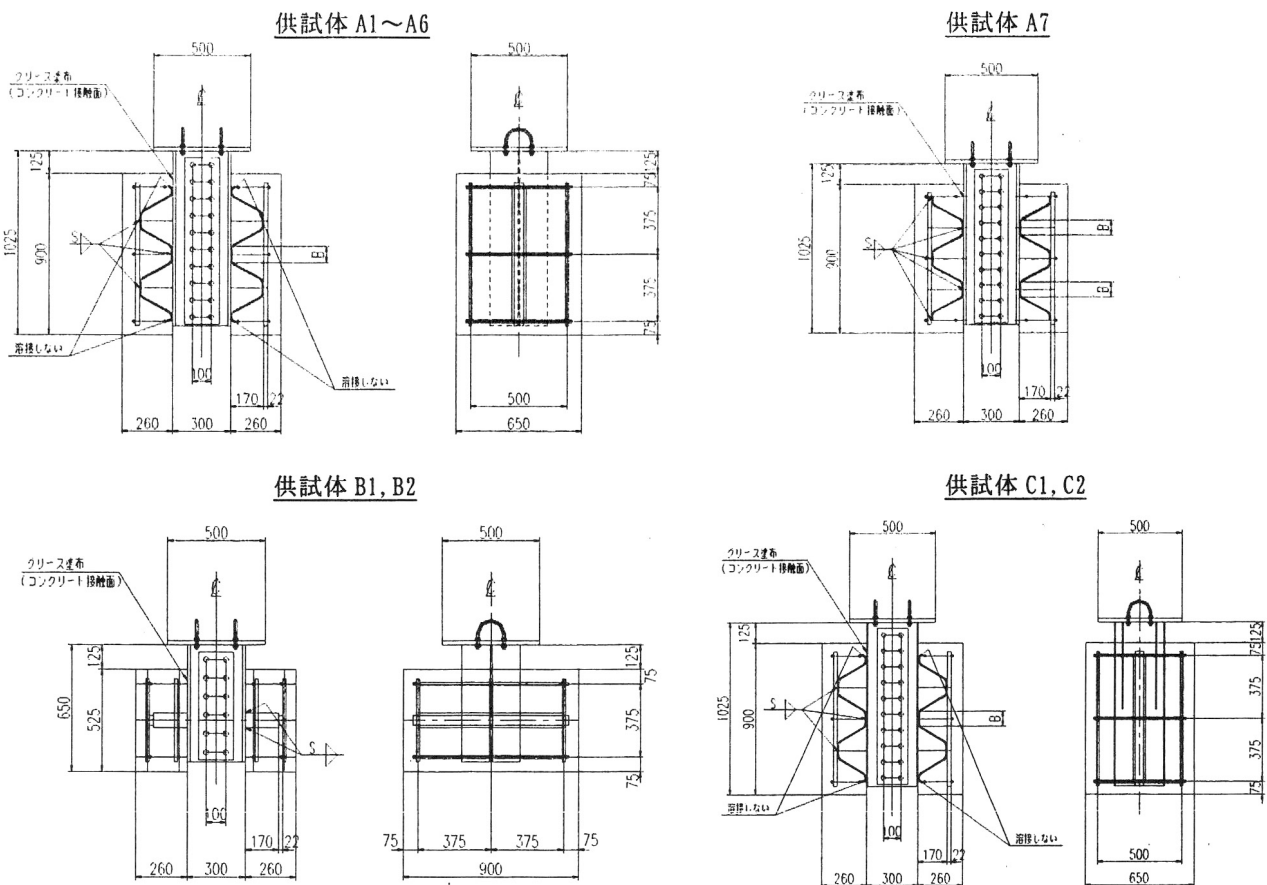


図-3 押し抜きせん断供試体の概要

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 荷重-変位-残留ずれの関係

供試体 A1 の荷重-変位-残留ずれの関係を図-4 に示す。供試体 A1 は既往の研究<sup>4),7)</sup>とのキャリブレーションを目的としており、降伏せん断耐力、最大せん断耐力、水平せん断バネ定数および破壊形態を比較した。この結果、いずれも比較的良い一致を示しており、今回の実験との整合性が確認できた。

#### (2) 降伏せん断耐力、最大せん断耐力および水平せん断バネ定数

今回の押し抜きせん断実験結果を表-2 に示す。破壊形態は、写真-1 に示すように、いずれも溶接部の破断である。

直列配置されたジベルの影響を検討したケースとして、1ジベル配置 (供試体 A5-2) と2ジベル直列配置 (供試体 A7) とを比較する。これより、2ジベル直列配置の方が1ジベル配置より、降伏せん断耐力で15%、最大せん断耐力で13%、水平せん断バネ定数で6%それぞれ大きい。これは、直列に配置されたジベルに囲まれたコンクリートのコンファイン効果により、耐力およびバネ定数が増加したものと考えられる。ただし、供試体 A5-2 の降伏せん断耐力に関しては、前後の供試体 (供試体 A4、

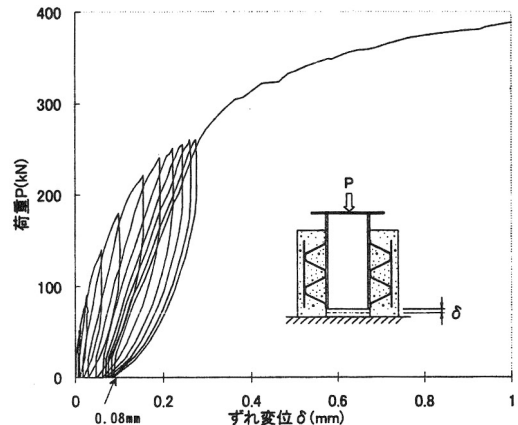


図-4 荷重-変位-残留ずれの関係 (供試体 A1)

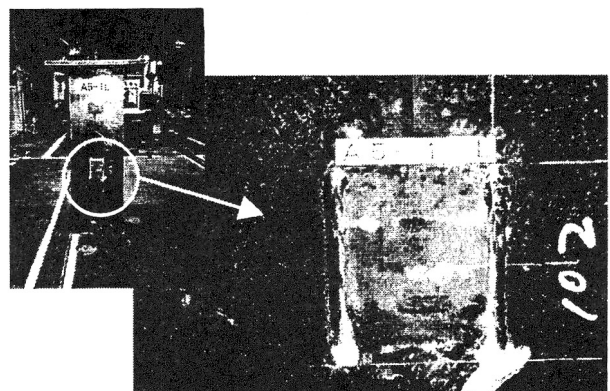


写真-1 ジベル溶接部の破断状況 (供試体 A5-1)

表-2 トラス型ジベル形状と、降伏せん断耐力、破壊荷重および水平せん断バネ定数との関係

シリーズ	供試体	FBサイズ		溶接長 B(mm)	溶接サイズ S(mm)	降伏せん断耐力 (kN/ジベル)	最大せん断耐力 (kN/ジベル)	水平せん断 バネ定数 (kN/mm/ジベル)	破壊状態
		W(mm)	t(mm)						
A	A1	50	6	60	5	131	222	756	溶接
	A2	50	6	75	5	139	225	794	溶接
	A3	75	6	75	5	174	327	1111	溶接
	A4	75	9	75	6	222	368	1250	溶接
	A5-1	75	9	90	6	248	415	1176	溶接
	A5-2	75	9	90	7	227	464	1402	溶接
	A6	75	9	100	7	262	503	1259	溶接
B	B1	50	6	60	5	119	238	765	溶接
	B2	75	9	90	7	251	461	1146	溶接
C	C1	50	6	60	5	154	215	646	溶接
	C2	75	9	90	7	280	477	947	溶接

注)表中の耐力およびバネ定数は供試体の平均値を示す。

A5-1, A6)の実験結果から推定される値より、やや低めの実験結果となっており、供試体の個体差の影響があると考えられる。

ジベル方向の押し抜きせん断とジベル直角方向の押し抜きせん断特性とを検討したケースとして、Aシリーズ(供試体A1, A5-2)とBシリーズ(供試体B1, B2)とを比較する。供試体A1と供試体B1において、供試体B1は供試体A1より、降伏せん断耐力で9%低く、最大せん断耐力で7%高いが、水平せん断バネ定数は同程度である。また、供試体A5-2と供試体B2においては、供試体B2が供試体A5-2より、降伏せん断耐力で11%高く、最大せん断耐力は同程度であり、バネ定数で18%低い結果となった。これらより、ジベル方向押し抜きせん断とジベル直角方向押し抜きせん断とでは、それぞれの特性値に明確な傾向は認められず、また、これらの特性値の差違も比較的小さいことから、版としての主筋方向および配力筋方向のずれ止め特性は同等に扱ってよいと思われる。

ジベルを溶接する底鋼板の板厚の影響を検討したケースとして、Aシリーズ(供試体A1, A5-2)とCシリーズ(C1, C2)とを比較する。供試体A1と供試体C1において、供試体C1が供試体A1より、降伏せん断耐力で18%高く、バネ定数で15%低いことがわかった。また、供試体A5-2と供試体C2においては、供試体C2が供試体A5-2より、降伏せん断耐力で23%高く、バネ定数で32%低いことがわかった。これらより、合成床版の底鋼板に一般

に用いられる板厚(t=6mm)を用いた押し抜きせん断実験結果は、H形鋼を用いた標準的な押し抜きせん断実験結果に比べて、降伏せん断耐力で20%程度高く、バネ定数で15~30%程度低いことがわかった。これは、ジベル溶接部の底鋼板の板厚が薄いと、ジベル溶接部間で底鋼板が局所的な板曲げを受けて微小な変形が発生するため、バネ定数が低下したものと思われる。しかし、今回の実験の範囲では、降伏せん断耐力に着目すると、底鋼板厚(t=6mm)を再現したCシリーズ供試体は、H形鋼を用いた供試体よりも柔らかい弾性挙動を示し、降伏荷重レベルでは復元力が大きい結果となった。ただし、最大せん断耐力は、底鋼板の板厚の影響をほとんど受けず、同程度であった。

### (3) ジベルの溶接部のど断面積と降伏せん断耐力との関係

ジベルの溶接部のど断面積(のど厚×溶接長)と降伏せん断耐力との関係を図-5に示す。ここで、ジベルの溶接部のど断面積は設計値を用いた。図中に供試体Aシリーズの線形回帰直線を示すが、原点近傍を通る直線で近似され、相関係数rは0.910となり、回帰直線の信頼性は高いと判断される。なお、今回のサンプリングは、同種供試体の平均値で回帰直線を設定したが、全標本数のデータを用いた回帰直線もほぼ同様の傾向であることを確認した。

ここで、Aシリーズの降伏せん断耐力は、溶接部のど断面積に比例して増減し、式(1)で現されることがわかった。

$$P_y = 0.234 \cdot A_D + 42.8 \quad (1)$$

ここで、 $P_y$ : 降伏せん断耐力 (kN/ジベル)  
 $A_D$ : ジベルの溶接部のど断面積 (mm<sup>2</sup>)

#### (4) ジベルの溶接部のど断面積と最大せん断耐力との関係

ジベルの溶接部のど断面積と最大せん断耐力との関係を図-6に示す。図中に供試体Aシリーズの線形回帰直線を示すが、原点近傍を通る直線で近似され、相関係数  $r$  は 0.951 となり、回帰直線の信頼性は高い。ここで、Aシリーズの最大せん断耐力も、降伏せん断耐力と同様に、溶接部のど断面積に比例して増減し、式(2)で現されることがわかった。

$$P_{cr} = 0.539 \cdot A_D - 0.2 \quad (2)$$

ここで、 $P_{cr}$ : 最大せん断耐力 (kN/ジベル)  
 $A_D$ : ジベルの溶接部のど断面積 (mm<sup>2</sup>)

#### (5) ジベルの溶接部のど断面積と水平せん断バネ定数との関係

ジベルの溶接部のど断面積と水平せん断バネ定数との関係を図-7に示す。図中に供試体A, B, Cシリーズの線形回帰直線を示すが、いずれの水平せん断バネ定数とも、切片が 400N/mm/ジベル近傍を通る直線で近似されることがわかった。水平せん断バネ定数とジベルの溶接部のど断面積との関係を、式(3)-A、(3)-B、(3)-Cに示す。

$$k_A = 1.053 \cdot A_D + 410 \quad (3)-A$$

$$k_B = 0.816 \cdot A_D + 419 \quad (3)-B$$

$$k_C = 0.645 \cdot A_D + 373 \quad (3)-C$$

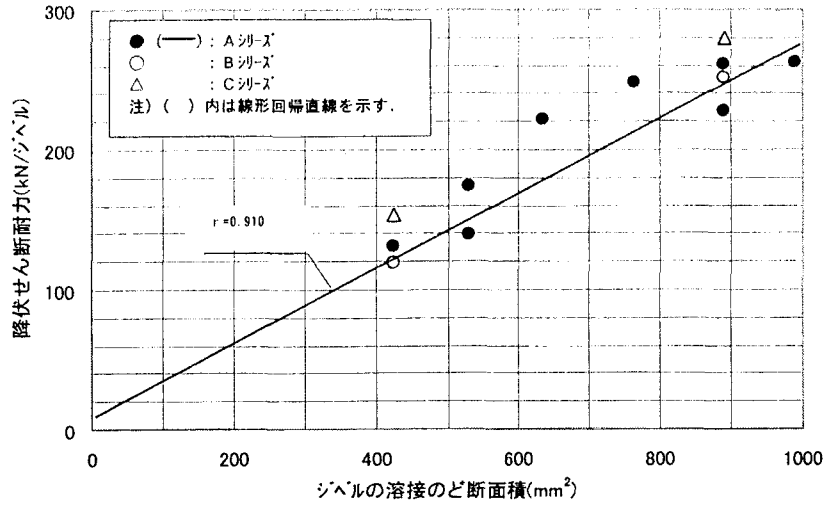


図-5 ジベルの溶接部のど断面積と降伏せん断耐力との関係

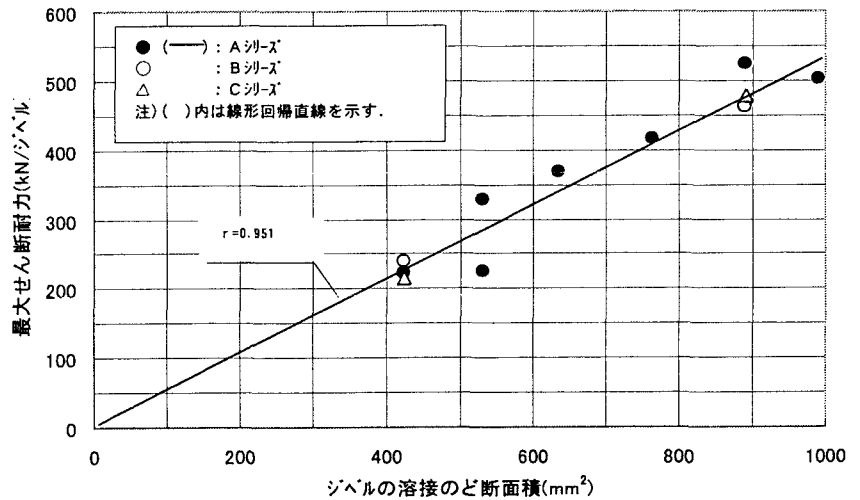


図-6 ジベルの溶接のど断面積と最大せん断耐力との関係

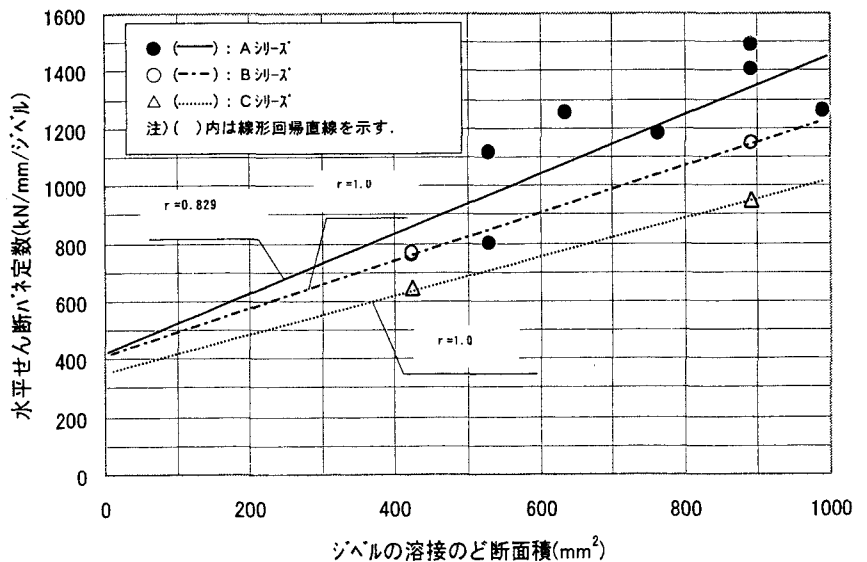


図-7 ジベルの溶接のど断面積と水平せん断バネ定数との関係

ここで、

$k_A, k_B, k_C$ : 供試体 A, B, C シリーズの  
水平せん断バネ定数 (kN/mm/ジベル)  
 $A_D$ : ジベルの溶接部のど断面積 (mm<sup>2</sup>)

すなわち、ジベルの溶接部のど断面積の増減に対応して、水平せん断バネ定数は増減するものの、ジベル背面の、トラス斜材とトラス弦材 (図 1 参照) とで囲まれたコンクリートが、ジベルの幅全域にわたってジベルの変形を拘束してせん断力に抵抗するため、ジベルの溶接のど断面積が小さくとも、ある程度のバネ定数を有していることがわかった。これより、トラス形状のジベルを用いた場合の水平せん断バネ定数については、トラス斜材とトラス弦材とで囲まれたコンクリートのコンファイン効果を期待できることがわかった。

#### 4. まとめ

本研究では、トラス型ジベルの部材断面の大型化ともなう一連の機能検証実験のうち、要素実験として大型のトラス型ジベルを用いた押し抜きせん断実験を実施し、ジベルのせん断に関する挙動を確認した。以下に、その結果を要約する。

- ①ジベルを直列に 2 ジベル配置した場合の押し抜きせん断特性は、ジベル間のコンクリートのコンファイン効果により 1 ジベルの耐力を上回る値となる。
- ②ジベル方向と直交する方向のジベルの押し抜きせん断特性は、ジベル方向の耐力と同程度である。
- ③ジベルを溶接する底鋼板 (t=6mm) を再現した押し抜きせん断特性は、H 形鋼を用いた標準的な押し抜きせん断実験結果と比べて水平せん断バネ定数で 70~85%程度に低減される。
- ④ジベルの降伏せん断耐力および最大せん断耐力ともにジベルの溶接部のど断面積にほぼ対応して線形に増減する。
- ⑤ジベルの水平せん断バネ定数は、ジベルと、それにコンファインされたコンクリートとが一体となって前面コンクリートを支圧するため、ジベルとコンクリートとの相乗作用により決定される。

上記の結果より、大型のトラス型ジベルの基本的な押し抜きせん断特性は把握できたと言える。今後は、合成床版としての静的実験や連続桁中間支点を模擬した実験、床版としての耐久性を検証するための輪荷重走行実験などの一連の機能検証を行い、床版支間の長大化 (8m~10m 級) への対応と構造の合理化を図っていく予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 阿部幸夫, 久保圭吾, 高木優任, 武内隆文: 各種合成床版の構造と適用例, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, 土木学会, 1998. 11
- 2) 国土交通省土木研究所: 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書 (その 4), 平成 13 年 1 月
- 3) 国土交通省土木研究所: 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書 (その 5), 平成 13 年 3 月
- 4) (財) 災害科学研究所: トラス型ジベルを用いた合成床版の実験的研究, 平成 2 年 3 月
- 5) (財) 災害科学研究所: トラス型ジベルを用いた合成床版の梁としての定点疲労実験, 平成 3 年 3 月
- 6) (財) 災害科学研究所: トラス型ジベルを用いた合成床版の輪荷重移動載荷実験による版疲労実験, 平成 3 年 3 月
- 7) 中井博, 堀川都志雄, 堀松正芳, 真田健司: トラス型ジベルを用いた合成床版の設計・製作・施工について, 土木学会論文集, No. 486, VI-22, 土木学会, 1994. 3
- 8) 橋本靖智, 山本晃久, 鹿島孝之, 小出宜央, 済藤英明, 水口和之, 鈴木規生: 豊田ジャンクション・トラス型ジベル合成床版の静的耐荷力に関する実験的研究, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演集, CS-270, 土木学会, 2000. 9
- 9) 山本晃久, 橋本靖智, 鹿島孝之, 小出宜央, 済藤英明, 水口和之, 鈴木規生: 豊田ジャンクション・トラス型ジベル合成床版の型枠剛性に関する実験的研究, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演集, CS-271, 土木学会, 2000. 9
- 10) 鹿島孝之, 山本晃久, 橋本靖智, 小出宜央: トラス型ジベル合成床版の疲労耐久性に関する実験的研究, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演集, CS-280, 土木学会, 2000. 9
- 11) 山本晃久, 橋本靖智, 鹿島孝之, 済藤英明, 水口和之, 鈴木規生, 堀川都志雄: トラス型ジベルを用いた長支間合成床版の実用化に関する実験的研究, 第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集, 土木学会, 2000. 10
- 12) 橋本靖智, 猪本真, 桂裕成, 石下雅史, 鈴木裕二, 中岡毅: 豊田ジャンクション・トラス型ジベル合成床版のモルタル漏れ防止確認試験, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演集, VI-284, 土木学会, 2001. 10
- 13) 山本晃久, 小出宜央, 鹿島孝之, 日野伸一: トラス型ジベルの押し抜きせん断実験に関する一考察, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演集, 土木学会, 2001. 10