

孔あき鋼板ジベル設計マニュアル(案)

平成13年11月

土木学会 鋼構造委員会

新形式の鋼・コンクリート複合橋梁調査研究小委員会

合成構造WG

孔あき鋼板ジベル班

1. 適用の範囲

- (1) 本マニュアルは、鋼桁と鉄筋コンクリートスラブとを孔あき鋼板ジベルを用いて合成した橋梁（以下「合成桁」）の限界状態設計法に基づく設計に適用する。
- (2) 本マニュアルに定めていない事項については、関連する基準類に定めるところによる。

[解説]

本マニュアルは、主として、連続合成桁橋の設計に適用されることを前提に作成したものである。本マニュアルに示した孔あき鋼板ジベルの設計強度式は、JSSC の「頭付きスタッドの押抜き試験方法」に準拠した試験の結果を基に作成されたものである。それゆえ、コンクリート部と鋼桁部分を孔あき鋼板ジベルを用いて一体化される構造物の設計に適用できる。ただし、孔あき鋼板ジベルが周辺拘束されるコンクリート部材に適用される場合は、別途検討するものとする。

- (1) 本マニュアルの適用範囲は、鋼桁と鉄筋コンクリートスラブからなる活荷重合成の合成桁で、連続構造のものである。
使用鋼材は SM400～SM570 とし、コンクリートは通常のポルトランドセメントを使用したもので、設計基準強度は $27\sim40\text{N/mm}^2$ 程度とし、特別な場合には最大 50N/mm^2 のものも用いてよい。
- (2) 本マニュアルは、合成桁のずれ止めとして用いる孔あき鋼板ジベルの特有な事柄についてのみ、取り扱うものである。したがって、その他の一般事項、鋼桁および鉄筋コンクリートスラブなどに対しては、関連する基準類に準拠すものとする。

2. 用語の定義

(1) 用語

本マニュアルの用語を以下のように定義する。

- 1) 合成桁 ----- 鉄筋コンクリートスラブ（以下「スラブ」という）と鋼桁とが一体となって働くように、両者を孔あき鋼板ジベルにより合成した構造を有する桁
- 2) 活荷重合成 ----- 鋼桁の自重およびスラブの重量を鋼桁で受けもち、活荷重および一部の死荷重を合成作用の状態で受けもたせる合成方法
- 3) スラブの有効幅 ----- 合成断面として考慮してよいスラブ幅
- 4) 孔あき鋼板ジベル --- スラブと鋼桁との相互のずれを防止し、両者が合成作用を呈する目的で、鋼桁フランジ面に孔を設けた鋼板を取付けたもの（以下、PBLジベルと略記する）
- 5) 貫通鉄筋 ----- PBLジベルの孔内に配置した鉄筋

(2) 記号

合成桁のPBLジベルの計算には、以下の記号を用いる。

- f'_{cu} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm^2)
 f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)
 f_{st} : 貫通鉄筋の引張強度 (N/mm^2)
 Q_u : 終局限界状態における孔1個あたりの設計せん断耐力 (N)
 Q_a : 使用限界状態における孔1個あたりの設計せん断耐力 (N)
 t : PBLジベルの板厚 (mm)
 b : PBLジベルの間隔 (mm)
 e : 孔に対するジベルの縁端距離 (mm)
 d : 孔径 (mm) h : 鋼板の高さ (mm)
 p : 孔の中心間隔 (mm) p' : 孔の純間隔 (mm)
 c : PBLジベルのかぶり (mm) ϕ_{st} : 貫通鉄筋径 (mm)
 H : フランジ上縁から孔中心までの距離

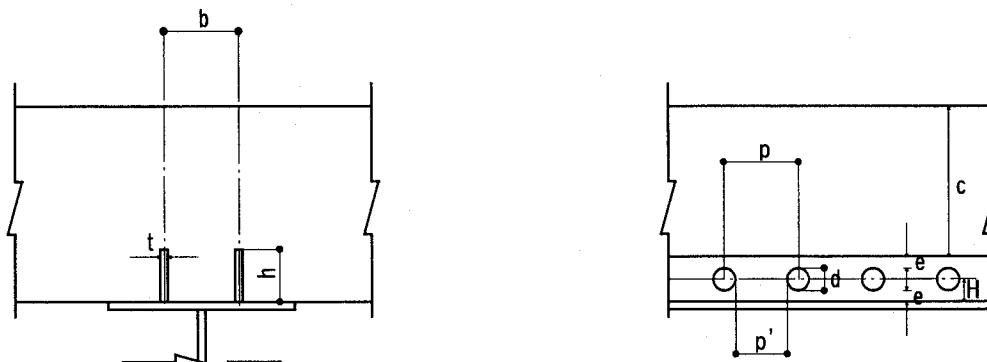


図2.1 記号の説明

[解説]

ここでは、設計上重要な用語と記号を示した。

PBLは、ドイツ語の Perfobond Leisten の頭文字をとった略語であり、PBLジベルの英語名は Perfobond Shear connecter あるいは Perfobond Strip である。

3. 安全係数と荷重の組み合わせ

3.1 安全係数

合成桁の限界状態の照査に用いる安全係数は、関連する基準類による。

[解説]

ここで、関連する基準類とは「土木学会 鋼構造物設計指針（PartB）」、あるいは鉄道では「鉄道構造物等設計標準（鋼・合成構造物）」などである。例として、鉄道橋の場合の終局限界状態における荷重係数と部分安全係数とを以下に示す。

- (1) 合成前死荷重のうちスラブの自重に対する荷重係数 γ_f は、「鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物」の固定荷重に対する荷重係数を準用して 1.1 としてよい。
コンクリートのクリープ C_R および乾燥収縮 S_H により発生する応力は内部応力であり、終局耐力に及ぼす影響は小さいと考えられることからその荷重係数は 1.0 とした。またスラブと鋼桁の温度差の影響 T に対する荷重係数も同様の理由により 1.0 としてよい。
- (2) スラブのコンクリートの材料係数 γ_{m_c} および鉄筋の材料係数 γ_{m_s} は、「鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物」の 5.2.2 および 5.3.2 によりそれぞれ $\gamma_{m_c} = 1.3$, $\gamma_{m_s} = 1.0$ としてよい。
- (3) スラブのコンクリートの耐力に関する部材係数 γ_b は「鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物」の規定を準用し、1.3 とすることとしてよい。
同設計標準における γ_b の標準的な値は、曲げ耐力については 1.15, 軸方向圧縮耐力およびコンクリートの負担するせん断耐力については 1.3 としている。また、ずれ止めの一種である PBL ジベルについても、PBL ジベル周辺のコンクリート応力の分布が複雑なことや PBL ジベルの重要度を考慮し、さらに設計の便宜も考え γ_b は 1.3 に統一して用いてよい。

3.2 荷重の組合せ

PBLジベルはスラブと鋼桁との間に作用する橋軸方向のせん断力に対して設計し、その場合の荷重の組合せとして表3.2.1による組合せを用いてよい。

表3.2.1 荷重の組合せ（終局限界状態）

荷重の組合せ		備考
①	$D_2 + L + I + S_H + C + L_R + T$	L, I および C は主たる変動荷重 L_R および T は従たる変動荷重
②	$D_2 + L + L_R + S_H + B + T$	L は主たる変動荷重 L_R, B および T は従たる変動荷重
③	$S_H + L_R + T$	L_R および T は従たる変動荷重

[解説]

限界状態設計法で設計する場合には、荷重の組合せを明確にする必要がある。ここでは、PBLジベルの設計における荷重の組合せとして、鉄道橋での設計例などを参考に表3.2.1のように定めた。その際の安全係数は、「鉄道構造物等設計標準 鋼・コンクリート構造物」と同じ解説表3.2.1を用いてよい。

また、連続桁の場合、解説表3.2.2を用いてよい。一般的に、クリープ (C_R) による応力変化は微小であり、本マニュアルでは考慮しないものとする。

解説表3.2.1 荷重組合せと安全係数（終局限界状態）

構造解析係数 γ_a	部材係数 γ_b	構造物係数 γ_i	荷重係数 γ_f							
			永久荷重		変動荷重					
			合成後死荷重 D_2	乾燥収縮の影響 S_H	列車荷重 L	衝撃 I	遠心荷重 C	ロングレール縦荷重 L_R	制動荷重及び始動荷重 B	温度変化の影響 T
①	1.0	1.3	1.2	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
②	1.0	1.3	1.2	1.0	1.0				1.0	
③	1.0	1.3	1.2		1.0				1.1	

解説表3.2.2

正曲げ	① $D_2 + L + I + S_H + C + L_R + T$
	② $D_2 + L + L_R + S_H + B + T$
	③ $S_H + L_R + T$
負曲げ	① $D_2 + L + I + C + L_R$
	② $D_2 + L + L_R + B$

4. 材料・強度

4.1 鋼材の強度

(1) 鋼板

PBLや鋼桁に使用する材料の強度は、関連する基準類の規定による。

(2) 貫通鉄筋

PBLジベルの孔に配置する鉄筋の強度は、関連する基準類の規定による。

[解説]

- (1) PBLや鋼桁に使用する鋼材の強度は「土木学会 鋼構造物設計指針(Part A)」、あるいは鉄道橋では「鉄道構造物等設計標準 鋼・合成構造物 第1編鋼鉄道橋」によるものとした。
- (2) 貫通鉄筋として使用する鋼材の強度は「土木学会 鋼構造物設計指針(Part A)」、あるいは鉄道橋では「鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物」によるものとした。

4.2 コンクリートの強度

スラブのコンクリートの設計に用いる圧縮強度は、関連する基準類の規定による。

[解説]

コンクリートの強度は「土木学会 鋼構造物設計指針(Part B)」、あるいは鉄道橋では「鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物」によるものとした。

たとえば、鉄道橋では、照査の方法によって、下記のような値を用いている。

合成桁の圧縮フランジとしての照査 $0.7 f'_{ck}$

スラブとしての照査 $0.85 f'_{ck}$

ここに、 f'_{ck} ：「鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物」に定めるコンクリートの圧縮強度の特性値

5. 孔あき鋼板ジベルの設計

5.1 孔あき鋼板ジベルの終局限界状態における設計せん断耐力

(1) 終局限界状態における設計せん断耐力 Q_u は、次式によって計算した値とする。ただし、貫通鉄筋を配置するものとする。

$$Q_u = 1.85A - 106.1 \times 10^3 \quad (\text{N}) \quad (5.1.1)$$

$$A = \frac{\pi(d^2 - \phi_{st}^2)}{4} \cdot f'_{cu} + \frac{\pi\phi_{st}^2}{4} \cdot f_{st} \quad (5.1.2)$$

ただし、 $56.0 \times 10^3 \leq A \leq 380.0 \times 10^3$

ここに、 f'_{cu} ：コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm^2)

d ：孔径 (mm)

ϕ_{st} ：貫通鉄筋の鉄筋径 (mm)

f_{st} ：貫通鉄筋の設計引張強度 (N/mm^2)

(2) 孔と孔の間の鋼板のせん断破壊強度は、次式によって計算した値とする。

$$Q_s = \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} A_s \geq Q_u \quad (\text{N}) \quad (5.1.3)$$

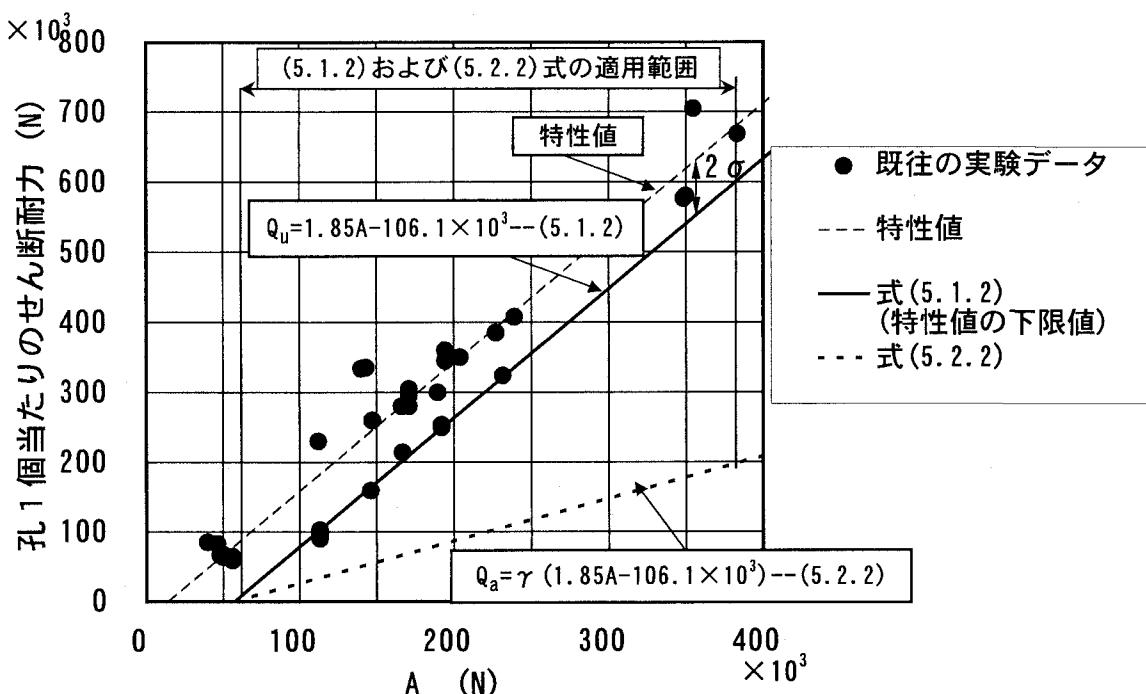
ここに、 Q_s ：鋼板の設計せん断耐力 (N)

A_s ：2つの孔の間の鋼板部分面積 (mm^2)

σ_y ：鋼板の降伏点応力度 (N/mm^2)

[解説]

- (1) 既往の研究成果^{5), 6), 11), 14), 15), 16), 17), 18)}を用い、せん断耐力実験値（孔1個当たり）に対する既往の研究で用いられた試験体の各影響因子を選び、文献12)に示す統計処理法を用いて、強度評価式の提案を試みた。その結果、式(5.1.2)に示す影響因子の組合せが実験データとの相関性がよく有効であることが確認できたので、特性値の下限値である式(5.1.1)を終局限界状態における設計せん断耐力 Q_u とした。また、設計範囲においては実験値を考慮して適用範囲を設けた。ここで、式(5.1.2)の第1項はPBLジベル自体のせん断耐力（コンクリートジベルとしてのせん断耐力）を、第2項は貫通鉄筋により付加されるせん断耐力を、それぞれ表している。



解説図 5.1.1 適用範囲

なお、コンクリートの設計圧縮強度 (f'_{cu}) および貫通鉄筋の設計引張強度 (f_{st}) は、たとえば鉄道橋の場合、下記により求めてよい。

$$f'_{cu} = \eta \cdot f'_{ck} / \gamma_c \quad \text{ただし } \eta = 1.1$$

f'_{ck} ：「鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物」に定めるコンクリートの圧縮強度の特性値 (N/mm²)

γ_c ：コンクリートの材料係数 (=1.3)

「鉄道構造物等設計標準 鋼・合成構造物」に定める棒鋼の引張強度の特性値 (N/mm²)

$$f_{st} = \sigma_{tu} / \gamma_s$$

ここで、 σ_{tu} ：「鉄道構造物等設計標準 (コンクリート構造物)」に定める棒鋼の引張強度の特性値 (N/mm²)

γ_s ：貫通鉄筋の材料係数 (=1.0)

ただし、この場合の照査は下記により行う。

$$\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \cdot Q / Q_u \leq 1 \quad (5.1.1)$$

ここに、 $\gamma_a \gamma_b \gamma_i$ ：3項に定める安全係数

Q ：最大作用せん断力 (N)

Q_u ：次項に定める設計せん断耐力 (N)

- (2) PBL ジベルでの破壊より先に鋼板がせん断破壊することを避けるために、鋼板自体の設計せん断耐力が PBL ジベルの設計せん断耐力を上回るものとした。

5.2 孔あき鋼板ジベルの使用限界状態に対する照査

(1) PBLジベルの使用限界状態における照査は、次式により行うものとする。

$$Q/Q_a \leq 1 \quad (5.2.1)$$

ここに、 Q ：設計せん断力 (N)

Q_a ：使用限界状態における設計せん断耐力 (N)

(2) 使用限界状態を照査する場合の設計せん断耐力 Q_a は、次式によって計算した値とする（貫通鉄筋を配置した場合）。

$$Q_a = \gamma (1.85A - 106.1 \times 10^3) \quad (N) \quad (5.2.2)$$

ここに、 A ：式 (5.1.2) による。

γ ：使用限界状態の照査に用いる安全係数（本マニュアルでは 0.33 とする）

[解説]

- (1) PBLジベルの使用限界状態の照査方法を規定した。
- (2) 式 (5.1.2) より求めたせん断耐力とずれ始めのせん断耐力との比が 3 以上あることが実験的に確認されている。本マニュアルでは完全合成を前提としているため、使用限界状態でのPBLジベルの設計せん断耐力として式(5.1.3)に基づいて、式(5.2.2)より算出することとした。
なお、既往の研究では、合成桁にPBLジベルを用いる場合、疲労に関する問題がないと報告されているものの、疲労に対する検討課題は未だに残されている。よって、PBLジベル本体の疲労およびPBLジベルの溶接箇所の疲労を照査する必要が生じた場合、別途検討するものとする。

5.3 孔あき鋼板ジベルの構造細目

(1) 鋼板の厚さおよび貫通鉄筋の径

PBLジベルに用いる鋼板の厚さは 12mm 以上を標準とし、挿入する貫通鉄筋に用いる鉄筋の径は D13 を標準とする。

(2) PBLジベルの孔径および間隔

- 1) 孔径は貫通鉄筋径 + 最大骨材寸法以上とする。
- 2) 孔の最大中心間隔は 500mm を標準とする。

(3) PBLジベルのかぶり

PBLジベルのかぶり C は、ジベル上縁より 100mm 以上を確保するものとする。

(4) PBLジベルの端部は、スラブのコンクリートに応力集中が生じないような構造にする。

(5) 孔の位置周辺部においては、コンクリートにひび割れを生じさせないようにする。

(6) せん断力をコンクリート床版全体に円滑に伝達させるために、必要に応じた橋軸直角方向鉄筋を配置する。

(7) PBLジベルの構造は、疲労を考慮したディテールとする。

(8) PBLジベルを 2 枚並列に設置する場合、鋼板高さの 3 倍程度以上とする。

[解説]

(1) 水平せん断力を受けるPBLジベルはコンクリートの支圧応力に対して十分な強度を有していると同時に、コンクリートのせん断破壊を起こすに十分な板厚が必要なので、経験上、最小板厚を 12mm とした。

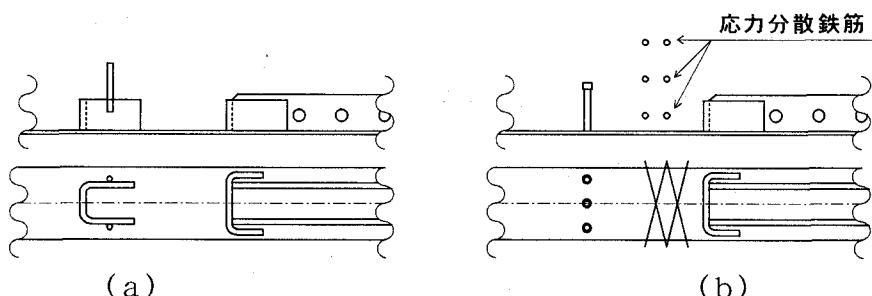
ずれ止め筋は主として水平せん断力を分担し、スラブの浮上がりに対しても抵抗している。PBLジベルの鋼板部は、圧縮力を受ける領域に対して局部座屈について検討する必要があるが、コンクリート中にあるため板の局部座屈が十分防止される。したがって、鋼板の幅厚比の最大値は、解説表 5.3.1 に従ってよい（鋼標準 7. 2 板要素の終局限界状態の照査の表 7. 2. 1 ②項を参照）。

つまり

解説表 5.3.1

鋼	最大幅厚比 h/t
SM400	40
SM490	34
SM490Y SM520	32
SM570	20

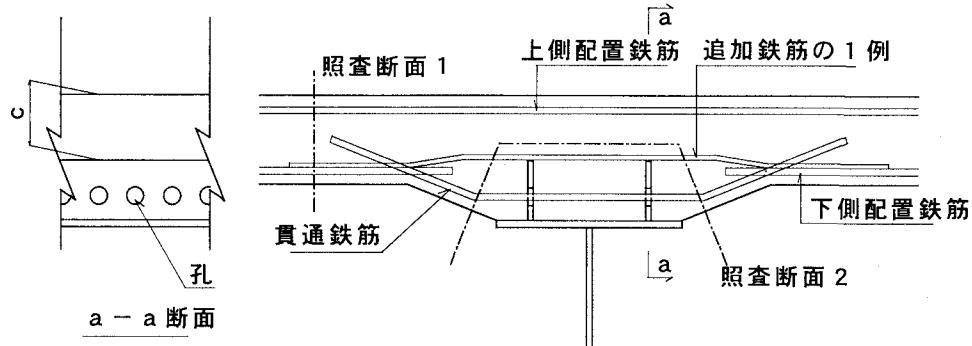
- (2) PBLジベルの孔の最大中心間隔はスラブの厚さの3倍程度までよいと考えられるが、円滑にせん断力を導入するためになるべく小間隔に配置するのがよいので、最小スラブ厚さの2.5倍に相当する500mmとした。これより大きくする場合は、PBLジベルの付近を十分補強しなければならない。
- (3) かぶりが不足するとPBLジベル前面のコンクリートの支圧耐力が減少し、PBLジベルの耐力も減少することになるので、このようなことから最小かぶりを3倍以上とした。
- (4) PBLジベルの端部にはコンクリートの応力集中が生じるので、解説図 5.3.1(a)のようにPBLジベルの端部に生じるコンクリートの応力集中を緩和させるため、PBLジベルの端部に馬蹄形ジベル等の剛なずれ止めを設けるのが良い。また、スタッドジベルとPBLジベルとの組合せのようにずれ定数が異なるような場合は、解説図 5.3.1(b)のようにPBLジベルに取付ける輪形筋のない馬蹄形ジベルの前に応力分散鉄筋を設けるなどの対策を講じるのがよい。



解説図 5.3.1

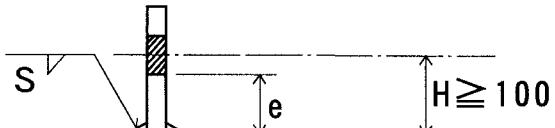
- (5) PBLジベルは孔の中のコンクリートが3次元的に拘束されるために、大きなせん断耐力が得られる構造である。したがって、この孔の部分にひび割れが発生すると期待したせん断耐力が得られない可能性があるためこのように規定した。

- (6) PBLジベルは大きなせん断耐力を有する構造である。そして、解説図 5.3.2 に示すように Eurocode4 と同様、着目した照査断面に対して、せん断力をコンクリートスラブ全体に円滑に伝達させるために、橋軸直角方向の鉄筋を配置するものとする。



解説図 5.3.2

- (7) 解説図 5.3.3 に示すように、PBLジベルの孔下縁から鋼部材上フランジの溶接縦ピードまでの距離 ($e - S$) は、溶接品質を保証する必要がある。また、負曲げ領域のように引張応力度が大きい区間に孔がある場合、その孔から疲労亀裂が生じる恐れがある²²⁾。このためできるだけ H を高くするのがよいが、 H が 100 mm 以下の場合は孔の縁部は面取りを行う等の配慮をするのがよい。
- (8) PBLジベルを 2 枚並列に設置する場合、実験結果より鋼板高さの 3 倍程度以上では、コンクリートが有効に働くことが確認されたので²³⁾、3 倍以上を標準とした。



解説図 5.3.3

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.
- 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.
- 3) 保坂鐵矢：経済性を追求した鋼鉄道橋の試み、第1回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、土木学会鋼構造委員会, pp89~97, 1998.
- 4) 牛島祥貴, 保坂鐵矢, 橋 吉宏, 栗田章光, 渡辺 混：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.
- 5) 保坂鐵矢, 平城弘一, 小枝芳樹, 橋 吉宏, 渡辺 混：鉄道用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、構造工学論文集, vol.44A, pp1497~1504, 1998.
- 6) 保坂鐵矢, 光木香, 平城弘一, 牛島祥貴, 橋吉宏, 渡辺混：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.40A, pp.1201-1209, 2000-3
- 7) Leonhardt Fritz, Wolfhart Andrä, Hans-Peter Andrä and Wolfgang Harre : Neues, vorteilhaftes Verbundmittel Für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton-und Stahlbetonbau, Heft, 12/1987.
- 8) Hans-Peter Andrä : Economical Shear Connectors with High Fatigue Strength, IABSE SYMPOSIUM, 1990.

- 9) Wayne S . Roberts and Robert J . Heywood : An Innovation To Increase The Competitiveness of Short Span Steel Concrete Composite Bridges , Developments in Short Medium Span Bridge Engineering , 1994.
- 10) 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特性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告書, Vol.16, No.2, 1994.
- 11) 平 陽兵, 天野礼子, 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書, Vol.19, No.2, pp15031~1508, 1997.
- 12) 蟻名貴之, 高橋恵悟, 上平謙二, 柳下文夫: パーフォボンドリブのせん断耐力に関する基礎的研究, 第8回シンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp31~36, 1998.
- 13) 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, 1991.
- 14) Dieter KRAUS and Otto WURZER : Bearing Capacity of Concrete Dowels , Composite Construction-Conventional and Innovative , 1997.
- 15) 富永知徳, 西海健二, 室井進次, 古市耕輔: 拘束条件を考慮した孔あき鋼板ジベルのずれ止め特性に関する報告, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, I-A323, pp646~647, 1998.
- 16) 新谷英司, 蟻名貴之, 上平謙二, 柳下文夫: 波形鋼板とコンクリート床版の結合方法に関する実験的研究, 第9回シンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp91~96, 1999.
- 17) 平 陽兵, 古市耕輔, 山村正人, 西海健二: 孔あき鋼板ジベルの耐荷力に関する研究, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, I-A324, pp648~649, 1998.
- 18) 永田 淳, 明橋克良, 渡辺将之: コンクリートの打設方向を考慮した孔明鋼板引抜試験, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, I-A149, pp298~299, 1999.
- 19) 鈴木 統, 上田多門, 古内 仁: 孔あき鋼板ジベルの押し抜きせん断耐力に関する基礎的実験, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, I-A150, pp300~301, 1999.
- 20) 平城弘一, 松井繁之, 福橋 士: 頭付きスタッドの強度評価式の誘導—静的強度評価式—, 構造工学論文集, Vol.35A, pp1221~1232, 1989.
- 21) Eurocode4:Design of composite steel and concrete structures Part2:Bridges
- 22) 中野・筒井・庄野: 非対称鉄骨S RC梁試験, 国鉄・構造物設計資料 No.71 pp29~34
- 23) 保坂鐵矢・光木 香・平城弘一・上野信一郎・牛島祥貴: 孔あき鋼板ジベルのせん断耐荷挙動に及ぼす影響因子に関する研究, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集 I-B286, 2001.10