

論文 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研究

西海 健二^{*1}・富永 知徳^{*2}・室井 進次^{*3}・古市 耕輔^{*4}

要旨：新しい鋼とコンクリートのずれ止めとしての孔あき鋼板ジベルについて、その耐荷性能、破壊メカニズムを把握するために実験的研究を行った。とくに鉄筋および鋼殻によるコンクリートの拘束効果に着目した。鉄筋は、径、本数、孔に通した場合と通さない場合などについて検討した。結果として、鉄筋断面積を増やすとずれ耐力が増加した。また、孔に鉄筋を通すことにより最大ずれ耐力発生時の相対ずれが大きくなる。鋼殻による拘束を行った場合、ずれ耐力と最大ずれ耐力発生時の相対ずれ、共に著しく向上することがわかった。

キーワード：ずれ止め、孔あき鋼板ジベル、ずれ耐力、拘束条件

1. はじめに

近年、鋼とコンクリートの新しいずれ止めとして、孔あき鋼板ジベルが注目されている。これは、複数個の貫通孔を持つ鋼板をコンクリートに埋設したものであり、孔の中のコンクリート部でせん断力を伝達する機能を有するものである。これまでに合成桁のずれ止めを想定して基礎的な押抜試験が実施されている。このずれ止めは優れたずれ耐力と耐疲労特性を持つ¹⁾と報告されている。

これらの研究より、所定の鉄筋補強を前提とした、孔の面積に比例する設計式²⁾が提案されている。これは、孔のコンクリートの割裂により耐力が決まることを前提としている。一方、コンクリートの割裂を抑制する方向に拘束力を与えれば、ずれ耐力がその拘束圧に対して線形的に向上する³⁾ことも報告されている。すなわち、鉄筋補強等によりコンクリートの割裂強度を改善すればずれ耐力が向上することを示唆するものであり、コンクリートの拘束条件が孔あき鋼板ジベルのずれ止め特性に大きな影響を持つと考えられる。

本研究においては、コンクリートに対する鉄筋および鋼殻の補強による拘束条件に着目し、孔あき鋼板ジベルのずれ特性に与える影響について実験的検討を行った。

2. 実験の概要

鉄筋補強に着目した供試体の形状図を図-1に示す。通常のスタッドの押抜試験と同様にH形鋼のフランジに孔あき鋼板ジベルが片側2枚ずつ配置され、コンクリートブロックに埋め込まれている。コンクリートブロックの下面を反力台に接地させて、H形鋼に鉛直荷重を単調に載荷した。このとき、コンクリートブロックの開き止めは用いていない。

表-1に供試体の諸元を示す。供試体 3-1~3は鉄筋量による影響を調べるシリーズであり、それぞれ、補強鉄筋の配筋量はD19×3, D19×5, D16×3である。また、3-1~3は補強鉄筋を孔の外に配置した供試体、3-5ではD19×3の鉄筋のうち中央1本を孔あき鋼板の孔の中に配置した供試体とし、補強鉄筋の配置方法の検討とした。

表-2に鋼殻拘束供試体諸元の一覧を示す。

*1 新日本製鐵 (株) 鋼構造研究開発センター 主任研究員 (正会員)
 *2 新日本製鐵 (株) 鋼構造研究開発センター 主任研究員
 *3 新日本製鐵 (株) 建設技術部
 *4 鹿島建設 (株) 技術研究所第一研究部 主任研究員 (正会員)

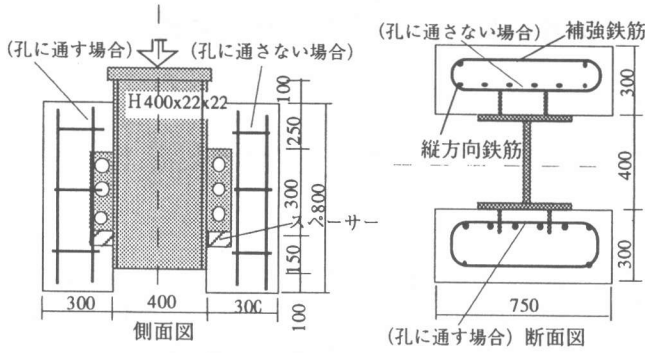


図-1 鉄筋補強供試体

表-1 供試体諸元 (鉄筋補強)

試験体	補強鉄筋		鉄筋配置 開口内/外
	径	本数	
3-1	D19	3	外
3-2	D19	5	外
3-3	D16	3	外
3-5	D19	3	内

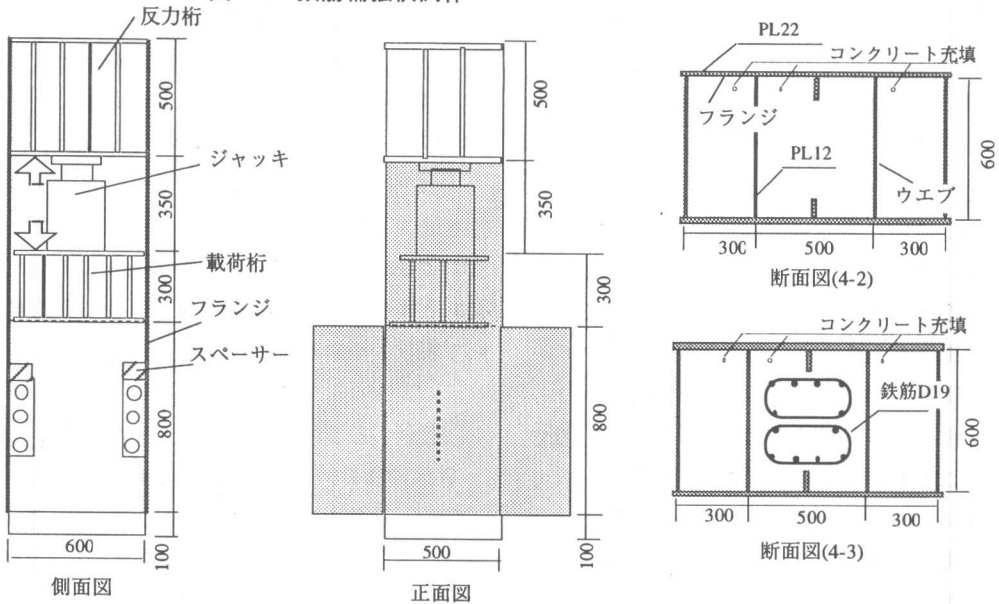


図-2 鋼殻補強供試体

表-2 供試体諸元 (鋼殻補強)

試験体	補強鉄筋		フランジ厚	ウェブ厚
	径	本数	ts(mm)	ts(mm)
4-2			22	12
4-3	D19	3	22	12
4-4			12	12
4-5			22	22

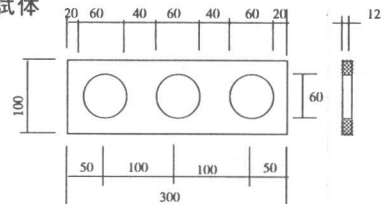


図-3 孔あき鋼板諸元

また、その図を図-2に示す。鋼板で箱形に構成し、その対面する2面の内側に1枚ずつ孔あき鋼板を配置して箱内部にコンクリートを充填した。孔あき鋼板の配置された鋼板をフランジと呼び、それに対して直角の鋼板をウェブと呼ぶ。フランジに連結された反力桁と、鋼箱に充填されたコンクリートの上にのせた載荷桁間にジャッキを設置し、充填コンクリートから反力をとってフランジを単調に引抜く試験とした。

中央2枚のウェブの間のコンクリートブロックには荷重を作用させるが、その両側のブロックは、ウェブの面外変形を拘束するためのものである。

供試体4-2,4-3は補強方法の影響を比較する供試体である。両方とも、フランジ22mm,ウェブ12mmだが、4-3には3-1に対応するためD19×3の鉄筋を加えて配置している。また、4-4,4-5は鋼殻の板厚の影響を比較する供試体で、4-4はフ

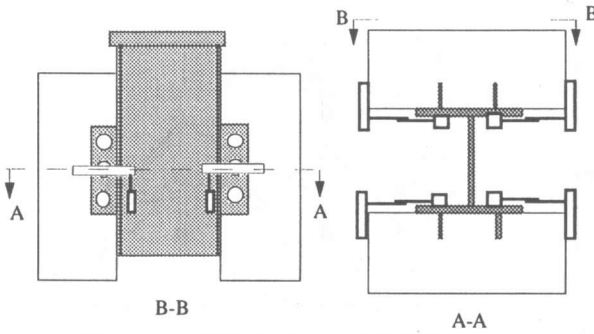


図-4(a) 押抜試験での変位計
ゲージ位置

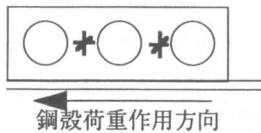


図-4(b) 孔あき鋼板のひずみゲージ
レンジ, ウェブとも12mm, 4-5は22mmである。

孔あき鋼板の形状寸法は押抜試験体, 引抜試験体とも同一であり, その諸元を図-3に示す。12mm×100mm×300mmの鋼板に60mm径の孔を100mm間隔で配置した。溶接はカイ先つきスミ肉溶接とし, その脚長は孔あき鋼板母材の引張強度と同等となるようにした。また, 孔あき鋼板端部の影響をキャンセルするために, 孔あき鋼板の荷重方向の端には発砲スチロールのスペーサーを取り付けた。鋼殻, H形鋼および孔あき鋼板の材質はSM490, 鉄筋はSD345である。縦方向鉄筋は全てD16@150とした。

また, コンクリートの最大粗骨材寸法は20mm, 配合強度は35N/mm²としたコンクリート打設方向は, 押抜試験体は荷重版を下にして行った。一方, 引抜試験体は上からである。

各供試体での変位及びひずみの計測の概要を図-4に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 鉄筋量の違いによる影響

図-5に孔あき鋼板1枚あたりの荷重-相対ずれ関係を示す。また, 表-3に全試験結果の一覧を示す。

D19×3の鉄筋補強をした供試体3-1では荷重約

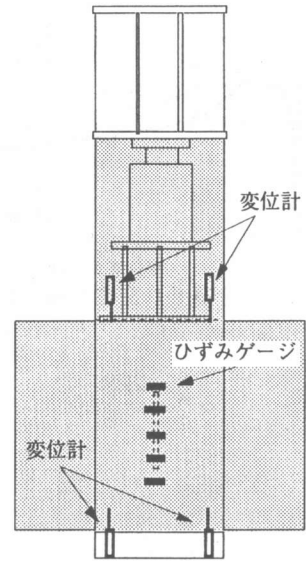


図-4(c) 引抜試験での計測

P=400kNで孔の間の鋼板の主ひずみが降伏ひずみに達したが, さらに荷重は増大し, P=445kNで最大荷重に達した。最大荷重以降, 荷重は緩やかに低下した。D19×5の3-2も鋼板が降伏した後に, 最大荷重に達した。最大荷重以降, 荷重は急激に低下した。D16×3の3-3は鋼板が降伏した後に, 最大荷重に達した。最大荷重以降の荷重低下は3-1より大きい。

鉄筋量(鉄筋断面積×本数)を横軸にしてずれ耐力を整理したのが, 図-6である。これより, ずれ耐力は鉄筋量の増加に伴って増加していることがわかる。

このとき, 鋼板にも降伏は生じたものの最大荷重はいずれも図-7で示したようなコンクリートでの割裂破壊に起因したものと考えられる。ただし, その時点ではコンクリートのひび割れの状況は外面からはほとんど観察されない程度である。それは, いずれの供試体も最大荷重が相対ずれ量5mm以下で生じていることから類推される。鋼板破壊でずれ耐力が決まる場合, 最大荷重時の相対ずれが大きいと考えられる。

また, 図-8に最大荷重発生時の各供試体の鉄筋に生じているひずみ量の分布を示す。鉄筋には孔あき鋼板の近傍で引張ひずみが発生し,

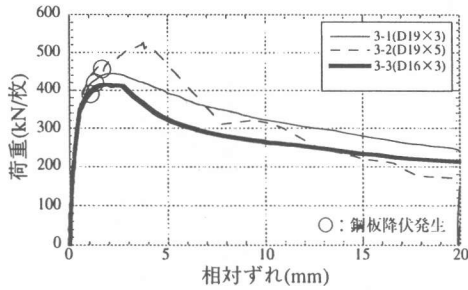


図-5 荷重ずれ変位関係 (鉄筋量)

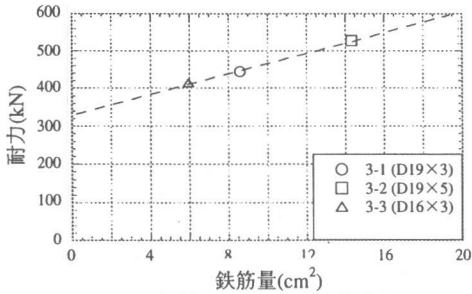


図-6 鉄筋量-ずれ耐力関係

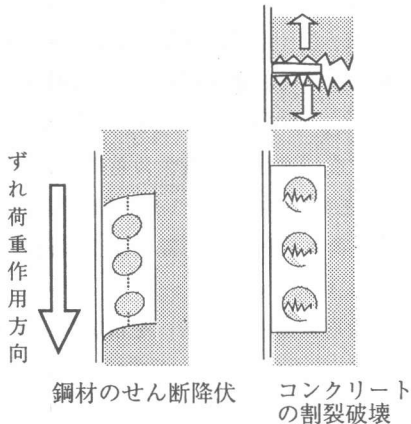


図-7 破壊形態概念図

割裂に抵抗していることが確認される。発生しているひずみは 500μ 程度であることから、鉄筋の強度ではなく断面積 (剛性) がずれ耐力に影響することがここから推定できる。

3.2 鉄筋配置方法による影響

図-8に孔の内と外に鉄筋を配置した3-1と3-5の孔あき鋼板ジベル1枚あたりの荷重-相対ずれ関係を示す。D19×3の鉄筋を孔あき鋼板の内側に配置した3-5は、途中まで同じ鉄筋を外側に配置した3-1と同様の荷重相対ずれ性状を示す。そして、3-1が最大荷重に達して低下を始める以上の領域の相対ずれにおいても、荷重は伸び続

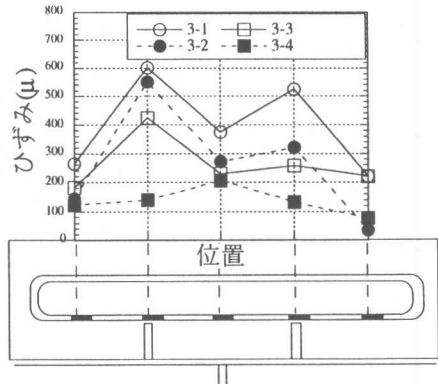


図-8 鉄筋発生ひずみ

表-3 実験結果一覧

実験結果	実験結果:				備考
	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鋼板 降伏強度 (N/mm ²)	最大ず れ耐力 荷重 P(kN)	ず れ (mm)	
No.3-1	34.3	363	1780	2.29	基準(D19×3)
No.3-2	38.9	371	2111	3.76	D19×5
No.3-3	38.3	371	1659	1.80	D16×3
No.3-5	36.5	371	1914	5.20	中通し(D19×3)
No.4-2	35.7	371	1900	6.74	web12,flange22
No.4-3	35.7	371	1862	10.14	鉄筋有(D19×3)
No.4-4	39.4	371	1881	4.59	web12,flange12
No.4-5	40.8	371	1930	-	web22,flange22

け、3-1と比較して最大荷重で約1.1倍、最大荷重発生時の相対ずれで約2.3倍を得る。

図-10に最大荷重発生時の鉄筋の発生ひずみの比較を示す。鉄筋を孔に通すと、最大荷重発生時の相対ずれが大きくなるために鉄筋のひずみも大きくなり、孔あき鋼板ジベル近傍では降伏に達している。

3.3 鋼殻補強による影響

図-11に3-1,4-2,4-3の孔あき鋼板ジベル1枚あたりの荷重-相対ずれ関係を示す。鋼殻補強のみの4-2は約 $P=830\text{kN}$ で鋼板の主ひずみが降伏ひずみに達したが、それ以降も荷重が増大し、最大荷重は鉄筋補強の3-1の約2.1倍を発揮しており、そのときの相対ずれも2.9倍以上である。最大荷重以降、荷重は緩やかに低下した。また、鋼殻補強かつ鉄筋補強の4-3の最大荷重は4-2より少し小さいが、最大荷重発生時の相対ずれは

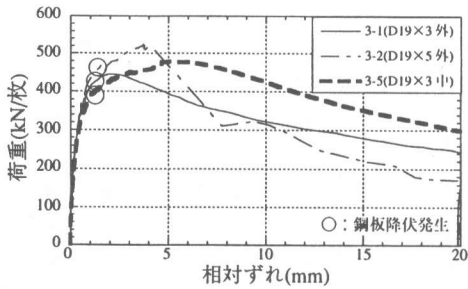


図-9 荷重ずれ変位関係 (鉄筋位置)

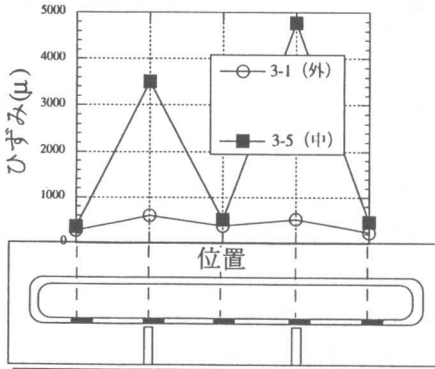


図-10 鉄筋発生ひずみ

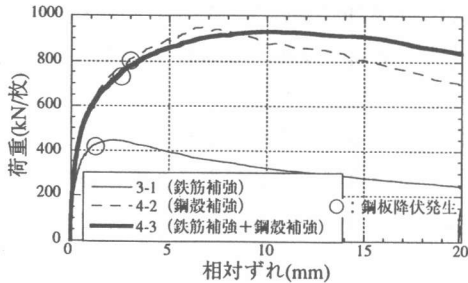


図-11 荷重ずれ変位関係 (補強方法)

より大きい。そのとき、最大荷重発生以降の荷重減少も4-2より少し小さい。

鋼殻補強をした場合はいずれも最大荷重発生時の相対ずれが4mmを越えていることから、孔あき鋼板ジベルのせん断降伏でずれ耐力が決まっていると考えられる。つまり、鋼殻による拘束によって、破壊形態がコンクリート側の破壊から鋼材の破壊へ変化したことがわかる。

図-12に孔あき鋼板ジベルに発生した主ひずみとずれ荷重の関係を示す。孔あき鋼板に発生した主ひずみに関し、鉄筋のみにより拘束された3-1と比較すると、鋼殻により補強された4-2、4-3では同じひずみ発生時にずれ荷重は1.5~2.0

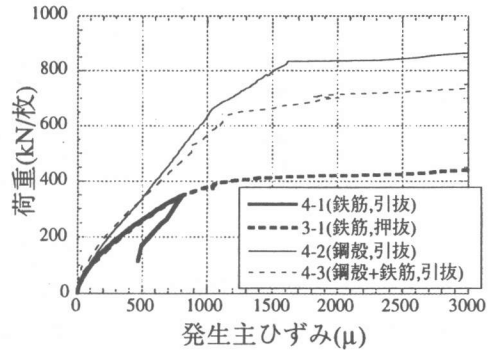
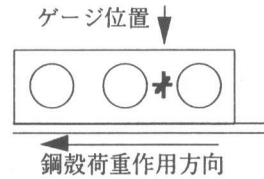


図-12 鋼板発生ひずみと荷重の関係

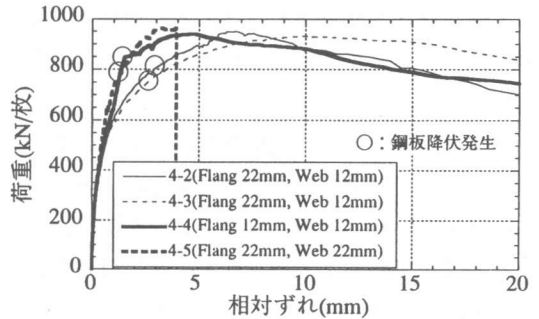


図-13 荷重ずれ変位関係 (鋼殻板厚)

倍ほどもあることがわかる。ずれ荷重の伝達機構を考えると鋼殻補強の場合は、孔あき鋼板ジベルの抵抗+鋼殻とコンクリートとの間に働く摩擦力、と考えられる。よって、その多い分の相当分は摩擦力によると考えられる。

3.4 鋼殻板厚による影響

図-13に4-2~5の孔あき鋼板1枚あたりの荷重-相対ずれ関係を示す。鋼殻のウェブ、フランジ共に12mmの4-4は最大荷重は4-2とほとんど変わらない。ただし、最大荷重発生時の相対ずれは4-2よりも小さい。その後の荷重低下も小さい。鋼殻のウェブ、フランジ共に22mmの4-5は、最大荷重を発生する前に試験機能力を超え、破壊に至らず終了した。ただし、そこまでの荷重ずれ関係は4-4と同様の傾向を持つ。

図-14に各供試体にせん断力750kN載荷した

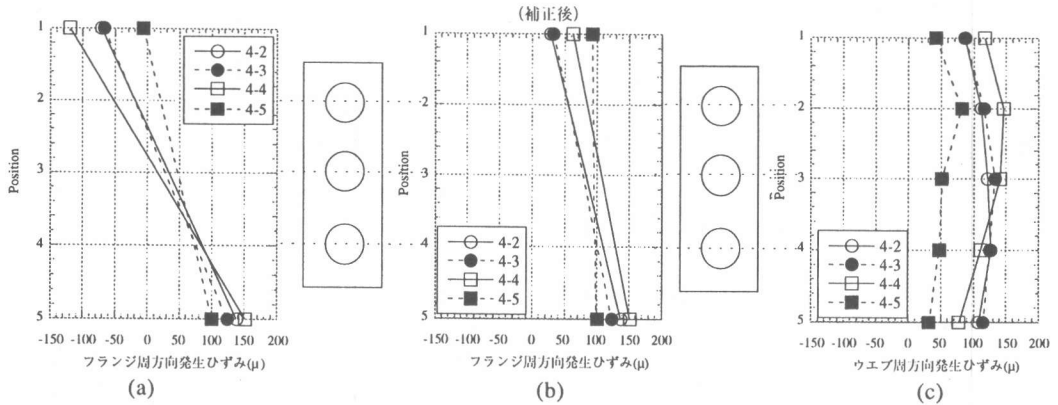


図-14 鋼殻発生ひずみ

ときのフランジとウェブの周方向の発生ひずみ（表裏の平均）の分布を示したものである。フランジ、ウェブ共に、鋼殻の板厚が大きいものほど発生ひずみが小さくなっているため、それはコンクリートの変形を鋼殻が拘束しているものと考えられる。

フランジの上位置で圧縮ひずみが出ているのは、フランジの上では引張力が軸方向に大きく入っているため、そのポアソン比が圧縮ひずみとして出ていると考えられる。その引張力による軸方向ひずみは4-2,4-3,4-5（フランジ22mm）で440 μ 、4-4（同12mm）で800 μ もあると計算によりわかる。すなわち、

$$\epsilon_f' = \epsilon_f + \epsilon_n \times \nu$$

という式で拘束によるひずみが計算できると考えた。このとき、 ϵ_f' =補正後ひずみ、 ϵ_f =補正前フランジ周方向計測ひずみ、 ϵ_n =フランジに作用する荷重から計算された軸方向ひずみ、 ν =ポアソン比、である。ポアソン比を0.3としたときに引張力に起因した分の圧縮ひずみは100 μ 、180 μ ほどと考えられる。よって、フランジでは下端の位置5でのひずみが拘束に起因したひずみにほぼ相当し、それは上式による補正後のグラフ図-14(b)で示しているように全長にわたってほぼ一定に近い、すなわちウェブのその分布に近いのではないかと予想できる。発生しているひずみの量から、拘束力はウェブ側よりフランジ側の影響が大きいと考えられる。

4. 結論

- 1)鉄筋の総断面積はずれ耐力に影響を与え、今回の実験範囲ではずれ耐力はその増加に伴い大きくなった。
- 2)鉄筋を孔あき鋼板の孔の中に通すことにより、最大荷重発生時の相対ずれを大きくすることができる。
- 3)鋼殻による補強を行うことにより、大幅なずれ耐力と最大荷重発生時の相対ずれの向上が得られる。
- 4)十分にコンクリートが鋼殻によって拘束が得られている場合は、ずれ耐力は孔あき鋼板そのものの破壊で決まっていると考えられる。

なお、本研究は鹿島技術研究所と共同研究として実施したものの一部である。

参考文献

- 1)Leonhardt:Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, BETON-UND STAHLBETONBAU 12, pp325-331, 1987
- 2)平:穴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
- 3)西海:外部拘束力がある孔鋼板の付着特性に及ぼす影響について, 土木学会第49回年次学術講演会, CS93 pp190-191, 1994.9