

## 鋼・コンクリート合成床版「パイプスラブ」の開発

中本 啓介\* 辻野 竜介\*\* 橘 肇\*\*\*  
 篠田 隆広\*\*\*\* 細見 雅生\*\*\*\*\*

近年、橋梁の合理化・省力化にともない、床版の長支間化・高耐久性・施工の合理化を目的とした鋼・コンクリート合成床版が実橋梁に適用されている。今回、この合成床版の1つとして鋼板リブと構造用鋼管をジベルとした合成床版「パイプスラブ」を考案し性能確認のための試験を実施した。本床版は、底鋼板に鋼板リブを橋軸直角方向に設け、鋼管を橋軸方向に配置した構造であり、「パイプスラブ」と名付けている。リブに設けた長孔に鋼管を貫通させる構造とし、底鋼板とコンクリートとのずれ止めの役割を果たしている。底鋼板を構造部材として考慮することで、下側鉄筋を省略し、施工時の合理化を図っている。本文ではこの合成床版「パイプスラブ」の構造概要と実施した性能確認試験の結果について報告する。

キーワード：鋼・コンクリート合成床版，鋼管，鋼板リブ，孔あき鋼板ジベル

### まえがき

近年、橋梁の合理化・省力化にともない、床版の長支間化・高耐久性・施工の合理化を目的とした鋼・コンクリート合成床版が数多く開発されている。現在、当社においても鋼板リブと構造用鋼管を有する鋼・コンクリート合成床版の開発を協同で行っている。

本合成床版は図-1に示すように、底鋼板に鋼板リブを橋軸直角方向に設け、鋼管を橋軸方向に用いた構造である。鋼管はリブに設けた長孔を貫通させた構造とし、コンクリートとのずれ止めの役

割を果たしている。さらに、底鋼板を構造部材として考慮しているため下鉄筋を省略し施工時の合理化を図っている。

本文では、著者らが開発している鋼管を用いた鋼・コンクリート合成床版「パイプスラブ」の構造、および実用化に向けて行っている各種の性能確認試験の中から押し抜き試験、版の曲げ試験結果について示す。

### 1. パイプスラブの特徴

パイプスラブの特徴は、鋼とコンクリートを鋼管によりの一体化することで大きな剛性を発揮すること、また、耐久性が向上するため床版厚を薄くすることも可能になる。底鋼板がコンクリートの型枠となるとともに下側鉄筋として機能する。このような経済的な構造の採用によりライフサイクルコストの低減を図ることができる。さらに、底鋼板の存在により型枠、支保工、足場の省略が可能、施工時の安全性も向上し大幅に工期の短縮が可能である。

つぎに、鋼管を用いることによる利点は、以下

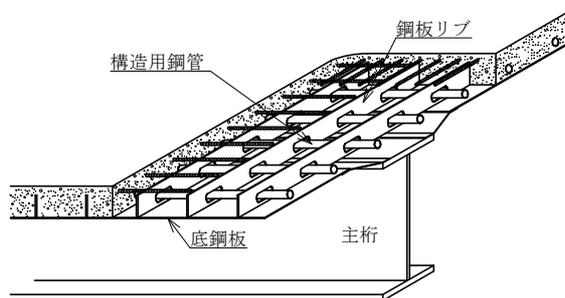


図-1 パイプスラブの概要

に示すような点が挙げられる。①リブと鋼管で構成された部材が、鋼パネルとコンクリートとのずれ止めとして機能する。②リブに設けた鋼管の貫通孔を長孔にすることにより、PBL（パーフォボンドリブ）効果も期待できる。③リブと鋼管を格子状に配置することで、鋼とコンクリートの結合が強固なものになり、耐荷力と耐久性が向上する。④鋼管内部が中空であるためコンクリート重量が低減でき、かつライフライン、通信設備および路面凍結防止などの二次的利用が可能である。

## 2. 各種性能確認試験

本パイプスラブの開発にあたって実用化に向けて、版の曲げ耐力、鋼パネル間の継手部性能、版と桁の合成効果、版の耐久性の確認などを目的として各種の性能試験を実施している。表-1に現在までに実施した性能確認試験一覧を示す。版の曲げ試験および合成桁の負曲げ試験などは駒井に新設された構造実験棟<sup>2)</sup>で実施しており、今回の開発では設備所有の利点を十分活用して試験を実施している。本稿では、各種試験結果よりパイプスラブ構造の基本的な性能事項となる鋼とコンクリートのずれ止め効果、版としての正曲げ載荷時の性能について報告する。

## 3. ずれ止めの押し抜き試験

### (1) 試験目的

従来、鋼とコンクリートとの接合には、スタッドなどの柔なずれ止めと孔あき鋼板ジベル（PBL）に代表される剛なずれ止めがある。近年は鋼とコンクリートを強固に結合させる剛なずれ止めに関する研究・開発<sup>3,4)</sup>が数多く行われている。本パイプスラブでは底鋼板とコンクリートを合成させるずれ止めとして底鋼板に長孔を設けたリブを配置し、そのリブの長孔に鋼管を貫通

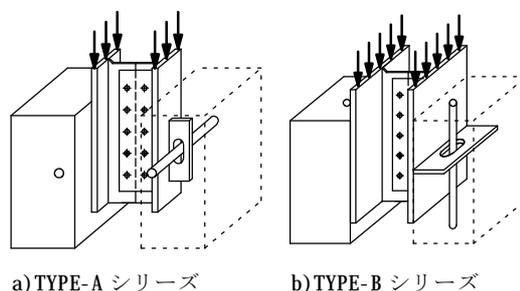


図-2 試験体概略図

表-2 TYPE-A（橋軸直角方向着目）の試験体

TYPE	鋼板リブの孔形状 (180×16, SM400)	鋼管 (STK400)	製作数
A-1	円孔 (φ70)	無	1
A-2	長孔 (φ70×150)	無	3
A-3	長孔 (φ70×150)	φ60.5×3.2	3

表-3 TYPE-B（橋軸方向着目）の試験体

TYPE	鋼板リブの溶接 (180×16, SM400)	鋼管 (STK400)	製作数
B-1	両側溶接	無	1
B-2	両側溶接	φ60.5×3.2	3
B-3	片側溶接	φ60.5×3.2	1

させる構造を採用している。このずれ止めの構造は新構造であるため、そのせん断耐力を明らかにすることを目的として押し抜き試験を実施した。

### (2) 試験概要

試験体の概略形状図を図-2に、試験体一覧を表-2、3に示す。ここでは、全試験体の中から静的試験に着目して試験体を抜粋している。TYPE-A シリーズは橋軸直角方向、TYPE-B シリーズは橋軸方向のずれ止めに着目している。試験体に用いるリブの断面は全て 180×16mm とし、長孔形状はφ70×150mm、鋼管径はφ60.5mm

表-1 性能確認試験一覧

試験種類	確認項目
ずれ止め試験	底鋼板とコンクリートを合成させるずれ止め機能の確認
継手の基礎試験	鋼管同士の継手形式、性能の確認
継手の曲げ試験	底鋼板パネルの継手部構造の性能確認
版の正曲げ試験	床版としての耐力確認
版の負曲げ試験	床版の負曲げ状態における曲げ耐力などを確認
輪荷重走行試験	実橋適用に向けて床版の疲労耐久性などを確認
合成桁の負曲げ試験	連続合成桁に適用するための合成効果などを RC 床版と比較、確認

表-4 試験体の使用材料

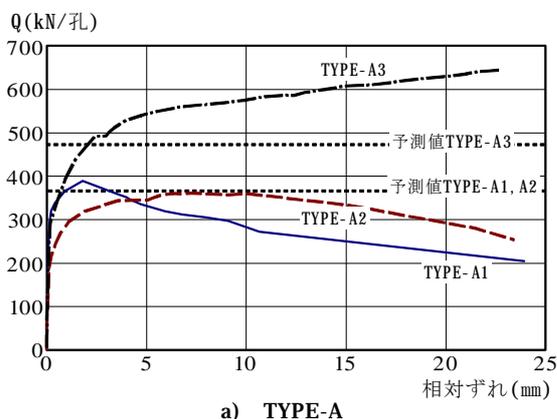
コンクリート仕様	設計値	実測値
圧縮強度	$\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{28}=41.8 \text{ N/mm}^2$
スランプ	12 cm	12.5 cm
空気量	4.5%	4.8%
セメントの種類	早強セメント	
最大粗骨材寸法	20 mm	
混和剤	AE 減水剤	



写真-1 試験状況 (TYPE-A, 大阪工業大学にて実施)

を基本とした。鋼板リブの形状、溶接法、鋼管設置の有無、ずれ止め方向をパラメータにずれ止めのせん断耐力の確認を行った。鋼管を用いるケースでは鋼管とリブは溶接などによる固定は行っていない。コンクリートの打設は実構造の再現性を考慮し底鋼板の面を下にした正立の状態で行った。鋼ブロックとコンクリートブロックの接触面にはコンクリートの付着による影響を排除するために剥離材を添付した。試験体のコンクリートの仕様を表-4に示す。

試験体サイズ、試験要領は JSSC の頭付きスタッドの押し抜き試験方法<sup>5)</sup>に従い、最大変位が 4mm までは荷重制御による漸増繰り返し荷重とし、それ以降は変位制御による単調荷重とした。



試験状況を写真-1に示す。

(3) 試験結果とまとめ

TYPE-A,B の各シリーズについて試験結果を図-3にそれぞれ示す。なお、図-3の TYPE-A3 では、3 試験体とも、最大ずれ可能量(50mm)までずれが進行しても荷重の低下が生じず、試験の続行が不可能となった。そこで、試験打ち切りまでのせん断耐力の推移を図にプロットし、試験打ち切り時の値を最大せん断耐力とした。図-3の TYPE-A の結果より、TYPE-A1(PBL)の最大せん断耐力は、Leonhardt らの提案式により算出した予測値とほぼ一致している。一方、長孔(TYPE-A2)にすることにより、最大せん断耐力は、TYPE-A1 より若干上回る結果となった。つぎに、TYPE-A3 の最大せん断耐力は 3 試験体平均で  $Q_u=628 \text{ kN}$  と、TYPE-A2 に比べて 1.5 倍以上の値を示しており、長孔に鋼管を貫通させることにより、著しく耐力が増加することがわかった。さらに、TYPE-A3 では、荷重-相対ずれ関係の変曲点までは TYPE-A1 と同様なずれ止め挙動を示しているが、その後、ずれが 50mm に達しても荷重の低下が生じず、荷重が緩やかに上昇しながらずれが進行するという現象が見られた。

図-3の TYPE-B の結果より、最大せん断耐力は、TYPE-B1 に比べ、TYPE-B2 の方が 1.5 倍程度大きな値を示している。さらに、最大ずれ量においても、TYPE-B2 が 2 倍以上の値を示し、他の構造に比べ、ねばり強い構造であることがわかる。これは、鋼管がリブの前後のコンクリートを剥離させずに十分付着した状態に保つことにより、リブの変形性能を抑制し耐力を増加させ、じん性が向上したものと考えられる。また、TYPE-B3

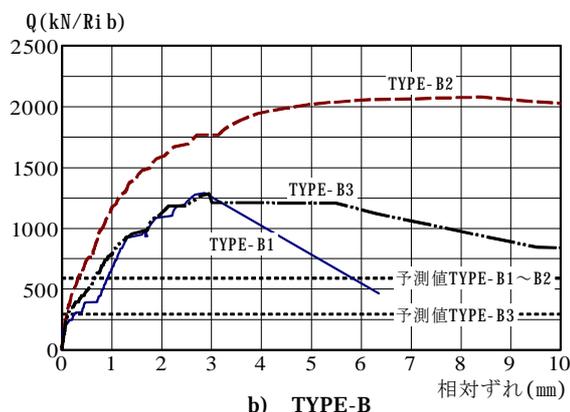


図-3 荷重相対ずれ関係

は片側溶接にもかかわらず、**TYPE-B1** とほぼ同様な値を示しており、リブの片側のみの溶接でも鋼管を貫通させる効果により、リブを両側溶接したものとほぼ同等なせん断耐力となる結果が得られた。

以上の結果より、パイプスラブの底鋼板とコンクリートを合成させるために採用するリブに設けた長孔に鋼管を貫通させずれ止め構造は、一般的なずれ止め構造である **PBL** に比べて **1.5** 倍程度耐力が増加し、有効に機能することがわかった。

なお、このずれ止め構造はパイプスラブだけでなく他の構造にも利用することが可能である。ここで示したずれ止め用いる鋼管は、床版厚を **25cm** に想定し  $\phi 60.5\text{mm}$  としているが、床版厚が **18~21cm** に用いる場合の鋼管径  $\phi 48.6\text{mm}$  についても試験により十分な耐力があることを確認している。

#### 4. 版の曲げ載荷試験による性能

##### (1) 試験目的

パイプスラブの床版としての基本的な曲げ耐力を確認するために、床版支間部をモデル化した版の正曲げ載荷試験を行った。本試験では、リブ直上に載荷したときとリブ間位置で載荷したときの **2** 種類の試験を行い、両者の耐力の違いを確認し版としての性能を確認した。

##### (2) 試験概要

試験体は、版の幅を **2m** とし、橋軸方向の版の効果を確かめる試験体としている。さらに、版の終局荷重に対して、荷重載荷点がリブの直上とリブ間とではその与える影響が異なると考えられたため、その影響も考慮できるように荷重載荷点がリブ直上とリブ間となるような構造とした。試験体は、それぞれ載荷点が鋼板リブ間となる **TYPE-A** および鋼板リブ直上となる **TYPE-B** の **2** 種類とし各 **1** 体ずつ製作した。荷重載荷は道路橋示方書に示されている輪荷重幅 (**200×500mm**) とする。

試験体に使用したコンクリートおよび鋼材の種類を表-5 に示す。

試験は **150tf** サーボジャッキを用いて、図-4 に示すように単純支持した試験体に荷重を載荷する。載荷位置は、敷きモルタルの上に **200×16×500**

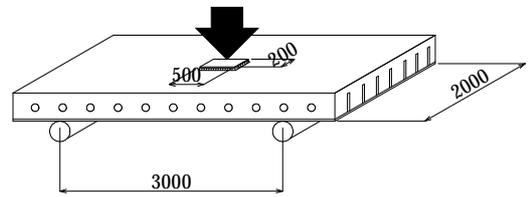


図-4 試験体の概要 (版の曲げ試験)

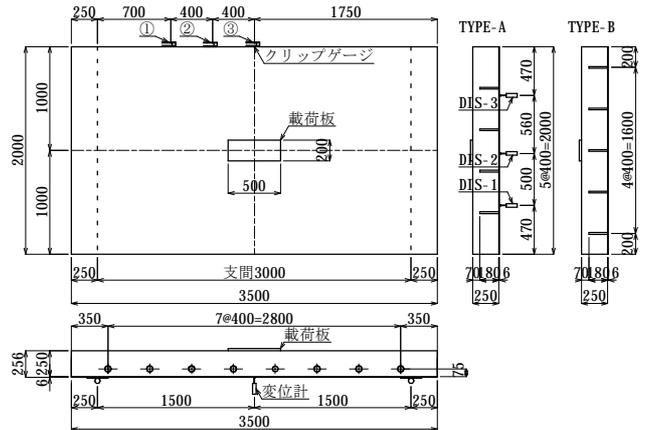


図-5 試験体の概要図

表-5 試験体の使用材料

コンクリート仕様	設計値	実測値
圧縮強度	$\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{\text{type-A}}=46.0 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{\text{type-B}}=41.9 \text{ N/mm}^2$
スランプ	12 cm	11.5 cm
空気量	4.5%	4.6%
セメントの種類	早強セメント	
最大粗骨材寸法	20 mm	
混和剤	AE 減水剤	
鋼板リブ	SM400, H=180 mm, t=16 mm	
底鋼板	SM400, t=6 mm	
構造用鋼管	STK400, $\phi 60.5 \text{ mm}$ , t=3.2 mm	



写真-2 試験状況 (版の曲げ試験)

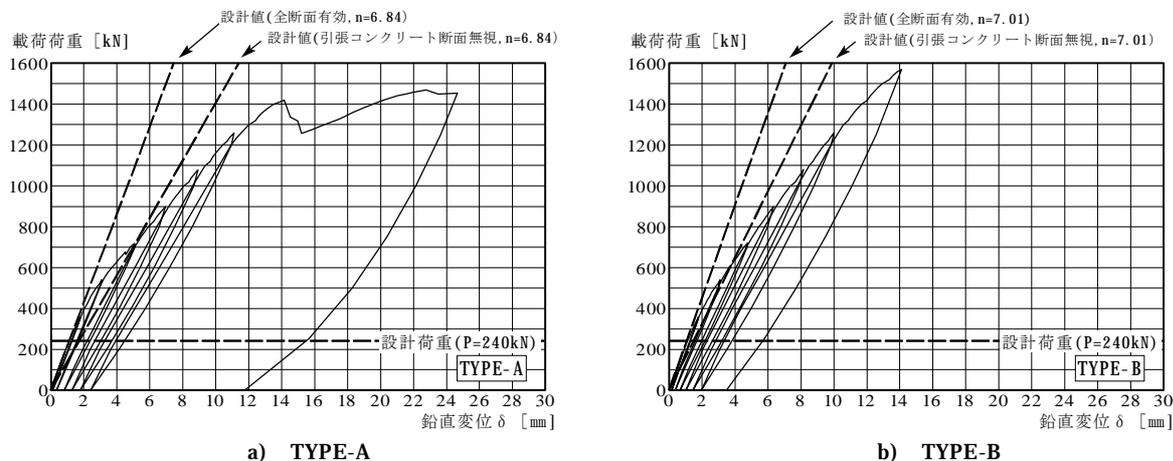


図-6 荷重－鉛直変位関係

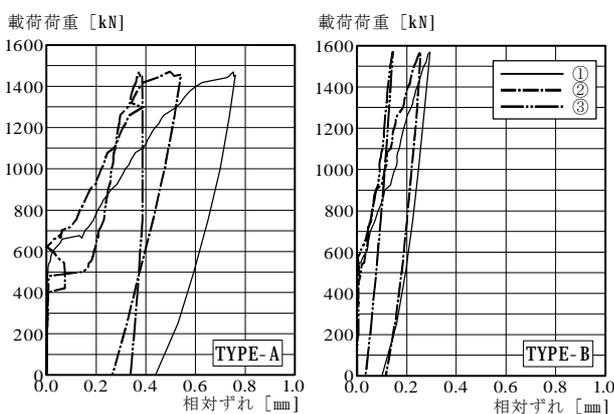


図-7 荷重－相対ずれ関係

の鋼板プレートを設置し、プレートに荷重を載荷する。載荷は、荷重の除荷・載荷を繰り返す、漸増載荷とする。測定箇所を図-5に、試験状況を写真-2に示す。

### (3) 試験結果とまとめ

試験体 TYPE-A, TYPE-B それぞれの載荷点位置付近の鉛直変位と荷重との関係を図-6に示す。この図より、TYPE-Aは1400kN付近でコンクリート上面にひび割れが発生し、その後、1470kNでコンクリートが圧壊した。TYPE-Bは、試験機の載荷性能上限値でも破壊しなかった。TYPE-Aは、鋼板リブ本数が少なく剛性が小さいことおよび鋼板リブ間の載荷であることにより、TYPE-Bよりも小さな荷重で破壊したものと考えられる。しかし、床版支間6mを想定した設計曲げモーメント(後死荷重+活荷重)は、本試験の載荷荷重P=240kN(設計荷重)に相当し、試験で確認された本床版の終局曲げ耐力は、TYPE-A, Bともに設計曲げモーメントの6倍以上の値であり十分に耐力を有していることがわかる。

つぎに、載荷荷重と底鋼板とコンクリートとの相対ずれ関係を図-7に示す。両試験体ともに鋼とコンクリートとの相対ずれが発生したのは、約400kNの荷重であった。この荷重は、図-6に示した載荷荷重－鉛直変位関係の傾きの変曲点であり、試験体側面にひび割れが発現し始めた荷重とも一致する。したがって、400kNを本試験体の曲げに対する使用限界荷重とした場合、鋼管を用いた本パイプスラブは、曲げに対する設計荷重の1.7倍以上の強度を有していることがわかる。また、今回実施した試験体を用いて版の押し抜き試験も行っており、押し抜きに対しても十分な耐力を有していることも確認している。

### 5. まとめ

現在、研究・開発中の合成床版「パイプスラブ」について構造概要、特徴と性能確認試験結果の一例を示した。鋼とコンクリートのずれ止め耐力の確認のため実施した押し抜き試験結果、そして版としての基本性能確認の曲げ試験結果のまとめを下項に示す。

ずれ止めの押し抜き試験より、本パイプスラブに適用するリブに設けた長孔に貫通させたずれ止め構造は一般的なずれ止め構造に比べ1.5倍程度耐力が増加し有効に機能することを確認した。

版の曲げ載荷試験より支間方向の静的耐荷力は、床版支間6mクラスに対して、設計曲げモーメントの6倍以上あり、十分な曲げ耐荷力があることを確認した。さらに、曲げに対する使用限界荷重の1.7倍以上の強度を有していることを確認した。

## あとがき

日本橋梁建設協会は、各社が開発している合成床版について公正に評価するため、基本的な構造、性能、品質保証を統一し標準化を図る目的で「橋建橋標準合成床版」<sup>6)</sup>に、必要な条件を明示している。本パイプスラブは、この主要条件について、ほぼ満足していることより、平成14年11月に登録申請中床版として登録された。

本パイプスラブの開発は、駒井鉄工・片山ストラテック・栗本鐵工所の3社協同開発体制（平成12年12月発足）により急ピッチに進んでいる。今後、さらなる性能向上を検討し開発・研究を進め、施工実績による品質改良を行っていく予定である。

本稿で示したパイプスラブの試験内容および検討は、第57回土木学会年次学術講演会（3編投稿）に発表<sup>7-9)</sup>を行ったものである。輪荷重走行試験（写真-3）による耐久性確認、連続合成桁への適用性検討のための合成桁を用いた負曲げ試験（写真-4）はすでに試験を完了している。これらの試験内容と検討については、順次報告する予定である。

## 謝辞

本パイプスラブに対する押し抜き試験を行うにあたり、大阪工業大学の栗田章光教授、ならびに園田恵一郎教授にご指導頂いた。版の曲げ試験を行うに際しては、大阪大学の松井繁之教授に貴重なご意見を頂いた。ここに記して謝辞と致します。

## 参考文献

- 1) 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, 2001.11.
- 2) 細見雅生: 新設した構造実験棟の紹介, 駒井技報, Vol.21, pp.72-77, 2002.4.
- 3) 保坂鐵矢他: 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, 土木学会, pp.1593-1604, 2000.4.
- 4) たとえば, 高田和彦: 床版と桁の連結構造の変遷と現状, 第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp.11-16, 1999.11

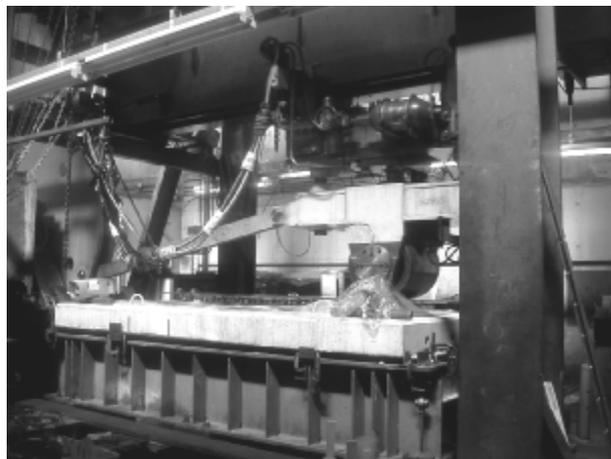


写真-3 輪荷重走行試験（大阪大学にて実施）



写真-4 合成桁の負曲げ試験

- 5) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押し抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, JSSC テクニカルレポート, No.35, 1996.11.
- 6) 日本橋梁建設協会: 橋建標準合成床版, 2001.10.
- 7) 田中正明・石川敏之・大久保宣人・内田裕也・橋 肇・大山 理: 鋼管を用いたずれ止めの押し抜き試験, 第57回土木学会年次学術講演会講演概要集, I-361, 2002.9.
- 8) 大久保宣人・石川敏之・田中正明・大山 理・辻野竜介・木津良太: 鋼板リブを用いたずれ止めの押し抜き試験, 第57回土木学会年次学術講演会講演概要集, I-360, 2002.9.
- 9) 石川敏之・石原靖弘・田中正明・細見雅生・大久保宣人・中村隆志: 鋼管ジベルを用いた鋼・コンクリート合成床版の曲げ試験, 第57回土木学会年次学術講演会講演概要集, CS4-052, 2002.9.

