

# 論文 鋼・コンクリート合成梁に用いる孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に関する実験的研究

梅崎 正吉<sup>\*1</sup>・田中 照久<sup>\*2</sup>・堺 純一<sup>\*3</sup>

**要旨:** 著者らは、孔あき鋼板ジベルの押抜き試験を行い、鋼板厚さ9mmと孔径50mmを用いた場合には、破壊形式が一部せん断破壊も確認されたが、主に支圧破壊となる条件であることがわかった。この孔あき鋼板ジベルを高強度鋼材H-SA700Aの乾式組立梁とコンクリートスラブに用いた合成梁の曲げ試験を行い、ジベルの応力伝達能力について検討した。本実験結果より、孔あき鋼板ジベル1個あたりが負担した水平せん断力を算出し、押抜き試験の結果ならびに各種計算耐力式との比較を行った。

**キーワード:** 孔あき鋼板ジベル, せん断耐力, 合成梁, 高強度鋼, 押抜き試験, 曲げ試験

## 1. はじめに

著者らは、非溶接構造を前提とする高強度鋼材H-SA700Aを用いた乾式組立梁材とコンクリート床スラブの結合の簡素化を図り、組立と解体を容易にした新しい合成梁を提案している。本合成梁は、図-1に示すように組立梁材に使用するウェブプレートのスラブ位置まで伸ばし、その鋼板部分にあけた孔に充填されたコンクリートがずれ止め（以下、孔あき鋼板ジベル=PBLと呼ぶ）の機能を果たし、鋼とコンクリートを結合している。本合成梁は、単純梁形式による正曲げ（コンクリートスラブに圧縮力が作用）時の力学挙動を調べた結果、純鉄骨梁に比べ2.2倍以上の曲げ剛性を確保でき、組立梁材と床スラブの結合が可能であることを明らかとしている。また、PBLの鋼板にあける孔数を減らす目的で、床スラブに使用するコンクリートの圧縮強度よりも高い円柱形高強度モルタルを孔に挿入し、その効果を合成梁の曲げ試験<sup>1)</sup>と押抜き試験<sup>2)</sup>より明らかとしている。しかし、合成梁のPBLに作用した水平せん断力については検討していない。

PBLを用いた接合部におけるせん断抵抗に関する実験的研究例は数多く存在し、2009年には土木学会より複合構造標準示方書<sup>3)</sup>が刊行され、PBLに関する内容が記載されている。PBLに用いる鋼板厚さの標準は、12mm以上と

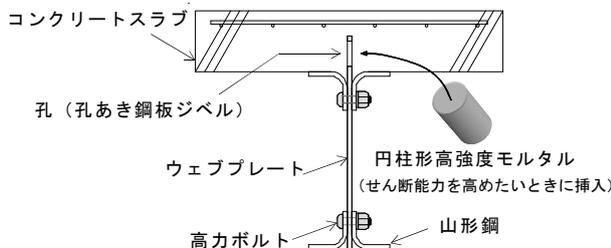


図-1 高強度鋼材H-SA700Aを用いた合成梁

し、孔内に充填されるコンクリートがせん断破壊を前提とした条件としており、孔中のコンクリートが支圧破壊する条件についての詳細は、記載されていない。

本研究で提案している合成梁に適用するPBLの鋼板厚さは、組立材に使用するウェブプレートの厚さと同じになるため、12mmより小さくなる場合もある。したがって、その条件におけるPBLの力学特性を調べる必要がある。

そこで、本論では、以下4つの内容について調べた結果を報告する。1) PBLの実験的研究の論文調査を行い、PBLに用いる鋼板の厚さと孔径の組み合わせ条件を調べ、破壊形式との関係性を把握する。2) PBLに用いる鋼板厚さを9mm、孔径を50mmの条件とした押抜き試験を行い、孔中の破壊形式とPBLの最大せん断耐力を調べる。3) 合成梁の曲げ試験結果より、PBLに作用する水平せん断力を調べる。4) 押抜き試験と合成梁の曲げ試験より得られるPBLの最大せん断耐力の比較検討ならびに、これまでに提案されているPBLのせん断耐力式の妥当性を調べる。

## 2. 孔あき鋼板ジベルの文献調査

### 2.1 文献調査の方法

文献調査の目的は、PBLの押抜き試験において、現在までに行われてきた既往の実験的研究に関する論文数の把握と、鋼板厚さと孔径の関係が、PBLの破壊に及ぼす影響を調べることである。調査対象となる試験体形状は、図-2に示すような2つのコンクリートブロックを用いた押抜き試験体であり、PBLを形成する孔に鉄筋を挿入していない条件とした。調査論文は1997年から2010年までを対象とし、コンクリート工学年次論文報告集、土木学会論文集、土木学会年次学術講演集、構造工学論文集、複合合成構造の活用に関するシンポジウム講演集である。調査

\*1 福岡大学 大学院工学研究科 (正会員)

\*2 福岡大学 工学部建築学科助手 (正会員)

\*3 福岡大学 工学部建築学科教授 博士(工) (正会員)

した結果、文献数は12件<sup>2),4)~14)</sup>であった。

## 2.2 文献調査の結果

PBLに用いる鋼板厚さ $t$ と孔径 $d$ の組み合わせ条件の調査結果を図-3に示す。図中の各プロットは孔に充填されたコンクリートの破壊形式を示し、●印はせん断破壊、○印は支圧破壊、▲印は不明の試験体である。図中の横線は、複合構造標準示方書<sup>9)</sup>による鋼板厚さの最小値 $t=12$  mm (標準値)を示す。図より、破壊状況が不明の試験体もあるが、孔径 $d$ が35mm~60mmの範囲であれば、鋼板厚さ $t=12$ mm以上の場合のPBLの破壊形式は、孔に充填されたコンクリートのせん断破壊となり、 $t=12$ mm以下の場合には、支圧破壊となる傾向が見られる。しかし、鋼板厚さ $t=12$ mm以下を対象とした論文がきわめて少ない。

建築分野におけるPBLは、12mm以下の鋼板厚さの使用も十分に考えられるため、その条件の力学特性を調べる必要がある。図-3より、孔径 $d=50$ mmに着目した場合、鋼板厚さ $t=12$ mmより小さい条件は6mmしかないことや、著者らが提案している合成梁は鋼板厚さ $t=9$ mmを用いた試験体の曲げ実験を行っていることから、本研究では孔径50mm、鋼板厚さ9mmの条件におけるPBLの力学特性を、押抜き試験により調べることにした。

## 3. 孔あき鋼板ジベルの押抜き試験

### 3.1 実験計画

試験体の形状を図-2に示す。試験体の共通事項を以下に示す。PBLを形成する鋼板の厚さは9mmとし、孔径は50mmである。孔数は1個とする。試験体に用いる山形鋼はL-75x75x9(SS400)材である。鋼板にあけた孔に通す円柱形モルタルの寸法は、直径50mm×長さ100mmである。なお、円柱形モルタルの鋼板への固定方法は、孔に通しているだけで、隙間の処理は行っていない。

本実験はPBLの破壊形式とせん断耐力を調べるため、鋼板のせん断破壊は生じないような鋼板の寸法とし、下端部に発泡材を配置して、支圧抵抗の影響を無くしている。また、コンクリートと接触する山形鋼のフランジ面と鋼板面には、コンクリートとの付着を排除するため、グリースを塗付している。表-1に試験体一覧を示す。試

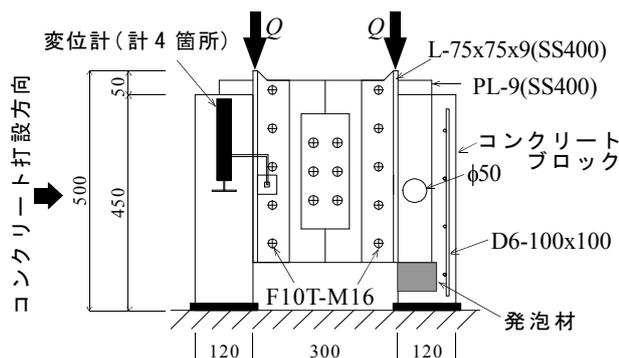


図-2 押抜き試験体の形状・寸法(単位: mm)

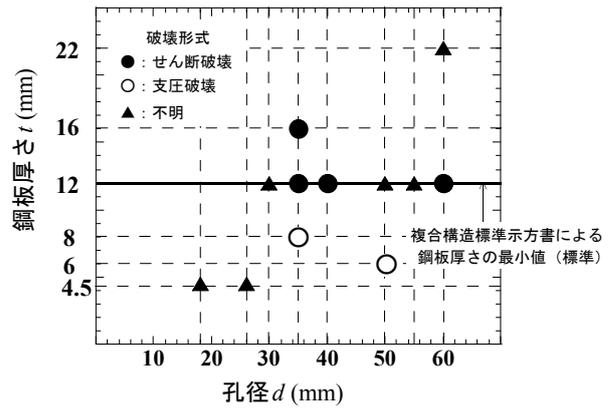


図-3 鋼板厚さ $t$ と孔径 $d$ の関係

験体は計4体である。実験変数は孔に通す円柱形高強度モルタルの有無と、載荷方法(単調, 繰り返し)である。コンクリートとモルタルの材料強度を表-2に示す。

### 3.2 載荷方法と測定方法

図-2に載荷方法および測定方法を示す。載荷試験はコンクリートブロックの下面を反力台に接地させ、載荷部は球座になっており上面の山形鋼に耐圧板を介して加力する。単調載荷の場合、ずれ量が25mmに達した時点で終了とする。繰り返し載荷の場合は、ずれ量1mmまでは0.2mm間隔、ずれ量1mmから5mmまでは0.5mm間隔の漸増繰り返し載荷、5mm以降はずれ量25mmまで単調載荷とする。試験体設置の際は、コンクリートブロックの周辺にグラウトを敷き左右への傾きを無くし、水平を保持できるようにした。測定方法は、PBLの中心位置における山形鋼とコンクリートの相対ずれ変形(左右ブロックの4箇所)であり、ずれ量は平均値で評価する。

## 3.3 実験結果

### 3.3.1 荷重-ずれ関係

図-3に孔にコンクリートが充填された試験体と、孔に円柱形モルタルを挿入した試験体の荷重-ずれ関係を示す。図中に示す荷重 $Q$ は、本試験ではコンクリートブロックが2つあるため、載荷荷重の1/2で評価した。

PBLの破壊経過については、載荷開始から最大荷重到達まではPBLがせん断力に対して機械的ずれ止めとして働く。最大荷重到達後は、孔内のコンクリートまたはモ

表-1 押し抜き試験体一覧

試験体名	載荷方法	使用材料	鋼板厚さ (mm)	孔径 (mm)	孔数 個
PSC9-01	単調	コンクリート	9	50	1
PIC9-01	繰り返し				
PSM9-01	単調	モルタル	9	50	1
PIM9-01	繰り返し				

表-2 コンクリート・モルタルの材料特性

材料	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート	26.5	3.4	23.2×10 <sup>3</sup>
モルタル	82.6	5.6	-

ルタルが破壊して耐力が低下する。その後、PBLの破壊面とコンクリート間に摩擦力が生じるため、ずれ量10mmに達しても耐力を保持できることが考えられる。

図-3の(a)と(b)より、最大荷重は単調荷重に比べて繰り返し荷重のほうが小さいことが分かる。最大荷重到達後は、コンクリートの場合は緩やかに荷重が低下し、ずれ量3mm以降は最大荷重の約75%を保持している。モルタルの場合は、最大荷重到達後の耐力低下が著しく、ずれ量2mm以降は最大荷重の約50%の耐力となっている。この理由は、コンクリートはモルタルと異なり骨材があり、コンクリートが破壊した後、骨材の凸凹によるかみ合いで抵抗力が増大するため、コンクリートの方がモルタルに比べて、耐力の低下が小さかったと考える。

図-4にせん断耐力の比較を示す。図より、コンクリートブロックの圧縮強度よりも高い円柱形モルタルを孔に通すことにより、せん断耐力はコンクリートが充填された場合に比べ約2倍の耐力上昇が確認できる。

### 3.3.2 孔あき鋼板ジベルの破壊形式

円孔内のコンクリートまたはモルタルの破壊形式は、2面せん断破壊と支圧破壊の2種類である。PBLの破壊形式は、実験終了後にコンクリートブロックをはつり観察した。PBLの破壊状況は図-5に示す(a)~(c)の3つが確認された。(a)は、孔中にコンクリートおよびモルタルが完全に詰まっている状態、(b)は孔中の破断面に空隙が観察される状態、(c)は孔中に全くコンクリートまたはモルタルが残っていない状態である。そこで、PBLの破壊形式は、以下のように判定することにした。押抜き試験体はコンクリートブロックが2つあるため、両ブロックともに(a)が確認された場合は、せん断破壊とする。また、どちらか一方のブロックに(b)もしくは(c)が確認された場合は支圧破壊とする。PBLの破壊形式の判定結果を表-3に示す。全試験体の破壊形式は、支圧破壊となった。

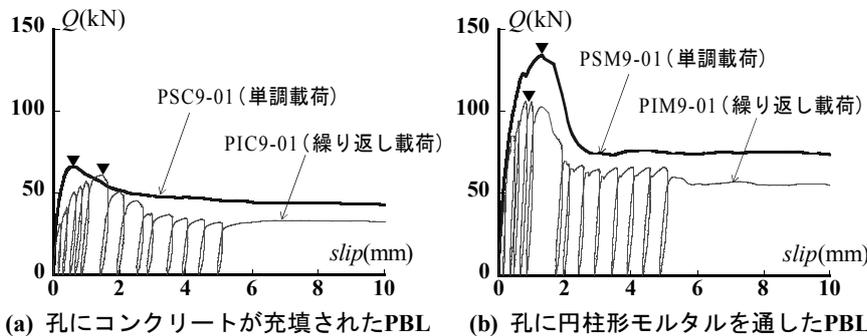


図-3 押抜き実験の荷重-ずれ関係

コンクリートブロックの破壊は、上面と下面および内面下端部にひび割れが生じていた。

## 4. 合成梁の孔あき鋼板ジベルに作用する水平せん断力

著者らは、高強度鋼材H-SA700Aを用いた乾式組立梁材とコンクリート床スラブの一体化を図るため、PBLを用いた合成梁を提案したり。本章では合成梁の曲げ試験の結果よりPBLに作用した水平せん断力を算出する。

### 4.1 合成梁の曲げせん断試験の実験概要

図-6に合成梁試験体の形状を示す。PBLに作用した水平せん断力を検討する試験体は、全部で2体とする。PBLの孔間隔は60mmと180mm(それぞれBIC9-24-60、BIM9-08-180と呼ぶ)である。なお、BIM9-08-180試験体は円柱形高強度モルタルを孔に挿入している。

試験体の鉄骨部に使用する鋼材は、高強度鋼材H-SA700Aであり、溶接性が考慮されていない弾性設計、非溶接構造を前提として開発された材料である。試験体を使用する梁材は、曲げ加工した二つの山形鋼(L-75x75x9)で、ウェブプレート(PL-9)を挟み、F14T級のM16高力ボルトで摩擦接合した乾式組立材である。PBLに用いる鋼板の厚さは9mmとし、孔径は50mmである。孔に挿入する円柱形高強度モルタルの寸法は、直径50mm×長さ100mmである。表-4に高強度鋼材H-SA700Aの機械的性質、表-5にコンクリートとモルタルの材料特性を示す。

荷重方法および変位測定方法を図-7に示す。実験は、試験体両端を単純支持し、2点集中荷重による等曲げ区間1000mmを有する条件とし、スラブに圧縮力が作用する曲げ試験とする。荷重は変形角R(中央のたわみ量 $\delta_{中央}$ を荷重点から支点までの距離1500mmで除した値)によって制御する。荷重履歴はR=0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.5%を各1回とする。ひずみゲージはウェブプレート、山形鋼、およびコンクリートスラブ上面の各箇所に貼付している。図

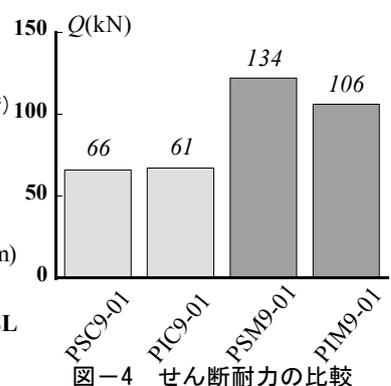


図-4 せん断耐力の比較



図-5 PBLの破壊状況

表-3 破壊形式の判定結果

試験体名	左ブロックPBL 破壊形態	右ブロックPBL 破壊形態	破壊形式
PSC9-01	(b)	(b)	支圧破壊
PIC9-01	(a)	(b)	
PSM9-01	(b)	(a)	
PIM9-01	(b)	(c)	

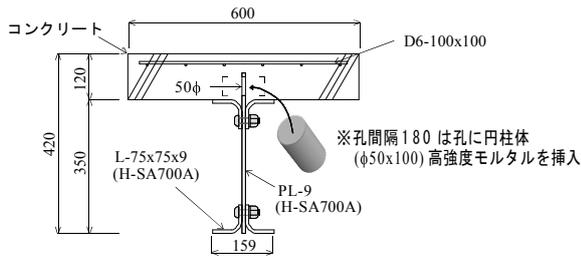


図-6 合成梁試験体の形状・寸法 (単位: mm)

表-4 高強度鋼材 H-SA700A の機械的性質

板厚 $t$ (mm)	降伏点 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏比 Y.R. (%)	破断伸び $E_{ln}$ (%)
9.0	780	840	211	92.9	12.3

\* JIS Z2201 1A号試験片

表-5 コンクリート・モルタルの材料特性

使用材料	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート	30.9	3.06	$25.8 \times 10^3$
モルタル	111	5.78	-

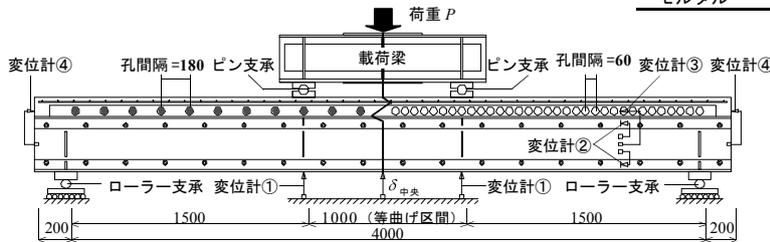


図-7 荷重方法・測定方法 (単位: mm) ※右半分に BIC9-24-60, 左半分に BIM9-08-180 試験体を示す

- 凡例
- : 鋼・コンクリート間の付着破壊
  - ▽ : 孔あき鋼板ジベルの破壊
  - : 鋼材間のすべり
  - $SB^P_y$  : 鉄骨梁の降伏耐力 (計算値)
  - $SB^P_u$  : 鉄骨梁の全塑性耐力 (計算値)
  - $CB^P_u$  : 合成梁の全塑性耐力 (計算値)
  - $SB^K_{cal}$  : 鉄骨梁の弾性剛性 (計算値)
  - $CB^K_{cal}$  : 合成梁の弾性剛性 (計算値)

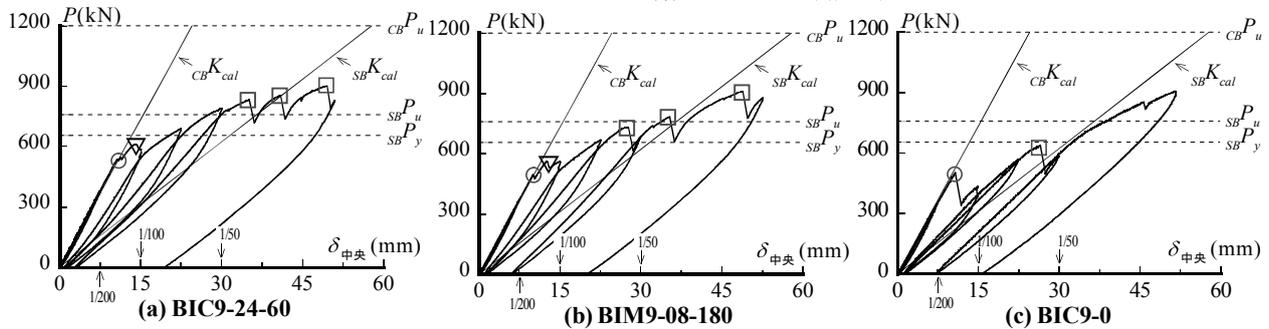


図-8 荷重-たわみ関係

図-8に実験で得られた荷重-たわみ関係を示す。また、参考のため、孔がない鋼板がコンクリートスラブ内に埋め込まれ、鋼とコンクリートの付着力のみで結合された合成梁試験体(BIC9-0と呼ぶ)を図-8(c)に示す。図中の○印は、鋼とコンクリート間の付着破壊を示し、▽印はPBLが破壊した点を示す。付着破壊およびPBLの破壊は、実験挙動、実験中の観察ならびに図-7に示す変位計④の鋼とコンクリート間の相対ずれ量から判断した。なお、合成梁の付着破壊とPBLの破壊は以下のように判別した。鋼板に孔がないBIC9-0試験体の付着破壊は、荷重-たわみ関係より、最初に荷重が低下する点であった。すなわち、BIC9-24-60とBIM9-08-180試験体も同程度の荷重とたわみ量で、付着破壊が起きることが予測できるため、最初に実験挙動で変化が起きた点を付着破壊とし、PBLの破壊はその後に耐力が低下した点とした。

#### 4.2 孔あき鋼板ジベルに作用した水平せん断力の算定

合成梁の荷重-たわみ関係におけるPBLが破壊した点(図-8▽印)に着目し、このときのPBLに作用した水平せん断力を算出する。PBLが破壊したときのコンクリートスラブ、フランジならびにウェブの各ひずみ度分布を結ぶと、図-9に示すように平面保持が成り立つことがわかる。これより図-10に示す梁中央部のひずみ度から応力度を求めることができると仮定する。図-10の圧縮軸力 $C_1$ に相当するコンクリートの圧縮軸力は、支点から荷重

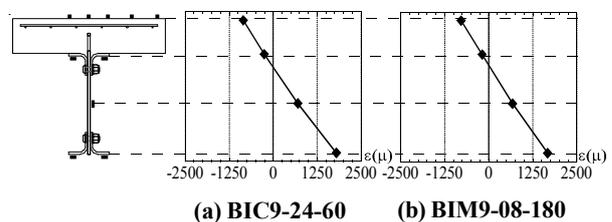


図-9 PBL破壊時の合成梁断面におけるひずみ度分布

点までの区間で鋼からコンクリートに伝えられた力であると考えられ、この区間での応力はPBLを介して梁材から床スラブに伝達される。さらに、すべてのPBLが均等にせん断力を負担すると仮定し、圧縮軸力 $C_1$ は合成梁のPBLが負担するせん断力であるとみなした。

表-6に断面の圧縮合力 $C$ と引張合力 $T$ の釣り合いを示し、両者はほぼ釣り合っていることがわかる。また、図-10の圧縮軸力 $C$ および引張軸力 $T$ によって生じる鉄骨の重心周りの曲げモーメント $M_{sd}$ と、合成梁の外力による荷重作用点の曲げモーメント $M_s$ の比較を表-7に示す。表-7より $M_{sd}/M_s$ はいずれの試験体も0.9以上であり、精度よく評価できているため、鉄骨梁と床スラブの間で伝達されるべき作用水平せん断力は、表-6の圧縮軸力 $C_1$ として評価できる。また、作用水平せん断力は荷重点から支点の区間に配置されたPBLがすべて負担できると仮定することから、圧縮合力 $C_1$ の値を合成梁の荷重点から支点までに配置している孔の個数で除して評価した。表-8にPB

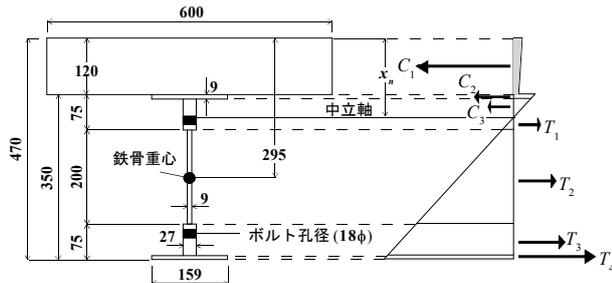


図-10 PBL破壊時の合成梁断面における応力状態

L1個あたりが負担する水平せん断力の結果を示す。5章ではこの求めた水平せん断力と、押抜き試験の結果との比較、ならびにせん断耐力式の妥当性を検討する。

### 5. 実験結果と耐力算定式の比較

PBLの実験結果と現在までに提案されている耐力式を比較する。表-9に試験体の実験結果一覧を示す。試験体は、鋼板厚さ6mmと9mmを用いた押抜き試験体と合成梁の試験体を対象とし、計11体とする。

Leonhardt<sup>15)</sup>らは、以下に示すPBLの耐力式を提案している。式(1)は孔内のコンクリートの2面せん断によるせん断耐力式、式(2)は孔内にあるコンクリートの支圧破壊によるせん断耐力式である。

コンクリートの2面せん断破壊によるせん断耐力

$$Q_u = 1.08f'_c \times 2 \times (\pi D^2/4) \quad (1)$$

孔内のコンクリートの支圧破壊によるせん断耐力

$$Q_u' = 7.2f'_c \times Dt \quad (2)$$

ここに、 $Q_u$ はコンクリートの2面せん断によるせん断耐力(N)、 $Q_u'$ は孔内のコンクリートの支圧破壊によるせん断耐力(N)、 $f'_c$ はコンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $D$ は孔径(mm)、 $t$ は鋼板厚さ(mm)を示す。

土木学会の複合構造標準示方書<sup>3)</sup>より、PBLの孔1個あたりの設計せん断耐力は、以下に示す式を用いて算定してよいとしている。

$$V_{psud} = (4.31A - 39.0 \times 10^3) / \gamma_b \quad (3)$$

$$A = \pi D^2/4 \times (t/d)^{1/2} \times f_{cd}'$$

ここに、 $V_{psud}$ はPBLの孔1個あたりの設計せん断力(N)、 $d$ は孔径(mm)、 $t$ は鋼板の板厚(mm)、 $f_{cd}'$ はコンクリートの設計圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $\gamma_b$ は部材係数(1.0とする)を示す。

著者らは、Leonhardtが提案しているコンクリートの支圧破壊によるせん断耐力式(2)の考えに基づき、押し抜き試験の実験結果より以下の耐力式を提案している<sup>2)</sup>。

孔に普通コンクリートが充填される場合

$$Q_u = 3.6f'_c \times Dt \quad (4)$$

孔に円柱形高強度モルタルが挿入される場合

$$Q_u = 2.5f'_m \times Dt \quad (5)$$

ここに、 $Q_u$ は円孔内のコンクリート(モルタル)の支圧破壊によるせん断耐力(N)、 $f'_c$ はコンクリートの圧縮強度

表-6 PBL破壊時の合成断面における断面応力

試験体	BIC9-24-60	BIM9-08-180	
PBL破壊時の荷重 $P$ (kN)	610	561	
PBL破壊時の変形角 $R$ (%)	0.94	0.81	
圧縮合力 $C$ (kN)	$C_1$	1063	939
	$C_2$	83	62
	$C_3$	27	16
	$\Sigma C$	1173	1016
引張合力 $T$ (kN)	$T_1$	2	5
	$T_2$	266	259
	$T_3$	375	351
	$T_4$	535	497
	$\Sigma T$	1178	1111
断面応力の釣り合い $\Sigma T - \Sigma C$ (kN)	5	95	

表-7 PBL破壊時の合成断面の曲げモーメント

試験体	BIC9-24-60	BIM9-08-180
$_{sd}M_s$ (kN・m)	430	383
$_lM_s$ (kN・m)	457	421
$_{sd}M_s / _lM_s$	0.94	0.91

※  $_{sd}M_s$  : 応力分布から算出した曲げモーメント  
 $_lM_s$  : 載荷荷重から算出した曲げモーメント

表-8 PBL 1個あたりが負担した水平せん断力

試験体	BIC9-24-60	BIM9-08-180
コンクリート 圧縮合力 $C_1$ (kN)	1063	939
PBLの個数 $n$	24	8
実験値 $Q_s = C_1 / n$ (kN)	44	117

(N/mm<sup>2</sup>)、 $f'_m$ はモルタルの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $D$ は孔径(mm)、 $t$ は鋼板厚さ(mm)を示す。

図-11に、各試験体の実験値と計算値の比較を示す。なお、試験体の番号は表-9に対応しており、(a)は孔にコンクリートが充填される場合、(b)は孔に円柱形モルタルが挿入される場合である。図-11(a)より、コンクリートの場合、合成梁の試験体であるNo.1は式(4)の計算値がよく対応し、押し抜き試験体No.2~No.5では式(3)と式(4)の計算値が実験値と対応している。図-11(b)のモルタルの場合、全ての試験体No.6~No.11において式(5)の計算値が実験値をよく評価していることがわかる。

### 6. まとめ

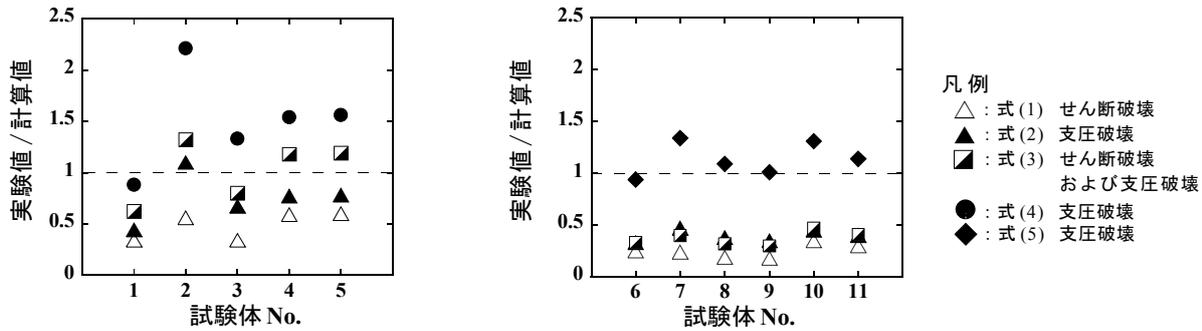
本論で得られた知見を以下に示す。

1) PBLの実験的研究の文献調査より、PBLの破壊形式は、孔径 $d$ が35mm~60mmの範囲であれば、鋼板厚さ $t=12$ mm以上の場合、孔に充填されたコンクリートのせん断破壊となり、 $t=12$ mmより小さい場合は、実験数は少ないが、支圧破壊となる傾向が見られた。

2) PBLに用いる鋼板厚さを9mm、孔径を50mmの条件とした押し抜き試験を行った結果、PBLの破壊形式は円孔内のコンクリートまたはモルタルの支圧破壊となった。また、最大せん断耐力は孔に円柱形高強度モルタルを挿

表-9 各試験体の実験結果一覧

試験体 No.	試験体名	試験方法	荷重方法	使用材料	鋼板厚さ (mm)	孔径 (mm)	孔数 個	孔間隔 (mm)	使用材料の圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	孔1個あたりの最大せん断耐力 (kN)	孔あき鋼板ジベルの破壊形式	図-5による判定結果	文献 No.
1	BIC9-24-60	合成梁の曲げ試験	繰り返し	コンクリート	9	50	24	60	31	44	支圧破壊・せん断破壊	(a),(b),(c)	1)
2	PSC6-01	押抜き試験	単調		6		1	-	35	83	支圧破壊	(c)	2)
3	PSC6-02-60				2		60	35	50	支圧破壊	(c)	2)	
4	PSC9-01				1		-	27	66	支圧破壊	(b),(b)	-	
5	PIC9-01				1		-	27	67	支圧破壊	(a),(b)	-	
6	BIM9-08-180	合成梁の曲げ試験	繰り返し	モルタル	9	50	8	180	111	117	支圧破壊・せん断破壊	(a),(b),(c)	1)
7	PSM6-01	押抜き試験	単調		6		1	-	98	99	支圧破壊	(c)	2)
8	PSM6-02-90				2		90	98	81	支圧破壊	(c)	2)	
9	PSM6-02-180				2		180	98	75	支圧破壊	(c)	2)	
10	PSM9-01				1		-	83	134	支圧破壊	(a),(b)	-	
11	PIM9-01				1		-	83	106	支圧破壊	(b),(c)	-	



(a) 孔にコンクリートが充填される場合 (b) 孔に円柱形モルタルが挿入される場合  
図-11 実験値と計算値の比較

入することにより、普通コンクリートが充填される場合に比べ約2倍の耐力上昇が確認できた。

3) 押抜き試験と合成梁の曲げ試験より得られたPBLのせん断耐力を、既往のせん断耐力式と比較検討した。その結果、孔にコンクリートが充填される場合は、式(3)と式(4)が実験値をよく評価しており、孔に円柱形モルタルが挿入される場合は、式(5)が実験値をよく評価していることがわかった。

参考文献

- 田中照久, 堺純一, 梅崎正吉: 高強度鋼材H-SA700Aを用いた合成梁に関する実験的研究, 鋼構造年次論文報告集, 第18巻, pp.85-92, 2010.11
- 田中照久, 堺純一: 高強度モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルの力学特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, No.2, pp.1243-1248, 2010.7
- 土木学会: 複合構造標準示方書, 2009
- 平陽兵, 天野玲子, 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集, Vol.19, No.2 pp.1503-1508, 1997
- 西海健二, 富永知徳, 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研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.865-870, 1998
- 平陽兵, 古市耕輔, 山村正人, 富永知徳: 孔あき鋼板ジベルの基本特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.859-864, 1998
- 保阪鐵矢, 光木香, 平城弘一, 牛島祥貴, 橘吉宏, 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.46A, pp.1593-1604, 2000.3

- 鈴木喜弥, 阿部久義, 橘吉宏, 児島哲朗, 平城弘一: 軽量骨材コンクリートを用いたジベル押抜きせん断試験, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003.9
- 深田和宏, 藤井堅, 豊田正, 岩崎初美: 孔あき鋼板ジベルの終局せん断耐力に影響を及ぼすコンクリート因子, 第6複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, Vol.6, pp.26-1-26-8, 2005
- 古内仁, 上田多門, 鈴木統, 田口秀彦: 孔あき鋼板ジベルのせん断伝達耐力に関する一考察, 第6回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, Vol.6, pp.26-1-26-8, 2005
- 日向優裕, 藤井堅, 深田和宏, 道管裕一: 並列配置された孔あき鋼板ジベルの終局ずれ挙動, 構造工学論文集 Vol.53A, pp.1089-1098, 2007.3
- 藤井堅, 岩崎初美, 深田和宏, 豊田正, 藤村伸智: 孔あき鋼板ジベルの終局ずれ挙動とコンクリート拘束因子, 土木学会論文集A, Vol.64No.2, pp.502-512, 2008.6
- 熊谷仁志, 太田和也, 池田竜介: 孔あき鋼板リブを用いた鋼板コンクリート柱の構造性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, No.2, pp.1165-1170, 2010.7
- 山口隆一, 古内仁, 上田多門: 鋼パイプを用いた新型ずれ止め構造の実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1231-1236, 2010.7
- Leonhardt, F et al: Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton- und Stahlbetonbau, pp.325-331, Dec.1987