## (59) 鉄骨骨組に内蔵されたPCa壁板の破壊性状

白山 泰敬1・佐藤 悠史2・西村 泰志3

<sup>1</sup>正会員 大阪工業大学大学院 工学研究科建築学専攻 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5丁目16-1) E-mail:mt\_shiro\_0619@yahoo.co.jp

<sup>2</sup>正会員 大成建設株式会社 東京支店 建築第二部 (〒163-6007 東京都新宿区西新宿6丁目8-1) E-mail:yushi\_sato\_0123456789@yahoo.co.jp

<sup>3</sup>正会員 大阪工業大学教授 工学部 建築学科 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5丁目16-1) E-mail:nishimura@archi.oit.ac.jp

鉄骨骨組にRC壁板を組込む工法の合理化を意図して, 孔あき鋼板ジベルを活用した接合部に よってPCa壁板を鉄骨骨組に結合する工法を提案した。また, その力学的性能を検討するため, 接合部の性能実験およびPCa壁板の破壊性状を実験的に検討した。接合部の性能実験から, 接合 部のせん断耐力は, 孔あき鋼板ジベルに設けた孔の面積に比例して増大すること, 孔内に鉄筋 を挿入することでせん断耐力が向上することが示された。また, 接合部のせん断耐力は提案さ れた耐力評価法により概ね評価できることを示した。PCa壁板の破壊性状の実験的検討を行なっ た結果, 壁板の破壊性状は接合部の数とその間隔により影響されることが示された。また, 壁 板の耐力評価法を提案し, その妥当性を示した。

# *Key Words* :Precast Concrete wall, steel frame, perfobond plate connector, shear behavior, evaluation method of strength

## 1. 序

鉄骨(以下,Sという)骨組に鉄筋コンクリート(以下,RCという)壁板を組込むことによって,S骨組の耐 震性能が向上することが既往の研究で明らかにされている<sup>1)</sup>。しかしながら,S骨組にRC壁板を組込む場合,従 来の施工方法では,S骨組に数多くの頭付きスタッドボ ルトなどのシアーキーを溶接し,壁筋を配筋し,その後, 現場で壁板のコンクリートを打設するなど非常に煩雑で ある。

したがって、本研究では、S骨組にRC壁板を組込む工法として、従来の工法に比べより合理的で施工性の向上が可能になると考えられる工法を提案し、その力学的性能を実験的に検討する。

## 2. 提案する工法とその力学的特性

図-1に提案する工法の概要を示す。

まず,コンクリートを現場で打設する問題に対し,提 案する工法では,壁板として PCa化された RC 壁板を用 いる。壁板を PCa 化することによって、壁板の現場打 設を排除でき、壁板は仕上げを施した状態で建入れする ことが可能であるので、現場での工期短縮が図られると 考えられる。また、コンクリート材料のより安定した品 質も確保できる。

図-1 (a) は、PCa化された RC 壁板が組込まれた S 骨 組に水平力  $Q_g$ が作用している状態を示す。この S 骨組 に水平力  $Q_g$ が作用すると、部分的に設けられた接合部 を介して RC 壁板にせん断力が作用する。このせん断力 により RC 壁板には接合部間を斜め方向に結ぶ圧縮束が 形成される。周辺骨組の剛性および耐力が小さい場合で も、接合部を結ぶように壁筋が配筋されておれば、コン クリートに作用する圧縮力の S 部材に対する鉛直成分は 壁筋に作用する引張力によって釣り合い、他の成分は接 合部を介して S 部材に軸方向力として伝達される。した がって、接合部にはせん断力の伝達性能が要求される。

本研究では、PCa化された RC 壁板を S 骨組に建入れ する際、施工性を簡便にし、かつ、せん断力を伝達でき る接合部として、図-1 (b) に示す孔あき鋼板ジベル (Die Perfobond Lesiten,以下 PBL という)を活用した接 合部を用いる。この接合部は、S 骨組と PCa化された

試驗休夕	モルタル強度	孔径	孔数	插入鉄笛	挿入鉄筋	$exp Q^{*1}$	${\delta_H}^{*2}$	theo $Q_u^{*3}$	$_{exp}Q$
中心大 11-11	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$D_b(mm)$	$n_b$	「中ノヘジへ方力	の定着	(kN)	(mm)	(kN)	theo $Q$ u
SHR25f-0	60	25	4	-	-	21.2	0.104	18.2	1.16
SHR25f-9fw				9φ	溶接	103	0.692	76.9	1.34
SHR50f-0		50	3	-	-	66.4	0.299	54.6	1.22
SHR50f-16fw				16 <i>ø</i>	溶接	212	1.48	167	1.27

表-1 試験体一覧および実験結果

\*1 最大荷重 \*2 最大荷重時変位 \*3 計算值

RC 壁板の両部材にそれぞれ取り付けられた PBL を重ね 合わせ、円孔にモルタルを充填することによって、S 部 材と RC 部材を結合するものである。なお、ふさぎ板は モルタル充填の際の型枠および孔内に挿入鉄筋を設ける 際の取付け金物として設けられている。この PBL を用 いた接合部によって、PCa 化された RC 壁板を S 骨組に 容易に建入れすることができると考えられる。

本研究は、PBL を活用した接合部の性能実験を行うと ともに、PBL 接合部によって S 骨組に内蔵された PCa 壁板の破壊性状を実験的に検討し、壁板の耐力評価法を 提案する。

#### 3. 接合部の性能実験

#### (1) 実験計画

図-2に試験体詳細の一例を示す。

前述した接合部ディテールのせん断性能を検討するため、 実験変数をPBLに設けた孔径、PBLの孔中央部に設けた 挿入鉄筋の有無とした計4体の試験体が計画された。

各試験体とも、ふさぎ板の板厚は9mm、PBLの板厚は

12mmとした。PBLに設けた孔径は25mmおよび50mmとし、PBLの孔中央部に設けた挿入鉄筋は9¢および16¢とした。また、挿入鉄筋端部はふさぎ板の外面で完全溶け込み溶接し定着させた。なお、挿入鉄筋はダボ効果による接合部性能の向上を期待して設けられている。

表-1に試験体一覧を示す。表-2に使用材料の力学的特性を示す。

実験は、試験体の浮き上がりを鉛直ジャッキで防止し、 図-2の矢印で示すように、PBLの孔中心線上にせん断力 が作用するよう載荷梁を介して水平力を負荷した。

#### (2) 実験結果

### a) 破壊性状

図-3に最終破壊状況を示す。PBLの孔内にモルタルの み充填させた試験体およびPBLの孔中央部に挿入鉄筋を 設けてモルタルを充填させた試験体ともに、一面せん断 によって破壊している状況が見られる。なお、SHR50f-16fw試験体は、載荷装置の限界により載荷を中断したた め、最終破壊状況は確認できなかった。

#### b) 荷重変形関係

図-4 に荷重変形関係を示す。縦軸は作用せん断力 Q,



(a) 提案する工法の概要

図-1 提案する工法の概要

(b) 接合部詳細



横軸は接合部の相対水平変位δμを示す。また、同図中の 破線で示す theo  $Q_{mc}$  および theo  $Q_{b}$  は、後述の耐力評価 式により求めた計算値を示す。

PBLの孔内にモルタルのみ充填させた試験体は、最大 荷重Omに達した後、モルタルが破断し荷重を負担する 要因がなくなり、急激な荷重低下が見られ脆性的な破壊 性状を示した。一方、PBLの孔中央部に挿入鉄筋を設け た試験体は、Q\_点に達するまで荷重が増大し、Q\_点に達 した後、荷重がいったん低下した。その後、緩やかに荷 重が増大しながら変位が進行した。

これらの結果から、PBLの孔内に挿入鉄筋を設けるこ とにより、接合部耐力の向上および最大荷重発揮後の変 形性状が改善されることが示された。

#### (3) PBL接合部のせん断耐力評価法

モルタルのみ充填した接合部のせん断耐力<sup>2</sup>は、図-5 (a) に示す抵抗機構に基づいて

$$_{theo}Q_{mc} = n_b \times q_{mc} \tag{1}$$

によって評価される。

ここに,

$$q_{\rm m} = \tau_{\rm m} \times \pi \cdot D_{\rm s}^2 / 4 \tag{2}$$

$$\tau_{mc} = 0.5 \times \sqrt{\sigma_B \cdot \sigma_t} \tag{3}$$



 $q_{mc}$ : 孔1個のモルタルのせん断耐力

 $n_b$ : PBLに設けた孔数

𝒯mc:モール・クーロンの破壊基準による純せん断 強度

$$D_b$$
: 孔径

 $\sigma_{B}$ : モルタルの圧縮強度

 $\sigma_t$ :モルタルの割裂強度

PBLの孔中央部に鉄筋を挿入し、モルタルを充填させ た場合、図-5(b)に示す抵抗機構に基づいて

$$_{theo}Q_{b} = n_{b} \times (q_{mc}' + q_{r}) \tag{4}$$

によって評価される。

59 - 3



- 9r: 挿入鉄筋の降伏せん断力
- $\tau_{y}$ :挿入鉄筋の降伏せん断強度
- D<sub>r</sub>: 挿入鉄筋の鉄筋径
- $\sigma_v$ : 挿入鉄筋の降伏引張強度

なお, (2) 式中の $q'_{mc}$ は, (1) 式の $q_{mc}$ から挿入鉄 筋部分の断面欠損を考慮した値を用いている。

た実験値と(1)式および(4)式によって求められた計 算値との比較を示す。図中の●印は本研究の試験体, O 印は既往の研究3の試験体を示す。

PBLの孔内にモルタルのみ充填させた試験体と比べて, 孔内に鉄筋を挿入した試験体は実験値と計算値との差が 若干大きいが、各試験体とも計算値は実験値を概ね評価 できている。

S骨組 壁板 接合部 試験体名 高さ スパン 壁厚 梁接合部 柱接合部 辺長比 壁筋 孔径 挿入鉄筋 孔数 接合箇所 孔数 (mm) (mm) (mm)接合箇所 PW1-1 4 1400 1 PW1-2 2 4 2 1400 100 D13 4 50ø 16ø PW0.5-1 8 1 1 2800 0.5 PW0.5-2 2 4 1

表-3 試験体一覧

## 4. PCa壁板の破壊性状

#### (1) 実験計画

図-7に試験体詳細を示す。

実際にPCa化したRC壁板をS骨組に組込む際,壁板の 形状や接合部の配置による影響を検討するため,辺長比 と接合部の数を実験変数とした計4体の試験体が計画さ れた。辺長比は梁長さ1に対し柱長さを1および0.5とし, 接合部の数を1辺に対して1箇所および2箇所とした。ま た,各試験体とも壁厚を100mmとし,壁筋は2章で述べ た抵抗機構に基づいて,接合部を結ぶようにD13を 75mm間隔で縦横に配筋した。周囲のS骨組はせん断変形 のみ生じるように柱梁接合部をピン節点とした。

S骨組とRC壁板との接合部のPBLに設けた孔径は50¢とし、孔数は4個とした。孔中央部に設けた挿入鉄筋は16¢を用い、挿入鉄筋の端部はふさぎ板の外面で完全溶け込み溶接で定着させた。なお、辺長比を0.5、1辺に取り付けた接合部を1箇所としたPW0.5-1試験体の上下梁接合部に設けたPBLの孔数は8個とした。

表-3に試験体一覧を示す。

表-4に使用材料の力学的特性を示す。

実験は、図-7の矢印で示すように、S骨組の上梁端部 に水平力を正負漸増繰返し載荷した。

#### (2) 実験結果

#### a) 破壊性状

図-8に各試験体の最終破壊状況を示す。

辺長比を1,1辺に取り付けた接合部数を1箇所とした PW1-1試験体は、上下梁接合部間および左右柱接合部間 を結ぶひび割れが観察された。また、接合部間を斜めに 結ぶひび割れも観察され、接合部間に圧縮束が形成され たと考えられるひび割れ状況を示した。

辺長比を1,1辺に取り付けた接合部数を2箇所とした PW1-2試験体は、圧縮束の形成を示す接合部間を斜めに 結ぶひび割れが明確に観察された。

辺長比を0.5,1辺に取り付けた接合部数を1とした PW0.5-1試験体は、上下梁接合部を結ぶひび割れが観察 された。また、壁板の下部に接合部を斜めに結ぶひび割 れも観察された。PW0.5-1試験体は他の試験体に比べ、 上下梁接合部間を結ぶひび割れが支配的なひび割れ状況



を示した。

辺長比を0.5、1辺に取り付けた接合部数を2箇所とし たPW0.5-2試験体は、上下梁接合部を結ぶひび割れが観 察された。また、接合部を斜めに結ぶひび割れも観察さ れたが、PW1-2試験体のような明確な斜めひび割れは観 察されなかった。

これらの結果より、接合部の数とその間隔によって、 ひび割れ性状に相違が生じることが明らかにされた。

なお、各試験体とも、変形の増大に伴い接合部近傍の コンクリートの剥落が見られ、大変形時には壁板を面内 に分断するひび割れが観察された。

#### b) 荷重変形関係

0000

0000

図-9に荷重変形関係を示す。縦軸はS骨組の上梁に負 荷された水平力O, 横軸はS骨組の層間変形角Rを示す。 また、図中に示す▼は各試験体の最大荷重、▼は上下梁 あるいは左右柱の接合部間を結ぶひび割れ発生荷重, は接合部間を斜めに結ぶひび割れ発生荷重を示す。同図 中の破線は、後述の耐力評価法により求められた計算値 theo Qu を示す。

各試験体とも、すべりを伴う逆S字形の履歴特性を示 した。

PW1-1試験体は、初期剛性、最大荷重が最も小さく、 最大荷重に達した後、緩やかな荷重低下が見られる。

PW1-2試験体は、最大荷重が最も大きく、最大荷重時

の層間変形角も最も大きい。最大荷重に達した後、荷重 低下が見られる。その後, 0.01~0.025rad程度まで概ね一 定の荷重を保持しているが、PCa壁板のコンクリートの 破壊が著しくなり、0.025rad.程度から急激に荷重が低下 した。

PW0.5-1試験体およびPW0.5-2試験体は、最大荷重は同 程度であり、最大荷重に達した後、荷重低下が見られる。 その後, 0.01rad.程度から概ね一定の荷重を保持しながら 変形が増大した。

このように、各試験体とも耐力低下の小さい安定した

表-4 使用材料の力学的特性

***		降伏応力度	引張強度	ヤング係数			
123 15	ſ	$\sigma_y (\text{N/mm}^2)$	$\sigma_u (\text{N/mm}^2)$	$E_s(\text{N/mm}^2)$			
ふさぎ板*1	t=9(mm)	280	417	2.01×10 <sup>5</sup>			
孔あき鋼板*1	<i>t</i> =16(mm)	298	409	2.03×10 <sup>5</sup>			
挿入鉄筋*2	16 <i>ø</i>	338	474	1.99×10 <sup>5</sup>			
H形鋼ウェブ <sup>*1</sup>	t = 8(mm)	330	458	1.98×10 <sup>5</sup>			
H形鋼フランジ <sup>*1</sup>	t=12(mm)	288	434	$1.98 \times 10^{5}$			
角型鋼管*3	t=12(mm)	405	465	1.96×10 <sup>5</sup>			
壁筋*4	D13	389	573	1.76×10 <sup>5</sup>			
体用签正	++水	圧縮強度	割裂強度	ヤング係数			
使用固別	1/1 个十	$\sigma_B(\text{N/mm}^2)$	$\sigma_t (\text{N/mm}^2)$	$E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )			
RC壁板	コンクリート	28.1	2.66	2.85×10 <sup>4</sup>			
接合部充填材	モルタル	60.4	4.03	5.04×10 <sup>4</sup>			
*1 SS400 *2 SP295 *3 STKP400 *4 SD295							





59 - 6



履歴特性を有することが示された。

## (3) 抵抗機構および終局耐力評価法

S骨組にPBLを用いて接合されたPCa壁板の終局耐力 theo  $Q_u$ は、図-10に示す抵抗機構に基づいて、接合部の せん断耐力  $Q_j$ 、壁筋の降伏引張耐力  $Q_{wr}$ およびコンク リート圧縮束の圧縮耐力  $Q_{wc}$ より

$$_{theo}Q_u = \min\{Q_j, Q_{wr}, Q_{wc}\}$$
(7)

によって評価される。ここに、

$$Q_j = n_b \times \left( q'_{mc} + q_r \right) \tag{8}$$

$$Q_{wr} = m \cdot a_w \cdot \sigma_y \times \min\{\tan\theta, 1/\tan\theta\} \quad (9)$$

$$Q_{wc} = s \cdot t \cdot \sigma_B \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \tag{10}$$

*m*:壁筋の本数

- a<sub>w</sub>: 壁筋1本の断面積
- $r\sigma_y$ : 壁筋の降伏応力度
- s : PBL接合部の長さ
- t : PCa壁板の厚さ
- $\sigma_{B}$ : コンクリートの圧縮強度
- **θ**: 圧縮束と梁材材軸のなす角度



F:接合部のせん断力 T:壁筋の引張力

C: コンクリート圧縮束の圧縮力

θ: 圧縮束と梁材材軸のなす角度

## 図-10 抵抗機構

なお,接合部のせん断耐力  $Q_j$ は,前述の接合部耐力 評価式を用いている。

## (4) 耐力評価の妥当性

表-5に、実験値と耐力評価法によって求められた計算 値との比較を示す。図-9の theo  $Q_u$ は、(7)式から求め られた計算値を示す。なお、壁板の終局耐力 theo  $Q_u$ は、 壁筋の降伏引張耐力  $Q_{wr}$ によって決定されている。各試 験体とも実験値と計算値の比にばらつきがあるが、計算 値は実験値を概ね評価できていると考えられる。なお、 PW0.5-1試験体の実験値と計算値に若干大きな差が生じ ているのは、前述の破壊性状で述べたように、PW0.5-1 試験体は他の試験体と比べ上下梁接合部間を結ぶひび割 れが支配的な破壊性状となったことが影響していると考 えられる。したがって、接合部の数と接合部の間隔を考 慮した耐力評価法の検討が必要である。

## 5. 結語

本研究によって、以下の知見が得られた。

- 1) 一面せん断を受ける孔あき鋼板ジベルを用いた接合 部により、S骨組にPCa壁板を部分的に結合し、組込 む工法が提案された。
- 2) 孔あき鋼板に設けた孔の面積に比例して接合部のせん断耐力が増大する。また、孔あき鋼板の孔中央部に鉄筋を挿入することにより、接合部のせん断耐力が向上することが明らかにされた。
- 接合部のせん断耐力評価式が提案され、実験値を概 ね評価できることが示された。
- 4) S骨組に内蔵されたPCa壁板の破壊性状は、接合部の

#### 表-5 実験値と計算値の比較

試験体名	辺長比	theo Q u <sup>*1</sup> (kN)	$e_{xp} Q_u^{*2}$ (kN)	exp Qu theo Qu
PW1-1	1	197	213 (190) <sup>*3</sup>	1.08 (0.96)
PW1-2	1	395	488 (451)	1.24 (1.14)
PW0.5-1	0.5	197	303 (241)	1.54 (1.22)
PW0.5-2	0.5	277	306 (298)	1.10 (1.08)

\*1 (7)式による計算値 \*2 最大荷重 \*3 ( )内は負載荷時の値

数とその間隔に影響されることが示された。

- 5) 各試験体とも逆S字形の履歴特性を示すが,耐力低下の小さい安定した性状を有することが示された。
- 6) 提案されたPCa壁板の耐力評価式によって、実験値 を概ね評価できることが示されたが、接合部の数とその間隔を考慮した耐力評価法の検討が今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会:各種合成構造設計指針・同解説, pp.149-189, 1895.
- 2) 吉田 幹人・佐藤 悠史・西村 泰志: 孔あき鋼板を用いたS要素とRC要素が並列的に結合される接合部の破壊性状(その1), (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1245-1248, 2008.9
- 3) 夫 大僖・佐藤 悠史・西村 泰志: 孔あき鋼板を用いたS 要素とRC要素が並列的に結合される接合部の破壊性状(その
   3),日本建築学会大会学術講演梗概集,2009.

## SHEAR BEHAVIOR OF PRECAST CONCRETE WALL BUILT-IN STEEL FRAME

#### Hiroaki SHIROYAMA, Yushi SATO and Yasushi NISHIMURA

A method of fitting PCa wall into steel frame by joints using perfobond plate connector was proposed. To inverstigate mechanical validity of this method, tests for shear behavior of joint and PCa wall were carried out. From test results for shear behavior of joint, shear strength was shown to increase with area of hole and inserting reinforcing bar into hole. Then a design formula of shear strength was proposed. The prediction were shown to be in good agreement with the test result. From test results for shear behavior of PCa wall, shear behavior was shown to be affected by a number and a distance of joint. Then a design formula of ultimate strength was proposed, and the validity of the prediction were shown.