

# 穴あきPC板を用いた耐力壁工法の開発

—工法概要, 施工実験, 構面せん断実験—

# A DEVELOPMENT OF SHEAR WALL CONSTRUCTION METHOD WITH PRESTRESSED CONCRETE HOLLOW CORE PANELS

那須秀行 —\*1 桐山伸一 —\*2  
三宅辰哉 —\*3 飯田秀年 —\*4  
香取慶一 —\*5 林 静雄 —\*6

Hideyuki NASU —\*1 Shinichi KIRIYAMA —\*2  
Tatsuya MIYAKE —\*3 Hidetoshi IIDA —\*4  
Keiichi KATORI —\*5 Shizuo HAYASHI —\*6

キーワード:

穴あきPC板, 低層住宅, PCa耐力壁, 施工実験, せん断実験

Keywords:

PC hollow core panel, Dwelling of few stories, PCa Shear wall, Erection test, Shearing test

A construction method for multiple dwelling house up to three story using prestressed concrete hollow core panels ('SPC panels' in following) was newly developed. SPC panels have been usually used as nonstructural walls. Even though SPC panels do not have shear reinforcement, it may be possible that members except SPC, such as anchorage bars, are set to yield before cracking of SPC. In this report, based on an erection test and a shearing test, availability of this method is estimated. As results, it is recognized that term of work and cost of erection are allowable, and that SPC shear wall has enough strength for 3-story apartment. The points of future improvement are also made clear.

## 1. はじめに

PCa造低層集合住宅のローコスト化を目的とした新工法が開発された<sup>1)</sup>。本工法の最大の特徴は、戸境壁(梁間)方向構面に、通常非構造壁として使用される穴あきプレストレストコンクリート(以下'SPC')板を耐力壁として用いることにある。SPC板には面外耐力を確保する目的で材長方向にプレストレス導入用のPC鋼線が埋設されているが、その他せん断補強となる鉄筋はない。それゆえ、部材の生産効率が高く安価であるが、面内応力に対する破壊性状は脆性的である。

しかしながら、SPC壁板周辺の差筋(アンカー筋)や臥梁などの耐力をSPC壁板より低く設定することでSPC壁板の破壊を防止し、構面の水平変形能力を確保することは可能である。また、一般的に集合住宅戸境壁方向には十分な壁量があり、その他の部位に比べて耐力壁に求められる耐力性能は低い。したがって、少なくとも3層程度の集合住宅であれば、本工法により十分な耐震安全性を確保できると考えられる。

本報では本工法の概要を紹介するとともに、施工性を確認する目的で行った施工実験の結果、および耐震性能を確認する目的で行ったSPC耐力壁構面せん断実験の結果について報告する。

桁行方向についてはPCa壁柱とU字形断面をもつハーフPCa梁によって建物外周2面にラーメン架構が構成される。梁間方向はSPC壁板とRC造の臥梁により耐力壁構面が構成される。なお臥梁内部にはSPC壁板縦目地位置に補強鋼板が主筋に溶接されている。屋根および床スラブはSPC板を使用した合成スラブであり、小梁は設けられない。

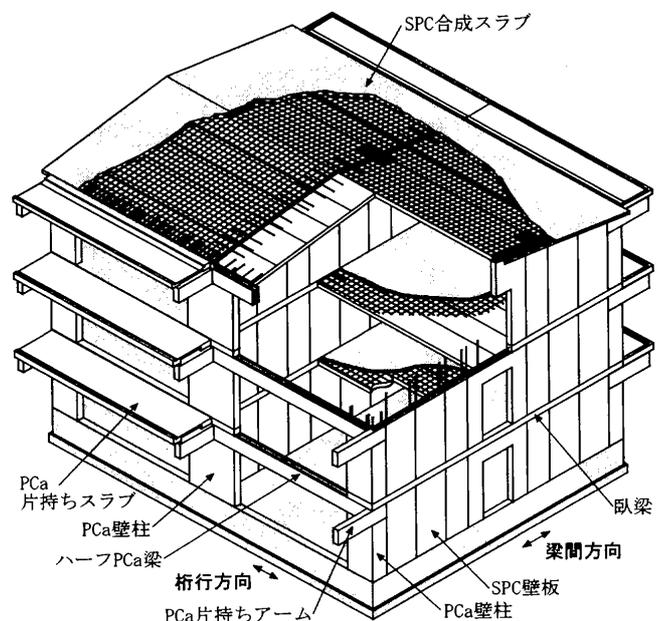


図1 工法概要

## 2. 工法概要

### 2.1 構造計画

本工法により図1に示すような3階建てPCa造集合住宅が構築される。基準階高は2,800mmであり、1住戸の規模は、桁行スパンを7,200mm以下、住戸面積を80m<sup>2</sup>以下と想定している。

\*1 旭化成工業(株)住宅技術総部 主査・工修  
(〒160-8345 新宿区西新宿1-24-1)  
\*2 旭化成工業(株)商業系商品開発室 室長・工修  
\*3 (株)日本システム設計 常務取締役・工博  
\*4 (株)日本システム設計 開発設計室  
\*5 東京工業大学建築物理研究センター 助手・工博  
\*6 東京工業大学建築物理研究センター 教授・工博

\*1 Asahi Chemical Industry Co., M. Eng.  
\*2 Manager, Asahi Chemical Industry Co., M. Eng.  
\*3 Director, Nihon System Sekkei Co., Dr. Eng.  
\*4 Nihon System Sekkei Co.  
\*5 Research Assoc., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.  
\*6 Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

構造設計上のエネルギー吸収メカニズムは、桁行方向については梁に曲げヒンジが形成される全体崩壊形であり、壁柱およびパネルゾーンの破壊は生じないものと想定する。梁間方向については、SPC壁板それぞれが剛体的にロッキングする変形状態を想定しており、差筋の引張り降伏および、臥梁内部の補強鋼板のせん断降伏により所要のエネルギー吸収能力を確保するものとする。

2.2 部材接合方法

SPC壁板の形状を図2に示す。幅は図示(900mm)のほか1200mmのものもある。各部材の接合方法を図3に示す。SPC壁板は中空部に定着された差筋を介して基礎梁・臥梁に接合される。SPC壁板に対する差筋の定着方法は、頭部については筒状の補強ラス網を併用したモルタル充填であり、あらかじめ工場で行われる。脚部は現場におけるグラウト材充填である。いずれも定着長は550mmである。PCa壁柱脚部主筋には市販のスリーブ継手を用いており、現場におけるグラウト材充填により下階PCa壁柱主筋に接合される。その他、梁・臥梁・スラブ相互は所定の定着筋を介して現場打ちコンクリート部分で接合される。

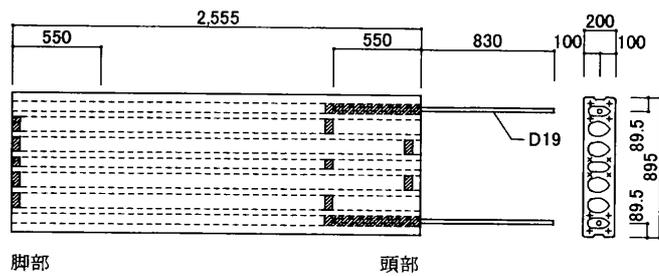


図2 SPC板仕様 unit:mm

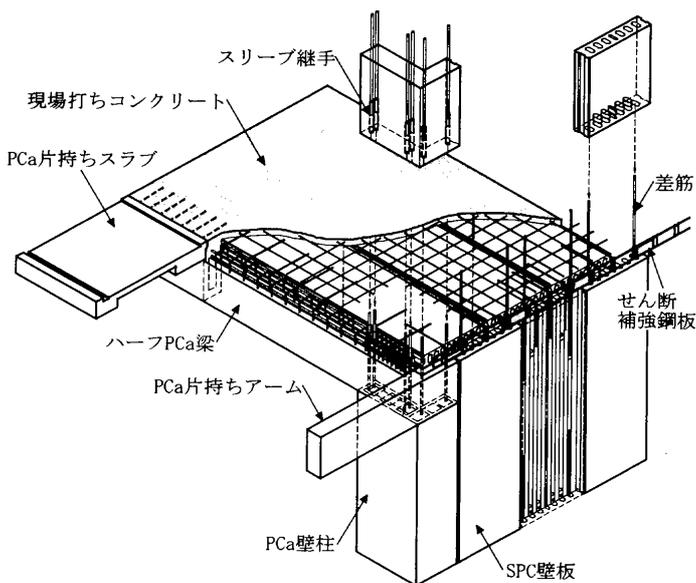


図3 接合部概要

2.3 架構組立て方法

図4a~i)に示すような組立て方法に従い、施工を行なう。

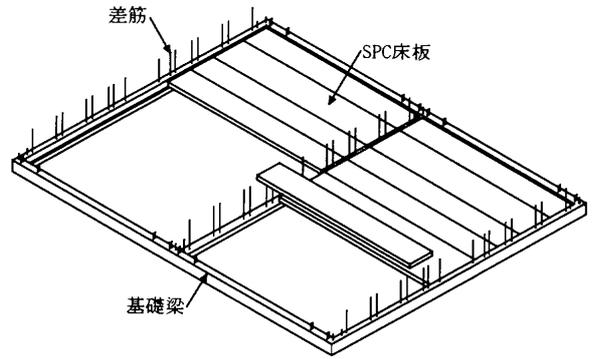


図4a 現場打ち基礎上にSPC床板を設置

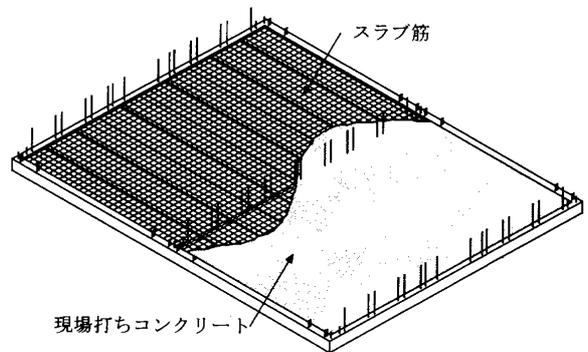


図4b スラブ筋敷設、コンクリート打設

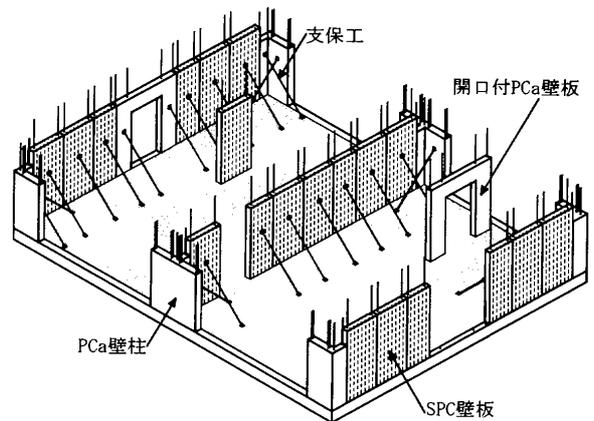


図4c PCa壁柱・SPC壁板・開口付PCa壁板を設置

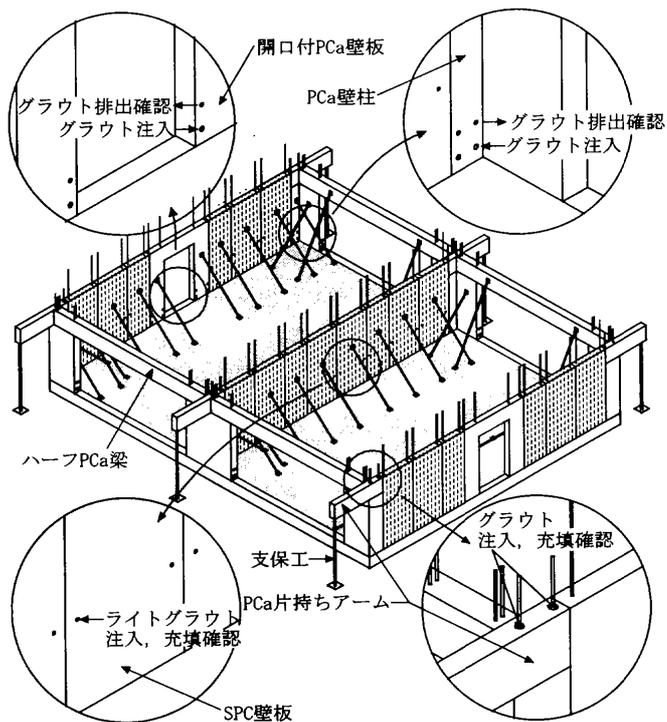


図4d U字形断面ハーフPCa梁・PCa片持ちアームを設置後、グラウト材を充填

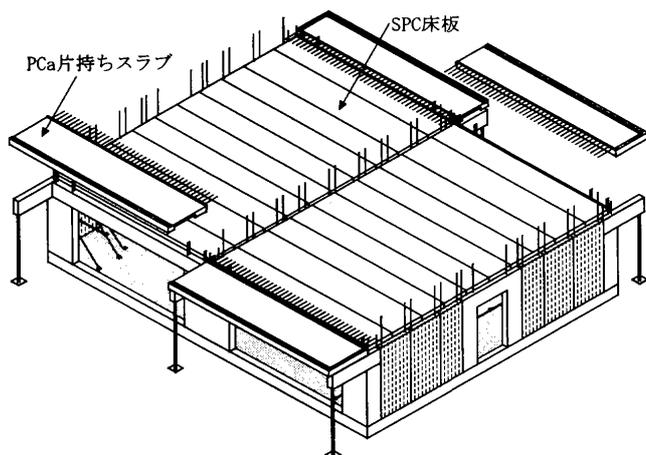


図4e SPC床板・PCa片持ちスラブを設置

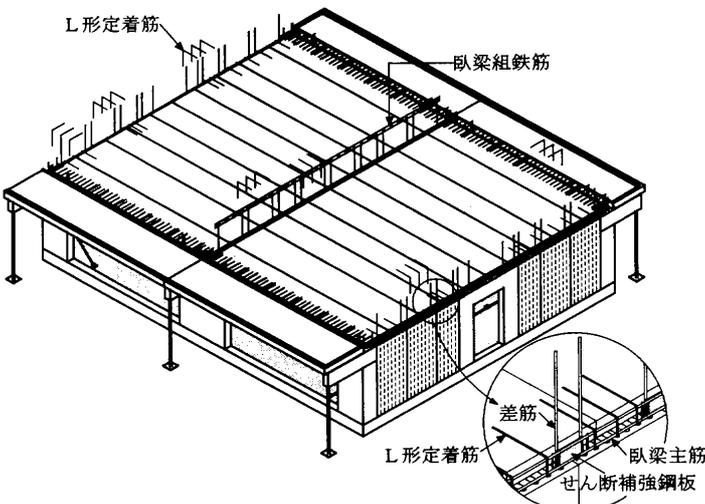


図4f 臥梁の配筋・各住戸四周にスラブ用L形定着筋を配置

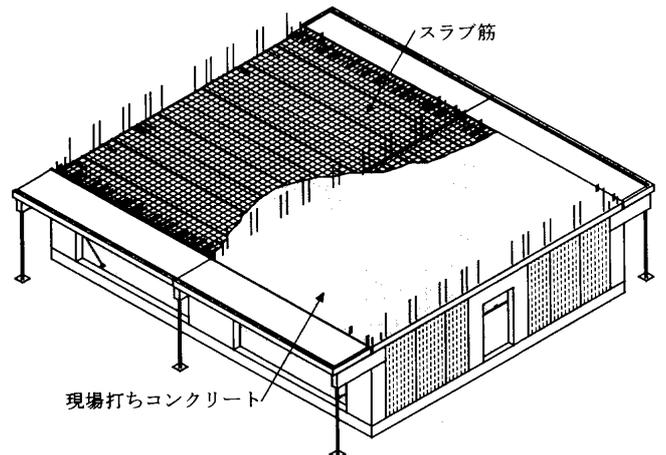


図4g スラブ筋敷設・コンクリート打設

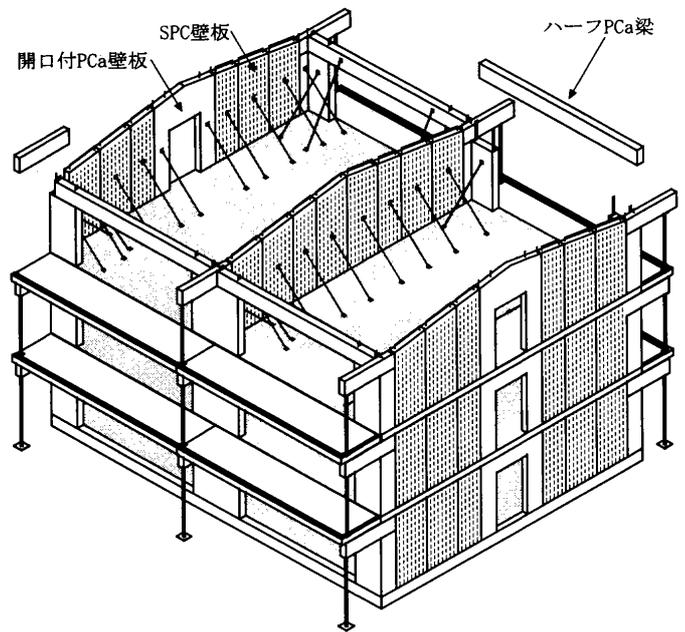


図4h 上階も同様に施工 (図4c～図4gの繰り返し)

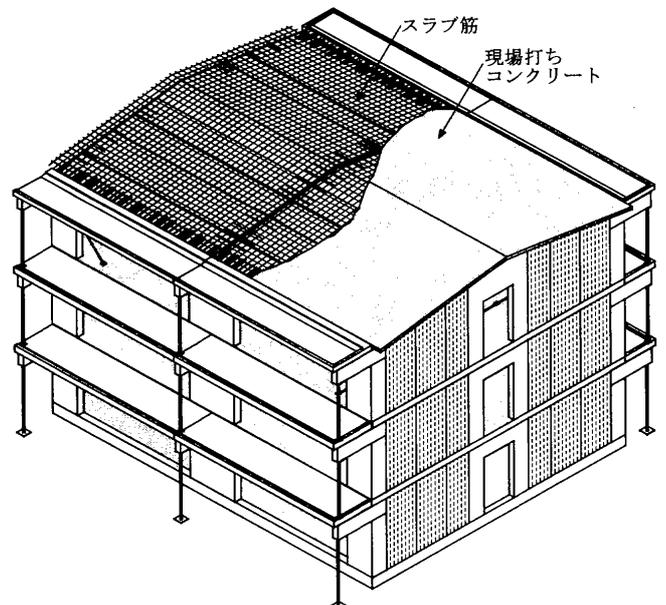


図4i 最後にR階のコンクリートを打設

### 3. 施工実験

#### 3.1 実験概要

本来3階建ての集合住宅を想定しているが、本施工実験では写真1に示すように1階と3階の2層かつ端部住戸のみで行なった。実際に部材を製作し、施工することで想定外の問題点を抽出するとともに、精度・工期・コストを把握することを実験の目的とした。

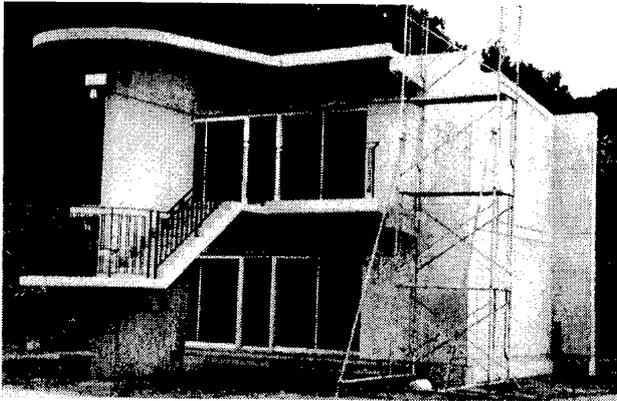


写真1 試験棟全景

#### 3.2 施工実験の結果および考察

##### 3.2.1 部材製作

施工用のラフタークレーンを25tfクラス以下とするため、1部材の重量を3tf以下に設定した。この場合、4.5×4.5mの直角道路でも進入可能である。部材の寸法誤差については、鋼製型枠を用いたPCa部材では±2mm以内、SPC板では0～-5mmであった。

またU字形断面ハーフPCa梁については、断面形状が複雑なため他のPCa部材に比べ製造上の難度が高い。何らかの製造上の合理化が必要と思われる。

##### 3.2.2 施工過程

以下、施工日程にしたがって各工程の観察結果を列記する。

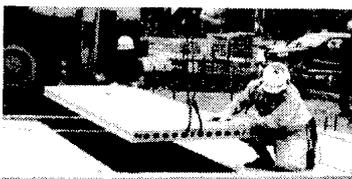


写真2 1階SPC床板

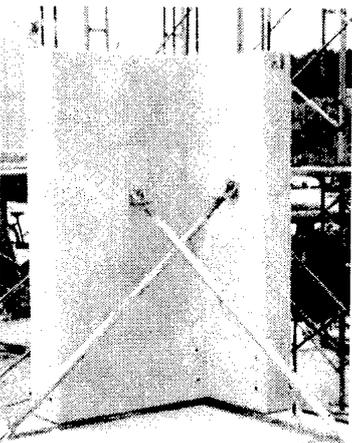


写真3 1階PCa壁柱



写真4 PCa片持ちアーム



写真6 目地モルタル

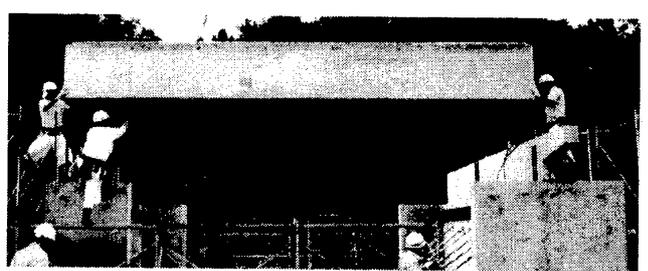


写真5 U字形断面ハーフPCa梁

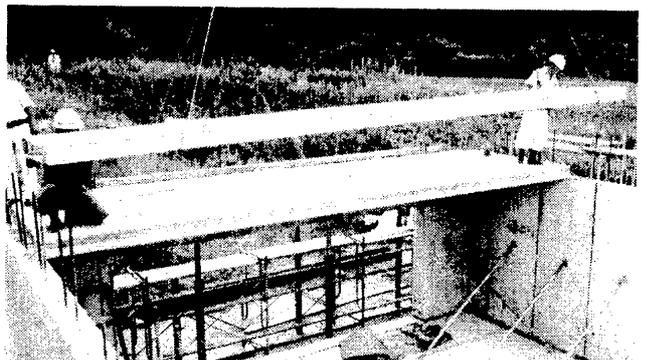


写真7 2階SPC床板

##### 1日目：1階SPC床板敷込み、床目地モルタル詰め

床板中空部に掛けるρ形専用治具を使用し板を揚重した(写真2)。

##### 2日目：1階PCa壁柱・SPC壁板の設置

PCa壁柱の建入調整のために設計上15mmの柱脚クリアランスを設けているが、3次元的な調整が必要であり、当初1部材当たり1時間程度の時間がかかった(写真3)。SPC壁板については中空部に差筋が収まるように落とし込むが、特に問題はなかった。

##### 3日目：片持ちアーム・梁の設置、目地モルタル詰め

PCa片持ちアームは施工時の一時預けとしても使用されるが、安全上その倒れ防止に注意が必要であった(写真4)。U字形断面ハーフPCa梁は製造に手間がかかるが、施工上は軽量化による取り回しの良さに優れていた(写真5)。

防水および遮音上、PCa壁柱およびSPC壁板の鉛直目地にモルタルを打設する(写真6)。ただし構造設計上はこのモルタルを無視し、空目地として扱う。

##### 4日目：グラウト材注入(図4d参照)

PCa壁柱はスリーブ継手下側注入口よりグラウト材を注入し、上側確認口からグラウト材が溢れることで充填を確認する。SPC壁板は中空部側面に空けた注入口より注入し、注入不能となった時点で充填完了とした。

##### 5日目：2階SPC床板・PCa片持ちスラブの設置、臥梁等の配筋

桁行きスパンを1枚のSPC床板で掛け渡す(写真7)。この後打設されるRC部分との合成効果により、耐力性能は確保される。したがって小梁は不要である。ベランダ・外廊下用のPCa片持ちスラブはPCa片持ちアーム上に設置する(写真8)。

主筋とせん断補強鋼筋を溶接で一体化した臥梁組鉄筋の設置、スラブ用L形定着筋の設置後、その上にスラブ筋を被せる(写真9)。

##### 6日目：コンクリート打設

床スラブ部(SPC床板上)、臥梁部およびU字形断面ハーフPCa梁中空部に一度にコンクリートを打設する。この結果床は剛床化し、



写真8 PCa片持ちスラブ

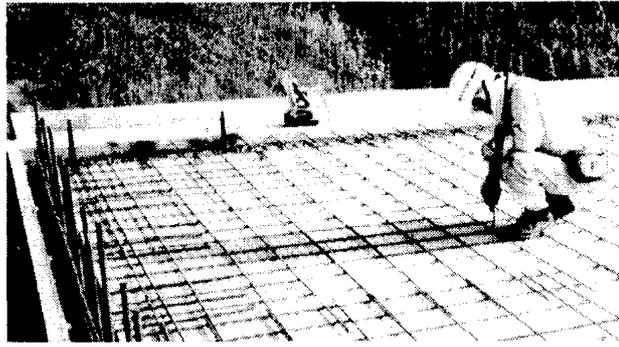


写真9 床スラブ筋

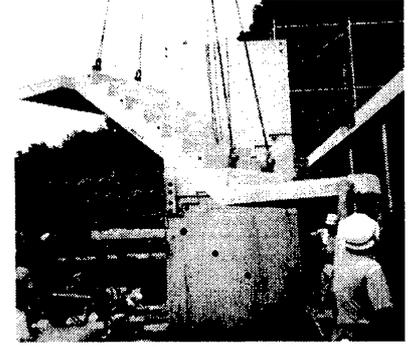


写真10 PCa外階段

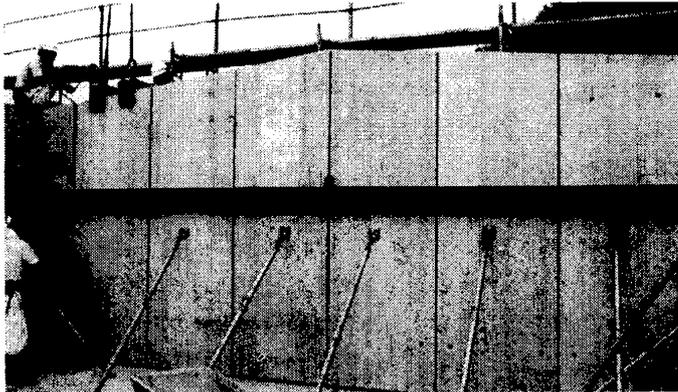


写真11 2階SPC壁板

臥梁、U字形断面ハーフPCa梁と一体化する。

7日目：外階段設置

外階段はPCa製で自立する。2階部まで先行施工を行った(写真10)。

8日目：墨出し

躯体精度に直接影響するため、1層毎にレベルを慎重に確認する。

9,10日目：2階のPCa壁柱、SPC壁板、梁の設置

11日目：R階SPC屋根板・片持ちPCaスラブの設置

12日目：臥梁等の配筋、コンクリート打設

9～12日目は2階部の施工であり、手順は1階部の繰返しである(写真11)。屋根面には耐久性向上のため1.5寸の勾配を設けたが、この程度の勾配であれば部材配置、コンクリート打設とも1階部と同様の施工が可能であった。

13日目：型枠撤去、躯体工事完了

以上、2階建てで約2週間の工程であった。施工時期が夏場であったため養生に時間が取れないということはあったが、概ねこの程度の工期で施工可能と思われる。

3.2.3 躯体完成後

躯体完成後、仕上がり精度を測定したところ、高さ方向において+8mmの誤差が認められた。部材そのものの精度は良かったことから、主にPCa壁柱およびSPC板の設置に問題があり、建て入れ調整を行なっているうちにスペーサーを厚く使い過ぎた為と思われる。また、鉛直部材の倒れについては、±3mm(1/1000)の誤差であった。

本工法の精度と工期は鉛直部材の中でも特にコーナー部PCa壁柱の設置方法に強くかかわる。柱脚部にレベル調整機構を設ける等の対策は精度向上と工期短縮に対して有効と考えられる。

コストは、今回は試験施工であったため規模・工数に無駄があり、一般的なPCa造建物と同程度であった。しかしながら、SPC板の部材費は一般のPCa部材の7割弱であり、その点で一般のPCa造建

物より確実に低コストとなり得る。またSPC板はPCa部材と比べ軽量であるので、杭・基礎に要する費用および部材運搬費の軽減も可能である。

4. SPC耐力壁構面せん断実験

4.1 試験体

本工法によるSPC壁構面の耐震性能を確認する目的で、SPC耐力壁構面せん断実験を行った。試験体を図5に、各材料物性を表1に示す。試験体は2層で、東西の2構面からなる。各層はSPC壁板のみで構成され、本来存在する構面端部のPCa壁柱は配置されていない。

SPC板の仕様は図2に示す通りで、PC鋼線により4.28N/mm<sup>2</sup>のプレストレスが導入されている。また実験の都合上構面間のスパンは2m

表1 材料物性 (N/mm<sup>2</sup>)

SPC壁板	$\sigma_b$			$\sigma_y$
	コンクリート	脚部定着 グラウト材	頭部定着 モルタル	
64.3	28.6	55.6	52.3	398.2

$\sigma_b$  : 強度、 $\sigma_y$  : 降伏応力度

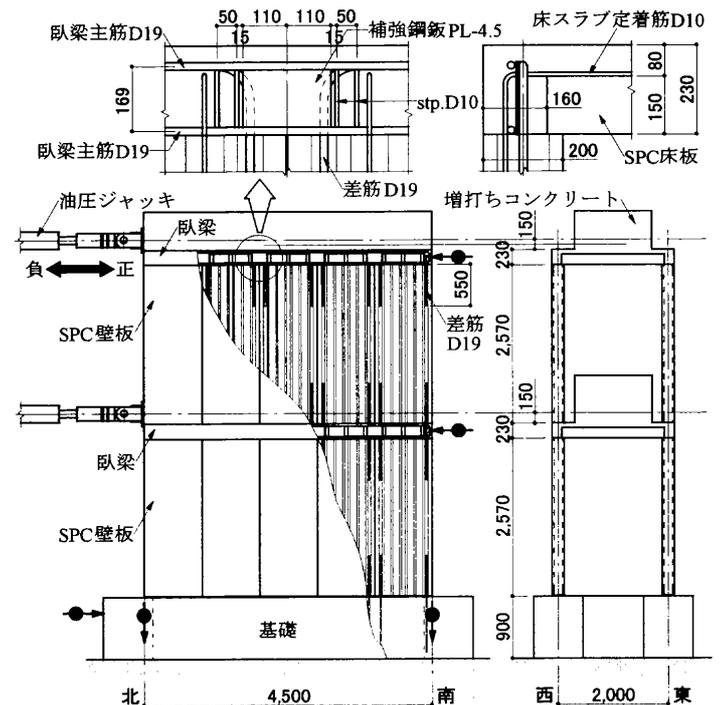


図5 構面せん断実験の方法

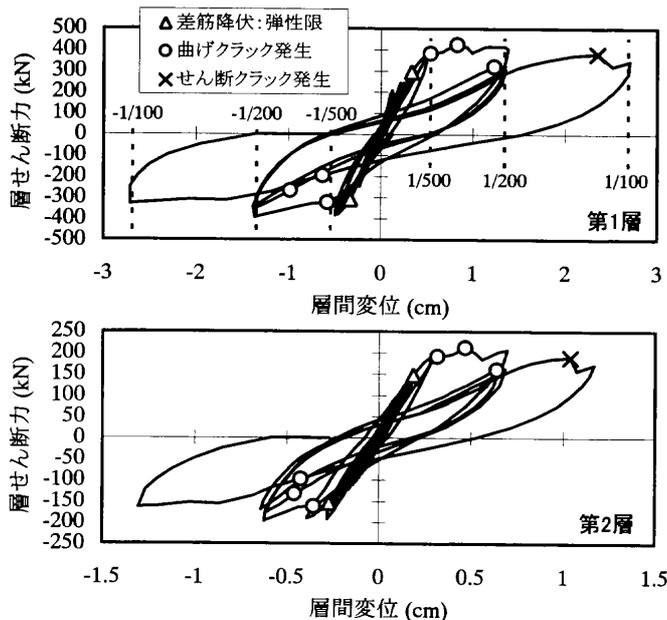


図6 層せん断力-層間変形曲線

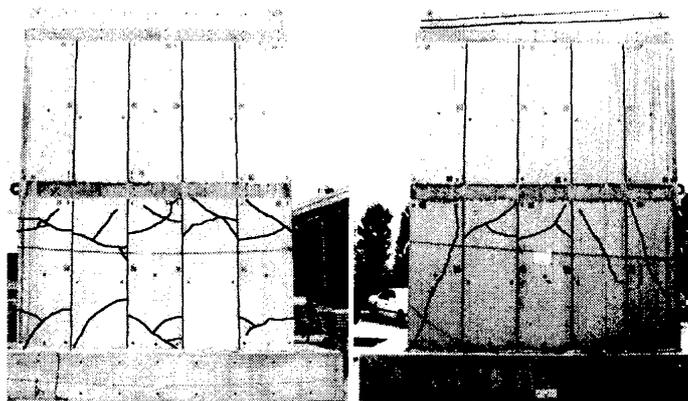


写真12 SPC壁板のクラック発生状況

としているが、本来作用する鉛直荷重分(最小想定スパン5.7m)を考慮するため、床上にコンクリートが増打ちされている。その他のSPC壁板差筋、臥梁、スラブの仕様は実建物と同じである。

4.2 加力方法

振幅漸増の正負交番繰返し加力とした。加力には各層の床レベルに設置した2台の油圧ジャッキを用い、実験中、両ジャッキの水平力が等しくなるように管理した。折返し点は1階の層間変形角で1/1000,1/500,1/200,1/100および、許容水平力として想定した荷重点  $P_0 = 490\text{kN}$ (構面当り245kN)とし、振幅1/100以外は各3サイクルずつ繰返した。

4.3 せん断実験の結果及び考察

層せん断力-層間変形角曲線を図6示し、実験終了後のSPC壁板のクラック発生状況を写真12に示す。クラックは差筋終端部(板端部から550mm)付近から始まるものと、板対角を貫通するものに大別できる。前者はSPC壁板左右端部の引張り応力に起因し、後者はせん断応力に起因すると考えられ、それぞれ「曲げクラック」、「せん断クラック」と呼称する。

図6には実験中の目視観察によって確認できた、曲げクラックおよびせん断クラックが発生した計測ステップに○印および×印を

付した。△印は差筋が初めて降伏した計測ステップである。第1層の層間変形角  $R_1 \leq \pm 1/500$ まではSPC壁板の損傷は無く、その後  $R_1 \leq \pm 1/200$ の範囲で曲げクラックが多発したが耐力低下は顕著でない。 $R_1 = +1/115$ 付近で東構面の南端板にせん断クラックが発生し、耐力が2割程度低下した。東構面の北端板にも負方向加力時にせん断クラックが発生したがその時期は特定できなかった。臥梁の損傷は確認されず、臥梁補強鋼板の歪みは最大で200 $\mu$ 程度であった。

SPC耐力壁の耐力は壁長さに比例するものとして、本実験による最大耐力を、本工法が想定する1層当たり4住戸の標準的な3層集合住宅の第1層に換算したものを  $Q$  とする。また第1層が支持する総重量を  $W$  とする。このとき  $Q/W$  は0.5程度となり、本構面は実用可能な水平耐力を有する。しかしながら、本実験ではクラック発生後の挙動が必ずしも脆性的ではなかったものの、さらに多数の繰返しに対する性能低下の度合いは不明であり、1章で述べたようにSPC壁板の破壊防止を本工法における構造計画の前提とすべきと考える。この問題に関して、①差筋の定着長を延長して曲げクラック発生部のSPC壁板の引張縁応力度を低減し、②SPC板の中空部面積を縮小し、板の実断面積を増すことでせん断応力度を低減するなどの改良を行うことによる目標崩壊形実現の可能性が確認されている。

5. まとめ

新たに開発された「SPC板を用いた耐力壁工法」に関して、工法概要を示すとともに、施工実験およびSPC耐力壁構面せん断実験の結果について報告した。施工実験結果は次のように要約される。

- 1)本工法の施工性は総じて高く、2層建物の躯体工事を2週間で完了できる。
- 2)PCa壁柱の設置精度と施工時間が建物全体の精度と工期を大きく支配し、PCa壁柱の設置方法の合理化が重要である。
- 3)施行実験での工費は一般的なPCa建物と同等であったが、量産化による工費削減は可能と考えられる。

また、SPC耐力壁構面せん断実験結果は次のように要約される。

- 1)SPC壁板にクラックが発生したが顕著な耐力低下は無く、建物重量に対する最大耐力の比率は約0.5であった。SPC耐力壁構面は実用可能な水平耐力を有すると言える。
- 2)耐震性能を確実にするにはSPC壁板の破壊防止が必要と考えられる。これに関して、SPC壁板に改良を施すことによる破壊防止の可能性が確認されており、今後、破壊防止のための設計条件を明らかにする必要がある。

謝辞

本研究は東京工業大学建築物理センター共同研究(一般共同研究)の一環として行われました。また、本実験に際し多大な協力を頂いた(株)スパンクリートコーポレーションの森田氏、菊池氏に深く感謝致します。

参考文献

1) 那須秀行, 桐山伸一, 三宅辰哉, 飯田秀年, 香取慶一, 林静雄: 穴あきPC板を用いた耐力壁工法の開発 その1,2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, pp.403~406, 1999.9

[1999年10月20日原稿受理 2000年2月2日採用決定]