

19. プレストレスを導入した逆リブ型プレキャスト 合成スラブの開発（その1. 載荷実験）

山口 克彦 崎山 和隆
萩原 幸男 高見 錦一

要 旨

近年、共同住宅の床スラブに小梁のない大型スラブを採用する例が多くなっている。今回、薄肉のプレキャスト板のリブを上向きにすることにより、階高を高めることなく、長スパンに対応できるプレストレス導入の合成スラブ工法を開発した。本工法の構造性能を確認するため、実大試験体を作製して曲げ耐力実験を行った結果、無支保工での施工が可能であり、合成スラブとした時に後打ちコンクリートとの一体性、耐力、および靱性に問題のないことが検証され、また、既往の計算式を用いて設計できることを確認した。

キーワード

プレストレス／プレキャスト／合成スラブ／打継ぎ面／逆リブ

目 次

1. はじめに
2. 工法概要
3. 実験概要
4. 実験結果と考察
5. ま と め

19. EXPERIMENTAL STUDIES ON PRESTRESSED, INVERTED-RIB-TYPE PRECAST COMPOSITE SLABS

Katsuhiko Yamaguchi Kazutaka Sakiyama
Yukio Hagiwara Kin-ichi Takami

Abstract

In recent years, beamless slabs covering large areas are often used for housing projects. This paper describes the prestressed composite slab method for floor slabs that can support itself over longer spans without increasing the floor height, developed recently to improve efficiency of construction works. In this method, ribs made of thin precast plate are embedded in floor slabs. In order to confirm structural capacity of slabs made by this method, bending strength tests were performed using full-size specimens. The results were satisfactory in terms of integration of the floor slabs with other concrete members cast in place, structural strength, and ductility capacity.

1. はじめに

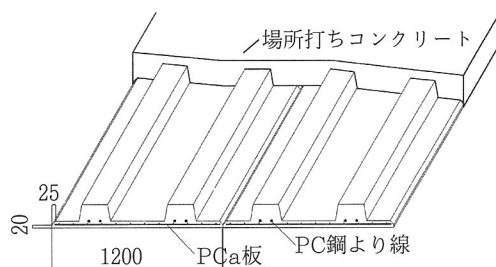
近年、共同住宅の床スラブは、プランニングが自由に行え模様替えなどにも柔軟に対応できるようにと、小梁のない大型スラブを採用する例が多くなってきている。しかし、大型スラブは長スパンとなるため、たわみが大きくなり、ひび割れが発生しやすくなるなど、構造面で不利な点が多く、その上施工時に多くの支保工が必要なだけでなく、長い存置期間が必要であった。これらの欠点の解消を目的としてプレストレス（以下PSという）を導入した合成スラブ工法が種々開発されている。その代表的なものとして、孔空きプレキャスト板（以下PCa板という）と、PCa板下面にリブを設けたものがあげられるが、いずれもPSを導入していることで支保工が不要になるだけでなく、たわみやひび割れを低減できるなど大きなメリットを有している。しかし、リブを下向きにしたPCa板の場合は、共同住宅のように直天井を要求される場合にはリブがでているため適用しにくいという欠点があった。今回、その欠点を解消したいと考え、PS導入の逆リブ型PCa板の上にコンクリートを打設して合成スラブとする工法の開発に着手した。この開発によって、スラブ下端面がフラットな大型スラブを支保工を使わずに施工することが可能となる。

本報告は、開発の第1段階としてPS導入の逆リブ型のPCa板が支保工がなくてもコンクリートの架設時の施工荷重に耐え、また合成スラブとしての必要な構造性能を有することを確認するために行った載荷試験について、その概要と結果を述べるものである。

2. 工法概要

本工法は、PSを導入した上向きのリブ付きPCa板を埋込型枠としてはり間にかけ渡し、現場で場所打ちコンクリートを打設して一体化する合成スラブ工法である。リブ付PCa板を梁にかけ渡し、場所打ちコンクリートを打設した時にPCa板に作用する圧縮応力はリブで負担し、引張応力はリブの下端に配置したPC鋼より線で負担することによって、支保工なしで架構しようとするものである。構造仕様を決定するに際し、構造計算は「プレストレスコンクリート設計施工標準・同解説」（以下PC標準という）に準拠して行い、それに製造、運搬および作業性を考慮して、形状寸法、仕様を決定した。PCa板の幅は、運搬しやすいよう、

また1枚あたりの重量が過大とならないように1.2mとし、リブ間隔はPCa板を敷き並べたとき、等間隔となるように60cmとした。集合住宅の多くは、間口が6.5m程度のものが多いため、内法寸法を6mとした。試行錯誤した結果、合成床板の厚さはPSの導入効果を考慮して22cmとし、PCa板の厚さを4.5cm、リブの高さを11.5cmとした。したがって、現場で後打ちするコンクリートの厚さは薄いところで6.0cm、厚いところで17.5cmとなった。PSの導入はプレテンション方式を採用、その本数は構造計算から一枚のPCa板に4本のPC鋼より線（SWPR7B-φ12.7）を必要とすることから、1つのリブに2本ずつPC鋼より線をリブ下端から45mmの位置に80mmの間隔で均等に配置した。図－1に工法の概要図を示す。



図－1 工法概要図

3. 実験概要

3.1 実験目的

本実験は、後打ちコンクリートを打設するまでのPCa板単体と、後打ちコンクリートの打設後硬化した合成スラブの耐力がPC標準に示される設計耐力式で計算した値と比べ、妥当性を有するものかどうかについて検証するものである。

3.2 試験体

実験に供した試験体の形状寸法と一覧を図－2、および表－1に示す。試験体はPCa板単体のもの（PR）と、PCa板の上に場所打ちコンクリートを打設して全体厚さを22cmとした合成スラブ床板（CPR）の計2体である。場所打ちコンクリートとPCa板との水平打継ぎ面は、面内せん断耐力を上げるためエキスパンドメタルを用いて粗面仕上げとした。試験体の長さは6.2mである。

PCa板にはプレテンション方式により有効平均圧縮応力度 $P/A=5.5\text{N}/\text{mm}^2$ （PC鋼より線の降伏点応力度の85％）となるようにPSを導入した。試験体作製

にあたり使用したコンクリートとPC鋼より線および鉄筋の力学的性質を表－2、表－3、表－4に、試験体の作製状況を写真－1に示す。

3.3 載荷方法

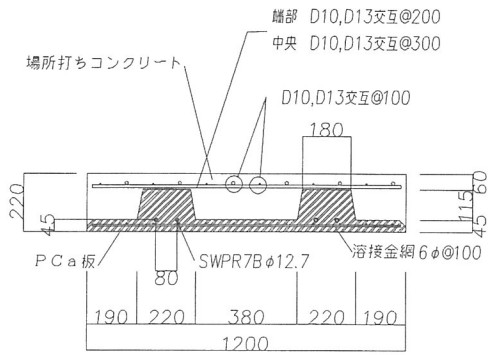
載荷は試験区間に等曲げモーメントが生じるように、3等分点2点載荷で行った。試験体の支点間距離は実験装置の制約があったため5.6mとした。載荷台にピン支承とピンローラ支承を介して試験体を設置した後、加力点にピン支承とピンローラ支承を介し、H形鋼をのせた加力フレームを組み立て、その中央に50tf用油圧ジャッキ1台を設置して荷重を与えた。載荷装置を図－3に示す。加力サイクルはPRは単調載荷で行い、CPRは一方向繰り返し載荷で行った。この繰り返し載荷は、①弾性範囲内（ひび割れ発生荷重の60%以内）の載荷、②PCa板中央部下面にひび割れが発生するまでの載荷、③変形量1/200（28mm）までの載荷、破壊するまでの載荷という4サイクルで行った。なお、それぞれのサイクル毎に発生するひび割れの状況を観察しながら載荷を繰り返した。各試験体の載荷履歴を図－4に示す。

3.4 計測装置

試験体に載荷したときの荷重値は、油圧ジャッキに取り付けたロードセルで、部材変位はスパン中央下部に2カ所、加力点下部に2カ所設置した変位計で測定した。PC鋼より線のひずみはPCa板内の4本のうち外側2本の中央部にワイヤーストレインゲージ（以下W.S.Gという）を貼り付け、PS導入時から測定した。溶接金網には中央部に12カ所、異形鉄筋には上端中央部に12カ所W.S.Gを貼り付けた。図－5にひずみゲージの位置と変位計の取り付け位置を示す。

表－1 試験体一覧

試験体名	試験体種別	支持条件	幅 (m)	スパン長さ (m)
PR	PCa板	単純支持	1.2	5.6
CPR	合成スラブ			



図－2 試験体の形状寸法

表－2 コンクリートの力学的性質

試験体名	PCa板用コンクリート			場所打ち用コンクリート		
	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	材齢 (日)
PR	48.8	30.4	85	—	—	58
CPR	64.0	40.3	77	26.4	27.7	58

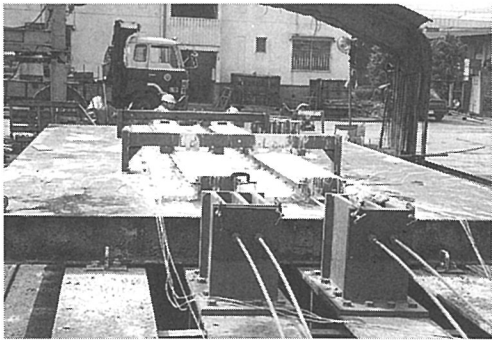
表－3 PC鋼より線の力学的性質

規格	公称径 (mm)	降伏強度 σ_{py} (N/mm ²)	引張強度 σ_{pu} (N/mm ²)	降伏ひずみ ϵ_{py} ($\times 10^{-6}$)	破断時伸び (%)
SWPR7B	$\phi 12.7$	1722 ¹⁾	1915	8905	7.0

1) 0.2%永久ひずみ相当

表－4 鉄筋の力学的性質

	断面積 (mm ²)	降伏強度 σ_{sy} (N/mm ²)	引張強度 σ_{su} (N/mm ²)	降伏ひずみ ϵ_{sy} ($\times 10^{-6}$)	破断時伸び (%)
溶接金網 $\phi 6$	38	—	625	1857	—
D10	71	361	512	1785	27.5
D13	127	359	519	1778	26.0



写真－1 試験体の作製状況

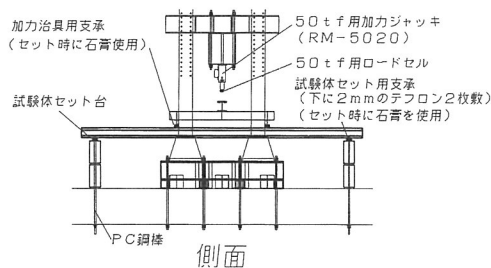


図-3 荷重装置

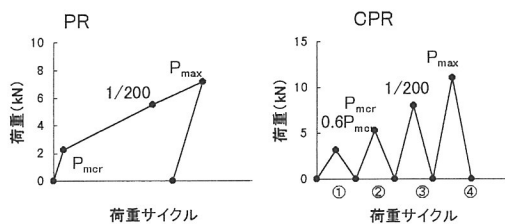


図-4 荷重履歴

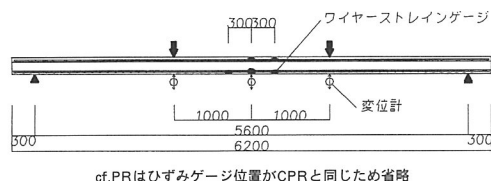


図-5 ひずみゲージ位置と変位計取り付け位置

4. 実験結果と考察

4.1 荷重－変形関係

試験体の荷重－変形関係と最終ひび割れ図を図-6に示す。荷重 P は加力ジャッキに取付けたロードセルで測定した値を、変位 δ は試験区間中央部に設けた2本の変位計で測定した値の平均値 $\bar{\delta}$ で示す。参考として、この荷重－変形関係のグラフ上に、それぞれ要求される設計荷重の等分布荷重を最大曲げモーメントが同一となるように換算した集中荷重を示す。単体試験体であるPRについては、場所打ちコンクリート重量 328kgf/m^2 とコンクリート打設作業時の荷重 150kgf/m^2 を合計したものにPCa板幅 1.2m 分を掛けたものを換算前の単位長さあたりの等分布荷重とした。一方、合成スラブのCPRについては、積載荷重 180kgf/m^2 と仕

上荷重 80kgf/m^2 を合計し、それに板幅 1.2m 分を掛け たものを単位長さあたりの等分布荷重とした。

図-6に示すようにPR試験体は、曲げひび割れ発生後剛性が低下し、徐々に曲げひび割れ本数が増え始め、溶接金網の降伏を経てひび割れ幅が急増し、加力点近傍のコンクリートの圧壊($\delta/L=1/49$)によって破壊した。また、場所打ちコンクリート打設時の荷重とたわみ量は、後打ちコンクリートを打設しているときで $P=24.52\text{kN}$, $\delta=11.96$ ($\delta/L=1/468$)となるがコンクリートの打設終了後は、後打ちコンクリート重量だけとなるため $P=8.33\text{kN}$, $\delta=7.7\text{mm}$ ($\delta/L=1/727$)となる。曲げひび割れが発生する時の荷重は 37.0kN であることから、支保工がなくてもひび割れも発生せず問題なく施工できるものと考えられる。

一方、合成スラブであるCPRは、曲げひび割れ発生後剛性が低下し、3サイクル目から曲げひび割れ本数が増え始め、溶接金網の降伏後、さらに剛性が低下し、PC鋼より線の降伏を経て最大荷重に達した。最大荷重時のたわみは 139.3mm ($\delta/L=1/43$)であった。設計荷重が 5.88kN と考えると、ひび割れも発生せず、たわみ量も無視できるほど小さく耐力的には何ら問題がない。なお、最大荷重に達するまで、PCa板と場所打ちコンクリートとの打継ぎ面にずれは観察されておらず、一体として挙動していることを確認した。

4.2 スラブ中央部鉄筋のひずみ分布

図-7はスラブ中央部の溶接金網、鉄筋およびPC鋼より線の曲げひび割れ発生時と最大荷重時におけるひずみ分布を表したものである。両試験体とも荷重の増加に伴い、溶接金網は早い時期に降伏しており、耐力はPC鋼より線に依存する傾向を示した。

このことから、合成スラブのCPR試験体は、PC鋼より線によって耐力が決定され则认为る。

4.3 最大耐力

表-5に実験結果と計算値の一覧を示す。計算値は文献³⁾に従って算出したものであるが、曲げひび割れ荷重は中央部下端の引張応力 σ_{ct} が曲げ引張強度 F_{ctb} 以下(文献¹⁾のⅢ $_{tb}$)になるように計算した。実験値と計算値の比が初期剛性で $0.80\sim 0.90$ 、ひび割れ荷重で $1.11\sim 1.66$ 、最大荷重で $0.96\sim 1.10$ とほぼ一致し、PC標準の計算式の適合性が示された。

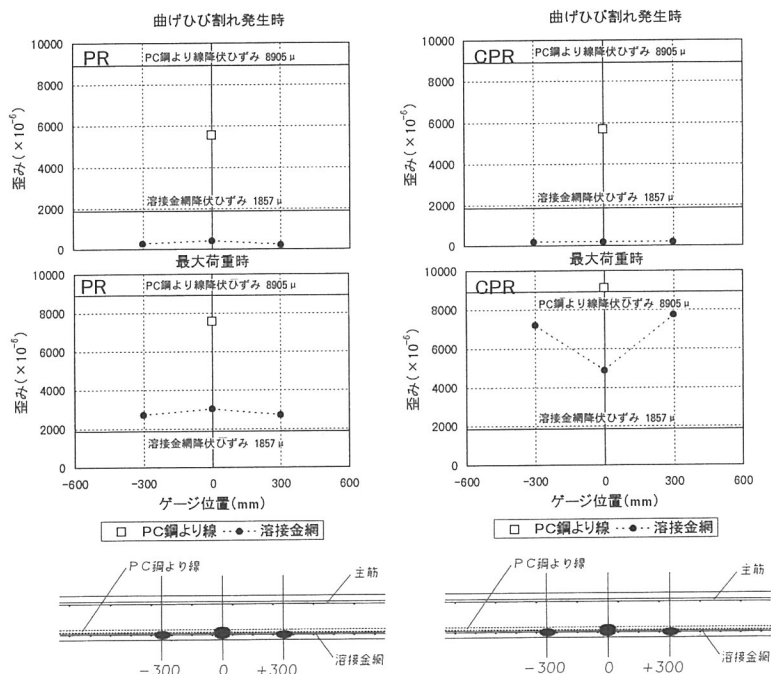
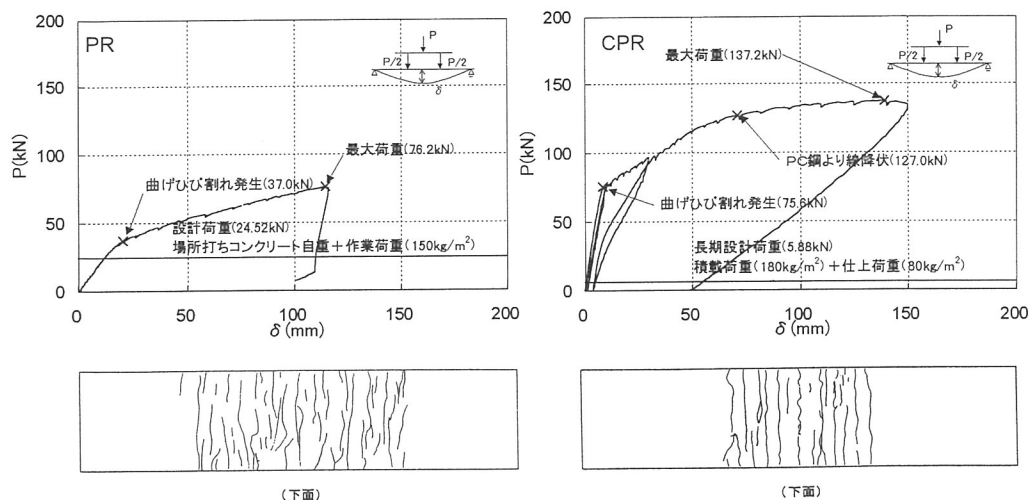


表-5 実験結果および計算結果一覧

試験体	実 験 値			計 算 値			実験値/計算値		
	初期剛性 (kN/cm)	ひび割れ 荷重(kN)	最大荷重 (kN)	初期剛性 (kN/cm)	ひび割れ 荷重(kN)	最大荷重 (kN)	初期剛性	ひび割れ 荷重	最大荷重
P R	18.44	36.88	76.10	20.60	22.16 ¹⁾	79.62 ²⁾	0.90	1.66	0.96
C P R	75.52	75.12	137.30	94.54	67.66 ¹⁾	124.37 ²⁾	0.80	1.11	1.10

1) スパン中央部下面の曲げ引張強度 $\sigma_{tb} = 0.07 \times 5/3 \times F_c$ を用いて算出

2) プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説 $M_B = (1 - 0.5q)p \cdot b \cdot d^2 \cdot \sigma_{py}$ を用いて算出

5. まとめ

PSを導入した逆リブ型PCa板の曲げ載荷実験を行った結果、次のことが確認された。

- 1) 本実験で用いたPCa板の断面であれば、スラブ内法スパン6 m程度までは支保工無しで施工できる。
- 2) 打継ぎ面をエキスパンドメタル等で適正に処理することで、最大荷重に達するまで打継ぎ面のずれは観察されず、合成床板としての一体性が確保される。
- 3) 合成スラブの最大耐力は、PC鋼より線の降伏で決まり、(最大荷重実験値)/(曲げ降伏計算値)の値は1.10であり、PC規準による計算式の適合性が示された。
- 4) 本工法は合成スラブとして十分な耐力と靱性を有する。

本実験で、合成床板にPSを導入した逆リブ型PCa板を用いる当工法が、支保工なしで施工できること、また、合成スラブとしても構造面で何ら問題のないことが確認できた。

今後、実際の現場に本工法を適用し、施工面、安全面についても検討を行い、さらにコストの低減や省力化を図る等改良を行い、本工法の水平展開に取り組んでいきたいと考えている。

最後に、実験に際し、ご協力を頂いた日本大学理工学部末次教授、岡田助教授および同研究室学生諸氏に感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会：プレストレスト鉄筋コンクリート（Ⅲ種P C）構造設計・施工指針・同解説
- 2) 日本建築学会：プレストレストコンクリート（P C）合成床板設計施工指針・同解説
- 3) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説
- 4) 新藤忠徳ほか：プレストレス導入後プレキャストコンクリート埋設型枠を用いた合成スラブに関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.919～pp.920、1997,9
- 5) 山下正吾ほか：P C埋設型枠を用いた長スパン合成床板の短期曲げ性状に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、pp.1067～pp.1072、

vol.18、No.2、1996

- 6) 小森清司ほか：ひし形網目状の粗面を打継ぎ面に有する合成床スラブの打継ぎ部せん断耐力に関する研究、日本建築学会大会構造系論文集、pp.89～pp.98、1994、4
- 7) 田中恭哉ほか：空洞部を設けた合成床スラブに関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1081～1082、1993,9
- 8) 中西伸行ほか：ハーフP C板合成スラブの実験研究（打継ぎ面のせん断実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.683～pp.684、1991、9