

連続ケーブルを配置した段差付きプレキャスト PC 床版の設計

黒沢建設(株) 設計部 正会員 ○小泉奈美子
 同 上 設計部 藤原 孝宏
 同 上 技術部 正会員 平井 圭

1. はじめに

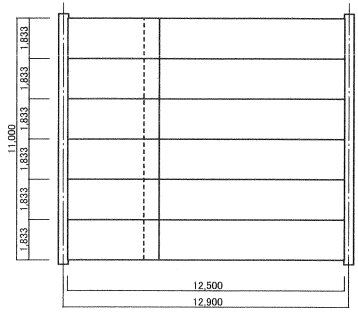
近年、都心部に建設される集合住宅は、高層・超高層が主流の傾向にあり、居住空間の間取りをフリープランとする目的から、軽量かつ大スパンで小梁のない大型床スラブが主流になりつつある。さらに、バリアフリーの観点から設備配管スペースを考慮し、予め段差を床版に設ける条件も加えられる。本稿は、以上の条件に適合する段差付大型床版を計画し、許容曲げモーメント・振動性能・変形の面から床版の試設計を行い、また、段差部におけるPC鋼材配置方法の違いによる変形の影響についてFEM解析及び非線形漸増載荷解析を実施した結果について述べるものである。

2. 設計概念

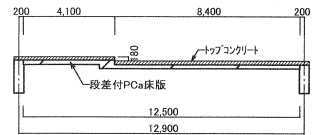
従来の大スパン床版においてはプレテンション方式を用い、床版にプレストレスを導入することで、ひび割れや過大な変形を発生させないという考えのもとに設計を行ってきた。しかしながら、今回計画する床版のように段差がある場合、プレテンション方式では段差部分に連続したPC鋼材を配置することは現実的ではない。従来の床版では段差部に非連続のPC鋼材が存在し、互いに定着長さをとることでプレストレスが有効に導入されていると考えられてきた。しかし端部のプレテンションケーブルを切断しただけでは、十分な定着長さを確保しなければならず、段差部分の寸法が大きくなるため、自重が増大してしまう。そこで今回の設計では、従来のプレテンション方式ではなくアンボンドPC鋼材を用いたポストテンション方式を採用し、段差部であってもPC鋼材を連続して配置できるような計画とした。

3. 計画概要・床版架設手順

検討を行う形状として高層集合住宅の1グリット分であるスパン12,900mm×桁行11,000mmを想定した。床版の割付は、桁行11,000mmを6分割し、版1枚当りの幅を1,833mmとした。この版幅は、部材の運搬、現場における架設重機の性能等を考慮した値である。段差は床版中央ではなく、版長のおよそ1/3辺りに設け、段差量は180mmとした。床版は一方のみ梁とトップコンクリートで一体とし、2辺固定となる計画とした。プレストレスの導入時期は脱型直後プレストレス導入力強度(35N/mm²)発現後とした。図-1に床版概要図、図-2に床版の架設順序を示す。今回の計画は12,900mmの大スパンであるため、変形量および応力度を制御するには、サポートを効率的よく使用することが重要となる。そこで、図-2に示すようにサポートを架設の段階ごとに分けて配置する方法を考えた。床版自重時においては中央部下端に引張応力度が発生しない程度まで二本のサポート1を極力端部に寄せて配置する。このままではトップコンクリート打設時に中央部の応力度が許容引張応力度を超えてしまうため、サポート2を床版中央部に設置した。その後トップコンクリートの強度が発現し合成断面となった後にサポートの撤去を行う計画とした。

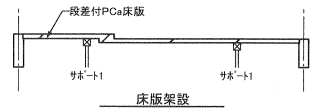


KEYPLAN

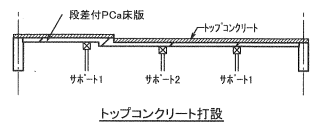


床版側面図

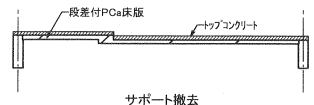
図-1 床版概要図



床版架設



トップコンクリート打設



サポート撤去

図-2 床版架設順序

表-1 床版性能目標(長期荷重時)

		目標値		単位
		中央 (下端)	端部 (上端)	
断面性能	長期許容曲げモーメント Ma	≥160	≥130	kN.m/m
	短期許容曲げモーメント Md	≥240	≥200	kN.m/m
変形量	長期たわみ δ	≤26		mm
振動性能	ポイントインピーダンス	≥1.78 × 10 ⁶	≥3.85 × 10 ⁶	N.S/m

4. 設計条件・目標値の設定

荷重条件は、長期荷重として住居室の床用積載荷重 1,800N/m² に仕上げ・天井等を考慮し、2,800N/m² とした。また、短期荷重時は長期荷重時の 1.5 倍とした。表-1 に今回計画した床版の長期荷重時における、性能目標値を示す。床版の断面性能においては、長期許容曲げモーメント Ma(以下 Ma) および短期許容曲げモーメント Md(以下 Md) が、プレストレスト鉄筋コンクリート(以下Ⅲ種 PC)¹⁾ で示される引張応力度がそれぞれ Ft および Ftb 以内であることを条件とした。長期たわみの最大変形量の目標値は L/500 に相当する値とした。規準⁶⁾では、変形増大係数を考慮したたわみの最大値が L/250 であることを確かめることとしている。また、集合住宅において居住者の感覚的鋭敏性や建具の納まりを考慮すると、L/400 以下が望ましいとある。しかし、今回の計画が大スパン(スパン長 L=12,900mm)であることを考慮し変形量の絶対量を抑えるために、たわみ量の最大値は L/500 を目標とした。また、振動性能に関しては、床版のポイントインピーダンス値を用いて、近年床版設計時に重要視される床衝撃音レベルを算出し、ポイントインピーダンス値を一般的な集合住宅に適しているとされる 63Hz 帯域²⁾の値とした。

5. 断面形状

床版の断面形状を図-3 に示す。版幅 1,833mm 間の4箇所にリブを設けたリブ高さ 200mm の PCaPC 床版(設計基準強度 Fc=50N/mm²) に、厚さ 150mm のトップコンクリート(設計基準強度 Fc=30N/mm²) で一体とした版幅 1,833mm × 版厚 350mm の合成床版とした。トップコンクリート打設後の床版端部の断面は、床版の両端部から 1m までの位置を充実断面とし、端部および段差部を除いた区間はリブ間を中空にして軽量化を図った。また、PC 鋼材は SWPR7B φ 12.7PC 鋼より線を各リブ内に 3 ケーブルの合計 12 ケーブルを配置した。床版中央部の必要有効プレストレス力は P=96.0kN/本とした。

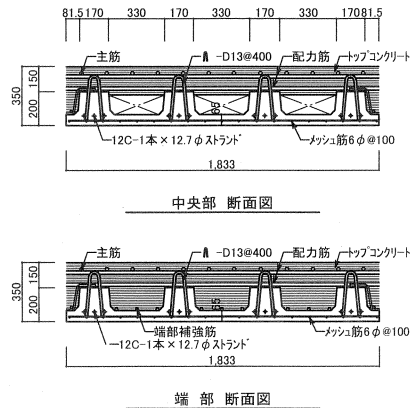


図-3 床版断面図

6. 許容曲げモーメント

表-2 に床版中央下端部における応力算出結果を示す。設定した目標値に従い、Ma はⅢ種 PC¹⁾ の中で引張強度 Ft^{**}までを許容範囲とし、Md は曲げ引張強度 Ftb^{**}までを許容範囲とし値を算出した。床版は、PCaPC 床版とトップコンクリートの合成断面であるため、算出した値は設計基準強度の差を考慮した値である。床版中央部は短期許容曲げモーメントが、端部は長期許容曲げモーメントが支配的な応力となるため、応力を検討する際には、これらを目標値に近似させることとした。

表-2 許容曲げモーメント検討結果

	中央 (kN.m/m)		端部 (kN.m/m)	
	結果値	目標値	結果値	目標値
長期許容曲げモーメント Ma	197.8	≥160.0	145.7	≥130.0
短期許容曲げモーメント Md	241.5	≥240.0	258.4	≥200.0

※Ft=0.07Fc (Fc:設計基準強度)
Ftb=5/3*Ft

7. 振動性能

床版の振動性能を把握するため、通常使用されているインピーダンス法により、床版中央部及び端部のポイントインピーダンス値を算出した。検討は 1 グリットの床で行い、床版断面は合成断面であるため、設計基準強度の相違を考慮した等価断面とした。床版の基本インピーダンスレベルは、125.7 dB となり、周辺の拘束の影響で増加するインピーダンス量を考慮した最終的なインピーダンスレベルは、床版中央部においては

表-3 ポイントインピーダンス値

		ポイントインピーダンス	
		計算値 (N.S/m)	目標値 (N.S/m)
位置	中央	3.43 × 10 ⁶	≥1.78 × 10 ⁶
	端部	4.03 × 10 ⁶	≥3.85 × 10 ⁶

110.7dB であった。これからポイントインピーダンス値を求めると、 $3.43 \times 10^6 \text{N/S}$ となった。同様に床版端部においてインピーダンスレベルを求めると 112.1dB となり、ポイントインピーダンスは $4.03 \times 10^6 \text{N/S}$ となり、中央・端部ともに目標値を満足したことを確認した。表-3 に検討結果を示す。また、結果として得られたポイントインピーダンス値から床衝撃音レベルを算出すると L-60 となった。一般的に集合住宅の床衝撃音レベルの標準は L-50 程度とされるが、これは各個々の居室における値であり、大床での検討としては比較的良好な結果となった。

8. 変形

8-1. 段差部分における PC 鋼材の配置方法

床版の段差部分における、PC 鋼材の配置の違いによる床版性能差の検討を行った。図-4 に示すように、PC 鋼材の配置形状をポストテンション方式連続タイプとプレテンション方式非連続タイプの 2 タイプとした。プレテンション方式は、PC 鋼材を連続配置することが困難であるため、2 段に分かれた配置となる。連続タイプは、アンボンド PC 鋼材を使用することし、PC 鋼材の配置形状はたわみに対して有効になるように可能な限り床版下端に這わせるように配置した。

8-2. FEM解析による検討

段差部分において PC 鋼材が連続か非連続かの違いによる応力状態の差異を確認するため FEM 解析を行った。解析モデルはソリッド要素として床版幅を 1/2 倍とし、支持条件は床版側面部を自由端、床版強軸方向はピン支持とし、床版には PC 鋼材によるプレストレスのみが作用するものとした。プレテンションケーブルは、緊張端部からある距離までは所定のプレストレスが完全に伝達されないため、タイプ 2 の段差部分の PC 鋼材は鋼材端部より 500mm は着かないものとして検討を行った。解析モデルを図-5 に、タイプ別の応力度を図-6 に示す。タイプ 1 の段差部内の応力度は一樣に圧縮応力度になっており、プレストレスが段差部分のコンクリートに伝達されていることが分かり、ケーブルを連続配置することの優位性が見られた。

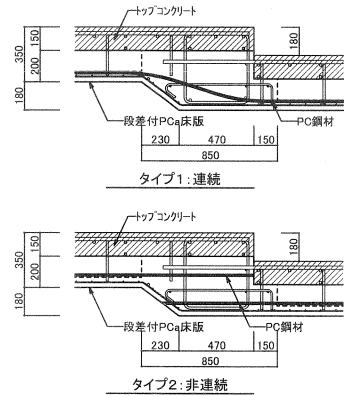


図-4 床版段差部タイプ別形状図

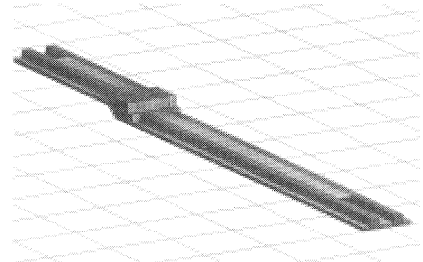
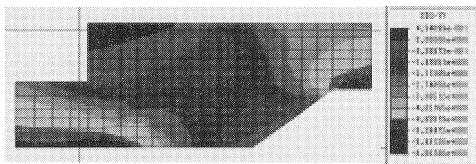
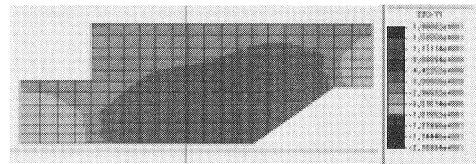


図-5 FEM 解析モデル



タイプ 1: 連続



タイプ 2: 非連続

図-6 タイプ別応力度状態

8-3. 非線形漸増載荷解析

次に、非線形漸増載荷解析を行ない、床版中央部の変形量を算出した。解析モデルはトップコンクリートを含めた合成断面を線材に置換した。置換した線材の材端に曲げ一回転角モデルを配し、その特性は図-7 に示す曲げひび割れおよび曲げ降伏を折れ点とするトリニア型とした。また段差部分の曲げ一回転角モデルは、FEM 解析の結果から段差部内の応力が一樣に圧縮応力度となり、プレストレスが有効に伝達されているタイプ 1 においては PC の特性を、段差部内が一樣に引張応力度となり、プレストレス効果は得られないタイプ 2 においては RC

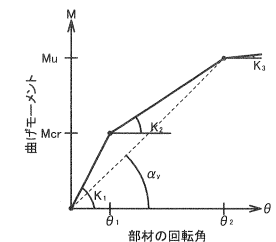


図-7 曲げ一回転角モデル

の特性を与え、その他の部分についてはタイプにかかわらず、外端部はRC、段差部分を除くその他の部分はPCの特性として解析を行った。PCの特性として式7-1, RCの特性として式7-2によって算出した剛性低下率 αy を用いた。解析結果を図-8および表-4に示す。サポート撤去時のスパン方向における床版中央部の変形量は、タイプ1およびタイプ2ともに5.64mmであり両タイプとも弾性領域内であった。200kN積載時(設計荷重時2,800N/m²に相当)においては、タイプ1は7.57mmで弾性領域内であるのに対し、タイプ2は7.87mmとなり、わずかではあるが段差部において、曲げひび割れモーメントを超え、第二勾配上を進み曲げ剛性が低下している。また300kN積載時(設計荷重時の1.5倍に相当)においては、タイプ1が8.56mmとほぼ弾性領域内であるのに対し、タイプ2は10.75mmとなりさらに第二勾配上を進んだ結果となった。これによりPC鋼材を連続配置させ、プレストレス力を床版全域に導入することが、床版の変形量を制御することに優位であることがわかった。

$$\alpha y = (0.043 + 1.64(rn \cdot rpt + 3.5pn \cdot ppt \cdot dp/D) + 0.043a/D + 0.33 \eta_0) \cdot (ds/D)^2 \quad \dots (式 7-1)^5$$

$$\alpha y = (0.043 + 1.64rn \cdot rpt + 0.043a/D + 0.33 \eta_0) \cdot (ds/D)^2 \quad \dots (式 7-2)^6$$

m: 普通鉄筋とコンクリートのヤング係数比 pn: PC鋼材とコンクリートのヤング係数比 rpt: 普通鉄筋の引張鉄筋比 ppt: PC鋼材の引張鉄筋比(全PC鋼材断面積) dp: 圧縮縁とPC鋼材重心位置の距離 ds: 圧縮縁と引張側普通鉄筋重心位置の距離 a: セン断スパン(内法スパンの1/2と仮定) η_0 : 軸方向応力度係数 $\eta_0 = N/b \cdot D \cdot F_c$ d: 断面有効せい D: 柱断面せい

8-4. 長期たわみの検討

設計荷重時に相当する200kN積載時に発生した変形量をもとに、変形増大係数K(以下K)を考慮し、長期たわみを算出した。プレストレストコンクリート造において、文献等による床版のKの規定はないため、既存の実験から与えられるK=3.0~4.0^{3),4)}を考慮し、ここではK=3.0と仮定した。結果、22.7mmとなり、目標値26.0mmを満たす結果が得られた。

9. まとめ

今回行った段差付きプレキャストPC床版の試設計において、以下のことがわかった。

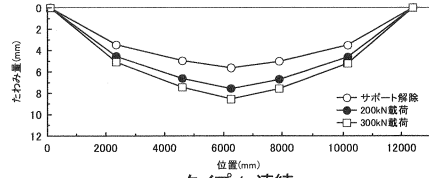
- (1) 床版段差部においてPC鋼材を連続配置することにより、段差部分のコンクリートにもプレストレスを有効に伝達させることができる。
- (2) 床版段差部においてPC鋼材を連続配置することは、非連続配置の場合と比較すると、変形量を制御することに優位である。

10. あとがき

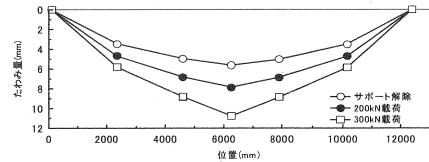
PC鋼材を非連続配置する場合はコスト面からは優位であり、段差部分においても有効にプレストレスを伝達させる方法は今後の大きな課題である。

11. 参考文献

- 1) 日本建築学会: プレストレス鉄筋コンクリート(III種PC)構造設計・施工指針・同解説
- 2) 日本建築学会編: 建物の遮音設計資料
- 3) 岩原昭次, 山下正吾: 長期持続荷下における長大スパン合成床スラブの曲げ性状に関する研究, プレストレスコンクリート技術協会第8回シンポジウム論文集, pp159~164, 1998.10
- 4) 森田宗男, 竹下修ほか: プレストレスを導入したPCa板を用いた段差付き合成床スラブに関する実験研究, プレストレスコンクリート技術協会第12回シンポジウム論文集, pp121~124, 2003.10
- 5) 共同研究PC構造設計・施工指針の作成平成10年研究報告
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度計算法—1999



タイプ1:連続



タイプ2:非連続

図-8 PC鋼材配置タイプ別変形量

これによりPC鋼材を連続配置させ、プレストレス力を床版全域に導入することが、床版の変形量を制御することに優位であることがわかった。

表-4 タイプ別各段階の変形量

	床版中央部 変形量 (mm)	
	タイプ1 連続	タイプ2 非連続
サポート撤去時	-5.64	-5.64
200kN積載時	-7.57	-7.87
300kN積載時	-8.56	-10.75