

# 大型ボイドスラブによる床変形量の管理

## Deformation Control of Large-span Slabs Using Circular-hole Voids

大森悦夫<sup>\*1</sup> 清水啓義<sup>\*2</sup> 本杉利夫<sup>\*3</sup>  
Etsuo Oomori Hiroyoshi Shimizu Toshio Motosugi

堀井敏明<sup>\*4</sup> 假屋園礼文<sup>\*5</sup>  
Toshiaki Horii Rebun Kariyasono

### 【要旨】

本建物は、東京都建設局の土木地下構造物（雨水調整池）の上部へ新たに建設される品川区の複合福祉施設である。この地下構造物の上部に建築物を構築する為、自ずと柱スパン割の計画を含め下部構の制約を受ける。そこで当該施設においては設計自由度の高い大型のボイドスラブが採用された。居住性が要求される部位に、極めて大きい支持スパンを有するボイドスラブの施工に先立ち、メーカー及び設計者を含めて十分な検討を行った。本報はこの大型ボイドスラブの工事施工監理について報告する。

【キーワード】 ボイドスラブ 変形管理 有限要素法 キャンバー 固定度

## 1. はじめに

氾濫川として有名な目黒川沿いの荏原調整池としての土木構造物の上部に、建築の柱を配置する特殊な構造を採用したこの施設は、区民住宅の大型供給に加え元気な高齢者から介護が必要な高齢者まで、多様なニーズに応えた自治体版有料老人ホームを中核とし、一部に店舗、在宅介護サービス施設を併設する高齢者複合施設である。この既存構築物である下部柱の制限を受けずに、施設に要求される空間を創出することを目的に、大型のボイドスラブ工法が採用された。そこで、本稿では居住施設としての性能を確保することを目的に、独自に検討した構造性能の把握、居住性の確認、及びその施工計画、現場変形計測の結果について記載する。

## 2. 工事内容

工事件名：西五反田高齢者等複合施設新築工事

工事場所：東京都品川区西五反田三丁目6番地

工期：平成13年10月～平成15年12月（工期）

平成14年9月～平成14年12月

（ボイドスラブ施工期間）

発注者：東京都品川区

施工者：飛島・仲岡・松本建設 共同企業体

建物規模：地上14階SRC造及び地上4階RC造

建築面積 4,311.45 m<sup>2</sup>

延床面積 19,953.02 m<sup>2</sup>



写真-1 建物外観

次頁に、その下部調整池の平面図、下層部の平面図、上部構の断面図を記載する。

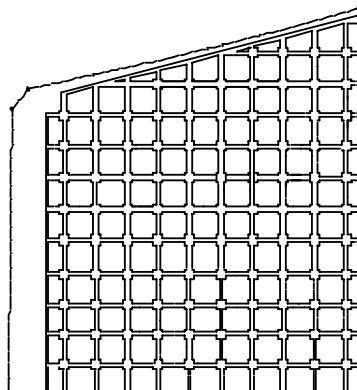


図-1 下部構造の平面図

上図に示す下部の巨大な調整池の構造が6m グリッドの柱で構築されているため、上部構造の柱もこのモジュールに合せる計画となっている。

図-2 平面図の斜線部分がボイドスラブ採用部分である。

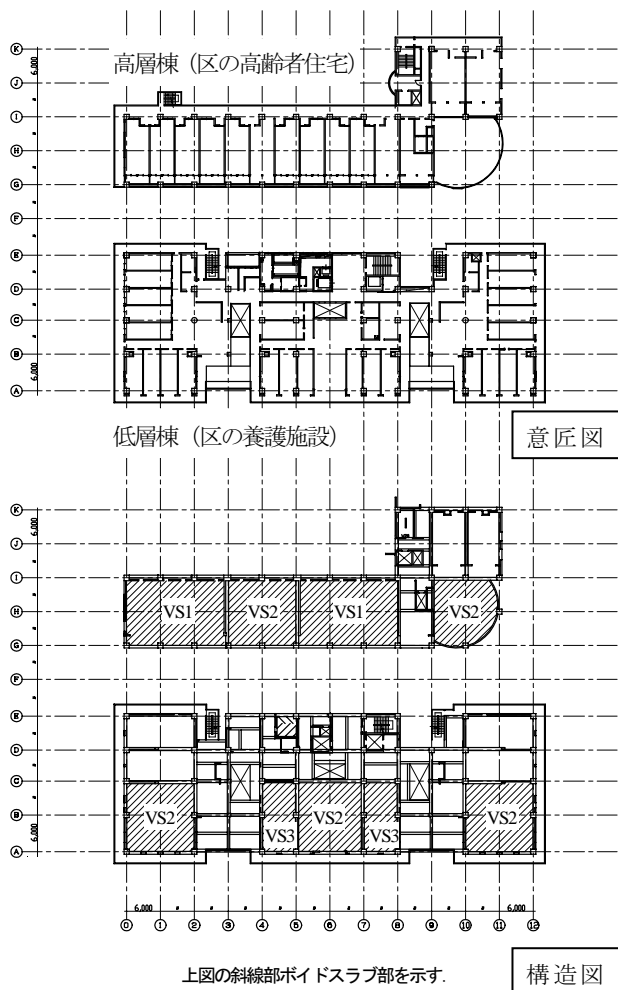


図-2 平面図

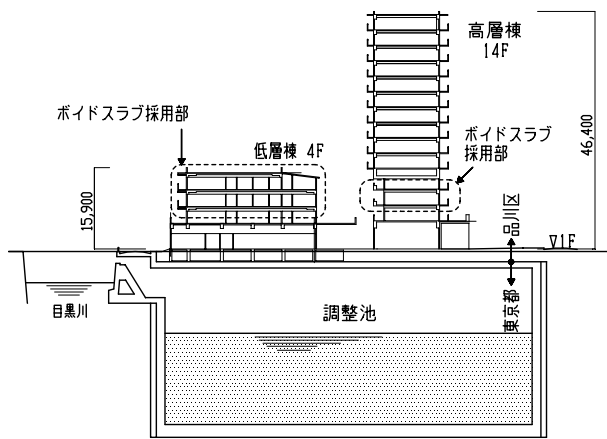


図-3 断面図

### 3. 工事内容

本施設に採用したボイドスラブ形式は、円孔ボイドスラブである。円筒形の鋼管をスラブの中央に埋め込み、スラブとしての曲げ剛性を確保しつつ、その重量の軽減を図っている。

当該施設に採用されたボイドスラブの概要を下記に示す。尚、ボイドスラブの符号は、図-2に示す床符号を示している。

床版の厚さ：400 ～ 450mm

ボイド鋼管：φ250 ～ 300mm

面積 VS1 : 12m×18m 216 m<sup>2</sup> 4 箇所

VS2,4 : 12m×12m 144 m<sup>2</sup> 12 箇所

VS3 : 6m×12m 72 m<sup>2</sup> 6 箇所

ボイドスラブの延床面積 3,096 m<sup>2</sup>

VS1においては短辺が12mにおよび、在来スラブの概ね10倍の広さを有する極めて大型の一枚スラブである。

図-4にVS1のボイド鋼管の配設状況を示す。

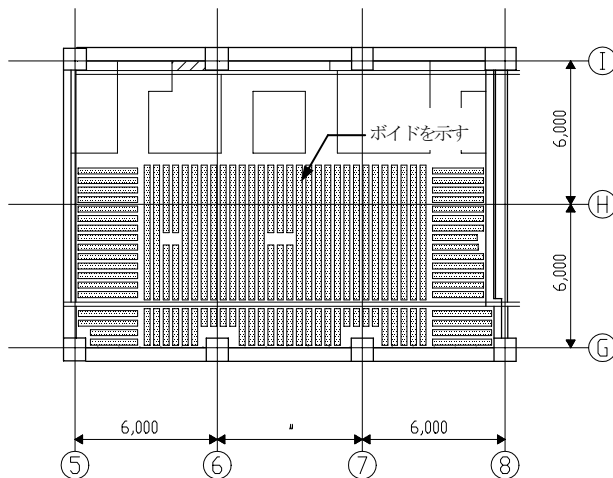


図-4 ボイドスラブ平面図

図中の上部 (I 通り側) は、居住施設に必ず伴う水廻り

部のダウンスラブである。これらにはボイド鋼管が敷設されていないが、設計者及びボイド床専門家と協議して、全体に見れば大梁に近い位置であり、ボイドスラブ全体の構造性能への影響は少ないと判断した。

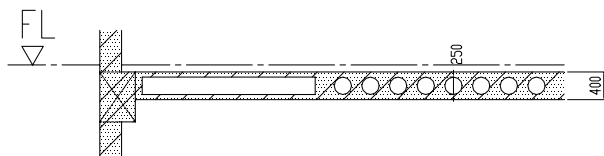


図-5 ボイドスラブ断面図

## 4. ボイドスラブの性能設定及び解析

### 4.1 性能設定

本ボイドスラブの施工に際し、事前に設計者及びボイド専門家と協議を行い、以下の要件を満足することを目標とした。

a. 長期たわみ  $\rightarrow \delta_L \leq 30\text{mm}$

RC規準<sup>1)</sup>において、長期的なたわみとして20mm以下を示しているが、支持スパンが12mと大きく、弾性変形量が大きいことを考慮し、この変形量については施工時に上方にキャンバーを設けることで相殺できると判断し、30mmを採用した。またこの数値は、変形角で定義すれば(短辺長さLx)/400に相当する。

b. ひび割れ幅  $\rightarrow w_{\text{max}} \leq 0.2\text{mm}$

PRC指針<sup>2)</sup>より、耐久性等を考慮し、許容できる曲げひび割れ幅として上記の数値を採用した。

c. 居住性能の確保

居室としての基本的な性能を確保する上で、居住性能評価指針<sup>3)</sup>による性能評価区分のランクとして、歩行時にはV-1.5、飛び跳ね時にはV-5を満足することを目標とした。

### 4.2 応力解析

大きなスパンを有する床工法の施工に際し、たわみ量の正確な把握は重要である。そこで管理値としての精度の高い予測値を得るために、有限要素法(FEM)による解析を行った。

柱及び大梁を含む1層全体のモデルを作成し、周辺支持架構の剛性を反映させたモデルとした鉛直たわみを求めた。解析モデルを図-6に示す。図-7は代表的なVS1の鉛直変位を示す。なお、積載荷重については、実情に近い地震用の積載荷重である60kg/m<sup>2</sup>を与えている。

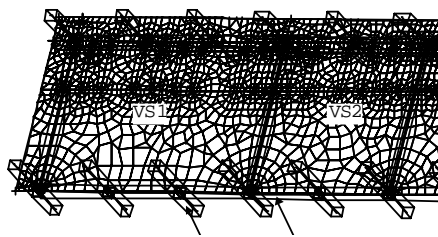


図-6 解析モデル図

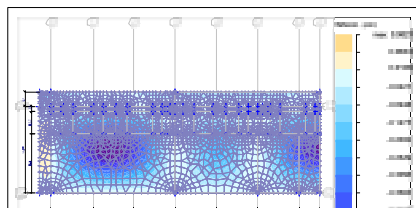


図-7 VS1の鉛直変位図

### 4.3 床鉛直振動解析

解析プログラムは日本総合研究所の「揺れイザー」によった。荷重は居住性能評価指針による模擬加振力として歩行及び飛び跳ね時を用いた応答解析を行った。

下記に最も床面積の大きいVS1床の鉛直振動の応答結果を示す。図中のV-1.5のランクは、居住性に関する評価の基本となる数値であり、人間がようやく感じる振動の閾値を示しており、この値に満たない場合では大半の人が知覚出来ない領域であることを示している。

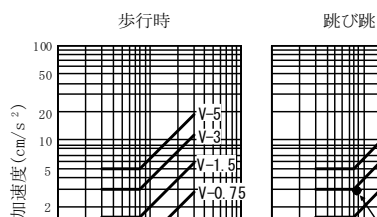


図-8 高層棟VS1の床の鉛直振動

### 4.4 解析のまとめ

前述の解析により、鉛直変位は低層棟のVS2が最大の数値となり、たわみ量（数年後の供用下における長期たわみ）は29.6mm（変形角1/406）となり、目標とする値を下回った。何れのボイドスラブにおいても、長期たわみ量、変形角共に目標値を満足した。但し、これら一連の応力解析を経て、当初の元設計で求めた応力（一般理論解による値）に比較して、床のダウンスラブを解析モデルに含んだこと、周辺架構の固定度を正しく評価したことで、スラブ筋の配筋には相応の補強が発生した。併せて、スラブの拘束の度合いに影響を与える大梁の振り剛性を評価したために、振れモーメントに抵抗する梁の腹筋の補強が必要となった。

また、床の鉛直振動の評価においては、ほぼ知覚されないであろう低いレベルの振幅域に留まり、有害な振動障害が発生する懸念は少ないと判断された。

## 5. 施工

### 5.1 施工計画

事前の解析結果を踏まえ、ボイドスラブ部の鉛直変位が大きい部分についてはキャンバー量として15mmを採用することとした。

また、ボイドスラブ施工に先立ち、特に下記の点に留意した。

- ・キャンバーの設置個所及びその箇所数
- ・ボイド鋼管の下部へのコンクリートの密実なる充填
- ・支保工の脱型時期
- ・たわみ量の追跡管理
- ・解析時に判明したダウンスラブ部の応力集中とひび割れ発生に対する鉄筋補強

大型のスラブに僅か15mmの微妙な数値のむくりをスラブ全体に与えるために、型枠に対して支保工の高さを変えることによりスラブ中央部から端に向かって滑らかな曲率をあたえるように調整を行った。

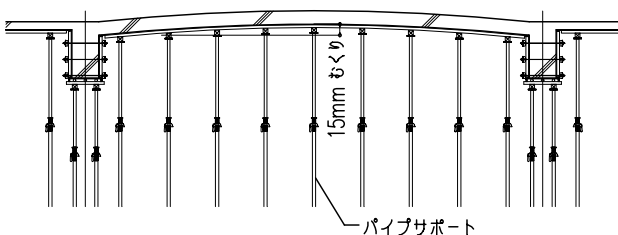


図-9 型枠支保工図



写真-2 ボイドスラブの施工状況



写真-3 ボイドスラブの全体敷設状況

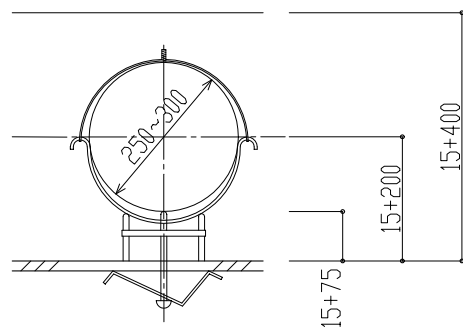


図-10 ボイド断面

## 5.2 現場変形計測結果

現場で計測した鉛直のたわみ量を下記に一覧で示す。左側のY軸の目盛りは、階高寸法を示し、低層棟においては2,900mmが正規寸法のスラブ天端、2,915mmはキャンバーを与えたスラブ部分を示している。高層棟も同様に2,650mmが正規、2,665mmがキャンバー付きスラブである。下記のグラフは、型枠脱型時からのスラブ天端の沈む状況を表すものである。

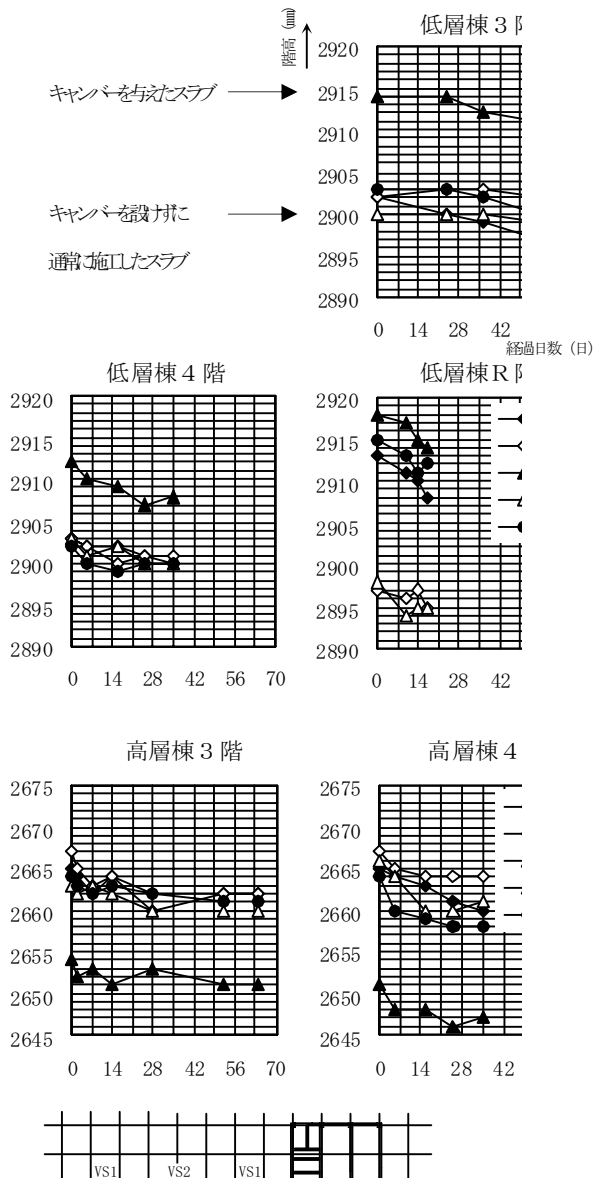


図-11 床の鉛直たわみの計測結果

施工の進捗に伴い、躯体面が仕上げ材等に隠れて定点測量を行えなくなり、上階の方が計測期間が短くなっているが、全体としては、脱型直後の弾性変形量は極端に大きくなくても時間の経過と共にたわみが増大することが何れの床でも計測された。やはり押えコンクリートや水勾配、設備架台基礎等の二次コンクリートの重量が大きい低層棟R階においては、鉛直たわみの進行は他に比較して早い。

## 6. まとめ

### 6.1 大型ボイドスラブの変形

床スラブの長期たわみ量は、瞬時たわみと長期付加たわみの和として定義される。瞬時たわみは、正に型枠脱型時の弾性変形量であり、付加たわみはコンクリートのひび割れ及びクリープにおいて二次的に発生するたわみの量である。下図に経過時間とクリープの関係を示す。

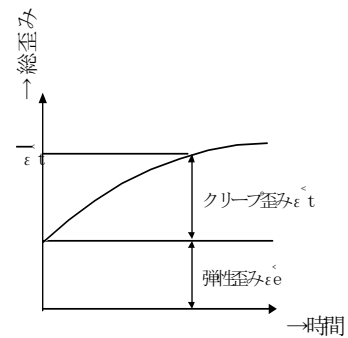


図-12 歪みの経時変化

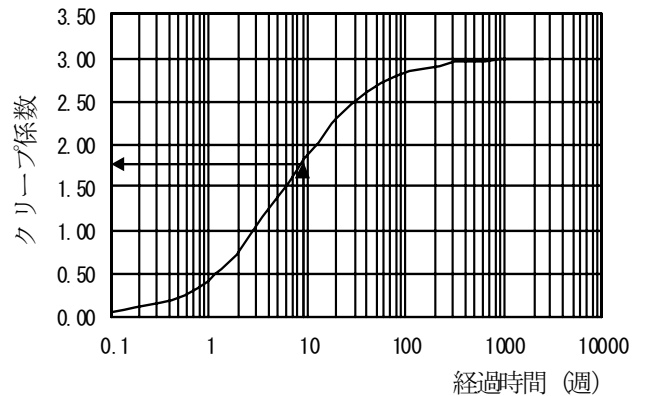


図-13 クリープ係数の経時変化

RC規準では、一般に長期たわみ量は、計算された弾性たわみ量の12~18倍に増幅されることを示している。次頁に今回のVS1スラブにおいて、高層棟の3階の床で計測された鉛直変位の各点の平均を示す。

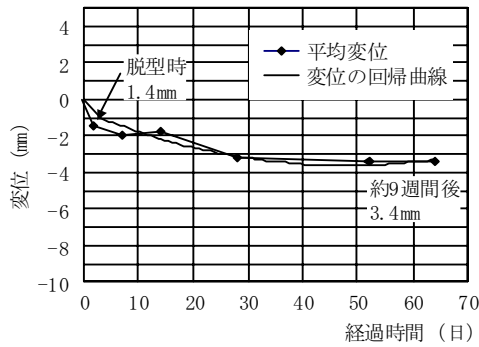


図-14 VS 1の鉛直変位の変化

上図は型枠脱型時から約9週間後までの鉛直変形（たわみ）を示している。図-12及び13の経時変化の関係では、9週間後には瞬時たわみの1.8倍程度のクリープ変形が進行することを示している。本計測結果においても脱型時の瞬時たわみが1.4mm程度であったのに、約9週間を経てその値は3.4mm（2.4倍、増加分は瞬時たわみの1.4倍）まで増加しており、概ね鉛直変位の推移の傾向を捉えている。本建物の大型ボイドスラブにおいては、今後実際の供用下において積載荷重が加わること、また床の乾燥収縮に伴う微細なひび割れ等も考慮すれば、今後の床の鉛直変位は事前に予想した長期たわみの値になると考える。

当該床の様に大型のスラブについては、弾性変形による鉛直変位よりはむしろ概ね1～2年を経過して最終的な変位が現れるために、施工前の十分な検討が必要である。キャンバー量の設定についても、その仕上げ工事を行う際には最終的な鉛直変形の様相が表れるのでは無いので、変形追従性に留意した材料、工法の選定が重要となる。

また、精度の高い応力解析を行ったことで、強度的に幾分に不足している部分が散見された。このことが直接に構造耐力上において問題となることは無いが、応力の集中の度合いが高い部分が判明したことで、適切な補強が講じられ、結果としては躯体ひび割れが抑制できたと考える。

また、施工時の注意点としては、ボイドスラブ床のコンクリート打設に際しては、このボイド鋼管の口径が大きいために浮き上がりが発生しやすい。ボイド下端のコンクリートの沈降を待って上層部を打設することが重要である。また大スパン構造物に共通することであるが、有

害なひび割れやクリープを抑制するには、支保工の存置期間が重要な要因となる。今回においても支保工撤去時期は2層上階のコンクリート強度発現後で且つ、4週経過後とし、十分な期間を設けている。

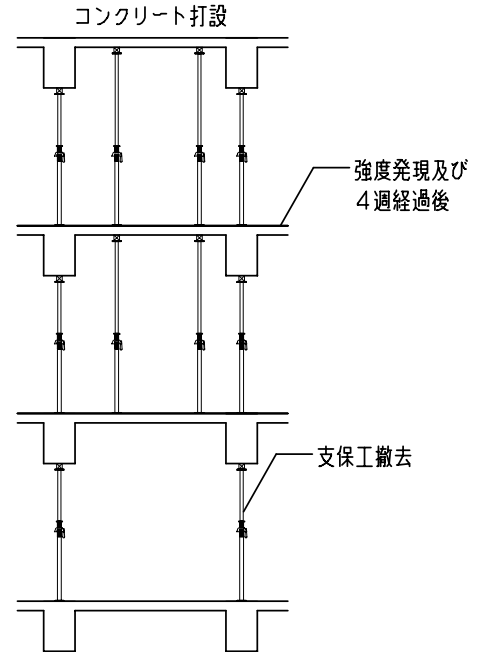


図-15 支保工撤去計画

#### 【参考文献】

- 1) RC規準 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（建築学会）
- 2) PRC指針「プレストレスト鉄筋コンクリート構造設計・施工指針・同解説」（建築学会）
- 3) 居住性能評価指針  
「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説」（建築学会）