土木構造物における3次元解析、動的解析、非線形解析など 解析技術適用の事例とその効果

池状構造物の立体モデルへの適用

(株)フォーラムエイト 東京本社技術サポート Gr 長 中川 信男

1. はじめに

構造物は、自重や外力の作用を受けた場合、実際 は3次元的な挙動となる。したがって、構造解析も 3次元解析によることが望ましい。今回は、四面を 側壁と妻壁に囲まれた池状構造物に着目して、3次 元静的弾性解析を実施し、従来から実施されている 2次元静的弾性解析と比較することにより、より合 理的な設計手法の提案を行う。

解析には、弊社3次元非線形解析ソフト「UC-win/FRAME(3D) Ver.1.07」を用いる。

2. 池状構造物の立体モデルへの適用

1) 解析対象

解析対象は、図-1、図-2に示す側壁、妻壁、迂





図-2 壁式構造全体図(前面妻壁省略)

流壁で構築されている壁式構造と、図-3、図-4 に示す側壁、妻壁、柱で構築されている壁柱構造の 池状構造物とする。両構造とも頂版、底版はフラッ トスラブ構造である。



図-5 壁式構造骨組みモデル図

面内方向、側壁面内方向それぞれを格子状に骨組み 部材を組むことによりモデル化する。また、側壁、 迂流壁に関しては側壁面内方向、鉛直方向それぞれ を格子状に、妻壁に関しては妻壁面内方向、鉛直方 向それぞれを格子状に骨組み部材を組むことにより モデル化した。頂版、側壁、底版、迂流壁について は、格子状に組んだそれぞれの部材に断面剛性を設 けることにより、版の3次元挙動を擬似的に表現す るものとする。

部材厚は底版1.0m、頂版0.35m、側壁・妻壁0.8m、 迂流壁 0.6m である。

また、底版、頂版、側壁、妻壁、迂流壁のコンク リートの材質は全て 21MPa とする。

b.荷重設定と照査位置

図-6に示すように、側壁面の鉛直方向に、水平 震度1.0の水平荷重を設定する。



図-6 壁式構造載荷荷重図

また、本解析では妻壁部のせん断抵抗の影響を見 るため、奥の妻壁部より側壁長さの1/16地点(妻壁 より離れ2m)、1/8地点(妻壁より離れ4m)、1/4地 点(妻壁より離れ7m)、3/8地点(妻壁より離れ10m)、 1/2地点(妻壁より離れ13m)の断面力に着目する (図-7参照)。



c. 解析結果

3次元モデルの解析結果を次図に示す。図-8に 全体モデルの曲げモーメント分布図を、図-9~図 - 13 に各着目断面での曲げモーメント分布図を、
表-1に各部材の最大曲げモーメント一覧を示す。
また、図-14は、各照査断面位置での底版部の曲



図-8 3次元曲げモーメント図(妻壁部省略)



図-9 1/2 地点曲げモーメント図









図-12 1/8地点曲げモーメント図





図-14 各照査位置での曲げモーメント分布図(底版部)

表-1 各部の最大曲げモーメント一覧表

妻壁からの離れ		1/2地点	3/8地点	1/4地点	1/8地点	1/16地点
	底版	87.156	85.318	81.318	68.690	81.274
曲托ーメオ	側壁	145.188	142.923	135.624	118.046	113.151
(kNm)	迂流壁	98.592	98.592	93.357	81.876	60.974
	頂版	9.674	9.674	7.903	4.584	4.202

げモーメントを併記したものである。

表-1より、妻壁に近い1/16地点および1/8地点 (奥の妻壁より2m、4mの位置)では、特に、側壁、 迂流壁と頂版の曲げモーメントが、他の地点より2 割~5割程度小さくなっている。しかし、他の位置 では、いずれの部材も位置によらずほぼ同じ曲げ モーメントであることから、妻壁部のせん断抵抗の 影響範囲は妻壁部より数m程度と推測される。

3) 壁式構造(2次元モデル)

a. 解析モデル

次に、妻壁より側壁長さ1/2地点の着目断面を、2 次元モデル(=平面)でモデル化する(図-15参 照)。断面の奥行き方向は1m分とする。



図-15 壁式構造2次元骨組みモデル図

b. 荷重設定

3次元モデル同様に、側壁面鉛直方向に水平震度 1.0の水平荷重を設定する(図-16参照)。



図-16 壁式構造2次元載荷荷重図



4) 壁柱構造(3 次元モデル)

a. 解析モデル

2)の壁式構造と同じように、頂版、底版、側壁、妻 壁は同じ格子状に骨組み部材を組んでモデル化する が、迂流壁を柱に変更したものである(図-18)。柱 間隔は、図-4に示すように、妻壁面内方向は壁式 構造の迂流壁間隔と同じ5m、側壁面内方向は、妻 壁端部は5m、中央部は4mとする。



図-18 壁柱構造骨組みモデル図

部材厚は底版、頂版、側壁、妻壁は壁式構造と同 じ厚さ、柱は 0.6m × 0.6m である。

コンクリートの材質は全て壁式構造と同じ21MPaとする。

b.荷重設定と照査位置

図-19に示すように、側壁面鉛直方向に水平震度1.0の水平荷重を設定する。



図-19 壁柱構造載荷荷重図

壁柱構造におけるフラットスラブ版は、スラブが 柱頭または支板を介して柱で支持されているため、 支持点(柱)付近における断面力の算出には、3次 元的構造解析が必要である。現時点では計算上の利 便性を考え、2次元解析で得られた曲げモーメント を、柱列帯(柱中心を結ぶ線から両側に柱中心間隔 の1/4の幅)と柱間帯(柱列帯に挟まれた柱中心間 隔の1/2の幅)に分配して照査している。分配率は スパン中央曲げモーメントに対して柱列帯で55%、 柱間帯で45%、支点曲げモーメントに対して柱列帯 で75%、柱間帯で25%で行っている。

本解析では、柱中心、柱間1/2地点、柱間1/4地点 の断面力に着目し(図-20参照)、フラットスラブ 版の3次元的挙動を把握することにする。



図-20 壁柱構造照查位置(黒線部分照查断面)

c. 解析結果

3次元モデルの解析結果を次図に示す。図-21 に全体モデルの曲げモーメント分布図、図-22~ 図-24に各照査断面での曲げモーメント分布図を 示す。また、図-25は、各照査断面位置での底版 部の曲げモーメントを併記したものである。

3次元モデルの解析結果より、柱間1/4と柱間1/ 2の曲げモーメントがほぼ同様の値と傾向を示して いる。柱中心位置での曲げモーメントの傾向および 値は、柱間と違う傾向を示していることがわかる。



図-22 柱中心地点曲げモーメント図



図-23 柱間 1/4 地点曲げモーメント図



図-24 柱間 1/2 地点曲げモーメント図





これは、従来分配率を使用する場合、柱間1/4を境 界に柱列帯と柱間帯に分けて照査していることと整 合する。

5) 壁柱構造(2次元モデル)







次に、柱中心地点の照査断面を2次元モデル(= 平面)でモデル化した(図-26参照)。断面の奥行 き方向は、側壁面内方向中央部の柱間隔4mとする (図-27参照)。

b. 荷重設定

3次元モデル同様に、側壁面の鉛直方向に水平震 度1.0の水平荷重を設定する(図-28参照)。



図-28 壁柱構造2次元載荷荷重図

c. 解析結果

図-29に、曲げモーメント図を示す。



図-29 2次元モデルの曲げモーメント図

3.3次元解析と2次元解析の比較

前述のように、壁式構造および壁柱構造の池状構 造物に対して実施した、3次元と2次元の静的弾性 解析について比較する。

ここでは、底版部の曲げモーメントに着目し、3 次元静的弾性解析で得られた結果と2次元静的弾性 解析で得られた結果を比較してみる。

図-30に、壁式構造の3次元モデルと2次元モ





デルから得られた底版部の曲げモーメント分布図 を、図-31に、壁柱構造における底版部の曲げモー メント分布図を示す。



図-31 3次元解析と2次元解析の比較図 (壁柱構造、底版部曲げモーメント分布図)

図より、壁式構造においては、3次元静的弾性解 析結果は2次元静的弾性解析結果の1/3~1/4と なっている。また、壁柱構造でも、側壁両端を除け ば、3次元静的弾性解析結果は2次元静的弾性解析 結果の1/3~1/4となっている。なお、壁柱構造の側 壁両端においては、3次元静的弾性解析結果は2次 元静的弾性解析結果の1/6倍と、さらに大きな開き を示している。

4. まとめ

池状構造物の構造解析に関して、壁式構造と壁柱 構造について3次元および2次元モデルを用いて静 的弾性解析を実施した。

壁式構造の解析の結果、せん断抵抗壁(妻壁)の 抵抗により断面力が大きく低減されるが、特に、せ ん断壁近傍の部材にその影響が大きいことが確認で きた。また、最大曲げモーメントについて、3次元 モデルによると2次元モデルの1/3~1/4程度にな ることも確認できた。

壁柱構造の解析の結果、通常フラットスラブで用 いられている分配率を規定している柱列帯と柱間帯 の境界が、柱間の1/4の地点にあることが解析結果か らも確認できた。また、最大曲げモーメントについ て、3次元モデルによると2次元モデルの1/3~1/6 程度になることも、壁式構造と同様、確認できた。

よって、四面を壁で囲まれた池状構造物に関して は、3次元(=立体)モデルによる解析を実施するこ とで、より合理的な構造設計が行えるものと考える。