

複雑な形状を有する RC 躯体の設計の解析手法に関する比較と考察

清水建設株式会社 正会員○范 舒 正会員 仲山賢司
正会員 青木孝憲 正会員 平井孝幸

1. はじめに

ボックスカルバートの設計では、一般的に 2 次元骨組解析による構造解析が行われるが、形状や境界条件が複雑で、一般的な 2 次元骨組解析のみでは検討が困難な場合は、3 次元解析を用いることがある。本件は、鋼製の円形構造物と接続する RC 製の矩形構造物の詳細検討に際し、2 次元および 3 次元構造解析をそれぞれ実施し、両者の比較検討によって RC 構造物の配筋仕様の合理化を図ったものである。

2. 構造概要

対象構造物は地下構造物であり、図 1 に示すように、鋼製円形構造物の斜め上に接続する RC 構造物（内空寸法 W5000mm×H4000mm×2 連のボックスカルバート）である。

地震時の変位を吸収し、鋼製円形構造物に与える影響を最小限とする目的で、RC 構造物との接合部付近に可とう継手を設置することを想定している。本件では、可とう継手以深の RC 構造物を対象範囲としており、側壁①・側壁②・妻壁・中壁の 4 つの部材から構成されている。このような複雑な形状を有する RC 構造物に対して、2 次元弾性骨組解析およびシェルモデルによる 3 次元弾性 FEM 解析を用いて構造設計を行った。2 次元骨組解析および 3 次元 FEM 解析の特徴を表 1 に示す。

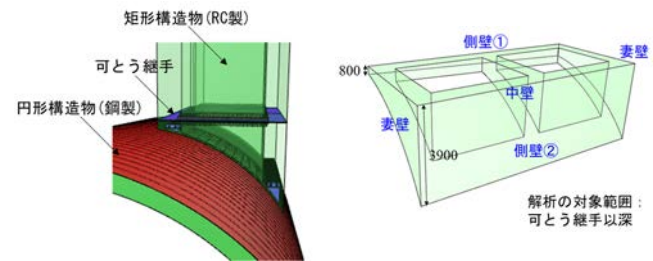


図 1 対象構造物の概要

表 1 2 次元と 3 次元解析手法の比較

	メリット	デメリット
2 次元骨組解析	計算が容易	実物の再現性：低 1 方向のみ設計可能
3 次元 FEM 解析	実物の再現性：高 2 方向設計可能	計算が煩雑

3. 2 次元骨組解析

図 2 に 2 次元骨組解析の対象断面・境界条件・荷重条件を示す。断面形状と荷重条件が異なる 2 つの水平断面を検討の対象断面とし、2 次元解析を実施した。検討断面①は RC 構造物の上端に該当し、断面形状は一般的な 2 連ボックスカルバートである（以下「一般断面」と称する）。検討断面②は RC 構造物の中央に該当し、断面形状は側壁①を省略した E 字型断面となり（以下「E 字型断面」と称する）、作用荷重は検討断面①より大きい。今回の検討では、偏圧の影響は考慮せず、3 方向または 4 方向から等圧の土水圧が作用することとし、部材接合部では剛域を考慮した検討モデルを用いた。

図 3 に解析結果（曲げモーメント図）を示す。部材と照査位置によって発生する断面力は異なるが、検討断面①（一般断面）で得られた断面力を 1.00 とし、検討断面②（E 字型断面）の同一照査位置における結果を比率で示す。側壁①の部材がないため、片持ち梁状の変形となり、検討断面②（E 字型断面）では、

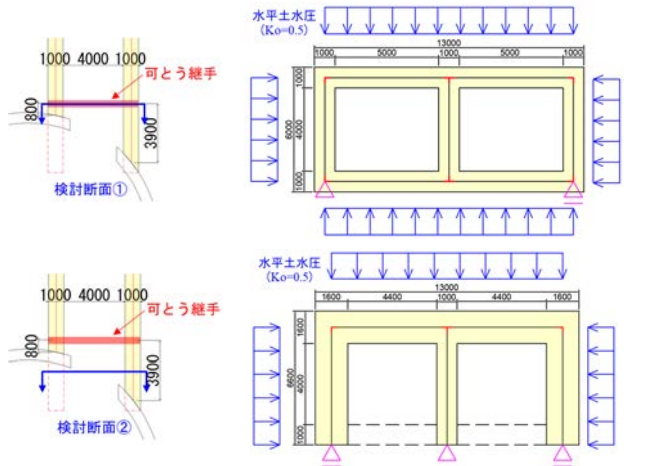


図 2 2 次元骨組解析の条件

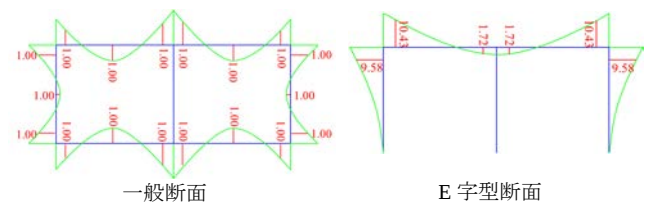


図 3 2 次元骨組解析の曲げモーメント図

キーワード RC 構造, ボックスカルバート, 構造解析手法

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設株式会社 土木技術本部 設計第二部 TEL:03-3561-3897

曲げモーメントの数値は、特に側壁②と妻壁が接続する部材端部に卓越し、検討断面①（一般断面）に比べて10倍ほど大きい結果となった。このため、側壁②と妻壁の部材厚を1.00mから1.60mに変更するほか、コンクリート強度 σ_{ck} を30N/mm²から40N/mm²へのランクアップが必要となった。

4. 3次元FEM解析

2次元解析で検討した2つの断面では、断面力に大きな差が生じた。検討断面①（一般断面）の結果のみを用いる場合、断面力を過小評価し、危険側の設計になる恐れがある。一方、検討断面②（E字型断面）の結果を採用すると、断面力を過大評価し、不経済な配筋仕様になりかねない。そこで、配筋仕様の合理化を図るために、実物の再現性が高い3次元FEM解析を導入した。

3次元FEM解析のモデル概要と荷重条件を図4に示す。検討モデルは部材の軸心位置でシェルモデルによりモデル化し、RC構造物と鋼製円形構造物が接続する複雑な形状を忠実に再現した。また、荷重条件については、土水圧の深度方向の増分を考慮し、構造物の上端・下端で台形分布となるような荷重を作用させた。構造物の上端の境界条件はXYZ方向と回転方向フリーとした。各部材下端の境界条件は表2に示す。なお、本シェルモデルは剛域を考慮した。

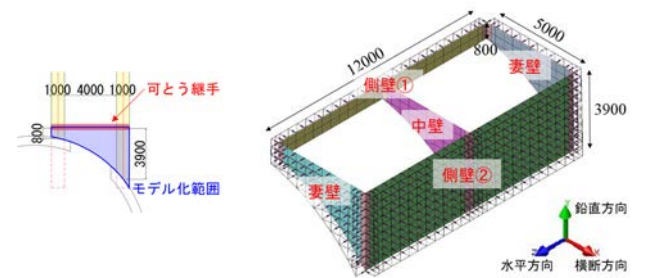


図4 3次元FEM解析のモデル概要・荷重条件

表2 3次元FEM解析の境界条件

	側壁①②下端	妻壁下端	中壁下端
横断(X)方向	固定	自由	自由
水平(Z)方向	自由	自由	自由
鉛直(Y)方向	固定	固定	固定
回転方向	自由	自由	自由

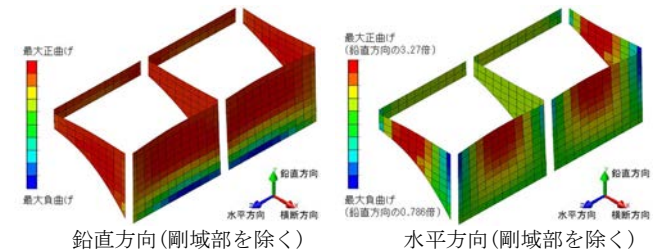


図5 3次元FEM解析の曲げモーメント図

3次元FEM解析の結果（曲げモーメントのコンタ一図（鉛直方向・水平方向））を図5に示す。水平方向では、側壁①と中壁には曲げモーメントがほとんど発生しない結果となった。一方、側壁②と妻壁は、構造物の上端に近づくほど、径間部と端部に発生する曲げモーメントが増加する傾向が見られた。

5. 考察

2次元骨組解析と3次元FEM解析によって得られた水平方向の断面力と得られた断面力から設定した配筋仕様を表3～表5に示す。なお、2次元解析のE字型断面と3次元解析の断面力は、2次元解析の一般断面の結果を1.00とした場合の比率で表現する。

2次元と3次元解析の結果を比較すると、3次元解析の断面力は、2次元解析の一般断面よりやや大きい。E字型断面の1/7倍ほどの結果となった。3次元解析の配筋仕様については、RC構造物の外側鉄筋をD25からD32にランクアップする必要はあるが、2次元解析のE字型断面に比べて断面力を大幅に低減することにより、コンクリート強度・部材厚・配筋仕様の合理化を図ることができた。

表3 2次元骨組解析（一般断面）の断面力と配筋

	側壁①②			妻壁			中壁
	妻壁側部材端	径間部	中壁側部材端	側壁①側部材端	径間部	側壁②側部材端	—
M	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—
N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
部材厚	1.00m			1.00m			1.00m
引張鉄筋	D25@150一段	D16@150一段	D25@150一段	D25@150一段	D16@150一段	D25@150一段	D16@150一段

※コンクリート強度： σ_{ck} =30N/mm²

表4 2次元骨組解析（E字型断面）の断面力と配筋

	側壁②			妻壁			中壁
	妻壁側部材端	径間部	中壁側部材端	側壁①側部材端	径間部	側壁②側部材端	—
M	10.43	—	1.72	—	—	9.58	—
N	2.73	—	2.73	—	—	2.64	0.267
部材厚	1.60m			1.60m			1.00m
引張鉄筋	D38@150二段	D38@150一段	D35@150一段	D38@150一段	D38@150一段	D38@150二段	D19@150一段

※コンクリート強度： σ_{ck} =40N/mm²

表5 3次元FEM解析の断面力と配筋

	側壁②			妻壁			中壁
	妻壁側部材端	径間部	中壁側部材端	側壁①側部材端	径間部	側壁②側部材端	—
M	1.40	0.715	0.899	1.14	1.87	1.10	—
N	0.0303	1.19	0.765	1.55	0.652	1.08	0.947
部材厚	1.00m			1.00m			1.00m
引張鉄筋	D32@150一段	D16@150一段	D32@150一段	D32@150一段	D16@150一段	D32@150一段	D16@150一段

※コンクリート強度： σ_{ck} =30N/mm²

6. まとめ

本件のように複雑な形状を有するRC構造物は、2次元解析のみでの検討が不十分なため、構造物の形状や荷重条件などをより忠実に再現できる3次元解析の適用が望ましいと考えられる。本件の知見が3次元解析の採否検討の一助となれば幸いである。