

大型ニューマチックケーソンの吊桁の合理化に関する検討

オリエンタル白石(株) 正会員 ○並木 智和, 正会員 阿部 慎太郎
 アイテックコンサルタント(株) 正会員 矢野 勉, 小森谷 ふみ
 早稲田大学 正会員 岩波 基

1. はじめに

大型のニューマチックケーソンは、刃口と作業室天井スラブのみの構造では初期沈下時に発生する応力を負担することができないことが多い。その場合は、次ロットの側壁および隔壁の構築後にケーソンを沈下させるものとし、この時の荷重および支持条件に対して抵抗できる構造であるように設計する¹⁾。この設計における格子構造モデルを吊桁と称している。吊桁の設計方法は、施工中のレインボーブリッジのケーソンに作用する刃口反力の計測値²⁾をもとに、面外フレーム解析（以下、フレーム解析）による方法が提案され、平成11年10月発行の「大型地下構造物ケーソン設計マニュアル」¹⁾に記載された。以来、ポンプ所、地下調節池、立坑、道路トンネル、建築施設等の100基以上の大型ケーソン（平面積500m²以上）が、同設計方法により設計されている。しかし、吊桁の一部を構成する隔壁には完成後の構造では不要となる仮壁（図-1）があり、この設置撤去費の低減が課題となっている。本文では、大型ケーソンの仮壁を合理的な断面とするために、3次元FEM解析（以下、FEM解析）を用いて検討した結果を報告する。

2. 3次元FEM解析の評価

（1）フレーム解析の課題：従来の吊桁の設計では、各吊桁の断面が一定となるように仮壁の断面を設定し、フレーム解析により必要な補強鋼材を配置しているが、一部の吊桁部材に発生応力に余裕がある部材が生じる。合理的な断面とするためには、発生断面力に応じて仮壁の断面を変化させる必要がある。しかし、フレーム解析では解析作業が極めて煩雑となるため、実務上は難しい。そこで、FEM解析により吊桁断面の合理化を図る方法を検討した。

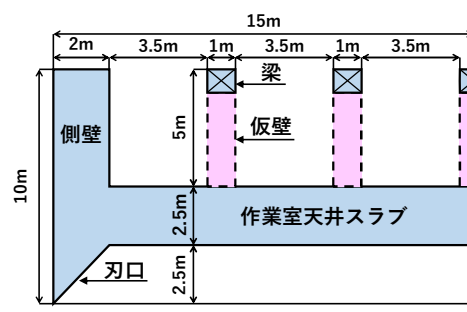


図-1 初期構築時の吊桁断面図

（2）フレーム解析とFEM解析の比較：FEM解析の妥当性を検証するために、図-1（短辺方向の1/2断面）に示すように、梁・柱構造に仮壁を配置した平面寸法50m×30m、初期構築高10mのモデルを用いて、フレーム解析結果と比較した。ケーソンには、自重が下向きに、地盤反力が刃口部に上向きに作用する。地盤反力の分布は、従来の大型ケーソンの設計法¹⁾に従い、短辺：長辺の支持反力比を1：3および3：1とした。フレーム解析では、短辺と長辺のそれぞれの地盤反力度が等分布となるように上向きの荷重を与えた。一方、FEM解析では、刃口先端を全辺鉛直バネで拘束し、この鉛直バネ値の短辺と長辺の比を1：3および3：1とすることで、地盤反力の分布を表現した。鉛直方向地盤反力係数³⁾は、ケーソンの据付地盤を砂質土、変形係数

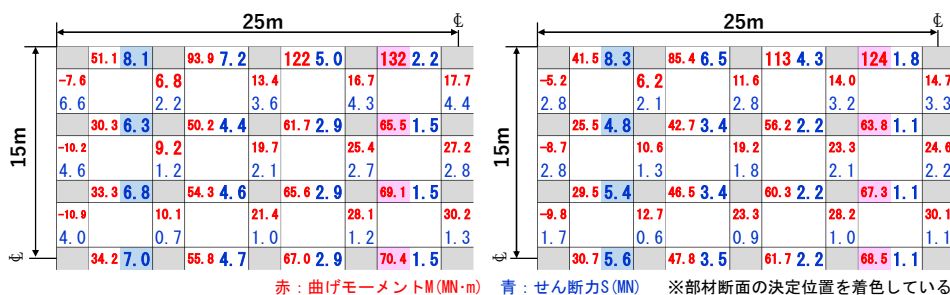


図-2 フレーム解析(左)とFEM解析(右)の断面力

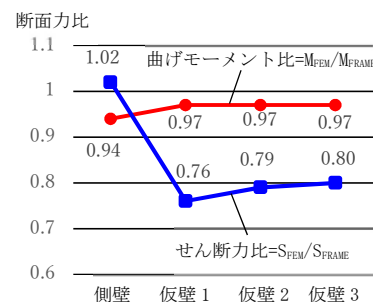


図-3 断面力比

キーワード ニューマチックケーソン, 吊桁, 仮壁, 面外フレーム解析, 3次元FEM解析

連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲 5-6-52 オリエンタル白石(株) TEL 03-6220-0656

$E_0=25,200\text{kN/m}^2$ (標準貫入試験の N 値による), 刃口部の支持幅 $B=1.0\text{m}$ と仮定して求め, これを一方の辺の鉛直バネ値とし, この 3 倍を他方の辺の鉛直バネ値とした. 両解析において, 支持反力比を短辺 : 長辺 $=3 : 1$ とした場合の断面力図を図-2 に示す. 両解析とも長辺の中央における曲げモーメントおよび端部におけるせん断力が部材断面の決定位置となった. 図-2 から求めた両解析の断面決定位置での断面力の比 (図-3) は, 曲げモーメントが $0.94\sim0.97$, せん断力が $0.76\sim1.02$ であり, 概ね同等の値が得られた. フレーム解析と比較して FEM 解析の発生断面力がやや小さい理由は, 前者が吊桁の作業室天井スラブの一部を有効断面としているのに対し, 後者は全断面を有効としていることが一因である. 以上により, FEM 解析値はフレーム解析値と比較して有意な差がないと評価できる.

3. FEM 解析による吊桁の合理化

これまでの施工時の計測値により, 仮壁中央の梁および作業室天井スラブに発生する応力がフレーム解析による応力と比較して小さいことがわかっている. そこで, 図-4 (b) に示すように, 側壁から内側 1 列目までの仮壁は残し, 中央の仮壁を削減して梁・柱のみとしたモデルで FEM 解析を行った. 鉛直バネ値を短辺 : 長辺 $=3 : 1$ とした場合の, ケーソン長辺の中央断面における両解析の応力分布および応力度の比較を, それぞれ図-5, 表-1 に示す. 両モデルの解析結果は, モデル全域において, 圧縮域・引張域の応力分布および応力値に大きな違いはなかった. また, 仮壁を削減したモデルでは, 標準モデルに比べ刃口および作業室天井スラブ下面の引張応力度が若干改善している. これは中央の仮壁を除いたことにより自重が小さくなり, 刃口および作業室天井スラブに生じる引張応力度が軽減されたためである. 以上により, ケーソン中央の仮壁の削減による吊桁の合理化が期待できる.

4. 今後の課題

(1) 解析モデルの改良 : 過去の施工時の計測値から, 地盤反力の分布を再評価し設計モデルへの反映方法を検討する. また, 従来のフレーム解析による設計では地盤反力を “力” でモデルに与えてきたが, バネ支持モデルの適用も検討する.

(2) RC 部材の断面計画 : 従来の設計では, フレーム解析の断面力と有効断面をもとに, 応力計算で RC 部材断面の計画 (部材高, 鋼材量) を行ってきた. FEM 解析では発生応力と変形から RC 部材断面を計画することとなるが, その設計・計画方法の検討が必要である.

5. おわりに

今回の検討では, 従来のフレーム解析を FEM 解析でも再現できることが確認できた. 3 次元 FEM 解析を用いた設計は, 解析結果に 3 次元の効果が表れるだけでなく部材の欠損も評価できるため, 今後, この設計手法を確立することが, より合理的な構造の追求につながると考える.

参考文献

1) 大型大深度地下構造物ケーソン設計マニュアル, 日本圧気技術協会, 令和 2 年 3 月
2) 吉川, 天野, 阿部, 平野 : 大型ニューマチックケーソンに作用する外力の施工時挙動解析, (株) 白石, 第 8 回技術発表会論文集, 1991 年
3) 道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編, 日本道路協会, 平成 29 年 11 月

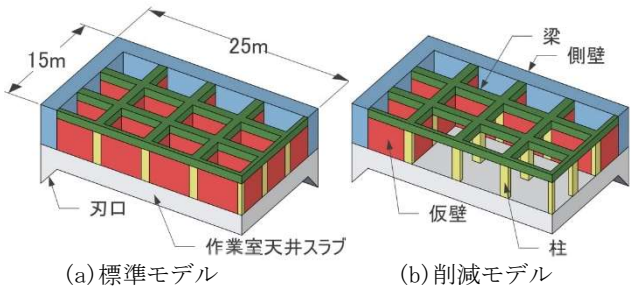


図-4 標準モデルと削減モデルの比較

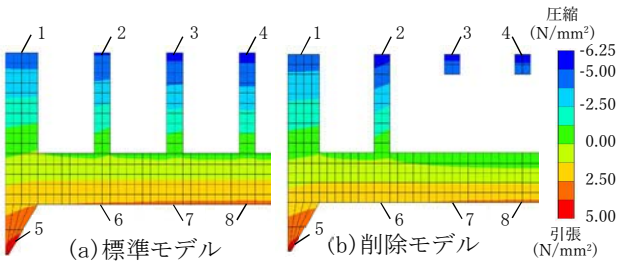


図-5 標準モデルと削除モデルの応力分布の比較

表-1 応力度の比較

位置	部位	応力度 (N/mm ²)	
		①標準モデル	②削減モデル
1	側壁	-4.25	-4.27
2	梁	-4.87	-5.39
3		-5.19	-5.13
4		-5.30	-5.25
5	刃口	4.11	3.86
6	作業室	2.31	2.08
7	天井	2.40	2.24
8	スラブ	2.42	2.31

引張応力度 : +, 圧縮応力度 : -