

大型ニューマチックケーソンにおける吊桁仮壁の低減方法の検討（その1）

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

1. はじめに

気候変動の影響による豪雨の頻発化・激甚化への対策として、都市部を中心に大規模な下水処理場や地下調整池等の治水施設の必要性がますます高くなっている。ニューマチックケーソン工法は、これらの大型地下構造物の築造工法として豊富な実績を有している。平面積が 500m^2 を超えるような大型ニューマチックケーソンでは、刃口と作業室天井スラブの構造で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ため、仮壁で補強した格子型の吊桁構造として設計する¹⁾。しかし、完成後は不要な仮壁の設置・撤去に多くのコストを要することが課題となっている。従来、この吊桁構造の設計では、三次元モデルをフレーム型に単純化して二次元で解析を行っているが、フレーム解析ではすべての吊桁に仮壁を設置した単純なモデルでしか解析ができない。これに対し3次元FEM解析によれば、一部の吊桁に仮壁を設置していないモデルの解析も可能である²⁾。本研究では、3次元FEM解析を用いた、大型ニューマチックケーソンの吊桁仮壁の合理的な低減方法を提案する。本論文では合理的な仮壁配置の決定手順と無補強モデルの解析について示す。

2. 検討条件

本研究では、図-1に示すような、平面寸法 $70\text{m} \times 50\text{m}$ 、初期構築高 14.5m の大型ニューマチックケーソンの初期構築時の構造を検討対象とした。解析にあたっては、対称性より検討対象の $1/4$ のモデルを作成した。検討対象のモデルを、2次元／3次元 地盤・浸透・耐震統合FEM解析ソフトウェア soilplus（Version 2019(1)）で作成したのが、図-2である。図-3は吊桁の断面及びフレーム解析の結果により補強した鋼材の配置である。本研究で用いたコンクリート・鉄筋・鋼板の物性値は、表-1のとおりである。地盤はN値20の砂質土とし、弾性係数を $14,000\text{kN/m}^2$ に設定した。

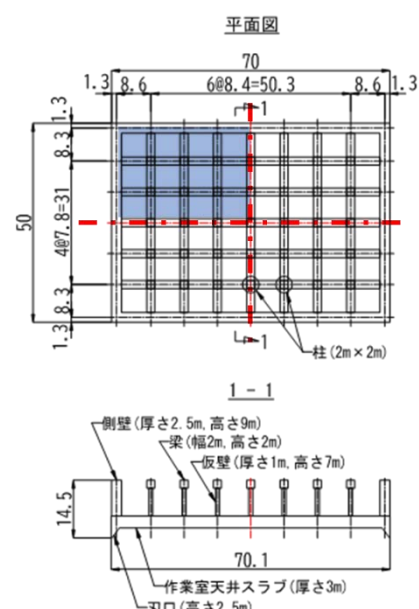


図-1 初期構築時の構造

表-1 材料諸元

コンクリート	設計基準強度	30N/mm^2
	ヤング係数	$28,000\text{N/mm}^2$
	ポアソン比	0.2
	単位体積重量	24.5kN/m^3
	曲げ圧縮強度	15N/mm^2
鉄筋	規格	SD345
	ヤング係数	$200,000\text{N/mm}^2$
	引張応力度	300N/mm^2
鋼板	規格	SM490Y
	ヤング係数	$200,000\text{N/mm}^2$
	引張応力度	283.5N/mm^2

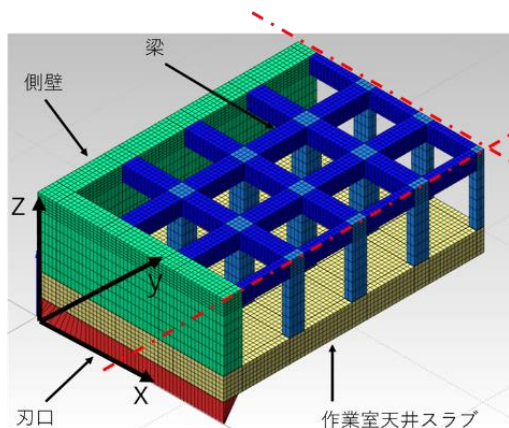


図-2 3次元解析モデル（無補強）

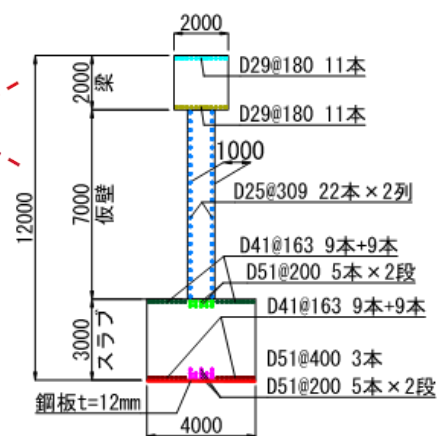


図-3 吊桁断面図

キーワード ニューマチックケーソン、吊桁、仮壁、三次元FEM解析

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 TEL 03-3204-1894

3. 合理的な仮壁配置の決定の手順

図-4に仮壁配置の決定手順を示す。最初に、仮壁が1枚も設置されていない無補強モデルの3次元FEM解析を行い、耐荷力不足となっている部材を確認する。この結果により仮壁配置を決定する。次に補強モデルの3次元FEM解析を行い、断面力を照査し、補強が必要な部材に鉄筋や鋼板を追加して設置する。

4. 無補強モデルの解析

検討対象は、図-5に示すように短辺 50m 長辺 70m の超大型ケーソンとし、仮壁が1枚も設置されていない無補強モデル (1/4 モデル) について、soilplus で3次元FEM解析を行った。荷重は自重と地盤反力のみを考慮し、地盤反力は刃口先端全体を鉛直ばね支承によって支持させた。「大型・大深度地下構造物ケーソン設計マニュアル¹⁾」によると、短辺：長辺の支持反力の比は 1：3～3：1 の範囲で変化するとしているため、鉛直ばねの大きさの比を、短辺：長辺=3：1, 1：1, 1：3 の3ケースとして解析を行った。境界条件は対象面を鉛直方向に固定かつ鉛直ばね下端を完全固定とした。断面力の算出方法については、文献³⁾に示されている応力分布から断面力に変換する方法を用いた。

解析結果を照査する基準として、抵抗せん断力と抵抗モーメントを用いた。曲げモーメントは許容応力度法の抵抗モーメントを用いた。これらの算出にはRC断面計算ソフトを使用し、各部材に生じる軸力を考慮した。図-6、図-7は解析結果のうち、耐荷力不足であると判断された支持反力比が短辺：長辺=3：1の梁y方向の4部材のせん断力図と曲げモーメント図である。このうちせん断力図に着目すると、赤丸で囲ったケーソン外側の2部材でせん断力が大きく、オレンジ色の抵抗せん断力の値を超えていることがわかる。この2部材は、仮壁による補強が必要であると判断した。

この解析を梁とスラブ 48 部材について3ケースの反力で行い、各ケースで必要な仮壁をすべて配置した結果、図-8の赤色部に示すように計 36 枚の仮壁が必要であることがわかった。この仮壁を配置したモデルを補強モデルとし、3次元FEM解析により耐火性を確認することとした。

5. おわりに

補強モデルの解析については、「大型ニューマチックケーソンにおける吊桁仮壁の低減方法の検討(その2)⁴⁾」で報告する。本解析方法を用いることにより、大型ニューマチックケーソンの吊桁仮壁の低減によるコスト削減が期待できる。

参考文献

- 1) 日本圧気技術協会：大型・大深度地下構造物ケーソン設計マニュアル，2022.5
- 2) 岩波基：ニューマチックケーソンの構造の合理化検討，基礎工 11 月号，2022.11
- 3) 土木学会：シールド工事用立坑の設計，トンネルライブラリー第 27 号，2015.1
- 4) 並木智和、鈴木颯人、岩波基、阿部慎太郎、矢野勉、小森谷ふみ：大型ニューマチックケーソンにおける吊桁仮壁の低減方法の検討(その2)、土木学会第 78 回年次学術講演会、2023.9 掲載予定

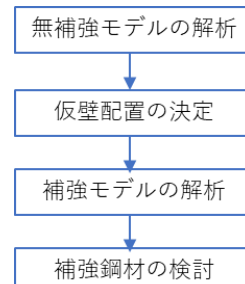


図-4 仮壁配置の決定手順

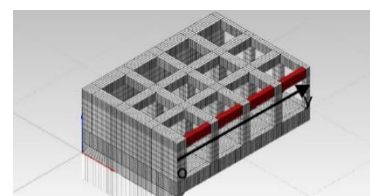


図-5 着目した部材

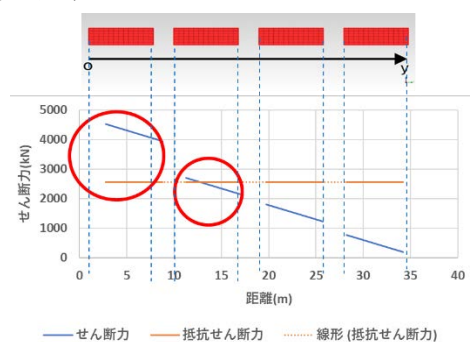


図-6 せん断力図

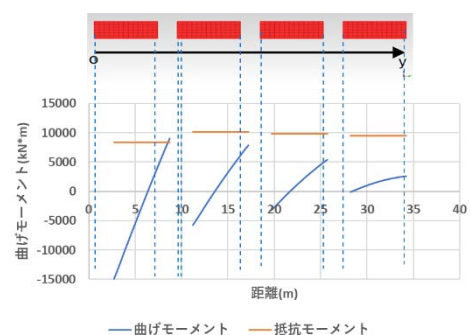


図-7 曲げモーメント図

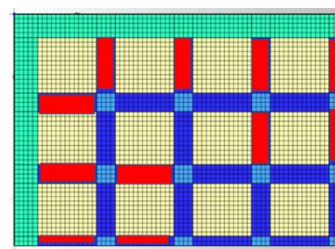


図-8 仮壁補強箇所