

3次元 FEM 解析を用いた大型ケーソン構造物の設計合理化

(株) 大林組 正会員 ○高橋敏樹 齋藤隆

1. はじめに

大型ケーソン構造物をシールド発進立坑として用いる場合、立坑内部にシールド作業空間が必要になることから、立坑の内部部材および頂版をケーソン沈設時に構築することができないため、かまち梁により側壁を支持して土圧に抵抗する構造が一般的となっている。また、ニューマチックケーソン工法で構築する立坑では、底版（作業室天井スラブ）周囲の部材だけでは初期沈設時の死荷重等の作用に抵抗することができないため、沈設完了後は必要のない吊桁を構築し、沈設完了後にこれを撤去する手法が一般的となっている。

本稿では、大型ケーソン構造物の設計に 3 次元 FEM 解析を用いることにより、吊桁およびかまち梁を省略した合理的な構造設計を行い、工程短縮とコストダウンを図った事例に関して報告する。

2. 3次元シェルモデルによる本体設計

(1) 設計法と解析モデル

立坑側壁は、内部部材の床版高さに設けたかまち梁と側壁に四辺支持される二方向スラブとして設計するが多いが、周縁支持の境界条件の設定に注意する必要がある。また、かまち梁はシールド工事に必要な内空断面に干渉しないように設ける必要があり、立坑の平面寸法が大きくなる場合がある。一方、3次元FEMによる解析では、側壁をかまち梁に区

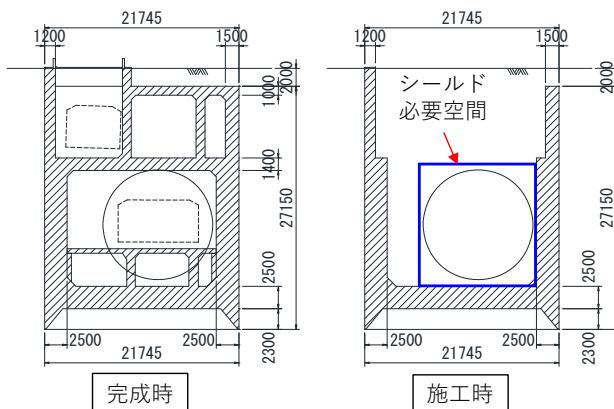


図-1 ケーソン断面図（シールド発進坑口側）

切られたブロックごとに設計する必要はなく、躯体全体をモデル化でき、側壁間や側壁とかまち梁の接合部での反力の受け渡しの整合を取る必要がない。

構造断面図を図-1 に示す。内部部材の構築が完了した完成時と、内部部材のない施工時の検討を行うこととした。かまち梁のない構造とすることにより、シールド施工空間を確保しつつ立坑の平面寸法が最小となるように寸法を決定した。

本構造物の設計に用いた解析モデルを図-2 に示す。モデル作成の簡便性と、複数の荷重組合せを繰り返して解析する必要があることから、3次元弾性シェルモデルを用いることとした。

(2) 解析結果と構造設計

設計で考慮した荷重を表-1 に示す．施工時の検討においては，側壁各面に主働土圧の $1/2$ の偏土圧が作用した場合を考慮した．

完成時と施工時の変形図の代表を図-3 に示す。側壁や床版の各部材は6ブロックに分割し、それぞれのブロック内で解析より得られた断面力の最大値を抽出して断面計算を行い、必要配筋量を決定した。

また、3次元 FEM による解析では、完成時のモデルにシールド切削開口や、開削トンネル接続部の妻壁開口、避難階段用の開口などを反映することにより、これらの開口が配置される部材の検討を個別に行うことなく断面力を抽出することができる。

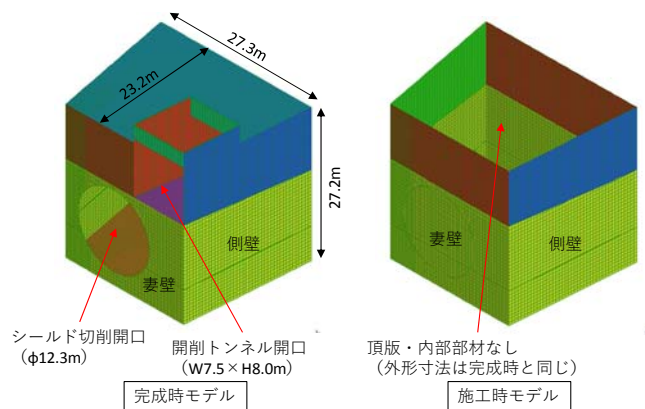


図-2 本体設計の3次元弾性シェルモデル

キーワード 大型ケーソン構造物, シールド発進立坑, 3次元FEM解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 生産技術本部 設計第一部 TEL 03-5769-1305

表-1 設計に考慮した荷重

荷重	備考
死荷重, 鉛直土圧	頂版上の土被り2.0m
水平土圧, 水压	土圧係数は0.5と0.3の2ケース, 偏土圧考慮
ボックス内活荷重	2本のランプの車両荷重
地表面上載荷重	地表面上載荷重による側土圧も考慮
揚圧力	地下水位はGL-4.7m

3. 3次元ソリッドモデルによる初期沈設検討

(1) 検討方法と解析モデル

本立坑はニューマチックケーソン工法で施工され、初期沈設時の躯体は、図-4 に示すように刃口先端から9.4mまで構築された状態となる。このとき内部部材は構築されておらず、仮設の吊桁もないため、刃口、底版、側壁のみで初期沈設時の荷重に抵抗することになり、この場合の応力度照査を行った。

この検討では、底版や刃口の形状の影響が大きいこと、荷重組合せが限られており繰り返し計算がそれほど多くないことから、3次元弾性ソリッドモデルによる詳細検討を行った。

初期沈設時の刃口反力は、ケーソンの長辺と短辺で1:3～3:1にばらつくことが知られており、本検討でも側壁側と妻壁側の刃口反力を1:3にしたケースと3:1にした2ケースの検討を行った。刃口反力を模式的に表した解析モデルを図-5に示す。

(2) 解析結果

引張応力度のコンター図を図-6に示す。本立坑のコンクリート設計基準強度は30N/mm²であり、引張強度を推定すると約2.2N/mm²となる。これより、躯体の発生引張応力度が2.0N/mm²以下であれば、ひび割れが発生せず、鉄筋の引張応力度も許容応力度以下と考えられるため、これを判定基準とした。

初期沈設の状態では掘削した底版下作業室の圧気がなく、地下水の揚圧力もないため、自重による底版中央部下面の引張応力度が卓越するが、解析結果より、引張応力度は全ての部位で2.0N/mm²以下となっていたため、初期沈設に伴う補強は不要と考えた。

4. まとめ

ニューマチックケーソン工法で構築される大型ケーソン構造物の設計に3次元FEM解析を用い、かまち梁と吊桁のない合理化設計を行った。

かまち梁を省略することにより立坑平面寸法を最

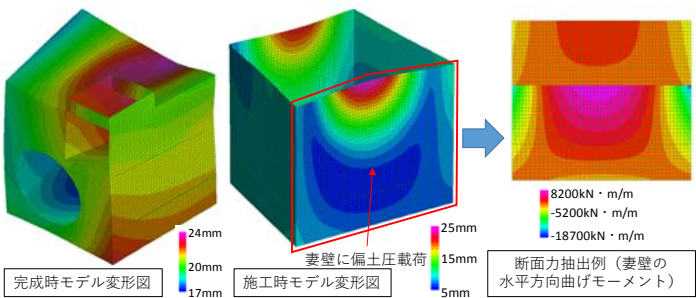


図-3 変形図と断面力の抽出例

小化し、吊桁を省略することにより、躯体工事や掘削工事の数量を低減して工程短縮、コストダウンすることができると考えられる。また、吊桁撤去時の周辺躯体へのひび割れ等の影響を回避できるため、躯体の止水性、品質の向上にも貢献するものと考えられる。

本事例のような大型ケーソン構造物は、3次元解析による設計合理化に適した構造と考えられる。

参考文献

- ・トンネル・ライブラリー27 シールド工事用立坑の設計, 土木学会, 2016. 1
- ・大型地下構造物ケーソン設計マニュアル, 日本圧気技術協会, 2016. 6

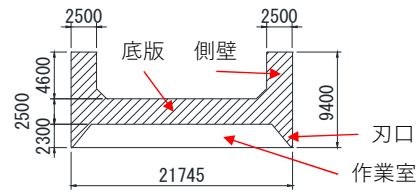


図-4 初期沈設時の躯体構築状況

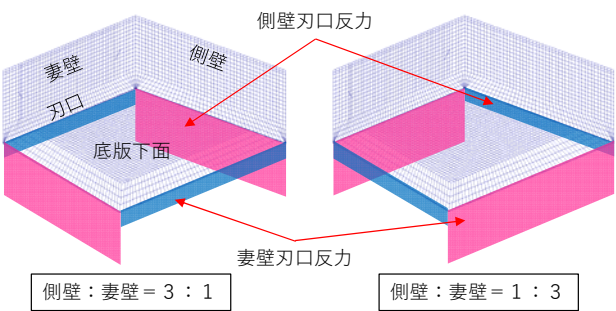


図-5 初期沈設時の解析モデル

刃口および底版下面の引張応力度が大きくなっているが2.0N/mm²以下

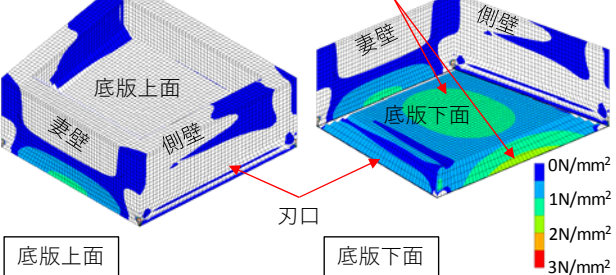


図-6 初期沈設時の躯体引張応力度