

地中ボックスカルバートの施工時温度応力を考慮した施工ステップ解析

(株)大林組 正会員○竹内 傑 正会員 堤内 隆弘 正会員 永井 秀樹
正会員 佐々木 智大 米澤 健次

1. はじめに

これまで鉄筋コンクリート製構造物を設計する場合、たとえ部材厚が大きい場合であっても、耐震設計をメインとした構造設計の段階では、単純に構造物に作用する常時荷重および地震時荷重に対して構造解析を行い、鉄筋照査を実施してきた。しかし、その後の施工検討で「施工時の温度解析」の結果、その対策として構造目地・補強鉄筋を追加する羽目になり、構造設計に立ち戻るケースも多い。なお、「施工時の温度解析」とは、コンクリートを打設した後にコンクリートの温度上昇と硬化が起こり、時間の経過とともに冷える現象を解析的に追い、構造物の施工段階でひび割れ発生等の問題が生じないようにする解析照査をいう。

本報文では、施工時の温度解析より時刻歴コンクリート温度、ヤング率、強度（圧縮強度、引張強度）を算出し、その結果を構造解析用プログラムに取り込むことにより、詳細な施工ステップ解析および温度応力を含めた構造解析を行う手法を提案する。その事例として鉄筋コンクリート製地中ボックスカルバート（以下、地中カルバート）の施工ステップ解析による、ひび割れ発生及びコンクリート応力の状況を示す。

2. 解析手順

解析手順は、下記に示す(1)の施工時の温度解析の結果を、(2)の構造解析に取り込む手法で実施した。

(1) 3次元温度解析 (ASTEAMAX) : マスコンクリートのコンクリート打設に伴う境界条件の変化や水和発熱・養生条件などを考慮した3次元非定常熱伝導計算および強度発現を伴う温度応力計算を一貫して行う。打設工程による形状変化や境界条件の変化に柔軟なモデル化が可能であり、外気温、日射などの変動を考慮した解析が可能である。また各種コンクリート養生を考慮する事が可能で、コンクリート標準示方書などに準拠した水和発熱モデルや強度発現式等が標準装備されている。今回は、温度解析より計算される時刻歴コンクリート温度、ヤング率、強度（圧縮強度、引張強度）を、(2)の構造解析に取り込んだ。

(2) 3次元 RC 非線形解析 (FINAL-GEO) : コンクリート系部材や構造物に関して、ひび割れ発生位置（範囲）を比較的精度良く予測し、その部材や構造物が破壊に至るまでの非線形挙動を精度良く予測する。本解析では、地中カルバートのコンクリートを六面体要素、鉄筋をハンチ筋のみトラス要素、それ以外を埋込み鉄筋でモデル化した。岩盤を弾性体でモデル化し、地盤、コンクリート、鉄筋に非線形性を考慮した。地中カルバート、地盤、岩盤の境界面には接触や剥離、摩擦を考慮できる接合要素を配置した。

3. 検討対象物および施工ステップ

検討対象構造物は、部材厚が 1.5m~2.0m の十分に分厚い地中カルバート（図1）とする。岩盤より基礎コンクリートを立ち上げ、その上に地中カルバートを設置し、底版下の拘束が大きい構造である。施工ステップは表1に示すように、土留めを設置した後、その内部の地盤を掘削し、①床付け、②基礎コンクリート打設、③底版打設、④側壁打設、⑤頂版打設、⑥側部埋戻し⑦頂部埋戻しとなる。解析モデルを図2に示す。両方の解析で同じ要素分割を用い、ASTEAMAXの要素出力値をそのままFINAL-GEOに入力した。

4. 解析結果

(1) 3次元温度解析では、ステップ解析の結果より外気温度が約10℃~28℃の場合、図3に示すように底版、側壁、頂版の最大温度は75℃~85℃まで上昇する。内部温度の最大値が大きくなる結果であり、コンクリート種別を普通コンクリートから低発熱コンクリート等に変更して施工する必要があると考えられる。

(2) 3次元 RC 非線形解析より、代表的な施工ステップの主応力分布を図4に示す。非線形の高い解析であるが、適切に収束していることを確認した。またASTEAMAXにある応力解析機能を用いてコンクリート

キーワード 地中カルバート、温度応力解析、ステップ解析、三次元材料非線形解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 TEL 03-5769-1307

を線形条件として解析を行い、FINAL-GEO と比較した結果を図5に示す。FINAL-GEOの方が約20%小さい値を示しているが、概ね同傾向を示す結果となった。構造物に「目地を設置した場合」および「目地を設置せずに構造物が連続する場合」についてコンクリートの非線形条件を考慮して解析を実施した結果を図6に示す。「目地を設置した場合」には、側壁コンクリートの拘束が弱まりひび割れが殆ど発生しないのに対し、「目地を設置しない場合」には、底板および側壁に多数のひび割れが発生することが分かる。

5. おわりに

今回、3次元温度解析(ASTEAMAX)の結果を、3次元RC非線形解析(FINAL-GEO)に取り込んで、施工ステップを踏んだ解析を実施したが、解析結果の妥当性について引き続き検証が必要であると考える。

今後、本解析の結果を初期応力(残留応力)として地震荷重を作用させる構造解析を行うなど、初期応力の導入による差異などについて検証していきたい。

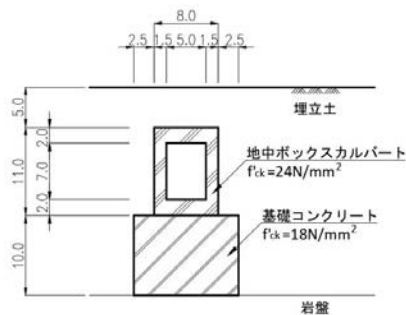


図1 対象構造物(地中カルバート)

表1 施工ステップ

Step	施工日	施工ステップ	外気温度(°C)
1	11/1	掘削完了	4.5
2	2/16	基礎コンクリート	10.1
3	4/1	底板	15.9
4	5/1	側壁	20.8
5	7/1	頂版	28.2
6	9/1	側部埋戻し	28.8
7	10/20	頂部埋戻し	16.1

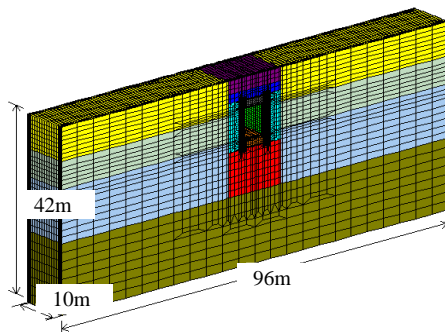


図2 3次元解析モデル

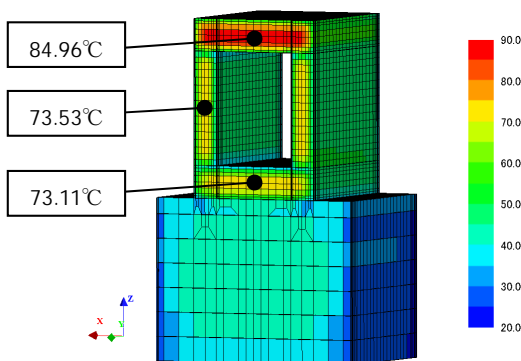


図3 温度解析の結果(最大温度 °C)

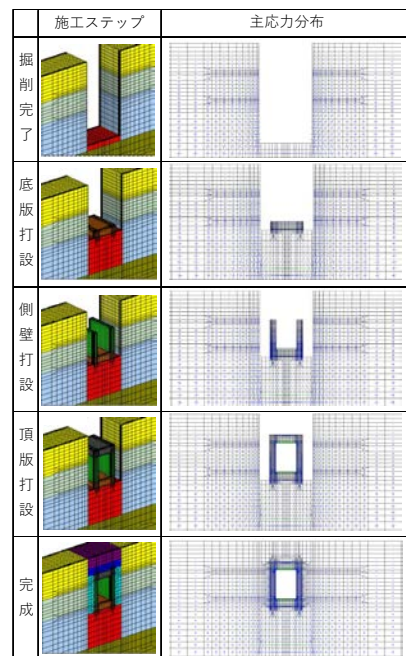


図4 ステップ解析結果(主応力分布)

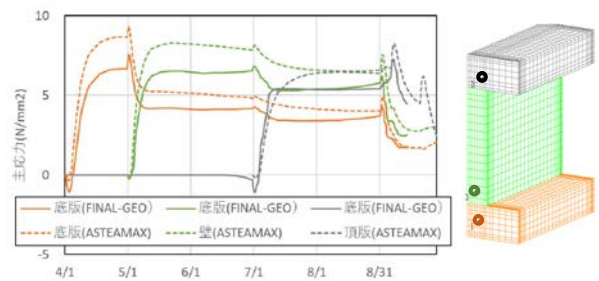


図5 応力解析結果の比較

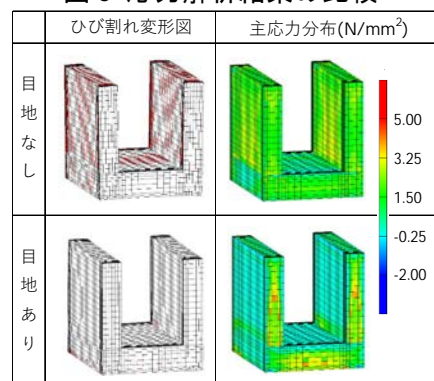


図6 目地の有無によるひび割れ・主応力状況