

温度応力解析と構造解析の連成による初期ひび割れの影響検討

鹿島建設(株) 正会員 ○小嶋進太郎 平 陽兵 取違 剛 永井勇輔 泉 宙希 水野 健

1. はじめに

RC 構造物の設計では、構造物の性能に影響するような初期ひび割れが施工段階で発生しないことを前提として、安全性や使用性などの照査が行われる。しかし、初期ひび割れが生じた構造物に外力が作用した場合にどのような影響があるかは必ずしも明らかにされていない。本研究では、初期ひび割れのうちセメントの水和熱に起因する温度ひび割れに着目し、地下に構築されるボックスカルバートを対象として【ひび割れの発生を考慮した温度応力解析】と【土圧を作用させる構造解析】の連成解析を実施し、鉄筋応力度について検討した。

2. 解析概要

解析には、若材齢時の温度変化や収縮に起因する初期応力を考慮可能な汎用 3 次元 FEM 解析プログラム¹⁾を用いた。解析対象は、鉄道構造物等設計標準・同解説²⁾を適用基準として設計された、幅 26.3m、高さ 10.2 m、奥行 15m、部材厚 1.4m の 1 層 2 径間のボックスカルバートとした。図-1 に示すように、解析モデルは対称性を考慮して 1/4 モデルとし、コンクリート打込みのリフト分割は 4 リフトとした。表-1 に示すように解析は、①土圧のみを作用させるケースと、②温度応力による初期応力を考慮した状態で土圧を作用させるケースの 2 ケースとした。どちらのケースもコンクリートのひび割れを考慮した材齢依存型構成則¹⁾を用い、ひび割れモデルは分散ひび割れモデルとした。自重は各リフト打込みの 7 日後に作用する設定とした。土圧は図-2 に示すように解析プログラムにおいて使用可能な等分布荷重とし、頂版打込みの 28 日後に載荷した。物性値および強度発現式はマスコンクリートのひび割れ制御指針³⁾に準拠して表-2 のように設定した。使用セメントは普通ポルトランドセメント、水セメント比を 55% とし、補強鉄筋の物性値は、熱膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、ヤング係数を $200\text{kN}/\text{mm}^2$ 、降伏強度を $345\text{N}/\text{mm}^2$ とした。なお、これらの解析条件は初期応力によりひび割れが多数発生し、鉄筋が応力を負担する条件とした。

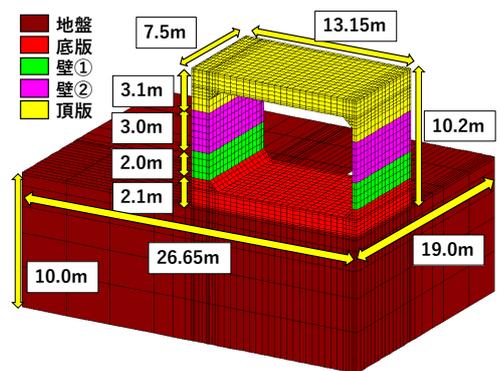


図-1 解析モデル

表-2 解析条件

物性値	単位	コンクリート	地盤
熱伝導率	W/m°C	2.7	1.7
比熱	kJ/kg°C	1.125	1.4
単位体積重量	kg/m ³	2400	2100
初期温度	°C	21	16
終局断熱温度上昇量	°C	52.425	—
温度上昇速度定数 γ	—	1.347	—
ポアソン比	—	0.2	0.25
熱膨張係数	1/°C	10×10^{-6}	10×10^{-6}
熱伝達率	底版	側壁	7日まで8W/m°C、7日以降14W/m°C
		上面	14W/m°C
	頂版	下面	14日まで8W/m°C、14日以降14W/m°C
		地盤	表面
圧縮強度発現式	N/mm ²	ひび割れ制御指針2016式	弾性
引張強度発現式	N/mm ²	ひび割れ制御指針2016式	弾性
ヤング係数発現式	N/mm ²	ひび割れ制御指針2016式	120.4

表-1 解析ケース

ケース	温度応力	設計土圧	備考
1	×	○	ひび割れ考慮 自重考慮
2	○	○	

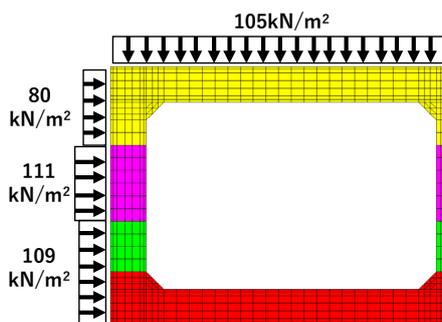


図-2 土圧分布

キーワード：連成解析，温度応力解析，構造解析，設計，初期応力，初期ひび割れ

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 080-8873-3927

3. 解析結果

図-3 と図-4 に各ケースの土圧作用後のひび割れパターンを示す。ひび割れパターンは、 300μ 以上のクラック相当主ひずみ⁴⁾が存在する要素において、クラック相当主ひずみの方向と直交するように描画されている。

ケース1では、土圧による曲げモーメントが大きくなる中壁の下の底版下面に、主筋と直交するひび割れが生じた。鉄筋応力度は、ひび割れ位置のうち、ボックスカルバートの端部側(図-3中の○の位置)の主筋で最大となった。ケース2では、主に温度応力の影響により、壁側面に配力筋と直交するひび割れ、底版と頂版に主筋と直交するひび割れが生じた。鉄筋応力度は中壁の配力筋で最大値をとり、4リフト目打設後に $280\text{N}/\text{mm}^2$ に達し、その後、土圧載荷直前に $100\text{N}/\text{mm}^2$ ほどの応力度が残留していた。ただし、配力筋は外力に直接抵抗するわけではないため、耐荷性能上は問題ないと考えられる。配力筋を除くと、最大応力度は底版主筋に直交するひび割れ位置のうち、モデルの対称面側(図-4中の○の位置)において生じ、ケース1とは異なる位置となった。

図-6 と図-7 に、主筋の応力度が最大となる要素での鉄筋とコンクリートの応力度履歴を、左右に別の縦軸をとって示す。なお、各リフトの打込み日を縦軸と平行な点線で示した。打込み直後や、自重が作用する打込みの7日後、土圧がかかる99日目において、コンクリート応力度が小さくなると同時に鉄筋応力度が大きくなっている。これは着目要素付近でひび割れが発生、進展したことを示している。

鉄筋応力度の履歴に関して、温度応力を考慮しないケース1では自重による応力度の増加は小さく、土圧作用前は $10\text{N}/\text{mm}^2$ ほどであった。一方、温度応力を考慮したケース2では、温度応力の影響に加え、4リフト目の自重による応力度の増加量が $50\text{N}/\text{mm}^2$ とケース1と比べて大きかったことから、土圧作用前に約 $80\text{N}/\text{mm}^2$ となった。ケース2で自重作用時の増加量が大きかった要因は、4リフト目の打込み前に着目要素付近ですでに温度ひび割れが発生、進展していたことが考えられる。土圧による応力度の増加量は、ケース1で約 $80\text{N}/\text{mm}^2$ であったのに対し、ケース2で約 $20\text{N}/\text{mm}^2$ と小さかった。以上に述べたように、温度応力を考慮することにより鉄筋応力度の発生過程は大きく異なった。

しかし、最大応力度はケース1で約 $90\text{N}/\text{mm}^2$ 、ケース2で約 $100\text{N}/\text{mm}^2$ と、その差は小さかった。

4. まとめ

本研究では、温度ひび割れが構造物に及ぼす影響について検討するため【ひび割れを考慮した温度応力解析】と【土圧を作用させる構造解析】の連成解析を実施した。その結果、温度ひび割れにより、鉄筋応力度の発生過程が大きく異なったが、今回のモデルでは主筋に生じる最大応力度の差は小さかった。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、土木学会コンクリート構造物の設計と連成型性能評価法に関する研究小委員会に多くのご協力、ご助言をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 伊藤ら：初期応力を考慮したRC構造物の耐荷力解析手法の構築，コンクリート工学年次論文集，vol. 34, No. 2, 2012
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（開削トンネル，コンクリート構造物），2001，2004
- 3) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針，2016
- 4) 石川ら：分散ひび割れモデルによるひび割れ幅評価法の提案，コンクリート工学年次論文集，vol. 31, No. 1, 2009

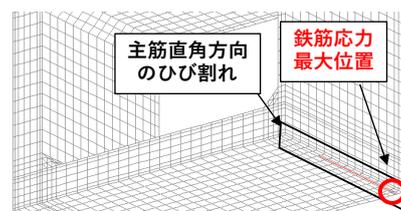


図-3 ケース1 ひび割れパターン

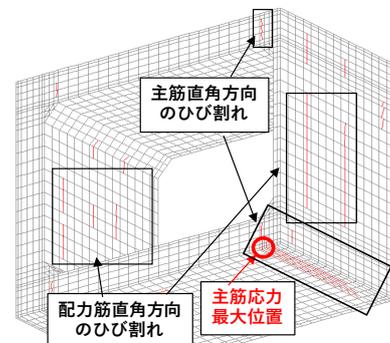


図-4 ケース2 ひび割れパターン

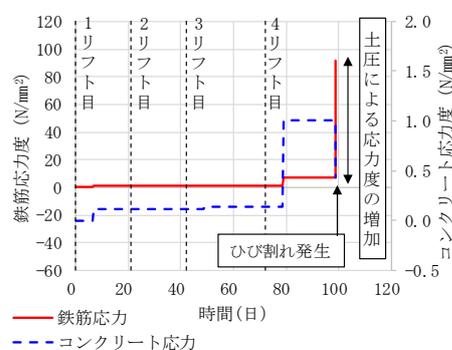


図-6 ケース1 応力度履歴

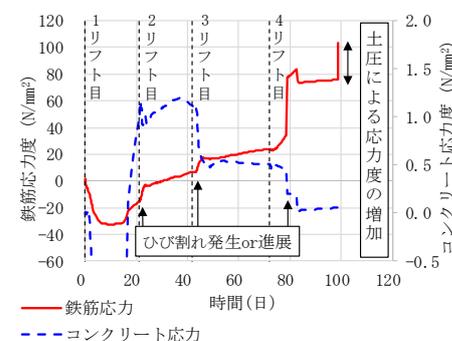


図-7 ケース2 応力度履歴