

推進工法の応力解放率に関する解析的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○西山 和宜
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 仲山 貴司

1. はじめに

トンネルの掘削に伴う地盤変位量を二次元解析で予測する場合、図-1のように、掘削面に掘削相当外力(式(1))を作用させる有限要素法(以下、二次元応力解放法)が用いられている¹⁾。

$$F_E = \alpha \int_{V_E} (N^T g - B^T \sigma_0) dV \quad (1)$$

ここに、 F_E : 掘削相当外力、 α : 応力解放率、 N : 形状関数、 g : 物体力、 B : 節点変位-ひずみマトリックス、 σ_0 : 掘削前の応力

これは、地盤掘削に関して広く利用されている解析手法²⁾を応用したもので、トンネル掘削では掘削相当外力に応力解放率 α ($=0\% \sim 100\%$) を乗じることで、切羽に作用する土水圧や切羽後方に施工されるライニングによる抵抗を表現するという特徴がある。

そのため、トンネル掘削に伴う地盤変位量を精度良く予測するためには、この応力解放率 α の設定が重要となるが、シールド工法と山岳工法以外では、その設定に際して参考となる文献が少ないという現状がある。

そこで、本稿では、トンネル施工法の一つである推進工法に対する応力解放率 α について検討した結果を報告する。

2. 検討方法

図-2のように、①二次元応力解放法(応力解放率 $\alpha=20\% \sim 60\%$) と②三次元逐次掘削解析とを比較して、三次元逐次掘削解析より得られる地表面変位量と一致する応力解放率 α を調べた。本稿で用いた三次元逐次掘削解析の手順を図-3に示す。推進工法は、地盤を掘削した後に、ライニングを地盤中に押込むという手順である。この施工過程を解析で表現するため、掘削面に掘削相当外力(100%)を作用させた後にライニング要素を挿入した³⁾。

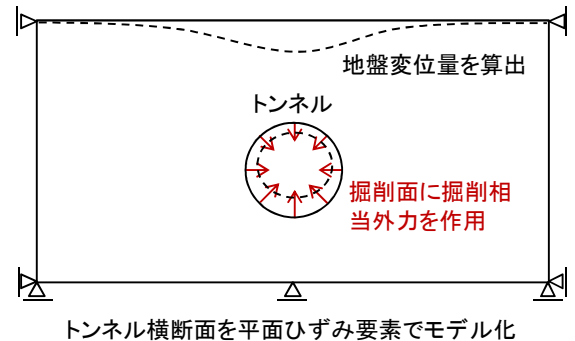


図-1 二次元応力解放法の概念図

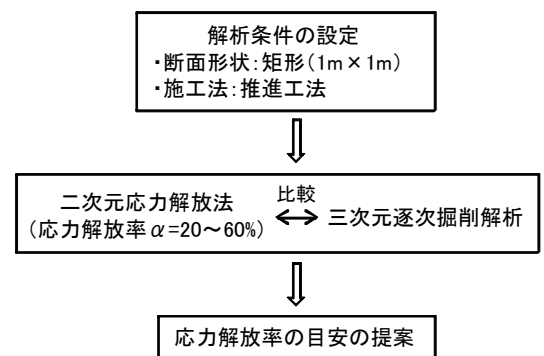
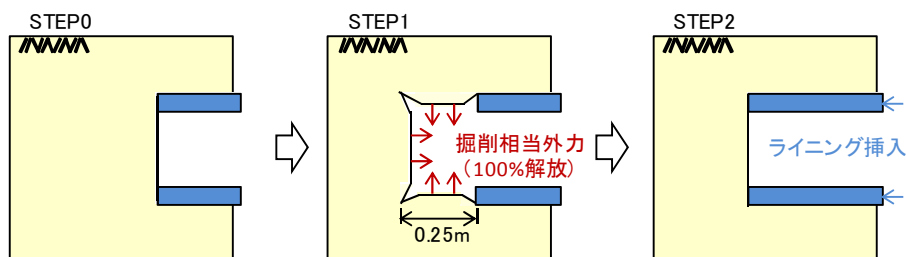


図-2 本研究の流れ

図-3 三次元逐次掘削解析の手順³⁾

キーワード トンネル, 有限要素法, 応力解放率

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

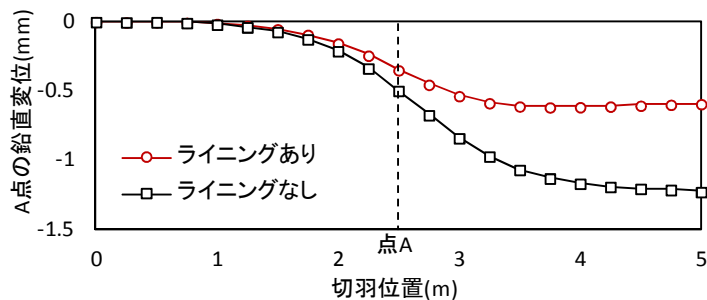
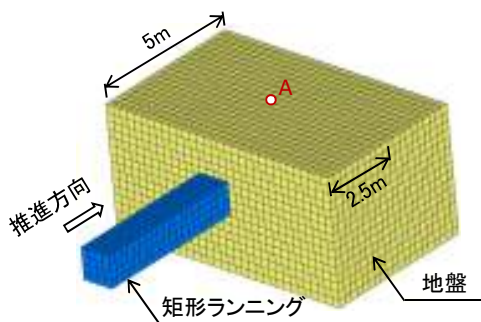


図-4 ライニングの推進距離と鉛直変位の関係（三次元逐次掘削解析）

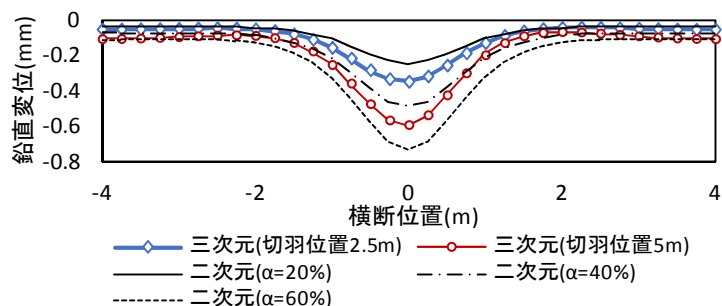
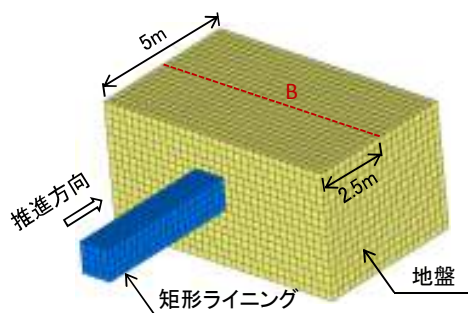


図-5 横断方向の鉛直変位分布（二次元応力解放法と三次元逐次掘削解析）

都市部の砂質一様地盤（ N 値 5 相当）を、土被り 1m で $1\text{m} \times 1\text{m}$ の矩形のライニングが 5m 推進する場合を解析対象とした（一掘削延長は 0.25m）。地盤のモデル化と特性値の算出方法は、シールド工法や山岳工法の応力解放率 α と比較できるように、これらの方法を準用した。具体的には、地盤は線形弾性体とし、地盤の変形係数 E は 2500N 相当 (12500kN/m^2)、ポアソン比 ν は 0.3 とした。なお、応力解放率 α について、シールド工法では洪積層で 8～15% 程度、沖積層で 15～30% 程度、山岳工法の場合は 40% 程度が一つの目安となる¹⁾。

3. 検討結果

図-4 に、三次元逐次掘削解析から得られた、切羽位置と図中 A 点における鉛直変位量の関係を示す。シールド工法や山岳工法と同様に、切羽が点 A 通過時において沈下の増加量が最大となり、最終掘削時（切羽位置 5m）では約 0.6mm の沈下となった。ただし、同図には後方からライニングの推進を行わない場合の結果も示しており、ライニングの推進を考慮することにより沈下が抑制されていることがわかる。

図-5 には、三次元逐次掘削解析（切羽位置 2.5m, 5m）と二次元応力解放法の、図中 B 線における変位分布図を示す。この結果から、切羽位置 2.5m では応力解放率 $\alpha=30\%$ 程度、切羽位置 5m では応力解放率 $\alpha=50\%$ 程度で両解析結果が概ね一致することがわかる。

4. おわりに

本検討では、二次元応力解放法と三次元逐次掘削解析の比較を通して、矩形断面を有する推進工法の二次元応力解放法における応力解放率 α の目安を示した。ただし、余掘り等の影響は考慮していないため、その影響について、今後は実験や現場計測と比較していく予定である。

参考文献

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル，2007.
- 2) (公社) 地盤工学会：有限要素法による数値解析入門，学会誌 土と基礎，1987.11～1989.4.
- 3) Hiroki Takahashi, Kazuhito Komiya, Hirokazu Akagi, Takashi Nakayama and Yu Ohashi : Finite Element Simulation of Construction Processes of A Mechanized HEP & JES Tunnelling Method, 2nd International Conference on Computational Methods in Tunnelling, 2009.