

実事例を用いた連壁本体利用構造物の設計法の比較

(公財) 鉄道総合技術研究所

正 ○小林 克哉

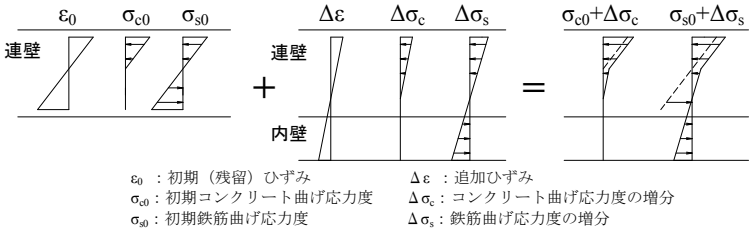
正 小島 謙一

ジェイアール東海コンサルタンツ (株)

正 佐藤 僚生

1. 背景および目的

地下連続壁を本体利用する場合の開削トンネルの設計においては、逐次解析法（一体解析法もしくはその簡便法（＝擬似一体解析法¹⁾）と分離解析法がある²⁾。実務では、分離解析法が用いられることが圧倒的に多いが、施工時（掘削時）に発生する仮土留め壁の応力を考慮せずに本体設計を行うため、必ずしも実際の状態を包含しているとは言えない。そのため、筆者らは、施工時の残留応力を考慮でき、一体解析法ほど計算が煩雑でない擬似一体解析法の適用性を検証すべく、有限要素法を用いた逐次解析との比較³⁾ および仮想断面を用いた両手法の比較⁴⁾ をこれまで行ってきた。なお、擬似一体解析法とは、許容応力度法で設計した施工時の仮土留めの発生応力を本体設計時に加算する方法である。図-1 に一体壁の場合の応力度算定方法を示す。これまでの検討から、擬似一体解析法は分離解析法より実際の断面力分布に近い傾向を示すことや、着目する箇所によっては分離解析法は発生応力を過小評価する可能性があることなどを確認している。本稿では、分離解析法により設計された実事例を用いて、両手法で計算を実施し、設計法の比較・分析を行うものである。



2. 検討断面 検討断面一覧を表-1 に示す。

仮土留め工は RC 連壁を用いており、施工方法は断面 a～c が順巻き施工、断面 d, e は逆巻き施工によるものである。残留応力を考慮しない分離解析法で設計されているが、仮土留め壁に大きな応力を発生させない配慮から、施工時の許容応力度の割増率を通常の 1.5 倍から 1.3 倍程度に低減させて設計が行われている⁵⁾。

表-1 検討断面一覧

	仮土留め工	施工方法	掘削深度×幅	断面概要	本体利用形式	地盤構成
断面 a	RC 連壁	順巻き	約 26m×15m	3 層 3 径間	一体壁	砂質土 N 値 10~25 粘性土 N 値 8 の互層
断面 b			約 29m×10m	4 層 1 径間	一体壁	砂質土 N 値 5~60 粘性土 N 値 1~10 の互層
断面 c			約 26m×15m	4 層 3 径間	一体壁	砂質土 N 値 10~50 主体
断面 d		逆巻き	約 23m×15m	3 層 2 径間	単独/一体壁	砂質土 N 値 2~10 粘性土 N 値 3 の互層
断面 e			約 37m×19m	4 層 2 径間	一体壁	砂質土 N 値 40~50 粘性土 N 値 10 の互層

3. 検討方法 分離解析法による検討では、実際の計算結果ではなく、資料を基に設計条件を整理して再計算を実施した。擬似一体解析法に用いる施工時の仮土留め工の検討についても、資料から設計条件（地盤条件、支保工配置、施工ステップ等）を整理し、弾塑性法により解析を行った。なお、最大発生応力は、仮設計算結果がある断面はその最大値相当となるようにトレースし、無い断面は、長期許容応力度の 1.3 倍以下となるように計算を行った。

擬似一体解析法の本体設計では、弾塑性法の掘削完了ステップでの発生応力を完成系骨組み解析での発生応力に足し込んで照査を行った。なお、完成系骨組み解析では、埋戻し荷重、揚圧力、躯体自重、差分側圧（静止側圧から主動側圧を差し引いたもの）に加えて、掘削完了ステップでの切梁反力を背面側から载荷し、切梁撤去時の影響を考慮した。これは、逆巻き工法で本設スラブが主動側圧の大半を負担している場合などは切梁撤去時の影響はそれほど大きくないが、順巻き工法など、切梁支保工が主動側圧の大半を負担し、その後撤去する場合には、本体構造に与える影響が大きいと考えられるためである。

キーワード 開削トンネル、連壁本体利用、構造解析、擬似一体解析

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 構造物技術研究部 基礎・土構造

4. 検討結果および考察

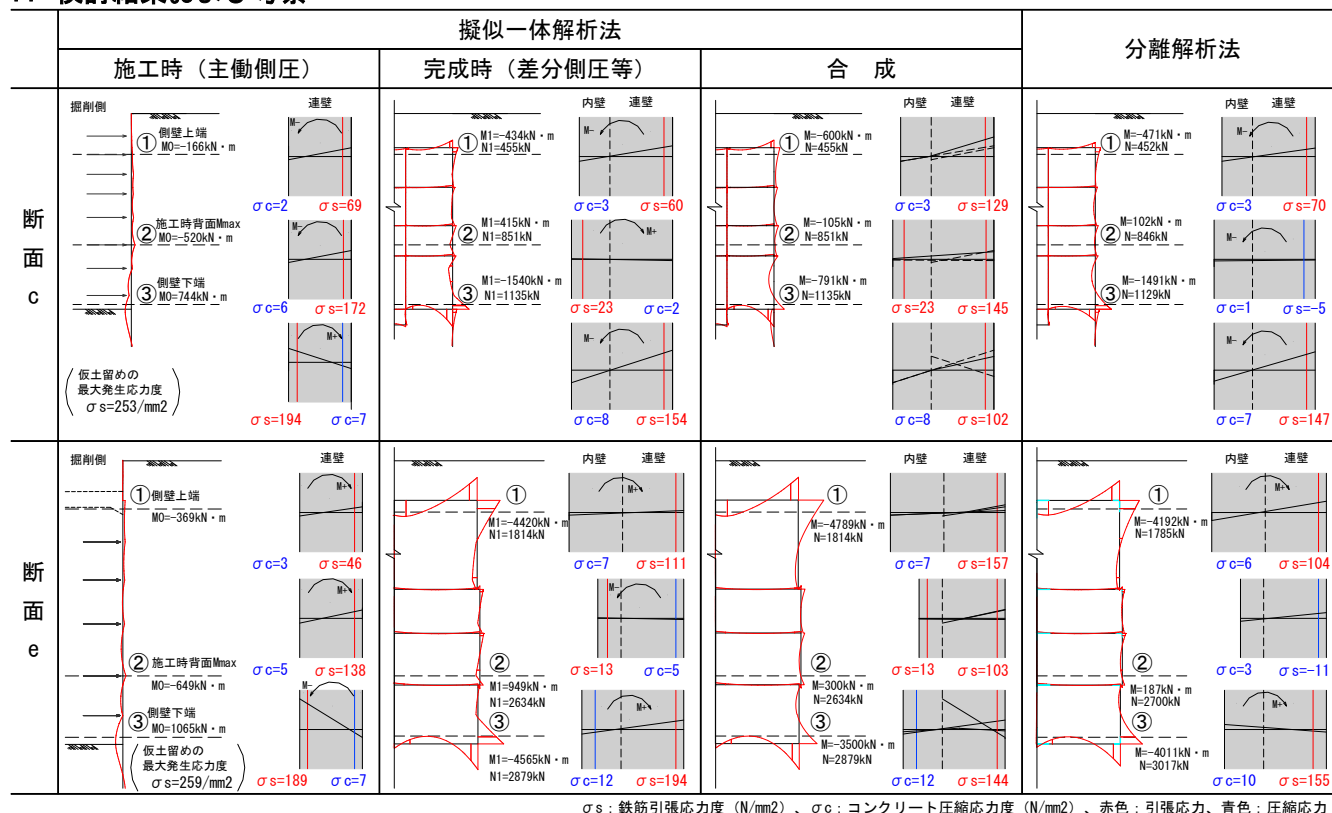


図-2 擬似一体解析法と分離解析法の比較結果

図-2 に結果の一例として、順巻き（断面 c）、逆巻き（断面 e）の各 1 断面の検討結果を示す。擬似一体解析法での施工時、完成時、合成結果、および分離解析結果について、曲げモーメント分布と各着目点（①側壁上端、②施工時背面側引張最大点、③側壁下端）の応力度算定結果を示している。

検討の結果、擬似一体解析法の応力（合成時）が、分離解析法の応力を上回る箇所が多数見られた。しかし、最大の鉄筋引張応力度は、耐久性ひび割れ照査省略の目安値（ $\sigma_s=140\text{N/mm}^2$ ）程度で収まっている。これは、仮土留めの設計において応力を制限したため、残留応力の影響がある箇所でも有害な応力レベルには至らなかったものと考えられる。また、今回の事例では顕著ではなかったが、施工時に背面側に引張応力が発生しており、完成後の静止側圧に戻る過程においても背面側の引張応力が残存している箇所、つまり逆巻きスラブ位置（断面 e の着目点①）や、切梁位置とスラブ位置が近い場合（断面 c の着目点①）などでは、非常に大きな引張応力が残留する可能性があり、分離解析法では評価しきれない場合がある。既存の研究において、FEM 解析等と擬似一体解析法が概ね整合していることから、逆巻き施工を行う場合や、背面側に大きな引張応力が発生する支保工配置となる場合は、擬似一体解析法などの逐次解析法を用いるのが望ましい。なお、残り 3 断面においても上記と同様の結果が得られている。

5. おわりに 実事例 5 断面に対して、擬似一体解析法および分離解析法で比較検討を行った。施工時に仮土留め工に発生する応力を適切に制限していれば、分離解析法で設計した場合においても施工時残留応力による有害な影響は小さいことが確認できた。また、施工時に背面側に大きな引張応力が発生し、それが残留する場合は、分離解析法では壁体応力を過小評価してしまうため逐次解析法による検討が重要であることがわかった。今後は、計測データ等を収集し、より精度の高い設計手法を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 西山誠治, 本田道織, 小島謙一, 棚村史郎: 連壁本体利用構造物の擬似一体解析法, 土木学会第 57 回年次学術講演会 (2002.9)
- 2) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル (2001.3)
- 3) 小林克哉, 小島謙一, 藤井公博, 松丸貴樹, 大野進太郎: 連壁本体利用構造物における簡易一体解析手法の適用性, 第 50 回地盤工学研究発表会 (2015.9)
- 4) 關泰史, 佐藤僚生, 松丸貴樹, 小島謙一: 連壁本体利用構造物における擬似一体解析法と分離解析法の比較検討, 第 50 回地盤工学研究発表会 (2015.9)
- 5) (社) 日本鉄道技術協会: 深い掘削土留工設計法-深い掘削土留工設計指針研究会編- (1993)