

破砕帯を通過する山岳トンネルの変位抑制工法の効果に関する一考察

大成建設(株)土木本部土木設計部 正会員 ○西谷 友幸・長田 翔平・石岡 賢治・長崎 了

1. はじめに

近年、山岳トンネルの耐震性に関して多くの研究が行われており、地震時の安全性について関心が高まっている。トンネル断面が破砕帯等の弱層を通過する場合には、弱層の地震時変位に伴いトンネル覆工の変位および断面力が局所的に増大することとなるが、具体的な対策工は未だ確立されていないのが現状である。一方で、対策工として、開削トンネルの側壁背面に免震層を設置する工法¹⁾や、山岳トンネルの覆工背面に緩衝材を設置する工法²⁾等が開発されている。しかし、緩衝材として剛性の小さいものを設置した場合、慣性力によるトンネル覆工の変位が大きくなることが懸念される。そこで、本稿では、覆工背面に比較的剛性の大きい埋戻しコンクリートを打設する工法を想定し、破砕帯の地震時変位に伴いトンネル覆工に発生する変位の抑制効果を数値解析により定性的に評価する。

2. 検討ケース

CASE1 として変位抑制工法なしのケース、CASE2 として覆工背面に埋戻しコンクリートを打設するケースの計2ケースについて比較検討する。

3. 解析条件

直径 10m の円形トンネルの横断面に対して、破砕帯が交差する状況を想定し、二次元動的 FEM 解析を実施する。図-1 に解析モデル図、表-1 に地盤物性値を示す。表層、支持層、基盤層からなる水平成層地盤を想定し、トンネル横断面に 45° で交差する厚さ 0.4m の破砕帯を考慮する。地盤は平面ひずみ要素でモデル化し、表層はひずみ依存特性を設定する。破砕帯はばね要素でモデル化し、ひずみ依存特性を設定する。破砕帯の物性値を表-2 に示す。地盤-構造物間にはジョイント要素を設置し、剥離・滑りを考慮する。ジョイント要素の物性値を表-3 に示す。覆工は線形梁要素でモデル化する。覆工の部材諸元および物性値を表-4 に示す。CASE2 の埋戻しコンクリートは平面ひずみ要素でモデル化し、厚みは 1.0m とする。モデルの側方と底面の境界は、粘性境界によりモデル化する。

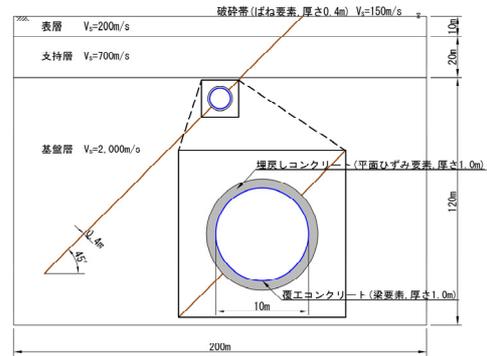


図-1 解析モデル図

表-1 地盤物性値

地盤区分	せん断波速度 V_s (m/s)	μ アソシ比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ヤング係数 E (kN/m ²)	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	減衰定数 h
表層	200	0.45	18.0	-	7.34×10^4	0.01
支持層	700	0.40	20.0	-	9.99×10^5	0.03
基盤層	2,000	0.35	24.0	-	9.79×10^6	0.03
埋戻しコンクリート	-	0.20	24.5	2.80×10^7	-	0.05

表-2 破砕帯の物性値

	層厚 H (m)	せん断波速度 V_s (m/s)	μ アソシ比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)
破砕帯	0.40	150	0.40	4.13×10^4

表-3 ジョイント要素の諸元

	せん断ばね定数 K_s (kN/m ² /m)	垂直剛性ばね定数 K_v (kN/m ² /m)	減衰定数 h
地盤-構造物間	1.00×10^7	1.00×10^7	0.01

表-4 覆工の部材諸元および物性値

覆工厚 t (m)	ヤング係数 E (kN/m ²)	μ アソシ比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断断面係数 S_z	断面二次モーメント I_z (m ⁴)	減衰定数 h
1.000	2.80×10^7	0.20	24.5	1.2	0.08333	0.05

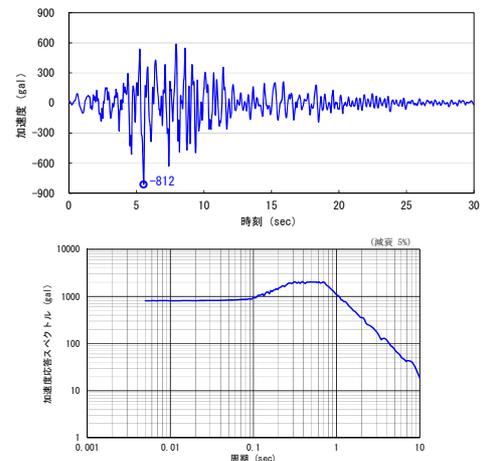


図-2 入力地震動

キーワード 山岳トンネル 破砕帯 埋戻しコンクリート 二次元動的 FEM 解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 (新宿センタービル) 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5296

解析に用いる地震動は道路橋示方書のレベル 2 地震動(タイプII)のうちI種地盤のものをモデル底面に入力する(図-2参照)。なお、解析手法は全応力の非線形動的解析手法とし、解析コードはTDAPⅢを使用する。

4. 解析結果

図-3 にトンネル上下端の水平相対変位が最大となる時刻における変形図を示す。対策工により、CASE2 ではCASE1 に比べ、層間変形角が約 67%抑制されていることが分かる。これは埋戻しコンクリートの剛性によって、構造物に接する地盤の破砕帯に伴う変形の不連続性が、緩和されることが要因と考えられる。

図-4 に CASE1, 図-5 に CASE2 のトンネル上下端の水平相対変位が最大となる時刻における断面力図を示す。CASE1 では、図-4 のように破砕帯交差位置において、軸力および曲げモーメントが局所的に増大していることが分かる。一方、図-5 に示す CASE2 では CASE1 に比べ、軸力および曲げモーメントが約 45%低減していることが分かる。

上記の解析結果より、破砕帯を通過する山岳トンネルにおいては、覆工背面の埋戻しコンクリートの剛性により、覆工の変位を抑制し、断面力を低減する効果が期待できると考えられる。

5. まとめ

破砕帯を通過する山岳トンネルを対象として、トンネル覆工(覆工厚 1.0m)の背面に埋戻しコンクリートを 1.0m 打設した場合の変位抑制効果について二次元動的 FEM 解析による検討を行った。検討結果として、以下の知見が得られた。

- ① トンネル覆工背面の埋戻しコンクリートにより、トンネル覆工上下端の層間変形角が約 67%低減する変位抑制効果が見られた。
- ② トンネル覆工背面の埋戻しコンクリートによる変位抑制効果に伴い、トンネル覆工の軸力および曲げモーメントが約 45%低減し、副次的に断面力の抑制効果も見られた。

本検討では、覆工背面に埋戻しコンクリートを打設した場合の効果を確認したが、今後は変位抑制工法に

用いる材料の種類や設置範囲などの検討を行なっていきたい。

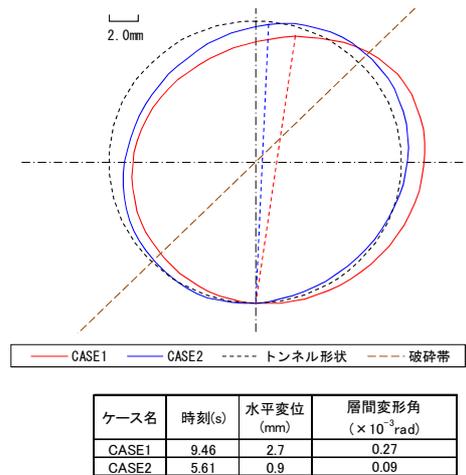


図-3 変形図(水平相対変位最大時刻)

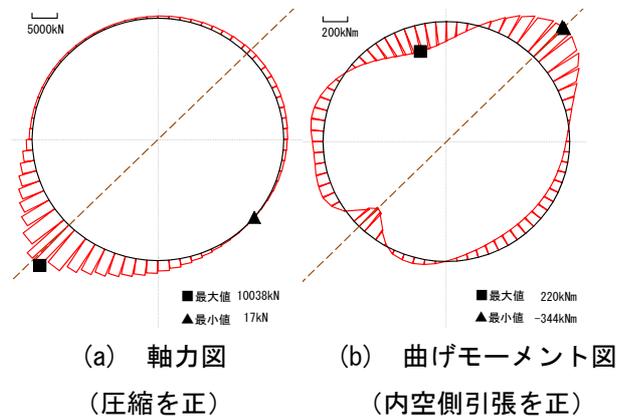


図-4 断面力図(CASE1, 時刻 t=9.46s)

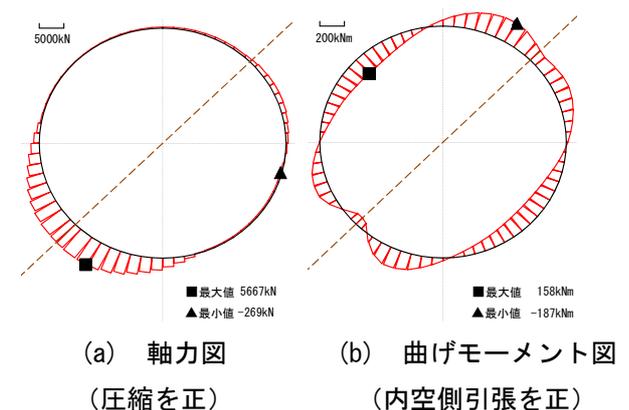


図-5 断面力図(CASE2, 時刻 t=5.61s)

参考文献

1) 西山誠治, 川満逸雄: 地下構造物の断層変位対策としての免震構造の適用性, 第 27 回土木学会地震工学研究発表論文集, No. 212, 2003
 2) 野城一栄, 小島芳之: 地質不良区間における新設山岳トンネル用地震対策工の適用性, 土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 4, pp. 1062-1080, 2009. 12