

山岳トンネルの坑口部の耐震性能に関する一考察

(株) 高速道路総合技術研究所 正会員 中野清人 小川 澄
 パシフィックコンサルタンツ (株) 正会員 ○山本 一敏 木谷 努

1. 目的

山岳トンネルの坑口部の覆工構造においては、経験に基づく覆工内側の単鉄筋による補強が多く見られる。単鉄筋による補強は、耐震性能の向上にも寄与していると考えられるが、単鉄筋でせん断補強鉄筋がない部材の照査方法が確立していないため、耐震性能は明確になっていない。本稿では、坑口部の覆工に分散ひび割れモデル¹⁾を適用し、レベル2地震動に対する耐震性能を評価した結果を取りまとめた。

2. 耐震性能の検討条件

耐震性能の照査は、覆工に分散ひび割れモデルを適用した2次元FEM動的解析によって行う。これは、坑口部では覆工構造が単鉄筋であり、一般のRC部材で使われている梁モデルの適用が困難であるためである。単鉄筋あるいは無筋コンクリートの覆工の耐震性能を照査するための限界状態として、確立したものはないが、表1の限界状態と指標を用いることとした。図1に坑口部の覆工と地盤条件を示す。覆工厚さはアーチ部で35cm、インバート部で50cmであり、内側にD19の主鉄筋が20cmピッチで配筋されている。坑口部の土被りを平均的な0.5D、地山の上に10m厚さで崖錐が堆積しているとした。この条件は、覆工の側壁に地盤の変化部が位置する厳しい条件である。

覆工は、単鉄筋、無筋コンクリート、繊維補強（鋼繊維 1Vo1%）した無筋コンクリートの3ケースについて検討した。図2にコンクリートの引張軟化特性を示すが、繊維補強コンクリートの破壊エネルギーは無補強コンクリートの18倍程度となっており、引張側のじん性が著しく向上している。また、入力地震動には、タイプII地震動³⁾を用いた。

表1 覆工の耐震性能を照査するための限界状態と指標

限界状態	指 標	判定方法
構造全体系が安定している	解析の安定性	解析が不安定とならないことを確認する
覆工の剥離、剥落の発生が生じない	平均圧縮ひずみ ²⁾	剥離、剥落の可能性がある覆工の内側の平均圧縮ひずみが1%以下であることを確認する
せん断破壊が生じない	貫通するせん断ひびわれの形成	斜めせん断ひびわれは覆工の内側から外側まで貫通していないことを確認する

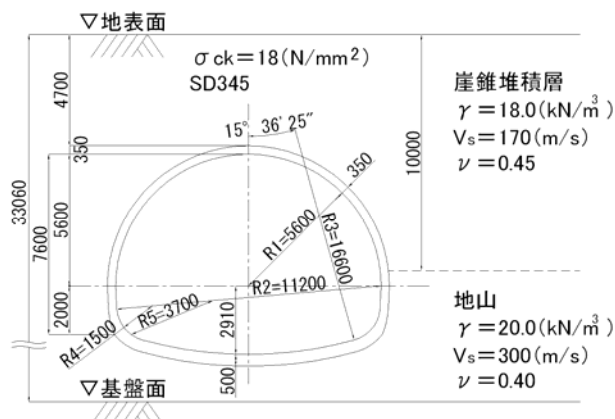


図1 覆工および地盤条件

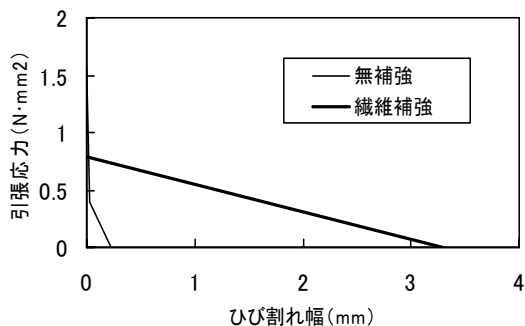


図2 コンクリートの引張軟化特性

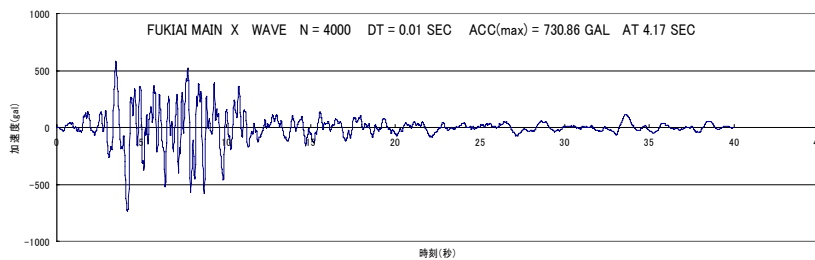


図3 入力地震動（タイプII）

キーワード 坑口、耐震性能、分散ひび割れモデル、単鉄筋、繊維補強コンクリート

連絡先 TEL 03(3344)0345 FAX 03(3344)1365

3. 耐震性能の評価

表2に検討ケースと照査結果の概要を示す。主鉄筋が配筋されている case-A では、解析が安定して終了し、構造系全体は安定していることが確認できた。また、図4に示すように斜めせん断ひびわれが覆工の内側から外側まで貫通していない。覆工の変形は図5に示すように地山と盛土の境界部に集中している。側壁の内側の平均圧縮ひずみの比較を図6に示す。case-A では1%以下となっているのに対して、覆工が無筋コンクリートである坑口部 case-B と case-C では、ひずみが急増して不安定となった。case-B と case-C を比較すると、繊維補強されている case-C の方が不安定となる時刻が遅れており、繊維補強によるじん性の向上が認められるが、主鉄筋の効果には及ばない。

表2 検討ケースと照査結果の概要

ケース No.	主鉄筋	コンクリートの繊維補強	構造全体系の安定	最大平均圧縮ひずみ	せん断破壊
case-A	有り	なし	安定	側壁で0.3%	なし
case-B	なし	なし	4.4秒で不安定となる	側壁で17% (4.4秒)	—
case-C	なし	有り	10.1秒で不安定となる	側壁で37% (10.1秒)	—

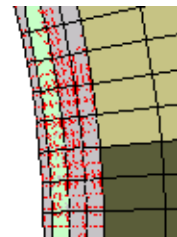


図4 クラック状況図
(case-A、側壁拡大)

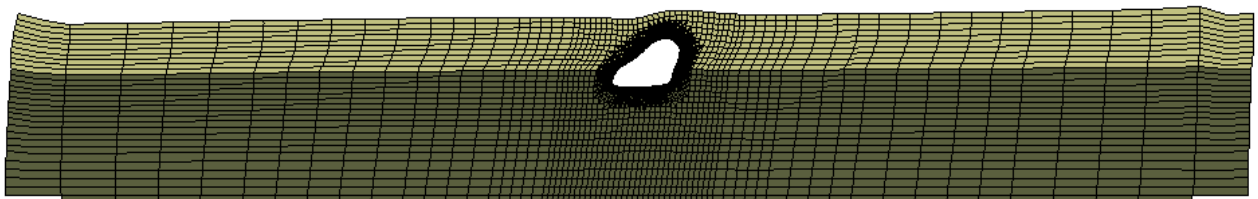


図5 変形図 (case-B、4.4秒)

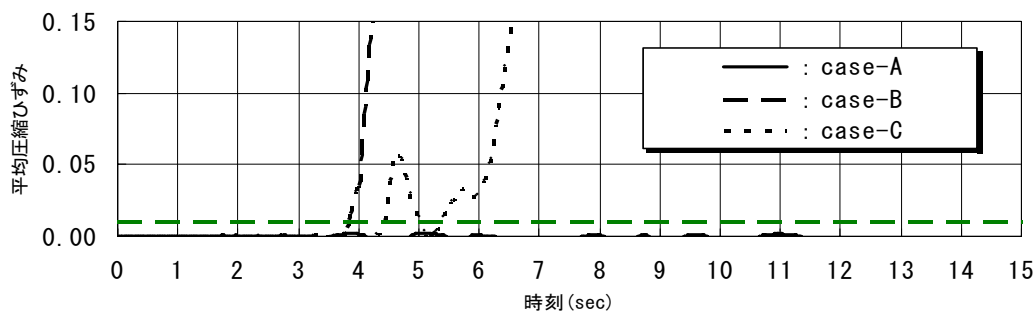


図6 側壁の平均圧縮ひずみの比較

4. まとめ

内側に主鉄筋が配置されていれば単鉄筋であっても、地震時の地山のせん断変形に対して一定の耐震性能を有していると考えられる。ただし、限られた条件における検討結果であり、覆工の限界状態も確立していないため、この結果の適用に際しては注意が必要である。また、坑口部の斜面崩壊、不整形地盤の影響については考慮していないため、必要に応じて別途、考慮しなければならない。

- 参考文献 1) 岡村甫、前川宏一:鉄筋コンクリート非線形解析と構成側、技報堂、1991. 5.
 2) 土木学会:原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針、2005. 6.
 3) NEXCO 中央研究所:都市部山岳工法のトンネルの耐震性に関する技術資料、2007. 3