開削トンネルの地震時破壊形態の推定方法に関する検討

(株)日建設計シビル 正会員 ○西山誠治
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 井澤 淳
京都大学 正会員 川西智浩
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 室野剛隆

1.はじめに

構造物の耐震設計では，不確定要因や予測精度に配慮し，構造物の脆性的な崩壊＝部材のせん断破壊防止が重要である．そのためにプッシュ・オーバー解析が実施されるが，地下構造物の応答変位法では，構造物の非線形性は M～φ関係等で考慮できるが，地盤ばねの非線形性は等価剛性ばねのため考慮できない．このため，部材断面力の推定精度に課題を有している可能性がある．本稿では，開削トンネルの地震時破壊形態の推定に，応答変位法によるプッシュ・オーバー解析を用いた場合の適用性を検討する．

2．応答変位法による地震時の開削トンネルの破壊形態の推定方法

開削トンネルの部材の破壊形態の推定に応答変位法を用いる場合には以下の２つの方法が考えられ，簡便法と詳細法とを比較検討する．

（方法１：簡便法）設計地震動に対する応答変位法モデルを用いて、地震作用を単純に比例倍に漸増載荷してプッシュ・オーバー解析を行う．ただし，周面せん断力が地盤のせん断耐力を超えたり，地盤変位が大きくなった場合の地盤剛性の低下を考慮できないなど，解析の精度が悪くなる可能性がある

（方法２：詳細法）設計地震動を大きくして地盤応答解析を複数回実施し，地震作用と地盤ばねを再算定して応答変位法を行う．地震動に応じた荷重や地盤バネを用いるため簡便法より精度が高いといえるが、地盤応答解析と応答変位法を複数回実施するため実務上は煩雑である．

3．検討条件

対象は図 1～2 に示す構造物 1(3 層 2 径間)および構造物 2(3 層 3 径間)とし，設計地震動は直下型地震[1)]を想定した．地震動の加速度振幅αを 0.5～2.0 倍と変化させ，GHE-S モデル[1)]による逐次非線形の１次元地震応答解析を実施し，応答変位法に用いる地震作用と地盤ばね等を算出する．地震動倍率α=1.0 とα=1.5 の開削トンネル上下床版位置の相対変位は,構造物１と 2 でそれぞれ 32.8㎝，57.4㎝である．

4．検討結果

各地震動倍率αに対する地震応答解析から求まる地震作用を 1.5 倍まで漸増載荷してプッシュ・オーバー解析を行った結果を図 3 に示す．白丸は地震作用 1.0 倍の値で，地盤ばね(剛性)が想定した地盤ひずみ，すなわち非線形性が整合した状態である．よって，地震作用 1.0 倍時点を結んだ線が本来の荷重～変位関係となる．

開削トンネルの構造物全体系の終局状態を，未解明な点も多いため，地震作用を 1.5 倍まで載荷した時点と仮定する．構造物の破壊形態確認の観点から 部材のせん断力に着目し，簡易法(地震動倍率 1.0 倍,荷重 1.5 倍)の状態と，詳細法(地震動倍率 1.5 倍,荷重 1.0 倍)の状態を比較する．

構造物各部材のせん断力を比較して図 4～5 に示す．R 軸には簡便法と詳細法の比を示し，1.0 以上の場合は簡便法で安全側の評価，1.0 未満の場合は危険側の評価を意味する．これより，以下のことが分かる．

・全般的に簡易法(地震動α=1.0 倍で作用 1.5 倍)においても，詳細法(地震動α=1.5 倍で作用 1.0 倍)と同程度の発生せん断力が算定されている．

キーワード 開削トンネル，耐震設計，破壊形態
連絡先 〒 541-8528 大阪市中央区高麗橋 4-6-2 （株）日建設計シビル 技術開発部 ＴＥＬ06-6229-6372

・図 4 において B1F 側壁で詳細法である地震動 α=1.5(荷重 1.0 倍)に対する簡便法 α=1.0(荷重 1.5 倍)の比率をみると，B1F 側壁で最大 1.4 とやや安全側過ぎる評価であるが，発生せん断力自体が小さいため許容できる．一方，B2F 左側壁は危険側の評価であるが，最も過小評価する箇所でも 0.8 程度であること，断面力の大きい箇所で 0.9 程度であり，地震力 1.5 倍の余力に対する確認としては十分な推定精度と考えられる．

・図 5 の構造物 2 においても，危険側に評価しているのは断面力の小さい箇所が中心であり，せん断力が大きくなる箇所でも 0.9 程度である．

以上より，本稿で対象とした開削トンネルでは，簡便法によって詳細法と同程度の精度で破壊形態の推定が行えることが分かった．

参考文献　1) 鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計，鉄道総合技術研究所　1999　2) 井澤　淳，西山誠治，川西智浩，室野剛隆：開削トンネルの地震時破壊形態の推定に関する検討，第 7 回地盤工学会関東支部，2010　3)西山誠治　井澤　淳　川西智浩　室野剛隆：地震力増加に伴う開削トンネルの部材断面力の変化性状，第 45 回地盤工学研究発表会，2011

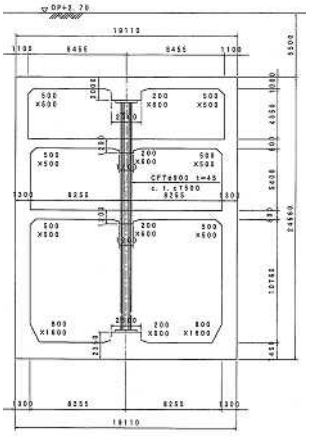

図 1　構造物 1

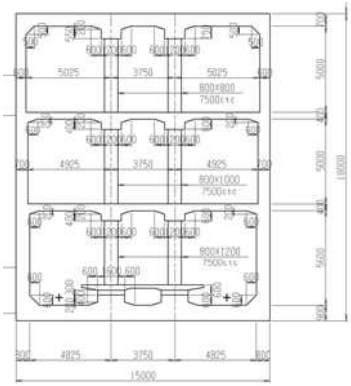

図 2　構造物 2

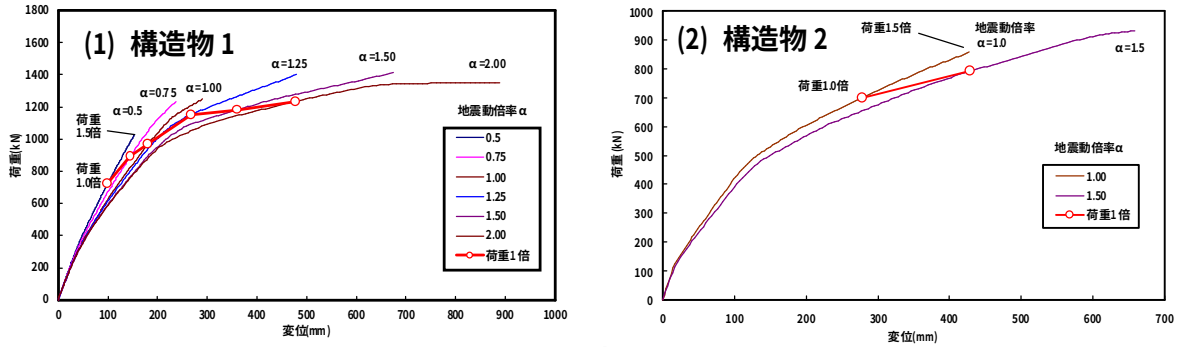

図 3　荷重～変位曲線

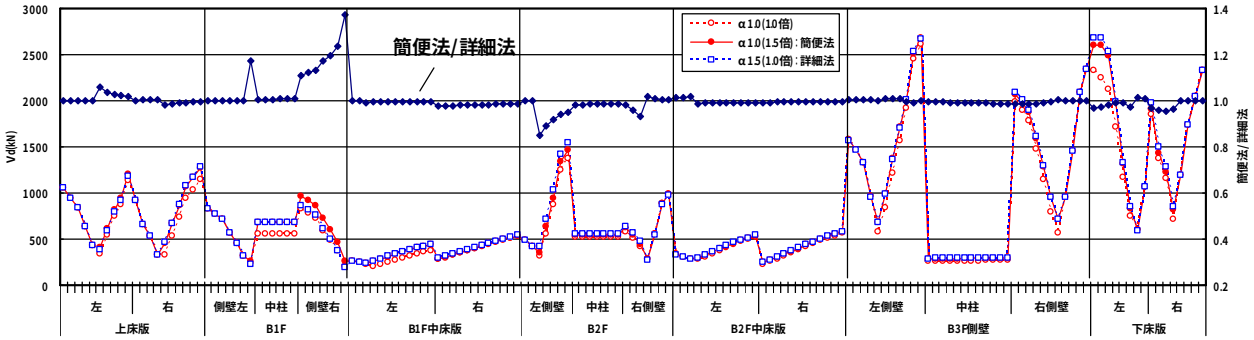

図 4　発生せん断力(構造物 1)

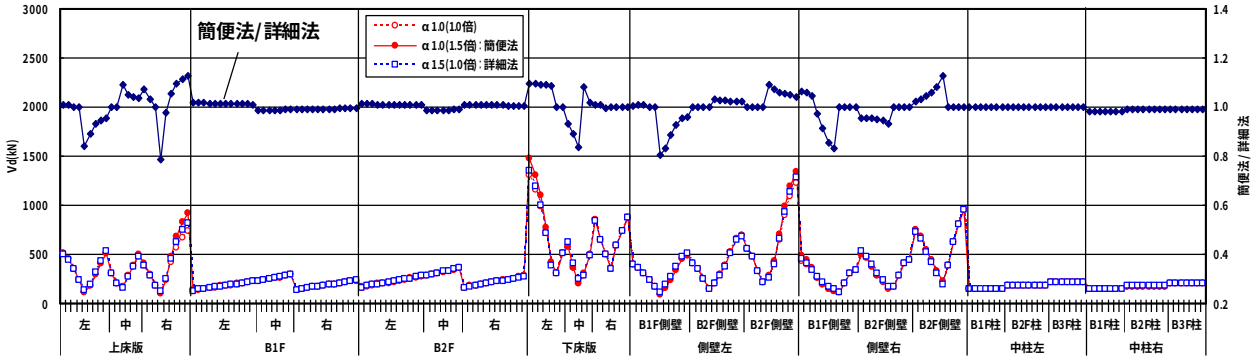

図 5　発生せん断力(構造物 2)