トンネルの耐震性についての解析的検討

| 東海旅客鉄道㈱ | 正会員 | 山本 | 哲也 | 正会員 | 庄司 | 朋宏 |
|----------|-----|----|----|--------|----|----|
| 東海旅客鉄道㈱ | 正会員 | 荒鹿 | 忠義 | フェロー会員 | 関 | 雅樹 |
| ㈱日建設計シビル | 正会員 | 西山 | 誠治 | | | |

1.目的

トンネルの耐震性について,土被りが深く地山が安定している条件では,大きな被害を受けないことが多い.と ころでトンネル覆工に変状が発生する要因として,例えばトンネル覆工裏に背面空洞が存在する場合や,塑性圧が

存在するといったことが考えられる.常時状態でトンネ ル覆工に変状を生じるような条件に,地震による外力が 加わった場合,トンネル覆工に被害が生じることが懸念 される.そこで本検討では,背面空洞や塑性圧を想定し, それらを考慮した条件でのトンネルの耐震性について, 数値解析による検討を行った.

2.解析方法

本検討では初期応力解析を実施した後,応答震度法に より地震時解析を行った.図1に地盤モデルと入力地震 動の算定の概略を示す.本検討の対象地盤は土被りが深 いことから,トンネル付近を取り出してモデル化し,対 象の地盤中と同じ状態が再現できるような境界力を与 えることによって,地表面までモデル化した場合と同 じ結果になるようにした.

初期応力解析では初期応力を K₀=1.0 として,モデルの上下左右に,鉛直および水平土圧を載荷した解析を行った.トンネルが常時状態下にあるときに,覆工がどの



図1 地盤モデルと入力地震動の算定の概略

表1 地盤の物性値

| | 単位体積重量 | =19.3kN/m ³ | | |
|---|----------|--|--|--|
| | ポアソン比 | =0.3 | | |
| • | せん断弾性係数 | G=192300kN/m ² (トンネル深度の拘束圧) | | |
| | せん断弾性波速度 | Vs=312m/s | | |
| | 強度 | C=0.5MPa =40°(初期変形) | | |
| | | | | |

程度の土圧を負担しているのかは明らかでないため,本検討ではトンネル部材は初めから存在し,内部は中空の状態で全土圧を負担するものとして,初期応力解析を行った.

地震時の解析段階で,対策工部材がある場合には部材を設置し,静的非線形解析を実施した.応答震度法では事前に等価加速度の算定が必要であることから,SHAKE による岩盤の動的解析を行った.本検討では山岳トンネル を対象としたため,地表面を工学的基盤面と考えて,地表面(工学的基盤)での地震動(G1)を,仮想基盤面まで 引き戻して入力地震動を算定した.この入力地震動を用いて岩盤の動的解析を実施し,トンネル部分の加速度分布 や解析モデル境界部の周面せん断力を算定した.

表1に示す地盤の物性値は,変状トンネル対策エマニュアル¹⁾を参考に決定した.また本検討で想定した地震動は,鉄道構造物等設計標準に基づくL2地震動スペクトル である.

3.解析結果

| 3.1 石盛動的解析 | 3. | 1 | 岩盤動的解析 |
|------------|----|---|--------|
|------------|----|---|--------|

応答震度法は地震時のある時 刻の状態を再現する静的解析方 法であるため,再現する時間を

| トンネル上下 端相対変位の | トンネル上 下端相対変 位の発生時 | トンネル上下端相対変位最大 となる時刻の解析モデルせん 断応力 | | 解析モデ ルの高さ | 等価加速 度(m/sec ²) |
|------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------|--------------------------------|
| 取入但(III) | 刻(sec) | 上端(kN/m ²) | 下端(kN/m ²) | (111) | |
| 1.94(29.3) | 1.84 | -1.86 | 301.7 | 131.201 | 1.17 |

表2 等価加速度の算定

·決定する必要がある.一般に,地中構造物は構造物と同じ深さの地盤の相対変位が大きいときに,厳しい状態にな

キーワード トンネル 耐震 背面空洞

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 東海旅客鉄道株式会社 技術開発部 TEL 0568-47-5375

る.そこでトンネル上下端の相対変位が最も大きくなる時間に着目す

る.本解析モデルの上下端のせん断応力から算定した等価加速度の算定 結果を表2に示す.

3.2 応答震度法による解析

本検討の解析コードは FLIP を用いた.解析ケースを表3に示す.これ ら8ケースをモデル化して検討を行った.なお,Case1は,背面空洞や塑 性圧がなく,覆工が健全なトンネルとしてモデル化している.背面空洞 があるケースでは,中心軸から60度の範囲に分布しているとしてモデル 化した.地震動条件を表4に示す.本検討では,3種類の地震動を表現し

ている.なお解析結果について,変形及び覆工の曲げモーメントと縁応力に着目 する.

3.2.1 変形

ー例として,図2に-45度入射(鉛直伸張)の変形図を示す.本検討では変形をトンネル覆工の左下で基準化し,40倍に拡大して表現している.背面空洞のあるCase2,Case5,Case6は,背面空洞がない条件に比べて,鉛直方向への伸張が大きく,水平方向への縮小も大きくなる傾向がみてとれ,背面空洞がトンネル覆工の変形に影響を与えていると考えられる.

3.2.2 曲げモーメント

図3に断面力の一例として,地震動を水平とした条件での,初期断面 力を考慮した曲げモーメント図を示す.背面空洞のあるCase2,Case5, Case6のグループでは,変状なしのCase1,Case7,Case8の グループに比べて0度,±45度で大きな曲げモーメントが発 生している.このことから背面空洞をなくすことが,トンネ ルの耐震性を向上させるためには重要であると考えられる.

3.2.3 縁応力

覆工に発生する縁応力の一例として 表 5 に 0 度 ±45 度, ±90 度の位置での覆工に発生する縁応力を示す.コンクリー ト圧縮強度は 18N/mm²(18,000 k N/m²),引張強度はその 1/10 とすると 1.8N/mm²(1,800 k N/m²)であり,大きな縁応

力が発生していることがわかる .全土圧を覆工に負担させている点が現

実と異なっている可能性もあるが,地震時増分のみを考慮して応力が 1/2 になると仮定しても,損傷する可能性がある.よってロックボルト等によ る覆工の剥落防止対策は,重要と考えられる.

4.まとめ

以上のことから,本検討では次のことがわかった.

・背面空洞があることで,健全な条件の場合に比べて,トンネルの変形が 大きくなる.

・トンネルの耐震性を検討するうえで,背面空洞を充填することにより, 耐震性の向上が図られる.

参考文献

1)トンネルの変状対策工設計マニュアル,財団法人鉄道総合技術研究 所,pp.215-216,1998.

表3 解析ケース

| Case | 対策工 |
|------|-----------------------|
| 1 | 背面空洞・塑性圧なし |
| 2 | 背面空洞あり |
| 3 | 塑性圧あり(RB なし) |
| 4 | 塑性圧あり(RB あり) |
| 5 | 背面空洞あり + 塑性圧あり |
| 6 | 背面空洞あり + 塑性圧あり(RB あり) |
| 7 | 背面空洞・塑性圧なし , 床部ロックボルト |
| 8 | 背面空洞・塑性圧なし , インバートあり |





図2 変形図(-45度:鉛直伸張)



表5 覆工に発生する縁応力

| 入射方向 | 計算場所角度 (°) | Case1(健 | 全な条件) | Case2 (覆工裏背面空洞有) | | |
|--------|----------------------|---------|--------|---------------------|---------|--|
| | | 応力 + | 応力 - | 応力 + | 応力 - | |
| | | kN/m2 | kN/m2 | kN/m2 | kN/m2 | |
| | -90 | -6418 | -8405 | -2714 | -11621 | |
| | -45 | -8789 | -14280 | 31283 | -48406 | |
| 水平入射 | 0 | -7711 | -24775 | 54072 | -78638 | |
| | 45 | 9469 | -39412 | -510 | -21916 | |
| | 90 | -2408 | -13578 | -6503 | -8163 | |
| +45度入射 | -90 | 5248 | -23331 | 1054 | -18222 | |
| | -45 | -2740 | -23177 | 12634 | -29831 | |
| | 0 | -8930 | -17093 | 38360 | -57714 | |
| | 45 | -2124 | -23453 | 11548 | - 30354 | |
| | 90 | 5392 | -21767 | 1340 | -17226 | |
| -45度入射 | -90 | 4108 | -18496 | 7453 | -20122 | |
| | -45 | -2740 | -25974 | 15666 | -36791 | |
| | 0 | 2639 | -40096 | 70237 | -99208 | |
| | 45 | -2191 | -24009 | 17169 | -36806 | |
| | 90 | 3991 | -16894 | 7133 | -18802 | |