

III-B 98 トンネル坑口の耐震設計に用いる荷重・解析モデルの検討

(株) トーニチコンサルタント 正会員 ○小林雅彦

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 西村昭彦 正会員 澤田 亮

同 上 正会員 朝倉俊弘 正会員 小島芳之

同 上 正会員 佐藤 豊

1. まえがき

山岳トンネルの設計は、従来から経験的に実施されてきたが、地震時の解析的検討は行われていないのが実情である。一方、過去の震災調査結果からは、トンネル坑口部は土被りが薄いことから、溪流災害や斜面災害等のもらい被害を受けたり、地震に起因した被害を受けた例が報告されている¹⁾。そこで、坑口部の覆工コンクリートの地震時挙動を解析的に明らかにし、坑口部に対する耐震設計法を確立することを目的に、耐震設計に考慮する荷重および解析モデルについてのパラメータスタディーを実施した。この検討結果について報告する。

2. 解析

(1) 解析モデルおよびパラメータ

単線用および複線用鉄道トンネルの標準断面（インバート無し）を解析対象とした。トンネル断面諸元（単線用）を図-1に、解析に用いたパラメータを表-1に示す。

(2) 解析方法

トンネル覆工を図-2に示すように分割し、直線部材の連続体とした骨組解析を行った。トンネルの変形に伴う地盤反力は、地震時の解析では考慮したが、常時の解析においては考慮する場合と考慮しない場合の2タイプを考えた。地盤反力を考慮する際、節点に設定する地盤バネは引張バネとならないよう配慮した（図-2参照）。また、側壁下端部を解析上評価する方法として、鉛直支点バネ:Kvおよびせん断支点バネ:Ksを考慮することとし、各々FEM解析で求めた値を用いた。さらに、地震時の解析の際には、骨組に発生する地盤反力度の上限値を受働土圧とするケーソン基礎と同様の手法に加えて、主働側において各節点の変位量（地震時）が地盤変位量よりも卓越する場合には地盤が塑性化したとみなし、その部分の節点水平バネ、側圧および、地盤変位荷重を削除する操作を行った。

(3) 載荷重と土圧

鉛直土圧として、無載荷・全土圧載荷・ゆるみ土圧を考えた。側圧係数は『基礎標準』²⁾による静止土

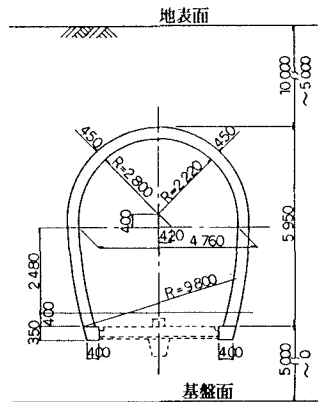


図-1 解析対象トンネル（単線）

表-1 解析パラメータ

	単線トンネル	複線トンネル
覆工巻厚	45 cm	50 cm
周辺地盤	砂質土(A地盤) N値:30, 50, 70	
土被り	5 m、10 m	
基盤面の位置	トンネル下端±0 m トンネル下端-5 m	
鉛直土圧	無載荷、ゆるみ土圧、全土圧	
側圧係数	0~0.5(全土被り高さ、ゆるみ高さを使用)	
地震時地盤変位量	『基礎標準』 ²⁾ により算出	

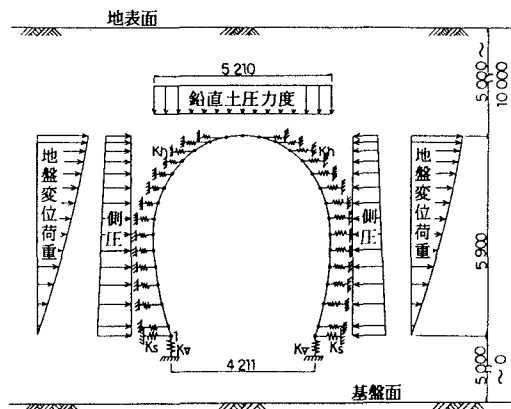


図-2 地震時解析モデル

圧係数を参考に0～0.5の間で変化させた。地震時荷重としては、水平震度=0.2として応答変位法で求めた地盤変位荷重を載荷したが、覆工自重による地震時慣性力は無視した。

3. 解析結果と考察

（1）常時に対する解析

常時状態をモデル化するに当たり、覆工コンクリートは無筋であるとして、発生引張応力度が許容引張応力度（想定値）以下となるモデルが常時の解析モデルとして妥当であると考えた。覆工コンクリートを $f'_{cx}=180\text{kgf/cm}^2$ とした場合、『新RC標準』³⁾によれば、設計引張強度は $f_{td}=16\text{kgf/cm}^2$ となる。荷重条件の相違により曲げモーメント図の形が異なり、想定する地盤条件によって異なる解析モデルが考えられることが判明した。トンネルは軸力を主体とした構造体であり、曲げモーメントにより引張クラックが発生しても圧縮力によりせん断破壊が生じない限り常時状態においてトンネルが壊れる事はないと考えられるため、図-3の①～③のいずれも常時の解析モデルとして妥当であると判断した。

（2）地震時に対する解析

地震時の曲げモーメント図から、常時のいずれのモデルにおいても、斜め上方に内側引張が発生する破壊モードとなった。これは、実トンネルの震災状況とほぼ一致する結果であり、応答変位法による地震時解析モデル（図-2）は妥当であると考えられる。一方、地盤の強度により地震時の発生応力度が異なり、地盤が堅固になるほどトンネル坑口に対する耐震設計は重要ではなくなると考えられる結果となった（図-4参照）。また、地盤のN値にかかわらず耐震設計上の基盤面が浅いほど発生応力度は大きく、基盤面の位置の違いによる発生応力度の相違は地盤のN値が小さい程大きくなる結果となり、いずれも従来から認識されている結果となった。

4. まとめ

今回、トンネル坑口部に耐震設計法を導入する場合に考慮する荷重および解析モデルの検討を行った。その結果、地盤条件により異なる常時モデルが存在し、地震時の破壊モードは常時のモデルにかかわらずほぼ一定であり、実トンネルの震災状況に一致することが判明した。また、地震時に坑口に発生する応力度は、トンネル周辺地盤の強度と基盤層の位置に大きく影響されることが明らかとなった。

参考文献：

- 1) 吉川：鉄道トンネルの震災事例調査、鉄道技研報告、1979年9月
- 2) （社）土木学会：国鉄建造物設計標準解説（基礎構造物・抗土圧構造物）、昭和61年3月
- 3) （財）鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）、平成4年10月

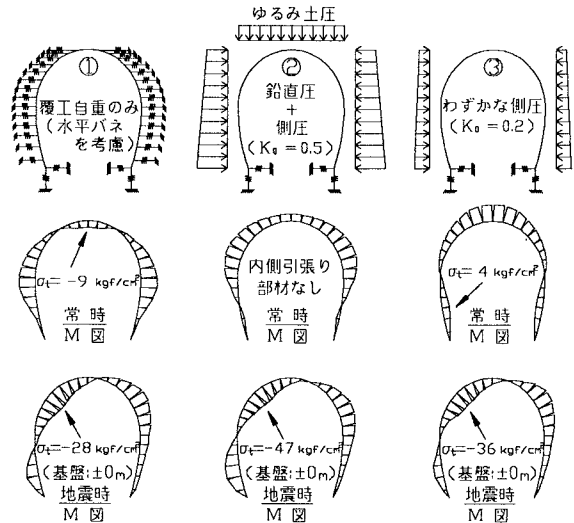


図-3 常時解析モデルと曲げモーメント図（単線、常時・地震時）

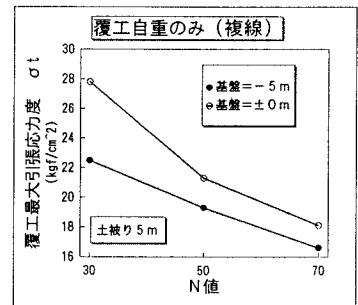


図-4 地盤のN値と覆工内側の最大引張応力度（地震時）との関係