

地震時に被害を受けたトンネル坑口のシミュレーション解析

（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
 （株）トーニチコンサルタント 正会員 白井英夫 正会員○小林雅彦

1. まえがき

山岳トンネル覆工は、従来より経験的に設計され、地震時の解析的検討は行われていない。一方、過去の震災調査結果より、トンネル坑口部は、溪流災害や斜面災害のもらい災害を受けたり、土被りが薄いことに起因して被害を受けた例がある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確認することを目的としてシミュレーション解析を実施した。この結果について報告する。

2. 解析

(1) 解析モデル

マグニチュード7.0の地震を実際に受けた鉄道トンネルを解析対象とした。地盤はN値 ≈ 30 の砂質土（ $\phi=30$ 度、 $\gamma=1.9\text{tf/m}^3$ ）である。トンネル断面諸元を図-1に示す。

(2) 解析方法

トンネル覆工（厚さ45cm）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の反力は、各部材に設置した水平方向地盤バネで評価した。解析対象トンネルはインバートが無いので、側壁下端部を解析上評価する方法として、鉛直支点バネ： K_v およびせん断バネ： K_s を考慮することとし、各々ケーソン基礎の算出式で求めた。常時の解析においては、鉛直土圧（上載荷重を含む）と静止土圧を考慮し、水平方向地盤バネ： K_h は考慮していない（図-2参照）。また、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地震時変位量が地盤変位量よりも卓越する場合には、その部分の水平方向地盤バネ： K_h を削除し、静止土圧を主働土圧に置き換える操作を行った。

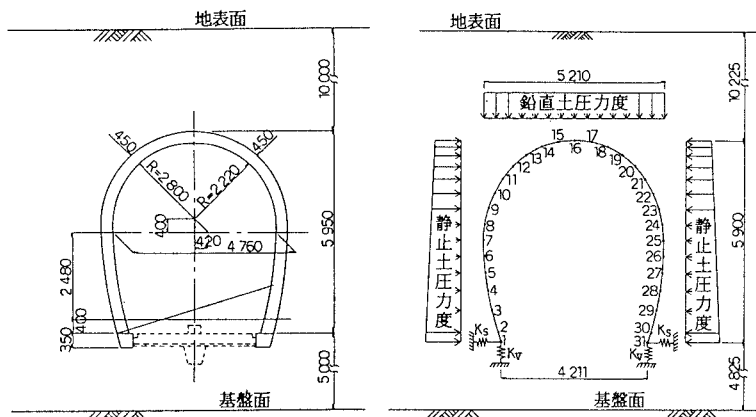


図-1 解析対象トンネル

図-2 常時解析モデル

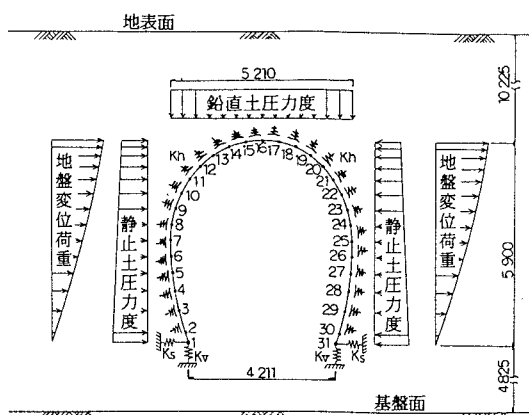


図-3 地震時解析モデル

（3） 載荷重と土圧

鉛直土圧載荷の際には、ゆるみ高さが9.21m となり ≈ 10 m であるため、全土圧載荷とした。また、静止土圧係数： K_0 は『基礎標準』²⁾より、0.3, 0.4, 0.5 の3種類用いた。地震時荷重としては、常時の解析で載荷した土圧の他に、水平震度 $=0.2$ として応答変位法で求めた地盤変位荷重と水平方向地盤バネ： K_h (地震時) 載荷したが、覆工自重による地震時慣性力は無視した(図-3 参照)。

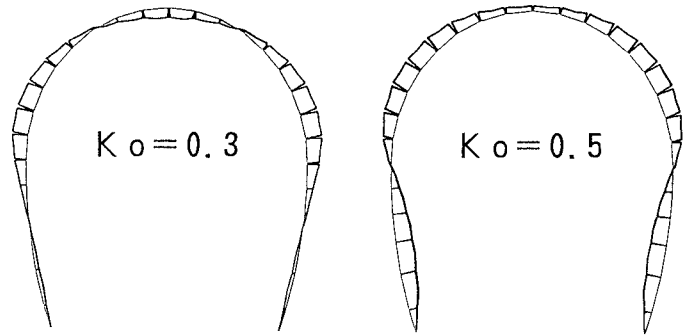


図-4 常時のモーメント図

3. 解析結果と考察

解析で得られた、常時と地震時の覆工に発生する曲げモーメント図を図4～6に、静止土圧係数と覆工コンクリートに発生する最大引張応力度の関係を図-7に示す。

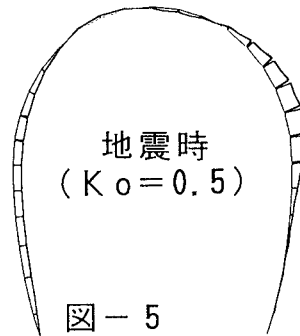


図-5

地震時のモーメント図

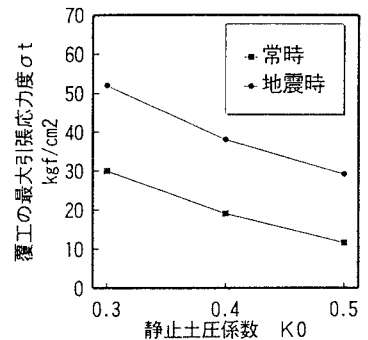


図-6 σ_t と K_0 の関係

（1） 常時に対する解析

$K_0=0.5$ のケースの場合、覆工に発生している最大引張応力度は $\sigma_t=11.7 \text{ kgf/cm}^2$ であった。覆工コンクリートの σ_{ck} を 180 kgf/cm^2 とすると、『新RC標準』³⁾によれば、設計引張強度は $\sigma_t=16 \text{ kgf/cm}^2$ となる。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、トンネルが壊れる事はないと考えられ、今回の場合について言えば、 $K_0=0.5$ が解析上妥当な静止土圧係数であったと考えられる。

（2） 地震時に対する解析

静止土圧係数： $K_0=0.5$ のケースに地盤変位荷重を載荷したところ、最大引張応力度は $\sigma_t=29.2 \text{ kgf/cm}^2$ となり、常時の約2.5倍の応力度が発生した。この応力度は、常時の場合に卓越していた軸力が地震時において減少するためであると考えられる。

4. 今後の検討課題

今回、応答変位法を用いてトンネル坑口部の地震時挙動の検討を行った。その結果、発生応力度から推定すれば、地震時において解析対象トンネルにクラックが発生したことが解析上確かめられた。しかし、今回報告した解析手法は、地盤バネの算出方法および設定方法、静止土圧係数および地震時の解析における土圧の処理方法等、確立したものではない。今後はこれらの解析手法に検討を加えつつ、パラメータスタディーを行い、トンネル坑口部が地震時に被害を受ける場合の要因を推測する予定である。

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