

# I-613 シールドトンネル横断面の常時断面力と地震時断面力の関係

大成建設（株） 正会員 志波由紀夫

## 1. はじめに

従来、地盤が均一で、かつ土被りが大きい場合には、シールドトンネルの横断面に及ぼす地震の影響は小さいといわれてきており、横断方向の耐震設計を省略することも多かった。しかし、実際に横断面の耐震計算を行ってみると、地震時の応力増加分が常時の応力を上回ることも少なくない。

本研究は、シールドトンネル横断面の常時断面力と地震時断面力の大きさを試算して両者の関係を調べ、どのような地盤・トンネル条件の場合に地震の影響が大きいかについて検討したものである。

## 2. 検討方法

検討の対象としたのは、図-1に示すような均質地盤中のシールドトンネル横断面である。図-2に検討方法を示す。地盤およびトンネルの条件を設定した後、まず、慣用計算法<sup>1)</sup>によって覆工の常時の断面力を計算し、その断面力から常時の応力度を算出する。次に、応答変位法<sup>2)</sup>によって地震時増分断面力を計算し、これと常時の断面力を重ね合わせて地震時断面力と応力度を算出する。ここで、常時の荷重ならびに地震時の地盤変位の大きさ等については、それぞれ、トンネル標準示方書（シールド編）・同解説<sup>1)</sup>、共同溝設計指針<sup>3)</sup>の規定にしたがった。最後に、常時応力度に対する地震時応力度の比率を求める。覆工を許容応力度法で設計することを想定すると、一般に地震時の許容応力度は常時の1.5倍に割り増されることから、この応力度比が1.5を超える場合は覆工断面が地震の影響（耐震設計）によって決まることになる。

以上の検討を、表-1に示す種々の地盤・トンネル条件について行った。なお、常時の断面力の計算における土水圧の考え方は、砂質土の場合は「土水分離」により、粘性土の場合は「土水一体」によった。

## 3. 結果の概要

図-3は常時および地震時の断面力と応力度の一例である。この例では、常時の断面力において軸力（圧縮）が卓越し曲げモーメントが小さいため、常時の引張応力度が非常に小さい。一方、地震時増分断面力では曲げモーメントが卓越し大きな曲げ引張応力が常時の応力に付加されるため、地震時/常時の応力度比が1.5を超えている。

RCセグメントを用いる覆工の設計では、必要鉄筋量を定める上で特に引張応力度比が重要な指標となる。表-1に示したパラメータ・スタディーの結果の一例として、図-4にトンネル深度（土被り厚）と引張応力度比の関係を示す。粘性土の場合には土被りが1.2D（Dはトンネル外径）以下のときに引張応力度比が1.5を超える。砂質土の場

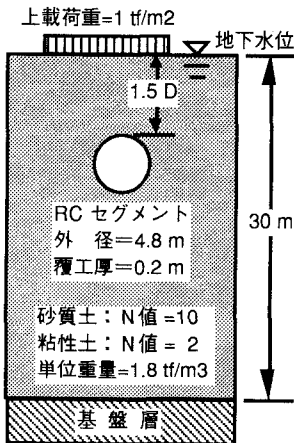


図-1 検討対象（標準ケース）

表-1 検討を行った地盤およびトンネルの条件

検討系列 No.	変化パラメータ	トンネル			地盤			
		図心半径	覆工厚	深度**	土質	N値	層厚	地下水位*
1	N 値	標準	標準	標準	砂質土 粘性土	1~30 1~25	標準	標準
2	N 値	4.6 m	0.46 m	標準	砂質土 粘性土	1~30 1~25	標準	標準
3	口径	1~5 m	半径/10	1.5 D	標準	標準	標準	標準
4	口径	1~5 m	半径/10	15 m***	標準	標準	標準	標準
5	深度	標準	標準	1 D~3 D	標準	標準	標準	標準
6	地盤層厚	標準	標準	標準	標準	標準	14~30 m	標準
7	地下水位	標準	標準	標準	標準	標準	標準	-5~+5m
標準 ケース		2.3 m	0.2 m	1.5 D	砂質土 粘性土	10 2	30 m	0 m

注) 全ての検討系列について、砂質土と粘性土の両方の土質を検討した。

\* : マイナス符号は地下水位が地表面よりも上にあることを表す。

\*\* : 土被りの厚さを表す。ここに、Dはトンネルの外径である。

\*\*\* : トンネル中心の深度を一定にして口径を変化させた。

合には検討した土被り1D~3Dの全範囲で引張応力度比が1.5を超える。

その他のパラメータに関する検討結果においても、全般に地盤が砂質土(土水分離の土水圧)の場合は常時の曲げモーメントが比較的小さいため、地震の影響が大きい。地盤が粘性土(土水一体の土水圧)の場合は、土被りが小さい場合やトンネルが基盤面に接近している場合に地震の影響が大きくなる。

4. まとめ

シールドトンネル横断面の常時断面力と地震時断面力の関係を調べた結果、地震の影響が大きい(覆工断面が耐震設計によって決まる可能性の高い)地盤・トンネル条件として以下のケースが抽出された。

①地盤が砂質土で、常時の設計において土水分離の荷重を適用する場合。ただし、地下水位が低い(トンネル頂点に近い)場合には、設計断面が常時の設計によって決まるケースもある。

②地盤がN値2程度以下の軟弱な粘性土であって常時の設計において土水一体の荷重を適用する場合で、かつ、次のいずれかのケースに該当する場合。

- ・土被りが1.5D未満の浅深度の場合
- ・トンネル底点と基盤面とが比較的接近している場合

なお、本研究は建設省総合技術開発プロジェクト「地下空間の建設技術の開発(地下構造物の耐震設計技術の開発)に関する共同研究」<sup>4)</sup>の一環として実施したものである。

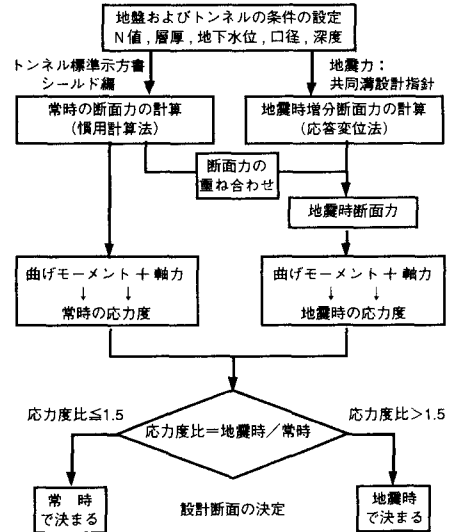


図-2 検討フロー

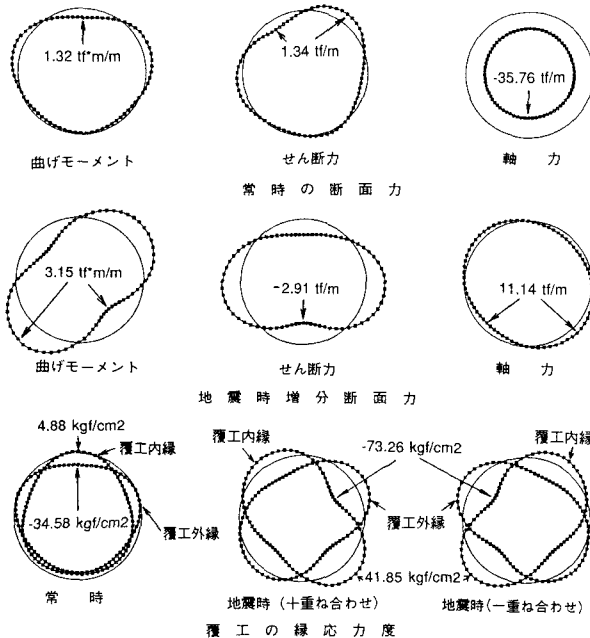


図-3 常時および地震時断面力の一例:標準ケース、砂質土(応力度の負符号は圧縮を表す)

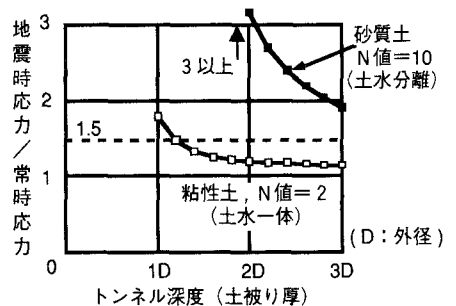


図-4 トンネル深度と引張応力度比の関係(検討系列 No. 5)

参考文献

- 1) 土木学会編:トンネル標準示方書(シールド編)・同解説, pp.25~62, 1986年
- 2) 志波他:シールドトンネルの横断面方向の地震時断面力の計算法, 土木学会論文集, No.437, pp.193~202, 1991年
- 3) 日本道路協会:共同溝設計指針, pp.52~58, 1986年
- 4) 建設省土木研究所・先端建設技術センター・奥村組・鹿島建設・鴻池組・清水建設・大成建設・飛鳥建設・間組・フジタ:地下構造物の耐震設計技術に関する研究 平成3年度共同研究報告書, 1992年