

地下鉄トンネルの耐震性能評価手法における継時計測必要性に関する研究

早稲田大学 学生会員 ○岸 大智
早稲田大学 正会員 岩波 基
(株)熊谷組 正会員 山口 哲治

1. はじめに

現在,日本の都市部では地下鉄トンネルの多くにシールド工法が採用されている.シールドトンネルは元々十分な耐震性能を有しているとみなされてきたことから耐震設計が必要ないとされ,比較的古いトンネルはその基準に従い建設されてきた.しかし,1995年に発生した兵庫県南部地震で,開削トンネルが大規模な被害を受けたことにより,地下構造物の耐震設計法が見直されることとなった.地震時構造解析手法や設計地震動などの現行の耐震検討に使われている内容が規定されたが,設計地震動は地上波設定されているので,設計上の基盤にどのような地震波を入力するのが耐震設計において適しているのか十分な根拠がない.そのため表層内で継時計測を行い,対象地下構造物に近い地点の地中における観測波から設計地震動を定めることが望ましいと考えられる.そこで本研究では,東日本大震災の地震時に地下鉄トンネルの近傍に設置されていた加速度計の地震動のデータを使用した解析を行い,多くの構造物の耐震設計で用いられている基準の設計地震動を用いた解析の結果とトンネルに生じる断面力を比較し,どちらが設計においてより適しているのかを考察する.

2. 検討対象

本研究で対象とした地盤は,東京都内の地下鉄路線の地盤で,基盤層が地表面から40mの位置にある軟弱地盤である.また,対象のトンネルは外径6.75m,内径6.15mの中子形単線シールドトンネルで中心深度は14.175mである.以下の表1に表層地盤の土質構成と物性値を,表2にトンネルの物性値を示す.

表1 表層地盤の土質構成と物性値

土質区分	深度(m)	単位体積重量(kN/m ³)	せん断弾性係数(kN/m ²)	N 値
砂	0~5	17	24850.15	4
シルト	5~30	14	21167.36	1
粘土	30~40	15	55090.33	6

表2 トンネルの物性値

ポアソン比	せん断弾性係数(kN/mm ²)	ヤング率(kN/mm ²)
0.166	16.8	39.2

検討に使用した地震波は,対象地盤内に設置されている加速度計によって東北地方太平洋沖地震時に観測された地震波の基盤波の非超過確率90%での加速度応答スペクトルを,「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」¹⁾に示されている内陸型L2地震動の標準応答スペクトルである2000galとなるように実数倍したものである.比較対象とした設計地震動としては「道路橋示方書・同解説 耐震設計編」²⁾で設定されている地盤の固有周期Ⅲ種地盤用の基盤波を求め使用した.図1に観測された地震波から作成した地震波形を,図2に設計地震動の基盤波の波形を示す.

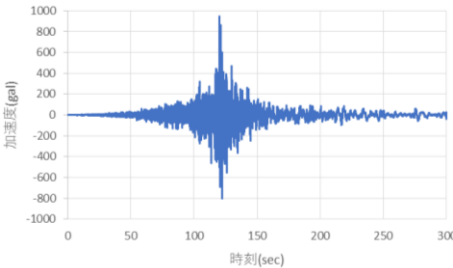


図1 作成した地震波形

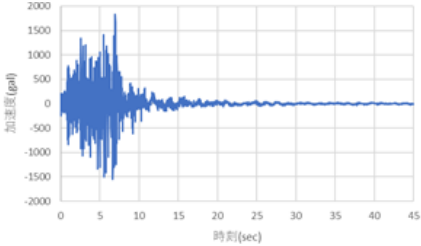


図2 設計地震動の基盤波

キーワード シールドトンネル, 地震波, 耐震設計

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学西早稲田キャンパス51号館16階 TEL 03-5286-3402

3. 解析について³⁾

本研究では応答変位法を用いてトンネルに生じる断面力を求めた。
まず初めに、一次元地盤応答解析を用いて図 1, 図 2 に示した基盤波を求め、求めた波を使用して二次元 FEM 解析を行い地震時の地盤の変位量, 及び低下剛性値を算出した。
そして二次元 FEM 解析により求めた値から、解析ソフト「Moleman-i」を用いてトンネルの断面力を算出した。

4. 結果

解析によって求めた断面力を以下の図 3 と 4 に、最大値を表 3 に示す。

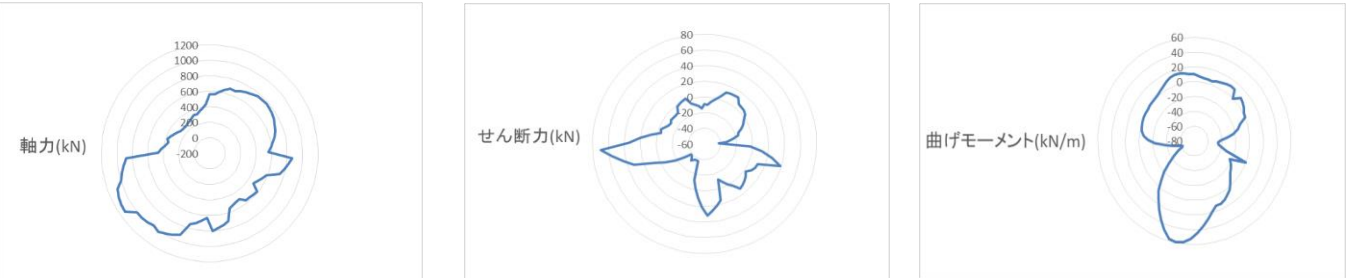


図 3 作成した地震波による断面力

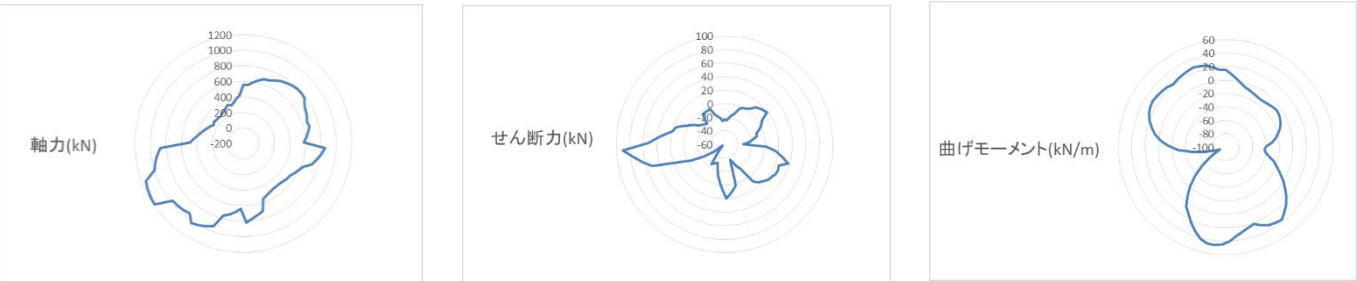


図 4 設計地震動による断面力

表 3 断面力の最大値

波の種類	軸力(kN)	せん断力(kN)	正曲げモーメント(kN/m)	負曲げモーメント(kN/m)
作成波	1125	70.2	59.2	-62.3
設計地震動	1191	95.1	47.1	-90.0

以上に示した図と表から、設計地震動による断面力の方がほとんどの点で大きい値であることがわかる。
5. 考察
地震波の波形を見ると設計地震動の波形の方が加速度の最大値等は大きく、2 つの波には大きさにはかなりの差が生じている。そして断面力を求めると設計地震動による断面力の方が大きいという結果になった。対象地盤の特性をより反映できているのは、対象地盤内で観測された地震波から作成したものであるということを踏まえると、本研究においては設計地震動を使用した結果では断面力を過大評価してしまっていると言える。
このことから継時計測による地震波を使用する方がより合理的な地震波を設定できる可能性があると考えられる。

6. まとめ

本研究で対象とした地盤やトンネルでは継時計測による設計の適切である可能性が高いと考えられるが、妥当性を確認するためには、多くの地点での継時計測データを使用した解析を行い、今回と同様に設計地震動と関係を明らかにしていきたい。

参考文献

1) 鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012
2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012
3) 土木学会：トンネル・ライブラリー第 19 号 シールドトンネルの耐震検討，2007