

中央環状新宿線トンネルにおける耐震設計入力地震動の検討

首都高速道路公団 正会員 遠藤 蔵人 田嶋 仁志 川田 成彦
 (株)リソナルコンサルツ 正会員 橋 義規 香川 健志

1. はじめに

開削トンネルなど地中構造物の耐震設計において、入力地震動の定義方法は、既往の設計指針¹⁾²⁾やガイドライン³⁾では地中基盤波(上昇波E+下降波F)として設定しているものが多い。この場合、入力地震動は、それを定義した地盤の表層の影響を下降波Fとして含むことになる。一方、表層地盤の影響を除去し、露頭基盤波(2E)として定義する方法もある。地震波の伝搬特性を考えると後者の方が基盤面で一律に規定できるため、より実現象を表現できると考えられる。本検討では、同じ強震記録を用いて、露頭基盤波(2E)と地中基盤波(E+F)を設定し、この入力地震動を用いたトンネル横断方向の解析から入力地震動の違いによるトンネル応答の比較を行った。

2. 露頭基盤波の設定

2.1 設計速度スペクトルの設定

入力地震動の強度を定義する速度応答スペクトルは、兵庫県南部地震の際に耐震設計上の基盤とみなせる地層上で観測された神戸ポートアイランド(GL-83.0)のNS成分、EW成分記録と神戸大学(GL-10.45)のNS成分記録の3波を用いた。露頭基盤波(2E)は、表層の影響を取り除くため、それぞれの地点において地震応答解析(SHAKE)を実施し、上昇波の2倍(2E)を抽出し、これらの波形の応答スペクトルを包絡するように設計スペクトルを定めた。また同様の手法で、地中基盤波(E+F)の設計スペクトルもこれらの波形の応答スペクトルを包絡するように定めた。設定した結果を図-1に示す。ここで、各スペクトルの等価減衰定数は、地盤の地震応答解析を踏まえ $h=15\%$ とした。

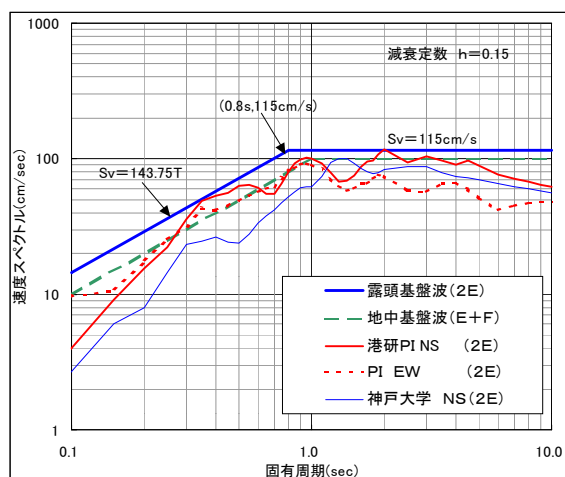
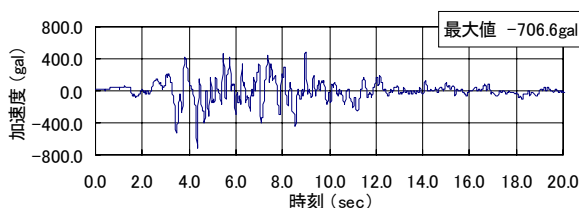


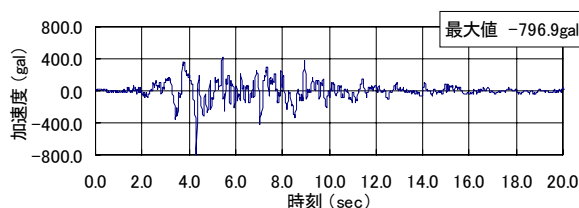
図-1 設計速度スペクトルの設定

2.2 設計用地震動の作成

図-1の設計速度スペクトルの振動特性を有するように振動数領域で振幅調整を行い、設計用地震動を作成した。図-2に作成した基盤波のうちポートアイランド波(NS成分)について示す。



(a)露頭基盤波(2E)



(b)地中基盤波(E+F)

図-2 設計用地震動

キーワード 開削トンネル 耐震設計 入力地震動 露頭基盤波 地中構造物

〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-6-2 TEL 03-5320-1624 FAX 03-5320-1658

3. 地盤とトンネル応答の比較

3.1 地盤応答の比較

図 - 2 に示すポートアイランド波（NS成分）の調整波を用いて、首都高速中央環状新宿線の設計位置における地盤のうち、トンネル一般部7断面、換気所部12断面を対象に地震応答解析（SHAKE）を実施し、入力地震動の定義方法による地盤応答への影響を調べた。新宿線の地盤構成は、表層にVs0 = 100m/s程度の軟弱層が3.0～15.0m程度存在し、トンネル付近にはVs0 = 180m/s程度のやや軟弱な地層が最大で5.0m程度存在する。その他はVs0 = 400m/s以上の硬い地層となっている。比較した項目は、表 - 1 に示すように、トンネル上下床版位置の地盤相対変位の最大値と有効せん断ひずみ（=最大ひずみの65%）である。

- ・地盤の最大相対変位に関しては、いずれの検討位置でも露頭基盤波（2E）の方が応答が小さく、地中基盤波の3～9割程度であった。
- ・有効せん断ひずみに関しては、露頭基盤波（2E）では平均的にみると1.9%前後となるのに対し、地中基盤波（E+F）では平均的にみると2.5%前後と大きくなる。

表 - 1 地盤の応答結果

比較項目		トンネル一般部(h=13.3m)		換気所部(h=23.6m)	
		相対変位	最大変形角	相対変位	最大変形角
地盤最大相対変位 (cm)	2E ①	1.0~15.9	1/84	3.3~23.5	1/100
	E+F ②	1.1~21.3	1/62	6.4~29.8	1/79
	①/②	0.3~0.9	—	0.5~1.0	—
有効せん断ひずみ (=65%最大)	2E	0.4~3.3%	—	1.2~2.4%	—
	E+F	1.2~5.8%	—	1.6~3.0%	—

表 - 2 必要鉄筋量の比較（トンネル軸方向1.0m当たり）

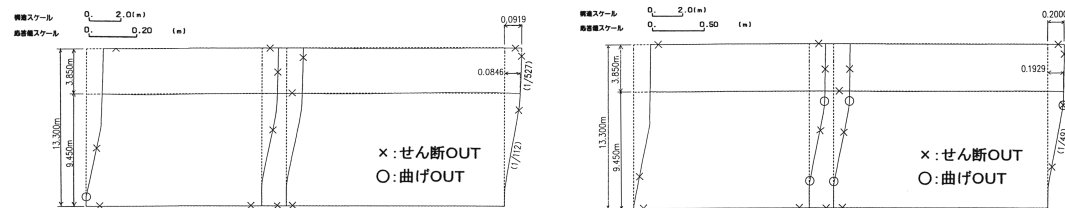
入力地震動	相対変位 (cm)	発生回転角 (rad)	必要鉄筋量			
			主鉄筋 (tf/m)	せん断補強筋 (tf/m)	合計 (tf/m)	
①常時設計	—	—	15.4	2.3	17.7	
②地震時設計	2E	8.6	1/112	15.4	4.8	20.2
		比率②/①		1.00	2.08	1.14
③地震時設計	E+F	19.3	1/49	16.1	5.7	21.8
		比率③/①		1.05	2.50	1.23
2E、E+F比較		比率③/②		1.05	1.20	1.08

注)必要鉄筋量の算定には、重ね継手長をカウントしていない。

3.2 トンネル応答の比較

地盤応答の比較と同様に、図 - 2 に示すポートアイランドの調整波（NS成分）を用いて、新宿線トンネルの一般部設計断面を対象に応答変位法による応答解析を行い、入力地震動の定義方法が断面力に与える影響を調べた。なお、トンネル断面の中央付近にはやや軟弱なToc層（Vs0 = 180m/s程度）が3m程度存在している。図 - 3 にトンネルの変形と断面照査の結果を示す。ここで、照査を行ったトンネルの配筋は、常時荷重により決定されたものである。また、この結果を基に地震時の必要鉄筋量を算定した結果を表 - 2 に示す。

- ・露頭基盤波（2E）の場合よりも地中基盤波（E+F）の方が、主鉄筋は5.0%程度、せん断補強筋は20.0%程度多く配置する必要がある。
- ・トンネルの層間変形角に関しては、露頭基盤波（2E）の1/112に対して、地中基盤波は1/49と2倍以上の値となった。



(a) 露頭基盤波（2E）

(b) 地中基盤波（E+F）

(c) 地層構成

地層名	層厚 h(m)	せん断波速度 Vs0(m/s)
Lm	0.4	110
Mg	3.7	440
Tos	3.4	400
Toc	3.2	180
Tog	2.2	470
Eds	0.4	420

図 - 3 トンネルの変形形状と耐力不足状況

4. まとめ

- ・露頭基盤波（2E）と地中基盤波（E+F）の入力地震動による地盤の応答を比較した結果、対象とした地盤条件においては、概ね30～90%程度露頭基盤波（2E）の応答の方が小さくなった。
- ・検討対象とした比較的表層が硬質で基盤が浅い地盤と軟弱な表層を有する地盤が混在する新宿線の場合、露頭基盤波（2E）を用いる方が工学的に妥当であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：共同溝設計指針,昭和61年3月
- 2) 日本道路協会：駐車場設計・施工指針 同解説,平成4年11月
- 3) 建設省土木研究所：大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン(案),平成4年3月