

四国電力株式会社 正員 石井光裕
 東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎
 帝都高速度交通営団 正員 渡辺 健

1. まえがき

都市部においては、地下鉄道、地下街等の管状地中構造物の建設が近年盛んに行われており、その耐震性の検討が急務となっている。

本報告では、従来研究が殆んど行われていなかったシールド型式のトンネルについて、横断面内の地震時の安定を検討するため地震応答解析を行った結果、併行して実施された地震観測で得られた観測結果(工-)とよく合致する成果が得られたので報告する。

2. 数値解析

トンネル建設地更の地盤をバトンネルを弾性体と仮定し、平面歪条件の下に有限要素法を適用し地震応答計算を行った。要素の形状は三角形であり質量に関しては集中質量系を採用した。図-1に計算モデルを示した。解析対象としたのは東京都江東地区の普通の沖積地盤であり、東京砂礫層までの52mの沖積層を計算の対象とした。この層は力学的性質から地表より順に厚さ28m、10m及び14mの3層に分けて考えることができる。シールドトンネルは直径約5mでRCセグメントで構成され、双設トンネルである。

計算に用いた弾性諸定数を表-1に示す。地盤の弾性定数は工費試験結果の資料及び現地で行った弾性波試験(板叩き法)の結果から算定した。地震観測地更近くで行った板叩き実験においてはせん断弾性波伝達速度 V_s は約140%であったが、この値は一般に考えられている速度より大きめの値と判断されたので計算の際は140%及び100%の2つの値を用いて計算した。表中Mesh-1は図-1に示すモデルであり、節点の変位は水平方向のみ可能としており、Mesh-2は図-1のモデルの内、最上層のみを対象としたモデルで、トンネル周辺部分については鉛直方向の変位も考慮している。

3. 解析結果

3-1. 固有振動数及び基本振動モード

Mesh-1及びMesh-2に対して最上層のせん断波速度を100%、140%として算定した1次から3次までの固有振動数が表-1に示されている。図-2にはMesh-2で表層の V_s を100%としたときの基本モードを示した。振動モードを調べた結果、トンネルの存在はトンネル近傍を除けば地盤の振動に殆んど影響を及ぼしていないとみることができ、また基本振動は厚さ28mの表層

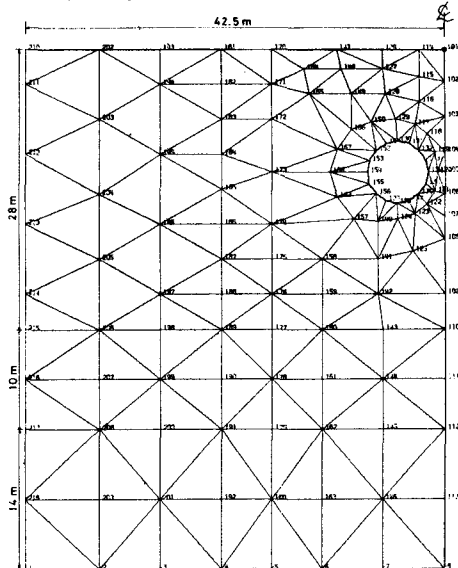


図-1 モデル分割細図(対称軸の左半分)

表-1 弾性諸定数及び固有振動数

Model	Layer	V_s (m/s)	γ (ton/m ³)	μ	Natural Fre. (Hz)		
					1st	2nd	3rd
Mesh 1	$V_s=100$	1	100	1.645	0.48		
		2	150	1.763	0.48	0.860	2.035
		3	200	1.900	0.46		
	$V_s=140$	1	140	1.645	0.48		
		2	200	1.763	0.48	1.081	2.675
		3	250	1.900	0.46		
Mesh 2	$V_s=100$	1	100	1.645	0.48	1.193	3.011
	$V_s=140$	1	140	1.645	0.48	1.495	4.188

Concrete segment
 $E_c=350,000$ (kg/cm²), $A=30$ (cm²/cm)

部分が最も大きく変位しており、これより下の層は小さな変位しか示さないことがわかった。計算の簡素化をも考慮して表層のみを対象としたモデルが Mesh-2 である。

図-2 から、この基本振動モードではトンネル及びその周辺の地盤に上下方向の動きがあらわれ、一種の揺動運動をしていることがわかる。これは双設トンネルの型式になっているためであると考えられる。

3-2. 地盤の変位応答

Mesh-1 及び Mesh-2 の模型地盤の基礎に実地震動が入力した場合、どのような変位応答を示すかをモード解析法で計算した。入力地震波としては 1968 年十勝沖地震における江戸港(運輸省)で得られ NS 方向の加速度記録をそのまま使用し、モードは 6 次まで考慮し減衰定数は 10% とした。

図-3 の (a), (b) は夫々 Mesh-1, 2 のセグメント上の地表面における変位-時間曲線である。Mesh-1 及び 2 のモデルの振動数は夫々 1.08 Hz, 1.50 Hz であり、図-3 の変位応答曲線が、各々の基本振動数が極めて卓越してあらわれ、また応答変位は夫々 9.0 cm, 4.0 cm であることがわかる。

3-3. 地震時におけるシールドトンネルの円周方向の歪

上述の様に当該地盤では実地震波が入力した場合、変位波形において地盤の一次モードが極めて卓越してあらわれる事なれば、トンネル周辺部分の地盤を除いて考えれば、地盤の挙動はトンネルの存在による影響を受けないことがわかった。従って、地震時にトンネルの円周に発生する歪を推定する場合、地盤の基本振動における歪と地盤の変位が重要な要素であることが推測される。そこで Mesh-2 のモデルを用いて、 $V_s=100\%$ として

基本振動モードを求め、基本振動の地震応答変位をトンネル側壁中央部で水平方向に 2.5 mm あるものとしてトンネル円周に発生する歪の分布を示したのが図-4 である。この図によると歪はトンネル横断面内斜め上の方位置で最も大きく、両側面ではその数分の 1 の程度になっていることがわかる。この歪の値及び歪の分布は、別に行った地震観測で得た加速度値(エー参照)から推算したトンネルの水平変位振幅に対するトンネル横断面斜め上部分の歪の最大値及び歪の分布とよく対応していることがわかる。

4. まとめ

軟弱な地盤中のシールドトンネルの地震時の挙動に関して、基本モードから算定した歪の大きさと実測で得られた歪の大きさとを対応が付き、またその分布についても可成りよく一致することがわかった。従ってトンネルの地震時の安定を検討する場合、トンネルの横断面内での変形を考慮する必要がある。以上は弾性範囲の検討であるが、更に強い地震動の場合の応答についても検討して行く予定がある。

[関連文献]「軟弱地盤中のトンネルの地震観測」加藤・田村・井井, 第 32 回年次講演概要集



図-2 $V_s=100\%$, Mesh-2 の基本モード $F_1=1.193\text{ Hz}$

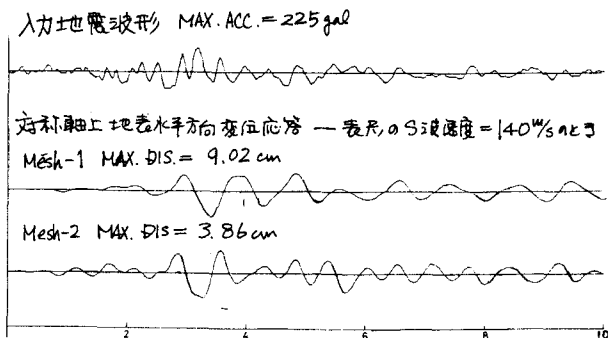


図-3 江戸港 NS (十勝沖地震) を入力とした地盤の応答 ($\eta=10\%$)

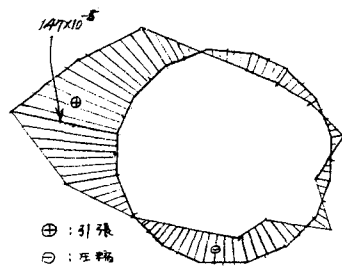


図-4 トンネル円周方向の歪分布