

I - B 375

開削トンネルの耐震設計における構造解析手法の比較

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 室谷 耕輔 西山 誠治

同 上 正会員 羽矢 洋 西村 昭彦

同 上 正会員 加藤 淳一

1. はじめに

開削トンネルの耐震設計における構造解析は応答変位法を始め、様々な方法がある。これらの方法によって得られる結果にどの程度のばらつきがあるのか把握することは、耐震設計を行う上で重要である。そこで、本論文では、耐震設計に用いる静的解析として、動的解析などにより構造物の地震時応答変形量を算出し、その変形量となるまで構造物のみの静的骨組モデルを強制変形させる方法（以下、強制変形法と呼ぶ）と骨組および FEM を用いた応答変位法に着目して比較検討を行い、手法の違いによる結果を把握することを目的として検討を行う。

2. 各解析手法の概要

(1) 強制変形法

強制変形法は、構造物の地震時応答変形量を算出することが重要となるが、ここでは、以下の2つの手法によって変形量を算出した。なお、解析は構造物のみを単純支持した骨組モデルに常時荷重を載荷した後、上床版に地震時応答変形量を強制変位として入力した。

1) 簡易法¹⁾

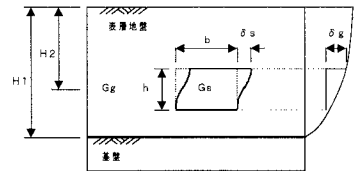
簡易法は自然地盤の層間変形量 δg 、地盤のせん断弾性剛性 $G g$ 、構造物の等価せん断弾性剛性 $G s$ から図-1 に示す提案式によって地震時における構造物層間変形量 δs が算出できる。

2) 動的解析

構造物を全部材一様な剛性低下を考慮して動的解析を行い、構造物層間変形量 δs を算出する。

(2) 応答変位法

応答変位法は地盤ばねによって支持された骨組みモデルに自然地盤の層間変形量をばねを介して入力した荷重と自然地盤の周面せん断力、構造物の慣性力を荷重として入力し、地震時における構造物の照査を行うものである。この応答変位法は、図-2 に示す4周面にばねを設置した理論的に導かれたモデル²⁾（以下、4周面モデルと呼ぶ）と、上床面のばねを取り、周面せん断力を上載土の影響として上床面だけに載荷するモデル³⁾（以下、上床面モデルと呼ぶ）、また、構造物および表層地盤を FEM で構築したモデルの各節点に自然地盤変位を入力するとともに、自然地盤の周面せん断力と構造物の慣性力を荷重として入力するモデル⁴⁾（以下、FEM 応答変位法と呼ぶ）がある。



$$\delta s = a \delta g$$

δs : 構造物の応答変位変形量

δg : 自然地盤の応答変位変形量 (構造物の深さに対応)

a : 最上層の床版間の応答係数

$$a = (a - \ln(Gg/Gs) + b) \times 1.1$$

$$\text{提案式 } a = \frac{0.091(b/h) + 0.053(H1/H2) - 0.07}{b - 0.036(b/h) + 0.040(H1/H2) + 0.92}$$

Gg : 地盤のせん断弾性剛性

Gs : 構造物の等価せん断弾性剛性

$H1$: 地表面から基礎までの距離

$H2$: 地表面から構造物中心位置までの距離

図-1 簡易法概略図

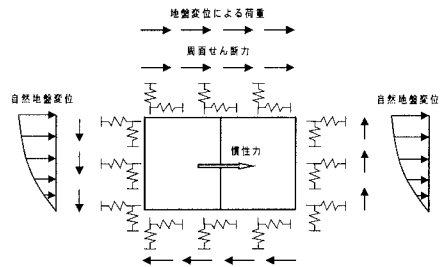


図-2 応答変位法概略図

17.400m	5.200m	シルト	$\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$	$V_s = 140 \text{ m/sec}$
		砂質土	$\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$	$V_s = 140 \text{ m/sec}$
		砂質土	$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$	$V_s = 170 \text{ m/sec}$
		粘性土	$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$	$V_s = 190 \text{ m/sec}$
		粘性土	$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$	$V_s = 240 \text{ m/sec}$
	5.855m	基礎		

図-3 地盤モデル

キーワード：開削トンネル、耐震設計、構造解析

連絡先：〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7262 FAX 042-573-7248

3. 解析条件

地盤はひずみ依存による非線形性を考慮し、構造物はM- ϕ 曲線により非線形部材とした。

自然地盤の変位は SHAKE により算出し、構造物位置の層間変形量 4.09cm を得た。（図-4 参照）なお、入力地震波は「トアイランド」GL-83m で得られた観測波を方向補正して入力した。

簡易法の提案式によって算出された構造物層間変形量は $\delta s = 3.20\text{cm}$ であり、動的解析では、 $\delta s = 3.05\text{cm}$ となった。なお、動的解析を行うときの等価剛性は、30%のEIとした。

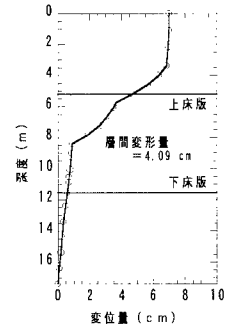


図-4 自然地盤の変位分布
（層間変形最大時）

4. 解析結果

各解析手法の結果を図-5~9 に示す。これから次のことがわかる。

- 各解析手法の構造物層間変形量は $\delta = 2.75\text{cm} \sim 3.69\text{cm}$ であり、概ね同程度の応答値を示した。この中で、簡易法の構造物層間変形量 $\delta = 3.20\text{cm}$ は図-1 に示す提案式によって算出された値であるが、他の手法の解析結果と比較しても概ね同等の値であることが確認できる。
- 各解析手法の断面力は中柱、外周部材ともに概ね同程度の応答値を示した。
- 4 周面モデル、上床面モデル、FEM 応答変位法の3つの応答変位法を比較すると、概ね同程度の断面力であるが、上床面モデルの側壁下部の発生モードは他の2手法と異なっている。これは、周面せん断力の影響を上床面に集約して载荷している影響だと考えられる。

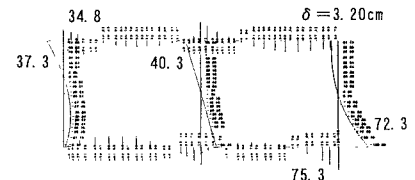


図-5 強制変形法（簡易法）

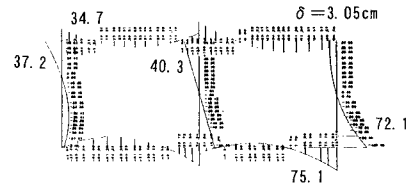


図-6 強制変形法（動的解析）

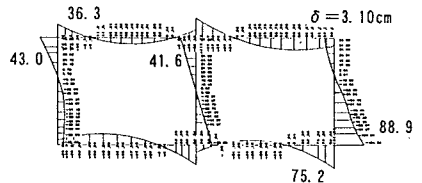


図-7 応答変位法
（4 周面モデル）

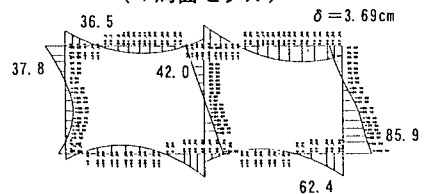


図-8 応答変位法
（上床面モデル）

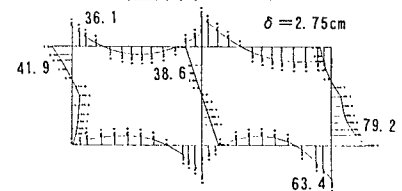


図-9 応答変位法
（FEM応答変位法）

5. まとめと今後の課題

各手法の解析結果は、応答変位法の上床面モデルが他の手法と比べて断面力の発生モードが異なっているものの、各手法にあまり差異はなく、変形量、断面力ともに概ね同程度の応答値を示すことがわかった。

今回検討したのは開削トンネルの一般的な断面である1層2径間であるが、周面せん断力の影響等は幅の広い多径間構造物や高さがある多層構造物に大きく影響すると考えられるため、今後これらの断面について検討を行う予定である。

—参考資料—

- 1) 西山他：地下構造物の簡易な応答値の推定法に関する一考察，第 53 回年次学術講演会概要集（投稿中），1998.10
- 2) 川島一彦編著：地下構造物の耐震設計，鹿島出版会
- 3) (財)鉄道総合技術研究所：新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料，平成 8 年 3 月
- 4) 太田他：応答変位法を用いた地下構造物の耐震検討について，第 2 回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp.437 ~ 444，1997.1