

福岡市地下鉄山岳すい道における軌道の振動予測について

福岡市 正員 ○古賀徳治 木下雅彦
 " 萩原兼秀 今任以治
 " 入口文夫 村本幸一

1はじめに

一般に鉄道の振動予測解析については、軌道構造、橋梁構造および地盤特性等により振動伝播機構が非常に複雑で、現在、まだ不明な点が多い。本報告は、山岳すい道における列車走行時の地盤振動を二次元有限要素法により、予測解析したものである。

2解析の手法

2-1解析の流れ

地盤を有限要素法の考えに従って要素に分割し、モデルを作成する。そしてあらかじめ準備した列車振動を入力して、振動のシュミレーション解析を行う。なお、有限要素モデルの作成にあたっては、該当地区におけるトンネル掘削工事の発破およびロードヘッド振動の測定を行ない、モデルの妥当性をチェックした。解析の流れについて図-1に示す。

2-2要素分割および振動方程式の組立て

地盤を三角形要素に分割して地盤モデルを作る(図-2)
 各三角形要素毎に剛性マトリックス $[k]_e$ を計算する

$$[k]_e = [B]^T [D] [B] t \Delta$$

$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\nu}{1-\nu} \end{bmatrix}$$

$$[B]^T = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} y_j - y_k & 0 & y_k - y_i & 0 & y_i - y_j & 0 \\ 0 & x_k - x_j & 0 & x_i - x_k & 0 & x_j - x_i \\ x_k - x_j & y_j - y_k & x_i - x_k & y_k - y_i & x_j - x_i & y_i - y_j \end{bmatrix}$$

ここに、 $[B]^T$: $[B]$ の転置マトリックス

t : 三角形要素の厚さ、 $t=1$ とする。

Δ : 三角形要素の面積

E : ヤング率 ν : ポアッソン比

(x_i, y_i) , (x_j, y_j) , (x_k, y_k) は三角要素の頂点座標

このようにして求められた各要素の剛性マトリックス $[k]_e$ より地盤全体の剛性マトリックス $[K]$ を計算する。

次に、三角形要素毎に質量マトリックス $[m]_e$ を計算する。

$$[m]_e = \frac{\rho t \Delta}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \rho: \text{三角形要素の密度}$$

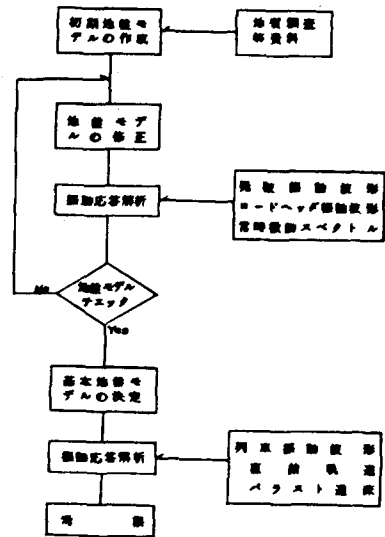


図-1 解析の流れ図

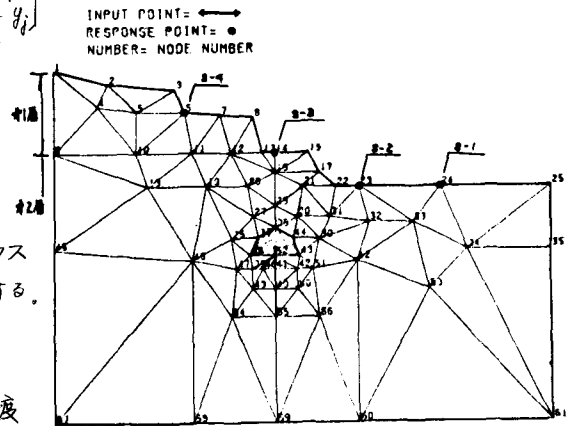


図-2 地盤モデル(要素分割図)

同様に $\{M\}$ と合成して、地盤全体の質量マトリックス $[M]$ を計算する。以上求めた $[K]$ 、 $[M]$ と外力ベクトル $\{F(t)\}$ により振動方程式を組立てる。

$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\}$ ここに $\{\ddot{x}\}$: 加速度ベクトル, $\{x\}$: 変位ベクトル
外力 $F(t)$ を入力して、上記振動方程式を解くことにより、応答変位分布 $\{x\}$ と応答振動加速度 $\{\ddot{x}\}$ を求めることが出来る。

2-3 地盤定数の決定

地質調査資料により、単位体積重量 γ 、ヤング率 E 、ポアソン比 ν を想定し、初期地盤モデルを作成する。初期地盤モデルに、測定した発破振動およびロードヘッダ振動を入力して、振動解析を行なう。その結果を下記の「地盤モデル判定基準」と照合して、モデルの妥当性を検討する。

「地盤モデル判定基準」① モデルの固有振動数が、地盤の常時微動スペクトルピークと一致していること。

② 発破による地表各測点の応答加速度振幅が実測値に近いこと。

③ ロードヘッダによる地表各測点の応答加速度振幅が実測値に近いこと。

④ 地表での発破振動実測波形と応答解析の波形が類似していること。

地盤モデルのパラメータ(γ, E, ν)を変化させて、試行錯誤的に応答計算を繰り返し、上記の判定基準を満足するような地盤モデルを求める。

2-4 列車振動波形入力

このようにして得られた基本地盤モデルに対して、列車振動を入力する。軌道構造としては、直結軌道(インバートなし)、直結軌道(インバート付)、バラスト道床の3種類について検討した。列車振動波形としては、他の営業線で測定した波形を入力した。

3. 解析結果の考察

他の営業線トンネルでの列車振動波形を用いた場合の振動応答解析結果は、次表の通りである。

軌道種別	S-1	S-2	S-3	S-4	(dB)
直結軌道(インバートなし)	42	49	44	42	
直結軌道(インバート付)	39	46	42	40	
バラスト道床	39	45	43	40	

この値に対して、他の営業線と福岡市地下鉄の予測対象線区との軌道構造、構築構造および列車速度の相違を考慮して、補正を施すと、次表の予測を得る。

軌道種別	S-1	S-2	S-3	S-4	(dB)
直結軌道(インバートなし)	38	45	40	38	
直結軌道(インバート付)	32	38	34	32	
バラスト道床	28	34	32	29	

最終的に基本モデルに採用したヤング率 E は、地質調査による値の $1/2$ となっている。このようにヤング率を変えなければならぬ原因としては、無限地盤から有限領域を取り出して下辺を拘束している事や、鉛直動のみを考慮したモデルである事等により、全体と剛性が高まることと考えられる。こうして高まった剛性とヤング率で調整するため、地盤調査により得られた値より低いヤング率を採用し、固有振動数その他の振動特性と実際に近づけたのである。

4 あとがき

本予測は、列車振動予測解析の手法として、二次元有限要素法を用いた一つの有力な方法であり、得られた結果はかなりの確度をもつたものと考えられる。今後試運転時における実測等と通じ、本解析手法の妥当性と判定すると共に、列車走行による地表面振動の実情と把握していく事は、本解析の意義とさらに増していく一つの方法と考えられる。(参考文献) 1、日本鉄道施設協会 「鉄道騒音振動対策の研究」

2、江島淳

「地盤振動と対策」