

(I - 26) 比較的軟弱な不整形地盤中のトンネルの動的解析モデルに関する研究

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 大 竹 省 吾
 東京都立大学工学部 正会員 国 井 隆 弘

1. はじめに トンネルや埋設管の動的解析は、一般にばね・質点モデルを用いて行われる^{1,2)}が、地盤条件が急変するところでは、このモデルの応答と F E M による応答との差が無視できない場合が生じると考えられる。筆者らは、ばね・質点モデルが一般の多くの地盤条件ではほとんど問題なく、単純で演算時間も短い等の利点があるため、F E M よりも実用的であると考え、不整形地盤に適したモデルへの改良を検討した。その結果、従来の K_1 、 K_2 、 K_3 と呼ばれる地盤ばねの内 2 つを若干変更することにより、地盤条件の急変部でも変位とひずみの両者とも F E M により得られる値とほとんど同じ値を得ることができるようになった。ただし、本研究ではトンネルの設計上支配的となるトンネル軸方向の最大ひずみと最大変位に着目し、地盤の地表面位置でモデルの比較を行なった。

2. 解析に用いた地盤モデルと入力地震動 耐震設計上の基盤面に傾斜または段差があり、表層が湾岸地域の地盤を想定した軟弱層である数種の単純な不整形二層地盤モデルを設定した(図-1、2、表-1、2参照)。入力地震動は、0.1~4 Hzまでのホワイトノイズにエンベロープを掛け合わせた模擬地震動を用いた。

3. 不整形地盤に適したモデルへのばね質点モデルの改良

ばね質点モデルに対して以下の2点の変更を行った。

① K_2 ばねの硬化 文献3において、現行の K_{2x} ばねの値を2倍程度とすると地盤急変部でも F E M での応答値と良い一致が見られたとの報告がある。これは、水平方向の相対変位に抵抗する K_{2x} ばねの算出が一次元の伸縮変形ばねの算式によっているため、土の加力直角方向への膨張と周囲の拘束を無視したものとなっていることによると考えられる。そこで、周囲の拘束により E が大きくなることを考えて K_{2x} ばねの値を2倍程度とした。

② K_4 ばねの付加 基盤に段差があったり傾斜があったりすると、その付近では、水平方向の変形が拘束される現象が生じるはずで、F E M 解析結果からもそのような変位分布が得られる。しかし、一般のばね・質点モデルでは、この影響を十分に考慮していない。そこで、変形を拘束する基盤部分と各質点位置の相対変位に対する抵抗のばねとして K_4 ばねを付加した。このばね値は、図-3に示すように、地盤部分 i がせん断一次モードで変形している状態における水平方向の地盤反力を高さ方向に積分して求める。よって、 K_4 ばねは式-1のように表せる。この K_4 ばねは、同じ基盤と地盤質点を結ぶ K_3 ばねに加えることができ、計算上大変都合が良い。基盤急変の影

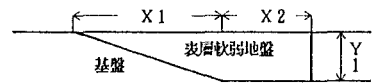


図-1 地盤モデルA

表-1 地盤モデルAの諸寸法

地盤モデル名称	X1 (m)	X2 (m)	Y1 (m)
A10	500	500	50
A25	200	500	50



図-2 地盤モデルB

表-2 地盤モデルBの諸寸法

地盤モデル名称	X1 (m)	X2 (m)	Y1 (m)	Y2 (m)
B10	500	500	10	50

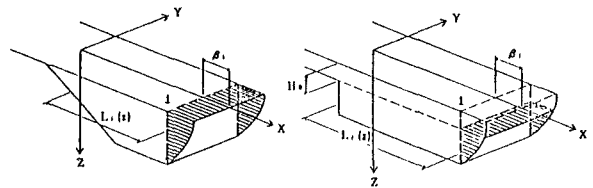


図-3 K_4 ばねの深さ方向の分布形状

$$K_{4i} = \beta_i \int_{H_0}^{H_i} \frac{E_i(z) \phi_i(z)}{L_i(z)} dz \quad (\text{式-1})$$

β_i : 地盤部分 i の1次モードでの刺激係数

$\phi_i(z)$: 地盤部分 i の1次モードでのモード形

$E_i(z)$: 地盤部分 i の深さ z でのヤング率

$L_i(z)$: 地盤部分 i の深さ z での基盤面との水平距離

H_0 : 変形を拘束する基盤の存在する最浅深さ

H_i : 地盤部分 i の地盤厚 z : 地表面からの深さ

響は遠方には有効に働かないと考えられるため、 K_4 ばねを考慮する範囲は、基盤傾斜部または段差部の上端からある勾配で下ろした直線よりも下側の深い部分（図-4の斜線部）のみとした（仮に、この勾配（ H/L ）を K_4 ばねの設定勾配と呼ぶ）。

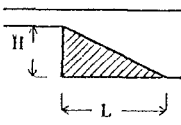


図-4 K_4 ばねの設定範囲

表-3 解析ケース

地盤モデル	K_{2x} ばねの倍率	K_4 ばね設定勾配	解析ケース名
B10	2.0倍	25%	CASE-5-3-1
	2.0倍	50%	CASE-5-3-2
	2.0倍	60%	CASE-5-3-3
	2.0倍	100%	CASE-5-3-4

4. 解析結果 前述の改良をしたモデルを用いて解析した一例として、B10について解析したものを図-5、6に示す。同図より、B10に対しては K_4 ばねの設定勾配を60%程度にすると良い一致が見られた。また、A10、A25についても改良により良い一致がみられている。

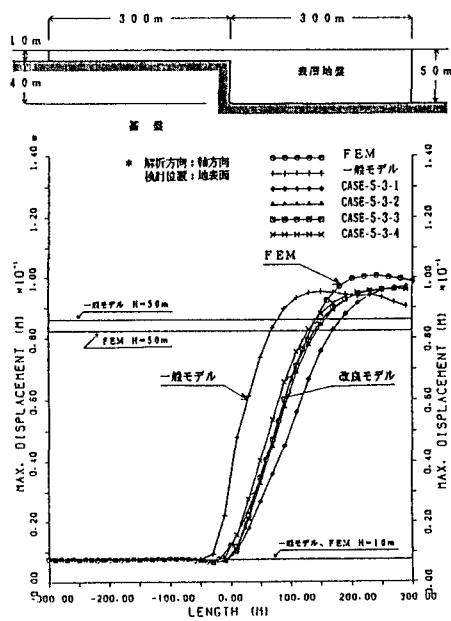


図-5 最大変位分布図（地盤モデルB10）

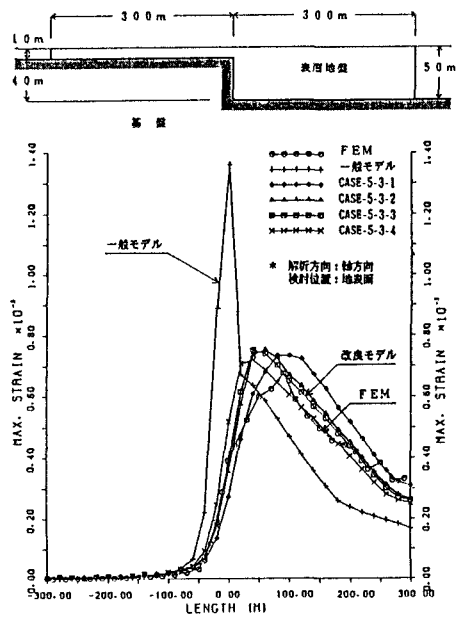


図-6 最大ひずみ分布図（地盤モデルB10）

5. 結論 本研究により以下の知見を得た。

- ①地盤質点間のばねである K_{2x} ばねの値は、FEMで現れるような連続体としての挙動の表現が不十分であると考えられる。 K_{2x} の値を2倍程度にすると質点間に生ずるひずみは、急変部でもFEMによる応答値と比較的良く一致する。
- ②基盤の不整形による水平方向の変位拘束を表現するばね（ K_4 ばね）を付加すると急変部での応答変位の減少の分布をうまく補正できる。

6. おわりに 本検討では、基盤の傾斜が10%程度ならば、一般のばね・質点モデルによる最大ひずみは2割程度しかFEMより大きくならないことも確認されている。これより、基盤形状の変化の小さい所では、少々安全側の誤差を生じる程度であり、耐震上の問題はあまりないと考えられる。しかし、今後、基盤形状が非常に不整形な地盤ヘトンネルや埋設管等の建設を計画する場合に、本研究において指摘したばね・質点モデルを使用する際の注意点や改良法がばね・質点モデルの使用の一助となれば幸いである。

最後に、本研究にあたり株式会社インテリジェント田中努氏、橋義規氏のご支援を得たことを記し、謝意を表します。

【参考文献】 1) 田村 他: Dynamic Behavior of Submerged Tunnel during Earthquakes 生研報告24-5 1975 2) 栗林 他: 沈埋トンネルの軸線上の断面力および変位の地震応答解析法に関する研究 土研資料1193 1977 3) 田中 他: 地中構造物の設計に用いる地盤モデルの評価 第18回地震工学研究発表会 1987