

I-596

直交せん断型要素による地震応答
計算法について

三井建設(株) 技術研究所 正員○戸村 豪治
同 上 正員 平井 正雄
(株)M & P エンジニアリング 正員 忌部 正博

1. はじめに

シールドトンネルや埋設管のような細長い地中構造物の地震応答計算では、一般に地盤をトンネル軸に沿って複数個の切片に分割して各切片を一質点系に置換し、質点と構造物を地盤バネで連結した二次元質点系モデルが用いられる¹⁾。このように地盤を一質点系で表す方法は効率的な応答計算をする事ができるが、複雑な地質構造をモデル化しにくい場合がある。それに対し有限要素法は多くの計算量を要するが、複雑な地質構造のモデル化が容易である。しかしこの場合、トンネル軸方向の振動に対しては二次元モデルの適用が可能であるが、トンネル軸直交方向の振動に対しては三次元モデルが必要となる。そこで筆者らは、トンネル軸直交方向の振動を扱う場合のモデルとして、直交方向の地盤条件を一樣と仮定して、二次元的な処理を行う新しい要素(以下直交せん断要素と呼ぶ)を作成した。この1節点2自由度の直交せん断要素を用いて、種々の解析を行ったので、その結果を報告する。

2. 直交せん断要素の定式化

図-1のように x 方向に無限の厚さを有する四角形要素($i-j-k-l$)を考える。この要素内の x, y, z 方向の各変位 u, v, w は x 方向に一定と仮定すれば、一般に(1)式のように y, z のみで変位関数が表される。

$$\left. \begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 y + \alpha_3 z + \alpha_4 yz \\ v &= \alpha_5 + \alpha_6 y + \alpha_7 z + \alpha_8 yz \\ w &= \alpha_9 + \alpha_{10} y + \alpha_{11} z + \alpha_{12} yz \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

また、荷重の作用方向が x 方向のみの場合、 y 方向変位 v を零と仮定できるので1節点2自由度(u, w のみ)になり、(1)式の変位関数は(2)式で表せる。

$$\left. \begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 y + \alpha_3 z + \alpha_4 yz \\ w &= \alpha_9 + \alpha_{10} y + \alpha_{11} z + \alpha_{12} yz \end{aligned} \right\} \text{----- (2)}$$

従って、要素のひずみの内、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ は零となり、ひずみ

と節点変位の関係は二次元の4節点アイソパラメトリック要素の形状関数 h_i を用いて(3)式で表される。

同様に、応力とひずみの関係も(4)式のようになる。

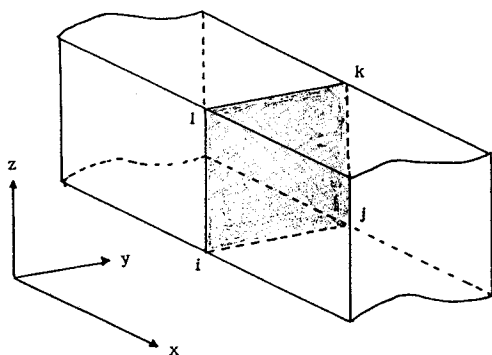
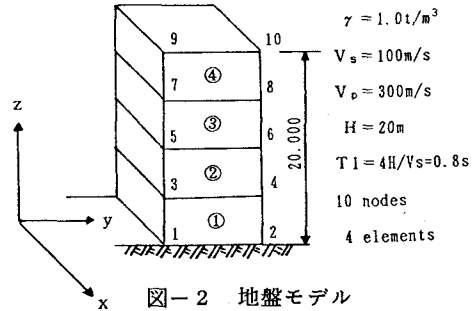


図-1 直交せん断要素

$$\left\{ \begin{matrix} \varepsilon_x \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial z} \end{matrix} \right\} = \left[\begin{matrix} 0 & \frac{\partial h_1}{\partial z} & 0 & \frac{\partial h_2}{\partial z} & 0 & \frac{\partial h_3}{\partial z} & 0 & \frac{\partial h_4}{\partial z} \\ \frac{\partial h_1}{\partial y} & 0 & \frac{\partial h_2}{\partial y} & 0 & \frac{\partial h_3}{\partial y} & 0 & \frac{\partial h_4}{\partial y} & 0 \\ 0 & \frac{\partial h_1}{\partial y} & 0 & \frac{\partial h_2}{\partial y} & 0 & \frac{\partial h_3}{\partial y} & 0 & \frac{\partial h_4}{\partial y} \\ \frac{\partial h_1}{\partial z} & 0 & \frac{\partial h_2}{\partial z} & 0 & \frac{\partial h_3}{\partial z} & 0 & \frac{\partial h_4}{\partial z} & 0 \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} u_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ w_2 \\ u_3 \\ w_3 \\ u_4 \\ w_4 \end{matrix} \right\} \text{----- (3)}$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad \dots (4)$$



3. 数値計算結果

直交せん断要素の特性を調べる為に、図-2に示すような地盤モデルを設定して、固有値解析及び時刻歴応答計算を行い、二次元平面ひずみ要素と直交せん断要素の比較を行った。入力地震波はEl Centro 1940 NSとし、入力最大加速度は100 gal、減衰定数hは一次周期に対して10%とした。二次元平面ひずみ要素ではz軸方向（上下方向）支持とし、入力はy軸方向とした。また直交せん断要素ではz軸方向を支持せず、入力はx軸方向とした。計算結果を表-1～2に示す。両者の計算結果は固有値解析及び時刻歴応答計算とも非常に良く一致している。

MODE		二次元 平面ひずみ 要素	直交 せん断 要素
1	一次元		
	固有周期(S)	0.085	0.085
	制振係数	1.257	1.257
2	二次元		
	固有周期(S)	0.283	0.310
	制振係数	0.373	0.000
3	三次元		
	固有周期(S)	0.258	0.286
	制振係数	0.000	0.000
4	四次元		
	固有周期(S)	0.166	0.283
	制振係数	0.000	0.374

地点 番号	二次元		直交	
	平面ひずみ要素 変位 (cm)	加速度 (gal)	せん断要素 変位 (cm)	加速度 (gal)
9.10	2.29 (2.24)	176 (2.22)	2.29 (2.24)	176 (2.22)
7.8	2.10 (5.86)	149 (2.22)	2.10 (5.86)	149 (2.22)
5.6	1.61 (5.86)	105 (5.81)	1.61 (5.86)	105 (5.81)
3.4	0.876 (5.85)	85.9 (2.51)	0.876 (5.85)	85.9 (2.51)
1.2	0.00 (2.02)	100 (2.02)	0.00 (2.02)	100 (2.02)

() 内は時刻 (sec)

表-1 固有値解析結果

表-2 最大応答変位

次に、図-3に示す地盤モデルに対して、時刻歴応答計算により、地盤を一質点系モデルに置換した従来の方法との比較を行った。入力地震波はEl Centro 1940 NS, HACHINOHE 1968 EWの2波を使用し、最大加速度を100gal、減衰定数hを一次周期に対して5%とした。両者の計算結果は、変位に関しては概ね一致しているが、加速度については地盤の振動特性の相違によると思われる差が見られる。

4. おわりに

数値計算の結果、1節点2自由度の直交せん断要素を用いた解析は、従来の方法との比較でも有効であることがわかった。今回は線形モデルでの解析を行ったが、今後、非線形モデルによる解析を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 浜田正則：沈埋トンネル耐震設計計算法に対する一試案，第3回日本地震工学シンポジウム講演集，1970.11. PP. 739～749

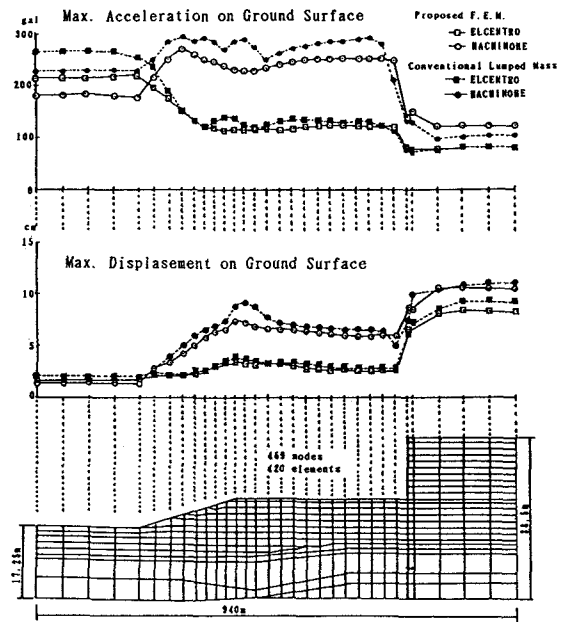


図-3 地盤モデルの応答計算結果