

## I - B 26

## 滑動現象を考慮した線状構造物の地震応答シミュレーション

大阪大学大学院 正会員 権 映録  
大阪大学大学院 フェロー 西村 宣男

## 1. まえがき

兵庫県南部地震被害や過去の種々の地震により発生した地震被害のうち、地盤変形によって構造物などに被害がもたらされた事例が多くあった。このように構造物の応答は周囲の地盤との連成関係があるということからさまざまな研究や報告が発表されてきた。特に、今回の阪神大震災には地下鉄の崩壊や多くの高架橋が甚大な被害を受け、耐震設計の変更が必要になった。都市中心部では急増する交通量、地中に建設されている地中構造物などのため高架橋のような線状構造物の様式の企画が増えてきている。そこで、本研究では地盤－線状構造物の相互作用において、半無限体地盤における境界要素法と線状構造物に有限要素法を適用したハイブリッド3次元の地盤－構造物の動的相互作用解析を行った。大地震時に地盤と構造物との接触面には滑動現象が生じる可能性が考えられ、いったん滑動が生じると接触面の状態に変化が生じ、系の応答は完全に固着を仮定した場合とかなり異なった結果が予想される。さらに、構造物の線状化による地震波の位相差を考慮し、周囲の地盤との相互作用を含めた線状構造物の地震応答特性を明らかにする。

## 2. 解析モデル

最近、都市中心部の交差点に企画されている立体交差路を想定し、その構造物と周辺地盤を含んだ地震応答解析を行う。本研究の解析モデルは図-1のように線形、弾性の半無限体地盤に線状構造物を想定したモデルである。半無限体地盤においては対象になる境界だけを離散化する境界要素モデルを用い、線状構造物は8節点アイソパラメトリック立体要素の有限要素モデルを用いる両者の結合法で地震応答を求めた。さらに大地震時に発生する可能性がある滑動現象を考慮に入れるため、地盤と構造物の間の接触面に幾何学的な非線形性のインタフェース要素を設置して解析を行った。本解析の地震応答に用いた地震波形は図-2のような EL-Centro 地震波である。

## 3. BEM と FEM の定式化と変形モード

## 3.1 結合法の定式化

半無限体地盤の境界要素モデルの等価節点力を変位の適合方程式を用いて有限要素モデルの運動方程式に代入すると次のような結合された運動方程式が表せる。

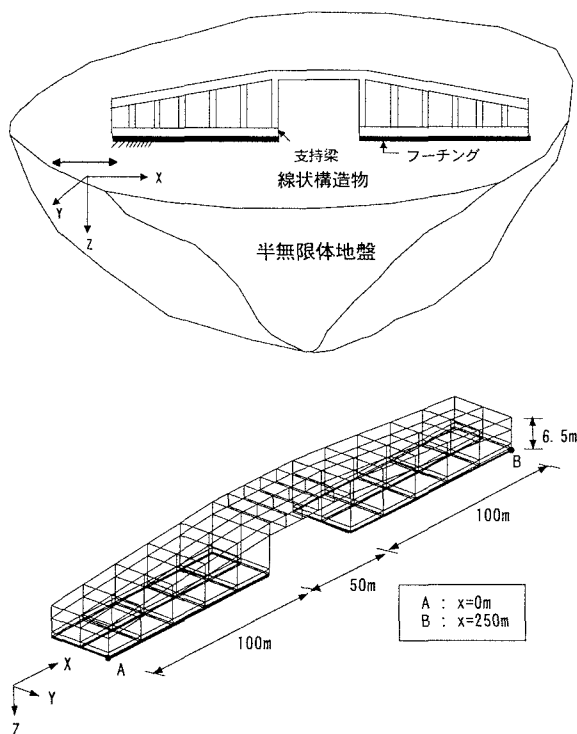


図-1 半無限体地盤と線状構造物の解析モデル

地盤－構造物相互作用、滑動現象、BEM－FEM

大阪府吹田市山田丘2-1 Tel.06-6879-7599 Fax.06-6879-7601

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [C]\{\dot{\delta}\} + [\bar{K}]\{\delta\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

ここに、 $[\bar{K}]$ は次のようである。

$$[\bar{K}] = \begin{bmatrix} K_{ff} & K_{fs} \\ K_{sf} & K_{ss} + [A][G^1]^{-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 3.2 地盤と構造物の接触面での変形モード

地盤と構造物の間の接触面にインタフェース要素を導入して3つの変形モードが考えられる。

(1)固着モード(Stick Mode)

$$\sigma_n \leq 0, F_s \leq 0 \quad (3)$$

(2)剥離モード(Separation Mode)

$$\sigma_n > 0 \quad (4)$$

(3)すべりモード(Sliding Mode)

$$F_s = \text{sgn}(\tau_s) - (C + \sigma_n \tan \phi) > 0 \quad (5)$$

### 4. 解析結果と考察

地盤と構造物の間の接触面に幾何学的非線形性を有するインタフェース要素によって、地震波形を用いた両者間の動的特性による解析を行った。図-3はフーチングの底面の時刻歴変位応答であり、地盤と構造物が完全に固着と仮定したモデルの変位応答と滑動を考慮したモデルの変位応答を比較している。時刻歴応答はある時刻まで完全固着と仮定した変位応答とほぼ一致しているが滑動が生じると接触面の滑動によって固着の応答と異なる結果になっている。解析に考慮した地震波形の最大加速度である2秒付近でもっとも大きく両モデルの相違が現われている。図-4は滑動を考慮した解析の時刻歴速度応答を示している。1秒程度の速度応答は線状構造物の橋軸方向により正弦的傾向が表されており、滑動が生じていないことを示している。その後の応答は滑動現象が生じることにより長さ方向の応答のばらつきと正弦的傾向が見られない。

### 5. まとめ

本研究は最近企画されている立体交差路を想定し、橋軸方向に線状化になっている構造物をモデル化して周辺地盤を含んだ地震時の地盤と構造物の間の接

触面に滑動現象を考慮して解析を行ったものである。両者間の滑動現象により固着と仮定した応答と比較した結果、滑動が生じていない時刻までの応答はほとんど一致しているが滑動は生じると両応答には大きい差が得られることが明らかになった。＜参考文献＞災害科学研究所、大阪大学構造研究室、大阪府農土木事務所、日立造船株式会社、建設技術研究所：北花田交差点立体高架橋における上部構造、基礎、地下鉄カルバートの相互作用に関する調査研究報告書、Oct., 1997.

|            | Shear Wave Velocity<br>C | Mass Density<br>$\rho$ | Poisson's Ratio<br>$\nu$ | Damping Ratio<br>$\xi$ |
|------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Half-space | 200 m/s                  | 1.8 tf/m <sup>3</sup>  | 0.4                      | 0.2                    |
| フーチング      | 634.62 m/s               | 2.5 tf/m <sup>3</sup>  | 0.167                    | 0.1                    |
| 支持ばり       | 1016.76m/s               | 7.85 tf/m <sup>3</sup> | 0.3                      | 0.05                   |
| 上部工        | 1007.08 m/s              | 7.85 tf/m <sup>3</sup> | 0.3                      | 0.05                   |

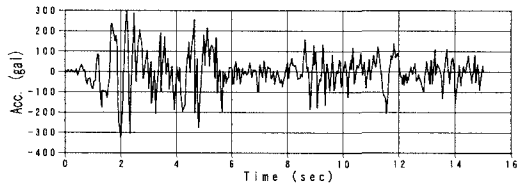


図-2 EL-Centro 地震波形

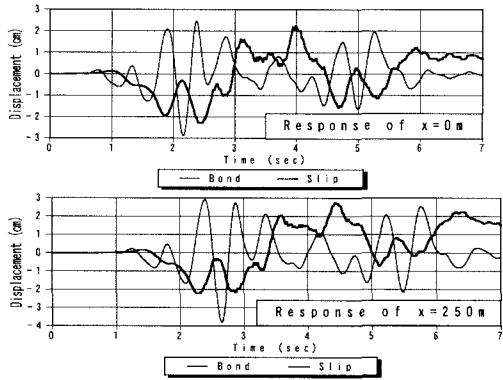


図-3 完全固着モデルと滑動モデルの変位応答

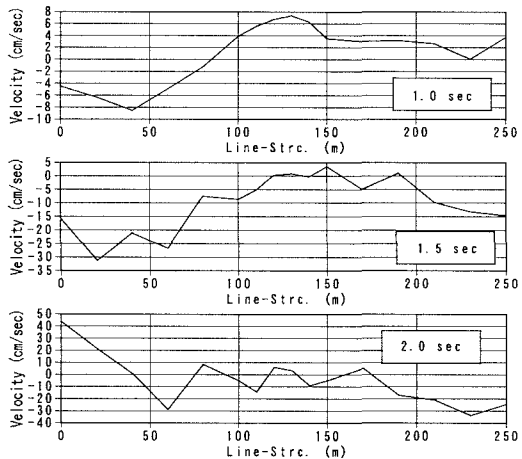


図-4 滑動による時刻歴速度応答