

大阪大学大学院 学生員 ○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。さらに、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. 解析モデルと地震波形

現在、都市中心部には地中に地下鉄など種々な構造物が存在しており、この上に橋梁や高架橋などを建設するためには一般的なケーソン基礎や杭基礎を設置することが困難であり、地盤改良などにより直接基礎のタイプの構造物が考案されている。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。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. 境界要素法と有限要素法の定式化

3.1 半無限体地盤の BEM

線形、弾性の半無限体地盤における 3 次元矩形アイソパラメトリック要素を用い、全時間段階での表面力－変位の関係をマトリックスで表わすと次のようになる。

$$\frac{1}{2} \left\{ \mathbf{u}^{N,R} \right\} = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(\mathbf{G}^{n,S} \right) \left\{ \mathbf{t}^{(N-n+1),S} \right\} - \left[\mathbf{T}^{n,S} \right] \left\{ \mathbf{u}^{(N-n+1),S} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $\left[\mathbf{G}^{n,S} \right]$ と $\left[\mathbf{T}^{n,S} \right]$ は変位、表面力影響ベクトル、S と R は半無限体地盤の全体モデルをそれぞれ n 個の付要素で分割した時の各要素の原点要素(Source Element)と観測要素(Observation Element)を示している。

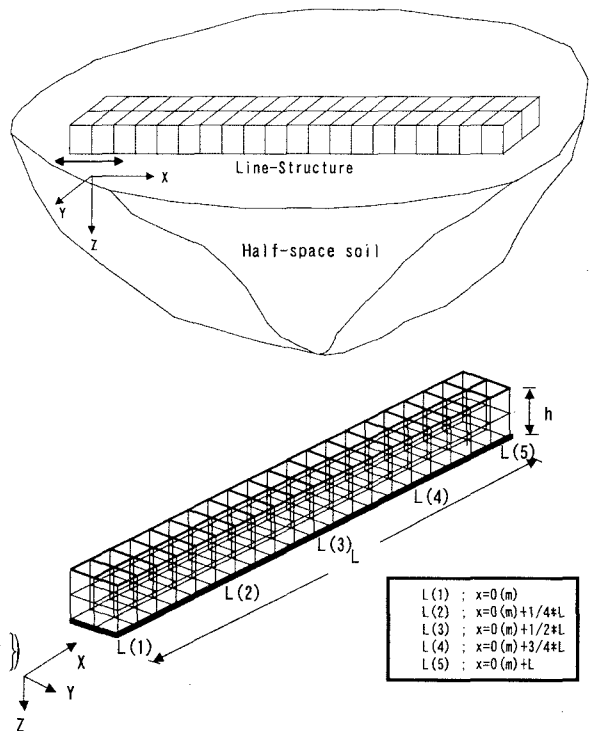


図-1 半無限体地盤と線状構造物の解析モデル

3.2. 線状構造物の FEM

半無限体地盤上に置かれている線状構造物における動的剛性マトリックスは次のようになる。

$$\begin{Bmatrix} P_e^N \\ P_s^N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{ee} & D_{es} \\ D_{se} & D_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_e^N \\ u_s^N \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここに、D マトリックスは動的剛性マトリックスとし $[D] = -\omega^2[M] + i\omega[C] + [K]$ である。

4. 解析結果と考察

本解析は地震時、周辺の地盤との相互作用を明らかにするため表-1のようにせん断波速度として200m/s, 300m/sと500m/sの3種類を用い、地盤とその上に線状構造物を置いて地震応答解析を行った。線状構造物における地震応答を求める際、線状構造物は橋軸方向が橋軸直角方向より長い形式であるため地震力の位相差を考慮する必要があると考えられる。地震波の位相時間は次式を用いる。

$$t_{phase}(\text{sec}) = \frac{B_{element}}{C_s} \quad (3)$$

ここに、 $B_{element}$ は地盤のある一つの要素の長さであり、 C_s は表-1の地盤のせん断波速度である。

本解析の時間刻みは0.005秒であり、すべての地震応答は入力地震波形のピーク値が現れる8秒間における応答を示している。図-3は地震力を線状構造物に対して橋軸直角方向に入力して時刻歴ごとの応答を示したものであり、構造物の両端部より中央部付近の応答が大きくなっている。図-4は解析に用いた3種類の地盤における応答を示している。すべての応答の傾向はほぼ一致しているが地盤の軟弱性による最大応答の差が顕著に現れている。さらに、軟弱地盤になるほど両端と中央の応答の差が少し大きくなり、線状構造物の応答の変化が柔軟になることを示している。

5. まとめ

本解析は半無限体地盤に境界要素モデル、構造物に有限要素モデルを用いて構造物の線状化を想定して地盤と構造物の相互作用を考慮にいれ地震応答を求めたものである。構造物の線状化により地震力の位相差を

考慮して解析を行った。周辺地盤の軟弱性による線状構造物の地震応答が明らかになった。

＜参考文献＞災害科学研究所、大阪大学構造研究室、大阪府土木事務所、(株)日立造船、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。

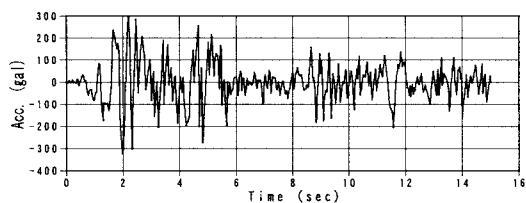


図-2 EL-Centro 地震波形

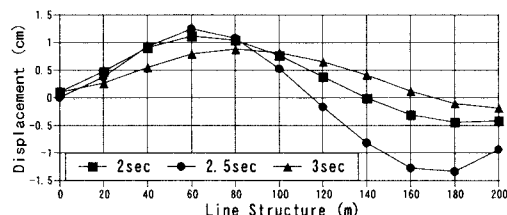


図-3 時刻歴による構造物の応答

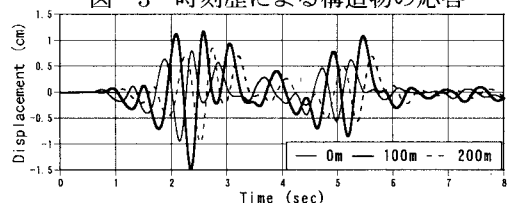


図-4(a)せん断波速度 200m/s の応答

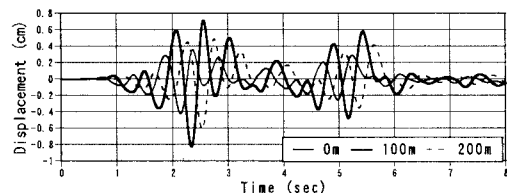


図-4(b)せん断波速度 300m/s の応答

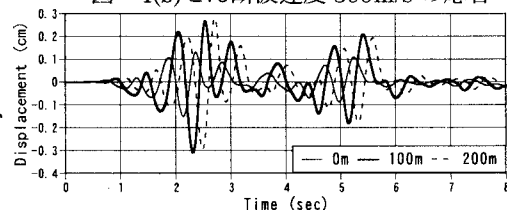


図-4(c)せん断波速度 500m/s の応答

表-1 半無限体地盤と線状構造物の材料定数

	Shear Wave Velocity C	Mass Density ρ	Poisson's Ratio ν	Damping Ratio ξ
Soil 1	200 m/s	1.8 tf/m ³	0.4	0.2
Soil 2	300 m/s	1.8 tf/m ³	0.4	0.2
Soil 3	500 m/s	1.8 tf/m ³	0.4	0.2
Line-Strc.	1500 m/s	2.4 tf/m ³	0.167	0.05