

地中埋設構造物の耐震解析

岡山大学工学部 正員 竹宮 宏和
 (株)東洋建設 赤本 弘文
 岡山大学大学院 O 学生員 横山 勝彦

1. まえがき

本研究は、耐震解析システム「SUBSSIP-2D」を使用して、地震波の伝播下における地中埋設構造物（管路-堅坑系）の耐震解析を行なうものである。SUBSSIP-2Dの特徴は、(1)地盤-構造物系を平面歪モデルとして有限要素法として扱う。その際、仮想側方境界として、応力伝達境界⁽²⁾を導入している。(2)動的サブストラクチャ法（接触体モデル）により、地盤-構造物系を解析する。(3)地震入力には、任意の入射角の実体波、および、表面波（レリー波）を採ることが出来る。

本論文では、特に、地盤と対象構造物との慣性連成運動に注目して、振動特性のかなり異なる地盤内の管路-堅坑系の応答性状を、また、地震波の伝播性の違いによる応答効果を究明している。

2. 定式化

地震時の埋設構造物周辺の地盤内の波動場は、構造物のない地盤の外境界に働く地震入力状態と、構造物からの放射波の場との線形重ね合わせとして表現される。従って、対象領域を有限要素法により定式化すると、その運動方程式は絶対座標系で、

$$([K] - \omega^2[M])\{U\} = \{P_I^*\} + \{P_R\} + \{P'\} \quad (1)$$

と与えられる。ここに、 $\{P_I^*\}$ は側方境界の無限遠地盤から受ける外力、 $\{P_R\}$ は、埋設構造物の振動によって、生じる側方境界外力、 $\{P'\}$ は、有限要素領域に働く基礎入力である。また、 $[K]$ 、 $[M]$ は、有限要素による対象領域内の地盤-埋設構造物系の剛性および質量マトリックスである。

地盤-埋設構造物系の解析においては、動的サブストラクチャ法を適用する。従って、式(1)を、地盤部と構造物部に分割して考える。地盤部について、接触体モデルにより、(1)式を動的剛性マトリックス $[R] = [K] - \omega^2[M]$ を用いて分割マトリックス表示を行なうと、

$$\begin{bmatrix} [\hat{K}_{II}] & [\hat{K}_{IF}] & [\hat{K}_{IB}] \\ [\hat{K}_{FI}] & [\hat{K}_{FF}] & [\hat{K}_{FB}] \\ [\hat{K}_{BI}] & [\hat{K}_{BF}] & [\hat{K}_{BB}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{U_I\} \\ \{U_F\} \\ \{U_B\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{P_I\} \\ \{0\} \\ \{P_B\} \end{Bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{添字} \\ I: \text{埋設構造物との共有部分} \\ B: \text{側方境界および基礎面上} \\ F: \text{上記以外の部分} \end{array} \quad (2)$$

いま、縮合操作により、構造物との共有部分についてのつり合い式を求める。

$$[\hat{X}_I]\{U_I\} = \{P_I\} - \{P_I^0\} \quad (3)$$

ここで、 $[\hat{X}_I]$ は、構造物との共有部分に関する地盤インピーダンス、 $\{P_I^0\}$ は、構造物の有効地盤入力として定義される。この有効地震入力 $-\{P_I^0\}$ は、 $\{P_I\} = \{0\}$ として自由表面地盤応答 $\{U_I^0\}$ から、地盤インピーダンス $[\hat{X}_I]$ を介して、次式より求められる。

$$[\hat{X}_I]\{U_I^0\} = -\{P_I^0\} \quad (4)$$

地盤-埋設構造物系としての運動方程式は、式(3)を埋設構造物の運動方程式に代入して得られるが、その際、埋設構造物の剛性は、接触体モデルを採用したことにより、地盤の動的剛性だけ低減することになる。

$$([\hat{K}_{BS}] - [\hat{K}_{II}] + [\hat{X}_I])\{U_{BS}\} = [\hat{X}_I]\{U_I^0\} \quad \begin{array}{l} \text{添字} \\ BS: \text{埋設構造物} \end{array} \quad (5)$$

3. 数値解析例およびその考察

解析ケースとしては、地盤データにより、管路が堅い土丹層中にあるCASE 1と、軟弱地盤中にあるCASE 2の2ケースについて解析を行なった。各ケースの実体波の剛基礎入力による自然地盤加速度応答は、図1に示さ

れる。図2、図3に示す振動数応答によると、各ケースとも、低振動数領域では、どの断面においても地盤振動に大きく支配されているが、高振動数領域では、堅坑による達成作用の影響が見られる。図3、図4に示す管路の歪応答によると、各ケースとも、実体波による歪応答よりも、表面波による歪応答が大きく、特に軸歪においてその差が顕著である。また、各ケース間においては、軟弱地盤の場合に歪応答は大きく、特に曲げ歪について、その変化が著しく、しかも堅坑近傍ほど大きい。すなわち、軸歪は、入力地震波の伝播性の違いによる歪応答への影響が大きく、各節点間での差があまりないのに対し、曲げ歪は、管路周辺の地盤の振動特性の違いによる歪応答への影響が大きく、各節点間での差が著しい。堅坑による管路への達成効果が主に曲げ歪に現れている。

参考文献

- 1) 竹宮: 地盤-基礎-上部構造物系の地震応答解析-動的サブストラクチャ法の適用 エと基礎 昭和三十五年四月, PP 27-34
- 2) Wass, G. and Lysmer, J.: Vibrations of Footings Embedded Media, Proc. the Water Experimental Station, Symp. on the Applications of the Finite Element Method in Geotechnical Engineering, 1972
- 3) Kausel, E.: Forced Vibrations of Circular Foundations on Layered Media, MIT Report 74-11, 1974

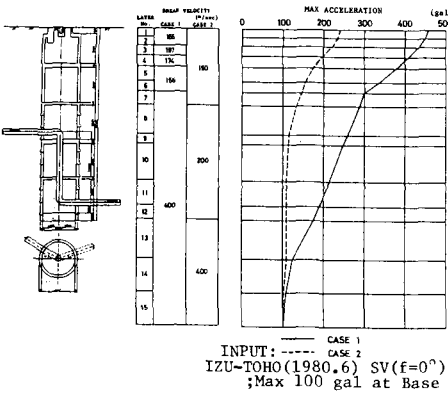


図1. 埋設構造物、地盤データ、自然地震加振度応答

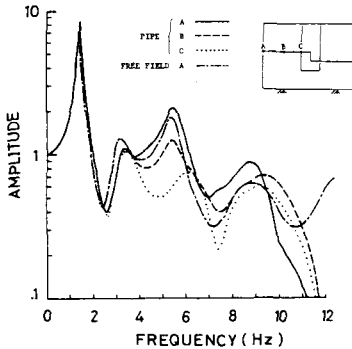


図2. 振動数応答 (CASE 1)

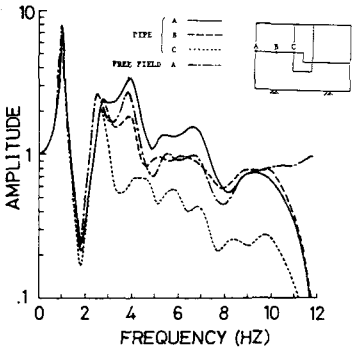


図3. 振動数応答 (CASE 2)

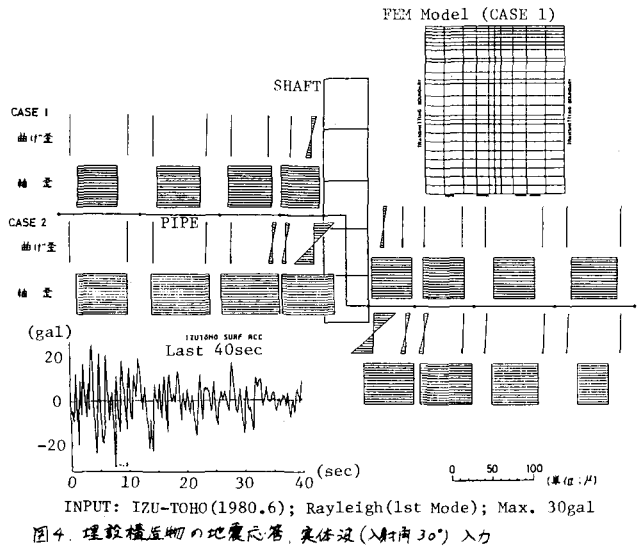


図4. 埋設構造物の地震応答、実体波(入射角30°)入力

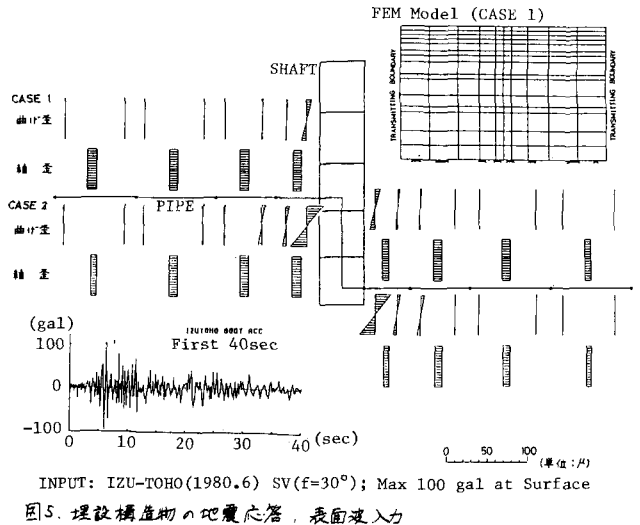


図5. 埋設構造物の地震応答、表面波入力