

I-781

衝撃载荷下の地盤一構造物系の遷移応答

岡山大学大学院 学生員 佐藤 直毅
岡山大学工学部 正会員 竹宮 宏和

1. まえがき

本論文は直接にあるいは近傍の地表面において、衝撃载荷があった場合の構造物の遷移応答を評価することを目的としたものである。応用面として、直接に何らかの衝撃が想定されるか、交通走行などの非定常動的荷重に対する構造物の応答解析に容易に拡張できる。解析手法は、半無限体への帯状载荷による遷移グリーン関数に基づいた時間領域境界要素法と有限要素法の結合の解析法である。

2. 定式化

当核の初期境界値問題に対して境界要素法は、構造物、载荷面、地表面に関する添字を f, p, s として、各要素内では変位 u 、表面力 T の強度を一定として、合積分の離散化によって与えられ、各時間ステップ Δt に対して、

$$\begin{Bmatrix} u_f \\ u_p \\ u_s \end{Bmatrix}^m = \sum_{j=0}^m \begin{bmatrix} F_{ff} & F_{fp} & F_{fs} \\ F_{pf} & F_{pp} & F_{ps} \\ F_{sf} & F_{sp} & F_{ss} \end{bmatrix}^j \begin{Bmatrix} T_f \\ T_p \\ T_s \end{Bmatrix}^{m-j} \quad (1)$$

ここで、 u :境界変位、 T :境界表面力、 F :変位影響マトリクス
構造物の変位に関する式を取り出し変形すると、

$$\{u_f\}^m = F_{ff}^0 \{T_f\}^m + \sum_{j=1}^m F_{ff}^j \{T_f\}^{m-j} + \sum_{j=0}^m F_{fp}^j \{T_p\}^{m-j} \quad (2)$$

各要素の節点力は、表面力変換マトリクス D を用いて、

$$\{\bar{T}_f\}^m = S \{u_f\}^{m+1} - S \left\{ \sum_{j=1}^m F_{ff}^j \{T_f\}^{m-j} + \sum_{j=0}^m F_{fp}^j \{T_p\}^{m-j} \right\} \quad (3)$$

$$\text{ただし、} S = D^T [D F_f^0]^{-1} D \quad (4)$$

一方、構造物の運動方程式は、有限要素法により、

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} = f(t) + \bar{T}(t) \quad (5)$$

ただし、 M, C, K はそれぞれ質量、減衰および剛性マトリクスを、 $f(t)$ は外力、 $\bar{T}(t)$ は地盤からの相互作用力を示す。ここで、Newmarkの数値積分法を採用し、インターフェイスでの適合条件を用いて式(3)、(5)より全体系に対する次の支配方程式が導かれる。

$$\begin{bmatrix} K_{FF} & K_{Ff} \\ K_{fF} & K_{ff} + S \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_F \\ u_f \end{Bmatrix}^m = \begin{Bmatrix} 0 \\ S \left(\sum_{j=1}^m F_{ff}^j T_f^{m-j} + \sum_{j=0}^m F_{fp}^j T_p^{m-j} \right) \end{Bmatrix} + q^m \Delta t \quad (6)$$

ただし、 u_F は構造物のインターフェイス以外の変位、 u_f はインターフェイスの変位

$$q^m \Delta t = \{f\}^m + [M] \left\{ \frac{1}{\delta \Delta t^2} \{u\}^{m-1} + \frac{1}{\delta \Delta t} \{\dot{u}\}^{m-1} + \left(\frac{1}{2\delta} - 1 \right) \{\ddot{u}\}^{m-1} \right\} \\ + [C] \left\{ \frac{\gamma}{\delta \Delta t} \{u\}^{m-1} + \left(\frac{\gamma}{2\delta} - 1 \right) \{\dot{u}\}^{m-1} + \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\gamma}{\delta} - 2 \right) \{\ddot{u}\}^{m-1} \right\} \quad (7)$$

3. 数値解析例及び考察

1) 解の検証 Fig.2の構造物の最上端全体に鉛直衝撃载荷したとき、構造物の特定箇所Aの鉛直応答に注目して、Estorffの解と比較する(Fig.3)。両者の解は一致しており、地盤の剛性が下がっていくにつれて構造物の振動周期が長くなっていくのが明確にわかる。

2) 地表面鉛直衝撃载荷による構造物の応答 Fig.1の構造物の周辺地盤に鉛直衝撃载荷した時の構造物の特定箇所1, 2, 3, 4の変位応答を载荷距離 $L=12m, 6$ として求めた(Fig.4)。鉛直応答はほとんど同じ応答を示しているが、水平応答では、構造物の上部は下部とは反対の方向に振動しているのがわかる。小僧物の固有振動モードから、上部の方が下部より大きく振動している。载荷距離別にみると、水平、鉛直ともに振動の形はほぼ同じであるが、距離に応じて構造物の上部の応答の方が下部よりも小さくなっていくことがわかる。

4. まとめ

本研究では、地表面衝撃载荷した時の载荷距離による構造物の応答を知ることができた。

参考文献 Takemiya, H and Guan, F (1993), Transient Lamb's Solution for Surface Strip Impulsas, EM Vol.119, No.12, ASCE, pp.2385-2403

O. von Estorff (1991), DYNAMIC RESPONSE OF ELASTIC BLOCKS BY TIME DOMAIN BEM AND FEM Computers & Structures Vol.38, No.3, pp.289-300

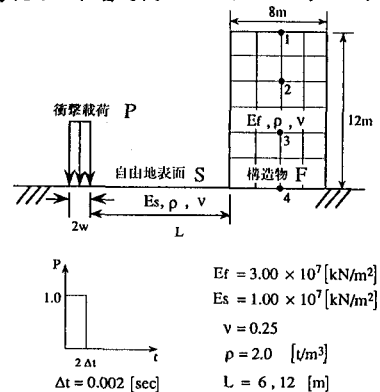


Fig.1 周辺地盤载荷モデル

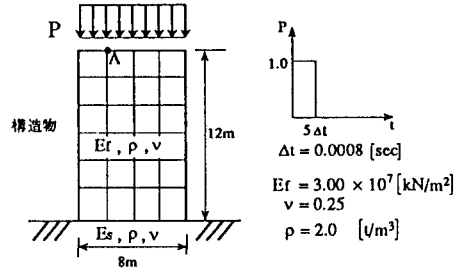


Fig. 2 構造物最上端載荷モデル

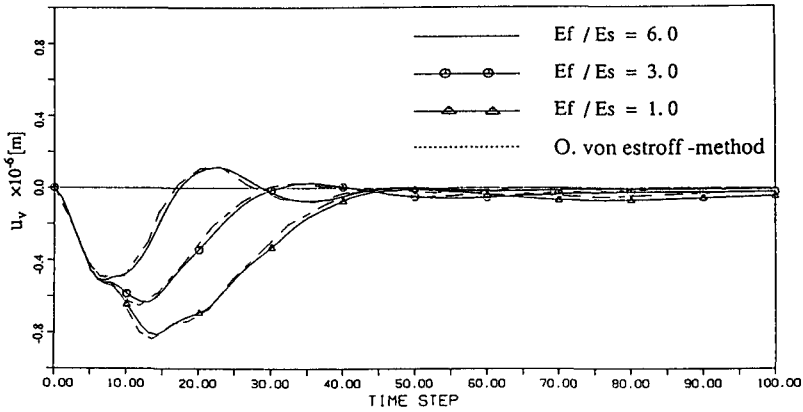


Fig. 3 鉛直衝撃載荷による点Aにおける鉛直応答

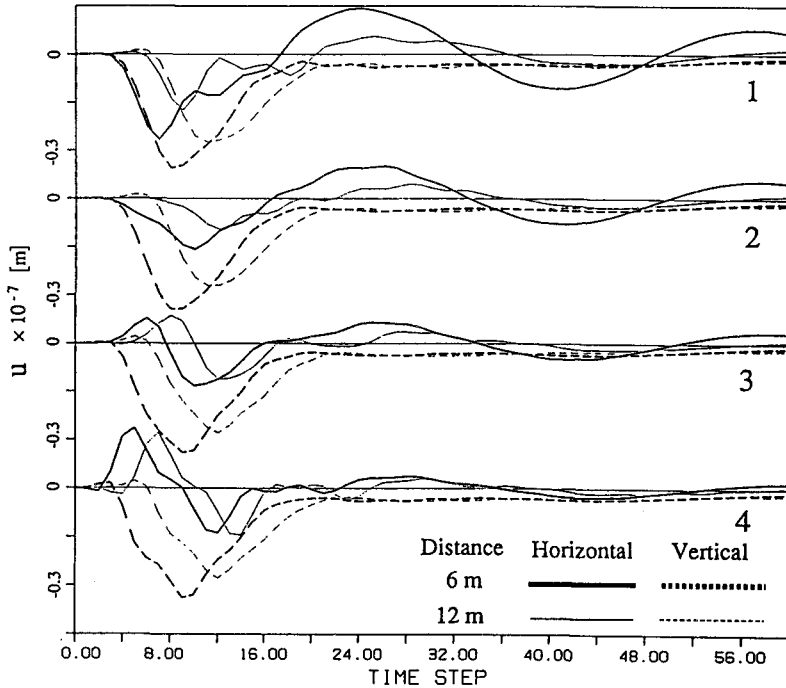


Fig. 4 地表面鉛直衝撃載荷による構造物の応答