

山口大学工学部

正会員 ○ 三浦房紀

山口大学大学院

学生員 沖中宏志

京都大学防災研究所

正会員 土岐憲三

1. まえがき 筆者らは、3次元ジョイント要素を不連続面に配列することによって、この面に沿う滑動や剝離現象を考慮に入れた3次元非線形震動解析法を提案している¹⁾。しかし、境界処理の問題は解決されないままであった。伯野らは²⁾、Superposition boundary法を用いてこの解決を計っているが、3次元の場合には重ね合わせる境界が相当多く必要となり、必ずしも領域の節約に結び付かないうらみがある。そこで、本報告は、Lysmerらによって提案された粘性境界(viscous boundary)³⁾を3次元問題に拡張し、その有用性について報告するものである。

2. 運動方程式 全体系の運動方程式に、境界での波動の逸散に起因する粘性応力および自由地盤の運動に起因する外力項を加えた式を未知量と既知量に分類して整理すると次式を得る。

$$[M] \{\ddot{\delta}\} + ([C] + [C_{BS}] + [C_{FR}] + [C_{BA}] + [C_L] + [C_R]) \{\dot{\delta}\} + [K] \{\delta\} = \{f\} + [G_{FR}] \{\ddot{\delta}_{FR}\} + [G_{BA}] \{\ddot{\delta}_{BA}\} + [G_L] \{\ddot{\delta}_L\} + [G_{TR}] \{\ddot{\delta}_R\} + [G_{CFR}] \{\dot{\delta}_{FR}\} + [G_{CBA}] \{\dot{\delta}_{BA}\} + [G_{CL}] \{\dot{\delta}_L\} + [G_{CR}] \{\dot{\delta}_R\} + [C_{FR}] \{\dot{\delta}_{FR}\} + [C_{BA}] \{\dot{\delta}_{BA}\} + [C_L] \{\dot{\delta}_L\} + [C_R] \{\dot{\delta}_R\} \quad (1)$$

ここに、

$[M]$ 、 $[K]$ 、 $[C]$ ：解析領域の質量、剛性、減衰マトリックス

$[C_{BS}]$ ：底面での粘性境界マトリックス

$[C_x]$ ：粘性境界マトリックス

$[G_x]$ ：側方自由地盤の変形に伴う境界剛性マトリックス

$[G_{cx}]$ ：側方自由地盤の変形に伴う境界減衰マトリックス

$\{f\}$ ：外力ベクトル

$\{\delta\}$ ：解析領域の相対変位ベクトル

$\{\delta_x\}$ ：自由地盤の変位ベクトル

X は図1に示す境界面L, R, FR, BA, BSを表す。

(a) 底面および側方自由地盤に接する粘性境界マトリックス

Lysmerらの提案した境界での条件を3次元問題における境界での応力で表すと次式となる(図2参照)。

$$\tau_u = \rho V_s \dot{u}, \tau_v = \rho V_s \dot{v}, \sigma_w = \rho V_p \dot{w} \quad (2)$$

これを境界を構成する面の各節点に節点力として分配する。この時の粘性境界マトリックス $[C_x]^e$ は、 3×3 の次式で与えられる対角マトリックスになる。

$$\text{diag. } [C_x]^e = \frac{1}{4} \rho A_t [V_s \quad V_s \quad V_p] \quad (3)$$

V_s と V_p は、その境界における横波および縦波速度であり、また、 ρ は密度、 A_t は波動が伝播していく方向の見付面積である。

各境界での粘性境界マトリックスは、このサブマトリックス $[C_x]^e$ を各境界面を構成する節点について加え合せたものとなる。

(b) 側方自由地盤の変形に伴う境界剛性、境界減衰マトリックス

これは自由地盤の変形に起因する自由地盤内の応力状態を側面の鉛直境界に作用させるべき節点力に変換するためのものである。図3を参照

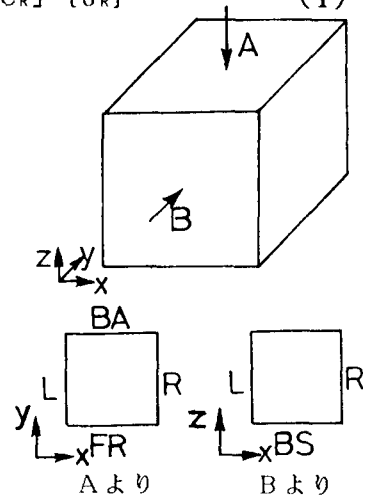


図1 境界面

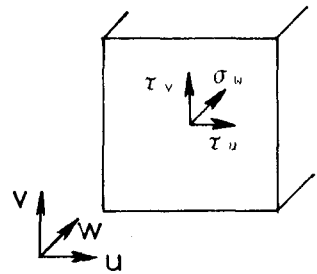


図2 境界での応力

して、境界剛性マトリックスは

$$[G_g]^e = -\frac{1}{4} \begin{bmatrix} h_n G & 0 \\ 0 & h_n G \end{bmatrix}$$

すなわち

$$f_j = f_{j+1} = -1/4 \cdot h_n \cdot G \cdot (u_j - u_{j+1})$$

また、境界減衰マトリックスは、次式で支えられる。

$$[G_{cx}]^e = \beta [G_x]^e$$

ここに、 $\beta = h / (\pi \cdot f)$ ， X ：境界面（図1）， h ：減衰定数， f ：固有振動数である。

各境界での境界剛性、境界減衰マトリックスは、サブマトリックス $[G_g]^e$ 、 $[G_{cx}]^e$ を各境界を構成する節点について加え合わせたものとなる。

3. 解析結果 図4に示すモデルで粘性境界を含まないものと粘性境界を側面に用いたものとの応答波形の比較を行う。うまく境界の処理が機能していれば応答波形は1次元のせん断振動問題として求めた自由地盤の応答波形と一致するはずである。図5にEl Centro波を入力した場合の自由地盤の加速度波形と図4のモデルを用いて求めた加速度波形とを比較して示す。(a)は自由地盤の加速度波形、(b)，(c)，(d)は粘性境界を導入した場合で、(b)は点Aの水平、(c)は点Aの上下、(d)は点Bの水平成分である。また、(e)、(f)，(g)は粘性境界を含まない場合で、(e)は点Aの水平、(f)は点Aの上下、(g)は点Bの水平成分である。これらからわかるように粘性境界を用いていない場合には、自由地盤の波形と明らかに異なるが、粘性境界を導入した場合には、自由地盤の波形と完全に一致している。なお、ここでは紙面の都合上外部加振の例だけにとどめたが、内部加振の結果については当日発表する予定である。

参考文献 1) 土岐ら；土木学会論文報告集，No.322,1982. 2) 伯野ら；土木学会論文集，No.356,1985.

3) Lysmer et al；ASCE, 95, 859-877,1969.

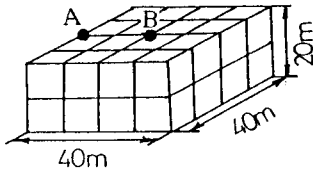


図4 モデル

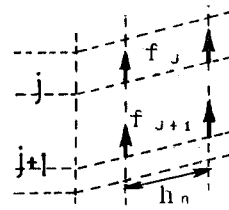
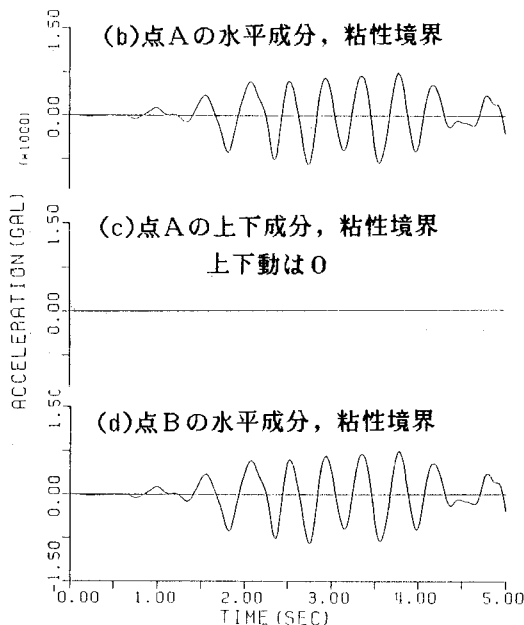


図3 水平入力の場合の力

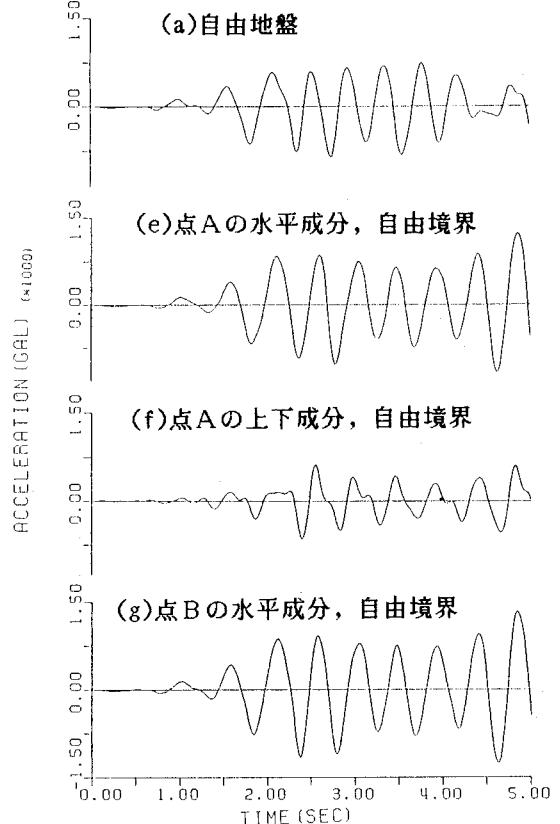


図5 加速度波形