

神戸大学工学部 フェロー 高田至郎 神戸大学工学部 正員 李騰雁  
奥村組 (株) 正員 ○中島健司

1.はじめに：個別要素法は解析対象物の媒質を独立した要素の集合体として取り扱う非連続体解析手法の一つであり、個々の要素ごとに独立した 2 階微分の運動方程式をたて、これを差分近似して時間領域で前進的に解くことにより要素の挙動を追跡し、その集合体としての動的挙動を解析しようとするものである [1]。本稿ではこの個別要素法アルゴリズムを用いて深層基盤内の断層破壊により発生する地震動を表現し、その波動の伝播特性について考察を行った。

2.解析方法：本解析で想定したモデルを図-1 に示す。深さ方向に約 15km、横断方向に約 40km の岩盤モデルを想定した。また個別要素モデルは同形の円形要素を最密格子配置とした。2 次元問題としてこのような要素配置で広域地盤の弾性的挙動を表現する要素間の法線および接線方向のバネ定数は以下のように導かれる。

$$k_n = \frac{2\sqrt{3}G}{3(1-2\nu)}, k_s = \frac{2\sqrt{3}G(1-4\nu)}{3(1-2\nu)} \quad (1)$$

ここでせん断剛性 G は以下の式により算出した。

$$G = \rho V_s^2 \quad (2)$$

本稿では断層の滑り破壊を要素の強制変位で与える。破壊の伝播速度を約 2.5km/sec と仮定し、6 要素を連鎖的にこの速度で変位させた(図-2)。この滑りの方向を鉛直上方としてシミュレーションを行った。表-1 に入力物性値を示す。

表-1 入力物性値

せん断波速度 $V_s$ (m/sec)	せん断剛性 (tf/m <sup>2</sup> )	ポアソン比	質量密度 (t/m <sup>3</sup> )	摩擦係数	粘着力 (tf/m <sup>2</sup> )
3000	5.35E+07	0.1	2.7	1.19	700

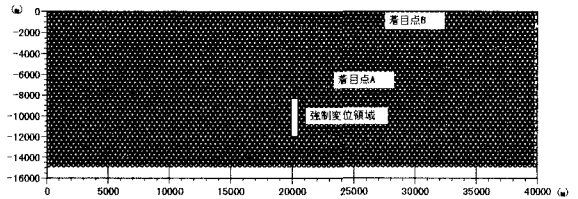


図-1 解析モデル

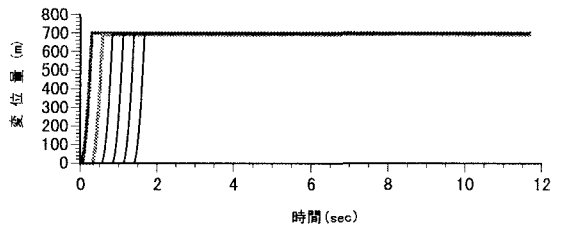


図-2 強制変位の条件

3.シミュレーション結果：図-3 に岩盤の亀裂により発生した波動の伝播の様子を示す。一定時間のスナップショットを示しており、値は応答加速度の絶対値を表している。強制変位時間は全時間で 1.6 秒程度であるが、岩盤の破壊後も波動は放射状に伝播してゆく様子がわかる。また鉛直成分の波動が地表面に先に到達し、上面に達した後、左右に広がって行く様子がわかる。シミュレーションで表現される波動は疎密波とせん断波の両成分を含んでいると考えられるので震源の動きに依存した伝播性状とも受けとれるが、断層が本シミュレーションのように縦ずれの動きをするならば、地表面には弾性体を通して伝播する疎密波が先に到達するものと考えられる。図-4 はモデル内の 2 地点(図-1 の A 地点と B 地点)の加速度応答波形の時刻歴を示している。2 次元平面の材料が均質なモデルであるので波形そのものについては言及できないが、2 地点における波動伝播の時間的なずれが表れている。2 地点間の距離と波動の到達時間のずれより波動の伝播速度はおよそ秒速 5,000m 程度であり、弾性論により導かれる P 波速度 (4.5km/sec) よりも若干速い。また、どの波形をみても波動が伝播してくる初期にはやや周期の長い波が現れ、続いて周期の短い波が現れている。これは 2 種類以上の波が重なり合うことによって得られたものと考えられる。とくに B 地点の波形については

Shiro TAKADA, Tengan LI, and Kenji NAKAJIMA

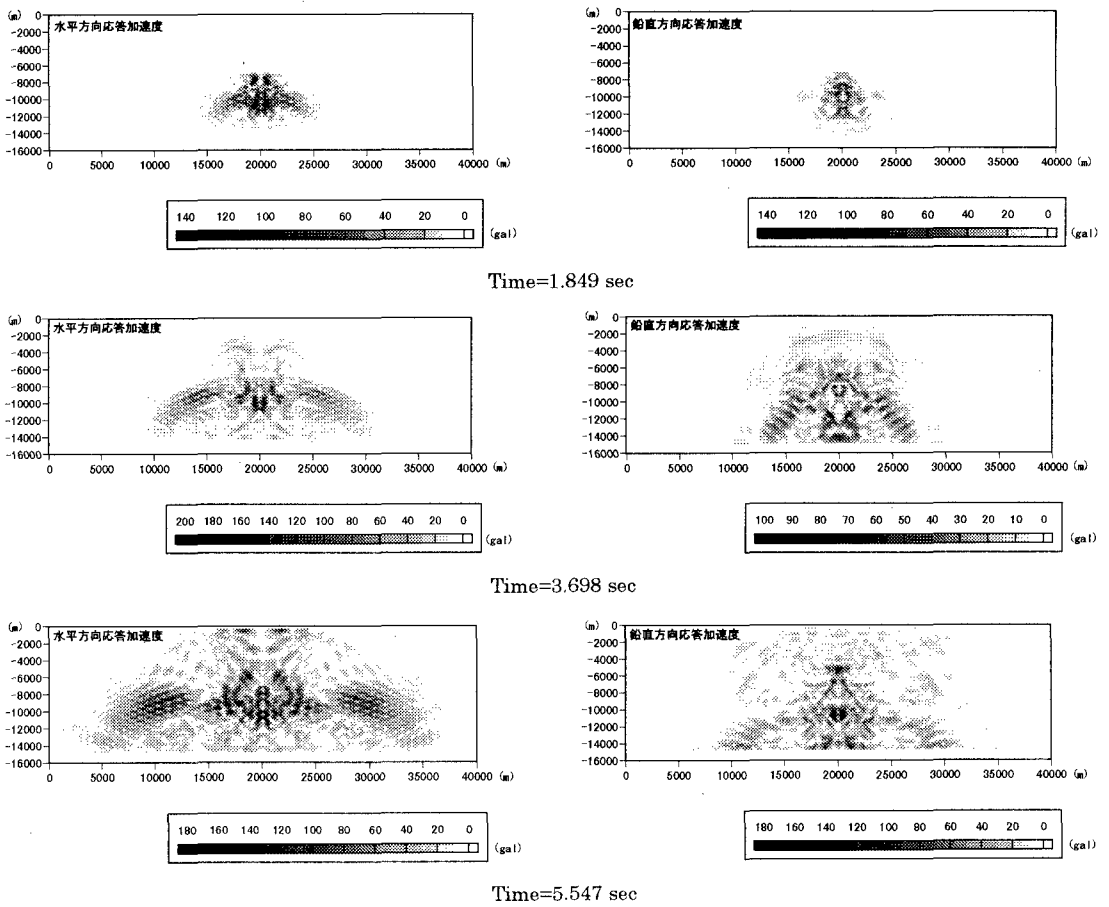
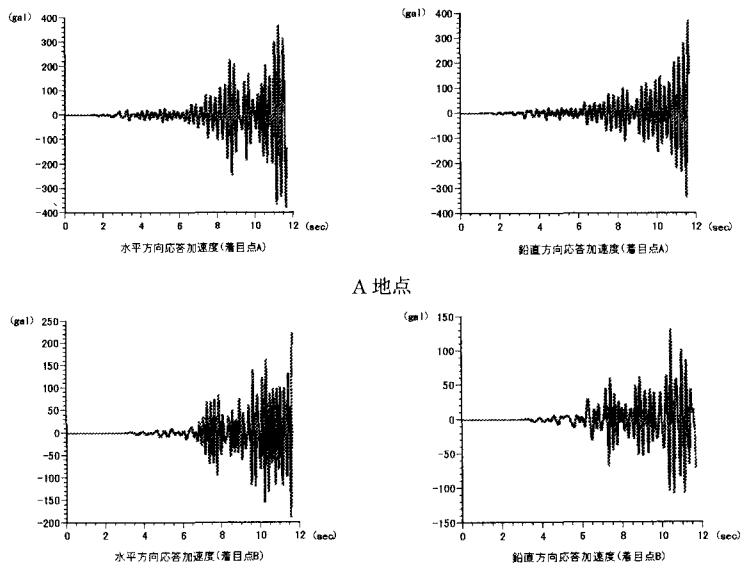


図-3 鉛直上方亀裂によりモデル内を伝播する波動の様子

地表面を伝わる波の合成もあり、実地震波に似た形状が得られたと思われる。

4. おわりに: 本稿は2次元個別要素法プログラムを用いて岩盤内を伝播する波動のシミュレーションを行った。その結果、伝播性状や応答波形などを自然に表現できる可能性が示された。本手法を3次元に拡張することにより地震波の時空間的再現が可能であると思われる。



[参考文献]

[1]伯野元彦: 破壊のシミュレーション, 森北出版, pp.2-3,1997

図-4 着目点の応答加速度時刻