

## DDAによる積層ブロックモデルの動的応答特性に関する基礎的検討

サンコーコンサルタント(株) 正会員 ○萩原育夫, フェロー会員 佐々木猛, 正会員 佐々木勝司  
 京都大学 フェロー会員 大西有三, 正会員 西山 哲  
 電力中央研究所 正会員 伊藤 洋

### 1. 目的

著者らはこれまで、DDAによる地震応答解析の検討を実施してきた。しかし、実際のモデルは非常に複雑で解析結果の妥当性の評価が困難である。本研究では、著者らが別途実施したブロックモデルの遠心载荷実験の事前検討として、DDAによる単純な弾性体ブロックモデルの周波数応答特性の基本的性質の検討を行った。

### 2. 解析の概要

DDAは不連続体で構成されるブロックを図-1に示すように弾性体と仮定し、これらの接触を大変形問題として解析し、運動方程式は最終的に式(1)のようになる<sup>1)</sup>。

$$M \ddot{u}^{t+\Delta t} + C \dot{u}^{t+\Delta t} + K u^{t+\Delta t} = R^{t+\Delta t} \quad (1)$$

ここに、 $M$ : 質量マトリックス,  $C$ : 粘性マトリックス,  $K$ : 剛性マトリックス,  $R$ : 外力マトリックス,  $\ddot{u}$ : 重心加速度,  $\dot{u}$ : 重心速度,  $u$ : 重心変位,  $t$ : 任意時刻,  $\Delta t$ : 時間刻みである。

式(1)の運動方程式は、Newmarkの $\beta$ 法により増分変位に対する式(2)の連立方程式を各時間刻みで解くことにより得られる。

$$\tilde{K} \cdot \Delta u = \tilde{F}, \quad \tilde{K} = \frac{2}{\Delta t^2} M + \frac{2}{\Delta t} C + K, \quad (2)$$

$$\tilde{F} = \frac{2}{\Delta t} M \cdot \dot{u} + (\Delta F - \sum \int \sigma dv) - M \alpha(t)$$

ここに、 $\Delta u$ : 増分変位,  $K$ : ブロックの全体剛性マトリックス,  $\alpha(t)$ : 地震加速度である。

また、著者らは、Penaltyを介したブロック間の接触機構に、図-2に示すVoigt型の接触減衰を導入した。DDAによる振動問題では、基盤ブロックに想定する地震加速度などを入力し、その上のブロックの振動性情を解析する。その場合、境界条件が加味された基盤ブロックの固有振動特性と入力波の増幅率、Penaltyばねを介した上部ブロックへの波動の伝播特性の基本的な性質を把握しておく必要がある。

本検討では、別途行われた遠心力载荷装置による積層ブロック構造の振動実験の事前検討として、比較的単純なブロック構造モデルの基盤ブロックの入力波に対する応答特性と上部ブロックの波動伝播特性について検討した。

### 3. 解析事例

図-3は1列6層積ブロックモデルの例である。入力波は基盤ブロックの中央上部に2Hzのsin波を入力した場合の応答結果を示す。ブロックの物性は実験に用いた石膏ブロックを模擬し、弾性係数は120kN/cm<sup>2</sup>、ポアソン比を0.3とした。また、基盤ブロックの両下端を固定とし、応答変位がブロックの弾性反力により常にゼロ点に戻るよう設定した。

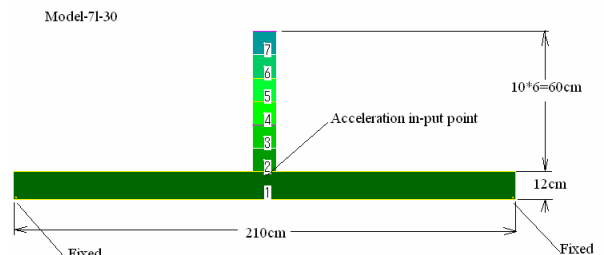


図-3 1列6層積ブロックモデル

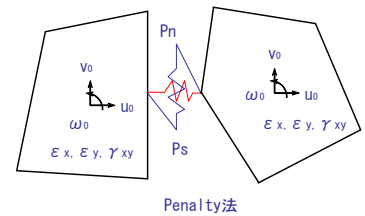


図-1 DDAの未知数とPenalty

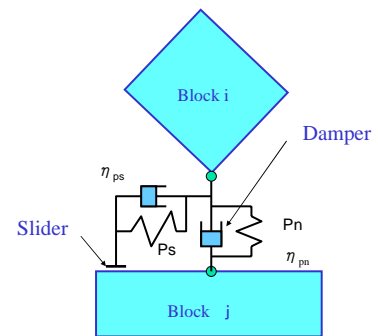


図-2 接触減衰機構

キーワード DDA, 弾性体, ブロック構造, 応答特性

連絡先 〒136-8522 東京都江東区亀戸1-8-9 サンコーコンサルタント(株)岩盤工学研究所 TEL03-3683-7139

本ケースの Penalty はブロックの弾性係数と同じ  $120\text{kN/cm}^2$ ，時間刻みは  $0.0005\text{sec}$ ，ブロックの減衰定数は  $5\%$ ，摩擦による減衰は  $0\%$ とした．図-4，図-5，図-6 に sin 波  $2\text{Hz}$  を入力した場合の各ブロックの加速度，変位，速度応答を示す．

この場合，基盤ブロックの入力加速度に対する増幅率は約  $8$  となっている．各ブロック間の波動伝播状況を示す，位相が綺麗に現れている．また，各ブロックの増幅率では，基盤ブロックに接するブロック No.2 の応答倍率が約  $16$  程度でそこから上部ブロックに進むに従い，低下傾向にあり，最上部では  $12$  程度となっている．

基盤ブロックの入力波はこの他に， $1\text{Hz}$ ， $4\text{Hz}$ ， $10\text{Hz}$ ， $60\text{Hz}$  および EL-Centro(NS) のランダム波について検討した．図-7 は EL-Centro(NS) を入力した場合の各ブロックの速度応答を示す．図中の細かな応答は，高周期成分によってブロックが回転運動を起こし，それらの原因によるブロック間の衝突運動のためである．

**4. 結果の考察と今後の課題**

本検討では，図-3 の正方形ブロックの  $6$  段積みブロック構造の例を示したが， $2\text{Hz}$  程度の比較的low周期では，ブロックの頂点の衝突による影響は少なく，精度の良い応答結果が求められた．また，地震波動の応答では，高周期成分によるブロック同士の衝突により速度や加速度の波形にその影響が現れる．これらは，基盤からの波動伝播特性に無関係なので，応答から除外して考えるべきである．今後は，物理的な意味を持った，これらの適当な除外方法の検討が必要である．

**参考文献**

- ・ 萩原育夫，佐々木猛，佐々木勝司，西山哲，大西有三：不連続変形法による地震時の斜面崩落解析，第 60 回土木学会年次講演会講演概要集， 2005.
- ・ 佐々木猛，萩原育夫，佐々木勝司，堀川滋雄，吉中龍之進，大西有三：不連続変形法による地震時の斜面崩落解析，土木学会第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.87-92， 2006.
- ・ 赤尾悟史，大西有三，西山哲 他：不連続変形法の地震応答解析への適用に関する基礎的研究，土木学会第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.175 -180， 2007.

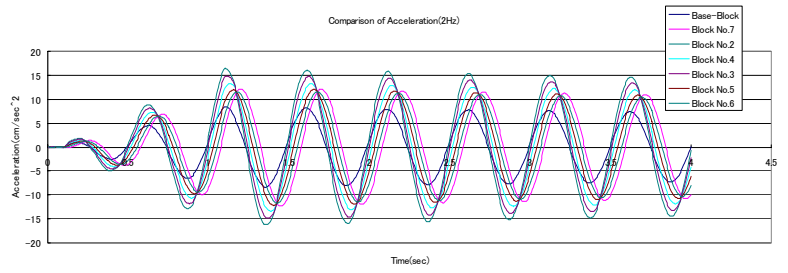


図-4 各ブロックの加速度応答(sin 波 2Hz)

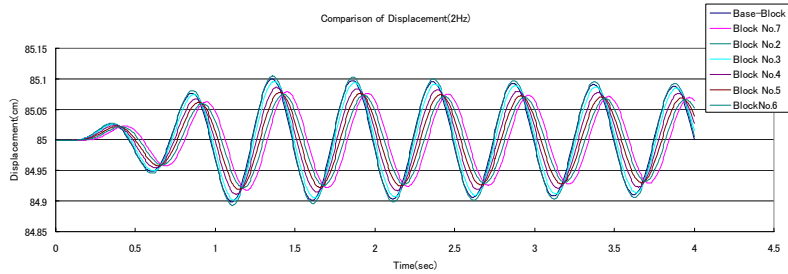


図-5 各ブロックの変位応答(sin 波 2Hz)

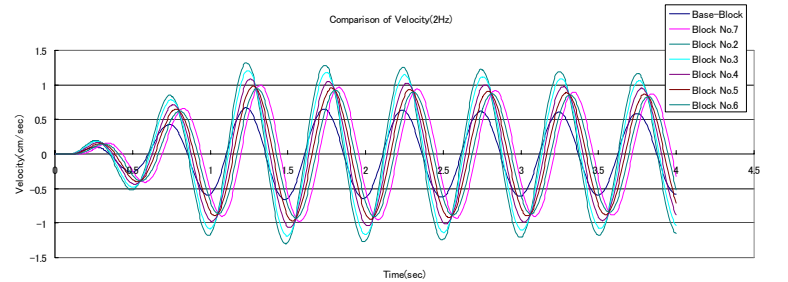


図-6 各ブロックの速度応答(sin 波 2Hz)

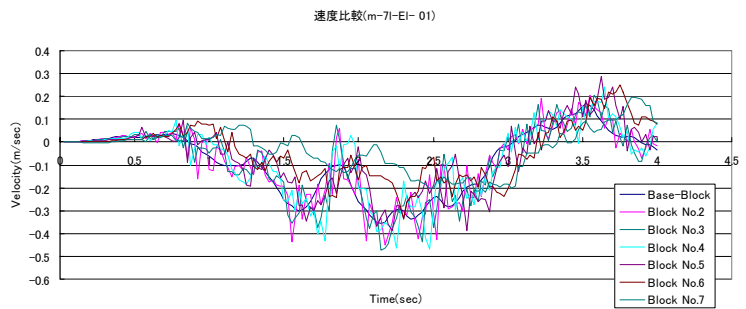


図-7 各ブロックの速度応答(EL-Centro-NS)