

DDA による岩盤ブロックの地震応答解析に関する基礎的検討

サンコーコンサルタント 正会員 ○萩原 育夫, 佐々木 猛
 京都大学大学院 正会員 大西 有三, 西山 哲
 電力中央研究所 正会員 伊藤 洋
 中電技術コンサルタント 正会員 岩田 直樹

1. はじめに

斜面の地震応答解析では、2004 年新潟県中越地震で問題となった崩落土砂による河道閉塞等のように、斜面の安定性ととも崩落土塊の到達距離等の影響を的確に評価することが重要と考えられる。本検討では、不連続変形法（DDA）を用いて単純ブロックモデルを対象とした振動応答解析を行い、解析手法の特性並びに地震時斜面挙動予測に対する適用性について検討した。

2. 解析方法概要

不連続変形法（DDA）は解析対象をブロックの集合体として表し、ブロック内部の弾性変形とブロック間の接触等の大変形をモデル化した手法であり、運動方程式は以下ようになる¹⁾。

$$M \ddot{u}^{t+\Delta t} + C \dot{u}^{t+\Delta t} + K u^{t+\Delta t} = R^{t+\Delta t}, \quad C = \eta M$$

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, η : 粘性係数, $\ddot{u}$: 重心加速度, $\dot{u}$: 重心速度, u : 重心変位, t : 任意時刻, Δt : 時間刻み

DDA では、ブロック内部の変形はブロック重心位置の剛体変位（線運動・回転）と弾性歪みによる一次関数によって定式化され、ブロック間接触過程は voigt 型接触モデルを導入してペナルティ法によって解析される（図-1）。

3. 単純モデルによる応答解析

単純モデルについて、DDA と FEM 等との比較検討と、不連続面の物性に関するパラメータスタディを実施した（図-1、表-1）。

(1) CASE1

下端を固定した単柱に関して、単一ブロックモデル(CASE1a)について DDA²⁾及び FEM³⁾による応答解析を実施し、さらに複数のブロックに分割したモデル(CASE1b)について DDA による応答解析を実施した。外力（振動）は重心(DDA)または節点(FEM)に均等に与え、FEM では 1 辺=1m の格子構造によってモデル化（弾性体）した。

図-3 に CASE1a の x 方向応答波形（単柱上辺中央、相対変位・加速度）の解析結果を、図-4 に変位応答のスペクトルを示す。変位応答に関しては、解析開始直後において DDA と FEM の解析結果に差が認められたが、 $t=1.5\text{sec}$ 以降では応答波形の振幅並びに周期は概ね合致した。加速度の応答に関しては、 $t=2.0\text{sec}$ 以降で応答波形の周期は概ね合致したが、DDA の解析結果は FEM よりも小さな振幅を示す傾向が認められた。DDA ではブロック内の変形をブロック重心位置の未知数でモデル化しており、格子構造によって解析した

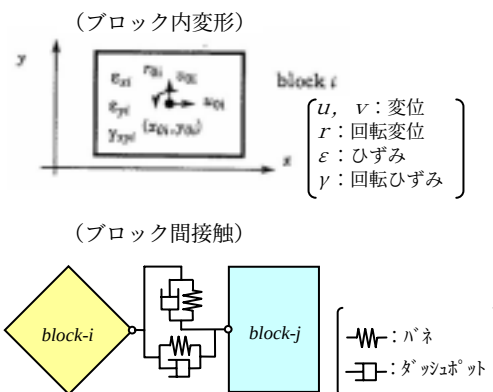


図-1 ブロックモデルの概念図

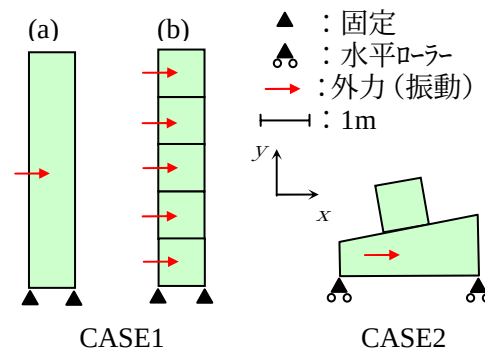


図-2 解析モデル

表-1 主要解析パラメータ

解析ケース	CASE1	CASE2
密度 [g/cm ³]	2.0	2.0
ヤング率 [MN/m ²]	35	1,000
減衰率 [%]	5	5
不連続面の粘着力 [kN/m ²]	0	0
不連続面の摩擦角 [度]	45	25~45
不連続面接触剛性 [MN/m ²]	44	50~1,000
不連続面の傾き [度]	0	10
解析時間刻み [s]	0.005	0.005
外力（振動）条件	正弦波 振幅=1m/s ² 周波数=2Hz	中越地震観測波 EA231755_65041 (EW方向)

キーワード 崩壊解析 地震応答 不連続変形法

連絡先 〒136-8522 江東区亀戸 1-8-9 サンコーコンサルタント(株) TEL:03-3683-7123, MAIL: i.hagiwara@suncoh.co.jp

FEM と間に分解能の差を生じたものと考えられる。単柱の鉛直方向における加速度分布を比較すると（図-5），DDA の解析結果は FEM 解析結果の中間的な値となった。

CASE1b では，単柱を 2～5 分割して DDA による応答解析を実施した。図-6 にブロック分割数と応答波形（最上部上辺中央の x 方向変位）の卓越周波数を示す。ブロックの細分化に伴ってブロック間に接触剛性が付与されることから全体の剛性は低下し，変位応答における卓越周波数は低下した。ブロック数=1～3 の場合では，解析結果と近似理論解（質点近似）と概ね一致したが，ブロック数=4～5 個の場合は近似理論解を下回った。ブロックを細分化した解析結果ではブロックの回転運動が顕在化しており，ブロック間の接触運動が加わることによって近似理論解との差を生じたものと考えられる。

(2)CASE2

2 つのブロックによって構成されるモデルについて，接触面の物性を変化させて DDA による応答解析を実施した。ブロック接触面の傾斜は 10 度とし，外力（波形）は下部ブロック（下端の鉛直方向変位を固定）に与えた。

図-7 に，上部ブロックの x 方向変位応答（相対変位）と x 方向加速度応答・回転加速度応答（絶対加速度）の解析結果例を示す。また図-8 に各解析時間ステップにおける上下ブロックの x 方向速度差と上部ブロック回転速度の絶対値を，解析パラメータとともに示す。接触面の摩擦角を 25 ～45 度で変化させた解析結果では，すべり抵抗力の低下（摩擦角=30 度以下）にともなってすべり変形が確認され，加速度の方向変換点で回転を伴いながらすべり運動が発生・停止した。接触面の剛性を变化させた解析結果では，すべりや転倒等の変形は確認されなかったが，接触面の変形特性が軟質化（接触剛性=100MN/m² 以下）すると小規模なすべりや回転が連続的に生じる傾向が確認された。

4. まとめ

解析結果では不連続面の介在や物性変化によって応答特性が変化する過程が確認され，不連続性岩盤斜面における地震応答解析・崩壊解析への DDA の適用が考えられる。今後の課題として，解析結果の精度の検証や不連続面の物性パラメータの定量的評価方法の検討が上げられる。

参考文献

- 1)G.H.Shi,R.E.Goodman：Two Dimensional Discontinuous Deformation Analysis , Int. J. Anal. Methods Geomech., Vol.9, pp.541-556, 1985
- 2)不連続性岩盤解析手法研究会：DDA version7 ユーザーズマニュアル，2004
- 3)地盤工学会：地盤技術者のための FEM シリーズ①～③，地盤工学会，2003

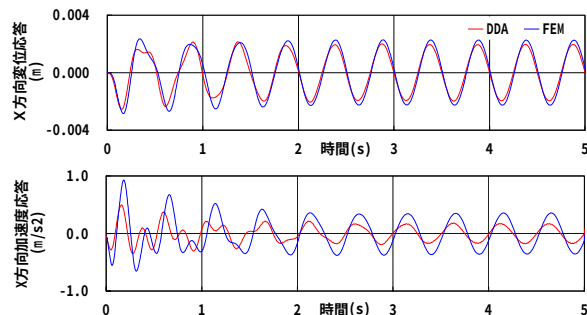


図-3 CASE1a 解析結果図

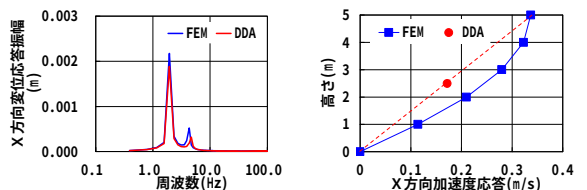


図-4 CASE1a 変位応答スペクトル

図-5 CASE1a 加速度応答分布

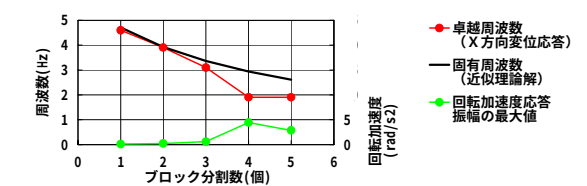


図-6 CASE1b ブロック分割と周波数特性

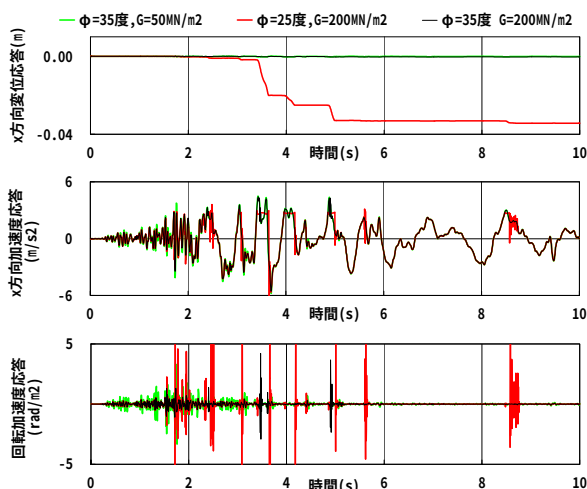


図-7 CASE2 上部ブロック応答解析結果(例)

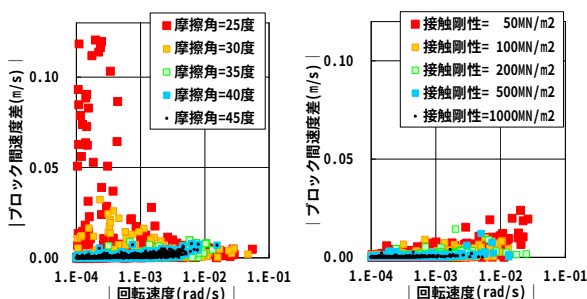


図-8 CASE2 不連続面物性と上部ブロック応答