NMM-DDA による鉱山捨石たい積場の地震応答解析検討事例

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 小原 義之，福嶋 繁
サンコーコンサルタント株式会社　正会員 ○堀川 滋雄，フェロー会員 佐々木 猛，正会員 越谷 賢

1　はじめに

（国研）日本原子力研究開発機構 人形峠環境技術センターが所掌する麻畑 2 号坑捨石たい積場は斜面勾配が約 35 度の谷地形に，掘削土砂を投下堆積させたたい積場である．捨石たい積場末端部は二級河川に隣接しており，想定される断層型地震が発生した場合には斜面を形成している捨石土砂が河川内へ流れ込み，上・下流域への被害が懸念される地点である．本稿ではマニフォールド法-不連続変形法連成解析（NMM-DDA）を用いて，捨石たい積場斜面の地震時安定性を検討した結果について報告する．

2　マニフォールド法-不連続変形法連成解析（NMM-DDA）

本件は地震動に伴い，捨石土砂が下方へ流出した場合の範囲や環境影響などを予測する必要があった．捨石たい積斜面の地震時安定性を評価する手法のうち，ニューマーク法を用いる場合はたい積物の弾塑性変形を考慮しない結果となる．本地点では連続体としての基盤岩の挙動と不連続体としての捨石堆積物の挙動を同時に応答解析し，捨石土砂の大変形（弾塑性挙動）まで考慮できる手法が必要とされた．NMM は不連続性岩盤の応力・変形解析を解くことが可能で，DDA は地震時の崩落形状，到達時間，崩落速度などの斜面崩落現象が再現できる解析手法である．三木ほか(2012)は NMM の長所と限界，すなわち基盤ブロックの局所的な変形を考慮することはできるが，崩落岩塊の大きな回転を伴った運動を再現することが困難なこと，DDA の長所と解析限界，すなわち崩落岩塊の大きな回転を伴った運動の再現は考慮することができるが，基盤を単一のブロックと仮定して基盤の局所的な変形が考慮できない部分を踏まえて，解析手法として連続体と不連続体を同時に扱える解析手法として NMM-DDA の定式化を行っている．本地点での地震応答解析では対象とする基盤岩は NMM で，捨石堆積物は DDA で同時解析をおこなった．両者はともに陰解法であることから連成解析が可能となる．

3　解析対象斜面の地質状況と解析モデル区分

当地周辺の地質は中生代後期に迸入した花崗岩である．斜面は主にφ10～20cm の亜角状の捨石からなり，基質部分は風化して細粒化した土砂からなる．それらは場所によるものの層厚 5～6.5m程度堆積している．解析用モデル区分は，捨石たい積場内で実施した 2 箇所のボーリング調査結果ならびに周辺部地表地質踏査結果を踏まえて作成した地質モデル区分を基本とした．捨石堆積物の地質区分はボーリングコア観察結果及び粒度試験結果から評価し，基盤岩の区分は本州四国連絡橋公団が花崗岩を対象に作成した分類基準によった．捨石堆積物の上部は細粒分含有率で細粒土優勢層と砂質土優勢層の 2 種の土層が互層状に出現したが，本来は土層に連続性を持たない投下堆積物であるため解析用モデルでは細分せずにひと区分とし，両者の物性値を重み付け平均して入力物性値とした．捨石堆積物の下部は地質区分と同様に岩片優勢部として区分した．基盤岩は風化状況（強風化，風化，弱風化，未風化）により 4 区分した．物性区分した解析断面を図-1 に，動的解析用モデルの入力物性値一覧を表-1 に示す．

4　入力地震波の設定

耐震性評価に用いるレベル 2 地震動は，鳥取県（2015）が公表している断層型地震のうち鹿野・吉岡断層（1943 年鳥取地震）と倉吉南方の推定断層で発生する地震による地震動を採用した．

5　解析断面と物性区分図

解析断面のメッシュ図と初期状態（自重）解析境界条件は図-1 に示す通りである．側方は弾性波速度に比例する Lysmer 粘性境界を設置し，下方境界は固定とした．

キーワード　捨石たい積場，マニフォールド法－不連続変形法連成解析，NMM-DDA 地震応答解析
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）　E-mail:horikawa@suncoh.co.jp

© Japan Society of Civil Engineers

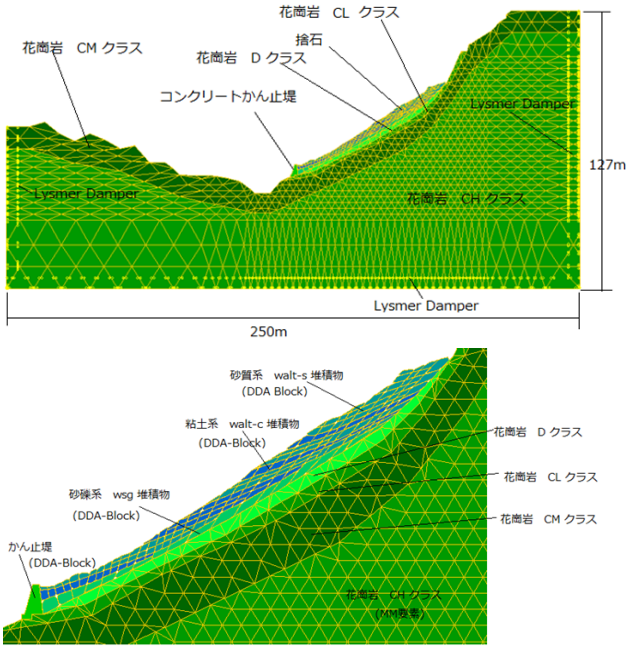

図-1 解析断面の初期状態解析境界条件と物性区分

表-1 動的解析用モデル入力物性値一覧表

	土質・地質						
	捨石堆積物			基盤岩（花崗岩）			
	walt-c 細粒土優勢	walt-s 砂質土優勢	Wsg 岩片優勢	swGr (強風化)	wGr (風化)	wwGr (弱風化)	Gr (未風化)
湿潤密度 ρ_t (kN/m³)	15.7	20.1					
	18.3		20.6	21.0	22.0	24.0	25.0
粘着力 c (kN/m²)	41	12					
	16		12	160	350	580	980
内部摩擦角 ϕ (°)	13.2	36.0					
	22.0		35	35.0	37.5	40.0	42.5
変形係数 E_s (kN/m²)	9,900		15,600	73,500	176,000	323,000	585,000
ポアソン比 ν_s	0.3		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
P 波速度 (m/sec)	430		1,140	1,500	2,000	2,400	3,000
S 波速度 (m/sec)	128		214	400	450	700	1,000
動ポアソン比 ν_d	0.451		0.482	0.462	0.473	0.454	0.438
動的せん断変形係数（剛性率） G_d (MN/m²)	30		90	340	450	1,200	2,500
動弾性係数 E_d (MN/m²)	89		270	1,000	1,330	3,450	7,300

6 解析結果

2000 年鳥取県西部地震の際に布部ダムで得られた波形を原種波形として，鹿野－吉岡断層で発生する地震動（等価震源距離式による）を想定した地震応答解析結果を示す．初期主応力分布図を図-2 に，80 秒後の主応力分布図を図-3 に，変位量図を図-4 に示す．これによれば，たい積物は末端部のかん止堤を超えて河川まで到達することはなく，最大斜度付近に相当する斜面中腹部分の捨石たい積物にわずかに緩みが生じ，3m 程度以下ではあるが下方へ移動することが想定される結果となった．

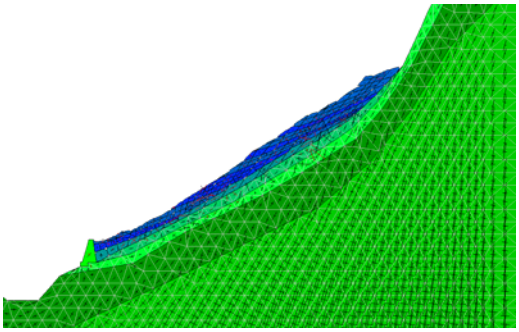

図-2 初期主応力分布図

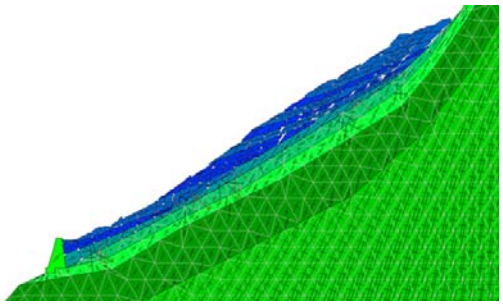

図-3 主応力分布図(80 秒後)

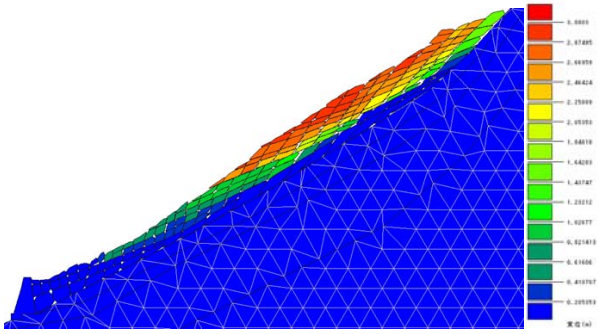

図-4 変位量図（80 秒後，最大変位量は 3.08m）

斜面安定対策として鉄筋挿入工を仮定して，同じ地震波形を用いて応答解析を行い，対策工の妥当性を確認した．

その結果, 対策なしの変位量と比較して相対的に 4～7 割低減する結果が得られた．今後は本工法を基本に対策工法を検討することとし，地震時の斜面安定に対して万全の対策を施していく所存である．

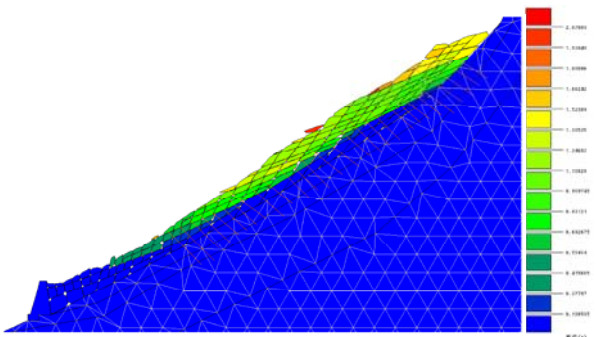

図-5 鉄筋挿入工対策後の変位量 （80 秒後，最大変位量は 4～7 割程度低減される）

参考文献: 三木 茂・佐々木 猛・大西有三・小山倫史 (2012) : マニフォールド法－不連続変形法解析（NMM-DDA）の開発，計算工学講演会論文集，Vol.17，計算工学会.
鳥取県（2015）: 鳥取県地震防災調査研究委員会，https://www.pref.tottori.lg.jp/243607.htm（2019.03.22 閲覧）

© Japan Society of Civil Engineers