鳥取大学大学院	学生会員	〇栢野伸也
鳥取大学大学院	学生会員	平松大周

鳥取大学大学院 正会員 西村 強

1. はじめに

本研究では、個別要素法(以下 DEM)を用い、岩盤斜面内で発生する進行的な破壊とそれが 大崩壊に至る過程を表現する解析技術の開発を試みている.既報告¹⁾では、要素間結合強度や 要素配列などの入力条件に注目した解析例を示した.その中で、極限平衡解析の結果と比較し たところ、DEM 解析の与える換算限界平衡高さ H_dは、斜面傾斜角β=80°では、極限平衡解析が 与える結果より高く、また、斜面傾斜角β=60°になると低くなる傾向を示していた.DEM 解析 では、応力集中に伴う局所的な破壊が徐々に進行して斜面モデルが崩壊に至る過程を表現して いる.これに対して、比較に用いた極限平衡解析(以下 LEM)は、円弧すべりを仮定して、そ のすべり面上では強度定数 c, ¢は完全に動員されているとした.前述からすれば、DEM 解析が 与える H_dは、極限平衡解析の与えるそれより低くなる方が理解しやすい.そこで、本報告では、 非円弧のすべり面を表現できる一般化極限平衡法(以下 GLEM)²⁾を採用し、GLEM 解析が与える 限界平衡高さおよびすべり面形状に対して、DEM 解析結果の比較・検討を試みた.

2. 重力增加解析手順

実物の 1/n の幾何学的相似模型を nG (G:重力加速度)の加速度場においた場 合と実物に生じている応力レベルの関係 を考える. 添字 p, m はそれぞれ実物と模 型を表すものとする.

幾何学的には

長さに関して	$L_m = L_p / n$	(1)
面積に関して	$A_m = A_p / n^2$	(2)
体積に関して	$V_m = V_p / n^3$	(3)

したがって, 岩盤の単位体積重量は $\gamma_m = n\gamma_p$, 深さ $z_m(=z_p/n)$ における自重による鉛直応 力 σ (= γz)は, $\sigma_m = \gamma_m z_m = (n\gamma_p)(z_p/n) = \sigma_p$ とな る³⁾. つまり, 模型と実物の鉛直応力が等



図-1 岩盤斜面モデル

しくなる.以上を参考にして、加速度場を想定して、図-1に示す縮尺斜面モデルの解析を実施 すれば、nGにおかれた解析モデル内には、数十mの実斜面と同等の荷重レベルを発生させるこ とが可能となる.

3. 積層体としての力学的特性の把握と斜面モデルの設定

図-1 は原積層体から切り出した斜面傾斜角βの斜面モデルである.3 種の直径 (D=2.0,1.4,1.0cm)の異なる円形要素で構成された不規則配列モデルを設定した.規則配列モ デルでは、破壊点の進行方向が配列に支配されやすいが、不規則配列モデルでは、そのような 影響が小さくなる.表-1に接触剛性係数や結合物質に与えた解析条件を示す.表-2に圧縮解析 および圧裂解析より求めた供試体モデルの物性値を示す.表-2の値は、原積層体から切り出し た圧縮解析モデル(120×60 cm²)および圧裂解析モデル(直径 60 cm)により求めたものである.

表-1 円要素に与えた特性						
円要素	密度	$\rho = 2650 (\text{kg/m}^3)$				
	直径	D=2.0, 1.4, 1.0 (cm)				
	接触剛性係数	<i>k_n</i> = 100MN/m (法線)				
		<i>ks</i> = 25MN/m (接線)				
	静止摩擦係数	$\mu = 0.577$ (tan ⁻¹ $\mu = 30^{\circ}$)				
結合物質	剛性係数	$E_n = 100 \text{ MN/m}^2$ (法線)				
		$E_s = 25 \text{ MN/m}^2$ (接線)				
	せん断強度	$\tau_c = 0.2, \ 0.25, \ 0.3, \ 0.35 \ MN/m^2$				
	引張強度	$\sigma_c = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35 \text{ MN/m}^2$				

表-2 供試体モデルの物性値

$E (MN/m^2)$	145				
ν	0.295				
$\sigma_t(MN/m^2)$	0.2	0.25	0.3	0.35	
$r_c(MN/m^2)$	0.22	0.27	0.22	0.35	
q_u (MN/m ²) σ_t (MN/m ²)	0.036	0.043	0.049	0.057	
$c (MN/m^2)$	0.067	0.079	0.093	0.105	
φ (°)	26.1	28.8	31.5	32.1	

個別要素解析結果と極限平衡解析結果の比較

(1) 限界平衡高さの比較

まず,限界平衡高さの比較をする.図-2は, DEM 解析による換算限界平衡高さ $H_d(=nh_d)$ と, LEM 解析による限界平衡高さ H_e および GLEM 解析による限界平衡高さ Hgと比較して いる. LEM 解析では, β=70°を境界にして, これ以下の斜面傾斜角では H_d が H_e より高く, これ以上の斜面傾斜角では, H_dが低くなる傾 向が確認できる.一方,GLEM 解析との比較 では, $\beta = 80^{\circ}$ においても, $H_g/H_d > 1$ となって おり, GLEM 解析が DEM 解析より高い限界平 衡高さを与えることがわかる.供試体解析で 得られる強度がすべり面上で一様に発揮され る場合よりも限界平衡高さは低くなることを 示しており, DEM 解析では, 応力集中等によ り破壊が逐次進行したことを裏付ける結果と 考えられる. $\beta = 80^{\circ} h \beta = 70^{\circ}, \beta = 60^{\circ} c$ なるにつれて, Hg /Hd が大きくなる傾向がみ られるが、これについては、次項に述べる.

(2) 崩壊域とすべり面形状の比較

つぎに,(1)の GLEM 解析の結果として求め られるすべり面と、DEM 解析の崩壊域と静止 域を分ける境界面との形状としての相似性を 比較する (図-5). この比較に際して, 図-3



図-2 限界平衡高さの比



図-3 すべり面の形状比較のための指標

に示す e, b, m および q を用いる. e は斜面 部の長さ, b は斜面肩とすべり面が斜面部あ るいは上部水平面に表れる点との水平距離, m は斜面先とすべり面が斜面部あるいは上部 水平面に表れる点を直線で結んだときの長さ, そして, q は, すべり面上の点から前述の直 線に下した垂線の長さの最大値を示している. b については, 斜面肩を基準に, 水平面側を 正, 斜面側を負として, すべり面が地表面と 交差した位置を識別する.

図-4 に、このようなパラメーターを用いたすべり面形状の整理結果を示す.こ



図-4 q/mとb/eを用いたすべり面形状の比較

の図では,表-2に示した強度定数4例の組み合わせ,および斜面角3例の結果をまとめている. すべての例において, b/e>0となっていることから,すべり面は水平面に達していることがわか る. q/m は、0に近づくにつれてすべり面が直線的になることを示すことから, b/eの増加に対 して q/m は減少しており,仮に e 一定とするならば,bの増大に対して,より曲率の小さいす べり面が生じやすい結果となっている.図-5に示される通り DEM の方が,斜面先部ではより 深い位置に破壊面がある.また,破壊面の上部水平面に対する交差角度をみると DEM 解析は 直交に近い角度で,GLEM は斜交している.上部水平面付近での破壊モードの相異も考えられ る.



図-5 崩壊域(σ_c,=τ_c=0.35 MN/m²)とすべり面形状の比較

《参考文献》

1) 平松大周, 辻野孝治, 西村 強:個別要素法による岩盤斜面崩壊解析における入力条件の影響に関する数値実験.土木学会第40回岩盤力学に関するシンポジウム, pp.305-310, 2011.
2) 榎 明潔:摩擦体としての土における安定と変形の解析法, 電気書院, p80-125, 2007.
3) 高田直俊, 日下部 治:講座 遠心模型実験 3. 原理, 土と基礎, Vol.35, No12, pp.89-93, 1987.