

(株)日本ピーエス 正会員 ○船野 浩司
 豊橋技術科学大学 工学部 正会員 河邑 眞
 名城大学 理工学部 正会員 板橋 一雄
 岐阜大学 工学部 正会員 佐藤 健

1. はじめに

斜面崩壊は、交通機関の寸断、家屋の倒壊を起こすだけでなく、多くの尊い命を奪うこととなり、大きな被害をもたらしている。これら斜面崩壊災害を防ぐには、第1段階として斜面崩壊の発生機構を解明することが重要である。崩壊機構を解明する手法の一つとして、斜面の個々の粒子の運動に着目した個別要素法(DEM)が挙げられる。本研究では、斜面崩壊に粒子の配列構造が深く関連していると考え、構造的欠陥をもつモデルでの振動模型実験に対して2次元個別要素法の斜面崩壊解析を行ない、構造的欠陥が動的斜面崩壊形態に及ぼす影響について考察する。

2. 解析方法

解析モデル

解析モデルは実験モデルに対応するように図-1、図-2、図-3に示すような構造的欠陥(空洞)をもつ斜面モデルを用いた。解析に用いた円形要素は、半径1cm、密度 7.8kgf/cm^3 とし、ケースAで382本、ケースBで372本、ケースCで370本を交互配列で斜面を形成した。本解析に用いた材料定数は表-1に示す。

解析方法

解析は静的地震力を加える方法と繰り返し地震力を加える方法の2種類行なった。

(1) 静的地震力を加えた解析

静的地震力の解析として最大水平加速度 $1,000\text{gal}$ までを加速度 100gal 毎増加させ、各加速度での斜面崩壊形態を調べた。解析時間は各水平加速度に対して1秒間($\Delta t = 1 \times 10^{-4}\text{sec}$ より $10,000\text{step}$)とし、計10秒間とした。この過程は自重解析を0.1秒間($1,000\text{step}$)行ない、静的安定状態を得た後、行なった。

(2) 繰り返し地震力を加えた解析

繰り返し水平加速度を加える解析は、水平加速度を最大加速度 800gal の三角波とし、 800gal を5分割した各加速度を0.2秒間($2,000\text{step}$)加え、最大加速度 800gal 時点($1/4$ 周期)では1秒間($10,000\text{step}$)の解析とした。解析は3周期(12秒間)行なった。この解析も(1)同様に自重解析を行なった後、上記した過程で行なっている。

なお、両解析において重力および水平加速度は各円形要素の重心に加えた。

3. 解析結果・考察

静的地震力を加えた解析で水平加速度 800gal を加えた後の崩壊

表-1 解析に用いた材料定数

円要素の半径	R	1	cm
円要素の密度	ρ	7.8	gf/cm^3
円要素間の垂直剛性	K_n	8	kgf/cm
円要素間のせん断剛性	K_s	4	kgf/cm
円要素と境界間の垂直剛性	K_{ns}	8	kgf/cm
円要素と境界間のせん断剛性	K_{ss}	4	kgf/cm
円要素の粘着力	C	0.0	kgf/cm^2
減衰項	α	0.05	
	β	0.5	
時間間隔	Δt	1×10^{-4}	sec
円要素の摩擦係数	μ	0.175($\phi = 10^\circ$)	



図-1 解析モデル-ケースA

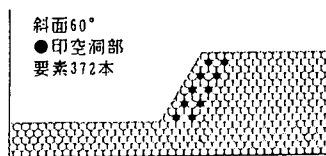


図-2 解析モデル-ケースB

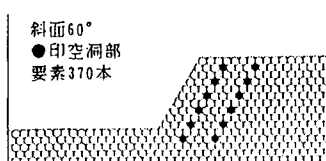


図-3 解析モデル-ケースC

形態を図-4、図-5、図-6に示す。ケースAの場合（図-4）には、空洞が存在しないため崩壊は斜面第1層目より発生している。ケースB、ケースCの場合（図-5、6）には、空洞層がすべり面となり崩壊が発生していることが分かる。これは、空洞上の要素が常に不安定な状態であるため力を加えることにより空洞層から崩壊が始まると考えられる。全ケースにおいて崩壊パターンは上層最下部のすべりから始まり、順次空洞部が埋まるように崩壊している。また、この解析では加速度800galにおいて上層と下層間にすべり面が生じ、上層全体が移動しており、この影響で斜面後部に崩壊がみられる。

各モデルにおける水平加速度と崩壊規模の関係を図-7に示す。ケースAは空洞が存在しないため、崩壊加速度が大きく、崩壊要素も少ない。これはこのモデルが安定した崩壊しにくい形態であるためと考えられる。ケースBは空洞が斜面表層近くに存在しているため崩壊加速度が小さくなり、崩壊要素も空洞層から崩壊しているため多くなっている。ケースCの場合には、空洞がケースBに比べ深い位置に存在しているため崩壊加速度は大きくなっており、崩壊要素数も多く大規模な崩壊となっている。このことから空洞層が崩壊の原因となっていることが理解できる。また、ケースB、Cには空洞層が2層に配置してあるため、それぞれの空洞層の崩壊加速度に違いがみられ、2段階の大規模な崩壊がみられる。これらの特性は、実験においても認められている。

繰り返し水平加速度を加えた解析で3周期終了時の崩壊形態を図-8に示す。この図はケースBのものであるが、全モデルにおいて同様な傾向がみられた。繰り返し加速度を加えるため崩壊規模は小さく、最終的には安定状態を保つようになっている。3周期終了時の崩壊規模は静的に600～700gal加えた時の崩壊規模に相当している。

4. まとめ

以下にその結論を要約する。

- (1) 構造的欠陥の有無、位置は崩壊規模、崩壊加速度に影響を与える。また、構造的欠陥はすべり面を生じさせ、崩壊の原因となっている。
- (2) DEMの解析により、定性的にはあるが振動実験の検証をすることが出来た。

5. あとがき

本研究は文部省科学研究費（04201124）の補助を得て実施しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 河邑 眞 他：弱部をもつ斜面の振動実験，第11回日本自然災害科学学会学術講演会要旨集，pp.52～53, 1992.
- (2) 河邑 眞 他：繰り返しせん断を受ける粒状体の変形と配列の関連，第47回土木学会年次講演会概要集，vol. CS1，pp.16～17, 1992.

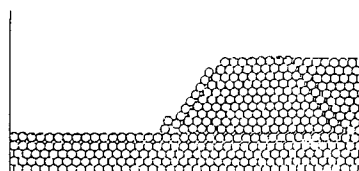


図-4 斜面崩壊形態
—ケースA（静的）

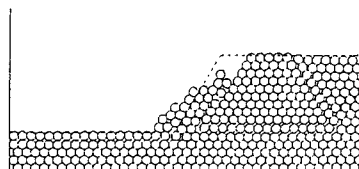


図-5 斜面崩壊形態
—ケースB（静的）

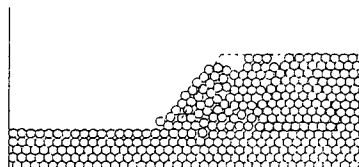


図-6 斜面崩壊形態
—ケースC（静的）

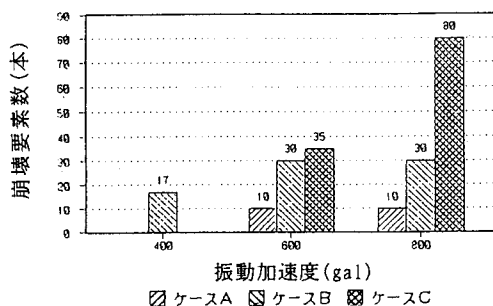


図-7 崩壊加速度と崩壊規模の関係

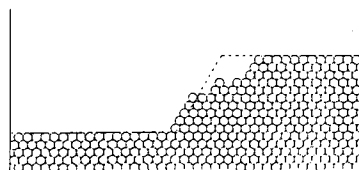


図-8 斜面崩壊形態
—ケースB（繰り返し）