

DDAによる流水の影響を考慮した落石挙動

サンコーコンサルタント（株）正会員 佐々木勝司，フェロー会員 佐々木 猛
 同 正会員○河又 健時， 太田 守彦
 京都大学 フェロー会員 大西 有三

1. はじめに

我が国は地殻変動帯に位置し，急峻な山地と脆弱な地質から構成されていることから自然地盤災害が多発し，1967年～2004年までの自然災害は，崖崩れ21%，土石流・地すべり23%，その他56%である。従来，節理性岩盤急崖斜面からの落石を，DDA（不連続変形法）を適用してその挙動を検討し，対策工設計に適用してきたが，落石現象は急崖斜面のみではなく，緩斜面において沢地形を流下することも多い。この場合に沢の流水が落石運動に影響を及ぼすことが十分考えられる。本報告では，流水の影響を受けた落石の挙動を定式化し，流水の有無による影響を検討した結果を述べる。

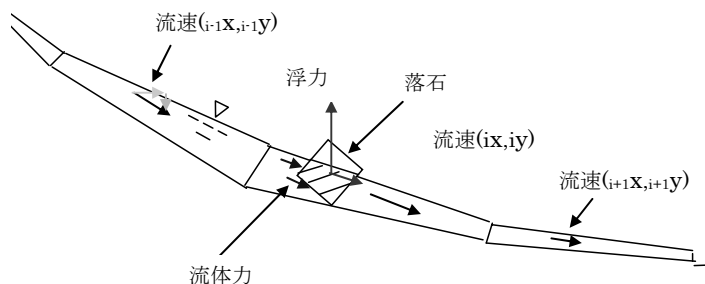
2. 流水の影響を考慮したDDA

DDAは大変位と大変形の問題を解析する手法であり，下式に示すHamiltonの原理による接触を含む運動方程式をひずみエネルギー最小化原理により，釣り合い方程式を求めて定式化¹⁾している。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F$$

ここに， M ：質量マトリックス， C ：減衰マトリックス， K ：剛性マトリックス， F ：外力ベクトル， $\ddot{u}$ ：ブロック重心加速度， $\dot{u}$ ：ブロック重心速度， u ：ブロック重心の剛体変位，剛体回転，ひずみである。

流水の影響を考慮した解析の仮定条件は次のとおりであり，模式図を図－1に示す。①落石が流水中にある場合は水中面積分の浮力が働く，②浮力は落石の水中面積に流体の密度を乗じる，③浮力は落石の重心に作用する，④流体の流速は，Manningの粗度係数(n)，径深(R)，動水勾配(J)を用いて，Manningの平均流速公式²⁾から求める，⑤落石の速度と流水の速度差を抗力²⁾として落石の重心に作用させる，⑥流体力が作用する有効面積は，落石の水中面積の等価な辺長（面積の平方根）とする，⑦流体の密度は，土砂分が混入していると想定し， 15kN/m^{33} とする。

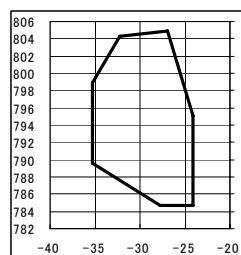


図－1 流水による浮力と等価外力

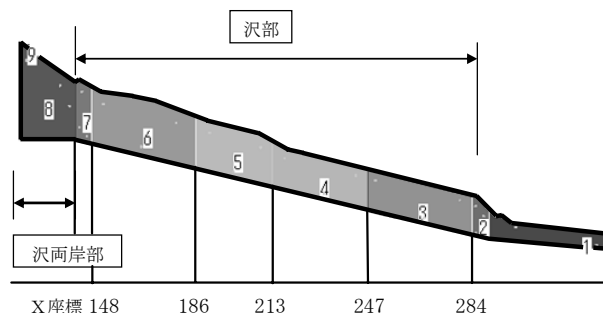
3. 解析入力条件

3.1 解析断面

落石は，沢兩岸部の斜面から沢に落石し，その後流水の影響を受けるものとした。落石形状を図－2，解析断面を図－3に示す。こ



図－2 落石形状



図－3 沢の縦断断面（解析断面）

ここで，ブロック No. 8 は沢の兩岸部であり，流水の影響を受けず，ブロック No. 4～7 に流水を考慮した。ブロック No. 3 は沢水が伏流水となり，谷に向かって徐々に水位が低下するものとした。解析断面は縦断測量に基づき，二次元解析を行った。沢部には植生が少ないが，ブロック No. 3 には崖錐性堆積物が分布し樹木が認められたので，落石と樹木との衝突による運動エネルギー減衰を粘性係数で考慮した。落石バージョンDDAでは，落石自身の減衰，空中での空気抵抗および

キーワード 不連続変形法，落石，自然災害，節理性岩盤

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）岩盤工字研究所 TEL03-3683-7139

植生・樹木による減衰を粘性係数で考慮しているの、粘性係数のパラメータスタディーを行った。また、落石は硬岩を想定しているが、斜面の表層には硬岩の露岩箇所や被覆層の堆積箇所も見られるので、変形係数のパラメータスタディーも行った。

3.2 入力地盤定数

解析に用いた地盤物性の一覧表を表－1に示す。斜面の変形係数は、現地踏査による岩盤分類から菊地の分類⁴⁾を適用し、土砂部については、旧日本道路公団「設計要領第一集」に準拠して物性値の設定を行った。

3.3 流水の影響がない場合の解析結果

沢に流水がない場合を想定した落石解析結果を図－4に示す。X方向の落下速度が、落石運動開始後、最初に1m/s(3.6km/h)以下になった場合を落石が停止したと仮定すれば、全ケースが斜面途中で停止する。X方向速度は物性の差による影響を受け、X方向速度のばらつきが見られる。最大X方向速度は約11m/sであり、斜面中腹で発生する。

3.4 流水の影響を考慮した解析結果

沢の水深は、沢の横断地形から、最大水深1.1mを想定した。流水の影響を考慮した解析結果を図－5に示す。落石停止条件は流水の影響がない場合と同様であり、ほとんどの落石は斜面最下端に達し、1ケースはブロックNo.1の平坦部に達する。X方向速度は、地盤の変形係数や粘性係数の影響が少なく、落石に伴いほぼ流水と同様の速度を示した。

4. まとめ

図－6は流水がない場合とある場合のX方向速度の変化図から各ケースの崩落線を描き、これらを比較している。流水がある場合の落石のX方向速度は、流水を考慮しない場合と比較して、X方向速度が低下し、斜面を流下する流水の速度の影響を受けている。また、落石の到達距離は、遠くまで達している。これらの数値解析結果は、一般的概念と調和的な結果であった。

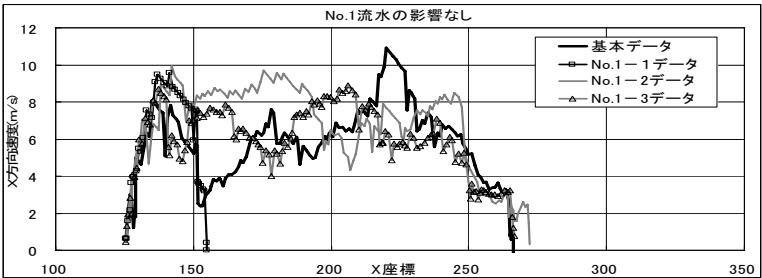
本報告は、落石挙動に及ぼす流水の影響として、入力物性のパラメータスタディーと流水の有無による崩落挙動の比較を実施したが、今後は、入力物性の感度分析や落石群としての検討を行い、解析手法の高度化を図る予定である。

[参考文献]

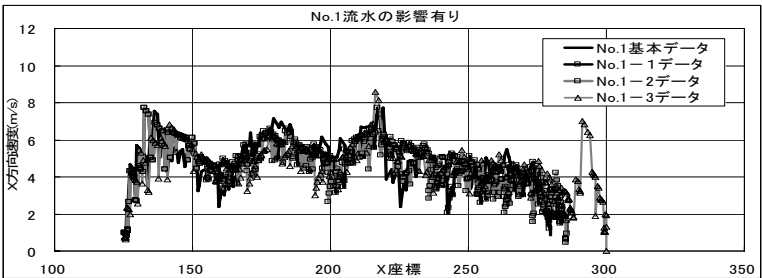
- 1) 佐々木猛, 佐々木勝司, 吉中龍之進：不連続変形法（DDA）による落石問題の検討, 計算工学講演会論文集 Vol.7(2002), 2) 水理公式集[平成11年版] 土木学会 p88, p540, 3) 高橋保：土石流の機構と対策, 未来社, 2004, 4) 吉中龍之進, 桜井春輔, 菊地宏吉：岩盤分類とその適用, 土木工学会

表－1 解析に用いた地盤定数

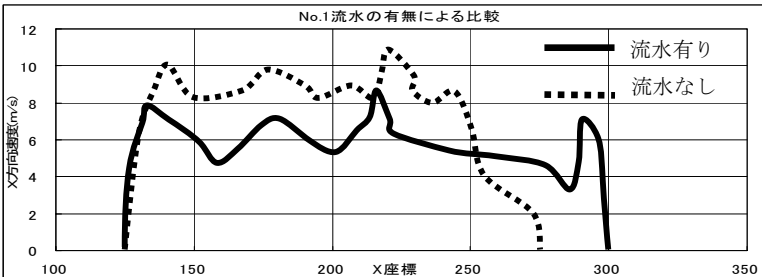
解析No.	ブロックNo.	No.9	No.8	No.7~4	No.3	No.2	No.1	備考
共通事項	地質名	落石	河岸斜面	沢	扇状地堆積	コンクリート	崖錐	
	岩相	硬岩	礫混じり砂	CL級岩盤	礫混じり砂	—	礫混じり砂	
			密実でない	CM級岩盤	密実なもの	—	密実なもの	
	N値	—	30	—	50	—	50	
	密度	2.66	1.9	2.66	2.1	2.3	2.1	
	ジョイントの摩擦角	40	35	35	30	40	30	
	ジョイントの粘着力	0	0	0	0	0	0	
	速度エネルギー比	0.81	0.49	0.64	0.49	0.81	0.49	
No1基本	変形係数(MN/m ²)	8,000	250	1,250	250	8,000	250	
	粘性係数	0.05	0.1	0.075	0.1	0.05	0.1	
パラスタ	No1-1	変形係数(MN/m ²)	8,000	21	500	35	8,000	35 N値換算
		粘性係数	0.05	0.1	0.075	0.1	0.05	0.1
	No1-2	変形係数(MN/m ²)	8,000	21	500	35	8,000	35 N値換算
		粘性係数	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1
	No1-3	変形係数(MN/m ²)	5,000	250	1,250	250	8,000	250
		粘性係数	0.05	0.1	0.075	0.1	0.05	0.1



図－4 流水がない場合の落石のX方向速度



図－5 流水の影響を受けた落石のX方向速度



図－6 X方向速度の比較