

Ⅲ-A412

岩盤斜面における落石シミュレーションの適用性に関する研究

応用地質株式会社 正会員 馬 貴臣
同上 正会員 進士 正人

1. はじめに

岩盤斜面における落石の挙動は、力学的にも未解明の部分が多く、その対策設計は現場技術者の経験や判断に負うところが大きい。現実の斜面においては、落石は3次元状態で落下し、その時の斜面の微妙な変化、地質、植生状態などが落石の落下速度に大きな影響を与えらる。これら因子の総合的な影響を考慮するには落石対策便覧では難しい場合が多い。そこで、本論文では、落石シミュレーションに不連続岩盤を対象とした変形解析の一種である2次元のDDAを用いて、3次元的に変化する落石の経路を落下速度を媒介にして等価な2次元断面に置き換えた解析方法を考案した。また、この手法を過去の落石事故例に適用し、DDAによる落石シミュレーションの妥当性を検討した。

2. 解析手法

2. 1 DDA解析における等価粘性係数の考え方

岩盤斜面上における落石の運動形態は自由落下、摩擦滑りおよび衝突の3種類に大別される。落石は自由落下により運動エネルギーを取得し、岩盤や植生と接触することにより、エネルギーをロスする。エネルギーロスは、斜面及び落石の形状、岩盤の風化、割れ目、土壌、崖錐の有無等、さらに、斜面上の植生状態により異なる。落石便覧では、等価摩擦係数によりすべてのエネルギーロスを表現しているが、DDA解析では、落石形状及び斜面形状、地山物性、植生状態、斜面状態などの速度への影響因子を等価な粘性係数で評価することが可能であると考えられる^[1]。

2. 2 落石の3次元な方向変化の2次元解析への変換方法

落石の落下経路は複雑に変化し、変化する毎にエネルギーロスが発生する。このような場合にDDA解析を適用するには、本来、3次元解析を実施する必要がある。しかし、3次元の解析を行うための解析の準備作業は膨大なものとなる。そこで、簡便に、2次元の不連続体解析により、落下方向が変化した部分に対し、方向変化による速度の低減効果を等価な粘性係数(以下、粘性係数)によって処理し、落下経路全体を1つの2次元断面として近似して解析する方法を考案した。

図1はその場合の概念図である。図に示すように、A点に存在する落石は地形の影響でABCの経路で落下する。この時、B点で落石はθ方向に方向転換する。状態を考えると、落石が斜面に衝突し、方向変換することにより、落下速度が低下する。ここでは、方向変化部の速度の低減を考慮したDDAを行うために、ABCの落下経路を解析断面とする等価2次元断面を設定した。

図1に示すように、 v を落下方向がB点で方向変化されなかった場合の落下速度、 θ をB点での変化角度とし、 v' 、 v'' を方向が変化した際の v の速度成分とすれば、斜面衝突による方向変換により落石の落下速度が速度 v から速度成分 v' まで低減したと考えられる。この時の速度成分 v' は式(1)で表せる。

$$v' = v \cdot \cos \theta \quad (1)$$

この速度の低下を2次元断面で考えると、見掛け上、局所的に粘性係数を増加したことに等価となる。図1に示したように、等価2次元断面ABCのAB'とB'Cの部分の粘性係数を μ_d 、B'BB''の部分の粘性係数を μ'_d

キーワード: DDA、等価粘性係数、等価摩擦係数

連絡先: 〒330-0034 埼玉県大宮市土呂町2-61-5、TEL:048-665-1811、FAX:048-667-9250

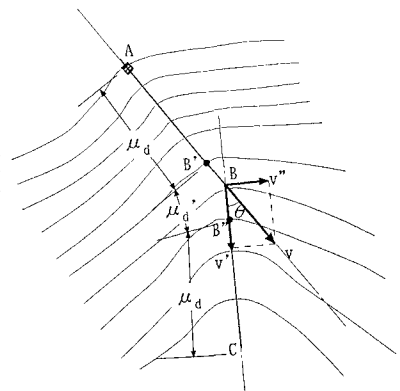


図1 等価2次元解析の概念図

とすると、 μ_d'/μ_d は方向変化部における粘性係数の増加係数と考えられる。変化角度が大きくなるほど、この増加係数は一般に大きくなると考えられる。

数値シミュレーションにより、方向変化角度と粘性係数の増加係数との関係を検討した。図2にその結果を示す。ここでは、実際の落石断面に、0.15、0.20と0.30の3種類の粘性係数 μ_d を考え、それぞれの粘性係数に対し、落石の方向変化部に幾つかの μ_d' を仮に決めて落石シミュレーションを実施する。この結果、落石の方向変化部での速度(v)を求められる。別途計算した $\mu_d'=\mu_d$ の時、すなわち速度変化しない場合の速度(式(1)の v)と、 μ_d' を仮定した結果得られた v とを式(1)に代入することにより、方向変化部の角度を逆算することができる。

図2に示したように、粘性係数 μ_d を一定とすれば、増加係数(μ_d'/μ_d)と方向変化角度とは近似的に以下に示す式(2)で表せる。

$$\frac{\mu_d'}{\mu_d} = A \cdot e^{\alpha\theta} \quad (2)$$

ここで、 A 、 α は係数である。数値シミュレーションの結果、粘性係数 μ_d が0.15、0.20、0.30に対し、係数 A はそれぞれ0.933、0.940、0.942、係数 α はそれぞれ0.0214、0.0158、0.0135であった。したがって、

この図2を用いれば、落石の落下経路における方向変換角度から、粘性係数 μ_d に対する増加係数(μ_d'/μ_d)が求められ、等価2次元断面による3次元の落石シミュレーションが可能となる。

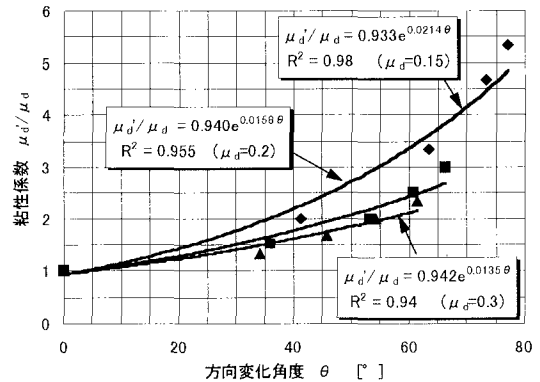


図2 方向変化部の等価粘性係数の増加係数と変化角度との関係

3. 岩盤斜面の安全性評価への適用検討

1996年3月2日に、高知県安芸郡北川村島において、県道東洋安田線で落石事故が発生した^[2]。DDA解析により、事故になる落石のシミュレーションを行い、事故原因になる落石の運動挙動を検討した。図3にDDAによる解析結果と調査結果を示した。図中、(a)が北川村島の落石事故調査結果、(b)がDDAにより解析結果の軌跡図、(c)がDDAによる落石速度と標高との関係である。

図から明らかなように、調査結果とDDAの軌跡図を比較すると、落石の(1)~(6)の跳躍位置はほぼ一致する。また、速度と標高との関係図には、ABCDEFの6つの点において速度が急激に低下したことを示す。これを軌跡図に対応してみると、これら速度の減少した点は落石が斜面に衝突した点か、運動方向が変化した所であることが判明した。これらの結果から、粘性係数を用いる落石シミュレーションによって、実際の落石の挙動をうまく表現できることが分かった。

参考文献

- [1] M.SHINJI, H.OHNO, Y.OTSUKA & G.-C.MA : Viscosity Coefficient of the Rockfall Simulation, Proc. of ICADD-2, Kyoto, 201-210(1997)
- [2] 右城 猛、玉井佐一、明坂宣行、山岡幸弘、八木則男：高知県における落石災害と落石の運動特性、土木学会論文集、No.581/VI-37,39-48,1997.12

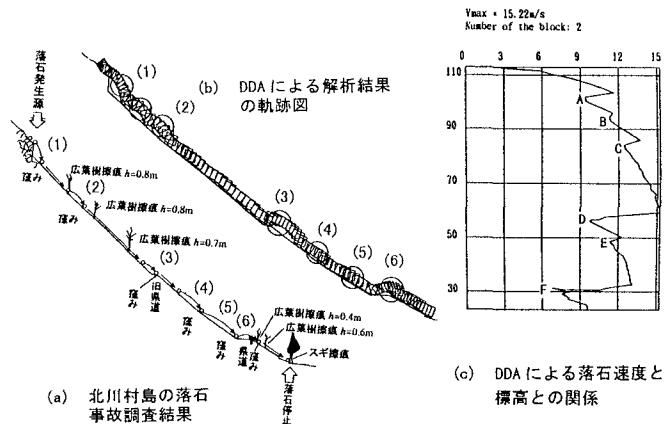


図4 DDAによる北川村島落石事故の解析結果