

個別要素法による落石挙動の研究

村本道路（株）
鳥取大学大学院
鳥取大学工学部
鳥取大学工学部

（株）
正員
正員
正員

○ 園山篤志
石原直樹
西村 強
藤村 尚

1. はじめに

個別要素法において矩形要素を用いる場合、要素に頂点があるために面が存在し、接触時、どの頂点がどの面に接触しているかなど、判定が著しく複雑なものとなる。またこの接触判定と用いる衝突モデルにより、接触の有無と接触時に発生する応力が異なる。

2. 接触判定と衝突モデル

接触判定は木山らの従来の方法を踏襲し、接触される要素の D_{lim} 範囲内に潜り込んだ相手要素の頂点について、接触していると判定された辺の数と接触した要素の重心位置から、接触が辺に対して起こったものか（以下、辺接触）、接触が頂点近傍同士で起こったものか（以下、頂点接触）を判定する手法を用いる。また、応力の算定には次の 2 つの衝突モデルから一方を選択して用いる。

I) 頂点接触 1

図-1 に示した辺 1 と辺 2 においてそれぞれ局座標系を導入し、潜り込み量、速度を求めた後、これらのそれぞれ 1/2 から 2 辺で共に応力を求め、その合力を接触による反力とする。

II) 頂点接触 2（円置換）

図-2 のように D_{lim} を表す直線他辺との交点から垂線を下ろし、その垂線同士の交点を中心に、先の D_{lim} と他辺との交点までを半径とする内接円を求め、頂点部分をこの内接円に置き換えて潜り込み量を求める。

ただし接触面は互いの中心を結んだ直線に垂直な平面とし、この平面に鉛直に接触したものとして、水平方向の潜り込み量は常に 0 とする。

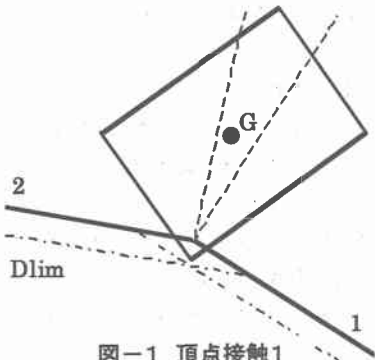


図-1 頂点接触 1

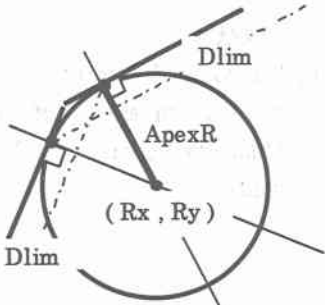


図-2 頂点接触 2(円置換)

3. 衝突モデルによる挙動の差異

上に示した衝突モデルにより、単一の岩が斜面を転落する様子を解析し、結果を図-3、図-4 に示す。また、この解析に用いた材料定数は表-1、表-2 である。

表-1 頂点接触 1 での材料定数

		対要素	対地
剛性定数	Kx	$1.96 \times 10^6 \text{ N/m}$	$1.96 \times 10^5 \text{ N/m}$
	Ky	$1.96 \times 10^6 \text{ N/m}$	$1.96 \times 10^5 \text{ N/m}$
粘性定数	ηy	$2\sqrt{mk} \text{ Nsec}^2/\text{m}$	
摩擦係数	μ	0.6	$\tan \phi$

この結果を見る限り、両者での挙動は接触する

タイミングの違いなどにより全く同一とはいえないが、特に大きな違いはないといえる。今回、発生する応力に関しては詳細なデータを取っていないが、挙動が似通ったものである以上、応力に対しても同じような傾向であると思われる。

表-2 頂点接触2での材料定数

		対要素	対地
剛性定数	Kx	$0.49 \times 10^6 \text{ N/m}$	$0.49 \times 10^5 \text{ N/m}$
	Ky	$1.96 \times 10^6 \text{ N/m}$	$1.96 \times 10^5 \text{ N/m}$
粘性定数	ηy	$2\sqrt{mk} \text{ Nsec}^2/\text{m}$	
摩擦係数	μ	0.6	$\tan \phi$

またこの例にはあまり関係ないものの、頂点接触2は要素の頂点を内接円に置換するため、頂点近傍の面積が頂点接触1よりも小さくなり、それだけ接触の可能性が低くなる。そのため、矩形要素を用いて解析した場合の、頂点近傍同士が密集した際に小さな接触が繰り返し発生し要素が発散してしまうという問題が、いくらか緩和されるようである。

中略 40
時間増分 1 msec
出力間隔 600 msec

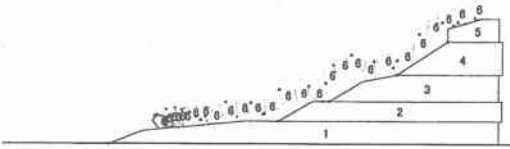


図-3 頂点接触1による解析例

中略 40
時間増分 1 msec
出力間隔 600 msec

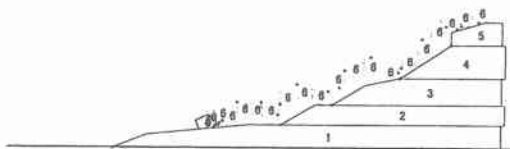


図-4 頂点接触2による解析例

なお、この頂点接触2の置換による頂点近傍の面積に与える影響については、 D_{lim} を単位長で割り無次元化した値が小さいほど影響は少なくなるが、どのような場合であっても、最低3割は面積が減少する。また内角が 60° 以上であれば、同じく無次元化した D_{lim} の値が 0.05 程度であっても、さほど面積が減少しないことがわかった。

5. Windows でのプログラム開発

プログラミングにおける DOS と Windows の違いは、開発効率の面で大きく現れる。
 今回開発したプログラムは修正を含めれば半年で書いたものであるが、基本となる部分は1、2ヶ月で書いたと記憶している。またこの半年間に書いた部分は実質の本体である解析部分だけでなく、データの入出力からグラフィックとプリンターの制御まで全てであり、加えて言語である VisualBasic 自体の習得期間も含まれている。DOS 上で同程度のプログラムを開発しようと思えば、各ドライバーやライブラリの有無からとても半年で書くことはできないし、おそらく動作するハードウェアも限定されるものと思われる。
 また Windows はグラフィックを多用する OS であるため、解析の様子を数値でなく、実際のイメージで逐次画面上に表示するようなことも容易であり、これは解析終了時の様子では特に不自然さが見られなくとも、その過程で何か不自然な挙動があるような場合、数値だけではなかなかその不自然さに気づかないことも考えられるが、運動する様子を実際に見れば発見しやすく、プログラムの完成度をより早く高めることができるのではないだろうか？