

個別要素法シミュレーションによる柔構造待受け工と待受け擁壁工の機能比較

八千代エンジニアリング株式会社
 東亜グラウト工業株式会社
 京都大学大学院 農学研究科

○武蔵由育
 木村佳嗣・梅沢広幸
 水山高久

1. はじめに

急傾斜地崩壊対策の待受け工として、柔構造柵を用いたインパクトバリア工法^{※1}が提案され、実物大崩壊実験^{※2}によりその性能を確認した上で実用化されている。この工法は、土工量が小さく斜面上や狭いスペースに適用できる特徴があり、従来の待受け擁壁工の設置スペースが確保できない場合や、擁壁の規模が大きくなる場合にインパクトバリア工法が有利な対策になると考えられる。

本研究は、インパクトバリアと待受け擁壁のそれぞれの得失を明確にし、状況に応じた工法選択に資するため、個別要素法を用いたシミュレーション^{※3}により機能比較を行うものである。

2. 2次元個別要素法における幅の考慮

本研究では2次元の個別要素法を用いるが、崩壊幅と施設幅が異なる状況の取り扱いを可能とするため、崩壊土砂、施設の各要素に幅Bを与え、2要素間の作用力算出の際は、2要素のうち小さい方の幅Bを接触幅とし、単位幅当たりの作用力にこれを乗じるものとした。また、運動方程式を解いて加速度を算出する際は、要素質量を各要素の幅Bを乗じた値として扱った。

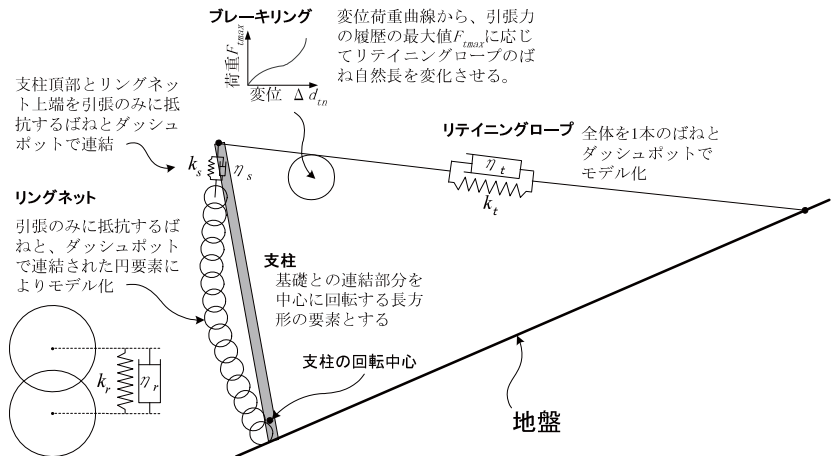


図-1 インパクトバリアの個別要素法モデル化概念図

3. インパクトバリアのモデル化

個別要素法によりインパクトバリアの挙動を取り扱うため、図-1 に示す概念でモデル化を行った。

リングネット、リテイニングロープ等のばねの条件は、2010年9月にスイス国フェルタイム実験場において実施された実物大実験の再現性が良好となるように表-1の通り設定した。

この実験では、斜面に勾配30度、幅8mの流路を設けて土砂を2回流下しており1回目は50m³を流下させたが斜面途中で堆積し10m³がインパクトバリアに捕捉された。2回目は50m³の流下土砂全てが捕捉された。

再現計算では斜面途中の堆積の再現が困難であるため1回目に10m³、2回目に50m³を流下させた。

図-2 に崩壊土砂とインパクトバリアの形状変化を示す。実験ではリングネットが1回目に約1m、2回目に約2m下流側に変形しており、図-2 では2回目の変形がやや大きいものの概ね一致した形状となった。

図-3 にリテイニングロープの引張力の変化を示す。解析結果では実験結果よりも土砂の速度が大きくなり、到達が早くなっている。衝突時の引張力のピーク値は概ね一致した。

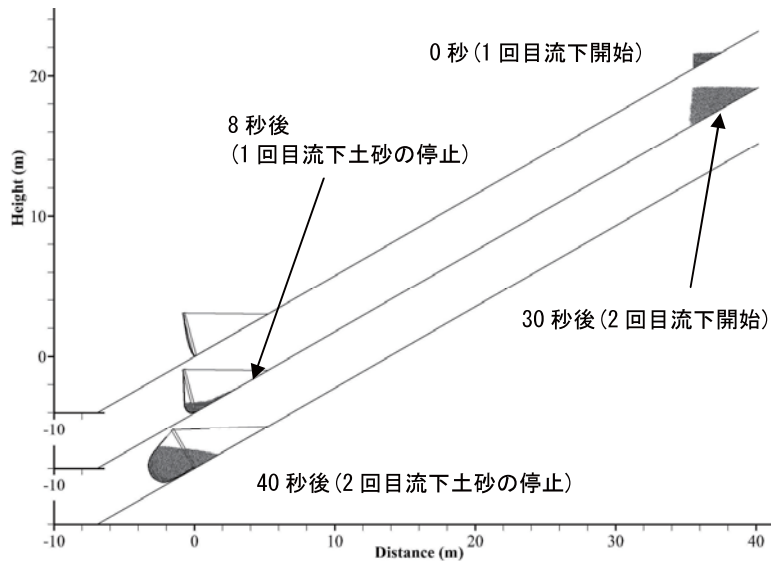


図-2 実物大実験の再現計算(崩壊土砂とインパクトバリアの形状変化)

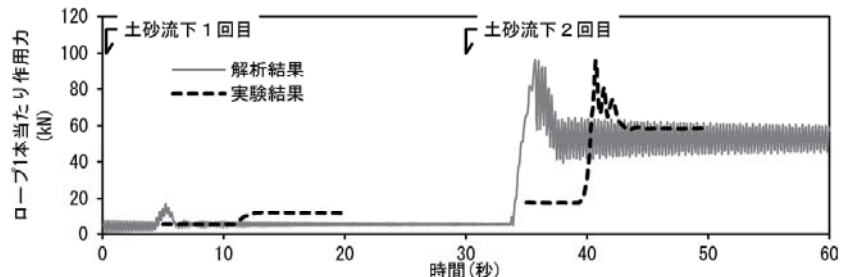


図-3 リテイニングロープの引張力の変化(ロープ1本当たり平均)

4. 擁壁被災事例を対象とした解析

ここでは、鹿児島県霧島市で発生した斜面崩壊による擁壁転倒事例を対象とした。この事例では高さ70m、勾配35°の斜面において崩壊高さ46m、幅30mの崩壊が発生し斜面下端の高さ4m、横断方向幅28mの重力式擁壁が滑動・転倒した。

再現計算条件を表-2に、再現計算結果を図-4(a)に示す。擁壁は約5m移動したと記録されており、再現計算結果は擁壁の移動距離がやや小さいが、滑動・転倒状況が再現されている。

この事例について擁壁幅を50mに拡張し、擁壁高を7.5mおよび8.0mとして解析した結果を図-4(b)～(c)に示す。

擁壁高を7.5mとした場合は捕捉できずに下流側へ流下する土砂があるが、8.0mとした場合には、ほぼ全量の土砂を捕捉する結果となった。

5. おわりに

本稿では柔構造待受け工であるインパクトバリアの挙動を個別要素法で扱うためのモデル化方法を示した。

また、擁壁被災事例を対象とした解析では、個別要素法による再現計算を行った上で、擁壁の規模を拡大した場合について解析を行い、待受け擁壁による対策では被災事例の施設規模の2倍程度の施設が必要と推定された。

近接した家屋等がある場合は、このような規模の大きい施設の設置が困難と考えられる。また、条件によっては現実的でない施設規模が必要とされる場合があり得る。

インパクトバリアでは斜面上における対策や、より小規模な施設での対策の可能性がある。これをシミュレーションによって示すには、解析結果をもとにしたインパクトバリアの安全性の評価方法が今後の課題である。

この点を検討した上で崩壊規模や地形条件に応じた待受け擁壁による対策と、インパクトバリアによる対策の比較を行い、待受け擁壁で対応が困難な条件におけるインパクトバリアの適用性の検討や、それぞれの適用条件の検討を行い、研究発表会において報告する予定である。

*1 NETIS 登録 HR-070033-A
 *2 千葉幹・坂口哲夫・下条和史・井村俊則(2011): 柔構造バリアネットの斜面崩壊に対する効果について, 砂防学科誌, Vol.64, No.1, p. 25-29
 *3 武蔵由育・山崎美穂・水山高久・小杉賢一朗(2011): 崩壊土砂の運動のシミュレーション手法に関する研究, 砂防学会誌, Vol.64, No.3, p.37-45

表-1 インパクトバリア実物大実験再現計算の解析条件

項目	単位	値	備考	
崩壊土砂	崩壊幅	[m]	8	
	要素半径	[mm]	25	
	要素密度	[t/m]	2.11	要素全重量と実験試料全重量を等しく設定
	要素個数	[個]	2,848	要素2個を結合した粒子を50%混合
	ばね係数	法線方向 [kN/m ³]	100000	
	接線方向 [kN/m ³]	35700		
反発係数		0.2		
摩擦角	[度]	35.0		
インパクトバリア	設置幅	[m]	15	
	柵高	[m]	3.5	
リングネット	要素半径	[mm]	50	
	要素密度	[t/m]	0.05632	リングネット全重量が等しくなるように設定
	ばね係数	[kN/m]	20	
	粘性係数	[kN/m]	0.49	
リテイニンググループ	ばね係数	[kN/m]	2500	
	粘性係数	[kN/m]	982.5	

表-2 擁壁被災事例を対象とした解析条件

項目	単位	値	備考	
崩壊土砂	崩壊幅	[m]	30	
	要素半径	[mm]	75	
	要素密度	[t/m]	2.65	
	要素個数	[個]	4,268	要素2個を結合した粒子を50%混合
	ばね係数	法線方向 [kN/m ³]	100000	
	接線方向 [kN/m ³]	35700		
反発係数		0.2		
摩擦角	[度]	35.0	地盤、擁壁の間にも適用	
待受け擁壁	擁壁高	[m]	4.0	図-4(b)～(c)では7.5m、8.0mに拡大
	擁壁幅	[m]	28	図-4(b)～(c)では50mに拡大
	ばね係数	法線方向 [kN/m ³]	100000	
	接線方向 [kN/m ³]	41700		
	反発係数		0.2	
	密度	[t/m]	2.3	普通コンクリートの密度

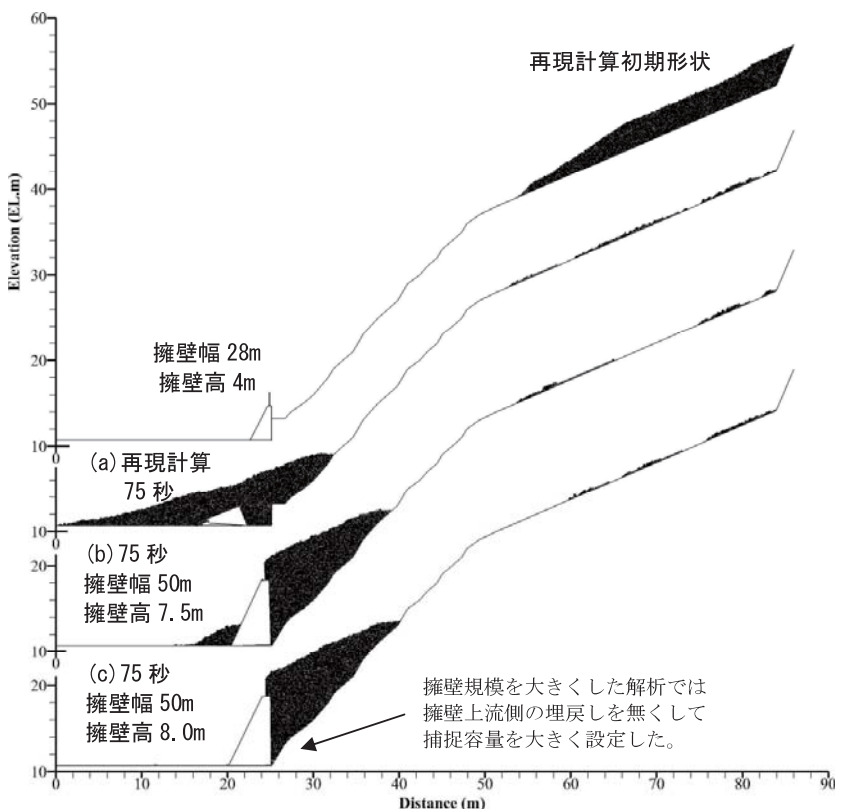


図-4 擁壁被災事例を対象とした解析結果