

055 崩土の衝突に対する緩衝材による流速低減効果に関する模型実験

国土交通省 砂防計画課

近藤 浩一

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○白川 健二、寺田 秀樹、岩男 忠明

八千代エンジニアリング株式会社

松田 義則、大久保 昇、吉川 修一

1. はじめに

急傾斜地崩壊防止工事による対策のうち、採用頻度の高い待受け式擁壁等、構造物の設計において、崩土の衝突荷重を考慮した場合、構造物安定性の確保などについての検討が必要であり、その対策手法などが検討課題として挙げられる。その対応策として、擁壁に作用する崩土の衝突荷重自体を低減させる方法が考えられる。

本実験では、擁壁背面への緩衝材設置による流速低減効果の評価を目的とした室内模型実験を行い、崩土がもつ運動エネルギーと緩衝材の吸収エネルギーの関係から実規模の崩土を想定した場合の効果評価手法を検討した。その結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置・計測機器 (図-1)

実験装置の上端に設けられた土砂供給装置から試料砂又は砂を詰めた土のう袋を水路斜面部に流下させる。試料は川砂(最大粒径4.75mm、50%粒径0.66mm)で実験棟内の自然湿潤状態で用いた。衝突荷重計測装置は衝突面である鋼製の荷重受架台とコンクリートブロックの間にロードセル(20KN/台)が下よりに2個、上よりに1個取り付けられ、崩土及び緩衝材による衝突荷重を計測する。また、衝突前後の崩土流速及び緩衝材移動速度を計測するため、高速ビデオカメラ(400・500コマ/秒)での撮影を行うとともに、衝突前の崩土流下状態及び崩土の堆積状況、緩衝材の変形状況を確認するため、デジタルビデオカメラでの撮影を行った。

2.2 用いた緩衝材と実験ケース

緩衝材は、間伐材利用を想定したフレーム部と横材からなる間伐材模型を用いた(図-2)。実験では横材のたわみ及び破壊による緩衝効果に着目するため、フレーム部下端を底面に固定した。間伐材横材について試料砂を流下させた場合は桧材(厚さ5mm×幅30mm×長さ840mm)に幅方向へ15mmの切込を入れたものを、土のう袋を流下させた場合は、ラミン材φ8mmを用いた。表-1に横材の部材特性を示す。表-2に実験ケースを示す。

3. 実験結果

3.1 崩土流速及び衝突荷重の算定

高速ビデオカメラの映像から衝突前の崩土流速(勾配変化部より40~50cm下流側区間)の読取りを行った結果、崩土量0.75m³・斜面勾配45°の条件では4.0~5.2m/secの値を示した。また、土のう袋流下時では崩土量40kg~80kg・斜面勾配45°の条件で、3.2~4.9m/secであった。間伐緩衝材の設置の有無による崩土先頭部の流速比(図-3)を比較すると試料砂で0.4~0.6、土のう袋で0.4~0.9の範囲となった。

崩土の衝突荷重算定式を用いて、緩衝材が無い場合における衝突荷重の計算値とロードセルで得た実測値(衝撃的荷重)の関係を図-4に示す。試料砂は実測値が計算値を下回り、土のう袋では逆に実測値が上回る結果となった。

3.2 崩土の流下・堆積過程と衝突荷重

高速ビデオカメラ及びデジタルビデオの映像から崩土の流下・堆積状況を確認した(緩衝材無)。得られたロードセル波形と崩土流下形状の時刻歴(図-5)を照査した結果、

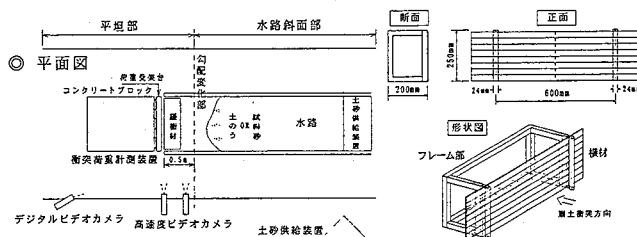


図-1 実験装置及び計測機器配置

図-2 間伐材模型

表-1 模型横材の部材特性

桧材		ラミン材	
ヤング係数	:60×10 ⁹ N/cm ²	ヤング係数	:180×10 ⁹ N/cm ²
曲げ強度	:353N/mm ²	曲げ強度	:192N/mm ²
最大荷重変位(経路)	:114mm	最大荷重変位(経路)	:82mm
径大径率	:34%	径大径率	:66%
断面係数	:63mm ³	断面係数	:50mm ³
(単位長さ)バネ定数	:827N/m	(単位長さ)バネ定数	:827N/m
静的吸収エネルギー	:5.4N/m	静的吸収エネルギー	:5.4N/m

崩土量 (m ³)	斜面勾配 (°)	緩衝材		回数 (回)	崩土量 (kg)	斜面勾配 (°)	緩衝材		回数 (回)
		有	無				有	無	
1.00	40-45	有	無	各1	40	45	有	無	各2
		間伐材	桧材	各4			間伐材	ラミン材	各2
	45	有	無	各2	60	45	有	無	各2
		間伐材	桧材	各1			間伐材	ラミン材	各2
0.75	40	有	無	各3	40	45	有	無	各2
		間伐材	桧材	各2			間伐材	ラミン材	各2
	45	有	無	各4	80	45	有	無	各2
		間伐材	桧材	各4			間伐材	ラミン材	各2
40-45	有	無	各1	45	45	有	無	各2	
	間伐材	桧材	各2			間伐材	ラミン材	各2	

※流下幅はすべて0.84m

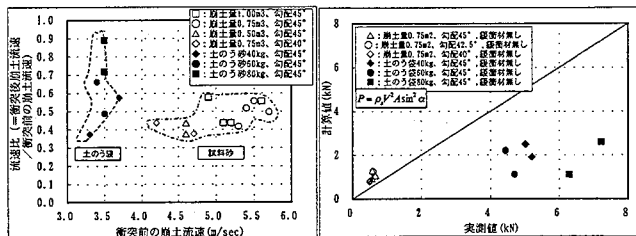


図-3 間伐緩衝材設置の有無による崩土先頭部の流速比

図-4 崩土の衝突荷重算定式による実測値と計算値

①衝突開始②先頭部衝突(第1ピーク)③後続衝突(第2ピーク)④減衰⑤停滞⑥堆積 1⑦堆積 2⑧静止(収束)となる一連の流れに区分できる。

衝撃的荷重は第2ピーク後に減衰し、停滞~堆積1に至るとき荷重は急激に増加すると同時に崩土がポケット容量を満たし越流する。ポケットが満砂した⑥以降は、堆積量は大きく増加するが、作用する荷重は小さい。

3.3 崩土の有効質量

実験における崩土の有効質量は、衝突面に動的荷重が作用したと考えられる時点での流下堆積形状から求める方法と崩土通過量から求める方法で想定した。前者は、崩土断面積に有効幅(スパン長0.6m)と崩土の単位体積質量を掛け、後者は衝突前の崩土流速と作用時間及び有効幅(スパン長0.6m)と崩土の単位体積質量を掛けて求めた。(ρ_s=1.4t/m³想定)

緩衝材無しの場合(勾配変化部から50cmの範囲)、3.2で挙げた④停滞部における流下・堆積形状から34kg、④までの崩土通過量から30kgを得た。

間伐緩衝材を勾配変化部から25cmの位置に設置した場合は、崩土の衝突により間伐横材が折れた時点の流下・堆積形状から13kg、折れるまでの崩土通過量から

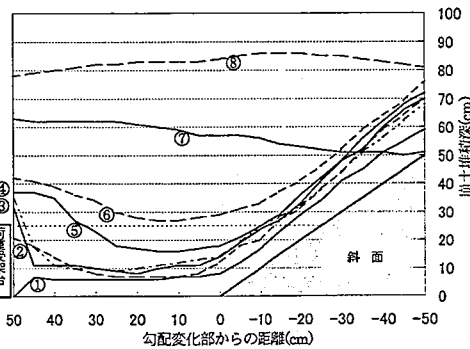
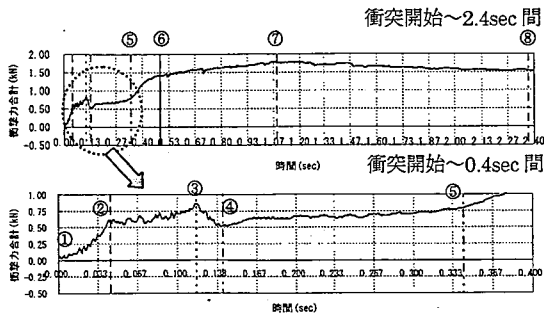


図-5 崩土の流下・堆積過程と衝突荷重

15kgを得た。

緩衝材無しの場合でポケット容量が満砂状態(⑤~⑥区間)となった時点の流下形状から131kg、崩土通過量から100kgを得た。流下・堆積形状から想定した有効質量と崩土通過量の値は概ね一致する。

3.4 力学的エネルギー保存則による

衝突前の崩土流速と流速比の算定

力学的エネルギーの保存則に基づき、崩土の衝突前後における運動エネルギーの差が緩衝材の吸収エネルギーと等しい(式-1)として間伐材による崩土衝突前後の流速比(式-2)を算出する。間伐材の最大荷重Pを、単純梁の曲げ理論に基づく降伏荷重とする(式-3、式-4)。ここで、理論式は材1本あたりの最大荷重であることから、緩衝材全体の吸収エネルギーを評価する場合、木材本数を乗じたものとする。式-3、式-4を式-1に代入すると、間伐材による崩土衝突前後の流速比が式-5、式-6として求められる。ここで、衝突前後の有効質量は同一とする($m_0=m_1$)。

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 - \frac{1}{2} m_0 v_0^2 = \frac{1}{2} P \delta k \quad \text{式-1}$$

$$\alpha = \frac{v_1}{v_0} \quad \text{式-2}$$

$$P = 3.14 \frac{\sigma}{8L} r^3 \times n \text{ (丸材の場合)} \quad \text{式-3}$$

$$P = \frac{4}{L} \times \sigma \times \frac{bh^2}{6} \times n \text{ (角材の場合)} \quad \text{式-4}$$

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{\pi \sigma r^3 \delta nk}{8Lm_0 v_0^2}} \text{ (丸材の場合)} \quad \text{式-5}$$

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{4\sigma bh^2 \delta nk}{6Lm_0 v_0^2}} \text{ (角材の場合)} \quad \text{式-6}$$

σ : 間伐材の曲げ強度, r : 木材径
 n : 横材設置本数, L : スパン長
 k : 静的に対する動的吸収エネルギー比
 δ : 最大たわみ量, P : 間伐材の降伏荷重
 α : 間伐材による崩土衝突前後の流速比

実験スケール(図-6)では、理論値と実験値が同程度となるには試料砂ではk値を4~6程度、土のう袋では2~3.5程度とする必要がある。

実験値は衝突前の崩土流速が大きくなるほど α の値は

大きくなる傾向を示し、理論式から求めた傾向と一致する。質量の多少で見ると試料砂の場合はあまり変わらないが、土のう袋の場合は質量の増加とともに α の値が大きくなる。これは流体的な試料砂の場合は、崩土量全体が増えても作用する質量は変わらないことを意味すると思われる。

実スケールを想定し、衝突前の崩土流速を8~13m/secとした場合、図-7のように示される。作用する崩土量500kgとは、3.3に示した間伐材緩衝材を設置した場合の有効質量13~15kgに相似比3.33の3乗を掛けた値である(相似比=間伐材スパン長の実験スケールに対する実スケールの比=200cm/60cm)。また、緩衝材を有効高1mとして45°の斜面から50cm離して設置した時のポケット容量から求めると3000kgとなる。ただし、式-5、-6から材の長さ・径等には適用範囲がある。

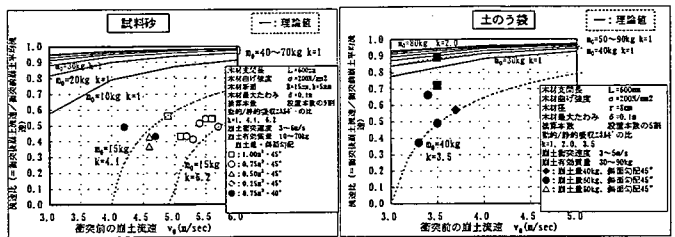


図-6 実験スケールにおける衝突前の崩土流速と間伐材による崩土先頭部の流速比

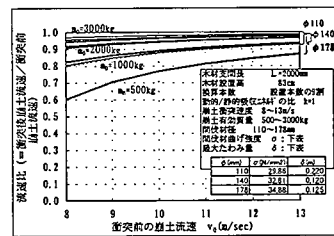


図-7 実スケールを想定した間伐材による崩土先頭部の流速比

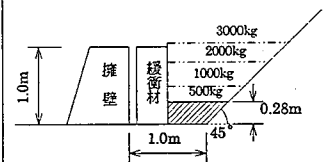


図-8 崩土の有効質量が作用した場合の擦壁幅2m当りの崩土量イメージ

4. おわりに

(1)力学的エネルギー保存則による動的・静的吸収エネルギーの比は実験において試料砂流下では $k=4\sim6$ 程度、土のう砂流下では $k=2\sim3.5$ 程度となった。しかし、水山ら(1989)の実験結果¹⁾では、動的吸収エネルギーと静的吸収エネルギーは同程度($k=1$)としている。本実験におけるk値には、衝突後の崩土の変形エネルギーや先頭部衝突時の跳ね上がり時の運動エネルギーが含まれていること、静的吸収エネルギーは木材の終局変位ではなく最大荷重変位を採用したことが要因として考えられる。

(2)実スケールの崩土の有効質量推定と間伐材の設置本数については、実験で作用していると思われる質量及び設置本数を相似させた値を用いた。実スケールで作用する有効質量として扱う場合は、ポケット容量が満砂状態になった時の質量を設計に反映させることが現段階において妥当であると思われる。今後、衝撃的荷重と堆積荷重の分析を行い、有効質量の妥当性を高めることが必要と思われる。

(3)実スケールでの間伐材利用にあたって、樹種や保存状態等による木材強度のバラツキ・品質低下が考えられるため、耐用年数を考慮した設計が必要と思われる。

引用文献

- 1)水山高久・栗原淳一・鈴木浩之(1989):「立木の衝撃緩衝効果に関する試験 報告書(II)」土木研究所資料 第2737号 1989年2月, p.1-18