

水平慣性力を受ける模型盛土の補強材敷設条件の違いによる補強効果

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 小林 敬尚

1. はじめに

近年多くの地震が発生しており、社会に大きな影響を与えている。平成28年に発生した熊本地震では震度7の地震が2回も発生し、大分県の高速度道路の切土で法面崩壊が生じた。この災害は、地震発生まで降雨がほとんどなかったことから地震が直接的な要因で崩壊したと考えられている。このような斜面災害の被害を抑制するために、切土や盛土の補強は重要である。この補強工法の1つとして簡易的な構造で補強ができ、施工性や経済性に優れている地山安定化工法¹⁾がある。しかし、地山安定化工法の補強材長さや配置など経験的手法となっており詳細については不明な点が多い。そこで、本研究では盛土の補強効果の把握を目的として地山安定化工法を模擬した実験を行った。具体的には、加速度計を設置して模型盛土の監視を行い、加速度計の挙動、補強材敷設条件(垂直と水平の挿入方向の違い、補強材の長さ、補強材の間隔、補強材の段数)の違いによる比較を行い、補強効果について分析した。

2. 装置概要

図1に実験装置の概要を示す。この装置は震度法による斜面安定解析と同様の応力状態を再現することを模擬した。模型土槽の下には車輪を取り付けており、傾斜のあるガイドレール上を滑らせて模型土槽が壁に衝突することで、模型地盤に進行方向の慣性力が作用する仕組みとなっている。なお、衝突時のハネ返りを和らげるため壁には緩衝材を取り付けている。ガイドレールの傾斜角度は $\theta=7^\circ$ であり、模型土槽はガイドレールの傾斜角度と同一の傾斜角度を有しているため、模型盛土に対して水平方向に慣性力が作用させることができる。実験に使用した土槽は、幅70cm、高さ38cm、奥行き15cmである。

3. 実験条件

表1に実験条件を示す。用いた試料は三河硅砂V6号($\rho_{dmin}=1.30g/cm^3, \rho_{dmax}=1.60g/cm^3, D_{50}=0.295mm, G_s=2.655$)であり、飽和度30%と50%に相当する含水比9.2%、15.4%に調節した湿潤土で、相対密度56%となるように突固めて斜面を作製した。作製した盛土は、法面勾配 30° の場合、幅70cm、高さ30cm、天端幅25cm、奥行き15cmであり、法面勾配 45° の場合、幅70cm、高さ30cm、天端幅40cm、奥行き15cmである。この実験は実際の1/50サイズを想定しており、補強材はD25の異形棒鋼に相当する太さとなる

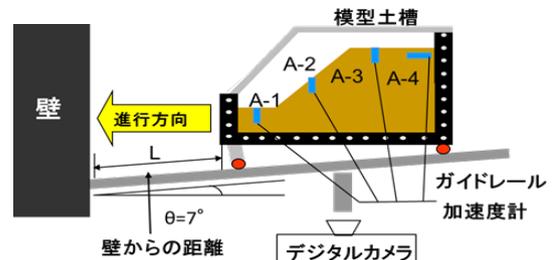


図1 水平慣性力荷重装置

表1 実験条件

実験名	相対密度	飽和度	法面勾配	補強条件	段数	補強間隔	L
CASE1	56%	30%	45°	補強なし	-	-	42cm
CASE2				6cm垂直補強	10	2.8cm	
CASE3				6cm水平補強			-
CASE4				補強なし	-	-	37cm
CASE5				6cm垂直補強	10	2.8cm	
CASE6				8cm垂直補強			
CASE7				12cm垂直補強	-	-	
CASE8	56%	50%	30°	補強なし	-	-	42cm
CASE9				6cm垂直補強	10	2.8cm	
CASE10				6cm水平補強			-
CASE11				9cm垂直補強	6	4.2cm	
CASE12				9cm水平補強			-
CASE13				9cm垂直補強	8	4.2cm	
CASE14				6cm垂直補強			-

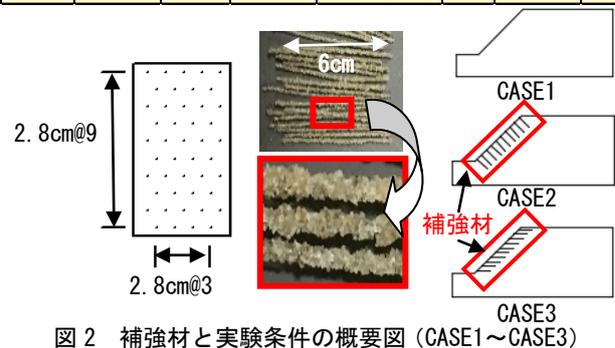


図2 補強材と実験条件の概要図(CASE1~CASE3)

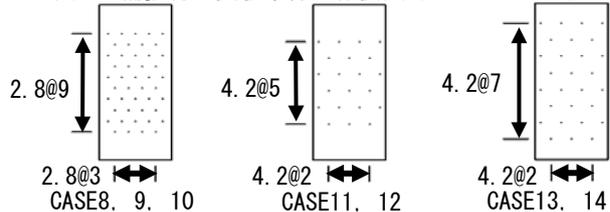


図3 補強材の配置図

よう $\phi=0.45mm$ のステンレス製の針金を用いた。なお、地山安定化工法を模擬するため、針金の表面には接着剤で三河硅砂V6号を貼り付け摩擦抵抗を大きくし、実験上簡易的となるように、法面に対して垂直方向と水平方向に補強材を挿入した。また地山補強土工法は、経験から $2m^2$ に1本程度挿入しなければ効果は期待できないということが認識されているため、 $2m^2$ に相当する間隔2.8cmを基本として実験を行った。ここで、実験の説明として用いた補強材とCASE1~CASE3の実験概要図を図2に示す。他の実験

のCASE4~CASE7はCASE1~CASE3と同じ配置で補強材を挿入し、補強材の長さを変更させた実験である。

CASE8~CASE14では補強材の間隔、段数を変化させ、実験を行った。図3に補強材の配置図を示す。盛土の状況監視のため、加速度計A-1(法先地盤水平方向)、A-2(法面中央水平方向)、A-3(天端水平方向)、A-4(天端鉛直方向)を図1の位置に設置した。加速度は模型土槽が移動する前から静止するまで全ての衝突について測定した。

4. 加速度計の挙動

図4、5にCASE1~CASE7の加速度計A-2の最大加速度と衝突回数との関係を示す。写真1のようにすべり面が目視できた時を崩壊開始とし破線で示している。図より、崩壊開始から最大加速度が減少する結果となった。この挙動は、すべり面が発生することで土粒子のかみ合わせが緩くなり慣性力が伝播されにくくなることで、測定される加速度の波長が長くなり最大加速度が小さくなると推察する。補強材挿入方向については水平方向よりも垂直方向の方が多くの衝突回数に耐えることができ、補強材の長さを長くすることで補強効果が飛躍的に高まる結果となった。写真2にはCASE4とCASE7の崩壊開始時の盛土の様子を示す。長い補強材の方が補強効果が高く、すべり面が後退するため多くの衝突回数に耐えることができると推察する。図6にCASE8~CASE14の加速度計A-2の最大加速度と衝突回数との関係を示す。法面勾配30°の場合も法面勾配45°の場合と同様に垂直方向に挿入した方が多くの衝突回数に耐える結果となった。しかし、CASE13よりもCASE14の方がより多くの衝突回数に耐えていることから、同じ間隔でもただ補強材を長くするだけでは補強効果が現れない結果となった。さらに、CASE13よりもCASE11の方が多くの衝突回数に耐えることができ、間隔を広げると段数を増やしても補強効果が現れない結果となった。これは法面に対して補強材の本数が少ないため、補強材によって補強効果が高まることよりも補強材を挿入した際に盛土を乱してしまうことによる影響の方が大きいためであると推察する。以上より、挿入方向は水平方向よりも垂直方向が良いことが明らかとなり、補強材の長さよりも補強材の間隔の方が補強効果に重要な影響を与える要素であると示唆された。

5. 補強材敷設条件の違いによる比較

前節の加速度計の挙動から、補強材の長さよりも補強材の間隔の方が補強効果に重要な影響を与える要素であると示唆された。法面勾配30°の補強材の間隔と崩壊開始時の衝突回数との関係を図7に示す。なお、CASE8(補強なし)の崩壊開始時の衝突回数を一点破線で示している。図より、補強材間隔が4.2cmの場合、補強材の長さや段数、本数に

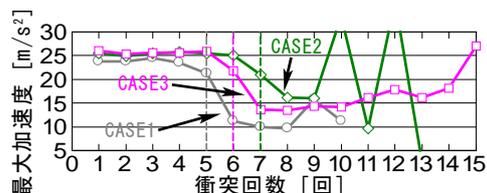


図4 最大加速度(A-2)と衝突回数の関係

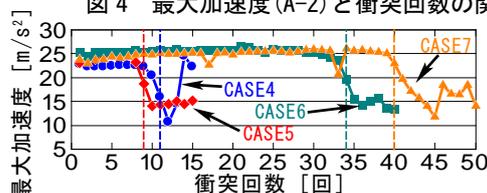


図5 最大加速度(A-2)と衝突回数の関係



写真1 CASE1(補強なし)のすべり面発生時の様子



写真2 崩壊開始時の盛土

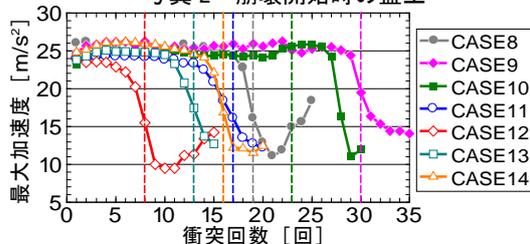


図6 最大加速度(A-2)と衝突回数の関係

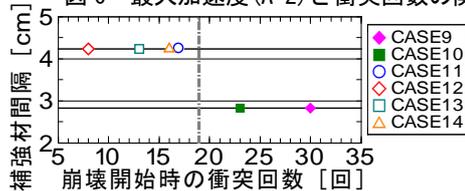


図7 法面勾配30°の最大加速度と崩壊開始時の衝突回数

関係なく補強なしの場合よりも弱くなる結果となった。また、補強材間隔が2.8cmの場合、補強なしよりも強くなった。そのため、実スケールの2m²に1本という補強材間隔は補強効果があることが明らかとなった。

6. まとめ

地山安定化工法を模擬した模型盛土の補強効果の分析を行った。その結果、補強材の挿入方向は水平方向よりも垂直方向が良いことが明らかとなり、補強材長を長くすることで補強効果が飛躍的に高まる結果となった。しかし補強材間隔を広げた場合、補強材長さを長くしても補強効果が現れなかったことから、補強材の長さよりも間隔の方が補強効果に重要な影響を与える要素であることが示唆された。また、実験結果から経験的な2m²に1本という補強材間隔は補強効果があることが明らかとなった。

【参考文献】 1) 公益社団法人地盤工学会, 地山補強土工法設計・施工マニュアル, 2011, p1-17