土木学会第60回年次学術講演会(平成17年9月) 地山補強土(ネイリング)を使用した土留め工の遠心模型実験

1.はじめに

従来、地山補強土工法(特に、ネイリング)は地山を急勾配で 切土する場合の安定対策工として用いられてきたが、土留め工な どの鉛直掘削に適用されることが少なかった。そこで、ネイリン グの土留め工への適用を確認するため、ネイリングを用いた土留 め工での遠心載荷模型実験を行った。本報告はその実験結果と得 られた知見について述べる。

2.実験概要

実験ケースを表-1に示す。実験は無体策(Case1)縦方向の 補強材を配置しない場合(Case2、Case3) 縦方向の補強材を配 置した場合(Case4、Case5)の5ケースについて実施した。図-1、 2に実験概要および補強材の配置パターンを示す。Case2とCase4 は施工時を模擬したものであり、Case3 とCase5 の最下段の水平 補強材がないケースとなっている。模型寸法は実物での掘削高さ 9.85mを想定し,相似率1:25の寸法とした。また、模型斜面の奥 行きは 40cmである。土槽側面にはシリコングリースとテフロンシ ートで潤滑層を作成し、側面摩擦を低減している。地盤材料は山 砂を使用し、その物性は室内試験より土粒子密度 2.663g/cm³, 含 水比 12.6%, 内部摩擦角 35.6°, 粘着力 6.0kN/m2である。補強材 の模型には砂を付着させた 2mmのアルミ棒を用いた。また、土留 め縦材には 5mmアルミパイプを用い、その周囲にグラウトを注入 したもの(出来上がり径 10mm)である。模型地盤の作成方法は, 含水比調整した材料を1層の締め固め後の層厚が48mmとなるよう に投入して所定の密度になるよう締め固め,補強材の設置を行っ た。土留め部にはあらかじめ型枠を設置し、締固めを繰り返して 模型上面まで盛り立て、その後、後背部を斜面角度 30°に掘削整 形し、型枠を取り外す手順で作成した。計測は、変位計測として 土留め部付近の天端の沈下および、土留め部の天端付近および中 腹の水平変位である。また、補強材については上下2枚×3箇所 にひずみゲージを設置した補強材を3段設置し、軸ひずみを計測 している。また、縦材には掘削面に対して前後×5 箇所のひずみ ゲージを1本設置し、曲げひずみを計測している。実験では遠心 加速度を崩壊するまで徐々に上げている。

3.実験結果 (case5)

1) 変位履歴

図-3 に Case5 の変位履歴を示す。水平変位に関しては、20G 付近から、中腹の水平変位は天端水平変位よりも大きく増加し、 55G 付近では天端変位の 1.5 倍程となっており、土留め壁の変形 は中はらみモードとなっている。60G 付近からは逆に天端の変位 増分が中腹のそれに比べて大きくなり、それらの変位の差は徐々 に縮小し、変位速度が加速しながら、崩壊に至っている。沈下に ついては、履歴には遠心載荷による地山の圧縮沈下も含まれてい るが、変位と同様の動きをしており、60G ぐらいから変位速度が 急激に増している。これらのことから、ネイリングを用いた鉛直 掘削では変形当初は中はらみの変形モードを示すものの、崩壊が 近づくにしたがって転倒モードの変形に移行する可能性が高いと いえる。

表-1 実験ケース

実験ケース	ケース内容
Case 1	無対策
Case 2	地山補強土(施工時)
Case 3	地山補強土(完成時)
Case 4	地山補強土を用いた土留め工(施工時)
Case 5	地山補強土を用いた土留め工(完成時)





図-1 Case5 模型断面図



図-2 Case2~4 土留め部模型断面図



2)補強材軸ひずみ

図-4 に最下段の補強材のひずみ履歴を示す。補強材のひずみは遠 心加速度の増加にともなって、徐々に大きくなり、40G くらいまで は、土留側と中央の軸ひずみは同等で、地山側のひずみはその半分 弱となっている。40G を超えると、土留め側にひずみが卓越し始め、 59G を超えるとすべての軸ひずみが減少し始める。この軸ひずみの 減少は補強材の周面摩擦抵抗がピークを越え、補強材と地山との間 にすべりが生じ、補強材の引き抜け現象が生じたためと推察される。 3)縦材曲げひずみ

図-5 に縦材のひずみ履歴を示す。縦材の曲げひずみは法面側が+ (プラス)である。15G 付近から最下段の法尻部の縦材に曲げひず みが発生し始める。曲げひずみが(-)であることから縦材には根 元から掘削側に倒れ込む力が作用しており、縦材はそれに抵抗して いると思われる。また、30G ぐらいから下段の縦材に曲げひずみが 発生し始める。曲げひずみが(+)であることから、中はらみの変 形モードに対応するものとなっており、縦材が地山から押し出す力 を抑えていることがものと推察される。その後、徐々に縦材の最下 段と下段のひずみはいずれも増加し、60G で最下段のひずみが減少 し、下段のひずみはいずれも増加し、60G で最下段のひずみが減少 し、下段のひずみ速度は増加している。これらの変化は補強材のひ ずみ低下後に伴って生じており、補強材が抜け出すことにより、縦 材の変状が生じ始めたことによる挙動ではないかと思われる。 4)ひずみ分布

Case5の補強材、縦材のひずみ分布図を図-6に示す。中段の補強 材は地山側のひずみが、下段の補強材は法面側のひずみが卓越して おり、この付近を通る滑り面が形成されていたことが覗える。遠心 加速度が上昇することにより、各補強材のひずみと縦材の下段と最 下段のひずみが上昇し、複合的に地山の変形に抑止していることが 推察される。

4. 実験結果 (Case2~Case5)

各ケースの中腹変位履歴を図-7 に示す。各ケースの崩壊時の遠心 加速度は Case1 = 14G、Case2 = 35G、Case3 = 63G、Case4 = 57G、 Case5 = 67G であった。通常、地山補強土工の設計において必要補 強材長は施工時(Fs = 1.05)で決定されることが多いが、今回の遠 心実験においても施工時の不安定さが如実に表れる結果となった。 Case1 は 10G 付近、Case2 は 25G 付近、Case4 は 30G 付近から変 位が卓越し始めている。また、Case3、Case5 の完成時の中腹水平 変位と遠心加速度の関係にはそれほどの差は見受けられない。これ らのことから、縦材の効果は施工時の不安定な状態において発揮さ れるものと推察される。言い換えれば、縦材があることにより、地

山補強材土工の施工時の不安定性さを減少 させ、より急勾配の切土を可能にするもの と考えられる。

5.まとめ

地山補強土(ネイリング)を使用した土 留め工の崩壊に至るまでの各部材の変状の 様子を遠心模型載荷実験によっておおまか に捕らえることが出来た。また、このよう な土留め工においては縦材と補強材の挙動 は密接関わっており、これらが複合的に地 山の変形に対して抑止することが期待でき るものと推察される。



図-4 Case5 最下段の補強材ひずみ履歴



図-5 Case5 縦材ひずみ履歴



図-7 各ケースの中腹変位履歴



図-6 Case5 下段の補強材軸ひずみ履歴(1 目盛 10 µ strain)