

令和元年6月19日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06495

研究課題名(和文)ふとんかご工の排水効果を考慮した盛土斜面の合理的設計法の構築

研究課題名(英文) Design method considering drainage for Embankment slope reinforced by gabions

研究代表者

仙頭 紀明 (Sento, Noriaki)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：40333835

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：鋼製の箱状の金網に石を詰めた構造のふとんかごは、盛土端部の斜面を補強するとともに、盛土内の水位を下げる効果が経験的に知られている。本研究は、ふとんかご工の合理的な設計方法確立するために必要な基礎実験データを得るために、対策および無対策盛土の屋外実験を実施した。1年間の降雨および湛水による影響について現場計測を行って、ふとんかごによる排水効果は、無対策盛土において崩壊が生じた斜面下部付近で発揮されることがわかった。また対策盛土には変状はみられず、斜面の補強効果を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

斜面对策技術として古くから広く普及しているふとんかごについて、これまで実務者が暗黙知として認識していた対策効果を、実験結果に基づいてそのメカニズムを明らかにすることで形式知としたことに意義がある。具体的には、盛土崩壊の起点となる斜面下部において、排水と補強を両立できる合理的な対策方法であることが確認できた。さらに、今回の実験結果について数値解析によるケーススタディを重ねることで、対策効果を踏まえた合理的な設計方法の確立に寄与するものと期待される。

研究成果の概要(英文)： Gabion, which is a wire mesh box filled with stones, is well known for practical engineers as the countermeasure for slope reinforcement of embankment. In this study, field tests for embankment with and without gabions were carried out to obtain basic data for rational design of countermeasures using gabions. Field measurement was conducted for 1 year to evaluate the effect of seepage due to rainfall. In the following test, reservoirs were constructed at the top of embankments to supply more water in the ground and lead to slope failure. Water contents in the embankment are measured and damages of slopes are observed in these tests. Water content at the vicinity of lower gabion becomes smaller than that at the vicinity of foot of slope without gabions due to drainage. Failure occurred at the foot of slope in the embankment without gabions. On the other hand, no failure occurred in the embankment with gabions, it is found that reinforce effect of gabions for slopes.

研究分野：工学

キーワード：ふとんかご 地盤 盛土 斜面 排水 補強

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、経験したことがないような豪雨により盛土等の土構造物が不安定化し、崩壊に至る被害が多数発生している。東日本大震災では盛土やそれを支える擁壁が崩壊して道路や宅地などに甚大な被害をもたらした。被災した盛土の多くは、沢や谷の集水地形であった場所に造成されており、地下水位が豊富で盛土内の水位が高かった場所であった。その中で、ふとんかごを積み重ねて擁壁とした盛土は無被害であったことが報告されている。ふとんかごは鋼製の箱状の金網に石を詰めた構造であり、盛土端部の斜面を補強するとともに、面的に地盤内の地下水を排水して、盛土内の地下水位を下げるができる。実務者の間では、対策効果が高いことは経験上知られており、国内外で施工実績が多数あるものの、排水の効果を見込んだ設計は行われていない。

(2) 一方、ふとんかごで対策した谷埋め盛土内の地下水位計測が行われている。現場では、降雨に加え、地山からの湧水の影響が大きい、湧水の場所と湧水量を把握することができない。したがって、対策の効果を数値解析で把握しようとしても、盛土に流入する地下水についての境界条件を正しく設定できないといった問題があった。

(3) 加えて、ふとんかごを積み上げて盛土を補強する場合、屈撓性を有するふとんかごが地震の揺れに対して、どのように変形するかについての知見はほとんど得られていない。

2. 研究の目的

本研究は、ふとんかご工の合理的な設計方法確立するために必要な基礎実験データを得るための一連の研究であり、その研究目的を以下に示す。

(1) 境界条件を明確にした屋外土槽を作製し、そこにふとんかごによる対策盛土と無対策盛土を作製し、屋外実験を実施する。実験では、降雨による盛土内の水分状態の計測を実施して、ふとんかご工の排水効果を明らかにする。

(2) さらに、盛土上部の地表面に溝(トレンチ)を設けて湛水し、盛土内を高い水分状態にして崩壊が生じやすい状況を再現し、ふとんかごの排水および斜面補強効果を明らかにする。

(3) ふとんかごを壁面材として補強土壁に利用する応用例について、載荷試験や振動実験を実施して、壁面及びその背面地盤の変状を測定して、補強メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 屋外実験は、側面及び底面の境界条件を明確にした屋外土槽を作製した。土槽は、高さ 2m のコンクリート土槽を構築し、そこに中仕切りの鉄板を設けることで対策と無対策盛土を同一の条件で試験が行えるようにした。土槽内の側面、底面には遮水シートを敷設して、地下水の流入・流出のない不透水境界とした。この土槽に対策盛土と無対策盛土を作製した。盛土材料には山砂を用い、密度管理しながら施工した。山砂の物性は室内実験(土粒子の密度試験、粒度試験、締固め試験、透水位試験、三軸圧縮試験および保水性試験)により把握した。盛土は、高さ 1500mm、幅 3750mm、奥行 2000mm、斜面の勾配は 1:1.5 とした。対策盛土には、斜面の下部に、高さ 500mm、幅 1000mm、奥行 2000mm のふとんかごを 2 段積み重ねて設置した(図 1)。

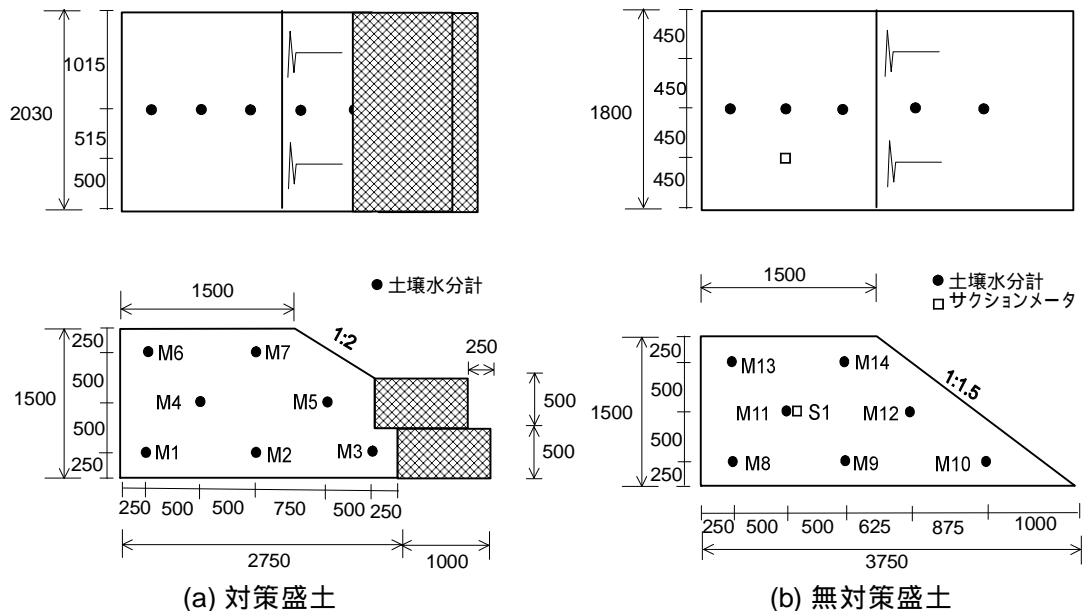


図 1 屋外実験モデルの概要図

盛土内には水分状態を把握するための土壌水分計を設置した。

盛土完成後より約1年間にわたる計測を行い、降雨による土中の水分量（体積含水率）の推移とその空間分布域について分析した。

(2) (1)で作製した対策・無対策盛土の盛土上部（幅 1500 mm）の地表面中央部を掘削して、幅 600mm、深さ 400mmのトレンチを設け、そこに水道水を注水した。この湛水実験では、図2に示すように、トレンチを満水にした後、注水停止、注水、注水停止操作を行い、その間の盛土内の水分状態の変化を測定し、併せて盛土の変状も撮影して、斜面が破壊に至る過程を観察した。

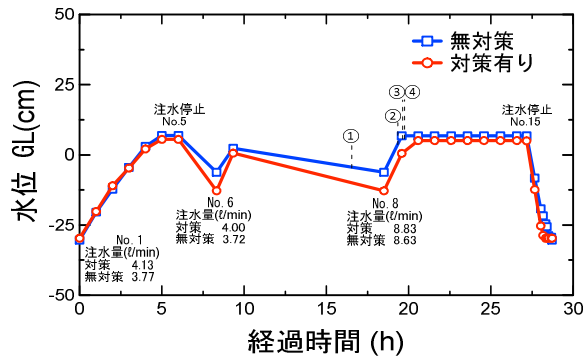


図2 トレンチ内水位の変化

(3)写真1に示す帯状金網（長さ 300 mm）を一体化したふとんかご（幅 80mm、高さ 80 mm）模型を壁面材として利用し、多段積み（18 段）した補強土壁に関する 1/10 縮尺の模型振動実験を実施した（Case1）。さらに長さ 600 mmで補強を目的に地中に敷設するシート（ジオシンセティックス）を併用した補強土壁も対象とした（Case2）。図3にモデル概要図を示す。この模型に、中、大地震を想定した揺れを作用させ、補強土壁の安定性と変形能を評価した。計測項目は、加速度、壁面、地表面および地中変位、補強材・ジオシンセティックスのひずみおよび水平・鉛直土圧である。

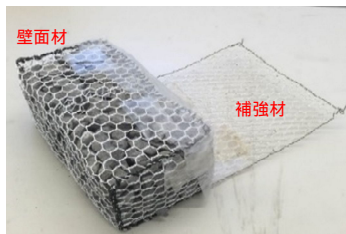


写真1 ふとんかご模型

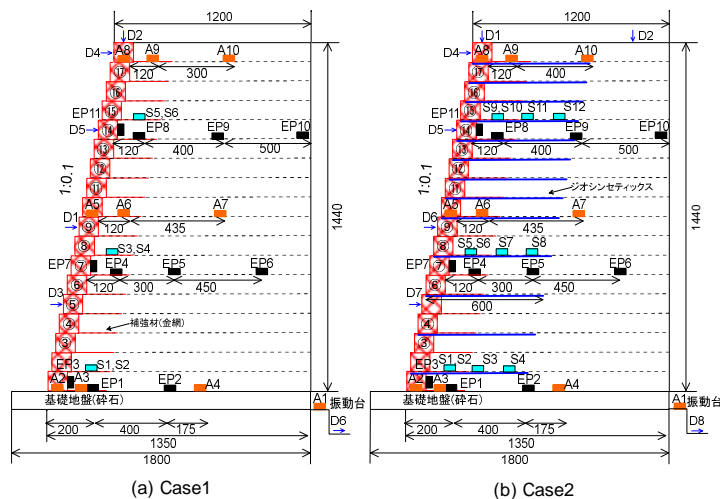


図3 振動実験モデルの概要図

4. 研究成果

(1)計測開始から終了までの降雨と体積含水率の関係を図4に示す。まとまった降雨により盛土内の水分量は増加し、その後水分量は減少していることがわかる。また、場所によって対策盛土と無対策の水分量の大小関係が異なっている。水分変化の空間分布を図5に示す。対策盛土の斜面下部（法尻）では水分量（体積含水率）の変化が無対策盛土に比べて小さく、排水効果が確認できた。しかし盛土全体で見ると水分変化量は対策と無対策を比べるとその差が小さいことから、降雨による地表面からの浸透のみに注目すると、ふとんかごによる排水効果は限定的であることがわかった。

(2) 図3に示したトレンチ内の水位変化より、トレンチを満水にしてから注水を停止したところ、対策盛土の水位は無対策と比べ水位の低下速度が大きかったことから、ふとんかごによる排水効果が確認できた。その後、注水を再開し、トレンチ内水位を上昇させたところ、無対策盛土の斜面下部に亀裂が生じ、トレンチの満水状態を保持したところ、その亀裂付近が崩壊し、水道(みずみち)による空洞も観察できた(写真2)。一方、対策盛土では、崩壊といった地盤の変状は見られなかったことから、ふとんかごによる斜面補強効果が確認できた。

盛土内の水分状態は、盛土の深部では対策と無対策で差は見られなかった。斜面中段では注水を停止後、対策盛土において高い含水状態がより長く続いた。一方、斜面下部では図6に示すように対策盛土の水分が速く排水され、ふとんかごの排水効果は崩壊の起点となる斜面下部付近で発揮されることがわかった。

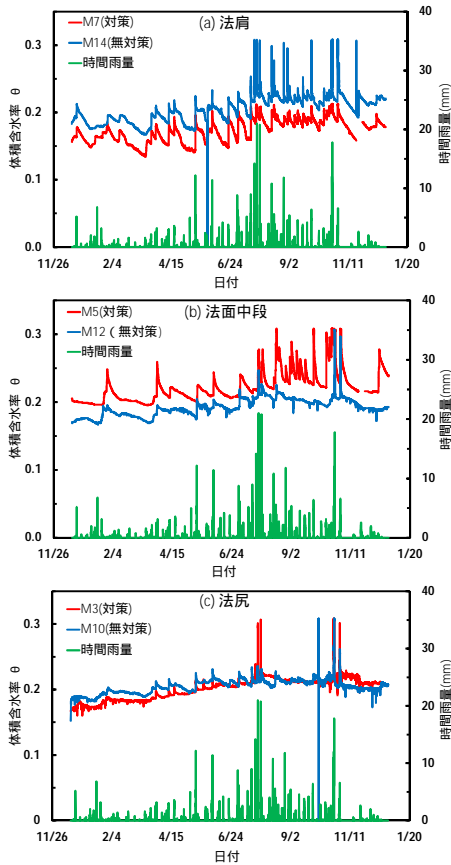


図4 降雨と盛土水分量の関係

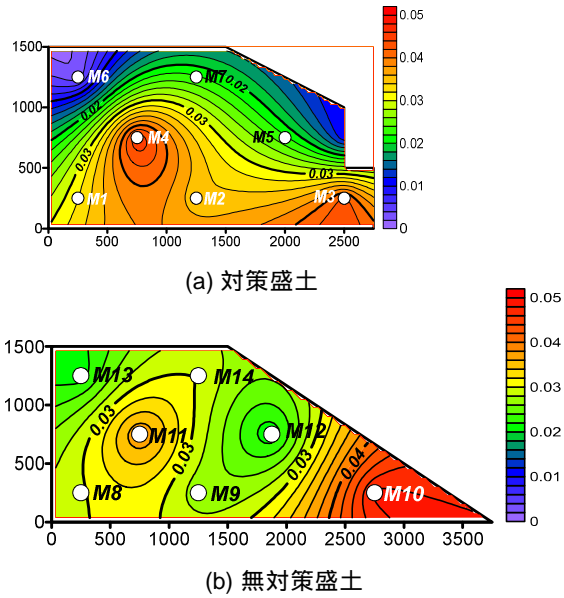


図5 土中の水分変化量の空間分布



写真2 無対策盛土斜面の破壊状況

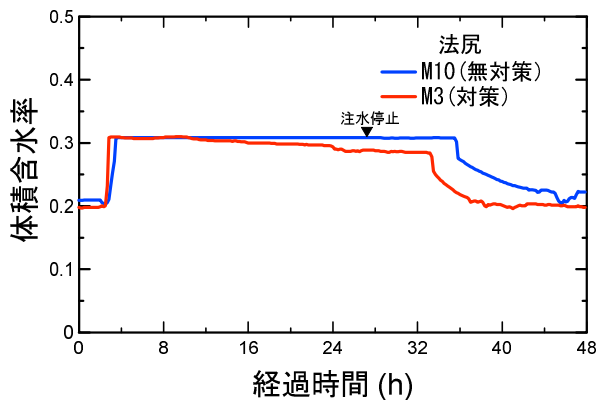


図6 盛土斜面下部の水分量の推移

(3) 500gal 加振終了時の変形状況を図7に示す。Case1では、壁面に近い部分で地盤が大きく前傾し、その背後の地盤がくさび状に落ち込んで脆性的な破壊を示した。一方、Case2では、壁面および背後地盤の変位が抑制され、壁面と背後地盤が一体となって挙動しており、補強効果が発現している。さらにCase2では800galの揺れを続けて4回受けるような大地震の場合、壁は前方に転倒するような挙動を示し、背後地盤の沈下が確認された。転倒挙動は、ふとんかごの屈撓性が関係しており、特に下段のふとんかごがつぶれるような圧縮変形が影響していることがわかった。これらの実験結果から、ふとんかご補強土壁の性能を向上させるためには、

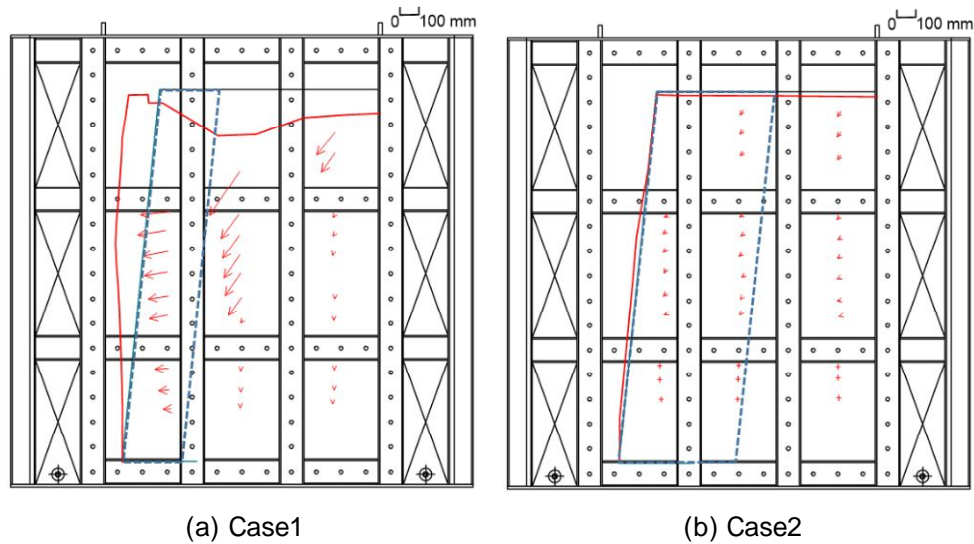


図7 加振によるふとんかご補強土壁の変形

補強材長を長くすること、背後地盤をよく締め固めること、下部のふとんかごの剛性を高めることが有効であるとの知見が得られた。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 5 件)

山田貴士、仙頭紀明、屋外盛土の湛水実験によるふとんかごの排水効果の検証、土木学会東北支部技術研究発表会(平成30年度) -33、CD-ROM、2019.3.2、東北大学川内北キャンパス(仙台)。

岩谷健雄、ラ・アウン、倉知禎直、久保幹男、仙頭紀明、ふとんかごを用いた補強土壁の地震時安定評価に関する模型振動実験、第53回地盤工学研究発表会、pp.1721-1722、2018.7.25、サンポートホール高松(高松)

水巻隼人、清原雄康、海野寿康、仙頭紀明、ふとんかごを用いた屋外盛土実験による排水効果の評価、土木学会東北支部技術研究発表会(平成29年度) -42、CD-ROM、2018.3.3、日本大学工学部(郡山)。

岩谷健雄、仙頭紀明、ラ・アウン、倉知禎直、久保幹男、補強材一体型ふとんかご工補強土壁の安定性評価に関する研究 その1 載荷試験の概要及び結果の考察、第52回地盤工学研究発表会(名古屋) pp.1443-1444、2017.7.13、名古屋国際会議場(名古屋)

矢口雅人、清原雄康、海野寿康、仙頭紀明、ふとんかごの排水効果に着目した屋外試験盛土の製作、土木学会東北支部技術研究発表会(平成28年度) -62、CD-ROM、2017.3.4、東北工業大学(仙台)。

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：清原 雄康

ローマ字氏名：KIYOHARA, Yuko

所属研究機関名：八戸工業高等専門学校

部局名：

職名：准教授

研究者番号(8桁)：20369911

研究分担者氏名：海野 寿康

ローマ字氏名：UNNO, Toshiyasu

所属研究機関名：宇都宮大学

部局名：地域デザイン科学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：50570412

(2)研究協力者

研究協力者氏名：久保 幹夫

ローマ字氏名：KUBO, Mikio

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。