

(別紙1)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書概要

研究課題名：災害復旧を目的とした円筒金網とチェーンを用いた簡便な補強土工法の開発

研究期間(元号) : 平成24年度-平成27年年度

代表者名 : 岡崎啓司(昭和機械商事(株)代表取締役社長)

研究代表者名 : 北村明洋(昭和機械商事(株)補強土グループ リーダー)

共同研究者名 : 木村亮(京都大学大学院工学研究科 教授)
奥西一裕(昭和機械商事(株)補強土グループ 主任)

補助金交付総額(円) : 29,730,000

研究・技術開発の目的:地震や豪雨による地盤災害の早急な復旧を目的として簡便な災害復旧工法を開発する。開発する工法はチェーンを補強材とし、円筒金網を壁面とする補強土工法および、大型円筒金網を多段積みにする護岸工法であり、災害時において早期に現場を復旧して車両の通行を可能にするものである。

研究・技術開発の内容と成果:

・開発工法について

開発する工法は、山間地の斜面災害復旧工法および、河川護岸の災害復旧工法の二種類とする。

1. 斜面災害復旧工法

チェーンを補強材とし、円筒金網を壁面とする安定性の高い補強土工法とする(図-1)。連結コイルを用いて半円筒の金網を組立て、円筒内に土を入れ締固めて壁面とする(図-2)。チェーンの末端には支圧板を取付け、補強材の引抜き抵抗を増加させる。

本工法は半円筒の金網を重ね合わせた状態により現場へ搬入するため、**かさ張らない**。部材は種類が少なく**軽量で組立が簡単**。**自立性があるので、施工時に固定部材の必要がない**。円筒同士を自由に連結できるため地形に応じた形状変更等、**現場対応の自由度が高い**等の特長がある。

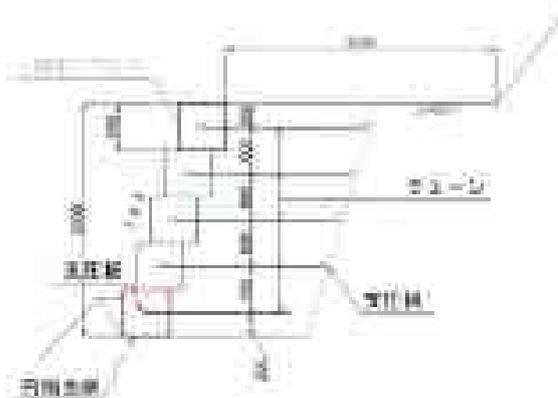


図-1 横断面図



図-2 構造図

2.河川災害復旧工法

大型の円筒金網(直径0.9m、高さ1.0m)に栗石を中詰めした、多段積み構造とする。図-3は奥行1列の場合および、奥行2列の場合の基本的な形状である。チェーンは洪水流の流体力に対する安全性を高める補助的な使い方とする。

本工法の特長は、高耐久性アルミ合金めっき部材を使用することで仮設ではなく、恒久的な構造物となる。栗石の中詰めも人力に頼らずバックホウで簡単にできる。クレーン等(図-4)で吊っても型崩れしないため、機械化施工が可能である。などが挙げられる。

平成24年度 事前調査(F/S)

1.壁面工の検討

(1)円筒金網のコイル接続部の引張り試験

円筒の周方向の力に対してコイル接続部が弱点になる可能性があるため、円筒金網のコイル接続部の許容耐荷力を引張り試験により求めた。

(2)円筒に作用する荷重の解析(3次元弾性FEM解析)

円筒金網の鉄線に作用する荷重(主にコイル接続部)を3次元弾性FEM解析により計算した。その結果、鉄線に作用する力は許容範囲内であることがわかった。

(3)円筒金網とチェーンの連結部の安全性照査(斜面災害復旧工法)

連結部の力のつり合いよりチェーンが引き抜けないこと、破断しないことを確認した。

2.斜面災害復旧工法および河川護岸災害復旧工法の技術動向調査

従来工法を調査する目的で、東日本大震災(2回)・平成23年台風12号紀伊半島大水害、平成24年7月九州北部豪雨の現地調査を行った。

現地調査では大型土のうを用いて仮復旧後、ふとんかご、ブロック積工法により本復旧するパターンが多くみられた。しかし、写真-1のように大型土のうは耐久性がなく数か月程度で崩れることがわかった。福島県で復旧作業中の作業員に意見を聴取したところ、ふとんかごの組立てには型崩れ防止のため枠が必要で、作業が煩雑であることがわかった(写真-2)。

3.斜面災害復旧および河川災害復旧のための実用化検討

(1)斜面災害復旧工法

工法の基本形状と部材構成の検討を行った。また、安定計算の方法を検討した。

(2)河川護岸災害復旧工法

工法の基本形状と部材構成の検討および、安定計算の方法を検討した。堤防の安定性照査を、国土交通省「河川堤防設計指針」の手法を用いて検討し安全性を確認した。



図-3 基本形状

図-4 クレーンによる据付

4. 実用化のための工事費用検討

従来工法との比較のための暫定的な工事費用を算定し、経済性の検討を行った。その結果、斜面災害復旧工法では従来工法に比べて経済性が優れていることがわかった。河川護岸災害復旧工法では、単独では経済性に劣るが仮復旧に大型土のうを使用して、その後従来工法により復旧する方法と比較した場合には、本工法が**経済性に優れていることがわかった**。

.平成 25 年度 継続(R&D1 年目)

1. 河川護岸復旧用円筒金網の吊上げ・下し試験

施工の際に吊上げ・下し作業ができること、円筒金網に大きな変形や割栗石のこぼれ出し、落下が生じないことを確認する試験を行った(写真-3)。試験の結果**吊り上げ・下げ作業が安全にでき、円筒金網の型崩れも見られなかった**。

2. 河川護岸復旧用円筒金網の結束試験

チェーンをレバブロックおよびターンバックルを用いて緊張したときの作業性の良否や、**チェーンに緩みが生じないことを確認した**(写真-4)。

3. 斜面災害復旧工法のチェーンと円筒金網の連結部引抜試験

本工法は、円筒金網内のチェーン・支圧板と中詰土の引抜き抵抗による連結方法を取っている(図-5)。引抜き試験により安全性の確認を行った。試験状況を写真-5 に示す。試験の結果、**円筒金網内の引抜き抵抗は、土の拘束効果によって大きな値を示すことがわかった。設計値に対しても安全であることを確認した**。

4. 斜面災害復旧工法の円筒金網の載荷試験

円筒金網内に土を入れ、締固めた状態における実物大載荷試験を行い、耐荷力および、鉄線に作用する応力を測定することで安全性を確認した(写真-6)。

試験の結果、円筒金網には図-6 に示すように**大きな耐荷力があることがわかった**。図-7 に円筒金網中央の鉄線応力を示す。通常考えられる鉛直荷重ならば、**鉄線に発生する応力に問題ない**との結果を得た。



写真-1 劣化した大型土のう



写真-2 ふとんかごの組立て



写真-3 吊り上げ・下げ試験状況



写真-4 チェーンの緊張

5. 河川護岸災害復旧工法のパイピングに対する検討

洪水時等のパイピングを検討するため、FEM による浸透流解析モデル（図-8）を用いて検討を行った。解析結果の例を図-9に示す。円筒金網部分の透水係数が、地盤の透水係数以上であればパイピング破壊は生じないことがわかった。

6. 斜面災害復旧工法の耐浸透性・耐震性の検討

地震、水の浸透時の挙動を詳細法により検討した。動的解析から求めた、せん断ひずみ分布を図-10に示す。変形の原因は補強領域外にあり、補強部は剛体的に変位しており補強効果が認められた。浸透 - 変形連成解析より、浸透によって地盤の強度・剛性が低下するのに加え、補強効果も弱まるという不飽和盛土材による補強土の浸透時挙動を確認した（図-11, 12）。



図-5 連結部の構造



写真-5 引抜試験の試験状況



写真-6 載荷試験状況



図-6 耐荷力



図-7 横鉄線の応力



図-8 解析モデル

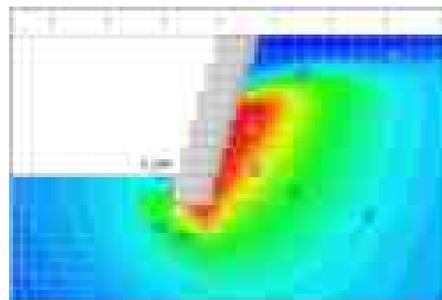


図-9 動勾配分布



図-10 せん断ひずみ分布

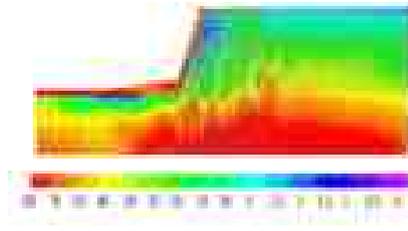


図-11 平均骨格応力分布

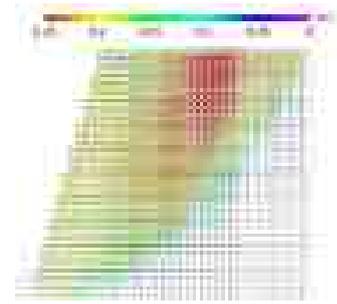


図-12 変位ベクトル分布



写真-7 完成写真（高さ 4m, 4 段積み）

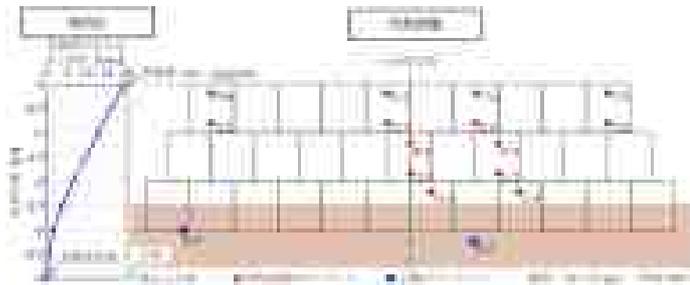


図-13 傾斜計および写真測量測定結果

・平成 26 年度 継続(R&D2 年目)

1. 河川護岸復旧工法の現場実証実験

実証実験をダム建設現場（大阪府茨木市）において行った。完成写真を写真-7 に示す。円筒金網の挙動を計測し、安全性の検証を行った。

・降雨時における円筒金網周辺の水圧分布と降雨量

円筒金網下端部分の背面、下端、根固め部に間隙水圧計を設置し、降雨時における円筒金網周辺部の動水勾配を調べパイピングに対する安全性の検証（限界動水勾配 $i = 0.5$ との比較）を行った。平成 26 年 9 月下旬より平成 27 年 2 月までの計測期間を通じて、動水勾配は **0.25 程度以下であった**。

・円筒金網背面地盤の変形

傾斜計の測定結果を図-13 に示す。背面地盤の水平変位は、地表部で約 20mm であった。初期値計測以降これまでに背面地盤で、高さ 3.6m の道路盛土が施工されており、**水平変位は盛土の影響である**と考えられる。

・円筒金網構造体の変形

円筒金網にターゲットを取付けてデジタル写真測量を行ない、構造体としての安定性を検証した。写真測量の結果を図-13 に示す。

計測の結果最大変位量は、はらみ出し方向に 23.9mm であった。この変位は、傾斜計の計測結果と同様に**背面盛土の施工による影響**だと考えられる。

・円筒金網ジョイント部の目開き量

円筒金網のジョイント部に目開きは見られなかった。

2. 斜面災害復旧工法の動的解析

平成 25 年度に行った動的解析に引続き、平成 26 年度においても動的解析の検討を進めた。実験によって明らかにされたチェーンと支圧板の補強効果を可能な限り忠実に解析に再現し、レベル 相当の地震動を受けた際の地震時挙動を

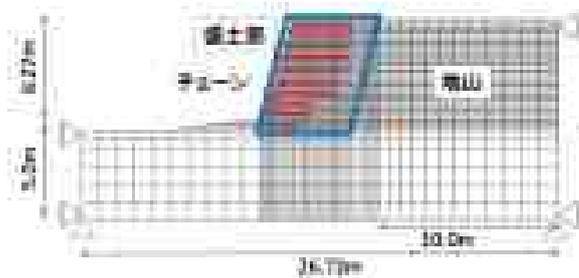


図-14 解析モデル図

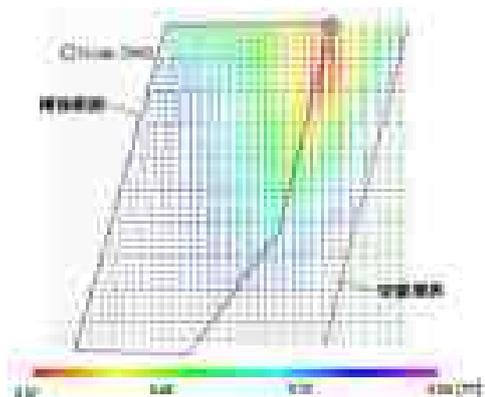


図-15 20秒後のせん断ひずみ分布図

詳細動的解析法により検討した。

図-14 に解析モデル図を示す。硬質な地山に建設された 10 段の円筒金網とチェーンによる補強盛土を想定した。地山は弾性体を仮定し、補強盛土は弾塑性体とした。円筒金網の剛性は十分に大きいことから円筒要素の 4 隅の節点に等変位境界を仮定した。入力地震動には 1995 年兵庫県南部地震のポートアイランドのアレー観測結果から GL-32m の NS 成分を用いた。図-15 に 20 秒後の変形ベクトル図を示す。盛土上段の補強材境界部付近で 70 mm 程度の変形が見られる。また補強材が挿入されている部分のひずみは少なく、未挿入の箇所にも相対的に大きなひずみが見られるなどの、変形モードが明らかになった。

3. 実用化のための安定計算ソフト制作およびマニュアル類整備

河川災害復旧工法の安定計算ソフトの制作および、マニュアル類等の整備を行った。

研究成果の刊行に関する一覧表：

なし。

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：

特許出願中：特願 2014-071648 権利者 昭和機械商事（株）

特許出願中：特願 2015-053892 権利者 同上

商標：かご丸くん、登録査定済み 権利者 同上

成果の実用化の見通し：

斜面災害復旧工法は、名称を「フォレストウォール 円筒金網工法」として実用化済み。河川護岸復旧工法は、名称を「かご丸くん」として実用化済み。

その他：「かご丸くん」は、NETIS 登録申請中。