

# 円筒金網かご工による地盤災害の復旧

## Recovery method for damaged geostructures using cylindrical wire mesh and chains

奥西一裕\*, 北村明洋\*, 久保田篤之\*, 澤村康生\*\*, 木村亮\*\*\*

Kazuhiro OKUNISHI, Akihiro KITAMURA, Atsuyuki KUBORA, Yasuo SAWAMURA  
and Makoto KIMURA

近年、豪雨、台風、地震などの自然災害は増加の一途をたどっている。自然災害に備えるとともに、被災後の迅速な機能回復は喫緊の課題と考えられる。そのような背景のもと、円筒金網を使用した簡便な災害本復旧工法を開発し、実用化に至った。開発にあたり、有限要素法を用いて多段積み状態をモデル化することによって、壁面に勾配をつけて多段に円筒金網を積んだ状態の再現を行い、円筒金網にかかる応力の状態を確認した。その結果、円筒金網を多段に積んでも、最下部の円筒金網にかかる応力は一定値に収束し安全であることを確認した。また、実施工において、降雪時の作業性や狭隘な箇所での施工性が高いことを確認できたため、これらの事例を紹介する。

キーワード：地盤災害、護岸、有限要素法、栗石

geotechnical disaster, revetment, finite element method, cobble stone

### 1. はじめに

「平成 24 年 7 月九州北部豪雨」<sup>1)</sup>、広島県や京都府などに甚大な被害をもたらした「平成 26 年 8 月豪雨」<sup>2)</sup>、そして直近に発生し、岡山県や広島県を中心に、甚大な被害をもたらした「平成 30 年 7 月豪雨」<sup>3)</sup>に代表されるように、我が国における台風、豪雨などによる水害や斜面崩壊は年々その被害規模を大きくしている。また活動期に入ったといわれる地震による災害も頻発しており、今後も被害の増加が懸念される。このような状況の中で、被災により分断された道路などのライフラインの迅速な復旧は、喫緊の課題である。そこで本稿では、円筒金網とチェーンを用いた、経済的かつ強度に優れた簡便な本復旧工法として、河川護岸及び斜面崩壊の復旧に有用な円筒金網かご工の紹介を行なう。

### 2. 災害復旧工法

がけ崩れ災害の調査資料<sup>4)</sup>によれば、昭和 47 年から平成 19 年にかけて 19,035 件に及ぶがけ崩れの調査の結果、浅層崩壊の頻度が非常に多いことが分かった。崩壊土砂の 74 %は表土や崩壊土といった表層の柔らかい地層であり、崩壊深さの 94 %が 3.0 m より浅い崩壊であった。このような比較的小規模な表層崩壊では、樹脂製の大型土のうによって応急対策を行い、その後すみやかに、かご工やコンクリートブロック積工等の従来工法を用いた本復旧を行うのが基本的な災害復旧の方法である。



写真-1 大型土のうの劣化  
(宮城県仙台市：東日本大震災により被災)



写真-2 チェーンによる構造の一体化  
(京都大学防災研究所における検証実験)

\* 昭和機械商事 (株)

Showa Kikai Shoji Co., LTD

\*\* 京都大学大学院 助教

Assistant professor, Graduate School of Engineering, Kyoto University

\*\*\* 京都大学大学院 教授

Professor, Graduate School of Engineering, Kyoto University

また、地盤工学会の報告<sup>5)</sup>では「地震や豪雨・洪水等で被災して機能を失った土構造物は、できるだけ早急な機能の復旧とともに、必要に応じて構造的に強化して本格復旧することに努める必要がある。」と提言されている。このような背景のもと、機能回復以上の強度を持つ復旧工法として、円筒金網を使用した簡便な災害本復旧工法を開発した。

### 3.1 円筒金網かごの構造と特徴

図-1 に標準図、図-2 に部材詳細図を示す。高さ1,000 mm、直径900 mmの円筒金網かご（線径5.0 mm、網目100 mm×100 mm）を、高さ8 mまで多段積み（法勾配1：1.0 より急な勾配）にする構造である。

円筒金網かご工の施工上の特長は以下の通りである。

- a) バックホウによる石材(栗石など)の中詰めが可能。
- b) クレーンなどを用いた吊上げ設置作業が可能。
- c) 中詰石の内圧を円筒金網の円周方向の鉄線が支持するため、円筒形状が保持される。このことから写真-3 のような型崩れ防止の固定枠を必要としない。
- d) 折れ点・曲線部の施工が容易である。

写真-3 角型じゃかご（ふとんかご）の施工  
（福島県天栄村：東日本大震災により被災）

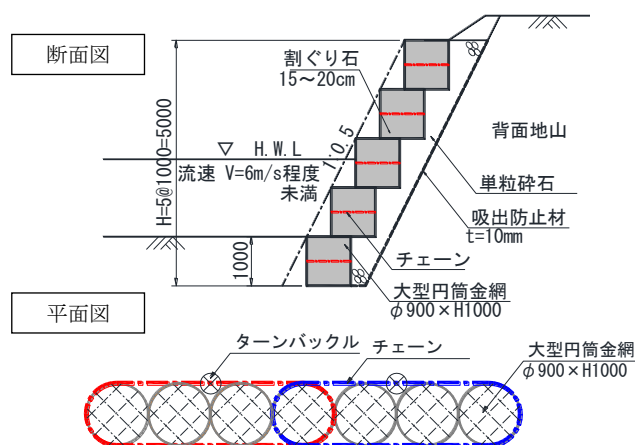


図-1 円筒金網かご工 標準図 (単位:mm)

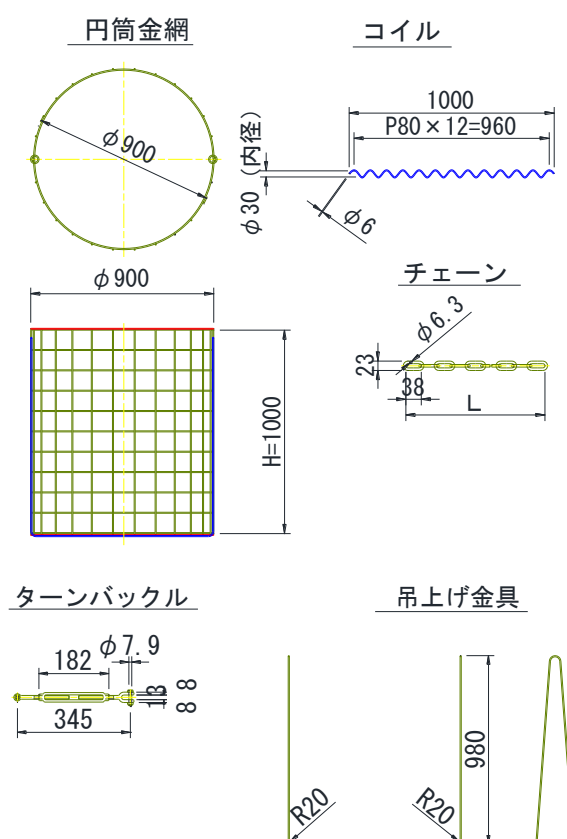
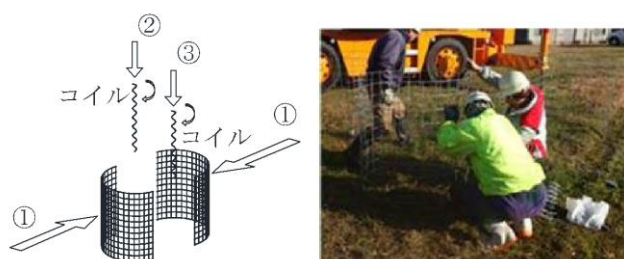


図-2 円筒金網かご工 部材詳細図 (単位:mm)



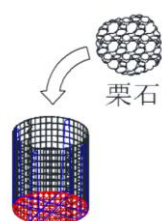
手順 (a) コイルを用いて半円等金網を連結する。



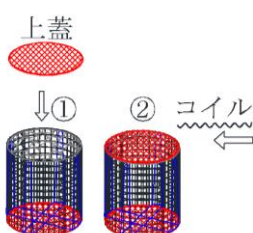
手順 (b) コイルにより底蓋を固定する。



手順 (c) 結束線を用いて底蓋に吊上げ金具を留める。



手順 (d) 円筒金網を逆さまにして石材（栗石）を入れる。



手順 (e) 石材上面を整え、コイルにより上蓋を取り付ける。



図-3 円筒金網の組立て手順

### 3.2 組立て手順

本工法は、組立に特殊な工具を使用せず、また施工に熟練を必要としないことから、施工性の良さを確認している。円筒金網の組立の手順を図-3 に図示する。

## 4. 多段積円筒金網かご工の応力解析

### 4.1 研究の経緯

これまで、円筒金網かご工の開発にあたり、以下の項目について検討を行った<sup>6)</sup>。

- 円筒金網かご工の河川堤防としての安定照査。
- 施工性および施工時の安全性の実証実験。
- 試験施工における動態観測。

本稿では、円筒金網を多段積みした場合の安全性について新たに検討した結果を示す。

3.1において述べた通り、本工法では、高さ1,000 mm、直径900 mmの円筒金網かごを、高さ8 mまで多段積みにする構造である。円筒金網かごには、線径5.0 mm、網目100 mm×100 mmの鉄線が用いられているが、多段積みした場合には、最下段において円筒金網の鉄線および円筒金網をつなぐコイルに大きな断面力が発生し、円筒金網が破断する危険性がある。そこで、多段積みした場合における最下段の円筒金網の安全性を検討するため、3次元の有限要素解析を実施した。

円筒金網の鉄線（φ5mm）における許容引張り力は、 $160 \text{ N/mm}^2 \times 2.5 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm} \times \pi = 3,140 \text{ N}$ （3.14 kN）以下である必要がある。一方、円筒金網をつなぐコイルの許容引張り力は、事前に実施した引張り試験の結果から求めた。図-4、5には、開発当初に行ったコイルによる接続部の実物大引張り試験の概略図とその結果を示す。同試験では、線径5.0 mm、網目100 mm×100 mm、幅600 mmの金網をコイルで接続した構造について引張り試験を実施した。図-5より、最大荷重の平均値は12.89 kN、安全率を3とした場合の引張り許容値は4.30 kNであった。ここで、金網とコイルの関係に着目すると、本試験では金網7 か所にコイルが巻き付いていることが分かる（図-4）。したがって、金網1本あたりに作用するコイルの許容荷重は、 $4.30 \text{ kN} \div 7 \text{ 本} = 0.614 \text{ kN/本}$ となる。本検討では、金網とコイルそれぞれについて、上記の値を用いて照査を行うこととする。

### 4.2 解析におけるモデル化

本検討では、多段積みした場合に最下段の円筒金網に発生する断面力を求めることを目的としていることから、本来であれば複数の円筒金網かご工と裏込め地盤を含めた構造全体をモデル化して解析を行うことが望ましい。しかしながら、円筒状の金網を複数モデル化することは困難であること、最下部の円筒金網に作用する荷重は2段目以降の円筒金網かご工の自重であることを考慮し、円筒金網かご工の最下段1 段目と、2 段目を部分的に抽出して検討を行うこととした。壁面勾配を再現するため、2 段目は1:0.3 の勾配でセットバックした構造とした（

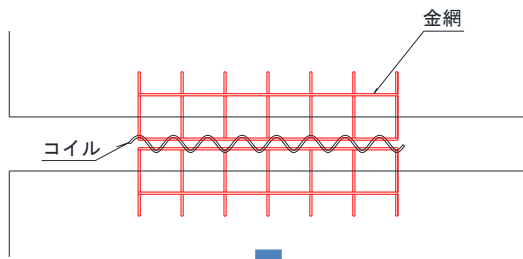


図-4 引張り試験（実物大）の模式図

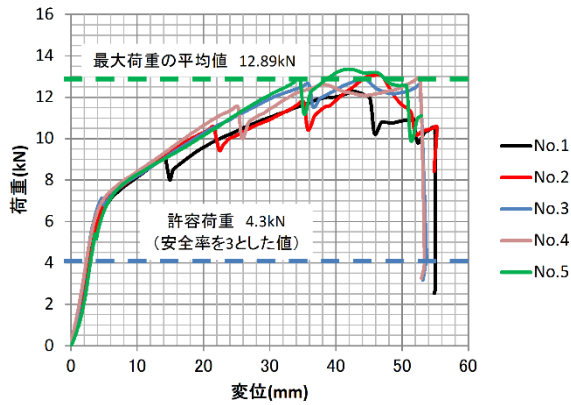


図-5 コイルの引張り試験結果

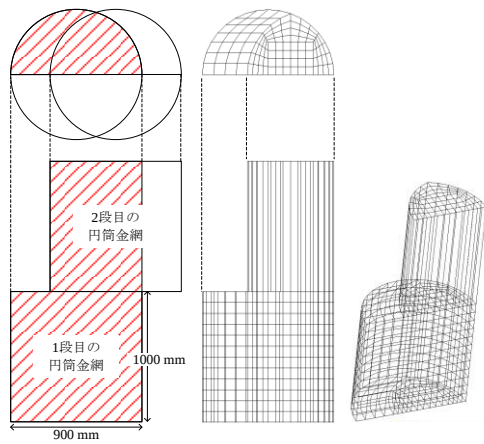


図-6 解析におけるモデル化と解析メッシュ

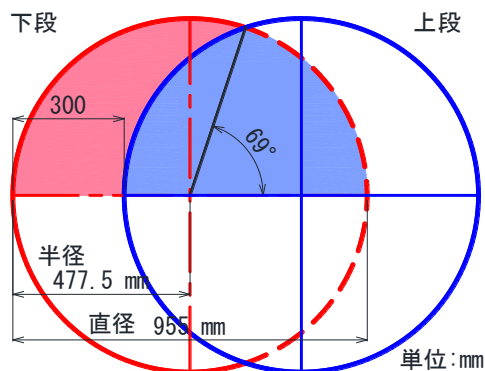
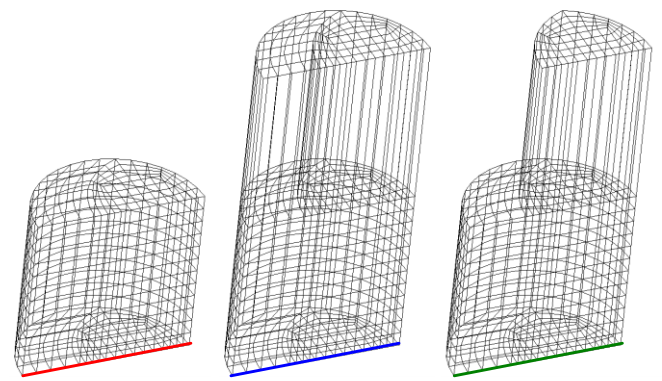
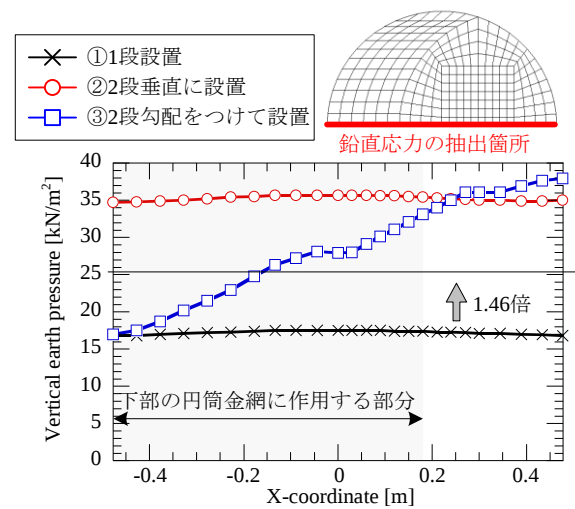


図-7 実際の円筒金網の位置と本解析におけるモデル化



① 1段設置 ② 2段設置 ③ 2段設置 (勾配有)

a) 各モデルのメッシュ図と鉛直応力の照査位置



b) 円筒金網を2段積んだ際に

1 段目の下部に発生する鉛直応力

図-8 円筒金網を積んだ時の底部に発生する鉛直応力

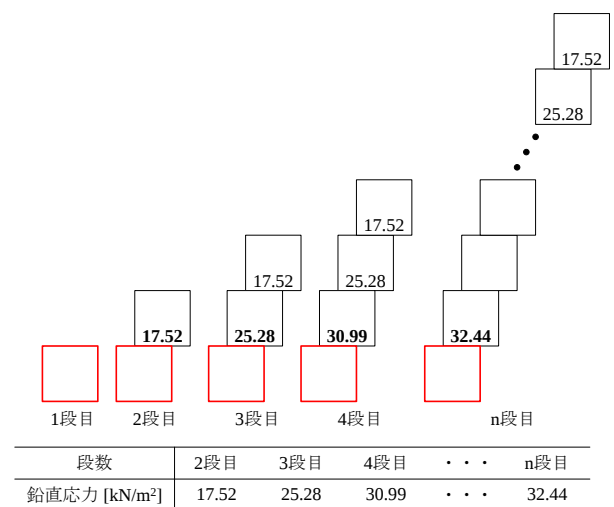


図-9 n 段目の円筒金網を積んだ際に

2 段目の下部 (1 段目の上部) に作用する鉛直応力

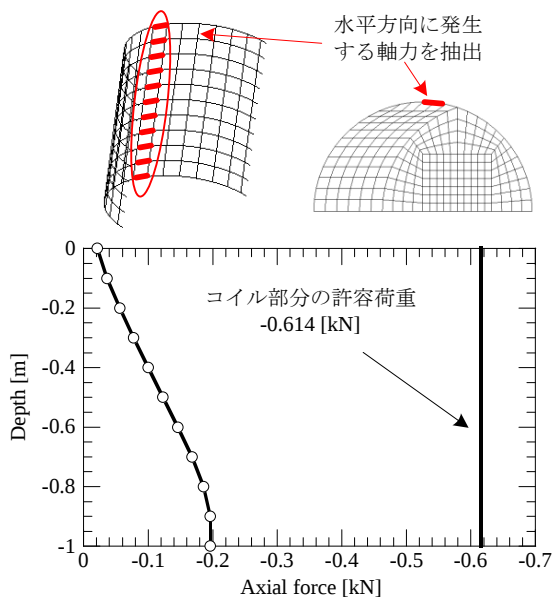


図-10 コイル接続部に作用する引張り力の分布

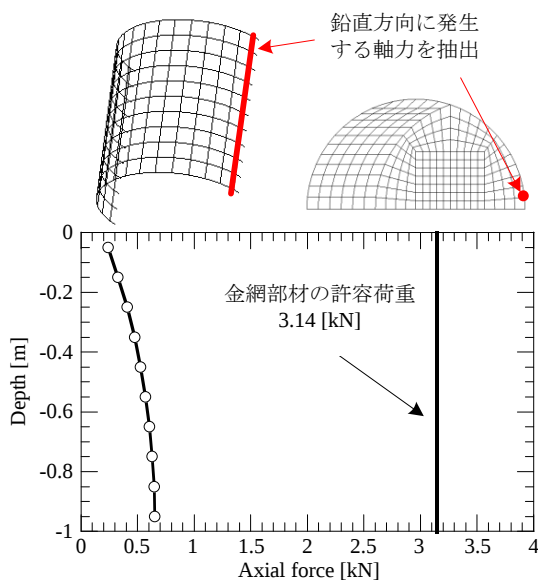


図-11 鉛直方向に最も圧縮力が働く部分の軸力

図-6)。ただし、1 段目および2 段目における円筒金網の網目とメッシュの関係から、円筒半径を実際の450 mmではなく477.5 mmに変更している(図-7)。図-7の青に着色した部分は上段の円筒が載荷されている範囲を投影したものである。

解析では、円筒金網かご工の内部に充填する石材として、単位体積重量 $\gamma_t=18 \text{ kN/m}^3$ 、静止土圧係数は安全を考慮して $K_0=1.0$ を用いた。

#### 4.3 解析方法と結果

はじめに、下記の3ケースの解析を実施し、図-8に示す通り、最下部における円筒金網の底部に作用する鉛直応力の分布を求めた。

① 円筒金網を1段設置した場合

② 円筒金網を2段垂直に積んだ場合

③ 2 段目の円筒金網を1:0.3 の勾配で積んだ場合

図-8の結果より、円筒金網1 個を設置した①の場合には、その下部に最大で  $17.52 \text{ kN/m}^2$  の鉛直応力が作用することがわかる。円筒金網2 個を垂直に積んだ②では、当然のことながら、1 段目の円筒金網の下部では①の2 倍にあたる  $35.04 \text{ kN/m}^2$  の鉛直応力が発生している。一方、2 段目の円筒金網を1:0.3 の勾配で積んだ③の場合では、1 段目の円筒金網の下部に作用する鉛直応力は一定値とならず、下部の円筒金網に作用する部分において、①と比較して平均で1.46 倍程度の鉛直応力が作用していることがわかる。そこで、この方法により求めた1.46 倍という数値を用いて、円筒金網を  $n$  段積んだ場合に1 段目の円筒金網の鉄線およびコイルに発生する引張り応力の算定を行う。

図-9 に、本検討で用いた鉛直応力算定モデルの模式図を示す。本検討では、最下段の円筒金網に発生する応力を求めることを目的としていることから、多段積みした際に1 段目の円筒金網の上部、つまり、2 段目の円筒金網の下部に発生する鉛直応力に着目する必要がある。2 段目の円筒金網を設置した場合、2 段目の円筒金網の下部には、 $17.52 \text{ kN/m}^2$  の鉛直応力が作用する。3 段目の円筒金網を設置した際に2 段目の円筒金網の下部に発生する鉛直応力は、図-9 の結果から、およそ  $17.52+17.52 \times 0.46 = 25.58 \text{ kN/m}^2$  となる。4 段目の円筒金網を設置した際には、この  $25.58 \text{ kN/m}^2$  が2 段目の上部に作用することから、2 段目の下部に作用する鉛直応力は、 $17.52+25.58 \times 0.46 = 30.99 \text{ kN/m}^2$  となる。同様に考えると、 $n$  段目の円筒金網を設置した際に2 段目の円筒金網の下部に発生する鉛直応力は次式で表現することが出来る。

$$17.52 \times (1 + 0.46 + 0.46^2 + \dots + 0.46^{n-1})$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{17.52 \times (1 - 0.46^{n-1})}{1 - 0.46} = 32.44 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (1)$$

つまり、本検討における鉛直応力の算定モデルを用いると、円筒金網を無限に積んだ場合でも、最終的に2 段目の円筒金網下部の鉛直応力(最下段の円筒金網上部に作用する鉛直応力)は  $32.44 \text{ kN/m}^2$  に収束することが確認できた。

そこで、上記の結果を基に、図-6 に示す有限要素解析メッシュを用いて、最下段の円筒金網の鉄線およびコイルに発生する断面力の算出を行う。上述した通り、解析は1 段目および部分的にモデル化した2 段目の円筒金網のみを用いて行う。ここで、2 段目の下部に発生する鉛直応力が  $32.44 \text{ kN/m}^2$  となるよう、2 段目の中詰め材の単位体積重量を  $\gamma_n=32.44 \text{ kN/m}^3$  としている。

図10, 11 に最下段の円筒金網の鉄線およびコイルに作用する圧縮力および引張り力の分布をそれぞれ示す。これらの図には、上述した許容値を併記している。図より、円筒金網を多段積みにした場合にはコイル部分に引張



a) 設置状況



b) スtockヤードでのかご組立状況



c) 設置状況



d) 完成状態（半年経過）

写真-4 施工事例（秋田県）

り力が作用するが、発生する引張り力は許容値の範囲内であることが確認できる。また、鉄線には鉛直方向に圧縮力が作用するが、この圧縮力も許容値内である。以上より、円筒金網の自重により最下段の鉄線およびコイルが破断する危険性は低いことが明らかとなった。

## 5. 施工事例

本工法は、山間地の斜面災害や河川護岸の災害を早期に復旧することを目的として研究開発を行った。すでに多くの災害復旧現場において、短い工期で簡便に施工できることから、本工法の実用性の高さが評価されている。以下に災害復旧現場での施工事例を紹介する。

### 5.1 河川での復旧事例

#### (1) 河川護岸復旧(秋田県内)（写真-4）

豪雪地帯の河川護岸上に設けられた林道の崩落による災害復旧を行ったものである。当初はブロック積擁壁で復旧を計画していたが、背面掘削時に背面土砂の崩落が発生した。施工時の安全性を確保するためには、現状以上の掘削を必要とせず、かつ更なる崩落に備え現地での作業時間が最短となる工法が必要とされたため採用に至った。施工時は降雪中であったが、組立て及び設置ともに問題なく施工は完了した。

#### (2) 河川護岸復旧(山形県内)（写真-5）

河川改修の過程で、景観性を重視してコンクリート護岸から本工法に変更となった。現地の道路幅が狭小であったため、施工時のストックヤードの確保も困難であった。

そこで、別途資材置場にて製作した大型円筒金網を、トラックの荷台から直接クレーン機能付きバックホウにより吊込み設置を行うことで、迅速な施工を実現した。

円筒金網かご工 130 組（正面面積 117 m<sup>2</sup>）をわずか 3 日で据え付けることができた。その結果、水替え工の期間を短縮することができ、全体の工事費の削減につながった。

### 5.2 山留・道路災害復旧などでの施工事例

#### (1) 路側斜面崩壊復旧(埼玉県内)（写真-6）

路側の斜面崩壊が発生した箇所を復旧したものである。仮設で設置された大型土のうを撤去し、大型円筒金網を設置した。全工程が 1 日程度で完了したことにより、交通量の多い県道の片側交互通行による規制期間が当初予定より大幅に短縮できた。

#### (2) 路肩崩壊復旧(新潟県内)（写真-7）

豪雨による路肩が崩落した箇所を復旧したものである。道路が狭小であり迂回路がなく、通行止めできないことから、あらかじめ組み立てた円筒金網をクレーン機能付きバックホウにより設置したことで迅速で円滑かつ安全な施工を実現した。



a) 現地搬入状況



b) 荷下ろし状況



c) 吊り込み状況



d) 完成状況

写真-5 施工事例（山形県）



a) 施工前仮復旧状況



b) 完成状況

写真-6 施工事例（埼玉県）



a) 設置状況



b) 完成状況

写真-7 施工事例（新潟県）

## 6.今後の課題

施工件数が増加する一方、現場を経験する中で、新たに見えてきた課題を以下に記す。

火山地帯や温泉地など酸性土壌である場合、また海岸部での施工においては塩害が懸念され、永久構造物としての長期耐久性が期待できないと考えられる。今後高耐食性仕様を開発することにより、酸性土壌や塩害が想定される箇所での施工に対応できる可能性が高い。

次に円筒金網の大型化による施工期間の短縮と、これにともなう施工効率の向上及びコストの圧縮である。現在の円筒金網の寸法は直径 900 mm、高さ 1,000 mm である。これを直径 1,000mm またはそれ以上とすることで、単位面積あたりの施工個数を減らすことが可能となり、コストダウンと工期短縮が期待できる。

現場の適用範囲の拡大や工期短縮とは別な課題として次の二点をあげる。

一点目として、円筒金網かご工は従来の角形じゃかごと違った形状である。このため河川護岸に用いる場合、洪水時の流水中にある円筒金網かごの形状および構造によって、平面形状とは違う局所的な流れを生じる場合があり得る。この局所的な流れに対する安定性を実験、解析により確認する必要があると考える。

二点目は円筒金網かごの構造的一体化を目的にチェーンを用いて円筒金網かごを緊縛しているが、この効果については明確に評価できているわけではない。擁壁としての土圧に対する評価、洪水時の流体力に対する評価等を実験、解析により明確にする必要がある。今後、技術

の信頼性の向上に取組み、本工法の普及・拡大に向けてさらに研究開発を進めたい。

**謝辞:**本研究開発は、国土交通省より平成 24 年度から 3 ヶ年にわたり、建設技術研究開発助成制度の助成を受けたものである。また、「平成 29 年度地盤工学会 技術開発賞」を受賞したものである。ここに記して謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 土木学会九州北部豪雨災害調査団 (2013) : 平成 24 年 7 月九州北部豪雨災害調査団報告書.
- 2) 土木学会中国支部・地盤工学会 (2014) : 平成 26 年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書.
- 3) 地盤工学会 (2018) : 第 2 回 平成 30 年 7 月豪雨による地盤災害調査報告会 (公開資料).  
[https://www.jiban.or.jp/?page\\_id=8669](https://www.jiban.or.jp/?page_id=8669), (参照 2018-11-11)
- 4) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (2009) : がけ崩れ災害の実態, 国土技術政策総合研究所資料, 第 530 号.
- 5) 地盤工学会 (2007) : 地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言—, pp.14-15.
- 6) 北村明洋, 奥西一裕, 久保田篤之, 寺本俊太郎, 澤村康生, 木村 亮 (2017) : 円筒金網とチェーンを用いた災害復旧工法の開発, 地盤工学ジャーナル Vol.12, No.3, pp.303-321.

In recent years, natural disasters, such as heavy rains, typhoons, and earthquakes, have steadily been increasing. In addition to preparing for natural disasters, the development of rapid functional recovery methods for application to damaged geostructures after disasters is an urgent issue. The authors developed a simple disaster restoration method which consists of the usage of multi-layered walls of cylindrical wire mesh packed with stones. In this study, FE analyses are conducted to calculate the stress condition occurring in the cylindrical wire mesh along the lowest wall. The results indicate that the stress converges to a certain value even if the number of layered walls is increased. In addition, some examples of construction are introduced to confirm the high workability of the method even with snowfall or in narrow spaces.