

本線部の法面崩落を想定した かご枠による復旧工法の効果検証

阪神高速技術(株)土木事業部藍那事業所
阪神高速道路(株)建設事業本部大阪建設部設計第一課
阪神高速道路(株)管理本部神戸管理・保全部保全事業課

瀬崎 瑛
岡本 信也
石井 亜也加

要 旨

近年の風水害による影響を受け、阪神高速道路においても、管理する法面において崩落現象が生じている。法面復旧時には、応急対策として大型土のうによる復旧が一般的であるが、大型土のうの撤去作業を実施する必要があり、本復旧までに相応の時間を要するケースが多い。そこで、応急対策と恒久対策を兼用することとし、早期復旧可能な工法の検討を行い、路体にかご枠を設置し、法面側のかご枠と連結することにより、一体化が図られる構造が提案された。本稿では、かご枠を路体内部に埋設し盛土を行うことで本復旧の位置付けとするために求められる要求性能を整理し、実物大実証実験による計測データをもとに、かご枠工の道路構造物としての性能評価を実施した。

キーワード:法面崩落, 大型土のう, 復旧工法, かご枠, 路体, 要求性能

はじめに

法面は切土や盛土により人工的に造成された斜面であり、豪雨や地震が誘因で法面が崩壊に至ることがある。高速道路や国道などの幹線道路は、物資の運搬や緊急車両が走行し、極めて重要な役割を果たすため、災害時に幹線道路に被害が発生した場合は、早期の通行機能確保が求められる。

直近の国内における比較的大規模な風水害として、「平成 30 年 7 月豪雨」災害が挙げられる。阪神高速道路においても当災害の影響を受け、7 号北神戸線（下り）藍那出路直下の法面において崩落事象が発生した。当該現場における応急復旧工法は、大型土のうの積み上げ設置による仮土留め工を採用され、昼夜連続にて、およそ 10 日間に

わたり設置・撤去作業を実施した¹⁾²⁾ (写真-1)。その後、本復旧工事を行い、補修を完了させるまでに約 2 ヶ月を要した。

法面復旧は、一般に応急復旧と本復旧の対策に分けて実施されることが多く、応急復旧工事で設



写真-1 大型土のうによる応急復旧状況

置された大型土のうの撤去作業を伴うため、復旧には相応の時間を要する。そこで、早期復旧が可能な方法として、これまでの応急復旧に際し使用される大型土のうに代え、かご枠を用い、盛土内に埋設する盛土構造を検討した³⁾。

しかし、かご枠が路体となる盛土内に使用されることは通常ではないことから^{4)・5)・6)}、かご枠が仮土留めとしての応急的役割を担い、かつ本設構造物として恒久的役割を兼用する構造として機能するかを検証する必要がある。そのため、変状が確認されていた既設法面において、補修を兼ねた実証実験を実施した。本稿では、かご枠を用いた法面復旧工法の検討および検証結果について示す。



図-1 調査・実証実験位置図

1. 地質調査

1-1 調査概要

今回の調査・実証実験位置図を図-1 に示す。設計検討を行うべく、下記に示す地質調査を実施した。

(1) ボーリング調査・標準貫入試験

ボーリング調査は、地盤条件を確認するための調査（ボーリング調査①）と、水位条件を確認するための観測孔を設ける目的で実施する調査（ボーリング調査②）の2種類に分類し、実施した⁷⁾。

(2) 簡易貫入試験

簡易貫入試験は、法面直下の2箇所を対象に、地盤条件を確認するべく、人力にて実施した。

1-2 調査結果

(1) 地質調査

測量を含む各種地質調査結果を踏まえ、盛土法面に確認される変状範囲を図-2 のとおり整理した。変状内容としては、盛土法面中腹から法肩の範囲で生じているものと推定した。

(2) 現地状況

盛土法面において確認された変状は、①アスファルト舗装の亀裂、②側溝、ガードレールの傾倒、

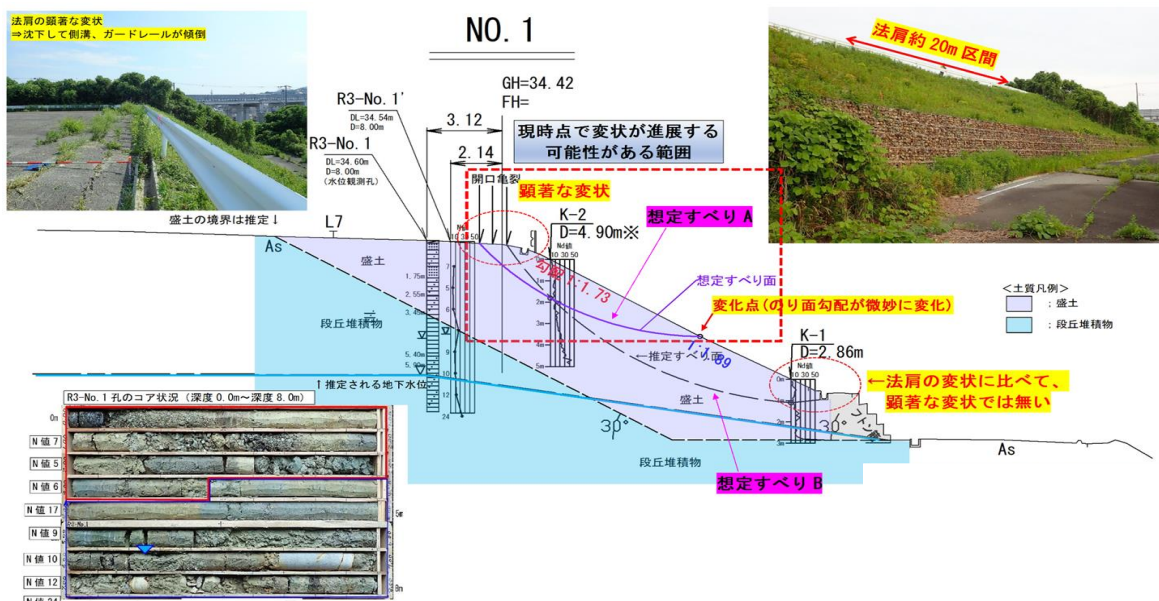


図-2 盛土法面 変状概要図

③縦排水工のシーリングコンクリートのずれ、④縦排水工と小段排水溝合流部付近の押出しと側溝閉塞、⑤小段排水溝の傾倒である。

また、地質調査の結果を踏まえ、盛土法面に確認される変状は、盛土表面のゆるみに伴う表層すべりに起因するものと推定した。

2. 設計検討

2-1 路体にかご枠を埋設した盛土構造

法面崩落が車道にまで達した場合での早期復旧を目指し、路体内にかご枠を埋設し、本設構造物とすることを考えた。路体内には、吊り式かご枠とし、法面部には現地組立式かご枠の2種類のかご枠を用いることとした(図-3)。

2-2 法面の安定計算

盛土仕様の設計検討を行うにあたり、盛土内へ埋設する吊り式かご枠については、構造的に安定することが想定される。しかし、法面部へ設置する現地組立式かご枠に関しては、背面土圧を受けることとなる。そのため、当該かご枠については、盛土高が最大となるかご枠設置区間中央部の断面位置の条件で、図-4 に示すモデル図に基づき、安定計算を実施した。盛土高さ 4,470 mm、かご枠8段、法面勾配は、1:1.0とした。材料定数については、日本じゃかご協会の資料を参考に、かご枠工の中詰め材は、砕石とし、単位体積重量 $\gamma_c = 17 \text{ kN/m}^3$ 。裏込め土は、締め固めた単粒砕石を使用するため、 $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ 、せん断抵抗角 40° 、粘着力 $C_s = 0 \text{ kN/m}^2$ 。支持地盤は、現況の盛土となるため、定数設定においては、種類を砂質土、許容支持力度 $q_a = 200 \text{ kN/m}^2$ 、摩擦係数 0.6、付着力は、考慮しないこととした⁸⁾。また、かご枠底面と地盤との付着力も考慮しないこととした。土圧は、試行くさび法による算定式とした。載荷重は、盛土上面に自動車荷重として、 $q = 10 \text{ kN/m}^2$ とした。これらを所定の算定式に当てはめ、転倒、滑動、支持力それぞれ項目の安定計算を実施した。表-1 に示す計算結果のとおり、いずれの評価項

目においても、許容値を満足するものとなった。

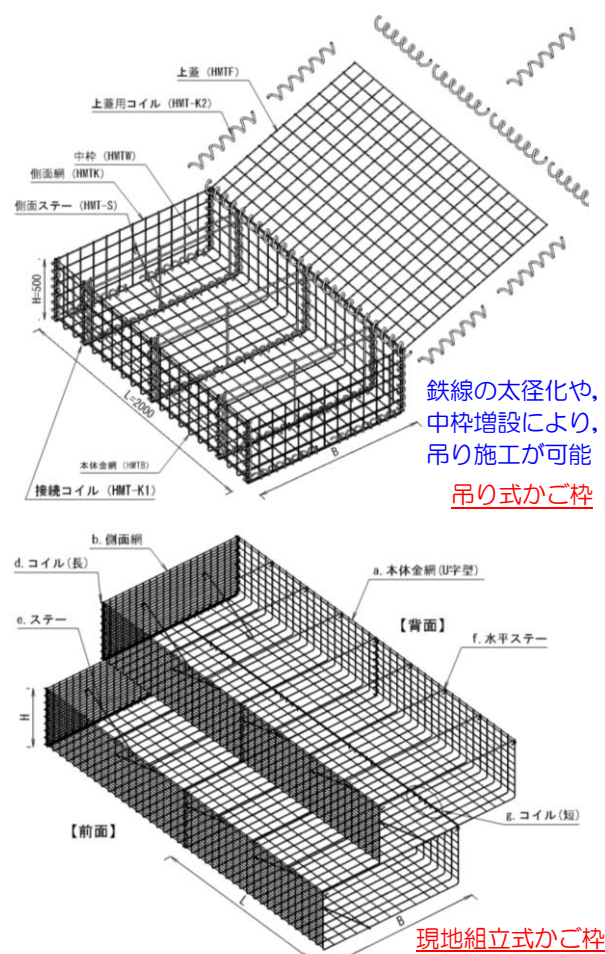


図-3 かご枠構造図

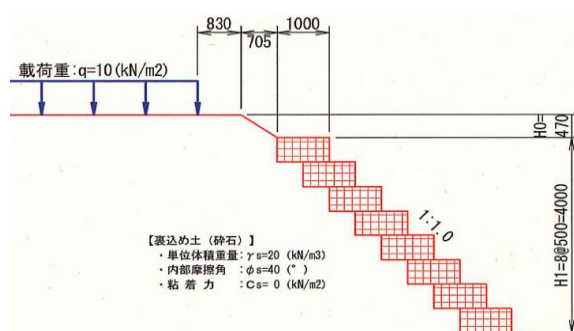


図-4 かご枠 安定計算モデル断面図

表-1 安定計算結果一覧表

項目	記号	計算値	許容値	判定
転倒	Fm	171.312	≥ 1.5	OK
	e	-1.986	≤ 0.167	OK
滑動	Fs	54.788	≥ 1.5	OK
支持力	qmax	135.51	≤ 200	OK

2-3 盛土構造の評価のための要求性能

路体内にかご枠を埋設した盛土構造の評価を行うために、以下の要求性能を設定した。特に、本線直下の法面崩壊に対する復旧対策として考えたことから、路床も含め評価することを考えた。

(1) 力学的性能（強度特性）

道路構造物としての性能を示し、軽微な崩壊や変形に対し車の通行を妨げない安全性と供用性を保てる機能を有する性能。

(2) 幾何学的性能（変形特性）

土工構造物としての性能を示し、路面沈下や法肩部のすべり、法面のはらみ出しに対する抵抗性。

(3) かご枠工の安定性能（安定特性）

かご枠工の安定勾配、路体としてのかご枠の形を保持する能力。

(4) 盛土内排水能力（透水特性）

降雨による盛土内水位上昇が一定の排水能力の維持によって抑制されること。

(5) 材料の耐久性（材料特性）

かご枠部材の腐食による変状抑制など、経年劣化に対する抵抗性を示す耐久性能。

2-4 盛土仕様の検討

盛土標準断面図を図-5 に、かご枠一覧表を表-2 に示す。

盛土の基本仕様については、かご枠の安定計算や調査結果などを踏まえ、以下のとおり決定した。

- ①盛土の全高は 4.7 m とし、盛土内へ吊り式かご枠を 5 段、法面部へ現地組立式かご枠を 8 段、それぞれ 1:1.0 の勾配で延長約 20 m 設置した。
- ②一体化を図るために、かご枠同士を連結するとともに、路体内と法面側のかご枠も連結材により連結した。
- ③中詰め材の違いによる力学的性能を比較するため、路体内に埋設する吊り式かご枠の中詰め材を再生砕石と割栗石の 2 種類とした。かご枠の仕様については、吊り式の本体金網、側面網、上蓋を、線 $\phi 5$ mm、網目 $\square 100$ mm の亜鉛アルミ合金先メッキ溶接金網とし、補強筋、中蓋、ステー、コイルも同様の防食仕様とし

た。

現地組立式に関しては、正背面網、側面網の線径が $\phi 6.9$ mm、網目 125 mm \times 77 mm の金網で、防食は、吊り式と同様とした。

- ④盛土構築後の上載荷重による沈下を抑制するため、かご枠工最下段となる床付け底面より深さ 1 m を配合量 100 kg/m³ の仕様でセメント攪拌による地盤改良を実施した。
- ⑤造成後の盛土内における排水機能確認を図り、舗装背面へ雨水流入部の位置付けで、砕石舗装を設けることとする。

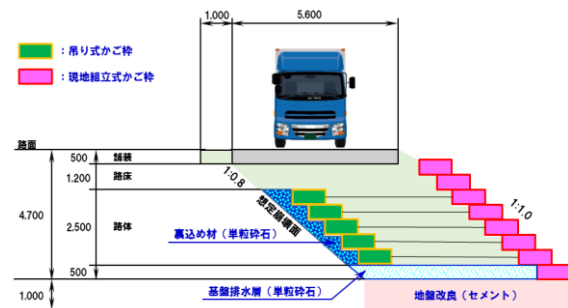


図-5 盛土標準断面図

表-2 かご枠一覧表

タイプ	構造形式	中詰め材
Type-A	現地組立式（100型）	再生砕石 20～40 mm
Type-B	吊り式（100型）	再生砕石 20～40 mm
Type-C	吊り式（100型）	割栗石 150～200 mm

3. 現場施工

本章では、全体工事工程のうち、法面復旧にかかる工種についての記述とする。

想定崩壊面の地盤状態が、床付け面直下の地盤と同様に不良土であったことから、主に想定崩壊面の滑落防止を目的とし、当該範囲への吸出し防止機能も兼ねた補強盛土を追加した⁹⁾。

かご枠の設置については、Type-B・C のかご枠に関し、枠の組立て、および中詰め材の設置作業を吊り作業前に実施した。中詰め材の設置に際しては、かご枠内へ均一に敷設するよう留意し作業を行った。かご枠の吊り作業については、写真-2 に示すとおり、ラフタークレーンにより所定位置まで

吊り上げ設置を行った。一方、Type-A のかご枠については、枠を人力にて設置箇所まで運搬のうえ、現地にて組立て作業を行うとともに、中詰材はホッパーを用い、ラフタークレーンにより所定位置まで吊り上げ、投入し、設置を行った。

4. 盛土法面の挙動観測

4-1 車両走行試験

盛土法面造成後の挙動観測手法として、車両走行試験を実施した。当該試験では、大型ダンプトラック (10t + 積荷 10t) による 10km/h での繰返し走行を実施し、盛土法面の挙動を把握することとした。走行は、5日間連続を延べ3週間実施し、合計 9,068 回の走行を行った。

4-2 観測項目

観測項目としては表-3 のとおり設定した。各観測位置平面・断面図を図-6 に示す。

各項目の調査要領について下記に示す。

(1) 舗装路面観察

舗装路面に生じる変状確認を目的とし、盛土法面造成後に任意の定点を設定したうえで、車両走行前・走行中・走行後ごとに、定点における写真撮影を行い、舗装路面を観察した。

(2) 変位計測

法面部の Type-A のかご枠へターゲットを設置し、光波測距儀を用いた三次元測量を実施した。

かご枠の挙動を確認するため、2 測線を設定し、各層ごとに測点を設置して観測した。

(3) 沈下計測

盛土法面の沈下挙動を確認するため、舗装路面上へ横断方向に 5m 間隔ごとに設置した測点、および盛土内 5 箇所へ設置した沈下板に対し、水準測量を行った。沈下板概略図を図-7 に示す。

(4) 雨量・盛土内水位観測

水位観測や流量観測データとの相関性の確認するため、雨量計を設置して観測を行った。水位観測については、自記式水位計を設置し自動計測とし、盛土内・外のそれぞれ 1 箇所毎に計測のうえ、

水位挙動の比較した。

(5) 流量観測

盛土内部からの排水性能確認を目的とし、基盤排水層へ設置した有孔排水管からの排水量を測定



写真-2 吊り式かご枠設置状況

表-3 観測項目一覧表

調査項目	調査内容	観測方法
舗装路面観察	ひび割れ、変状、路面沈下	写真撮影、スケッチ、水準測量
変位計測	盛土法面の沈下挙動	水準測量
沈下測定	かご枠の経時的な沈下量	沈下板設置、水準測量
雨量観測	現地の降雨量(水位変動との対比)	雨量計設置
盛土内水位観測	盛土内の水位変動	自記式水位計設置
流量観測	盛土内の排水性能	三角堰および水位計設置

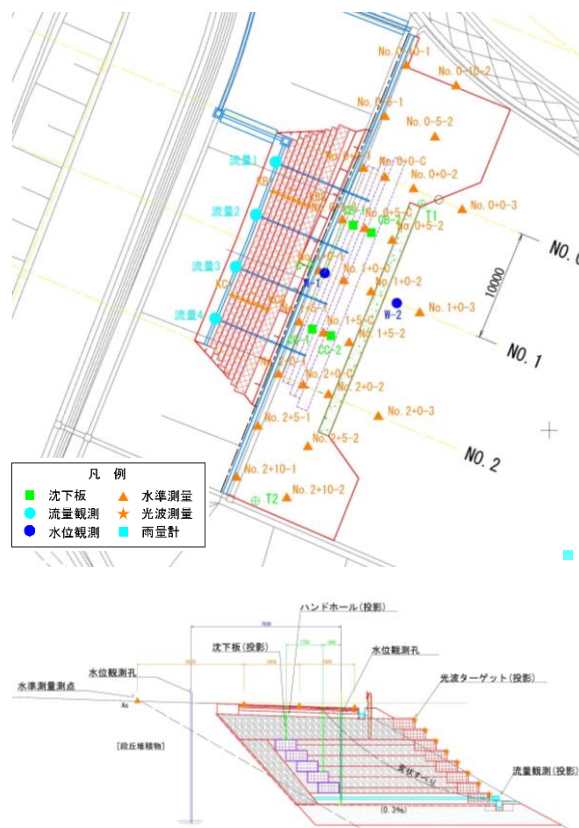


図-6 観測位置平面・断面図

し、雨量・水位観測との相関性について確認した。測定方法は簡易的な三角堰、および流量計の設置による自動計測で観測した。

5. 検証結果

5-1 現場施工性

かご枠の組立て、および中詰材の設置にあたっては、1組あたり2人の編成にて作業を実施した。かご枠の組立てに関しては、Type-A～Cともに、作業時間に大きな差異は確認されなかった。しかしながら、Type-Bのかご枠について、枠内面への内張材設置の手間が比較的大きかった。また、中詰材については、再生砕石と比較し、割栗石の設置作業には、およそ倍程度の作業手間が生じた。

また、盛土法面の造成にかかる工種の全体工期については、昼間作業のみで、およそ40日間で完工した。有事の際においては、昼夜連続にて工事を行うことを前提に考慮すると、比較的短期間での復旧作業が見込める工法であると考えられる。

5-2 盛土法面の挙動観測

大型ダンプトラックによる車両走行試験を行い、走行試験後の挙動観測を2021年10月末頃から2023年1月中旬頃までの期間内で継続実施した。

(1) 舗装路面観察

舗装路面状況の目視点検を実施した結果、ひび割れや沈下などの変状は特に確認されなかった。

(2) 変位計測

横断方向に対し2測線を設定し、Type-Aかご枠の三次元変位計測を行った。

結果は、2測線ともにx, y, z方向の変位について、全体的な挙動は微小な変位量であり、かご枠に大きな変位は生じていないものと考えられる。

(3) 沈下計測

舗装路面の各測点に対する水準測量結果 経時変化図を図-8に示す。

舗装路面上の測点は、横断方向に5m間隔で9断面、縦断方向にA～Dの4測線を設け、路肩側より順に、A, B, C, D測線として配置した。

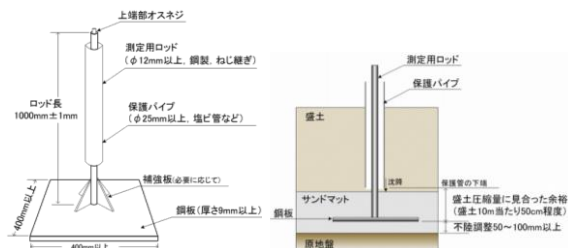


図-7 沈下板概略図



図-8 水準測量結果 経時変化図

走行後の最終沈下量は、いずれの測点における計測値について極めて小さく、沈下が継続して増大する傾向は認められなかった。

沈下板に対する水準測量結果 経時変化図を図-9に示す。沈下板は、盛土中心部のC-0、かご枠Type-B側のCB-1・2、かご枠Type-C側のCC-1・2の計5箇所へ設け、経時変化を比較した。

2021年12月13日までの盛土造成期間内におい

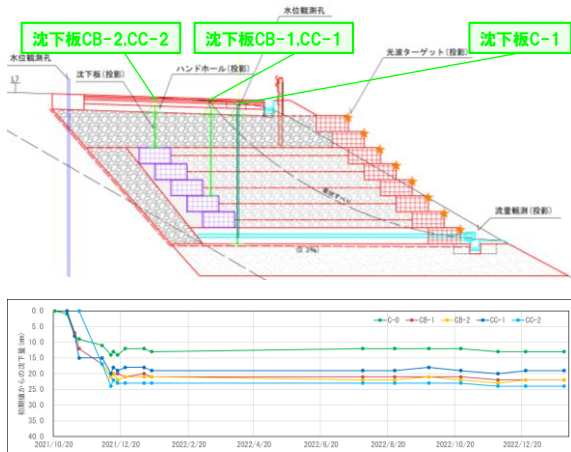


図-9 水準測量結果 経時変化図

て、最大値で 24 mm の沈下量が確認されるものの、以降の計測期間内においては、沈下傾向は認められなかった。また、中詰材の違いによる沈下量の差異は 2 mm 以内に収まっており、有意な差はないものと考えられる。加えて、基盤排水層直下の支持地盤の沈下量は± 1 mm 以内に留まっている。これらの結果を踏まえ、盛土内の支持層として機能しているものと判断できる。

(4) 雨量・盛土内水位観測

水位観測孔は、造成した盛土内と、背面の既設盛土内それぞれの水位変動状況を対比する目的で、2 測点設けた。図-10 に水位観測結果図を示す。

W-1 孔（造成盛土内）では、降雨後も含め、観測期間中において水位変動は確認されなかった。

(5) 流量観測

基盤排水層内へ設けた 4 本の有孔排水管より排水される盛土内の流量について計測を行った。

図-11 に排水量観測結果図を示す。

総体的に、雨天時には相応の排水量が確認されるも、晴天時ではほとんど確認されず、観測されても、概ね 1.0 L/min 未満の排水量であった。

観測される雨量に伴い、これに応じた既設盛土内の水位上昇、盛土内からの排水があることから、相関性が確認できる。

5-3 要求性能の評価

今回の実証実験結果を各要求性能と対比すると、以下のとおりにとまとめられる。

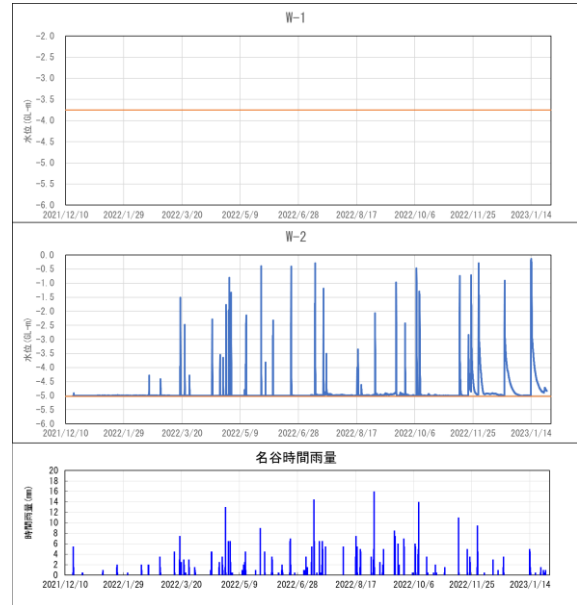


図-10 水位観測結果図

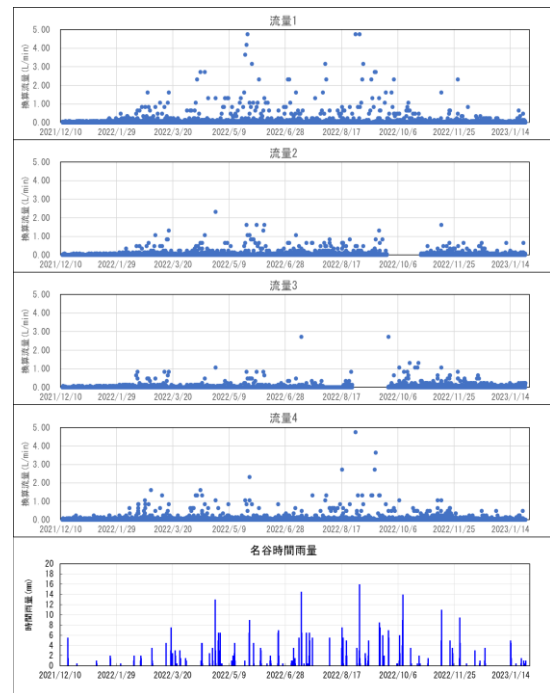


図-11 排水量観測結果図

- ①力学性能：路面観察や沈下測量の結果から、車の走行性を妨げない安全性が確認した。
- ②幾何性能：路面および法面のかご枠変形計測結果より、路面の沈下、法面のはらみに対する抵抗性が確認された。
- ③安定性能：沈下板の計測結果より、路体としてのかご枠の形状保持能力が確認された。
- ④排水性能：自記水位計、雨量、排水量の計測結果から、降雨による盛土内水位の上昇の抑

制が確認された。

⑤耐久性能：腐食に対しては、継続した確認が必要であるものとする。

以上のことより、かご枠を埋設した盛土構造においても、各要求性能を満足する結果が得られた。

6. まとめ

今回の実証実験により、かご枠を埋設した盛土構造においても、必要と考えられる要求性能をおおむね満足する結果が得られた。

また、施工性の観点より、とりわけ作業に際し高度な技術を必要とせず、比較的短期間で復旧作業が可能となることが分かった。応急復旧に際しては、既往の大型土のうによる復旧工法に優位性があるものと考えられるが、本復旧までにかかる時間や費用を考慮すると、本工法に優位性が見込まれるものと考えられる。

法面災害の規模や箇所によって適正な復旧工法の選定が望まれるが、本検証におけるかご枠を用いた法面復旧工法は、一対応策として有効であるものと考えられる。

参考文献

- 1) 法面災害復旧に関する検討業務（2019-神管）報告書，2020.
- 2) 本線直下の法面崩壊に関する復旧報告の検討報告書，2021.
- 3) 路体部に埋設したかご枠工の挙動に関する実証実験報告書，2021.
- 4) (公社)日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説，2017.
- 5) (公社)日本道路協会：道路土工切土工・斜面安定工指針，2012.
- 6) (公社)日本道路協会：道路土工盛土施工指針，2012.
- 7) 2021 年度構造物点検及び管理業務 名谷交通管理所法面補修検討報告書，2022.
- 8) 日本じゃかご協会：じゃかご工法の手引きと解説，2008.5.
- 9) (公社)日本道路協会：道路土工軟弱地盤対策工指針，2012.

VERIFICATION OF EFFECTIVENESS OF REPAIR METHOD USING CAGE FRAMES ASSUMING SLOPE COLLAPSE ON EXPRESSWAYS

Akira SEZAKI, Nobuya OKAMOTO and Ayaka ISHII

Wind and flood damage has caused slope collapses on the Hanshin Expressway in recent years. It is common to use large sandbags for emergency restoration, but they are just for temporary use and need to be removed later, which often takes considerable time. In order to establish an efficient repair method that would enable early restoration, we developed a suspended cage frame which could be used for both temporary and permanent purposes, and conducted its full-scale demonstration experiment. This paper summarizes the performance requirements of the cage frame as a permanent repair material to be embedded in the road body and embanked, and evaluates the performance of the cage frame as a road structure based on the measurement data obtained from the full-scale demonstration experiment.

瀬崎 瑛



阪神高速技術株式会社
土木事業部 藍那事業所

Akira SEZAKI

岡本 信也



阪神高速道路株式会社
建設事業本部 大阪建設部
設計第一課

Nobuya OKAMOTO

石井 亜也加



阪神高速道路株式会社
管理本部 神戸管理・保全部
保全事業課

Ayaka ISHII