# 令和 2 年 7 月豪雨の人吉城跡公園にて発生したしらす斜面崩壊復旧事例

A CASE STUDY ON RESTRATION OF
A SHIRASU SLOPE FAILURE AT HITOYOSHI CASTLE RUINS PARK
CAUSED BY HEAVY RAINFALL IN JULY 2020

今薗 淳司[1]・橋本 潤[2]・酒匂 一成[3]・田上 聖人[4]
Atsushi IMAZONO, Jun HASHIMOTO, Kazunari SAKO and Masato TAUE

[1]株式会社水野建設コンサルタント（〒862-0933 熊本市東区小峯 2-6-26）
E-mail: imazono@mkc.co.jp
[2]株式会社水野建設コンサルタント（〒862-0933 熊本市東区小峯 2-6-26）
E-mail: hashimoto@mkc.co.jp
[3]鹿児島大学学術研究院理工学域工学系（〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40）
E-mail: sako@oce.kagoshima-u.ac.jp
[4]鹿児島大学学術研究院理工学域工学系（〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40）
E-mail: taue@oce.kagoshima-u.ac.jp

***Key Words***: *cultural property, shirasu slope, torrential rain disaster, sprayed concrete frame work*

## 1. はじめに

2020 年（令和 2 年）7 月 3 日から 4 日にかけて発生した「令和 2 年 7 月豪雨」によって，熊本県人吉市の史跡人吉城跡の人吉城跡公園内の北外曲輪に位置する御下門跡から東方に 50 m ほどの球磨川左岸部の遊歩道に面した北西向き斜面の崩壊が発生した（**写真-1**）．その規模は，幅約 15 m，崩壊長約 40 m で，崩壊面の向きは N68° E の北向きにあって，ほぼ斜面の向きと一致していた．



**写真-1　崩落後の遠景**

人吉城跡公園は，中世から近世にかけて人吉球磨地域を治めた相良氏の領国支配の拠点となった城郭跡で，市の歴史文化の象徴的存在にあるため，市民をはじめ，史跡来訪者に親しまれている史跡である．また，球磨川に架かる水ノ手橋から一望できる箇所にあり，城壁の一部に加え，石積護岸を含めた植生とのコントラストが良好な景観を形成している．この位置は，人吉城跡東側を発船場とする「球磨川くだり」のコース内にあるため，観光スポットとして船上からの良好な視点場にも位置づけられていた．

このような文化財指定区域内のしらす斜面の復旧について，その概略は報告してきた[1)]が，当該斜面の復旧における詳細な調査・検討過程は公表してきていない．

そこで，今後の熊本県南部の一部に広がるしらす斜面の復旧の参考事例となることを期待し，本論文では，当該斜面における被災状況，地盤調査，対策工詳細設計について，詳述する．

## 2. 被災状況

### (1) 現地概況

この付近の地質は，**図-1** の「熊本県地質図」[2]に示すように，姶良火砕流堆積物の火山砕屑物が分布することになっている．この火山砕屑物は，人吉盆地内，川辺川沿いの谷部，芦北町大野盆地，および水俣市付近に分布している．また，**図-2** には，「日本の地質 9　九州地方」[3]より，22,000 年前より以降となる姶良カルデラの入戸火砕流の分布図を示した．これらの資料より，当地に分布しているしらすは，姶良カルデラの入戸火砕流堆積物と判断した．

崩落面を見ると，**写真-2** に示すように，地層構成が上位より，火山灰質粘性土のローム層，帯状の礫層，しらす，段丘砂礫層であった．その崩壊形態は，表層すべり，剥落状を呈していた[4]．しらす地盤は，色調が肌色，あるいは灰白色を呈しており，斜面下方は広範に礫も挟在しており，その礫層でのガリー浸食が顕著な状態にあった．




図-1　現地周辺の地質図[2]

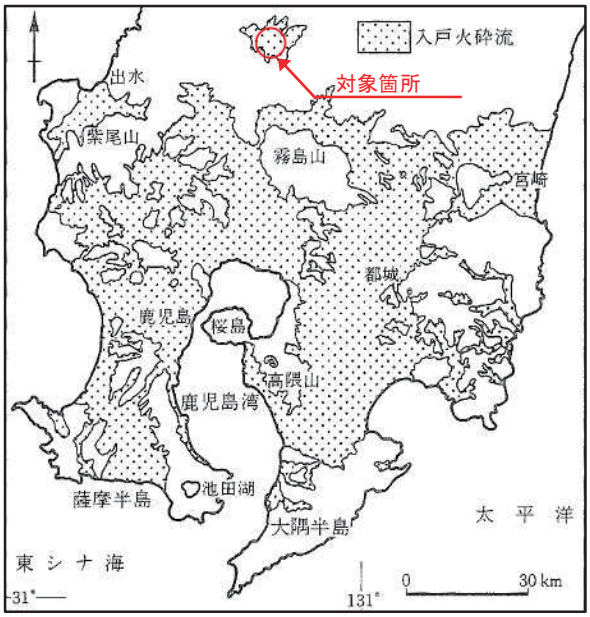



図-2　入戸火砕流堆積物の分布図[3]

崩壊面には，発達したガリー浸食が発生していたが，**写真-3** に示すように円礫混在のしらす地盤と段丘砂礫の箇所が顕著な状態にあった．礫が混在したことが，ガリー浸食の拡大の要因にあったと考える．この砂礫の特性分布は，河川勾配と，洪水時の流量，背後地の供給能によって支配されることになる．

球磨川水系河川整備計画［国管理区間］附図に基づいて算出した斜面近傍の球磨川の勾配は，1/500～1/600 であった[5]．旧地形との関連もあるが，この勾配は「セグメント 2-1」に区分されることになる．セグメント 2-1 は，中流域から下流域にあって，河床材料の代表粒径は，1 cm～3 cm にある[6]．しかし，崩壊面の粒径は，それよりも大径の礫が多く見られたため，セグメントと関連づけることはできなかった．

なお，河道セグメントは，縦断方向に河道の特性がほぼ一様な区間を指し，多くの沖積河川は，複数の河道セグメントが接続して形成されているとみることができる河道特性理解の基本単位である．

また，**写真-2** に位置を示したしらす層と段丘砂礫層との層境からの湧水が顕著であったことに加え，礫周辺のマトリックス流出も，ガリー浸食拡大の要因のひとつである．これらの湧水は，斜面裾部でも顕著にあったため，排水機能を考慮した裾部固定を目的とした対策工も要求されている状況にあった．

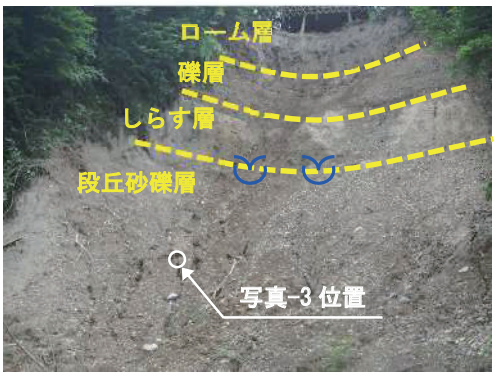



写真-2　崩落面近景




写真-3　発達したガリー浸食（$h$ =1.2 m 程度）

### (2) 現地調査

崩壊面がしらす地盤であることから，まずしらすの地盤特性把握を目的として，現地踏査の他に，土壌硬度測定調査，および簡易動的コーン貫入試験を実施した．山中式土壌硬度計による土壌硬度測定調査では，中腹部に露頭している 3 箇所と，ガリー浸食が顕著な 1 箇所の計 4 箇所において実施した．ここでは，風化の影響を排除するため，**写真-4** に示すように表層部を切削した後の地盤にて測定した．

その結果，**表-1** より斜面中腹部の指標硬度が 24.6～28.3 mm にあったため，「中硬質しらす」，斜面下方部では指標硬度が 10.0 mm であったため，「極軟質しらす」に区分された [7]．また，簡易動的コーン貫入試験を斜面中腹部（**図-4**）にて実施したところ，極軟質しらすが 0.9 m，軟質しらすが 1.7 m，中硬質しらすが 2.3 m の層序構成であることが判明した（**図-3**）．

**表-1　しらす地帯の土質判別分類基準** [7]

| 分類 / 特性値 | 地山しらす | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 極軟質しらす | 軟　質しらす | 中硬質しらす | 硬　質しらす |
| 指標硬度 (Hy,mm) | 20 以下 | 20～25 | 25～30 | 30～33 |



**写真-4　土壌硬度測定状況**

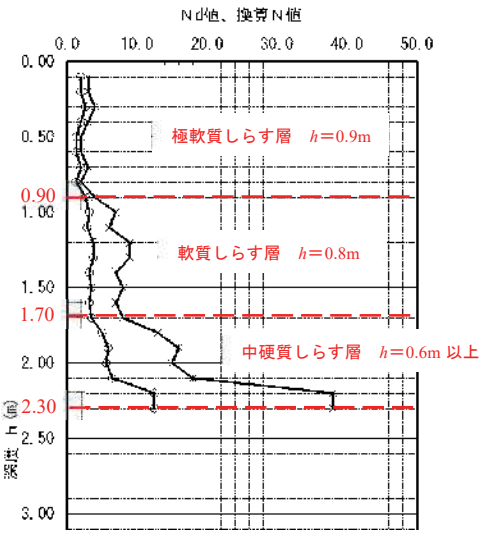



**図-3　簡易動的コーン貫入試験結果**

## 3. 対策工詳細設計

### (1) のり面工の設計

ここでは，打撃回数の分布状況と，土壌硬度指数に基づいて，打撃回数が 4 以下を極軟質しらす，10 未満を軟質しらす，10 以上を中硬質しらすとして区分した．崩壊面上に見られるガリー浸食の深度は，転石などの影響に左右されるが，ガリー浸食発生箇所は，概ね表層部の 1.0 m 程度が不安定土塊となりやすいことが判明した．また，表層部より 1.7 m までが軟質しらすにあるため，ここについても，この崩落によって応力解放などの影響を受けている可能性もあるため，ここまでを不安定土塊と考えて対策工を講じる必要があると判断した．

崩壊地内には，のり面中間部に最大 1.2 m 程度のガリー浸食が発生している．そこで，このガリー浸食を形成している極軟質～軟質しらす層は，のり切工によって，平滑に整形する計画とした．

のり面対策は，切土のり面保護工選定のフロー[8]より工法を抽出した．ここでは，調査結果より，しらすの安定勾配 1:1.0[7] が確保できないため，擁壁工，杭工，グラウンドアンカー工などの工法が対象となったが，施工条件と地盤特性を考慮した不安定土塊といった地盤条件より現場打ち吹付枠工を採用した．

その安定計算では，軟質しらす層 1.7 m のうちガリー浸食を考慮した整形を行うが，0.5 m は残留することになるため，これを不安定土塊として計算した．計算は，安全側に考え，**図-4** に示した最急勾配部箇所での計算モデルを設定することにした．




**図-4　のり枠工計算モデル模式図と簡易動的コーン貫入試験位置図**

しらす地盤での現場打ち吹付枠工検討の際，県内で広範に分布している鹿児島県で用いている仕様を参考にすることにした[9]．鹿児島県では，**表-2** に示した仕様で，しらすでの現場打ち吹付枠工について規定している．ここでは，のり面の土圧を考慮する必要がない場合に限り，標準タイプと称する 200×200 の枠断面としている．しかし，当現場については，災害箇所にあって不安定土塊の存在が懸念されるため，**図-5** に示した埋込型としたうえで，不安定土塊に基づいて安定計算を行うことにした．

この埋込型は，型枠を設置する前に枠断面の幅，そして枠断面から枠内の吹付厚を差し引いた深度で格子状に地山を掘り込み，その掘り込んだ箇所に沿って型枠を設置し，モルタルを充填してのり枠を築造するという方法である．枠内は，設計の吹付厚さだけ突出することになるが，設計厚に応じた枠内吹付を行うことで，表面に枠による凹凸ができないフラットなのり面が形成されることになる．表面をフラットな状態で保っているため，表流水の浸透による浸食自体の発生が抑制されることになる．

また，地盤内に埋め込まれた枠によって浸食エネルギーが減衰することになるため，ガリー浸食のような顕著な浸食発生は防止することができる．

そこで，枠断面 200×200，枠ピッチ 2,000 mm，鉄筋径 D10 にて，**図-4** に示したのり枠工計算モデルに基づいて計算を行った[10]．

ここでは，人吉城跡公園内にあるため，修景環境に配慮する必要があったため，枠内は植生基材吹付工とした．この結果，曲げモーメント，せん断力に対する条件を満足したため，この仕様による現場打ち吹付枠工を採用した．

**表-2　鹿児島県現場打ち吹付枠工仕様**[9]

| 区　分 | 法枠タイプ | 土　圧 | 構造検討 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 枠断面 | 枠ピッチ | 鉄筋径 |
| しらす | 埋込型 | 考慮する | 安定計算結果により決定 | | |
| | | 考慮しない | 200×200 | 2,000 | D10 |
| しらす以外 | 突出型 | 考慮する | 安定計算結果により決定 | | |
| | | 考慮しない | 200×200 | 2,000 | D10※ |

※但し，法面勾配が 7 分より急な場合は別途検討

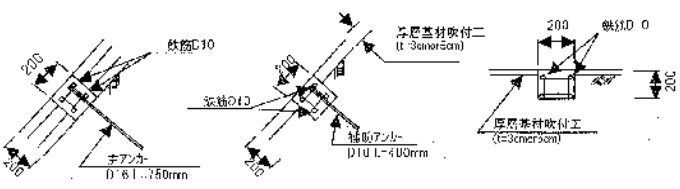



**図-5　埋込型現場打ち吹付枠工断面図**[9]

### (2) 斜面裾部湧水対策の設計

崩壊地裾部では，しらす層の下位に透水性の高い段丘砂礫の玉石層が分布していることもあり，**写真-5** に示すような流出程度の顕著な湧水を複数箇所確認した．そのことで，マトリックス分が流出し，玉石が残置したこともあり，浸食痕が拡大する傾向にあった．のり面対策では，埋込型による現場打ち吹付枠工を採用したことで，のり面上の浸食防止は期待できる．ただ，裾部の湧水処理が不十分な場合，洗堀を受けることで，斜面全体の安定にも影響を与える可能性があった．

このようなことから，斜面基礎部の固定と局所的にみられる湧水対策として，透水性の高い擁壁等により基礎部の安定を図る必要があった．しかし，コンクリート構造物では，景観を損なうことになるので，将来植物の進入が可能な構造で，透水性に優れる鉄線籠擁壁の検討を行った．

鉄線籠擁壁は，鉄線籠を組み立てた状態での重量と幅により，斜面崩壊等を防止するものである．その標準構造の形式は，**図-6** に示すように，背面地盤の状況により標準型と混合型構造に分類することができ，ここでは斜面対策工が実施されているため，標準型とした．

鉄線籠擁壁は，「河川災害復旧護岸工法技術指針（案）」[11] によると，施工実績などを考慮し，擁壁高が 5.0 m を適用範囲としている．鉄線籠擁壁には，「簡易鋼製枠」，「かごマット」，「ふとんかご」といった種類があるため，これらの 3 工法において比較検討を行った．

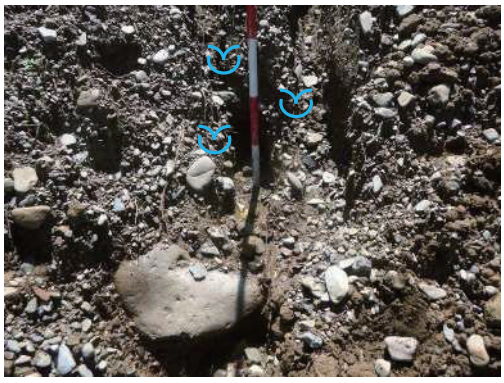


**写真-5　崩壊面裾部の流出する程度の湧水**

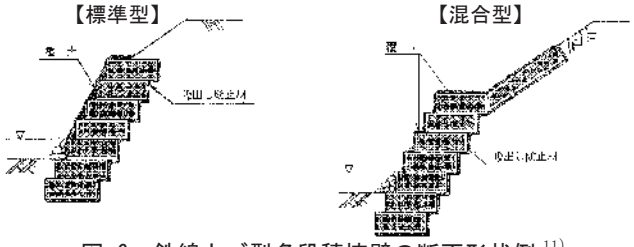



**図-6　鉄線カゴ型多段積擁壁の断面形状例**[11]

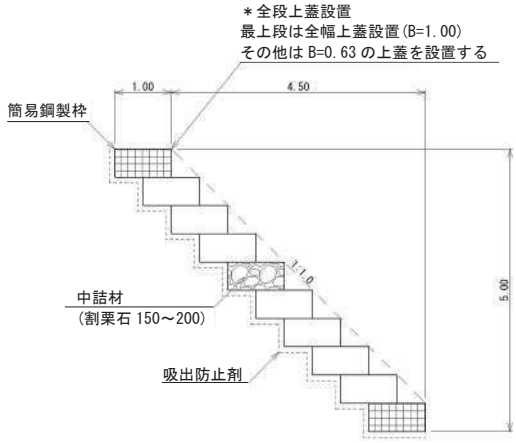



**図-7　簡易鋼製枠断面図**

その結果，経済性だけでなく，不同沈下に対する追随性，土中での耐久性，そして省力化工法研究会での取扱工法といった総合評価により，**図-7** に示した断面による簡易鋼製枠工案を採用した．これによって，公園内に見られる石垣との一体化を図る効果もあり，修景保全面においても良好なものとなった．

その構造設計にあたっては，中詰材の粒径，規格，構造といった点において検討した．基礎形式は，直接基礎とし，土圧は試行くさび法，許容支持力は 100 (kN/㎡)と設定した．安定計算の結果，擁壁高 5.0 m，前面勾配 1:1.0，底版幅 1.0 m にて，滑動，転倒，支持といった条件は，全て満足した．

### (3) 緑化工による景観設計

現地は，市道五日町田町線の球磨川に架かる水ノ手橋から一望できる箇所にある．また，人吉市では，「史跡人吉城跡整備基本計画書第 2 版」[12] を策定し，「人吉城　移り行く歴史を知るー中世，近世　そして現在へー」という基本理念のもと，保存修復，環境整備，多様な活用，管理・運営を図ることを標榜していた．

したがって，ここでは，コンクリート構造物などによる圧迫感をできる限り与えないことや，人工構造物だけでなく，自然の材料などを用いた景観面にも配慮した斜面安定対策が要求されていた．そして，枠内緑化に関して，人吉市指定文化財等保存活用専門会議からは，以下のような要望が出されていた．

1)外来草本を用いずに，国内産自生種とすること
2)樹高が高くなる植物は選定しないこと
3)植物が異常に繁茂しないよう，成立発生期待本数は必要最小限に抑えること
4)周辺環境との調和を踏まえて選定すること

さらに，この後に開催された会議を踏まえ，追加の要求事項として在来種の中でも，現地に自生している植物のみで配合計画を行う旨の意見が出された．

**表-3　種子配合表**

| 区 分 | 植 物 名 | 成立発生期待本数（本/m²） |
|---|---|---|
| 木本種 | イロハモミジ：日本産 | 10 |
| | アカメガシワ：日本産 | 30 |
| 草本種 | イタドリ：日本産 | 50 |
| | チカラシバ：日本産 | 50 |
| | エノコログサ：日本産 | 30 |

そこで，改めて現地を調査して，崩壊地周辺に生育している植物分布を把握することにした．

その結果，オカメザサ，チマキザサ，ケチヂミザサといったササ類，またシダ類はリョウメンシダ，オオイタチシダが生育していた．木本植物は，ヤブツバキ，アオキ，タブノキ，モチノキといった常緑樹，そして落葉樹はイロハモミジ，アカメガシワ，クサギ，サルスベリなどの生育が確認された．そして，草本植物としては，エノコログサ，イタドリ，ミズヒキ，チカラシバといった植物が確認された．

なお，植生配合設計は，現地で自生している植物のほか，平成 12 年に実施した植生調査に基づいて作成された樹木調書も参考として，種子採取が可能となる植物として，**表-3** に示した配合とした．ここでは，侵入植物にも配慮した配合としたため，成立発生期待本数を抑制して計画した．

まず，木本種のイロハモミジは，公園内に多く見られ，崩壊斜面が周辺植生と調和することに期待した．また，秋季の紅葉の彩りを考慮して．イロハモミジを取り入れることで，バランスを考慮した植生景観が図られると考えた．アカメガシワに関しては，アカメガシワが新肥料木と呼ばれる仲間に分類されており，根粒菌を保有する肥料木よりも土壌を肥やす効果があると報告されている [13]．これは，葉中に含有される窒素量の多さが肥やす力の目安とされているためである．ここでは，景観性だけでなく，この肥料木効果にも期待して採用することにした．なお，これらの木本植物は，高木に至るケースもあったが，斜面上での成長抑制効果に期待して採用した．

草本種のイタドリは，やや湿ったところを好むうえ，撹乱を受けた場所によく出現する先駆植物で，短い期間に生長を遂げて大きくなり，谷間の崖崩れ跡などはよく集まって繁茂している．これは太く強靭で，生長の早い地下茎によるところが大きいため，根系の緊縛効果による表層部の安定を目的として採用した．チカラシバも，現地に自生していただけでなく，根張りがよく，土壌緊縛力が期待できる植物にあるため，表層崩壊防止を目的として採用したものである．

そして，全国的によく見られ，現地にも自生し，種子が採取可能な国産種にあるエノコログサを加えて計 5 種とした．エノコログサは，「ヒゲ根」と呼ばれる細い根が編み目状に張りめぐらされるため，土壌緊縛力が強く，表層崩壊の抑止効果が期待できる．また，乾燥害を受けて木本植物の生育不良が発生した場合，有力な植物がチカラシバだけとなるので，その補填効果にも期待したものである．なお，これらの種子は，市場性がないため，種苗メーカーに依頼して採取し，適切な温度管理のもとで着手までの期間，保管することで，スムーズな施工を実現することができた．

なお，斜面上方は，植物の生育条件を超越する勾配（1:0.5）にあったため，階段状ユニットによる階段植生工法案，金網製の傾斜緩和部材による傾斜緩和型のり枠工案，および連続長繊維補強土工法案の 3 工法より比較検討した．その結果，施工性，湧水による影響といった点を考慮して，傾斜緩和型による植物の生育勾配を確保して安定した植生基盤（5 cm）を造成して永続的な植生導入を図ることにした．

また，枠が白色の現場打ちモルタルにあるため，施工後の初期段階では，白色の格子枠によって景観を損なう可能性が危惧された．そこで，施工後の初期段階の景観保全を目的として，現場打ち吹付枠工を造成する際の吹付モルタルに無機顔料による着色材を混入して，周辺環境との調和を図ることにした．

ここでは，耐久性に優れた無機顔料を採用し，色調は黒色とした．これは，モルタルの彩度を抑制させるだけでなく，植生による陰影や，照り返しなどを考慮して，自然景観創出を図ったものである．

この内容で，人吉市指定文化財等保存活用専門会議に諮問したところ，種子採取時期について指摘を受けた．そこで，種苗メーカーに確認し，1 年後の施工に向けた準備を行ったことで，**写真-7** に示すように，無事完成することができた．

## 4. おわりに



**写真-7　完成直後の遠景**

本論文では，人吉城跡公園内で発生したしらす斜面崩壊の復旧に関して，しらす地盤の特性把握を目的とした調査，および，その特性を考慮した斜面対策工や湧水対策，自生種導入を含めた周辺環境に配慮した修景保全を図った復旧の検討過程をまとめた．

熊本県内には，人吉地方だけでなく，水俣市を含めた芦北地方にも，入戸火砕流堆積物によるしらすが分布しているため，この事例を今後に活かすことができればと考える．

**謝辞**：本報告にあたり，人吉市役所教育部文化課文化財係岸田様より助言を得た．また，紅大貿易株式会社緑化事業部には，多大な協力を得た．ここに，末筆ながら記して謝意を表します．

**参考文献**

1) 今薗淳司，梅崎基考，山下隆之：熊本県南部におけるしらす地盤の斜面災害，地盤工学会災害調査報告論文集，Vol.1，No,1，pp.27-35，2023.
2) 熊本県地質図編纂委員会：熊本県地質図，2008.
3) 日本の地質「九州地方」編集委員会：日本の地質 9　九州地方，p.223，1995.
4) 春山元寿：豪雨による南九州の斜面崩壊，自然災害資料解析，1，pp.80-88，1974.
5) 国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所：球磨川水系河川整備計画［国管理区間］（令和 4 年 8 月 9 日策定）参考資料附図，附図-5，https://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site_files/file/river/kasenseibi/huzu.pdf, 2026.515.
6) 財団法人リバーフロント整備センター：川の営みを活かした川づくり～河道計画の基本から水際部の設計まで～，p.4，2014.
7) 国土交通省九州地方整備局：土木工事設計要領　第 I 編共通編参考資料シラス地帯の河川・道路土工指針(案)，共-参-10-55，2019.
8) 社団法人日本道路協会：道路土工－切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版），pp.198-199，2000.
9) 鹿児島県土木部砂防課：急傾斜地崩壊対策事業の手引き，pp.8-15～8-16, 2003.
10) 一般社団法人全国特定法面保護協会：のり枠工の設計・施工指針（改訂版第 3 版），p.39．2013.
11) 公益社団法人全国防災協会：河川災害復旧護岸工法技術指針（案），pp.2-3～2-22，2001.
12) 人吉市：史跡人吉城跡整備基本計画第 2 版, p.2, 2020.
13) 倉田益次郎：緑化工と自然保護のうけとめ方，緑化工技術第 5 巻第 2 号，pp.6-8，1978.

（2026.5.29　受付）