

Ⅲ. 文化財建造物周辺における斜面防災対策事例

1. 計測モニタリング事例 (1) 重要伝統的建造物群保存地区「与謝野町加悦」天神山

■地区の概要

丹後半島基部付近に位置する与謝野町加悦は、京都府7番目の重要伝統的建造物群保存地区に選定されている。過去に大きな地震に見舞われているほか、豪雨による水害の被害を繰り返し受けている。

この加悦地区の南部に位置する天神山は、基盤岩は花崗岩からなり、砂やシルト、砂礫などからなる段丘堆積物に覆われている。頂きにある天満宮をはじめとして、伝統的建造物に指定される3つの寺を山麓東側に抱えている。

3つの寺では、擁壁、石積み、階段、縁石などにクラック、ずれや沈下が生じているほか、周辺の斜面において高さ3m程度の小崩壊跡が複数確認されている。全体的に表層は風化が進み不安定な状態にあると推察され、文化財は土砂災害のリスクにさらされていると言える（天神山の東側斜面は、「急傾斜地崩壊危険区域」に指定されている）。



写真-1 天神山山麓にある宝厳寺本堂

■計測モニタリングシステム

近隣のデータにより、当該斜面は時間雨量10mm以上の集中豪雨や、10時間程度以上連続する降雨に対して特に注意が必要であることが考えられた。そこで、原位置においてリアルタイムで雨量を計測・監視できるシステムを構築した。モニタリングシステムの概要と、天神山に設置した気象ユニットの概要を図-1、2に示す。

気象ユニットは転倒ます型雨量計とデータロガ、データ送信のための無線機、ソーラー電源で構成される。取得されたデータはワイヤレスで加悦庁舎へ送られ、リアルタイムで連続雨量、実効雨量、土壌雨量指数などが計算される。あらかじめ設定した基準値を超える予報値が出た場合には、管理者へアラーム通報される。

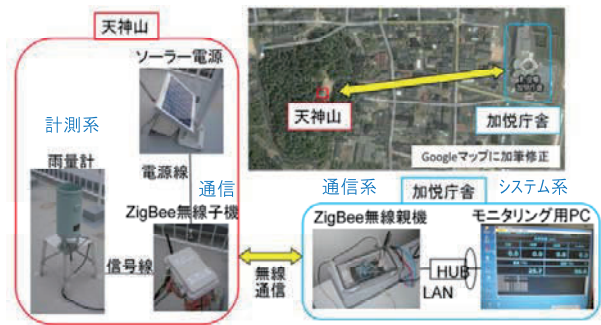


図-1 モニタリングシステムの概要

■モニタリング結果

特に降雨の多かった期間の測定例を図-3に示す。土壌雨量指数については、当地区において総務省により、大雨注意報発令基準値が95、警報発令基準値が119とされている。

最大連続雨量は2011年9月19日～23日までの232.5mm、最大時間雨量は2011年8月25日～26日に記録した31mm/hである。9月19日からの降雨では土壌雨量指数126を記録しており、警報発令基準値を上回っている。これまでの計測期間中に大規模な崩壊は確認されていないが、警報値を上回る降雨イベントが発生し、小規模な表層崩落等の変状が確認されていることから、今後も同程度あるいはそれ以上の降雨の発生に対して引き続きモニタリングが必要であると考えられる。

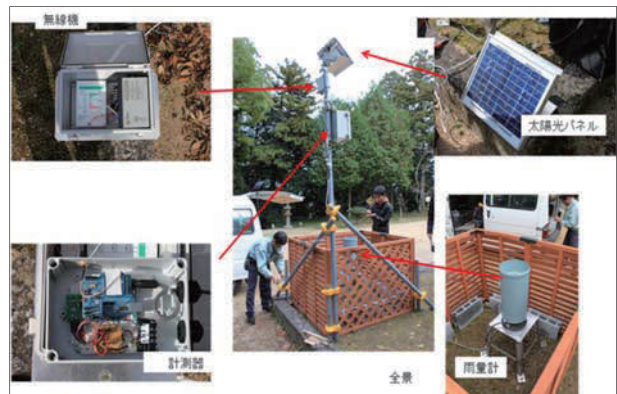


図-2 気象ユニットの概要

■危険箇所の抽出

土砂災害を防止するためには、安定解析を行い、崩壊発生規模や挙動予測を行い、その結果に適した土砂災害対策を施す必要がある。本地区では、宝蔵寺の背後斜面（幅 40m、斜面長 30m、比高 25m）を対象に安定解析を試行した。

試行フローを図-4 に示す。レーザー距離計およびデジタルコンパスで測量を行い、調査が可能な上部斜面を 10m×8m のメッシュ（図-5）で切り、簡易動的コーン貫入試験を実施して、地盤強度の鉛直分布および基盤の深度を計測した。さらに土層強度検査棒調査の結果から、内部摩擦角と粘着力を推定した。

得られた地盤情報をもとに、メッシュごとに無限長と仮定した安定計算を行い、安全率が 1.0 となる地下水位の限界高さを求めた。図-6 にメッシュ B1～B4 の結果を、地盤情報とあわせて示す（図中、水色の線が地下水位の限界高さである）。

図-6 より、B4 は降雨があっても崩壊発生に至らない可能性が高いと考えられる。一方、B1～B3 は地下水位が GL-1m 以上になると不安定な状態になることがわかる。特に軟質な I 層が厚いことから、崩壊発生の危険度は高いと考えられる。

次に、断面ごとの安定計算を FEM 解析により行った。B2、B3 を含む断面②、③は、地盤データを入力した時点（降雨がない時点）で、安全率 1.0 を下回っており、非常に安定性が低いことが推察される（実際に崩壊に至っていないのは、樹木根系の緊縛効果、求めた地盤データの精度の問題などが考えられる）。

■今後の課題

崩壊の可能性の高い斜面で、計測モニタリングと地盤調査・解析を実施している。これにより、早い段階での崩壊の危険性の把握が可能となっていると考える。

収集データの精度向上などの課題は残るものの、今後、データの蓄積を進めることにより、精度のよい表層崩壊の予測に向けての貴重な資料が得られるものと考えられる。

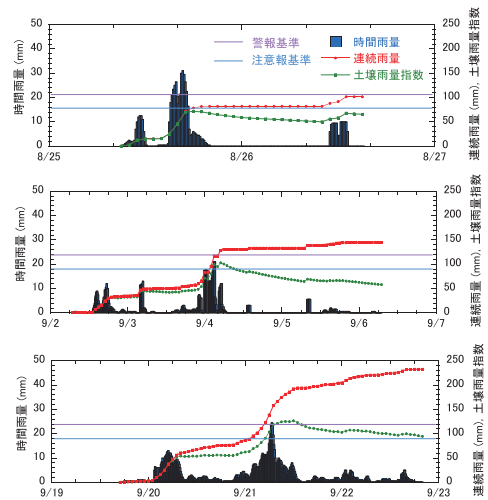


図-3 モニタリング結果例(2011年8月～9月)

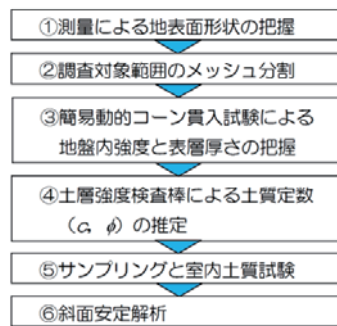


図-4 危険箇所抽出のための手順

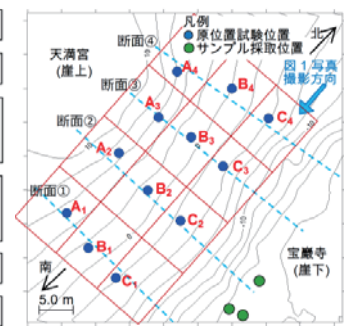


図-5 調査範囲のメッシュ分割

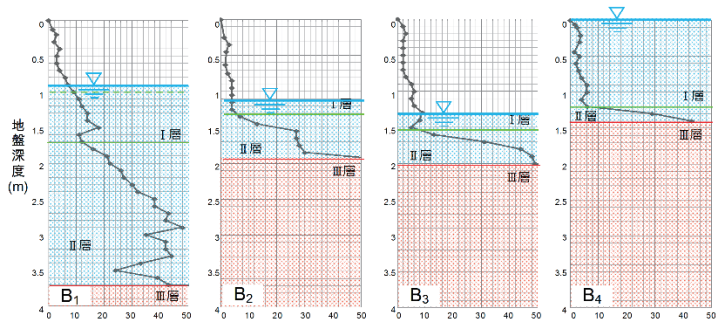


図-6 地盤状況とメッシュごとの安定解析結果

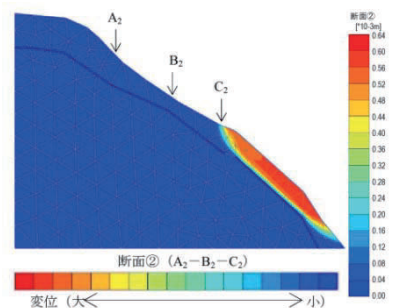


図-7 FEM 解析による斜面安定解析結果(変位)

1. 計測モニタリング事例 (2) 熊野那智大社

■地区の概要

和歌山県東牟婁郡那智勝浦町にある熊野那智大社は、世界遺産「紀伊山地の霊場と参拝道」の一部であり、国の重要文化財に指定されている。この熊野那智大社がある那智川流域では、2011年の台風12号によりもたらされた豪雨により、土石流や大規模な斜面崩壊が発生している。熊野那智大社でも、社殿に土石流が流入し、埋没被害が発生した。

那智川流域の地質は、砂岩や泥岩からなる熊野層群(新第三紀層)と、これを基盤として貫入した花崗斑岩を主体とした熊野酸性岩類(中新世火成岩類)である。全体的に地盤内部は風化が進行しており、さらに崩積土や旧土石流堆積物が那智川周辺に広く厚く堆積している。また、特に熊野那智大社一帯では地すべり地形が発達しており、過去の崩壊跡も随所でみられることから、今後も集中豪雨などに伴う土砂災害が発生するリスクが高いといえる。

■斜面崩壊の実態

熊野那智大社では、数十年前より自動記録式雨量計を設置し、雨量計測を行っている。2011年の台風12号が発生した際に記録された雨量データは、9月4日午前2時に時間雨量82mm/h、午前4時に最大時間雨量93mm/hの非常に降雨強度の大きい雨が観測された。また、降雨ピークまでの累積雨量は578mm、総降水量は707mmであった。計測結果や那智大社職員に対するヒアリングなどより、土石流の発生時刻は9月4日午前3時過ぎと推定される。

崩壊前後の地形図、画像の比較により、熊野那智大社に土石流をもたらした源頭部での大規模崩壊の規模は長さ50m、幅30m、深さ12~15m程度と推定された。

■崩壊発生に関する降雨浸透・斜面安定解析

滑落崖上部の非崩壊地において、簡易動的コーン貫入試験を行い、土層の厚さおよび基岩の風化の進行度を、また室内透水試験、pF試験などから土層の鉛直方向の水理特性、保水性を明らかにした。それらの地盤情報をもとに熊野那智大社裏山の大规模斜面崩壊について、斜面安定解析を行った。対象断面は水平距離113m、深さ15.1mとして、表層土を1.6m(表層土0.1m、下層土1.5m)とし、その下に13.5mの風化基岩層を設定した。

解析の結果、降雨強度の大きい時に土層から風化基岩層上部に飽和体が形成され、その後も継続的な降雨により、土層一風化基岩層上部の地下水帯と風化基岩層深部に地下水帯が繋がることで、大きな地下水帯が形成された。降雨ピーク時には斜面内部全体がほぼ飽和状態となり、安全率が急激に低下し、崩壊が発生したと考えられた。



写真-1 熊野那智大社社殿被災状況

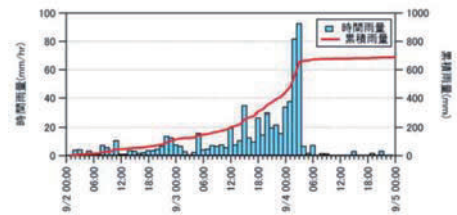


図-1 時間雨量と累積雨量(熊野那智大社雨量計)

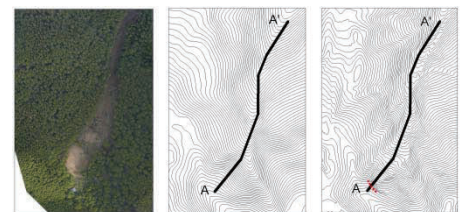


図-2 崩壊斜面の特徴:(a)崩壊後のオルソ画像、(b)崩壊前の地形図、(c)崩壊後の地形図

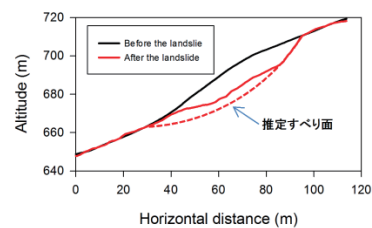


図-3 崩壊地の断面図および推定すべり面

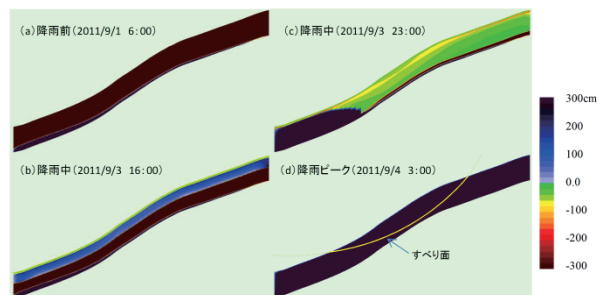


図-4 降雨浸透解析の結果およびすべり面形状

また、すべり面の形状も崩壊形状から推察される形状とよく似ており、この結果から土層以深の風化基岩層を降雨浸透・斜面安定解析の解析対象とすることで規模の大きな斜面崩壊を再現できる可能性が示された。

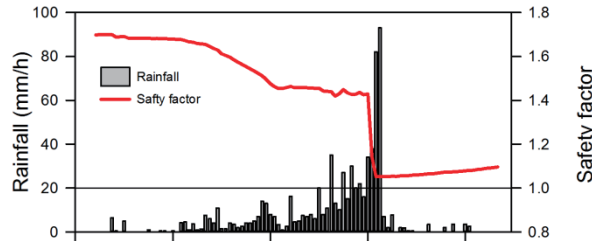


図-5 安全率の計算結果

■ 数値シミュレーションを用いた災害対策法の検討

熊野那智大社に流入した土石流の氾濫に対して、土石流シミュレータ「Kanako2D」を用いて再現計算を行った。また、砂防ダム建設により、その氾濫の規模や土石流入量の軽減に関して、どのような効果があるか数値シミュレーションモデルを用いて検証した。

再現計算結果と熊野那智大社の被害状況とを比較すると両者の相違は大きくなく、再現計算が概ね妥当であることが分かった。また、災害後のLPデータを地形条件として数値シミュレーションを行ったところ、災害前の流出経路とは変わり、今後も神社の方向に水と土砂が流れる傾向を示した。このため、同様の被害を防ぐための対策を講じる必要があることがわかった。

不透過型砂防堰堤の被害軽減効果について検証したところ、8mの砂防堰堤はあまり効果がなく、16mの砂防堰堤は流出土砂量を40%軽減できるという結果が得られ、ある程度の規模の砂防堰堤が被害を軽減するうえで有効であることが示された。景観に配慮した上で砂防堰堤が効果を発揮するような最適な高さを検討していく必要がある。

砂防堰堤と導流工と組み合わせて用いた場合による被害軽減効果について検証したところ、今回のような豪雨による被害を防止・軽減するうえで有効であることが示された。しかし、上流から大規模な土石流が発生した場合、導流工を超えて神社の方に流れる可能性があると考えられる。

■ 今後の課題

過去に繰り返し土石流や斜面崩壊が発生している地域において、継続的な雨量観測や地盤調査・解析を行っている。これにより、今後予想される地盤災害の規模や危険性を把握し、必要な対策法を検討することが可能となっている。収集データ、解析精度の向上といった課題はあるが、今後データの蓄積を進めることで、精度の良い地盤災害の予測が将来的に可能となると考えられる。

2. 対策・災害復旧事例 (1) 神社仏閣での斜面防災・復旧

斜面防災・災害復旧では、斜面の地形や地質だけでなく、斜面を取り巻く景観・環境などさまざまな条件に応じた対策の選定が求められる。特に神社仏閣周辺は、森林、湧水、池などの豊かな自然に囲まれており、また境内の庭園など人工的に創造された景観も大切な文化財構成要素となっており、これらの環境・景観の保全も斜面防災・復旧対策にあたって重要な検討事項となる。

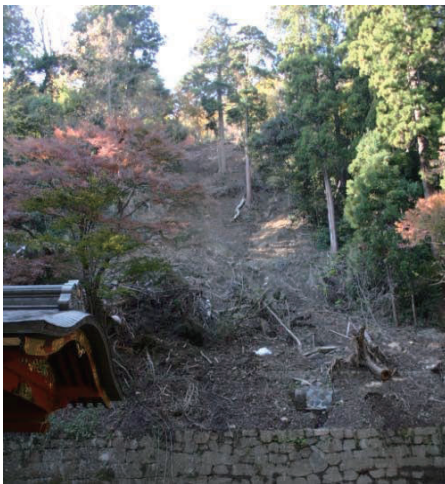
■文化財後背斜面の崩壊復旧／妙義神社（群馬県）

重要文化財である妙義神本殿の後背斜面が、2007年の台風9号の豪雨に伴い崩壊した。本殿の破壊は免れたものの、透塀の一部や唐門の一部が破損した。重要文化財に隣接する斜面であり、景勝地としても名高い地区であることから、復旧対策では、斜面の安定を確保しつつ、できるだけ本殿後背斜面の自然林を保全し、なおかつ崩壊の痕跡を残さず自然な斜面を創りあげることが目指された。

対策工は、崩壊面には、鉄筋挿入工と連続繊維補強土工（[p.24参照](#)）、植生工を組み合わせた複合工法が採用された。植生工は、周辺環境との調和を第一に考え、周辺からの植物の侵入を期待して新たな植物種の導入は行わず、植生基材の吹付造成のみで完了した。ただし、当該のり面は、長大であり小段の無い傾斜形状であることから、植生基材のみの造成では侵食される可能性があった。このため、マルチングなどの表面保護を併用した（[p.31参照](#)）。



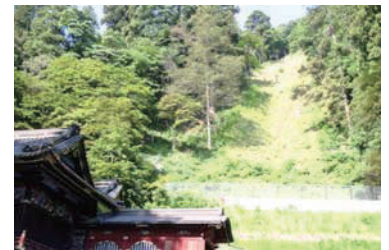
写真-1 妙義神社唐門



崩壊直後



連続繊維補強土工施工状況



植生工実施後



頭部ワイヤー連結型の鉄筋挿入工



周辺斜面からの植物の侵入により緑が回復しつつある斜面

写真-2 妙義神本殿背後の崩壊斜面の復旧

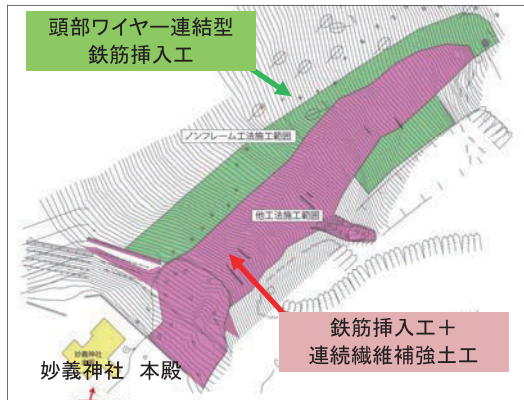


図-1 崩壊斜面の復旧対策概要(平面)



写真-3 緑の森が戻りつつある本殿後背斜面

また、崩壊地周辺部は、できるだけ既存の樹木を残して崩壊の拡大の防止を図るため、頭部ワイヤー連結型の鉄筋挿入工（p.43参照）が適用された。

2013年に復旧を終え、それまで参拝ができなかった本殿の参拝が可能となった。対策斜面には、周囲からの侵入植物が定着し、周辺環境との調和が図られつつある。

●対策技術：無播種による自然回復（自然侵入促進工）

斜面の景観再生に貢献する方法である「植生工」には、導入したい植物の種を含む植生基材をのり面表面に吹付ける「播種工」、苗木をのり面あるいはのり面上に構築された植生基盤に直接植え付ける「植栽工」のほか、種を含まない植生基盤材をのり面表面に吹付ける「無播種工」などがある。

無播種工は、周辺の環境から植物の種子が風や鳥によって運ばれて発芽・定着することにより、周辺の自然環境に調和した植生の復元を期待する方法である。外来の植物の侵入を抑制し、自然の斜面環境への再生を図る上で効力があるが、種子の飛来・発芽は年に1回であるため、侵入植物によって覆われるまでには年数を要する（通常3～5年）。このため、以下のような注意が必要である。

- ①長期間裸地状態が継続され、崩壊跡地の痕跡が残り、景観上好ましくない状態が長く続く。
- ②葉や根系による表面侵食や表層崩壊抑制効果が発揮されるまでに時間がかかる。

対策としては、植生基盤材の表面にマルチング材の吹付けやシート材、わらむしろなどの敷設が行われている。これにより、植物が活着するまでの間、斜面表面の保護が可能であるほか、種子の定着がしやすい環境を提供することができる。また、植生基盤材の吹付け形状を工夫したり、金網を敷設するなどの定着しやすい環境を形成する方法もある。周辺の表土を採取し、埋土種子の発芽・定着を目指す自生種回復緑化工法（p.37参照）も、無播種工に準ずる工法であると言える。



写真-4 植物の定着しやすさを目的としたネットの敷設



写真-5 p.30の事例で行われた養生マット(シート材)

■ 澄んだ湧き水を汚すことなく、崩壊斜面の復旧／鹿島神宮御手洗池（茨城県）

「武甕槌大神」を御祭神とする鹿島神宮には、徳川二代将軍の秀忠公により奉納された社殿をはじめとして多くの文化財が立ち並ぶ。敷地にある御手洗（みたらし）池は、1日に40万リットル以上の湧水があり、水底が一面見渡せるほど澄みわたった池である。昔は参拝する前にここで禊をしたといわれ、現在でも年始に大寒禊が行われている。この御手洗池の湧水の湧出口上部の斜面が、台風に伴う豪雨により崩壊し、土砂がむき出しとなった。参拝者の安全確保が最優先であることは当然ながら、土砂が池に流れ込み、水質の汚濁が発生することも懸念された。

地盤調査により確認された不安定な土砂～強風化層の厚さや範囲に応じて、鉄筋挿入工により斜面の補強がなされた。さらに、美しい神水を汚すことなく、かつ森閑とした周辺の雰囲気との調和がとれた景観を再生するため、連続繊維補強土工と植生工による対策が行われた。

植生の再生は、自生種植物の導入を基本とし、現地植物の移植および埋土種子からの発芽生育を目指した。移植植物は、周辺植生の調査結果から、草本・木本種とコケの7種を選定し、事前に採取してポット（コンテナ）に仮植えし養生を行ったものを使用した。採取量は、コケを除く6種で60～80本とし、約1本/4㎡で植栽した。コケは、石積み工と調和するように、湧水箇所周辺に張り付けた。表土は、現地周辺の林内で採取し、植生工施工時に緑化基材に混合して吹付けた。

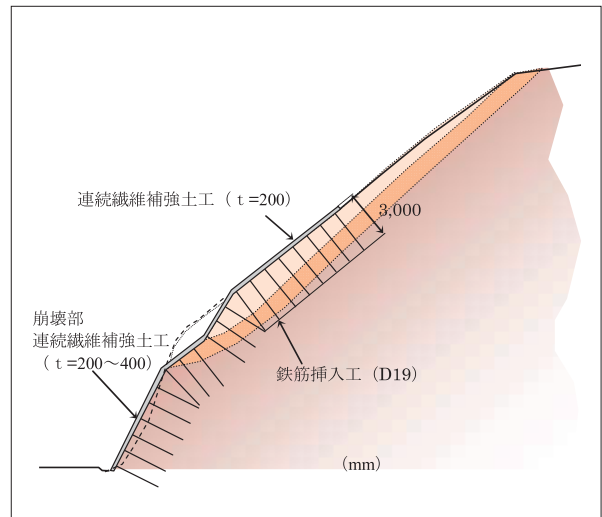


図-2 対策の概要(断面)



土砂がむき出しになった斜面



植栽状況



緑鮮やかな斜面が再生されつつある御手洗池と湧水口



写真-6 御手洗池周辺の崩壊斜面の復旧

■ 斜面表面に現れた人工構造物を緑で被覆／岡寺（奈良県）

西国三十三箇所観音霊場の七番霊場である奈良県岡寺は、日本最初の厄除け霊場として知られており、多くの厄除けの参拝者が訪れる。毎年4月中旬～5月上旬にかけては、約3,000株ものシャクナゲが咲き、四季を通じて様々な花木が境内を彩る名刹である。

三重塔の下方に続く急勾配の斜面の安定対策を、鉄筋挿入工（L=4～6m）と吹付のり砕工（F300）で対策した。通常、修景対策として砕内緑化工が行われるが、それではコンクリートの格子が斜面上に残るため、建造物との景観の調和が図れない。このため、連続繊維補強土工・植生工（植生基材吹付工）でコンクリート枠を覆い、草本類に覆われた緑の斜面を再生した。



連続繊維補強土工による被覆



植生工の施工



三重塔に続く緑の斜面

写真-7 岡寺三重塔下方斜面の安定化対策

● 対策技術：人工物の被覆・遮蔽

上記事例では、コンクリート構造物を連続繊維補強土により被覆した。下記事例は、建設発生土や建設発生木材を主材料とする材料でのり砕工を被覆した事例である。連続繊維補強土と異なり、強度が小さいため地形の復元・創出は困難であるが、併用する緑化により緑の斜面を再生することが可能である。現地発生土などの適用材料の有無、のり面条件や、景観再生の重要度に応じて、その使い分けが可能である。



写真-8 のり砕によるのり面安定工



写真-9 砕内を建設発生土で被覆



写真-10 植生状況

2. 対策・災害復旧事例 (2) 城郭での斜面防災・復旧

地域のシンボルとして城郭の整備が各地で進められている。防衛施設として敵からの攻撃に対する強固な備えが必要な城郭では、深い空堀、高い土塁、急勾配の斜面が設けられる。敵には強いこれらの備えは、雨や地震などの自然の脅威に対しては、ウィークポイントとなることが多い。これらの斜面をのり枠や擁壁のようなコンクリート構造物で覆うことなく安定確保や侵食防止をはかる方法として、また、創建当時の雄姿により近い形で再生できる対策が求められ、鉄筋挿入工と連続繊維補強土工、植生工を組み合わせた複合工法が適用されている。

■木立に囲まれた山城の登城道の整備／松山城（愛媛県）

堅固な山城である松山城では、天主へ向かう複数の登城道が整備されている。いずれの登城道も、木立に囲まれ豊かな自然に包まれている。しかし、登城道周囲の斜面は、各所で風化侵食が進んでいた。多くの武将が往来した登城道に面する斜面をコンクリートの擁壁で覆うことは、文化財の風情を大きく損ねる可能性があった。涼やかな木立を残しながら、斜面の安定を図ることが求められた。

そこで、斜面の安定と景観の保全を目的に連続繊維補強土工と植生工によって斜面の保護を図った。既存木を多く保全しながら斜面対策を行う場合には、斜面まで光が届かず暗がりとなることがある。このような条件では、耐陰性植物や枯れ葉がのり面表面を覆っている状態が自然な景観といえる。本事例では、植生工は種子の導入を行わず、既存木の保全とシダ植物の植栽を主とし、周辺植物の侵入が自然に促進される条件を整えた。

木立の中の登城道の雰囲気壊すことなく、のり面の安定化が図られている。



登城道入り口



木立の中の登城道



木立の中の登城道



シダ類が植栽された斜面

写真-1 松山城 木立の中の登城道斜面の安定化対策

■ 濠や土塁の整備／都於郡城（宮崎県）

中世の九州日向一円を支配した伊東氏累代の本城である都於郡（とこのおり）城は、本丸を中心とした五つの曲輪「五城郭」から構成される山城である。縄張りが良好に保存されている貴重な文化財であり、保存・整備が進められている。しかし、曲輪の周囲は急峻な崖となっており、一部には亀裂や表層崩落が生じ、曲輪の形態が大きく損なわれる可能性があった。

そこで、急勾配の斜面の安定確保のため、鉄筋挿入工、連続繊維補強土工、植生工による複合工法が適用された。2001年から継続的に、斜面の安定と美しい景観を確保しながら、計画的な保存整備が進められている。

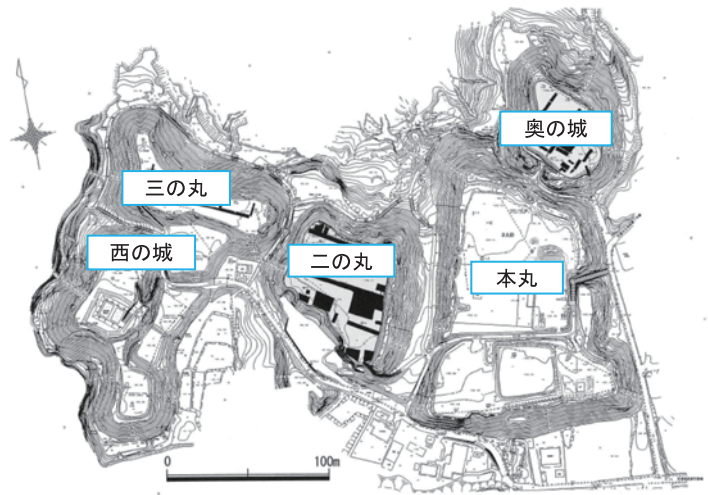


図-1 都於郡城の概要



降雨などにより小崩壊が生じ、不安定化が進行していた二の丸周縁の急斜面

鉄筋挿入工により表層の安定が確保され、草本類により柔らかかに覆われた斜面に整備

写真-2 2013年に実施された二の丸斜面の整備

■大規模な地形の創造／宇都宮城（栃木県）

徳川家将軍が日光社参の際に宿泊した城である宇都宮城跡の敷地に、市政 110 周年を記念して、城の一部復元が行われ、宇都宮城址公園が開園した。

土塁の内部は資料館で、この資料館を取り囲むように連続繊維補強土が造成された。緑化工事には市民も参加してコグマササの植栽が行われた。植物の生育と共に資料館内部の温度の上昇緩和にもつながっている。

白い城壁と緑の土塁が、美しく水面に映え、地域の新たなシンボルとなっている。



写真-3 復元された宇都宮城月見櫓と土塁



写真-4 土塁の構築

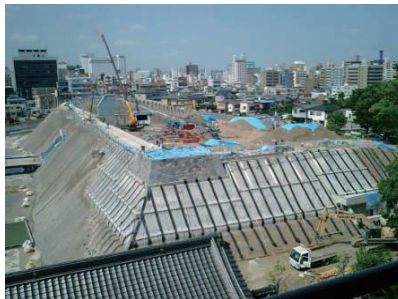


写真-5 連続繊維補強土の構築



写真-6 植栽工実施

■崩壊した土塁の復旧／九戸城（岩手県）

1591 年（天正 19 年）に天下統一を目指す豊臣軍との激戦の場ともなった九戸城は、1500 年頃に、3 つの河川に囲まれた河岸段丘地形を巧みに生かして築かれた広大な城である。いまは公園として親しまれているが、城内の土塁が豪雨により崩壊した。連続繊維補強土工と植生工を適用し、既存の樹木をできるだけ残しながら、斜面の安定をはかり、土塁を復元した。



写真-7 崩壊した城内の土塁



写真-8 既存木を残しながら復旧

■ 森林表土を利用した斜面景観の創造／亀山城（三重県）

亀山城跡ののり面は経年的に風化侵食が進み、表層の保護が必要な状態であった。城跡地、観光地としての景観を損なわないように、コンクリート構造物での対策ではなく、連続繊維補強土工により表面を覆った。また、自然な植生景観をつくりあげるために、隣接斜面から森林表土を採取してこれを植生基材に混合して吹付け、自生種の導入・生育を図ることとした。

自生種の生育は牧草種による緑化に比べ、ゆっくり緑被が進むが、周辺と調和した植生環境の再生が期待できる。施工後4ヶ月経過したのり面は、自生種により30%程度被覆された状態となり、除々に多様な植物が定着しつつある。



写真-9 自生種を主体とする緑に包まれた斜面



写真-10 リターショベルによる表土の採取



写真-11 連続繊維補強土工によるのり面保護



写真-12 森林表土混合植生基材の吹付

● 対策技術：森林表土採取による自生種回復緑化工法

埋土種子を含んだ森林表土（落葉層を含んだ AO 層および A 層）を採取し、環境再生に利用する技術。埋土種子を利用することで、他地域からの植物材料を使用せず、地域の自生種での回復を目指す。

■ 手順と主な特徴

- ① 森林表土の採取：埋土種子が多い落葉・落枝を含む森林表土上層部を、採取条件に応じた方法で集積する。平地・大規模な箇所ではバックホウなどの重機、小規模な箇所ではジョレンなどにより人力で集積。上記事例では、圧縮空気を利用したリターショベルにより集積した。
- ② 表土改良：採取した表土を、吹付材料に適した土壤に改良する。
- ③ 表土運搬：トラックなどでプラントや保管場所まで移動する。
- ④ 植生工：植生基材吹付工を基本とし、改良した森林表土（リターソイル）を緑化基材に混合して吹付ける。

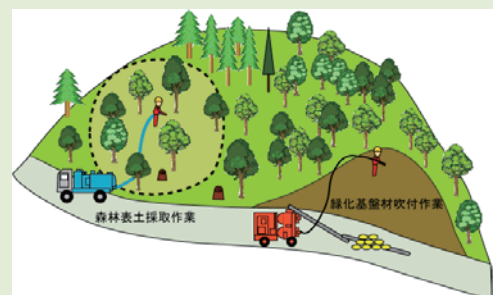


図-2 表土を利用した自生種緑化工法の例



写真-13 バックホウによる採取



写真-14 ミキサーによる粉砕・改良



写真-15 森林表土混合緑化基材の吹付

2. 対策・災害復旧事例 (3) 古墳・歴史公園の整備

古墳や土塁などの遺構は、構造物そのものが斜面を内包しており、長期にわたる表面侵食、風化による斜面の不安定化に留意が必要である。また、発掘調査後の表面の保全や、新たな遺構の復元などに際しても、古えの原風景を想起させる形で構造物を構築することが求められる。斜面防災というよりも保護・整備の意味合いが大きいが、貴重な文化財である古墳の斜面の整備事例を紹介する。

■古墳の整備／田和山遺跡（島根県）

田和山遺跡は、弥生時代前期末から中期後半（紀元前2～1世紀）にかけての遺跡である。穴道湖をのぞむ標高約48mの山頂部分（東西10m、南北30m）が、壕と土塁でぐるりと囲まれ、その内側に大小の掘立柱建物各1棟と、柵の跡と考えられる300もの柱穴列などがみつまっている。遺跡は史跡指定を受け、史跡田和山遺跡整備事業として市民に愛される史跡公園とするための基本計画の策定が、検討委員会で進められた。敷地内をゾーニングし、それぞれの役割に応じて対策が検討された。しかし、環壕部は山のような形状で急峻な地形であることから、ガリ侵食の発生が予想された。また、地質は強酸性の土壌であり、泥化しやすい特徴があった。

そこで、環壕部斜面の表面保護については、以下の点に留意し、連続繊維補強土工法（☞p.24）が採用された。

- ①複雑な地形にフレキシブルに対応しやすい工法
- ②排水条件に有利な工法
- ③植物の育成環境を改善する工法
- ④特に地形の変化が著しい斜面部と環壕部を一体的に安定させる工法

表面には、緑の空間を創出する目的で張芝工が施工された。

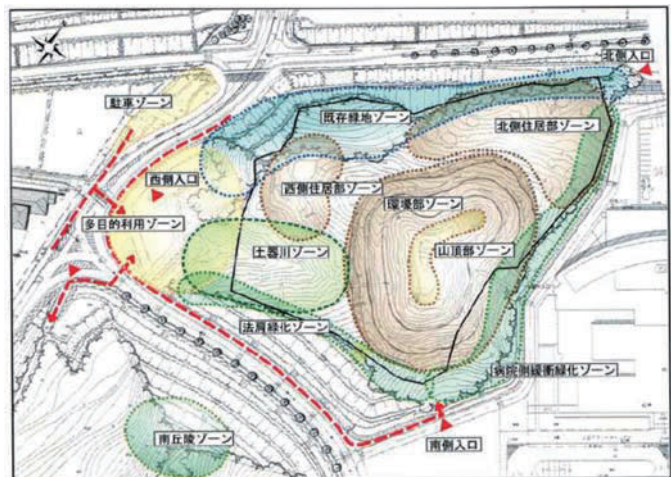


図-1 整備のためのゾーニング

表-1 各ゾーンの対策工法

ゾーン	工法概要	模式図
山頂部 	○山頂部に平坦なスペースを確保するための工法としては、歩きやすさや柱穴の表示のしやすさ、景観性等を考慮した、土系舗装とする。	
散策路 	○散策路についても、歩きやすさや景観性を考慮した土系とする。	
環壕部(斜面部) 	○斜面部については、変化する地形を無理なく補強し、表現できる方法として、連続繊維複合補強と張芝(野芝)の組合せ工法とする。	
環壕部 	○三重環壕の補強と明確な表現については、変化する地形に対応できる連続繊維複合補強と樹脂系表面保護の組合せ工法とする。	
西側住居部と周辺部 	○比較的緩傾斜な範囲や景観植栽が必要な遺構部となるゾーンについては、植栽用盛土厚さへの対応や経済性を考慮した、土留ユニット盛土と種子吹付の組合せ工法とする。	
北側住居部 	○住居跡の一部を表現するための方法としては、盛土と樹脂系表面保護との組合せ工法とする。また、必要に応じて、土留ユニットを配置する。	

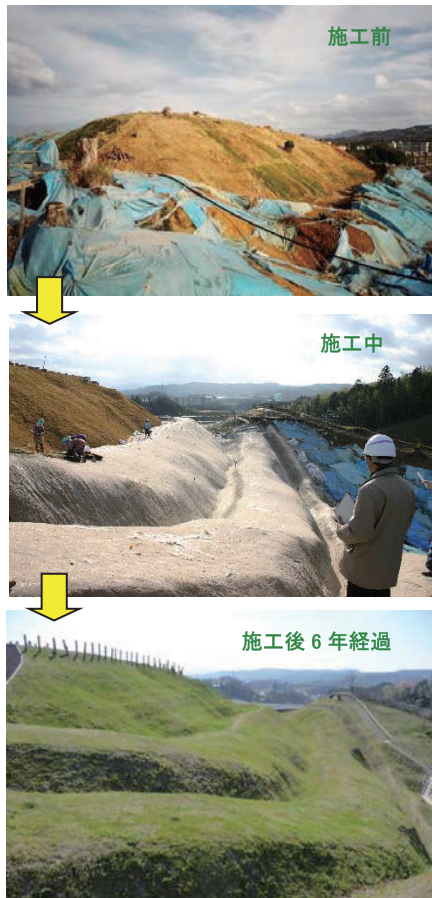


写真-1 環壕部(斜面)整備状況

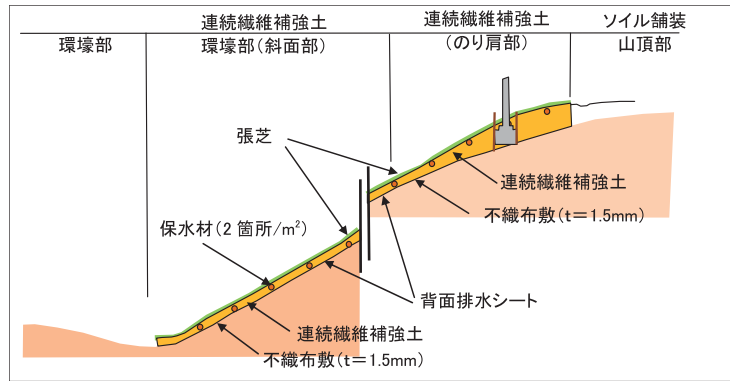


図-2 環壕部標準断面



写真-2 環壕部遠景

■古墳の保全と整備／葉佐池古墳（愛媛県）

愛媛県葉佐池（はざいけ）古墳は6世紀中ごろに作られた長さ41m、幅23mの長円形古墳である。未盗掘で保存状態も良く、国の史跡に指定されている。この古墳の保全と整備のため、連続繊維補強土工が適用された（写真-3）。表面には、乾燥に強いイワダレソウ（クレピア）が植えられ、白い可憐な花を咲かせている（写真-4）。



①古墳を保護するため、表面を土で覆っている

②補強鉄筋の打設と排水用の裏面排水材を敷設

③連続繊維補強土工で覆う

写真-3 連続繊維補強土による被覆



写真-4 イワダレソウの白い花が表面を覆う

■ 国宝の磨崖仏を取り巻く景観に配慮した斜面防災／臼杵石仏（大分県）

臼杵石仏は、平安時代後期から鎌倉時代にかけて彫刻された石仏群であり、1995年に磨崖仏では全国初の国宝に指定された。その中でも、古園石仏は大日如来像を中心とする曼荼羅を構成し、整然とした陣容を備えた中心的遺跡である。

その遺跡を保護する覆屋の下部斜面が、2014年の台風11号により崩壊した。周辺の斜面も盛土斜面であり不安定化が予想された。復旧を行う斜面は遺跡ではないものの、遺跡を取り巻く閑静な景観を構成する一部であり、コンクリート構造物で被覆することは避ける必要があった。

そこで、崩壊部については、軽量盛土工により形状を復元し、表面には連続繊維補強土工（擁壁形状タイプ）により、緑化が可能な擁壁を構築した。また周辺の斜面および石垣については、鉄筋挿入工により安定を確保し、連続繊維補強土工（のり面保護タイプ）により表層を被覆した。いずれも表面には植生基材吹付工を施工し、草本類による緑化を行った。



写真-5 覆堂により保護される古園磨崖仏群



写真-6 覆堂基礎部の崩壊状況

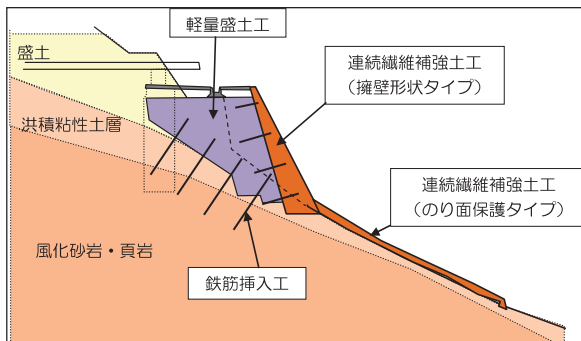


図-3 崩壊部の復旧概要

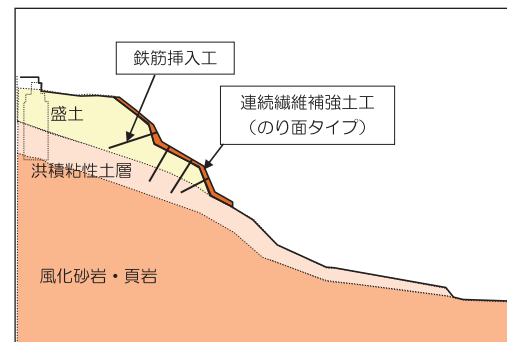


図-4 斜面～石垣部の対策概要



写真-7 対策工実施中



写真-8 復旧完了

■ 歴史公園内に墳丘を復元／吉野ヶ里遺跡（佐賀県）

国内最大の弥生遺跡である佐賀県の吉野ヶ里遺跡は、600年間続いた弥生時代集落の全貌や移り変わりを知ることができ、国の特別史跡に指定されている。吉野ヶ里集落の歴代の王が埋葬されている特別な墓である北墳丘墓は、弥生時代中頃（紀元前1世紀）に異なる種類の土を何層にも積み重ねて造られた人工的な丘で、現在は発掘調査が完了し遺構の公開展示が行われている。遺構は全体を覆堂で覆われ保全されており、往時の北墳丘墓を復元するため、EPS 軽量盛土で全体形状が構築された。その表面に連続繊維補強土を築造し、全面に張芝を行って緑化した。北墳丘内は資料館となっている。



写真-9 公園内の復元建築群



写真-10 EPS 軽量盛土による形成



写真-11 連続繊維補強土による被覆保護



写真-12 完成(表面は張芝)

● 対策技術：連続繊維補強土工による地形復元

連続繊維補強土にはそれ自体に強度があるため、これにより地形の復元を行うことが可能である。以下の事例は、階段状に掘削され人工物が建設されていた斜面を、連続繊維補強工によりほぼ原形に近い形に覆い、郷土種による自然復元を行ったものである。



写真-13 連続繊維補強土工施工前



写真-14 連続繊維補強土工施工状況



写真-15 なだらかな斜面地形に復元

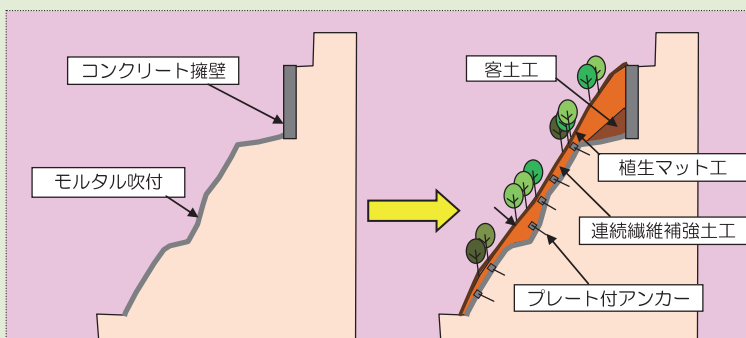


図-5 対策の概要(断面)



写真-16 緑の斜面に再生

●対策技術：頭部ワイヤー連結型の鉄筋挿入工

斜面の安定確保を目的に適用される鉄筋挿入工の補強鉄筋（ロックボルト）の頭部を、支圧板とワイヤーロープにより連結する斜面安定工法が開発されている。

鉄筋挿入工では、補強鉄筋の頭部をのり面工に連結させ、その相乗効果により地山補強効果を発揮させる。通常、のり面工としては、のり砕工や吹付工などが用いられるが、これをワイヤーロープとすることにより、樹木や表土を残し、斜面の安定を図ることができるというメリットがある。また、大きな施工ヤードが必要でなく、簡単な仮設備で施工が可能であるため、施工条件の厳しい斜面において、樹木の保全が求められるようなケースで、斜面安定対策として適用されている。

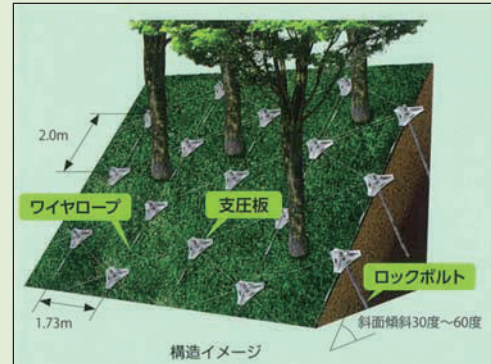


図-6 頭部ワイヤー連結型鉄筋挿入工の概要



写真-17 対策斜面の全景



写真-18 対策斜面の全景(正面)



写真-19 頭部ワイヤー連結型鉄筋挿入工
施工斜面の状況(施工直後)

妙義神社(☞p.30)での適用例。崩壊斜面は鉄筋挿入工と連続繊維補強土工で復旧(写真-18の白矢印区間)し、未崩壊部斜面は鉄筋挿入工と頭部ワイヤー連結工(写真-18の黄矢印区間)により既存木や表土を残しながら安定確保を図った。

Ⅲ章作成にあたり、以下の方々に所蔵資料の掲載をご許可いただきました。記して感謝申し上げます。

宮崎県西都市教育委員会 (P.35、図-1、写真-2)、島根県松江市教育委員会 (P.38、図-1、表-1)、愛媛県松山市教育委員会 (P.39、写真-3)、大分県臼杵市教育委員会 (P.40、写真-5～8)、国営海の中道公園事務所 (P.41 写真-9～12) (敬称略)