

森と水に囲まれた高速道路 ～ 環境と景観の融合 ～

村尾光弘¹・梁川俊晃¹・宮崎雅人¹・内田渉²・関文夫³・石野和男⁴

¹ 日本道路公団関西支社 大津工事事務所 (〒520-2153 滋賀県大津市一里山 3-40-25)

² 正会員 大成・五洋・フジタ共同企業体 (〒528-0044 滋賀県甲賀郡水口町山上善願寺山 927)

³ 正会員 大成建設株式会社 土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1)

⁴ 正会員 大成建設株式会社 技術センター (〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

緑豊かな森と清流に沿って森を行く東海自然歩道。第二名神高速道路甲南トンネル西側の土工区間約1kmは、豊かな自然に恵まれた自然公園特別地域を通過する。我々は高速道路建設に際し、この自然を守るべきもの、かけがえのないものと考え、自然の地形、そこに棲む生物の営み、地域の生活や文化と共生する道づくりを目指した。

そして、1) 徹底した発生資源の抑制とリサイクル、2) 動植物生息環境の保全・復元・創出、3) 無機質な人工景観の排除および自然と工作物の調和、の3つの基本方針を策定し、「川」「山」「森」「文化」の「4つの再生」をマスタープランに定め、様々なエコロードの取り組みを行った。

キーワード： エコロード、再自然化、リサイクル、貴重植物、自生種、石積、チップマルチング

1. はじめに

第二名神高速道路のうち、甲南トンネル西側の土工区間約1kmは、県立自然公園特別地域内に位置しており、当初から環境への配慮が求められていた。特に、緑豊かな森と、清流としての価値が高い隼人川、そして、その隼人川に沿って森をゆく東海自然歩道の付け替え計画が重要なポイントであり、そのためには慎重な検討が必要であると考えられた。

そこで我々は、メインテーマとして

森と水に囲まれた高速道路
～ 環境と景観の融合 ～

を掲げ、基本的な方針として

環境方針

- 1) 徹底した発生資源の抑制とリサイクル
- 2) 動植物生息環境の保全・復元・創出
- 3) 無機質な人工景観の排除および自然と工作物の調和

を策定し、地域の自然やそこに棲む生物の営み、生活や文化と共生する道づくりに取り組んだ。

そして、目標とするメインテーマの実現に向けて、「4つの再生」をマスタープランとして定め、具体的な設計・施工を進めた。



図-1 工事位置図

2. マスタープラン「4つの再生」

(1) 川の再生

溪流としての魅力ある多彩な表情を再生する。
自然石や露出する岩盤を生かした護岸や河床、水辺に親しめる緩やかな護岸や淵などを創出する。



写真-1 隼人川の美しい流れ

(2) 山の再生

元々の地形が持つ変化に富み曲線で構成される山本来の形状を再生する。

道路建設により造られるのり面に対して、直線的、人工的な形状を廃して、尾根や沢の形状を取り入れた造形を行う。

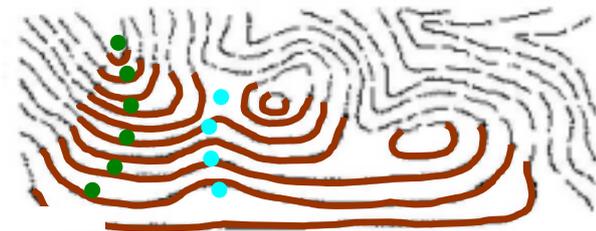


図-2 切土における地形の再生

(3) 森の再生

多様な地域自生の植物により、生物多様で豊かな森を再生する。



写真-2 周辺地域の豊かな森

現地の表土を切土や盛土ののり面に活用したり、自生種子から苗木を育成したりして、自生種によるのり面の樹林化を図る。

(4) 文化の再生

地元近江は、城壁の石垣で名高い「穴太（あのを）衆積み」の発祥の地である。穴太衆積みは、自然石をそのまま使う野面積みを基本とし、自然景観に調和し環境にやさしい石積み工法である。



写真-3 安土城址に見る穴太衆積みの石垣

工事で大量に発生する転石に着目し、この地域の誇るべき伝統工法を、近代土木の象徴ともいえる高速道路事業に採用した。造る者へは技術の継承の場を、見る者へは文化の伝承の場を、それぞれ提供することで、地域文化の再生に貢献する。

3. 具体的な取り組み

(1) 清流隼人川の再自然化

a) 場所ごとに変化をつけた河川断面形状

自然の河川には、川の流れや水面の表情が場所ごとに異なり、「静」と「動」という変化に富んだ空間が存在し、人々に安らぎと豊かさを与え、生き物にもやさしい生息環境となっている。

そこで、直線で引かれた設計図どおりに造るのではなく、必要な断面や構造の基本を踏まえた上で、地形に応じて部分的に護岸勾配を緩くし、人々が水に親しめる場所を設けた。

また、自然河川が残る箇所では、その曲がりを生かして淵をつくるなど、河川形状に変化を施した。

b) 露出する岩盤を利用した河床と落差工

河床に岩盤が露出する箇所では、岩盤の露出や曲がりなど現地の状況に合わせてデザインを施し、岩盤の素掘りによる護岸や河床とした。施工後の状態を見ると、水流により軟岩部分が適度に洗掘され、自

然の瀬や淵が形成されつつある。

また、巨大なコンクリート落差工を廃止し、岩盤を造形することによる階段状の天然落差や、現地発生した転石を河川内に置石し、上流側に土砂を堆積させることで、自然の落差工を形成させた。

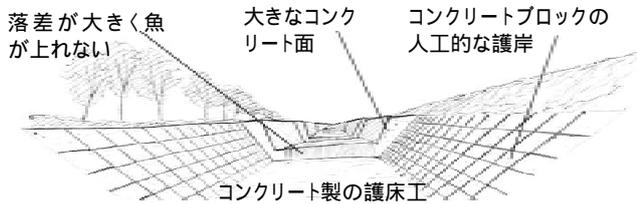


図-3 従来の考え方による河川改修



図-4 今回実施した付け替え河川



写真-4 露岩や自然石を活用した護岸と河床

c) 現地発生した自然石を活用した護岸

護岸の壁面材や裏込材として、トンネルずりをフルイにかけて選別した自然石を使用し、現地発生材の有効利用と景観の保全を図った。

一般的な護岸部では、30cm程度の自然石にアンカー材とストッパーパネルを控え部材として一体化し、裏込材で埋戻しながら急勾配に積み上げる空石積み構造の自然石護岸工法を採用した。コンクリートブロック積みによる護岸に比べて自然との調和が図れ、景観的に優れているだけでなく、自然石間の空隙に

より、水生生物が生息できる多孔質な空間を確保することができ、さらには水質の浄化も期待できる。

護岸勾配を緩くした親水護岸部では、自然石を縦横2mの防錆処理した金網に連結し、敷設して覆土する石張り工法を採用している。

また、これらの護岸の河床部には、寄せ石を配することで水の流れに変化を与える工夫も行った。



写真-5 空石積み自然石護岸工の施工

隼人川は砂防河川であり、国や県の定める一般的な砂防基準に沿った設計では、大規模な落差工、護岸工、護床工を必要とした。しかしながら今回の設計では、これらの設計基準が求める機能やその性能を損なうことなく、自然の岩盤や地形を生かして再自然化を試みつつ、同等以上の機能を確保することを心がけた。その結果として、協議において、もとより自然環境の保全に関して先進的な行政当局の理解を得ることができ、今回の大幅な設計内容の変更を実現することができた。

コスト面においては、自然石を利用した護岸の単位面積あたり単価などは、一般的なコンクリート構造物より割高となりがちであったが、岩盤の露出等を生かすことで落差工や護岸、護床の施工面積を大幅に減らすことができ、結果的に見ればむしろコストの縮減にもつながった。

(2) 自然地形の創造

a) 切土のり面

道路が幾何学的線形で造られる限り、道路に沿って連続的に出現する切土のり面は避けられない。その直線的な斜面は、周囲の山々の曲線と対照的な人工的景観を際出させる。

そこで、周辺の地形が持つ特徴をよく観察し、尾根は尾根らしく、沢は沢らしく、周囲の山々との調和を考慮して、まるで道路がもともとそこにあったかのような地形との一体感を目標に、切土のり面の

造形を行った。

その手法として、現地形の等高線と道路線形から、尾根・沢ラインを生かした切土のり面のラウンディング計画を行い、模型による計画の検証を実施した。ラウンディングの規模は、地形条件を勘案しながら道路景観としての優先度を考慮して決めている。また、従来の横断面方向だけに留まらず、地形の等高線にとけ込むような立体的で大胆なラウンディングを施している。

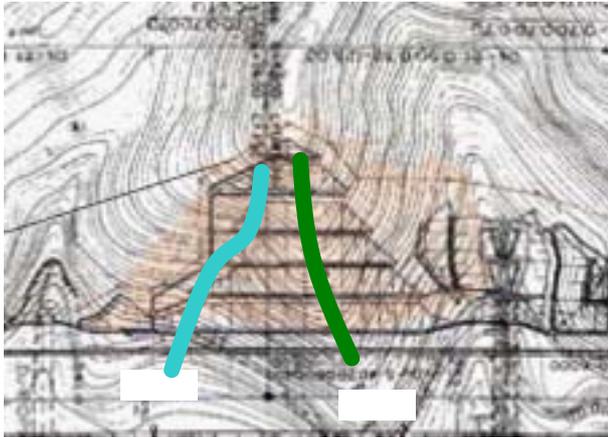


図-5 図面上でのラウンディング計画

図-5 は、計画区間中最も長大な6段の切土のり面が生じる箇所でのラウンディング計画である。高速道路の設計により必要な、通常の切土のり面をまず想定し、周辺の地形と元々あった地形の尾根と沢を、高速道路の完成後、いかにして自然な形ですり付けるかが造形のポイントである。

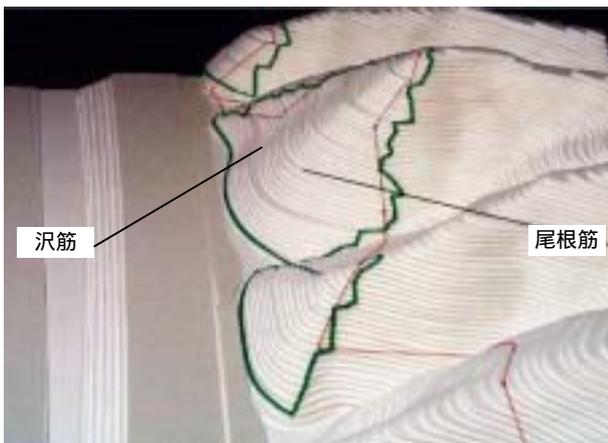


写真-6 模型による切土のり面形状の検証

写真-6 は、その長大切土のり面の形状を、模型により検証したものである。ラウンディングののり先が部分的に用地外に及ぶ箇所もあるが、地山のすりつけのための一時的な借地ということで、地主のご了解をいただき施工させていただいた。

写真-7 が、この切土のり面の完成した姿である。



写真-7 完成した長大切土のり面

b) トンネルの坑口周辺

トンネルの坑口は、道路正面に位置するため、道路景観としての優先度は高い。

甲南トンネルの西側坑口周辺は、緩やかな山容を呈している。特に上り線側は、直上が沢地形となっているため、坑口位置をあと80mくらい追い込むことも技術的には可能であった。

しかし、坑口位置を追い込むと、道路正面の坑口周辺に長大な切土のり面が出現し、しかも地形的に地すべりを誘引する危険性も孕んでいる。また、直上の沢は湿地状態になっており、ヘビノボラズ、ウメバチソウ、モウセンゴケなどの貴重植物が群生していることなどから、この沢地形を損なわないで、切土のり面も3段程度に抑えて現在の位置とした。貴重植物の群生地はトンネルから土被り20m程度の所にあるため、トンネルの掘削により水が抜け、生息環境が変わることも懸念されたが、幸いにしてトンネル内に湧水は見られず、掘削後も群生地は今のところ湿地状態を維持し続けている。

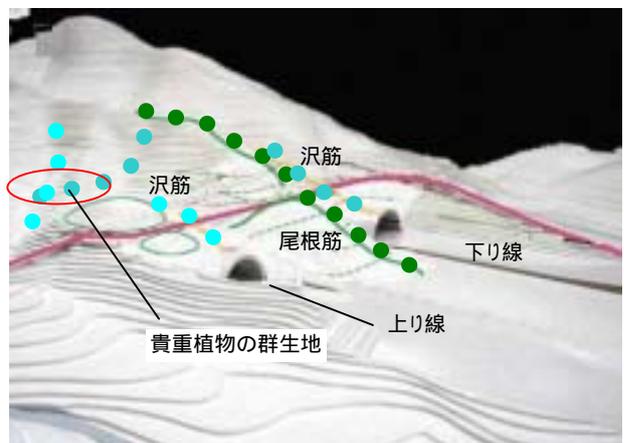


写真-8 トンネル坑口周辺の地形模型

写真-8 は、トンネル坑口周辺の検討に用いた地形

模型である。坑口付けのため発生する切土のり面は、前述の要領でラウンディングを行い、周辺地形と連続性をもたせている。上下線坑口の間中部は、坑口付けのために切り取られるため、尾根筋がそこで急にとぎれてしまう。そのため、盛土により尾根筋を造形することにし、粘土を手作業で貼り付けながら理想的な形状を模索した。

c) 構造物永久のり面の排除

隼人川に架かる信楽第一橋の上り線P1橋脚の基礎は、急峻な斜面上に計画された大口径深礎杭で、一般的な安定切土勾配で掘削すると大きな永久のり面を生じてしまう。本橋脚は、東海自然歩道の直近にあるばかりでなく、近接する国道や鉄道からもよく見える位置にある。

そこで、この永久のり面を最小限化すべく現地を踏査し、のり先、のり尻で試掘やサウンディングを行い検討の結果、写真-9に示すように、逆巻きで施工する鉄筋補強土工法による急勾配切土を採用して斜面の安定を図ることとした。



写真-9 橋脚の施工に伴い発生した切土のり面

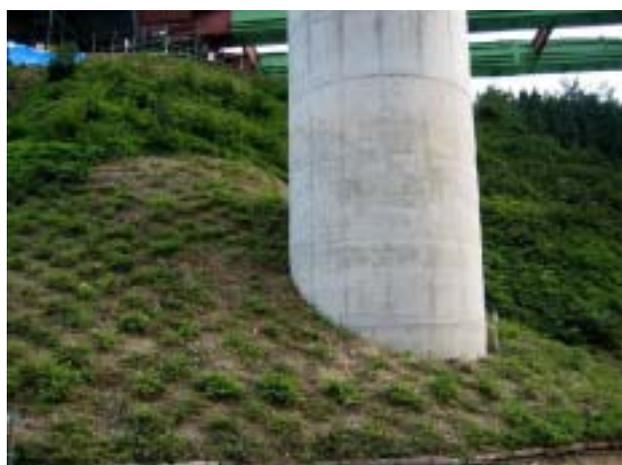


写真-10 切土のり面を盛土で復元した橋脚周辺

橋脚完成後は、裏面排水処理を行い現地発生の良い

質土により埋戻しを行った。埋戻し形状は、施工前の地山を参考に尾根筋などに連続性を持たせ、最急勾配 1:1.5 程度で仕上げ、写真-10 に示すとおり、完全に永久のり面を無くすことができた。

(3) 自生種による植生の回復

生物にとって好ましい環境とは、様々な種類の動植物が混在する環境であり、このような生物多様な豊かな森を再生するため各種の取り組みを行った。

a) 表土マット移植工法の開発

表土は、植物の生長に必要な有機物やその土地における自生種の根茎や種子を豊富に含んでいるため、早期の自然回復に最も適した植生基盤である。現地には、下草として一面にミヤコザサが繁茂しており、試験的に切り取ってみると、根茎の複雑な緊縛などにより、表土を乱さず採取できることがわかった。

この表土の性状に着目し、50cm角のマット状に採取する機械を開発した。この機械は、バックホウなどに使用するベースマシンの先端に、写真-11に示すようにアタッチメントとして取り付け使用するので、下刃と杵状の上刃から構成されており、表土の下に下刃を敷き入れた後、油圧により上刃を降下させ表土を押し抜くような構造となっている。採取する厚さは上刃がスライドすることから場所に応じて調整が可能である。

試作機にはいくつか改良を加えたが、作業性は良好であり、バックホウが登はん可能な斜面であれば、概ね表土マットの採取が可能であった。採取能力も場所にもよるが 4 ~ 7 m²/hr 程度を記録し、汎用化にむけた実用性を確認できた。



写真-11 採取機による表土マット採取状況

切り取った表土は、移植対象のり面が形成されるまでの間、一時仮置き保管した後にのり面に貼り付ける。のり面勾配が 1:1.5 程度よりも緩やかな場合が多い盛土のり面は、表土をそのまま貼り付けてピンで固定するだけでよいが、それよりも勾配が急

な切土のり面では、形状保持のため溶接金網を加工して作ったパレットに組み入れてのり面に固定した。



写真-12 切土のり面での施工状況 (平成 14 年 6 月)



写真-13 施工後 1 年経過 (平成 15 年 6 月)

表土マットには、ササだけではなくコバノミツバツツジ、アセビ、ウツギ属、コナラ、アカマツ、ナツハゼ、ソヨゴ、ヒサカキ、モチツツジ、ヤマツツジ、ヤマハゼなど、多様な木本類の根株が豊富に含まれている。現在、これらの木本類も順調な生育が確認されている。今後も順調に生育し、むしろ植林地であった建設前よりも、多様で豊かな森に生まれ変わっていくことを夢みて、継続的に追跡調査を行っていく予定である。

b) 表土と伐採木を活用した植生基盤材吹付工

表土マットは、地形的要因の他、切株や転石などの制約により自ずと採取量に限界があり、全てののり面を、採取した表土マットでカバーすることはできない。当現場での採取面積は、可能な限り表土採取を試みたにもかかわらず、切盛土対象のり面積の 2 割程度にとどまった。これでは表土マットにより施工できるのり面は特定の場所に限られ、全面的に採用するような汎用化は望めない。

そこで、写真-14 のように、表土マットを自生種の核として散在させ、不足箇所については、植生基盤

材を吹付けることにした。



写真-14 建設発生木材と表土を混合した基盤材の吹付け

基盤材は、建設発生木材の再資源化利用によるコストの縮減も視野に入れ、伐採木の枝葉や切株などをチップ・堆肥化したパークを主材料とし、マット状に採取できなかった表土と混合し、窒素肥料、短繊維、改質材等を添加して吹付けた。この基盤材には、種子を入れなかった。まずは混合した表土に含まれる根茎や埋土種子、あるいは飛来種子からの植生と、散在させた表土マットからのササ等の伸長、増殖等自生種のみによる植生回復を目指していく。

c) ユニット苗とチップマルチング

工事着手前に現地で採取したコナラ、アラカシなどの種子により、JH緑化技術センターで現在ユニット苗を育成している。この自生種によるユニット苗と、伐採木の枝葉や切株などをチップ化したチップ材によるマルチングにより、盛土のり面の樹林化を目指していく。



写真-15 採取した種子から育てたアラカシの苗木

建設工事着手に伴い伐採された立木の枝葉や根株を利用して、植生基盤材とマルチング用チップ材を現地で製造し、有価物として自ら利用することで、

これら枝葉や根株などの建設発生木材の当現場からの発生をゼロとすることができ、100%有効に活用することができた。

d) 貴重植物の保全

隼人川周辺を中心に、工事区域にはシライトソウやカキランなど十数種類の貴重植物が確認されており、工事着手前に生息調査を行い、生息域の保全を行った。また、どうしても保全できない場所については、専門家の指導を受けながらできるだけ同じような環境の所へ移植するなどの対策を行った。移植後の追跡調査の結果によれば、保全箇所の生育の確認のみならず、付替え施工後の隼人川周辺に、新たな個体も確認されたという嬉しい報告も聞いている。



写真-16 川辺に創出した貴重植物の生息環境

(4) 動物の生息域内移動の確保

周辺の森林には、シカ、タヌキ、イノシシなどの動物が数多く生息している。高速道路は、森林と隼人川を分断するような位置にあるため、森林から水辺への「けもの道」を確保する必要がある。そこで、沢部に設けた横断カルバート前後には、動物の誘導あるいは移動に支障となる落差工や深いマスを設置しないことにした。



写真-17 動物の移動を確保したカルバート入口部

落差工が無いと、横断カルバートの勾配が急になるが、カルバート内の水路に自然石を並べた減勢工を多数設置することで、実質的な水路勾配の緩和を図り、落差工の機能を代替した。もちろん、落差工の無機質なコンクリート構造物を廃止することによる景観的な向上にもつながっている。

また、道路側溝には、ヘビやカエルなどの小動物が這い出せるように、スロープを数箇所設けるなどの配慮も行った。

(5) 東海自然歩道の付け替え

a) ハイカーの視点に立った空間設計

東海自然歩道の付け替えに際しては、道をゆくハイカーの視点に立った空間設計を行った。ルートは基本的に隼人川沿いに設置されるが、ただ清流に沿って歩くだけでは単調な空間になってしまう。そこで、森を歩く時の適度なアップダウン、水辺に親しめる空間、時に高みから川の流れを眺める眺望、地域の伝統文化にふれる空間と、周辺地形や状況に応じ、ハイカーが楽しめる空間設計を行った。



図-6 遊歩道を低い位置とした水辺に親しめる空間

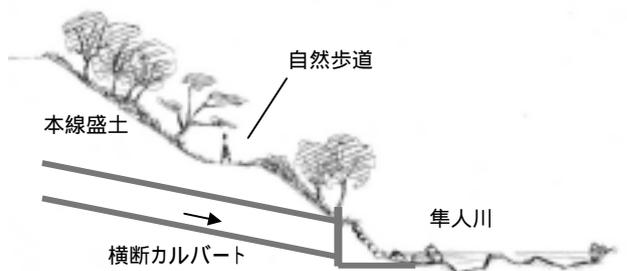


図-7 高い位置から川の流れを眺める空間

高みに上る場所は、横断カルバートの人工的な開口部が見えないように、カルバート横断箇所とした。

b) 地域の伝統技術「穴太衆積み」の石垣

付替え後の自然歩道と本線盛土との間に生じる擁壁を、穴太衆積みの石積み擁壁により施工した。穴太衆積みは、安土城の城郭石垣の建設に始まり、その堅牢さで全国に名を馳せた地域の誇るべき伝統技術である。現地で発生する自然石をそのまま使用するこの工法の採用により、自然歩道の景観保全、現

場で発生する転石等の有効利用，地域文化の伝承を図った。

穴太衆積みを，高速道路の擁壁として採用するにあたって大きな問題が生じた。兵庫県南部地震のうち，道路土工指針などの改訂により，耐震性の観点からブロック間の摩擦やかみ合わせ抵抗が担保できない擁壁の構築は，行ってはならないことになっていることである。このため，練積みで施工する案や，背面にジオテキスタイル等を設置し土圧のかからない構造にするなどの案も途中で浮上した。

しかしながら，数百年もの長きに渡り風雪や地震に耐え，その美しい姿を現代まで保ち続けてきた数多くの実績を持つ穴太衆積みである。必ずや現代の基準をもクリアする耐震性を有しているに違いないとの確信で，それを証明して本物の穴太衆積みを施工しようとの意気込みから石積みの耐震性評価の研究を行った。

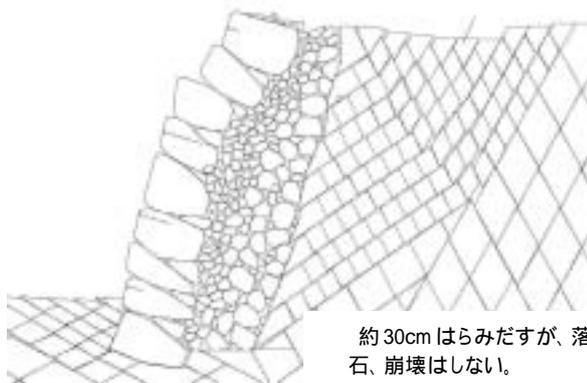


図-8 レベル2地震発生後の石積み解析結果

そして，耐震性評価のために，既存文献や耐震履歴の調査，現場における実物大モデル実験を行った。実験の解析には，岩盤力学がご専門の京都大学大西先生の研究室に，斜面落石問題に対処するため開発，研究を進めてこられた不連続体解析法(DDA)により，安定解析にあたっていただいた。これらの研究を通じて，この伝統的な石積み工法が，耐震性に優れ，道路構造物として十分な耐力を有していることが確認された。

この研究の成果は，単に当現場における石積み擁壁の性能を評価したことにとどまらない。不連続体解析法(DDA)が，石積み擁壁の耐震性評価に有効な手法であることを検証できたことにより，石の大きさ，積み上げ高さ，裏込め土の性質など，異なる条件下における石積み擁壁の設計，耐震性評価に道を開いたことが最大の研究成果である。

21世紀，環境の時代に，自然や環境そして文化を尊重し，先人の知恵から生まれ，受け継がれてき

た伝統的技術を，近代土木に継承し発展させていくために，この研究の成果が生かされれば，まさに文化の再生といえるのではないか。



写真-18 穴太衆積みの石垣と自然歩道

4. おわりに

豊かな自然に恵まれた自然公園内の高速道路建設にあたり，様々な問題点を抽出しその解決のため，産・官・学，共同の取り組みを行ってきた。

当初は，大幅な設計の見直し，行政や地元との計画変更協議，発生材の有効利用方法の提案，そして新工法の開発や実施への創意工夫など，まさに試行錯誤や議論の繰り返しであった。

平成16年3月，本工事のしゅん功の翌日，工事関係者が集まって，しゅん功記念播種会を行った。昨秋採取したバケツ3杯分のドングリを，みんなでのり面に植え付ける作業を行いながら，いつしか工事関係者全員の胸の内に，環境と景観の融合をめざして様々な取り組みを行ってきたこの現場への，強い愛着と誇りが芽生えていたことを感じた。

元々の自然には及ぶべくもないが，それでも地域の自然・景観・文化と共生する道づくりの一例として，今後の参考に供せられれば幸いである。

最後に，本現場での様々な取り組みに際して，多大なご指導やご協力をいただいた関係諸氏に紙面をお借りして御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 梁川俊晃，宮崎雅人，高戸順一：表土マット移植工法の開発，EXTEC No.66 P-67～70
- 2) 梁川俊晃，柴田昌三，上村恵也，徳永正夫，衣笠斗基子：表土マット移植工法を用いた法面緑化に関する調査研究，第34回日本緑化工学会大会，2003年9月
- 3) 梁川俊晃，西山哲，関文夫：石積み擁壁の道路構造物への適用に関する研究，第25回日本道路会議論文 07037，2003年10月