

円弧状石組みを使った捨石工の施工事例について

川田 文彦

近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 山崎維持出張所（〒671-2542 兵庫県宍粟市山崎町船元307）.

2011年（平成23年）9月の台風12号豪雨による出水の影響で国道29号波賀町鹿伏地区の道路擁壁基礎部が出水の洗掘により被災を受けたことから、被災箇所の修繕を行った。設計段階においては、構造物の安全性確保だけでなく、河川利用者や自然環境へ配慮し構造物を計画した。本報告は、自然環境に配慮した設計・施工内容と、特に施工段階において捨石工に円弧状石組みの構造適用を試みた事例について報告する。

キーワード 自然環境、捨石工、石組み、現地発生材

1. はじめに

平成23年9月に台風12号の出水により国道29号宍粟市波賀町鹿伏（しかぶし）地区において、引原川の河川内にある道路擁壁基礎部が出水の洗掘により被災した。道路事業として被災箇所の修繕を行うにあたっては、河川内の擁壁部が水衝部のため、擁壁部とその直下が洗掘により被災しやすい現地条件となっていることから、これに対応すること、また川遊びの場などとしても河川内が盛んに利用されているという点から河川環境の復元も併せて視野に入れ設計施工を行った。本報告では、特に施工段階において捨石工に円弧状石組みの構造適用を試みた事例について報告する。



図-1 位置図

2. 国道29号と鹿伏（しかぶし）地区について

国道29号は、姫路市と鳥取市を結び、古くは因幡（いなば）街道と呼ばれ、播磨地域の南北の交通を担う延長119kmの主要幹線道路である。鹿伏地区は、管内北端の鳥取県境から約7kmに位置する中国山地の山間部で、引原川と近接する道路擁壁区間となっており、改築時期の違いからコンクリート擁壁部と軽量盛土擁壁部から構成される。（図-1に位置図、写真-1に鹿伏地区の状況を示す）また、擁壁部が引原川の蛇行部と重なることから、上流からの流れが擁壁部にぶつかる水衝部となっている。一方、引原川河川内の利用状況としては、鮎の友釣りの発祥地で有名な揖保川の上流支川であり、3月から9月までのアマゴ釣りの盛んな場所として知られているほか、鹿伏地区左岸には、くるみの里キャンプ場があり、家族連れなどがキャンプで訪れ、水辺に親しみ、川で生物を観察する川遊びの場としても盛んに利用されている箇所である。



引原川と道路構造



くるみの里キャンプ場（左岸側）

写真-1 鹿伏地区

3. 被災状況

(1)台風12号と被災状況

2011年（平成23年）9月に台風12号が近畿地方に襲来し、特に兵庫県は台風が縦断したため、9月2日から4日朝にかけて断続的に降雨が観測された。近傍の雨量観測所では、累計で300mm前後の雨量が観測され、国道29号についても2カ所の事前通行規制区間において規制雨量を超過し、連続24時間の通行規制が敷かれるような状況となった。（図-2に台風12号の降雨状況、写真-2に被災

箇所(図-3に被災箇所の横断面図を示す) 引原川では、鹿伏地区下流にある引原ダムにおいて流量の増加から1958年の完成以来初めての緊急放流を行うような状況となった。また、鹿伏地区の被災状況として、引原川の流量増加により軽量盛土前面の自然法面部の土砂が洗掘・流出し、擁壁基礎部分(L=30m)が被災した。幸い被災により擁壁構造への直接的な問題は発生しなかったが、同様の出水により更なる洗掘の進行が懸念された。

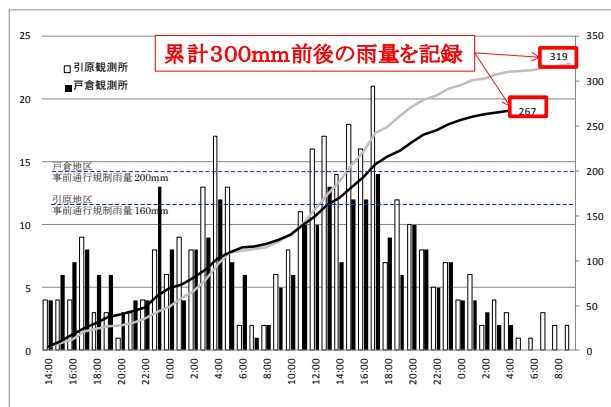


図-2 台風12号による降雨量



軽量盛土前面の洗掘範囲

擁壁基礎部の被災状況

写真-2 被災状況

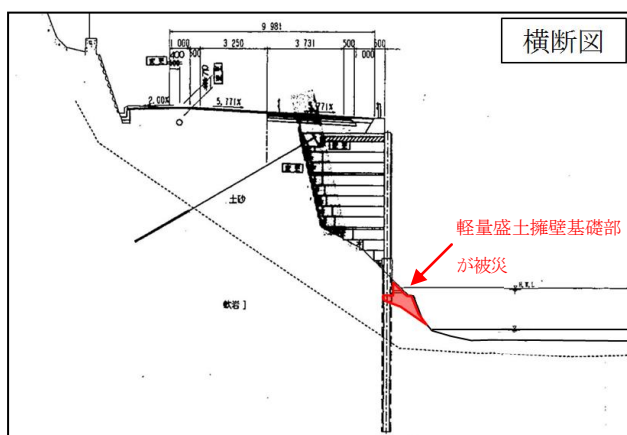
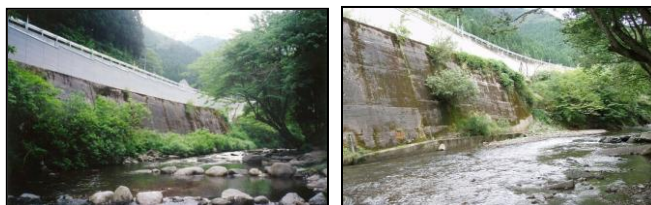


図-3 被災箇所横断面図

(2)河川の経年変化状況

鹿伏地区の河川内の状況がどのように変化してきたかを道路台帳平面図(2000年(平成12年)以前)と軽量盛土の道路擁壁が竣工した2003年(平成15年)当時の写真等、過去の資料から確認した。(写真-3に河川内の変遷状況を示す)すると2000年以前では、コンクリート擁壁部の前面に土砂の堆積が見られ、2003年の段階で縮小し

てはいるものの、土砂部に植生が繁茂する自然景観を形成していた。それが2012年(平成24年)時点では、土砂の堆積及び植生の繁茂が消失している。写真から河川内もどちらかというとし淵があった状況から完全な瀬に変わってしまっている状況が確認された。また、擁壁前面の洗掘傾向も現段階で擁壁に特段問題は発生していないが、擁壁の根入れとしても減少傾向であるため、今後構造成上悪影響を与える原因になることが懸念された。



2003年(平成15年)当時の状況

2012年(平成24年)現在の状況

写真-3 河川内の変遷状況

4. 設計内容

(1)設計方針

以上のことから設計方針として、①被災した道路擁壁部の道路構造としての安全性の確保、②本来有していた河川環境の復元の2つを考えた。①については、問題となる水衝部の防護を考え、河川内の流速(設計流速5m/s)からも下流の水衝部にコンクリートブロック積による護岸を設置することとした。また河川内の変遷状況からも流速が速く洗掘傾向で、擁壁の根入れが減少する原因となっていることから擁壁前面の流速を落とす目的で、擁壁と護岸の前面に水制工を設置することとした。(図-4に構造物の配置計画平面図を示す)②については、以前は擁壁沿いに植生が繁茂し、昆虫や魚類等の生息場などとしても機能していたと考えられることから、水制工の設置により堆積傾向へと移行することで、以前のような擁壁沿いの植生回復を狙った。

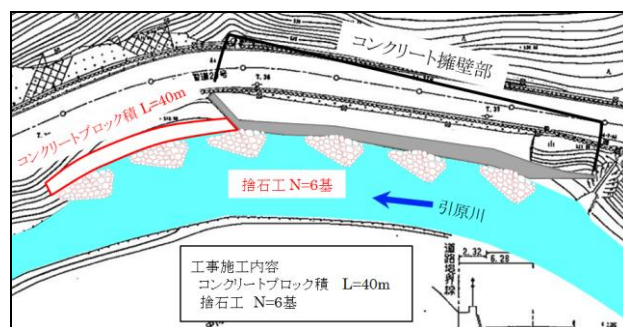


図-4 構造物の配置計画平面図

また、河川環境が早期に回復されるよう、植生回復までの措置として護岸及び捨石工に直接植生を実施することとした。なお、材料は、環境負荷軽減のため、近傍から入手可能な素材を活用すること、極力コンクリートを使用しないことを念頭に、水制工には現地採取石を利用した捨石工を採用し、植生には、現地採取の植物を使う

こととした。

(2)現地採取植生の護岸への移植

在来種として周辺に自生し、現地採取可能なネコヤナギを用い、新たに設置する護岸に対して移植を行った。ネコヤナギの特徴としては、岩の隙間にも成長するように非常に生命力が強く、水没した枝から根が成長する水際に適した植物で、枝が細くしなやかで洪水流による流出や枯死が発生しにくい。また水中に成長した根が水生生物や淡水魚のすみか・避難場所となることや葉に集まった昆虫などにより魚のえさ場となることも期待できるほか、ヤナギ自体の枝葉が洪水時に流速を低減する効果も期待される。施工は、護岸に削工し、竹ポットに移植した苗木を移植したほか、捨石工の上に土嚢を用いて移植する方法を採用した。(図-5に竹ポットによる護岸への施工手順、写真-4に移植イメージを示す)

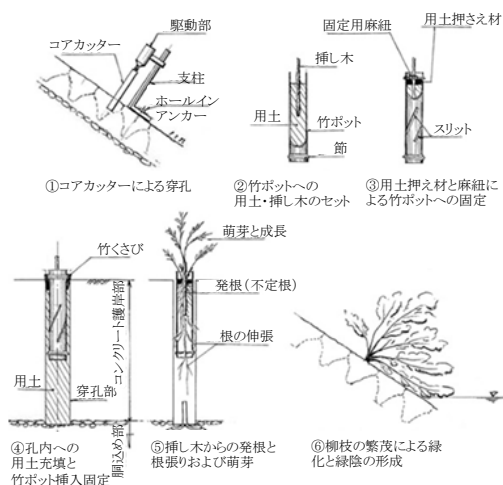


図-5 竹ポットによる護岸への施工手順



竹ポットの設置

移植後の繁茂イメージ

写真-4 ネコヤナギの移植イメージ

(3)水制工について

水制工は、上流向き構造とすることで流心を擁壁や護岸から離し、出水時の河岸への影響をなるべく小さくすること、また流心が河岸から離れることで、河岸前面は流速が低下し、堆積傾向へ移行することを狙った。(図-6に水制の方向と堆積・洗掘の関係を示す)

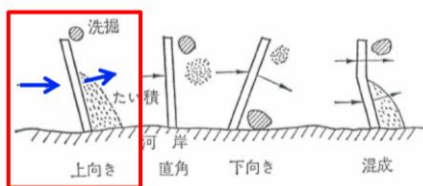


図-6 水制の方向と堆積・洗掘の場所³⁾

水制工の形状としては、縦断方向に流れの抵抗を和らげる流線形の形状、高さや幅はH.W.Lの高さや川幅から設定した。図-7に水制工の形状を示す。

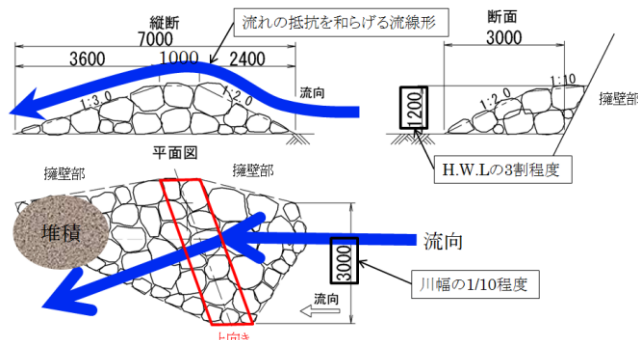


図-7 水制工の形状³⁾

(4)円弧状石組みについて

円弧状石組みは、近自然工法で著名な福留脩文氏が提唱する自然に近い落差工を構築する場合に用いられる石組みで、自然河道内の石の堆積形態を調べる中で、経験学的に安定する堆積形態の法則性を見いだしたなかから生まれた石組みである。円弧状石組みの特徴は、石組みを一体的なアーチ構造体として構築するもので、まずアーチの支点となる力石(ちからいし)を河道内に配置し、これに環石(わいし)と呼ばれる石をアーチ状に配置することで一体的なアーチ構造を構築し、上流からの流水に対して安定する構造である。(図-8に石組みの平面形状を示す) また、縦断形状で石を人の字状に組むことや、上流に対し「のめり」と呼ばれる上流下向きに傾斜を持たせ配置することで石を安定させる。(図-9に石組みの縦断形状を示す) コンクリートを一切使用せず、現地発生石のみを使用するため、環境に対する負荷の軽減、景観上も優れる。

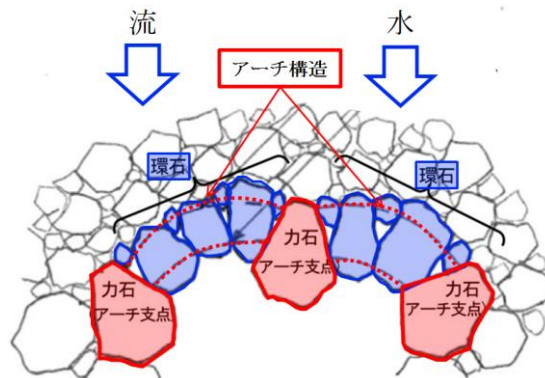


図-8 円弧状石組みの平面形状¹⁾

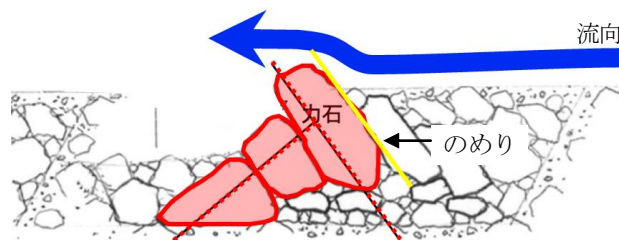


図-9 円弧状石組みの縦断形状¹⁾

石組みの最大の特徴として、施工後の出水により環石が流出した場合でもアーチの支点となる力石が安定していれば、全体としてその後の上流からの石の供給により再度安定した構造が形成される。構造が再安定化されることで、景観上も人の手で作ったというのがわからないほど自然に近い河川景観が形成される。（写真-5に石組み再安定化の状況の施工事例を示す）



写真-5 落差工での石組み再安定化の状況（福岡県岩岳川）²⁾

5. 円弧状石組み捨石工への適用

発注段階においては、バックホウで石の投入を行う通常の捨石工を想定していたが、捨石工の強度向上と自然景観の回復を目的に円弧状石組みを捨石工内部に組み込むことを施工段階で考えた。設計で捨石工の石材の大きさは、設計流速から直径50cm以上あれば計算上流出しないことが確認されていたが、円弧状石組みの適用にあたり出水後の再安定化で要となる力石が流出しないよう、可能な限り大きいサイズの力石を設置することとした。その上で捨石工の投入に使用するバックホウで作業の出来る大きさであること、捨石工の断面幅W=3mの制約を考慮し、可能な限り大きい石のサイズとして直径1m程度の石材を用いることとした。石組みは、アーチ構造が流水の外力に対し最も力が発揮されるよう、捨石工の構造の中心部付近に流向に対し直角方向になるよう配置した。また、可能な範囲で床掘を実施し、力石の根入れを確保することで強度の向上を図ることとした。（図-10に円弧状石組みの構造を示す）

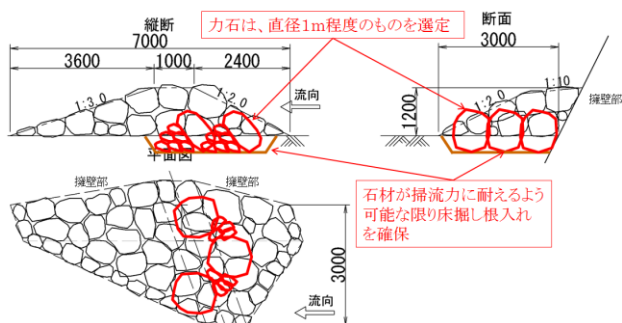


図-10 捨石工に適用した円弧状石組み

6. 円弧状石組みの施工

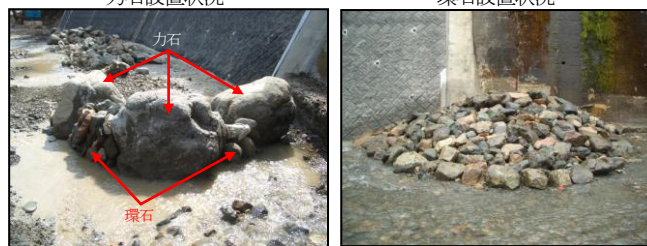
施工は、大きな流れとして①バックホウによる床掘を実施、②のめり構造を持たせた力石の配置、③人力による力石周りの「人の字状の構造」の構築、④環石配置によるアーチ構造の構築の手順で作業を行った。（写真-6

に施工状況写真を示す）特に人の字状の構造の構築及び環石配置によるアーチ構造の構築は、石組み構造の構築で非常に重要なポイントとなるが、施工業者としても初めての施工経験であり、隙間なく石をかみ合わせるよう組み上げるのに苦労した。



力石設置状況

環石設置状況



石組み完了状況

捨石工完了状況

写真-6 施工状況

7. 施工後の状況と今後の課題

施工完了後、2か月程度を経過しこれまでに大規模ではないが数回の降雨による出水を経験した。施工後の短期的な状況として、水制工設置による擁壁前面の流速低下とそれによる土砂の堆積を確認しており、一定の効果が確認できた。（写真-7に土砂の堆積状況を示す）また、移植したネコヤナギについても枯死の発生等もなく順調に成長しており、今後の植生回復が見込まれる。（写真-8にネコヤナギの移植後の生育状況を示す）今後、継続的に状況を確認し、水衝部及び洗掘箇所の対策効果が発揮されているか確認していきたい。併せて土砂堆積後の植生の回復と生物の生息環境が創出されるか、ひいては、



施工直後

施工後の出水状況



出水後の状況

施工後2か月

写真-7 施工後の土砂堆積状況



施工時の状況

施工後2か月

写真-8 ネコヤナギ移植後の生育状況

川遊びや釣り客などの河川利用者にとって魅力ある河川環境が創出されるかが課題である。また、捨石工に適用した円弧状石組みについては、仮に捨石工が出水を受け流出した場合に、円弧状石組みの持ち味である構造の再安定化が発揮されるかが課題である。これらの課題についても今後の現地のモニタリングにより確認していきたい。

8. おわりに

本報告では、県管理河川内において道路事業として道路構造物の修繕工事と併せ河川内の環境復元を行った。道路事業として実施する前提として、河川内の整備は河川管理者として対応すべきものと考えられたが、河川協議の中で県の河川改修計画がなく、今後の対応が見込まれなかったこと、従前の道路擁壁の設置が要因となり、河川内の環境が変化したことが考えられたことから、現地発生材を使用した必要最小限の対応により事業を実施した。結果、修繕工事以上の目的を達成することができたと考える。本報告が、今後の他の事業においての一助となれば幸いである。

参考文献

1) 福留脩文：治水と環境の両立を目指した川づくりの技術的な考え方と適用性に関する研究 2) 福留脩文, 有川崇, 福岡捷二：石礫河川に組む自然に近い石積み落差工の設計, 土木学会論文集F Vol. 66 NO. 4, pp. 490-503, 2010. 10 3) 国道29号宍粟地区道路防災対策設計業務報告書, 平成24年2月 4) 美しい山河を守る災害復旧基本方針, 平成18年6月 国土交通省河川局