

甲州流プレキャスト石張り護岸の開発

Development of Koshu-type Precast Stone Pitched Revetment

和田一範¹・金子靖祐²・清水敬三³・清水正弘⁴・橋場道夫⁵

WADA Kazunori, KANEKO Yasuhiro, SHIMIZU Keizo, SHIMIZU Masahiro, HASHIBA Michio

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所流域管理研究官 (前甲府工事事務所長)
(〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)

²法人会員 日建工学株式会社東日本技術セクション (〒160-0023 東京都新宿区西新宿6丁目10番1号)

³正会員 三基ブロック株式会社技術部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目11番7号)

⁴正会員 三菱マテリアル建材株式会社土木製品事業部 (〒160-0022 東京都新宿区新宿2-3-10)

⁵正会員 龍王産業株式会社 (〒400-0111 山梨県中巨摩郡龍王2111番)

In revetment works of rapid stream rivers, only limited methods have been in use such as cast-in-site wet masonry revetment. One reason is that no revetment methods that can withstand the shock of sediment and boulders and driftwoods when a flood occurs had developed. In addition, since the present method now in use cannot be mechanized easily and requires skilled masonry, deteriorating quality due to the lack of skilled masons, reduction of construction budget, prolonged construction period are the problems to be addressed

This time, as a government-private sector joint project, choosing Fuji River as its construction field, we developed a new method that can withstand rapid streams. This paper introduces a series of technical development in Koshu-type precast stone pitched revetment, including its objective, process, brief over view, hydraulic and physical verification.

Key Words : rapid streams, wet masonry revetment, boulders, precastization

1. はじめに

富士川は、最上川、球磨川と並び日本三大急流に数えられる激流である。本川の平均河床勾配は1/240と急流であり、洪水は土砂、転石、流木を伴って流れるため、その衝撃に耐え得る護岸工として、従来から人力施工による玉石張り護岸が整備されてきた。しかし、石工の減少、コスト縮減等から、近年、バックホウにアイアンホークを装着した機械化施工による石張り護岸を実施しているが、品質のバラツキが懸念されるとともに、施工に多大な時間と労力を要している。そこで、これらの問題を解決しつつ、富士川の河川改修を実施していく上で、今後の急流河川護岸整備の有力な工法となる「プレキャスト石張り護岸」を開発したものである。本稿では国土交通省甲府工事事務所とブロック製造会社の共同開発による開発目標の設定から実用化・技術的な検証についてその概略を述べる。

2. 開発目標とプロセス

現行の玉石張り護岸の問題点は、アイアンホークでの施工により施工性が一部改善されたものの、依然として人手に頼る作業が大半を占めている点にある。施工のポイントとなる玉石の設置・調整は、熟練した石工の減少に伴い、今後、作業員の確保が難しくなると予想され、品質の低下・施工期間の長期化等が心配される。このような状況を踏まえて、「甲州流プレキャスト石張り護岸」は開発された。

開発目標は、現行の石張り護岸の長所である耐衝撃性・流水に対する安定性・耐摩耗性・景観性の良さを継承しつつ、機械施工が可能であること、必ずしも熟練した作業員を要さないことを前提に、具体的な目標(条件)を定めた。

開発条件

- ①新技術開発として、特許の共同出願、登録を行うこと。
- ②現場・工場におけるプレキャスト化した工法であること。

と。③適用勾配3割勾配を基本として、2割、1割5分勾配も対応できること。④経済的で安価な工事費となること。

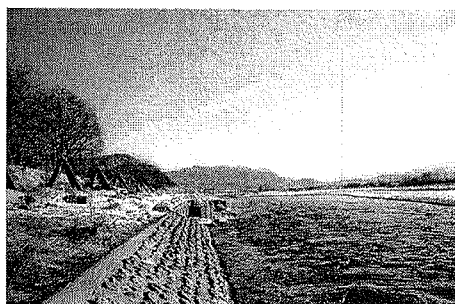


写真-1 従来の石張り護岸

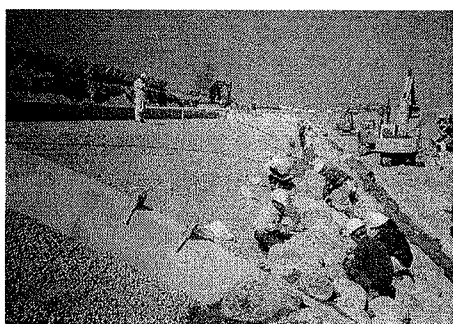


写真-2 従来の石張り護岸工の工事

上記の開発目標に基づき、甲府工事事務所と協議を重ね、最終的に三基ブロック㈱、日建工学㈱、三菱マテリアル建材㈱、龍王産業㈱の4社が国土交通省の職務発明審査を経て、特許の共同出願をすることとなった。

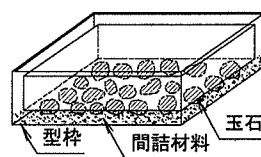
新技術は、山梨県身延町の「大野築堤護岸工事」におけるモデル工事として、1スパン（20m）づつ施工を行い、2003年2月4日、国土交通省甲府工事事務所主催、土木学会山梨支部共催により現地見学会を実施した。



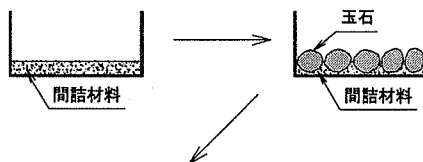
写真-3 開発された甲州流プレキャスト石張り護岸

3. 甲州流プレキャスト石張りブロックの概要

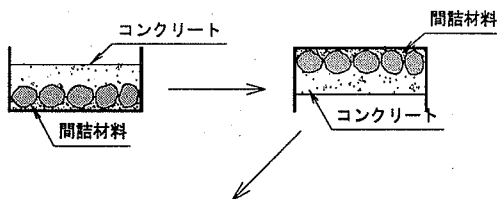
共同開発に至ったプレキャスト石張り護岸ブロックについて、写真と単体図でその概略を紹介する。¹⁾ 図-1は、甲州流プレキャスト石張り護岸の基本コンセプトを示す。



①間詰材料を敷く ②玉石を敷き詰める



③コンクリート打設 ④製品を反転し、型枠を脱型する。



⑤製品完成

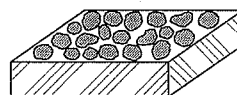


図-1 開発の基本コンセプト

(1) リューストーン（富士川方式） 日建工学㈱

あらかじめ、型枠に格子状の鉄筋を設置し、その上に石材を投入するため、効率的にブロックが製作でき、石材の埋め込み長も確実に確保できる。

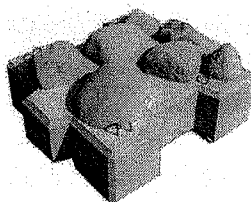


写真-4

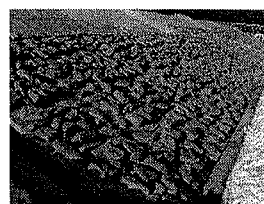


写真-5

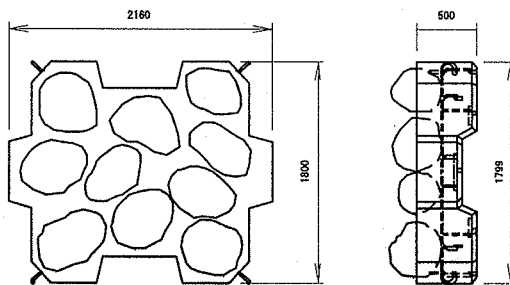


図-2

(2) 葡萄の河護（甲州生まれ） 三基ブロック(株)

プレキャストコンクリートの型枠の中にメッシュ筋を配し、その上に石材を載せ、現場打設のコンクリートで一体化させる。型枠の組立がないため、ブロック製作工程が簡素化できる。

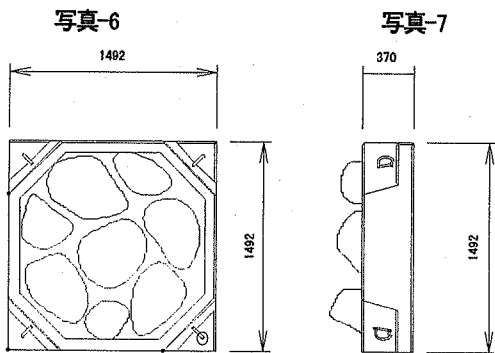
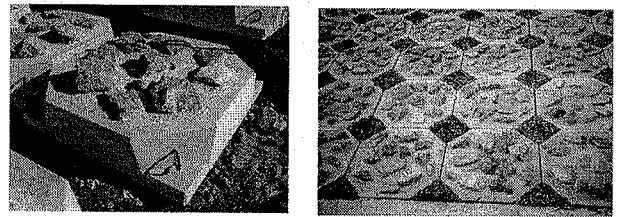


図-3

(3) 甲州流玉石工法「甲斐」三菱マテリアル建材(株)

縦材と横つなぎ材とからなる鉄筋製のサポートを型枠内に設置し、コンクリートを打設する。サポート材の上に石材を配置し、コンクリートとの一体化を図る。

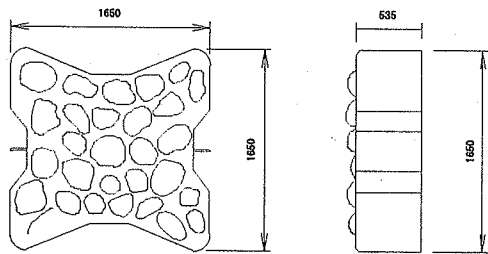
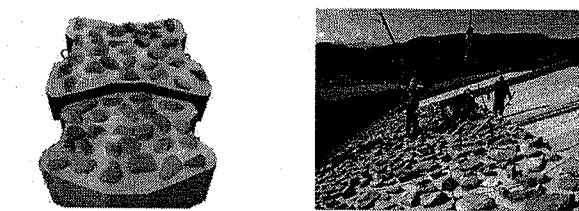


図-4

(4) 将棋頭ブロック 龍王産業(株)

斜面に設置したブロックへ作用する自重を「あいば」

構造により均等に分散できる。ブロック製作時の寒天液入り弾性ゴムチップは、石を配列するときの型枠へ架かる衝撃を和らげ、石の上面から寒天の除去が可能である。

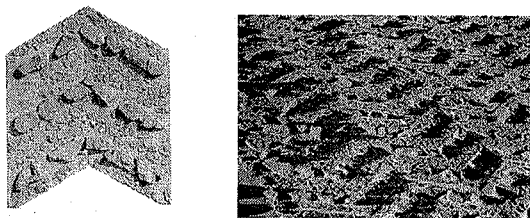


写真-10

写真-11

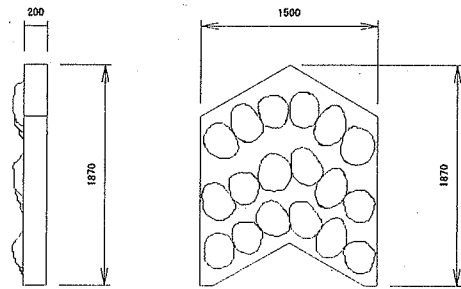


図-5

4. 力学的安定性の照査

実際の護岸設計においては、使用するブロックの力学的安定性の照査が必要となる。前述の通り、富士川は日本三大急流に数えられ、今後使用される現場も急流河川が主になることが予想される。従って、開発するに当たっては、当該河川の代表流速12 (m/sec) (水深=3.37m, 護岸勾配=1 : 2.5 いずれも、大野護岸の設計条件) を一つの目安とし、それ以上の流速においてもブロックの安定性が確保できることを目標とした。

安定性の照査方法は、「護岸の力学設計法」²⁾に基づき、各ブロックが有する移動限界流速を照査した。

(1) ブロック諸元

ブロックの諸元は、表-1の通りである。

表-1 ブロックの諸元

名 称	リユース トーン	葡萄の河 護	甲 斐	将棋頭ブ ロック
寸法 (mm)	1800*2160* 500	1500*1500* 370	1650*1650* 535	1500*1870* 200
質量(kg)	3,560	1,918	2,850	1,140
重量(N)	34,888.0	18,796.4	27,930.0	11,172.0
ブロック 高(m)	0.500	0.370	0.535	0.200
Ag (㎡)	0.926	0.448	0.634	0.472
AD (㎡)	0.206	0.100	0.141	0.105

Ag: 群体ブロック1個の突起部について揚力に関する投影面積 (㎡)、AD: 群体ブロック1個の抗力に関する投影面積 (㎡)

(2) 照査方法

ブロックの安定は、「護岸の力学設計法」により照査するが、ここでは、簡単にその手法を述べる。

法面に設置されているブロックの安定は、一般に滑动により決定されるため、(1)式を満足すれば、ブロックの安定性が照査できる。

$$\mu (Ww \cdot \cos \theta - L) \geq ((Ww \cdot \sin \theta)^2 + D^2)^{1/2} \tag{1}$$

$$L = \rho w / 2 \cdot C_L \cdot A_g \cdot V_d^2 \tag{2}$$

$$D = \rho w / 2 \cdot C_D \cdot A_p \cdot V_d^2 \tag{3}$$

ここに、 μ ：摩擦係数、 Ww ：ブロックの水中重量、 θ ：護岸勾配、 C_L ：ブロックの揚力係数、 C_D ：ブロックの抗力係数、 L ：揚力、 D ：抗力、 V_d ：近傍流速

(1)～(3)式より護岸近傍流速 V_d が求められる。一方、河川の代表流速 V_o と V_d の関係は、郡体-滑动モデルの場合、(4)式にて与えられる。

$$V_d = \frac{8.5}{6.0 + 5.75 \log(Hd / ks)} V_o \tag{4}$$

ここに、 Hd ：設計水深、 ks ：相当粗度
ここで、 V_d 、 ks が既知であるため、設計水深から換算した代表流速が求められる。この流速を以後、移動限界流速(Vo')と言い、設計流速より移動限界流速が大であれば、ブロックの安定が確保されることになる。

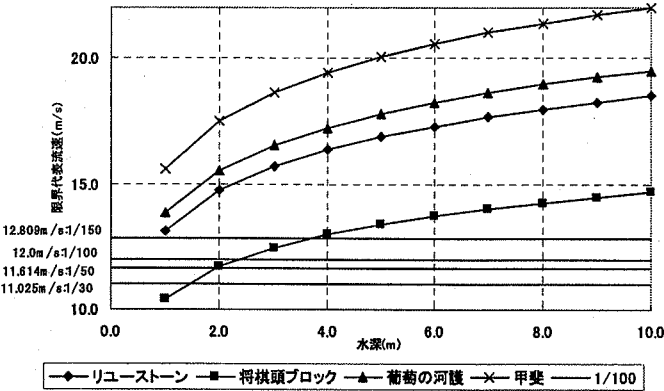
(3) 移動限界流速

表-2 計算結果

名称	リューストーン	葡萄の河護	甲斐	将棋頭ブロック
Vo' (m/sec)	15.97	16.84	17.28	12.66
Hd (m)	3.37	3.37	3.37	3.37
Vd (m/sec)	7.95	8.38	8.60	6.30

詳しい計算は省くが、前述の手法により各ブロックを照査した結果を表-2にまとめた。ただし、河川災害復旧護岸工法技術指針(案)³⁾に従い、30%の必要重の割増を行った。

図-6 試験施工箇所(山梨県身延町 富士川右岸)における水深と移動限界流速の関係



注) 12.0m/s:1/100は、1/100年確率降雨を示す。
いずれのブロックも、1/100年確率降雨の場合の代表速12(m/sec)を満足することがわかる。ここで、4ブロックの水深と限界の代表流速の関係を図-6に示す。参考に、1/150から1/30年確率降雨の場合の流速も記した。

4ブロック中、3ブロックが1/150年確率降雨でもブロックの安定が保持できることが確認できる。以上より、各ブロックともに十分な安定性が確保されている。

5. 衝突力に対する検証

洪水時の泥流等によって護岸に作用する外力は、流水力と礫の衝突力・土砂による摩擦である。前項で流水力による安定性は照査済みであるため、ここでは、衝突力の検証について述べる。なお、富士川の洪水は、土砂を比較的多く含むため、これに耐える必要がある。この傍証としても、衝突力に対する検証を行った。検証方法は、擬似礫をブロック表面に自由落下させて、損傷の有無・程度を確認した。

(1) 実験方法

ブロック表面から1.9mの高さに擬似礫を設置して自由落下させる。落下位置は、ブロック中央付近及び対角線上の1/4点付近の合計5ヶ所とし、ブロックの玉石上に擬似礫を落下させた。落下回数は、各位置共に連続3回とした。

(a) 擬似礫の仕様

流下する礫の大きさは、土石流の礫径に関する池谷⁴⁾らの研究によると、土石流の礫の最頻値は20～40cmである。河床材料の場合も同様と考え、擬似礫の直径を30cmとした。直径30cmの礫の場合、密度2.6(g/cm³)と仮定すれば、質量は36.8kgとなる。実験で使用した擬似礫は、質量37kg、直径30cmの球形の擬似礫(高強度鋼繊維補強コンクリート)とした。

(b) 落下高さ

富士川的设计流速は、1/100年確率降雨の場合、約12(m/sec)であり、この流速における近傍流速は、約6(m/sec)となる。洪水時に流下する礫の速度は、近傍流速以下と考えられるため、擬似礫がブロック表面に達した時の速度が6(m/sec)を満足するような高さに擬似礫を設置し、破損の有無を確認した。

落下高さは、(5)式による。

$$h = V^2 / 2g \approx 1.9m \tag{5}$$

ここに、 h ：落下高さ、 V ：自由落下速度、 g ：重力加速度 (写真-12参照)

(2) 測定項目および方法

① ブロックと玉石との一体性

擬似礫の衝突による玉石の脱落や浮きの有無を確認し、

埋め込み深さの妥当性を検証した。

②ブロック本体の損傷

玉石の損傷、欠損によるブロックへの影響を調べ、実際の現場におけるブロックの耐久性を検証した。

③玉石の損傷

欠損が認められた場合は、破片を回収し欠損量を測定した。

測定方法は、破損、ひび割れの有無を目視により調べた。

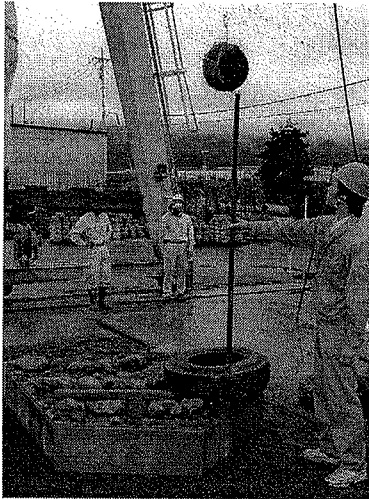


写真-12

(3) 結果

実験の結果の大約は、下記の通りである。なお、4ブロックとも、同様な結果を得た。

- ①玉石の抜け出し、玉石とコンクリートとの界面剥離、周辺コンクリートのひび割れなどの異常は全く認められなかった。
- ②ブロック本体へのひび割れや破損は全く認められなかった。
- ③玉石のひび割れや欠損は認められるが、損傷の程度が軽微で、実用上支障なし。

(4) ブロックの状況

上記の通り、擬似礫落下試験によるブロック本体への影響は見受けられなかった。自然石には、若干の損傷が見られたが、使用した自然石の強度・硬度に依存するため、現場状況に適合した材料が選定できれば、損傷による美観の低下などが解消できる。以下、自然石の損傷状況を示す。なお、ひび割れの幅・長さは、クラックスケール・ノギスで測定した。

①将棋頭ブロック

落下位置：NO. 2

落下回数：2回目

ひび割れの状況：幅2mm、ひび割れ長さ15cm

3回目は、変化せず

落下位置：NO. 3

落下回数：2回目

ひび割れの状況：幅0.4mm、ひび割れ長さ5cm

3回目で欠損62g

②リユーストーン

落下位置：NO. 3

落下回数：2回目

ひび割れの状況：幅0.4mm、ひび割れ長さ15cm

3回目で欠損2575g

他のブロックの状況は、省略する。

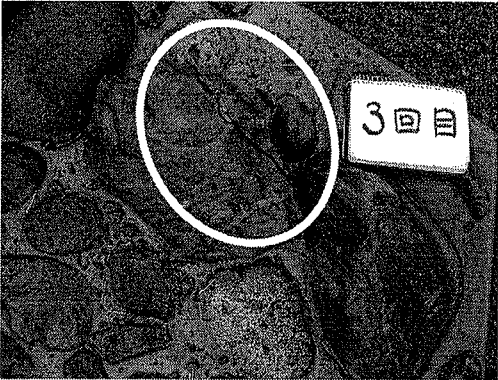


写真-13 将棋頭ブロック

製品名 (会社名)	落下位置	ブロックと玉石との一体性			ブロック本体の損傷			玉石の損傷		
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
将棋頭ブロック (龍王産業)	No. 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 2	○	○	○	○	○	○	ひび割れ	←	←
	No. 3	○	○	○	○	○	○	○	ひび割れ	欠損(180g)
	No. 4	○	○	○	○	○	○	○	欠損(62g)	←
	No. 5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
龍荷の河産 (三基アソシ)	No. 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 2	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 4	○	○	○	○	○	○	欠損(126g)	←	←
	No. 5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
甲斐 (三菱マテリアル建築材料)	No. 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 2	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 3	○	○	○	○	○	○	欠損(微量)	←	欠損(117g)
	No. 4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
リユーストーン (日建工学)	No. 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 2	○	○	○	○	○	○	○	○	欠損(1839g)
	No. 3	○	○	○	○	○	○	○	ひび割れ	欠損(2575g)
	No. 4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	No. 5	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表-3 各ブロックの損傷状況

表の記号・語句の意味は、

○：ブロック本体、自然石ともに、異常が見受けられない状態

ひび割れ：自然石にひび割れが発生し、目視で確認できる状態

欠損：自然石の一部が剥離した状態

6. 施工性に対する検証

甲州流プレキャスト石張り護岸の開発目標の一つに施工性の改善がある。前述のように、従来の練石張り護岸は、機械化が難しく、熟練工を必要とする。ここでは、工期を指標に、甲州流プレキャスト石張り護岸と練石張

り護岸の比較を行い、その評価を行う。

工期を短縮する要因として、施工性、工程の簡素化、同時並行作業によるクリティカルパスの短縮などがあげられる。現場状況、施工時期、天候、人員などの条件により工期は左右され、簡単に比較はできない。比較対象の練石張り護岸の工程表は、富士川での施工実績を元に今回の現場を想定して、シミュレーションしたものである。表-4、表-5は、それぞれ甲州流石張り護岸の工程表と練石張り護岸の工程表を比較したものである。なお、施工面積は、約1,300㎡である。

工程表

(甲州流プレキャスト石張り護岸)						
項 目	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月
準備工						
製作ヤード造成						
ブロック製作						
盛土工						
基礎工						
横帯工						
法面整形						
ブロック据付						
埋め戻し						
雑工						

表-4

(従来工法・現場打ち練石張り工法)						
項 目	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月
準備工						
盛土工						
基礎工						
横帯工						
法面整形						
雑割石コンクリート工						
埋め戻し						
雑工						

表-5

比較の結果では、甲州流プレキャスト護岸が15日～20日程度、練石張り護岸に比べ、工期の短縮が可能となるという結果であった。その主な理由は、下記の通りである。

- ①ブロック製作と法面整形工・基礎工・横帯工などの築堤工が同時並行作業できること。
- ②雑割石コンクリート工に比べ、計画的な施工ができ、施工性もよいこと。
- ③法面の難しいコンクリート打設が少ないこと。
- ④現場打ちコンクリートに比べ、足場回りが安全であること。

上記の中で、ブロック製作と築堤工の並行作業が可能のため、ブロック製作に費やす日数が実質の工程に影響を与えない。そのため、雑割石コンクリート工に比べ、ブロック据付の施工性がよく、工期の短縮が図られることとなる。

ブロックの製作は、現場に貸与される型枠の組数により製作日数が変化するため、一概には論じられない。築堤工と並行でブロック製作が完了できれば、練石張り工法に比較して、工期の短縮は可能である。出水期を利用

して、ブロック製作をすれば、ブロック製作工程に影響されずに、確実に工期が短縮できる。また、公共工事の平準化ということでも、出水期の利用は一考の価値があると考ええる。

7. おわりに

最後に、甲州流プレキャスト石張り護岸の開発における成果と問題点をまとめた。

①力学的安定性の照査と擬似礫落下試験による衝突力の検証により甲州流プレキャスト石張り護岸は、急流河川における護岸法覆工としての十分な実用性を有していることが確認された。今後、富士川に設置されている現地ブロックについて、経年モニタリングを実施し、その有用性と問題点を検証する予定である。

②今後の使用方法として、護岸だけではなく、落差工の床固や根固工にも十分に使用できる感触を得た。特に、転石が多く、川砂による磨耗の激しい河川では、ブロックの破損や磨耗による重量不足、景観性の低下等が問題となっている。周知の通り、石材はコンクリートに比べ耐摩耗性に優れているため、このような現場に有効であり、今後の展開を期待したい。

③製作上の問題点は、各ブロックにより異なるが、総じて施工性がよく、工期の短縮が図れる。また、実際の施工を通して、熟練した石工を必要としないことも確認でき、この点も各ブロック共通のメリットである。また、据付についても、根固ブロックと全く変わりがなく、非常に簡単に据付することができた。

④各工法の施工単価は、現行の練石張り護岸に比べやや高く、今後のコスト縮減が課題である。ブロックの量産効果、プレキャスト化による製作、施工歩掛の見直し、現地発生材の有効利用等により価格の低減を実現させることが課題である。

⑤流速が速く、転石が多い河川でも甲州流プレキャスト石張り護岸は、有効であると考えられるが水理特性値・ブロックの大型化等の課題も多い。

⑥景観性や動植物に対する配慮の面からは、各ブロックともに石張でかつ護岸背面を遮断しない構造のため、横断方向の連続性が保たれる。今後、生態系の保全の観点から多方面での使用が期待できる。

参考文献

- 1) 和田一範、館直樹：土木学会誌、Vol. 88, 11, 2003、甲州流プレキャスト石張り護岸の開発
- 2) 護岸の力学設計法、(財)国土開発技術研究センター、1999. 2
- 3) 河川災害復旧護岸工法技術、(社)全国防災協会、2001. 5
- 4) 池谷浩：土石流危険区域の設定に関する研究、土木技術資料、21-9, 1979

(2004. 4. 7受付)