

生態系保全・育成機能を有する護岸ブロックの開発¹

Development of Concrete Blocks Creating Ecosystems along Riverbanks

小松利光²・中村由行³・末松吉生⁴・柴田敏彦⁵・森昌樹⁶

By Toshimitsu KOMATSU, Yoshiyuki NAKAMURA,

Yoshio SUEMATSU, Toshihiko SHIBATA and Masaki MORI

1. はじめに

現在、「多自然型川づくり」を目指して、全国で河川に対するさまざまな取組みが展開されており、治水、利水対策だけでなく川の親水機能、環境及び景観にも重点を置く水辺の整備が進められている。これは、これまでの水工学の経験と知識を活かして治水機能を維持・強化しながら、同時に自然環境の保全・創出等を行って、河川本来の姿を取り戻させようとする試みであり、そのための工法の開発が進められている¹⁾。

方向性としては、従来行われてきたコンクリート材料による護岸・護床工法は極力やめて、古来行われてきた石材や木材等の自然材料を用いた工法を積極的に見直そうという動向にある。しかしながら急勾配河川や洪水対策上高い安全性が求められる地域、あるいは急勾配法面においては、従来のコンクリート材料を用いた護岸・護床を行わざるを得ない。例えば、法面勾配の緩い川では、籠マット・吸い出し防止マット等を用いた覆土工法で多自然型川づくりを行うことができる。しかしながら、法面勾配の急な河川においては護岸ブロックを使用せざるを得ない。そこで、新しい試みとしてコンクリート材料を用いながらも、植生・景観に工夫をこらした、治水機能だけでなく、環境機能・生態系育成機能を有する環境護床・護岸ブロックの開発が望まれている。既に護床ブロックについては小松ら²⁾³⁾は水質浄化機能を持ち、かつ魚類の生息場所を提供できる2層構造の護床ブロックを提案しており、現在その発展した形態のブロックが試験施工されている。

一方、護岸ブロックについても環境機能に配慮したいいくつかの施工例が報告されているが、重大な問題点が指摘されている。例えばブロック内の土に芽生えた植生が、夏の太陽の照り付けによるブロック内の温度上昇や渇水時の水枯れで全滅したり、排水パイプから土砂が吸い出されたり、あるいは排水機能が排水パイプに設置された吸い出し防止材の目詰まりにより疎外されてしまう等の問題があげられる。これらの問題から、治水機能の面からも環境機能の面からもそれらの有効性を発揮していないものと思われる。

そこでこれらの問題点を克服するため、治水面では排水機能及び吸い出し防止機能を有し、環境面では豊かな植生が確保されると共に、水辺の小動物の生息を可能にするような、大地と直結した二重構造の環境護岸ブロックを考案した。これを *Mother's Rock* と命名する（以後 M-ブロックと呼ぶ）。本ブロックの構造は、古来よ

1 キーワード 護岸、環境、コンクリートブロック、生態系、植生

2 正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科（〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1）

3 正会員 工博 九州大学助教授 工学部建設都市工学科（〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1）

4 代表取締役 東栄商興（株）（〒819-11 福岡県前原市大字有田 750）

5 正会員 九州大学技官 工学部建設都市工学科（〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1）

6 学生員 九州大学大学院 工学研究科水工土木学専攻修士課程（〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1）

り構築されてきた城等の石垣の構造（図-1）を参考にして設計された。

斜面に使われるブロック擁壁には、水抜き穴が不可欠である。石垣は、特にパイプ穴のような水抜き穴が用いられていないにもかかわらず構造上安定して存在し続けており、かつ独特の景観美を有している。石垣の安定性は大きな石材同士の間隙を順次小さな砂利で埋めることによりもたらされている。一つの石材の周辺が全て排水孔を代行する構造となっており、これが目詰まりとは無縁のため排水機能も大きい。また、この様な間隙部分の存在が斜面と地山の間の水分・溶存成分や微生物の往来を可能にしており、生態系に対しても比較的多様な生態空間を提供している。

本研究の目的は、このような城等の石垣の構築思想を大胆に導入して、石垣より強い構造で治水の機能を果たしながら、生態系により好ましい空間を提供できる環境護岸ブロックを開発することである。本論文では、まず、現在試作段階にあるM-ブロックの設計思想と構造上の特徴を述べ、次に今後実用化にむけて考慮すべき事柄について記述する。

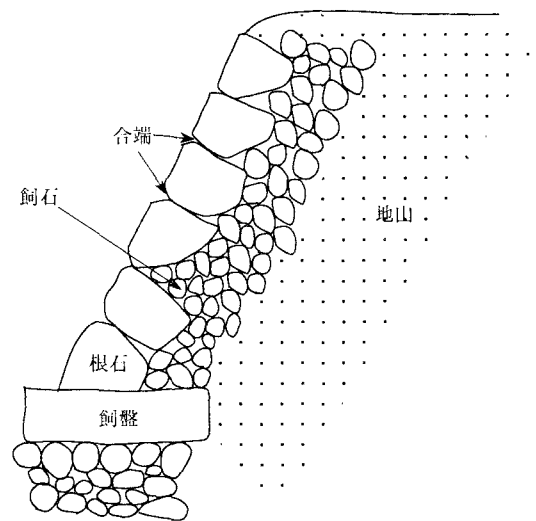


図-1 石垣の構造

2. Mother's Rockの構造上の特徴と機能

従来型の環境護岸ブロックでは、一般に安全上の配慮から堤体の本体（地山部分）と法面の植生のある部分とが裏打ちコンクリートによって完全に分離されている。これは、法面の強度を確保し、残留水圧が生じてもブロックが破壊されないためである。破壊が最も生じやすいのは、堤体（あるいは地山側）の地下水位が堤外地（河川側）の水面よりも高い時である。この際水圧が原因で転倒などの破壊が生じたり、あるいは土の吸い出しによって破壊が生じる事がある。吸い出しとは堤体の土砂が水とともに急激に河川側に噴出する現象であり、堤体自体の崩落、破壊に直結するため、その対策に慎重な配慮が必要である。従来の標準的な施工法では、水抜き穴を適当に配置して水圧の低下をはかると共に、穴に吸い出し防止マットをとりつけ、そこから土砂が流出しない様に配慮している。ところが吸い出し防止マットはしばしば目詰まりを生じ、水抜き機能が失われることがある。その場合には、裏打ちされたコンクリートの背後（地山側）を斜面に沿って水が走り抜ける水みちが発達し、新たな堤体崩壊の原因となることがあるなど、安全上の問題が明らかとなっている。

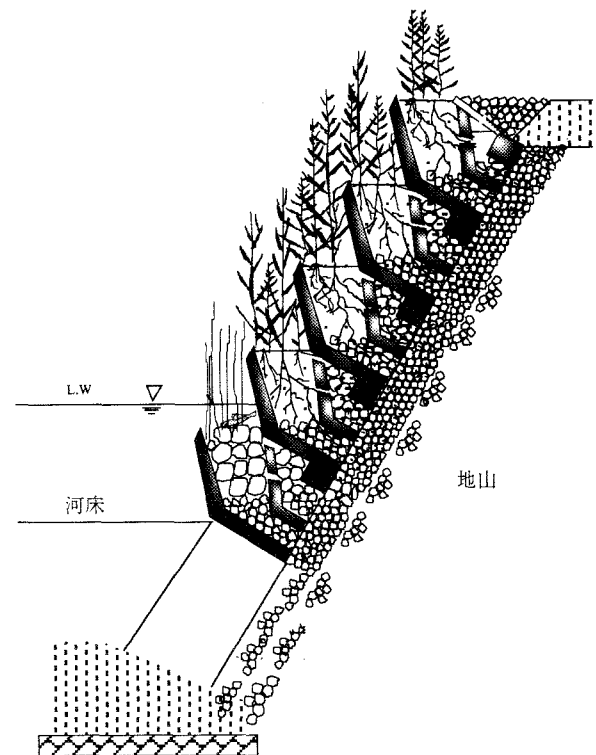


図-2 Mother's Rockの施行例

また、護岸に配置された植生に関しても従来の方法では問題が多い。植生には水・空気の流通と適切な温度

条件が不可欠であるが、従来法では堤体からの水分補給が十分でなく、空気の流通も十分ではない。さらに夏場日射が特に強い場合は客土が乾燥し、かつ高温となるなど土壌環境が急変し易くなるため、ぜい弱な植生環境となり易い。一方法面から堤体本体に客土が連続し、植物の根がブロック内から堤体内部まで伸長すれば、植生が安定するのみならず堤体自体もより一層安全・強固になるはずである。これらの点を考慮すると、地山と環境護岸ブロックを裏打ちコンクリートによって遮断することが治水面にも環境面にも悪影響を及ぼしているものと推論できる。むしろ、地山とブロックが直結されている構造の方が望ましいと考えられる。その良い例として、古来より使われてきた石垣の構築工法がある。そこで、本研究では石垣の構造に着目し、治水及び環境上の問題を克服した環境護岸ブロックを考案した。図-2は本ブロックが護岸ブロックとして使われた場合の全体の断面図をまた図-3はその拡大図を表す。以下、このブロックの構造上の特徴と機能をまとめる。(図-4 参照)

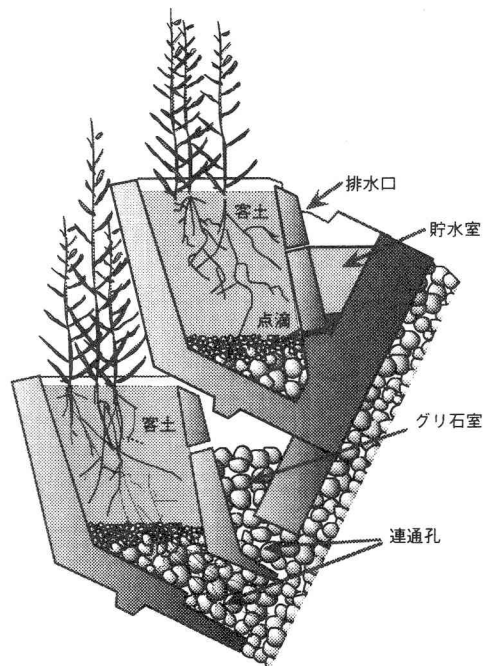


図 - 3 Mother's Rockの拡大図

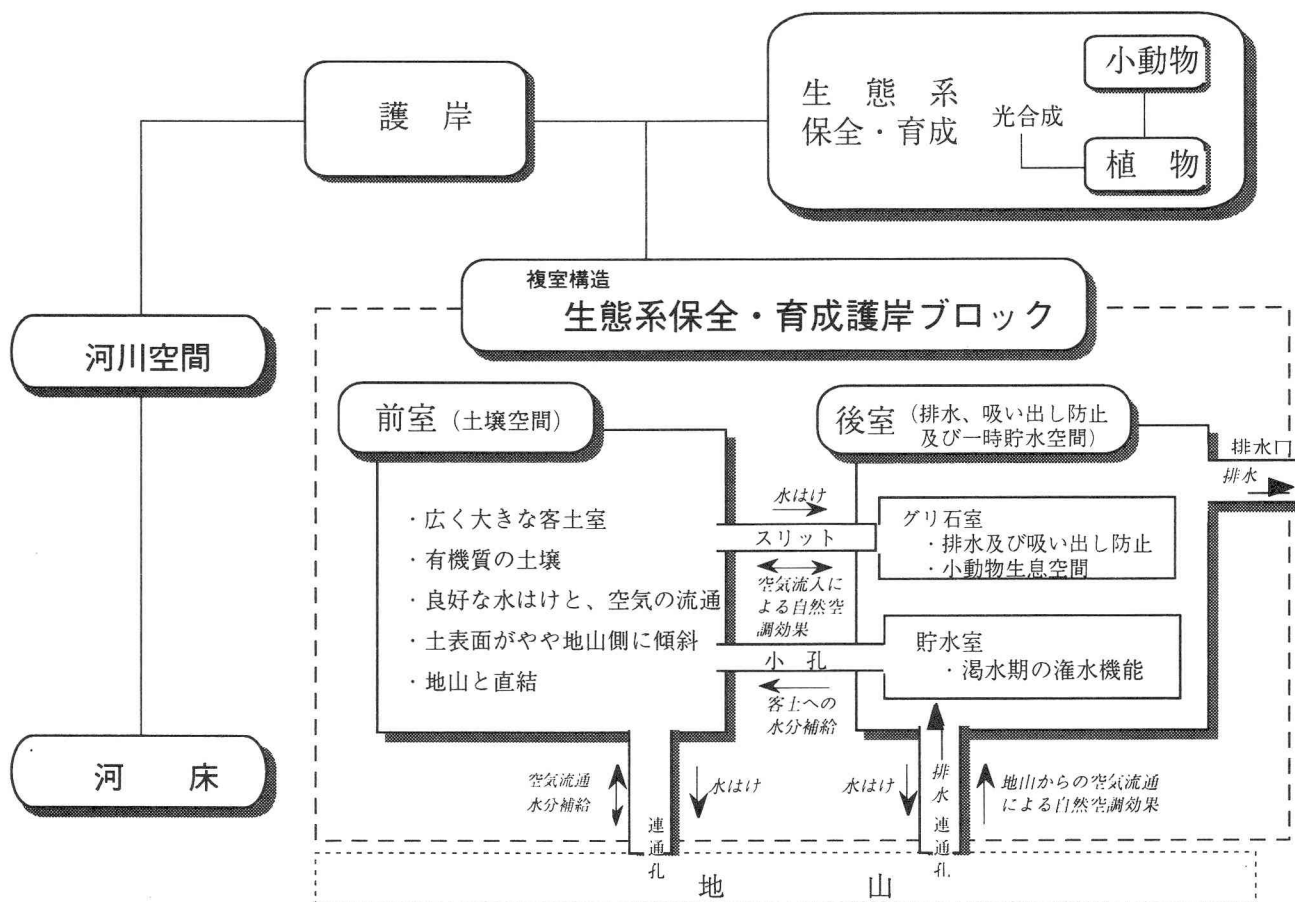


図- 4 Mother's Rockの概念図

2.1 構造上の特徴

(1) 大地と直結した二重構造

大地と直結したブロック内空間を前後に2分割し、別々の機能を持たせる。前部空間は植物の育成のため、客土を充填する。後部空間はさらにグリ石室と貯水室に分かれる。まずグリ石室においては排水機能・吸い出し防止機能ならびに小動物の生息空間を提供するためにグリ石等を充填する。一方貯水室は渇水期における貯水・灌水機能をもたせるための空間であり、降水を一時的に貯留し、小孔を通して前部空間へ水分を補給する。前後の両空間ともにグリ石を介して堤体の地山部分に直結している。

(2) 排水・吸出し防止ならびに小動物育成のための後部空間の設置

後部空間はその中央にグリ石室、両脇に貯水室をもつ。グリ石室は排水機能・吸出し防止機能という治水上の機能を有するほか、生態系への配慮もなされている。一方、貯水室は一時的に水を貯留し、水分をゆっくり前部空間に補給するための空間である。

イ) 排水機能の確保。背後の地下水の圧力を軽減するため、各ブロックの後部空間に排水孔の機能を持たせる。したがって、ブロック一個につき1つの排水孔があることになる。これは、石垣において石材と石材の間の小空間がすべて排水機能を担うため、個々の石材の排水の負担が軽く、同時に目詰まりしにくくなって、石垣全体の安全性を高めているという事実に基づく。

ロ) 吸い出し防止のための工夫

(a) 各ブロックごとの排水孔の設置(石垣の構造):上記イ)で述べた点と同じ事であるが、良好な排水による地下水位の低下ならびに各々の排水孔の排水負担の軽減により、前部空間の客土ならびに裏の地山の土の吸い出しが防止できる。

(b) 上向き構造:後部空間は途中で、鉛直上向きに広がる構造となっている。上向き構造となることで排水の流れが重力に逆向きとなり、土砂の輸送が妨げられる。

(c) 上に行くに従い断面積が拡大:後部空間部分の断面積は上方ほど断面積が大きく、排水の流速の低減効果がある。

(d) 細かい砂利とグリ石の組み合わせ(石垣の構造):石垣と同様、粒径の異なる石の組み合わせによって土や細粒土砂の吸い出しを防止する。

ハ) 生態系に配慮した環境の整備

(a) 小動物のための空間提供(石垣の構造):後部空間は主としてグリ石で埋められるため隙間が多く、小動物の生息場所を提供できる。

(b) 空気の対流による温度上昇の防止:微小な空間の存在により空気の対流が生じ、特に夏季においては日中の極端な温度上昇を防止できる。グリ石室と前部空間はスリット状の細い隙間で連結され、グリ石室内の冷たい空気が前部空間の土壌中に侵入することで自然の空調効果が期待出来る。

(c) 渇水期の灌水機能:後部空間の両脇には、グリ石室をはさむ様に貯水室を設ける。これは渇水期において、夕立ちなどの短時間の降水をも有効に貯留し、かつ水分を徐々に前部空間の土壌に補給して植生の枯死を防ぐための空間である。

(3) 植物育成のために大地と直結した前部空間の設置

前部空間は主として植生の確保・育成のために用意され、客土が充填される。豊かで強靱な植生を確保するためには十分に広い容積が必要とされる。この前部空間は奥行き35cm、深さ50cmであり、法面の緑化のためにはまず十分な容積であると言える。また、前部空間と後部空間は細い隙間で連結され、さらに、両方の空間ともに堤体（大地）に直結しているために以下の様な効果が期待できる。

- (a) 良好な水はけと空気の流通
- (b) 水分の大地からの補給（乾燥防止）
- (c) 土の温度の上昇軽減（直結による大地への熱の伝導）

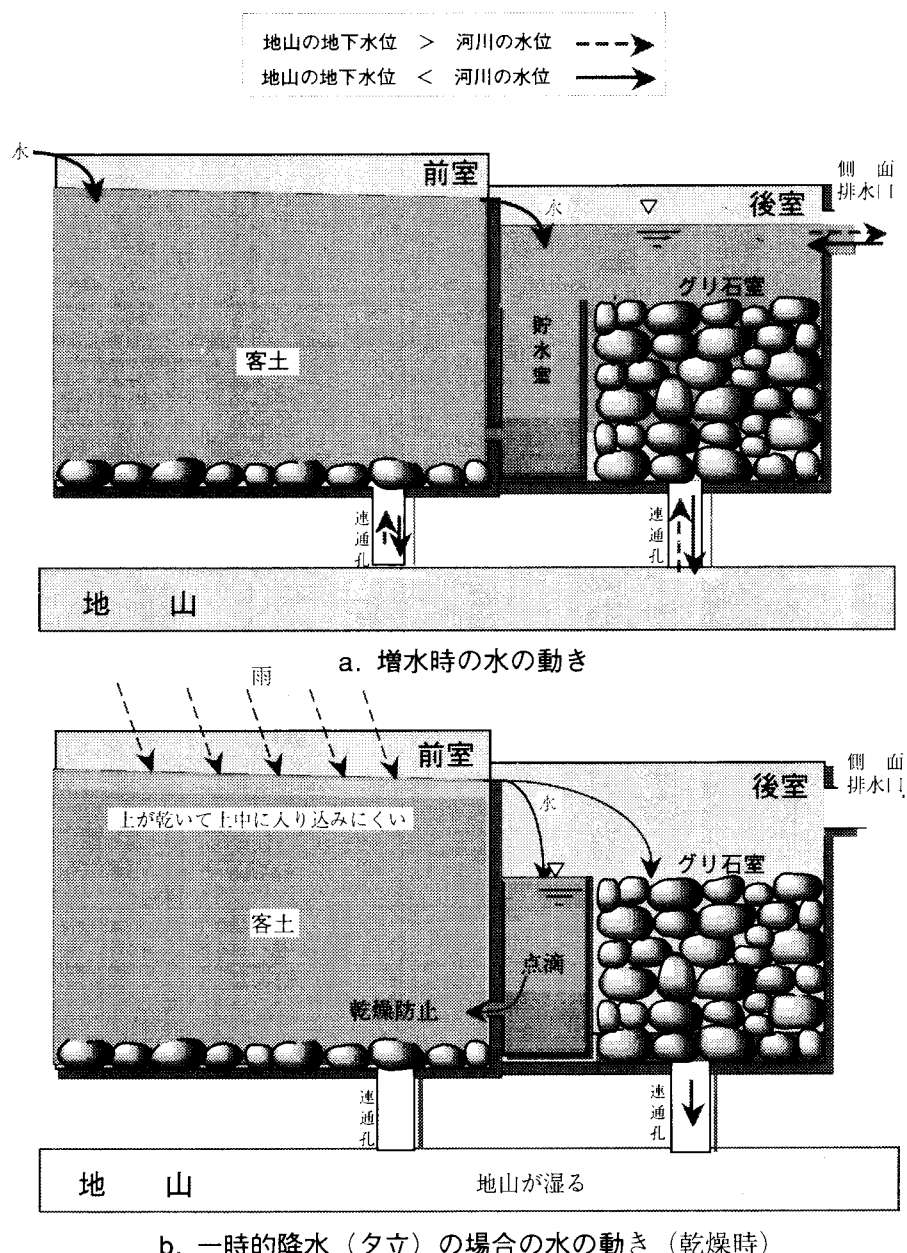


図-5 増水(洪水)時や乾燥時における水の動き

- (d) バクテリアや微生物や空気の往来が容易（石垣の構造）
- (e) 植物が大地の中まで根を伸ばして張る事が出来るため、温度の上昇や渇水に対しても枯れにくい。
- (f) 洪水直後など過剰な水分の供給があった場合には地山側に水分が移動し、適度な湿り気を帯びた状態に回復しやすい。

(4) コンクリートブロックの連結により、石垣より強い構造

ブロック同士はジョイント部で相互に連結され、かつブロック本体背面の一部に裏コンクリートを打設する事により一体強固な構造となる。

(5) 緑の被覆による自然景観の創出。土の温度上昇の防止（草で覆われるため）

前部空間を利用した植栽により、全体が緑で被覆される。そのため、景観上も無味乾燥なコンクリートブロックの印象がなくなり、独自の自然景観を創出することができる。また、植栽は、ブロックや土の温度の上昇を防止し、植物自体に対しても、また空間を利用する生物に対しても安定した温度環境を創り出す。

2.2 増水 (洪水) 時や乾燥時における水の動き

治水は増水 (洪水) 時における堤体からの適切な水の排水が必要であるが、植生を育むためには増水時における排水ばかりでなく、乾燥時における水分補給が必要となる。つまり、適切な水はけと水の補給という相反した要求が満たされなければならない。そこで本節では水の移動という観点から本ブロックの特徴をまとめた。図-5には、増水時や、乾燥時における水の動きが図示されている。まず洪水初期において河川水位が地山側の地下水位よりも高くなって行く時期において (図5a)、河川水がブロック前部及び後部空間に浸透しはじめる。後部空間のグリ石室は前部空間よりも浸透性が高いため大部分の水はグリ石室を通して地山側に浸透する。次に洪水後期において地山側の地下水位の方が河川水位よりも高くなった場合には、地下水は専らグリ石室を移動しブロック側面の排水口から排水される。側面排水口の位置は前部空間の土の高さよりも低いため、客土の表層が冠水状態になって流失してしまうという事態を防止できる。

乾燥時における水分の補給としては夏季の夕立時の雨水の有効利用等が考えられる。夏季には一般に降雨が生じても、土の表面が非常に乾燥しているため短時間内には客土に浸透せず、表面を直接流出しがちである。その際、表面の栄養分をも流出させてしまう事が多い。以上の問題を克服するため、本ブロックは以下の様な構造上の工夫をこらした。まず前部空間の土表面を後部側へ緩やかに傾斜させる事により雨水の大部分が後部空間の貯水室に貯留できる。貯水室の下部には小孔があり、客土下層部に通じている。従って貯留された水は点滴の様に緩やかに客土下層に浸透し、ゆっくり客土を湿らせるのに使われる。また、降水によって流出した可溶性栄養分も水と共に貯水室に一時的に貯留されたのち、客土下層へ徐々に回帰する。つまり、栄養分の効率的な循環が可能になる。過剰な降水があった場合には、グリ石室を通して地山側へあるいは側面排水口からブロック外に排水される。

3. 実用化に際しての室内実験

M-ブロックの環境機能については実河川に施工後の追跡調査により判断すべきものと考えられる。実用化に向けて、予め実験室において検討すべき最も重要な課題は、排水機能の有効性と吸い出し防止機能の確認である。以上二つの機能を確認するため図-6の装置を用いて実験を行った。特に実際の川で生じる河川水の水位と地山側の地下水位の關係に着目し、洪水による河川水位の上昇期及び下降期を想定した実験を行って、排水の状態及びグリ石や客土の挙動を詳細に調べた。

図-6は用いた実験装置の概略を示したものであ

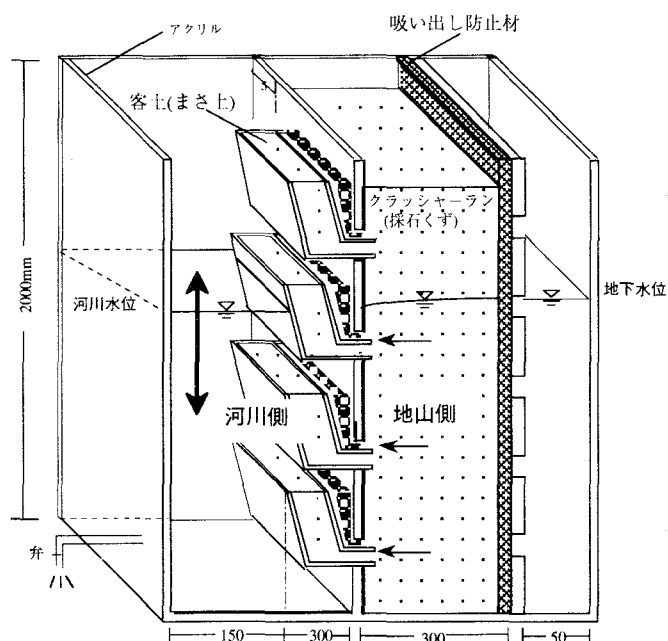
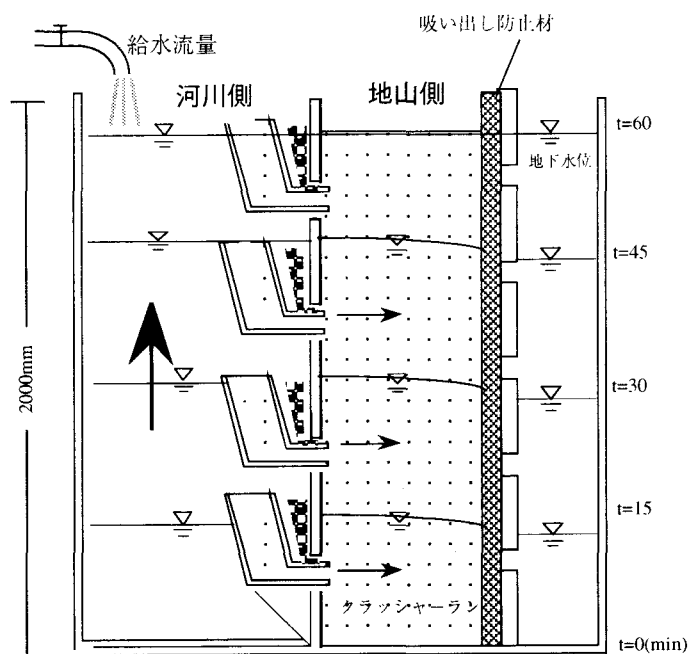


図-6 模型実験概略図

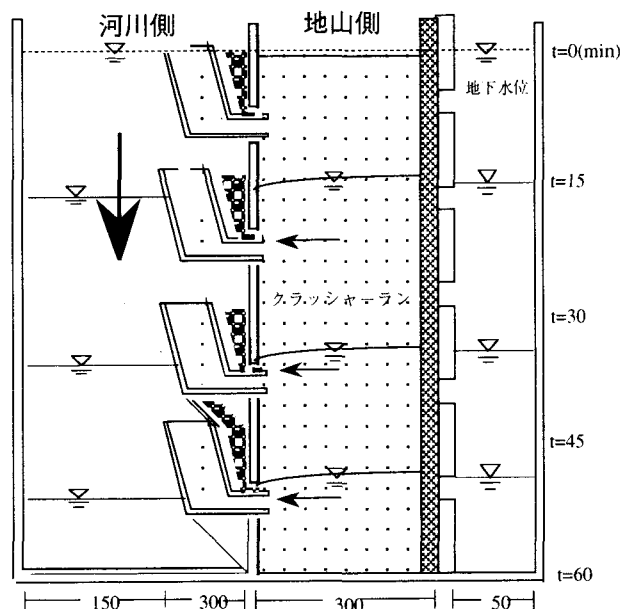
る。高さ2m、幅約80cm、奥行き約35cmの亚克力製の大枠の中央部に、地山を想定した幅30cmの土層がある。土層の両側は河川及び地下水層であり河川水槽側にはM-ブロック模型が上下4段取り付けられている。各々のブロック模型は高さ・幅・奥行きとも30cmであり実寸法(計画段階)の約半分であるが、主に排水・吸い出し防止機能を調べるための実験装置であり、忠実な縮尺模型ではない。また、土層の地下水槽側には吸い出し防止材を設け、地下水槽側に土砂が流出しないようにした。ブロック内において客土としてはまさ土、グリ石としては平均粒径約80mmのグリ石を用いた。土層の土には最大粒径40mm以下のクラッシャーランを用いた。

実験は、まず河川水位上昇時における水の挙動を調べる実験を行った。両側の水槽をまず空の状態にしておき、河川水槽側のみ140 cm³/sの流量で水道水を供給した。両水槽ならびに土層中の水位を観察したところ、水は速やかに土層中を移動し、両水槽の水位はほぼ同じ高さを保ちながら次第に上昇した。ブロック内の水の移動は専らグリ石をいれた後部室を通して行われ、ブロックの客土の流失は見られなかった。水道水注入開始後約60分後に両水槽とも満水状態になった。図7aに実験中の水位の変化の様子を示す。水道水供給量を増やして水位上昇がより速い条件下においても同様な実験を行ったが、定性的には同様の結果が得られた。

次に、洪水後半の河川水位下降期を想定した実験を行った。まず、両水槽に水を満たしておき、河川水槽下部に取り付けたコックを開栓することで河川水位を低下させ、地山側の地下水位の方が高い状態をつくった。河川水位を下げながら土層並びに地下水槽の水位低下を観察し、同時にブロック内の客土やグリ石の挙動を調べた。実験中水は速やかに地下水層側から河川水槽側に移動し、両水槽の水位はほぼ同じ水位を保ちながら次第に低下した。図7bに実験中の水位低下の様子を示す。ブロック内においては、グリ石室の透水性が高いためこの部分から速やかに水が排水される様子が観察された。客土の土の移動はなく、吸い出しは全くみられなかった。ブロック内においてグリ石を充填した部分を地山側に直結させることで高い透水性が得られ、このことはまた、地下水の水位を速やかに逃がすことによ



河川水位上昇時



河川水位下降時

図-7 洪水時における水の移動に関する室内実験の結果

てブロックに背面から働く圧力を軽減させているものと考えられる。

以上の実験結果から、基本的にはこのブロックが高い排水機能・吸い出し防止機能を有することが確認できた。今後さらに、洪水時における河川水による客土の流失を防ぐ対策を考案し、実験的に効果を確認して客土が安定して存在し続ける様な構造を見いだすことを計画中である。

4. まとめ

力学的に安定でかつ環境にも好ましい石垣の構築思想を導入することにより、豊かでたくましい生態系を育成する機能を有する新しい護岸ブロックを提案した。当ブロックの構造上の特徴は、ブロック内部が空間を持ち、その空間が前部と後部の2つの空間に分けられ、それぞれに排水機能及び環境機能を分担して受け持たせる点にある。いずれの空間も堤体本体（大地）と直結させることにより、本格的な自然生態系の育成を図っている。なお、このブロックは護岸用として開発されたが、擁壁用としても十分な機能を持っており、自然の緑豊かな斜面の再生が期待される。

謝辞：本研究の遂行において建設省九州技術事務所技術課 荒木和幸計画係長に多大なる援助をお願いした。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 島谷幸宏, 田中隆: 豊かな環境を目指した新しい水辺環境技術, 土木学会誌 10月号, pp.18-21, 1996
- 2) 小松利光, 中村由行, 大八木豊, 藤田和夫: 生態系育成機能を有する護床ブロックの開発, 水工学論文集, 第40巻, pp.397-404, 1995
- 3) 小松利光, 中村由行, 末松吉生, 藤田和夫, 大八木豊: 二層構造の護床ブロックを用いた新しい河道整備の提案, 第3回河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, 1997
- 4) 小橋澄治, 村井宏編: のり面緑化の最先端 - 生態, 景観, 安定技術 - ソフトサイエンス社, 1995