

大地と直結した二層構造を持つ生態系育成型 環境護岸ブロックの開発

DEVELOPMENT OF A CONCRETE BLOCK FOR CREATING ECOSYSTEMS ALONG RIVERBANKS

小松利光¹・中村由行²・柴田敏彦³・末松吉生⁴・森昌樹⁵・藤田和夫³

Toshimitsu KOMATSU, Yoshiyuki NAKAMURA, Toshihiko SHIBATA,
Yoshio SUEMATSU, Masaki MORI and Kazuo FUJITA

¹フェロー 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)

²正会員 工博 九州大学助教授 工学部建設都市工学科 (同上)

³正会員 九州大学技官 工学部建設都市工学科 (同上)

⁴代表取締役 東栄商興(株) (〒819-11 前原市大字有田750)

⁵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)

Very recently, attempts have been made to restore damaged ecosystems in rivers and to improve watershed management. We have proposed the Mother's Rock which maintains or creates ecosystems along riverbanks. The block consists of two spaces, both are directly connected to the land. The upper space is filled with stones to drain well, so that banks should be protected from failure. The lower space is planned to be filled with soil suitable for stabilizing plant vegetations. The blocks can be useful in stabilizing the bank, creating a wildlife habitat and in providing quasi-natural landscapes.

Key Words: block for bank protection, ecosystem, bank erosion, river environment,

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。

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においては、従来型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。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、かつ治水機能だけでなく、環境機能・生態系育成機能をも有するような環境護岸ブロックの開発を行った。

既に環境機能に配慮した護岸ブロックの施工例が報告されているが、従来の環境護岸ブロックには重大な問題点も幾つか指摘されている。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、排水パイプからの土砂の吸い出し、あるいは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る排水機能の喪失等の問題があげられる。これらの問題によって、従来の環境護岸ブロックは治水機能の面からも環境機能の面からもその有効性が発揮されていないといえる。

以上の問題は、ブロックの河岸側がコンクリートによって大地と完全に遮断されている事にその主原因があると考えられる。むしろ、法面ブロック内の土の部分が大地と直結した構造の方が望ましいと考えられる。その好例として、古来より構築されてきた城等の石垣の構造(図-1)がある。

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。ところが石垣には特にパイプ穴のような水抜き穴を用い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の間隙

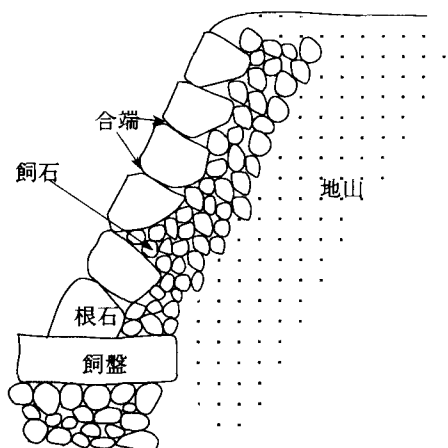


図-1 石垣の構造

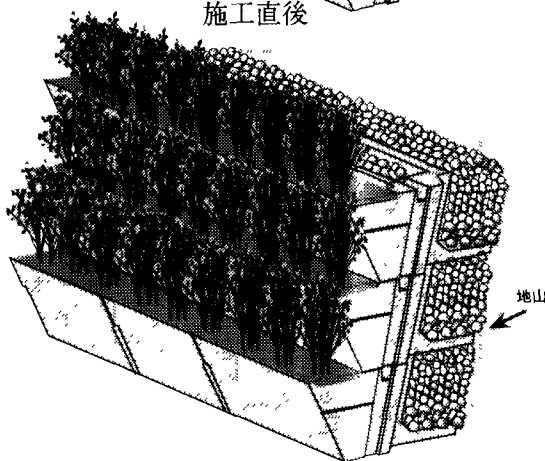
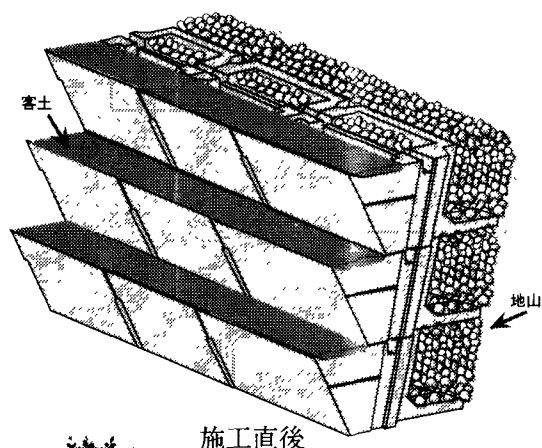


図-2 Mother's Rockの施工後の様子

を順次小さな石で埋めることによりもたらされている。それぞれ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、このような間隙部分の存在が斜面と地山との水分・溶存成分や微生物の往来を可能にしており、生態系に対しても好ましい構造となっている。

本研究においては、このような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（Mother's Rock、以後M-ブロッ

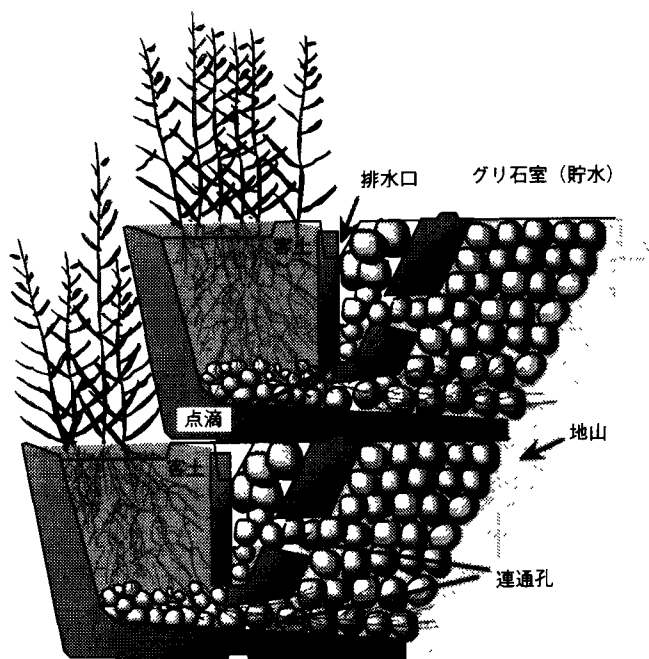


図-3 Mother's Rockの拡大断面図

クと呼ぶ)を開発した。本論文では、まず、M-ブロックの設計思想と構造上の特徴を述べる。次に、考慮した構造が排水機能、洗掘防止機能を十分に発揮できるかどうかを検証するため行った模型実験の結果についてふれる。

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遮断されている。これは、法面の強度を確保し、残留水压が生じてブロックが破壊されないようにするためである。しかしながら、小松ら²⁾が問題点を整理しているように、地山が環境護岸ブロックによって河川から遮断されることが治水面でも悪影響を及ぼしている。むしろ、両者が直結されている構造の方が望ましいという点が著者らの主張である。つまり、治水上、水を通さないという考え方から、できるだけ速やかに通すという発想の転換がある。ところが、植生の為には客土の安定が不可欠であり、これは水を速やかに通そうという考え方と両立しにくい。この点を克服するため、主として排水・治水機能を持つ空間と植生のための空間を分離した、二層構造を持つ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使用状況をまた図-3はその拡大断面図を表す。以下、このブロックの構造上の特徴と機能をまとめて述べる（図-4参照）。

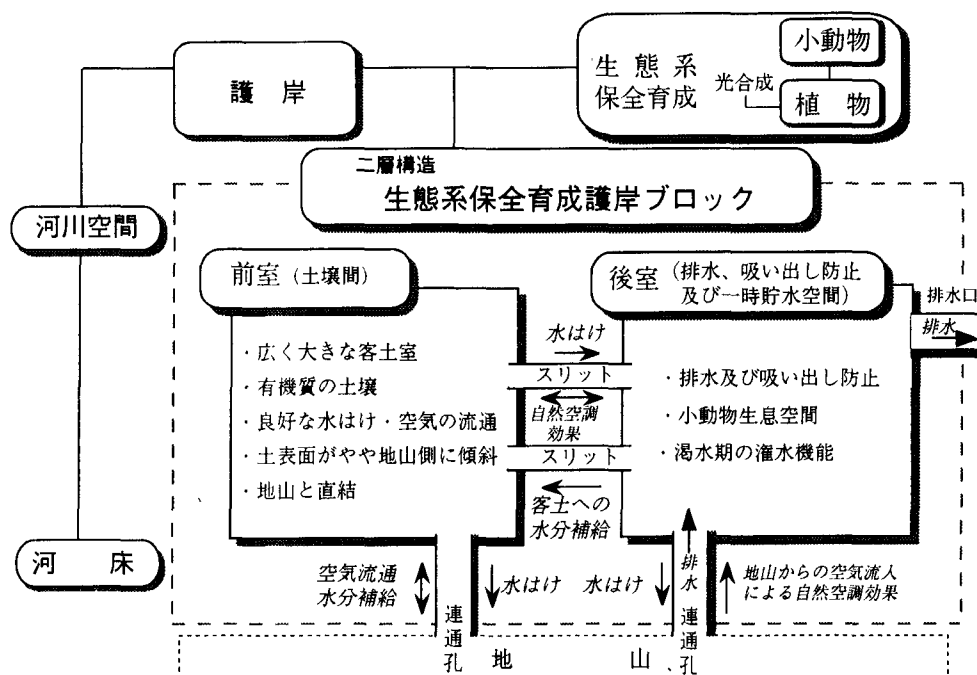


図-4 Mother's Rockの概念図

(1)大地と直結した2層構造

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。後部空間は排水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。前後両空間共にグリ石を介して堤体の地山部分に直結している。大地と直結する部分では石垣と同様、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。

(2)後部空間

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。良好な排水による地下水位の低下及び各々の排水孔の排水負担の軽減により、前部空間の客土の流失ならびに裏の地山の土の吸い出しが防止できる。

後部空間は途中で大きく上に曲がり、鉛直上向きに断面積が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と逆向きとなり、土砂の輸送が妨げられる。また、上方ほど断面積が大きくなる事により、排水の流速の減速効果がある。さらに、後部空間は主としてグリ石で埋められるため空隙が多く、小動物の生息場所を提供できる。

(3)前部空間

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大きい容積の客土が必要とされる。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、後部空間とは細い間隙で連結され、さらに、堤体（大地）に直結にしているため水分や空気の補給、土の温度の上昇の防止等の効果が期待できる。植物が大地の中まで根を伸ばして張るため、温度の上昇時や渇水時においても枯れにくい。

前部空間を利用した植栽により、法面全体が緑で被覆されるため、無味乾燥なコンクリートブロックの印象がなくなり、独自の景観を創出することができる。また、植栽は、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。

(4)ブロック相互の連結

ブロック同士はジョイント部により相互に連結され、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ことにより強固な一体構造となる。

3.排水機能と吸い出し防止機能の有効性に関する模型実験

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、排水機能と吸い出し防止機能の有効性の確認である。

特に河川水の水位と地山側の地下水位の間の差が大きい時に吸い出し現象が生じ易い。そこで、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、本ブロック構造における排水の状態及びグリ石や客土の挙動を詳細に調べた。

実験装置は高さ2m、幅約80cm、奥行き約35cmの亚克力製で、中央部に地山を想定した幅30cmの土層を設けた。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段に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である。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まさ土、グリ石として平均粒径約80mmのグリ石を用いた。土層の土としては最大粒径40mm以下のクラッシャーランを用いた。

(1)河川水位上昇時の水の挙動・客土の状態を調べる実験

まず、両側的水槽を空の状態にしておき、河川水槽側にのみ140cm³/sの流量で水を供給した。両水槽ならびに土層の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予想通り専らグリ石をいれた後部室を通して行われ、ブロック内の客土の流失は見られなかった。水供給開始後約60分後に両水槽とも満水状態になった。図-5に実験中の水位の変化の様子を示す。水の供給量を増やして水位上昇をより速くした条件下においても定性的には同様の結果が得られた。

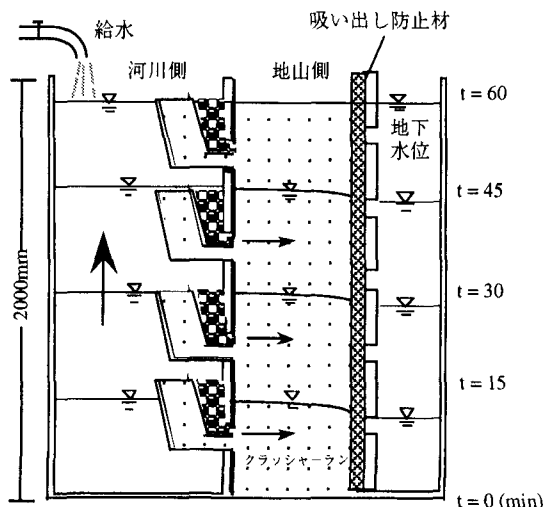


図-5 河川水位上昇時

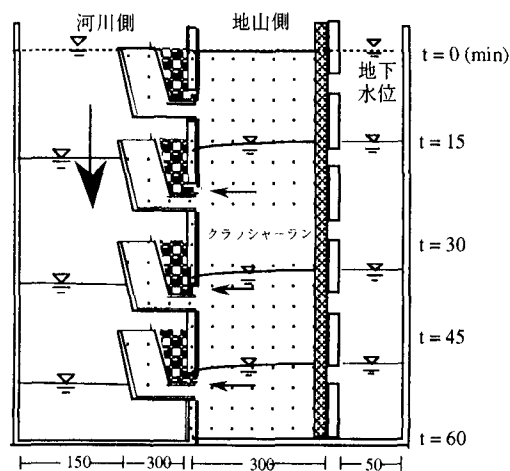


図-6 河川水位下降時

(2)洪水後半の河川水位下降期を想定した実験

両水槽に水を満たしておき、河川側水槽下部に取り付けたコックを開栓することにより河川水位を低下させ、地山側の地下水位の方が高くなる状態をつくった。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後部室を通して移動し、両水槽の水位はわずかな水位差を保ちながら次第に低下した。図-6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（後部室）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。客土層の土の移動はなく、地山の土の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、この部分から、地下水の水位を速やかに逃がすことによっ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構造が高い排水機能・吸い出し防止機能を有し、客土

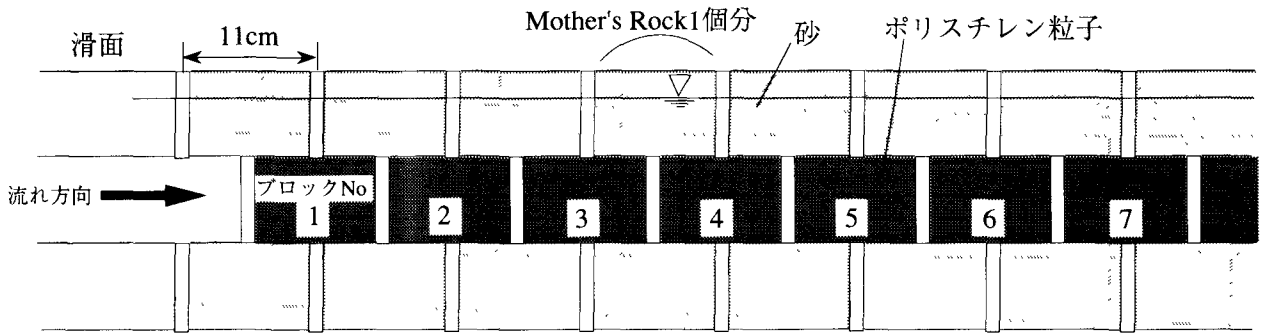
は安定していることが確認できた。

4.洪水時における客土洗掘防止に関する模型実験

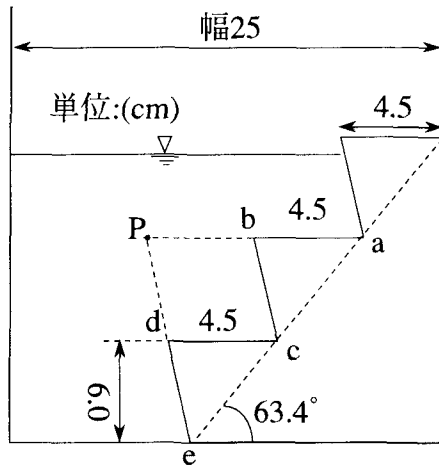
客土に植生の十分な根が張りめぐらされる前に洪水が起きると、客土の流失が発生する危険性がある。そこで、出水があっても客土が安定して存在できる様な構造を見いだすため、模型実験を行った。具体的には、物理的に客土層を分断して1つのセルの表面積を小さくするために中仕切り板を用いることを考えた。

(1)実験装置及び実験方法

実験では幅25cmの亚克力製の開水路を用い、図-7に示す1/7スケールのMother's Rock模型3段を水路片側に設けた。2段目のブロック、つまり中段ブロックに砂あるいはポリスチレン粒子を敷き詰め、移動床として実験を行った。検査区間ブロック(効果を調べるためのブロック)は、流れ方向に9個とり、上流側から順にブロックNo1～9とした。このブロック内に粒



側面図



断面図

図-7 模型実験水路図(側面図と断面図)

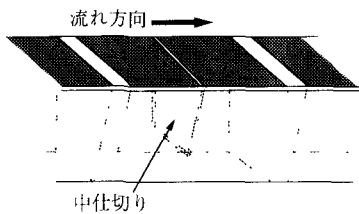


図-8 中仕切りの設置

径1.4~2.5(mm)、比重1.05のポリスチレン粒子を詰めた。検査区間以外のブロックには粒径3mmの砂を充填した。予め行った移動床実験の結果から、一つの客土室(ブロック前部空間)の中では下流側程深く洗掘される事が分かった。従って中仕切りを設置して客土室を流下方向に細かく分割することで、全体の洗掘量が抑えられることが期待できる。そこで実験では一つの客土室を2つ或は3つに分割するために、中仕切り板(現場では木の板を考えており、植生の根が張った後は朽ちて消滅する)を1枚もしくは2枚、各ブロックに設置した(図-8)。施工性の観点から仕切り板の角度は、流れに対して90度となるように設置した。実験ではまずブロックに中仕切りを設置していない状態において客土の洗掘が顕著になり始める条件(断面平均流速28(cm/s))を求めた。次に、同じ水理条件下におい

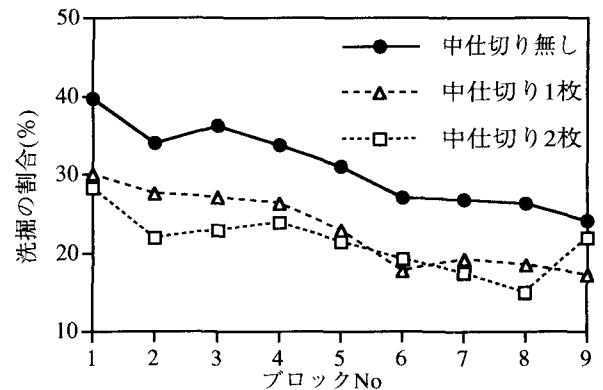


図-9 洗掘の割合

て、中仕切りによる洗掘防止効果を調べた。

比較の対象は中仕切りの無いもの、中仕切り1枚、中仕切り2枚の3条件で、それぞれの洗掘量を比較した。

(2)実験結果及び考察

水路に水を流し始めた時刻から15分後の客土の洗掘の状況を水路側面からトレースし、流失した断面積とブロック客土層の断面積の比を洗掘の割合(%)とした。3種類の実験をそれぞれ3回行った結果、3回ともほぼ同様な傾向が現れたため、洗掘の割合の平均値をプロットして比較したのが図-9である。

9個のブロックの内、上流側のブロックNo.1~5は、ブロック設置範囲の上流側のアクリル部材による滑面部の流れの影響を受けていると考えられる。よって流れ方向にほぼ一様となっている下流側のブロックNo.6~9について考察をすることにする。中仕切りが有る場合は無い場合と比較して顕著な効果が現れている。中仕切りの枚数による洗掘量の差異は、あまり見られなかった。これらの結果から、各ブロックに施工時に中仕切りを設置することは、洪水時の客土洗掘防止策として有効であることが期待できる。

(3)模型実験結果の現場での再現性

中仕切りによる効果が、実際の現場ではどの程度の流速まで有効なのかを調べるため、以下の様な実験を行った。

図-7において、abとdeの延長線上の交点をP点とし、この点における流速を、護岸に影響を及ぼす代表流速とした。P点における流速と、その時のp点斜め下の客土表面（図7においてcd）に作用する掃流力の比は、模型実験でも現場でも同じであろう。すなわち、

$$\frac{\text{現場客土の限界摩擦速度}}{\text{現場における限界時のP点の流速}} = \frac{\text{模型実験における粒子の限界摩擦速度}}{\text{模型実験における限界時のP点の流速}}$$

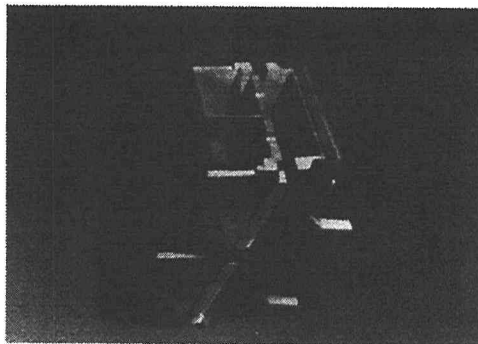
という関係が成り立つ。

実験では、図-7の最下段のブロックに中仕切りを設置しない状態でポリスチレン粒子を充填した。そして、実験中の粒子がわずかに流れ始めた時のP点の流速を測定した。また、中仕切りがないと大きく洗掘するが、中仕切りを設置することによって洗掘がほぼ抑制できる状態でのP点の流速を測定した。その結果、それぞれ10cm/sと約22cm/sであった。

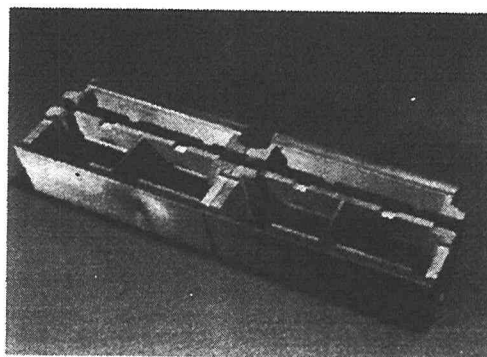
今回模型実験で使用した粒子の限界摩擦速度は、0.58cm/sである。現場では、洪水時客土表面において細かい土粒子はある程度流され、限界掃流力の比較的大きな砂状の粒子が残留すると考えられる。しかし、河原に生息する植物は、客土表面の状態が、砂或るいは、砂礫であっても根を張り巡らせ、成長することができる⁴⁾。そこで今、仮に、十分に植物が育つ粒径で、粒径 d が $0.118 \leq d \leq 0.303\text{cm}$ の砂粒子が客土表面に堆積しているとする。この現場土の限界摩擦速度は、岩垣の式から平均で7.3cm/s程度である⁵⁾。これは実験の粒子の限界摩擦速度の12.6倍であるから、洪水時には現場の客土はP点の流速が10cm/sの12.6倍の約130cm/sにおいて、わずかに流れ始めるが、P点の流速が22cm/sの12.6倍である約280cm/sになっても、中仕切りの働きによって洗掘がある程度防止できることが推測される。

5. 結論

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環境護岸ブロックを開発・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た点にある。いずれの空間も堤体本体（大地）と直結させることにより、



(a)



(b)

写真-1 マザーズブロック

本格的な自然生態系の育成を図っている。また、室内実験により排水機能・吸い出し防止機能を確認し、且つ植生繁茂前の洪水時の客土洗掘の危険性についても各ブロックに中仕切りを設置することにより実用レベルで解決することができた（写真-1）。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, 末松吉生, 柴田敏彦, 森昌樹:生態系保全・育成機能を有する護岸ブロックの開発, 第三回河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, 1997
- 3) 小橋澄治, 村井宏編:法面緑化の最先端-生態, 景觀, 安定技術-ソフトサイエンス社, 1995
- 4) 財団法人リバーフロント整備センター編:川の生物図典, 山海堂, 1996
- 5) 椿東一郎著:水理学Ⅱ, 森北出版, 1974

(1997.9.30受付)