

生態系育成機能を有する護床ブロックの開発 Development of Concrete Blocks for Creating Ecosystem in Rivers

小松利光*・中村由行**・大八木豊***・藤田和夫****

By Toshimitsu KOMATSU, Yoshiyuki NAKAMURA,

Yutaka OHYAGI, and Kazuo FUJITA

Techno rock is a concrete block which was originally designed as a protector of the riverbed during high water discharge. It is revealed that the block has a water-purifying ability and a function of creating ecosystem in rivers. Experiments were performed to investigate how to enhance both dynamical and environmental abilities of the block. In order to protect scour or sedimentation, effects of attaching shades at the top and the inside a hole of the block were examined. Among several types of shades tested, two-shades type attached to the inside of the vertical hole were most effective to protect both the scour and sedimentation. Shades attached at the top of the upstream side reduced the scouring rate, whereas shades in the hole of the downstream side prevented the sedimentation.

Keywords : Block for riverbed protection, Ecosystem, Water-purification

1. まえがき

人々の河川環境への関心が高まりつつある今日、治水対策だけでなく、河川の親水機能に関する整備が求められている。従来の水工学の経験と知識を生かして治水機能を維持・増進しながら、同時に自然環境の保全・創出を図る様な工法や整備が必要である。例えば、治水対策上、河川の床面を安定させるために護床ブロックが用いられることが多いが、河床は魚類などの生息地にもなっており、生態系を保護、あるいは積極的に育成する機能を持つ様なブロックを開発する事が望まれている。

その様な多機能ブロックの例としてテクノロック（以後T-ブロックと呼ぶ）と呼ばれているブロックがある。T-ブロックは、洪水時には護床機能を、通常の流れにおいては魚類の生息場所となると共に水質環境改善機能を発揮するようなブロックとして開発された。福岡県内の小河川に施工された現地において、SSやBOD₅がブロック内で減少し、水質浄化機能がある事、さらに魚類がブロック内に多数生息している事が報告されている¹⁾。また洪水時においても転倒・滑動しにくく、護床機能の面でも優れていると言われている。しかしながら、大規模洪水時にT-ブロック下部で洗掘が生じたり、或いはブロック内に砂礫の堆積が起こって横穴（流水口）が閉塞されるという事例が報告されている。後述する様に洗掘・堆積は護床機能の他、T-ブロック内の生態系に大きな悪影響を与えるものと懸念される。

本研究の目的は、第一にT-ブロックの持つ環境機能及び護床機能を明確にする事である。環境機能は現場での観測により、また護床機能は模型実験の結果をもとに評価する。模型実験ではT-ブロックに作用する流

*	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）
**	正会員	工博	九州大学助教授	工学部建設都市工学科
***	学生員		九州大学大学院	工学研究科水土木学専攻修士課程
****	正会員		九州大学技官	工学部建設都市工学科

体力及びT-ブロック河床の洗掘量を測定する。

以上の実験や観測での知見に基づき、ブロックの持つ両機能を更に増進させるため、ブロックを改良する事を第 2 の目的とする。特に、洪水時における洗掘・堆積を防止し、ブロック内の乱れを最小限に抑制する目的で様々な遮蔽物を取り付け、その洗掘・堆積防止機能を実験的に調べる。これらの実験結果をもとに洗掘・堆積防止機能を有する最適な形状を求める事を試みる。

2. T-ブロックの構造上の特徴と機能

2-1. T-ブロックの特徴

T-ブロックの幾何学構造をまとめてみよう。T-ブロックの形状を図-1に、諸元を図-2に示す。このブロックの特徴は中央に円筒形の縦穴が有り、この縦穴を中心に、流れ方向に対して±45度の向きに横穴が有る事である。この横穴を通して、ブロック相互を魚類が自由に往来できる形状になっている。比較的少ない流量時には、河川水はもっぱら横穴を通して流下するため、水が川幅方向に分散し易く滞留時間も大きくなる。縦穴の下部には栗石が並べられ、石やコンクリート表面に付着生物膜や付着藻類が繁殖し易い。このため、縦穴は有機物の分解の場や魚類の生息の場を提供する事になる。また河川水は縦穴で大気に接し、ガス交換が生じるため貧酸素化する事がない。

このブロックのもう一つの大きな特徴は、施工後はブロック同士がボルトで連結され、一体化した構造となっている事である。従って、局所的に大きな力がかかっても力は分散され易い。洪水時にも滑動や転倒が生じにくい構造となっている。

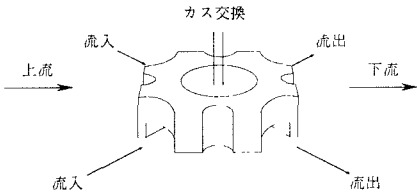


図-1 T-ブロックの形状

規格寸法表 (単位: mm)

名称	番号	B	H	R	h	a	g	f	重量W (ton)	体積V (m³)
C 500-1.5		1500	500	350	250~150	350	240	280	1.28~1.41	0.558~0.617
C 800-2.0		1500	800	350	450	350	240	280	2.00	0.866
C 800-3.0		1800	800	420	400	400	300	330	3.05	1.33

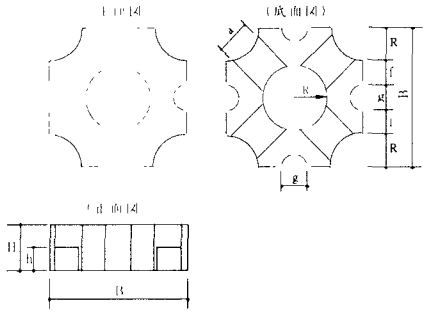


図-2 T-ブロックの諸元

2-2. T-ブロックの持つ環境機能

T-ブロックが現地施工されている例として、遠賀川水系弁城川がある (図-3)。この川は平水流量0.1m³/s程度の小河川であり、堰の直下から15mの区間にブロックが施工されている。T-ブロックの持つ水質浄化・生態系育成機能を調べるため、93年10月以降二年間にわたって、一週間おきに水質(BOD₅)・流量・水温・付着藻類・貝類及び魚類の現存量調査を行った。以下に調査結果をまとめる。

先ず、94年5月~95年8月におけるT-ブロック上流端及び下流端のBOD₅の変化

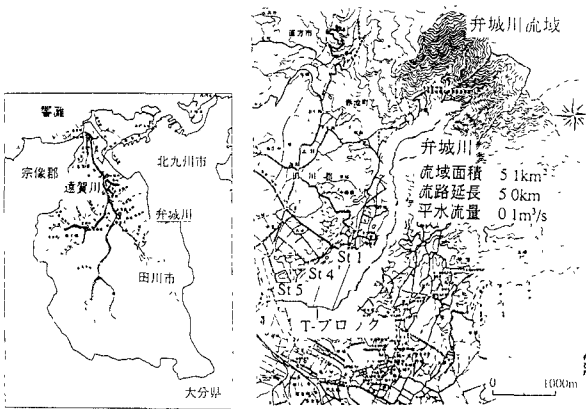


図-3 調査対象河川 (遠賀川水系弁城川)

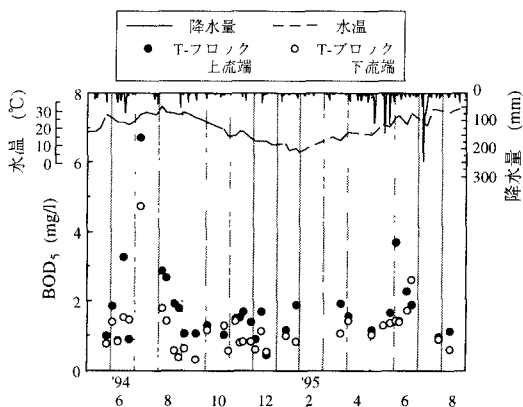


図-4 T-ブロック上・下流端間のBOD₅の変化

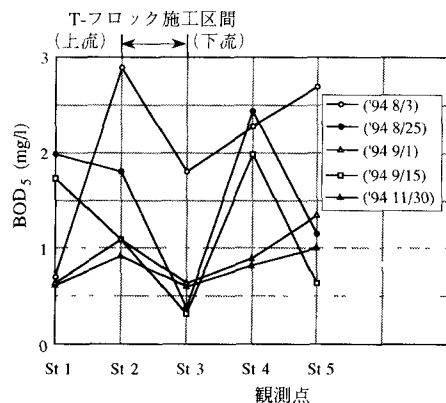


図-5 縦断方向のBOD₅の変化(弁城川)

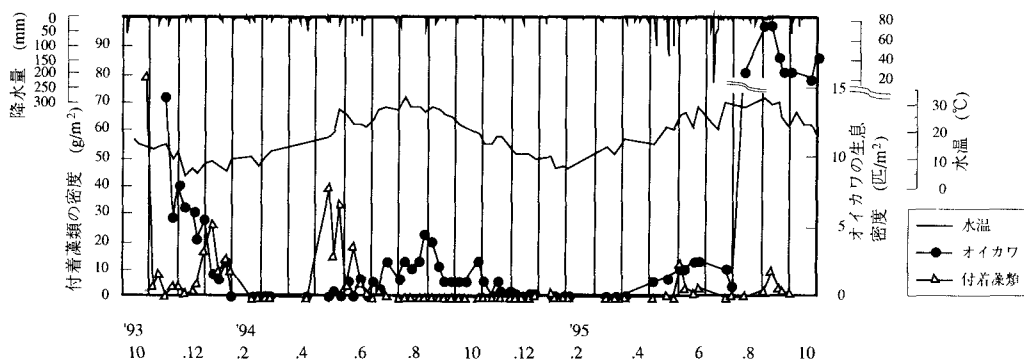


図-6 T-ブロック内における付着藻類・魚類の生息密度の変化

を図-4に示す。ブロック施工区間でBOD₅の減少が見られ、T-ブロックが水質浄化機能を有する事が分かる。特に流入BOD₅濃度が高い時にその差は顕著である。図-5は、弁城川での縦断方向のBOD₅の変化を示したものである。T-ブロック施工区間以外では、様々な護床ブロックが使われているが、BOD₅で見ると、水質は浄化されていない。一方、T-ブロック区間は確実にBOD₅値が減少し、浄化能力がある事を示している。

次に、93年10月～95年10月における水温・降水量及びT-ブロック内における付着藻類及び魚類の生息密度の変化を図-6に示す。なおT-ブロック内ではヨシノボリ・アブラボテ等も観測されたが、優勢種であるオイカワの現存量のみを計測した。比較的水温が高く流量の少ない春や秋季に付着藻類が多量に繁茂し、それを捕食するオイカワの現存量も春・秋季に多くなる事が分かった。この時期のオイカワの現存量は、同河川の他の観測点における現存量をはるかに上回る量が観測された。以上よりT-ブロックが生態系保護・育成機能を有する事が分かる。付着藻類量は夏季において必ずしも高くない。これは間歇的な出水によって剥離する為と考えられる。従って、出水時におけるブロック内の攪乱を抑える事ができれば、オイカワの避難場所となるばかりでなく、オイカワが捕食する藻類の剥離を減ずる作用も期待できる。

2-3. T-ブロックの持つ護床機能

2-3-1. T-ブロックに作用する流体力の実験

本実験では河床ブロックに作用する流体力を測定するために図-7のようにアクリル製水路(長さ6.0m、幅0.5m、高さ0.4m)に台車(長さ0.48m、幅0.424m)を設置し、その上に連結一体化構造のブロックを載荷し、流量を数段階に変化させ上流側・下流側の水深及び台車を通じて歪みゲージにかかる抵抗力を測定した。次に、本実験で利用した河床ブロックの模型はT-ブロック、A型及びB型の3種類であり図-8にそれらの形状をまとめて示す。A型及びB型は護床ブロックとして実用化されているものである。実験にはすべて1/25の模型を用いた。

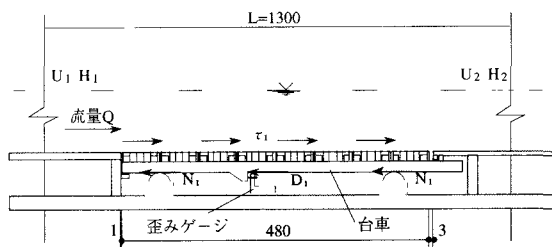
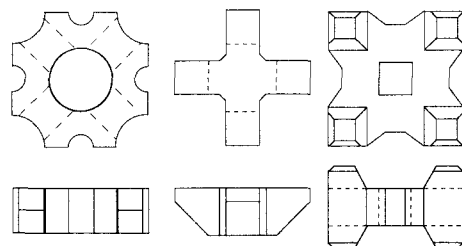


図-7 抵抗力検出部 (単位: mm)



T-ブロック A型ブロック B型ブロック

図-8 河床ブロックの形状

実験で求めたせん断力 τ_1 (kgf/m^2) より、T-ブロックの粗度係数 n を求めたところ、 $n=0.012$ が得られた。この値は他のブロックの粗度係数の値と比較してかなり小さい²⁾。これはT-ブロックが他のブロックと比較して表面が一番平滑であるためと考えられる。

図-9 移動床の実験水路 (単位: mm)

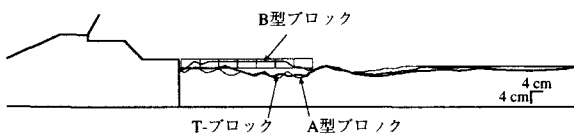


図-10 洗掘性の比較

実験は有田川第四号堰の1/25の模型を用いた。上述の洪水時における正確な流量は不明であるので、現地の計画高水流量1000m³/sに相当する模型単位幅流量0.755m³/s/mにできるだけ近い値になるように実験流量を定めた。図-9に示すようなアクリル製水路(長さ6.0m、幅0.424m、高さ0.42m、水路勾配i=0)を用い、水路床に粒径d=4.0mmの砂利を敷き詰めた。その上にC800型T-ブロックの模型7列を一体化構造として設置した。流速2.63m/sで30分間水を流し洗掘状況を測定した。なお本実験は跳水の影響が無い様流れ場(射流)で行った。同じ条件でA型、B型ブロック(図-8参照)を比較した。図-10にその結果を示す。図に示すように、ブロックには流水口に相当するものがなく、またブ

図-11 T-ブロックの場所による洗掘状況の違い

次にT-ブロックにおける洗掘の時間的経過を図-11に示す。T-ブロック内の洗掘はほぼ規則正しく生じ、個々のブロックの縦穴の下流側が著しく洗掘され、隣り合った斜め下流側縦穴との間を結ぶ流水口に堆積した。またブロック群下流端ではいったん積もった砂が、最下流端の下を潜って次第にブロック外に流出を始め、急速にその洗掘範囲を拡大していった。従って、大きな洗掘は常にブロック群下流端から起こり、その後ブロック群上流側に前進して行くことが分かった。最終的な砂面の洗掘形状は有田川の現地測量結果とよく一致した。

3. T-ブロックの改良に関する実験

3-1. 目的

2章で述べた様に、護床機能の面でT-ブロックは大規模洪水時に流体力がかかりにくく、一体化構造となっているため破壊されにくい事が分かった。しかしながら洗掘に関しては大きな縦穴を有するため、必ずしも十分な護床機能を果たさない事が分かった。縦穴・横穴（流水口）での水や砂粒子の移動がその原因であるが、各穴は環境機能を保持するために必要なものである。また、出水直後には逆に土砂が穴に堆積する事例も報告されている。付着藻類や魚類を中心とした生態系を維持するためには堆積も極力防止する事が必要である。つまり、T-ブロックの環境機能を生かすためには縦穴・横穴の空間は不可欠のものと言える。そこで、この空間を生かしながら洗掘堆積を防止できる様に改良を加えれば、護床・環境両機能を同時に増進させる事が期待できる。そこで本研究では、洪水時における洗掘・堆積を防止し、ブロック内の乱れを最小限に抑制する目的で様々な遮蔽物を取り付け、その洗掘・堆積防止機能を実験的に調べる。前述した様に縦穴の中の攪乱を抑制する事は護床機能の他、環境機能の改善にもつながるものと考えられる。この実験結果をもとに洗掘・堆積防止機能を有する最適な遮蔽物形状を求める事を試みた。

3-2. 実験装置及び測定方法

各遮蔽物の洗掘・堆積防止効果を比較するため、図-9に示したアクリル製水路を用いて実験を行った。先ず、洗掘性実験においては粒径1.3mmの砂を水路床に敷き、その上にT-ブロックの1/20模型を設置した。ブロックは流下方向に6列敷いたものを基本としたが、条件によっては4列のみ敷いた場合もある。ブロック上流端に流入する水の流速を1.67m/sに統一した。水を30分間流し、ブロック内と、ブロックより下流の河床の洗掘状況を測定した。T-ブロック群中央の12点（6列の場合）において通水前後に河床高を計測する事により河床変位量を求めた。次に、堆積実験においては、ブロック下面に砂利を捕集させるアクリル製プレート敷き、ブロック上流端より60mm上流の地点から粒径4.0mmの砂利50gを瞬間的に投入した。用いた流れの条件は洗掘実験の場合と同一である。砂利の移動が完了した後、水をとめ、プレート上に堆積した砂利の重さを測定した。なお、実験に用いた模型はすべて1/20のものを使用した。

3-3. 各遮蔽物の形状

本研究で用いた改良型T-ブロックの形状は、遮蔽物の取り付け位置により大きく3種類に分けられる。すなわち、図-12に示すように上面改良型・縦穴上部改良型・縦穴下部改良型である。遮蔽物上面がT-ブロック上面に一致している場合を上部改良型、遮蔽物上面がT-ブロック上面よりも下方に位置する場合を下部改良型と呼ぶ事にする。上面改良型については三角柱・V字状・半月状遮蔽物を取り付け、縦穴上部改良型についてはリング状・半月状遮蔽物を、縦穴下部改良型については斜め切り柱体・リング状・半月状遮蔽物をそれぞれ取り付けた。上記の3種類の内、2種類を組み合わせた複合型についても実験を行った。以下、これら3種類及び

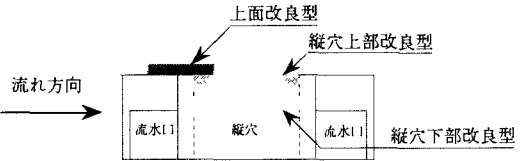


図-12 遮蔽物の取り付け位置による分類

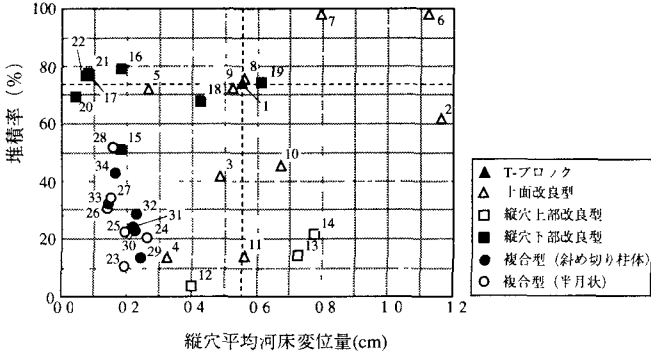
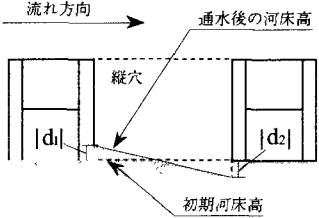


図-13 洗掘・堆積実験結果の総合評価図



縦穴平均河床変位量(cm) =
$$\frac{\sum (|d_1| + |d_2|)}{16}$$

図-14 縦穴平均河床変位量の定義

複合型について詳細な取り付け位置，
遮蔽物の形状及び寸法を表-1，2に示
す。複合型での取り付け位置Aは上面
上流側，Bは縦穴上部上流側，Cは縦
穴下部下流側を示す。また、斜め切り
柱体とは円柱を斜めに切った物を取り
付けたものである。なお上面改良型に
おけるCASE-1は遮蔽物で縦穴を覆わ
ない場合、CASE-2，3は各々縦穴の
上流側1/4及び1/2を覆った場合であ
る。また縦穴改良型におけるCASE-
4，5は流れ方向に対しそれぞれ縦穴
上流部，下流部に取り付けた場合を意
味する。

3－4．実験結果及び考察

図-13は、T-ブロックと改良型T-ブ
ロックの洗掘・堆積実験結果の総合評
価を示す図である。ここで、縦軸は堆
積実験における堆積率（上流側から流
した砂利50gに対するブロック内に捕
捉された砂利重量の比）を示す。一方、横軸は縦穴平均河床変位量を示
す。縦穴平均河床変位量とは、全測定
点における河床変位量(cm)の平均を意
味し、洗掘量を表す尺度である（図-
14参照）。図-13において、縦・横の
破線の交点に通常のT-ブロック（番号
1）が位置する。両破線よりも左下側
に位置する場合に、洗掘・堆積共に改
善されている事を示している。

3－4－1．単独型遮蔽物の結果

図-13において番号1～22はすべて単
独に遮蔽物を取り付けたブロックに対
応する。上面に遮蔽物を取り付けた場
合には三角柱(CASE-3，h=5mm)，半
月状(CASE-2，c=17.5mm)の遮蔽物が
堆積防止機能があった。しかし他の形
状の場合については従来のT-ブロックと比較して、洗掘・堆積防止機能が同程度か、あるいは洗掘または堆
積を逆に助長した。遮蔽物の高さhによって結果が大きく変化することから、粗度高さと水深との比である相
対粗度高が乱れの強度ひいては洗掘・堆積防止機能に大きく影響するためと考えられる。相対粗度高は洪水
の規模によって大きく変化するため、予め最適な粗度高さを選ぶ事はできない。従って上面改良型の洗掘・
堆積防止能力はそれ程期待できない。

表-1 単独型の取り付け位置，形状及び模型寸法

番号	分類	遮蔽物	遮蔽物の取り付け位置 及び寸法	遮蔽物の形状及び寸法(mm)	
				平面図	側面図
1	従来型 T-ブロック				
2	上面改良型	三角柱	(CASE-1, h=5mm)		
3			(CASE-2, h=5mm)		
4			(CASE-3, h=5mm)		
5			(CASE-3, h=10mm)		
6		V字状	(CASE-1, h=5mm)		
7			(CASE-1, h=3mm)		
8			(CASE-1, h=1.5mm)		
9			(CASE-1, h=0.75mm)		
10		半月状	(CASE-1, c=17.5mm)		
11			(CASE-2, c=17.5mm)		
12	縦穴上部 改良型	リング状	(b=7.5mm)		
13		半月状	(CASE-4, c=17.5mm)		
14			(CASE-5, c=17.5mm)		
15	縦穴下部 改良型	斜め切り 柱体	(CASE-5, d=7.5mm)		
16		リング状	(b=7.5mm)		
17			(b=12.5mm)		
18			(b=15mm)		
19		半月状	(CASE-4, c=17.5mm)		
20			(CASE-5, c=17.5mm)		
21			(CASE-5, c=7.5mm)		
22			(CASE-5, c=5mm)		

表-2 複合型の取り付け位置，形状及び模型寸法

番号	分類	遮蔽物	遮蔽物の取り付け位置 及び寸法	形状及び寸法（側面図）
23	複合型	A:三角柱 C:半月状	A:(CASE-3, h=5mm) C:(CASE-5, y=5mm)	
24		B:半月状 C:半月状	B:(CASE-4, x=17.5mm) C:(CASE-5, y=7.5mm)	
25			B:(CASE-4, x=17.5mm) C:(CASE-5, y=5mm)	
26			B:(CASE-4, x=10mm) C:(CASE-5, y=7.5mm)	
27			B:(CASE-4, x=10mm) C:(CASE-5, y=5mm)	
28			B:(CASE-4, X=7.5mm) C:(CASE-5, y=5mm)	
29		B:斜め切り 柱体 C:斜め切り 柱体	B:(CASE-4, x=17.5mm) C:(CASE-5, y=7.5mm)	
30			B:(CASE-4, x=17.5mm) C:(CASE-5, y=5mm)	
31			B:(CASE-4, x=10mm) C:(CASE-5, y=7.5mm)	
32			B:(CASE-4, x=10mm) C:(CASE-5, y=5mm)	
33			B:(CASE-4, x=7.5mm) C:(CASE-5, y=7.5mm)	
34			B:(CASE-4, x=7.5mm) C:(CASE-5, y=5mm)	

結果をまとめると、洗掘防止機能を持つのは縦穴下部下流側に、堆積防止機能を持つのは縦穴上部上流側に遮蔽物を取り付けた場合であった。単独の遮蔽物で洗掘・堆積防止機能の両方を同時に満たす事はできなかった。従って、同時に両機能を持たせるためには、縦穴の上部上流側と下部下流側の両方に遮蔽物を用いた型－複合型－が必要である。

3-4-2. 複合型の結果及び考察

洗掘・堆積実験の結果を総合すると、通常のT-ブロックと比較して、複合型は洗掘・堆積防止機能を共に有する事が分かった。特に、半月状遮蔽物及び斜め切り柱体を用いた場合に、両防止機能が優れている事が見出された。但し、単独で縦穴下部下流側に遮蔽物を設置した場合より洗掘量は若干増加した。また、通常のT-ブロックと比較して複合型の場合は堆積量は減少するが、形状の組み合わせ方によって減少量は異なる事が分かった。

次に、改良型T-ブロックの形状のうち何が洗掘量や堆積量を支配しているのかを調べる。最も重要な因子として遮蔽物が縦穴を遮蔽する面積が考えられ

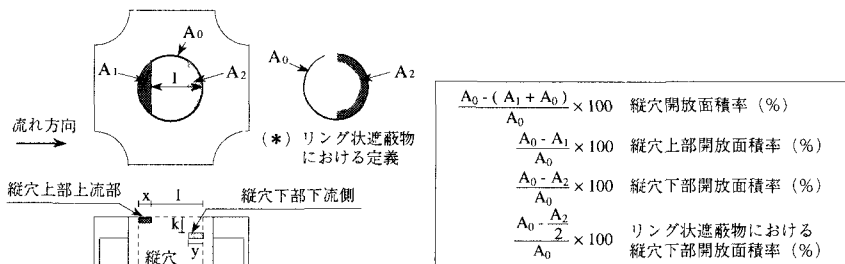


図-15 縦穴開放面積率及びk, lの定義

る。従って、まず縦穴開放面積率と縦穴平均河床変位量及び堆積率との関係を調べた。ここで、縦穴開放面積率とは、図-15に示す通り、縦穴を上から見た投影空隙面積と縦穴全投影面積との比と定義する。更に、遮蔽物の取り付け位置によって洗掘・堆積に及ぼす効果が顕著に異なるため、上部のみの開放面積率を縦穴上部開放面積率、下部のみを縦穴下部開放面積率と定義し、各々と洗掘性や堆積性の関係を調べた。なお、実験結果より上流側下部の遮蔽物が洗掘に与える影響は少ないと考えられる。従って、縦穴下部にリング状遮蔽物を取り付けた場合における縦穴下部開放面積率は、リング状遮蔽物の上流側半分を除いた開放面積率と定義した(図-15参照)。

初めに、洗掘性と面積率の関係を調べてみよう。図-16に縦穴平均河床変位量と縦穴下部開放面積率との関係を示す。図には通常のT-ブロック、縦穴下部改良型、複合型の実験結果をプロットしてある。図から、縦穴下部下流側を覆う面積を大きくする事により、洗掘量が減少する事が分かる。但し、同じ面積率でも型によって大きな差が生じている。

Wieghardt³⁾によれば、円形の穴を底面に有する場合の抵抗は、穴の深さと径の比に強く依存する。従って遮蔽物を取り付ける深さと開口部の長さの比が洗掘量にも強く影響を及ぼしているものと考えられる。そこで、図-15に示す通り、kをT-ブロック上面から遮蔽物上面までの深さ、lを縦穴開放部分の流下方向長さ (l=

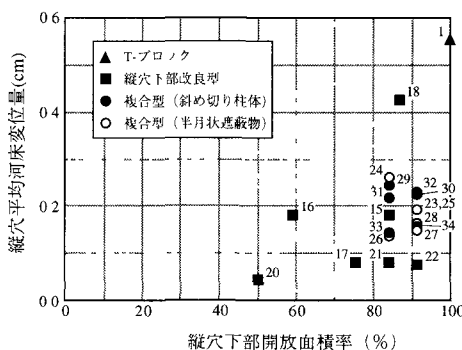


図-16 縦穴下部開放面積率と縦穴平均河床変位量の関係

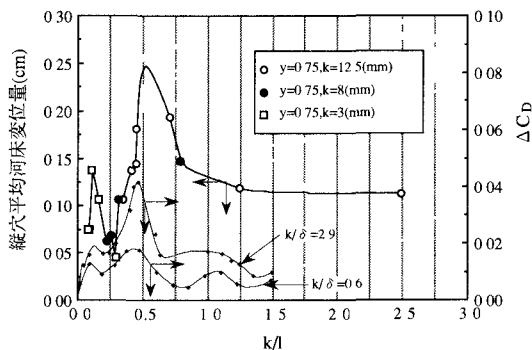


図-17 k/l と縦穴平均河床変位量の関係(本研究による)、及び k/l と円形穴による抵抗係数の増加量(ΔC_D)の関係(Wieghardt³⁾)、 δ は境界層厚さ

縦穴の径 x)とし、 k/l と河床変位量の相関を調べた。図-17に k/l と縦穴平均河床変位量の関係を示す。図にはWieghardtの実験結果も加えた。Wieghardtの実験では k/l と穴の存在による抵抗係数の増加量 ΔC_D ($=\Delta D/(q\pi l^2/4)$)との関係が示されている。図から洗掘量及び抗力は k/l に強く依存し、同様の傾向を示す事が分かる。この図より $k/l \div 0.5$ で洗掘量・抗力が最大になり、 $k/l \div 0.3$ で最小になる事が分かる。以上から、下流側に遮蔽物を取り付ける事が洗掘防止に有効であるが、特に、その取り付け位置が重要であり、 $k/l \div 0.3$ で洗掘が最小になる事が分かった。

次に、図-18に堆積率と縦穴上部開放面積率との関係を示す。図には通常のT-ブロック、縦穴上・下部改良型、複合型の実験結果をプロットしてある。図-18から、堆積率に対しては、縦穴上部開放面積率が大きく影響し、全ての実験結果がほぼ同一の曲線上にのる事が分かる。図-18を詳細に検討すると、同じ複合型においても斜め切り柱体（番号29～34）は半月状（番号24～28）と比較して堆積率が小さくなる事が分かる。つまり、型によって定量的な違いは若干あるものの、上流側に遮蔽物を取り付ける事が堆積防止に有効である事が分かった。

洗掘及び堆積実験の結果をまとめてみよう。まず、堆積率は縦穴上部開放面積率に依存し、縦穴上部上流側を覆う面積を大きくする事により堆積率が減少する事が分かった。一方、洗掘量は、縦穴下部下流側を覆う面積を大きくする事により、減少する事が分かった。しかしながら洗掘量は k/l にも強く依存し、 k ＝一定の条件下では、上流側を覆う面積を大きくすると洗掘量が増大してしまう。従って、堆積と洗掘の両方を抑制するためには上流側を覆う面積を大きくすると同時に、下流側の遮蔽物の取り付け位置を $k/l \div 0.3$ にする事が必要であると考えられる。

4. 結論

現在商品化されているT-ブロックは、護床・環境の両機能を有する事が確認された。この環境機能すなわち生態系育成機能及び水質浄化機能を保持し、さらに洗掘及び砂礫の堆積を防止できる様にブロックを改良するための、系統的な実験を行った。洪水時における洗掘・堆積を防止し、ブロック内の乱れを最小限に抑制するため、通常型のT-ブロックに様々な遮蔽物を取り付け、その洗掘・堆積防止機能を調べた。まず、単独に遮蔽物を取り付けた実験の結果、洗掘防止のためには縦穴下部下流側に遮蔽物を、堆積防止のためには縦穴上部上流側に遮蔽物を取り付ければ効果的である事が分かった。そこで、上流及び下流側両方に遮蔽物を取り付けた複合型模型を用いて洗掘・堆積実験を行った。その結果、複合型は洗掘・堆積を共に防止する機能を有する事が分かった。特に半月状遮蔽物・斜め切り柱体が有効である事が見出された。今後、水質浄化機能を更に増進させるために、T-ブロック内に種々の多孔質濾材を充填する方式を検討する予定である。

謝辞

本研究の遂行に際しては、大石好徹（ワールド環境コンクリート（株））ならびに末松吉生（東栄商興（株））の両氏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) 豊増隆敏：多目的フィルターブロックの効果の確認について，福建，Vol.17, pp.45-46, 1993.
- 2) 小松利光，中村由行，大八木豊：環境護床ブロックの機能に関する研究，土木学会西部支部講演概要集，pp.358-359, 1994.
- 3) Schlichting：Boundary-Layer Theory, Seventh Edition, McGraw-Hill, 1979.

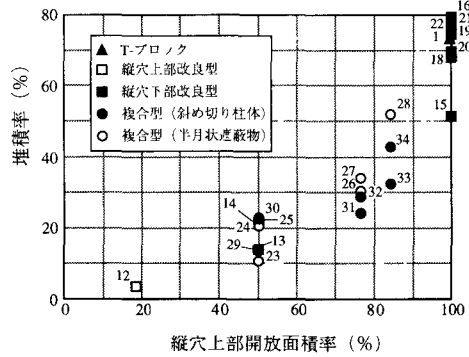


図-18 縦穴上部開放面積率と堆積率の関係