

# 植生とシート材を用いた護岸工法に関する実験的研究

Bank protection that uses vegetation and sheeting

研究第二部 主任研究員 浅利修一

研究第二部 次長 池内幸司

近年、多自然型川づくりの工法として、植生による護岸やコンクリート護岸への覆土が積極的に実施されている。植生は流水に対して高い耐侵食性能を有していることが、既往の研究により報告されている。しかし、植生生育の初期段階や植生が均一でない場合、侵食されやすいとの報告もある。そこで、侵食防止機能と植生繁茂を両立させる植生とシート材を組み合わせた新たな環境保全型工法を提案するものである。本研究では、護岸にシート材を用いた場合の有効性の確認と最適な使用法を提案することを目的としている。本稿は、平成8年度から平成10年度までの3ヵ年において実施した管流水路による水理実験、現地試験施工、追跡調査、耐久性試験などにより植生とシート材の効果、性能について検討を行なった結果を取りまとめたものである。

キーワード：多自然型川づくり、植生、シート材、ジオテキスタイル、覆土、関川

Methods that use vegetation and soil-capped concrete for bank protection have recently flourished as options for nature-oriented river works. As existing research has shown, vegetation is highly resistant to erosion caused by flowing water. But reports also indicate that vegetation is prone to erosion when it is at an early stage of growth or lacks uniformity. This led to the proposal of a new method for environmental preservation that combines vegetation and sheeting, thereby preventing erosion and promoting plant growth.

The objective of our study is to confirm the effectiveness of using sheeting for bank protection and to propose the most effective method. This paper summarizes the results of research conducted from 1996 to 1998. Through hydraulic testing in pipeline waterways, on-site trials, follow-up checks, and anti-erosion testing, we examined the effectiveness and performance of vegetation and sheeting.

Key words: nature-oriented river works, vegetation, sheeting, geo-textiles, soil capping,

Sekigawa River

## 1. はじめに

平成 9 年度を初年度とする第 9 次治水事業 7 箇年計画においては、「自然をいかした川」を目指すこととされている。

近年、多自然型川づくりの工法として、植生による護岸やコンクリート護岸への覆土が積極的に実施されている。植生は流水に対して高い耐侵食性能を有しており、特にそれは植物の根及び地下茎からなる植生の中部分により発揮されることがわかっている。しかし、植物が十分に生育するまでの間は流水による外力により侵食されやすく、また裸地やモグラ穴などのような局所的な凹部があると流水により侵食を受けやすいとの報告もある<sup>1)</sup>。そこで、覆土された護岸の侵食防止機能と植生繁茂を両立させる植生とシート材を組み合わせた新たな環境保全型工法を提案するものである。本研究においては、ジオテキスタイル、関連製品等を広く含めシート材と呼んで

いる。

近年、土木用資材としてはジオテキスタイルを利用した工法が広く採用されている。ジオテキスタイルは、一般的には合成高分子が素材で、力学的にも化学的にも安定性が高く、耐久性に優れている。また用途としては、土構造物、地盤の補強、排水材等様々な目的に使用されている。

本研究は、シート材の力学特性、透水性能等の機能に着目し、護岸にシート材を用いた場合の有効性の確認とより最適な使用法を提案することを目的としている。

本稿は、平成 8 年度から平成 10 年度までの 3 カ年において実施した管流水路による水理実験、現地試験施工、追跡調査、耐久性試験などにより植生とシート材の効果、性能について検討を行なった結果を取りまとめたものである。3 カ年の研究の流れを図-1 に示す。

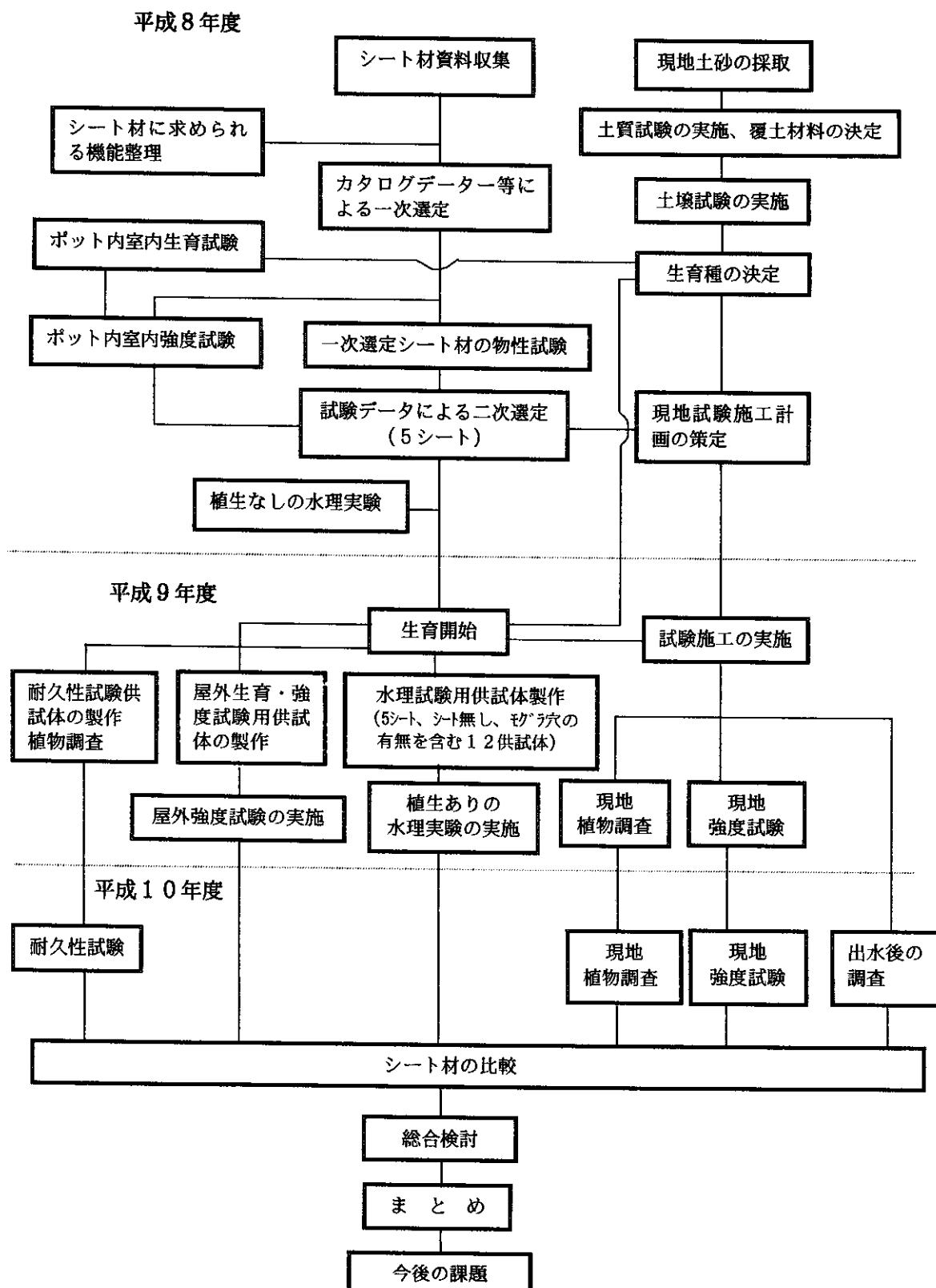


図-1 研究の流れ  
Fig.1 Research Flow

## 2. 工法の基本的な考え方

シート材を用いた工法の基本的な考え方について以下に示す。

- (1) 植生護岸に裸地や欠損等の弱点がある場合、流水によりその箇所から侵食が進行する恐れがある。シート材によりその弱点を補強する。
- (2) 植生初期段階においては、流水に侵食されやすいのでシート材により侵食を防止する。
- (3) 植生の根がシート材に活着することにより植生そのものの流水に対する耐力を向上させる。

## 3. 試験及び実験に用いたシート材

本研究で使用したシート材の基本形状及び材料特性を表-1に示す。平成8年度に、258種類のシート材のカタログデータより評価を行い20種類に一次選定している。さらに、摩擦試験、ポット内室内生育試験、経済性等を考慮し5種類のシート材を二次選定した。二次選定したシート材の特性を表-1に示す。

表-1 選定したシート材の特性

Table 1 Characteristics of the Sheet Materials Selected

選定シート材						
シート No.	No. 3	No. 13	No. 1	No. 14	No. 7	
用 途	軟弱地盤補強	盛土補強材	盛土補強材	編棚工	排水材	
形 態	布	グリット	グリット	グリット	マット	
根の通過 と充填	目 合 い	1.0 mm	2.5 mm	7.0 mm	25 mm	2.0 mm
	土 の 充 填	○	○	○	○	△
	厚 み	0.5 mm	1.5 mm	0.5 mm	3.7 mm	30 mm
根とシートの引張強さ	93N	112N	45N	55N	129N	
材質と 特 性	材 質	ポリエステル	ポリエチレン	ポリエステル	ポリエチレン	ポリプロピレン
	耐 燃 性	燃えにくい	燃える	燃えにくい	燃える	燃える
	引 張 強 度	3.34tf/m	0.40tf/m	4.00tf/m	0.77tf/m	0.88tf/m
	静止摩擦係数	0.49	0.40	0.43	0.43	0.56
経済性	材 料 費	550 円/m <sup>2</sup>	510 円/m <sup>2</sup>	1,700 円/m <sup>2</sup>	980 円/m <sup>2</sup>	4,600 円/m <sup>2</sup>

#### 4. 水理実験

##### 4-1 実験目的

水理実験は、供試体を図-2、写真-1に示す管水路にセットし、シート材と植生の流水に対する耐侵食性について検討を行った。

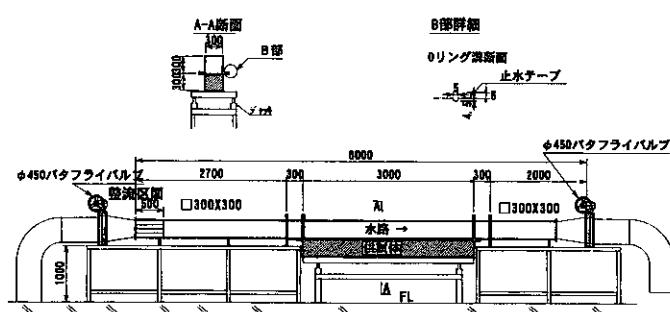


図-2 実験装置  
Fig.2 Testing Equipment

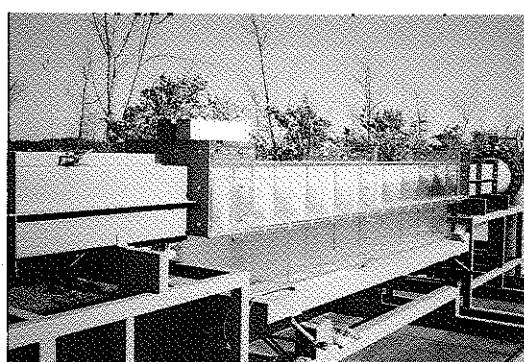


写真-1 実験装置  
Photo 1 Testing Equipment

##### 4-2 実験方法

通水時間は、図-3の斜線で示すように流入流速を $1.0\text{m/sec}$ から $1.0\text{m/sec}$ ピッチで階段状に大きくし、供試体が破壊するまでと

した。実験装置の最大通水能力及び1級水系関川の高田橋地点でのハイドログラフを基に最大流入流速を $7.0\text{m/sec}$ に設定した。

実験は供試体が破壊するまで行った。模型床面が露出、あるいはシート材が破断した場合を破壊と定義した。なお、流入流速 $7.0\text{m/sec}$ の場合は、破壊が起こるか、洗掘が定常状態になるまで実験を継続した。

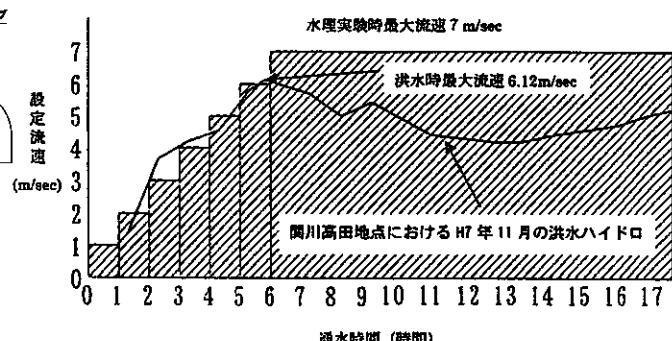


図-3 通水方法  
Fig.3 Flow Method

##### 4-3 供試体

供試体は、図-4に示す植生及びシート材の設置概要図のとおりシート材に播種した芝を繁茂させた。播種時期は、現地試験施工を行っている関川と同時期である平成9年7月16日に行い、11月11日までおよそ4ヶ月間生育させた。実験に用いた土砂は関川現地より搬入し、覆土厚 $7.5\text{cm}$ とした。土砂の締固めは山中式硬度計を用い管理を行った。植生は、平成8年度の検討結果から、関川現地において適当と判断した芝の混播とした。

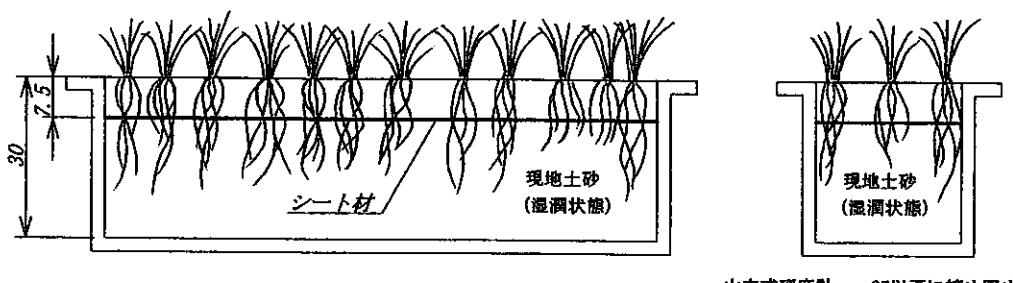


図-4 植生及びシート材の設置概要図  
Fig.4 General Diagram of Vegetation and Sheeting Placement

#### 4-4 実験水路

実験水路は、図-2に示すとおりで、通水断面は、30cm×30cm の管水路である。実験に用いた供試体の大きさは、長さ 3.0m、幅 0.3

m、高さ 0.3m とし、土砂の侵食状況が観察できるように透明なアクリル製とした。(図-5)

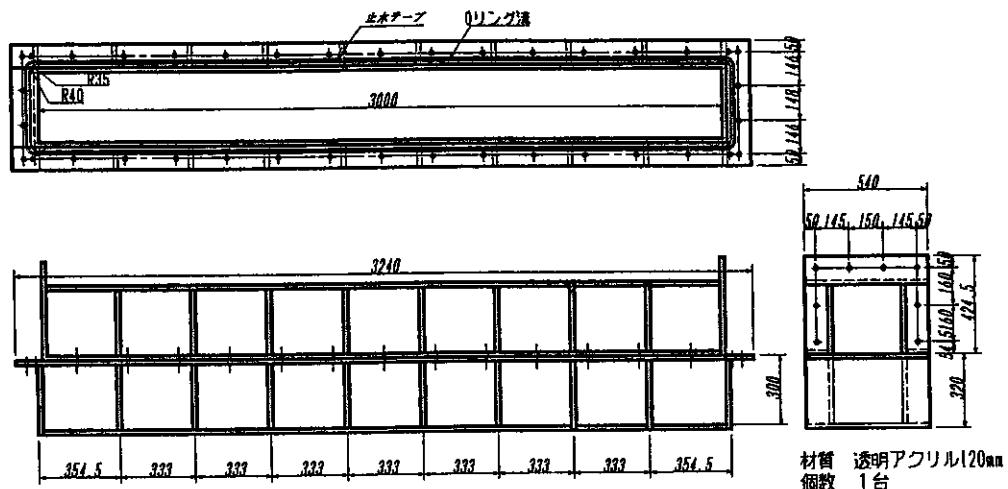


図-5 実験水路の供試体枠

Fig.5 Test Channel Sample Framework

#### 4-5 実験ケース

5種類のシート材とシート材を用いない場合について、それぞれ植生が有る場合と無い場合の供試体を作成し、水理実験を行った。実験ケースは全部で 12 ケースである。

#### 4-6 測定方法

##### (1) 侵食深さ

通水後、左右の側壁沿いの洗掘深さを縦断方向に 10cm の間隔で測定した。変化点については逐次測定した。

#### 5. シート材と植生の耐侵食メカニズム

図-6 は、横軸に設定流速を示し、縦軸に平均洗掘深さを示したものである。平均洗掘深さは、覆土の洗掘体積を算定し供試体の平面面積で除した値を平均洗掘深として定義した。図-6 と実験時の目視結果より、供試体の洗掘の状況と耐侵食メカニズムを 3 段階に区分し表-2 に整理した。

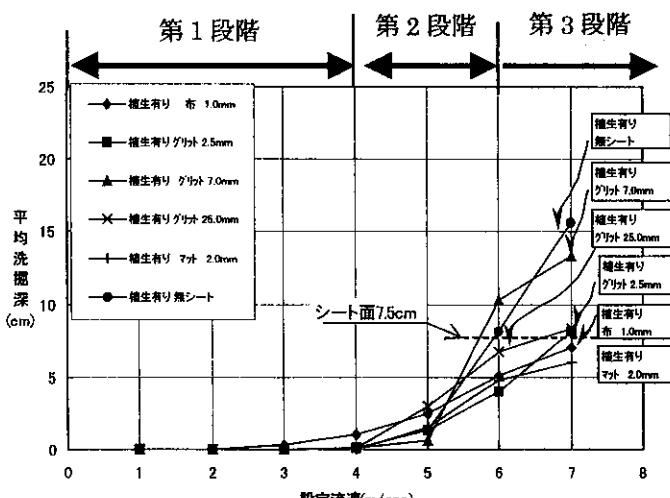


図-6 設定流速と平均洗掘深の関係

Fig.6 The Relationship Between the Set Velocity and the Average Scour Depth

表-2 供試体の洗掘状況と耐侵食のメカニズム  
Table 2 Sample Scour Conditions and Anti-Erosion Mechanisms

区分	設定流速	洗掘状況	耐侵食メカニズム
第1段階	4.0m/sec 以下	洗掘があまり進行せず、平均洗掘深で1cm以下である。	1)植生は流水に対して抵抗となって流速減勢の効果を発揮している。 2)植生が倒伏して地表面を覆う場合には、土砂の流出を抑制する。
第2段階	4.0m/sec から 6.0m/sec 以下	シート材上面の表面の土砂が流出し、シート材まで洗掘が達する。	1)覆土材表面の土砂が出し始める初期段階では、覆土材の中にある根が露出して流水に対して抵抗となって減勢し、土砂の流出を抑制する。 2)洗掘が発達して侵食がシート材上面に達すると、シート材がその下面の土砂流出を抑制する。 3)7.0mmは剛性が小さいため、流水によりシートがあおられて侵食量が大きくなつた。
第3段階	6.0m/sec から 7.0m/sec 以下	シート材下面の土砂が出し、破壊に至る。	1)マットと布以外のシート材における平均洗掘深は、シート下面に達する。 2)マットと布も、通水時間を長くして設定流速7.0m/secを継続させた場合には、シート下面まで洗掘される。 3)マットは通水時間9時間で洗掘は定常状態となつた。平均洗掘深9.0cmであった。布は通水時間1時間で洗掘が供試体底部まで到達した(破壊)。

今回の実験結果からシート材による吸出抑制効果が、目視結果等から認められた。植生のみでも7.0m/sec程度の流速まで耐え得ることが可能であることが従来の実験<sup>2)</sup>で報告されているが、現地では植生に欠損があるとそこから一気に破壊が進行する。このような破壊を防止するために植生とシート材を用いれば、かなりの流速まで耐え得ることが可能と考えられる。また、植生が十分繁茂するまでの間は、シート材により侵食を防ぐことが可能である。

## 6. 現地試験施工

### 6-1 施工条件

施工場所:新閑川橋下流直線部右岸低水護岸  
(17.9k+70~18.1k+10)

施工延長:L=20m×6ブロック(二次選定したシート材と植生のみの6種類)

播種時期:平成9年7月16日

標準断面図を図-7に示す。また、現地試験施工を行った箇所及び各シート材の敷設箇所を図-8に示す。試験施工に用いたシート材は、上流側より目合い幅の小さなものをより敷設した。

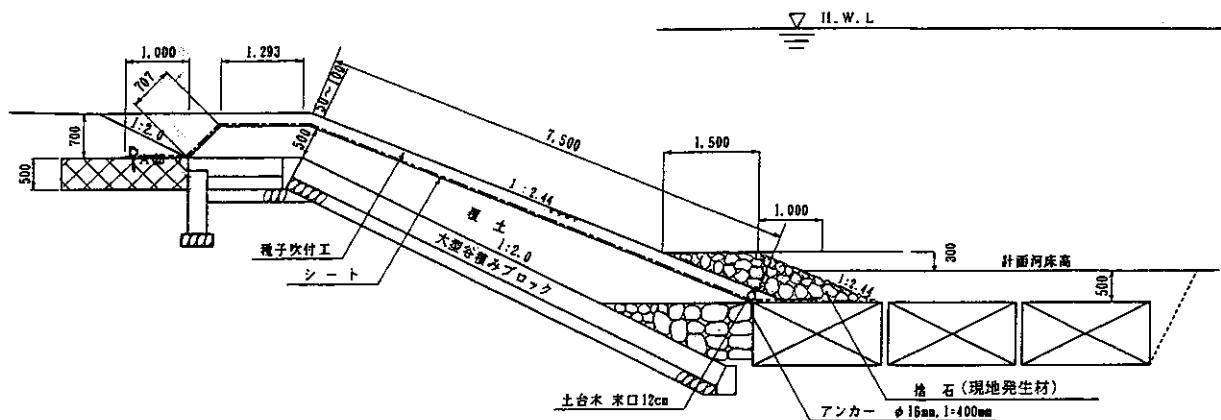


図-7 標準断面図  
Fig.7 Standard Cross Section

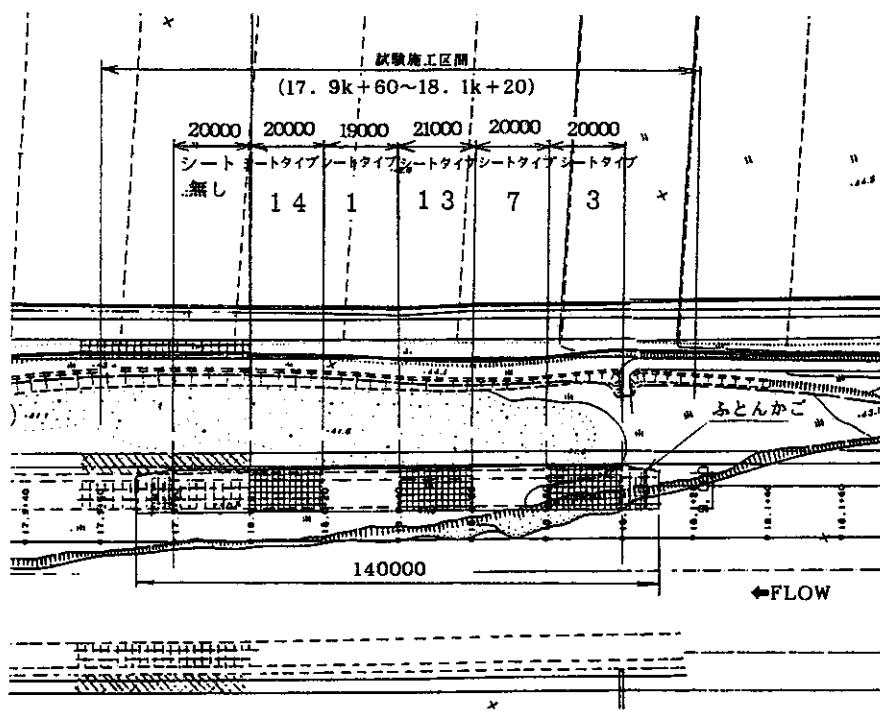


図-8 シート敷設平面図  
Fig.8 Sheet Laying Plan

### 6-3 施工方法及び手順

試験施工を行った各作業の方法、手順を以下に示す。(写真-2)

#### (1) 覆土工

既設護岸の法肩部で30cmの盛土厚、法尻部で50cmの盛土厚とした。法面勾配は、既設護岸で2割、盛土後は2.5割である。

#### (2) シート敷設工

覆土の上にシート材を敷設し、各シート材の重なり幅は10cmとした。また、シートのずれ、めくれ防止のために重なりの中心部にアンカーピンを挿入した。アンカーピンの形状は、 $\phi 16$ の丸鋼鉄筋を長さ40cmとし、法面方向に100cm間隔、縦断方向には50cm間隔で設置した。

#### (3) 端部処理

上下流端のシート材は、端部を土中に織り込みアンカーピンを打ち込んだ。さらに、その上下流10mの幅にふとん籠を設置し、既設護岸とのすり付け区間とした。

#### (4) 捨石工

捨石工は、法尻部分にシート材の押さえとして施工した。捨石工に用いた石材は、現地で発生したものを使用し、高さは計画河床より30cmの高さとした。

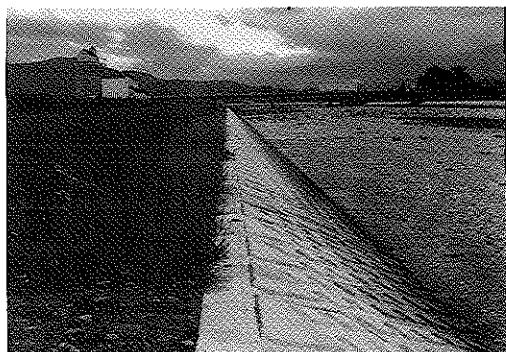
#### (5) シート上の覆土厚

覆土厚は植生を考慮して5.0cm~10.0cmとした。

#### (6) 植生工

機械を用いて種子を散布した。

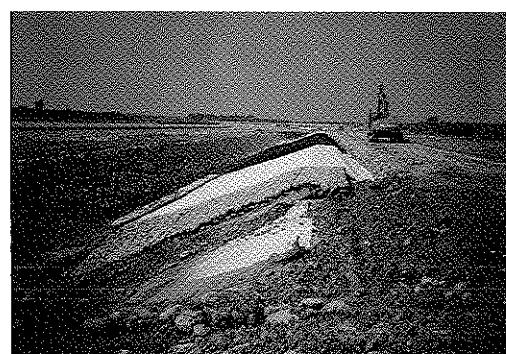
なお、今回の試験施工では、植生が生育した後の耐侵食性を調査することを目的としていたため、植生が十分生育するまでに流水により侵食されないよう仮締切を行った。



既設護岸 (Existing Bank Protection)



覆土工 (Soil Capping)



シート敷設 (Sheet Laying)



植生工 (Vegetation)

写真-2 施工方法及び手順  
Photo 2 Execution Methods and Procedures

## 7. 出水後の調査

平成 10 年 9 月 15 日の台風 5 号による豪雨により、最上流区間、目合い 1 mm のシート材を用いた区間において、出水による覆土材の流出とシート材の破断が確認された（写真－3）。なお、他の区間では覆土材の流出やシート材の破断などの被害は確認されていない。現地では、平均流速 3 m/sec の流速が 4 時間連続している。

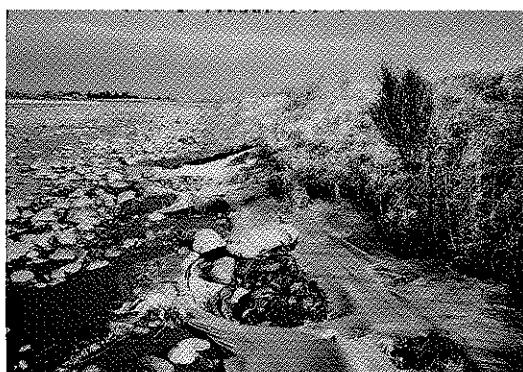


写真-3 出水後の状況  
Photo 3 Conditions After Flooding

目合い 1 mm のシート材の覆土流出、シートの破断した理由について、以下に示す 4 点が考えられる。

- (1) シート材が埋設された地点は、既設の護岸に覆土したため、最上流部は水の影響を直接受けやすい。
- (2) シート材の目合いが 1 mm と細かく、根がシート材を貫通するのを阻害することによって、根とシート材の着着力が低下した。
- (3) シート材の目合いが細かく、シート材より下の土とシート材に覆土した土の粘着性を低下させた。
- (4) シート材の目合いが細かく透水係数が比較的小さいために、洪水減水時において残留水圧が発生した。

## 8. 耐久性の検討

現地を模した供試体を水没させ暴露試験を行い植生の変化、シート材の変化を把握した。

また、暴露試験の前後において引張試験を行い、シート材の劣化を比較した。

### (1) 供試体の作成方法

平成 9 年 7 月に供試体として縦 90cm、横 45cm、高さ 30cm の木箱を 6 個作成し、その中に関川現地の土を詰め転圧した。この時、地表面から 7.5cm 下に 5 種類のシート材を埋設した供試体と、シート材を埋設しない供試体を作製した。そして、供試体の地表面に 4 種類（バミューダグラス、ケンタッキーブルーグラス、トールフェスク、ペレニアルライグラス）の種子を播種し、水槽に入れた。なお、供試体は図-9、写真-4 に示すように設置した。

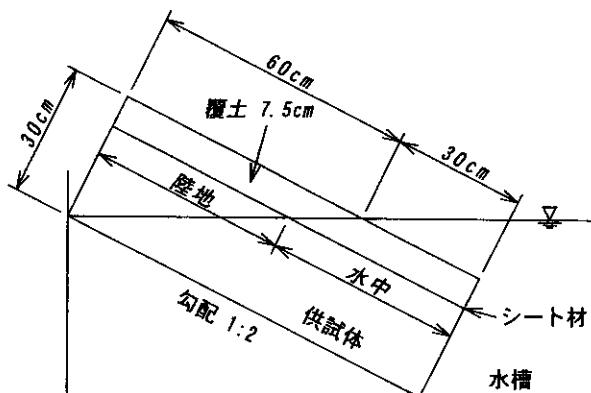


図-9 暴露供試体模式図  
Fig.9 Exposed Sample Prototype Plan

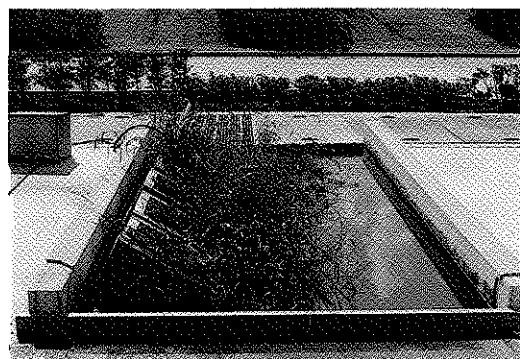


写真-4 暴露状況  
Photo 4 Conditions Upon Exposure

### (2) 引張試験

シート材の劣化を評価するために、ジオテキスタイルの試験方法（JIS L 1908）に準じて引張試験を行なった。図-10 に引張試験結果及び強度保持率を示す。主な結果とその理

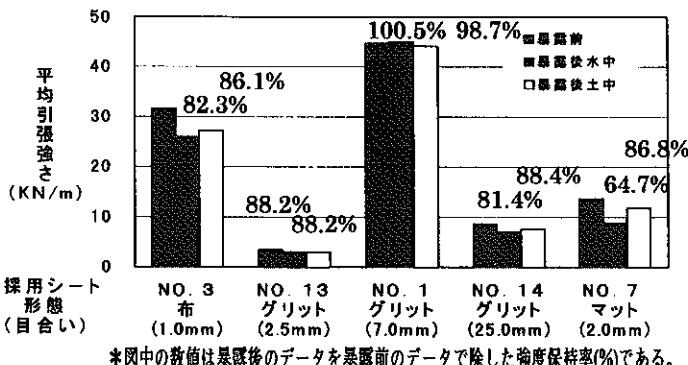


図-10 シート材の暴露前後の引張強さ

Fig.10 Tensile Strength of Sheet Materials Before and After Exposure

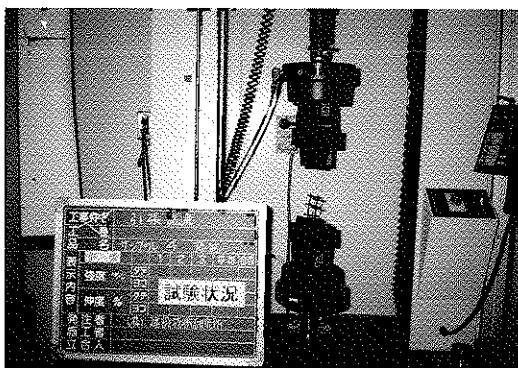


写真-5 引張試験状況

Photo 5 Tension Testing Conditions

由を以下に示す。

- ・1年4ヶ月にわたる暴露試験後において、水没させていないシート材の強度保持率はグリット7.0mm以外ではいずれも低下し86%～88%である。
- ・水没させたシート材についても、マット以外では上記と同じ傾向を示したが、マットだけは強度保持率が64.7%と低下が大きい。
- ・グリット7.0mmのケースは強度保持率が変化していない。これはアクリル樹脂のコーティングがなされているためと考えられる。
- ・メーカーにおいて実施した紫外線によるシート材の材質劣化試験（2年放置後）では、グリット2.5mmと25mmが24.2%、マットが36.6%、布とグリット7mmが78.5%となっている。これらの値に比べて今回の引張試験値はいずれも大きくなつた。これは、シ

ート材を土中に埋設しており、紫外線による影響が少なかったためであると考えられる。

## 9. まとめ

平成8年度から平成10年度まで行った本研究の検討結果の概要について以下に示す。

### 9-1 植生とシート材による耐侵食効果とメカニズム

シート材を用いることにより、流水による洗掘深がより小さくなることを水理実験により確認した。植生が十分繁茂している場合には、設定流速5.0m/secまで、洗掘を抑制した。植生がない場合でも、設定流速3.0m/sec程度までは洗掘量はわずかであった。さらに、水理実験の結果から、流速区分ごとの植生とシート材の流水による侵食に対するメカニズムについて検討した。その結果、植生による流水の減勢効果とシート材の土砂吸出し抑制効果により、洗掘深がより小さくなることが確認できた。

シート材の厚さについては、水理実験の結果より、破壊に至るまで通水試験を行った結果、十分な厚さがあるマットタイプのシート材が、侵食に対しては最も効果を発揮した。これは、マット層自体に水の流れを減勢する効果があるためと考えられる。

### 9-2 現地試験施工及び現地調査

現地での施工における適応性を確認するために、5種類のシート材を用いて試験施工を行った。その中で、施工を行う上での課題を明らかにした

また、現地において出水後の追跡調査を行なつた。今回試験施工に用いたシート材の中で最も目合い幅が小さい1.0mmのタイプの区間で、洪水後に覆土材が流出した。その原因として、シート材が覆土材料の粘着性を阻害したこと、また洪水時に残留水圧が作用したことなどが考えられる。

### 9-3 シート材の耐久性

シート材に覆土を行った状態で、大気中と水中において 16 ヶ月間の暴露試験を行い、試験終了後供試体の引張試験を行い、劣化の程度を確認した結果、大気中での引張強度保持率は平均で 90%、水中の引張強度保持率は 83% となり、いずれも強度の低下がみられた。

## 10. 今後の課題

本検討では、土木用の用途として市場に流通しているシート材の資料を網羅的に収集、整理、検討を行い、護岸に使用可能なシート材の一次選定を行った。関川を対象とした検討結果より、シート材の二次選定を行い、護岸にシート材を使用する場合の知見を得ることができた。

シート材に関する研究は、本検討を含めても知見はまだ少なく、今後、本検討における成果を踏まえてさらなる研究が進むことを期待するものである。

以下に、シート材に関する研究を進めるまでの今後の課題について示す。

### 10-1 シート材の選定

水理実験の結果から、流水による侵食に対して、シート材と植生を用いることにより、耐侵食性が大きくなることが分かった。

耐侵食性に関する要因として、シート材の目合い、厚さ、剛性等があげられる。シート材の目合いについては、水理実験の結果より、目合いが小さいほど洗掘量が小さくなる傾向にあることが分かったが、シート材が土の粘着力を減じたり、植物の根の伸長を阻害することも推測される。以上より、シート材の最適な目合い、その決定方法などについて今後検討していく必要がある。

### 10-2 シート材と植生の効果

流水による耐侵食性については、水理実験から、植生による流速の減勢効果、目視観察からは被覆効果と根による減勢効果及びシート材による土砂流出抑制効果等が明らかにな

った。今後は、シート材による土砂流出抑制効果等の機構解明のために、より詳細な水理量（流速変動の振幅や周期など）を計測し、洗掘過程と水理量の関係を比較検討する必要がある。

### 10-3 覆土方法

現地試験施工及び水理実験で使用した覆土材料は、関川現地で採取を行った土砂である。覆土厚は、シート材より下へ根が伸びることを期待して、現地で 5cm～10cm 程度としたが、今後、施工性も含め、覆土厚について検討を行う必要がある。また、水理実験により、覆土に含まれる石の周辺から土が流出することが目視により確認されており、流水に対する安定性の観点から、覆土の土質についても今後、検討する必要がある。

植生の方法についても、作業性の観点から今回行なった 10cm 程度の覆土以外に、張芝や吹き付け等の他の方法について、今後の検討課題が残されている。

### 10-4 施工方法

現地での施工における適応性を確認するために、5 種類のシート材を用いて試験施工を行った。その中で、施工を行うまでの課題が明らかになった。

一般的に、グリットタイプのシート材の荷姿は 2～3m 程度のロール状であり、広い面積を敷設するためには、シートを重ね合わせて施工する必要があるため、重ね合わせ幅、シートの裁断方法等について今後検討する必要がある。

シートを固定するために、アンカーピン等を用いるが、その方法、形状、長さの諸元について検討する必要がある。

マットタイプについては、根の伸長を促すため土砂の充填を行ったが、その材料、その方法などが課題である。

試験施工の追跡調査の結果から、洪水等により被害を受けた時、シート材がめくれたり、破断する可能性があり、その場合の補修の施

工方法についても検討する必要がある。

#### 10－5 追跡調査

関川の試験施工区間の植生は、初期成長の早い品種を播種して、その後は管理を行わず遷移にまかせることとしている。今後、植生の遷移が予想されるため、追跡調査を行うことにより、植生に与えるシート材の影響、洪水後の状況、シート材の劣化等について確認を行う必要がある。

#### 11. おわりに

本研究を進めるに当たり、新潟県の関係各位に多大なるご協力、ご支援を賜りました。この場をお借りし厚く御礼申し上げます。

#### <参考文献>

- 1) 加藤一典、北川明、宇多高明：河川堤防の植生遷移と管理のあり方について、第50回土木学会年次学術講演会、p 230-231、1995.
- 2) 服部敦、平館治、藤田光一、宇多高明、関口利昭、宮下光泰：堤防の耐侵食性の評価方法に関する研究、第2回河道の水理と河川環境シンポジウム論文集、p 73-80、1995.
- 3) 水戸唯則、安田実：シート材を用いた河岸防御法の研究、リバーフロント研究所報告第8号、p119-129、1997.
- 4) 浅利修一、池内幸司：シート材を用いた河岸防御法に関する研究、リバーフロント研究所報告第9号、p262-269、1998.
- 5) 浅利修一、池内幸司、美寺寿人：シート材を用いた河岸防御法に関する基礎的研究、第3回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、p99-106、1997.
- 6) 浅利修一、池内幸司、小川幸雄、美寺寿人、松村憲芳：シート材を用いた河岸防御法に関する研究、第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、p99-104、1998.