

シート材を用いた河岸防御法の研究

Study on a method of River Bank Protection using Geosynthetic Materials

研究第二部 主任研究員 水戸 唯 則
研究第二部 次 長 安 田 実

Recently, the erosion control functions of vegetation have been gradually being clarified. We studied river bank protection methods making extensive use of geosynthetic materials that satisfactorily ensure both erosion control functions and the growth of vegetation. In this study, we selected sheet materials on which vegetation can grow and which are erosion resistant, and carried out performance testing concerning the erosion resistance of river banks where vegetation was grown using these geosynthetic materials. We consequently propose river bank protection methods making extensive use of geosynthetic materials.

Key words: Geosynthetic material, erosion control function, growth of vegetation, development of "nature-rich" river works, river bank protection method

1. はじめに

最近、植生の侵食防止機能について明らかになりつつある。例えば、一様に生えそろうている芝の場合、流速7m/s以上まで耐侵食性があるという報告もある。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で侵食されやすく、また、植生の生えない裸地などの植生欠損箇所は侵食を受けやすい。そこで、これら弱点を補うシート材と植生を組み合わせ、これを河岸を防御することが考えられる。

本研究は、侵食防止機能と植生繁茂を両立

させるシート材活用による河岸防御法について検討したものである。本研究では、まず、植生繁茂および耐侵食性の有するシート材を選定し、そのシート材を用いて植生河岸の耐侵食性に関する性能試験を行い、最終的にシート材活用による河岸防御法について提案するものである。なお、研究対象河川においては、既にコンクリート製の低水護岸が施工済であるため、本研究では、これら低水護岸前面において河岸の緑化を図ることも目的としている。

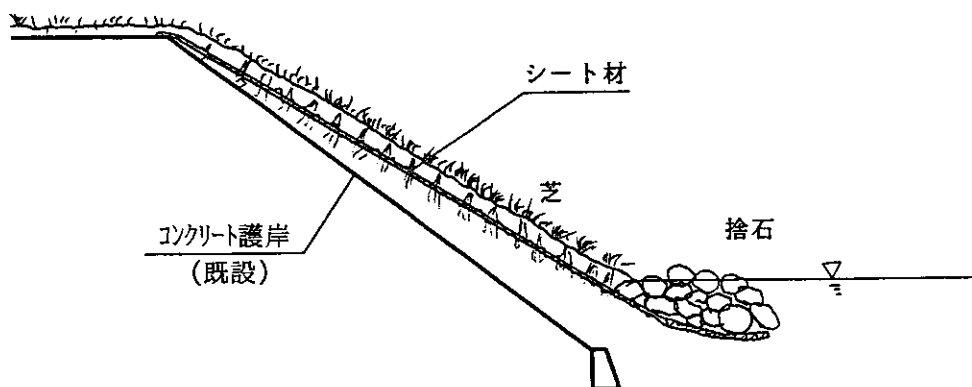


図-1 シート材活用河岸防御法概念図

Fig. 1 Conceptual illustration of river bank protection method making extensive use of geosynthetic material

2. 本研究の意義

昨年、建設省が発表した第9次治水事業五箇年計画では、これまでのパイロット事業として進めてきた多自然型川づくりをすべての河川を対象とした本格的な取り組みに転換し、自然を活かした川づくりを目指す方針が打ち出された。つまり、これまで以上に自然豊かな景観や自然環境に配慮する多自然型川づくりを一層推進しなくてはならない。そのためには、河岸防御としての新工法、新素材の開発が急務となっている。

本研究は、これら要請のもとに、植生繁茂と耐侵食性をあわせ持ったシート材を活用することにより、河岸に緑豊かな本来の生態系を保全・復元し、また、いままで治水安全度の確保のために自然環境が失われてしまった既設コンクリート護岸を緑化再生するために新たな工法を提案する目的で行われたものである。本研究では、現在市販されている様々なシート材の中から河岸防御の材料として最適なシート材を選定する手法と今後のシート材開発の課題と方向性についてとりまとめ、シート材活用の新たな河岸防御法としての方法論を確立するものである。

本研究によって、さらに多自然型川づくりが推進され、自然に配慮した自然豊かな川づくりが行われるものと考えられる。

3. シート材を用いた河岸防御法の研究手順

平成8年度と9年度にわたる2年間で研究を行う予定であり、平成8年度は図-2のフローに示す事項について実施した。現在市販されているシート材を収集してシート材の物性と芝のポット内室内生育試験の結果からシート材を選定し、それらシート材を用いて植生のない状態で水理実験を行い、耐侵食性について検討した。また、新潟県関川における試験施工の計画の策定を行った。平成9年度は、植生のある場合の耐侵食性を評価する水理実験や試験施工後の調査などを行い、シ-

ート材を用いた河岸防御法についてまとめる予定である。

4. シート材の選定

まず、河岸防御法として用いるシート材に求められる機能と物性について整理し、市販のシート材を収集して、シート材の物性データや室内生育試験結果からシート材を選定した。

4-1 シート材に求められる機能

シート材を河岸防御を構成する一部と位置づける場合、次のような基本的な機能が必要である。

① 植生より求められる機能

植生根がシート材を通過でき、絡み合うものとし、群として流水に抵抗できる低水河岸を構築できること。

② 安定性の確保

河岸防御法の基本として、早く、そして確実に法面自体を安定させ、施設の機能を確保すること。

③ 環境との調和

施工する場所の周辺環境に著しい影響を与えないこと。

④ 永続性の確保

河岸防御法として、永続的に法面の安定性が確保され、周辺環境との調和が永続的に維持できること。

⑤ 維持管理の軽減

低水河岸法面は、一般に面積が大きく、延長が長いことから点検、補修などの維持管理を軽減できること。

4-2 シート材に求められる物性

低水河岸前面の防御としてシート材を用いる場合、上記に示した機能が求められ、その評価として次のようなシート材の物性が必要と考えられる。

① 植物の根の通過性

植物の根系がシート材を通過しやすく、絡みやすい。

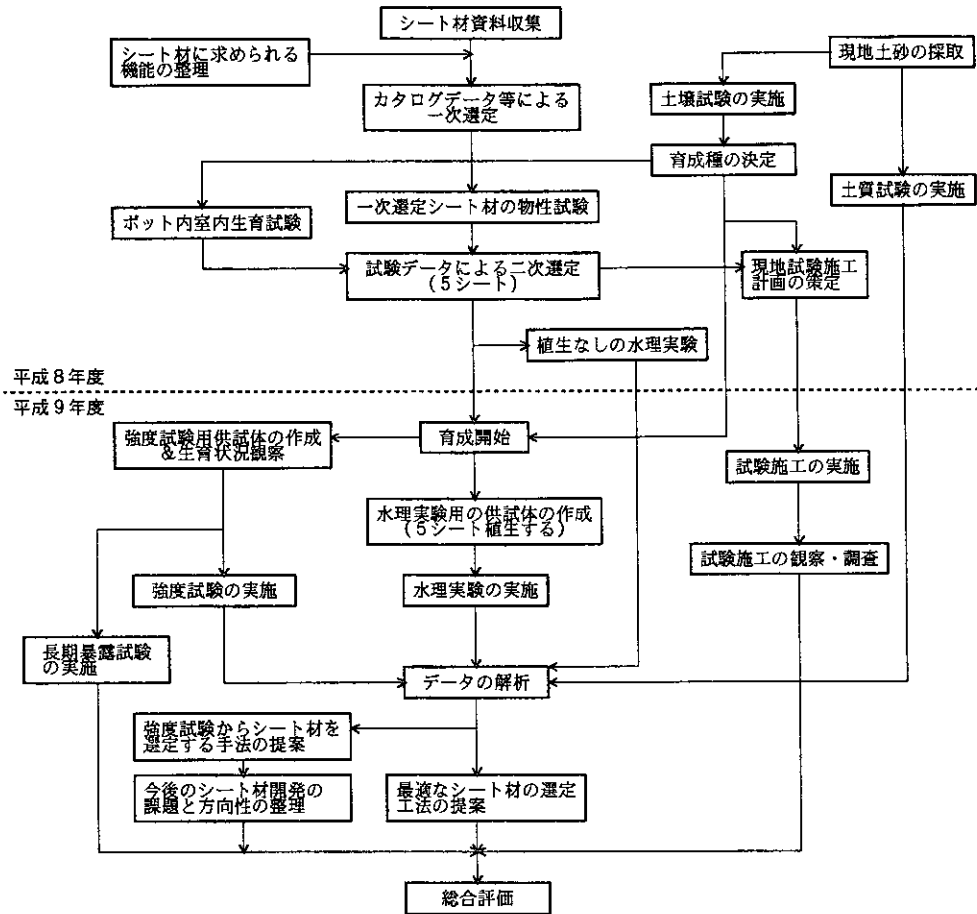


図-2 シート材活用河岸防御法の研究フロー

Fig. 2 Study flow for river bank protection method making extensive use of geosynthetic material

- | | |
|---|--|
| <p>② シート材の強度
洪水等によるシート材の引張りに対して十分な強度を有している。</p> <p>③ シート材の滑動
法面安定性を確保するために、シート材と土砂との摩擦が十分あり滑動しない。</p> <p>④ シート材の化学的安定性
酸やアルカリに対して化学的な安定性を有し、シート材の強度保持率が低下しない。</p> <p>⑤ シート材の耐候性
紫外線による材質の劣化による強度低下が少ない。</p> | <p>⑥ シート材の耐燃性
火入れなどの熱に対して耐燃性がある。</p> <p>⑦ シート材の耐腐食性
土中、水中で使用する場合腐食しない。</p> <p>⑧ 土砂の充填性
シート材に覆土する場合、土砂の充填が容易にできる。</p> <p>⑨ 経済性
土木材料として、比較的安価である。</p> <p>⑩ 施工性
面積が大きく、延長の長い法面に敷設する場合、施工手順が容易で、施工能率がよい。</p> |
|---|--|

4-3 シート材の収集・整理

シート材を活用した河岸防御法として利用可能な市販のシート材（吸い出し防止材、盛土補強材、排水材、軟弱地盤補強材など）について、24社、258種類のサンプルとカタログを収集した。あわせて、物性データや実施例も収集した。収集したシート材は、ジオテキスタイルおよび関連製品の分類法に従い、編織物、織物、不織布、複合、マット、グリットなどの分類毎に整理した。

4-4 カタログデータによる一次選定

収集した258種類のシート材のカタログ物性データから、4-2であげたシート材に求められる物性を考慮して、引張強度、目合いの大きさ、植生根の通過性、土砂の充填性、耐候性、耐腐食性、耐燃性の性能と経済性を基準として評価し、分類別に数種類選び、20種類を一次選定した（写真-1、2）。

4-5 シート材の二次選定

一次選定したシート材について、シート材メーカーが実施していない摩擦試験、後述するポット内室内生育試験（地上部の芝が繁茂して成長率が小さくなった時点の芝の繁茂状況とシート材と根の活着強さ及び根のシート材通過量の試験結果を用いる予定であったが、今回、時間の制約上、播種後31日目の芝の被度の大きさを判定基準とした。）、シート材の経済性（ m^2 あたりの単価）からシート材の分類毎に5種類のシート材を二次選定した（写真-1、2の●印）。

グリット系と編織物のシート材の中で最も目合いの小さいNo.13（ $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ ）、このシートの10倍の目合いのNo.14（ $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ ）、これら二つの中間の目合いのNo.1（ $7\text{mm} \times 7\text{mm}$ ）を選定した。マット系のシート材については、植生の実績のあるNo.7（厚み 30mm ）を採用した。また、織物としては、No.2とNo.3のうち目合いの大きい方が根の通過が期待できることからNo.3を選定した。

5. ポット内室内生育試験

一次選定された20種のシート材について、それぞれ種苗用のワグネルポット（ ϕ 約 160mm 、深さ約 190mm ）を用い、温度管理下で芝のポット内室内生育試験を行った。

試験では、芝の草丈と根の生長状況、根とシート材の活着状況を観察した。

5-1 土質特性及び土壌特性

ポット内室内生育試験に用いる土砂は、試験施工する関川において覆土として使用するものと同じものとした。現地の数地点の土砂をサンプリングして粒土試験を行った結果、覆土として十分に供給できる場所の土砂を使用することとした。

また、芝の品種を選定するため土中養分を調べる土壌検査を行った。その結果、PH値は、弱酸性から中性（ $6.5 \sim 7.0$ ）であり土壌改良の必要はないが、3大栄養分（窒素、リン酸、カリ）は、比較的少ないことがわかった。

5-2 芝の品種の検討

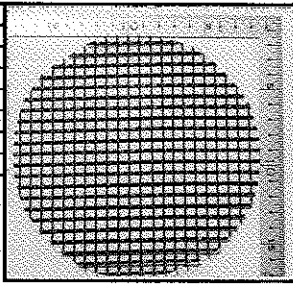
低水河岸の緑化には、在来種も考えられるが、数年後在来種に遷移することを期待して初期成長の早い芝を用いるものとした。芝の品種は、関川現地の気象条件、土壌特性、在来種の根の生育特性（地下茎、ほふく茎）、芝の根系生育特性とシート材の通過性などを考慮して、トールフェスク、ペレニアルライグラス、ケンタッキーブルーグラス、バミューダグラスの4種を配合する混播とした。

5-3 ポット内室内生育試験

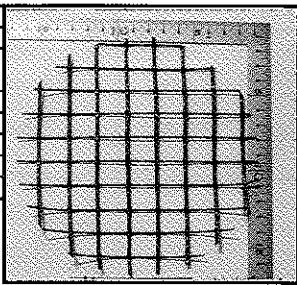
芝の根系の生育特性を考慮して、ポット内に覆土厚が 5cm になるようにシート材を設置して、上記の芝を播種した。生育施設は、温度が 10°C 以下にならないように最適発芽温度を 20°C 程度なるように温度管理できるガラス製の温室を使用した。

芝の地上部の葉と地下部の根系の生育状況、シート材と根系の通過状況及び活着状況の観察を行った。なお、ポット内栽培は、草丈の生長率が低下した播種後76日目で終了とした。

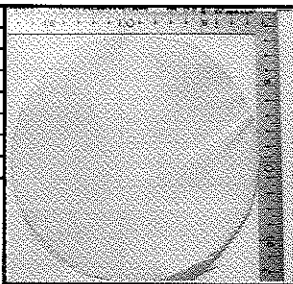
●シート No. 1
分類 織線物
材質 糸*ポリエステル
目合 7×7mm
厚み 0.5mm
強度 4.00tf/m
耐張力 0.43
単価 1,700円/㎡



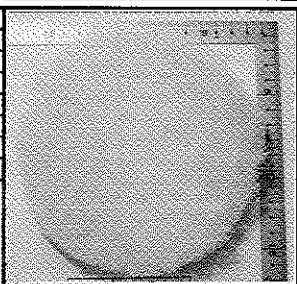
シート No. 6
分類 複合
材質 ビ*ロン
材質 糸*ポリエステル
目合 16×18mm
厚み 1.0mm
強度 2.00tf/m
耐張力 0.47
単価 890円/㎡



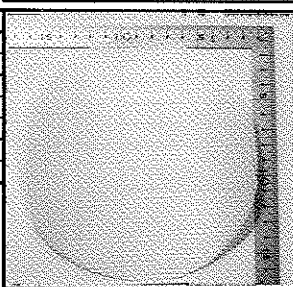
シート No. 2
分類 織物
材質 ナイロン
目合 0.1mm
厚み 0.5mm
強度 10.67tf/m
耐張力 0.45
単価 1,200円/㎡



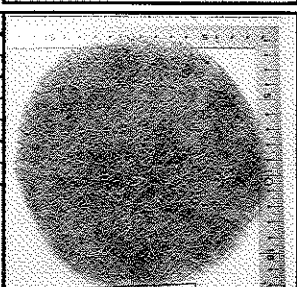
●シート No. 7
分類 マット
材質 糸*ポリ*ビ*レン
目合 3.9mm (*)
厚み 30mm
強度 0.88tf/m
耐張力 0.56
単価 4,600円/㎡



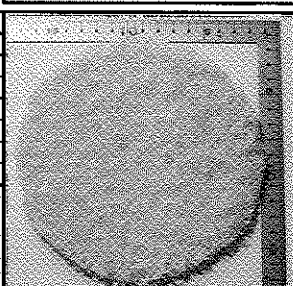
●シート No. 3
分類 織物
材質 糸*ポリエステル
目合 1.0×1.0mm
厚み 0.5mm
強度 3.34tf/m
耐張力 0.49
単価 550円/㎡



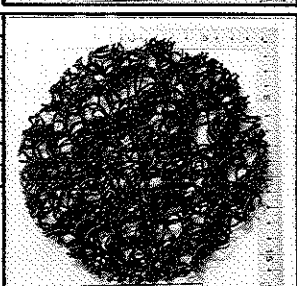
シート No. 8
分類 マット
材質 塩化ビ*クリレン
目合 4.9mm (*)
厚み 10mm
強度 0.30tf/m
耐張力 0.53
単価 1,700円/㎡



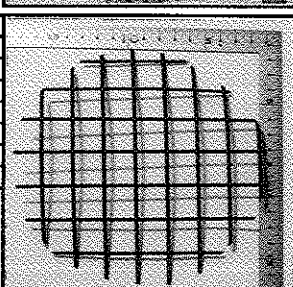
シート No. 4
分類 不織布
材質 糸*ポリエステル
目合 4.0mm (*)
厚み 10mm
強度 0.04tf/m
耐張力 0.49
単価 2,100円/㎡



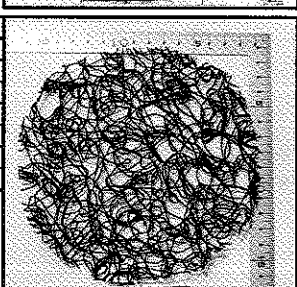
シート No. 9
分類 マット
材質 糸*ポリ*ビ*レン
目合 9.52mm (**)
厚み 20mm
強度 ---
耐張力 0.50
単価 1,500円/㎡



シート No. 5
分類 複合
材質 ビ*ロン
目合 17×17mm
厚み 1.0mm
強度 3.10tf/m
耐張力 0.48
単価 1,180円/㎡



シート No. 10
分類 マット
材質 糸*ポリ*ビ*レン
目合 9.52mm (**)
厚み 5mm
強度 0.024tf/m
耐張力 0.51
単価 1,300円/㎡



* : 開孔径試験による目合の大きさ (ASTM D4751)

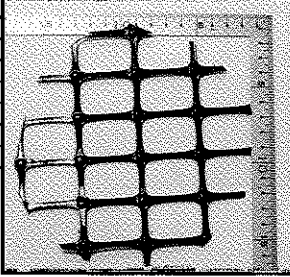
** : フルイ試験による目合の大きさ (シート中の通過する最大粒径をフルイ径、100%通過する最大フルイ径を目合の大きさとしたもの)

● : 二次選定シート材

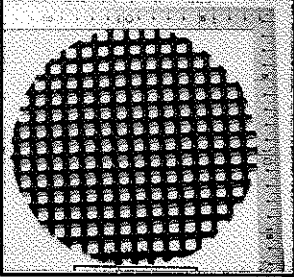
写真-1 一次選定シート材 (No. 1 ~ No. 10)

Photo 1 Primarily selected geosynthetic materials (Nos. 1 ~ 10)

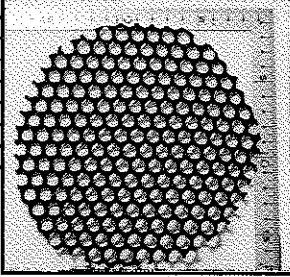
シート No.11	
分類	グリット
材質	#*リ*ビ*レン
目合	28×40mm
厚み	1.0mm
強張	1.00tf/m
耐張	0.51
単価	860円/㎡



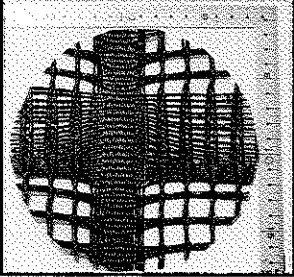
シート No.16	
分類	グリット
材質	#*リ*ビ*レン
目合	10×10mm
厚み	2.5mm
強張	0.93tf/m
耐張	0.40
単価	1,080円/㎡



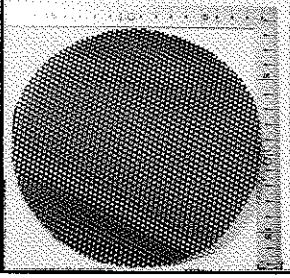
シート No.12	
分類	グリット
材質	#*リ*ビ*レン
目合	8×8mm
厚み	3.0mm
強張	0.74tf/m
耐張	0.42
単価	770円/㎡



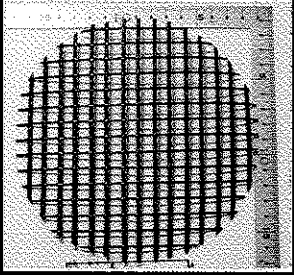
シート No.17	
分類	その他
材質	ア*ミ*織*維
目合	18×16mm
厚み	2.0mm
強張	10.00tf/m
耐張	0.40
単価	2,200円/㎡



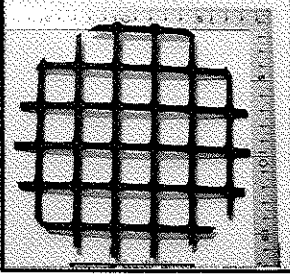
●シート No.13	
分類	グリット
材質	#*リ*ビ*レン
目合	2.5×2.5mm
厚み	1.5mm
強張	0.40tf/m
耐張	0.40
単価	510円/㎡



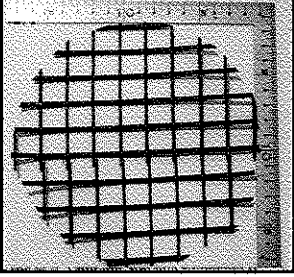
シート No.18	
分類	その他
材質	#*リ*ビ*レン
目合	8×8mm
厚み	1.0mm
強張	4.00tf/m
耐張	0.49
単価	1,700円/㎡



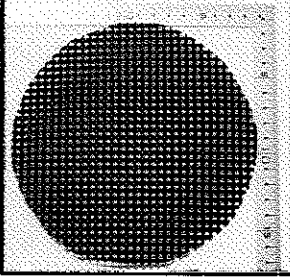
●シート No.14	
分類	グリット
材質	#*リ*ビ*レン
目合	25×25mm
厚み	3.7mm
強張	0.77tf/m
耐張	0.43
単価	980円/㎡



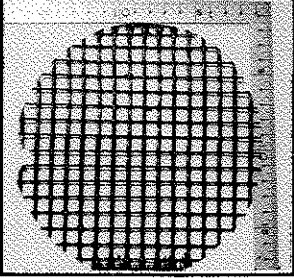
シート No.19	
分類	その他
材質	#*リ*ビ*レン
目合	15×15mm
厚み	1.5mm
強張	3.00tf/m
耐張	0.50
単価	1,800円/㎡



シート No.15	
分類	グリット
材質	#*リ*ビ*レン
目合	5×5mm
厚み	1.8mm
強張	0.70tf/m
耐張	0.40
単価	870円/㎡



シート No.20	
分類	その他
材質	#*リ*ビ*レン
目合	8×8mm
厚み	1.5mm
強張	4.00tf/m
耐張	0.45
単価	1,700円/㎡



● : 二次選定シート材

写真-2 一次選定シート材 (No.11~No.20)

Photo 2 Primarily selected geosynthetic materials (Nos. 11 ~ 20)

(1) 葉の生育状況

葉の生育状況の良い供試体は、グリット系のシート材であり、一方、マット系のシート材の供試体については、葉の生育状況が悪い傾向が見られた。

(2) シート材と根毛の活着状況

シート材を通過した根毛の重量を測定してシート材の根毛通過性について調べた。また、ポットから土の付いたままの芝を抜き取り、シート材以下の土を洗浄して、シート材と根毛の絡んだ状態でシート材を引っ張り、その時の降伏点荷重を測定して活着強さを調べた。

図-3にシート材と通過した根の重量の関係を示す。目合いの最も小さい0.1mmのシートNo.2は根の通過重量が最も少く、シート材の目合いの大きさと通過根毛量の間には相関は見られない。図-4にシート材の活着強さの結果を示す。シート材毎の活着強さを見るとマット系のシートNo.7、No.8が根の活着力が強く、マット系以外のシート材（目合いの最も小さいシートNo.2を除いて）については、目合いが小さいほど活着強さが大きくなる傾向が見られる。

地上部の葉の生育状況と地下部の根毛とシート材の活着状況をまとめるとマット状のシート材の葉の生育状況が悪くなるものの、根毛とシート材との活着は良好である。一方、マット系以外のシート材では、根毛通過量がある程度多いと目合いが小さい程シート材と

根の活着力が強くなる傾向にある。

6. 水理実験

流速設定がしやすく、安定した流速で最大流速8m/sまで出すために、実験施設の供給流量、総水頭、水頭損失を考慮して、断面の大きさを0.3m×0.3mとする矩形管水路を使用することとした。（図-5）

水理実験では、二次選定したシート材について、植生のない状態の供試体を管水路内にセットし、シート材のみの耐侵食性に関して実験を行った。

6-1 水理実験装置及び通水条件

供試体は、長さ3.0m×幅0.3m×高さ0.3mの大きさで、天端部分にシート材をセットする構造となっている。また、供試体は、シート面と水路床面が滑らかに接続するように設置した。管路及び供試体枠の材質は、シート面および土砂の侵食状況が観察できるようにアクリル製とした。供試体土砂は、関川で覆土として使用するものと同じものを用い、植物の生育が良好となるような硬さに締め固めを行った。

断面平均流速1m/s～最大8m/sまでを1m/sきざみで1時間継続して通水し、流速を段階的に上昇させて実験を行った。なお、通水は、シート材が破断もしくは最大侵食深が30cmに達したところで中止した。

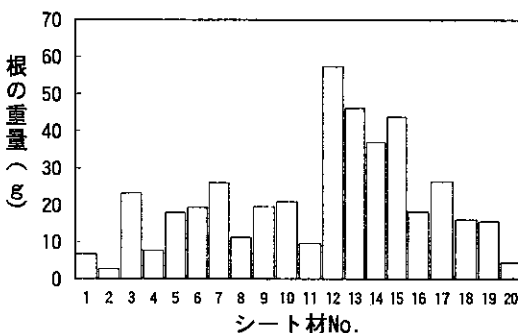


図-3 シート材を通過した根の重量

Fig. 3 Weight of roots passing through geosynthetic material

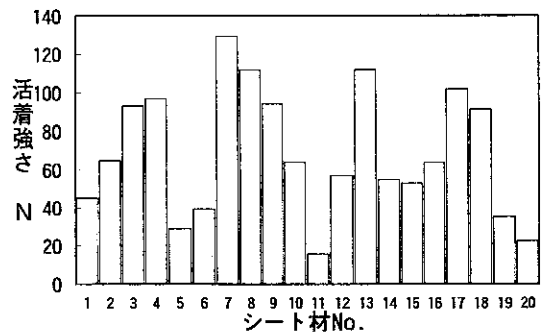


図-4 シート材と根の活着強さ

Fig. 4 Rooting strength and geosynthetic material

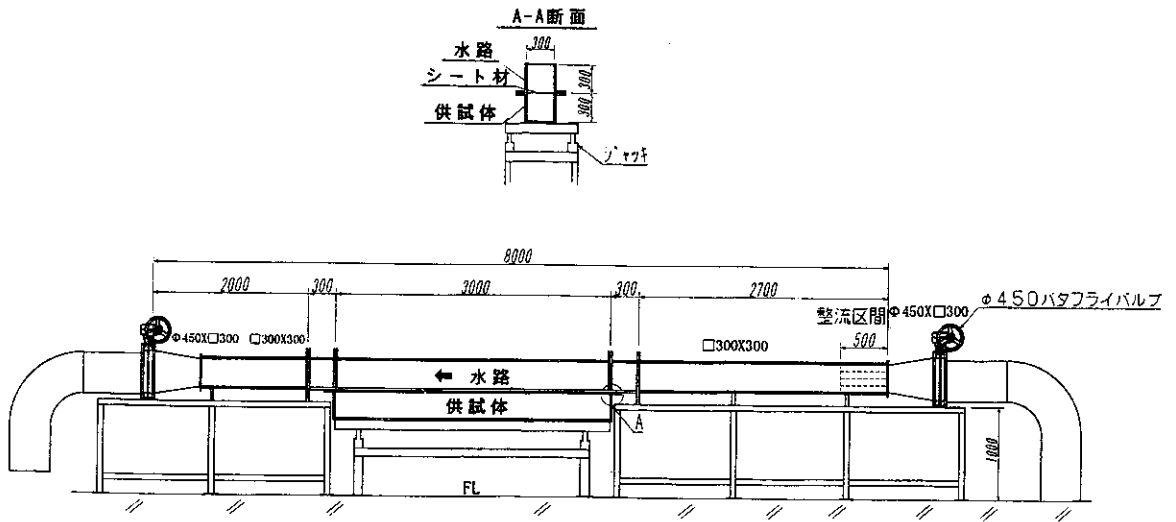


図-5 水理実験装置
Fig. 5 Hydraulic test apparatus

表-1 水理実験ケース
Table 1 Hydraulic test cases

ケースNo.	シート材No.	シート材料特性
H-0	シートなし	-----
H-1	シートNo.3	織物、ポリエステル 目合1.0×1.0mm、厚み0.5mm
H-2	シートNo.7	マット、ポリプロピレン 目合い3.9mm、厚み30mm
H-3	シートNo.13	グリット、ポリエチレン 目合2.5×2.5mm、厚み1.5mm
H-4	シートNo.14	グリット、ポリエチレン 目合25×25mm、厚み3.7mm
H-5	シートNo.1	編織物、ポリエステル 目合7.0×7.0mm、厚み0.5mm

6-2 実験ケース

表-1に示すように二次選定したシート材とシート材なしの土砂のみの6ケースについて実験を行った。

6-3 実験結果

通水実験中の状況を写真-3に示す。

土砂の侵食状況は、流速の増大に伴いシート材直下でシート材の目合いより小さい土砂が徐々に吸い出され、シート材と土砂面との

間に隙間ができて流れが生じ、さらに吸い出され侵食が進行した。目合いを通過できない土砂は、供試体下流端に流され目詰まりを起こし、この部分が流水抵抗になり、引っ張られシート材が破断した。破断後の土砂は一気に洗掘され流された。

図-6にシート材毎の平均侵食深と流速との関係を示す。シート材がない場合(H-0)は、流速2m/sから大きく侵食を受けるのに対

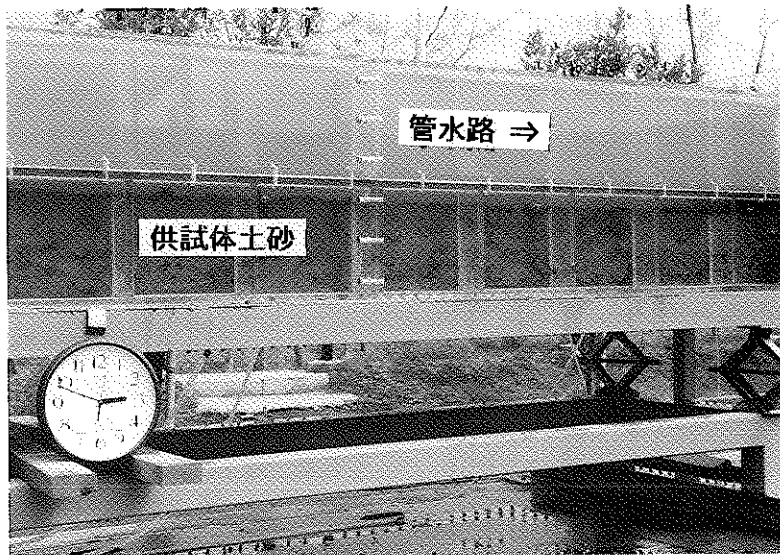


写真-3 通水実験
Photo 3 Water flow test

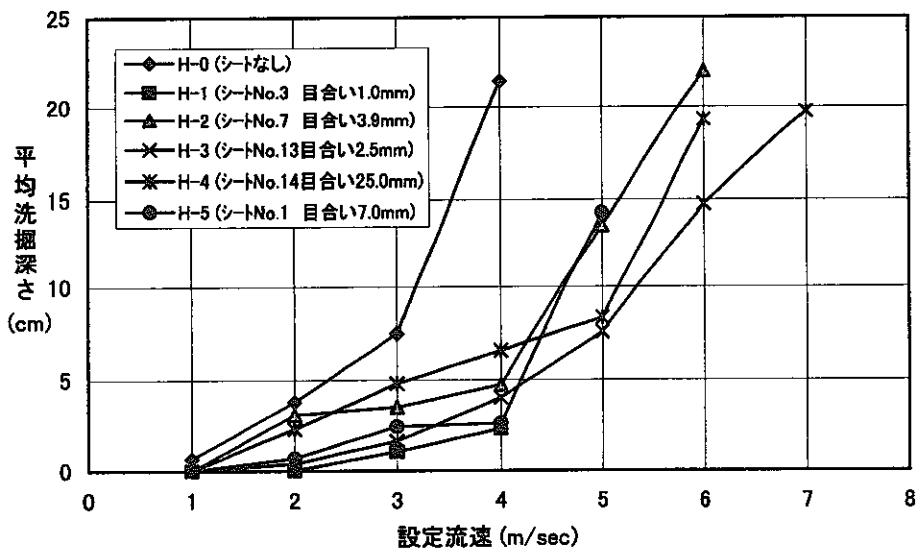


図-6 流速と平均侵食深

Fig. 6 Flow velocity and mean erosion depth

して、シート材がある場合は、概ね流速4m/sまで洗掘が押さえられ、シート材による侵食防止効果が見られる。しかし、5m/sを越えたあたりから侵食が急激に進行し、6m/sに達するとほとんどのシート材は破断し、大きく洗掘した。また、流速が2m/s、3m/sの時には、

シート材の目合いが大きいほど平均侵食深が大きくなる傾向にあった。

7. 現地試験施工計画の策定

シート材の河岸防御法としての有効性を把握するため、関川現地における試験施工計画

の策定を行った。

7-1 試験施工区間の検討

シート材は二次選定された5タイプを使用して、各シート材を延長20mに区分し、連続敷設して試験施工を行う。また、シート材なしの区間も20m設置して比較を行う。試験施工区間の上下流端では、断面変化による流れの影響を受けないように20mのすり付け区間を設ける。

試験施工区間は、5タイプのシート材を比較する意味から、なるべく条件が同じになる様に直線区間とし、覆土用の土砂採取場所に近い区間を選定した。

7-2 試験施工手順

コンクリート低水護岸上（法面勾配1:2）に50cm程度の土砂を覆土し、土砂面をある程度整形した後シート材を敷設する。シート材の法面方向の上下端部については、木杭にて固定する。次に現地発生石材を捨石として利用し水際部を固定する。あわせて上下流端を蛇籠を用いて補強する。その後2回目の覆土を10cm程度の厚みで施工し、整形した後芝の種子吹付けを行う。施工時期は、融雪出水が終わって、芝の最適発芽温度になる5月下旬とする。

8. 平成9年度の研究計画ととりまとめの方向

本研究は、平成8年度と9年度の2ヶ年計画で行うものである。平成8年度は、シート材選定、植生なしの水理実験、芝のポット内生育試験を行った。平成9年度は、以下の項目について研究を行う予定である。

① 水理実験

二次選定したシート材を使って、供試体全面に芝が密生した状態のものと一部芝の生えていない欠損箇所のある状態のもの（植生の生えない裸地を想定）について耐侵食性を比較する水理実験を行う。流速と侵食深、シート材の目合いと厚みの大きさの関係をとりま

とめ、欠損がある場合、どの程度耐侵食性が落ちて、シート材がどの程度耐侵食性に寄与するかを、植生なしの試験結果とあわせて把握する。また、通水時の芝表面の侵食過程を観察し、その侵食機構について調査する。

② 活着強度試験

二次選定したシート材の厚みや目合いのバリエーションタイプと二次選定もれしたシート材についても、屋外栽培の芝の供試体を使って生育試験と強度試験を行い、シート材特性（目合いの大きさ、厚み）と地上部の芝の生長量、地下部の根とシート材の活着強さ、根の通過量の関連についてとりまとめ、植物から見た最適なシート材特性を把握する。

③ 暴露試験

シート材を低水河岸に活用する場合、水際の植生及びシート材変質の起こる可能性があることから、植生の水没による根腐れ状況について調査し、あわせて水際のシート材の変質を強度試験で評価する。

④ 試験施工の調査

関川において試験施工したシート材の違いによる芝の生育状況及び水際の覆土の状況とシート材の安定性を定期的に、また、出水後のシート材の耐侵食性について調査し、現地におけるシート材の有用性と課題をとりまとめる。

⑤ 総合評価と方法論の確立

上記の試験結果を整理して総合的に評価し、最適なシート材の選定方法と最適なシート材の物理特性、今後のシート材開発の課題と方向性などについてとりまとめ、最終的にシート材の河岸防御法としての方法論を確立する予定である。

<参考文献>

- 1) 佐々木、宇多他：堤防法面の耐侵食強度評価実験、土木学会第49回年次学術講演会概要集、1994
- 2) 堀、藤田他：侵食防止・植生繁茂を両立さ

- せるシート材の持つべき基本特性、土木学会第51回年次学術講演会概要集、1996
- 3) 望月達也：植生の流水に対する耐侵食性、RIVER FRONT Vol. 28、1997
 - 4) 片脇清士：新しい土木材料とその展開、山海堂、1995
 - 5) 北川、宇多他：植生の遷移と堤防の管理、水工論文集 第39巻、1995
 - 6) (財) 国土開発技術研究センター：護岸・根固工の設計検討業務報告書、1991