共同研究報告書

整理番号第265号別冊

植生の耐侵食機能を活用した侵食防止シートの開発に関する共同研究報告書（別冊）

―シートの施工・維持管理および性能試験に関する手引き―

平成13年3月

国土交通省土木研究所河川部河川研究室

旭化成㈱
太陽工業㈱
㈱田中
東洋紡績㈱
東レ㈱
前田工繊㈱
三井化学産資㈱
三菱化学産資㈱
三菱樹脂㈱
ユニチカファイバー㈱

Copyright © (2001) by P. W. R. I.
All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年１月６日付けで国土交通省に再編

共同研究報告書

第265号別冊　2001年３月

植生の耐侵食機能を活用した侵食防止シートの開発に関する共同研究報告書(別冊)

―シートの施工・維持管理および性能試験に関する手引き―

国土交通省土木研究所　河川部　河川研究室

室　長　望月達也[1)]

室　長　藤田光一[2)]

室　長　末次忠司

主任研究員　服部　敦

要旨

一様に繁茂した草本植物は高い耐侵食力を有するものの、モグラ孔や繁茂密度が小さい部分のような侵食されやすい弱点箇所が形成されて不均一になると、耐侵食力が著しく低下する。植物を堤防や河岸の侵食防止に利用する際の本質的課題は、コンクリートブロックや石材のように空間的に均一かつ時間的にも一定した耐侵食力を維持するのが困難なことである。国土交通省土木研究所と民間企業10社は、この本質的課題を解消し、草本植物のより積極的な活用を可能とすることを目的とした共同研究「侵食防止および植生繁茂制御の機能を有するシート材に関する研究」を実施して、侵食防止シートとそれを用いた侵食防止工の開発を行った。本報告書は、1）シートに対する要求性能とそれを得るための構造・強度・耐久性・安全性などに関する試験法、および２）シートの施工・維持管理法に関して手引きとしてまとめたものである。

キーワード：侵食防止シート、堤防・河岸防御工、要求性能、試験法、施工・維持管理法、手引き

1）現九州地方整備局河川部長

2）現中部地方整備局三重工事事務所長

共同研究担当者名簿

旭化成(株)		
建材製造所ジオ技術開発部	部　長	大和真一
	研究員	三浦信隆
太陽工業(株)		
土木技術部	部　長	法貴貫志郎
土木技術部東京技術課	課　長	桝尾孝之
	課長代理	杉山孝信
(株)　田　中		
技術部	技術部長	中井清和
	課長補佐	村上　豊
	主　任	山中智央
営業開発部	部　長	宮崎興介
営業部	課長補佐	品川隆宣
東洋紡績(株)		
繊維開発センター	部　長	伴　薫
SB 事業部	部　員	山田和正
産業資材部	課長代理	西田　孝
繊維開発センター	部　員	倉本隆宏
堅田繊維開発センター	室　員	森脇敦史
東レ(株)		
資材開発室	室　長	戸田和宏
産資開発センター	部　員	高砂武彦
	部　員	山本英行
生産技術第１部	主　任	青木正博
前田工繊(株)		
開発技術本部河川プロジェクト	課　長	岡本敏雄
	課　長	南本政司
		前田英史
三井化学産資(株)		
商品研究所加工技術グループ	リーダー	福田諭吉
	研究員	鈴木　実
土木資材事業部ジオグリッドグループ	リーダー	西村　淳
三菱化学産資(株)		
土木資材事業部技術･開発グループ	理事部長	新谷秀人
	次　長	吉川　進
	主　任	間　昭徳
	主　任	明永卓也
商品研究所	主任研究員	稲田克彦
三菱樹脂(株)		
新規事業推進部	主　査	吉田宏彦
	担当部長	小菅理宏
技術開発センター	プロジェクトマネージャー	三荒直也
	鈴木展康	
		河野正彦
ユニチカファイバー(株)		
開発部	部長代理	辻本啓三
	主　管	石田善一
	部　員	迫部唯行

総 目 次

第1編 侵食防止シート工の設計・施工・維持管理・撤去の手引き

1. 総説 3
   1.1 本書の目的と内容 3
   1.2 侵食防止シートを用いた侵食防止工法の特徴 3
   1.3 シート工法の適用範囲と留意事項 6
   1.4 シート工法の活用手順 8
2. 計画・設計 9
   2.1 侵食防止工法の選定 9
   2.2 シートの選定 9
3. 施工法 19
   3.1 施工手順 19
   3.2 施工計画 20
   3.3 施工準備 23
   3.4 土 工 28
   3.5 シートの敷設 28
   3.6 シートの固定 28
   3.7 シートの接続 29
   3.8 シート端部の埋設 31
   3.9 土砂充填工 33
   3.10 植生工 37
   3.11 施工管理 37
4. 維持管理・修繕 41
   4.1 維持管理の留意点 41
   4.2 損傷部の修繕 44
5. 撤去工 46
6. 施工事例 47
7. 特許について 98
   参考文献 98

第2編 侵食防止シートの性能試験・評価法の手引き

1. 試験・評価法の趣旨と要求性能 101
   1.1 趣旨 101
   1.2 要求性能 101
2. 試験・評価法の概要 102
   2.1 試験の項目と概要 102
   2.2 試験・評価の前提と範囲 106
3. 性能基準および試験方法 109
   3.1 耐侵食性 109
   3.2 土砂充填性 116
   3.3 強 度 122
   3.4 加工性 126
   3.5 耐久性 130
   3.6 安全性 135
   参考文献 145

平成12年度版

侵食防止シート工の設計・施工・維持管理・撤去の手引き

平成13年3月

国土交通省土木研究所河川研究室

侵食防止シート工の設計・施工・維持管理・撤去の手引き

(平成12年度版)

目　次

1. 総説 3

1.1 本書の目的と内容 3
1.2 侵食防止シートを用いた侵食防止工法の特徴 3
1.3 シート工法の適用範囲と留意事項 6
1.4 シート工法の活用手順 8

2. 計画・設計 9

2.1 侵食防止工法の選定 9
2.2 シートの選定 9

3. 施工法 19

3.1 施工手順 19
3.2 施工計画 20
3.3 施工準備 23
3.4 土　工 28
3.5 シートの敷設 28
3.6 シートの固定 28
3.7 シートの接続 29
3.8 シート端部の埋設 31
3.9 土砂充填工 33
3.10 植生工 37
3.11 施工管理 37

4. 維持管理・修繕 41

4.1 維持管理の留意点 41
4.2 損傷部の修繕 44

5. 撤去工 46

6. 施工事例 47

7. 特許について 98

参考文献 98

1. 総説

1.1 本書の目的と内容

●侵食防止シートは、植物の耐侵食力を補強する機能を有し、植物と一体となって流水による地面の侵食を防止する効果を発揮するものである。本書は、シートの侵食防止効果が正常に発揮されるように設計、施工、維持管理、修繕を行う方法と、耐用期間を過ぎるなどの理由によってシートを撤去するための工法について解説するものである。

本書は、国土交通省土木研究所と民間企業10社との共同研究「侵食防止および植生繁茂制御の機能を有するシート材に関する研究」(平成9～12年度)によって開発した侵食防止シートとそれを用いた侵食防止工(以下、シート工法と呼ぶ)を対象として、シート工法を正しく理解し、かつ活用するための参考資料として、設計、施工、維持管理、修繕、撤去のそれぞれの手法について、現場での実務において使いやすいように「手引き」のかたちで上記研究から得られた成果をとりまとめたものである。

シート工法は開発されてから間もない工法であるが、上記研究期間中には試験施工も実施し、その完成度の向上を図ってきた。本書はその結果に基づいて提案した標準的手法について言及するものである。今後、多様な条件の現場に適用するにつれて、標準的手法が改良されるだけでなく、本書に示されていない新たな手法も開発されることを期待している。本書は、それに応じて今後とも改訂していくべきものであり、研究成果の詳細を示した共同研究報告書[1)]とともに参考資料として活用され、各現場に適した創意工夫が行われることを期待したい。

1.2 侵食防止シートを用いた侵食防止工法の特徴

新たに開発されたシート工法は従来の護岸とは特徴が大きく異なる。この特徴を理解した上で、シート工法を正しく活用してもらうため、シートの概略の形状･諸元、開発コンセプト、そして侵食防止効果の発揮機構についてまず説明する。次にその特徴を踏まえ、施工、維持管理、修繕、撤去の観点で特にあらかじめ理解しておくべきことについて説明する。なお、設計にあたっては他工法と同様であり、「代表流速」を侵食外力の指標として、それ以上の「適用限界流速」を有するシートを選択する。代表流速の語意、算定手法については、例えば護岸の力学設計法[2)]を参照されたい。

(1) 侵食防止シートとは

植物には、条件によっては洪水時に堤防や河岸が侵食されるのを防止できるだけの耐侵食力があることが知られている。近年、草本植物の耐侵食力を評価できる手法が開発され、これらの手法を活用して侵食防止の可否をある程度見積もれるようになった[3)]。それによるとシバやチガヤの場合、高い密度で均一に繁茂していれば護岸と比べても見劣りがない耐侵食力がある。しかしゴルフ場のように非常にきめの細かい手入れをしていない堤防などでは、モグラ孔や繁茂密度が小さい場所などがある不均一な繁茂状況となるのが一般的である。そのような場合、不均一な箇所が侵食の生じやすい弱点箇所となるので、耐侵食力が非常に小さくなってしまう。植物を利用して侵食防止しようとした場合、護岸の材料として使用されるコンクリートブロックや石材のように均一さが無いこと、また時間的にも一定した耐侵食力(つまり良好な繁茂状況)を維持するのが困難なことが本質的課題となっている。しかし見方を変えれば、弱点箇所さえ補強できれば、植物が潜在的に備えている高い耐侵食力を発揮する能力を引き出すことができる。そこにヒントを得て新たに開発したのが侵食防止シートである。

侵食防止シートの一例を**写真-1.1**に示す。いずれもポリプロピレンやポリエステル(ペットボトルと同じ素材)などの熱可塑性樹脂を主素材として、それを糸状に加工して作った厚さ1～5cmの多孔質なシートであり、手で簡単に折り曲げられる。シートは流水にさらされると糸状材が流れの抵抗となって、土砂が押し流されないごく遅い流速に抑えこむという仕組みで耐侵食力を発揮する。この仕組みは、植物が葉、茎や根を抵抗として耐侵食力を発揮するのを真似ている。シートに使う糸状材の太さ、それを充填する密度(または空隙率)、厚さを調整することで、最大4(m/s)の流速までの侵食防止が現時点で可能となっている。

シートは、**写真-1.2**に示すように地表面から1～3cm程度の位置に埋設する。地表面には、草本植物

(**写真-1.2** ではノシバ)を繁茂させる。シート内には土砂が充填されており、根茎の伸長はほとんど阻害されない。植物の根茎はシート内からその下側まで伸長できるので、シートが埋設されている地面上での植物繁茂の状態は、一見しただけではシートなしの状態とほとんど差異がない。

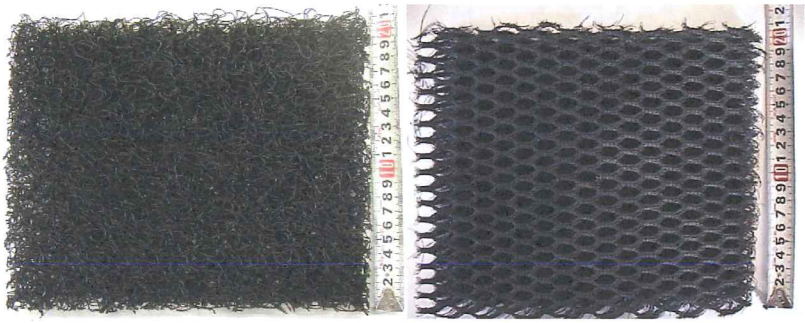


写真-1.1　侵食防止シートの一例



写真-1.2　シートの設置状況

(2) 侵食防止効果の発揮機構

シートは、吸い出し防止材(ジオテキスタイルシート)とは異なり、砂粒よりはるかに大きい空隙を有する多孔質なものである(**写真-1.1** 参照)。このような"すかすか"なシートが侵食防止効果をどのように発揮するのか、**図-1.1** を用いて簡単に説明する。シートを埋設した地面上に洪水流が作用すると、最初、植物が有する耐侵食力によって地面の侵食が防止される。それを少し上回る侵食力が作用するようになると、植物の繁茂密度が粗な部分において局所的に侵食が進行してシートが露出し始める(**図-1.1** の(1))。シートの露出厚さは、侵食の進行に伴って大きくなる(**図-1.1** の(2))。それに伴って、地表面近傍の流速が急激に小さくなる(**図-1.1** の(3))。侵食発生限界より小さい流速まで低減できる厚さ t_c(以下、最小必要厚さと呼ぶ)までシートが露出した時点で、侵食が生じなくなり(**図-1.1** の(4))、侵食防止が達成される。このように、シートは"すかすか"ではあるが、地面に作用する侵食力を侵食発生限界より小さくできるようにシートの厚さ、構成材の直径、空隙率が調整されているので侵食防止が可能となる。吸い出し防止材やコンクリートブロックなどに代表される既往の被覆材が、被覆材下の地面を流れから"遮蔽"することで侵食防止を行うのとは全く異なる機構である。

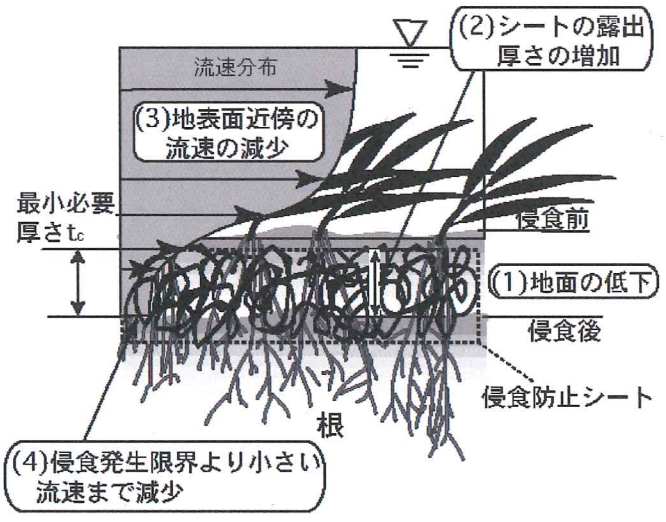


図-1.1　シートの侵食防止効果の発揮機構

(3) シートの侵食防止効果を正常に発揮させるための3箇条

- ●シートを過度に変形させない施工と施行管理
- ●土砂充填を確実に行うこと
- ●植物の根茎が多くシートを貫通できる適度な土層厚さでシートを覆い隠すこと

a) シートを損傷させない施工と施工管理

(2)に示したようにあらかじめ諸元が調整されたシートを、製造～運搬～納入までの間に、または施工時にむやみに引き延ばしたり、潰してしまうなど変形させてしまうと、耐侵食力が低下してしまうのは、容易に想像がつくであろう。シートには柔軟性があり人力で変形させることができるが、特に施工時に作用する様々な外力に対して破断しないように、また過度に変形させても復元するような強度と、それでも残留する変形分をあらかじめ見込んだ余裕のある諸元の設定がなされている。そのため、少々の変形では設計で期待した耐侵食力(すなわち、限界流速)が失われない。しかし、そのような工夫も耐侵食力の低下を完全に防げることを保証するものではない。したがって、本書に示されている施工法に従って破断させないのはもちろん、過度な変形をさせないように施工し、それを管理すること、具体的には納入および施工時におけるシート諸元の検査を行い、許容範囲内に諸元の変化が留まっていることを確認しなければならない。

b) 植物と一体化させるとともにシートの弱点－隙間－を排除するための土砂充填工

流速低減効果を活用して侵食防止を行うシートは、敷設した地面ときっちり密着しないで隙間が生じると、隙間に沿って侵食発生限界より高流速の流れが発生し、その結果として隙間に面した地面の侵食が進行する危険性がある。そのような隙間の排除のために本工法では、**写真-1.2** に示したように、シート内に土砂を充填するとともに、植物を繁茂させることで、隙間発生の防止を行うこととしている。隙間の発生原因として以下の2種類が考えられる。

①施工時に形成される隙間。例)シートを敷設する地面は、シートと密着するように凹凸が無いようにあらかじめ整形する必要があるが、完全を期するのは施工管理上、かなり難しい。その結果として、部分的にではあるが、隙間が形成される。

②洪水流を受けている最中に生じる隙間。例)シートは約1m間隔で打設するピンによって地面に固定することになっているが、ピンが打設されていない場所では揚力によりシートが持ち上げられて隙間が形成される懸念がある。

①のような隙間は、シートへの土砂充填を実施する際に、シート下の隙間にも土砂が到達するように充填を行うことで埋める。また、②のような隙間の発生防止は、シート上に繁茂した植物の根茎がシート下の地中にまで達して、この根茎がピンと同等の機能を果たすことにより達成される。このように根茎を発達させるためにも、シート内に土砂を充填する必要がある。以上の理由により、**写真-1.2** に示したようにシート内に土砂を完全に充填することが、侵食防止効果を発揮させるために必要不可欠である。

c) 損傷防止と耐久性の確保のためのシート埋設

熱可塑性樹脂を主素材としたシートは、石やコンクリートに比較すれば一般に強度が小さく、また耐久性も劣る。堤防にシートを敷設すると、植生管理のために自走式の草刈り・集草機を走行させたり、また好ましくないことであるが自動車がのり面に乗り上げるなどによって、シートに力が加わって破損することが懸念される。また、日射への暴露はシートを特に急速に劣化させる原因となり、極力避けねばならない。

実物の草刈機や自動車を用いた実験によると、シートにしっかり土砂が充填してあり、かつシートが土砂に被覆されていれば、繰り返し走行(草刈り機の場合にはさらに旋回)を行っても損傷が生じないこと、それは数回程度なら重機の走行に対しても同様であることが明らかとなっている[1)]。また、シートを土砂で覆い隠すことで、植物の葉・茎とともに日射へ暴露するのを防ぐだけでなく、温度変化など外気の厳しい環境変化をある程度緩和し、それに伴うシートの劣化が防止されることが期待できる。

シートの耐用期間を延ばし、また損傷の防止とその修繕の手間を軽減するために、シートを土砂で覆い隠さなければならない。ただし、根茎が比較的に密に伸長する深さ以上に土層厚を大きくすると、b)に示したようなシートと植物の一体性が得られない。したがって、土層は適度な厚さ、目安としては1～3cm程度(シート厚さと同程度)にしなければならない。

(4) シートの耐久性、強度を保持するための維持管理・修繕

維持管理は、(3)b),c)のようにシートに土砂が充填され、かつ覆い隠された状態を維持するために行う。また、修繕は供用期間中に何らかの理由で設計で期待した耐侵食力が得られなくなった範囲のシートを取り除くとともに新たなシートに張り替えることで、耐侵食力を維持するために行う。

シートを覆い隠す土層は、(3)に示したようにシートの耐久性を維持するために不可欠である。しかしその厚さは、シートへの根茎の通根性を考慮して、シート厚さ程度と小さくしたので、植物の繁茂密度が小さい場所などでは土砂が流失し、露出することが懸念される。そのような場所を重点対象箇所として維持管理を行うこととしている。また、シートはコンクリートのように、強度・耐久性・耐燃焼性が優れておらず、人力で切断が可能であり、またたき火に曝せば燃焼する(土中に埋設していない場合)。これらを補うため、露出した期間が長く既に劣化していた、または何らかの理由で切断、燃焼していた場合、補修を行うこととしている。

(5) シートの撤去

新たなシートに張り直す必要が生じた場合や安全性などの観点でシート工法をとり止める場合には、既設シートを撤去しなければならない。

耐用期間を過ぎたシートの張り替えなど、様々な理由によりシートを撤去する場合がある。しかし、シートの強度が小さい場合にはシートを撤去する際にシートが小片化してしまい、小片が土中に散乱して回収が実作業上かなり非効率になることが懸念される。回収をあきらめて土砂ごと撤去、処分するとなると(河川環境上などの理由で、小片を多く混入した状態のまま放置することはできないとの前提での判断)、産廃処理の量が土の分だけ増え、費用的観点で問題が生じると予想される。したがって、撤去時にも小片化しない程度の強度をシートに持たせておくことが望まれよう。そのため、劣化が進んで上記の強度を下回る(つまり耐用期間が過ぎる)直前に交換しなければならない。

1.3 シート工法の適用範囲と留意事項

シートには、その侵食防止機構に起因する適用範囲がある。また、**1.2** に示したシートの構成・素材・使用形態を満たすための留意事項もある。それらについて以下にまとめて示す。

(1) 適用範囲

●**図-1.1** に示すように地面とほぼ平行な主流速分布となる流れ場であるときのみ、シートによって侵食外力(流速)の低減が可能である。侵食外力の低減が困難である地面に衝突するような流れ場となる場所(例えば、堰など横断構造物下流の段落ち流れ部)、浸透流の浸出地点での侵食防止、雨滴や波による侵食の防止などへは基本的に適用できない。

●シート内への土砂充填と草本植物の繁茂が不可能な場所へは適用できない。そのような場所として河床表層の主構成材が礫である場所、平水時においても水面下となる場所などが挙げられる。

●シート敷設範囲より上流側の範囲においても、何らかの侵食防止措置が必ず行われていること

最初の2項目は、シートが **1.2** に示したように侵食防止効果を発揮できる前提条件であり、その条件に基づいてシート工法は開発されている。上記を満たす場所にのみ適用することを遵守しなければならない。

また、シートはその敷設範囲より上流側で侵食が進み、それが敷設範囲上流端に及ぶと全く侵食防止効果を発揮できなくなるという危険性が高い。例えばコンクリート護岸では、その構造が強固でかつ重量があるため、その上流側で侵食が生じても被災しないで侵食防止効果を発揮し続けることができる場合がある。シートにはそのような強固さがないため、侵食の進行に伴って上流端から下流側に向かってシートが徐々にめくれ上がっていくというプロセスで被災範囲が拡大しやすい、つまり脆いと考えられる。したがって、脆さをカバーするために、シート敷設範囲より上流側でも必ず何らかの手段(植生または他の侵食防止工)で侵食防止が行われている場合にのみ適用すること。

(2) 留意事項

シートは現時点では熱可塑性樹脂(例えばポリプロピレン、ポリエステル、ポリエチレン、塩化ビニリデンなど)を主素材としている。以下に示す留意事項はそのような主素材の一般的特徴に基づいて挙

げたものである。したがって、主素材の変更や改良によって改善が可能である。

●シートの露出頻度が高い場所への適用は控えること

植生の耐侵食力のみでは侵食防止が不可能になると、シートが地表面上に洗い出されて侵食防止効果を発揮する。その後、シートを露出したままで放置しておくと、熱可塑性樹脂には紫外線に暴露すると劣化しやすい性質があるため、シートの劣化を早める原因となる。劣化対策として、カーボンブラックなどで暗色に着色するが、それでも完全に改善されるには至っていない。そのため、維持管理の一環としてシートを埋め戻すことで、できるだけ暴露する時間を減じる必要がある。このような維持管理を多くの回数行うことができるならば、シートの露出頻度が高い場所(つまり植物の耐侵食力を上回るような侵食外力が作用する出水の発生頻度が高い場所)への設置ができる。ただし、シートは「植物の耐侵食力を補強する」ことをコンセプトとしている。このコンセプトに対して、植物の耐侵食力を上回る侵食外力が頻繁に作用する場へのシート設置というのはやや無理がある(そもそもそういう場所には植生は密に繁茂しにくい)。そのことも考慮すると、露出した状態で長期間放置できるような耐久性が得られるまでは、適用を控えるべきである。以上を考慮して、耐久性の問題が解決されるまでは、流速が4(m/s)以上になる場所での使用を控えるのがよい。

●シートを敷設した地面上での焼きシバや集草焼却などといった燃焼を行うのは控えること

熱可塑性樹脂は燃焼しやすく、シートが燃焼して穴が開くのを防止するためである。シートは土中に埋めて使用しているので露出していなければ、簡単には燃焼しない。しかし、燃焼しないにしても、高温が加わることでの劣化も生じることが懸念される。したがって、露出部を誤って焼却したり、劣化を促進させないためにも、シート上での燃焼を控えるべきである。一般的には刈り取り、集草、搬出によって植生管理を行うものとする。

●安全性確保への対応をあらかじめはっきりさせておくこと

熱可塑性樹脂を素材とするシートから有害物質が発生する(燃焼した場合など)、シートの構成材が魚や鳥などの動物に摂取される危険性などの問題について指摘を受ける可能性がある。さらに最近、環境ホルモン(外因性内分泌撹乱化学物質)の問題が大きく取り上げられているところであり、これに関連した問題が生じることも懸念されている。以上のような有害性に関する問題に対しては、以下のような対応を基本とすること。

★基本対応方針

侵食防止シートを用いた河岸・堤防処理は、侵食に対する河岸・堤防の安全確保を周辺環境へのインパクトを最小限に留めつつ達成することを可能にし、水際環境の改善にとって、有効手段となることが期待される。他方、上記シートの素材自体が周辺環境に与える影響について十分考慮されなければならない。この点につき侵食防止シートの利用にあたっては、以下のように対応することを基本とする。

1. シートの素材としては、「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」に基づいて安全性が確認されている化学物質およびそれら化学物質から造られた物質のみを用いる。また、シートの主材料については事前に調査を行う。
2. 環境庁が公表した内分泌撹乱作用が疑われる化学物質(いわゆる環境ホルモンと疑われている物質(例えば参考文献 4))が含まれているか、含まれている場合にはその物質名と含有量および水への溶出量について事前に調査を行う。
3. 燃焼時に発生するガスの成分とその有害性について事前に調査を行う。
4. シートを敷設した場所においては、水質および土壌について追跡調査を行う。
5. 有害物質に係る国の基準を満たさないなど、素材の安全性に問題があると判断される調査結果が得られた場合には、シートの撤去を行うとともに、その原因を究明する。
6. 上記1～5の調査結果については公開する。

1.4 シート工法の活用手順

シート工法の適用を検討するにあたっては、シートの特性や適用範囲･留意事項を理解した上で、他の侵食防止工(植生のみの場合も含める)と耐侵食力、環境保全機能、コスト、維持管理･修繕など総合的に比較して、設置個所に最適の工法であることを確認すること。つぎに、設置個所の特徴を考慮してシートの選定、設計、施工を行うことが望ましい。

本書では、シート工法の活用にあたって検討すべき項目および参考資料を、以下のように分けて示すこととした。

(1) 計画･設計(第2章)

多種類の侵食防止工法(植生のみの場合も含める)の中からシート工法を選定するにあたって最低限検討しておくべき項目、また性能の異なる複数のシートの中から設置個所の特徴を考慮して最適なシートを選定するためのポイントを示す。

(2) 施工法(第3章)

設置個所にシートをどのように配列させて敷設するか、施工に必要な機材、シート工法に特有の工程である敷設工と土砂充填工、施工管理などについて、シートの耐侵食力を正常に発揮させることができるように実施するためのポイントを示す。

(3) 維持管理･修繕(第4章)

シートの耐侵食力および耐久性を維持するために実施する維持管理および修繕の方法、留意点を示す。

(4) 撤去工(第5章)

土中からシートを効率よく回収･撤去するとともに、シートの小片が土中に残留しないようにするためのポイントを示す。

(5) 施工事例(第6章)

特に(1),(2)の検討にあたって参考資料となることを期待して、シート工法の開発研究中に実施した施工事例を紹介する。

本書は、括弧書きしたように上記の順に項目をならべて構成している。

2. 計画・設計

2.1 侵食防止工法の選定

多自然型川づくりを行うようになってますます多くの工種が実用に供せられるようになった。その中から設計対象とした設置個所に適した工種を選定するにあたっては、設置個所の侵食外力の大きさ、防御の重要性(後背地の人口や開発の程度なども勘案して、その設置個所の被災が水域全体の防災に与える影響の大きさ)、環境保全の必要性、コストなど多岐に渡る項目について総合的に比較・検討することを要する。ここでは、そのような選定作業において、シート工法について特に考えておくべき事項についてまとめて示す。

(1) 適用範囲・留意事項を満たすこと

1.3 に示した内容を理解し、これらを満たす場所であるかまず検討しなければならない。

(2) 適用限界は流速 4(m/s)、勾配 1/300 以下である

現時点で開発されているシートの適用限界である。適用箇所の代表流速および水面勾配が上記を上回る場合には適用できない。

(3) 堤防のり面には最適の工法である

シート工法は、堤防のり面を主たる適用箇所と想定して開発されている。その他、侵食防止効果も期待して植生を繁茂させることを考えている設置個所には、シート工法の適用も良い場合が多いと思われる。

(4) シートに充填する土砂として砂質土が用意できる

シートに充填する土砂には、充填後に粘着力を発揮し、侵食防止効果を高めることを期待して、砂質土(シルト・粘土の含有率が 15～50%)を用いることとしている。そのような土砂が設置個所の周囲から安価に入手できることが求められる。

2.2 シートの選定

シートは、その構造、素材、構成材の太さなどによって、侵食防止効果を始め、強度、耐久性などが異なる。**表-2.1** に各要求性能に対する試験結果を示す共同研究で開発した 11 種類のシートを例にして、設置個所の特徴に応じて、適切なシートを選定するためのポイントを以下に列挙する。なお試験方法の詳細については**表-2.2** および「性能試験・評価法の手引き」(第 2 編)、試験法および評価基準設定の基となった考え方・実験データについては共同研究報告書[1)]を参照されたい。

(1) 耐侵食性

例えば「護岸の力学設計法 [2)]」に示されている手法によって、設計対象とした規模の出水時における設置個所近傍の平均流速(代表流速)、設計水深を評価する。それらの値が**表-2.1** に示した適用範囲に含まれるシートから選定する。

(2) 土砂充填性

シートの施工において最も労力を要するのが土砂充填である。土砂充填工法については、**3.9** に詳細を示すが、今後の改良・工夫が最も必要な工程である。そのため、現状の技術では土砂充填が困難となる場合には、土砂充填性に優れたシートを選定することを勧める。そのような場合として、1)のり勾配が 1:2 より急峻な場合、2)充填用土砂をシート設置個所まで輸送するのに圧送ポンプ(グラウトまたはスクイズポンプ)ではなく、積み込み～運搬～積み下ろしという複数工程が必要な他方法で行う場合(第 6 章:信濃川の施工事例参照)など、土砂供給が効率良く行えない条件がある場合である。

(3) 強度・加工性

シートの施工性の優劣に関わる項目である。のり勾配が 1:2 より急峻な場合など、のり面上での作業(特に敷設作業)が困難な場合には、これらの項目について優れた評価結果を得たシートを選定することを勧める。特に、シート上での作業性およびシートの重ね合わせ易さは敷設作業の容易さに直結する項目であるので、これを重視して判断するのが良い。1 ロールでの敷設面積が大きい幅広のシートを選定すると、敷設作業が容易になる(シートの重ね合わせ箇所数が減るため)場合もある。

(4) 耐久性

施工法における土砂充填工法のように、シート開発において耐久性が、今後とも改良していかなければならない重点項目である。特にシートを劣化させる主要因になると予想される耐候性については、日射に連続して約2年間暴露しても(促進暴露で4,000時間程度)所定の強度が保持できることを基準にして評価を行っている。この程度でシート開発時に開発目標耐用年数と設定した30年を満たすかは、シートを日射から覆い隠す土層がどのくらいの頻度で剥ぎ取られるか、その場合維持管理をどの程度すみやかに行えるかなどに依存する。以上を考慮すると、河川利用者の出入りが頻繁に行われる場所(例えば堤外地に公園などの施設がある範囲に近い堤防のり面)など、シートが地表面に露出しやすい条件があると想定される設置個所では、耐候性に優れたシートを選定することを勧める。また、万が一露出した状態になった際に損傷しにくいように、耐寒・耐熱性にも優れている方がよい。

(5) 耐燃焼性・燃焼ガスの有害性

耐候性と同様に、シートが地表面に露出しやすい条件があると想定される設置個所では、標記について優れたシートを選定することを勧める。

(6) 環境ホルモンの含有率および溶出しやすさ

環境ホルモンが生物に及ぼす影響は日に日に明らかになってきており、それに対する社会的関心は非常に高い。しかし、環境ホルモンについては、なお研究段階の知見が多く、またシートの開発を行っていた期間に環境基準が設けられるには至っていない。一方で環境ホルモンと疑われる化学物質を含む添加剤などにも、熱可塑性樹脂を主素材とした製品に加工する際に重要な役割がある。このような状況において、現時点ではその化学物質の利用が避けられない特別の理由がない限り、極力使用を控える努力を行う気運があるようである。今回開発したシートも基本的には上記と同じと考えている。

つまり、上記のような努力を行っても、なお環境ホルモンが含有されているシートの使用を否定することはしない。ただし、環境ホルモンの種類と含有量などについて全く情報を持たないまま使用しないこととした。そのようにした狙いは、1)複数のシート(または侵食防止工法)から一つを選定する際に、環境ホルモンの含有に関する情報が判断材料となる場合に対応するため、2)施工後に環境ホルモンに関する調査を行う際の基本データとなること、また3)将来的に環境基準化された場合に適切な対応が行える準備とすることである。

シートの場合について上記のような状況のなか、具体的にどのように判断し、選定するかは実際の利用者にゆだねざるを得ない。したがって、**表-2.1** に示した試験結果と **1.3** に示した基本対応方針を参考にして、各設置個所に最適なシートを選定していただきたい。

なお、特に環境ホルモンについて留意する必要がある場合には、**表-2.1** に示された値は、いつもその値のとおり製造されていることを保証するものではなく、含有する物質名とその量のオーダーを示した参考データであることに注意されたい(理由については共同研究報告書[1]の第8章を参照のこと)。この程度の概略なデータでは、シートの選定が行えない場合には、再度、「実際に使用する予定のシートそのもの」に対して含有量および溶出量試験を行ってより正確な測定値を明らかにする必要がある。その試験法としては、**表-2.2** および「性能試験・評価法の手引き」(第2編)に示された方法を参考にされたい。

表-2.1　侵食防止シートの性能試験結果（その 1）

試験の種類	試験項目	測定項目		ヘチマ				ネット			編み物		織物		備考
				熔着タイプ			接着	織り曲げ		袋詰め	直線	ハニカム	波形	ﾃｰﾌﾟ材編み付け	
				A-1-F	A-2-F	A-3-F	B-F	A-4-3F	A-4-5F	A-8-F	C-1-F	C-3-F	D-1-F	D-3-F	
1. 耐侵食性	1.1　基本構造	構成材経　(mm)		0.77	1.08	0.68	0.62	0.97	0.97	0.36	0.29	0.30	0.58	1.89	
		厚さ　(mm)		27.3	26.2	26.8	38.9	23.6	28.9	17.0	35.0	32.1	22.9	12.9	
		比重		0.954	1.325	0.927	1.574	0.946	0.946	0.836	1.372	1.391	1.001	0.608	
		目付　(gf/m^2)		1164.8	2576.6	1876.7	1667.7	1067.5	2027.5	1433.4	858.2	1698.6	939.4	701.0	
		空隙率　(%)		95.53	92.58	92.45	97.28	95.22	92.58	89.91	98.21	96.20	95.90	91.07	
	1.2　抵抗特性	$C_{n\infty}$		0.782	0.708	0.391	0.385	1.253	0.764	0.086	0.318	0.244	1.021	2.120	
		γ		8.60	9.53	6.21	8.25	22.67	21.36	2.20	1.61	5.73	7.87	42.58	
	1.3　耐侵食性	限界流速(m/s) 白抜きの数字は適用水深(m)	2.0	1.0～2.5			1.0～2.0	1.0～1.5		1.0～1.5	1.0～2.0		1.0～1.5	1.0～1.5	
			2.5	～9.0	1.0～3.0	1.0～1.5	～5.5	～4.5	1.0～2.5	～5.5	～6.5		～4	～6.5	
			3.0	～10 以上	～9.0	～4.0	～10 以上	～10 以上	～6.5	～10 以上	～10 以上	1.0～2.0	～10 以上	～10 以上	
			3.5		～10 以上	～10 以上			～10 以上			～4.5			
			4.0									～10 以上			
2. 土砂充填性	2.1　ｼｰﾄ内への充填性	1枚充填試験	評価	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	※括弧内は充填ﾊﾟﾀｰﾝまたは隙間の大きさ
		2枚充填試験	1回目充填深(cm)	53.0	26.0	26.0	36.3	33.0	30.0	47.3	38.3	32.0	32.7	8.0	
			2回目充填深(cm)	-------	29.0	26.0	50.0	43.7	31.3	47.3	61.0	32.0	35.7	8.0	
			評価	A'	C	C	C	C	C	A	C	C	C	C	
	2.2　不陸部充填性	シート重複部	評価	A	A	C	A	A	A	C	A	C	A	B	
		不陸部の隙間	評価(ﾊﾟﾀｰﾝ)	A(Bﾊﾟﾀｰﾝ)	B(Bﾊﾟﾀｰﾝ)	C(隙間4cm)	B(Bﾊﾟﾀｰﾝ)	B(Cﾊﾟﾀｰﾝ)	B(Cﾊﾟﾀｰﾝ)	C(隙間4cm)	A(Bﾊﾟﾀｰﾝ)	A(Aﾊﾟﾀｰﾝ)	C(隙間4cm)	A(Aﾊﾟﾀｰﾝ)	
3. 強度	3.1　耐損傷性	引っ掛け強度	長手方向(kgf)	41.5	15.0	21.5	17.1	35.0	39.0	28.0	90.5	27.1	85.3	21.0	
			幅方向(kgf)	32.6	16.0	20.3	17.2	58.0	43.0	32.8	80.6	26.5	97.3	18.6	
			評価	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合	
	3.2　伸びに対する復元性	長手方向	伸長回復率	100.0	104.7	100.0	101.0	100.0	100.0	100.7	101.6	※変化無し	※変化無し	101.7	※変化無し、および※99%は測定値が示されていない
			厚さ回復率	99.6	96.1	99.7	97.7	※変化無し	※変化無し	94.7	99.6	※変化無し	※変化無し	99.7	
			評価	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合	
		幅方向	伸長回復率	101.7	105.7	100.0	100.7	100.0	100.0	100.3	100.4	※変化無し	※変化無し	101.3	
			厚さ回復率	98.8	96.7	99.6	96.3	※99%	※99%	98.3	99.8	※変化無し	※変化無し	99.7	
			評価	合	否	合	合	合	合	合	合	合	合	合	
	3.3　圧縮に対する復元性	圧縮復元率	載荷時間30sec	95.0	96.0	92.4	92.4	94.0	94.0	91.2	91.0	100.0	90.0	85.9	※耐侵食力の評価では85%としているので、施工時に注意することを条件に使用を認める
			1hr	89.0	90.0	82.8	90.0	58.0	62.0	76.9	92.0	98.4	74.0	59.0	
			24hr	72.0	69.0	64.3	66.3	32.0	36.0	68.5	61.0	95.2	60.0	41.2	
			評価	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合	※否	
	3.4　耐衝撃性	長手方向	1回目	A	D	A	A	B	B	A	B	A	A	B	
			2回目	C	D	A	A	B	C	B	A	A	A	B	
			評価	C	D	A	A	B	C	B	B	A	A	B	
		幅方向	1回目	A	B	A	A	B	B	A	A	A	A	B	
			2回目	C	B	B	A	A	C	A	A	A	A	B	
			評価	C	B	B	A	A	C	A	A	A	A	B	
4. 加工性	4.1　敷設･固定作業性	端部処理性	評価*	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	*試験施工での作業性、ごく類似したﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟｼｰﾄを参考に評価
		ピンによる固定性		A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
		ｼｰﾄ上での作業性		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	4.2　ｼｰﾄの重ね合わせ易さ	自重に対する伸長しにくさ	伸び率(%)	101.5	102.0	100.0	101.0	100.5	100.0	100.0	101.3	102.8	101.7	100.2	
			評価	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

表-2.1　侵食防止シートの性能試験結果(その2)

試験の種類	試験項目	測定項目		ヘチマ				ネット			編み物		織物		備考
				熔着タイプ			接着	織り曲げ		袋詰め	直線	ハニカム	波形	ﾃｰﾌﾟ材編み付け	
				A-1-F	A-2-F	A-3-F	B-F	A-4-3F	A-4-5F	A-8-F	C-1-F	C-3-F	D-1-F	D-3-F	
5.耐久性	5.1　耐候性	屋外暴露試験 強度保持率(%)	2ヶ月	120.6	106.3	102.7	104.1	84.5	107.0	99.4	99.8	105.3	133.1	88.7	
			4ヶ月	126.1	100.0	111.4	115.7	70.7	97.7	100.6	99.4	99.6	130.1	98.4	
			8ヶ月	116.0	96.9	98.1	154.1	67.2	102.3	109.8	94.0	97.4	126.6	89.8	
			12ヶ月	129.8	93.8	101.7	102.3	67.2	86.0	83.5	81.1	93.6	139.8	88.2	
		促進暴露試験 強度保持率(%)	400hr	89.6	118.8	103.3	123.3	65.5	81.4	77.1	92.2	103.0	117.4	101.6	
			1000hr	94.2	109.4	95.0	104.7	60.3	83.7	88.7	73.1	105.7	97.1	84.4	
			2000hr	84.7	87.5	94.6	194.2	67.2	81.4	77.4	80.3	84.9	91.5	81.2	
			4000hr	105.8	90.6	81.1	168.6	65.5	79.1	84.5	75.8	81.1	91.5	81.7	
		引っ掛け強度(kgf)	4000hr	34.5	14.5	16.5	29.0	38.0	34.0	27.7	61.1	21.5	89.0	15.2	
		評価		A	C	B	C	C	C	B	C	B	A	B	
	5.2　耐水・耐薬品性	pH=7	引っ掛け強度(kgf)	36.5	19.5	22.9	18.4	46.0	38.0	33.3	83.4	33.1	131.5	16.4	
			強度保持率(%)	112.0	121.9	113.0	107.0	79.3	88.4	101.5	103.5	124.9	135.1	78.1	
			評価	B	C	B	A	C	B	A	A	C	C	C	
		pH=2	引っ掛け強度(kgf)	35.9	13.0	22.5	16.5	50.0	41.0	30.9	83.2	28.6	143.7	15.3	
			強度保持率(%)	110.1	81.3	110.6	95.9	86.2	95.3	94.2	103.2	107.9	147.7	72.9	
			評価	B	C	B	A	B	A	A	A	A	C	C	
		pH=12	引っ掛け強度(kgf)	37.9	11.0	20.0	20.7	48.0	45.0	28.0	75.6	30.1	138.6	16.1	
			強度保持率(%)	116.3	68.8	98.4	120.3	82.8	104.7	85.4	93.8	113.6	142.4	76.7	
			評価	B	C	A	C	B	A	B	A	B	C	C	
	5.3　耐寒・耐熱性	-20℃	引っ掛け強度(kgf)	60.1	18.0	24.5	15.1	49.0	47.0	51.0	83.5	27.0	88.3	21.7	
			強度保持率(%)	184.4	112.5	120.7	87.8	140.0	120.5	155.5	103.6	101.9	97.9	103.3	
			評価	C	B	C	B	C	C	C	A	A	A	A	
		+70℃	引っ掛け強度(kgf)	40.8	17.5	20.0	15.8	20.0	19.0	15.3	88.6	23.3	81.9	8.7	
			強度保持率(%)	125.2	109.4	98.3	91.8	57.1	48.7	46.6	109.9	87.9	90.7	41.4	
			評価	C	A	A	A	C	C	C	A	B	A	C	
	5.4　耐土壌性	強度保持率(%)	3ヶ月	114.1	100.0	112.6	165.7	63.8	107.0	98.5	123.4	115.1	103.0	98.9	
			6ヶ月	123.3	100.0	107.6	116.9	79.3	107.0	99.1	123.6	112.1	96.9	91.9	
			9ヶ月	117.2	100.0	114.8	120.3	86.2	118.6	96.3	132.4	93.6	107.8	85.5	
		引っ掛け強度(kgf)	9ヶ月	38.2	16.0	23.3	20.7	50.0	51.0	31.6	106.7	24.8	104.9	15.9	
		評価		B	A	B	C	B	B	A	C	A	A	B	
6.安全性	6.1　解れ易さ	評価		解れにくい	解れやすい	解れにくい	解れにくい	解れにくい	解れにくい	解れにくい	解れにくい	解れやすい	解れにくい	解れにくい	
	6.2　耐燃焼性	全厚さ充填	評価	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	
		半分充填	評価	B	A	D	A	A	A	A	D	B	D	B	
	6.3　燃焼ガスの有害性	CO	評価	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	特に注意を要さない(基準を満たす)	注意(基準を越える)	特に注意を要さない(基準を満たす)		特に注意を要さない(基準を満たす)	注意(基準を越える)	特に注意を要さない(基準を満たす)	特に注意を要さない(基準を満たす)	特に注意を要さない(基準を満たす)	試験結果については別表-1,2、基準については別表-3,4を参照
		NO_2		注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	特に注意を要さない(基準を満たす)	注意(基準を越える)		特に注意を要さない(基準を満たす)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	
		SO_2		注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)		注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	注意(基準を越える)	
		HCN		特に注意を要さない(検出限界以下)	特に注意を要さない(検出限界以下)	特に注意を要さない(検出限界以下)	特に注意を要さない(検出限界以下)	特に注意を要さない(検出限界以下)		特に注意を要さない(検出限界以下)	特に注意を要さない(検出限界以下)	特に注意を要さない(検出限界以下)	特に注意を要さない(検出限界以下)	特に注意を要さない(検出限界以下)	
		HCℓ		----------	----------	----------	注意(検出された)	----------		----------	----------	----------	----------	----------	
		ダイオキシン類		特に注意を要さない(基準を満たす)	特に注意を要さない(基準を満たす)	特に注意を要さない(基準を満たす)	注意(大気基準以上、焼却炉基準以下)	注意(大気基準以上、焼却炉基準以下)		注意(大気基準以上、焼却炉基準以下)	特に注意を要さない(基準を満たす)	特に注意を要さない(基準を満たす)	特に注意を要さない(基準を満たす)	特に注意を要さない(基準を満たす)	
	6.4　環境ホルモンの含有率	シート単位質量あたりの含有量		試験実施時点で適用可能な基準がなかったので評価を行っていない											試験結果については別表-5,6を参照
	6.5 環境ﾎﾙﾓﾝの溶出しやすさ	単位質量あたりのシートからの溶出量		試験実施時点で適用可能な基準がなかったので評価を行っていない											
その他	主素材			PE+PET	PET	PP+ｴﾗｽﾄﾏｰ	PVDC	PP+ｴﾗｽﾄﾏｰ	PP+ｴﾗｽﾄﾏｰ	PP	PET	PET	PP(+PET)	PP+PE	

素材の凡例)PP:ポリプロピレン、PE:ポリエチレン、PET:ポリエステル、PVDC:ポリ塩化ビニリデン　　準主素材は括弧書きとした

別表-1 燃焼ガスに関する試験結果

タイプ			ヘチマ				ネット		編み物		織物	
シート名			A-1-F	A-2-F	A-3-F	B-F	A-4-5F	A-8-F	C-1-F	C-3-F	D-1-F	D-3-F
炭酸ガス		(CO_2)	244	399	92	769	107	68	523	436	261	135
一酸化炭素		(CO)	303	266	122	322	149	165	281	267	180	171
炭化水素ガス	メタン	(CH_4)	155	111	179	124	185	102	443	161	337	140
	エチレン	(C_2H_4)	27.3	12.1	7.0	<1	16.0	13.2	13.5	5.8	15.8	11.6
	エタン	(C_2H_6)	2.6	<1	<1	<1	2.0	2.1	1.3	<1	1.4	1.4
	プロピレン	(C_3H_6)	14.7	2.8	21.4	<2	36.7	31.3	3.0	<2	32.6	20.2
	プロパン	(C_3H_8)	2.5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	イソブタン	(C_4H_{10})	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
	ノルマルブタン	(C_4H_{10})	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
アルデヒド類	ホルムアルデヒド	(HCHO)	1.7	3.2	0.6	1.5	2.2	0.7	0.9	3.4	1.5	1.5
	アセトアルデヒド	(CH_3CHO)	0.4	0.9	<0.5	1.2	<0.5	<0.5	3.0	0.5	<0.5	<0.5
塩化水素ガス		(HCl)	-	-	-	690	-	-	-	-	-	-
塩素ガス		(Cl_2)	-	-	-	<1	-	-	-	-	-	-
シアン化水素ガス		(HCN)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
窒素酸化物		(NO_2)	0.10	0.16	0.09	0.01	0.13	0.03	0.12	0.05	1.0	0.36
硫黄酸化物		(SO_2)	1.9	1.5	1.3	1.6	1.7	0.6	1.2	0.5	4.8	2.8
ダイオキシン類	ダイオキシン		0.068	0.050	0.035	4.2	0.058	0.071	0.097	0.031	0.062	0.046
	ジベンゾフラン		0.11	0.15	0.032	8.2	0.14	0.095	0.15	0.11	0.093	0.068
	コプラナーＰＣＢ		1.1	0.94	0.090	0.85	0.47	0.36	0.68	0.5	0.42	0.26
ダイオキシン類　合計			1.3	1.1	0.16	13	0.67	0.53	0.93	0.62	0.58	0.37

備考1: 単位について、ダイオキシン類は単位体積あたりのガスに含まれる質量(ng／m^3)
それ以外は単位質量あたりのシートからの発生する質量(mg/g)

備考2: 表中の < 印は、定量下限値以下を示す。

別表-2 燃焼ガスに関する試験結果(ダイオキシン類)

タイプ		ヘチマ				ネット		編み物		織物	
シート名		A-1-F	A-2-F	A-3-F	B-F	A-4-5F	A-8-F	C-1-F	C-3-F	D-1-F	D-3-F
ダイオキシン類	ダイオキシン	<0.01	<0.01	<0.01	43.00	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	ジベンゾフラン	<0.01	<0.01	<0.01	110.00	1.00	0.90	0.50	<0.01	<0.01	<0.01
	コプラナーＰＣＢ	0.14	0.11	<0.01	0.10	0.05	0.04	0.08	0.05	0.04	0.03
ダイオキシン類　合計		0.14	0.11	<0.01	153.10	1.05	0.94	0.58	0.05	0.04	0.03

備考: 単位(pg-TEQ／m^3):ダイオキシン類のうち最も毒性の強い2,3,7,8-四塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(2,3,7,8-TeCDD)と毒性が等しくなるように濃度換算した値

別表-3 環境基準

分析結果(ppm)	ヘチマ				ネット		編み物		織物	
	A-1-F	A-2-F	A-3-F	B-F	A-4-5F	A-8-F	C-1-F	C-3-F	D-1-F	D-3-F
窒素酸化物(NO_2)	0.09	0.26	0.07	0.01	0.07	0.02	0.20	0.09	0.58	0.33
硫黄酸化物(SO_2)	0.82	1.2	0.47	0.89	0.49	0.18	0.96	0.51	1.3	1.2
一酸化炭素(CO)	31	27	8.6	27	11	13	28	17	17	13
環境基準	基　準　値									
窒素酸化物(NO_2)	1 時間値の 1 日平均値が 0.04～0.06ppm 内、またはそれ以下であること。									
硫黄酸化物(SO_2)	1 時間値の 1 日平均値が 0.04ppm 以下であり、かつ 1 時間値の平均値が 0.1ppm 以下であること。									
一酸化炭素(CO)	1 時間値の 1 日平均値が 10ppm 以下であり、かつ 1 時間値の 8 時間平均値が 20ppm 以下であること。									

別表-4 環境基準(ダイオキシン類)

基準の種類		排出基準値
環境大気中の環境基準		0.6(pg-TEQ/m^3)
廃棄物焼却炉の排出基準	大型:焼却能力 4,000(kg/hour)以上	1(ng-TEQ/m^3)
	中型:焼却能力 2,000～4,000(kg/hour)	5(ng-TEQ/m^3)
	小型:焼却能力 2,000(kg/hour)未満	10(ng-TEQ/m^3)

別表-5 環境ホルモンの含有量試験結果

●含有量試験

タイプ	シート名	4-n-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ	4-t-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ	ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ	ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-n-ﾌﾞﾁﾙ	ﾌﾀﾙ酸ﾌﾞﾁﾙﾍﾞﾝｼﾞﾙ	ｱｼﾞﾋﾟﾝ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ	環境ホルモン使用に関する事前調査
下限値		5	5	15	1.0	10	10	10	10	----------
ブランク		ND	ND	7.5	0.85	9.2	20	ND	13	
ヘチマ	A-1-F	ND	ND	58	1.4	2500	500	ND	41	なし
	A-2-F	ND	ND	ND	ND	420	10	ND	11	不明
	A-3-F	ND	ND	110	1.6	800	750	ND	64	ﾌﾀﾙ酸ｴｽﾃﾙ(3.8ppm)
	B-F	ND	ND	210	27	2000	280	ND	3800	なし
ネット	A-4-3F	ND	17	35000	6	960	740	ND	140	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ (1ppm以下)
	A-4-5F	ND	ND	13000	3.5	340	390	ND	62	
	A-8-F	ND	ND	80	7.0	550	2500	ND	200	
編み物	C-1-F	ND	ND	99	64	2500	480	ND	580	なし
	C-3-F	ND	ND	16	2.3	700	140	ND	41	不明
織物	D-1-F	ND	ND	160	49	49000	620	ND	68	ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ(150μg/kg)
	D-3-F	ND	ND	64	2.1	1300	640	ND	290	なし

備考1: 単位(μg/kg)：シートの単位質量あたりの含有量

備考2: ND：検出下限値以下

t.r：ブランクより小さい値となった

()：検出下限値以下であったが、値が測定された場合(その値を括弧内に示した)

備考3: 包装プラスチック用試験法によって試験を行った。

別表-6 環境ホルモンの溶出量試験結果(付着量)

●付着量試験

タイプ	シート名	4-t-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ		ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ		ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA		ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ		ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-n-ﾌﾞﾁﾙ		ｱｼﾞﾋﾟﾝ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ	
ヘチマ	A-1-F	-	(-)	ND	(0)	0	(0)	ND	(0)	ND	(0)	25	(62)
	A-2-F	-	(-)	-	(-)	-	(-)	20	(5)	20	(172)	ND	(0)
	A-3-F	-	(-)	ND	(0)	0	(0)	40	(5)	20	(3)	9	(13)
	B-F	-	(-)	ND	(0)	0	(0)	ND	(0)	ND	(0)	6	(0)
ネット	A-4-3F	0	(0)	8	(0)	2	(36)	20	(2)	10	(2)	ND	(0)
	A-4-5F	-	(-)	ND	(0)	0	(0)	20	(5)	10	(3)	12	(20)
	A-8-F	-	(-)	ND	(0)	3	(48)	20	(3)	30	(1)	6	(3)
編み物	C-1-F	-	(-)	ND	(0)	0	(0)	50	(2)	ND	(0)	3	(0)
	C-3-F	-	(-)	ND	(0)	2	(95)	20	(3)	40	(28)	22	(54)
織物	D-1-F	-	(-)	ND	(0)	2	(5)	190	(0)	50	(8)	7	(11)
	D-3-F	-	(-)	ND	(0)	4	(201)	40	(3)	20	(4)	4	(1)

備考1: 単位(μg/kg)：シートの単位質量あたりからの溶出量、括弧内の数値は溶出率(%)(溶出量/含有量×100)

備考2: ND：検出下限値以下

*：含有量がt.rの場合、含有量を250(μg/kg)（検出下限値)と仮定して算出した。

別表-6 環境ホルモンの溶出量試験結果(pH=2)

●pH=2溶出量試験

タイプ	シート名	4-t-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ	ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ	ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-n-ﾌﾞﾁﾙ	ｱｼﾞﾋﾟﾝ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ
ヘチマ	A-1-F	- (-)	ND (0)	ND (0)	100 (4)	210 (42)	60 (146)
	A-2-F	- (-)	- (-)	- (-)	ND (0)	ND (0)	10 (91)
	A-3-F	- (-)	ND (0)	ND (0)	100 (13)	170 (22)	15 (23)
	B-F	- (-)	ND (0)	5 (19)	50 (3)	40 (13)	85 (2)
ネット	A-4-3F	0 (0)	140.00 (0)	ND (0)	ND (0)	70 (9)	30 (21)
	A-4-5F	- (-)	80.00 (1)	ND (0)	190 (56)	80 (21)	10 (16)
	A-8-F	- (-)	ND (0)	5 (71)	20 (4)	550 (22)	25 (13)
編み物	C-1-F	- (-)	ND (0)	5 (8)	550 (22)	170 (34)	5 (1)
	C-3-F	- (-)	ND (0)	5 (217)	120 (17)	100 (71)	5 (13)
織物	D-1-F	- (-)	ND (0)	5 (10)	300 (1)	340 (54)	5 (7)
	D-3-F	- (-)	ND (0)	5 (238)	20 (1)	130 (22)	5 (2)

備考1: 単位(μg/kg)：シートの単位質量あたりからの溶出量、括弧内の数値は溶出率(%)(溶出量/含有量×100)
備考2: ND：検出下限値以下
*：含有量がt.rの場合、含有量を250(μg/kg)（検出下限値）と仮定して算出した。

別表-6 環境ホルモンの溶出量試験結果(pH=7)

●pH=7溶出量試験

タイプ	シート名	4-t-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ	ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ	ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-n-ﾌﾞﾁﾙ	ｱｼﾞﾋﾟﾝ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ
ヘチマ	A-1-F	- (-)	ND (0)	ND (0)	ND (0)	110 (22)	25 (61)
	A-2-F	- (-)	- (-)	- (-)	ND (0)	ND (0)	10 (91)
	A-3-F	- (-)	ND (0)	5 (313)	280 (35)	270 (35)	5 (8)
	B-F	- (-)	ND (0)	5 (19)	160 (8)	150 (52)	45 (1)
ネット	A-4-3F	15 (100)	180 (0)	ND (0)	150 (15)	180 (24)	5 (4)
	A-4-5F	- (-)	60 (0)	ND (0)	160 (46)	150 (37)	30 (47)
	A-8-F	- (-)	ND (0)	5 (71)	ND (0)	320 (13)	30 (15)
編み物	C-1-F	- (-)	ND (0)	5 (8)	270 (11)	210 (43)	15 (3)
	C-3-F	- (-)	ND (0)	5 (217)	170 (24)	110 (79)	5 (13)
織物	D-1-F	- (-)	ND (0)	10 (20)	350 (1)	410 (66)	5 (7)
	D-3-F	- (-)	ND (0)	5 (238)	20 (1)	140 (23)	15 (5)

備考1: 単位(μg/kg)：シートの単位質量あたりからの溶出量、括弧内の数値は溶出率(%)(溶出量/含有量×100)
備考2: ND：検出下限値以下

別表-6 環境ホルモンの溶出量試験結果(pH=10)

●pH=10溶出量試験

タイプ	シート名	4-t-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ	ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ	ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-n-ﾌﾞﾁﾙ	ｱｼﾞﾋﾟﾝ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ
ヘチマ	A-1-F	- (-)	ND (0)	ND (0)	ND (0)	370 (73)	25 (61)
	A-2-F	- (-)	- (-)	- (-)	130 (30)	20 (200)	ND (0)
	A-3-F	- (-)	ND (0)	ND (0)	30 (3)	210 (27)	ND (0)
	B-F	- (-)	ND (0)	5 (19)	90 (5)	100 (34)	25 (1)
ネット	A-4-3F	20 (133)	180 (0)	5 (81)	ND (0)	240 (32)	10 (7)
	A-4-5F	- (-)	80 (1)	ND (0)	130 (38)	90 (23)	70 (109)
	A-8-F	- (-)	ND (0)	5 (71)	160 (28)	800 (32)	80 (40)
編み物	C-1-F	- (-)	ND (0)	5 (8)	350 (14)	110 (23)	15 (3)
	C-3-F	- (-)	ND (0)	5 (217)	60 (9)	150 (107)	10 (25)
織物	D-1-F	- (-)	ND (0)	5 (10)	880 (2)	530 (85)	ND (0)
	D-3-F	- (-)	ND (0)	5 (238)	210 (17)	290 (48)	5 (2)

備考1: 単位(μg/kg)：シートの単位質量あたりからの溶出量、括弧内の数値は溶出率(%)(溶出量/含有量×100)
備考2: ND：検出下限値以下
*：含有量がt.rの場合、含有量を250(μg/kg)（検出下限値）と仮定して算出した。

表-2.2 シート試験項目・評価(その 1)

試験の種類	試験項目	測定項目	試験規格	試験の概要	評　価
1.耐侵食性	1.1 基本構造	厚さ t	JIS L 1908	円形(面積 25cm^2)のプレッサーフットで 0.7kPa の圧力を加えた状態での厚さを測定する。加圧した状態で厚さの変化が認められなくなってから(通常 30 秒以上)厚さの測定を行う(有効桁数 3 桁)。	圧力 0kPa(見かけの厚さ)も測定し、シートの圧縮変形のしやすさも確認しておく。
		構成材の代表径 d		実体顕微鏡(倍率 50 倍)による写真測定。異なる直径である複数の構成材によって構成されるシートの場合、それぞれについて測定を行う。ただし、流水抵抗となるシート部分が明確ならば、その部分を構成する構成材に対してのみ測定すればよい。	
		比重	JIS K 7112	比重を水深方向に連続的に変化させた水中に構成材を自然沈降させ、沈降が止まった水深での水の比重を構成材の比重とする。異なる比重である複数の構成材から成るシートの場合、それぞれについて測定を行う。	複数の構成材から成る場合には、シート全体の平均比重も求めること。
		目付(単位面積あたりの重量)		シートを一辺が約 0.5m の正方形に切り出し、その重量と面積を測定して、(目付)=(重量)/(面積)として算定する。	
		空隙率 λ_p		空隙率(%)=100-(目付)/(厚さ)/(平均比重)×100 として算定する。	
	1.2 抵抗特性	透過係数 K	3.5 参照	矩形管水路にシートを設置して、断面平均流速 U と動水勾配 I の関係を測定する。その結果から $K/\lambda_p = U/I^{0.5}$ として算定する。	K とレイノルズ数 $R_e(=U\cdot d/\nu)$ の関係として整理する。
	1.3 耐侵食性	限界流速 V_c		シート上が裸地であり、かつ水面勾配 1/300 とした条件で、流速およびせん断力分布を算定する予測式に基づいて、堤体土の設計耐侵食力以下となる流速として算定する。予測式が適用可であることは実験によって確認する。	限界流速は 0.5(m/s)刻みで評価する。限界流速とそれが適用できる水深の範囲との関係として評価結果を示す。
2.土砂充填性	2.1 シート内への充填性	充填深と振動回数の関係	5.2.2 参照	充填用振動装置(小型:接地圧 1,800N/m^2,接地面積 30×30cm)によって、スランプ値 25cm とした砂質土をシート(60×60cm)に充填する。充填 1 回あたり、加振時間は 5 秒、土砂量は(シート厚 t)×(シート面積の半値)とする。	A,B が合格 A:充填深>シート厚(充填 1 回) B:充填深>シート厚(充填 2 回) C:上記以外
	2.2 不陸部充填性	隙間への充填性	5.2.3 参照	シートの重ね合わせ部および地面の凹部(深さ 5cm、幅および長さ 20cm)でのシート面と地面の隙間への土砂充填性(隙間が充填した土砂で埋めることができる、またはシートが変形して隙間内に垂れ込んで隙間を埋めることができる)を確認する。	A,B が合格 A:隙間がない(充填 1 回) B:隙間がない(充填 2 回) C:上記以外

注)試験規格において「*.*.*参照」とは、共同研究報告書[1)]に試験方法などについて詳細に記載した場所を表している。

表-2.2 シート試験項目・評価(その 2)

試験の種類	試験項目	測定項目	試験規格	試験の概要	評　価
3.強　度	3.1 耐損傷性	引っ掛け強度	JIS L 1043	試験片(幅 10cm、長さ 20cm)をフック間隔 10cm、引っ張り速度 20cm/min で引っ張った際の、最大強度(kgf)を測定する	引っ掛け強度 15kgf 以上を合格とする。
	3.2 伸びに対する復元性	伸長回復率	JIS L 1096	試験片(幅 5cm、長さ 20cm)をチャック間隔 10cm、引っ張り速度 10cm/min で 50kgf/m に達するまで引っ張る。50kgf/m の引っ張り荷重を 1 分間作用させた後に、除荷して 3 分後、厚さと長さを測定する。(回復率)=(試験後の測定値)/(試験前の測定値)×100 として算定する。	厚さ回復率が 90%以上かつ伸び回復率が 105%以下を合格とする。
	3.3 圧縮に対する復元性	圧縮復元率	JIS L 1096	円形(面積 25cm^2)のプレッサーフットで 100kPa の圧力を 30 秒間加え、除荷した 1 分後の厚さを測定する。(回復率)=(試験後の測定値)/(試験前の測定値)×100 として算定する。	厚さ回復率が 90%以上を合格とする。
	3.4 耐衝撃性	剣先スコップの衝突に対する損傷程度	6.3.3 参照	平地に敷設したシート上に高さ 1m から剣先スコップ(重量約 1.7kgf)を剣先がシートに衝突するように自然落下させる。シートの長手方向および幅方向にスコップ面が平行になるように上記試験を行い、シートの損傷状況を観察する。	A,B が合格 A:損傷が認められない B:破断はないがシートが凹む C:構成材が切断するが貫通しない D:スコップが貫通する
4.加工性	4.1 敷設・固定作業性	端部処理性(折り曲げ損傷) ピンによる固定性 シート上での作業性	6.3.5 参照	幅 0.6m 程度、長さ 2m 程度のシートを 2 枚用いて、のり勾配 1:2 の斜面上に敷設・固定を行う。シートを折り曲げてもシートが損傷しないか、固定用ピンによってシートがしっかりと固定できるか、濡れた作業靴でシートに載っても滑らないか、確認する。確認する内容は以下のとおり。 端部処理性 A:損傷が認められない B:折り曲げた凸側で一部切断する D:折り曲げ部にそって完全に切断される ピンによる固定性 A:ピンを打ち込んだ孔が広がることなく、シートががたつき無く固定できる B:ピン周りでシートが浮かび上がるが固定できる D:シートがピンから容易に離脱する シート上での作業性 A:滑りにくく歩きやすい B:多少滑るが歩行に支障はない D:滑りやすく歩行するのに注意を要する	端部処理性:A が合格 ピンによる固定性、および シート上での作業性 :A,B が合格
	4.2 シートの重ね合わせ易さ	自重に対する伸長しにくさ		幅 60cm、長さ 2m のシートを片手で掴んでつり下げ、掴んだ場所からシート最下端までの距離を測定する。(伸び率)=(つり下げ時の距離)/(つり下げ前のシート長さ(2m))として算定する。	A,B が合格 A:110%以内 B:110～120% D:120%以上

表-2.2 シート試験項目・評価(その 3)

試験の種類	試験項目	測定項目	試験規格	試験の概要	評　価
5.耐久性	5.1 耐候性	引っ掛け強度の保持率 シートの形状保持性(目視による変化の有無の確認)	JIS A 1415 JIS A 1410	累積暴露時間が 2 年程度までの耐久性を評価する。屋外暴露試験(2,4,8,12 ヶ月)とキセノンアークランプ式の促進暴露試験(400,1000,2000,4000 時間)を行う。両試験の強度保持率の経時変化を比較して、4000 時間の促進暴露試験が屋外暴露試験の 2 年以上に相当することを確認する。	A,B が合格 A:90%≦保持率≦110%、かつ試験後にも引っ掛け強度 15kgf 以上であり、C のような変化が認められない B: 80%≦保持率≦120%,以下同上 C:上記以外の強度保持率および引っ掛け強度、または切断や脆性化などがシートの流水抵抗を発揮する主要部に認められた場合。
	5.2 耐水・耐薬品性		JIS K 7114	pH=2,7,12(硫酸溶液、蒸留水、水酸化カルシウム溶液)に水温 50±2℃で 250 時間浸漬した後に引っ掛け試験を行う。	
	5.3 耐寒.・耐熱性		7.2.3 参照	気温が-20℃、70℃の恒温槽内にシートを 24 時間放置し、その気温状態のまま引っ掛け試験を行う。	
	5.4 耐土壌性		7.2.5 参照	市販の腐葉土にシートを 3,6,9 ヶ月埋設した後に引っ掛け試験を行う。	
6.安全性	6.1 解れ易さ	切断面からの解れ易さ	8.1 参照	シートを切断し、切断面に位置する構成材を指で引っ張って解れ易さを確認する。	織物、編み物など構成材同士が接合されていないタイプは解れやすい。
	6.2 耐燃焼性	燃焼範囲の拡大しにくさ	JIS L 1091 一部改変	直径 10mm の球状の綿にエタノール 0.3mℓを染み込ませたものを火種とする。シート(200×275mm)に乾燥砂を厚さ半分まで、および全厚さまで埋設した状態を試験対象として、火種を載せて着火し、自然消火するまで放置する。消火後下記のように燃焼状態を分類する。 全厚さ充填:A:ほとんど燃焼しない、B:火種部のみ燃焼する、D:燃え広がる 半分充填:A:ほとんど燃焼しない、B:炭化距離が 10cm 以内、D:燃え広がる	A,B が合格
	6.3 燃焼ガスの有害性	ガス成分とその発生量	8.3.1 参照	室温から 700℃まで上昇させてシートを燃焼し、その際に発生するガスの成分と発生量を分析する。	有害性が認められる成分については環境基準と照らし合わせて安全性を判断する。
	6.4 環境ホルモンの含有量	シート単位質量あたりの含有量	8.3.2 参照	細断したシートを有機溶媒に浸漬して、環境ホルモンと疑われている化学物質を溶出させる。	現状では特になし。今後、適用可能な基準などが設定された際には、それにしたがって安全性を評価する。
	6.5 環境ホルモンの溶出しやすさ	単位質量あたりのシートからの溶出量		溶出量試験:細断したシートを pH が約 2,7,10 に調整した水に 7 日間浸漬する。 付着量試験:精製水に細断したシートを 5 分間浸漬する。	

3. 施工法

3.1 施工手順

侵食防止シートの標準的な施工手順を**図-3.1** に示す。なお、本章の構成は図中に示した手順と同じ順番で、各項目について説明を加えるようになっている。

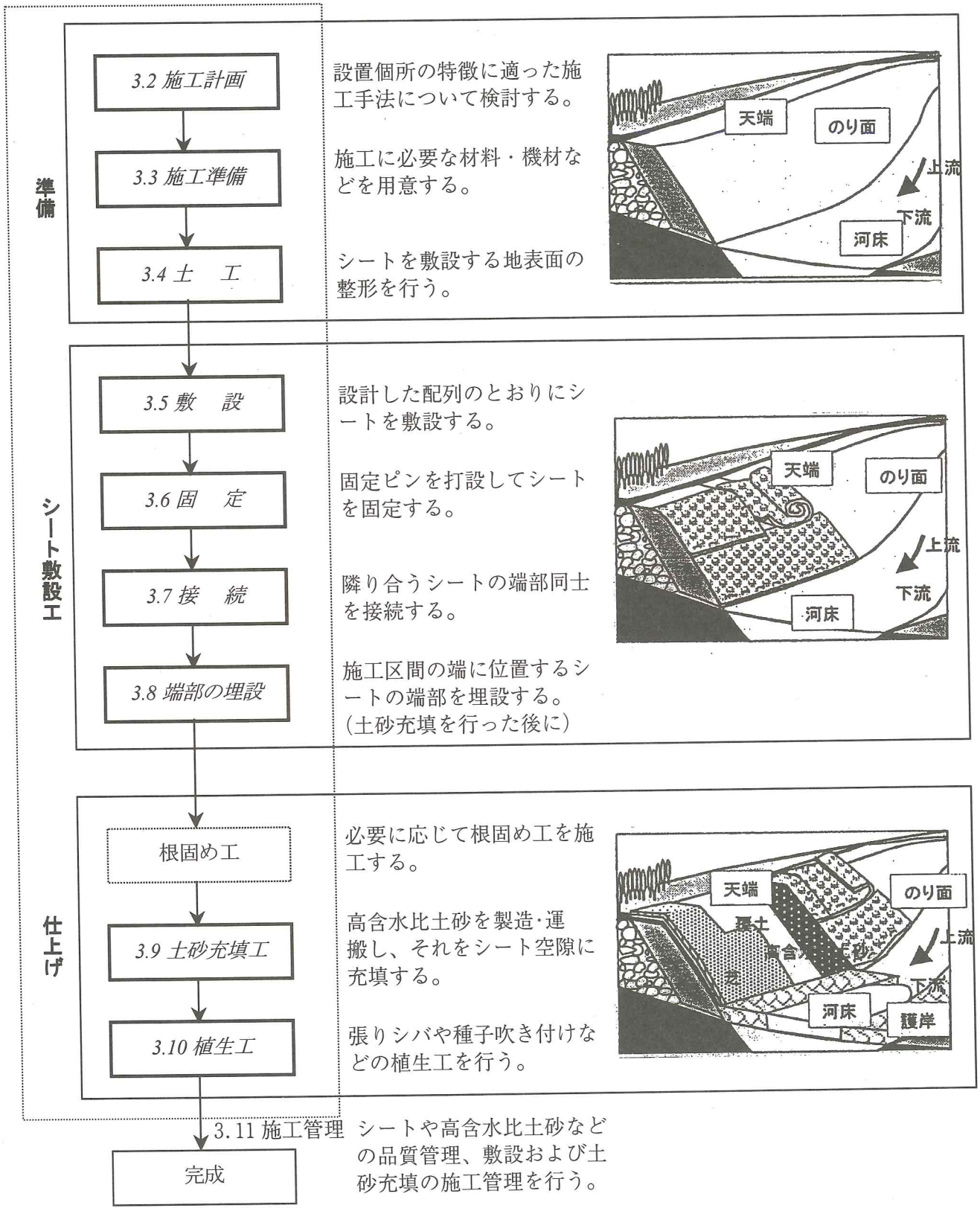


図-3.1　施工全体のフロー

3.2 施工計画

施工に先立って、設置個所の特徴に応じた施工機械および施工順序の選定と、シート配列について検討する。

(1) 土砂充填工に用いる施工機械と施工順序の選定

a) 選定の基本的考え方

土砂充填工では、敷設したシート表面にまず高含水比の土砂を載せ、それを振動装置によって加振、液状化させることで、土砂をシート内に流し込むようにして充填を行う(詳細については**3.9**参照)。充填装置は、バックホウやウインチなどの施工機械と繋いでのり尻から天端まで引き上げる。一般的には細かな調節を伴う引き上げと上下流への移動が容易なバックホウを用いる。しかし、1)バックホウの走行が不可能な場合、また2)走行可能な大きさのバックホウではアーム長が足りず施工範囲全域(のり尻から天端まで)まで届かない場合には、他の機械を用いなければならない。具体的には1)の場合にはウインチ、2)の場合にはクレーンを用いる。ウインチを用いる場合は、充填装置の上下流方向への移動がバックホウなどに比べて一般に大きな労力を必要とする。

また、バックホウやクレーンなどの重機によるシート敷設範囲への乗り入れは、シートの破損防止のため行ってはならない。そのため小段とのり面へのシート設置を例にすると、小段に重機を乗り入れてまずのり面の土砂充填を行うこととした場合には、それが終了した後に小段へのシート敷設および土砂充填を行うというように二度に分けた施工となるため、効率が良くない。

施工機械の選定または施工順序によって施工の効率が変化するので、各設置個所の特徴に応じて最も効率の良い施工が可能な組み合わせを選定する必要がある。

b) 選定のポイント

選定を行うにあたってのポイントを**図-3.2**に示す堤防のり面を例にして以下にとりまとめる。まず小段なし場合、クレーンやウインチで充填装置を引き上げるのが比較的容易に行えるため、バックホウの換わりとして積極的に用いて良い。したがって、タイプ1-3のようにのり尻と天端のいずれともバックホウの走行が可能であり、敷設範囲を二分すればバックホウで敷設範囲全体に届く場合でも、施工範囲を二分しないで済むクレーンまたはウインチを用いるのを勧める。

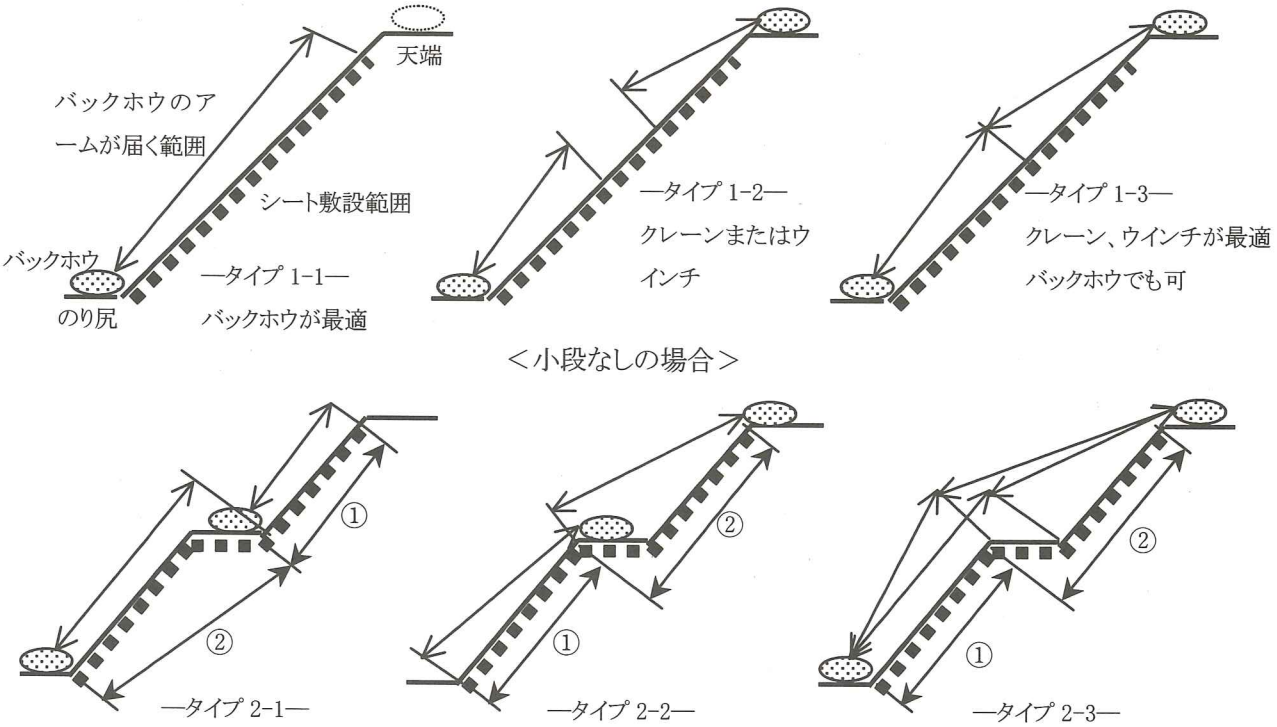


図-3.2 土砂充填工に使用する施工機械の選定例

小段ありの場合は、クレーンやウインチでは勾配が変化するのり面と小段を連続して充填するのが容易ではない。そのため、タイプ 2-1～2-3 のように敷設範囲を二分すればバックホウで敷設範囲全体に届く場合にはバックホウを用いるのを勧める。この場合、施工順序は**図-3.2** に示すように行うのが良い。特にタイプ 2-3 は逆の順番で実施することも可能であるが、図に示した順番であると②の充填で余った高含水比土砂を①ののり面に敷設することができる点が優れている。**図-3.2** に示した以外の場合には、クレーンまたはウインチを用いることとなる。

なお、ウインチを用いる場合には、シート敷設範囲の天端側にウインチ固定用の杭(単管パイプなどを用いる、詳細については**3.9** 参照)を設けるスペースが必要がある。

(2) シートの配列

シートの接続箇所は、シートがめくれ上がりやすい弱点箇所となる懸念が高い。そのような懸念を少なくし、かつ必要最小限のシート購入量で敷設できるように、設置個所においてどのようにシートを敷設するか、配列を決める。シートはロール状に巻いた状態で納入されるのが一般的であるが、１ロールは最小でも幅 W_S=2m、長さ L_S=10m である。あらかじめシートメーカーに標準の幅と長さを問い合わせた上で、以下の条件を満たすようにシートを配列する。

◇ 接続箇所数が最も少なくなる配列とする。

◇ 流れ方向と直交するシート端部の接続箇所は、一列に並ばないように上下流方向にずらす。その距離は 3m 以上とする。

◇ 上記のように接続箇所をずらすためには、長さが異なる少なくとも２種類のシートが必要である。長さが大きいシートは標準長さのものとし、短い方は幅の 2.5 倍以上の長さとする(短か過ぎると捲れ上がった際に流失しやすく好ましくない)。標準長さのシートを等分すれば良いように短いロールの長さを調整すればシートのムダがなくなる。シート長さだけでなく敷設範囲を調節することも含めて、極力ムダがないように調整すること。

◇ シートを極力切断しないで済むようにすること(作業量を軽減するだけでなく、シートの切断面からの解れを防止するため)。

◇ 湾曲したのり面に敷設する場合にのみ、最大 5%までシートを引き延ばして敷設して良い。

上記のようなシート配列とするための試算方法を**図-3.3** に示す矩形範囲の設置個所を例として以下に説明する。

a) 接続箇所数 N の計算

敷設範囲の端に位置するシートは埋設しなければならない(詳細については**3.8** 参照)ので、長さ(上下流方向)L、幅(のり尻～天端方向)W の敷設範囲の場合では、L と W に埋設長を加えた値が、実際にシートを敷設する範囲となる(**図-3.3** に破線で示した範囲)。この範囲を幅 W_S、長さ L_S のシートを敷き詰める際に生じる接続箇所数を次式で計算する。

$$N_{流れ方向}= 1+(L+m_{上}+m_{下}-L_S)/(L_S-S_{流れ方向})$$

$$N_{幅方向}=1+(W+m_{天端}+m_{のり尻}-W_S)/(W_S-S_{幅方向})$$

ここで、$N_{流れ方向}$と $N_{幅方向}$は流れ方向と直交するまたは平行であるシート端部の接続箇所数、$m_{上}$, $m_{下}$, $m_{天端}$, $m_{のり尻}$は上流端、下流端、天端、のり尻におけるシート埋設長、$S_{流れ方向}$, $S_{幅方向}$は接続箇所でのシート重ね合わせ長である。

標準的な埋設長、重ね合わせ長は下記のとおりである(詳細については**3.7**, **3.8** 参照)

$$m_{上}=m_{下}=0.6(m),\quad m_{天端}=0.3(m),\quad m_{のり尻}=0.5(m)$$

$S_{流れ方向}=0.2(m)$, $S_{幅方向}=0.15(m)$ (ただし接続用シート片ありの場合は $S_{流れ方向}=S_{幅方向}=0(m)$)

上式による計算値のうち小数点以下を切り捨てた値が接続箇所数となる。

b) 短いシートの長さ $L_{S短}$の決め方

まず、標準長で敷設していくと余ってしまう長さ $L_{余り}$を次式で求める。

$$L_{余り}= L+m_{上}+m_{下}-(L_S-S_{流れ方向})\times N_{流れ方向}$$

①$L_{余り}$が次式を満たす場合、$L_{S短}= L_{余り}$として短いロールを作成すれば、計画した長さ L に対してちょ

うど敷設できる。

$$2.5\times W_S \leqq L_{余り} \leqq L_S-3(m)$$

ただし、一般的に$L_{S短}$のシートは標準長さL_Sのシートを切断して作成するため、切断した端切れはムダになってしまう。そのムダを極力少なくし、シート購入量を減らすためには、次の式を満たす範囲内で$L_{S短}$がL_Sの等分値になるように調整し、それに合わせて敷設範囲の長さLを微修正することが考えられる。

$$2.5\times W_S \leqq L_{S短} \leqq L_S-3(m)$$

どちらが経済的であるか、また敷設範囲を変えることに支障はないかなど、総合的に判断すること。

②上記①のようにならなかった場合では、以下の2方法が考えられる。

次式を満たす場合には、$L_{S短1}$,$L_{S短2}$の2種類の短いシートを用いることで、計画した長さLに対してちょうど敷設できる。

$$L_S+3(m) \leqq L_{余り}+ L_S \leqq 2\times L_S-3(m)$$

$L_{S短1}$,$L_{S短2}$は次式を満たすように決める。

$$L_{S短1}+L_{S短2}=L_{余り}+ L_S, \quad 2.5\times W_S \leqq L_{S短1} \leqq L_S-3(m), \quad 2.5\times W_S \leqq L_{S短2} \leqq L_S-3(m)$$

$$\text{ただし、} L_{S短1} \geqq L_{S短2}$$

上式が適用できない場合には、①が適用できるように敷設範囲の長さLを微修正することを勧める(3m以内の範囲での増減になる)。どうしても、計画した長さLを変えられない場合にはシートメーカーと協議し、上記または①のようにできる長さL_Sのシートを製作できるか検討する。

c) シートの配列

のり尻～天端方向に隣り合うシートの列ごとに、$L_{S短}$のシートを上下流端に交互に敷設する。なお、b)②の場合には$L_{S短}$のシートの位置に、$L_{S短1}$と$L_{S短2}$のシートを連続して並べて配置すればよい(**図-3.3**に示す例はこの場合である。その際、上流側から$L_{S短1}$,$L_{S短2}$の順(長い方が上流側)に配列すること。



図-3.3　シート配列の一例

d) 計算例

図-3.3に示した敷設範囲について、試算した結果を以下に示す。なお、標準値として幅W_S=2m、長さL_S=10mとした。

$$N_{流れ方向}= 1+(L+m_{上}+m_{下}-L_S)/(L_S-S_{流れ方向})=1+(110+0.6+0.6-10)/(10-0.2)=11.32\cdots\rightarrow 11\text{箇所}$$

$$N_{幅方向}=1+(W+m_{天端}+m_{のり尻}-W_S)/(W_S-S_{幅方向})=1+(18+0.3+0.5-2)/(2-0.15)=10.08\cdots\rightarrow 10\text{箇所}$$

$$L_{余り}= L+m_{上}+m_{下}-(L_S-S_{流れ方向})\times N_{流れ方向}=110+0.6+0.6-(10-0.2)\times 11=3.4(m)$$

この場合、$2.5\times W_S \leqq L_{余り} \leqq L_S-3(m)$、つまり$5(m) \leqq L_{余り} \leqq 7(m)$を満たさないが、$L_S+3(m) \leqq L_{余り}+ L_S \leqq 2\times L_S-3(m)$、つまり$13(m) \leqq L_{余り}+ L_S(=13.4m) \leqq 17(m)$を満たすので、上記のb)②の方法を採用する。

例えば$L_{S短1}= L_{S短1}=6.7(m)$とすればよい(長さが少しだけ違うようだと間違えやすいので、その防止を考慮して同じ長さにした)。

3.3 施工準備

シート工法に特有の下記の材料および機械について、以下に示す標準的な諸元や性能などを参考にして、適切な施工が行えるものを準備する。

(1)シート固定用ピン
(2)充填用土砂
(3)土砂充填装置
(4)高含水比土砂製造・運搬装置

(1) シート固定用ピン

ピンによるシート固定は、1)施工期間中に敷設したシートが移動しないようにすること、2)植生の根茎が十分伸長していない期間に流水を受けても地面と密着した状態を保つことを目的として実施するものである。また、根茎が十分に伸長した後も、シート固定の補強効果を期待している。したがって、ピンには上記のような状況下でもシートをしっかりと固定できるだけの十分な支持力を有しているものを用いる必要がある。標準的な固定用ピンとしては、**写真-3.1** および**図-3.4** に示すように ϕ10mm 異形鉄筋をコ字形(折り曲げ2ヶ所)に加工したものを用いる。ただし、このようなピンの製作が非常に高価になる場合などで採用が困難な場合、U字型に加工する準用タイプを用いても良い。その場合、**図-3.4** のように打設するとシートを凹ませる、またはピンを貫通させた孔が広がって局所的に破断しやすくなる。そのような悪影響が顕著に生じた場合、できる限りコ字形に近くなるように、U字型ピンの形状を変更する必要がある。

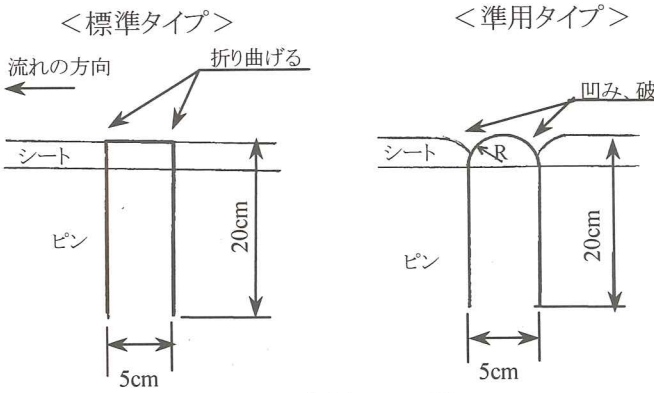


図-3.4 シート固定用ピンの諸元

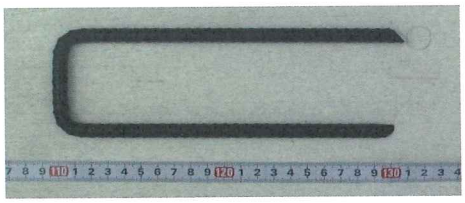


写真-3.1 シート固定用ピンの一例

【Point】ピンの引き抜きに対する抵抗性を考慮すると現時点では異形鉄筋が好ましい。また、堤体中に礫を多く含む場合、ピンが打ち込みが困難であり、細いピンでは打設できずに曲がってしまう。

ピン頂部をU字型にした結果、凹みや破断が生じる場合には、頂部を曲げる半径Rを大きくして、幅を5cmから7～8cm程度まで広くしても良い。

また、シートによってはピン先端が斜め切りしていないと、打設時に凹みや破断が生じる易くなる場合がある。**写真-3.1** に示した例のように、斜め切りすることを勧める。

(2) 充填用土砂

シートに充填する土砂は以下に示す性質を有するものが最適である。
・粘着力があり、そのためシートの侵食防止効果を向上させる耐侵食力を発揮できる。
・シートの空隙径より大きい礫や土塊を含んでいない。
・コンクリートのスランプ試験と全く同様な方法で測定したスランプ値が23～27cmとなる高含水比にしてシートに充填した後、水分が自然乾燥しても収縮ひび割れなどの形成に伴って、シートと地面の間に隙間が生じない。
・植物の生長(特に根茎の伸長)を阻害しない。

●解説

上記した性質を有する土砂として、砂質土(細粒分[粘土およびシルト]含有率15～50%)を標準として

用いる。なお、シートの適用限界流速は、細粒分含有率が15%程度である土砂が最低限発揮すると予想される耐侵食力を見込んで評価されたものである(詳細は共同研究報告書[1]の第3章参照)。したがって、細粒分含有率が極端に小さい土砂(非粘着性土)は充填用土砂として不適である。

充填用の土砂は、植物の根茎発達を阻害しない性質のものである必要がある。この観点からも、また充填しやすさの観点からも空隙径より粒径が大きい礫は不適であり、礫が混入しない砂質土が最適である。山砂では細粒分が大きな塊となっている場合があり、これも礫と同じ理由で好ましくない。礫や細粒分の塊は充填に先立って除去しておく必要がある。また塊は高含水比土砂の製造時に撹拌時間を長めにすることで砕いてしまうこともできる。この場合、充填する土砂に細粒分が良く混ざるので優れた粘着力、すなわち耐侵食力の発揮が期待できる。

収縮ひび割れなどの発生に伴う隙間の形成については、含水比が 60%以下でスランプ値が 23～27cm に達する土砂であれば、大きな隙間が形成されないことを実験的に確認している。これ以上の含水比とする必要がある土砂を用いる場合には、試験施工を行って上記の問題が生じないことを確認するのを勧める。

(3) 土砂充填装置

土砂充填装置として以下の機械類を準備する。
◇振動装置（鋼製振動板＋振動機（自振モーター））
◇バックホウまたはクレーン・ウインチ(**3.2**(1)で選定したもの)
◇発動発電機

●解説

振動装置は、**図-3.5** に示すように一辺が 1m の鋼製振動板とその中央に設置された振動機(コンクリート型枠に振動を加え、締め固めるのに用いる自振モーター)によって構成される。また、この振動装置の電源として発動発電機も使用する。シートの施工に用いる機械類のうち、鋼製振動板のみが市販およびレンタルされておらず、**図-3.5** の図面に基づいて新たに製作する必要がある(平成 13 年現在)。なお、標準的な自振モーターの仕様も**図-3.5** に併記した。



写真-3.2　土砂充填装置(バックホウの場合)

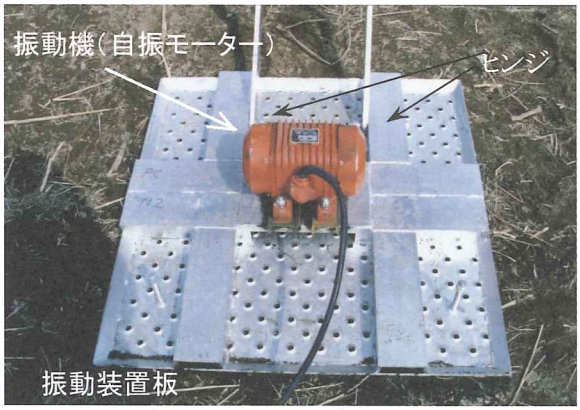
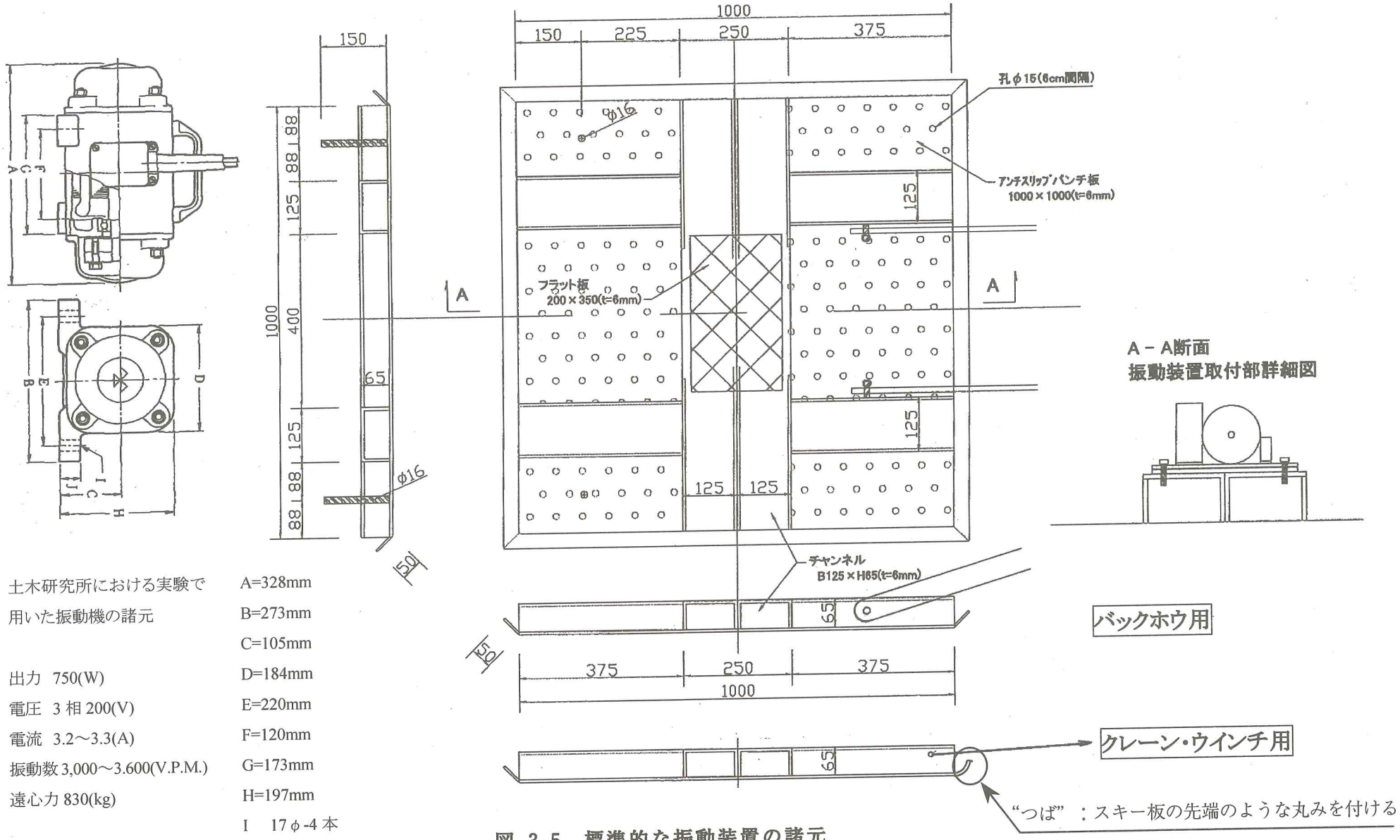


写真-3.3　鋼製振動板および振動機(自振モーター)



写真-3.4　土砂充填装置(ウインチの場合)

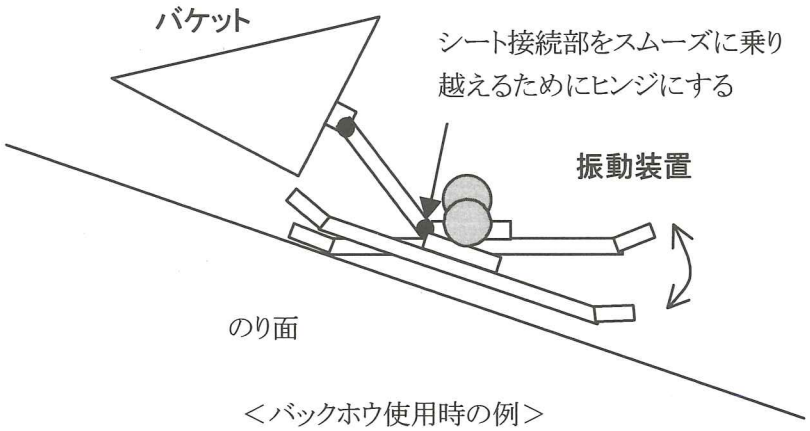


土木研究所における実験で用いた振動機の諸元

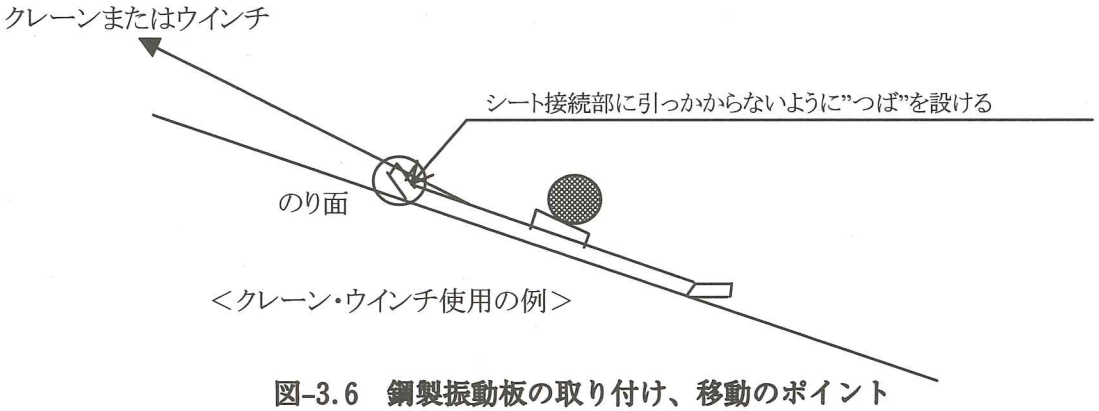
出力　750(W)
電圧　3 相 200(V)
電流　3.2～3.3(A)
振動数 3,000～3.600(V.P.M.)
遠心力 830(kg)

A=328mm
B=273mm
C=105mm
D=184mm
E=220mm
F=120mm
G=173mm
H=197mm
I　17φ-4 本
J=44mm

図-3.5　標準的な振動装置の諸元



＜バックホウ使用時の例＞



＜クレーン・ウインチ使用の例＞

図-3.6　鋼製振動板の取り付け、移動のポイント

鋼製振動板は、板全面にパンチ穴が設けられたものが良い。自振モーターは、土砂充填時に液状化した高含水比土砂がしぶきをあげてパンチ穴より吹き出る程度まで出力調節できるものが望ましい。また、バックホウやクレーン･ウインチと鋼製振動板の取り付けなどについては、**図-3.5,3.6** に示す工夫を参考にして、適切な充填が行えるようにすること。

なお、ウインチを使用する場合は、ウインチを固定するために天端近くに打ち込む杭(単管パイプなど:詳細については **3.9** 参照)も準備する必要がある。

(4) 高含水比土砂の製造･運搬装置（圧送方式）

高含水比土砂の製造および運搬工法として現時点で最も確実性が高い圧送方式を標準工法とする。圧送方式においては以下の機械類を準備する。

◇モルタルグラウトミキサー
◇バックホウ(小型)またはタイヤショベル
◇水槽および水中ポンプ
◇ベルトコンベア
◇ホッパ(土砂量の測定器)
◇圧送ポンプ(グラウトまたはスクイズポンプ)およびホース
◇発動発電機

●解説

高含水比土砂の製造･運搬に用いた機械類の設置状況例を**写真-3.5** に示す。いずれもコンクリート用であり、製造には2槽式のモルタルグラウトミキサー、運搬には高粘性用の圧送ポンプを利用する。

モルタルグラウトミキサーについては、設置個所の面積などによりその撹拌容量を決めるものとするが、これまでの試験施工では1槽の容量が 0.6～0.75m³ を用いた。撹拌容量をあまり大きいものにすると攪拌にかかる時間が長くなり作業を遅らせる原因となる場合があるので、最大 1.0m³ 程度までを目安とする。ミキサーの撹拌翼は、土砂と水を十分に撹拌することが可能な**写真-3.6** に示すような2段以上のものにする。また水槽の容量の目安は、ミキサーの撹拌容量の6倍程度である。



写真-3.5　高含水比土砂製造・運搬装置の設置状況例

モルタルグラウトミキサーへの土砂と水の投入には、ベルトコンベアおよびホッパと水中ポンプ(特に流量を制御できるタイプ)を用いると、目標としたスランプ値の高含水比土砂を安定してかつ効率よく製造できる。ホッパを利用すると、試験製造(**3.9** 参照)で設定した配合量のとおりの土砂量を常に供給できるようになる。ホッパは高含水比土砂を安定した品質で効率よく製造するために必要である。また粒径 3cm 以上の礫および土塊を含有する(撹拌に支障が生じる)場合は、ホッパ上に網を設けて取り除くこと。

モルタルグラウトミキサーで製造した高含水比土砂は圧送ポンプの貯留槽へいったん移される。その貯留槽の入り口に**写真-3.7** に示すように、礫や土塊を取り除くための網目が 1.5～2cm 程度の鋼製網を設置しておく。礫や土塊を取り除かないとシートの空隙を塞いで土砂充填を困難にするだけでなく、圧送ポンプの故障や詰まりの原因となって作業を中断せざるを得なくなるためである。なお、モルタルグラウトミキサーの吐出口には、高含水比の土砂が詰まりやすい。その防止のため、できるだけ吐出口の管径が太いミキサーを用いる、また吐出口側にミキサー本体を少し傾けて設置すると良い。

吐出能力が極端に大きい圧送ポンプだと、ホースが太くなり、そのホースに土砂が入ると人力でのホースの取り回しに大変な労力が必要となり、施工性が低下してしまう。したがって、施工試験で適度と思われた 40～100(ℓ /min)程度の吐出能力を有する圧送ポンプ(ホース内径が 2 インチ(5cm)程度)を用いるのを勧める。なお、試験施工での実績はないが、ホースの取り回しが機械式アームによって行えるコンクリートポンプ車を用いると施工性が向上する可能性がある。

なお、シートに土砂を吹き付けることで土砂充填を促すことを狙った吹き付け方式では、圧送ポンプの代わりに吹き付け機を準備する。その際、吹き付け機のタイプとしては、圧送ポンプでホース先端まで高含水土砂を圧送し、ホース出口で圧搾空気と合わせることで吹きつけを行うものを用いるのを勧める(関川での類似の施工事例あり、第 6 章参照)。試験施工において圧搾空気と高含水比土砂を合わせてからホースに送り込むタイプの吹き付け機を用いたが、ホース内で水と土砂が分離して頻繁に詰まり、作業が進まなかったためである(**3.9**(3)参照)。



写真-3.6　ミキサーの撹拌翼



写真-3.7　吐出口と貯留槽

3.4 土　工

新たに築堤した堤防では、植生工を行う前段階ののり面整形を従来と同様に実施する。また、既設堤防では、地表面を剥ぎ取るように掘削して、繁茂している植生の除去(除根)を行うとともに、のり面の整形を行う。

●解説

シートを敷設する地面は、シートが密着できるように平坦であるのが望ましい。ただし、シートには柔軟性があり、少々の凹凸であれば地面と密着できる。したがって、より平坦に仕上げるために実施する仕上げ工(バケットの平坦面で地面を押しつけて平坦にする作業など)を基本的には行わなくて良い。足跡や地面に半分埋没していた礫を取り除いた際にできるような局所的に深い凹みが形成されていなければ、バケットで地表面を剥ぎ取るように掘削した程度で十分である。また上記のような凹みは土砂で埋め戻しておくようにすること。このような掘削によって植生の除根も同時に行うことが可能である。掘削深さは一般的に5～10cm程度で十分であるが、地中深くまで太い根茎が伸長している場合など、設置場所の状況に応じて平坦に仕上げられる深さまで変化させても良い。

3.5 シートの敷設

シートの敷設は、下流側から上流側へ、またのり尻から天端方向の順に行うと、シートの接続箇所での重ね合わせが容易にできる(後から敷くシートを既に敷かれているシートの上に載せればよいため:詳細については**3.7**参照)。しかし、敷設範囲の基準が天端側や上流側にある場合(例えば計画高水位を基準とする場合)、それに合わせてシートを敷設し始めるほうが、敷設範囲内にきっちりとシートを敷設しやすくなる。このようにどのような敷設順番にも一長一短があるので、各設置個所の特徴と合わせて最適な敷設順番を決定する。

●解説

図-3.3に例示したように敷設範囲が矩形である単純な場合では、**図-3.7**に示すように、下流側かつのり尻から敷設するのが良いようである。それ以外の場合には、天端側に基準を設けて、それに沿って敷設し始めるのが良いようである。具体的な事例(第6章参照)も参考にして決めることを勧める。

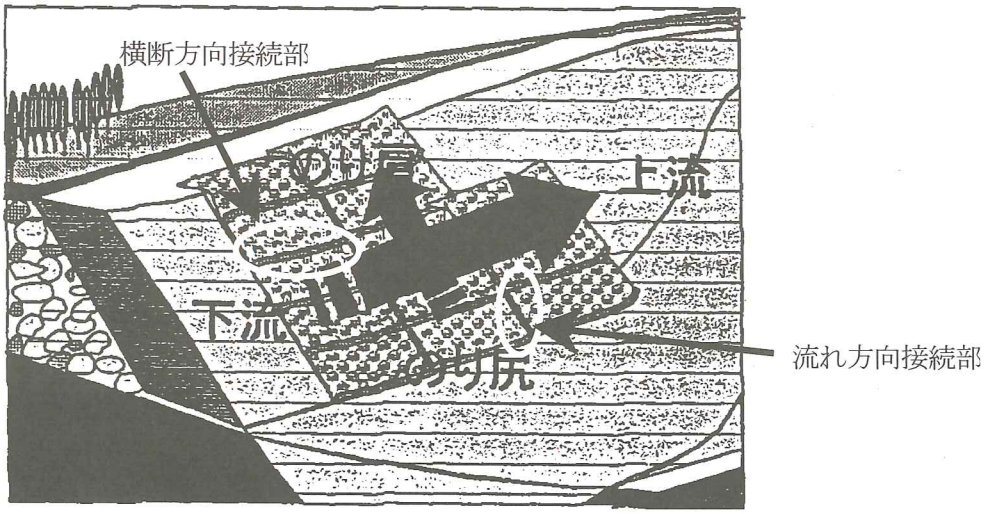


図-3.7　シートの敷設順番の一例

3.6 シートの固定

シート固定用のピンの打設間隔は1mを基本とする。また全てのピンは、**図-3.4**に示すように流れの方向と直交する方向から眺めた際にコ字型に見えるようにして、シートを凹ませないようにシート表面にかるく触れる程度まで打設する。

●解説

打設間隔を狭くするとピンの打設本数が増え施工労力が非常に増加する。しかし、間隔を広くしすぎると、隣接するピン間でシートのたるみが生じやすくなり、所定の重ね合わせ長の確保が困難となる。

そのような問題がどちらもほぼ解消できるバランスがとれた適度な間隔が 1.0m である。ただし、クレーンやウインチで鋼製振動板を引き上げる方法で土砂充填を行う場合には、振動板がシート端部に引っ掛かってシートが捲れ上げられたり、破損する場合がある。そのような状況が顕著に生じる場合には、シート接続部では打設間隔を 50cm に変更することを勧める。なお、シート接続部の固定については **3.7** も参照すること。

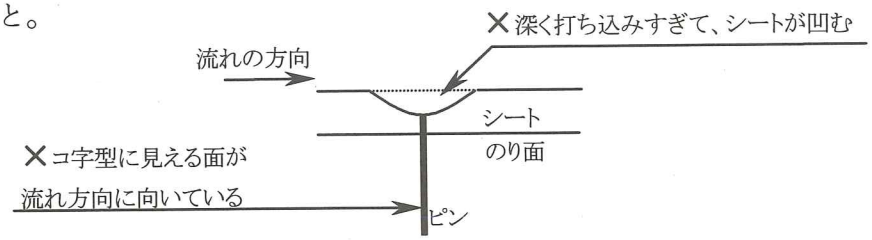


図-3.8　ピン打設の悪い例

また、**図-3.8** に示すようなピンの打設は、ピン周辺でのシートの侵食防止効果を低減させる原因となるので、基本的には行ってはならない。

3.7 シートの接続

出水時に流れを受けてシート接続部からシート端部が捲れ上がらないように、かつ接続部とその周辺で局所洗掘が生じないように配慮して、シート同士を接続する。

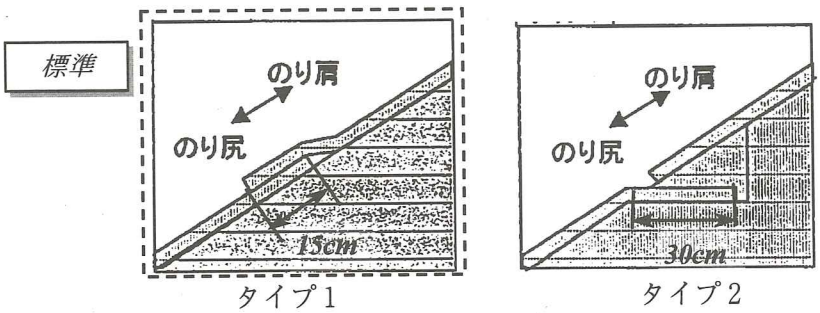
●解説

シートの接続部には、**図-3.7** に示すように流れ方向とシート端部が直交する「流れ方向接続部」と、平行である「横断方向接続部」がある。特に流れ方向接続部は、接続の仕方によっては局所洗掘が生じやすく、また流れをまともに受けてシートが捲れ上がりやすい部分である。そのため、以下に示す方法を参考として、適切に接続すること。なお、接続部については実大規模の侵食実験が行われており（共同研究報告書[1]の第 5 章参照）、それも必要に応じて参考にすることを勧める。

(1) 横断方向接続部

のり面上段（のり肩）側のシート端部を下段（のり尻）側のシート上に重ね合わせることを標準とした 2 種類の接続法がある。上記のように重ね合わせるとしたのは、適用主対象と想定した堤防のり面で、堤防天端に雨水が溜まりそれがのり面を下る流れ、また出水時に生じる水面波に対して端部が捲れ上がり難くなるように配慮したためである。上記以外の場合には、のり面方向の流れとして最も強いものを想定し、下る方向であれば上記と同様に、遡る方向であれば上記と逆に重ね合わせればよい。

横断方向の標準的な接続は、**図-3.9** に示すタイプ 1 のように行う。シート重ね合わせ長は、15cm を基準とし、これより小さくしてはならない。特にのり面を下る強い流れが生じる場合（例えば、高水敷から低水路への戻り流れが生じる範囲の河岸など）には、タイプ 2 によって接続を行うことを勧める。



タイプ 1　　タイプ 2

図-3.9　横断方向接続タイプ

(2) 流れ方向接続部

上流側のシート端部を下流側のシート上に重ね合わせることを標準とした**図-3.10** に示す 2 種類の接続法がある。標準的な接続法としてはタイプ 1 を用いる。この場合、シートの重ね合わせ長は 20cm 以上とする。接続部の侵食実験によると、重ね合わせ長が 10cm の場合には接続部およびその下流側でシートが浮かび上がるほど深い局所洗掘が生じる場合があることを確認している（共同研究報告書[1]の第

5章参照)。したがって、必ず20cm以上の重ね合わせ長になるように十分配慮して施工をおこなうこと。

タイプ2はかなり確実にシートを接続したい場合に用いるが、堤防法線が湾曲している場合などには接続が困難になるので適していない。

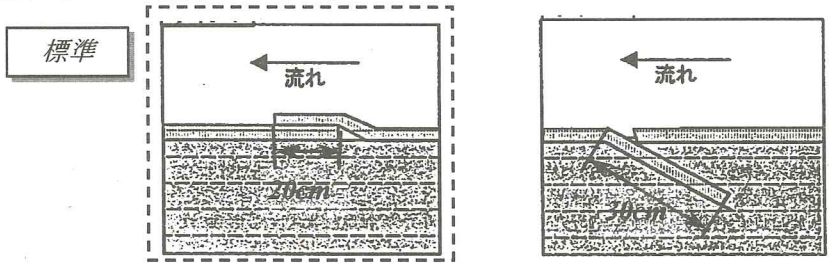


図-3.10　流れ方向接続タイプ

(3) シートが3枚重なる接続部

シート配列として**3.2**(2)に示したように敷設すると、**図-3.11** に示すように最高で3枚のシートが重なる接続部が生じる。この部分では、厚さがあまりにも大きくなりすぎてシート内への土砂充填が困難になること、またピンによる固定が良好に行えなくなるため、3枚のうち1枚のシートを切り欠き、2枚だけが重なるように加工する。

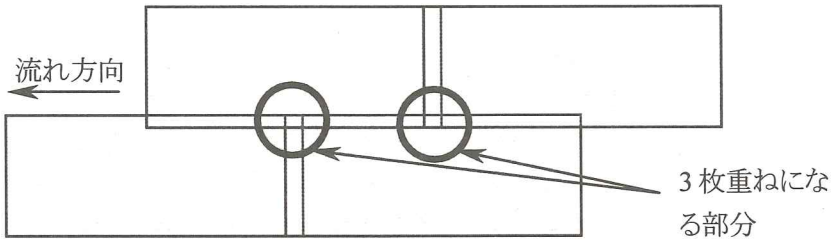


図-3.11　シート3枚が重なる接続部

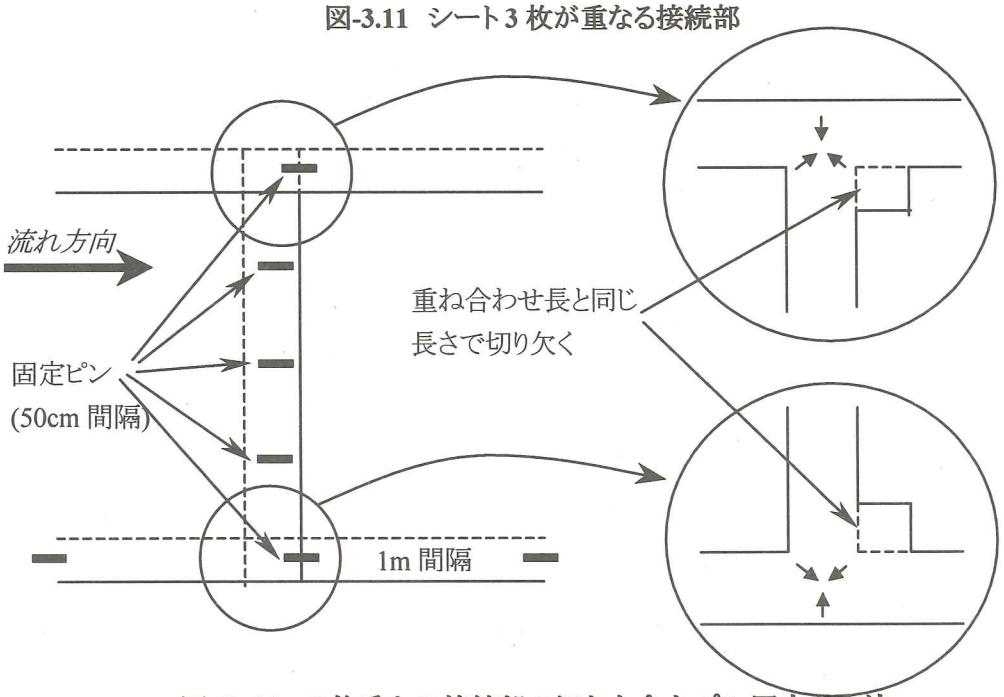


図-3.12　3枚重なる接続部の切り欠きとピン固定の方法

そのような加工方法を**図-3.12** に示す。切り欠き部から地面が見えることがないように、切り欠き部と他のシートとを完全に重ね合わせ、ピンによりしっかり固定すること。なお、解れやすいシートでは、切断面を焼き付ける(ヒートカッターやバーナーなどによる)などの解れ防止を行うこと。

(4) 接続用シート片を有するシートの接続

シートの種類によっては、シート本体と同様の強度を有するが、本体より薄い接続用シート片がシート外縁に沿って取り付けられているものがある。その場合、接続用シート片のみを**図-3.9**～**3.12** の

ように重ね合わせて固定すればよい。ただし、シート本体の端部同士をしっかり密着させ、隙間を形成しないように配慮しなければならない。

3.8 シート端部の埋設

出水時に流れを受けてシート敷設範囲の端部からシートが捲れ上がらないように配慮して、シート端部を埋設する。

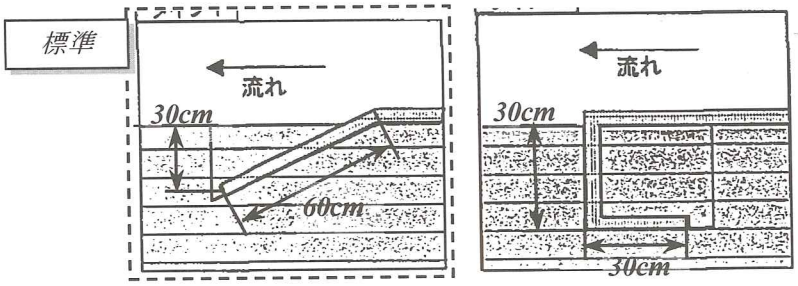
●解説

シート敷設範囲の上流端、下流端、のり尻側の端部は、隣接するシートを敷設していない地面が深く洗掘されシート下部に空洞が生じるなどして、流れをまともに受けてしまうと特にシートが捲れ上がりやすくなる部分である。特に上流端がそのような状況になると、下流方向に捲れ上がりの範囲が拡大し、シートによる侵食防止が不可能になる危険性が高い。そのため、以下に示す方法を参考として、適切に埋設を行うこととする。なお、埋設されるシート端部にも土砂を充填する必要がある。**3.9** に示す方法により土砂を充填した後に、シートを埋めることを怠らないようにする。

(1) 下流端の埋設

下流端では、**図-3.13** に示す2種類の埋設法がある。標準的な埋設法としてはタイプ1を用いる。この場合、シートの埋設長は60cm以上とする。シート敷設(**3.5** 参照)に先だって、**図-3.13** に示す諸元でのり面を掘削しておき、そこにシートを敷設した状態(埋め戻さない)で土砂充填を行う。シートを埋設する溝は、シートに充填できずに余った高含水比土砂が、シート敷設範囲から流出するのを防止する役割もある。溝に溜まった土砂をトンボなどで押し込むようにして埋設範囲全体に塗り広げることで、埋設部の土砂充填を行う(上流端、天端(埋設タイプの場合)も同様である:詳細については **3.9** 参照)。

下流側に他の河川構造物(例えば護岸の小口止め)がある場合には、タイプ2のように埋設を行う。その場合、シートと構造物とを密着させる。



タイプ1　　タイプ2

図-3.13　下流端埋設タイプ

(2) 上流端の埋設

上流端は、上記したように万が一シートが捲れ上がるとダメージが最も大きくなるので、その防止のために確実に埋設する必要がある。標準的には、**図-3.14** に示すようにシート端部60cmの部分を深さ30cm程度まで埋設することとする。上流側の埋め戻し土を良く締め固め、かつ植生工を必ず行うこと。

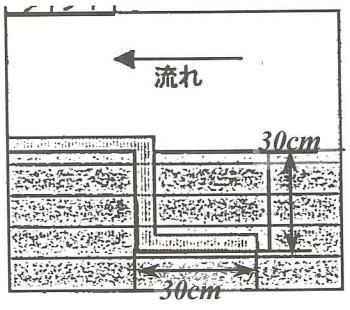


図-3.14　上流端埋設タイプ

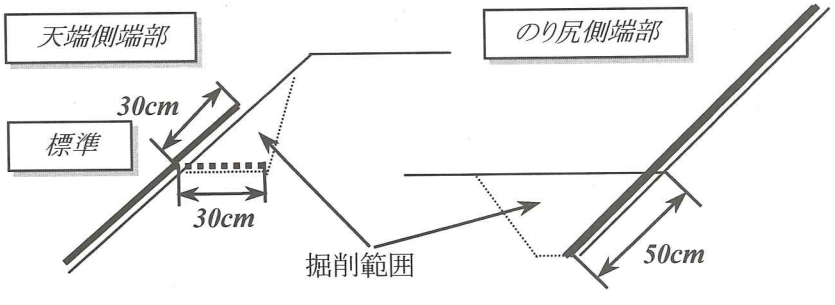


図-3.15　天端側およびのり尻側端部の埋設タイプ

(3) 天端およびのり尻側の端部埋設

標準的な埋設法を**図-3.15** に示す。天端側は実線で示す標準タイプとする。特にのり面を下る強い流れが、生じる場合（例えば、高水敷から低水路への戻り流れが生じる範囲の河岸など）には破線で示す埋設タイプとする。またのり尻側は、のり尻近傍での高水敷の局所洗掘によってもシート端部が露出しにくいようにやや深めの 50cm まで埋設する。上流端の埋設と同様に、掘削範囲を良く締め固めて埋め戻し、かつ植生工を必ず行うこと。

【参考:シートの敷設･固定･接続･端部埋設の実施状況】

堤防を真似て作った盛り土のり面(のり勾配 1:3:敷設範囲の長さ L=9m、幅 W=8m)に、シート敷設工を実施している状況を**写真-3.8** に示す。下流端の埋設および接続は標準タイプで行った。例示した場合も含めてシート幅約 2m であれば、写真に示した敷設･固定･接続を16～20 分程度で完了することができた。



1)のり尻から敷設を始める



2)その上段、下流側を敷設する



3)上流側を敷設する



4)もう一段上を敷設する



5)最上段の下流側を敷設する



6)その上流側を敷設して完成



写真-3.8 シートの敷設･固定･接続の実施状況

3.9 土砂充填工

土砂充填工では、①シートへの土砂充填と②土砂によるシートの被覆を行う。土砂充填はシートの侵食防止効果を発揮させるために、また土砂による被覆はシートの損傷および劣化を防止するために不可欠である(詳細については **1.2**(3)参照)。そのため土砂充填は、植物の根茎の伸長を妨げず、かつシートと地面の間に隙間が生じないように実施しなければならない。また土砂による被覆では、シート下の地中まで根茎が比較的に密に伸長するのを妨げない適度な土厚で実施しなければならない。

●解説

現状では、のり面に敷設･固定し終えたシートの表面に土砂を供給して、それをシートの空隙に充填するという工法に限られている。その場合、充填してもなおシート上に余った土砂を、トンボなどによってシート敷設範囲全体に敷き均すことでシートを土砂で被覆する。その土厚の目安は1～3cm(シート厚と同程度)であるが、シート表面が隠れるように土砂をぎりぎりまで薄く敷き均した程度でも良い。次の工程の植生工で、例えば張りシバ工を実施する場合だと、張りシバに土が付いており、それと張りシバ後に行う目土によってシートがさらに土砂で被覆されるためである。種子吹き付け工でも、種子を混合した土壌によって同様に被覆できる。

3.3 にも示したように、土砂充填の標準的な工法として流動性を有する高含水比土砂を圧送ポンプ(グラウトまたはスクイズポンプ)でシート上に圧送し、それを振動装置によって加振することで液状化させ、シート内に流し込むように充填する圧送方式を採用している。**表-2.1** に示したものも含めて、シートを開発する際には、この標準工法によって良好に充填できるように、シート諸元をあらかじめ調整することと定めている(共同研究報告書[1]の第6章および性能試験･評価法の手引き(第2編)参照)。以上のように各種シートに適用可能な汎用性を有する工法であり、一般的にはこの工法を用いることとする。なお標準工法のほかには、吹き付け方式と乾燥砂を流し込む方法について検討を行っている。土砂充填工は最も重要かつ労力を要する工程であり、その簡便化は施工コストの低減に大きく資する。したがって、それら標準工法とならなかったものも含めて、土砂充填工法の今後より一層の改善が望まれる。

以下では、まず標準工法である圧送方式について施工手順および留意事項について説明する。その後、吹き付け方式と乾燥砂を流し込む方法について、その適用にあたってのポイントを整理して示す。

(1) 高含水比土砂の製造･運搬 (圧送方式)

圧送方式による高含水比土砂の製造･運搬の一般的な作業状況を**図-3.16** に示す。まず、モルタルグラウトミキサーによって高含水比土砂を製造し、それを圧送ポンプによってシート上へ圧送する。このような本施工に先立って、水と土砂の混合量および撹拌時間を決めるための試験製造を行う。試験的に製造した高含水比土砂(適切な含水比でない)は、シートの埋設部(**3.8** 参照)へ運搬･充填して良い。

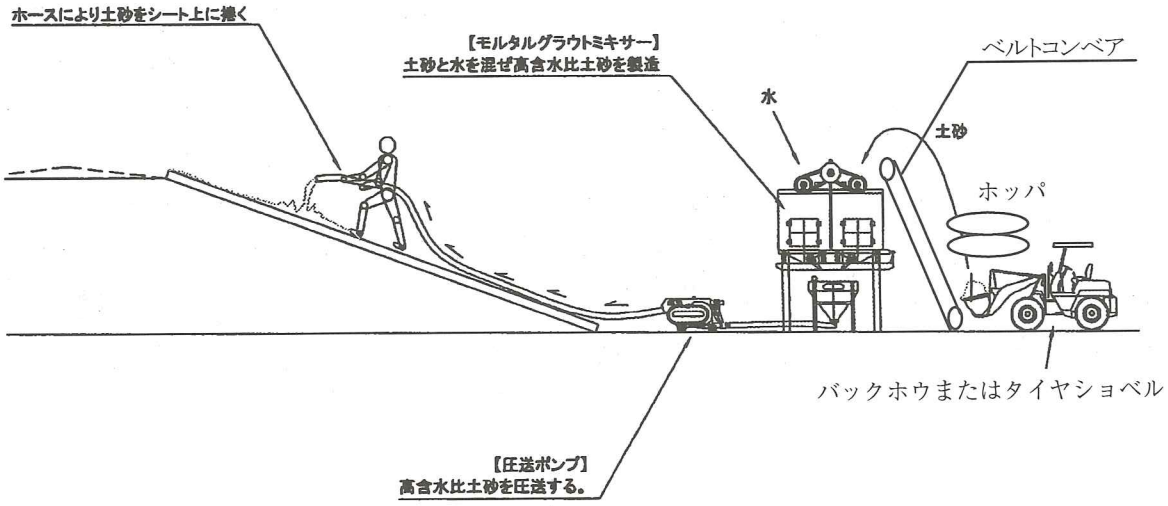


図-3.16 高含水比土砂の製造･運搬の作業状況

a) 高含水比土砂の試験製造

高含水比土砂の製造に必要な水として一般的には河川水を汲み上げて使用する。あらかじめ水槽に汲み上げておいた水をまずモルタルグラウトミキサーに入れておき、水だけを撹拌しながらバックホウ(またはタイヤショベル)とベルトコンベアを用いて充填用土砂をモルタルグラウトミキサーに徐々に投入していく。なお、投入量をホッパによって測定し、常に同量の投入が繰り返し可能なように施工管理すること。

本施工に先立ち試験製造を行い、**写真-3.9** に示すようにコンクリートのスランプ試験と全く同様な方法で測定したスランプ値 SL が 23～27cm となる水と土砂の混合量を明らかにする。このスランプ値は振動装置(**3.3**(3)参照)によって加振すると液状化すること以外に、"勾配 1:2 の斜面上に敷設したシート上にシート厚さとほぼ同じ厚さ(単位面積あたりのシートの全空隙を土砂で満杯にするのに必要な最低限の土砂量)で容易に高含水比土砂を盛れる"ように流動性を抑えることを条件として実験的に設定した。過度に含水率を高くした高含水比土砂は、目標の厚さまで盛ろうとしても、流動性が非常に高いために薄く広がり、厚さが確保できない。このような高含水比土砂は、シートの空隙を満杯にするのに必要な土砂量を 1 回でシート上に盛れないため必然的に複数回の充填作業を行うこととなり、充填作業の非効率化をまねくので使用を避けなければならない。したがって特殊な土砂を用いる場合には SL=23～27cm は目安として考え、上記の条件を満たす SL 値の範囲を明らかにする。次に、撹拌しながら吐出口を開け、圧送ポンプの貯留槽に高含水比土砂を注ぎ入れられるか確認する。SL 値が小さいと流動性が低く吐出口に詰まりやすくなるので、上記の SL 値の範囲内でほとんど詰まらなくなる SL を最適値として設定する。最適値の SL となる水と土砂の混合量を記録し、本施工で用いる。

最後に、充填用土砂に土塊が混じっている場合には、土塊が十分に破壊されて高含水比土砂にほとんど含まれない(土砂充填の妨げにならない)程度までになる撹拌時間を明らかにする。

b) 高含水比土砂の製造(本施工)

試験製造と同様な手順で土砂および水をミキサーに投入し、所定の時間まで撹拌することで最適の SL 値となる高含水比土砂を製造する。以上を繰り返して、敷設したシート全範囲に充填するために必要な量の高含水比土砂を製造する。繰り返し行っていると、山積みにしている充填用土砂の含水量が変化するなどの原因によって、試験製造で定めた混合量のとおり撹拌しても最適の SL 値となる高含水比土砂が得られなくなる場合がある。多くの場合、最適値より大きな SL となる高含水比土砂となり、a)に示した理由によって充填作業の非効率化をまねく(ちなみに、最適値より小さい SL になると吐出口に詰まりやすくなるためすぐ変化に気づく)。その防止のため、適宜スランプ試験を行い(少なくとも各日の午前と午後の施工開始時)、最適値となるように混合量の微調整を行うとともに、高含水比土砂の品質管理を行う(**3.11** 参照)。なお、品質を満たさない土砂はシート埋設部の充填に用いて良い。



a)スランプコーンへの高含水比土砂の充填



b)スランプ値の測定状況

スランプ試験の手順:①円錐型のスランプコーン(高さ 30cm)に高含水比土砂を締め固めないように充填する、②コーンの上端まで土砂を充填したらゆっくり型枠を上方に引き抜く、③流動して広がった土砂の高さ h、すなわちスランプ値 SL=30-h(cm)を測定する。

写真-3.9　高含水比土砂のスランプ試験

c) 高含水比土砂の運搬

モルタルグラウトミキサーの吐出口から圧送ポンプの貯留槽に高含水比土砂を移す際には、網目 1.5～2cm の鋼製網によって礫などの異物を除去する(**写真-3.7** 参照)。異物を取り除かないとシートの空隙を塞いで土砂充填を困難にするだけでなく、圧送ポンプの故障や詰まりの原因となって作業を中断せざるを得なくなるためである。なお、モルタルグラウトミキサーの吐出口には、高含水比土砂が詰まりやすい。その防止のための工夫として吐出口側にミキサー本体を少し傾けて設置すると良い。

圧送ポンプにより貯留槽からシート上に高含水比土砂を圧送する。**写真-3.10** に示すようにホースの出口を作業員が持ち歩いて、シート上にまんべんなく積載する。その際、シート接続部で重ね合わせた下側のシートへの充填性が良好でいないシート(**表-2.1**:2.土砂充填性の重複部の評価が C の場合)では、上側のシートをめくり挙げ、下側のシートの上にも高含水比土砂を積載することを勧める(接続部において良好に土砂が充填されているか施工管理を行う:**3.11** 参照)。

なお、ホースを長くしたり太くするとホースの重量が大きくなり、人力での移動が困難となる。これまでの施工事例では、ホース径 2 インチ(約 5cm)でホース延長 70m まで実施した。より広範囲に運搬する場合には、敷設範囲を網羅するように鋼製管を配管してそれとホースを接続することでホース長を短くする(神戸川の事例:第 6 章参照)、ホースをバックホウのアームに取り付ける、ホースの取り回しが機械式アームによって行えるコンクリートポンプ車を利用するなどの工夫を行うことを勧める。

なお、埋設するシート端部のうち、上下流端は高含水土砂を特に積載しなくて良い。多くの場合、振動装置による土砂充填を行うと余分となった高含水比土砂が埋設部に溜まるからである。その状況をまず観察し、十分に充填できないようであったら不足分を後から積載すること。



写真-3.10　高含水比土砂の圧送～積載作業状況

(2) 高含水比土砂の充填およびシートの被覆

高含水比土砂をシート上に積載した後、**図-3.17** に示すように土砂充填装置によってシートへの土砂充填を行う。シート埋設部では、のり尻側と天端側は上記と同様に行うが他ではトンボによって充填を行う。

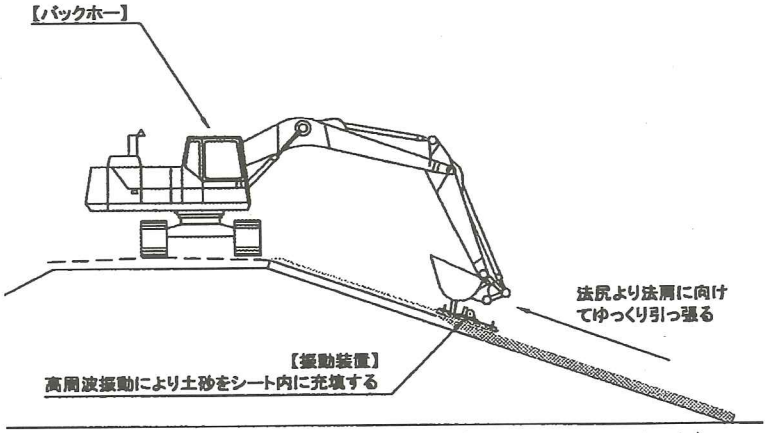


図-3.17　土砂充填作業(バックホウの場合)

a) 土砂充填装置による充填

シート上に積載された高含水比土砂を、シート厚の約 1.5 倍の土厚になるようにトンボにより敷き均す。振動装置をのり尻まで移動してゆっくりのり面に載せる。振動機を稼働させ、高含水比土砂を加振して液状化させながら、**写真-3.11** に示すように振動装置板をのり尻より天端に向かってゆっくり引き上げていく。その速度の目安は、平均 0.15(m/s)程度(一カ所の振動時間が約 7 秒) である。その際、鋼製振動板がシート表面と密着した状態を保たなければならない。なお、振動装置を一箇所に止めて充填するより、移動させながらの方がよく充填できる。天端側のシート端部にまで達したら、まず **3.11** に示すように特にシート接続部に土砂が十分に充填されているか確認する。不十分であったらその部分の充填をやり直す。最後に充填されずにシート上に余った土砂をトンボで敷き均してシートを覆い隠す。以上の作業を繰り返し、全敷設範囲(上流側、下流側の埋設部を除く)に充填する。

なお、ウインチで充填装置を引き上げると、シート接続部でシート端部がめくれ上がる場合がある。その場合には、充填装置をのり尻まで降下させると、充填装置の通過によってめくれ上がりが直る。ウインチを固定する杭の施工事例については、第 6 章の江戸川の事例を参照していただきたい。

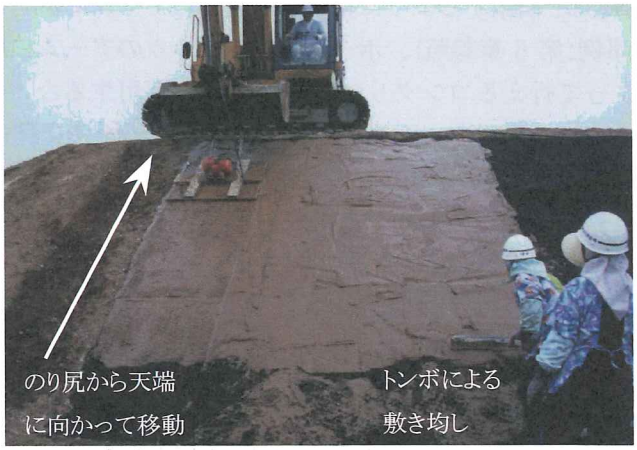


写真-3.11　土砂充填の作業状況

b) シート埋設部の土砂充填

シート埋設部に土砂を充填しないで埋め戻すと、シートが透水性の高い空隙部となり、雨水などの浸透水が集中する水みちになったり、また土砂が空隙部に落ち込んでのり面が陥没するなど、のり面に防災上好ましくない悪影響をもたらす危険性がある。その防止のために埋設部にもしっかり土砂充填を行わなければならない。

シート埋設部のうちのり尻側および天端側は、a)に示した方法で充填を行うので特別な方法で充填を行う必要はない。充填装置をシートに密着させるのが困難な上下流端側の埋設部（天端側を埋設タイプとした場合はそれを含む）では、シートに積載された高含水比土砂をトンボなどで押しつけるようにして敷き均すことでシート内に充填する。この方法では充填できないシートの場合には、コンクリートの型枠を振動させ締め固めるために用いられるハンドバイブレータなどによって高含水比土砂を液状化させると、良好に充填できる。

充填土砂が自然乾燥し、靴で踏みつけても足跡が付く程度で充填土砂がシートから押し出されない状態になった後、埋設部を埋め戻し、十分に締め固める。

(3) 吹き付け方式と乾燥砂を流し込む方法の適用にあたってのポイント

a) 吹き付け方式

コンクリートなどの吹き付け機として既に広く使用されている吹き付け機を用いて、高含水比土砂をシートに吹き付ける実験を行った[1)]。この吹き付け機の特徴は、タンク内に撹拌機があり高含水比土砂が水と土砂に分離しないように撹拌することができ、その撹拌を行いながらタンク内に圧搾空気を送り込んで、タンクから吐出口であるパイプへ高流速の気流とともに高含水比土砂を排出し、吹き付けられることである。このような吹き付け機で試したところ、最適なスランプ値SL=23～27cm の高含水比土砂

を排出するのがうまくいかず、ごく短時間しか吹きつけが行えなかった。多くの場合、土砂がパイプに詰まる(特にシルト・粘土を多く含有する粘着力の大きい土砂)というトラブルが頻発して、実用的でないことが分かった。しかし、まれに吹き付けられた場合で充填状況を見ると、比較的良好に充填できており、振動装置で振動を加えれば完全に充填できた。

上記のトラブルを解消するためにスランプ値がより小さい(つまり含水比が小さい)土砂を吹き付けることを試みた。SL=17～20cmで実験を行ったところ、土砂がパイプに詰まるトラブルは減少したものの、特に空隙率が小さく、かつシート厚の大きいシートほど吹き付けのみでは完全に充填できなかった。さらに吹き付けた土砂がシート表面で固結化してシートの空隙を覆い隠してしまったため、充填が不十分な箇所への追加的な充填が行えなくなった。したがって、最適値より小さいスランプ値の土砂を吹き付けるのは、吹き付けのみで完全に充填できる場合を除いて行うべきではない。

上記したトラブルがなくSL=23～27cmの高含水比土砂を吹き付けられる機械があれば、吹き付けによる充填を行っても良い。そのような機械として圧送ポンプでホース先端まで高含水土砂を圧送し、ホース出口で圧搾空気と合わせることで吹きつけを行うものを用いるのを勧める(関川での類似の施工事例あり、第6章参照)。しかし、完全に充填できるか事前に確認して、できない場合には振動装置を併用する必要がある。

b) 乾燥砂を流し込む方法

さらさらに乾燥した砂を水を注ぐようにシート上に投下して充填を行うことを試みた。その結果、どのシートでも空隙を砂でほぼ完全に満たすことができた。この実験はシートが完全に乾燥している状態で行ったが、現場への適用を考えると、シートの敷設後に地面からの水分の蒸発や降雨などによってシートが水分を含むケースが考えられる。そこで、シート構成材の表面が湿る程度の水分を与えた後に、上記と同様に充填を試みたところ、水分を含んで流動性を失った砂が空隙径の小さい場所を閉塞してしまうため、完全に土砂充填ができなくなった。また、充填に用いる乾燥砂を、砂粒単位まで分離したものから、細粒分が固結した塊を含むものに変更したところ、塊が空隙を閉塞して充填がうまくできない場合が見られた。以上からこの充填方法では、砂およびシートが完全な乾燥状態であり、かつ塊がない砂を用いなければならないことが分かる。

実際の施工現場では広い範囲に敷設し終わった後にシートが湿ってしまったらそれを乾燥状態に戻すのが困難であること、またそもそも乾燥砂を大量に入手するのが困難なことなどといった問題がある。そのような問題がない施工現場の場合には適用して良い。ただしその際にも、**3.3**(2)に示したような充填用土砂を用いなければならない。上記した問題は、特に施工面積が大きい場合に顕在化すると予想される。したがって、本方法は小規模な修繕(第4章参照)などには適した方法と考えられる。

3.10 植生工

土砂充填工を終えた後に充填土砂が自然乾燥し、靴で踏みつけても足跡が付く程度で充填土砂がシートから押し出されない状態になった後、通常のシートなしののり面と同様な工法で植生工を行う。

●解説

堤防のり面に一般的に使用されている張りシバ工や種子吹き付け工など、どのような工法でも用いて良い。しかし、シートの土砂による被覆をより確実にすることを狙うとすると、張りシバ工が最適である。張りシバの裏には根茎とともに土壌が付いており、また張りシバの目地には目土を入れるので、これらがシートを被覆する土層の役割をするためである。

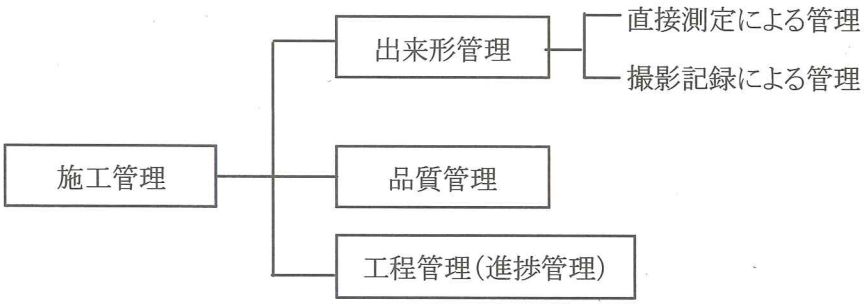
植生工を実施している最中にシートが土砂で被覆されていない場所を確認したら、そこに撒き土を行ってシート上に1～2cm程度の土層を被せてから、植生工を行うこと。

3.11 施工管理

シート工法が的確に施工されるように、また工程どおりに施工が進むように出来形、品質、工程の管理を行う。

●解説

施工管理の基本構成は以下のとおりである。



①出来形管理

出来形管理は、直接測定と撮影記録による管理に分けられる。直接測定では、工事の出来形を把握することを目的として、工作物の寸法、凹凸、勾配、基準高などを施工の順序に従い直接測定し、逐次その結果を管理図表または結果一覧表に記録し、つねに適確な管理を行う。撮影記録では、出来形測定、品質管理を実施した場合、または施工段階(区切り)および施工の進捗過程を確認するため、必要に応じて写真撮影を行う。

②品質管理

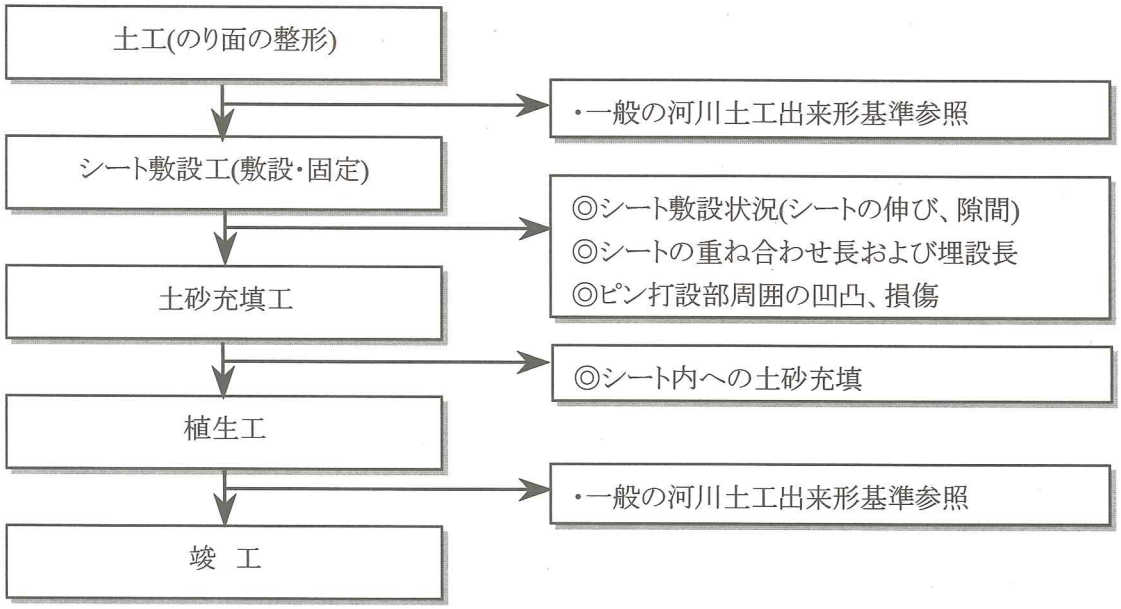
シート、固定ピン、充填用土砂、高含水比土砂など資材の品質を把握するため、物理的および化学的試験を実施し、逐次その結果を管理図表または結果一覧表に記録し、つねにより適確な管理を行う。

③工程管理

指定期日や手持資材などを考慮し、竣工に必要な作業の手順および日程を定めて工程計画表を作成し、工事実施途中で計画と実績を比較検討し、計画とおりに竣工できるように必要な処置を行う。

以下では、シート工法に特有の施工管理について、その項目と手順などを示す。

(1) 出来形管理



出来形管理として、各工程の段階ごとに上記の確認・検査を行うものとする。

a) のり面整形の出来形管理

のり面整形の管理にあたっては、一般の河川土工出来形基準に準ずるものとする。のり面の凹みは、シートが地面と密着するのを妨げるため、極力無いように施工する必要がある。足跡や地面に半分埋没していた礫を取り除いた際にできるような局所的に深い凹みが形成されていないことを確認し、形成部は土砂で埋め戻すなどの補修を行うこと。

b) シート敷設工の出来形管理

敷設工の終了後には以下の3項目について確認・検査を行う。

①シート敷設状況(シートの伸び、隙間)

敷設したのり面全体を満遍なく歩きながら、シートにしわやよれがないか、シートとのり面との間に隙間が生じていないか目視によって確認する。それらが確認された場合には、その部分のシートを敷き直すか、固定ピンを追加打設して修正すること。

また、敷設されたシートの長さと幅を測定し、設計したシート配列、寸法で敷設されているか検査する。湾曲部を除き、シートを引き延ばして敷設することは禁じられている。シートを許容値以上に引き延ばすと、シートの厚さや空隙率の変化に伴って設計で見込んだ耐侵食力が発揮できない(限界流速が減少する)危険性があるためである。シートの幅、長さに設計値(または納入時の品質管理時に測定した値)に比較して2%以上の伸びが確認された場合には、敷設工をやり直す。

②シートの重ね合わせ長および埋設長

シートの接続部および埋設部については、全箇所において検査し、標準値とした長さが確保できていることを確認する。標準値未満であった場所については、敷設工をやり直す。

③ピン打設部周囲の凹凸、損傷

打設したピンの周囲に著しい凹凸や損傷がある場合、流水に対して侵食の弱点箇所となる。このため、打設したピン周りの状況について確認する。のり面を満遍なく歩き、目視で1本1本のピンを確認する。ピンの打ち込みすぎでシートが凹んでいる場合は、シートが凹まないようピンの打ち込み深さを修正する。また、損傷している部分は、ピンの位置をずらして新たに打ち直す。

c) 土砂充填工の出来形管理

シート下面まで土砂が完全に充填されているか(特にシート接続部)を確認する。流れ方向に連なるシート接続部については5mに1カ所程度、直交するシート接続部では全箇所について、重ね合わせた上側のシートを持ち上げて、**写真-3.12**に示すようにシート下面まで土砂が充填されているか確認する。この管理は土砂充填作業と並行して行い、完全に充填されていない場所を確認したら、その部分について土砂充填を出来るだけ早急に追加して行うこと。充填土砂が乾燥すると、**3.9**に示した方法で再充填できないので、加振すれば液状化する程度の含水比を保っているうちに、すみやかに再充填を行うこと。

d) 植生工後(竣工)の検査

シート設置範囲、のり勾配などの諸元や仕上がり(のり面の凹凸の程度)について確認する。完成後ののり面の施工管理基準は一般の河川土工と同一で良い。

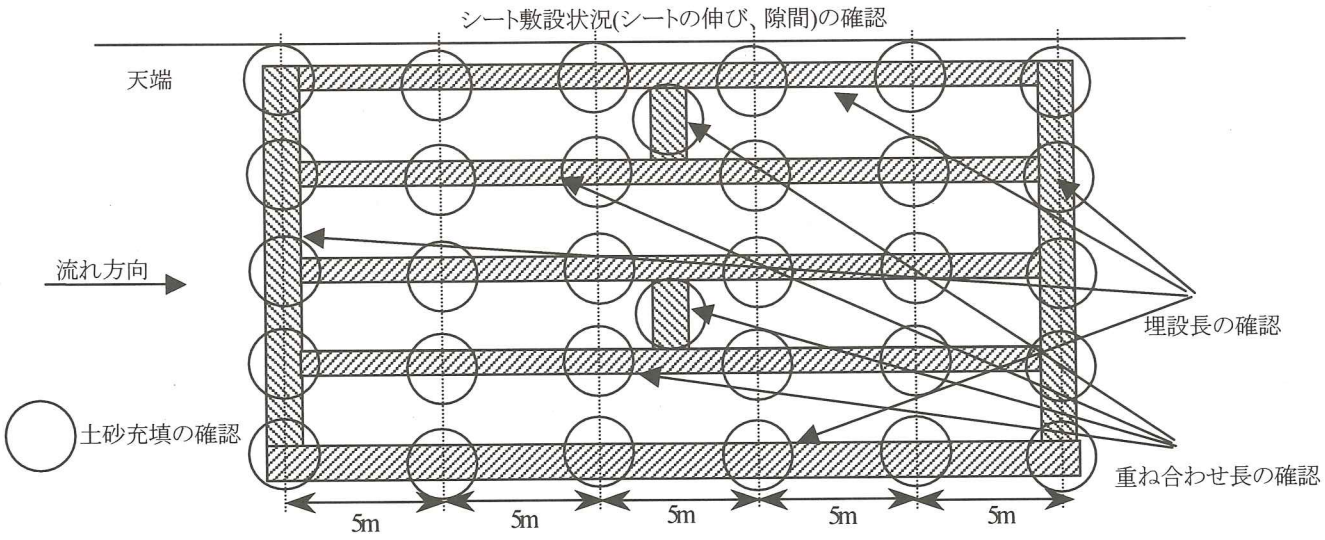
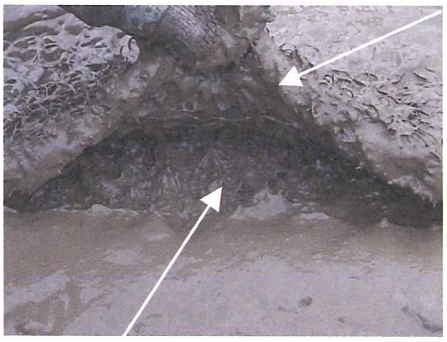


図-3.18　出来形管理の実施箇所

(2) 品質管理

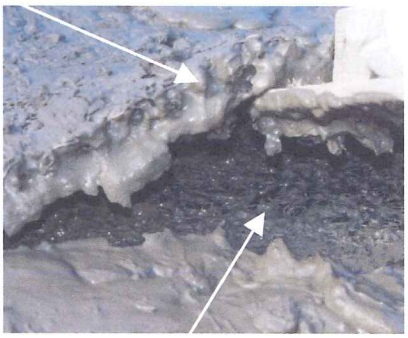
ここでは、特に重要な管理項目であるシート、充填用土砂、ピン、高含水比土砂についてのみまとめる。それ以外についても、必要に応じて実施すること。

完全に充填されている状況(シート表面から下面まで土砂が行き渡っている)
このような状況になるように管理する。



○シート空隙部に土砂が充填されている

a)良好な充填状況の例



×シート表面に土砂が付着した程度で充填されていない

b)不完全な充填状況の例(再充填が必要)

写真-3.12　土砂の充填状況の確認

a)　シートの品質管理

納入時に設計で見込んだとおりの耐侵食力(限界流速)を発揮できるシートであるか確認する。具体的には構成材の代表径、目付(単位面積あたりのシート重量)、厚さ、幅、長さについて検査する。目付と厚さについては、以下の条件を満たすもののみ合格として、施工に用いて良い。

$$t_m \geqq t_d$$

$$\sigma_m / t_m \geqq \sigma_d / t_d \times 0.97$$

ここで、tはシート厚さ、σは目付であり添え字のm,dは測定値と設計値を表す。設計値とは**表-2.1**に示すように限界流速の評価に用いた値である。なお、設計値に対して測定値が極端に大きいシートであると、土砂充填性が低下している可能性があるので、その懸念がある場合には土砂充填性について確認(例えば性能試験・評価法の手引き(第2編)**3.2**に示す方法により)してから納入すること。

また、幅と長さについてはあらかじめ計画したシート配列と比較して、(1)に示す出来形管理に示した基準を満たすように敷設できるようであれば、合格として用いて良い。なお、ここで測定した幅と長さは出来形管理での測定値との比較に用いるので、記録を怠らないこと。

b)　充填用土砂と固定用ピンの品質管理

納入時に **3.3**(1),(2)に示した条件を満たすものであるか、粒度分布試験や寸法測定を実際に実施して確認する。

c)　高含水比土砂の品質管理

山積みにしている充填用土砂の含水量が変化するなどの原因によって、試験製造で定めた混合量のとおり撹拌しても最適のスランプ値となる高含水比土砂が得られなくなる場合がある。少なくとも各日の午前と午後の施工開始時にはスランプ試験を行い、最適値となるように混合量の微調整を行う。また、上記以外にもスランプ値の変化に起因する施工不良が認められた場合には、すみやかに上記試験と微調整を行うこと。その際、土砂量をホッパで測定しておくこと。試験を実施した日時と試験および微調整の結果を記録すること。

4. 維持管理・修繕

維持管理は、シートに土砂が充填され、かつ覆い隠された状態を維持するために行う。また、修繕は供用期間中に何らかの理由で設計で期待した耐侵食力が得られなくなった範囲のシートを取り除くとともに新たなシートに張り替えることで、耐侵食力を維持するために行う。

●解説

シート工法は、**1.2**(4)に示したように維持管理・修繕による耐侵食力の維持を必要不可欠な前提条件として開発されている。シートの開発研究では、侵食防止シートを堤防のり面に施工した場合を想定して、既往の堤防点検簿などの資料やアンケートによる堤防管理の実態調査を行い、シートの損傷が生じると懸念される主だった状況について、以下のようにまとめた。

① 草刈り、集草などの植生管理
② 車両の乗り入れによる轍の形成
③ たき火、野火、集草焼却

以上の項目については、のり面に第 3 章に示した施工法に準じてシートを施工して、実スケールの再現実験を行い、維持管理上の留意点を明らかにした。しかし、実際の維持管理の経験を踏まえたものではないので、必要最低限に留まっている。今後、更なる改良を期待して、以下には実験結果の概略と維持管理上の留意点を示す。なお、実験結果の詳細については共同研究報告書[1]第 6～8 章を参照されたい。

4.1 維持管理の留意点

堤防点検時に、特に植生の繁茂密度が低い場所および轍の形成部に重点を置き、シートが地面に露出したり、切断や潰されてないことを確認する。それらが形成されていた場合、シートの形状および強度に特に劣化が見られなかったら、土砂を充填・被覆し、良く締め固める。必要に応じて植生工も行う。なおシートに異常が見られた場合には、**4.2** に示す修繕を実施すること。

●解説

カッターによって流れ方向と直交するように長さ 20cm に渡って切断し、侵食実験を行ったところ切断部では顕著な局所洗掘が生じなかった。この理由は、シートが根茎によって地面に固定されていたため、切断部から捲れ上がったり、切断開口部が広くなって土砂が露出することがなかったためである。また、轍部についても同様に侵食実験を行ったところ、シートが凹むほど深い轍だと侵食弱点箇所となることが明らかとなった(これらの詳細については共同研究報告書[1]第 4 章を参照のこと)。以上の結果から、植生の繁茂密度が低く根茎によるシートの固定効果が期待できない場所および轍部を重点調査対象とした。上記の場所を含めてシートの強度が保持されているか、定期的に試験を行うことを勧める。シート強度が**表-2.2** に示した基準値を下回ると、出水時に十分な耐侵食力が発揮されない懸念がある。

また上記の①～③について実験を行ったところ、シートに土砂が充填され、かつ土層で覆われていれば、損傷がほぼ生じないことが分かった。したがって、維持管理の目標としてそのような状態を維持することとした。以下に、その実験結果を示す。

(1) 草刈り・集草などの植生管理

自走式の草刈り・集草機(以下、草刈り機と呼ぶ)を用いた作業時にシートの損傷が懸念される状況は以下のとおりである。これらの項目に分けて実験結果を示す。

・ 草刈り機の走行(直線)
・ 草刈り機の旋回(方向転換)
・ 草刈り(刃を作動させての走行)

a) 草刈り機の走行(直線)

草刈り機の接地圧は、平均で 0.15(kgf/cm^2)、最大で 0.21(kgf/cm^2)である[1]。実験においては、**写真-4.1** に示すように同一のコースを 50 往復走行したが、走行後にも深い轍が形成されず、シートの損

傷も生じなかった。



写真-4.1　草刈り機の走行状況

b) 草刈機の旋回(方向転換)

草刈り機が方向転換を行うと、**写真-4.2** に示すようにのり面を強くせん断するような荷重が作用する。実験においては、シートが土層とシバで被覆されている状態とそれらを剥がしてシートを露出させた状態で、それぞれ同じ箇所を走行するように 5 回旋回を行った。シートが被覆されている場合には、シートの損傷は殆ど生じ無い。シートを露出させた状態では、シート表面が破れるなどの損傷が確認された。



写真-4.2　草刈り機の旋回状況

c) 草刈り(刃を作動させての走行)

草刈りを行うロータリーカッターを回転させると、それによってシートが切断されたり、巻き込まれたりして、大きく損傷することが懸念される。その有無を確認するための実験として、カッターを回転させて実際の草刈りと同様の状況で数回のり面を走行したが、シートが地表面に露出していなければ損傷しないことが確認された。



写真-4.3　草刈り状況

d) まとめ

以上の結果から留意事項を以下のようにまとめられる。

- 一般的な草刈り･集草機を用いた作業を行ってよい。
- ただし、のり面上で旋回する場合は、ゆっくり運転してのり面が損傷しないようにすること。
- 植生管理後、堤防点検を行ってシートの露出や損傷の有無を確認し、必要に応じて維持管理･修繕を行うこと。また、除草作業中にも露出部が確認されたら、そこを走行する前に維持管理･修繕を必ず行うこと。

(2) 車両の乗り入れによる轍の形成

のり面に車両のタイヤのものと推察される轍を確認したことが、堤防点検簿に報告されている。これは、オフロード車などの乗り入れや転落、脱輪などによって形成されたと考えられる。その形成状況の再現を試みた実験では、**写真-4.4** に示すように 2 割および 3 割勾配ののり面にオフロード車を繰り返し 10 回乗り上げさせたが、大きな轍は生じずシートの損傷も無かった。実験時にはのり面は乾燥しており、降雨直後のようにぬかるんだ状態では、轍がより深く形成され、シートに何らかの損傷をもたらすと推察される。そこで、平地にシートを敷きならべ土砂を充填しない状態でオフロード車を走行させたところ、強度の小さいシートで損傷が確認された。

したがって、維持管理時の留意事項として、轍が形成されていたら、その部分のシートを露出させ、損傷の有無を確認することが挙げられる。



写真-4.4　オフロード車の乗り入れ状況

(3) たき火、野火、集草焼却

シートの主素材は熱可塑性樹脂であるため、熱が加わると変形や燃焼が生じやすい。そのため、シートを敷設したのり面上で焚き火、野火、集草焼却は行ってはならない。しかし、何らかの燃焼跡が堤防点検簿にも報告されており、万が一そのような燃焼があった場合でも損傷しにくいように維持管理することが望まれる。実験では、**写真-4.5** に示すようにシートが土砂とシバで被覆されている状態、およびシート表面が露出している状態でのり面上に稲藁 3kg を載せて自然消火するまで燃焼させ、シートの損傷状況を調べた。



写真-4.5　稲藁の燃焼状況

実験結果より留意事項は以下のようにまとめられる。

・ 土砂とシバで被覆されている状態であればシートの損傷は、ほぼ生じない。

・ シート表面が地表に露出している状態では、シート素材によっては露出部が溶ける。

堤防点検において、焚き火、野火の事例数は多く、タバコ、草焼き延焼が原因となっている。発生場所は人家近くや道路沿いなど人が近づきやすい場所に集中しており、維持管理時には特にこの周囲において注意深く実施する必要がある。

4.2 損傷部の修繕

シート損傷箇所の修繕方法の一例を以下に示す。この方法を参考にして、損傷の程度および範囲に応じて、シートの耐侵食力が適切に発揮できるような修繕を行うこと。

①表土と植生をスコップ等※1により取り除き、損傷箇所とその周囲のシートを露出させる。

↓

②電動丸鋸※2などを用いて損傷部を切り取る。

↓

③切り取った範囲に新しいシートを敷設し、ピンで固定する。

↓

④土砂充填、覆土、張りシバを行って完成

※1)電動丸鋸であると、土砂と植物で被覆されている状態のままシートを切断できる。

※2)シートの切断には、電動丸鋸(小型)を用いると迅速かつ損傷が少なく切り取ることができる。ただし、薄く柔らかいシートや損傷箇所の周囲に凹凸が生じていると電動丸鋸の適用が困難な場合があり、その場合にはカッターやハサミなどで切断すると良い。

●解説

シートの接続、固定や土砂充填の方法は、第 3 章に示した施工法に準じて行う。そのような修繕を試験的に行った例を以下に示す。

a) 損傷部の切除

損傷部を取り囲むように矩形範囲を設定し、切除する。矩形範囲の設定では、切断する位置を損傷部の端部から 10cm 以上離すようにする。そして**写真-4.6** に示すように型枠(ベニア板などを用いる)を用いて、カッターまたはグラインダーで真っ直ぐ切断する(新しいシートをこの範囲にはめ込む際に隙間が生じないようにするため)。さらに、**図-4.1** に示すように上流側に長さ 20cm の切り込みを入れる。



a)カッターの場合



b)電動丸鋸の場合

写真-4.6　損傷部の切除

b) 張り替え用シートの製作

シートの長手方向を流れ方向に合わせて、切除した範囲と同じ幅、かつ長さは重ね合わせに必要な長さ 40cm を加えた長さで切断し張り替え用シートを製作する。幅は若干大きめにし、切除した切り口とぴったり密着させられるようにしておく。

c) 張り替え用シートの敷設･固定

切り込みを入れたシート上流端をめくり上げ、張り替え用シートを**図-4.1** に示すように既設シートと重ね合わせて敷設する。重ね合わせた部分は **3.7** に示した方法に準じて固定する。また流れ方向に沿うシート接続部は、重ね合わせないで切断面どうしを密着させるようにし、その状態を保つように固定ピンを打設する。その際、**図-4.1** に示すようにシート端部のめくれ上がりを押さえ込むように、流れ方向にコ字型に見える面を向けて打設して良い。ピンの打設位置は重ね合わせ部から 10cm は離し、またピン間隔も 50cm 以下になるようにする。以上までの作業を終えた状態の一例を**写真-4.7** に示す。

d) 土砂充填工と植生工の実施

シート修繕部に土砂充填工と植生工を行い、完成する。

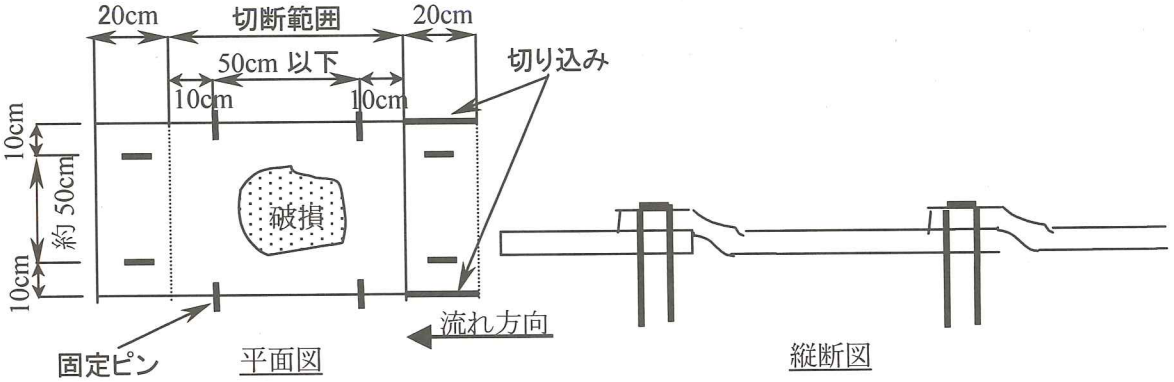


図-4.1　シートの修繕例



写真-4.7　張り替え用シートを敷設･固定した状況

5. 撤去工

既設シートを撤去する際には、シートの断片が土中に残らないようにするとともに、シートに充填した土砂とシートを分離させることが望ましい。

●解説

シートを剥ぎ取る際にシートが小片化して土中に散乱すると、河川環境上などの理由でそのまま放置するのが困難と思われる。しかしながら、小片を全回収するのは労力的に無理があり、また全回収をあきらめて土砂ごと撤去、処分するとなると、産廃処理の量が土の分だけ増え、費用的観点で問題が生じる。したがって、小片化させないでシートを撤去する技術が求められる。

以下には、試験的に実施した撤去工法を示す。これを参考にして現場の状況に応じて工夫されることを期待する。なお、この工法で小片化させないために必要と考えられる強度は、出水時に侵食防止を行う際に破断しないのに必要な最低強度とも一致している(詳細は共同研究報告書[1)]の第6章参照)。そのため、点検時に強度を定期的に測定するなどの監視を行い、劣化が進んで上記の強度を下回る(つまり耐用期間が過ぎる)直前に交換しなければならない。

●撤去工法の例

通常実施されている堤防のり面の修復工事を参考にして、堤防天端からのバックホーによって、のり尻～天端方向にシートを取り除くこととした。この例では、のり面整形用バケットを取り付けた0.45m^{3}のバックホーを用いた。**写真-5.1**に示す作業順序にしたがって以下に工法を説明する。

①バケット先端部をシート上面に到達するまで刺し入れて、シート上の土壌と植生を剥ぎ取る(a)参照)。

②バケットをシート下面まで刺し込んだ後にのり面に沿って移動させることで、シートを地面から剥ぎ取る(b)参照)。取り出したシートはのり尻に仮置きする。(c)参照)

③バックホーのバケットをホーク(挟み)に取り替え、それでシートを掴み、振動を加えて付着している土砂を落とした後に運搬車に積載する(d)参照)。なお、土砂を乾燥させてから振動を加えると、土砂とシートが効率良く分離できた。

なお、①を省略して②を行うと、シートに付着した土砂の重量が大きくなるため、③において振り落としを行う際に小片化が非常に生じやすくなった。したがって、土砂とシートをいかに分離させて小片化を防ぐかが工夫のしどころと考えられる。



写真-5.1　シートの撤去作業状況

6. 施工事例

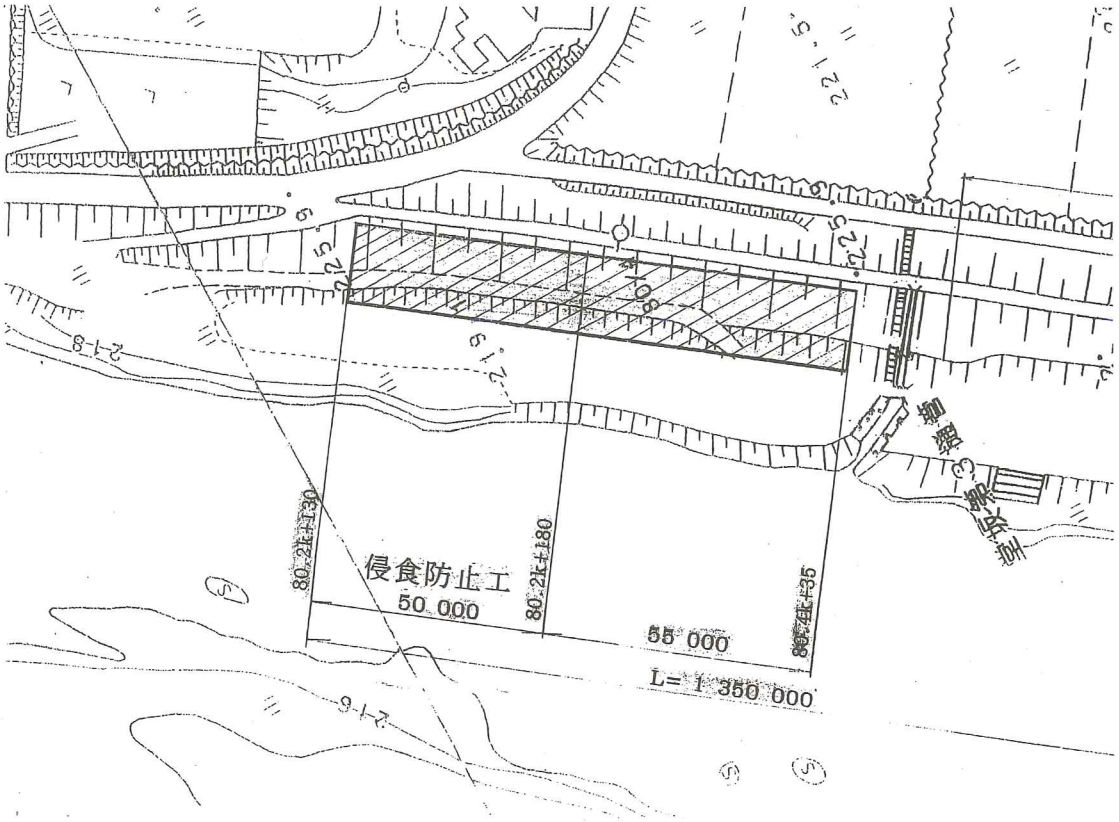
主に第 3 章に示した施工について検討する際の参考資料として、下記の地点での施工事例についてまとめて示す。

(1)阿武隈川　80.2km　右岸
(2)関川　2.4km　左岸
(3)幾春別川　KP27.3km　右岸
(4)江戸川　40.5km　左岸
(5)信濃川　8.8km　左岸
(6)神戸川　4.8km　左岸
(7)仁淀川　13.0km　右岸

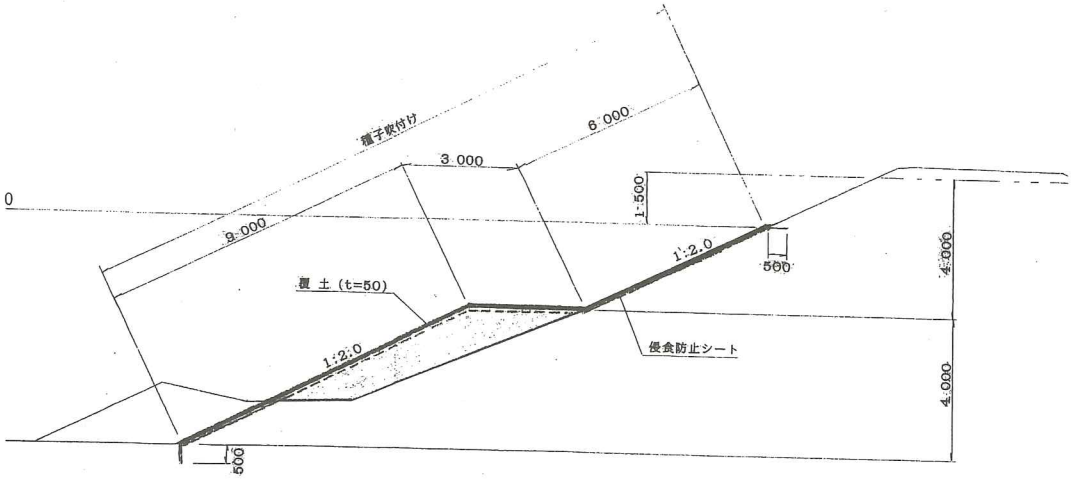
施工順序に従って、施工項目を並べ、各項目について施工状況(写真あり)を示すとともに、留意点や施工法の改良のポイントなどについて考察した結果を示した。また、備考として施工時の作業者の人数や作業の大まかな進行速度について調査した結果も併記した。

これらの結果も参考にして、適切でかつ低コストに抑えた施工を実施できるように、施工法が改善されていくことを期待する。

(1) ＜阿武隈川 80.2km 右岸:A=750m^2＞

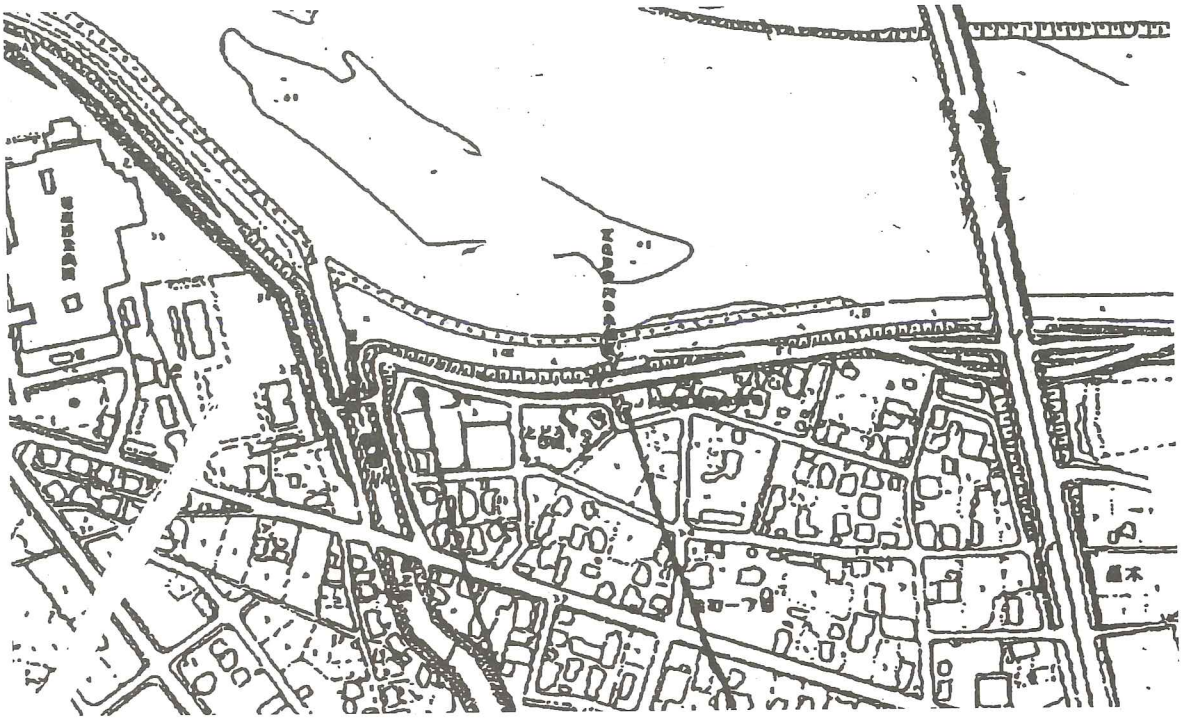


阿武隈川平面図

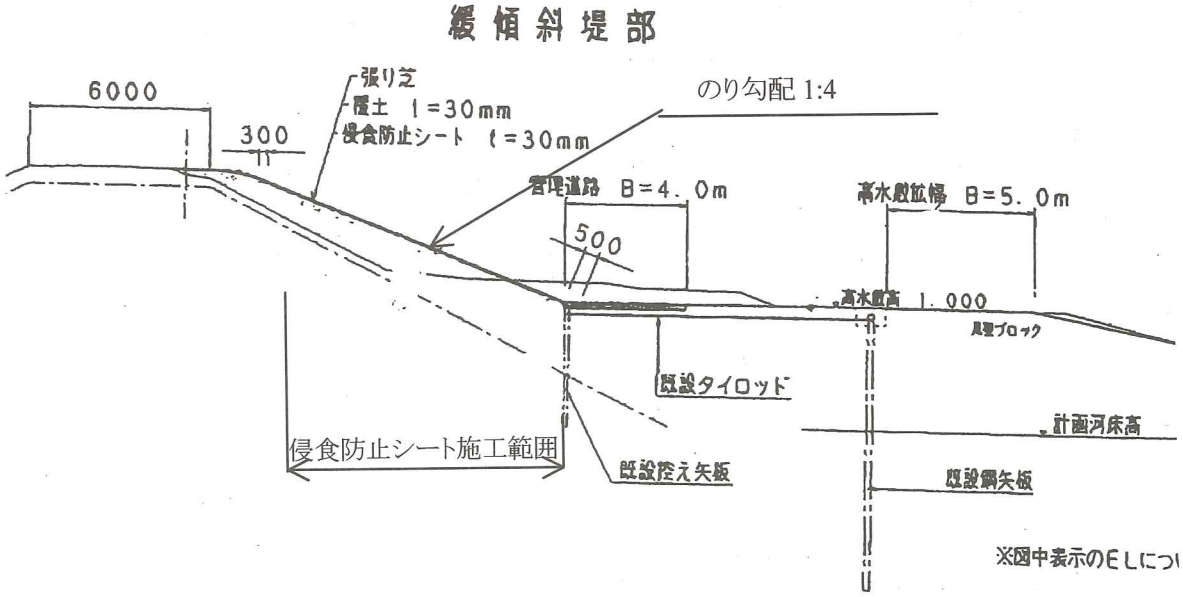


阿武隈川標準断面図

(2) ＜関川 2.4km 左岸:1,000m^2＞

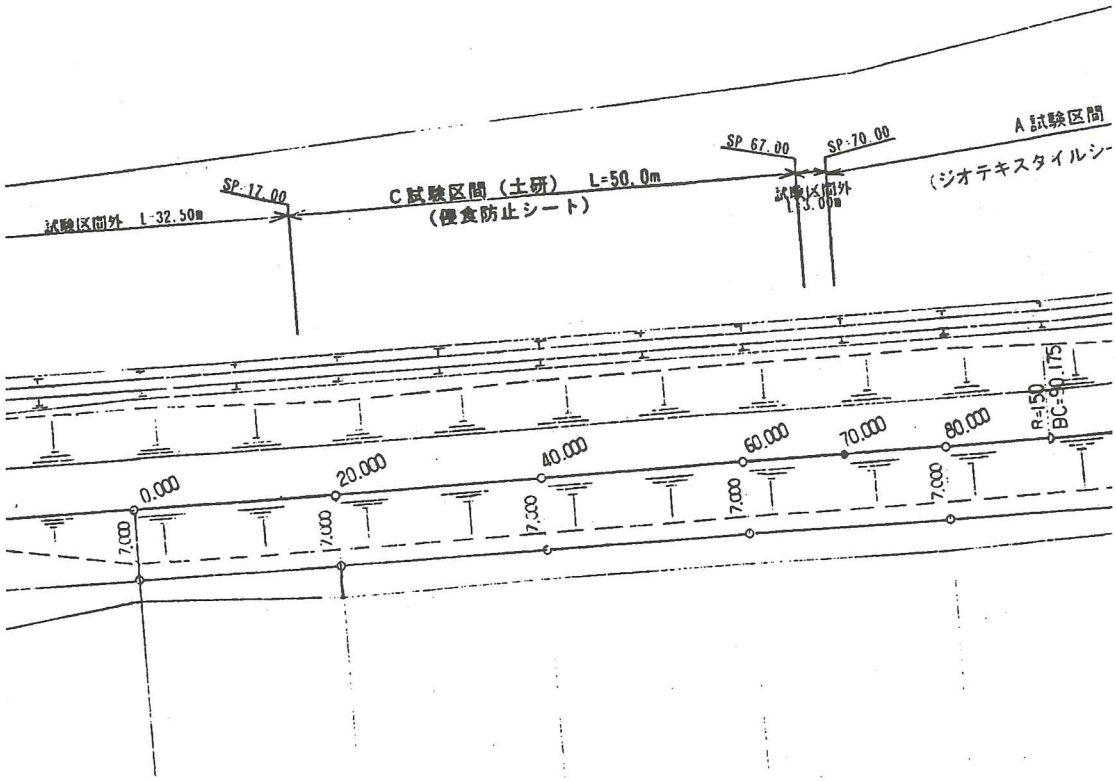


関川平面図

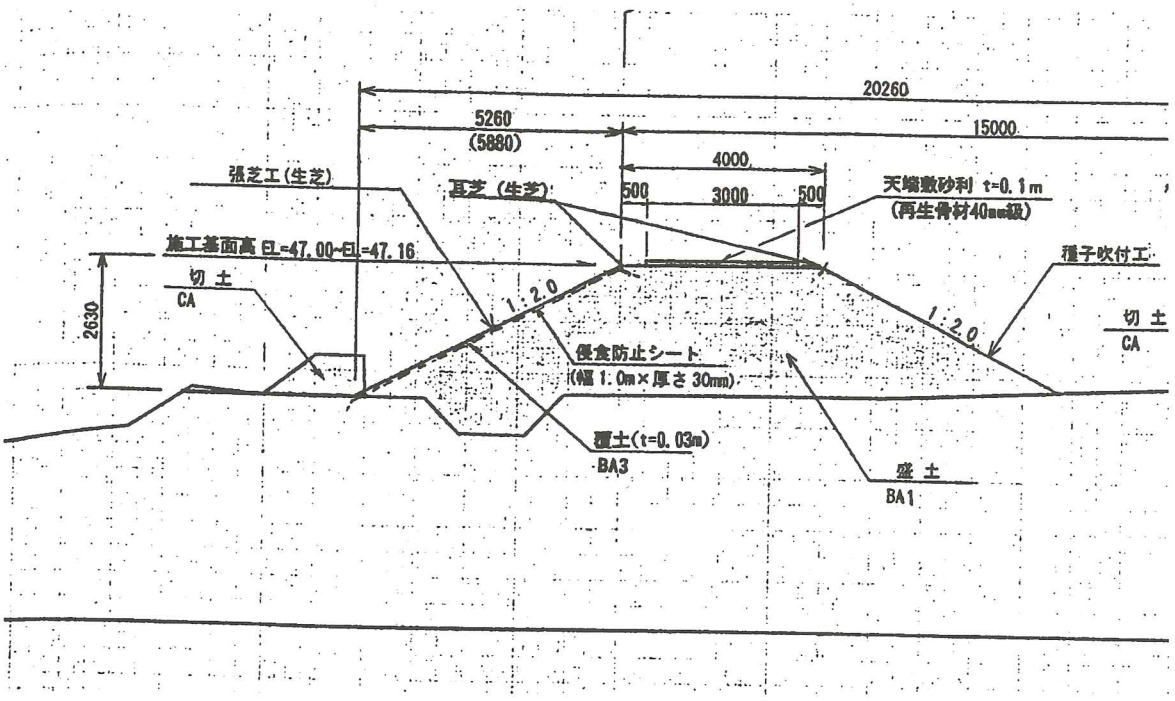


関川標準断面図

(3) ＜幾春別川右岸 KP27.3km：A=400m^2＞

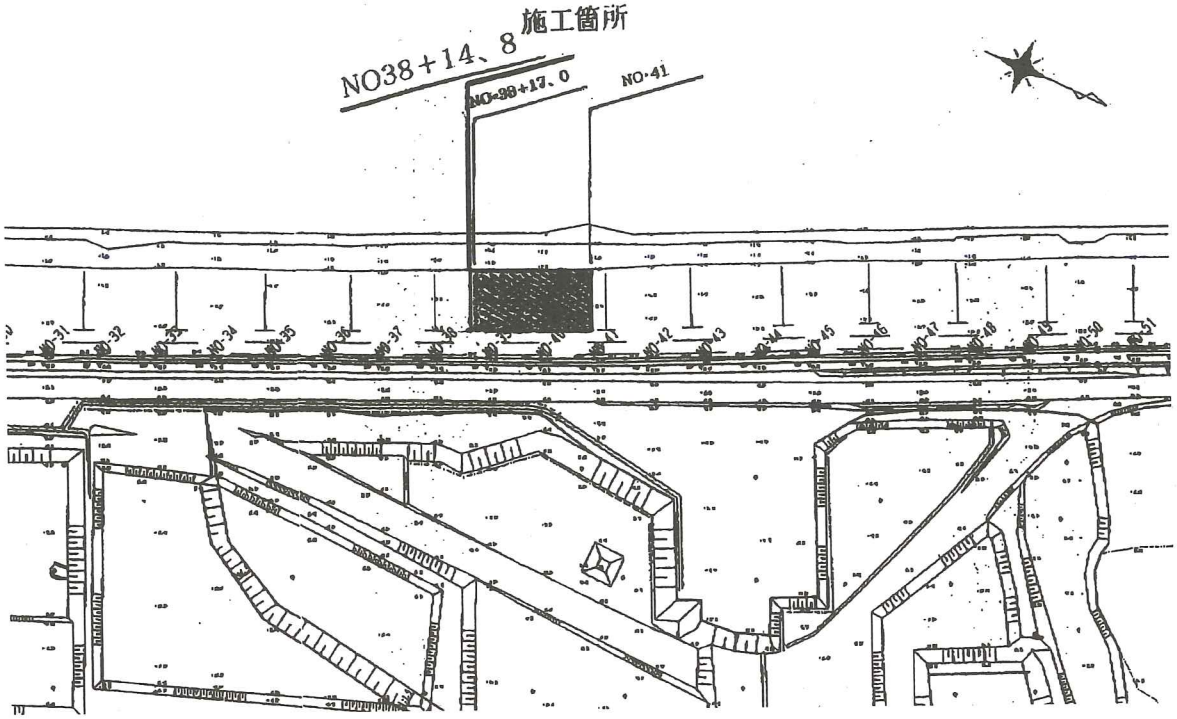


幾春別川平面図

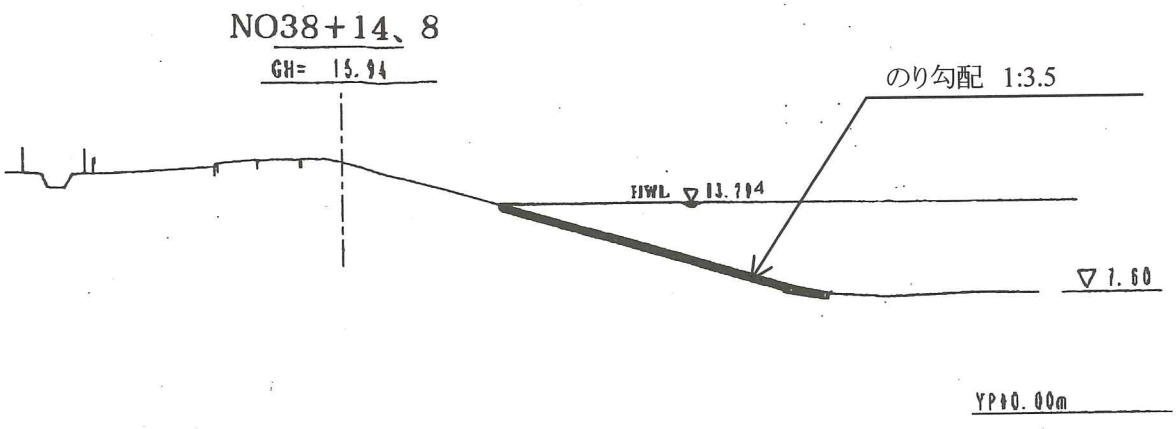


幾春別川標準断面図

(4) ＜江戸川 40.5km 左岸：A=1,000m^2＞



江戸川平面図

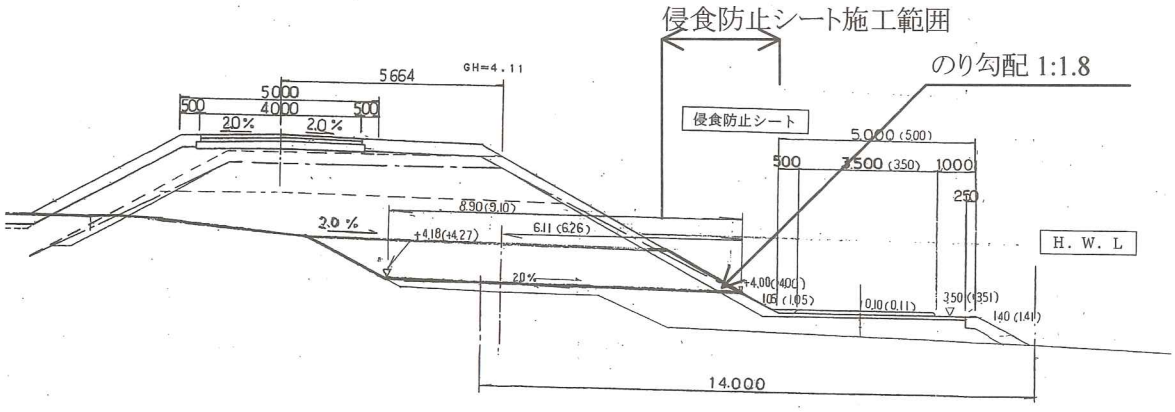


江戸川標準断面図

(5) ＜信濃川 8.8km 左岸：A=380m^2＞

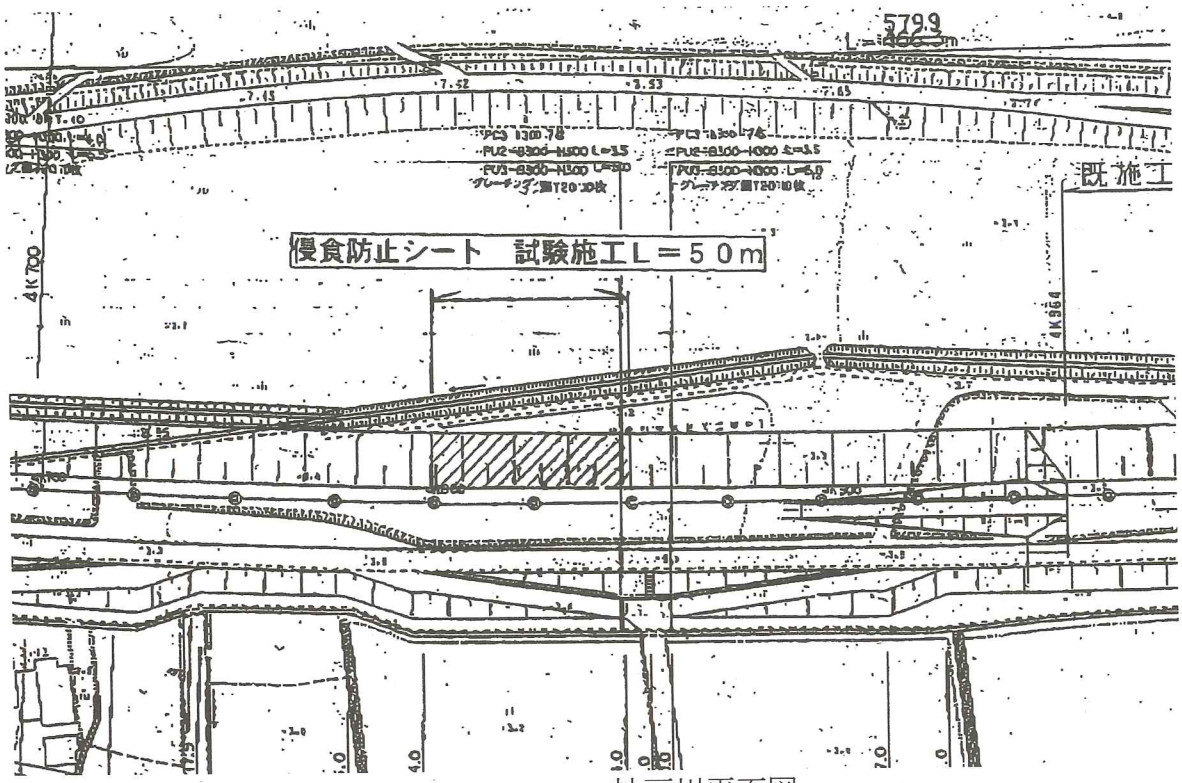


信濃川平面図

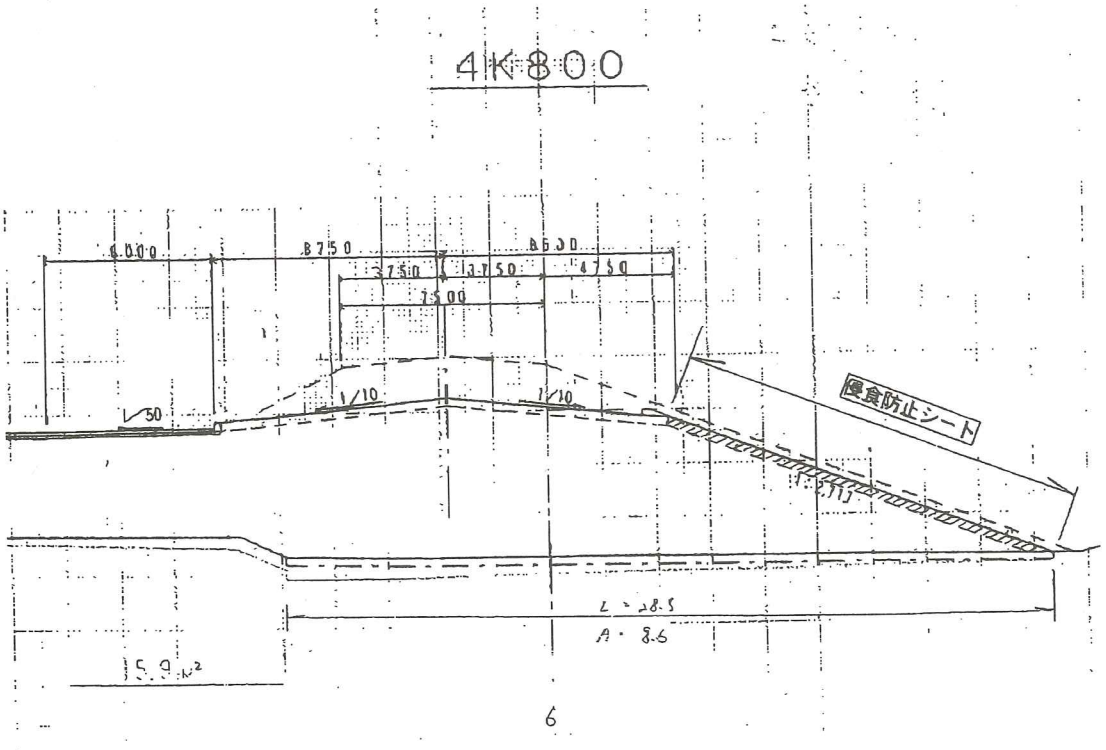


信濃川標準断面図

(6) ＜神戸川 4.8km 左岸：A=800m^2＞

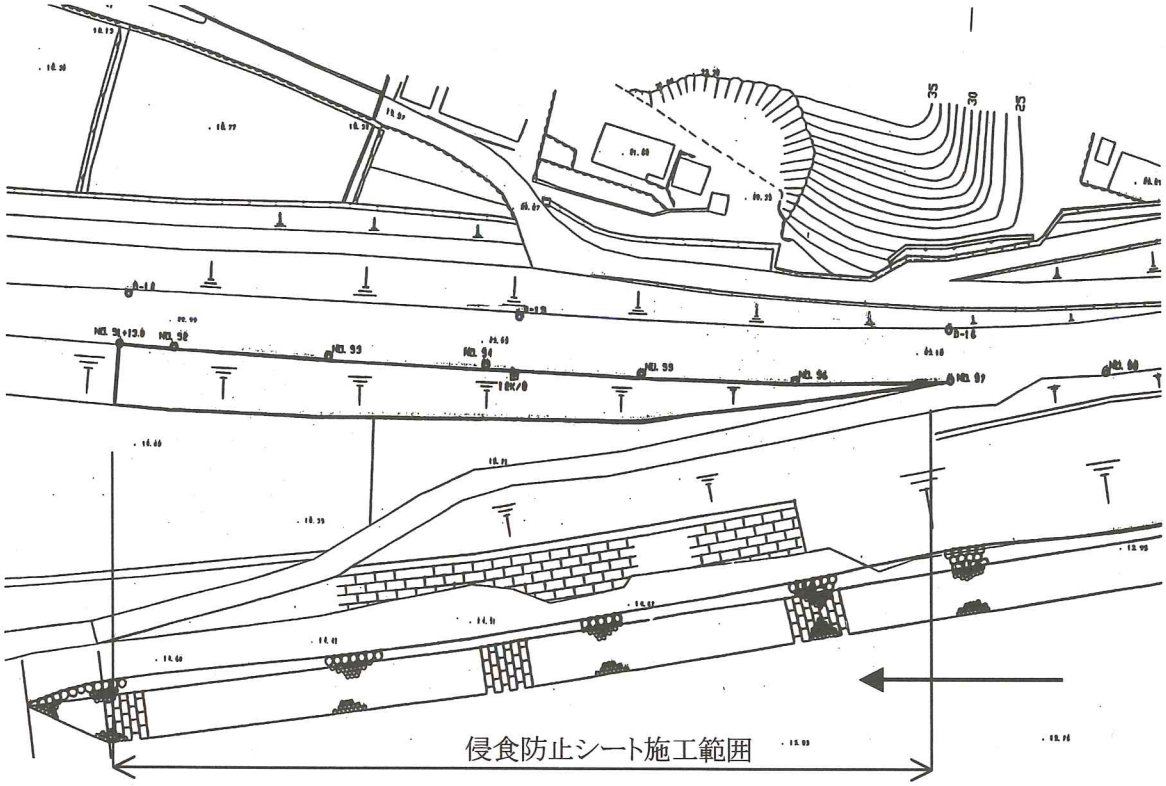


神戸川平面図

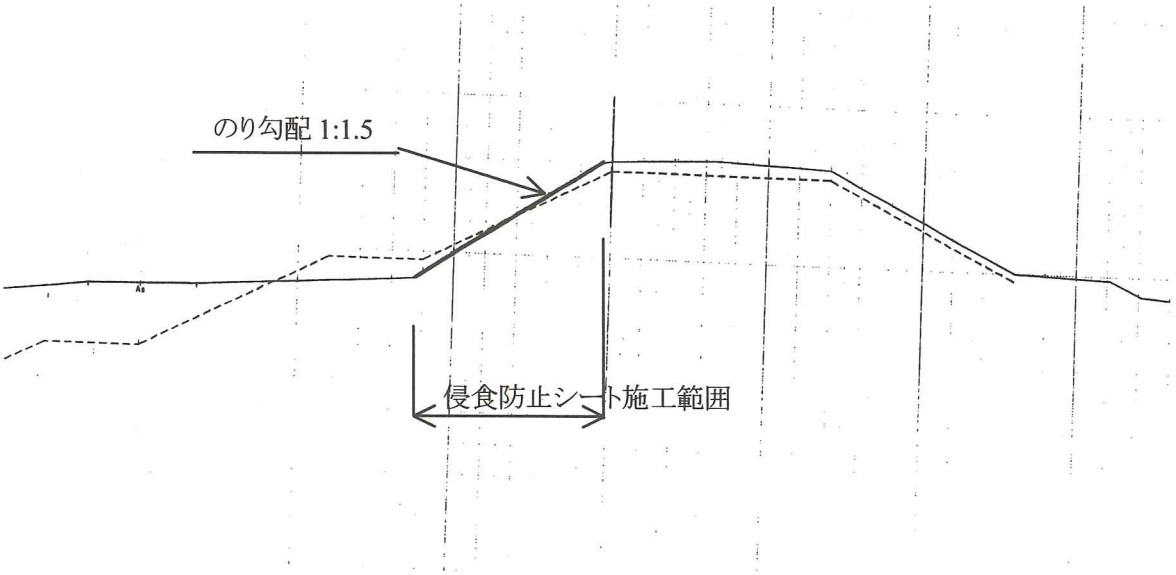


神戸川標準横断図

(7) ＜仁淀川 13.0km 右岸：A=670m^2＞

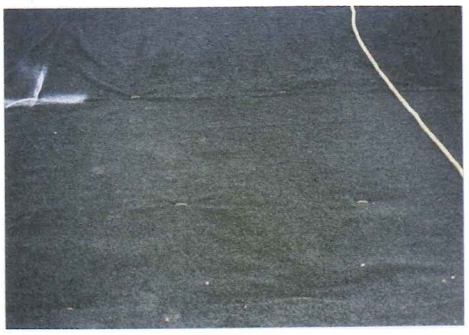


仁淀川平面図



仁淀川標準断面図

阿武隈川：侵食防止シート施工状況（その１）

項目	作業	施工状況	写真
土工	表土剥ぎ取り のり面整形	・ 段切り～盛り土した堤防のり面をシートの設置個所とした。 ・ 通常ののり面整形として、シート敷設面が凸凹にならないよう注意して施工した。 ・ のり尻から天端を見上げながらのバックホウ操作で作業を実施した。	
シート敷設・固定	シート運搬	・ 今回使用したシートはD-3-Fである。2.2m×32m（1ロール）を10本、2.2m×22m（1ロール）を10本の計20本を使用。 ・ 延長を長くしたので重くなった。一部重機を用いたが、基本的には二～三人で1本を運んでいた。	
	シートの敷設	・ シートの敷設･固定はのり尻側および下流端より行った。 ・ 事前に計画したシート配列にしたがって、シート延長の違う2種類を用意し、それらをのり長方向に隣り合う敷設列ごとに上下流端に互い違いに敷設し、接続部を3m以上離した。 ・ 現場でのシート切断は行っていない。	
	シートの固定	・ 幅5cmでコの字型に加工したピンを使用した。	
	シートの接続	・ 全体的には比較的フラットに施工されているが、部分的にピン周りでシートにしわが生じていた。 ・ ピン周りに若干のシート損傷が生じている箇所が見られた。	

考察・検討項目	備考
	【歩掛かり算定】
・ 運搬ではシートが重い(1ロール 32kg、47kg)ため、のり面付近までの運搬には重機を用いた。1ロールごとビニールによって包装されており、そのため引きずってもよく滑って運搬しやすかった。 ・ のり面勾配が急な場合やシートが重い場合は運搬にかかる作業員が増えると考えられる。	シート敷設固定にかかった作業員 ・シート運搬：2～3人 ・シート固定：3～4人 ・ピン打設：2人 ・監督員：1人 の合計6人体制
・ シート配列の検討をあらかじめ行ってシート長を決め、現場での切断が不要なようにした。	シート敷設固定に掛かった日数 (750m^2) ※土工及び端部掘削除く 1日/6人
・ 準用タイプのピンは低廉である点で好ましいが、本シートはピン頭の曲がりがきついとシートが損傷しやすいので、丸みのない標準タイプを用いた。	
・ 本シートのように比較的柔らかいシートでは、ピンの打ち込み時にしわが生じやすいため、ピン先を鋭角に切り落としてシートに穴を空けやすくする方がよい。	

阿武隈川：侵食防止シート施工状況（その2）

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	予備試験	・高含水比土砂を製造し、土質として問題ないかを確認。 ・ミキサー内への土砂投入はベルトコンベアを用いて効率化を図っていた。 ・ホース長 70m で良好に圧送できることを確認した。	
	ミキサーによる高含水比土砂製造	・ミキサーの 1 タンク容量は 0.75m³（土砂 0.4m³＋水 0.2m³ の比率で高含水比土砂を製造） ・ミキサー内部の撹拌翼は 2 段 ・吐出口～貯留槽間に網 15mm を設置した。 ・吐出口で詰まる事はなかった。 ・水は河川水をポンプで貯水槽に汲み上げ、そこからミキサーに入れた。 ・ベルトコンベアを利用したことで、土砂量の管理が適切に行え、かつ作業時間も短縮できた。 ・製造は 3 名で実施。	 グラウトミキサー
	高含水比土砂の品質管理	・充填用土砂は、付近の高水敷を掘削して得た。のり尻付近に運搬した後、3～5cm のふるい（バックホーバケット部）にかけたものを使用した。 ・土砂の採取箇所は数カ所の試験掘をした後、決定した。 ・土砂置き場に放置したため、雨水を含んで多少固まってしまった。ミキサーで撹拌しても小さい塊が少し残ってしまった。	 スランプ試験
	ポンプによる土砂圧送	・圧送ポンプは右写真のスクイズポンプを使用した。 ・圧送ホースの内径はφ2 インチ（約 5cm） ・圧送ホースが 70m と長いため、全体移動には 3 名程度かかっていた。 ・土砂が詰まることは 1 度も無かった。	 スクイズポンプ
	圧送ホースの移動	・ホースは 70m と長いが、充填装置の幅程度の範囲内の移動であれば、1～2 名でできた。 ・それより大きく移動させるには 3 名程度が必要であった。	 土砂圧送作業状況

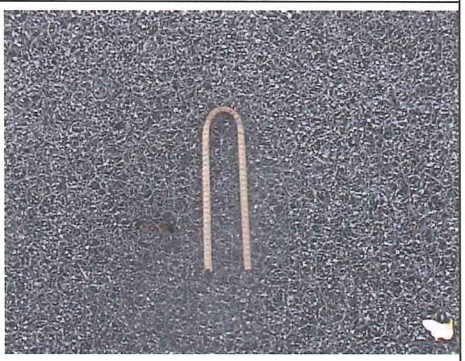
考察・検討項目	備考
・ 一日程度の予備試験が必要。（今回は問題が比較的少なかった）	
・ ベルトコンベアを用いたことで土砂量の確認およびミキサー内への投入が良好に行えるようになった。 ・ 網目 15㎜ 程度の網を貯留槽上に設けて土塊も取り除く方が良い	
・ 塊が無くなるまで十分撹拌するか、網によって塊を取り除く必要がある。 ・ ホッパは使用していない、バックホウのバケットですくい上げた量などを目安にして、土砂量の管理を行った	 土砂製造全景
・ ホース先端に移動のための補助縄を付けることで、かなり効率が上昇した。 ・ シート上での人の移動により部分的にしわが生じた。	

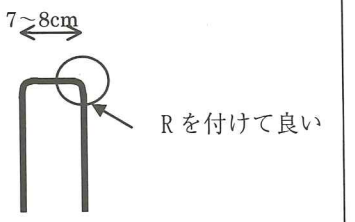
阿武隈川：侵食防止シート施工状況（その3）

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	充填装置の移動	・ のり尻側に設置したバックホーで移動させた。 ・ 天端に施工ヤードを確保できなかった。	 充填装置の移動状況
	充填装置	・ 鋼製振動板は新規に製作した。	 振動装置
	土砂充填作業	・ 土砂圧送は、のり肩付近に土砂を流出し、トンボによってのり面全体に敷き均した。	 振動充填後の高含水比土砂の敷き均し状況
	備考	土砂充填作業 作業員５人＋世話役１人 ◇土砂圧送（ホース）３人 ◇土砂製造（ミキサー）１人 ◇土砂運搬（バックホー）１人 ◇世話役１人	土砂製造時間 10 分～16 分程度 土砂充填作業 2 日～3 日 （今回の方法では 300㎡/日程度）

考察・検討項目	備考
・ 振動板の幅を広くすることが可能であれば、もっと効率が上がると考えられる。	
【歩掛かり算定】 極力重機を用いることで効率が上昇する。とくに、土砂製造時に用いるベルトコンベアは有効である。	土砂充填状況の確認：下側のシートには十分に充填されていない。

関川：侵食防止シート施工状況（その１）

項目	作業	施工状況	写真
土工	表土剥ぎ取り のり面整形	・ 既設堤防(のり勾配 1:2)に腹付け(盛り土)し、1:4 ののり面を新たに造成した。のり長は約 10m、延長は約 100m である。 ・ のり面整形は、のり肩およびのり尻からバックホウで実施し、シート敷設面が凸凹にならないよう注意して施工した。 ・ 施工直後であったこと、さらに降雨のため水を含んだので、地表面は比較的柔らかい。	
シート敷設・固定	シート運搬	・ 今回使用したシートは幅 2.0m×長さ 10m を 44 ロール、2.0m×15m を 4 ロールである。敷設範囲の面積は約 1000m^2 である。 ・ １ロールの重量は、作業員１人で十分運搬できる程度であった。 ・ シートの種類は B-F(表-2.1 参照)である。	
	シートの敷設	・ シートの敷設･固定はのり尻側、および下流端より始めた。 ・ 長さ 15m のシートを敷設する列が変わるごとに上流端と下流端に交互に敷設することで、流れ方向に直交する接続部が一列に並ばないようにした。	
	シートの固定	・ 幅 5cm のピン頭部が丸い準用タイプを用いた。 ・ ロールの中央部近くのきつく巻いたシート端では、シートを展開した後にも丸まりやすい癖が付いていた。そのためピン固定後もピン間で端部が捲れ上がったので、ピン打設本数を多くして癖を押さえつけた。その教訓から、その後の敷設では、シートの表と裏を逆にして敷設し、捲れ上がらないように敷設した。なお、このシートは表裏がないので上記のような施工が可能である。	
	シートの接続（重ね合わせ）と埋設	・ 埋設するシート端部ではシートを折り曲げたが、そのことで損傷はほとんど生じなかった。 ・ シート 3 枚が重なる部分では、そのうち一枚のシートを重ね部分を切除することで、突出することなく良好に固定できた。	

考察・検討項目	備考
	【歩掛かり算定】
	シート敷設固定にかかった作業員 ・シート運搬：1～2 人 ・シート固定：2～3 人 ・ピン打設：2 人 ・監督員：1 人 の合計 5 人体制
・ 隣接する接続部の位置が上下流方向に 3.0m 以上ずれるように配慮して、余分となったシートを下流端で切断した。ロール長は全て 10m 強である。	シート敷設･固定に掛かった日数 (1,000m²) で 2.5 日である。 ※土工及び端部掘削除く 1 日/5 人
・ 本シートはピン頭にきつい丸みがあると、打設後にピン周辺でシートが凹むので、天端に直線部を設ける方が良い。 ・ ピン加工が難しいのであれば、幅を 7～8cm 程度に広げて、平部を設けてもよい（右図参照）。	
・ 赤く塗装した場所がピン打設部である。	

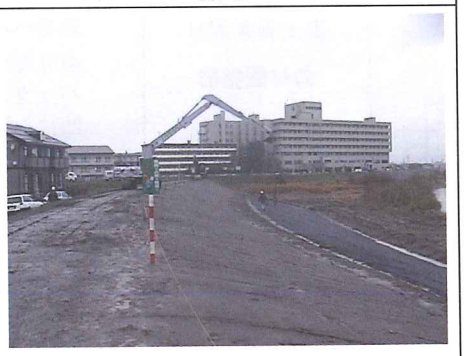
関川:侵食防止シート施工状況(その2)

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	予備試験	・使用する機械は、道路のり面の吹き付けに用いる機械を用いた。(吹き付け方式の採用) ・充填用土砂:設置個所より3km上流での発生土を用いることとし、土質としてもほぼ適切であることを確認した。 ・ただし、発生土には若干の砂利および固結シルトが含有されていた。そのため、事前に網(網目2cm程度)で篩い、それらを取り除いた。しかし発生土が水を含んでいたため、篩うのに非常に手間がかかった。 ・篩い作業はベルトコンベア2台とフルイを用いて実施した。1台目のコンベアで発生土のフルイへの投入、フルイで砂利と固結シルト除去および土砂の重量測定、2台目のコンベアで土砂を所定の重量ごと袋に詰めた。	
	ミキサーによる高含水比土砂製造	・ミキサーの容量は3.0m³と大きいが、底部近くに複数の撹拌翼を有するものであったため、撹拌が十分に可能であった。 ・河川水をポンプ車で汲み上げ貯水槽(吹き付け機内)に一次貯留させ、貯水槽から水量管理を行いながらミキサーに入れた。 ・吹き付け機のミキサー内への土砂投入はユニックで行った。	
	高含水比土砂の品質管理	・施工当初、スランプ値を25cmとしたが、のり面へ吹き付け時に水との分離が若干生じたため、吹き付けた土砂のスランプ値が小さくなり、土砂充填に手間がかかった。 ・その改善策として、スランプ値を27cmに変更した。吹き付け後でもスランプ値が25cm程度になり、シート内の土砂充填が充填作業1回(充填装置を1回走行させるだけ)で可能となった。	 スランプ試験 SL=27cm
	ポンプによる土砂圧送	・圧送ポンプは右写真のように吹き付け機に付属のスクイズポンプを使用した。 ・圧送ホースの内径は出口φ2インチ(約5cm)であるが、出口ではφ1.5インチに縮小させた。 ・圧送ホース(比較的柔らかいビニールホース)の長さは20m+5m=25mであった。 ・吹き付け装置によってほとんど圧力をかけない状態で圧送した。 ・土砂が詰まることが1度あった。	
	吹き付け作業	・圧送ホースの移動は、長さが25m(1箇所ジョイント)と短く、径も小さいため1人で可能であった。 ・作業員(吹きつけの熟練工)は手でホースを若干折り、吹き出し流速を調節しながら吹き付けていた。 ・手元のホースを折らない場合には、圧送ポンプだけの場合と同様に土砂が押し出されるだけであった。	 高含水比土砂の吹き付け作業状況

考察・検討項目	備考
・ 一日程度の予備試験は必ず必要。(今回は問題が比較的少なかった)	 水の汲み上げ状況
・ ベルトコンベアを用いたことでミキサー内への土砂投入の効率が上昇した。 ・ ホッパ(土砂の重量測定器)で土砂量を測定し、配合量の管理を行った。 ・ 充填土砂は 250kg ごとに袋詰めにした。	・ 高含水比土砂の製造は、3 名で実施した。水量の増減でスランプ値を調節できたので、比較的容易であった。
・ 若干量の礫と固結シルトが混じっていた。 ・ 水、土砂の配合量の管理が完全にできていた。 ・ 充填用土砂の篩いに時間がかかった。	 スランプ試験 SL=25cm
・ 吹き付け施設が全てトラックに積載されているため移動が容易である。ホースが届かない範囲には、ホースを届く位置までトラックごと装置を移動することができた。敷設範囲のほぼ中央においてのり尻から天端まで鋼製管を配管し、そこから上下流方向にホースを伸ばしていた。 ・ 3.9 に示したようにこのタイプの吹き付け機であれば、吹き付け方式の採用が可能と思われる。ただし充填用土砂として丹念に礫や土塊を除去したのも良好な吹きつけを可能にした要因の一つと考えられる。なお、充填用土砂の細粒分含有率は 90%程度である。	 ジョイント部

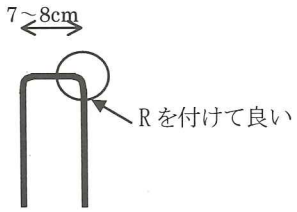
関川：侵食防止シート施工状況（その3）

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	充填装置の移動	・振動板は天端からバックホーで移動させた。 ・天端に施工ヤードを確保した。 ・バックホーのロングアームを用いていたが、のり尻までは届かなかったため、振動板にワイヤーを取り付けた。	
	鋼製振動板	・振動板は新規に製作して用いた。 ・振動板とバックホーは1本のワイヤーで取り付けた。	 銅製振動板
	土砂充填作業	・若干の圧力を加えて吹き付けることで、高含水比土砂がシート内へ充填された。さらに充填装置で加振すると完全に充填できた。特にシート接続部には若干多めに吹き付けることで、1回の振動板移動で完全に充填できた。 ・トンボによってのり面全体に土砂を敷き均し、シートを覆い隠した。	 振動充填後のシート
	備考	土砂充填作業 作業員7人＋世話役1人 ◇ 土砂運搬（バックホー）1人 ◇ 土砂製造（ミキサー）2人 ◇ 土砂圧送（ホース）2人 ◇ 振動板操作(バックホー)1人 ◇ 振動板移動補助（ロープ）1人 ◇ 世話役1人	土砂充填作業には3日程度を要した(ただし充填用土砂の篩いに要した時間を除く)

考察・検討項目	備考
	 土砂充填工の終了後ののり面
	 充填装置の移動状況
・ 振動板の幅を広くすることが可能であれば、もっと効率が上がると考えられる。 ・ 充填性が悪いシートの場合、特に接続部でシートをめくって下側のシートに吹き付けると、良く充填できる。	 土砂充填が十分な状態
【歩掛かり算定】 ・ 吹き付け方式は吹き付けることで土砂充填が容易になるため、土砂充填性が悪いシートに対して特に有効と思われる。	その他 ・ 土砂充填直後の降雨による充填土砂の流失対策 ・ 基本的に、張芝が降雨による侵食の対策になる。

幾春別川：侵食防止シート施工状況（その１）

項目	作業	施工状況	写真
土工	表土剥ぎ取り のり面整形	・新堤への施工である。 ・のり面整形は、のり肩およびのり尻からバックホウを用いて、シート敷設面が凸凹にならないよう注意して実施した。 ・のり勾配は１：２で、のり長は約 6m である。	
シート敷設・固定	シート運搬	・今回使用したシートは A-3-F である。 ・重量は軽く一人で十分運べる。 ・納入量は 1.0m×10m（1 ロール）を 40 本強である。敷設面積は約 300m^2 である。	
	シートの敷設	・シートの敷設･固定はのり尻側および下流端より行った。 ・1 種類(長さ 10m)のシートを 2 等分し、そのシートを敷設する列が変わるたびに上下流端に交互に敷設した。そのため上下流方向に 3m 以上、接続部を離すことができた。 ・上下流端で敷設範囲に合わせてシートをカッターで切断した。	
	シートの固定	・幅 6cm のコ字型ピンを用いた。	
	シートの接続	・全体的には比較的フラットに施工できたが、シート幅が 1.0m のため、接続部が多い。シート幅は 2.0m 以上が望ましい。 ・3 枚のシートが重なる接続部では、そのうち一枚の重複部を切除することで、比較的フラットな状態で敷設できた。	

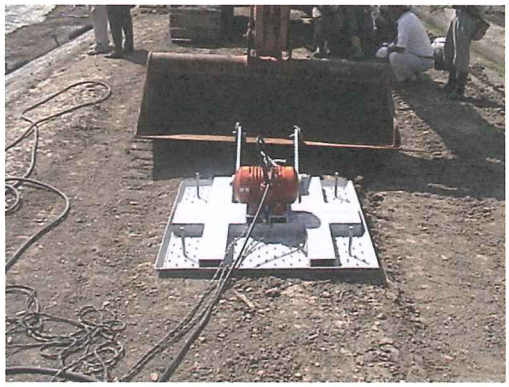
考察・検討項目	備考
	【歩掛かり算定】
	シート敷設固定にかかった作業員 ・シート運搬：1～2 人 ・シート固定：2～3 人 ・ピン打設：2 人 ・監督員：1 人 の合計 5 人体制
	シート敷設固定に掛かった日数 （300㎡）で 1.0 日である。 ※土工及び端部掘削除く 1 日/5 人
・ 幅を 6～7cm 程度に広げ、ピン頂部を平らにしていた。	

幾春別川：侵食防止シート施工状況（その2）

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	予備試験	・ ミキサー内への土砂投入はバックホーおよび人力（バケツ）で行った。 ・ ホース長 60～70m で土砂が圧送できることを確認した。	
	ミキサーによる高含水比土砂製造	・ ミキサーの容量は0.75m³（1タンクあたり）を用いた。 ・ 貯留槽の上に網 10mm を設置して、高含水比土砂から礫や土塊を取り除いた。 ・ 河川水を汲み上げて貯水槽へ溜めた。ミキサーへの水の供給は貯水槽から行った。 ・ 貯留槽は容量 1.0m³ であり、羽で攪拌できるタイプであった。 ・ 土砂製作は、3名で実施。1回当たりの土砂圧送量は2.0m³であった。連続的に製造・圧送を行わなかった。	 スクイズポンプ
	高含水比土砂の品質管理	・ 充填用土砂は、付近の高水敷より採取した。採取した土砂は、のり尻付近に運搬し、盛っておいた。	 スランプ試験
	ポンプによる土砂圧送	・ 圧送ポンプは写真のスクイズポンプを使用した。 ・ 40 リットル/分で圧送した。 ・ 圧送ホースは全長 40m 程度である。 ・ 土砂が詰まることが無かった。	
	圧送ホースの移動	・ ホースの移動には、ほとんどの場合2名で対応していた。	 土砂圧送作業状況

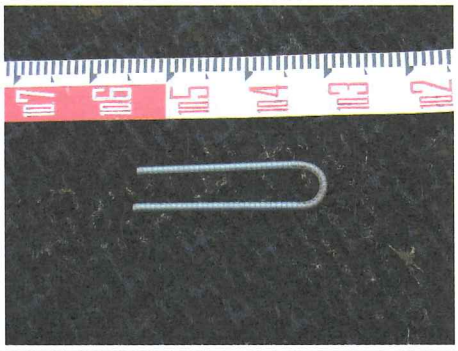
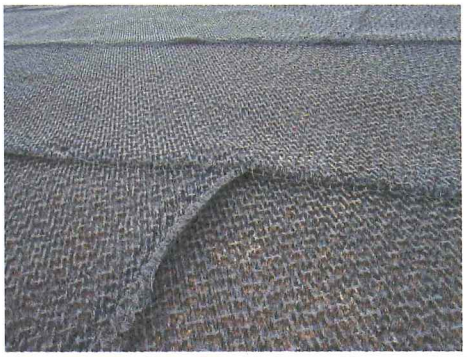
考察・検討項目	備考
・ 一日程度の予備試験は必ず必要。(今回は問題が比較的少なかった)	
・ 1回当たりの土砂製作および圧送は $2.0m^3$ に設定していたが、ベルトコンベアを用いることで所定の土砂量の確認、高含水比土砂製造および圧送の連続作業が可能である。	
・ 水、土砂の配合量管理が完全にできていた。	 土砂製造全景
・ 高含水比土砂の製造は堤防天端で行った。	
・ ホース自体が軽いため先端部を一人で、移動のための補助として一人が作業についた。	

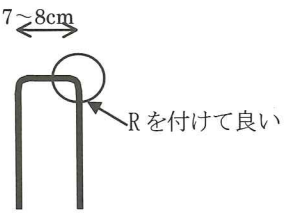
幾春別川：侵食防止シート施工状況（その3）

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	充填装置の移動	・ 鋼製振動板は天端に設置したバックホーで移動させた。通常のアームでのり尻まで届いた。 ・ 天端に施工ヤードを確保した。	
	鋼製振動板	・ 振動板は新規に製作した。 ・ 振動板とバックホーとの取り付けは2ヶ所であった。	 充填装置
	土砂充填作業	・ のり肩付近からのり尻に向かって土砂を流出し、トンボによってのり面全体に敷きならした。 ・ 充填装置による1回の加振では土砂充填が完全に行えなかったため、2回実施した。	 充填終了後のシート
	備考	土砂充填作業 作業員6人＋世話役1人 ◇ 土砂運搬（バックホー）1人 ◇ 土砂製造（ミキサー）2人 ◇ 土砂圧送（ホース）2人 ◇ 振動板操作（バックホー）1人 ◇ 世話役1人	土砂充填作業 2日 （今回の方法では150～200m²/日程度）

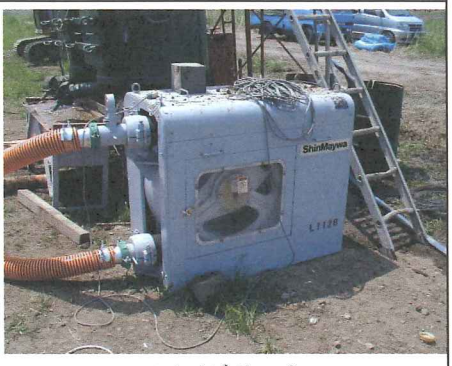
考察・検討項目	備考
	
・ 振動板の幅を広くすることが可能であればもっと効率が上がると考えられる。 ・ 接続部の土砂充填が完全に行えなかったので、シートを捲って下側のシートの上に土砂を直接載せた。	
【歩掛かり算定】	 北海道の一般的な張芝 (0.3m×2.0m)

江戸川：侵食防止シート施工状況（その1）

項目	作業	施工状況	写真
土工	表土剥ぎ取り のり面整形	・既設堤防への施工のため、表土剥ぎ→のり面整形の順で行った。 ・表土剥ぎの深さは10cm（シート厚3cm＋覆土3cm＋芝客土付き4cm）とした。 ・通常の表土剥ぎ・のり面整形と異なり、シート敷設面が凸凹にならないよう注意して施工したため、非常に手間が掛かった。植生の根の深さが10cm以上であり、深さ10cm程度の表土剥ぎでは根の切断があり、綺麗な表土剥ぎ・整形を行うのが困難であった。 ・のり尻から天端を見上げながらのバックホウ操作で土工する（特に10cmだけを平らに綺麗に削る）のが困難であった。	
シート敷設・固定	シート運搬	・今回使用したシートはA-1-Fである。 ・比較的軽いため、基本的には一人1本（2×10mロール状）運んでいたが、場合によっては右写真のように2本一気に持ち運びが可能であった。 ・納入量は2m×10m（1ロール）を57本である。	
	シートの敷設	・シートの敷設固定はのり肩側、および上流端より行った。 ・上記理由は、 ①のり肩側から敷設する方が敷設および接続部の処理がし易いため。のり尻から敷設するとシートがずれる。 ②シート長さを施工範囲に合わせてカットする部分を下流側にした方が好ましいと判断したため。	
	シートの固定	・幅5cmでコの字に加工すると1本200円以上するため、写真のように頭部に丸みを付けた準用タイプを用いた。これにより固定ピンの単価は30円程度に収められた。 ・またピン先端は垂直に切り落とされていた。	
	シートの接続	・今回使用したシートはロール状であったため、その癖が残ってシート端部（ロールの芯部）が捲れ上がった（右写真）。 ・捲れ上がりについてはピンで固定することで対応した。	

考察・検討項目	備考
・ 10cm の表土剥ぎが困難であれば、先ず粗く深めに削って、次に土盛り・整形は行えないか？	【歩掛かり算定】 ・シート重複部の数量が抜けていた。(施工面積の 1.15 倍程度※1
・ 運搬に問題が生じなかった原因は、①のり勾配が比較的緩やか（勾配 1:3.5 程度)、②シートが比較的軽い（1 ロール約 20kg)、③ビニールによる梱包により滑りやすく運搬しやすい、が考えられる。 ・ のり勾配が急な場合やシートが重い場合は運搬にかかる作業員が増えるものと考えられる。	シート敷設固定にかかった作業員 ・シート運搬：1 人 ・シート固定：1 人 ・ピン打設：2 人 ・監督員：1 人 の合計 5 人体制
・ 理由②については、設計段階で切断が極力少なくなるようにシート配列を決めることで改善可能である。(切断後のシートの解れも気にしなくて良くなる)	シート敷設固定に掛かった日数 (1000m^2) ※土工及び端部掘削除く 0.5 日＋1 日＋0.5 日＝2 日
・ 準用タイプのピンは安いが、シートによってはピン頭の丸みがきついとシートが凹むので、丸みを緩くする必要がある ・ 幅を 7～8cm 程度に広げることで、できるだけ頭部の丸みを平らに近づける必要がある（右図参照)。 ・ 今回のシートではピン先端を斜め切り処理しなくても、良好に打ち込めた。	
・ 端部が捲れ上がると接続処理や土砂充填が少々困難になる。	※1：設計時にシート配列をあらかじめ決めておくこと。

江戸川:侵食防止シート施工状況(その2)

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	予備試験	・ 土砂製造･運搬：土砂を製造し、土質として問題ないかを確認。ミキサーから土砂を吐出し易いようミキサーを吐出口側に少し傾けた。 ・ 土砂充填：クレーン車とウィンチを併用して土砂充填を行う予定であったが、クレーン車を使用すると振動板がのり面から離れてしまうため、ウィンチのみを用いることとした	
	ミキサーによる高含水比土砂製造	・ ミキサーの 1 タンク容量は 0.75m³（土砂 0.4m³＋水 0.2m³ の比率で高含水比土砂製造） ・ ミキサーの撹拌翼は 2 段 ・ 吐出した際、ミキサーの底に土砂が残らないようにミキサーを吐出口側に若干傾けた。 ・ 礫を含有しない充填用土砂であったため、貯留槽上に網を設置して礫を取り除く必要がなかった。 ・ 吐出口で詰まる事はなかったが、まれに小さなシルト塊が出てきた。→十分時間をかけて撹拌するとシルト塊は無くなった。 ・ 水は河川水をポンプで汲み上げて使用した。	 グラウトミキサーとポンプ
	高含水比土砂の品質管理	・ 充填用土砂は、付近の高水敷より適切な土砂を探し、のり尻付近に運搬した後、3～5cm のふるい（バックホーバケット部）にかけたものを使用した。（数カ所の採取候補地から最適な場所を選定した。） ・ ふるった後、のり尻に放置したため雨により多少固まってしまった。ミキサーで撹拌しても小さい塊が残った。	 スランプ試験
	ポンプによる土砂圧送	・ 圧送ポンプは右写真のスクイズポンプ（吐出量 330 ﾘｯﾄﾙ/分）を使用した。 ・ 圧送ホースの内径はφ4 インチ（約 10cm） ・ 土砂が詰まることは 1 度も無かった。	 スクイズポンプ
	圧送ホースの移動	・ 圧送ホースは内径 10cm と太く重いため、運搬が困難であった。このため、振動板の移動に使用したウィンチを用いて移動した。 ・ ウィンチを用いた状態で、作業員 3 人で充填作業を行った。（ウィンチを使用しても移動が比較的困難であった） ・ ホースが重いため、ホースの移動によりシート端部のめくれが生じた（右端写真）	 土砂圧送作業状況

考察・検討項目	備考
・ 一日程度の予備試験が必要。（今回は問題が比較的少なかった）	
・ スクイズポンプに対して土砂製造能力が小さく感じた（1～2 ランク上のミキサーを用いる必要がある）。 ・ より大きいミキサーか、同じものを 2 台用いた方が施工効率は良い。 ・ 2cm 程度の網を通した方が安全である。 ・ 撹拌時間を長くすると粘土塊が小さく、個数も減ってくるので、予備試験により撹拌時間を事前に決定する必要がある。	 川よりドラム缶まで水を汲み上げ、それを小ポンプでミキサーへ注いだ。
・ 塊が無くなるまで十分撹拌するか、抽出部に網を設置して塊を取り除く必要がある。（撹拌時間については上記検討項目と同じ）	 土砂製造全景
・ 圧送能力は非常に大きい。	
・ アームによりホースを動かすことのできるコンクリートポンプ車が使用可能であれば、シートの捲れなどが防げる。	 ホースによるシートの捲れ

江戸川:侵食防止シート施工状況(その3)

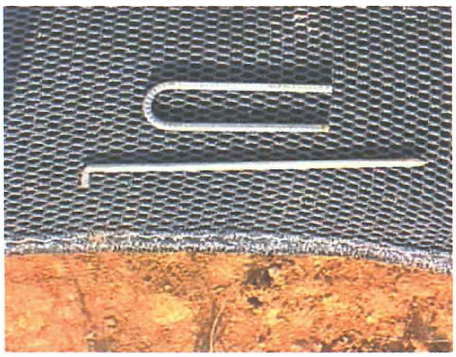
項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	充填装置の移動	・ 鋼製振動板および圧送ホースの移動には、右のウィンチ（最大 180kgf）を用いた。（のり長が約 23m のためバックホー使用不可） ・ ウィンチは天端に設置した工事フェンスの単管パイプに引っ掛けて固定した。固定する場所は、土砂充填するごとに上下流へ移動させた。 ・ 天端に施工ヤードを確保できなかった。	 ウィンチ
	鋼製振動板	・ 振動板は土研で施工実験に使用したものを用いた。 ・ 振動板の先端には、スキー板の先端のような“つば“を増設した。	 鋼製振動板
	土砂充填作業	・ ウィンチを用いて振動板を引き上げたが、充填状況および効率にも問題はなかった。（充填状況はシートをめくって確認） ・ 写真に示すように、振動板を引き上げると、シート接合部が捲れ上がった。しかし、引き上げた振動板を再びのり尻まで引き落とすことで、ある程度、元に戻すことができた。 ・ シート上下流の埋設部の充填→今回は土砂を積載したのみ（今回のシートは積載するだけで程度充填可能） ・ 地面の不陸部（整形後の降雨などで生じた地面とシートの隙間）に充填土砂の重みでシートが変形して落ち込んだため、シートが地面と密着した。	 振動充填後のシート
	備考	土砂充填作業 作業員 5 人＋世話役 1 人 ◇土砂圧送（ホース）3 人 ◇土砂製造（ミキサー）1 人 ◇土砂運搬（バックホー）1 人 ◇世話役 1 人	土砂製造時間 10 分～16 分程度 土砂充填作業 3 日～4 日 （今回の方法では 300m²/日程度）

考察・検討項目	備考
・ 天端にウィンチを引っ掛ける場所が必要となる。(天端への単管パイプの打設)	 ウィンチは天端の単管パイプに繋げて固定
・ 振動板の総重量は約 180kg であり、ウィンチの最大引張力(180kg)とほぼ等しい。	
・ 振動板の幅を広くすることが可能であればもっと効率が上がると考えられる。 ・ 振動板引き上げによる接合部でのシート捲れ上がりは、シートによっては破損する可能性がある。その場合にはピン間隔を 50cm に狭め、捲れ上がりにくくする。	 充填後、振動板をのり尻に降ろす。

【歩掛かり算定】

・ 極力重機を用いることで効率は上昇する。(今回は天端スペース、のり長の関係で重機(バックホウ)が利用できなかった。

信濃川:侵食防止シート施工状況(その1)

項目	作業	施工状況	写真
土工	表土剥ぎ取り のり面整形	・ 新堤のり面(のり勾配 1:1.8)に施工した。のり長は 3.8m、延長は 100m(面積 380m²)である。 ・ のり面整形は、のり肩およびのり尻からバックホウを用いて、シート敷設面が凸凹にならないよう注意して実施した。	
シート敷設・固定	シート運搬	・ 今回使用したシートはC-3-Fである。 ・ 納入量は2m×20mを10ロール、2m×10mを1ロールである。	
	シートの敷設	・ シートの敷設・固定はのり尻側および下流端より行った。 ・ シート幅は B=2.0m であったが敷設幅を B=2.15m になるように端部を軽く引張った状態で敷設したため、シート端部が波形に変形した。伸ばしての敷設は基本的に実施してはならない(湾曲したのり面でのみ5%以下まで伸ばしてもよい)。今後このような施工は行ってはならない。	
	シートの固定	・ 幅5cmの頭部が丸い準用タイプを用いた。 ・ L型ピンも併用した。	
	シートの接続 および埋設	・ 全体的には比較的フラットに施工できた。 ・ 埋設部での折り曲げでシート損傷は生じなかった。 ・ 3枚が重複する接続部では、そのうち1枚のシートの重複部を切除したことで、比較的フラットな状態(接続部が突出しない)で接続できた。 ・ シート端部はシートを引き延ばした状態でピンで固定したため波状に歪んだ。	

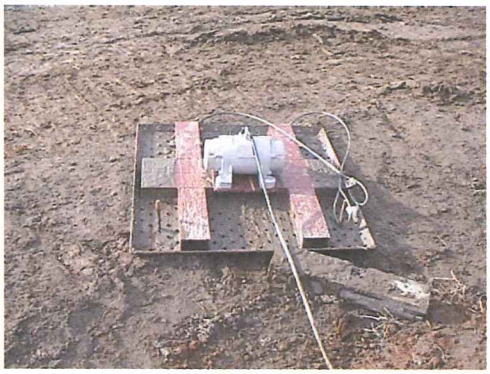
考察・検討項目	備考
	【歩掛かり算定】
	シート敷設固定にかかった作業員 ・シート運搬：1～2 人 ・シート固定：2～3 人 ・ピン打設：2 人 ・監督員：1 人 の合計 5 人体制
	シート敷設固定に掛かった日数 （380m²）で 1.0 日である。 ※土工及び端部掘削除く 1 日/5 人
・ 写真のようなＬ型ピンでは、シートの空隙からＬ型のフックが外れやすいので、どうしても使用する場合にはあくまでも固定の補助と考えて、1m 間隔より密に打設する箇所にのみ用いること。	
	

信濃川:侵食防止シート施工状況(その2)

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	予備試験	・ 下流端ののり面を利用して土砂充填の予備試験を実施した。 ・ 土質を確認して上流での発生土を充填用土砂として用いることとした。 ・ 発生土には若干の砂利および固結シルトが含有されていた。そのため、貯留槽の上に網(網目 2cm 程度)を設置して取り除くこととした。発生土砂が中途半端(雨等による)な含水比であるため、所定のスランプ値にするのに時間がかかった。 ・ ミキサー内への土砂投入はバックホー(バケット容量 0.4m³)で行った。	
	ミキサーによる高含水比土砂製造	・ 標準としたタイプのミキサーが無いため、右写真のミキサーで代用した。 ・ 本ミキサーは容量が 0.4m³ で、ミキサー内には撹拌翼が底部近くに複数枚ある。しかし撹拌が十分ではなく、上部と下部近くで採取した土砂のスランプ値が 1cm 程度、異なった ・ ミキサーからバックホーバケットへ高含水比土砂を投入する際、網(20mm)によって固結シルトを除去した。	
	高含水比土砂の品質管理	・ スランプ値は法勾配が 1:1.8 と急勾配であるため、24cm で設定した。	 スランプ試験
	バックホウによる土砂の運搬	・ 土砂運搬には、圧送ポンプではなく、バックホウを用いた。ミキサーで製造した高含水比土砂をバケット一杯に注ぎ入れ、それをシート敷設範囲まで運ぶというのを繰り返した。 ・ ミキサー～シート敷設範囲までの距離が近く、施工面積がかなり小さければ、上記のような運搬も可能と考えられる。	
	シート上への土砂の積載	・ バックホーを天端に設置し、バケットを移動して所定の場所に高含水比土砂を注いだ。 ・ その後、厚さ 3～5cm 程度になるように土砂をトンボで敷き均した。	 土砂の運搬作業状況

考察・検討項目	備考
・ 一日程度の予備試験は必ず必要。(今回はのり勾配が 1:1.8 と急なため、スランプ値を若干小さめ(24cm)に設定した。 ・ シート接続部の充填が完全ではなかった。	 土砂充填の予備試験状況
・ 高含水比土砂は、バケット容量と同量の 0.4m^3 ごとに製造した。 ・ スランプ値を 24～25cm と設定した。	
・ 若干含有していた礫と固結シルトを網で撤去した。 ・ 水、土砂の量の管理は比較的うまくできていた。 ・ 高含水比土砂の製造に時間がかかった。	
・ 土砂の運搬に時間がかかりすぎる。	
・ 1回で運べるの土砂量が少ない(0.4m^{3}程度)	

信濃川:侵食防止シート施工状況(その3)

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	充填装置の移動	・ 鋼製振動板は天端からバックホーで移動させた。高含水比土砂の運搬に用いたバックホーを併用した。 ・ 天端に施工ヤードを確保できた。	
	鋼製振動板	・ 振動板は新規に製作した。 ・ 振動板とバックホーの取り付けにはワイヤー(1本)を用いた。	 充填装置
	土砂充填作業	・ シート接続部での土砂充填を完全に行うため、天端側のシートをめくり挙げておいて、下側のシートのみで土砂を充填し、その後天端側のシートを敷設･固定し直してから充填した。 ・ シート 1 枚(重ね合わせ無し)では、振動板を 1 回走行させるだけで充填可能であった。 ・ シートを一度設置した後に、改めて上部シートをめくって仮固定したため、非常に手間が掛かった。	 充填終了後のシート
	備考	土砂製造・充填作業 作業員 6 人＋世話役 1 人 ◇ 土砂運搬･設置･振動板操作（バックホー）1 人 ◇ 土砂製造（ミキサー、小型バックホー）2～3 人 ◇ 土砂充填補助・土砂敷き均し(トンボ等)3 人 ◇ 世話役 1 人	土砂充填作業に要した日数 5～7 日程度

考察・検討項目	備考
・　のり長が短いため、かなり小回りを利かせた振動板の移動が可能であった。	
	 十分に土砂充填が行えた状態

【歩掛かり算定】

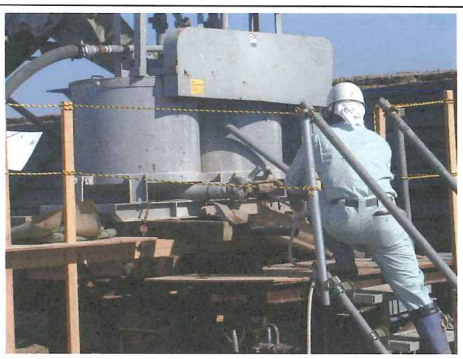
・　本工法は標準的な工法ではない。施工効率は良いとは言えず、施工面積が小さいなどの特殊な理由がある場合以外には用いない方がよい。

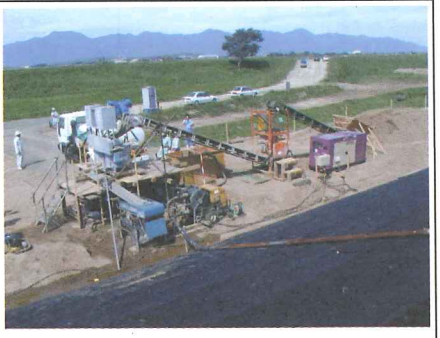
神戸川:侵食防止シート施工状況(その1)

項目	作業	施工状況	写真
土工	表土剥ぎ取り のり面整形	・既設堤(植生有状態：写真奥の状態)の表土を剥ぎ、50cm 程度の盛土を行った。 ・のり面整形は、のり肩およびのり尻からバックホウを用いて、シート敷設面が凸凹にならないよう注意して施工した。 ・のり勾配は 1：3 で、のり長は約 9m である。	
シート敷設・固定	シート運搬	・今回使用したシートは A-3-F である。 ・幅 B=1.0m であるため、重量は軽いが個数が多い。 ・一人で十分運べる。 ・納入量は 1.0m×10m（1 ロール）を 100 本強である。 ・敷設範囲の面積は約 1000m^2 である。	
	シートの敷設	・シートの敷設固定はのり尻側および下流端より行った。 ・1 種類(L=10m)のシートを 2 等分に切断し、そのシートをのり長方向の敷設列が変わるたびに上流端と下流端の交互に敷設した。そのため上下流方向に接続部を 3m 以上離すことができた。 ・上下流端で余ったシートをカッターで切断した。	
	シートの固定	・幅 5cm で頂部が丸い準用タイプを用いた。	
	シートの接続	・全体的には比較的フラットに施工されているが、シート幅が 1.0m なため、重複部が多い。シート幅は 2.0m 以上が望ましい。 ・シート端部の埋設を行うため、シートを折り曲げたところ、折り曲げ部でシートが割れた。このような場合、折り曲げ角度を緩くしなければならない。 ・3 枚が重複する接続部は、一部シートを重複部を切除することで、接続部を比較的フラット(あまり凸にならないよう)にすることができた。	

考察・検討項目	備考
	【歩掛かり算定】
	シート敷設固定にかかった作業員 ・シート運搬：1～2 人 ・シート固定：2～3 人 ・ピン打設：2 人 ・監督員：1 人 の合計 5 人体制
・ 接続部が上下流方向に 3.0m 以上離れるように最下流端のシート長を決めてシートを切断した。	シート敷設固定に掛かった日数（1,000m²）で 2.5 日である。 ※土工及び端部掘削除く
	

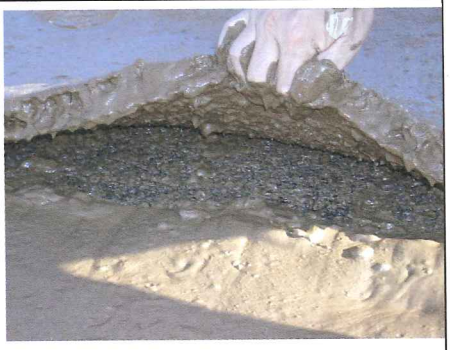
神戸川:侵食防止シート施工状況(その2)

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	予備試験	・充填用土砂:事前に土砂の選定を行い、土質として問題ないかを確認。 ・ミキサー内への土砂投入はベルトコンベアを用いて効率化を図っていた。 ・ホース長 60～70m でも圧送できることを確認した。	
	ミキサーによる高含水比土砂製造	・容量 0.75m³ のミキサーは撹拌翼が底部に 1 組しかないものであった。そのため、容量 0.25 m³ の 2 タンク(撹拌翼が 2 段)を採用した。 ・土砂の投入に用いたベルトコンベアは 1 台であるが、1 台で 2 タンクに投入できるように左右に移動できるように設置していた。 ・貯留槽上に網目 10mm の鋼製網を設置して礫や土塊を取り除いた。 ・ポンプ車で河川水をまず貯水槽に汲み上げ、そこからミキサーに入れるようにした。 ・土砂製作は、3 名で実施。途切れることなく連続的な製造が可能であった。	 グラウトミキサー
	高含水比土砂の品質管理	・充填用土砂は、付近の高水敷から採取した。数カ所の候補地を試験的に掘り、最適な土砂を探した。採取した土砂はのり尻付近に運搬した後、3～5cm のふるい(バックホーバケット部)にかけた。	 スランプ試験
	ポンプによる土砂圧送	・圧送ポンプは右写真のスクイズポンプを使用した。 ・圧送ホースの内径はφ2 インチ(約 5cm) ・圧送ホースが 60～70m と長いため、鋼製管とビニール管を併用した。 ・土砂が詰まることが 1 度あった。	
	圧送ホースの移動	・端部のビニール管(半透明)の移動は、1～2 名で行っていた。	 土砂圧送の作業状況

考察・検討項目	備考
・ 一日程度の予備試験を必ず実施すること。(今回は問題が比較的少なかった)	
・ ベルトコンベアを用いたことでミキサー内への土砂投入の効率が上昇した。 ・ ホッパ(土砂の重量測定器)で土砂量を測定し、配合量の管理を行った。 ・ ミキサー内の撹拌翼は必ず2段(つまり2組)必要である。	 管の上にベルトコンベアを載せただけであるが、人力で左右に移動が可能。
・ 礫(5mm程度)が若干混じっていた。 ・ 水、土砂の配合量の管理が完全にできていた。	 土砂製造全景
・ 敷設範囲の中央部で鋼製管をのり尻　天端まで這わせ、そこから上下流方向に向きを変えて配管した。	 天端での鋼製管の配管状況
・ ビニール管が軽いため先端の取り回し一人とその補助一人で作業可能であった。	

神戸川:侵食防止シート施工状況(その3)

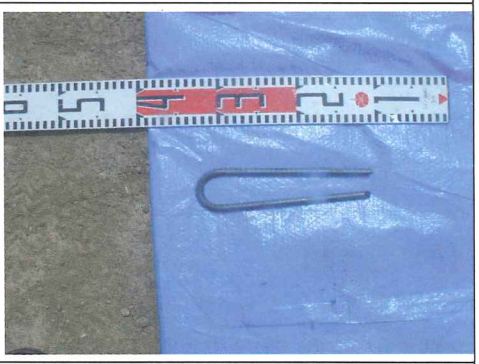
項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	充填装置の移動	・ 鋼製振動板は天端からバックホーで移動させた。 ・ 天端に施工ヤードを確保した。 ・ のり長がバックホウのアーム長より大きかったため、のり尻　天端まで振動板を移動させるためにはバックホウを後退させなければならなかった。	
	鋼製振動板	・ 振動板は新規に製作して用いた。 ・ 振動板がのり尻まで届くように振動板との接続にワイヤーを用いた。	 充填装置
	土砂充填作業	・ のり肩付近に高含水比土砂を吐出し、それをトンボによってのり尻方向に敷き均した。充填装置を 1 回走行させただけでは土砂充填が完全でなかったため、2 回実施する必要があった。 ・ 右の写真に示すように振動板を 1 箇所に固定し、振動板上部から土砂を供給することを場所を変えながら繰り返して充填するようにした。この方法は振動板の移動にかかる手間が減るが、土砂のロスが多く、余分となった土砂がのり尻部に溜まった。	 充填作業状況
	備考	土砂充填作業 作業員 7 人＋世話役 1 人 ◇ 土砂運搬（バックホー）1 人 ◇ 土砂製造（ミキサー）2 人 ◇ 土砂圧送（ホース）2 人 ◇ 振動板操作(バックホー)1 人 ◇ 振動板操作補助（ロープ）1 人 ◇ 世話役 1 人	土砂充填作業 5～6 日 （今回の方法では 180～200㎡/日程度）

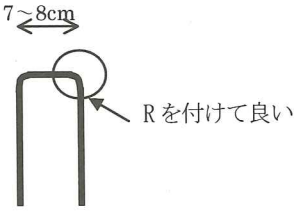
考察・検討項目	備考
	
・ 振動板の幅を広くすることが可能であればもっと効率が上がると考えられる。 ・ 振動板とバックホーの接続は 2 ヶ所で行う方がよい。1 箇所であると引き揚げ時などに充填板が回転し易いためである。	 土砂充填が不十分な状態

【歩掛かり算定】

・極力重機を用いることで効率は上昇する。特に、土砂投入のベルトコンベア方式(移動式)は効率が上昇する。

仁淀川:侵食防止シート施工状況(その1)

項目	作業	施工状況	写真
土工	表土剥ぎ取り のり面整形	・既設堤防への施工のため、表土剥ぎ・のり面成型の順で行った ・表土剥ぎの深さは10cm(シート厚3cm+覆土3cm+芝客土付き4cm)とした。 ・通常の表土剥ぎ・のり面整形と異なり、地表面が凸凹にならないよう特に注意して施工したため、手間が掛かった。 ・天端からのバックホウ操作で作業を実施した。 ・のり勾配が1:1.5と急勾配である。	
シート敷設・固定	シート運搬	・今回使用したシートはA-4-Fである。 ・1ロールは2.0m×15m(60kg)である。 ・一部重機を用いたが、3人程度で1本を運べた。	
	シートの敷設	・シートの敷設・固定はのり尻側から行っているが、上下流方向については両方向から行った。 ・敷設範囲の中間に階段・樹木・距離標・搬入道路があるため、それら形状にあわせでシートをカットした。 ・上下流両方向からシートを敷設したため、両者が出合う中間に短いシートが敷設された。 ・のり勾配が1:1.5と急勾配で施工性が悪かったため、全体的にしわが生じた。	
	シートの固定	・幅5cmでコの字に加工すると1本300円程度するため、写真のようにU字型の準用タイプとした。これにより、固定ピンの単価は70円程度に収めた。 ・仮止めのピンはL形を用いた。 ・ピンを打ち込んだ周辺でシートに若干の損傷が生じている箇所が見られた。	
	シートの接続	・接続部が上下流方向に3m離れていない。(中間に短いシートを敷設したため) ・シートが3枚重なる部分で、シートの切除が行われなかった。	

考察・検討項目	備考
・ 地表面をかなり平坦に仕上げたのは良いが、その反面作業労力を掛けすぎた。シートの柔軟性による凹凸への追従性を考慮すると、もう少しラフな作業で十分であった。	【歩掛かり算定】
・ 堤防天端では転がして移動させた。 ・ のり面勾配が急な場合やシートが重い場合は運搬にかかる作業員が増えるものと考えられる。	シート敷設固定にかかった作業員 ・シート運搬：3～4 人 ・シート固定：4～5 人 ・ピン打設：3 人 ・監督員：1 人 の合計 8 人体制
	シート敷設固定に掛かった日数 (670m^2) ※土工及び端部掘削除く 2 日/6 人
・ 頭部の丸みがきついピンであったため、ピン打設部周辺でのシートの損傷が生じ易くなったようである。右図のように幅広にして丸みを緩やかにする方がよい。 ・ 比較的柔らかいシートではピンの打ち込みの際にしわが生じやすいため、ピン先を十分鋭角にしシートを突き抜けやすくするほうが良い。	
・ あらかじめシート配列を検討して、接続部どうしを 3m 以上離す必要がある。	

仁淀川:侵食防止シート施工状況(その2)

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	予備試験	・充填用土砂として購入土(4,000 円/m³)を使用。土質として問題ないことを確認。 ・ミキサー内への土砂投入はベルトコンベアを用いて効率化を図った。 ・土砂圧送を試しに行い、問題がないことを確認した。	
	ミキサーによる高含水比土砂製造	・当初、容量 0.2m³の 1 タンクのみのミキサー1 基を用いたが、撹拌に時間がかかったうえ、1 回にシート面積にして 3m²程度の量しか製造できなかった。 ・0.62m³ 程度の 2 タンク付ミキサーに変更した。撹拌翼が 2 段付いているタイプ。 ・吐出部から出た土砂は網目 15mm の鋼製網を通過させた。 ・河川水をポンプで汲み上げ貯水槽に溜めておき、そこからミキサーに入れた。 ・ベルトコンベアを利用したことで、土砂量管理・作業時間の低減が可能となった。 ・土砂製作は、3 名で実施。(吹き付けの業者である)	 グラウトミキサー
	高含水比土砂の品質管理	・2 種類用意した。NO.1 は粘性土塊が混入していたため、網目 2cm のフルイを通した。NO.2 は 4,000 円/m³の購入土であるが、6～10mm 程度の小石が混入していた。 ・土砂置き場にはシートをかぶせて、雨水を含むことで固結するのを防いだ。 ・ミキサーで撹拌しても小さい土塊が少し混じっていた。	 スランプ試験
	ポンプによる土砂圧送	・圧送ポンプは右写真のスクイズポンプを使用した。 ・圧送ホースの内径はφ2 インチ (約 5cm) ・圧送ホースは一部鋼製を使用した。 ・圧送の試験時にはホース内で土砂が詰まったが、それ以降は詰まることは無かった。	 スクイズポンプ
	圧送ホースの移動	・鋼製ホースを堤防天端に沿って配管した。鋼製ホースの取り外しは比較的簡単である。 ・鋼製ホースの前後は通常のホースを使用した。	 土砂圧送作業状況

考察・検討項目	備考
・ 一日程度の予備試験が必要。地元ではミキサーのレンタルがなかったため、九州から搬入した。	
・ ベルトコンベアを用いたことでミキサー内への土砂投入の効率が上昇した。 ・ ホッパ(土砂の重量測定器)で土砂量を測定し、配合量の管理を行った。 ・ 購入土の小石除去のため、6㎜程度の網を通す必要がある。	 ベルトコンベアでホッパに土砂を投入している状況
・ 塊が無くなるまで十分撹拌するか、吐出口に網を設置して塊を取り除く必要がある。	 土砂製造全景
・ 圧送ホースを鋼製にしても問題はないが、設置場所の制約はある。	
・ シート上での人の移動に伴って部分的にしわが生じた。 ・ アームによりホースを動かすことができるコンクリートポンプ車を使用していれば、シート上での作業を行わなくて済むので、しわの発生を防止できたと思われる。 ・ 急勾配であるが、土砂充填後以外はシート上に乗っても足が滑らない。	

仁淀川：侵食防止シート施工状況（その3）

項目	作業	施工状況	写真
土砂充填工	充填装置の移動	・天端のバックホーによって移動させた。 ・天端に施工ヤードを確保できた。 ・バックホーのロングアームによって充填装置をのり肩からのり尻まで移動できた。	 充填装置の移動状況
	鋼製振動板	・振動板は新規に製作した。 ・振動板先端とバックホーの取り付けに用いた鋼製アームは長すぎた。	 充填装置
	土砂充填作業	・のり肩付近に土砂を吐出し、それをのり面全体に敷き均した。 ・充填装置による充填作業後には、シート表面には小石がかなりの量残っていた。	 高含水比土砂の吐出、敷き均し状況
	備考	土砂充填作業 作業員７人＋世話役１人 ◇土砂圧送（ホース）３人 ◇土砂製造（ミキサー）２人 ◇土砂運搬（バックホー）１人 ◇世話役１人	土砂充填作業に要した日数 ２日間 （今回の方法では 300㎡/日程度）

考察・検討項目	備考
・ 振動装置の移動操作は、振動板が見えるのり尻部からの方がやりやすい。	
・ のり長が短くバックホーが使用できる場合には、振動板の幅を長くした方が効率が良くなるのでは？	
・ 振動板の幅を広くすることが可能であればもっと効率が上がると考えられる。 ・ トンボを用意していなかった。	 振動板の通過に伴って端部が捲れた。

【歩掛かり算定】

・ 極力機械を用いることで効率は上昇する。とくに、ベルトコンベアの利用により効率が上昇する。
・ ミキサーは容量0.6m³以上の2タンク付のものが望ましい。

7．特許について

構成振動板(図-3.5参照)および土砂充填工法(3.9参照)は下記のように特許申請中である。

侵食防止シートの土砂充填方法　　(出願番号：特願2000-047705)

土砂充填用振動加圧装置　　(出願番号：特願2000-047706)

参考文献

1) 望月達也・藤田光一・末次忠司・服部敦：植生の耐侵食機能を活用した侵食防止シートの開発に関する共同研究報告書－シートの性能試験・評価法および施工・維持管理法に関する研究－，共同研究報告書，整理番号第265号，国土交通省土木研究所，2001.

2) (財)国土開発技術研究センター編：護岸の力学設計法，(株) 山海堂，第1刷，151p.，1999.

3) 宇多高明・望月達也・藤田光一ほか：洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動－流水に対する安定性・耐侵食性を判断するために－，土木研究所資料，第3489号，pp. 97～214，1997.

4) 環境庁：外因性内分泌撹乱化学物質問題への環境庁の対応方針について，1997.

平成12年度版

侵食防止シートの性能試験・評価法の手引き

平成13年3月

国土交通省土木研究所河川研究室

侵食防止シートの性能試験･評価法の手引き

（平成１２年度版）

目　　次

1. 試験･評価法の趣旨と要求性能 101

1.1 趣旨 101
1.2 要求性能 101

2. 試験･評価法の概要 102

2.1 試験の項目と概要 102
2.2 試験･評価の前提と範囲 106

3. 性能基準および試験方法 109

3.1 耐侵食性 109
3.2 土砂充填性 116
3.3 強　度 122
3.4 加工性 126
3.5 耐久性 130
3.6 安全性 135

参考文献 145

1. 試験·評価法の趣旨と要求性能

1.1 趣旨

侵食防止シート(以下、シートと呼ぶ)は、植生が本来有している耐侵食力を補強する機能を有し、植生と一体となって堤防のり面や河岸の流水による侵食を防止することが可能な侵食防止材である。シートは、適用の主対象とした堤防のり面などに施工でき(施工法については手引き(第1編)に示す)、かつ目標とした耐用年数(約 30 年)までの期間中に、設計で見込んだ耐侵食力を発揮できるように、各種の性能を備えていなければならない。以下では、上記のような要求性能、すなわち耐侵食性、土砂充填性、強度、加工性、耐久性、安全性などに優れた実用可能なシートであることを確認するための試験·評価法を提供する。

1.2 要求性能

実用可能なシートであるための要求性能を示す。

(1) 耐侵食性

流水に対して耐侵食力を発揮できるシート諸元(構成材の直径、空隙率、厚さなど)により構成されていること。

(2) 土砂充填性

シートの空隙への土砂充填を効率的にかつ良好に行うことが可能な、シート諸元(構成材の直径、空隙率、厚さなど)および強度を有すること。

(3) 強度·加工性

施工時、供用時および出水時における侵食防止の際に、シートの耐侵食力が損なわれるような損傷や変形が生じない強度を有するとともに、施工や修繕を適切かつ容易に行える加工性を有すること。また、シートを撤去する際に細片化しない強度を有すること。

(4) 耐久性

目標とした耐用期間まで耐侵食力を維持できるように、シート諸元や強度などの変化、劣化に対する耐久性を有すること。

(5) 安全性

シートの通常の使用において人体に無害であり、かつ環境を損なわない安全性を有すること。また環境ホルモンについてはシートの使用に先立って事前に含有量とその溶出しやすさを調べておくこと。

1) 解れ易さ

シートの切断・劣化に伴って容易に解れないこと。

2) 耐燃焼性

シートの表面が地表に露出した状態で、シート上で燃焼が生じた場合においても、シートに引火して著しく燃え広がることがないこと。

3) 燃焼ガスの有害性

シートが燃焼した場合においても人体に有害と認められる量や濃度までガスを発生しないこと。

4) 環境ホルモンの含有量と溶出しやすさ

シートの環境ホルモンの含有量および溶出しやすさを調べておくこと。

2. 試験･評価法の概要

2.1 試験の項目と概要

表-2.1 に示す性能確認のための試験に基づいて評価する。なお、**表-2.1** に示す試験は、今後とも改善すべき性質のものである。したがって、提案した試験法のみでは評価が困難な場合には、共同研究報告書[1)]に示した要求性能の意味するところや試験の目的･方針を良く理解して、他の適切な試験および評価法などによって要求性能が満たされているか判断すること。

表-2.1 性能確認のための試験内容一覧表(その 1)

項目	試験・調査名	測定項目および試験概要
1.耐侵食性	1.1 基本構造	・厚さ t：JIS L 1908 に準じた方法で行う。 円形(面積 25cm^2)のプレッサーフットで 0.7kPa の圧力を加えた状態での厚さを測定する。加圧した状態で厚さの変化が認められなくなってから(通常 30 秒以上)厚さの測定を行う(有効桁数 3 桁)。 ・構成材の代表径 d 実体顕微鏡（倍率 50 倍）による写真測定。異なる直径である複数の構成材によって構成されるシートの場合、それぞれについて測定を行う。ただし、流水抵抗となるシート部分が明確ならば、その部分を構成する構成材に対してのみ測定すればよい。 ・比重：JIS L 7112 に準じた方法で行う。 比重を水深方向に連続的に変化させた水中に構成材を自然沈降させ、沈降が止まった水深での水の比重を構成材の比重とする。異なる比重である複数の構成材から成るシートの場合、それぞれについて測定を行う。 ・目付(単位面積あたりの重量) シートを一辺が約 0.5m の正方形に切り出し、その重量と面積を測定して、(目付)=(重量)/(面積)として算定する。 ・空隙率 λ_p 空隙率(%)=100-(目付)/(厚さ)/(平均比重)×100 として算定する。
	1.2 抵抗特性	・透過係数 K 矩形管水路にシートを設置して、断面平均流速 U と動水勾配 I の関係を測定する。その結果から $K/\lambda_p = U/I^{0.5}$ として算定する。
	1.3 耐侵食性	・限界流速 V_c シート上が裸地であり、かつ水面勾配 1/300 とした条件で、流速およびせん断力分布を算定する予測式に基づいて、堤体土の設計耐侵食力以下となる流速として算定する。予測式が適用可であることは実験によって確認する。

表-2.1　性能確認のための試験内容一覧表(その 2)

項目	試験・調査名	測定項目および試験概要
2. 土砂充填性	2.1 シート内への充填性	・充填深と振動回数の関係 充填用振動装置(小型：接地圧 1,800N/m^2, 接地面積 30×30cm)によって、スランプ値 25cm とした砂質土をシート(60×60cm)に充填する。充填 1 回あたり、加振時間は 5 秒、土砂量は(シート厚 t)×(シート面積の半値)とする。
	2.2 不陸部充填性	・隙間への充填性 シートの重ね合わせ部および地面の凹部(深さ 5cm、幅および長さ 20cm)でのシート面と地面の隙間への土砂充填性(隙間が充填した土砂で埋めることができる、またはシートが変形して隙間内に垂れ込んで隙間を埋めることができる)を確認する。
3. 強度	3.1 耐損傷性	・引っ掛け強度：JIS L 1043 に準じた方法で行う。 試験片(幅 10cm、長さ 20cm)をフック間隔 10cm、引っ張り速度 20cm/min で引っ張った際の、最大強度(kgf)を測定する。
	3.2 伸びに対する復元性	・伸長回復率：JIS L 1096 に準じた方法で行う。 試験片(幅 5cm、長さ 20cm)をチャック間隔 10cm、引っ張り速度 10cm/min で 50kgf/m に達するまで引っ張る。50kgf/m の引っ張り荷重を 1 分間作用させた後に、除荷して 3 分後、厚さと長さを測定する。(回復率)=(試験後の測定値)/(試験前の測定値)×100 として算定する。
	3.3 圧縮に対する復元性	・圧縮復元率：JIS L 1096 に準じた方法で行う。 円形(面積 25cm^2)のプレッサーフットで 100kPa の圧力を 30 秒間加え、除荷した 1 分後の厚さを測定する。(回復率)=(試験後の測定値)/(試験前の測定値)×100 として算定する。
	3.4 耐衝撃性	・剣先スコップの衝突に対する損傷程度 平地に敷設したシート上に高さ 1m から剣先スコップ(重量約 1.7kgf)を剣先がシートに衝突するように自然落下させる。シートの長手方向および幅方向にスコップ面が平行になるように上記試験を行い、シートの損傷状況を観察する。

表-2.1　性能確認のための試験内容一覧表(その3)

項目	試験・調査名	測定項目および試験概要
4.加工性	4.1敷設・固定作業性	・幅0.6m程度、長さ2m程度のシートを2枚用いて、のり勾配1:2の斜面上に敷設･固定を行う。シートを折り曲げてもシートが損傷しないか、固定用ピンによってシートがしっかりと固定できるか、濡れた作業靴でシートに載っても滑らないか、確認する。確認する内容は以下のとおり。 ・端部処理性(折り曲げ損傷) A:損傷が認められない B:折り曲げた凸側で一部切断する D:折り曲げ部にそって完全に切断される ・ピンによる固定性 A:ピンを打ち込んだ孔が広がることなく、シートががたつき無く固定できる B:ピン周りでシートが浮かび上がるが固定できる D:シートがピンから容易に離脱する ・シート上での作業性 A:滑りにくく歩きやすい B:多少滑るが歩行に支障はない D:滑りやすく歩行するのに注意を要する
	4.2シートの重ね合わせ易さ	・自重に対する伸長しにくさ 幅60cm、長さ2mのシートを片手で掴んでつり下げ、掴んだ場所からシート最下端までの距離を測定する。(伸び率)=(つり下げ時の距離)/(つり下げ前のシート長さ(2m))として算定する。
5.耐久性 ①引っ掛け強度の保持率 ②シートの形状保持性(目視による変化の有無の確認)	5.1耐候性	・JIS A 1415、JIS A 1410に準じた方法で行う。 累積暴露時間が2年程度までの耐久性を評価する。屋外暴露試験(2,4,8,12 ヶ月)とキセノンアークランプ式の促進暴露試験(400,1000,2000,4000 時間)を行う。両試験の強度保持率の経時変化を比較して、4000 時間の促進暴露試験が屋外暴露試験の 2 年以上に相当することを確認する。
	5.2耐水・耐薬品性	・JIS K 7114に準じた方法で行う。 pH=2,7,12(硫酸溶液、蒸留水、水酸化カルシウム溶液)に水温50±2℃で250時間浸漬した後に引っ掛け試験を行う。
	5.3耐寒・耐熱性	・気温が-20℃、70℃の恒温槽内にシートを 24 時間放置し、その気温状態のまま引っ掛け試験を行う。
	5.4耐土壌性	・市販の腐葉土にシートを 3,6,9 ヶ月埋設した後に引っ掛け試験を行う。

表-2.1　性能確認のための試験内容一覧表(その 4)

項目	試験・調査名	測定項目および試験概要
6.安全性	6.1 解れ易さ	・切断面からの解れ易さ シートを切断し、切断面に位置する構成材を指で引っ張って解れ易さを確認する。
	6.2 耐燃焼性	・燃焼範囲の拡大しにくさ：JIS L 1091 一部改変に準じた方法で行う。 直径 10mm の球状の綿にエタノール 0.3m　を染み込ませたものを火種とする。シート(200×275mm)に乾燥砂を厚さ半分まで、および全厚さまで埋設した状態を試験対象として、火種を載せて着火し、自然消火するまで放置する。消火後下記のように燃焼状態を分類する。 ・全厚さ充填 A:ほとんど燃焼しない B:火種部のみ燃焼する D:燃え広がる ・半分充填 A:ほとんど燃焼しない B:炭化距離が 10cm 以内 D:燃え広がる
	6.3 燃焼ガスの有害性	・ガス成分とその発生量 室温から 700℃まで上昇させてシートを燃焼し、その際に発生するガスの成分と発生量を分析する。
	6.4 環境ホルモンの含有量	・シート単位質量あたりの含有量 細断したシートを有機溶媒に浸漬して、環境ホルモンと疑われている化学物質を溶出させる。
	6.5 環境ホルモンの溶出し易さ	・単位質量あたりのシートからの溶出量 ・溶出量試験 細断したシートを pH が約 2,7,10 に調整した水に 7 日間浸漬する。 ・付着量試験 精製水に細断したシートを 5 分間浸漬する。

2.2 試験･評価の前提と範囲

(1) 性能評価の前提

1) 侵食防止シートの製造は、適正な品質管理のもとに行われるものとする。

特に、目付と厚さについては、以下の条件を満たすように品質管理されていること。

$$t_m \geqq t_d$$

$$\sigma_m / t_m \geqq \sigma_d / t_d \times 0.97$$

ここで、tはシート厚さ、σは目付であり添え字のm,dは測定値と設計値を表す。

2) 侵食防止シートを用いた侵食防止工の施工は、適正な施工法および施工･品質管理のもとに行われるものとする。

(2) 性能評価結果の適用範囲

侵食防止シートには、その侵食防止機構に起因する適用範囲がある。それらについて以下に示す。

- 地面とほぼ平行な主流速分布となる流れ場であるときのみ、シートによって侵食力(流速)の低減が可能である。侵食力の低減が困難である地面に衝突するような流れ場となる場所(例えば、堰など横断構造物下流の段落ち流れ部)、浸透流の浸出地点での侵食防止、雨滴や波による侵食の防止などへは基本的に適用できない。
- シート内への土砂充填と草本植物の繁茂が不可能な場所へは適用できない。そのような場所として河床表層の主構成材が礫である場所、平水時においても水面以下となる場所などが挙げられる。

＜解説＞

流速低減効果を活用して侵食防止を行うシートは、敷設した地面ときっちり密着しないで隙間が生じると、隙間に沿って侵食発生限界より高流速の流れが発生し、その結果として隙間に面した地面の侵食が進行する危険性がある。隙間の発生原因として以上の2種類が考えられる。

a) 施工時に形成される隙間：例)シートを敷設する地面は、シートと密着するように凹凸が無いようにあらかじめ整形する必要があるが、完全を期するのは施工管理上、かなり難しい。その結果として、部分的にではあるが、隙間が形成される。

b) 洪水流を受けている最中に生じる隙間：例)シートは約1m間隔で打設するピンによって地面に固定することになっているが、ピンが打設されていない場所では揚力によりシートが持ち上げられて隙間が形成される懸念がある。

a)のような隙間は、シートへの土砂充填を実施する際に、シート下の隙間にも土砂が到達するように充填を行うことで埋める。また、b)のような隙間の発生防止は、シート上に繁茂した植物の根茎がシート下の地中にまで達して、この根茎がピンと同等の機能を果たすことにより達成される。このように根茎を発達させるためにも、シート内に土砂を充填する必要がある。以上の理由により、シート内に土砂を完全に充填することが、侵食防止効果を発揮させるために必要不可欠である。

●シート敷設範囲より上流側の範囲においても何らかの侵食防止措置が必ず行われていること

＜解説＞

シートはその敷設範囲より上流側で侵食が進み、それが敷設範囲上流端に及ぶと全く侵食防止効果を発揮できないという危険性が高い。例えばコンクリート護岸では、その構造が強固でかつ重量があるため、その上流側で侵食が生じても被災しないで侵食防止効果を発揮し続けることができる場合がある。シートにはそのような強固さがないため、侵食の進行に伴って上流端から下流側に向かってシートが徐々にめくれ上がっていくというプロセスで被災範囲が拡大しやすい、つまり脆いと考えられる。したがって、脆さをカバーするために、シート敷設範囲より上流でも必ず何らかの手段(植生または他の侵食防止工)で侵食防止が行われている場合にのみ適用ができる。

(3) 留意事項

シートの素材については、現時点では熱可塑性樹脂(例えばポリプロピレン、ポリエステル、ポリエチレン、塩化ビニリデンなど)を主素材としている。以下に示す留意事項はそのような主素材の一般的特徴に基づいて挙げたものである。したがって、主素材の変更や素材の改良によって改善が可能である。

●シートの露出頻度が高い場所への適用は控えること

＜解説＞

植生の耐侵食力のみでは侵食防止が不可能となると、シートが地表面上に洗い出されて侵食防止効果を発揮する。その後、シートを露出したままで放置しておくと、熱可塑性樹脂には紫外線に暴露すると劣化しやすい性質があるため、シートの劣化を早める原因となる。劣化対策として、カーボンブラックなどで暗色に着色するが、それでも完全に改善されるには至っていない。そのため、維持管理の一環としてシートを埋め戻すことで、できるだけ暴露する時間を減じる必要がある。このような維持管理を多くの回数行うことができるならば、シートの露出頻度が高い場所(つまり植物の耐侵食力を上回るような侵食外力が作用する出水の発生頻度が高い場所)への設置ができる。ただし、シートは「植物の耐侵食力を補強する」ことをコンセプトとしている。このコンセプトに対して、植物の耐侵食力を上回る侵食外力が頻繁に作用する場へのシート設置というのはやや無理がある(そもそもそういう場所には植生は密に繁茂しにくい)。そのことも考慮すると、露出した状態で長期間放置できるような耐久性が得られるまでは、適用を控えるべきである。

以上を考慮して、耐久性の問題が解決されるまでは、流速が 4m/s 以上になる場所での使用を控えるのがよい。

●シートを敷設した地面上での焼きシバや集草焼却などといった燃焼を行うのは控えること

＜解説＞

熱可塑性樹脂は可燃物であるから、シートが燃焼して孔が開くのを防止するためである。シートは土中に埋めて使用しているので露出していなければ、簡単には燃焼しない。しかし、燃焼しないにしても、高温が加わることでの劣化も生じる。したがって、露出部を誤って焼却したり、劣化を促進させないためにも、シート上での燃焼を控えるべきである。

●安全性確保への対応をあらかじめはっきりさせておくこと

＜解説＞

熱可塑性樹脂を素材とするシートから有害物質が発生する(燃焼した場合など)、シートの構成材が魚や鳥などの動物に摂取される危険性などの問題について指摘を受ける可能性がある。さらに最近、環境ホルモン(外因性内分泌撹乱化学物質)の問題が大きく取り上げられているところであり、これに関連した問題が生じることも懸念されている。以上のような有害性に関する問題に対しては、以下のような対応を基本とすること。

『基本対応方針』

侵食防止シートを用いた河岸・堤防処理は、侵食に対する河岸・堤防の安全確保を周辺環境へのインパクトを最小限に留めつつ達成することを可能にし、水際環境の改善にとって、有効手段となることが期待される。他方、上記シートの素材自体が周辺環境に与える影響について十分考慮されなければならない。この点につき侵食防止シートの利用にあたっては、以下のように対応することを基本とする。

1. シートの素材としては、「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」に基づいて安全性が確認されている化学物質およびそれら化学物質から造られた物質のみを用いる。また、シートの主材料については事前に調査を行う。
2. 環境庁が公表した内分泌撹乱作用が疑われる化学物質(いわゆる環境ホルモンと疑われている物質(例えば参考文献 2))が含まれているか、含まれている場合にはその物質名と含有量および水への溶出量について事前に調査を行う。
3. 燃焼時に発生するガスの成分とその有害性について事前に調査を行う。
4. シートを敷設した場所においては、水質および土壌について追跡調査を行う。
5. 有害物質に係る国の基準を満たさないなど、素材の安全性に問題があると判断される調査結果が得られた場合には、シートの撤去を行うとともに、その原因を究明する。
6. 上記 1～5 の調査結果については公開する。

本書では、上記 3 に関連してシートの燃焼ガスに関する試験法について、上記 4 に関連してシートの環境ホルモン含有量および溶出量に関する試験法について提案している。当面は本書に示した方法で試験を行うこととするが、内分泌撹乱作用が疑われる化学物質に関して基準･試験方法が新たに確立された場合には、速やかにそれらを基準・試験方法に取り入れて試験を実施する。

3. 性能基準および試験方法

3.1 耐侵食性

シートの耐侵食性は、シート上が裸地でありかつ水面勾配 1/300 である条件で侵食防止が可能な最大の水深方向の平均流速(以下、限界流速 V_c と呼ぶ)として評価する。限界流速とその評価に必要な基本構造および抵抗特性の試験法を以下に示す。

(1) 基本構造

1) 目的

シートの耐侵食性評価に用いる基本物性である厚さ･構成材の代表径･比重･目付･空隙率を測定する。

2) 方法

表-2.1 に示した方法により測定する。

3) 測定結果の整理

測定結果については、以下の項目について整理する。

①構成材の代表径、②厚さ（見かけ厚さ(0kPa)、0.7kPa 載荷時の厚さ）、③空隙率、④目付、⑤比重、⑥主素材

表-3.1 基本構造のとりまとめ例

項目	単位	測定結果	
構成材の代表径	(mm)		
厚さ	条件	見かけ（0kPa）	0.7kPa
	(mm)		
空隙率	(%)		
目付	(gf/cm^2)		
比重	---		
主素材	---		

(2) 抵抗特性

1) 実験目的

水理実験によりシートの流水抵抗を測定し、限界流速の評価に適した抵抗特性を表す係数を求める。

2) 実験条件

水みちが生じないようにシートを管水路内に隙間無く設置し、定常･等流条件で実験を実施する。

3) 実験方法

透過係数Kの測定には例えば**図-3.1**に示すような矩形管水路を用いる。水路側壁には10cmピッチでマノメーターを設置し、これにより動水勾配iの測定を行う。また、通水流量は水路下流端で一定時間採水し、その容量を計測することによって求める。断面平均流速u(=通水流量/水路断面積)が1～50cm/sになるように動水勾配を1/1,000以上の範囲で段階的に変化させ、その都度、動水勾配と断面平均流速の測定を行い、式(3.1)にそれら測定値を代入して透過係数Kを求める。

$$\frac{K}{\lambda_p} = \frac{u}{i^{0.5}} \tag{3.1}$$

4) 評価方法

透過係数Kがu, d, λ_pに応じて変化する傾向を表現できる式(3.2), (3.3)により整理する。

$$\frac{K}{\lambda_p} = \left(\frac{\pi g d}{2\left(1-\lambda_p\right) C_D} \right)^{0.5} \tag{3.2}$$

$$C_D = \left(C_{D\infty}^{0.5} + \gamma^{0.5} R_e^{-0.5} \right)^2 \qquad R_e = \frac{u d}{\nu} \tag{3.3}$$

ここで、レイノルズ数R_e、νは水の動粘性係数、$C_{D\infty}$は$R_e \to \infty$での抗力係数、γは定数である。式(3.3)を式(3.2)に代入すると、Kは式(3.4)として表せる。

$$\frac{K}{\lambda_p} = \frac{1}{1+\left(\gamma / C_{D\infty} R_e\right)^{0.5}} \left(\frac{\pi g d}{2\left(1-\lambda_p\right) C_{D\infty}} \right)^{0.5} = \frac{K_\infty}{1+\left(\gamma / C_{D\infty} R_e\right)^{0.5}} \tag{3.4}$$

ここで、K_∞は$R_e \to \infty$(完全乱流域)での透過係数である。$C_{D\infty}$とγを実験により求めることによって、dとλ_pの関数として透過係数が推定できる。式(3.2)に測定値を代入してまずC_Dを求め、次に$C_D^{0.5}$と$R_e^{-0.5}$の関係としてプロットした後に最小自乗法によって線形関数をフィッティングすると、線形関数の切片が$C_{D\infty}^{0.5}$、傾きが$\gamma^{0.5}$となるので、$C_{D\infty}$とγが求めやすい。

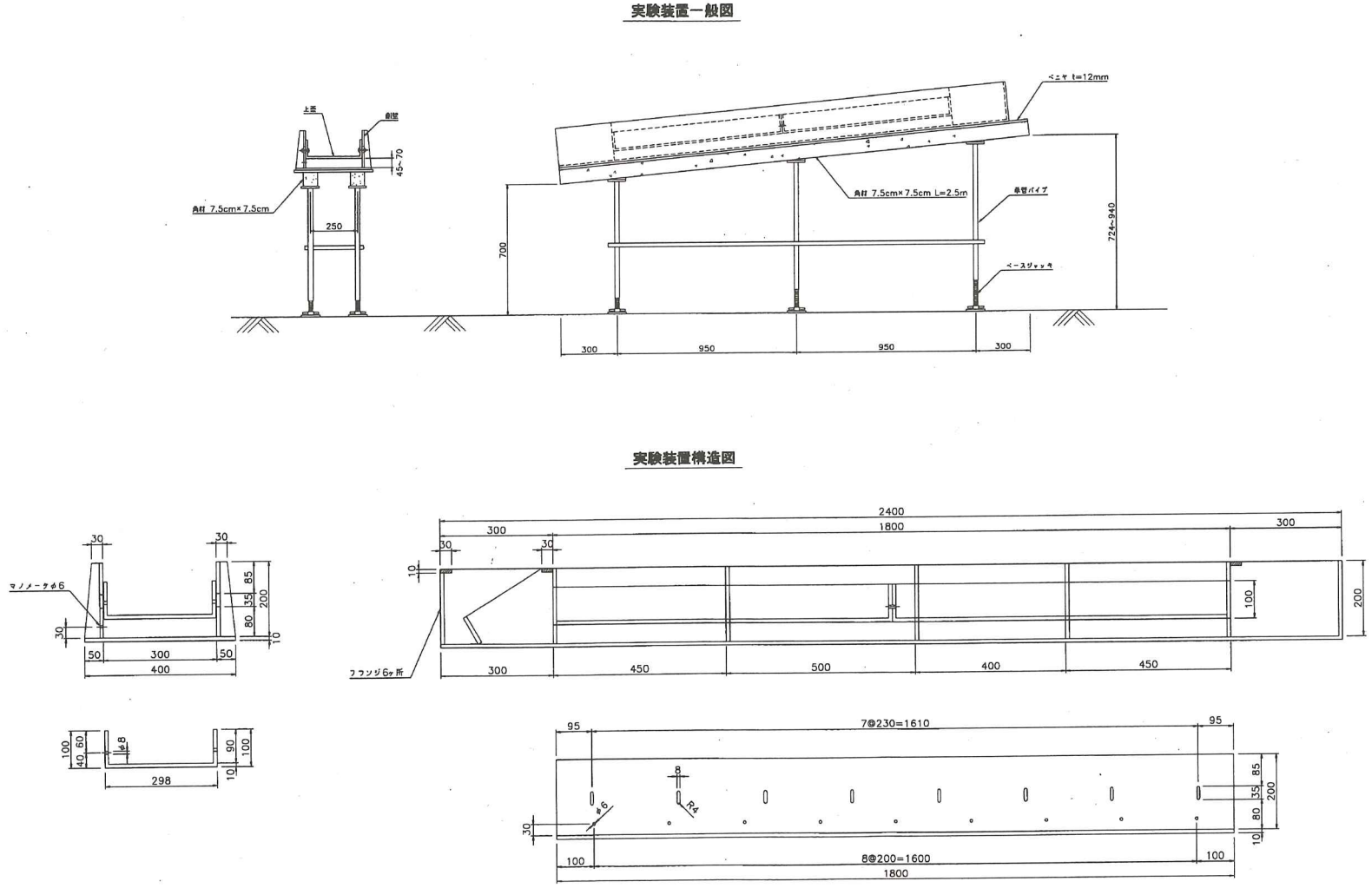


図-3.1　透過係数の測定用実験水路の例

(3) 耐侵食性

1) 実験目的

シートの侵食防止効果の評価に必要な3つのパラメータ、すなわちカルマン定数κ、厚さ割引率R、無次元限界掃流力τ_{*c}を測定するとともに、評価結果の検証に用いるデータを得る。

2) 実験条件･方法

以下の3種類の実験を行う。なお水路諸元や測定点数などの詳細については、共同研究報告書[1)]の第3章を参考にされたい。

① カルマン定数の測定実験

実験水路として幅60cm、高さ50cm、長さ30m程度の諸元を有する可変勾配開水路を用いる。水路床にシートを少なくとも長さ約20m敷設し、水深20cmの等流となるように流量および勾配を調整する。それらの調整後、水深、水面勾配、流速の測定を行う。流速測定には2次元のレーザー流速計が最適である。サンプリング周波数は20～200Hz、計測時間60secを目安とする。シート内の流速を測定するために、シートに切り込みを入れる必要がある。その際、切り込みの形状をV字型にし、流速測定点での切り込み幅をより小さくすることで、シート表面近傍におけるキャビティー流れと似た逆流域の発生(シートの切り込みの幅が広くなるほど、また透過係数が小さいほど生じやすい)を極力防止する。

② 厚さ割引率Rの測定実験

実験水路としては幅1.0m、高さ0.8m、長さ20mの矩形管水路であり、最大で約4m^3/s(断面平均流速で約5m/s)の通水が可能で、かつ水路上流端から10m程度の場所に侵食実験区間として幅1.0m、長さ1.5m、深さ0.5mの鋼製枠が水路床に設置できるものを用いる。移動床材料として均一砂(共同研究[1)]では平均粒径D_m=0.43mm,水中比重s=1.67)を用いる。鋼製枠内に、隣接する固定水路床と同一平面になるように移動床材料を設置･整形した後、シートを上流端から下流端まで敷設する。さらに侵食実験区間とその上下流50cm程度の範囲においてシート内に移動床材料を充填し、シート表面と地表面とが一致するように整形する。上記を初期河床として一定流速を所定の時間通水した後に侵食深の測定を行うことを5回繰り返して行い、トータル通水時間700(min)までの侵食深の経時変化を得る。侵食深の測定は、侵食実験区間において幅60cm、長さ140cmの範囲を対象として10cm間隔(全105点)で実施する。平均侵食深はこれら全点での測定値の平均として求める。また、各通水時に水路に設置したマノメータによって動水勾配の測定も行う。断面平均流速を0.5(m/s)刻みに段階的に大きくすることを基本として、3流速で上記の実験を行う。最大流速は、トータル通水時間が700(min)に達する以前に平均侵食深がシート厚さを上回るようになる最小の流速として設定する。

③ 無次元限界掃流力τ_{*c}の測定実験

実験水路は②と同一の水路を必ず用いる。侵食実験区間を固定床に置き換えて、上流端から下流端までシートを敷設して、一定流量の通水時における流速およびレイノルズ応力分布を測定する。流速測定には2次元のレーザー流速計が最適である。測定個所は侵食実験区間とできるだけ近い位置で行うこと(共同研究[1)]では侵食実験区間の下流端から1.5m下流の位置で実施した)。この位置は

概ね境界層が発達しきっており、準等流としてデータ整理を行うことができるところとする。シート上流れについては、流下方向と鉛直方向の 2 成分同時計測を行い、レイノルズ応力分布を得る。シート内流れについては、水路床に設けた窓から鉛直上方に向かってレーザーを照射し、流れ方向成分のみの流速測定を行う。このような計測を行うのは、流速測定のためシートに設ける穴を流れ方向の長さ約 5cm、幅 3～4mm のスリットとすることで、①で述べたキャビティー流れの形成を抑制して、シート内の流速分布をより精度良く測定するためである。②と同一のシートを用いて同一の 3 流速を通水する実験を行う。シート表面の位置に作用するせん断力(レイノルズ応力)u_{*0}^2を、上記の測定によって得たレイノルズ応力分布を外挿することにより推定する。また、各通水時に水路に設置したマノメータによって動水勾配の測定も行う。

3) 評価方法

モデルに用いるパラメータのち、実験によって決めなければならないパラメータは、流れ場の予測に必要な $C_{D\infty}$, γ, κ と、侵食防止の予測に必要な τ_{*c}, R の 5 個である。これらのうち、$C_{D\infty}$, γ の測定法については(2)に示した。ここでは、κ, τ_{*c}, R の求め方を示し(①,②)、次に評価の妥当性の確認を行った上(③)で、限界流速を評価する方法を示す(④)。

①流れ場モデルの適用性の確認とカルマン定数 κ の調整-実験①-

ここに示す手順は κ の標準値 0.4 を用いる場合には省いてもよい。κ が標準値より小さくなる可能性がある場合には、以下に示す手順によって κ の調整を行う。また、流れ場モデルの適用が困難と予想されるようなシート(シートの厚さの凹凸が激しい、不均一性が高いなど)については必ず実施すること。

実験①により流速分布と水深および水面勾配の関係を得る。さらに、式(3.4),(3.5)を数値積分することによって流速分布の再現計算を行う。

シート内の流速分布

$$\nu_t \frac{d^2u}{dz^2} - g\left(\frac{\lambda_p}{K}\right)^2 u^2 + g\,i = 0 \qquad \nu_t = \ell\, u_{*0}$$

$$\frac{\ell}{\kappa} = -\beta \int_{-t}^{0} z\,(u - u_\infty)\,dz \qquad \beta^{-1} = \int_{-t}^{0} (u - u_\infty)\,dz$$

$$u_\infty = \frac{K_\infty}{\lambda_p}\left[\left(1 + \frac{\gamma}{4C_{D\infty}} R_{e\infty}^{-1}\right)^{0.5} - \left(\frac{\gamma}{4C_{D\infty}} R_{e\infty}^{-1}\right)^{0.5}\right]^2 \qquad R_{e\infty} = \frac{K_\infty i^{0.5} d}{\lambda_p \nu} \tag{3.5}$$

シート上の流速分布

$$\frac{u}{u_{*0}} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{\kappa z + \ell}{\ell}\right) + \Psi_0 \qquad \Psi_0 = \frac{u_0}{\ell}\left(\frac{du}{dz}\right)_{z=0}^{-1}$$

境界条件

$$u \to u_\infty, \frac{du}{dz} \to 0 \quad (z \to -\infty)$$

ここで、z はシート上面を原点として鉛直上方を正とした座標軸、u は流速、ν_t は乱流混合係数、は混合距離、u_*は摩擦速度、R_e はレイノルズ数、ψ は流速係数であり、添え字の 0 はシート上面(z=0)、∞は z →-∞での値であることを表す。モデルの詳細については共同研究報告書[1)]の第 3 章を参照さ

れたい。実験と予測から得た流速分布と断面平均流速が±15%程度の誤差範囲内で一致することを確認する。その際、空隙率などの諸元が異なる複数の同タイプシートの全結果について、実験値と計算値に系統的なズレが確認できる場合にはκの調整を行うこととする。κの調整を行うためには少なくとも 4 種類の諸元が異なるシートについて実験を行う必要がある。それらの結果が最も一致するようにκ値を調整する。

なお、κを小さくすると限界流速が大きくなるメリットがあるので、標準値より小さくなる期待が少しでもあるならば、上記の作業をできるだけ行うことを勧める。

②無次元限界掃流力τ_{*c}と厚さ割引率 R の設定-実験②,③-

実験②により侵食深の測定を行う。それと同一の実験装置を用いて、実験③により流速およびレイノルズ応力分布の測定を行う。

まず、平均侵食深 Z の経時変化について最小二乗法で式(3.6)をフィッティングして係数 A,B を得る。

ここで、T は通水時間(min)である。係数 A,B とシートによる侵食防止が可能となる条件として設定した侵食速度 E=0.1(mm/hr)を式(3.7)を代入して最小必要厚さt_cを求める。

$$Z = A \ln T + B \tag{3.6}$$

$$E = \frac{dZ}{dT} = \frac{A}{T} = \frac{A}{\exp\left(\frac{t_c - B}{A}\right)} \tag{3.7}$$

各流速でのt_c、シート表面におけるレイノルズ応力u_{*0}^2(レイノルズ応力分布の測定結果に直線をフィッティングして、その直線をシート表面の位置まで外挿することで求める)と動水勾配を式(3.5)として示した流れ場のモデルに代入して侵食面における無次元掃流力を求める。その際に用いるカルマン定数κは標準値ではなく、実験③で得た流速分布の測定結果を用いて①に示した方法で調整した値を用いることとする。上記のように推定した無次元掃流力の値とτ_{*c}=0.030, 0.045, 0.060 の 3 段階の値を比較して、両者が最も近い値となるτ_{*c}値として設定する。

厚さ割引率 R は 0.85 を標準値とし、標準値より大きな値に変更してはならない。その理由は、シートの施工時などに生じるシートの変形が避けられないとの前提に基づいて、シート厚が小さくなった場合(元の厚さの 90%までを許容範囲とする:**3.3** 参照)をあらかじめ想定して、限界流速の評価を行うこととしたためである。

侵食実験の結果を整理して(シート厚 t)/(平均侵食深 Z)≧1.2 の実験ケースでは、(局所侵食深 z)/(平均侵食深 Z)=1.2 となる侵食深の生起確率 P≧70%となっていること、かつシート下面と地面との間に生じた隙間が上下流方向に連結する「水みち」が形成されていないことを確認できた場合には、R を標準値として良い。t/Z≧1.2 の実験ケースにおいても水みちの形成が見られる場合には、1)水みちが見られなくなる P 値を明らかにし、2)その P 値となる t/Z 値を求め、3)R=Z/t とする。

③モデルによる評価の妥当性の確認-侵食実験とモデルによって求めた限界流速の比較-

上記したようにして設定したパラメータを式(3.5)として示したモデルに代入して、実験②に示した侵食実験から得られた限界流速とそのモデルによる推定値を比較し、モデルおよびパラメータ設定の妥当性を確認する。

●実験による限界流速の評価

②に示した方法によって、侵食実験より t_c が求められる。シート厚さ t と t_c の比 t_c/t が R 値以下となる最大の流速を限界流速とする。

●モデルによる限界流速の評価とその妥当性の検証

モデルに①,②で求めたパラメータを代入して限界流速を求める。その際、シート厚さはR･t、動水勾配は開発目標としたセグメント 2 の最大値 1/300 を用いる。

④限界流速の評価-粘着力を有する充填土砂の耐侵食力を考慮して-

●評価に用いるシートの厚さ t_d と空隙率 λ_{pd}

施工時などに生じるシートの変形が避けられないとの前提に基づいて、シートが変形することで侵食防止効果が低減する(シート厚が小さく、または空隙率が大きくなる)ことをあらかじめ想定して、限界流速の評価を行う。t_d と λ_{pd} は式(3.8)のように求める。

$$t_d = R\,t$$
$$\lambda_{pd} = 1 - 0.95\left(1 - \lambda_p\right) \tag{3.8}$$

●充填土砂の限界掃流力の設定

充填土砂の限界掃流力 τ_c の標準値を τ_c/ρ=20(cm²/s²)と定める。 ③において設定した 3 段階の τ_{*c} 値に対応して、τ_c/ρ として式(3.9)を用いる。

$$\tau_{*c} = 0.060\text{の場合} \qquad \frac{\tau_c}{\rho} = 20\left(cm^2/s^2\right)$$
$$\tau_{*c} = 0.045\text{の場合} \qquad \frac{\tau_c}{\rho} = 15\left(cm^2/s^2\right) \tag{3.9}$$
$$\tau_{*c} = 0.030\text{の場合} \qquad \frac{\tau_c}{\rho} = 10\left(cm^2/s^2\right)$$

●限界流速の評価

上記のように求めた t_d, λ_{pd}, τ_c/ρ と水面勾配 i=1/300 を式(3.5)として示したモデルに代入すると、水深と限界流速の関係が得られる。

3.2 土砂充填性

(1) シート内への充填性

1) 試験の目的

実施工で用いる充填装置を小型化した機器を用いて土砂充填工を再現した試験を行い、シートへの土砂充填性を確認する。

2) 試験の条件

試験条件は、実際の土砂充填工と同一条件となるように以下のように設定した。

項目	条件
シート試験片の大きさ	60cm×60cm
高含水比土砂	充填用土砂：砂質土[注)]、スランプ値：25cm 程度 （**写真-3.2** 参照）
振動装置	ハンドコンパクター：重量 17kgf, 載荷面積 30×30cm （**写真-3.1** 参照） 振動板の設置圧が約 1,800(N/m²)になるように重量および積載面積を調整すること。
積載させる土砂量	シート厚 t×（60cm×60cm）/2 （**図-3.2** 参照）
振動時間	T=5sec

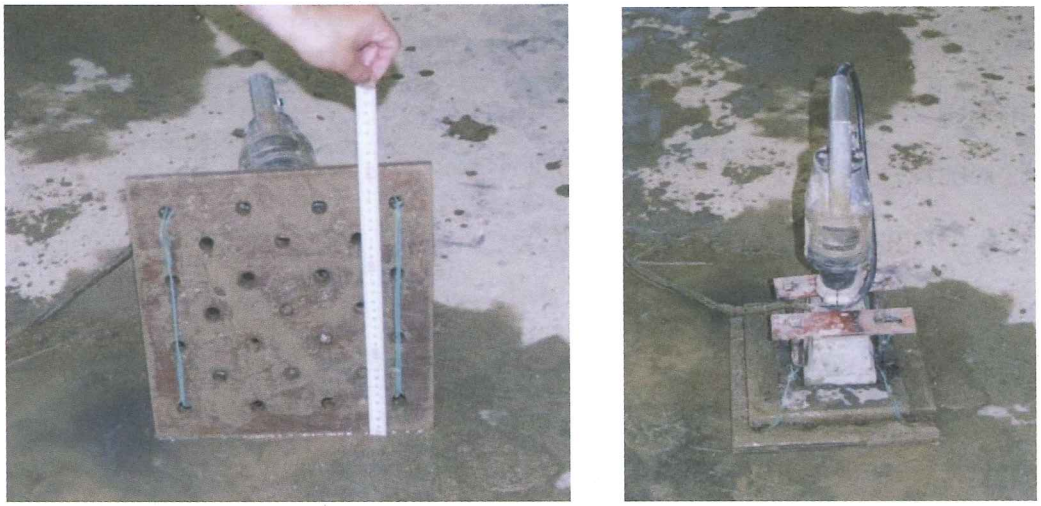


写真-3.1 試験に用いる振動装置の一例



写真-3.2 高含水比土砂の製造例

3）試験方法

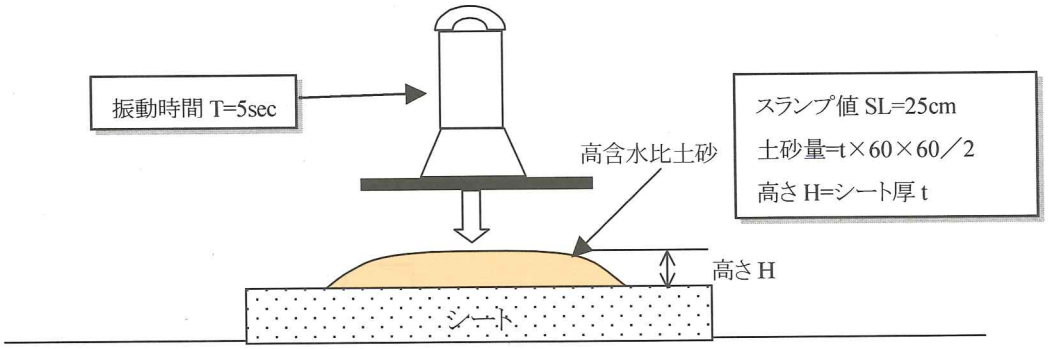


図-3.2　実験条件

土砂充填実験は**図-3.3** に示す手順に従って実施する。また試験実施状況を**写真-3.3,3.4** に示す。土砂充填が完全に行えたかどうかの判断は、充填深の測定のみでなく、シート裏側を目視して土砂の空隙への入り方(部分的に未充填の場所がなく、まんべんなく充填できているかなど)を観察して総合的に判断すること。



写真-3.3　シート上に高含水比土砂を積載する



写真-3.4　充填装置をゆっくり乗せ、振動を開始する

3回の土砂充填でどれだけ充填されるか確認する

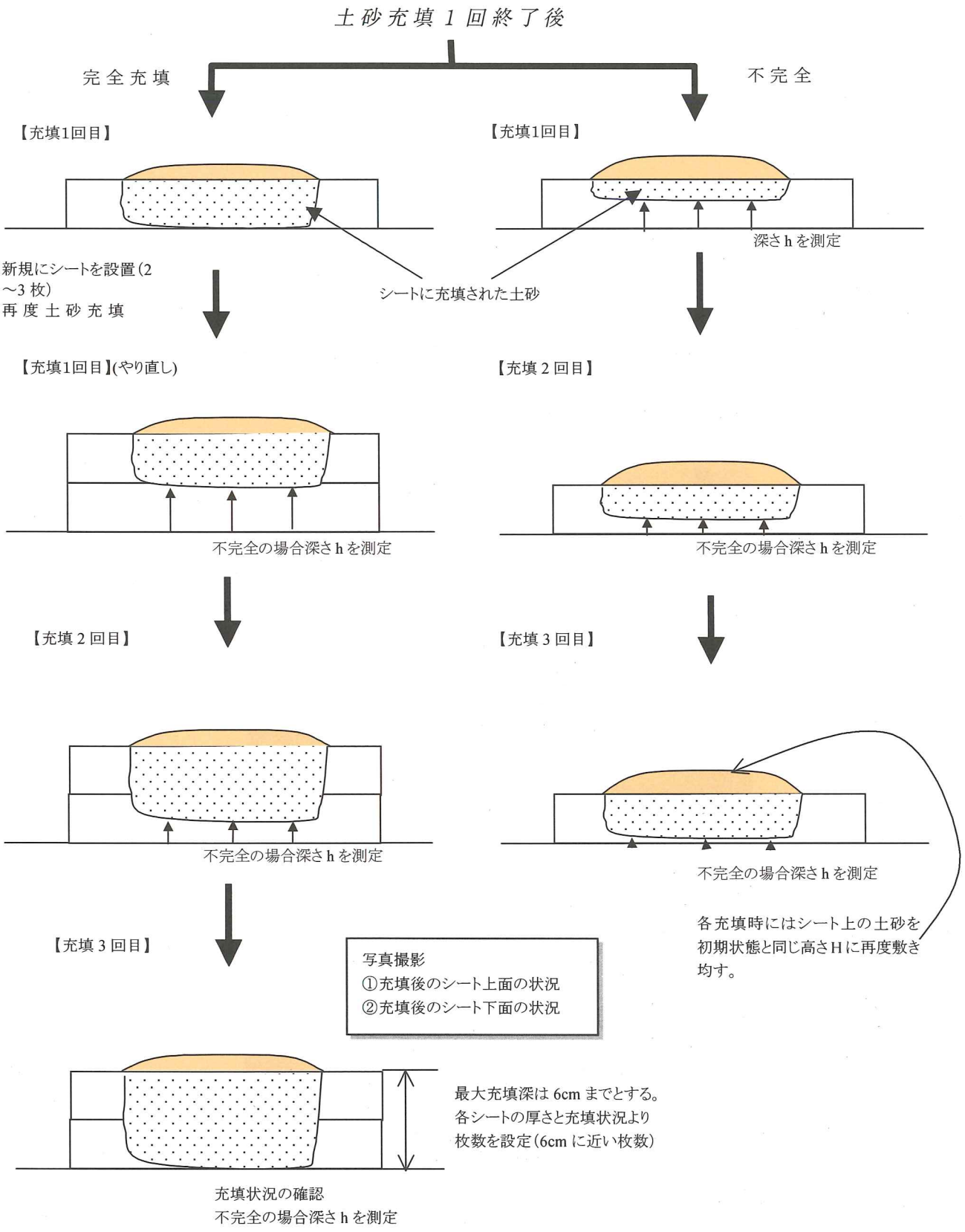


図-3.3　土砂充填試験の実施手順

4) 計測結果の整理

以下について結果を整理する。

シート1枚に対する必要充填回数

シート2枚に対する必要充填回数

なお、充填深(シートの厚さ-h)と $(d/(1-\lambda_p)^{0.5})$ の関係として図化すると、他シートとの充填性の比較が可能である(共同研究報告書[1)]の第5章参照)。

5) 評価

1回で充填できる場合をA、2回の場合をB、それ以外をCとして、A,Bを合格とし、Cを不合格とする。

注)砂質土の粒度分布などについては共同研究報告書[1)]の第5章を参考にして定める。

(2) 不陸部充填性

1) 試験目的

地面とシート下面の間に形成される隙間への土砂充填性を確認する。

2) 試験方法

シートの接続部および地面の凹部(深さ 5cm、幅および長さ 20cm)に形成されるシート面との隙間への土砂充填性(隙間が高含水比土砂で埋められる、またはシートが変形して隙間内に垂れ込んで隙間を埋める)を確認する。

シート 2 枚(60cm×60cm)を**図-3.4** および**写真-3.5** に示すように整形した地面の上に敷設する。各隙間部の上部で(1)に示したのと同一の試験方法で土砂充填を行い、接続部および地面凹部の土砂充填状況を調べる。なお、振動 1 回で充填されない場合にはさらに同様な方法で 2 回目を実施する。

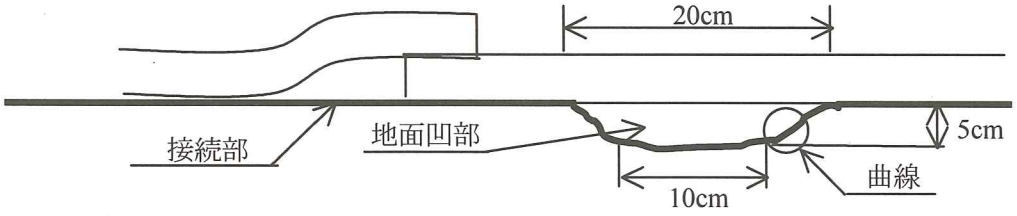
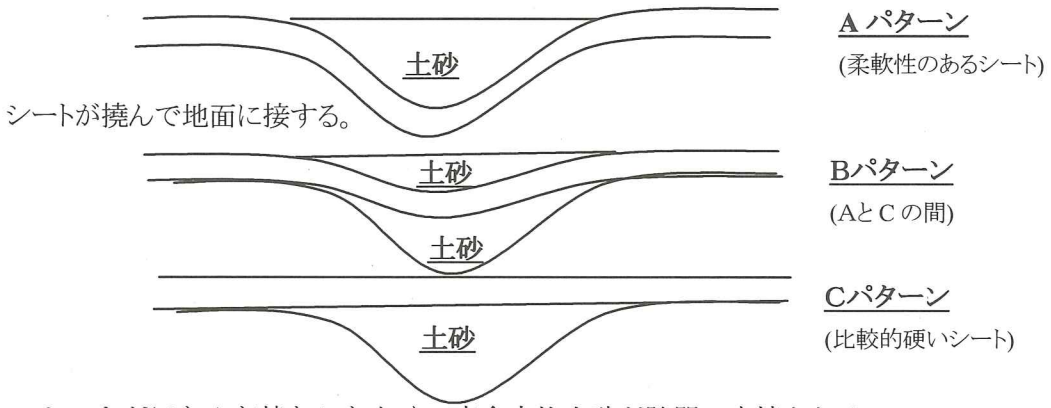


図-3.4　隙間への土砂充填性の試験条件



写真-3.5　地面凹部の形状

3) 試験結果の整理



シートがほとんど撓むことなく、高含水比土砂が隙間に充填される

図-3.5　充填状況のタイプ分け

図-3.5 に示す充填状況のタイプ分けを行うとともに、以下のように区分する。

A：隙間がない（充填１回）

B：隙間がない（充填２回）

C：上記以外

(3) 評価

以上の区分において、A、B を合格とし、C を不合格とする。

3.3 強　度

(1) 耐損傷性

1) 試験目的

施工、供用および出水時における侵食防止の際にシートが破断しない、かつシートを撤去する際に細片化しない強度を有することを引っ掛け強度により確認する。なお、本試験の結果は耐久性試験において引っ掛け強度の強度低下を調べる際の初期値としても用いる。

2) 試験条件

図-3.6 に示すフックを用いて、下表の試験条件に従って強度を測定する。

項　目	内　容
試　験　機	定速伸張型引張試験機
試　験　温　度	20±2℃
試　験　湿　度	65±2%
試　験　方　法	JIS L 1043（合成繊維漁網用網地試験）
試　験　片	幅100×長さ200mm
フ　ッ　ク　間　隔	100mm
引　張　速　度	200mm/min（200%/min）
試　験　片　の　数	シートの長手方向と幅方向に各3個

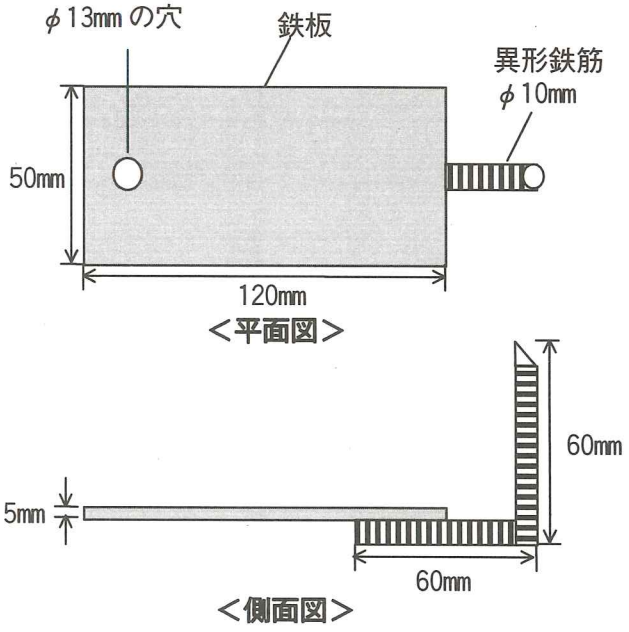


図-3.6　引っ掛け試験に用いるフックの形状

3) 試験方法

引張試験機に取り付けたフックに試験片を引っ掛けて定速で引っ張る。試験片の引っ掛け部分での破断やすべりなどにより他の試験片と極端に異なった結果が得られた場合は再試験を行う。3試験

片の平均値として引っ掛け強度を求める。

4) 評価

引っ掛け強度が147N{15kgf}以上を合格とする。

(2) 伸びに対する復元性

1) 試験の目的

シートの敷設や運搬などを行う際にシートが引っ張られて伸び変形が生じる場合があるが、そのような場合にも引張荷重が除かれた後にシートが初期の長さおよび厚さにほぼ復元し、耐侵食力が損なわれないことを確認する。

2) 試験条件

以下の条件において試験を実施する。

項　目	内　容
試　験　機	定速伸張型引張試験機
試　験　温　度	20±2℃
試　験　湿　度	65±2%
試　験　方　法	JIS L 1096（一般織物試験方法） JIS L 3204（反毛フェルト）
試　験　片	幅50mm×長さ200mm
チャック間隔	100mm
引　張　速　度	100mm/min（100%/min）
最大引張荷重	50kgf/m
試験片の数	シートの長手方向と幅方向に各3個

3) 試験方法

引張試験機のチャックに試験片を取り付け、50kgf/mの引っ張り荷重を1分間作用させた後に、除荷して3分後、厚さと長さを測定する。

4) 試験結果の整理

シートの長さおよび厚さについて下記に示す回復率を算定する。

(回復率)=(試験後の測定値)/(試験前の測定値)×100

5) 評価

厚さ回復率が90%以上、かつ伸び回復率が105%以下を合格とする。

(3) 圧縮に対する復元性

1) 試験の目的

シート固定や土砂充填などを行う際の作業員による踏みつけなどによりシートが圧縮変形するが、そのような場合にも圧縮荷重が除かれた後にシートが初期の厚さにほぼ復元し、耐侵食力が損なわれないことを確認する。

2) 試験条件

以下の条件において試験を実施する。

項目	内　容
試　験　機	圧縮試験機
試　験　温　度	20±2℃
試　験　湿　度	65±2%
試　験　方　法	JIS L 1096、L1908 参考
試　験　片	プレッサーフット（面積 25cm^2）の直径に対して 1.75 倍以上の大きさ
押　圧　荷　重	100kPa {1.02kgf/cm^2}
押　圧　時　間	30 秒　（参考試験として 1 時間と 24 時間）
試　験　方　法	除荷してから 1 分後の厚さ

3) 試験方法

各時間経過後に厚さを 0.01mm 精度で測定する。

4) 試験結果の整理

シート厚さについて下記に示す回復率を算定する。

(回復率)=(試験後の測定値)/(試験前の測定値)×100

5) 評価

除荷してから 1 分経過後の厚さ回復率が 90%以上を合格とする。

(4) 耐衝撃性

1) 試験目的

シートの施工時に誤ってハンマーやスコップによってシートに衝撃を加えても切断や凹みなどの損傷が容易に生じないことを確認する。

2) 試験方法

剣先スコップの先端をシートに衝突させた際に生じる損傷状況を調べる試験を行う。**図-3.7** に示すように平地(締め固めの程度は堤防のり面と同等とする)に敷設したシート(60×100cm)に、重量約1.7kg の剣先スコップを高さ 1m から自然落下させ、剣先をシートに衝突させる。この試験をスコップの向きをシートの幅および長手方向に変えて各2回行う。なお1回ごとに落下場所を変えること。衝突部の損傷状況を目視により確認するとともに、その状況が分かるように写真撮影を行う。

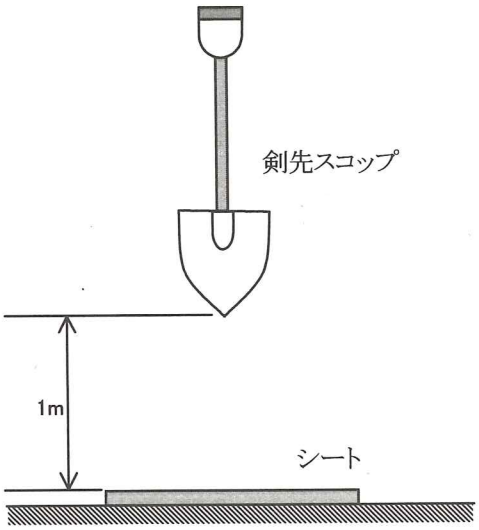


図-3.7 耐衝撃性試験

3) 試験結果の整理

損傷の程度を以下のように整理する。

A：損傷が認められない。

B：破断はないがシートが凹む。

C：構成材が切断するが貫通しない。

D：スコップが貫通する。

4) 評価

以上の区分において、A、B を合格とし、C、D を不合格とする。

3.4 加工性

(1) 敷設・固定作業性

1) 試験目的

実際のシート施工と同様な手順で小規模な敷設・固定を実施し、シートを折り曲げても損傷しないか、固定用ピンによってシートがしっかりと固定できるか、濡れた作業靴でシートに載っても滑らないか確認する。

2) 試験方法

幅0.6m程度、長さ2m程度のシートを2枚用いて、のり勾配1:2の斜面上に**図-3.8,3.9**に示す手順で敷設・固定を行う。その作業に並行して、a～cについて調査する。

a. 端部処理性

シートを折り曲げる。折り曲げ部はきちんと直角になるように押さえ、その時の破損の程度を調べる。

b. ピンによる固定性

ピンを打ち込んでシートをのり面に固定する。シート上を歩行したり、のり尻方向にシートを滑らせるように体重を掛けた後、ピンによってシートがしっかり固定できているか調べる。

c. シート上での作業性

シートの敷設時および敷設後にシート上で濡らした作業靴で作業を行い、滑らず歩行や作業ができるか調査する。

3) 試験結果の整理

調査結果を以下のように区分する。

＜端部処理性＞

A:損傷が認められない

B:折り曲げた凸側で一部切断する

D:折り曲げ部にそって完全に切断される

＜ピンによる固定性＞

A:ピンを打ち込んだ孔が広がることなく、シートががたつき無く固定できる

B:ピン周りでシートが浮かび上がるが固定できる

D:シートがピンから容易に離脱する

＜シート上での作業性＞

A:滑りにくく歩きやすい

B:多少滑るが歩行に支障はない

D:滑りやすく歩行するのに注意を要する

4) 評価方法

以上の区分で端部処理性はA、ピンによる固定性とシート上での作業性はA,Bを合格とする。

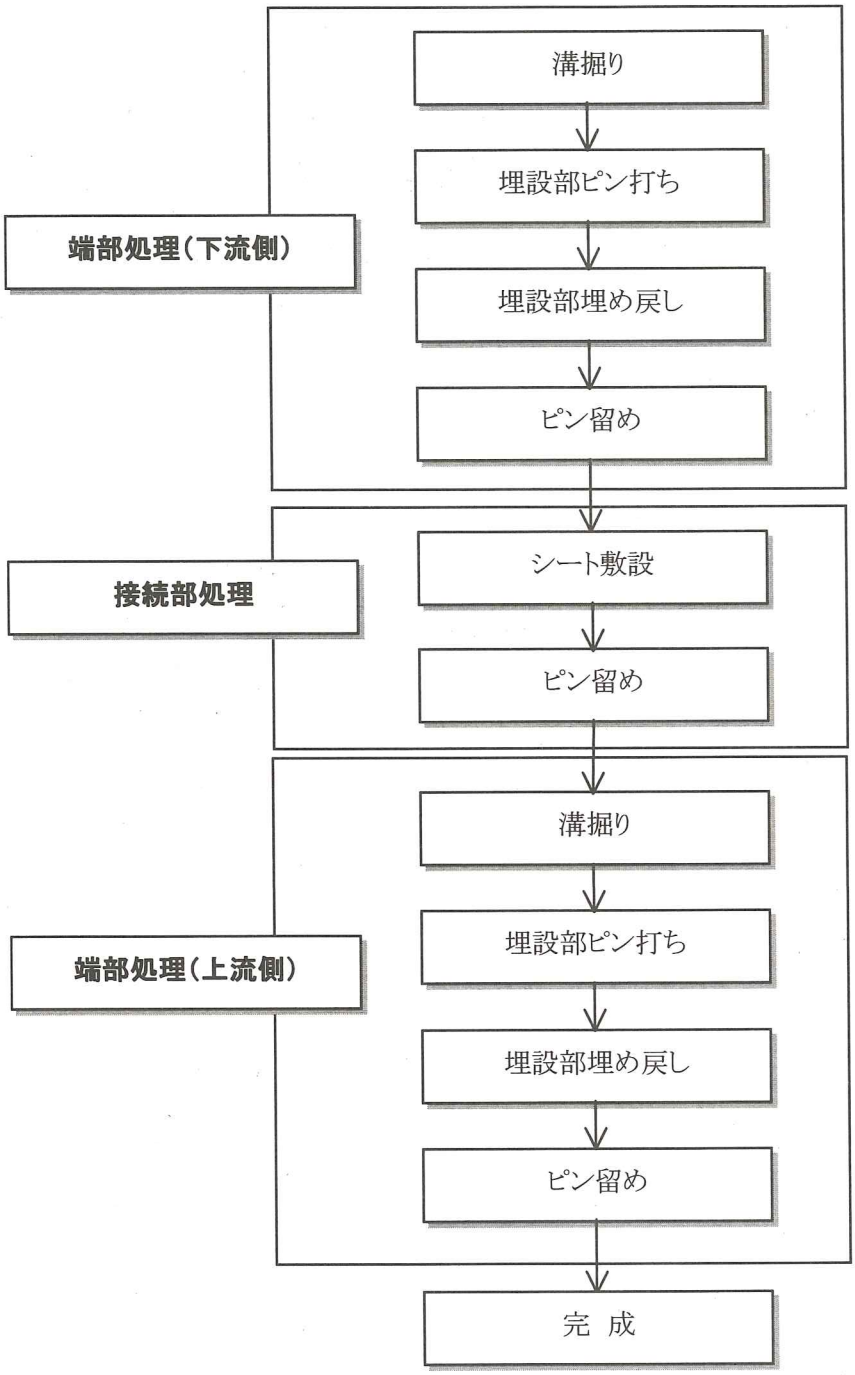
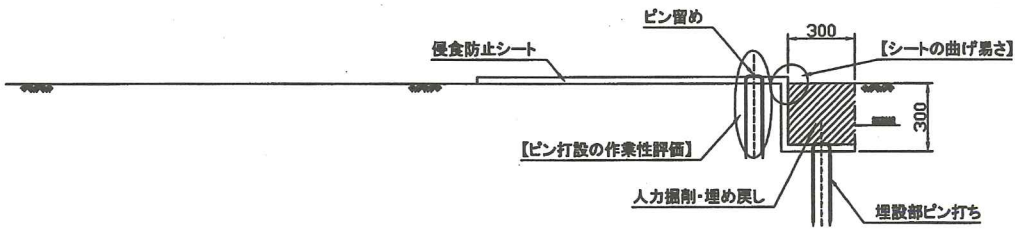
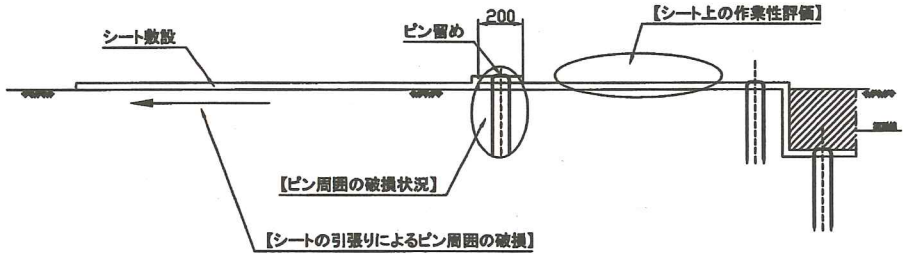


図-3.8　敷設・固定性の実験手順

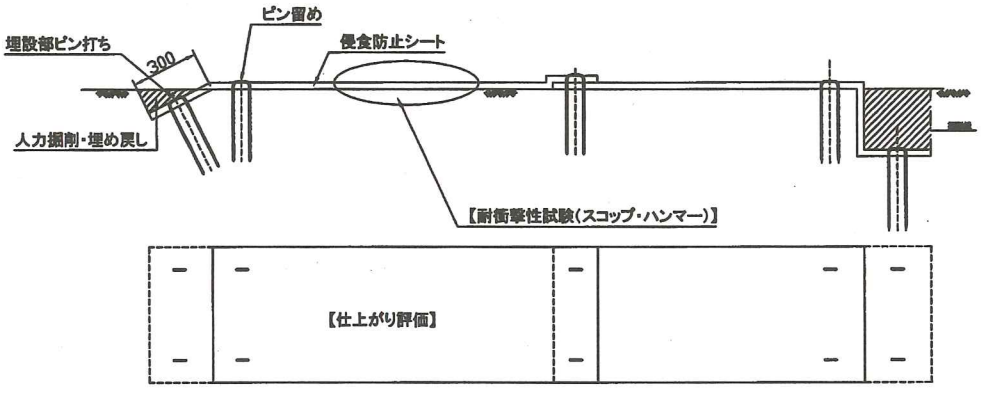
■端部処理(下流側)



■重複部処理



■端部処理(上流側)



【平面図】

図-3.9　敷設・固定の試験条件

(2) シートの重ね合わせ易さ

1) 試験目的

シートを接続する際に所定の重ね合わせ長となるようにシートの位置を調整する作業が良好に行えることを確認する。

2) 試験の条件･方法

図-3.10 に示すように幅 60cm、長さ 2m のシートを片手で掴んでつり下げ、掴んだ場所からシート最下端までの距離(最大値)を測定する。

3) 試験結果の整理

次式によって伸び率を求める。

(伸び率)=(つり下げ時の距離)/(つり下げ前のシート長さ(2m))×100

また、伸び率を以下のように区分する。

A：伸び率が 110%以内

B：伸び率が 110～120%

C：伸び率が 120%以上

4) 評価方法

以上の評価において、A、B を合格とし、C を不合格とする。

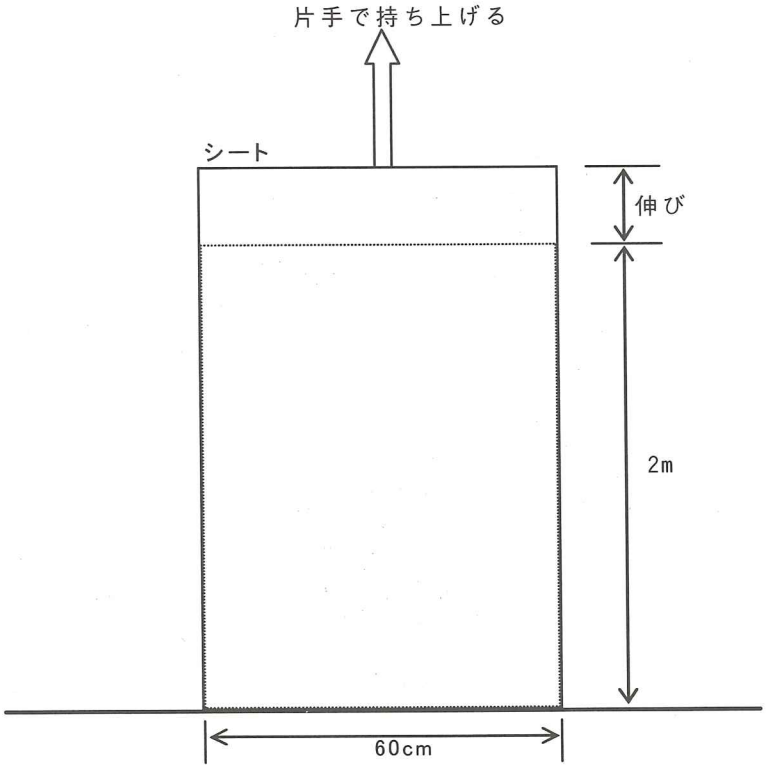


図-3.10　シートの重ね合わせ易さの試験条件･方法

3.5 耐久性

(1) 耐候性

1) 試験目的

キセノンアークランプ式耐候性試験機にて促進暴露試験を行い、屋外での累積暴露時間が2年程度までシートの侵食防止効果が正常に発揮されることを確認する。

2) 試験条件･方法

促進暴露試験と屋外暴露試験を行う。以下では各試験ごとに試験の条件と方法を示す。

a. 促進暴露試験

キセノンアークランプ式耐候性試験機(**写真-3.6** 参照)を用いて、気中において試験片に対して照射と前面降雨をある一定サイクルで行う方法であり、JIS A 1415（プラスティック建築材料の促進暴露試験）に準じて行う。

●試験条件

下表に示す条件を1サイクルとして試験を行う。

①照射	照射強度	30W/m^2
	ﾌﾞﾗｯｸﾊﾟﾈﾙ温度	63℃
	湿度	50%
	試験時間	102min
②前面降雨	照射強度	30W/m^2
	ﾌﾞﾗｯｸﾊﾟﾈﾙ温度	63℃
	湿度	100%
	試験時間	18min



写真-3.6　キセノンアークランプ式耐候性試験機

●試験時間と試験片

試験時間が400、1000、2000、4000時間ごとに3試験片とする。試験片の寸法は**3.3**(1)に示す試験が行える大きさとする。

●試験方法

各試験時間ごとに **3.3**(1)に示す試験法で引っ掛け強度を測定する。その測定値と **3.3**(1)で測

定した初期値から次式によって強度保持率を求める。

(強度保持率)=(促進暴露試験を行った試験片の引っ掛け強度)/(引っ掛け強度の初期値)×100

b. 屋外暴露試験

●試験条件

JIS A 1410（プラスティック建築材料の屋外暴露試験）に準じて試験装置を設置し、**写真-3.7**に示すように試験片の設置スペースであるステンレス製のワイヤーメッシュ上に200×275㎜のシート試験片を設置する。なお試験片の大きさは**3.3**(1)に示す試験が行えれば、前記のとおりでなくても良い。



写真-3.7　試験片の設置状況

●試験時間と試験片

試験期間が2,4,8,12ヶ月ごとに3試験片とする。

●試験方法

各試験期間ごとに**3.3**(1)に示す試験法で引っ掛け強度を測定する。その測定値と**3.3**(1)で測定した初期値から次式によって強度保持率を求める。

(強度保持率)=(屋外暴露試験を行った試験片の引っ掛け強度)/(引っ掛け強度の初期値)×100

3) 試験結果の整理

まず、促進暴露試験と屋外暴露試験による強度保持率の時間変化を比較して、促進暴露試験4000時間が屋外暴露試験の約2年間に相当することを確認する(共同研究報告書[1)]の第7章参照)。

次に強度保持率と引っ掛け強度によって以下のように区分する。

A:90%≦保持率≦110%、かつ試験後にも引っ掛け強度15kgf以上であり、Cのような変化が認められない

B: 80%≦保持率≦120%、以下同上

C:上記以外の強度保持率および引っ掛け強度、または切断や脆性化(解れ)などがシートの流水抵抗を発揮する主要部に認められた場合。

解れについては**3.6**(1)に示す試験方法を参考にして確認すること。

4) 評価

促進暴露試験の区分においてA、Bを合格とし、Cを不合格とする。評価においては共同共同研究報告書[1)]の第7章を参考にすること。

(2) 耐水･耐薬品性

1) 試験目的

中性･酸性･アルカリ性の水への浸漬に対して、シートが侵食防止効果を正常に発揮できる耐久性を有することを確認する。

2) 試験条件

下記の条件で試験を行う。

試験項目	試験仕様			試験片サイズ
	温度	浸漬時間	PH	
耐水性	50±2℃	250 時間	7	200mm×275mm×3 枚
耐アルカリ性	50±2℃	250 時間	12	200mm×275mm×3 枚
耐酸性	50±2℃	250 時間	2	200mm×275mm×3 枚

●試薬

①蒸留水（耐水性）

蒸発により試験容器中の蒸留水の量が少なくなったときに蒸留水を補充する。

②水酸化カルシウム（耐アルカリ性）

③硫酸（耐酸性）

時間の経過に伴い濃度変化が懸念されるため、一定の時間経過毎に pH の測定を行い、適宜、濃度の調整を行う。

3) 試験方法

写真-3.8 に示すように一定時間、浸漬した後、試験片を取り出し、引っ掛け強度を **3.3**(1)に示す試験法で測定する。その測定値と **3.3**(1)で測定した初期値から次式によって強度保持率を求める。

(強度保持率)=(浸漬後の試験片の引っ掛け強度)/(引っ掛け強度の初期値)×100

4) 試験結果の整理

強度保持率と引っ掛け強度によって以下のように区分する。

A:90%≦保持率≦110%、かつ試験後にも引っ掛け強度 15kgf 以上であり、C のような変化が認められない

B: 80%≦保持率≦120%、以下同上

C:上記以外の強度保持率および引っ掛け強度、または切断や脆性化(解れ)などがシートの流水抵抗を発揮する主要部に認められた場合。

解れについては **3.6**(1)に示す試験方法を参考にして確認すること。

5) 評価基準

以上の評価においてA、Bを合格とし、Cを不合格とする。評価においては共同研究報告書 [1)] の第 7 章を参考にすること。



写真-3.8　浸漬槽とシートの浸漬状況



写真-3.9　恒温槽

(3) 耐寒・耐熱性

1) 試験目的

冬季･夏季の温度変化に対して、シートが侵食防止効果を正常に発揮できる耐久性を有することを確認する。

2) 試験条件

写真-3.9 に一例を示す恒温槽を用いて以下の条件で試験を行う。試験片の寸法は **3.3**(1)に示す試験が行える大きさとする。

項目	内容
雰囲気温度	-20℃（冬季） +70℃（夏季）
試験時間	24 時間
試験片個数	3 個

3) 試験方法

一定時間、恒温槽に入れた後、その気温状態のまま引っ掛け強度を **3.3**(1)に示す試験法で測定する。その測定値と **3.3**(1)で測定した初期値から次式によって強度保持率を求める。

(強度保持率)=(恒温槽に入れた後の試験片の引っ掛け強度)/(引っ掛け強度の初期値)×100

4) 試験結果の整理

強度保持率と引っ掛け強度によって以下のように区分する。

A:90%≦保持率≦110%、かつ試験後にも引っ掛け強度 15kgf 以上であり、C のような変化が認められない

B: 80%≦保持率≦120%、以下同上

C:上記以外の強度保持率および引っ掛け強度、または切断や脆性化(解れ)などがシートの流水抵抗を発揮する主要部に認められた場合。

解れについては **3.6**(1)に示す試験方法を参考にして確認すること。

5) 評価基準

以上の評価においてA、Bを合格とし、Cを不合格とする。評価においては共同研究報告書[1)]の第7章を参考にすること。

(4) 耐土壌性

1) 試験目的

腐葉土中への埋設に対して、シートが侵食防止効果を正常に発揮できる耐久性を有することを確認する。

2) 試験条件

以下の条件で試験を行う。試験片の寸法は**3.3**(1)に示す試験が行える大きさとする。

項目	内容
埋設条件	土中　20cm
埋設期間	3・6・9ヶ月
試料土の土質	園芸用腐葉土 抵抗値：3kΩ 水分量：24% 密度：0.8g/cm^2
試験片の数	埋設期間毎に3個
試験片の大きさ	200×275mm

3) 試験方法

腐葉土に埋設し、一定時間経過後に取り出し、引っ掛け強度を **3.3**(1)に示す試験法で測定する。その測定値と **3.3**(1)で測定した初期値から次式によって強度保持率を求める。

(強度保持率)=(腐葉土に埋没後の試験片の引っ掛け強度)/(引っ掛け強度の初期値)×100

4) 試験結果の整理

強度保持率と引っ掛け強度によって以下のように区分する。

A:90%≦保持率≦110%、かつ試験後にも引っ掛け強度15kgf以上であり、Cのような変化が認められない

B: 80%≦保持率≦120%、以下同上

C:上記以外の強度保持率および引っ掛け強度、または切断や脆性化(解れ)などがシートの流水抵抗を発揮する主要部に認められた場合。

解れについては**3.6**(1)に示す試験方法を参考にして確認すること。

5) 評価基準

以上の評価においてA、Bを合格とし、Cを不合格とする。評価においては共同研究報告書[1)]の第7章を参考にすること。

3.6 安全性

(1) 解れ易さ

1) 試験目的

シートを施工現場で切断した場合などに切断部から容易に解れることがなく、シートが侵食防止効果を正常に発揮できることを確認する。

2) 試験条件

シートをカッター、ハサミ、電動丸鋸、ヒートカッターで切断する。

3) 試験方法

切断部の構成材を実際に指でつまんで引っ張ってみて、解れるか確認する。

4) 評価

部分的にでも接着や熔着などで固定されてないシート構造である場合には、「解れやすい」と評価することとする。ただし、構成材同士を完全に結びつけるなど解れにくくするような工夫がしてあれば、実際に指でつまんで引っ張ってみてその程度を確認し、構成材が取れにくければ「解れにくい」と判断して良い。取れにくさは、接着や熔着したシートとの相対的比較から評価する。評価においては共同研究報告書[1)]の第8章を参考にすること。

(2) 耐燃焼性

1) 試験目的

シートに土砂が充填されている状況でシート上で燃焼が生じても、シートに引火して燃え広がることがないことを確認する。

2) 試験条件

JIS L 1091 を参考にして設定した以下の条件で試験を行う。

項目	内容
試験温度	20±2℃
試験湿度	65±2%
火源	球状脱脂綿（φ1cm 程度）にエタノール(一級)を 0.3m 染み込ませたもの
試験片の数	3 個
試験片の大きさ	200×275mm
充填土砂	完全乾燥状態

3) 試験方法

球状の脱脂綿を土砂充填状況が異なるシートの表面に設置して燃焼さえ、自然消火するまでのシートの燃焼状況を調べる。土砂充填状況として以下の 2 ケースについて試験を行う(**図-3.11** および **写真-3.10** 参照)。

Case1；シート表面まで土砂を充填した場合（砂表面がシート表面と同じ高さにある）

Case2；シート厚さの半分が表面に露出している状態（砂表面がシート厚さの半分の高さにある）

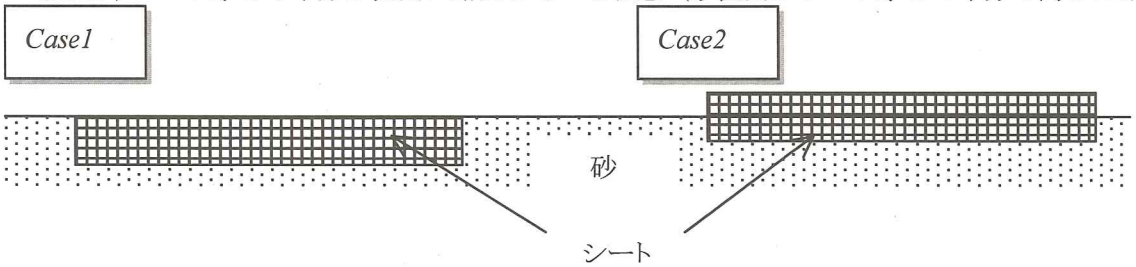


図-3.11 土砂充填状況

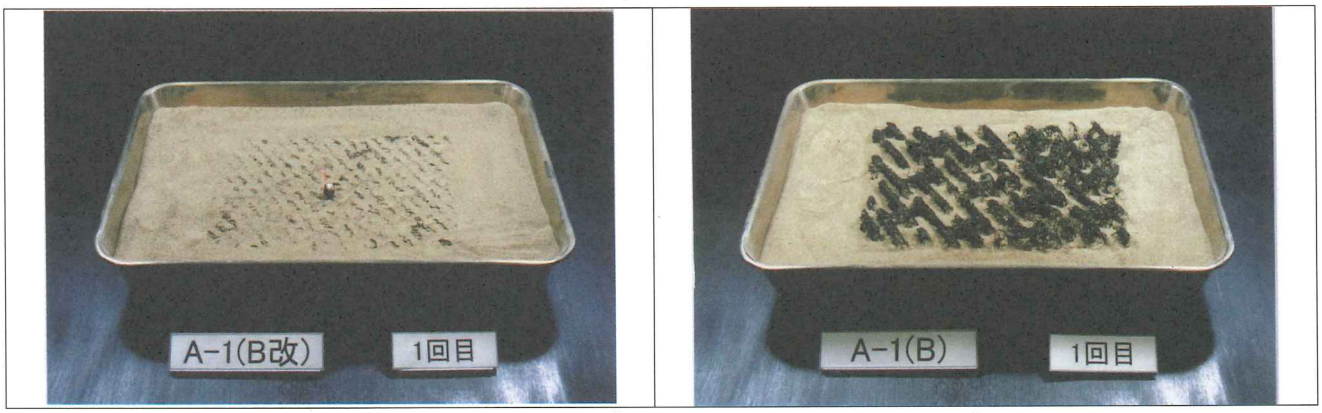


写真-3.10 試験状況（左側が Case1、右側が Case2）

4）試験結果の整理

以下の2点について確認する。

・燃焼状況：燃焼中、後のシート状況を観察（目視、写真）

・炭化距離：試験後のシートの炭化距離（燃焼距離）を測定

＜Case1:全厚さ充填＞	＜Case2:半分充填＞
A：ほとんど燃焼しない	A：ほとんど燃焼しない
B：火種部のみ燃焼する	B：炭化距離が10cm以内
D：燃え広がる	D：燃え広がる

5）評価基準

以上の評価においてA、Bを合格とし、Dを不合格とする。

【参考試験：実大燃焼実験】

JIS L 1091を改変した室内試験では不十分であり、実際の燃焼状況をより近く再現した試験を行う場合には、本試験法を参考にすること。

1)試験目的

のり面で枯れ草を集草、焼却した場合に対するシートの耐燃焼性を確認する。

2）試験条件

項目	内容
火源	稲藁3kg（30×40×30cm程度）
点火方法	ライター
試験片	1m×1m
充填土砂	完全乾燥状態

3）試験方法

図-3.11 のCase1と同様にシート表面まで土砂を充填した後、十分ほぐした稲藁3kg(**写真-3.11**参照)を載せて燃焼させる(**写真-3.12**参照)。



稲藁束（30×40×60cm）



稲藁束を半分ほぐした状態

写真-3.11　火源として使用する稲藁



写真-3.12　燃焼状況

4）試験結果の整理

自然消火後にシートの燃焼状況について目視観察し、燃焼状況についてとりまとめる。

Ａ：ほとんど燃焼しない

Ｂ：火種部のみ燃焼する

Ｄ：燃え広がる

5）評価

以上の評価においてＡ、Ｂを合格とし、Ｄを不合格とする。

(3) 燃焼ガスの有害性

1) 調査目的

施工時にシート切断面を燃焼させて構成材を焼き付けたり、供用時に不審火によって燃焼した場合などに、シートから人体に有害な量および濃度のガスが発生しないことを確認する。

2) 試験条件

下記の文献を参考にして燃焼試験を行う。

参考文献：東京消防庁消防科学研究所（財）東京連合防災協会

「火と煙と有毒ガス」

●留意事項

実際に生じうるシートの燃焼状況としては、1)施工時にシート切断面を燃焼させて構成材を焼き付ける、2)供用時に不審火によって燃焼する、3)シートを焼却処分する場合などが考えられる。上記の燃焼条件(燃焼の温度、シートと一緒に燃焼する他物質の種類など)は各状況ごとに異なる。そのため、実際にはガスの成分とその発生量も異なると予想される。したがって、以下に提案する「ある決まった燃焼条件のもとで発生するガス成分の分析法」は、上記の各状況を厳密に再現するものではない。シート単体の燃焼という最も基本的な燃焼状況での安全性を確認する便宜的な手法であることに留意されたい。

3) 試験方法

●発生ガス成分試験(ダイオキシン類を除く)

図-3.12 に示す円筒型小型電気炉を用いて 50mg のシートを燃焼させ、その際に発生するガスを採取・成分分析を行う。分析対象とする成分は、シートの主素材で概ね決まることが知られているので、2)に示した参考文献に掲載されている主素材(PP:ポリプロピレン、PET:ポリエステル、PE:ポリエチレン、PVDC:塩化ビニリデン)とガス成分の関係を参考にして、例えば**表-3.2** に示すように定める。まず、5mm 以下に細断したシートを磁性ボードに入れ、それを円筒型燃焼炉の中央部に設置する。次にスライダック(電圧可変器)を調節して、室温から 700℃まで**図-3.13** に示すように温度を上昇させる。温度上昇開始とともに、燃焼炉に空気を 500(mℓ /分)供給する。この供給方法は、燃焼炉の排

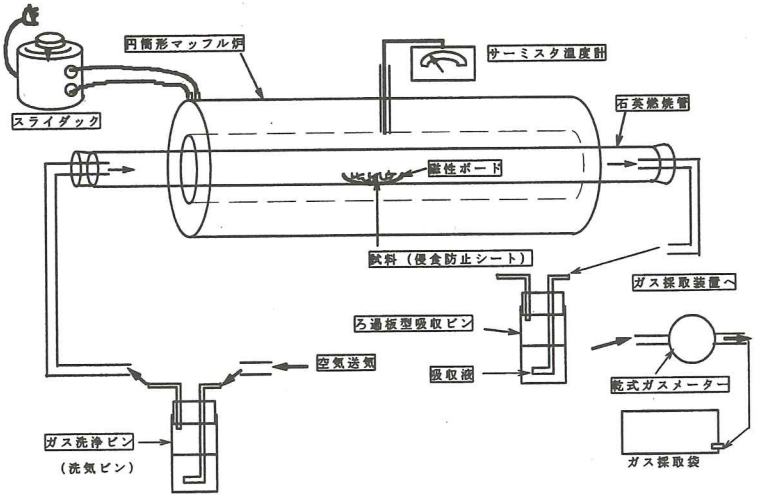


図-3.12　円筒形小型電気炉を用いた燃焼ガス成分試験

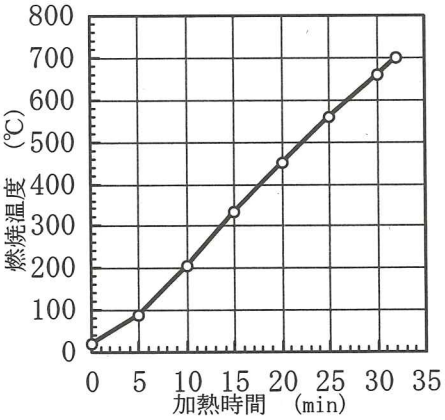


図-3.13　円筒形小型電気炉内の燃焼温度の経時変化

気口に乾式ガスメータ(空気流量の測定用)と真空ポンプを接続し、空気吸引によって行う。吸引する空気は、洗気ビンを通して洗浄する。**図-3.13** に示したように温度を上昇させている時間内に連続して、各成分の分析に適した方法で燃焼ガスを採取する。すなわち、炭酸ガス CO_2, 一酸化炭素 CO, 炭化水素ガス C_nH_m, アルデヒド類ではガス採取袋にガスを直接採取する。それ以外ではろ過板型吸収ビンを用いて吸収液に吸収させて採取する。吸収液の種類は成分によって**表-3.3** に示すように変更する。採取したガスの分析は、**表-3.2** に併記した方法で行う。

表-3.2　シートの主素材と分析対象とするガス成分およびその分析法

ガス成分名	主素材がPP,PE,PET	主素材が塩化ビニル系	分析方法
炭酸ガス	○	○	TCDおよびFID ガスクロマトグラフ法
一酸化炭素	○	○	
炭化水素ガス	○	○	
アルデヒド類	○	○	
塩素ガス	×	○	比色法(o-トリジン吸光光度法)
塩化水素ガス	×	○	イオンクロマトグラフ法
窒素酸化物	○	○	
硫黄酸化物	○	○	
シアン化水素ガス	○	○	比色法(4-ﾋﾟﾘｼﾞﾝｶﾙﾎﾞﾝ酸-ﾋﾟﾗｿﾞﾛﾝ吸光光度法)
ダイオキシン類 (ｺﾌﾟﾗﾅPCB類を含む)	○	○	ガスクロマトグラフ-高分解能質量分析機(GC/MS法)

表-3.3　ガス成分の採取に用いる吸収液

ガス成分名	吸収液
塩化水素ガス 窒素酸化物 硫黄酸化物	過酸化水素水
塩素ガス	オルトトリジン水溶液
炭化水素ガス	水酸化ナトリウム水溶液

●ダイオキシン類の試験法

上記の試験では燃焼させるシートは50mgであったが、この程度の燃焼量ではダイオキシンが極微量にしか発生せず、例え発生していたとしても分析精度以下となり検出されない可能性が高い。そこで、燃焼量を100gに増加させることとしたが、このような大量のシートを円筒型小型電気炉で燃焼させることができない。そのため、燃焼装置を**図-3.14** に示す灯油を燃料とする小型陶芸釜を用いることとした。この装置では直火のため温度コントロールが困難なため、上記の試験のように温度上昇を一定条件に制御しながら燃焼ガスを採取することができない。そのため、燃焼ガスの採取は、着火後から700℃まで上昇する間(この間の温度上昇のパターンが試験ごとに異なる)に発生するガスを連続採取する。

まず、100gのシートをホーロー性パッドに入れ、小型陶芸釜内に設置する。この状態で燃焼させ、排気口にガスのサンプリング口を設けて採取(JIS K 0311 に規格化された排ガス試料採取装置と同一)し、これについて**表-3.2** に示す方法で分析を行う。

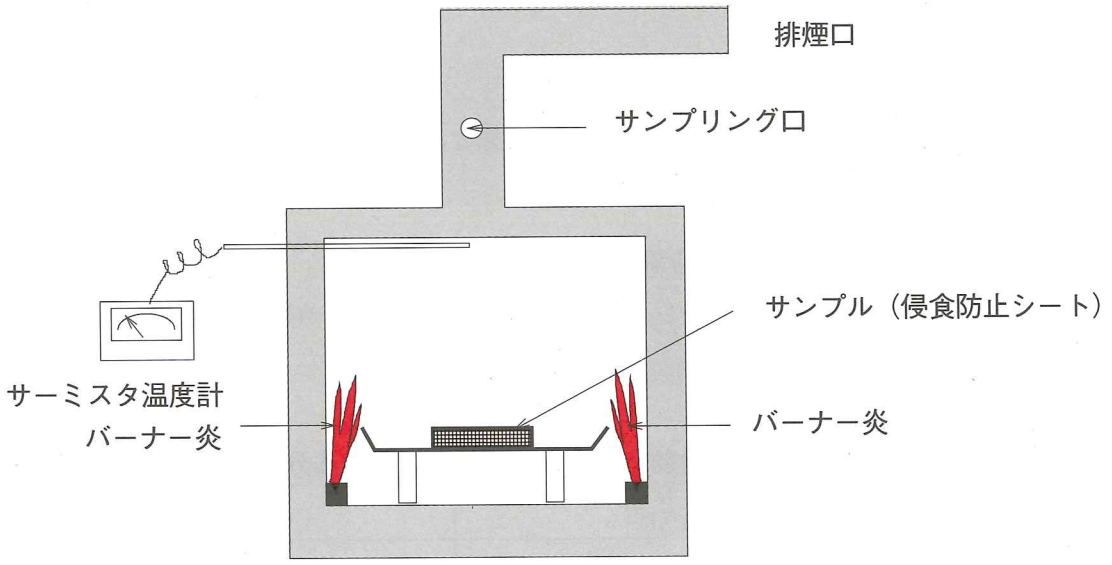


図-3.14　小型陶芸釜を用いたダイオキシン類の試験装置

4）試験結果の整理

燃焼生成ガスの名称とその量(濃度(ppm)、シートの単位質量あたりから発生する質量など)を記載する。

5）評価

有害性が認められる成分については環境基準と照らし合わせて安全性を判断する。評価においては共同研究報告書[1)]の第8章を参考にすること。

(4) 環境ホルモンの含有量

1) 試験目的

シートに含有されている環境ホルモンの種類と量を明らかにする。

2) 試験条件

下記の文献をしたがって含有量試験を行う。

・河村ほか:食品用ポリスチレン製品に残存する未知物質の同定,食衛誌,Vol.39,No.2,1998

分析対象とするのは**表-3.4** に示すとおりである。

表-3.4 侵食防止シート・マットに係わる分析項目

分析項目		分析方法
フェノール類	4-n-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ 4-t-ｵｸﾁﾙﾌｪﾉｰﾙ ﾉﾆﾙﾌｪﾉｰﾙ ﾋﾞｽﾌｪﾉｰﾙA	カテゴリーⅢ GC/MS
フタル酸類	ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ ﾌﾀﾙ酸ｼﾞ-n-ﾌﾞﾁﾙ ﾌﾀﾙ酸ﾌﾞﾁﾙﾍﾞﾝｼﾞﾙ	カテゴリーⅣ GC/MS
ｱｼﾞﾋﾟﾝ酸ｼﾞ-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ		カテゴリーⅤ GC/MS

●留意事項

2.2(3)に示したような利用が可能な情報を提供するためには、ある決まった試験法を用いて各種シートごとに環境ホルモンの含有量を測定することとして、測定結果が相互比較できるようしておく必要がある。しかし、シート開発を行った時点では、シートのような熱可塑性樹脂を主素材とする製品に適用可能な試験法が複数提案されているが、公定されたものはもちろんそれに相当するような扱いを受けている試験法もない状況であった。試験法についても今なお研究段階であると言えよう。今回、シートの試験法として採用したのは、上記の既往の試験法のなかから一つを選択したに過ぎない。**表-3.4** に示した8種類の成分は他の同様な物質に比べて、シートの主素材とした熱可塑性樹脂に含有される可能性が高いものであることから選定した。したがって、今回採用した試験法や試験対象とした化学物質は、今後より的確な基準や試験法が提案されたならばそれに変更されるべきである、ごく暫定的なものであることに留意されたい（詳細については共同研究報告書[1)]の第8章参照）。

3) 試験方法

河村ほかが提案した方法は、食品包装用の容器に含まれる環境ホルモンの測定を目的としたものである。その方法を**図-3.15** に示す。

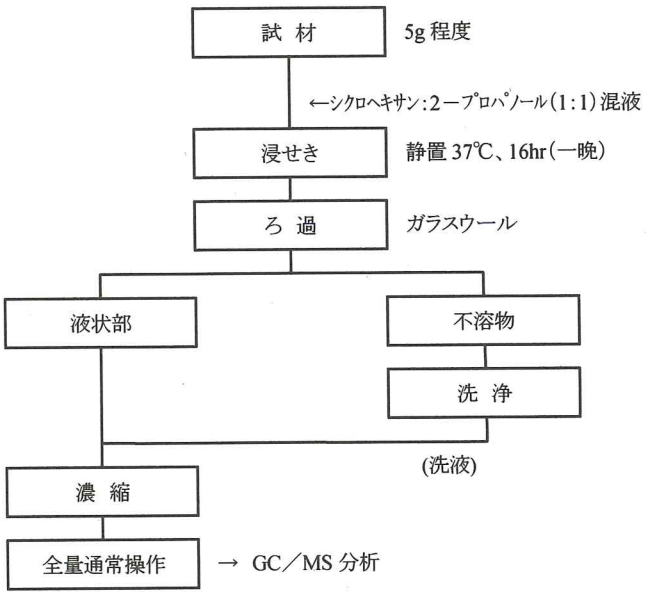


図-3.15　含有量試験の方法

4）試験結果の整理

各成分の名称とその量(シートの単位質量あたりの含有質量など)を記載する。

5）評価

有害性が認められると公定された成分については、それに係る環境基準やそれに相当する基準などが今後策定された場合、それと照らし合わせて安全性を判断する。測定結果の取り扱いについては共同研究報告書[1)]の第8章を参考にすること。

●参考

シートの製造過程で、原料には含まれていない種類または濃度での環境ホルモンの混入が生じる場合があることが分かっている。製造機器を洗浄するなどして、混入しないように努めることが望ましい。

(5) 環境ホルモンの溶出しやすさ

1) 試験目的

シートから水に溶出する環境ホルモンの種類と量を明らかにする。

2) 試験条件

浸漬時間と水質が異なる溶出量試験と付着量試験を行う

●溶出量試験

シートを常温(約20℃)の静水中に7日間浸漬する。水質については、pHが約2,7,10(厳密には緩衝剤としてしゅう酸塩pH=1.68,中性リンpH=6.86,炭酸塩pH=10.02)に調整した3種類の溶液を用いる。浸漬した溶液の分析は、下記の文献に示されている河川や湖沼の水に含有される環境ホルモンの測定法によって行う。

・環境庁水質保全局水質管理課編:外因性内分泌撹乱化学物質調査暫定マニュアル(水質・底質・水生生物),1998.

●付着量試験

シートを常温(約20℃)の精製水中に5分間浸漬する。浸漬した溶液の分析は上記と同一である。なお、分析対象とする環境ホルモンおよび留意事項は(4)と同一である。

3) 試験方法

試験方法を**図-3.16**に示す。

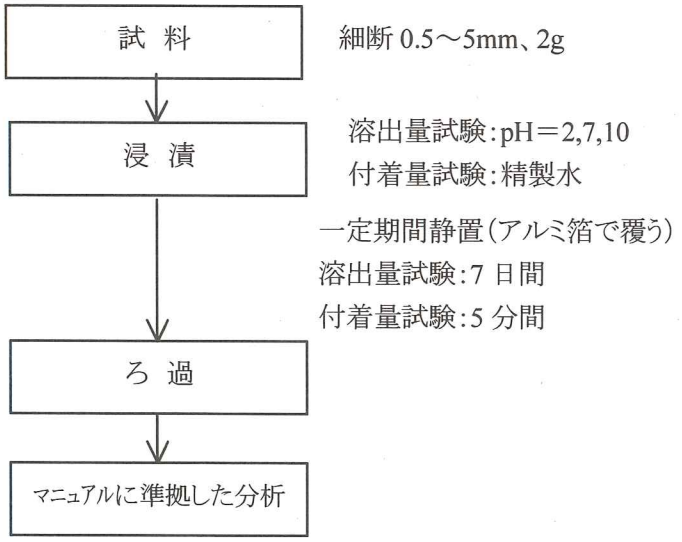


図-3.16 溶出量および付着量試験

4) 試験結果の整理

各成分の名称とその量(シートの単位質量あたりからの溶出質量など)を記載する。

5) 評価

有害性が認められると公定された成分については、それに係る環境基準やそれに相当する基準などが今後策定された場合、それと照らし合わせて安全性を判断する。測定結果の取り扱いについては共同研究報告書[1)]の第8章を参考にすること。

参考文献

1) 望月達也·藤田光一·末次忠司·服部　敦:植生の耐侵食機能を活用した侵食防止シートの開発に関する共同研究報告書－シートの性能試験·評価法および施工·維持管理法に関する研究－, 共同研究報告書, 整理番号第265号, 国土交通省土木研究所, 2001.

2) 環境庁：外因性内分泌撹乱化学物質問題への環境庁の対応方針について, 1997.