Ⅰ-3 サンドパック袋材の性能照査

I - 3.1	サンドパック袋材の被災機構 I-3-2
I -3.2	サンドパック袋材の要求性能 I-3-8
I -3.3	サンドパック袋材の引張強度に関する照査 I-3-12
I -3.4	施工時にサンドパック袋材に作用する張力の評価方法 I-3-14
I -3.5	供用時にサンドパック袋材に作用する張力の評価方法 I-3-29
I -3.6	摩耗劣化外力の評価方法と照査性能 I-3-40
I -3.7	気象要因劣化外力の評価方法と照査性能 I-3-47
I -3.8	劣化後袋材引張強度の評価方法 I-3-4 9
I -3.9	摩耗劣化性能の評価方法 ····································
I -3.10	気象要因劣化性能の評価方法 I-3-6 0
I -3.11	人為外力及び漂流物の衝突に対する安全性の照査 I-3-6 7
I -3.12	袋材からの有害物質の溶出の照査 I-3-73
I -3.13	中詰材保持性能の照査
I - 3.14	海浜利用に関する留意事項 I-3-78

I-3 サンドパック袋材の性能照査

I-3.1 サンドパック袋材の被災機構

現地におけるサンドパック袋材の被災には、

1) 施工時の重機が袋材をひっかける・キャタビラ等が接触することによる袋材の破損

2) ポンプの過剰な内圧による袋材の破損

3) サンドパック周辺の洗掘に伴う変形時の袋材の張力増加による破損

4)袋材同士の擦れや撚れによる破損

が確認されている。

また、現地海岸に設置したサンドパック袋材及びサンドパック袋材の摩耗促進試験からは、

5) 砂礫の摩耗・衝突による袋材の破損

が、現地の陸上に設置したサンドパック袋材、紫外線等による劣化促進試験からは

6)袋材の強度劣化

が確認された。たき火試験からは

7) 燃焼による破損

さらに、

8)袋材への刃物等の突き刺しによる人為的な破損、先端の尖った漂流物の衝突による破損 等も考えられる。

サンドパック袋材とサンドパックの施工はこれらの作用に対して安全なものとする必要がある。

解 説

写真 I-3.1.1~I-3.1.2 は施工時の重機接触による損傷、写真 I-3.1.3 は中詰材充填時のポンプの過 剰な内圧による袋材の破損、写真 I-3.1.4 はサンドパック周辺の洗掘に伴う変形時のサンドパック袋材 の張力増加による破損の事例である。写真 I-3.1.5 は現地に設置したサンドパックの袋材同志の擦れ・ たるみを持った袋材の撚れによって劣化・破損した事例である。写真 I-3.1.6 は現地礫海岸に暴露試験 で設置したサンドパック袋材の試験体で見られた礫の衝突による損傷例である。写真 I-3.1.7 はたき火 試験で見られた燃焼による破損、図 I-3.1.1 は紫外線・水分変動に伴う袋材の気象要因劣化による強度 保持率低下状況の例を示したものである。写真 I-3.1.8~I-3.1.9 は実験で再現した刃物等の突き刺し によるサンドパック袋材の人為的な破損例である。

1)施工時の重機が袋材をひっかける・キャタビラ等が接触することによるサンドパック袋材の破損例



写真 I-3.1.1 バケット爪による袋材の破損 写真 I-3.1.2 キャタピラ旋回時の袋材破損

2) ポンプの過剰な内圧による袋材の破損例



写真 I-3.1.3 過剰なポンプ充填圧による袋材の縫製部拡張

3) サンドパック周辺の洗掘に伴う変形時のサンドパック袋材の張力増加による破損例



写真 I-3.1.4 周辺地盤の低下に伴うサンドパックの変形と袋材の破損

4)袋材同士の擦れや撚れによる破損例



写真 I-3.1.5 たるみによる袋材同士の擦れ・撚れの繰返しによる破損事例

5) 砂礫の摩耗・衝突による袋材の破損例



写真 I-3.1.6 礫海岸に設置した袋材暴露試験体の礫衝突痕



写真 I-3.1.7 たき火試験による袋材の燃焼例

7) 紫外線・水分等気象要因による袋材の強度劣化例

6) 燃焼による破損例



図 I-3.1.1 気象要因による袋材の強度劣化の例

8) 刃物等の突き刺しによる袋材の人為的な破損例



写真 I-3.1.8 ナイフによる損傷 (左;1.5mの高さから自然落下した場合、右;意図的に刺した場合)



写真 I-3.1.9 貝採りジョレンが刺さった場合

<参考>

(1) 繊維の破損形態

表 I-3.1.1 は、繊維の破損形態をまとめたものである。繊維の破損は、この表に示した4つと考えられる。これらは単独で発生するだけでなく、「摩耗」が進行することで断面欠損が生じ、繊維 1 本あたりの張力が増大して耐力を超えることにより「引張り」切れが生じる等の複合的な破損シナリオが存在する。

(2) 基布の損傷メカニズム

表 I-3.1.2 は基布の損傷形態を示したものである。溶断、摩耗、引張り、せん断は繊維の損傷形態と同じであるが、繊維の引張り応力集中の原因により突き刺し・引き切り、局部応力を加えている。

第 I編 浜崖後退抑止工の性能照査・施工・管理マニュアル

I-3 サンドパック袋材の性能照査

引っ張り	摩耗	せん断	溶断
繊維の長手方向に カが加わり破断す る現象。	 繊維の一部または 単糸が削り取るよう に繊維の切断が進 む現象。 	繊維に対して垂直 またはその他の方 向から力が加わり、 切断する現象。	繊維に熱が加わり、 溶融切断する現象。
ささくれだった状態 で鋭利に細くなって 切れている。	ささくれだった状態 で切れている。	切断面は、形状を 崩されていない。	溶融変形した断面 となる。

表 I-3.1.1 ストリングレベルでの損傷形態表

表 I-3.1.2 基布レベルでの損傷メカニズム



I-3.2 サンドパック袋材の要求性能

浜崖後退防止工に用いるサンドパック袋材は、I-3.1の被災をもたらす外力の作用に対して安全な 性能を有する必要がある。これらの性能には、初期引張強度、摩耗・気象要因による劣化後の引張強 度、耐燃焼拡大性能、損傷拡大防止性能がある。加えて、サンドパック袋材は、中込材を保持する性 能、環境に悪影響を及ぼさない性能を有していなければならない。サンドパック袋材に要求される性 能の種類と性能値(指標)、要求性能(照査基準)は以下を標準とする。

	性能の種類	性能值	要求性能 (照査基準)
(]	施工時引張強度	初期引張強度 T	>施工時作用張力
2	劣化後引張強度	目標寿命期間の劣化	
		外力作用後引張強度	
		$=$ T $\times \alpha_a \times \alpha_w$	>供用時作用張力
		(α _a :摩耗劣化後強度	保持率)
		(aw: 気象要因劣化後	強度保持率)
3	耐燃焼拡大	燃焼面積増加率	<2%
4	損傷拡大防止	損傷拡大抵抗性試験	供用時張力/劣化後強度保持率の作用下で損傷が
			拡大しない
(5)	中詰材保持性能	開口径 O ₉₅	原則 <d<sub>60</d<sub>
			ポンプ充填かつ多少の歩留まり低下
			を許容する場合は
			$\leq d_{85} \times 1.5 (d_{60}/d_{10})^{0.3}$ (1< $d_{60}/d_{10} \leq 3$)
			$\leq d_{85} \times 13.5 / (d_{60}/d_{10})^{1.7}$ (3 <d<sub>60/d₁₀ \leq 4)</d<sub>
6	有害物質溶出	煮沸試験質量変化	<0.5%
		金魚飼育試験結果	3か月以上異常なし
		the state state state state state state	

性能の種類ごとの照査方法、性能値の算定に必要な各種試験方法、劣化外力の設定と劣化後強度の評価方法、要求性能の設定に必要な袋材作用張力の算定方法等は I-3.3~I-3.14、I-5.1~I-5.12 に示す。

解 説

サンドパック袋材はコンクリートに比べれば強度が小さいので、重機の接触や袋材の耐力を超える過 剰な内圧が生じないよう施工しなければならない。摩耗・気象要因劣化に対しては、目標寿命期間に作 用する摩耗外力と気象要因劣化外力を受けて袋材が劣化した後にも供用時に作用する張力を上回る引張 強度を有していなければならない。サンドパック袋材は繊維材料なので、燃焼による損傷や人為的損傷 に対しては、原因となる行為が行われないよう注意喚起を促すとともに、仮にそれらの損傷が生じても 損傷が自然に拡大しない性能を有することが求められる。

表 I-3.2.1 に袋材の性能種類、性能値(評価指標)、要求性能とそれらの設定、照査例を示す。

性能	として(シントの)	要求性能照查結果		吉果例
種類	性能他(評価指係)	設定例	基布	縫製部
初 期 引 張 強度	初期引張強度 :T (kN/m)	T > 施工時作用張力 施工時作用張力 T 周方向=104(kN/m) T 軸方向=65(kN/m)	周方向 208 (kN/m) >104 (kN/m) 軸方向 190 (kN/m) >65 (kN/m)	縫製部(軸方向) 150(kN/m) >65 (kN/m) 注入口(周方向) 93(kN/m) <104(kN/m) ※
	目標寿命期間:t (年)	10 年		
	 コンクリート摩耗 量 A(t 年)mm の摩 耗外力による劣化 後の強度保持率: α_a(A(t 年)mm) 	設置個所のコンクリート 摩耗速度=0.25mm/年 →摩耗外力=2.5mm 強度保持率: α a(2.5mm)	周方向:0.79 軸方向:0.81	縫製部 1.0 注入口 1.0
劣化後引張強度	目標寿命期間(t 年)に相当する気 象要因劣化外力 (耐候性試験暴露 時間 250×t(hr)) による劣化後の強 度保持率: α _W (250×t(hr))	耐候性試験暴露時間 2,500hr の強度保持率 : _{α w} (2,500hr)	周方向:0.59 軸方向:0.53	縫製部 1.0 注入口 1.0
	劣化後引張強度: Td (t) (kN/m)	Td (10 年)= T×α _a (2.5mm)×α _W (2,500hr) > 供用時作用張力 供用時作用張力 T 周方向=91.5(kN/m) T 軸方向=58(kN/m)	周方向 208×0.79×0.59 = 96.9 > 91.5(kN/m) 軸方向 190×0.81×0.53 = 81.6 > 58(kN/m)	縫製部(軸方向) 150×1×1=150(kN/m) >58 (kN/m) 注入口(周方向) 93×1×1=93(kN/m) >91.5(kN/m)
耐燃焼拡大性	燃焼面積増加率	たき火試験で火種の消火 直後と消火 5 分後で燃焼 面積の変化が 2%以下	0% ·	< 2%
損傷拡大抵抗	損傷拡大抵抗性試 験結果	供用時作用張力/α _a (A(t 年)mm)/ α _W (250×t hr)を 作用させた損傷拡大抵抗 性試験で損傷部が拡大し ない 試験外力T =91.5/0.79/0.59=196(kN/m) =91.5/0.81/0.53=213(kN/m)	拡大しないことを確認 済み	-

表 I-3.2.1 要求性能一覧(1)

※:丁張を置く等して注意深く施工することにより対応

表 I-3.2.1 要求性能一覧(2)

種性	歴また (誕毎 (100 年 10 年 10 年 10 年 10 年 10 年 10 年 1	要求性能	照	查結果例
類能	11111111111111111111111111111111111111	設定例	基布	縫製部
中込材保持	基布・縫製部 : O ₉₅ /d ₆₀ O ₉₅ /d ₈₅ (ポンプ充填の 場合)	基布・縫製部: 原則 $O_{95}/d_{60} < 1.0$ ポンプ充填・多少の歩留まり 低下を許容する場合 $O_{95}/d_{85} \le 1.5(d_{60}/d_{10})^{0.3}$ $(1 < d_{60}/d_{10} \le 3)$ $O_{95}/d_{85} \le 13.5/(d_{60}/d_{10})^{1.7}$ $(3 < d_{60}/d_{10} \le 4)$ $d_{60} = 0.35 \text{mm}$ $d_{85} = 0.4 \text{mm}$ $d_{10} = 0.15 \text{mm}$	A 社 $O_{95}/d_{60} = 0.0485/0.35$ = 0.14 < B 社 (ポンプ充填・ $O_{95}/d_{85} = 0.585/0.4$ $= 1.46 < 1.93^3$ $*1.5(d_{60}/d_{10})^{0.3} = 1.93$ $(d_{60}/d_{10} = 0.35/0.15 = 2)$	5 1.0 歩留まり低下許容) ※ 3≦3)
さ環境に悪	煮沸試験質量変化	煮沸試験で質量変化が 0.5% 未満	0.2	2% < 0.5%
悪影響を及ぼ	水生生物の生存	金魚飼育試験で金魚が 3 ヶ月 以上生存	金魚に異常が	ないことを確認済み

表 I -3.2.2	サンドパッ	・ク袋材に作用す	る施工時作用張力	の算定方法
------------	-------	----------	----------	-------

			周方向	軸方向
単体静置時(理論値)		Tc	Tc × 0.63
		条件	割り増し	系数 α
実物大実験に基づく	割増を施した単	中詰材が礫混じ		
体静置時張力 =単	体静置時張力(理	Ŋ	1.5	1.5
論値) 論値置		中詰材が砂	1.5	1.5
	づく割増係数			
	事象	条件	割り増し	系数 β
	由封材本植時	ポンプ充填	3**	3**
施工時作用張力	中 前 的 九 填 时	ホッパー充填	1	1
=単体静置時張力		ベルト吊り上げ	15	15
(理論値) × α ×		吊り上げ	Λ	4
β	以但时	(補助具あり)	4	4
(MAX を採用)		吊り上げなし	1	1
	上載荷重作田時		荷重を考慮した	周方向張力×方向
	上戰刑里汗用时	-	Namias ¹⁾ より算定	張力

*:周長 2.98m のサンドパック施工実験における土圧測定から算定された過剰ポンプ圧を周長 10m のサンドパックに換算し、Namias¹⁾の内圧を考慮する計算結果を用いて算定

・黄色網掛けは割増係数ではなく直接張力を算定

表 I-3.2.3 サンドパック袋材に作用する供用時作用張力の算定方法

			周方向	軸方向	
単体静置時(理論値	:)		Tc	Tc × 0.63	
		条件	割り増し	系数 α	
実物大実験に基づく	、割増を施した単	中詰材が礫混じ			
体静置時張力 =		Ŋ	1.5	1.5	
単体静置時張力(理論値)×論値		中詰材が砂	1.5	1.5	
α:実物大実験に基づく割増係数					
	事象	条件	割り増し係数 β		
供用時作用張力	上卦古舌		荷重を考慮した	周方向張力×方向	
=単体静置時張力	<u> </u>	-	Namias ¹⁾ より算定	張力	
(理論値) $\times \alpha \times$	波浪作用時	-	2.2	2.2	
β (MAX を採用)	地形変化追随時	-	5.1	5.1	

・黄色網掛けは割増係数ではなく直接張力を算定

I-3.3 サンドパック袋材の引張強度に関する照査

サンドパック袋材の引張強度に関する照査は、施工時と供用時の両方について実施する必要がある。 施工時の性能は初期強度〔性能値〕であり、要求性能は1〕のとおり施工時作用張力より大きいもの とする。

1) 初期引張強度〔性能值〕>施工時作用張力

供用時の性能は目標寿命期間の劣化外力作用後の引張強度であり、要求性能は2)のとおり供用時 作用張力より大きいものとする。

2)目標寿命期間の劣化外力作用後の引張強度※>供用時作用張力
 ※目標寿命期間の劣化外力作用後の引張強度=

初期引張強度〔性能値〕× α_a 〔性能値〕× α_w 〔性能値〕

α。〔性能値〕:目標寿命期間の磨耗劣化外力作用後の袋材強度保持率〔性能値〕

αw〔性能値〕:目標寿命期間の気象要因劣化外力作用後の袋材強度保持率〔性能値〕

縫製加工された袋材の引張強度は、基布及び縫製部の両方の引張強度ともに上記要求性能を満足し なければならない。

袋材の引張強度試験は、布地基布については JIS1096A 法による方法を準用した方法、網地基布については JIS A 8960 による方法を準用した方法、縫製部・注入口については JIS L 1093 を準用しグラブ法 によって試験することを標準とし、袋材の初期引張強度〔性能値〕は、試験データの最小値を上回ら ないよう設定することを標準とする(I-5.2、I-5.3)。

劣化後の引張強度を算出するために、目標寿命期間とその期間に作用すると予想される磨耗及び気象要因劣化外力を設定しなければならない(I-3.6、I-3.7)。

サンドパックメーカーは、袋材の初期強度〔性能値〕、磨耗劣化外力作用後の強度保持率〔性能値〕、 気象要因劣化外力作用後の強度保持率〔性能値〕について、責任を持って袋材の各種試験を行った上 で、試験結果・データの最小値を上回らないよう〔性能値〕を設定し、技術審査証明等信頼できる公 的機関の審査・証明を受けることを標準とする(I-3.3、I-3.9、I-3.10)。

1)の要求性能である施工時作用張力の算定方法は I-3.4 に、2)の要求性能である供用時作用張力の算定方法は I-3.5 に示す。

解 説

1)は施工時照査であり、施工時に袋材に作用する張力に対して必要となる袋材の性能(初期引張強度)を示したものである。2)は目標寿命期間経過時の劣化した状態の袋材の要求性能を示したものである。一般的に、施工時に作用する張力は供用時よりも大きいので袋材は両方を満たす必要がある。袋材は基布と縫製部の強度が異なる場合が多いので、両方で照査が必要である。

表 I-3.3.1 には袋材の施工時の要求性能設定に必要な施工時作用張力の算定方法を、表 I-3.3.2 には 袋材の劣化後の要求性能設定に必要な供用時作用張力の算定方法を示す。

表 I-3.3.1 サン	、ドパック袋材に作用す	る施工時作用張力の算定方法
--------------	-------------	---------------

			周長方向	長手方向
単体静置時 (理論値)			Tc	Tc × 0.63
		条件	割り増し係	
実物大実験に基づく割増	を施した単	中詰材が礫混じり		
体静置時張力			1.5	1.5
=単体静置時張力(理論値	f) 単体静	中詰材が砂	1.5	1.3
	可增係数			
	事象	条件	割り増し係	系数 β
	中詰材充	ポンプ充填	3*	3**
施工時作用張力	填時	ホッパー充填	1	1
=単体静置時張力(理論		ベルト吊り上げ	15	15
$値) \times \alpha \times \beta$,上載荷重	む 罟 時	吊り上げ	1	Δ
作用時張力	以但时	(補助具あり)	4	4
(MAX を採用)		吊り上げなし	1	1
	上載荷重		荷重を考慮した	周方向張力×方
	作用時	-	Namias ¹⁾ より算定	向張力

*:周長 2.98m のサンドパック施工実験における土圧測定から算定された過剰ポンプ圧を周長 10m のサンドパックに換算し、Namias¹⁾の内圧を考慮する計算結果を用いて算定

・黄色網掛けは割増係数ではなく直接張力を算定

表 I-3.3.2 サンドパック袋材に作用する供用時作用張力の算定方法

			周長方向	長手方向
単体静置時(理論(直)		Tc	Tc × 0.63
		条件	割り増し係	系数 α
実物大実験に基づく割増を施した単		中詰材が礫混じり		
体静置時張力 =		中詰材が砂	1.5	1.5
単体静置時張力(理論値)×体静			1.5	1.5
	基づく割増係数			
	事象	条件	割り増し係	系数 β
供用時作用張力	上載芸舌		荷重を考慮した	周方向張力×方
=単体静置時張	上戦彻里	-	Namias ¹⁾ より算定	向張力
力 (理論値) $\times \alpha$	波浪作用時	-	2.2	2.2
$\times \beta$,上載荷重作		-		
用時張力	地形変化追随時		5.1	5.1
(MAX を採用)				

・黄色網掛けは割増係数ではなく直接張力を算定

I-3.4 施工時に袋材に作用する張力の評価方法

施工時に袋材に作用する張力は、サンドパックへの中詰材充填過程、サンドパック積層体を形成す るためサンドパックを設置する過程、積層体背後や覆土のための養浜施工時にサンドパックに上載荷 重が加わる過程の3つの過程を考慮する必要がある。中詰材充填過程やサンドパックの設置過程の張 力は、単体静置時にサンドパック袋材に作用する張力の理論値に割増係数α、βをかけることで算定 できる。これらと上載荷重時に袋材に作用する張力の3つを比較して最も大きい張力を要求性能(照 査基準)とすることを標準とする(図I-3.4.1)。サンドパックの施工時張力の算定時に考慮する割 増係数α、βは表I-3.4.1の値を用いることを推奨する。

単体静置時の張力は、周長方向に働く最大値については理論的に算定することができる。周長方向 の最大張力については、有限要素法を用いて Lawson²⁾が作成した算定図によって算定することができ るが、算定図に示されている周長等の条件に適合しない場合には、Namias¹⁾提案の内圧と袋材張力の釣 り合いから算定する方法 によって求めることを標準とする。張力を求める際の中詰材密度は19kN/m3、 充填率は 80%を用いることを標準とする。

軸方向の張力については周長方向の張力に係数0.63をかけることで求めることを標準とする。

施工時に作用する張力の評価方法



単体静置時(理論値)			Tc	Tc \times 0.63	
条件			割り増し	係数 α	
実物大実験に基づく 単体静置時張力 =(理論値) × α α:実物大実験に基	≦割増を施した いままでは「いいい」 「いいい」	中詰材が礫混 じり 中詰材が砂	1.5	1.5	
	事象	条件	割り増し	係数 β	
	中詰材充填時	ポンプ充填	3※	3※	
做工哄作田诓力		ホッパー充填	1	1	
加工時作用成力		ベルト吊り上げ	15	15	
		吊り上げ (補助具あり)	4	4	
(MAXを採用)		吊り上げなし	1	1	
	上載荷重作用 時	-	荷重を考慮した Namias ¹⁾ より算 定	た 周方向張 カ×0.63	

表 I-3.4.1 施工時張力の算定時に考慮する割増係数

※:周長2.98mのサンドパック施工実験における土圧測定から算定された過剰ポンプ圧 を周長10mのサンドパックに換算し、Namiasの内圧考慮する計算結果を用いて算定 ・黄色網掛けは割増係数ではなく直接張力を算定

解 説

(1) 施工時に袋材に作用する張力の考え方

サンドパックの充填方法にはバックホウやホッパーを用いて自然流下させて充填する場合とポンプに より圧入する場合があり、いずれの場合も充填方法に応じた内圧の増加によって一時的に単体静置時(充 填完了時)よりも高い張力が袋材に作用することがある。充填完了したサンドパックを移動・設置して 積層体を構築する際に吊上げ作業を行う場合は、局所的な曲げ応力が働くために大きな張力が発生する。 これら充填時、設置時に袋材に作用する張力を全て理論的に求めることは難しいため、単体静置時(充 填完了時)の張力に係数βをかけて割増すことで算定することにした(図I-3.4.1)。積層体構築後に 背面の盛土や覆土のために養浜を行う際にサンドパックに上載荷重が働くため袋材に張力が作用する。 この上載荷重時張力も含めた施工時作用張力の最大の張力が施工時照査の要求性能(照査基準値)とな る(図I-3.4.1)。

単体静置時(充填完了時)の張力については、理論的に求める方法が提案されているが、実物大実験 では理論値よりも大きな張力が作用することが確認されているため、まず理論値を求めたうえで、実物 大実験に基づく中詰材割増係数αを掛けることで求めることにした。単体静置時(充填完了時)の張力 の理論値を算定する際には、施工が乾燥状態の中詰材を充填する予定としている場合においても、施工 時に波浪や潮位変動により湿潤状態になる可能性があるため中詰材の密度を 19kN/m³ としているもので

ある。

割増し係数は模型実験や既往の実績から表 I-3.4.1の値を整理した。

(2) 内圧とのつり合い関係からの袋材周長方向張力の計算方法

チューブ型サンドパック袋材の周方向に作用する張力の計算方法には、Namias¹⁾や Plaut and Suherman³⁾ が袋材の張力と内圧のつり合い式を近似した計算式を提案している(図I-3.4.2 参照)。袋材に作用す る内圧と袋材の張力の釣り合いから、式(3.4.1)が成り立つ。また、袋材の微小片の座標を接線の角度から 求めた式(3.4.2)で示される。袋材に作用する内圧と袋の底面に作用する圧力をそれぞれ式(3.4.3)、(3.4.4) に示す。

なお、(3)の有限要素法による計算方法では中詰材として砂礫が想定されているのに対し、この方 法では中詰材がスラリー状態であると仮定されている。



図 I-3.4.2 袋材の引張力算定模式図(Namias¹⁾より)

$$p = t \frac{d\theta}{ds} \tag{3.4.1}$$

$$t\frac{dx}{ds} = \cos\theta, \quad t\frac{dy}{ds} = \sin\theta$$
 (3.4.2)

$$p = p_{bot} - y \tag{3.4.3}$$

$$p_{bot} = h + p_0 \tag{3.4.4}$$

$$t = \frac{T}{\gamma L^2} \quad s = \frac{S}{L} \quad p = \frac{P}{\gamma L} \quad p_{\text{hor}} = \frac{P_{\text{hor}}}{\gamma L} \quad h = \frac{H}{L} \quad b = \frac{B}{L} \quad w = \frac{W}{L}$$
(3.4.5)

ここで、*T*は張力(kN/m)、 θ は袋材の接線角度、*S*は袋材の原点からの長さ(m)、*P*は袋材に作用する内 $E(kN/m^2)$ 、 P_{bot} はサンドパックの底面圧力(kN/m²)、*X*, *Y*は袋材の座標(m)、*B*はサンドパック底面の幅(m)、 *W*はサンドパック幅(m)、*H*はサンドパック高さ(m)を示す。 P_0 は充填圧(ポンプ圧)(kN/m²)とする.な お、本式で使用している変数 *t*, *s*, *p*, *p*_{bot}, *p*₀, *x*, *y*, *h*, *b*, *w*は式(3.4.5)に従って *T*, *S*, *P*, *P*_{bot}, *P*₀, *X*, *Y*, *H*, *B*, *W*を無次元化したものである。 *x*, *y*, *h*, *b*, *w*, *s* などの長さについては袋体周長 *L* で、*p*, *p*_{bot} などの圧力 は袋体周長 *L* と袋体の単位体積重量 γ で、張力 *t* は、袋体周長 *L* の 2 乗と袋体の単位体積重量 γ でそれぞ れ割って無次元化されている。

上記の式から Namias¹⁾は楕円積分を用いて高さ *h*、底面幅 *b*、幅 *w*、断面積 *a*、張力 *t* をそれぞれ式(3.4.6)、 式(3.4.7)、式(3.4.8)、式(3.4.9)、式(3.4.10)で表現している。また、係数 *k* は式(3.4.11)より求まる。

$$h = (1 - \sqrt{1 - k^2}) p_{bot} \tag{3.4.6}$$

$$b = 1 - 2k\sqrt{t}K(k) \tag{3.4.7}$$

$$w = b + 2 \left[E(\frac{\pi}{4}, k) - (1 - \frac{k^2}{2}) \cdot F(\frac{\pi}{4}, k) \right] p_{bot}$$
(3.4.8)

$$a = b \cdot p_{bot} \tag{3.4.9}$$

$$t = \frac{p_{bot}^2}{4}k^2 \tag{3.4.10}$$

$$2[K(k) - E(k)]p_{bot} = 1$$
(3.4.11)

 $F(\phi,k)$: 第1種不完全楕円積分

E(\phi,k):第2種不完全楕円積分

K(k):第1種完全楕円積分

E(k):第2種完全楕円積分

また、Namias¹⁾により上記の式以外の方法で変数 *k* 及び形状を求める近似式が提案されている。式 (3.4.12)、式(3.4.14)の近似式より求めた変数 *k* を式(3.4.10)に代入して張力 *t* を算出できる。

1) p_{bot}>0.34 のとき

$$k^{2} \cong \frac{2}{\pi p_{bot}} - \frac{3}{2\pi^{2} p^{2}_{bot}} + \frac{3}{8\pi^{3} p^{3}_{bot}}$$
(3.4.12)

この方法で求まる *k* は、式(3.4.11)で求まる *k* に対して誤差 2%の範囲に収まるとされている¹⁾。またこの場合、式(3.4.7)の底面幅 *b* は次の式(3.4.13)で近似される。

$$b \cong 1 - \pi k \sqrt{t} \left(1 + \frac{1}{4}k^2 + \frac{1}{64}k^4 + \frac{225}{2304}k^6 \right)$$
(3.4.13)

2) pbot < 0.34 のとき

$$k^2 \cong 1 - 16 \exp\left[-\frac{1}{p_{bot}} - 2\right]$$
 (3.4.14)

この場合、完全楕円積分 *K*(*k*)は次の式(3.4.15)で、*E*(*k*)は1 でそれぞれ近似でき、これを使って式(2.4.7) からサンドパックの底面接地長 *b* を求めることができる。

$$K(k) \cong \ln \frac{4}{\sqrt{1-k^2}}$$
 (3.4.15)

I -3-17

図 I -3.4.3 に周長 9.5m、10m、10.5m のチューブ型サンドパックについて式(3.4.11)より解析的に求め た変数 k より算出したサンドパック周方向張力 T と式(3.4.12)、式(3.4.14)の近似式より求めた変数 k より 算出した周方向張力 T と充填率の関係を示す。図には 2.5 で説明した充填率許容範囲 65~80%も合わせて 示す。周長 10m のサンドパックであれば充填率許容範囲内において理論上最大 20~23kN/m の周方向張 力が作用することがわかる。周方向の張力理論値は充填率許容範囲の最大値 80%における値を用いれば よい。



図 I-3.4.3 充填率と周方向張力の関係

袋材の必要強度を算定する際には、充填率許容範囲のうちで最も張力が高くなる充填率 80%を仮定す るので、袋材の周長と充填率が与えられた状態で張力を算定することになる。充填率をf(%)と定義すれ ば、断面積の無次元量 a を用いて、式(3.4.16)の通りとなる。

$$f = 4\pi a \times 100 \tag{3.4.16}$$

充填率 *f* から直接張力を求める方法は複雑であるので、実務では図Ⅰ-3.4.4 に示すフローのように、 まず任意の底部土圧 *p*_{bot}を設定して張力 *t* と充填率*f*を計算し、算定された充填率*f*を踏まえて *p*_{bot}を再度 設定して計算し直す。目的の充填率*f*が得られるまでこれを繰り返すことによって求めるとよい。



図 I-3.4.4 近似式を用いた袋材張力の算定フロー

(3) 有限要素法による周長方向張力の算定

Lawson²⁾は、サンドパックの設計に必要な諸元を簡便に算定できるように、Palmerton⁴⁾が提案した有限 要素法を用いて計算をおこない、算定図および算定式を示している。パラメータとして図 I –3.4.5 に示 す理論直径 $D_{\rm T}$ (= $C_{\rm T}/\pi$, L/ π) または周長 $C_{\rm T}$ (= (3) では L) を用いた場合の各諸元は表 I –3.4.2 のと おり表されている。

サンドパックの周長方向に働く張力の分布を有限要素法によって計算すると、張力は袋材の湾曲状態 によって異なり、側面において最大値[T_{max}]c となる(図I-3.4.6)。この[T_{max}]c を算定するには、Lawson²⁾ が Palmerton⁴⁾の有限要素法を用いて作成した図I-3.4.7 の関係図を用いれば良い。図I-3.4.7 には Namias¹⁾から算出した形状を用いて充填率許容範囲 65~80%にあたる H_T / D_T の範囲(図I-3.4.8) が示 されており、周長 L=9.4m(理論直径 D_T =3m)のチューブ袋材に作用する周長方向の最大張力[T_{max}]c は充 填率 80%にあたる H_T / D_T =0.58 で 20kN/m であることがわかる。

このように、表 I-3.4.2 および図 I-3.4.7 を用いることでサンドパックの形状および充填完了時に作用する張力を求めることができるが、袋材の理論直径が算定図に示されているものから外れてしまう場合には、次の(2)で解説した Namias¹⁾の方法で張力を求めることになる。



底面接地幅 **b**⁺

図 I-3.4.5 各パラメータの概要(Lawson²⁾を改変)

サンド パック袋材

諸元	理論直径 <i>D</i> T との関係	周長 C _T との関係
最大充填高さ H _T	$H_T \approx 0.55 D_T$	$H_T \approx 0.18 C_T$
幅 W _T	$W_T \approx 1.5 D_T$	$W_T \approx 0.5 C_T$
底面接地幅 b _T	$b_T \approx D_T$	$b_T \approx 0.3 C_T$
断面積 A _T	$A_T \approx 0.6 {D_T}^2$	$A_T \approx 0.06 {C_T}^2$
平均垂直応力 σ_v '	$\sigma'_{v} \approx 0.7 \gamma D_{T}$	$\sigma'_{v} \approx 0.22 \gamma C_{T}$

表 I-3.4.2 各パラメータ相関表; Lawson²⁾より作成

^{*}y:サンドパック全体の密度



図 I-3.4.6 袋材の周長方向に発生する張力の分布 (Lawson²⁾を改変)



図 I-3.4.7 袋材の周長に発生する最大張力; Lawson²⁾に加筆

I-3 サンドパック袋材の性能照査



図 I-3.4.8 Namias¹⁾の方法で求めたサンドパックの充填率と H_T/D_Tの関係

(4) 軸方向の張力の算定

チューブ型サンドパックの軸方向に働く最大張力[T_{max}]_aは、周長方向に働く最大張力[T_{max}]_cに比例する ことが Lawson²⁾によって示されており、式(3.4.17)を用いることで、上記(2)もしくは(3)の方法で 求められた周長方向の最大張力から、軸方向の最大張力を求めることができる。



図 I-3.4.9 袋材に発生する周方向および軸方向の最大張力(Lawson²⁾を改変)

(5) バックホウ直接投入法使用の場合の袋材に作用する張力算定方法

バックホウ直接投入法を使用した場合の充填圧はポンプ充填施工で充填した際の圧力と異なる。本工 法においても施工時に作用する張力の算定方法が必要である。本工法は事前に大型土のうを作成し、サ ンドパックに土のうを並べ中詰材とする工法である。施工時にサンドパック袋材に作用する張力は、土 のうを並べる際に、最後に設置する土のうが隣接する設置済土のうを押し退けることで発生すると想定 される。

土のう自体の充填率が低く、目標寸法に達していない場合はサンドパックに作用する張力はほとんど 無視できると想定されるが、サンドパックの全体の充填率が低くなり、沈下や、外力による変形を起こ しやすくなるため、目標寸法以上の土のうを充填することが必要である。

土のうの設置順は以下の図 I-3.4.10 ように指定する。

①土のうを端に設置する。②2袋目以降は隣に設置する。③反対の端の1袋前は設置せずに端から先に設置する。④端と端の2袋前の空間に最後の土のうを押し込む。

平面においては周囲から設置する。









図 I-3.4.10 土のう設置順

張力は図 I-3.4.10 断面④の際に作用すると推察される。押し退ける力の最大値は土のうの重量であ ると推察され、押し込まれた土のうの両側に発生する。土のうを押し込む際に、横から押し込む、バッ クホウで上から押し込む等、方法によって作用する力は異なるが、片側に重量が偏った状態を想定し、 土のう2個分の重量により発生する摩擦力が袋材に発生する張力と考えることにした。

土のうを動かす力T₁は次式で表される。

$$T_1 = 安全係数 \times \mu \times 2 \times M / B$$
(3.4.18)

ここで

安全係数	: 3	(当ī	缸)		
土のうの重量			: M	(kN)	
土のうとサン	ドバ	ペック	の摩打	察係数	: µ
土のうの幅			: B	(m)	とする。



図 I-3.4.11 想定される荷重

上記摩擦力により発生する張力が底面袋材にのみ発生する確証はない一方、大型土のう設置の際蓋は 開いた状態であるため、張力はサンドパックの上面以外の側面、底部と側面の接合部にも発生する可能 性があり、その時の張力の大きさは底面に発生する張力と同じであろうと仮定することにした。なお、 このように不確定要素が多い算定法であることから、技術的裏付けのある試験結果が示されるまでの間 は、安全係数として3を乗じることとする。この張力算定法は、まだ確立されたものではないので、今 後、知見の積み重ねにより見直されるべきものである。

計算例)

・土のう寸法 : 直径×高さ= φ1.0m×1.5m の場合

. 但住へ向さーφ1.0mへ1.5mの場口

 ・土のうの単位体積重量(砂質土) :19kN/m³
 「耐候性大型土のう積層工法」設計施工マニュアル⁵⁾の 解表 I -4.2「砂質土-密なもの」より
 ・土のうの重量 M : 0.5²×π×1.5×19=22.4kN

- ・ 土のうとサンドパックの摩擦係数 µ:0.7 (I-2.8 表 I-2.8.1)
- ・土のうの幅 B : 1.0m

 $T_1 = 3 \times 0.7 \times 2 \times 22.4$ kN/m = 94.1 kN/m

(6) 実物大実験による周方向張力測定値と周方向張力理論値の違い

図 I-3.4.12 は、実際に袋材に作用している張力を実物大模型実験⁶により計測し、Namias¹⁾によって 算出した張力(計算値)と比較したものである。実験では実物大の模型(直径 1m、延長 3m 及び 10m) を製作し、中詰材(中礫、粗砂)と充填率を変えてそれぞれのケースにおける張力を測定している。な お、この実験では充填率は投入した中詰材体積を袋材の体積で割って求めており、張力測定断面の幅と 高さの測定値から算出しているものではない。図から、充填率許容範囲内の周方向張力理論値の最大値 に対し、実験で測定した周方向張力は 1.5 倍以内である。設計上の周方向張力は充填率許容範囲内の最大 値とすることから、実物大実験に基づく周方向張力理論値に対する割増係数は 1.5 倍とする。中詰材によ る係数の差異は見られないので、中詰材の種類で係数を変えることはしない。



図 I-3.4.12 充填率と袋体周方向の張力

(7) 充填方法の違いによって生じる内圧の差

サンドパック施工実験で、充填時にサンドパック内底面で測定した下向きの土圧時系列変化を図 I -3.4.13 に示す。サンドパック形状は、 Ø 1m (周長 2.98m)、長さ 3m と 10m のチューブ型である。充填 方法は、中詰材が中礫の場合は、ホッパーを用いて水とともに流下させる方法をとり、中詰材が細砂、 粗砂の場合は、サンドポンプにより中詰材を流動化させて充填する方法で実施した。ホッパーによる充 填では、中詰めされた材料による土圧がほとんどであるため、内圧は充填に従って徐々に増加して、完 了時に最大となる。そのため、充填完了時に袋材に作用する張力を用いればよい。一方、サンドポンプ による充填施工では、袋材によって水圧が逃げにくくなっているために、袋内が水で満たされた瞬間に 土圧にポンプ圧が加算され、内圧が極大となる。この時の内圧は充填完了時よりも高くなるため、割増 係数をかけて張力を評価する必要がある。図 I -3.4.13 からは、ポンプ圧 7kN/m²程度が見られる。現地 で用いるサンドパックは周長 10m 前後なので施工実験より大きくなることを考慮し、周長 10m/2.98m 倍 の 23kN/m² 程度のポンプ増圧が考えられる。Namias の近似式¹⁰でポンプ圧による内圧の増分を (0~ 30kN/m²) 見込んで周方向張力を算出した結果を図 I -3.4.14 に示す。増圧なしの状態の張力 22kN/m が 23kN/m²のポンプ増圧が加わることにより 64kN/m (約 3 倍)まで増加する。そこで充填時のポンプ圧管 理を行わない場合は周長 10m で割増係数 3 をとることとした。

瞬間的に極大となる内圧を軽減するため、ポンプ施工では充填時に内圧が過剰にならないように、丁 張で袋材の膨らみが過大にならないようポンプ圧を制御する等の施工管理を行うことで割増係数を軽減 することが考えられる。



図 I-3.4.13 充填時のサンドパック内底面土圧の時系列変化



図 I-3.4.14 充填時のサンドパック

現地の周長 10m のサンドパックの試験施工で使用したポンプは出力 37kW、吐出径 6 吋で、丁寧な施 工管理を行えば過剰ポンプ圧は経験的に 4kN/m²程度と期待される。このとおりにポンプ圧調整できるの であれば割増係数は減らすことができる。逆にポンプ圧がより大きいポンプを用いてポンプ圧を調整す る施工管理がなされなければ割増係数を大きくしなければならない。また、サンドパック袋材の周長が 大きくなれば割増係数を大きくしなければならない。

(8) 重機による吊り上げ時に袋材に働く張力

中詰材充填後のサンドパックを吊り上げて移設し設置する場合、吊上げ時に袋材に作用する張力を算 定しなければならない。吊り上げ時に袋材に作用する張力は、吊り方によって変わるため製造者が事前 に吊上げ時に袋材に作用する張力を実物大実験等により調べ、割増係数等張力算定法を整理しておく必 要がある。

実物大のサンドパックを吊り上げた時に袋材に作用する張力を測定した結果を表Ⅰ-3.4.4 に示す。吊上げ方法は図Ⅰ-3.4.15 に示すように 5cm 幅の繊維吊りベルトを用いて 3 点吊りによりサンドパック吊上げて、その時の袋材に発生する引張ひずみを計測し張力に換算した。試験に使用したサンドパックの 仕様概要について表Ⅰ-3.4.3、実験で作用した最大張力の測定結果を表Ⅰ-3.4.4 に示す。

この張力の増大はサンドパックの変形により生じると考えられ、表 I-3.4.4のケース4の41 倍を除け ば、15 倍が最大となっている点が地盤変形の実験と類似している。この実験結果をもとに、つり上げ時 の割増係数は15 とすることが考えられる。つり上げ時に荷重の集中を緩和する措置をとる場合には割増 係数を4 まで下げることができるとすることが考えられる。これらの試験結果から、吊り枠を作成する 等してサンドパックの変形を緩和し、張力の増大を軽減する等の措置が有効であることがわかる。

項目	内容
袋体寸法	長さ3m、径0.95m
基布素材	ポリエステル繊維
基布構成	織物
袋材最大引張強度(縦×横)	183kN/m×183kN/m
袋材最大伸び率(縦×横)	13%×13%

表 I-3.4.3 サンドパック仕様概要



Case 中詰材	重量 (kN)	吊上げ時	充填完了時	吊上げ時	充填完了時	
		最大張力	張力	最大張力	最大張力	
		周方向(kN/m)	周方向(kN/m)	軸方向(kN/m)	延長方向(kN/m)	
1		23.4	4.2 (2.6)	1.6	2.2	—
2	中礫	24.0	1.8 (1.3)	1.4	2.8	—
3	3	32.9	19.4 (0.9)	20.6	30.0	-
4		24.6	5.5 (7.9)	0.7	8.2 (41.0)	0.2
5	粗砂	30.1	4.4 (2.8)	1.6	2.8 (2.3)	1.2
6	5	32.8	18.6 (10.3)	1.8	15.4 (15.4)	1.0

表 I-3.4.4 サンドパック吊上げ時の張力

*吊上げ時最大張力に示した()内の数値は、充填完了時に対する比率を示す。

(9) 上載荷重作用時に袋材に働く張力

I-3.5 供用時にサンドパック袋材に作用する張力の評価方法、(1)上載荷重作用時を参照。



I-3.5 供用時にサンドパック袋材に作用する張力の評価方法

施工後の供用時に、自重や上載荷重、背面の養浜盛土の土圧によりサンドパック袋材に張力が作用 する。この張力は最下段のサンドパックで最大となることから、最下段に設置されるサンドパック袋 材の張力を Namias¹⁾の上載荷重と張力の関係式によって求めることを標準とする。上載荷重は上に積み 上げた養浜盛土の高さ分の質量と重機を想定した交通荷重を考慮する。サンドパックを2段もしくは3 段の積層体とする場合には、積層される分を養浜盛土とみなして計算する。上載するサンドパックお よび養浜盛土は降雨や波浪により湿潤化することを想定して設定することを標準とする。

<波浪作用時>

波浪作用を直接受ける場所にサンドパックを設置する場合には、目視できるほどの変形がサンドパックに生じていなくても、袋材には波浪の進行方向に微少なひずみの変動(伸縮)が生じるため、張力は静置時の 2.2 倍として算定することを標準とする。

<変形追随時>

サンドパックは、前面地盤が沈下する等した場合に、それに追従して変形することで袋材に作用する張力が増大する。変形時に袋材に作用する張力の増大は周長方向よりも軸方向で顕著である。変形 追随時張力は静置時張力の 5.1 倍として算定することを標準とする。

単体静置時の張力は、周長方向に働く最大値については理論的に算定することができる。周長方向 の最大張力については、有限要素法を用いて Lawson²⁾が作成した算定図によって算定することができ るが、算定図に示されている周長等の条件に適合しない場合には、Namias¹⁾提案の内圧と袋材張力の釣 り合いから算定する方法 によって求めることを標準とする。張力を求める際の中詰材密度は19kN/m3、 充填率は80%を用いることを標準とする。

軸方向の張力については周長方向の張力に係数 0.63 をかけることで求めることを標準とする。

解 説

(1) 上載荷重作用時

サンドパックの上を重機等が通行する場合、養浜土砂で被覆する場合、サンドパックの段積みを行った場合には、最下段のサンドパック袋材に作用する張力を算定する必要がある。上載荷重がある場合に袋材の周長方向に働く張力の算定方法については Namias¹⁾が無次元式を提案しており、上載荷重が問題となるくらい大きい場合の底部土圧と張力の関係の近似式を実際の次元に書き直せば、式(3.5.1)のとおりである。

$$T = \frac{L}{2\pi} \left(1 - \sqrt{1 - f} \right) \left(\sigma_{1f} + H\gamma \right)$$
(3.5.1)

ここに、*T*:袋材に作用する張力(kN/m)、*L*:袋材の周長(m)、 σ_{1f} :上載圧力(kN/m²)、*f*:充填率、 *H*:最下段のサンドパックの高さ(m)、 γ :最下段の中詰材の比重(kN/m³)。ここでは、実務上扱 いやすいように、Namias¹⁾には記載されていない充填率*f*を導入して式を書き直している。

積層体構造とした場合に最下段のサンドパックに作用する上載荷重 σ_{1f} については、1 つ上の段までの 荷重が最下段の上載面全体に均等にかかるとして算定することが Paut and Filz⁷⁾ によって提案されている。 これに従えば、例えば図 I -3.5.2 に示すように 3 段積み、交通荷重を 10 kN/m²、養浜による天端の被覆 厚を 0.5m、背面もこれと同じ高さまで養浜されているとした場合、最下段のサンドパックに作用する上 載荷重は海側の積層体勾配を 1:0.5、1:1、1:1.7 とした時にそれぞれ、75.5 kN/m²、71.9 kN/m²、65.8 kN/m² と算定される(**表 I** -3.5.1)。



図 I-3.5.2 3 段積みの場合の勾配による形状の違い

表 I-3.5.1 浜崖後退抑止工を3段積みで構築した場合に最下段のサンドパックへの上載荷重

サンドパック古そ (…)	1.50	-	
リンドバツク同C (III)	1.30	-	
サンドパック幅(m)	4.00		
	3.10	•	
交通荷重(kN/m ²)	10	-	
天端被覆厚(m)	0.5	-	
養浜・中詰材密度(kN/m ³)	19	-	
積層体勾配(1:N)	1:0.5	1:1	1:1.7
最下段への上載幅 (m) (D)	10.8	10.05	9:00
	10.50	9.00	6.90
	11.25	10.50	9.45
····································	10.05	8.55	6.45
最上段のサンドパック・養浜盛土による荷重	299.25	256.50	196.65
(kN/m) (A)			
中段のサンドパック・養浜盛土による荷重	320.63	299.25	269.33
(kN/m) (B)			
天端被覆・交通による荷重(kN/m)(C)	195.98	166.73	125.78
最下段への上載荷重(kN/m)(A+B+C)	815.85	722.48	591.75
最下段への上載圧力(kN/m ²)((A+B+C)/D)	75.54	71.89	65.75

※荷重は延長 1m 当たりで算定した。

ここで紹介した Namias¹⁾による張力の算定方法は第3章3.4 で既に紹介したとおり、中詰材がスラリー 状態と仮定したものである。上載荷重を考慮した場合の張力を算定する方法としては他に、次に示す松 岡⁸⁾による方法もある。

最下段のサンドパックに作用する鉛直土圧 σ_{If} と水平土圧 σ_{3f} に対して袋材に作用する張力 Tについて、 図 I -3.5.3の状態を仮定し式(3.5.2)~(3.5.3)から算出できる。

$$T = \frac{\sigma_{1f} - K_p \sigma_{3f}}{(B/H)K_p - 1} \cdot \frac{B}{2}$$
(3.5.2)

$$K_{p} = \frac{(1+\sin\phi)}{(1-\sin\phi)}$$
(3.5.3)

ここに、 σ_{If} 、 σ_{3f} 、:最大主応力(上載荷重)、最小主応力、 K_p :中詰材による受働土圧係数、T:袋材 に働く張力(kN/m)、B:袋体の幅(m)、H:袋体の高さ(m)、 ϕ :中詰材の内部摩擦角である。



図 I-3.5.3 上載荷重等が作用する土のう袋材に作用する張力のつりあい状態(松岡⁸より)

松岡⁸⁾の方法は、水没しない状態の土嚢を想定しており、中詰材(砂礫)の間には内部摩擦が働くこと を前提としている。これに対して、Namias¹⁾の式はスラリー状態を想定しているので中詰材の内部摩擦は 考慮されていない。そのため、同じ上載荷重で計算した場合には Namias¹⁾の方が張力は大きくなると考え られる(図I-3.5.4)。浜崖後退抑止工の下段は水没する可能性もあるので、松岡⁸⁾の条件では張力が過 小評価であるものの、ある程度の内部摩擦は働くはずであるので、実際に働く張力は松岡⁸⁾と Namias¹⁾ による算定結果の間の範囲になる。照査においては最も危険な状態として Namias¹⁾によって算定された張 力を対象とした。



図 I-3.5.4 上載荷重と張力の関係

○箱型タイプの供用時照査外力の考え方

内部に土のうを入れた箱型タイプのサンドパックについては、内部の土のうが上載荷重を支える働き をすることが期待され、袋材に作用する張力がチューブ型の場合より小さくなると考えがちである。宮 崎海岸における現地試験ではこのような期待と考え方のもと、引張強度の小さな外側袋材を用いたサン

ドパックを設置した。ところが、設置場所周辺海浜の変形によりサンドパックが変形を余儀なくされる と余裕のない弱い強度で作成した袋材はいとも簡単に破損した。これは、設置地盤が変形を生じないも のであれば期待どおり袋材に作用する張力は小さくなるであろうが、海浜はそのような甘い設置環境で はないことに起因する。そこで、箱型タイプについては、内部土のうが支える効果による袋材作用張力 の低減は一切考慮しないこととし、高さが同じチューブ型サンドパックの作用張力を照査外力とする。

<参考>松岡の式における地震時の袋材に働く張力

Namias¹⁾の式においては、地震時慣性力を考慮することができない。そこで、松岡の式において中詰材の自重に水平震度を乗じた地震時慣性力を袋体の内側から働く力として加味して計算した。

設計水平震度は下記のとおりとする。

Kh = cz · kh₀
地域別補正係数: cz = 0.85 (B1,B2 地域を想定)
地盤種別 : kh₀ = 0.15 (中規模地震動, Ⅱ種地盤を想定)
(「道路土工-盛土工指針」参照)

 $Kh = 0.85 \times 0.15 = 0.13$

中詰材の地震時慣性力 H_Eは、下記のとおりである。

 $H_{\rm E} = A \times \gamma_{\rm c} \times Kh$

A: サンドパック断面積(袋体高さ1.5m、サンドパック幅4.0mの場合、A=5.2 m²)

y_c:中詰材の単位体積重量(=19.0kN/m³)

Kh:水平震度(=0.13)

 $H_{\rm E} = 5.2 \times 19.0 \times 0.13 = 12.8 \text{kN/m}$

ここで、 H_E をサンドパックの高さ(H=1.5m)で除して、式(3.5.2)の σ_{3f} に代入するが、図 I -3.5.3 の とおり、 σ_{3f} は袋体の外側から内側方向への力なので、負の値として代入する。

上載荷重 σ_{lf} を 0 とした場合、袋材に働く張力 T は、下記のとおりである。

$$T = \frac{\sigma_{1f} - K_p \sigma_{3f}}{(B/H)K_p - 1} \cdot \frac{B}{2}$$
$$T = \frac{0 - 3 \times (-12.8/1.5)}{(4/1.5) \times 3 - 1} \cdot \frac{4}{2}$$
$$T = 7.3 kN / m$$

よって、上記条件の場合、地震時の慣性力を考慮した場合、7.3kN/m 張力が増加することがわかる。周 長 10m のサンドパックを単体で静置した時の張力が 22kN/m なので約 33%の増加である。 I-4 で述べる が、現地で施工実験を行うと、充填率は 70%前後となる。許容充填率範囲は 65~80%とし、張力の照査 では安全側をとって充填率 80%時の張力をとることとしている。図 I-3.4.3の周長 10m における充填率 -張力関係を見ると、70%では 13kN/m、80%では 22kN/m であり、その差は 9kN/m(約 40%)ある。そ れ以外にも照査では単位体積重量を大き目にとる等の余裕が含まれていることから、上記の慣性力によ る張力増加はこれらの余裕に含まれていると考え、これ以外の照査・施工・管理が適切に行われること I-3 サンドパック袋材の性能照査 で照査済と考えることとする。

(2) 波浪作用時

サンドパックが波浪を受けると、袋材に波浪周期に対応した歪みの変動が生じることが 1/10 縮尺で実施された水理模型実験では確認されている(図I-3.5.5、図I-3.5.6)。このような挙動は、サンドパックの天端から側面にかけての波浪の進行方向について顕著であり、波浪による水位上昇によってサンドパックへの上載水圧が上昇することが主な原因と考えられている。水理模型実験の結果によれば、波浪作用時に袋材の波浪進行方向に働く張力の最大値は1点を除く大多数で静置時の2.2倍以下であった

(図 I-3.5.7)⁹⁾。このことから、波浪が直接作用することが予想される場所にサンドパックを用いる場合には、静置時の張力の 2.2 倍の張力が働くことを見込んで袋材の強度を設定することが求められる。



図 I-3.5.6 波浪作用時に袋材に生じる歪みの変動(1/10 縮尺模型実験) 9)



図 I-3.5.7 波浪作用時に袋材に働く最大張力⁹ (各ケースの実験条件は表 I-3.5.2 に示す)

実験ケース	実験床	波高 (m)	周期(s)	水深(m)
C7	移動床	0.2	2.0	0.0
C8		0.5	5.0	0.2
C9			4.0	0.0
C10		0.0		0.2
C11	固定床	0.3	3.0	0.0
C12		0.6	4.0	0.0

表 I-3.5.2 水理模型実験(図 I-3.5.7)における波浪等の条件 »

(3) 変形追随時

サンドパックは屈とう性を発揮することで、ある程度の地形変化に追従することが期待されるが、そ の場合には袋材に静置時よりも大きな張力が働く。サンドパックに地形変化に追従する屈とう機能を期 待する場合には、使用する袋材が屈とう変形に十分に耐えられる引張強度をもつことを確認しておく必 要がある。

地盤面に対して水平方向の変形によって生じるひずみは、織布の場合には伸縮可能な範囲に分散され るため、変形量が大きくなったとしても、袋材に生じる歪み量は増加しにくい。このことは、周長 3m、 延長 15m のチューブ状のサンドパックを用いた実物大実験でも確認されている(図I-3.5.8)⁹。しかし 地盤面の不陸によって図I-3.5.9 のように鉛直方向に変形した場合には、局所的な上載土圧の上昇も加 わることで、袋材に働く歪み量が変形量に比例して増大するので、水平方向の変形の場合よりも大きく なることが多い。

上述の実物大実験では、鉛直方向に変形させた場合に長手方向の歪みが最大で 5.2%に達することが観 測されている(図I-3.5.10)⁹。これは静置時の歪みの平均値(1.02%)の 5.1 倍に相当することから、 張力も 5.1 倍を見込む必要があるとした。

I-3 サンドパック袋材の性能照査



図I-3.5.8 チューブ型サンドパックの水平方向の変形量と長手方向の歪みの関係⁹⁾



図I-3.5.9 地形変化に追従したサンドパックの鉛直方向の変形の模式図



図 I-3.5.10 チューブ型サンドパックの上方変位量と長手方向の歪みの関係⁹⁾

バックホウ直接投入法により土のうを充填した箱型サンドパックの地形変化追随時に生じる張力は、 サンドパックがオーバーハングした距離によって「土のうの重量×傾いた土のうの数」分の荷重により 発生すると推定される。この現象を軽減するためには、土のう同士を連結する、あるいはサンドパック 内に仕切り壁を設ける等して土のうを変形しにくくする等、張力を減じる処置が必須となる。





計算例)

オーバーハング長:2.2m 傾く土のうの数 :2個
土のう寸法 : 直径×高さ= ϕ 1.1m×1.5mの場合



土のうの単位体積重量(砂質土):19kN/m³(飽和状態を想定)土のうの重量 M: 0.55²×π×1.5×19=27.1kN

サンドパック袋材にかかる張力は :27.1kN×2 個/1.1m=49.2kN/m

となるが、これはあくまでも理論値と考えるべきである。これに変形の不均一性による張力の 集中等も考えられ、チューブ型サンドパックの地形変化追随時と同程度の張力が作用すると想定 されるので高さ・幅が同じチューブ型サンドパックの地形変化追随時張力を照査対象の張力とす ることとした。

(4) 照査対象とする張力の決定

上記で述べた、上載荷重作用時、波浪作用時、変形追従時に働く張力を比較して最大のものを照査対 象の張力とし、サンドパックに使用する袋材の引張強度が劣化後もこの張力を上回っていることを照査 する。

表 I-3.5.3の例では、A 社の袋材に働く張力は上載荷重時、波浪作用時、変形追従時でそれぞれ 91.5 kN/m、75.9 kN/m、176.0 kN/m と算定され、洗掘対策を実施しない場合には変形追従時の 176.0 kN/m を照 査に用いなければならないが、適切な洗掘対策が施されるのであれば、上載荷重時の 91.5 kN/m を用いる ことができる。B 社については、サンドパックの周長が 9.5m なので、これが伸びることが無いと仮定し た場合にはそれぞれの計算値は A 社の場合よりも低くなるが、実際には周長が A 社と同等まで伸びるの で A 社と同じ値を照査に用いるべきである。また、箱型のサンドパックを用いる C 社の場合には、その 形状に適した張力の算定法を用いねばならないが、合理的な算定方法が無いため、同じ高さと幅を持つ チューブ型サンドパックについての値を照査に用いる。

		A 社	B 社	C 社
			伸び考慮	
	周長(m)	10	10	-
	最下段サンドパックの高さ(m)	1.5	1.5	1.5
サンドパック形状	最下段サンドパックの幅(m)	4.0	4.0	4.0
	充填率	0.8	0.8	0.8
	中詰材密度 γ (kN/m ³)	19	19	19
	計算値 (A)	23	23	23
静置時張力	実物大実験に基づく割増し	24.5	24.5	24.5
	$(C = A \times 1.5)$	34.3	34.3	34.3
上載荷重時張力	計算値(B) 勾配 1:0.5	91.5	91.5	91.5
波浪作用時張力	$D = C \times 2.2$	75.9	75.9	75.9
変形追従時張力	$E = C \times 5.1$	176.0	176.0	176.0
供用性准工	洗掘対策なし Max[B, D, E]	176.0	176.0	176.0
两用时饭刀	洗掘対策あり Max[B, D]	91.5	91.5	91.5

表 I-3.5.3 供用時張力の比較例

参考のため、以降の節で述べる袋材の劣化後強度を表 I -3.5.4 に示す。ここで示されている照査に用 いる劣化後強度と表 I -3.5.3 の供用時張力を比較することで袋材の強度が要求性能を満たすか照査され る。袋材として織布を用いる場合には、織り方によって縦横で引張強度および劣化特性が異なる場合が あるので、A 社のように必ず両方向について整理する。ただし、方向は、基布としての方向ではなく、 サンドパックにしたときの方向、すなわち周方向、軸方向に整理することが肝要である。A 社の場合に は、初期状態では洗掘対策ありの供用時張力に耐えられるものの、目標寿命経過後の劣化した状態では 周方向、軸方向ともに供用時に働く張力に耐えられない。A 社(改良)及び B 社の場合には、劣化後強 度が洗掘対策ありの時の供用時張力を上回っているため、適切な洗掘対策が施されれば、周方向・軸方 向ともに要求性能を満たすことになる。

第 I編 浜崖後退抑止工の性能照査・施工・管理マニュアル

I-3 サンドパック袋材の性能照査

	A 社 A 社(改良)		B 社		C 社						
	基布 (周方 向)	基布 (軸 方向)	縫製 部	基布 (周 方向)	基布 (軸 方 向)	縫製 部 注入 口	基布 (周 方向)	基布 (軸方 向)	縫製部 1 縫製部 2 (軸方 向)	基布	縫製部
初期強度(kN/ m)(T) [性能值]	150	140	95	208	190	150 93	200	200	160 100	外材:70 中材:105	40 65
目標寿命 t (年)	10										
コンクリート 摩耗量(mm)							2.5				
摩耗後の強度 保持率 a _a [性能 値]	0.75	0.58	1.00	0.79	0.81	1.00 1.00	0.80	0.80	0.80 0.80	外材:0 中材:0	不明 不明
気象要因劣化 促進実験曝露 時間(h)	2,500										
気象要因劣化 後の強度保持 率 aw[性能値]	0.59	0.53	1.00	0.59	0.53	1.00 1.00	0.80	0.80	0.80 0.80	外材:0.489 中材:0.124	不明 不明
劣化後強度(k N/m) T×a _a ×a _w	66.4	43.0	95.0	96.9	81.57	150. 0 93	128	128	102.4 64	外材:0 中材:0	不明 不明
照査に用いる 劣化後強度(k N/m) Min[基布,縫製 部]	周方向:66.4 軸方向:43.0		周方向:93 軸方向:81.6		周方向:128 軸方向:64		28 64	周方向・軸	方向:0		
供用時張力(k N/m)	周方向:176.0(洗掘対策なし),91.5(洗掘対策あり) 軸方向:110.9(洗掘対策なし),57.6(洗掘対策あり)										
照査結果	周方向 軸方向	ח:× ח:×		周方向・軸方向:○ [洗掘対策前提]		周方向・軸方向:〇 [洗掘対策前提]		周・軸方向	ă]:×		

表Ⅰ-3.5.4 サンドパックの劣化後強度の例(目標寿命経過後想定)

I-3.6 摩耗劣化外力の評価方法と照査性能

サンドパック設置地点の摩耗劣化外力は、目標寿命期間内に現地あるいは現地に類似した地点で生 じるコンクリートの摩耗量とすることを標準とする。コンクリート摩耗量はコンクリート摩耗速度× 目標寿命年数で算出できる。

コンクリート摩耗速度は、現地のコンクリート摩耗量とコンクリートの経過年数を調査・整理する ことにより算出することを標準とする。コンクリート摩耗速度は、底質材料、波浪、標高及び前面砂 浜の有無で異なるため現地のコンクリート摩耗量データは、標高別、前面砂浜の状況別に収集・整理 し、経過年数とその間の波浪状況、災害の有無を考慮して標高別の年あたり摩耗速度グラフを作成す ることを推奨する。

劣化後の要求性能に対して照査する性能は、目標寿命を設定し、摩耗速度(年間摩耗量)に目標寿 命(年数)をかけた摩耗劣化外力(コンクリート摩耗量)による強度劣化後の引張強度とする。

解

説

(1) 砂浜海岸のコンクリート摩耗量調査

摩耗と波浪、底質粒径等に関して一般化された知見が得られていないことから、サンドパックを設置 しようとする海岸もしくは類似した波浪条件と粒度を有する海岸における目標寿命期間内のコンクリー トの摩耗量を摩耗劣化外力として用いることとする。コンクリート摩耗量は、設置標高や前面の砂浜の 有無によって異なるので、これらに留意して調査する必要がある。以下に宮崎海岸での事例を示す。

《宮崎海岸におけるコンクリート摩耗調査と摩耗速度の推定事例》

宮崎海岸では、設置年や災害の有無についての記録がよく残っている緩傾斜ブロック護岸の被覆コン クリートブロックの摩耗量を調査した。緩傾斜ブロック護岸の前面では砂浜が消失している。コンクリ ート摩耗量の測定位置は、図I-3.6.1 に示す測線を設け、測線に沿って高さ方向に被覆ブロック毎にコ ンクリート摩耗量を測定した。各被覆ブロックのコンクリート摩耗量測定位置は図I-3.6.2 に示す点で ある。コンクリート摩耗量の測定は、表面の平坦面が残っている場合には写真I-3.6.1 のようにノギス により、表面が全体的に摩耗している場合には写真I-3.6.2 のように被覆ブロックの元形状の定規を作 成し、これと比較して測定した。



図I-3.6.1 被覆ブロックの摩耗量測線配置と災害復旧採択年度の位置関係

第 I 編 浜崖後退抑止工の性能照査・施工・管理マニュアル



図 I-3.6.2 各ブロックでの摩耗量測定位置





写真 I-3.6.1 ノギスによる計測

写真 I-3.6.2 被覆ブロック定規による計測

コンクリート摩耗量を計測した被覆ブロックの設置年、標高、被災経緯を合わせてデータを整理した。 たとえば、設置標高が高いにも関わらず、コンクリート摩耗量が大きくなっている場合があったが、こ れは、緩傾斜ブロック護岸が被災した際に、災害復旧時に被災した被覆ブロックを再利用し、この際に 設置高さが入れ替わったことによる。このようなデータが存在する場合は当該位置のコンクリート摩耗 量を正しく反映していないのでそのデータを除去した。図I-3.6.3 に、例として測線 No.31 で測定・整 理したコンクリート摩耗量と標高の関係を示す。図中の指数曲線はコンクリート摩耗量が標高に対して 指数関数で減衰すると仮定し、コンクリート摩耗量=b×標高。の関係で各標高の最大値を概ね再現でき るように係数を求めたものである。他の測線でも、係数は異なるものの、この指数関数曲線の関係が得 られた。



図 I-3.6.3 測線 No.31 で測定されたコンクリート摩耗量と標高の関係

次に、設置期間が同じくらいの標高帯毎のコンクリート摩耗量データを集め、統計的にコンクリート 摩耗量の代表値を決定した。ここでは、沿岸方向に外力も摩耗が生じる機会も変わらないと仮定してい

る。図I-3.6.4 は、標高 2m 未満、18 年経過した緩傾斜護岸被覆ブロックのコンクリート摩耗量の累積 超過確率を示したものである。これに正規分布を当てはめ 99.5%超過確率となる値をその経過年・標高帯 での代表値とした。この整理を経過年、標高帯毎に行い、図I-3.6.5 のような経過年数とコンクリート 摩耗量の関係図を標高帯別に作成し、経過年数とコンクリート摩耗量が正比例の関係にあると仮定して、 傾きを最小自乗法により求めコンクリートの年間摩耗量を算出する(標高 1~2m の図I-3.6.5 では 0.57mm/年)。



図 I-3.6.4 累積超過確率 99.5%のコンクリート摩耗量の予測



図 I-3.6.5 標高1~2mの設置経過年数と摩耗量の関係

さらに、コンクリートの年間摩耗量を標高との関係で示したのが図Ⅰ-3.6.6 右側の線である。この線 は前面の砂浜が消失した宮崎海岸(砂浜海岸)の標高-年間コンクリート摩耗量の関係を示している。 この線を用いて目標寿命期間を設定すれば、標高別の目標寿命期間内のコンクリート摩耗量を得ること ができる。しかし、サンドパック設置に適する前面に砂浜のある海岸は低標高部が砂浜に埋まっている ことから、前面に砂浜が消失した測線のような標高別のコンクリート摩耗量についての豊富なデータ(図 Ⅰ-3.6.6 の青色●)を得ることは出来ず、限られた標高のみのコンクリート摩耗量のデータ(図Ⅰ-3.6.6 の茶色●)しか得られない。そこで、前面砂浜あり測線においても、標高による年間コンクリート摩耗 量の増減関係は、前面に砂浜が消失した測線の関係(図Ⅰ-3.6.6 の右側の線の形状)と変わらないと仮

定して、限られた標高の年間摩耗量データに合うように線を左側に平行移動することとした(図I-3.6.6 の左側の線)。図I-3.6.6の左側の曲線が前面に砂浜を有する海岸で想定される標高-コンクリート摩 耗速度(年間摩耗量)関係となる。この曲線を用い、サンドパックの設置高と目標寿命を設定すれば摩 耗劣化の外力であるコンクリート摩耗量を得ることができる。設置高は摩耗劣化外力を過小評価するこ とがないよう、サンドパックの最下段を用いるべきである。なお、低標高部について、砂浜に埋まって いるのであれば年間コンクリート摩耗量は小さくなるよう曲線を設定すべきとの意見があるかもしれな いが、長期的な海浜変形予測の困難さ・不確実さを考慮し、また、サンドパック袋材の摩耗劣化耐力の 限界を踏まえ、過小評価を避けるべくこのような扱いとすることにしたものである。将来、海浜変形予 測技術の向上によりその不確実さが減少した際等には曲線の作り方を見直すべきである。



図I-3.6.6 コンクリートブロックの設置標高と摩耗速度(年間摩耗量)の関係(例)

事例2:千里浜

写真 I-3.6.3、表 I-3.6.1~I-3.6.2 は、千里浜海岸の東に隣接する羽咋一ノ宮海岸の離岸堤に使用 していた 4t の異形ブロックを撤去した際にブロックの摩耗量を調査した結果である。摩耗調査方法は写 真 I-3.6.3 のように摩耗面と非摩耗面との延長線上の交点までの距離を計測し、設計値と計測値の差か ら摩耗深さを判定した。測定場所はブロックのくびれ部を測定した(表 I-3.6.1、表 I-3.6.2)。なお、 この離岸堤は撤去時には汀線の前進により消破堤のような状態になっていたことから汀線における摩耗 外力を知る手がかりを与える。測定の結果、摩耗量は最大 6mm、平均 3.2mm であることを確認した。設 置年数は 26 年~33 年であり、0.10~0.12mm/年の摩耗速度であると推定される。底質材料が 0.2mm 以下 と細かいため、摩耗速度が小さいと考えられる。このような海岸では、波打ち際であってもサンドパッ クの使用が可能である。





写真 I-3.6.3 摩耗計測状況

項目	内容
計測日	平成 23 年 9 月 1 日
場所	石川県羽咋市一ノ宮海岸
対象構造物	異形ブロック 4t 型 18 個
設置年数	26年~33年(施工年 S52年~59年
摩耗量	最大 6mm、平均 3.2mm

表 I-3.6.1 ブロック摩耗調査概要

表Ⅰ-3.6.2 ブロック摩耗	調査結果
-----------------	------

	ブロック No	計測値(mm)	摩耗量(mm)
1	No.32 から 11 列目	381	5
2	No.32 から 14 列目	382	4
3	No.49	383	3
4	No.100 から 10 列目	382	4
5	No.134 から 8 列目	380	6
6	No.150 から 3 列目	383	3
7	No.168 から 5 列目	382	4
8	No.168 から 9 列目	380	6
9	No.169	385	1
10	No.171	382	4
11	No.172	384	2
12	No.173	382	4
13	No.191	384	2
14	No.193	384	2
15	No.194	386	0
16	No.195	385	1
17	No.196	381	5
18	No.376 から 4 個北	385	1
平均	値		3 2mm

(2) 礫海岸のコンクリート摩耗量調査

礫海岸では砂海岸に比べて摩耗作用が非常に強いため、汀線付近ではコンクリートブロックであって も大きく削れる(写真 I -3.6.4)。現地調査を実施すれば、設置後の経過年数に応じて摩耗量が増大す ることや(図 I -3.6.7(a))、設置標高が高くなれば摩耗量が減少する傾向が確認されるが、摩耗量はブ ロックによって大きくばらつく(図 I -3.6.7(b))。礫海岸の場合には高波によって跳ね上げられた礫の 衝突と遡上波の戻り流れによる礫の移動に伴う摩擦の2通りの摩耗形態があり、前者による摩耗作用は 波高や海浜材料の粒径の違いにも強く依存するため、局所的な条件の違いが出やすい¹⁰⁾。その場合、複 数の要因を考慮した重回帰モデルを作成することで、サンドパックを設置しようとする場所における摩 耗作用を推定する方法もある(図 I -3.6.8)。例えば駿河・富士海岸と下新川海岸における調査結果を もとに作成された、任意の環境条件における年間摩耗量の算定式を例示すると、式(3.6.1)の通りである。

$$f(x_2, x_3, x_4)^{1/2} = C_2 x_2^{1/2} + C_3 x_3 + C_4 x_4^{3/2} + \varepsilon$$
(3.6.1)

ここに、

f(x2, x3, x4):年間摩耗量(mm)

- x₂:標高(m) 駿河海岸における朔望平均干潮位(T.P.-1.04m)からの高さ
- x3:波高(m) 近傍の波浪観測所で得られた有義波高の年平均値
- x4:礫の粒径(mm) 汀線付近の海浜材料の中央粒径
- ε: その他の考慮されていない要素による誤差項
- $C_2 = -1.719, C_3 = 12.77, C_4 = 3.058 \times 104, \epsilon = -4.25$

摩耗作用の大きさは礫がブロックに衝突する際のエネルギー量で決まると仮定すれば、標高(x₂)の1 乗、波高(x₃)の2乗、礫の粒径(x₄)の3乗にそれぞれ比例すると考えて線形結合されている。サン ドパックを設置する海岸の周辺で改めて現地調査を実施して年間摩耗量の算定式を作成する場合には、 式(3.6.1)を参考に調査データを取得したうえで重回帰分析を実施して各係数を求めればいい。式(3.6.1)で 各項を結合する際に平方根をとっているのは、現地調査で得られた摩耗速度のデータ数が、小さい値に 偏っていることによる解析のバイアスを低減させるための工夫であるので¹⁰⁾、得られた現地データの状 況に応じて適宜変更しても構わない。



写真 I-3.6.4 礫海岸におけるコンクリートブロックの摩耗状況



図 I-3.6.7 礫海岸におけるコンクリートブロック最大摩耗量と設置後経過時間(a)、設置標高(b)の関係



図I-3.6.8 重回帰モデルによる礫海岸における年間摩耗量の推定結果

砂礫海岸では、高さや前面砂浜の有無によるコンクリート摩耗量の差が顕著になることから、波打ち 際や常時波浪が作用する砂礫海岸ではサンドパックは設置できないが、常時波浪が作用しない高い場 所・前面に十分砂浜がある場合、コンクリートブロックで囲まれた内側等場所を選べばサンドパックも 設置可能と考えられる。

I-3.7 気象要因劣化外力の評価方法と照査性能

気象要因劣化は、目標寿命期間内にサンドパック袋材が曝露される紫外線と水分によって生じると 考えられる。これらの曝露は、紫外線照射と水分供給を反映した耐候性試験機により促進試験ができ るものとする。気象要因劣化外力は、目標寿命期間内の紫外線・水分変動の暴露作用に相当する耐候 性試験機による促進試験暴露時間として評価することを標準とする。現地暴露試験と促進試験の比較 から、サンシャインカーボンアーク灯式の耐候性試験機であれば、250時間で現地暴露1年とみなすこ とができる。目標寿命期間を設定し、目標寿命年数×250時間の耐候性試験機による劣化促進試験を気 象要因劣化外力とすることができる。ただし、袋材が覆土されていれば作用する紫外線や水分供給量 が低減されるため、養浜による覆土管理が行われる場合には、覆土による曝露量の減少分を考慮して 評価することができる。

劣化後の要求性能に対して照査する性能は、目標寿命期間の暴露作用に相当する耐候性試験機によ る促進試験暴露時間の気象要因劣化外力による強度劣化後の引張強度とする。

解

説

(1) 現地海岸における設置年数と劣化促進試験の対応の考え方

耐候性試験の時間と現地の関係については、一般的な数値がないことから次のように考えて設定した。 設置状態が類似している袋詰め玉石で一般的に要求されている 2500 時間を現地 10 年分の暴露量と解釈 し、250 時間で1年と設定した。なお、耐候性土のうでは、短期 300 時間、長期 900 時間の紫外線促進暴 露後の所定の強度を要求している。これも、短気は現地1年程度、長期は現地3~4 年程度と解釈すれば、 250 時間/年と矛盾はしない。今後現地での設置実績を積み重ねる中で換算時間は見直す可能性がある。

(2) 海岸における現地曝露試験結果と劣化促進試験結果の比較例

富山県黒部市の下新川海岸と沖縄県伊良部島(長山の浜)の陸上部分(図I-3.7.1)において、一般 的な繊維シート(比較布)を現地曝露した結果と、同じ比較布をJISA 1415に規定されたサンシャイン ウェザー試験機によって促進曝露を実施した結果が図I-3.7.2である。伊良部島では最長 850日、下新 川海岸では最長 897日の現地曝露を実施し、促進曝露試験については、JISB 7753の試験条件(ブラック パネル温度:63±3℃、水噴霧:120分中18分間、放射照度:255W/m²)で75、150、500、1500時間の 紫外線照査をおこなった。現地曝露もしくは促進曝露の終了後に、比較布から採取した検体について、JIS L 1096による引張強度試験を実施し、初期強度と比較した場合の強度保持率を求めた。

現地曝露を経た比較布は曝露開始初期には急激に強度が低下するものの、曝露時間が長くなると強度 保持率の低下が鈍くなること、下新川海岸よりも伊良部島で強度低下が大きいことが確認できる。促進 曝露試験をおこなった比較布については、現地における1年間に相当する促進曝露時間を100時間、250 時間、500時間、1000時間と仮定して換算したものがそれぞれプロットされている。促進曝露1000時間 で現地1年間とした場合には、伊良部島における最低値と良く合うが、伊良部島における平均値に合わ せるならば500時間で1年のほうが良いことがわかる。一方で下新川海岸については、促進曝露100時 間を現地1年間としたほうが良く当てはまる。これらを考慮すると、日本の平均的な海岸環境における 使用を考えるならば、促進曝露250時間で現地1年間という換算は妥当なものであることがわかる。



図 I-3.7.1 伊良部島長山の浜における現地曝露試験の状況



図 I-3.7.2 比較布の現地曝露日数と強度保持率の関係

I-3.8 袋材の劣化後引張強度の評価方法

袋材の摩耗及び気象要因による劣化後引張強度 T_dは、式(3.8.1)に示すとおり、初期引張強度 T_m、 T_{st}に摩耗劣化後の強度保持率 a_a と気象要因劣化後の強度保持率 a_w をかけて算出することを標準とす る。初期引張強度は、製品の品質証明書等で保障されている性能値を使用することを基本とする。摩 耗劣化後の強度保持率は、袋材に目標寿命期間に相当する摩耗劣化外力を与える摩耗劣化促進試験を 行った後の引張強度試験結果を初期強度で割って算出した摩耗促進試験結果をもとに性能を過大評価 しないよう設定した性能値を用いることを標準とする。気象要因劣化後の強度保持率は、袋材に目標 寿命期間の紫外線・水分の暴露時間に相当する気象要因劣化外力を与えた気象要因劣化促進試験後の 引張強度を初期強度で割って算出した気象要因劣化促進試験結果をもとに性能を過大評価しないよう 設定した性能値を用いることを標準とする。

$$T_{d}(t) = Min(T_{m} \times \alpha_{a}(t) \times \alpha_{w}(t), T_{st} \times \alpha_{a}(t) \times \alpha_{w}(t))$$
(3.8.1)

T_d(t):目標寿命期間t年経過後の袋材の劣化後強度

T_m:袋材基布の初期引張強度(性能値)

T_{st}:袋材縫製部の初期引張強度(性能値)

α_a(t):目標寿命期間t年分の摩耗劣化外力による劣化後の強度保持率(性能値)

a_w(t):目標寿命期間t年分の暴露時間に相当する気象要因劣化外力による劣化後

の強度保持率(性能値)

なお、縫製部が拝み縫いのように摩耗や気象要因劣化を生じないものである場合には強度保持率を1 とすることができる。

解 説

袋材の経年劣化要因としては、摩耗劣化と気象要因劣化が特に重要であり、どちらも同時に起こるも のであるため、初期引張強度にそれぞれの要因に対する強度保持率を掛け合わせることで劣化後の引張 強度を求めることとした。ただし、サンドパックの場合には基布が十分な耐久性を持っていたとしても 縫製部から損傷がはじまり、全体の損傷へと広がることがあるため、基布と縫製部の弱いほうの劣化後 引張強度をもって袋材の劣化後強度とした。摩耗劣化後および気象要因劣化後の強度保持率は、基布と 縫製部の双方について試験がなされていることが望ましいが、縫製部については、縫合方法や露出状態 によっては劣化を見込まなくて良い場合もある。

表 I-3.8.1 に評価の一例を挙げる。B 社のサンドパックは目標寿命期間経過後の基布の劣化後引張強度が 128 (kN/m)であるのに対して、袋材軸方向の端部で基布をつないでいる縫製部2は初期引張強度が 基布よりも弱いために劣化後強度が 64(kN/m)と基布よりも低く、軸方向に関しては縫製部2の劣化後強度が袋材の劣化後強度とみなされる。A 社のサンドパックについても、縫製部の初期引張強度は基布よりも低いが縫合方法が拝み縫いであるために摩耗劣化および気象要因劣化に対する強度保持率を 1 とすることができ、目標寿命期間経過後の劣化後引張強度は基布(軸方向)で 43(kN/m)、軸方向に基布をつなぐ縫製部で 95.0(kN/m)となり、軸方向の袋材の劣化後強度は基布の劣化後強度によって決まる。

	A 社 A 社 (改良)		B 社			C 社					
	基布 (周方 向)	基布 (軸 方向)	縫部 軸 方)	基布 (周 方向)	基布 (軸 方 向)	縫製 部 注入 口	基布 (周 方向)	基布 (軸方 向)	縫製部1 縫製部2 (軸方向)	基布 (外材) (中材)	縫製部 (外材) (中材)
初期強度(kN/ m)(T) [性能値]	150	140	95	208	190	150 93	200	200	160 100	70 105	40 65
目標寿命 t (年)						10	0				
コンクリート 摩耗量(mm)						2.	5				
摩耗後の強度 保持率 α _a [性能 値]	0.75	0.58	1.00	0.79	0.81	1.00 1.00	0.80	0.80	0.80 0.80	0 0	不明 不明
気象要因劣化 促進実験曝露 時間(h)	2,500										
気象要因劣化 後の強度保持 率 aw[性能値]	0.59	0.53	1.00	0.59	0.53	1.00 1.00	0.80	0.80	0.80 0.80	0.489 0.124	不明 不明
劣化後強度(k N/m) T×a _a ×a _w	66.4	43.0	95.0	96.9	81.57	150.0 93	128	128	102.4 64	0 0	不明 不明
照査に用いる 劣化後強度(k N/m) Min[基布,縫製 部]	周方向:66.4 周方向:93 軸方向:43.0		周方向:128 周方向・軸方向: 軸方向:64			軸方向:0					
供用時張力(k N/m)	周方向:176.0(洗掘対策なし),91.5(洗掘対策あり) 軸方向:110.9(洗掘対策なし),57.6(洗掘対策あり)										
照査結果	周方向 軸方向	可:× 可:×		周方向	可・軸方 掘対策前	向 : ○ 〕提]	周力 [[:]	万向・軸力 洗掘対策	万向:○ 前提]	周・軸フ	方向:×

表 I-3.8.1 袋材の劣化後引張強度の評価と照査例

I-3.9 摩耗劣化性能の評価方法

摩耗劣化促進試験は、砂海岸ではウォータージェット式摩耗促進試験で、礫海岸では回転ドラム型 摩耗促進試験で実施することを標準とする。サンドパック袋材の磨耗劣化性能の評価手順を図I -3.9.1に示す。

どちらの試験も試験時間(噴射継続時間・ドラム回転数)とコンクリート摩耗量の関係を整理して おくことを必須とする。ウォータージェット試験は試験時のノズルの摩耗状況等でコンクリート摩耗 速度が変化するので、試験装置をセッティングする時にコンクリートの磨耗試験を行うことを標準と する。回転ドラム型摩耗試験機は礫材の粒径等でコンクリート摩耗速度が変化するので現地と同程度 の礫材を使用することとし、礫材を変える時にはコンクリートの試験を行うことを標準とする。

これらの摩耗劣化促進試験を I-3.6 で設定する摩耗劣化外力(目標寿命期間に予想されるコンクリート摩耗量)を含む複数段階の磨耗劣化外力(噴射継続時間、ドラム回転数)について施した後に、 劣化後袋材の引張試験により引張強度を測定し初期強度で割って強度保持率 *a*_a(t)を算出する。試験は 磨耗劣化外力(コンクリート摩耗量)1つに対して強度保持率データが3つ以上とれるよう試験片を 確保して行う。試験結果の整理にあたっては、平均値だけで整理することはせず、試験データ全てを 促進暴露時間-強度保持率グラフに整理することを標準とする。これにより、強度保持率 *a*_a(t)の幅・ バラツキと摩耗劣化外力の増加に対する変化特性を把握することができる。性能値は、図I-3.9.2 の 設定例に示すように引張強度試験結果の最低値を上回らないよう、磨耗劣化外力の増加に伴って性能 値が増大することがない設定することを標準とする。







浜崖後退抑止工完成後の点検において袋材の変状を早期に発見できるよう、磨耗劣化促進試験結果 から得られる磨耗劣化外力・強度保持率と袋材磨耗状況の関係を点検支援カルテとして整備すること を標準とする。点検支援カルテを用いて点検時に袋材の磨耗劣化状況を把握し、更新時期の検討に役 立てるよう維持管理計画に位置付けておくことを標準とする。



解 説

(1) ウォータージェット式摩耗促進試験

ウォータージェット式摩耗促進試験は、(2) で述べるドラム式摩耗試験では砂による摩耗促進が困 難であったことから、新たに開発した試験である。図I-3.9.4 に示す装置で、水と砂を混合したウォー タージェットを供試体に吹きかけ摩耗劣化外力を与えるものである。コンクリート摩耗量 6mm の時の磨 耗状況を現地の磨耗状況と比較したものを図I-3.9.5 に示す。図より、磨耗面の丸みは異なるが、モル タル部分が先に削られて骨材が露出し磨耗する状況は現地の磨耗状況と類似していることがわかる。





図I-3.9.4 ウォータージェット式摩耗促進試験装置(左:概要、右:噴射状況)



図I-3.9.5 ウォータージェット式摩耗促進試験のコンクリート磨耗状況と現地のコンクリート磨耗状 況の比較(左:現地、右:ウォータージェット式磨耗促進試験)

ウォータージェット式磨耗促進試験によるサンドパック袋材の磨耗劣化性能評価の手順を図I-3.9.1 (左)に示す。磨耗劣化促進試験における摩耗劣化外力を設定するため、この試験装置により現地コン クリート摩耗量調査の対象となったコンクリートと同等の強度を持つコンクリート試験体に対しウォー タージェットを吹きかける試験を行う。これにより、図I-3.9.6 のように噴射継続時間とコンクリート 摩耗量の関係が得られる。ここで注意すべきは、図I-3.9.6 に示すとおり、噴射継続時間とコンクリー ト摩耗量の関係が、試験時のノズルの摩耗状況等で異なることである。このため、試験装置をセッティ ングする度・ノズルの磨耗状況に応じてコンクリート摩耗試験を行い噴射継続時間とコンクリート摩耗 量の関係を測定しておかなければならない。袋材に対していくつかのコンクリート摩耗量に相当する噴 射継続時間でウォータージェットを作用させた後に引張強度試験を行い、強度保持率を求める。袋材が 破損するまで噴射した状態を写真I-3.9.1 に示す。コンクリート摩耗試験と袋材の摩耗試験の結果を噴 射継続時間で対応させれば、コンクリート摩耗量と袋材の強度保持率の関係を図I-3.9.7 のように得る ことができる。

袋材の磨耗劣化性能の設定にあたっては、図I-3.9.2(上)の例に示すように、1つの磨耗劣化外力 (コンクリート摩耗量)に対して得られる3つの試験結果を全てプロットした上で、強度保持率の幅・ バラツキも踏まえて性能を過大評価することがないよう、基本的には3つの試験結果の強度保持率の最 低値を結ぶ線で、磨耗劣化外力が大きくなるにつれて強度保持率が上昇することがないよう留意して磨 耗劣化性能を設定する。これより目標寿命期間の現地の摩耗劣化外力として設定したコンクリート摩耗 量から袋材の摩耗劣化後の強度保持率を予測することが可能となる。



強度保持率約2%

強度保持率0%







図 I-3.9.7 コンクリート摩耗量と袋材の強度保持率(試験結果平均値)

(2)回転ドラム型摩耗試験機による摩耗促進試験

回転ドラム式摩耗試験機は図I-3.9.8 左側のような装置であり、ドラム内には図I-3.9.8 右側のよう に5本のコンクリート供試体を設置できる。北陸地方整備局において砂防ダムや国道 8 号線親不知海岸 護岸のコンクリート摩耗耐久性を検討するために使われた試験機である。親不知海岸は礫が多い海岸で あり波浪による礫の衝突が護岸のコンクリートを摩耗させ、砂防ダムも礫の混じった土砂が落下してコ ンクリートを摩耗させる。これら礫の衝突によるコンクリートの摩耗を評価するのに適した装置であり、 これらの試験では現地の砂礫だけを入れて試験をする。



図 I-3.9.8 回転ドラム型試験機(a)および供試体の設置方法(b)

回転ドラム型摩耗試験機による袋材の摩耗劣化性能の評価は、図I-3.9.1(右)に示す手順で実施する。現地におけるコンクリート摩耗量の調査は本章のI-3.6に示した通りであるので、ここではコンクリート供試体の促進摩耗試験以降について解説する。

・コンクリート供試体の摩耗促進試験

直径 15cm、長さ 30cm のコンクリート供試体を標準的な配合(24-8-40BB)で作成する。30 日程度養 生して圧縮強度を確認した後、供試体 5 本を試験機のドラム部分に設置し、現地海岸の砂礫 10kg と水 70L を入れてドラムを回転させてコンクリート供試体を摩耗させる。5 種類程度のドラム回転数で試験をおこ ない、それぞれの回転数におけるコンクリート供試体の摩耗量を計測して、ドラム回転数とコンクリー ト摩耗量の関係を得る(図 I -3.9.9、図 I -3.9.10)。このとき、1 つのドラム回転数について 5 検体分 の摩耗量データを得るようにすることが望ましい。コンクリート供試体の摩耗量は 1 供試体の中でも箇 所によってばらつくため、最大値をもってその回転数における摩耗量とする。

この試験では、回転数にしたがって摩耗材として投入している現地海浜材料自体の摩耗により、回転数と摩耗量の関係が回帰直線から外れる場合もある(図I-3.9.10)。そのため、現地における摩耗量との対応付けにあたっては、1次回帰式よりも次の(3.9.1)式および(3.9.2)式を用いたほうが良い。

$$y_{abr} = a x_{rot}^b \tag{3.9.1}$$

$$x_{rot} = \left(\frac{A}{a}\right)^{1/b} x_{year}^{1/b}$$
(3.9.2)

ここに、

x_{rot}:回転ドラム型試験機における回転数

y_{abr}:コンクリート供試体の摩耗量

*x*_{year}:海岸における設置年数

 $A: 年あたりコンクリート摩耗量(= y_{abr} / x_{vear})$

a,*b*:定数

・サンドパック袋材の摩耗促進試験(予備試験)

次に、摩耗させていないコンクリート供試体(φ15cm, L=30cm)にサンドパック袋材を巻き付け、コン クリート供試体の摩耗促進試験と同様に現地海岸の砂礫 10kgと水 70L を入れてドラムを回転させる。 定期的に試験機の回転を止め、袋材の状態を確認しながら袋材が破損するまでドラムを回転させ、破損 したときの回転数が本試験における回転数の上限となる。

この試験では、礫海岸にサンドパックを設置した場合に袋材が摩耗するまでの表面状態および強度の 変化を把握することができる(表I-3.9.1)。袋材が破断する前には表面に表I-3.9.1の40,000回転で 示すような毛羽立ち等の兆候があらわれるので、これらが発生するタイミングを把握しておけば現地海 岸に設置した後の点検に役立てることができる。

・サンドパック袋材の摩耗促進試験(本試験)

摩耗させていないコンクリート供試体 (φ15cm, L=30cm) にサンドパック袋材を巻き付け、コンクリー ト供試体の摩耗促進試験と同様に現地海岸の砂礫 10kg と水 70L を入れてドラムを回転させる。試験をお こなう回転数は、予備試験で確認された回転数の上限までの5 段階程度を設定し、各回転数につき3 試 験片(1供試体に1試験片)以上、可能であれば5 試験片分の試験を実施することを推奨する。

・摩耗促進後の袋材基布の引張強度試験

摩耗促進試験をおこなった後の袋材の表面についた砂粒を流水で軽く落としたあと、裁断して引張強 度試験に供する。表面に付着した砂粒をきれいに落とそうとしてこすると、それによって摩耗が進行し てしまう可能性があるので、なるべく表面には触れないようにする。引張強度試験は1つの供試体から1 試験片作成し実施する。試験データは1つの回転数につき3試験片以上、可能であれば5 試験片につい て実施することが望ましい。引張強度試験によって得られた引張強度を初期引張強度で割り、強度保持 率を算出する。

一般的な繊維シート(比較布)を用いて海岸における現地曝露試験を実施し、引張強度の低下状況について回転ドラム型摩耗試験機による摩耗促進試験との対応関係を調べた結果によれば、式(3.9.1)および式(3.9.2)の定数 a、b はそれぞれ 0.0674、0.418 であった。比較布についての回転ドラム型試験機による結果はやや厳し目ではあるものの、現地における袋材の経年劣化を推定可能であることが確認されている

(図 I −3. 9. 11) 。

なお、式(3.9.1)および式(3.9.2)の定数 a、b は、用いる海浜材料によっては変わる可能性があるので、この実験で使用された海浜材料 D₅₀=13mm と著しく粒径が異なる材料を使用する場合には、関係式の作成から実施したほうがよい。



図 I-3.9.9 回転ドラム型試験機によるコンクリートの摩耗状況



図I-3.9.10 ドラムの回転数とコンクリート供試体の最大摩耗量の関係

ドラム回転数 (回転)	4,000	25,000	40,000
コンクリート摩耗量(mm) [コンクリート供試体の試験結果]	2.2	4.6	5.7
摩耗後の袋材の様子 [袋材の摩耗促進試験結果]	NO.1 (4000回転)	10.2 (2500回転)	NO. 1 (40000 E #)
引張強度(kN/m) [初期強度 169 kN/m]	48.8	1.2	0
強度保持率(%)	29.0	0.7	0.0

表 I-3.9.1 摩耗促進試験を実施後のサンドパック袋材比較布の劣化状況



・袋材の磨耗劣化性能の設定

袋材の磨耗劣化性能は、性能を過大評価することがないよう設定しなければならない。図I-3.9.2(下) は、回転ドラム型試験機による磨耗促進試験結果から磨耗劣化性能を設定した例である。図I-3.9.2(下) からわかるように、試験結果には幅があり、磨耗劣化外力(コンクリート摩耗量)が増大しても試験結 果やその平均値が上昇する場合もあり、磨耗劣化性能を過大評価するおそれがある。試験結果の最低値 を基本に外力が増大した場合に性能が増大しないよう、図の実線のように磨耗劣化外力と強度保持率の 関係を磨耗劣化性能の性能値として設定する必要がある。

(3) 点検支援カルテの整備

袋材の磨耗劣化性能はコンクリートほど大きくないことから、磨耗劣化外力の作用条件が厳しくなれ ば寿命が目標寿命期間よりも短くなる。また、磨耗劣化外力の作用条件が想定よりも厳しくならなけれ ば寿命は目標寿命期間よりも長くなる。浜崖後退抑止工完成後の袋材の維持管理においては、点検と劣 化状況の把握、それに基づく更新時期の適切な選定が重要である。これを支援するため、袋材メーカー は、磨耗劣化促進試験結果を用いて図I-3.9.3に例示する点検支援カルテを整備することを標準とする。 点検支援カルテにおいては、磨耗劣化外力毎の引張強度や強度保持率は性能値ではなく試験結果の平均 値で作成することを標準とする。このカルテを活用して点検し、劣化状況を把握して更新時期の見直し をする維持管理計画の策定が重要である。

I-3.10 気象要因劣化性能の評価方法

気象要因劣化性能の評価は図I-3.10.1 の手順で実施することを標準とする。気象要因劣化の評価 は、気象要因劣化促進試験によって行う。気象要因劣化促進試験は、袋材の試験片をオープンフレー ムカーボンアークランプ(サンシャインカーボンアークランプ)式耐候性試験機に、表I-3.10.1 に示 す条件で、I-3.7 で設定する目標寿命期間内に想定される紫外線・水分の暴露時間相当分を含む数段階 の促進暴露時間について、促進暴露(高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法 JIS B 7753 の試験条件 WS-A を使用)を施し、引張強度試験を実施する。この試験結果を初期引張強度で除し、 強度保持率 a_w(t)の試験結果を得る。試験結果の整理にあたっては、平均値だけで整理することはせず、 試験データ全てを促進暴露時間一強度保持率グラフに整理することを標準とする。これにより、目標 寿命期間に現地で暴露される外力に相当する促進試験暴露時間を含む紫外線・水分の暴露時間数段階 について、試験結果である強度保持率 a_w(t)のバラツキ・幅と促進暴露時間の増加に対する低下特性を 把握できる。この試験結果をもとに、促進暴露時間毎の強度保持率の性能値を設定し、促進暴露時間 一強度保持率(性能値)図として整理することを標準とする。性能値は、図I-3.10.2の設定例に示す ように引張強度試験結果の最低値を上回らないよう、促進暴露時間の増加に伴って性能値が増大する ことがない設定することを標準とする。





表 I-3.10.1 気象要因劣化性能評価試験の条件

解 説

(1) 評価の手順

気象要因劣化の評価は図 I-3.10.1 に示す手順で実施する。引張強度試験については既に述べているの で、ここでは促進曝露試験の実施方法(2)および、強度保持率を算定するための結果の整理方法(4)につい て主に解説する。

(2) 試験の実施方法

劣化促進試験に用いる試験機および条件は上述のとおり JIS 規格で定められたものを使用すれば良い が、試験片は引張強度試験に必要な長さおよび幅を踏まえて作成する。試験片の長さが試験機の取り付 け部分よりも長い場合には、引張強度試験でつかみ部となる部分を紫外線が当たりにくい背後に織り込 んでおくなど工夫する。

気象要因劣化外力毎の袋材の気象要因劣化性能を設定するため、促進暴露時間は目標寿命期間に相当 する時間(本手引では劣化促進250時間で現地1年相当)を含めた複数の段階で設定することを標準と する。これにより、異なる目標寿命期間を要求する現場にも迅速に対応できるようになる。これまでの 試験によれば、試験時間が1,000時間を超えると変化が小さくなるので、促進曝露時間をあまり小刻みに してもデータの質は上がらない。促進曝露時間は等間隔にするよりも、曝露時間が長くなるほど時間刻 みを大きくしたほうがよい。試験片は1試験時間に対して標準で5検体、最低でも3検体確保する。

劣化促進をおこなった試験片は、その後の保管による劣化がバイアスとならないように、終了後なる べく早く引張強度試験に供する。測定結果から暴露時間と引張強度、強度保持率の関係を整理する。ま た、維持管理段階における点検で劣化兆候の発見に資するよう、各暴露時間における袋材の劣化状況写 真と強度低下率と、詳細点検や更新検討の目安となる状態を整理しておくことが望ましい。



図 I-3.10.3 耐候性試験機の例



図 I-3.10.4 劣化促進試験後の比較布の表面の状態

これまでの試験結果を見ると、気象要因による袋材の劣化状況を目視で把握することは難しいが(図 I -3.10.4)、貫入抵抗試験(ASTM D 4833-07、図 I -3.10.5)では紫外線の照射時間が長くなるにつれて比較布の貫入抵抗が大きくなることが確認されている(図 I -3.10.6)。これは紫外線劣化により高分子材が硬化したためと考えられており、材料によっては、指や袋材を傷つけない器具で表面を押して硬化の度合いを調べることで、劣化状況を把握できる可能性もある。



図 I-3.10.5 貫入抵抗試験の実施状況



図 I-3.10.6 紫外線照射時間と貫入抵抗の強度保持率の関係

(3)気象要因による袋材強度の劣化

サンドパックの袋材は紫外線によって高いエネルギーが与えられることで、繊維を構成する分子が変 性する化学的プロセスによって劣化する。構成分子の具体的な変性については、袋材を構成する化学物 質によって異なるが、例えば代表的な高分子系材料であるポリエステルであれば、分子を鎖状に結合す る役目を果たしているエステル結合が加水分解によってカルボン酸に変化することで分子鎖が切断され ¹¹、引張強度が低下すると考えられる。そのため、紫外線だけでなく水分の存在状況も劣化の進行速度を 決める重要な要素である。

実際に試験的に同じ比較布(ポリエステル製)を用いて、水噴射の有無のみ条件を変えて 150 時間ま での紫外線照射をおこなった例でも、水噴射をおこなった方が強度保持率の低下が大きくなることが確 認されていることから(図I-3.10.7)、表I-3.10.1 に示すとおり水噴射をおこなう試験条件を採用し た。



図I-3.10.7 劣化促進試験における水噴射の有無による劣化状況の違い

(4) 劣化促進試験の結果の整理方法

サンドパック袋材の気候要因劣化に対する耐性(耐候性能)を知るには、現地における曝露設置時間 と強度保持率の関係が重要となるが、促進曝露試験による結果を現地に適用するには I-3.7 で示したよう に促進曝露 250 時間を現地 1 年とするなどの仮定が必要となる。この仮定がよく分かるように、実際の 促進曝露時間と現地における換算曝露年数を併記して整理することを推奨する(図 I-3.10.8, 図 I -3.10.9)。



促進曝露時間(h)

図 I-3.10.8 土木繊維シートの促進曝露結果の例(強度保持率で整理)



図 I-3.10.9 土木繊維シートの促進曝露結果の例(引張強度で整理)

袋材メーカーは、袋材の気象要因劣化性能(促進暴露時間毎の強度保持率)の設定にあたっては、性

能を過大評価しないために、強度保持率の試験結果平均値で設定してはならない。図I-3.10.2 に例示し ているように、試験データの最低値を下回ることがないよう、促進暴露時間の経過にしたがって性能値 が上昇することがないよう設定しなければならない。促進暴露時間に対する強度保持率の予測にあたっ ては、試験結果をもとにした理論的な劣化曲線にあてはめることが理想ではあるが、サンドパックの袋 材の場合には繊維表面に皮膜が形成されて繊維の深部にまで紫外線が届かなくなる等の複数の要因が影 響してくるため、促進曝露試験の結果全体を精度良く表現できる理論式を導き出すことは難しいのが現 状である。このため、試験データの最低値を基本に性能設定することにしたものである。今後の劣化デ ータの蓄積、劣化予測技術の進展により見直していくことが望まれる。

促進暴露時間と強度保持率平均値の関係を整理すると、図I-3.10.8 中の袋材 B や袋材 E のように、 強度保持率が1 (100%)を越えてしまう場合もある。同じ結果を引張強度について整理した図I-3.10.8 を見ればわかるように、袋材 B や袋材 E は元々の初期強度が低いため、試験体数が少ない本実験では測 定誤差の影響を受けて強度保持率が1 (100%)を越えてしまったものと考えられる。強度保持率だけで は、こうした誤差の影響を強く受けた結果を見落としてしまう可能性があるので、図I-3.10.9 のように 引張強度で整理した結果も同時に作成して確認しておくことを推奨する。

(5)気象要因劣化性能の設定

気象要因劣化促進試験結果をもとにした気象要因劣化性能は、試験結果のバラツキ、外力に対する性 能低下傾向をもとに性能を過大評価しないよう設定する。図I-3.10.2は、試験結果をもとにした気象要 因劣化性能の設定例である。試験結果の最低値を基本に、外力が増加しても性能が大きくならないよう 設定する必要がある。

I-3.11 人為外力及び漂流物の衝突に対する安全性の照査

サンドパックに用いる袋材は、人為的な外力及び漂流物の衝突に対して安全なものを使用すること とし、これらに対する安全性の照査は下記の手法によっておこなうことを標準とする。

(1) 人為的な切創および先の尖った漂流物による損傷:損傷拡大抵抗性試験

袋材の一部に損傷が生じても、その損傷が自然に拡大しないことを確認する。

損傷拡大抵抗性試験は、袋材の引張強度試験方法 JIS L 1096 での定速荷重型試験機を用いて、表 I -3.11.1 に示す試験条件の通り、つかみ具の幅当りの供用時張力に相当する外力を 30 分間掛け続ける 定荷重試験を行う。図 I -3.11.1 の試験条件設定例に示すように、試験前につかみ間隔の中間につかみ 具幅の 10%の切り込みを入れておき、袋材に張力を作用させた試験後に損傷部幅を再び測定して損傷 部が拡大していないことを確認する。損傷拡大抵抗性試験は劣化前の袋材を用いることとし、試験で 作用させる張力は、供用時張力に目標寿命期間経過後の強度保持率を割戻して大きくした張力を作用 させる条件で実施することを標準とする。

(2) 燃焼による損傷:たき火試験

袋材の一部が火種によって燃焼した場合にも、燃え広がらないことを確認する。

表 I-3.11.2 に示す条件でたき火試験を行う。たき火材料消炎後の袋材燃焼面積=消炎 5 分後の袋 材燃焼面積であることを確認する。

本試験の方法は、試験片として 0.5m×0.5m の袋材を用意する。試験片の下には現地条件に応じた 中詰材を敷き詰める。試験片の表面には現地における設置時に生じる砂等の底質材料の混入を再現し てもよい。試験片上の中央にたき火用材料である、割り箸を井桁状に組み、その中心に新聞紙を置い てライターで点火し、たき火材料と試験片の燃焼状況を確認する(図I-3.11.2)。消炎後、燃焼面積を 測定し、記録する。さらに 5 分後に再度燃焼面積を測定し、消炎後と燃焼面積に変化がないことを確 認する。合格の基準は火種の消火直後と消火5分後で燃焼面積の変化が 2%以下であることである。

内容
200mm
250mm
使用試験機つかみ具幅 (mm)
つかみ具幅 (mm) ×10%
供用時張力 (kN/m) ×つかみ具幅 (mm) /1000mm/強度保持率(%)
30min
試験前損傷部長=試験後損傷部長

表 I-3.11.1 損傷拡大抵抗性試験条件





解 説

サンドパック袋材は、供用中に人為的外力や漂流物の衝突、各種の火種により発生した燃焼によって 損傷する場合がある。袋材を損傷させる人為的外力としては、ナイフなどによるいたずらや傘などの先 端が尖った物による突き刺しなどが考えられ、漂流物としては流木やガラス片等が考えられるが、想定 される全ての損傷原因に対して損傷しないような強度を袋材に持たせることは現実的ではない。そのた め、万が一損傷が発生した場合にも、補修等の処置を施すまでの間にその損傷が拡大してサンドパック の機能を喪失させる致命的な状態に至るのを防ぐことができる性能を要求することとした。燃焼による 損傷についても同様に、たき火や花火、たばこの吸い殻等の多くの原因が考えられるが、これらによっ て全く燃焼しないことを求めるのではなく、燃焼が広がらない性能を要求することとした。

(1) 人為的な切創および先の尖った漂流物による損傷:損傷拡大抵抗性試験

a)試験方法

袋材は、修復性を満たすことが重要であることから、小さな損傷が発生してもそれが静置状態で拡大 しない性能を求めることにしたものである。これを確認する試験方法は、織物及び編物の生地試験方法 (JISL 1096:トラペゾイド法)を準用して設定した。

試験は、摩耗や気象要因による劣化後の袋材を用いて実施することが理想であるが、気象要因と磨耗の両方の劣化促進を施した袋材を製作することは現在のところ不可能なので、劣化前の袋材を用いることとした。劣化後の性能を確認するため、作用させる張力を強度劣化後の強度保持率分だけ割戻した大きいものを作用させて実施することとした。試験状況を図I-3.11.3~I-3.11.4示す。



図 I-3.11.3 試験状況



図 I-3.11.4 試験中の損傷部の広がり状況

b)試験結果の整理

本試験は、使用する引張試験機械のつかみ具幅によって損傷部長さが変わる。また、定荷重条件も袋材の劣化後の強度保持率によって異なるため、試験結果には表I-3.11.3に示すとおり、つかみ具の幅や 定荷重条件等についての試験条件を必ず記載する。損傷部分が拡大するか否かが重要であるので、試験 結果は表I-3.11.4 および図I-3.11.5 に示すとおり損傷部分の長さを計測した値を示すことで、損傷が 拡大しないことを定量的に示す。

	A 社	B 社	C 社			
つかみ間隔(mm)	200	200	200			
試験片幅(mm)	250	250	250			
つかみ具幅(mm)	85	70	60			
損傷部長さ(mm)	8.5	7	6			
它带毛冬州	3.6kN/8.5cm	1.53kN/7cm	1.14kN/6cm			
<i>上</i> 何里禾什	(42.4kN/m)	(21.8kN/m)	(19.0kN/m)			
試験時間(min)	30	30	30			

表 I-3.11.3 試験条件の記載例

表 I-3.11.4 試験結果の例

計測のタイ	損傷部の長さ(mm)				
ミング	A 社	B 社	C 社		
試験前	8.5	7.0	6.0		
開始直後	8.5	7.0	5.5		
開始 30 分後	8.5	7.0	5.5		
試験終了後	8.5	7.0	6.0		



図 I-3.11.5 損傷部拡大抵抗性試験の結果例

(2) 燃焼による損傷:たき火試験

サンドパックを使用するにあたり、たき火や、花火、たばこの吸い殻等の火種により発生した燃焼に 対して、設置した状態で袋材に発生した燃焼穴が自ら燃焼して拡大することがない性能を有しているこ とを確認する必要がある。この試験法として、現地での適用実績を積み重ねている袋詰め玉石工の国土 交通省土木工事共通仕様書の要求性能及び確認方法における耐燃焼性の試験方法であるたき火試験(表 I-3.11.5)を準用し、設定した。国土交通省土木工事共通仕様書の試験方法は「袋型根固め用袋材を充

填した後、静置させ上部にたき火材料を積み上げてライターにて点火する。」であり、基準値は、「燃焼部以上に燃焼しないこと」であるが、試験方法の均一化と、試験結果の明瞭化を図るため、試験条件 と試験結果の明示方法を変更した。

項目	内容
中詰材	割栗石 150mm
点火方法	ライター
たき火用材料	野原の草木(枯れ草、枯れ木)

表 I-3.11.5 国土交通省土木工事共通仕様書 試験方法

たき火試験の試験状況例を図 I-3.11.6 に、試験結果例を表 I-3.11.6 に示す。本試験に合格していれ ば自ら延焼することはないが、火種があるときの袋材の燃焼しやすさに関する性能は本試験結果の燃焼 面積に現れる。火種面積 49cm² に対して燃焼面積が大きいほど燃焼しやすい袋材といえる。





図 I-3.11.6 たき火試験状況

項目	試験結果等
火種の面積	49 (c m^2)
消炎直後燃焼面積	$180 (c m^2)$
消炎後 5 分後燃焼面積	$180 (c m^2)$
燃焼面積増加率	0% < 2%
合否	0
I-3.12 袋材からの有害物質の溶出の照査

サンドパックに使用する袋材を選定するにあたっては、周辺環境に悪影響を及ぼすような有害物質 が溶出しないことを、下記の試験によって確認することを標準とする。

(1) 煮沸試験

袋材から何らかの物質が大量に溶出することがないことを表 I-3.12.1 に示す煮沸試験により確認 する。

表 I-3.12.1 煮沸試験の条件等

項目	内容
浸漬温度	$98 \pm 2 \degree C$
煮沸時間	120 ± 10 分
使用水	蒸留水
試験体の数	5個
乾燥温度	105 °C
抽出条件 (質量比)	網地:水=1:500
試験結果の整理 (合格基準)	煮沸後の袋材の質量変化≦試験片質量の0.5%

(2) 金魚飼育試験

煮沸試験では検知出来ない程度の微量な物質が溶出していたとしても、それが生物の生息に影響を与 えないことを表Ⅰ-3.12.2に示す金魚飼育試験により確認する。

表 I-3.12.2 金魚飼育試験の条件等

項目	内容
金魚の飼育期間	3ヶ月
飼育条件(質量比)	網地:水=1:100
金魚匹数	3匹以上
試験結果の整理 (合格基準)	金魚が3カ月以上生存し、 金魚の生育に影響がないこと

解 説

サンドパックに使用する袋材は、環境ホルモンや重金属などの有害物質が溶出して周辺環境を悪化さ せるものであってはならない。有害物質が溶出しないことを確認するためには、袋材から溶出する化学 物質の量を測定し、その量が生物の生存に悪影響を与えない量であることを確認することが基本である。 しかし、生物の生存に悪影響を与える化学物質の具体的な種類や量についてはヒト以外の生物について は知見が乏しく、サンドパック工を使用する海岸では対象とすべき生物の種類も明確にできない場合が 多い。そのため、設置場所の周辺に生息する生物に影響を与える有害物質の量についての知見が十分に 得られていない場合には、袋詰め玉石で要求されることが多い煮沸試験及び金魚の飼育試験で確認する ことを推奨する。

煮沸試験で確認する物質の溶出量が大量でないことの目安としては、ここでは試験片の質量の 0.5%以下とした。生分解性の袋材など、供用中の質量変化を最初から見込んだ素材も使用される場合には、発

注者が適宜基準値を定める。

それぞれの試験方法は下記のとおりである。

(1) 煮沸試験

表 I-3.12.1 に示す試験条件で試験体を沸水中に浸漬し(写真 I-3.12.1 参照)、一定時間煮沸後、試験体を乾燥させ(写真 I-3.12.2 参照)、試験体の質量変化を測定する。



写真 I-3.12.1 煮沸状況

写真 I-3.12.2 乾燥状況

(2) 金魚飼育試験

写真 I-3.12.3 のように金魚を入れた水槽に試験体を浸漬し、一定期間飼育を行いその生存状態を観察し、試験体から有害物質が溶出し、水棲生物に影響しないかを確認する。

試験条件は表 I-3.12.2 に示すとおりである。



写真 I-3.12.3 金魚飼育試験の状況

I-3.13 中詰材保持性能の照査方法

サンドパック袋材は、使用する中詰材を保持する性能を有しなければならない。袋材の見かけの開 孔径(O₉₅)は中詰材の60%粒径(d₆₀)よりも小さいものを基本とする。中詰材の60%粒径はふるい分 け試験により、見かけの開孔径 O₉₅は開孔径試験により確認する。

 $O_{95} \le d_{60}$

なお、ポンプ圧送にて中詰材を充填する場合、中詰材の粒径過積曲線や相対密度が一定の条件を満たせば、ブリッジング層の形成等により $O_{95} \ge d_{60}$ であっても中詰材を保持することができる場合があると考えられる。ポンプ充填の場合には $d_{60}/d_{10} \le 4$ かつ O_{95}/d_{85} が図 I -3. 13. 1 の「中位の砂」の線よりも下にあれば中詰材保持性能を有するものと評価できる。 d_{10} 、 d_{60} 、 d_{85} はふるい分け試験により、見かけの開孔径 O_{95} は開孔径試験により確認する。



解 説

(1) 一般的な考え方

中詰材が袋外への通り抜けることにより袋体の沈下変形が発生し、構造体の安定性が損なわれることを防止するため、袋材の開孔径試験を事前に行うことが望ましい。日本工業規格によるジオシンセティック用語(JIS L0221)より定められた見かけの開孔径(AOS)を用いて袋材の開孔径を決定する。見かけの開孔径とは、ジオテキスタイルの空隙部が通過できる粒子の最大近似径である。ASTM D4751では、乾式開孔径試験と湿式開孔径試験の2種類の試験方法から構成されている。乾式開孔径試験では一定の粒径を有するガラスビーズをジオテキスタイル供試体によりふるい、ジオテキスタイル供試体上および供試体中に残留する質量を測定し、その残留率95%に対応するガラスビーズ粒径を見かけの開孔径と呼び Ogg(mm)で表す。なお、湿式開孔径試験では、ガラスビーズを水流とともにジオテキスタイルを通過さ

せて見かけの開孔径 O₉₅(mm)を決定する。

JGS 0911-2009 では、ISO 12956 と同様に粒状体をガラスビーズに限定せず、一定の粒径を有する粒状体を水流とともに袋材を通過させ、通過した粒状体を粒度試験にかけて粒径加積曲線を作成し、通過質量百分率 90%粒径に対応する粒径 D₉₀(mm)を開孔径 O₉₀(mm)として決定する。

図 I-3.13.2 に宮崎海岸住吉地先の粒度分布と共同研究3 社製品の開孔径を示した。



図I-3.13.2 宮崎海岸(住吉)の汀線付近で採取した底質の粒度分布(参考)

(2) ポンプ充填式で製作する場合に導入可能な考え方

ジオテキスタイルをフィルター材として使用する場合、ジオテキスタイルの直上部の細粒分が流出し、 比較的、粗い粒子によりブリッジング層が形成され、その上部に細粒分土粒子が貯留してフィルターケ ーキ層が形成されることで、細粒分の流出を防ぐ機構が存在するといわれている(図I-3.13.3)。



図 I-3.13.3 土粒子がジオテキスタイルの直上部に貯留する場合の概念図(西形¹²⁾を改変)

Giroud¹³は、ジオテキスタイルをフィルター材として使用する場合の土粒子の保持性能(捕捉機能)として、85%粒径(d₈₅)、土の均等係数(Cu)、土の密度、ジオテキスタイルの開孔径に着目し、下記の関係式を提案している。

 \bigcirc Cu' $\leq 3 \oplus 2$

ゆるい土(相対密度 35%以下) : $O_F \leq (Cu')^{0.3} d'_{85S}$

中位の土(相対密度 35~65%) : $O_F \leq 1.5 (Cu')^{0.3} d'_{85S}$

密な土(相対密度 65%以上) : $O_F \leq 2(Cu')^{0.3} d'_{85S}$

 $\bigcirc Cu' \ge 3 \otimes b \ge 3$

ゆるい土(相対密度 35%以下) : $O_F \leq \frac{9d'_{85S}}{(Cu')^{1.7}}$ 中位の土(相対密度 35~65%) : $O_F \leq \frac{13.5d'_{85S}}{(Cu')^{1.7}}$ 密な土(相対密度 65%以上) : $O_F \leq \frac{18d'_{85S}}{(Cu')^{1.7}}$

ここで、

$$Cu'$$
:線形均等係数 = $\frac{d'_{60}}{d'_{10}} = \sqrt{\frac{d'_{100}}{d'_{0}}}$

 O_{F} :ジオテキスタイルフィルターの開孔径

箱書きは、宮崎海岸での現地試験で d₆₀ (0.35~0.6mm)よりも開孔径の大きな袋材 (0₉₅=0.6mm)を用 いてポンプ充填を行った際に充填が可能であったことから、ブリッジング層が形成されて充填できたも のと考え、Cu≦4 かつ締固め中位の砂の式までは適用可能であろうと考え設定したものである。なお、こ のような袋材を採用する際にはブリッジング層等が形成されるまでには中詰材の損失が生じることを覚 悟しておく必要がある。

I-3.14 海浜利用に関する留意事項

サンドパック工法の設計にあたっては、海岸域に生育・生息する動物・植物などの生育・生息条件 について正しく認識するとともに、整備に伴う影響について十分に検討し、環境との調和を図ること を基本とする。また、景観および海岸利用者の安全性についても十分に配慮するために、海岸管理者 との打ち合わせだけでなく、現地海岸の利用者からの意見聴取もおこない、可能な場合には設計や袋 材等に工夫を加えることを推奨する。

解 説

サンドパック工法を使用するにあたり、海岸域における生態系に支障を与えるような有害物質が溶出 しないことを確認するための試験として、I-3.12 で煮沸試験および金魚飼育試験を挙げた。海岸によっ ては、特に留意せねばならない希少種や注目種が海岸を利用する場合もあり、その場合には各生物に応 じた配慮が必要となる場合がある。また、海岸利用の形態も海岸によって様々であり、利用形態によっ て求められる配慮が異なってくる。このように、環境および利用については地先によって求められる性 能が大きく異なるため、一律に定めることが難しい。海岸管理者と十分に打ち合わせをおこなうことは もちろんであるが、なるべく現地海岸の利用者や現地海岸の生物について詳しい研究者等からの意見聴 取をおこない、その結果を可能な限りサンドパックの袋材の選定および設計に反映させることを推奨す る。

景観面については海岸によって砂の色が大きく異なるため、事前に使用する袋材の見本を現地海岸に 持参し、海岸に設置した場合の見え方を海岸管理者と確認しておくことを推奨する。



図I-3.14.1 現地の砂浜で袋材の色彩について意見交換している事例

参考文献

- Namias, V. (1985): Load-supporting fluid-filled cylindrical membranes, Journal of Applied Mechanics, 52(4), pp.913-918.
- Lawson, C.R. (2008): Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering, Geosynthetics International, Vol.15, No.6, pp.384-427.
- Plaut, P.H. and S. Suherman (1998): Two-dimensional analysis of geosynthetic tube, Acta Mechanica, 129, pp.207-218.
- Palmerton, J. B. (2002): Distinct element modeling of geosynthetic fabric containers, *Proceedings of the 7th International Conference on Geosynthetics*, Nice, France, Balkema, Vol. 3, pp.1021-1024.
- 5) 耐候性大型土のう基準検討委員会編(2012):「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル, 財団法人土木研究センター, 120p.
- 6) 関ロ陽高・諏訪義雄・野ロ賢二・渡邊国広・嶋田宏・三浦健吾(2011):袋詰め工の袋材に働く張力に 関する実物大模型実験、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.67, No.2, pp.I_826-I_830.
- Plaut, R.H. and G.M. Filz (2008): Deformations and tensions in single-layer and stacked geosynthetic tubes, *Proceedings of the 1st Pan American Geosynthetics Conference*, Cancun, Mexico, IFAI, pp.382.389.
- 8) 松岡元(2003): 地盤工学の新しいアプローチー構成式・試験法・補強法, 京都大学学術出版会, 314p.
- 9) 渡辺国広・野口賢二・諏訪義雄・関口陽高・嶋田宏・江島敬三・石河雅典・永澤豪(2013): サンドパックの変形および波浪作用に袋材に働く張力の特性,土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_263-I_268.
- 10) 渡辺国広・諏訪義雄・関ロ陽高・野ロ賢二・伊藤幸義・高田保彦・岩佐隆広・二階堂竜司(2013): 礫 海岸における摩耗作用を再現する摩耗促進試験方法の開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_832-I_837.
- 11) 冨山禎仁・西崎到(2011): 促進劣化試験による高分子系建設材料の寿命評価, 土木技術資料, 53-5, pp.26-31.
- 12) 西形達郎・岩崎高明・須長誠・新井克彦(1994):「ジオテキスタイルの水理特性試験方法」について, ジオテキスタイル試験方法に関するシンポジウム発表論文集, pp.9-16.
- Giroud, J.P. (2010): Development of criteria for geotextile and granular filters, *Proceedings of the* 9th International Conference on Geosynthetics, Brazil, Vol.1, pp.45-64.