

**I-5 サンドバック袋材の性能試験**

I-5.1	サンドバックの性能と袋材の試験法	I-5-2
I-5.2	基布の引張強度試験	I-5-10
I-5.3	縫製部・注入口等の引張強度試験	I-5-13
I-5.4	気象要因劣化促進試験	I-5-16
I-5.5	砂礫の摩耗・衝突に対する摩耗促進試験（回転ドラム型磨耗試験機）	I-5-25
I-5.6	砂の摩耗に対する劣化促進試験（ウォータージェット式摩耗促進試験）	I-5-32
I-5.7	損傷拡大抵抗性試験	I-5-41
I-5.8	たき火試験	I-5-44
I-5.9	煮沸試験	I-5-47
I-5.10	金魚飼育試験	I-5-49
I-5.11	開孔径試験	I-5-51
I-5.12	摩擦係数試験	I-5-53
I-5.13	耐薬品性試験<参考>	I-5-56
I-5.14	貫入抵抗試験<参考>	I-5-58

I-5 サンドパック袋材の性能試験

I-5 サンドパック袋材の性能試験

I-5.1 サンドパックの性能と袋材の試験法

サンドパックメーカーは、表 I-5.1.1 に示す浜崖後退抑止工及びサンドパックに要求される様々な性能項目について、照査に必要な性能を明らかにするための試験等を行い、サンドパックが有している性能を客観的に証明しなければならない。試験方法には、室内試験から現地の実物試験まで様々なものがある。

サンドパックメーカーは、袋材に限らず、表 I-5.1.1 に示すサンドパックの性能について、性能を明らかにしたのものについては製品ごとに性能一覧表として試験データとともに整理し、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。また、サンドパックメーカーは十分な実績が積まれるまでの間は、施工中もしくは供用後に破損が生じた場合に原因の究明と製品改良の情報を得るために施工状況、充填後状況、完成後状況を調査・確認することを推奨する。

表中の黄色の網かけは、本章で説明している袋材の性能試験方法であり、ほとんどが室内試験で実施できるものである。

表 I-5.1.1 サンドパックに要求される性能と試験法等一覧 (1)

性能項目	証明性能値	試験方法	想定している作用	照査基準
袋材の初期引張強度	基布引張強度性能値 周方向：○○kN/m 軸方向：○○kN/m (I-3.3参照)	袋材の引張強度試験 基布： JIS L 1096 8.12.1 a)A法を準用 (本章 I-5.2参照)	施工時 施工時の作用張力による袋材の破損 施工時作用張力=MAX (中詰材充填時張力、サンドパック運搬移動時張力、上載荷重作用時張力) (I-3.4参照)	周方向・軸方向それぞれについて 初期引張強度=MIN (基布、縫製部・注入口・連結部) >施工時作用張力 (I-3.3参照)
	縫製部・注入口毎の引張強度性能値 △△縫い 周方向：○○kN/m 軸方向：○○kN/m □□縫い 周方向：○○kN/m 軸方向：○○kN/m 注入口 周方向：○○kN/m 軸方向：○○kN/m (I-3.3参照)	縫製部： JIS L 1093を準用 (本章 I-5.3参照)		
	連結部引張強度性能値 周方向：○○kN/m 軸方向：○○kN/m (I-3.3参照)	連結部：		
施工計画、施工歩掛	施工手順書 施工歩掛表 (I-4.5参照)	実物大施工実験 (I-4.5参照)	施工時 施工計画が作成できない 施工コストが見合わない 現地条件に合った施工方法が選定できない	施工計画を検討できる施工手順書、施工歩掛が整備されていること (I-4.5参照)
施工許容範囲	施工許容範囲：BH領域図 B=○～○m H=○～○m (I-2.5、I-4.2参照)	実物大施工実験 (I-4.2参照)	施工時 中詰材の充填不足・充填過大により、サンドパック、浜崖後退抑止工が必要な目的達成に性能、安全性能を発揮できない	出来高管理に使用可能な、実物大施工実験・実績に基づく施工許容範囲図が整備されていること (I-2.5、I-4.2参照)
施工時・供用時袋材接触破損防止	施工手順書・留意事項 (I-4.4、I-4.5参照)	実物大施工実験 (I-4.4参照)	施工時 供用時 重機の接触、施工方法の不備による袋材の破損	施工手順書・留意事項が整備されていること (I-4.4、I-4.5参照)
中詰材保持性能	基布 $O_{95}$ =○mm 縫製部 $O_{95}$ =○mm (I-3.13参照)	基布・縫製部： 開孔径試験(ASTM D4751) (本章 I-5.11参照)	施工時 供用時 中詰材の抜け出し・流失 中詰材粒度分布特性 ： $d_{10}, d_{60}, d_{85}$ 中詰材充填方法 ： 重機充填、ポンプ充填	適用可能中詰材 原則 $O_{95} (=○mm) > d_{60}$ ポンプ充填 (多少の歩止まり低下許容) $O_{95} \times 1.5 \times (d_{60}/d_{10})^{0.3} \geq d_{85} \quad (1 < d_{60}/d_{10} \leq 3)$ $O_{95} \times 13.5 / (d_{60}/d_{10})^{1.7} \leq d_{85} \quad (3 < d_{60}/d_{10} \leq 4)$ (I-3.13参照)

表 I-5.1.1 サンドバックに要求される性能と試験法等一覧 (2)

性能項目	証明性能値	試験方法	想定している作用	照査基準
所要質量	(波浪照査) $N_s - \xi_0$ 図 $N_s - hc/H$ 図 (流体力学照査) $C_D, C_L, C_M, A_r, A_s, \mu$ 等 (I-2.6参照)	水理模型実験 (I-2.6参照)	供用時 計画波浪時にサンドバックが移動・流失 計画波浪諸元 ( $H_{0.13}, T(L)$ ), 設計高潮位、海底勾配、サンドバック積層体天端高・法勾配)	サンドバック質量>サンドバックの設置場・設置条件での計画波浪に対する所要質量 (I-2.6参照)
浜崖後退抑止工の安定性	以下の安定性照査試算結果 ・常時 ・波浪越波時 ・地震時 (L1地震動水平慣性力考慮) (I-2.8参照)	円弧すべり計算 滑動安全率計算 転動安全率計算 (I-2.8参照)	供用時 常時、波浪越波時、地震時にサンドバック積層体と背面養浜盛土が土圧で円弧すべりを起こす、サンドバック積層体が滑動・転動。 地盤低下した状態の断面形状、潮位、背面養浜盛土の地下水位	○常時 ○波浪越波時: 円弧すべり $F_s \geq 1.2$ 滑動 $F_s \geq 1.5$ 転動 $e \leq 1/6 \times B$ ○地震時: 円弧すべり $F_s \geq 1.0$ 滑動 $F_s \geq 1.2$ 転動 $e \leq 1/3 \times B$ (I-2.8参照)
根入れ	(発注者が設計)	サンドバック積層体前面地盤高の予測 洗掘対策工の設計 (I-2.7参照)	供用時 サンドバック積層体前面の地盤低下・洗掘により、 ・サンドバック変形→作用張力>引張強度→サンドバック破損・養浜盛土流失 ・円弧すべりによるサンドバック積層体・養浜盛土の変形・沈下→サンドバック破損・養浜盛土流失	根入れ高 $\leq$ 地盤低下・洗掘を考慮したサンドバック積層体前面地盤高(洗掘対策工の考慮可能) (I-2.7参照) 地盤低下・洗掘考慮後の断面で円弧すべり安定計算 常時・波浪越波時: $F_s \geq 1.2$ 地震時: $F_s \geq 1.0$ (I-2.8参照)
吸出し・施工端処理	突合せ処理方法 施工端処理方法 (I-2.10参照)	現地実験、施工実績	供用時 サンドバック突合せ部からの養浜盛土吸い出し サンドバック積層体端部からの養浜盛土流失	サンドバックの突合せ部の処理がなされていること サンドバック積層体端部の処理がなされていること (I-2.10参照)
浜崖後退量	(発注者が設計)	浜崖後退量の予測 (I-2.9参照)	供用時 計画波浪来襲時に浜崖が許容量以上に後退する 計画波浪来襲時のうちあげ高	浜崖後退量<浜崖後退許容量 (I-2.9参照)
摩擦抵抗性能	袋材と袋材: $\mu =$ 袋材と砂: $\mu =$ (I-2、I-5.12参照)	摩擦係数試験 JISK7125に準拠して袋材同士、袋材と砂 地盤の最大静止摩擦係数を計測 (本章 I-5.12参照)	供用時 摩擦抵抗性能が不足するため、 ・波浪越波時にサンドバックが滑動 ・地震時にサンドバックが滑動	波浪越波時のサンドバック滑動安全率 $F_s \geq 1.5$ 地震時のサンドバック滑動安全率 $F_s \geq 1.2$ (I-2.8参照)

表 I-5.1.1 サンドバックに要求される性能と試験法等一覧 (3)

性能項目	証明性能値	試験方法	想定している作用	照査基準
袋材の劣化後引張強度	基布・縫製部・注入口の、周方向・軸方向それぞれについて劣化後引張強度を次式で算定 劣化後引張強度=初期強度性能値 $\times \alpha w(t) \times \alpha a(t)$ $\alpha w(t)$ : 目標寿命期間 (t年間) の気象要因劣化後の強度保持率 $\alpha a(t)$ : 目標寿命期間 (t年間) の磨耗劣化外力による劣化後の強度保持率 (I-3.8参照)	$\alpha w(t)$ : 袋材メーカーが責任を持って作成する促進暴露時間-気象要因劣化性能値関係図から算定 ・目標寿命期間 (t年間) の気象要因劣化外力 (耐候性試験暴露時間) $= t \times 250$ (時間) (I-3.7参照) $\alpha a(t)$ : 袋材メーカーが責任を持って作成するコンクリート磨耗量-磨耗劣化性能値関係図から算定 ・目標寿命期間の磨耗劣化外力=コンクリート磨耗量 (mm) (I-3.6参照)	供用時 目標寿命期間の劣化外力作用後の劣化した袋材が供用時の作用張力により破損 ・供用時作用張力 $T_{max} = MAX$ (波浪作用時張力、地形変化追従時張力、上載荷重作用時張力) (I-3.5参照)	周方向・軸方向それぞれについて 劣化後引張強度=MIN (基布、縫製部・注入口・連結部) > 供用時作用張力 $T_{max}$ (I-3.3参照)
気象要因劣化性能 $\alpha w$	基布気象要因劣化性能値 周方向・軸方向: 促進暴露時間-強度保持率性能値関係図 縫製部等気象要因劣化性能値 縫製種類・注入口・連結部毎に周方向・軸方向: 促進暴露時間-強度保持率性能値関係図 (I-3.10参照)	気象要因劣化促進試験 JIS B 7753 (本章 I-5.4参照) 引張強度試験 基布: JIS L 1096 8.12.1 a)A法を準用 (本章 I-5.2参照) 縫製部: JIS L 1093を準用 (本章 I-5.3参照)	供用時 気象要因 (紫外線、水等) による袋材の強度劣化	-
磨耗劣化性能 $\alpha a$	基布磨耗劣化性能値 周方向・軸方向: コンクリート磨耗量-強度保持率性能値関係図 縫製部等磨耗劣化性能値 縫製種類・注入口・連結部毎に周方向・軸方向: コンクリート磨耗量-強度保持率性能値関係図 (I-3.9参照)	磨耗劣化促進試験 <底質材料砂礫>: 回転ドラム型磨耗促進試験 (本章 I-5.5参照) <底質材料砂>: ウォータージェット式磨耗促進試験 (本章 I-5.6参照) 引張強度試験 基布: JIS L 1096 8.12.1 a)A法を準用 (本章 I-5.2参照) 縫製部: JIS L 1093を準用 (本章 I-5.3参照)	供用時 底質材料 (砂礫) の衝突・磨耗による袋材の強度劣化	-
維持管理支援	点検支援カルテ (I-3.9、I-3.10参照)	磨耗劣化促進試験 <底質材料砂礫>: 回転ドラム型磨耗促進試験 (本章 I-5.5参照) <底質材料砂>: ウォータージェット式磨耗促進試験 (本章 I-5.6参照) 気象要因劣化促進試験 JIS B 7753 (本章 I-5.4参照) 貫入抵抗性試験 (本章 I-5.14参照)	供用時 袋材の強度劣化の兆候を見逃し、更新時期を逸する。	点検支援カルテが整備されていること 維持管理計画に点検による劣化状況の把握と健全度評価、維持管理更新への反映を記載 (I-4.6、I-4.7参照)

I-5 サンドバック袋材の性能試験

表 I-5.1.1 サンドバックに要求される性能と試験法等一覧 (4)

性能項目	証明性能値	試験方法	想定している作用	照査基準
修復性	修理方法 対策工法 に関する手順書整備 (I-2.11、I-4.7参照)	現地実験、施工実績	供用時 一部サンドバックに損傷が発生した後、対策・修復不能、機能を喪失	サンドバック横断体背面養浜盛土幅 >3m 袋材に損傷発生した場合に修理可能 一部サンドバック損傷した場合に流失防止対策・ 変状拡大防止対策可能、機能回復可能 (I-2.11、I-4.7参照)
人為的 行為・漂流物 の衝突等による 損傷等に対する 抵抗性能	損傷拡大抵抗性試験結果(供用時 作用張力 $T_{max}/\alpha w(t)/\alpha a(t)$ 以上の張力を30分作用させても損 傷が拡大しないこと) たき火試験結果(基準値以下であ ること) (I-3.11参照)	損傷拡大抵抗性試験 織物及び編物の生地試験方法(JIS L 1096:トラペゾイド法)を準用して設 定 JIS T8052を準用 (本章I-5.7参照) たき火試験 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 試験を準用し設定 (本章I-5.8参照)	供用時 袋材に何らかの穴が開いた後 の損傷拡大 ・供用時作用張力 $T_{max}$ ・目標寿命期間(t年)におけ る劣化外力作用後の強度保持 率 $=\alpha w(t)\times\alpha a(t)$ たき火・火花等による袋材の 延焼	張力作用幅の10%幅の損傷が生じた基布に、供用 時作用張力 $T_{max}/\alpha w(t)/\alpha a(t)$ の張力を30分作用さ せても損傷が拡大しないこと たき火試験で火種鎮火直後から火種鎮火5分後ま での袋材の延焼面積増加量<2% (I-3.11参照)
環境影響性 能	煮沸試験結果(基準値以下であ ること) 金魚飼育試験結果(金魚生育に悪 影響がないこと) (I-3.12参照)	煮沸試験 (本章I-5.9参照) 金魚飼育試験 (本章I-5.10参照)	供用時 袋材からの物質の溶出 袋材からの毒物の溶出による 生物の生育阻害	煮沸試験による質量変化 <0.5% 金魚の生育に悪影響がないこと (I-3.12参照)
耐薬品性試 験		耐薬品性試験 (本章I-5.13参照)	供用時 酸性、アルカリ性による袋材 の強度劣化	酸性、アルカリ性の溶液に浸漬後に必要な引張強 度を保持していること

解 説

I-4 までは、浜崖後退抑止工としての性能照査・施工・管理を中心に解説し、それぞれの項目について必要な袋材の性能を述べてきた。I-5 では、性能を確認する試験法についてまとめて記載する。既に I-4 までの記載してきた内容が重複する部分もある。

表 I-5.1.1 に示す試験は、既に現場において多用されている耐候性土のうに関する『災害復旧事業等における「耐候性大型土のう」設置ガイドライン』<sup>1)</sup>に示された試験方法等を参考に設定している。日本工業規格には「ジオテキスタイル試験方法 (JIS L 1908)」もあるが、サンドバック袋材は必ず縫製して袋状として用い一般織物に近い使われ方がされること等から、織物系の規格を準用することとした。袋材に「合わせ素材」を用いる場合には、本マニュアルに規定する試験の他に剥がれが生じないこと等を確認する試験を実施する必要がある。

発注者は、表 I-5.1.4 に例示するとおり、製品の品質信頼性を確認するために適宜製品の納品頻度に合わせて品質維持の確認に必要最小限の項目を設定し定期的に材料確認を行う必要がある。

袋材に作用する張力の算定法を表 I-5.1.5 に示し、袋材の要求性能と照査の具体例を表 I-5.1.6 に例示した。

表 I-5.1.4 品質確保に関する試験法

信頼性	要求性能	試験方法	対象	基準値
均質性	性能を担保する品質の均質性を確保していること	袋材に用いる基布1生産ロット当たり1回の初期引張試験を実施	袋材	「引張強度」の基準値を満足すること
試験の信頼性	適切な試験結果が得られること	定期的に検定を受けた試験機械を用いるか、公的試験機関に相当すると発注者が判断した機関において実施する	試験装置もしくは試験機関	試験装置検定証もしくは、試験機関が公的試験機関に相当するとの発注者判断

表 I-5.1.5 (1) サンドバ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	
		割り増し係数 α		
実物大実験に基づく割増を施した単体静置時張力 = 単体静置時張力 (理論値) × α α : 実物大実験に基づく割増係数	条件	1.5	1.5	
	中詰材が礫混じり 中詰材が砂			
		割り増し係数 β		
施工時作用張力 = 単体静置時張力 (理論値) × α × β (MAX を採用)	事象	条件		
	中詰材充填時	ポンプ充填	3 <sup>**</sup>	3 <sup>**</sup>
		ホッパー充填	1	1
	設置時	ベルト吊り上げ	15	15
		吊り上げ (補助具あり)	4	4
吊り上げなし		1	1	
上載荷重作用時	-	荷重を考慮した Namias <sup>1)</sup> より算定	周方向張力 × 0.63	

※: 周長 2.98m のサンドバ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 のサンドバックに換算し、Namias<sup>1)</sup>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-5.1.5 (2) サンドバ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	
		割り増し係数 α		
実物大実験に基づく割増を施した単体静置時張力 = 単体静置時張力 (理論値) × α α : 実物大実験に基づく割増係数	条件	1.5	1.5	
	中詰材が礫混じり 中詰材が砂			
		割り増し係数 β		
供用時作用張力 = 単体静置時張力 (理論値) × α × β (MAX を採用)	事象	条件		
	上載荷重	-	荷重を考慮した Namias <sup>1)</sup> より算定	周方向張力 × 0.63
	波浪作用時	-	2.2	2.2
	地形変化追従時	-	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-5 サンドパック袋材の性能試験

表 I-5.1.6 袋材への要求性能と照査の具体例 (1)

性能種類	性能値 (評価指標)	要求性能 設定例	照査結果例	
			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) 94 (kN/m) < 104 (kN/m) ※
劣化後引張強度	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 : $\alpha_a(A(t年)mm)$	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 : $\alpha_a(2.5mm)$	周方向 : 0.79 軸方向 : 0.81	縫製部 1.0 注入口 1.0
	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 性 t hr) による劣化後の強度保持率 : $\alpha_w(250 \times t \text{ hr})$	耐候性試験暴露時間 2,500hr の強度保持率 : $\alpha_w(2,500hr)$	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)= $T \times \alpha_a(2.5mm) \times \alpha_w(2,500hr)$ > 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 $208 \times 0.79 \times 0.59 = 96.9$ > 91.5(kN/m) 軸方向 $190 \times 0.81 \times 0.53 = 81.6$ > 58(kN/m)	縫製部 (軸方向) $150 \times 1 \times 1 = 150(kN/m)$ > 58 (kN/m) 注入口 (周方向) $94 \times 1 \times 1 = 94(kN/m)$ > 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 / $\alpha_a(A(t年)mm) / \alpha_w(250 \times t \text{ hr})$ 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)	拡大しないことを確認済み	

※ : 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-5.1.6 袋材への要求性能と照査の具体例 (2)

性能種類	性能値 (評価指標)	要求性能 設定例	照査結果例	
			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 $O_{95}/d_{60} < 1.0$	A 社 $O_{95}/d_{60} = 0.0485/0.35 = 0.14 < 1.0$	
		ポンプ充填・多少の歩留まり低下を許容する場合 $O_{95}/d_{85} \leq 1.5(d_{60}/d_{10})^{0.3}$ ( $1 < d_{60}/d_{10} \leq 3$ ) $O_{95}/d_{85} \leq 13.5/(d_{60}/d_{10})^{1.7}$ ( $3 < d_{60}/d_{10} \leq 4$ )  $d_{60}=0.35\text{mm}$ $d_{85}=0.4\text{mm}$ $d_{10}=0.15\text{mm}$	B 社 (ポンプ充填・歩留まり低下許容) $O_{95}/d_{85} = 0.585/0.4 = 1.46 < 1.93^{*}$  $*1.5(d_{60}/d_{10})^{0.3} = 1.93$ ( $d_{60}/d_{10} = 0.35/0.15 = 2.3 \leq 3$ )	
環境影響	煮沸試験質量変化	煮沸試験で質量変化が 0.5%未満	0.2% < 0.5%	
	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	

## I-5 サンドパック袋材の性能試験

## &lt;参考&gt;

## ・サンドパックに用いる素材の特徴

繊維は、土木分野の主要素材としては新しく、袋詰め玉石工やマウンド工、補強土として近年利用され始めた。繊維としてはロープ等が土木の現場に古来より存在していたが、本体もしくは施設の一部として用いられるようになったのは最近である。土木分野に用いる繊維素材による構造材料をジオテキスタイルと呼んでいる。ジオテキスタイルや遮水材として用いるジオメンブレン等を含めてジオシンセティクスと総称される。

表 I-5.1.7 代表的な素材の特性

素材	鉄	ポリエステル	ナイロン	ポリプロピレン
融点 °C	1535	260～265	215～220	165～173
軟化点 °C	—	238～240	180	140～160
強度 N/mm <sup>2</sup>	1100	85	84	57
耐薬品性				
・酸	×	○	△	○
・アルカリ	○	○	○	○
・塩	△	○	○	○

## (1) 繊維の構成

サンドパックは、「基布」で構成され、「基布」を構成するものを「繊維」という。さらに、「繊維」は「ストリング」と呼ばれる細い糸（原糸）を撚って構成されている。材料メーカーによって、ストリングの仕入れ段階から行うものや、基布を仕入れ段階から加工するもの等、製品の構造が多種にわたるためにサンドパックメーカーにより生産工程が異なっている。撚り方、編み方によって基布が持つ特性を変化させている。基布の引張り強さは、ストリング（原糸）が有する強さ及び繊維として纏める本数によって決まる。

## (2) 繊維の破損形態

ジオテキスタイル素材は、在来の部材とは異なる損傷形態を有しており、これが計画・設計では適用性を、維持管理では使用限界や補修を考える上で重要な要素となるので、ここで損傷形態について理解した上で以降の項を参照されたい。

まず、繊維のストリングレベルでの破損形態は、表 I-5.1.8 に示す 4 つに絞られると考えられている。ただし、これらが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、そこへ働く引張り力に対し相対的に耐力が低下し「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。

基布とした場合には、ストリングレベルで見られる 4 形態に加えて、織布としたために生じる、突き刺し・引き切り、局部応力の 2 形態が加わる（表 I-5.1.9）。

表 I-5.1.8 ストリングレベルでの損傷形態

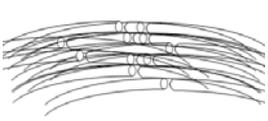
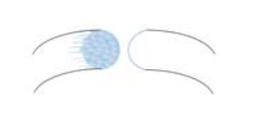
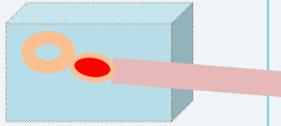
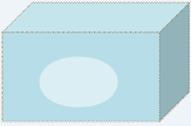
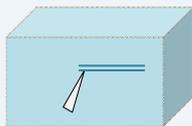
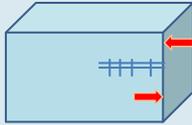
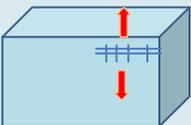
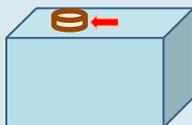
引っ張り	摩耗	せん断	溶断
			
繊維の長手方向に力が加わり破断する現象。	繊維の一部または単糸が削り取るように繊維の切断が進む現象。	繊維に対して垂直またはその他の方向から力が加わり、切断する現象。	繊維に熱が加わり、熔融切断する現象。
ささくれだった状態で鋭利に細くなって切れている。	ささくれだった状態で切れている。	切断面は、形状を崩されていない。	熔融変形した断面となる。

表 I-5.1.9 基布レベルでの損傷メカニズム

<p><b>溶断</b> 炎又は繊維の融点を越えた材料の接触により損傷する。</p> 	<p><b>摩耗</b> 局所的な摩耗により、破断に至る</p> 	<p><b>突き刺し・引き切り</b> 突き刺し孔を開始点とし、引き切り傷が広がる。</p> 
<p><b>せん断・引裂き</b> 異なる軸方向、又は鉛直方向に力が作用し、破断に至る。</p> 	<p><b>引張り</b> 直線上に反対方向の力が作用し、破断に至る。</p> 	<p><b>局部応力</b> 鳩目等 異素材の接続部に応力が集中し、破網が発生する。</p> 

I-5 サンドバック袋材の性能試験

I-5.2 基布の引張強度試験

(1) 概要

サンドバック袋材基布の引張強度を測定するための試験である。

布地基布の試験方法は、日本工業規格 (JIS) 一般織物試験方法 (L1096 8.12 引張強さ及び伸び率 8.12.1 標準時 a) A 法 (ストリップ法) (2004)による方法を準用した方法とする。試験装置を図 I-5.2.1 に示す。試験条件等を表 I-5.2.1 に示す。試験機は、図 I-5.2.1 の左のように垂直に引張する形態となっており、力を加えることによって図中右のように破断する。基布の周方向、軸方向のそれぞれについて試験を実施する。



図 I-5.2.1 引張試験機と試験状況例

表 I-5.2.1 袋材基布の引張強度試験条件 (布地)

試験機	定速伸長形引張試験機
引張速度	50% / min以下
試験片の幅	3cm又は5cm
つかみ間隔	20 cm又は10cm
試験体数	周方向、軸方向それぞれについて実施 各3個以上
結果の表示	1 m幅当りの引張強度 (kN/m)
性能値の設定 (引張強度)	周方向、軸方向それぞれに性能値を設定 性能値は、試験データの最低値を上回らないよう設定すること原則 (kN/m)

網地基布の試験方法は日本工業規格 JIS A 8960 による方法を準用した方法とする。試験条件等を表 I-5.2.2 に示す。周方向、軸方向両方について引張試験を行う。無結節網、結節網、織製網地は、1 本の網地を 20~30cm の間隔でつかみ引張する。ラッセル網地は、1 本 2 節の状態に試験片を切り取り、直径 5~8mm の鋼製フックで引掛けて引張する。

表 I-5.2.2 袋材基布の引張強度試験条件（網地）

試験機	定速伸長形引張試験機
引張速度	20±1 cm / min
試験方法	ラッセル網地は1本2節の状態です直径5～8mmの鋼製フックで引張 無結節網、結節網、織製網地は、1本の網地を20～30cmの間隔でつか み引張
試験体数	周方向、軸方向それぞれについて実施 各5個以上
結果の表示	1 m幅当りの引張強度 (kN/m) ※劣化袋材の場合は、劣化の少ないものだけ選んではならない。破断 している試験体のデータは0kN/mとする。
性能値の設定 (引張強度)	周方向、軸方向それぞれに性能値を設定 性能値は、試験データの最低値を上回らないよう設定すること原則 (kN/m)

(2) 試験結果の整理方法

引張強度試験では、試験片の伸びひずみが大きくなるにつれて引張に必要な荷重は増加する傾向を示すが、ある程度以上の伸びひずみとなると袋材が破断して、この関係が崩れる（図 I-5.2.2）。この時の荷重を読み取って引張強度（引張破断強度とも呼ばれる）とする。破断までの伸びひずみと荷重の関係は直線とはならず、ある一定の伸びひずみを境に傾きが変わることが多いので、試験の結果は引張強度だけでなく、図 I-5.2.2 に示すような伸びひずみと荷重の関係も整理する。伸びひずみはつかみ間隔に対する比率として、荷重は織布の場合には1m幅当たりの荷重に換算して表示する。同じ袋材であっても図 I-5.2.2 のように編み方によっては方向によって伸び特性が異なる場合があるので、必ずサンドバックとなった時の周方向と軸方向の双方について実施し、整理する。

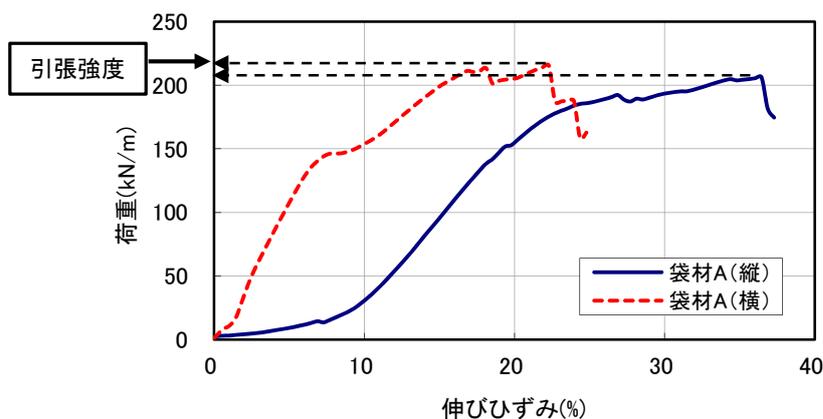


図 I-5.2.2 引張強度試験における試験片のひずみと荷重の関係

I-5 サンドバック袋材の性能試験

試験機によっては、試験片の幅やつかみ間隔が異なる場合があるので、表 I-5.2.3 の例のように試験条件を必ず明記する。試験結果を整理する場合には、引張強度だけでなく、破断時の伸びひずみについても記述するものとし、最大値、最小値、平均値、標準偏差および試験体数を示す（表 I-5.2.4）。

表 I-5.2.3 サンドバック袋材基布の引張強度試験条件の記載例

試験機	定速伸長形引張試験機
引張速度	50%/min
試験片の幅	30mm
つかみ間隔	140mm

表 I-5.2.4 サンドバック袋材基布引張強度試験結果の記載例

	周方向		軸方向	
	引張強度	ひずみ	引張強度	ひずみ
	(kN/m)	(%)	(kN/m)	(%)
平均値	219.25	30.18	212	13.46
最大値	225.73	30.28	217.67	13.8
最小値	210.21	29.03	207.67	12.9
標準偏差	5.88	1.18	4.5	0.55
試験体数	5		5	
性能値	200	—	200	—

(3) 性能値の設定

引張強度性能値は、表 I-5.2.4 に例示するように、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。

解 説

布地基布の引張強度を求める試験方法については、織物及び織編物に関する試験を記した JIS L 1096 を準用することとした。

JIS には湿潤状態（非イオン界面活性剤を 0.05%以下含む水の中に 24 時間以上放置した試験片を用いる）についての試験も規定されているが、施設として常時没水状態となる場合でも化学繊維の場合には強度は変化しないことから、湿潤状態での試験は不要とした。但し、短繊維で構成される天然繊維を用いる場合には湿潤状態についての試験を行う必要がある。

I-5.3 縫製部・注入口等の引張強度試験

(1) 概要

袋材の縫製部の引張強度は、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する。素材によって、この方法によりがたい場合には、JIS に定められた方法からこの標準方法と比較可能な適切なものを選び実施する。

袋材に複数種類の縫製部がある場合には、全ての縫製種類について引張強度試験を実施しなければならない。中詰材をポンプ注入するため、注入口を設けている場合には注入口部についても引張強度試験を実施しなければならない。

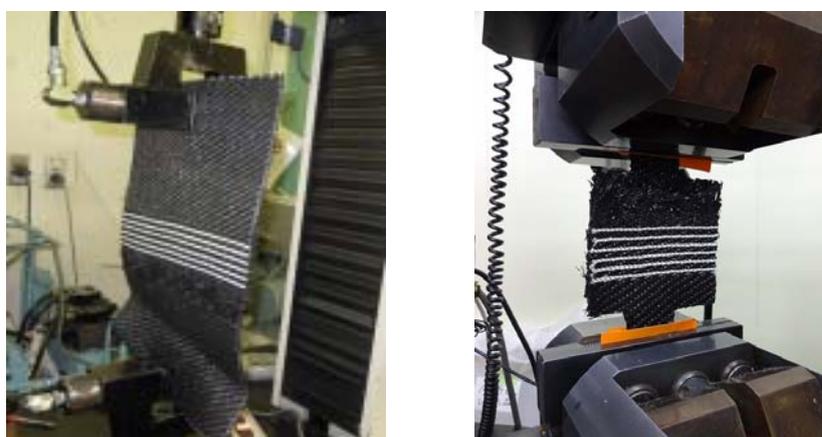


図 I-5.3.1 縫製部の引張強度試験

左：グラブ法（JIS L 1093 A-1）、右：カットストリップ法（JIS L 1096 準用）



図 I-5.3.2 フランジ注入口の引張強度試験例（JIS L1093 A1 法に準拠）

I-5 サンドバック袋材の性能試験

(2) 試験結果の整理

この試験では、引張強度試験と同様に、破断時の張力が得られる (図 I-5.3.3)。糸などによって縫合されている場合には、縫合糸が破断していくたびに荷重のピークが出現するので、袋材の引張強度試験よりも多数のピークが出現する結果となる。これらのピークのうちで最も荷重が高いときのものを引張強度として採用することになる。結果を解釈する際には、縫合・接合した袋材の組み合わせと縫合方法の違いが重要となる。また、カットスリップ法が用いられる場合もあるので、グラブ法とカットスリップ法のどちらを用いたかを必ず表示する (表 I-5.3.1)。

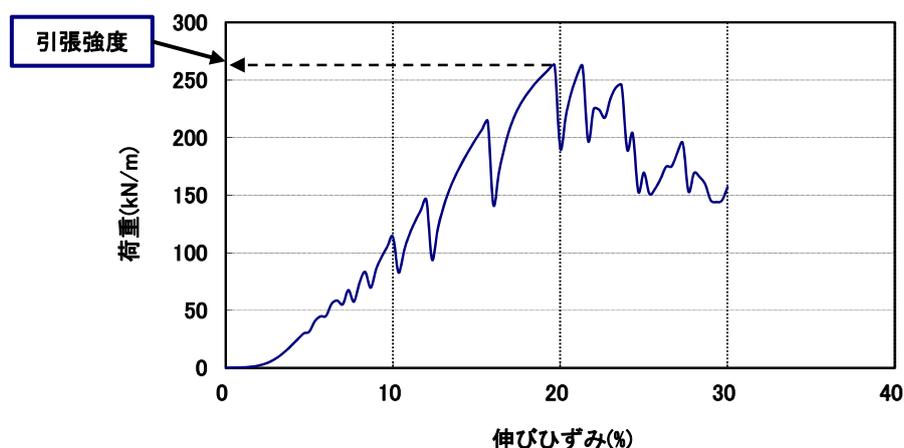


図 I-5.3.3 グラブ法による縫合部の引張強度試験結果の例

表 I-5.3.1 縫製部の引張強度試験の結果の整理例

試験ケース	1	2	3	4	5	6
試験方法	グラブ法	グラブ法	グラブ法	グラブ法	グラブ法	カットスリップ法
縫製する袋材	A-A	E-E	P-P	E-E	P-P	P-P
縫製方法	A縫合法	W加工	ミシン 2本縫製	WW加工	C縫合法	C縫合法
試験体数	3	1	1	1	1	1
引張強度 (kN/m)						
平均	100.5					
最大値	103.4	37	71.1	50	262	170
最小値	98.2					
引張強度性能値 (kN/m)						
性能値	95	37	70	50	260	170
方向	軸方向	周方向	周方向	周方向	軸方向	軸方向

表 I-5.3.2 注入口試験結果整理例

	袋材 A 注入口	袋材 B 注入口
試験方法	グラブ法 (JIS L 1093 A-1法に準拠)	
試験機	定速伸長形引張試験機	
試験速度	27cm / min	
試験片の幅	10 cm	
つかみ間隔	54cm	
つかみ幅	8.5cm	
試験結果	6.0kN/8.5cm	8.0kN/8.5cm
試験結果 (kN/m)	70.4kN/m	94.1kN/m
性能値 (kN/m)	周方向70kN/m 軸方向70kN/m	周方向94kN/m 軸方向94kN/m

## (3) 性能値の設定

引張強度性能値は、表 I-5.3.1、表 I-5.3.2 に例示するように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。試験結果、性能値は周方向、軸方向がわかるように整理することを標準とする。

## 解 説

縫製部の引張強度を求める試験方法については、織物及び織編物の縫製部に関する JIS L 1093 により引張り試験を行うこととした。縫製部の強度試験方法については、他にカットストリップ法があるが、素材によってチャック部分で滑りが生じる場合があることや、織り方や加工等の特性により引張方法の違いで得られる強度が異なることが知られている。なお、カットストリップ法を用いる場合には、縫製部分はグラブ法の幅とする。

I-5 サンドパック袋材の性能試験

I-5.4 気象要因劣化促進試験

(1) 概要、評価フロー

袋材は、供用期間中における気象要因（紫外線暴露や加水分解等）による強度劣化に対して、要求引張強度を保持している必要がある。気象要因劣化性能の評価は図 I-5.4.1 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。

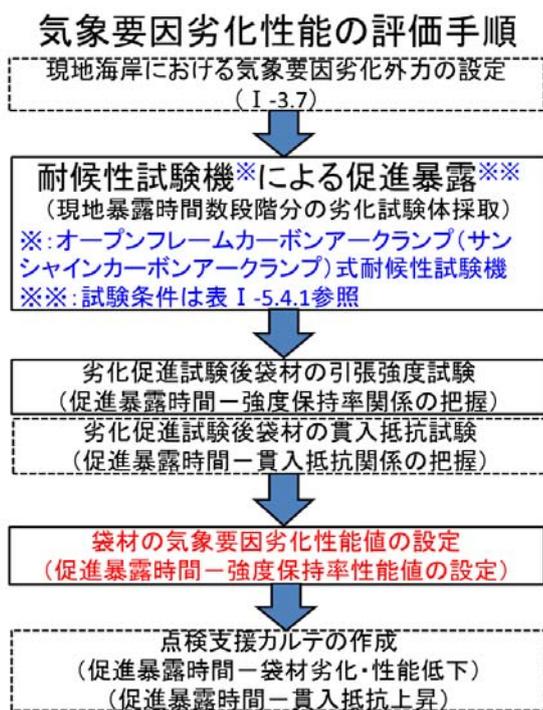


図 I-5.4.1 気象要因劣化の評価の手順

(2) 耐候性試験による促進暴露

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（図 I-5.4.2）に、表 I-5.4.1 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）を施す。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。

袋材を外材と内材の二重で用いるサンドパックの場合には、現場の設置条件と同じように外材と内材を重ねて促進暴露を施し、外材、内材両方について引張強度試験に供することを標準とする。



図 I-5.4.2 耐候性試験機の例

表 I-5.4.1 気象要因劣化性能評価試験の条件

項目	内容	
耐候性試験※の条件 ※：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	パネル温度	63°C±3°C
	照射及び噴霧のサイクル	120分中間の照射後、続いて18分間の照射および噴霧
	噴霧水	試験片に付着物が生じない水で、電気伝導率5μS・cm <sup>-1</sup> 以下、かつ全固形分1ppm以下であることが望ましい。
	試験片寸法	引張試験に必要な試験片サイズを確保する。
	試験時間	目標寿命期間の現地暴露量に相当する促進暴露時間以上について実施
引張強度試験	基布：JISL1096 A法 1つの暴露時間で試験片3つ以上について実施すること標準 縫合部：JISL1093、JISL1096 A法準用 1つの暴露時間で試験片3つ以上実施することが望ましい	
試験結果の整理	促進暴露時間－強度保持率関係図に整理 （すべての試験データを表示し、試験結果のバラツキ・幅、平均値と最低値の外力による低減特性を把握）	
袋材の気象要因劣化性能値（促進暴露時間毎の強度保持率）の設定	促進暴露時間－強度保持率（性能値）関係図作成 （試験結果の最低値を上回ることがないよう、促進暴露時間の増加に対して性能値が増大しないよう設定）	

I-5 サンドバック袋材の性能試験

(3) 引張強度試験と強度保持率の算出

促進劣化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。促進暴露を施した劣化後袋材について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  $\alpha_w(t)$  の試験結果を得る。強度保持率算出に用いる初期引張強度は、性能値ではなく、試験結果の平均値を用いる。

試験結果の整理にあたっては、強度保持率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、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  $\alpha_w(t)$  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。

(4) 性能値の設定

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－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-5.4.3 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ように設定することを標準とする。

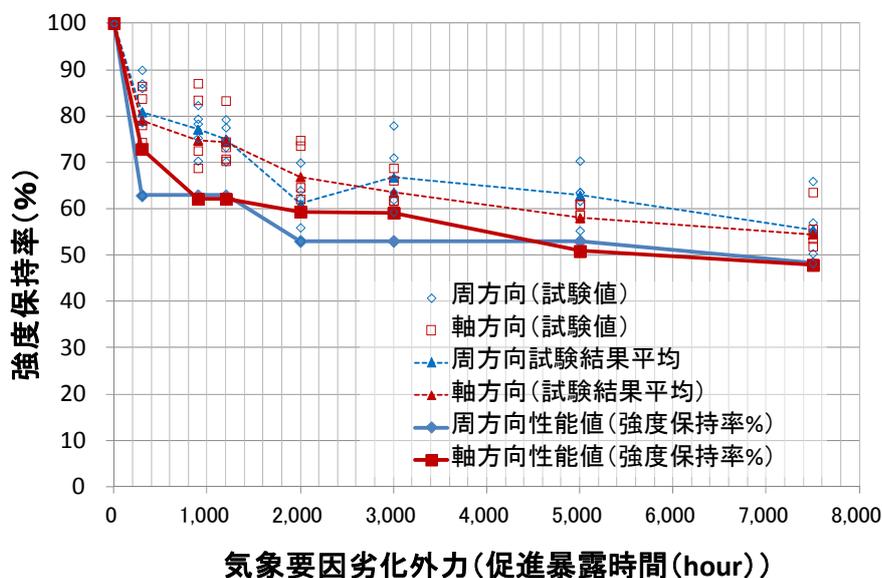


図 I-5.4.3 気象要因劣化促進試験結果からの気象要因劣化性能値の設定例

(5) 点検支援カルテの作成

維持管理段階における点検時に目視等で劣化度合いを把握する手掛かりとするため、各暴露段階における袋材の劣化状況写真と引張強度、強度保持率、貫入抵抗、健全度を整理した点検支援カルテを整備することを推奨する。

## 解 説

## (1) 試験の実施方法

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（本手引では促進劣化 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、促進暴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。促進暴露時間は等間隔にするよりも、暴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。

## (2) 気象要因による袋材強度の劣化

サンドバ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<sup>3)</sup>ことで分子鎖が切断され<sup>3)</sup>、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の劣化の進行速度を決める重要な要素である<sup>4)</sup>。

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-5.4.4）、表 I-5.4.1 に示すとおり水噴射をおこなう試験条件を採用した。

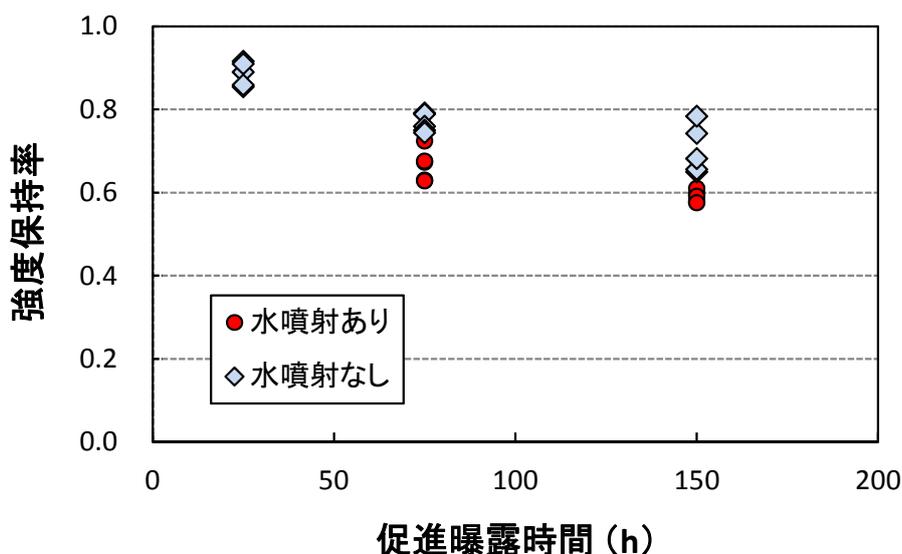


図 I-5.4.4 劣化促進試験における水噴射の有無による劣化状況の違い

I-5 サンドパック袋材の性能試験

(3) 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（図 I-5.4.5、図 I-5.4.6）。

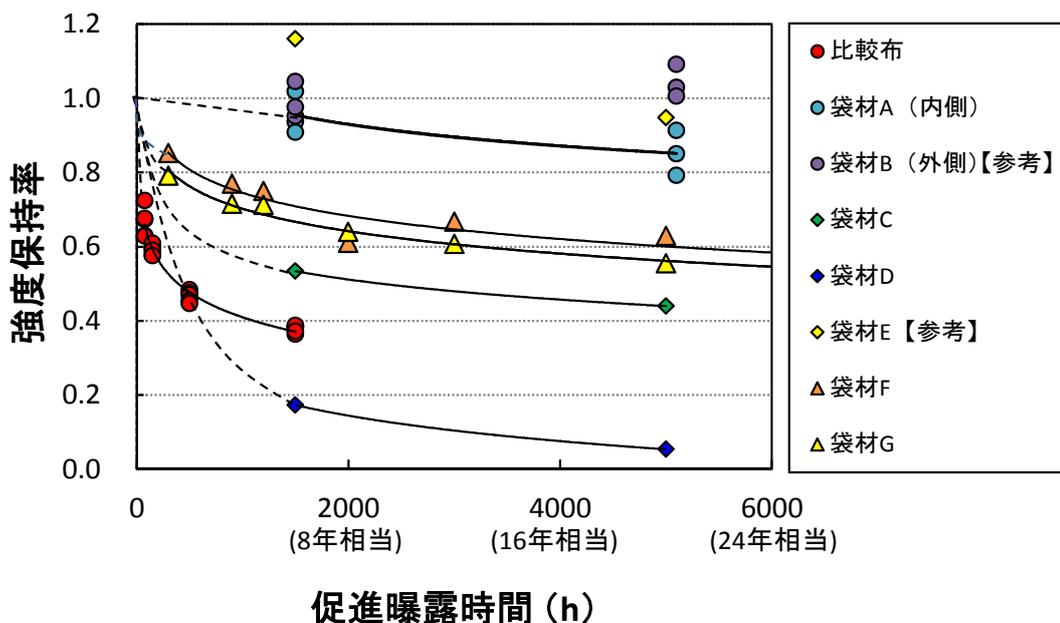


図 I-5.4.5 土木繊維シートの促進曝露結果の例

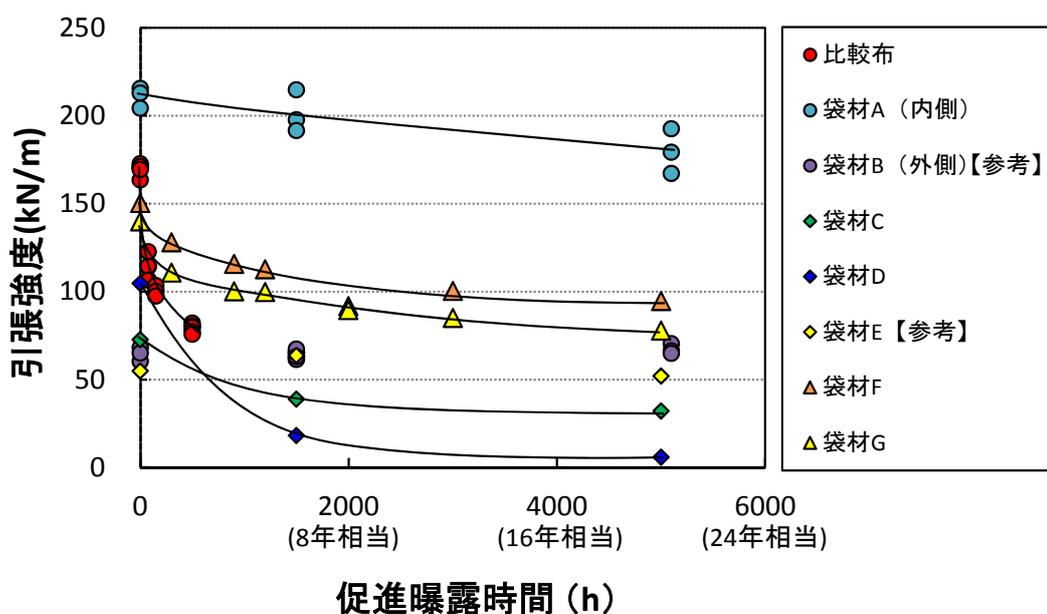


図 I-5.4.6 土木繊維シートの促進曝露結果の例（引張強度で整理）

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-5.4.5** 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-5.4.6** 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、試験体数が少ない試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ため、**図 I-5.4.6** 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。

#### (4) 性能値の設定

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-5.4.3** 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に、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に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、サンドバ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。

#### (5) 点検支援カルテの作成

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。

紫外線による劣化状況を目視で把握することは難しいが(**図 I-5.4.7**)、貫入抵抗試験 (ASTM D 4833-07、**図 I-5.4.8**) 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-5.4.9**)。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。

I-5 サンドパック袋材の性能試験

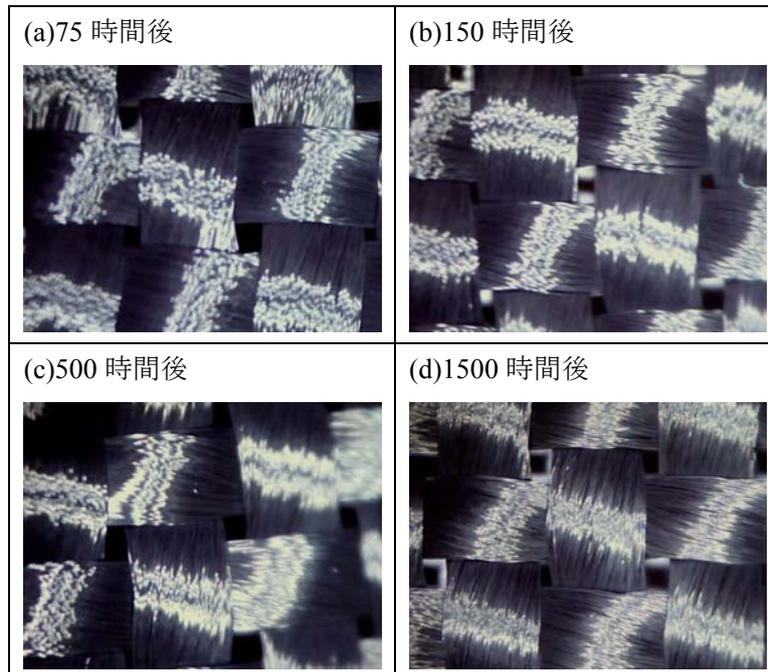


図 I-5.4.7 促進劣化試験後の比較布の表面の状態



図 I-5.4.8 貫入抵抗試験の実施状況

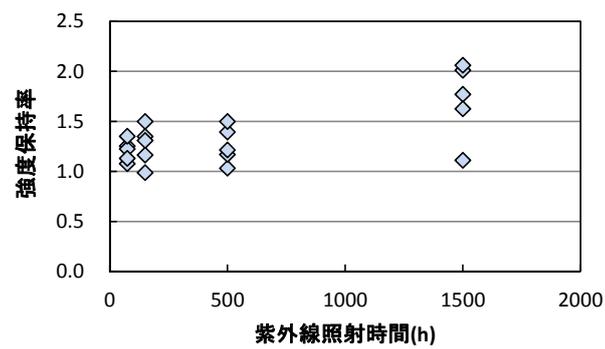


図 I-5.4.9 紫外線照射時間と貫入抵抗の強度保持率の関係

## (6) 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との関係については、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。

## (7) 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-5.4.10）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 JIS A 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-5.4.11 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、JIS B 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/m<sup>2</sup>）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（図 I-5.4.11）。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。

I-5 サンドバック袋材の性能試験



図 I-5.4.10 伊良部島長山の浜における現地曝露試験の状況

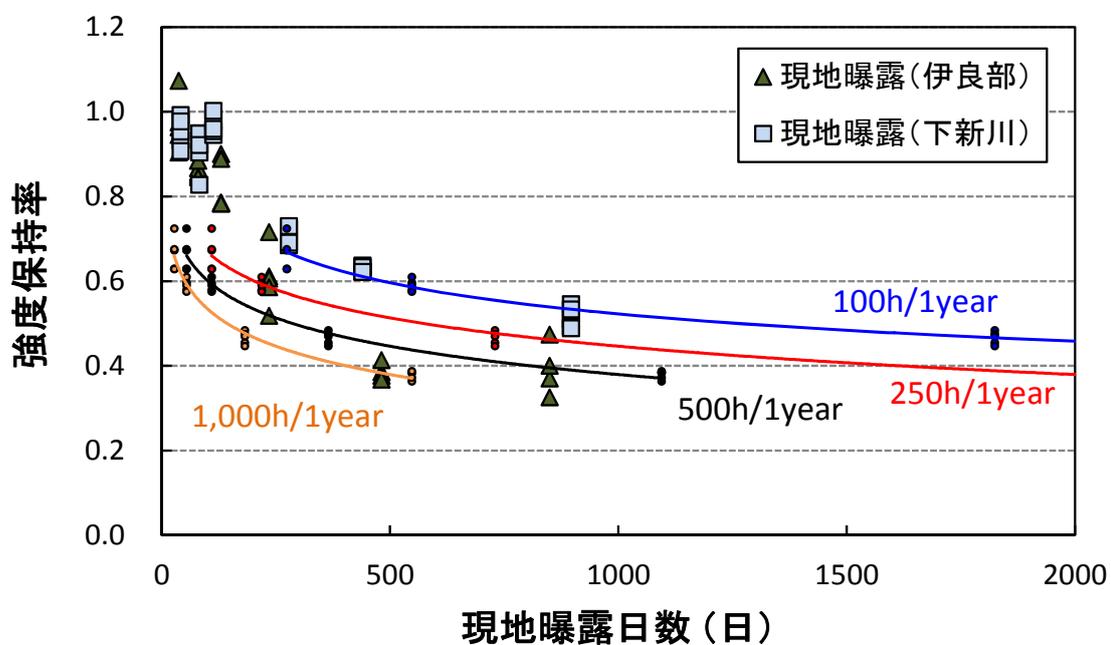


図 I-5.4.11 比較布の現地曝露日数と強度保持率の関係

I-5.5 砂礫の摩耗・衝突に対する摩耗促進試験（回転ドラム型摩耗試験機）

(1) 概要・評価フロー

砂礫による摩耗や衝突による摩耗促進試験は、回転ドラム型摩耗試験機を用いて図 I-5.5.1 の手順で実施して、摩耗劣化外力に対する袋材の強度保持率を把握するものである。回転ドラム型摩耗促進試験機の概要と供試体設置状況の例を図 I-5.5.2 に示す。回転ドラムの中に、試験材と礫材を入れてドラムを回転させ、ドラム内で礫が供試体に衝突することで摩耗が生じる。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を原則とし、礫材を変える時にはコンクリートの摩耗試験を行うことを標準とする。



図 I-5.5.1 回転ドラム型摩耗試験機による袋材の磨耗劣化性能の評価手順



図 I-5.5.2 (a)回転ドラム型試験機, (b)供試体の設置方法

I-5 サンドパック袋材の性能試験

(2) コンクリート摩耗促進試験

袋材の摩耗促進試験に先って、設置対象海岸の礫材を用いてコンクリート供試体の摩耗促進試験を実施する。ドラム内にコンクリート供試体をセットし、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。図 I-5.5.3 にコンクリート供試体の摩耗例を示す。5 種類程度のドラム回転数で試験をおこない、それぞれの時のコンクリート供試体の摩耗量を計測して、ドラム回転数と摩耗劣化外力（コンクリート摩耗量）の関係を整理する（図 I-5.5.4、図 I-5.5.5）。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。



図 I-5.5.3 回転ドラム型試験機によるコンクリートの摩耗状況

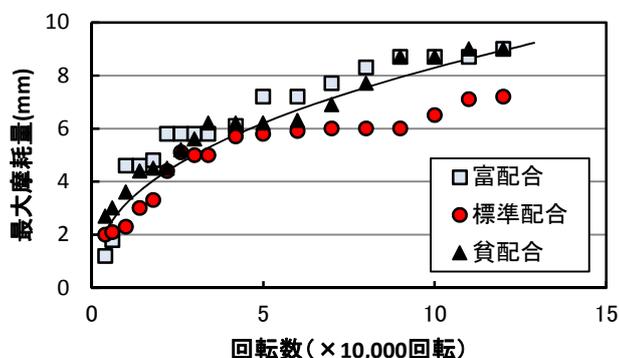


図 I-5.5.4 ドラムの回転数とコンクリート供試体の最大摩耗量の関係<sup>5)</sup>

(3) 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。袋材を外材と内材の二重で用いるサンドパックの場合には、現場の設置条件と同じように外材と内材を重ねて促進暴露を施し、外材、内材両方について引張強度試験に供することを標準とする。

この試験では、礫海岸にサンドバックを設置した場合に袋材が摩耗、破損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（図 I-5.5.5）。袋材が強度低下を起こしているときには表面に図 I-5.5.5 の 4,000 回転で示すような毛羽立ち等の兆候があらわれるので、これら劣化の兆候の発生を現場の点検で発見できれば、健全度の低下を早期に把握することができる。予備試験のデータは、本試験の結果と合わせて図 I-5.5.5 に示す点検支援カルテ作成の材料とする。

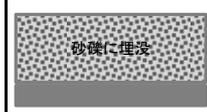
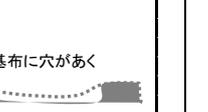
点検支援カルテ(摩耗劣化 回転ドラム試験 比較布)					
コンクリート 摩耗量	—	0mm	2.2mm	4.6mm	5.7mm
ドラム回転数	—	0	4,000	25,000	40,000
引張強度(平均値)(kN/m)	169kN/m	169kN/m	48.8kN/m	1.2kN/m	0kN/m
強度保持率(平均値)	100%	100%	29%	0.70%	0%
状況	砂礫に埋没している	基布が露出	基布に毛羽立ちが見え始める	基布が毛羽立ち、厚さが減少している	基布が破損
基布の厚さ 写真	—				
劣化状況 イメージ					
判定	D(異常無し)	B(重点監視)	A(要対策)	A(要対策)	A(要対策)

図 I-5.5.5 回転ドラム型摩耗試験結果からの点検支援カルテ作成例

(4) 本試験、引張強度試験

本試験は、摩耗させていないコンクリート供試体（φ15cm, L=30cm）にサンドバ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、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）を含め、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 5 検体分の試験を実施することを推奨する。袋材を外材と内材の二重で用いるサンドバックの場合には、現場の設置条件と同じように外材と内材を重ねて促進暴露を施し、外材、内材両方について引張強度試験に供することを標準とする。

各段階の摩耗劣化外力（ドラム回転数）を施した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  $\alpha_a(t)$  を算出する。強度保持率の算出に用いる初期強度は、性能値ではなく、強度試験結果の平均値を用いることを標準とする。

I-5 サンドバック袋材の性能試験

摩耗促進試験をおこなった後の袋材の表面についての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ため、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 つの試験体から 1 検体、全部で 5 検体について実施することが望ましい。

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、全検体の試験データを摩耗劣化外力（コンクリート摩耗量）－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  $\alpha_a(t)$  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。

(5) 摩耗劣化性能値の設定

性能値は、図 I-5.5.6 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、摩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ように設定することを標準とする。

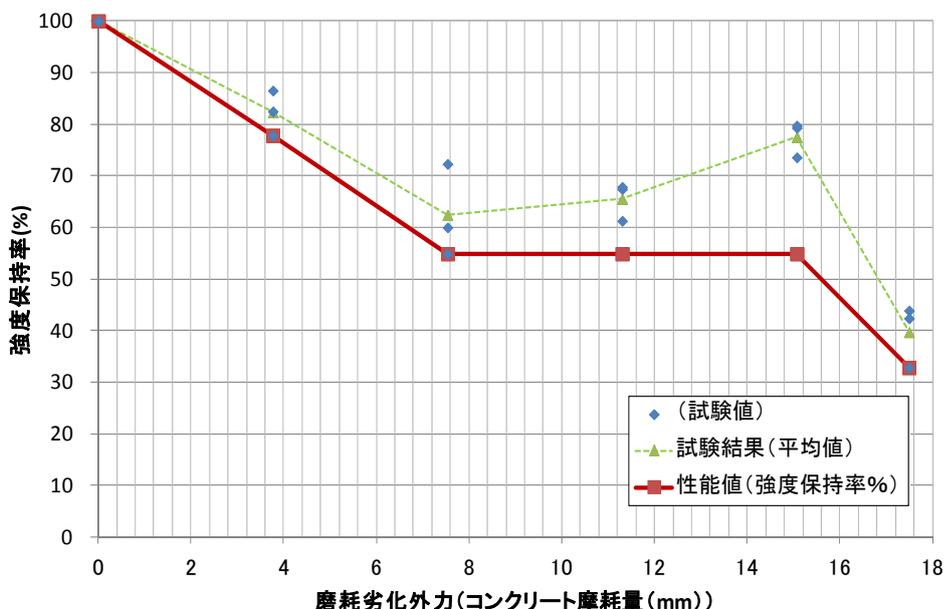


図 I-5.5.6 回転ドラム型摩耗試験機による試験結果からの磨耗劣化性能の設定例

(6) 点検支援カルテの作成

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、摩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劣化状況の関係を図 I-5.5.5 に例示する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) 回転ドラム型摩耗試験機の概要

回転ドラム型摩耗試験機は図 I-5.5.2(a) のような装置であり、ドラム内には図 I-5.5.2(b) 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、通常は現地の砂礫だけを入れて試験をする。

## (2) コンクリート供試体の摩耗促進試験

コンクリート摩耗促進試験に使用する供試体は、直径 15cm、長さ 30cm の円柱供試体であり、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、それぞれの時の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-5.5.3、図 I-5.5.4)。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-5.5.4)。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(5.5.1)式および(5.5.2)式を用いたほうが良い<sup>5)</sup>。

$$y_{abr} = ax_{rot}^b \quad (5.5.1)$$

$$x_{rot} = \left( \frac{A}{a} \right)^{1/b} x_{year}^{1/b} \quad (5.5.2)$$

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 (=  $y_{abr} / x_{year}$ )

$a, b$  : 定数

## (3) サンドバ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 ( $\phi$  15cm, L=30cm) にサンドバックの試験袋材を巻き付け、

## I-5 サンドパック袋材の性能試験

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、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）を含め、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、各回転数につき引張強度試験 5 検体分の試験を実施することを推奨する。袋材を外材と内材の二重で用いるサンドパックの場合には、現場の設置条件と同じように外材と内材を重ねて促進暴露を施す。

## (4) 摩耗促進後の袋材基布の引張強度試験、強度保持率の算出・整理

摩耗促進試験をおこなった後の袋材の表面についての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ため、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 つの試験袋材から 1 検体、全部で 5 検体について実施することが望ましい。検体は円柱の周方向に引張試験を行うよう作成する。1 つの試験袋材から検体を作成する場合には、最も劣化が進んでいる部分を含むよう作成しなければならない。袋材を外材と内材の二重で用いるサンドパックの場合には、現場の設置条件と同じように外材と内材を重ねて促進暴露を施し、外材と内材それぞれから検体を作成する。

引張強度試験によって得られた劣化後引張強度を初期引張強度で割り、強度保持率を算出する。強度保持率の算出に用いる初期強度を性能値ではなく平均値としたのは、劣化特性を客観的に把握するためには最小値で整理した性能値ではなく平均値が適切と考えたからである。引張強度及び強度保持率は全検体について算出し、整理する。摩耗劣化外力（コンクリート摩耗量）－引張強度関係図、摩耗劣化外力（コンクリート摩耗量）－強度保持率関係図を、全ての検体のデータ、平均値、最小値、最大値についてプロットする。

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(5.5.1)および式(5.5.2)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-5.5.7）<sup>5)</sup>。

なお、式(5.5.1)および式(5.5.2)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ため、この実験で使用された海浜材料  $D_{50}=13\text{mm}$  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。

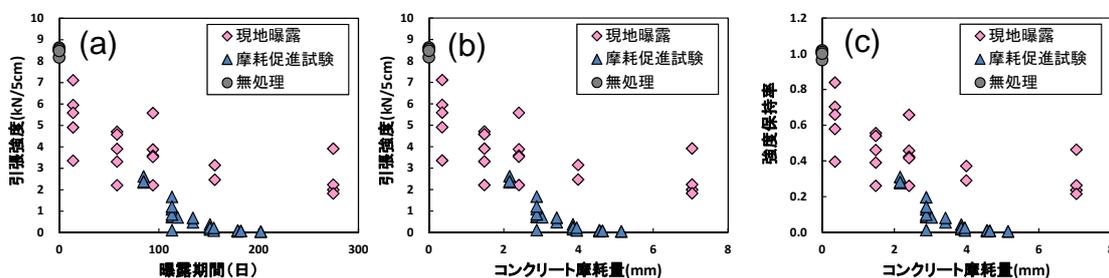


図 I-5.5.7 現地曝露試験と摩耗促進試験の結果の対応関係<sup>5)</sup>

- (a) 現地曝露日数に換算した場合
- (b) 現地における摩耗作用（コンクリート摩耗量に換算した場合）
- (c) 劣化状況を強度保持率で表した場合

(6) 性能値の設定

性能値は強度保持率で設定する。図 I-5.5.6 に示すように、摩耗劣化外力—強度保持率関係図から、強度保持率データの最小値を包絡し、摩耗劣化外力が増大した場合に性能が上昇することがないように設定する。

(7) 点検支援カルテの作成

点検支援カルテには、図 I-5.5.5 に示すように、摩耗劣化外力（コンクリート摩耗量）、ドラム回転数、引張強度、強度保持率、劣化状況の特徴、劣化後の基布厚さ、劣化状況写真、基布の劣化イメージ図、健全度指標の判定を記載する。繊維の専門家でない管理者が点検することを念頭に、劣化の特徴・状態をわかりやすく示す。図 I-5.5.5 には、引張強度、強度保持率が平均値で示されているが、性能値で記載することを標準とする。

I-5 サンドバック袋材の性能試験

I-5.6 砂の摩耗に対する劣化促進試験（ウォータージェット式摩耗促進試験）

(1) 概要、評価フロー

砂海岸における砂による摩耗に対して、袋材の砂の摩耗による劣化後の引張強度保持率を調べるための促進試験である。ウォータージェット式摩耗促進試験によるサンドバック袋材の磨耗劣化性能の評価手順を図 I-5.6.1 に示す。

試験状況、試験装置の概要・機器構成、条件等を図 I-5.6.2、図 I-5.6.3、表 I-5.6.1 に示す。本装置は、ウォータージェットによって水とともに砂を試験材料に噴射し、摩耗劣化を促進させる試験である。



図 I-5.6.1 ウォータージェット式摩耗促進試験による磨耗劣化性能評価手順

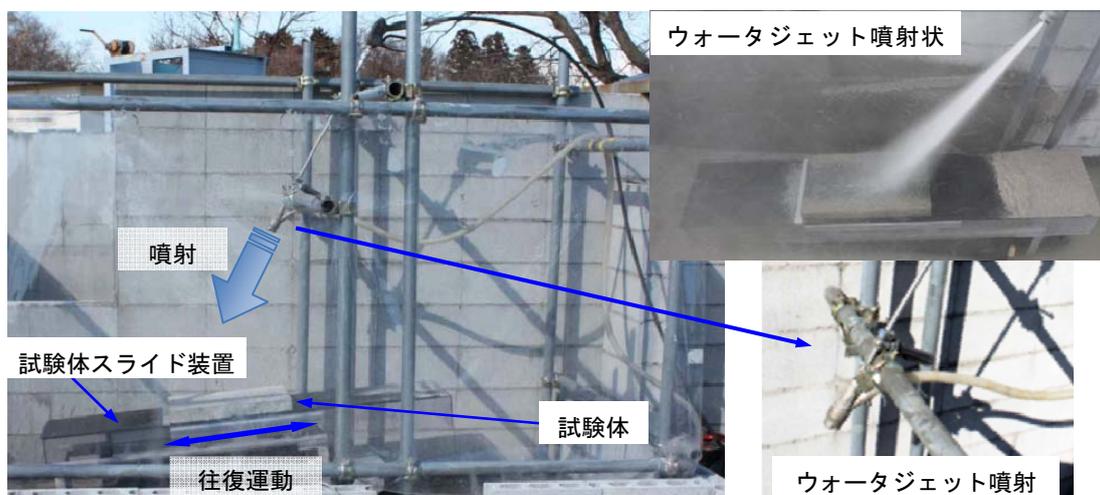


図 I-5.6.2 ウォータージェット式摩耗促進試験装置 試験状況

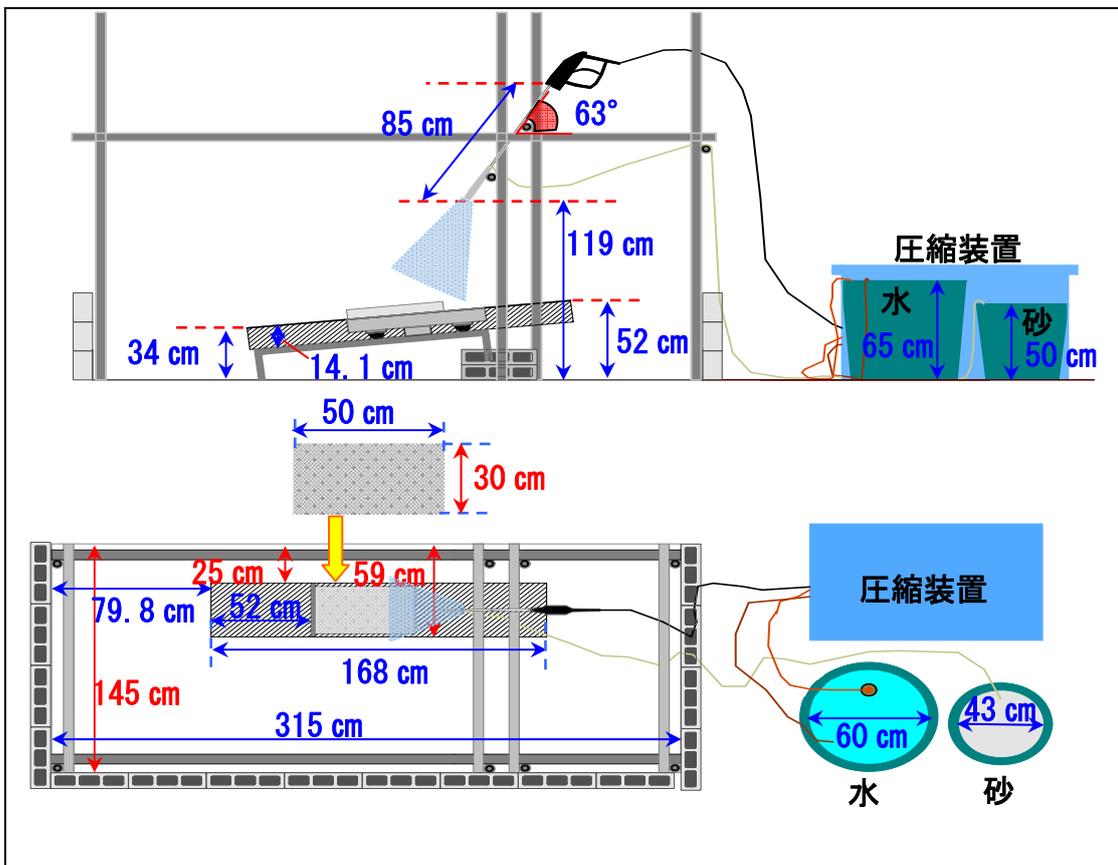


図 I-5.6.3 ウォータージェット式摩耗促進試験装置 概要

表 I-5.6.1 ウォータージェット式摩耗促進試験装置の諸元

ウォータージェット	高さ	床面から119cm
	噴射角度	63cm (コンクリート面から70cm)
	噴射量	水：16ℓ/分、砂（珪砂5号 $d_m=0.5\text{mm}$ ）1.67kg/分 ノズルの状態によって変化する。
スライド装置	台の勾配	6°
	スライド時間	1往復あたり16.5秒=3cm/秒
その他	スライド装置の水位を沈砂池としてブロック囲む 摩耗促進試験機の周囲を透明なシートで囲む 作業の効率性、スライド装置の動作を考慮して、装置などの配置を行う。	

## I-5 サンドバック袋材の性能試験

## (3) コンクリート磨耗促進試験

試験に際しては、50cm×30cm×5or8cm の直方体のコンクリート供試体を用いてコンクリートの磨耗試験を行う。コンクリート供試体の磨耗は、ウォータージェットがあたる部分を中心に進行するので、計測した磨耗量の最大値をコンクリート磨耗量とする。試験結果から、**図 I-5.6.4** に例示する噴射継続時間－磨耗劣化外力(コンクリート磨耗量)の関係図を整理することを必須とする。**図 I-5.6.4** に示すように、ウォータージェット式磨耗促進試験は試験時のノズルの磨耗状況等でコンクリート磨耗速度(コンクリート磨耗量/ウォータージェット噴射継続時間)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。

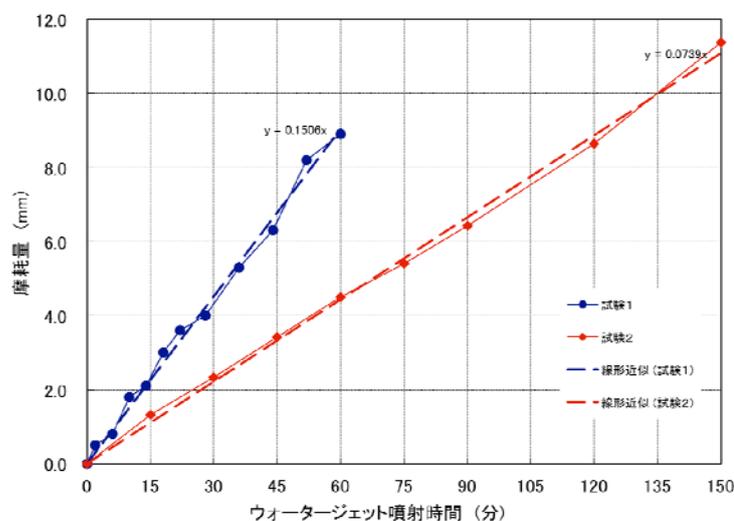


図 I-5.6.4 ウォータージェット噴射継続時間とコンクリート磨耗量の関係整理例

## (4) 予備試験

次に試験を行う袋材を用いて予備試験を行い、袋材が破損する磨耗劣化外力(コンクリート磨耗量)を把握する。袋材は**図 I-5.6.5** に示すようにコンクリート供試体に巻き付けて設置する。袋材を外材と内材の二重で用いるサンドバックの場合には、現場の設置条件と同じように外材と内材を重ねて促進暴露を施し、外材、内材両方について引張強度試験に供することを標準とする。予備試験の際に、ウォータージェットの噴射を時々止めて、袋材の劣化・変状の状況を観察し、写真撮影等することを推奨する。

## (5) 本試験

本試験は、I-3.6 で設定する目標寿命相当の磨耗劣化外力(目標寿命期間に予想されるコンクリート磨耗量)を含む複数段階の磨耗劣化外力(コンクリート磨耗量)に相当する噴射継続時間について磨耗劣化促進試験を行う。袋材を外材と内材の二重で用いるサンドバックの場合には、現場の設置条件と同じように外材と内材を重ねて促進暴露を施し、外材、内材両方について引張強度試験に供することを標準とする。予備実験で把握した袋材の破損外力まで試験を実施し、袋材の破損ま

での摩耗劣化特性を把握することを推奨する。

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  $\alpha_a(t)$  を算出する。試験は摩耗劣化外力（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  $\alpha_a(t)$  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。



図 I-5.6.5 袋材の試験状況例

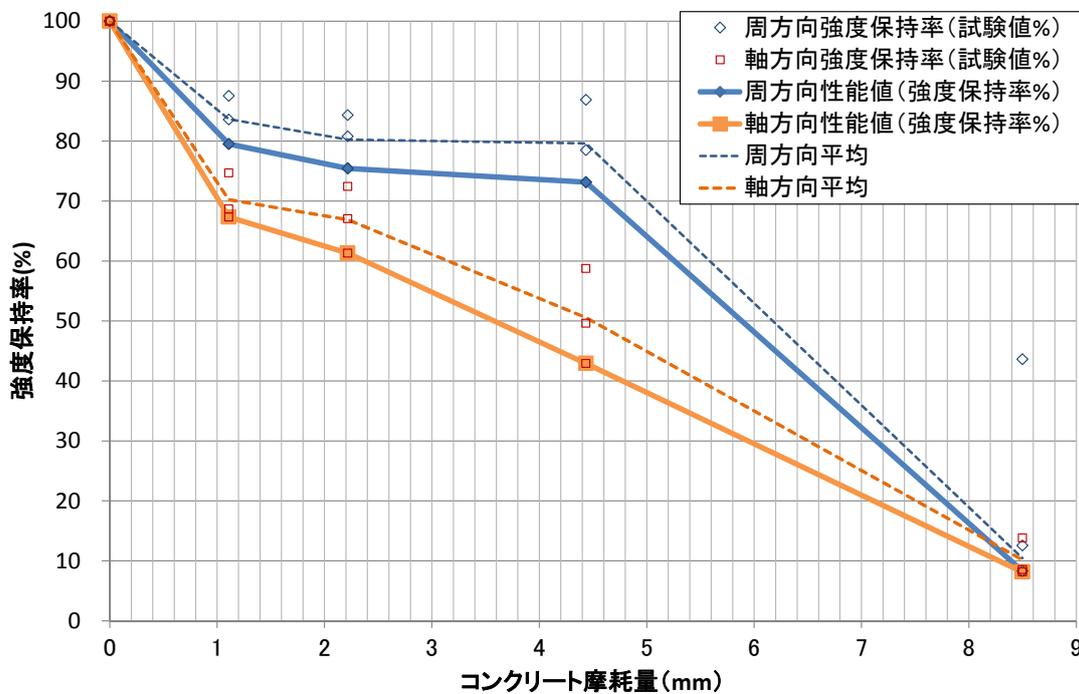


図 I-5.6.6 ウォータージェット式摩耗促進試験結果からの摩耗劣化性能値の設定例

I-5 サンドパック袋材の性能試験

(6) 性能値の設定

摩耗劣化外力に対する袋材の摩耗劣化性能値（強度保持率）は、図 I-5.6.6 の設定例に示すように引張強度試験データの最低値を上回らないよう、摩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ように設定することを標準とする。

(7) 点検支援カルテの作成

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、摩耗劣化促進試験結果から得られる摩耗劣化外力・強度保持率と袋材摩耗状況の関係を図 I-5.6.7 に例示する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摩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。

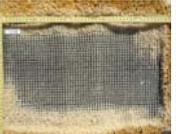
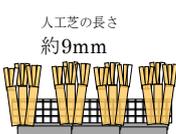
点検支援カルテ(摩耗劣化)						
コンクリート 摩耗量	—	0mm	1.1mm	2.2mm	4.4mm	8.5mm
引張強度(平均値)(kN/m)	軸方向149kN/m 周方向157kN/m	軸方向149kN/m 周方向157kN/m	軸方向105kN/m 周方向131kN/m	軸方向100kN/m 周方向126kN/m	軸方向75kN/m 周方向125kN/m	軸方向15kN/m 周方向34kN/m
強度保持率(平均値)	周方向・軸方向100%	周方向・軸方向100%	軸方向70%, 周方向84%	軸方向67%, 周方向80%	軸方向50%, 周方向80%	軸方向10%, 周方向21%
状況	砂に埋没している	砂に埋没していた基布が露出してくる。	摩耗により人工芝が細くなってくる。	人工芝がとところろ割れて短くなっている	人工芝の密度が小さくなっている箇所が確認される	人工芝が削られ、基盤布材がむき出しになる
人工芝の長さ	約20mm	約20mm	約15mm	約9mm	約5mm	約2mm
写真	—					
劣化状況イメージ						
判定	D(異常無し)	C(重点点検)	B(重点監視)	B(重点監視)	A(要対策)	A(要対策)

図 I-5.6.7 ウォータージェット式摩耗促進試験結果からの点検支援カルテの作成例

解 説

(1) 試験の概要

本試験は、I-5.5 で示した回転ドラム型摩耗試験機において、投入材料として砂を用いた場合にコンクリートの有意な摩耗が生じなかったことから新たに開発された試験方法である。

この試験装置は、図 I-5.6.2、図 I-5.6.5 に示すように、水噴流とともに珪砂を吹き付けるウォータージェットにより摩耗を促進させる試験である。波浪とともにコンクリートや袋材に衝突する砂の挙動に近付けるため、砂を含んだ噴流を試験体へ吹き付けることにより摩耗を促進する。

(2) 試験装置の構成・噴射材料

試験装置は、図 I-5.6.3 に示すように、ウォータージェットを噴出させるための圧縮装置、噴出水の貯水槽、混入砂の貯砂槽、チタン製ノズルとそれらを結合するチューブから構成されている。機器等の諸元は表 I-5.6.1 に示す。ウォータージェットに混入する砂は中央粒径 0.5mm の珪砂を用いている。

(3) コンクリート摩耗促進試験

コンクリートの摩耗試験は現地のコンクリート摩耗量と本試験の結果を結びつける上で重要である。幅 50cm、長さ 30cm、厚さ 5cm と 8cm のコンクリート供試体を製作し、水中養生する。コンクリートは水中養生期間が 28 日の標準強度のコンクリートとした。コンクリート試験体の配合は、以下の通りとしている。

コンクリートの種類	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大粒径	セメントの種類
普通ポルトランド	27	15	20	BB

コンクリート摩耗促進試験は、摩耗量が I-3.7 で設定する目標寿命期間にサンドパック設置場所で生じる磨耗劣化外力（コンクリート摩耗量）以上を上限に実施することが望ましい。コンクリート摩耗量の計測は、上限まで数段階で実施する。コンクリート摩耗量計測時までのウォータージェット噴射継続時間を整理しておく。コンクリート摩耗量の計測は、図 I-5.6.8 に示すように縦方向中心線と横方向 4 測線に沿って図 I-5.6.9、図 I-5.6.10 に例示する器具等を用いて測定する。なお、横方向測線は確認用で噴射継続時間とコンクリート摩耗量の関係の把握には用いない。コンクリート摩耗量は、計測最大値を採用する。

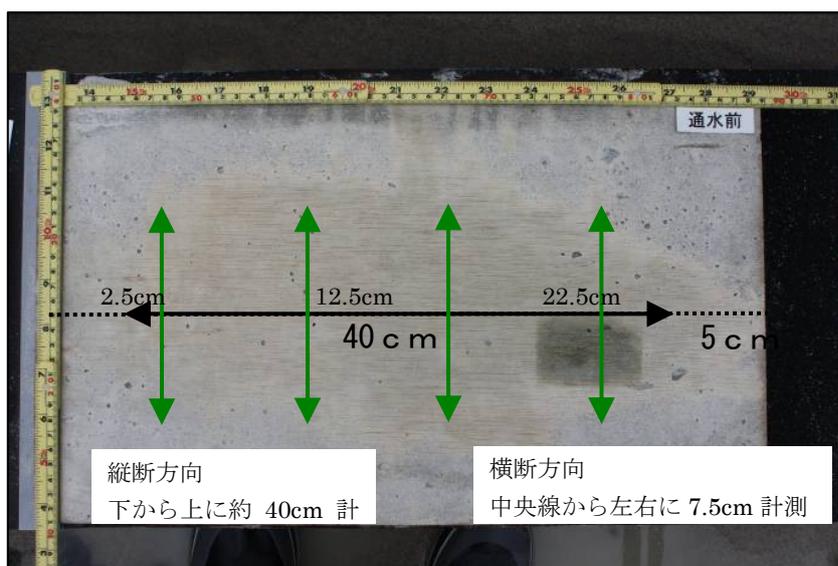


図 I-5.6.8 コンクリート試験体の摩耗量測線

## I-5 サンドパック袋材の性能試験



図 I-5.6.9 測定器具と摩耗量の取得



図 I-5.6.10 摩耗量の計測

数段階の計測結果から図 I-5.6.4 に例示するウォータージェット噴射継続時間とコンクリート摩耗量の関係図に整理する。図で赤線で表示された試験 1 は国総研が実施した比較布の試験時のコンクリート摩耗促進試験結果である。青線は共同研究各社の袋材についての試験を実施する際に得られた結果である。これらの直線の傾きは大きく異なっている。これは、ウォータージェットのノズルの状態の違いによるもので、ノズルを珪砂が削ることによって生じる。このことから、試験装置セッティング時、ウォータージェット噴射が長期間に及ぶ場合には定期的にコンクリート摩耗試験を実施して噴射時間-コンクリート摩耗量関係式を校正する必要がある。

## (4) 予備試験

ウォータージェット式摩耗促進試験では、ウォータージェットの噴射方向が波の遡上方向と想定しているため、試験袋材は、サンドパック完成時に波があたる方向に噴射方向が合うよう供試体にまきつけて設置する。現場では、波が横方向からも入射し、岸沖方向にも沿岸方向にも遡上すると考えられるので、袋材の周方向と軸方向の両方について試験を行うことを標準とする。試験袋材はよれや移動を防ぐためにコンクリート試験体に巻き付けて固定できる大きさとする。サンドパックが内材と外材の二重の袋材で構成される場合には、現場で設置される場合と同様の重ね合わせで供試体に設置して摩耗促進を施す。

摩耗促進を施し、一定のコンクリート摩耗量毎にウォータージェットを止めて袋材の劣化状況を観察し、写真を撮影するとともに特徴を記録する。これらは、本試験結果と合わせて点検支援カルテ作成の材料となる。

サンドパックが内材と外材の二重の袋材で構成される場合には、維持管理計画の材料とするため、外材破損の摩耗劣化外力だけでなく、内材破損に至るまで予備試験を行うことが望ましい。

## (5) 本試験

予備試験で把握した袋材が破損する摩耗劣化外力（コンクリート摩耗量）を上限に、I-3.7 で設定する目標寿命期間に袋材が受ける摩耗劣化外力（コンクリート摩耗量）を含むよう数段階のコンクリート摩耗量を設定し、袋材に各段階の摩耗劣化を施す。各段階のコンクリート摩耗量につきそれぞれ

袋材を用意する。試験データ数を増やすためには、各段階で複数の袋材について試験を行うことが望ましい。サンドバックが内材と外材の二重の袋材で構成される場合には、実際に設置される場合と同様の重ね合わせでセットして磨耗促進を施す。

(6) 引張強度試験

磨耗促進を施した試験袋材から引張強度試験を行うための検体を作成する。検体は、ウォータージェット噴射方向と直角方向に引張強度を測定するよう作成し、1つの試験袋材から3つ以上作成する。サンドバックが内材と外材の二重の袋材で構成される場合には、内材と外材それぞれに検体を作成する。

各検体の引張強度試験を行い劣化後の引張強度を求める。各磨耗劣化外力（コンクリート磨耗量）に対してデータが3つ以上確保できるように試験を行う。劣化後引っ張り強度を初期強度で除して強度保持率を求める。強度保持率を求める際の初期強度は、性能値ではなく試験結果の平均値を用いる。サンドバックが内材と外材の二重の袋材で構成される場合には、内材と外材それぞれについて劣化後強度、強度保持率が得られることになる。

(7) 試験結果の整理

試験結果から、コンクリート磨耗量－引張強度図、コンクリート磨耗量－強度保持率図を作成する。図 I-5.6.11 は比較布と共同研究で開発された袋材について、磨耗劣化外力（コンクリート磨耗量）－強度保持率（平均値）を作成し比較したものである。サンドバック袋材は比較布より強いことがわかる。図 I-5.6.11 は強度保持率の平均値で整理しているが、袋材の磨耗劣化性能設定の検討を行うためには、平均値だけでなく、試験データ全てあるいは試験データの最大値と最小値を合せてプロットした図（図 I-5.6.6 に例示）を作成しなければならない。

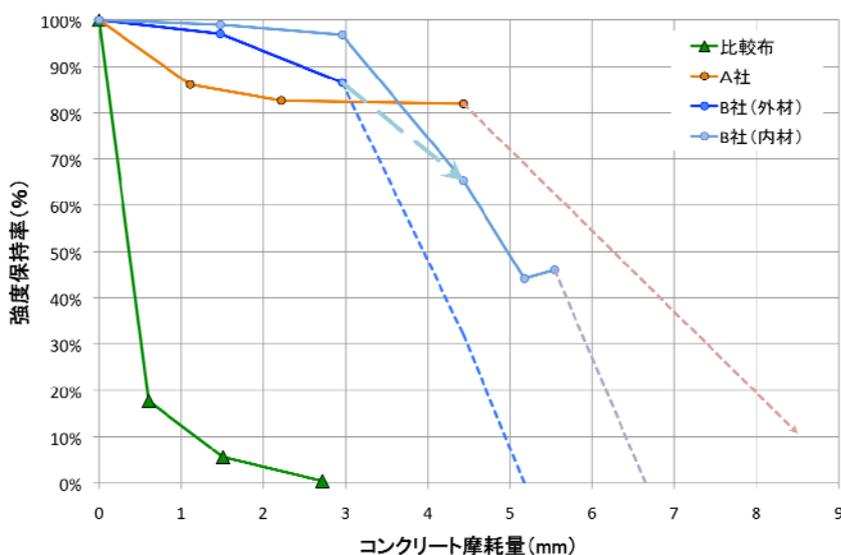


図 I-5.6.11 コンクリート磨耗量と袋材引張強度残存率の関係

I-5 サンドバック袋材の性能試験

(8) 性能値の設定

袋材の磨耗劣化性能値（磨耗劣化外力に対する強度保持率）は、性能の過大評価を防止するため、**図 I-5.6.6** の設定例に示すように引張強度試験データ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ように設定する。

## I-5.7 損傷拡大抵抗性試験

## (1) 試験概要

サンドバックに使用する袋材がナイフ等の刃物による人為的切創、先鋭漂流物による損傷、たき火・花火等による損傷が生じた場合でも、損傷の拡大が進行しない性能を確認する試験である。試験は、表 I-5.7.1 の試験条件、図 I-5.7.1 の試験片作成例に示すとおり、250mm 幅の基布試験片につかみ具幅の 10% の切り口を設け、グラブ法により張力を 30 分間与えた条件で損傷の拡大状況を確認する。試験片に加える張力は、供用後の常時状態に袋材に作用する張力に、目標寿命期間内に想定される気象要因及び摩耗による強度保持率で割り戻して大きくした張力とする。供用後常時状態の張力には波浪や地形変化追従に伴う割増は行わない。試験状況の例を図 I-5.7.2、図 I-5.7.3 に示す。

表 I-5.7.1 試験条件

項目	内容
つかみ間隔	200mm
試験片幅	250mm
つかみ具幅	使用試験機つかみ具幅 (mm)
損傷部長さ	つかみ具幅 (mm) × 10%
定荷重条件	供用時張力 (kN/m) × つかみ具幅 (mm) / 1000mm / 強度保持率 (%)
試験時間	30min
試験結果 (合格基準)	試験前損傷部長 = 試験後損傷部長

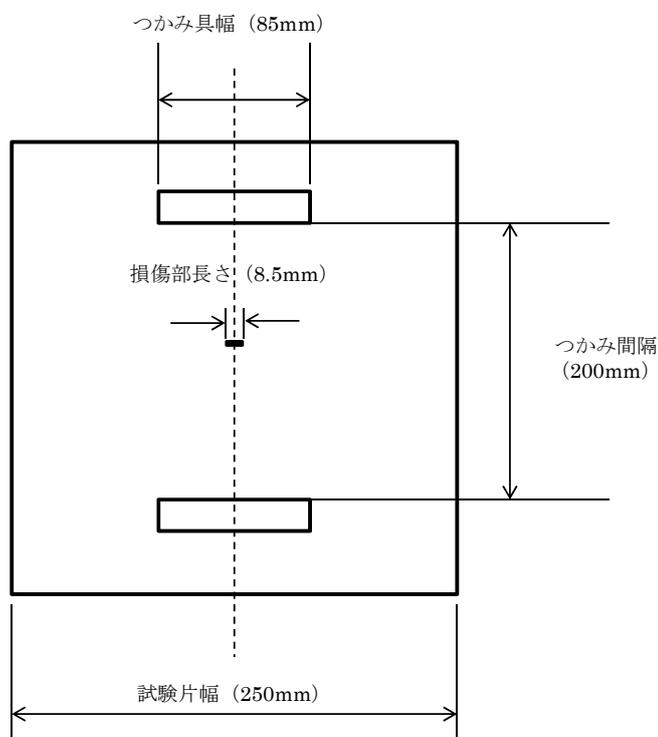


図 I-5.7.1 試験片作成例

I-5 サンドバック袋材の性能試験



図 I-5.7.2 試験状況

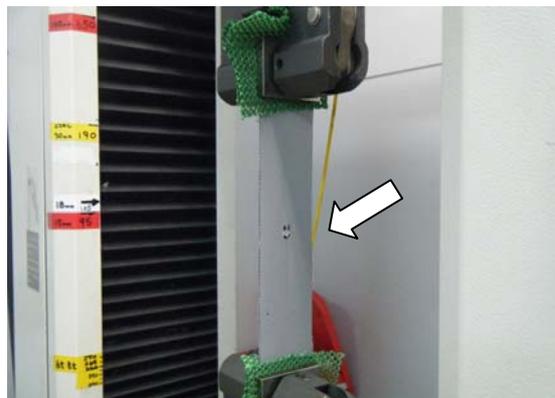


図 I-5.7.3 試験中の損傷部の広がり状況

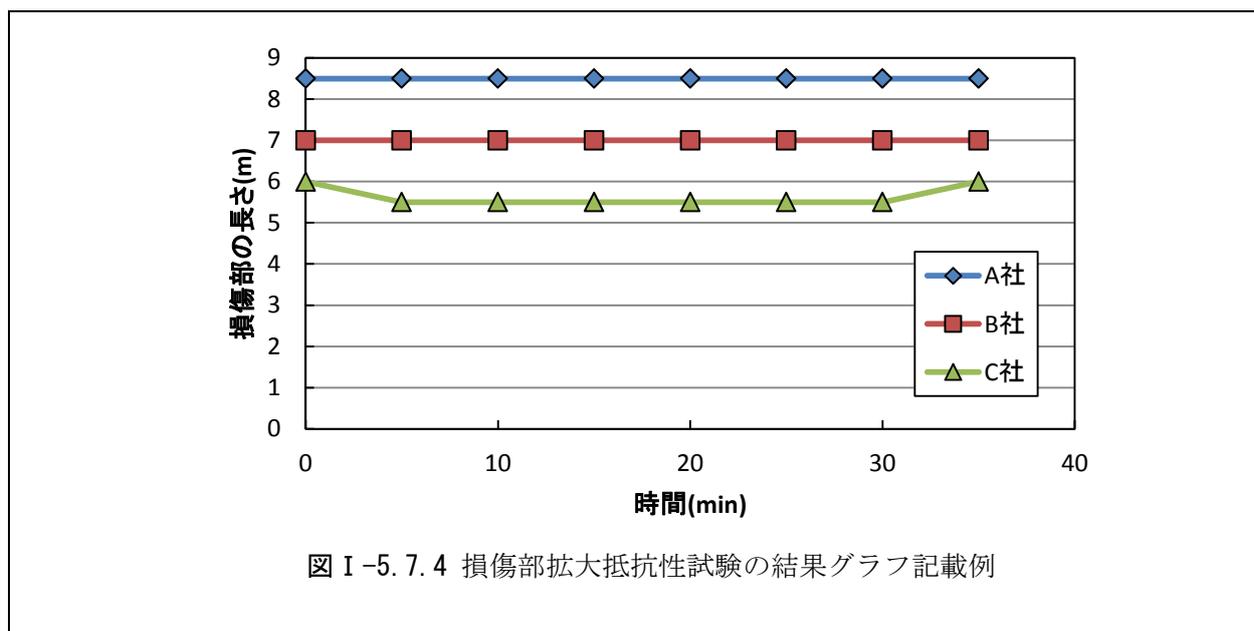
(2) 試験結果整理

本試験は、使用する引張試験機械のつかみ間隔によって損傷部長さが変わってくる。また、定荷重条件は、供用時の常時荷重が同じでも袋材の劣化後の強度保持率によって異なってくるため、試験結果には表 I-5.7.2 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-5.7.2 に示すとおり損傷部分の長さを計測した値を示すとともに、図 I-5.7.4 のように試験前から試験後までの損傷長さの変化をグラフで示す等して、損傷が拡大しないことを定量的に表現し、合否を結果表に記載する。

表 I-5.7.2 試験条件、試験結果の記載例

試験条件		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
定荷重条件		3.6kN/8.5cm	1.53kN/7cm	1.14kN/6cm
張力 (kN/m)		42.4	21.8	19
試験時間(min)		30	30	30
試験結果		A社	B社	C社
損傷部の長さ (mm)	試験前	8.5	7	6
	開始直後	8.5	7	5.5
	開始30分後	8.5	7	5.5
	試験終了後	8.5	7	6
合否		○	○	○



## 解 説

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（JIS L 1096：トラペゾイド法）を準用して設定した。

袋材の引張強さ試験方法 JIS L 1096 での定速荷重型試験機を用いて、表 I-5.7.1 に示す試験条件の通り、つかみ具の幅当りの供用時の引張り力を 30 分間掛け続ける定荷重試験を行う。試験前につかみ間隔の中間につかみ具幅の 10%相当の切り込みを入れておき（図 I-5.7.1）、試験後に再び損傷幅を測定して損傷部が拡大していないかを確認する（図 I-5.7.2, 図 I-5.7.3）。

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。

I-5 サンドバック袋材の性能試験

I-5.8 たき火試験

(1) 試験概要

たき火試験の試験条件等は、表 I-5.8.1 のとおりである。サンドバック袋材から 0.5m (以上) × 0.5m (以上) の試験体を作成し、試験体の下に現地条件に応じた中詰材を敷き詰める。図 I-5.8.1 に示すように試験体上の中央にたき火材料を井桁状に組んだ状態で設置し、たき火材料と試験片を燃焼させる。試験状況を図 I-5.8.2 に示す。試験では火種の燃焼時間、火種の消炎直後および消炎 5 分後の袋材試験体の燃焼面積を測定する。サンドバック袋材が内材と外材の二重構造となっている場合には、現地の設置状況と同じように内材、外材を中詰材上に重ねて設置し、試験を行う。

表 I-5.8.1 たき火試験条件等

項目	内容
試験体サイズ	50cm以上×50cm以上
下地条件	現地条件による (砂、礫等)
点火方法	ライター
たき火材料	割り箸 (材質: アスペン、長さ; 21cm) × 10膳 着火材として新聞紙
たき火組み方	井桁状に5段組み、残りの5膳を井桁の内側に入れる。 (図 I-3.11.5参照)
試験場所	屋内もしくは無風時の屋外
試験結果 (合格基準)	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

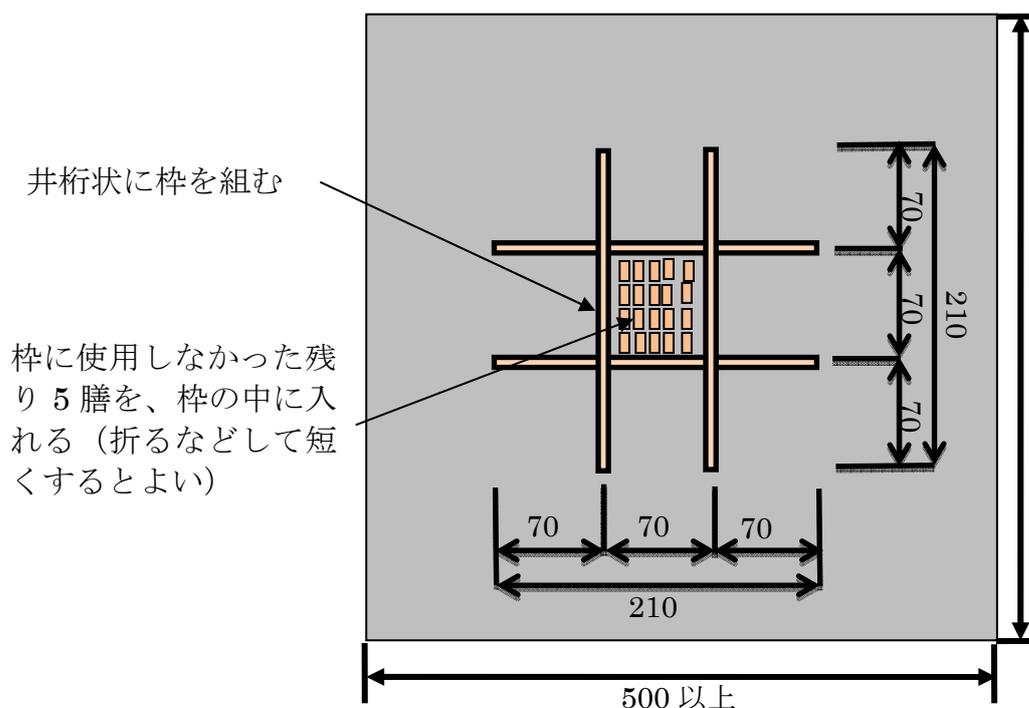


図 I-5.8.1 たき火試験 袋材、火種の設置方法

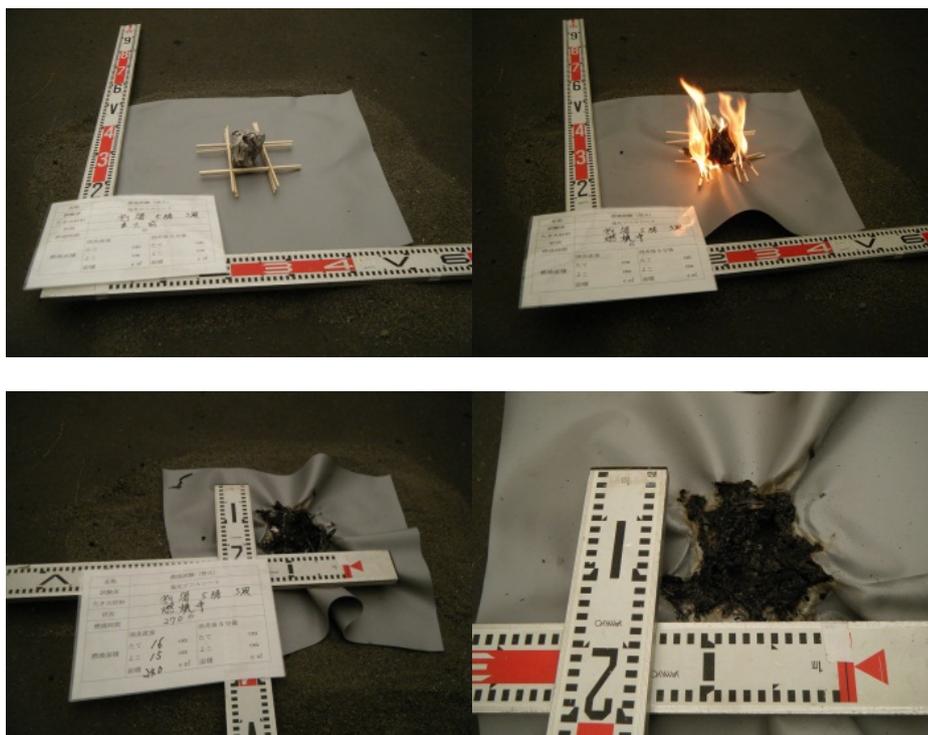


図 I-5.8.2 たき火試験状況

(2) 試験結果の整理

火種が消炎した後に自ら燃焼し続けなことを確認することから、合格基準は火種消炎直後から火種消炎 5 分後の試験体燃焼面積の増加率が 2%以下とする。試験結果は、表 I-5.8.2 に示すように、試験体面積、火種面積、燃焼時間、火種消炎直後の燃焼面積、消炎 5 分後の燃焼面積、燃焼面積増加率、合否を記載する。

表 I-5.8.2 試験結果整理表の例

	A社	B社	C社
試験袋材	タフティングシート	内材：内側シート 外材：外側シート	塩化ビニルシート
試験体サイズ 面積 (cm <sup>2</sup> )	50cm×50cm 2,500	50cm×50cm 2,500	50cm×50cm 2,500
火種面積 (cm <sup>2</sup> )	49	49	49
燃焼時間 (秒)	250	260	270
消炎直後燃焼面積 (cm <sup>2</sup> )	180	169	240
消炎後5分後燃焼面積 (cm <sup>2</sup> )	180	169	240
燃焼面積増加率 (%)	0	0	0
合否	○	○	○

## I-5 サンドバック袋材の性能試験

## 解 説

サンドバ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-5.8.3）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。

表 I-5.8.3 国土交通省土木工事共通仕様書 袋詰め玉石工たき火試験方法

項目	内容
中詰め材	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）

## I-5.9 煮沸試験

## (1) 試験概要

煮沸試験では、下記の試験条件で試験体を沸水中に浸漬し、一定時間煮沸後、試験体を乾燥させ、試験体の質量変化を測定する。測定された質量変化をもとに試験体からの物質の溶出量を求める。試験条件を表 I-5.9.1 に示す。煮沸処理、乾燥処理の状況を図 I-5.9.1、図 I-5.9.2 に例示する。サンドバック袋材が内材と外材の二重構造となっている場合には、内材、外材の両方を煮沸・乾燥し質量変化を計測する。

表 I-5.9.1 煮沸試験条件等

項 目	内 容
浸漬温度	98 ± 2 °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 ± 10°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%



図 I-5.9.1 煮沸状況例



図 I-5.9.2 乾燥状況例

## (2) 試験結果整理

試験結果の整理例を表 I-5.9.1 に示す。試験結果は、試験体全ての煮沸前、煮沸・乾燥後の質量と質量変化率を記載する。平均値を記して、合格基準の質量変化率 0.5%以下を満足するか結果を記載する。例では、3 社とも質量変化は 0.5%以下であることから、有害物質が袋材およびシートからは溶出しないものと判断される。

I-5 サンドバック袋材の性能試験

表 I-5.9.2 煮沸試験結果整理例

試験体 番号	A社			B社			C社		
	質量(g)		質量比 (%)	質量(g)		質量比 (%)	質量(g)		質量比 (%)
	煮沸前	煮沸後		煮沸前	煮沸後		煮沸前	煮沸後	
NO.1	1.93	1.922	99.58	12.44	12.42	99.84	1.6	1.6	100
NO.2	2.036	2.03	99.71	12.59	12.56	99.76	1.6	1.6	100
NO.3	1.942	1.942	100	12.63	12.61	99.84	1.598	1.598	100
NO.4	2.013	2.011	99.9	12.45	12.43	99.84	1.604	1.604	100
NO.5	1.954	1.954	100	11.62	11.61	99.91	1.602	1.602	100
平均	1.975	1.972	99.85	12.35	12.33	99.84	1.601	1.601	100
合否	○			○			○		

I-5.10 金魚飼育試験

(1) 試験概要

金魚飼育試験は、煮沸試験では検知でき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確認するための試験である。金魚飼育試験は、表 I-5.10.1 に示す条件に従い図 I-5.10.1 のように試験片を浸漬した水槽中で金魚を一定期間（3 か月以上）飼育する。その生存状態を観察することで、水棲生物の生息に影響するような有害物質の溶出がないことが確認される。

表 I-5.10.1 金魚飼育試験条件等

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か月以上生存し、 金魚の生育に影響がないこと



図 I-5.10.1 金魚飼育試験状況例

I-5 サンドバック袋材の性能試験

(2) 試験結果整理例

金魚飼育試験の実施例を写真 I-5.10.2 および写真 I-5.10.3 に、試験結果の例を表 I-5.10.1 に示す。一定期間金魚を飼育したが、金魚の生育に異常はなかったことから、有害物質が袋材およびシートからは溶出しないものと判断される。

表 I-5.10.2 金魚飼育試験結果整理例

	A社	B社	C社
金魚飼育数	3	3	3
飼育期間	3か月	3か月	3か月
飼育状況	異常なし	異常なし	異常なし
合否	○	○	○

## I-5.11 開孔径試験

## (1) 試験概要

開孔径とは、サンドバックの袋材の繊維と繊維の間に生じる隙間であり、これにより中詰材の歩留まりや水の透過性が決定される。サンドバック袋材に求められる開孔径は、袋材に詰めた材料が抜け出さない開孔径を有するものとする。開孔径は ASTM D4751 の乾式開孔径試験により測定する。

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  $O_{95}(\text{mm})$  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  $O_{95}(\text{mm})$  を決定する。

## (2) 試験結果の整理

試験結果は、表 I-5.11.1 に例示するように、試験方法とともに整理する。袋材の中詰材保持性能は、開口径と中詰材の粒度分布から照査する。

図 I-5.11.1 に宮崎海岸（住吉）の海浜材料の粒度試験結果と表 I-5.11.1 の開口径試験結果を比較した図を例示する。表 I-5.11.2 に宮崎海岸住吉地区の海浜材料粒度試験結果から算出した袋材限界開口径の計算例を示す。図 I-5.11.1 から、A社、C社の袋材開口径は宮崎海岸の海浜材料の  $d_{60}$  よりも小さいことから問題なく海浜材料の中詰材保持性能を有していることがわかる。B社の袋材（内材）の開口径は、海浜材料の  $d_{60}$  よりも大きいから、B社サンドバックはポンプ充填施工であることからポンプ充填の限界開口径と比較して照査する必要がある。表 I-5.11.2 の計算例からわかるように、宮崎海岸海浜材料のポンプ充填限界開口径は  $0.76\sim 1.52\text{mm}$  であり、B社袋材内材の開口径  $0.585\text{mm}$  よりも大きいことからB社袋材も宮崎海岸の海浜材料に対して中詰材保持性能を有していることが確認できる。

表 I-5.11.1 開口径試験結果整理例

		開孔径 ( $O_{95}$ )	試験方法
A社		0.0485mm以下	ASTM D4751 乾式
B社	内側	0.585mm	ASTM D4751 乾式
	外側	0.299mm	
C社		0.0485mm以下	ASTM D4751 乾式

I-5 サンドパック袋材の性能試験

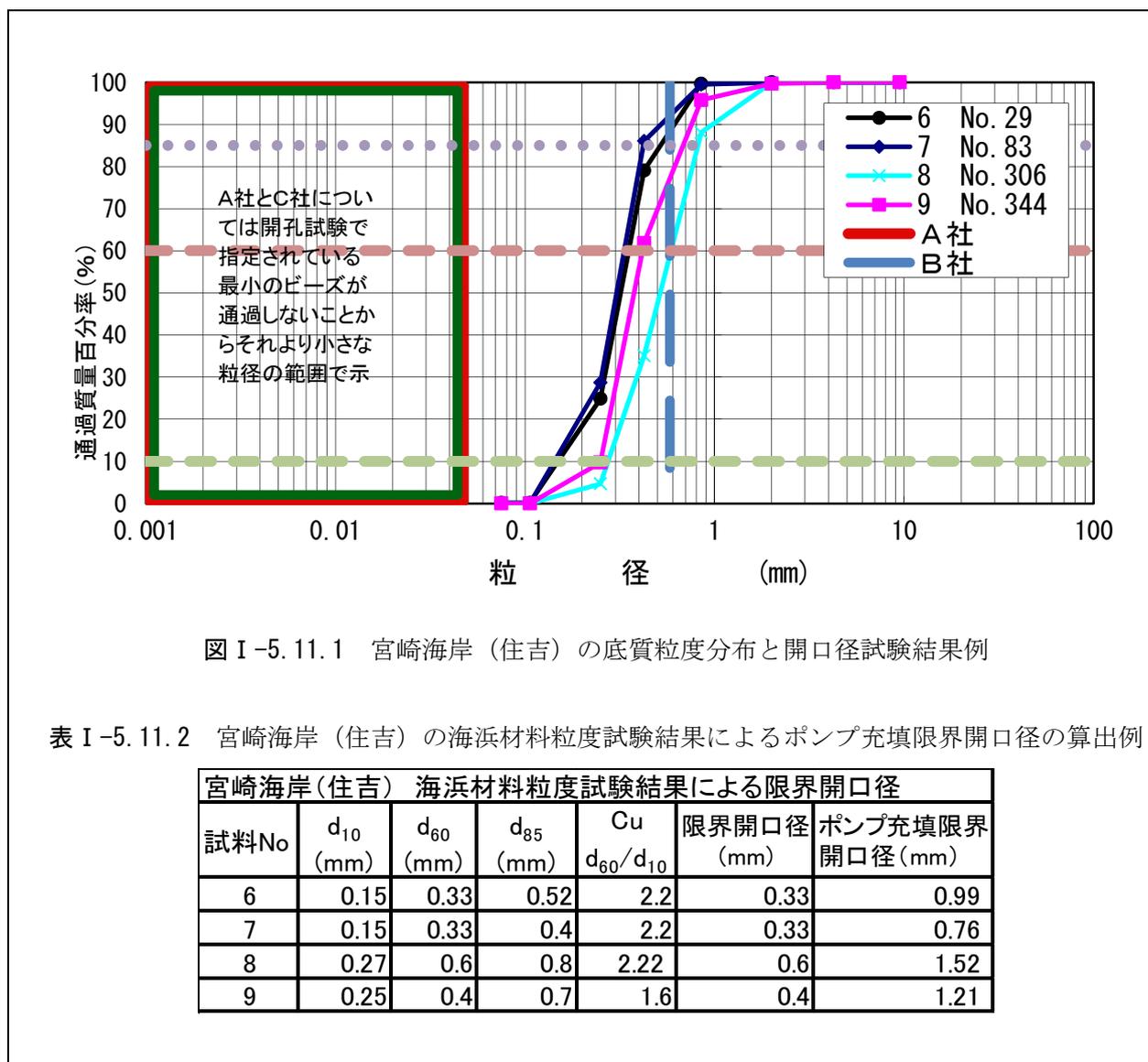


図 I-5.11.1 宮崎海岸（住吉）の底質粒度分布と開口径試験結果例

表 I-5.11.2 宮崎海岸（住吉）の海浜材料粒度試験結果によるポンプ充填限界開口径の算出例

宮崎海岸(住吉) 海浜材料粒度試験結果による限界開口径						
試料No	d <sub>10</sub> (mm)	d <sub>60</sub> (mm)	d <sub>85</sub> (mm)	Cu d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub>	限界開口径 (mm)	ポンプ充填限界 開口径 (mm)
6	0.15	0.33	0.52	2.2	0.33	0.99
7	0.15	0.33	0.4	2.2	0.33	0.76
8	0.27	0.6	0.8	2.22	0.6	1.52
9	0.25	0.4	0.7	1.6	0.4	1.21

解 説

中詰め材が袋外への通り抜けることによりサンドパック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。

I-5.12 摩擦係数試験

(1) 試験概要

サンドパックに使用する袋材について、袋材同士の間および袋材と砂地盤の間の最大静止摩擦係数は JIS K 7125 を準用して計測する。

図 I-5.12.1 に試験装置を例示する。試験状況例を図 I-5.12.2 に示す。サンドパック袋材の試験体を  $40\text{cm}^2$  ( $63\text{mm} \times 63\text{mm}$ ) の滑り片の底面に張り付け、合計重量を  $200\text{g} \pm 2\text{g}$  とする。引張強度試験 (JIS L 1096) に使用される定速荷重型引張試験機に試験体を取り付け、滑り面の表面を計測する摩擦相手として、 $100\text{mm}/\text{min} \pm 10\text{mm}/\text{min}$  の速度で引張した時の、荷重を測定する。試験片が動き始める瞬間の最大荷重を最大静止摩擦力とする。

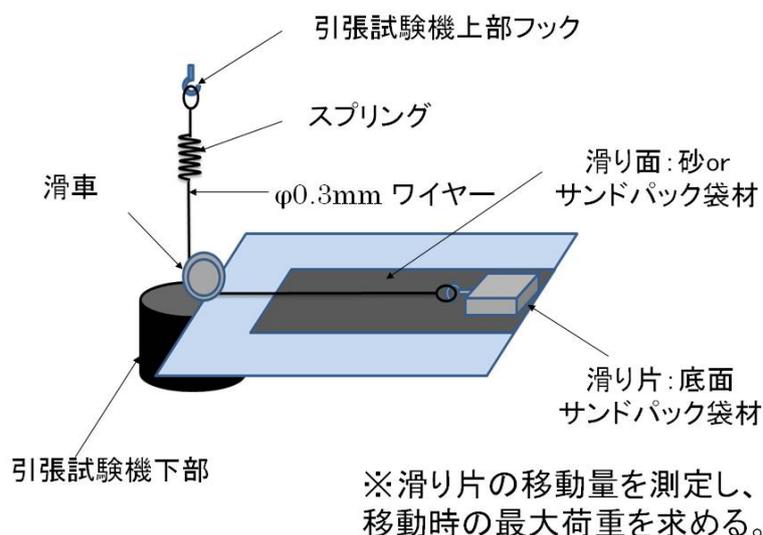


図 I-5.12.1 摩擦係数測定用装置の例

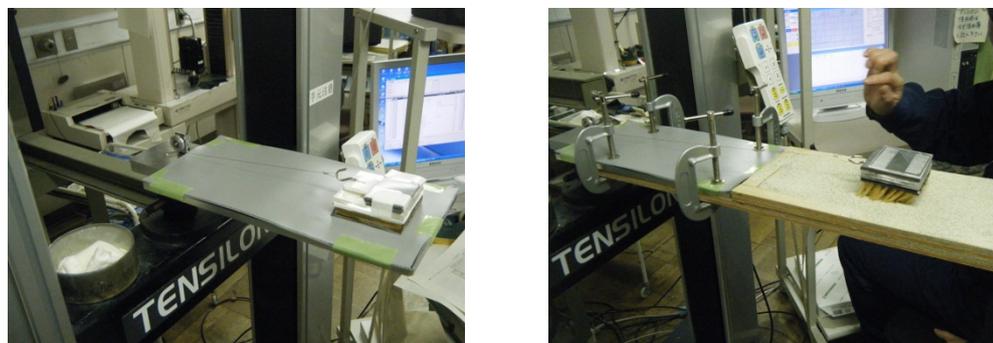


図 I-5.12.2 摩擦係数測定試験状況例

(左：サンドパック袋材×袋材、右：サンドパック袋材×砂)

I-5 サンドバック袋材の性能試験

(2) 試験結果の整理

試験片の引張方向と逆向きに発生する静止摩擦力は静止摩擦係数 $\mu_s$ を用いて式(5.12.1)で定義されるので、試験片が動き始める瞬間の最大荷重が最大静止摩擦力であり、そのときの静止摩擦係数 $\mu_s$ が最大静止摩擦係数である。

$$\mu_s = \frac{F_s}{F_p} \tag{5.12.1}$$

ここに、

$F_s$  : 静止摩擦力 (N)

$F_p$  : 滑り片の質量によって生じる垂直抗力 ( $=0.2\text{kg} \times 9.807\text{m/s}^2 = 1.96\text{N}$ )

図 I-5.12.3 に計測データの整理例を示す。図に示すように横軸に時間を取り、縦軸に試験片の移動量、摩擦力を取りグラフを作成する。試験片が移動し始める時に荷重を読み取り、式 (5.12.1) から摩擦係数 $\mu_s$ を算出する。摩擦係数の算出結果の整理例を表 I-5.12.1 に例示する。

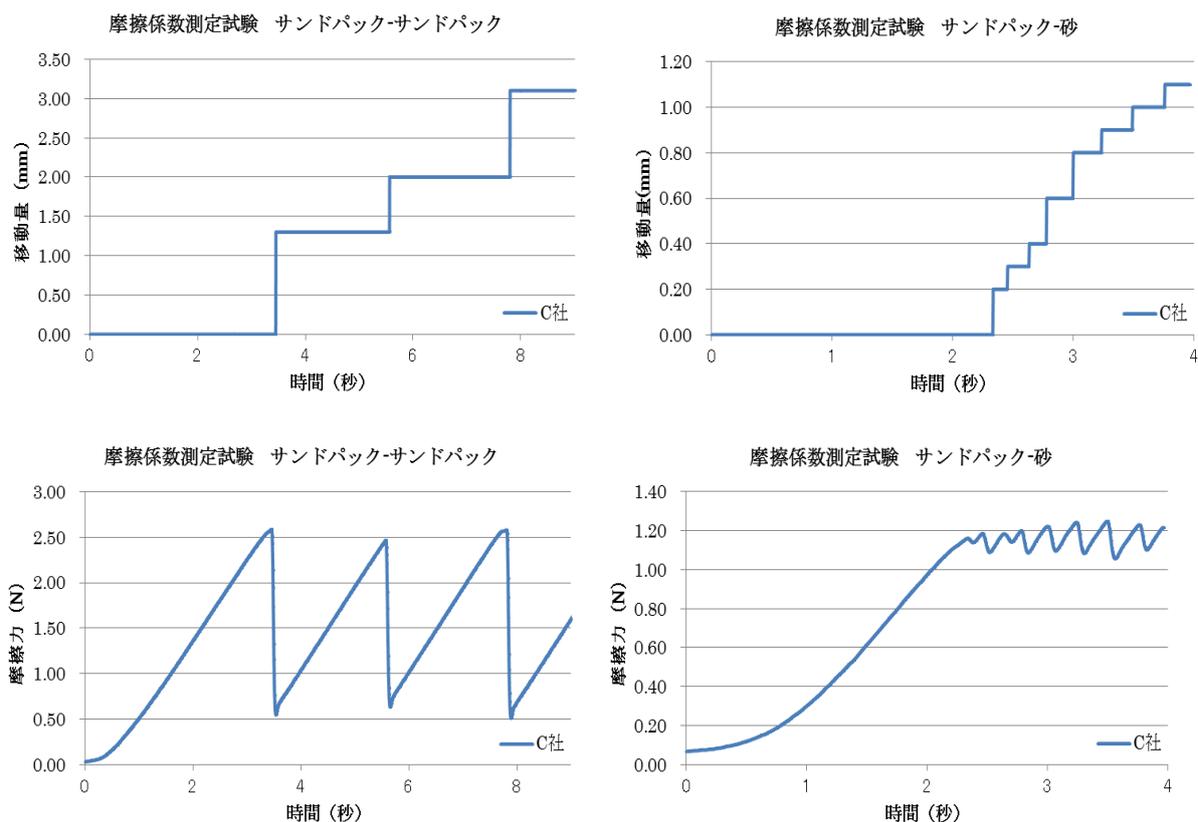


図 I-5.12.3 最大摩擦係数測定試験 グラフ (例)

表 I-5.12.1 最大静摩擦係数測定試験結果 (例)

滑り片	滑り面	袋材種類	$F_s$ (N)	$F_p$ (N)	$\mu_s$
サンドパック袋材	サンドパック袋材	A社	2.78	1.96	1.42
		B社	2.39		1.22
		C社	2.64		1.35
サンドパック袋材	砂	A社	1.27	1.96	0.65
		B社	1.21		0.62
		C社	1.13		0.58

I-5 サンドパック袋材の性能試験

I-5.13 耐薬品性試験<参考>

(1) 試験概要

薬品による袋材劣化が懸念される場所では耐薬品性試験を行う。サンドパック工法に使用する袋材において、酸性やアルカリ性の液体および油の浸漬後においても要求される引張強度を保持していることを確認する。表 I-5.13.1 に試験条件等を、表 I-5.13.2 に現場条件毎の試験液を示す。

袋材に使用するジオシンセティックスの耐薬品性試験は、プラスチックの耐薬品性試験方法（日本工業規格 JIS K 7114）に準拠することとする。

耐油性試験は、オイルフェンスの仕様 - 第 1 部：本体部（日本工業規格 JIS F 9900-1）を参考とする。試験片を A 重油 60%とガソリン 40%の混合液中に 24 時間浸漬する。試験片は 5 本以上を目安とする。

表 I-5.13.1 耐薬品試験条件等

項目	内容
①試験液：	試験液は現場条件に応じて、表 I-5.13.2 に示す条件から選定する。
②浸漬温度：	50±2℃
③浸漬時間：	250、500、750、1000hr
④試験体数：	試験液および浸漬時間ごとに5個以上を目安とする。
⑤試験片幅：	恒温槽内に入れることができる適切な幅とし、浸漬前後の引張試験時の幅は同一とする。
⑥試験片端部処理：	試験片の両端はキャッピングなどの端部保護を行わずに試験液中に浸漬しなければならない。
⑦試験液管理	試験期間中に試験液の液面高さと濃度を一定に保つようするため、試験液は、その蒸発と試験片の溶解の程度に応じて、適切な日数毎に攪拌ならびに交換する。
⑧特殊条件の記録	特殊条件下で試験を行った場合には、その旨を明記しなければならない。
⑨合格基準：	試験液浸漬後においても要求される引張強度を保持していること

表 I-5.13.2 現場条件毎の試験液

土質条件	塩化ナトリウム	水酸化カルシウム	水酸化ナトリウム	塩酸	硫酸
一般条件A (pH=6-8)	3.00%	0.01% (pH=11)	0.01% (pH=11)	0.01% (pH=3)	0.01% (pH=3)
一般条件B (pH=5-9)	3.00%	0.10% (pH=12)	0.10% (pH=12)	0.10% (pH=2)	0.10% (pH=2)
特殊条件 (pH ≤ 4、pH ≥ 9)	3.00%	飽和溶液	10%	10%	10%

(2) 試験結果の整理

試験後のサンプルを試験片の構造や特性に応じて「ジオテキスタイル試験方法 (JIS L 1908)」や「建築工事用垂直ネット (JIS A 8960)」を参考に引張試験を行い、引張強度を測定する。試験液浸漬後の引張強度を初期強度で除して強度保持率を算出する。磨耗劣化や気象要因劣化等現場条件に応じた劣化後の強度保持率に耐薬品性・耐油試験結果の強度保持率を掛けて、要求性能の引張強度を満足できるか照査する。

I-5 サンドバック袋材の性能試験

I-5.14 貫入抵抗試験<参考>

(1) 試験概要

貫入抵抗試験はサンドバック袋材の硬さを測定する方法の 1 つである。サンドバック袋材の貫入抵抗は引張強度とは異なり、劣化初期には上昇し、さらに劣化が進むと下降に転じることが確認されている。気象要因劣化では目視では劣化状態を把握できない一方、劣化促進試験を実施すると貫入抵抗が最初は上昇し、その後低下する特性を示すことがわかった。貫入抵抗は、袋材の維持管理における劣化の進行状況を間接的に把握する指標となりうるものであることから、その試験法を参考として紹介する。

試験方法は、ASTM D 4833-07 に参考に行う。供試体を中心布径 45mm（固定布径 100mm）で固定し、先端径 8mm の押し棒で供試体の中心を押して、圧縮変異のピークが発生した時点（供試体を貫入した時点）の圧縮荷重を計測するものである。図 I-5.14.1 に試験の状況を例示する。



図 I-5.14.1 貫入抵抗試験の実施状況

(2) 試験結果の整理

試験結果を初期貫入抵抗で除して強度保持率を算出し、気象要因劣化外力（促進暴露時間）－貫入抵抗グラフ、気象要因劣化外力（促進暴露時間）－貫入抵抗強度保持率グラフ（図 I-5.14.2 に例示）、磨耗劣化外力（コンクリート摩耗量）－貫入抵抗グラフ、磨耗劣化外力（コンクリート摩耗量）－貫入抵抗強度保持率グラフ（図 I-5.14.3 に例示）に整理する。引張強度、引張強度の強度保持率とともにグラフ化すると引張強度劣化との対応がわかりやすくなる。整理結果を点検支援カルテに反映する。

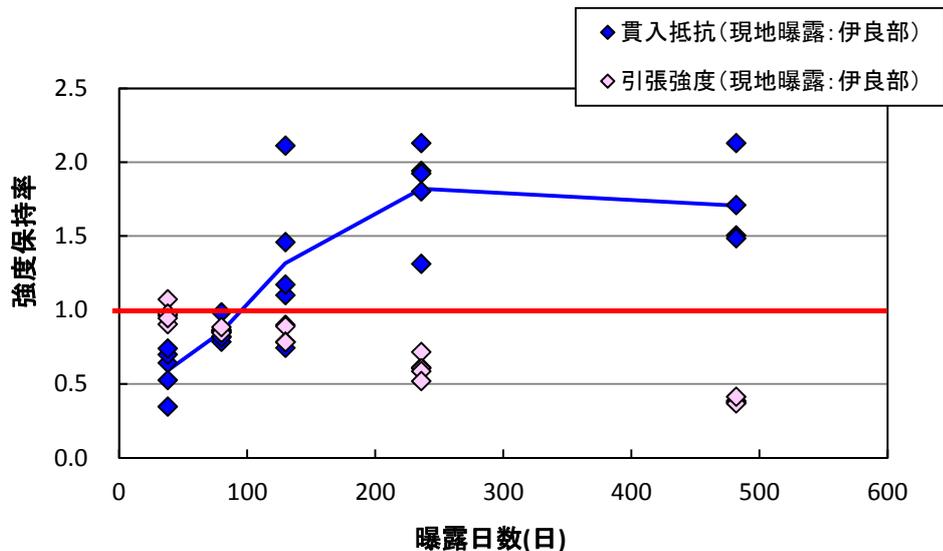


図 I-5.14.2 気象要因劣化と貫入抵抗の強度保持率の関係

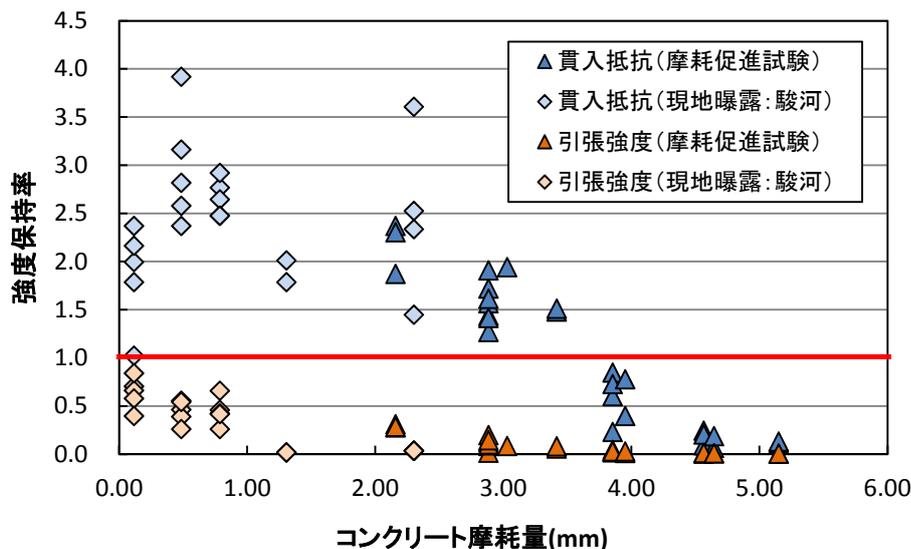


図 I-5.14.3 コンクリート摩耗量と貫入抵抗の強度保持率の関係

解 説

礫衝突による摩耗劣化に伴うサンドバック袋材の貫入抵抗の変化を調べたところ、引張強度とは異なり、貫入抵抗は劣化初期に一度上昇し、さらに劣化が進むと下降に転じることが分かった(図 I-5.14.3)。これは、劣化初期には高分子材の硬化によって袋材の目が広がりにくくなるためと推察されているが、引張強度に比べれば強度保持率の変化幅が大きく、繊維に対するダメージも少ない方法であるので、この性質を使って袋材の劣化の進行具合を現場で確認できる可能性がある。気象要因

I-5 サンドバック袋材の性能試験

劣化のように目視で把握しにくい劣化の状態を知るうえで有効な手がかりとなる可能性がある。図 I-5.14.2 に気象要因劣化の引張強度と貫入抵抗の強度保持率変化を示す。図では貫入抵抗が低下し始めたところまでのデータしかないが、研究の積み重ねにより現場で簡便に使える診断方法として活用できるようになることが期待される。

参考文献

- 1) 耐候性大型土のう研究会編（2006）：災害復旧事業等における「耐候性大型土のう」設置ガイドライン，社団法人全国防災協会，40p.
- 2) Namias, V. (1985): Load-supporting fluid-filled cylindrical membranes, *Journal of Applied Mechanics*, 52(4), pp.913-918.
- 3) 富山禎仁・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.
- 4) 関口陽高・諏訪義雄・野口賢二・渡辺国広・伊藤幸義・岩佐隆広（2012）：サンドバック工法の設計時の耐候性能決定方法の検討, 土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.68, No.4, I\_714-I\_719.
- 5) 渡辺国広・諏訪義雄・関口陽高・野口賢二・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.