

# 耐候性大型土のう 屋外曝露試験による耐候性の調査結果 ～「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル第2回改訂版～

土橋聖賢・了戒公俊・辰井俊美

## 1. はじめに

(一財)土木研究センターでは、耐候性大型土のうを仮設土留め工、仮護岸工、仮締切工等の仮設工事に適用する際の設計・施工法をとりまとめた『「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル』の[初版]<sup>1)</sup>を平成24年3月に発行した。同マニュアルでは、耐候性大型土のうに求められる性能や仮設工の設計・施工法、緊急対策を要する応急工事等への適用法について記載している。また、本マニュアルが発刊されてから6年経過(平成29年10月)を契機に、①「耐候性大型土のう」用語の定義、②構造体としての安定性の向上、について変更等を行った[改訂版]<sup>2)</sup>を発刊した。

しかしながら、マニュアルを基に性能証明を取得した製品の利用者より、耐用年数に至る前に吊りベルトの破断が生じているとの報告を受けた。そこで、それまでの耐候性の性能評価試験として実施してきた促進耐候性試験(JIS B 7753 ; サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験(以下「SW促進試験」という。))ではなく、実際の設置条件を模した屋外での曝露試験による耐候性の性能調査を行った。曝露試験は、任意の袋材から抽出した吊りベルトだけを、令和元(2019)年10月より3年間の屋外曝露を実施して引張強さの経年変化を検証するとともに、碎石(C0-40)を中詰めした袋体の3年間の屋外曝露による、袋体の生地の変形耐力の経年変化を確認した。本報では、これらの結果に基づく吊りベルトと袋体の生地に関する耐候性の評価手法や適用基準について、[第2回改訂版]における変更内容を紹介するものである。

## 2. 促進試験による耐候性評価

### 2.1 SW促進試験

本マニュアルの[初版][改訂版]では、耐候性大型土のうの袋材の生地及び吊りベルトの耐候性の性能評価を、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>3)</sup>を参考に、SW促進試験に

て1年の耐候性能を300時間、3年の耐候性能を900時間照射した後の引張強さで評価してきた。表-1に、袋材と吊りベルトの耐候性の基準と試験方法を示す。

表-1 本マニュアル[初版][改訂版]の耐候性評価基準

項目	評価項目	基準値	試験方法
袋体の生地	初期強度	引張強さ 240 N/cm	JIS L 1096準用
	耐候性	引張強さ 240 N/cm	JIS L 1096 SW促進試験機：JIS B 7753 1年耐候：300時間 3年耐候：900時間
吊りベルト(4点吊り)	初期強度	引張強さ 30 kN/本	JIS D 4604
	耐候性	引張強さ 30 kN/本	JIS D 4604 SW促進試験機：JIS B 7753 1年耐候：300時間 3年耐候：900時間

また、1500時間まで照査したSW促進試験結果を図-1に示す。これより吊りベルトのSW促進試験による引張強さは、1500時間照射後も初期値と比べて顕著な低下はなく、3年程度であれば十分に基準値(30kN/本)を満足するものと判断した。

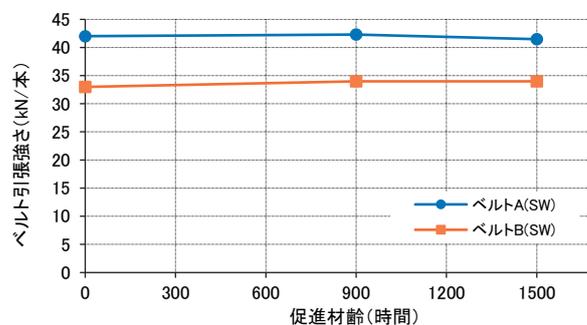


図-1 SW促進試験1500時間での強度低下  
※耐候性大型土のう協会提供データにより作成

### 2.2 その他の促進試験検討

SW促進試験以外の屋内促進試験として、キセノンアークランプ式耐候性及び耐候性試験機(JIS B 7754)を用いた促進試験や、「樹脂製建具のメタルハライドランプによる促進耐候性試験方法」(JIS A 1501)を参考に促進試験による方法を模索したが、耐候性大型土のうの部材に対して促進試験の時間に対する強度劣化と屋外曝露期間に対する強度劣化について、明確な関係は見いだせなかった。

## 3. 屋外曝露試験結果

耐候性大型土のうを構成する吊りベルトや生地などの各部材の繊維には、ポリプロピレン製が用いられている。また、繊維には紫外線の吸収剤や抗酸化

剤等を添加して耐候性等を改善しており、色は黒色が一般的である。屋外曝露試験を行った部材を表-2に示す。

表-2 屋外曝露試験を行った部材

部材	試験項目	摘要
吊りベルト	引張試験	縫い付ける前の状態
袋体	吊りベルト	引張試験
	袋体	引張試験
	引張試験	圧縮試験後、袋材から取り外した
	圧縮試験	砕石(C0-40)を充填した袋体

### 3.1 吊りベルトの屋外曝露試験

袋材に縫い付ける前の吊りベルトを用いての屋外曝露試験を3年耐候用の16製品、1年耐候用の2製品を対象に実施した。屋外曝露状況を写真-1に、屋外曝露後の引張試験結果を表-3に示す。なお、表中の引張強さは、供試体3本の平均値で示し、3年間の屋外曝露後の引張強さの推移から1年後の劣化程度や最終的な強度に差があり、それらを基に、表-4に示すような「category」として分類している。この屋外曝露試験によれば、全体的な傾向として、引張強さは開始後から1年間で大きく低減し、その後の2年間は僅かずつ低下しながら推移することが判った。また、3年耐候用の16製品中、3年経過後の引張強さが基準値（30kN/本）を満足するのは2製品で、その他は1年間の屋外曝露後に基準値以下となった。1年耐候用の2製品の引張強さは、全て1年間の屋外曝露後に基準値を下回る結果となった。

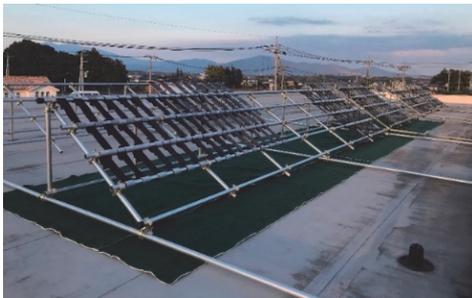


写真-1 屋外曝露の状況(茨城県つくば市)

表-3 吊りベルトの屋外曝露試験結果一覧

No.	耐用年数	材齢(月)ごとの引張強さ(kN/本)				繊維種類*	category
		0	12	24	36		
T1**	3年	42.2	34.1	28.4	23.8	Mono	II
T2	3年	34.5	11.5	8.60	8.20	Mono	IV
T3	3年	46.8	25.5	28.0	27.4	Film	II
T4	3年	42.3	10.8	7.80	5.00	Mono	IV
T5	3年	43.1	27.6	24.4	21.7	Film	II
T6	1年	38.5	11.4	8.60	6.60	Mono	-
T7	3年	42.8	13.7	10.9	8.70	Mono	IV
T8	3年	38.7	28.4	24.1	18.0	Mono	III
T9	3年	41.9	28.1	23.7	22.1	Mono	II
T10	3年	41.4	24.0	11.9	8.10	Mono	IV
T11	3年	44.1	27.2	24.2	22.2	Film	II
T12	3年	45.2	17.0	14.0	11.0	Mono	IV
T13	3年	48.0	41.5	39.7	39.6	Multi	I
T14	3年	39.3	21.8	18.9	16.0	Film	III
T15	1年	40.2	20.9	18.2	15.1	Film	-
T16	3年	41.7	37.3	34.1	30.3	Multi	I
T17	3年	43.7	28.9	25.1	23.1	Film	II
T18	3年	40.4	21.6	18.9	16.7	Film	III

\*)表-5 繊維の種類

\*\*)二重ベルトのため、初期値は測定値の半分とした

表-4 category分類

category	分類の説明：3年耐候製品の3年間の屋外曝露後の評価
I	30kN/本以上
II	22kN/本以上、30kN/本未満
III	15kN/本以上、22kN/本未満
IV	15kN/本未満

#### 3.1.1 categoryによる整理

category (I～IV) に分類し、その測定値と近似曲線を図-2に整理し、表-4に示す範囲を色分けして示した。なお、グラフ中の凡例は、各供試体の実測値3点を示している。また、近似曲線には、相関性の良い累乗近似を用いている。

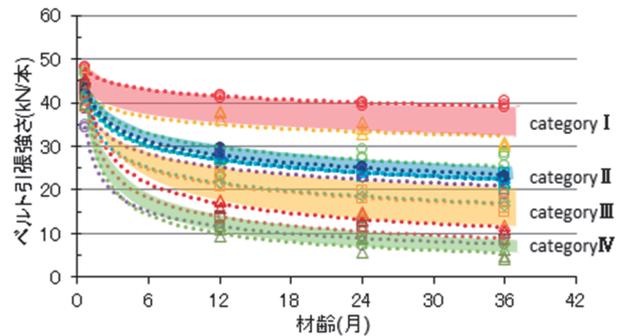


図-2 吊りベルトの引張強さの経時変化と区分の関係

SW促進試験により合格と判定された製品も、屋外曝露の結果では、category I の2製品しか基準値の引張強さを満足していない。

- ①category I に分類される吊りベルトの3年曝露後の引張強さは、30kN/本以上となり、その強度残存率は、最初の1年間では80%以上、さらに2年曝露後では70%以上確保されていた。
- ②category II に分類される吊りベルトの3年曝露後の引張強さは、22kN/本以上、30kN/本未満であり、その強度残存率は、50%以上となる。
- ③category III に分類される吊りベルトの3年曝露後の引張強さは、15kN/本以上、22kN/本未満であり、その強度残存率は、40%以上となる。
- ④category IV に分類される吊りベルトの3年曝露後の引張強さは、15kN/本未満であり、その強度残存率は、20%未満であった。

今回の吊りベルトの屋外曝露試験結果より、最初の1年間での強度低下が30%を超えると、3年後の引張強さは、20kN/本に満たない結果となる。

#### 3.1.2 繊維の種類による比較

吊りベルトは、各社の製品毎に原材料や紫外線吸収剤、抗酸化剤等の添加物が異なり、表-5に示すように繊維構造が異なっている。このため、屋外曝露後の強度残存率を、表-5に示す繊維の種類毎に整理

土研センター

した。結果を図-3に示す。これより、Mono-filamentは強度残存率が低く、Multi-filamentは強度残存率が高くなる傾向にあることがわかった。

表-5 繊維の種類

標記	Mono: Mono-filament	Film: Film-yarn	Multi: Multi-filament
材質	ポリプロピレン		
断面イメージ			
構成及び糸の形状	1本の繊維で構成 断面は楕円	1本の繊維で構成 短冊状	多数の繊維で構成 断面は円
その他の特徴	固く屈曲(折り曲げ)しにくい	薄くしなやか	直径がμm程度でしなやか

※耐候性大型土のう協会作成資料に加筆

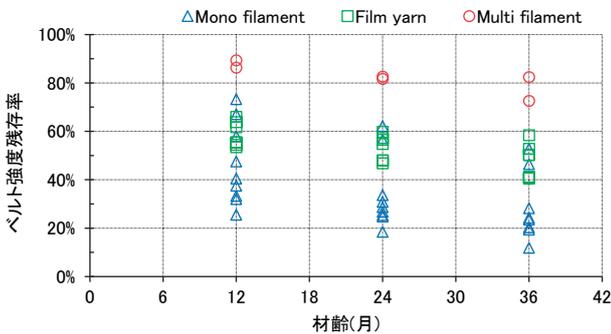


図-3 吊りベルト繊維種類による引張強さの残存率

3.1.3 袋体より採取した吊りベルト

砕石を中詰め材とする袋体の屋外曝露試験を行い、曝露後の袋体から採取した吊りベルトの引張試験を行った。3年間の屋外曝露を終了した8製品（内、1年耐候2製品）の引張試験結果を表-6に示す。

表-6 屋外曝露した袋体の吊りベルト引張試験結果一覧

No.	耐用年数	材齢(月)ごとの3供試体の平均引張強さ (kN/本)			
		0	12	24	36
G1	3年	38.8	25.9	16.7	13.9
G2	1年	35.8	20.8	15.1	13.2
G3	3年	39.5	25.2	21.0	22.3
G4	3年	44.1	22.6	15.4	13.3
G5	3年	41.9	20.3	21.7	14.9
G6	1年	41.1	23.0	17.3	17.5
G7	3年	40.4	27.5	18.0	18.6
G8	3年	33.3	15.1	11.7	6.9

また、3年耐候製品の曝露期間における引張強さの推移を図-4に示す。

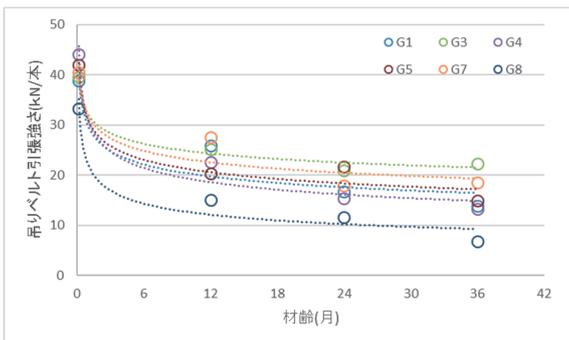


図-4 屋外曝露した袋体から採取した吊りベルト（3年耐候製品）の材齢に伴う引張強さの推移

今回の調査結果によれば、3年耐候製品は1年で基準値（30kN/本）を下回り、1年耐候製品も1年後には基準値以下となった。また、3年耐候製品の1品番は、2年後の移動作業時に吊りベルトが破断した。

3.2 袋体の屋外曝露試験

砕石を中詰め材とした袋体の屋外曝露試験を行い、曝露後の袋体の圧縮強さを調査した。特に袋体の状態での不具合は報告されていないが、屋外曝露による経年変化を調査する目的で実施した。袋体の圧縮試験の状況を写真-2に示す。試験結果の一覧を表-7、3年耐候製品の圧縮強さの経年変化を図-5に示す。

これより、[改訂版]における圧縮耐力に求める基準値（200kN/m<sup>2</sup>以上）に対し、1年耐候製品は曝露1年経過後では基準値を上回るものの、3年耐候製品は、3年後で6製品中2製品のみが満足する結果となった。また、袋体の圧縮強さは、吊りベルトと同様に1年曝露後に急激に低減し、その後の2年間は緩やかに低下する傾向を示している。



写真-2 屋外曝露した袋体の圧縮試験状況

表-7 屋外曝露した袋体圧縮試験結果一覧

No.	耐用年数	材齢(月)ごとの袋体圧縮強さ (kN/m <sup>2</sup> )			
		0	12	24	36
G1	3年	481	316	286	273
G2	1年	339	249	160	158
G3	3年	422	297	217	191
G4	3年	396	186	141	122
G5	3年	317	263	251	249
G6	1年	302	292	269	235
G7	3年	454	367	256	174
G8	3年	476	174	228	162

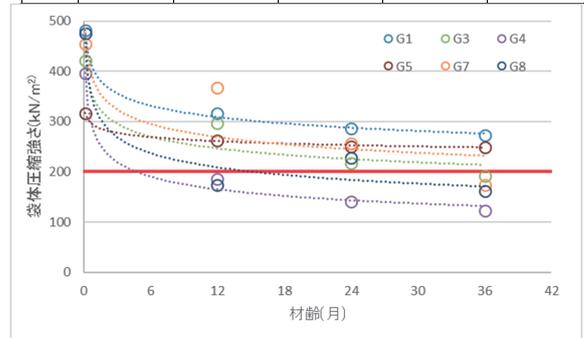


図-5 屋外曝露した袋体の圧縮試験結果

3.4 屋外曝露試験調査結果のまとめ

SW促進試験及び屋外曝露試験に関する調査結果より、以下のことが判った。

- ①SW促進試験時間（300,900時間）と屋外曝露時間（1年,3年）とでは耐候性の評価結果は整合しない。  
 ②屋外曝露後の吊りベルトの引張強さは、当初の1年間に急激に低減し、その後は緩やかに低下する。  
 ③吊りベルトは、繊維の形状や構成によっても引張強さの低下に差がみられる。  
 ④袋体の圧縮試験によると、袋材の生地は吊りベルトほど顕著ではないものの、屋外曝露による強度低下が確認できる。

以上の調査結果等を考慮し、主に吊りベルト及び袋体の生地に対する耐候性の評価方法について、マニュアルの改訂を行うこととした。

#### 4. 第2回改訂の内容と対応

主な改訂内容は、①吊りベルトと袋体の生地の耐候性の評価方法、②その他基準等の変更である。また、今回の改訂に伴い、それに対応するために各メーカーによる改良が行われている。

##### (1)吊りベルトと袋体の生地の耐候性の評価方法

現行のSW促進試験では、屋外曝露試験の結果との整合性が確認されず、他の促進試験等による確認も試みたが、現状では十分な再現性が得られないことから、吊りベルト及び生地の耐候性については、屋外曝露後の引張強さを確認して評価することとした。なお、3年耐候製品は最大3年間の屋外曝露を実施することが望ましいものの、1年間の屋外曝露結果や過去の屋外曝露結果を基に、3年後の強度を予測して評価することとした。

##### (2)その他基準等の変更

耐候性の評価方法のほかに、適用盛土高さの変更や、耐候性大型土のうの吊りベルトを屋外曝露による耐候性評価を前提に安全率の見直しを行った。

##### (3)マニュアル改訂に伴う製品の改良

今回の改訂に伴い、各メーカーにより吊りベルトや生地に改良が行われている。耐候性の向上、繊維の

種類（Multi-filamentへの）変更や強度増加、繊維量の増加により、総合的に品質が向上しており、屋外曝露1年以上を経過したものについて、新しい基準に適合した製品に対する証明を行っている。

#### 5. まとめ

これまで耐候性大型土のうの耐候性の評価に用いられたSW促進試験は、実際に起きた吊りベルトの破断を説明できないため、屋外曝露による評価方法に変更した。本来であれば、短期間に評価できる屋内促進試験法が望ましい方法ではあるが、本工法は既に普及していることから、現場での混乱を避け、かつ、安全性の確保を前提とした総合的な観点から、屋外曝露による耐候性評価に改訂したものである。

本マニュアルが現場において、より合理的な利活用寄予することを期待するものである。

なお、本報で紹介する計測結果は、耐候性大型土のうを構成する吊りベルトと袋体の生地を対象としており、土工工事等で利用されている他の合成樹脂製品等に関しては別途の確認が必要である。

#### 謝 辞

今回のマニュアルのとりまとめに当たって、ご指導いただいた「耐候性大型土のう積層工法」設計施工マニュアル第2回改訂委員会の安原一哉委員長(茨城大学名誉教授)をはじめ、各委員の皆様、耐候性大型土のう協会に、末筆ながら感謝を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) (財) 土木研究センター：「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル、2012.3
- 2) (一財) 土木研究センター：「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル[改訂版]、2017.10
- 3) (社) 全国防災協会：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、2006.3
- 4) (一財) 土木研究センター：「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル[第2回改訂版]、2023.5
- 5) (一財) 土木研究センターHP  
<http://www.pwrc.or.jp/taikoudo/taikoudo.html>

土橋聖賢



(一財) 土木研究センター  
 土工構造物研究部 主幹研究員  
 DOBASHI Kiyomasa

了戒公利



(一財) 土木研究センター  
 土工構造物研究部 前部長  
 RYOKAI Kimitoshi

辰井俊美



(一財) 土木研究センター  
 土工構造物研究部 専門調査役  
 TATSUI Toshimi