

技術報文

ガス透過性防水シートを用いた除染廃棄物仮置場上部シート

太陽工業（株） 石田 正利
 ジオシンセティックス技術研究会 堀田 敦
 （地独）大阪産業技術研究所 西村 正樹
 （一社）環境地盤工学研究所 嘉門 雅史

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震に起因する福島第一原発事故により放射性物質が拡散した。その影響を受けた福島県をはじめとする周辺の自治体では除染が実施されている。除染に伴い発生した除染廃棄物等は除染現場近傍の仮置場に一定期間保管され順次、中間貯蔵施設へ搬入されつつある。仮置場での保管方法は除染等工事共通仕様書¹⁾等で示されており、フレキシブルコンテナ等に入れた除染廃棄物等を下部シート（遮水シート）上に段積みした後、上部シートでカバーして保管されている（図-1²⁾）。上部シートには遮水シートとガス透過性防水シート（通気性防水シートともいう）があり、除染廃棄物が剪定枝や枯葉等の場合、腐敗に伴う温度の上昇やガスの発生があることから、後者のガス透過性防水シートが使用されている。ここではガス透過性防水シートの特徴、風圧力によりガス透過性防水シートに発生する張力の現場測定結果および、それを踏まえた数値解析による風速と張力の関係について考察した結果³⁾を紹介する。

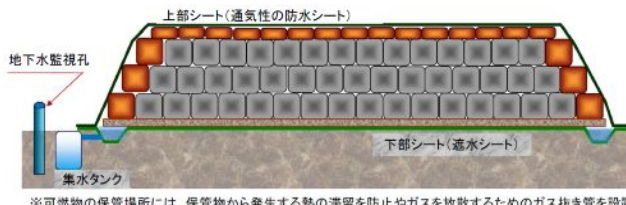


図-1 仮置場の構造例²⁾

2. ガス透過性防水シートの概要

(1) 構造と特徴

本稿で述べるガス透過性防水シート（以下、PWS）は、ガス透過性と防水性を併せ持つ微多孔膜（厚さ約 100 μ m）をガス透過・防水層とし、その上下面に保護・補強層として、長繊維不織布を配した 3 層構造（厚さ約 4.5mm）の複合シートである（写真-1）。長繊維不織布に熱融着が容易な芯鞘構造糸（写真-2、芯部は PET、鞘部は PE）を採用し、幅 2m 程度のロール状の GPWS（原反）の両端部に熱圧縮加工を施すことにより本体部分はもちろん、熱融着による接合部も高強度と防水性を確保している。表-1 に GPWS の標準物性値を示した⁴⁾（表中には比較のため、除染等工事共通仕様書に記載の上部シート必要物性を併記した）。

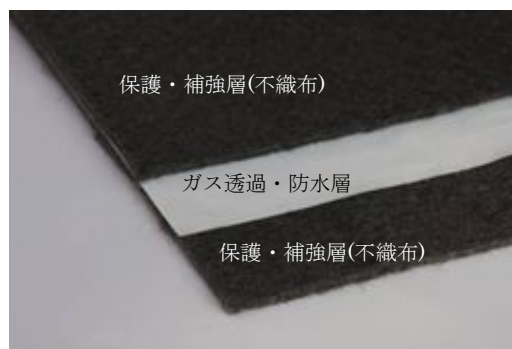


写真-1 GPWS の構造

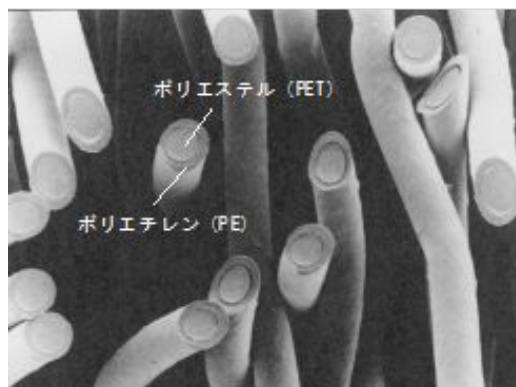


写真-2 芯鞘構造糸

表-1 GPWS の標準物性値

仕様項目		除染等工事共通仕様書 ¹⁾	ガス透過性 防水シート (GPWS)	試験方法	
質量	g/m ²	400 以上	600 以上	JIS L 1908	
引張強さ	N/5c m	たて	925 以上		1200 以上
		よこ	925 以上		925 以上
貫入抵抗	N	500 以上	600 以上	ASTM D 4833	
耐候性 (貫入抵抗)	N	500 以上	600 以上	JIS A 1415 (WS 形促進暴露試験 1000hr 暴露後の貫入抵抗試験値)	
耐水度	mmH ₂ O	1000	2000 以上	JIS L 1092	
透湿度	g/m ² .24h	2500	3000 以上	JIS L 1099 A-1 法	
遮光性	%	95 以上	95 以上	JIS L 1055	
安全性 (溶出性)	—	基準値以下	基準値以下	環境省告示第 13 号	

(2) 接合方法

先に述べたように GPWS の原反は図-2 に示すとおり、幅方向の両端部を幅約 10cm 幅で熱圧縮加工している。この熱圧縮加工部同士を重ね、自走式融着機 (写真-3) で接合する (ヨコ接合)。原反タテ方向の端部は熱圧縮加工されていないため、この部分を接合する場合 (タテ接合) でヨコ接合同等の接合強度、防水性が必要な場合は熱圧縮加工装置で加工する。

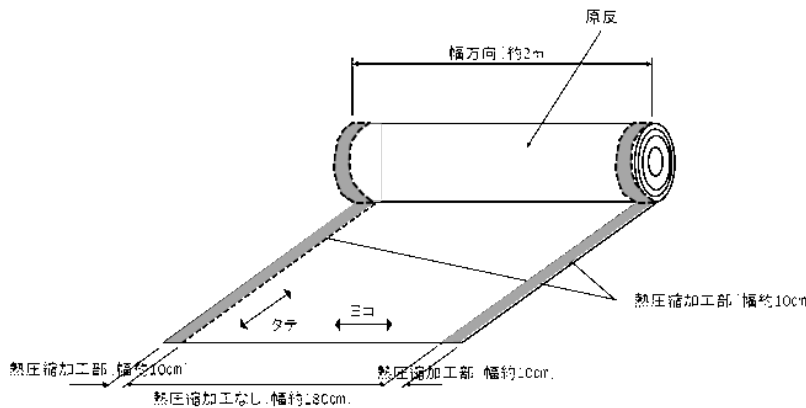


図-2 GPWS の原反と熱圧縮加工の位置



写真-3 自走式融着機

3. ガス透過性防水シートの外力 (風向風速) と張力の現地測定結果とその数値解析

図-1 に示した仮置場は例えば幅 20m×長さ 40m×高さ 2m 程度である。GPWS は幅 2m の原反を工場または現地にて熱融着接合して大きなパネルとするが、敷設後に風の影響を受ける。写真-4 は風により変形した GPWS の状況である。このように GPWS は風による負圧により膨らみ、張力が作用する。GPWS の材料性能は多くの室内実験や現場実験等で評価確認されてい

る⁵⁾が、GPWSに作用する主な外力である風圧力による影響を検討した事例は少ない。風圧力によるGPWSに発生する張力が把握できれば、仮置場での設計風速に応じて適切なGPWSの選定が可能になりかつ、維持管理上、継続使用可否判断基準の目安とすることができる。そこで実際の仮置場にて風向風速および、GPWSに作用する張力を間接的に測定⁶⁾し、その測定値を数値解析により再現した。



写真-4 風によるGPWSの変形(北東角より)

(1) 測定場所・期間

場所；福島県双葉郡 仮置場

期間；2014.6.26～2015.3.20 (約9ヶ月)、上部シート；ガス透過性防水シート(GPWS)

測定は福島県浜通りに位置する上記仮置場で行った。当仮置場では1ブロック毎に除染廃棄物を入れた大型土のうが2段積みされておりGPWSでカバーされている。測定対象ブロックは幅21m×長さ38m×高さ2m程度の長方形で、長辺方向が真北から西へ20°傾いている(写真-4、図-3)。また、GPWSの固定目的で上面四隅に各1個、周囲地盤面端部上に約5mピッチで大型土のうが設置されている。写真-5は仮置場の全景と測定対象ブロック(赤線囲み部)である。



写真-5 仮置場全景(赤線囲みが測定対象ブロック)

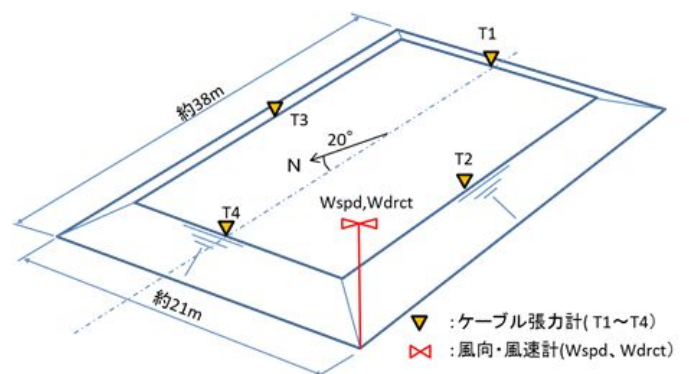


図-3 測定対象ブロックの形状と測定装置の位置

(2) 測定項目と方法

表-2 および、図-3 に示す通り測定項目は風向風速、ケーブル張力である。電源は測定対象ブロック近傍に設置した太陽光発電装置から供給した。風向風速計は測定対象ブロック北西角の地盤面から約7mの位置に設置した。また、GPWSの構造上、作用する張力を直接測定することは難しいため、GPWSにワイヤーケーブルを取り付け、そのワイヤーケーブルに作用する張力(以下、ケーブル張力)を測定した。

表-2 測定項目と装置

測定項目	測定装置	記号
風向・風速	風車型風向風速計 (KONA,KDC-54)	W_{drcct} 、 W_{spd}
ケーブル張力	ロードセル(10kN)	T1、T2、T3、T4

図-4 はケーブル張力測定方法の概略図（図-3のケーブル張力計 T2 部分に相当）であり、1t 土のうとH型鋼をアンカーとして反力をとる構造とした。なお、ワイヤーケーブルのたるみがなくなる程度に初期張力をかけた状態をロードセルの初期値(0)とした。写真-6、7、8に各装置を示す。

(3) 測定結果

目視観察によると平均風速が10m/s程度まで上昇するとGPWSが写真-4のように膨らんでケーブル張力が発生することがわかった。とりわけ、太平洋上を北上して急激に発達した低気

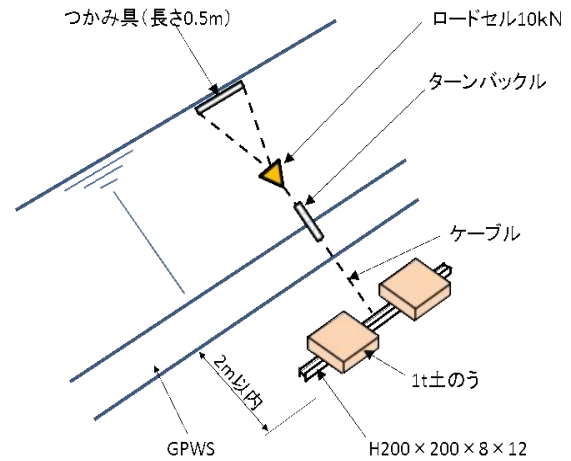


図-4 ケーブル張力測定方法の概略



写真-6 ケーブル張力測定装置



写真-7 電源(太陽光発電)



写真-8 風向風速計

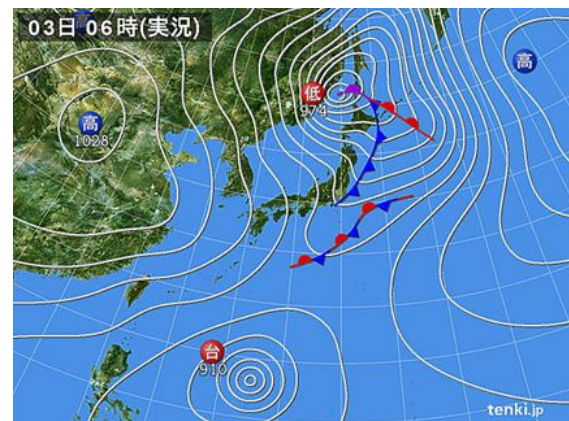


図-5 天気図 (2014. 11. 03 6 : 00am) ⁶⁾

圧が通過した 2014 年 11 月 3 日には顕著なケーブル張力が発生した。図-5 に 11 月 3 日 am6 : 00 の天気図⁷⁾を示す。図-6 に測定時間 0~450min の 10 分間平均風向を、図-7 に 10 分間平均風速を、図-8 に T3 のケーブル張力を示す(いずれも横軸原点は 11 月 3 日 am2 : 44)。強風は一定風向(西北西, 約 280°)で 10 分間平均風速は約 9.4m/s (最大瞬間風速は約 23m/s)であった。

表-3 に最大ケーブル張力が発生した時刻(246min)でのケーブル張力とガスト影響係数を示す。なお、ガスト影響係数は同時刻における 10 分間平均ケーブル張力に対する 0.05 秒毎(20Hz)で計測したケーブル張力との比とした。

4. ケーブル張力の数値解析値と実測値の関係
GPWS は風圧力を受けると変形し、その変形した GPWS は逆に風圧力に影響を与える。このような現象を考慮して、流体解析(CFD 解析)と構造解析(SA 解析)の繰り返しにより、計算

前後で変形量が収束する状態となった 5 回目の計算値を解析結果とした⁸⁾。なお、流体解析はレイノルズ平均ナビエ-ストークス式に基づく計算手法(RANS)を用いて定常解析とし、有限体積法で平均風圧係数を求めた。乱流モデルには RNGk-ε モデルを用いた。構造解析は幾何学的非線形を考慮した太陽工業(株)製有限要素法ソフト MAGESTIC を用いた。GPWS の引張剛性やせん断剛性は一軸引張試験結果とポアソン比から算定した。表-4 に解析に用いた GPWS およびケー

ブルの諸元を示す。図-9 は解析時のグリッド形状と境界条件である。外力は前述の測定で得られた風向 280°(西北西), 10 分間平均風速 9.4m/s とした。図-10 に GPWS の変形図、図-11 にケーブル張力の解析結果の一例を示す(ともに 5 回目 SA 解析結果)。解析は 10 分間平均風速を外力としているため、解析値と測定値の比較に際しては測定値(20Hz)をガスト影響係数 G_f で除した値との比 α_1 (補正前)で評価した。表-5 に比較結果を示す。

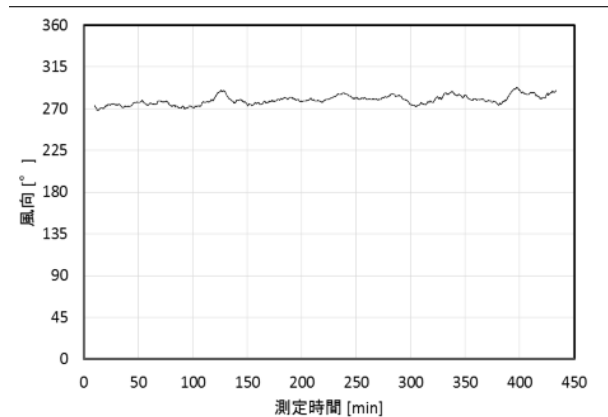


図-6 10分間平均風向

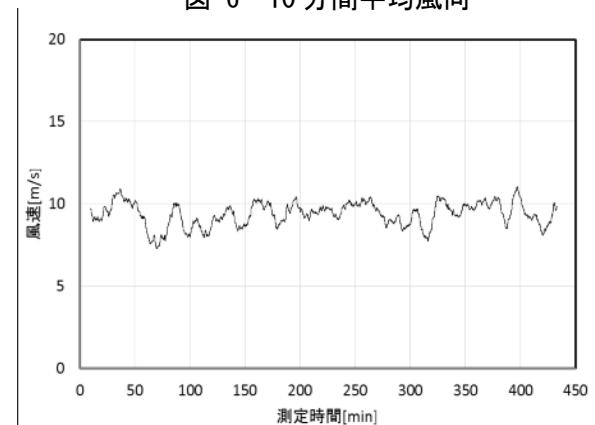


図-7 10分間平均風速

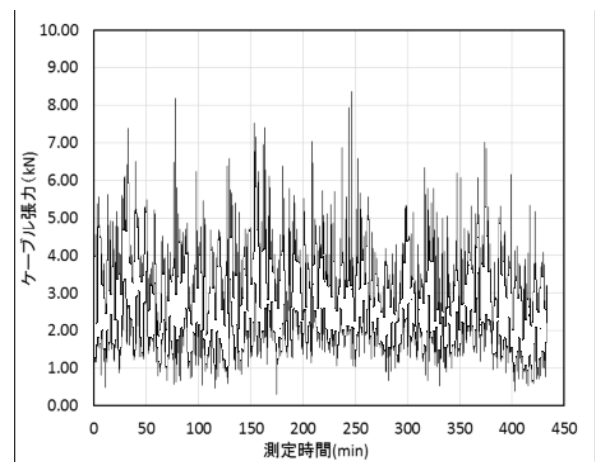


図-8 ケーブル張力(T3, 20Hz)

表-3 ケーブル張力とガスト影響係数

ケーブル	ケーブル張力(kN)		ガスト影響係数 $G_f(a/b)$
	(a)測定値(20Hz)	(b)10分間平均	
T1	2.18	0.37	5.94
T2	6.93	2.77	2.50
T3	8.36	2.87	2.92
T4	0.71	0.52	1.35

風上、風下側である短軸方向の T2、T3 はそれぞれ、 $\alpha=0.9、0.8$ と比較的一致するが、長軸方向の T1、T4 では $\alpha=2.9、7.4$ と差が大きい結果となった。この差の要因としては以下が考えられる。

- a) 北西隅角部に設置した風向風速計設置足場による風圧力への影響
- b) GPWS 四隅に設置されていた大型土のうの風圧力への影響
- c) 内圧の変動による影響(GPWS 側面に設置された放熱パイプから風の吹き込み等に起因)
- d) 経時的なケーブルの緩み
- e) 周辺地形の影響 (写真-4 に示すとおり、近傍に他ブロック群が存在)

表-4 GPWS とケーブルの諸元

GPWS	引張剛性(N/cm)	タテ	360.6
		ヨコ	285.7
	ポアソン比	タテ	0.30
		ヨコ	0.24
せん断剛性(N/cm)			124.3
単位面積重量(N/m ²)			5.88
ケーブル	ヤング係数(N/mm ²)		137000
	断面積(mm ²)		39.4
	単位長さ重量(N/m)		3.2

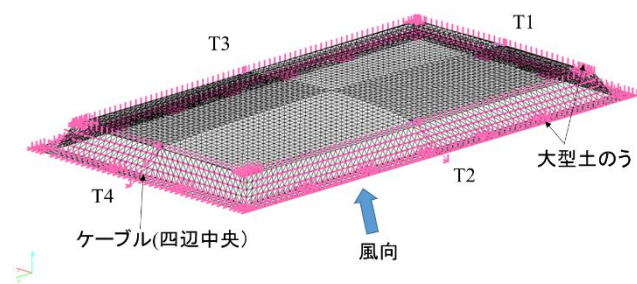


図-9 解析の境界条件

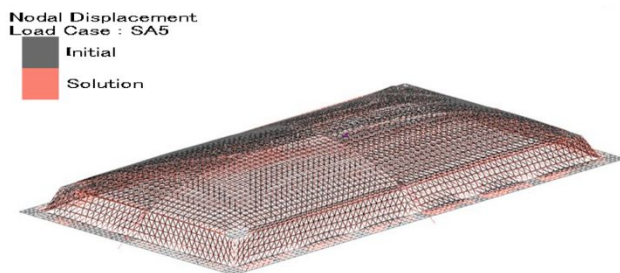


図-10 変形図

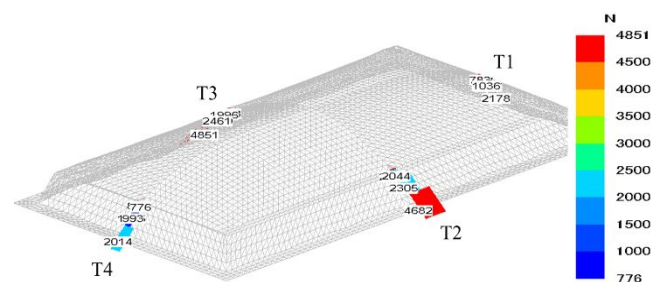


図-11 ケーブル張力

表-5 解析値と測定値の比較

ケーブル	補正前	補正後	b.測定値(20Hz)/G _r ※	補正前	補正後
	a ₁ .解析値(kN)	a ₂ .解析値(kN)		$\alpha_1(a_1/b)$	$\alpha_2(a_2/b)$
T1	2.18	1.32	0.75	2.9	1.8
T2	4.68	3.68	4.95	0.9	0.7
T3	4.85	3.98	5.97	0.8	0.7
T4	2.01	0.94	0.27	7.4	3.4

※G_rは解析対象測定値のうち最小値

写真-4 でもわかるように実際の GPWS はブロックの風上北西側で変形が抑えられた状態にあることが確認されている。一方、解析では図-10 に示したように全体的に膨らんだ結果となる。この変形の違いが T1、T4 ケーブルで測定値と解析値の差が大きくなった一因と考えられる。そこで、図-12 に示すように北西、南東側の GPWS の一部節点に鉛直下向きの荷重を与え、補正解析を行った結果、表-5 に示すとおり T2、T3 では $\alpha_2=0.7$ となり差は若干増えるが T1、T4 ではそ

それぞれ $\alpha_2=1.8$ 、 3.4 となりその差は縮小する結果となった。前述のとおり、周辺環境やケーブルの緩み等の影響等を受け、長軸方向（概ね風向に直角方向）のケーブル張力の解析結果が測定値より大きくなる傾向を示したが、測定値が比較的大きい短軸方向（概ね風向）では、ほぼ一致した。以上より、当該検討で用いた数値解析モデルはとりわけ、風を受けてケーブル張力が大きくなる風上・風下方向において、ケーブル張力の測定値を概ね説明しうることがわかった。

5. 数値解析による GPWS 張力の測定

4 章で用いた数値解析モデルを用い、**図-13** に示す仮置場の形状(幅 20m×長さ 40m×高さ 3m)での風速と GPWS の膜張力の関係を求めた。GPWS の諸条件は前項までと同様である。なお、GPWS の全周端部は実際の仮置場の状況(全周大型土のう設置)を想定して固定とし、風向はこれまでの検討結果から張力が大きくなる短軸方向(長辺に直角)とした。**図-14** に風速 30m/s 時の GPWS の短軸方向膜張力、**図-15** に同長軸方向膜張力の解析結果の一例を示す。また、**図-16** に解析によって得られた風速と GPWS の膜張力の関係を示した。例えば、短軸方向に風速 30m/s の風荷重が作用した場合、短軸方向で 4.95kN/m、長軸方向で 2.90kN/m の膜張力が作用する解析結果となった。

6. まとめ

実際の仮置場の GPWS にケーブルを取り付け、間接的に GPWS に作用する張力（ケーブル張力）と風速を測定した。また、測定により得られた 10 分間平均風

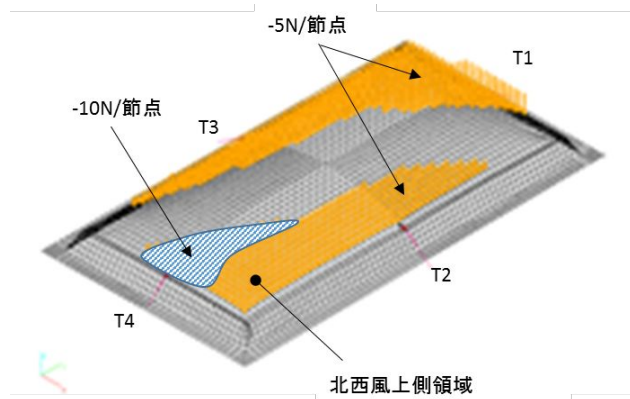


図-12 補正解析での鉛直下向き荷重

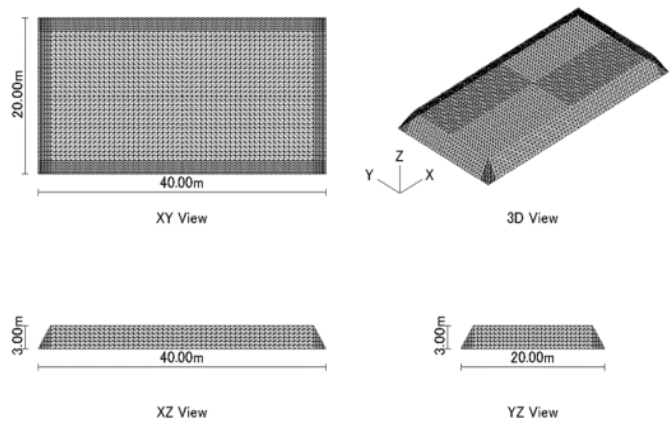


図-13 解析モデル

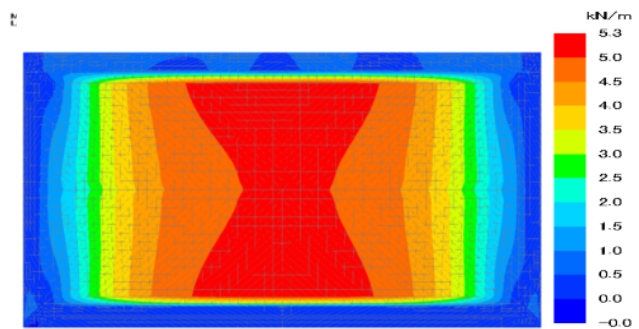


図-14 GPWS 短軸方向膜張力(風速 30m/s 時)

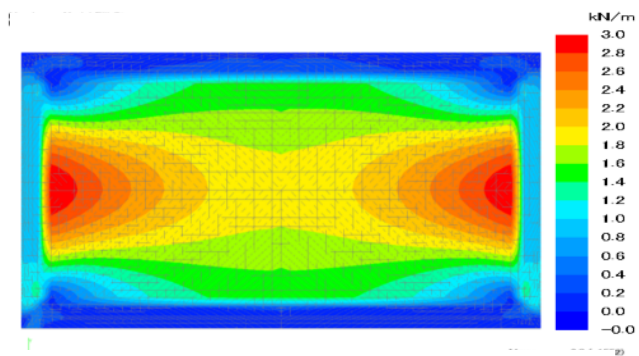


図-15 GPWS 長軸方向膜張力(風速 30m/s 時)

速・風向を外力として数値解析(流体解析・構造解析の繰り返し計算)を行いケーブル張力を計算した結果、測定値の絶対値が小さい長軸方向(概ね風向に直角方向)の解析結果が測定値より大きくなる傾向を示したが、測定値の絶対値が大きい短軸方向(概ね風向)では測定値とほぼ一致した。これは、周辺環境(風向風速計設置足場、周辺地形等)や実際の仮置場には存在しないケーブルの緩み等が影響したためと考えられる。さらに、同数値解析モデルを用いて、幅20m×長さ40m×高さ3mの仮置場形状の短軸方向から風速を作用させる

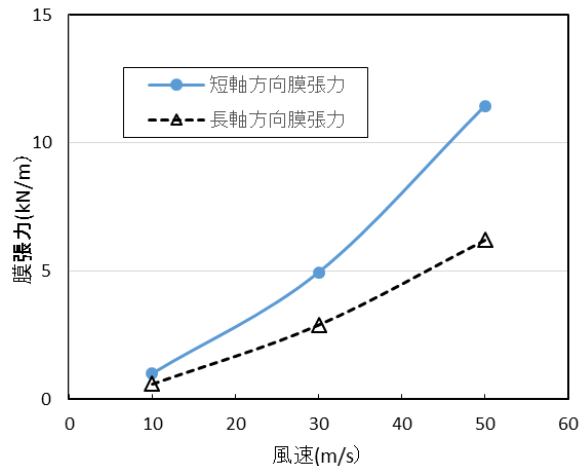


図-16 風速と GPWS 膜張力の関係

条件で解析し、GPWSの膜張力と風速の関係を求めた。その結果、例えば、風速30m/sでは短軸方向(風上・風下方向)で最大4.95kN/mの膜張力がGPWSに作用する結果となった。

なお、今回測定対象とした仮置場に用いられている GPWS の引張強さ(カタログ値)は表-1 に示すとおり、18.5kN/m(925N/5cm)であり解析結果に対し、十分な引張強さを有するといえる。

参考文献

- 1) 除染等工事共通仕様書(第10版),環境省
- 2) 環境省除染チーム:環境回復検討会(第14回)資料3,除染特別地域(直轄除染地域)における除染土壌等の保管状況について,2015
- 3) 石田正利・武田文義・山本正人・西村正樹・赤井智幸・遠藤和人・嘉門雅史:除染廃棄物仮置場上部シートの現場測定結果を踏まえた数値解析による風速と張力の関係,ジオシンセティックス論文集第31巻,pp.99~104,2016
- 4) 除染廃棄物の適正保管に係る取組み~ガス透過性防水シートを中心に~,ジオシンセティックス技術研究会,pp.1~7,2016
- 5) 例えば、公益社団法人日本材料学会:「地盤改良」に関わる技術審査証明報告書 ガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法,2012
- 6) 石田正利・小嶋淳・西村正樹・赤井智幸・山本正人・遠藤和人・嘉門雅史:除染廃棄物仮置場上部シートの風による張力測定,土木学会第70回年次学術講演会論文集,pp.63~64,2015
- 7) 気象庁ホームページ
- 8) 武田文義・吉野達矢・石田正利:仮置場上部シートに作用した風力推定の試み,日本建築学会退会(九州)学術講演会梗概集,構造 I,2016