

傾斜地設置型/営農型/水上設置型

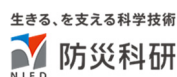
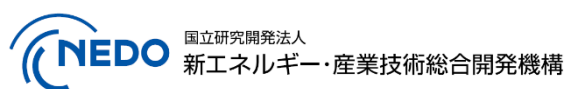
太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版

技術資料：

水上設置型太陽光発電設備の風水洞結果の概要

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」事業の結果として得られたものです。

2023 年 4 月 28 日



・太陽電池パネル模型

一般的な水上設置型太陽光発電設備の太陽電池パネルを参考に、形状を模した 1/4 サイズの板を ABS 樹脂板より切出して作成した。これに穴加工を施し、固定用部材とボルトナットを用いて上記メインフロートに固定した。

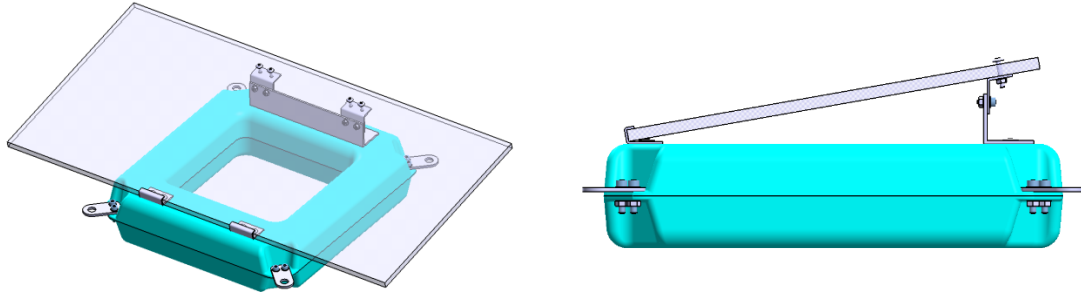


図 2-3 フロート・パネル組付け

・接合部

PVC 樹脂板および HDPE 樹脂板より切出したピン留め可能な部品を、フロート間接合部材として作製した。フロートには穴加工が施されており、ボルトナットで直接組付けを行なった。

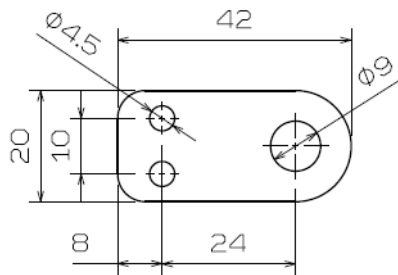


図 2-4 接合部品図面



図 2-5 接合部組付け

実物フロート形状とミニチュアモデル形状で解析を行った結果から、実物に近い剛性を有する PVC（剛性高）と実際のフロートに使用されている HDPE（剛性低）を評価対象素材として選定した。

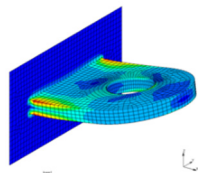


図 2-6 実物形状想定 of 解析モデル

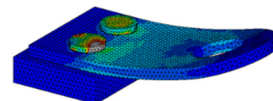


図 2-7 ミニチュアモデル形状 of 解析モデル

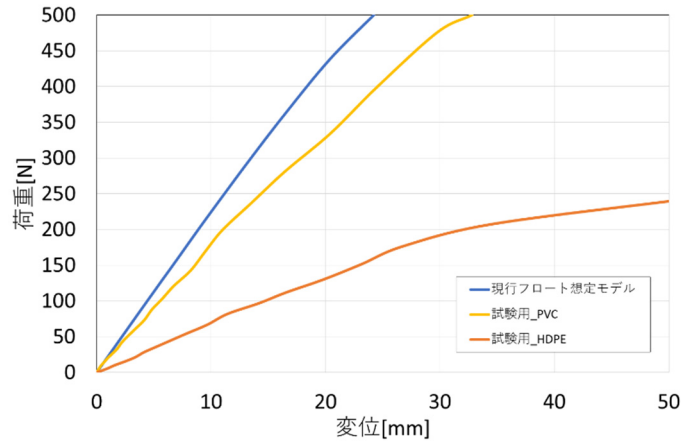


図 2-8 各解析モデルの荷重と変位の解析結果

・ 組付け方法

組付けには上記の接合部品を重ね合わせてボルトナットで固定することでフロート同士を組付けている。基本的にはパネルを積載したメインフロート模型 3×3 に加えて、試験時の風上および風下の外周部にパネルを積載していないメインフロート模型を一つずつ加えた構成となっており、風向が北か南のときはフロート配列パターン①、東か西のときはフロート配列パターン②を用いた。

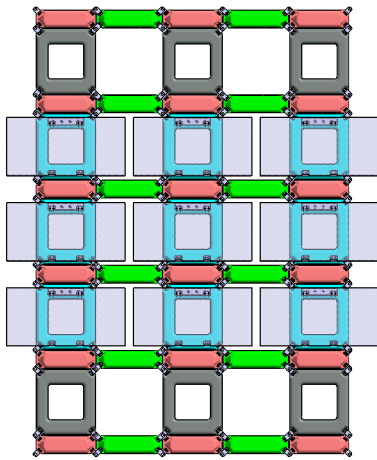


図 2-9 フロート配列パターン①
(風向：北 or 南)

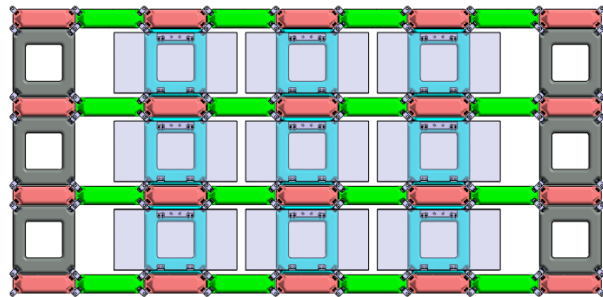


図 2-10 フロート配列パターン②
(風向：東 or 西)

・ 試験場所 (変動風水洞装置)

本試験は海技研所有の変動風水洞装置を使用した。水深が 1.5m になるように注水された水路部に対して、図 2-12 の座標系の位置にアンカーと係留索を用いて設置した。

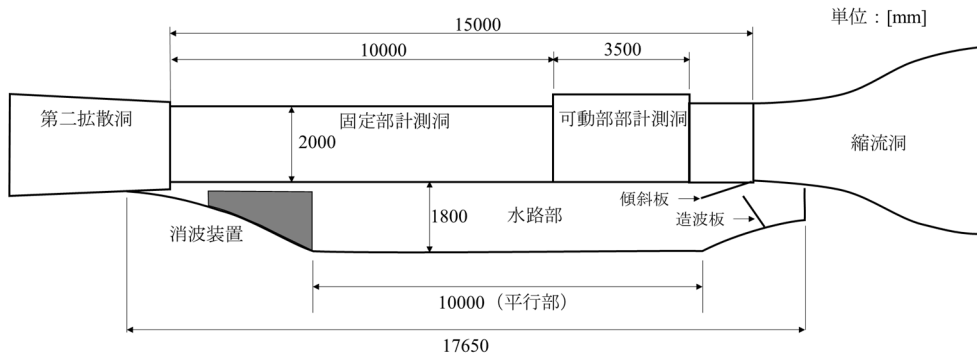


図 2-11 変動風水洞装置概略図

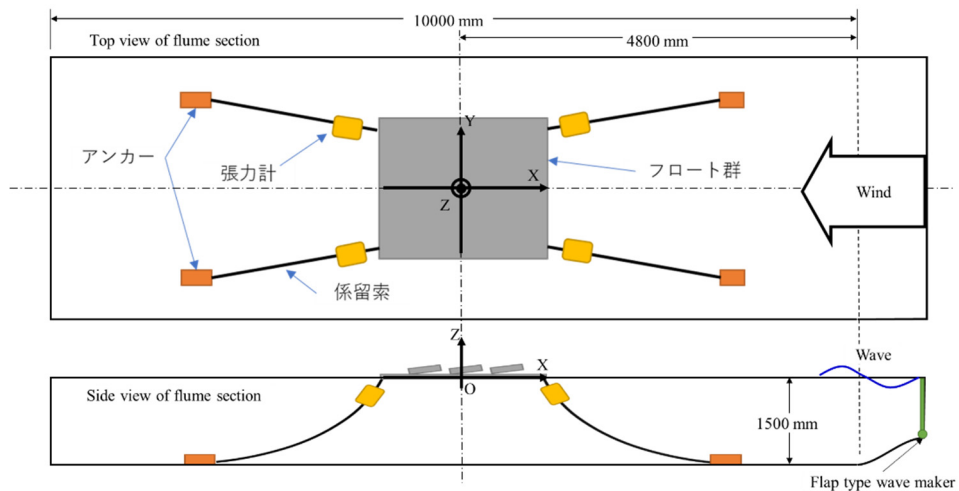


図 2-12 水路部におけるフロート配置図

(2) 試験条件

計測時に変更した条件を以下に示す。

表 2-1 条件パラメータ

条件	パラメータ	検証項目
風向	北、南、東	接合部間の軸力・曲げ特性および フロートの運動特性への影響
風速	5/10/17.5m/s	
波	有り/無し	
接合部材料	PVC (剛性高) /HDPE (剛性低)	
フロート注水	有り/無し	風による外周フロートの捲れ防止効果

各風速条件は $X=0$ 、 $Y=0$ 、 $Z=200\text{mm}$ の位置で測定した値を基準とし、波条件は周期 0.7s、波高 5cm とした。基準とした各風速条件における風速の実測値を図 2-13、表 2-2 に示す。

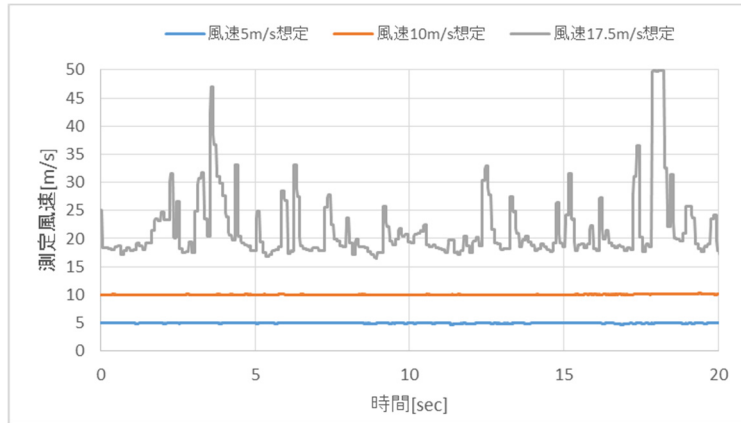


図 2-13 各風速条件における風速の実測値

表 2-2 各風速条件時の風速の実測値の平均値及び標準偏差

想定風速条件	風速 5m/s	風速 10m/s	風速 17.5m/s
平均値[m/s]	4.96	10.03	21.36
標準偏差[m/s]	0.05	0.06	5.86

風速 17.5m/s 想定条件時は、測定値が大きく変動する結果となった（測定プローブの振動や水面からの波しぶき等による影響を受けているものと考えられる）。平均値は21m/s と大きい値となつてはいるものの、下限値のラインは風速 17.5m/s であることから本条件を風速 17.5m/s 条件とした。

また設定波条件における波高さの実測値を図 2-14 に示す。

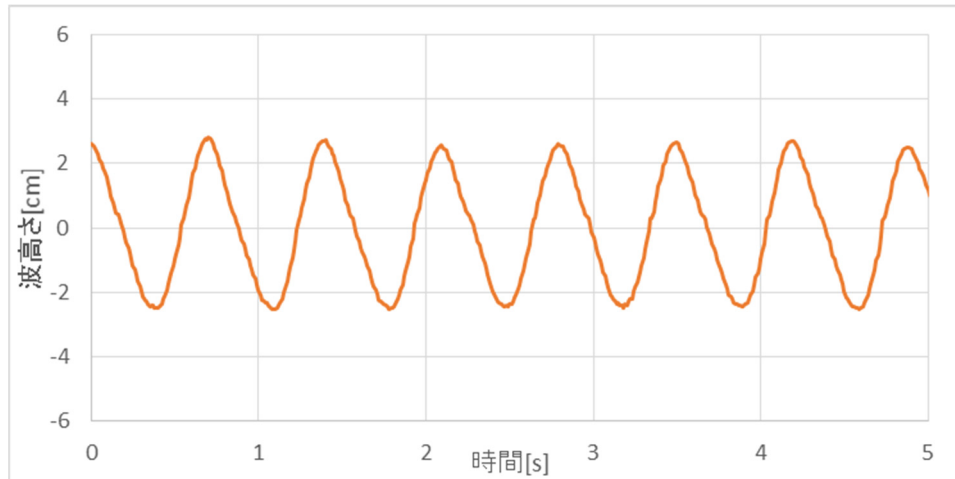


図 2-14 波条件における波高さの実測値

(3) 測定機器

試験時に使用した計測機器（海技研所有）を以下に示す。

表 2-3 計測機器一覧

機器名	メーカー	型番、製品情報等
容量式波高計	電子工業(株)	CW3-T05
防水張力計	電子工業(株)	定格 20kgf
熱線風速計	日本カノマックス(株)	アンプ : MODEL 1570 風速プローブ : 0963-00
動ひずみ測定器	(株)共和電業	DPM-911B
ブリッジボックス	(株)共和電業	DBT-120A-8
データロガー	(株)共和電業	EDX-100A
光学変位計測器	(株)ライブラリー	3次元リアルタイムトラッカー Radish3D

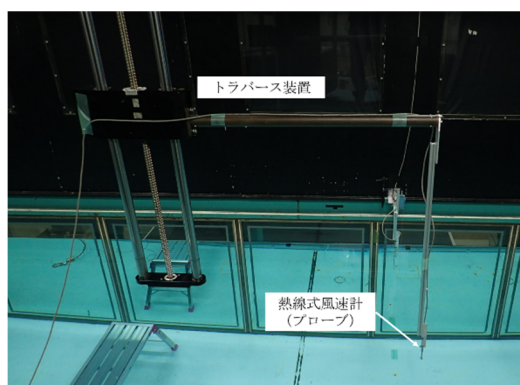


図 2-15 熱線風速計

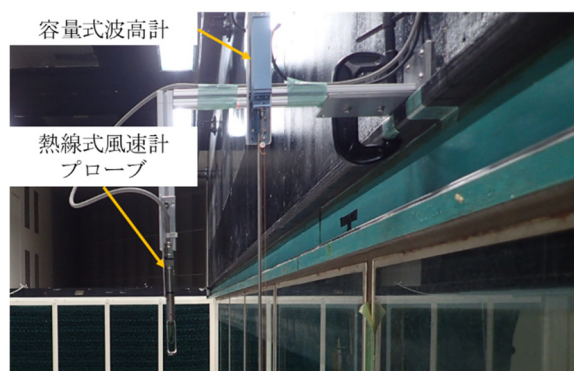


図 2-16 熱線風速計、容量式波高計



図 2-17 計測機器

(4) 測定項目

本試験での測定項目について以下に示す。

・風速

トラバース装置の先端に治具を介して設置されている熱線風速計によって水面上の風速を測定した。フロート群を設置する前に予め、トラバース装置を風向方向および鉛直方向に走査させて風洞内の水面上の風速分布を測定した。

・波高

壁面に設置された容量式波高計によって波高を測定した。

・係留索張力

フロート群の四隅に繋がる係留索にかかる張力を防水張力計により計測した。



図 2-18 防水張力計

・フロート変位 (X,Y,Z 方向)

パネル模型上に設置したマーカの変位を光学変位計測器により計測した。風上から順に P1、P2 が外周フロート上、P3、P4 が一列目のパネル上、P5、P6 が二列目のパネル上。

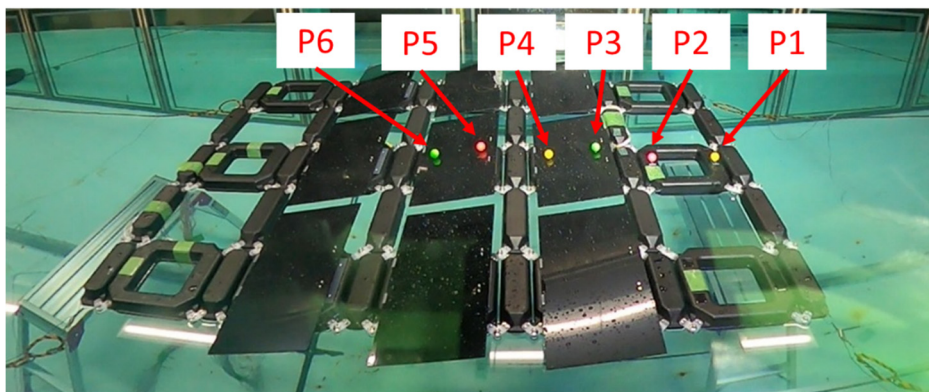


図 2-19 変位計マーカ

・接合部ひずみ

接合部に生じるひずみを動ひずみ測定器およびひずみゲージを用いて測定した。フロート配列パターンによって設置位置を変更している。

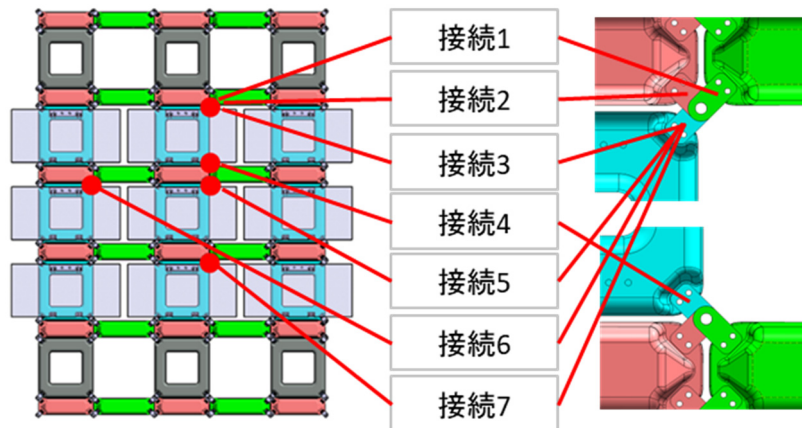


図 2-20 フロート配列パターン①のひずみゲージ設置位置

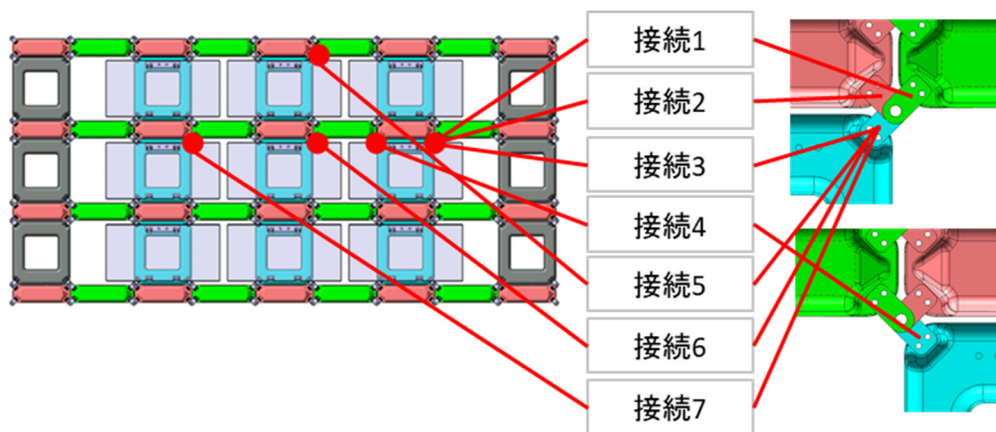


図 2-21 フロート配列パターン②のひずみゲージ設置位置

3. 試験結果

以降、試験フロート群の名称は試験条件に応じて下記の様に示す。

「試験時の風向き・接合部素材・外周フロートの注水有無」

例) 試験時の風向きが北、接合部素材が PVC、外周フロートの注水有りの場合、「北向き PVC 注水有り」

(1) 風水洞内での風速分布

試験フロートを設置しない状態での、各狙い風速における風速分布の試験結果を表 3-1、表 3-2 に示す。風速 17.5m/s では波しぶきが大きく、水面付近の風速は測定できなかった。

表 3-1 風水洞内での風速分布実測値 (20sec の平均)

狙い風速 [m/s]	測定位置 Z[mm]	風速 実測値[m/s]				
		X[mm]				
		-4000	-2500	-1000	0	1000
5	300	5.0	5.2	5.2	5.1	5.1
	200	4.8	5.0	5.1	5.1	5.1
	150	4.5	4.8	4.9	5.0	5.0
	100	4.1	4.5	4.7	4.7	4.8
	75	3.9	4.2	4.4	4.6	4.6
	50	3.6	4.0	4.1	4.3	4.4
	0					
10	300	10.0	10.3	10.3	10.3	10.2
	200	9.4	9.9	10.1	10.1	10.1
	150	8.7	9.4	9.7	9.8	9.9
	100	8.0	8.6	8.9	9.1	9.3
	75	7.5	8.0	8.3	8.7	8.9
	50	7.2	7.5	7.7	8.0	8.3
	0					
17.5	300	21.2	21.7	21.1	20.9	21.5
	200	27.7	27.5	26.1	24.3	21.5
	150					
	100					
	75					
	50					
	0					

表 3-2 風水洞内での風速分布実測値の標準偏差

狙い風速 [m/s]	測定位置 Z[mm]	実測値 標準偏差[m/s]				
		X[mm]				
		-4000	-2500	-1000	0	1000
5	300	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02
	200	0.11	0.08	0.08	0.07	0.04
	150	0.18	0.13	0.11	0.11	0.10
	100	0.21	0.20	0.14	0.13	0.12
	75	0.24	0.21	0.18	0.17	0.16
	50	0.26	0.26	0.25	0.19	0.20
	0					
10	300	0.11	0.07	0.06	0.04	0.06
	200	0.28	0.21	0.17	0.11	0.10
	150	0.35	0.29	0.24	0.22	0.18
	100	0.45	0.36	0.35	0.32	0.29
	75	0.53	0.40	0.39	0.39	0.32
	50	0.51	0.51	0.46	0.44	0.44
	0					
17.5	300	3.66	4.68	2.26	3.45	0.18
	200	8.94	9.10	7.63	7.40	3.51
	150					
	100					
	75					
	50					
	0					

また代表的な位置での各風速における実測データを図 3-1~図 3-3 に示す。

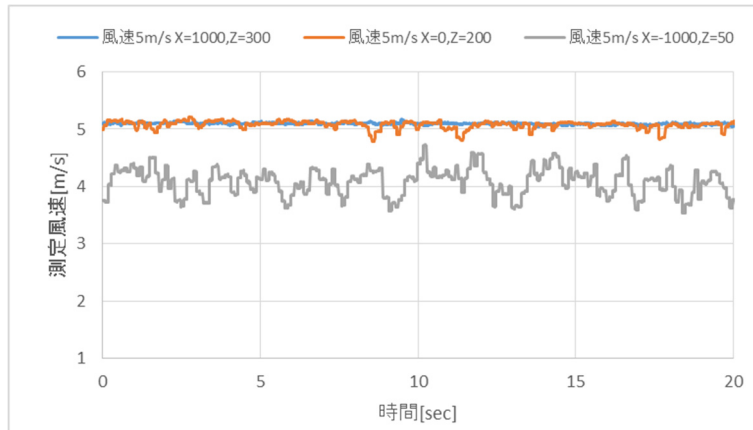


図 3-1 各狙い風速における水面の波形（風のみ）

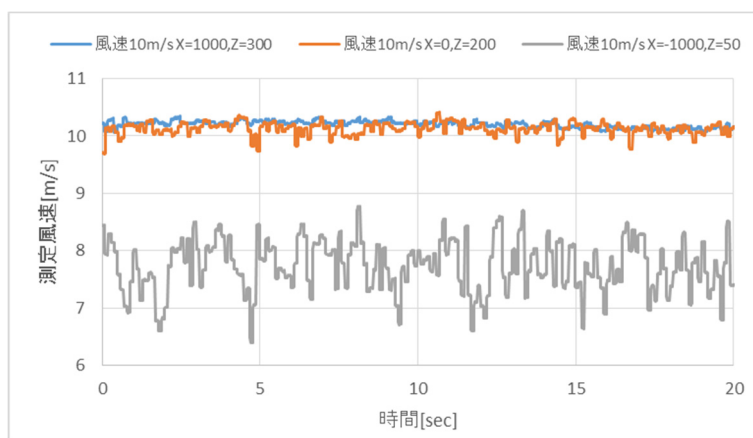


図 3-2 各狙い風速における水面の波形（風のみ）

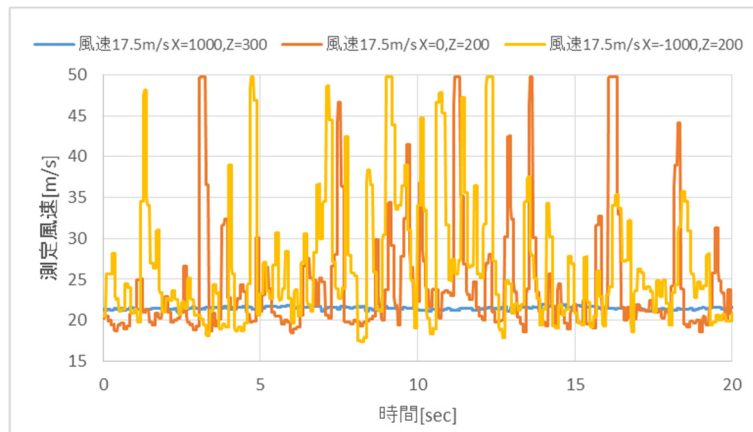


図 3-3 各狙い風速における水面の波形（風のみ）

- 水面に近づくと風速は弱まる傾向があった。
- 水面付近では風速の標準偏差は大きくなった。
- 2.試験内容-(2) 試験条件で述べた様に、今回設定した風速 17.5m/s の条件下ではばらつきが大きく実測の平均値としては 17.5m/s よりも大きい値となっている。

(2) 各狙い風速で発生する波

風水洞内に試験フロート群「北向き PVC 注水有り」を設置した状態での、各狙い風速における水面の波形と、波を風と同時に与えた場合の水面の波形を図 3-4、図 3-5 に示す。

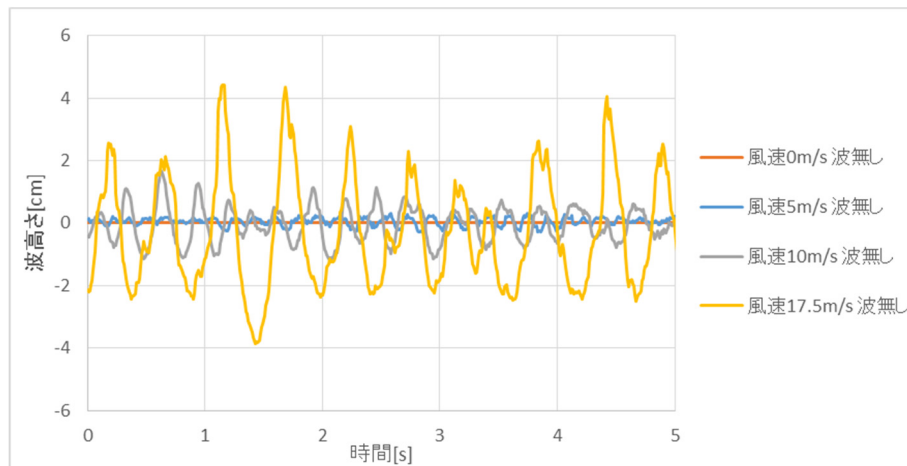


図 3-4 各狙い風速における水面の波形（風のみ）

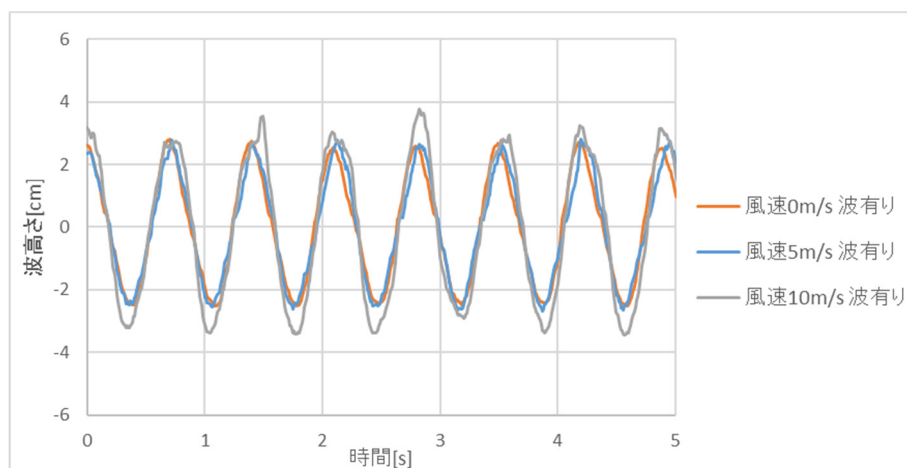


図 3-5 各狙い風速における水面の波形（風＋波条件）

- 風だけの条件では風速 5m/s 時は約 0.5cm、風速 10m/s 時は約 3cm、風速 17.5m/s 時は約 8cm の最大波が発生した。
- 風によって作られる波は周期・波形共にバラツキが生じ、風速が大きくなる程、波周期は長くなる傾向が確認された。
- 風と波を同時に与えた条件において、10m/s 以下の風が波に及ぼした影響はわずかであるが、風速が大きくなる程波も大きくなる傾向が確認された。

(3) 係留索張力

試験中の係留索張力について、代表値として「北向き PVC 注水有り」における各風速条件、波条件での測定グラフを図 3-6 に示す。

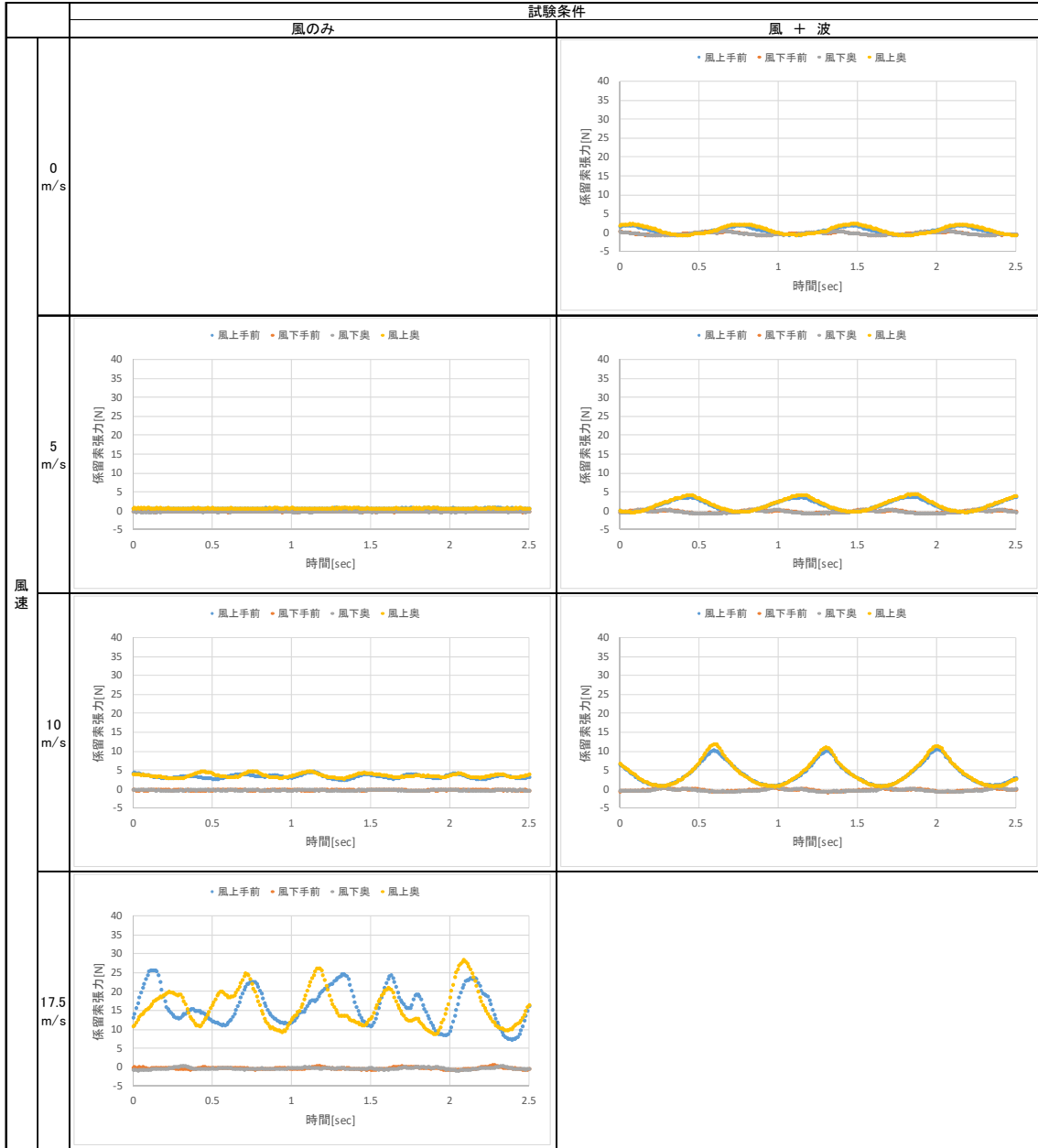


図 3-6 「北向き PVC 注水有り」での各風・波条件における係留索張力

各狙い風速において測定した係留索張力最大値の比較を図 3-7、図 3-8 に示す。

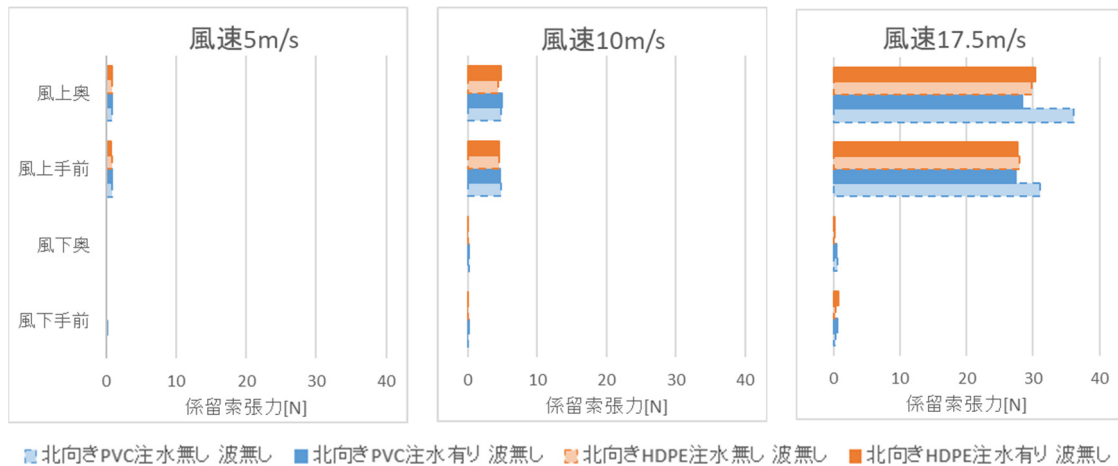


図 3-7 風だけの条件での係留索張力最大値の接合部素材、注水有無での比較

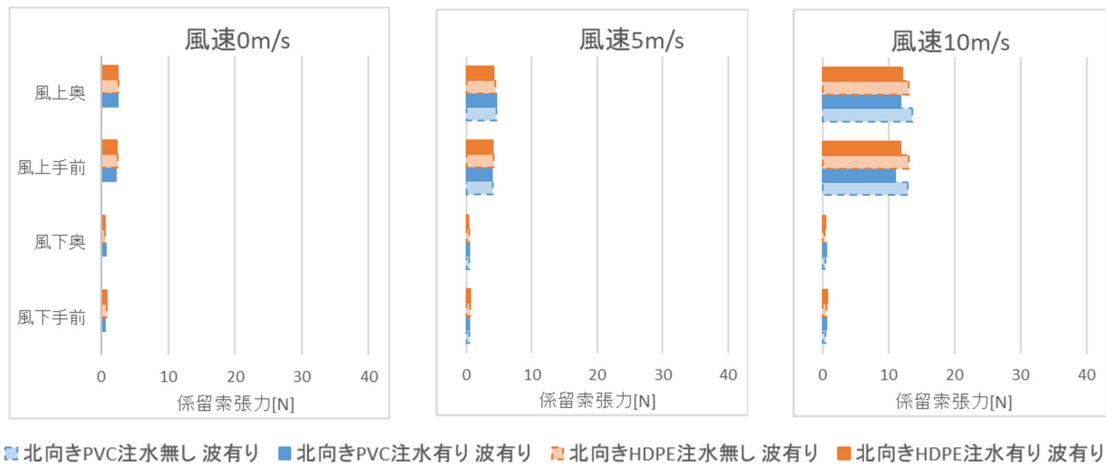


図 3-8 風+波有りの条件での係留索張力最大値の接合部素材、注水有無での比較

- ・ 接合部の剛性の違い（PVC と HDPE）は係留索張力に影響を及ぼさなかった。
- ・ 係留索張力が小さい時（風だけの条件では風速 10m/s 以下、風+波の条件では風速 5m/s 以下）は外周フロートへの注水有無に大きな差は見られなかった。
- ・ 係留索張力が大きい時（風だけの条件では風速 17.5m/s、風+波の条件では風速 10m/s）は外周フロートへ注水を行った際、係留索張力は低くなる傾向があった。
- ・ 風と波を同時に与えた際、係留索へかかる最大張力は風と波を個別に与えた際に発生する張力を足した値よりも大きくなった。

(4) フロートの変位

試験中のフロートの変位計マーカーの Z 軸変位量について代表値として「北向き PVC 注水有り」における各風速条件、波条件での測定グラフを図 3-9 に示す。

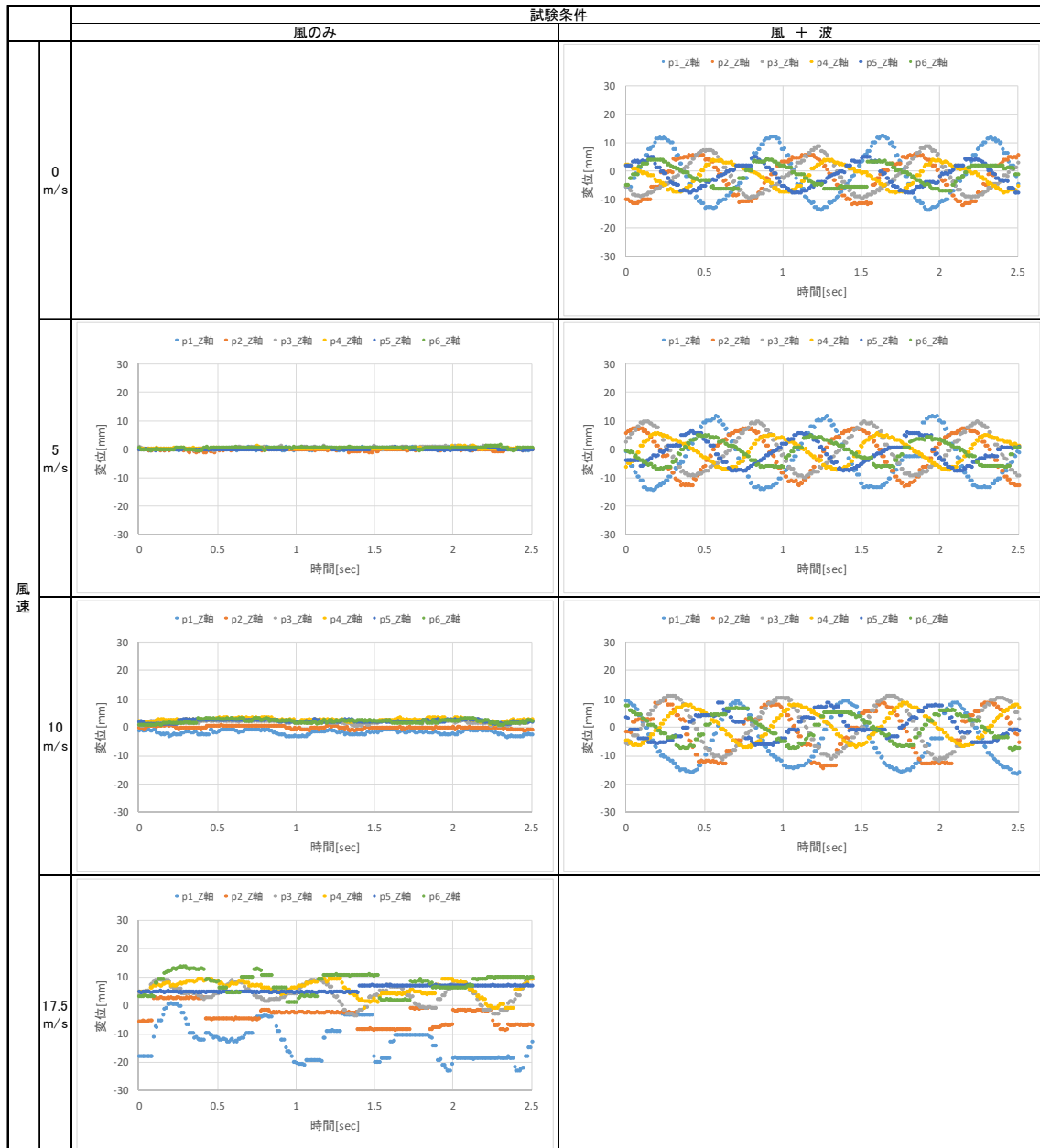


図 3-9 「北向き PVC 注水有り」での各風・波条件における変位計マーカ-Z 軸変位量

風速 17.5m/s では、試験中大きな水しぶきが発生し、その影響でマーカの読み取りが上手くいかず、不連続なデータとなった。

各狙い風速別に、変位計マーカ-Z 軸変位最大値の比較を図 3-10、図 3-11 に示す。

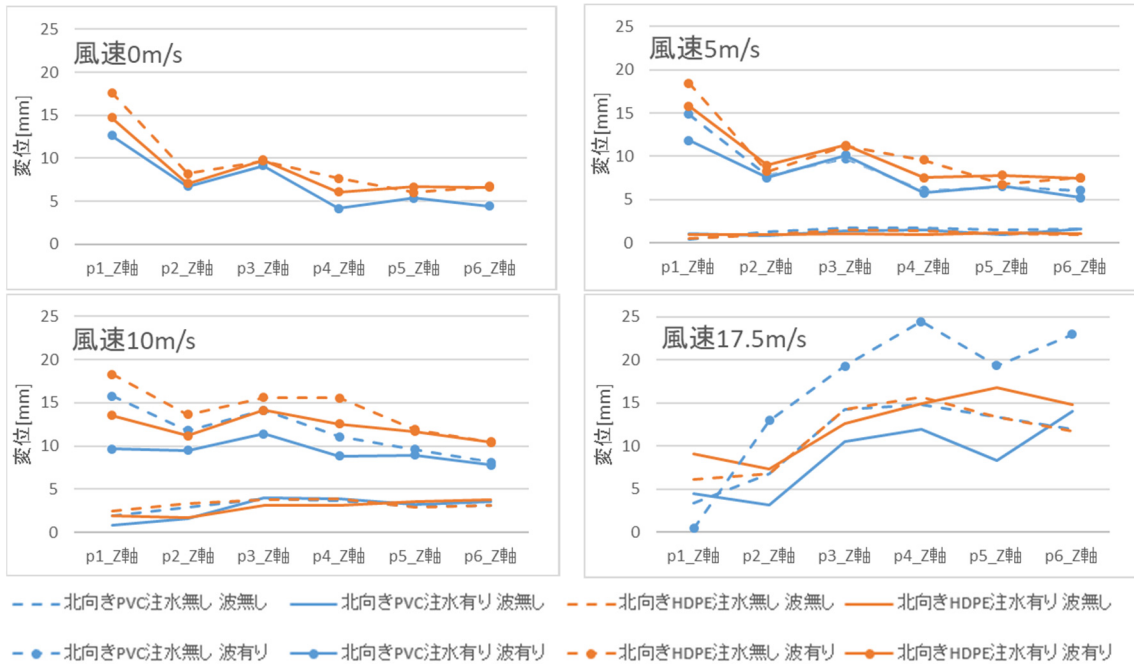


図 3-10 Z 軸変位最大値の接合部素材、注水有無での比較

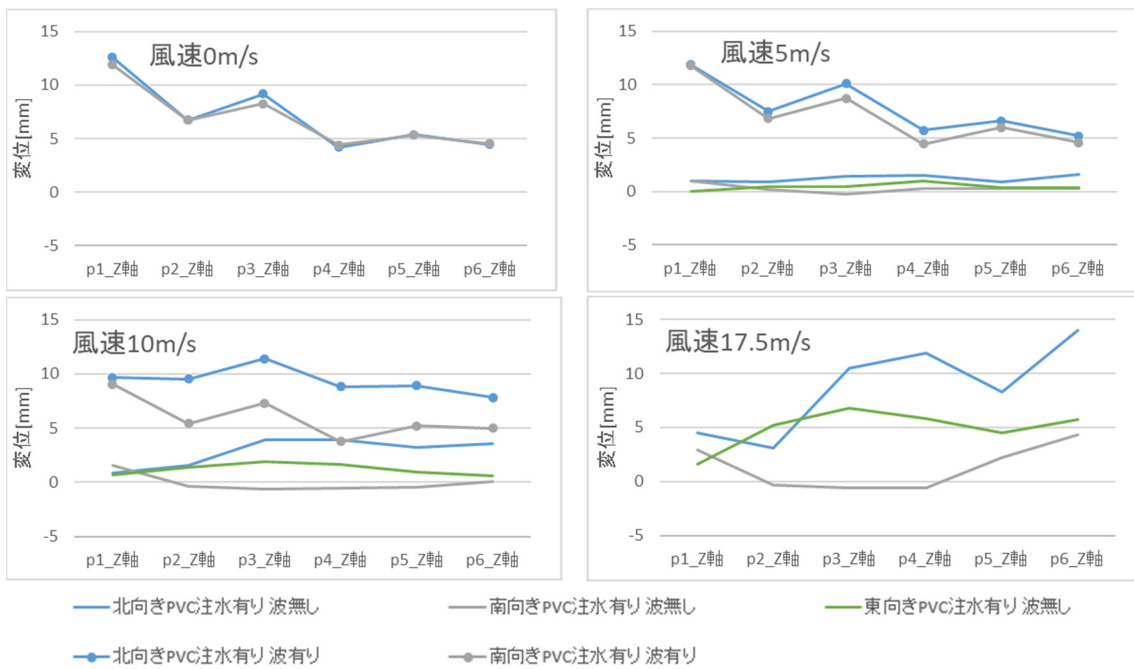


図 3-11 Z 軸変位最大値の風向での比較

- ・ 接合部素材で比較すると、剛性が高い素材（PVC）よりも低い素材（HDPE）の方が Z 軸方向変位は大きくなる傾向が確認された。
- ・ 外周フロートへの注水有無を比較すると、注水が無い方が、Z 軸方向変位が大きくなる傾向が確認された。

- ・ 風速が大きくなると風上側のフロートが係留索に引っ張られることで変動が小さくなる傾向が見られた。特に風+波の条件では、風速が低いときは風上側（p1側）の最大変位が風下側（p6側）よりも大きい、風速が強くなるとその傾向が逆転した。
- ・ 風向きで比較すると、南向きの風を与えたときに島全体が沈みこむ傾向が確認された。最大変位量としては北向き > 東（西）向き > 南向きの傾向があり、パネルの向きに応じて風によるフロートへの荷重の掛かり方が変化している為と考えられる。

(5) フロート接合部の引張荷重、曲げ荷重

試験中のフロート接合部の引張荷重、曲げ荷重について代表値として「北向き PVC 注水有り」における各風速条件、波条件での測定グラフを図 3-12、図 3-13 に示す。

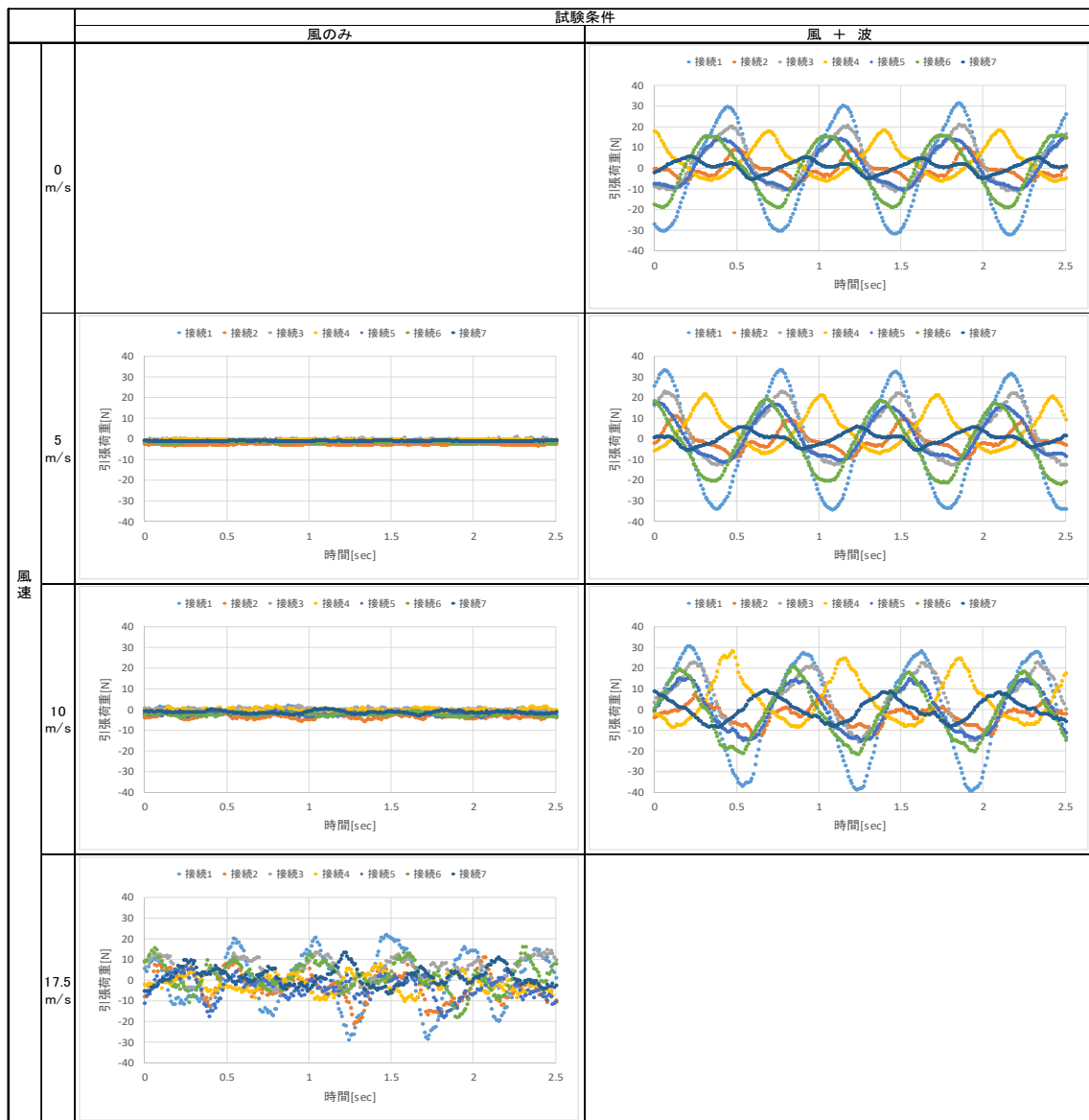


図 3-12 北向き PVC 注水有りフロートでの各風・波条件における接合部の引張荷重

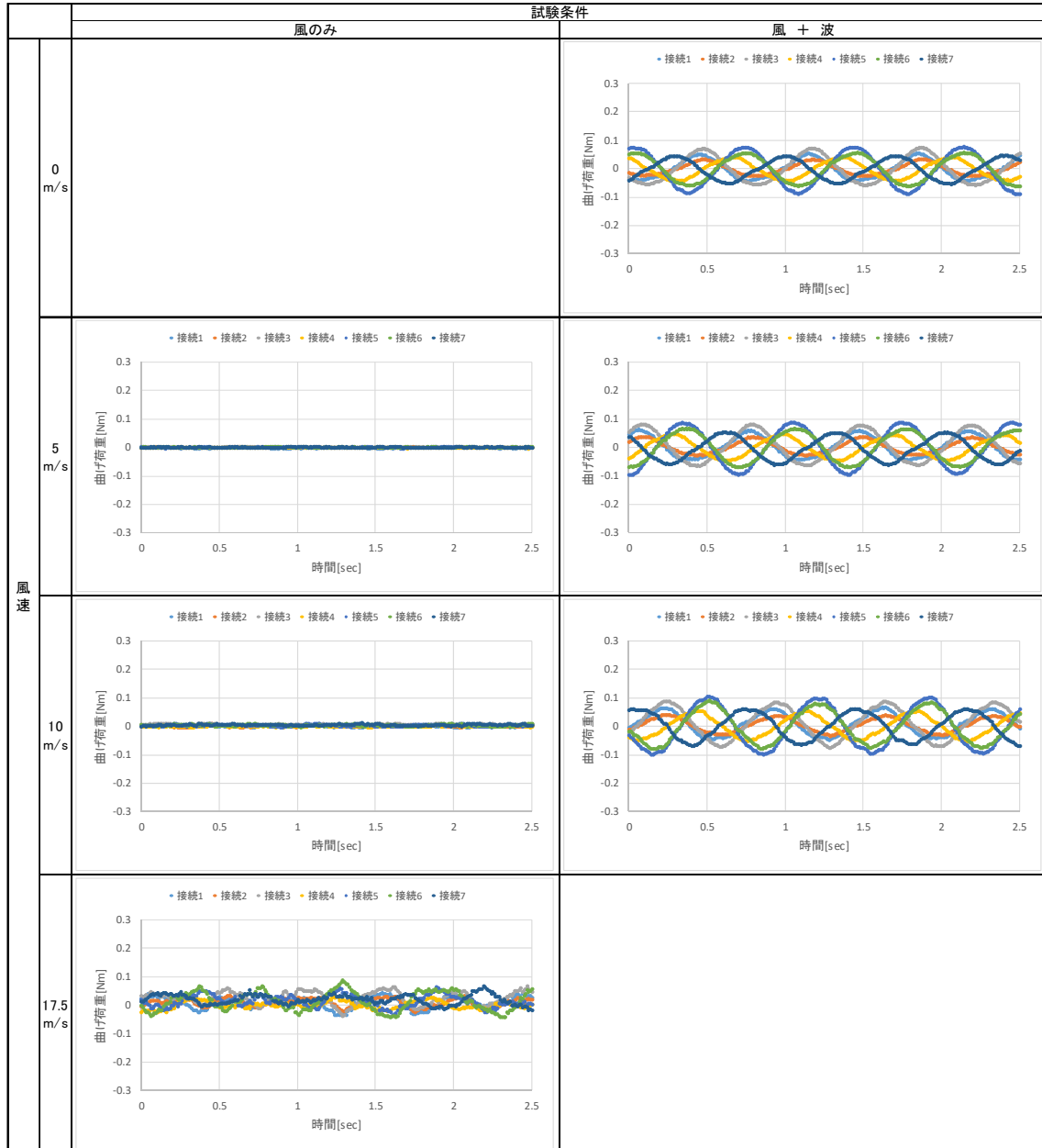


図 3-13 北向き PVC 注水有りフロートでの各風・波条件における
接合部の曲げ荷重

- ・ 接続点への歪ゲージ取り付けのばらつきや、フロート同士を接続した段階で初期荷重が掛かっていることがあり、今回の測定方法では波や風が各接続点に及ぼす荷重を正確に把握することはできなかった。
- ・ 今回の接合部毎の引張・曲げ荷重測定結果から、明確な傾向は得られなかった。

4. まとめ

本試験結果から、得られた知見は以下の通り。

- ・ フロート間接合部剛性が係留索の張力へ及ぼす影響は小さかった。
- ・ 外周フロートに注水を行うことにより、係留索に掛かる張力が小さくなる傾向にあることを確認できた。
- ・ フロート間接合部剛性が低くなると、各フロートの Z 軸方向変位量は大きくなる傾向が認められた。
- ・ 外周フロートに注水を行うことで同変位量が小さくなる傾向にあることを確認できた。
- ・ フロート間接合部間の軸力・曲げ特性に関する明確な傾向は得られなかった。

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」事業の結果として得られたものです。