

傾斜地設置型/営農型/水上設置型

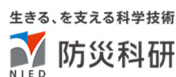
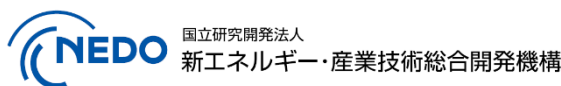
太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版

技術資料：

打込式アンカー斜め引張試験結果の概要

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



打込式アンカー斜め引張試験結果の概要

1. 概要

水上設置型太陽光発電設備の水中アンカーは、主に水底打込式アンカーと重力式ブロックアンカーに分類されるが、その設置の容易性等から、国内では打込式アンカーを採用している事例が多い。その一方で、既往被災においては打込式アンカーが引抜かれた事例があり、アンカーに作用する外力が設計値を超過したか、あるいは、アンカー打込み角度(耐力方向)に対する係留索の引張方向が傾斜したことによる耐力低下が要因と想定される。

本資料では、アンカーの打込み角度(耐力方向)に対して水平力が発生する場合のアンカーの耐力低下の有無やアンカーの変形特性について把握するため、実際に水上設置型太陽光発電設備で使用されているアンカーを用いて斜め引張試験を行った結果を紹介する。

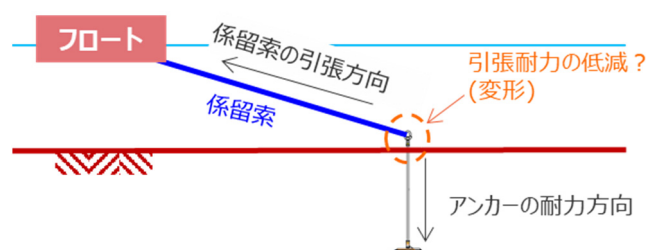


図 1-1 打込式アンカーの耐力方向及び係留索の引張方向

2. 試験内容

本試験の計測項目は次のとおり。

表 2-1 計測項目

No.	計測項目	計測方法	備考
①	引張荷重	荷重計	・ サンプル周波数 : 1Hz
②	スィベルアイナットの変位 (アンカー天端位置)	変位計	・ 鉛直変位 ・ 水平変位



図 2-1 斜め引張試験状況（試験前）



図 2-2 斜め引張試験状況（試験後）

3. 試験条件

(1) 打込式アンカー

本試験で使用した打込式アンカーを表 3-1 及び図 3-1、図 3-2 に示す。当該アンカーは、水上設置型太陽光発電設備にて使用実績が多く、打撃貫入にて打設したのちに引抜载荷を行うことでアンカーを地中で反転・定着させ引張反力を得る構造である。本試験では 20kN 以上の引張反力を確認することでアンカーが反転・定着したと判断した。

表 3-1 アンカー部材

部材名	規格・仕様	摘要
アンカー	マンタレイ・アースアンカー MR-SR	引抜耐力 40 kN 以上
アンカーロッド	SAR-10-1.4	L=1.4m、φ23
スイベルアイナット	ENS-32G	



図 3-1 アンカー全景



図 3-2 アンカー貫入状況 (左：貫入前、右：貫入途中)

(2) 斜め引張角度

本試験の対象とした引張角度を表 3-2 に示す。引張角度は、施工実績の多い仰角 30 度に加え、仰角 45 度、仰角 90 度（鉛直引張）を対象とした。また、1 基のアンカーに 2 本の係留索が取付けられている場合や、斜めから風が作用した場合は、アンカーの向きに対し斜めの荷重が作用することが考えられる（図 3-4）。このことから、アンカー向きに対し平面引張角を 30 度とした場合も対象とした。本試験では、それぞれの角度について 3 ケースずつ試験を実施した。

表 3-2 斜め引張試験

ケース名	仰角	平面引張角
No. 1-30 No. 2-30 No. 3-30	30 度	0 度
No. 1-45 No. 2-45 No. 3-45	45 度	0 度
No. 1-30-30 No. 2-30-30 No. 3-30-30	30 度	30 度
No. 1-90 No. 2-90 No. 3-90	90 度 (垂直引張)	—

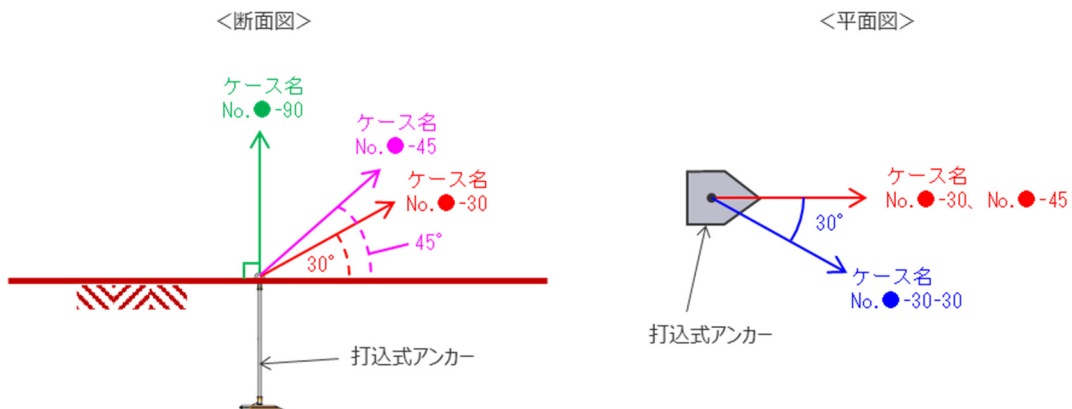


図 3-3 アンカーの引張角度

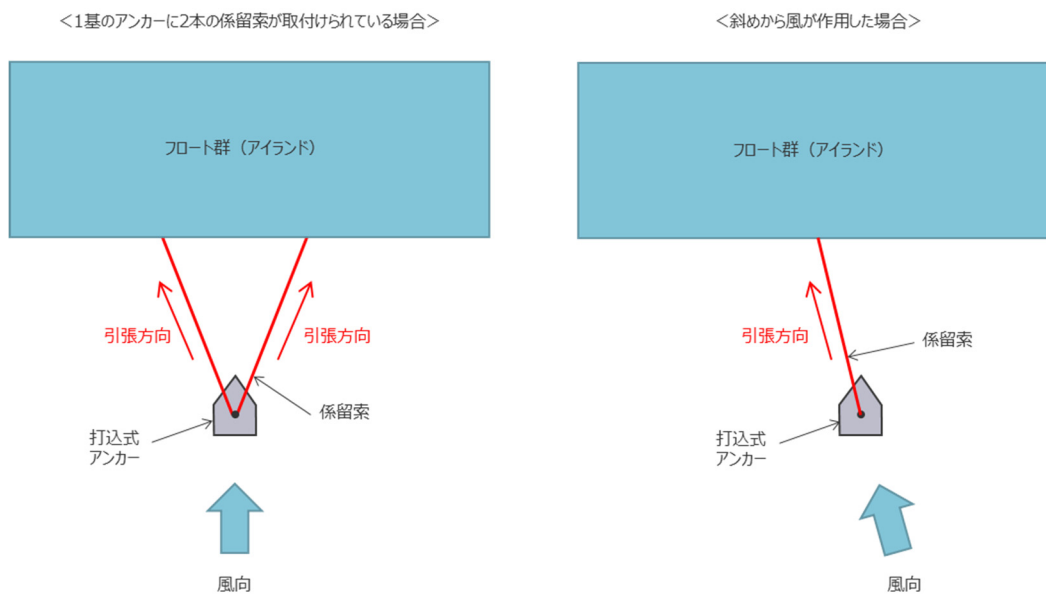


図 3-4 アンカー方向に対して斜めの引張が作用する場合

(3) 試験地盤

水上設置型太陽光発電設備における水底は、表層が低N値の土砂性状であることが多い。本試験では、低N値（N値＝2程度）の地盤にて引張試験を行うため、広島県尾道市因島の旧レンコン畑を試験サイトとして選定し、降雨翌日の湿潤状態で実施した。

試験エリアの土質試験結果を以降に示す。試験エリアは G.L.±0.0m～G.L.－1.5m程度に砂質土（N値 1～8 の建設発生土）が存在し、G.L.－1.5m以深にシルト層（N値 1～3 の旧レンコン畑土壌）が存在している。

表 3-3 土質試験一覧

No.	試験名称	数量	単位	備考
①	標準貫入試験	4	地点	・試験深度 2m
②	簡易動的コーン貫入試験	4	地点	・試験深度 2m
③	スクリーウエイト貫入試験 (SWS 試験)	4	地点	・最終貫入深さ 2m
④	室内土質試験	8	試料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2 試料 / 1 地点 ・ 土粒子の密度試験 ・ 土の含水比試験 ・ 土の粒度試験 ・ 土の液・塑性限界試験 ・ 土の湿潤密度試験



図 3-5 試験地盤 (試験前)

斜め引張試験区画

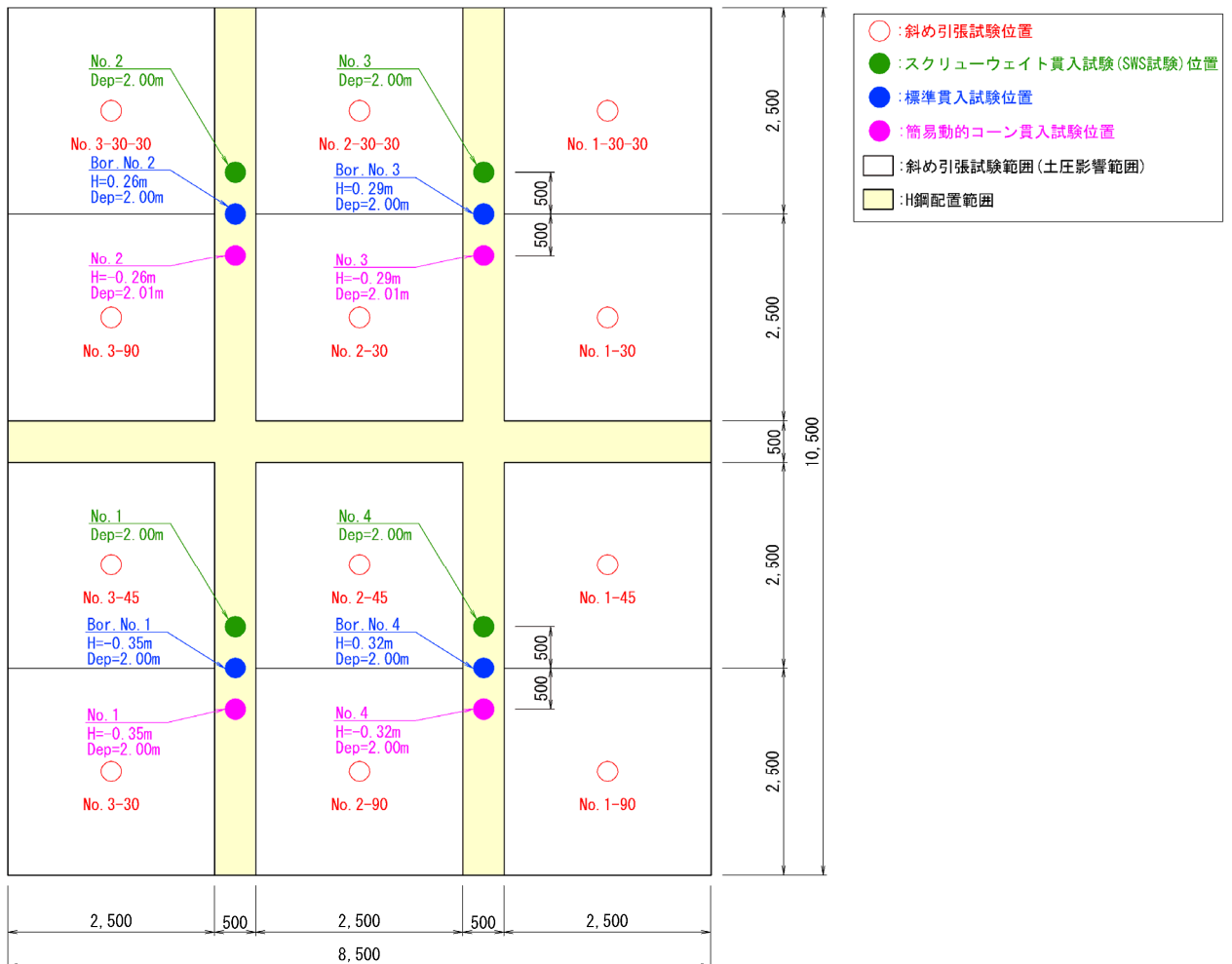


図 3-6 土質試験位置

表 3-4 標準貫入試験結果一覧

Bor. No.	地盤高 H(m)	調査深度 GL-(m)	地下水位 GL-(m)	深度 GL-(m)	土質区分	N値範囲
1	-0.35	2.00	なし	0.00~1.50	砂質土	2
				1.50~2.00	シルト	2
2	-0.26	2.00	なし	0.00~1.63	砂質土	2~8
				1.63~2.00	シルト	1
3	-0.29	2.00	なし	0.00~1.75	砂質土	1~6
				1.75~2.00	シルト	3
4	-0.32	2.00	なし	0.00~1.00	砂質土	3
				1.00~2.00	シルト	1~2

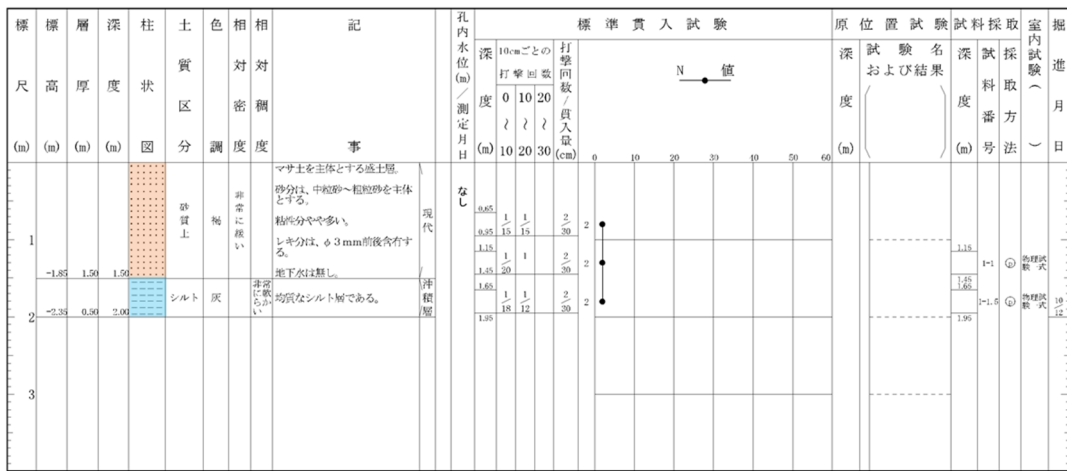


図 3-7 柱状図 Bor. No. 1

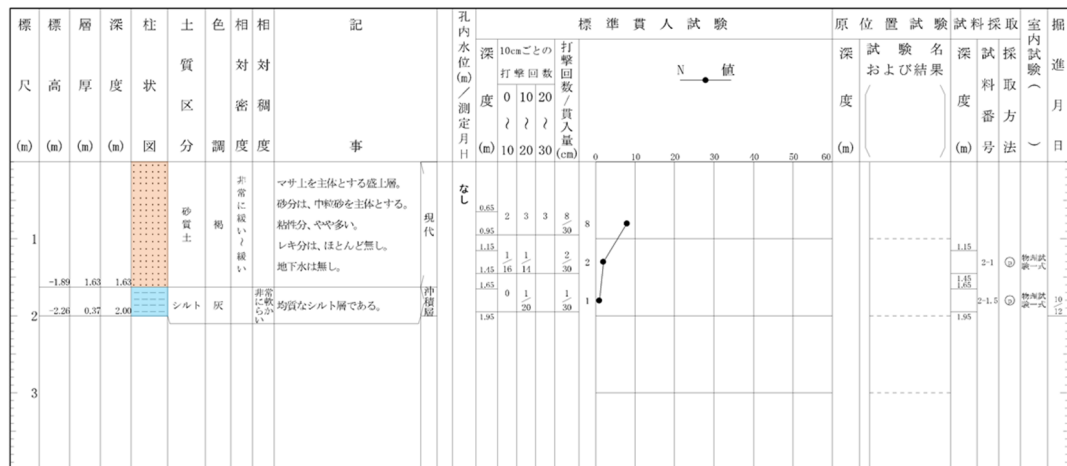


図 3-8 柱状図 Bor. No. 2

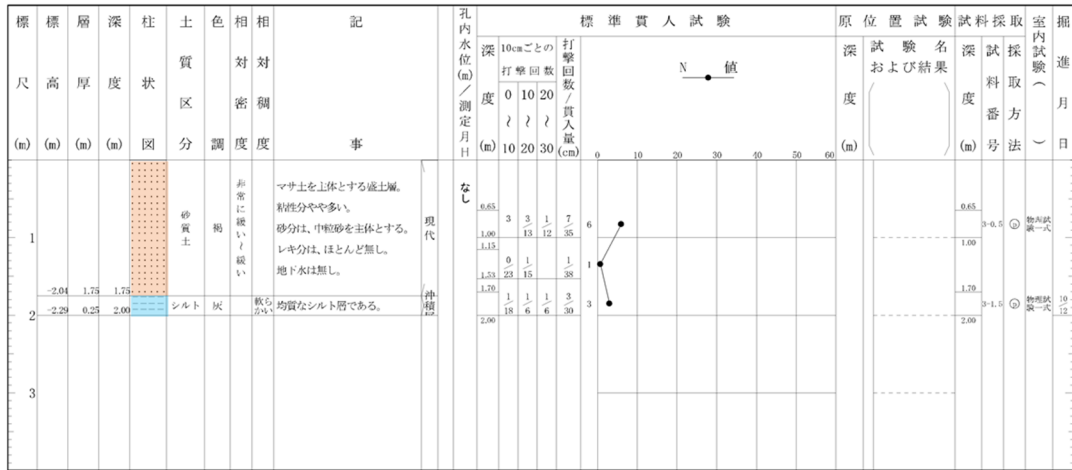


図 3-9 柱状図 Bor. No. 3

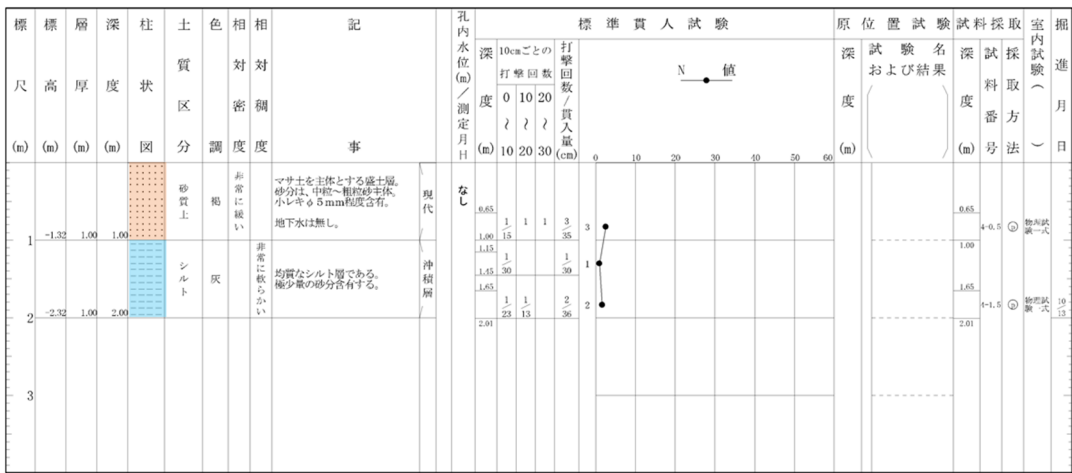


図 3-10 柱状図 Bor. No. 4

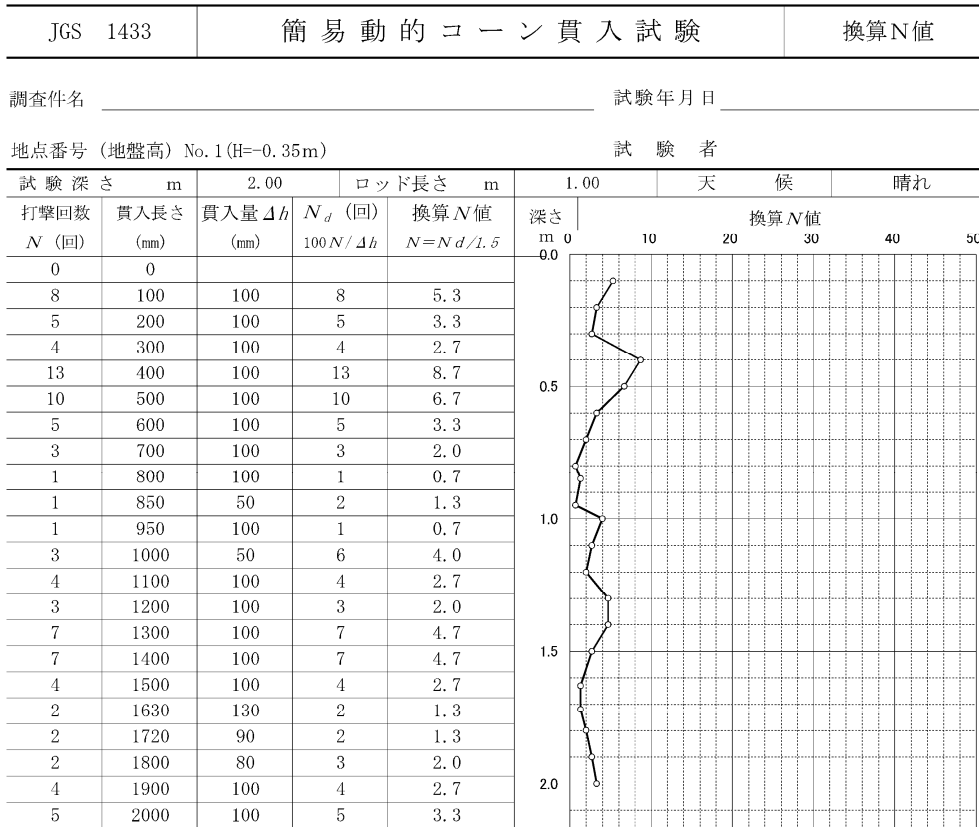


図 3-11 簡易動的コーン貫入試験結果 No. 1

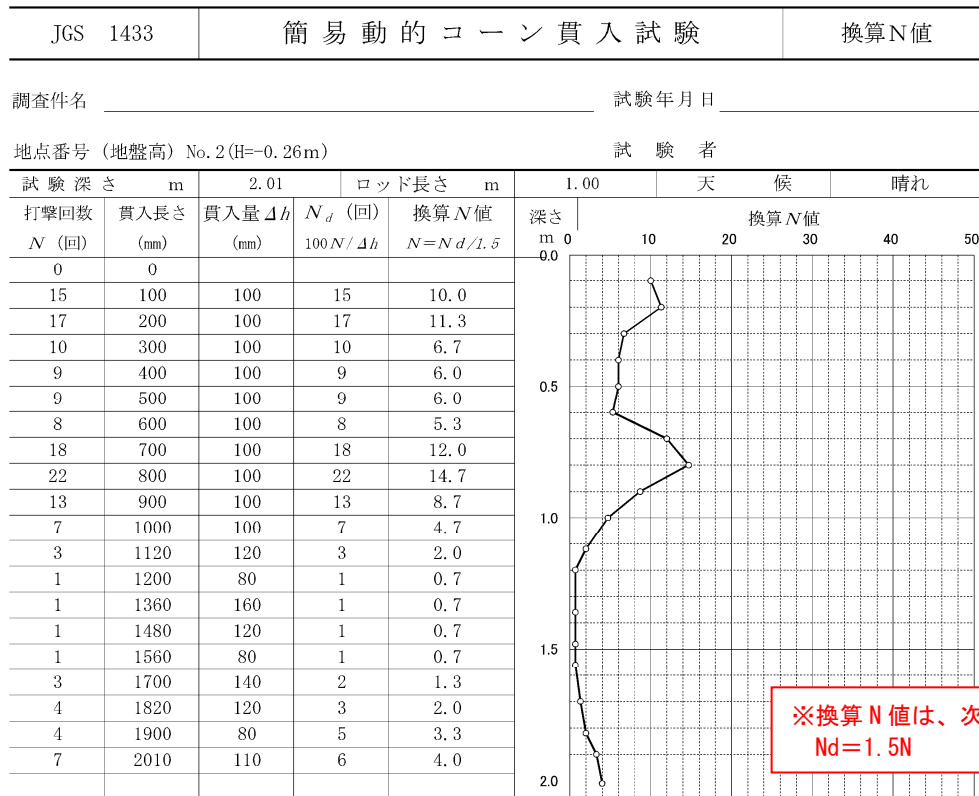


図 3-12 簡易動的コーン貫入試験結果 No. 2

JGS 1433	簡易動的コーン貫入試験	換算N値
----------	-------------	------

調査件名 _____ 試験年月日 _____

地点番号 (地盤高) No. 3 (H=-0.29m) _____ 試験者 _____

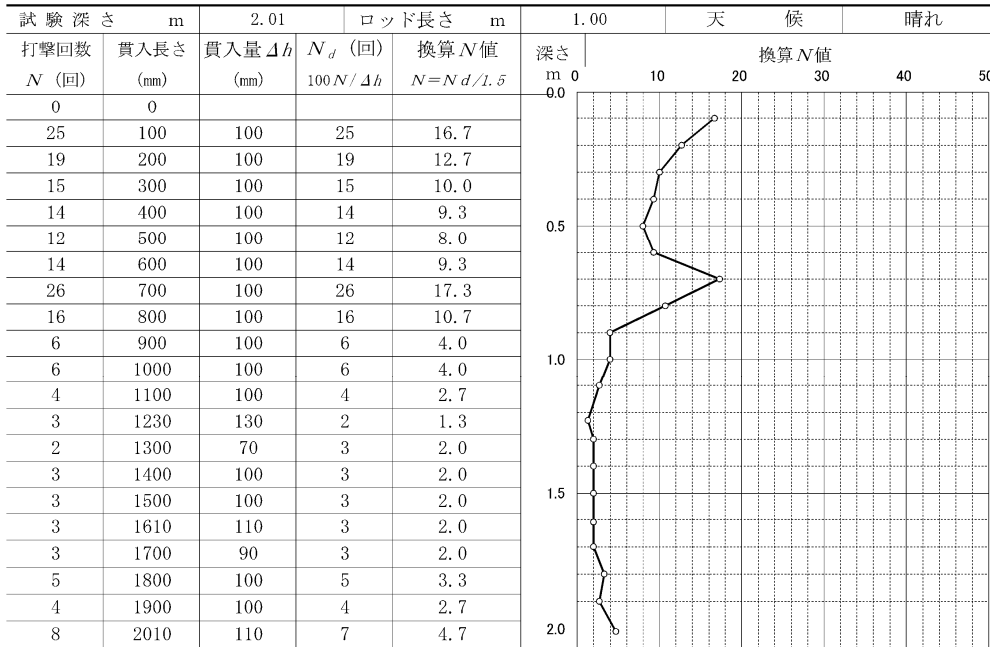


図 3-13 簡易動的コーン貫入試験結果 No. 3

JGS 1433	簡易動的コーン貫入試験	換算N値
----------	-------------	------

調査件名 _____ 試験年月日 _____

地点番号 (地盤高) No. 4 (H=-0.32m) _____ 試験者 _____

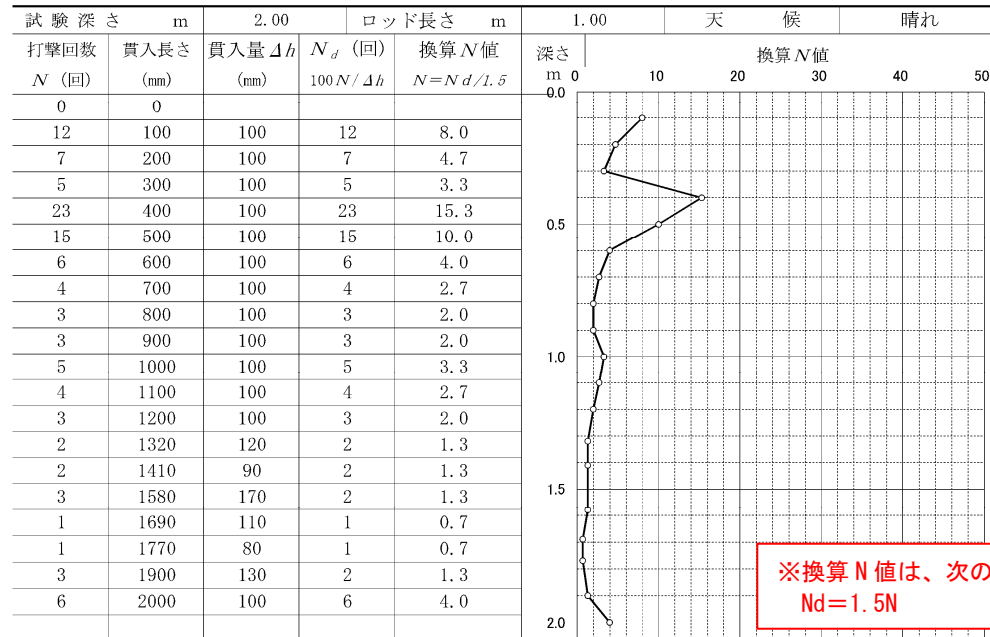


図 3-14 簡易動的コーン貫入試験結果 No. 4

孔口標高		BM -0.35 m		天候		晴れ		最終貫入深さ		2.00 m		
孔内水位		孔内 GL.-1.20 m		水位の記録				試験者				
備考								試験方法		全自動式SWS		
荷重 Wsw (kN)	半回 転数 (Na)	貫入深さ D (m)	貫入量 L (cm)	1m 当りの 半回転数 Nsw	記事			推定 柱状図	荷重 Wsw(kN)	貫入量 1m 当りの 半回転数 Nsw	換算 N 値	許容 支持力 qa kN/m ²
					音感・感触	貫入状況	土質名					
1.00	3.0	0.25	25	12	シャリシャリ		砂質土				2.8	37.2
1.00	26.0	0.50	25	104	ガリガリ		砂質土				8.9	92.4
1.00	8.0	0.75	25	32	シャリシャリ		砂質土				4.1	49.2
1.00	3.0	1.00	25	12	シャリシャリ		砂質土				2.8	37.2
1.00	1.0	1.25	25	4	シャリシャリ		砂質土				2.2	32.4
1.00	18.0	1.50	25	72	ガリガリ		砂質土				6.8	73.2
1.00	8.0	1.75	25	32	シャリシャリ		砂質土				4.1	49.2
1.00	5.0	2.00	25	20	シャリシャリ		砂質土				3.3	42.0

図 3-15 スクリューウェイト貫入試験 (SWS 試験) 結果 No. 1

孔口標高		BM -0.26 m		天候		晴れ		最終貫入深さ		2.00 m		
孔内水位		孔内 GL.-1.20 m		水位の記録				試験者				
備考								試験方法		全自動式SWS		
荷重 Wsw (kN)	半回 転数 (Na)	貫入深さ D (m)	貫入量 L (cm)	1m 当りの 半回転数 Nsw	記事			推定 柱状図	荷重 Wsw(kN)	貫入量 1m 当りの 半回転数 Nsw	換算 N 値	許容 支持力 qa kN/m ²
					音感・感触	貫入状況	土質名					
1.00	33.0	0.25	25	132	シャリシャリ		砂質土				10.8	109.2
1.00	27.0	0.50	25	108	シャリシャリ		砂質土				9.2	94.8
1.00	3.0	0.75	25	12	シャリシャリ		砂質土				2.8	37.2
1.00	6.0	1.00	25	24	シャリシャリ		砂質土				3.6	44.4
1.00	4.0	1.25	25	16	シャリシャリ		砂質土				3.0	39.6
0.50	0.0	1.50	25	0			砂質土				1.0	15.0
0.50	0.0	1.75	25	0			砂質土				1.0	15.0
0.50	0.0	2.00	25	0			砂質土				1.0	15.0

図 3-16 スクリューウェイト貫入試験 (SWS 試験) 結果 No. 2

孔口標高		BM -0.29 m		天候		晴れ		最終貫入深さ		2.00 m		
孔内水位		孔内 GL.-1.20 m		水位の記録				試験者				
備考								試験方法		全自動式SWS		
荷重 Wsw (kN)	半回 転数 (Na)	貫入深さ D (m)	貫入量 L (cm)	1m 当りの 半回転数 Nsw	記事			推定 柱状図	荷重 Wsw(kN)	貫入量 1m 当りの 半回転数 Nsw	換算 N 値	許容 支持力 qa kN/m ²
					音感・感触	貫入状況	土質名					
1.00	34.0	0.25	25	136	シャリシャリ		砂質土				11.1	111.6
1.00	29.0	0.50	25	116	シャリシャリ		砂質土				9.7	99.6
1.00	23.0	0.75	25	92	シャリシャリ		砂質土				8.1	85.2
1.00	11.0	1.00	25	44	シャリシャリ		砂質土				4.9	56.4
0.50	0.0	1.25	25	0			砂質土				1.0	15.0
0.50	0.0	1.50	25	0			砂質土				1.0	15.0
0.75	0.0	1.75	25	0			粘性土				2.2	22.5
0.75	0.0	2.00	25	0			粘性土				2.2	22.5

図 3-17 スクリューウェイト貫入試験 (SWS 試験) 結果 No. 3

孔口標高		BM -0.32 m		天候		晴れ		最終貫入深さ		2.00 m		
孔内水位		孔内 GL.-1.20 m		水位の記録				試験者				
備考								試験方法		全自動式SWS		
荷重 Wsw (kN)	半回 転数 (Na)	貫入深さ D (m)	貫入量 L (cm)	1m 当りの 半回転数 Nsw	記事			推定 柱状図	荷重 Wsw(kN)	貫入量 1m 当りの 半回転数 Nsw	換算 N 値	許容 支持力 qa kN/m ²
					音感・感触	貫入状況	土質名					
1.00	22.0	0.25	25	88	シャリシャリ		砂質土				7.8	82.8
1.00	42.0	0.50	25	168	シャリシャリ		砂質土				13.2	> 120
1.00	34.0	0.75	25	136	シャリシャリ		砂質土				11.1	111.6
1.00	20.0	1.00	25	80	ガリガリ		砂質土				7.3	78.0
1.00	4.0	1.25	25	16	シャリシャリ		砂質土				3.0	39.6
0.75	0.0	1.50	25	0			砂質土				1.5	22.5
1.00	0.0	1.75	25	0		ストーン	砂質土				2.0	30.0
1.00	5.0	2.00	25	20	シャリシャリ		砂質土				3.3	42.0

※換算 N 値は、
稲田式にて計算
(N 値上限 : 30)

図 3-18 スクリューウェイト貫入試験 (SWS 試験) 結果 No. 4

表 3-5 室内土質結果一覧 (1/2)

試料番号 (深 さ)		1-1 (1.15~1.45m)	1-1.5 (1.65~1.95m)	2-1 (1.15~1.45m)	2-1.5 (1.65~1.95m)	3-0.5 (0.65~1.00m)	3-1.5 (1.70~2.00m)
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.859	1.746	1.804	1.732	2.060	1.745
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.604	1.216	1.609	1.247	1.858	1.232
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.627	2.598	2.636	2.594	2.629	2.586
	自然含水比 w_n %	15.9	44.1	12.1	38.9	10.9	41.6
	間隙比 e	0.638	1.137	0.638	1.080	0.415	1.099
	飽和度 S_r %	65.5	99.6	50.0	93.4	69.1	97.9
粒度	石分 (75mm以上) %						
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	13.8	4.0	18.2	8.6	17.9	11.9
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	54.7	39.3	55.5	28.1	53.6	27.2
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	15.3	47.7	14.3	53.6	15.9	51.5
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	16.2	9.0	12.0	9.7	12.6	9.4
	最大粒径 mm	19	9.5	19	19	19	19
特性	均等係数 U_c	601.10	15.29	297.72	12.98	349.82	13.44
	液性限界 w_L %	26.7	53.6	24.0	46.0	24.4	47.5
	塑性限界 w_P %	17.3	35.3	17.0	30.1	16.9	30.9
分	塑性指数 I_P	9.4	18.3	7.0	15.9	7.5	16.6
	地盤材料の分類名	礫まじり粘土質砂 (低液性限界)	砂質シルト (高液性限界)	粘土質礫質砂 (低液性限界)	礫まじり砂質シルト (低液性限界)	粘土質礫質砂 (低液性限界)	礫まじり砂質シルト (低液性限界)
	分類記号	(SCL-G)	(MHS)	(SCLG)	(MLS-G)	(SCLG)	(MLS-G)

表 3-6 室内土質結果一覧 (2/2)

試料番号 (深 さ)		4-0.5 (0.65~1.00m)	4-1.5 (1.65~2.01m)			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	2.021	1.701			
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.760	1.168			
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.632	2.595			
	自然含水比 w_n %	14.8	45.6			
	間隙比 e	0.495	1.222			
	飽和度 S_r %	78.7	96.8			
粒度	石分 (75mm以上) %					
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	14.7	6.1			
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	54.1	25.0			
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	16.8	58.6			
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	14.4	10.3			
	最大粒径 mm	19	9.5			
特性	均等係数 U_c	407.79	11.75			
	液性限界 w_L %	26.3	37.4			
	塑性限界 w_P %	17.2	25.5			
分	塑性指数 I_P	9.1	11.9			
	地盤材料の分類名	礫まじり粘土質砂 (低液性限界)	礫まじり砂質シルト (低液性限界)			
	分類記号	(SCL-G)	(MLS-G)			

4. 試験方法

鉛直打設したアンカーに対し、斜め引張治具及び油圧ロードロッカーを用いて斜め引張荷重を行った。反力は治具の自重を利用し、荷重方法は連続荷重とした。アンカーに拘束圧が作用しないよう、斜め引張治具の自重はアンカーの土圧影響範囲外で負担させることとし、斜め引張治具を H 鋼の上に配置した。変位計の計測点はスイベルアイナットの中心とし、油圧ロードロッカーの荷重値とともにデータロガーにて記録した。

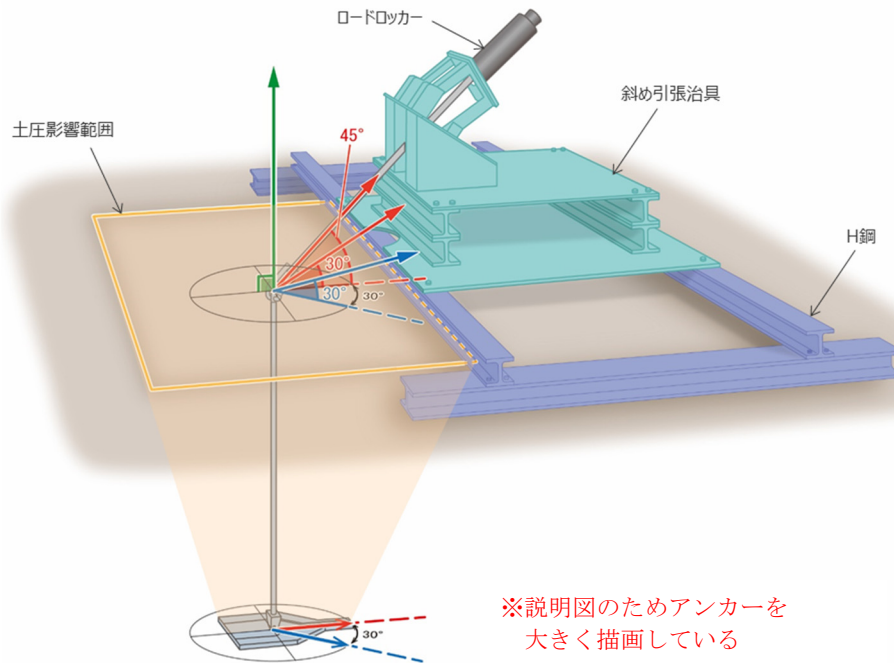


図 4-1 斜め引張治具の配置

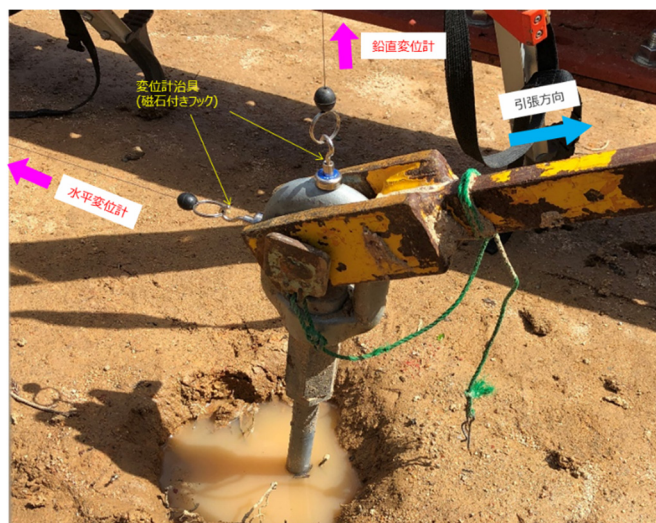


図 4-2 変位計の計測点 (スイベルアイナット、試験前)

5. 試験結果

試験結果を表 5-1 及び図 5-1～図 5-4 に示す。なお、変位計の計測値からスィベルアイナットの鉛直変位、水平変位、絶対変位を次図のモデルにて算出した。

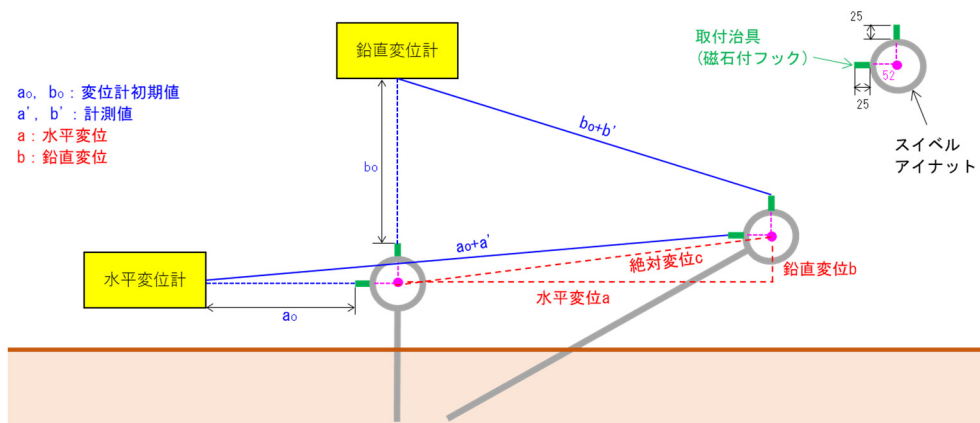


図 5-1 水平変位 a、鉛直変位 b、絶対変位 c の算出モデル

鉛直引張の引張耐力は 19kN 程度であった。これに対し、斜め引張の場合は No.1-30 をのぞく全てのケースにおいて、17kN 程度で変位が生じた。したがって、斜め引張により引張耐力は若干低減するものの、その低減率は 1 割程度にとどまることが確認された。また、水上設置型太陽光発電設備において、アンカーの設計耐力は 10kN と設定される場合が多い。本試験では、全てのケースにおいて 10kN 以上の引張耐力が確認された。なお、引張耐力を超過する荷重が作用した場合は、斜め引張のケースで変位が比較的大きくなり、最大で 60cm 程度の水平変位が確認された。

表 5-1 斜め引張試験結果

ケース名	変位の起点荷重 (引張耐力)
No. 1-30	11.5kN
No. 2-30	17.2kN
No. 3-30	19.6kN
No. 1-45	17.5kN
No. 2-45	16.6kN
No. 3-45	16.7kN
No. 1-30-30	17.4kN
No. 2-30-30	16.9kN
No. 3-30-30	16.8kN
No. 1-90	18.8kN
No. 2-90	20.2kN
No. 3-90	19.5kN

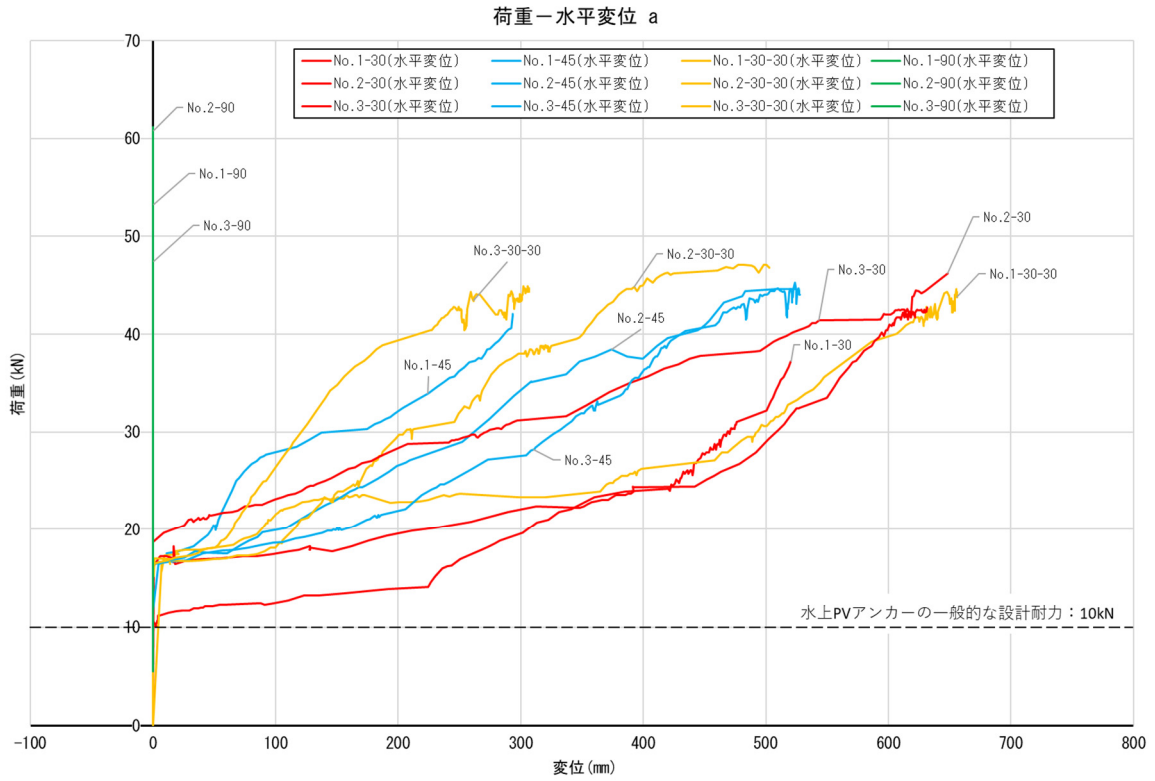


図 5-2 引張荷重と水平変位 a の関係

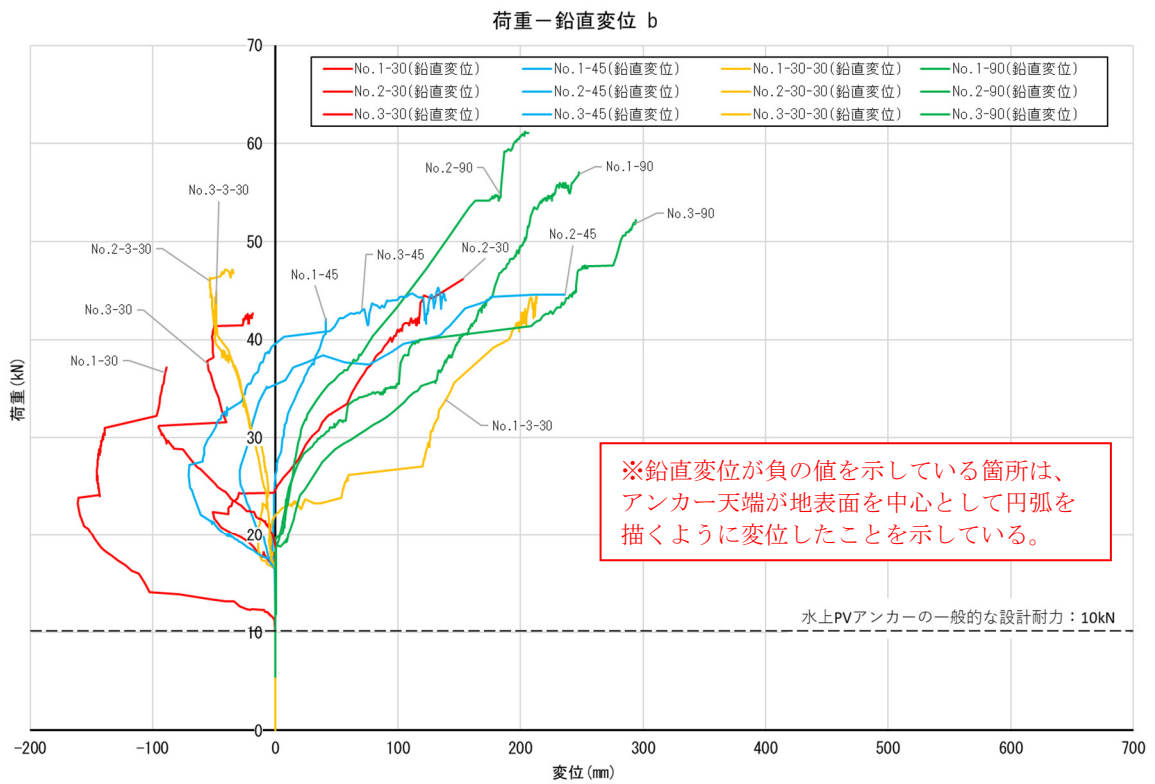


図 5-3 引張荷重と鉛直変位 b の関係

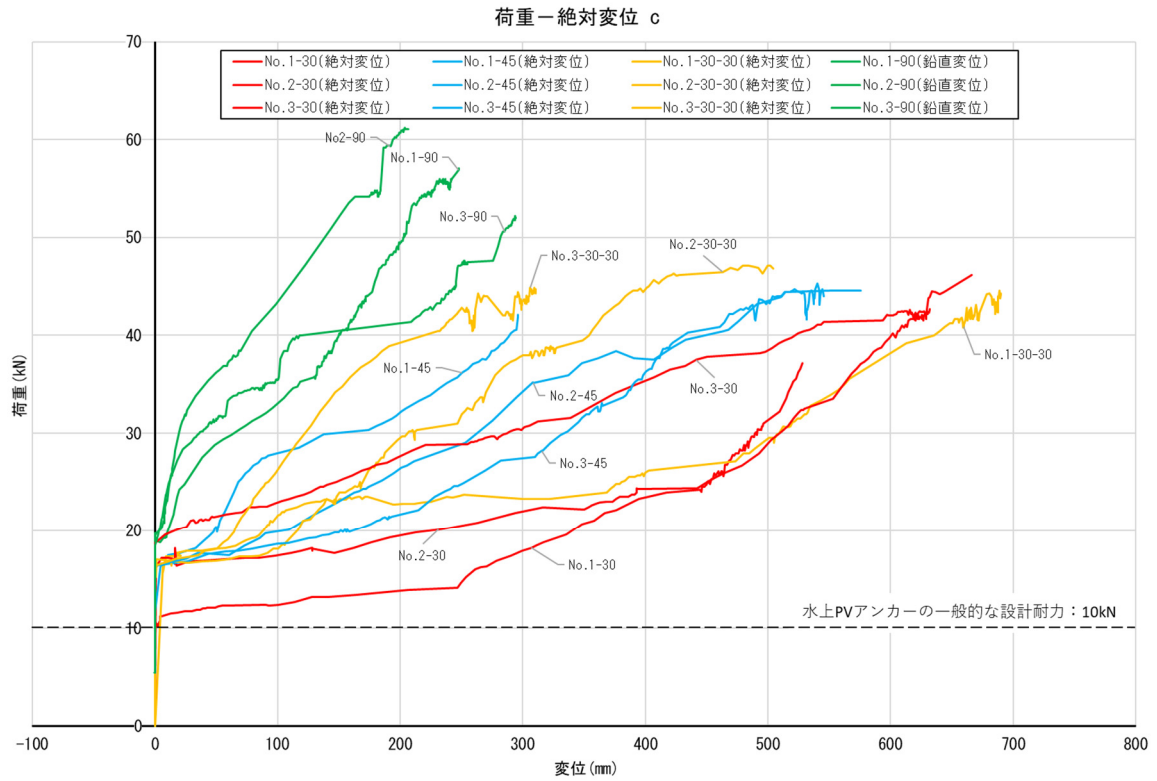


図 5-4 引張荷重と絶対変位 c の関係

6. まとめ

本試験では、打込式アンカーの鉛直引張試験と斜め引張試験の結果を比較し、斜め引張に伴うアンカーの耐力低下は生じないことを確認した。また、斜め引張の場合は、鉛直引張と比べ変位が比較的大きくなり、40kN 程度の荷重で最大 60cm 程度の水平変位が生じることを確認した。

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。