

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

2023年7月11日（火）

八千代エンジニアリング株式会社

<https://www.yachiyo-eng.co.jp/>

渡辺 健二

一般社団法人 構造耐力評価機構

<http://spei.or.jp>

高森 浩治

はじめに

- **カーボンニュートラル、脱炭素の社会構築は地球規模での喫緊の課題**である。
- 2021年10月閣議決定：第6次エネルギー基本計画
→「再生可能エネルギーの主力電源化を徹底し、再生可能エネルギーに最優先の原則で取り組み、国民負担の抑制と地域との共生を図りながら最大限の導入を促す。」
- 「再エネ最優先の原則」に基づき、2030年度の太陽光発電の累積導入量を103.5～117.6 GW(2019年度：56 GW)まで増やす必要がある。
- 太陽光発電システムの建設に適した場所の減少に伴い、今後、傾斜地や農地さらには水上へと太陽光発電の設置環境が拡大していく。
- 有識者によるWGを設置し、反映する内容の検討および実証実験結果の検証等を行っている。



ガイドラインの構成

□□ 本日、主にご説明する項目

(電気関連項目については、別途説明のためここでは省略)

<ガイドライン目次>

1.総則	※1、3	7.設計荷重	※1、3	13.施工	※2、3
2.被害事例	※1	8.使用材料	※1	14.維持管理計画	※2、3
3.構造設計・施工計画	※1、2	9.フロート設計	※2、3	Appendix: 海外の規制・ガイド	
4.電気設計・施工計画	※2	10.係留設計	※2、3	ラインの調査結果等	※2
5.事前調査	※1、3	11.腐食防食	※1		
6.電池太陽アレイ配置計画	※1、3	12.電気設備の設計	※2、3		

※1: 地上設置型をベースとしつつ、水上設置型特有の内容を反映した項目

※2: 2021年版ガイドラインに追加した項目

※3: 2023年版ガイドラインに追加した項目

技術資料一覧

各種実証実験結果を本ガイドラインに一部反映している

<水上設置型>

- 水上設置型太陽光発電設備の風洞実験 ※7.3 風圧荷重に反映
- 水上設置型太陽光発電設備の風水洞結果の概要 ※7.6 波力・動揺に反映
- 水上設置型太陽光発電設備の水理実験結果の概要 ※7.6 波力・動揺、10.3 係留索の設計に反映
- 水上設置型太陽光発電設備のフロート間接合部の載荷試験結果の概要 ※9.3 接合部の設計に反映
- 係留索に発生する張力の実測調査に関する実証実験結果 ※10.3 係留索の設計に反映
- 打込式アンカー斜め引張試験結果の概要 ※10.4 アンカーの設計に反映
- 太陽電池モジュール接続用コネクタの防水性について
※12.1 水上の配線方法に関する注意点、12.3 水上における電気機器選定に関する注意点に反映
- 水上設置型太陽光発電設備の絶縁抵抗の測定 ※14.4 電気設備に反映
- 小型・可搬型の接地抵抗計を用いた太陽光発電設備の接地抵抗測定技術に関する実験
※14.4 電気設備に反映
- 水上設置型太陽光発電設備の実態調査
- 水上設置型太陽光発電設備の屋外実測結果の概要

1.総則

1.1 本ガイドラインの利用上の注意 (p.4)

※赤字が今回追加した項目

- ・本ガイドラインは、太陽光発電システムの構造および電気に関する設計・施工の要求事項について、建築、土木、港湾、電気などの各分野における既往の基規準、指針などの文献をもとに取りまとめた。
- ・引用元の文献を参照し、その趣意、詳細な内容や解説を十分確認、把握した上で本ガイドラインを利用していただきたい。

1.2 適用範囲 (p.4～)

1. 本ガイドラインは水面に設置される太陽光発電システムに適用する。
2. 対象とする架台は浮体構造とし、樹脂製フロートおよび樹脂製フロートに鋼製またはアルミニウム製のフレームを設置したものを対象とする。
3. 対象とする係留アンカーは、打込み式および重量式とする。
4. 構造設計は、許容応力度設計法に基づいて行う。
5. 太陽電池アレイの最高高さが9mを超えるシステムおよび追尾型システムは除外する。
6. 湖沼、人造湖、ため池などの淡水域の水面を対象とし、河川および海域の水面は対象外とする。
7. 洪水、(水流)、流木、土砂の流入が想定され、特段の対策が取られない水面は対象外とする。

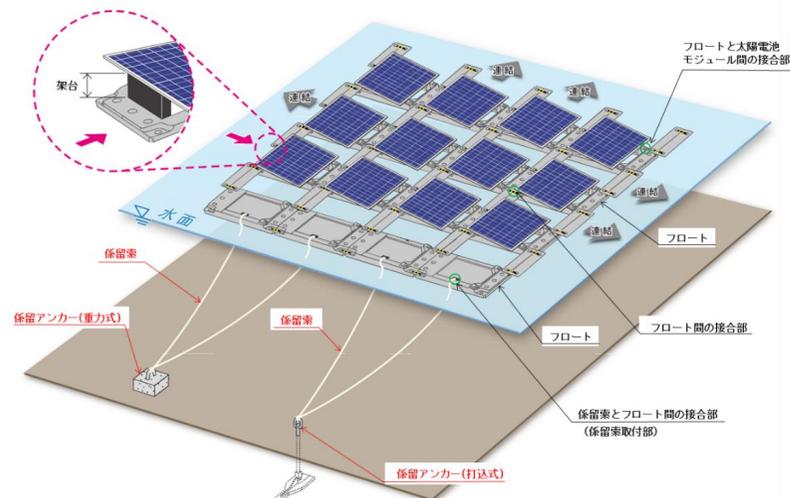
1.総則

1.2 適用範囲(p.4~)

※赤字が今回追加した項目

【ポイント】

- ・河川などの常時流れのある水面や、海域のような波浪・高潮・津波などの特異な自然条件の発生が想定される水面に設置されるものは対象外。
- ・公有水面に設置する場合は、関連法令に基づく占用手続きや工作物設置許可申請を伴う。本ガイドラインに加え、関係法令に基づく技術基準、地方自治体による条例、施行規則等へ適合が必要。
- ・谷池のように、洪水、流木、土砂の流入が想定される場合、それらによる流速圧や衝突力が非常に大きく設備の破損が懸念される。そのため、有効な防護措置を講じるなど特段の対策が取られない場合には本ガイドラインの対象外。



注) 本図は説明用のため2つのアンカー方式を併記している。

1.総則

1.5 構造設計方針(p.11～)

※赤字が今回追加した項目

9. 計画地の自然条件を適切に設計及び維持管理に反映させる。
10. 供用期間の延長や自然条件の変化等により要求性能に変更が生じた場合は、最新の条件を踏まえ、適切に機能強化等の対策を行う
11. 関連省庁からガイドライン、手引き等が公表されている場合は、それらにも適合させる。

【ポイント】

- ・対象地あるいは近隣における気象観測結果、測量や地盤調査結果を収集し整理・分析する。
- ・供用期間の延長や既往施設の補強等が必要な場合には、自然条件の変化(降雨量の増大、異常時の設計風速の増大)を踏まえ最新の条件に適合させる必要がある。
- ・農林水産省より「農業用ため池における水上設置型太陽光発電設備の設置に関する手引き」が公表されているため、それらに適合した設計を行う必要がある。

1.総則

1.7 施工管理方針(p.13～)

1. 労働安全衛生法などの関係法令を遵守する。
2. 係留部の施工は、国土交通省港湾工事共通仕様書など、同種・類似の工種を参考に、品質管理、出来形管理、工程管理を行う。
3. 予め現地の状況を確認した上で、施工計画を立案し、安全性はもとより周辺環境への悪影響が発生しないよう施工する。
4. 電気工事完了後、使用前の竣工試験により、計画に従って工事が行われたことおよび電気設備技術基準に適合するものであることを確認する。
5. 現地状況を踏まえた実際の施工結果を竣工図書としてとりまとめる。
図化できない範囲については写真にて記録する。
6. 施工中、災害の発生防止、環境保全に努める。

3.構造設計・施工計画

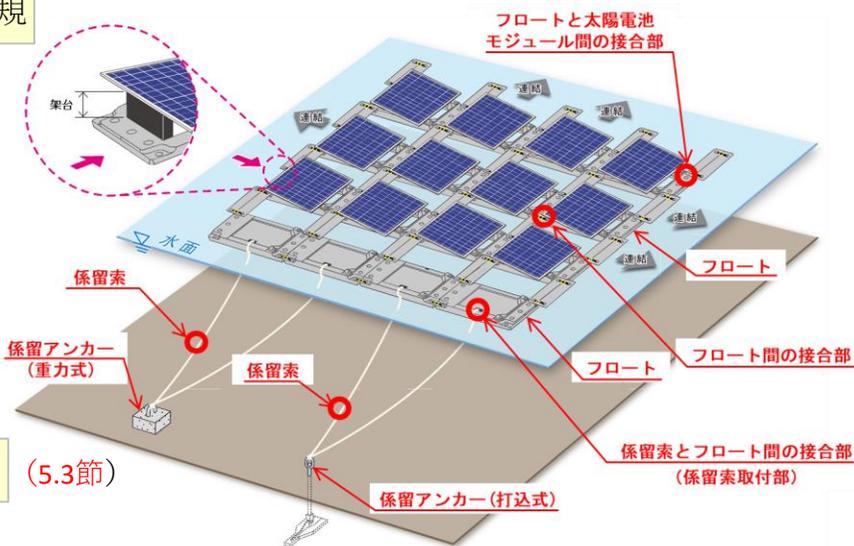
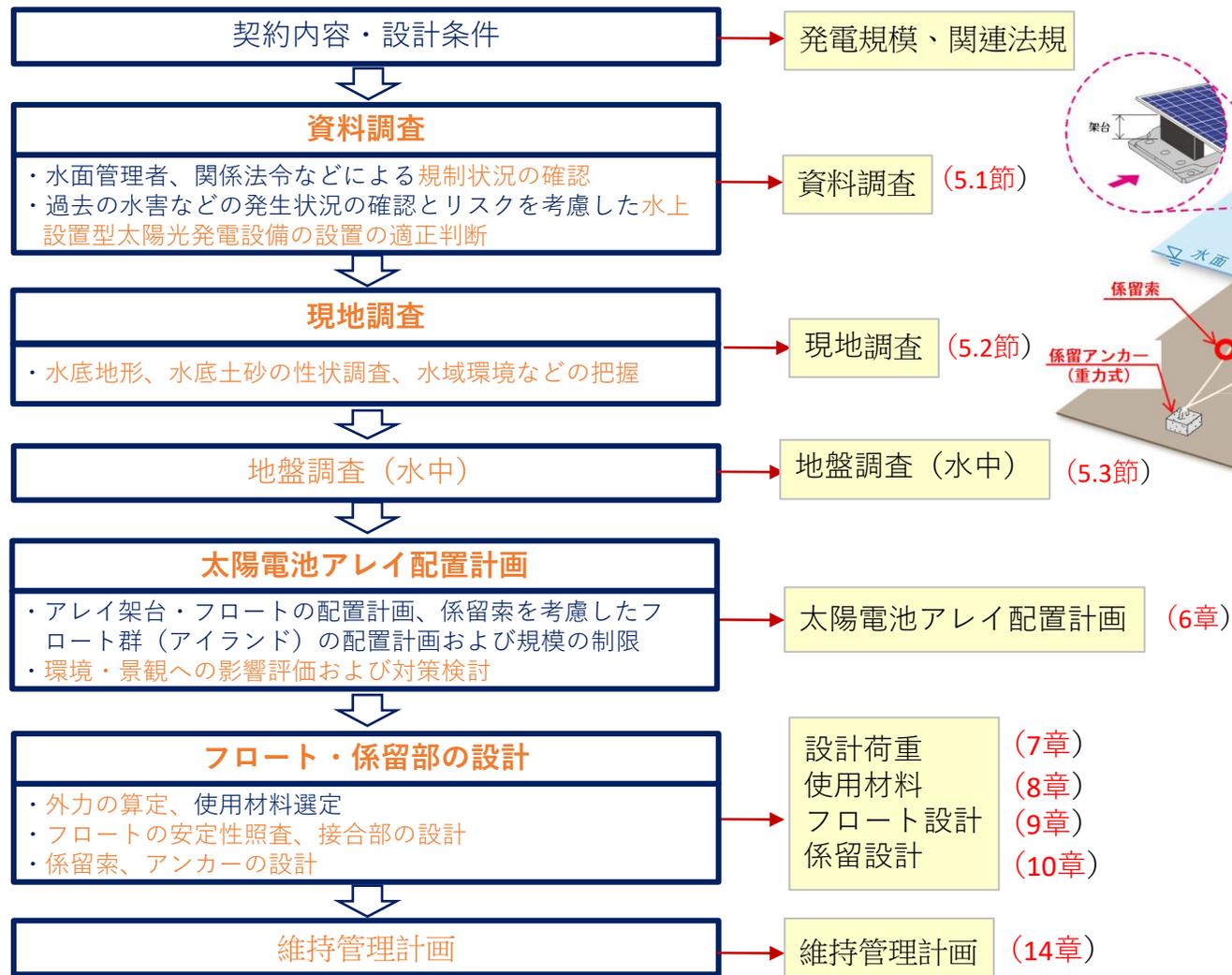
3.1設計フロー(構造)(p.17)

1. 構造設計の計画は、図3-1に示すフローを参考に進める。
過去の被災事例を参考に、地域特性、自然・環境特性を考慮して計画を進める。
2. 供用期間にわたって要求性能を満足するよう、設計段階において維持管理計画を作成する。

3. 構造設計・施工計画

(ガイドラインp.17-18)

3.1 設計フロー(構造)



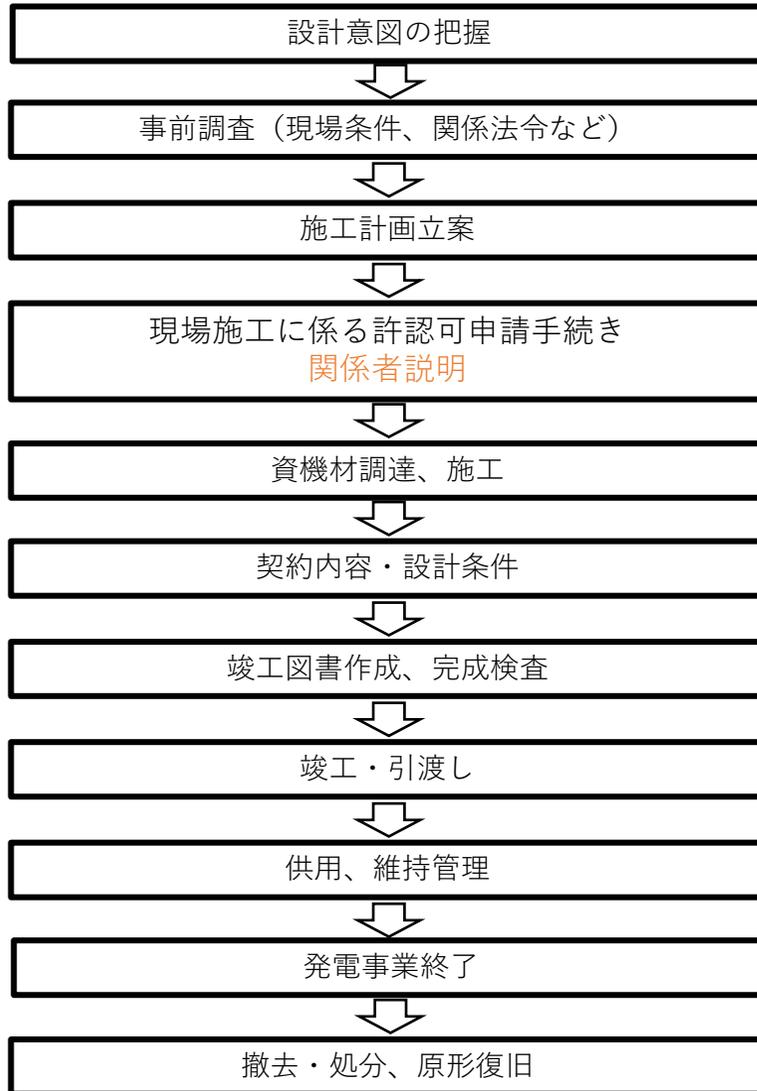
3.構造設計・施工計画

3.2 施工フロー(構造)(p.18)

1. 施工は、図3-2に示すフローを参考に進める。
2. 施工に先立ち、設計意図を把握するとともに、現場条件を考慮した施工計画を立案する。
3. 法令などを確認し、関係官公庁などへの許認可申請手続きを行う。
4. 供用後の撤去計画を立案する。

3.構造設計・施工計画

3.2 施工フロー(構造)(p.18)



注) : ここでの関係者説明は、現場施工に係る着手前説明を示し、必要に応じて実施するものとする。太陽光発電事業に係る関係者説明は、計画段階において実施する。

5. 事前調査

5.1 資料調査 (p.21)

1. 国土地理院発行の地形図や土地条件図、ハザードマップなどの地図資料、既往地盤調査資料および各種文献などを用いて係留設計に必要な水底地盤の情報を収集する。
2. 地名や植生などは、地域に固有な地盤条件を知る資料として有用である。
3. 設置計画水面が自然地形によるものか人工的に整備されたものかを確認した上で、発生しうる水位変動に係る情報を収集する。
4. 設置計画水面の管理者ならびに関係法令による規制適用状況を確認する。

5. 事前調査

5.1 資料調査 (p.21)

※赤字が今回追加した項目

【ポイント】

- ・行政機関などへのヒアリングを行い、適用法令や規制状況を調査する。
- ・農業用ため池の管理及び保全に関する法律第4条第3項に基づき都道府県が作成しているため池データベース(5-1)を参考にすることができる。
- ・想定しうるリスクについても確認した上で、水上設置型太陽光発電システムの設置の適否を判断する必要がある。
- ・ため池の堤体が決壊した場合、2次被害を引き起こす懸念がある。想定しうるリスクを事前に確認する。地方自治体が作成している「ため池ハザードマップ」を活用することも有効な手段である。



5. 事前調査

5.2 現地調査 (p.22)

※赤字が今回追加した項目

1. 調査地を中心として周辺の観察を行い、資料調査の結果と照合しながら水面外周の堤防などの形状、構造、地盤状況などを把握する。
2. 事前の資料調査で把握できない水底地形は現地調査により把握する。
3. ため池(堤体等)の健全度を現地調査により把握する。

5. 事前調査

5.2 現地調査 (p.22)

※赤字が今回追加した項目

【ポイント】

- ・水深情報は係留設計における重要な設計条件となるので、予め調査し把握しておくことを原則とする。
- ・水底地形の調査には、船外機船やラジコンボートなどの小型船に音響測深機を艀装して行う深浅測量、調査船上より調査員が行うレッド測量がある。
- ・深浅測量の具体的な方法は、『海洋調査協会: 海洋調査技術マニュアル 深浅測編、2020』を参考にすると良い。専門知識・機材を必要とするため、水域環境に係る調査専門会社に相談することが望ましい。
- ・農業用ため池は古いものが多く、老朽化が進行しているものがあることから、健全度を現地調査により把握することを基本とする。
- ・劣化状況および決壊リスクの評価を行う場合は、「防災重点農業用ため池の劣化状況評価等の手引き」(農水省)を参考にすると良い。
- ・健全度が低下している場合、決壊等により二次被害が懸念されるため、健全度を踏まえて適地であるかどうかの判断を行い、計画地を見直すことも必要である。

5. 事前調査

5.3 地盤調査(水中)(p.22～)

※赤字が今回追加した項目

1. 水上設置型太陽光発電システムの係留設計では、事前調査結果を踏まえて地盤調査を実施し、設計に必要な地盤工学的性状に関する情報を収集する。
2. 事前の資料調査で把握できない水底地形ならびに水底土砂の性状は、現地調査により把握する。

【ポイント】

- ・水底土砂性状は、係留設計における重要な設計条件となるので、予め調査し把握しておくことを原則とする。
- ・水底土砂性状は、底質採取を行い目視観察を行うとともに、必要に応じ室内試験を行うことが望ましい。
- ・底質採取の方法は、調査船上より採泥器を用いた底質採取と、潜水士による目視調査と採泥がある。
- ・なお、水底土砂の強度が平面的にも、深度方向にもバラツキがあることから、事前に把握するための調査方法として音波探査がある。
- ・底質採取、音波探査の具体的な方法は、『海洋調査協会: 海洋調査技術マニュアル 水質・底質調査編、2008』を参考にすると良い。専門知識・機材を必要とするため、水域環境や土質に係る調査専門会社に相談することが望ましい。

5. 事前調査

5.4 水質・流域の調査 (p.23)

1. 水上設置型太陽光発電システムの設置による水環境などへの影響を評価するには、事前に計画水面および接続水面など、周辺の水質などの現状把握に努める。
2. 暴風や水害などにより発電設備が流出した場合に影響が想定される接続水面ならびに水門・樋門などの水面管理施設などについて調査する。

【ポイント】

- ・重要なのは、結果を踏まえて適地であるかどうかの判断を行い、適地で無ければ計画地を見直すことが必要である。

5. 事前調査

5.5 環境・景観対策(配慮項目程度)(p.23～)

※赤字が今回追加した項目

1. 水上設置型太陽光発電システムの設置による水環境や景観などの変化について、事前調査結果ならびに既往の知見などをもとに悪影響を及ぼさないことを、計画段階において確認する。
2. 周辺環境への配慮事項は、関連法令および各地方自治体の環境影響評価条例のほか、事業計画策定ガイドライン(太陽光発電)、太陽光発電の環境配慮ガイドラインを参考とする。

【ポイント】

- ・比較的水深が浅い湖沼などにおいては水面・水中への入射光が減ると水質が悪化する事例などが報告されている。
- ・飲料用水、農業用水等に使用されているため池に設置する場合は、必要に応じ、定期的に水質検査を行い、その用途を害することがないようにモニタリングを行うとともに対策を講じる。
- ・モジュール洗浄を行う場合は、水質に悪影響を与えない材料・方法とする。
- ・水面の景観を保全するため、太陽電池モジュールの設置面積が水面の面積の概ね50%以下とする規定を設けている事例もある。
- ・水上設置型太陽光発電システムの設置により環境への悪影響が生じないように、予め影響などについて事前調査および検討を行い、必要な対策を講じる必要がある。

6. 太陽電池アレイ配置計画

6.1 全体配置計画 (p.25)

※赤字が今回追加した項目

1. 事業計画条件、自然環境条件、環境・景観などへの配慮を踏まえて計画する。
2. 水上設置型太陽光発電システムに使用されるアイランド(フロート群)は、水面上を移動するため、特定の係留索に荷重が集中した場合であっても、その安全性が確保されるよう、フロート群の大きさ・形状と係留索の配置を計画する。

【ポイント】

- ・アイランドは水位変動への追従などを考慮し、水底あるいは陸域に設置されたアンカーに係留索を用いて係留されることが多い。
- ・風、波などによる外力作用時にフロート群は水面上を移動し特定の係留索に荷重が集中することがある。
- ・上記の現象により、係留アンカーの引抜きに至った被災事例がある。
- ・未然に防止するためには、水理実験や数値解析により検証を行い、フロート群の連結数を制限しアイランドの大きさを小さくする、あるいはアイランドを矩形などの単純な形状とするなど、外力の集中対策を講じる必要がある。
- ・アイランド形状がL字型などの場合の入隅部においては、荷重の集中が生じやすいことに加え、係留索の展張方向によって係留索の交差が発生するなどの課題があるため設計に当たって特段の留意が必要である。

7. 設計荷重

7.1 想定荷重と荷重の組み合わせ (p.26)

1. 設計荷重は、JIS C 8955:2017「太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算定方法」7-1)に準じて算定する。ただし、公共工事標準仕様書などで指定があった場合、それに従う。
2. 太陽電池架台および係留部の設計で想定する荷重は、上部構造に作用し係留部に伝達される固定荷重・積雪荷重・風圧荷重・地震荷重のほか、係留アンカーに直接作用する固定荷重、土圧・水圧、地震荷重、その他の荷重とする。
3. 原則として考慮する荷重は、自重、載荷重(機器、作業員)および風圧荷重、波力とする。
4. 必要に応じ考慮する荷重は、積雪荷重、地震荷重および流れや水面凍結によって生じる荷重とする。
5. 各荷重の組合せは、表7-1に従う。

7. 設計荷重

7.1 想定荷重と荷重の組み合わせ (p.26)

表7-1 荷重条件と荷重の組み合わせ

荷重条件		一般の地方	多雪区域
長期	常時	G	G
	積雪時		$G + 0.7S$
短期	積雪時	$G + S$	$G + S$
	暴風時	$G + W$	$G + W$
			$G + 0.35S + W$
	波浪時	$G + W + H$	$G + W$
			$G + 0.35S + W + H$
地震時	$G + K$	$G + 0.35S + K$	

G : 固定荷重 W : 風圧荷重 S : 積雪荷重 K : 地震荷重 H : 波力

7. 設計荷重

7.1 想定荷重と荷重の組み合わせ (p.26)

【ポイント】

- ・フロートは比較的浅喫水であり受圧面が小さいことから、フロートに作用する波力は小さい。
- ・水面上の設備に作用する風圧力に比べ小さいことから、波力を考慮していない事例も見受けられる。
- ・しかしながら、風上側の堤体からフロート群までの水面上を風が吹き渡る距離、すなわち吹送距離が大きい場合、発生波高は数10cmに発達し、フロート群の外縁部に波力が作用することから、波力を考慮することを原則とした。

【試算事例】

有効吹送距離 $F=0.1\text{km}$ 、水面上10mの風速 $U_{10}=30\text{m/秒}$ の場合、発生する有義波高は $H_{1/3}=23\text{cm}$ (波の山と谷の間の高さ)

7. 設計荷重

7.3 風圧荷重 (p.27～)

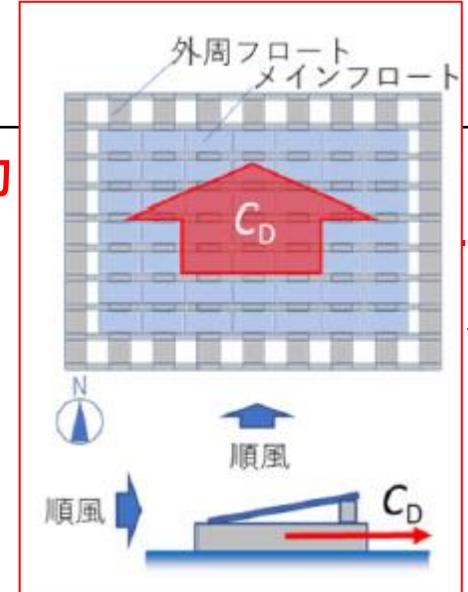
※全面的に改定

1. 太陽電池モジュールがフロートに直接取り付けられているシステムでは、太陽電池モジュールとフロートが一体の状態(「PV フロート」と呼ぶ)での風力係数を設定し、太陽電池モジュールが取り付けられていない状態のフロート(「サブフロート」と呼ぶ)がある場合にはその風力係数も設定する。また、これらの風力係数は風洞実験結果をもとに決定することを基本とする。
2. アイランド(フロート群)を構成する場合には、アイランド全体および風上側1列目のPV フロートやサブフロートに作用する風圧荷重をそれぞれ算定する。

7. 設計荷重

7.3 風圧荷重(つづき)

3. **アイランド全体**に作用する風圧荷重は、**風方向への風力**(力)として **式(7.1)**によって算出する。フロート上に**コンディショナや接続箱等が設置されている場合には**それらに作用する風圧荷重も適切に算定して加算する。



$$W_D = \sum_{i=1}^{N_r} W_{Di}$$

アイランド全体の風圧荷重 (7.1)

$$W_{Di} = \sum_{j=1}^{N_c} C_{Dij} \times q_p \times A_{Dij}$$

列ごとの風圧荷重

W_D : アイランド全体の風方向設計用風圧荷重 (N)
 W_{Di} : 風方向 j 列目の PV フロートまたはフロートに作用する風方向風圧荷重
 N_r, N_c : 風方向および風直交方向のフロートの列の総数

$$q_p = 0.6 \times V_0^2 \times E \times I_w$$

$$E = E_r^2 \times G_f$$

C_{Dij} : 風方向 i 列目で風直交方向 j 列目の PV フロートまたはフロートの風力係数 (抗力係数)

q_p : 設計用速度圧 (N/m²)

A_{Dij} : 風方向 i 列目で風直交方向 j 列目の PV フロートまたはフロートの風方向の鉛直投影面積 (m²)

V_0 : 基準風速*1 (m/s)

E : 環境係数

I_w : 用途係数*1

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数*1

G_f : ガスト影響係数*1

7. 設計荷重

7.3 風圧荷重(つづき)

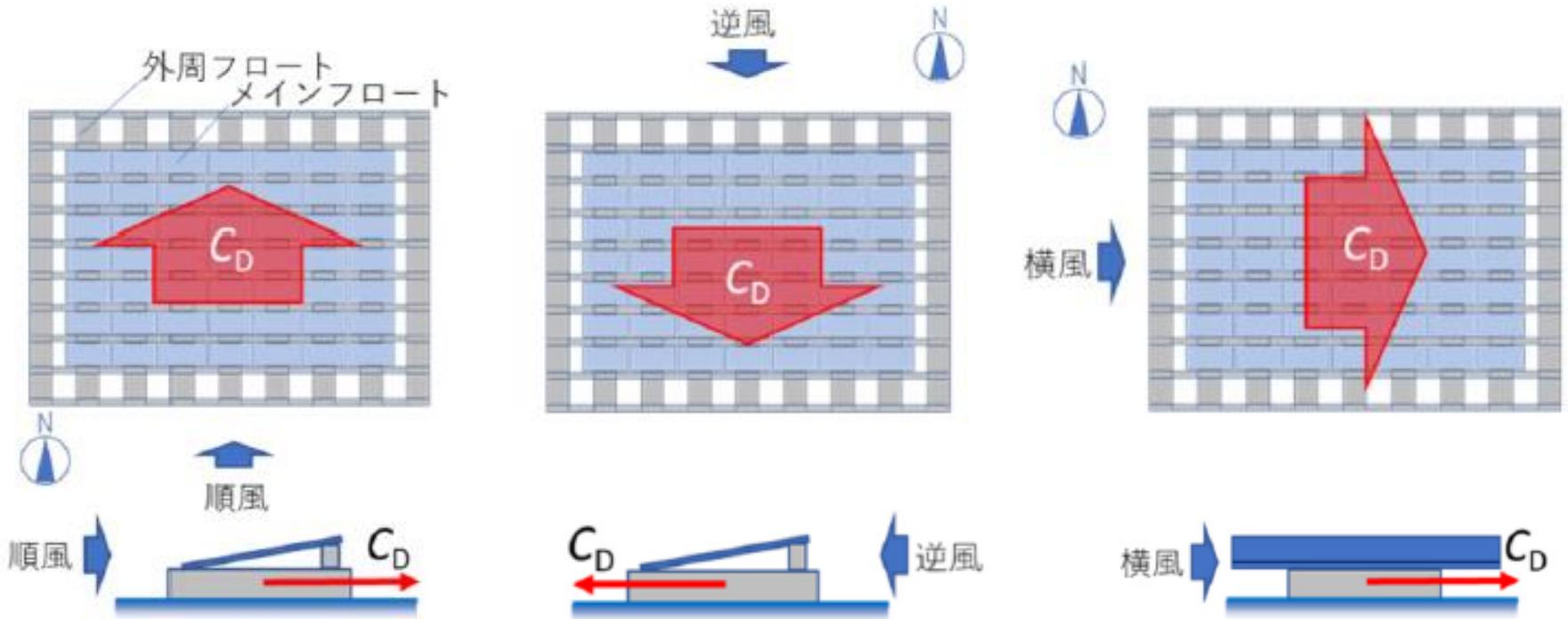


表 7-2 PV フロートの抗力係数 C_D (順風)

モジュール 傾斜角度	風上から 1列目	2列目	3列目以降	最後列
5°	0.25	0.25	0.25	0.30
10°	0.40	0.30	0.25	0.30
20°	0.65	0.45	0.30	0.35

風上側から1列目、2列目、3列目以降、最後列について風力係数を与えており、アイランド全体の風方向の風圧荷重を求められるようにしている。

7. 設計荷重

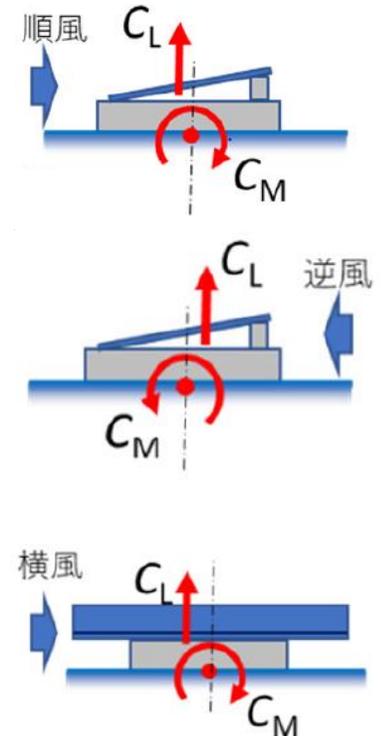
7.3 風圧荷重(つづき)

4. **風上側1列目の風圧荷重**については、PV フロートやサブフロートの風による**捲れ上がりのモーメント風力**や**浮き上がりの風力**を対象とし、式(7.2)に示すピッチングモーメント荷重および式(7.3)に示す鉛直上向きの荷重を求め、捲れ等の防止について検討する。

$$W_M = C_M \times q_p \times A_L \times L \dots\dots\dots (7.2)$$

$$W_L = C_L \times q_p \times A_L \dots\dots\dots (7.3)$$

- ここに W_M : 設計用ピッチングモーメント荷重 (Nm)
 W_L : 鉛直上向きの設計用風圧荷重 (N)
 C_M : モーメント風力係数 (ピッチングモーメントの風力係数)
 C_L : 揚力係数 (鉛直上向きの風力係数)
 A_L : 対象フロートの水平投影面積 (m²)
 L : 対象フロートの風方向の長さ (m)



7. 設計荷重

7.3 風圧荷重(つづき)

※赤字が今回追加した項目

5. フロート上に架台を設けて太陽電池アレイを構築する場合の設計用風圧荷重は、式(7.4)に示すアレイに作用する風圧荷重 W_a と式(7.5)に示す支持物構成材などに作用する風圧荷重 W_b の両方を考慮する。また、フロートの水上部分にも風圧荷重が作用するので、適切に設定して加算する。
6. アレイの風圧荷重はアレイ面に垂直に作用することとし、架台の支持物構成材などの風圧荷重は水平に作用することとしてもよい。なお、支持物構成材などには、支持物に付帯するパワーコンディショナや接続箱なども含まれる。
7. アレイ面および支持物構成材の風力係数 C_a および C_b は風洞実験によって設定することを基本とするが、一般的なアレイ形式の場合にはJIS C 8955:20177-1)に示された風力係数を用いてもよい。

$$W_a = C_a \times q_p \times A_a \dots\dots\dots (7.4)$$

$$W_b = C_b \times q_p \times A_b \dots\dots\dots (7.5)$$

← JIS C 8955と同じ

7. 設計荷重

7.3 風圧荷重(つづき)

【ポイント】

- 太陽電池モジュールがフロートに直接取り付けられているPVフロートにおいては、フロートの形状が風力に与える影響が大きいため、太陽電池モジュールとフロートを一体のものとして風圧荷重を設定する必要がある。
- 【技術資料: 水上設置型太陽光発電設備の風洞実験】は、太陽電池モジュールとフロートが一体となったシステムの風洞実験結果について示している。
- なお、【技術資料: 水上設置型太陽光発電設備の風洞実験】にはサブフロートの風力係数の測定結果も示しているので参照されたい。
- ここで示した風力係数は国内で多く流通する典型的なフロート形状の一例、かつアイランドの形状が矩形である場合についての値であるため、これらの条件と異なる場合には風洞実験を行って設計用風力係数を決定することを推奨する。

7. 設計荷重

7.5 地震荷重(p.32～)

※赤字が今回追加した項目

1. 水面部に設置するフロート、係留索の設計には地震荷重を考慮しなくて良い。
2. 係留アンカー(重力式)および陸上部に設置する設備などは、地震荷重を考慮する。

【ポイント】

- ・水面上に浮遊しているフロートに対しては、直接地震力が作用しないため、フロート、係留索には地震荷重を考慮しなくて良いものとした。
- ・水底あるいは陸上部に設置する重力式の係留アンカーについては地盤に設置しており、慣性力によって滑動・転倒が生じる場合があるため、適切に地震荷重を考慮するものとする。
- ・ただし、係留アンカーの必要質量は暴風時や波浪時の荷重によって決定されるため、地震荷重に対する照査は省略しても良いものとする。

7. 設計荷重

7.6 波力・動揺(繰り返し荷重を含む)(p.33～)

※赤字が今回追加した項目

1. フロートに作用する波力は、水理実験や数値解析などにより評価する。
2. フロート間接合部、係留部の設計においては、動揺による影響が生じると想定される場合、水理実験や動揺シミュレーションなどを行い、動揺により発生する荷重を評価する。

【ポイント】

- ・浅喫水のフロートに作用する波力の算出方法が明確でないため、水理実験や数値解析により算出することを原則とする。
- ・水理実験の事例及び水理実験の方法等については、【技術資料:水上設置型太陽光発電設備の水理実験結果の概要】を参照されたい。
- ・フロートに作用する波力は風圧荷重に比べ小さいこともあり、波力は次のような簡易的な方法を参考にして算出することができる。

7. 設計荷重

7.6 波力・動揺(繰り返し荷重を含む)(p.33～)

【フロートに作用する波力を簡易的に算出方法(参考事例)】

(1) 参考とする図書

- 1) 一般社団法人日本マリーナ・ビーチ協会: プレジャーボート用浮棧橋設計マニュアル、2018.
- 2) 公益社団法人日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の規準・同解説、2018.
- 3) 全国漁港漁場協会: 漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版、2016.

(2) 大まかな手順

① 設計風速の設定 ※参考図書2)のpp.99、123～128、参考図書3)のpp.48～51、118

・ため池のような閉鎖水域では、風によって波が発生し進行するので、暴風時の設計風速を設定する。

・暴風時の設計風速は、JIS C 8955:2017の風速の再現期間(50年)に合わせる。

・周辺の風況観測データを収集し、統計処理して再現期間50年の風速を設定する。

※図書2)のpp.123～128参照

波の定義 ※参考図書2)pp.135

7. 設計荷重

7.6 波力・動揺(繰り返し荷重を含む)(p.33～)

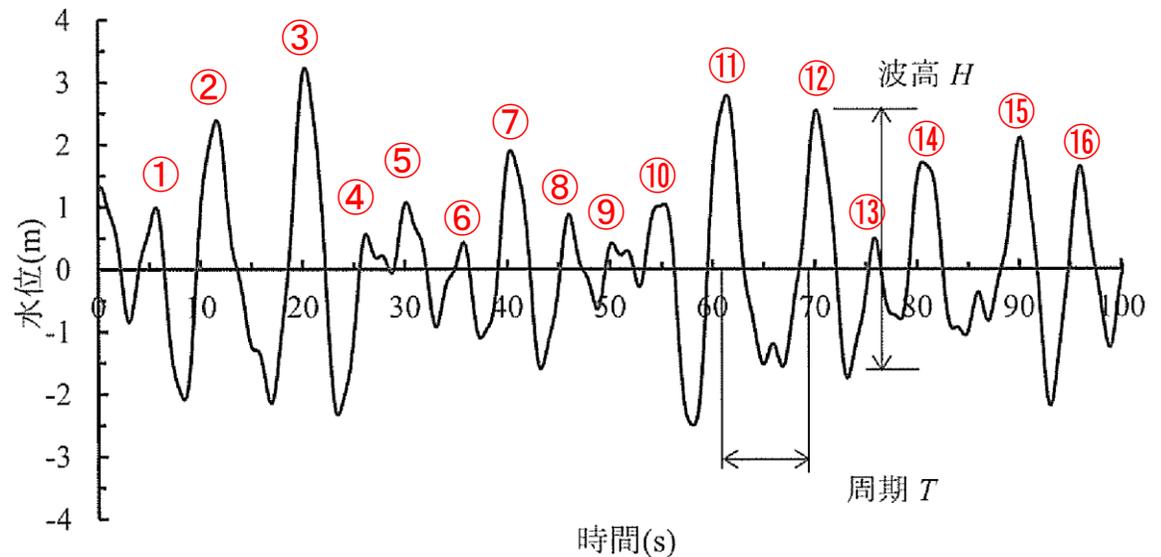
【フロートに作用する波力を簡易的に算出方法(参考事例)】

② 設計波高の算出 ※参考図書2)のpp.140～143、参考図書3)のpp.47、資_11

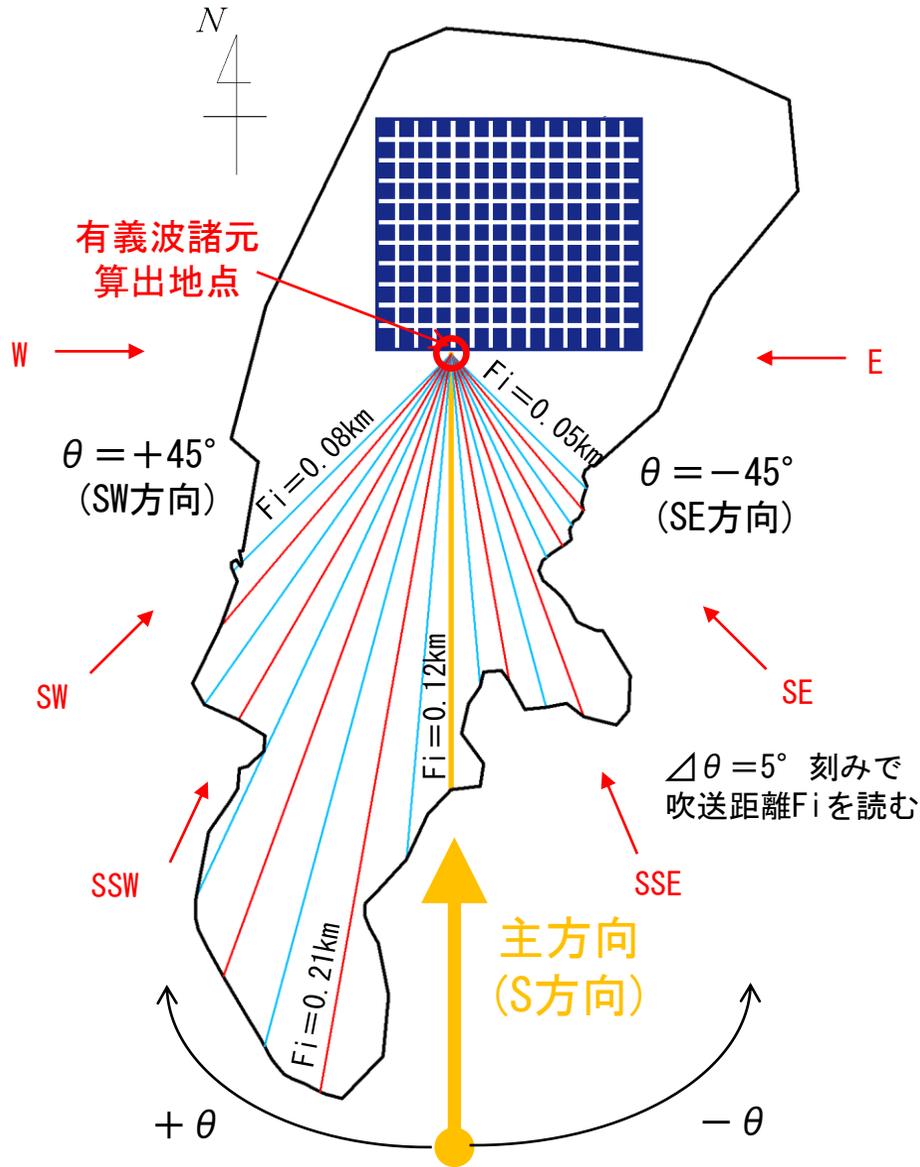
- ・設計波高は、有義波(波高、周期)諸元を用いる。
- ・有義波(波高、周期)諸元は、「S.M.B.法」を用いて算出して良い。
- ・「S.M.B.法」・・・入力条件:風速、吹送距離(風上からフロートまでの水面上距離)
→ 計算結果:有義波高・周期

＜有義波高の定義＞ ※参考図書2)pp.135

- ・右図波形より①～⑬の個々の波高を大きい方から小さい方に並び替え、上位1/3の平均値を有義波高という。
- ・それに対応した周期を有義波周期という。



「S. M. B. 法」の算出事例



有効吹送距離算定表

主方向: S

方位	主方向に対する角度 (°) ※1	cos θ i	cos ² θ i	吹送距離 (対岸距離) Fi (km)	Ficos ² θ i
SE	-45.0	0.707	0.500	0.05	0.03
	-40.0	0.766	0.587	0.06	0.04
	-35.0	0.819	0.671	0.06	0.04
	-30.0	0.866	0.750	0.06	0.05
SSE	-25.0	0.906	0.821	0.06	0.05
	-20.0	0.940	0.884	0.11	0.10
	-15.0	0.966	0.933	0.10	0.09
	-10.0	0.985	0.970	0.09	0.09
S	-5.0	0.996	0.992	0.09	0.09
	±0.0	1.000	1.000	0.12	0.12
SSW	+5.0	0.996	0.992	0.14	0.14
	+10.0	0.985	0.970	0.21	0.20
	+15.0	0.966	0.933	0.19	0.18
	+20.0	0.940	0.884	0.18	0.16
SW	+25.0	0.906	0.821	0.16	0.13
	+30.0	0.866	0.750	0.11	0.08
	+35.0	0.819	0.671	0.12	0.08
	+40.0	0.766	0.587	0.10	0.06
	+45.0	0.707	0.500	0.08	0.04
Σ		16.902			1.77

※1: 主方向に対して時計回りを正とする。

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum F_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} = 0.10 \text{ (km)}$$

$$g H_{1/3} / U_{10}^2 = 0.30 \left[1 - \left\{ 1 + 0.004 (g F / U_{10}^2)^{1/2} \right\}^{-2} \right] \dots \dots \dots (7.4)$$

$$g T_{1/3} / (2\pi U_{10}) = 1.37 \left[1 - \left\{ 1 + 0.008 (g F / U_{10}^2)^{1/3} \right\}^{-5} \right] \dots \dots \dots (7.5)$$

上記式の左辺を右辺に移項して「H1/3=」および「T1/3=」の式とし、「F」、「U10」、「g」を入力する。

「S. M. B. 法」の算出事例

$$gH_{1/3}/U_{10}^2 = 0.30 \left[1 - \left\{ 1 + 0.004(gF/U_{10}^2)^{1/2} \right\}^{-2} \right] \dots\dots\dots (7.4)$$

$$gT_{1/3}/(2\pi U_{10}) = 1.37 \left[1 - \left\{ 1 + 0.008(gF/U_{10}^2)^{1/3} \right\}^{-5} \right] \dots\dots\dots (7.5)$$

上記式の左辺を右辺に移項して「 $H_{1/3} =$ 」および「 $T_{1/3} =$ 」の式とし、「 F 」、「 U_{10} 」、「 g 」を入力する。

$H_{1/3}$: 有義波高 (m) : 計算結果=0.23m

$T_{1/3}$: 有義波周期 (s) : 計算結果=1.1s

F : 吹送距離 (m) : 入力条件=0.10km

U_{10} : 水面上 10 m での風速 (m/s) : 入力条件=30.0m

g : 重力加速度 (m/s^2) =9.81m/s²

<計算結果>

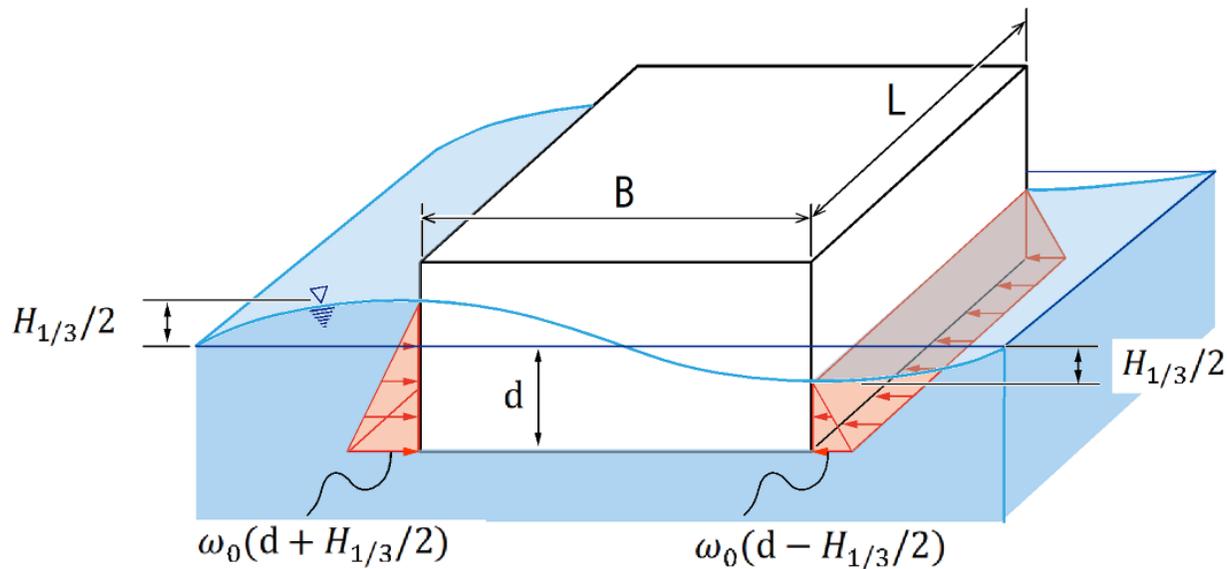
主方向	F_{eff} (km)	U_{10} (m/s)	g/U_{10}^2	$g/2\pi U_{10}$	gF/U_{10}^2	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)
S	0.10	30.0	0.01090	0.05204	1.09000	0.23	1.1

7. 設計荷重

7.6 波力・動揺(繰り返し荷重を含む)(p.33～)

【フロートに作用する波力を簡易的に算出方法(参考事例)】

- ③ フロートに作用する波力の算出 ※参考図書1)のpp.33～38、参考図書3)のpp.588～589
- ・浮体に作用する波力は、波高の差(波の山部と谷部の水位差)による静水圧差として算出する方法が有る。



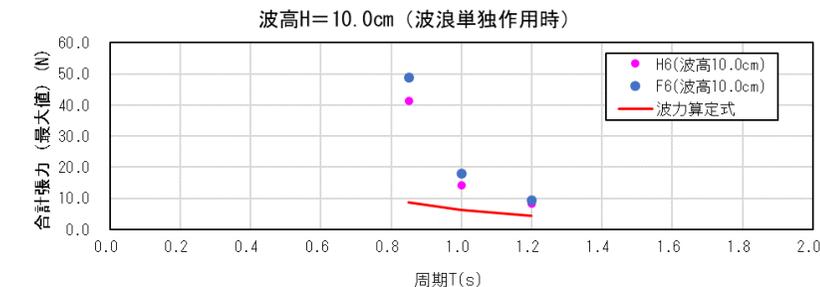
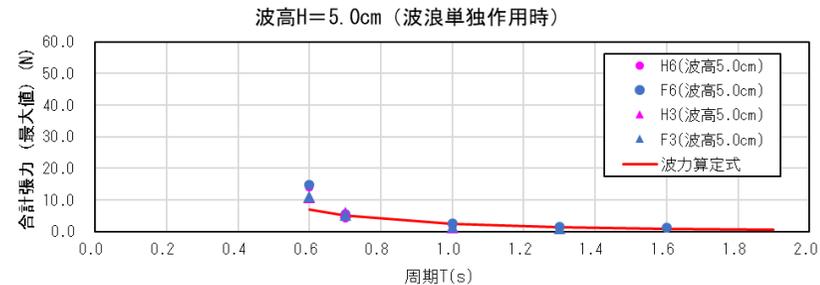
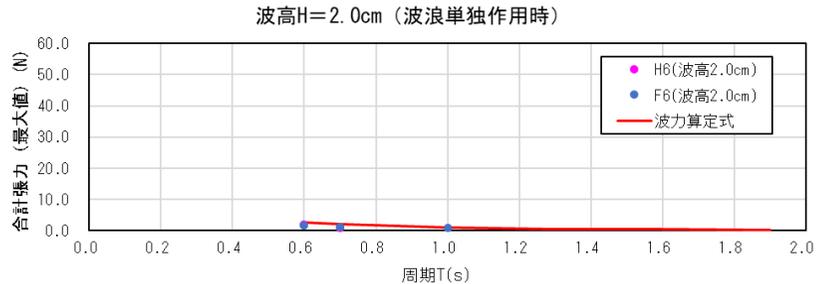
7. 設計荷重

7.6 波力・動揺(繰り返し荷重を含む)(p.33~)

※赤字が今回追加した項目

【フロートに作用する波力を簡易的に算出方法(参考事例)】

技術資料: 水上設置型太陽光発電設備の水理実験結果の概要



- 水理実験では、入射波高が大きく、フロート端部の動揺が大きい場合には波力算定式の精度が低下する傾向が確認されている。こうした高波浪条件においては水理実験により波力を適切に評価する必要がある。
- フロートに作用する波力や動揺について、水理実験や数値解析により検討する場合、特殊な施設・設備や専門的知識・技術を必要とするため、専門家の協力を得て実施することが必要である。

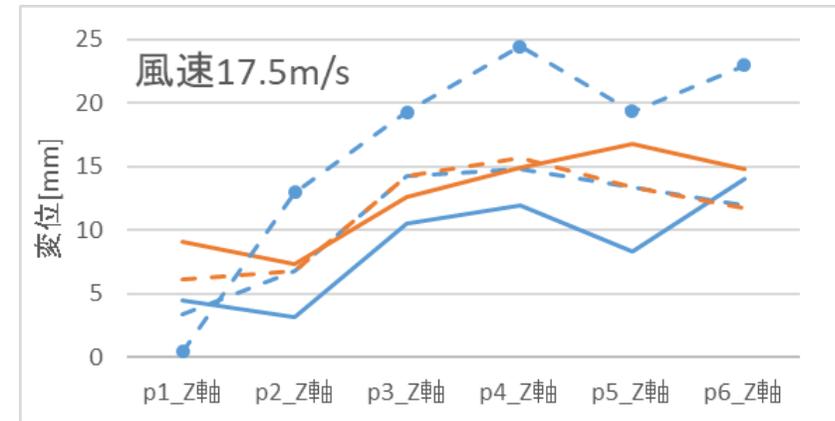
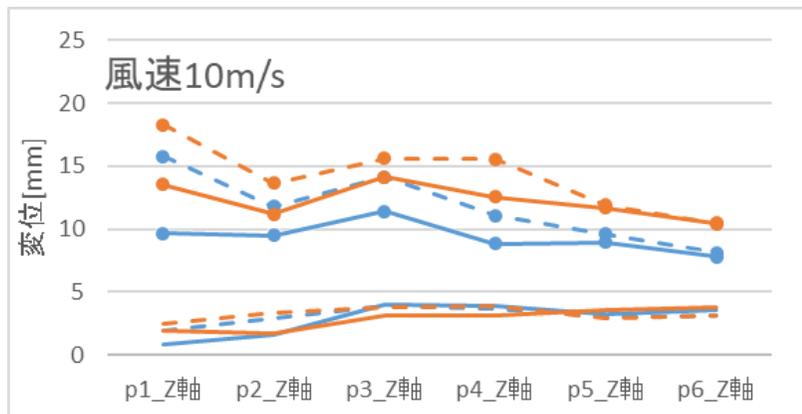
7. 設計荷重

7.6 波力・動揺(繰り返し荷重を含む)(p.33～)

※赤字が今回追加した項目

(3)動揺の抑制

- 外周フロートの風による捲れ防止を目的として、外周フロートの内部に注水する対策が講じられることがある。フロートの重量の増加によりフロート動揺の抑制効果が得られる場合がある。
- 【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】は、その効果について風水洞実験で検証した例であり、フロートを注水することによって、外周フロートの動揺が若干抑制されることが確認されている。



--- 北向きPVC注水無し 波無し — 北向きPVC注水有り 波無し --- 北向きHDPE注水無し 波無し — 北向きHDPE注水有り 波無し
 - - - 北向きPVC注水無し 波有り - - - 北向きPVC注水有り 波有り - - - 北向きHDPE注水無し 波有り - - - 北向きHDPE注水有り 波有り

図3-10 Z軸変位最大値の接合部素材、注水有無での比較

8. 使用材料

8.1 鋼材(p.38)

1. 架台に使用される鋼材は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。また、使用される目的、部位、環境条件、耐久性などを考慮して選定する。
2. 建築系、土木系の各種技術基準などに示されているJIS規格に基づく材料を使用する場合、技術基準などに示されている断面性能諸元などの特性値を使用することができる。
3. 水面あるいは水中に設置する場合は、鋼材などの腐食環境が厳しいことから、腐食量を適正に見込むか腐食対策を講じる。

8.4 ワイヤロープ・チェーン(係留用)(p.39)

1. 係留索に使用するワイヤロープ、チェーンについては、鋼材に加え、化学繊維を使用することが多い。使用する部位、使用される目的、環境条件、耐久性を考慮し材料を選定する。
2. 使用する係留索の種類に応じて、適切に許容張力を設定する。

【ポイント】

・許容張力の設定として次の例がある。

チェーン(鋼製)の許容張力 : 破断荷重の1/3

ワイヤロープ(鋼製)の許容張力 : 破断荷重の1/3

合成繊維索の許容張力 : 破断荷重の1/5

【出典】沿岸開発技術研究センター: 浮体構造物技術マニュアル、1991. pp.52

9. フロート設計

9.1 フロート設計での注意点(p.41)

※赤字が今回追加した項目

1. 水上設置型太陽光発電システムに使用する樹脂製フロートは、比較的小規模で強度が小さい。これらフロートを多連結して使用するため、使用材料特性や作用荷重を適正に設定した上で、設計を行う。

9.2 フロートの設計(p.41)

1. 設計荷重に対してフロート各部位での応力度が当該部材の許容応力度以下になるよう、フロートの形状や部材厚さを設定する。
2. フロート自重、太陽電池モジュール、接続箱や作業員などの載荷重および風、波浪などによる外力作用時において、所定の安定性を有することを確認する。
3. フロート安定性の許容値は、荷重載荷時の乾舷、偏載荷時の傾斜について、利用上の支障が生じないように設定する。
4. 水生生物付着や浸水などによる安定性低下が生じないように、予めその対応を検討する。

9. フロート設計

9.2 フロートの設計(p.41)

※赤字が今回追加した項目

【ポイント】

- ・アイランドに作用する荷重が係留索に集中することを考慮して、設計荷重を適切に設定する必要がある。
- ・各設計状態において考慮する荷重を適切に設定した上で、その安定性を確認することが必要。
- ・安定性の検討は、フロート単体の諸元・性能をもとに数値計算にて行うか、数値計算が不可の場合は実機を用いた実証実験により確認することが望ましい。
- ・安定性検討の例は次のとおり。各設計状態において、フロートの傾斜や乾舷の確保(没水しない)について検討する。

表 9-1 フロートの安定性検討例

	考慮する荷重								安定性検討内容(例)	
	自重	フロート	設備自重	太陽光発電	作業員	浮力	風荷重	波力		積雪荷重等
常時	○	○			○				△	・フロートの全載荷重に対して、フロートの乾舷がゼロ以下とならないことを確認する。
作業時	○	○	○	○	○				△	・フロートの積載荷重に加え、作業員がフロート歩行時に傾斜が 1/10 以下であり、かつ乾舷がゼロ以下とならないことを確認する。作業員荷重を照査対象フロートの端部に偏載荷する場合は、連結された隣接フロートの浮力による復原効果を見込む。
異常時	○	○			○	○	○	○	△	・フロートに風荷重、波力等が作用した場合に、フロートの浮上がりが発生しないことを確認する。

注) ○：原則として考慮すべき荷重、△：必要に応じて考慮すべき荷重

9. フロート設計

9.3 接合部の設計(p.42 ~)

1. フロート間の接合部は、動揺に対して追従するためピン接合となる。接合部の部材が接合部に生じる引張力、圧縮力に耐えうる強度を有することを確認する。動揺などにより繰返し荷重が作用することから、必要に応じ疲労破壊に対する照査を行う。
2. 係留索とフロート間の接合部は、作用する引張力を適切に設定し、フロート部材の許容引張力以下となるよう決定する。フロート群に作用する外力を複数の係留索で負担するが、その負担割合についてはフロート群の移動による荷重集中を適正に評価する。

9. フロート設計

9.3 接合部の設計(つづき)

【ポイント】

- フロート間接合部の強度評価が難しい場合には**載荷試験**を行って**接合強度**を把握するとともに**変形性状**も確認しておくことが望ましい。
- フロート間接合部の強度は、当該接合部を構成する複数のフロートの**変形も影響**すると考えられるので、**載荷試験**や**FEM解析**等を行う場合には**図9-1**に示すような**複数のフロートが接続された状態**で実施されることが望ましい。

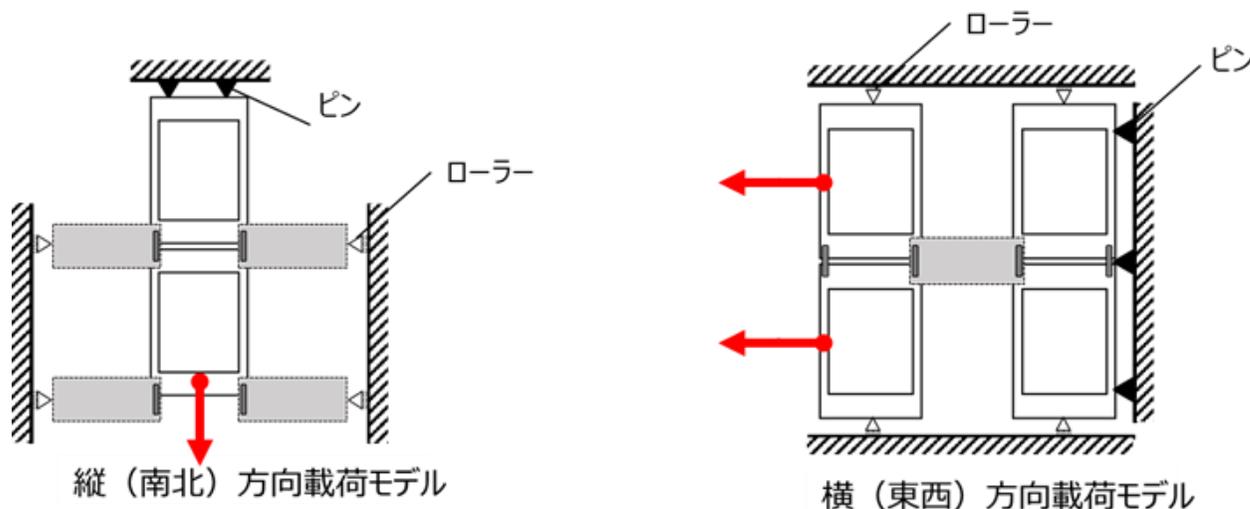


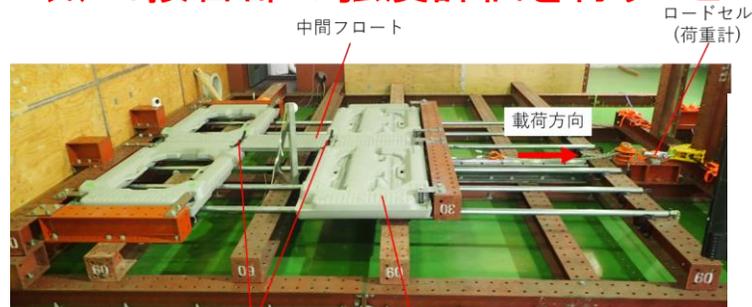
図9-1 フロート間接合部の載荷試験の例

9. フロート設計

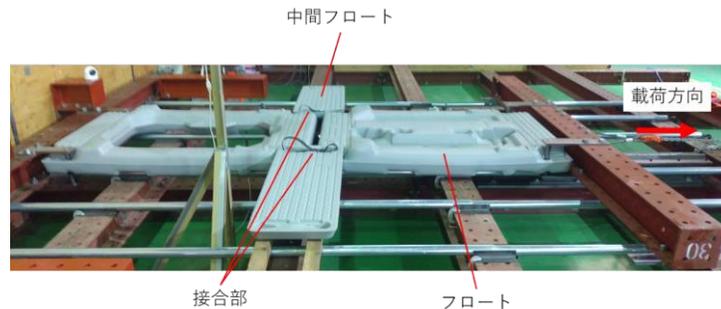
9.3 接合部の設計(つづき)

【技術資料:係留索に発生する張力の実測調査に関する実証実験結果】

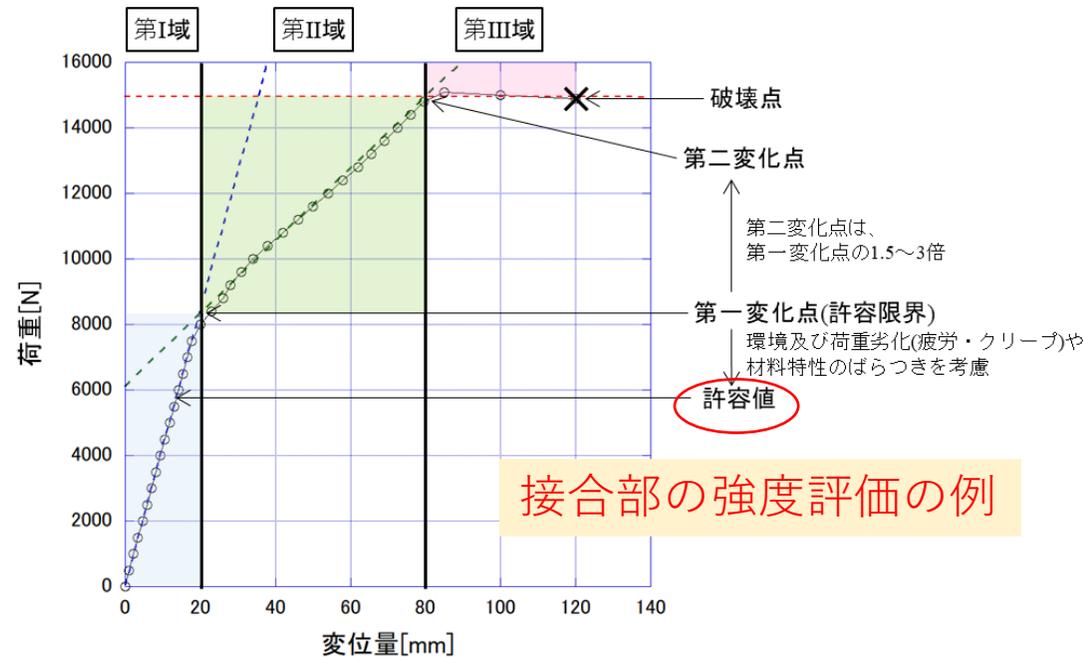
- 荷重と変位量の関係のグラフより傾きが変化する点が2カ所確認できた。これは、局所的な塑性変形が生じ始めた点(第一変化点)と明らかな損傷が生じ始めた点(第二変化点)であった。
- 許容応力度設計において弾性範囲内での設計を行う必要があるため、青色網掛け部(第I域)で接合部の強度評価を行うことが望ましいと考えられる。



フロート-フロート間接合部試験風景(東西方向)



フロート-フロート間接合部試験風景(南北方向)



フロート接合部部分試験の荷重と変位量の関係(イメージ)

10. 係留設計

10.1 係留設計での基本事項(p.44)

※赤字が今回追加した項目

1. 係留設計は、フロートへの係留索取付部、係留索、アンカーを対象とする。
2. フロート群の荷重は複数の係留索に分散して負担させるが、フロート群の移動によって特定の係留索に荷重集中が発生することを考慮して設計を行う。
3. 特定の係留索が破断した場合にアイランドの移動、他の係留索への荷重集中によって連鎖的に被害が拡大しないよう、工夫して設計を行う。

【ポイント】

- ・係留設計の対象は次のとおりとする。
- ・荷重分散が図れる係留索の配置や係留索強度に余裕を持たせること等により、係留システムに冗長性を組込むことなどが有効である。

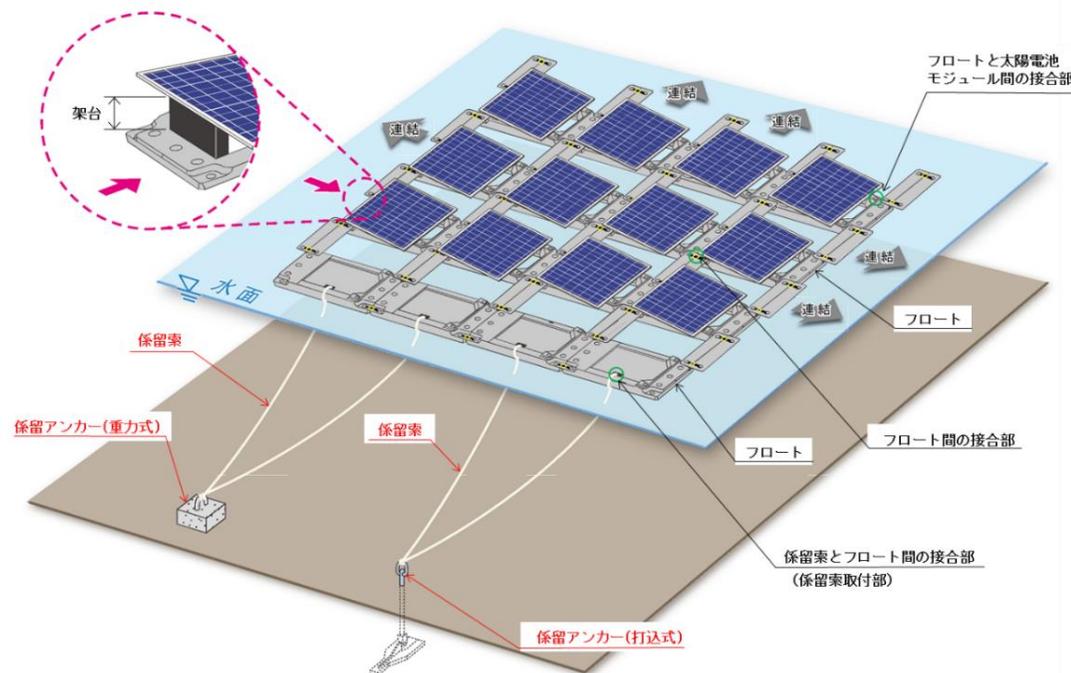


図10-1 係留設計の対象部材

注) 本図は説明用のため2つのアンカー方式を併記している。

10. 係留設計

10.2 係留方法 (p.45)

※赤字が今回追加した項目

1. 水底にアンカーを設置して係留索で固定する方法、あるいは、水中ではなく堤防などの陸上部にアンカーを設置して係留索で固定する方法とする。

【ポイント】

- ・係留方法の選定に当っては、アンカーの設置により既存施設の機能が低下もしくは満足できない事象が発生しないようにする必要がある。
- ・堤防にアンカーを設置する場合には、水密性の確保などに十分配慮し、堤防の安全性を損なわないことを確認する。
- ・水面より高い位置で係留する場合には、フロートの浮き上がりに対してアンカーで抵抗できないため、風上側フロートの浮き上がり(捲れ)抵抗力について別途検討する必要がある。

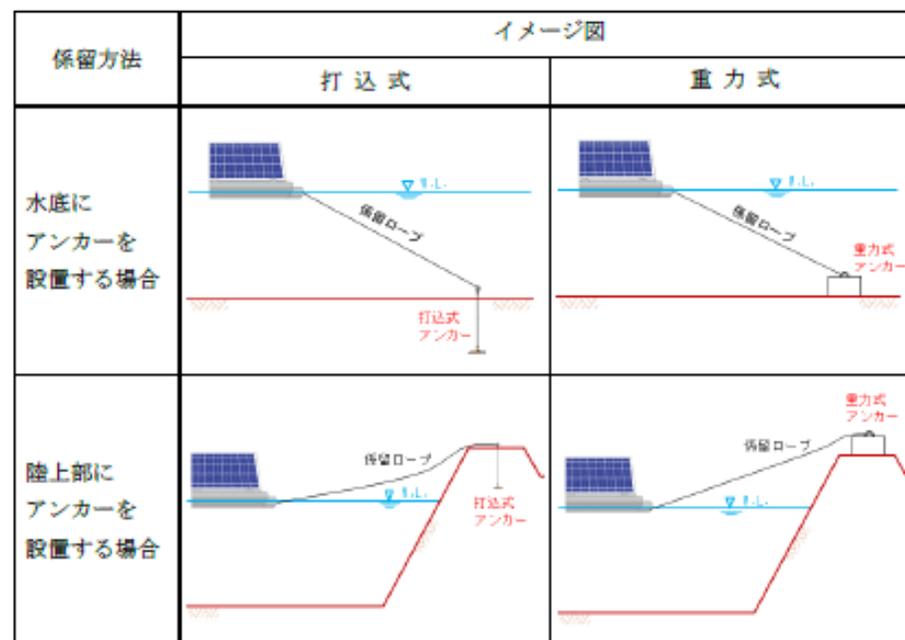


表10-1 係留方法

10. 係留設計

10.3 係留索の設計 (p.45～)

※赤字が今回追加した項目

1. 係留索に作用する引張力を適切に設定し、許容引張力以下となるよう決定する。
2. 設置期間を考慮して、経年劣化に対する影響や更新計画を立案する。

【ポイント】

- ・アイランド(フロート群)は複数の係留アンカーと係留索で係留される。
- ・係留索は水位変動などに追従できるようある程度余裕を持たせて長さを設定することから、アイランドが水面上を移動・平面形状が変化した場合、**複数の係留索に均等に荷重が作用することはなく、荷重の集中が発生する。**
- ・**アイランド形状がL字型などの場合の入隅部においては、荷重の集中が生じやすいことに加え、係留索の展張方向によって係留索の交差が発生するなどの課題があるため設計に当たって特段の留意が必要である。**
- ・**この係留索への集中の度合いについては、現時点で有効な知見、評価方法が無いことから、実証実験、水理実験や数値解析などを行い、適切に設定する必要がある。**

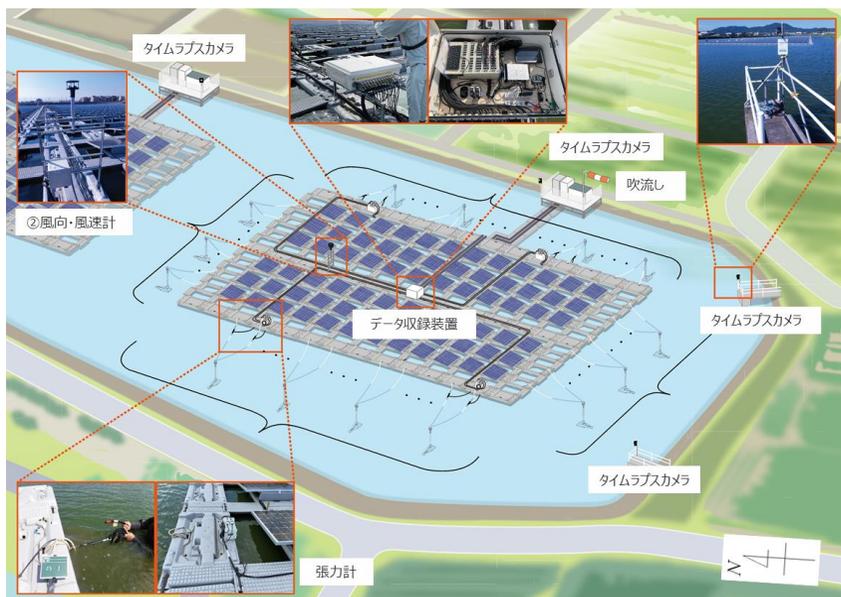
10. 係留設計

10.3 係留索の設計 (p.45～)

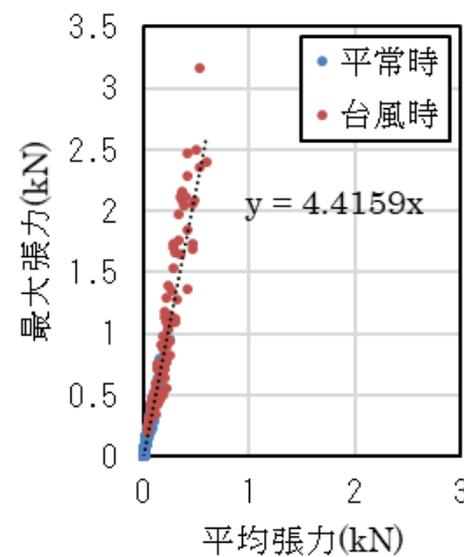
※赤字が今回追加した項目

【技術資料: 係留索に発生する張力の実測調査に関する実証実験結果】

- ・1 基のアンカーからフロートに2本の係留索が展張されている場合は、片方の係留索に張力が集中する現象が確認されている。
- ・係留索に均等に張力が作用すると仮定する場合に比べ、3～5倍程度の張力が作用することが確認された。
- ・このため、係留設計に当たっては張力の集中について適切に考慮する必要がある。



実証実験サイト鳥観図



係留索の平均張力と最大張力の比較

10. 係留設計

10.3 係留索の設計 (p.45～)

【係留索の設計事例】

- ① アイランド(フロート群)に作用する水平力を、係留索の展張角度を考慮してロープの引張方向に換算し、係留索の張力を算出する。
- ② 係留索1本当りが負担する張力が、使用する係留索の許容張力以下であることを確認する。

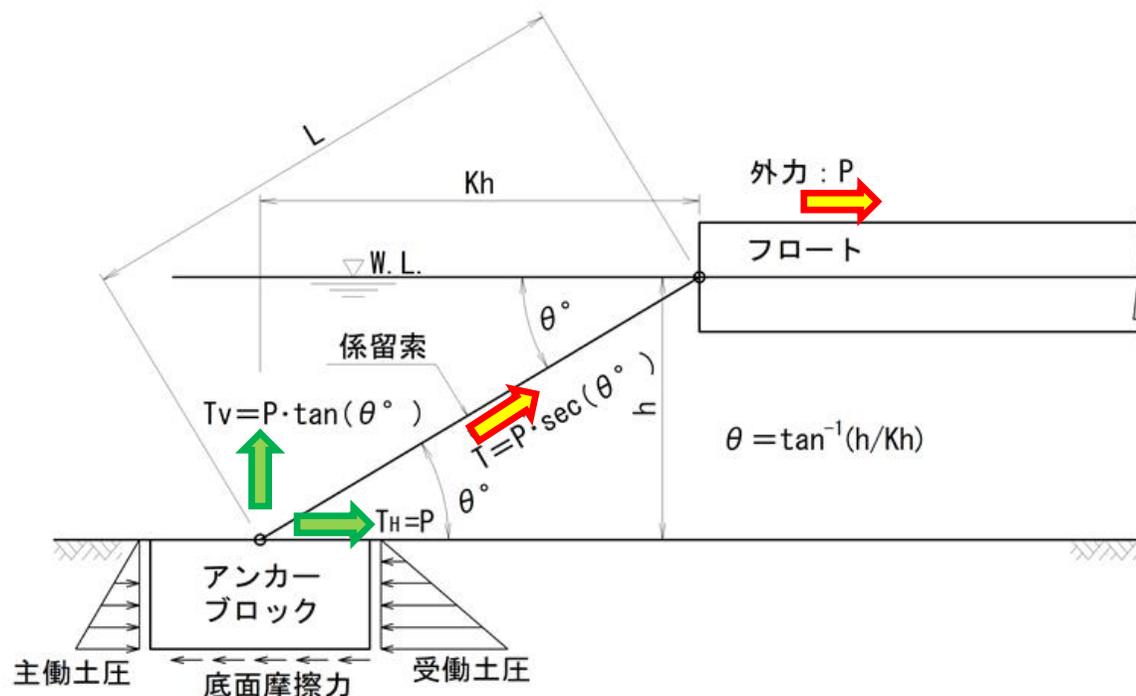


図10-2 係留索の照査(重力式アンカーの場合を示す)

10. 係留設計

10.4 アンカーの設計 (p.48～)

1. 水底への打込式アンカー、コンクリートブロックなどの重力式アンカーとする。
2. 水位変動などを考慮して、係留索の引張り角度の変動を考慮する。また、アンカーの耐力方向とフロートによる作用方向が異なる場合、その影響を考慮する。
3. 水底への打込式アンカーは、原位置試験により耐力評価を行う。
4. 重力式アンカーの必要重量は、港湾や漁港施設の浮棧橋などの係留部の設計の考え方を参考にする。
5. ため池などの堤体にアンカーを設置する場合、堤体の安全性や安定性、水密性等に影響しないアンカーおよび施工方法を選定する。

【ポイント】

- ・重力式アンカーの必要重量は、全国漁港漁場協会: 漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版、2016.等を参考にすることが出来る。

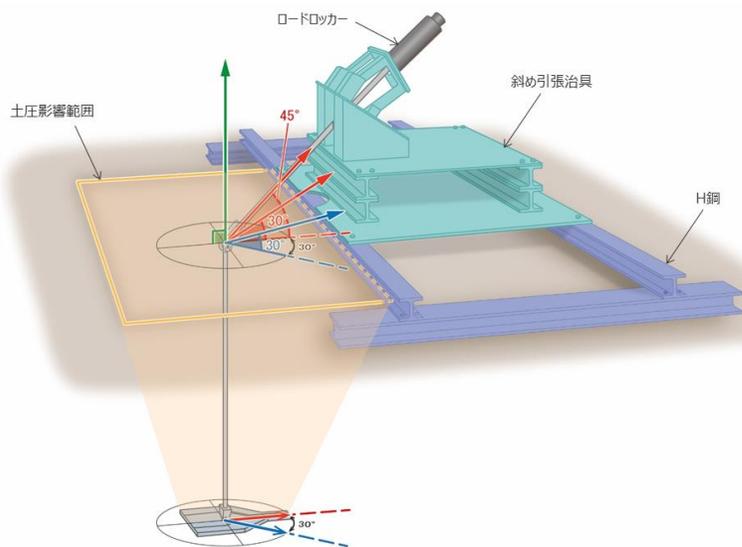
10. 係留設計

10.4 アンカーの設計 (p.48~)

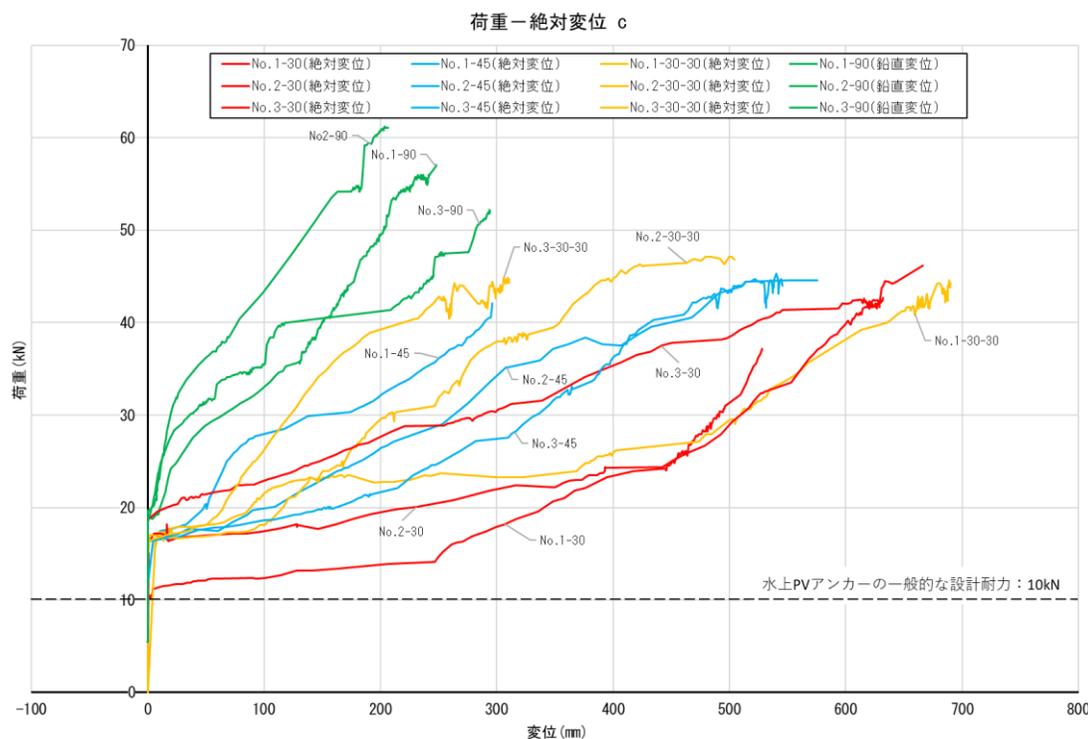
※赤字が今回追加した項目

【技術資料:係留索に発生する張力の実測調査に関する実証実験結果】

- 打込式アンカーについては、耐力方向(打込方向)と係留索の引張り角度が一致しない場合があるが、作用方向の違いによるアンカーの耐力低下は生じないことが確認されている。
- 複数の係留索に張力を分散させている場合は、アンカーの変位により張力の分散バランスが崩れ、特定の係留索に張力が集中しやすくなるため留意が必要である。



引張荷重と絶対変位cの関係



10. 係留設計

10.4 アンカーの設計 (p.48～)

※赤字が今回追加した項目

【ポイント】

- ・ため池などの堤体への打込式アンカーを使用禁止としている事例がある。
- ・重力式アンカーによる堤体の安全性、アンカー設置によるすべり破壊等の誘発に対する安定性、打込式アンカーによる水みちの発生に伴う水密性への影響など、堤体の安定性や機能に悪影響を及ぼさないようにする必要がある。

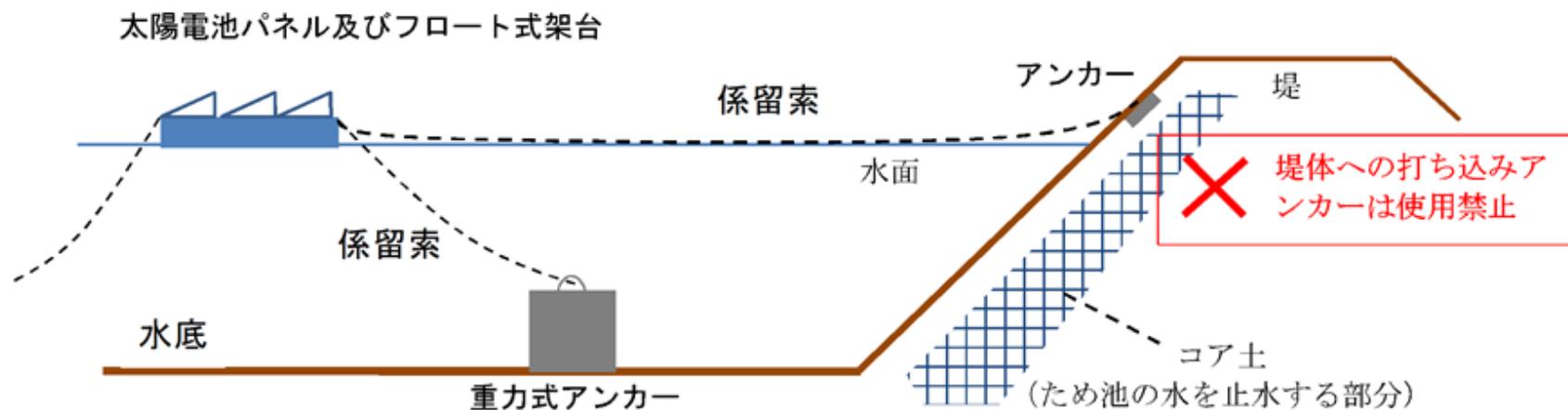


図10-5 堤体への打込式アンカーの使用を禁止としている事例(兵庫県の事例)

13. 施工

13.1 一般共通項目 (p.58～)

※赤字が今回追加した項目

1. 自然条件など、当該施設が置かれる諸条件を勘案して、当該施設の要求性能を満足するような方法により施工する。
2. 設計者が求める要求性能が満足されるよう施工する。
3. 対象施設を正確、円滑かつ安全に施工するために、予め施工計画を定める。また、工事の進捗や現場状況の変化により必要が生じた場合、施工計画を変更する。
4. 設計者が要求する性能を満たしていることを確認するため、施工管理を行うものとする。また、施工管理により取得した記録・情報は維持管理計画などに反映させる。
5. 安全に関する関係法令などにもとづき、安全確保上必要となる措置について検討を行った上で適切に安全管理を行い、事故および災害の防止に努める。
6. 実際の施工結果を竣工図書としてとりまとめる。図化できない範囲については写真にて記録する。
7. 打ち込み式アンカーについては、現地での全数検査を原則とする。

13. 施工

13.1 一般共通項目 (p.58～)

※赤字が今回追加した項目

【ポイント】

- ・実際の施工現場、施工時点において、設計時に設定した条件と異なる場合には、設計図面どおりに施工しても所定の機能・性能を確保することはできず、当然、設計の見直しを行う必要がある。
- ・供用中において、点検診断や維持補修を行う場合、実際に施工された状況を把握しておくことが重要である。
- ・特に潜水作業には危険を伴うため、一般社団法人日本潜水協会: 潜水作業安全施工指針、2015などを参考に、施工要領、安全管理等を検討する。
- ・気象条件の良い施工時期の選定、リスクの少ない施工方法・施工手順の検討などを行う。
- ・堤体や遮水層などの安全性を確保するとともに、汚濁の発生・拡散の防止に努めるなど、周辺環境への影響を与えないよう施工する。
- ・新設または改良を行う場合、施工に関する専門的知識、技術・技能を有する者を配置し、施工管理および安全管理を行う。
- ・施工管理方針に基づき施工管理の内容・方法を定め、施工計画書に記載する。

14. 維持管理計画

14.1 一般共通項目 (p.60)

1. 太陽光発電システム全体が、供用期間にわたってその設置目的・機能、要求性能が維持されるよう、予め維持管理計画を作成した上で、維持する。
2. 維持管理計画書は、施設の所有者が作成することを原則とし、設計者、施工他維持管理に関する専門的知識・技術を有する者の意見を反映させる。
3. 維持管理計画書は、対象施設の損傷、劣化その他の変状についての、計画的かつ適切な点検診断の時期、対象とする部位および方法などについて定める。
4. 太陽光発電システムの維持管理計画書の作成および維持においては、設置箇所の自然条件、設計条件、構造特性、材料特性などを勘案する。
5. 点検および診断の結果にもとづき維持補修に関する対策を行った場合は、その内容を記録し、供用期間に亘って保存する。
6. 維持管理計画の作成および点検診断の方法は、民間のガイドラインなどを参考にする。

【ポイント】

- ・発電規模にかかわらず設計段階に維持管理計画を作成することが望ましい。
- ・供用期間中に、供用期間の延長や自然条件の変化(降雨量の増大、異常時の設計風速の増大)などが生じた場合は、最新の条件を維持管理計画に反映させる。

15. その他

次の手引きも参考にして頂きたい

- ・農業用ため池における水上設置型太陽光発電設備の設置に関する手引き 令和3年9月 農林水産省農村振興局

https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-98.pdf

ご静聴ありがとうございました。