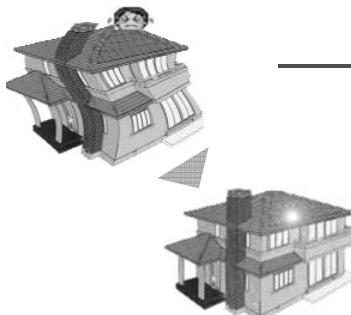


PVシステムを取り巻く構造および電気的課題 (その② 構造事故ケーススタディ -耐風設計を中心に-)



2013/10/9 太陽エネルギー学会
於： 東京理科大学森戸記念館第1フォーラム

PVResQ!名古屋支部
吉富政宣

1 まずは実例から 構造物事故の実例、その事実認識 (風、雪、地震、温度荷重のうち“風”)

2 エラーの分類と考察 耐風圧不足による事故発生の背景

1. 設計エラー(省略エラー)
2. 設計エラー(遂行エラー)
3. ルールの未整備

3 方向付けのための議論 事故防止のための理想的手段(提案)

1. (実行性はさておき)理想的対処案
2. 製造、販売業者のモラルのこと
3. 取り組みの優先順位

事故に関する行政の認識

2 事故・故障情報について⑥ (発生率)

○住宅用太陽電池発電設備の事故・故障の発生率について大まかな試算を行ったところ、年間で10万台に1件程度(0.00061%)であった。

【計算方法】

$$3.38 \text{ 件} / 556,536 \text{ 件} \times 100 = 0.00061\%$$

・年間平均事故発生件数(平成10年～平成22年)：3.38件/年 (=44件/13年)
(NITEによる44件の事故のうち、事故発生日が最も古いものが平成10年、最も新しいものが平成22年である。)

・太陽電池発電設備の設置件数：556,536件

設置件数内訳

- ・住宅用太陽光発電システム導入件数(平成6年度～平成20年度)(新エネルギー導入促進協議会)456,894件
- ・住宅用太陽光発電補助金交付申請受付件数(平成21年4月～12月)(太陽光発電協会) 99,642件

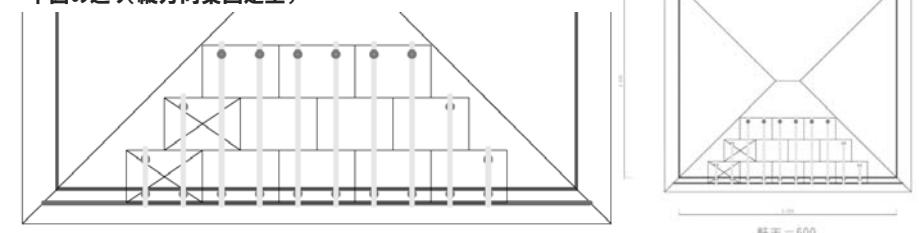
太陽電池発電設備に係る規制見直しについて
原子力安全・保安院電力安全課 平成22年12月8日
より抜粋。

3

いわき市 2011/4/16 FNN,NHK等で報道、気象官署はFO報告



同機種の施工マニュアルより推定すると
下図の通り(縦方向梁固定型)



 沖縄県 2012/10/5

詳細不明



<http://www.japanupdate.com/2012/10/seasons-strongest-typhoon-bashes-okinawa/>

Strong winds ripped solar panel from an apartment building rooftop and threw it on residents' parked cars in Okinawa City.

5

 常滑市 2013/9/15

詳細不明



pic.twitter.com/SElmJBToM 伊藤たつや@ずっと常滑 @ tatsuya115

ツイッターにおける、観察者の発言

「台風の影響でメガソーラーのパネルが何枚も飛んでいる」

 外国例

詳細不明



内訳CPIの見落としか?(写真はchris.geurts氏プレゼン資料より)

 販売者のWEBサイト

詳細不明



<http://www.bigstreet.jp/contract/case.html>

キャプション 「台風でパネルが飛び車が下敷きなっています」



7

8

積雪荷重



<http://tanifamily.com/?p=10>

ブログ作者の発言

また冬の雪にやられた。

投稿日: 2012年3月19日 作成者: alzhaiman

ことは、そんなにゆきは多くなかったのに、去年の9月に取り付けたソーラーパネルが一枚落下してしまいました。雪のちからはすごいと言ってられない状態です。パネルは雪に突き刺さっている。どうしたらいいのだろうか?

認識と事実の乖離

一体何例の事実を挙げれば業界は真剣に取り組むのか。

- 全物件-事故報告物件 = 健全物件 と業界・行政は認識している。
では、全物件-無事故報告物件 = 事故物件 と見做すとどうなるか(相補定理)
認知数と事実数は異なる。

太陽光発電システムの事故は、少なくない。

機器焼損ならびに構造物事故の数は、寡少カウントされている。

帰責に現れる誤謬

- 「台風でパネルが飛び…」、「冬の雪にやられた…」との評価。
外力 > 耐力には、次の2ケースが存在しうる。
1. 外力超過によって 外力 > 耐力 となる場合。
2. 耐力不足によって 外力 > 耐力 となる場合。

事故に際してほとんどの人々は、外力超過と認識している。

しかし(法をモノサシにして評価しなおすと)

元から耐力不足であることが多い。

まずは実例から

1 構造物事故の実例、その事実認識 (風、雪、地震、温度荷重のうち“風”)

2 エラーの分類と考察 耐風圧不足による事故発生の背景

1. 設計エラー(省略エラー)
2. 設計エラー(遂行エラー)
3. ルールの未整備

3 方向付けのための議論 事故防止のための理想的手段(提案)

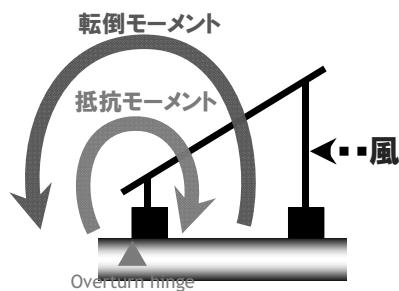
1. (実行性はさておき)理想的対処案
2. 製造、販売業者のモラルのこと
3. 取り組みの優先順位

設計エラー(省略エラー)

設置業者・製造業者に向けた話



転倒モーメント>抵抗モーメント(屋根への締結部の問題)



転倒モーメント>抵抗モーメント(屋根への締結部の問題)



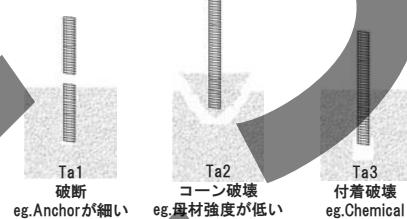
転倒モーメント>抵抗モーメント(屋根への締結部の問題)



●背景
設置業者はALC母材のコーン破壊(Ta2型)を恐れて質量基礎工法を採択した。しかし、質量基礎の質量は不足していた。(質量基礎工法自体は悪いことではない)

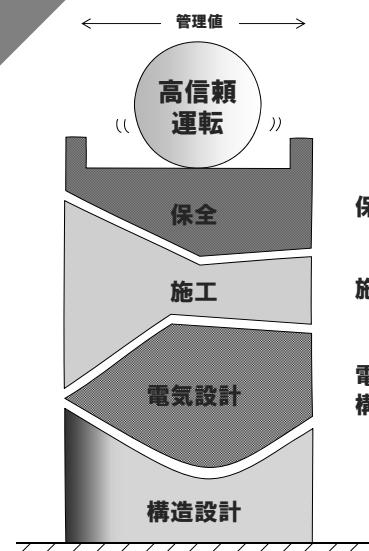
●現象
突風時、抵抗モーメントに対して転倒モーメントが超過した。その結果アレイは落下した。

●考察
解釈46条は架台強度検証を規定している。しかし本件では架台と建物の締結部の検討が省略されている。(架台材料のみ強度が十分であっても、意味がない)



システムとはひとつの建築。順序が重要。

太陽光発電システム(PVS)において構造部分の失敗は電気部分を巻き込む。したがって、構造失敗は即、安全限界超過(完全失敗)となる。



保全だけでは成り立たない。

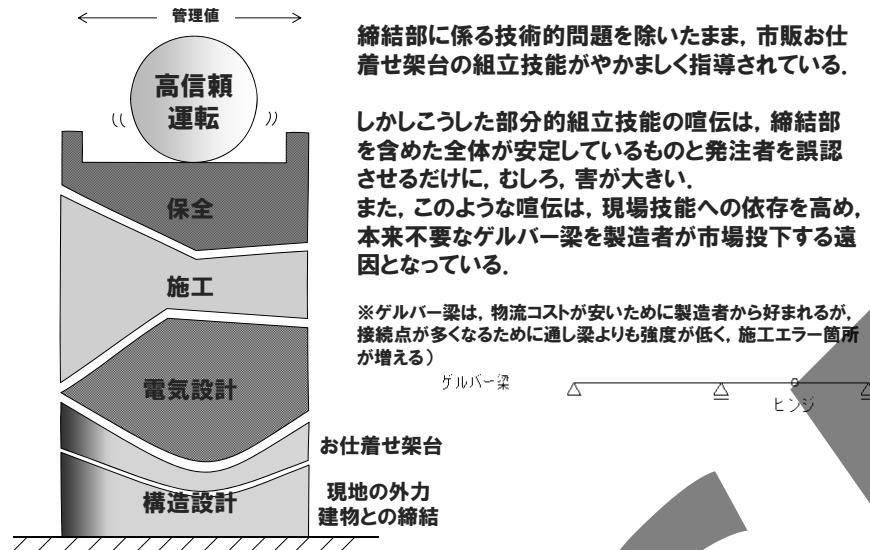
施工からの頑張りは、ほぼ無力。

電気設計以降を熱心にやっても、構造が確実でなければ、転んでしまう。



材料キットでは対応できない(締結部の設計サービスが不可欠)

架台を建物や地面に締結する部分の失敗が多い。
たとえ市販架台の出来が良くても、締結部は設置業者マター。



17



何の基礎もなく発電性能と経済性を求めるのは飛躍すぎ。

孫ガメの議論に固執することで
社会的要請という本質を見失っていないか

最終的な目的物は、
kWの経済性ではなく、kWhの経済性。
3亀の直列回路を満足するのが原理原則。



親亀なければ子ガメなし。子ガメ無ければ孫ガメなし。
議論の土俵を見直そう！

目標性能	目的物	行動
孫ガメ	発電性能	kWhの最大化 システムの発電性能最大化
子ガメ	サービス・保全性能	オーナーの財産保全 仕様書完備、履歴完備
親ガメ	電気安全・構造安定性能	公衆安全 法遵守、最低限の技術計算の徹底

私

公



設計省略エラー 構造失敗、または、構造失敗未遂の起源

設計省略エラー

構造設計自体が行われない

(以下、相互作用があるのでどれが原因でどれが結果なのは不明)

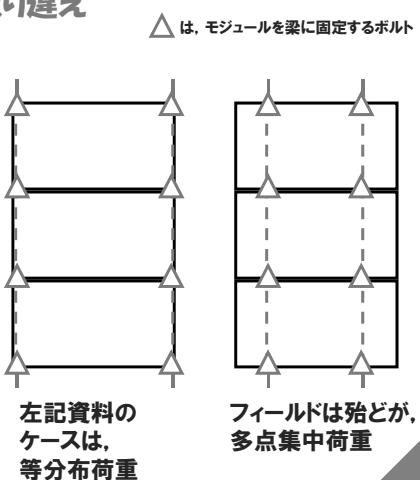
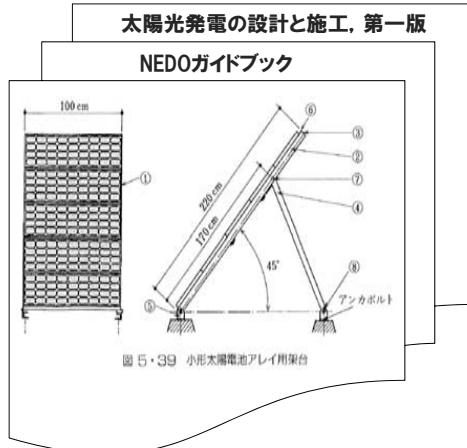
- PVS生産主体は電気のみの専門家であることが多い。
彼らのうち少なからぬ人々は構造を学ばず、わからないままにしている。
※わからないままにするのは、自分が得意なことや興味が無いこと軽んじるという、一般的人間性向の現れではないか…と言って行政の方に「低質な業者を弁護するのか」と叱られたことがある。
- 構造強度を検討する予算が計上されない、構造専門家の参加が無い。
一般用電気工作物では、事故を生じても被害が当事者に留まることが多い。
(単体規定で済んでしまうため、法制もそのようになっている)
一方、PVSは屋外に設置され、外部世界とつながりを持っている。
そのため、事故を生じると他者を加害する恐れがある。(特に飛散事故)
しかしこのような集団規定的考慮事項は、PVSを預かる一般電気工事業者や太陽電池製造業者には理解されにくい、そもそもこの業界には、外部不経済を抑止しようという意識が薄い。発注者もまた、構造安定性を欠くと外部不経済をもたらすという意識が薄い。
- (建築と異なりPVSでは)技術面を預かる責任者が法的に定められていない。
 - 不法行為への抑止力が不在(検査なし、行政罰発動なし)
 - 不作為犯の遂行は、発受注者の双方にとって安上がり。

19

設計エラー(遂行エラー)

設置業者・製造業者に向けた話

等分布荷重と多点集中荷重の取り違え



当然タワミは右のほうが大きい。

(資料の計算過程だけを真似て)多点集中荷重を等分布荷重として扱う誤計算が少なくない。これらの資料中の計算過程には誤りがない。しかしこれら資料では、等分布と多点集中荷重の違いへの注意喚起が行われていない。そのため、これら資料がエラー誘因となってきた。

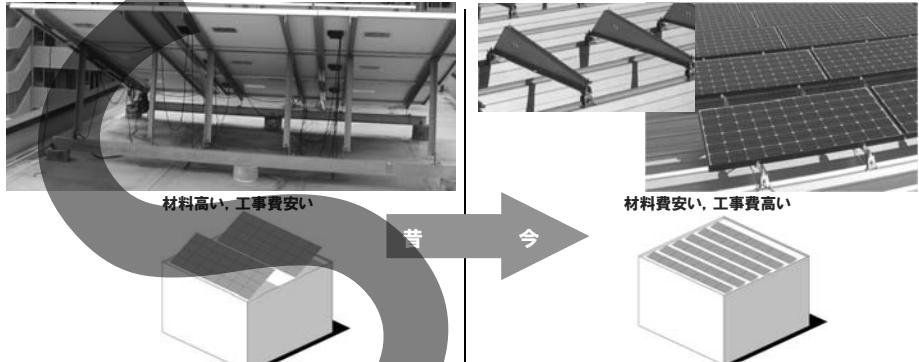
→設計エラーの典型として、リストに加えておく必要がある。

21

何でもかんでも構造骨組モデル？(←おかしい)

構造骨組と外装材の違い(応力の再配分と、新しいタイプの陸屋根架台)

- モデル(1458か1454か)を選定する場合、応力の再配分の有無が判断基準となる。
- かつては構造骨組モデルに近い架台構造だったが、昨今は、ワンモジュールを個別マウントすることが多い。



●構造骨組モデル(1454号)?

アレイ全体で局部の負圧を支える。
長尺構造材を通じて応力が再分配する。
→ 想定すべき面積当たり風荷重が小。

●外装材モデル(1458号)

モジュール単位で局部の負圧を支える。
当該部位に最大風圧力。
→ 想定すべき面積当たり最大風荷重が大。

写真の例を構造骨組として解くのは危険すぎるが、
それが現実に行われている。

オイラー座屈式の誤用、細長比等の検討漏れ

ある製造業者発行の計算書より。

座屈荷重 P_k は

$$P_k = \frac{E \cdot I_x \cdot \pi^2}{l_s^2}$$

$$= 250,160 \text{ (kg)}$$

$>> P_p$

従って、座屈について問題はない。

採用式がおかしい、250トンも持たない。

耐力について最大2桁の過大評価をした事例も存在する。

参考:
これとは別のある実在架台について
計算法を変えて比較した結果

13	短期の座屈条件
14	ガセット時一覧
15	オイラー
16	722894 N
17	ゴルドン
18	154750 N
19	テトマイヤ
20	145571 N
21	ジョンソン
22	132684 N
23	建基長期
24	121727 N
25	建基短期
26	182590 N
21	
22	偏芯1/2一覧 (道橋示)
23	オイラー
24	301447 N
25	ゴルドン
26	77375 N
27	テトマイヤ
28	72785 N
29	ジョンソン
30	68342 N

偏芯と細長比に注意。オイラー式を採用した計算は太陽光発電架台の実態と合わない。
薄鋼板を曲げた部材においては、実験でしか答えが出ないので?

(筆者が知るPVアレイの座屈崩壊例は2件。いずれも万能アングル等によるもの)

断面欠損が大きいので、
個別事前評価が必要。



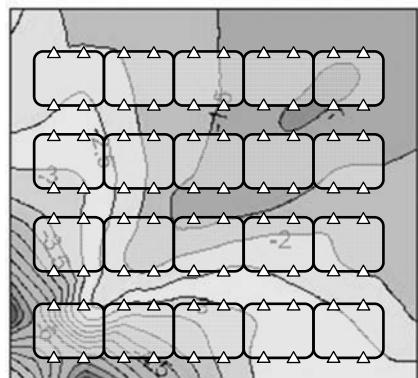
22

より大きな風圧力を想定しなければならないのはどちら？

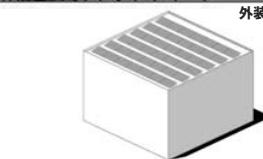
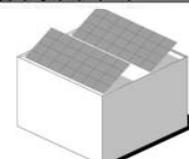
モジュールをアレイ化し、その基礎梁を複数箇所で建築の主要構造部または屋根スラブに固定



モジュール単体のまま、金具4点を用いて屋根材に固定



外装材モデル(1458号)



センター図は、下記データベースの一例
<http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/>

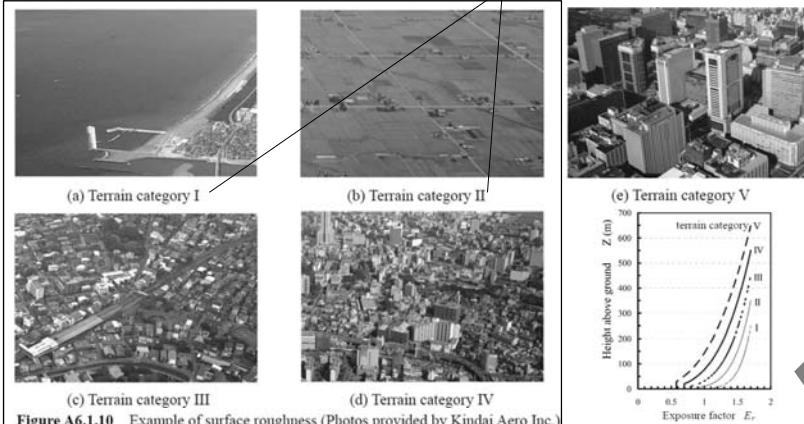
24



地表面粗度は何でもかんでもⅢ？(←おかしい)

営業方法の問題

- 架台部材の製品カタログは、Ⅲ地域を初期設定としているため、市場はその耐力を過大評価している。(メガソーラー等で危険側判断をしやすい)



現実の事業用ソーラー(僻地かつ平坦地案件)の地表面粗度はIIまたはIがほとんど。初期設定をIやIIなどと厳格化し、発注者の危険側判断を未然防止すべき。

25



設計遂行エラー2/2 構造失敗、または、構造失敗未遂の起源

部材消失感度への配慮が無い

- ボルト緩みを発端とする飛散事故は多い。
そして、これを施工エラーと見做す業界悪習がある。
しかしこのような評価は、本質を見誤ったものである。
「ヒューマンエラーは存在しない、あってはならない」とする前提に異常がある。

左図の様に、太陽電池と架台との締結は、単独固定部と兼用固定部から成る。またモジュールはリジッドではない。したがって、これは完全直列システムである。このような直列型システムでは、ボルトのいずれかひとつが正しく施工されないだけで崩壊を招く。

例：4000枚の太陽電池から成る1MWのメガソーラーを100件納入することを考えてみよう。簡単のためボルト施工箇所は、左図を1000組、即ち10000個のM6～8ボルトナットワッシャーのみであると仮定する。このような、巨大直列システムの崩壊を防止するためには、施工信頼度を100%にしなくてはならない。たとえ信頼度99.99%／ボルトの精銳チームを組んでも、100件中63件にエラーを生じてしまう。(不良状態で仕上がることが多いシステムとなる)

そもそも、一品受注生産、屋外作業であるPVS施工に高い信頼度を求めるのは過剰な要求である。

ボルト固定不良による事故はしばしば施工エラーと断定されるが、その前に、
1. 設計段階で施工信頼度100%とみなす異常な前提を修正し、
2. 太陽電池と架台との締結に冗長性を付与することを常態化する必要がある
(例えば、ボルト6点止め、あるいは長尺プレートによる固定方式であれば随分と良くなる)
作業者に帰責しつづける限り、事故は絶対に減少しない。

27



設計遂行エラー1/2 構造失敗、または、構造失敗未遂の起源

設計遂行エラー

- 準拠法選定エラー**
 - 旧建基やTRC0006などの旧ルールが誤って用いられることが多い。
(後法優先原則への無理解。確認申請がある建築と比べPVS業界は法規調査をする習慣が乏しい)
 - 外装材型物件(1458)が構造骨組型物件(1454)として取り扱われている。
- 設計作業エラー**
 - ゾーニング間違い、地表面粗度選定の不適切、座屈計算式選定の間違い、転倒モーメントの計算漏れ(殆どの場合は省略エラーだが)
 - 部材消失感度への配慮がない(施工バラつきは存在しないとの大胆な仮定)

“設計者への帰責”と“設計者を取り巻く環境への帰責”

- しかし上のいずれも設計者に帰責する場合の話。
準拠法選定エラーは、ルール周知の不徹底が背景にあるとも考えられる。
計算のエラーは、教育システム不在のみならず、
市場からの過度のコストダウン要請も背景にある。

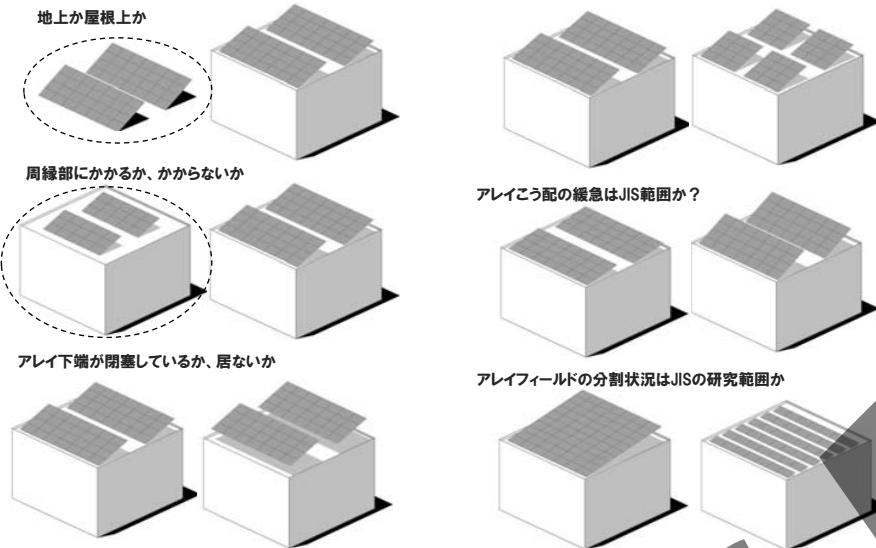
※事故原因が行為者にあると目されることは少なくない。だが行為者という人的原因もまた、何らかの環境要因の結果であったりする。事故遮断条件を探索する際には、この点に注意が払わなければならない。

ルール未整備

⇒ 耐風設計と電技(JISC8955)
耐雪設計と諸規格



JISC8955の範囲に入る設置方法・構造は滅多に存在しない(傾斜付架台例)

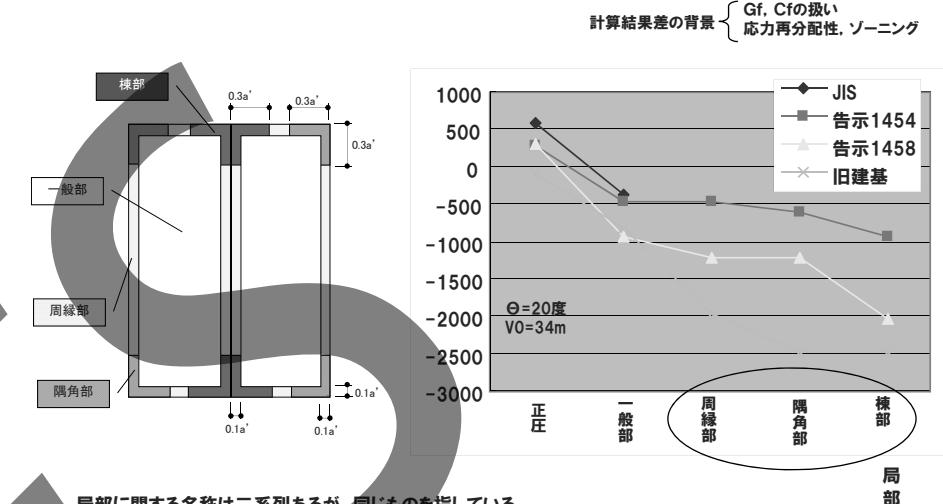


JIS形式は点線内のみ。風洞研究が行われた平成5年頃は、現在の量産架台構造を想定していない。
JIS想定外のほうが多い今は、JISで解けるほうが珍しい。

33



モデルの違いによる風圧力計算結果の違い(傾斜屋根例)

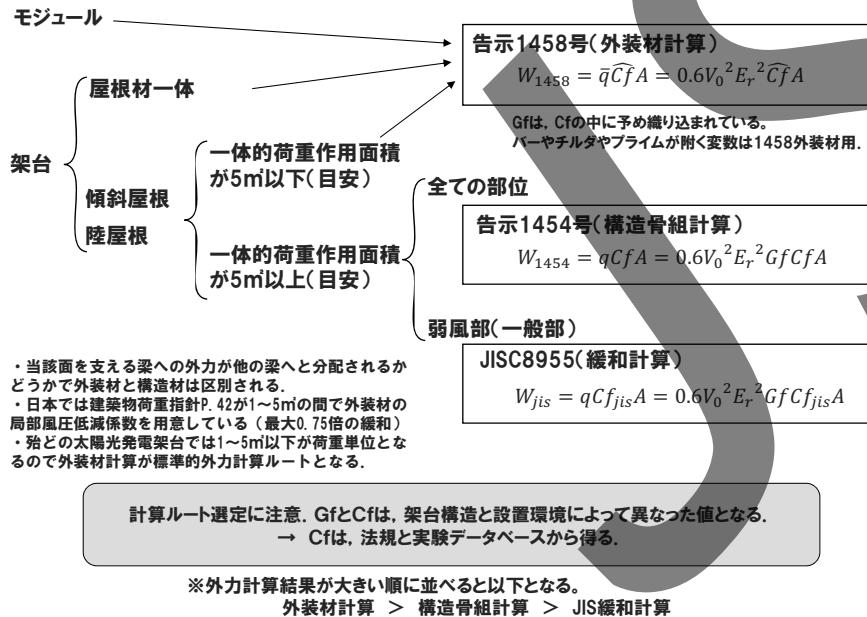


局部に関する名称は二系列あるが、同じものを指している。
(周縁部、隅角部、棟部)はそれぞれ(局部、準局部、超局部)の名称に完全一対一対応する。

JISC8955(簡易計算) 一般部相当のエリアのみを評価している(建基法ゾーニングとは異なる)
1454(構造骨組計算) 縦横梁からなるなど、応力の再分配を生じる架台の評価に用いる。
1458(外装材計算) モジュール単体や梁の連続性が少ない架台の評価に用いる。

35

モデリングと風荷重の導出(現在の計算法は3ルート)



34

電技～JISC8955(以後，“解釈”)の諸問題 主要な論点は4つ

- 現在流通している架台は、“解釈”的対象外。
JISは20年前の研究成果による規格のため、現在主流の設置形態を想定していない。
- 規制緩和のつもりが規制複雑化になってしまった(特に住宅)
“解釈”には「風洞実験原則」と「実験による終局耐力推定」への言及がない。
そのため現実に存在するほとんどの設置形態、材料(薄鋼板)が脱法状態に。
一方、現在主流の設置形態を建築基準法の技術的対象として取り扱うことは可能。
そこで設計者は建基計算を提案することになるが、市場はそれを受け入れない。
「厳格側に従う根拠は？」と責められる始末となる。
- JISで設計すると強度が不足してしまう設置形態がある。
JISは、外装材モデルとピーク風力係数を想定していない。
そのため、外装材型である市販架台に掛かる外力はすべて過小評価されている。
- 解釈は構造計算のみを指定する性能規定(特に住宅市場で問題になる)
仕様規定が存在しないため、すべてについて構造計算をしなければならない。
(JIS構造計算=外力計算+許容応力度設計による耐力計算)
→人々に与えられた選択肢はどれも望ましいものと言えない。
①計算をサボる(現在の主流)
②構造計算ができない業者は廃業する
③建基法で構造計算する。(建基の風洞規定は実用的。だが、電事法裏付はない)

36

中間まとめ 耐風圧不足による事故発生の背景

設計省略エラー

- 構造設計自体が行われない
 - PVS生産主体は電気のみの専門家。構造はわからない、やりたくないとする人が多い。
 - 不法行為への抑止力が不在(検査なし、行政罰発動なし)
技術面を預かる責任者が法的に定められていない。
不作為犯の遂行は、当事者にとって得。

設計遂行エラー

- 準拠法選定エラー
 - 旧建基、TRC0006などの旧ルールが誤って用いられることがある。
 - 外装材型物件(1458)が構造骨組型物件(1454)として取り扱われることが多い。
- 計算エラー
 - ノーニング、地表面粗度選定の不適切、座屈計算式選定間違い、転倒モーメント計算漏れ
 - 部材消失感度への配慮がない(施工バラつきは存在しないとの大胆な仮定)

ルールの未整備 現行の殆どの設置形態が法の適用範囲に入らない(電技解釈、JISC8955)

- 外力に関する法の適用範囲外物件の処理方法が不明確
風洞実験原則への言及がない(電技、JISC8955)、JIS既存風力係数に危険側評価あり。
- 耐力に関する法の適用範囲外物件の処理方法が不明確
JISは許容応力度法を指定するが、現行の架台は、冷間圧延鋼t=1.2~1.6の曲げ鋼板製。
- 太陽光発電システム自体の耐用年数(寿命ではない)が未定義のため、
発注者が設計用再現期間等を考慮してくれない(無保全や超過利用の問題)

37

1 構造物事故の実例、その事実認識 (風、雪、地震、温度荷重のうち“風”)

2 耐風圧不足による事故発生の背景

1. 設計エラー(省略エラー)
2. 設計エラー(遂行エラー)
3. ルールの未整備

3 事故防止のための理想的手段(提案)

1. (実行性はさておき)理想的対処案
2. 製造、販売業者のモラルのこと
3. 取り組みの優先順位

実行性はさておき、理想を提案すると以下。

構造設計の“省略エラー”に対しては、2本立てで対処する

- 仕様規定の導入
普及速度が速すぎる。非専門家であっても現実の安全を確保できるような、簡便法が必要。
- 抑止力の導入
建築士相当の責任者を定める。(不作為の背景には、責任者不在と縦割り分業の両方がある)
不作為犯の遂行を容認しないために、実効性ある行政罰を設ける。
不作為犯もまた犯罪であることを教育する。(非建築専門家は知らずサボタージュしている)

構造設計の“遂行エラー”に対しては、技術情報の集約と共有が有効。

- 典型的エラーのリストアップ、教科書作り、ピアチェックのルール化

ルールの未整備に対しては、外力、耐力、時間軸ごとに応じて

- 外力(外装材モデルとピーク風力係数)
風洞実験原則の導入(外力計算方法の未整備部分をカバー可能)
国交省や建築学会の成果(特にピーク風力係数)の活用に、電気事業法的な裏付けを与えることで実現可能。
- 耐力(許容応力度法以外の方法、例えば実験による終局耐力の確認)
終局耐力×安全率の導入(許容応力度設計が通用しない、曲げ鋼板架台をカバー可能)
- 設計用再現期間を超過したPVSについては、撤去を義務付けること必要では?
(保全不足等により危険状態にあるシステムが撤去されない事例が、地方自治体に多い。
薄鋼板等、腐食速度の早い材料を用いて架台を製作することにも問題がある)

39

製造、販売業者のモラルのこと

製品表示の問題

- 架台スペック表示の背後にある初期設定が甘いため、素人が危険側の製品選定をしている。
 - 60m/s対応として不当表示されていることがある。現行法の基準風速で記すべき。
 - メガソーラ用架台が地表面粗度IIIで表示されている。しかし現実はII。
 - 本州の一部地域にしか対応しない住宅用架台が、標準架台として表示されている。
広域に適用することできる架台が、高強度用として表示されている。
“高強度架台”と現在呼ばれているものは、“標準架台”に表示を改められるべきである。

初期設定が危険側になっている。初期設定を安全側にすべきである。

構造設計図書(寸法、強度計算過程)を非開示とする問題

- 架台設計エラーが見過ごされるには、製造者が設計根拠を非開示とすることも背景にある。
製造者がこれは合格だと強弁することで合格としてまかり通る実情があるが、実製品の計算過程をチェックすると危険側の間違いが含まれるもののが少なくない。製造者や施工者は、発注者への図書開示、提供義務がある。※製造者は海賊版を恐れている(何らかの保護が必要?)
- 非開示を背景として、“技術合理性の無い製品”と“技術合理性の高い製品”が競合している。

1. 現実の安全確保

2. 公正な競争環境の構築

以上の2点を目的として、

図書非開示に対しては何らかの抑止力を設けるべきである。

40

優先順位付け（ルール作りの人的資源は限られている。どれを急ぐべきか）

※ 住宅用PVS

- 居住地域、鉄道、道路に近接しており、加害可能性が高い。
- 電気主任技術者等、技術者の指定がないために抑止力が無い。
- プレーヤーの技術水準が極めて低い状況にある。（技能水準はリフォーム業界程度）
- 住宅は木造が多い、構造事故⇒電気事故⇒火災という推移律が成立しやすい状況にある。

※ 事業用PVS(メガソーラーの類)

- 近郊型と郊外型
近郊型では加害可能性が高い、郊外型では自損事故で済む。
- 屋根設置型と地上設置型
屋根設置型は事故範囲が広い、地上設置型では敷地内に留まることが多い。

以上から、加害可能性基準では、

住宅 > 屋根設置全般 > 近郊地上設置 > 郊外地上設置

一方、普及加速度と内部経済指標(設備所有者の経済的メリットに重点)では、

郊外・近郊地上設置 > 屋根設置全般 > 住宅

私はしかし、加害可能性基準を採択し、
住宅用太陽光発電システムの構造安全策を急ぐべきと考える。

・報告したこと

PVS風害に対する人々の受け止め方、エラーの背景、今後の対策案

・報告しなかったこと

雪害、温度荷重、腐食による強度低下、雨漏り等

信頼性の推定

再現期間、用途係数のこと。



Thank you ! !

41