

太陽光発電設備の評価・回復手法の 技術情報および利用ガイド 構造土木編

2024年3月25日(月)

一般社団法人 構造耐力評価機構
前田 泰宏

構造土木編:目次

- 1 はじめに
- 2 用語の定義
- 3 アレイ支持物(基礎・架台)における評価回復技術のフロー
- 4 地盤における評価回復技術のフロー
- 5 評価回復技術に関する技術資料

なお、文書は2024年4月以降公開予定。最終調整中のため、本セミナーと内容に変更がある可能性があることにご留意ください。

Ⅱ 構造土木編:目次

1 はじめに

2 用語の定義

3 アレイ支持物(基礎・架台)における評価回復技術のフロー

4 地盤における評価回復技術のフロー

5 評価回復技術に関する技術資料

1. はじめに

- 太陽光発電所のアレイ支持物や地盤に特化した評価・回復フローやその技術に関する例が十分でない。
- 本ガイドでは太陽光発電所におけるアレイ支持物および地盤の評価・回復に係るプロセスとその内容、手段について記載した。
- 本ガイドの中で評価、回復に用いる技術は土木建築分野の技術のうち太陽光発電所に応用可能なものを選定し、実証および検証を行った技術について紹介する。
- 本ガイドの整備によって、発電事業者、太陽光発電所の購入者、保険会社等における太陽光発電所の安全性および信頼性評価の一助となることや太陽光発電が今後主力電源となるために、すでに導入された太陽光発電を中心に、長期安定電源へと転換していくことを期待する。

利用されるシーン(参考)

- ✓ 太陽光発電所の売買の際に売却者または購入者が対象の太陽光発電所の安全性を評価し、その価値を明確にするため
- ✓ 保険会社が発電事業者との保険契約を行う際に、対象の太陽光発電所の安全性を評価し、保険料率等を決定するため
- ✓ 立入検査等により発電事業者が国から改善命令または計画の作成を要求された際に、本ガイドに基づいて改善等を実施するため

構造土木編：目次

1 はじめに

2 用語の定義

3 アレイ支持物(基礎・架台)における評価回復技術のフロー

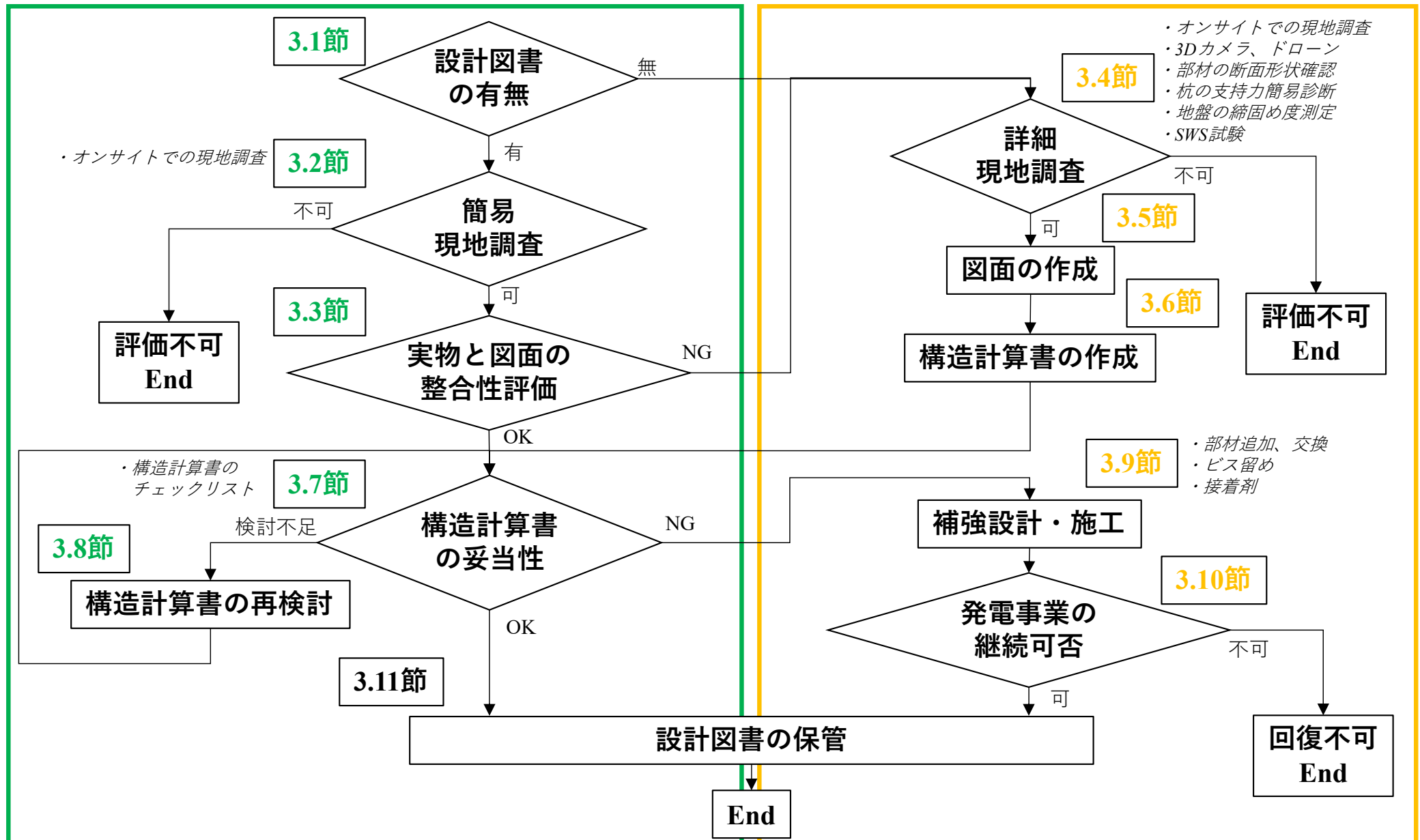
4 地盤における評価回復技術のフロー

5 評価回復技術に関する技術資料

3. アレイ支持物(基礎・架台)における評価回復技術のフロー

評価技術

回復技術



3. アレイ支持物(基礎・架台)における評価回復技術のフロー 目次

3.1 設計図書の評価(設計図書の有無)

3.2 簡易現地調査

3.3 実物と図面の整合性評価

3.4 詳細現地調査

3.5 図面の作成

3.6 構造計算書作成

3.7 構造安全性評価(構造計算書の確認)

3.8 構造計算書の再検討

3.9 補強設計・施工

3.10 発電事業の継続可否

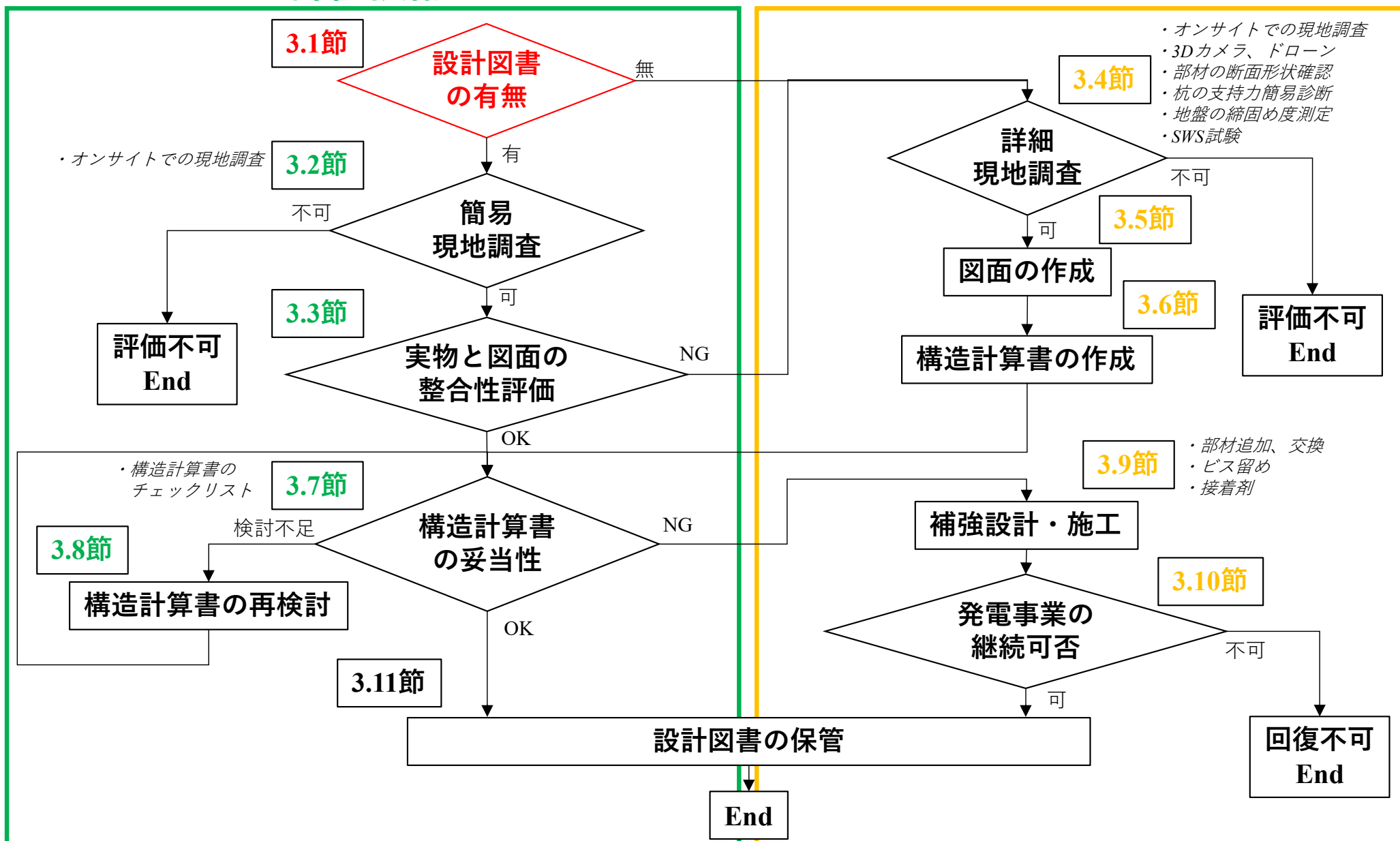
3.11 設計図書の保管

評価フロー
回復フロー

3.1 設計図書の評価(設計図書の有無)

評価技術

回復技術



3.1 設計図書の評価（設計図書の有無）

1. アレイ支持物（架台・基礎）の形状や仕様がわかる**設計図面（各種構造図面）が揃っていることを確認**する。
2. アレイ支持物（架台・基礎）の構造計算書があることを確認する。
3. 上記に示す設計図書がそろっている場合、「3.2 簡易現地調査」、揃っていない場合、「3.4 詳細な現地調査」を行う。

・解説

- アレイ支持物に関する**設計図書（以下に示す図面や計算書）の有無を確認**
- 資料がない場合、新たに作成する必要があり、以降の**作業工数が増加**するため、前発電事業者や設計施工担当者等に問い合わせ、取り寄せることが望ましい。

- ・ 位置図（都市計画区域かわかるもの）
- ・ 太陽電池モジュール仕様書
- ・ 架台部材リスト
（材種、表面処理がわかるもの）
- ・ 架台平面図
- ・ 基礎構造図（形状がわかるもの）
- ・ 架台接合部詳細図
- ・ アレイ配置図・架台構造計算書
- ・ 架台組立図（正面、背面、側面）
- ・ 部品図
- ・ 基礎構造計算書

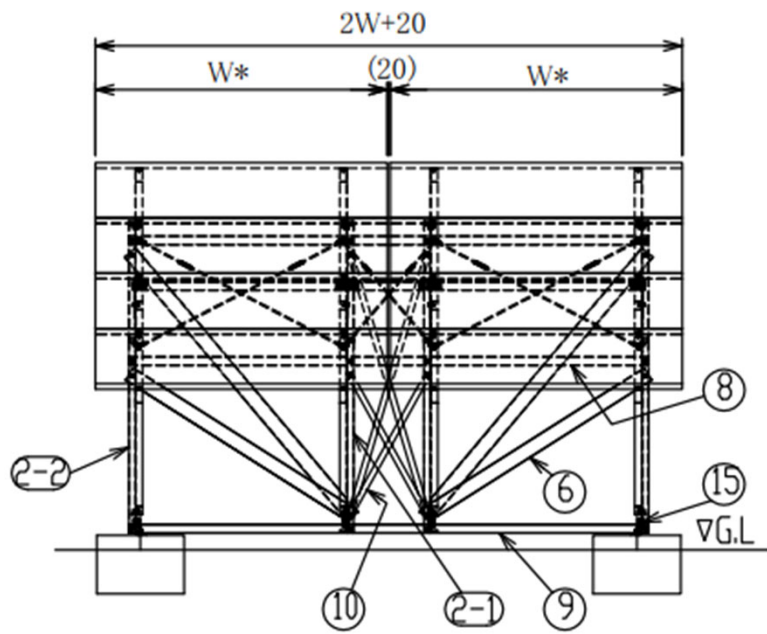


図3.1.1 アレイ支持物正面図例

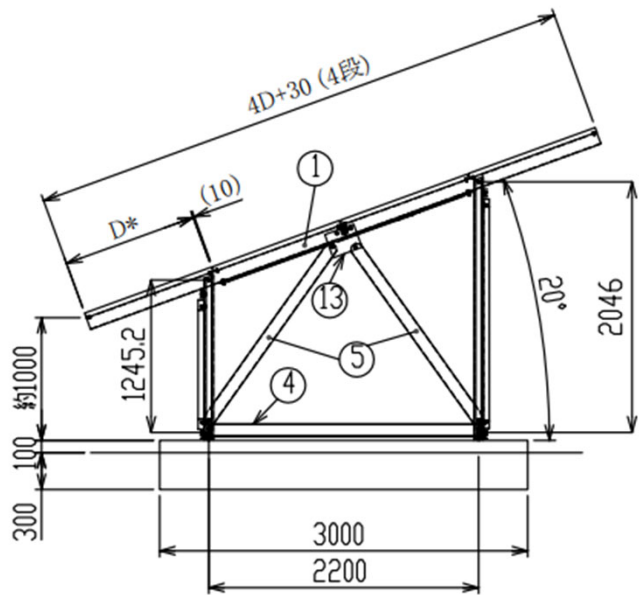


図3.1.2 アレイ支持物側面図例

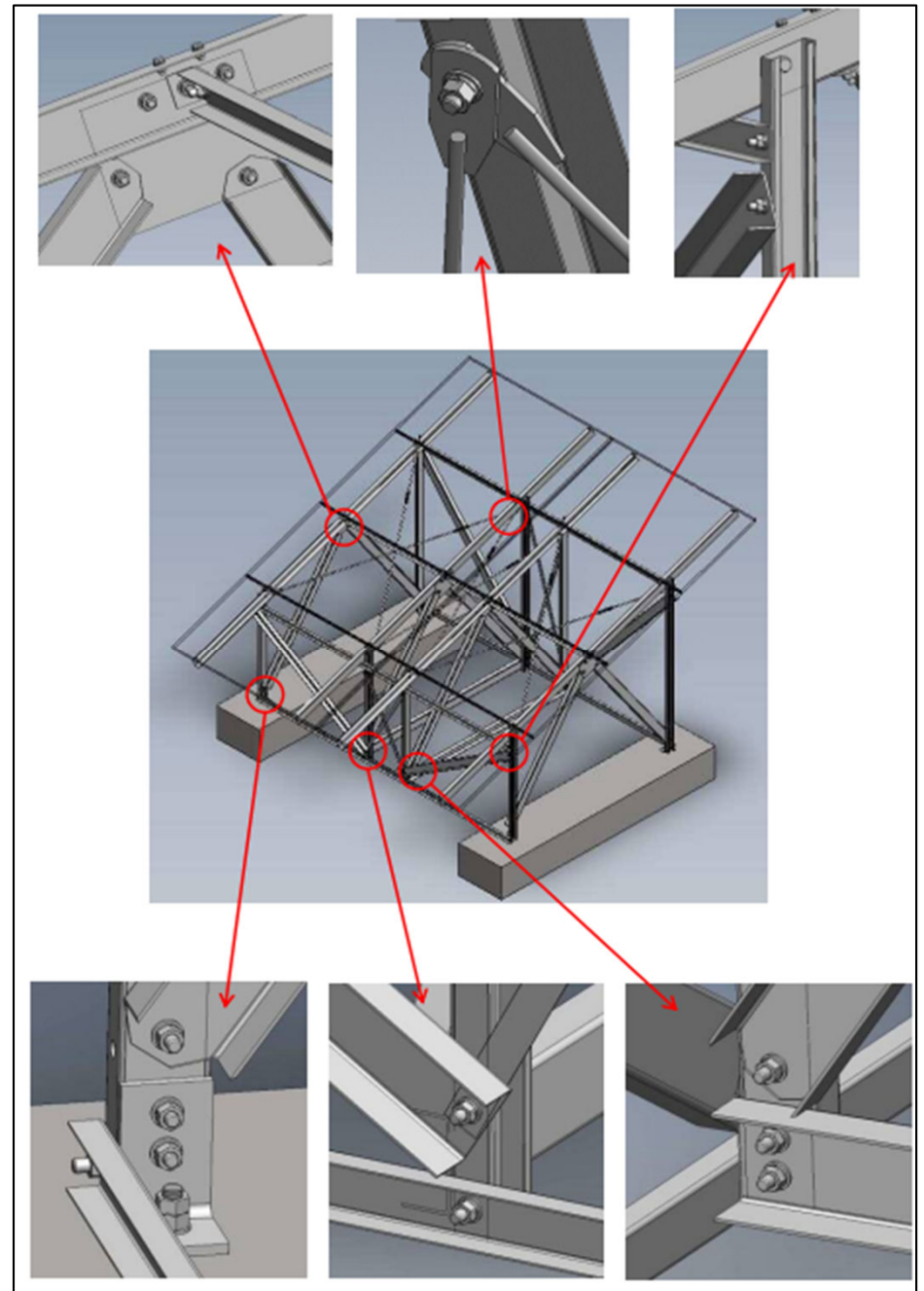


図3.1.3 支持物の接合部詳細図例

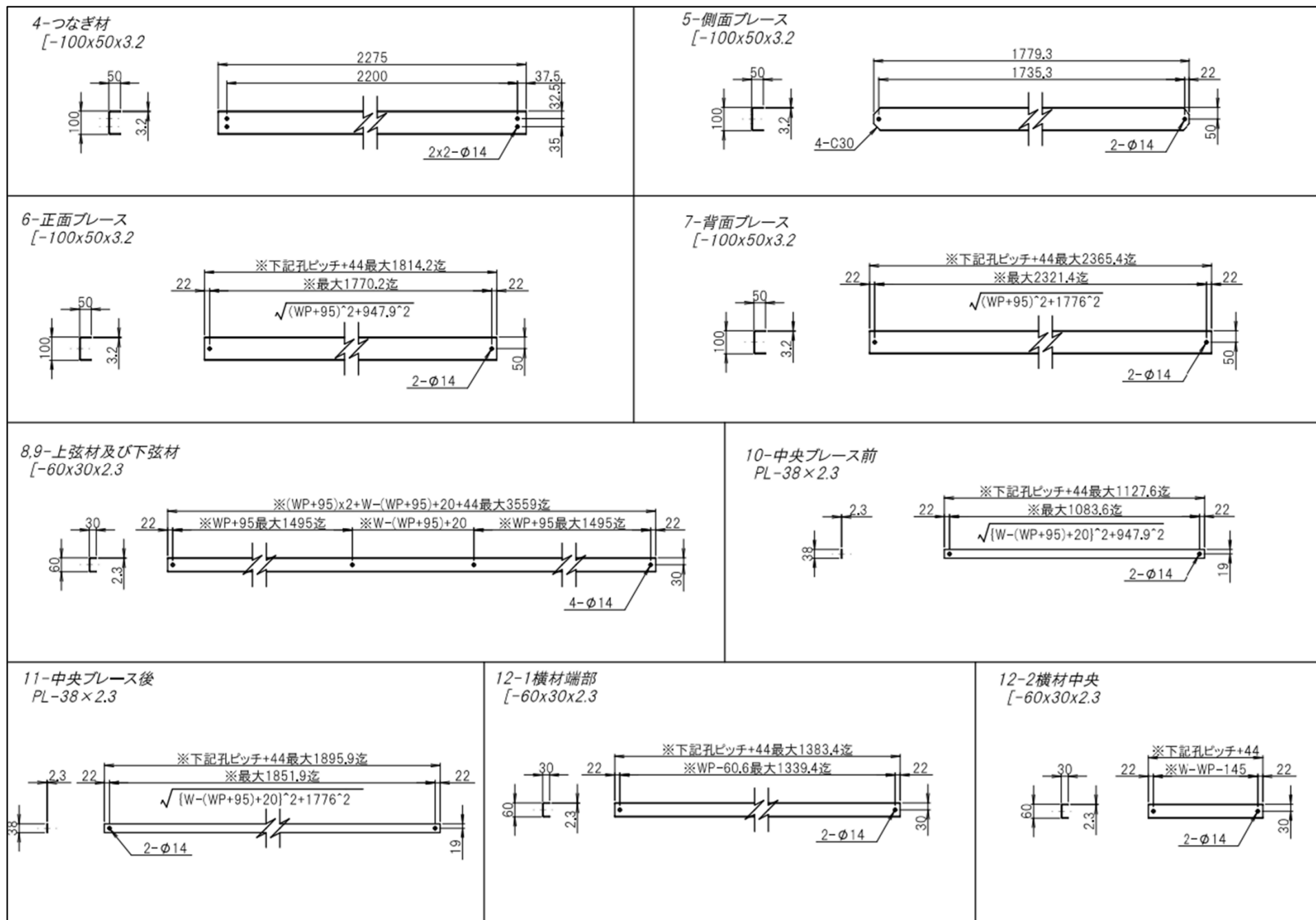
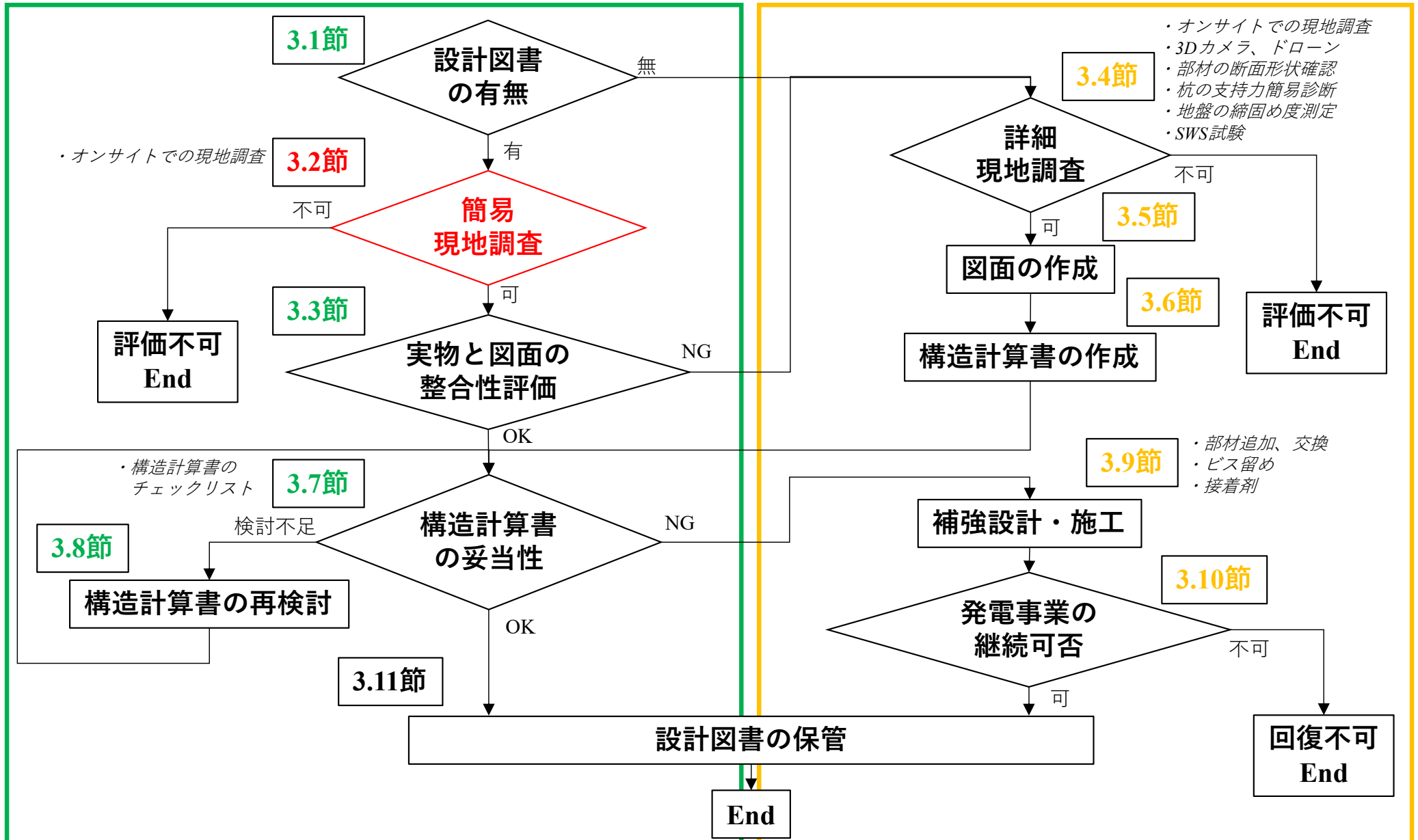


図3.1.4 アレイ支持物の部品図例

3.2 簡易現地調査

評価技術

回復技術



3.2 簡易現地調査

1. 設計図書がそろっている場合、実際に設置されているアレイ支持物の架構、設置地盤面の傾斜角度等、材質、部材の断面形状等が設計図書に示されるアレイ支持物の架構、材質、部材の断面形状等と一致していることを確認するために現地調査を行う。
2. 現地調査ではアレイ支持物に関する不具合についても確認する。

・解説

- 設計図書が揃っていても、実際に設置されている支持物と図面に示される支持物が異なっている可能性がある。
- 現地調査を行う際は当該事業で作成した現地調査チェックシート（支持物）を使用することで専門家が評価するためのデータを効率的に抽出することができる。

確認項目	評価内容
設備周辺の確認(計5項目)	発電所の設置条件や第三者リスク、敷地内のスペースの確認
架台の確認(計42項目)	架台の形状やアレイ傾斜角、材質等の計測および確認
直接基礎または杭基礎の確認(計4～7項目)	基礎種類や形状の確認および計測
アレイ支持物の損傷・異状箇所の確認(計16項目)	太陽電池モジュールの割れや支持物の不備を確認



写真3.2.1 支持物の最高高さ 測定例

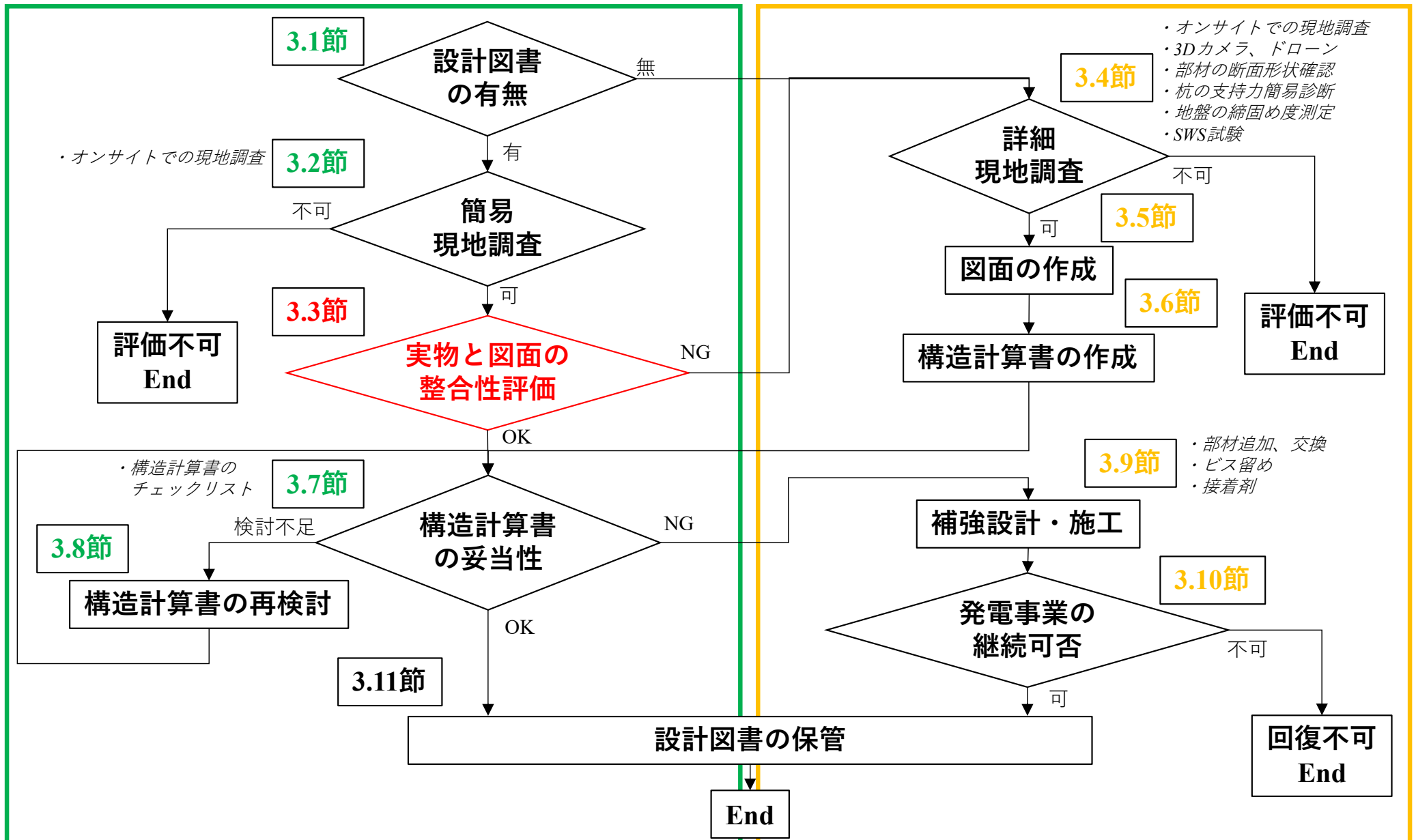


写真3.2.2 支持物の最低高さ 測定例

3.3 実物と図面の整合性評価

評価技術

回復技術



3.3 実物と図面の整合性評価

1. 実際に設置されているアレイ支持物と設計図書に示されるアレイ支持物の**架構、設置地盤面の傾斜角度、材質、部材の断面形状**等を確認する。
2. 実際に設置されているアレイ支持物の架構、材質、部材の断面形状等が設計図書と**一致している場合は「1.7 構造安全性評価（構造計算書の妥当性）」**を行う。
3. 実際に設置されているアレイ支持物の架構、材質、部材の断面形状等が設計図書と**一致していない場合は**構造計算書の妥当性が確認できないため、構造図面および構造計算書作成のために**「3.4 詳細現地調査」**を行う必要がある。

・解説

- 現地調査結果から実際に設置されている支持物と設計図書の整合性評価を行う。
- その際の**寸法差等の判断の目安**は次のとおり。ただし、**施工管理上の設定がある場合はその数値以内**とする必要がある。

・ アレイ面の傾斜角度 : 2~3° 程度

・ アレイの高さ : 5~10cm程度（地盤の凹凸による）

・ 柱（杭）間隔 : 図面寸法の2~3%

・ 架台の部材 : 外形 ±1mm程度、長さ 全長の2~3%程度
部材厚 厚さの10%程度

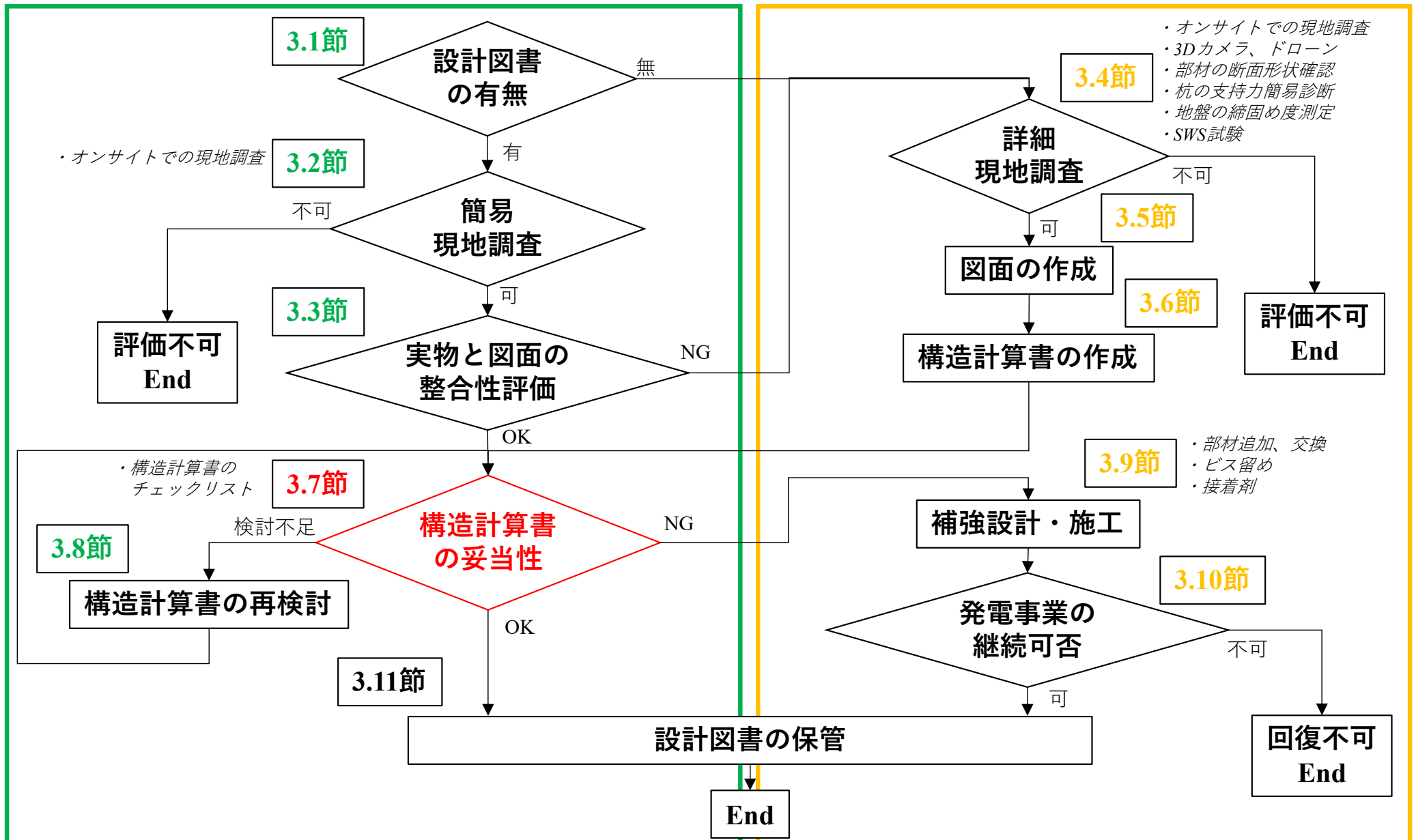
・ 直接基礎 : 外形 図面寸法の2~3%程度

・ 杭基礎 : 直径 1mm程度、突出高さ 図面寸法の2~3%程度

3.7 構造安全性評価(構造計算書の妥当性)

評価技術

回復技術



3.7 構造安全性評価(構造計算書の妥当性)

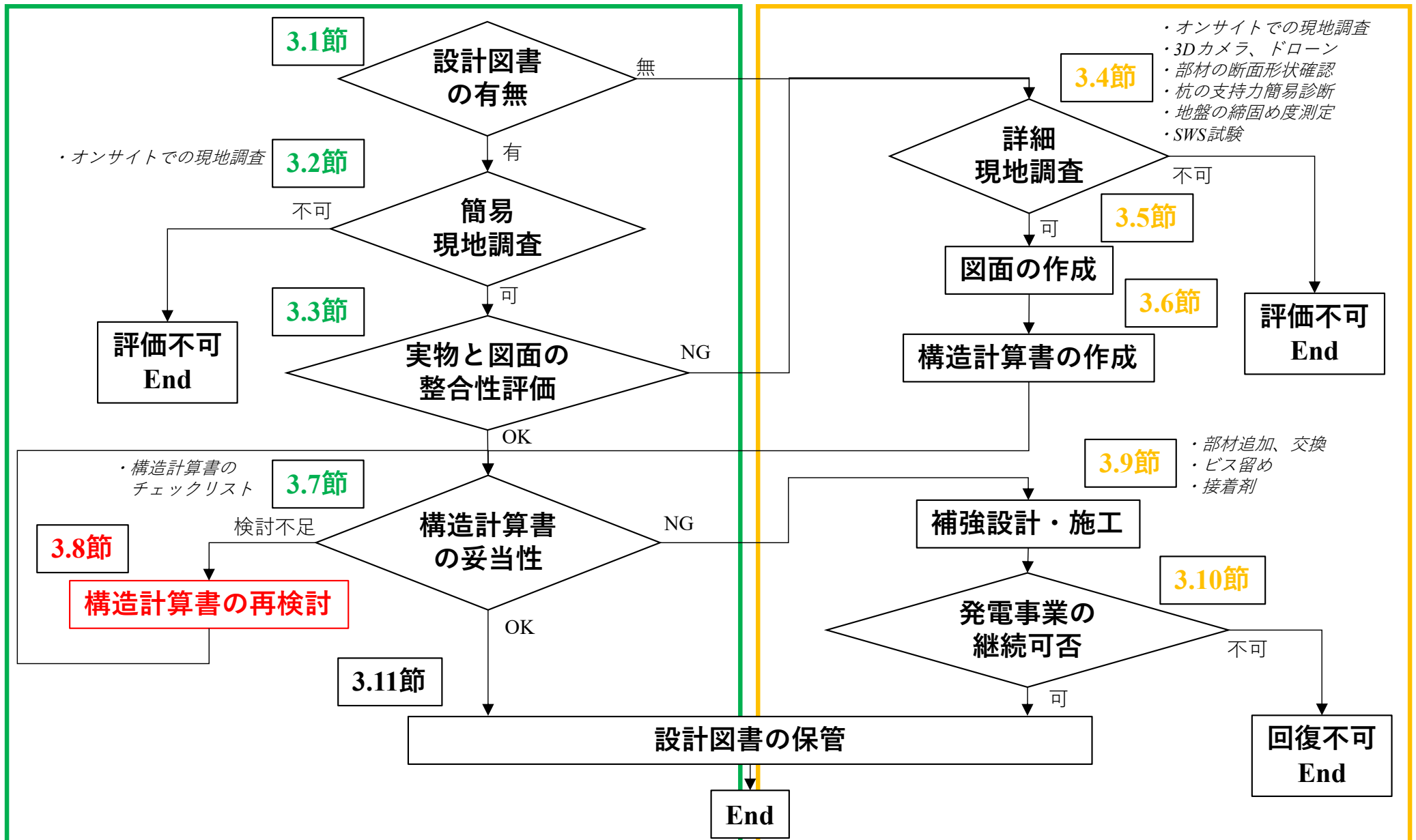
1. 構造計算書を確認して検討項目に不足がないか、検討内容に不備がないかを確認する。
2. 構造計算書の内容が**妥当で、強度に問題がない**場合、確認した設計図書を保管し、アレイ支持物の構造安全性の**評価・回復フローは終了**となる。
3. 構造計算書の**検討項目の不足**や**妥当性が確認できない**場合、「3.8構造計算書の再検討」を行う必要がある
4. 構造計算書の評価結果から**強度不足**が確認された場合、「3.9補強設計・施工」を検討する必要がある。

・解説

- 構造計算書の**妥当性評価を行う**場合は当該事業で作成した「構造計算書の検討項目チェックシート」に基づいた確認を**構造設計の専門家**（一級建築士または構造設計一級建築士等で構造計算書の作成者と異なる第三者）に実施してもらうことが望ましい。
- 構造計算書进行评估する際の**基準は、少なくとも太陽光発電所の設置当時の電気事業法、太技省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈**など
- 発電事業の**長期的な継続**や**太陽光発電所購入**の際は、アレイ支持物の構造安全性の観点から**最新の太技省令の適合**や地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019年版、地上設置型太陽光発電システムの構造設計例、特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン2023年版等に基づいて確認することが望ましい。

3.8 構造計算書の再検討 評価技術

回復技術



3.8 構造計算書の再検討

1. 構造計算書の妥当性評価で**検討項目の不足**や**妥当性が確認できない箇所**がある場合、アレイ支持物の構造安全性の評価ができないため、構造計算書の再検討を行う必要がある。
2. 再検討後は構造安全性評価を行い、アレイ支持物の強度に問題がない場合は評価・回復フロー終了となるが、**強度不足が確認**された場合は「**3.9補強設計・施工**」を検討する必要がある。

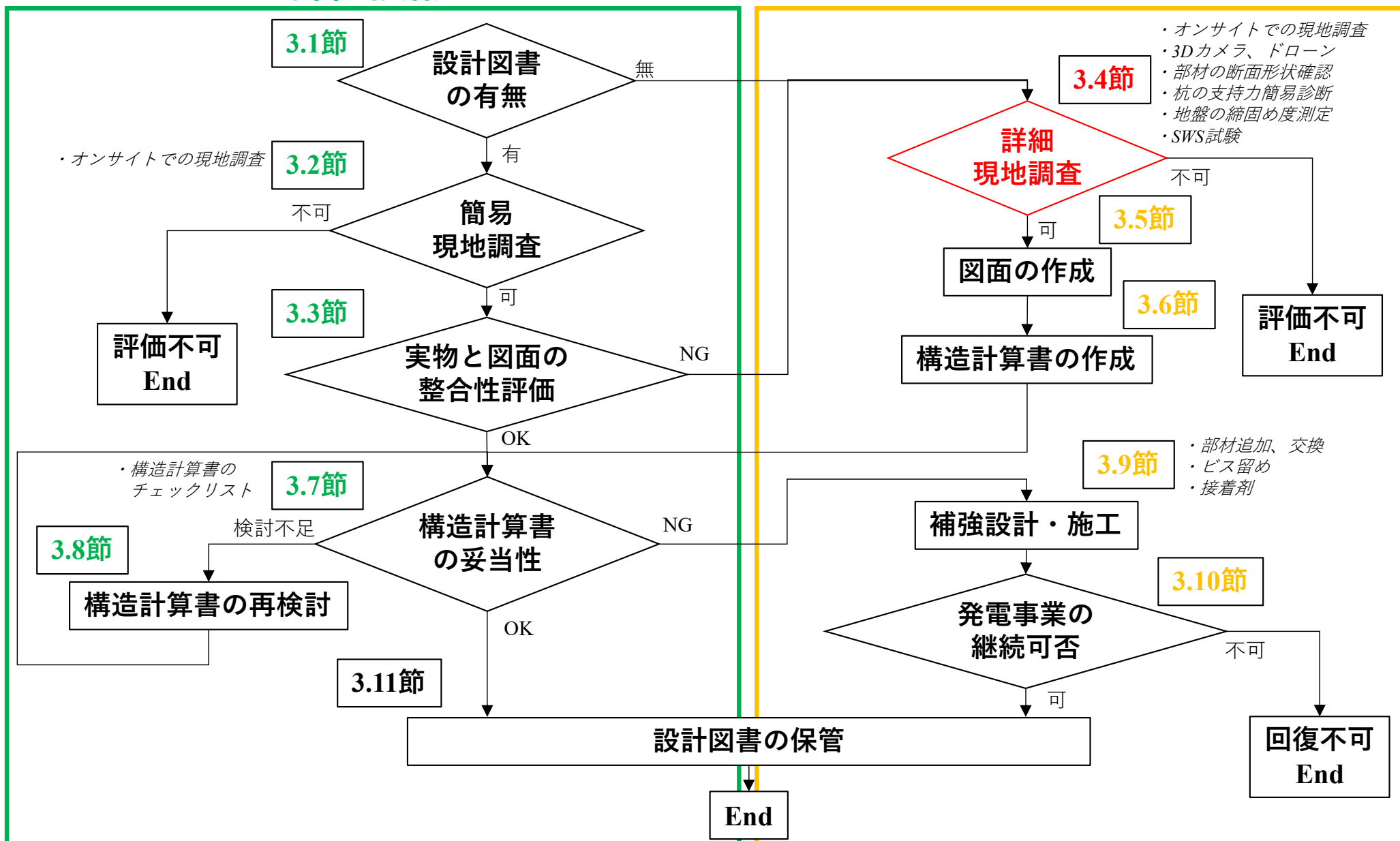
・解説

- 構造計算書の妥当性確認結果から検討不足な内容や検討方法が誤っている場合、これらの項目について再検討を行う必要がある。
- 何らかの都合で設計担当者（架台メーカー等）が対応できない場合は**構造設計の専門家**（一級建築士または構造設計一級建築士等）に依頼することが望ましい。

3.4 詳細現地調査

評価技術

回復技術



3.4 詳細現地調査

1. 設計図書が揃っていない場合や実際に設置されているアレイ支持物と設計図書に示されるアレイ支持物の架構、設置地盤面の傾斜角度、材質、部材の断面形状等が一致していない場合は詳細な現地調査を行う。
2. 太陽光発電所のアレイ配置に関するデータを収集する。
3. アレイ支持物の架構、部材の断面形状等に関するデータを収集する。
4. 架台に使用している部材の材質や接合部構造に関するデータを収集する。
5. アレイ支持物の基礎が杭基礎の場合、必要に応じて支持力データ、地盤データ（N値、土質）を収集する。
6. アレイ支持物の基礎が直接基礎の場合、必要に応じて地盤データ（N値、土質、地盤反力係数または地盤反力係数と相関のある数値）を収集する。

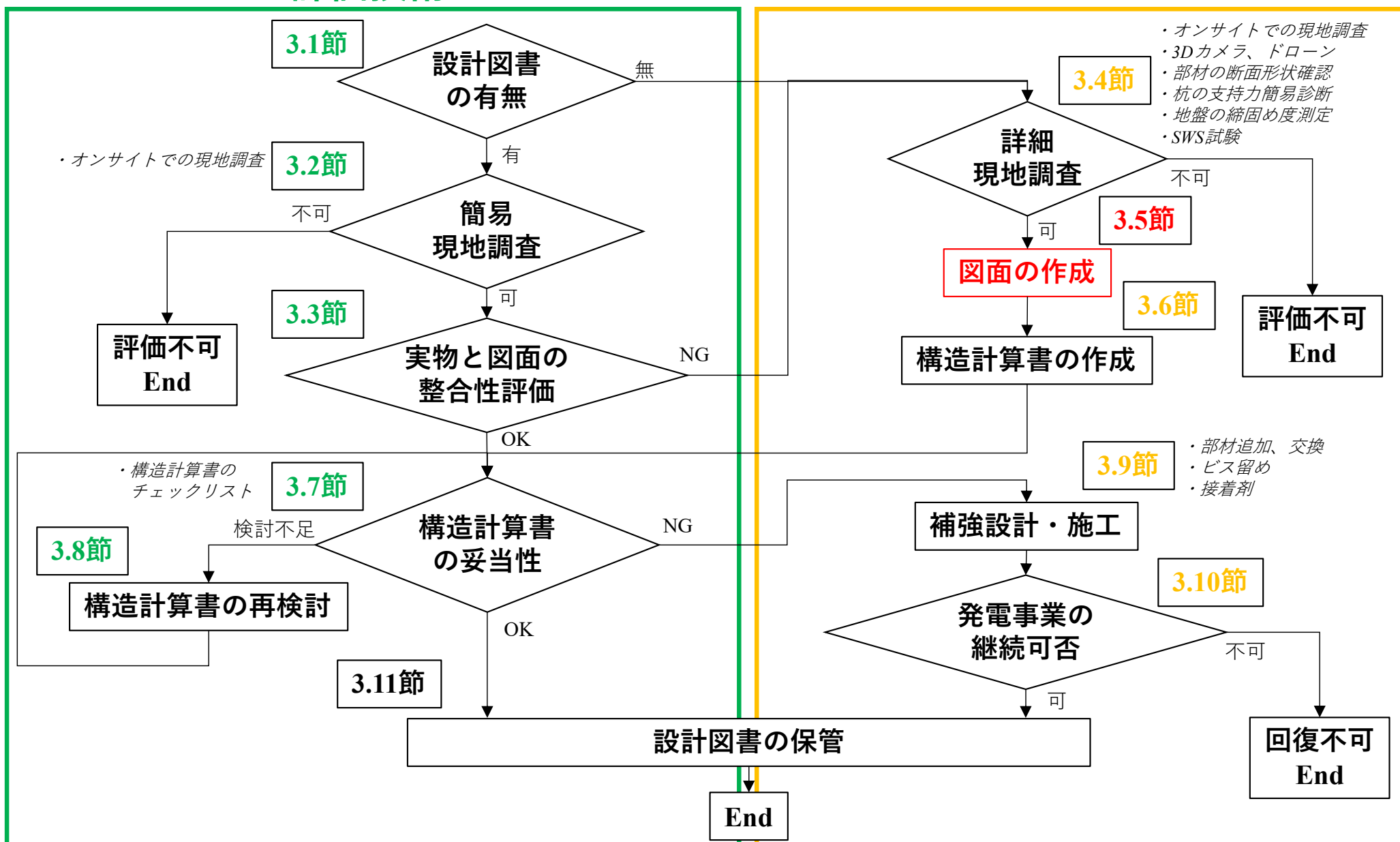
・解説

- 配置図の作成 大規模：ドローン、航空写真 小規模：ラフスケッチ、現地調査
- 支持物の図面作成 現地調査（チェックシート）、360°カメラでの図面作成技術
- 杭の支持力 地盤試験と杭載荷試験、非破壊による杭の支持力検査（定性的評価）
- 地盤データ 地盤試験（標準貫入試験、SWS試験、平板載荷試験）
非破壊動的平板載荷試験

3.5 図面の作成

評価技術

回復技術



3.5 図面の作成

1. 現地調査で収集したデータをもとに各種構造図面を作成する。
2. 太陽光発電所のアレイ配置データからアレイの配置図を作成する。
3. アレイ支持物（架台・基礎）の架構、材質、部材の断面形状等のデータから架台の立面図（正面図、側面図、背面図）、平面図、部品図、接合部詳細図、基礎の断面図を作成する。

・ 解説

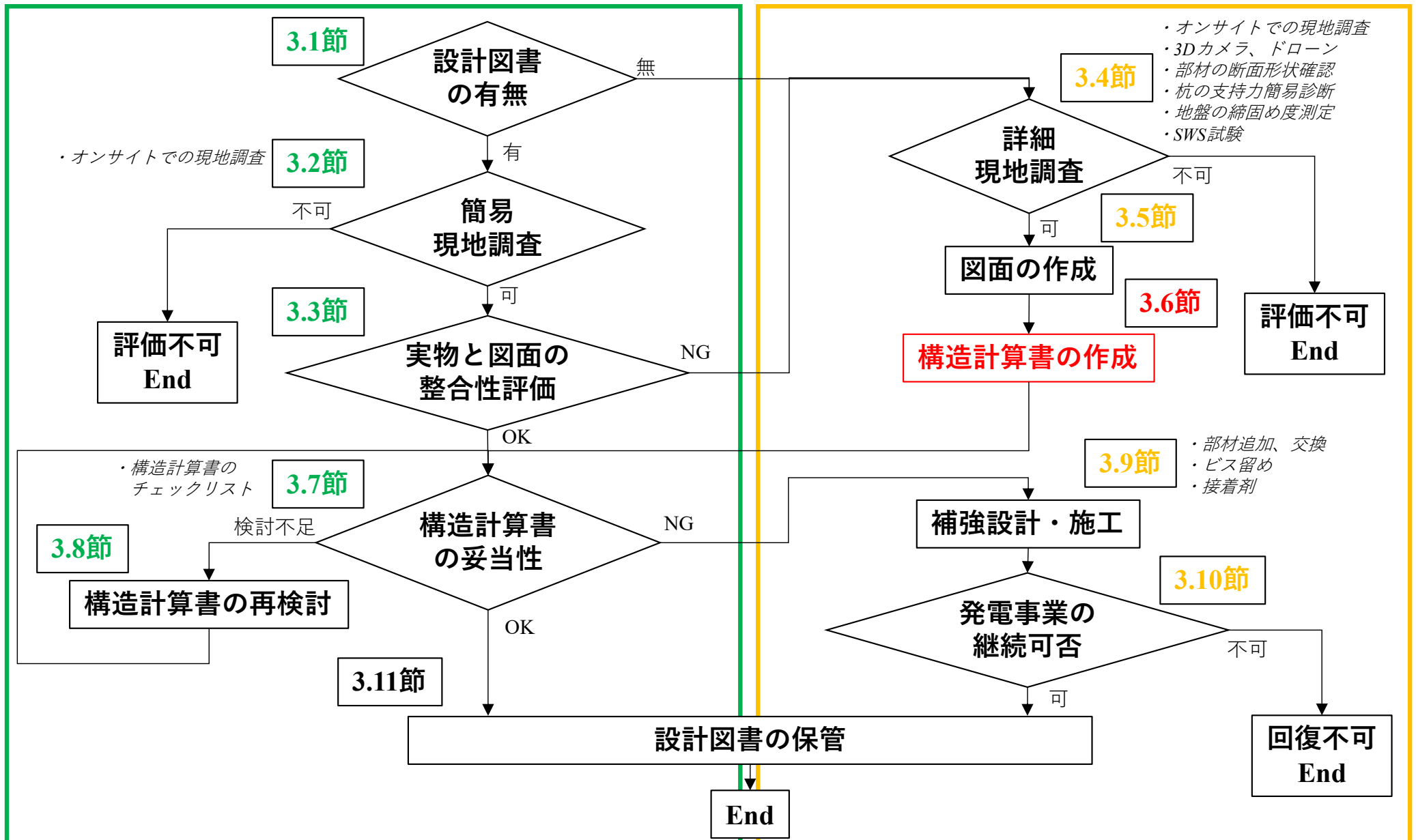
- 設計図書が揃っていない場合、設計図書はあるが実際に設置されている支持物と整合していない場合は設計図書から支持物の構造安全性を確認することができない
- 詳細現地調査で収集したデータをもとに各種構造図面の作成を行う必要がある。

- ・ 位置図（都市計画区域かわかるもの）
- ・ 太陽電池モジュール仕様書
- ・ 架台部材リスト
（材種、表面処理がわかるもの）
- ・ 架台平面図
- ・ 基礎構造図（形状がわかるもの）
- ・ 架台接合部詳細図
- ・ アレイ配置図・架台構造計算書
- ・ 架台組立図（正面、背面、側面）
- ・ 部品図
- ・ 基礎構造計算書

3.6 構造計算書作成

評価技術

回復技術



3.6 構造計算書作成

1. 作成した構造図面をもとにアレイ支持物（架台および基礎）の構造計算書を作成する。
2. 構造計算書作成時は**一級建築士または構造設計一級建築士等の構造設計の専門家に依頼**する。
3. 構造計算書を作成する際、基本的には太陽光発電所の**設置当時の電気事業法、太技省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈**などに基づく必要がある。発電事業を長期的に継続する場合や太陽光発電所を購入する等の場合は、アレイ支持物の長期的な構造安全性を鑑みて、最新の**太技省令への適合や地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019年版、地上設置型太陽光発電システムの構造設計例、特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン2023年版**等に基づいて設計することが望ましい。

・解説

- 構造計算書を作成する際は**構造設計の専門家**（一級建築士または構造設計一級建築士等で構造計算書の作成者と異なる第三者）に依頼することが望ましい。
- 設計方法は地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019年版等を参考にされたい。
- 構造計算書作成の**基準は、少なくとも太陽光発電所の設置当時*の電気事業法、太技省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈**など
- 発電事業を**長期的に継続**する際は、**最新の太技省令の適合**や地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドラインに基づくことが望ましい。

※設置時期によって構造に関する要求が異なっているため注意されたい。

・解説（続き）

- 構造計算書作成時はアレイ支持物以外にも太陽電池モジュール選定の妥当性についても確認することが望ましい。
- 部材の材質については現地調査で「鋼製、アルミニウム合金製等」までを分類することとしているが、構造計算時は**材質が支持物の強度に大きく影響する**ため、材料の強度区分を**設計担当者（架台メーカー）に問い合わせ**する必要がある。
- 設計担当者（架台メーカー）から情報を入手できない場合は、当該部材の**強度試験や分析**によって、材料の強度区分を確認することが望ましい。
- 強度試験用の部材の用意や費用・期間の観点から強度試験や分析によって使用材料の強度区分を定めることができない場合は、**表3.6.1に示す材質の強度区分**を参考に専門家と相談のうえ部材の基準強度を仮定することが望ましい。

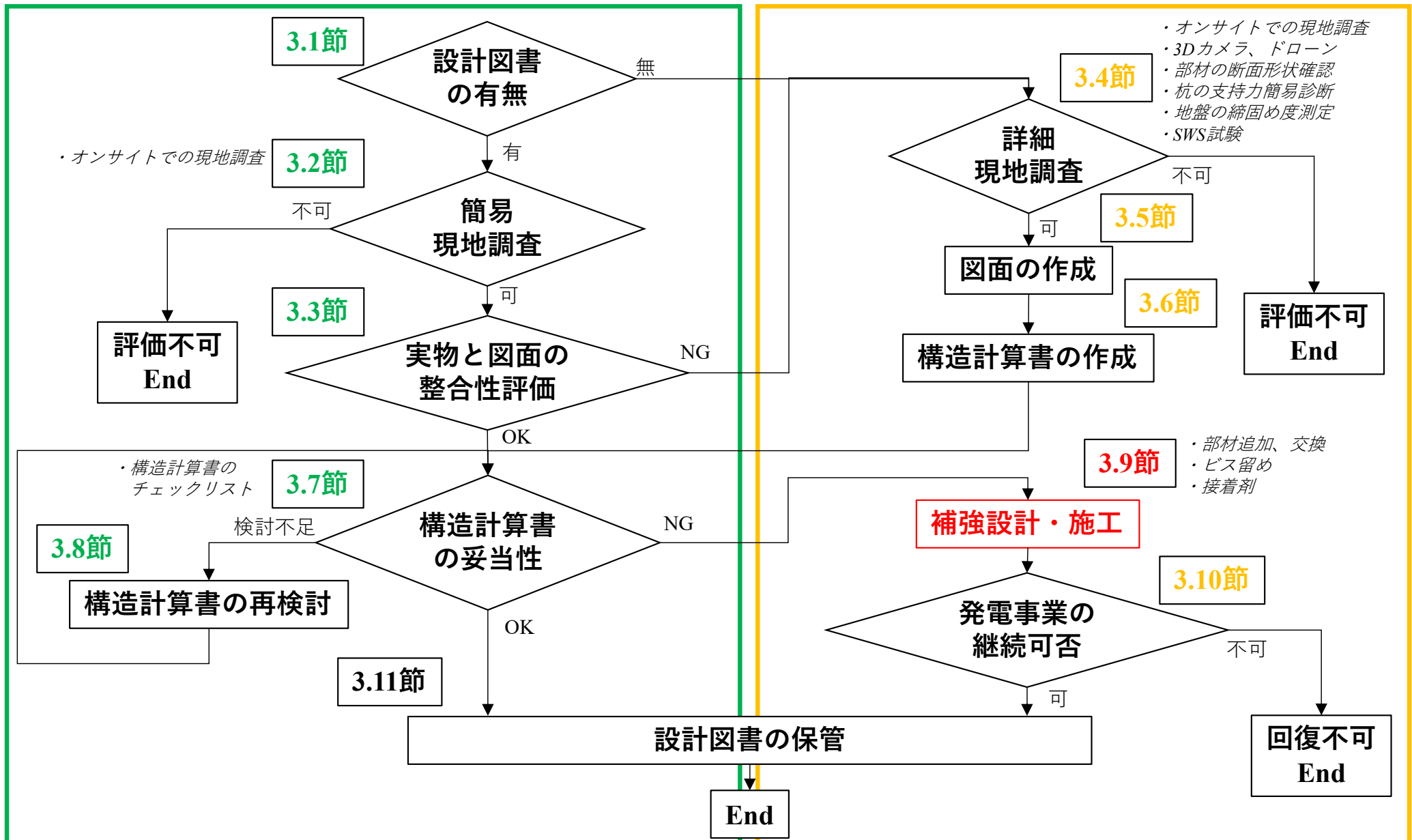
表3.6.1 各材質における基準強度F (N/mm²)

材質	鋼材	アルミニウム合金材
	SN400 SS400 SM400 SNR400 STK400 SMA400 STKN400 STKR400	A6N01-T5 (A6005C-T5)
基準強度 F	235	175

3.9 補強設計・施工

評価技術

回復技術



3.9 補強設計・施工

1. 架構が不安定構造の場合には安定構造となるように部材追加等を行う。
2. 架台部材の強度が不足している場合には部材応力の低減のため、部材追加または部材断面性能の向上等を行う。
3. 接合部の強度が不足している場合、または接合部のすべりが懸念される場合は接合部を補強する。
4. 杭基礎の鉛直支持力および引抜・水平抵抗力や直接基礎の安定性が不足している場合は基礎の補強をする。
5. 部材の腐食や設計で想定される荷重以外での部材の変形や太陽電池モジュールの割れがある場合には部材および太陽電池モジュールの取り換えを行う。

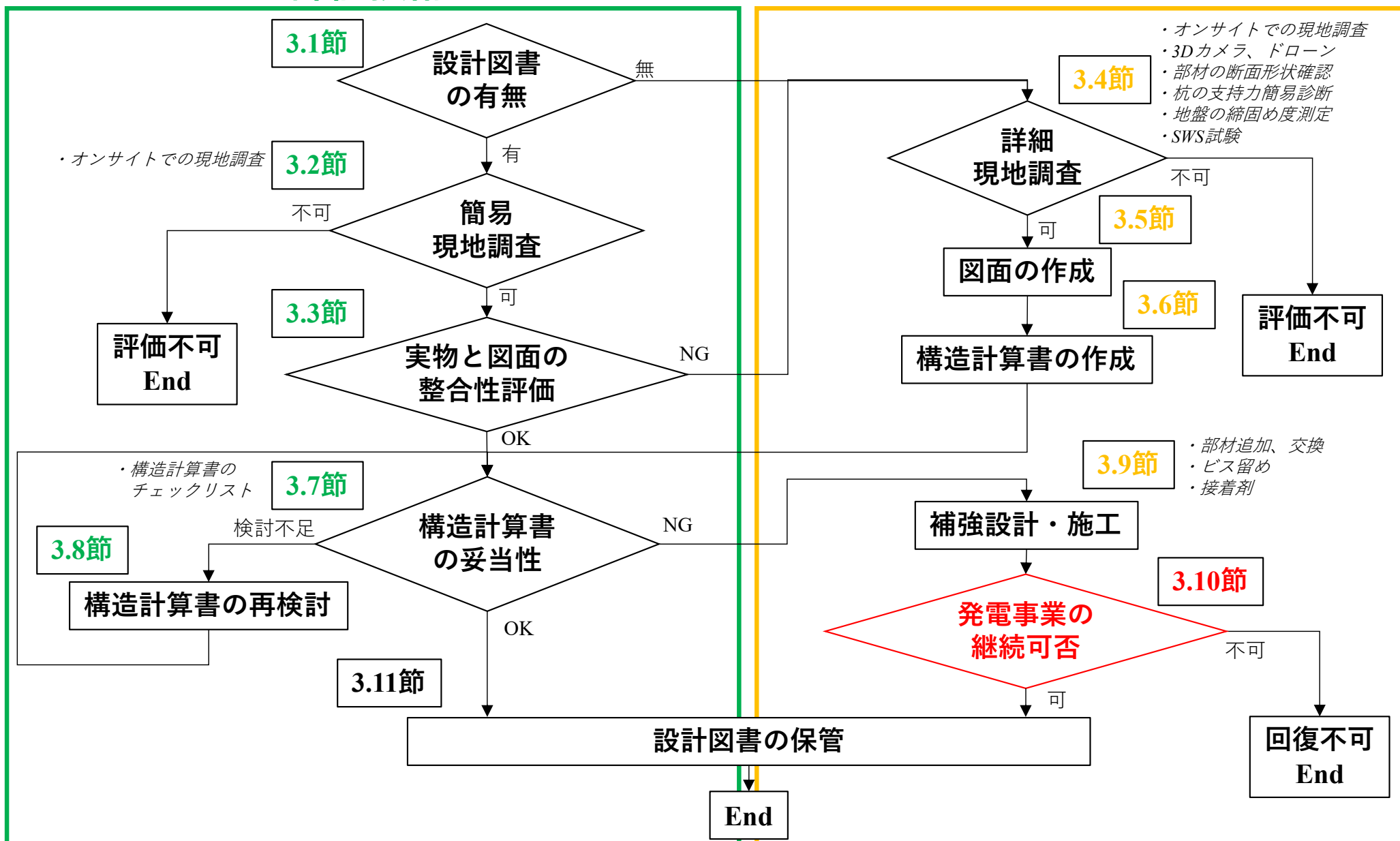
・解説

- 支持物の構造安全性の不足および不具合がある場合は補強や材料の取り換え等を行う
- **支持物の強度変更を伴う場合は、電気事業法および電気事業法施行規則に準拠し、最新の太技省令に適合する必要がある。**
 - ・ 架台部材の強度不足 部材の追加、部材断面性能の向上（板厚を厚くする等）
 - ・ 接合部の強度不足 特にアルミ製架台ではすべり防止策を講じる必要がある
 - ・ 杭基礎 根巻コンクリート、アンカーによる補強
 - ・ 直接基礎 コンクリート量の増加、底面積の増加
 - ・ 腐食 部材の取替、塗装等の防錆処理

3.10 発電事業の継続可否

評価技術

回復技術



3.10 発電事業の継続可否

1. アレイ支持物の補修・補強の内容および工法から現地への材料の運搬や施工等の作業可能な空間があることを確認する。
2. 作業空間が確保できない場合は太陽光発電所として継続することができないと判断されるため、発電所の（一部）撤去等を検討する。

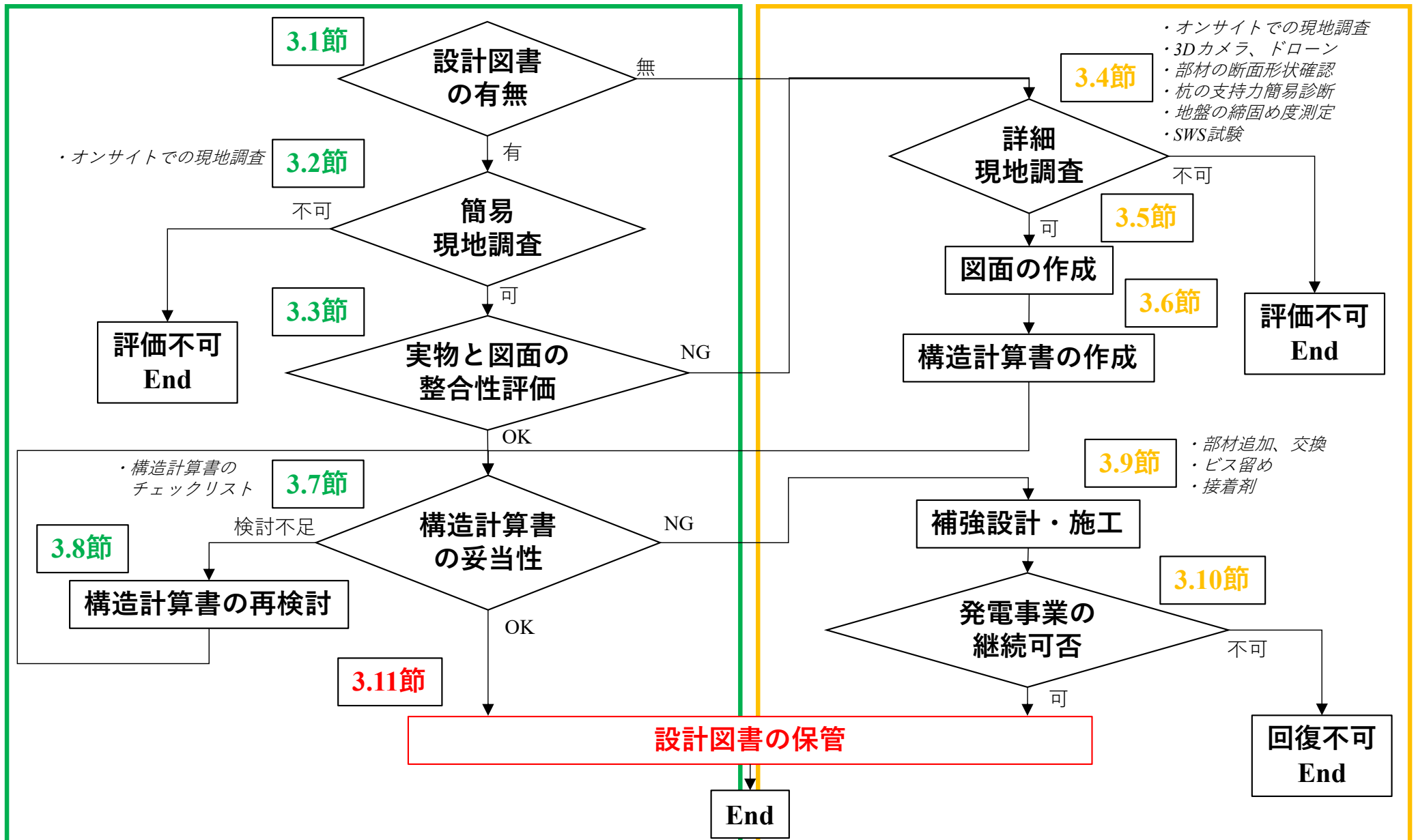
・解説

- 太陽光発電所が設置当時の電気事業法、太技省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈などに適合していない場合は補修・補強が必須
- 補修・補強の際、敷地内にスペースがあることを確認する。
- スペースがない場合は一部のアレイを撤去し、スペースを確保した上で作業を行うか、太陽光発電所を撤去し、敷地の原型復旧することも選択肢に入れる等の適正な判断を行う必要がある。

3.11 設計図書の保管

評価技術

回復技術



3.11 設計図書の保管

1. 設計図書が揃っている場合や新たに作成した場合、**設計図書を保管する**。
2. アレイ支持物の補強、補修や構造計算書の不備により設計変更が生じた場合は**最新の設計図書を保管する**。

・解説

- アレイ支持物の構造安全性が確保されていることを発電事業者が対外的に立証できるようにするために、設計図書を保管しておくことを原則とする。
- 補修・補強を行ったアレイ支持物、腐食や太陽電池モジュールの割れ等によって取り換えを行った場合についても設計、施工行為がわかるように最新の設計図書を保管する必要がある。

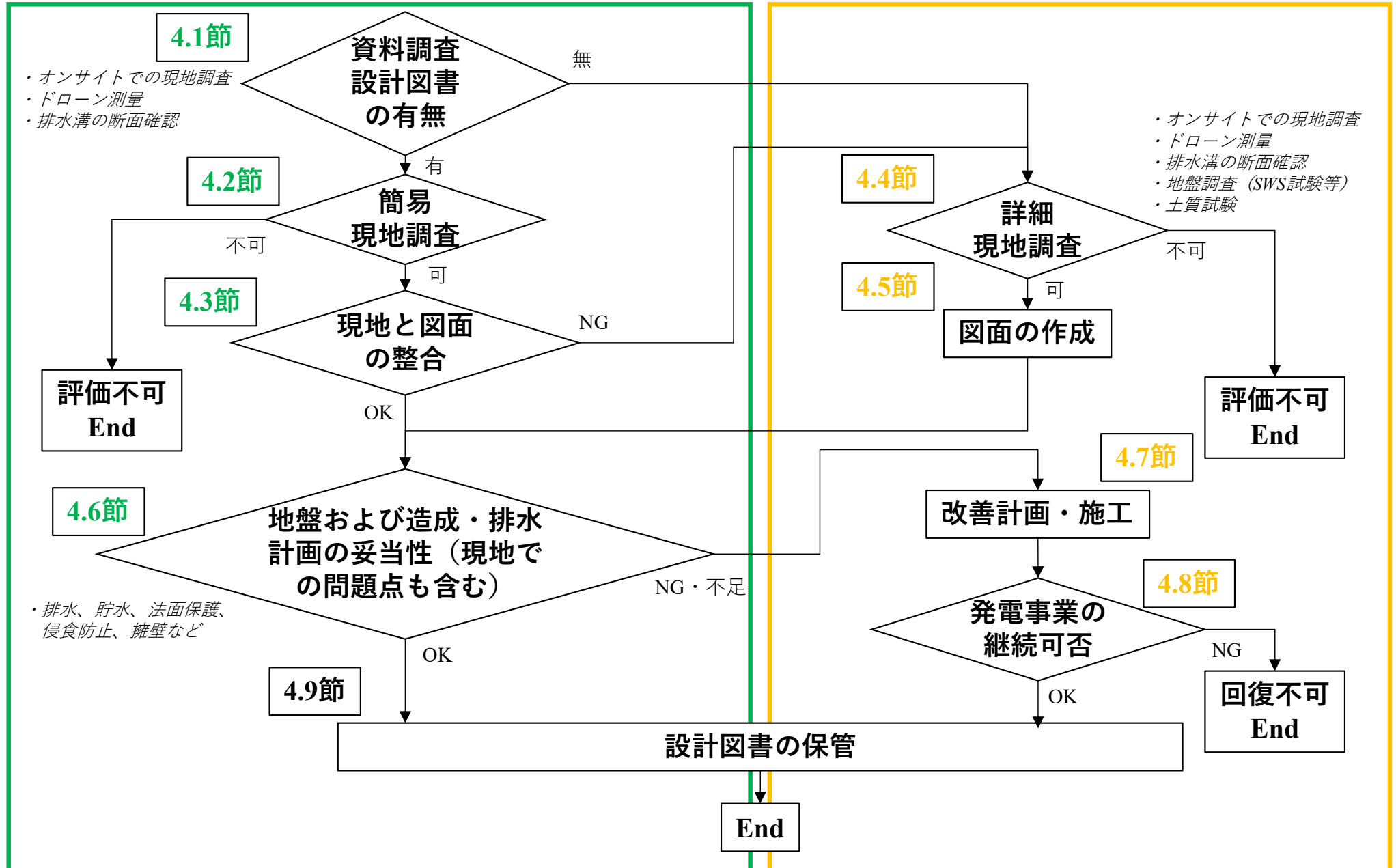
構造土木編:目次

- 1 はじめに
- 2 用語の定義
- 3 アレイ支持物(基礎・架台)における評価回復技術のフロー
- 4 地盤における評価回復技術のフロー
- 5 評価回復技術に関する技術資料

4. 地盤における評価回復技術のフロー

評価技術

回復技術



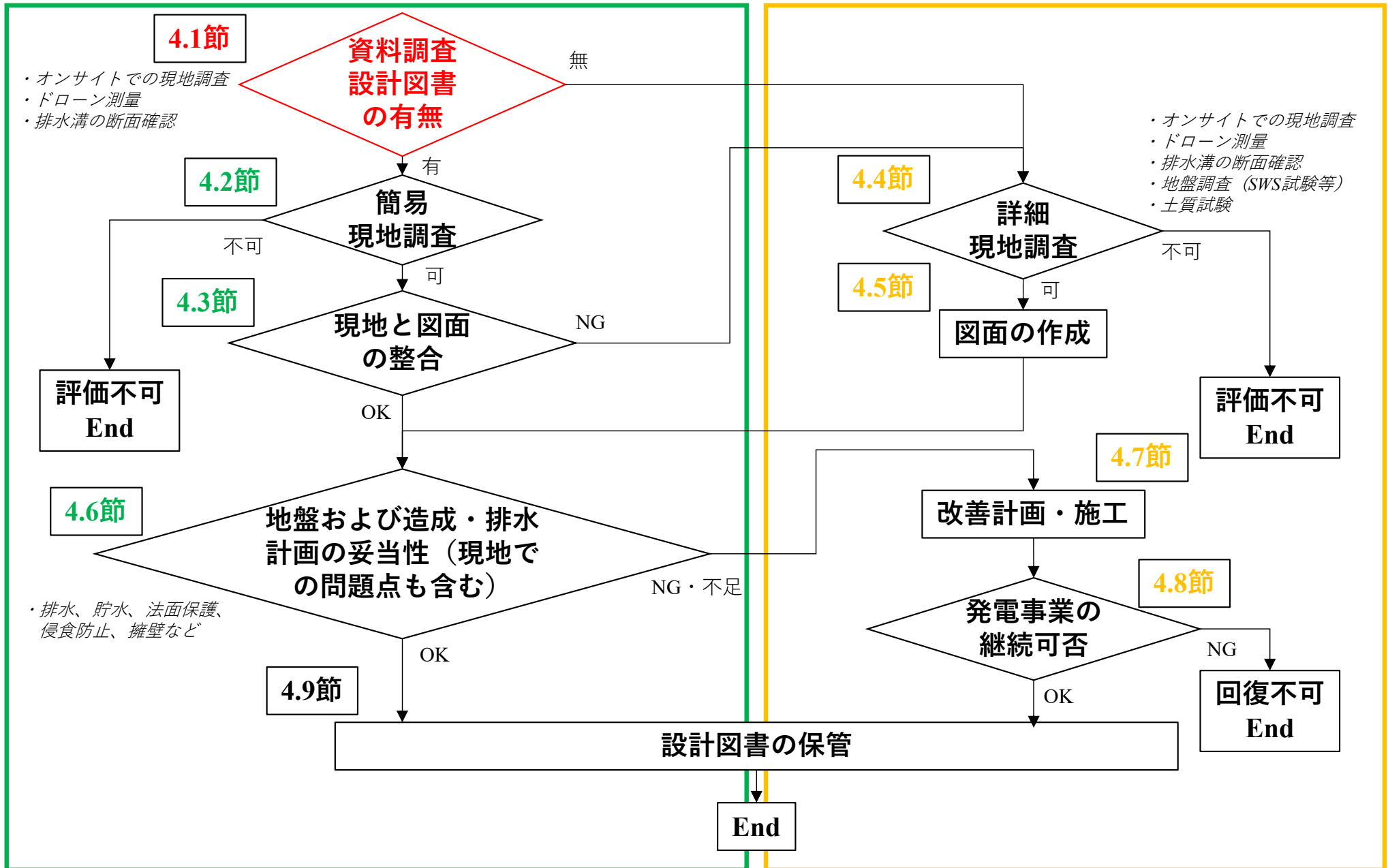
4. 地盤における評価回復技術のフロー 目次

- 4.1 資料調査(資料・設計図書の評価)
- 4.2 簡易現地調査
- 4.3 実物と図面の整合性評価
- 4.4 詳細現地調査
- 4.5 図面の作成
- 4.6 地盤および造成・排水計画の妥当性評価
- 4.7 改善計画・施工
- 4.8 発電事業の継続可否
- 4.9 設計図書の保管

評価フロー
回復フロー

4.1 資料調査(資料・設計図書の評価) 評価技術

回復技術



4.1 資料調査(資料・設計図書の評価)

1. 対象の太陽光発電所がハザード内（土砂災害警戒区域、土砂災害危険箇所）に設置されているか確認する。
2. 造成・排水計画に必要な設計図書が揃っていることを確認する。
3. 設計図書が無いまたは不足している場合、既往の地盤調査資料や各種文献などを用いて、必要な地盤の情報を補う。
4. 必要な設計図書および資料が揃っている場合は「4.2 簡易現地調査」、揃っていない場合は「4.4 詳細現地調査」を行う。

・解説

- 太陽光発電所の設置場所が土砂災害警戒区域（土石流、地すべり、急傾斜地の崩壊）および土砂災害危険箇所（土石流危険渓流、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所）に指定されているか確認を行う。
- これらの地域に指定されている場合は地盤事故が発生する可能性が高いため「4.7改善計画・施工」のフローで土石流、地すべり、急傾斜地の崩壊に関する対策を講じる必要がある。
- 必要な設計図書が整理されていない場合は既往の地盤調査資料や各種文献を用いて必要な地盤情報を補うことが必要である。地盤関連で必要な設計図書および資料を表4.1.1に示す。

4.1 資料調査(資料・設計図書の評価)

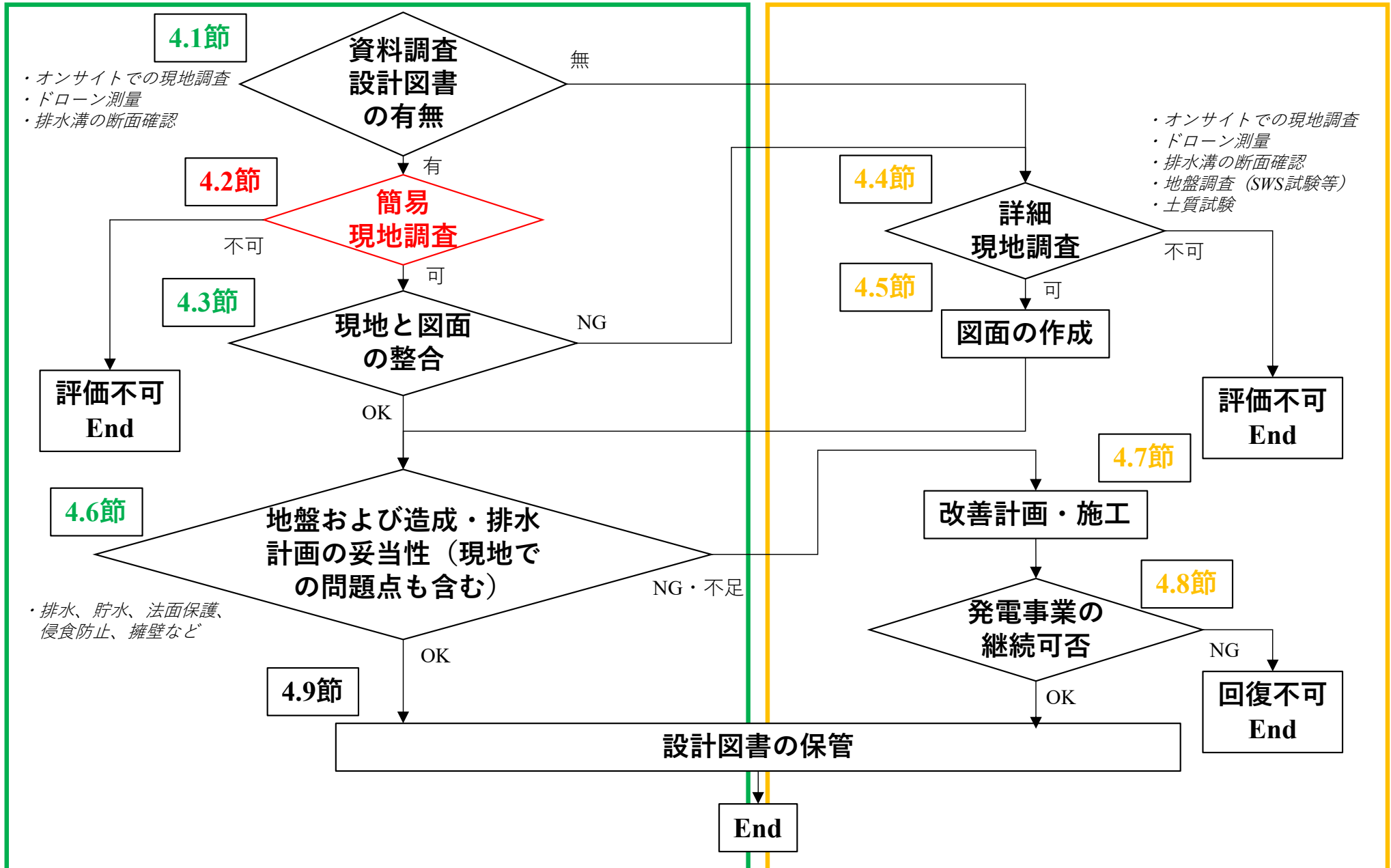
表4.4.1 地盤評価に必要な設計図書の例

No.	項目	図書および資料名
①	事前調査資料 ※地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019年版および傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023年版の事前調査により取得した基礎情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ 資料調査結果 ・ 現地調査結果 ・ 地盤調査 ・ 測量成果等
②	設計図書	<ul style="list-style-type: none"> ・ 造成計画の計画根拠資料 ・ 地盤の支持力検討結果 ・ 地盤改良, 凍上対策検討結果 ・ 斜面安定検討結果 ・ 滑動崩落防止対策工, のり面保護工検討結果 ・ 排水施設検討結果 ・ その他, 施設整備に当り地盤に係る検討結果 ・ 上記に基づき作成された設計図面, 使用材料
③	竣工図書	<ul style="list-style-type: none"> ・ 竣工図面 ・ 出来形管理結果 ・ 品質管理結果(使用材料含む) ・ 工事記録写真 ・ 追加調査結果(測量, 土質調査結果等)
④	維持管理に係る資料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 維持管理計画書 ・ 維持・補修記録 ・ 既往の被災, 地盤・排水施設等の変状, 不具合記録
⑤	その他資料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 関係法令に基づく行政への申請書類等 ・ 最新の関係法令, 関連する技術指針等

4.2 簡易現地調査

評価技術

回復技術



4.2 簡易現地調査

1. 実際に設置されている排水施設、地盤の勾配等が設計図書に示されているものと一致していることを確認するために現地調査を行う。
2. 現地での地盤および排水施設の状況（侵食、き裂、排水施設の割れ等）を確認する。

・解説

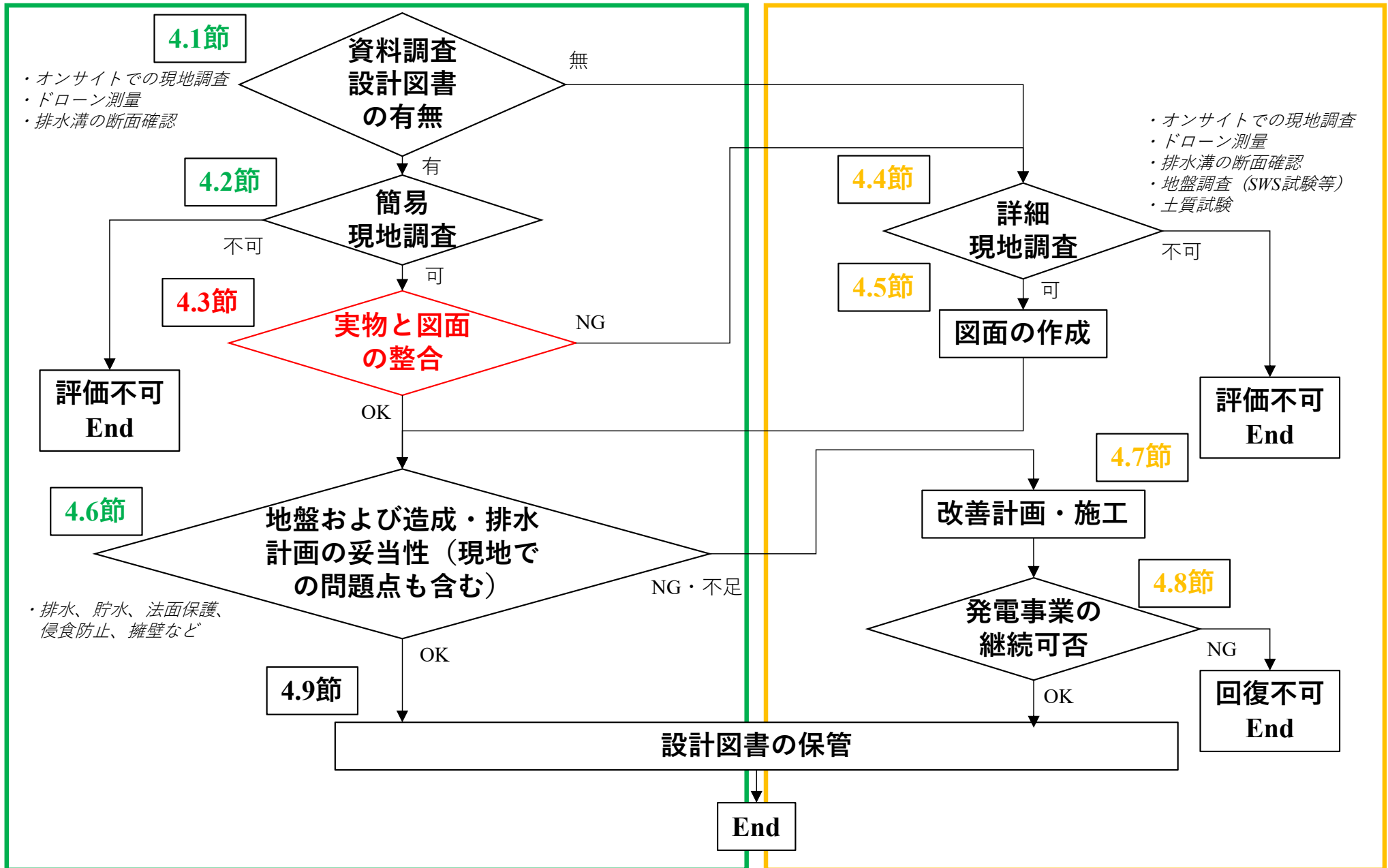
- 支持物と同様に設計図書が揃っていても、実際の排水施設の配置、容積、地盤の勾配が整合しているかを確認するために簡易的な現地調査を行う必要がある。
- 現地調査を行う際は当該事業で作成した現地調査チェックシート（地盤）を使用することで専門家（有識者、地盤調査会社、建設コンサルタント会社、技術士-建設部門-土質及び基礎、応用理学部門等、地盤品質判定士等の関連資格保有者）が評価するためのデータを効率的に抽出することができる。

表4.2.1 現地調査チェックシート（地盤）

確認項目	評価内容
地盤の確認（計10項目）	地盤の崩壊、土砂流出、地盤面の異状（き裂、リル・ガリ等）
排水施設の確認（計13項目）	排水路、調整池の形状や異状（土砂の詰まり、割れ、倒れ等）

4.3 実物と図面の整合性評価 評価技術

回復技術



4.3 実物と図面の整合性評価

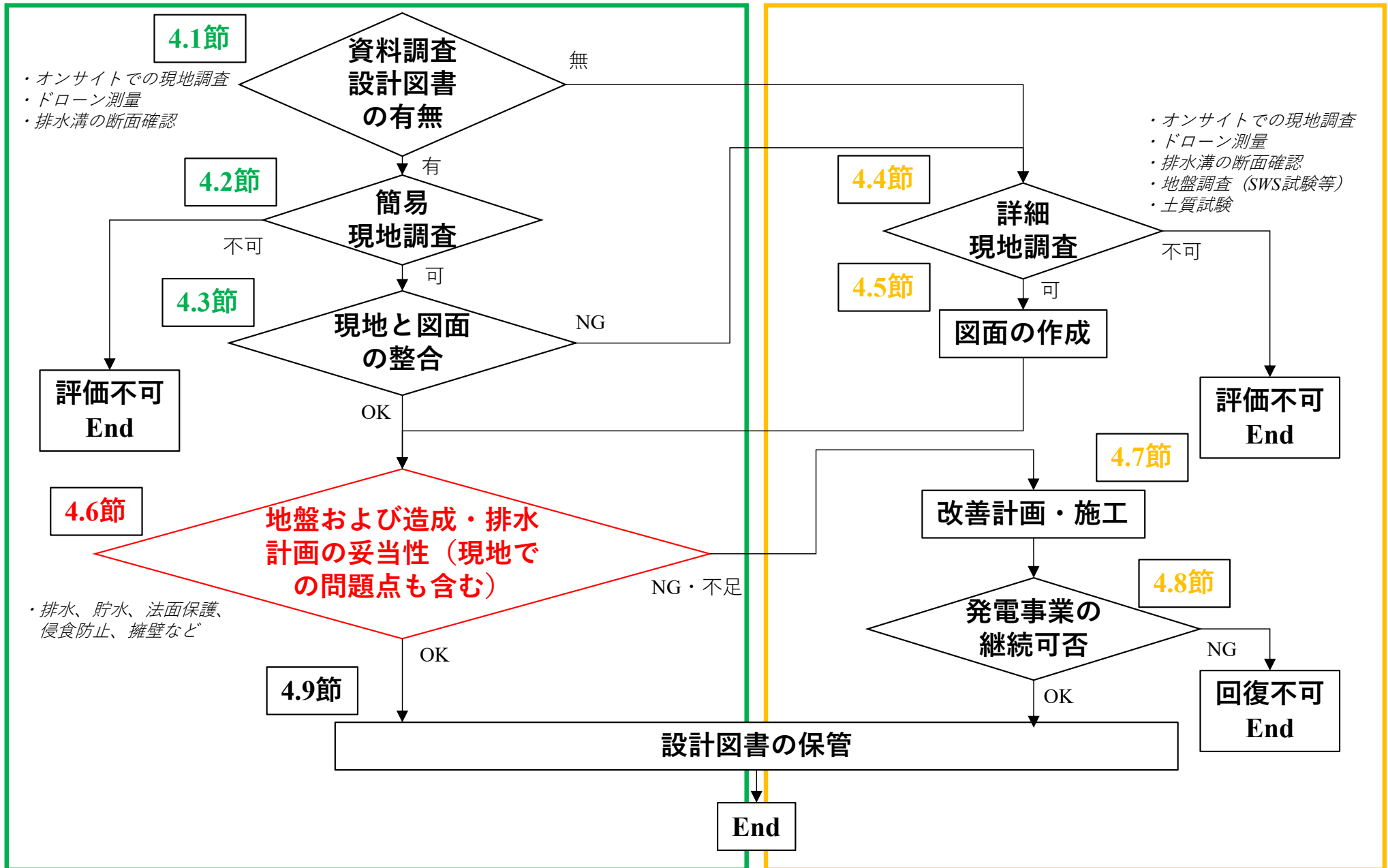
1. 実際に設置されている排水施設、地盤の勾配等と設計図書に示されるものが一致しているか確認する。
2. 実際に設置されている排水施設、地盤の勾配等が設計図書と一致している場合は地盤および造成・排水計画の妥当性確認を行う。
3. 林地開発時と土地の用途が同じであるか確認を行う。
4. 実際に設置されている排水施設、地盤の勾配等が設計図書と一致していない場合は、地盤および造成・排水計画の妥当性が確認できないため、図面作成のために「4.4 詳細現地調査」を行う必要がある。

・解説

- 簡易現地調査の結果に基づいて実物と設計図書の整合性評価を行う。

4.6 地盤および造成・排水計画の妥当性評価 評価技術

回復技術



4.6 地盤および造成・排水計画の妥当性評価

1. 地盤および造成・排水計画に検討不足がないか、検討内容に不備がないかを確認する
2. 地盤および造成・排水計画図面の内容が妥当で、現地の状況に不備がなければ地盤の評価・回復フローは終了となる。
3. 新たに設計図書（配置図、排水施設の断面形状）を作成した場合、既存の排水施設の容積等に不足がなければ特に問題ないが、不足がある場合は「4.7 改善計画・施工」となる。
4. 現地調査時に地盤に関する問題点（侵食、き裂、排水施設周辺）がある場合、「4.7 改善計画・施工」となり、地盤の回復および排水施設等の追加が必要となる。

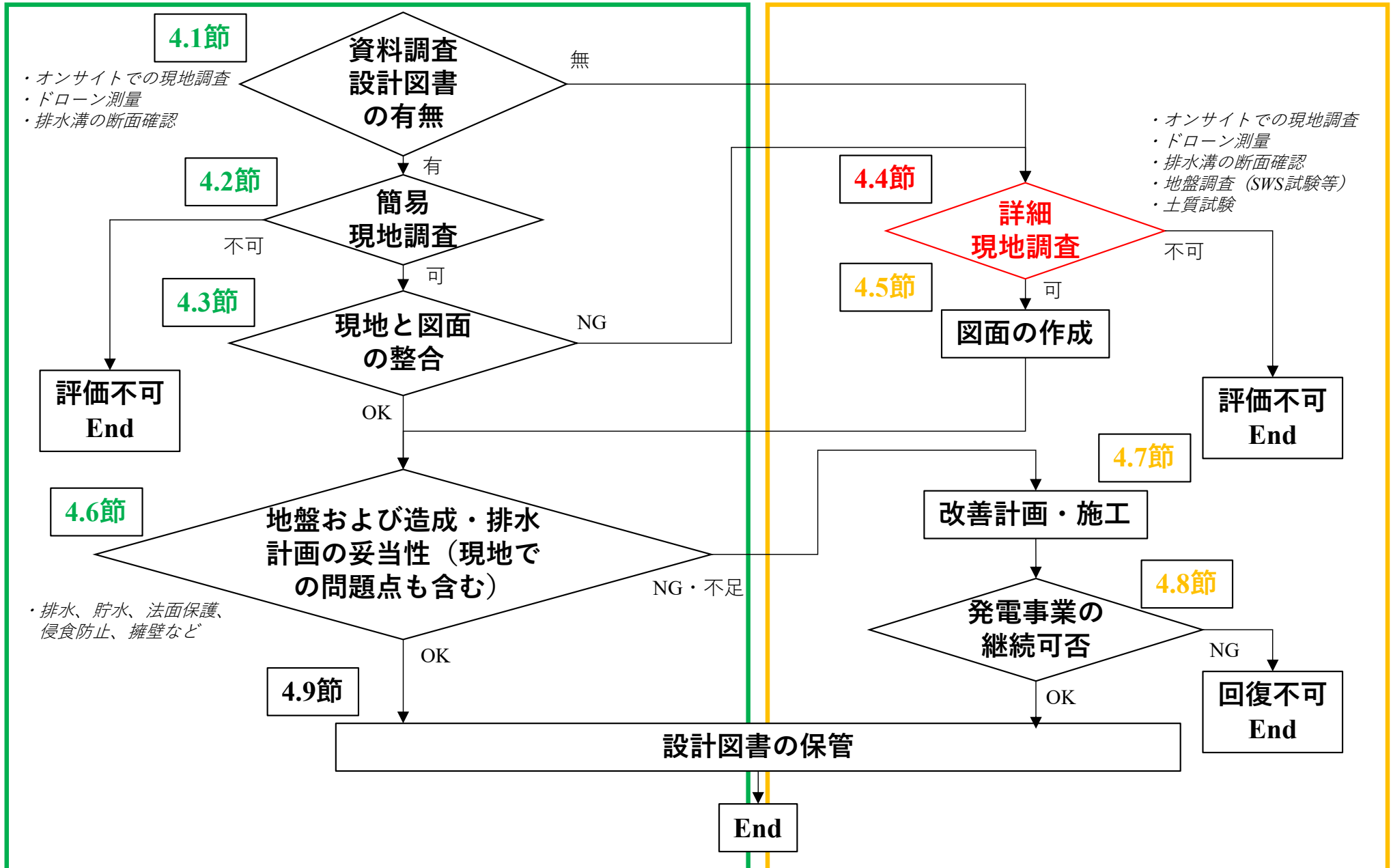
・解説

- 収集・整理した資料や設計図書をもとに、地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019年版、傾斜地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^{4.2)}「6. 造成計画」に照らして、検討項目・内容に不備が無いかを確認する。
- 太陽光発電設備を設置している自治体によっては、条例・規則等で個別に具体的な規定を設けている場合があるため留意が必要である。

4.4 詳細現地調査

評価技術

回復技術



4.4 詳細現地調査

1. 排水施設の形状や配置等のデータを収集する。
2. 現地での地盤および排水施設の状況（侵食、き裂、排水施設の割れ等）を確認する。
3. 敷地の勾配がわかるデータを収集する。
4. 必要に応じて地盤データ（地質調査やボーリング調査）を収集する。

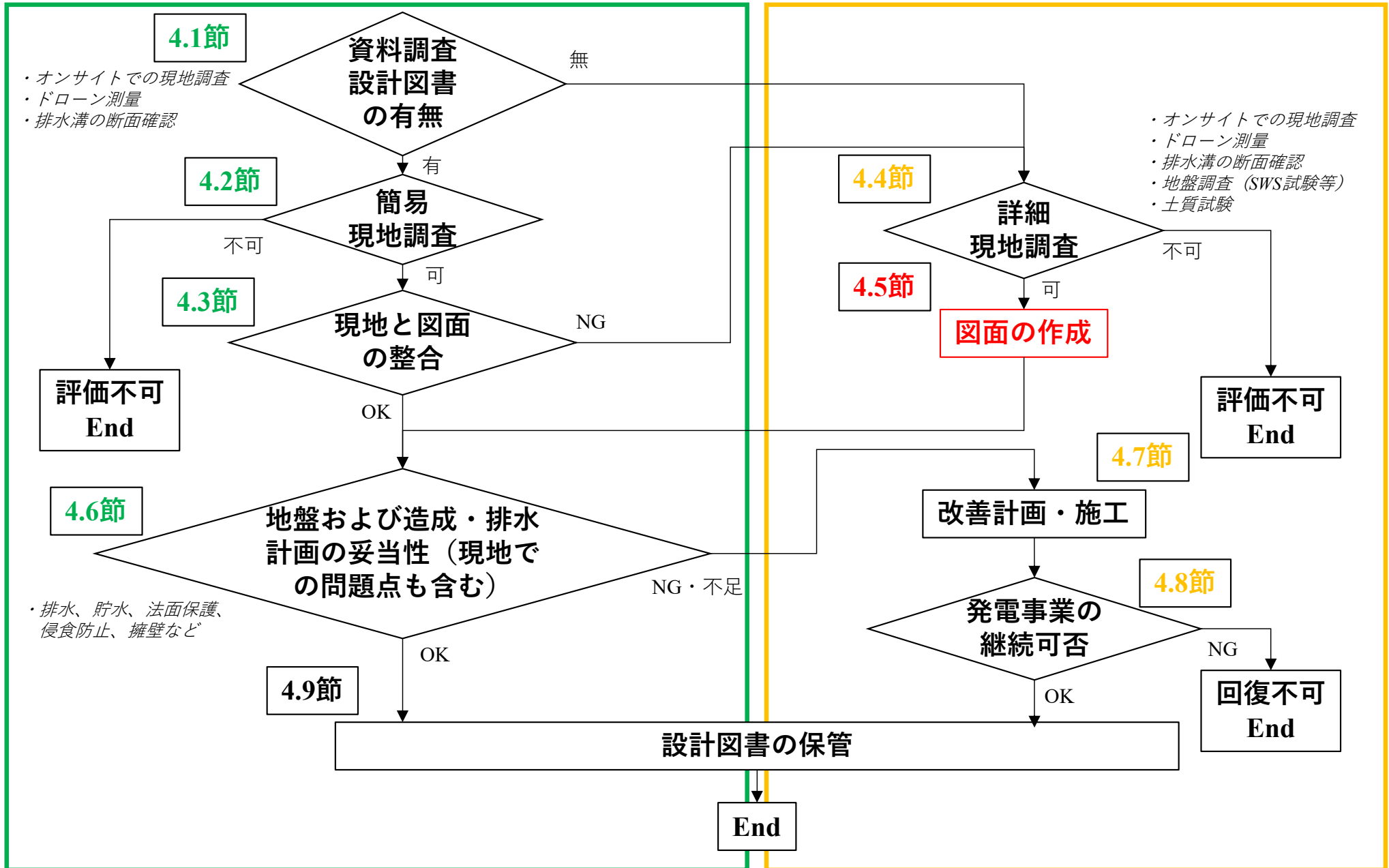
・解説

- 設計図書が揃っていない（保管されていない場合も含む）場合や実際に設置されている排水施設、地盤の勾配等が設計図書と異なる場合は設計図書を新たな作成する必要がある。
- 現地で地盤および排水施設に関するデータうあ不具合などを収集する必要がある。
 - ・ 地盤の勾配 : 専門家の測量、ドローン撮影
 - ・ 地盤データ : 地質調査、必要に応じてボーリング調査
 - ・ 地盤の異状 : 侵食、き裂等
 - ・ 排水施設の配置 : ドローン撮影、現地調査
 - ・ 排水施設の形状 : 現地調査（チェックシート）
 - ・ 排水施設の異状 : 割れ、倒れ、側面の侵食等

4.5 図面の作成

評価技術

回復技術



4.5 図面の作成

1. 現地調査で収集したデータから排水施設の形状や配置等の図面を作成する
2. 敷地の勾配に関するデータから敷地の図面を作成する。

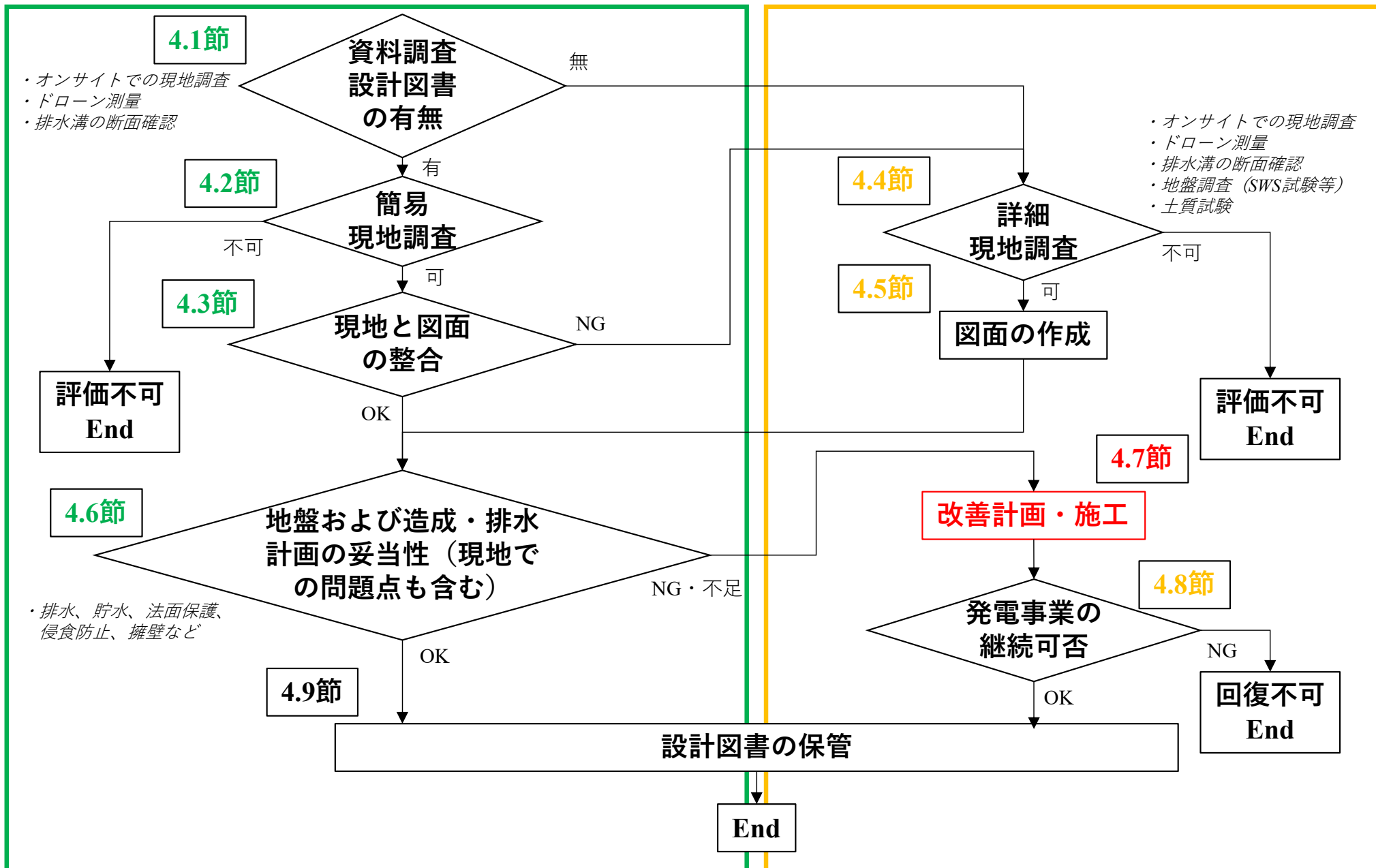
・解説

- 詳細現地調査で収集したデータもとに各種設計図書の作成を行う。
- 各種設計図書は地盤および造成・排水計画の妥当性評価時に使用するため、専門家（有識者、地盤調査会社、建設コンサルタント会社、技術士-建設部門-土質及び基礎、応用理学部門等、地盤品質判定士等の関連資格保有者）に依頼し、CADデータ等で作成することが望ましい。

4.7 改善計画・施工

評価技術

回復技術



4.7 改善計画・施工

1. 排水施設の追加および補修を行う。
2. 地盤の侵食に関する防止措置を行う。
3. ハザードマップ内に設置している太陽光発電所は地盤崩壊や地すべり等が懸念されるため、擁壁や土留め等の設置を行う。
4. 地盤崩壊や地すべり等に関する措置ができない場合は土砂災害等を検知するためのモニタリングや近隣住民への伝達手段等についても検討する。

・解説

- 地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019年版^{4.1)}が公表されるまで太陽光発電設備の設置時における造成計画に係る基本的な考え方が示されていなかったため、基本的には太陽光発電所の設置時点における状態まで回復させることが原則である。
- 地盤事故が発生する蓋然性が高い場合、関係法令や技術指針等に適合した要求性能まで改善させることが望ましい。
- 地盤の改善に関する対策の検討内容については表4.7.1に示す図書を参考にされたい
- これらの検討は多岐にわたる考察が必要であり、専門知識・技術が必要であるため、専門家（有識者、地盤調査会社、建設コンサルタント会社、技術士-建設部門-土質及び基礎、応用理学部門等、地盤品質判定士等の関連資格保有者）の協力を得ることが望ましい。

4.7 改善計画・施工

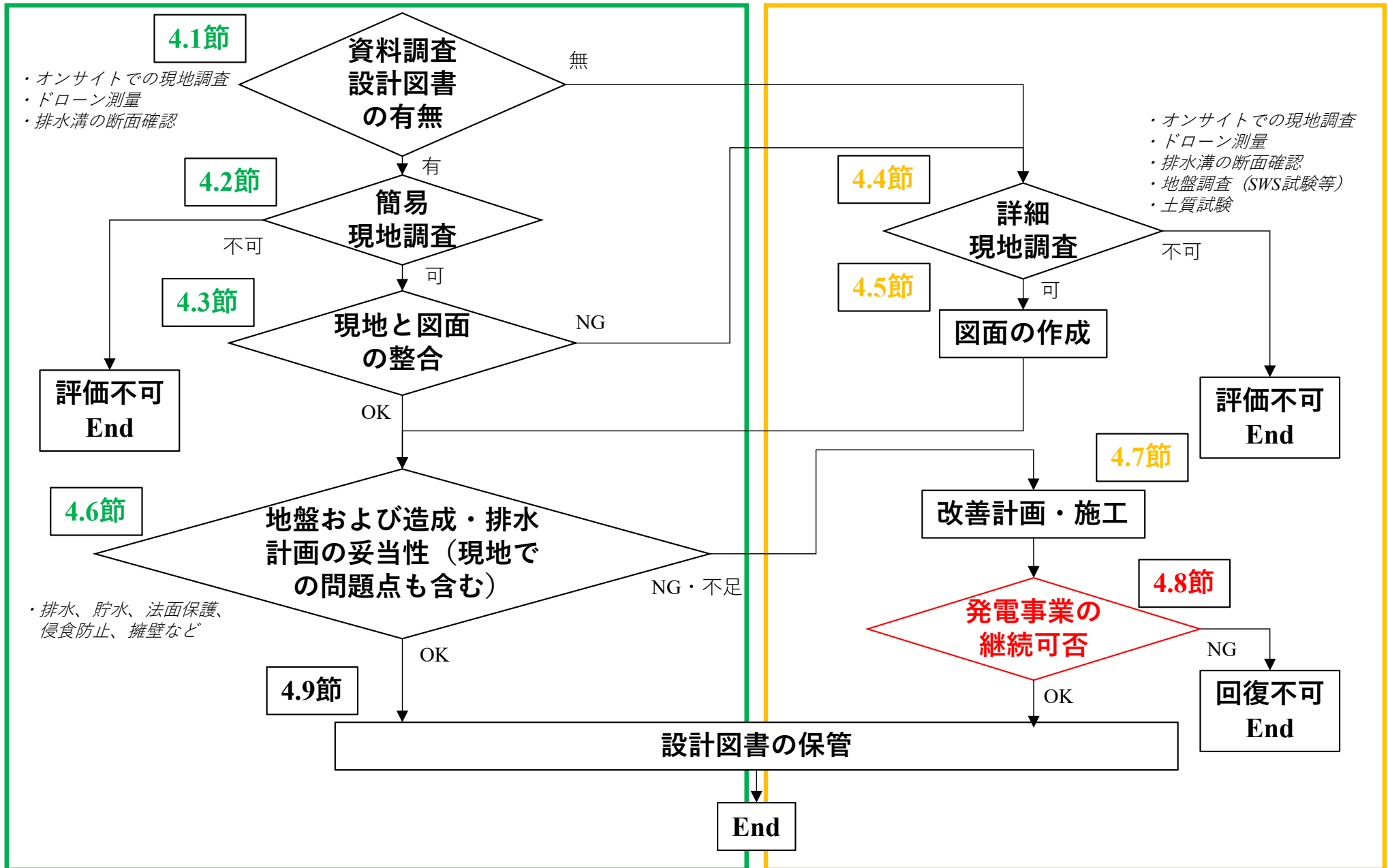
表4.7.1 検討内容ごとの参考とする図書

主な検討内容	主に参考とする図書					備考
	道路土工要綱	切土工・斜面安定工指針	盛土工指針	下水道施設設計画・設計指針と解説	盛土等防災マニュアルの解説	
排水施設の追加、補修の検討	○	○	○	○	○	
地盤の侵食に対する防止措置		○	○		○	
斜面等の安定性		○	○		○	
地盤崩壊や地すべり等		○			○	注1

注1) 地盤崩壊や地すべり等に対しては、対策施設にて対応することを基本として考えるが、対策施設設置スペースや施工機械搬入の措置ができない場合は、土砂災害等を検知するためのモニタリングや近隣住民への伝達手段等についても検討する。

4.8 発電事業の継続可否 評価技術

回復技術



4.8 発電事業の継続可否

1. 排水施設の補修・追加や地盤の侵食に関する防止措置等の内容から現地への材料の運搬や施工時に使用する施工機械等の進入および作業可能な空間があることを確認する。
2. 作業空間が確保できない場合は太陽光発電所として安全に継続することができないと判断されるため、発電所を一部撤去した上で作業を行うことや太陽光発電所を撤去し、原型復旧することも検討する。

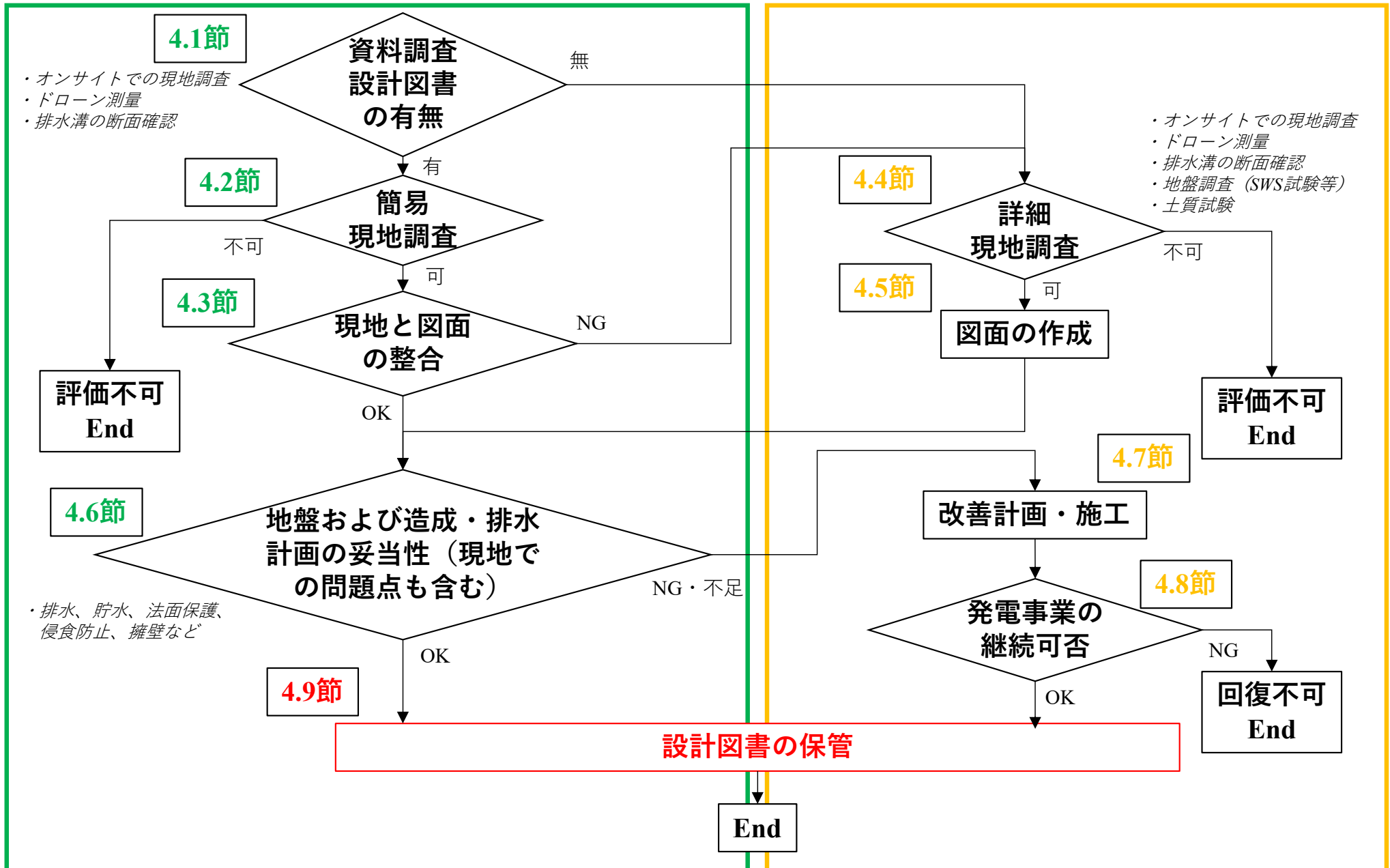
・解説

- 改善計画・施工が必要な設備において、既にアレイ支持物が設置されており、対策施設の**設置スペース**や**進入可能な施工機械等の制約**も生じるため、予め**施工に係る制約条件**を十分考慮しておく必要がある。
- これらのスペースがない場合、対策工事を行っても要求性能を満足出来ない場合、要求性能を満足させるための対策工事に高額なコストを要し事業採算が確保出来ない場合等については、**太陽光発電所を撤去し原型復旧**することも選択肢に入れたうえで適正な判断を行う必要がある。

4.9 設計図書の保管

評価技術

回復技術



4.9 設計図書の保管

1. 設計図書が揃っている場合や新たに作成した場合、設計図書を保管する。
2. 排水施設の補修、追加や地盤の侵食に関する防止措置を行った場合等により排水計画に変更が生じた場合は最新の設計図書を保管する。

・解説

- 地盤に関する対策がされていることを発電事業者が対外的に立証できるようにするために、設計図書を保管しておくことを原則とする。
- 特に排水施設、地盤等を改善した場合はその内容や施工状況がわかる資料を保管する必要がある。

構造土木編:目次

- 1 はじめに
- 2 用語の定義
- 3 アレイ支持物(基礎・架台)における評価回復技術のフロー
- 4 地盤における評価回復技術のフロー
- 5 評価回復技術に関する技術資料

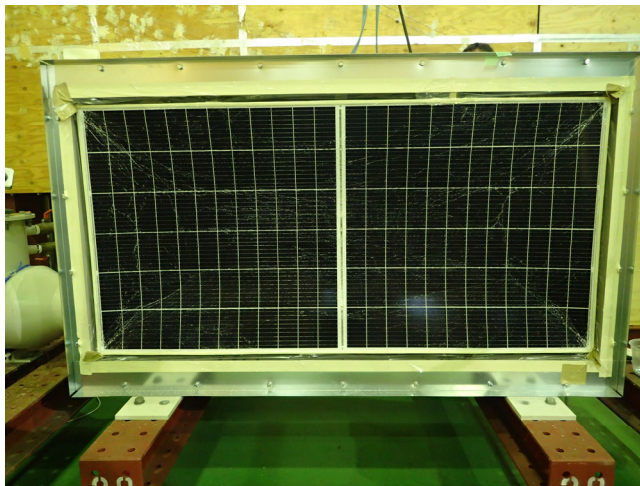
5.1 太陽電池モジュールの短期許容耐力の評価

➤ 目的

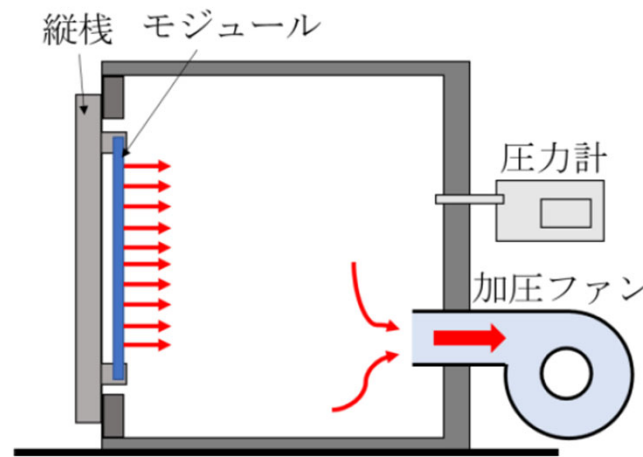
太陽光発電設備支持物の構造設計における要求性能の1つとして、許容応力度設計が挙げられるが、太陽電池モジュールの許容耐力や終局強度は開示されていない。また、近年よく使用されているワイドモジュールや両面発電モジュールについても調査対象とした。

➤ 試験内容

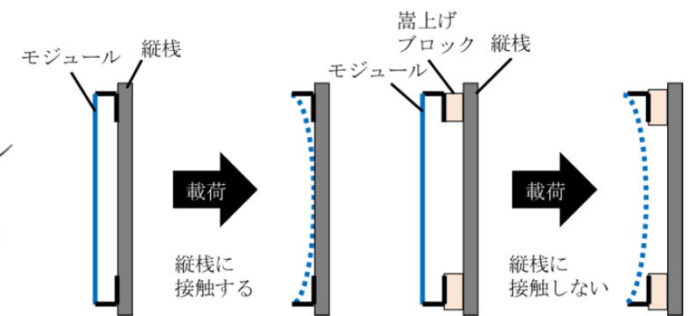
太陽電池モジュールの許容耐力を調査するため、耐風圧試験を行った。正圧载荷時に試験体が撓んだ際にモジュールのガラス面が縦棧へ接触することを防ぐために嵩上げ用ブロックを用いた。



耐風圧試験風景(正圧)



耐風圧試験概要



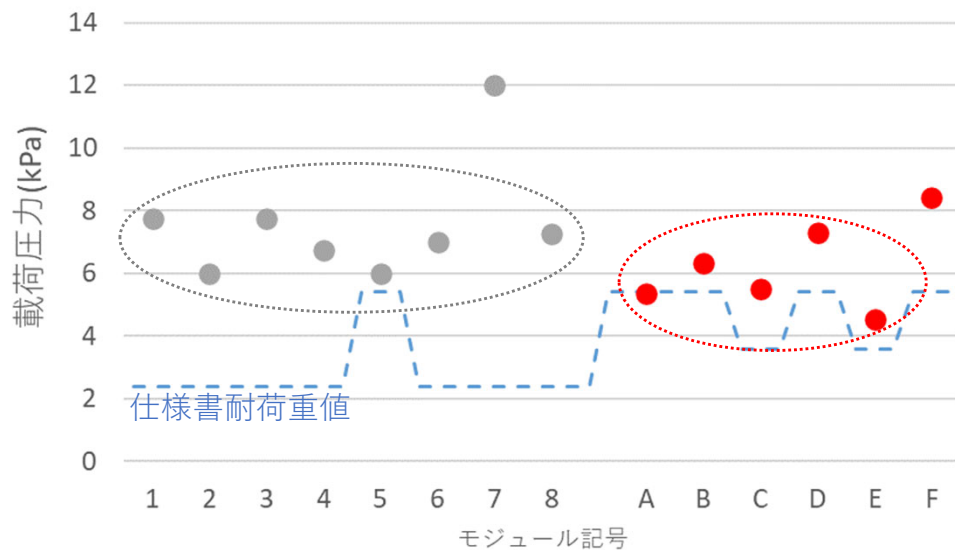
正圧の固定方法

5.1 太陽電池モジュールの短期許容耐力の評価

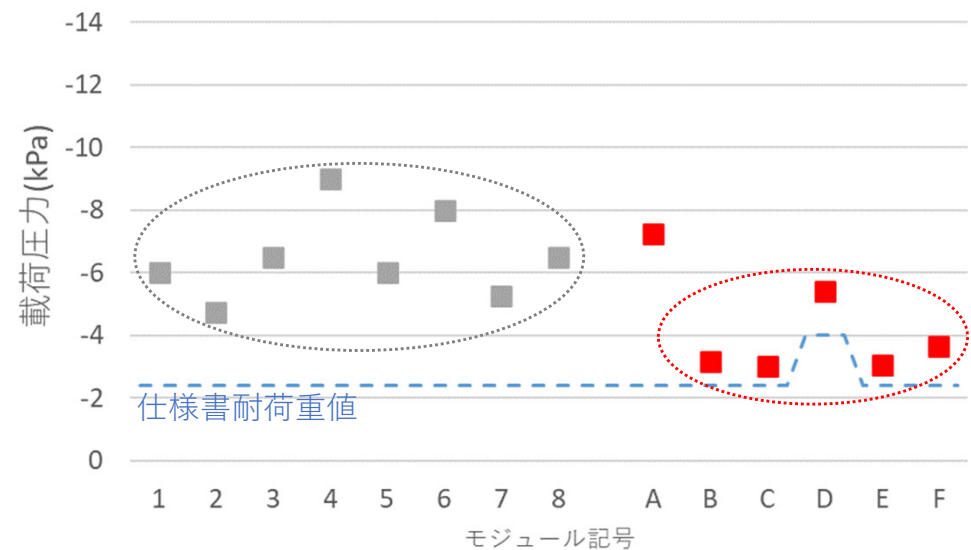
➤ 結果および考察

メーカーや仕様の異なる6種類の太陽電池モジュールで耐風圧試験を行った。また、地上設置型太陽発電システムの設計ガイドライン2019年度技術資料Fに記載されている試験結果との比較をした。

下図は、各試験体の破壊荷重と仕様書記載の耐荷重値を示したグラフである。本実験のモジュールは、仕様書耐荷重に対して破壊荷重までの裕度が小さい傾向であった。



正圧の耐風圧試験結果



負圧の耐風圧試験結果

※灰色: ガイドライン2019年実験データ、赤色: 本研究の実験データ

5.2 太陽電池モジュールの長期荷重に対する強度評価

➤ 目的

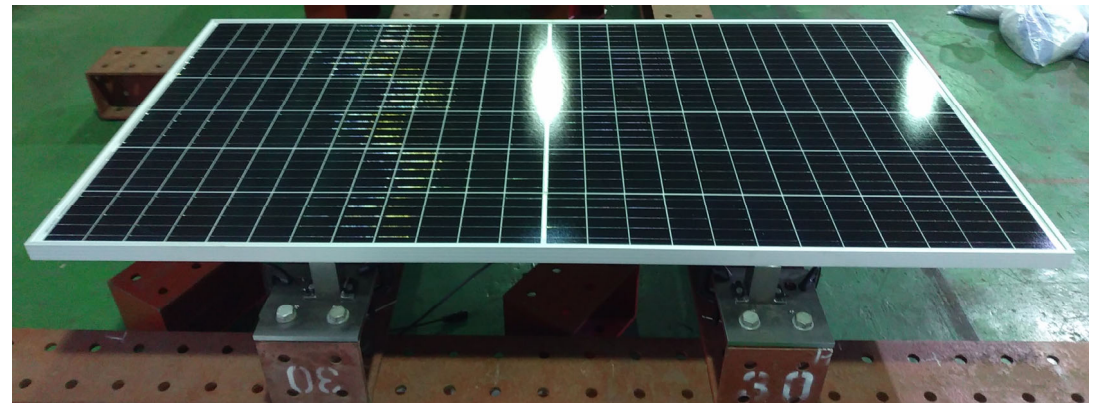
短期荷重における太陽電池モジュールの耐力は耐風圧試験により確認ができたが、多雪地域では、冬季期間中モジュールに積雪荷重が長期的に作用すると考えられる。

➤ 試験内容

太陽電池モジュールの長期許容耐力を調査するため、長期荷重試験を行った。モジュールサイズの異なる2種類を試験体として選定した。載荷荷重については、仕様書耐荷重値の2/3である3,600Paと短期破壊荷重の2/3を短期許容耐力と考え、さらに2/3にした2,400Paの2種類とした。載荷期間は、1年間の冬季期間と考えられる3か月とした。



60セルモジュール(面積:1.6m²)



ワイドモジュール(面積:2.0m²)

5.2 太陽電池モジュールの長期荷重に対する強度評価

➤ 結果および考察

3か月後の試験終了時にはすべて長期荷重試験体の変位量と残留変位量が、短期試験結果より大きくなる傾向であった。

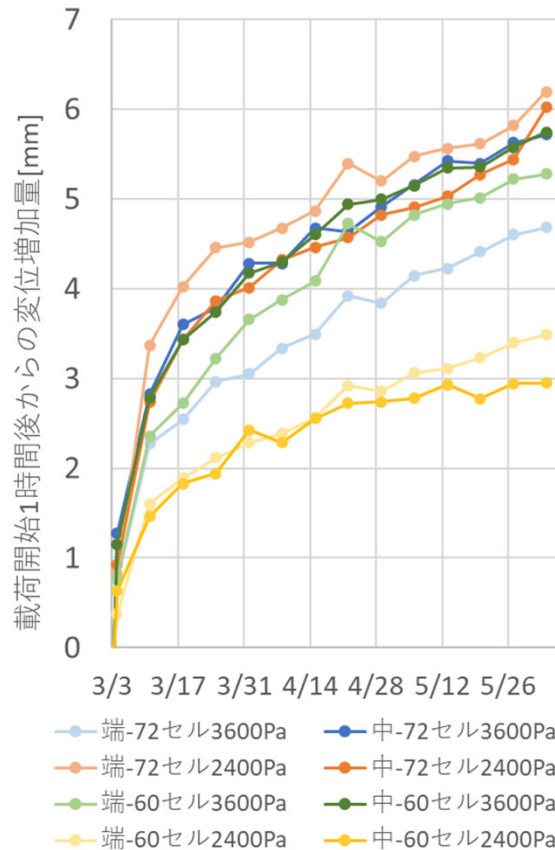
多雪区域に太陽電池設備を設置する場合は太陽電池モジュールの長期的な耐力についても考慮した上で選定することが望ましい。



長期荷重試験風景 (2400Pa)



長期荷重試験風景 (3600Pa)



載荷開始1時間後からの変位増加量

長期と短期荷重試験結果の比較

モジュール仕様	載荷 [Pa]	試験条件	載荷時変位 [mm]		残留変位 [mm]	
			端部	中央	端部	中央
60セル L1650mm W991mm H40mm	2400	短期	15.4	27.7	0.3	1.0
		長期	18.5	28.2	2.7	3.8
	3600	短期	25.1	39.6	0.7	2.2
		長期	29.6	42.6	4.6	5.3
72セル L2008mm W1002mm H40mm	2400	短期	31.8	44.3	1.4	0.2
		長期	35.5	46.4	5.9	5.9
	3600	短期	49.4	67.4	3.0	1.2
		長期	48.0	71.7	7.6	6.1

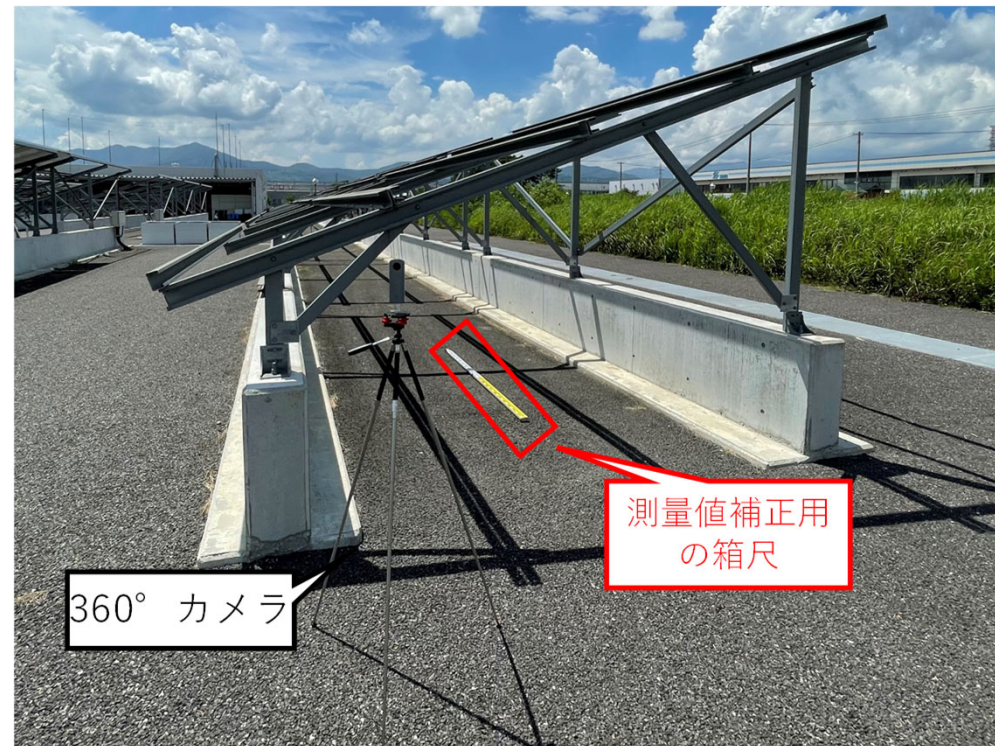
5.3 設計図面の作成支援ツール

➤ 技術の概要

既存の太陽光発電設備では、支持物の構造図や構造強度計算がないことが散見され、その場合は現地での調査を行う必要がある。現地調査は、非専門家による情報収集になることが想定されるため、現地測定の支援技術の調査をした。

➤ 装置の仕様

360°カメラで撮影した全天球画像をもとに、簡易的な3次元図面作成や寸法測定が行えるソフトウェア。



5.3 設計図面の作成支援ツール

➤ 作業および処理

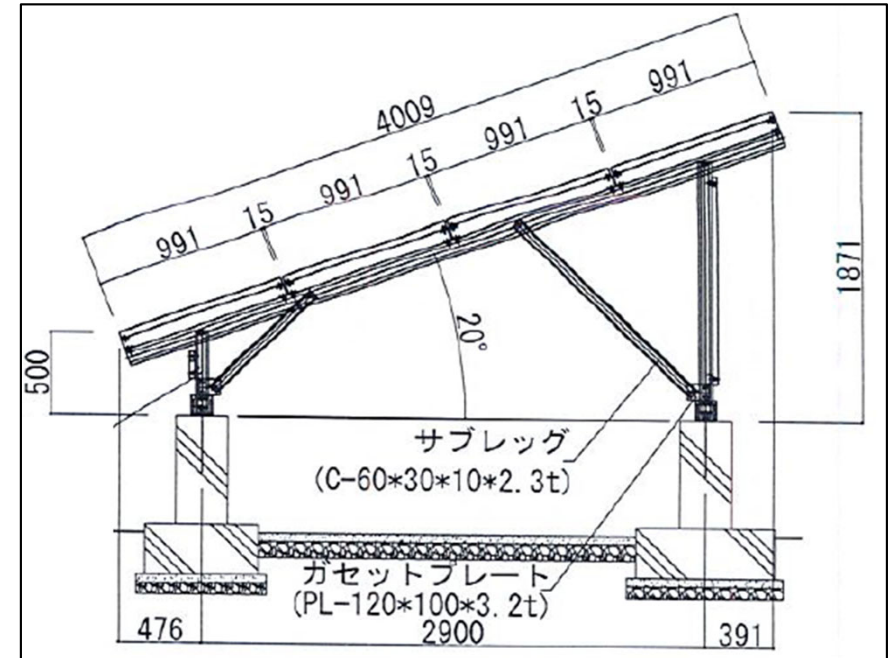
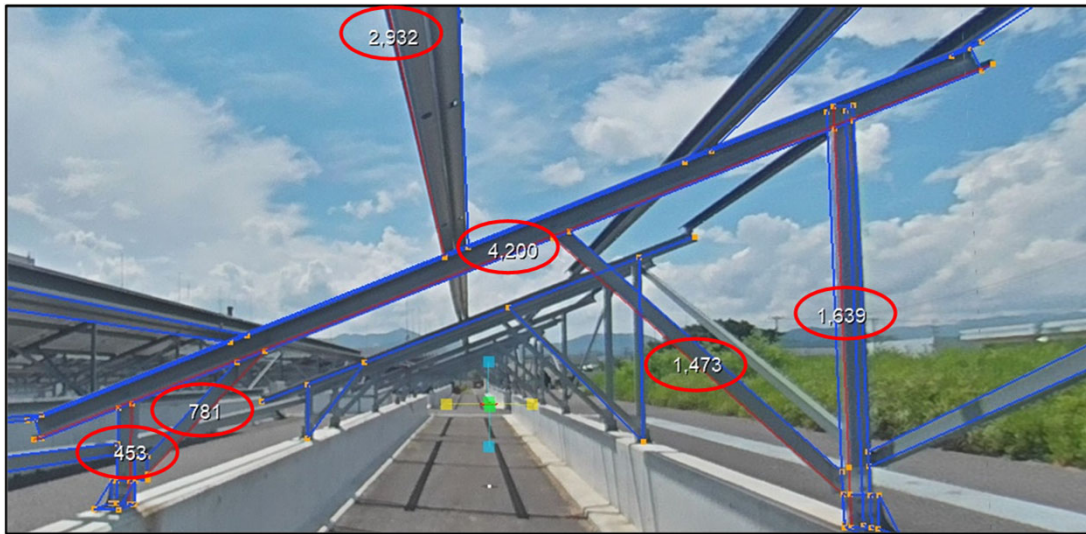
360°カメラで撮影を行い、ソフトウェアでフレーム図化をし、寸法測定やフレーム図をCADデータとして出力する。

➤ 本事業でのテスト

計測データの精度を確認するために、3ヶ所でフィールドテストを実施した。

➤ 結果および考察

図面のない設備において、支持物の強度を簡易的な評価するためには、主に断面と架構フレームの測定が必要になる。架構フレーム図化はでき、現地での測定作業は軽減できたが、部材断面の板厚測定は、精度的に厳しいと考えられる。



5.4 杭の支持力簡易診断技術

➤ 技術の概要

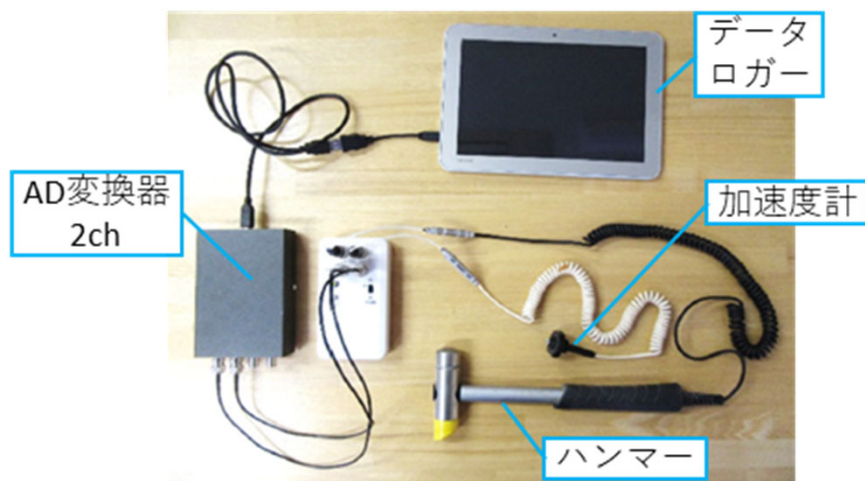
既設のPV設備において、オンサイトでの杭の抵抗力評価は時間がかかり、全数あるいは多数の杭を検査することが困難である。土木建築分野の既存の原理や技術を応用し、オンサイトで簡易的に杭の抵抗力を診断および評価するため方法について調査した。

➤ 作成した資料

土木分野で使用される杭の衝撃载荷試験の技術を応用し、加速度計を取り付けたPV設備の杭基礎にハンマーで打撃を与え、打撃荷重と杭の振動を加速度計で、測定し評価する。

➤ 作業および処理

測定したデータは、ローパスフィルターを実施したうえで、周波数解析と波形のエネルギーが1/10および1/100になるまでの減衰時間を比較する



装置の構成

装置の仕様一覧

項目	規格	備考
チャンネル数	2ch	
分解能	12bit	
サンプリングクロック	10 μ 秒~10 秒	1 μ 秒単位で可変
データ数	256,000 サンプル	
使用温度	5 $^{\circ}$ C~45 $^{\circ}$ C	
インターフェース	USB1.1 (USB2.0 フルスPEED)	
電源	USB バスパワーにて駆動	
大きさ	30 \times 100 \times 140mm	突起含まず
重さ	約 350g	ケーブル含まず

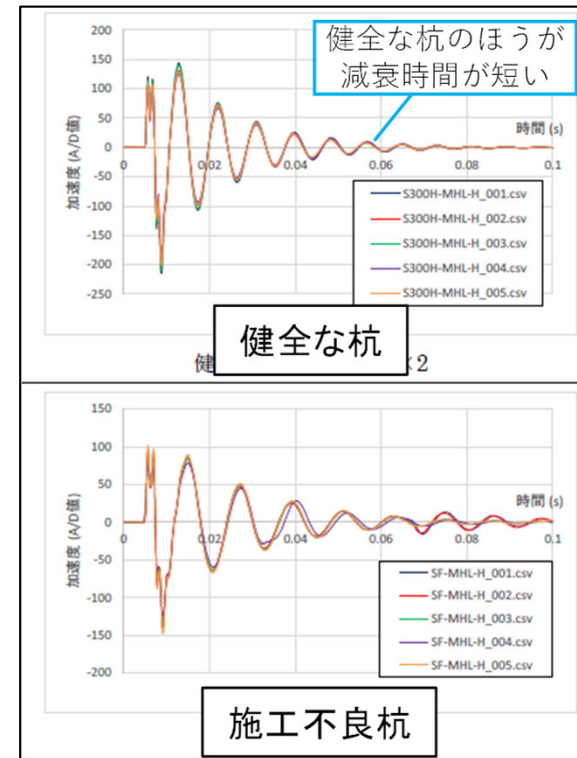
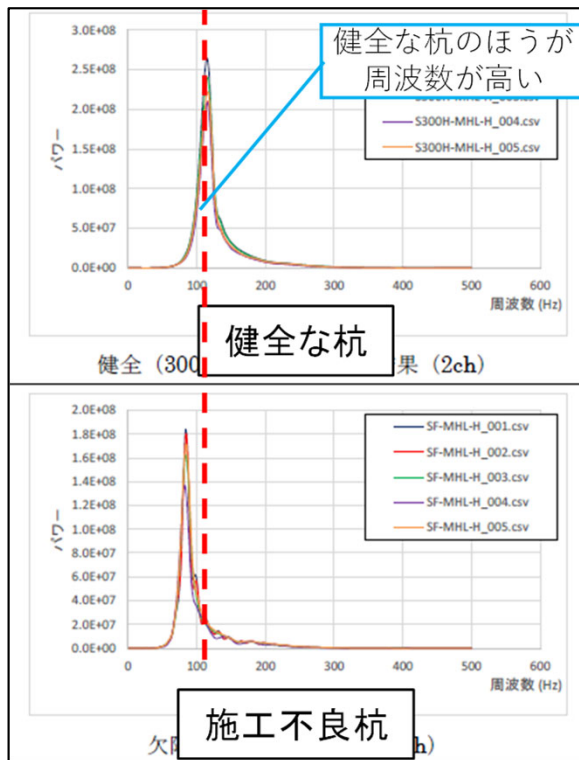
5.4 杭の支持力簡易診断技術

➤ 本事業でのテスト

測定方法および測定機器の検討を行うために、異なる地盤条件の3地点にて測定の検証を実施した。また、施工不良杭を模した検査体を作成しその比較も合わせて行った。

➤ 作成した資料

全体的に施工不良杭では健全な杭に対して、周波数が低下し、減衰時間も長くなることが分かった。ただし、減衰時間は、短くなる場合もあるため、管理指標としては周波数が適していると推察される。



5.5 地盤の締固め度測定技術

➤ 本事業でのテスト

地盤調査データがない太陽光発電所において、地盤の安全性やCo基礎の安全性を調査することを目的として、動的平板載荷試験装置を用いた非破壊検査技術の可能性を確認した。

➤ 装置の仕様

本装置は地盤反力を直接測定することができる。測定した地盤バネ係数(K)と平板載荷試験による K30 値は非常に高い相関関係が得られている。

測定器名	超小型動的平板載荷試験装置 (SCT) Soil Compaction Tester
ハンマ質量	5.6kg
サンプリング時間	10 μ s
測定時間長	10, 20, 40ms (ただしデータ数4096個まで)
測定方法	任意高さからの重錘落下
測定量	地盤反力係数 K30
加速度計感度	10mV/G
周波数範囲	0.5~10kHz
電源	USBバスパワーにて駆動 (駆動時間PCのバッテリーに依存)
記憶容量	使用するPCのハードディスク容量に依存



地盤の締固め度測定装置

5.5 地盤の締固め度測定技術

➤ 概要および作業について

盛土、切土、路床、路盤、埋戻し地盤などの剛性をリアルタイムで測定可能な装置。締固め度の測定は、質量 5.5kg の重錘を高さ 10cm 程度から落下させて行う。落下高さは厳密に管理する必要がなく現場で手軽に測定でき、多数点測定することにより締固め不足などの管理が容易な測定機器である。

➤ 本事業でのテスト

- ・ 緩い地盤と標準地盤で差異が出るかを確認するために、2カ所のテストフィールドおよび5種類の地盤でテストを実施した。
- ・ 新たに造成地盤を作成する際の締固め度の確認を行った。

➤ 結果および考察

- ・ 砂質土では事前にSWS試験で測定していた締固め度と測定値で相関のある結果を得た。
- ・ 造成地盤作成時の管理指標にも使用可能であることが確認できた

地盤の締固め度測定結果

C-No.1	砂質土	標準	13.2	13.7
C-No.2	砂質土	標準	13.9	
C-No.3	砂質土	標準	14.1	
C-No.4	砂質土	軟弱	11.3	12.1
C-No.5	砂質土	軟弱	12.3	
C-No.6	砂質土	軟弱	12.6	
C-No.7	砂質土	超軟弱	8.1	9.2
C-No.8	砂質土	超軟弱	10.3	
C-No.9	砂質土	超軟弱	9.1	

5.6 アルミニウム合金製架台の接合部補強技術

➤ 背景および目的

太陽光発電所のアレイ支持物における事故として、保険事故の分析結果から強風による接合部の破損が挙げられる。特にアルミニウム合金製の架台の接合部で頻繁に見られる長孔の接合部やアレイ長辺方向におけるパネル受け材の連結金具とドリルねじを用いた接合部について、滑りや強度の低下が懸念されるため、それらの接合部に関する補強方法の一例を示し、その効果について調査を行った。

○アルミニウム合金製の架台における長孔の接合部

➤ 調査内容

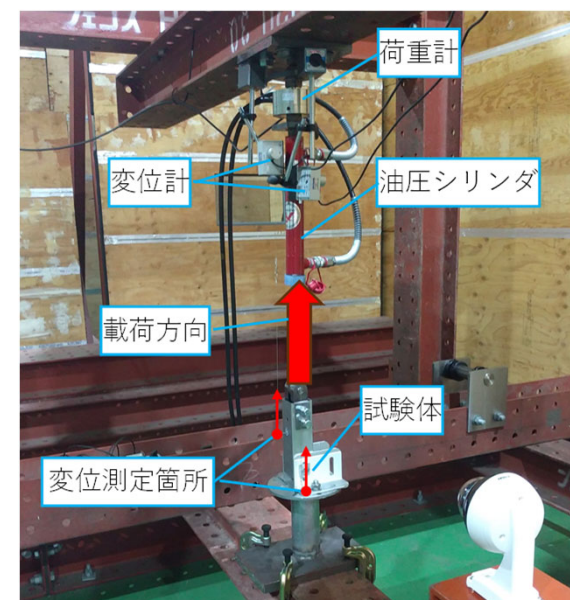
当該接合部は孔の長さ方向に荷重が作用したときにボルトが滑る懸念がある。そこで、滑りが生じないような補強方法を検討し、その効果を検証した。



補強なし接合部



補強あり接合部

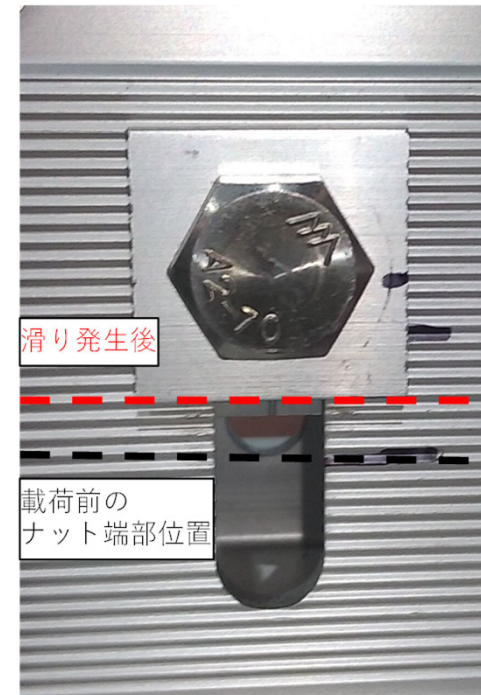
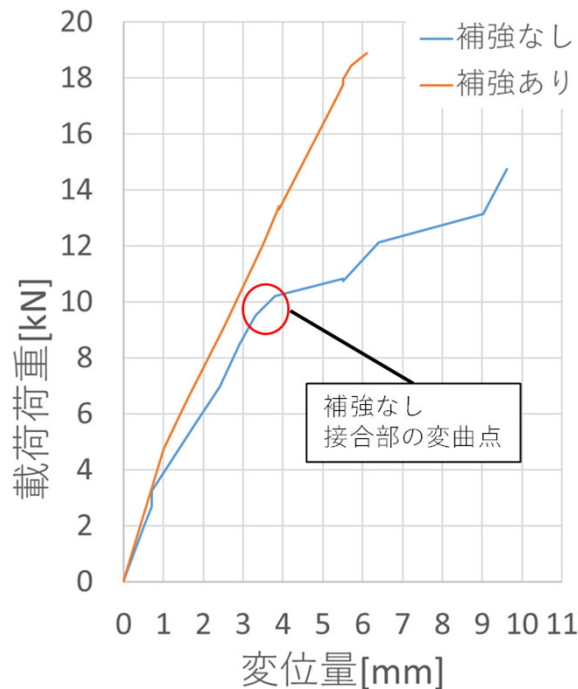


5.6 アルミニウム合金製架台の接合部補強技術

➤ 調査結果

補強なし接合部は10kN付近から変位が増加し、ボルトの滑りが生じた（写真）。一方で補強あり接合部はボルトの滑りは発生せず、18kN付近で金具に変形が生じた。この接合部の補強方法はボルトのすべりに対して有効であることが確認できた。

ただし、太陽光発電所の設置地域や架台の架構によっては接合部に要求される荷重が異なるため、当該補強方法を行うことで接合部の要求性能が満たされるわけではないことに注意されたい。それぞれの接合部において必要な性能を確認した上で補強方法を検討し、必要な性能を満たしているか確認する必要がある。

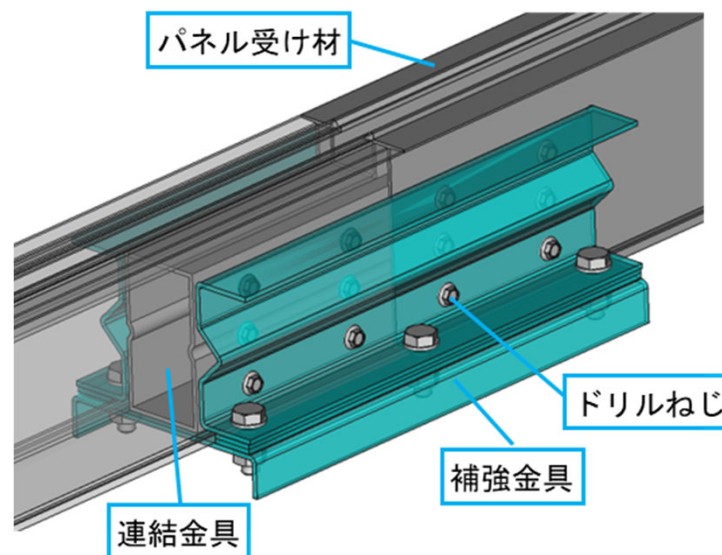
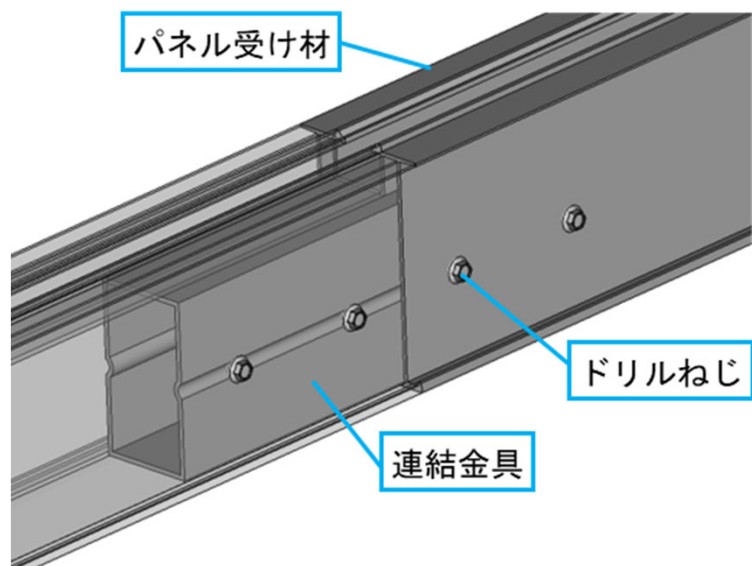


5.6 アルミニウム合金製架台の接合部補強技術

○アレイ長辺方向におけるパネル受け材の連結金具とドリルねじを用いた接合部

➤ 調査内容

当該接合部（継手）は設計時には接合部（継手）として扱われておらず、同じ形状の部材が連続していると仮定（1つの部材とされている）して構造解析されているため、曲げ剛性が過大評価されている懸念がある。そこで本検証では継手がなく1つの部材としているもの（接合部なし）と補強なし接合部の曲げ剛性を比較し、構造解析の仮定が妥当であるか曲げ試験（写真）によって評価を行った。また、当該接合部の補強方法として接合部に鋼製の補強金具を取り付けた試験体を補強あり接合部とし、同様の試験によって補強の効果について検証した



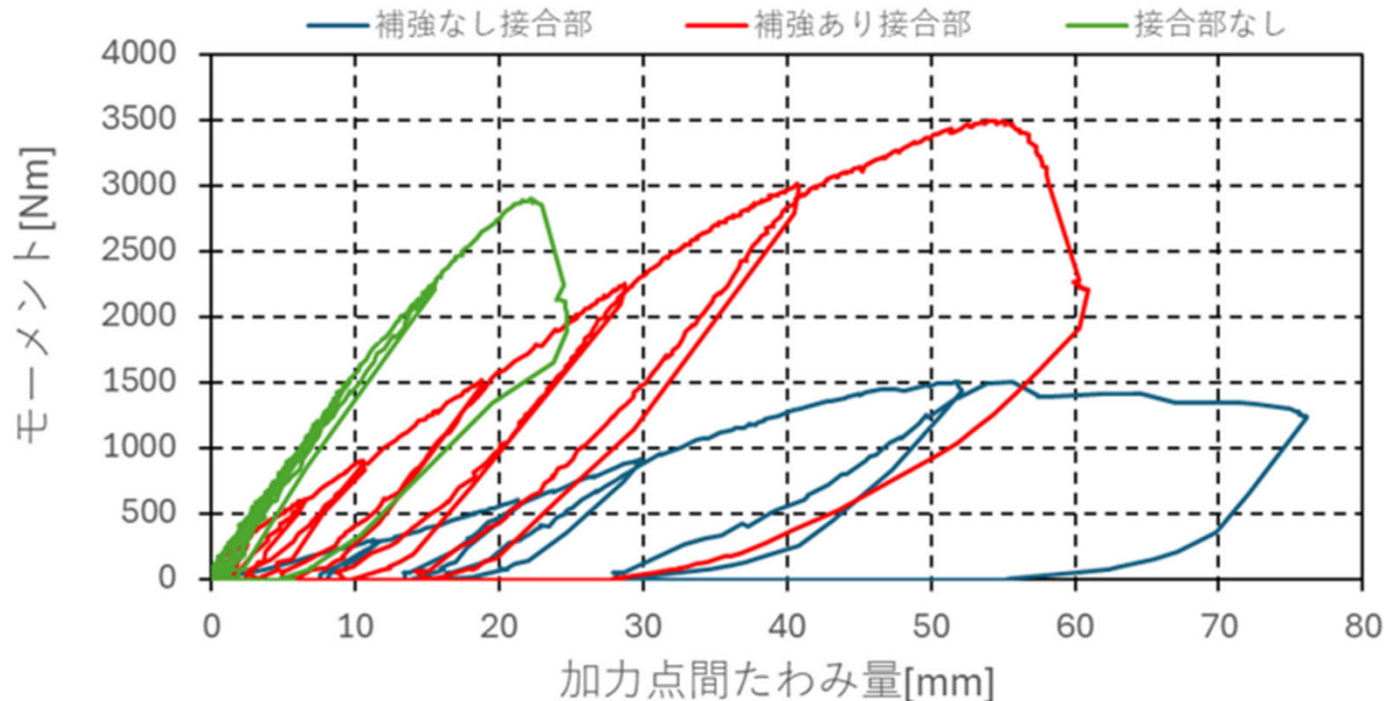
5.6 アルミニウム合金製架台の接合部補強技術

➤ 調査結果

補強なし接合部は接合部なしの試験体と比較してたわみ、残留たわみの増加量が多いことが確認され、曲げ剛性が低いことが確認できた。

この結果から当該継手を構造解析上で接合部なしと仮定することは危険な設計であることが分かった。

次に補強方法の効果について、補強あり接合部は補強なし接合部と比較してたわみ量、残留たわみは小さく、補強による曲げ剛性の向上が確認できた。一方で補強を施しても接合部なしの試験体と比較すると曲げ剛性が低いため、先ほどと同様に当該補強方法を行うことで接合部の要求性能が満たされるわけではないことに注意されたい。



ご清聴ありがとうございました。

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」の結果として得られたものです。