

建築物の被災判定等に関する GNSS センサ・加速度センサを用いた
観測システム設置基準マニュアル(案)

2024 年(令和 6 年)7 月

国土技術政策総合研究所

目次

第 1 章	総則.....	1
1.1.	目的.....	1
1.2.	適用範囲	1
1.3.	用語の定義	3
1.4.	観測システム稼働に必要となる作業フロー	7
第 2 章	観測システムの要件.....	9
2.1.	概説.....	12
2.1.1.	構造ヘルスモニタリングシステム (SHM)	12
2.1.2.	建築物の揺れと計測手法	12
2.1.3.	GNSS を用いた長期変位計測	12
2.1.4.	GNSS を用いた地震後残留変位計測	12
2.1.5.	加速度計および GNSS を用いた地震時計測	12
2.2.	GNSS 機器の概要.....	13
2.2.1.	GNSS 機器の仕様	13
2.2.2.	GNSS 機器の種類と特徴	15
2.3.	加速度計の概要.....	22
2.3.1.	加速度計の仕様	22
2.3.2.	加速度計の種類と特徴.....	24
2.4.	通信機器の概要.....	27
2.4.1.	通信機器の仕様	27
2.4.2.	通信機器の種類と特徴.....	28
2.5.	機器出荷時の点検項目	35
第 3 章	観測システムの設置.....	38
3.1.	観測システムの設置計画	38
3.1.1.	GNSS 機器の設置計画.....	38
3.1.2.	加速度計の設置計画.....	40
3.1.3.	通信機器の設置計画.....	42
3.2.	観測システムの設置方法	44
3.2.1.	GNSS 機器の設置方法.....	44
3.2.2.	加速度計の設置方法.....	48
3.2.3.	通信機器の設置方法.....	51
3.3.	観測システムの設置における検収方法	55
第 4 章	観測システムの運用.....	57

4.1.	サーバの種類と特徴	57
4.2.	解析サーバの仕様	58
4.3.	観測データ収集サーバの仕様	59
4.4.	観測データ等の閲覧システム	60
4.5.	観測システムの運用における検収方法	61
第 5 章	維持管理内容	62
5.1.	維持管理方針	62
5.2.	観測システム設置時の点検	62
5.3.	維持管理計画	63
5.3.1.	維持管理計画書	63
5.3.2.	長期保全計画書	64
5.4.	平常時の維持管理内容	65
5.4.1.	管理体制	65
5.4.2.	管理方法	65
5.5.	地震後の維持管理内容	67
5.5.1.	維持管理体制	67
5.5.2.	緊急調査の実施方法	67
5.6.	維持管理記録の保管	69
【参考資料】		70
【参考資料① 機器設置事例】		70
①-1.	GNSS を用いた長期変位計測/GNSS を用いた地震後残留変位計測	70
①-2.	GNSS 及び加速度計を用いた地震時計測	72
【参考資料② 計測結果事例】		73
②-1.	GNSS を用いた長期変位計測/GNSS を用いた地震後残留変位計測	73
②-2.	加速度計及び GNSS を用いた地震時計測	79
②-3.	加速度計用いた長期固有振動数計測	85
【参考資料③ GNSS 計測における誤差処理方法】		92
③-1.	母集団移動平均法	92

第1章 総則

1.1. 目的

本マニュアルは、GNSS (Global Navigation Satellite System) 及び加速度計を用いて建築物の長期的な変動の評価及び地震被災後における健全性評価を行うことを目的として、計測機器を設置する際の標準的な作業内容、使用する機器等の仕様及び、計測精度を確保するための設置方法を明示したものである。これらを用いることにより建築物の常時の健全性評価や地震被災後の健全性を迅速に評価し、その後の補修作業等の建築物の継続使用性の迅速な確保に資することを目的とする。

1.2. 適用範囲

本マニュアルは、GNSS 及び加速度計を用いて建築物の地震被災後における健全性評価等を行う観測システムの、計測機器を設置する際の標準的な作業内容、使用する機器等の仕様及び、計測精度を確保するための設置方法、観測システムの構成等を規定している。

なお、本マニュアルで規定されていない観測システム等を利用する場合には、観測システムの安定性、冗長性、計測精度等を十分に検証し、利用する。

解説

GNSS 及び加速度計、通信機器の計測原理上、以下の場合は機器類による被災判定等の適用範囲外とする。

(建築物の条件)

- ※ 建築物の屋上に観測局の設置が不可能な場合。
- ※ 建築物の敷地内もしくは周辺の敷地内に基準局の設置が不可能な場合
- ※ 基準点の地盤等の安定性が十分確保できない場合。

(GNSS、加速度計、通信機器共通の条件)

- ※ 各種通信会社の通信エリア外など、安定した通信環境が確保できない場合。
- ※ 大規模な火山噴火や地震、その他の自然災害、火災などの人為的な影響により、建築物が顕著に破損した場合。
- ※ 大規模な火山噴火や大規模な地震、その他の自然災害等による停電が発生している場合。
- ※ 各種通信会社の通信エリア外など、安定した通信環境が確保できない場合。

(GNSS 計測の条件)

- ※ 市街地の高層ビルに囲まれた建築物など、測位衛星の電波を十分に受信することが困難な場合。
- ※ 建築物と測位衛星の間に樹木等の障害物が存在する場合 (GNSS は上空の測位衛星の信号を用いるため)。
- ※ GNSS 機器と建築物の躯体が一体となって変動する箇所に設置することが困難な場合。
- ※ GNSS のシステムトラブル等により、GNSS データの信頼性が十分確保できない場合。
- ※ 大規模な太陽フレアや火山噴火、その他の自然災害等により衛星電波に障害が発生している可能性がある場合。
- ※ 妨害電波等により衛星電波の信頼性が十分確保できない場合。

(加速度計測の条件)

- ※ 加速度計と建築物の躯体が一体となって変動する箇所に設置することが困難な場合。
- ※ システムトラブル等により、通信が十分確保できない場合。
- ※ システムトラブル等により、加速度計間の時刻同期に不具合が生じた場合。

(通信装置の条件)

- ※ 通信局のシステムトラブル等により、通信が十分確保できない場合。
- ※ 大規模な火山噴火や大規模な地震、その他の自然災害等による停電や通信局の故障など、通信障害が発生している場合。
- ※ 妨害電波等により通信の信頼性が十分確保できない場合。

なお、本マニュアルで規定されていない観測システム等を利用する場合には、それぞれの機器及び解析サーバ等の性能や安全性、安定性、冗長性を十分検証し、利用する。

1.3. 用語の定義

(解説)

本マニュアルの運用に関する参考情報は、本マニュアルの中に＜解説＞として記載する。

(観測システム)

GNSS 機器及び加速度計を用いて建築物の長期的な変動の評価及び地震被災後における健全性評価を行うことを目的として構成される、計測機器及び通信機器、解析サーバ、観測データ収集サーバ、観測データ等の閲覧システムを含むシステムを本マニュアルでは観測システムと定義する。

(計測機器)

本観測システムにおいて、建築物の変位及び地震時の建築物の挙動を観測する GNSS 機器及び加速度計を本マニュアルでは計測機器と定義する。

(通信機器)

本観測システムにおいて、計測機器にて計測した計測データを解析サーバに伝送する機器を本マニュアルでは通信機器と定義する。

(計測データ)

本観測システムにおいて、計測機器にて計測したデータを本マニュアルでは計測データと定義する。

(解析データ)

本観測システムにおいて、解析サーバで必要な解析処理等を行った計測データを本マニュアルでは解析データと定義する。

(解析サーバ)

本観測システムにおいて、計測データに対して必要な解析処理等を実施するサーバを本マニュアルでは解析サーバと定義する。

(観測データ収集サーバ)

本観測システムにおいて、解析データを収集し保存するサーバを本マニュアルでは観測データ収集サーバと定義する。

(観測データ等の閲覧システム)

本観測システムにおいて、解析サーバや観測データ収集サーバ等に保存されている観測データを被災判定情報として閲覧するシステムを本マニュアルでは観測データ等の閲覧システムと定義する。

(観測データ等の閲覧システム)

本観測システムにおいて、建設防災協会の SHM サーバ等、建物の被災情報を収集・保管するサーバを本マニュアルでは被災情報収集サーバと定義する。

(基準局)

本観測システムにおいて、建築物の変位及び地震時の地盤挙動の基準として利用する GNSS 機器を設置する位置を「基準点」、基準点に設置する機器を「基準局」と本マニュアルでは定義する。基準局は、建築物の変位及び地震時の地盤挙動の基準であるため、地盤の不動性、地盤の挙動と一体となって GNSS 機器が変動するような固定方法に留意する必要がある。

(地上局)

本観測システムにおいて、建築物の変位及び地震時の地盤挙動の基準として利用する加速度計を設置する位置を「地上点」、基準点に設置する機器を「地上局」と本マニュアルでは定義する。基準局は、建築物の変位及び地震時の地盤挙動の基準であるため、地盤の不動性、地盤の挙動と一体となって加速度計が変動するような固定方法に留意する必要がある。

(観測局)

本観測システムにおいて、建築物の変位及び地震時の建築物の挙動を観測する GNSS 機器及び加速度計を設置する位置を「観測点」、観測点に設置する機器を「観測局」と本マニュアルでは定義する。観測局は、建築物の変位及び地震時の建築物の挙動を観測するため、建築物の挙動と一体となって GNSS 機器及び加速度計が変動するような固定方法に留意する必要がある。

(地上ユニット)

本観測システムにおいて、建築物の変位及び地震時の地盤挙動の基準として利用する GNSS の「基準局」と加速度計の「地上局」が一体となったシステムの総称を「地上ユニット」と本マニュアルでは定義する。

(GNSS 計測)

衛星測位システムは、Global Navigation Satellite System の頭文字から「GNSS」と表記される、測位衛星からの電波信号を用いた航法システムである。

GNSS 計測の測位手法は、観測及び解析手段等により数多くあるが、大別すると単独測位と相

対測位に分類される。単独測位は、4 機以上の測位衛星から送信される衛星の位置や信号送信時刻等の情報を 1 台の受信機で受信することにより観測局の位置を求める手法である。なお、単独測位では、衛星の位置誤差や衛星からの電波の遅延等の影響を受けやすい。一方で、相対測位は、複数の受信機で 4 個以上の測位衛星を同時に観測して受信機間の相対的な位置関係を計測する手法であり、単独測位に比べて高精度に位置を測定できる。相対測位にもいくつか種類があるが、特に測位信号の搬送波位相を利用する干渉測位は高精度測量に利用される。

GNSS 計測のデータは、下記の誤差要因により計測精度が悪化する場合がある。

① 位相の揺らぎや反射波、回折波に伴う誤差

基準点と観測点で計測環境が異なる場合（水蒸気量、電離層の影響、気圧等）や計測点が反射波、回折波を受ける場合、誤差が発生する。一般的には基線長が概ね 1km 以上の場合や高低差が概ね 100m 以上の場合には計測環境の影響による誤差が無視できなくなる。また、衛星と GNSS 受信機間に障害物がある場合には、反射波あるいは回折波といった電波の乱れによって誤差が大きくなる。

② 基線解析上の誤差

干渉測位の場合、4 衛星以上の観測が必要となるが、上空視界が悪く 4 衛星のうちいずれかの衛星で電波受信中に中断する、4 衛星の配置が偏在するなどの場合には、基線解析上で不確かな解が選定される、解が求まらないといった問題が生じる。

③ 衛星の位置座標や受信機時計の誤差

GNSS は衛星配置を基準にして地上の位置を決定するため、衛星配置を表す軌道情報が誤差要因となる。軌道情報は定期的に更新されるが、更新前後で誤差が発生する場合がある。なお、受信機時計誤差は、単独測位の場合には精度に影響を及ぼすが、相対測位の場合は誤差がキャンセルされる。

④ 受信機の設置位置誤差

設置に伴う誤差が生じるが、定点での連続観測の場合は設置箇所を変更しない限り考慮する必要はない。

⑤ 機械誤差

各メーカーの設計思想や製造工程等の違いにより、受信機固有の誤差が生じる。

（RTK 測位）

RTK (Real Time Kinematic) 測位は、短期間で計測が可能な干渉測位の一つであり、3・4 級基準点測量などで利用される。基準局・観測局間の位相差及び基準局の位置情報を用いて、観測局の詳細な位置を即座に決定する。

（スタティック測位）

スタティック測位は、4 級以上の基準点測量などで利用される計測精度の高い干渉測位である。スタティック測位では、複数の受信機で 4 個以上の衛星を 40 分～1 時間程度観測することで、衛

星の時間的位置変化を利用して高精度な位置情報を取得する。

(電子基準点)

国土地理院が管理する測量における基準点。全国約 1,300 ヶ所に設置され GNSS による連続観測を実施している。電子基準点を用いることで、広域な地盤の変動を検証できる。

(加速度計測)

加速度計は、物体の振動または運動の加速度を測定する計測機器である。最も一般的な計測原理としては、バネと重りが一体化した物において外部からの力によって加速度が変化することで移動する重りの変位を測定する。変位の計測には周波数の変化や静電容量の変化、ピエゾ効果による電気抵抗の変化、などを使用した計測機器が存在する。

建築物においては、水平方向に建築物の長辺方向及び短辺方向、垂直方向の 3 方向の加速度を計測することで、建築物周辺での地面の振動や建築物内での生活ノイズ等により発生する微動やねじれを観測することができる。また、建築物の最下階と最上階に加速度計を設置することにより、地震時に建築物に加わる強いゆれや経年劣化によって変化する固有周期、ねじれの特性を測定することができ、さらに、中間階にも加速度計を設置することで、地震発生時の建築物の応答変形や加速度を測定することができる。

建築物の固有周期の微動やねじれは、建築物の剛性や高さ等によってその周期が決まっていることが一般的に知られている。加速度計測では、一般的に 100Hz～200Hz 程度のサンプリング周波数を用いることが多いが、建築物内に設置されるセンサ間の計測タイミングは 0.5 ミリ秒以内の時刻同期精度が推奨されている。

地震時のゆれを解析するためには、地震の揺れの開始と建物の揺れが収まるタイミングを自動的に検出する機能が必要である。地上に設置される加速度計は地震動とノイズ振動を識別する機能、地震の到達タイミング及び揺れが収まるタイミングの自動検出、リアルタイム震度及び計測震度の計算アルゴリズムを実装する事が求められる。また、建物内に設置される加速度計は、加速度を建物の応答変形を測定するために、高い加速度の測定精度と高精度なサンプリングタイミングが求められる。本観測システムは設置された各加速度計から、地震開始及び建物の揺れの終了のタイミングを収集して、GNSS の測情報を含む観測情報を切出す期間を決定する。

なお、加速度計を用いて建築物の変形を測定する際には、加速度から変位への変換処理における補正処理の影響で、残留変形が算出されない場合について留意する必要がある。

1.4. 観測システム稼働に必要となる作業フロー

GNSS 及び加速度計を用いて建築物の地震被災後における健全性評価のため、計測機器を設置する際の標準的な作業は、事前調査、現地調査、観測システム設計、観測システム動作確認、観測システム運用・維持管理から構成される。

解説

GNSS 及び加速度計を用いて建築物の地震被災後における健全性評価のため、観測システム稼働に必要となる標準的な作業フロー図を図 1-1 に示す。

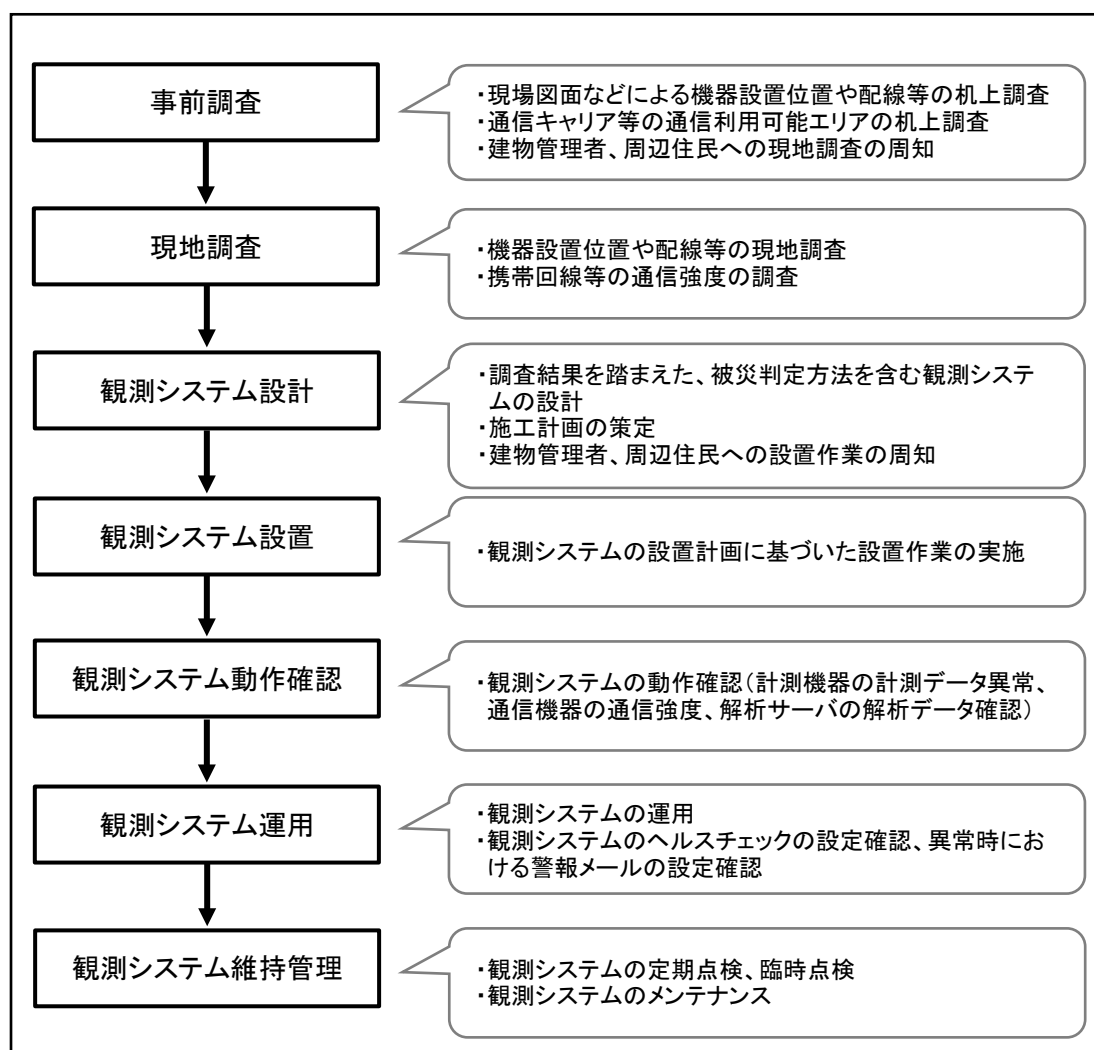


図 1-1 標準的な作業フロー図

【観測システム稼働に必要な標準的な作業フロー】

1. 事前調査

現場図面などによる機器設置位置や配線等の机上調査や通信キャリア等の通信利用可能エリアの机上調査、建物管理者や周辺住民への現地調査の周知を行う。

2. 現地調査

機器設置位置や配線等の現地調査や携帯回線等の通信強度の調査を行う。

3. 観測システム設計

調査結果を踏まえた、被災判定方法を含む観測システムの設計や施工計画の策定、建物管理者、周辺住民への設置作業の周知を行う。

4. 観測システム設置

観測システムの設置計画に基づいた設置作業を行う。

5. 観測システム動作確認

観測システムの動作確認(計測機器の計測データ異常、通信機器の通信強度、解析サーバの解析データ確認等)を行う。

6. 観測システム運用

観測システムの運用、観測システムのヘルスチェックの設定確認、異常時における警報メールの設定確認等を行う。

7. 観測システム維持管理

観測システムの定期点検、臨時点検、メンテナンスを行う。

第2章 観測システムの要件

本観測システムの構成は、現場においてデータを計測する現場計測機器、現場で計測したデータを解析するサーバ、そのサーバにて解析された観測データを収集・保管する観測データ収集サーバ、観測データ及び観測データ等を閲覧するシステムで構成されるものとする。

解説

観測システムを構成する現場計測機器及び解析サーバ、観測データ収集サーバ、観測データ等の閲覧システムは、それぞれ以下の機能を有するものとする。

【現場計測機器】

■GNSSを用いた長期変位計測

- ・常時、GNSS 計測の計測データを解析サーバに伝送する。
 - ※建物の長期変位計測方法として、加速度計による固有振動数の変化を計測する場合には、常時の揺れを計測する加速度計の性能の検証を行う必要があることに留意する。

■GNSSを用いた地震後残留変位計測

- ・地震前後の GNSS 計測の計測データを解析サーバに伝送する。

■加速度計および GNSS を用いた地震時計測

- ・地震の発生と建物の揺れの収束を自動で判断し、計測開始と終了を自動的に決定する。
- ・地震時、加速度計測の計測データ、GNSS 計測の計測データを解析サーバに伝送する。
- ・加速度計、GNSS 計の動作を常時管理し、動作情報を定期的に解析サーバへ伝送する。
 - ※被災判定方法として、「地震前後の建物の固有振動数の変化」を利用する場合と「地震時の建物の変位量」を利用する場合、その他の計測結果を利用する場合において、加速度計に必要な性能が異なることに留意する。

【解析サーバ】

- ・収集した計測データの解析及び誤差処理等を実施し、解析データを作成する。
- ・現地システムからの動作情報の受信状況を管理し、システムやネットワークの正常性を監視する。
- ・現地システムの障害を検出し、解析サーバの管理者へ通知する。
- ・解析データを用いて被災判定を実施し、被災情報収集サーバに被災判定結果を伝送する。
- ・観測データ収集サーバに解析データを伝送する。

【観測データ収集サーバ】

- ・解析データを収集し、受信時刻とともにデータベースに保存する。

【被災情報収集サーバ】

- ・(一財)日本建築防災協会が運用する OQ サーバ等を指し、建物管理者が契約して接続する。
- ・建物毎に定期的な死活確認データを受信し、建物観測の正常性を相互確認する。
- ・地震が発生して一定以上の揺れが検出された建物から被災度判定結果を受信する。
- ・建物から受信した被災度判定結果を地震群ごとにグルーピング管理し、適時レポートを作成する。
- ・収集された被災度判定結果を管理者等に提供する。

【観測データ等の閲覧システム】

■GNSS を用いた長期変位計測

- ・長期変位計測の観測データを表示する。
- ・データ更新頻度は、1時間以下を標準とする。

■GNSS を用いた地震後残留変位計測

- ・地震発生後に、残留変位計測の観測データを表示する。
- ・データ更新は、地震発生後 1 日以内を標準とする。

■加速度計および GNSS を用いた地震時計測

- ・地震発生中の地上及び建物で観測された加速度計観測データ及び相対的変位観測データを表示する。
- ・データ更新は、地震発生後 1 時間以内を標準とする。

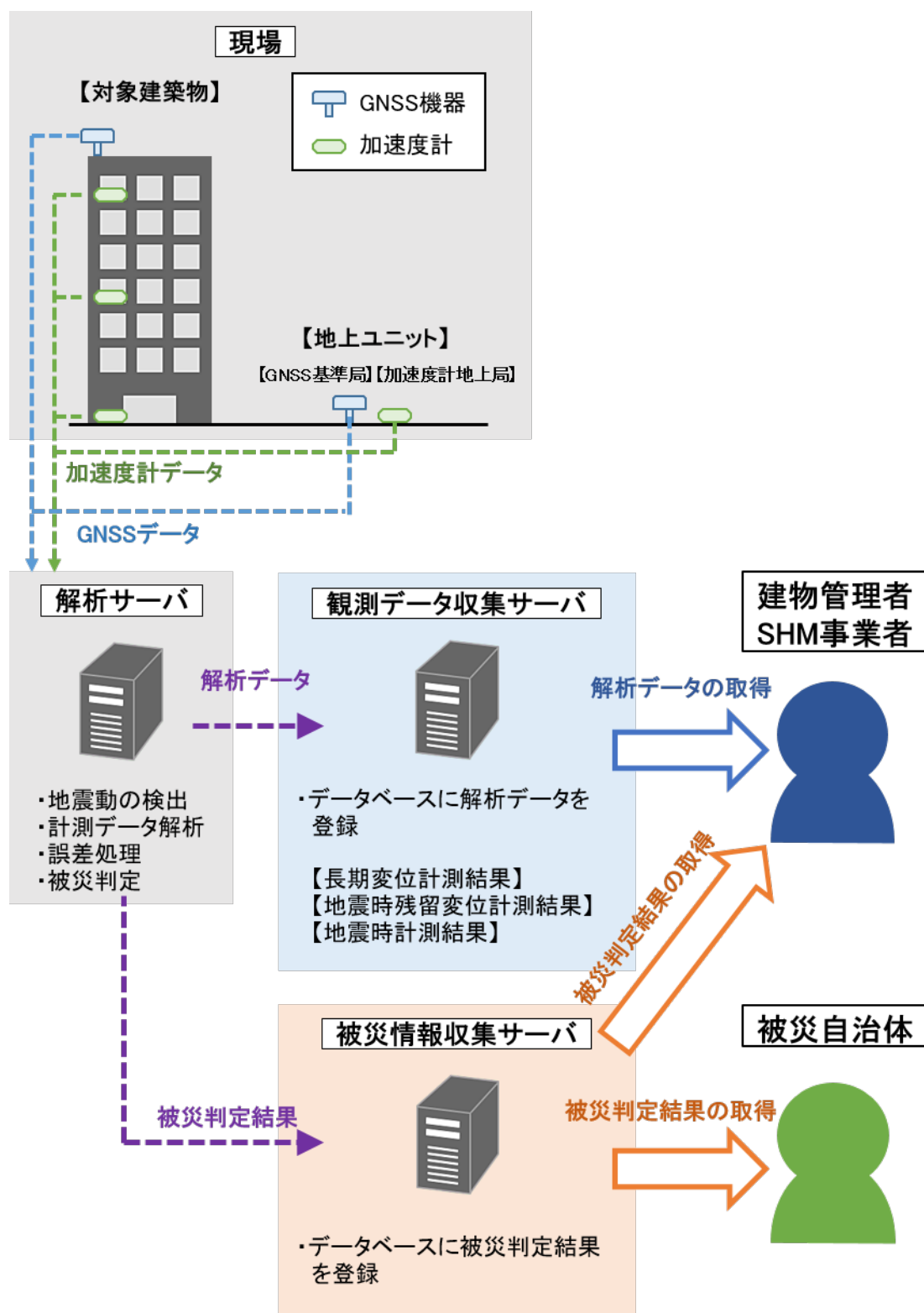


図 2-1 建築物の被災判定等に関する GNSS センサ・加速度センサを用いた観測システム

2.1. 概説

2.1.1. 構造ヘルスモニタリングシステム(SHM)

令和 3 年(2021 年)に「構造モニタリングシステムの判定手法を活用した応急危険度判定」の方法が「被災建築物応急危険度判定マニュアル」(参考:<https://www.kenchiku-bosai.or.jp/>)に追記された。従来は適用範囲外であった 10 階程度以上の高層建築物や大スパン構造等についても、部分的に応急危険度判定を実施でき、この判定手法を「構造ヘルスモニタリング技術(SHM)」という。SHM の判定手法を活用した上で、「KA」(構造躯体に関する危険度:A ランク)と判定された建築物においては、構造躯体部分の被災程度は小さいと考えられ、落下物など構造躯体部分以外の要因による危険性がないことが別途確認できれば、使用可能と判断できる。

2.1.2. 建築物の揺れと計測手法

建築物は、地上及び建築物内で常時微振動が発生している。また、地震が発生した際には、地上より大きな振動が加わり建築物の水平剛性に変化が発生する場合がある。

建築物の健全性を評価するために、対象建築物の複数の階に計測機器を設置し、常時の揺れ及び地震発生時の揺れを観測することで、建築物固有の水平剛性の変化を計測する手法がある。計測機器は、微少な揺れや建物が保有する振動数成分の揺れの測定が可能な加速度計や速度計、また、大きな変形及び残留変形を伴う揺れ、長期的な変位の測定が可能な GNSS 計測機器等が用いられる。これらはいずれも振動実験等により計測精度が明らかになっているものを用いる必要がある。

2.1.3. GNSS を用いた長期変位計測

建築物に設置した GNSS 機器による計測を常時実施し、長期的な変位計測結果を評価することにより、経年劣化等の影響を含む建築物及び敷地地盤の健全性を評価する。また、基準局の GNSS 機器による計測を常時実施し、近傍の電子基準点等の補正情報を利用した基線解析により、基準局の地盤の長期的な安定性を評価する。

2.1.4. GNSS を用いた地震後残留変位計測

建築物に設置した GNSS による計測を地震発生前後で実施し、計測結果から地震発生前後の建築物における残留変位を評価することにより、地震後の建築物の健全性を評価する。

2.1.5. 加速度計および GNSS を用いた地震時計測

建築物に設置した GNSS 及び加速度計による計測を常時実施して地震の発生と建物のゆれの収束を自動で判断し、地震発生時の揺れを解析して建築物の損傷による揺れの変化(変位や固有振動数等)を計測する事により、地震後の建築物の健全性を評価する。

2.2. GNSS 機器の概要

2.2.1. GNSS 機器の仕様

本観測システムで使用する GNSS 機器は、運用体制、観測機器・設備、技術基準、データ整理・保管、データ形式等に応じて、適切な構成を選択するものとする。

解説

本観測システムで使用する GNSS 機器の仕様は、下記に示す表 2-1、表 2-2 に準拠するものとする。

表 2-1 GNSS 機器の仕様(1/2)

項目	定めるべき事項	基準・仕様
1. 運用体制	(1)対象機関	建築物の管理者
	(2)対象分野	建築物
	(3)測定対象	建築物の変位
	(4)観測データ	GNSS 計測データ
	(5)公開	建築物の管理者及び関係者への限定公開を原則とする
2. 観測機器・設備	(1)共通	
	・耐久性、耐湿性	防水性能 IPX5 相当以上
	・耐雷性	耐雷性能を搭載すること
	・動作温度	計測環境に適した範囲で正常に動作すること
	(2)GNSS アンテナ・受信機	
	・測位方法	干渉測位(RTK 測位、スタティック測位等)に対応
	・受信信号	1周波数帯(L1 帯)以上
	・使用衛星	GPS/QZSS/Galileo/BeiDou/GLONASS 等
	・GNSS データ取得周期	10Hz 以上 (長期変位計測及び地震後残留変位計測については、10Hz～1 時間)
	・外部データベース	1 年分以上のデータ保存が可能な容量
	・センサ間通信機器	正常にデータ伝送できることを確認
	・解析率 ^{※1}	70%以上を推奨 ^{※2}
	・FIX 率 ^{※3}	90%以上を推奨 ^{※4} (RTK 測位の場合)
	(3)電源等	
	・電源装置	商用電源(AC100V)、もしくはソーラー発電システム

表 2-2 GNSS 機器の仕様 (2/2)

項目	定めるべき事項	基準・仕様
3. サーバ環境等	解析処理、データ伝送	以下の処理をセンサもしくはサーバで自動的に実行する環境とする ①基線解析 ②局地座標系への変換 ③誤差評価処理(母集団移動平均法等)の適用
	計測精度 (GNSS を用いた長期変位計測 及び GNSS を用いた地震時変位 計測の場合)	観測点間の距離から算出される「建物の熱膨張による変位量」の10分の1程度の変位を検出することができる精度を確保する 計測精度は、強制変位実験等により検証を行う
4. 技術基準	点検の方法	年に1回程度、定期点検を実施して、アンテナやアンテナ固定治具、ケーブル接続部、ソーラーパネル、バッテリーが劣化により破損していないことを確認する
5. データ整理・管理	(1)データ保存の考え方	内部メモリ、もしくは外部データベース上で一定期間保存する
	(2)データ照査	原則として事後照査を実施しないものとするが、解析結果が不安定な場合等には必要に応じて検証を実施する
6. データ形式	有すべき情報	特記仕様書に定める送信データ形式にて外部サーバに伝送する

※1 GNSS 計測における解析率は、その値が高いほど計測点数が多い(欠測が少ない)ことを示す。

$$\text{解析率}(\%) = \text{取得点数} / \text{全点数} \times 100$$

例) 1 秒間隔で 1 時間計測し、2880 点取得した場合

$$\text{取得点数: } 1 \text{ 秒} \times 3600 \text{ 秒 (1 時間)} = 3600 \text{ 点}$$

$$\text{解析率}(\%) = 2880 \text{ 点} / 3600 \text{ 点} \times 100 = 80\%$$

※2 GNSS 計測における解析率は、70%以上を推奨する。ただし、70%未満の場合においても、データの標準偏差や強制的に変位を発生させることによる検出精度の実証実験などを実施し、計測精度の仕様を満たす場合は、利用を可能とする。

※3 GNSS 計測における Fix 解は、高精度に位置を測定できた場合(数 mm～20mm 程度)に得られる解を示しており、一方で精度が悪い場合(数 10cm～数 m)は Float 解が得られ、干渉測位が実施できていない場合は単独測位状態の解(数 m～数 10m)が得られる。そのため、Fix 率が高いほど高精度に計測できていることを示す。

$$\text{Fix 率} = \text{Fix 解の点数} / \text{解析解の点数} \times 100$$

例) 1 秒間隔で 1 時間計測し、解析解の点数 2880 点のうち 2592 点が Fix 解であった場合

(残りの 288 点は単独測位もしくは Float 解)

$$\text{Fix 率} = 2592 \text{ 点} / 2880 \text{ 点} \times 100 = 90\%$$

※4 GNSS 計測における Fix 率は、90%以上を推奨する。ただし、90%未満の場合においても、データの標準偏差や強制的に変位を発生させることによる検出精度の実証実験などを実施し、計測精度の仕様を満たす場合は、利用を可能とする。

2.2.2. GNSS 機器の種類と特徴

GNSS 機器は、それぞれの目的に適する型式を選択するものとする。

解説

本マニュアルで対象とする GNSS 機器の型式は、電源方式、通信方式により分類される。

■ 電源方式ごとの適性・制約条件

- ✓ AC 電源方式
- ✓ ソーラー発電方式

■ 通信方式ごとの適性・制約条件

- ✓ 無線通信方式
- ✓ 有線通信方式

(1) 電源方式ごとの適性・制約条件

表 2-3 GNSS 機器の電源方式ごとの適性・制約条件

項目		AC 電源方式	ソーラー発電方式
概要		・商用電源(AC100V 等)より、機器への電源供給を行う	・ソーラーパネルによる発電と蓄電池の組み合わせにて、機器への電源供給を行う
容量基準		-	・無日照 5 日間でも観測が可能な蓄電池容量を有する
特性	安定性	・商用電源からの電源供給がある間は電源が切れることはない ・商用電源が建物の定期保守点検や発災時の電力障害により停電が発生する場合があるため、UPS にて停電後も3時間程度は動作する事が求められる	・容量基準を超えた場合、日照条件が悪い等の悪条件下では電源が切れる場合がある
	現場適用性	・電源ケーブルの敷設が必要 ・電源ケーブル敷設距離が長い場合には、電圧降下に注意	・ソーラーパネルの設置及び日当たりの確保が必要
	耐環境性	・電源ケーブルの劣化による破損により、電源供給が途絶える可能性がある	・ソーラーパネルの汚れや着雪により、発電量が減少する ・低温環境下での蓄電池能力低下 ※耐低温性電池は除く ・樹木等による日照の遮断により発電量が減少する
	保守維持管理	・UPS を利用する場合には、定期的な交換が必要(交換時期はメーカーの保証期間に準ずる)	・蓄電池の交換が必要(交換時期はメーカーの保証期間に準ずる)

表 2-4 GNSS 機器の制約条件と適切な電源方式

項目	適切な電源方式
商用電源の利用が可能かつ電源ケーブル敷設が可能な場合	AC 電源方式
距離や障害物等の条件により、電源ケーブルの敷設が困難な場合	ソーラー発電方式
日照の確保が困難な場合	AC 電源方式

【AC 電源方式採用時の UPS の考え方】

AC 電源採用時における UPS の選定において、商用電源 (AC100V)、安定した電源供給が可能であること、停電時に 3 時間以上電源供給が可能であることに留意する。

【ソーラー発電方式採用時のソーラーパネルおよびバッテリーの考え方】

ソーラー発電方式では、計測機器及び通信機器の消費電力を考慮したソーラーパネル、チャージコントローラー、バッテリーから構成されるソーラー発電システムを構築する必要がある。参考として、ソーラーパネル及びバッテリーの選定時の計算方法を以下に示す。

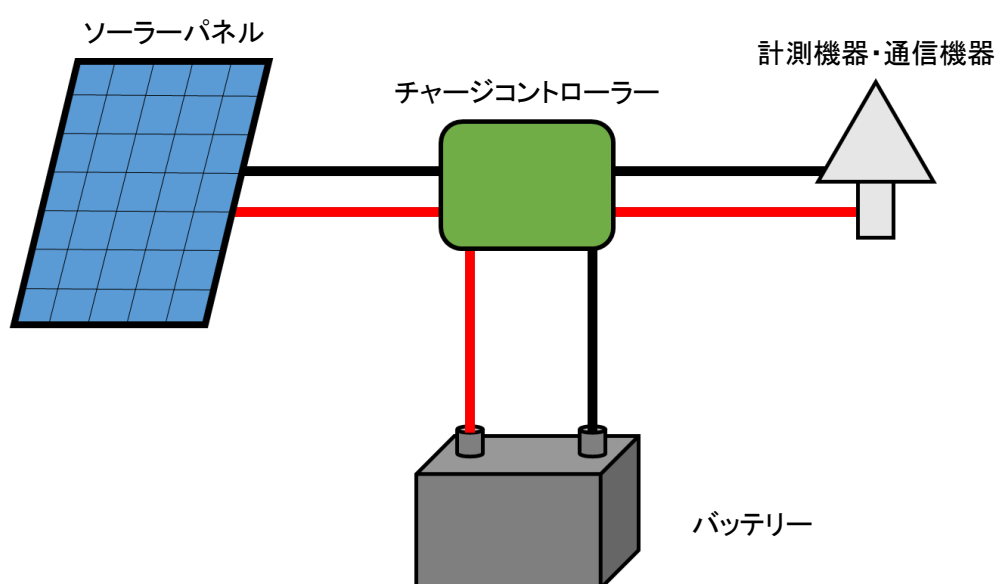


図 2-2 ソーラー発電方式の接続イメージ図

- ソーラーパネル
ソーラーパネルは太陽光を受けることにより発電し、直流 (DC: Direct Current) の電気を発生する。
- バッテリー
ソーラーパネルは電気を蓄える機能を持たないため、安定した電源供給のためにバッテリーに蓄えた電力を使う。
- チャージコントローラー
バッテリーには蓄えられる電力容量に限界があり、限界を超えてバッテリーに電気を送ると、使用寿命を縮めるばかりではなく、バッテリー自体が破損する恐れがある。チャージコントローラー (充放電コントローラー) はバッテリーの電圧を監視し、満充電時には遮断、充電不足には接続といった動作を自動的に行う。

■ ソーラーパネルの選定

▶ ソーラーパネルの必要電流 (A)

$$1 \text{ 日当たりの必要発電電流量 (Ah/日)} = \frac{1 \text{ 日の消費電流量 (Ah/日)}}{\text{出力補正係数} \times \text{バッテリー充放電損失補正係数}}$$

出力補正係数: 気象、パネルの汚れ・経年変化による補正 = 0.85

バッテリー充放電損失補正係数: バッテリーの充放電効率による補正 = 0.95

$$\text{ソーラーパネルの必要電流 (A)} = \frac{1 \text{ 日当たりの必要発電電流量 (Ah/日)}}{1 \text{ 日当たりの平均日照時間 (h/日)}}$$

▶ ソーラーパネルの最大出力動作電圧 (V)

ソーラーパネルの最大出力動作電圧 (V)

$$= \text{バッテリー公称電圧} \times \text{満充電係数} + \text{ダイオード電圧降下}$$

ソーラーパネルの最大出力動作電圧 (V): ソーラーパネルが最も効率的に動作するときの電圧

■ バッテリーの選定

$$\text{バッテリー容量 (Ah)} = \frac{1 \text{ 日の消費電流量 (Ah/日)} \times \text{連続無日照保証日数 (日)}}{\text{バッテリーの保守率}}$$

連続無日照保証日数 (日): ソーラーパネルの発電が無い状態で使用する日数

バッテリーの保守率: 充放電時の発熱などによる損失を考慮した補正係数 = 0.8 (鉛蓄電池の場合)

※ 連続無日照保証日数 (日) は、機器を設置した地域における連続無日照期間等の日照条件を考慮して設定する。通常は 3～5 日で設定する場合が多い。

■ チャージコントローラーの選定

$$\text{ソーラーパネル入力電流 (A)} = \frac{\text{ソーラーパネルの短絡電流 (A)}}{\text{保守率}}$$

$$\text{負荷電流 (A)} = \frac{\text{計測機器及び通信機器の最大出力 (W)}}{\text{システム電圧 (V)} \times \text{保守率}}$$

システム電圧: 計測機器及び通信機器で必要とする電圧

※ 保守率(0.85)は、安全を考慮して設定しているが必須ではないことに留意する。

(2) 通信方式ごとの適性・制約条件

表 2-5 GNSS 機器の通信方式ごとの適性・制約条件

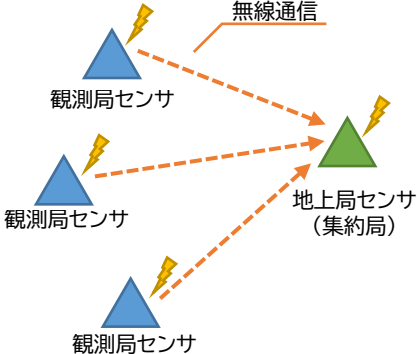
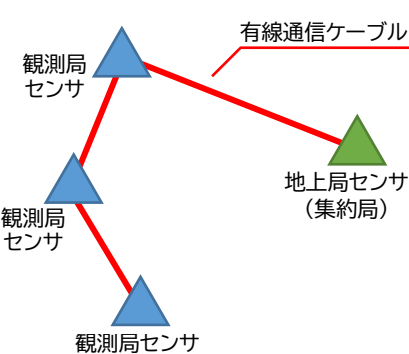
項目		無線通信方式	有線通信方式
概要		・無線通信により、センサ間のデータ送受信を行う	・有線通信ケーブルを各機器に接続することにより、センサ間のデータ送受信を行う
構成			
特性	安定性	・センサ間の距離、遮蔽物の状況によっては、通信が不安定になる場合がある	・通信ケーブルの断線が無い限り、安定して通信が可能
	現場適用性	・センサ間で無線通信が可能な環境(センサ間に遮蔽物が無い等)	・通信ケーブルの敷設が必要 ・センサ間の距離が長い場合
	耐環境性	・樹木等によりセンサ間の通信強度が低下し、通信が不安定になる可能性がある	・通信ケーブルの劣化による破損により、通信が途絶える可能性がある
	保守 維持管理	・無線アンテナ周辺及びセンサ間の樹木の植生変化を定期的に確認	・通信ケーブルの破損等が無いことを定期的に確認

表 2-6 GNSS 機器の制約条件と適切な通信方式

項目	適切な通信方式
有線ケーブルの敷設が可能な場合	無線通信方式、有線通信方式
距離や障害物等の条件により、有線ケーブルの敷設が困難な場合	無線通信方式
距離や障害物等の条件により、無線通信の通信強度確保が困難な場合	有線通信方式

(3) 機器仕様の確認時の留意点

上記の型式以外にも各機器による様々な特性を持っているため、最終的なシステムの選定には機器カタログが参考となる。カタログ機器仕様の確認時の留意点を表 2-7 に示す。

表 2-7 機器仕様の確認時の留意点

仕様項目		仕様例	留意点
共通			
	温度条件	計測環境に適した範囲で正常に動作すること	・設置箇所の温度条件に適合しているか ・記載の温度条件は、機器のどの部分に適用されるか
	防水・防塵対応	IPX5 相当	・設置箇所の環境に適合しているか
	耐雷性	耐雷性能を搭載すること	・具体的にどのような方法により避雷するか
GNSS 部			
	測位方法	干渉測位 (RTK 法、スタティック法等) に対応	・計測目的に適合しているか
	受信信号	1 周波数帯 (L1 帯) 以上	・計測目的に適合しているか
	使用衛星	GPS/QZSS/Galileo/BeiDou/GLONASS 等	・計測目的、計測環境に適合しているか ・適切な衛星信号を受信できるか
	GNSS データ取得周期	10Hz 以上※ ※長期変位計測及び地震後残留変位計測については、10Hz～1 時間で適用可能	・計測目的に適合しているか
	内部メモリ 外部データベース	1 年分のデータ保存が可能な容量	・計測目的に適合しているか ・一定期間、適切にデータ保存できるか
電源部			
	AC 電源方式	AC100V	・設置箇所の環境に適合しているか
	ソーラー発電方式	5 日間無日照	・設置箇所の環境に適合しているか ・バッテリーの交換時期を確認する
センサ間通信部			
	無線通信方式	920MHz 帯の無線通信 通信可能距離 2km	・設置箇所の環境に適合しているか ・安定性は確保できるか ・周辺環境への影響はないか
	有線通信方式	同軸ケーブル、LAN ケーブル等を使用した有線通信	・設置箇所の環境に適合しているか ・安定性は確保できるか ・周辺環境への影響はないか

2.3. 加速度計の概要

2.3.1. 加速度計の仕様

本観測システムで使用する加速度計は、運用体制、観測機器・設備、技術基準、データ整理・保管、データ形式等に応じて、適切な構成を選択するものとする。

解説

本観測システムで使用する加速度計の仕様は、下記に示す表 2-8、表 2-9 に準拠するものとする。

表 2-8 加速度計の仕様(1/2)

項目	定めるべき事項	基準・仕様
1. 運用体制	(1)対象機関	建築物の管理者
	(2)対象分野	建築物
	(3)測定対象	建築物の加速度
	(4)観測データ	加速度計計測データ
	(5)公開	建築物の管理者及び関係者への限定公開を原則とする
2. 観測機器・設備	(1)共通	
	・耐久性、耐湿性	(屋内設置の場合)防滴仕様 (屋外設置の場合)防水性能 IPX5 相当以上
	・耐雷性	耐雷性能を搭載すること
	・記録成分数	3 成分(直交する水平 2 成分、鉛直 1 成分)
	・動作温度	計測環境に適した範囲で正常に動作すること
	(2)加速度計	
	・記録方式	デジタル
	・記録成分数	3 成分(直交する水平 2 成分と鉛直 1 成分)
	・計測範囲	±2G 以上(1G=980gal)
	・A/D 変換器	20bit 以上 軸間同期誤差 250 μ秒以内
	・検出感度	ダイナミックレンジ:85dB 以上(ノイズレベル 0.1gal とした場合) 非直線性:0.1%FS 以内 多軸感度:1%以内
	・サンプリング周波数	100Hz 以上
	・外部データベース	1 年以上のデータ保存が可能な容量
	・時刻同期精度	GPS を用いた時刻同期精度が 0.5 μ秒以内
	・センサ間通信機器	・正常にデータ伝送できることを確認

表 2-9 加速度計の仕様(2/2)

項目	定めるべき事項	基準・仕様
2. 観測機器・設備	(3)電源等	
	・電源装置	商用電源(AC100V)、安定した電源供給が可能であること
3. サーバ環境等	解析処理、データ伝送	以下の処理をセンサもしくはサーバで自動的に実行する環境とする ①地震動検出 ②震度計算 ③固有周期計測 ④減衰定数算出 ⑤観測データを収集するサーバへの伝送
4. 技術基準	点検の方法	年に 1 回程度、定期点検を実施して、加速度計の固定治具、ケーブル接続部が劣化により破損していないことを確認する
5. データ整理・管理	(1)データ保存の考え方	内部メモリ、もしくは外部データベース上で一定期間保存する
	(2)データ照査	原則として事後照査を実施しないものとするが、観測結果が不安定な場合等には必要に応じて検証を実施する
6. データ形式	有すべき情報	特記仕様書に定める送信データ形式にて外部サーバに伝送する

【AC 電源方式採用時の UPS の考え方】

AC 電源採用時における UPS の選定において、商用電源(AC100V)、安定した電源供給が可能であること、停電時に 3 時間以上電源供給が可能であることに留意する。

2.3.2. 加速度計の種類と特徴

加速度計は、それぞれの目的に適する型式、形態を選択するものとする。

解説

本マニュアルで対象とする加速度計の型式は、防水仕様、通信方式により分類される。

■ 防水仕様ごとの適性・制約条件

- ✓ 防水対応仕様
- ✓ 防水非対応仕様

■ 通信方式ごとの適性・制約条件

- ✓ 無線接続方式
- ✓ 有線接続方式

(1) 防水仕様ごとの適性・制約条件

表 2-10 防水仕様ごとの適性・制約条件

項目		防水対応仕様	防水非対応仕様
概要		・屋外設置または湿度の高い環境において、安定的に観測を実施するため、防水対応とする	・屋内設置において、安定的に観測を実施するため、防滴・防塵仕様とする（防水性能を必要としない）。
特性	防水性能	・IPX5 相当以上	・防滴・防塵仕様とする（IPX5 相当の防水性能を必要としない）
	現場適用性	・防水仕様のカバー等が必要となる	・防水対応に比べ、設置が簡易
	耐環境性	・風雨や紫外線等により、防水仕様のカバー等が劣化し、防水性能が低下する可能性がある	・紫外線等により、カバー等が劣化し、防滴防塵性能が低下する可能性がある
	保守 維持管理	・破損や錆びなど、防水性能の低下の兆候が無い確認	・カバー等の破損など、防滴防塵性能が低下の兆候が無い確認
適用		・屋外設置または湿度の高い環境での設置	・湿度が低く安定している室内での設置

表 2-11 加速度計の制約条件と適切な防水仕様

項目	適切な防水仕様
屋外設置または湿度の高い環境の場合	防水対応仕様
湿度が低く安定している室内での設置	防水対応仕様、防水非対応仕様

(2) 通信方式ごとの適性・制約条件

表 2-12 通信方式ごとの適性・制約条件

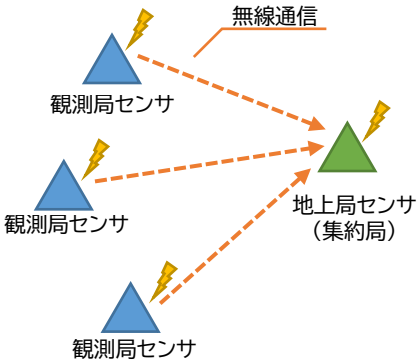
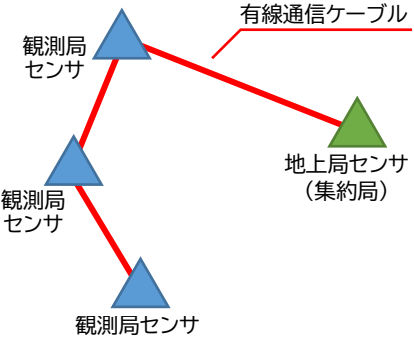
項目		無線接続方式	有線接続方式
概要		・無線通信により、センサ間のデータ送受信を行う	・有線通信ケーブルを各機器に接続することにより、センサ間のデータ送受信を行う
構成			
特性	安定性	・センサ間の距離、遮蔽物の状況によっては、通信が不安定になる場合がある	・通信ケーブルの断線が無い限り、安定して通信が可能
	現場適用性	・センサ間で無線通信が可能な環境(センサ間に遮蔽物が無い等)	・通信ケーブルの敷設が必要 ・センサ間の距離が長い場合
	耐環境性	・樹木等によりセンサ間の通信強度が低下し、通信が不安定になる可能性がある	・通信ケーブルの劣化による破損により、通信が途絶える可能性がある
	保守 維持管理	・無線アンテナ周辺及びセンサ間の樹木の植生変化を定期的に確認	・通信ケーブルの破損等が無いことを定期的に確認

表 2-13 加速度計の制約条件と適切な通信方式

項目	適切な通信方式
有線ケーブルの敷設が可能な場合	無線通信方式、有線通信方式
距離や障害物等の条件により、有線ケーブルの敷設が困難な場合、かつ通信遅延が時刻同期に支障が出ない範囲の場合(0.5 μ秒以内)	無線通信方式
距離や障害物等の条件により、無線通信の通信強度確保が困難な場合	有線通信方式
通信遅延が時刻同期に支障が出る場合(0.5 μ秒以内)	有線通信方式

(3) 機器仕様の確認時の留意点

上記の型式以外にも各機器による様々な特性を持っているため、最終的なシステムの選定には機器カタログが参考となる。カタログ機器仕様の確認時の留意点を表 2-14 に示す。

表 2-14 機器仕様の確認時の留意点

仕様項目		仕様例	留意点
共通			
	温度条件	計測環境に適した範囲で正常に動作すること	・設置箇所の温度条件に適応しているか ・記載の温度条件は、機器のどの部分に適用されるか
	耐久性、耐湿性	(屋内設置の場合)防滴仕様 (屋外設置の場合)防水性能 IPX6 相当以上	・設置箇所の環境に適応しているか
	耐雷性	耐雷トランス及び漏電遮断器による	・具体的にどのような方法により避雷するか
加速度センサ部			
	・記録成分数	3 成分(直交する水平 2 成分、鉛直 1 成分)	・計測目的に適応しているか
	・検出範囲	±4G	・震度 7 クラスの揺れを測定可能か
	・検出感度	250 μ g	・変位測定誤差が計測目的に適応しているか
	内部メモリ 外部データベース	1 か月分のデータ保存が可能な容量	・計測目的に適応しているか ・一定期間、適切にデータ保存できるか
センサ間通信部			
	無線通信方式	920MHz 帯の無線通信 通信可能距離 2km	・設置箇所の環境に適応しているか ・安定性は確保できるか ・周辺環境への影響はないか
	有線通信方式	同軸ケーブル、LANケーブル等を使用した有線通信	・設置箇所の環境に適応しているか ・安定性は確保できるか ・周辺環境への影響はないか
電源部			
	・電源装置	商用電源(AC100V)、安定した電源供給が可能であること 停電時に 3 時間以上電源供給が可能であること	・計測目的に適応しているか ・安定した電源供給が可能か

2.4. 通信機器の概要

2.4.1. 通信機器の仕様

本観測システムでは、迅速な被災判定や日常のヘルスチェックを実施するため通信機器を導入する。使用する通信機器は、運用体制、観測機器・設備、技術基準、データ整理・保管、データ形式等に応じて、適切な構成を選択するものとする。

解説

本観測システムで使用する通信機器の仕様は、下記に示す表 2-15 に準拠するものとする。

表 2-15 通信機器の仕様

項目	定めるべき事項	基準・仕様
1. 通信機器・設備	(1)共通	
	・耐久性、耐湿性	〈屋内設置の場合〉防滴仕様 〈屋外設置の場合〉防水性能 IPX5 相当以上
	・耐雷性	耐雷性能を搭載すること
	・動作温度	計測環境に適した範囲で正常に動作すること
	(2)通信機器	
	・通信回線	設置位置が安定的にデータ通信可能な回線の回線エリア内であること
	・通信速度	遅延・欠測などが生じることなく、安定的にデータ通信が可能な速度であること
	(3)電源等	
	・電源装置	商用電源(AC100V)、安定した電源供給が可能であること
2. 技術基準	点検の方法	年に 1 回程度、定期点検を実施して、通信用アンテナ、通信アンテナの固定部分、ケーブル接続部が劣化により破損していないことを確認する
3. データ形式	有すべき情報	特記仕様書に定める送信データ形式にて外部サーバに伝送する

2.4.2. 通信機器の種類と特徴

通信機器は、それぞれの目的に適する型式、形態を選択するものとする。

解説

本マニュアルで対象とする通信機器の型式は、電源方式、防水仕様により分類される。

■ 電源方式ごとの適性・制約条件

- ✓ AC 電源方式
- ✓ ソーラー発電方式

■ 防水仕様ごとの適性・制約条件

- ✓ 防水対応仕様
- ✓ 防水非対応仕様

(1) 電源方式ごとの適性・制約条件

表 2-16 GNSS 機器の電源方式ごとの適性・制約条件

項目		AC 電源方式	ソーラー発電方式
概要		・商用電源(AC100V 等)より、機器への電源供給を行う	・ソーラーパネルによる発電と蓄電池の組み合わせにて、機器への電源供給を行う
容量基準		-	・無日照 5 日間でも観測が可能な蓄電池容量を有する
特性	安定性	・商用電源からの電源供給がある間は電源が切れることはない ・商用電源が建物の定期保守点検や発災時の電力障害により停電が発生する場合があるため、UPS にて停電後も 3 時間程度は動作する事が求められる	・容量基準を超えた場合、日照条件が悪い等の悪条件下では電源が切れる場合がある
	現場適用性	・電源ケーブルの敷設が必要 ・電源ケーブル敷設距離が長い場合には、電圧降下に注意	・ソーラーパネルの設置及び日当たりの確保が必要
	耐環境性	・電源ケーブルの劣化による破損により、電源供給が途絶える可能性がある	・ソーラーパネルの汚れや着雪により、発電量が減少する ・低温環境下での蓄電池能力低下 ※耐低温性電池は除く ・樹木等による日照の遮断により発電量が減少する
	保守維持管理	・UPS を利用する場合には、定期的な交換が必要(交換時期はメーカーの保証期間に準ずる)	・蓄電池の交換が必要(交換時期はメーカーの保証期間に準ずる)

表 2-17 GNSS 機器の制約条件と適切な電源方式

項目	適切な電源方式
商用電源の利用が可能かつ電源ケーブル敷設が可能な場合	AC 電源方式
距離や障害物等の条件により、電源ケーブルの敷設が困難な場合	ソーラー発電方式
日照の確保が困難な場合	AC 電源方式

【AC 電源方式採用時の UPS の考え方】

AC 電源採用時における UPS の選定において、商用電源 (AC100V)、安定した電源供給が可能であること、停電時に 3 時間以上電源供給が可能であることに留意する。

【ソーラー発電方式採用時のソーラーパネルおよびバッテリーの考え方】

ソーラー発電方式では、計測機器及び通信機器の消費電力を考慮したソーラーパネル、チャージコントローラー、バッテリーから構成されるソーラー発電システムを構築する必要がある。参考として、ソーラーパネル及びバッテリーの選定時の計算方法を以下に示す。

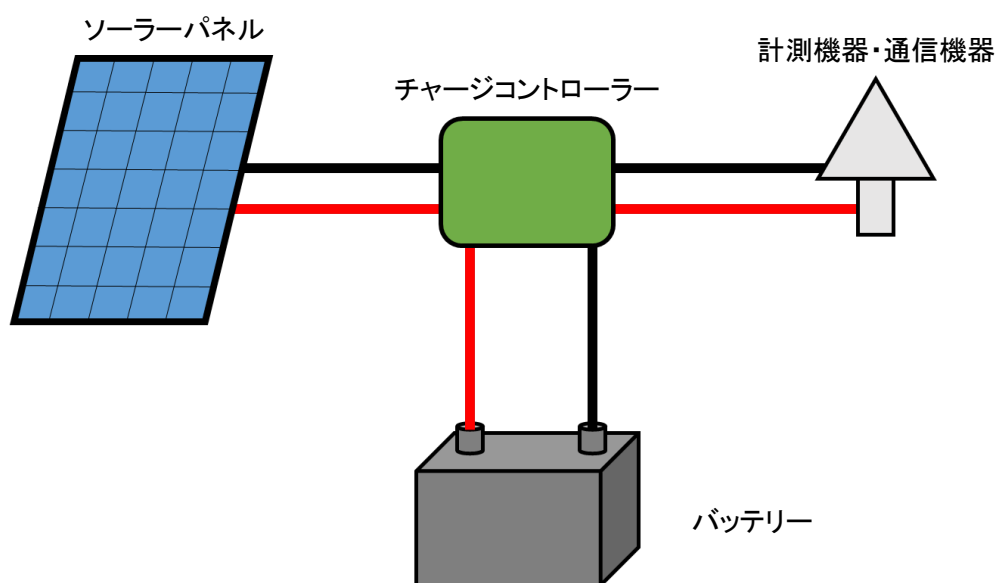


図 2-3 ソーラー発電方式の接続イメージ図

- ソーラーパネル
ソーラーパネルは太陽光を受けることにより発電し、直流 (DC: Direct Current) の電気を発生する。
- バッテリー
ソーラーパネルは電気を蓄える機能を持たないため、安定した電源供給のためにバッテリーに蓄えた電力を使う。
- チャージコントローラー
バッテリーには蓄えられる電力容量に限界があり、限界を超えてバッテリーに電気を送ると、使用寿命を縮めるばかりではなく、バッテリー自体が破損する恐れがある。チャージコントローラー (充放電コントローラー) はバッテリーの電圧を監視し、満充電時には遮断、充電不足には接続といった動作を自動的に行う。

■ ソーラーパネルの選定

▶ ソーラーパネルの必要電流 (A)

$$1 \text{ 日当たりの必要発電電流量 (Ah/日)} = \frac{1 \text{ 日の消費電流量 (Ah/日)}}{\text{出力補正係数} \times \text{バッテリー充放電損失補正係数}}$$

出力補正係数: 気象、パネルの汚れ・経年変化による補正 = 0.85

バッテリー充放電損失補正係数: バッテリーの充放電効率による補正 = 0.95

$$\text{ソーラーパネルの必要電流 (A)} = \frac{1 \text{ 日当たりの必要発電電流量 (Ah/日)}}{1 \text{ 日当たりの平均日照時間 (h/日)}}$$

▶ ソーラーパネルの最大出力動作電圧 (V)

ソーラーパネルの最大出力動作電圧 (V)

$$= \text{バッテリー公称電圧} \times \text{満充電係数} + \text{ダイオード電圧降下}$$

ソーラーパネルの最大出力動作電圧 (V): ソーラーパネルが最も効率的に動作するときの電圧

■ バッテリーの選定

$$\text{バッテリー容量 (Ah)} = \frac{1 \text{ 日の消費電流量 (Ah/日)} \times \text{連続無日照保証日数 (日)}}{\text{バッテリーの保守率}}$$

連続無日照保証日数 (日): ソーラーパネルの発電が無い状態で使用する日数

バッテリーの保守率: 充放電時の発熱などによる損失を考慮した補正係数 = 0.8 (鉛蓄電池の場合)

※ 連続無日照保証日数 (日) は、機器を設置した地域における連続無日照期間等の日照条件を考慮して設定する。通常は 3～5 日で設定する場合が多い。

■ チャージコントローラーの選定

$$\text{ソーラーパネル入力電流 (A)} = \frac{\text{ソーラーパネルの短絡電流 (A)}}{\text{保守率}}$$

$$\text{負荷電流 (A)} = \frac{\text{計測機器及び通信機器の最大出力 (W)}}{\text{システム電圧 (V)} \times \text{保守率}}$$

システム電圧: 計測機器及び通信機器で必要とする電圧

※ 保守率(0.85)は、安全を考慮して設定しているが必須ではないことに留意する。

(2) 防水仕様ごとの適性・制約条件

表 2-18 防水仕様ごとの適性・制約条件

項目		防水対応仕様	防水非対応仕様
概要		・屋外設置または湿度の高い環境において、安定的に観測を実施するため、防水対応とする	・屋内設置において、安定的に観測を実施するため、防滴・防塵仕様とする（防水性能を必要としない）。
特性	防水性能	・IPX5 相当以上	・防滴・防塵仕様とする（IPX5 相当の防水性能を必要としない）
	現場適用性	・防水仕様のカバー等が必要となる	・防水対応に比べ、設置が簡易
	耐環境性	・風雨や紫外線等により、防水仕様のカバー等が劣化し、防水性能が低下する可能性がある	・紫外線等により、カバー等が劣化し、防滴防塵性能が低下する可能性がある
	保守 維持管理	・破損や錆びなど、防水性能の低下の兆候が無い確認	・カバー等の破損など、防滴防塵性能が低下の兆候が無い確認

表 2-19 通信機器の制約条件と適切な仕様

項目	適切な仕様
屋外設置または湿度の高い環境の場合	防水対応仕様
湿度が低く安定している室内での設置	防水対応仕様、防水非対応仕様

(3) 機器仕様の確認時の留意点

上記の型式以外にも各機器による様々な特性を持っているため、最終的なシステムの選定には機器カタログが参考となる。カタログ機器仕様の確認時の留意点を表 2-20 に示す。

表 2-20 機器仕様の確認時の留意点

仕様項目		仕样例	留意点
共通			
	温度条件	計測環境に適した範囲で正常に動作すること	・設置箇所の温度条件に適合しているか ・記載の温度条件は、機器のどの部分に適用されるか
	避雷対応	対応	・具体的にどのような方法により避雷するか
	防水・防塵対応	IPX5 相当	・設置箇所の環境に適合しているか
通信部			
	通信回線	安定的にデータ通信が可能な回線	・計測目的に適合しているか
	通信速度	遅延・欠測などが生じることなく、安定的にデータ通信が可能な速度	・計測目的に適合しているか
電源部			
	AC 電源方式	AC100V	・設置箇所の環境に適合しているか
	ソーラー発電方式	5 日間無日照	・設置箇所の環境に適合しているか ・バッテリーの交換時期を確認する

2.5. 機器出荷時の点検項目

観測システムで利用する機器の出荷時において、設置環境、観測の目的に応じて適切な点検を実施する。

解説

(1) GNSS 機器

GNSS 機器出荷時においては、以下の点検項目について点検を実施することを推奨する。

表 2-21 観測機器出荷時における点検項目 (GNSS 機器)(1/2)

点検項目		点検内容	留意点
GNSS 部			
	GNSS 受信	・GNSS 衛星の電波を正常に受信できることを確認	・GNSS 衛星の電波を偏りなく受信できているか ・GNSS 衛星の電波受信について顕著な欠測は無い ・GNSS 衛星の電波受信強度について問題は無い
	基線解析	・基線解析を正常に実施できることを確認	・解析結果について顕著な不具合は無い ・解析結果について大きな乱れは無い
	無線通信/有線通信	・センサ間の通信を正常に実施できることを確認	・センサ間の通信について通信強度に問題は無い
	外観	・外観に異常がないことを確認	・アンテナ部、ケーブル部に損傷はない
電源部			
	AC 電源方式の場合		
	電源ケーブル	・正常に電源供給できることを確認	・正常に電源供給できるか ・外観に異常は無い
	耐雷対策	・正常に作動することを確認	・通常時に正常に通電できているか ・外観に異常は無い
	ソーラー発電方式の場合		
	ソーラーパネル	・正常に発電ができることを確認	・出力電圧に問題は無い ・外観に異常は無い
	バッテリー	・正常に電力供給ができることを確認	・出力電圧に問題は無い ・正常に充放電できているか ・外観に異常は無い
	チャージコントローラー	・正常に充放電がコントロールできることを確認	・出力電圧に問題は無い ・正常に充放電できているか

表 2-22 観測機器出荷時における点検項目 (GNSS 機器)(2/2)

点検項目		点検内容	留意点
センサ間通信部※			
	通信機器	・正常にデータ伝送できることを確認	・データ伝送に問題は無いか ・顕著な欠測等は発生していないか ・通信強度に問題は無いか

※センサ間通信機器一体型の場合のみ適用

(2) 加速度計

加速度計出荷時には、以下の点検項目について点検を実施することを推奨する。

表 2-23 観測機器出荷時における点検項目 (加速度計)

点検項目		点検内容	留意点
センサ部			
	加速度	・加速度を正常に計測できることを確認	・加速度を正常に計測できることを確認
	時刻同期	・GNSS を用いた時刻同期が正常にできることを確認	・GNSS を用いた時刻同期精度が 500 μ 秒以内であることを確認
電源部			
	電源ケーブル	・正常に電源供給できることを確認	・正常に電源供給できるか ・外観に異常は無いか
	耐雷対策	・正常に作動することを確認	・通常時に正常に通電できているか ・外観に異常は無いか
センサ間通信部			
	通信機器	・正常にデータ伝送できることを確認	・データ伝送に問題は無いか ・顕著な欠測等は発生していないか ・通信強度に問題は無いか

(3) 通信機器

通信機器出荷時には、以下の点検項目について点検を実施することを推奨する。

表 2-24 観測機器出荷時における点検項目（通信機器）

点検項目		点検内容	留意点
電源部			
	AC 電源方式の場合		
	電源ケーブル	・正常に電源供給できることを確認	・正常に電源供給できるか ・外観に異常は無いか
	耐雷対策	・正常に作動することを確認	・通常時に正常に通電できているか ・外観に異常は無いか
	ソーラー発電方式の場合		
	ソーラーパネル	・正常に発電ができることを確認	・出力電圧に問題は無いか ・外観に異常は無いか
	バッテリー	・正常に電力供給ができることを確認	・出力電圧に問題は無いか ・正常に充放電できているか ・外観に異常は無いか
	チャージコントローラー	・正常に充放電がコントロールできることを確認	・出力電圧に問題は無いか ・正常に充放電できているか
通信部			
	通信回線	・設置位置が安定的にデータ通信可能な回線の回線エリア内であることを確認	・設置位置が安定的にデータ通信可能な回線の回線エリア内であることを確認
	通信速度	・安定的にデータ通信が可能な速度であることを確認	・遅延・欠測などが生じることなく、安定的にデータ通信が可能な速度であることを確認

第3章 観測システムの設置

3.1. 観測システムの設置計画

本観測システムを設置するにあたり、観測の目的及び現場環境等を踏まえて、設置計画を行うものとする。

3.1.1. GNSS 機器の設置計画

GNSS 機器を設置するにあたり、現場環境等を踏まえて、設置箇所の特性に応じた設置計画を策定する。

解説

GNSS 機器を設置するにあたり、現場環境等を考慮して設置箇所を選定し、設置箇所の特性に応じた機器の選定、設置方法の選定を行う。

(1) 基準局・観測局共通

基準局・観測局共通で以下の点に考慮して配置を検討する。

1) 上空視界条件

- ・天空率^{※5}が 70%以上確保できる場所を推奨(特に南側の上空視界に留意する)。
- ・天空率が 70%未満の場合においても、データの標準偏差や強制的に変位を発生させることによる検出精度の実証実験などを実施し、計測精度の仕様を満たす場合は、設置可能とする。
- ・上空視界の方位性についても留意する(GNSS 衛星は上空視界の北側よりも南側に位置する場合が多いため、特に南側の上空視界を十分に確保する等)。

2) 周辺環境

- ・樹木の繁茂による上空視界条件の季節変動の影響を受けにくい場所を推奨。
- ・マルチパスの影響を考慮し、壁面から 5m 以上離れた場所を推奨。

3) アンテナ設置方法

- ・雨滴や雪が GNSS アンテナに付着することによる影響を軽減させるため、レドーム等を使用することを推奨(レドーム形状はコニカルもしくは半球型、素材は ABS 樹脂や AES 樹脂、FRP などの電波に影響がなく防水性の高い素材が一般的)。

4) 電源供給方法

- ・使用する GNSS 機器の消費電力を予め把握した上で、必要な電力量を確保できる電源装置を設置する(電源方式毎の適性や制約条件については、「2.2.2(1)電源方式ごとの適性・制約条件」を参照されたい)。

① AC 電源方式

- ・電源ケーブルのケーブル長が長い場合、電圧降下が発生するため、ケーブル長及び接続する機器の消費電力を十分に考慮する。
- ・電源ケーブルは、落雷による誘導雷を拾い機器の故障を招く可能性があるため、電源取得箇所及び各機器において、耐雷対策を講じることが望ましい。
- ・電源ケーブルの敷設においては、他の作業の支障とならないこと、他の作業によって切断等が発生しないことに留意する。

② ソーラー発電方式

- ・ソーラーパネルの設置環境によって、電力を安定的に供給できない可能性があるため、設置箇所の日照条件を現地で確認する。
- ・パネルは基本的には南向きに設置し、GNSS 機器や通信機器に必要な電力を確保できる角度で設置する。
- ・積雪がある地域においては、ソーラーパネルの仰角を 45 度以上とし、冬季前には着雪防止剤を散布するなど、ソーラーパネル上への積雪を防止することが望ましい。

5) その他の留意事項

- ・第三者の立ち位置がある場合には、センサ接触防止策を実施することを推奨。
- ・GNSS アンテナケーブル及び電源ケーブルの劣化対策として、保護管等を使用する。
- ・屋外設置のため、経年劣化による破損の可能性を考慮した GNSS アンテナの設計、固定治具の設計を行うことが望ましい(特に樹脂部分の劣化に留意すること)。
- ・ソーラー発電システムを活用する場合、バッテリーの劣化にも留意し、定期的な交換対応等を行うことが望ましい(交換時期はメーカー推奨の使用期間を参考とすること)。
- ・電源ケーブル等の断線対策として、ケーブル断線を防ぐ目的で保護管や鋼管を使用する、ケーブルが敷設されていることを作業者に知らせる目的でマーキングテープによる敷設位置の明示することなどを推奨する。

(2) 基準局

基準局の設置に当たっては、以下の点に考慮して配置を検討する。

1) 不動性

- ・盛土や急傾斜地、擁壁等の構造物上は避け、気温変化や降雨による影響、地震等で地盤変動の影響が少ない場所が望ましい。また、広域的に地盤が悪い地域においては、地盤改良等が実施された場所が望ましい。

2) 観測局との位置関係

- ・基線解析における大気圏遅延による誤差を小さくするため、基準局と観測局の標高差は 100m 以内を推奨する(標高差が 100m 以上の場合には、補正を実施すること)。
- ・センサ間の通信を無線で行う場合、基準局と観測局が通信できる距離に留意する。

- ・センサ間の通信を無線で行う場合、基準局と観測局の間の障害物による通信強度低下に留意する。

3) アンテナ設置高さ

- ・アンテナ設置高さは上空視界の確保、地盤の変動との連動性を考慮し、現場状況や目的に合わせて設定する。

(3) 観測局

観測局の設置に当たっては、以下の点に考慮して配置を検討する。

1) 設置箇所

- ・観測局は建築物と一体となって変動することが予測される箇所に固定する(例えば、柱やパラペットなど)。
- ・建築物の主軸方向の変位検出のため、複数箇所に設置することを推奨する(例えば、建築物の四隅など)。

2) アンテナ設置高さ

- ・アンテナ設置高さは上空視界の確保、建築物の変動との連動性を考慮し、現場状況や目的に合わせて設定する。

※5 天空率は、GNSS アンテナ設置位置におけるアンテナ上空の開空状況を示す指標である。アンテナ上空に障害物が無い状態を天空率 100%、アンテナ上空が障害物で全て覆われている状態を天空率 0%と定義する。
天空率は、半球カメラや魚眼レンズ等を用いて撮影したアンテナ設置位置の上空写真を用いて算出する。

3.1.2. 加速度計の設置計画

加速度計を設置するにあたり、設置箇所を選定したうえで、設置箇所の特性に応じた機器及び設置方法を選定する。

解説

加速度計を設置するにあたり、下記の現場環境等を考慮して設置箇所を選定し、設置箇所の特性に応じた機器の選定、設置方法の選定を行う。

(1) 地上局・観測局共通

地上局・観測局共通で以下の点に考慮して配置を検討する。

1) 周辺環境

- ・施設設備や車両等の振動の影響を受けにくい場所を推奨する。
- ・地震動が大きく増幅・減衰されないような場所を推奨する。

2) 機器設置方法

- ・雨滴や雪、結露による機器の故障を避けるため防水もしくは防滴仕様を推奨する。なお、屋

外に機器を設置する場合には防水仕様を標準とする。

- ・地震動が大きく増幅・減衰されないような設置方法を選定する。

3) 電源供給方法

- ・使用する加速度計の消費電力を予め把握した上で、必要な電力量を確保できる電源装置を設置する。
- ・電源ケーブルのケーブル長が長い場合、電圧降下が発生するため、ケーブル長及び接続する機器の消費電力を十分に考慮する。
- ・電源ケーブルは、落雷による誘導雷を拾い機器の故障を招く可能性があるため、電源取得箇所及び各機器において、耐雷対策を講じることが望ましい。
- ・電源ケーブルの敷設においては、他の作業の支障とならないこと、他の作業によって切断等が発生しないことに留意する。

4) 時刻同期

- ・正確な加速度計測を実施するため、GNSS 機器と接続して時刻同期を行う(時刻同期精度は 500μ 秒以内を推奨)。
- ・データ遅延による時刻同期精度の低下を考慮し、GNSS ケーブル及びデータ通信ケーブル等の長さまたは無線通信速度に留意する。

5) その他の留意事項

- ・第三者の立ち位置がある場合には、センサ接触防止策を実施することを推奨する。
- ・通信ケーブル及び電源ケーブルの劣化対策として、保護管等を使用する。
- ・屋外設置の場合、経年劣化による破損の可能性を考慮した加速度計の設計、固定治具の設計を行うことが望ましい(特に樹脂部分の劣化に留意すること)。
- ・電源ケーブル等の断線対策として、ケーブル断線を防ぐ目的で保護管や鋼管を使用する、ケーブルが敷設されていることを作業者に知らせる目的でマーキングテープによる敷設位置の明示することなどを推奨する。

(2) 地上局

地上局の設置に当たっては、以下の点に考慮して配置を検討する。

1) 不動性

- ・盛土や急傾斜地、擁壁等の構造物上は避け、気温変化や降雨による影響、地震等で地盤変動の影響が少ない場所が望ましい。また、広域的に地盤が悪い地域においては、地盤改良等が実施された場所が望ましい。

(3) 観測局

観測局の設置に当たっては、以下の点に考慮して配置を検討する。

1) 設置箇所

- ・観測局は建築物の原則として重心に近い箇所で普段は人が立ち入らない場所に固定する。例えば、EPS 室の床面など。なお、重心に近い箇所に設置できない場合においては、重心から離れたことによる影響に留意する。
- ・建築物の層間変形を観測する場合は、複数階層に設置することを推奨する。例えば、建築物の最上階、中間階、最下階など。
- ・建築物のねじれ等を検出する場合は、同一階の重心に近い箇所に加えて、重心からなるべく遠い箇所に設置することを推奨する。
- ・免震構造の場合は、免震層の上下で近傍の位置に設置することを推奨する。

3.1.3. 通信機器の設置計画

観測システムの導入において、迅速な被災判定や日常のヘルスチェックを実施するため、現場の計測機器から計測データを解析サーバに正常に伝送できる通信機器及び通信機器の設置箇所を選定する。

解説

観測システムの導入において、以下の確認作業を実施し、迅速な被災判定や日常のヘルスチェックを実施するために、現場の計測機器から計測データを解析サーバに正常に伝送できる方法及び設置箇所を選定する。

(1) 通信状況の事前確認

現地確認を実施する前に、通信キャリアのサイト等にて、利用可能エリアの調査を実施し、利用可能な通信回線を選定する。

(2) 通信状況の現地確認

現地調査を実施し、EPS 室等でドアや窓などを閉めた密室の状態において、利用する通信キャリアの通信強度が現場計測機器の計測データ伝送に利用可能であることを確認する。なお、通信強度が低い場合には、通信アンテナの設置位置を高くする、通信機器の設置場所を変更するなどの方法で通信強度を確保する。

(3) 電源供給方法

使用する通信機器の消費電力を予め把握した上で、必要な電力量を確保できる電源装置を設置する(電源方式毎の適性や制約条件については、「2.2.2(1)電源方式ごとの適性・制約条件」を参照されたい)。

① AC 電源方式

- ・電源ケーブルのケーブル長が長い場合、電圧降下が発生するため、ケーブル長及び接

続する機器の消費電力を十分に考慮する。

- ・電源ケーブルは、落雷による誘導雷を拾い機器の故障を招く可能性があるため、電源取得箇所及び各機器において、耐雷対策を講じることが望ましい。
- ・電源ケーブルの敷設においては、他の作業の支障とならないこと、他の作業によって切断等が発生しないことに留意する。

② ソーラー発電方式

- ・ソーラーパネルの設置環境によって、電力を安定的に供給できない可能性があるため、設置箇所の日照条件を現地で確認する。
- ・パネルは基本的には南向きに設置し、GNSS 機器や通信機器に必要な電力を確保できる角度で設置する。
- ・積雪がある地域においては、ソーラーパネルの仰角を 45 度以上とし、冬季前には着雪防止剤を散布するなど、ソーラーパネル上への積雪を防止することが望ましい。

(4) その他の留意事項

- ・第三者の立ち位置がある場合には、センサ接触防止策を実施することを推奨。
- ・通信ケーブル及び電源ケーブルの劣化対策として、保護管等を使用する。
- ・屋外設置のため、経年劣化による破損の可能性を考慮した固定治具の設計を行うことが望ましい(特に樹脂部分の劣化に留意すること)。
- ・ソーラー発電システムを活用する場合、バッテリーの劣化にも留意し、定期的な交換対応等を行うことが望ましい(交換時期はメーカー推奨の使用期間を参考とすること)。
- ・電源ケーブル等の断線対策として、ケーブル断線を防ぐ目的で保護管や鋼管を使用する、ケーブルが敷設されていることを作業者に知らせる目的でマーキングテープによる敷設位置の明示することなどを推奨する。

3.2. 観測システムの設置方法

観測システムの設置に当たり、それぞれの機器について現地環境等を考慮して、必要な対策を講じ設置する。

3.2.1. GNSS 機器の設置方法

GNSS 機器を設置するに当たり、現場環境等を考慮して、必要な対策を講じ設置する。

解説

GNSS 機器を設置するに当たり、下記の現場環境等を考慮して、必要な対策を講じ設置する。

(1) 基準局・観測局共通

基準局及び観測局の設置について、以下の点に留意する。

1) ケーブル敷設

- ・歩行者の通行の妨げや他の機器への干渉等の可能性に考慮した配線ルートを選定する。
- ・免震構造の建築物の場合、地震発生時にケーブルが断線しないよう、対策を行う。
- ・ケーブルやコネクタに負荷がかからないような敷設方法を選定する。
- ・コネクタ部周辺の防水処理を適切に行う。

2) 避雷対策

- ・屋外にACにて電源供給を行う機器を設置する場合、建築物の電気系統に影響が発生しないよう、避雷対策を行う。

(2) 基準局

基準局の設置方法は、以下のフロー図に沿って選定する。

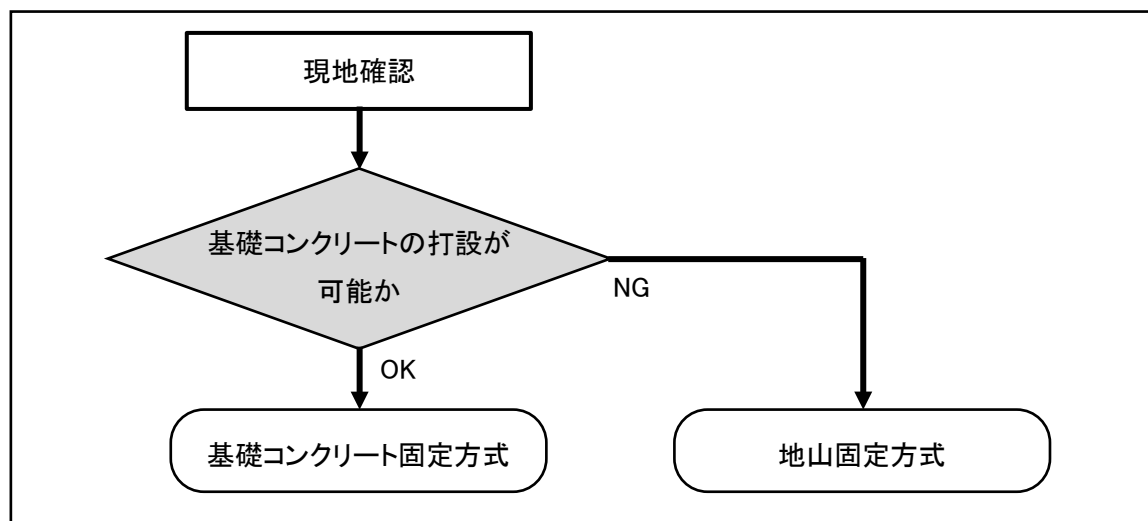
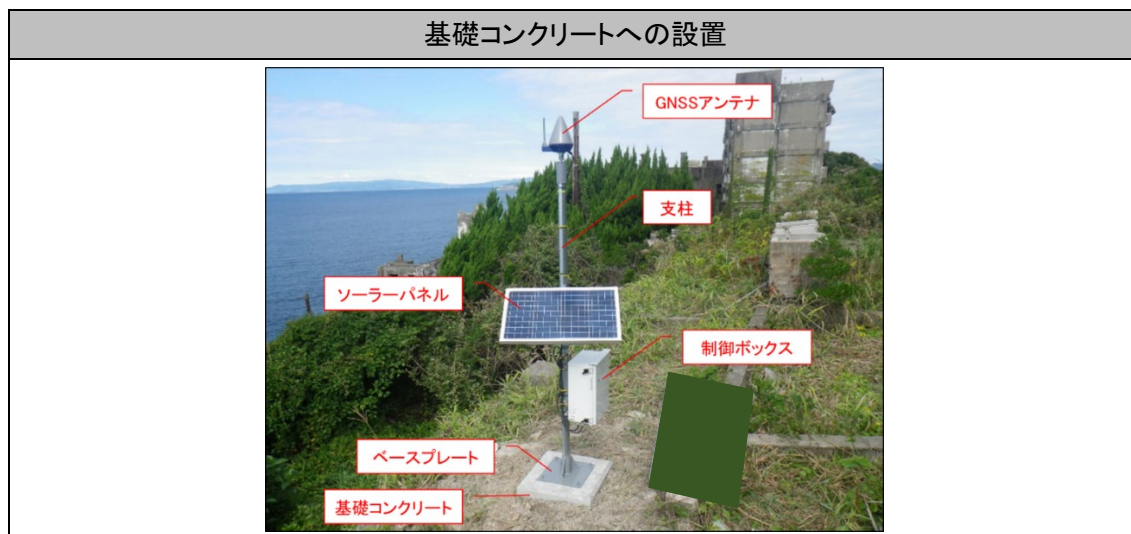


図 3-1 基準局設置方法の選定

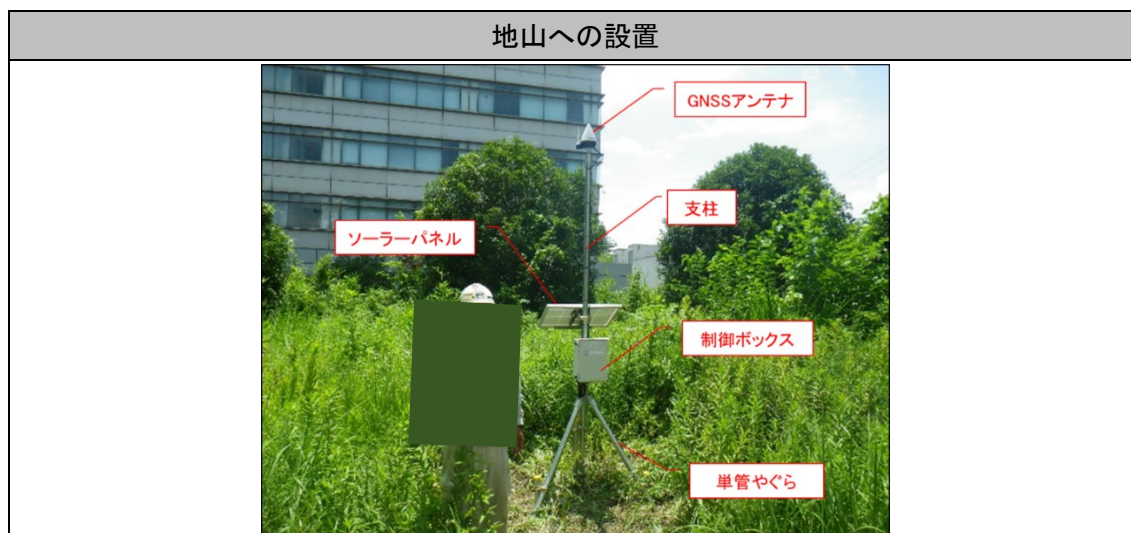
1) 基礎コンクリート固定方式

- 基礎コンクリートにベースプレート等を利用して支柱を設置し、支柱に GNSS アンテナ、制御ボックスを設置する。
- 「ソーラー発電システム」を採用する場合、支柱にソーラーパネルを設置する。
- 基礎コンクリートの大きさや強度、ソーラーパネルの位置、制御ボックスの位置は、強風時に転倒、破損しない設計とし、状況に応じて鉄筋などを追加する。



2) 地山固定方式

- 単管パイプ等を利用して単管やぐらを設置し、支柱に GNSS アンテナ、制御ボックスを設置する。
- 「ソーラー発電システム」を採用する場合、支柱にソーラーパネルを設置する。
- 単管やぐらの大きさ、ソーラーパネルの位置、制御ボックスの位置は、強風時に転倒、破損しない設計とし、状況に応じて控え杭などを追加する。



(3) 観測局

観測局の設置方法は、以下のフロー図に沿って選定する。

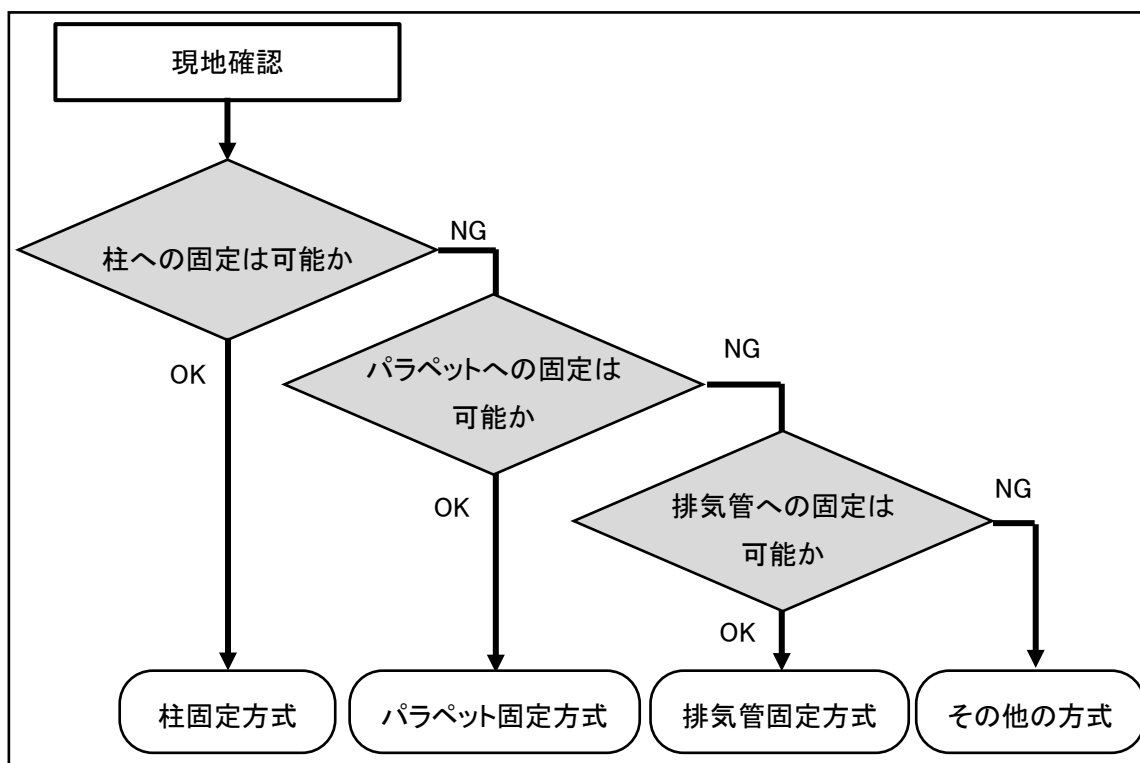
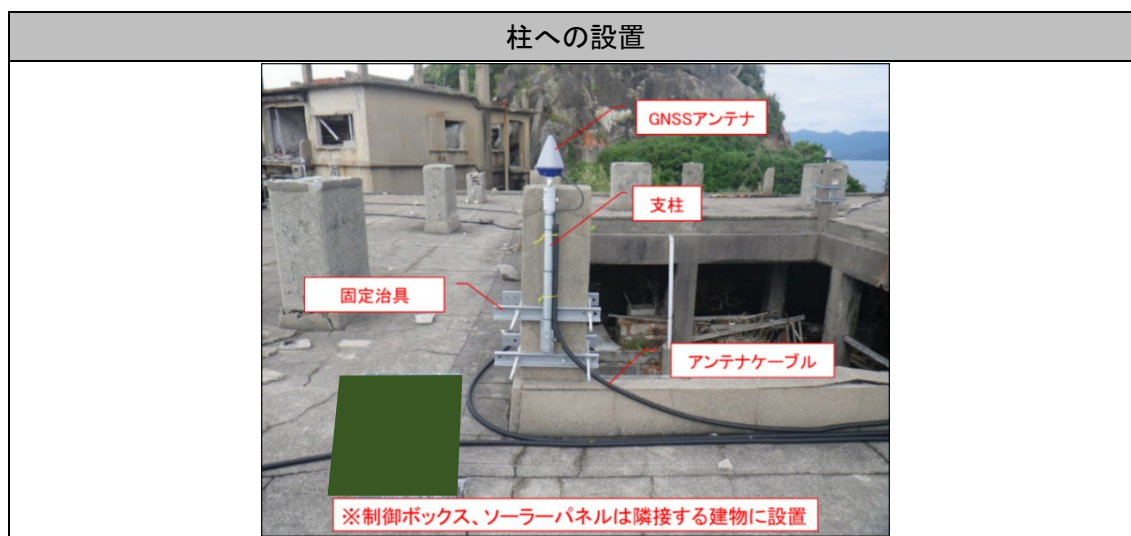


図 3-2 観測局設置方法の選定

1) 柱固定方式

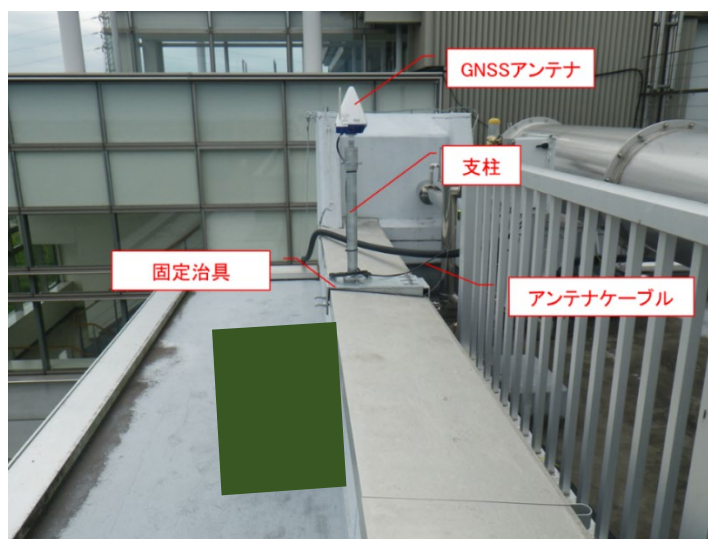
- ・柱を横から挟み込み固定する治具を使用して、柱に GNSS アンテナを固定する。なお、アンテナの固定において、柱自体に欠損等が発生しない方法を基本とする。
- ・強風時に転倒、破損しない設計とする。



2) パラペット固定方式

- ・パラペットを上から挟み込み固定する治具を使用して、パラペットに GNSS アンテナを固定する。なお、アンテナの固定において、パラペット自体に欠損等が発生しない方法を基本とする。
- ・強風時に転倒、破損しない設計とする。

パラペットへの設置



3) 排気管固定方式

- ・排気管を横から挟み込み固定する治具を使用して、排気管に GNSS アンテナを固定する。なお、アンテナの固定において、排気管自体に欠損等が発生しない方法を基本とする。
- ・強風時に転倒、破損しない設計とする。

排気管への設置



3.2.2. 加速度計の設置方法

加速度計を設置するに当たり、現場環境等を考慮して、必要な対策を講じ設置する。

解説

加速度計を設置するに当たり、下記の現場環境等を考慮して、必要な対策を講じ設置する。

(1) 地上局・観測局共通

地上局及び観測局の設置について、以下の点に留意する。

1) ケーブル敷設

- ・歩行者の通行の妨げや他の機器への干渉等の可能性に考慮した配線ルートを選定する。
- ・免震構造の建築物の場合、地震発生時にケーブルが断線しないよう、対策を行う。

2) 避雷対策

- ・屋外にACにて電源供給を行う機器を設置する場合、建築物の電気系統に影響が発生しないよう、避雷対策を行う。

3) 固定方法

- ・加速度計及び周辺機器が震度 7 の揺れに対して固定されるような固定方法を選定する。
- ・加速度計を固定する際は、水平調整を行う。
- ・観測局の加速度計の主軸方向は、原則として建築物の長辺及び短辺方向とし、建築物内の加速度計の主軸方向は一致するように設置することを推奨する。なお、長辺及び短辺方向が不明な場合には、構造計算図書に示された主軸方向を加速度計の主軸方向と一致するように設置することを推奨する。
- ・観測局の加速度計の主軸方向は、原則として東西方向もしくは南北方向とする。
- ・加速度計の設置方向は、方位磁石等を活用して決定する。

(2) 地上局

地上局の設置方法は、以下のフロー図に沿って選定する。

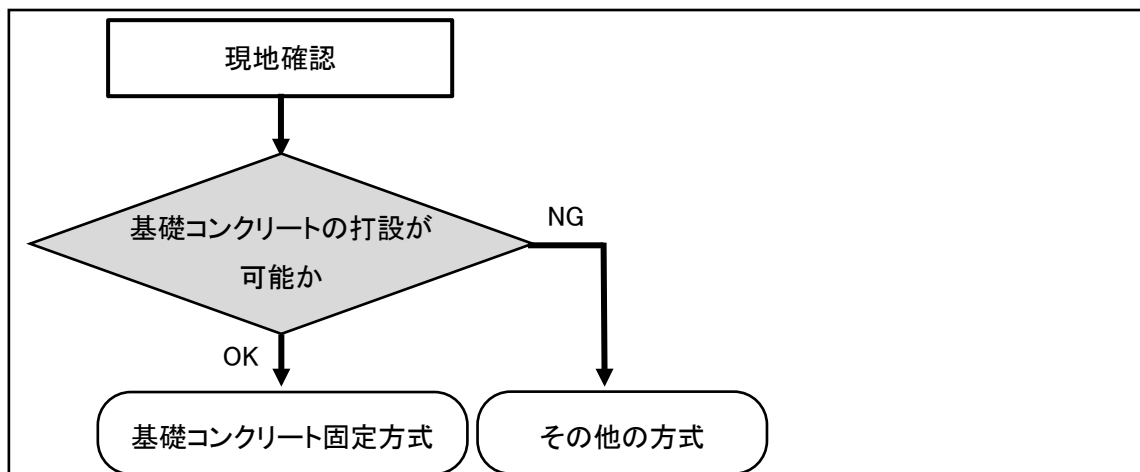


図 3-3 地上局設置方法の選定

1) 基礎コンクリート固定方式

- ・基礎コンクリートに硬質ポリ塩化ビニル管等を固定し、加速度計等を格納する。
- ・基礎コンクリートの大きさや強度は、震度 7 の地震及び強風時に転倒、破損しない設計とし、状況に応じて鉄筋などを追加する。
- ・GNSS アンテナは、震度 7 の地震で揺れることが無いような設計とする
- ・AC100V 電源ケーブルは地中埋設を推奨する。
- ・加速度計の主軸方向は東西方向もしくは南北方向となるように設置することを推奨する。



(3) 観測局

観測局の設置方法は、以下のフロー図に沿って選定する。

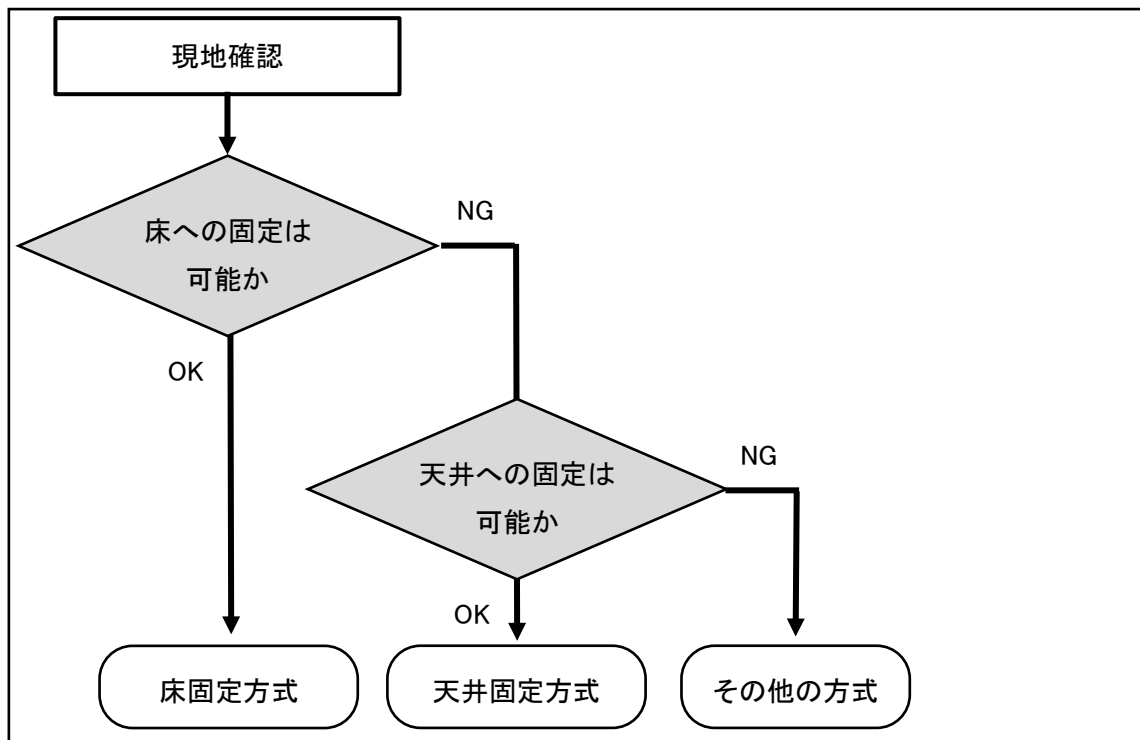
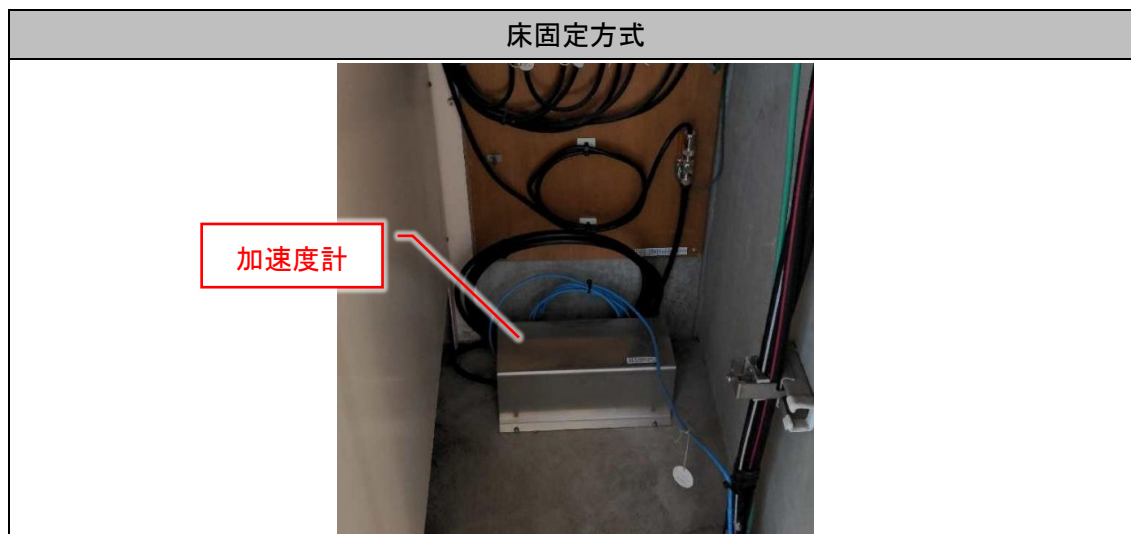


図 3-4 観測局設置方法の選定

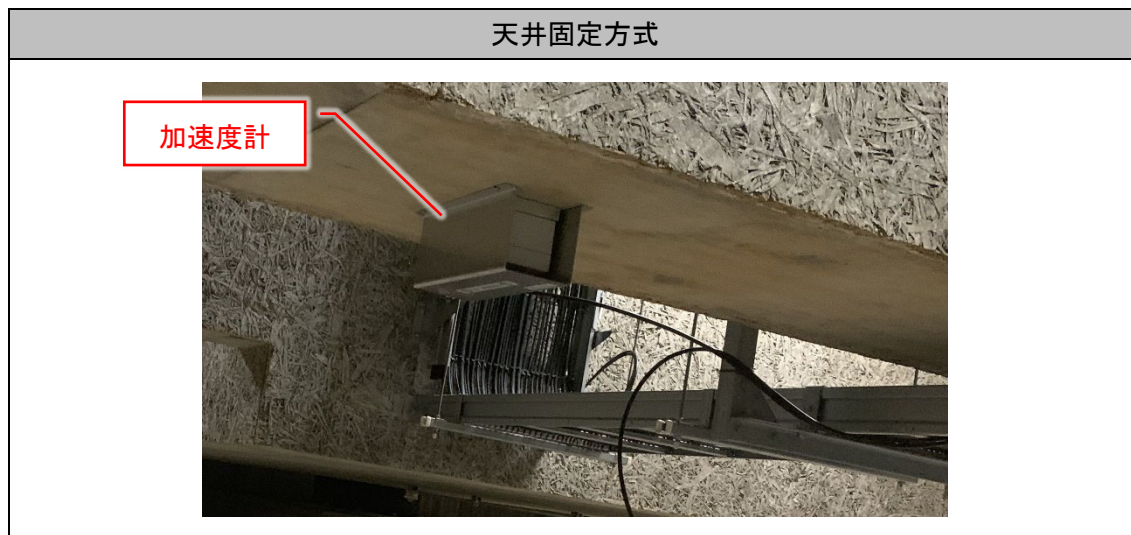
1) 床固定方式

- ・加速度センサの設置位置方向は、各階に設置する方向が同一とすることを推奨する。
- ・地震時に建築物と一体となって変動するように固定。



2) 天井固定方式

- ・地震時に建築物と一体となって変動するように天井部に固定。
- ・加速度センサの設置位置方向は、各階に設置する方向が同一とすることを推奨する。
- ・床固定方式と軸の正負向きが異なることに留意する。



3.2.3. 通信機器の設置方法

通信機器を設置するに当たり、現場環境等を考慮して、必要な対策を講じ設置する。

解説

通信機器を設置するに当たり、下記の現場環境等を考慮して、必要な対策を講じ設置する。

(1) 基準局(地上局)・観測局共通

基準局(地上局)・観測局の通信機器の設置について、以下の点に留意する。

1) ケーブル敷設

- ・歩行者の通行の妨げや他の機器への干渉、他の埋設物への干渉の可能性に考慮し、適切な配線ルートを選定する。
- ・屋内の分電盤等から電源供給を行う場合、地震発生時にケーブルが断線しないよう、適切な対策を行う。

2) 避雷対策

- ・屋内の分電盤等から電源供給を行う場合、建築物の電気系統に影響が発生しないよう、適切な避雷対策を行う。

(2) 基準局(地上局)

基準局(地上局)の通信機器の設置方法は、以下のフロー図に沿って選定する。

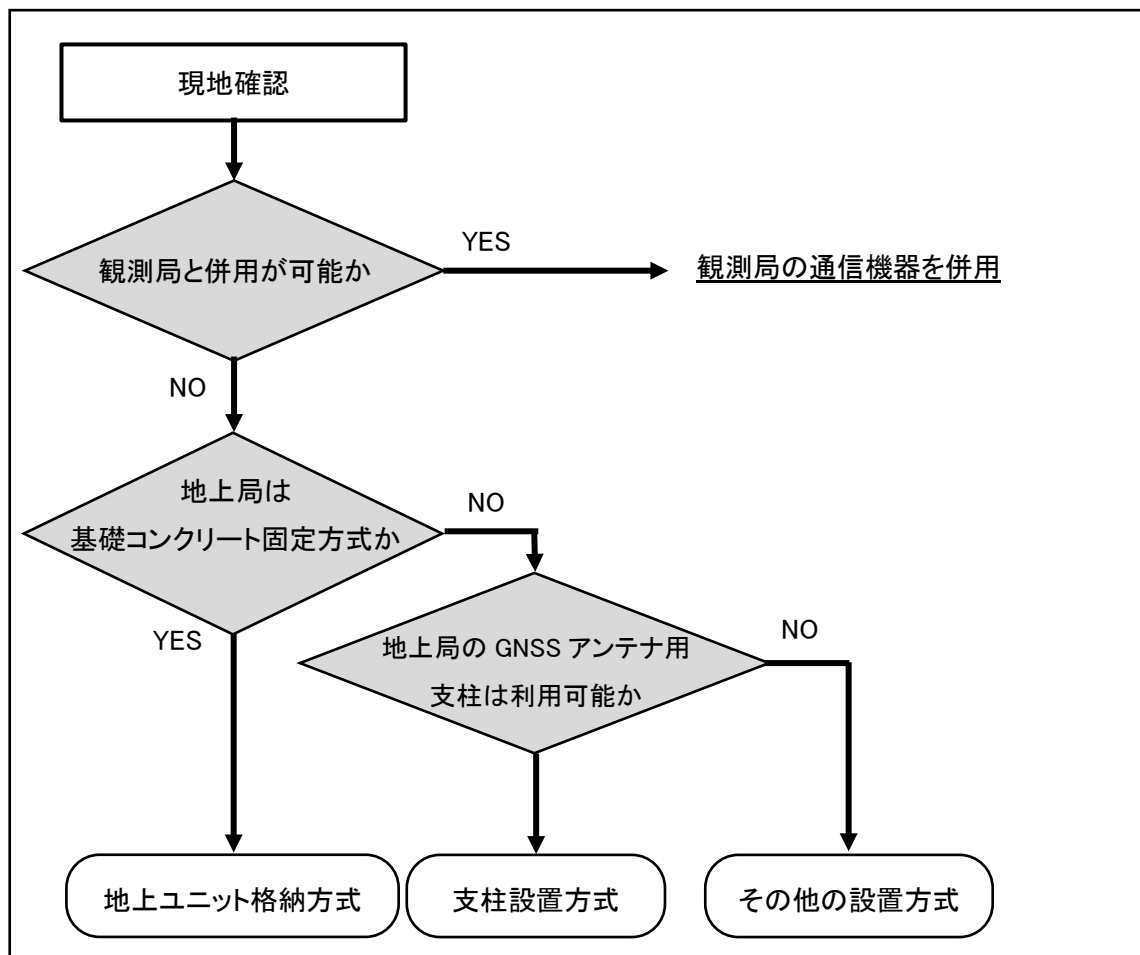


図 3-5 観測局設置方法の選定

1) 観測局の通信機器を併用

- ・基準局(地上局)のデータを観測局の通信機器へ伝送し、観測局の通信機器から解析サーバへ基準局データを伝送する。
- ・設置方法の詳細は、観測局の設置方法を参照。

2) 地上ユニット格納方式

- ・通信機器、通信アンテナを地上ユニットの中に格納し、固定する。



3) 支柱設置方式

- ・GNSS アンテナ設置用の支柱を利用し、通信機器を設置する。
- ・排気管を横から挟み込み固定する治具を使用して、排気管に GNSS アンテナを固定する。
- ・強風時に転倒、破損しない設計とする。



(3) 観測局

観測局の通信機器の設置方法は、以下のフロー図に沿って選定する。

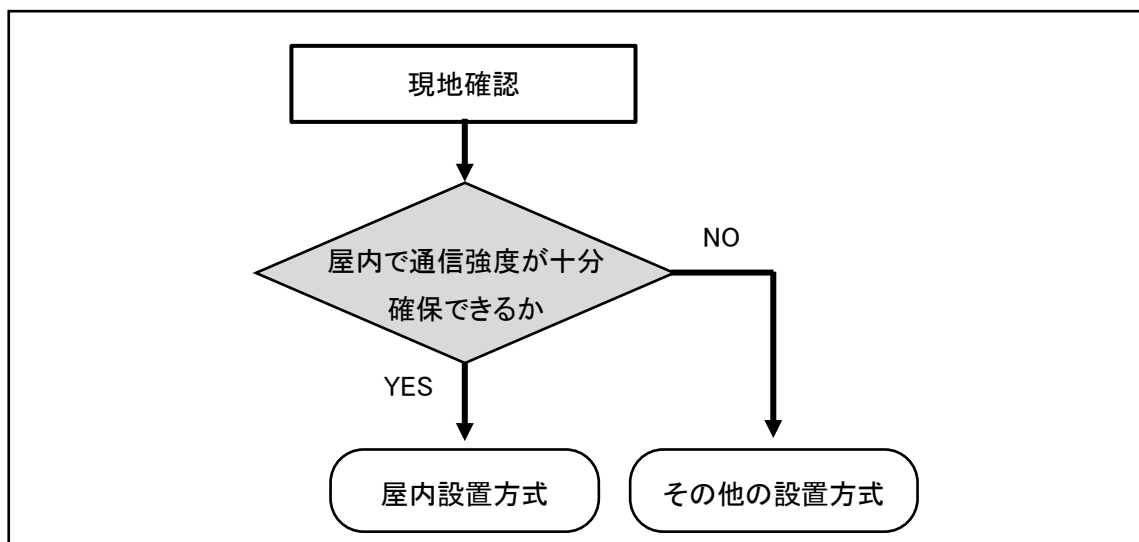


図 3-6 観測局設置方法の選定

1) 屋内設置方式

- 屋内の設置可能な箇所に通信機器を設置し、通信機器から解析サーバへ計測データを伝送する。
- 通信強度に十分考慮し、通信アンテナの設置位置を選定する。



3.3. 観測システムの設置における検収方法

観測システムの設置における検収に当たり、発注者は仕様書の要件を満たしていることを確認する。

解説

観測システムの設置における検収に当たり、発注者は観測機器の数量や性能が仕様書の要件を満たしていることを確認する。なお、解析データについては、1 か月間程度の試験計測の結果を実施し、仕様書の要件を満たしているか確認する。

図 3-7 観測システムの設置における検収時の確認事項(1/2)

確認項目		確認事項
共通		
	電源供給	・電源供給が安定していること
	ヘルスチェック	・ヘルスチェック機能(機器の死活状態や電圧低下の要因(バッテリー劣化、機器の故障、電源供給不足等)、その他不具合情報)が正常に動作すること
GNSS 機器		
	GNSS データ等	・解析率が 70%以上であること※6 ・FIX 率が 90%以上であること※6 ・建築物の躯体と一体となって変動するような固定方法であること
	設置方法	・建築物の躯体と一体となって変動するような固定方法であること ・長期間安定して計測が可能な固定方法であること
	計測精度	・誤差処理等を実施後の解析データが標準偏差 2mm 以下であること

※6 GNSS 計測における解析率は、70%以上を推奨する。ただし、70%未満の場合においても、データの標準偏差や強制的に変位を発生させることによる検出精度の実証実験などを実施し、計測精度の仕様を満たす場合は、利用を可能とする。また、GNSS 計測における Fix 率は、90%以上を推奨する。ただし、90%未満の場合においても、データの標準偏差や強制的に変位を発生させることによる検出精度の実証実験などを実施し、計測精度の仕様を満たす場合は、利用を可能とする。

図 3-8 観測システムの設置における検収時の確認事項(2/2)

確認項目		確認事項
加速度計		
	加速度データ等	・安定した計測が可能であること ・地震動に対して、正常に計測を行うこと
	設置方法	・建築物の躯体と一体となって変動するような固定方法であること ・長期間安定して計測が可能な固定方法であること
	計測精度	・震度 2 未満の地震動の実測データから被災判定に必要な計測精度(変位量、固有振動数等)を確認すること
通信機器		
	通信	・安定した計測が可能であること ・地震動に対して、正常に計測を行うこと
	設置方法	・建築物の躯体と一体となって変動するような固定方法であること ・長期間安定して計測が可能な固定方法であること
	冗長性	・ネットワークが切断された場合においても、解析データを現地にて回収できること(地震時変位計測の場合)

第4章 観測システムの運用

4.1. サーバの種類と特徴

観測システムの導入において、解析サーバ及び観測データ収集サーバを構築するにあたり、初期費用、運用費用、観測システムに必要とされる性能等を考慮して、運用方式を選択する。

解説

本マニュアルで対象とするサーバの型式は、運用方式により分類される。初期費用や運用費用、観測システムに必要とされる性能等を考慮して、運用方式を選択する。

■ 運用方式ごとの適性・制約条件

- ✓ オンプレミス方式
- ✓ クラウド方式
- ✓ ハイブリッド方式(オンプレミス方式とクラウド方式の組み合わせ)

表 4-1 サーバの運用方式ごとの適性・制約条件

項目		オンプレミス方式	クラウド方式
概要		・自社でサーバやネットワーク機器等のハードウェアを所有し、自社内で運用管理する	・自社でハードウェアを所有せず、外部から提供された環境でサービスを利用する
特性	安定性	・障害発生時には、自社で対応	・障害発生時には、クラウド管理者が対応
	保守 維持管理	・自社でセキュリティ対策、アプリケーションのバージョンアップを行う	・セキュリティ対策、アプリケーションのバージョンアップはクラウド管理者が行う
	カスタマイズ性	・利用状況に合わせて柔軟に対応可能	・サービス体系によってカスタマイズ範囲が限られている
	コスト	・初期費用 ・保守維持管理費用	・初期費用、保守維持管理費用は掛からない ・利用状況に応じた利用料金

4.2. 解析サーバの仕様

観測システムの導入において、解析サーバは正常に稼働していることを遠隔で確認できる構成とする。また、解析サーバから観測データ収集サーバに伝送する解析データは、データ形式及び計測精度が観測システムの目的に適応しているかを確認する。

解説

解析サーバにおいて、以下の仕様を満たすこととする。

表 4-2 解析サーバの仕様

項目	定めるべき事項	基準・仕様
1.サーバ環境等	(1)電源供給	・電源供給が安定していること
	(2)ヘルスチェック機能	・ヘルスチェック機能(機器の死活状態や電圧低下の要因(バッテリー劣化、機器の故障、電源供給不足等)、その他不具合情報)が正常に動作すること
2.データ解析	(1)GNSS データ 以下の処理をセンサもしくはサーバで自動的に実行する環境とする ①RTK 測位解析 ②局地座標系への変換 ③誤差評価処理の適用	・RTK 測位解析が適切に実施できること ・局地座標系への変換が適切に実施できること ・誤差評価処理が適切に実施できること
	(2)加速度計データ 以下の処理をセンサもしくはサーバで自動的に実行する環境とする ①地震動検出 ②震度計算 ③固有周期計測 ④減衰定数算出 ⑤観測データを収集するサーバへの伝送	・安定した計測が可能であること ・地震動に対して、正常に計測を行うこと
3.データ伝送	観測データを収集するサーバへの伝送	・観測データを収集するサーバに適切に伝送できること

4.3. 観測データ収集サーバの仕様

観測システムの導入において、観測データ収集サーバは、正常に稼働していることを遠隔で確認できる構成とする。また、観測システムの目的に応じて、必要な処理が実行できるような構成とする。

解説

観測データ収集サーバにおいて、以下の仕様を満たすこととする。

表 4-3 観測データ収集サーバの仕様

項目	定めるべき事項	基準・仕様
1.サーバ環境等	(1)電源供給	・電源供給が安定していること
	(2)ヘルスチェック機能	・ヘルスチェック機能(機器の死活状態や電圧低下の要因(バッテリー劣化、機器の故障、電源供給不足等)、その他不具合情報)が正常に動作すること
2.データ解析	被災判定の実施	・観測データを用いて、建築物の被災判定を実施できること
3.データ伝送	被災判定結果の伝送	・被災判定結果を被災情報収集サーバに適切に伝送できること

4.4. 観測データ等の閲覧システム

観測システムの導入において、観測データ等の閲覧システムは、観測システムの目的に応じて、必要なデータの閲覧等が実施できるようなシステムとする。

解説

観測データ等の閲覧システムは、目的に応じて以下の仕様を満たすシステムとする。

表 4-4 観測データ等の閲覧システムの仕様

項目	定めるべき事項	基準・仕様
1.データ表示	(1)GNSS を用いた長期変位計測	・建物管理者及びSHM管理者等が長期変位計測の観測データを閲覧できること ・データ更新は、1時間以下とすること
	(2)GNSS を用いた地震後残留変位計測	・建物管理者及びSHM管理者等が地震後残留変位計測の観測データを閲覧できること ・データ更新は、地震発生後1日以内とすること
	(3)加速度計及びGNSSを用いた地震時計測	・建物管理者及びSHM管理者等が地震時変位計測の観測データを閲覧できること ・データ更新は、地震発生後1日以内とすること

4.5. 観測システムの運用における検収方法

観測システムの運用における検収に当たり、発注者は仕様書の要件を満たしていることを確認する。

解説

観測システムの運用における検収に当たり、発注者は観測システムの機能が仕様書の要件を満たしていることを確認する。なお、解析データについては、1 か月間の試験計測の結果を実施し、仕様書の要件を満たしているか確認する。

表 4-5 観測システムの運用における検収時の確認事項

確認項目		確認事項
解析サーバ		
	安定性	・安定した解析、データの受送信が行えること
	電源供給	・電源供給が安定していること
	ヘルスチェック	・ヘルスチェック機能(機器の死活状態や電圧低下の要因(バッテリー劣化、機器の故障、電源供給不足等)、その他不具合情報)が正常に動作すること
観測データ収集サーバ		
	安定性	・安定した解析、データの受送信が行えること
	電源供給	・電源供給が安定していること
	ヘルスチェック	・ヘルスチェック機能(機器の死活状態や電圧低下の要因(バッテリー劣化、機器の故障、電源供給不足等)、その他不具合情報)が正常に動作すること
観測データ等の閲覧システム		
	安定性	・安定した観測データ等の表示が行えること

第5章 維持管理内容

5.1. 維持管理方針

観測システムの健全性を担保し、確実な観測、データ配信を可能にするため、観測システムの管理を行う。管理に当たっては、管理計画書及び長期保全計画書を作成し、これらに基づいて観測システムを管理する。

5.2. 観測システム設置時の点検

観測システムを新たに設置した場合は、点検を実施し整備台帳に記録する。

解説

観測システムを新たに設置した場合は、下記について点検を行い、整備台帳に記録する。

(1) GNSS 計測機器

- ① 機器設置時の設置状況写真及び上空視界写真の撮影
- ② GNSS データが正常に受信できていることを確認

(2) 加速度計

- ① 機器設置時の設置状況写真の撮影
- ② 加速度データが正常に計測できていることを確認

(3) 通信機器

- ① 機器設置時の設置状況写真の撮影
- ② 計測データが正常に伝送できていることを確認

(4) 解析サーバ

- ① 計測データが正常に受信できていることを確認
- ② 計測データを正常に解析できていることを確認
- ③ 解析したデータが正常に観測データ収集サーバに伝送されていることを確認

(5) 観測データ収集サーバ

- ① 解析データが正常に受信できていることを確認
- ② 受信したデータが正常に観測データ収集サーバに保存されていることを確認

(6) 計測結果・解析結果表示システム

- ① 解析データ等が正常に受信できていることを確認
- ② 受信したデータが正常に表示システムで表示されていることを確認

5.3. 維持管理計画

5.3.1. 維持管理計画書

観測システム運用においては、観測システムの管理計画書を作成し、これに基づいて管理を行う。

解説

観測システム運用においては、観測システムの管理計画書を作成し、これに基づいて管理する。
なお、管理計画書には以下の項目を記載する。

- ・管理体制
- ・年間保守
- ・常時保守
- ・地震時の保守
- ・不具合発生時の対応

(1) 管理体制

観測システムの管理、定期点検の実施、地震時調査の実施について、体制と役割を記載する。

(2) 年間保守

観測システムの計測機器及び通信機器における定期点検の実施体制、実施時期、定期点検内容について記載する。

(3) 常時保守

常時の計測機器及び通信機器、解析サーバ、観測データ収集サーバのヘルスチェックの実施方法、実施間隔について記載する。

(4) 地震時の保守

観測システムの計測機器及び通信機器における地震時調査の実施体制、実施時期、調査内容について記載する。

(5) 不具合発生時の対応

観測システムの計測機器及び通信機器における不具合発生時における点検の実施体制、実施時期、定期点検内容について記載する。

5.3.2. 長期保全計画書

観測システム運用においては、観測システムの長期保全計画書を作成し、これに基づいて長期的な保全管理を行う。

解説

観測システム運用においては、観測システムの長期保全計画書を作成し、これに基づいて長期的な保全管理する。なお、長期保全計画書には以下の項目を記載する。

- ・計測機器及び通信機器の点検実施時期、点検方法
- ・計測機器及び通信機器の交換実施時期、交換作業方法

5.4. 平常時の維持管理内容

5.4.1. 管理体制

平常時における観測システムの管理体制を構築する。

解説

平常時における観測システム運用の管理者、定期点検実施者等を設定し、平常時における観測システムの管理体制を構築する。

5.4.2. 管理方法

観測システムの目的に応じて、平常時における計測機器の定期点検実施頻度、計測機器及び解析サーバ、観測データ収集サーバのヘルスチェック実施頻度を設定する。

解説

観測システムの目的に応じて、平常時における計測機器の定期点検実施頻度、計測機器及び解析サーバ、観測データ収集サーバのヘルスチェック実施頻度を設定する。定期点検及びヘルスチェックの内容、実施頻度は以下の通りとする。

(1) 定期点検

1) 点検内容

観測システムの定期点検は、観測システムを構成する観測機器やサーバなどすべての機器について実施する。定期点検の実施事項は、基本的に以下の事項とする。

- ① 常時送信されるヘルスチェックの確認
- ② 現地の計測環境及び機器等の外観確認
- ③ 計測データの精度等 (解析率、FIX 率、標準偏差など) の確認

2) 点検頻度

観測システムの定期点検は、通常、年 1 回以上実施するものとする。ただし、以下のような事象が発生した場合、速やかに点検を実施する。

- ① 大雨や台風、地震発生前後等の GNSS 及び加速度計のデータに、異常値やそれまでの計測値の傾向と異なる値が計測された場合
- ② 解析サーバ及び観測データ収集サーバにおけるヘルスチェック等において、異常を検知した場合

(2) ヘルスチェック

1) 点検内容

観測システムのヘルスチェックは、観測システムを構成する計測機器、解析サーバ、観測データ収集サーバについて実施する。ヘルスチェックの実施事項は、基本的に以下の

事項とする。

①計測機器・解析サーバ・観測データ収集サーバの死活の確認

②取得データ・解析データの異常値の確認

2) 点検頻度

計測機器及び解析サーバ、観測データ収集サーバのヘルスチェックは、通常、1 時間 1 回以上実施するものとする。

5.5. 地震後の維持管理内容

5.5.1. 維持管理体制

地震等により、観測システムで変位等を検出した場合もしくは欠測等の計測の異常が発生した場合において、緊急調査を実施する体制を構築する。

解説

地震等により、観測システムで変位等を検出した場合もしくは異常が発生した場合における観測システム運用の管理者、緊急調査者等を設定し、地震時の観測システムの管理体制を構築する。なお、地震等による変位の検出、異常の発生の判断基準は、観測の目的と観測対象の特性等を考慮して設定する。

5.5.2. 緊急調査の実施方法

地震等により、観測システムで変位等を検出した場合もしくは欠測等の計測の異常が発生した場合には、緊急調査を実施する。緊急調査の調査項目は、観測システムの目的に応じて設定する。なお、緊急調査では、観測システムによる観測結果と実際の建築物における被災状況との相関についても調査を行う。

解説

地震発生時において、観測システムで変位等を検出した場合もしくは異常が発生した場合には、緊急調査を実施する。緊急調査では、表 5-1、表 5-2 の調査項目について調査することを標準とする。また、緊急調査では、観測システムによる観測結果と実際の建築物における被災状況を詳細に調査し、観測結果と被災範囲、被災箇所、被災の規模等との相関についても調査を行う。

表 5-1 緊急調査における調査項目(1/2)

点検項目		点検内容	留意点
GNSS 機器			
	外観	・外観に異常がないか	・アンテナ部、ケーブル部、設置治具、電源装置等に損傷はないか
	周辺環境	・上空視界に変化はないか	・落下物や転倒等により、上空視界に変化が生じていないか
	電源装置	・正常に電源供給が出来るか	・正常な電圧で電源供給できているか ・断線、短絡などは無い
	無線通信/有線通信	・センサ間の通信を正常に実施できているか	・正常に通信ができているか ・通信強度に問題は無い

表 5-2 緊急調査における調査項目 (2/2)

点検項目		点検内容	留意点
加速度計			
	外観	・外観に異常がないか	・センサ部、ケーブル部、設置治具、電源装置等に損傷はないか
	周辺環境	・周辺環境に変化はないか	・落下物や転倒等により、機器の位置ずれ等が生じていないか
	電源装置	・正常に電源供給が来ているか	・正常な電圧で電源供給できているか ・断線、短絡などはないか
	無線通信/有線通信	・センサ間の通信を正常に実施できているか	・正常に通信ができているか ・通信強度に問題はないか
通信機器			
	外観	・外観に異常がないか	・アンテナ部、ケーブル部、設置治具、電源装置等に損傷はないか
	電源装置	・正常に電源供給が来ているか	・正常な電圧で電源供給できているか ・断線、短絡などはないか
	無線通信/有線通信	・センサ間の通信を正常に実施できているか	・正常に通信ができているか ・通信強度に問題はないか

5.6. 維持管理記録の保管

管理記録は、目的に応じて適切な保管方法、保管期間を設定する。管理記録は、観測システムの設置時の情報、観測システムの平常時・地震時の点検状況等を継続的に記録し、保管することが望ましい。

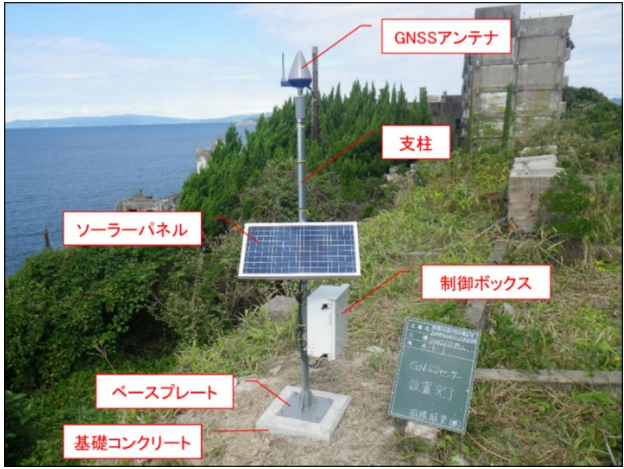
解説

管理記録は、観測システムを新たに設置した際に作成した整備台帳に記録し、適切な保管方法、保管期間を設定して保管する。整備台帳には、観測システムの設置時情報(設置写真、上空視界写真、設置箇所の図面、設置方法等)、定期点検・地震時点検の点検状況等を継続的に記録し、保存する。保管期間については、一般的に計測機器等の耐用年数を考慮して設定される場合が多い。

【参考資料】

【参考資料① 機器設置事例】

①-1. GNSS を用いた長期変位計測/GNSS を用いた地震後残留変位計測

■ 基準局	
基礎コンクリート固定方式	 GNSSアンテナ 支柱 ソーラーパネル 制御ボックス ベースプレート 基礎コンクリート
地山固定方式	 GNSSアンテナ 支柱 ソーラーパネル 制御ボックス 単管やぐら

■ 観測局

柱固定方式



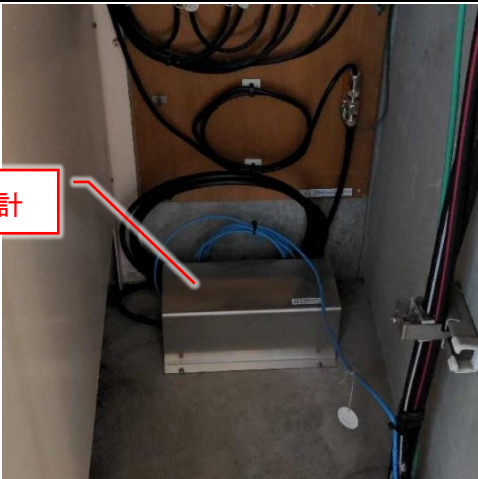
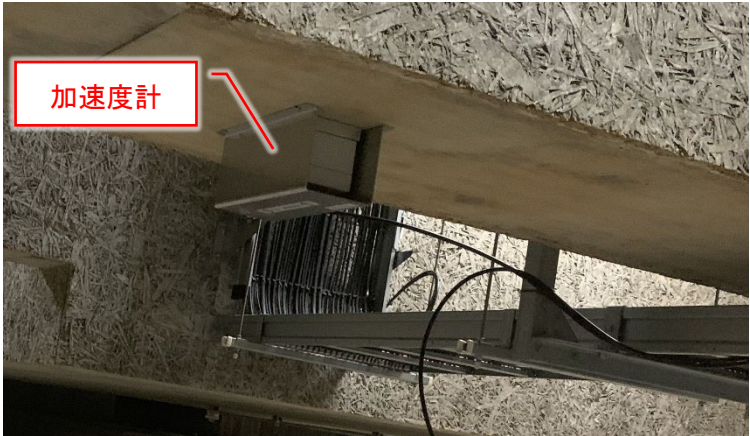
パラペット固定方式



排気管固定方式



①-2. GNSS 及び加速度計を用いた地震時計測

■ 基準局	
柱固定方式	 塩ビ管
床固定方式	 加速度計
天井固定方式	 加速度計

【参考資料② 計測結果事例】

②-1. GNSS を用いた長期変位計測/GNSS を用いた地震後残留変位計測

【設置事例 UR 赤羽台 41 号棟】

■ 現場概要

UR 赤羽台 41 号棟の概要は次の通りである。

表②-1 UR 赤羽台 41 号棟の概要

住所	東京都北区赤羽台 1-4-41	
建設年	1962 年	
構造種別	壁式鉄筋コンクリート造	
階数	地下なし、地上 5 階、ペントハウスなし	
軒高	14 m	
延べ床面積	1,859.84m ²	
構造形式	長辺	耐震壁付きラーメン構造
	短辺	耐震壁付きラーメン構造
用途	共同住宅	
用途詳細	登録有形文化財モデル住戸	
地盤種別	一般	



図②-1 UR 赤羽台 41 号棟の位置



図②-2 設置対象箇所(UＲ赤羽台 41 号棟)

■ 設置概要

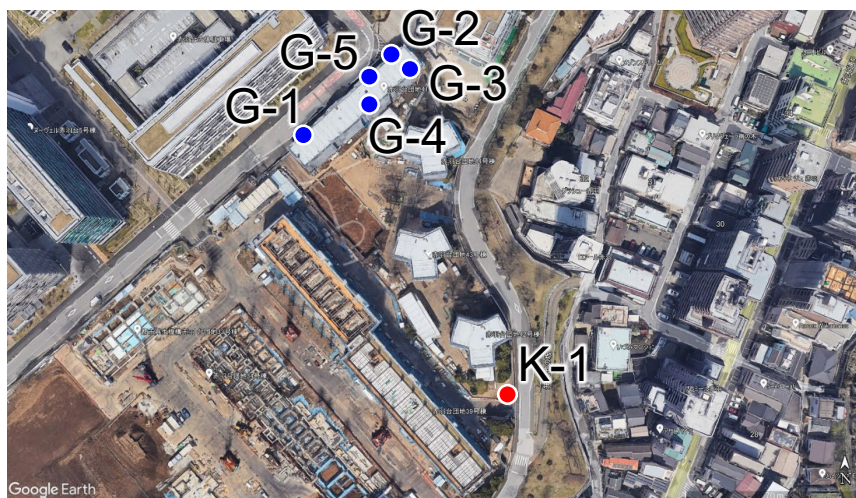
センサの設置および計測の概要は次の通りである。

表②-2 センサ設置および計測の概要

設置箇所	センサ名 (基数)
観測局(屋上)	G-1～5 (5 基)
	A-1, G-5 (2 基)
基準局(地盤)	K-1 (1 基)
計	8 基

■ GNSS 計測機器の配置状況

GNSS 計測機器の配置状況は次の通りである。



図②-3 GNSS 計測機器の配置位置



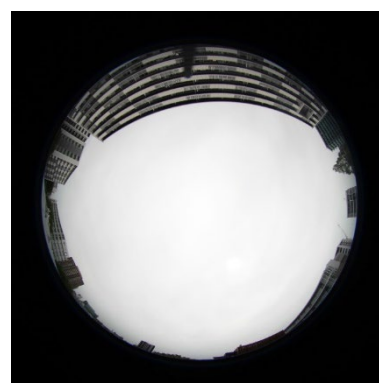
基準局 : K-1



基準局 : K-1 上空視界 (天空率 71%)



G-1・A-1



G-1・A-1 上空視界 (天空率 74%)

図②-4 GNSS 計測機器の配置状況 (1/3)



G-2



G-2 上空視界（天空率 79%）



G-3



G-3 上空視界（天空率 76%）



G-4



G-4 上空視界（天空率 81%）

図②-5 GNSS 計測機器の配置状況 (2/3)



G-5・A-5

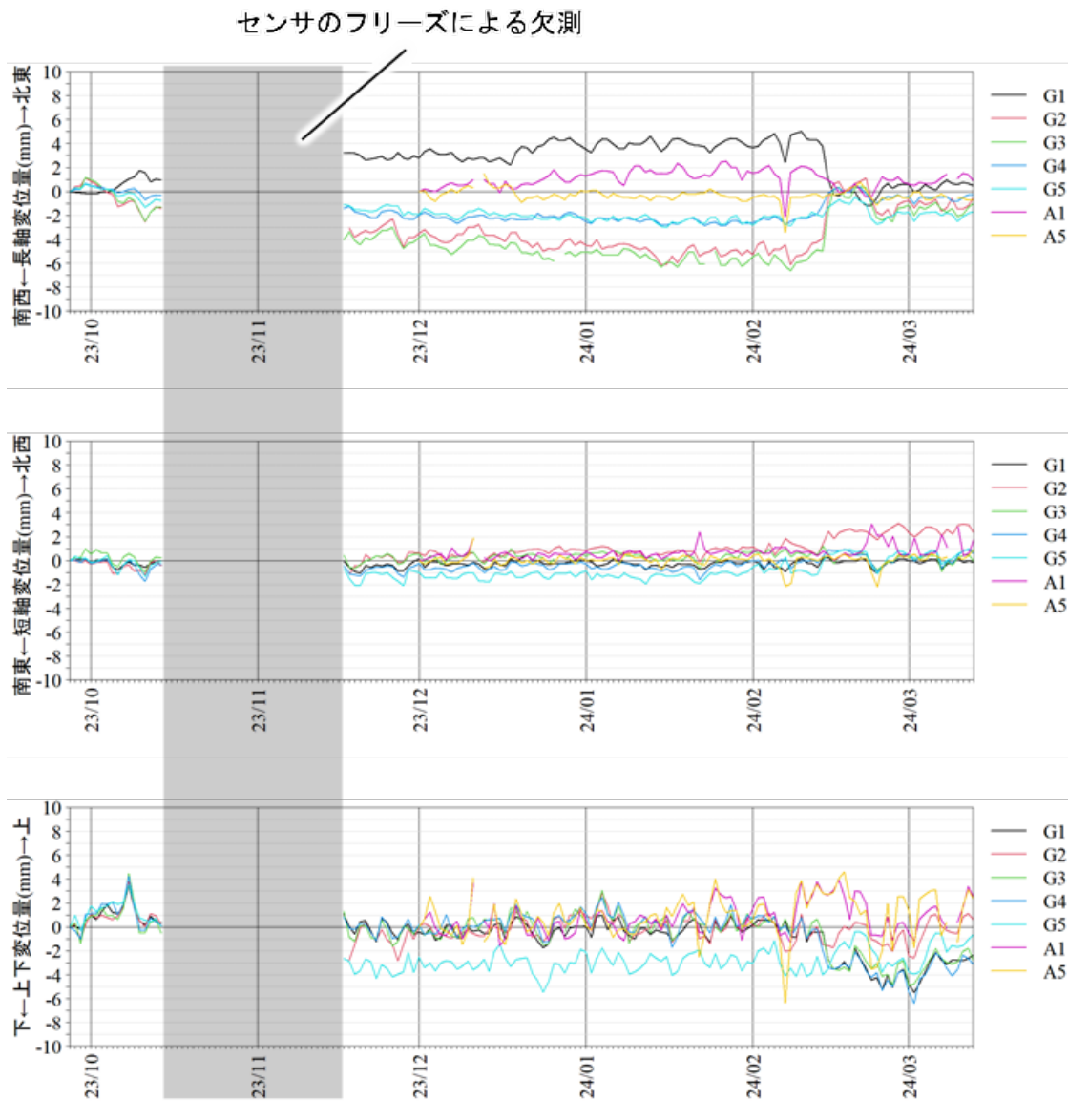


G-5・A-5 上空視界（天空率 80%）

図②-6 GNSS 計測機器の配置状況 (3/3)

■ 計測状況

UR 赤羽台 41 号棟での計測開始から現在までの母集団移動平均値による時系列グラフを示す。計測期間は 2023 年 9 月 27 日～2024 年 3 月 13 日の約 5 ヶ月間(※A-1, A-5 は 2023 年 12 月 1 日～2024 年 3 月 13 日の約 3 ヶ月間)、プロット間隔は 1 日である。なお、**エラー! 参照元が見つかりません。**の通り、当該建物では局地座標系および建物に沿った軸変換をした値を示す。



図②-7 UR 赤羽台 41 号棟における各センサの時系列グラフ

②-2. 加速度計及び GNSS を用いた地震時計測

【設置事例 UR 赤羽台 41 号棟】

■ 現場概要

UR 赤羽台 41 号棟の概要は次の通りである。

表②-3 UR 赤羽台 41 号棟の概要

住所	東京都北区赤羽台 1-4-41	
建設年	1962 年	
構造種別	壁式鉄筋コンクリート造	
階数	地下なし、地上 5 階、ペントハウスなし	
軒高	14 m	
延べ床面積	1,859.84m ²	
構造形式	長辺	耐震壁付きラーメン構造
	短辺	耐震壁付きラーメン構造
用途	共同住宅	
用途詳細	登録有形文化財モデル住戸	
地盤種別	一般	



図②-8 UR 赤羽台 41 号棟の位置



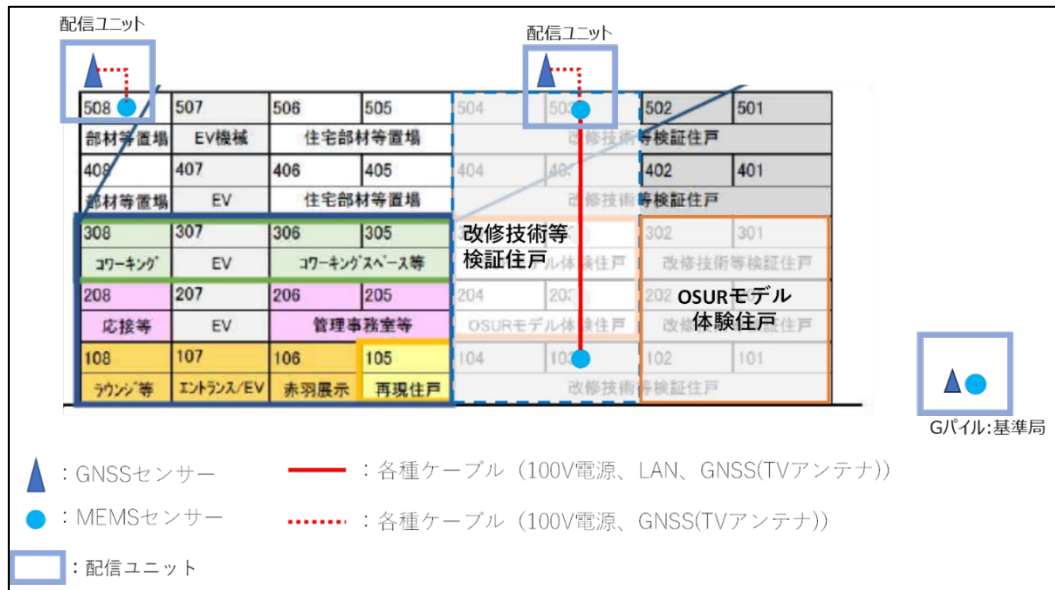
図②-9 設置対象箇所(UＲ赤羽台 41 号棟)

■ 設置概要

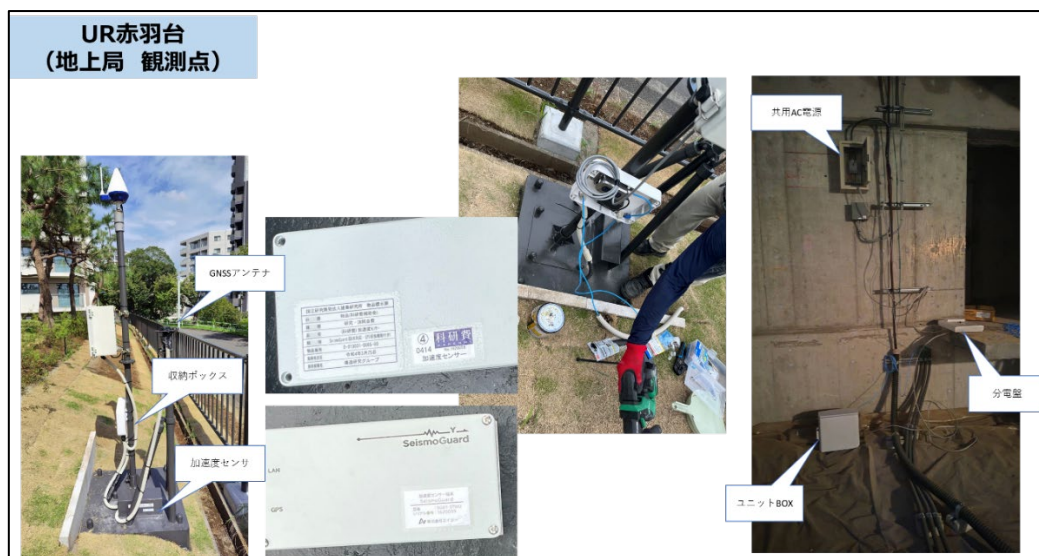
センサの設置および計測の概要は次の通りである。

表②-4 センサ設置および計測の概要

設置箇所	センサ名 (基数)
観測局(屋上)	G-1～5 (5 基)
基準局(地盤)	1 基
計	8 基



図②-10 システム構成図



図②-11 地上局設置状況

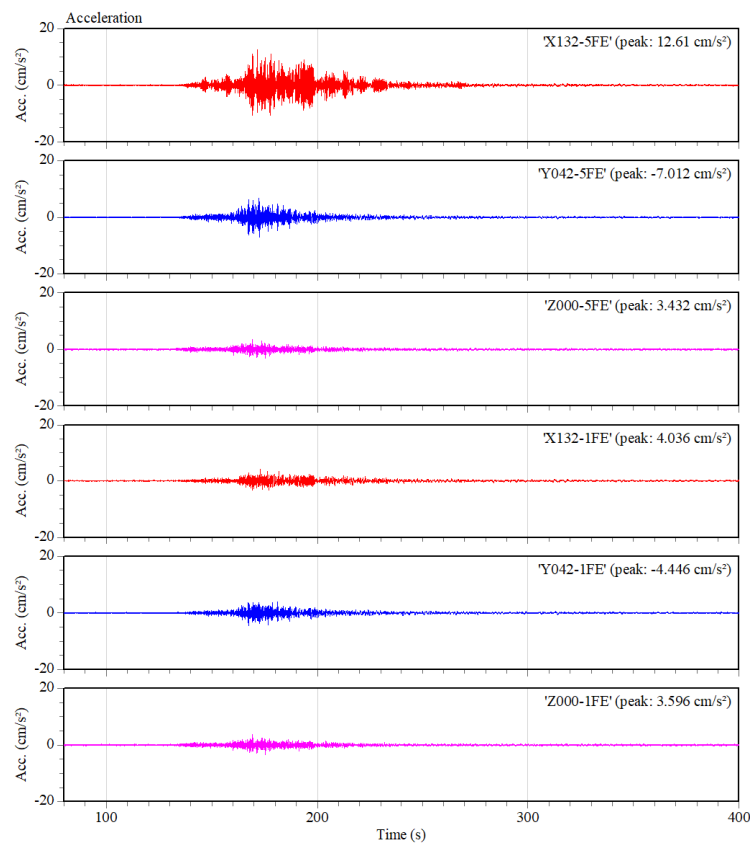
■ 計測状況

屋上東ユニットおよび屋上西ユニットから、設置した加速度計 3 台および GNSS2 台のデータが解析サーバへアップロードされた。計測結果を図～図に示す。

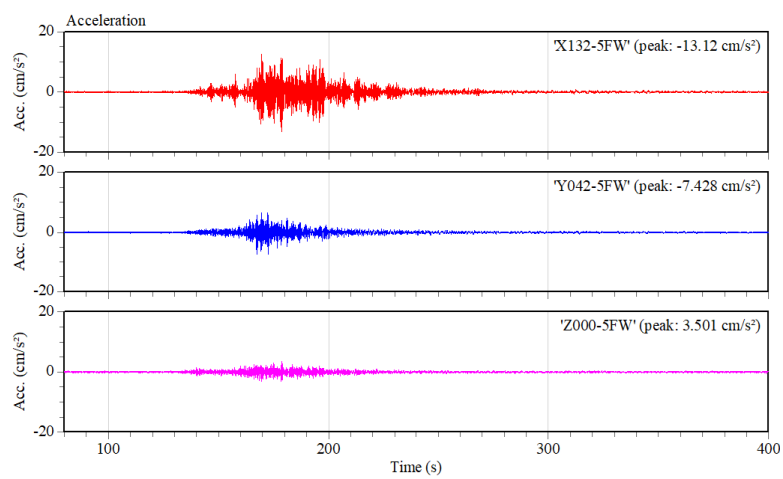
計測の結果、加速度による地震波形を検知したが、発生した変位が 1cm 未満のため、GNSS において地震波形は認められなかった。

表②-5 対象の地震情報

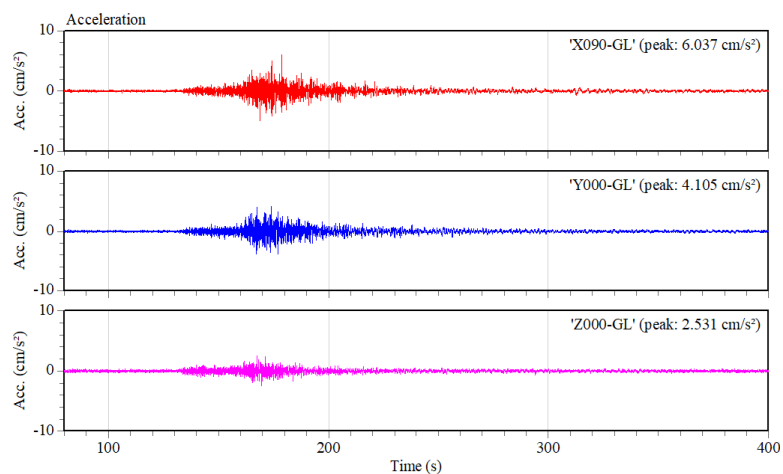
震源情報	地震発生時刻	2024/4/4 12:16:30
	震央地名	福島県沖
	緯度	37° 07.0′ N
	経度	141° 09.0′ E
	深さ	44 km
	マグニチュード	6.3
	最大震度	震度4
観測記録情報 (屋上東ユニット)	トリガ時刻	2024/4/4 12:17:04
	観測データ開始時刻	2024/4/4 12:15:00
観測記録情報 (屋上西ユニット)	トリガ時刻	2024/4/4 12:17:13
	観測データ開始時刻	2024/4/4 12:15:00
観測記録情報 (地上ユニット)	トリガ時刻	2024/4/4 12:17:14
	観測データ開始時刻	2024/4/4 12:15:00



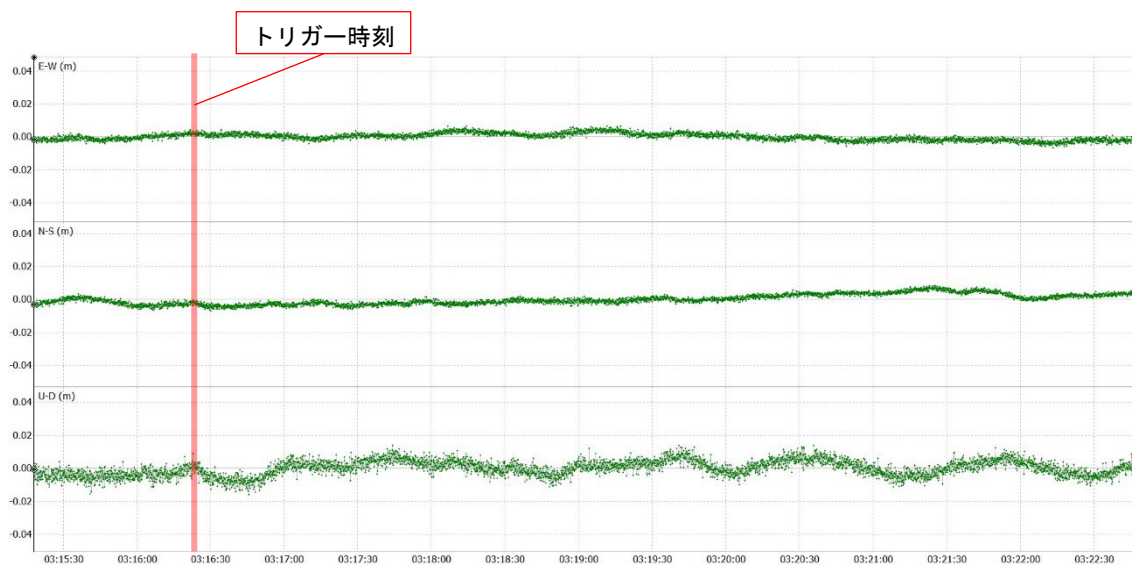
図②-12 加速度記録(屋上東ユニット)



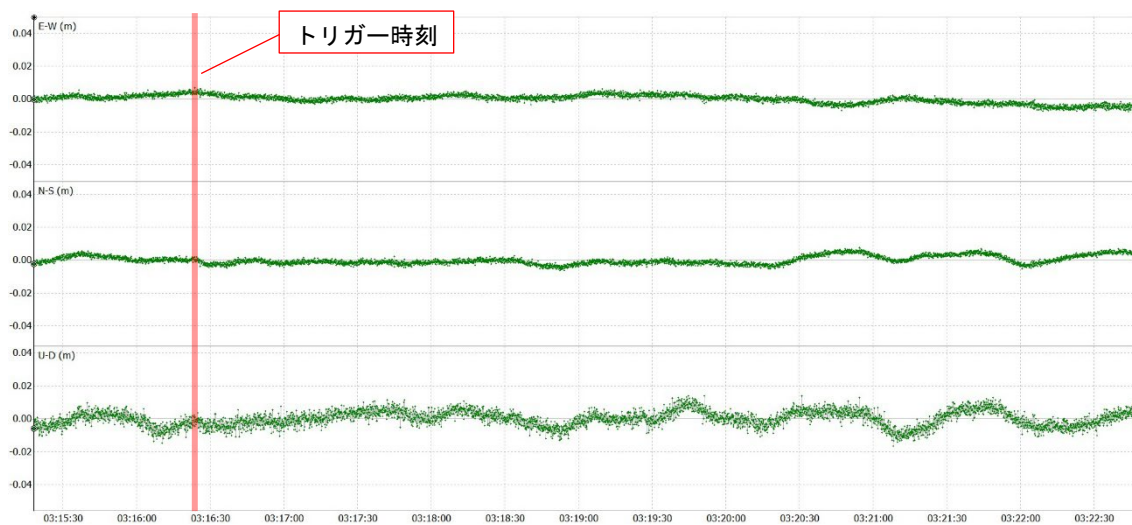
図②-13 加速度記録(屋上西ユニット)



図②-14 加速度記録(地上ユニット)



図②-15 GNSS 計測記録()※時刻は GPST



図②-16 GNSS 計測記録()※時刻は GPST

②-3. 加速度計用いた長期固有振動数計測

【設置事例 UR 赤羽台 41 号棟】

■ 現場概要

UR 赤羽台 41 号棟の概要は次の通りである。

表②-6 UR 赤羽台 41 号棟の概要

住所	東京都北区赤羽台 1-4-41	
建設年	1962 年	
構造種別	壁式鉄筋コンクリート造	
階数	地下なし、地上 5 階、ペントハウスなし	
軒高	14 m	
延べ床面積	1,859.84m ²	
構造形式	長辺	耐震壁付きラーメン構造
	短辺	耐震壁付きラーメン構造
用途	共同住宅	
用途詳細	登録有形文化財モデル住戸	
地盤種別	一般	



図②-17 UR 赤羽台 41 号棟の位置



図②-18 設置対象箇所(UR 赤羽台 41 号棟)

■ 設置概要

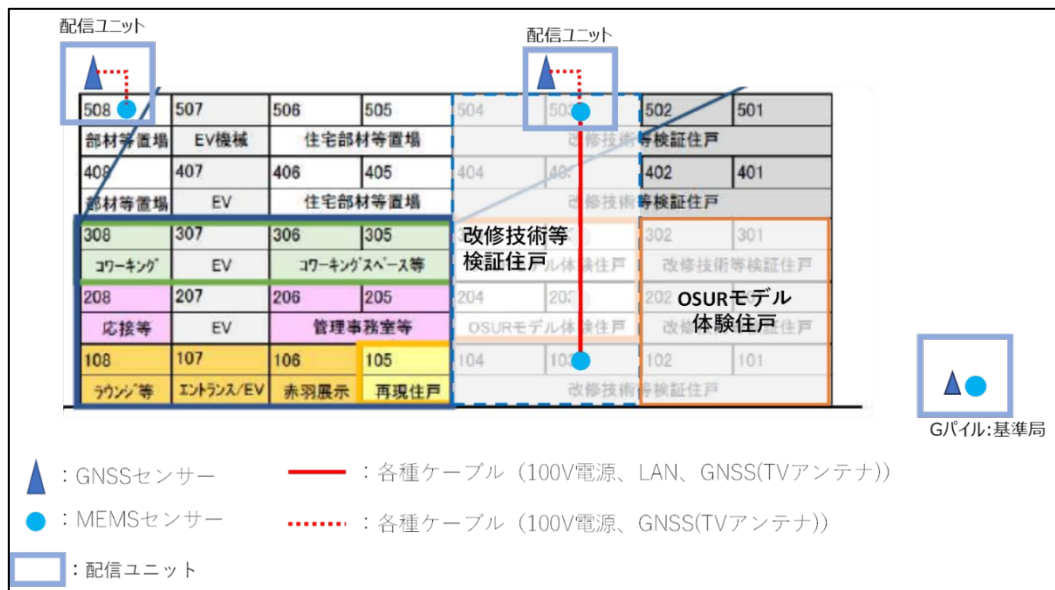
加速度計の設置および計測の概要は次の通りである。

表②-7 センサ設置および計測の概要

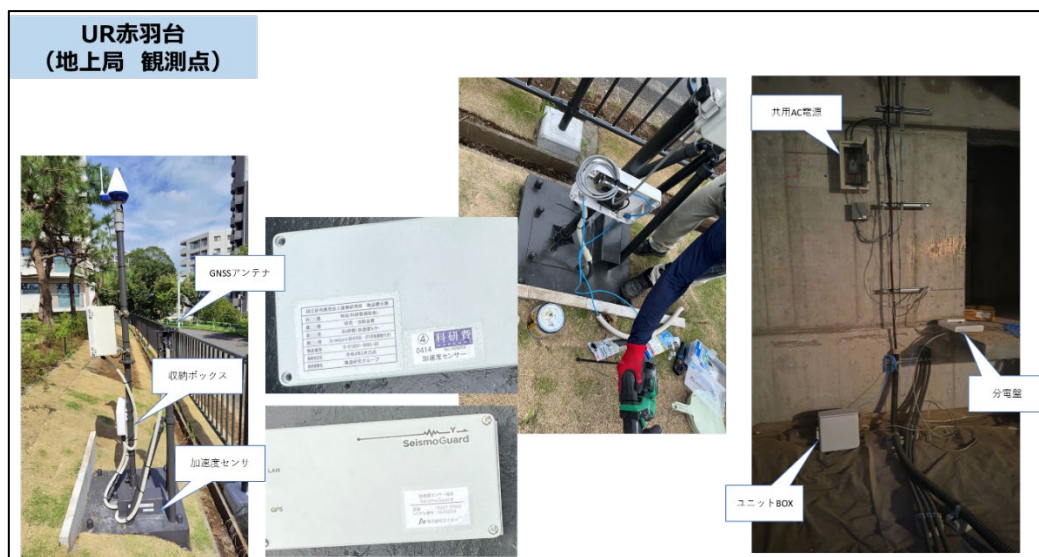
設置箇所	センサ名 (基数)
観測局(屋上)	2 基
基準局(地盤)	1 基
計	3 基

表②-8 加速度計の仕様

名称	様式
記録方式	デジタル
記録成分数	3成分(直交する水平2成分と鉛直1成分)
A/D変換器	20 bit $\Delta\Sigma$ 方式 全成分のサンプリングのGPS時刻同時精度(誤差500 μ 秒以内) を保証すること
ダイナミックレンジ	85dB以上(ノイズレベル0.1 galとした場合)
計測範囲	$\pm 2G$ 以上(1G = 980 gal)
サンプリング周波数	100Hz



図②-19 システム構成図

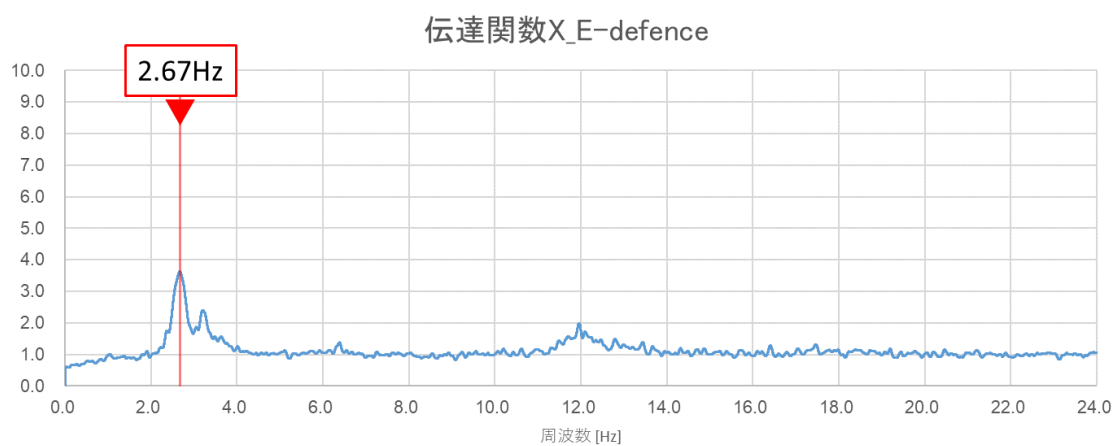


図②-20 地上局設置状況

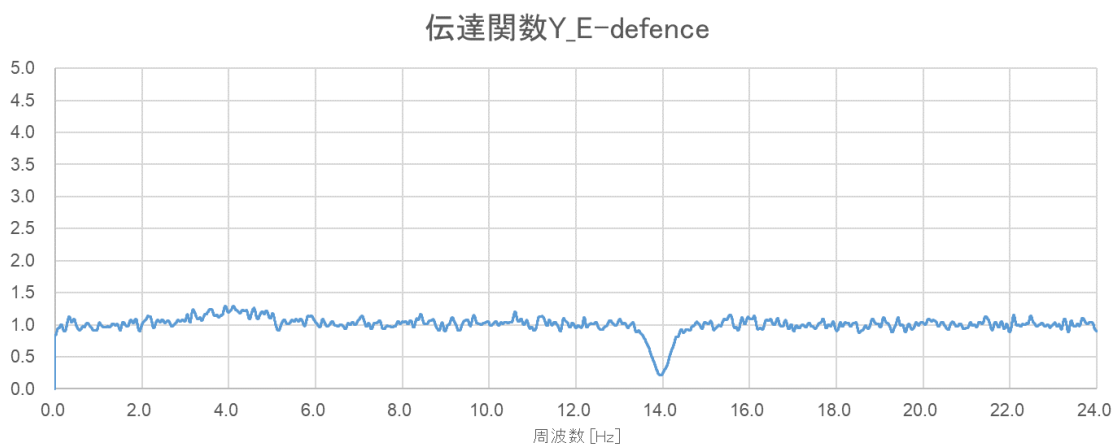
■ 計測状況

観測局と地上局の観測データから算出した伝達関数のグラフを以下に示す。

計測の結果、X 軸方向では 2.67Hz に卓越した周波数が認められたが、Y 軸方向では卓越した周波数は認められなかった。



図②-21 伝達関数(X 軸方向)



図②-22 伝達関数(Y 軸方向)

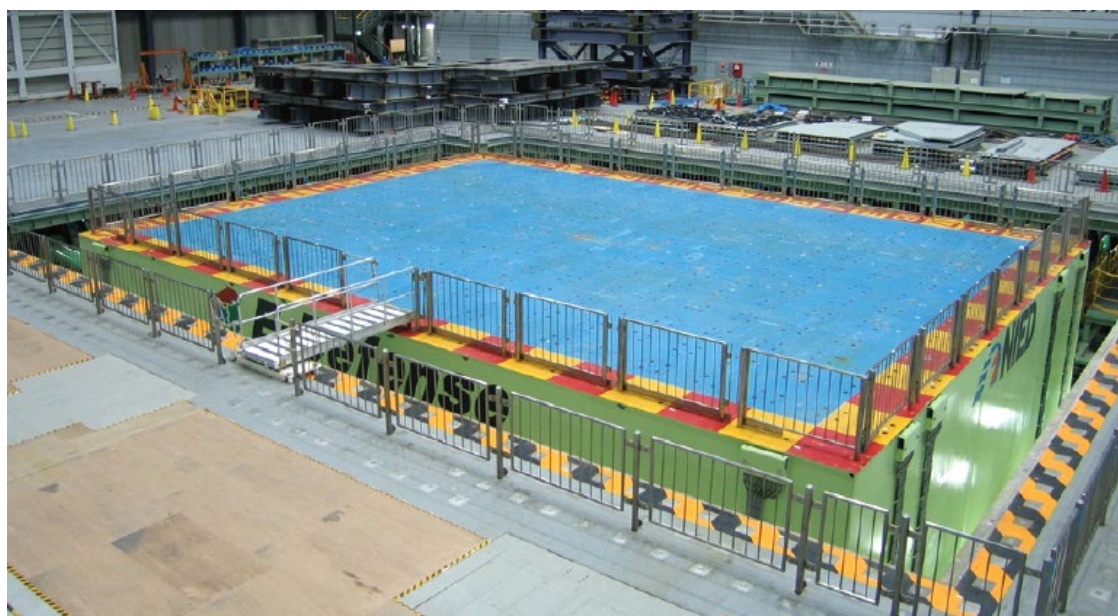
【設置事例 E-ディフェンス】

■ 現場概要

E-ディフェンス(実大三次元震動破壊実験施設)の概要は次の通りである。

表②-6 E-ディフェンスの概要

振動台の大きさ	20m x 15m
最大搭載荷重	12MN (1200tonf)
加振方向	X, Y -Horizontal Z -Vertical
最大加速度	(X, Y -Horizontal) 900cm/s^2 (Z -Vertical) 1500cm/s^2
最大速度	(X, Y -Horizontal) 200cm/s (Z -Vertical) 70cm/s
最大変位	(X, Y -Horizontal) $\pm 100\text{cm}$ (Z -Vertical) $\pm 50\text{cm}$



図②-18 E-ディフェンス

(防災科研 HP より (<https://www.bosai.go.jp/study/edefense.html>))

■ 設置概要

加速度計の設置および計測の概要は次の通りである。

表②-9 センサ設置および計測の概要

設置箇所	センサ名 (基数)
観測局(屋上)	1 基
基準局(地盤)	1 基
計	2 基

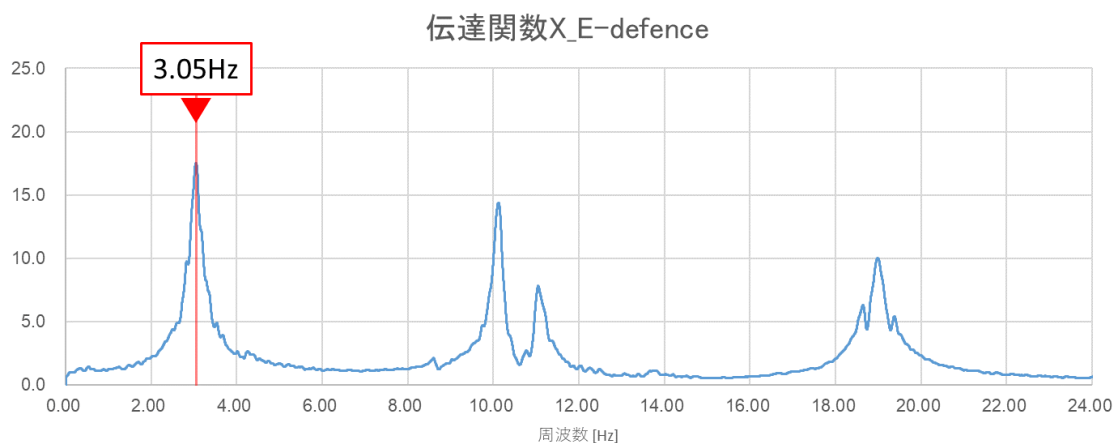
表②-10 加速度計の仕様

名称	様式
記録方式	デジタル
記録成分数	3成分(直交する水平2成分と鉛直1成分)
A/D変換器	20 bit Δ - Σ 方式 全成分のサンプリングのGPS時刻同時精度(誤差500 μ 秒以内) を保証すること
ダイナミックレンジ	85dB以上(ノイズレベル0.1 galとした場合)
計測範囲	$\pm 2G$ 以上(1G = 980 gal)
サンプリング周波数	100Hz

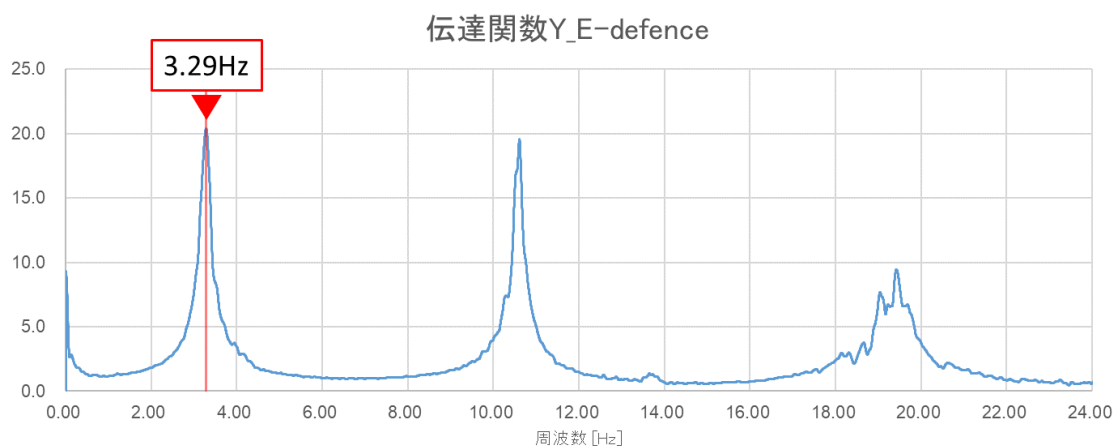
■ 計測状況

観測局と地上局の観測データから算出した伝達関数のグラフを以下に示す。

計測の結果、X 軸方向では 3.05Hz、Y 軸方向では 3.29Hz に卓越した周波数が認められた。



図②-21 伝達関数(X 軸方向)



図②-22 伝達関数(Y 軸方向)

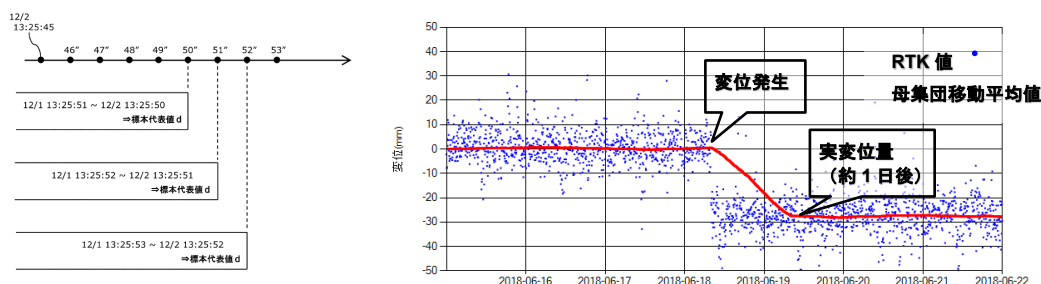
【参考資料③ GNSS 計測における誤差処理方法】

③-1. 母集団移動平均法

RTK (Real Time Kinematic) 測位では、一般に 2～3cm の計測誤差を伴う。しかし、建築物の長期変位計測及び地震後の残留変位を用いた構造躯体の被災情報の抽出を目的として損傷評価を実施する場合、mm オーダーの計測精度が必要である。

そこで、計測精度誤差は測位衛星の配置の違いが主な要因であることから、衛星周期 (1 恒星日 = 23 時間 56 分 4 秒) を母数とし重み付けなく単純に平均化して平滑化することで、衛星配置の違いによる誤差の低減を行った。なお、本手法 (母集団移動平均法) での母数は、統計的推測を行ううえで母集団の特性値が同じになると考えられる。

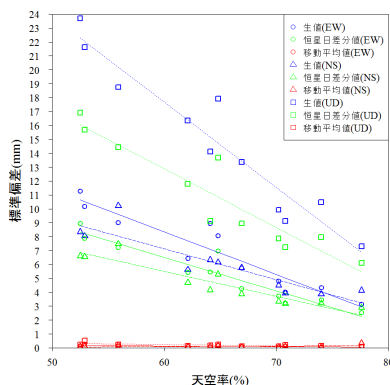
本手法を適用した結果、数 mm オーダーの計測精度での計測を可能とした。



図③-1 母集団移動平均法の計算手法および変位発生時の時系列グラフ

■ 長所

母集団移動平均値は RTK 測位の様にデータ量が多い場合、最尤推定値と同義となる (中心極限定理)。したがって、図③-2 の計測環境 (上空視界) と標準偏差 (≒ 精度) の関係に示すように、比較的、精度が計測環境に依存せず、安定的なデータを提供するといった長所がある。



図③-2 天空率と計測データの標準偏差の関係

■ 短所

母集団移動平均法は、ある時点 t で変位が発生すると、母数として適用した時間 ΔT まで単調増加し、 $t + \Delta T$ に t の実変位量に追いつくといった特性がある(図)。したがって、変位検出において ΔT 分の時間遅れが生じるため、リアルタイム性に欠けるといった短所がある。