

平成 26 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災

研究期間：H26.04 ～ H27.03 [平成 26 年度で終了]

課題番号：

研究課題名（和文）： 衛星測位を利用した防災システムに関する研究

研究課題名（英文）： Disaster management system using global navigation satellite system

研究代表者： 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 田淵 豪

交付決定額（当該年度）： 円

※平成 26 年度で終了となる研究課題は最終成果報告書となりますので、下記項目について詳細な報告をお願いします。

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用していただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

衛星測位技術の進展により、衛星測位による位置の決定精度は各段に向上してきており、mm～cm 精度の計測が実現可能な社会となつてきている。また、日本においては、準天頂衛星「みちびき」を含めた“実用準天頂衛星システム”の整備が計画されており、米国の GPS、ロシアの“GLONASS”、欧州の“Galileo”等、複数の衛星測位システムの利用により、衛星測位がいつでもどこでも利用可能な環境が整備されつつある。

ここで、衛星測位技術については、これまで自動車におけるカーナビ、もしくは測量等において、位置を決定するために主に使用されてきている。一方、昨今の精度向上に伴い、衛星測位技術は、位置決定のみではなく、変位の計測でも利用が検討され始めている。

本研究では、衛星測位を用い構造物の変位を計測することで、構造物の防災対策（耐風、耐震）への活用を目的としている。特に、強風、地震時の構造物の挙動を観測し、地上観測である加速度計のデータと比較することで、衛星測位技術の構造物モニタリングへの適用の実現性を検討するとともに、強風、地震等の災害時の変位観測に基づく構造物の健全性評価を行う。

2. 研究の方法

具体的には、強風対策が求められ、変位の観測が必要不可欠となっている首都圏の超高層建築物群に GPS 受信機及び加速度計を設置し、強風、地震時の挙動を確認する。

ここで、超高層建築物を取り巻く課題としては以下が挙げられる。

- ・建物の設計が性能設計に移行したことにより、台風時や地震時の建物挙動の正確な把握がますます必要となつてきている。建築基準法等では建物の損傷評価指標は変位に基づく指標が主として用いられており、建物の安全性、機能性の評価には、変形、変位応答の正確な把握が必要不可欠となつてくるとともに、最大級の台風や地震が都市を襲った時に、都市内の建築物群が本来の機能を全うすることは、人命財産の保全のみならず、国家安全保障上、極めて重要である。
- ・東日本大震災時、首都圏では約 500 万人の帰宅困難者が発生し、強風、地震等の甚大な自然災害が発生した際の帰宅困難者対策は、重要な課題となっている。ここで、首都圏においては、約 2000 棟の超高層建築物が存在しており、甚大災害時の帰宅困難者の支援拠点として大きな期待を集めている。
- ・超高層建築物は、高度な被災度判定技術が求められるため、被災後の健全性評価には、現在の体制では、首都圏において、約 1 か月の期間が要することが推定されており、的確かつ簡便な被災度判定手法の確立が火急な課題として挙げられている。

本研究の結果については、超高層建築物の変位応答を精度高く計測することで、性能設計の選択肢を増加及び精度を高めることが可能となり、安全設計から安心設計へとユーザに分かり易い指標が定義できる。また、被災後の早期の健全性診断を実現することで、帰宅困難者の支援拠点の確立及び早期の首都圏の機能回復に貢献する。

3. 研究成果

早期の社会実装を目指すため、実際の建築物（都内日本橋付近の超高層建築物）を対象として、衛星測位による変位の計画実施。

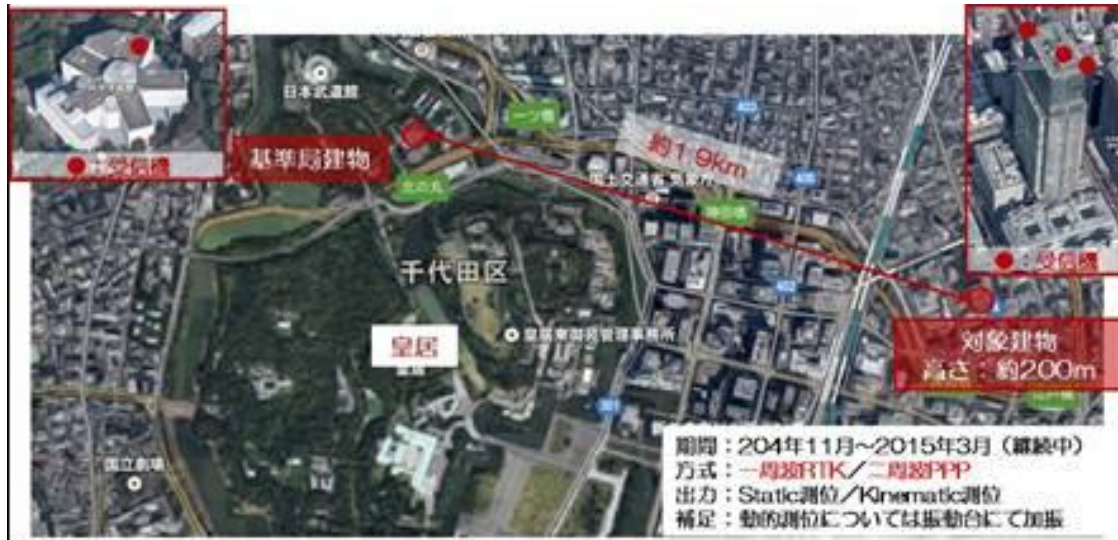


図1. 対象建物の概要

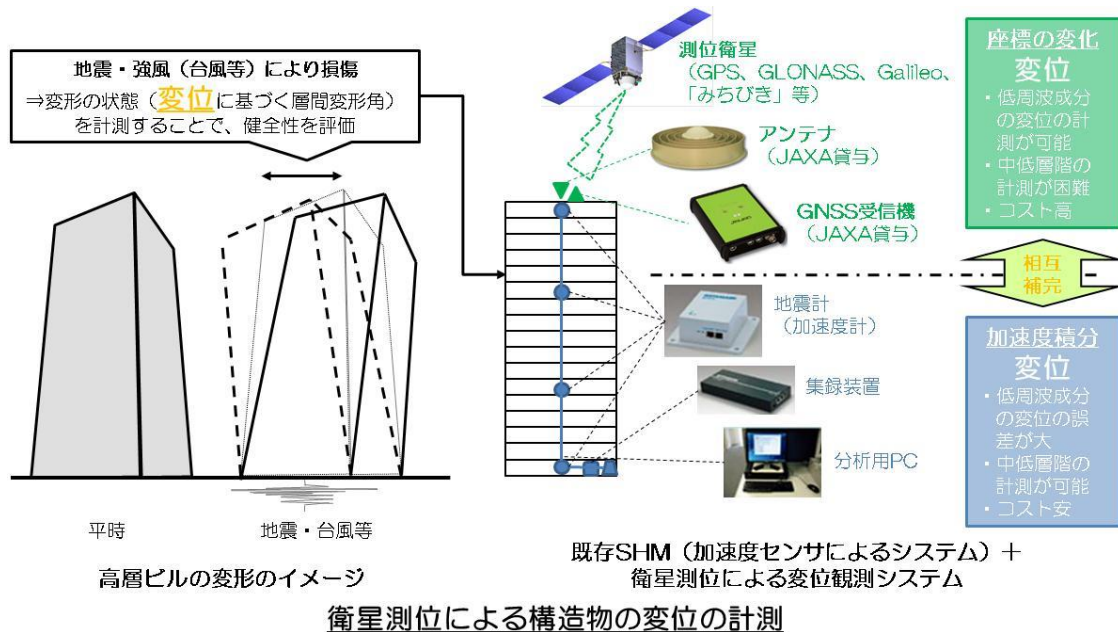


図2. 実証概要

本実証で目指す成果としては、①平時の老朽化診断及び②震災時の被災度判定での活用を目指し、それぞれで必要とされる①日ごとの cm 級の変位計測、②動的な cm 級の変位計測の実現性を確認するために以下の測位実証を実施。

①日ごとの cm 級の変位計測

スタティック測位を用い、長時間観測（本実証では6時間）したデータを用い、絶対位置の計測を実施し、位置が正確に測れていることを実証。それぞれの絶対位置から受信機間の距離を計測し、実測値と比較することで、受信機の移動（建物が変位）したとしても、変位計測が可能である旨を確認。特に受信機2点間の距離を変位と見立てて実証。

②動的な cm 級の変位計測

キネマティック測位を用い、リアルタイムの変位計測を実証。ただし、建物が本実証期間中には建物がリアルタイムで動く事象が発生しなかったため、対象建物屋上に、振動台を持ち込み、アンテナに強制変位を与えての実証を行う。

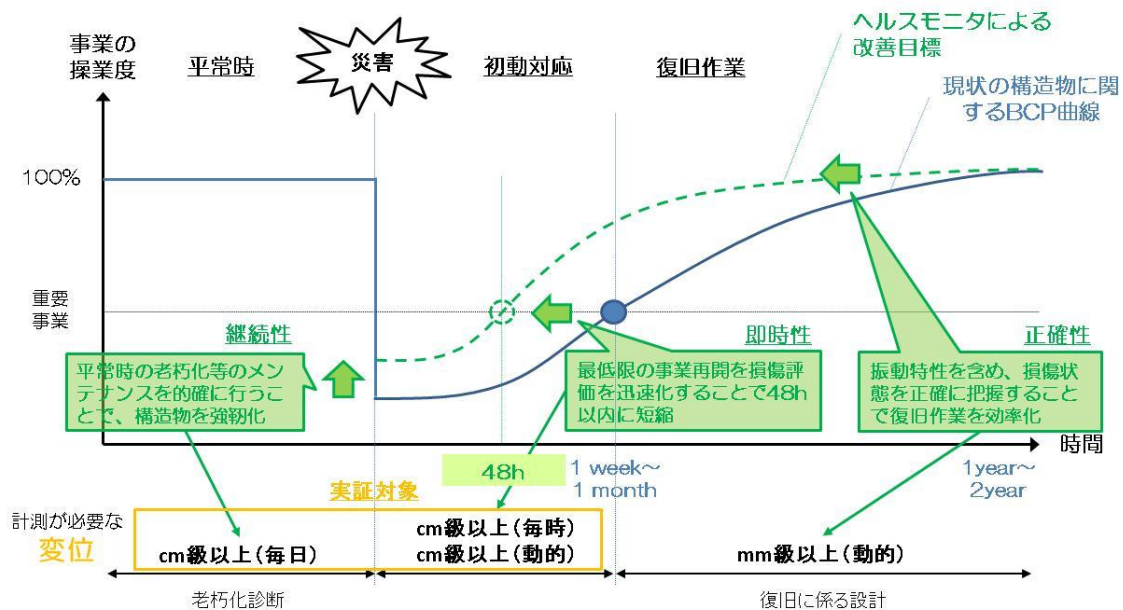


図3. 目指す成果のイメージ

それぞれの実証結果は以下の通り。詳細は図4及び5参照。

- ・構造ヘルスモニタリングシステムへの衛星測位技術の適用について、必要とされる性能について、実現性を確認した。
 - ✓平時で必要となる日単位での cm 級変位 ⇒ mm 級を実現
 - ✓被災時に必要となる時単位での cm 級変位 ⇒ mm 級を実現
 - ✓被災時に必要となる動的な cm 級変位 ⇒ 50Hz でmm級を実現
- ・毎時単位での mm 級の変位計測を達成したことで、既存の加速度計では測定が困難であった残留変形の計測が行える目処を得た。
- ・測位方式について、1 周波 RTK による測位精度を実現できたことで 2 周波受信機の数～10 分の 1 以下のコストでの導入の可能性があるとの見込みを得た。
- ・特に、動的な計測の実証結果については、民間事業者からも強い関心が示され、次年度以降でシステム同化の検討が行われる予定。その際、以下の点が今後の課題、及び活用を広げるための検討目標として挙げられている。
 - ✓模擬試験での確認はできたが、強風等での実際の建築物の挙動の計測
 - ✓受信機のコスト（今回実証では1セット 100 万円程度）
 - ✓各層での層間変形角（層間の相対変位）の計測。屋上階より下層の中間階、特に地盤面の変位の計測。

また、実証結果を踏まえて、今後の社会実装に向けての課題は以下の通り。

- ・既存の被災度判定システムは、システムとして損傷評価の判定を提供しているものではなく、最大変位を提示することでシステム導入者が判断基準を設けて運用を行うものとなっている。
 - ex. システム導入者においては、別途設計者、施工者と協議を行い（費用を負担）、自社ルールを設定することで被災度判定システムの運用を実現。
 - ⇒システムが普及するためには、損傷評価を行うためのルール（設計情報を活用した工学的判断）が必要。
- ・既存システムは主に超高層建築物を対象としており、そのシステムへの組み込みについては、衛星測位によるメリットと導入に伴う開発コストの比較、すなわち費用対効果の点で、適用は難しい状況。
 - ⇒超高層建築物については、設計情報が詳細にあることもあり、加速度計のみのシステムでも損傷評価のルールを個別に設定することで実用が可能。
 - ⇒衛星測位の活用可能性がある領域は、既存の加速度システムではシステムの構築ができていない、中低層の建築物。
 - ✓設計情報が少ない（建築基準法でもとめられていない）
 - ✓層間変形角が微小（一般的にはS造の1/2）であり、高い変位計測精度が必要
 - ✓加速度からは算定できない残留変形で損傷を評価。

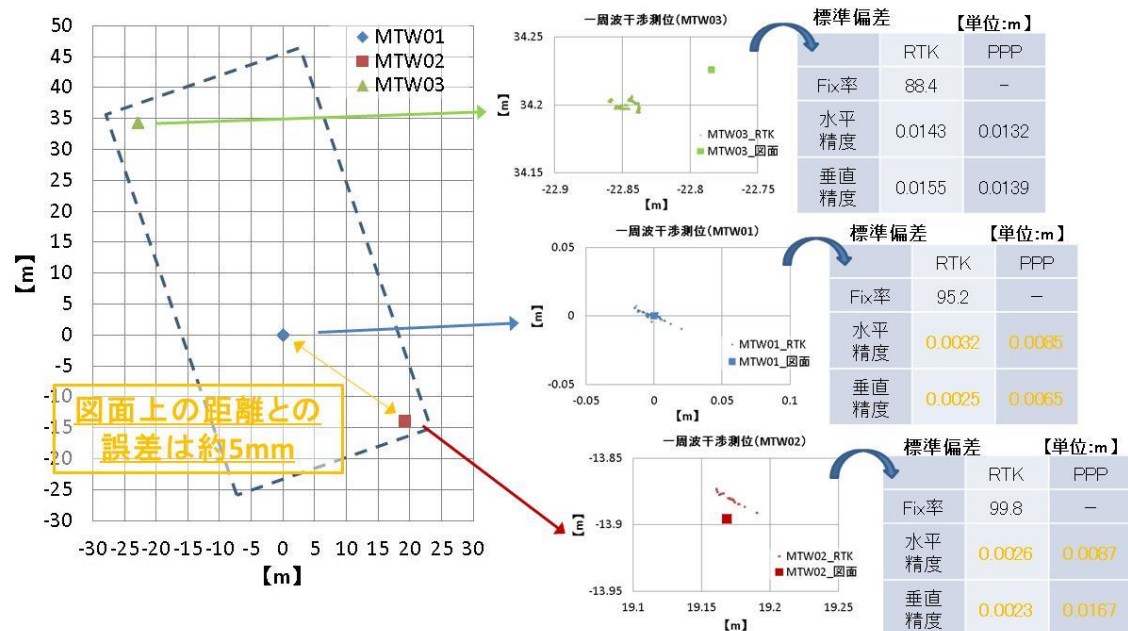
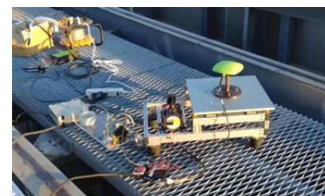


図 4. 日ごとの cm 級の変位計測

- 測位方式：リアルタイム (RTK / PPP)
- 暦：MADOCA
- 解析日時：2014年12月9日 06:59:30~06:59:40(GPST)
- 解析間隔：50Hz
- 振動台の周波数：0.7Hz程度



振動台外観@三井タワー屋上

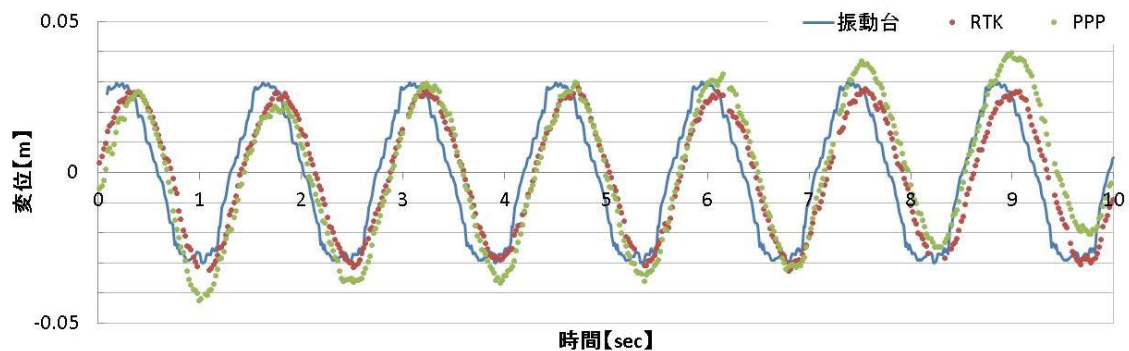


図 5. 動的な cm 級の変位計測

(研究代表者、研究分担者には下線)
特になし。

〔雑誌論文〕(計 件)
〔学会発表〕(計 件)
〔図書〕(計 件)
〔その他〕
産業財産権，ホームページ等

5. 研究組織

(1) 研究代表者

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 施設部 主任開発員 田 渕 豪

(2) 研究分担者

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構	施設部	課長	田 口 博晃
東京工芸大学		教授	吉 田 昭仁
東京工芸大学	風工学研究拠点、プログラムコーディネータ		田 村 幸雄