

GNSS を用いた構造物変位計測の性能評価

公益財団法人鉄道総合技術研究所

正会員 ○岩田 直泰

ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社

正会員 丹羽 健友

1. はじめに

鉄道において、地震時に地震計で算出された地震動指標が一定の基準値を超過した場合、予め設定した区間を対象に安全確保に向けた施設点検が実施される^{例えば1)}。地震の規模によっては施設点検が広範囲となり、運転再開までに時間を要する事例が報告されている²⁾。2018年11月より、準天頂衛星測位システム みちびき³⁾の運用が4機体制で開始され、高精度測位を行うことが可能な受信衛星数を確保することが可能となった。みちびきを含むGNSS(Global Navigation Satellite System、全地球航法衛星システム)を活用し、地震時に弱点となりやすい箇所、例えば未補強の盛土区間や橋台裏盛土などにおいて変位を常時計測することで、地震発生前後の計測変位に基づいた施設点検の範囲の絞り込みや優先順位付けにより、列車運転再開までの時間を短縮できる可能性がある。本研究は、2台のGNSSセンサー(古野電機株式会社製、MG-87M01)を用いた相対変位計測の精度や即時性に関する性能確認の結果について述べる。

2. 計測分解能確認試験

2台のGNSSセンサーによる水平方向と鉛直方向の相対変位計測の性能を確認するために、不動状態の計測変位のゆらぎとその統計量を整理した。図1に、基線長(2台のGNSSセンサーの直線距離)を20mとした場合における水平方向と鉛直方向の24時間のゆらぎを示す。この図によると、不動状態においてもGNSSの計測変位はゆらぎを有し、その程度は水平方向より鉛直方向の方が大きく、変位の二乗平均平方根(RMS)はそれぞれ1.24mmと4.23mmとなった。次に、基線長の違いによる変位計測の性能を確認するため、水平方向と鉛直方向の基線長とRMSの関係を図2に示す。先に示した通り、鉛直方向のゆらぎは水平方向と比較して、RMSで2~3倍程度大きくなる傾向があり、基線長が長くなるほどその傾向は大きくなる結果が得られた。実際には変位が生じていないため、ここに示す変位計測のゆらぎの程度は、基線長に対応したGNSSによる変位計測の分解能に相当すると考えられる。水平方向は基線長が5000m程度までは1から3mm程度の概ね同一のゆらぎとなるが、基線長が5000m以上の場合にはゆらぎが増大することが明らかとなった。これより、水平方向に対して1から3mm程度の計測精度の確保を目指してGNSSセンサーを設置する場合、基準点と観測点のセンサー間隔は5000m程度までとなるように留意する必要があることが確認できた。

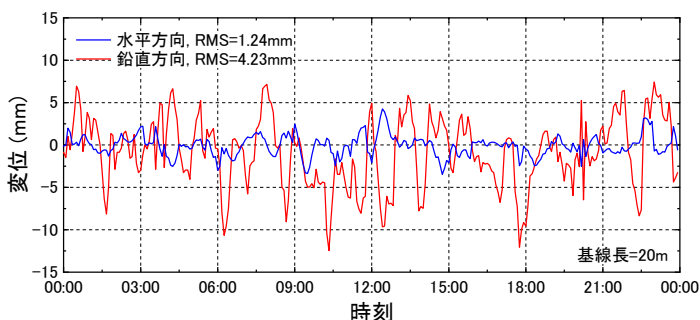


図1 水平方向と鉛直方向の計測変位のゆらぎ(24時間)

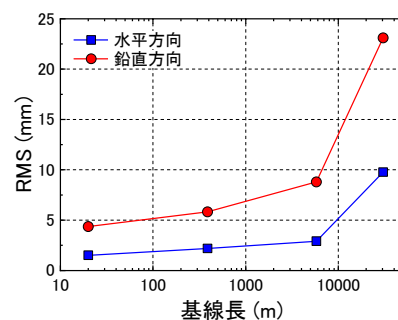


図2 基線長とRMSの関係

3. 強制変位試験

地震時における構造物変位の計測性能を確認する目的から、一方を固定し他方を静的に動かして相対変位を計測する強制変位試験を実施した。本研究では図3に示す、300mmまで変位を発生できる可動式治具を製作し、精密な長さに切断した板を抜き出しすることにより変位を与えた。試験は20mから約30kmの基線長において、水平方向と鉛直方向の強制変位を数時間おきに複数回発生させて計測を行った。図4に基線長5805m

キーワード GNSS, 変位計測, 分解能, 強制変位, 連続稼働

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所・地震解析研究室 TEL 042-573-7273

で水平方向に 150mm、100mm、50mm、13mm の強制変位を約 2 時間間隔で発生させた結果を示す。青丸のプロットは、スタティック測位法を用いた 5 分毎の解析値を示している。この解析値は測位座標データの過去 30 分間の移動平均から算出する。過去データを用いるため、変位発生から変位を算出するまでには時間を要するが、変位発生後の 30 分後には、水平方向で 50mm 程度の変位を精度良く検知できることが確認できた。

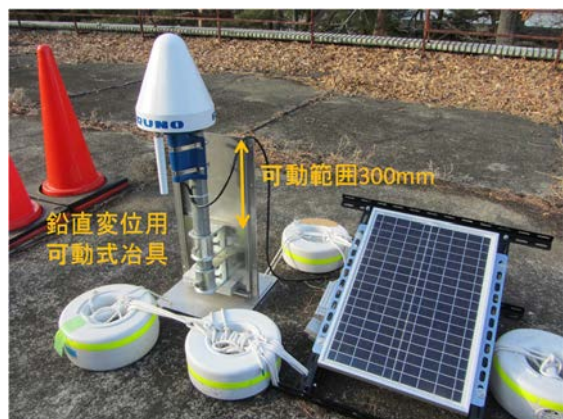


図3 強制変位試験の状況

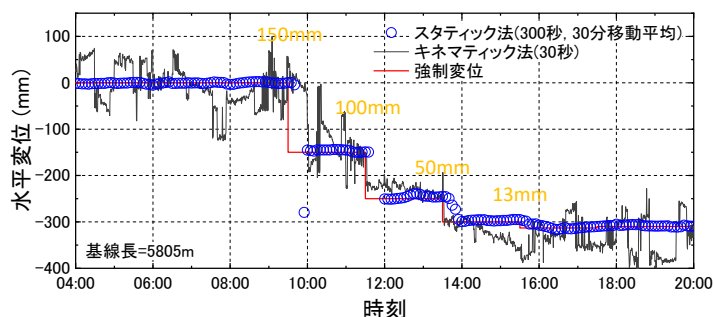


図4 水平方向の強制変位試験の結果例

4. 変位計測の即時処理に関する検討

本研究の GNSS による変位計測は、地震後の点検判断支援への適用を目的としていることから、情報取得には即時性が求められる。そこで、即時性を高めるためにデータ処理方法の検討を行った。解析には、GNSS 干渉測位法の一つであるキネマティック測位法を使用した。キネマティック測位法は、3 章で述べたスタティック測位法と比較して精度は劣るものの、数秒から数分程度の短時間のデータ長で測位が可能である。図 4 にキネマティック測位法による 30 秒ごとの水平変位の解析値を併せて示す。強制変位量と解析値の差分の誤差 RMS は 45mm 程度となっているが、スタティック測位法に比べて短時間で変位量を把握できることが分かった。すなわち、50mm を超えるような変位が生じた場合には、キネマティック測位法を適用し、適切なデータ処理を行うことにより構造物の変位を即時的に検知できることが示された。

5. 連続稼働試験

地震時に弱点となりやすい箇所への GNSS を用いた変位計測の実現性を確認する目的から、図 5 に示す鉄道総研の試験用盛土において、GNSS センサーを設置し連続稼働試験を行った。GNSS センサーは、短い支柱を埋め込んだコンクリートブロックに緊結し、そのコンクリートブロックを盛土ののり肩とのり尻に埋設することにより設置した。2 か月の連続稼働試験の結果、安定したデータの記録が確認でき、盛土への GNSS センサーの設置の実現性を確かめることができた。



図5 盛土における連続稼働試験の状況

6. おわりに

2 台の GNSS センサーを用いて相対変位計測の分解能や即時性を評価し、盛土における連続稼働試験により実現性の確認を行った。その結果、GNSS は構造物変位計測に対して実用的な分解能や即時性を有していることが示された。GNSS による衛星測位の情報は、地震発生直後の構造物変位の早期検知に適用できると考える。

参考文献

- 1) 鈴木博人, 島村誠: 地震時運転規制方法の研究, JR EAST Technical Review, No.3, pp.53-60, 2003.
- 2) 国土交通省: 大阪府北部地震における運転再開等に係る対応に関する連絡会議資料, 資料 5-4-7, 2018, <http://www.mlit.go.jp/common/001247910.pdf> (参照 2020-03-22)
- 3) 内閣府: みちびき(準天頂衛星システム), <https://qzss.go.jp/index.html> (参照 2021-03-22)