

GNSS 測位を用いた橋梁の地震損傷検知に関する検討

(一財) 首都高速道路技術センター	正会員	○張	広鋒	矢部	正明	柳瀬	匡雄
	非会員	右高	裕二				
首都高速道路株式会社	正会員	松原	拓朗	山本	一貴		
坂田電機株式会社	非会員	須賀原	慶久	岩波	啓輔		

1. はじめに

大地震時には、橋梁において緊急車両の通行に支障をきたすジョイント部の変状（段差，目開き，横ずれ）が生じることがある。地震後における道路の早期啓開を図るため，ジョイント部の変状状況を迅速に把握することが重要である。本研究では，ジョイント部の変状状況を把握するための手段として，GNSS (Global Navigation Satellite System) 測位を利用した損傷検知方法の開発を行っている。この方法は，ジョイントの両側に GNSS 信号を受信するアンテナを設置し，アンテナ間の相対変位量からジョイント部の変状状況を検知するものであり，3 方向の相対変位を用いて変状の方向および程度を把握することが可能と考えられる。GNSS 測位は測量分野で既に用いられており，ミリ単位の計測精度があることが確認されている。一方，測量用のアンテナや収録装置は高価で筐体サイズも大きい。本論文では，首都高速道路のように高架橋が多い路線での適用を考え，装置の小型化および低価格化を図るための検討を行った。

2. 損傷検知に対する要求性能および課題点

本研究で目標としている損傷検知装置は，地震直後の損傷状況の把握に用いられるため，損傷検知の確実性と即時性が要求される。確実性とは，緊急車両の通行に支障をきたす損傷箇所を確実に検知できることである。確実性を確保するためには，相対変位の検出精度と損傷としての検出閾値の設定が重要となる。ジョイント部の損傷程度と緊急車両の通行性については，多数の研究結果が報告されている^{例え，1)}。文献1)では，5cm 刻みで段差量と通行性の関係を定量的に評価し，10cm までの段差に対しては小型緊急車両が徐行（15～20km/h）で通行可能としている。5cm 程度の検出精度があれば，ジョイント部の損傷状況の把握や緊急車両の通行への影響の定量評価が可能と考えられるため，本研究では相対変位の検出精度を 5cm としている。

即時性とは，短時間に衛星信号から相対変位を解析して検知結果として出力することである。GNSS 測位では，衛星からの信号を 1Hz で連続的に受信するが，相対変位の解析は連続データからある長さのデータを切出して行う。一般に，解析に用いたデータの長さが長いほど解析の精度が高くなる。例えば，高精度の測量では 1 時間以上のデータが使用されている。所定の検出精度を確保しながら，相対変位の計算時間を可能な限り短縮することが即時性を確保するための課題となる。本研究では，地震対策本部の構築に一定の時間が必要であることを考慮に入れ，地震後 30 分以内に損傷検知結果の第 1 報を出力することを目標とする。

以上のことを踏まえ，装置の小型化と低価格化を念頭に置きながら，5cm の検出精度および 30 分以内の検知結果の出力を目指し，アンテナの選定および相対変位の解析について検討を行った。

3. アンテナの選定

低価格かつ必要な受信精度を有するアンテナを選定するため，図-1 に示す価格帯の違う 3 種類のアンテナを対象に比較検討を行った。

GNSS 測位では，一般に，受信した衛星信号の S/N 比 (Signal to Noise Ratio) のばらつきが小さいほど，測位の精度が高くなる。検討では，同じキーワード 橋梁，地震，損傷検知，GNSS 測位

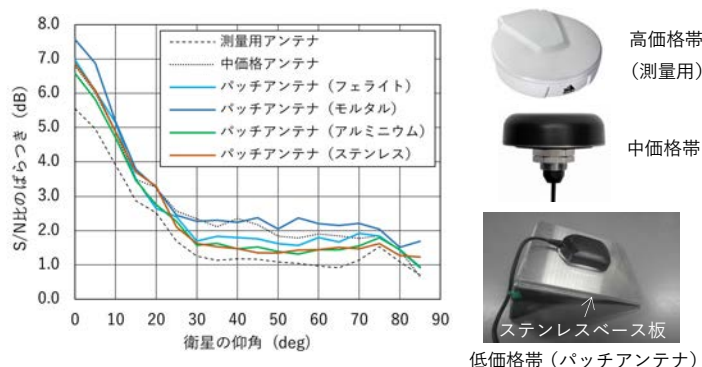


図-1 アンテナおよび試験結果のS/N比のばらつき

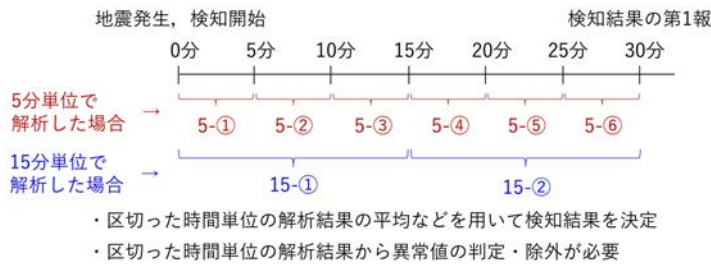


図-2 検知結果の評価方法のイメージ

験条件における S/N 比のばらつきに着目してアンテナの評価を行った。また、アンテナにベース板を付けることによって、受信精度が向上することが一般的に知られているため、試験ではパッチアンテナに4種類の材質（ステンレス、アルミニウム、フェライト、モルタル）のベース板を用いた。図-1 に試験結果の S/N 比のばらつきを示す。衛星の仰角によらず、各試験結果は概ね同様な傾向を示す。衛星の仰角が小さい場合は、衛星からの信号が通過する大気距離が長くなるため、一般に S/N 比のばらつきが大きくなる。高価な測量用アンテナを除き、ステンレスやアルミニウムのベース板を用いた場合の S/N 比のばらつきは他のベース板に比べて小さい。そのため、ベース板は耐久性を考慮してステンレス板を用いることとする。

4. 検知結果の評価

相対変位の解析に用いるデータの長さが短い場合は、異常値が生じやすくなる。異常値が誤検知に繋がるため、除外する必要がある。図-2 に、本研究で提案している検知結果の評価方法のイメージを示す。例えば、解析に用いるデータの長さを5分とする場合は、30分まで6個の解析結果が得られる。これらの解析結果から異常値と判定される解析結果を除外し、解析結果の平均などを用いて検知結果を決定する。検知結果の確実性を高めるためには、区切った時間単位の解析精度と検知結果の決定に用いた解析結果の個数の両方を適切に考慮する必要がある。そこで、適切なデータ長さを検討するために、2分、5分、15分の3パターンに対して試験を行った。試験では、初期位置で一定時間の測定を行った後、片方のアンテナを鉛直および水平方向に50mm移動させて測定を行った。図-3 に、試験結果の一部として、各試験ケースの鉛直方向の測定結果を示す。2分解析と5分解析では、異常値が多く発生している。異常値の除外には確度判定²⁾と座標判定を用いた。除外する基準として、確度判定では確度95%以下を除外した。座標判定では実際のアンテナ位置から大きく外れた値を異常値と考え、中央値から5cm以上外れた値を除外した。除外された異常値の割合は、2分解析は64.2%、5分解析は9.8%、15分解析は0.3%となった。図-4 に、一例として、図-3 に示した5分解析結果の判定後の結果を示す。これらの検討結果に基づき、30分以内の解析結果の個数と解析結果の精度を総合的に考慮した結果、5分解析が最も実用であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、橋梁ジョイント部を対象とした低価格で小型な地震損傷装置の開発を目指し、GNSS測位の適用に関する検討を行った。検討の結果、低価格帯のパッチアンテナでも短時間に損傷を検知することが可能であることが分かった。また、小型化については、小型のパッチアンテナを用いる他、衛星受信モジュールや相対変位の解析用ボードなどを基板化することによって、筐体サイズも現場に適用しやすい大きさ（200mm×200mm×30mm程度）となった。今後、実用化に向けてさらなる検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 常田賢一, 小田和広, 中平明憲, 林健二, 依藤光代: 段差走行実験に基づく地震時の道路の性能評価および交通運用, 土木学会地震工学論文集, pp.596-604, 2007.8.
- 2) Teunissen, P. J. G. and Verhagen, S.: On the foundation of the popular ratio test for GNSS ambiguity resolution, Proceedings of the 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2004), Sep.21-24, 2004, Long Beach, CA, pp. 2529-2540.

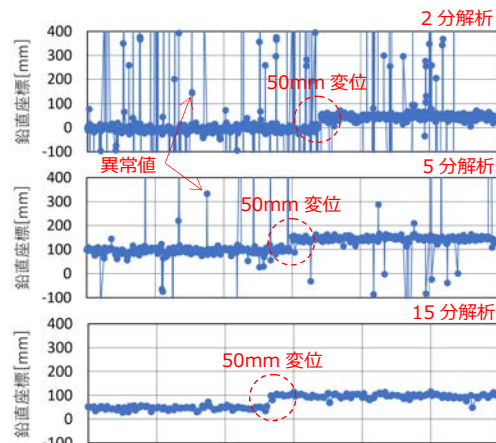


図-3 試験結果 (鉛直方向)

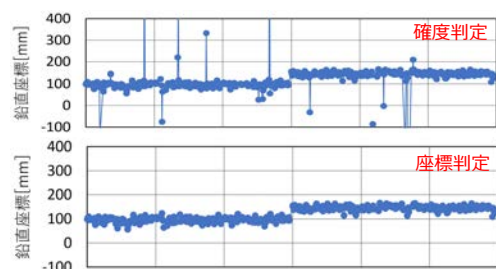


図-4 判定後の試験結果 (5分解析)