

# GPS を用いた橋梁健全度モニタリング

## Investigation of Structural Health Monitoring of Bridge using Global Navigation System

北見工業大学	○学生員	木村保崇(Yasutaka Kimura)
北見工業大学	フェロー	大島俊之(Toshiyuki Oshima)
北見工業大学	正員	三上修一(Shuichi Mikami)
北見工業大学	正員	山崎智之(Tomoyuki Yamazaki)
東邦コンサルタント(株)		村上新一(Shiniti Murakami)

### 1. はじめに

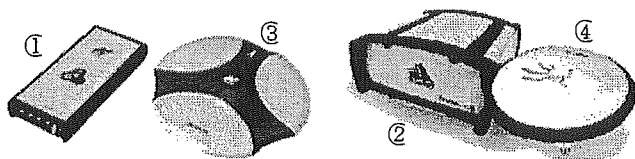
近年のわが国における阪神・淡路大震災や米国におけるノースリッジ地震などの被害を例として、橋梁の異常をいち早く検知し、被害を最小限にとどめることが大切である。最近では、橋梁健全度モニタリングは携帯電話やインターネットを応用して、市街地から遠く離れている橋梁の健全度状況を遠隔操作によって監視するスマートモニタリング技術が開発されている。また、位置情報などを取得するために GPS (Global Positioning System) は技術の発達により精度 1cm 程度と高精度化され大きな進歩を見せている。

このような背景から本研究では GPS センサーを橋梁構造物に設置して、長期間安定的に橋梁の状態変化を遠隔操作によってスマートモニタリングを行い、更に地震時には、被害状況に応じた安全管理を行うことを目的としている。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用実験装置

今回の実験では、図一1 に示す通り株式会社トプコン製の GPS 受信機とアンテナ (図一1 左)、株式会社アムテックスの取扱製品である NovAtel 製の GPS 受信機とアンテナ (図一1 右) を使用した。



図一1 GPS 受信機とアンテナ

#### (1) 受信機

①LEGACY-E LEGACY-E 受信機は株式会社トプコンによって開発された受信機である。この受信機を用いて RTK 方式で測位を行った場合、誤差 1cm と非常に高精度で位置情報を取得することが可能である。またこの受信機は GNSS を利用でき、アメリカの GPS 衛星とロシアの GOLONASS 衛星の両方を受信できるため衛星の数を多く捕らえることが可能である。

②OEM4 OEM4 受信機はカナダの NovAtel 社によって開発された受信機である。この受信機で RTK 測位を

行った場合、誤差 1 cm とトプコン同様非常に高精度で位置情報を取得することが可能である。またこの受信機は、データを最大 20Hz で観測することができ動的観測も行うことが可能である。

#### (2) アンテナ

③LEGANT LEGANT は地面からのマルチパスを低減する装置を内蔵しており、位相のずれが極小に抑えることができる。また地平より仰角 15 度までの衛星を有効な衛星として受信することが可能である。

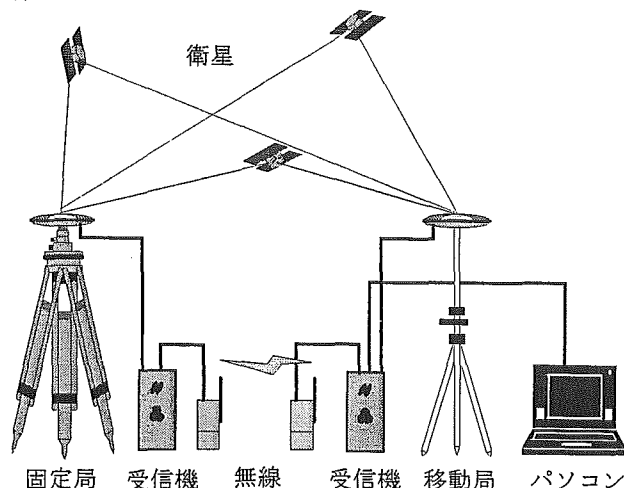
④GPS-600 GPS-600 はトプコン製 LEGANT と同様、地面からのマルチパスの影響を大幅に除去することができる。アンテナ自体は非常に軽量でかつ厳しい環境下でも使用することが可能である。

#### (3) データ観測ソフト

トプコン製の受信機では Microsoft Windows 付属のハイパーターミナルを用いてデータ計測を行った。また NoVatel 製の受信機では付属ソフトの GPSolution4 を用いてデータ計測を行った。

#### 2.2 測定条件

図一2 は今回の測定のイメージを表したものである。測定はすべて RTK 方式で測定をおこなっており、固定局は受信状態の良い場所に設置し測定を行った。移動局は測定箇所を設置した。また固定局と移動局との通信はトプコン製受信機では無線、NovAtel 製受信機では有線で行っている。



図一2 測定イメージ

### (1) 遮蔽物の影響

GPSは位置情報を取得する際、アンテナと衛星との間に遮蔽物があると受信ができなくなったり、また正確な位置情報を取得することができなくなってしまう。そこで図-3に示すようにアンテナ上部に数種類の一辺30cmの遮蔽物（コンクリート、ゴム、鋼板、アクリル板）を設置し、またアンテナと遮蔽物の距離(1m, 80cm, 60cm, 40cm, 20cm)を変化させることによってそれぞれの遮蔽物と距離で、どの程度受信可能衛星状態に影響を与えるかを測定した。移動局の位置は見通しの良い校内グラウンドに設置した。

また図-4に示すとおり実際の橋梁（RC橋と鋼橋）の中央真下に移動局を設置し受信衛星状態を測定し、更に角度を鉛直より北に45度と南に鉛直より45度傾けた時の衛星状態を計測した。次に移動局を橋梁から5mずつ30mまで遠ざけ、更に鉛直より北に45度、鉛直より南に45度傾けることによりどの程度衛星状態が変化するかを計測した。移動局は橋の近くの歩道に設置した。

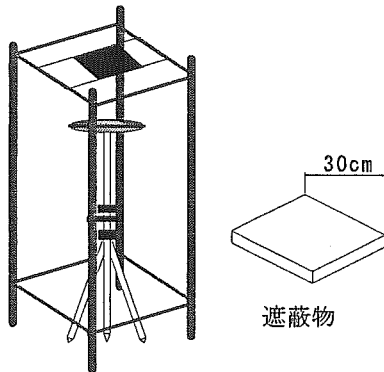


図-3 遮蔽物による衛星状態測定

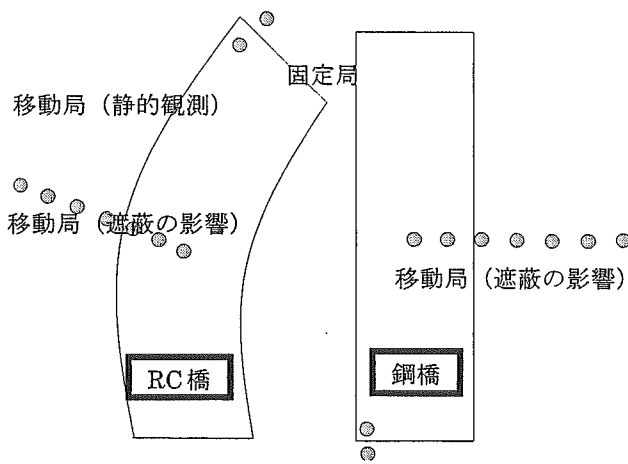


図-4 橋梁下における移動局（静的観測）衛星状態測定と桁端上部モニタ固定局

### (2) 静的観測

実際橋梁のモニタリングで健全橋梁の測定値は誤差が大きいと異常時を察知することが困難となる。そこで、図-3に示す通り実際の健全橋梁（RC橋と鋼橋）の桁端部に移動局を設置し30分間モニタリングを行いどの程度誤差が生じるかを検証した。

### (3) 動的観測

GPSモニタリング中の橋梁が地震などにより揺れた場合、どれほどの精度でその揺れを感知し、更に危険をすばやく認知することができるかが重要である。そこで橋の振動を測定するために北見市内の吊橋で振動測定を行った。移動局は図-5に示す通り吊橋中央部に設置した。また加速度計は移動局同様吊橋中央部に設置した。実験方法は、まず静止状態でのGPSと加速度計の計測を行った。その後人が吊橋上中央部で2秒間隔で10秒間人力加振した後、吊橋を自由振動させ、GPSと加速度計の計測を開始する。計測時間は30秒間とした。

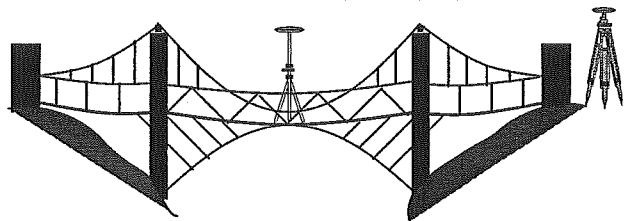


図-5 吊橋における動的測定

## 3. 測定結果

### (1) 遮蔽物の影響

表-1は遮蔽物の種類とアンテナまでの距離を変化させた時の使用可能な衛星数を示したものである。衛星は移動しているためその時間帯によって数は変化してしまうが、この表よりゴムとアクリル板の遮蔽物はほとんど電波を遮蔽しないことがわかる。それに対してコンクリートはアンテナとの位置が60cmになった時点で測定不可となり、鋼板はアンテナとの位置が40cmになった時点で測定不可となった。これより橋梁下にアンテナを設置し、観測することは難しいと予想できる。

表-1 遮蔽物とアンテナまでの距離における衛星数

遮蔽物 \ 遮蔽距離	100cm	80cm	60cm	40cm	20cm
遮蔽物なし	8	7	7	6	10
コンクリート	7	8	-	-	-
ゴム	8	8	7	6	8
鋼板	8	8	7	-	-
アクリル板	7	7	7	6	9

表-2 実橋下における衛星数

橋梁	距離							
	0m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	
RC橋	垂直	0/4	0/4	0/3	4/4	4/4	5/5	6/6
	N45度	0/3	0/3	0/3	4/4	4/4	5/5	5/5
	S45度	0/3	0/4	0/3	4/4	4/4	5/5	5/5
鋼橋	垂直	6/7	0/5	5/8	6/9	6/9	6/9	7/9
	N45度	6/7	0/3	4/6	5/7	6/8	6/8	6/7
	S45度	6/6	7/8	0/5	5/8	7/10	7/10	6/9

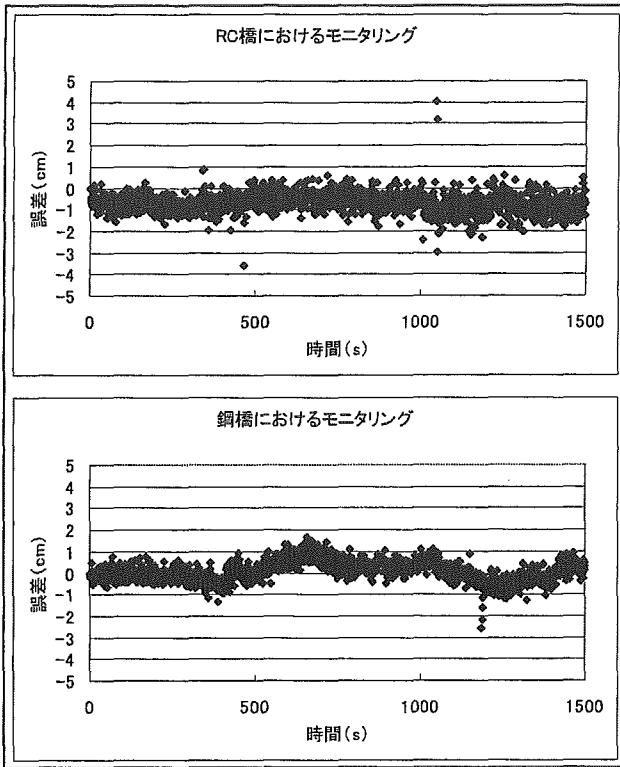


図-6 受信機①の RC 橋と鋼橋におけるモニタリング

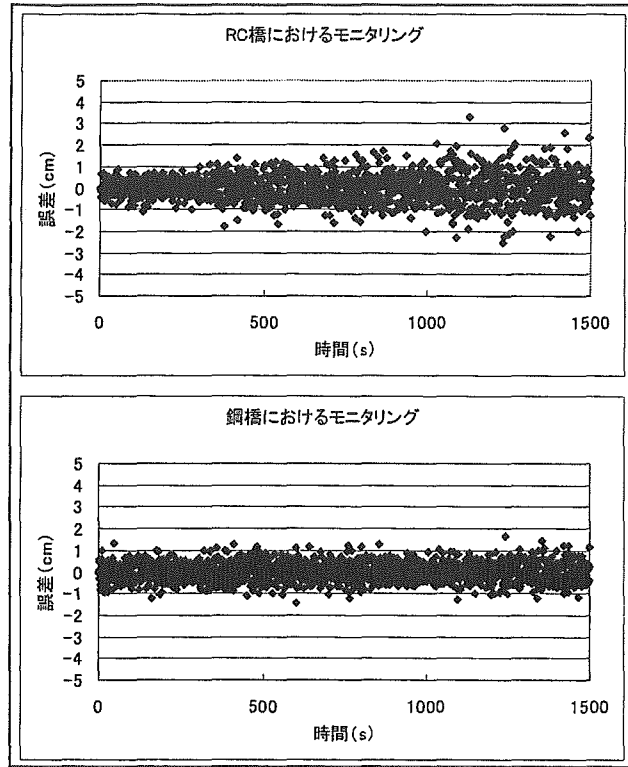


図-7 受信機②の RC 橋と鋼橋におけるモニタリング

表-2 は RC 橋下と鋼橋下に移動局を設置し 5m ずつ橋梁中央から移動した場合の衛星状態，更に各点について鉛直から北に 45 度，鉛直から南に 45 度傾けた時の衛星状態を示したものである。衛星状態は，使用可能衛星数/観測衛星数で表記している。この結果より鋼橋の方は，RC 橋に比べ衛星数を多くとらえることができた。これは橋の材質による原因も考えられるが，地面から床版までの距離，幅員の大きさなどが大きな原因と考えられる。

(2)静的観測

図-6, 7 は各受信機による RC 橋，鋼橋のモニタリングデータの誤差を示したものである。縦軸に誤差，横軸に経過時間を示している。両橋ともに誤差がほぼ 1~2cm に収まっているのがわかる。しかし両受信機共に RC 橋は全体的にばらつきがあることがわかる。これは，マルチパスの影響や衛星数の変化による影響ではないかと考えられる。データ中に 4cm 程度の誤差もあることがわかる。これは衛星の個数が減少したためや，風による振動も考えられる。結果的にモニタリング精度は，特に受信機によらず，その時の周りの環境，使用可能衛星状態や配置状態が大きな要因となると考えられる。

図-8 は観測可能な衛星数が変化するとどれほど誤差が出てくるのかを各受信機の衛星数と誤差の関係で示したものである。縦軸に誤差，横軸に RTK 観測が可能な衛星数を示している。これより両機種共に衛星数が増えると誤差を比較的小さく抑える事ができる。しかしトプコン製受信機の衛星数が 9 個の時は誤差が少し大きくなっている。これは衛星が観測可能となったり不可能にな

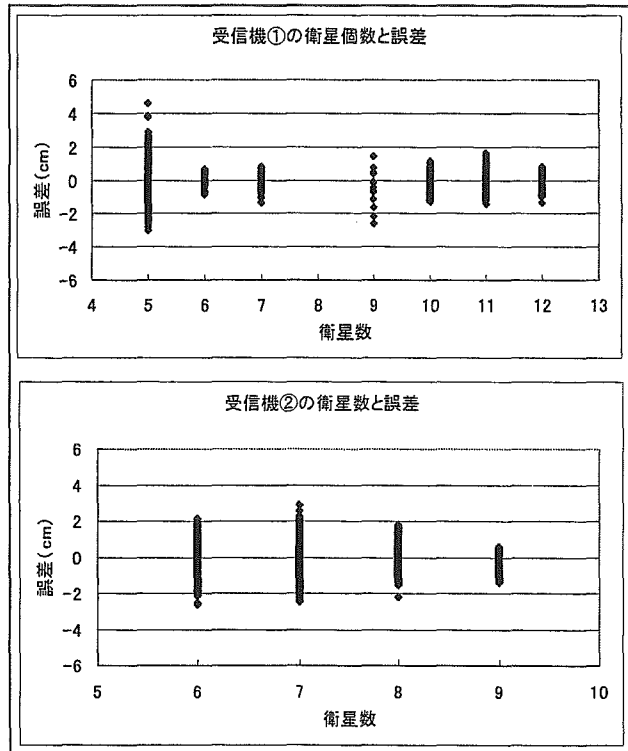
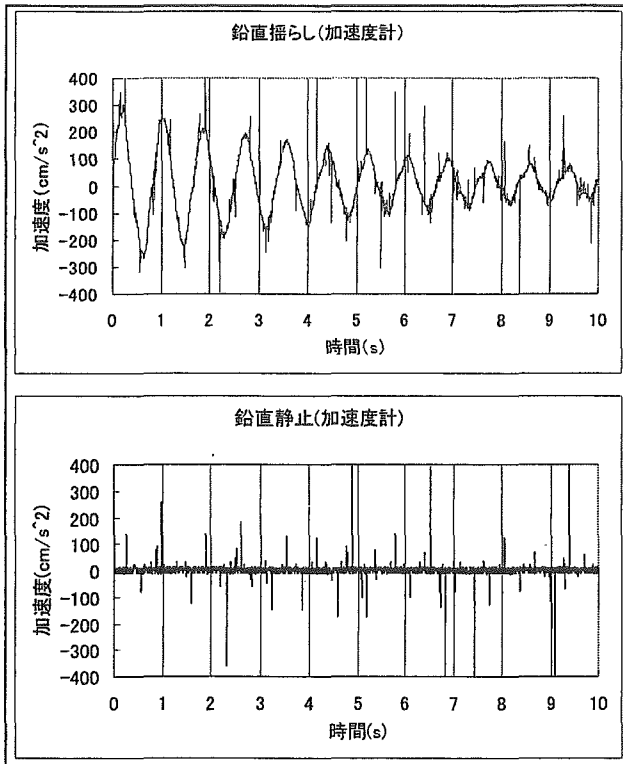
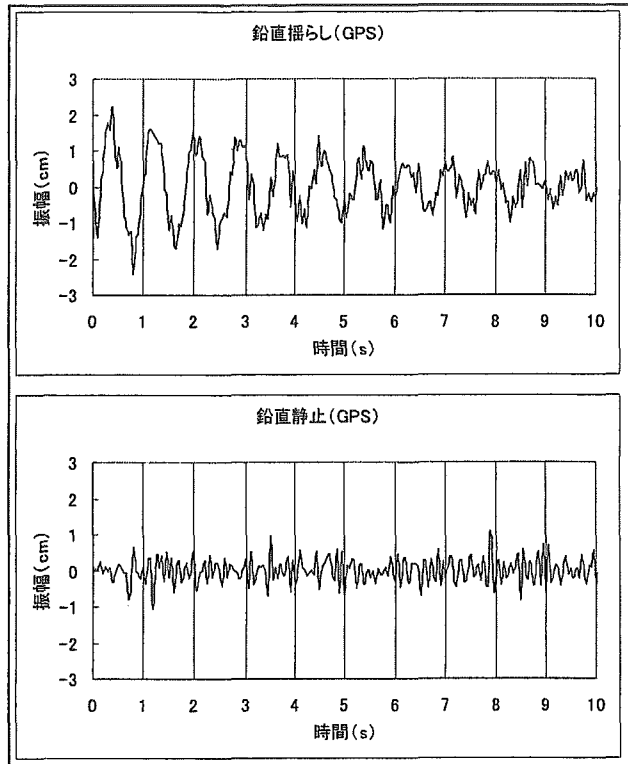


図-8 各受信機の衛星数と誤差

ったりする境目になったため誤差が大きくなってしまったものと考えられる。また，衛星数が 5 個になってくると誤差が大きくなってしまっているのが図からわかる。RTK は衛星数 4~5 個で妥当な位置情報を取得することが可能であるが，誤差が大きくなるためその時の衛星の配置にもよるが，より正確な値を取得するには 6 個以上の衛星が必要と考えられる。



図—9 加速度計の鉛直方向の揺れ観測と静止観測



図—10 GPSの鉛直方向の揺れと観測と静止観測

### (3)動的観測

図—9 に加速度計の鉛直方向の揺れ観測と静止観測、図—10 に GPS の水平方向の揺れ観測と静止観測を示す。図—9 では縦軸に加速度を示しており、横軸には時間経過を示している。図—10 では縦軸に振幅を示しており、横軸には時間経過を示している。加速度計は 200Hz で計測を行っており、また GPS は 20Hz で計測を行っている。これらの結果より GPS は静止状態と鉛直方向の揺れの計測結果を比較すると正確に振動を感知していることがわかる。またこのときの固有振動数は約 1.2Hz となった。

### 4.まとめ

本研究では、GPS 衛星とアンテナの間に遮蔽物を設置し、遮蔽物の影響を検討した。静的観測では GPS アンテナを実橋桁端部に設置しモニタリングを行った。動的観測では吊橋の GPS アンテナを設置し振動を計測した。以上の実験を通して得られた結果を次に示す。

- (1) 実橋モニタリングを行う際 GPS アンテナを設置する位置は橋梁上部が適当である。
- (2) 実橋モニタリングではより多くの衛星を用いることができれば正確な値を取得することが可能である。
- (3) GPS と GLONASS を始めとする多種の衛星を用いることができればより正確なモニタリングが可能となる。
- (4) 実橋モニタリングで地震時には、被害状況に応じた安全管理を行うことが可能である。

今後の課題としては、遠隔操作で GPS を用いた実橋モニタリングを行うことが今後の課題である。

謝辞：本実験を行うに当たりトプコン株式会社様並びにアムテック株式会社様また、北見工業大学土木開発工学科の石橋 秀明君には多大なる御協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。また、本研究の一部は平成 14 年度文部科学研究費基盤研究 (C) (代表者大島俊之) の補助を受けて行われました。ここに感謝致します。

### 参考文献

- 1) 構造工学シリーズ 10 橋梁振動モニタリングのガイドライン, JSCA, 2000.
- 2) 中山隆弘：構造物のスマートモニタリングに関する技術動向、計測・制御・システム工学部会シンポジウム—大型構造物の診断・計測技術の最新動向—, 日本鉄鋼協会/計測・制御・システム工学部会, pp.13-22, 2000.
- 3) 今井修：民間分野における GIS の動向—生活レベルに近づく GIS—, 建設マネジメント技術, pp32-35, 2001.
- 4) 松岡昌志, 山崎文雄：人工衛星 SAR 強度画像による建物被害地域の検出手法, 日本建築学会構造系論文集, 第 551 号, pp53-60, 2002.
- 5) 水町守志：GPS 導入ガイド, 日刊工業新聞社, 1995.
- 6) 飯田尚志：衛星通信, オーム社, 1997.
- 7) 宮内一洋：衛星通信ネットワーク, 昭晃堂, 1990.
- 8) 電子通信学会：海事衛星通信入門, コロナ社, 1987.
- 9) 宮内一洋, 野坂邦史：デジタル衛星通信, 産業図書株式会社, 1985.
- 10) 平田康夫, 伊藤泰彦, 阿部宗男, 山本格：アドバンスド・エレクトロニクス II—7 衛星通信の基礎と応用, 培風館, 1996.