

電波を利用した位相差大変位計測システムの実験検証

三菱電機株式会社 正会員 吉崎 互・岡村 敦・菊地 宏・永井 英樹・茂木 篤志
防災科学技術研究所 正会員 御子柴 正

1. はじめに

阪神淡路級の大地震に対するビルなどの構造物の耐震性向上を目的に、実地震波を再現して実大構造物の応答を計測し得る振動実験装置の建設が進められている[1][2]。このような装置では、構造物壁面全体を覆う複数の計測点の変位を同時かつ高精度に遠隔測定することが求められ、各計測点に電波発信機を設置し受信信号の位相差より変位を計測する方式を提案してきた[3]。本報告では、上記方式について、振動台上での検証実験を実施した結果を報告する。

2. 位相差を用いた複数点測位の原理

図1に提案の電波の位相差を利用した複数点の同時変位計測の基本構成を示す。各計測点に設置された電波発信機は周波数 $f_c = c/\lambda$ (λ は波長)を中心にしてそれぞれのベースバンド周波数が異なる電波を送信する。これらの電波を、それぞれ既知の位置 $\mathbf{q}_j$ に設置された少なくとも4個の受信アンテナで受信する。これらの受信信号はそれぞれ帯域通過フィルタで発信機毎の信号に弁別され、位相差 $\Delta\phi$ が計測される。

第 n 計測点の位置 $\mathbf{p} = [x, y, z]$ は、各位相差 $\Delta\phi_{ij}$ を測定すれば、式(1)に示した3元連立方程式の解として推定することができる。実際には、方程式は非線型であるが線形近似法を用いて逐次的に解く方法を用いている。

$$\|\mathbf{p} - \mathbf{q}_i\| - \|\mathbf{p} - \mathbf{q}_j\| = \lambda \left(\frac{\Delta\phi_{ij}}{2\pi} + N_{ij} \right) \quad (i \neq j; i, j = 1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

ただし、 $\|\mathbf{p} - \mathbf{q}_i\|, \|\mathbf{p} - \mathbf{q}_j\|$ は計測点から受信アンテナ i, j までの距離を意味し、 N_{ij} は電波の経路差の整数値バイアスであり振動前の初期位置などから推定できる値である。

各計測点に設置された電波発信機的位置をそれぞれ独立に

計測点の変位速度に比べて十分短い時間で推定すれば、多数の計測点の振動波形が同時に得られる。

また、測位精度は、計測点と各受信機間の観測位相誤差と、計測点と受信アンテナとの幾何学的配置に大きく依存する。

3. 位相差による複数点同時変位計測実験系の構成

図2、表1に電波による複数点同時変位計測実験系の配置およびアンテナの位置座標を示す。防災科学技術研究所の大型振動台上に置かれた供試体の壁面3箇所に設置した送信アンテナ Tx1, Tx2, Tx3 の位置を、受信アンテナ Rx1, Rx2, Rx3, Rx4 の受信信号位相差より、文献[3]で示される変位計測法によりそれぞれ独立に同時測位する。Tx1, Tx2, Tx3 の送信波として、2.45GHz を中心にそれぞれ+0kHz, -100kHz, +100kHz 偏差させた出力 -40dBm の正弦波を使用した。アンテナはゲイン 9dB のパッチ素子を用いた。3波の分離にはフィルタ長 0.1msec、2048 ポイントのFFTを用い、測位処理は (1/20Hz) の間隔で実施した。X軸方向のみの振動であることからX軸方向の変位に注目した受信アンテナ配置での測定とした。Tx2 に対する GDOP(Geometrical Dilution Of Precision)は8.12である。

キーワード：測位、振動計測、変位計測、電波、位相差

連絡先：兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1、TEL (06) 6495-5361、FAX (06) 6495-5384

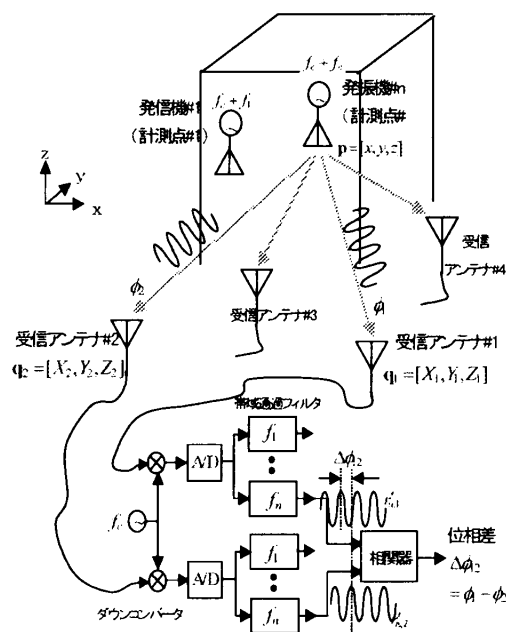


図1 変位計測系の基本構成

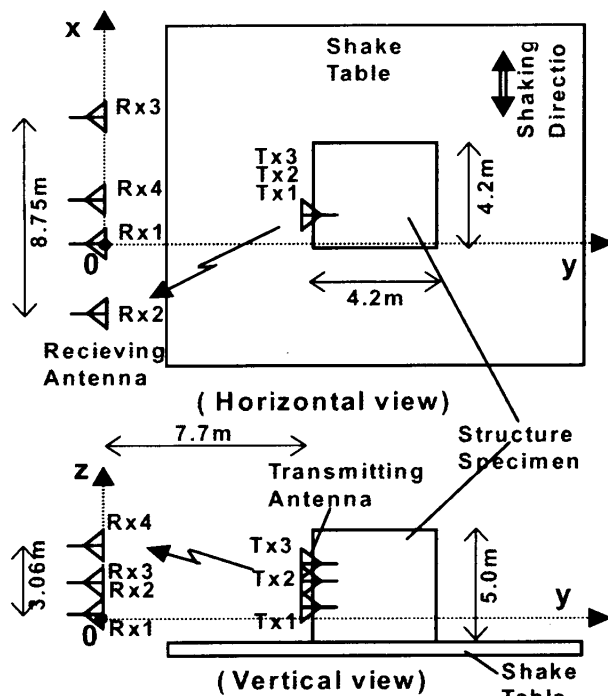


図2 変位計測実験系の配置

4. 振動実験結果

振動台で供試体構造を加振し、計測点 Tx1, Tx2, Tx3 の3次元位置の振動波形を測定によって求めた。振動方向は図2のX軸方向のみであり振動周波数は0.1Hz、最大振幅は20cmの正弦波とした。

図3に最大振幅状態から停止するまでの70秒間におけるTx2のX軸方向での変位計測値を示し、図4に計測誤差を示す。

図4からX軸方向の誤差は、1cm以下となっていることがわかる。また、Y、Z軸方向やTx1, Tx3に対する計測誤差(RMS値)を表2に示す。表からX軸方向の精度はcm以下であるが、計測誤差は変位方向により大きく違う結果となっている。これは計測点と受信アンテナの幾何学的配置条件によるものでY軸方向が相対的に精度として低い結果となっている。また、Tx2のX、Y、Zの測位誤差の割合は、文献[3]の解析から得た理論値1:5.19:1.97に対して実測値1:6.44:1.47と予想される範囲内で概ね一致している結果であった。

5. おわりに

電波位相差を利用した複数同時変位計測法の実験を行い、構造物の動的大変位計測において数mm～数cmの精度が得られることを確認した。また、今後は誤差要因であるマルチパス波等の対策をするとともに受信機と計測点の幾何学的配置が最適となるようなシステム構築を行うことでcm精度の測位が得られる見通しを得た。

電波を利用した位相差大変位計測システムが、複数計測点の大変位を同時かつ高精度な遠隔測定に有効な計測法であることを確認した。

参考文献

- [1] 御子柴, 藤田他, 土木学会第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, 2000-3 変位計測手法の高度化に関する既往の事例と今後の動向
- [2] 御子柴, 吉崎他, 土木学会第2回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, 2001-3 電波を用いた3次元大変位計測手法の開発—特徴及び計測手法について—
- [3] 岡村, 御子柴他, 信学技報 SANE2000-115, Jan. 2001. 多点振動変位の位相差による計測法

受信アンテナ	位置座標 [X, Y, Z] (m)
Rx1	[+0.000, +0.000, +0.263]
Rx2	[-3.522, -0.055, +1.341]
Rx3	[+5.223, +0.050, +1.312]
Rx4	[+1.495, +0.100, +3.205]

送信アンテナ	初期位置座標 [X, Y, Z] (m)
Tx1	[+1.002, +7.708, +0.586]
Tx2	[+1.007, +7.699, +1.588]
Tx3	[+1.007, +7.694, +2.123]

表1 アンテナの位置座標

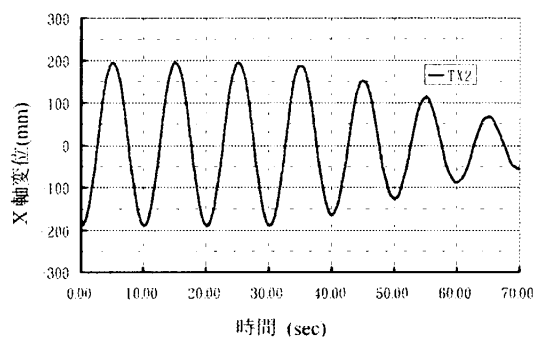


図3 Tx2のX軸方向での変位計測

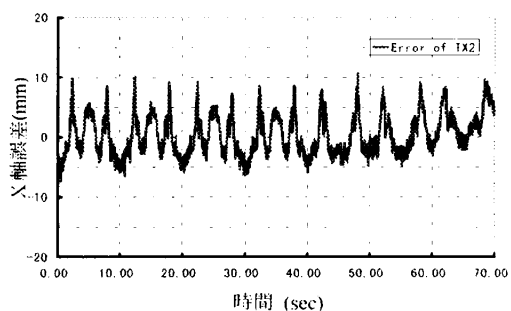


図4 Tx2のX軸方向変位計測誤差

送信アンテナ	X軸 [mm]	Y軸 [mm]	Z軸 [mm]
Tx1	5.08	30.44	11.93
Tx2	3.53	22.74	5.18
Tx3	6.41	51.44	8.81

表2 RMS測位誤差