電波位相差測位法による動的変位計測の高精度化に向けての実験検証

三菱電機株式会社[†] 正会員 茂木 篤志 防災科学技術研究所[‡] 正会員 御子柴 正 三菱電機株式会社 岡村 敦・鈴木 信弘・吉崎 互

1.はじめに

ビルなどの構造物の耐震性向上を目的に,実物大構造物に大振幅の震動を与え,その応答を計測する実験装置の建設が進められている[1].このような実験の動的大変位計測手法として,構造物壁面に多数の電波発信機を装着し,4台の受信センサで観測された電波の位相差より構造物各点の変位を高精度に計測する方法が提案されており,電波実験にて原理検証に成功している[1][2][3][4]. しかしこの場合,試験体(実物大構造物)や周囲の建屋壁面等で反射するマルチパス波の干渉等により一部のセンサに大きな位相観測誤差が加わり,変位計測結果に大きな誤差を生ずる場合がある.そこで本稿では,マルチパス干渉の影響を低減することを狙い,4より多数のセンサを設けて冗長性を有して測位する方式を提案する.また,実際の電波を用いた振動台上での検証試験結果も報告する.

2. 多センサ間の位相差を用いた測位の原理

図 1 に電波の位相差を利用した多センサ動的変位計測系の基本構成を示す.基本測位方式[2][3][4]では,受信センサの個数Mは 4 個であり,各センサ受信信号間の位相差 $\Delta\phi_{ij}$ を測定し,計測点設置の電波発信機の位置を推定した.今回は,センサ数MがM > 4 の場合,すなわち冗長な観測系を考えた場合である.この場合も第n計測点の位置 $\mathbf{p} = [x, y, z]^T$ に関する方程式は,式(1)のように与えられる. [2][3][4]

$$\|\mathbf{p} - \mathbf{q}_i\| - \|\mathbf{p} - \mathbf{q}_j\| = \lambda \left(\frac{\Delta \phi_{ij}}{2\pi} + N_{ij}\right)$$
 (1)

 $(i, j = 1, 2, L, M; i \neq j)$

ただし、 $\|\mathbf{p} - \mathbf{q}_{I}\|\|\mathbf{p} - \mathbf{q}_{I}\|\|\mathbf{q}\|\|\mathbf{p} - \mathbf{q}_{I}\|\|\mathbf{q}\|\|\mathbf{q}\|\|\mathbf{q}\|\|\mathbf{q}\|$

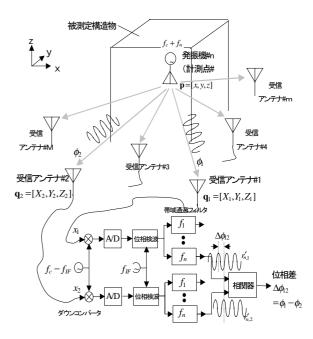


図 1 多センサ動的変位計測系の基本構成

3.振動台における電波実験

図 2 及び表 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.実験は防災科学技術研究所の大型振動台を用いて行い、図はその平面図と立面図を表す.図及び表中の $Rx1 \sim Rx8$ は 8 台の受信センサを示している。また $Tx1 \sim Tx8$ はそれぞれ振動台上に置かれた供試体表面 2 ヶ所及び単振り子ポール 6 ヶ所に設置した変位測定対象の発信機アンテナである. $Tx1 \sim Tx8$ の送信波として,2,440MHz を中心にそれぞれ+0kHz,-100kHz,+100kHz...... -350kHz,+350,-400kHz と周波数をずらした出力+10dBm(10mW)の正弦波を使用した.送信アンテナはゲイン 2.15dB,受信アンテナはゲイン 6dB のパッチ素子アンテナを用いた.送信波の分離にはフィルタ長 0.1msec,2048 ポイントの FFT を用い,観測周期(1/100Hz)毎に得られる FFT 出力信号から受信信号位相差を算出し,前項 2 . に述べた多センサ測位方式を用いて,各送信アンテナの変位を独立に推定した.なお,X軸方向のみの振動であることから,X軸方向の計測を中心とした受信アンテナ配置で測定を行っている.本計測法における測位精度は、受信センサに加わる位相誤差のほかに送受信アンテナの幾何学的配置条件にも依存する.この幾何学的配置の指標として GDOP(Geometrical Dilution of Precision,幾何学的誤差増倍率)がある. $^{[2]}$ 今回供試体の中段フレームに設けた Tx2 に対するGDOP は 3.86 である.

キーワード: 測位,振動計測,変位計測,電波,位相差

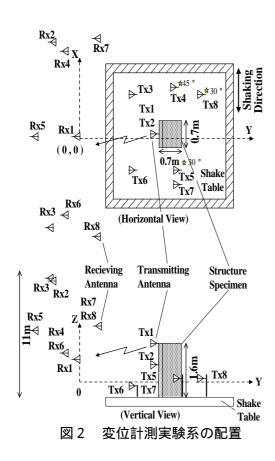


表 1 アンテナ位置座標

Rx	Position [X , Y , Z](m)
Rx1	[+0.000 , +0.000 , +1.485]
Rx2	[+10.052 , +1.171 , +10.692]
Rx3	[-10.233 , +3.288 , +10.723]
Rx4	[+8.226 , +0.978 , +1.869]
Rx5	[+0.166 , +4.789 , +5.546]
Rx6	[-6.938 , +0.947 , +1.946]
Rx7	[+10.216 , -3.800 , +6.099]
Rx8	[-9.760 , -3.426 , +6.178]
Tx	Initial position [X , Y , Z](m)
Tx2	[+0.238 -11.987 +1.011]

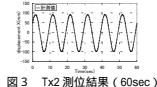


表 2 8 センサ測位方式結果

	Axis-X	Axis-Y	Axis-Z		
	[mm]	[mm]	[mm]		
理論値	4.00	22.90	15.70		
シミュレーション値	4.00	22.90	15.70		
計測値偏差	4.62	23.19	27.81		
GDOP=3.857 (Rx1~Rx8の8センサ組合せ)					

表 3 4 センサ測位方式結果 Axis-X Axis-Y A

	Axis-X	Axis-Y	Axis-Z		
	[mm]	[mm]	[mm]		
理論値	6.50	56.90	41.80		
シミュレーション値	6.50	57.00	41.70		
計測値偏差	7.08	43.98	28.55		
GDOP=10.090(Rx1,2,3,5の4センサ組合せ)					

図 5 偏差量 (60sec)

4 . 振動実験結果

振動台で供試体構造を各種加振条件にて加振し,計測点 Tx1~Tx8の3次元位置の振動波形を測定によって求めた.今回は,振動周波数:0.1Hz,振幅±100mm,定常波加振のTx2の結果を代表で示す.供試体の変位量計測として回転角度計による計測も同時に行っている.図3に電波による多センサ方式での計測結果を,図4に回転角度計による計測結果を,図5に電波の計測結果と回転角度計度の計測結果との偏差量を示す.図5からX軸方向の計測結果と回転角度計結果の偏差は,10mm以下となる結果を得た.

また,多センサ方式と基本の4センサ方式の比較として表2に8センサ測位での誤差の理論値,シミュレーション値,回転角度計との偏差量の二乗平均値を,表3に8センサから4センサ(Rx1,2,3,5)を選択して4センサ測位での誤差の理論値,シミュレーション値,回転角度計との二乗平均値を示す.これらの結果よりこれまでの4センサ測位方式に比べ多センサ測位方式のほうが測位精度は向上することが確認できる.

5.おわりに

電波位相差を利用し複数点の変位を独立に計測する手法について,マルチパス波等の影響を低減することにより変位計測精度を向上させることを目的として,多数の冗長なセンサを用いる測位方式を検討した.これに基づき振動台における電波実験を実施し,多センサ測位方式による変位計測精度向上を確認した.

今後は,より計測精度向上を目的として,マルチパス波等の影響で一部のセンサに大きな位相誤差が加わった場合等に対して,多センサ測位方式にさらに,位相誤差の大きなセンサ排除による測位方式の検討・適用を行い,又実際の使用環境(E-Defense)を想定したセンサ配置,計測周期等のシステム構成の検討・構築を行うことを課題として研究開発を進める予定である.

参考文献

- [1] 吉崎, 御子柴他: 電波を利用した位相差大変位計測システムの実験検証, 土木学会第 57 回年次学術講演会 IV-279(平成 14 年 9 月)
- [2] 岡村, 御子柴他, 信学技報 SANE 2000-145, Jan. 2001. 多点振動変位の位相差による計測法
- [3] 吉崎、御子柴他:土木学会第4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、 2003-3 電波位相差測位法による動的変位計測の実用化に向けての実験検証
- [4] A.Okamura, T.Mikoshiba, et al., Proc. of ASME PVPC, PVP-Vol. 445-1, pp. 83-90, Aug. 2002.