

加速度計との同時計測により検証したモーションキャプチャーの適用範囲

Scope of Application of Motion Capture Verified with Accelerometer Simultaneously

金子 貴 司

要 約

加速度計はセンサー本体を試験体に設置するだけで設置位置の加速度波形が取得でき、取得した加速度波形を2階積分することで変位波形を算出することができる。しかし、加速度波形の処理方法により、得られる変位波形が異なり、変位波形の信頼性は低い。一方、3次元計測可能な光学式モーションキャプチャーシステムでは、設置したマーカーの変位を直接計測できる。

動的載荷試験、及び振動台実験の際、加速度計測とモーションキャプチャーによる変位計測を同時に実施した。本報では、加速度波形とモーションキャプチャーによる変位波形を比較し、特徴、及び適用範囲について調査した。その結果、変位波形の主な周期成分が0.1秒以上である場合、モーションキャプチャーで得られた変位波形から計算によって求めた加速度波形は、加速度計による加速度波形と良く適合することを確認した。また、加振試験により試験体に残留変位が生じた場合でも変位波形を適切に取得することができた。

目 次

- I. はじめに
- II. システムの特徴
- III. 動的アクチュエータによる検証試験
- IV. 塔状試験体への適用
- V. まとめ

I. はじめに

構造物の振動実験では、試験体の加速度や変位を計測することが非常に重要である。変位計は、剛なフレーム架構にレーザ変位計や接触式変位計を取り付ける必要がある。そこで、塔状試験体の頂部変位や、高所にある部位の変位を計測するためには、剛な計測用鉄骨フレームを構築する必要がある。剛な鉄骨フレームは重量が大きいため、振動台の負荷を増加させることになり、振動台の制御が難しくなる。

一方、加速度計はセンサーを試験体に設置するだけでその設置点の加速度波形が取得でき、取得した加速度波形を積分することで、変位波形を算出することができる。しかし、加速度波形にかけるローパスフィルタの種類、積分方法の違いにより、得られる変位波形が異なる。特に、残留変形が生じ

た場合、得られた変位波形は長周期成分の影響を受けるため、真の変位波形とは著しく異なる。

三次元計測可能な光学式モーションキャプチャーシステムでは、変位を直接計測できる。本報では、動的載荷試験、及び振動台実験に適用し、特徴、及び適用範囲について報告する。

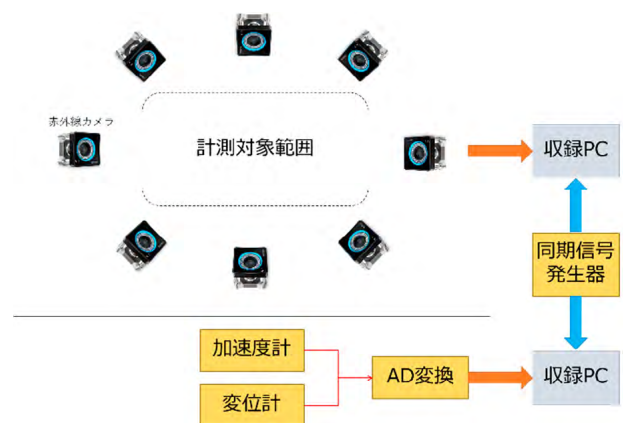


Fig.1 システム概要
(Outline of the System)

キーワード : モーションキャプチャー, 変位計測, 振動台

Keywords : motion capture system, displacement measurement, shaking table

II. システムの特徴

光学式モーショキャプチャーシステムの構成を Fig.1 に示す。計測対象とする物体を囲むように、複数の赤外線カメラを配置し、計測対象物に複数の反射マーカを設置する。このとき、各マーカは、複数の赤外線カメラから同時撮影されるように配置する。また、同期信号を用いることにより、電圧計測やひずみ計測との同時収録が可能である。本システムには以下の長所と短所がある。

- ① 反射マーカの動きを直接計測するため、高精度な計測が可能である。ただし、赤外線カメラの計測対象範囲外になった場合、データ欠損となる。
- ② 動的な3次元、且つ、非接触計測が可能で、最大180Hzのサンプリングが可能である。
- ③ 最も軽量の反射マーカは0.1g以下であり、試験体の挙動に及ぼす影響が小さい。
- ④ 高所の変位を計測する場合でも、振動台から剛な計測用鉄骨フレームを構築する必要がない。
- ⑤ 赤外線カメラの配置を変更した場合は、キャリブレーションが必要である。

III. 動的アクチュエータによる検証試験

1. 検証試験

動的アクチュエータを用いて、精度検証を実施した。Fig.2 に示す動的載荷装置の水平スライドテーブル上に有線式の加速度計、及びモーショキャプチャーの反射マーカを設置した。

Table 1 に示す地震波6波を水平アクチュエータで動的加振した。水平スライドテーブルの加速度波形、及び水平アクチュエータの変位フィードバック信号を1台のデータロガーで収録した。また、反射マーカの変位波形をモーショキャプチャー収録用のPCで取得した。加速度計、及び変位フィードバックは200Hzでサンプリングし、モーショキャプチャーは100Hzでサンプリングした。

2. 変位波形の比較

加速度計による加速度を積分²⁾した波形、モーショキャプチャーによる変位波形、及びアクチュエータの変位フィードバック信号の時刻歴波形を Fig.3 に示す。

告示波八戸位相による加振では、アクチュエータの変位フィードバック信号、加速度計の積分による変位、モーショキャプチャーの変位の3つはほぼ一致している。

一方、EL Centro 波による加振では、アクチュエータのフィードバック信号とモーショキャプチャーの変位波形は良く対応をしているが、加速度計を積分した変位波形は、最大変位が負側にシフトしている傾向が見られる。

3. 加速度波形の比較

モーショキャプチャーの変位波形を時間差分し、加速度

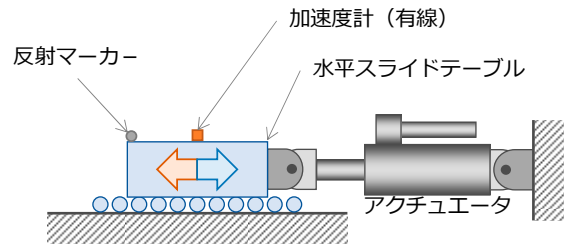


Fig.2 動的載荷装置
(Dynamic Loading Device)

Table 1 加振波の一覧
(List of Test Waves)

番号	波形名称	最大加速度
1	告示波 八戸位相 NS 成分	25.0 cm/s
2	EL Centro 波 NS 成分	25.0 cm/s
3	Taft EW 成分	25.0 cm/s
4	3.11 K-net 横浜 EW 成分	23.5 cm/s
5	3.11 K-net 横浜 NS 成分	23.7 cm/s
6	3.11 K-net 新宿 EW 成分	18.0 cm/s

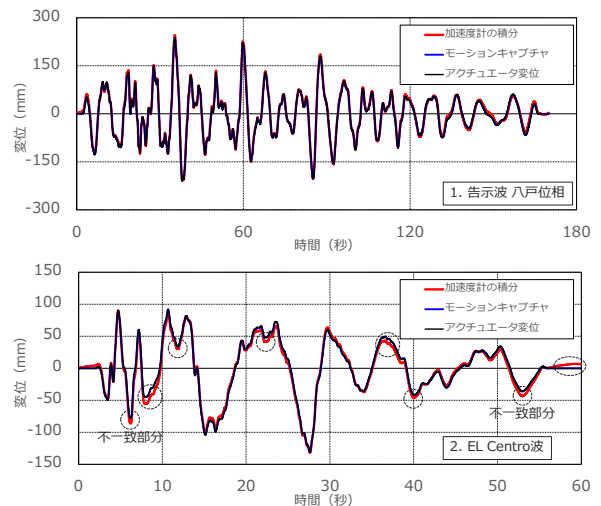


Fig.3 変位波形の比較
(Comparison of Displacement Waveforms)

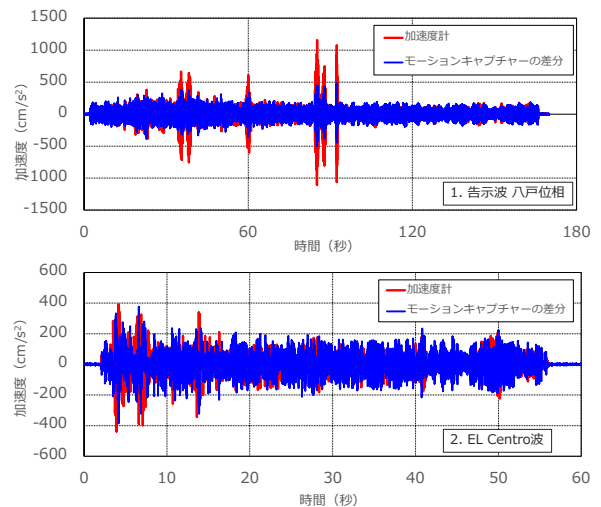


Fig.4 加速度波形の比較
(Comparison of Acceleration Waveforms)

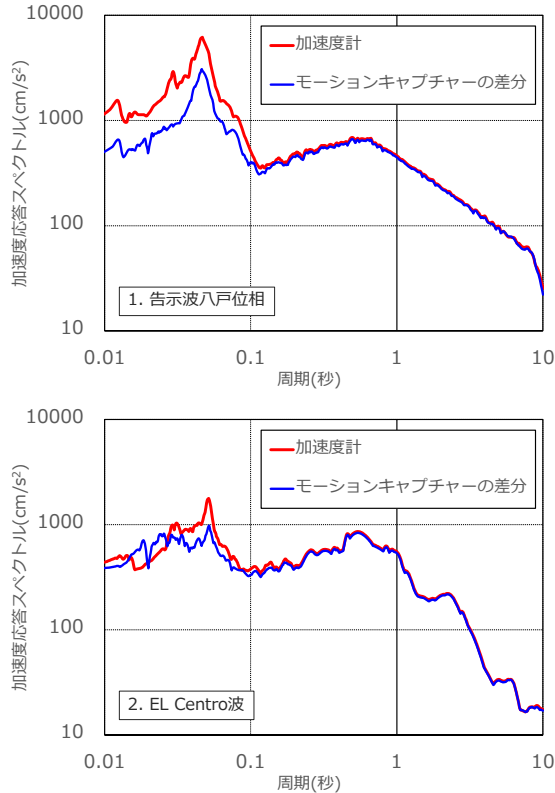


Fig.5 加速度応答スペクトルの比較
(Comparison of Acceleration Response Spectrum)

を算出した。告示波八戸位相、及び EL Centro 波による加振で得られた加速度計による加速度波形、モーションキャプチャーの差分による加速度波形を Fig.4 に示す。告示波八戸位相加振では、どちらの加速度波形とも局所的に大きな加速度が生じている点が一貫している。一方、EL Centro 波加振では、一部の区間で加速度計が大きい傾向が見られるものの全体の傾向は一致している。

告示波八戸位相、及び EL Centro 波による加速度応答スペクトルの比較を Fig.5 に示す。どちらの加振試験でも、加速度応答スペクトルは、0.1 秒～10 秒の範囲では良い対応となっている。一方、0.1 秒以下の短周期領域の最大振幅同士を比較すると、加速度計の 49%～55%の振幅レベルとなっている。従って、計測対象の変位波形の卓越周期が 0.10 秒以下である場合、加速度計を設置する必要がある。一方、計測対象の変位波形の卓越周期が 0.1 秒以上の場合、モーションキャプチャーは十分な精度を有することが確認できた。

IV. 塔状試験体への適用

1. 塔状試験体

塔状試験体を対象とした振動台実験 (Photo 1) にモーションキャプチャーを適用した。各試験体の固有振動数は Table 2 のとおりであり、10Hz を超える振動成分は微小であると考えられる。#0 試験体は弾性設計された試験体であり、加振に

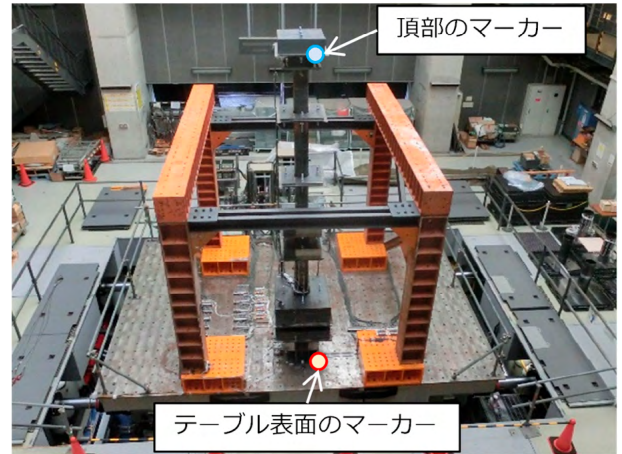


Photo 1 実験状況
(Experimental Conditions)

Table 2 固有周期の一覧
(List of Natural Period of the Specimens)

試験体名	1次固有周期	2次固有周期
#0 試験体 (弾性設計)	0.75~0.81 秒 (1.23 ~1.33 Hz)	0.154 秒 (6.5 Hz)
#5 試験体 (塑性化許容)	1.18 秒 (0.85 Hz)	0.167 秒 (6.0 Hz)

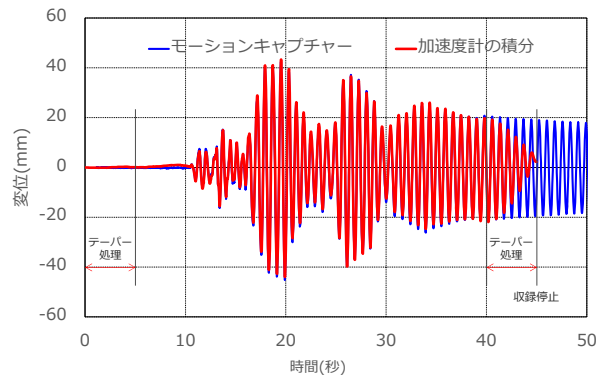


Fig.6 残留変位が無い場合
(Displacement Wave without Residual Deformation)

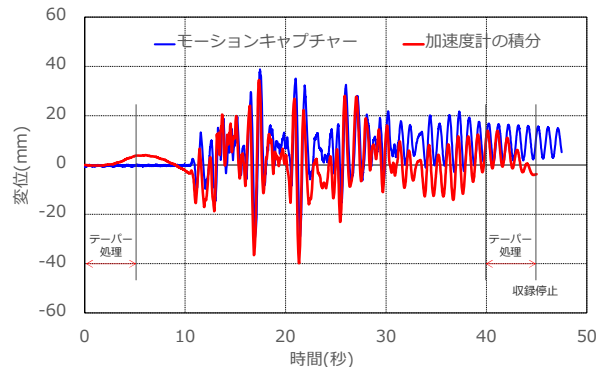


Fig.7 残留変位がある場合
(Displacement Wave with Residual Deformation)

よる残留変形は生じない。一方、#5 試験体は早期に降伏するように設計した試験体であり、加振により残留変形が生じる。

2. 計測対象

振動台テーブルの表面、及び試験体の頂部に反射マーカを設置し、モーションキャプチャーで計測する。得られた試験体頂部の絶対変位からテーブル表面の絶対変位を差し引いて、試験体頂部の変位とする。また、加速度計も振動台テーブルの表面、及び試験体の頂部に設置し、2つの波形をそれぞれ積分し、その差を試験体頂部の変位とする。

3. 計測結果

試験体の減衰定数は小さく、振動が継続しているが、試験体が完全に静止する前に収録を停止している。そこで、収録された加速度波形の収録開始直後、及び収録停止直前の各5秒間をテーパ処理した波形を作成し、その波形を対象として積分を実施した。テーパ処理しているため、収録開始直後、及び収録停止直前の波形はゆがむ。

#0 試験体について、加速度計を積分した波形、及びモーションキャプチャーの計測結果を Fig.6 に示す。テーパ処理した加速度計を積分した変位波形は、モーションキャプチャーの変位波形と良く対応している。

同様に、#5 試験体の計測結果を Fig.7 に示す。#5 試験体は、大きく損傷し、残留変位が計測されている。テーパ処理した加速度計を積分した変位波形では、試験体頂部の変位波形

を十分に評価できないことが確認できた。

V. まとめ

動的載荷試験、及び振動台実験で、加速度計とモーションキャプチャーによる同時計測を実施し、以下の結論を得た。

- ① モーションキャプチャーで 100Hz 程度のサンプリング周波数の変位を収録し、差分により加速度を算定する場合は、0.1 秒以上の周波数成分が主成分であれば、加速度計と良く適合する。
- ② 加速度波形を適切にフィルタ処理して得られた変位波形は、残留変位が軽微な場合は整合する。しかし、残留変位が大きくなると、加速度計から得られた変位波形は、モーションキャプチャーの変位波形と大きく異なる。

参考文献

- 1) アキュイティ株式会社; “OptiTrack : 製品紹介”, <https://www.acuity-inc.co.jp/solutions/system/measurement/>, (参照 2022-07-20)
- 2) M.D.Trifanac; Low frequency digitization errors and a new method for zero baseline correction of strong-motion accelerograms. California institute of technology. Earthquake Engineering Research Laboratory. Report No. EERL 70-07 on September, 1970.

Scope of Application of Motion Capture Verified with Accelerometer Simultaneously

Takashi Kaneko

Accelerometers can acquire acceleration waveforms only install the sensors on the specimen, and displacement waveforms can be calculated by second-order integrate the acquired acceleration waveforms. However, the displacement waveform obtained differs depending on the method of processing the acceleration waveform, so the reliability of the displacement waveform is poor. In comparison, optical motion capture systems capable of 3D measurement can directly measure the displacement of markers installed on a specimen.

During a dynamic loading test and a shaking table test, acceleration measurements were done using accelerometers, and displacement measurements were done by using a motion capture system. This paper compares the acceleration waveforms with the displacement waveforms and reports on the characteristics and scope of application of using this system.