

第 8 章 画像計測

第8章 画像計測

8.1 計測仕様

8.1.1 基本情報

試験体は、長手方向 8m、短手方向 4m、高さ 9.54m からなる 3 層 CLT 構法建築物であり、高さが約 10m と大きいので計測分解能は ±1 mm 程度となった。以下に計測仕様の基本的事項を示す。

- 実施場所 : 防災科学技術研究所 つくば大型耐震実験場
実施期間 : 2012 年 2 月 2 日～7 日 (3 次元計測を行ったのは 2/3, 2/6, 2/7)
使用機材 : 別紙に記述 (高速度カメラ 5 台, コンピュータ 3 台使用)
計測時間 : 1 回の実験に連続で計測できる枚数は最大 8455 枚
 毎秒 100 枚, 最長 84.55 秒間 (実験では 4000～8000 枚 40～80 秒)
測定分解能 : 画像 (1024×992, 8 ビット), 処理により視野範囲の約 10,000 分の 1
 本計測では ±0.5mm～±1mm
測定点数 : 51～54 点 (試験体上部 49 点, 試験体下部および振動台上に 2～5 点)

8.1.2 カメラ配置と座標系

5 台のカメラは、制御室側実験棟の 1 階に設置した。5 台のカメラは図 8.1.1 のように配置した。(カメラは 2 日間の実験で移動させなかった) 座標原点は Z 方向=ゼロが振動台テーブルレベル、X 方向=ゼロが試験体のほぼ中央、Y 方向=ゼロも試験体のほぼ中央である。

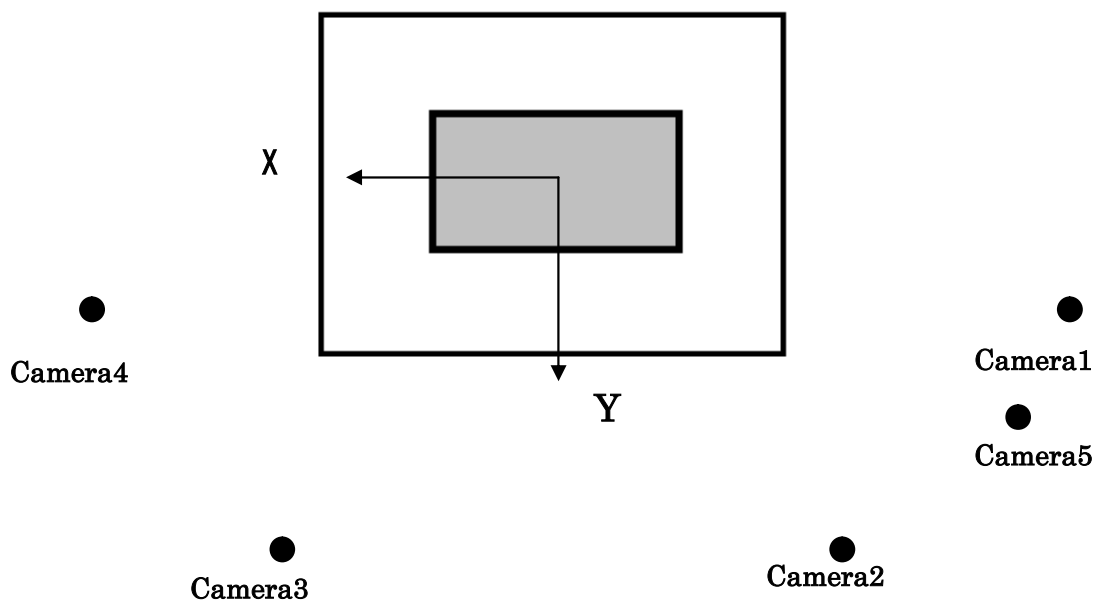


図 8.1.1 カメラ配置と座標系

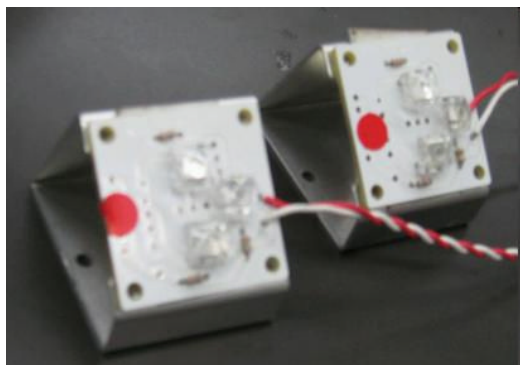
カメラは Ditect 製 HAS-500 で解像度 1024×992 で各ピクセル 8 ビット分解能のものである。最大 8424 枚（毎秒 100 フレームで 84.24 秒間）連続同期撮影が可能である。各カメラに使用したレンズと、カメラの座標位置を表 8.1.1 に示す。カメラ 5 は広角レンズではなく、試験体の右下の一部分を撮影しており、今回の解析では特別な場合を除いて画像解析には使用していない。カメラ 1, 2, 3, 4 を使用した 3 次元解析により正面、右側面および左側面のマーカの 3 次元変位を取得した。また、カメラ 2, 3 のみを使用した疑似 3 次元計測により、Y 方向変位をゼロ（Y 方向変位拘束条件）とした、正面、右側面および左側面のマーカの 3 次元変位を取得した。

表 8.1.1 使用したカメラレンズと設置位置座標

カメラ番号	使用レンズ	X 座標(mm)	Y 座標(mm)	Z 座標(mm)
1	F12.5mm	-11184	6092	1837
2	F16mm	-8607	15818	2271
3	F16mm	8182	15499	2257
4	F12.5mm	11652	8399	1842
5	F25mm	-	-	-

8.1.3 追跡に使用した LED 発光マーカ

測定点に相当する LED 発光マーカは 3 個の赤色高輝度 LED を搭載したものである。基板の大きさは 28×28mm で、重さは約 20g である。6 V の電池で駆動されている。図 8.1.2 に使用したマーカの形状を示す。



小型マーカ

基板サイズ	: 28×28×8 mm
相当直径	: 約 20mm
ランプ数	: 2, 3 または 4
重さ	: 20 g
測定可能分解能	: 0.5mm (最適条件時)

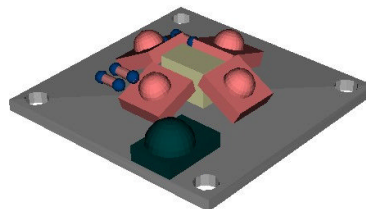


図 8.1.2 LED 発光マーカ

8.1.4 マーカー設置位置とマーカー番号割り振り

試験体の正面（制御室側の面）のパネルの変位や変形を求めることが、今回の3次元変位計測の目的である。そのため、ほとんどのマーカーは正面パネルに設置した。その数は42個である。図8.1.3に42個のマーカー位置と番号割り振りを示す。21枚あるパネルに各2個ずつ設置している。設置数と位置は委員らの意見と指示によるものである。図8.1.4には両側面と振動台テーブル上も含めたマーカー位置と番号割り振りを示す。全体で51個マーカーを設置した。さらに、2月7日の正弦波とJMA神戸波の実験では、振動台上に3個のマーカーを追加した。この3個は、振動台のZ,Y方向変位を計測するために設置したものである。

表8.1.2には、3次元画像計測した各マーカーの初期座標値を示す。座標原点は試験体のほぼ中央の振動台上である。

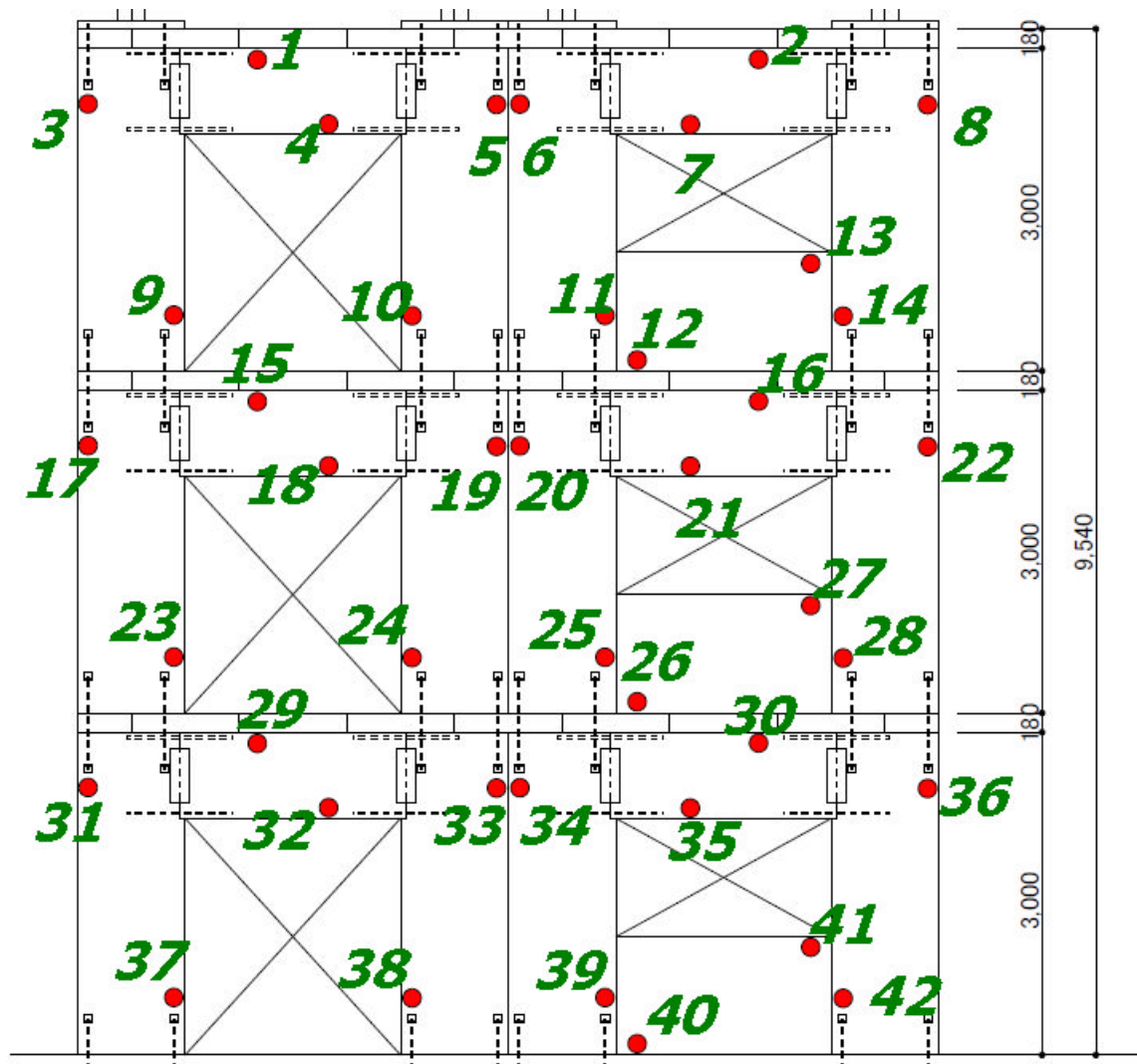


図 8.1.3 試験体正面のマーカー設置位置と番号割り振り

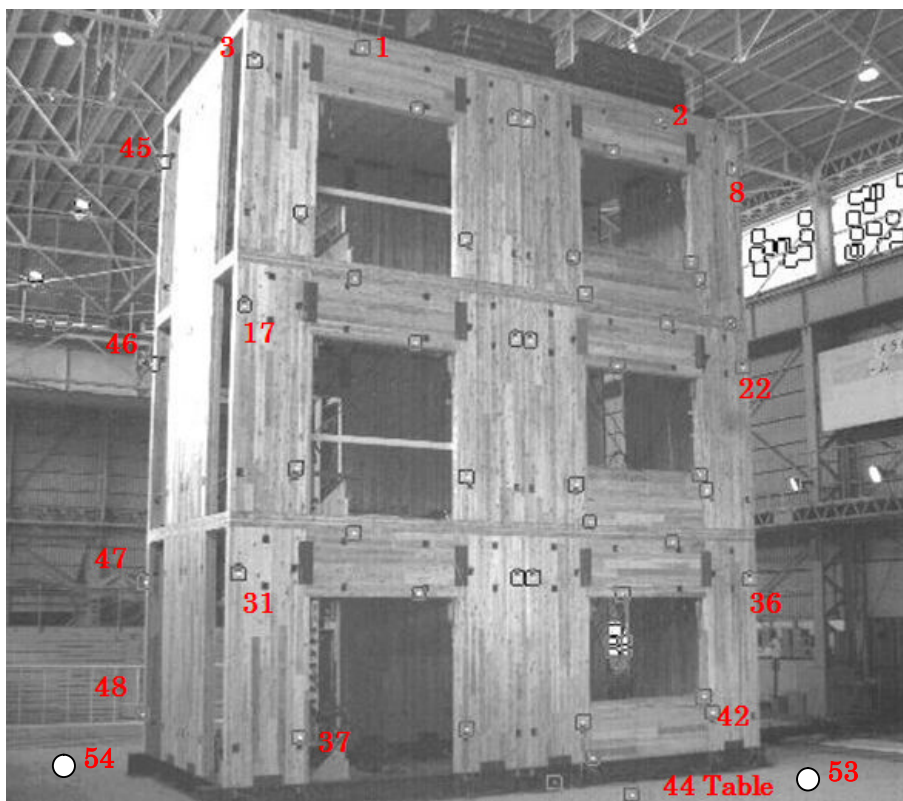
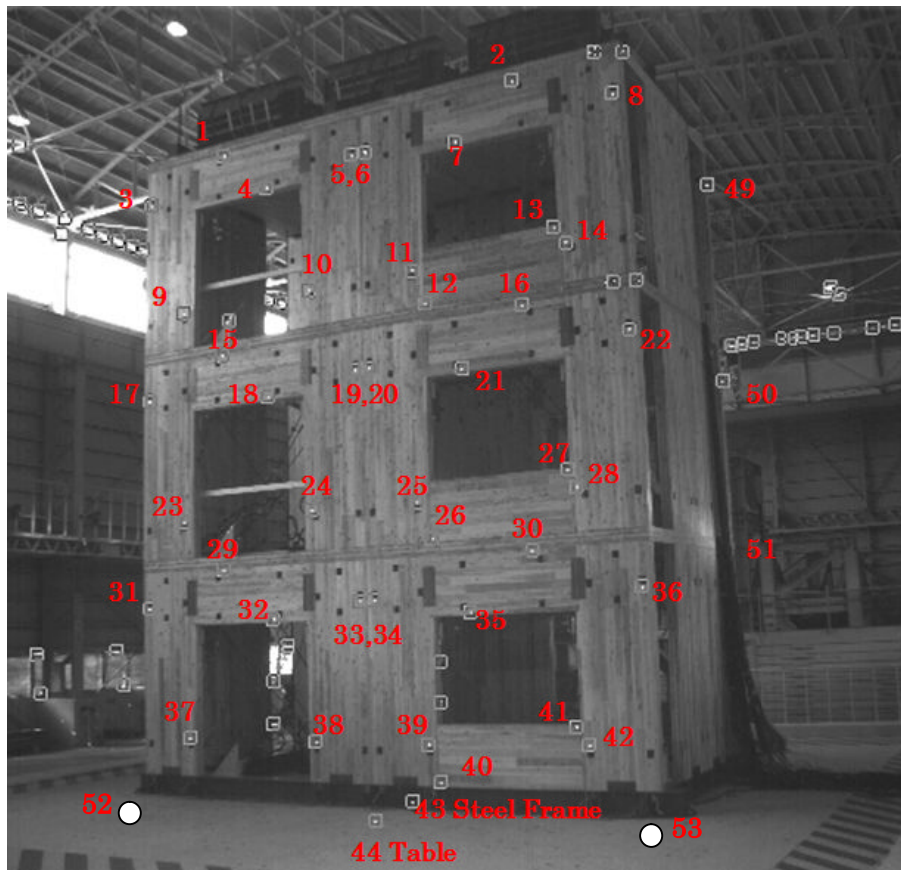


図 8.1.4 左右側面と振動台テーブル上も含めたマーカ位置と番号割り振り

表 8.1.2 マーカー初期座標（3次元計測結果：mm 単位）

番号	X	Y	Z	番号	X	Y	Z
1	2390	1979	9583	28	-3140	1962	4001
2	-2498	1974	9592	29	2410	1964	3235
3	3851	1982	9068	30	-2484	1962	3242
4	1583	1983	8899	31	3856	1953	2722
5	77	1980	9073	32	1525	1969	2510
6	-145	1981	9073	33	88	1975	2709
7	-1599	1981	8901	34	-141	1975	2710
8	-3917	1974	9071	35	-1595	1968	2505
9	3178	1962	7196	36	-3925	1957	2717
10	854	1982	7179	37	3073	1958	817
11	-870	1972	7185	38	852	1968	807
12	-1055	1972	6683	29	-914	1965	808
13	-2995	1958	7418	40	-1071	1956	319
14	-3145	1960	7182	41	-2991	1954	1048
15	2434	1960	6433	42	-3147	1954	818
16	-2493	1968	6438	43	-554	1812	30
17	3865	1957	5906	44	-810	3181	4
18	1580	1974	5704	45	3983	-1976	9094
19	87	1979	5907	46	3990	-1991	5917
20	-147	1975	5909	47	3994	-1966	2703
21	-1573	1977	5699	48	3986	-1960	819
22	-3937	1958	5912	49	-4060	-1964	9091
23	3166	1962	3991	50	-4065	-1989	5913
24	839	1976	4000	51	-4095	-1924	2696
25	-848	1976	3982	52(2/7)	3814	2159	2
26	-1066	1971	3481	53(2/7)	-3912	2207	-2
27	-3019	1966	4228	54(2/7)	4153	-3273	-7

8. 2 解析結果

8.2.1 解析データとファイル名の関係

解析データは、画像解析から得られた各マーカーの絶対座標時系列データから、以下の5種類
のファイルを作成した。それらは、日付のフォルダの中に実験時間と実験内容を示すフォル
ダを製作しその中に格納されている。

- 絶対座標データ(静止座標系からの3次元座標) → 「試験名.csv」
- 変位データ(初期座標からの移動量) → 「～Ostart.csv」
- 振動台からの相対変位(44番マーカーからの相対変位) → 「～M44fixed.csv」
- 相対変位(44番マーカーからの相対変位)変位データ → 「～M44fixed_Ostart.csv」
- 加速度データ(参考データ:単位GAL) → 「～Acc.csv」

通常の3次元変位計測により、加振方向と直交する方向のY方向変位が十分に小さいことがわかった。そのため、通常の3次元変位計測に加えてY方向の変位を拘束した条件で3次元解析を行った。その結果は、「Y変位拘束」のフォルダに格納されている。この解析結果は、各マーカーのY方向の変位を拘束した条件で、各マーカーに対してもっとも高い精度の結果が得られると思われる1台で3次元解析を行っている。この中のエクセルファイルには、

「実験名～Yfix～.csv」

のファイル名がつけられている。表 8.2.1 と表 8.2.2 に、絶対座標データと変位データの CSV ファイルを開いた画面を示す。A 列はフレーム番号、B,C,D 列はそれぞれ1番マーカーの X,Y,Z 座標値 (mm 単位) の時系列値を示している。以下、E,F,G 列が2番マーカーの時系列データであり、64番マーカーまで193列が存在する。マーカー番号が割り振られていない場合や計測ができなかったフレームでは、座標値は (-1,-1,-1) を取っている。

表 8.2.1 絶対座標データのフォーマット

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Marker	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X
2	1	2396.87	1966.37	9587.23	-2494.55	1953.5	9596.45	3857.24
3	2	2396.94	1966.16	9587.31	-2494.56	1953.57	9596.41	3857.33
4	3	2396.84	1966.34	9587.27	-2494.55	1953.55	9596.42	3857.34
5	4	2396.85	1966.36	9587.26	-2494.56	1953.51	9596.48	3857.34
6	5	2396.92	1966.21	9587.29	-2494.57	1953.52	9596.44	3857.32
7	6	2396.89	1966.36	9587.27	-2494.54	1953.53	9596.42	3857.33
8	7	2396.87	1966.31	9587.3	-2494.56	1953.57	9596.41	3857.29
9	8	2396.85	1966.34	9587.26	-2494.58	1953.56	9596.46	3857.25
10	9	2396.85	1966.34	9587.25	-2494.54	1953.56	9596.39	3857.3
11	10	2396.85	1966.35	9587.27	-2494.58	1953.53	9596.47	3857.29
12	11	2396.83	1966.29	9587.28	-2494.63	1953.54	9596.46	3857.26
13	12	2396.85	1966.35	9587.27	-2494.58	1953.59	9596.4	3857.31

表 8.2.2 変位データのフォーマット

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Marker	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0.07	-0.21	0.08	-0.01	0.07	-0.04	0.09	-0.17
4	3	-0.03	-0.03	0.04	0	0.05	-0.03	0.1	-0.16
5	4	-0.02	-0.01	0.03	-0.01	0.01	0.03	0.1	-0.17
6	5	0.05	-0.16	0.06	-0.02	0.02	-0.01	0.08	-0.17
7	6	0.02	-0.01	0.04	0.01	0.03	-0.03	0.09	-0.11
8	7	0	-0.06	0.07	-0.01	0.07	-0.04	0.05	-0.07
9	8	-0.02	-0.03	0.03	-0.03	0.06	0.01	0.01	-0.1
10	9	-0.02	-0.03	0.02	0.01	0.06	-0.06	0.06	-0.11
11	10	-0.02	-0.02	0.04	-0.03	0.03	0.02	0.05	-0.14

変位データは第一フレームの数値がすべてゼロから始まっている。すなわち、第一フレームを静止状態として、そこからの各マーカーの変位の時系列データを表している。

8.2.2 ステップ試験結果

ステップ試験は、各実験の前後で行われている場合が多いが、画像計測では3日の午前の最初のステップ試験、6日の午前、7日の午前と最後のステップ試験を計測している。図8.2.1、図8.2.2、図8.2.3にそれぞれ、3日午前（実験前）、7日午前（ART90%後）、7日夕方（JMA神戸波および正弦波後）のステップ試験の2番マーカー（最上部）のX変位を示す。これらの結果から最上部の固有振動数を推定することができる。画像計測から得られた固有振動数は、2.98Hz、2.82Hz、2.38Hzであった。JMA神戸波および正弦波を受けた後の固有振動数は初期の固有振動数より約20%低下していることがわかる。

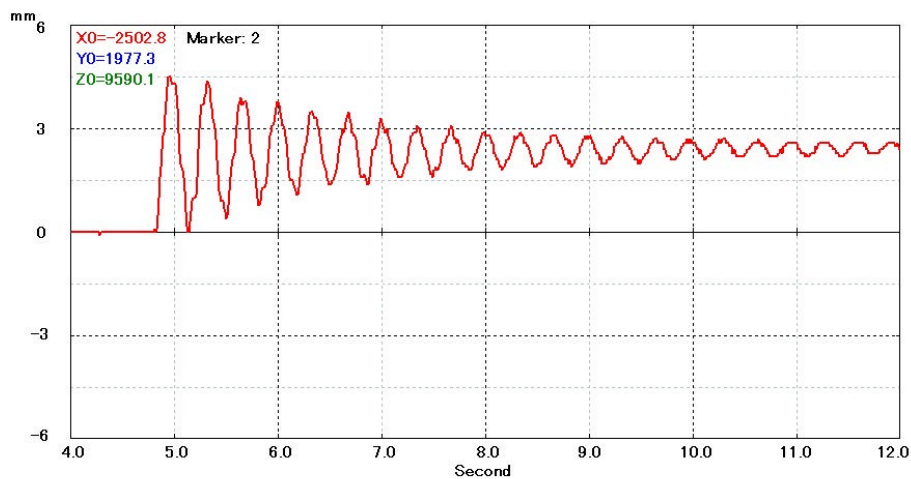


図 8.2.1 最初のステップ試験の2番マーカー変位

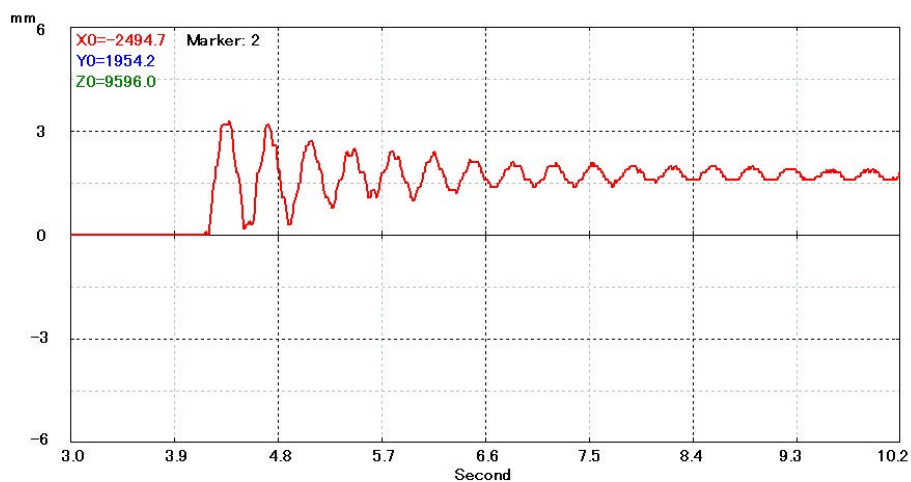


図 8.2.2 7日午前のステップ試験の2番マーカー変位

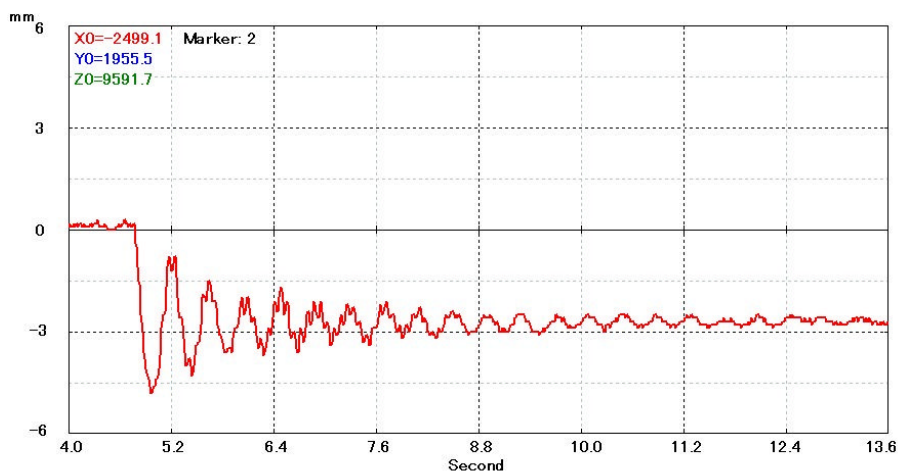


図 8.2.3 最後のステップ試験の 2 番マーカー変位

8.2.3 振動台テーブルの変位計測結果

図 8.2.4, 図 8.2.5, 図 8.2.6, 図 8.2.7, 図 8.2.8 に、ART20%, ART90%, JMA 神戸第一回目, 正弦波および JMA 神戸第二回目の振動台テーブル (44 番マーカー) の変位を示す。2 回の JMA 神戸波実験と正弦波実験については、振動台テーブルの Z 方向変位を図(b)に示している。また、図 8.2.9 および図 8.2.10 に、正弦波と JMA 神戸第 2 回目実験の追加マーカーの Z 方向相対変位を示す。すなわち、52 番マーカーから見た 53 番マーカーの相対変位である。52-53 番マーカー間距離は約 7700mm であった。Z 方向変位は約 $\pm 5\text{mm}$ であり、角度では約 $\pm 0.037^\circ$ に相当する。 $(\pm 5/7700 * 180 / \pi)$ なお、途中の 44 番マーカーもほぼ比例する動きを示していた。

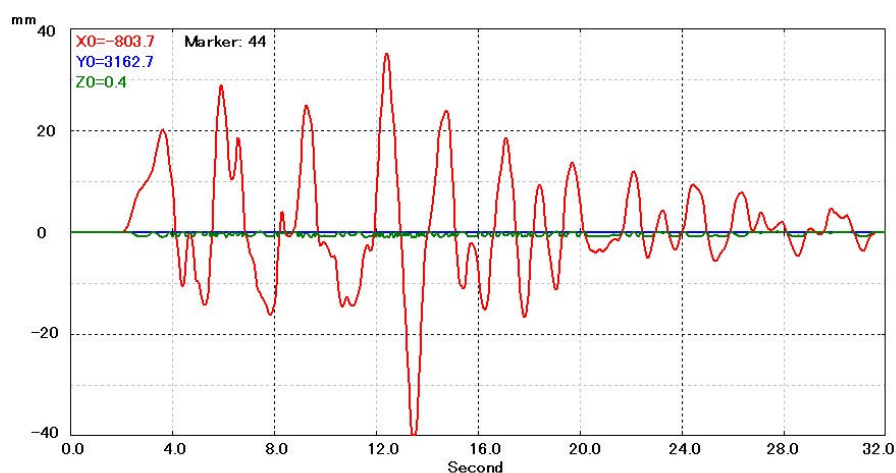


図 8.2.4 ART 20% 実験の振動台変位

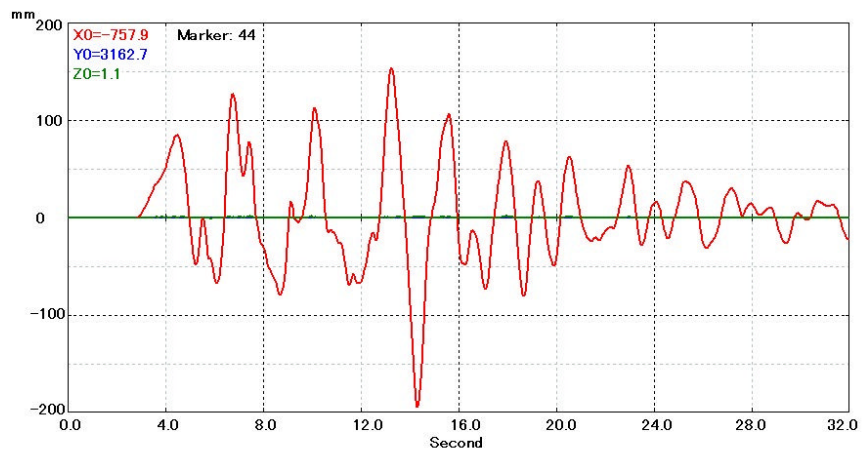


図 8.2.5 ART 90%実験の振動台変位

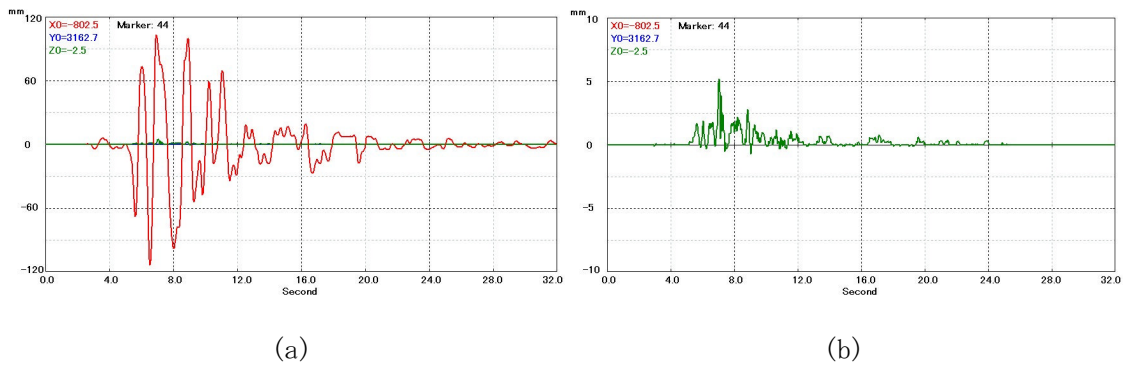


図 8.2.6 JMA 神戸実験 No1 の(a)振動台変位,(b)Z 方向変位

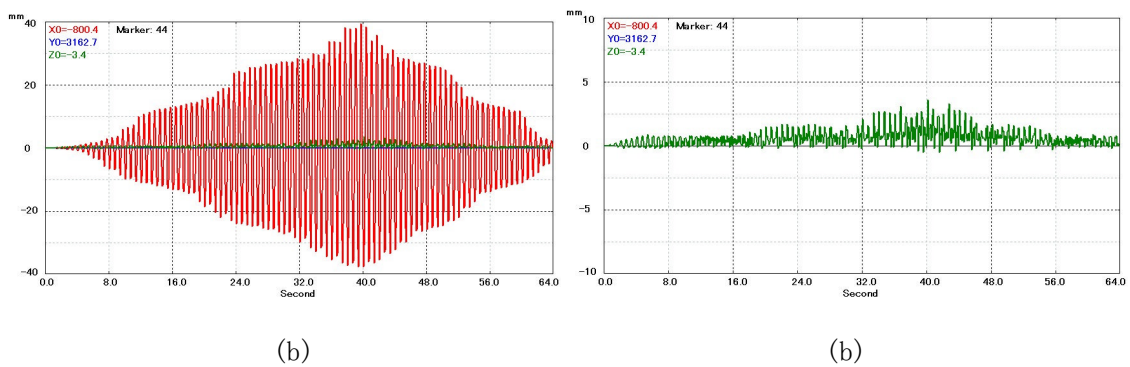
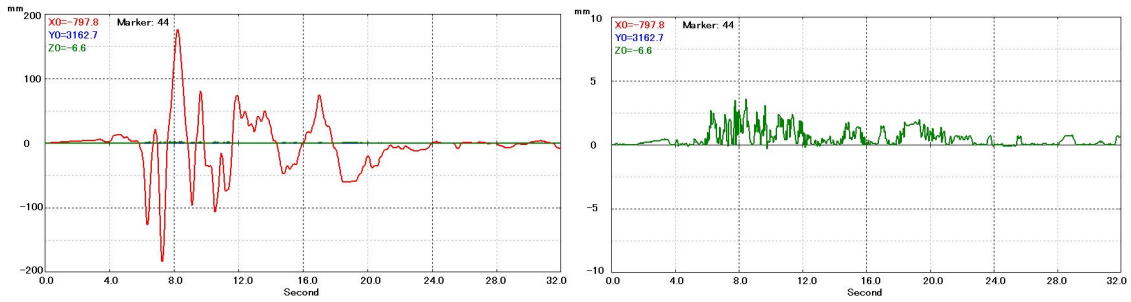


図 8.2.7 正弦波実験の(a)振動台変位,(b)Z 方向変位



(c)

(b)

図 8.2.8 JMA 神戸実験 No2 の(a)振動台変位,(b)Z 方向変位

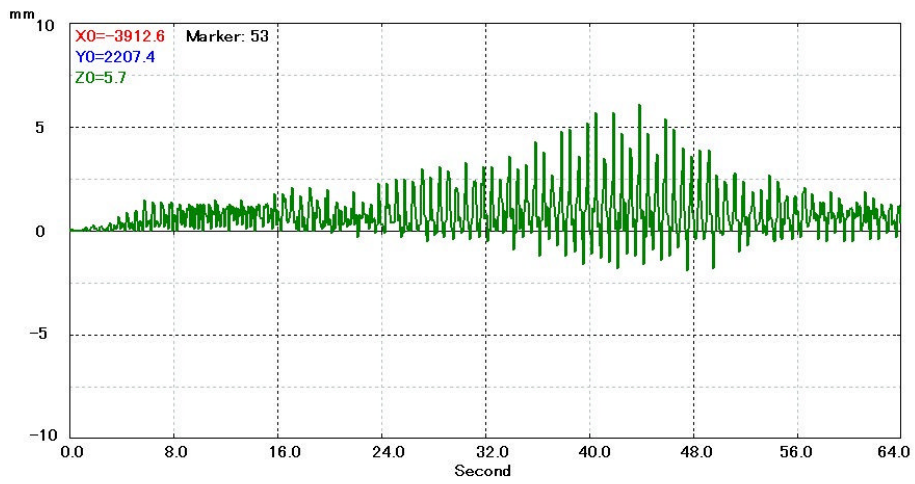


図 8.2.9 正弦波実験の Z 方向相対変位

(52 番マーカーから見た 53 番マーカーの Z 方向変位)

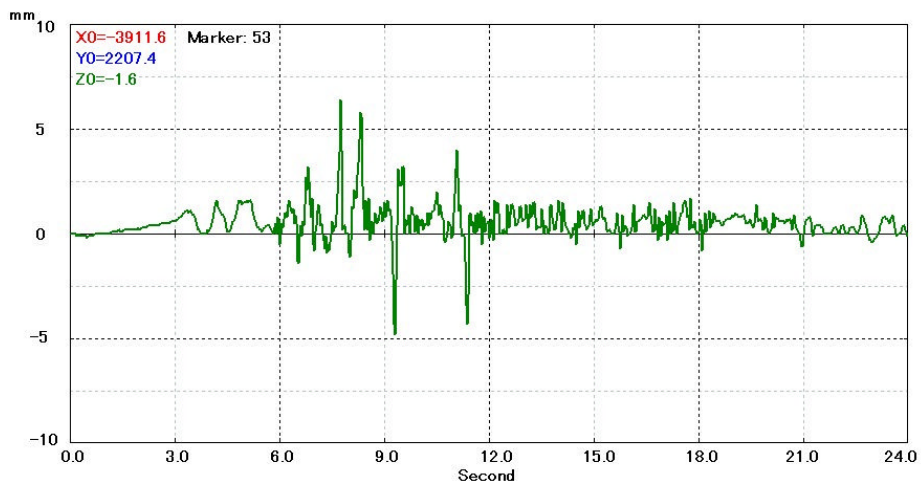


図 8.2.10 JMA 神戸波 No2 実験の Z 方向相対変位

(52 番マーカーから見た 53 番マーカーの Z 方向変位)

8. 3 使用機材

画像変位計測に用いた主要な機材は高速度カメラ 5 台である。それ以外にはマーカー座標を計測するための 3 次元測器（ノンプリズムタイプトータルステーション）などがある。表 8.3.1 に計測に使用した機材を示す。

表 8.3.1 使用機材

No.	品 名 ・ 仕 様	個数	備 考
1	高速高解像度デジタルカメラ + 10m ケーブル 1024×992,8bits, 100~500fps	5 台	
2	画像入力・メモリボード (8GB 搭載) Full Configuration Camera-Link 仕様 外部同期入力, 8GB 画像メモリ	5 個	
3	カメラレンズ (4 種[35mm,25mm,16mm, 12.5mm]5 セット)	20 個	
4	計測用コンピュータ, 19 インチ液晶ディスプレイ Core2Duo, 3.0GHz CPU, WindowsXP 1GB メモリ, 250GB-HDD, 1000BaseT, DVD-RW/CD-RW	3 台	
5	外付けハードディスク (1000GB)	2 台	データバックアップ用
6	LED 発光マーカー	60 個	10 個予備
7	マーカー取付け治具	40 個	
8	カメラ同期スタータースイッチボックス	1 台	
9	カメラ三脚(GITZO-G1504 他) + 雲台	5 脚	
10	ノンプリズム 3 次元測器(ソキア製 JIS-2A 級 3 次元測量器 SET330RS,三脚,反射シート)	1 式	
11	ソフトウェア一式 高速高解像度画像入力基本ソフトウェア キャプチャー・画像保存ソフトウェア カメラパラメータ設定ソフトウェア カメラコントロールソフトウェア 高精度三次元座標計算・画像処理ソフトウェア 3次元表示ソフトウェア	1 式	

消耗品：単三アルカリ電池 100 個, 接着剤, 配線類, はんだ, ゴムシート, ねじ類他

工具類：配線用工具, ドライバー, レンチ類