

2. 高層建物における観測地震動の解析

菊 地 克 典*
杉之内 靖

要 旨

本報告は、高層建物に設置した地震計によって、1989年～1990年までの約1年間にわたって観測された4回の中小地震の観測記録について、基礎的な解析を行った結果について述べるものである。解析の結果、建物の減衰は小さく、また、上下振動の加速度の増幅が大きいこと等が確認された。

キーワード

減衰／ねじれ振動／伝達関数／モード／表面波／上下振動

目 次

1. はじめに
2. 建物の概要
3. 観測概要と観測地震動の特徴
4. 応答特性
5. まとめ

2. THE ANALYSIS OF SEISMOGRAPH GROUND MOTION IN A TALL BUILDING

Katsunori Kikuchi
Yasushi Suginouchi

Abstract

This paper reports on the results of fundamental analysis of seismograph records of four medium or small scale earthquakes that were observed in a tall building for about a year from 1989 to 1990. By the results of analysis to these earthquakes, small damping and large amplification of up-and-down motion acceleration of the building were confirmed.

* 東京本店設計部

1. はじめに

わが国における超高層建築物はますます増加しているが、建物の安全性の面から既往の工学の検証が求められている。

本研究は、高層建物に設置された強震計により得られたデータに基づき、建物の振動特性に関して基礎的な面から解析を行うものである。

2. 建物の概要

対象とした建物は、東京都新宿区に建設された高層建築物であり、地下部を連結させたツインタワーのうちの1棟である。建物は、図-1に示す様に地上31階、地下6階建てであり、地上部分はS造、地下1～2回はSRC造、地下3～6階はRC造である。他の1棟は、観測時には施工中であった。基礎は、支持地盤を東京礫層とした直接基礎である。地上部の形態は、X方向の両端に構造コアを設け、その間に25.6m スパンの大梁を架けた構造である。更に、X方向の16階、21階に大型のブレースを配して建物全体の耐震性を高めている。建物の平面形状は各階ともほぼ対称である。偏心率はX方向およびY方向ともに0.03以下であり、設計時にはねじれによる影響を考慮していない。

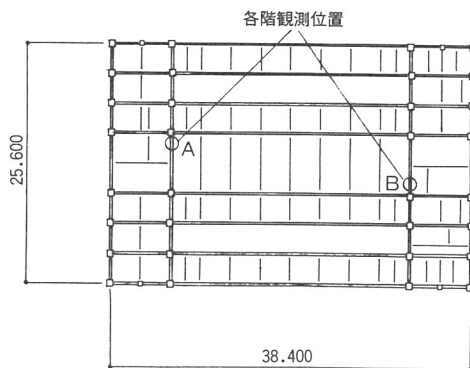
3. 観測概要と観測地震動の特徴

図-1に示す様に、観測位置はB6階、1階、8階、16階、22階、29階のAおよびBであり、内柱近傍とした。平面図に示す様に、観測階のAではX方向およびY方向成分(Y1)を測定した。更に、Bでは建物のねじれ振動を計測するために、Y方向成分(Y2)を測定した。なお、上下方向成分はB6階および29階の2ヶ所で測定した。

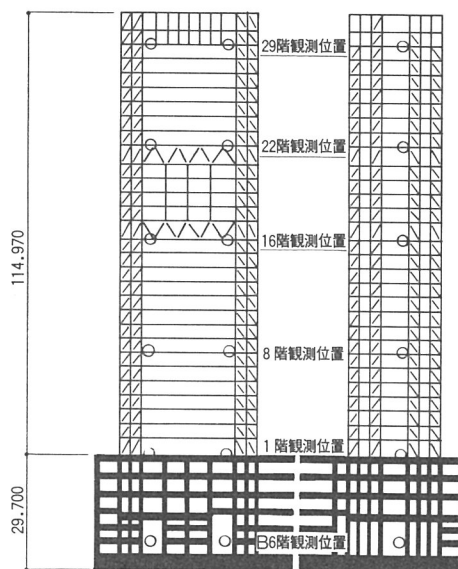
サーボ型加速度計により観測された記録は、AD変換器を用いて0.01秒間隔で数値化した。なお、計器特性

は10Hzまでフラットであり、計器補正は行わなかった。

B6階位置での加速度時刻歴およびそのフーリエスペクトルを図-2および図-3に、地震の諸元を表-1に示す。なお、フーリエスペクトルは、Parzenのウィンドウ0.2Hzを用いて平滑化を行った。



(a) 基準階平面図



(b) 断面図

図-1 建物概要

表-1 地震の諸元

地震名	発生日	マグニチュード	東京震度	深度 (km)	震央距離 (km)	最大加速度 (gal)		
						X	Y	Z
CHIBA	89.09.16	4.2	I	7.8	4.4	1.32	0.77	2.76
TOKYO	89.10.10	4.8	III	7.8	3.6	6.43	11.41	3.50
IZU	90.02.20	6.5	IV	6	12.7	4.46	5.63	2.92
IBARAKI	90.03.03	4.3	II	6.0	4.9	0.86	1.65	1.02

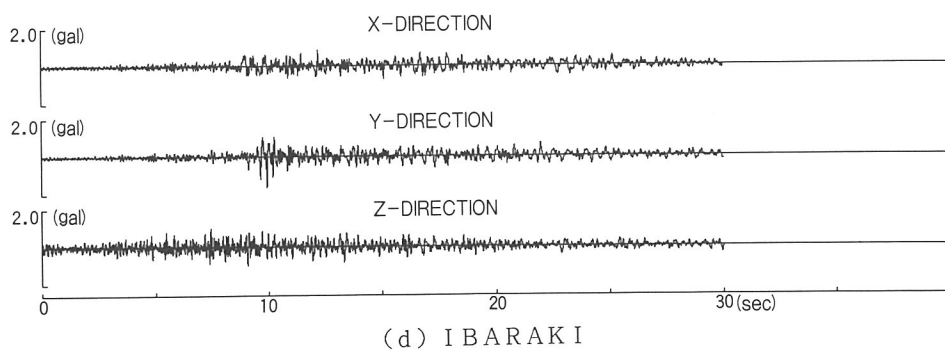
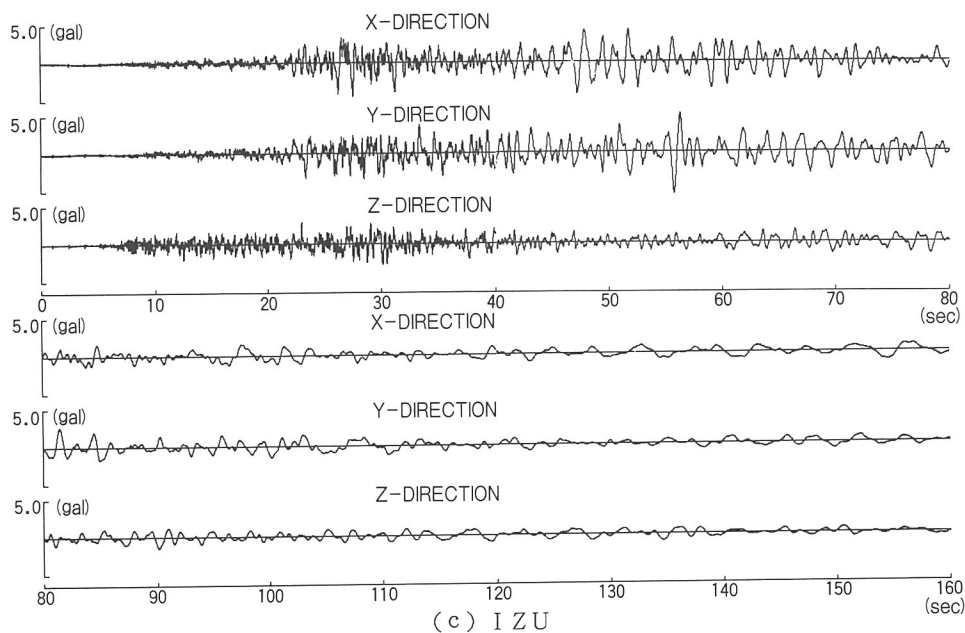
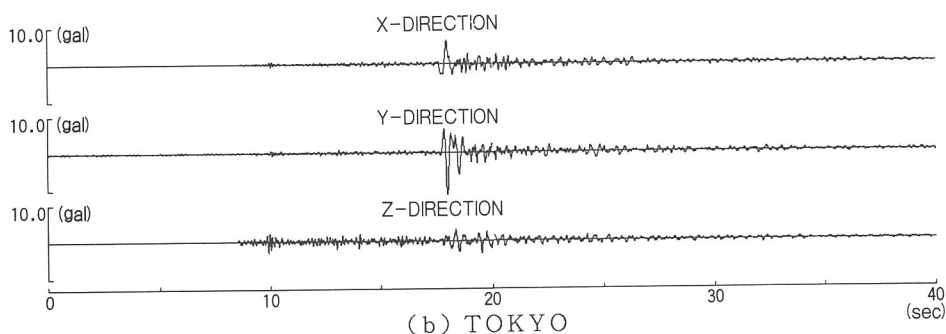
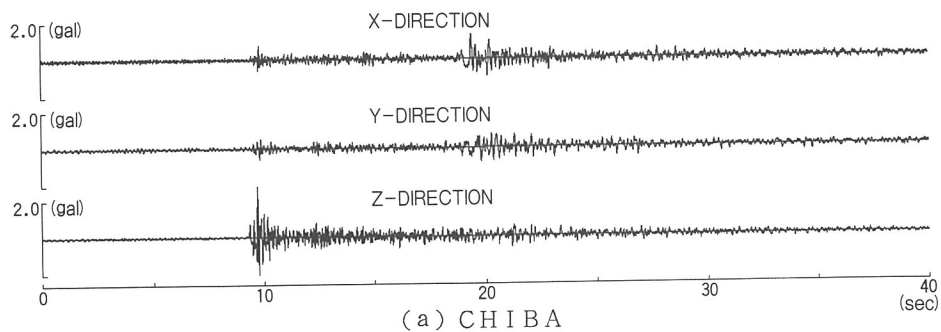


図-2 B 6 階位置 加速度時刻歴

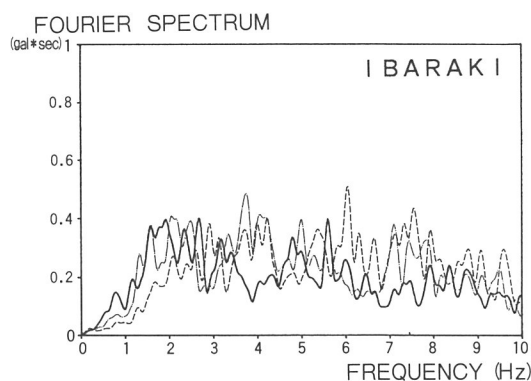
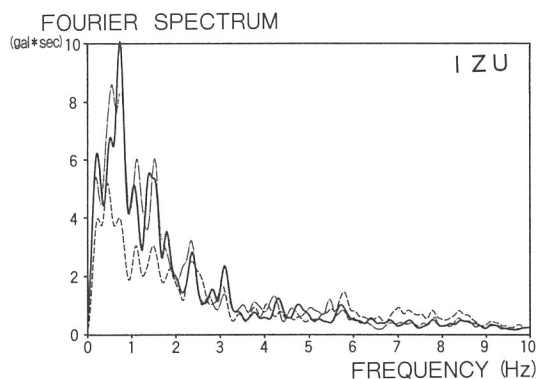
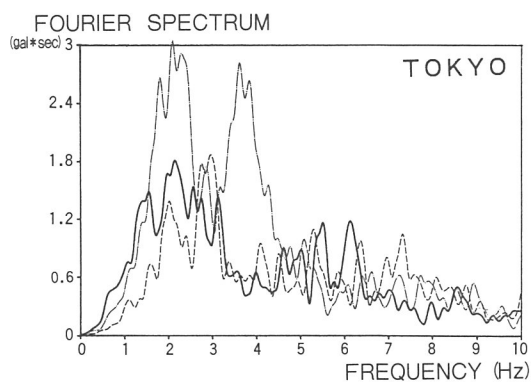
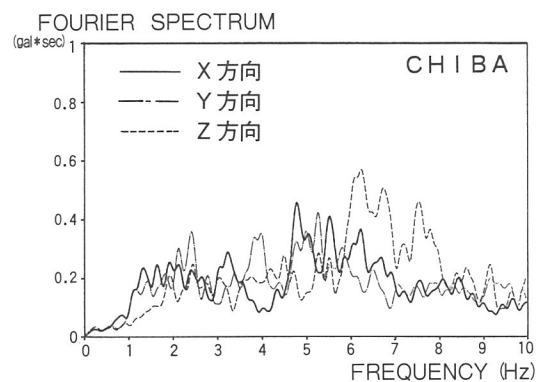


図-3 B 6階位置 フーリエスペクトル

図-3のTOKYO地震の水平方向2成分に着目すると、2.0および3.5Hz近傍でY方向のフーリエ振幅がX方向のそれを大きく上回っている。これは図-2にみられるように、S波到達以後の主要動部分(図-2(b) 17.5~20.0sec)の振幅の違いによるものである。

比較的震源の近いCHIBA、TOKYOおよびIBARAKI地震では、上下動成分のフーリエ振幅が全周波数成分を通じて、水平成分のそれとほぼ同等或いはそれ以上となっている。最大加速度の値で比較すると、CHIBA地震では上下振動成分が水平成分の2倍に達している。

図-4に震源と観測地の位置関係を示す。

観測された地震は、高振動数成分の卓越するCHIBA、TOKYOおよびIBARAKI地震と、低振動数成分の卓越するIZU地震の2つのタイプに分類される。

図-5に、IZU地震の0~40秒と40~80秒のランニングスペクトルを示す。IZU地震は、震源が浅く40秒以降に表面波とみられるやや長周期成分が卓越している。また、IZU地震は他の地震に比べ継続時間が長くスペクトル振幅が大きい。



図-4 震源位置

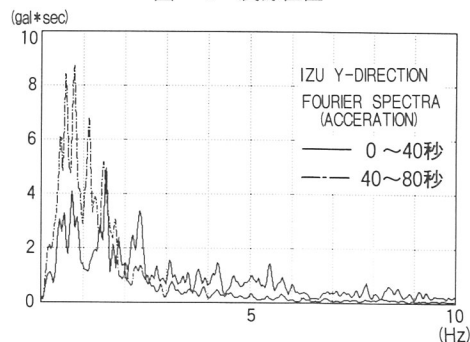


図-5 IZU地震 ランニングスペクトル

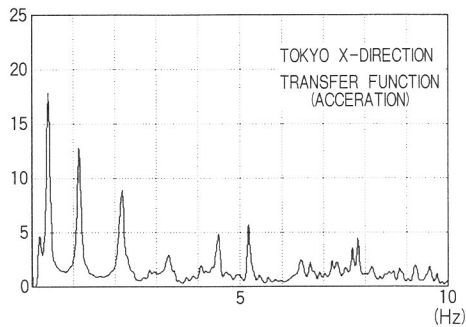
4. 応答特性

4.1 固有振動数

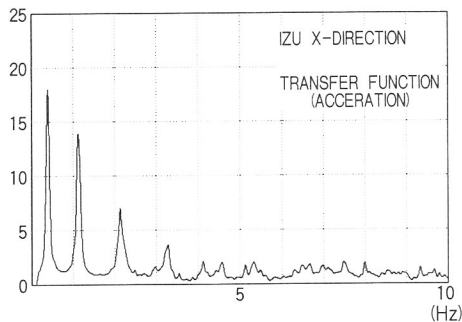
1 階の観測地震動を基準として、各層の伝達関数を求めて固有振動数を算出した。なお、伝達関数の算出にあたってはParzenのウィンドウ0.1Hzを用いて平滑化を行った。TOKYO およびIZU 地震のX方向の伝達関数を図-6に示す。同一系の伝達関数に相違がみられるのは、水平2方向と上下方向およびねじれの相互相関を無視したためと考えられる。

観測記録から減衰を定量的に評価するのは困難であるが、3次の固有振動数まで鋭いピークを示しており、減衰が小さいことが考えられる。

上記の手法により算出した固有振動数の平均値を表-2に示す。また、同表の()内に設計時の固有振動数を示す。算出した固有振動数は、2次部材の影響等から設計時の固有振動数よりもかなり小さく評価されている。ねじれの固有振動数は、ねじれ角の加速度を求め上述の手法により算出した。対象とした建物は外周部で剛性が大きい為に、ねじれの固有振動数が並進



(a) TOKYO



(b) IZU

図-6 X方向 伝達関数

のそれを上回った値となっている。

図-7にはCHIBA地震の上下方向の伝達関数を示す。なお、加速度検出器は柱近傍に設置されているので、梁の上下振動の影響を受けていないものとする。

上下方向の伝達関数は、3.35Hzで1次固有周期の鋭いピークが見られ、上下振動の減衰が水平振動のそれに比べて非常に小さいことが分かる。高層の構造物においては、上下振動の固有周期は、低層のものに比べて長い為に、入力地震動の卓越周期に一致する可能性があり、上下振動の影響を無視できないと考えられる。

4.2 モード

図-8はCHIBAおよびIZU地震の各階の計測地点における1次～4次固有振動数のフーリエ振幅をプロットしたものである。「観測地震動の特徴」の項で述べた様に、入力地震動に高振動数成分が卓越するCHIBA地震は、X・Y両方向共3次・4次モードが励起されている。これに対してIZU地震では1次・2次モードの励起が顕著である。なお、TOKYO、IBARAKI地震はCHIBA地震とほぼ同様の結果が得られた。

表-2 固有振動数

(Hz)

	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次
X 方 向	0.38 (0.32)	1.15 (0.93)	2.20 (1.06)	3.29 (2.47)	4.48 (3.30)
Y 方 向	0.36 (0.30)	1.18 (0.92)	2.37 (1.78)	3.48 (2.58)	4.43 (3.47)
ね じ れ	0.54	1.67	3.01	—	—

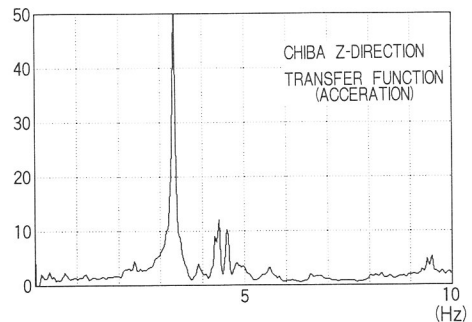
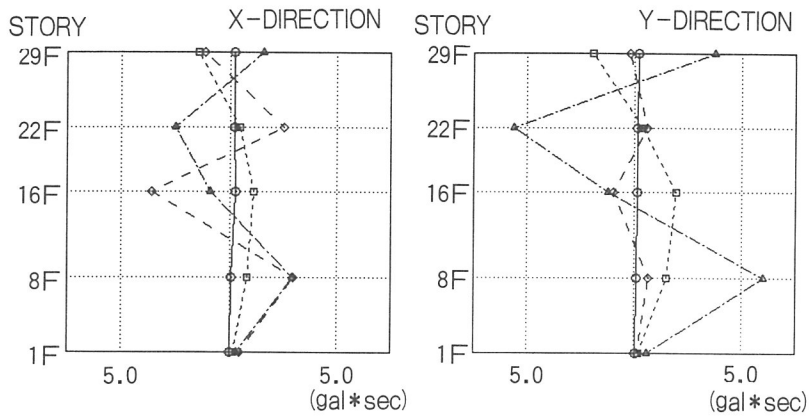
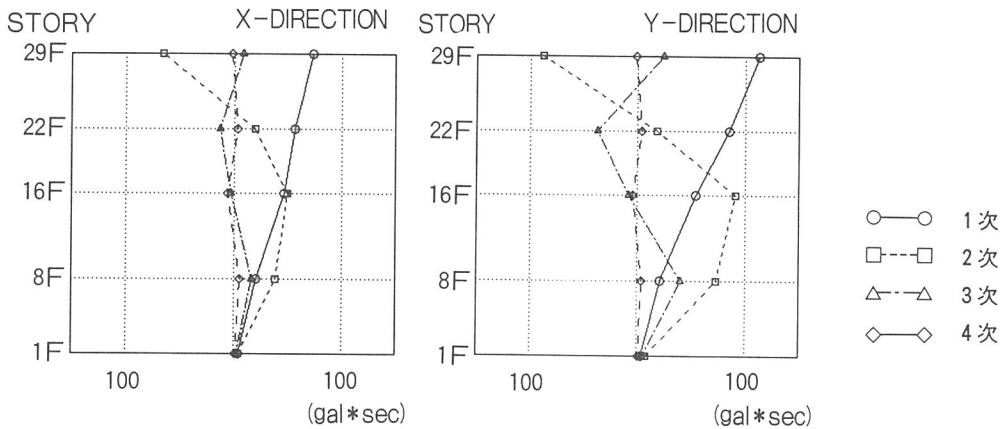


図-7 IZU地震 Z方向 伝達関数



(a) CHIBA



(b) IZU

図-8 フーリエ振幅の分布

4.3 最大応答加速度の分布

最大応答加速度の分布を図-9に示す。水平方向成分に関しては、前述の「モード」の考察と同様に、入力地震動に低振動数成分が卓越するIZU地震は1次モードが優勢な分布を示した。CHIBA、TOKYOおよびIBARAKI地震は高次モードの影響により、中間層で大きな最大加速度を生じている。また、これらの地震では、29階の上下方向の最大加速度が水平方向のそれを上回っている。応答倍率で比較しても、上下成分は、水平成分より大きな値となっている。

図-10に、IZU地震の29階のX・Y方向応答加速度の時系列を示す。やや長周期成分の卓越する40秒以降の応答が主要動入力時よりも大きくなっている。特に、Y方向でこの傾向が顕著である。

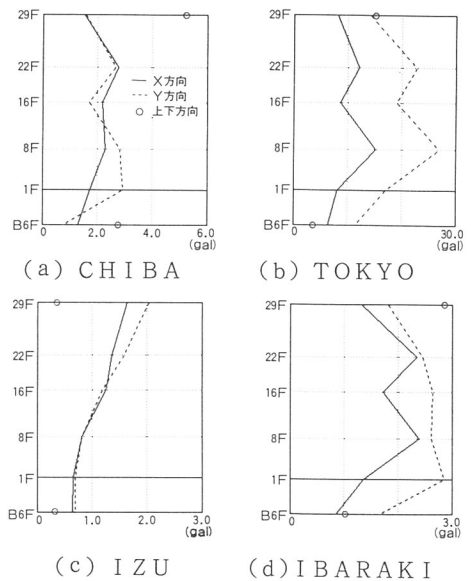


図-9 最大応答加速度の分布

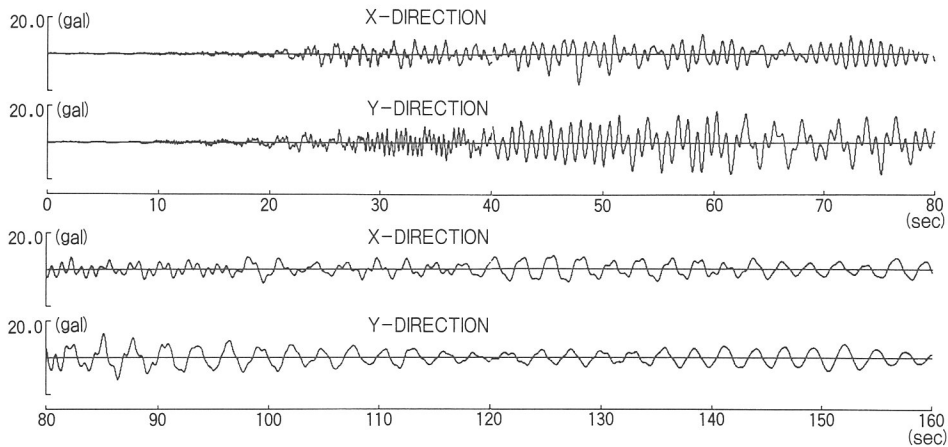
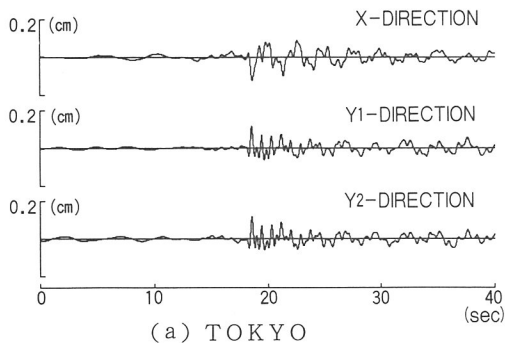


図-10 I Z U地震 29階応答加速度時刻歴

なお、B6階の加速度振幅（図-2(c)）が減衰しているのにも関わらず、29階の応答加速度振幅には、ほとんど減衰がみられない。

4.4 応答変位・ねじれ応答

図-11にTOKYOおよびIZU地震の29階応答変位時刻歴を示す。



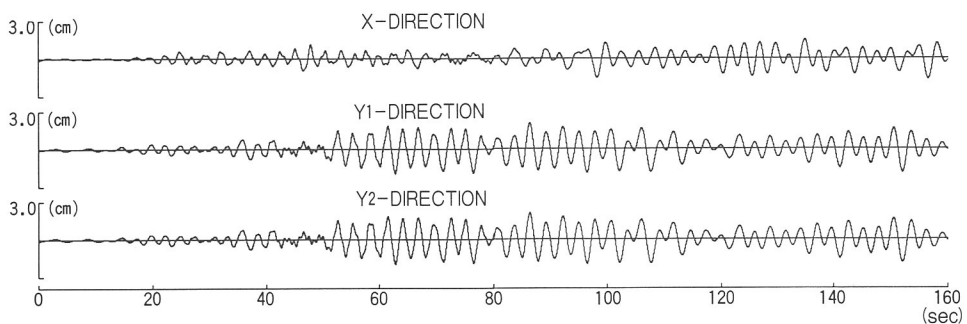
変位波形は、加速度記録をTrifunacの方法により基線を補正した後に積分して算出した。

Y方向成分に着目すると、TOKYOおよびIZU地震のY1とY2の応答変位がほぼ等しいことから、ほとんどねじれが生じていないことが確認できる。

IZU 地震においては、応答加速度と同様に主要動よりも表面波の入力によって大きな応答を生じ、応答変位振幅の減衰はみられない。

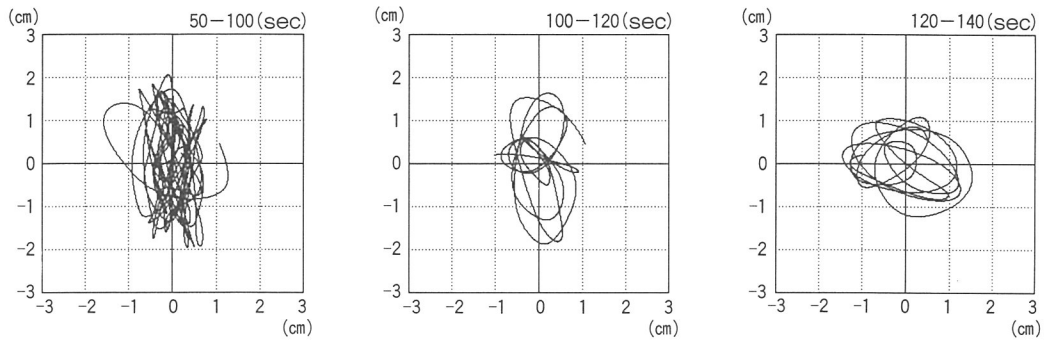
表面波の卓越する50秒以降のB6階および29階の水平変位の軌道を図-12に示す。表面波の軌道に方向性は見られずランダムな動きをしている。

TOKYOおよびIZU地震の最大応答変位の分布を図-13に示す。最大応答加速度分布ほど顕著ではないが、IZU 地震は1次モードが支配的であり、TOKYO 地震では中間層で高次モードの影響がみられる。また、X方向の16階と21階に配置した大型ブレースにより、当該層の変位が抑えられていることが確認できる。

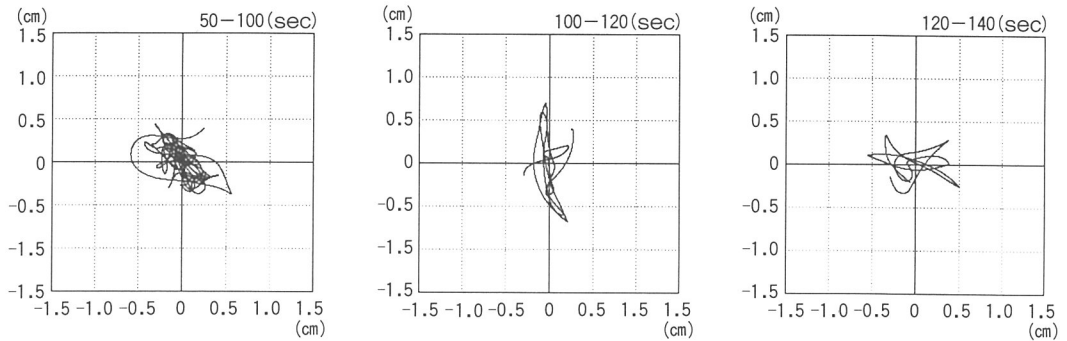


(b) I Z U

図-11 29階応答変位時刻歴



(a) 29階観測位置



(b) B 6階観測位置

図-12 I Z U地震 水平変位の軌道

IZU 地震では大型ブレースの有無による X 方向と Y 方向の応答の違いが明らかである。

5. まとめ

実記録の解析から以下のことが分かった。

- 1) 比較的震央距離の短い CHIBA, TOKYO, IBARAKI 地震では高次モードを、震源が浅く表面波が優勢な IZU 地震では低次モードを励起する。
- 2) CHIBA, TOKYO および IBARAKI 地震では、29階における上下方向の最大応答加速度は水平方向のそれを上回っている。
- 3) 対象とした建物の減衰は小さく、特に上下振動においてその傾向が顕著である。
- 4) 対象とした建物には、ねじれ振動はほとんど生じていない。

本報告に用いた地震動記録は、工学院大学、安藤建設㈱、戸田建設㈱、日本国土㈱および㈱浅沼組による「エステック街区ビル強震・強風振動に関する共同研究」の中で得られたものである。

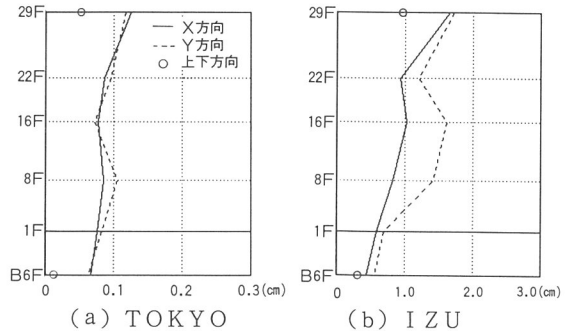


図-13 最大応答変位の分布

〔参考文献〕

- 1) 山中浩明：関東平野の深い地盤とやや地震長周期地震動、第18回地盤振動シンポジウム、1990.7.13, P.27-36
- 2) 小堀鐸二、南井良一郎、竹内吉弘：確率統計的方法による多自由度弾性構造物の動力特性の検出法、京大防災研究所年報、第11号A、昭43.3, PP.225-241
- 3) Trifunac.M.D : Zero Baseline Correction of Strong Motion Accelerograms, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61 No.5 1971.10, PP.1201-1211