

# 水平動と上下動を同時に受ける鋼構造骨組の地震応答性状

真瀬 伸治

(技術研究所)

## § 1. はじめに

現在の建築物の構造設計では地震の上下動の影響は考慮されていない。1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は直下型地震であるため、水平動がこれまでの設計用入力地震動を大きく上回っていたが、上下動もまた非常に大きく、両者の位相差も小さく、ほぼ同時に入力された。このため、建物の被害に上下動による影響が大きかったとの指摘がなされ、種々の解析や実験が行われている。

本報では鋼構造建物を対象に、水平動と上下動を同時に受ける場合についてその応答性状を非線形地震応答解析により検討する。

## § 2. 被災建物の地震応答解析

まず、本章では、兵庫県南部地震により大きな被害を受けた建物を対象に上下動による応答への影響を検討する。

### 2.1 解析モデルおよび解析条件

対象建物は地上10階、塔屋1階の鉄骨造の建物で、基礎は直接基礎である。解析モデルは図-1に示すような対象建物の代表的構面を取りだした平面フレームモデルである。

表-1に断面リストを示す。各層の重量分布は、塔屋が15.12t、最上層が64.15t、その他の層はすべて58.84tで、各節点へは支配面積に応じて配分する。

柱および梁は非線形材端ばね要素を用い、曲げモーメント-回転角関係の復元力特性は第2勾配を初期勾配の2%とするBi-linear型を用いる。解析モデルの1次（水平方向1次）および5次（上下方向1次）の固有周期はそれぞれ1.004秒、0.142秒である。

減衰については、1次固有周期の減衰定数を1%

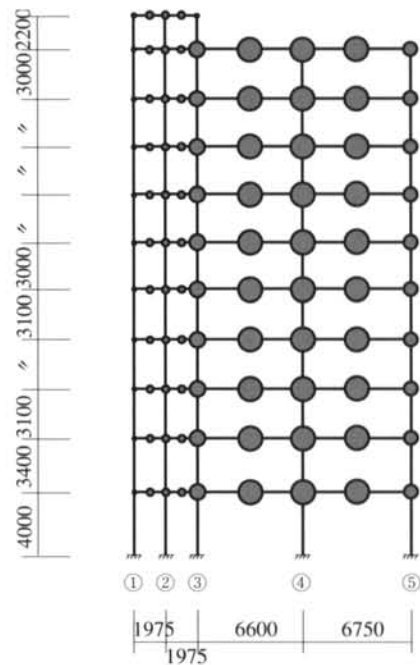


図-1 解析モデル

層	柱	梁
	③④⑤	③-④-⑤
10	□500×16	BH-600×250×9×16
9	□500×16	BH-600×250×9×16
8	□500×16	BH-600×300×12×19
7	□500×19	BH-600×300×12×19
6	□500×19	BH-600×300×12×22
5	□500×22	BH-600×300×12×22
4	□500×22	BH-650×300×12×25
3	□500×25	BH-650×300×12×25
2	□500×25	BH-650×300×12×25
1	□500×25	BH-650×300×12×25

表-1 断面リスト

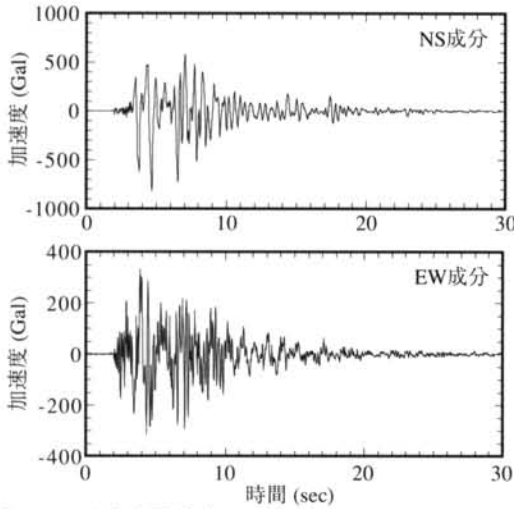


図-2 入力地震波 (JMA 神戸)

とする剛性比例型と1次および5次の固有周期の減衰定数を1%とするレーレー型の2種類を用いる。前者では上下方向1次の固有周期における減衰定数は7.05%となる。

入力地震動はJMA神戸の記録波のNS成分(最大加速度811Gal)およびUD成分(最大加速度332Gal)のうち主要動部分30secを用い(図-2)、水平動のみ(NS波)、上下動のみ(UD波)および水平動+上下動(NS+UD波)の3種類について解析を行う。時間刻みは1/50secとする。解析コードはDAC3Nを用いる。

## 2.2 解析結果

図-3に各層の水平変位の分布を示す。水平変位はNS波の場合とNS+UD波の場合との差異は非常に小さい。NS+UD波の場合について、減衰のタイプによる差異もまた非常に小さい。

図-4に側柱(⑤通り、以下同じ)および中柱(④通り、以下同じ)の鉛直変位を示す。側柱では鉛直変位はNS+UD波の場合はNS波の場合に比べ、上層部で7%程度大きくなるが、その差異はさほど大きくない。NS+UD波の場合について、減衰のタイプによる差異を見るとレーレー型の方が剛性比例型より4~5%大きな値を示す。中柱の鉛直変位は、NS波の場合には非常に小さいが、NS+UD波の場合には絶対量は小さいが、NS波の場合の11~13倍とその差異は非常に大きく、上下動の影響が支配的となっている。NS+UD波の場合について、減衰のタイプによる差異を見ると、レーレー型の方が剛性比例型の1.3倍と大きな値を示す。

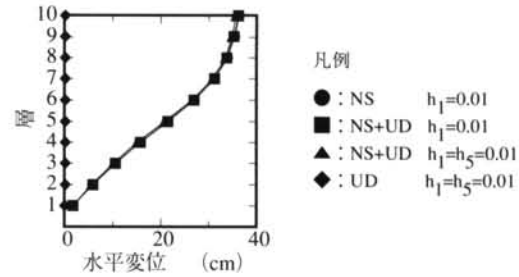


図-3 水平変位

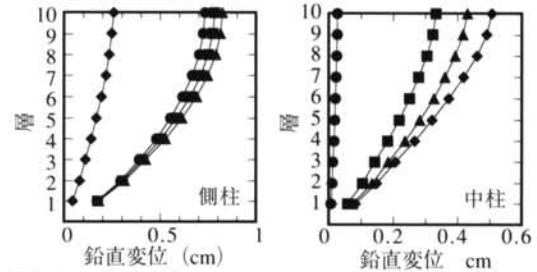


図-4 鉛直変位

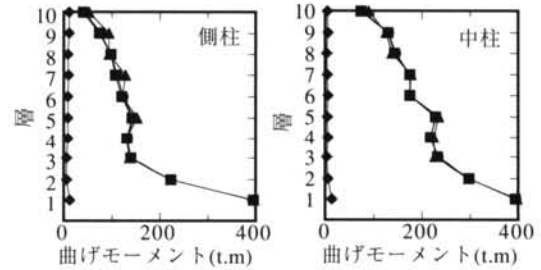


図-5 曲げモーメント

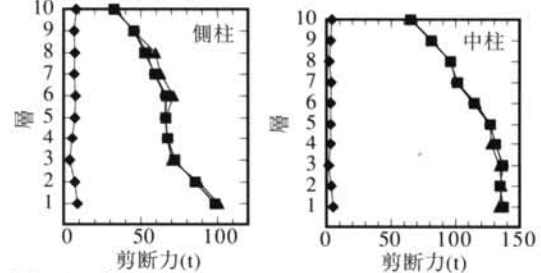


図-6 剪断力

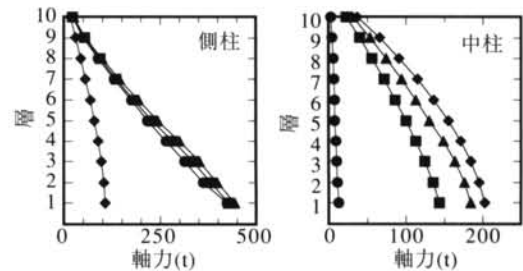


図-7 軸力

図-5に各層の柱（柱脚部）の曲げモーメントを、図-6に各層の柱の剪断力を示す。側柱および中柱ともに、曲げモーメントおよび剪断力はNS波の場合とNS+UD波の場合の差異はほとんどない。減衰のタイプによる差異もほとんどない。

図-7に各層の柱の軸力を示す。側柱ではNS+UD波の場合の値はNS波の場合より大きくなるがその差は3~7%と大きくない。上下動による影響より水平動による転倒モーメントの影響が支配的である。減衰のタイプによる差異をみると、レーレー型の場合は剛性比例型の場合より4~9%程度大きい。一方、中柱ではNS波の場合軸力は非常に小さいが、NS+UD波の場合はNS波の場合の9~13倍の値を示し、鉛直変位と同様に上下動による影響が支配的となる。減衰のタイプによる差異をみると、レーレー型の場合は剛性比例型の場合より30%前後大きい。

以上より、上下動の影響は、水平変位、曲げモーメントおよび剪断力への影響は非常に小さい。一方、柱の軸方向変位および軸力への影響は大きく、特に、中柱に対する影響は非常に大きい。また、減衰について剛性比例型を用いると上下動の影響を過小評価することになる。

### § 3. 門型骨組

2章の解析の結果、上下動の影響は柱の軸変形および軸力への影響は見られるが、水平変位、曲げモーメントおよび剪断力への影響が小さかった。本章では門型骨組を対象にさらに詳細な検討を行う。

#### 3.1 解析モデルおよび解析条件

解析モデルは図-8に示す門型骨組で柱は箱形断面、梁はH形断面とする。各部材の断面性能を表-2に示す。鋼種はSM490 ( $\sigma_y=3.3t/cm^2$ )とする。上下動は柱の軸力への影響が大きいことから柱降伏先行型とする。すなわち柱梁耐力比 $M_p/M_p=0.84$ とする。

質点の重量 $W$ は層の降伏剪断力係数が0.3となるように $W=676.6t$ と設定する。柱の軸力比 $N/N_y$ は0.295となる。梁に中間質量を設ける場合にはその中間質量による曲げモーメントが梁の降伏モーメントの概ね0.3倍となるように設定する。

解析パラメータとしては、梁の中間質量の有無、幾何学的非線形の考慮の有無、常時荷重の考慮の有無を採用し、表-3の5ケースについて解析した。

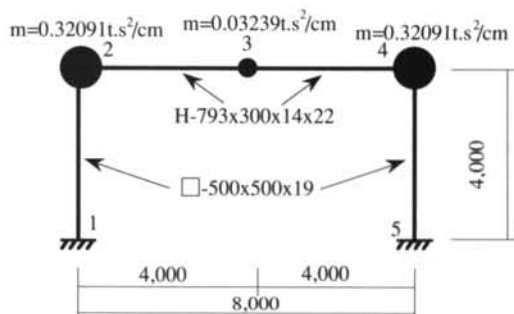


図-8 解析モデル

部材	断面積 ( $cm^2$ )	断面2次モーメント ( $cm^4$ )	断面2次半径 ( $cm$ )	断面係数 ( $cm^3$ )	塑性断面係数 ( $cm^3$ )
柱	347.8	130000	19.3	5800	6150
梁	243.4	254000	32.3	6410	7290

表-2 部材断面性能

解析ケース	梁中間質量	幾何非線形	常時荷重
1	なし	無視	なし
2	あり	無視	なし
3	あり	考慮	なし
4	あり	無視	あり
5	あり	考慮	あり

表-3 解析ケース

次数	1次	2次	3次	4次	5次
モード					
周期(sec)	0.639	0.123	0.099	0.084	0.082

表-4 固有モードおよび固有周期

ケース5が最も実際に近いケースである。表-4に梁中央に質量をもつモデルの固有モードおよび固有周期を示す。

解析コードはNASTRANを用い、部材はBEAM要素を用いた。この要素はMSモデルの一種で、断面積を8等分し、中立軸を基線とする座標軸( $y, z$ )上で $(\sqrt{2}i_x, 0)$ ,  $(i_x, i_y)$ ,  $(0, \sqrt{2}i_y)$ ,  $(-i_x, i_y)$ ,  $(-\sqrt{2}i_x, 0)$ ,  $(-i_x, -i_y)$ ,  $(0, -\sqrt{2}i_y)$ ,  $(i_x, -i_y)$ に配し、断面二次モーメントが等しくなるように置換したモデルで、M-N相関を考慮することができる。ここに、 $i_y$ および $i_x$ はそれぞれy軸およびz軸回り断面二次半径である。応力-歪関係

解析 ケ- ース	入 力 地震動	曲げモーメント (t.m)		剪断力 (t)	軸力 (t)	水平 変位 (cm)	鉛直 変位 (cm)	回転角 ( $10^{-3}$ rad)	入力エネルギー			
		柱脚	柱頭						水平成分		鉛直成分	
									Ev (t.cm)	VE (cm/sec)	Eh (t.cm)	VE (cm/sec)
1	水平方向	241.6	-225.8	116.8	86.0	21.40	-0.071	15.89	18740	233.0		
	上下方向	0.0	0.0	0.0	520.6	0.00	-0.270	0.0			437	35.6
	水平+上下	242.9	-226.7	117.4	-220.2	21.91	-0.204	16.33	18627	232.3	258	27.3
2	水平方向	241.6	-225.8	116.8	85.1	21.40	-0.071	15.88	18740	233.0		
	上下方向	51.0	-109.9	40.2	-632.8	0.09	-0.347	-4.35			46	11.6
	水平+上下	241.4	-225.9	116.8	-246.1	21.33	-0.228	16.33	18683	232.6	378	33.1
3	水平方向	241.5	-225.7	116.8	119.3	21.39	-0.545	15.80	18774	233.2		
	上下方向	51.0	-109.8	40.2	-632.8	0.09	-0.347	-4.34			46	11.6
	水平+上下	240.7	-225.3	116.5	243.9	21.06	-0.561	16.06	18713	232.8	452	36.2
4	水平方向	241.3	-224.0	116.3	-400.5	21.33	-0.977	17.27	18664	232.5	587	41.2
	上下方向	37.6	-80.0	29.4	-958.1	0.10	-0.525	4.59			198	24.0
	水平+上下	241.1	-224.1	116.3	-542.2	21.24	-1.573	17.63	18606	232.2	1391	63.5
5	水平方向	251.7	-231.9	120.9	-406.7	25.13	-1.606	19.56	17978	228.2	583	41.1
	上下方向	36.2	-54.3	28.2	-951.0	0.10	-0.521	4.65			145	20.5
	水平+上下	250.1	-203.4	120.17	-507.7	24.61	-1.956	19.32	17977	228.2	1433	64.4

表-5 最大応答値および入力エネルギー

は一般的なBi-linear型で、2次勾配を初期勾配の2%とする。減衰は無視する。入力地震動は2章と同じである。

### 3.2 解析結果

表-5に各ケースの左柱および柱頭部(節点2)の絶対値最大応答および系全体の入力エネルギーを示す。また、図-9および図-10にケース5の場合の各応答値の時刻歴を示す。図中、実線がNS+UD波の場合、破線がNS波の場合を示す(以降同じ)。

曲げモーメント、剪断力および水平変位については、ケース1からケース4の差異が小さく、ケース5が他のケースより大きな値を示す程度であり、総じて梁の中間質量、常時荷重および幾何学的非線形性の影響はさほど大きくはない。NS波の場合とNS+UD波の場合の最大応答値および時刻歴はいずれのケースについてもほとんど差がない。

軸力および鉛直変位については、各ケース毎の差異が大きく、梁の中間質量、常時荷重および幾何学的非線形性の影響はかなり大きい。また、NS+UD波の場合の最大応答値はNS波の場合に比べかなり大きく、上下動の影響が顕著に見られる。時刻歴で見てもNS+UD波の場合の軸力および鉛直変位はシフト量および振幅ともにNS波の場合より大きい。ただし、

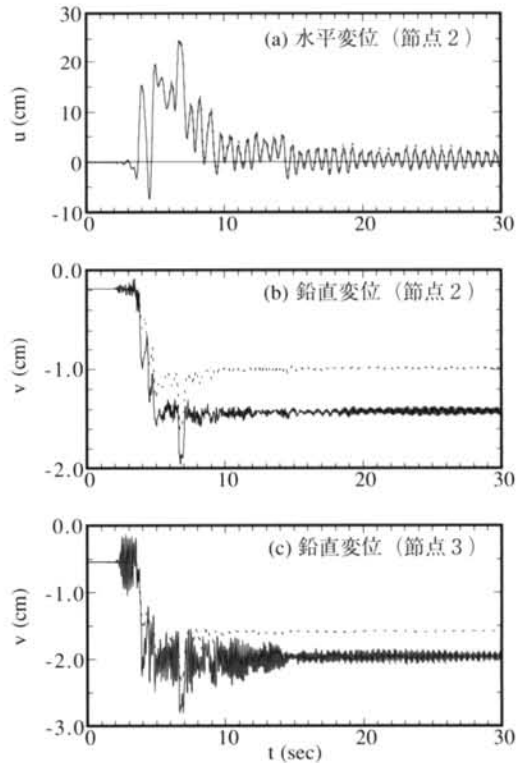


図-9 応答変位時刻歴

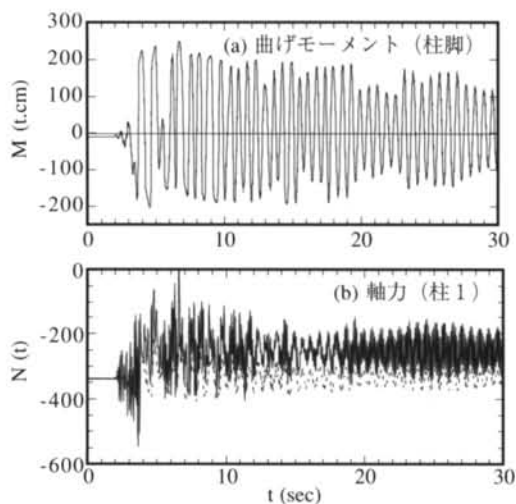


図-10 応答断面力時刻歴

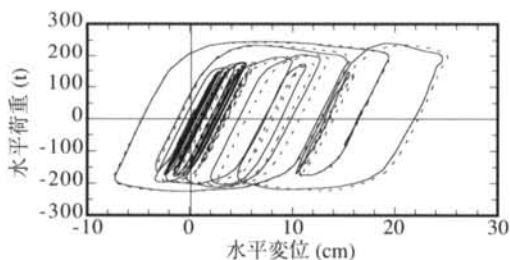


図-11 水平荷重-水平変位関係

NS波の場合とUD波の場合のそれぞれの応答量の和よりは概ね小さい。UD波の場合無減衰弾性応答しているため入力エネルギーが消散せず過大評価となっているものと考えられる。

図-11および図-12に最も実際に近いケース5の水平荷重-水平変位関係および鉛直荷重-鉛直変位関係を示す。ただし、水平変位および鉛直変位はそれぞれ節点2および節点4の値の平均値をとる。図中、実線がNS+UD波の場合、破線がNS波の場合を示す(以降同じ)。水平荷重-水平変位関係ではNS波の場合およびNS+UD波の場合いずれも幾何学的非線形性(P-Δ効果)のため劣化勾配を示しており、他のケースに比べてやや大きな水平変位を示しているが、NS波の場合およびNS+UD波の場合を比較すると上下動の影響は非常に小さい。鉛直荷重-鉛直変位関係については、NS+UD波の場合鉛直変位の塑性変形量および鉛直荷重の変動量がNS波の場合に比べかなり大きい。

図-13にケース5について節点2の水平変位および節点3の鉛直変位のフーリエ振幅スペクトルを示

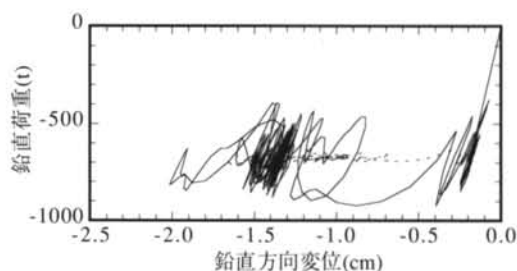
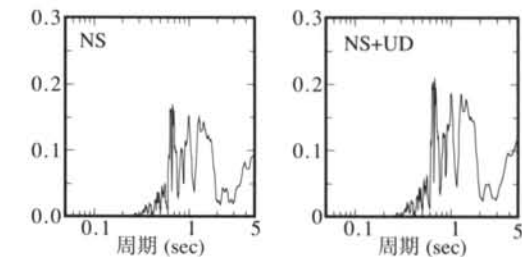
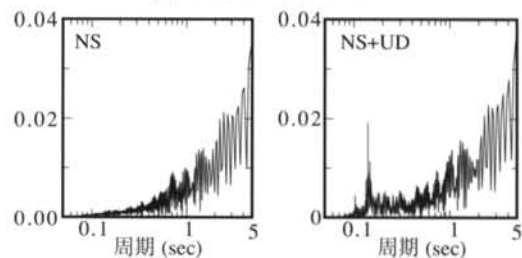


図-12 鉛直荷重-鉛直変位関係



(a) 水平変位 (節点2)



(b) 鉛直変位 (節点3)

図-13 フーリエ振幅スペクトル

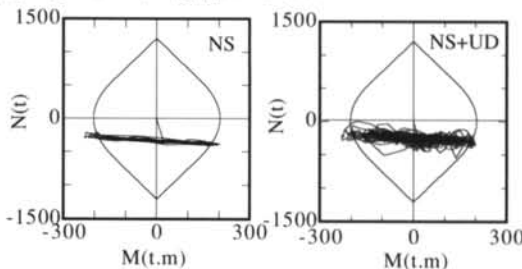


図-14 M-N相関

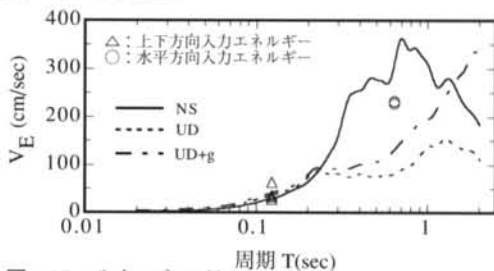


図-15 入力エネルギー

す。水平変位のスペクトルはNS波の場合およびNS+UD波の場合ともに1次固有周期およびそれより長い周期に大きなピークが見られ、1次モードが卓越しているとともに塑性化により実効的周期が伸びていることを示している。NS波の場合とNS+UD波の場合の水平変位のスペクトルの差異はほとんどない。NS+UD波の場合の鉛直変位のスペクトルでは上下方向の固有周期に大きなピークが見られるが、1秒以上の領域ではNS波の場合との差異は小さい。

図-14に左柱柱頭部のM-N相関を示すが、NS+UD波の場合は曲げモーメントの範囲はNS波の場合と差異は小さいが、軸力の変動幅に大きな差異が見られる。しかしながら、この断面が不安定になるほどの差異とはいえない。

入力エネルギーについて見ると、表-5よりいずれのケースも水平動による入力エネルギーはNS波の場合とNS+UD波の場合の差はほとんどない。上下動による入力エネルギーは小さく、水平動による入力エネルギーの1.4~4.7%に過ぎず、このほとんどが上下方向の応答により吸収される。図-15に入力エネルギースペクトルとの対応を示す。水平方向の入力エネルギーは概ね1次固有周期のスペクトル値と対応し、上下方向の入力エネルギーは概ね上下方向の1次固有周期のスペクトル値と対応している。

## § 4. 門型骨組（長大スパン）

3章の解析結果より、上下動の影響は水平方向および上下方向の1次固有周期とそれぞれの入力エネルギーとの関係から評価できることが明らかになった。本章では、水平方向および上下方向の1次固有周期がほぼ等しくなるようなモデルについて上下動の影響を検討する。

### 4.1 解析モデルおよび解析条件

解析モデルは図-16に示すようなスパン長が32mの門型骨組で、水平1次固有周期が上下1次固有周期がほぼ同じになるようなモデルである。柱は箱形断面、梁はH形断面とし、部材断面および断面性能は3章と同じとする。柱材の降伏点は $\sigma_y = 3.3t/cm^2$ とする。質点の重量も3章と同じとする。表-6に本モデルの固有モードおよび固有周期を示す。水平1次と上下1次の固有周期の比は0.97となる。

解析ケースは梁中央部が弾性に留まるものと塑性

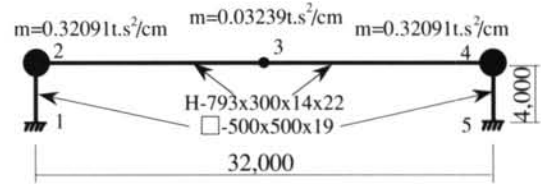


図-16 解析モデル

次数	1次	2次	3次	4次	5次
モード					
周期(sec)	0.781	0.754	0.194	0.084	0.084

表-6 固有モードおよび固有周期

化するものの2ケースとする。前者の梁材の降伏点は $\sigma_y = 6.6t/cm^2$ （ケース1）、後者は $\sigma_y = 3.3t/cm^2$ （ケース2）とする。

解析コードは3章と同様にNASTRANを用い、部材はBEAM要素を用いる。応力-歪関係は3章と同じである。常時荷重を考慮し、かつ、P-Δ効果の影響を含めるため幾何学的非線形性も考慮する。減衰は無視する。入力地震動は2章と同じである。

### 4.2 解析結果

表-7に各ケースの左柱および柱頭部（節点2）の絶対値最大応答および系全体の入力エネルギーを、図-17にケース2の各応答値の時刻歴を示す。

曲げモーメント、剪断力、水平変位および回転角については、ケース1の場合、NS波の場合とNS+UD波の場合の最大応答値および時刻歴ともに差異は小さい。ケース2の場合、曲げモーメント、剪断力の最大応答値および時刻歴ともに時刻10秒以下では上下動の影響は小さいが、10秒以降では差が認められる。水平変位および回転角についてはNS波の場合とNS+UD波の場合の最大応答値および時刻歴ともに大きな差が見られる。これは梁の両端および中央に塑性ヒンジが形成され、骨組がM字形に変形したためである。

軸力および鉛直変位については、いずれのケースについてもNS波の場合とNS+UD波の場合の最大応答値および時刻歴ともかなり差が見られる。ケース2では梁中央部が塑性化したため節点3の鉛直変位については最大応答値および時刻歴ともに両者の差異は顕著である。

図-18および図-19に水平荷重-水平変位関係お

解析 ケース	入力 地震動	曲げモーメント (t.m)		剪断力 (t)	軸力 (t)	水平 変位 (cm)	鉛直 変位 (cm)	回転角 ( $10^{-3}$ rad)	入力エネルギー			
		柱脚	柱頭						水平成分		鉛直成分	
									$E_v$ (t.cm)	$V_E$ (cm/sec)	$E_H$ (t.cm)	$V_E$ (cm/sec)
1	水平方向	225.3	227.0	-112.4	-386.8	15.78	-0.882	49.98	12539	190.6	1176	58.4
	水平+上下	228.7	211.9	-106.7	-504.9	17.01	-1.219	50.76	12589	191.0	1964	75.4
2	水平方向	225.5	219.7	-109.9	-402.1	15.95	-0.862	48.64	12288	188.7	2646	87.6
	水平+上下	242.5	221.3	-107.5	-515.4	23.37	-1.704	96.39	12386	189.4	10033	170.5

表-7 最大応答値および入力エネルギー

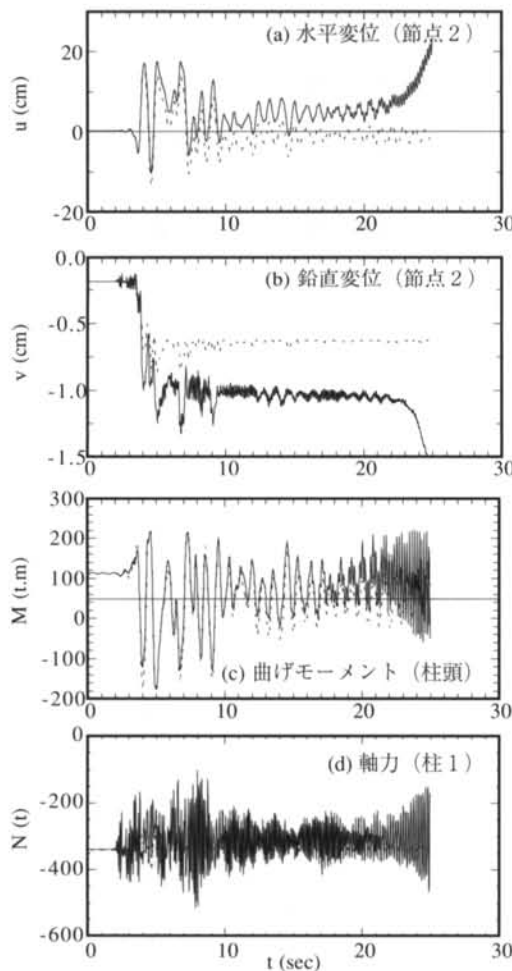


図-17 応答時刻歴

および鉛直荷重-鉛直変位関係を示す。ただし、水平変位および鉛直変位はそれぞれ節点2および節点4の値の平均値をとる。図中、実線がNS+UD波の場合、破線がNS波の場合を示す。水平荷重-水平変位関係についてケース1ではNS波の場合およびNS+UD

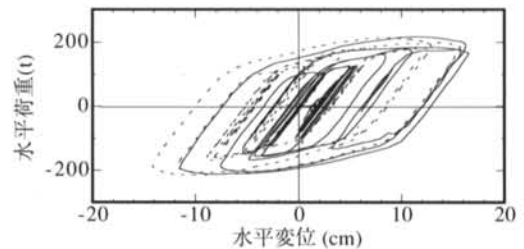


図-18 水平荷重-水平変位関係

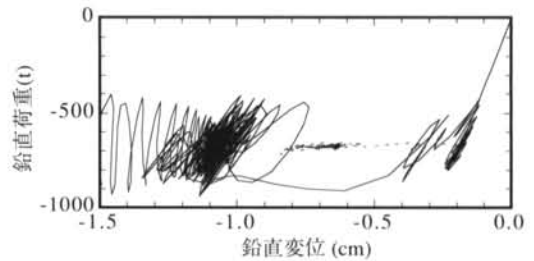


図-19 鉛直荷重-鉛直変位関係

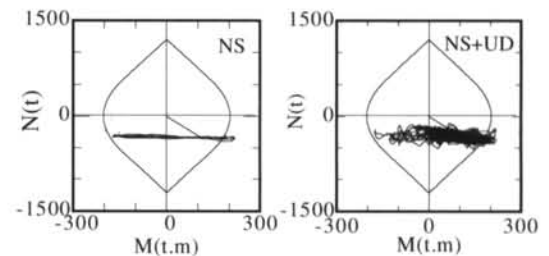


図-20 M-N相関

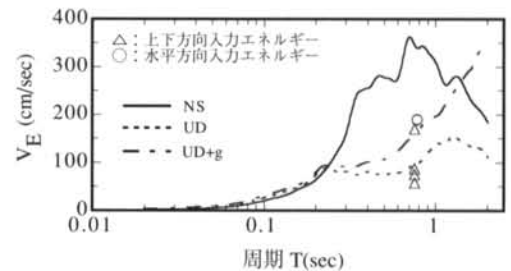


図-21 入力エネルギー



波の場合の差は大きくない。ケース2では梁中央部が塑性化し骨組がM字形に変形し節点2と節点4が内側に引き込まれるため、NS波の場合およびNS+UD波の場合の差は個々の節点変位の差ほど大きくない。鉛直荷重-鉛直変位関係については、3章と同様にNS+UD波の場合鉛直変位の塑性変形量および鉛直荷重の変動量がNS波の場合に比べかなり大きい。

図-20に左柱柱頭部のM-N相関を示すが、3章と同様に、NS+UD波の場合は曲げモーメントの範囲はNS波の場合と差異は小さいが、軸力の変動幅に大きな差異が見られる。

図-21の入力エネルギーを示す。いずれのケースも水平動による入力エネルギーはNS波の場合とNS+UD波の場合の差はほとんどない。ケース1の場合は上下動による入力エネルギーは小さく、水平動による入力エネルギーの16%で、スペクトル値をかなり下回っている。ケース2の場合はスペクトル値とよく対応している。すなわち、エネルギースペクトルは上下動によって塑性化する場合よく対応し、弾性に留まる場合は安全側の評価となる。

## § 5. 多層骨組

### 5.1 解析モデルおよび解析条件

解析モデルは図-22に示す8層2スパンの骨組で柱は箱形断面、梁はH形断面とする。表-8に断面リストを示す。鋼種はSM490 ( $\sigma_y = 3.3t/cm^2$ )とする。図-22中に各層の重量分布を示す。梁の中間にも質点を設け、各質点の重量はその支配面積に応じて配分する。

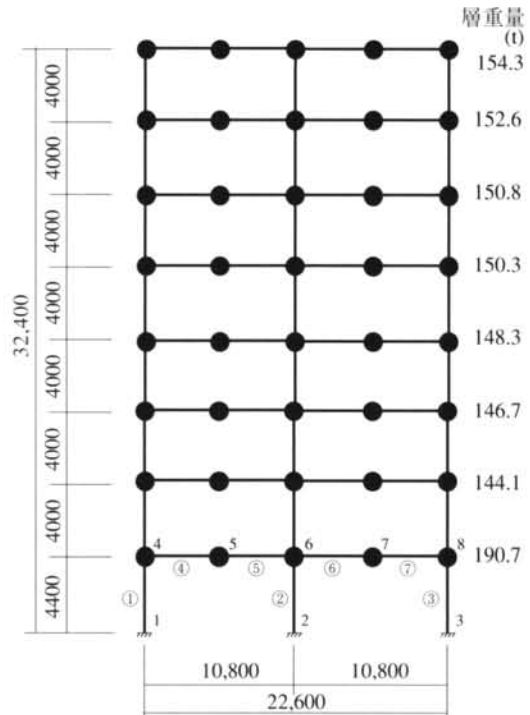
解析コードは3章と同様、NASTRANを用い、部材はBEAM要素を用いる。応力-歪関係は3章と同じとする。解析にあたっては、常時荷重および幾何学的非線形性を考慮する。減衰は無視する。1次固有周期は水平方向1.568sec、上下方向0.246secとなる。

入力地震動は2章と同じである。

### 5.2 解析結果

表-9に第1層の代表的な応答値の最大値を、図-23に各応答値の時刻歴を示す。図中、実線がNS+UD波の場合、破線がNS波の場合を示す。

水平変位および節点回転角については各層とも最大値および時刻歴ともに上下動による差異は小さい。最大層間水平変位については大部分の層で水平



図中の数字は節点番号を、○内数字は要素番号を示す。

図-22 解析モデル

層	側柱	中柱	梁
8	□650×22	□600×16	H700×250×12×15
7	□650×22	□600×16	H700×250×12×15
6	□650×22	□600×16	H800×300×16×25
5	□650×22	□600×16	H800×300×16×28
4	□650×25	□600×19	H900×300×16×32
3	□650×25	□600×19	H900×300×16×32
2	□650×28	□600×19	H900×300×16×32
1	□650×32	□650×25	H900×300×16×32

表-8 断面リスト

動のみの場合の方がむしろ大きい。

鉛直変位については、側柱では上下動による短周期の振動が見られるが、主要成分では上下動による差異は小さい。中柱では最大値の差は小さいが、時刻歴では図-23(c)に示すように上下動による短周期の大きな振動が見られるが塑性変形については水平動の影響が卓越しており、ドリフト量ではNS波の場合の方がむしろ大きい。

柱の曲げモーメントおよび剪断力については、側柱および中柱ともに最大値および時刻歴ともに上下



節要素	変位・断面力	水平動のみ		水平動+上下動	
		負側	正側	負側	正側
4	水平変位(cm)	-2.321	4.249	-2.351	4.034
4	回転角 ( $\times 10^{-3}$ rad.)	-6.91	12.28	-7.08	12.10
4	鉛直変位(cm)	-0.211	0.003	-0.217	0.017
5	鉛直変位(cm)	-1.652	---	-1.807	0.145
6	鉛直変位(cm)	-0.641	---	-0.630	---
1	曲げモーメント(t.m)	-454.3	517.8	-421.1	515.7
1	剪断力(t)	-147.9	157.9	-139.6	159.3
1	軸力(t)	-685.8	89.5	-712.5	89.8
2	曲げモーメント(t.m)	-338.1	353.5	-340.4	355.2
2	剪断力(t)	-150.4	155.5	-144.8	159.3
2	軸力(t)	-744.5	---	-1024.0	---

表-9 最大応答値

動による差異は小さい。

第1層の柱の軸力については、側柱では図-23(e)に示すように水平動による長周期成分に上下動による短周期成分が重なった性状が見られるが、水平動による転倒モーメントが卓越しており、総じて上下動による影響は小さい。中柱では図-23(f)に示すように上下動による短周期の振動が卓越しており、量的にも側柱に匹敵するほど大きく、上下動の影響は非常に大きい。

図-24に各層の水平荷重-水平変位関係および鉛直荷重-鉛直変位関係を示す。ただし、水平変位および鉛直変位はそれぞれ節点4、6および8の値の平均値をとる。水平荷重-水平変位関係についてはいずれの層についても上下動の影響は非常に小さい。鉛直荷重-鉛直変位関係については塑性変位量は同等であるが、NS+UD波の場合は鉛直荷重の変動量がかなり大きい。

図-25に入力エネルギーを示すが、上下動による入力エネルギーはNS+UD波の場合 $E_{v}=5540t.cm$ （等価速度 $V_{e,v}=94cm/sec$ ）で入力エネルギースペクトル( $h=0.1$ )の上下1次の固有周期での値とよく対応する。水平動による入力エネルギーはNS波の場合 $E_{H}=13825t.cm$ （等価速度 $V_{e,H}=148cm/sec$ ）、NS+UD波の場合 $E_{H}=13795t.cm$ （等価速度 $V_{e,H}=148cm/sec$ ）と同値で、入力エネルギースペクトル( $h=0.1$ )の水平1次の固有周期での値より小さいが、これは塑性化により

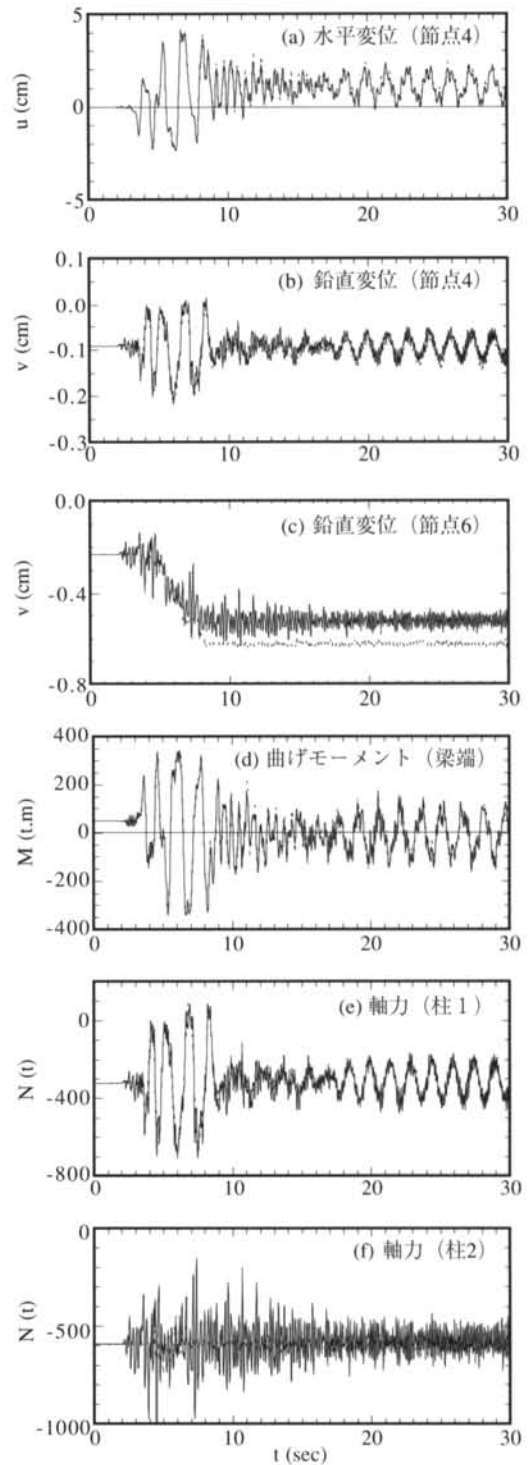


図-23 応答時刻歴

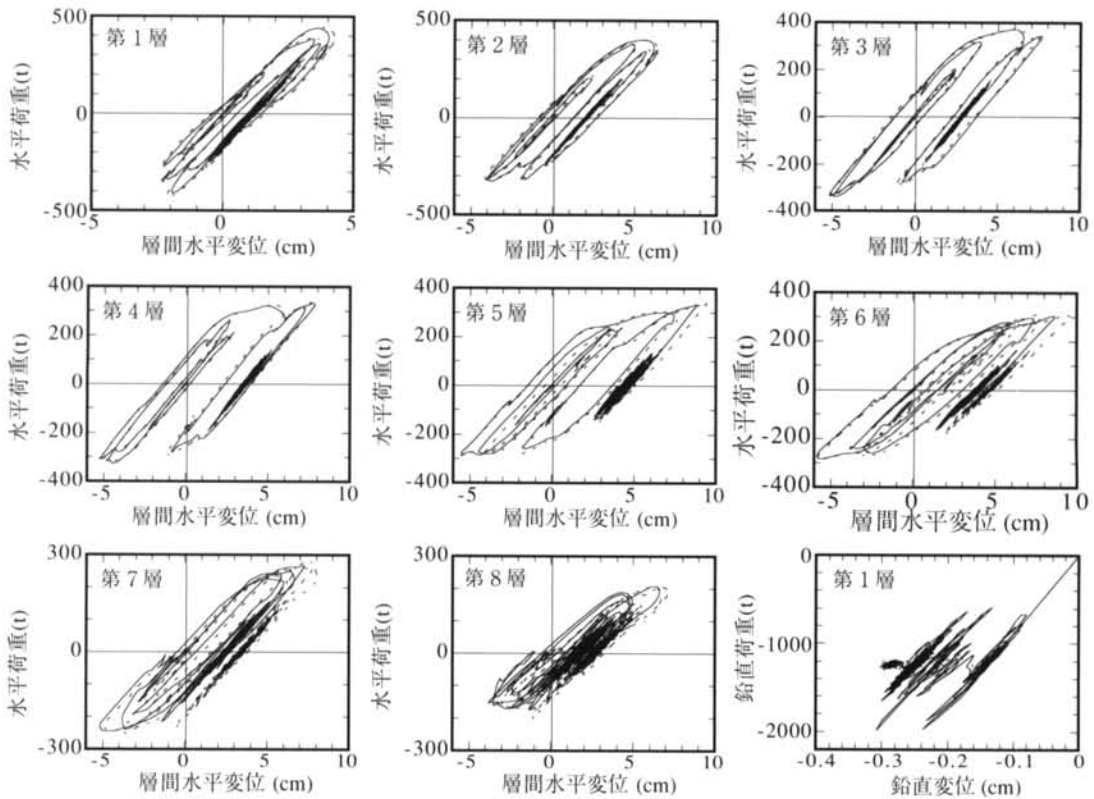


図-24 荷重-変位関係

実効的な周期がさらに伸び、入力波の周期特性により入力が低減したものと考えられる。

## § 6. まとめ

種々の鋼構造骨組を対象に、上下動の地震応答性状に及ぼす影響について検討した結果、水平変位、回転角、曲げモーメントおよび剪断力の応答性状への影響は小さい。鉛直変位や柱の軸力の応答性状への影響は大きく、特に中柱の軸力への影響は大きい。側柱については、層数が多くなると水平力による転倒モーメントによる軸力が卓越する。梁が崩壊

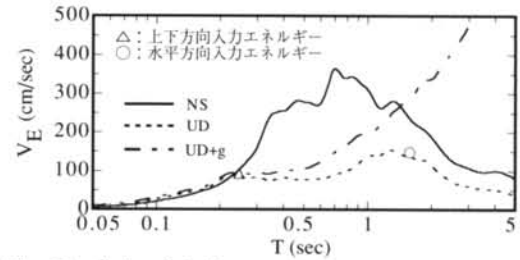


図-25 入力エネルギー

メカニズムを形成する場合は上下動の影響は大きい。水平方向および上下方向の入力エネルギー量はそれぞれの1次固有周期により特徴づけられ、入力エネルギースペクトル( $h=0.1$ )とよい対応を示す。

### <参考文献>

- 1) 秋山宏 “建築物の耐震極限設計” 東京大学出版会, 1987
- 2) 真瀬他 “水平動と上下動を同時に受ける鋼構造骨組の地震応答性状” 日本建築学会大会梗概集, 1996
- 3) 真瀬 “水平動と上下動を同時に受ける鋼構造多層骨組の地震応答性状” 日本建築学会大会梗概集, 1997