

## 第6章 目次 (6-1~6-24)

6 . 観測地震動の特徴と各種地震応答解析結果の検討 .....	1
6.1 地震動の特徴 .....	1
6.2 1自由度系の地震応答解析 .....	9
6.2.1 中低層想定 .....	9
6.2.2 超高層想定 .....	12
6.2.3 まとめ .....	14
6.2 付録 同じ最大加速度を持つ人工地震波に対する応答 .....	14
6.2 節 参考文献 .....	15
6.3 木造住宅の地震応答計算 .....	16
6.3.1 目的と概要 .....	16
6.3.2 計算の方法 .....	16
6.3.3 計算結果 .....	18
6.3 節 謝辞 .....	22
6.4 まとめ .....	23

## 6．観測地震動の特徴と各種地震応答解析結果の検討

### 6.1 地震動の特徴

強震動特性の3つの決定要因、すなわち、震源・伝播経路・サイト増幅について、それぞれの観測地点の強震記録から分析することは、強震動予測の観点から重要であり、ここでは過去の強震記録について観測地点毎に比較を行った。

図-6.1.1 に近傍で過去に発生した主要な地震の震源を示す。今回の地震は、内陸地殻内の浅い地震であったが、この地域には、同様タイプの地震と、海溝型と呼ばれるプレート境界域(やや深い)に起こる地震がある。

以下に示す主要観測点での地震動の応答スペクトルについて、海溝型地震と内陸地殻内地震とに区別できるように表示した。

図-6.1.2 に示す K-NET 築館観測点 (MYG004) では、地盤条件が地表 1 m の粘性土の下部は、岩盤層がでている。ボーリング資料を見る限り、第 1 種地盤あるいはそれに近いとみられる。築館地点では、周期約 4 秒の卓越が各地震共通に見られる。ただし、今回の地震の場合はその卓越が顕著である。

図-6.1.3 には、K-NET 鳴子 (MYG005) における最近の主な地震における擬似応答スペクトル(減衰定数 5%) の比較を示した。過去の地震でも周期 2 ~ 3 秒の顕著な卓越が共通に見られる。周期 0.1 秒前後にも共通のピークが見られる。本観測地点は、鳴子鬼首地区のカルデラ地形の中にあり、3 秒あたりのピークも、カルデラ内の当観測地点周辺のローカルな地盤条件によるものと見られる。

地盤は、地表部にシルト層が 2 , 3 m で、その下部は 1 0 m 程度の硬い礫質土があり、その下部にはやや硬質の N 値 2 0 程度の粘性土層が見られる。火山性の堆積物が厚く堆積しているものとみられる。

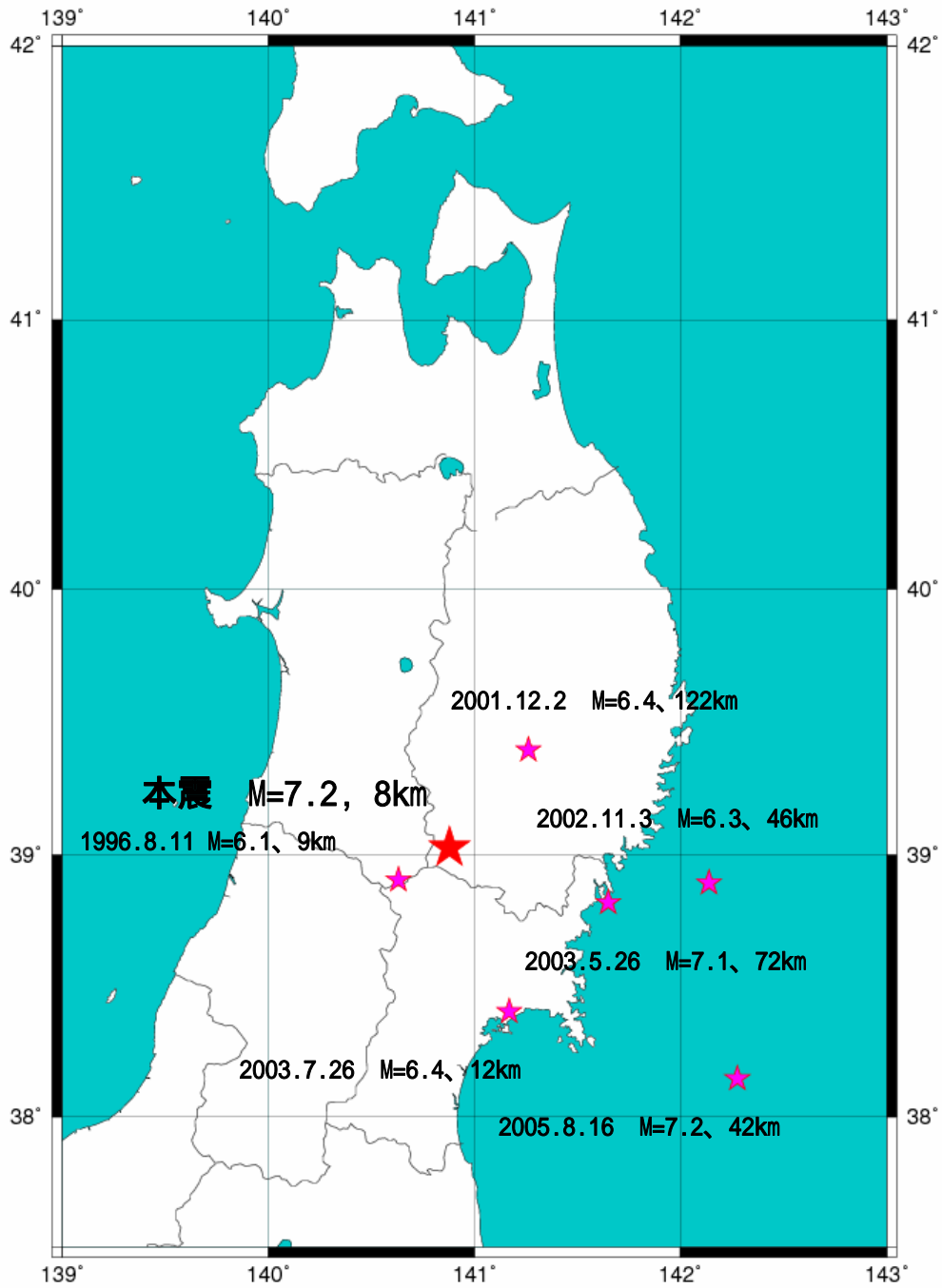


図-6.1.1 被災地近傍で過去に発生した主要な地震の震源

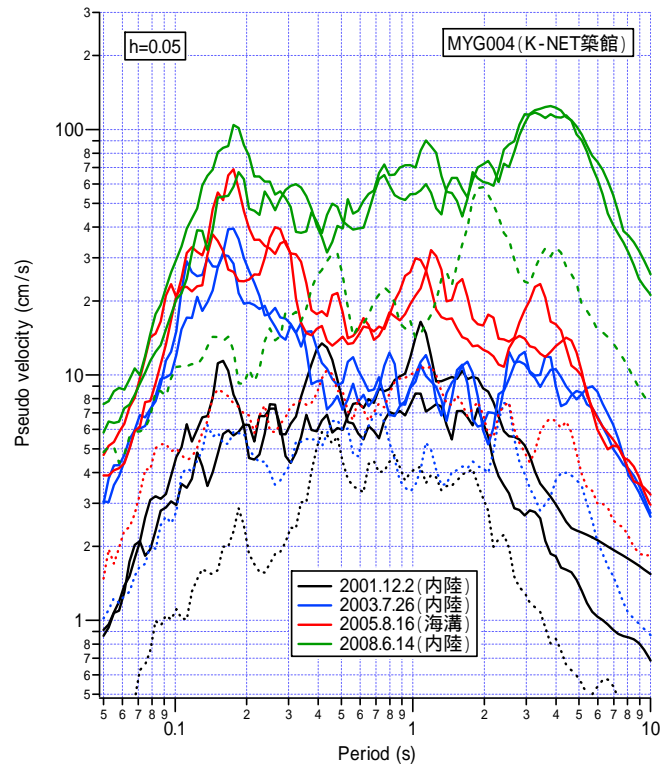


図-6.1.2 K-NET 築館 (MYG004) における今回の地震を含む、最近の主要地震における擬似応答スペクトル (減衰定数 5%) の比較。実線は水平動、破線は上下動。

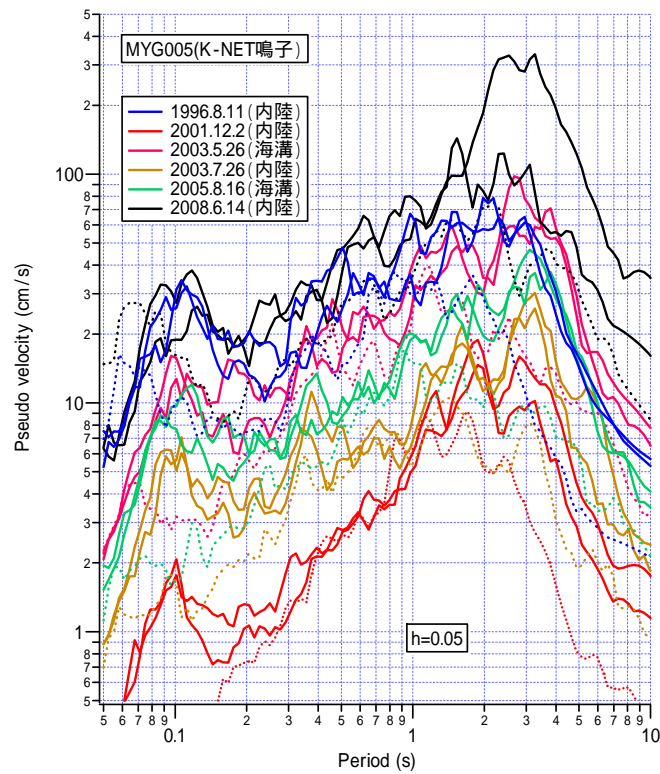


図-6.1.3 K-NET 鳴子 (MYG005) における今回の地震を含む、最近の主要地震における擬似応答スペクトル (減衰定数 5%) の比較。実線は水平動、破線は上下動。

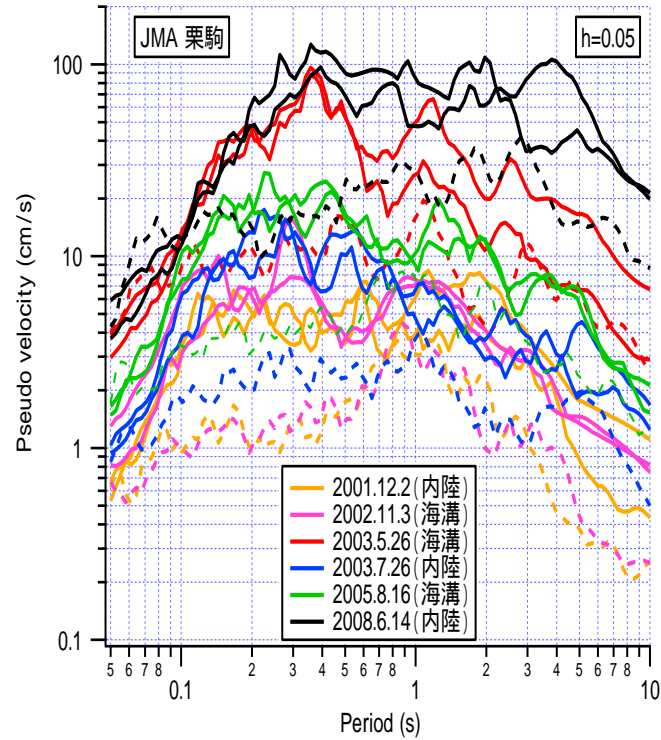


図-6.1.4 気象庁・栗駒強震観測地点(8A6)における今回の地震における擬似速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の比較。実線は水平動、破線は上下動。

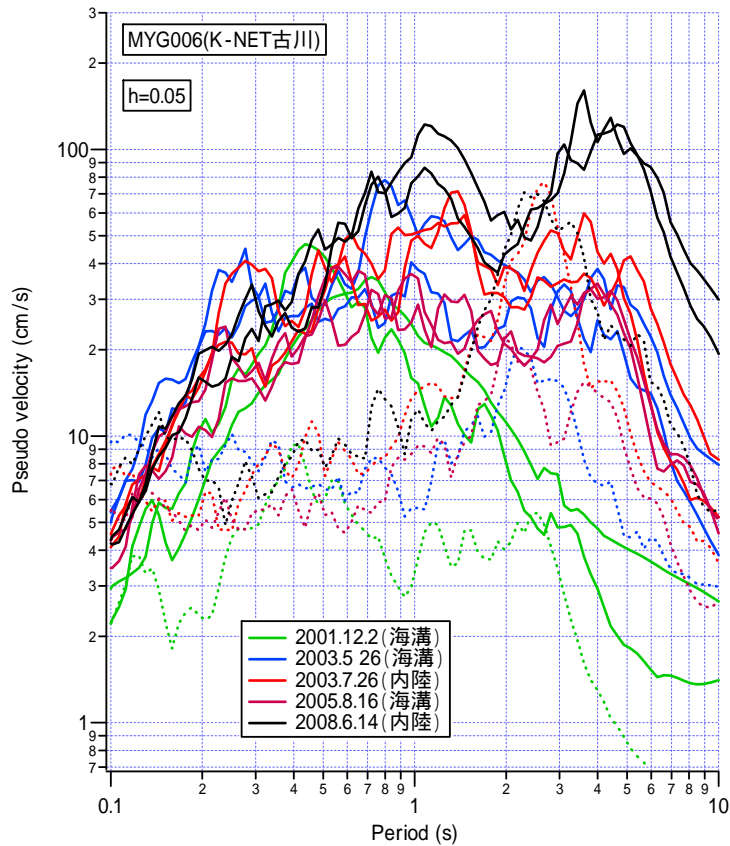


図-6.1.5 K-NET 古川 (MYG006) における今回の地震における擬似速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の比較。実線は水平動、破線は上下動。

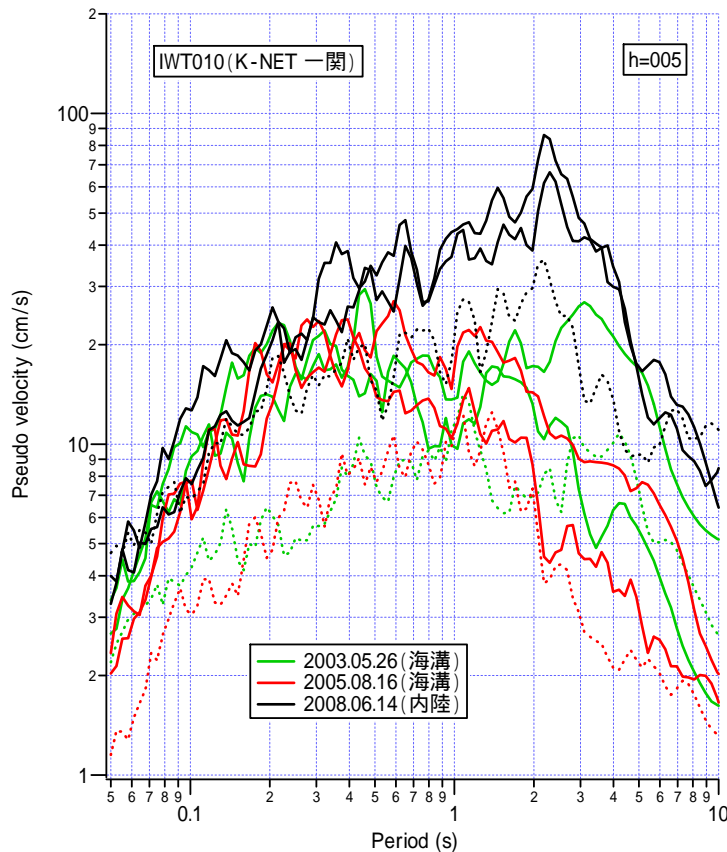


図-6.1.6 K-NET 一関強震観測地点 ( IWT010 ) における今回の地震における擬似速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の比較。実線は水平動、破線は上下動。

図-6.1.4 には、今回の地震における最大の被災地に最も近い気象庁強震観測地点、栗駒(8A6)地点での観測記録について示した。地表面上の記録ではあるが、広い周期範囲で 100cm/s 程度のレベルを有する記録である。周期 4 秒で高レベルを保持しているが、過去の地震では、この周期帯域での顕著な卓越は見られない。

図-6.1.5 には、K-NET 古川(古川消防署、MYG006)での記録を示した。今回は周期 3~5 秒の卓越が見られるが、過去の地震時にも周期 2, 3 秒の卓越が見られる。

観測地点の地盤は、N 値が 5 から 10 (深さ 4m あたりに N 値 20 程度の薄い砂質土層)が見られる。工学的基盤としては、約 17m 深さの礫質土となっている。

図-6.1.6 には、K-NET 一関(一関消防署、IWT010)における最近の主な地震における擬似応答スペクトル(減衰定数 5%)の比較を示した。今回は周期 2 秒の卓越が見られる。今回だけでなく過去の地震でも周期 2~3 秒の卓越が見られる。

図-6.1.7 には、K-NET 水沢(水沢図書館、IWT011)における最近の主な地震における擬似応答スペクトル(減衰定数 5%)の比較を示した。今回は周期 2~3 秒の成分の卓越が見られる。過去の地震でも同様の周期帯域での卓越が見られる。

図-6.1.8 には、KiK-net 鳴子(MYGH02)での地震動スペクトルを比較した。K-NET 鳴子に近いが、スペクトルレベルの差は非常に大きい。今回の地震と、その余震についてのみ描いたが、両者の長周期におけるレベル差は大きい。地震規模、観測地点の地盤、地質等の差異が反映しているものと考えられる。

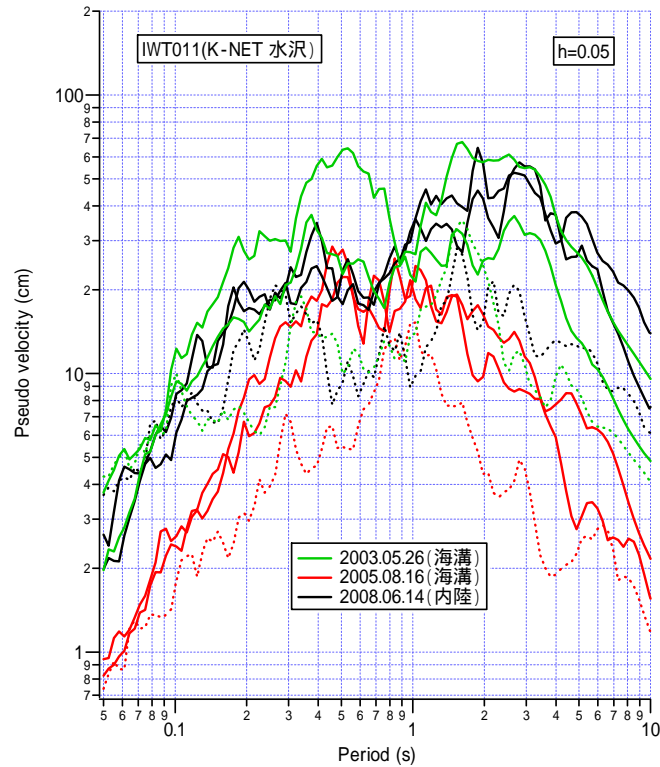


図-6.1.7 K-NET 水沢観測地点（水沢図書館、IWT011）における擬似速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の比較。実線は水平動、破線は上下動。

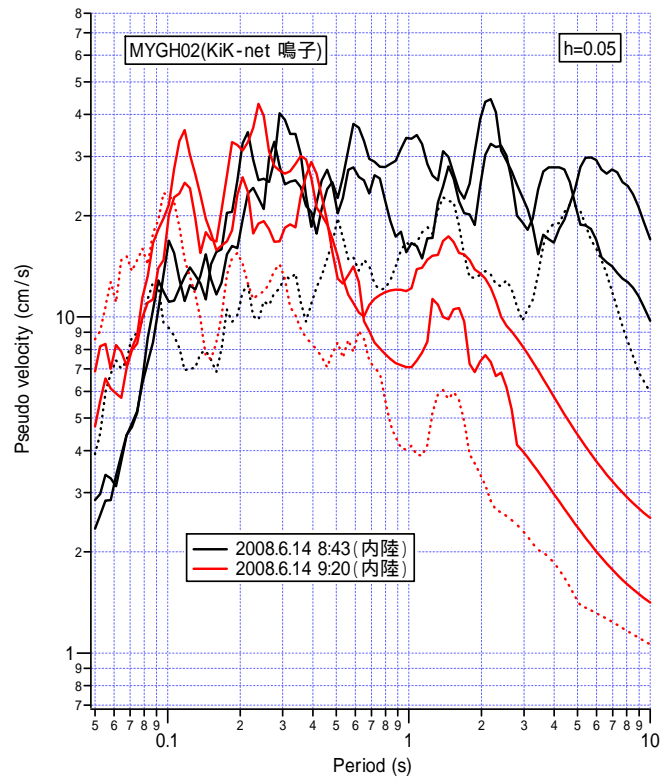


図-6.1.8 KiK-net 鳴子観測点（MYGH02）での今回の本震・余震における擬似応答スペクトル(減衰定数 5%)の比較。実線は水平動、破線は上下動。

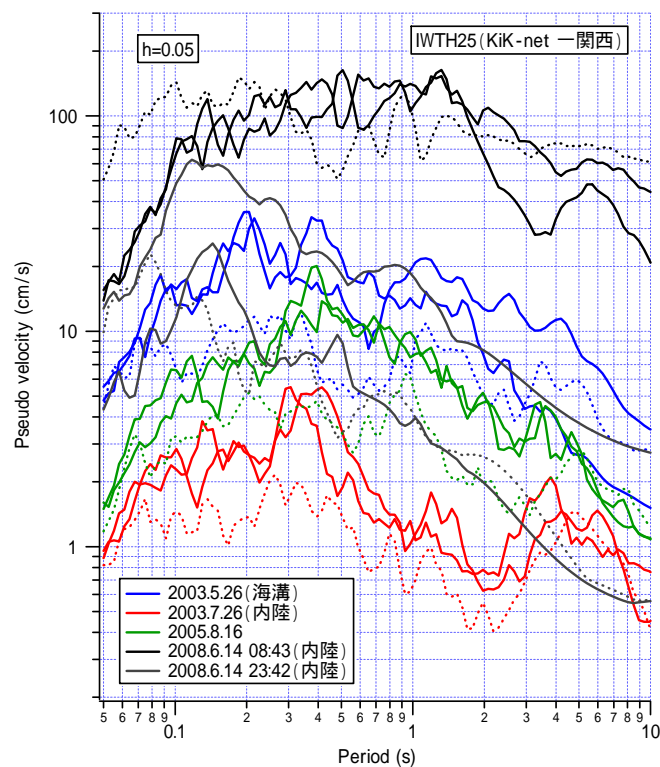


図-6.1.9 KiK-net 一関西観測点 (IWTH25) での擬似応答スペクトル (減衰定数 5%) の比較。  
今回の本震で 4G レベルの上下動が記録された。

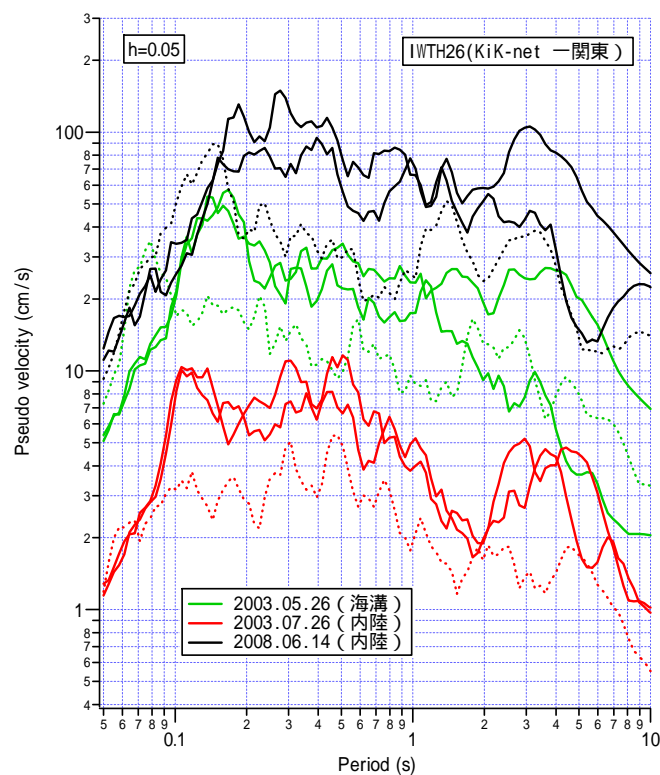


図-6.1.10 KiK-net 一関東観測点 (IWTH26) での擬似応答スペクトル (減衰定数 5%) の比較。



図-6.1.9 には、KiK-net 一関西における最近の主な地震における擬似応答スペクトル（減衰定数 5 %）の比較を示した。本観測地点では、今回上下動で 4 G 相当の記録が観測されている。周期 1 秒前後でも相当なレベルにある。震源（破壊の中心）直上の地点である。

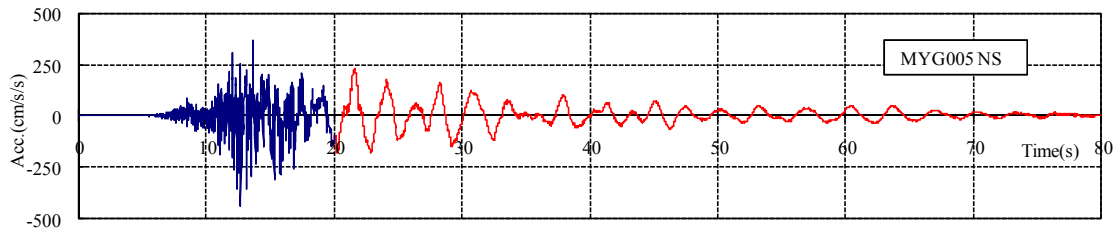
図-6.1.10 には、KiK-net 一関東（IWITH26）における最近の主な地震における擬似応答スペクトル（減衰定数 5 %）を比較した。今回の本震では 3 成分共に最大加速度が 1 G レベルを記録している。周期 2 秒以上で、強い方向性が見られる。過去の地震でも周期 3～5 秒の成分の卓越は見られる。

多くの観測点で、周期 2, 3 秒以上の長周期成分の卓越が見られる。海溝型地震、内陸地殻内地震の両方について、長周期の卓越はみられる。これらは、震源特性に地域の深い構造が関係していると見られる。

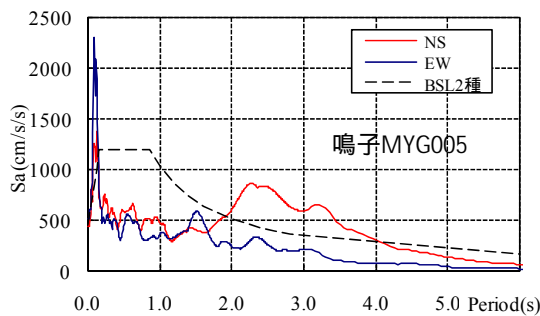
今回の地震での地震動について、各観測点毎にその応答スペクトル特性について過去の地震におけるものと比較した。今回の地震は、過去に起こった地震よりもその規模が大きく、より多くの長周期成分を生成した可能性がある。また、震源が浅かったため、強い表面波の伝播が伴ったことから、多くの地点でやや長周期成分地震動の卓越を見たものと考えられる。

## 6.2 1自由度系の地震応答解析

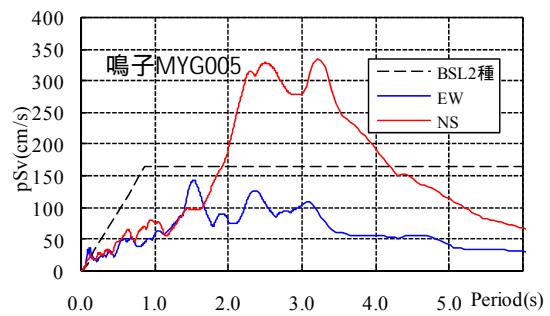
構造物への影響を推測するため、2~3秒程度の周期成分に特徴の見られた K-net 鳴子(MYG005)の観測記録を用いて、1自由度系の弾塑性地震応答解析を行った。



(a) 地動加速度 NS 成分 80 秒間



(b) 加速度応答スペクトル(h=0.05)



(c) 擬似速度応答スペクトル(h=0.05)

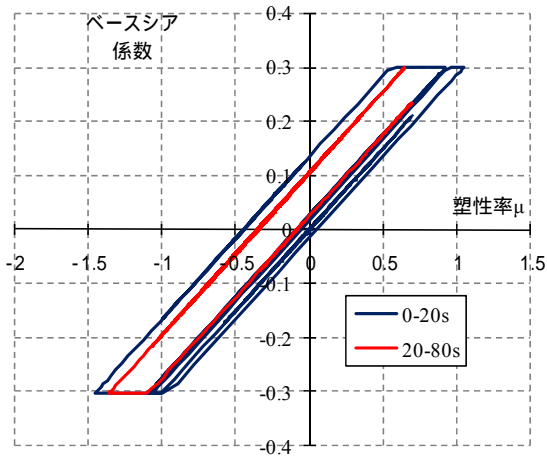
図-6.2.1 K-net 鳴子(MYG005)の記録

### 6.2.1 中低層想定

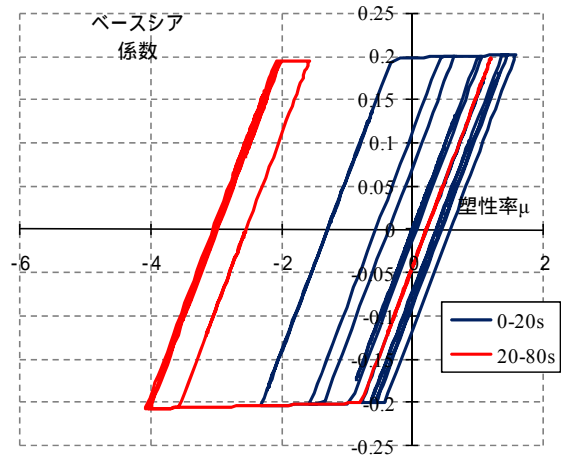
中低層建築物を想定し、初期周期を 0.7 秒とする。減衰は初期剛性比例減衰で 5%、降伏耐力はベースシア係数( $C_y$  とする)で 0.2 と 0.3 の 2 種類とした。ここで、 $C_y=0.2$  は建築基準法で要求される最低限の耐力をやや下回ることには注意する。復元力特性は(a)バイリニア、(b)剛性・降伏耐力の比を同じとしたバイリニアとスリップとの組み合わせ、(c)RC を想定した復元力の 3 種類である。降伏後の 2 次勾配は初期勾配の 1/100 とした。時刻歴応答計算には平均加速度法を用い、時間刻みは 1/100 秒とした。

図-6.2.2 に縦軸をベースシア係数、横軸を塑性率とした履歴を示す。図 6.1(a)と同じく、短周期成分を多く含む 0~20 秒と(やや)長周期成分が顕著な 20~80 秒とを色分けして示している。 $C_y=0.3$  程度の耐力があれば、塑性率は 2.5 程度であり、建築物に一定の靱性が期待できることを前提とすれば、大破や倒壊といった大きな構造的被害には至らなかったと予想される。

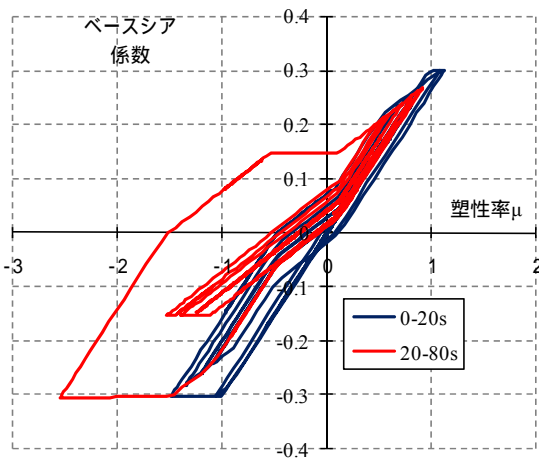
図 6.3 には相対速度応答(単位 cm/s)と各半サイクルでの応答周期の時刻歴を示している。バイリニアではさほど変化しないが、RC 想定 of デグレーディング型の復元力では、塑性化により応答周期が伸びていることが分かる。



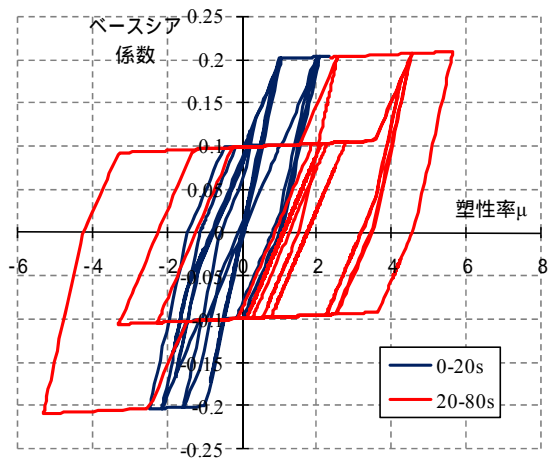
(a-1)  $C_y=0.3$ 、バイリニア



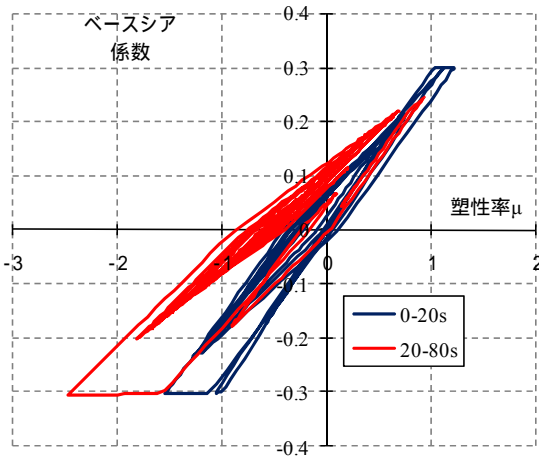
(a-2)  $C_y=0.2$ 、バイリニア



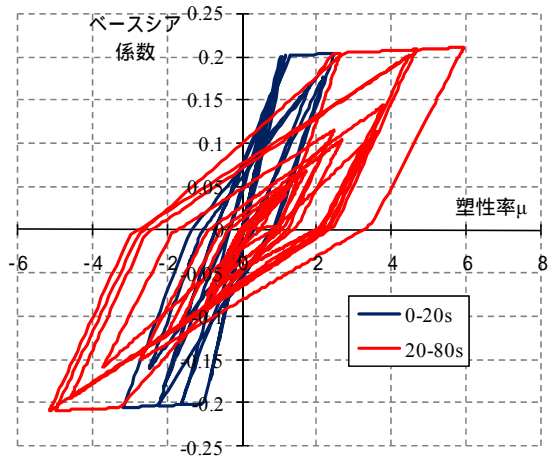
(b-1)  $C_y=0.3$ 、バイリニア+スリップ



(b-2)  $C_y=0.2$ 、バイリニア+スリップ

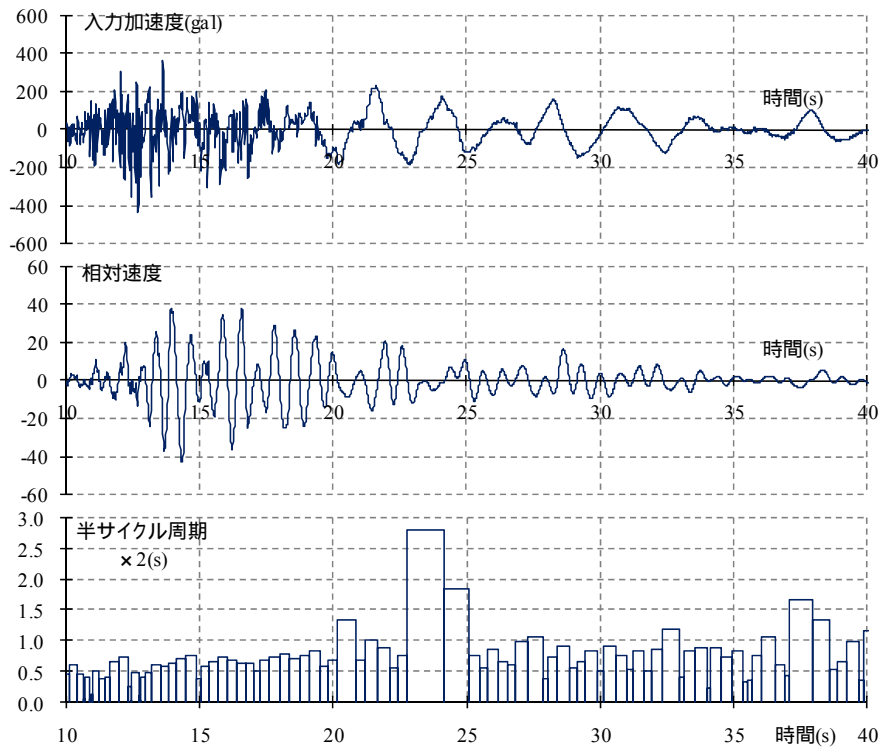


(c-1)  $C_y=0.3$ 、RC 想定

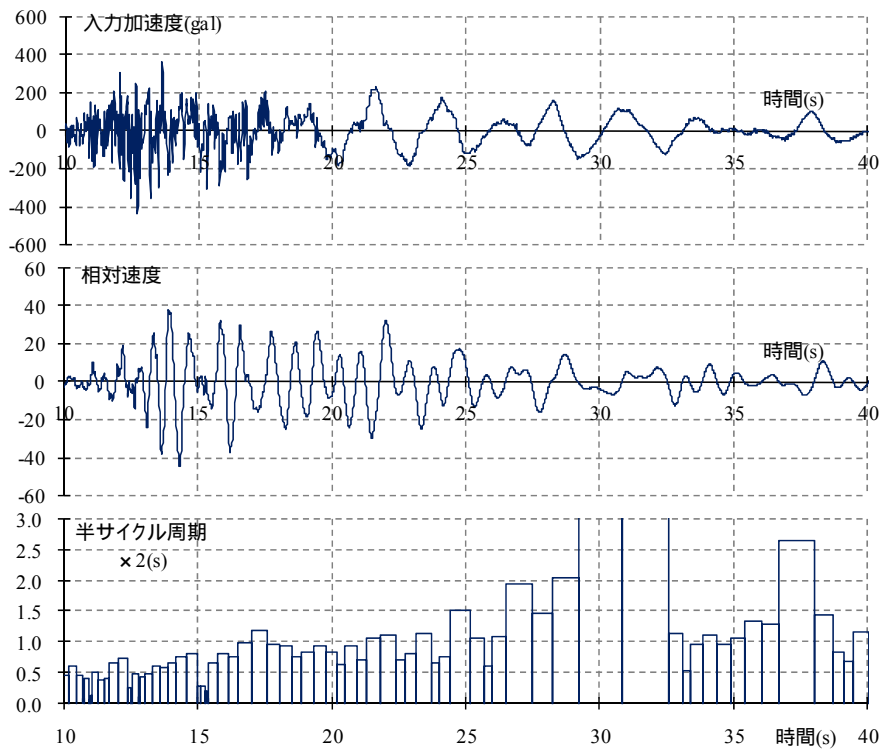


(c-2)  $C_y=0.2$ 、RC 想定

図-6.2.2 荷重変位関係



(a)  $C_y=0.3$ 、バイリニア



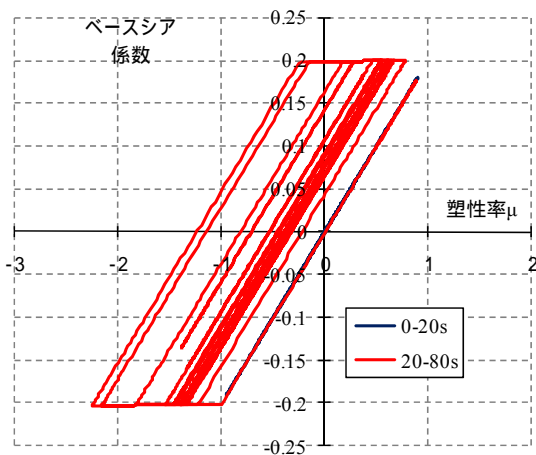
(b)  $C_y=0.3$ 、RC 想定

図-6.2.3 相対速度応答と各半サイクルでの応答周期の時刻歴

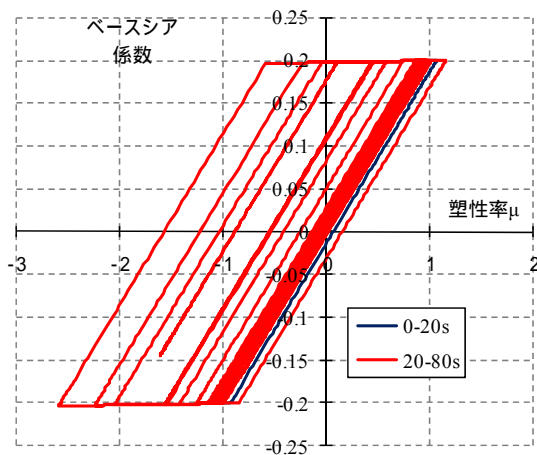
### 6.2.2 超高層想定

超高層建築物を想定し、初期周期を 3.0 秒とした 1 自由度系の応答計算を行う。減衰は初期剛性比例減衰で 5,3,2% の 3 種類、降伏耐力はベースシア係数で 0.2 とした。復元力特性は(a)バイリニア、(b)RC を想定した復元力の 2 種類である。降伏後の 2 次勾配、応答計算の方法は(1)と同じである。

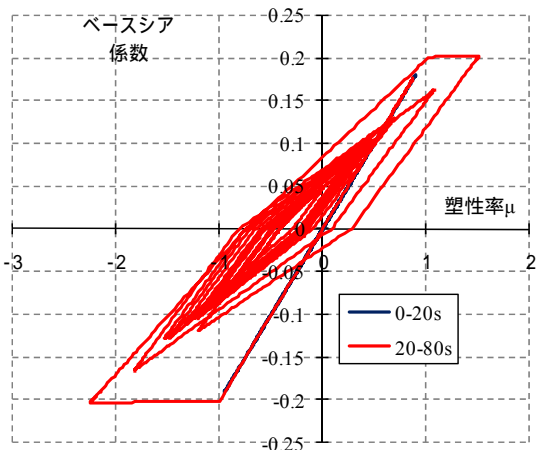
図-6.2.4 に縦軸をベースシア係数とし横軸を塑性率とした履歴を、図-6.2.5 には相対変位、相対速度応答及び各半サイクルでの応答周期の時刻歴を示す。地震動に長周期成分が現れる 20 ~ 30 秒付近で応答変位が最大となっており、塑性率で 2.5 程度となっている。RC 想定の場合の応答周期に着目すると、中低層（初期周期 0.7 秒、図-6.2.3(b)）では 20 秒以降で塑性化による周期の伸びが顕著であるが、超高層（初期周期 3.0 秒、図-6.2.5(b)）では初期周期を若干上回る程度である。これは、図-6.2.1 に示したとおり、3 秒を超える周期領域では地震動にあまりパワーがないためと考えられる。



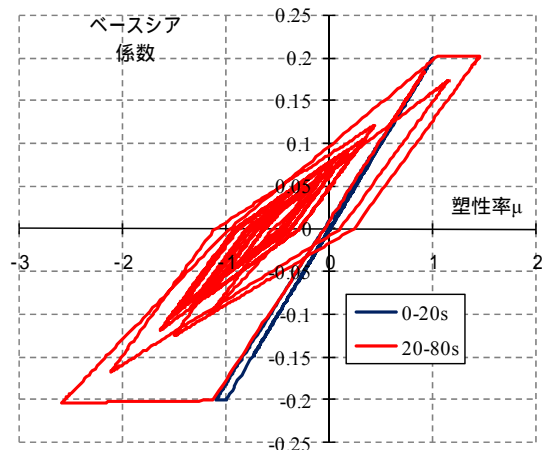
(a-1)  $C_y=0.2$ 、バイリニア、 $h=0.05$



(a-2)  $C_y=0.2$ 、バイリニア、 $h=0.02$

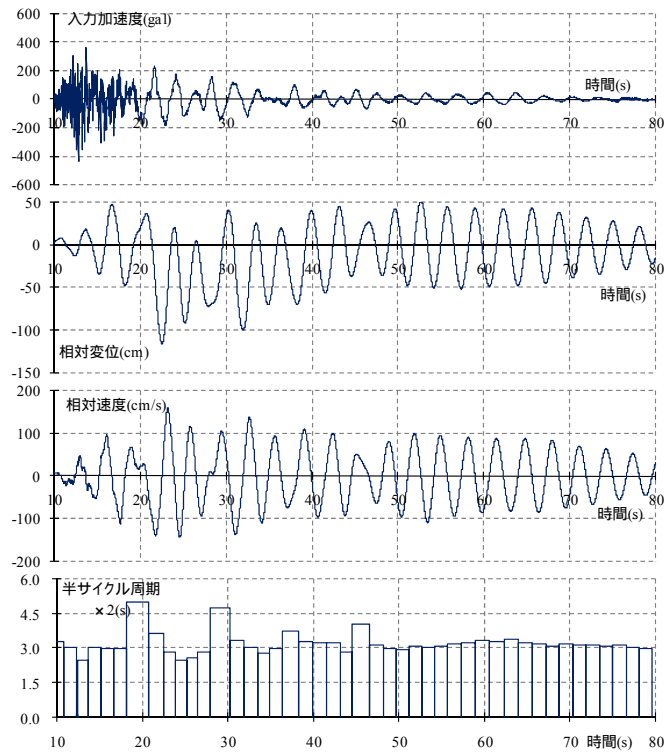


(b-1)  $C_y=0.2$ 、RC 想定、 $h=0.05$

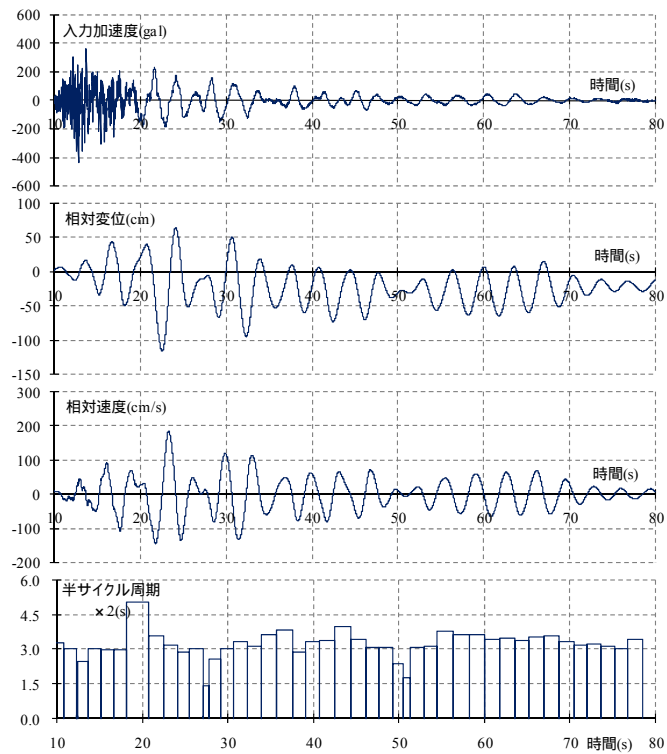


(b-2)  $C_y=0.2$ 、RC 想定、 $h=0.03$

図-6.2.4 荷重変位関係



(a)  $Cy=0.2$ 、バイリニア、 $h=0.02$



(b)  $Cy=0.2$ 、RC 想定、 $h=0.03$

図-6.2.5 相対変位、相対速度応答及び各半サイクルでの応答周期の時刻歴

### 6.2.3 まとめ

2~3秒の周期成分が大きいという特徴をもつ K-net 鳴子(MYG005)の観測記録を用いて、1自由度系の弾塑性地震応答解析を行った結果、中低層や超高層建築物を想定した初期周期 0.7 秒及び 3.0 秒のモデルについて塑性率は 2.5 程度であった。実際の構造躯体の被害がほとんどなかったことからすると、やや大きめの解析結果になっていると考えられるが、中低層建築物については少なくとも大破・倒壊といった大きな被害を及ぼすような地震動ではなかったことが確かめられた。

### 6.2 付録 同じ最大加速度を持つ人工地震波に対する応答

今回の地震では最大加速度の大きい観測記録が得られた一方で、建築物への被害は限定的であった。倒壊・崩壊といった被害と相関が高いのは地震動の周期 1~2 秒前後の成分と言われており(例えば<sup>1)</sup>、観測記録の最大加速度は必ずしも直接的に被害と対応しないとされている。

ここでは、同じ加速度を持つ簡単な人工地震波を用いた 1 自由度系の弾塑性応答解析を行うことにより、地震動の卓越周期と構造物の周期との関係を確認しておくこととする。

解析モデルは 6.2 節と同じく、初期周期 0.7 秒、初期剛性比例減衰 5%の 1 自由度系とする。降伏耐力はベースシア係数で 0.3、復元力特性はバイリニア、降伏後の 2 次勾配は初期勾配の 1/100 とする。

入力波は図-6.2A.1 に示すような震源近傍の地震波(の一部)を模擬する数学モデル<sup>2)</sup>から作った人工波で、最大加速度を 1500gal とし、卓越周期  $T_p$  を 0.3、0.7、1.1 秒とした 3 波形とする。3 波形の最大値等を表-6.2A.1 に、応答スペクトルを図-6.2A.2 に示す。

時刻歴応答計算は平均加速度法で時間刻みは 1/100 秒とした。

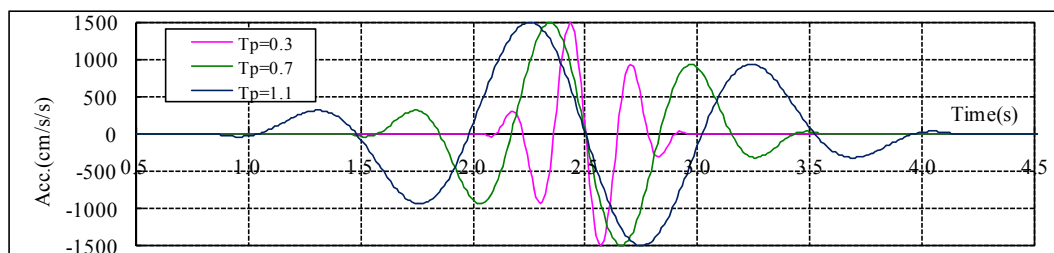
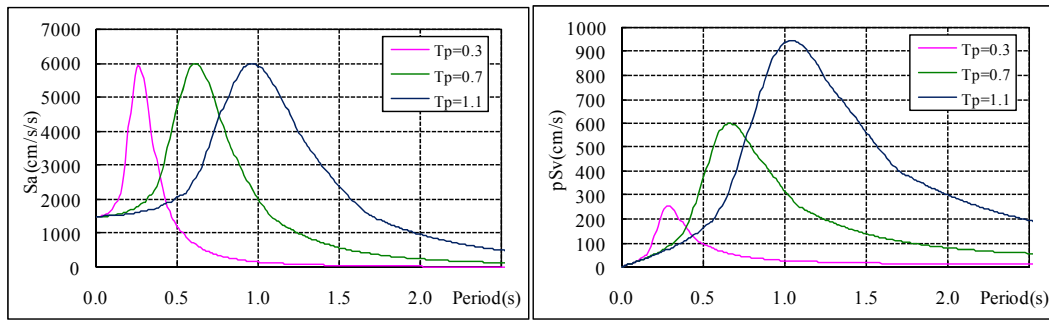


図-6.2A.1 入力波 (最大加速度 1500gal)

表-6.2A.1 最大加速度、最大速度

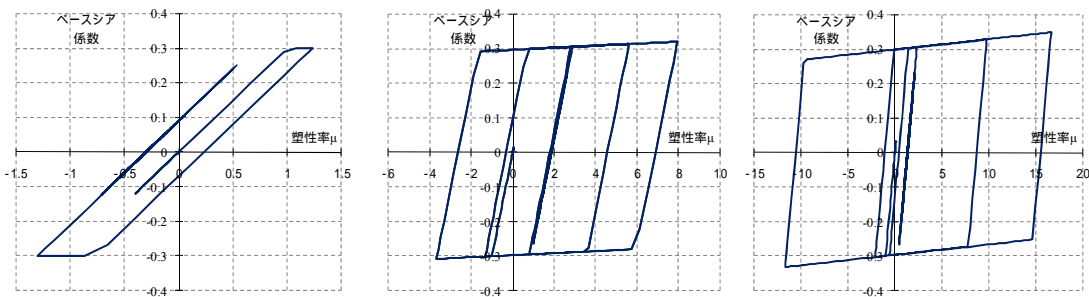
卓越周期 $T_p$ (s)	最大加速度 $a$ (cm/s/s)	最大速度 $v$ (cm/s)	参考: $v = T_p a / (2 \pi)$
0.3	1500	75.8	71.6
0.7	1500	176.7	167.1
1.1	1500	277.7	262.6



(a) 加速度応答スペクトル (b) 擬似速度応答スペクトル

図-6.2A.2 スペクトル(h=0.05)

図-6.2A.3 に応答履歴を示す。最大塑性率(最大変形)は  $T_p$  が長くなるほど大きくなっている。ベースシア係数 0.3 は加速度換算で  $0.3 \times 980 = 294 \text{ cm/s/s}$  であり、入力波の最大加速度  $1500 \text{ cm/s/s}$  とすれば、当然大きく塑性化するように予想されるかもしれないが、構造物の固有周期 0.7 秒よりも入力波の卓越周期  $T_p$  が短い  $T_p=0.3$  の場合には、塑性化はわずかで塑性率で 1.3 となっている。 $T_p=0.7$  は構造物の固有周期と入力波の卓越周期が一致する場合であり、塑性率で 8 となっている。 $T_p=1.1$  は構造物の固有周期よりも入力波の卓越周期が長い場合であり、周期が一致する  $T_p=0.7$  よりも塑性化はさらに進み、塑性率は 17 程度に達している。



(a)  $T_p=0.3$

(b)  $T_p=0.7$

(c)  $T_p=1.1$

図-6.2A.3 応答履歴

以上から、次のことが指摘できる。

- ( ) 構造物の周期よりも入力波の卓越周期が短い場合には、最大加速度が非常に大きな値であったとしても、構造物に与える影響は小さい(塑性率はわずかである)。
- ( ) 構造物の(初期)固有周期と同一の卓越周期を持つ入力波よりも、長めの卓越周期を持つ方が構造物に与えるダメージは大きい(塑性率は大きくなる)。

## 6.2 節 参考文献

- 1) 境有紀、ほか：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案、日本建築学会構造系論文集、第 555 号、pp.85-91、2002.5
- 2) Mavroeidis, G.P., and Papageorgiou, A.S. 2003. A mathematical representation of near-fault ground motions, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93(1), 1099-1131



## 6.3 木造住宅の地震応答計算

### 6.3.1 目的と概要

今回の地震では、木造住宅の建つ被災地において強震記録が得られており、場所によっては極めて大きな最大加速度が得られている。一方、木造住宅の被害調査等から被害の程度がおおよそ把握されているが、概して被害は軽微である。ここでは、木造住宅の被害原因の定量的考察に資することを目的として、4か所の強震記録の水平1方向成分、合計4つの記録地震波を用い、2階建て木造住宅に対して、各階の壁量及び1、2階の床面積比をパラメータとして行った地震応答計算の結果について述べる。

### 6.3.2 計算の方法

計算に用いた入力地震波は、K-NET 築館 (MYG004) (地表) NS 成分、K-NET 鳴子 (MYG005) (地表) NS 成分、KiK-net 一関西 (IWITH25) 地表 EW 成分、KiK-net 東成瀬 (AKTH04) 地表 EW 成分の合計4波である。各地震波の観測地点、最大加速度等を表-6.3.1 に示す。

表-6.3.1 計算に用いた地震波

観測地点	観測点コード	成分	震央距離 (km)	最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )
K-NET 築館	MYG004	(地表) NS	32	739.9
K-NET 鳴子	MYG005	(地表) NS	31	440.3
KiK-net 一関西	IWITH25	地表 EW	3	1433.8
KiK-net 東成瀬	AKTH04	地表 EW	25	2448.1

計算の対象とした建物は、以下の2種類である。

- ・ 2階建て木造 総2階
- ・ 2階建て木造 部分2階 (床面積比は1階 : 2階 = 1 : 0.7 と仮定)

建物の重量は、重い屋根を想定した。被災地においては、屋根を鉄板葺きとしているものも多いが、建築基準法における必要壁量は屋根重量に応じて定められているため、どちらを想定しても、壁量充足率 (必要壁量に対する存在壁量の比) で整理すれば、結果に大きな差はないと考えられる。固定荷重及び積載荷重の具体的な想定値は、単位床面積当たりの質量として表-6.3.2 に示す値を用いて計算した。これらの値は、住宅の品質確保の促進等に関する法律 (品確法) における性能表示制度の評価方法基準で、耐震等級2以上における必要壁量の根拠とされる値である。

地震応答計算は、上記の2種類の建物について、それぞれ各階の壁量をパラメータとして、後述の構造用合板耐力壁の倍率を2.5として、建築基準法施行令第46条に規定する必要壁量に対し、各階の壁量充足率が各階独立に0.6から1.6の間、0.2きざみで変化するように、各階の剛性耐力を変動させて行った。一つの地震波に対して1、2階の壁量充足率の組み合わせで36種類の計算を行ったことになる。なお、耐力壁以外の寄与を考慮し、耐力壁の耐力の50%が耐力壁以外の部分で負担されるものと仮定して、耐力壁による荷重変形関係を1.5倍して層の荷重変形関係とした。

表-6.3.2 各部の質量の想定（床面積 1 m<sup>2</sup>当たり kg）

	重い屋根の場合
屋根の質量 G1	130
各階の外壁の質量 G2	120
各階の内壁の質量 G3	20
各階の床の質量 G4	60
床の積載の質量 P1	61

用いた荷重変形関係及び履歴性状は、構造用合板耐力壁の実験結果をトレースする形でバイリニア+スリップにモデル化したものである。図-6.3.1に履歴モデルを、表-6.3.3に構造用合板耐力壁長さ 1 m 当たりの荷重変形履歴モデルに対応するパラメータの値を示す。

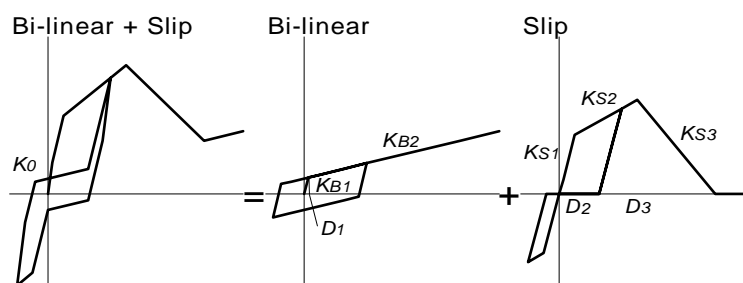


図-6.3.1 計算に用いた荷重変形の履歴特性（バイリニア+スリップ）

表-6.3.3 構造用合板耐力壁 1 m に対するパラメータの値（記号は図-6.3.1に対応）

初期剛性 (kN/mm)	剛性 (kN/mm)					剛性変化点の変位 (mm)		
$K_0$	$K_{B1}$	$K_{B2}$	$K_{S1}$	$K_{S2}$	$K_{S3}$	$D_1$	$D_2$	$D_3$
48.76	$0.53K_0$	$0.03K_0$	$0.47K_0$	$0.07K_0$	$-0.11K_0$	4.5	18	90

建築基準法上は、木造に対して単位床面積当たりの必要壁量を与えられているが、倍率 1 の壁で長さ 1 m 当たりの基準耐力は 1.96 (kN) である。このことから、2 種類の建物を対象に壁量充足率が 1 の場合の 1 階について、非耐力部分の寄与も考慮して許容せん断耐力を算出し、層の許容せん断耐力を支持する重量で除した値、すなわち充足率 1 の想定モデルについて許容せん断耐力に対応する地震層せん断力係数を算出すると、総 2 階の場合で 0.215、部分 2 階の場合で 0.259 となる。これを見ると、セットバックした住宅の場合には上階の重量が小さくなるために、いくらか余裕のある想定となっていることがわかる。

応答計算は、線形加速度法を用い、強震記録 100 秒間 (KiK-net 一関西及び KiK-net 東成瀬については 30 秒間) に対する応答計算を行った。計算の 1 ステップの時間きざみは強震記録の 0.01 秒の 50 分の 1 として行った。減衰は初期剛性比例型で 1 次モードに対する減衰定数 2 % の減衰を仮定している。

### 6.3.3 計算結果

計算結果の荷重変形関係の例を図-6.3.2 に、2種類の建物について入力地震波4種類、壁量の充足率36通りの組み合わせで行った地震応答計算の結果を、各階の層間変位の最大応答値として、図-6.3.3 から図-6.3.6 に示す。ただし、層間変位が30cmを超える部分については、倒壊と見なしてプロットを省略している。

図-6.3.3 から図-6.3.6 により、地震波による応答の違いについて述べれば次の通りである。

まず、計算に用いた4つの地震動記録のうち、最も大きな最大応答変位を示したのはK-NET 鳴子(MYG005)NSである。壁量充足率0.8を切るあたりから、急激に応答変位が増大し、計算上、倒壊に至るという結果である。次に大きな最大応答変位を示すのが、KiK-net 一関東(IWTH25)NSである。逆断層の上盤直上に位置し、上下動も含めた3方向成分の和で最大の加速度を示したと言われている。しかしながら、水平方向成分がそれほど大きくはないこともあり、本計算では、壁量充足率が0.6であっても、1階で15cm、2階で20cm以下の応答変位(層間変位)に収まっている。20cmの応答変位は、設計上の安全限界を超えてはいるが、現実には倒壊を免れる値である。

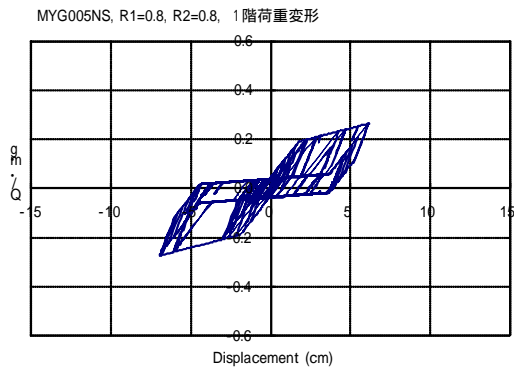
これに対し、K-NET 築館(MYG004)NS、KiK-net 東成瀬(AKTH04)地表EWに対する応答は、1、2階とも、最大応答変位(層間変位)でおおむね10cm以下であり、ほぼ設計上の安全限界以下の応答変位に収まっている。KiK-net 東成瀬(AKTH04)EWは、最大加速度が $2448\text{cm/s}^2$ という大きな値であるが、木造住宅の被害にはつながりにくい波形であることが、本計算によっても示されたと言えよう。

比較のため、同一の条件で計算した、平成19年新潟県中越沖地震での地震動記録に対する応答計算結果を図-6.3.7 に示す。K-NET 柏崎NSに対しては壁量充足率1.2、刈羽村割町新田NSに対しては1.4を切ると急激に応答変位が増大し、計算上、倒壊に至るという結果である。この結果と比べると、今回記録された地震動は、これらの新潟県中越沖地震での記録に比べれば、木造住宅に対して被害を及ぼす程度が小さい地震動であったと言えよう。

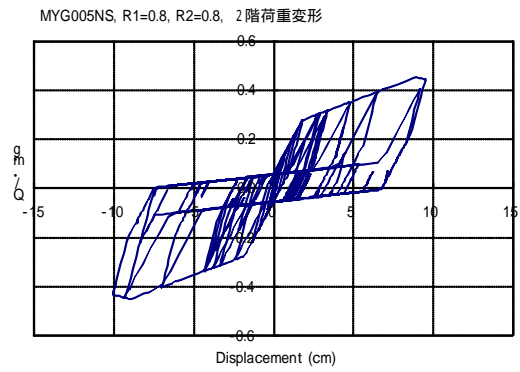
なお、これらの計算結果と実際の被害との関係については、現実の応答変位は、計算による応答変位より小さく収まる傾向にあることが、これまでの地震被害における詳細調査と応答計算の経験からわかっている。

(1) 総2階建て、壁量充足率1階  $R_1=0.8$ 、2階  $R_2=0.8$ 、入力地震動 K-net 鳴子(MYG005)NS

1階

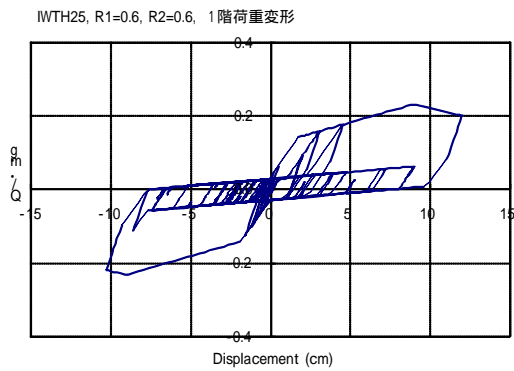


2階



(2) 総2階建て、壁量充足率1階  $R_1=0.6$ 、2階  $R_2=0.6$ 、入力地震動 KiK-net 一関東(IWTH25)NS

1階



2階

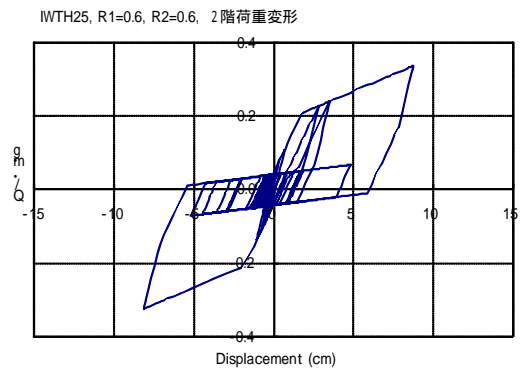
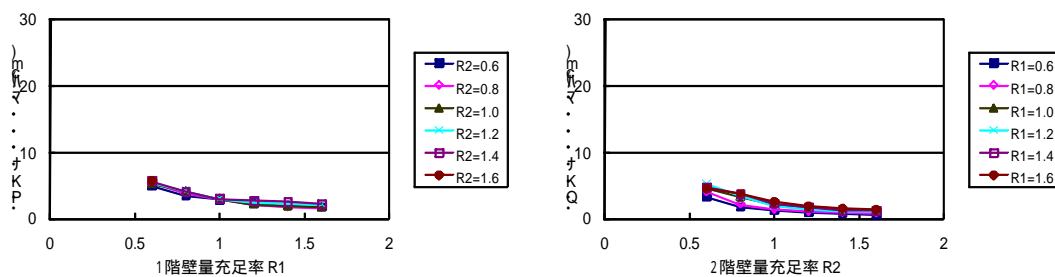


図-6.3.2 応答計算結果の荷重変形関係の例

(1) K-NET 築館 (MYG004) NS 成分、総 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) K-NET 築館 (MYG004) NS 成分、部分 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)

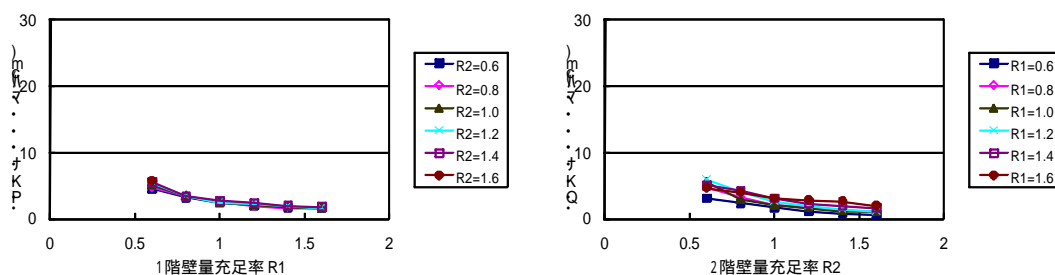
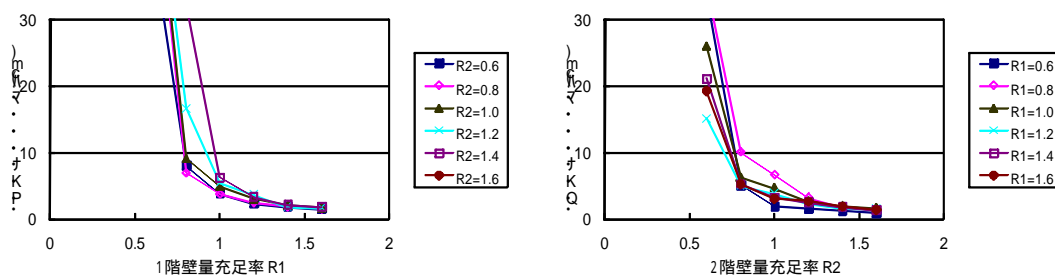


図-6.3.3 最大応答変位の計算結果 1 K-NET 築館 (MYG004) NS 成分に対する応答

(1) K-NET 鳴子 (MYG005) NS 成分、総 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) K-NET 鳴子 (MYG005) NS 成分、部分 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)

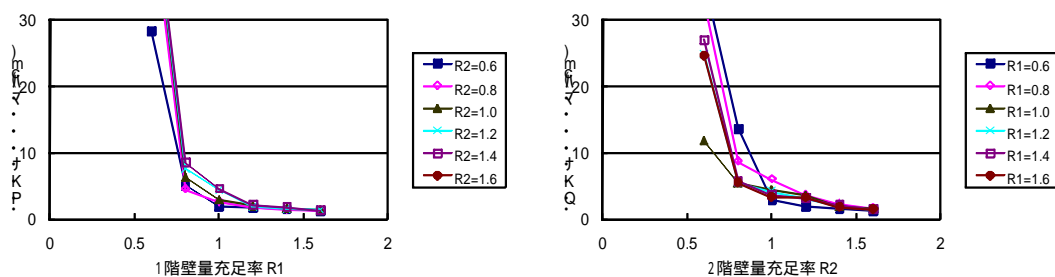
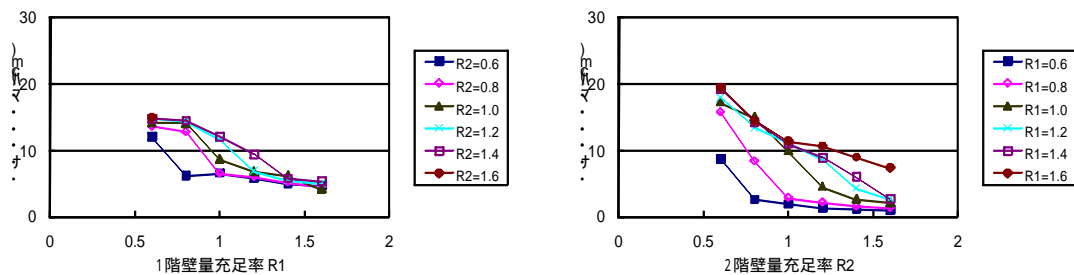


図-6.3.4 最大応答変位の計算結果 2 K-NET 鳴子 (MYG005) NS 成分に対する応答

(1) KiK-net 一関西 (IWTH25) 地表 EW 成分、総 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) KiK-net 一関西 (IWTH25) 地表 EW 成分、部分 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)

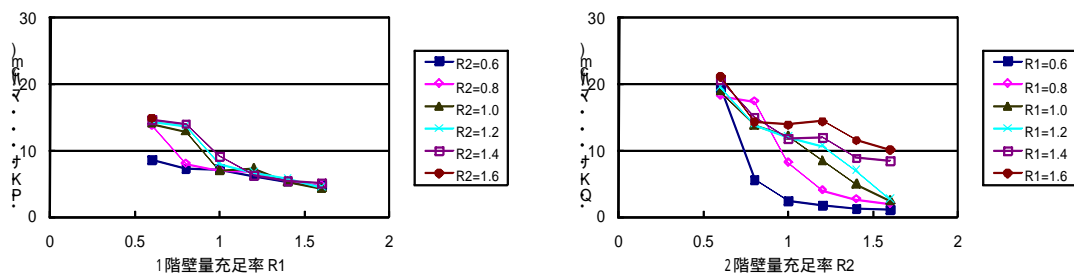
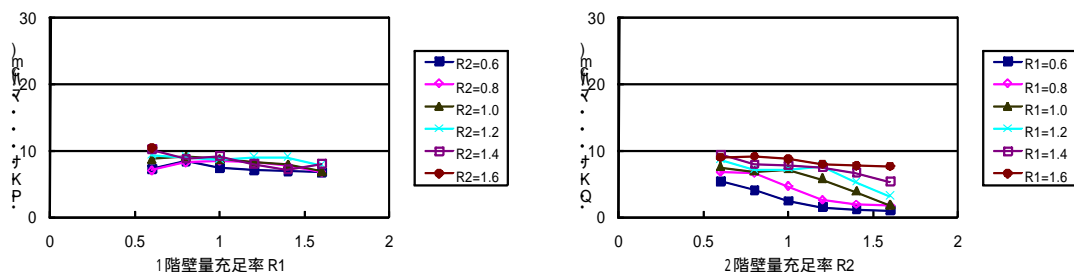


図-6.3.5 最大応答変位の計算結果 3 KiK-net 一関西 (IWTH25) EW 成分に対する応答

(1) KiK-net 東成瀬 (AKTH04) 地表 EW 成分、総 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) KiK-net 東成瀬 (AKTH04) 地表 EW 成分、部分 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)

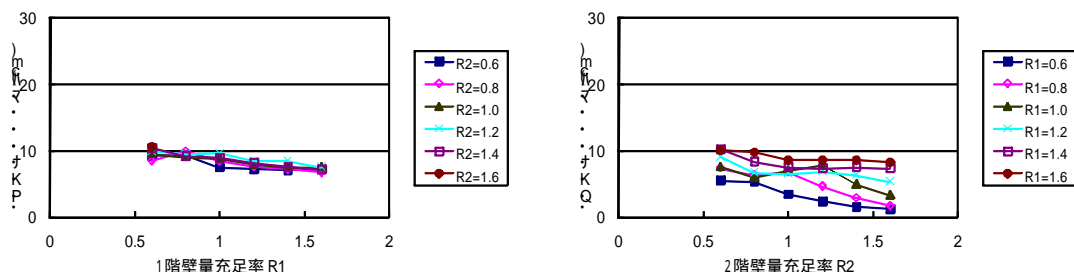
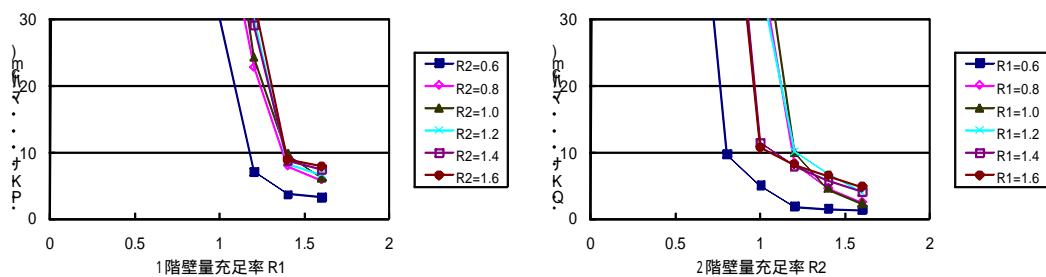


図-6.3.6 最大応答変位の計算結果 4 KiK-net 東成瀬 (AKTH04) EW 成分に対する応答

(1) K-NET 柏崎 NS 成分、総 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) 刈羽村割町新田 NS 成分、総 2 階建て (左 : 1 階、右 : 2 階)

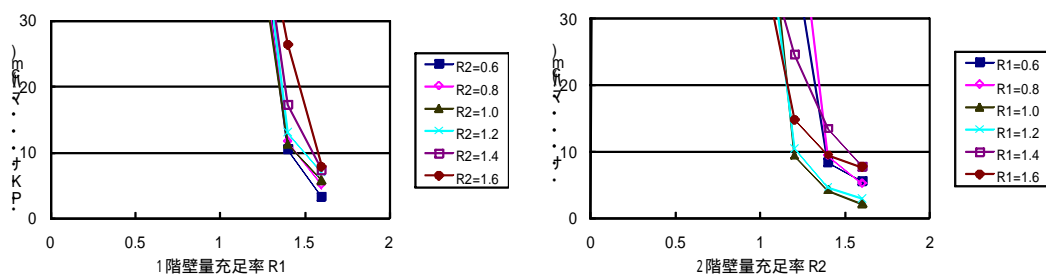


図-6.3.7 中越沖地震の地震動に対する最大応答変位の計算結果 (例)

### 6.3 節 謝辞

時刻歴応答計算に用いた強震記録は、K-NET、KiK-net については独立行政法人防災科学技術研究所より、中越沖地震の刈羽村割町新田の強震記録については、当時の気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長を通じて入手したものである。関係諸氏に謝意を表す。

#### 6.4 まとめ

今回の地震では、気象庁、防災科技研、自治体などにより、被災地周辺で加速度振幅レベルが高い強震記録が得られている。それらの記録については、第3章に波形、スペクトル特性の特徴を示した。また、本章前節では、これらの観測記録の建築物への影響度について、木造建築物、超高層建築物などを対象に簡略的なモデルを用いて、被害の検証を行っている。それらの検討によると、観測地震動は加速度振幅は大きかったものの、いずれの構造種別でも大きな損傷、被害には至っておらず、実際の建築物被害の程度とも整合している。

第3章で示したが、建築研究所は全国の主要都市の建築物に強震計を設置している。今回の地震では、仙台、秋田、八戸等で強震記録を得ている。ただし、現時点までに公表されている主要被災地付近の強震記録はすべて地盤上に設置された強震計によるものであり、それらが必ずしも建築物の基部に作用した地震動とは限らないことである。主要被災地域では、残念ながら建築物に強震計が設置されておらず、建築物への入力地震動、あるいはこのような強い地震動に建築物がどのように応答したかを示す定量的なデータが得られていない。

地震後に公表された、震度6強を含む高い震度分布の情報から想定される構造被害の程度とは多少乖離している印象がある。この件に関しては、種々の建築物の耐震性能の定量的な検証の観点から、今後地盤だけでなく建築物の上部構造への強震計の設置を進めていく必要がある。

一般的に、地震動は震源、伝播経路、観測点直下のいわゆるサイトの各特性によって特徴付けられるといわれる。今回の観測された地震動の特徴は、加速度振幅が大きかったことだけでなく、周期2秒以上のいわゆるやや長周期地震動が卓越した記録が多く見られたことである。

やや長周期帯域の地震動については、近い将来に起こる可能性が大きいとされる東海地震や南海・東南海地震など大規模地震による、超高層建築物への影響などについて、各分野で検討され、現在関心が高い話題であるが、今回の地震はそれら海溝型の地震とは異なる内陸地殻内地震ではあるものの、マグニチュードが7.2と相対的に大きく、浅い震源においても長周期成分が多く生成され、又岩手県から宮城県北部地域にいたる震源から被災地の間の地下構造と組み合わせ、場所によっては周期3秒以上の成分が大きく卓越している。幸いにも被災地周辺には、これらの周期成分に大きく反応する可能性がある建築物がなかったが、超高層ビルなどの固有周期の長い建築物が多数存在する大都市圏に対して、内陸地殻内地震による表面波などによる長周期地震動の影響についても今後注意すべきである。

今回の地震では、建築物については大きな構造被害を生じていない。地震動特性から判断すると、その理由は、概略以下のように推察される。

図-6.4.1は、今回の地震での主要被災地域での観測記録と、被害地震の代表的なものとして、1995年兵庫県南部地震におけるJMA神戸とJR鷹取の記録を応答スペクトルで比較したものである。



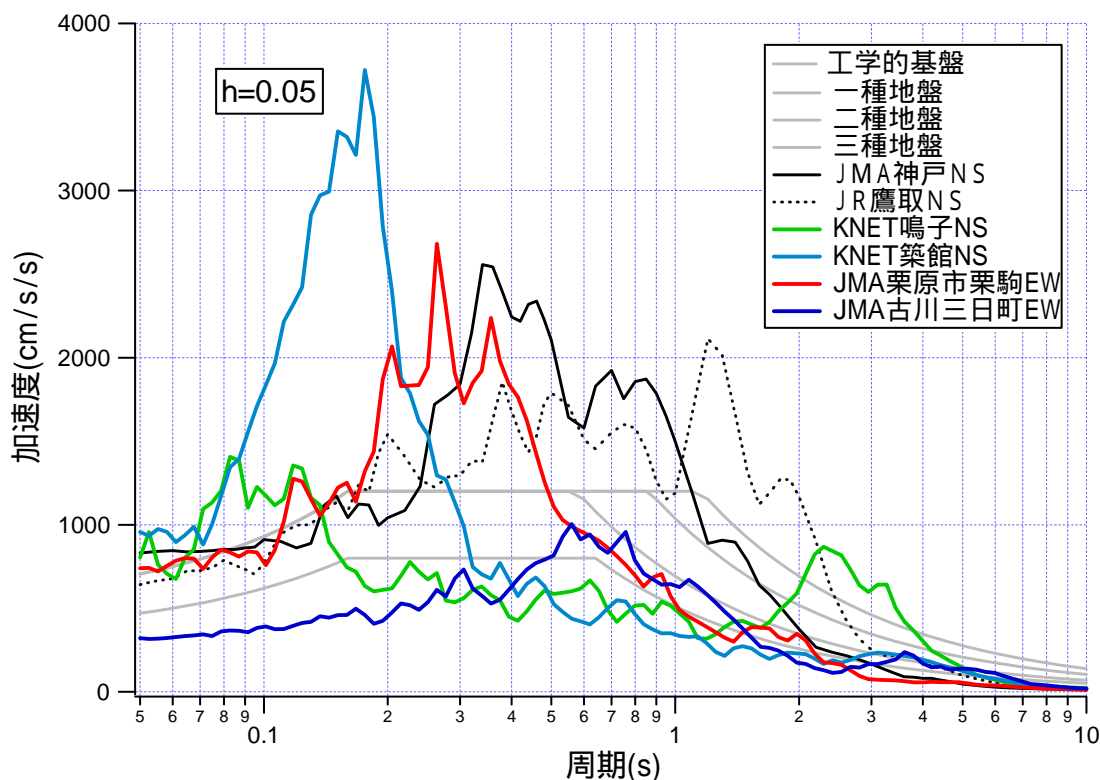


図-6.4.1 今回の地震による被災地の地震動と、過去の大地震動との比較

この図から、今回の被災地域での地震記録で最大の応答スペクトルレベルを示した K-**NET** 鳴子、K-**NET** 築館、JMA 栗駒、JMA 古川の各記録を減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルは、周期 0.5 秒 ~ 2 秒間では、JMA 神戸、JR 鷹取よりも小さく、この周期帯域の差が顕著であることがわかる。K-**NET** 鳴子のやや長周期成分の卓越については、観測地点のローカルな地盤条件によるものと見られている。その他の地点での同周期帯域地震動については卓越はしていたものの、大きなレベルには達しておらず、またその周期帯域に固有周期を持つ高層建物などがこの地域にはほとんどなかった。

木造建築物や低層建築物などの応答に大きな影響を与えると考えられる周期 1 秒前後の地震動成分は、広い地域に構造被害をもたらすほど大きなレベルではなかった。

以上のことを要因として、建築物には大きな被害が生じなかったものと考えられる。

ただし、今後留意すべきこととして、次の項目が挙げられる。

- (1) 浅い内陸地殻内地震でも規模が比較的大きければ、やや長周期の地震動を励起する。
- (2) さらに、地域の深い地盤構造によって、あまり減衰せずに遠くまで地震動が伝播する。
- (3) 地域の震源位置と地震規模、地下構造等にも配慮して耐震対策を進める必要がある。