

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0620-3_改3
提出年月日	2021年2月22日

補足-620-3 【原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料】

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。なお、他建物・構築物の地震応答計算書の記載内容を共通的に補足する内容についても、本資料で代表し説明する。

別紙 1 原子炉建屋の地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 1-1 原子炉建屋の地震応答解析モデルの各種ばねの算定について

別紙 1-2 地震応答解析モデルの諸元の比較

(既工認, シミュレーション解析, 今回工認)

別紙 2 原子炉建屋の地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブの設定

別紙 3 原子炉建屋の地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙 3-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙 3-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 4 地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート部の減衰定数に関する検討

別紙 4-1 原子炉建屋の基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答せん断ひずみ

別紙 4-2 各建屋の図面集

今回ご提示資料

別紙 1-1 原子炉建屋の地震応答解析モデルの各種ばねの算定について

目 次

1. プール壁による回転拘束効果を考慮した回転ばね.....	別紙 1-1- 1
2. R4 通りの回転ばね.....	別紙 1-1- 5
3. 屋根トラス部の回転ばね	別紙 1-1- 8
4. 床ばね	別紙 1-1-10
4.1 床ばねの算定方法及び算定結果.....	別紙 1-1-10
4.2 床ばね（線形ばね）を採用していることの妥当性について.....	別紙 1-1-13

1. プール壁による回転拘束効果を考慮した回転ばね

プール壁は厚さ 2.1m, 高さ約 6.9m～約 11.8m の 2 対の壁で構成され, この壁は 1 次しゃへい壁上部と内部ボックス壁 (RC 通及び RJ 通) を相互に連結する構造となっている。

このため, 地震時に 1 次しゃへい壁上部が回転変形を起そうとすると, プール壁がこれを拘束するように働くと考えられ, この拘束効果を 1 次しゃへい壁上部と内部ボックス壁 (RC 通及び RJ 通) を結ぶ回転ばねとして評価する。

図 1-1 に拘束効果の概念図を, 図 1-2 に原子炉建屋 EW 方向の地震応答解析モデルを, 図 1-3 にプール壁による回転拘束効果を考慮した回転ばねの算定を, 表 1-1 に回転ばねの諸元を示す。

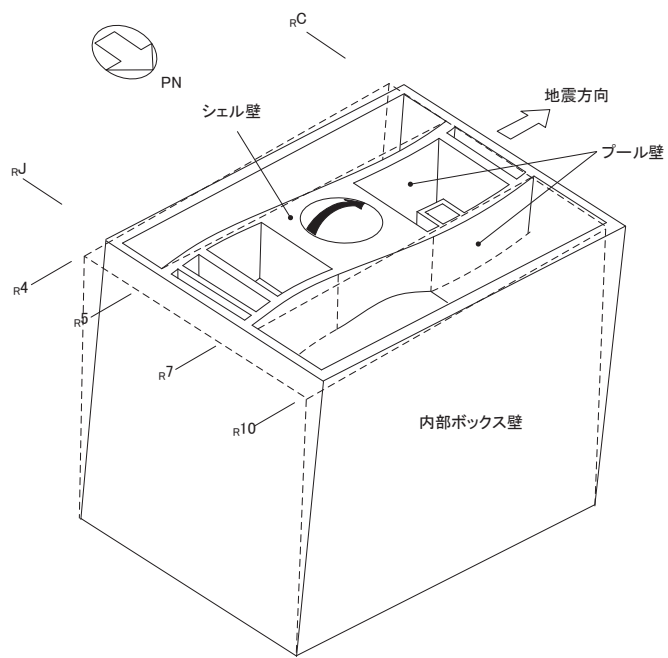


図 1-1 拘束効果の概念図

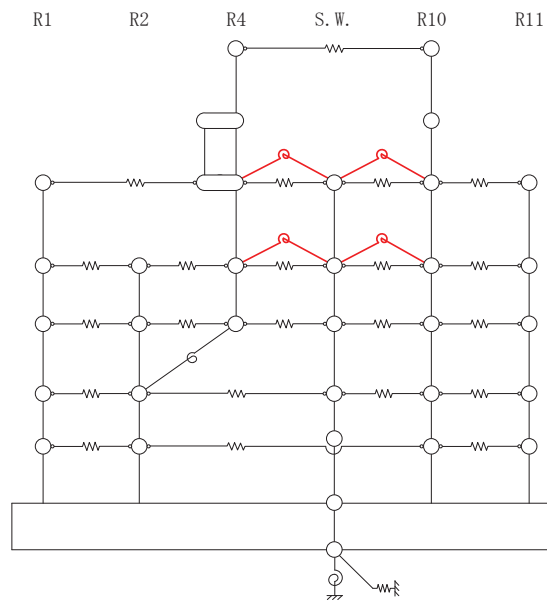
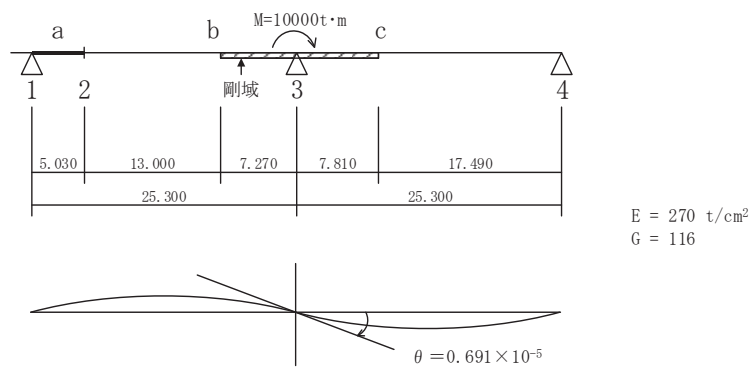
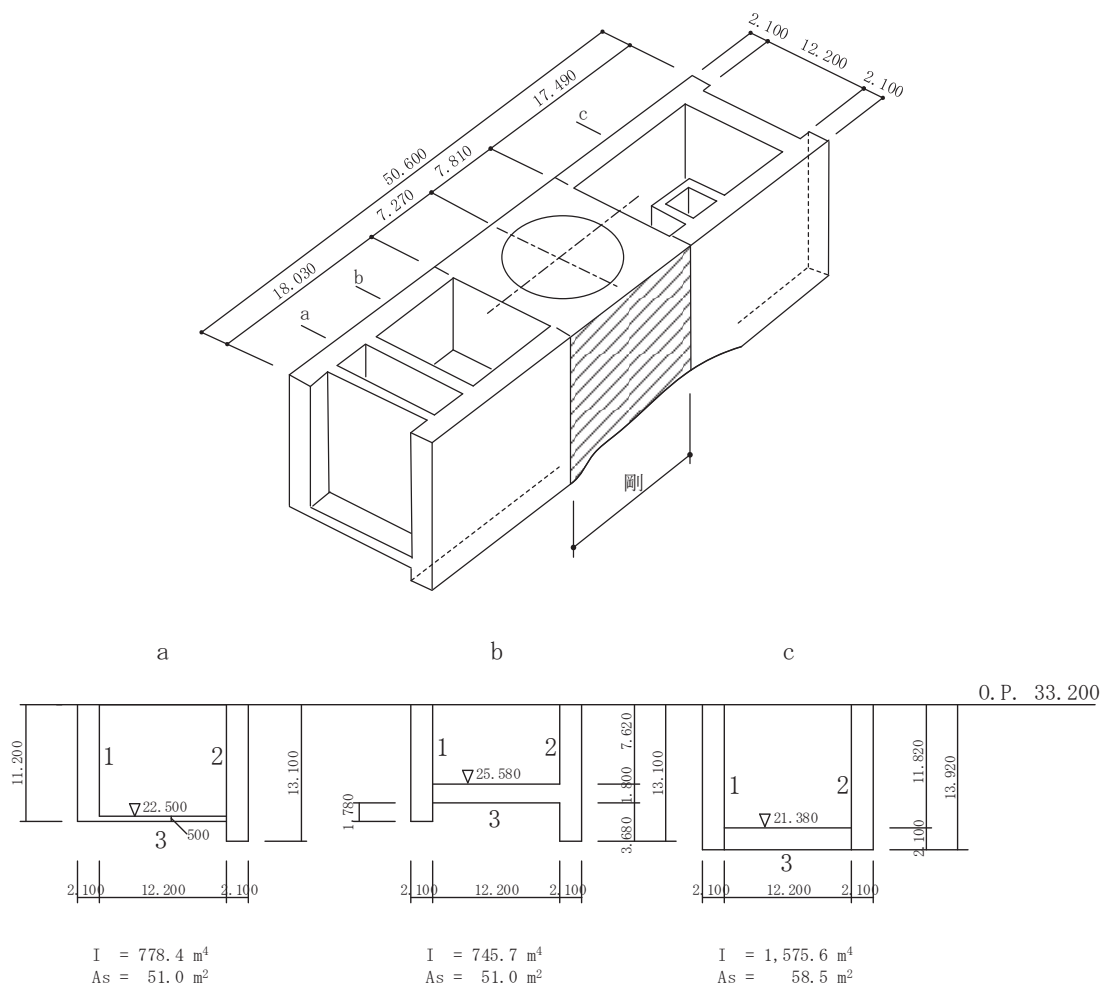


図 1-2 原子炉建屋地震応答解析モデル (EW 方向)
(赤色部がプール壁による回転拘束効果を考慮した回転ばね)



(単位 : m)

$$\sum K \theta_1 = \frac{M}{\theta} = \frac{10000}{0.691 \times 10^{-5}} = 14.472 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{rad}$$

モデル上 4 か所に分けるとして

$$\begin{aligned} K_{\theta_1} &= 14.472 \times 10^8 / 4 \\ &= 3.62 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{rad} \\ &= 3.55 \times 10^9 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{rad} \end{aligned}$$

図 1-3 プール壁による回転拘束効果を考慮した回転ばねの算定

表 1-1 プール壁による回転拘束効果を考慮した回転ばねの諸元

部位	ばね値 (kN・m/rad)
プール回転ばね	3.55×10^9

2. R4通りの回転ばね

R4通りの耐震壁は1階レベル（O.P. 15.0m）で1次しゃへい壁の肩に載る構造となっており、これに作用する地震力は、1次しゃへい壁及びR2通りの耐震壁へ分担させる設計としている。特に、曲げモーメントについては、RC通り及びRJ通り内部ボックス壁とR4通り耐震壁の交差部にアゴを設け、これの軸抵抗により拘束する。この拘束効果を回転ばね（ K_{θ} ）として評価し、R2通り内部ボックス壁の地下1階レベル（O.P. 6.0m）に結んでいる。

図2-1にR4通りの回転ばねの概念図を、図2-2に原子炉建屋EW方向の地震応答解析モデルを、図2-3にR4通りの回転ばねの算定を、表2-1に回転ばねの算定結果を示す。

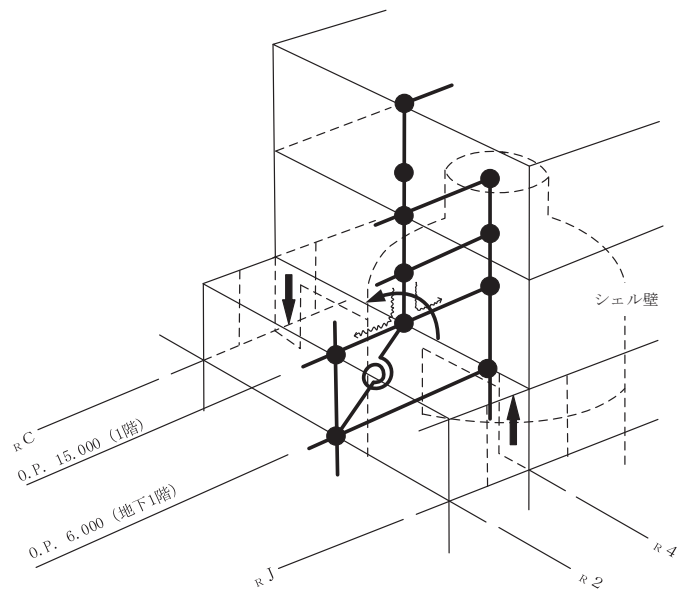


図 2-1 R4 通りの回転ばねの概念図

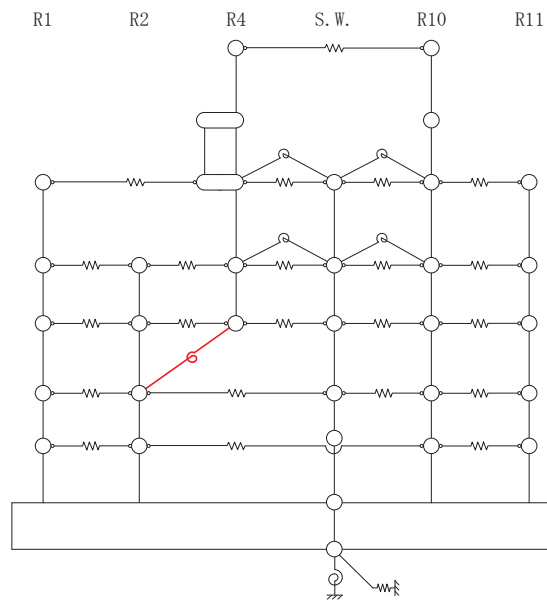
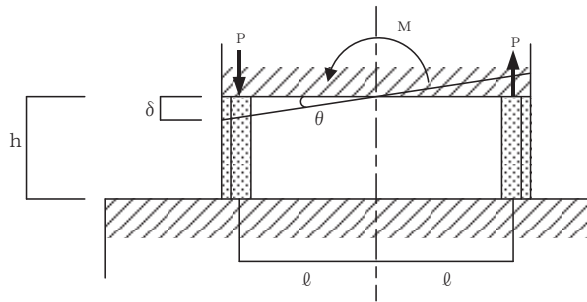
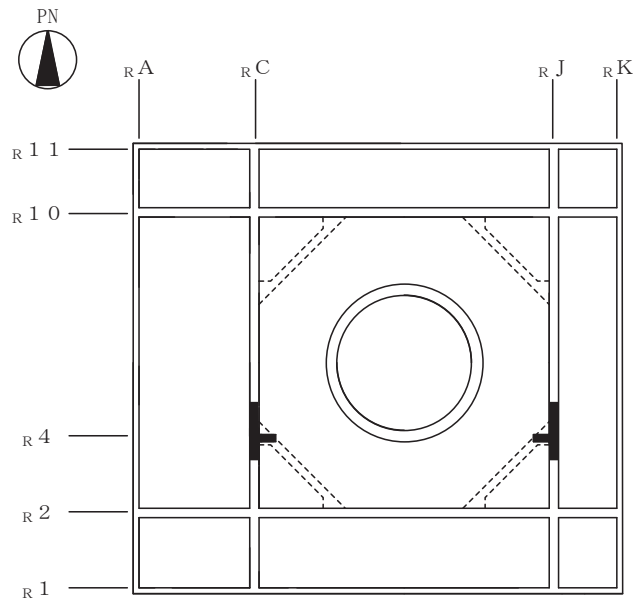


図 2-2 原子炉建屋地震応答解析モデル (EW 方向)
(赤色部が R4 通りの回転ばね)



$$P = \frac{M}{2l}, \quad \delta = P \cdot \frac{h}{EA}, \quad \theta = \frac{\delta}{l}$$

より

$$K_{\theta} = \frac{M}{\theta} = \frac{2EA\ell^2}{h} = \frac{2 \times 2.70 \times 10^6 \times 28.0 \times 24.3^2}{9.0} = 0.99 \times 10^{10} \text{ t} \cdot \text{m/rad}$$

$$= 97.1 \times 10^9 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

ここに、

M : 曲げモーメント

P : 軸力

A : 軸抵抗部分の断面積 (片側) = 28.0m²

E : コンクリート部材のヤング係数 = 2.70 × 10⁶ t/m² = 2.65 × 10⁷ kN/m²

図 2-3 R4 通りの回転ばねの算定

表 2-1 R4 通り回転ばね諸元

部位	ばね値 (kN・m/rad)
R4 通り回転ばね	97.1 × 10 ⁹

3. 屋根トラス部の回転ばね

屋根トラス部の質点に鉛直振動が生じると屋根トラス端部には回転が生じるが、これに対しては、屋根トラスを支える柱の曲げ剛性による拘束効果がある。一方、建屋部は軸ばね要素でモデル化されており、この拘束効果としての曲げ剛性を建屋部モデルでは考慮できていない。そこで、オペフロ階(O.P. 32.5m)のクレーン柱の曲げ剛性を評価した回転ばねを屋根トラス端部の節点に導入してモデル化している。

回転ばねの剛性 K_θ は、オペフロ階以下の剛性が高いことから、オペフロ階柱の脚部を固定条件としたオペフロ階のクレーン柱の曲げ剛性評価用モデルに単位モーメント M を加えた場合の回転角 θ を求め算定している。

図3-1に屋根トラス部の回転ばねの概念図を、表3-1に回転ばねの諸元を示す。

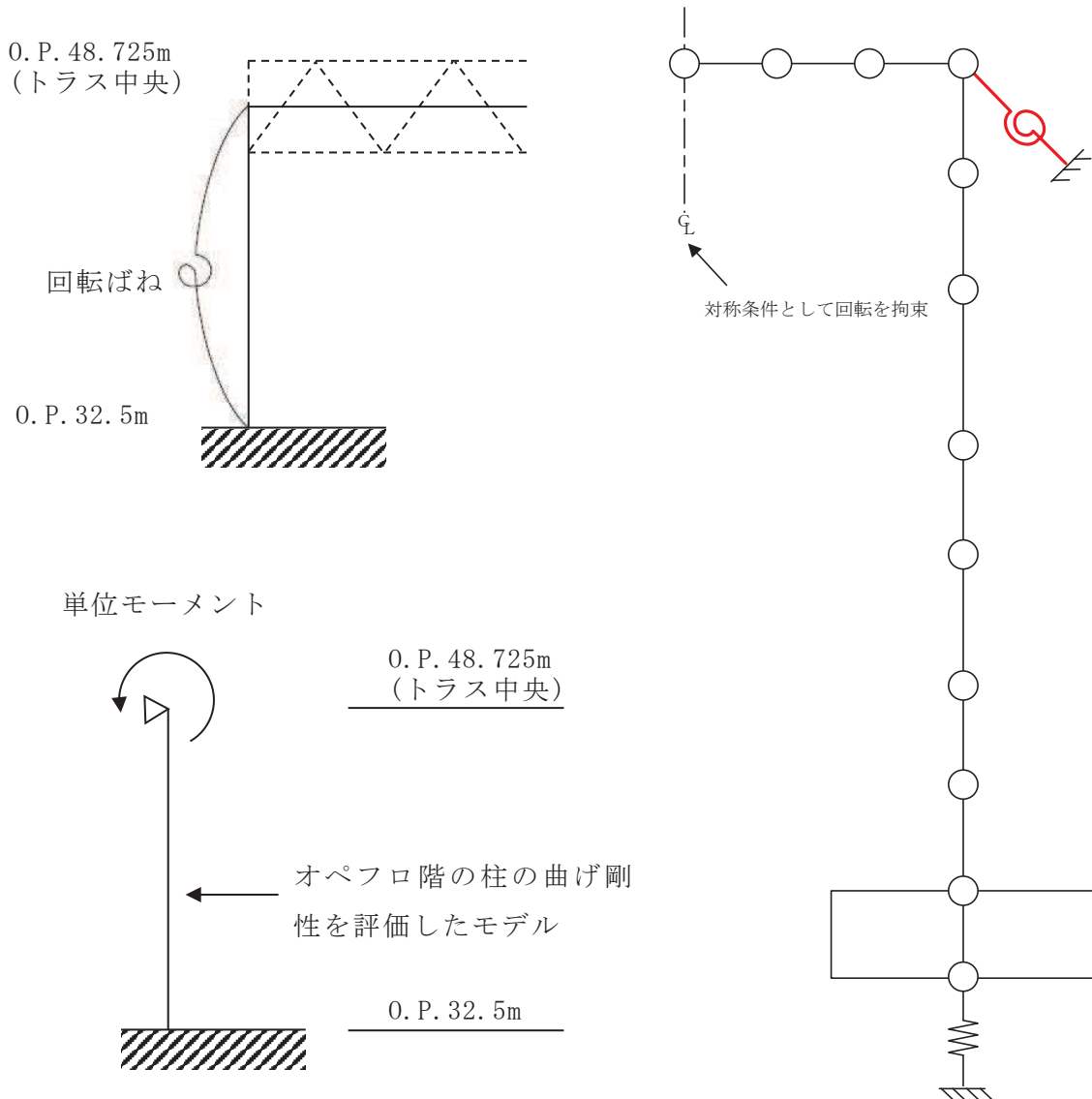


図3-1 屋根トラス部の回転ばねの概念図

表 3-1 屋根トラス部の回転ばね諸元

部位	ばね値 (kN・m/rad)
屋根トラス部の回転ばね	32.15×10^6

4. 床ばね

4.1 床ばねの算定方法及び算定結果

床ばねは、床のせん断剛性として、各質点ブロックの図心間の床スラブを、等価なせん断ばねに置換して評価する。

床ばね算定の基本式は次式による。また、床ばねの算定結果を表 4-1 に示す。

$$K = \frac{GA_S}{\kappa \cdot \ell}$$

K : 床ばね (kN/m)

A_S : 床スラブのせん断断面積 (m²)

G : せん断弾性係数 (1.16 × 10⁶ kN/m²)

ℓ : スパン (m)

κ : せん断変形状係数 (1.0 とする)

開口部や床スラブ厚の変化については、床スラブをせん断断面積が変化する部位ごとに分割し、次式により等価なせん断断面積に置換して評価する。

$$A_e = \frac{\ell}{\frac{\ell_1}{A_1} + \frac{\ell_2}{A_2} + \frac{\ell_3}{A_3}}$$

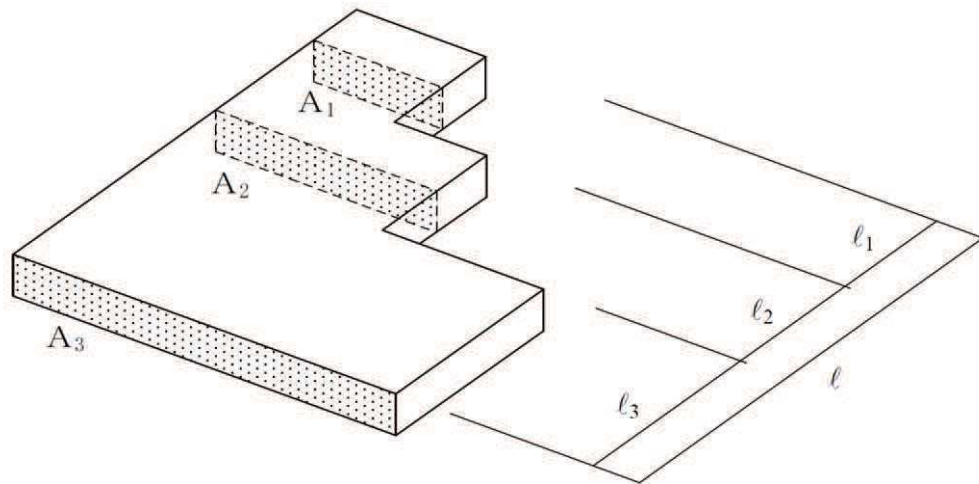


表 4-1(1) 原子炉建屋 床ばね算定結果 (NS 方向)

方向	階	部位	ばね値 ($\times 10^5$ kN/m)
NS	屋上	RJ-RC	13.4
	3 階	RK-RJ	350.1
		RJ-SW	240.9
		SW-RC	313.7
		RC-RA	219.0
	2 階	RK-RJ	354.4
		RJ-SW	281.5
		SW-RC	327.1
		RC-RA	265.2
	1 階	RK-RJ	374.6
		RJ-SW	571.2
		SW-RC	561.2
		RC-RA	208.4
	地下 1 階	RK-RJ	452.4
		RJ-SW	376.6
		SW-RC	396.5
		RC-RA	250.8
	地下 2 階	RK-RJ	862.2
		RJ-RC	80.5
		RC-RA	167.8

表 4-1(2) 原子炉建屋 床ばね算定結果 (EW 方向)

方向	階	部位	ばね値 ($\times 10^5$ kN/m)
EW	屋上	R4-R10	23.8
	3 階	R1-R4	175.5
		R4-SW	530.0
		SW-R10	198.0
		R10-R11	407.0
	2 階	R1-R2	680.7
		R2-R4	450.0
		R4-SW	771.8
		SW-R10	232.1
		R10-R11	444.2
	1 階	R1-R2	511.5
		R2-R4	480.3
		R4-SW	655.1
		SW-R10	247.3
		R10-R11	412.5
	地下 1 階	R1-R2	583.7
		R2-SW	406.7
		SW-R10	388.5
		R10-R11	483.1
	地下 2 階	R1-R2	679.8
		R2-R10	68.3
R10-R11		783.1	

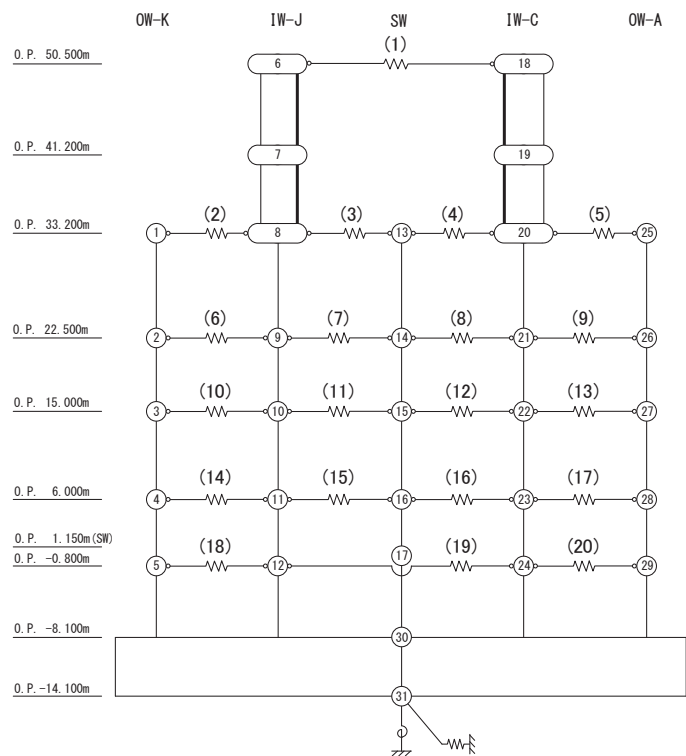
4.2 床ばね（線形ばね）を採用していることの妥当性について

原子炉建屋の地震応答解析モデルでは、床ばねを線形モデルでモデル化していることから、その適用性について確認する。

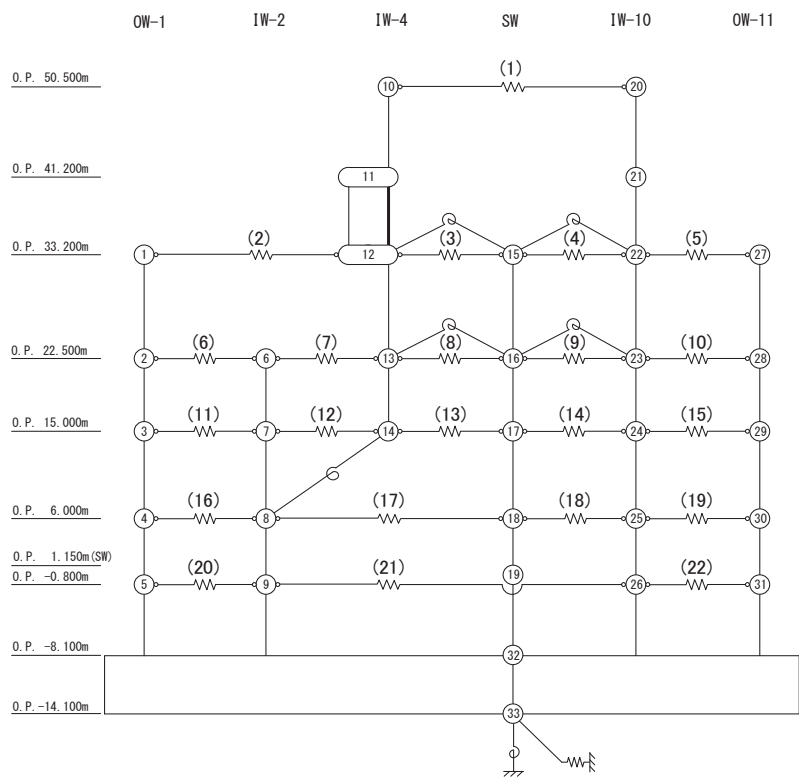
(1) 質点系モデルによる床ばねの最大応答せん断応力度

床ばねは線形モデルとしていることから、概ね弾性範囲の応答であることを確認する。ここでは、コンクリート強度より求められる床のせん断スケルトンカーブの第一折点 τ_1 と応答最大せん断応力度を比較する。 τ_1 を超える応力度となった場合には別途検討を行う。図 4-1 に原子炉建屋の地震応答解析モデルの床ばね部材番号を、表 4-2 に原子炉建屋の基準地震動 S_s に対する地震応答解析における床ばねの最大応答せん断応力度の確認結果を示す。なお、基準地震動 S_s に対する地震応答解析は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す、材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース全ての解析ケースを実施した。

NS 方向は全ての床ばねの最大応答せん断応力度が τ_1 以下であり、概ね弾性範囲であることを確認した。一方で EW 方向については、一部の床ばねの最大応答せん断応力度が τ_1 を上回ることを確認した。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4-1 原子炉建屋の地震応答解析モデル (床ばね部材番号)

表 4-2 原子炉建屋の床ばねの最大応答せん断応力度

(単位 : N/mm²)

	NS 方向	EW 方向
ケース 1	1.58 (部材番号(2), S s - D 2)	2.82 (部材番号(7), S s - D 2)
ケース 2	1.61 (部材番号(2), S s - D 2)	2.86 (部材番号(7), S s - D 2)
ケース 3	1.56 (部材番号(2), S s - D 1)	2.86 (部材番号(7), S s - D 2)
ケース 4	1.72 (部材番号(2), S s - D 2)	2.78 (部材番号(7), S s - D 1)
ケース 5	1.75 (部材番号(2), S s - D 2)	2.82 (部材番号(7), S s - D 1)
ケース 6	1.69 (部材番号(2), S s - D 2)	2.76 (部材番号(7), S s - D 2)

※床のせん断スケルトンカーブの第一折点 $\tau_1 (0.31\sqrt{Fc})$: 1.78 N/mm²

(2) EW方向の床ばねの応答に対する検討

一部の床ばねの最大応答せん断応力度が τ_1 を超えたことから、最大応答せん断ひずみを確認する。図4-2に原子炉建屋EW方向の床ばねの最大応答せん断応力度、最大応答せん断ひずみを示す。

部材番号(7)及び(12)の最大応答せん断応力度は、他の床ばねに対して有意に大きい値となっている。これは、IW4通りの耐震要素がO.P.15.0mレベルからO.P.-6.0mで回転ばねによって支えられており、そのO.P.15.0m及びO.P.-6.0mの床が負担するせん断力が大きいことが影響したためと考えられる。一方、最大応答せん断ひずみの値は、最大で 0.25×10^{-3} である。これは、コンクリートのせん断ひび割れが生じる始める程度の変形であるが、線形ばねとしてモデル化していることから床ばねを非線形ばねとした場合の検討を実施する。

	1	2	4	SW	10	11
<u>OP+50.5</u>			1.35 0.12			
<u>OP+33.2</u>	1.59 0.14		0.66 0.06	1.23 0.11	1.59 0.14	
<u>OP+22.5</u>	0.31 0.03	2.82 0.25	0.44 0.04	0.98 0.09	1.20 0.11	
<u>OP+15.0</u>	0.90 0.08	1.89 0.17	0.42 0.04	1.13 0.10	0.98 0.09	
<u>OP+ 6.0</u>	0.50 0.04	0.34 0.03		0.39 0.03	0.45 0.04	
<u>OP- 0.8</u>	0.33 0.03	0.11 0.01			0.40 0.04	

上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²)
下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)

図4-2(1) 原子炉建屋の床ばねの応答結果
(EW方向, ケース1, S s - D 2)

	1	2	4	SW	10	11		
<u>OP+50.5</u>	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">1.35</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.12</td> </tr> </table>					1.35	0.12	
1.35								
0.12								
<u>OP+33.2</u>	1.58 0.14		0.65 0.06	1.23 0.11	1.59 0.14			
<u>OP+22.5</u>	0.31 0.03	2.86 0.25	0.45 0.04	0.97 0.09	1.23 0.11			
<u>OP+15.0</u>	0.93 0.08	1.88 0.17	0.45 0.04	1.14 0.10	1.00 0.09			
<u>OP+ 6.0</u>	0.51 0.04	0.33 0.03		0.40 0.04	0.46 0.04			
<u>OP- 0.8</u>	0.33 0.03	0.11 0.01			0.41 0.04			

上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²)

下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)

図 4-2(2) 原子炉建屋の床ばねの応答結果
(EW 方向, ケース 2, S s - D 2)

	1	2	4	SW	10	11		
<u>OP+50.5</u>	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">1.37</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.12</td> </tr> </table>					1.37	0.12	
1.37								
0.12								
<u>OP+33.2</u>	1.60 0.14		0.65 0.06	1.23 0.11	1.59 0.14			
<u>OP+22.5</u>	0.30 0.03	2.86 0.25	0.45 0.04	1.00 0.09	1.18 0.10			
<u>OP+15.0</u>	0.88 0.08	1.89 0.17	0.40 0.04	1.11 0.10	0.95 0.08			
<u>OP+ 6.0</u>	0.47 0.04	0.36 0.03		0.38 0.03	0.44 0.04			
<u>OP- 0.8</u>	0.32 0.03	0.10 0.01			0.39 0.03			

上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²)

下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)

図 4-2(3) 原子炉建屋の床ばねの応答結果
(EW 方向, ケース 3, S s - D 2)

	1	2	4	SW	10	11	
<u>OP+50.5</u>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">0.98 0.09</td> </tr> </table>						0.98 0.09
0.98 0.09							
	<p style="text-align: right;">上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²) 下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)</p>						
<u>OP+33.2</u>	1.41 0.12		0.40 0.04	0.86 0.08	1.47 0.13		
<u>OP+22.5</u>	0.18 0.02	2.78 0.24	0.37 0.03	0.85 0.07	1.15 0.10		
<u>OP+15.0</u>	0.94 0.08	1.80 0.16	0.32 0.03	0.99 0.09	0.93 0.08		
<u>OP+ 6.0</u>	0.31 0.03	0.40 0.04		0.29 0.03	0.39 0.03		
<u>OP- 0.8</u>	0.23 0.02	0.09 0.01			0.35 0.03		

図 4-2(4) 原子炉建屋の床ばねの応答結果
(EW 方向, ケース 4, S s - D 1)

	1	2	4	SW	10	11	
<u>OP+50.5</u>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">0.97 0.08</td> </tr> </table>						0.97 0.08
0.97 0.08							
	<p style="text-align: right;">上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²) 下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)</p>						
<u>OP+33.2</u>	1.41 0.12		0.41 0.04	0.85 0.08	1.49 0.13		
<u>OP+22.5</u>	0.18 0.02	2.82 0.25	0.38 0.03	0.85 0.08	1.17 0.10		
<u>OP+15.0</u>	0.94 0.08	1.83 0.16	0.32 0.03	1.02 0.09	0.95 0.08		
<u>OP+ 6.0</u>	0.31 0.03	0.39 0.03		0.29 0.03	0.39 0.03		
<u>OP- 0.8</u>	0.24 0.02	0.09 0.01			0.36 0.03		

図 4-2(5) 原子炉建屋の床ばねの応答結果
(EW 方向, ケース 5, S s - D 1)

	1	2	4	SW	10	11
<u>OP+50.5</u>			1.17 0.10			
<u>OP+33.2</u>	1.63 0.14		0.44 0.04	0.87 0.08	1.59 0.14	
<u>OP+22.5</u>	0.26 0.02	2.76 0.24	0.42 0.04	0.98 0.09	1.31 0.11	
<u>OP+15.0</u>	0.88 0.08	1.71 0.15	0.48 0.04	1.01 0.09	1.00 0.09	
<u>OP+ 6.0</u>	0.42 0.04	0.36 0.03		0.38 0.03	0.44 0.04	
<u>OP- 0.8</u>	0.28 0.02	0.11 0.01			0.37 0.03	

上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²)
下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)

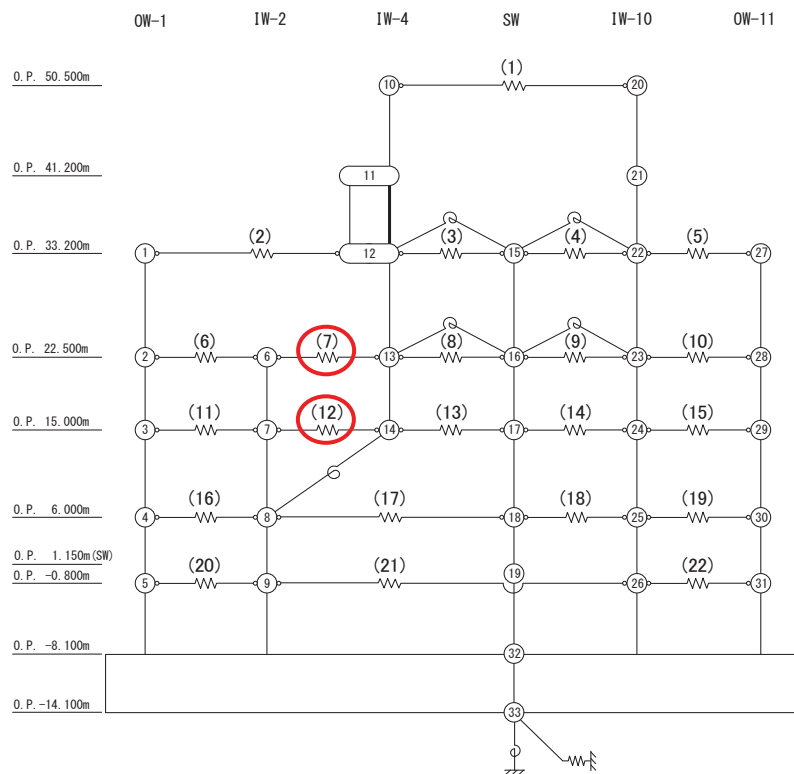
図 4-2(6) 原子炉建屋の床ばねの応答結果
(EW 方向, ケース 6, S s - D 2)

(3) EW方向の床ばね（部材番号(7)及び(12)）を非線形ばねとした場合の検討

原子炉建屋 EW 方向では，床ばね（部材番号(7)及び(12)）において最大応答せん断応力度が床のせん断スケルトンカーブの第一折点 τ_1 を超えたことから，これらを非線形ばねとした場合の解析を実施し，線形ばねとした場合の結果と床応答スペクトルを比較するとともに，床ばねの最大応答せん断ひずみを確認する。

a. 解析方法

最大応答せん断応力度が τ_1 を上回った床ばね要素に非線形特性を設定した地震応答解析モデルによる地震応答解析を行い，建屋全体の床応答への影響を確認する。図 4-3 に非線形特性を設定した床ばねを示す。



※赤囲み部を非線形ばねとする

図 4-3 原子炉建屋の地震応答解析モデル（床ばね部材番号（EW 方向））

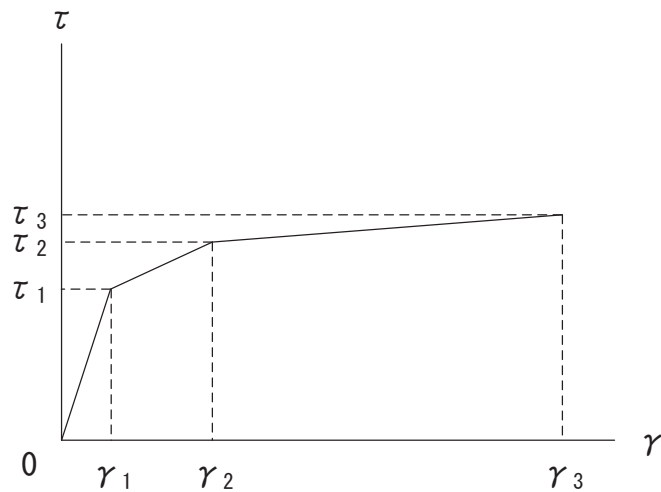
b. 非線形特性のモデル化方法

床ばねの非線形特性は，「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づきトリリニア型のせん断スケルトンカーブとする。終局点は 1 つの床ばねに配筋と厚さが異なる領域が混在していることから，最も鉄筋比が小さい断面の鉄筋比を適用する。表 4-3 に設定したスケルトンカーブの諸数値を，図 4-4 に床ばねのせん断応力度

せん断ひずみ関係を，図 4-5 に床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を示す。

表 4-3 床ばねのせん断力のスケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ 関係）EW 方向モデル

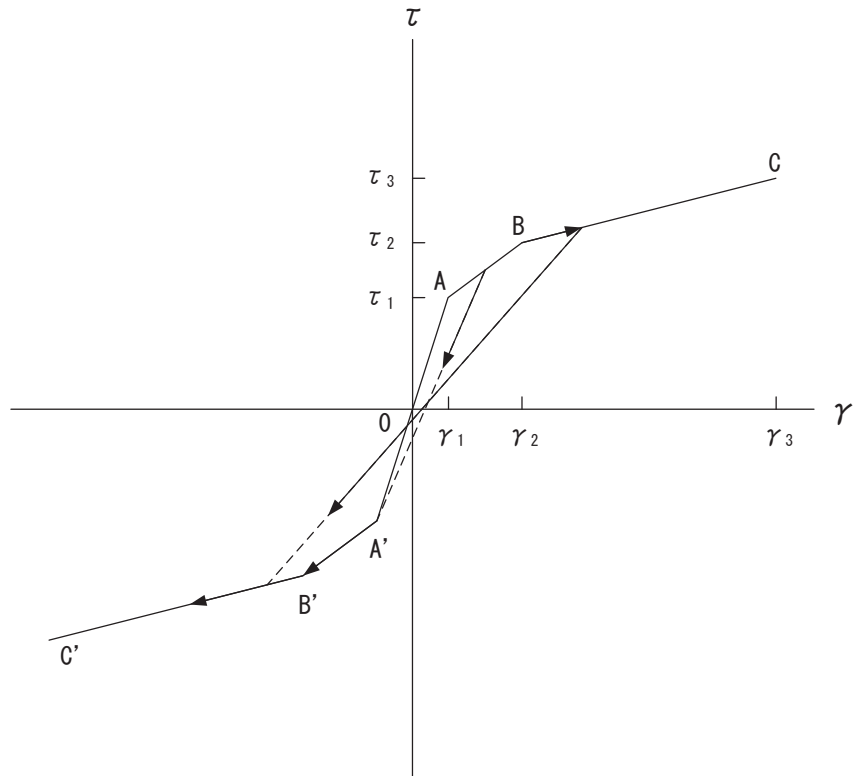
部材番号	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
(7)	1.78	2.39	3.17	0.156	0.468	4.00
(12)	1.78	2.39	3.17	0.156	0.468	4.00



床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は，「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，トリリニア型スケルトンカーブとする。

- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ ($=4.0 \times 10^{-3}$)

図 4-4 床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係



床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，最大点指向型モデルとする。

- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし，負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は，スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 4-5 床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

c. 床応答スペクトルの比較

図 4-6 に床ばねを線形でモデル化した場合と非線形モデルとした場合の床応答スペクトルを比較して示す。両者に顕著な差はないことを確認した。

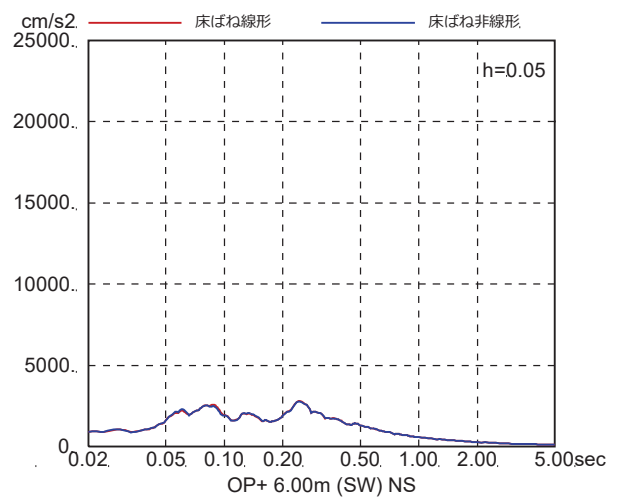
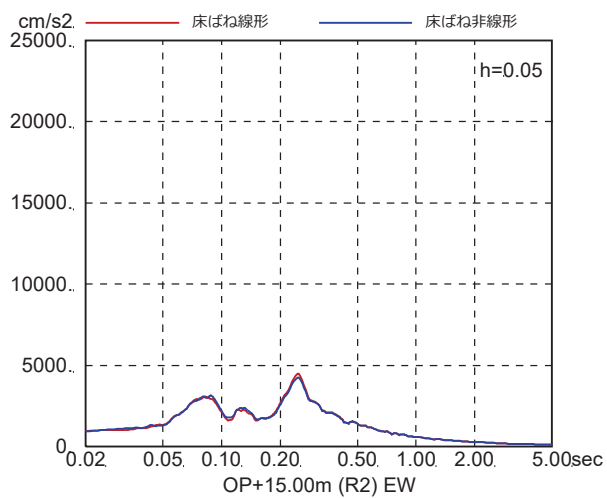
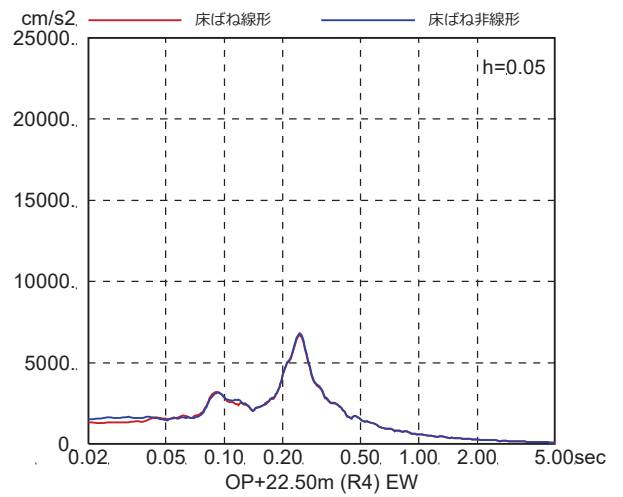
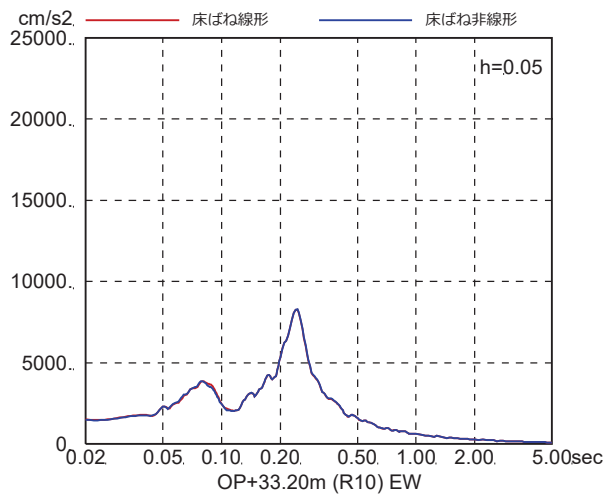
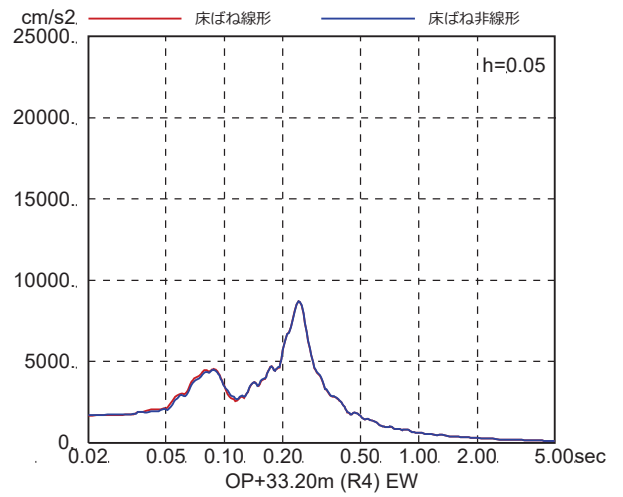
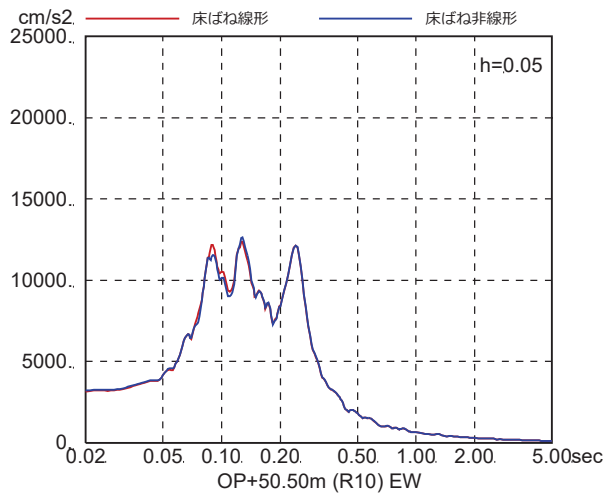


図 4-6(1) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S s - D 1)

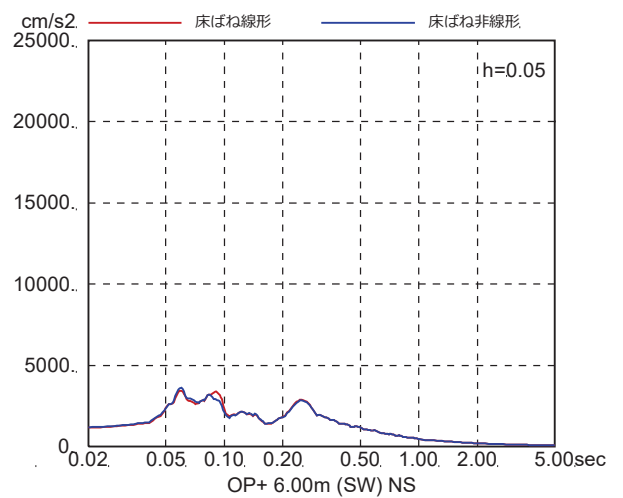
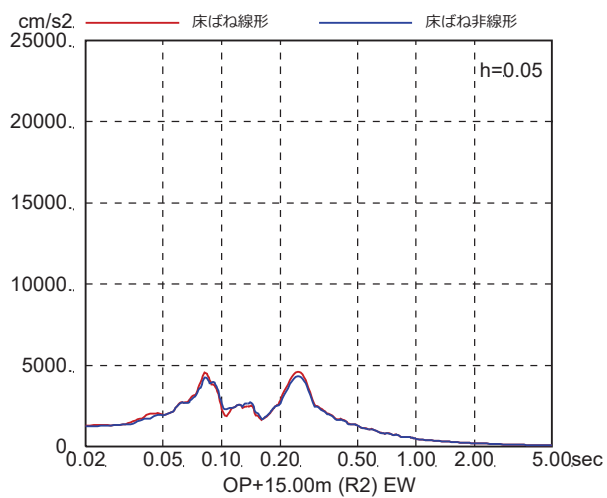
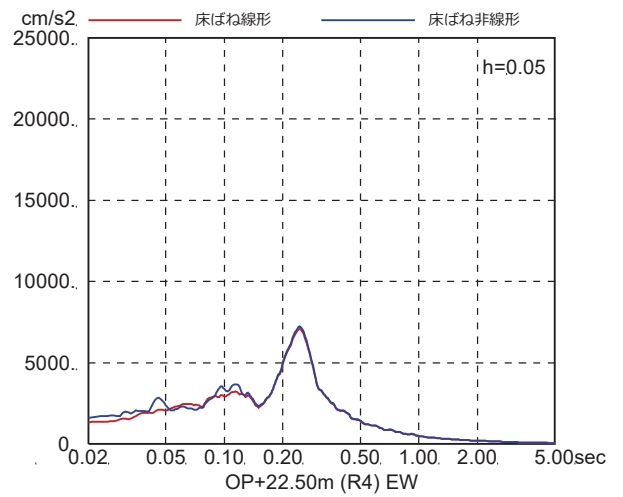
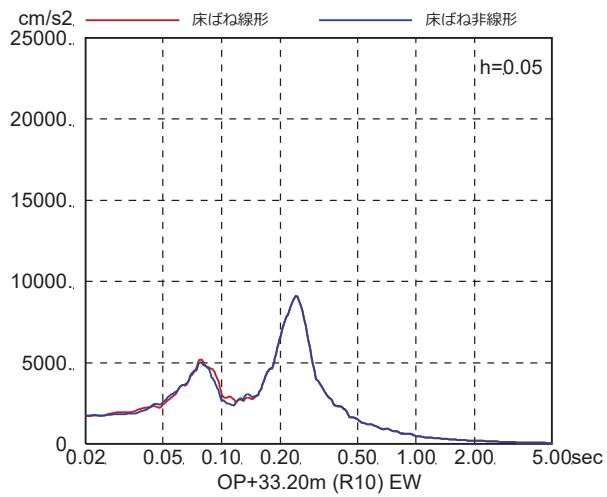
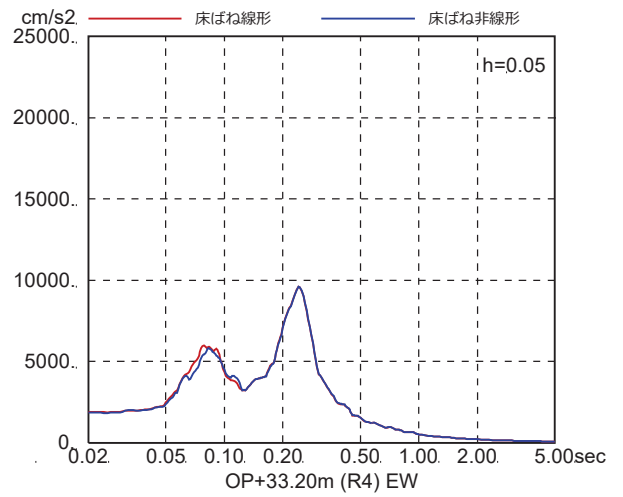
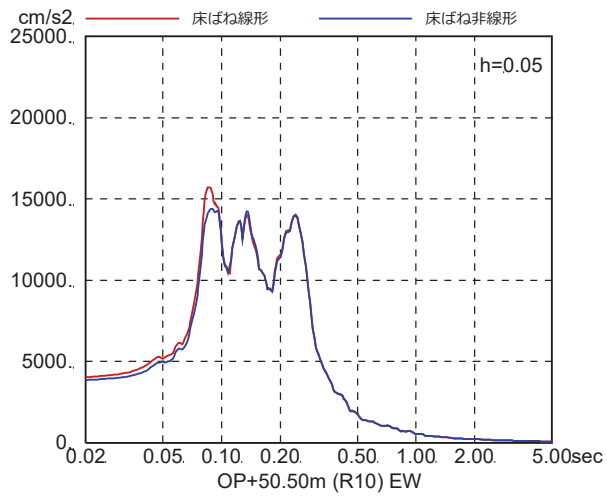


図 4-6 (2) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S_s-D₂)

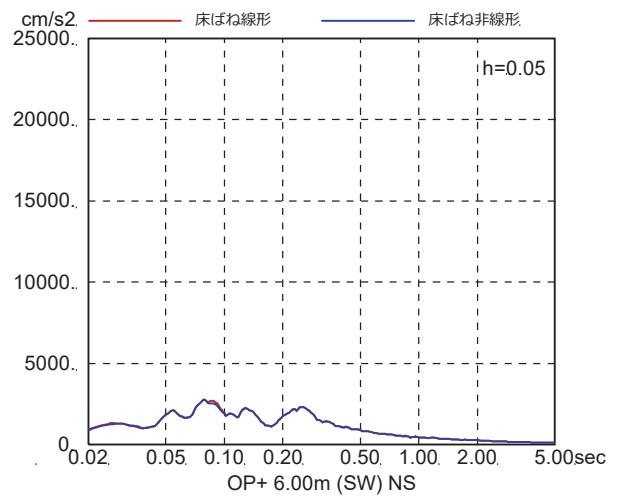
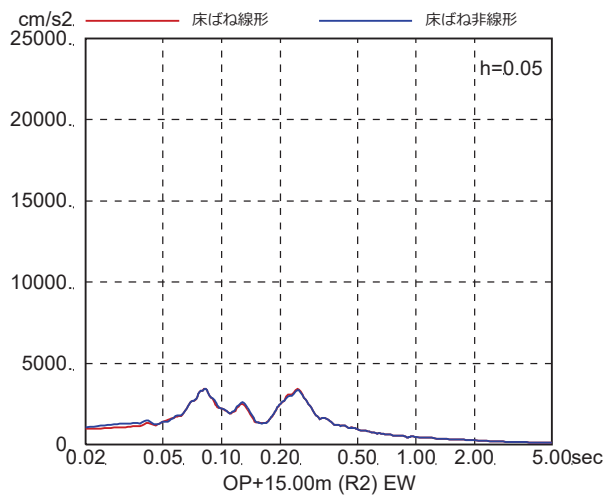
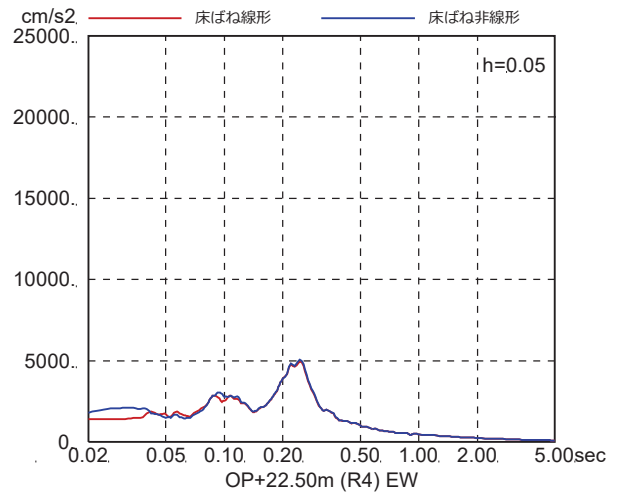
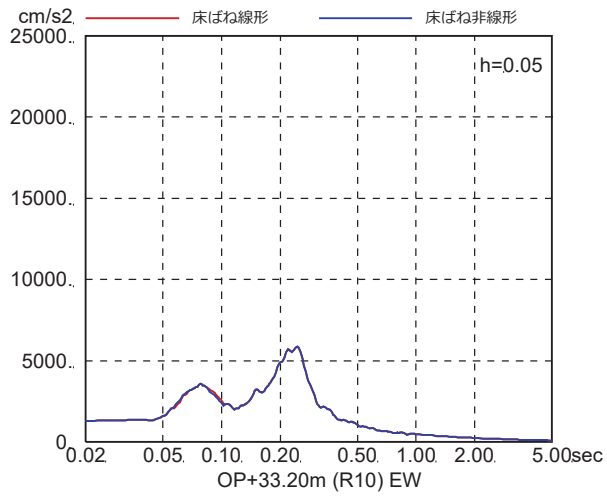
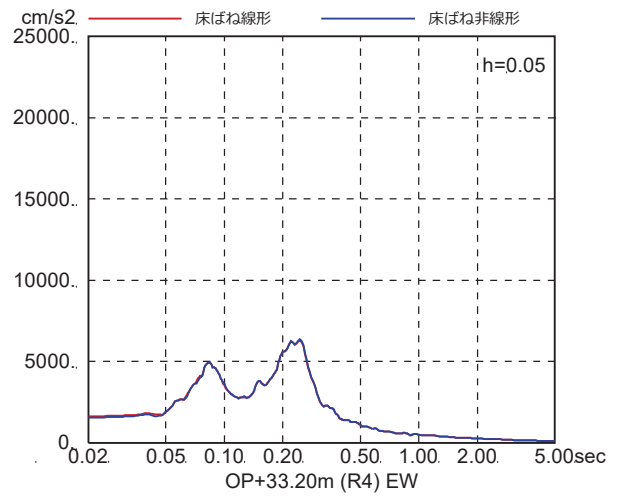
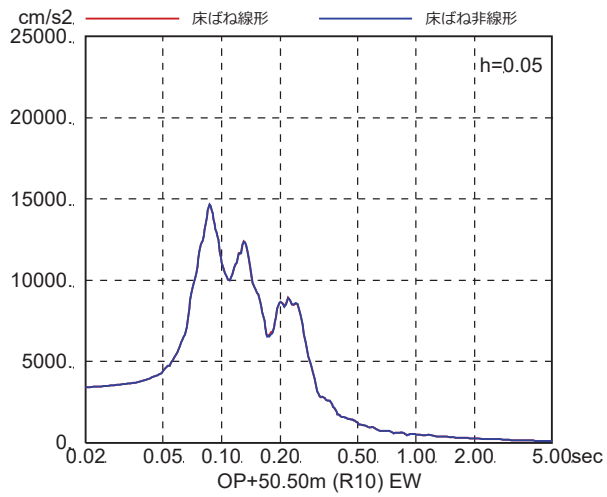


図 4-6 (3) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, $S_s - D_3$)

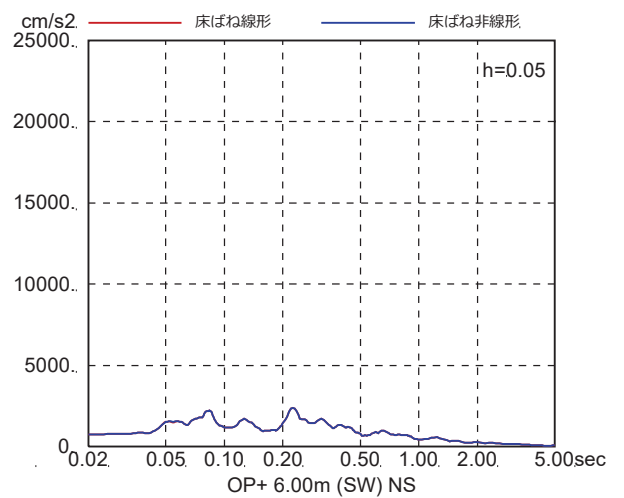
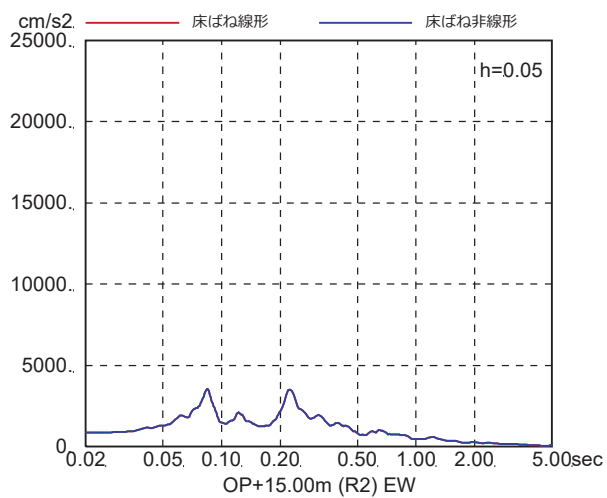
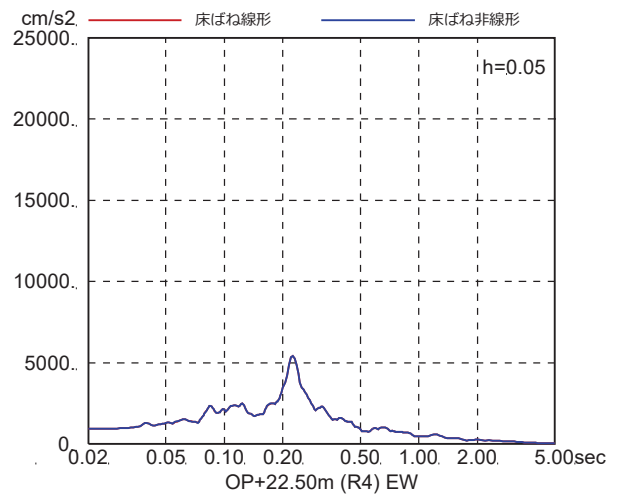
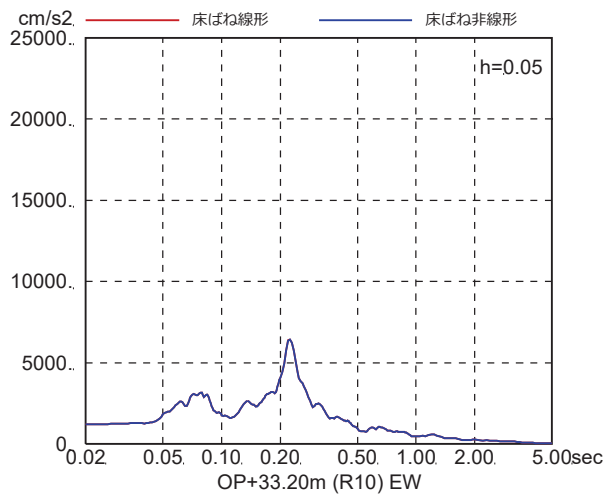
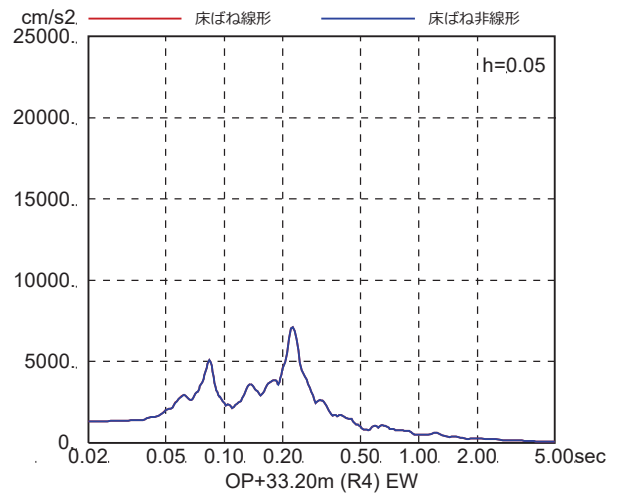
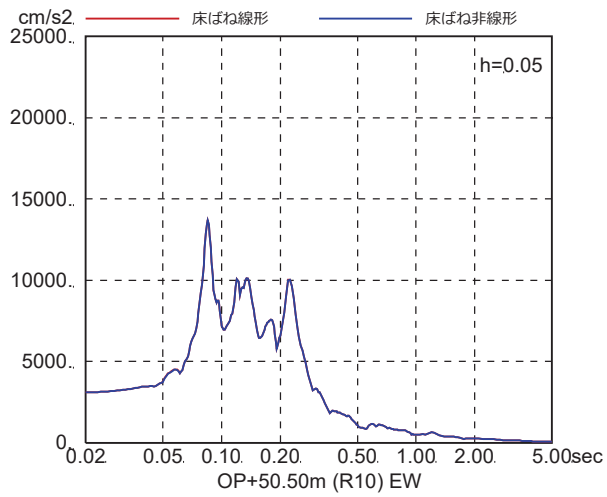


図 4-6(4) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, $S_s - F_1$)

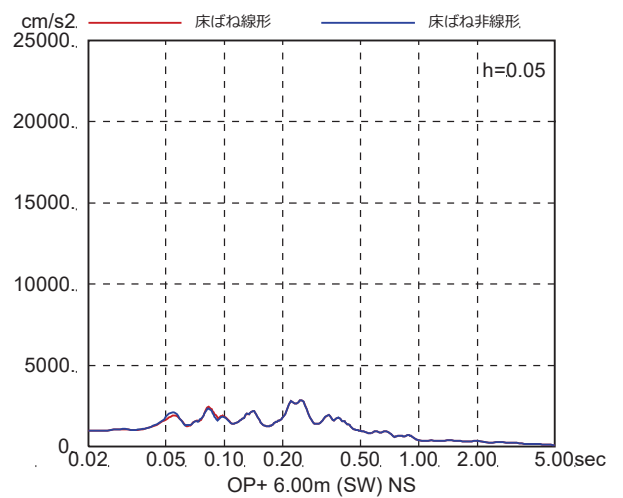
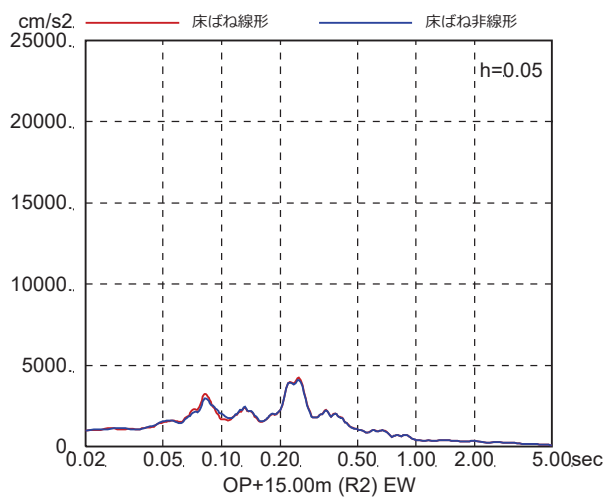
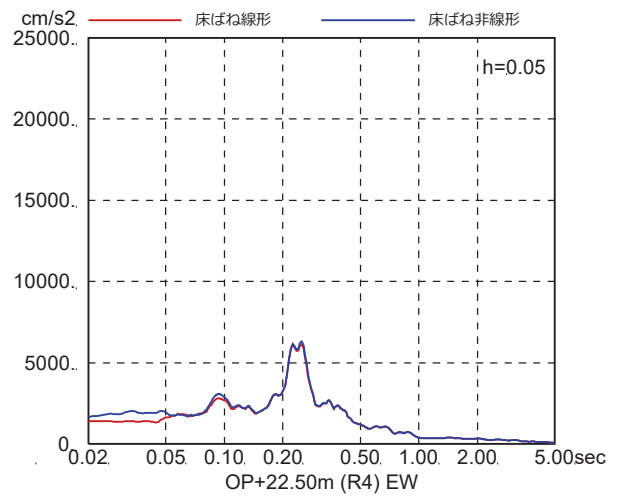
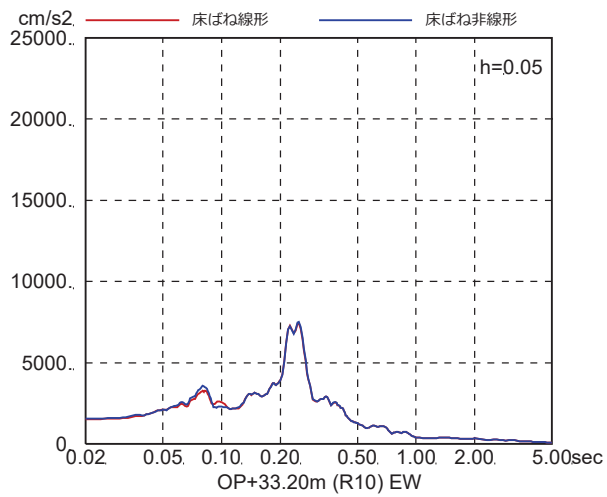
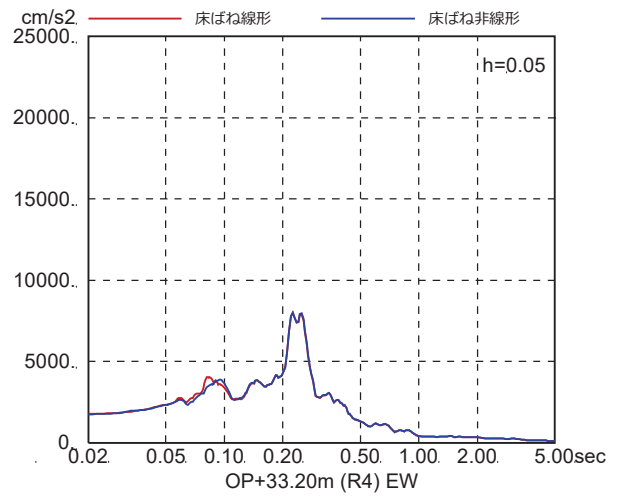
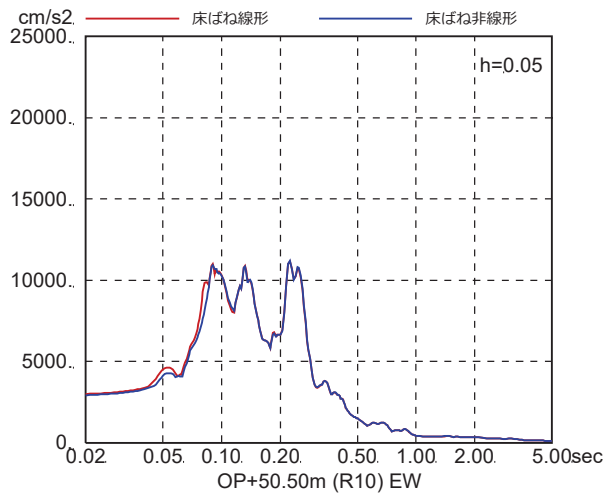


図 4-6 (5) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S_s-F₂)

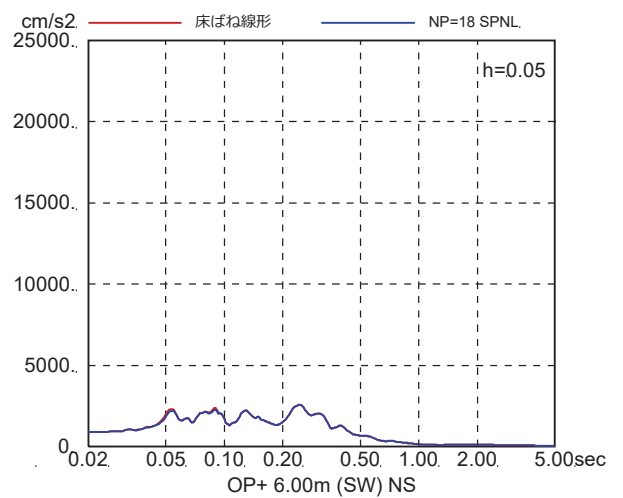
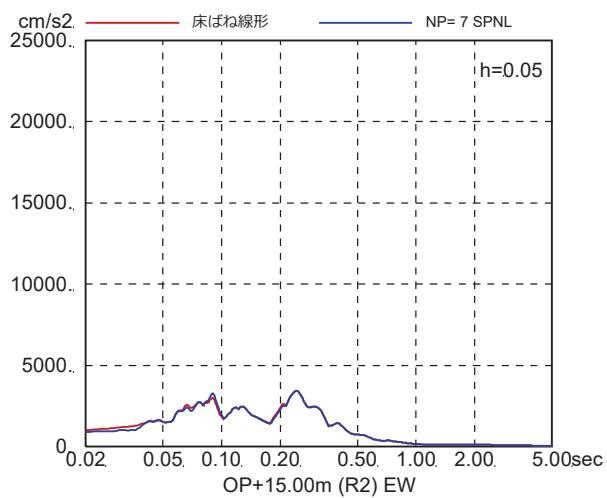
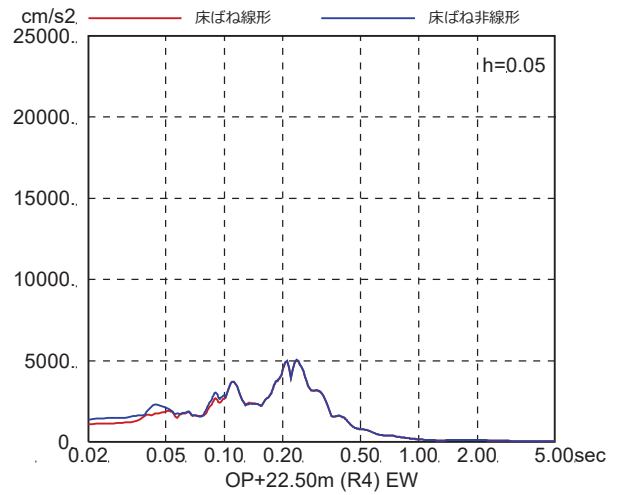
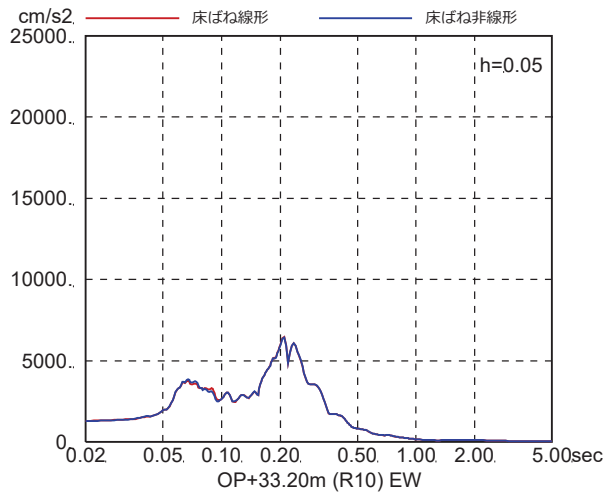
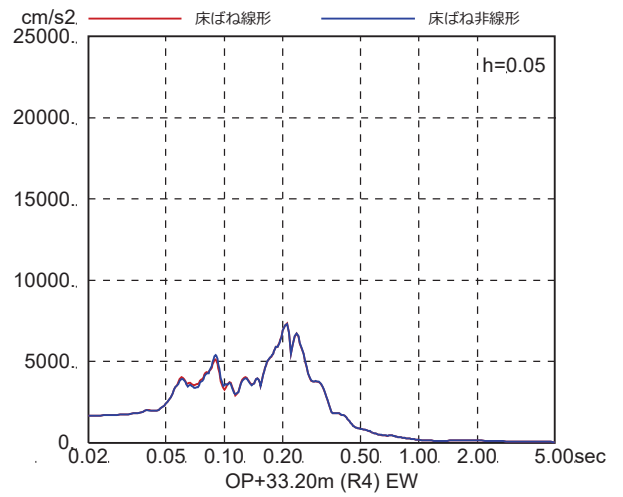
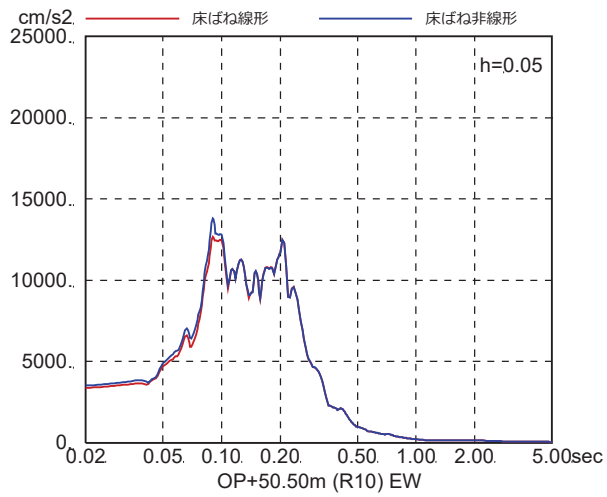


図 4-6(6) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S_s-F3)

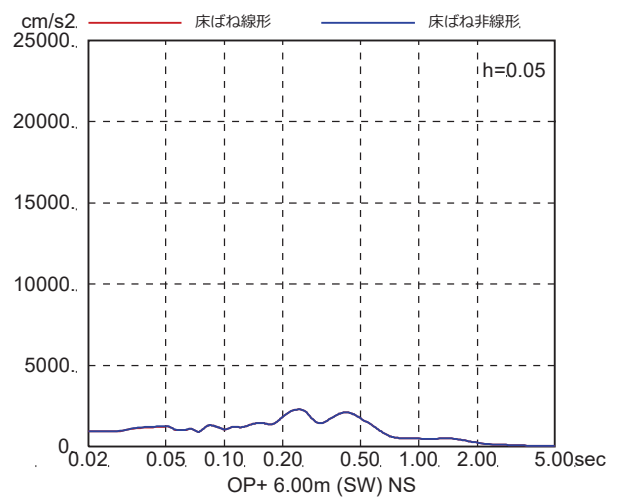
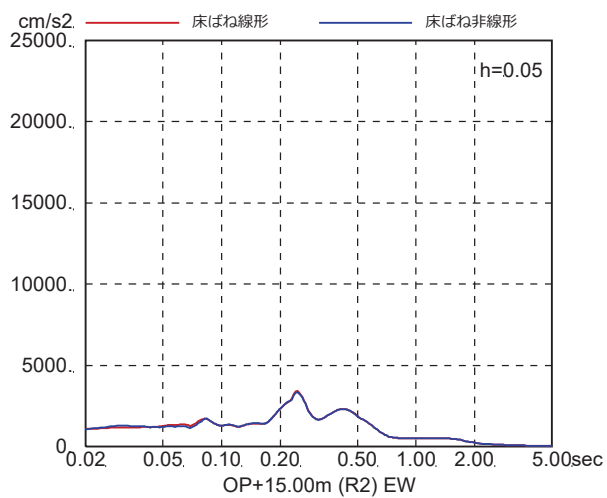
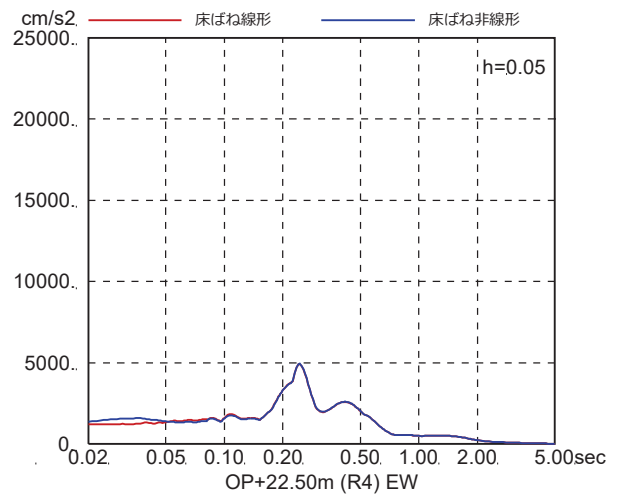
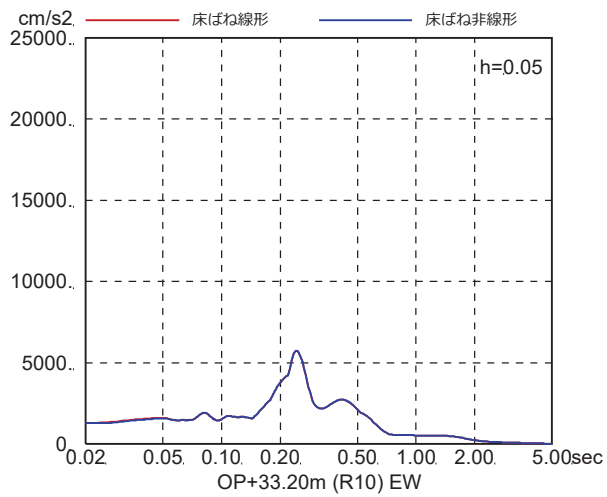
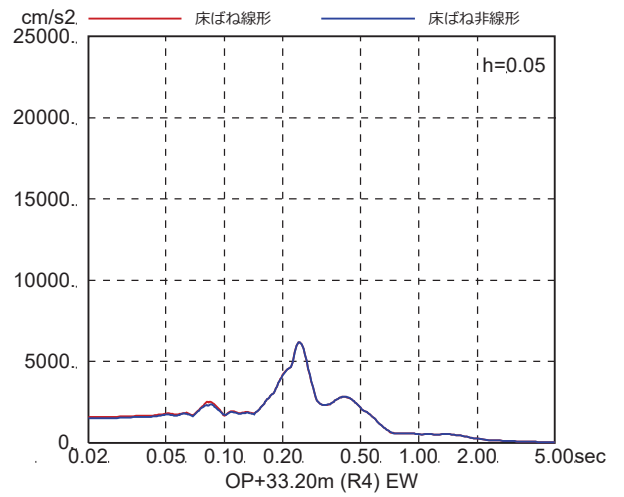
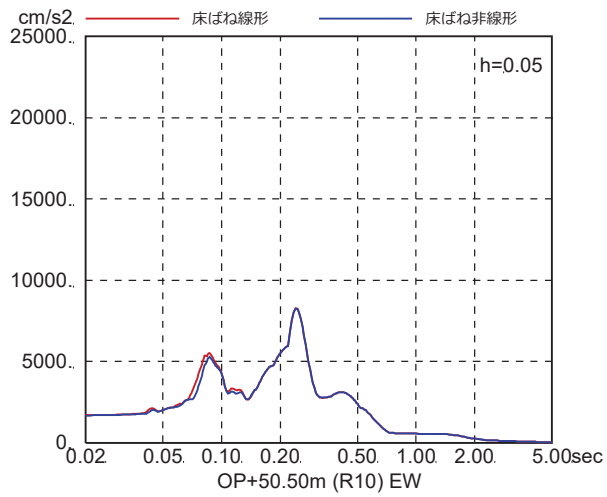


図 4-6(7) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S_s-N₁)

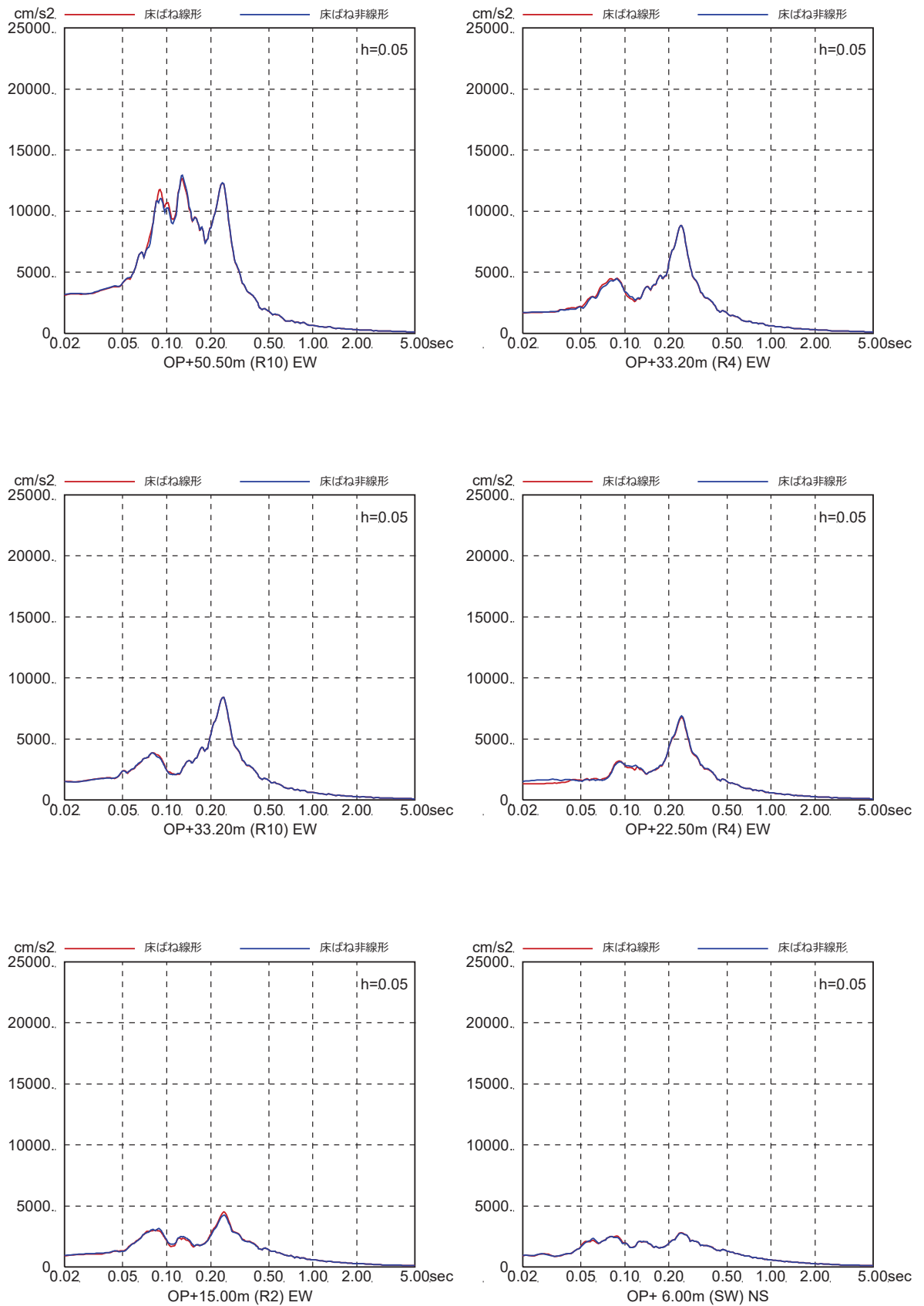


図 4-6 (8) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, S s - D 1)

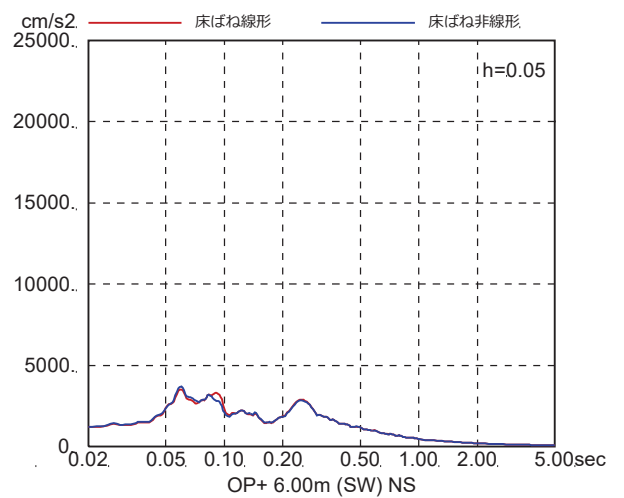
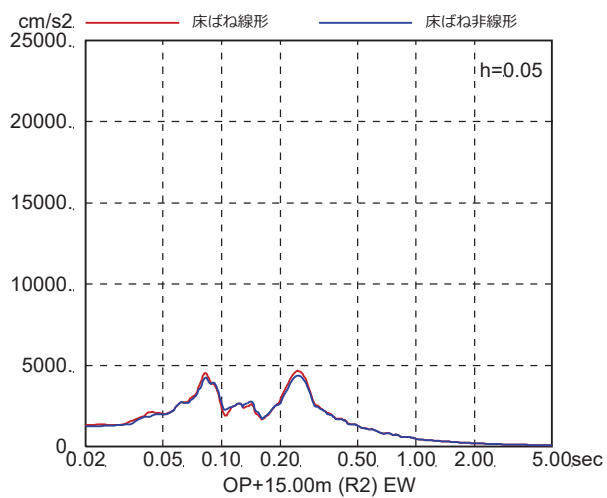
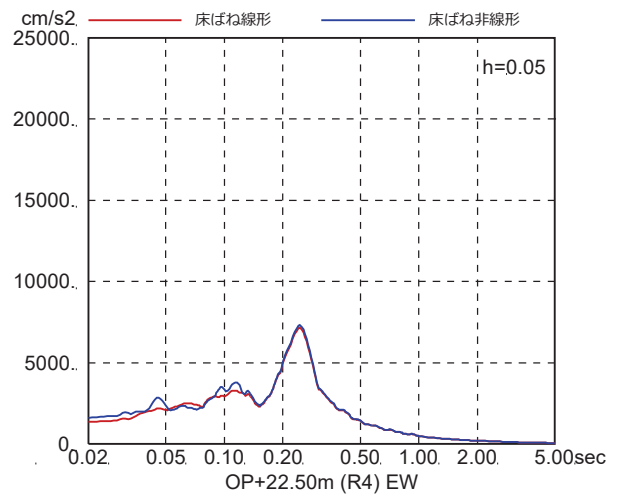
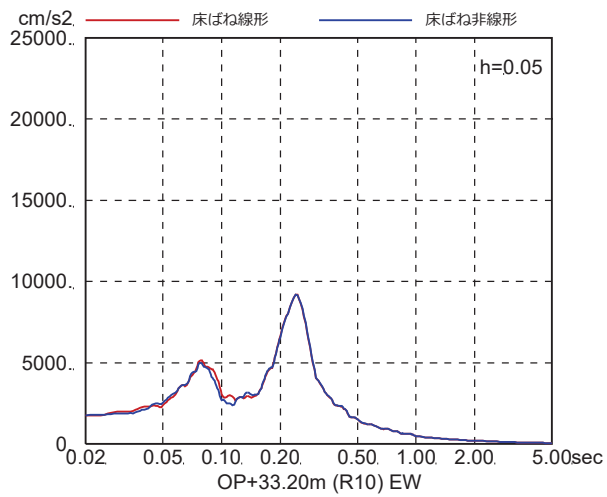
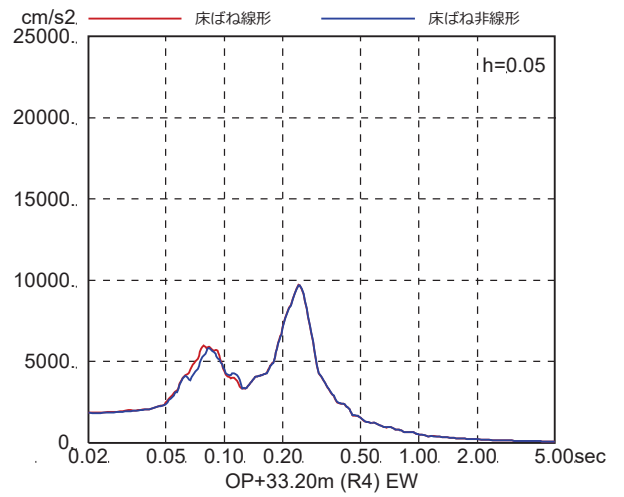
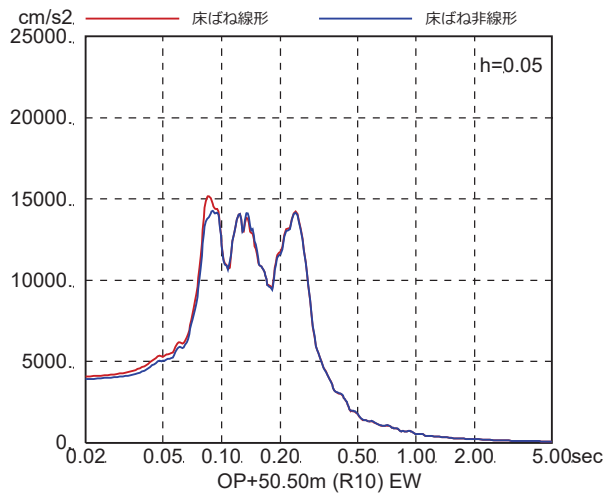


図 4-6(9) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, $S_s - D_2$)

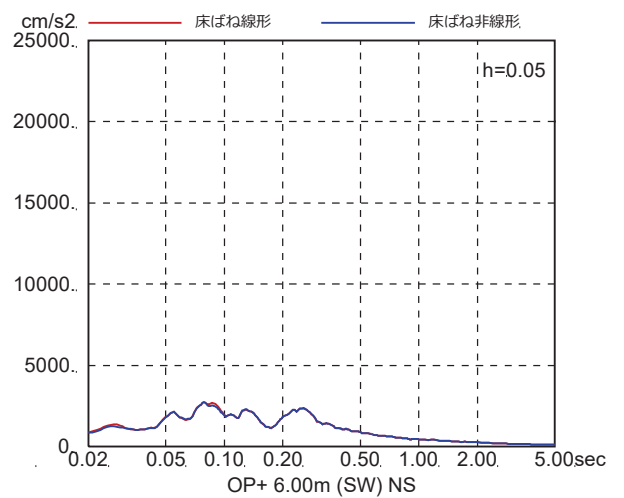
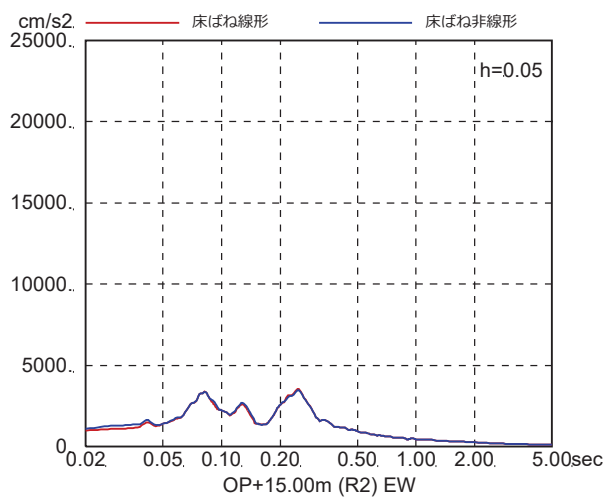
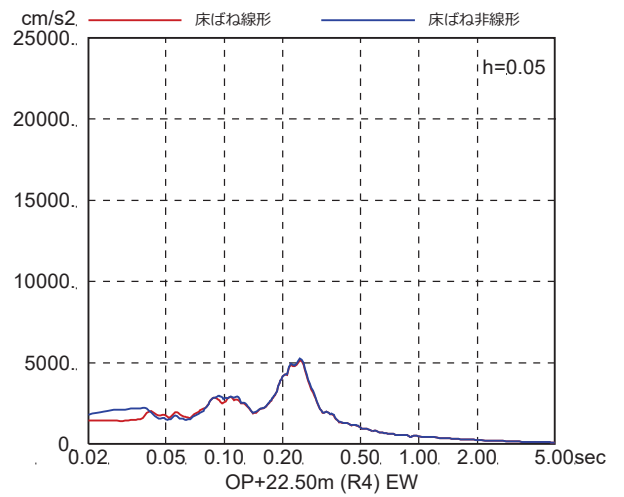
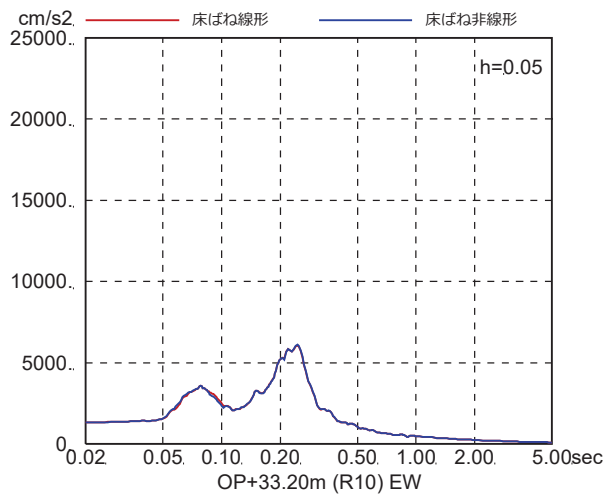
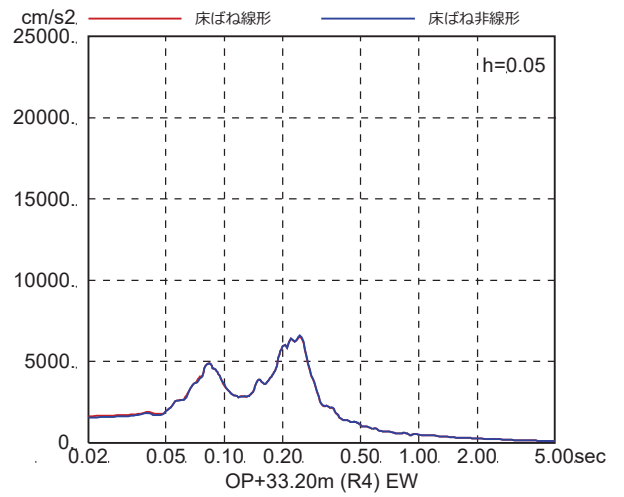
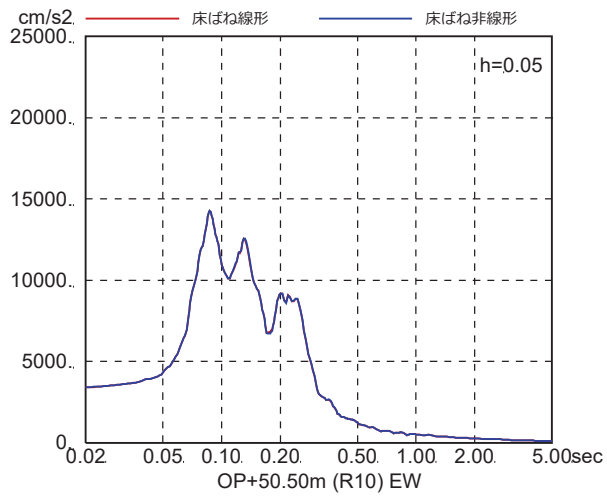


図 4-6(10) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, $S_s - D_3$)

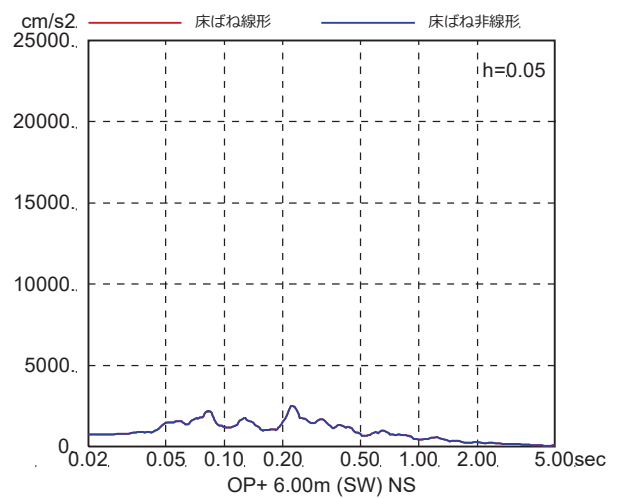
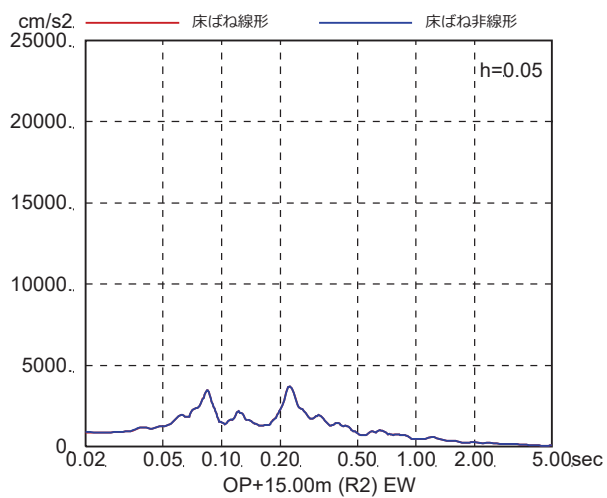
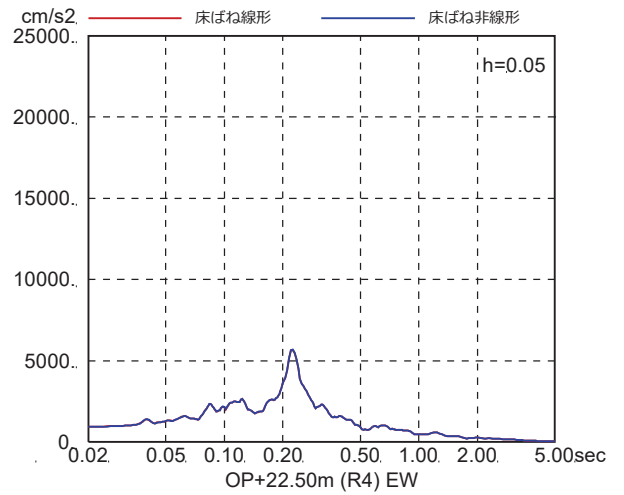
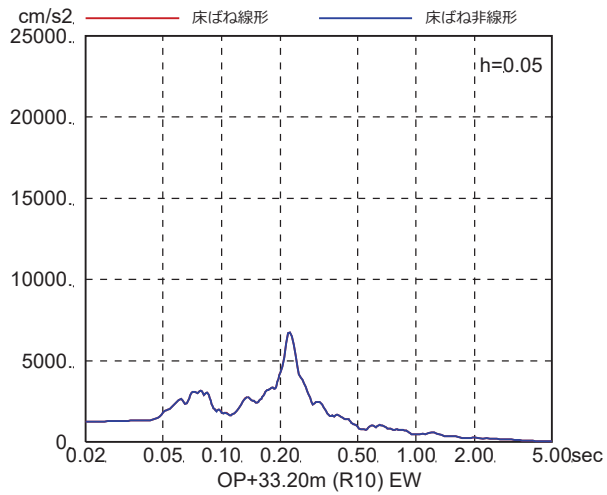
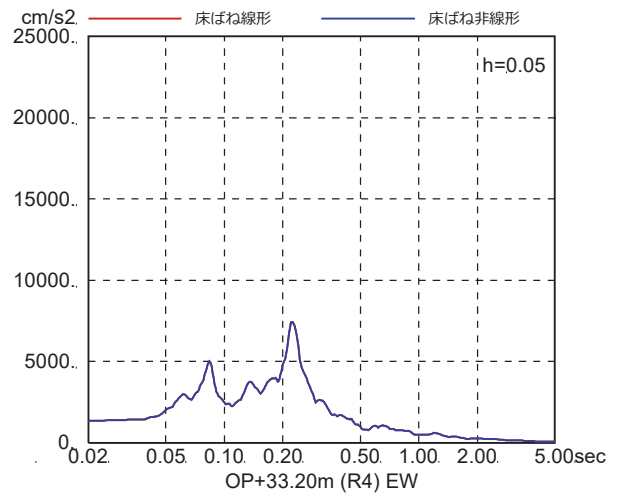
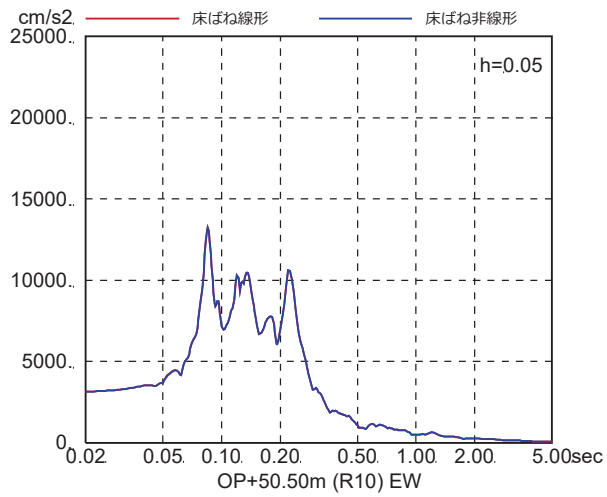


図 4-6(11) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, $S_s - F1$)

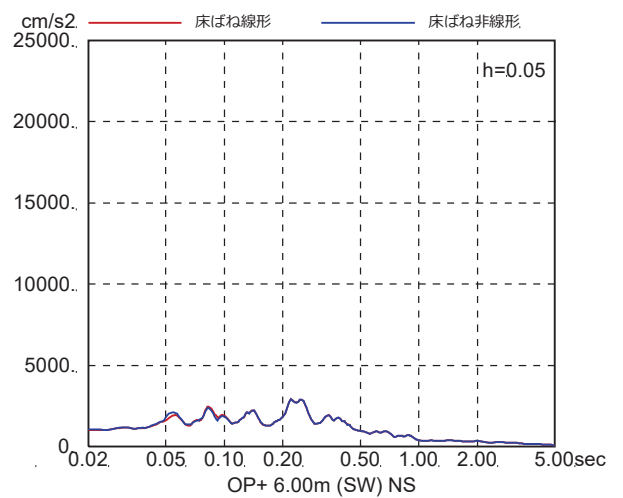
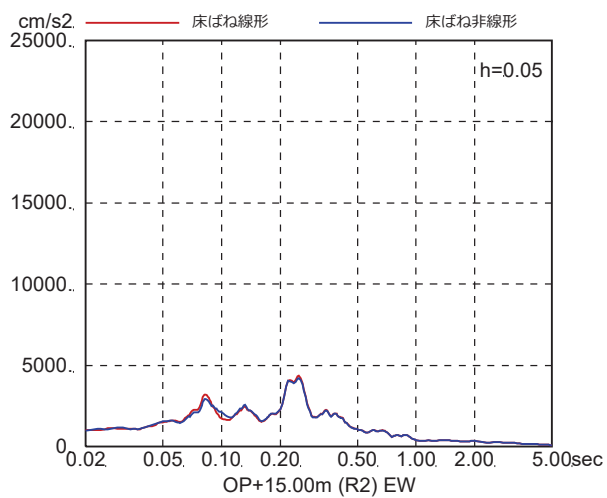
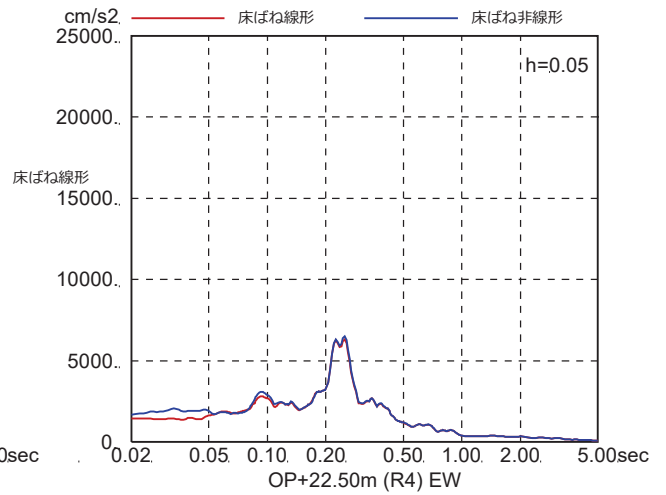
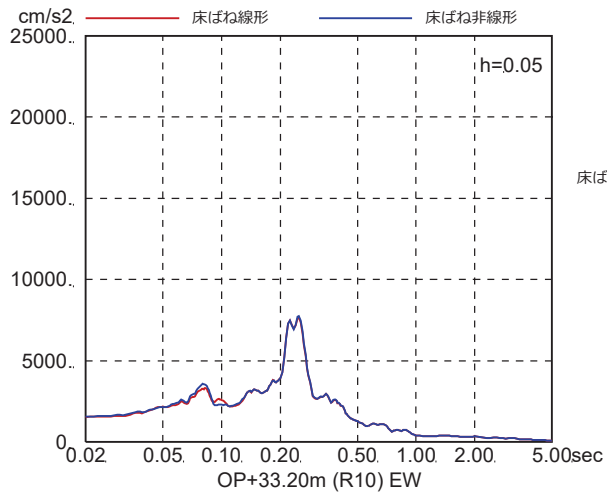
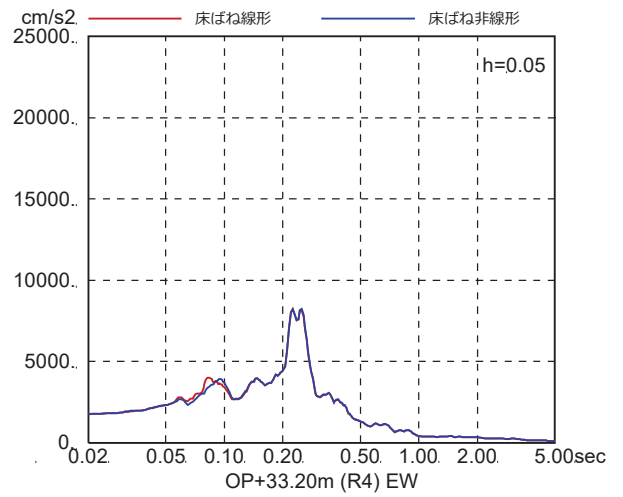
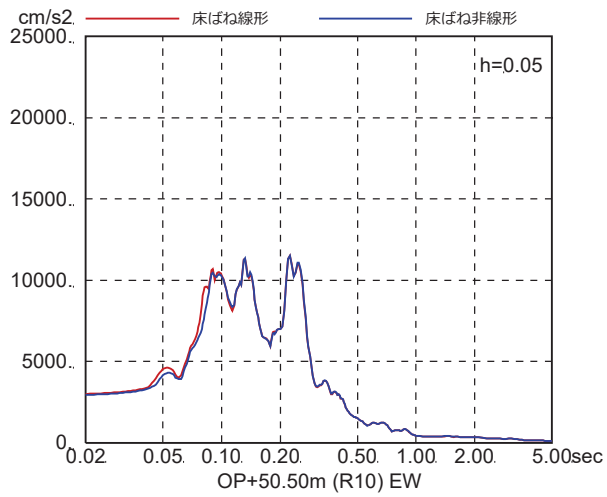


図 4-6(12) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, S_s-F₂)

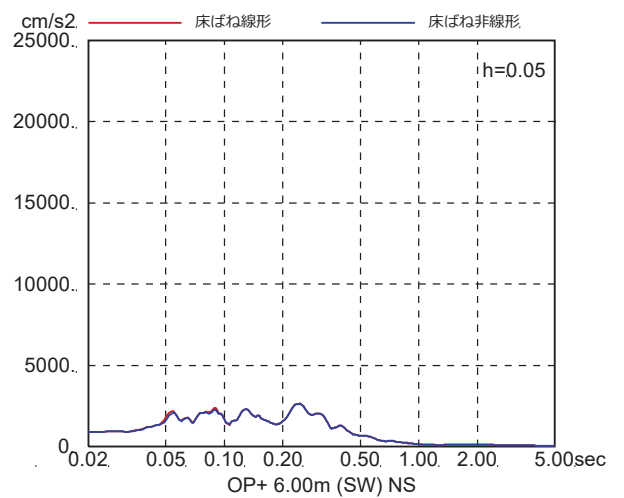
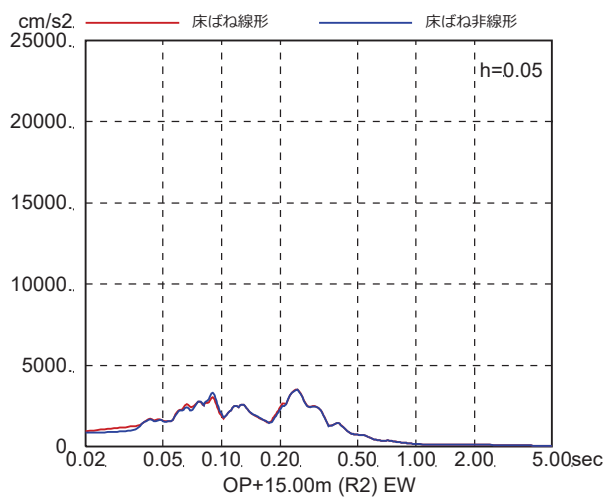
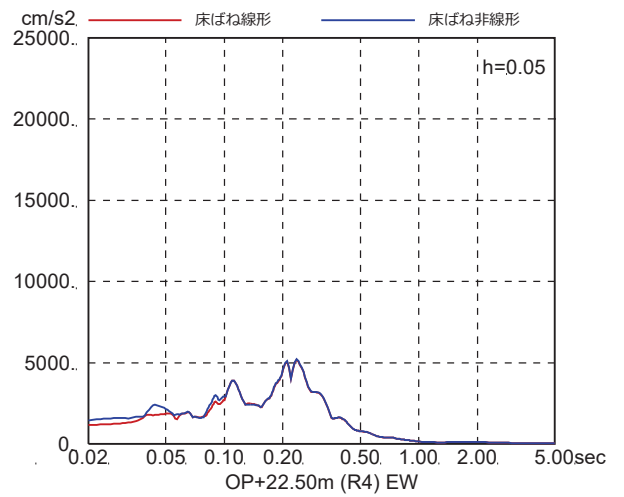
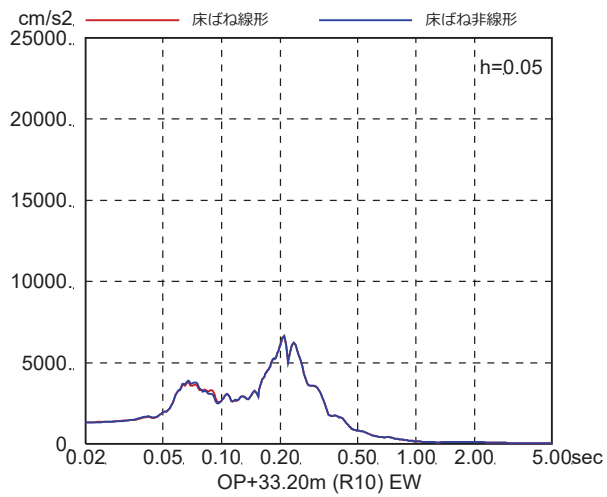
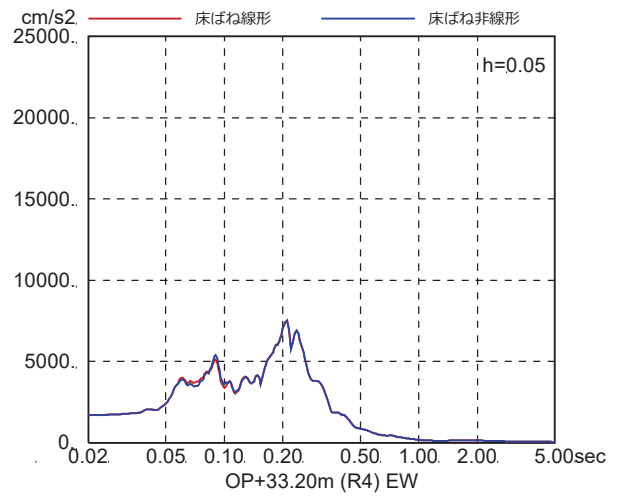
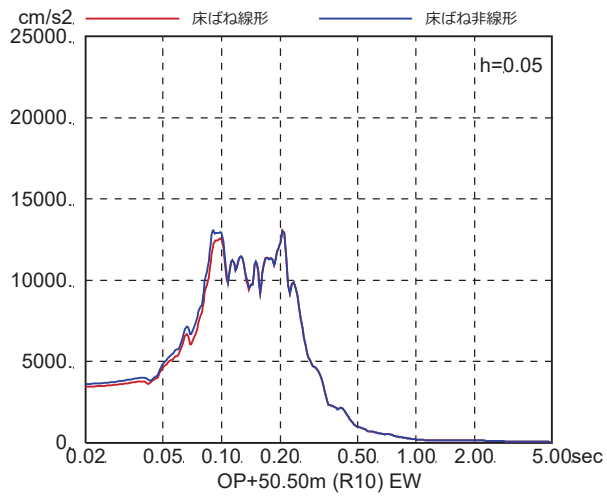


図 4-6(13) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, S_s-F₃)

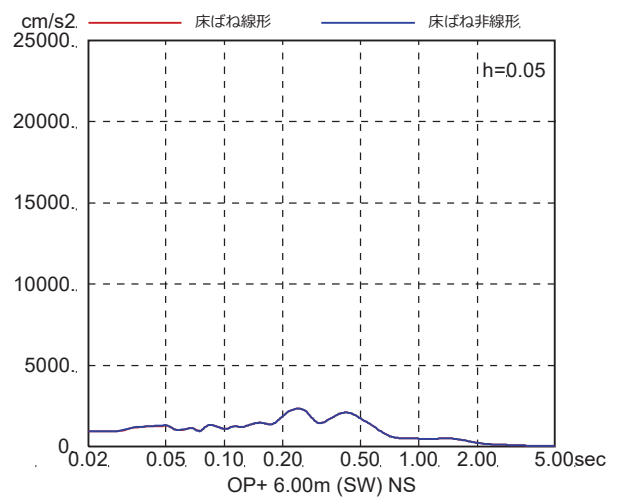
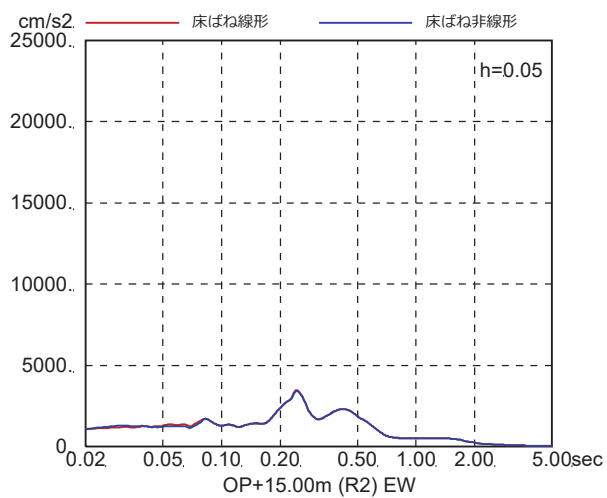
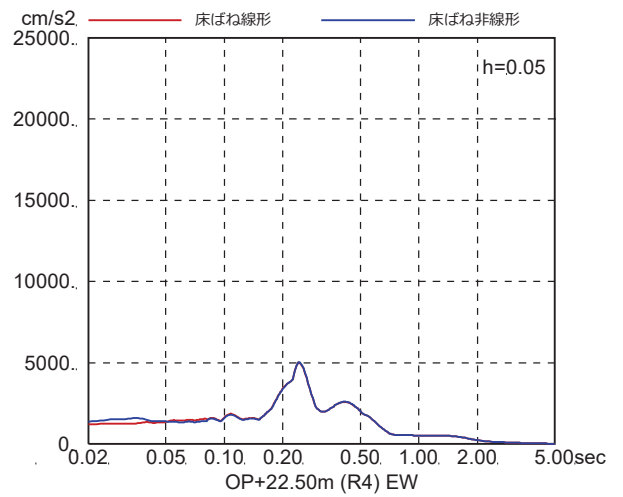
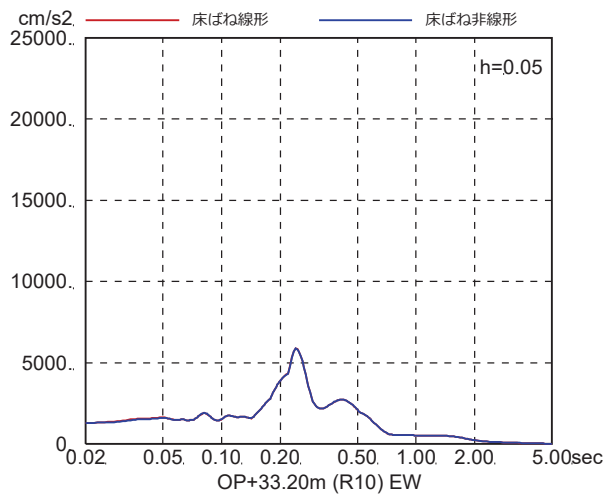
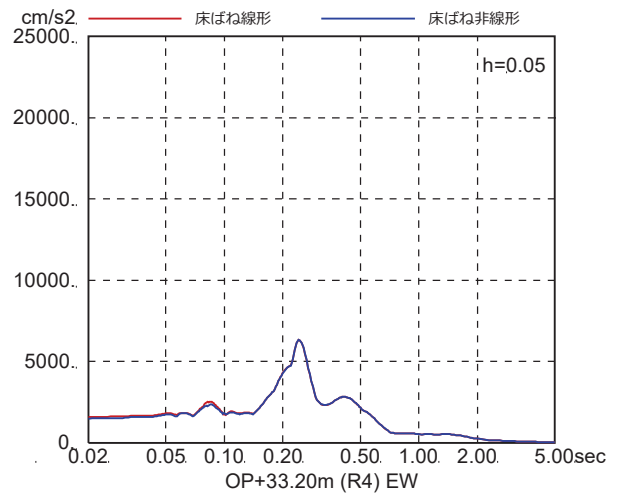
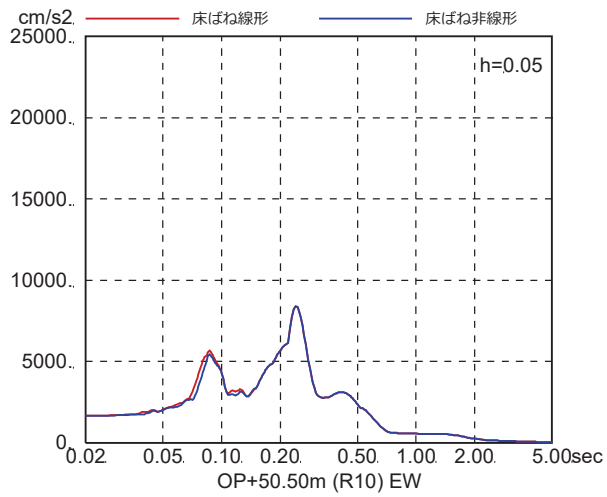


図 4-6(14) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, S s - N 1)

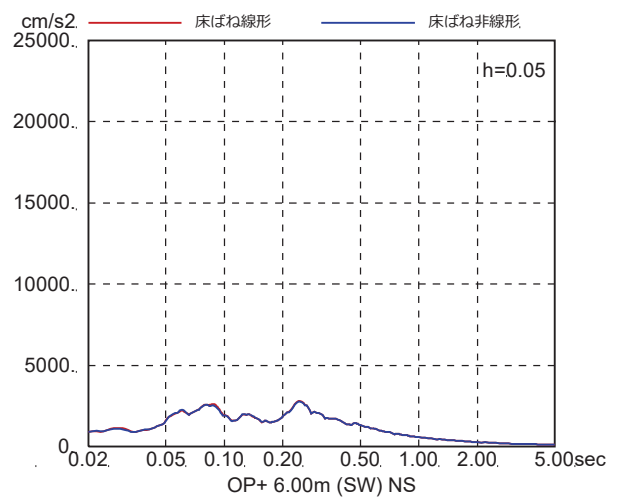
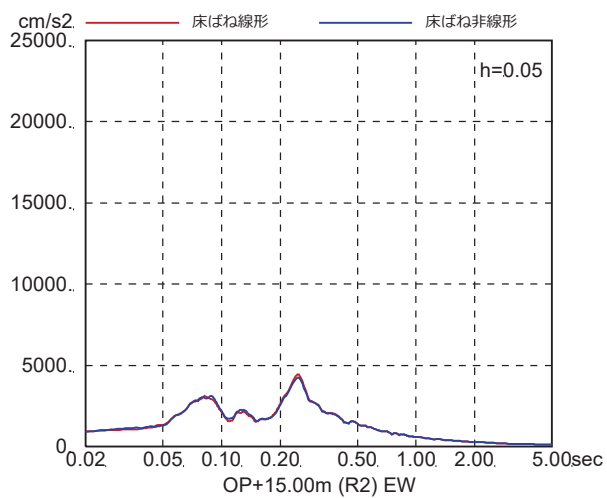
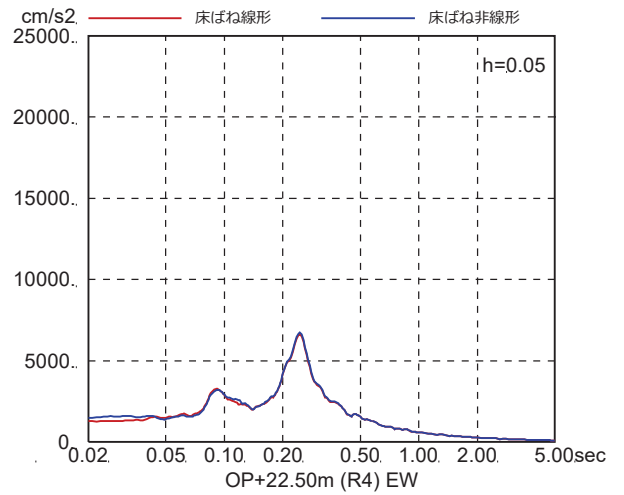
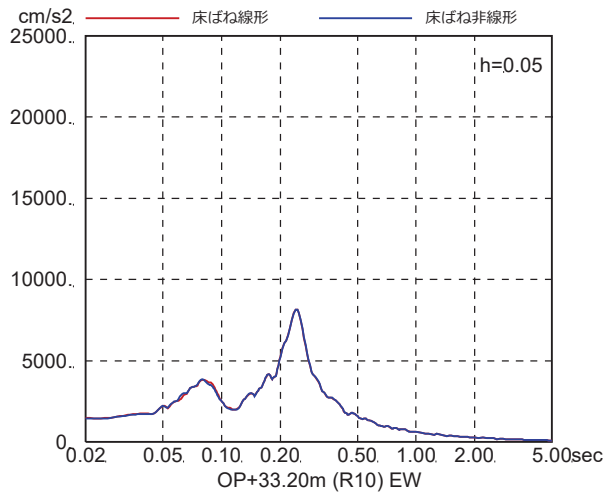
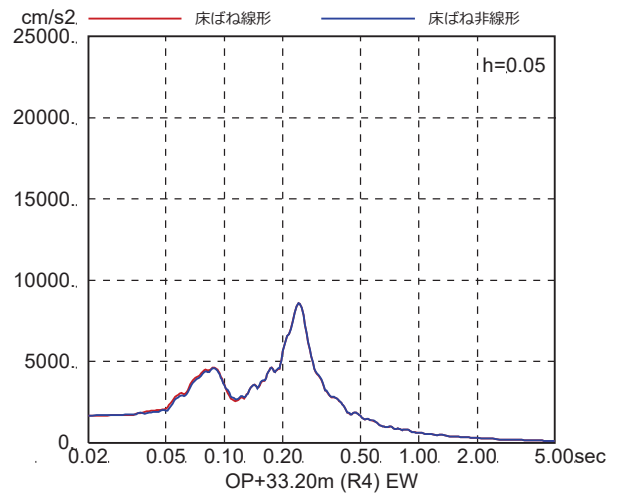
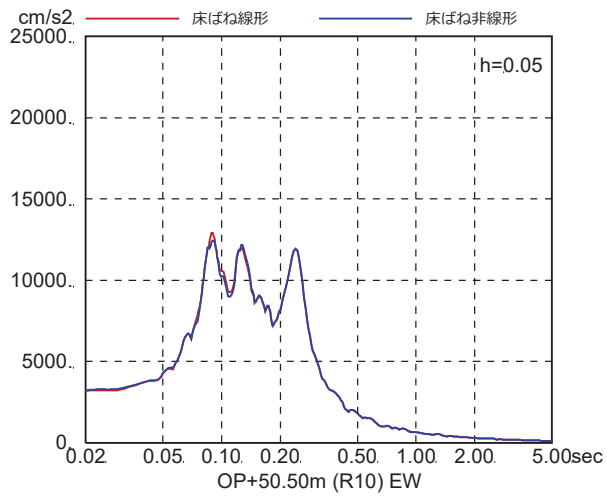


図 4-6(15) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, S s - D 1)

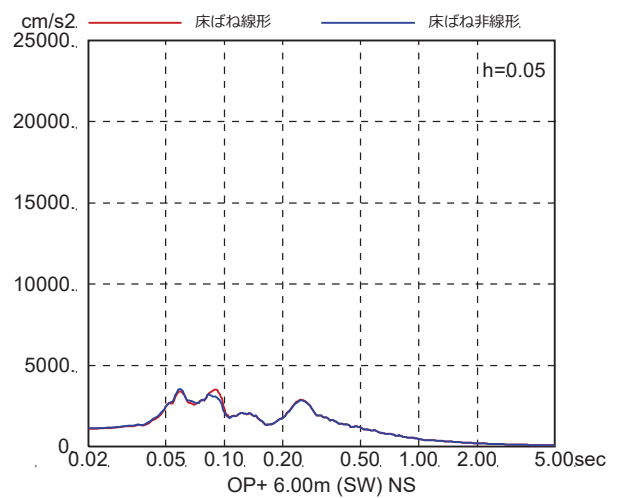
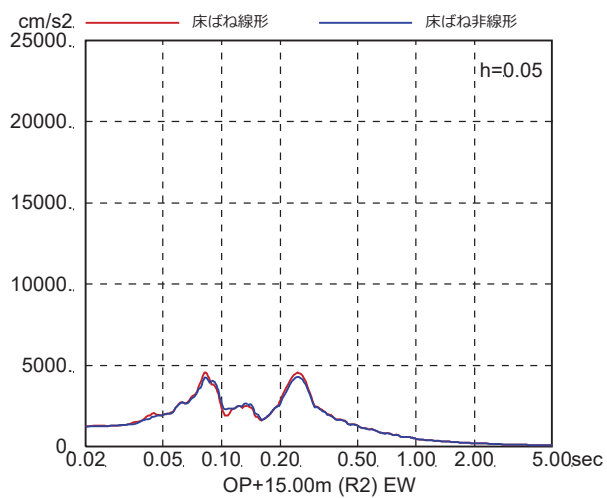
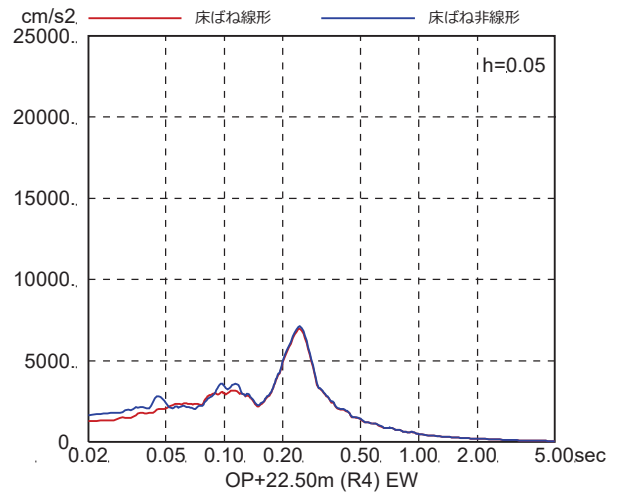
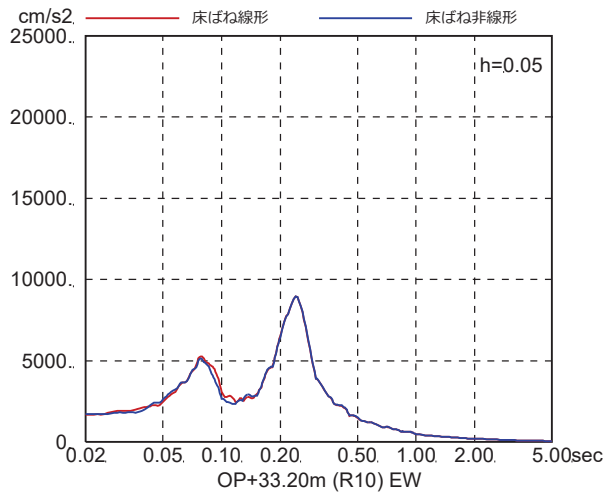
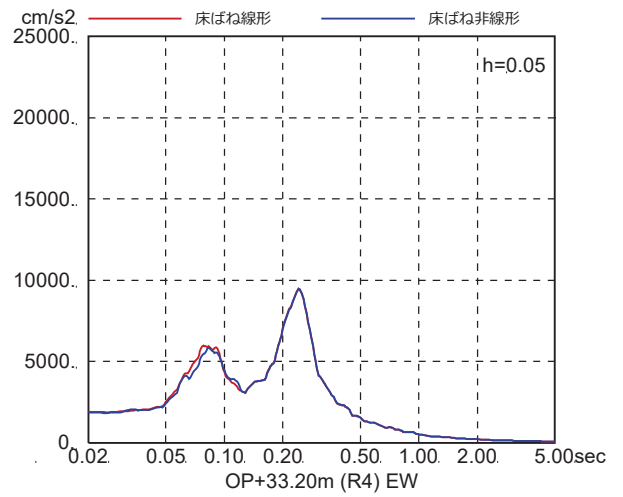
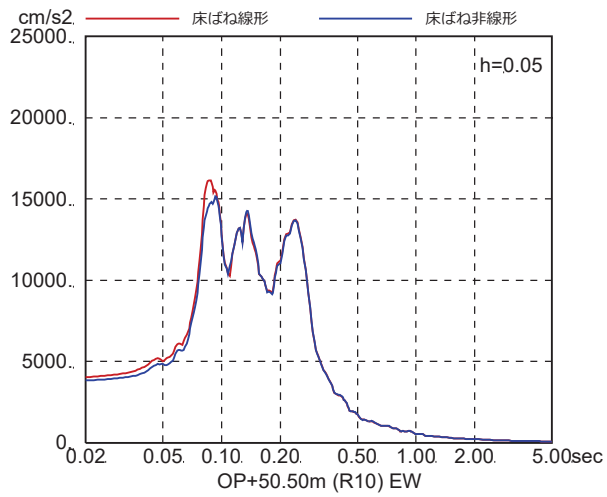


図 4-6(16) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, $S_s - D_2$)

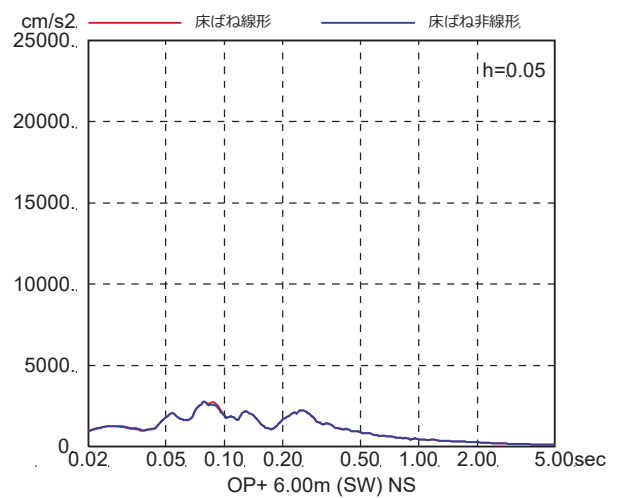
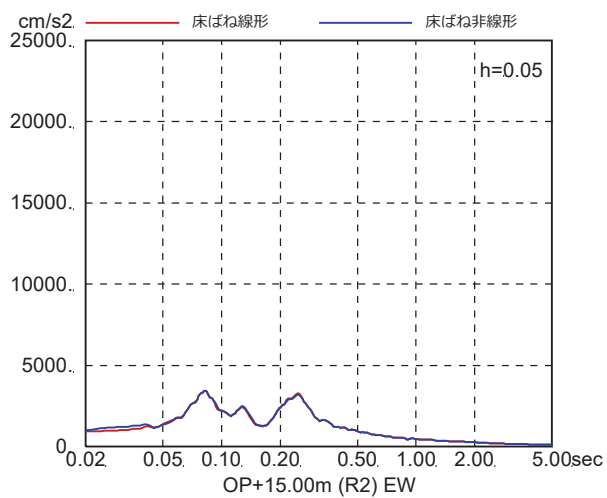
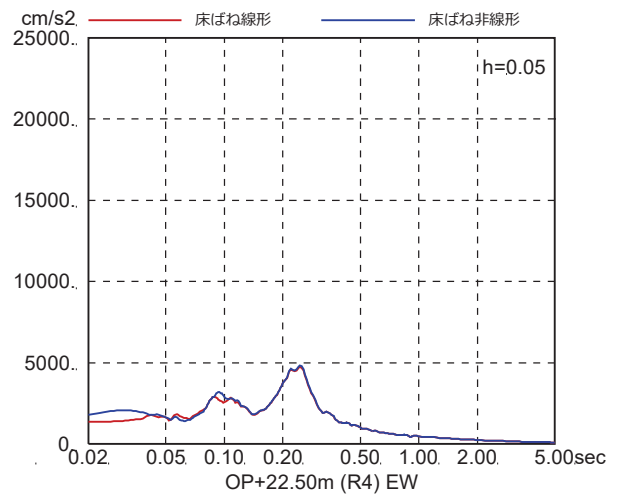
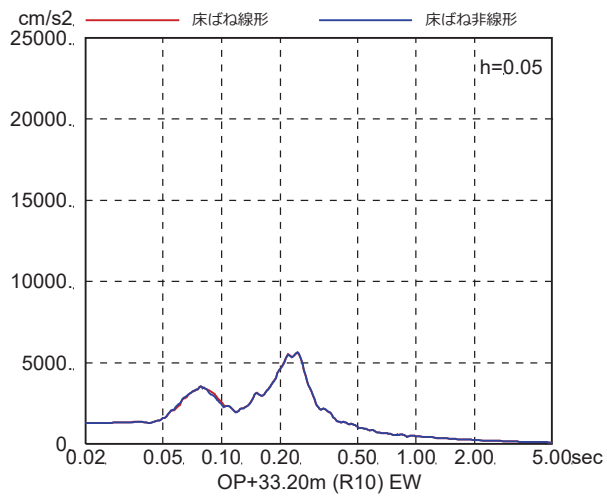
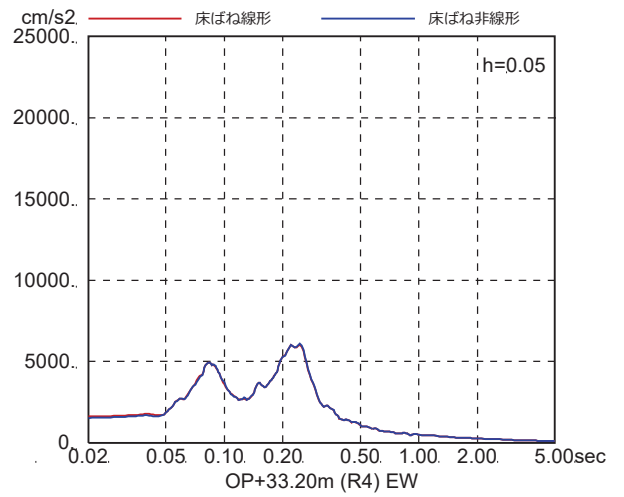
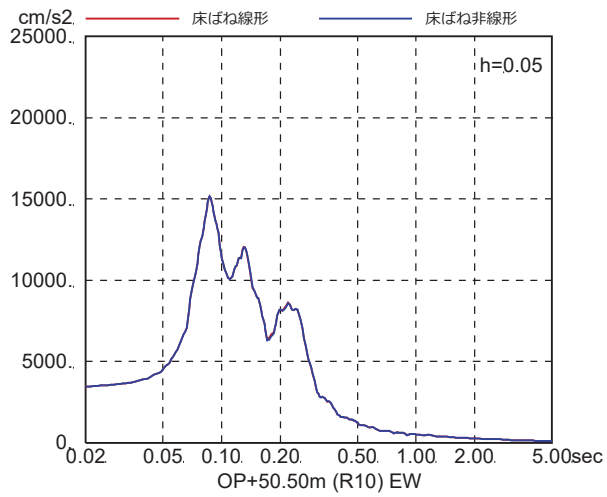


図 4-6(17) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, $S_s - D_3$)

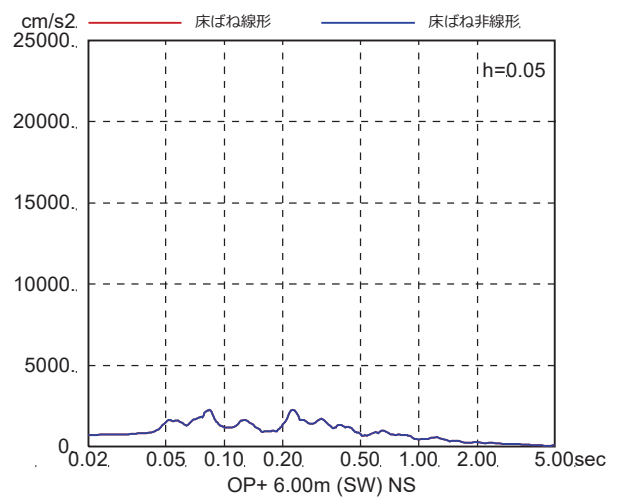
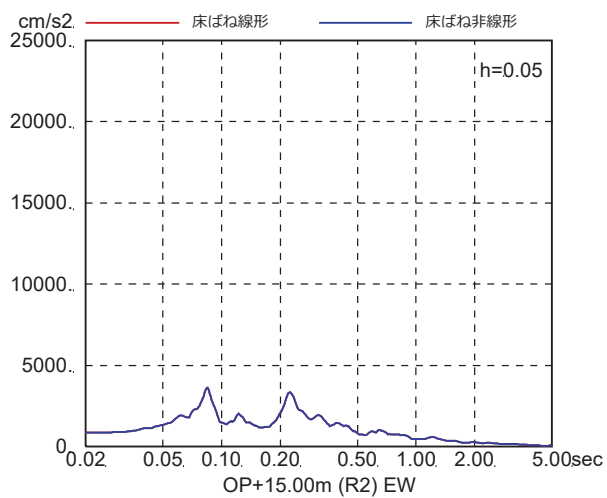
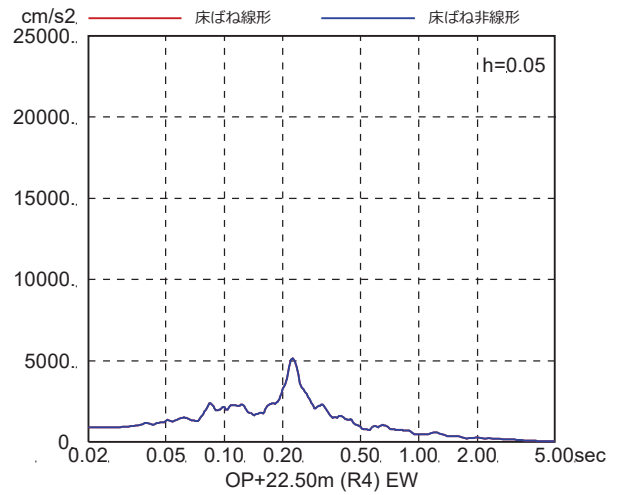
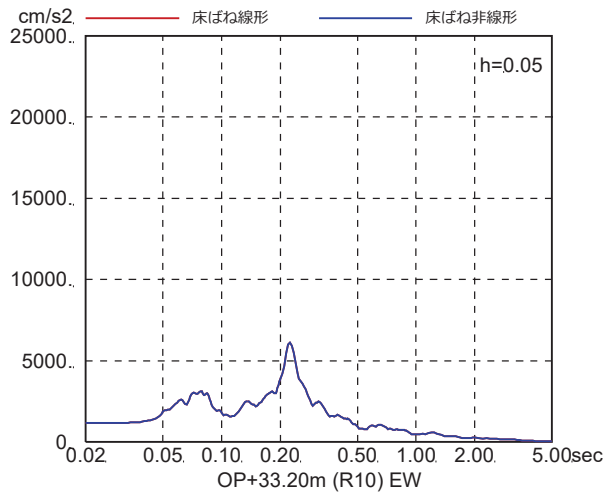
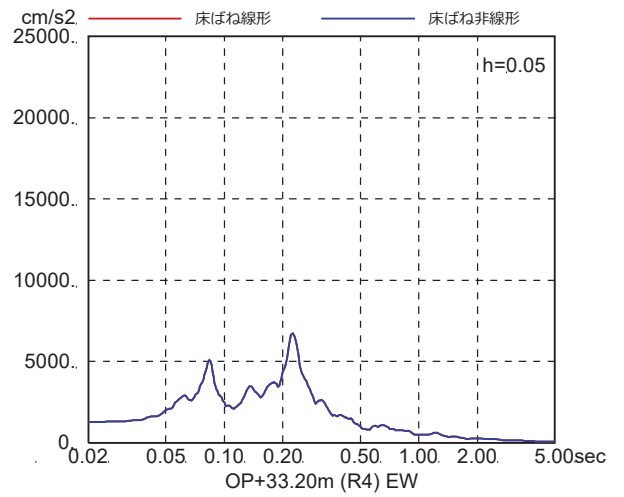
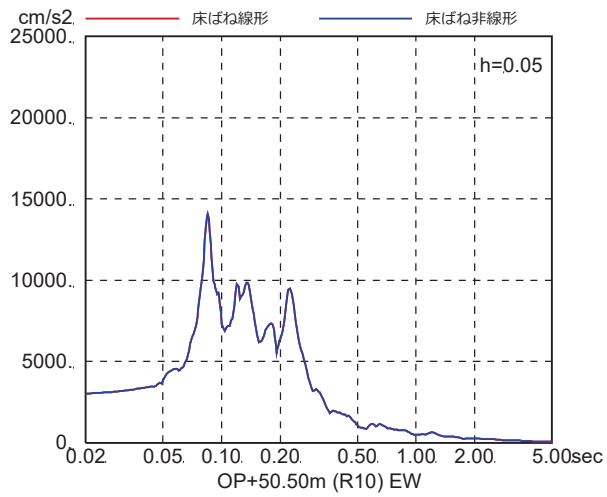


図 4-6(18) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, $S_s - F1$)

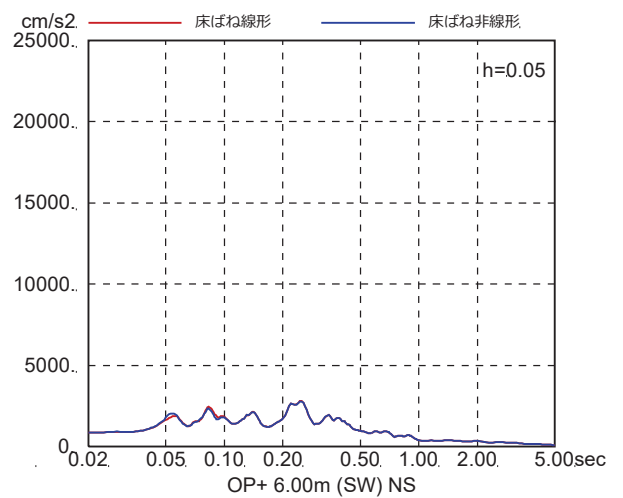
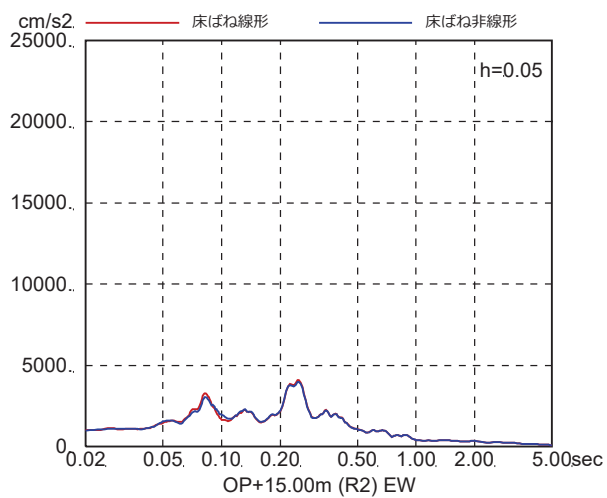
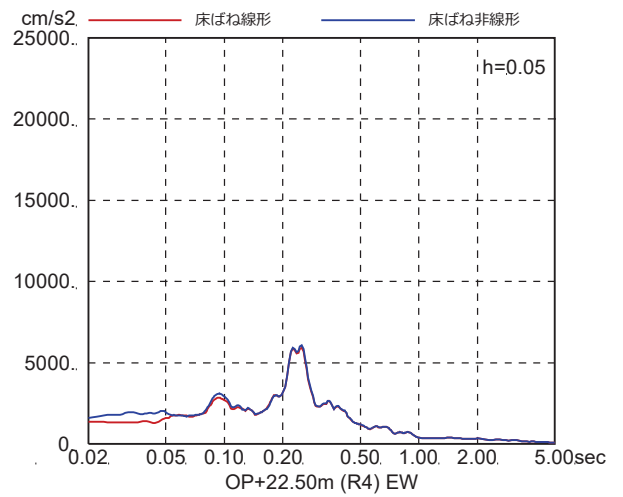
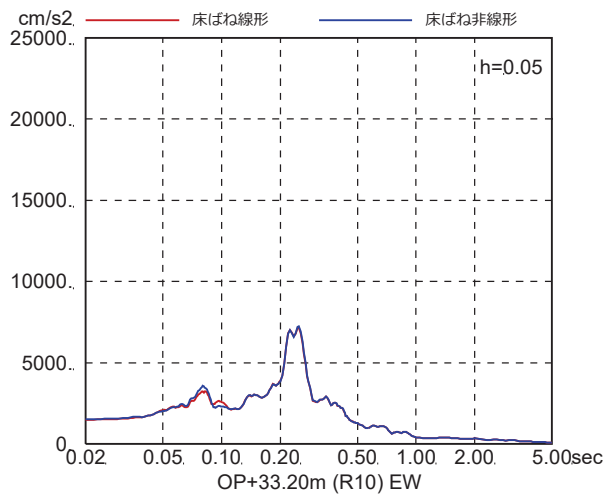
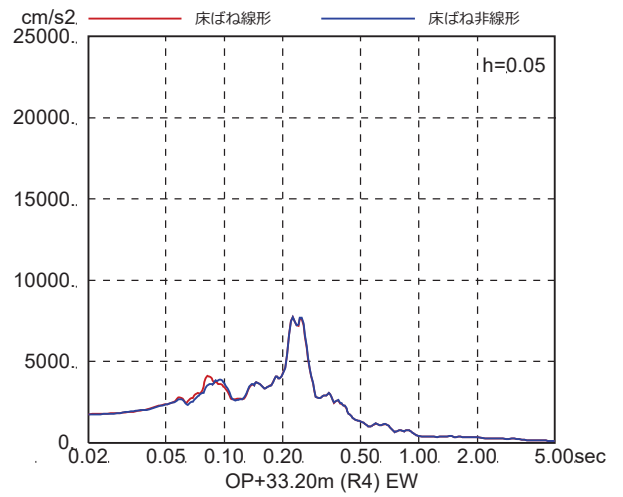
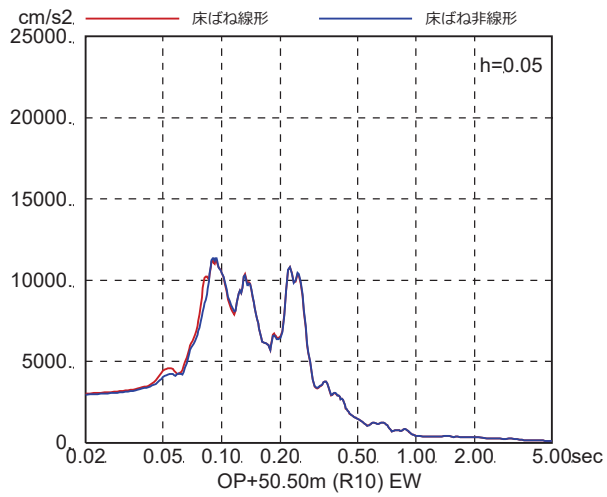


図 4-6(19) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, $S_s - F_2$)

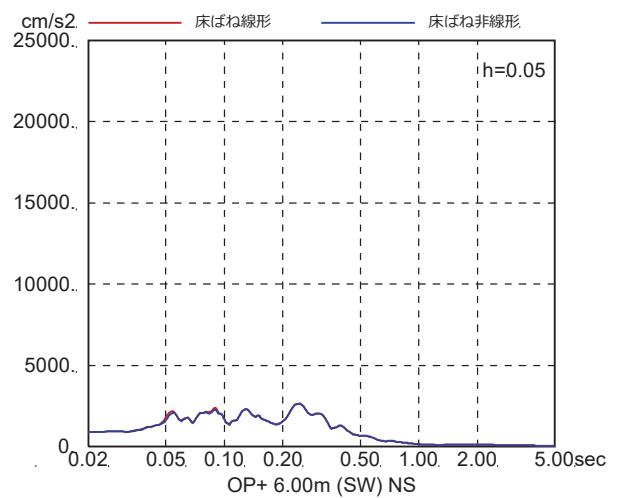
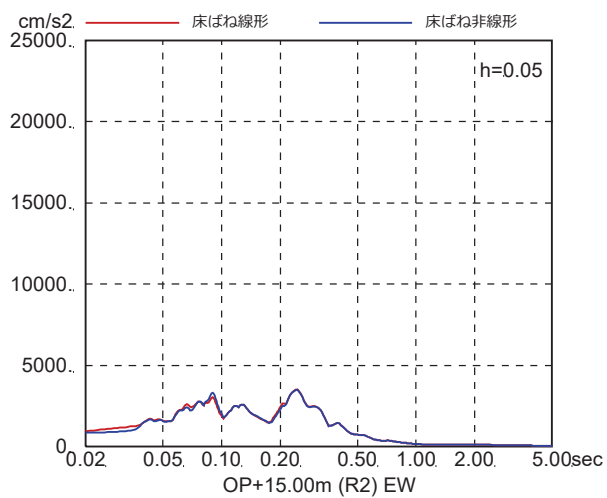
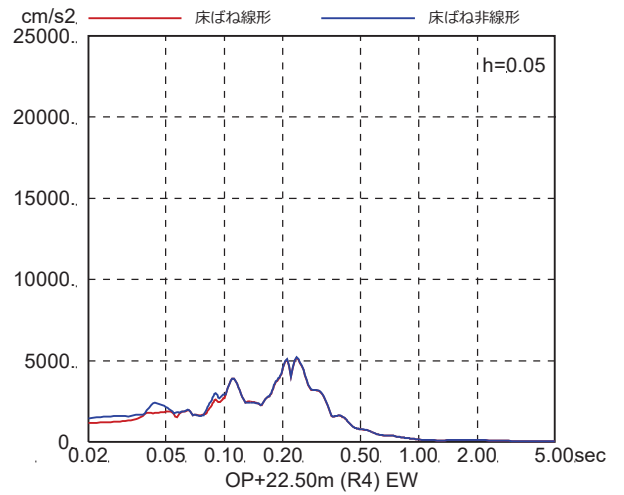
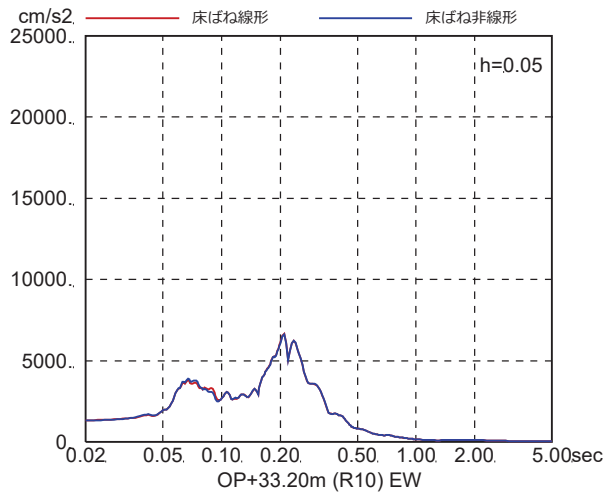
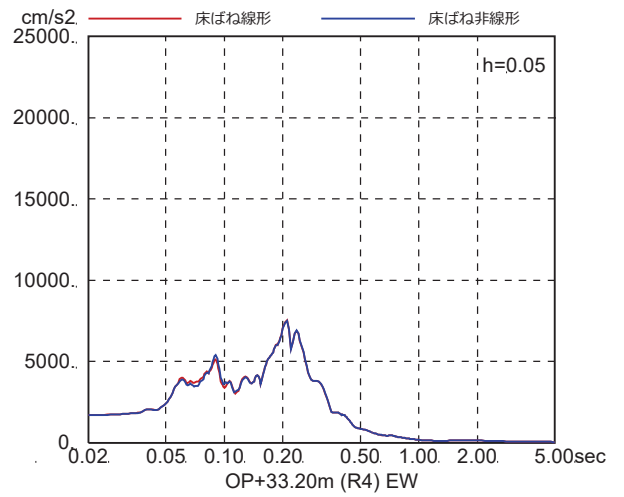
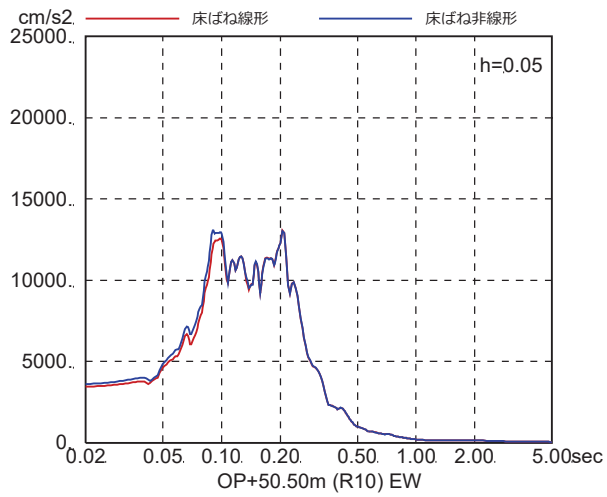


図 4-6(20) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, $S_s - F_3$)

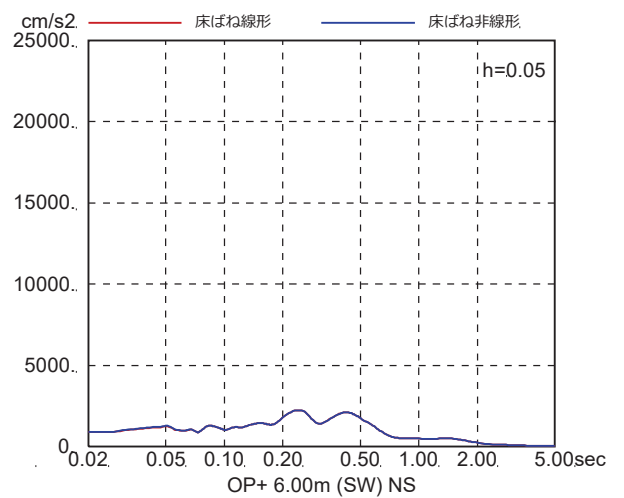
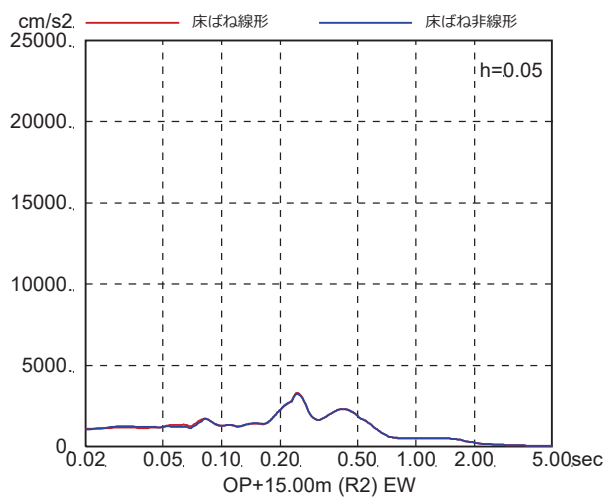
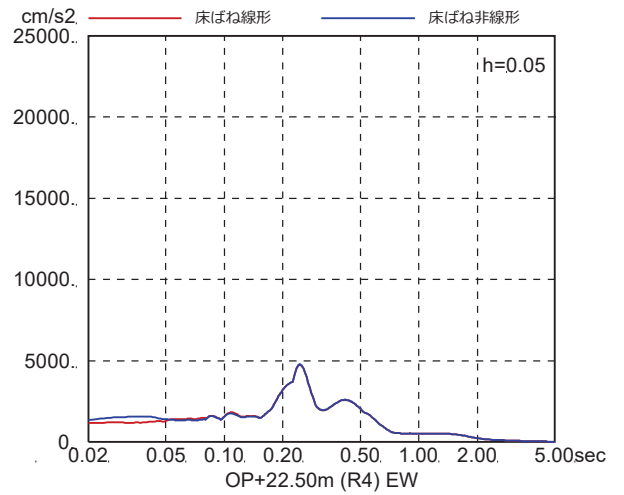
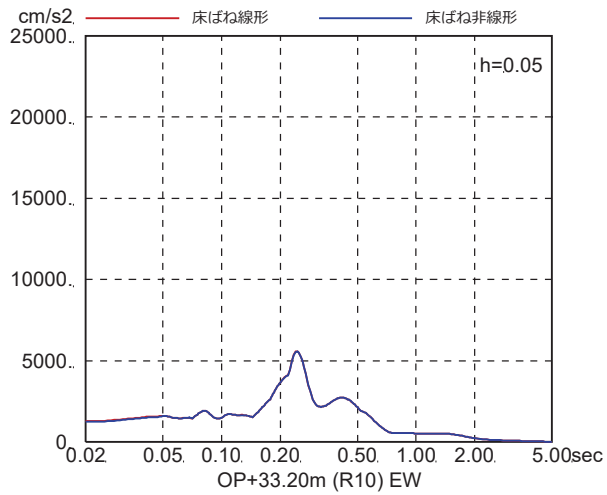
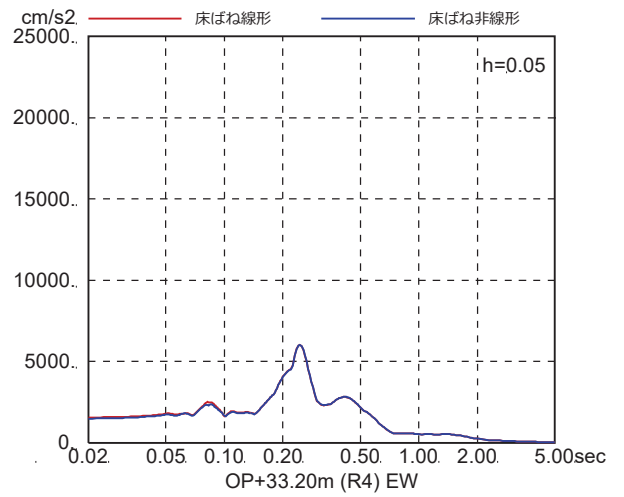
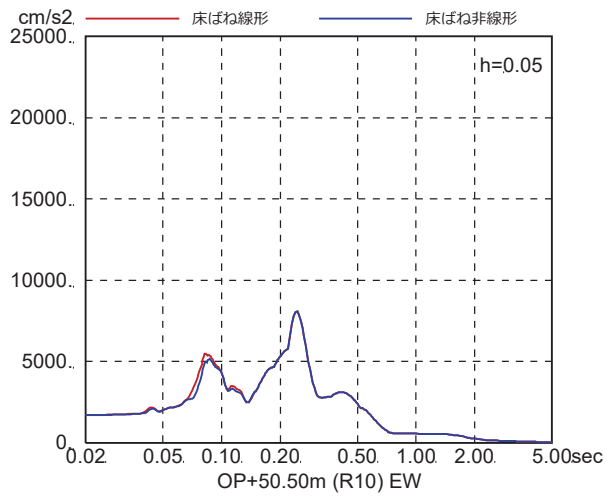


図 4-6(21) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, S s - N 1)

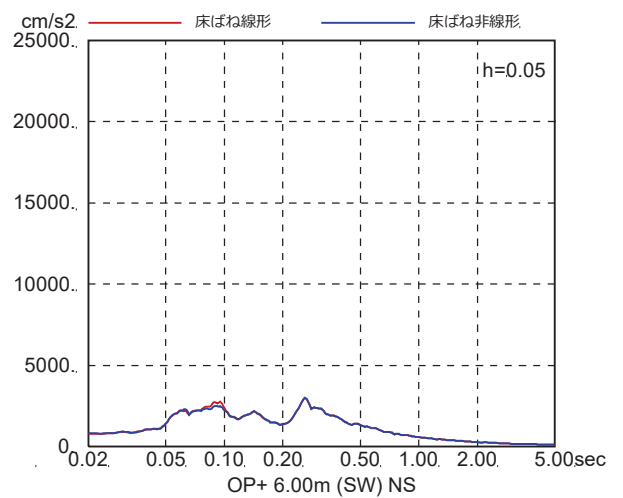
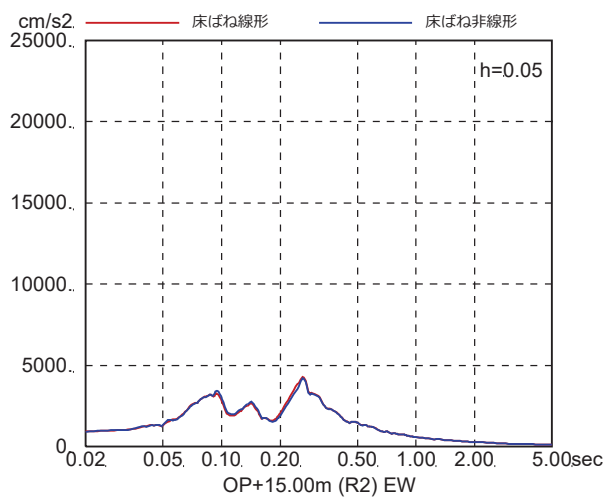
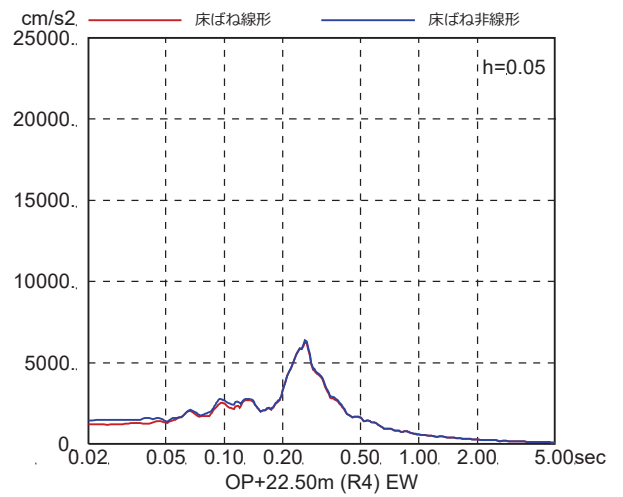
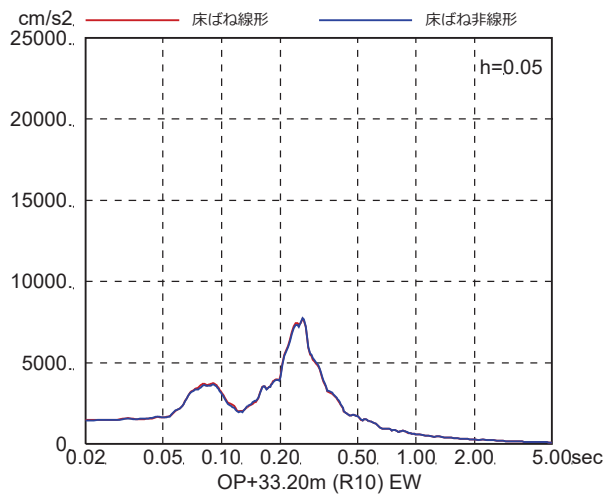
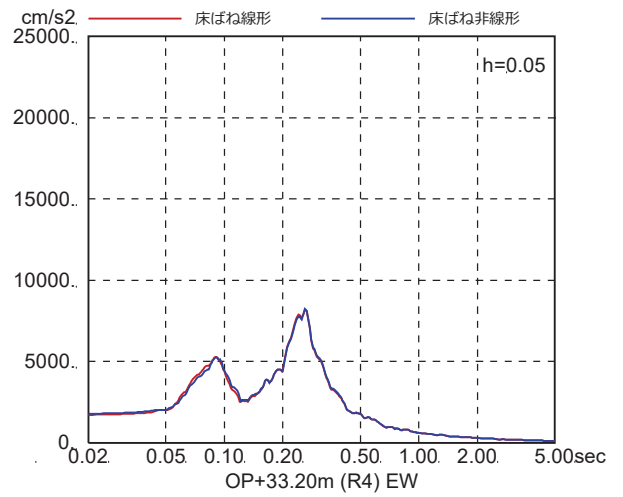
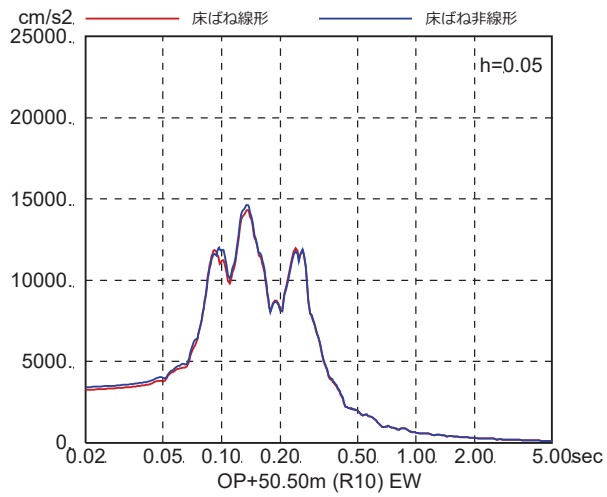


図 4-6(22) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - D 1)

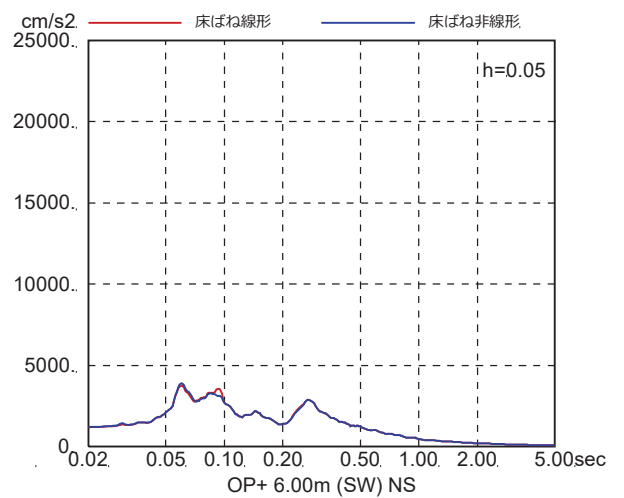
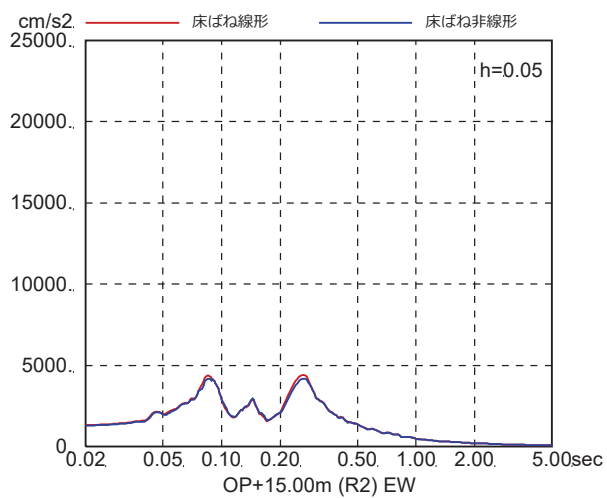
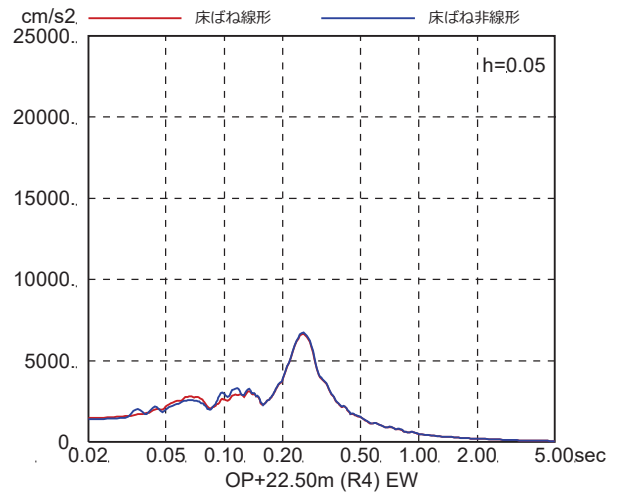
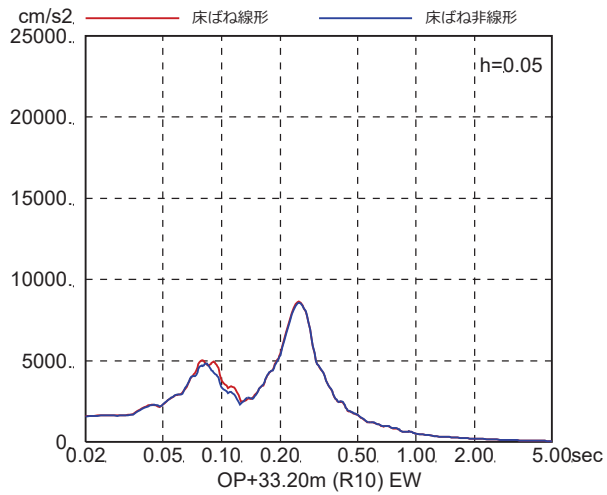
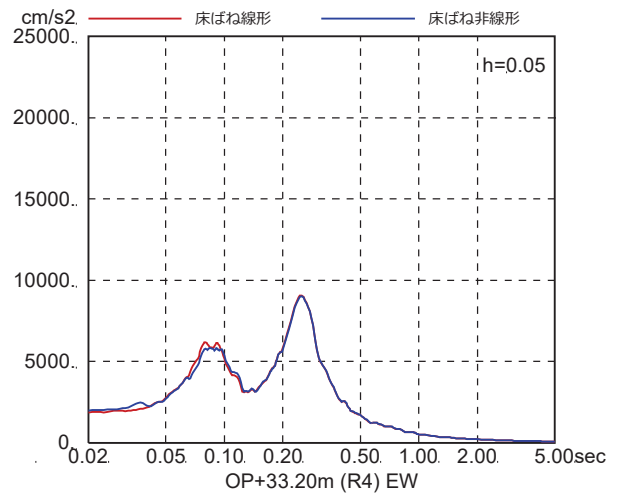
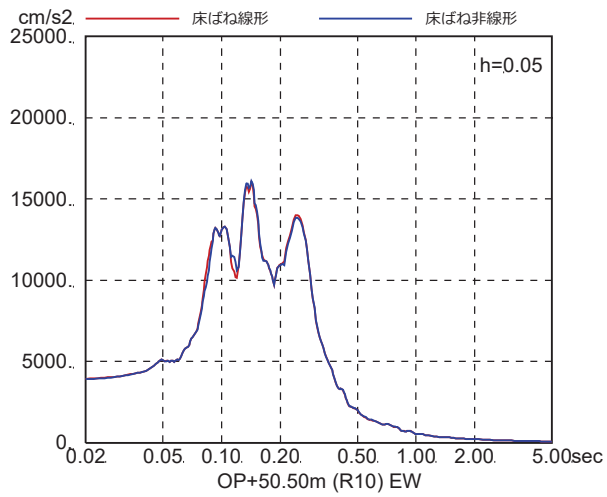


図 4-6(23) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - D 2)

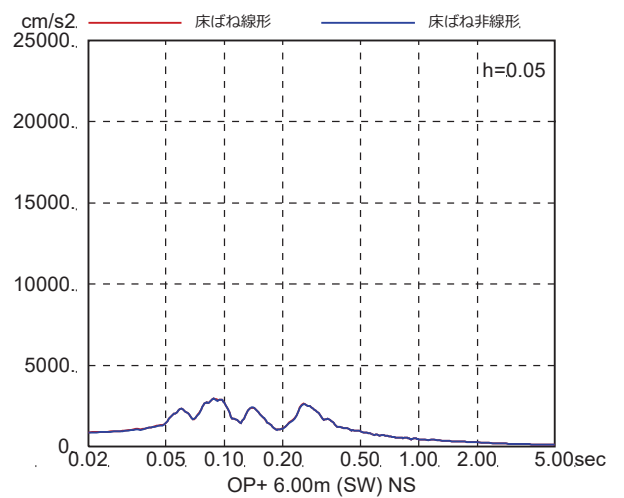
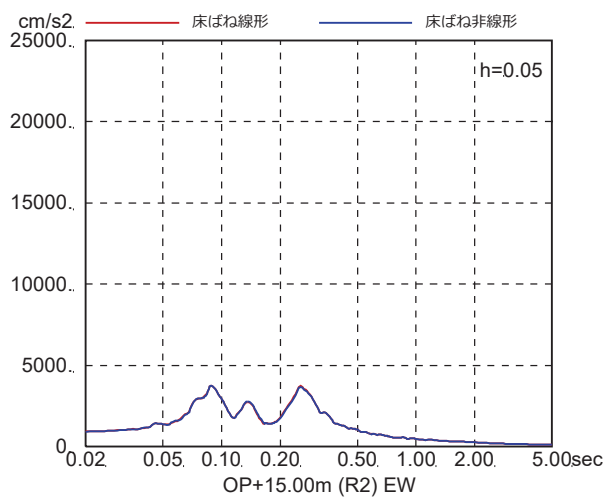
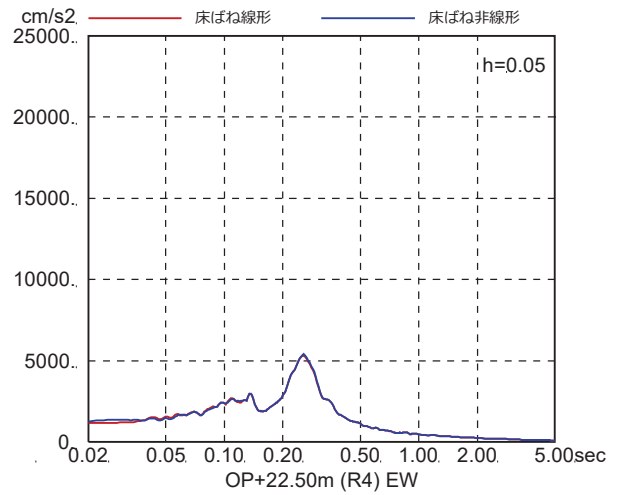
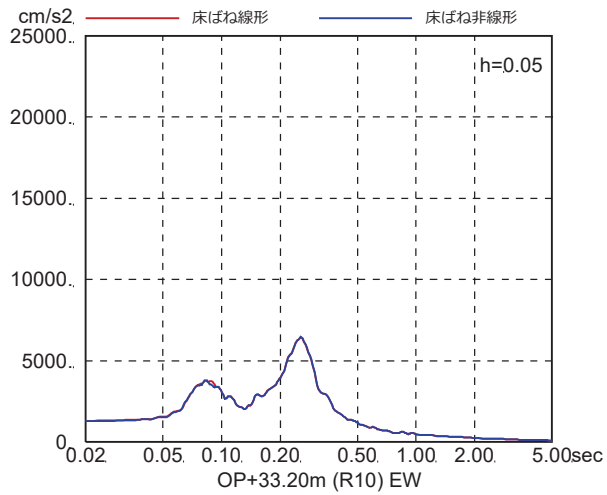
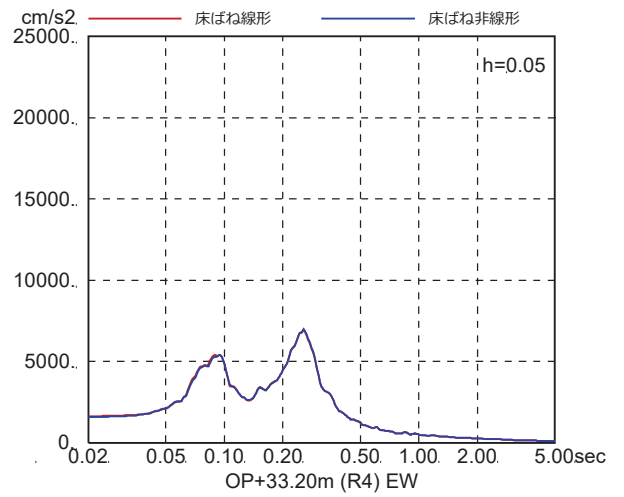
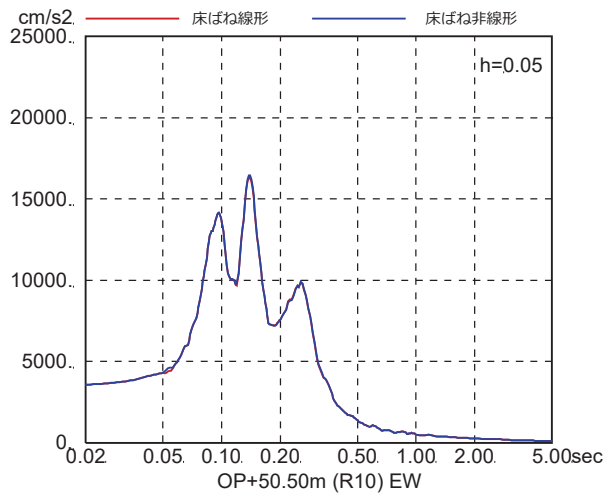


図 4-6(24) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, $S_s - D_3$)

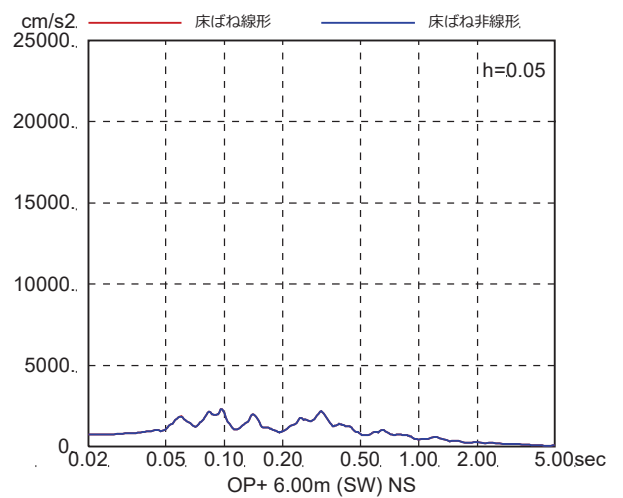
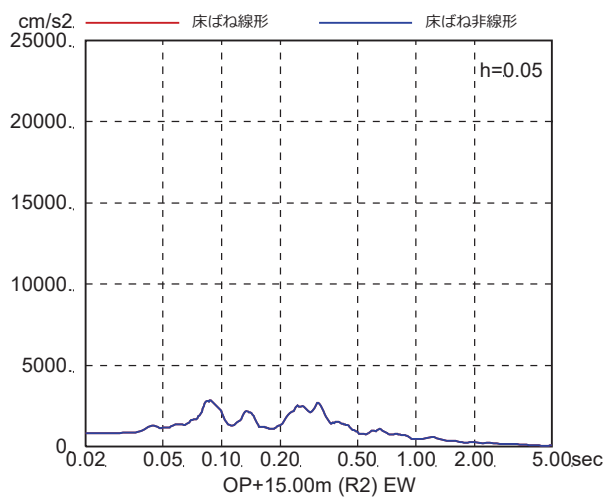
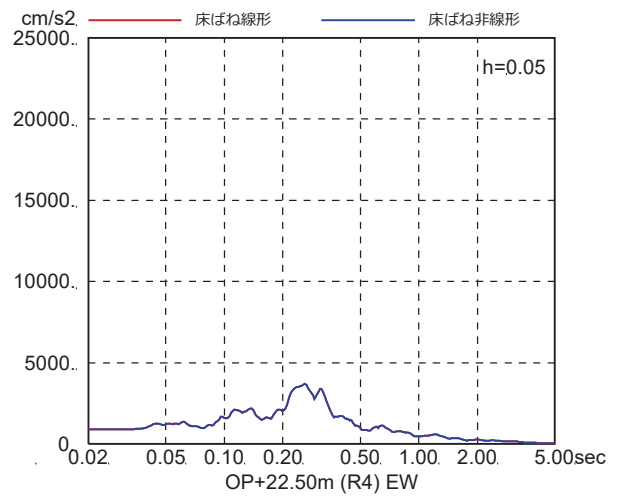
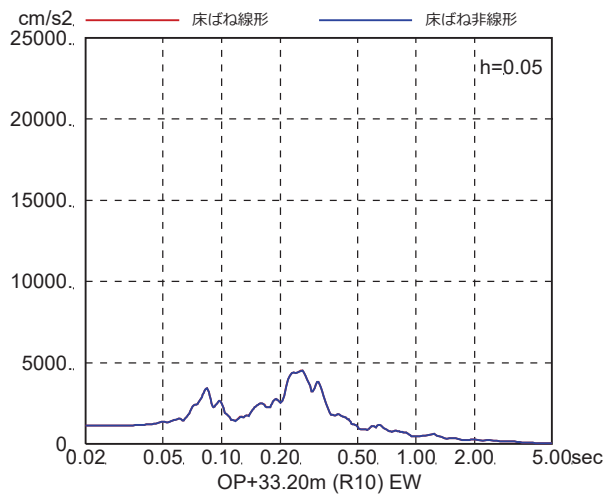
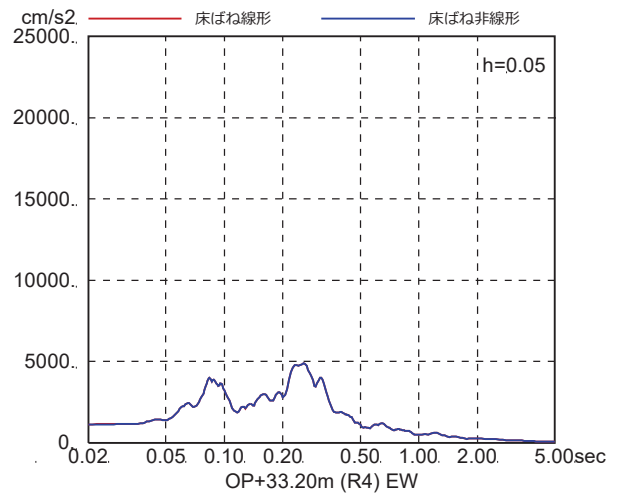
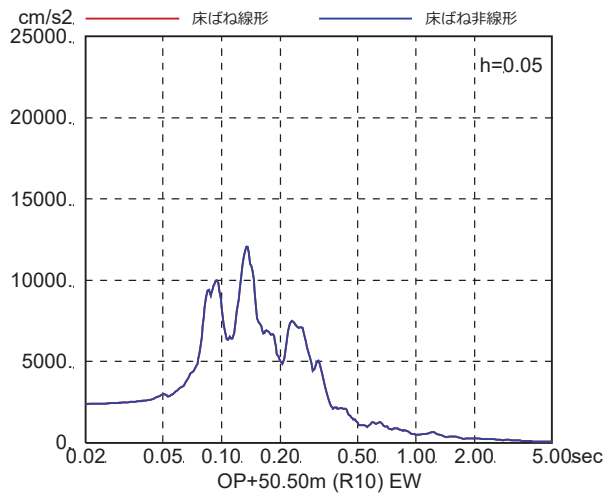


図 4-6(25) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - F 1)

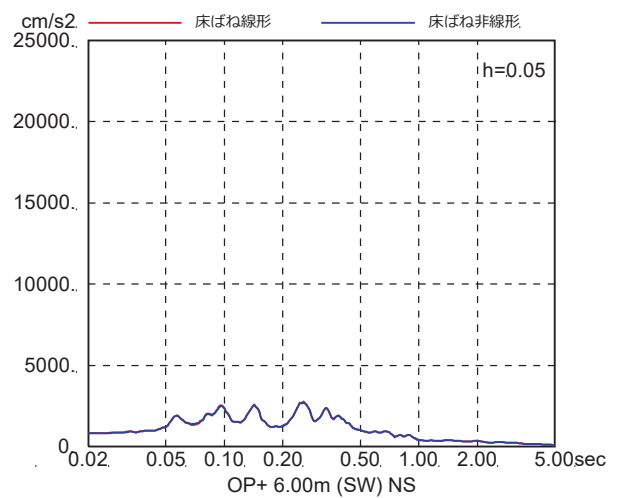
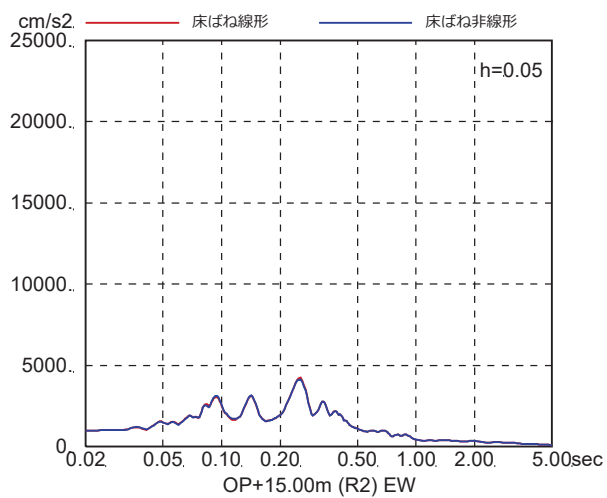
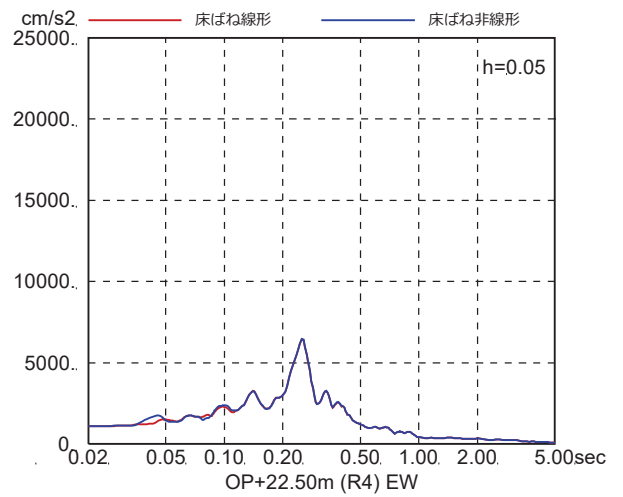
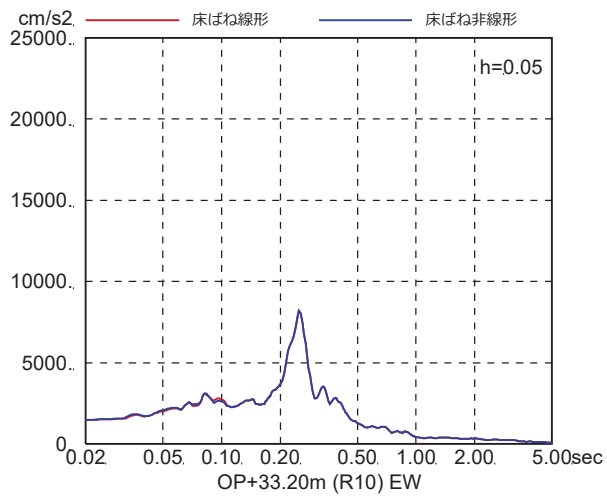
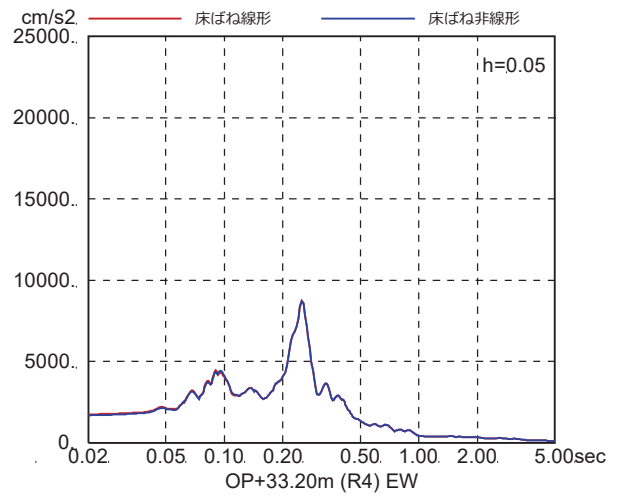
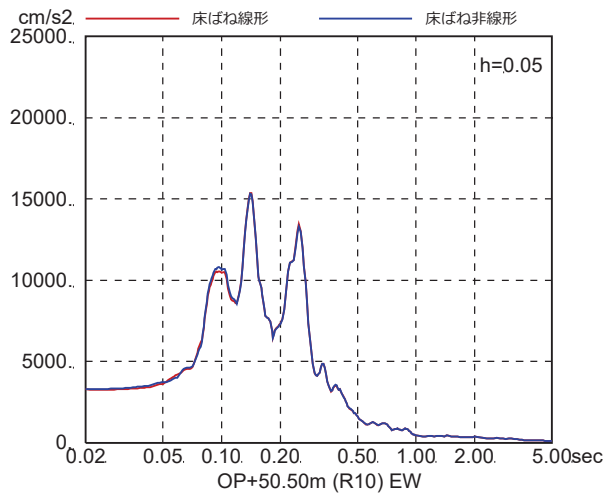


図 4-6(26) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S_s-F₂)

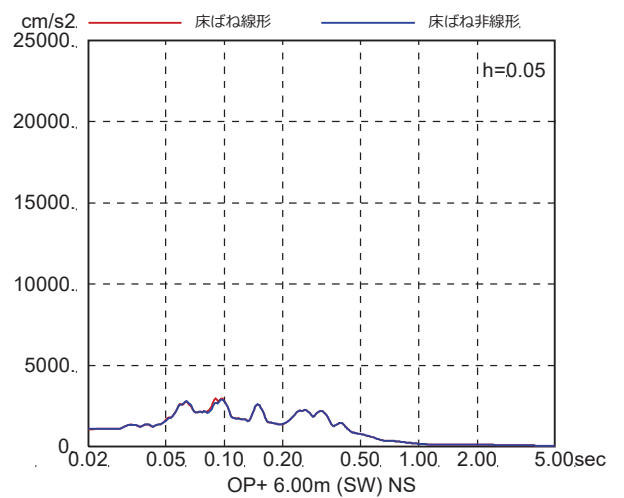
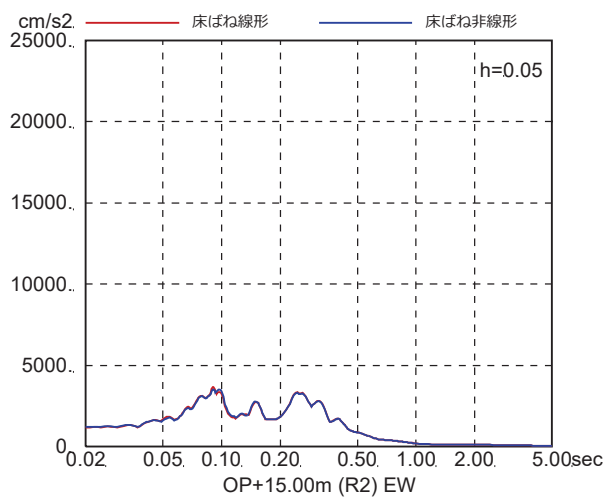
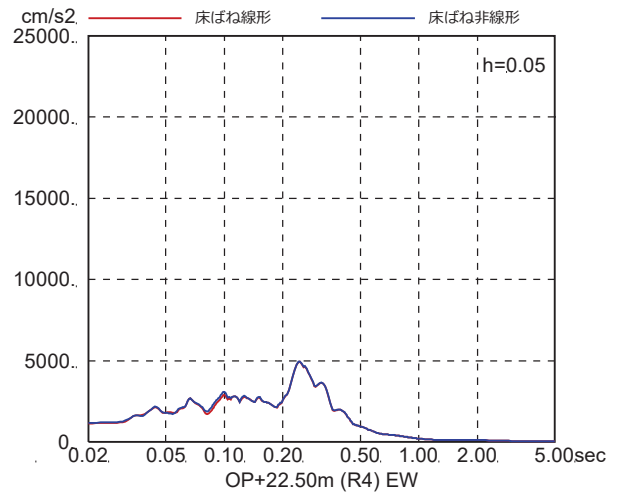
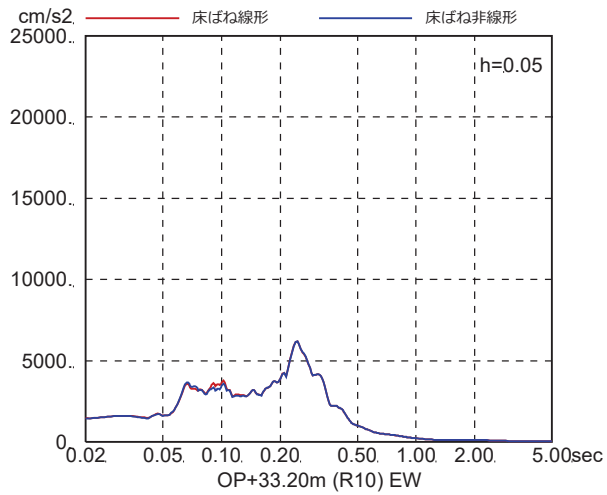
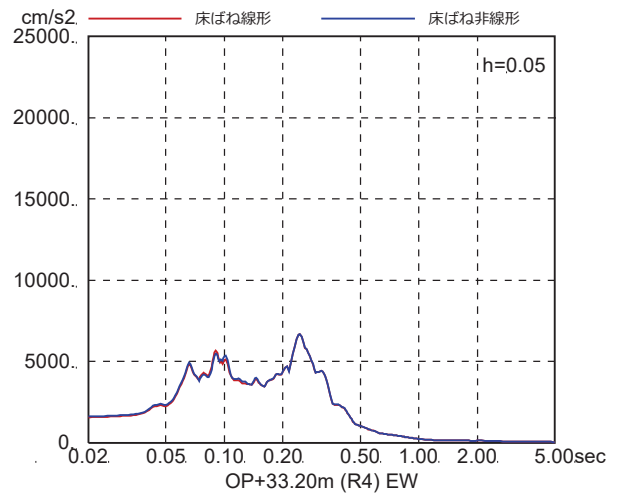
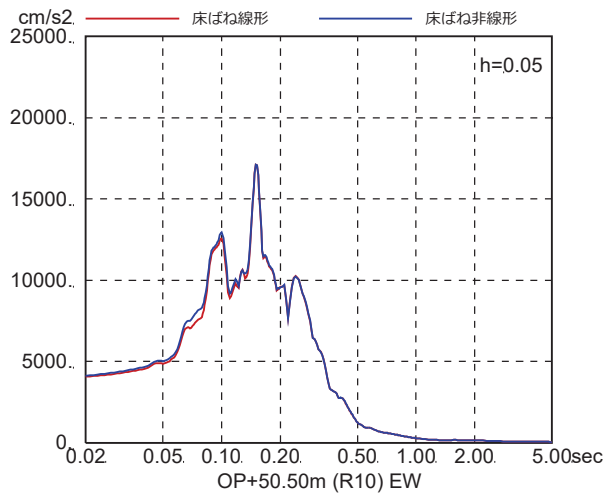


図 4-6(27) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, $S_s - F_3$)

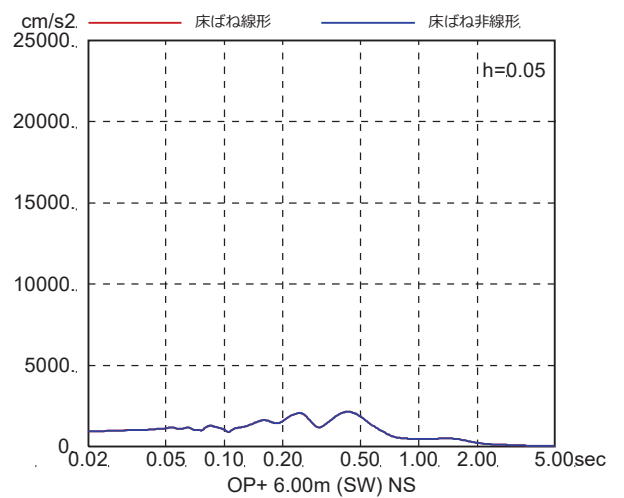
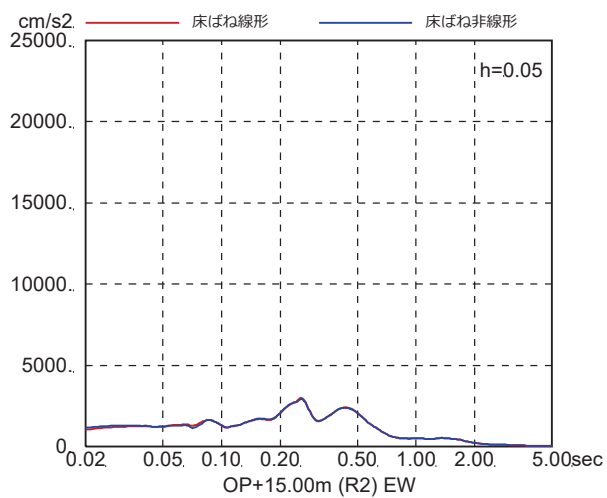
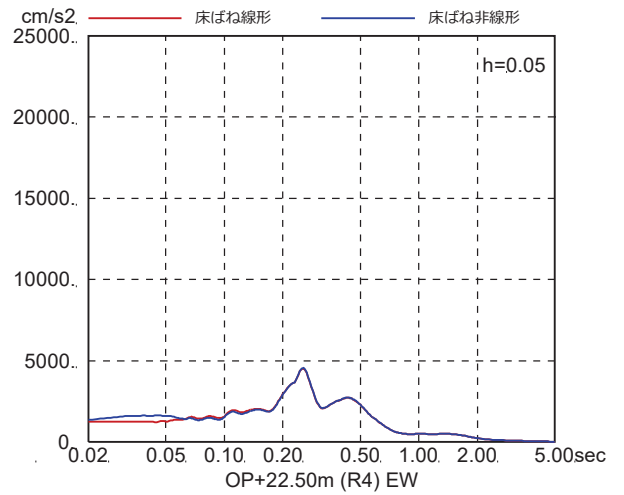
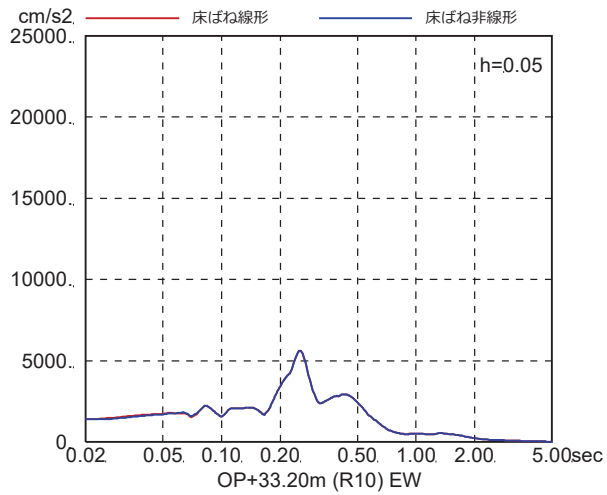
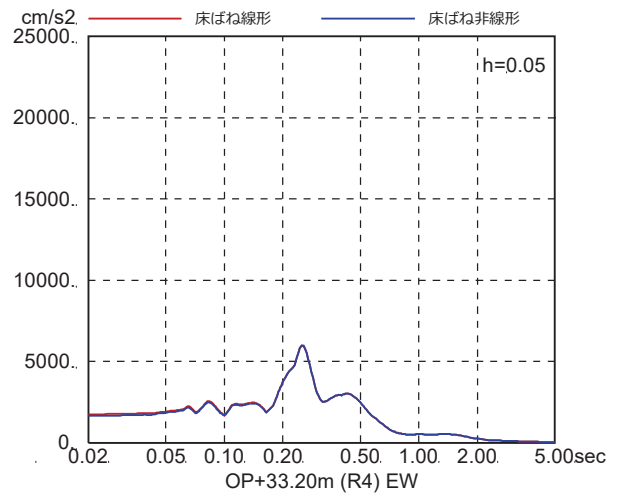
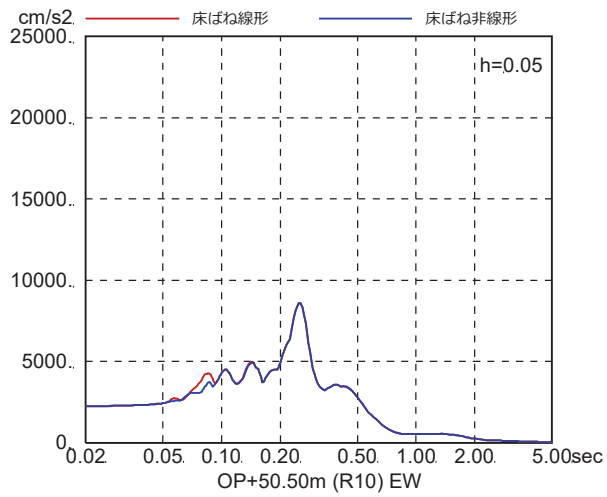


図 4-6(28) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - N 1)

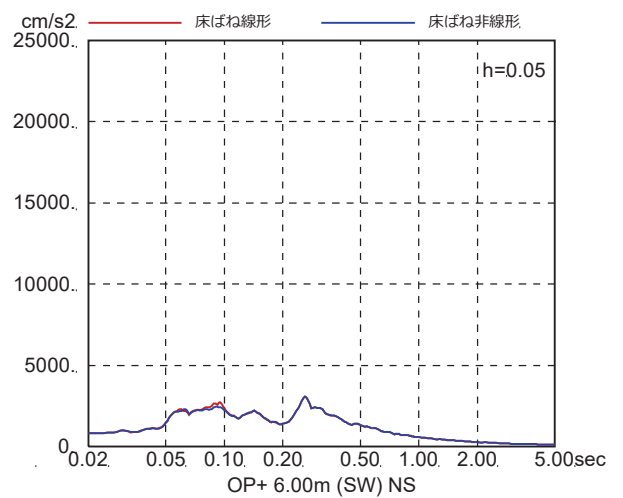
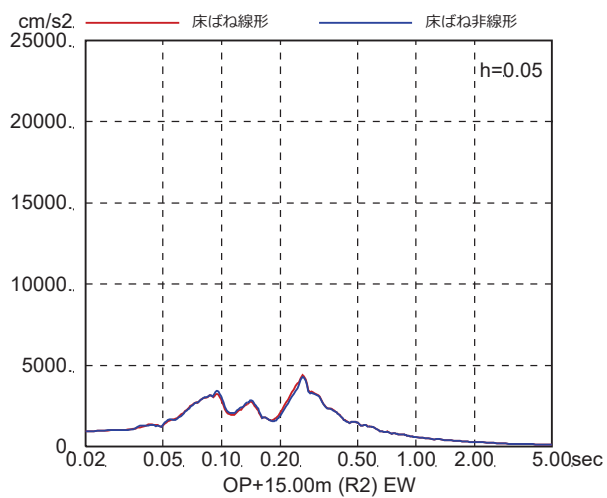
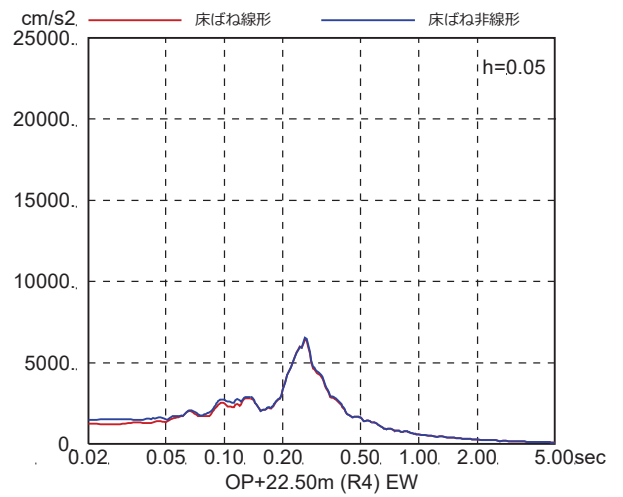
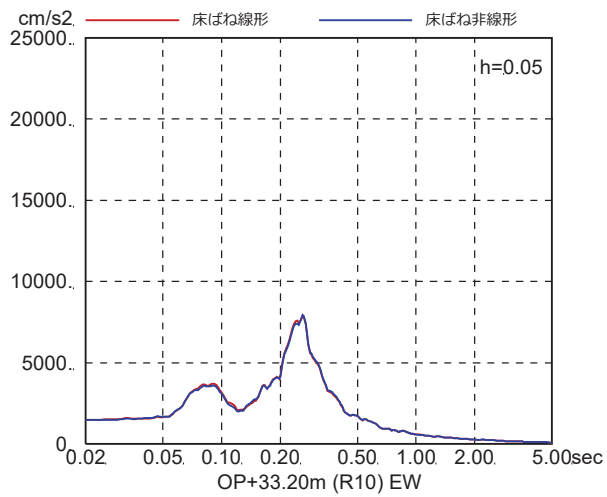
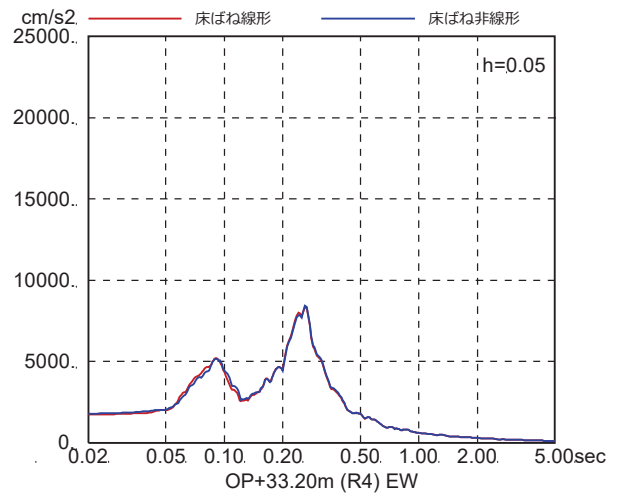
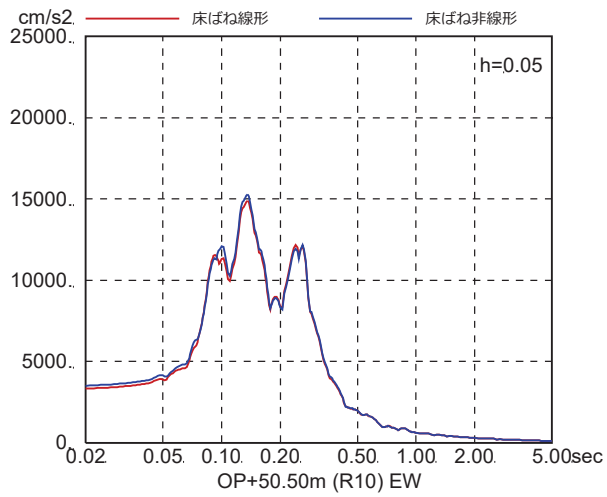


図 4-6(29) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S_s-D1)

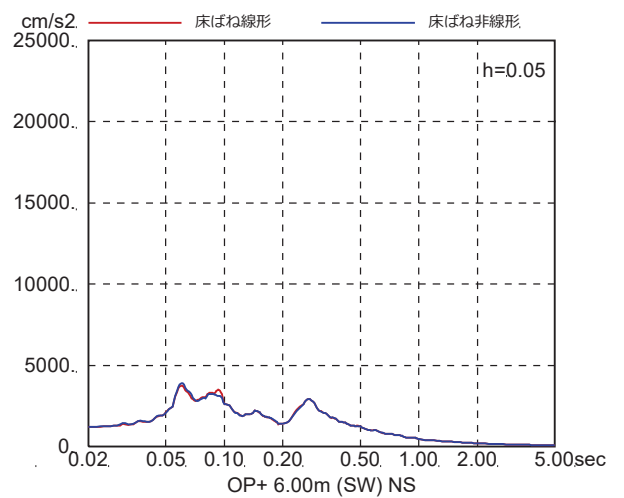
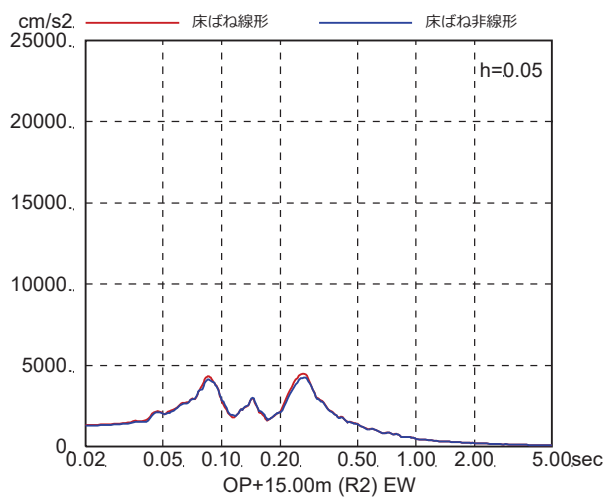
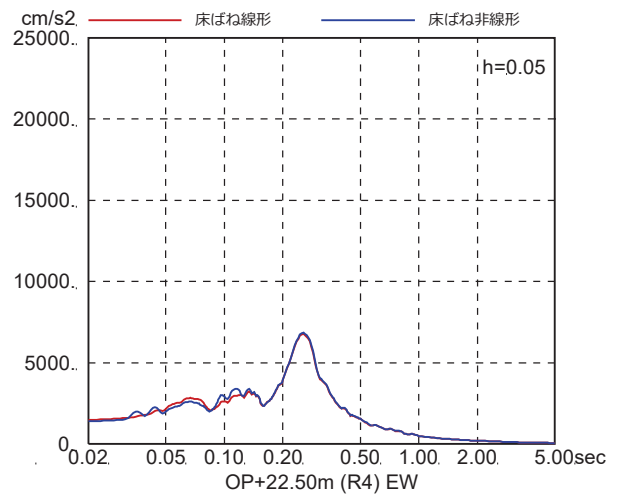
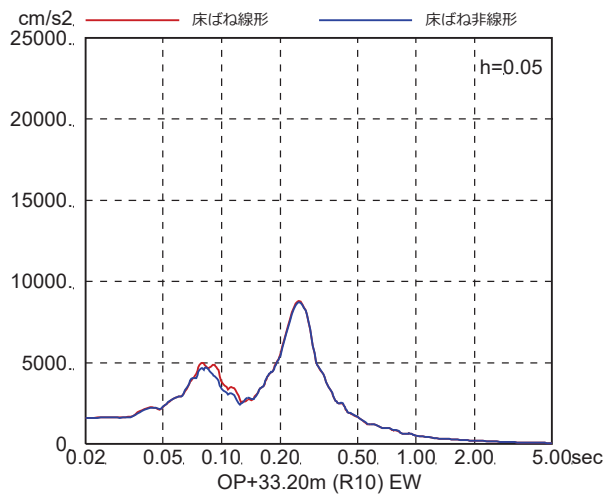
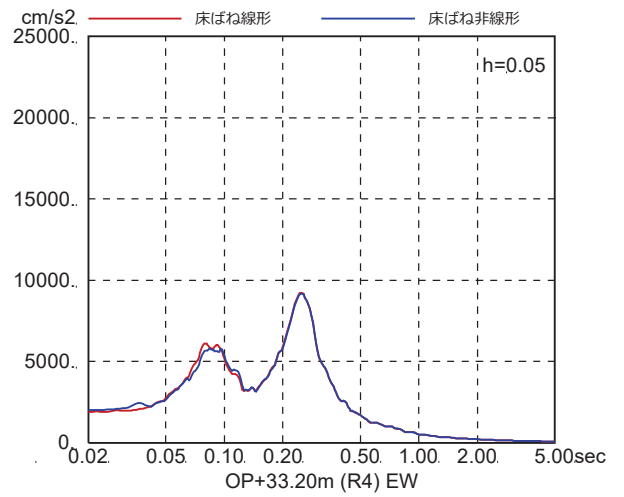
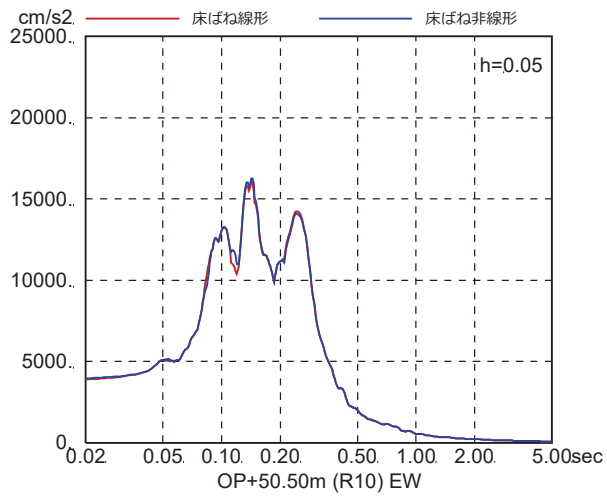


図 4-6(30) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, $S_s - D_2$)

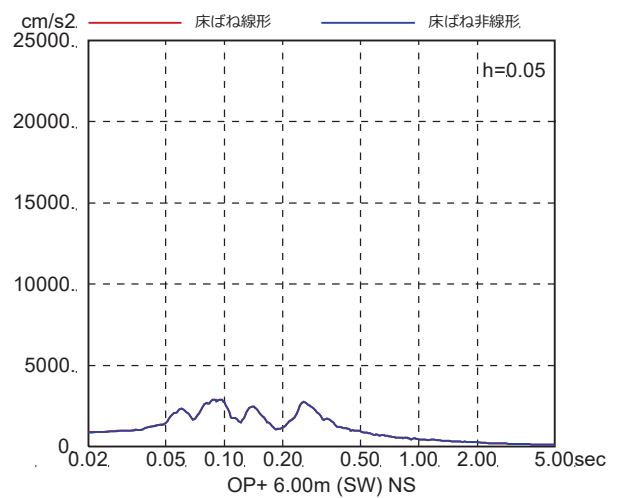
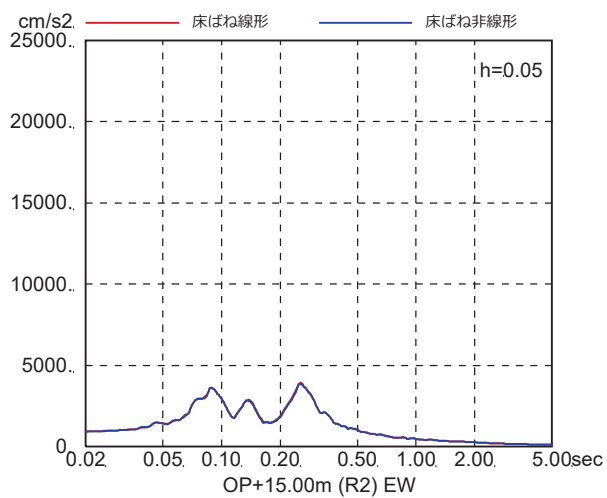
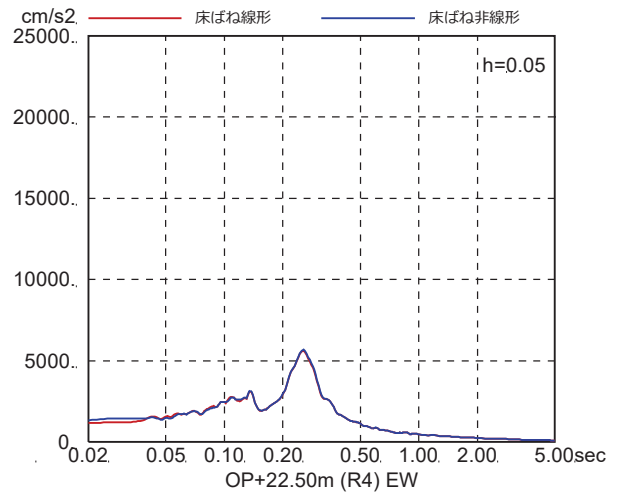
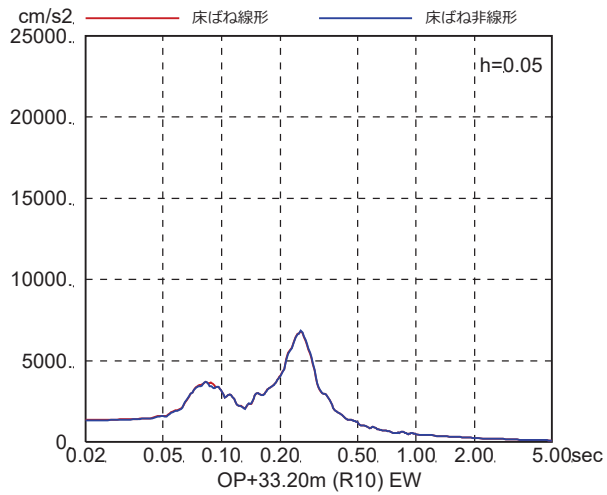
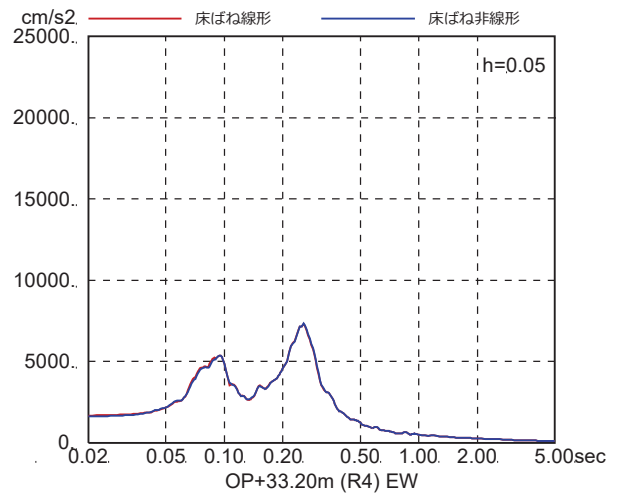
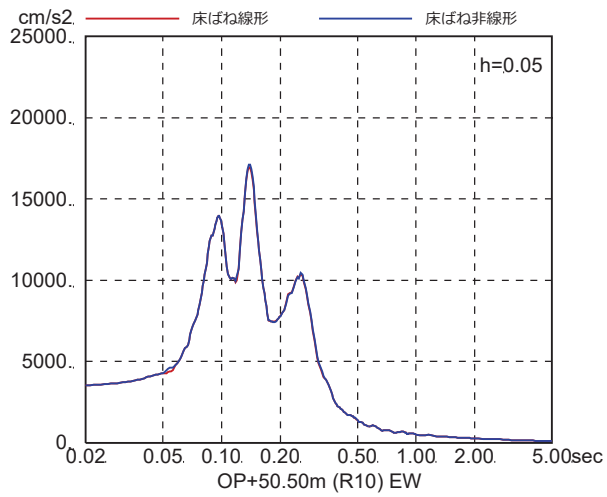


図 4-6(31) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, $S_s - D3$)

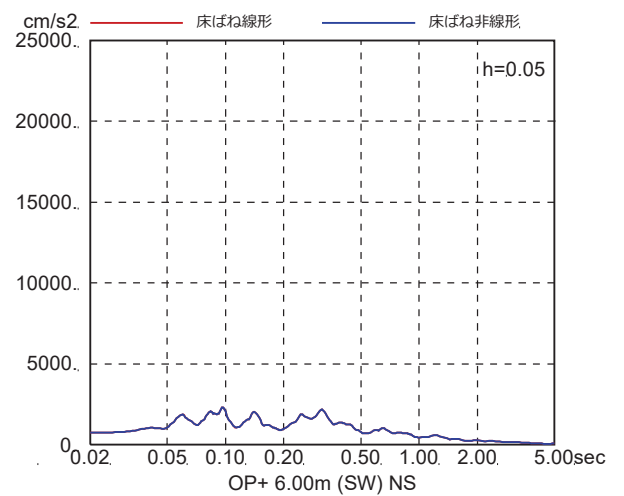
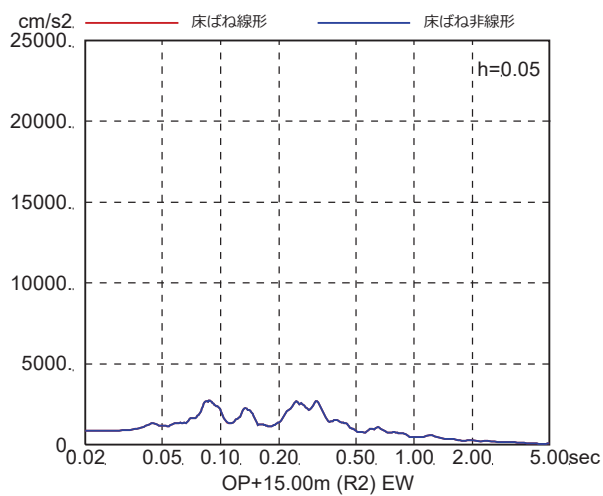
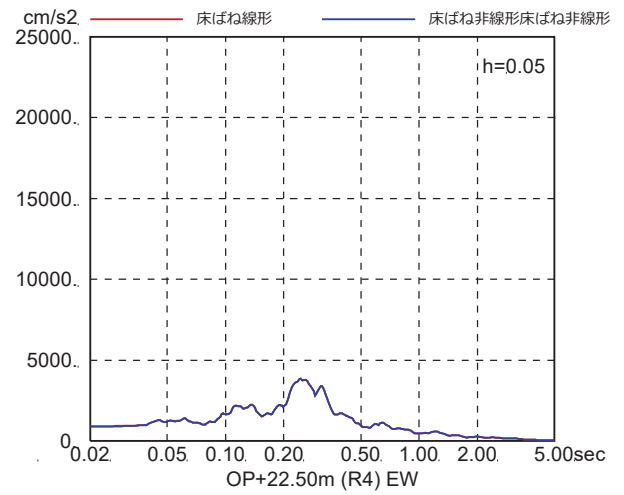
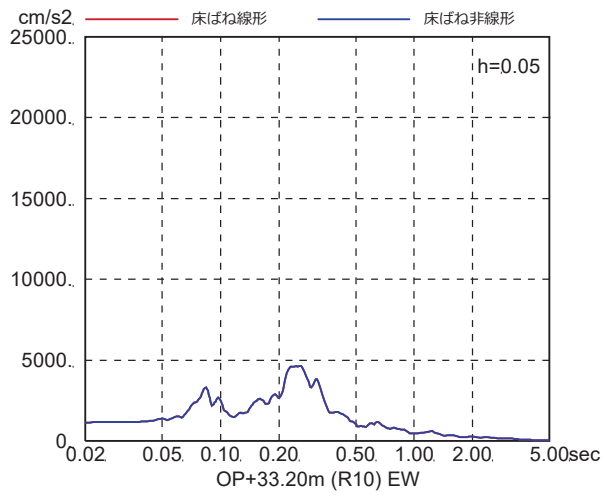
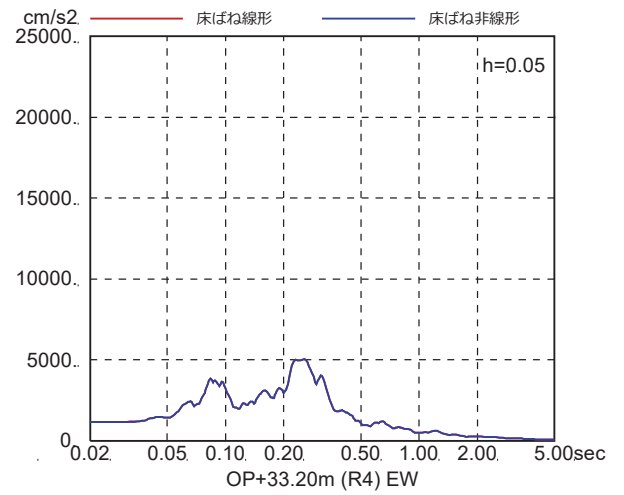
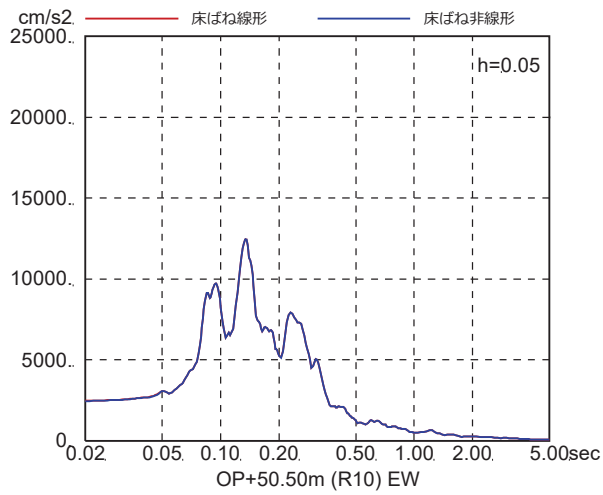


図 4-6(32) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S s - F 1)

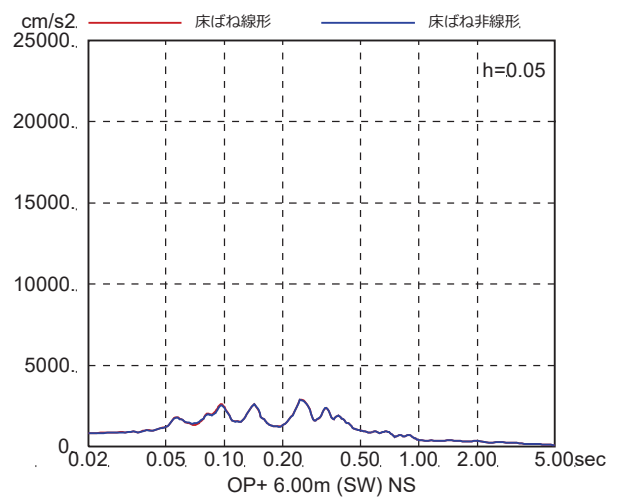
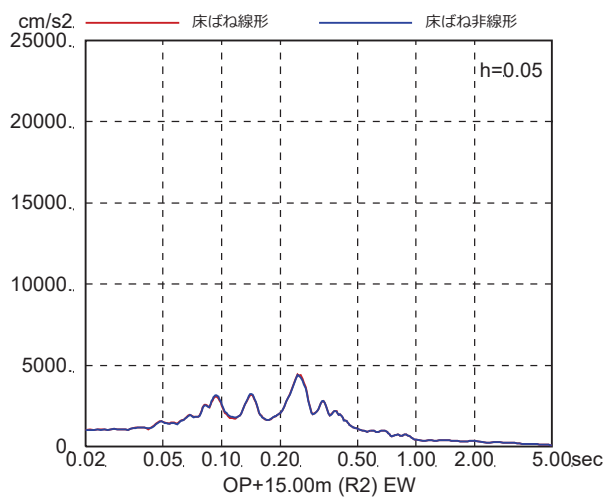
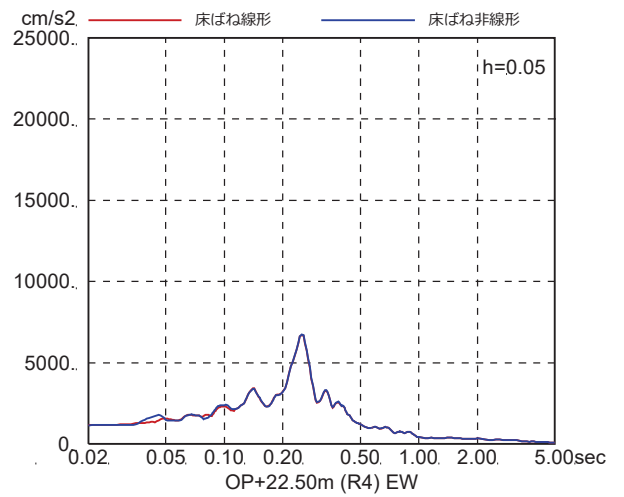
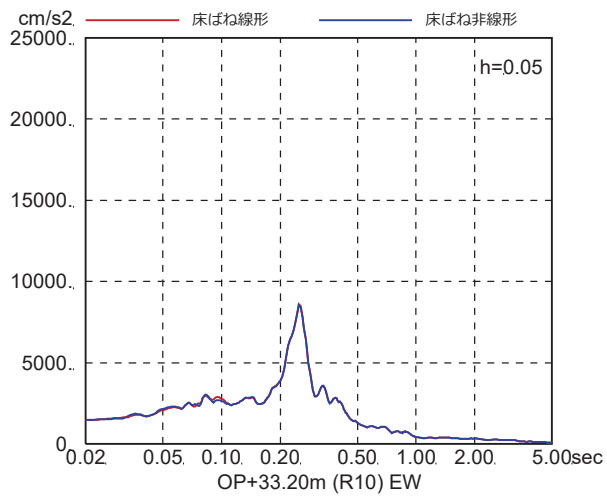
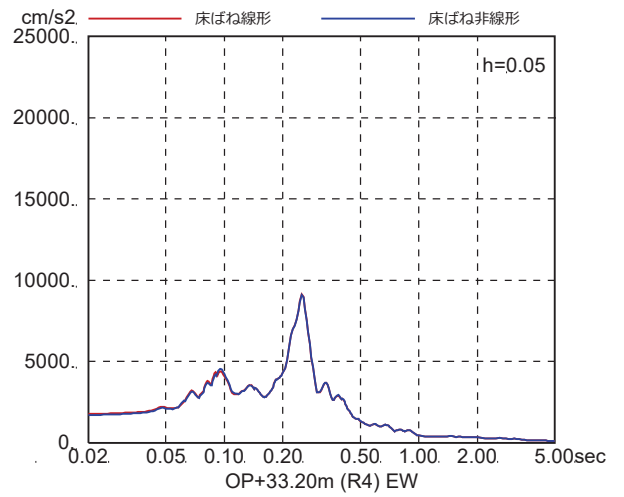
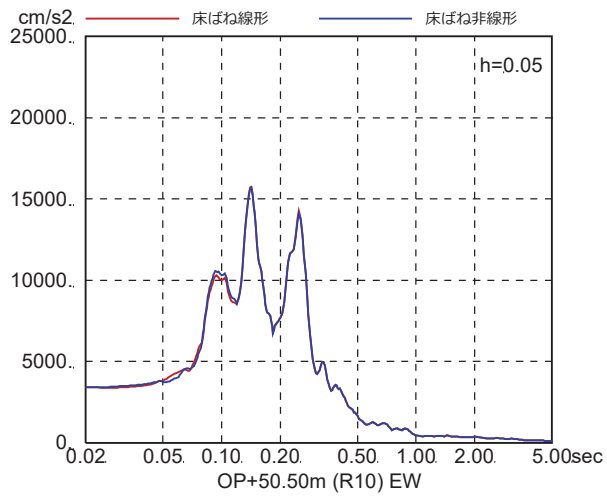


図 4-6(33) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S_s-F2)

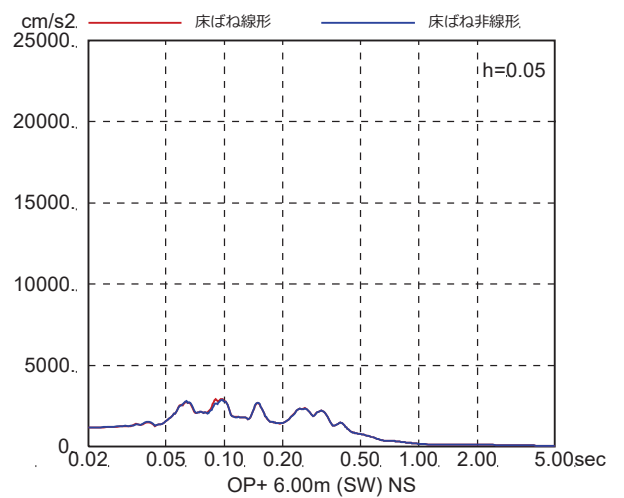
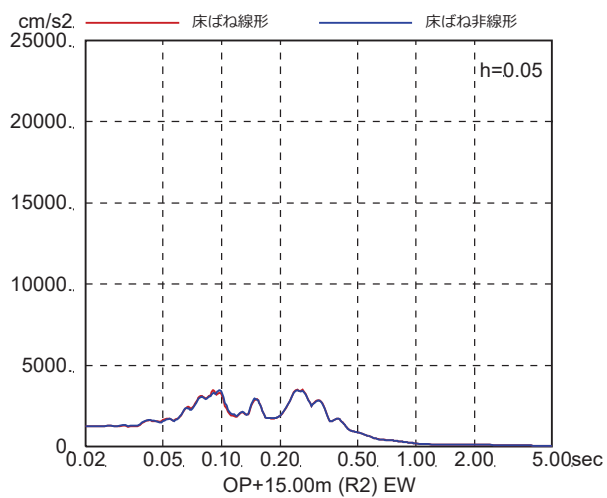
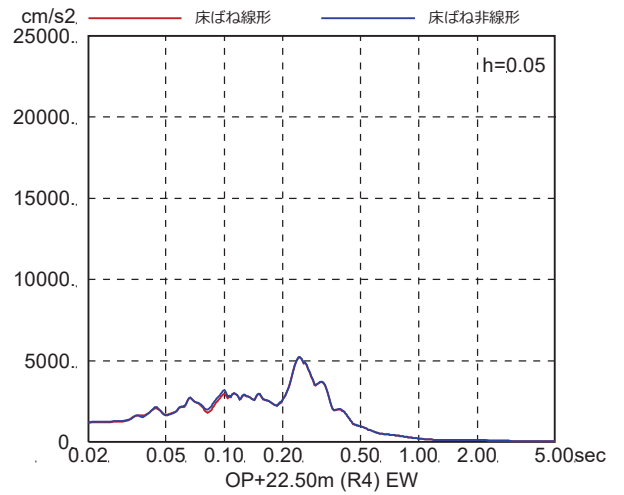
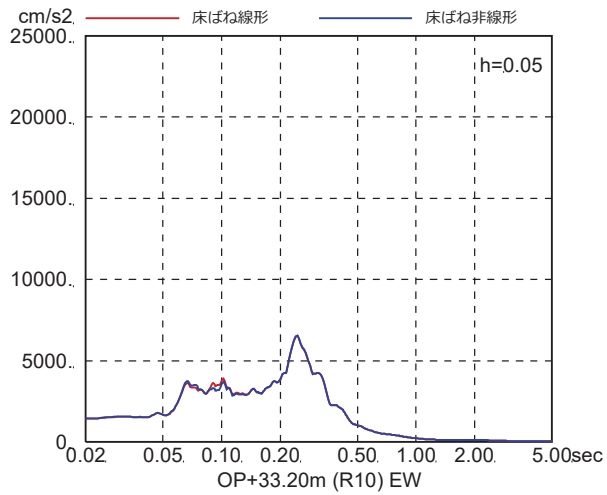
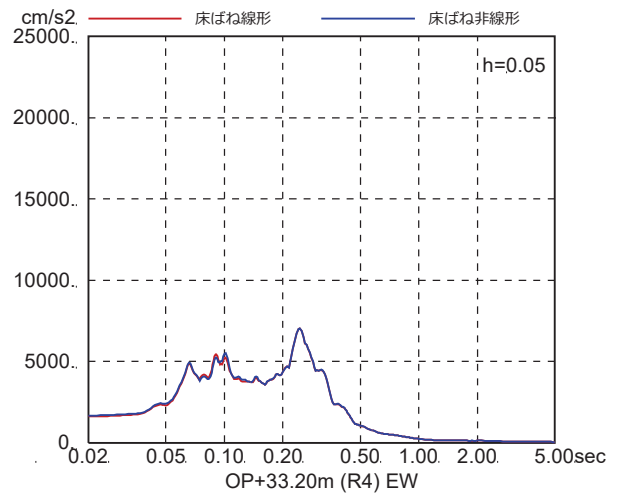
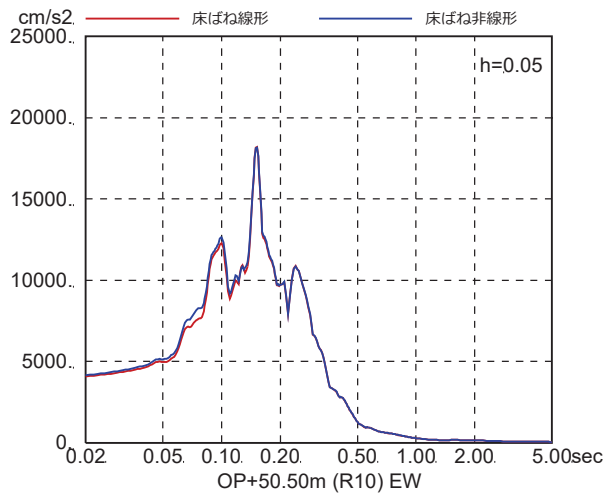


図 4-6(34) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, $S_s - F_3$)

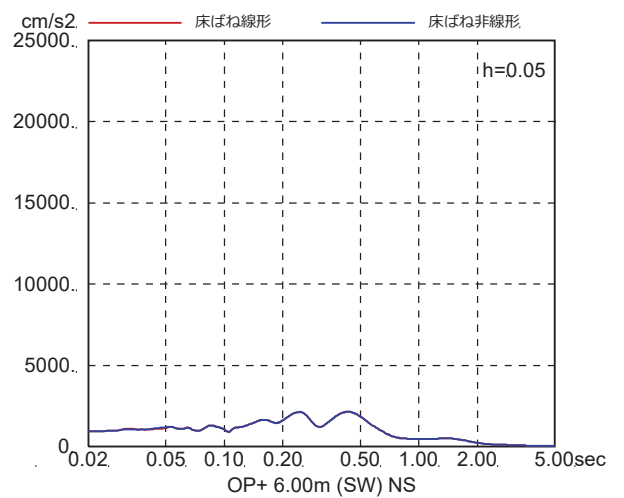
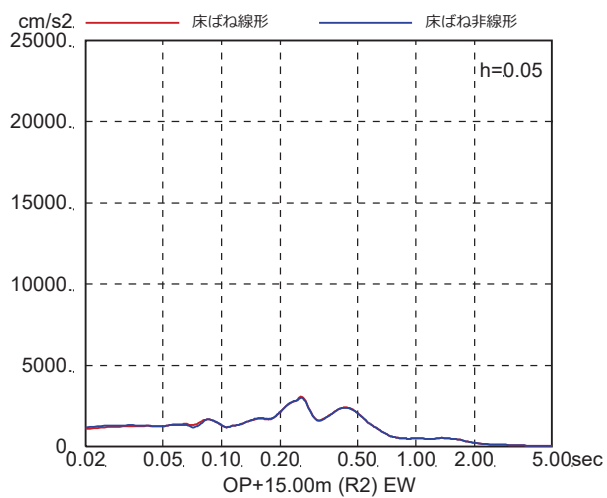
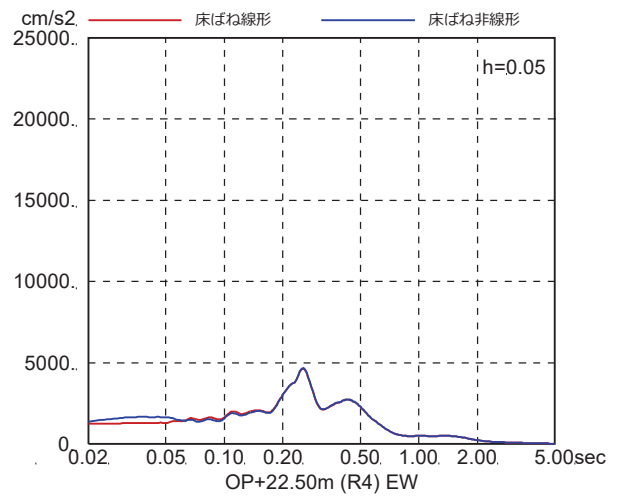
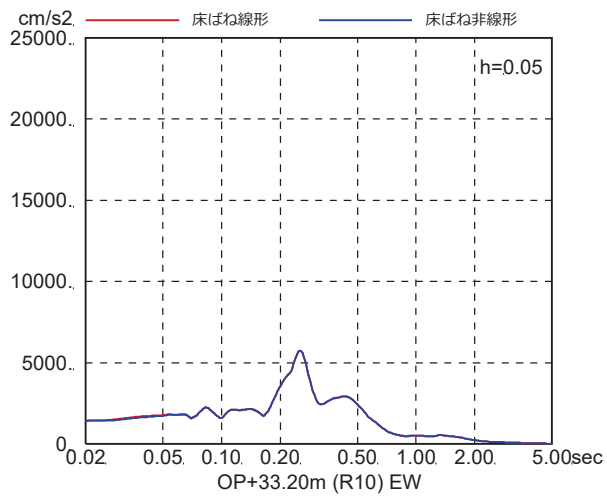
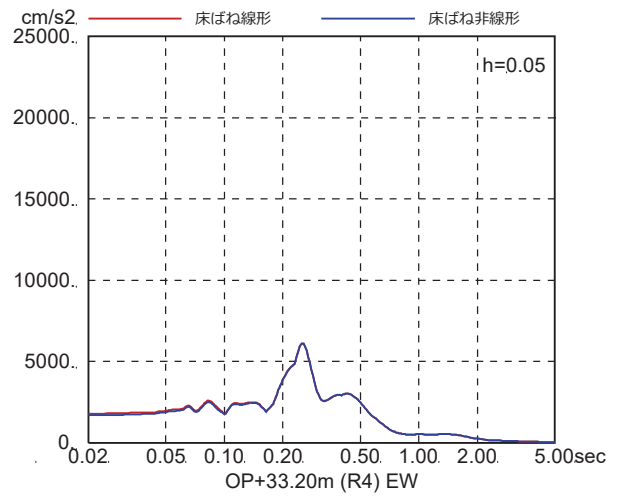
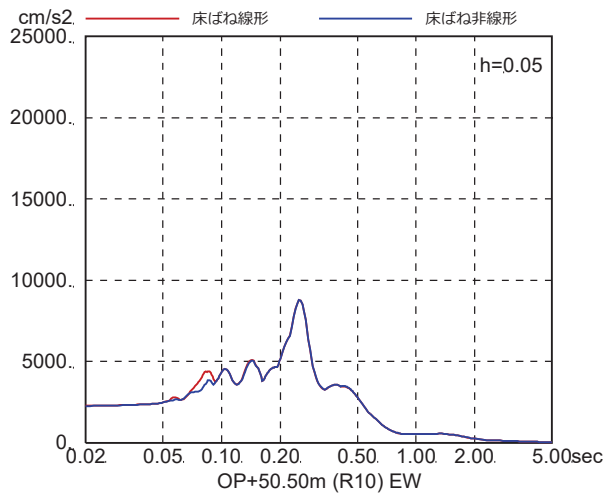


図 4-6(35) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S_s-N1)

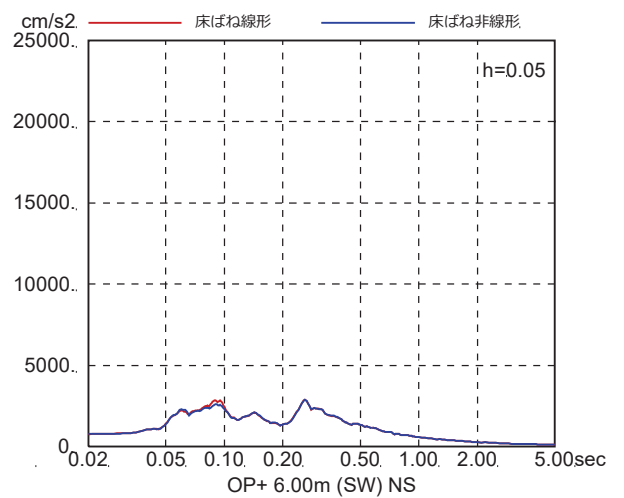
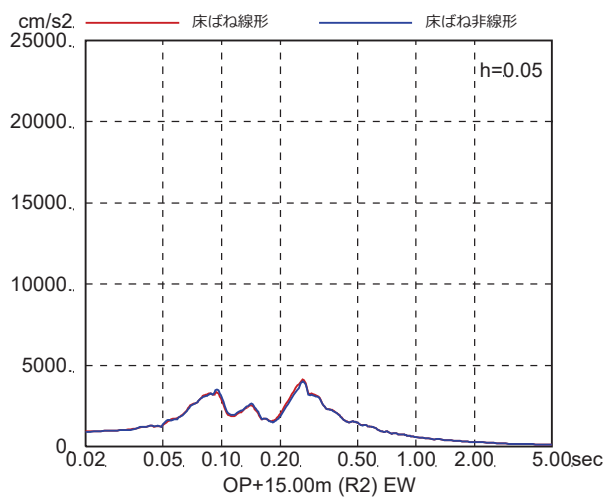
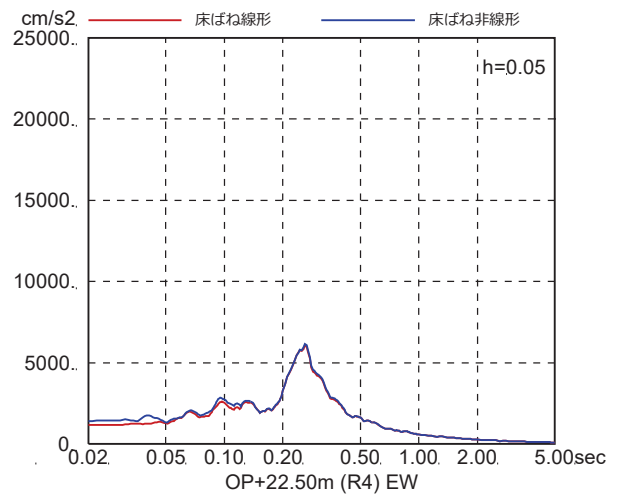
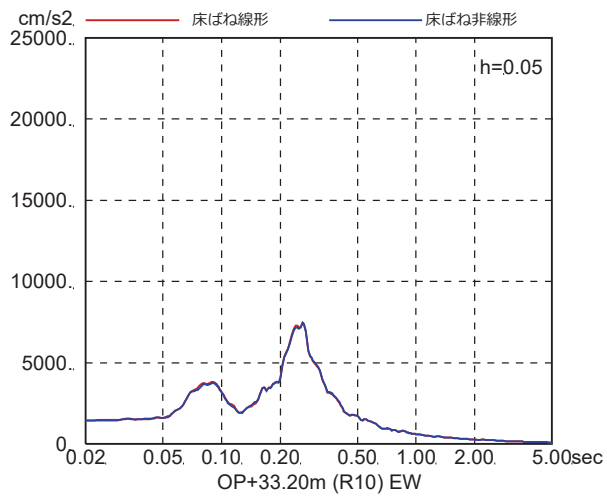
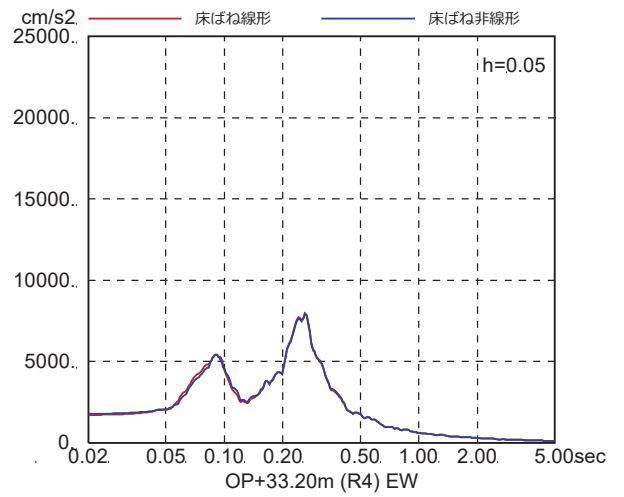
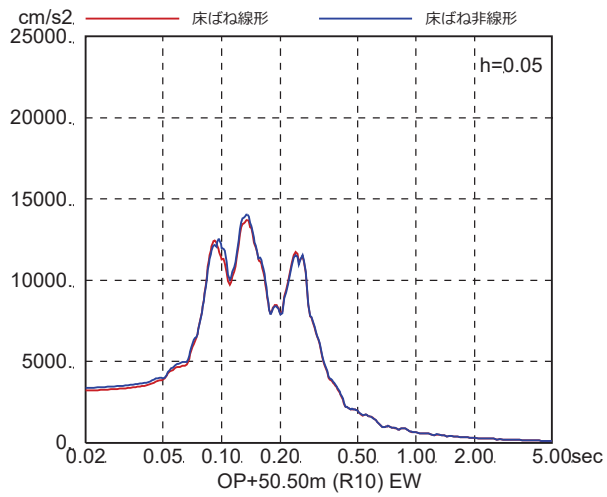


図 4-6(36) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S s - D 1)

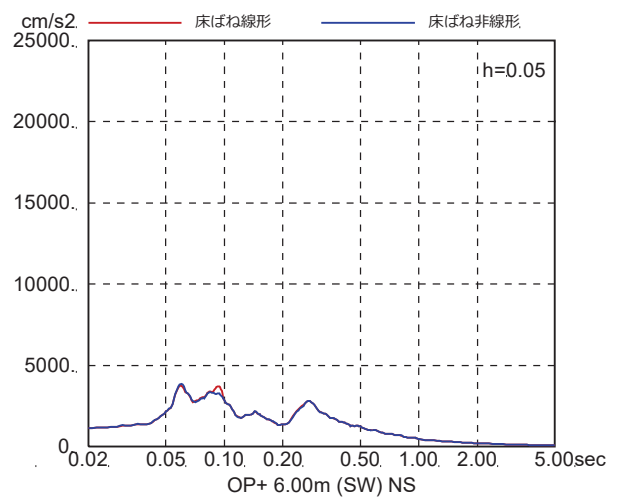
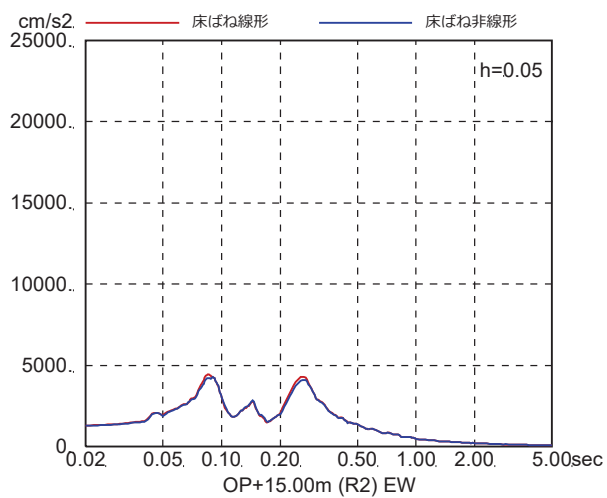
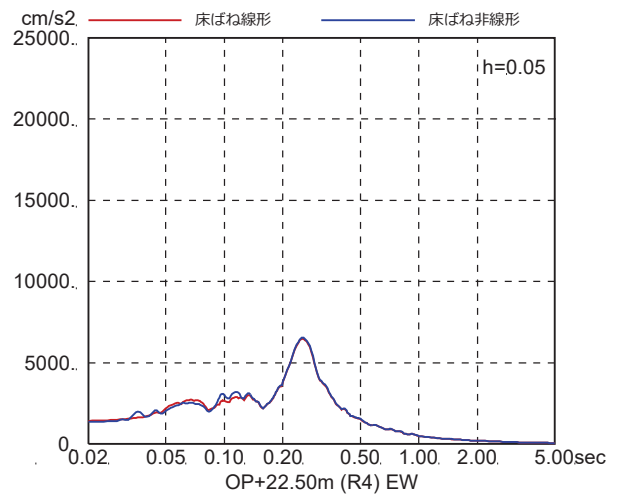
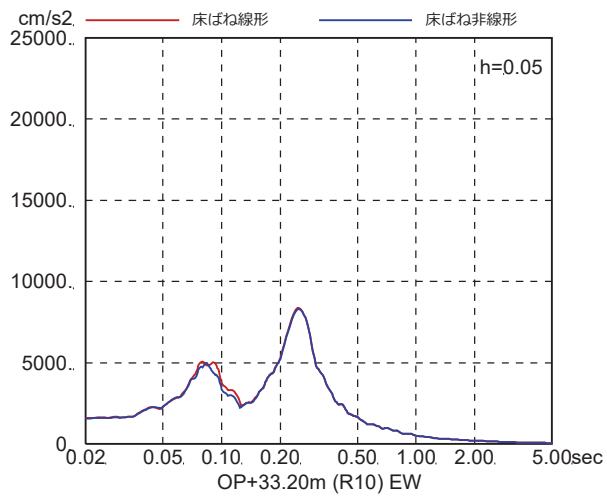
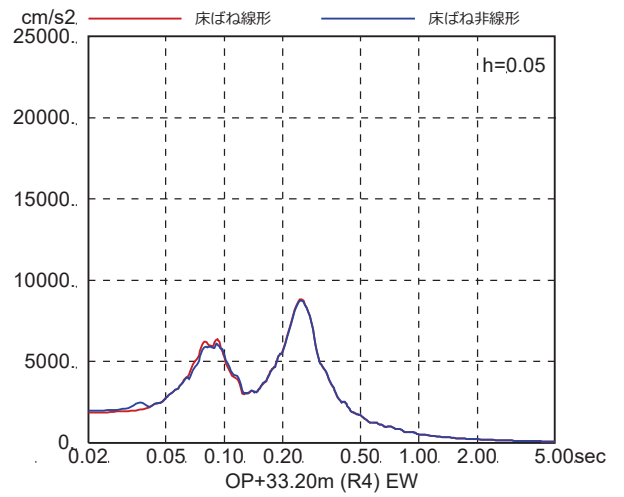
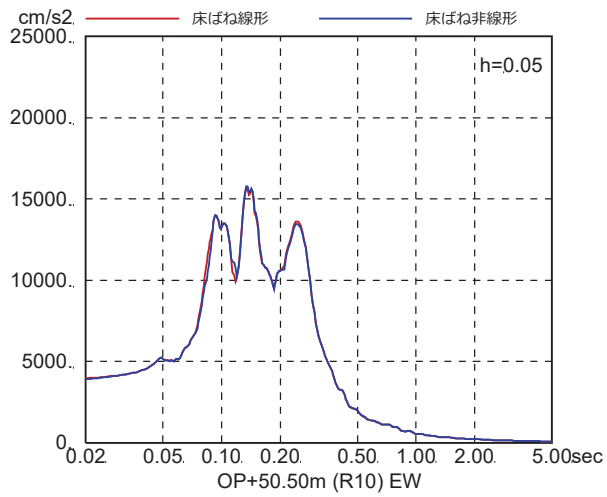


図 4-6(37) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S_s-D2)

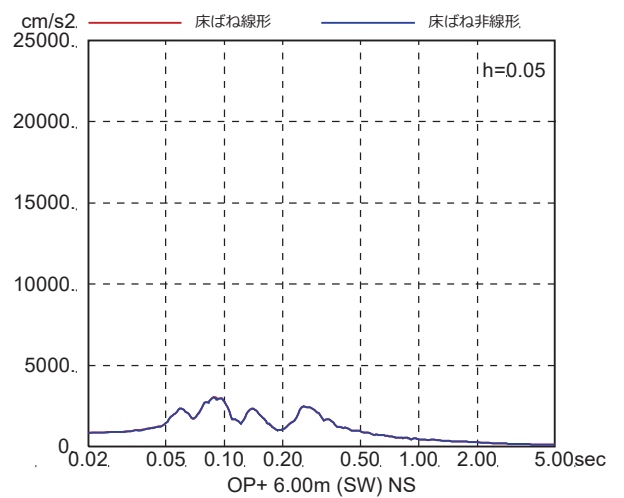
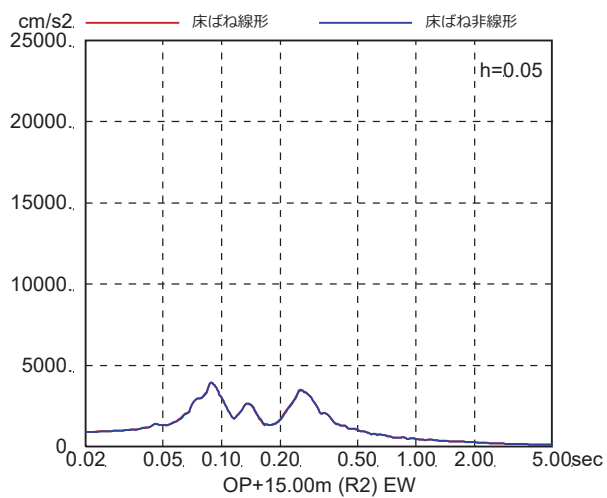
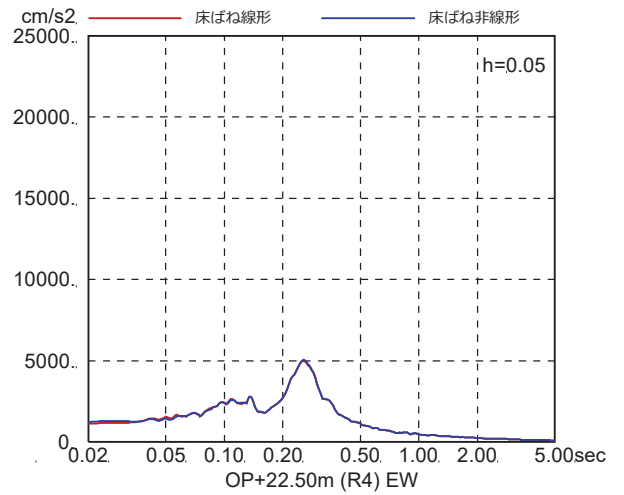
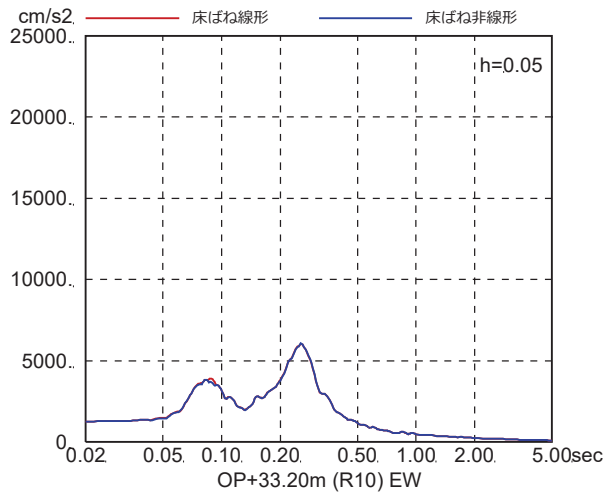
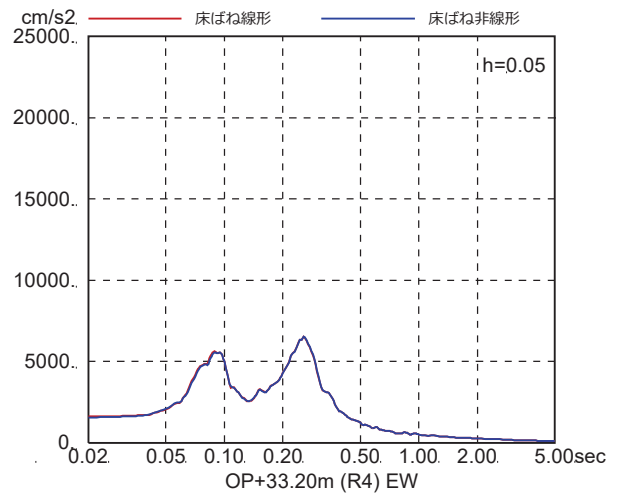
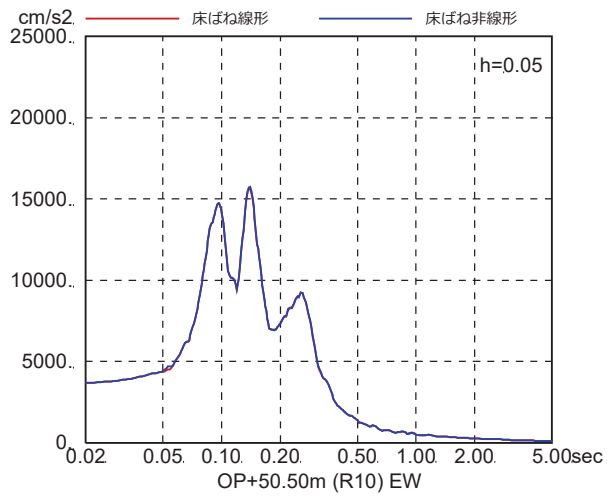


図 4-6(38) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, $S_s - D_3$)

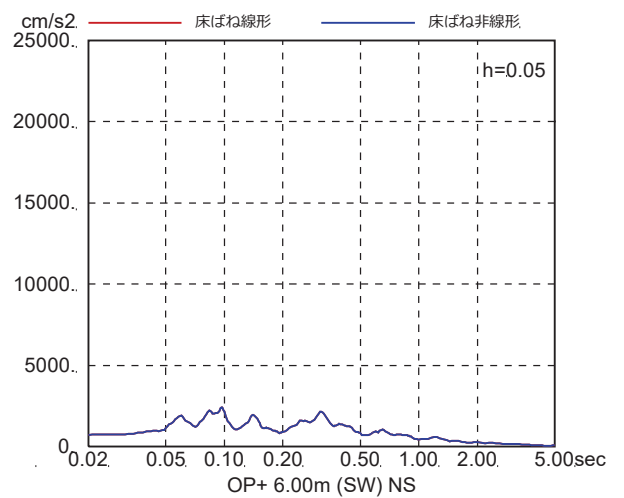
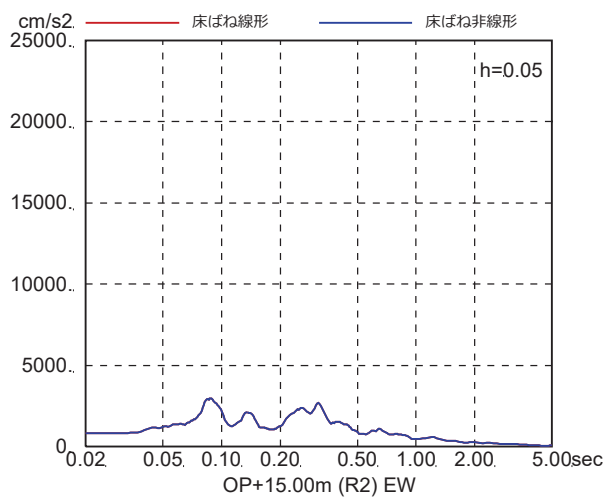
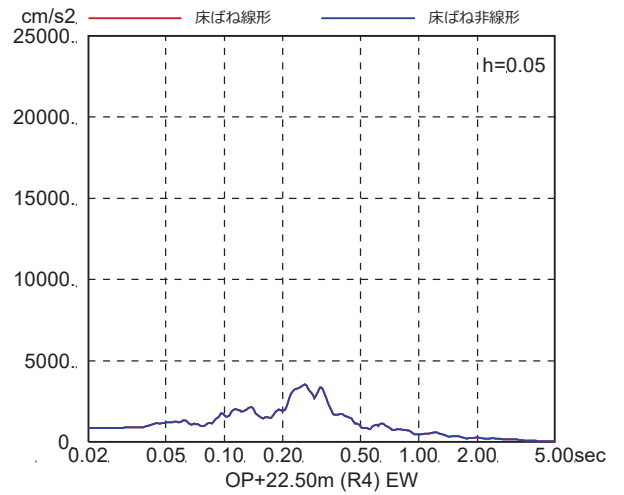
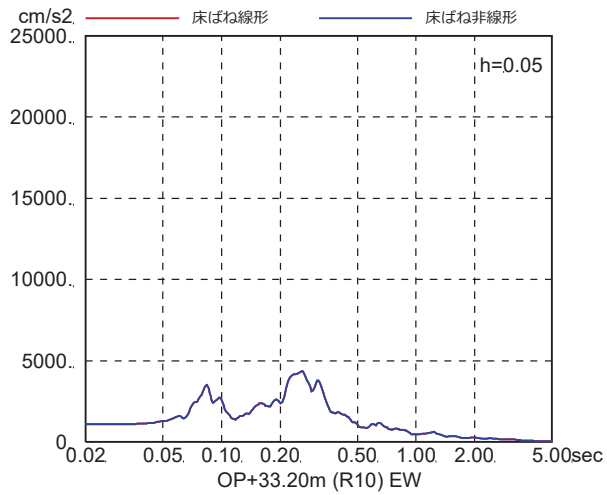
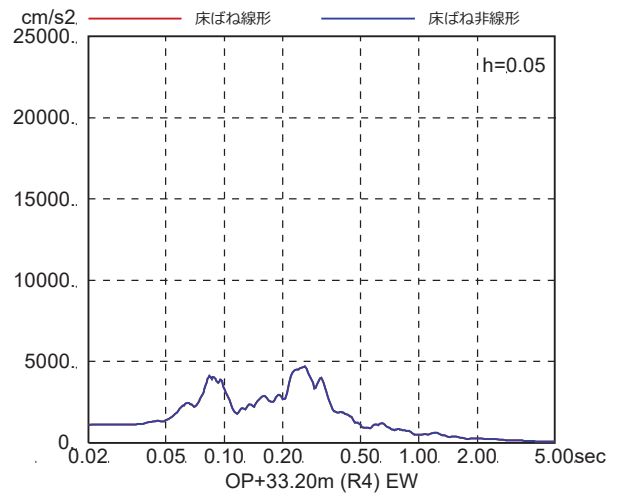
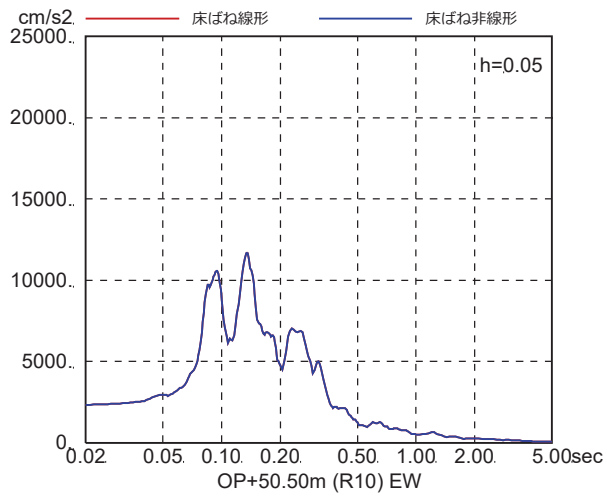


図 4-6(39) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, $S_s - F1$)

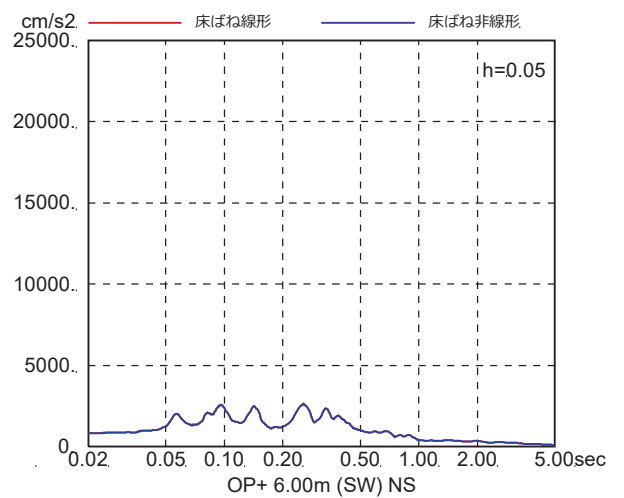
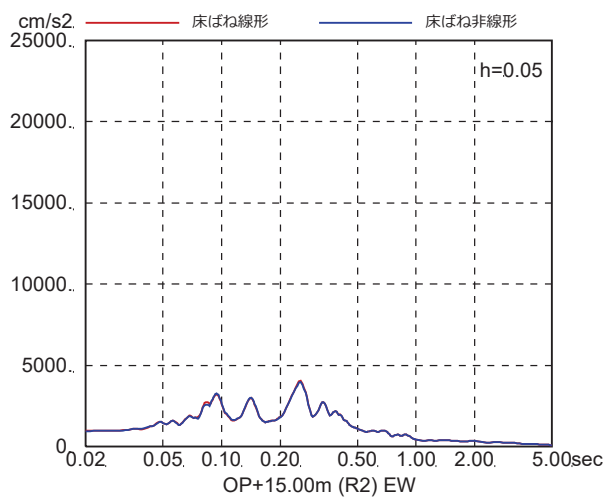
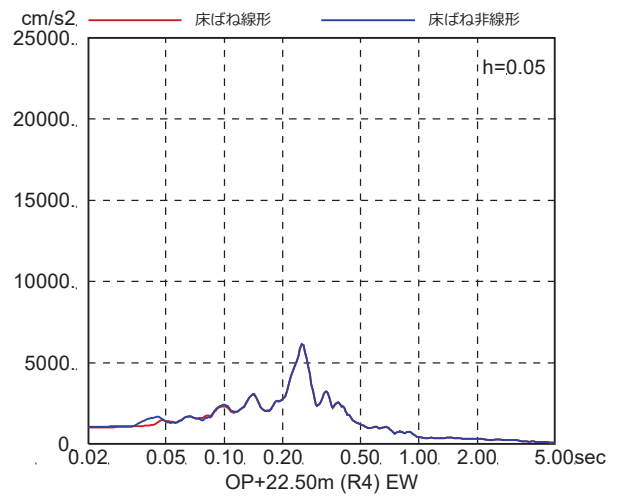
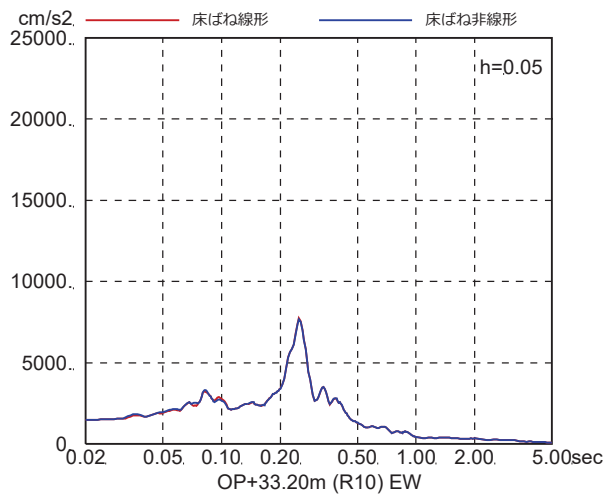
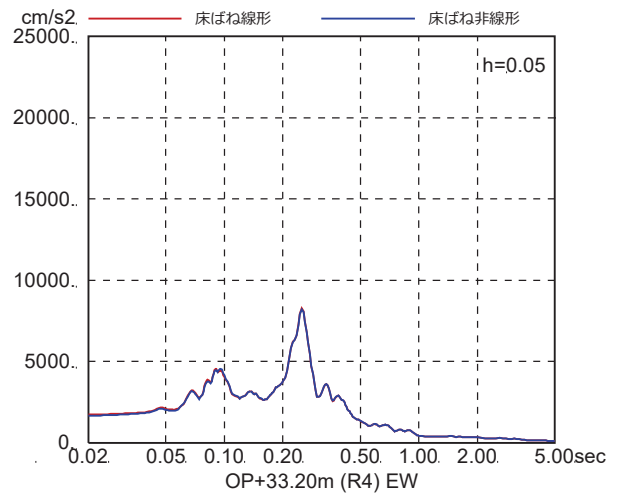
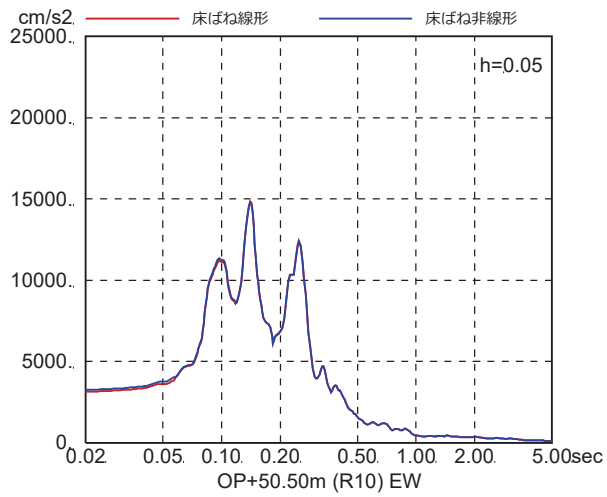


図 4-6(40) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S_s-F 2)

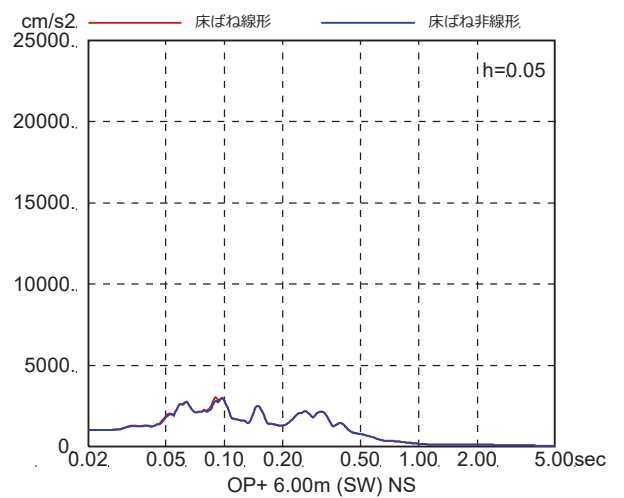
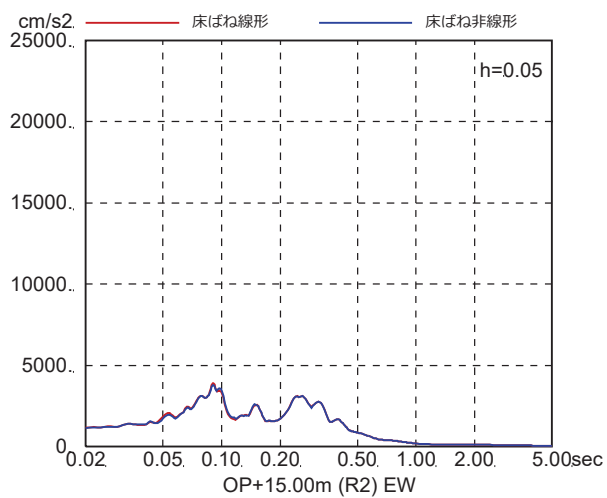
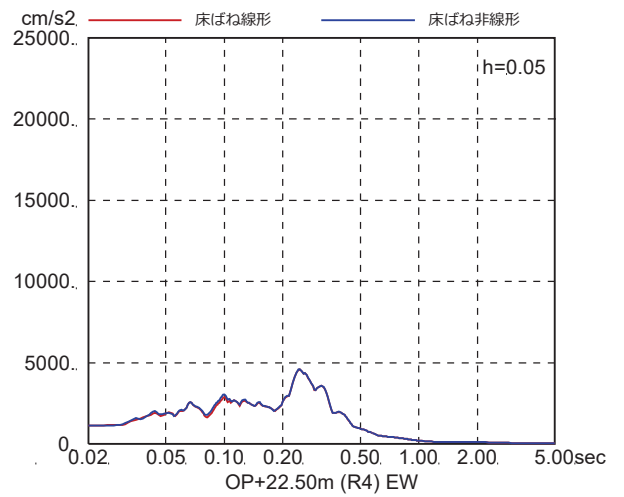
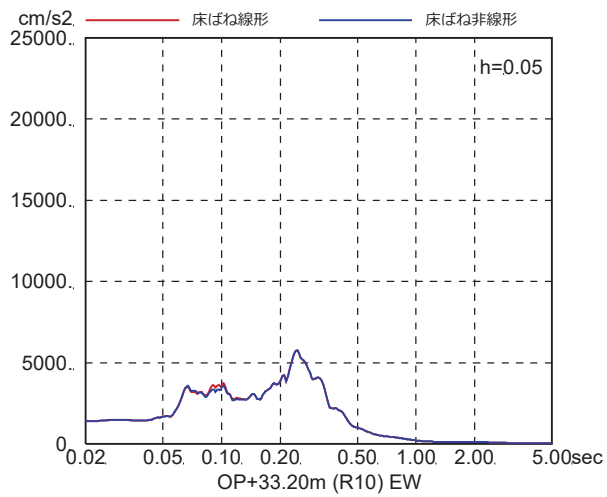
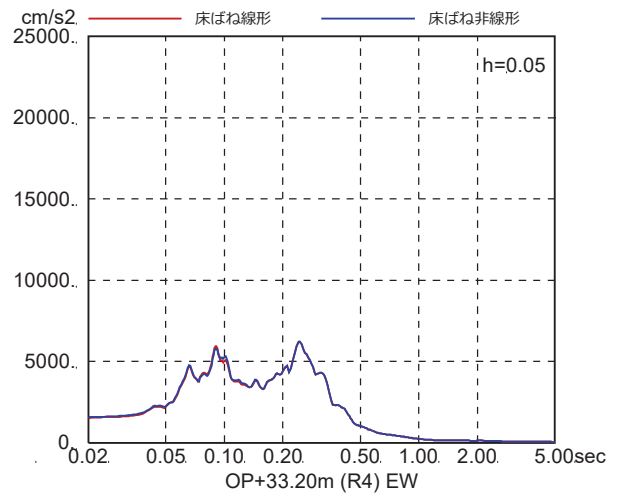
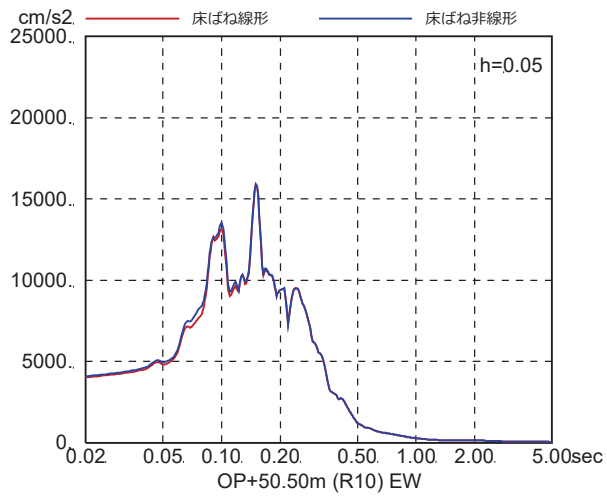


図 4-6(41) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, $S_s - F_3$)

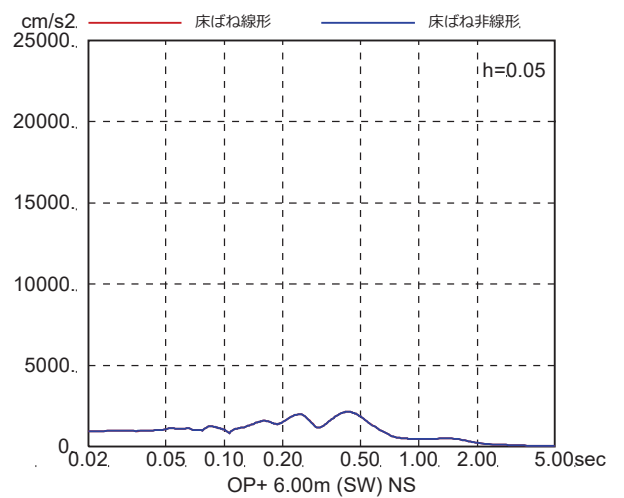
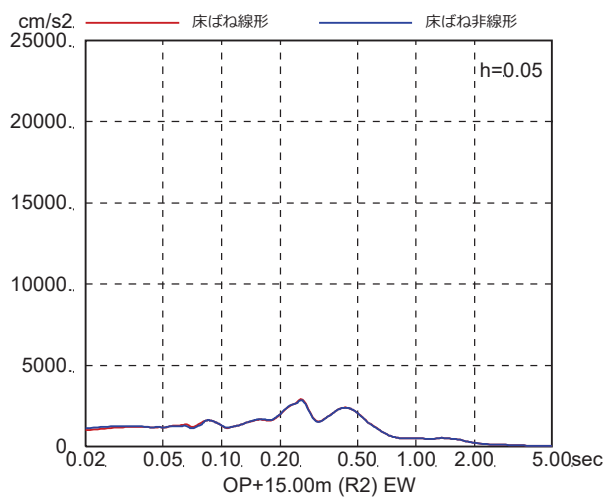
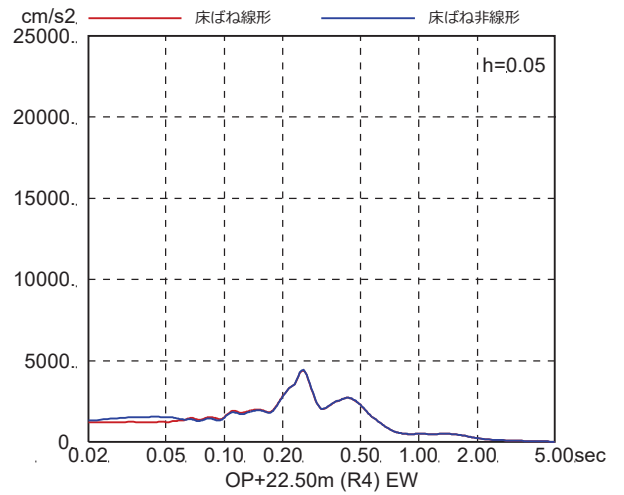
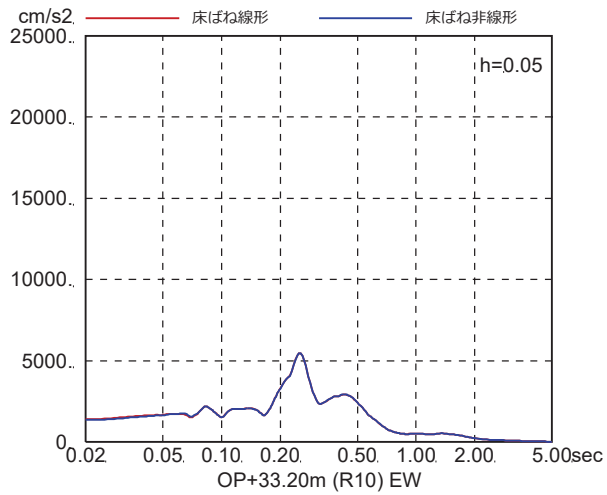
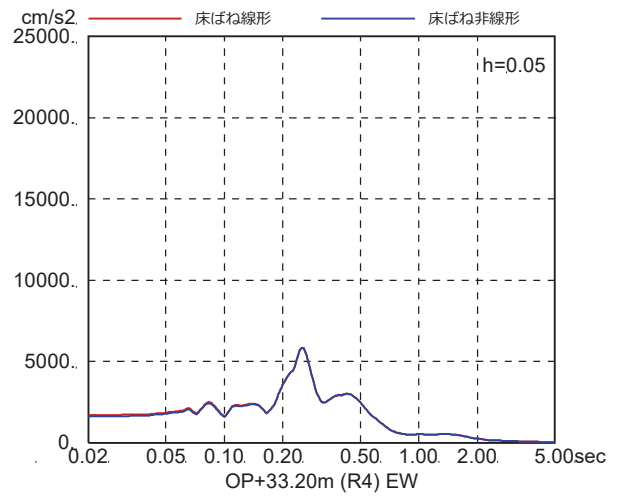
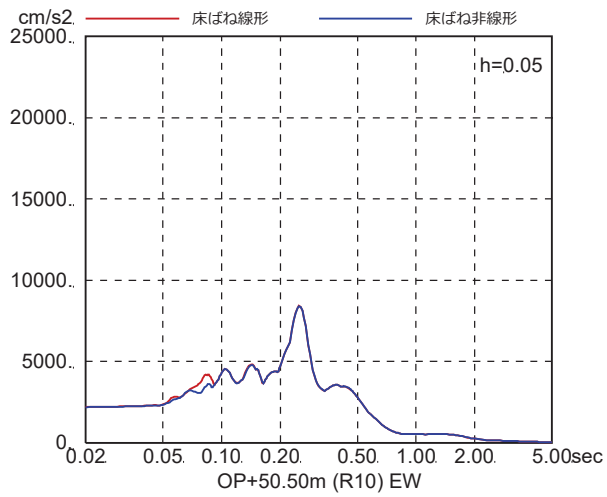


図 4-6(42) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S s - N 1)

d. 床ばね（部材番号(7)及び(12)）の最大応答せん断ひずみ

表 4-4 に床ばね（部材番号(7)及び(12)）を非線形ばねとした場合の各ケースの最大応答せん断ひずみを示す。全てのケースの最大応答せん断ひずみは、部材番号(7)では 0.44×10^{-3} （ケース 2，S s-D 2），部材番号(12)では 0.24×10^{-3} （ケース 2，S s-D 2）となっている。部材番号(7)は、ひび割れが生じるとされるせん断ひずみ（ $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-3}$ ）を超えているものの第 2 折点の 0.468×10^{-3} （表 4-3 参照）以下であることを確認した。これらの結果から、床ばね（線形ばね）を採用した質点系モデルは、設計用評価モデルとして問題はないと考えられる。

表 4-4(1) 床ばね非線形モデルの床ばねの最大応答せん断ひずみ（ケース 1）

ケース	入力波	部材番号	γ_{\max} ($\times 10^{-3}$)
1	Ss-D1	(7)	0.39
		(12)	0.23
	Ss-D2	(7)	0.42
		(12)	0.23
	Ss-D3	(7)	0.32
		(12)	0.18
	Ss-F1	(7)	0.17
		(12)	0.12
	Ss-F2	(7)	0.32
		(12)	0.17
	Ss-F3	(7)	0.27
		(12)	0.15
	Ss-N1	(7)	0.26
		(12)	0.14

表 4-4(2) 床ばね非線形モデルの床ばねの最大応答せん断ひずみ (ケース 2)

ケース	入力波	部材番号	γ_{\max} ($\times 10^{-3}$)
2	Ss-D1	(7)	0.41
		(12)	0.23
	Ss-D2	(7)	0.44
		(12)	0.24
	Ss-D3	(7)	0.33
		(12)	0.18
	Ss-F1	(7)	0.18
		(12)	0.12
	Ss-F2	(7)	0.32
		(12)	0.17
	Ss-F3	(7)	0.29
		(12)	0.15
	Ss-N1	(7)	0.26
		(12)	0.14

表 4-4(3) 床ばね非線形モデルの床ばねの最大応答せん断ひずみ (ケース 3)

ケース	入力波	部材番号	γ_{\max} ($\times 10^{-3}$)
3	Ss-D1	(7)	0.37
		(12)	0.21
	Ss-D2	(7)	0.40
		(12)	0.22
	Ss-D3	(7)	0.31
		(12)	0.17
	Ss-F1	(7)	0.16
		(12)	0.11
	Ss-F2	(7)	0.30
		(12)	0.17
	Ss-F3	(7)	0.25
		(12)	0.14
	Ss-N1	(7)	0.25
		(12)	0.14

表 4-4(4) 床ばね非線形モデルの床ばねの最大応答せん断ひずみ (ケース 4)

ケース	入力波	部材番号	γ_{\max} ($\times 10^{-3}$)
4	Ss-D1	(7)	0.39
		(12)	0.23
	Ss-D2	(7)	0.36
		(12)	0.20
	Ss-D3	(7)	0.26
		(12)	0.15
	Ss-F1	(7)	0.17
		(12)	0.12
	Ss-F2	(7)	0.30
		(12)	0.16
	Ss-F3	(7)	0.25
		(12)	0.15
	Ss-N1	(7)	0.32
		(12)	0.17

表 4-4(5) 床ばね非線形モデルの床ばねの最大応答せん断ひずみ (ケース 5)

ケース	入力波	部材番号	γ_{\max} ($\times 10^{-3}$)
5	Ss-D1	(7)	0.40
		(12)	0.24
	Ss-D2	(7)	0.37
		(12)	0.21
	Ss-D3	(7)	0.27
		(12)	0.16
	Ss-F1	(7)	0.18
		(12)	0.12
	Ss-F2	(7)	0.31
		(12)	0.17
	Ss-F3	(7)	0.25
		(12)	0.15
	Ss-N1	(7)	0.33
		(12)	0.18

表 4-4(6) 床ばね非線形モデルの床ばねの最大応答せん断ひずみ (ケース 6)

ケース	入力波	部材番号	γ_{\max} ($\times 10^{-3}$)
6	Ss-D1	(7)	0.38
		(12)	0.22
	Ss-D2	(7)	0.33
		(12)	0.19
	Ss-D3	(7)	0.25
		(12)	0.15
	Ss-F1	(7)	0.16
		(12)	0.11
	Ss-F2	(7)	0.29
		(12)	0.15
	Ss-F3	(7)	0.24
		(12)	0.15
	Ss-N1	(7)	0.30
		(12)	0.16