

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4
提出年月日	2021年4月5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

 本日の説明範囲

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

目次

1. 概要…………… 別紙 1-1
2. 地震応答解析モデルの変更点について…………… 別紙 1-2

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)

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の既工認時及び今回工認時の地震応答解析モデル及び手法の比較を示すものである。

2. 地震応答解析モデルの変更点について

原子炉建屋の地震応答解析モデル及び手法の比較を表 2-1 に示す。鉛直方向の地震応答解析モデル（以下「鉛直モデル」という。）の諸元の設定方法を表 2-2 に示す。また、今回工認時の地震応答解析モデルを図 2-1 に示す。

比較に用いる既工認時の地震応答解析モデル及び手法は、建設工認のものである。

表 2-1 原子炉建屋の地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	既工認時*1*2	今回工認	備考
入力地震動の算定法	水平	基準地震動を基礎底面に直接入力	周辺地盤による低減効果を考慮 (E + F 入力)	(1)
	鉛直	—	基準地震動を基礎底面に直接入力	—
解析コード		NU P P II	NU P P 4	—
建屋のモデル化	モデル	水平：多軸床剛多質点系モデル 鉛直：応答解析を実施せず	水平：多軸床柔多質点系モデル 鉛直：1軸多質点系モデル	(2)
	材料物性	検討時の規準に基づき設定 ・コンクリートのヤング係数, ポアソン比 $E = 2.65 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (SI 換算) $\nu = 0.167$	既設部材 ・同左 追設部材 ・コンクリートのヤング係数, ポアソン比 $E = 2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.2$ ・鋼材のヤング係数, ポアソン比 $E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$ 鉛直モデル用に設定 ・コンクリートのヤング係数, ポアソン比 同左 ・鋼材のヤング係数, ポアソン比 $E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$	(3)
	剛性評価	耐震壁を考慮	耐震壁を考慮 初期剛性はシミュレーションにて補正	(4)
	減衰定数	RC：5%	・水平方向：RC：5% ・鉛直方向：RC：5%, 鋼材：2%	—
地盤のモデル化	底面ばね	水平及び回転ばねを考慮	・水平方向：水平及び回転ばねを考慮 ・鉛直方向：鉛直ばねを考慮	(5)
	側面ばね	考慮せず	・水平方向：考慮せず ・鉛直方向：考慮せず	
非線形特性	耐震壁	考慮	・水平方向：考慮 ・鉛直方向：考慮せず	(5)
	底面ばね	考慮	・水平方向：接地率 75%を下回る場合、基礎浮上りによる幾何学的非線形性考慮 ・鉛直方向：考慮せず	
誘発上下動		考慮せず	接地率 65%を下回る場合、考慮する	—

注記*1：女川原子力発電所第2号機『工事計画認可申請書第1回 添付資料IV-2-6-1「原子炉建屋の耐震性についての計算書」(元資庁第2015号平成元年6月8日認可)』

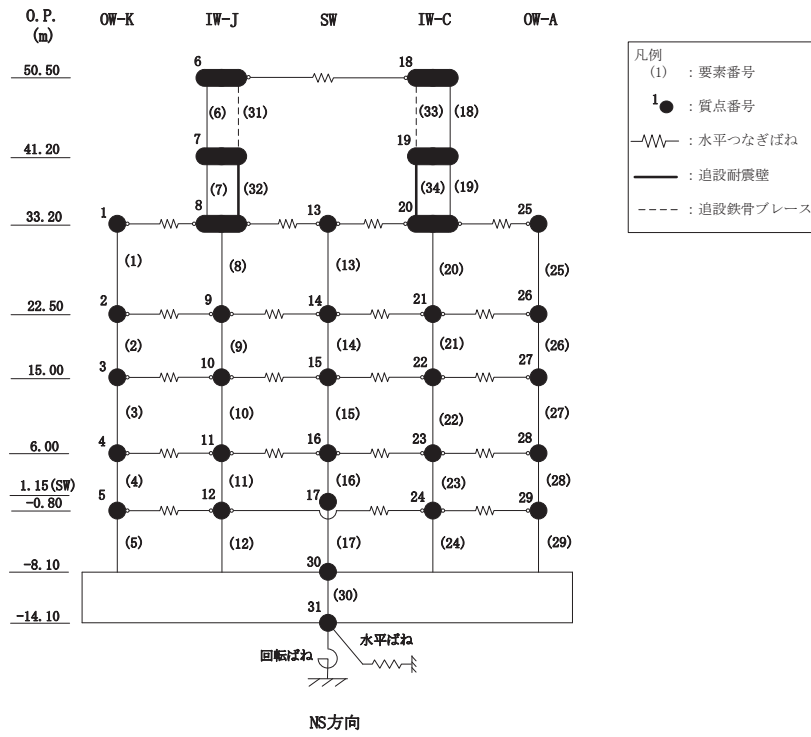
*2：建設工認時は、水平方向のみ地震応答解析を実施し、鉛直方向は静的地震力を考慮

具体的な反映事項（表の備考欄に対応）

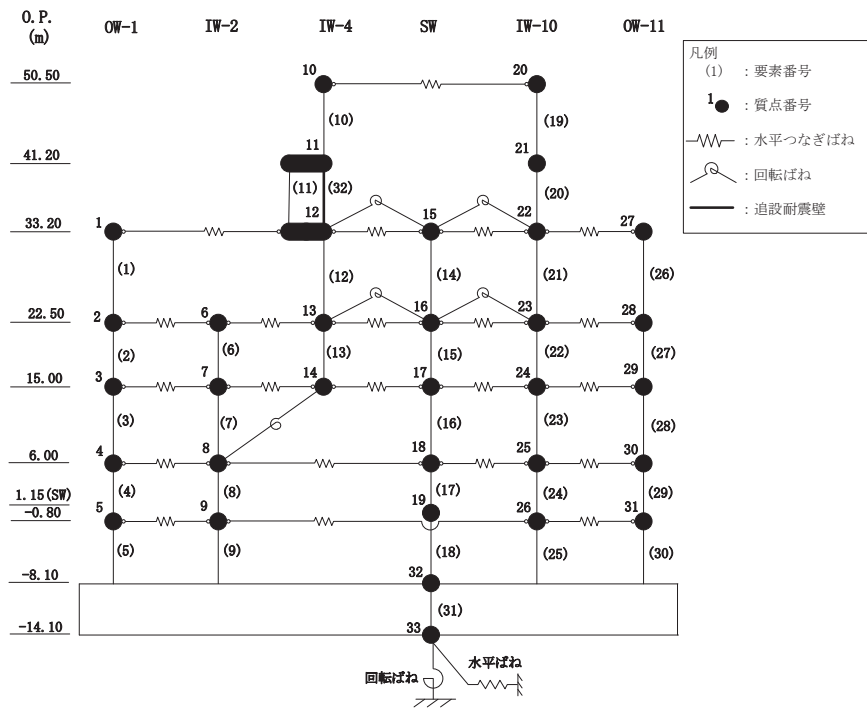
- (1) 解放基盤表面で定義される基準地震動を用いて、一次元逐次非線形解析により算定した位置での応答波を入力した。変更の内容を 2.1 に示し、詳細を補足 620-2 に示す。
- (2) 燃料取替床上部に追設した追設耐震壁及び追設ブレースを考慮。変更の内容について 2.3 に示す。また、床の柔性を考慮しており、変更の詳細を補足 620-1 に示す。
- (3) 「日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」、 「日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-」及び「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく。既設部材と新設部材のコンクリート物性値の設定について 2.6 に示す。
- (4) 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の地震観測記録を用いたシミュレーションを実施し、初期剛性の補正係数を設定。設定の内容について 2.2 に示し、詳細を補足 620-1 に示す。
- (5) 「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）」に基づく。詳細は別紙 2 に示す。

表 2-2 鉛直モデルの諸元の設定方法

部位	質量	剛性	備考
耐震壁・柱	鉛直モデルに対応する水平モデルの質点の質量	水平方向モデルにおいて剛性を考慮している耐震壁の全軸断面積及び鉛直剛性として考慮できる柱の軸断面積の和より軸剛性を算出	—
屋根トラス	質点の支配面積より算出	曲げ変形とせん断変形を生じる質点系の曲げせん断ばりモデルとして剛性を算出	—



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 2-1(1) 地震応答解析モデル (水平方向)

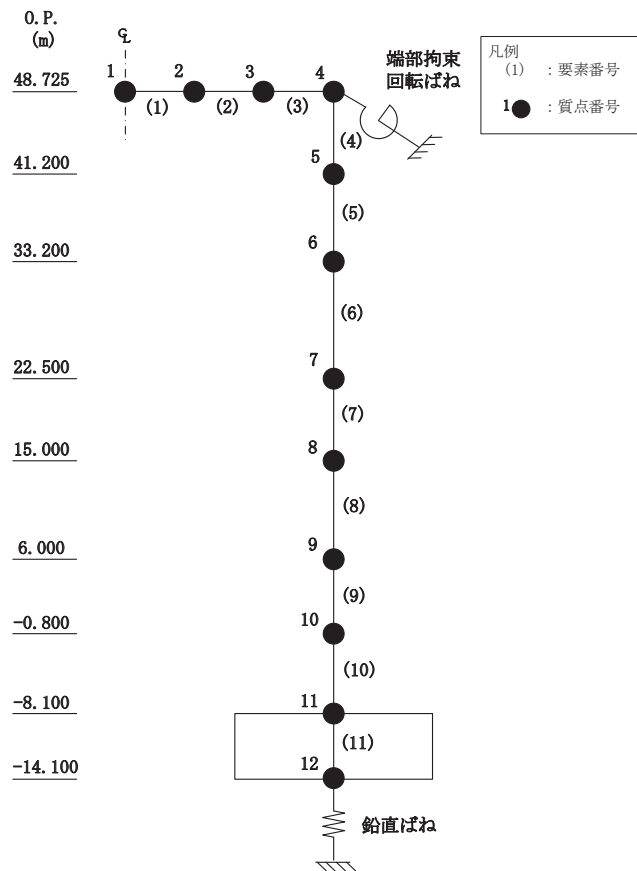


図 2-1(2) 地震応答解析モデル (鉛直方向)

2.1 入力地震動の掘り込み効果の考慮

既工認モデルでは基準地震動を基礎底面に直接入力としていたが、今回工認モデルでは建屋が地盤に掘り込まれた形状を反映し、周辺地盤による低減効果を考慮する。したがって、今回工認モデルにおける入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、1次元波動論により底面地盤下端の入射波を算定し、表層の地盤の非線形特性を適切に考慮した上で、1次元地盤応答解析により地震応答解析モデルの入力位置で評価する。また、入力波には1次元地盤応答解析で求まる土中の加速度 (E+F) に加えて、建屋により地盤が切り欠かれていることから、補正水平力 (P) も考慮する。なお、地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係や対象建物・構築物位置と炉心位置での地質・速度構造の違いにも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。図 2-2 に入力地震動の算定概念図を示す。

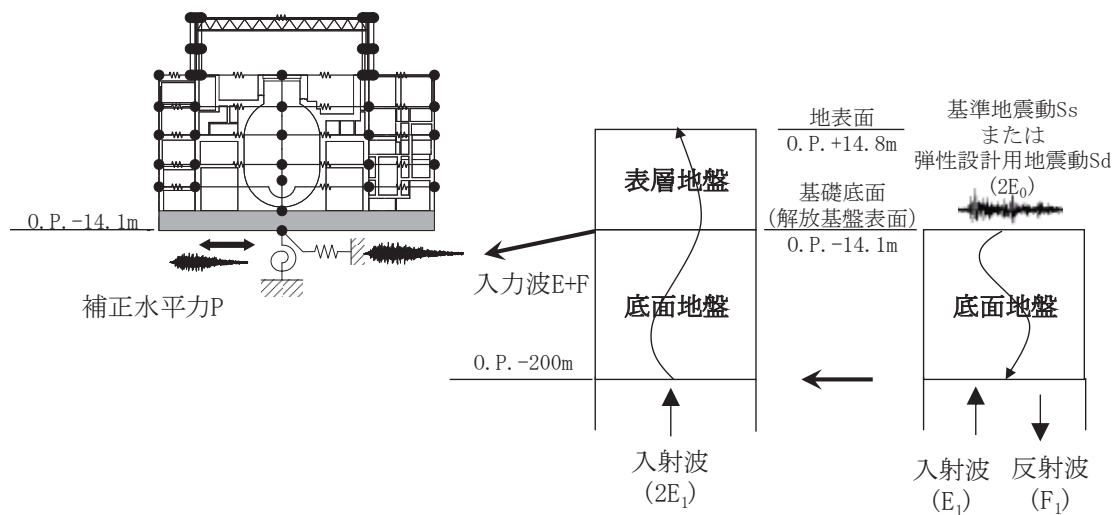
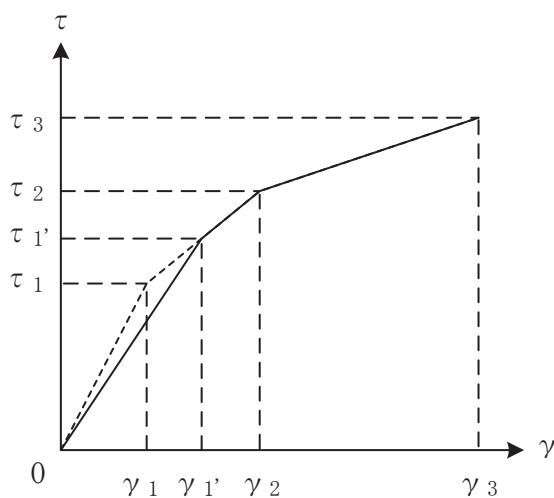


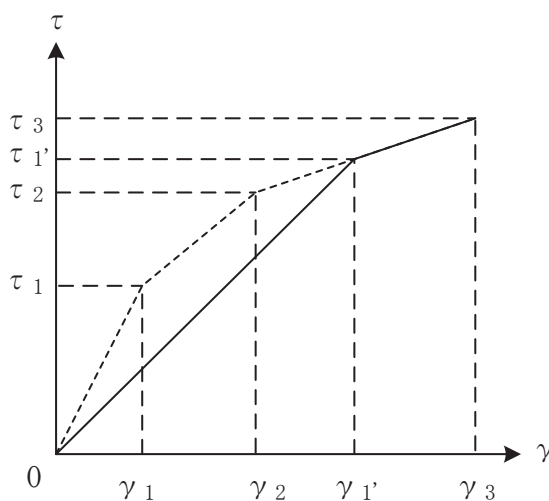
図 2-2 入力地震動の算定概念図

2.2 初期剛性低下の考慮

3.11地震や4.7地震に対する原子炉建屋のシミュレーション解析(水平方向)では、建屋の振動特性に支配的な燃料取替床下部において、発生応力については耐震壁は弾性範囲であったものの、剛性については設計で考慮している初期剛性に比べ2割程度低下している結果が得られた。また、燃料取替床上部の耐震壁の3.11地震等の応答は、設計で考慮している初期剛性に対して5~7割程度低下している結果が得られた。したがって、せん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの初期剛性を補正する。図2-3にせん断力のスケルトンカーブを例に補正方法を示す。また、表2-3に既工認及び今回工認における初期剛性の補正係数を示す。



(a) 補正後の初期剛性が第2勾配と交わる場合



(b) 補正後の初期剛性が第3勾配と交わる場合

図2-3 初期剛性を補正したせん断力のスケルトンカーブ

表 2-3 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

(a) 既工認モデル

方向	建屋全体
NS	1.00
EW	1.00

(b) 今回工認モデル

方向	地上 3 階及びクレーン階 (O. P. 33. 2m より上部)	地下 3 階～地上 2 階 (O. P. 33. 2m より下部)
NS	0.30	0.75
EW	0.50	0.80

注：追設耐震壁及び追設ブレースについては補正を行わない。

2.3 耐震補強による建屋剛性の考慮

燃料取替床上部では、東北地方太平洋沖地震後のせん断耐力の向上を目的として、燃料取替床～クレーン階部分（O.P. 33.2m～O.P. 41.2m）に追設耐震壁を、クレーン階より上部（O.P. 41.2m～O.P. 50.5m）に追設ブレース及びはりを設置した。補強の概要を以下に示し、耐震補強工事の概要図を図2-4に示す。

- ・補強は、基準地震動 S_s に対する応答が大きい NS 方向の両耐震壁（C 通り、J 通り）と、EW 方向のうち下屋部分の重量の影響で応答が大きい耐震壁（4 通り）について実施した。
- ・地上 3 階～クレーン階部分については、既設躯体は、RC 造耐震壁と SRC 造柱で構成されているため、補強方法としては、SRC 造柱間に新たに RC 造壁（追設耐震壁）を付加した。
- ・クレーン階～屋上階部分については、既設躯体は、RC 造耐震壁と S 造間柱と S 造ばりで構成されており、RC 造壁を付加することは難しいことから、既設 S 造部を活用して新たに S 造のブレース（追設ブレース）を付加することとした。
- ・クレーン階から屋上階の追設ブレースが負担する応力が、追設耐震壁にスムーズに伝達するように、追設耐震壁間には S 造ばり（追設 S ばり）、追設耐震壁上部には SRC ばり（追設 SRC ばり）を付加することとした。

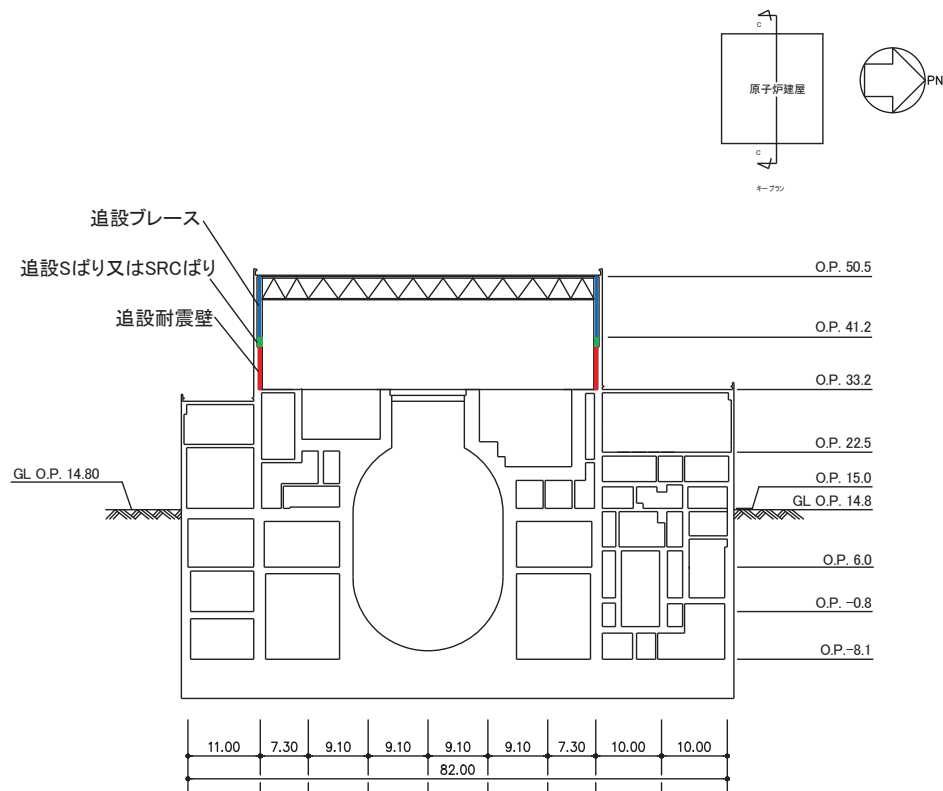


図 2-4 耐震補強工事の概要

2.4 建屋重量の変更

2.4.1 SI 単位系への単位変換による変更

既工認モデルでは重力単位系による重量を用いていたが，今回工認モデルでは SI 単位系へ単位換算する。

2.4.2 改造工事等による重量の変更

燃料取替床上部では 2.2 に示す補強工事により，耐震壁，はり及びブレースを設置したため，今回工認モデルではこれらの補強等による重量の変更を考慮している。

2.5 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較

表 2-4 及び表 2-5 に既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較を示す。

表 2-4(1) 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較 (NS 方向, 重量)

(a) 既工認モデル

標高 O.P (m)	建屋				
	OW-K	IW-I	SW	IW-C	OW-A
50.50		6		18	
		1130		1130	
		1.51		1.51	
41.20		7		19	
		1498		1250	
		2.58		2.16	
33.20	1	8	13	20	25
	1765	8266	6010	10330	2849
	8.72	50.3	4.15	61.0	14.1
22.50	2	9	14	21	26
	2725	11237	13387	16050	5082
	13.5	68.4	9.48	94.8	25.1
15.00	3	10	15	22	27
	4546	10817	9533	13661	5179
	22.5	71.0	11.5	85.8	25.6
6.00	4	11	16	23	28
	5440	11993	6311	15818	6896
	27.0	78.7	7.61	99.4	34.1
1.15(SW)	5	12	17	24	29
-0.80	6166	11380	9561	17490	7115
	30.4	71.4	9.21	106.1	35.2
-8.10	30				
	76921				
	381.6				
-14.10	31				
	46599				
	230.6				

質点番号
質点重量(t)
回転慣性重量($\times 10^5 t \cdot m^2$)

(b) 今回工認モデル

標高 O.P (m)	建屋				
	OW-K	IW-I	SW	IW-C	OW-A
50.50		6		18	
		10350		10350	
		13.8		13.8	
41.20		7		19	
		17530		14310	
		30.3		24.7	
33.20	1	8	13	20	25
	17310	82060	58490	101640	27940
	85.5	499.2	40.4	600.2	138.3
22.50	2	9	14	21	26
	26720	110200	129220	156560	49840
	132.4	670.8	91.4	924.8	246.1
15.00	3	10	15	22	27
	44580	106070	93490	133970	50790
	220.6	696.3	112.8	841.4	251.1
6.00	4	11	16	23	28
	53350	117610	61890	155120	67630
	264.8	771.8	74.6	974.8	334.4
1.15(SW)	5	12	17	24	29
-0.80	59980	111600	93760	171520	69770
	298.1	700.2	90.3	1040.5	345.2
-8.10	30				
	754340				
	3742.2				
-14.10	31				
	456980				
	2261.4				

質点番号
質点重量(kN)
回転慣性重量($\times 10^5 kN \cdot m^2$)

表 2-4(2) 既工認モデルと今回工認モデルの重量の比較 (EW 方向)

(a) 既工認モデル

標高 O.P (m)	建屋					
	OW-1	IW-2	IW-4	SW	IW-10	OW-11
50.50			10		20	
			1130		1130	
			2.65		2.65	
41.20			11		21	
			1673		1075	
			3.92		2.52	
33.20	1		12	15	22	27
	4404		8154	6010	8727	1925
	25.9		55.5	7.26	66.1	11.3
22.50	2	6	13	16	23	28
	4855	6833	8132	13387	12246	3228
	28.6	39.0	58.6	16.4	92.7	19.0
15.00	3	7	14	17	24	29
	4389	13186	819	8714	11897	4731
	25.8	98.9	0.99	10.5	90.1	27.9
6.00	4	8		18	25	30
	5225	15231		6311	13359	6332
	30.8	114.3		7.61	101.2	37.4
1.15(SW) -0.80	5	9		19	26	31
	5304	15438		9561	14985	6374
	31.2	111.5		9.21	109.1	37.6
-8.10	32					
	76921					
	453.9					
-14.10	33					
	46599					
	274.4					

質点番号
質点重量(t)
回転慣性重量($\times 10^5 t \cdot m^2$)

(b) 今回工認モデル

標高 O.P (m)	建屋					
	OW-1	IW-2	IW-4	SW	IW-10	OW-11
50.50			10		20	
			10350		10350	
			24.2		24.2	
41.20			11		21	
			19910		11930	
			46.6		27.9	
33.20	1		12	15	22	27
	43190		80900	58490	85980	18880
	254.0		550.2	70.6	651.2	110.8
22.50	2	6	13	16	23	28
	47610	65050	79330	129220	119670	31660
	280.5	382.5	571.7	157.9	906.1	186.3
15.00	3	7	14	17	24	29
	43040	129310	8030	85460	116670	46390
	253.0	969.9	9.7	103.0	883.6	273.6
6.00	4	8		18	25	30
	51240	149360		61890	131010	62100
	302.0	1120.9		74.6	992.4	366.8
1.15(SW) -0.80	5	9		19	26	31
	52010	151400		93760	146950	62510
	306.0	1093.4		90.3	1069.9	368.7
-8.10	32					
	754340					
	4451.2					
-14.10	33					
	456980					
	2690.9					

質点番号
質点重量(kN)
回転慣性重量($\times 10^5 kN \cdot m^2$)

表 2-5(1) 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較 (NS 方向, 剛性)

(a) 既工認モデル

標高 O.P (m)	建屋				
	OW-K	IW-I	SW	IW-C	OW-A
50.5		6		18	
		10.0		10.0	
		3.90		3.84	
41.2		7		19	
		18.2		18.2	
		6.82		6.35	
33.2	1	8	13	20	25
	28.4	59.8	50.6	59.4	30.8
	22.4	50.7	3.83	54.3	29.2
22.5	2	9	14	21	26
	52.0	90.0	72.7	85.8	59.2
	46.5	105.3	9.63	101.2	59.4
15.00	3	10	15	22	27
	77.0	118.7	71.0	123.2	75.0
	62.8	132.1	11.2	159.5	73.4
6.00	4	11	16	23	28
	107.8	155.3	66.8	165.2	107.8
	84.0	184.1	10.5	211.1	108.9
1.15(SW) -0.80	5	12	17	24	29
	107.8	159.8	108.0	165.2	107.8
	81.6	188.3	15.7	216.1	114.4
-8.10	30				
	6468.0				
	3195.7				

既設耐震壁 建屋全体
 ヤング係数 E 270 (t/cm²)
 せん断弾性係数 G 116 (t/cm²)
 ポアソン比 ν 0.167

要素番号
せん断断面積(m ²)
断面2次モーメント(×10 ³ m ⁴)

(b) 今回工認モデル

標高 O.P (m)	建屋				
	OW-K	IW-J	SW	IW-C	OW-A
50.5		6	31	33	18
		10.0	0.184	0.184	10.0
		39.0	0.794	0.794	3.84
41.2		7	32	34	19
		18.2	7.56	7.56	18.2
		68.2	4.00	7.00	63.5
33.2	1	8	13	20	25
	28.4	59.8	50.6	59.4	30.8
	224.0	507.0	38.3	543.0	292.0
22.5	2	9	14	21	26
	52.0	90.0	72.7	85.8	59.2
	465.0	1053.0	96.3	1012.0	594.0
15.00	3	10	15	22	27
	77.0	118.7	71.0	123.2	75.0
	628.0	1321.0	112.0	1595.0	734.0
6.00	4	11	16	23	28
	107.8	155.3	66.8	165.2	107.8
	840.0	1841.0	105.0	2111.0	1089.0
1.15(SW) -0.80	5	12	17	24	29
	107.8	159.8	108.0	165.2	107.8
	816.0	1883.0	157.0	2161.0	1144.0
-8.10	30				
	6468.0				
	31957.0				

①既設耐震壁 (O.P.33.2mより上部) (要素6, 7, 18, 19)
 ヤング係数 E 7.94×10³ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 3.41×10³ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

②既設耐震壁 (O.P.33.2mより下部) (要素1~5, 8~17, 20~30)
 ヤング係数 E 1.99×10⁴ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 8.53×10³ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

③追設耐震壁 (要素32, 34)
 ヤング係数 E 2.52×10⁴ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.05×10⁴ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%

④追設ブレース (要素31, 33)
 ヤング係数 E 2.05×10⁵ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 7.90×10⁴ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.3
 減衰定数 h 2%

要素番号
せん断断面積(m ²)
断面2次モーメント(×10 ³ m ⁴)

表 2-5(2) 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較 (EW 方向, 剛性)

(a) 既工認モデル

標高 O.P. (m)	建屋					
	OW-1	IW-2	IW-4	SW	IW-10	OW-11
50.50			10		19	
			13.3		13.3	
			6.49		6.49	
41.20			11		20	
			17.4		21.2	
			12.5		10.3	
33.20	1		12	14	21	26
	41.0		51.8	63.3	53.0	32.4
	37.6		29.5	3.07	27.3	29.9
22.50	2	6	13	15	22	27
	57.4	76.6	36.5	72.7	79.8	54.7
	65.3	66.1	34.0	9.63	107.3	60.5
15.00	3	7		16	23	28
	84.0	107.1		71.0	121.4	84.0
	85.9	92.7		11.2	152.3	80.3
6.00	4	8		17	24	29
	114.8	163.7		66.8	170.0	109.2
	110.9	219.9		10.5	216.9	105.8
1.15(SW) -0.80	5	9		18	25	30
	117.6	169.0		108.0	167.2	117.6
	113.1	227.8		15.7	213.8	105.9
-8.10	31					
	6468.0					
	3803.2					

既設耐震壁 建屋全体
 ヤング係数 E 270 (t/cm²)
 せん断弾性係数 G 116 (t/cm²)
 ポアソン比 ν 0.167

要素番号
せん断断面積(m ²)
断面2次モーメント(×10 ³ m ⁴)

(b) 今回工認モデル

標高 O.P. (m)	建屋					
	OW-1	IW-2	IW-4	SW	IW-10	OW-11
50.50			10		20	
			13.3		13.3	
			64.9		64.9	
41.20			11	32	21	
			17.4	8.58	21.2	
			125.0	18.88	103.0	
33.20	1		12	15	22	27
	41.0		51.8	63.3	53.0	32.4
	376.0		295.0	30.7	273.0	299.0
22.50	2	6	13	16	23	28
	57.4	76.6	36.5	72.7	79.8	54.7
	653.0	661.0	340.0	96.3	1073.0	605.0
15.00	3	7		17	24	29
	84.0	107.1		71.0	121.4	84.0
	859.0	927.0		112.0	1523.0	803.0
6.00	4	8		8	25	30
	114.8	163.7		66.8	170.0	109.2
	1109.0	2199.0		105.0	2169.0	1058.0
1.15(SW) -0.80	5	9		19	26	31
	117.6	169.0		108.0	167.2	117.6
	1131.0	2278.0		157.0	2138.0	1059.0
-8.10	32					
	6468.0					
	38032.0					

①既設耐震壁 (O.P. 33.2mより上部) (要素10, 11, 20, 21)
 ヤング係数 E 1.32×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 5.69×10^3 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

②既設耐震壁 (O.P. 33.2mより下部) (要素1~9, 12~19, 22~31)
 ヤング係数 E 2.12×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 9.10×10^3 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

③追設耐震壁 (要素32)
 ヤング係数 E 2.52×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.05×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%

要素番号
せん断断面積(m ²)
断面2次モーメント(×10 ³ m ⁴)

2.6 既設部材と新設部材のコンクリートの物性値の設定について

2.6.1 既設部材と新設部材のコンクリートの物性値の設定の考え方

原子炉建屋の地震応答解析モデルは、3.11 地震及び 4.7 地震に対するシミュレーション解析を行い、水平方向地震応答解析モデルについては観測記録に整合するように設計剛性に対する補正をし、剛性低下を考慮した解析モデルとしている。

3.11 地震及び 4.7 地震に対するシミュレーション解析モデルは、設計当時の「日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」によりコンクリート物性値を設定した既工認モデルをベースとしており、また、3.11 地震以降に実施した耐震補強工事で追設した耐震壁については、「日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-」に従いコンクリートの物性値を設定している。

一方で、建屋各部の応力解析においては、地震応答解析結果を用いて地震時の震度を算定から静的な地震荷重を設定し、健全性を評価するが、応力解析に用いる各部位の解析モデルは「日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-」に従いコンクリートの物性値を設定している。

コンクリートの物性値を設定について、原子炉建屋も含めた今回工認対象建屋における「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」の適用を整理して表 2-6 に示す。

表 2-6(1) 今回工認対象建屋における「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」の適用の整理 (1/2)

建屋名	地震応答解析	応力解析	対象図書
原子炉建屋	新設部材：1999年版 既設部材：1988年版	1999年版	原子炉建屋の地震応答計算書 原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料
使用済燃料プール	—	1999年版	使用済燃料貯蔵プール（キヤスクピットを含む）の耐震性についての計算書 使用済燃料プールの耐震性についての計算書に関する補足説明資料
大物搬入口躯体	新設部材：1999年版 既設部材：1988年版	1999年版	原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書
基礎版	—	1999年版	原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書 原子炉建屋基礎版の耐震性評価についての計算書に関する補足説明資料
屋根トラス (二次格納施設)	新設部材：1999年版 既設部材：1988年版	— *	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

注記*：屋根トラス（二次格納施設）の図書においては、地震応答解析により設計応力を算出している。

表 2-6(2) 今回工認対象建屋における「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」の適用の整理 (2/2)

建屋名	地震応答解析	応力解析	対象図書
制御建屋	1988 年版	1999 年版	VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書
			VI-2-2-4 制御建屋の耐震性についての計算書
			VI-2-8-4-3 中央制御室しやへい壁の耐震性についての計算書
			VI-2-8-4-4 中央制御室待避所遮蔽の耐震性についての計算書
補足 620-4 制御建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料			
タービン建屋	1988 年版	-	VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性に関する計算書
			補足 610-13 タービン建屋の耐震性評価に関する補足説明資料
補助ボイラー建屋	1988 年版	-	VI-2-11-2-4 補助ボイラー建屋の耐震性に関する計算書
			補足 610-14 補助ボイラー建屋の耐震性能評価に関する補足説明資料
第 3 号機海水熱交換器建屋	1991 年版	-	VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書
			VI-2-2-30 第 3 号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書
			補足 610-12 第 3 号機海水熱交換器建屋の耐震性評価に関する補足説明資料
第 1 号機制御建屋	1979 年版	-	VI-2-11-2-5 第 1 号機制御建屋の耐震性に関する計算書
			補足 610-15 第 1 号機制御建屋の耐震性能評価に関する補足説明資料
緊急用電気品建屋	1999 年版	1999 年版	VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書
			VI-2-2-22 緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書
			補足 610-10 緊急用電気品建屋の耐震性評価に関する補足説明資料
緊急時対策建屋	1999 年版	1999 年版	VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書
			VI-2-2-24 緊急時対策建屋の耐震性についての計算書
			VI-2-8-4-5 緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書
			補足 610-11 緊急時対策建屋の耐震性評価に関する補足説明資料

2.6.2 コンクリートの物性値の違いによる影響検討

地震応答解析モデルの既設部材については旧規準に基づくコンクリート物性値を設定していることから、ここでは影響検討として、「日本建築学会 1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-」に従いコンクリートの物性値を設定した地震応答解析モデル（以下「検討モデル」という。）を用いて基準地震動 $S_s - D2$ に対する地震応答解析を行い、今回工認モデルとの地震応答解析結果の差異について確認を行った。表 2-7 に検討モデル及び今回工認モデルの既存部材で使用したコンクリート物性値を示す。

固有値解析結果の比較を表 2-8 に、地震応答解析結果の比較を表 2-9～表 2-12 に、床応答スペクトルの比較を図 2-5 に示す。固有値解析結果、地震応答解析結果及び床応答スペクトルはほぼ同等となっており、コンクリート物性値の違いによる影響は小さいことを確認した。

表 2-7 検討モデル及び今回工認モデルにおける既存部材のコンクリート物性値

(N/mm²)

方向	階	物性	検討モデル	今回工認モデル
NS	地上 3 階及びクレーン階 (O.P. 33.2m より上部)	ヤング係数 E_c	8.20×10^3	7.94×10^3
		せん断弾性係数 G	3.41×10^3	3.41×10^3
	地下 3 階～地上 2 階 (O.P. 33.2m より下部)	ヤング係数 E_c	2.05×10^4	1.99×10^4
		せん断弾性係数 G	8.53×10^3	8.53×10^3
EW	地上 3 階及びクレーン階 (O.P. 33.2m より上部)	ヤング係数 E_c	1.37×10^4	1.32×10^4
		せん断弾性係数 G	5.69×10^3	5.69×10^3
	地下 3 階～地上 2 階 (O.P. 33.2m より下部)	ヤング係数 E_c	2.19×10^4	2.12×10^4
		せん断弾性係数 G	9.10×10^3	9.10×10^3
UD	全階	ヤング係数 E_c	2.51×10^4	2.65×10^4

注：追設部材については，両モデルとも「日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-」に基づき物性値を設定しているため記載を省略。

表 2-8(1) 固有値解析結果(1/2)

(a)NS 方向

次数	固有周期 (s)		備考
	検討モデル	今回工認モデル	
1	0.237	0.237	全体 1 次
2	0.124	0.123	全体 2 次
3	0.118	0.116	
4	0.097	0.097	全体 3 次
5	0.093	0.093	
6	0.089	0.089	
7	0.081	0.082	
8	0.076	0.074	
9	0.073	0.072	
10	0.068	0.068	
11	0.066	0.066	
12	0.064	0.064	
13	0.061	0.060	
14	0.059	0.059	
15	0.054	0.054	
16	0.052	0.052	
17	0.051	0.051	
18	0.051	0.050	

表 2-8(2) 固有値解析結果(2/2)

(b)EW 方向

次数	固有周期 (s)		備考
	検討モデル	今回工認モデル	
1	0.230	0.230	全体 1 次
2	0.125	0.125	全体 2 次
3	0.118	0.116	
4	0.099	0.098	
5	0.092	0.091	
6	0.088	0.087	全体 3 次
7	0.079	0.078	
8	0.075	0.074	
9	0.070	0.070	
10	0.069	0.068	
11	0.065	0.064	
12	0.062	0.062	
13	0.060	0.060	
14	0.058	0.059	
15	0.055	0.055	
16	0.055	0.054	
17	0.051	0.050	

(c)UD 方向

次数	固有周期 (s)		備考
	検討モデル	今回工認モデル	
1	0.339	0.339	屋根トラス 1 次
2	0.102	0.100	建屋 1 次
3	0.079	0.079	屋根トラス 2 次
4	0.051	0.051	
5	0.044	0.043	建屋 2 次
6	0.028	0.027	
7	0.021	0.021	建屋 3 次

表 2-9(1) 最大応答加速度の比較 (NS 方向) (単位: cm/s²)

質点番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
1	1509	1536	0.98
2	1108	1121	0.99
3	1097	1103	0.99
4	1001	1025	0.98
5	818	835	0.98
6	4154	4173	1.00
7	2257	2310	0.98
8	1573	1582	0.99
9	1316	1325	0.99
10	1087	1094	0.99
11	1076	1089	0.99
12	846	861	0.98
13	1998	1988	1.01
14	1424	1525	0.93
15	1052	1091	0.96
16	967	987	0.98
17	803	820	0.98
18	4604	4619	1.00
19	2447	2508	0.98
20	1748	1783	0.98
21	1697	1704	1.00
22	1261	1283	0.98
23	1257	1265	0.99
24	913	947	0.96
25	1754	1771	0.99
26	1284	1236	1.04
27	1175	1185	0.99
28	1077	1092	0.99
29	830	848	0.98
30	613	612	1.00
31	592	590	1.00

表 2-9(2) 最大応答加速度の比較 (EW 方向) (単位: cm/s²)

質点番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
1	1586	1577	1.01
2	1357	1347	1.01
3	1058	1064	0.99
4	995	999	1.00
5	798	836	0.95
6	1473	1440	1.02
7	1213	1260	0.96
8	1218	1176	1.04
9	985	962	1.02
10	3751	3838	0.98
11	2262	2368	0.96
12	1727	1765	0.98
13	1322	1306	1.01
14	1118	1173	0.95
15	1930	1937	1.00
16	1303	1304	1.00
17	1036	1049	0.99
18	1150	1097	1.05
19	1005	976	1.03
20	3975	3902	1.02
21	2487	2355	1.06
22	1656	1702	0.97
23	1719	1675	1.03
24	1338	1360	0.98
25	1133	1104	1.03
26	941	922	1.02
27	1595	1646	0.97
28	1320	1328	0.99
29	1110	1143	0.97
30	986	978	1.01
31	813	817	1.00
32	630	644	0.98
33	593	605	0.98

表 2-9(3) 最大応答加速度の比較 (UD 方向) (単位: cm/s²)

質点番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
1	3811	3767	1.01
2	1330	1362	0.98
3	3274	3165	1.03
4	1623	1546	1.05
5	1482	1429	1.04
6	1415	1353	1.05
7	1229	1188	1.03
8	989	969	1.02
9	730	734	0.99
10	594	601	0.99
11	533	538	0.99
12	479	485	0.99

表 2-10(1) 最大応答せん断力の比較 (NS 方向) ($\times 10^3$ kN)

要素番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
(1)	72.2	74.5	0.97
(2)	142	145	0.98
(3)	207	212	0.98
(4)	260	265	0.98
(5)	301	305	0.99
(6)	30.6	30.9	0.99
(7)	58.3	58.3	1.00
(8)	159	164	0.97
(9)	265	270	0.98
(10)	348	356	0.98
(11)	400	406	0.99
(12)	451	456	0.99
(13)	67.9	64.5	1.05
(14)	177	180	0.98
(15)	189	193	0.98
(16)	199	198	1.01
(17)	269	262	1.03
(18)	31.3	31.8	0.98
(19)	55.4	56.2	0.99
(20)	172	174	0.99
(21)	275	278	0.99
(22)	374	382	0.98
(23)	432	440	0.98
(24)	500	509	0.98
(25)	83.0	85.0	0.98
(26)	167	172	0.97
(27)	219	225	0.97
(28)	272	277	0.98
(29)	306	312	0.98
(30)	2113	2108	1.00
(31)	13.3	13.4	0.99
(32)	20.6	20.7	1.00
(33)	14.1	14.5	0.97
(34)	20.1	20.2	1.00

表 2-10(2) 最大応答せん断力の比較 (EW 方向) ($\times 10^3$ kN)

要素番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
(1)	112	114	0.98
(2)	152	155	0.98
(3)	233	237	0.98
(4)	273	277	0.99
(5)	310	315	0.98
(6)	180	183	0.98
(7)	327	333	0.98
(8)	402	411	0.98
(9)	464	471	0.99
(10)	32.4	33.3	0.97
(11)	49.8	50.9	0.98
(12)	128	131	0.98
(13)	101	104	0.97
(14)	107	108	0.99
(15)	179	180	0.99
(16)	217	217	1.00
(17)	197	197	1.00
(18)	263	259	1.02
(19)	37.4	37.6	0.99
(20)	60.1	60.1	1.00
(21)	141	145	0.97
(22)	242	244	0.99
(23)	348	352	0.99
(24)	408	416	0.98
(25)	451	460	0.98
(26)	85.2	87.2	0.98
(27)	155	157	0.99
(28)	221	226	0.98
(29)	259	263	0.98
(30)	306	312	0.98
(31)	2065	2091	0.99
(32)	22.1	22.2	1.00

表 2-11(1) 最大応答曲げモーメントの比較 (NS 方向) (1/2) ($\times 10^6$ kN・m)

要素番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
(1) 上端	0.197	0.203	0.97
(1) 下端	0.883	0.910	0.97
(2) 上端	1.04	1.09	0.95
(2) 下端	2.09	2.17	0.96
(3) 上端	2.33	2.43	0.96
(3) 下端	4.20	4.34	0.97
(4) 上端	4.39	4.55	0.97
(4) 下端	6.04	6.23	0.97
(5) 上端	6.16	6.37	0.97
(5) 下端	8.13	8.35	0.97
(6) 上端	0.0440	0.0437	1.01
(6) 下端	0.328	0.330	0.99
(7) 上端	0.639	0.650	0.98
(7) 下端	1.08	1.09	0.99
(8) 上端	1.87	1.99	0.94
(8) 下端	3.50	3.62	0.97
(9) 上端	4.54	4.68	0.97
(9) 下端	6.27	6.52	0.96
(10) 上端	7.05	7.32	0.96
(10) 下端	9.69	10.03	0.97
(11) 上端	10.23	10.56	0.97
(11) 下端	12.47	12.85	0.97
(12) 上端	12.86	13.26	0.97
(12) 下端	15.49	15.99	0.97
(13) 上端	0.616	0.621	0.99
(13) 下端	1.16	1.16	1.00
(14) 上端	1.84	1.86	0.99
(14) 下端	2.63	2.60	1.01
(15) 上端	3.26	3.24	1.01
(15) 下端	4.10	4.06	1.01
(16) 上端	4.41	4.34	1.02
(16) 下端	5.00	4.92	1.02
(17) 上端	5.16	5.09	1.01
(17) 下端	7.33	7.28	1.01

表 2-11(2) 最大応答曲げモーメントの比較 (NS 方向) (2/2) ($\times 10^6$ kN・m)

要素番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
(18) 上端	0.0520	0.0539	0.96
(18) 下端	0.339	0.346	0.98
(19) 上端	0.625	0.646	0.97
(19) 下端	1.06	1.08	0.98
(20) 上端	2.30	2.36	0.98
(20) 下端	3.71	3.91	0.95
(21) 上端	5.28	5.34	0.99
(21) 下端	6.98	7.26	0.96
(22) 上端	7.80	8.10	0.96
(22) 下端	10.60	11.07	0.96
(23) 上端	11.07	11.60	0.95
(23) 下端	13.36	13.95	0.96
(24) 上端	13.75	14.42	0.95
(24) 下端	16.45	17.22	0.95
(25) 上端	0.326	0.356	0.92
(25) 下端	1.13	1.18	0.96
(26) 上端	1.61	1.69	0.95
(26) 下端	2.71	2.83	0.96
(27) 上端	3.08	3.23	0.95
(27) 下端	4.67	4.86	0.96
(28) 上端	4.97	5.18	0.96
(28) 下端	6.61	6.61	1.00
(29) 上端	6.78	6.80	1.00
(29) 下端	8.97	9.01	1.00
(30) 上端	56.58	56.97	0.99
(30) 下端	67.66	68.52	0.99
(31) 上端	0.0338	0.0369	0.92
(31) 下端	0.156	0.161	0.97
(32) 上端	0.0537	0.0524	1.03
(32) 下端	0.121	0.122	0.99
(33) 上端	0.0381	0.0422	0.90
(33) 下端	0.165	0.172	0.96
(34) 上端	0.0421	0.0454	0.93
(34) 下端	0.162	0.162	1.00

表 2-11(3) 最大応答曲げモーメントの比較 (EW 方向) (1/2) ($\times 10^6$ kN・m)

要素番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
(1) 上端	0.871	0.796	1.09
(1) 下端	1.88	1.92	0.98
(2) 上端	2.56	2.59	0.99
(2) 下端	3.60	3.67	0.98
(3) 上端	4.07	4.12	0.99
(3) 下端	5.82	5.91	0.99
(4) 上端	6.16	6.24	0.99
(4) 下端	7.80	7.76	1.01
(5) 上端	7.96	7.97	1.00
(5) 下端	10.21	10.07	1.01
(6) 上端	0.875	0.916	0.96
(6) 下端	1.96	2.04	0.96
(7) 上端	3.51	3.69	0.95
(7) 下端	5.98	6.22	0.96
(8) 上端	12.12	12.61	0.96
(8) 下端	14.36	14.96	0.96
(9) 上端	14.97	15.66	0.96
(9) 下端	17.48	18.32	0.95
(10) 上端	0.198	0.209	0.95
(10) 下端	0.501	0.519	0.97
(11) 上端	0.760	0.784	0.97
(11) 下端	1.12	1.13	0.99
(12) 上端	4.07	4.15	0.98
(12) 下端	4.41	4.43	1.00
(13) 上端	6.54	6.59	0.99
(13) 下端	6.65	6.69	0.99
(14) 上端	0.700	0.716	0.98
(14) 下端	0.759	0.766	0.99
(15) 上端	1.20	1.20	1.00
(15) 下端	1.28	1.23	1.04
(16) 上端	1.58	1.56	1.01
(16) 下端	3.35	3.35	1.00

表 2-11(4) 最大応答曲げモーメントの比較 (EW 方向) (2/2) ($\times 10^6$ kN・m)

要素番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
(17) 上端	3.50	3.52	0.99
(17) 下端	4.30	4.31	1.00
(18) 上端	4.41	4.43	1.00
(18) 下端	6.37	6.36	1.00
(19) 上端	0.131	0.150	0.87
(19) 下端	0.452	0.470	0.96
(20) 上端	0.563	0.594	0.95
(20) 下端	0.989	1.03	0.96
(21) 上端	2.99	3.13	0.95
(21) 下端	4.41	4.53	0.97
(22) 上端	5.93	6.25	0.95
(22) 下端	7.64	7.99	0.96
(23) 上端	8.34	8.88	0.94
(23) 下端	11.01	11.57	0.95
(24) 上端	11.57	12.28	0.94
(24) 下端	13.85	14.59	0.95
(25) 上端	14.25	15.06	0.95
(25) 下端	17.25	17.89	0.96
(26) 上端	0.239	0.252	0.95
(26) 下端	1.00	1.02	0.98
(27) 上端	1.25	1.30	0.96
(27) 下端	2.32	2.37	0.98
(28) 上端	2.65	2.73	0.97
(28) 下端	4.48	4.57	0.98
(29) 上端	4.83	4.93	0.98
(29) 下端	6.48	6.61	0.98
(30) 上端	6.72	6.87	0.98
(30) 下端	8.89	9.05	0.98
(31) 上端	59.43	60.80	0.98
(31) 下端	70.06	71.51	0.98
(32) 上端	0.0898	0.0932	0.96
(32) 下端	0.232	0.234	1.00

表 2-12(1) 最大応答せん断ひずみの比較 (NS 方向) ($\times 10^{-3}$)

要素番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
(1)	0.497	0.496	1.00
(2)	0.565	0.548	1.03
(3)	0.494	0.485	1.02
(4)	0.311	0.305	1.02
(5)	0.438	0.419	1.05
(6)	0.904	0.914	0.99
(7)	1.011	1.037	0.97
(8)	0.508	0.505	1.01
(9)	0.618	0.601	1.03
(10)	0.573	0.559	1.03
(11)	0.377	0.366	1.03
(12)	0.464	0.439	1.06
(13)	0.157	0.149	1.05
(14)	0.301	0.301	1.00
(15)	0.315	0.319	0.99
(16)	0.400	0.354	1.13
(17)	0.292	0.284	1.03
(18)	0.962	0.989	0.97
(19)	0.892	0.922	0.97
(20)	0.623	0.612	1.02
(21)	0.754	0.732	1.03
(22)	0.595	0.577	1.03
(23)	0.383	0.373	1.03
(24)	0.544	0.527	1.03
(25)	0.558	0.549	1.02
(26)	0.575	0.565	1.02
(27)	0.576	0.567	1.02
(28)	0.354	0.347	1.02
(29)	0.482	0.468	1.03
(30)	0.038	0.038	1.00
(31)	0.906	0.916	0.99
(32)	0.969	0.992	0.98
(33)	0.963	0.990	0.97
(34)	0.854	0.879	0.97

表 2-12(2) 最大応答せん断ひずみの比較 (EW 方向) ($\times 10^{-3}$)

要素番号	検討モデル	今回工認モデル	今回工認モデルに対する比
(1)	0.574	0.556	1.03
(2)	0.458	0.440	1.04
(3)	0.506	0.491	1.03
(4)	0.275	0.269	1.02
(5)	0.362	0.354	1.02
(6)	0.350	0.338	1.04
(7)	0.607	0.585	1.04
(8)	0.293	0.294	1.00
(9)	0.398	0.382	1.04
(10)	0.452	0.444	1.02
(11)	0.755	0.767	0.98
(12)	0.383	0.378	1.01
(13)	0.416	0.421	0.99
(14)	0.185	0.187	0.99
(15)	0.315	0.297	1.06
(16)	0.529	0.486	1.09
(17)	0.383	0.346	1.11
(18)	0.268	0.264	1.02
(19)	0.708	0.683	1.04
(20)	0.741	0.703	1.05
(21)	0.507	0.495	1.02
(22)	0.650	0.620	1.05
(23)	0.528	0.502	1.05
(24)	0.285	0.282	1.01
(25)	0.392	0.386	1.02
(26)	0.550	0.543	1.01
(27)	0.612	0.604	1.01
(28)	0.459	0.453	1.01
(29)	0.274	0.269	1.02
(30)	0.338	0.335	1.01
(31)	0.035	0.036	0.97
(32)	0.747	0.760	0.98

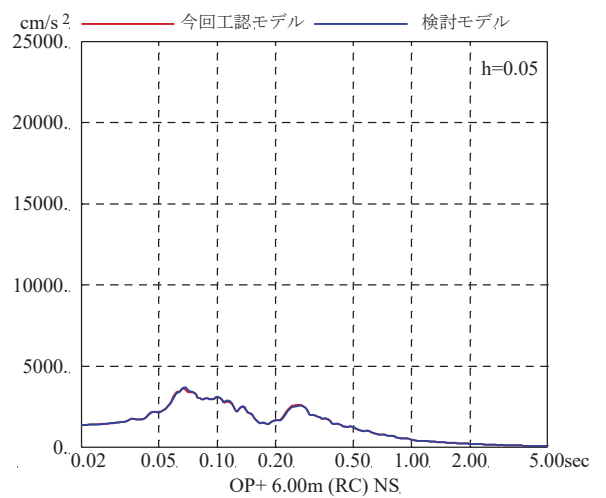
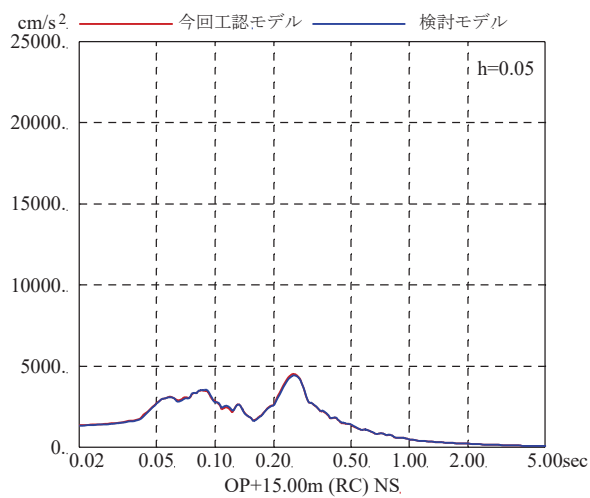
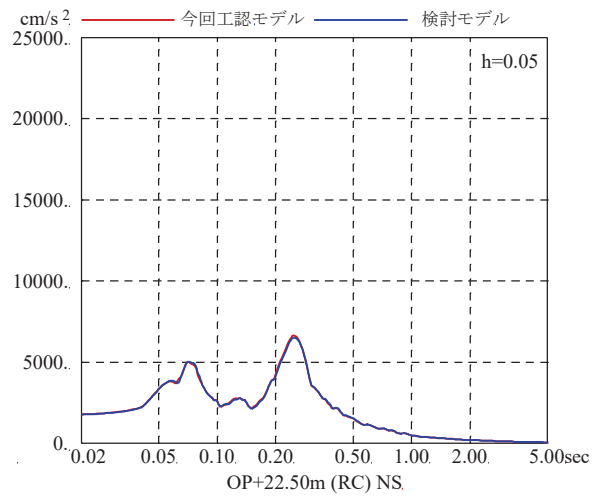
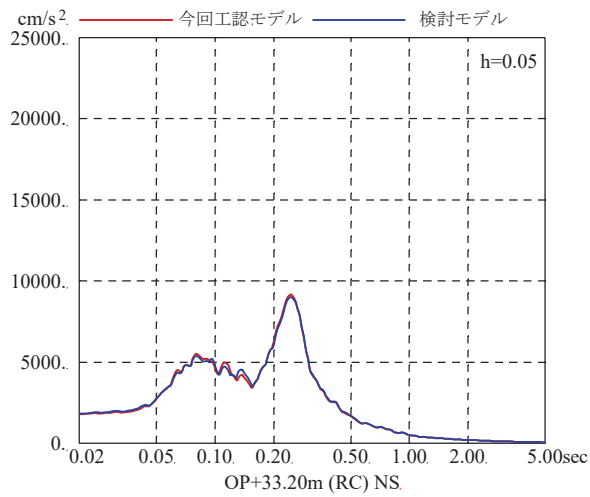
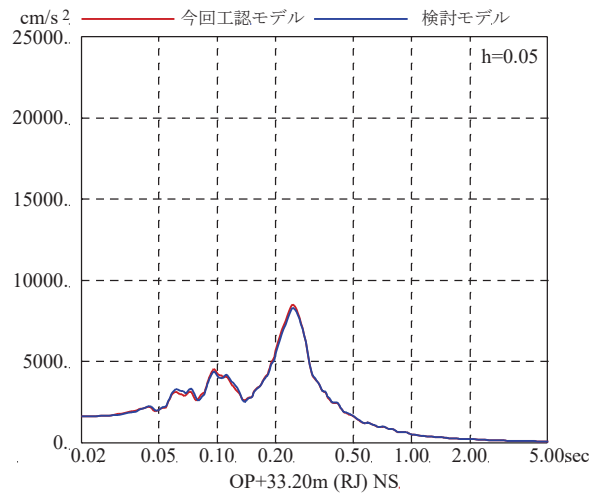
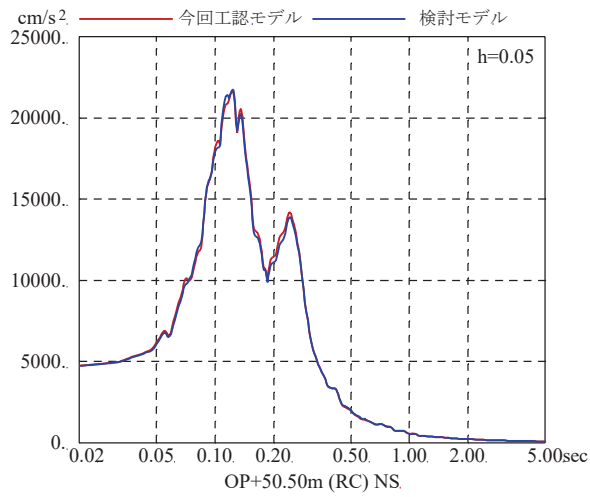


図 2-5(1) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向 S s - D 2)

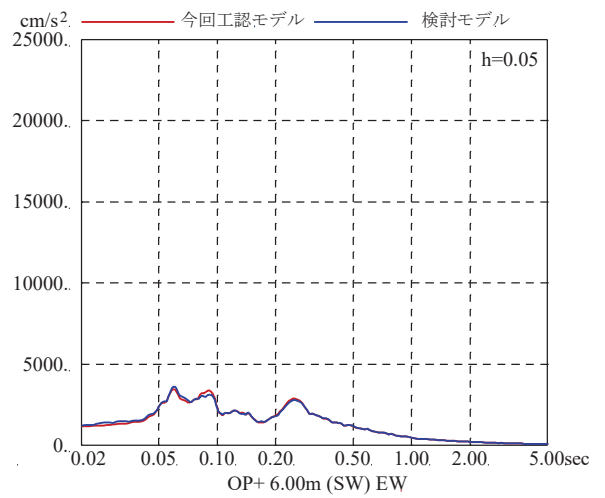
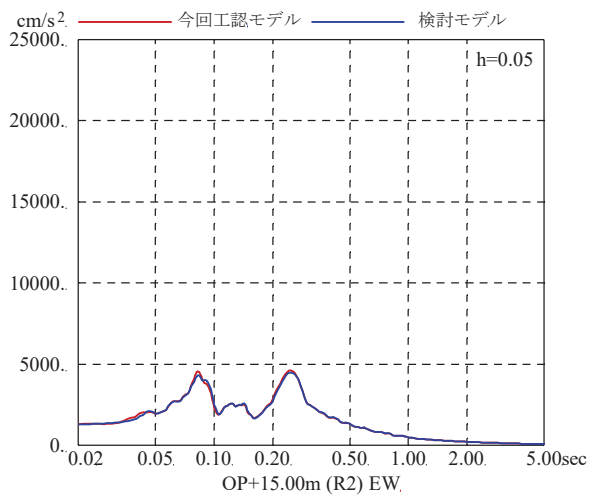
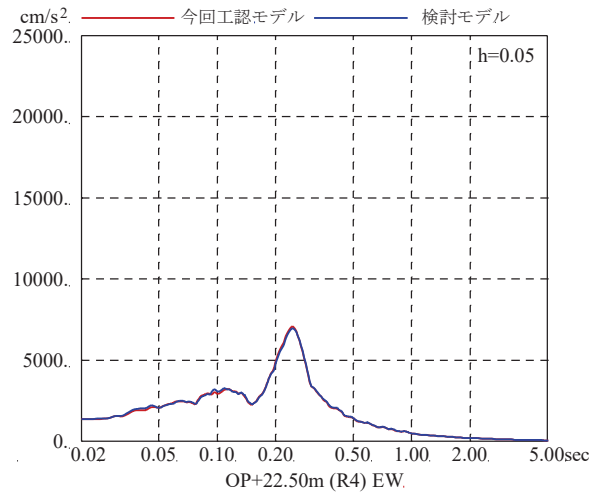
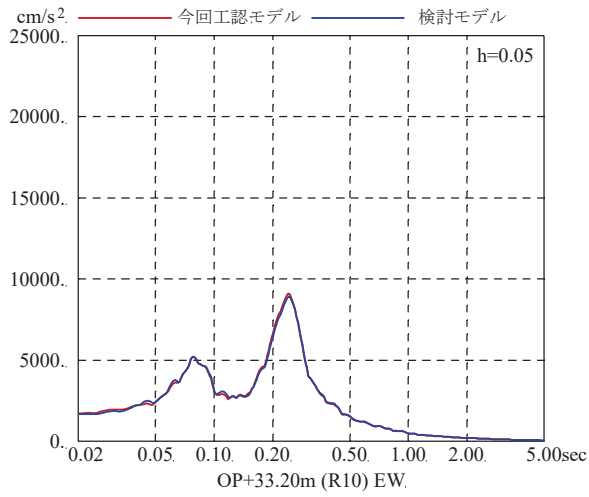
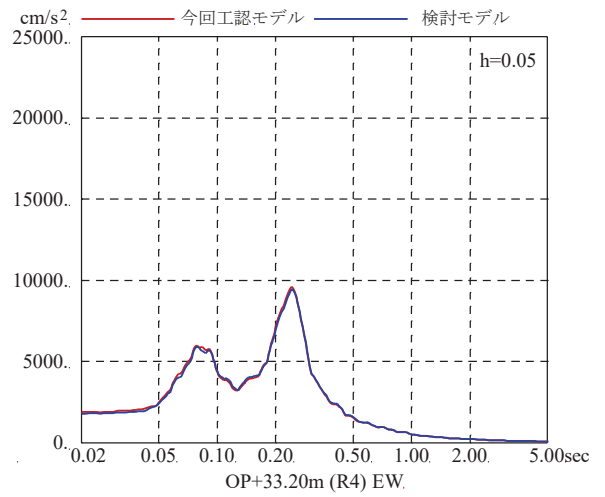
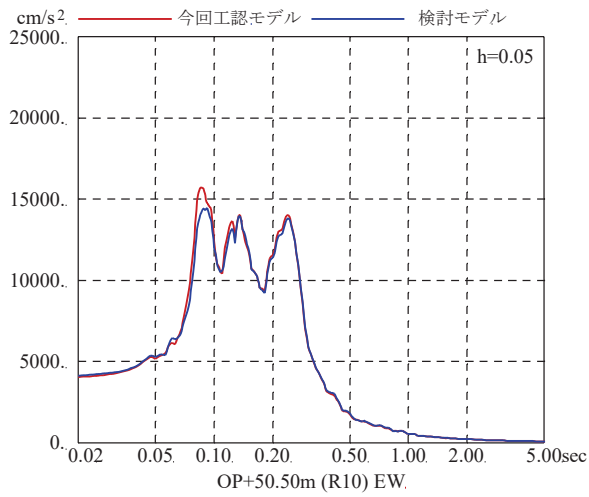


図 2-5(2) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向 S s - D 2)

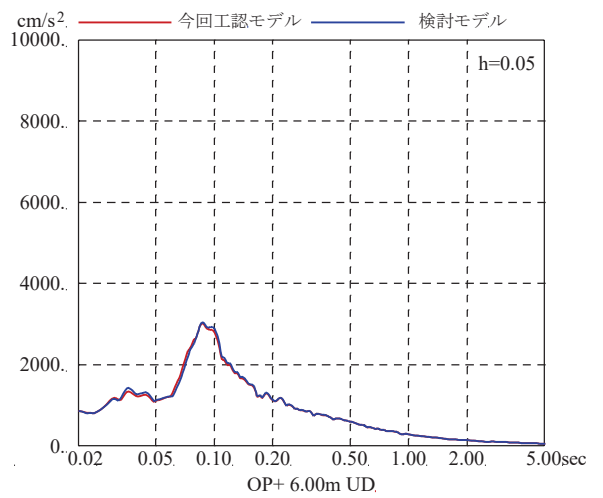
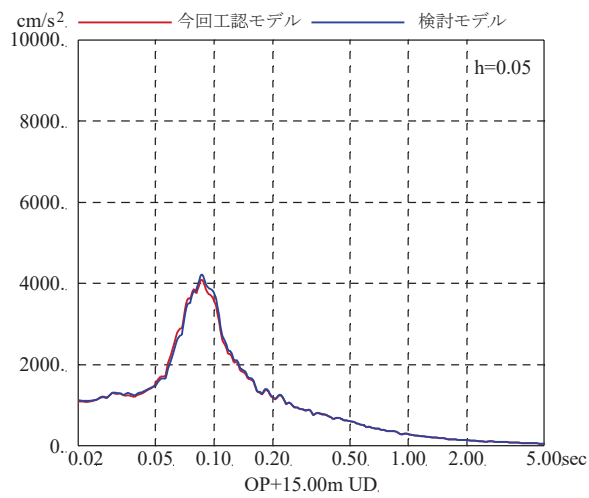
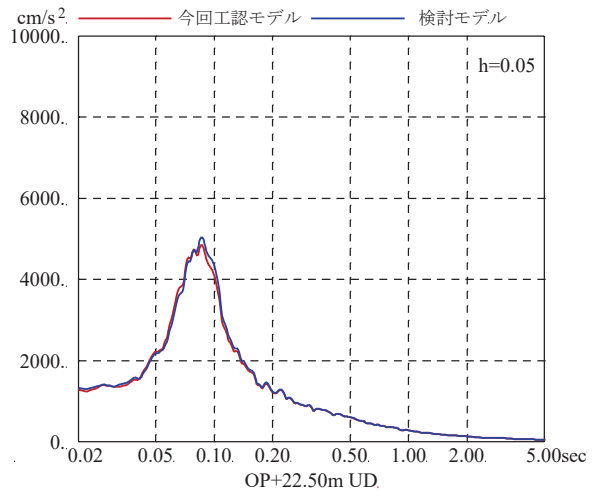
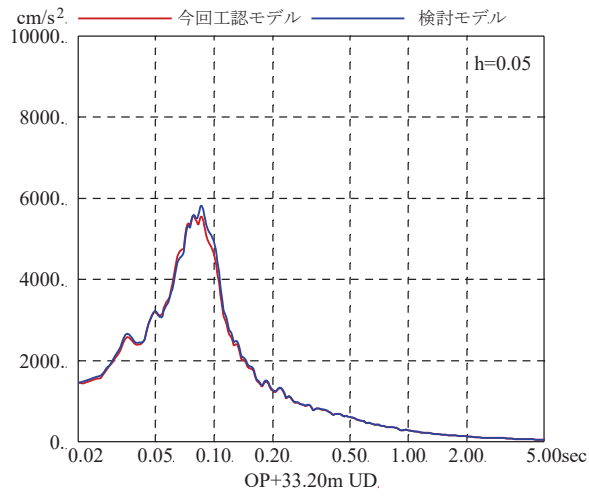
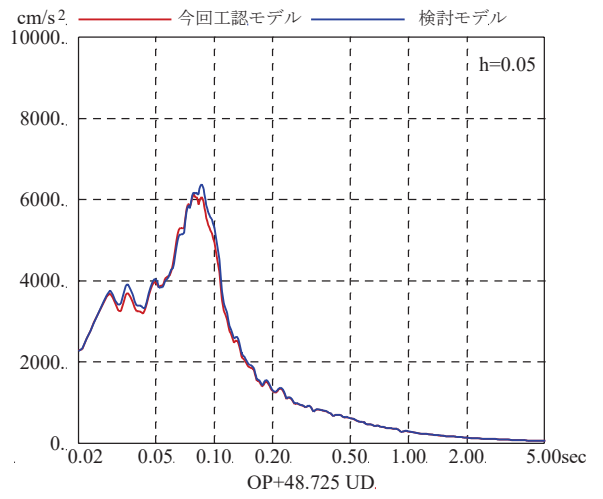
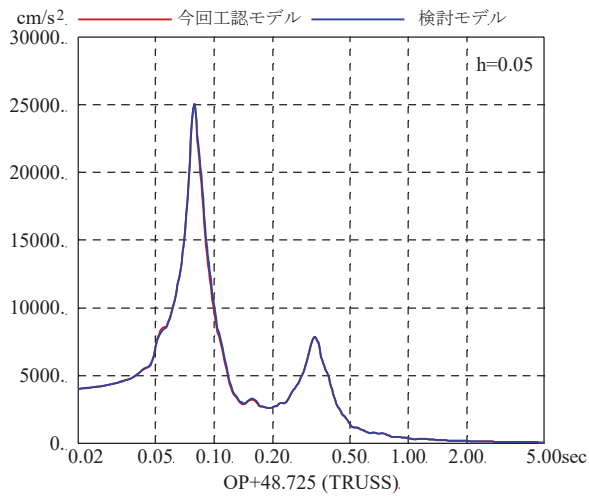


図 2-5(3) 床応答スペクトルの比較 (UD 方向 S s - D 2)

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。

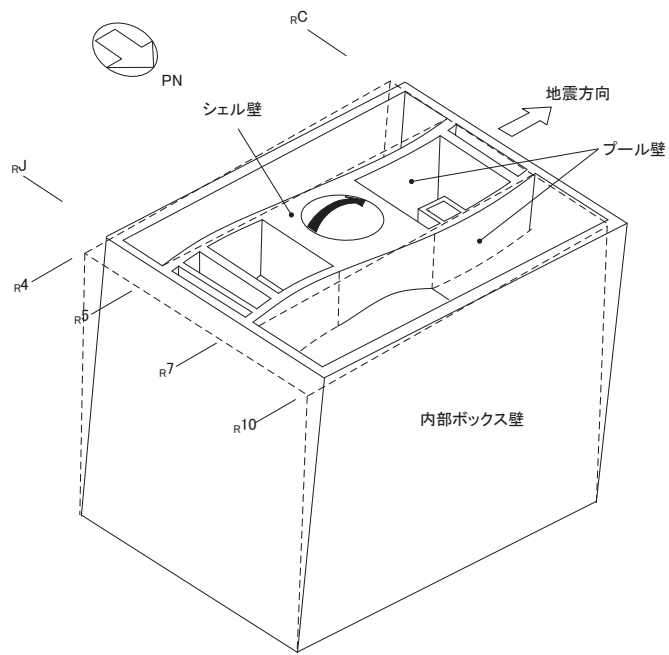


図 1-1 拘束効果の概念図

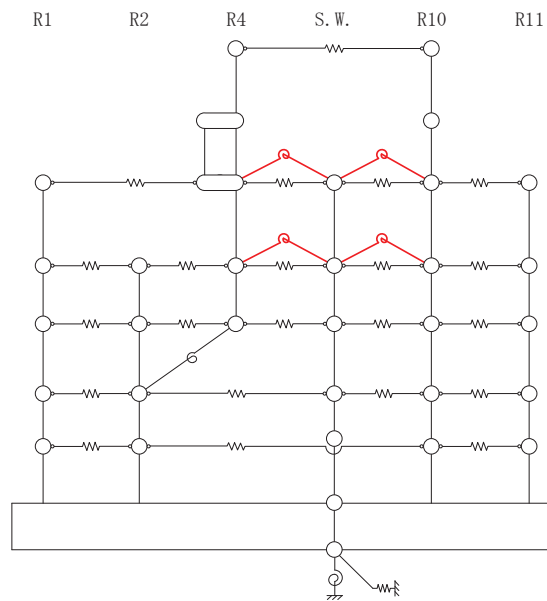
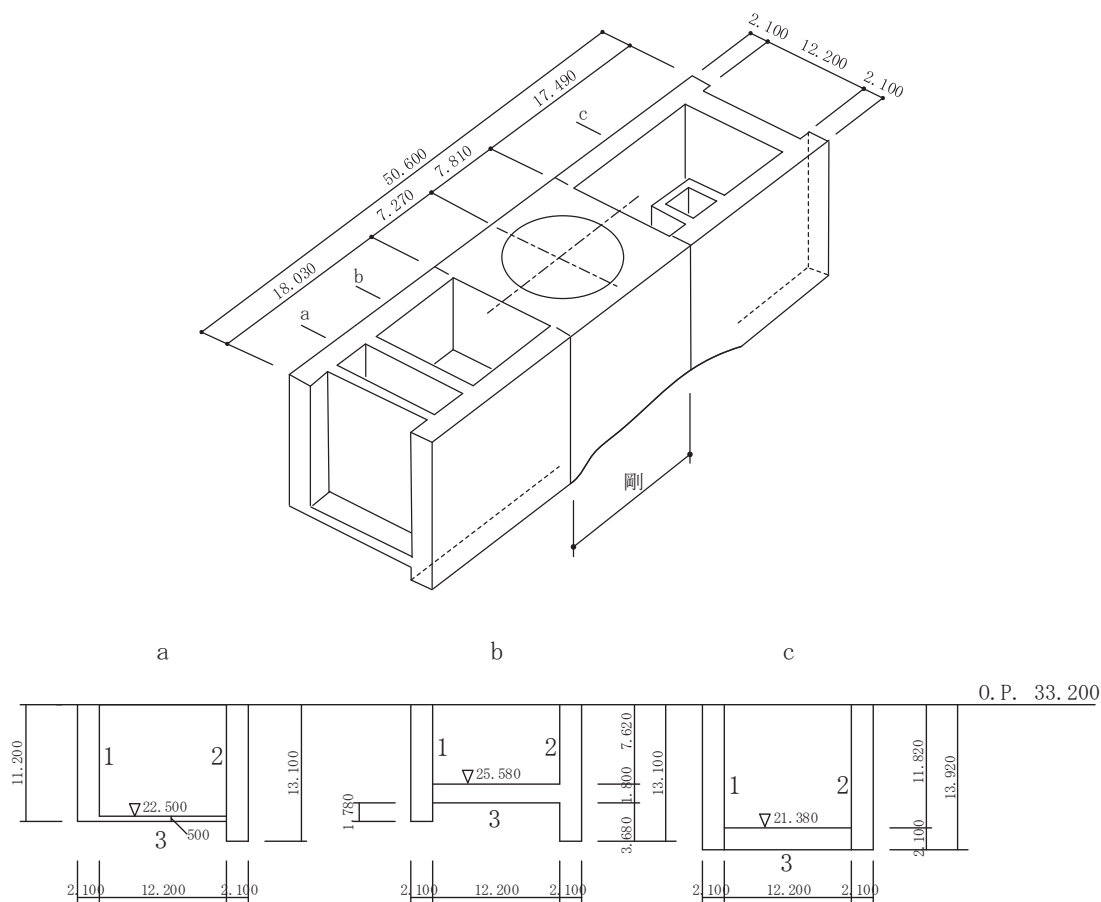


図 1-2 原子炉建屋地震応答解析モデル (EW 方向)
 (赤色部がプール壁による回転拘束効果を考慮した回転ばね)



O. P. 33.200

$$I = 778.4 \text{ m}^4$$

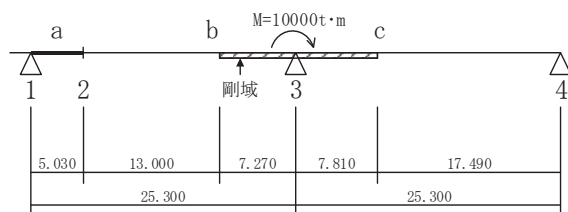
$$A_s = 51.0 \text{ m}^2$$

$$I = 745.7 \text{ m}^4$$

$$A_s = 51.0 \text{ m}^2$$

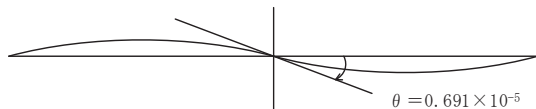
$$I = 1,575.6 \text{ m}^4$$

$$A_s = 58.5 \text{ m}^2$$



$$E = 270 \text{ t/cm}^2$$

$$G = 116$$



(単位 : m)

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

モデル上 4 か所に分けるとして

$$K_{\theta_1} = 14.472 \times 10^8 / 4$$

$$= 3.62 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{m/rad}$$

$$= 3.55 \times 10^9 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

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。

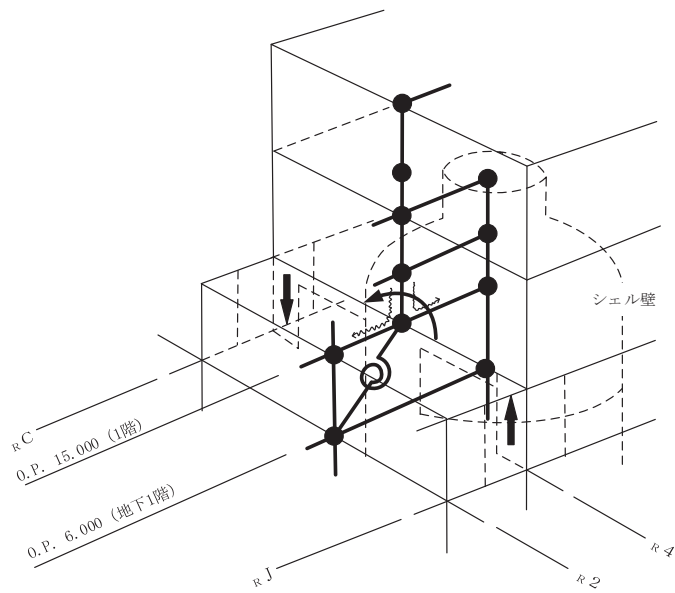


図 2-1 R4 通りの回転ばねの概念図

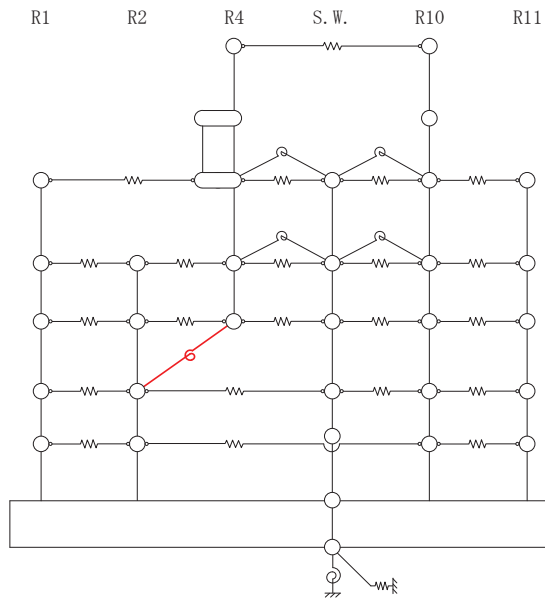
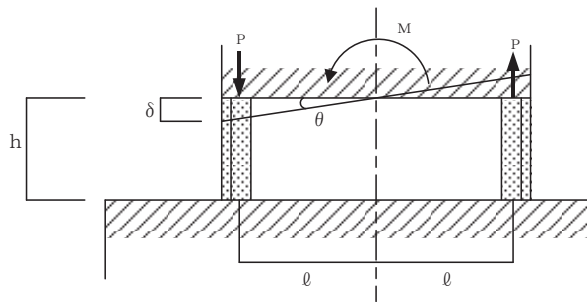
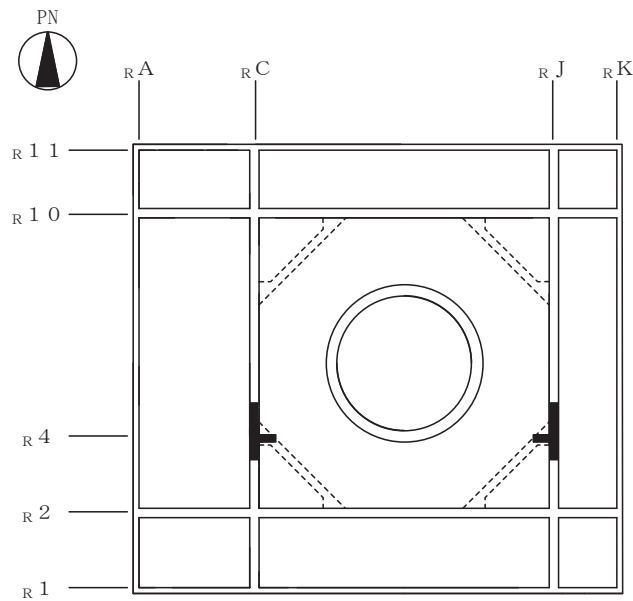


図 2-2 原子炉建屋地震応答解析モデル (EW 方向)
(赤色部が R4 通りの回転ばね)



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

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(0.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。

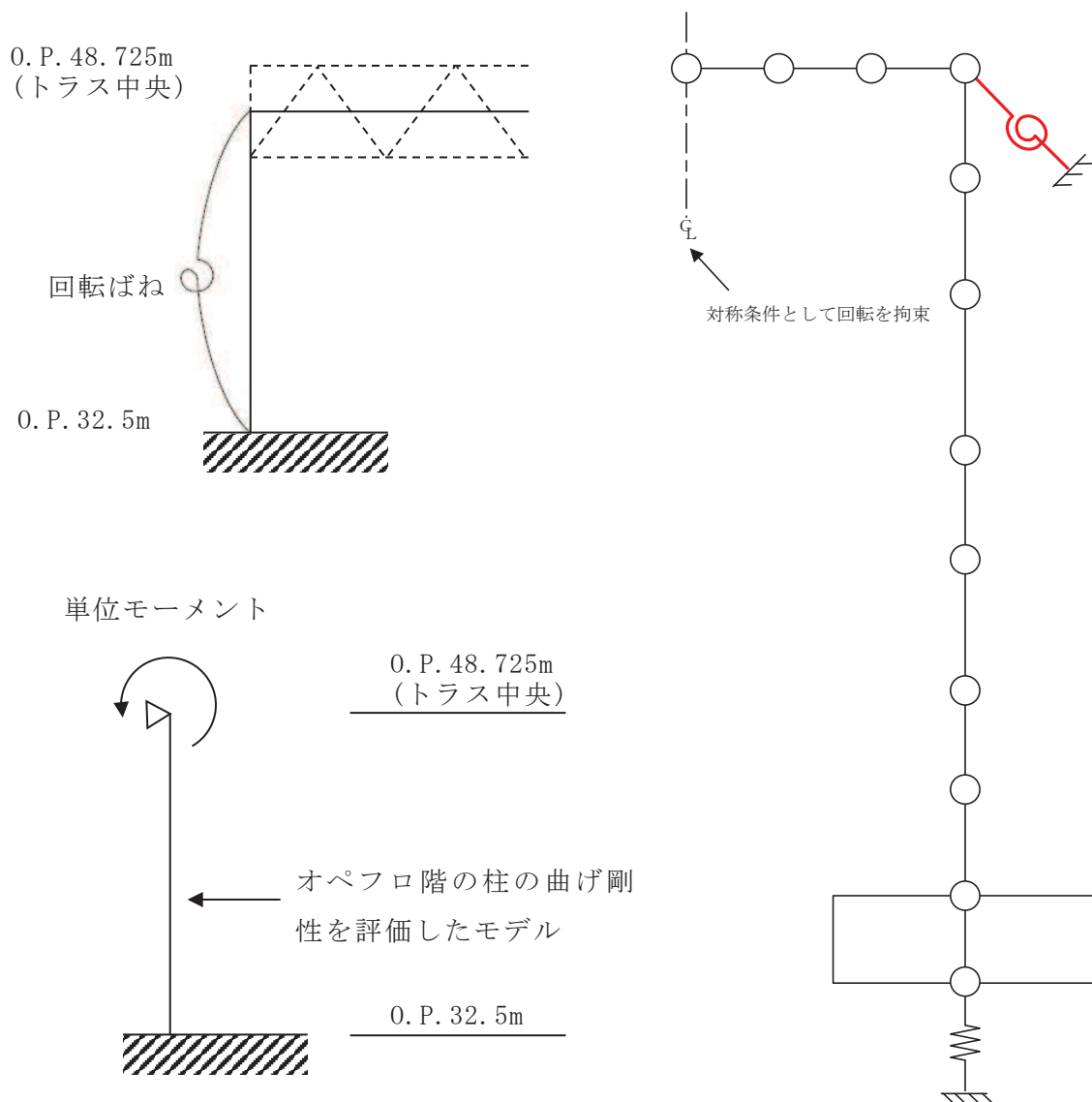


図3-1 屋根トラス部の回転ばねの概念図

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。

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

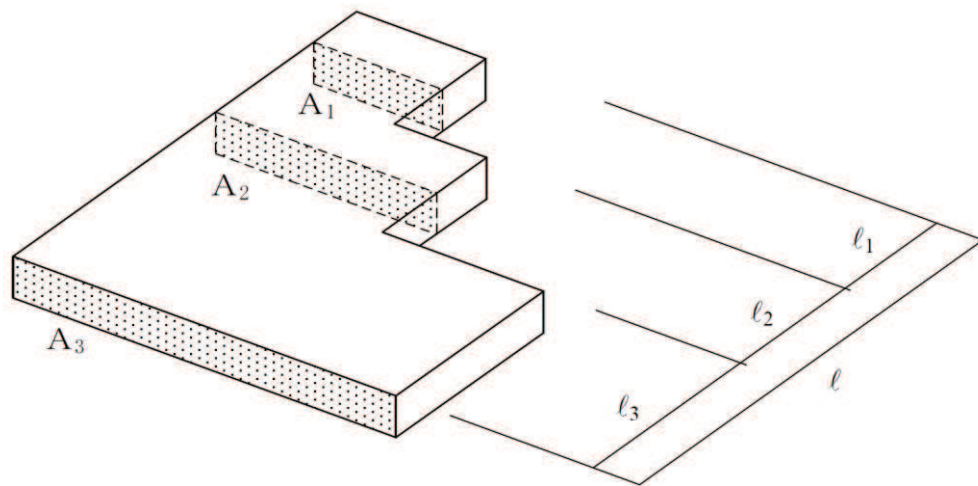


表 4-1(1) 原子炉建屋 床ばね算定結果 (NS 方向)

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	

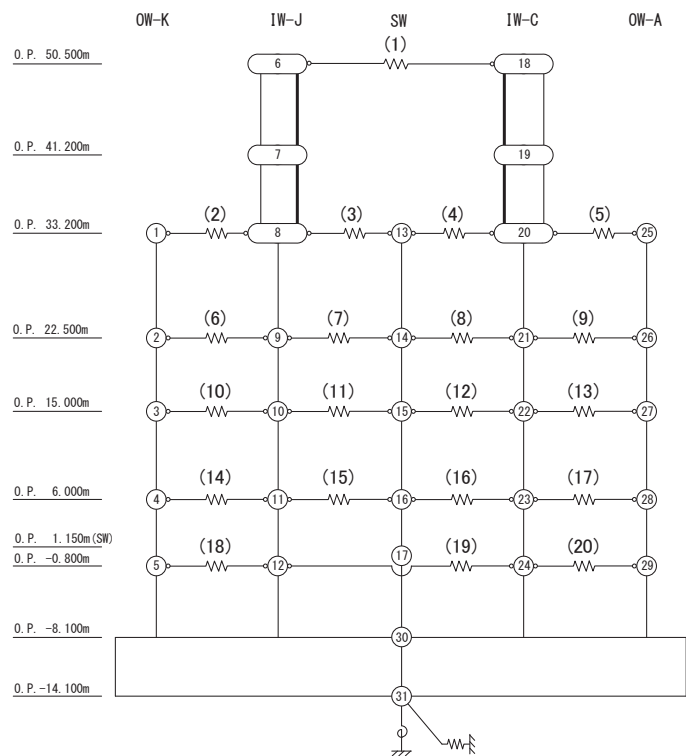
4.2 床ばね（線形ばね）を採用していることの妥当性について

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。

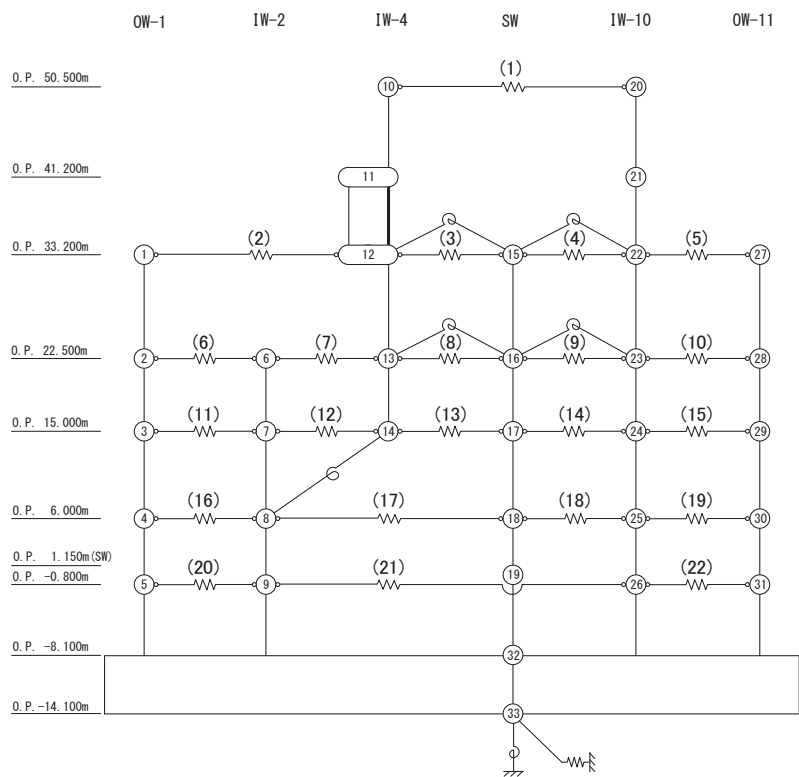
(1) 質点系モデルによる床ばねの最大応答せん断応力度

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、建屋下部のR2通りの耐震壁が1F(O.P.15.0m)と2F(O.P.22.5m)でR4通りに切り替わっているため、R4通りの層せん断力が床ばねを介してR2通りに伝達されるためであると考えられる。

なお、R4通りのO.P.22.5mとO.P.15.0mの質点はSW軸とも床ばねで接続されているが、R4通りとSW軸を結ぶ床ばねのせん断応力が大きくなる理由は、刺激関数図から確認できる。図4-3にEW方向の刺激関数図を示す。これらの刺激関数図を見ると、R4通りのO.P.22.5mとO.P.15.0mの質点はSW軸の質点とほぼ同じ変形をするのに対し、R2通りの質点とは変形に差が生じていることが確認できる。このような振動性状によりR4通りとR2通りを結ぶ床ばね要素の面内せん断応力度が特に大きくなったと考えられる。

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。

	R1	R2	R4	S.W.	R10	R11
<u>OP+50.5</u>			1.35 0.12			
<u>OP+33.2</u>						
<u>OP+22.5</u>	1.59 0.14		0.66 0.06	1.23 0.11	1.59 0.14	
<u>OP+15.0</u>	0.31 0.03	2.82 0.25	0.44 0.04	0.98 0.09	1.20 0.11	
<u>OP+ 6.0</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)

	R1	R2	R4	S.W.	R10	R11
<u>OP+50.5</u>			1.35 0.12			
<u>OP+33.2</u>						
<u>OP+22.5</u>	1.58 0.14		0.65 0.06	1.23 0.11	1.59 0.14	
<u>OP+15.0</u>	0.31 0.03	2.86 0.25	0.45 0.04	0.97 0.09	1.23 0.11	
<u>OP+ 6.0</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)

	R1	R2	R4	S.W.	R10	R11
<u>OP+50.5</u>			1.37 0.12			
<u>OP+33.2</u>						
<u>OP+22.5</u>	1.60 0.14		0.65 0.06	1.23 0.11	1.59 0.14	
<u>OP+15.0</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)

	R1	R2	R4	S.W.	R10	R11
<u>OP+50.5</u>			0.98 0.09			
<u>OP+33.2</u>						
<u>OP+22.5</u>	1.41 0.12		0.40 0.04	0.86 0.08	1.47 0.13	
<u>OP+15.0</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	

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(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)

	R1	R2	R4	S.W.	R10	R11
<u>OP+50.5</u>			0.97 0.08			
<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	

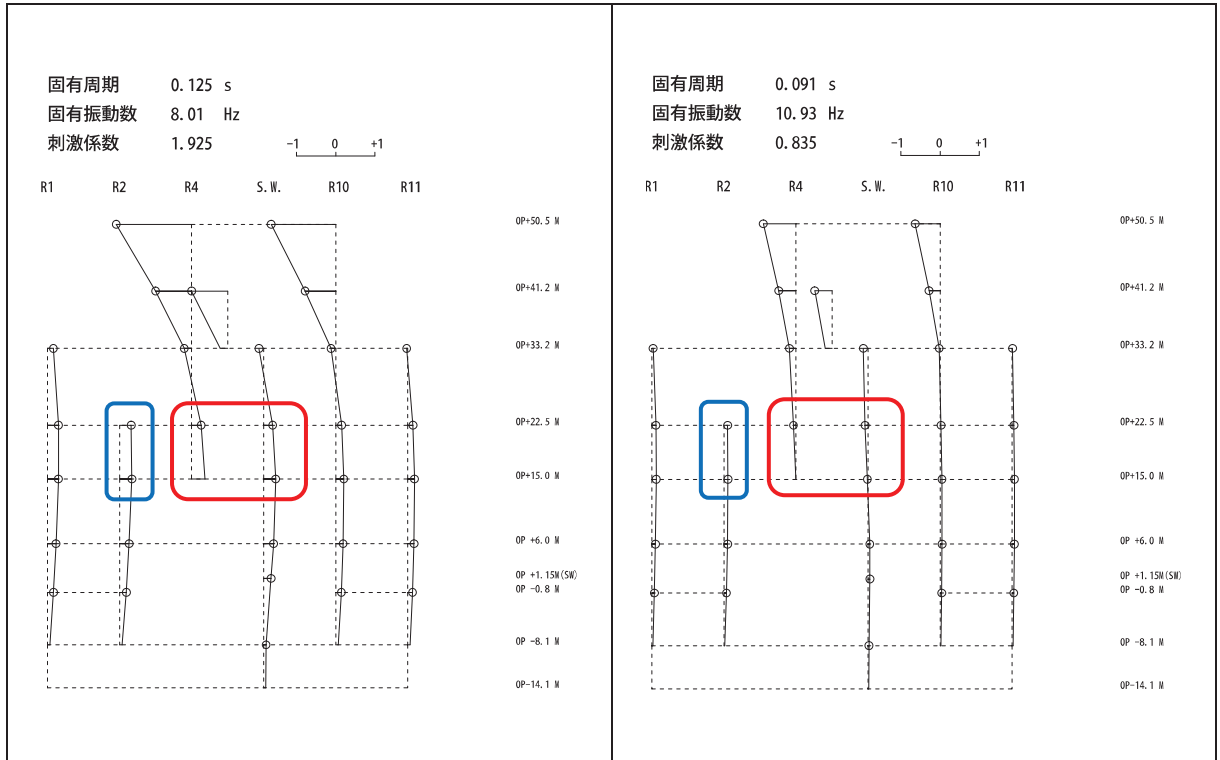
上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²)
下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)

図 4-2(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)

	R1	R2	R4	S.W.	R10	R11
<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	

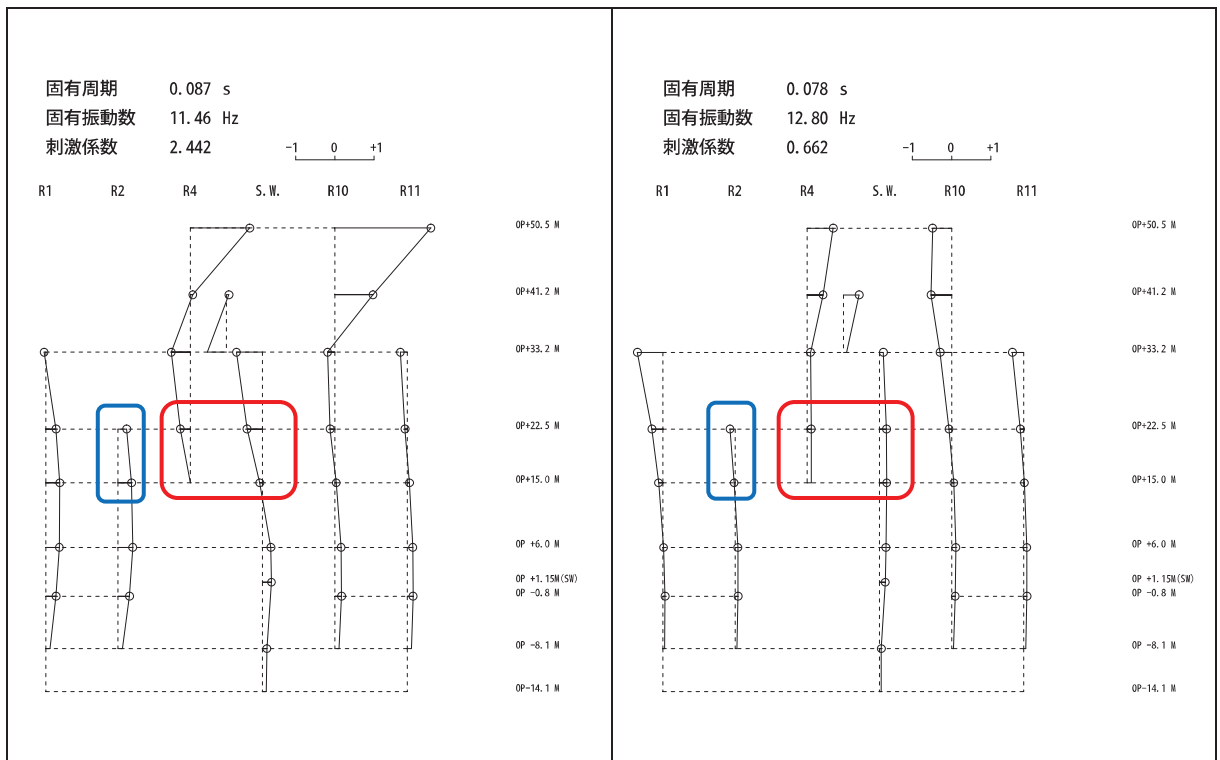
上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²)
下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)

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)



2次モード

5次モード



6次モード

7次モード

赤枠内の変形の差は小さいが青枠の部材は変形の差が大きい

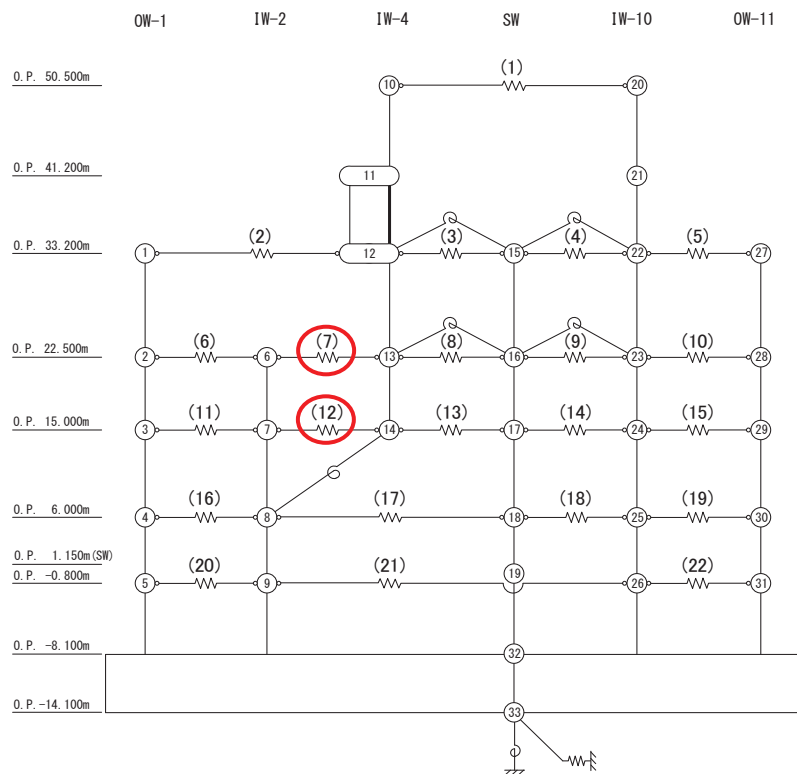
図 4-3 原子炉建屋の地震応答解析モデルの刺激関数図 (EW 方向, 基本ケース)

(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 4-4 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 4-4 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））

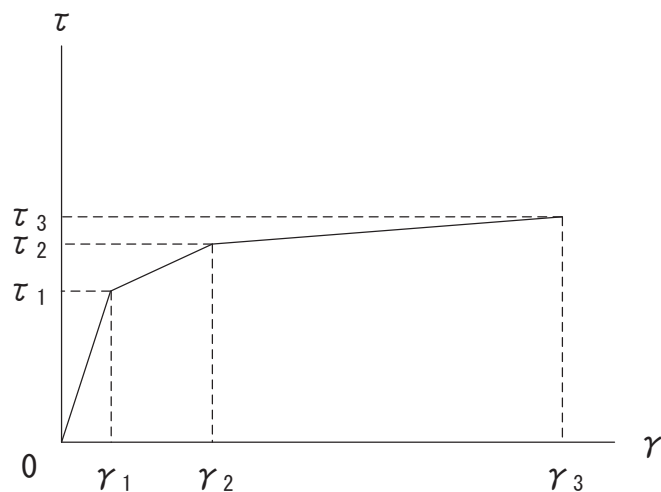
b. 非線形特性のモデル化方法

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 4-5 に床ばねのせん断応力度

せん断ひずみ関係を，図 4-6 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

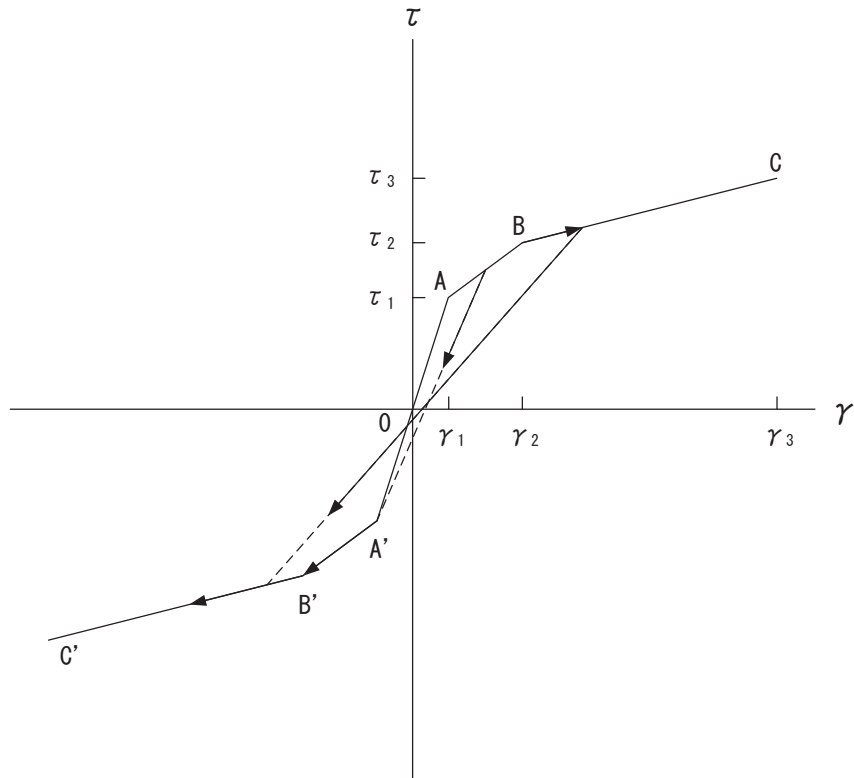
部材番号	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
(7)	1.78	2.39	3.17	0.156	0.468	4.00
(12)	1.78	2.39	3.17	0.156	0.468	4.00



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 4-5 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 4-6 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 4-7 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。

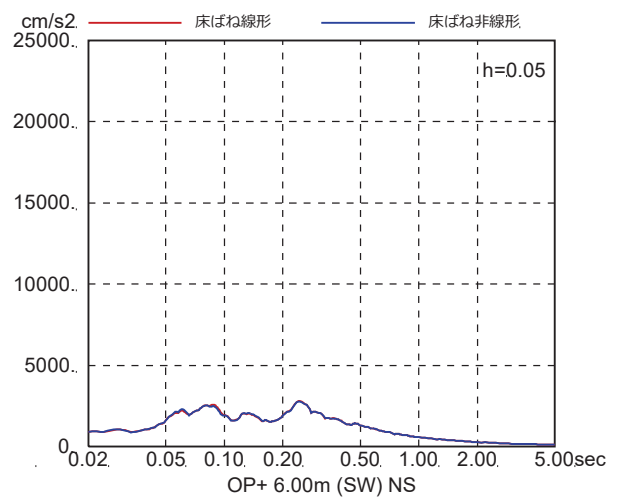
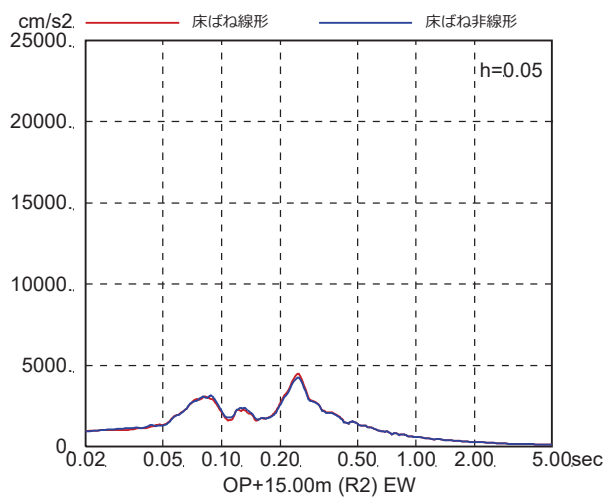
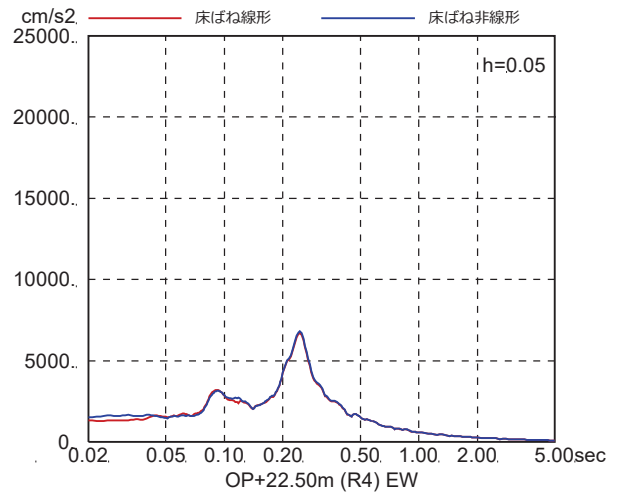
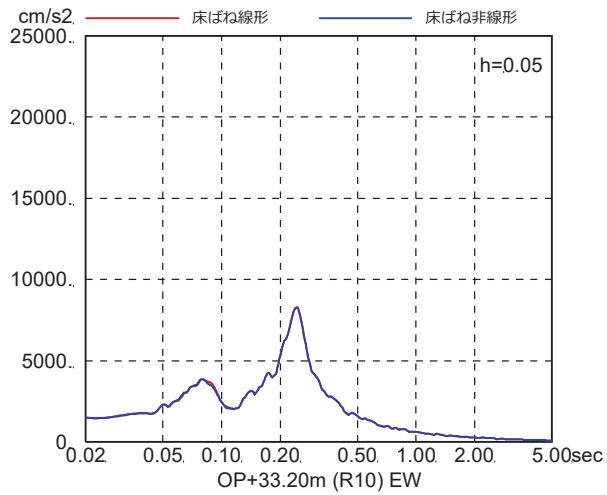
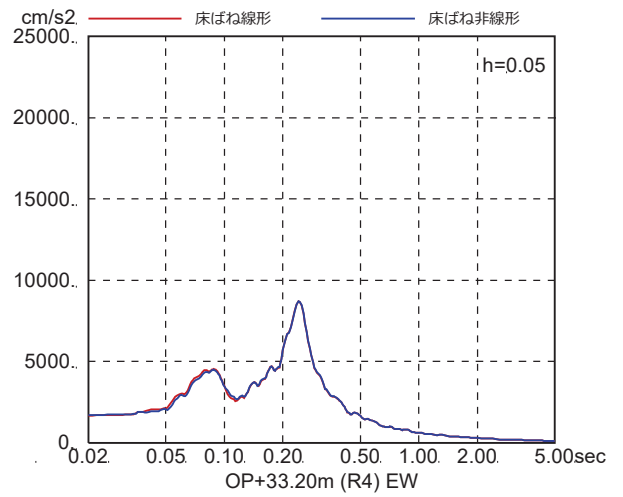
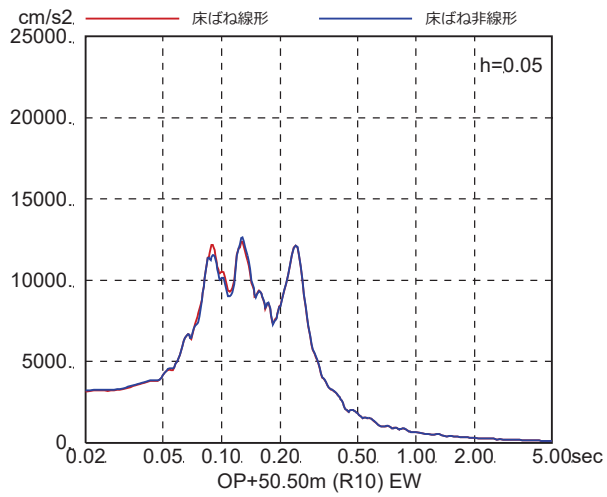


図 4-7(1) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S s - D 1)

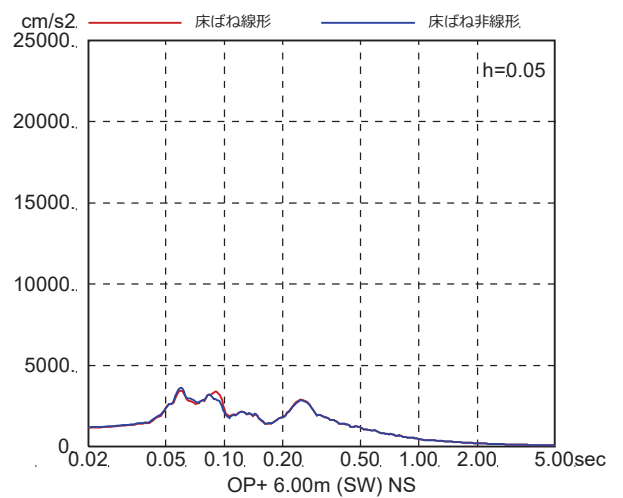
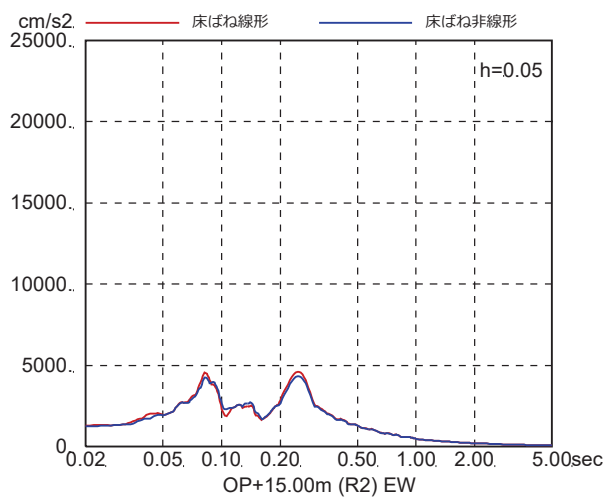
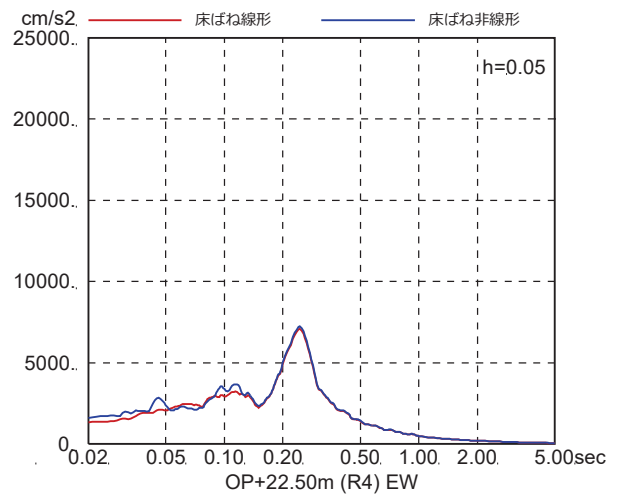
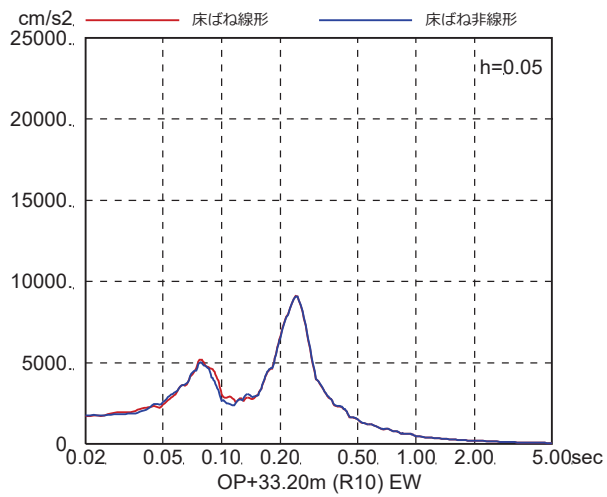
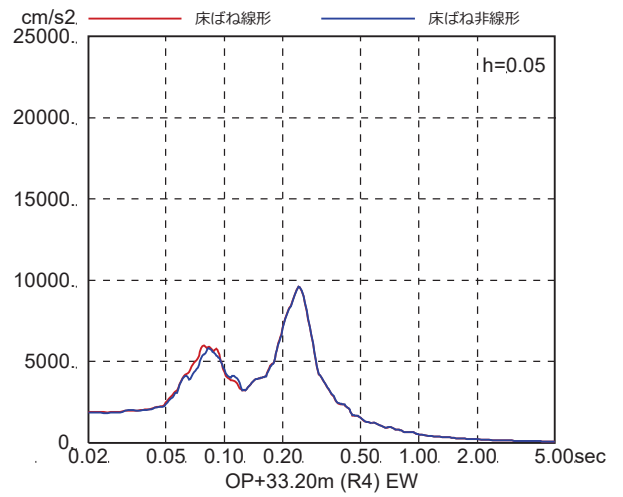
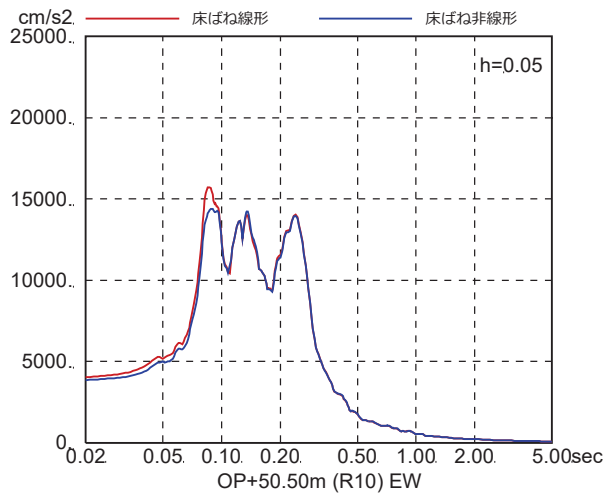


図 4-7(2) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S_s-D₂)

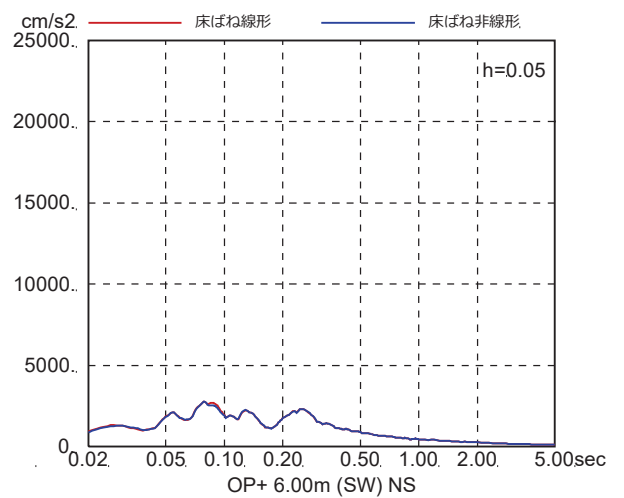
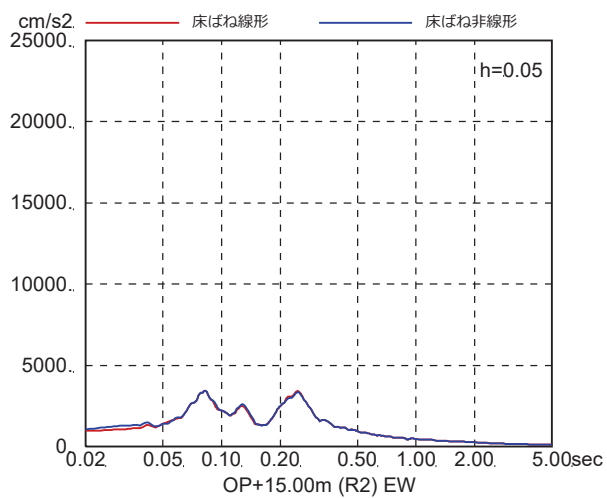
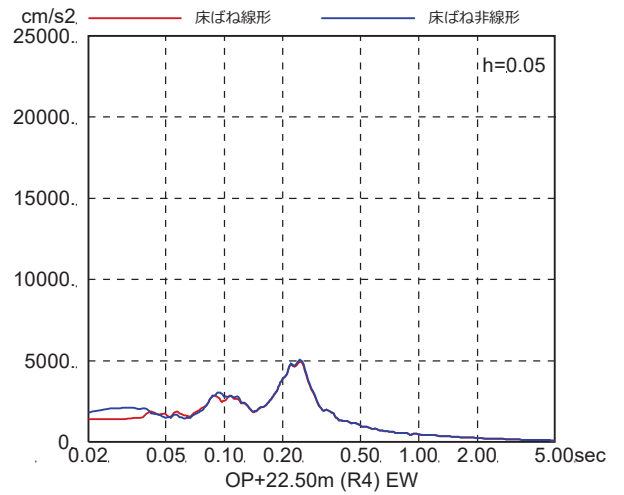
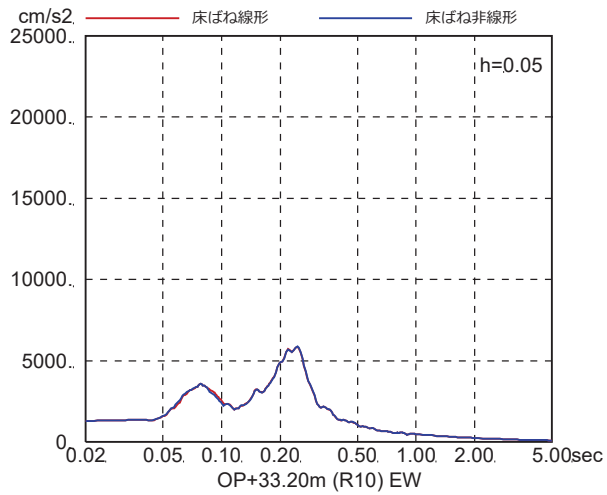
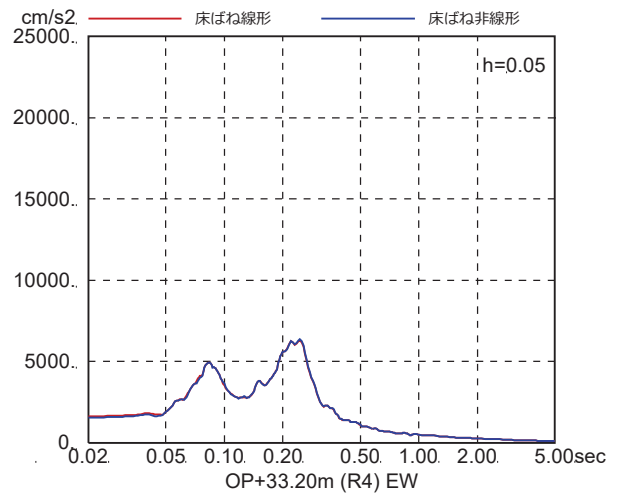
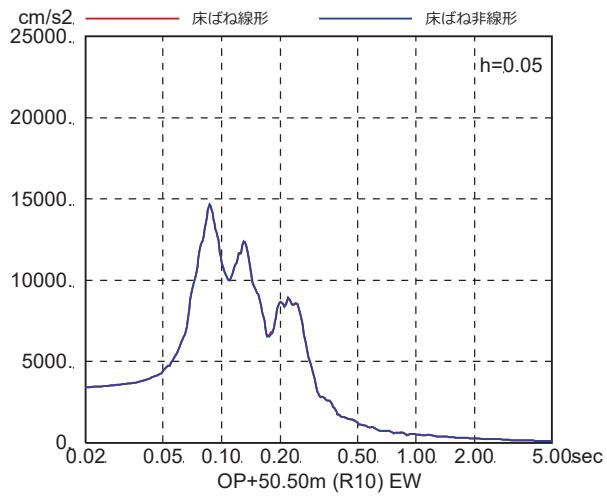


図 4-7(3) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, $S_s - D_3$)

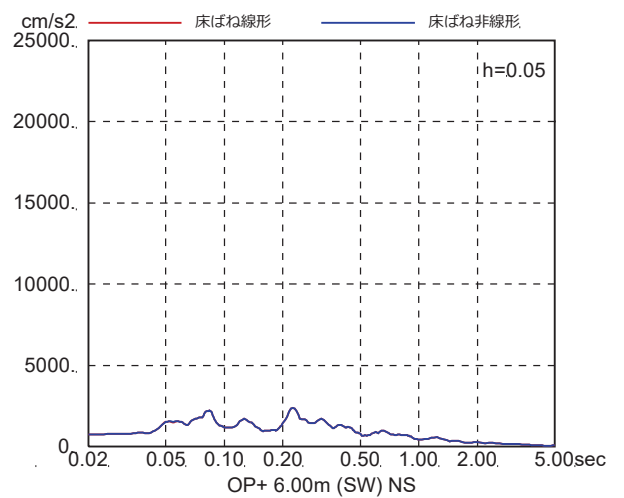
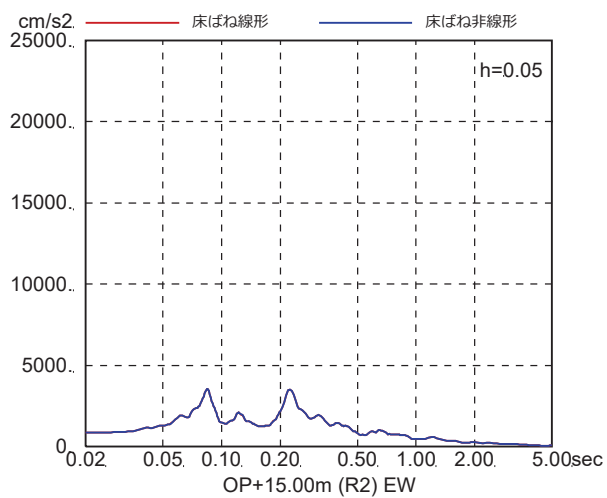
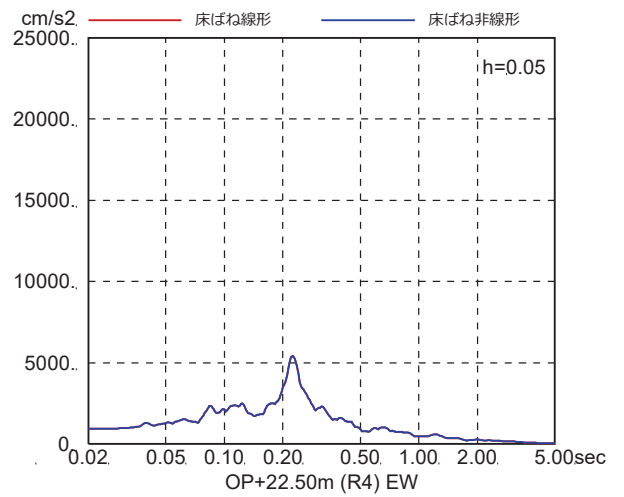
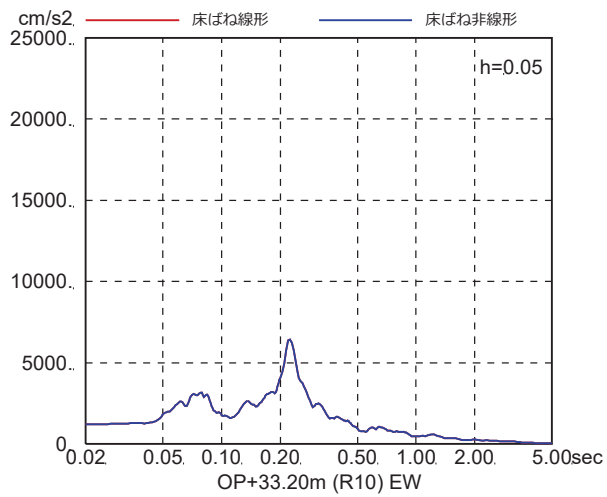
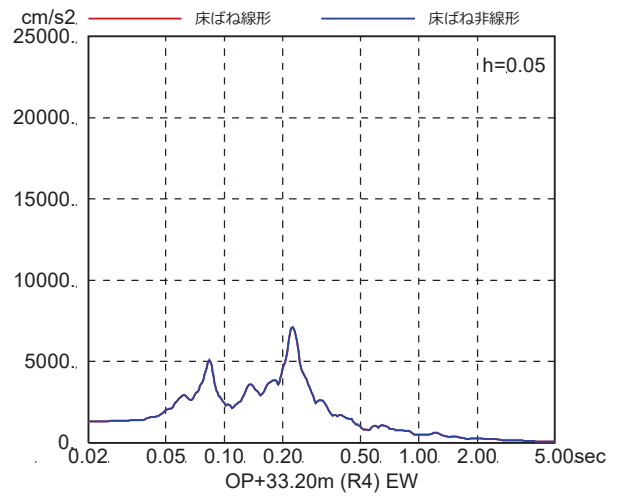
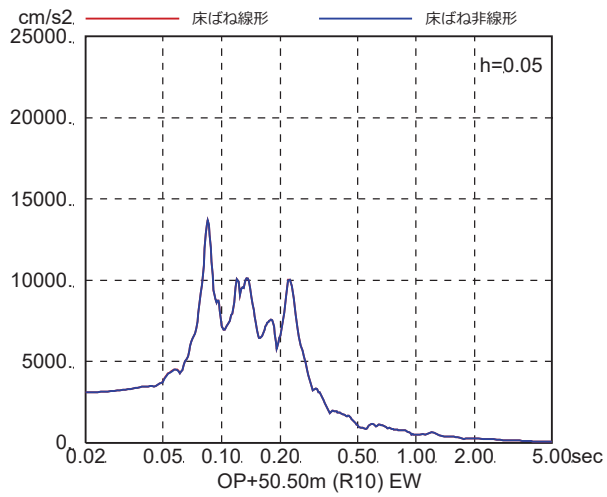


図 4-7(4) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, $S_s - F_1$)

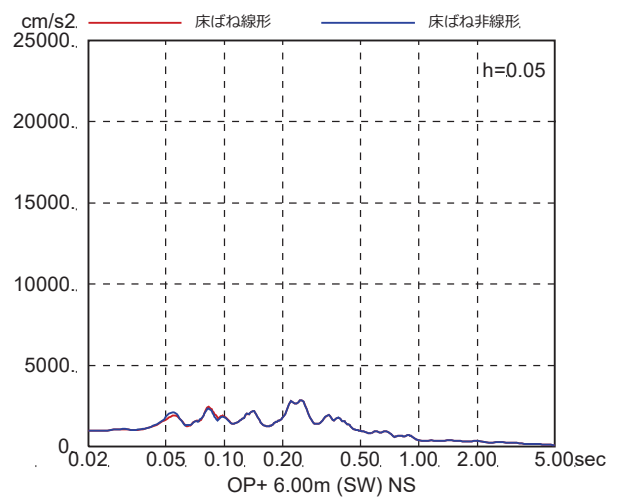
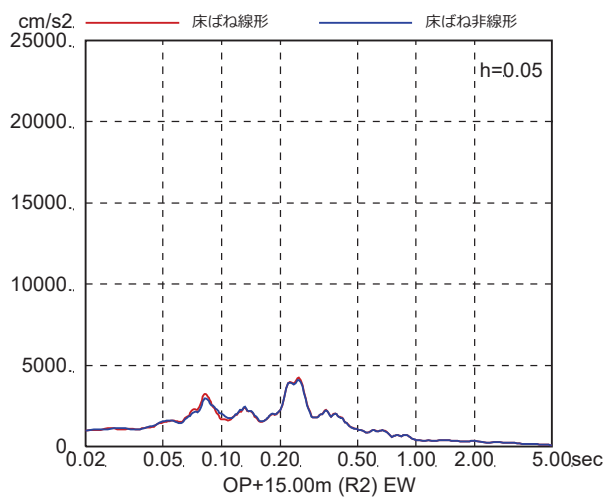
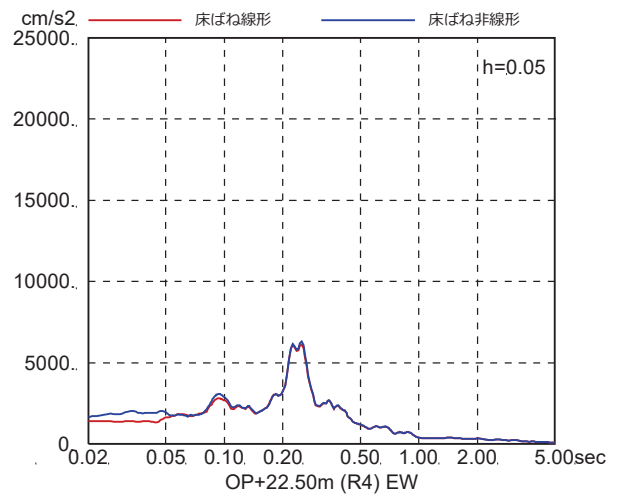
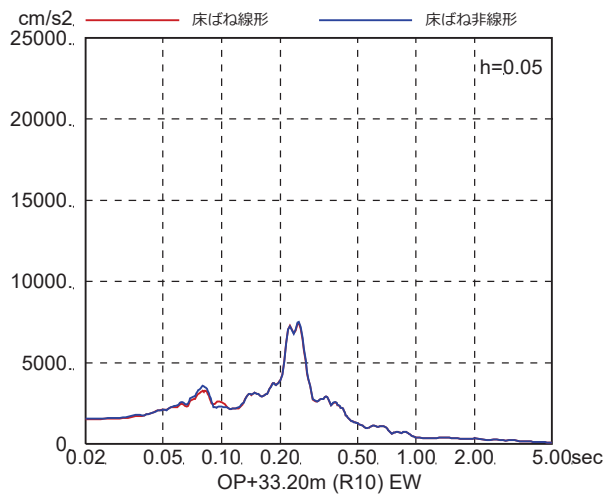
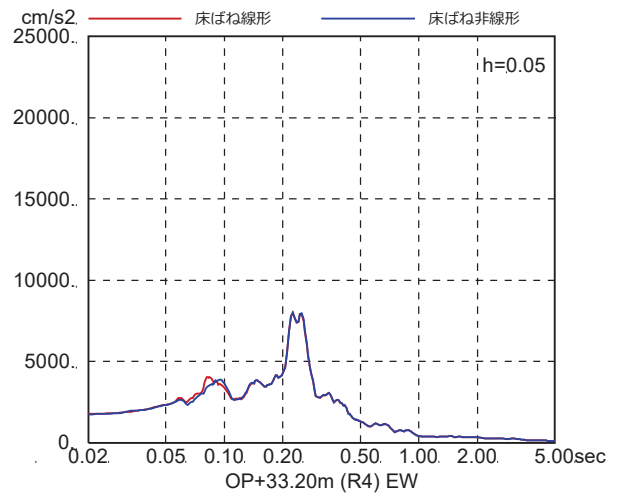
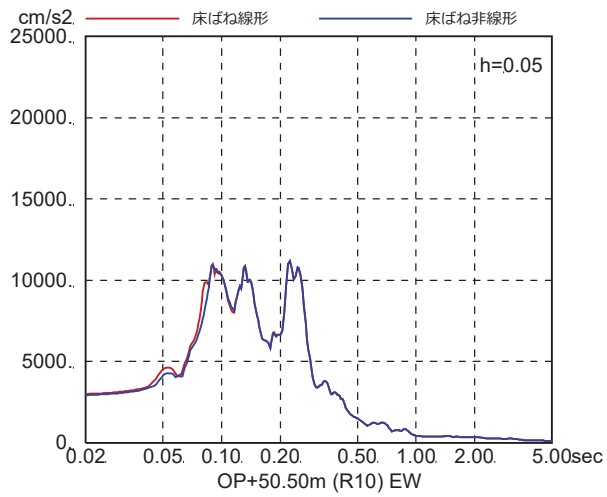


図 4-7(5) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S_s-F₂)

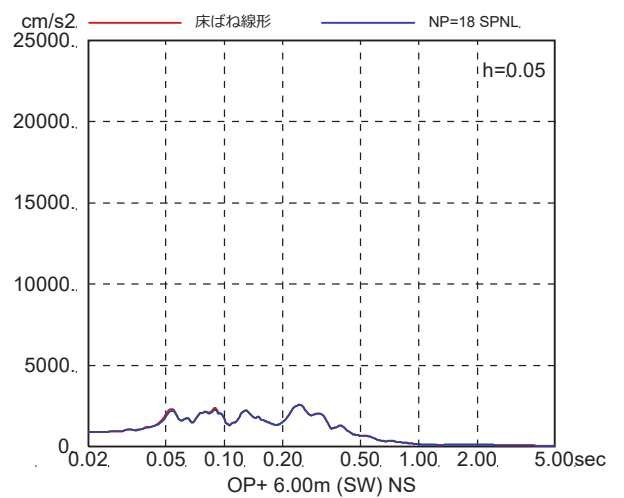
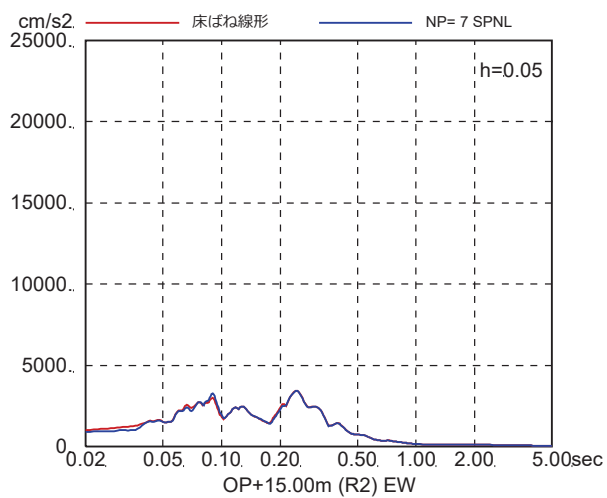
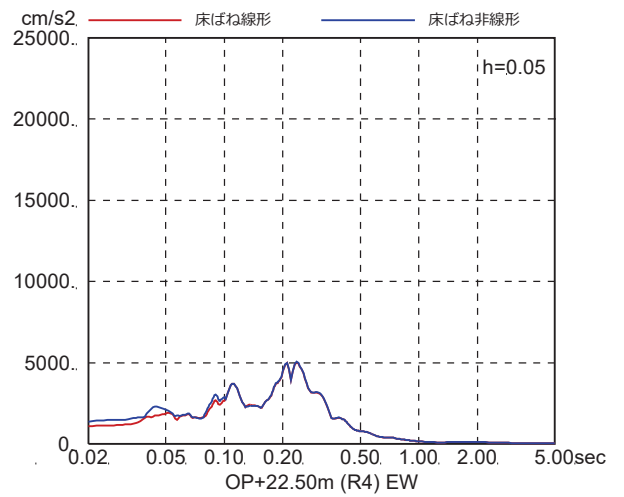
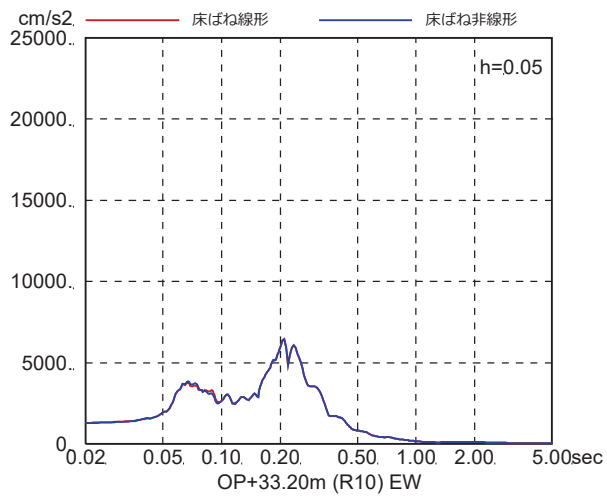
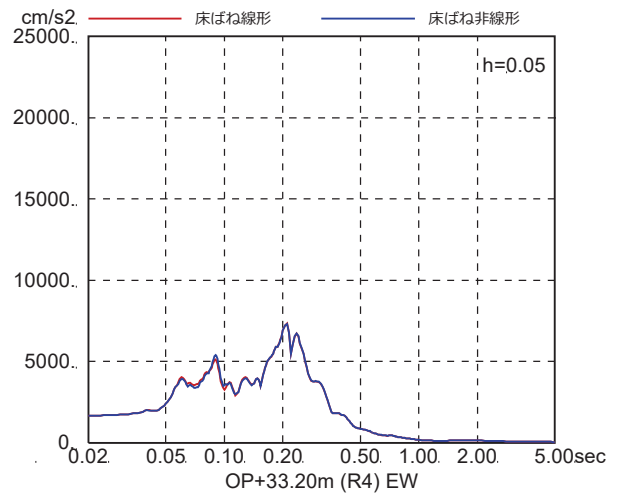
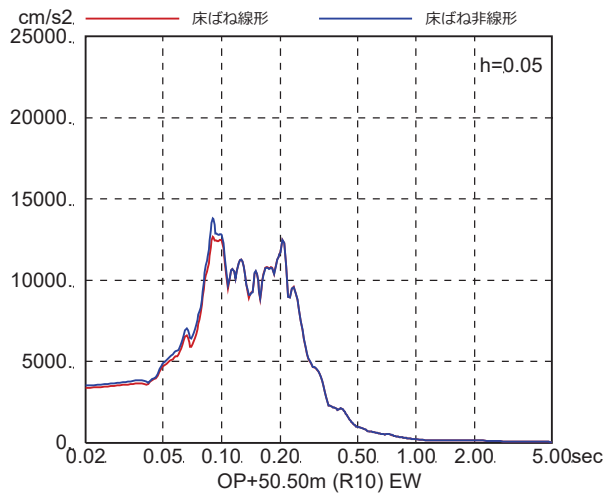


図 4-7(6) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S s - F 3)

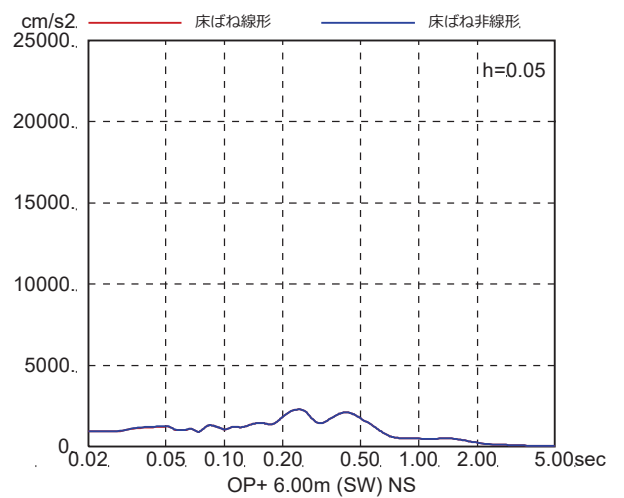
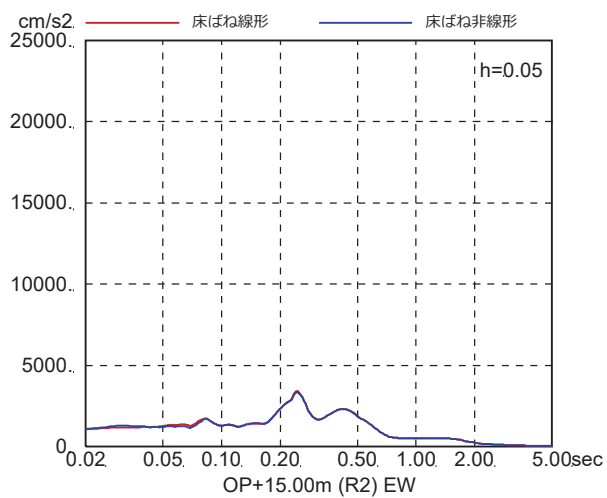
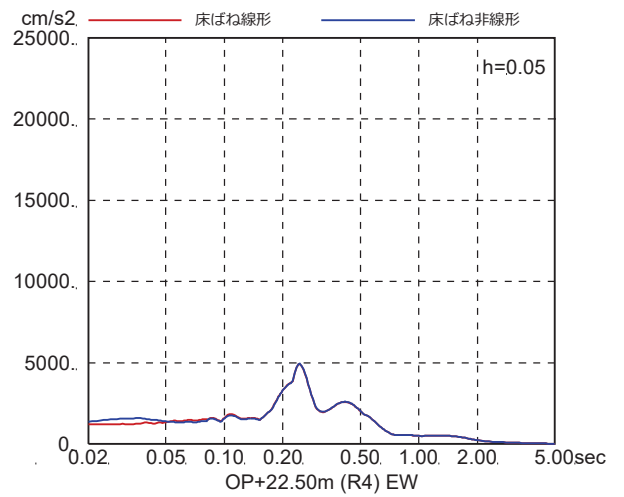
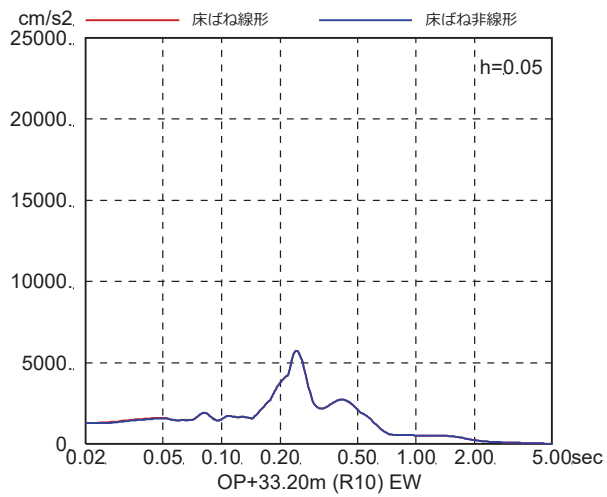
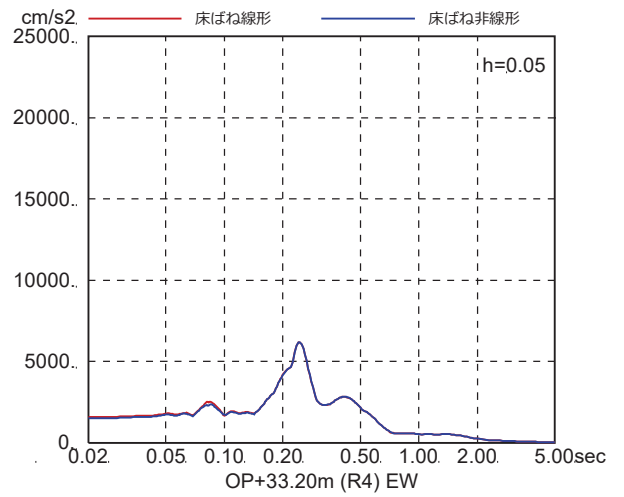
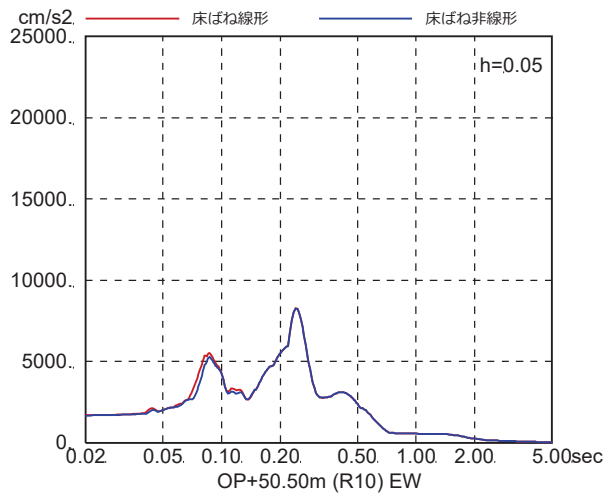


図 4-7(7) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 1, S_s-N₁)

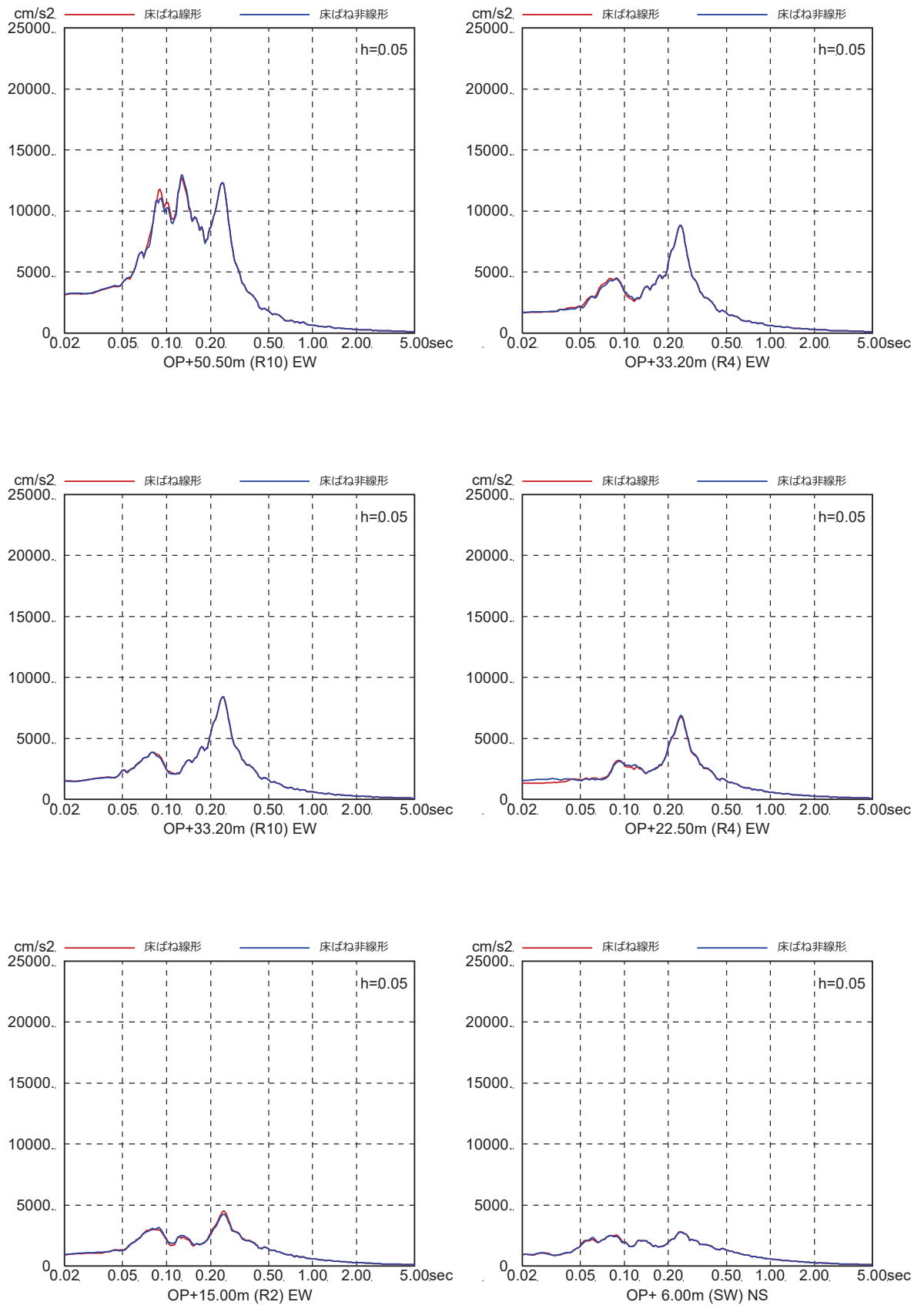


図 4-7(8) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, S s - D 1)

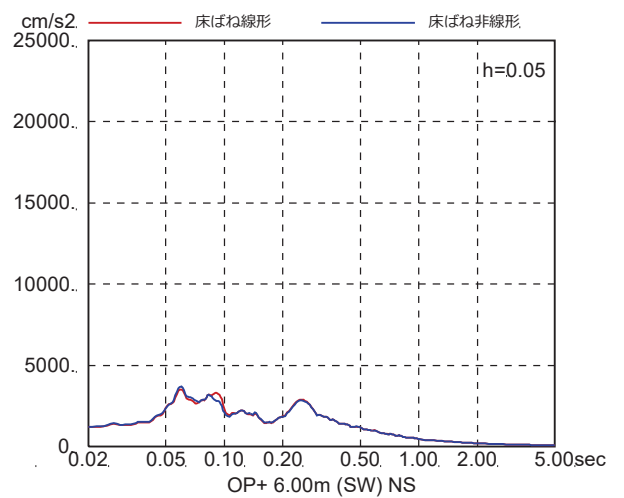
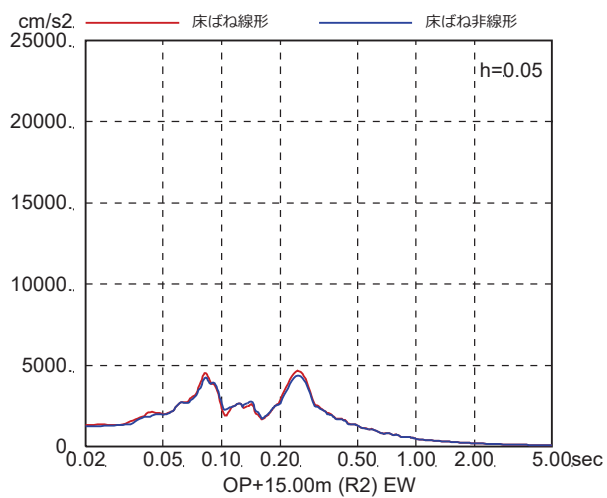
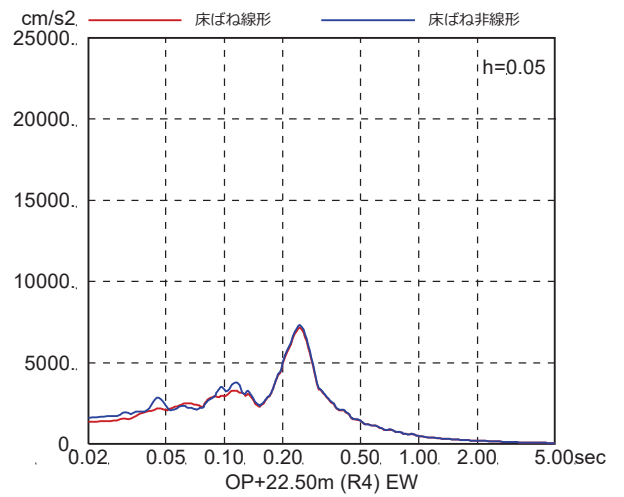
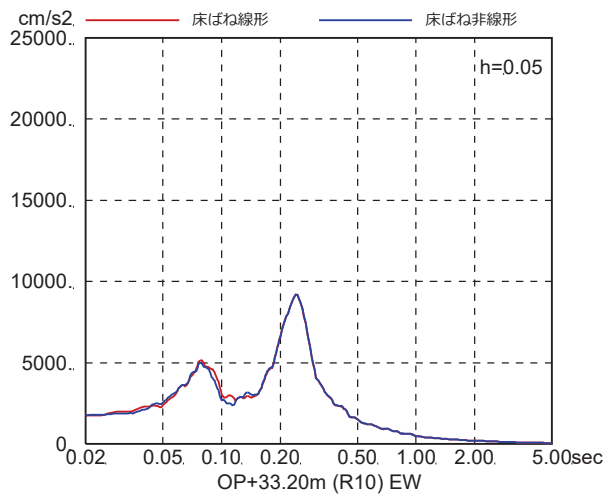
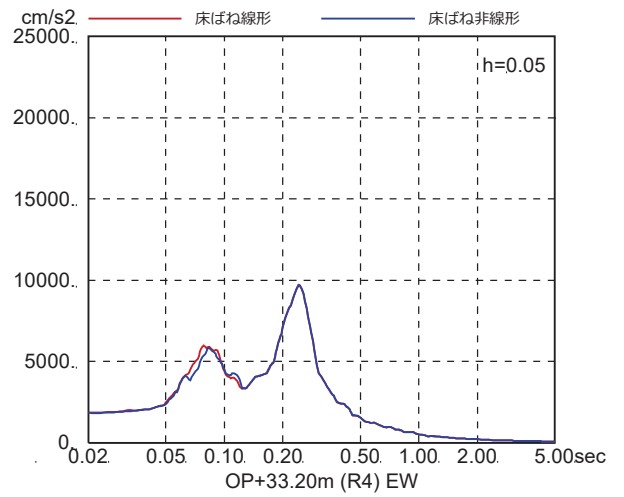
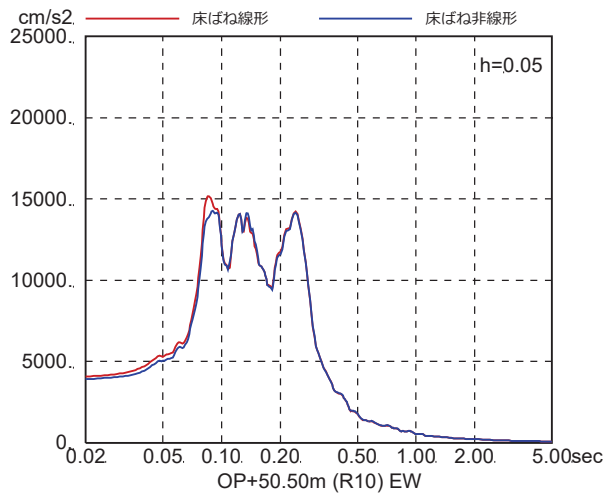


図 4-7 (9) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, $S_s - D_2$)

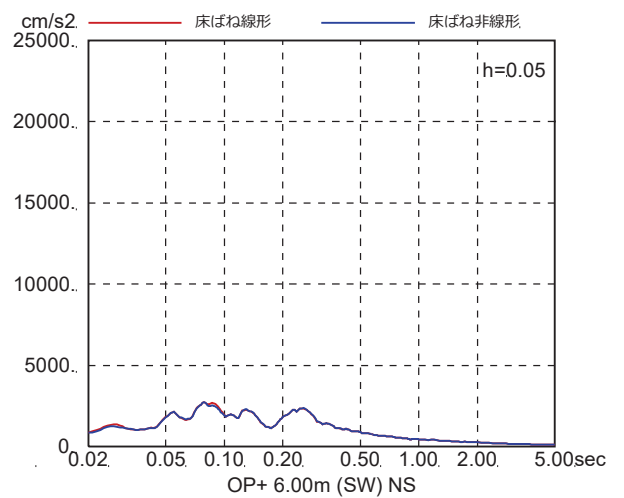
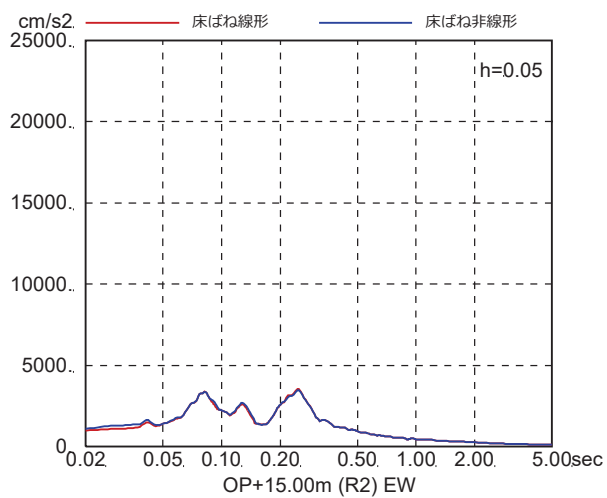
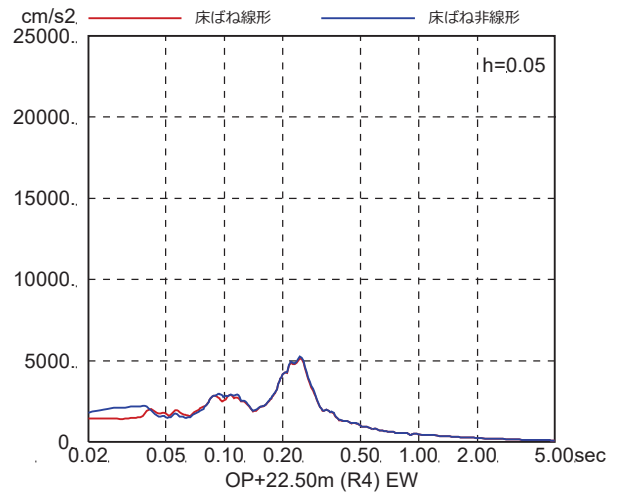
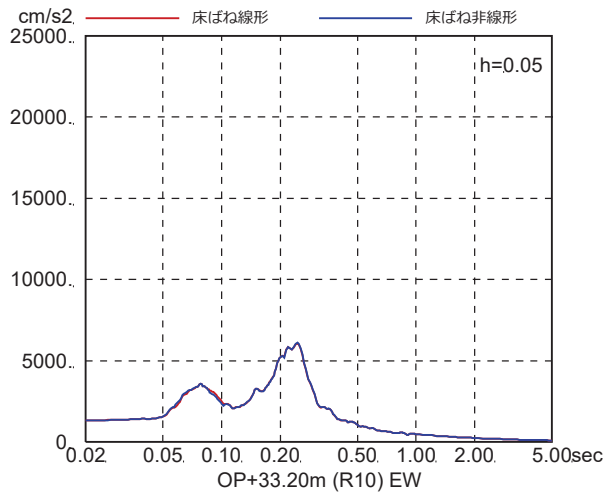
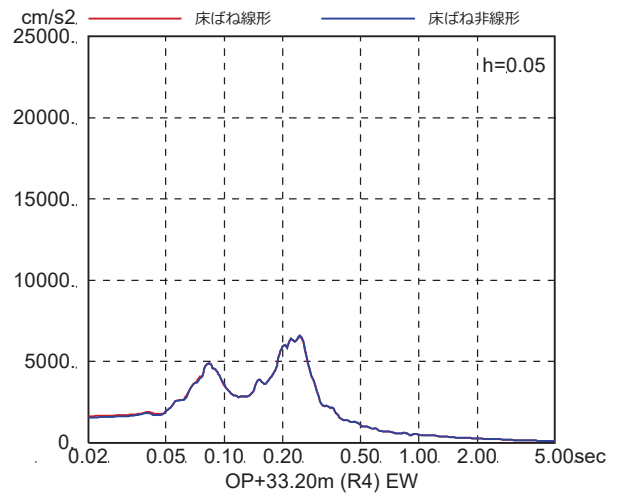
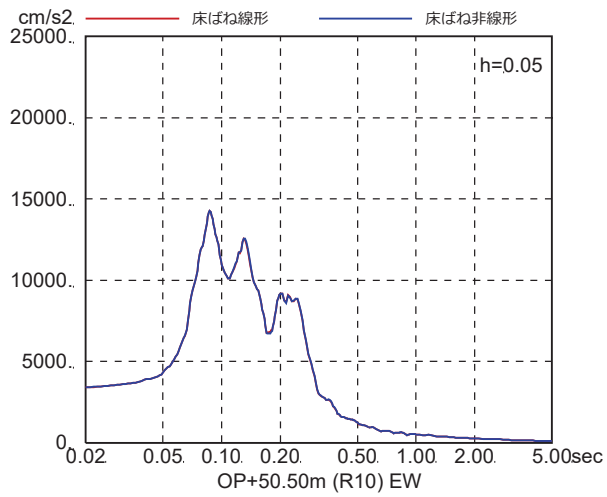


図 4-7(10) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, $S_s - D_3$)

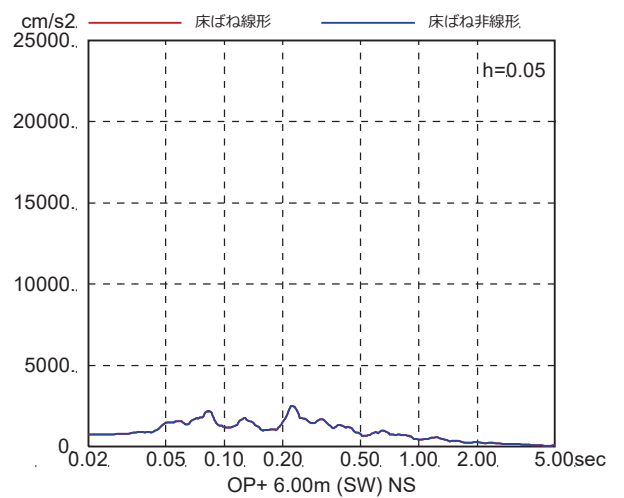
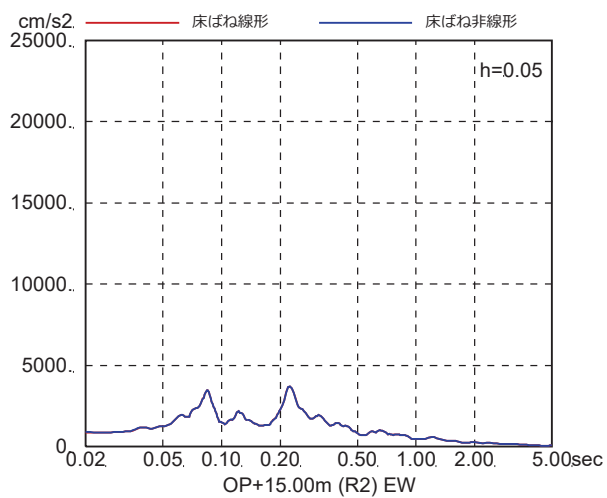
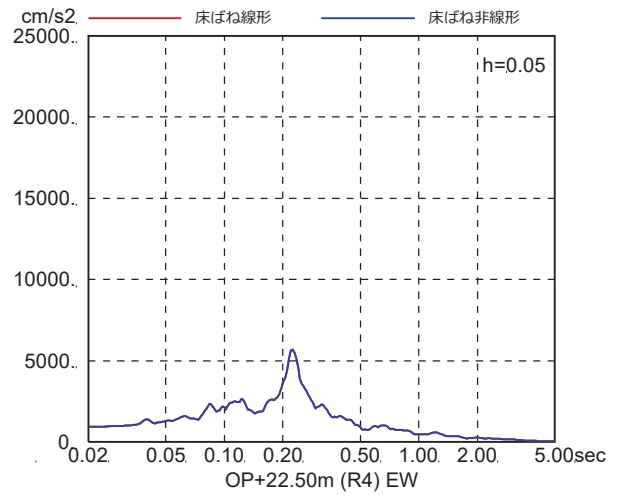
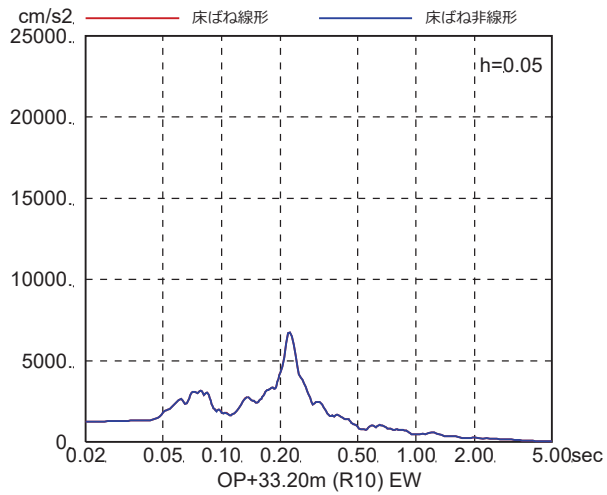
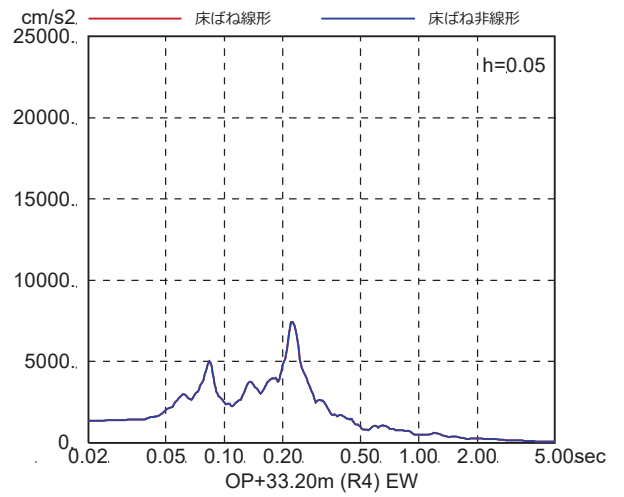
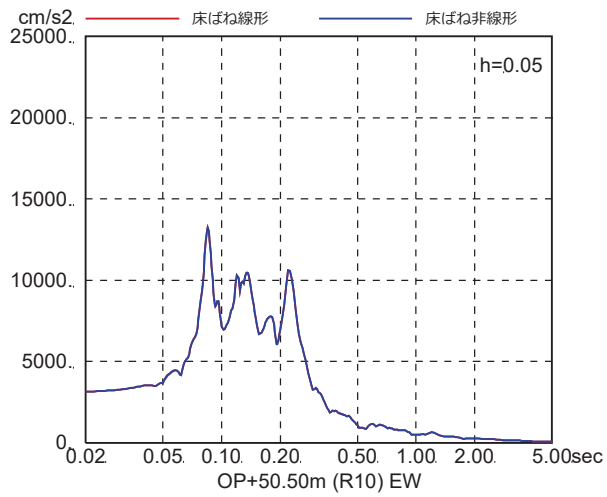


図 4-7(11) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, $S_s - F_1$)

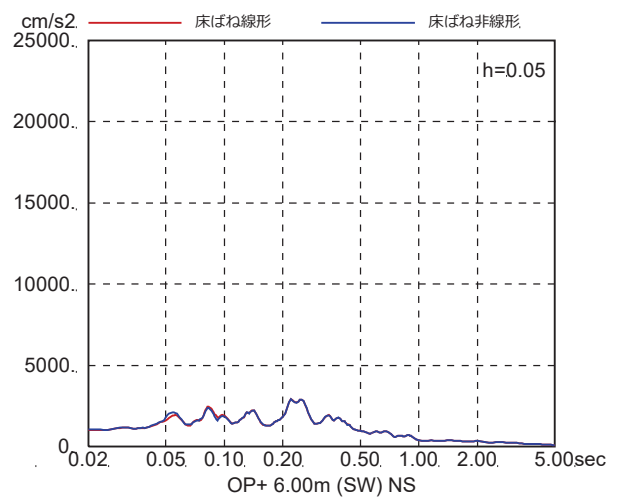
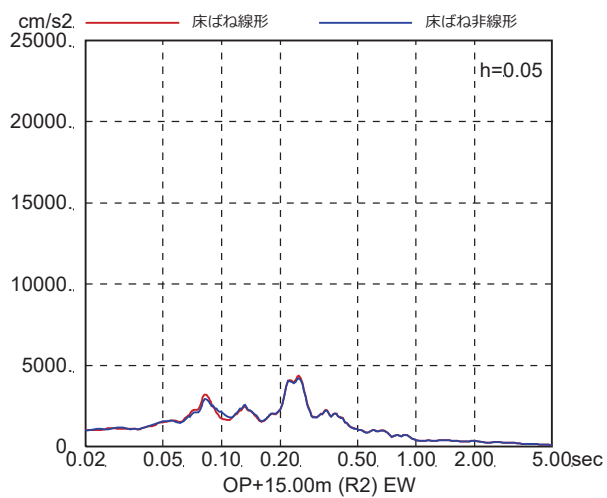
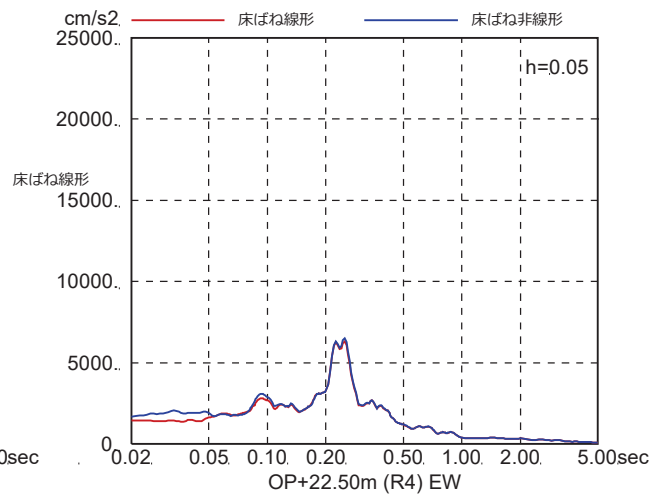
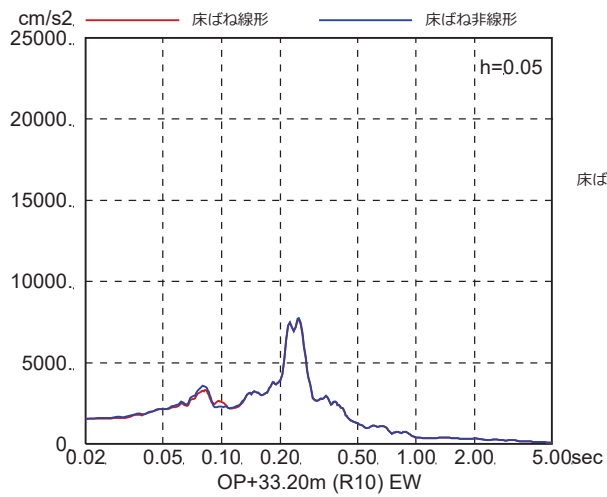
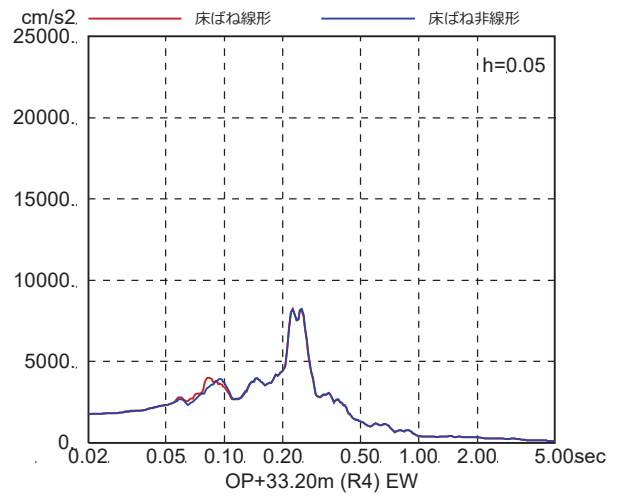
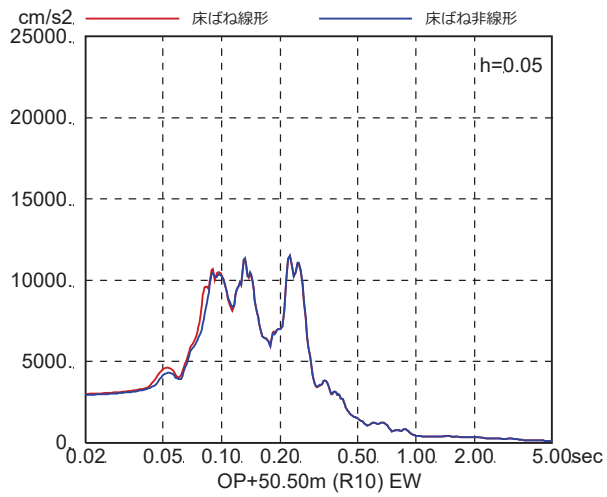


図 4-7(12) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, S_s-F₂)

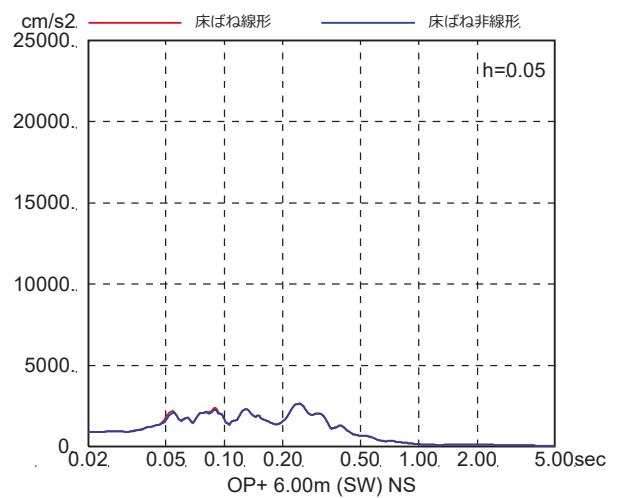
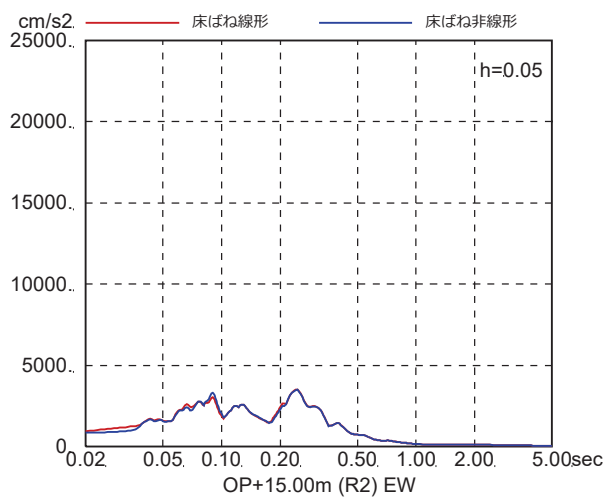
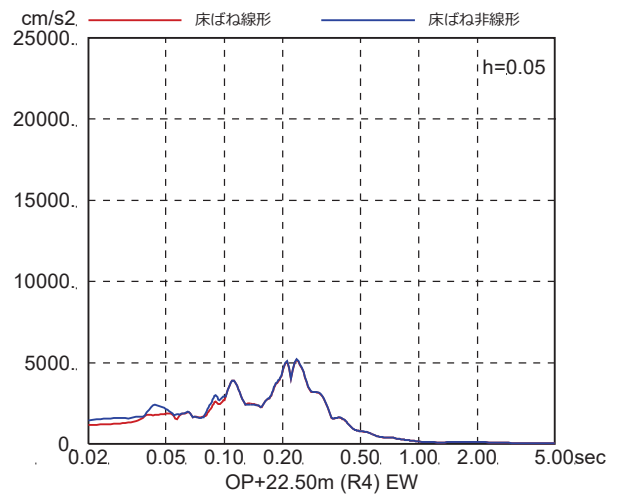
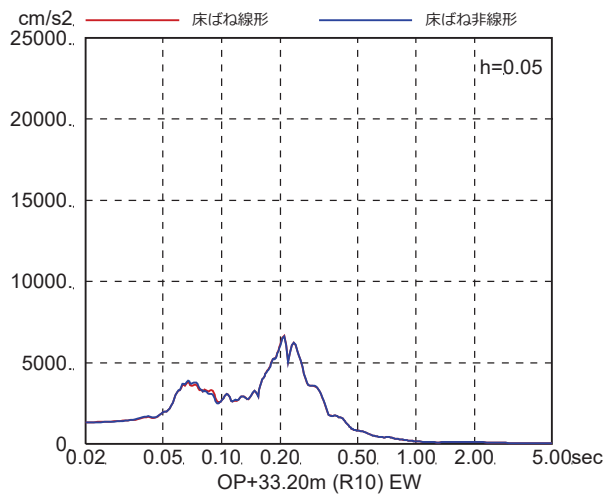
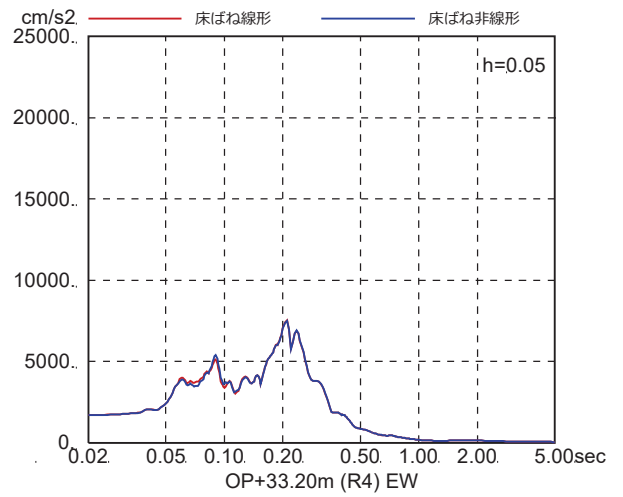
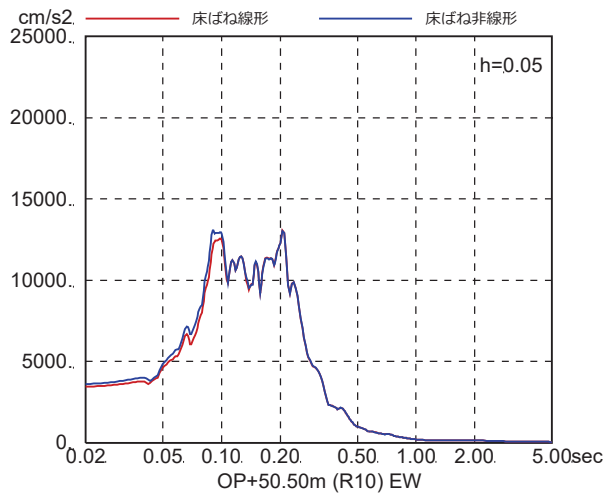


図 4-7(13) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, S_s-F₃)

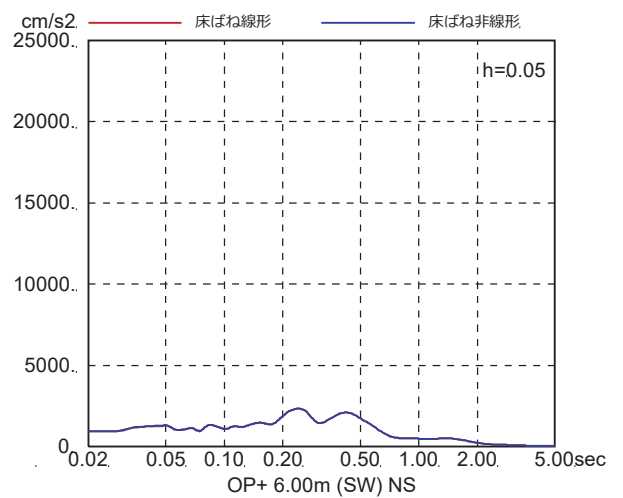
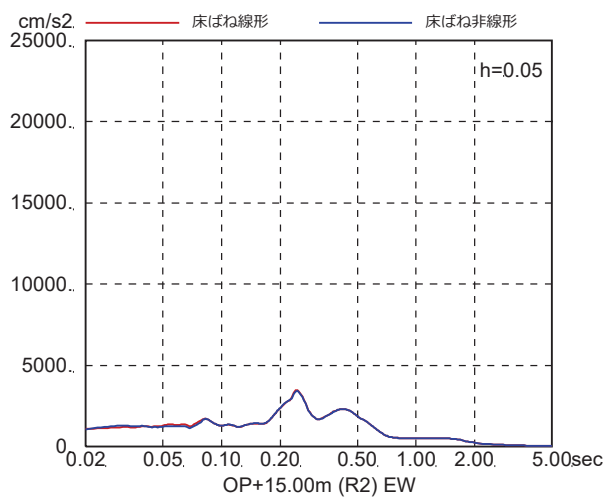
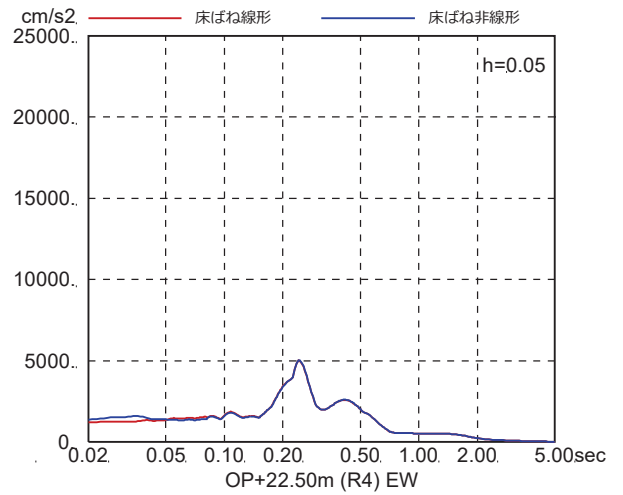
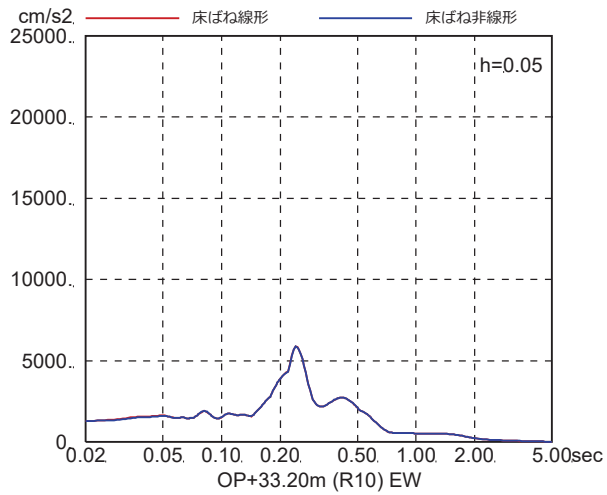
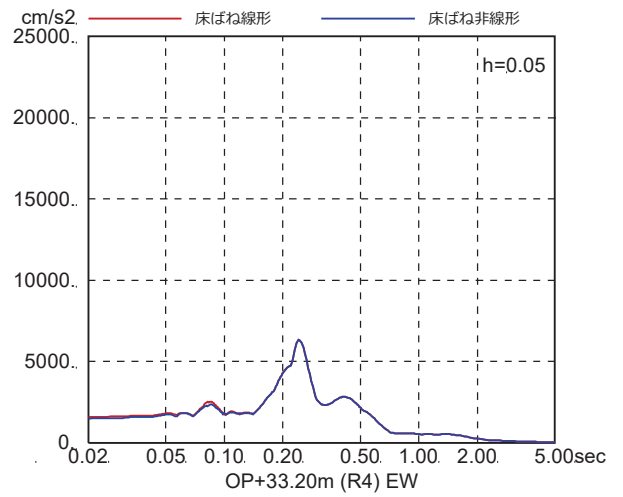
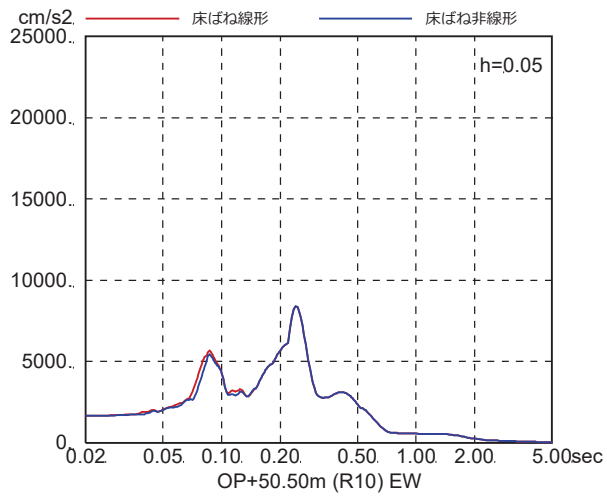


図 4-7(14) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 2, S_s-N₁)

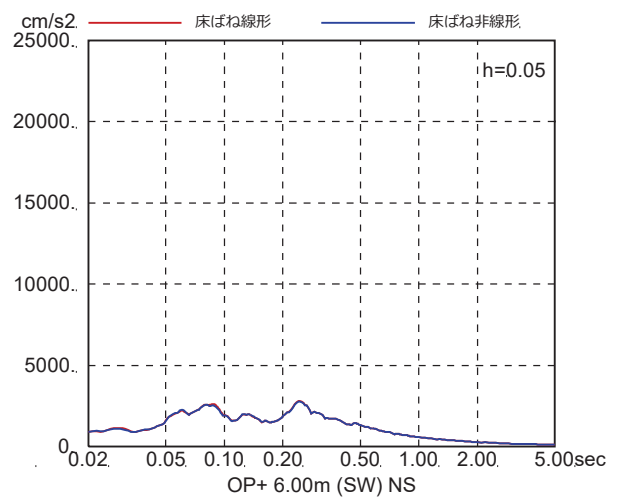
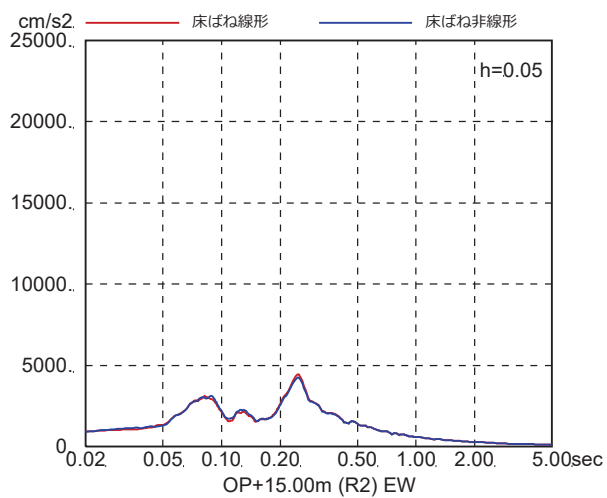
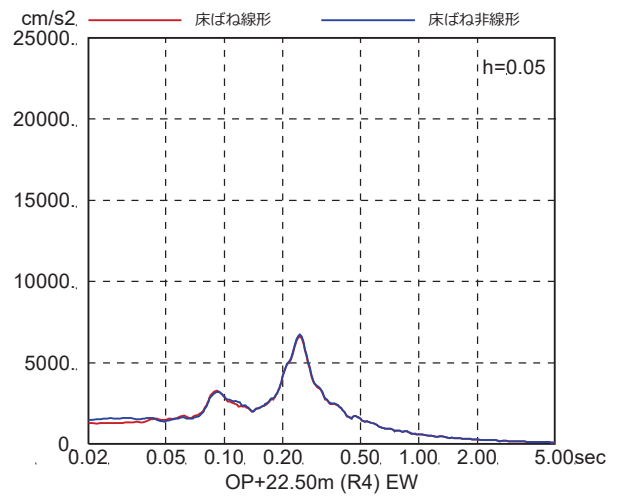
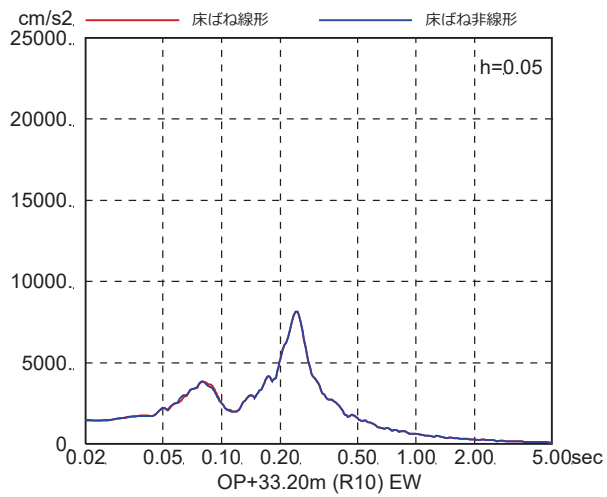
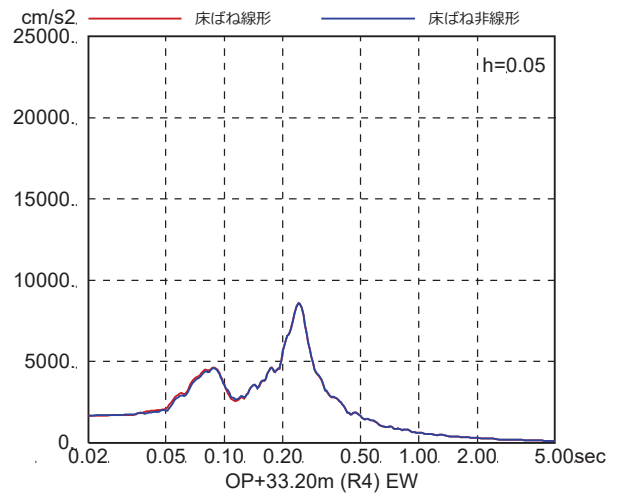
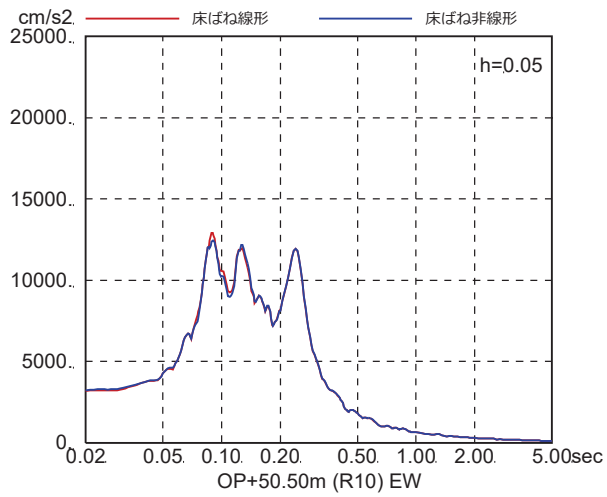


図 4-7(15) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, S s - D 1)

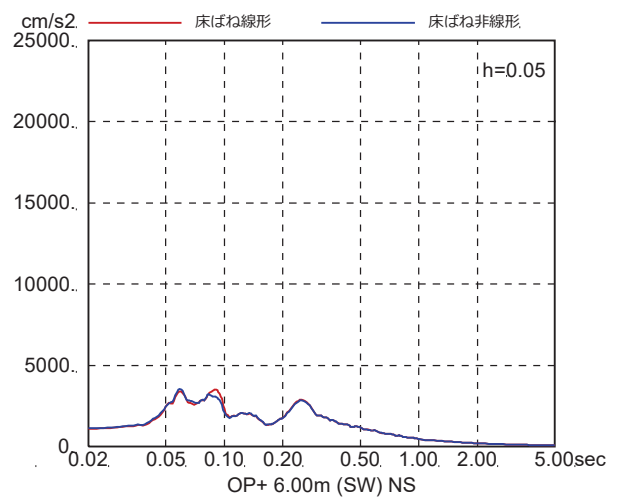
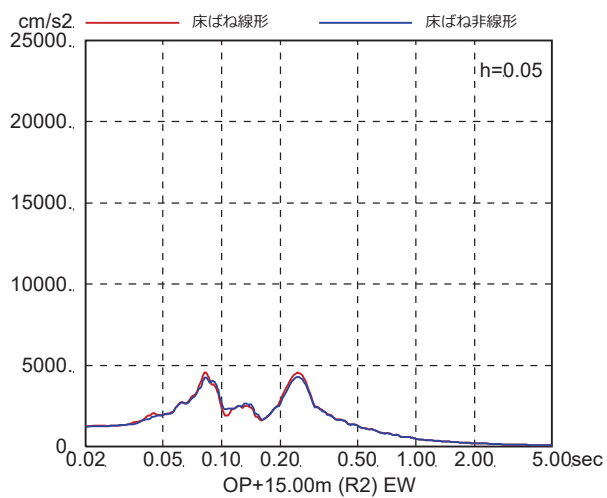
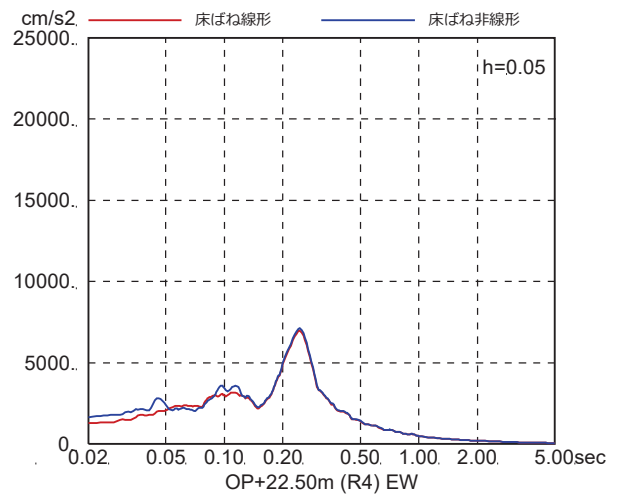
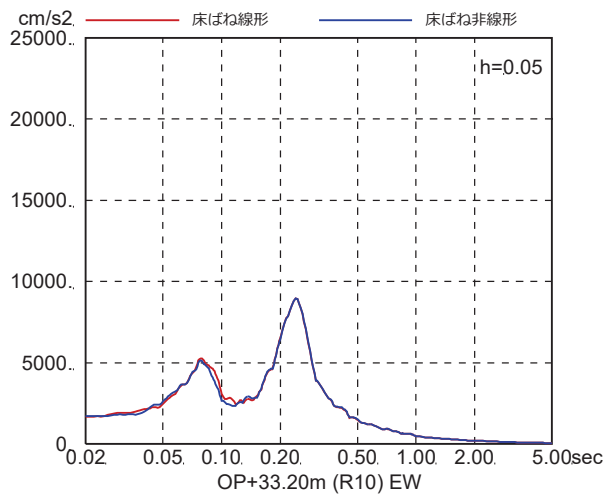
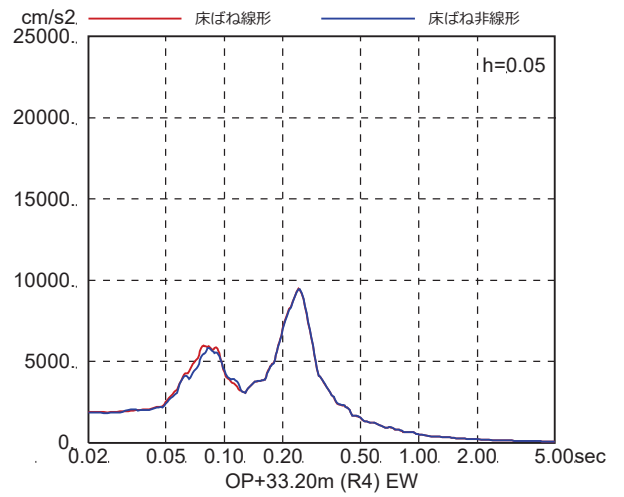
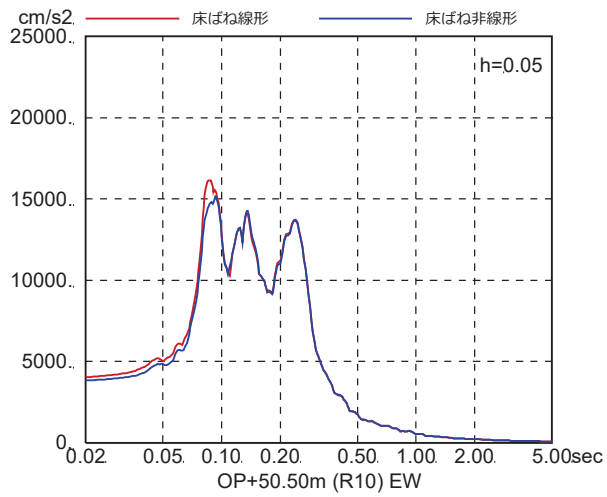


図 4-7(16) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, $S_s - D_2$)

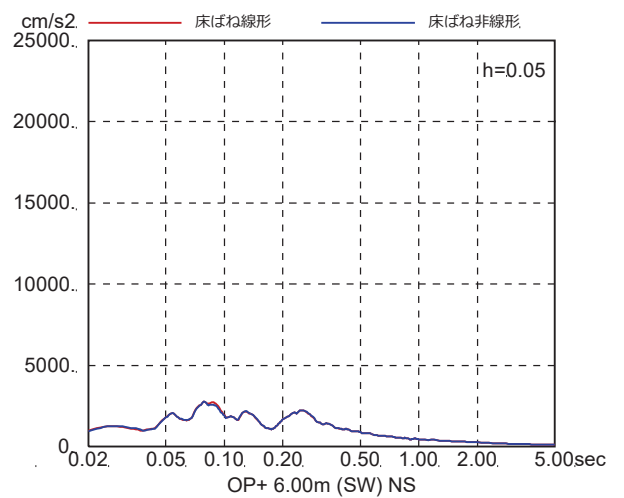
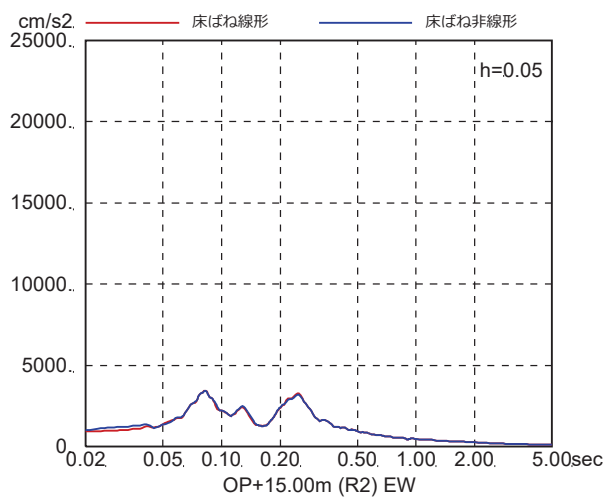
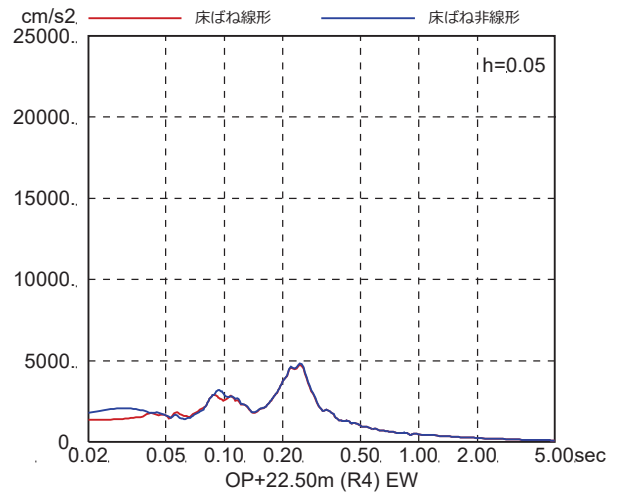
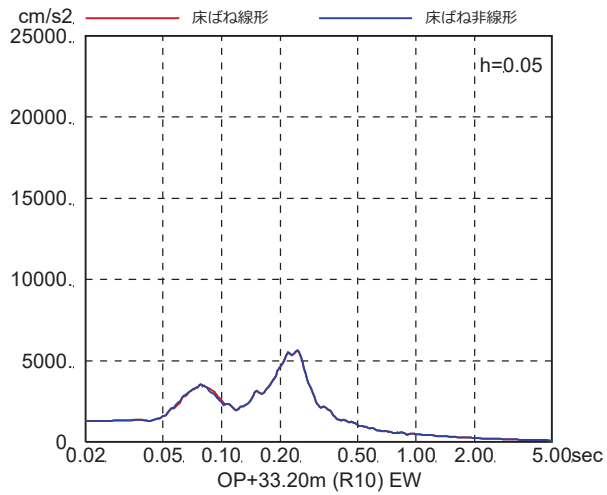
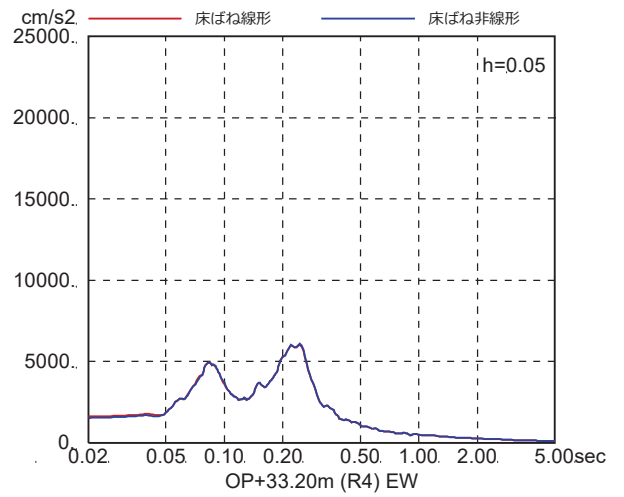
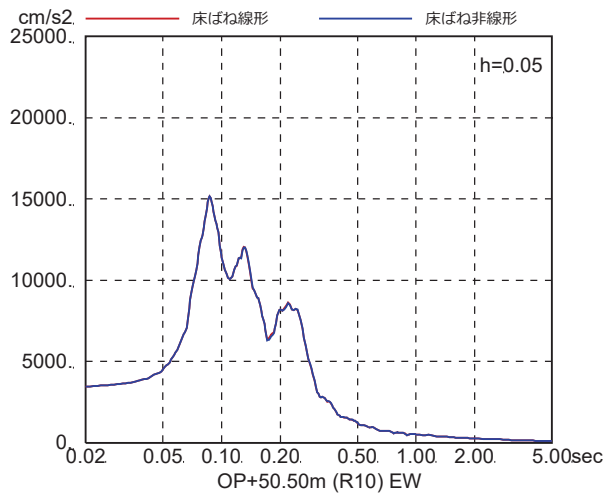


図 4-7(17) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, $S_s - D_3$)

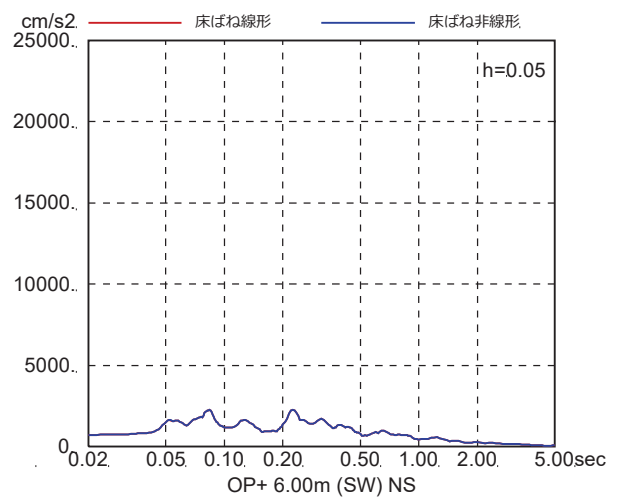
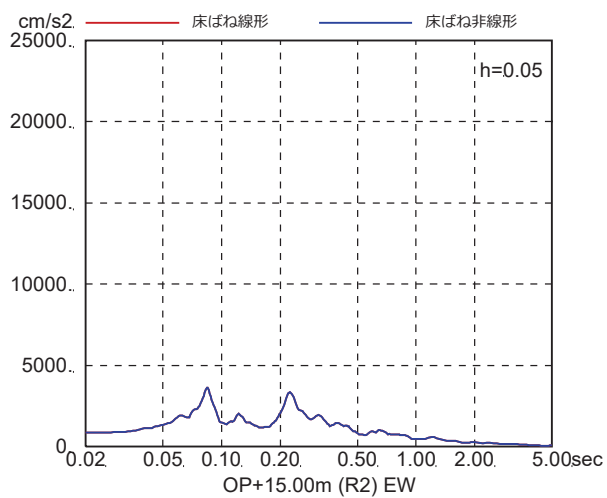
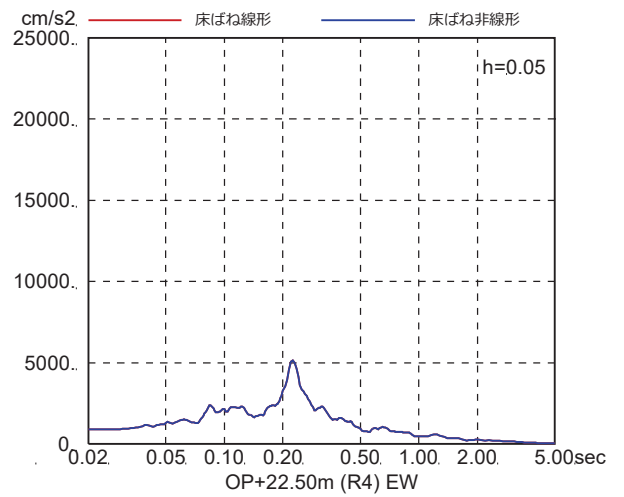
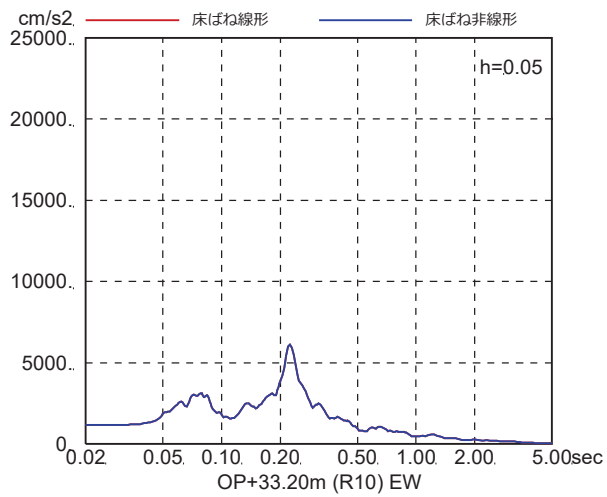
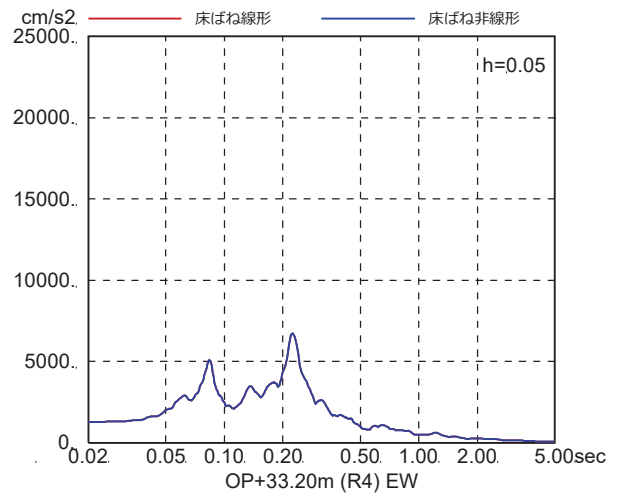
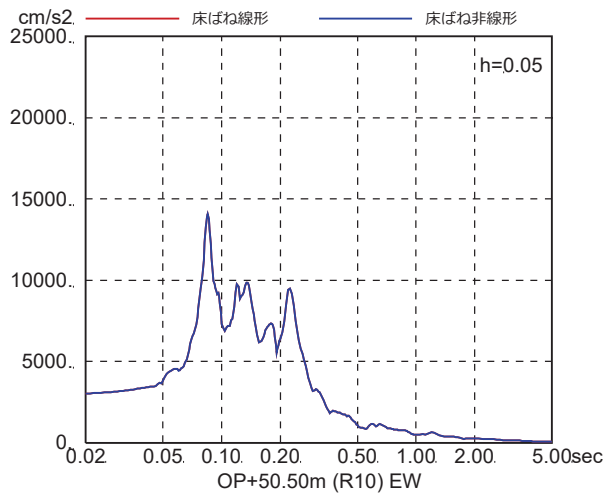


図 4-7(18) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, $S_s - F1$)

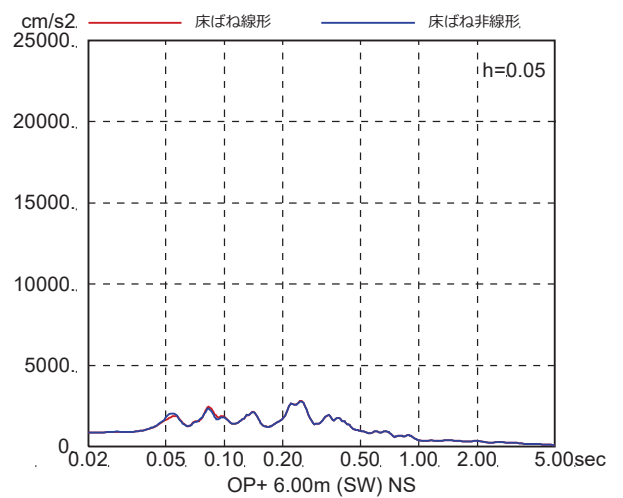
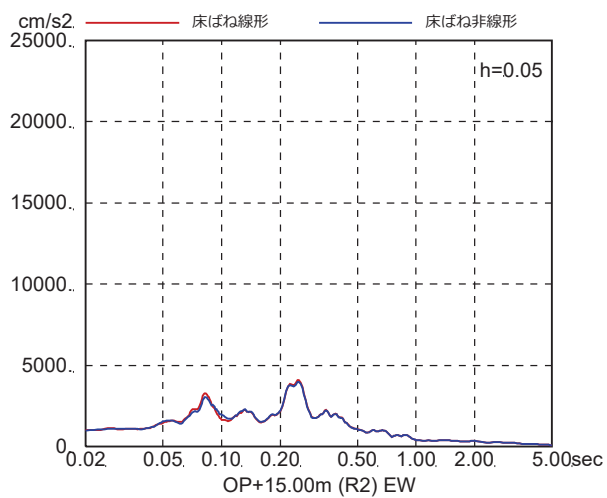
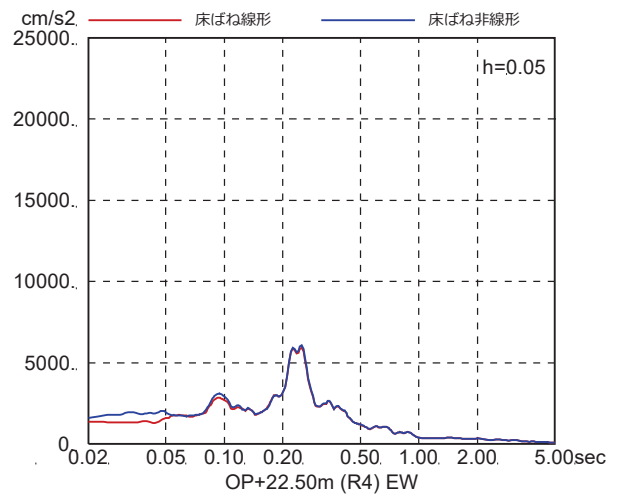
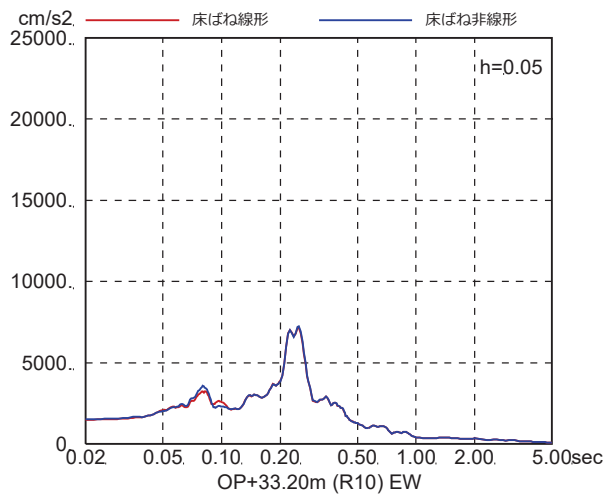
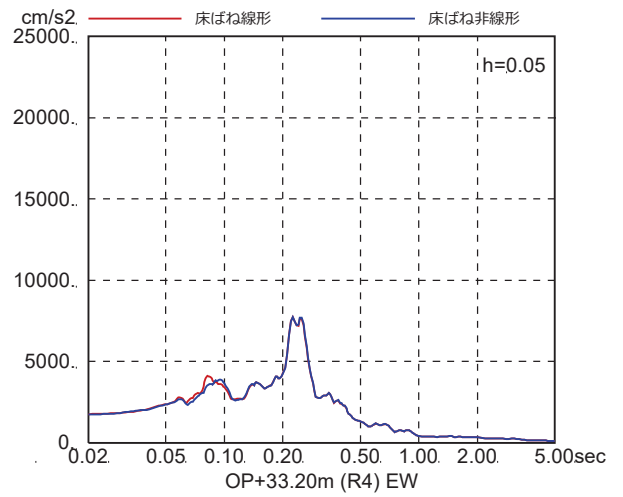
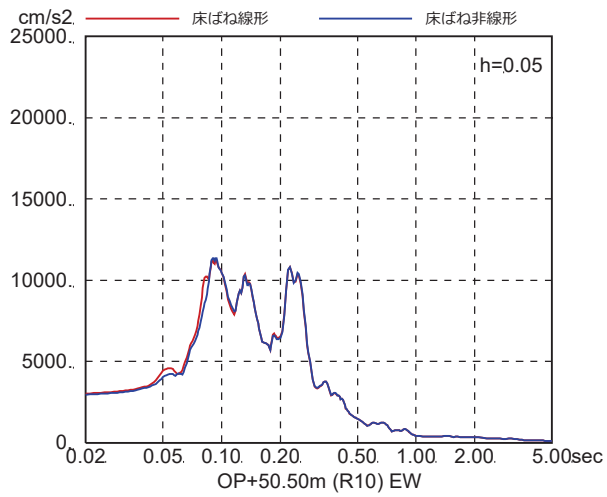


図 4-7(19) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, S_s-F2)

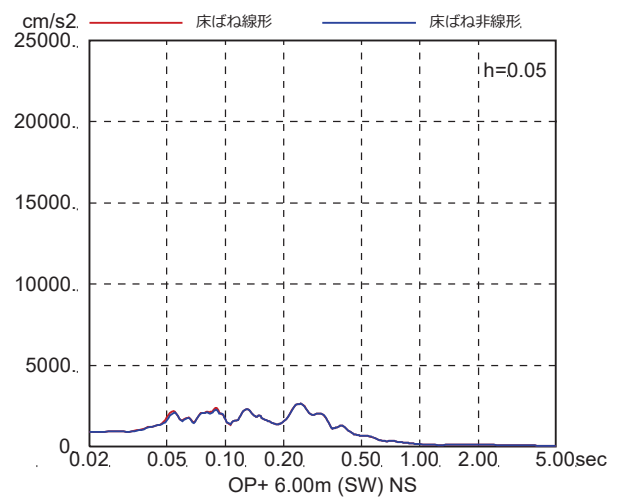
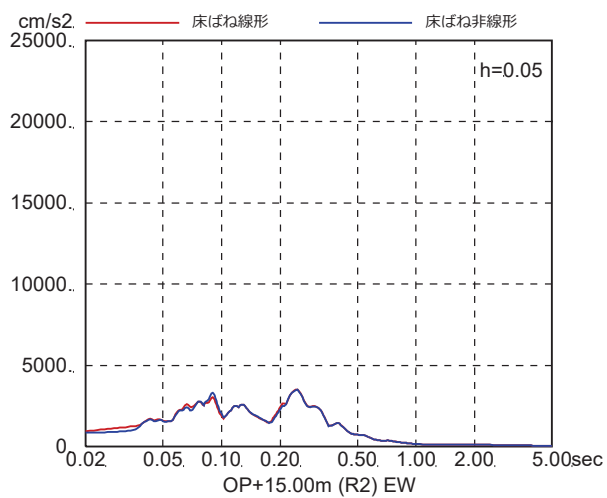
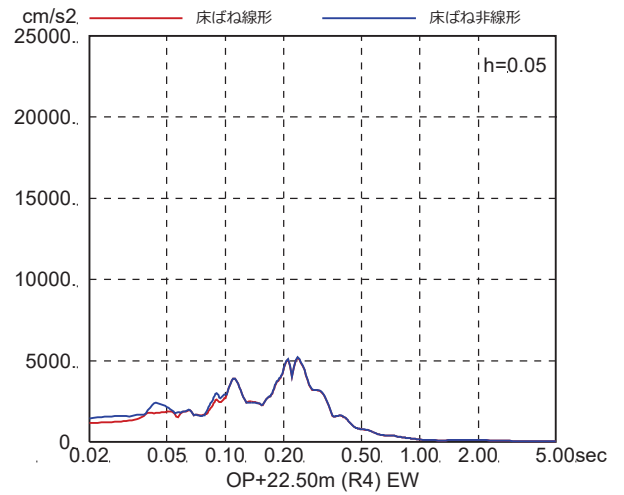
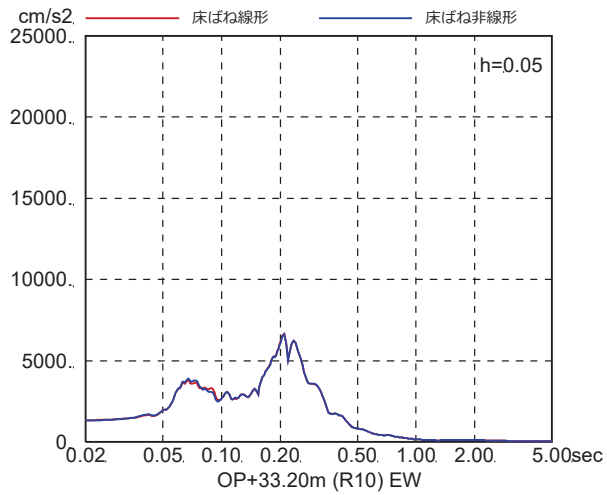
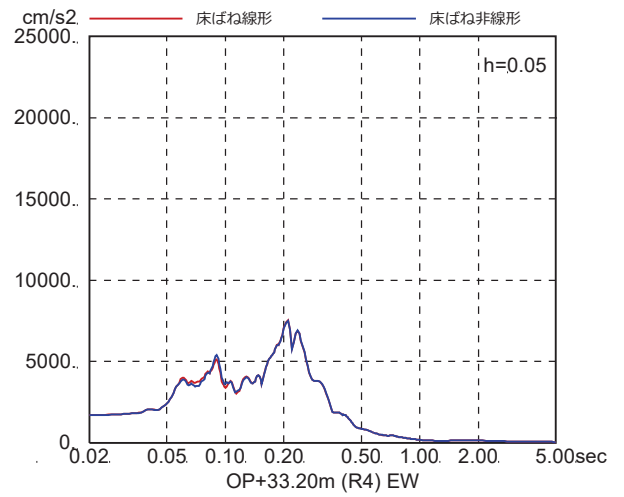
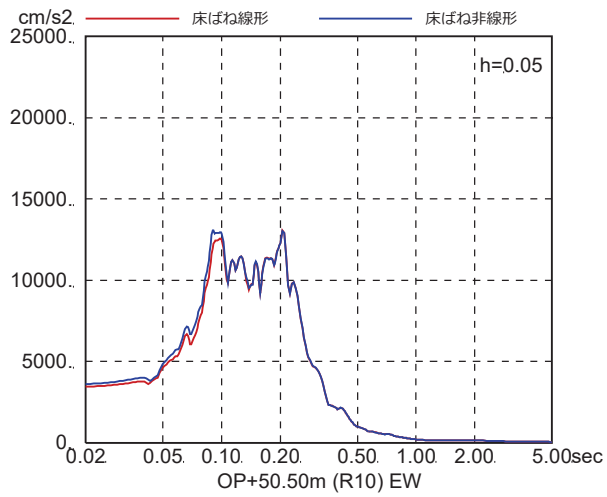


図 4-7(20) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, S_s-F₃)

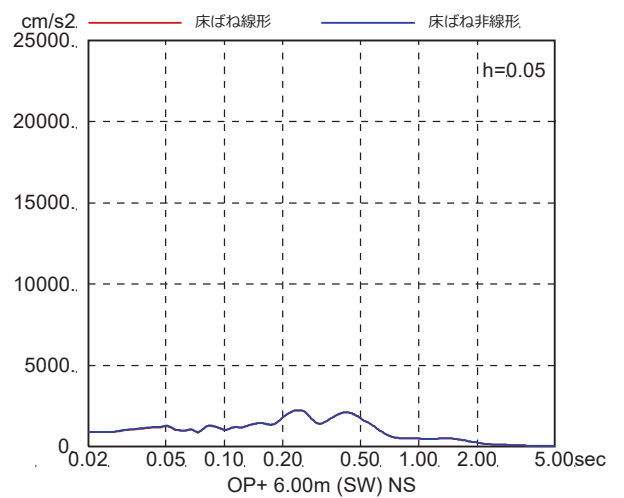
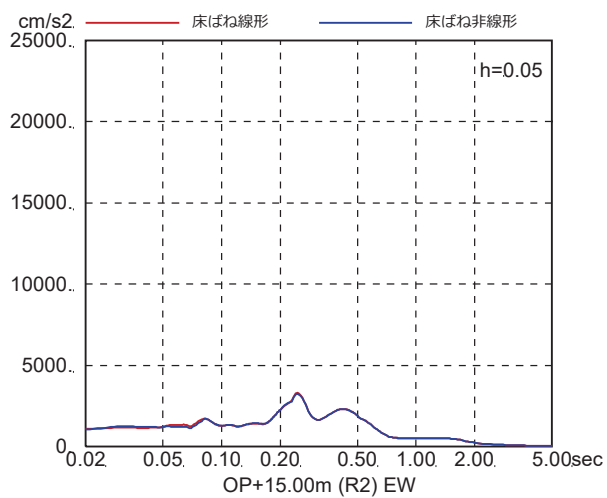
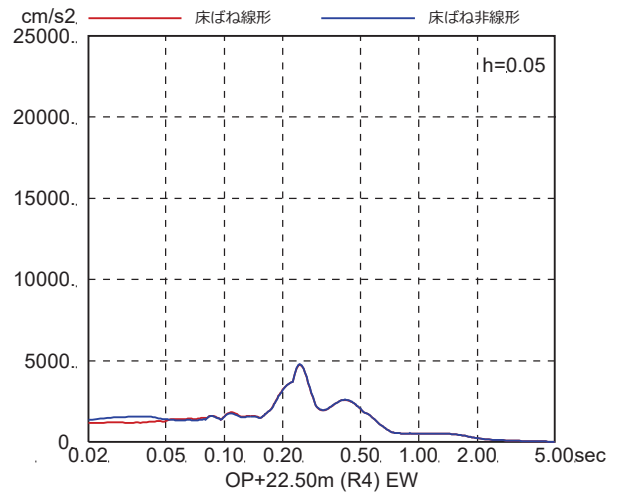
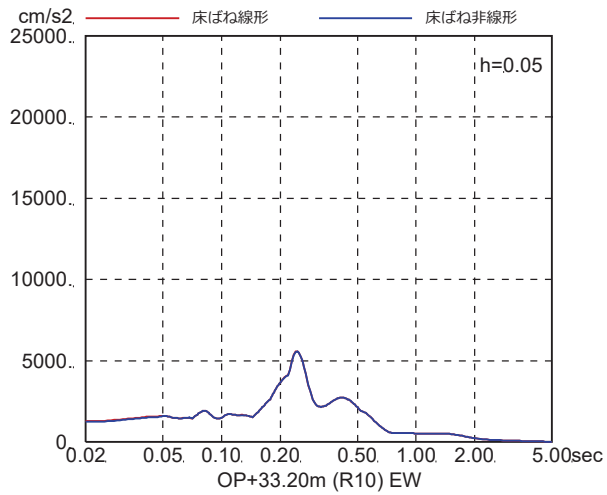
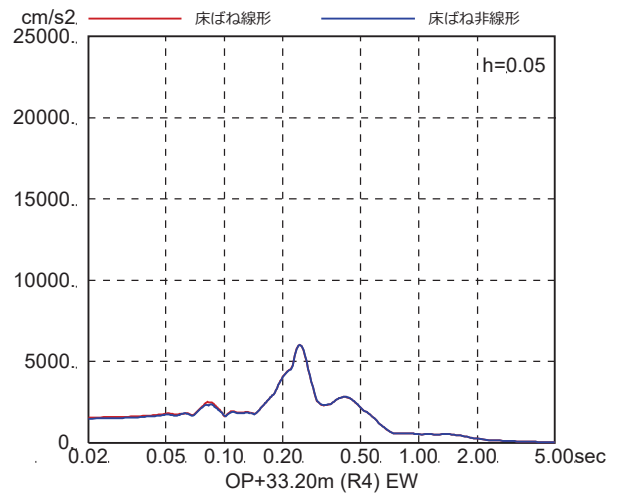
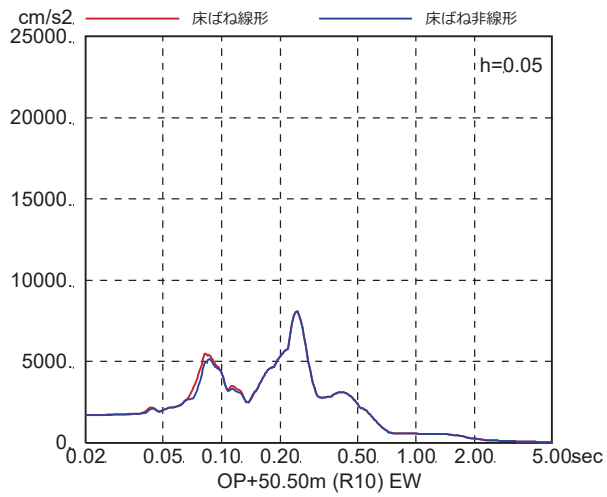


図 4-7(21) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 3, S s - N 1)

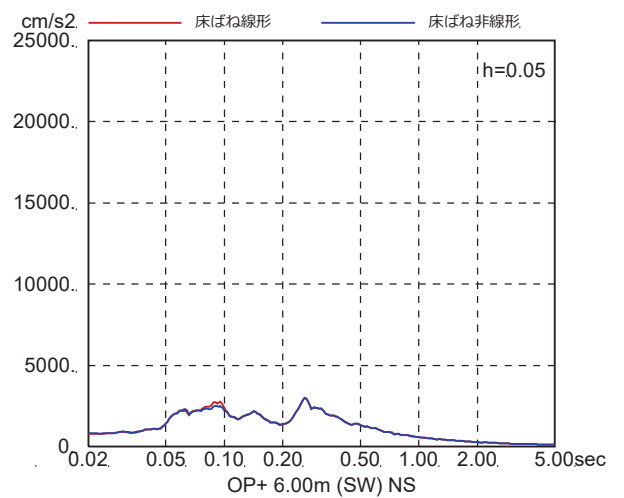
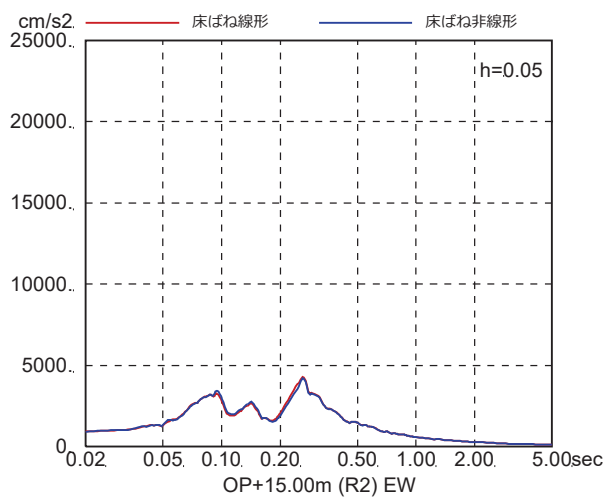
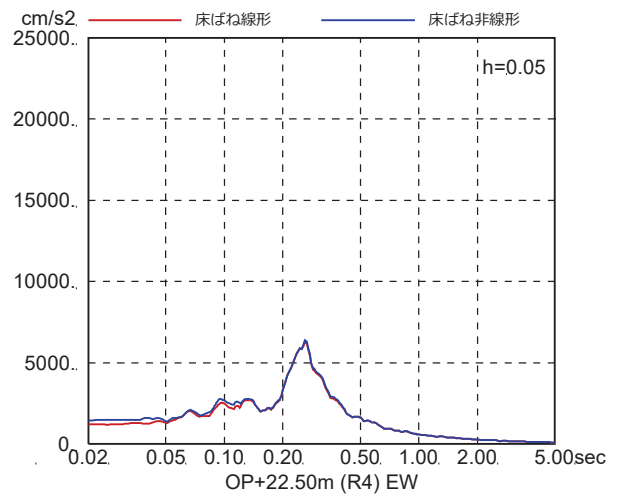
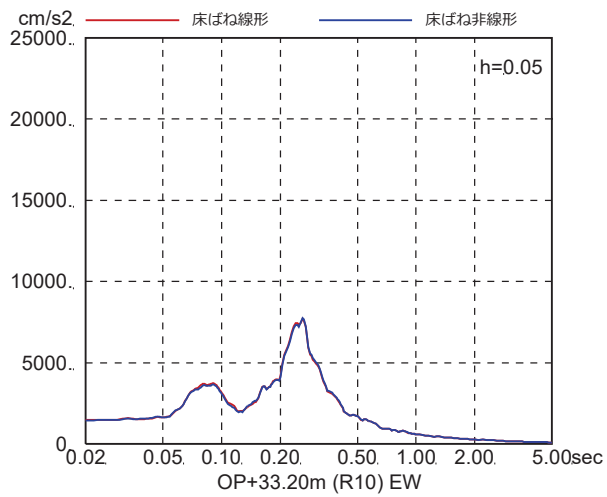
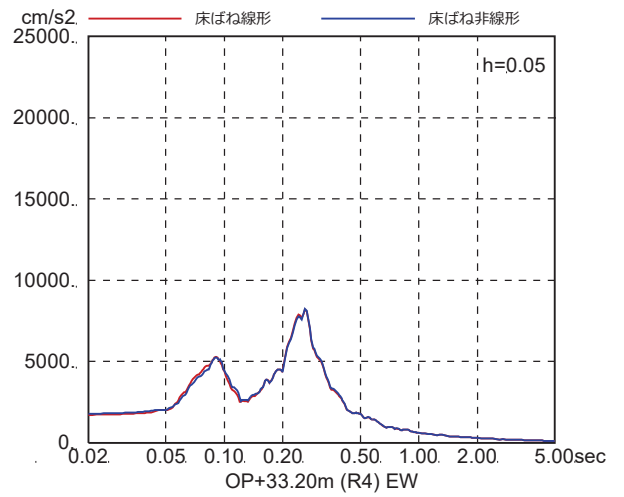
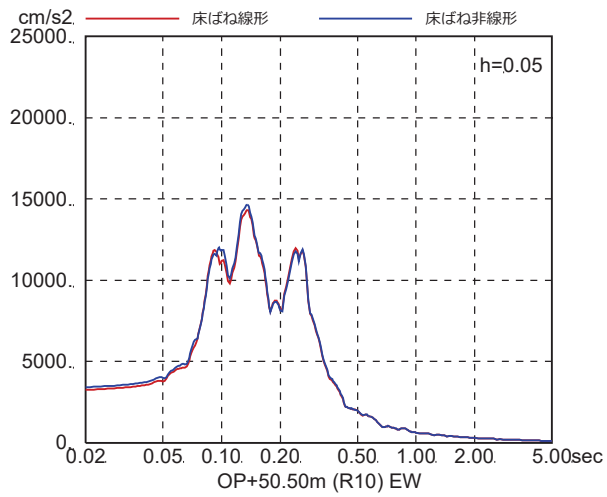


図 4-7(22) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - D 1)

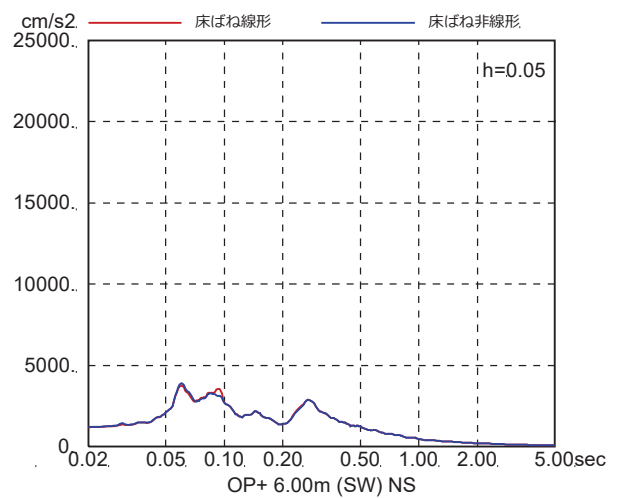
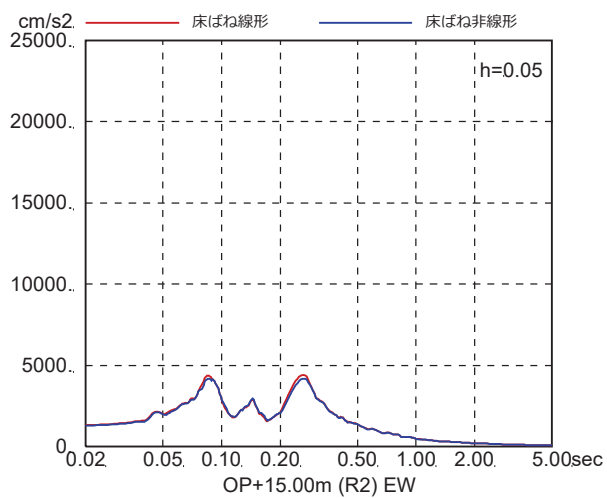
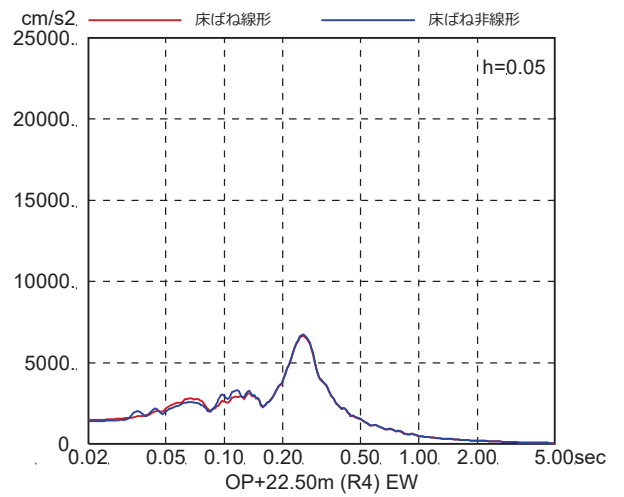
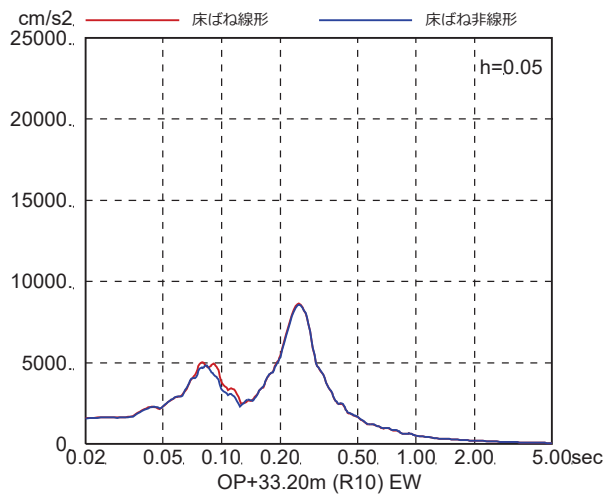
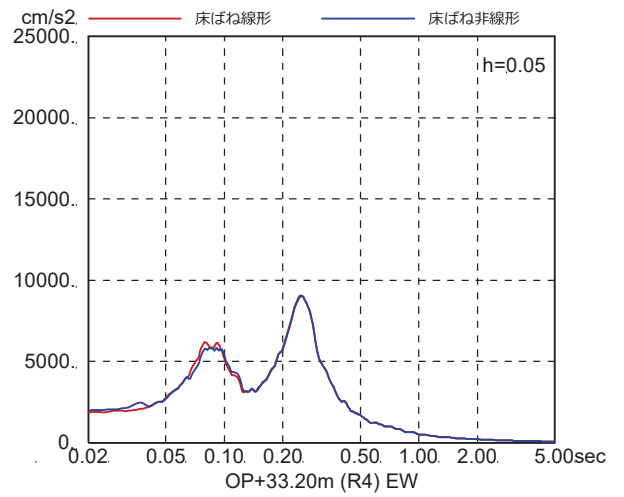
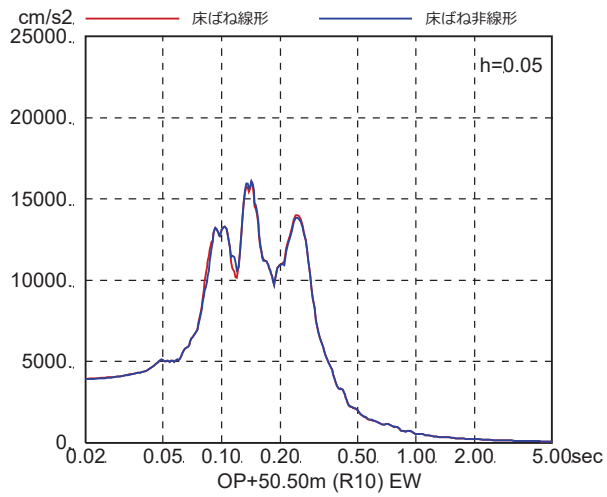


図 4-7(23) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, $S_s - D_2$)

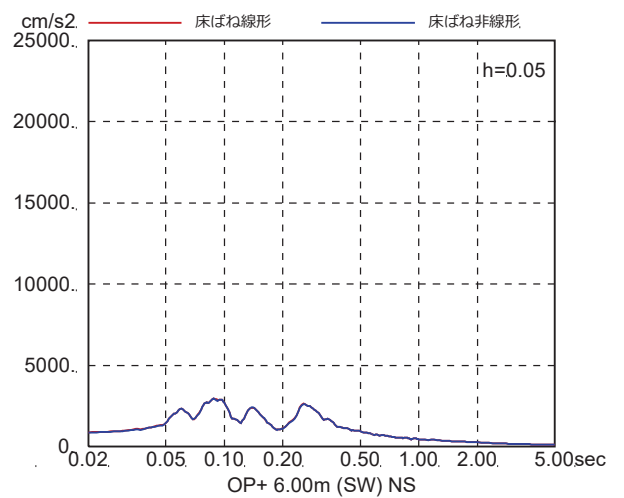
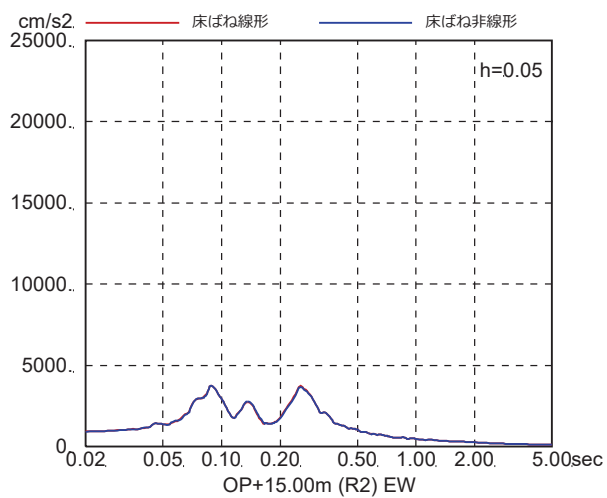
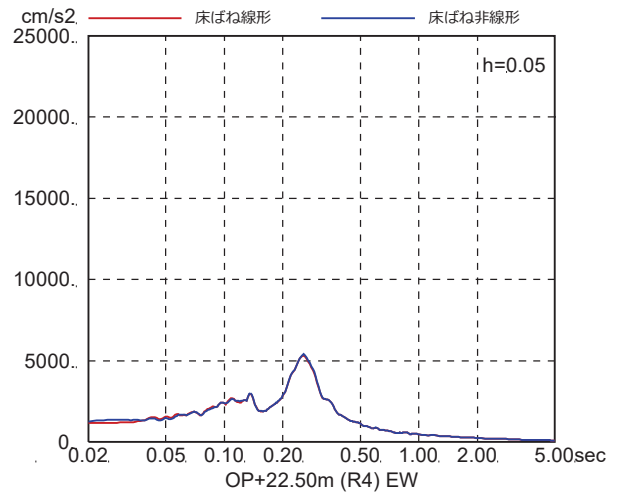
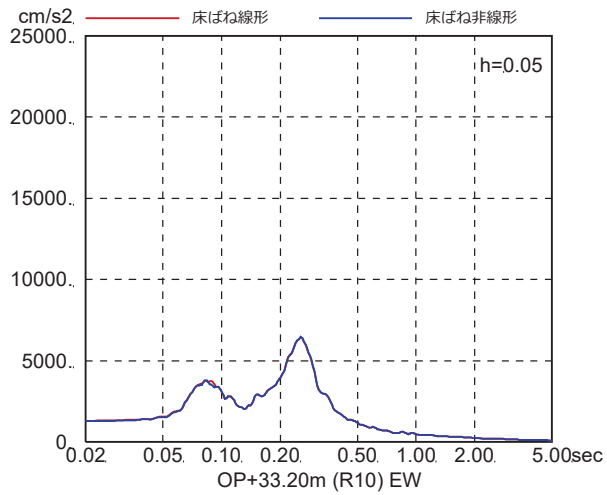
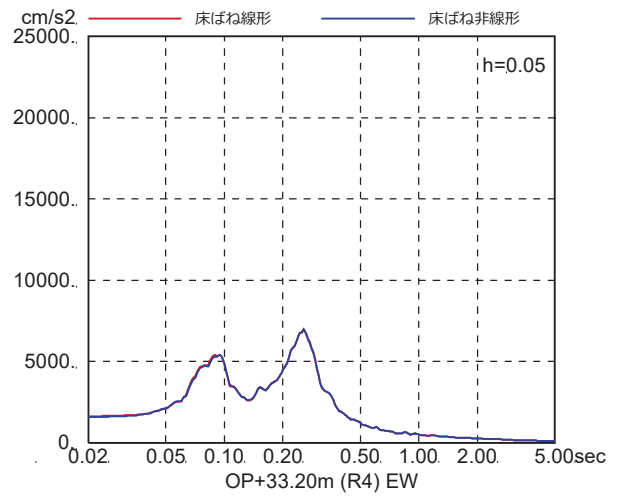
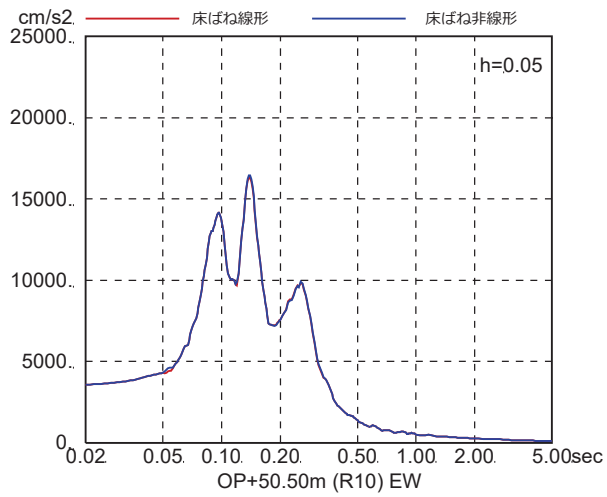


図 4-7(24) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - D 3)

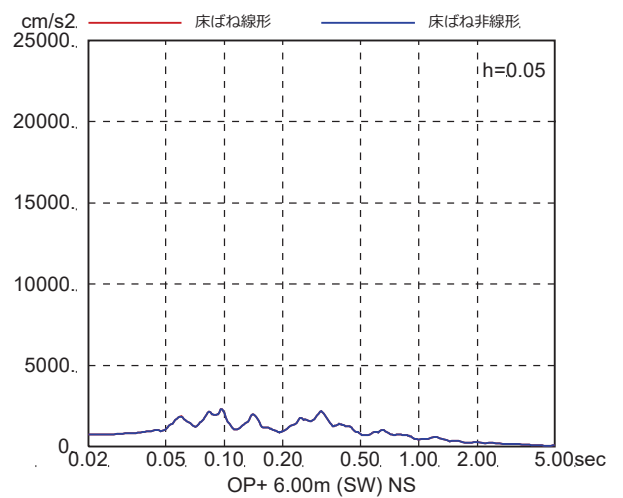
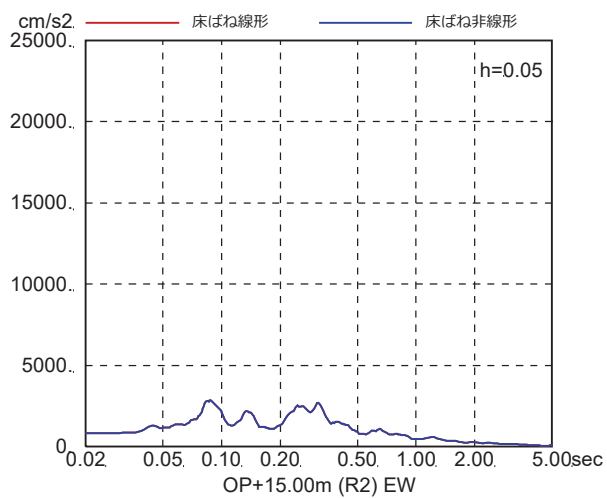
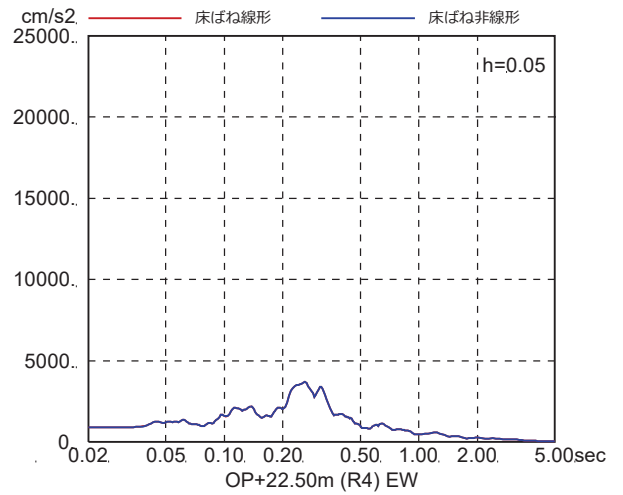
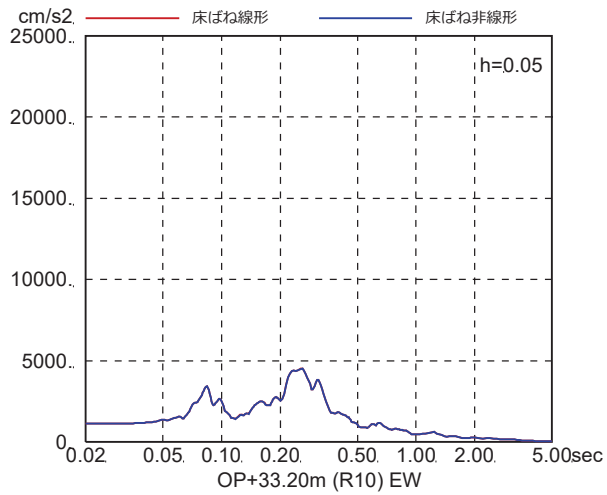
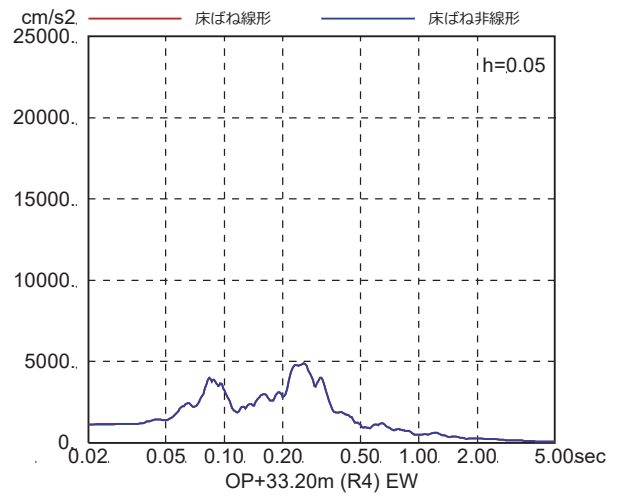
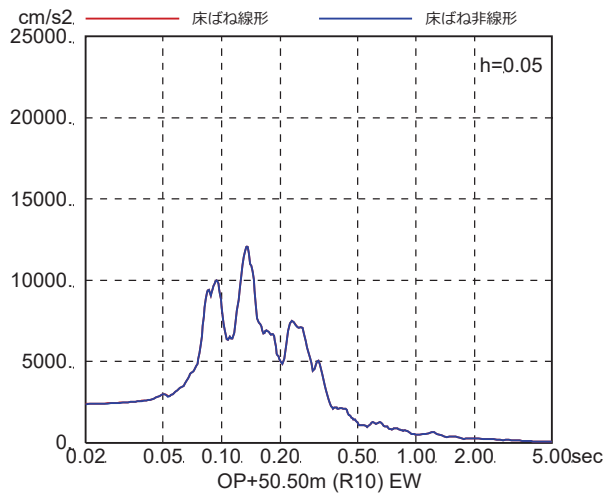


図 4-7(25) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - F 1)

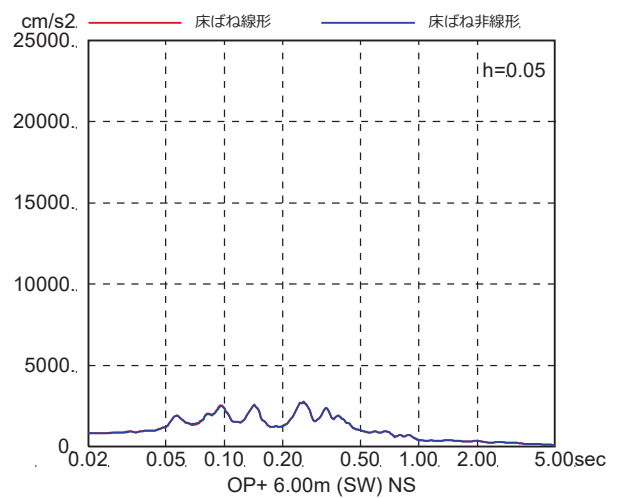
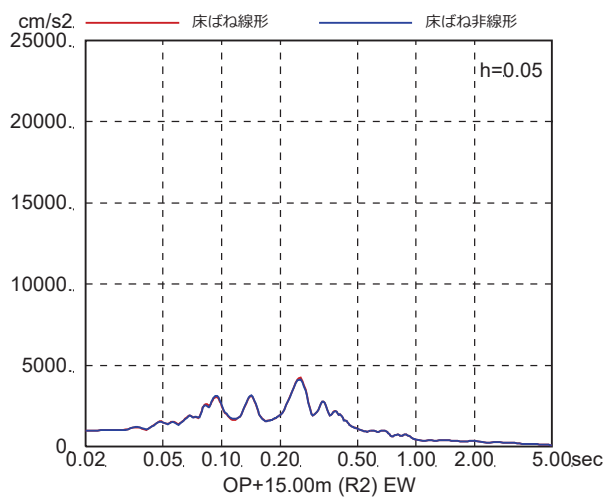
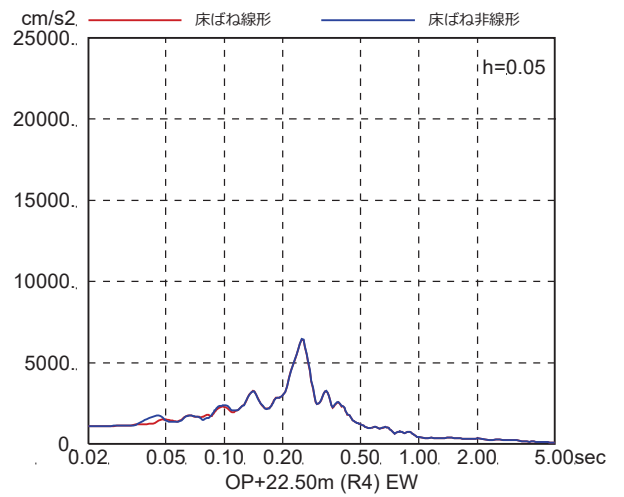
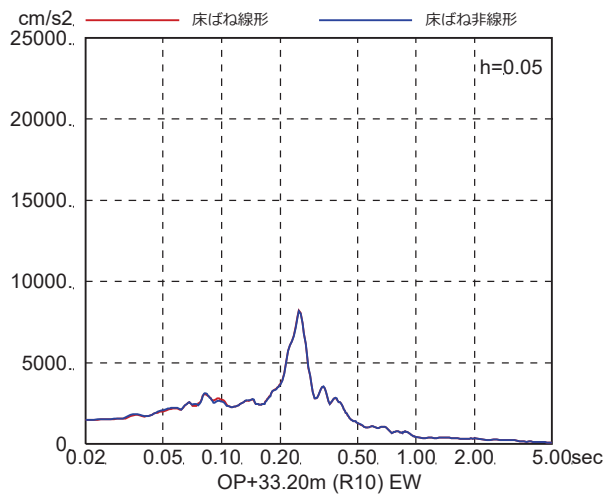
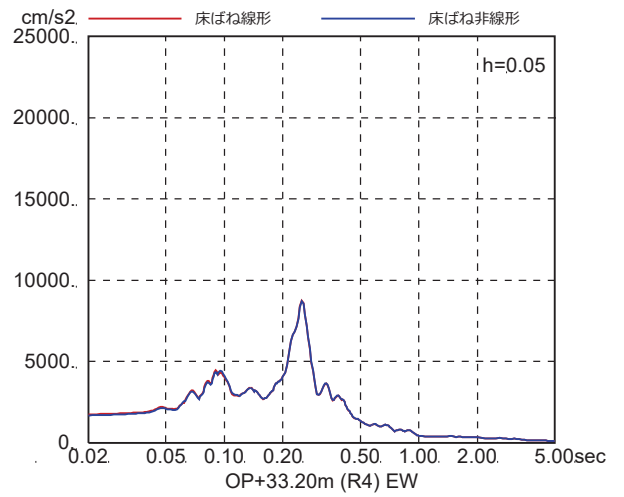
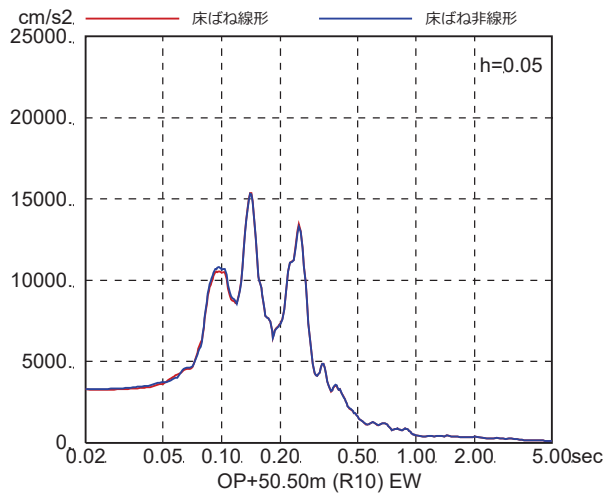


図 4-7(26) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, $S_s - F_2$)

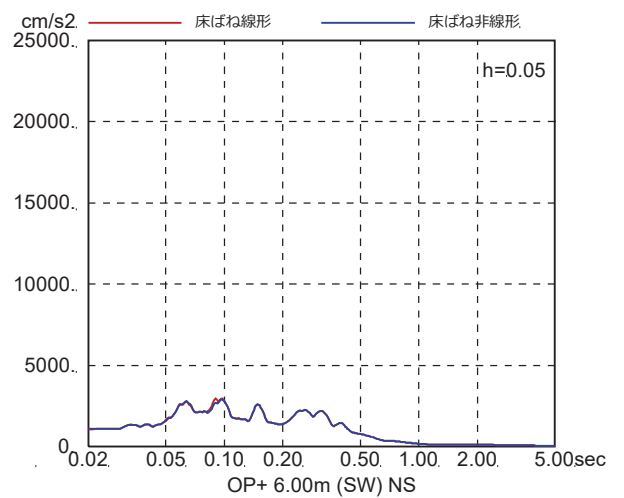
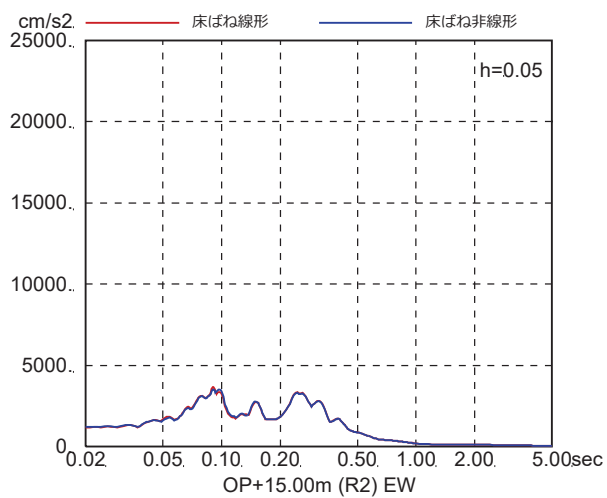
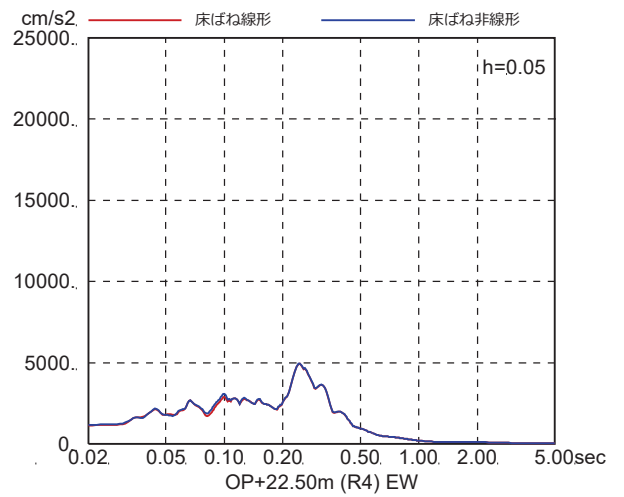
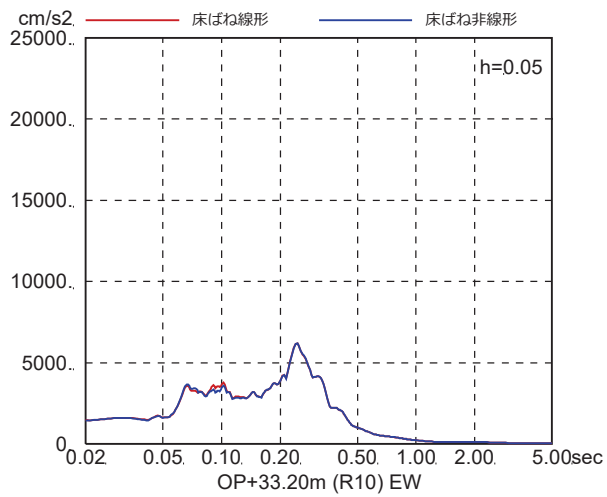
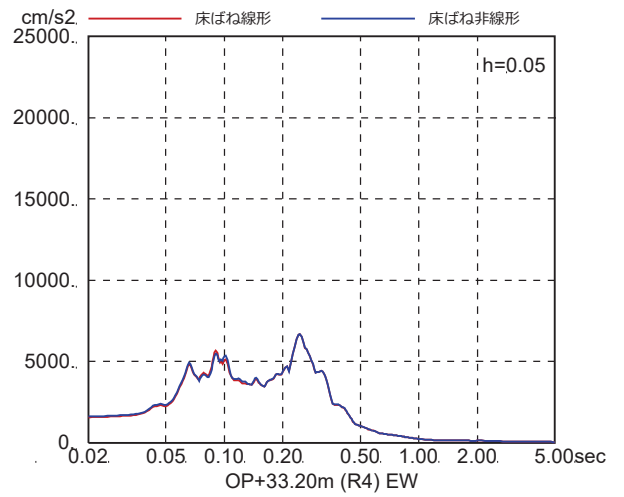
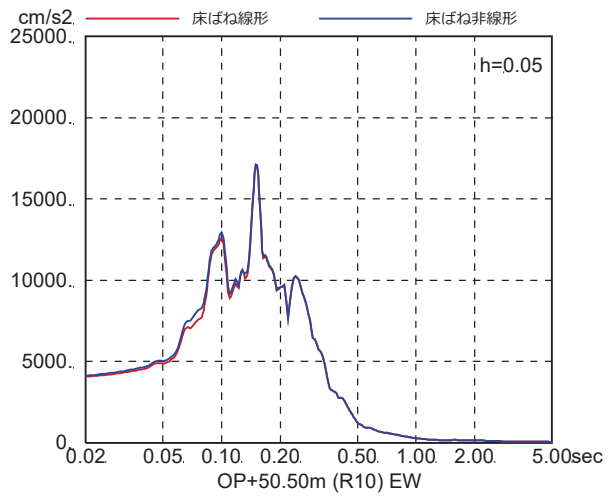


図 4-7(27) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - F 3)

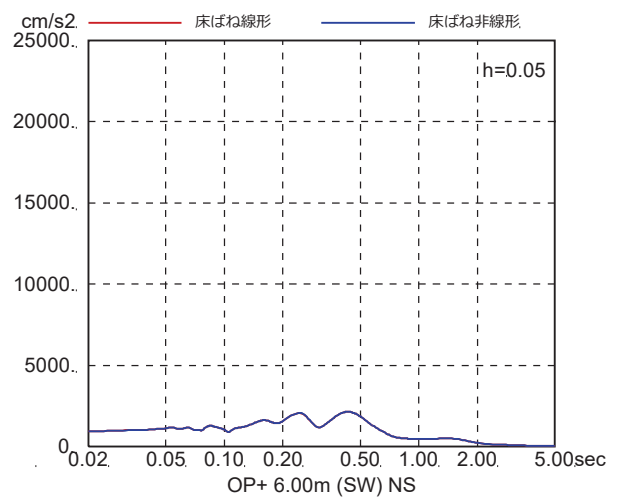
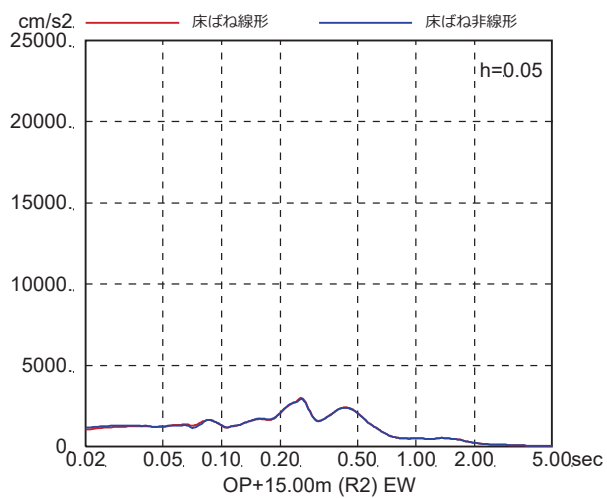
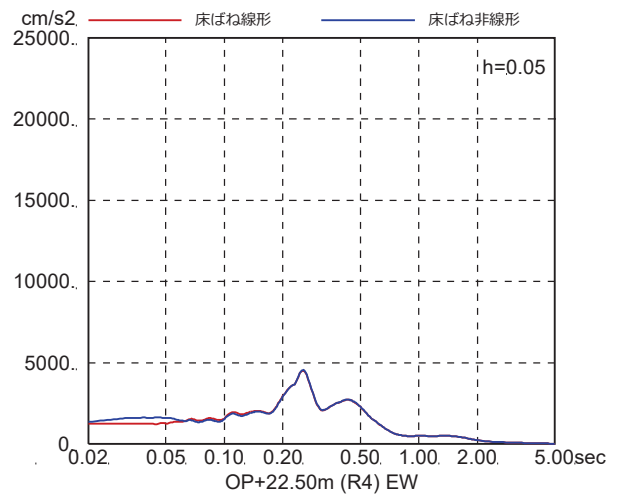
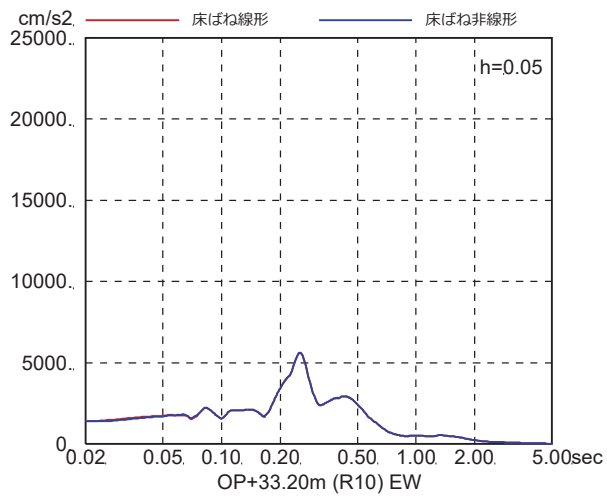
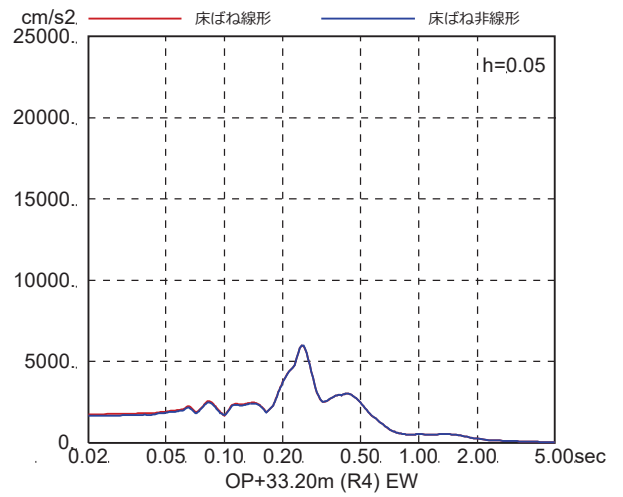
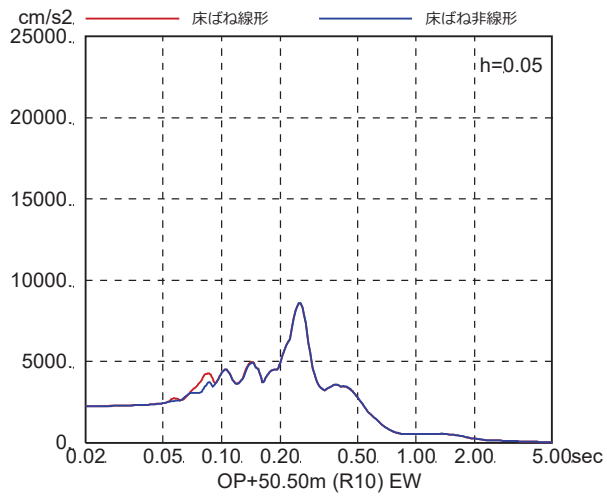


図 4-7(28) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 4, S s - N 1)

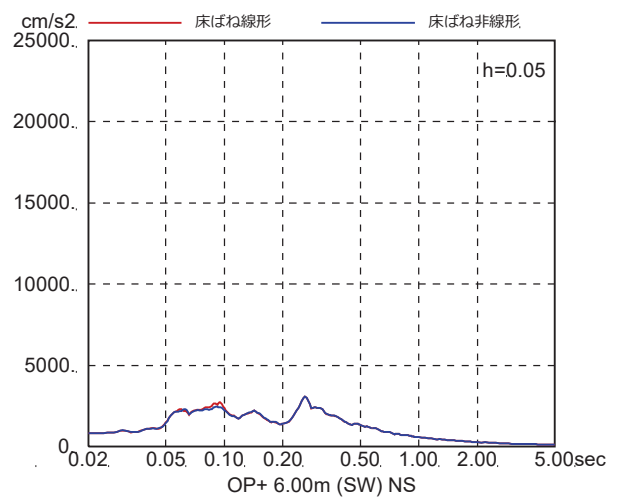
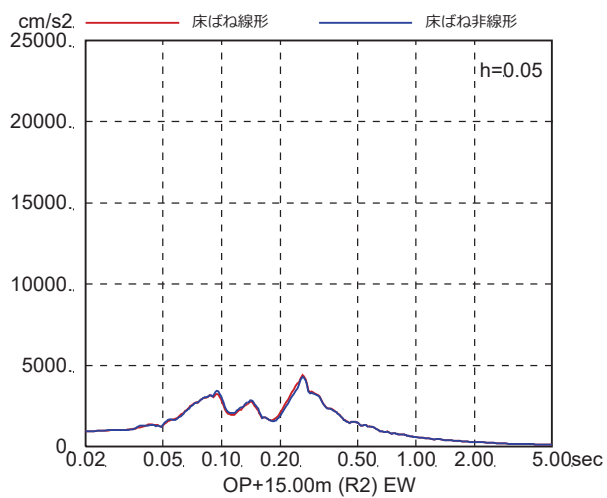
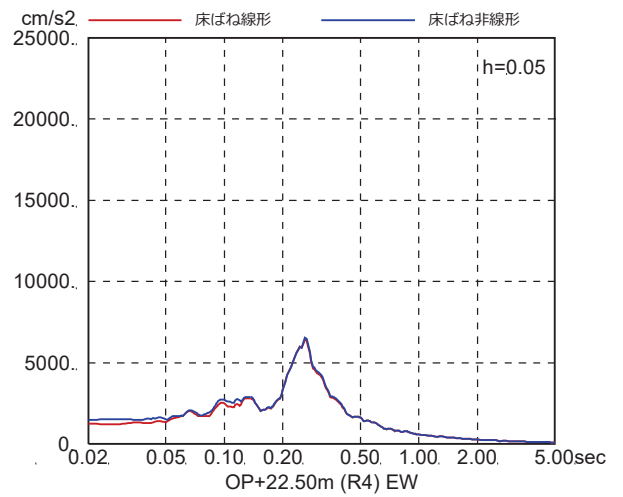
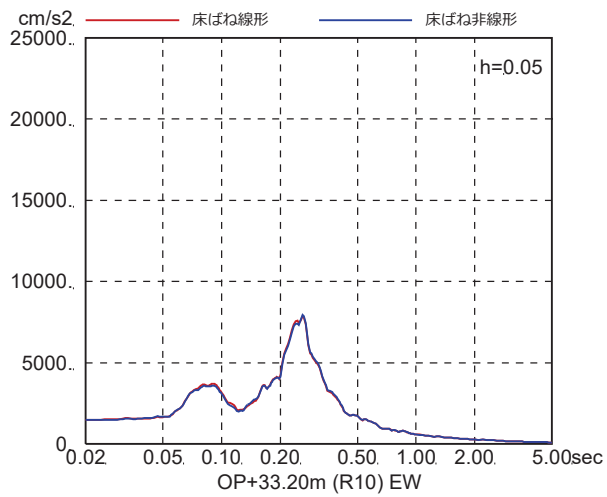
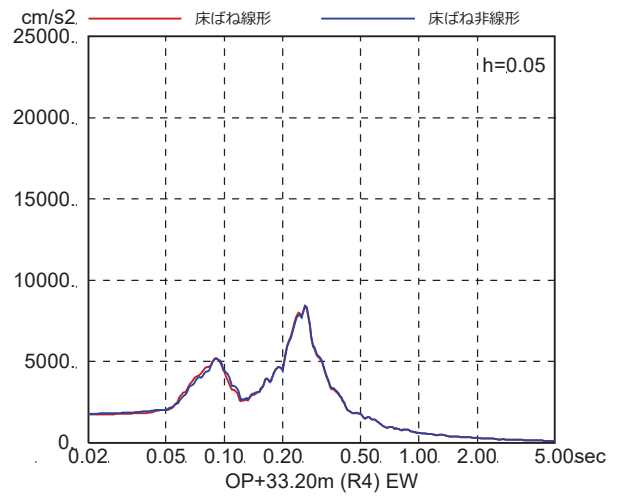
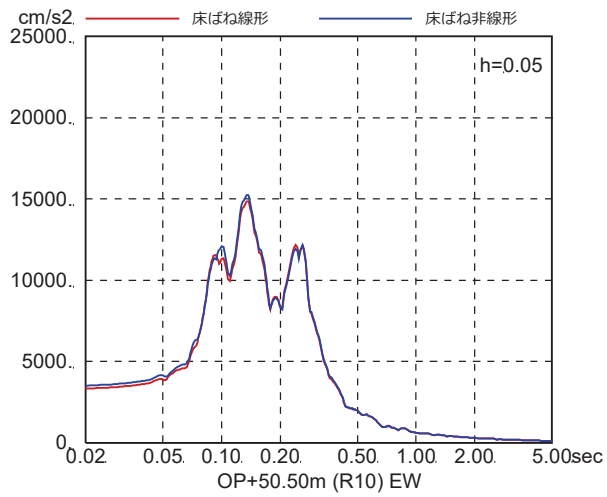


図 4-7(29) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S_s-D1)

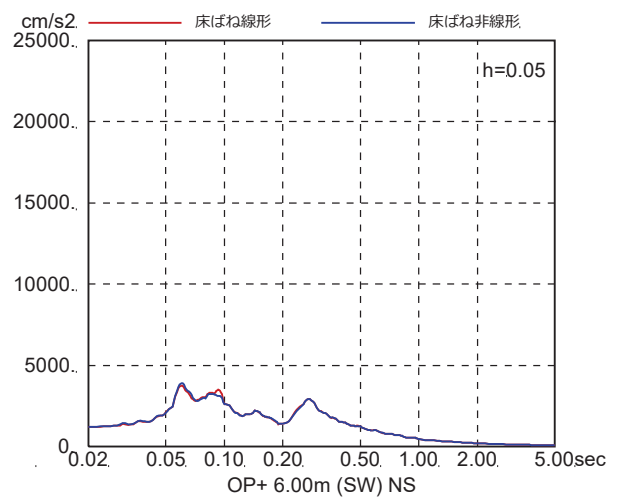
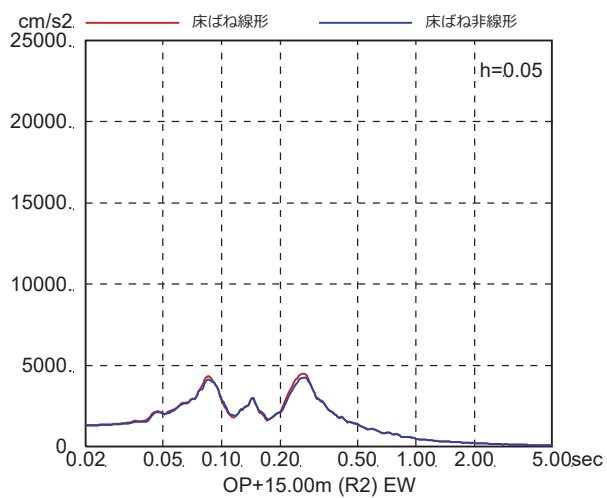
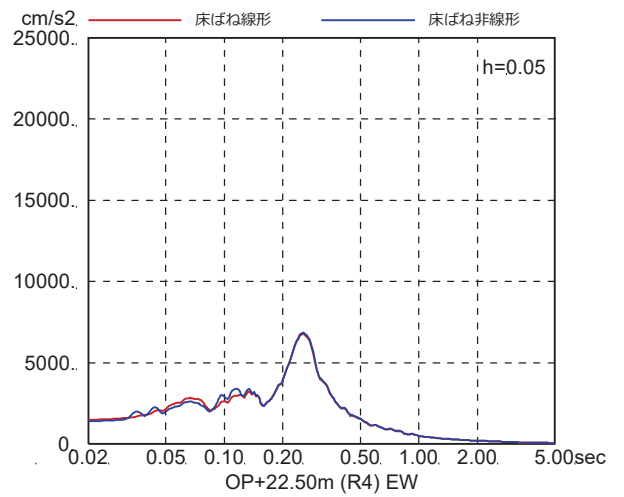
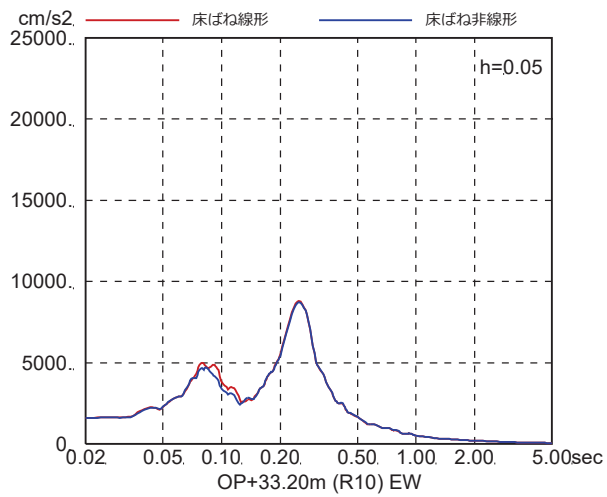
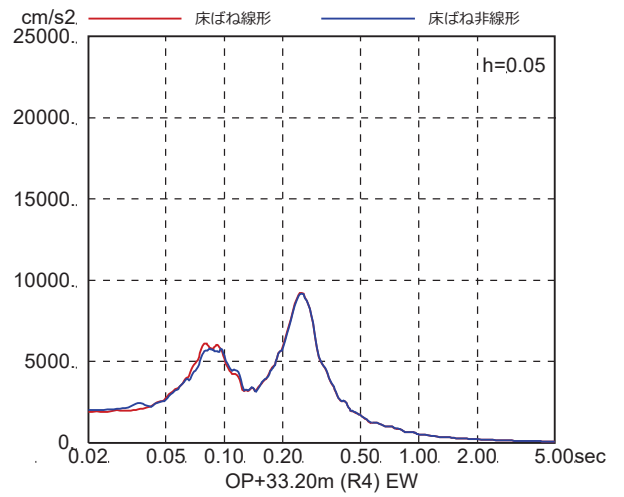
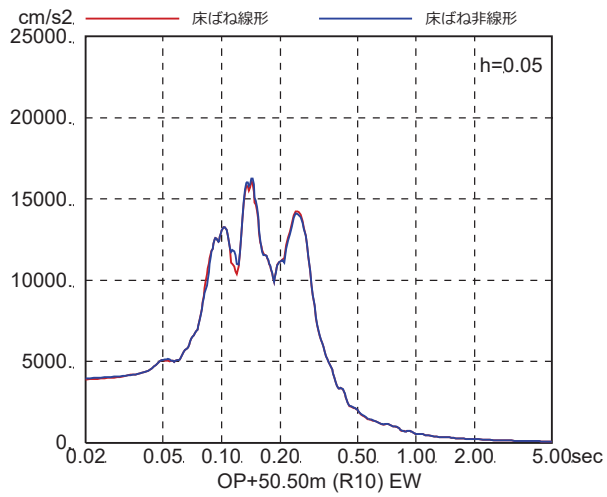


図 4-7(30) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, $S_s - D_2$)

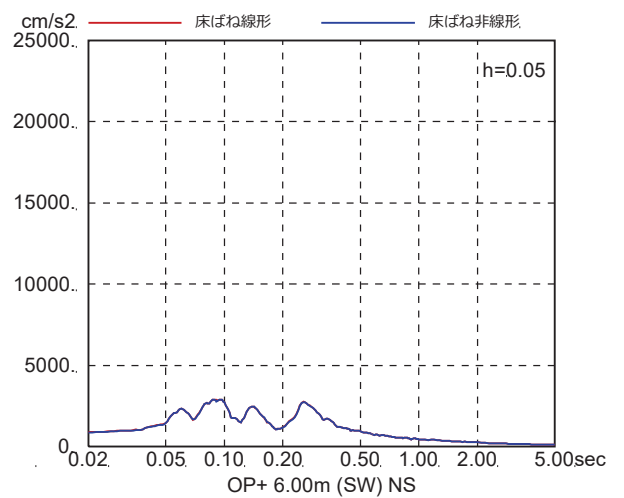
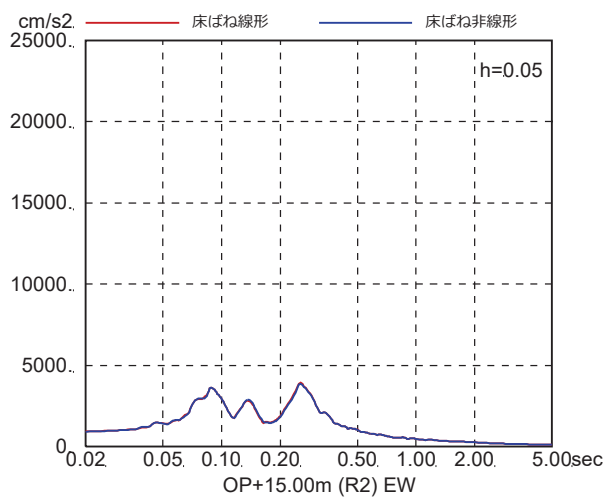
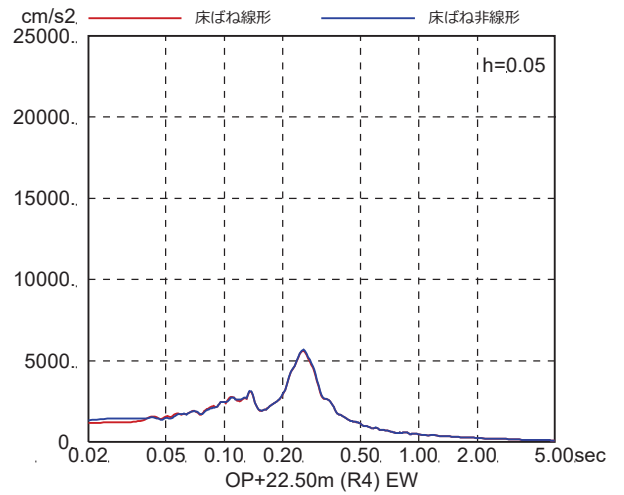
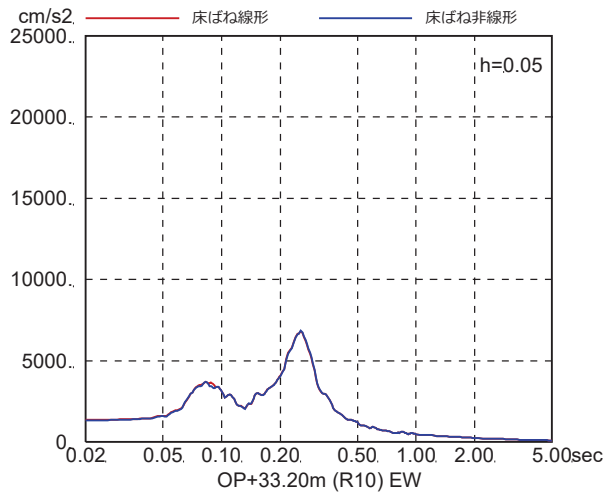
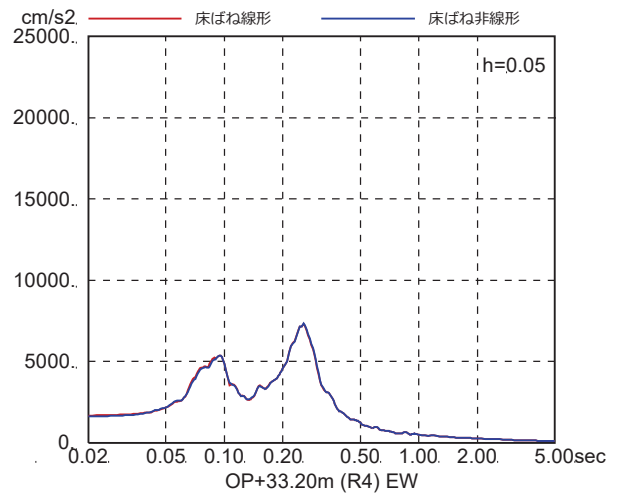
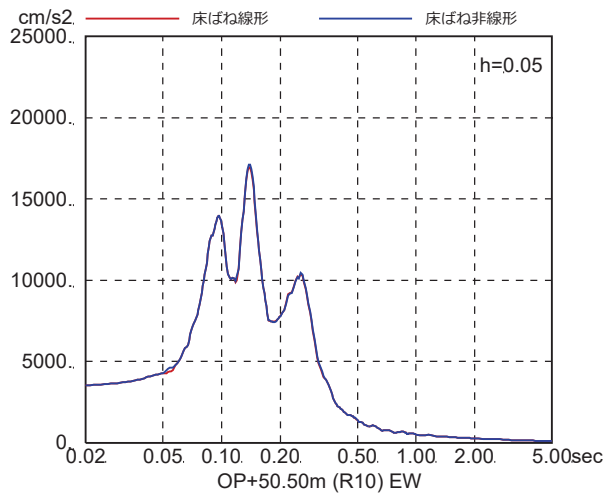


図 4-7(31) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S s - D 3)

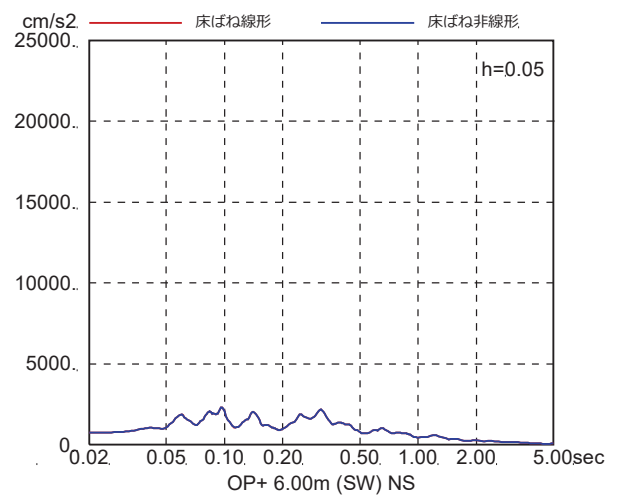
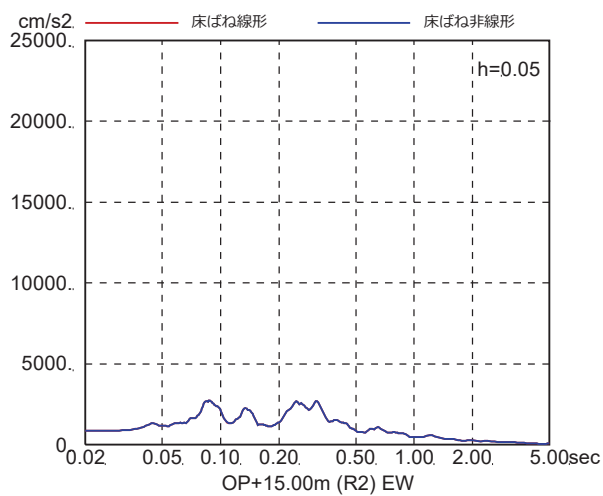
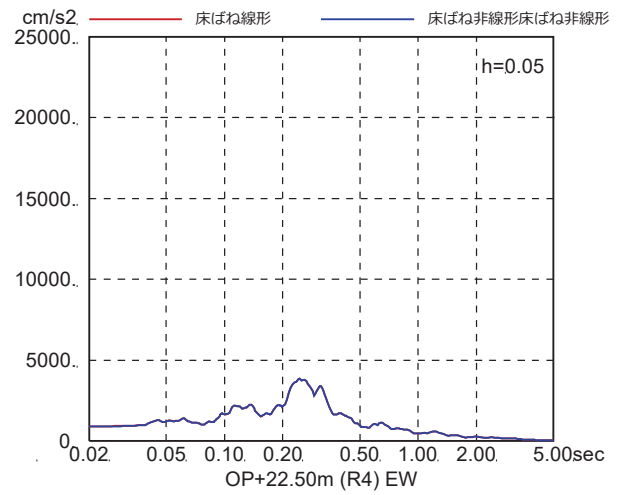
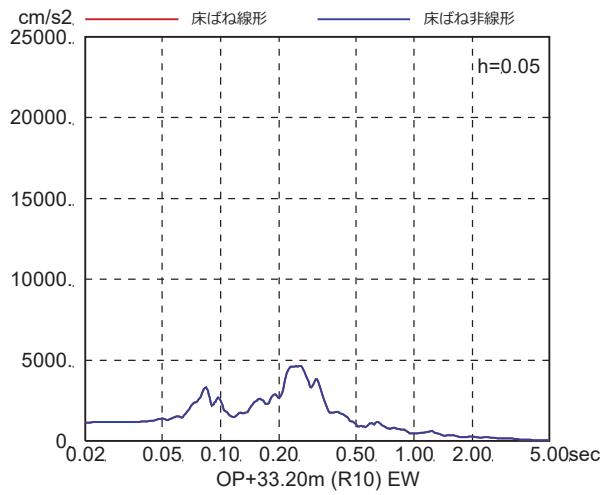
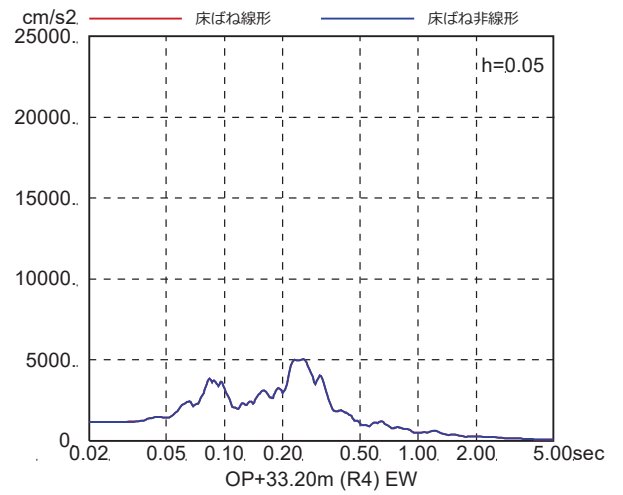
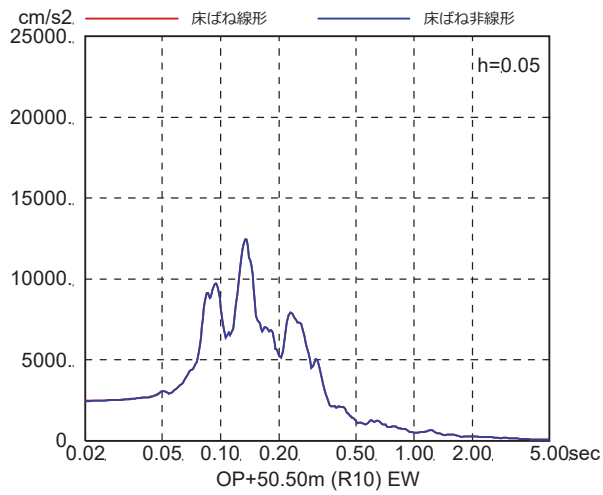


図 4-7(32) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S s - F 1)

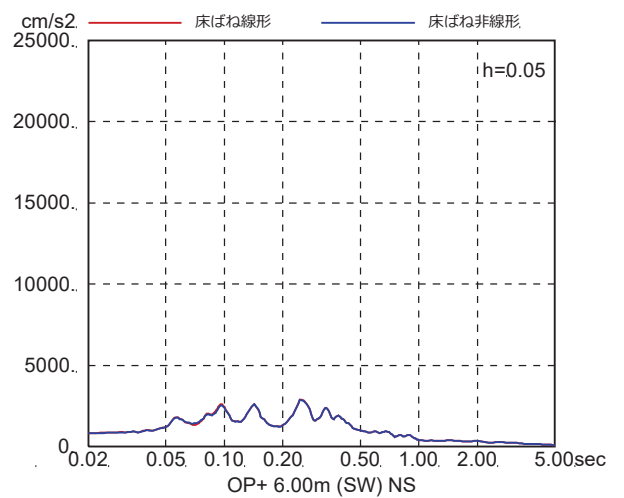
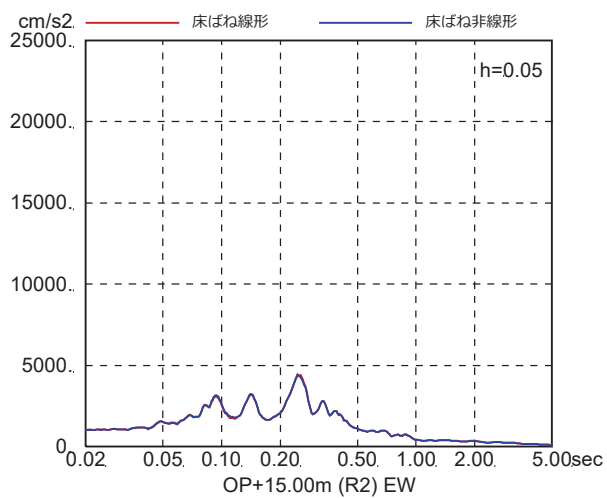
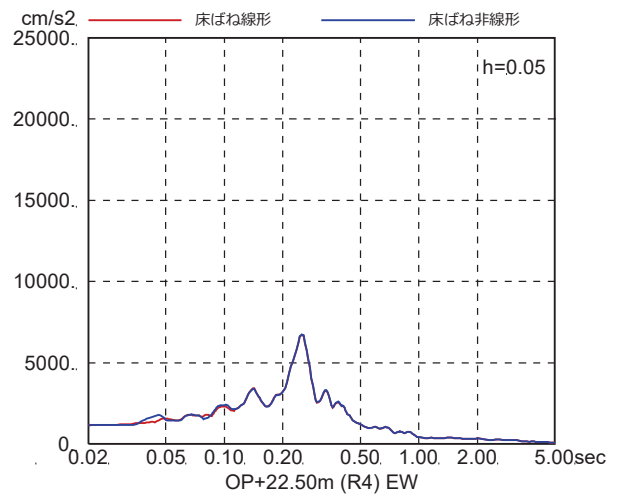
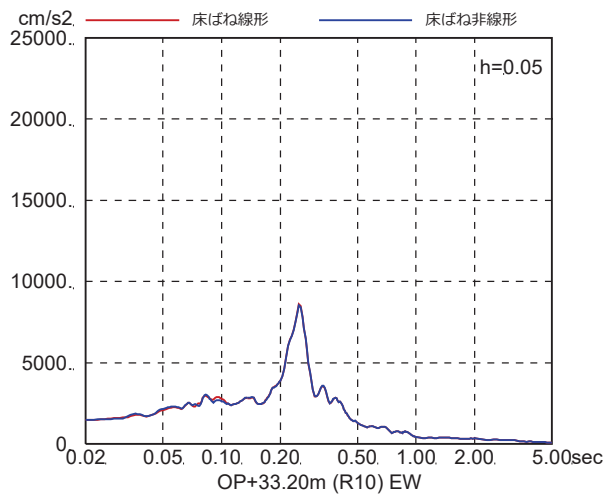
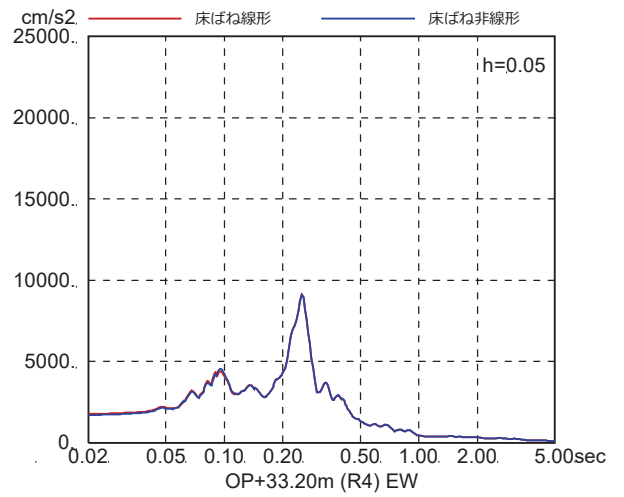
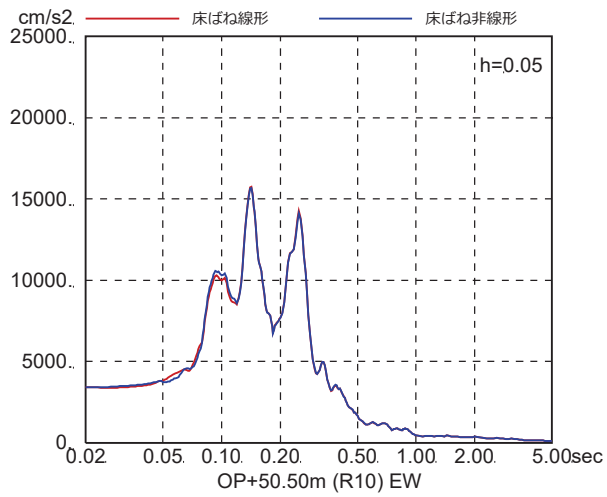


図 4-7(33) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S_s-F2)

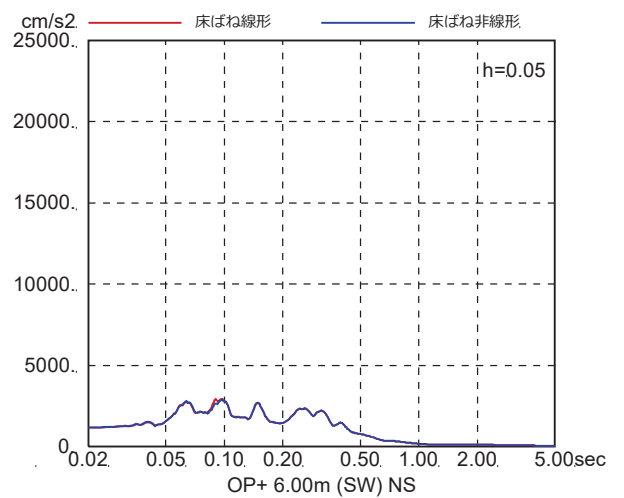
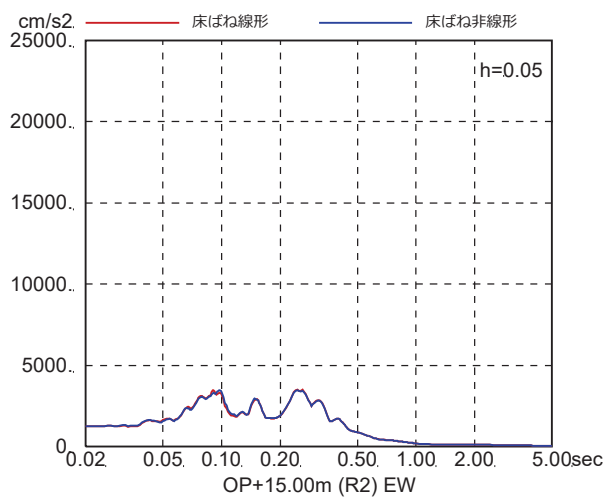
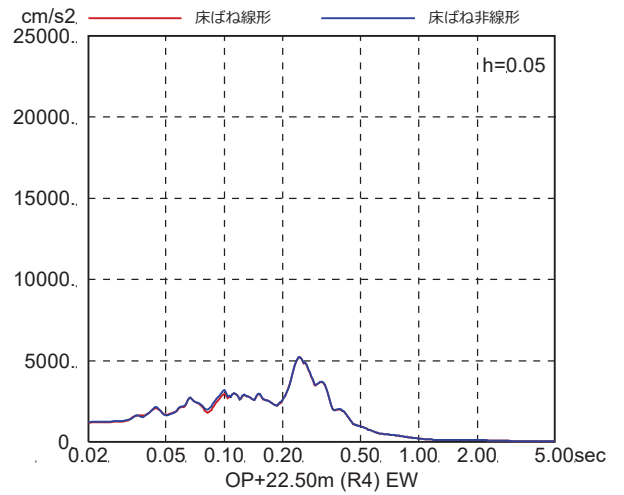
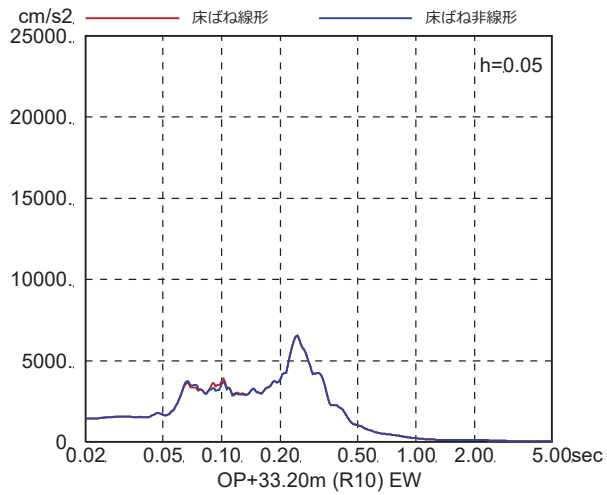
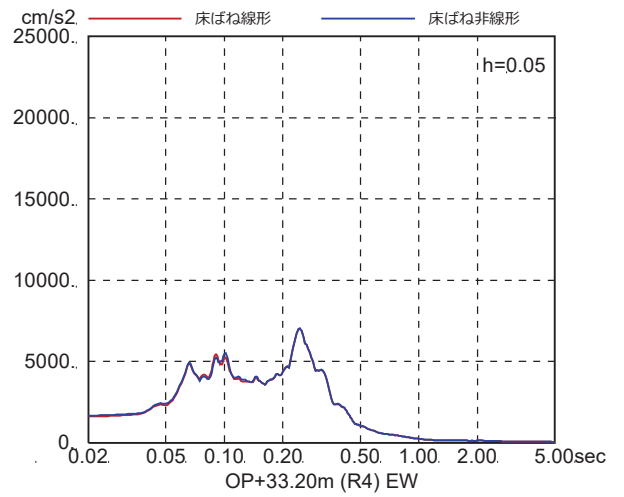
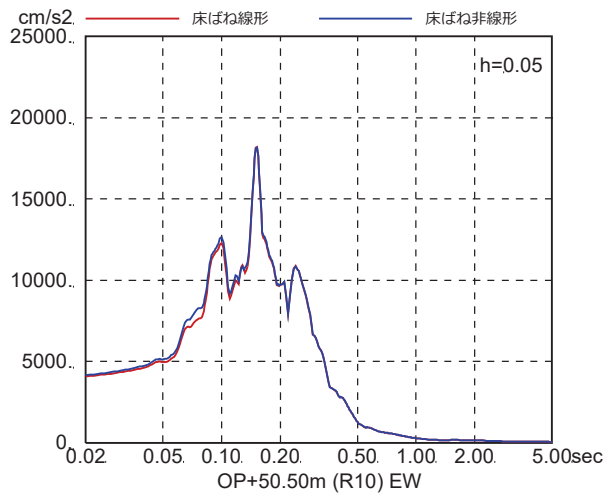


図 4-7(34) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, $S_s - F_3$)

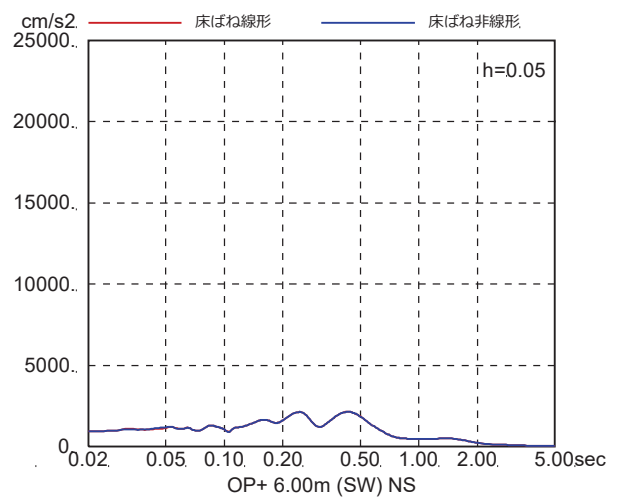
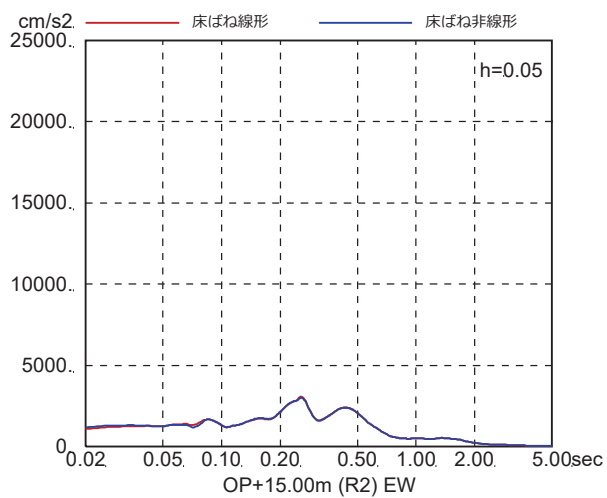
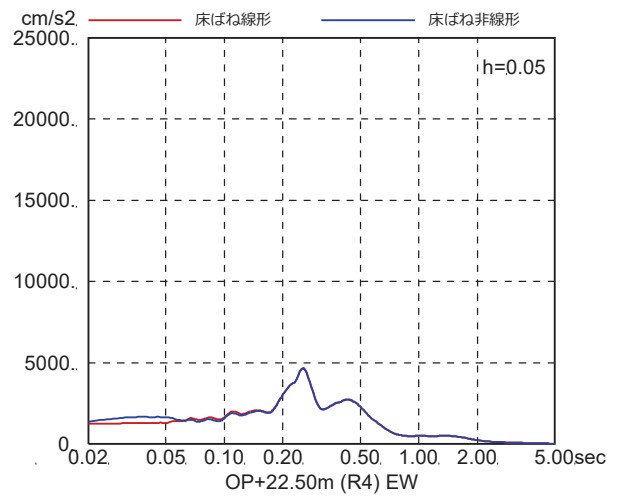
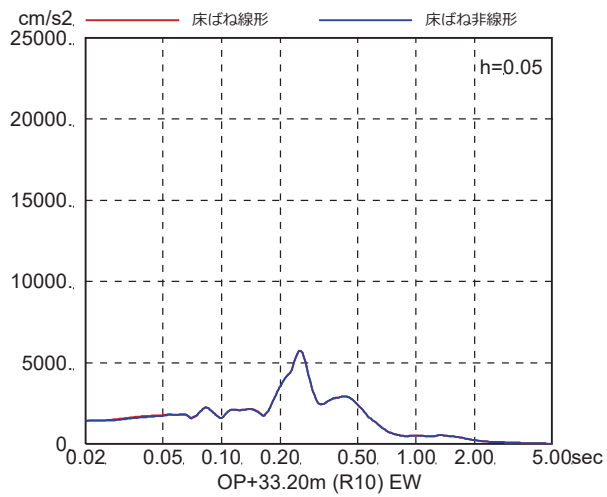
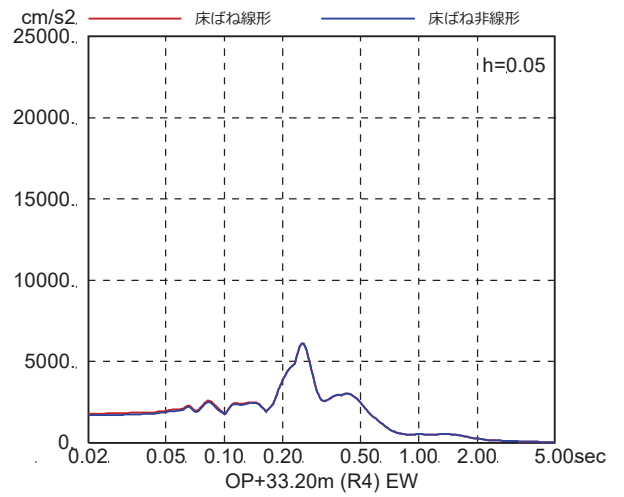
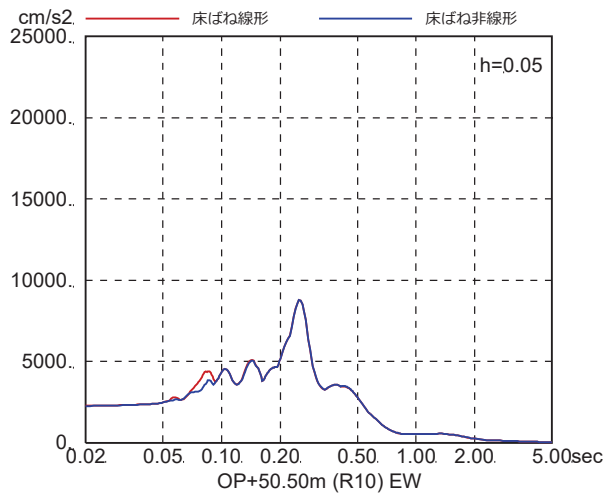


図 4-7(35) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 5, S s - N 1)

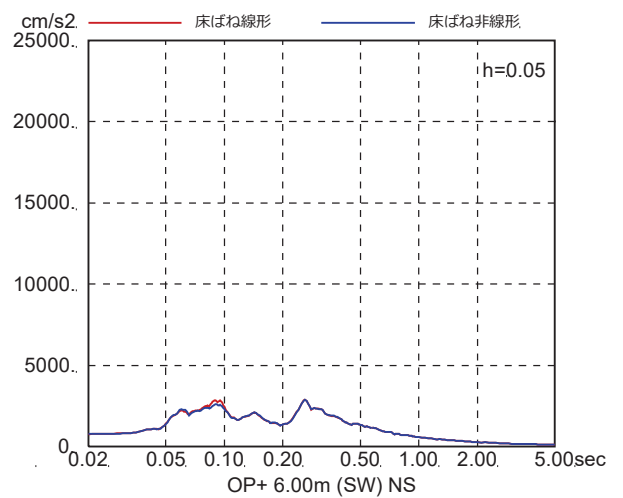
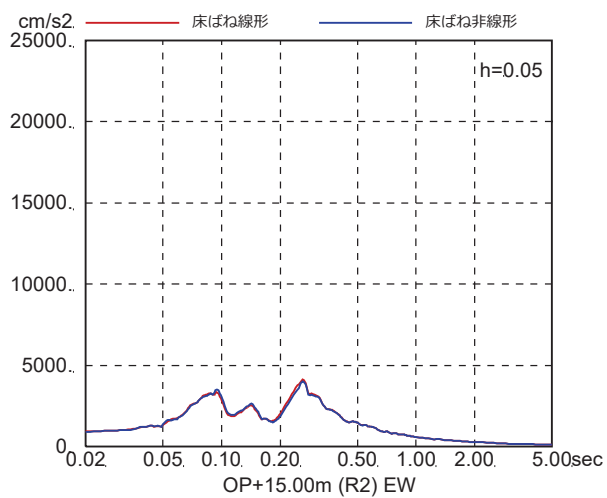
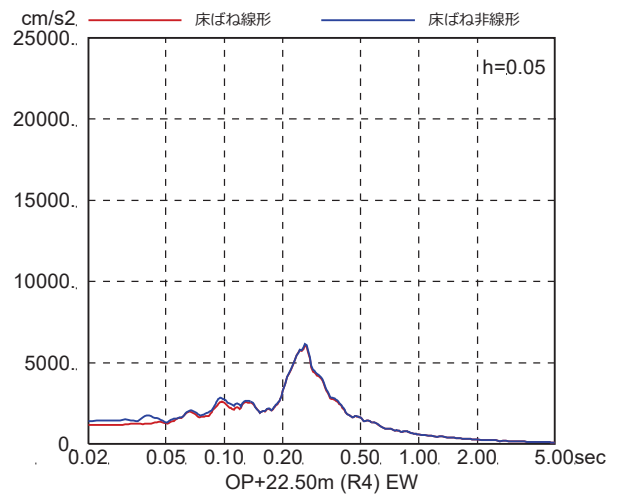
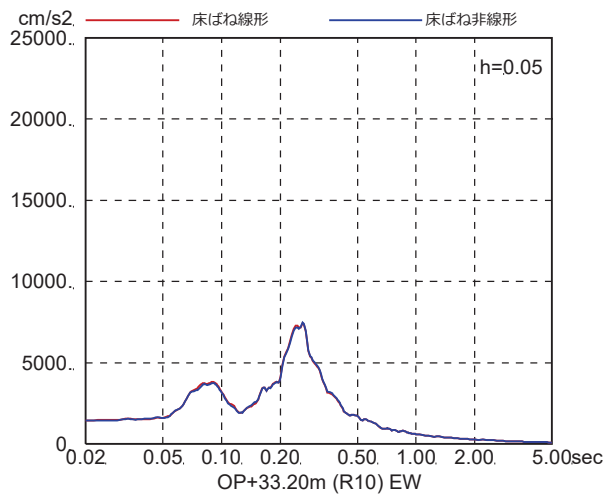
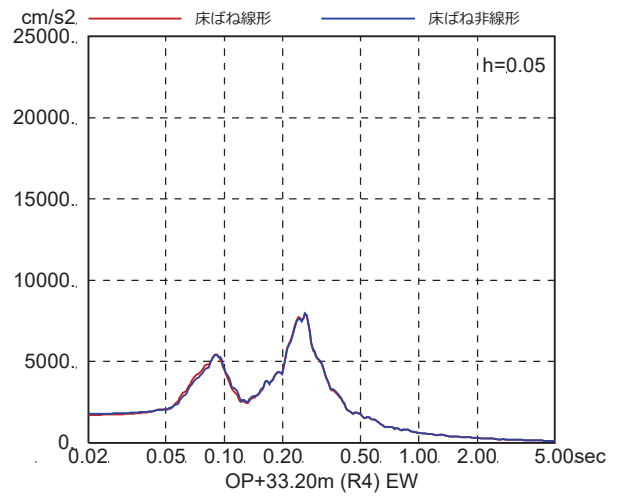
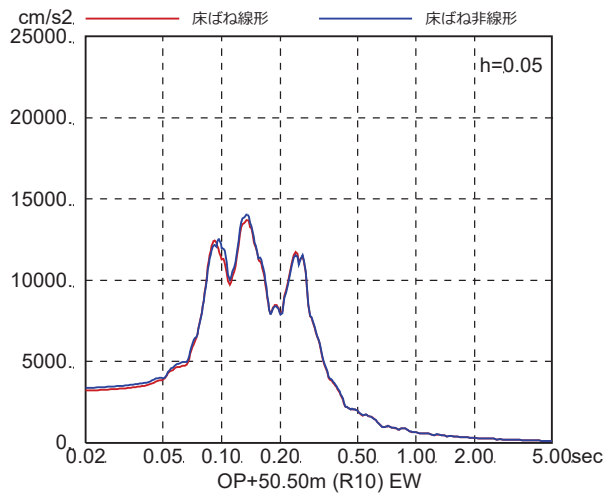


図 4-7(36) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S s - D 1)

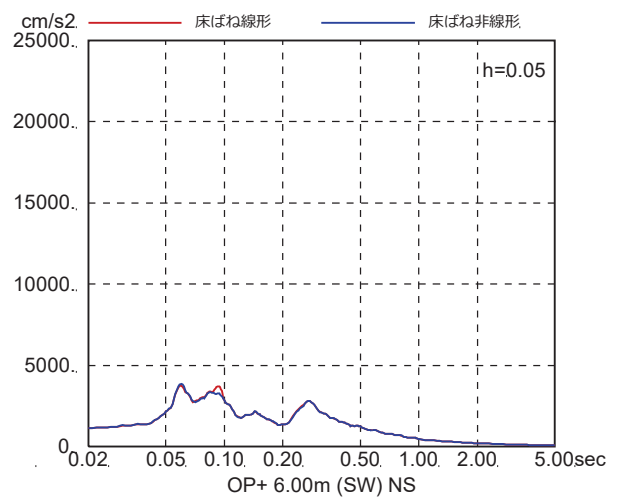
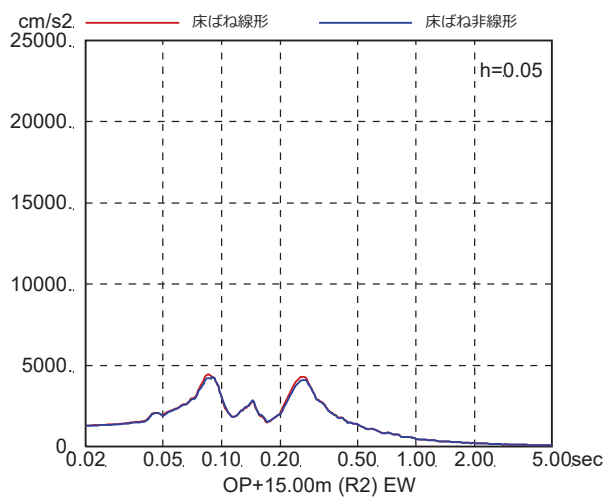
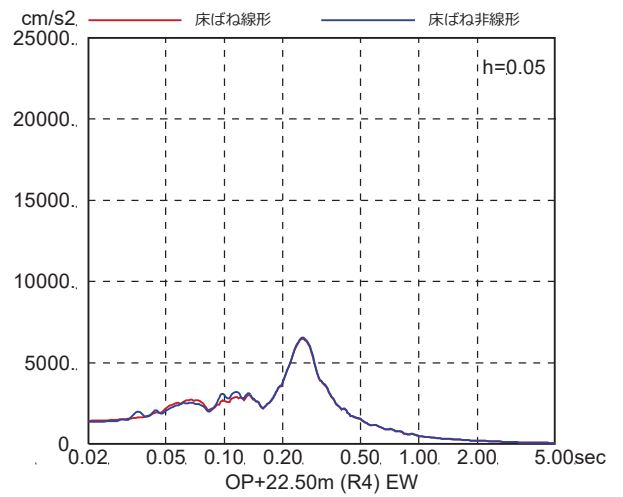
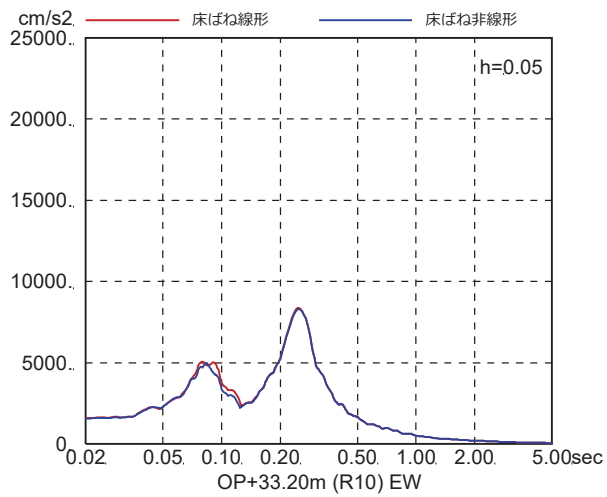
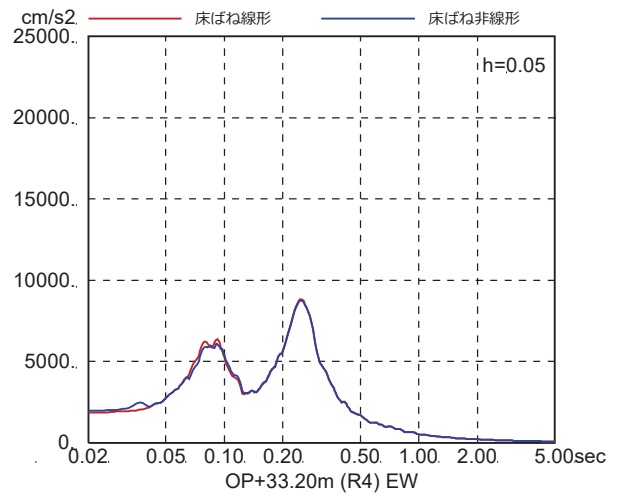
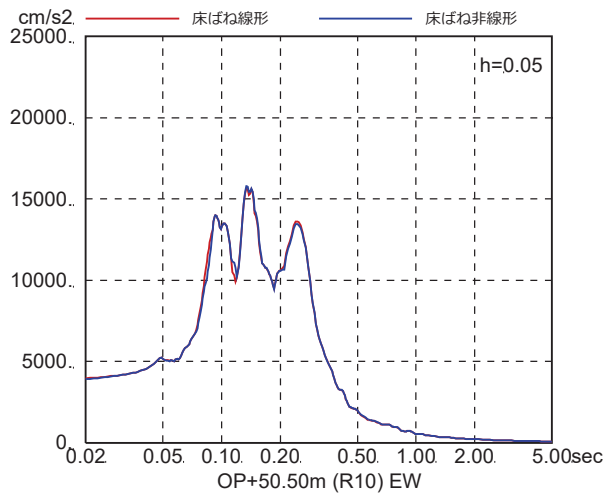


図 4-7(37) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S_s-D2)

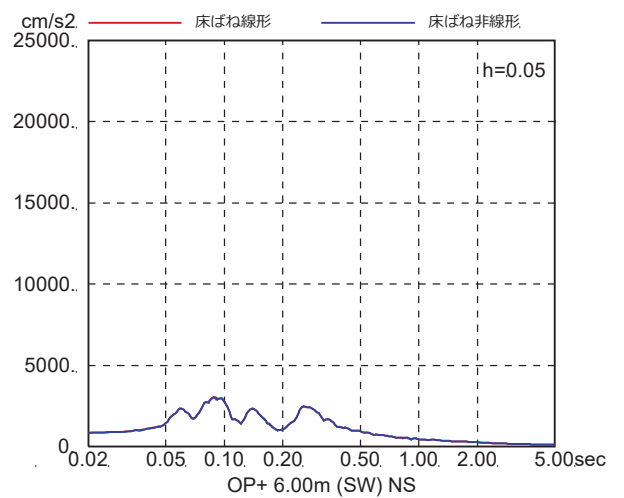
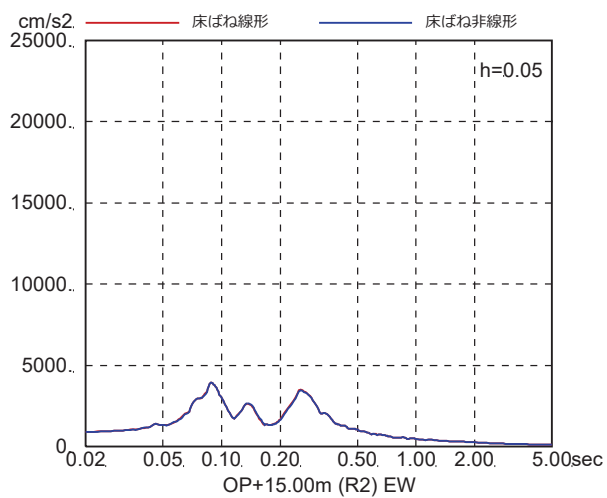
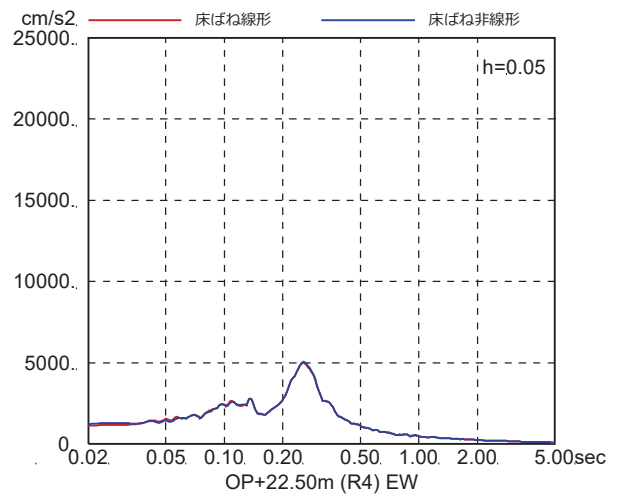
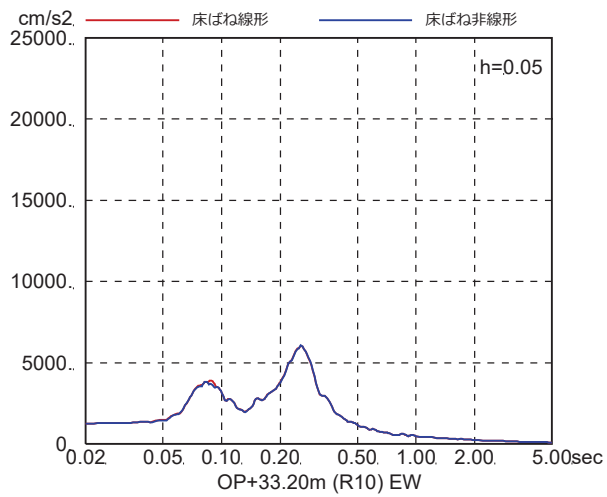
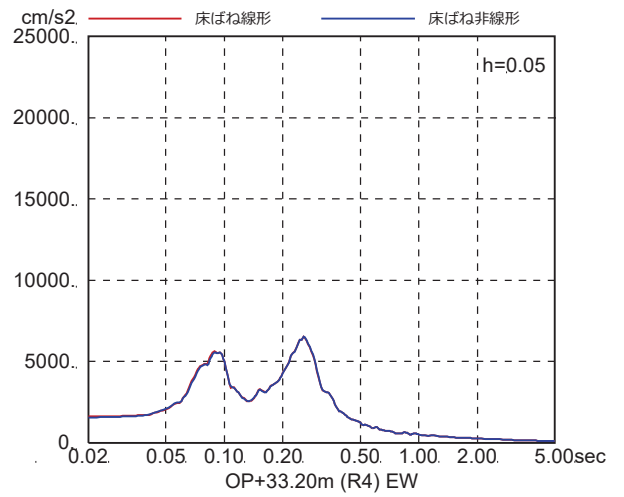
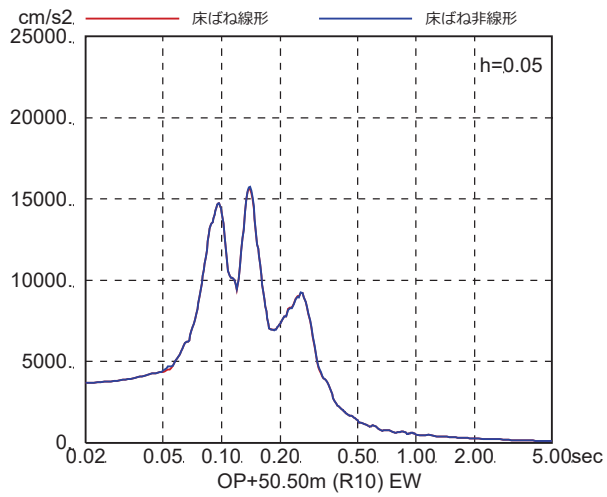


図 4-7(38) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S s - D 3)

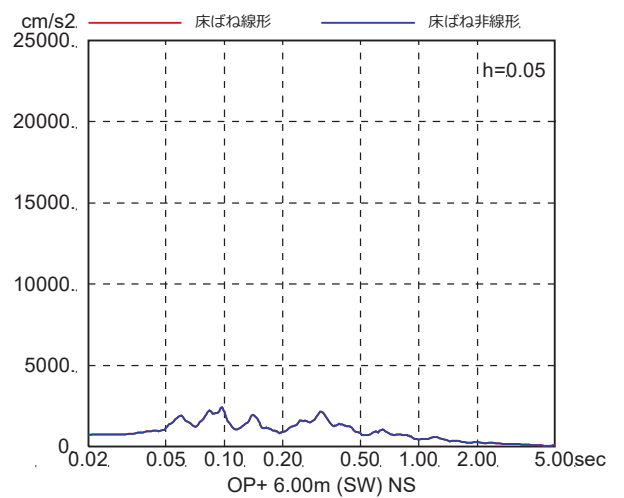
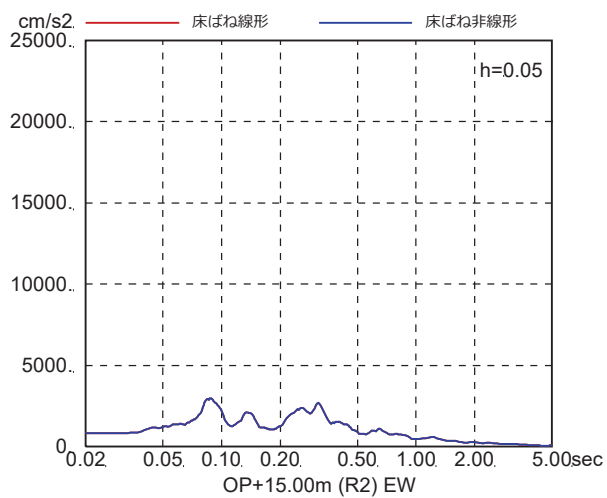
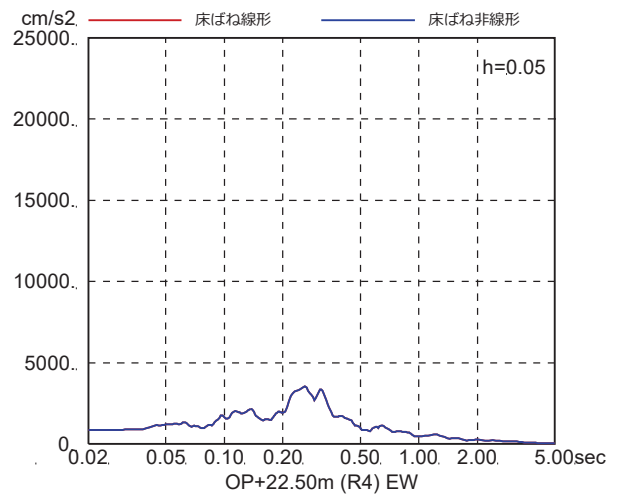
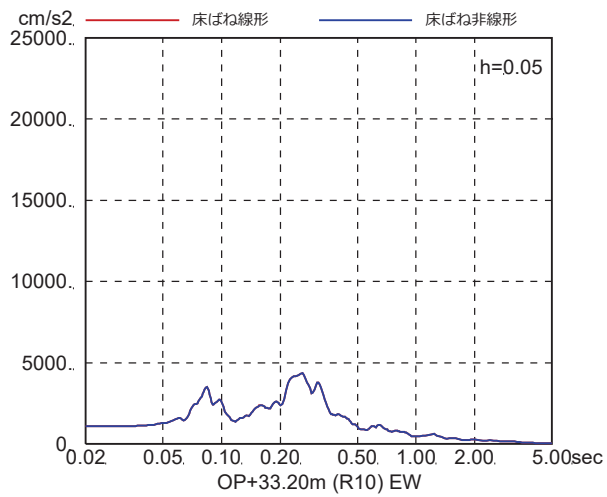
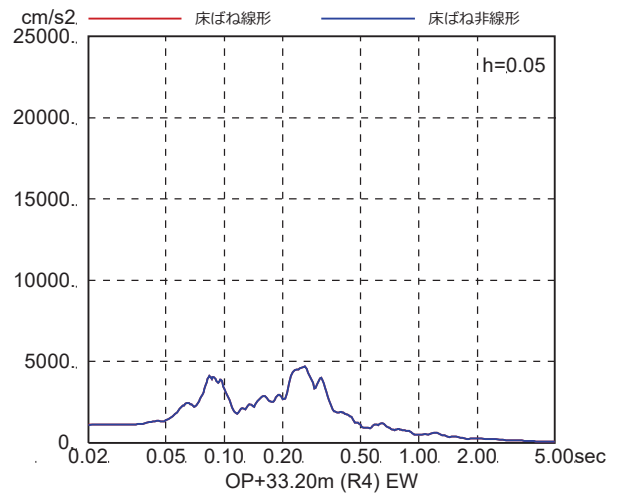
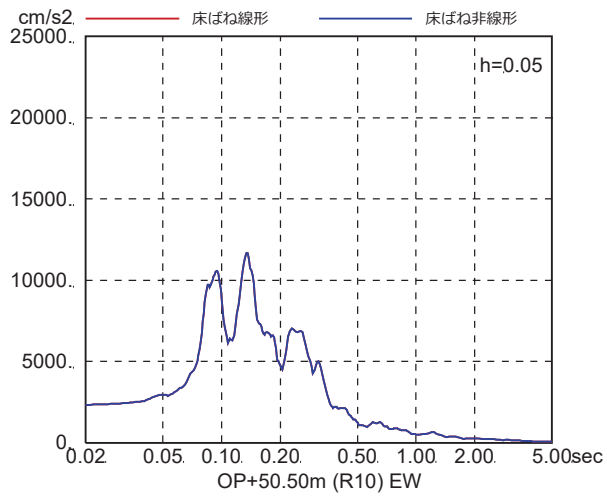


図 4-7(39) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S s - F 1)

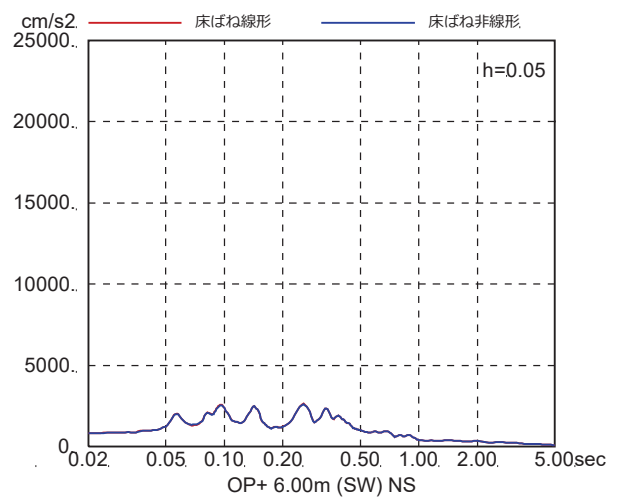
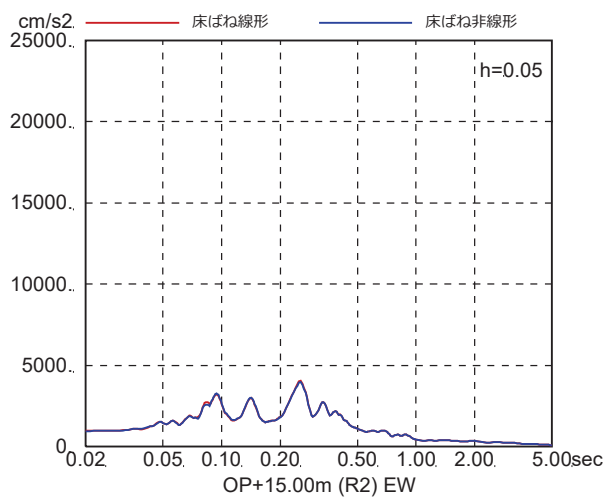
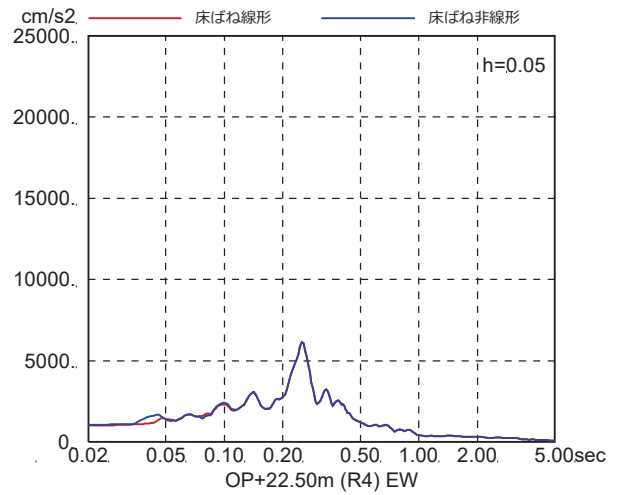
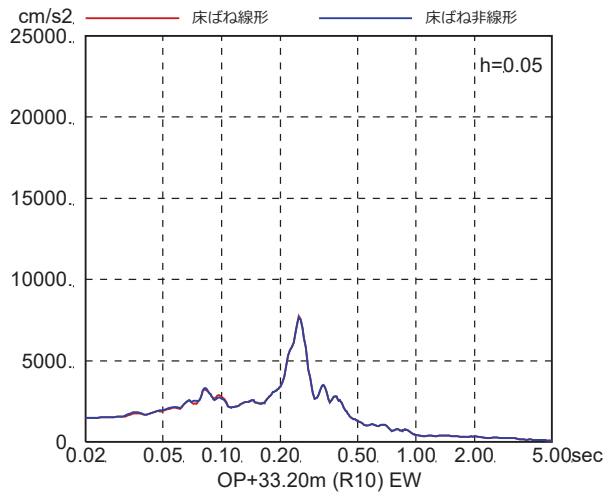
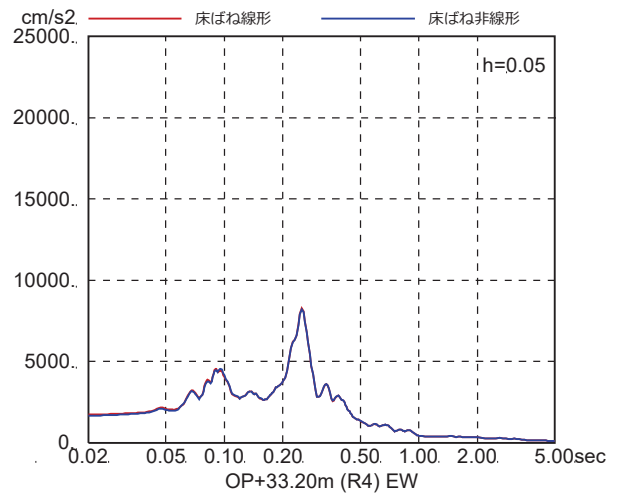
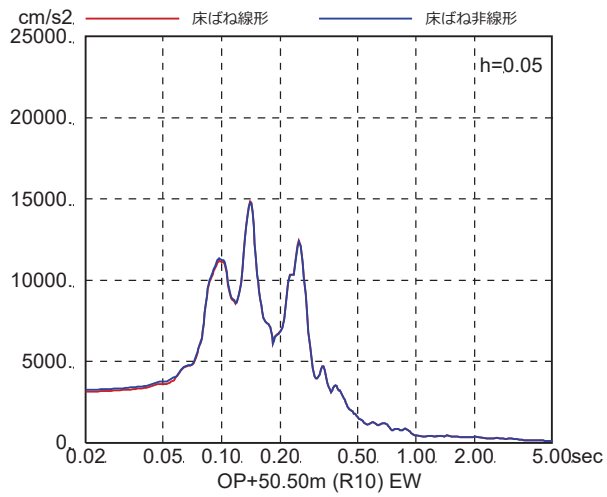


図 4-7(40) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S_s-F2)

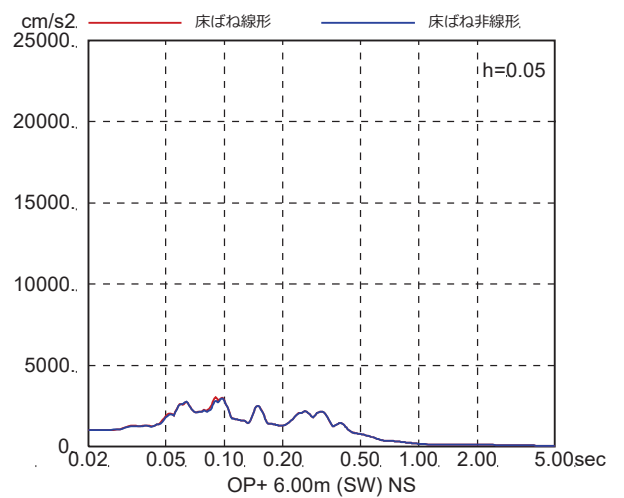
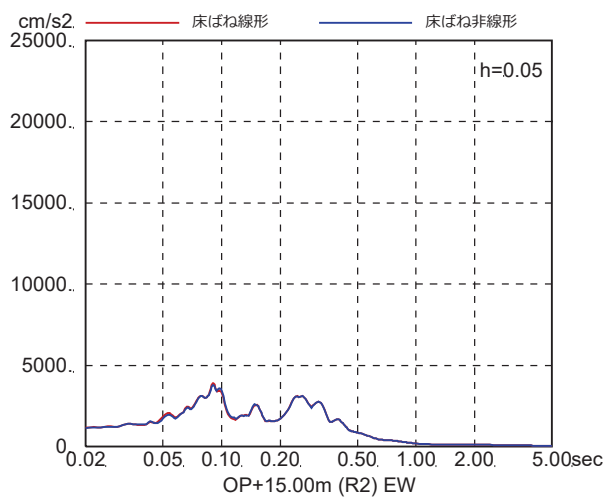
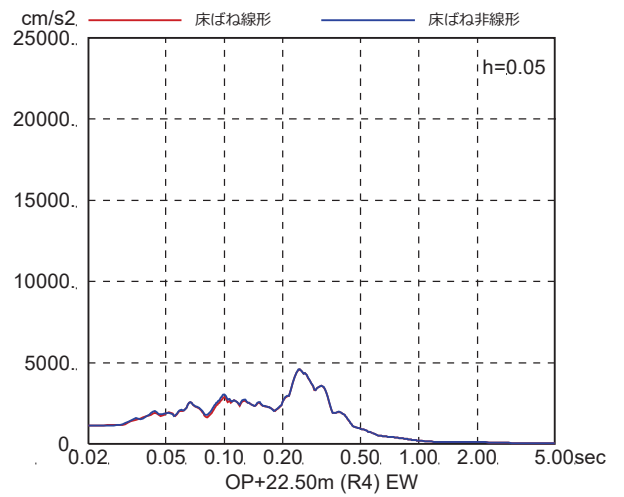
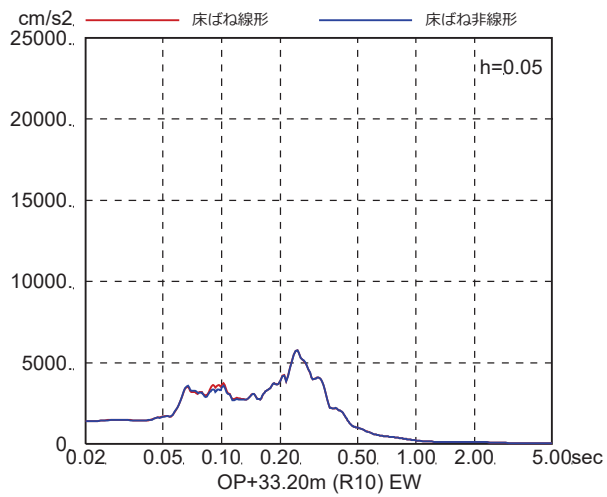
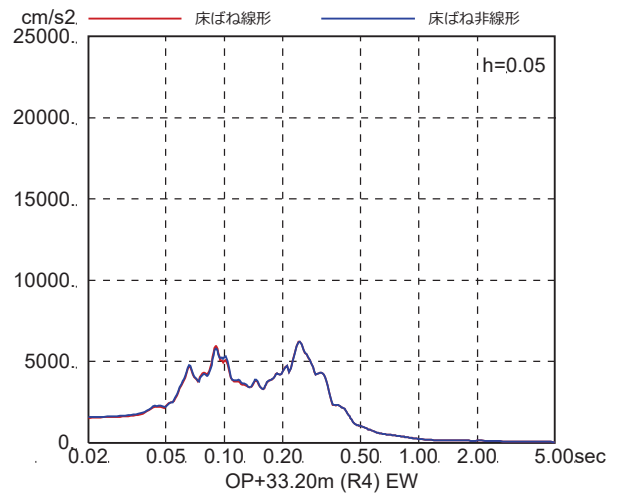
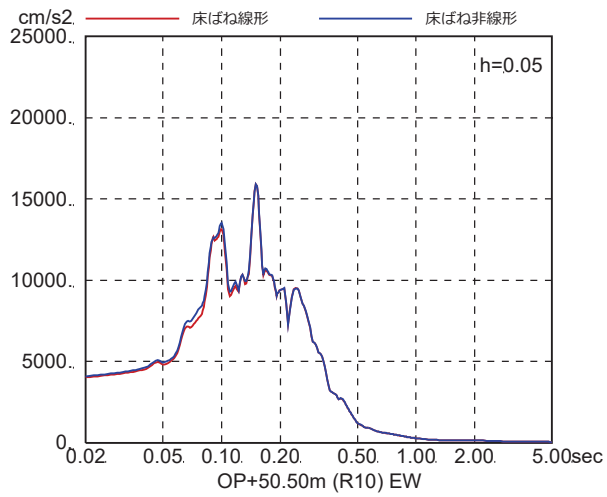


図 4-7(41) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S s - F 3)

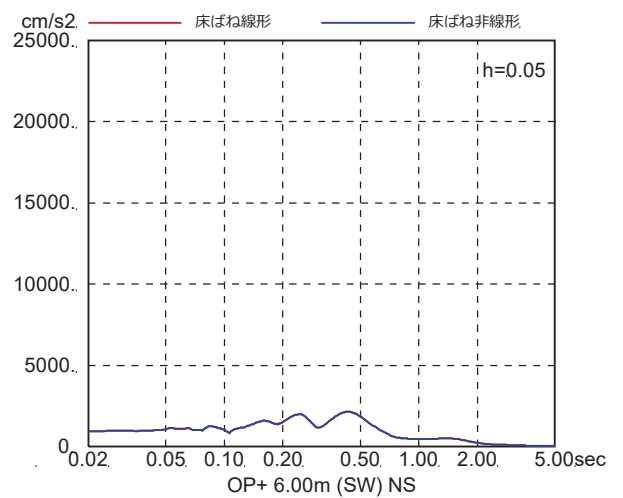
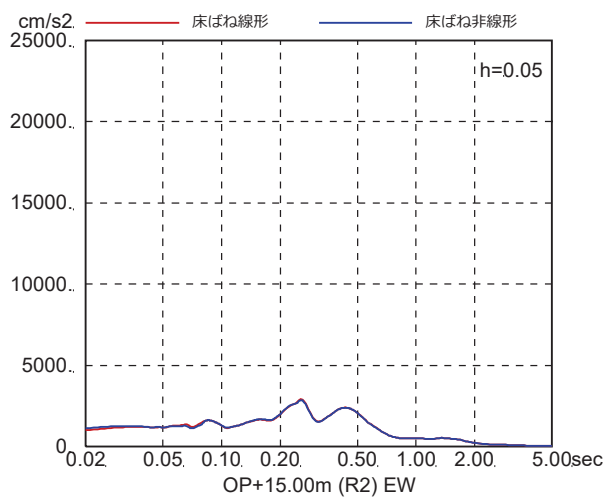
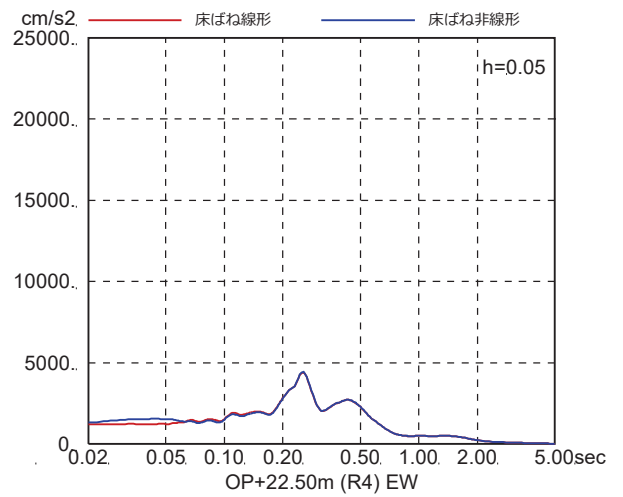
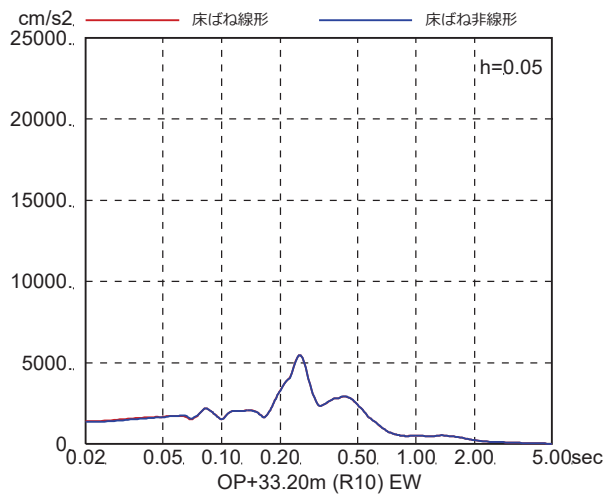
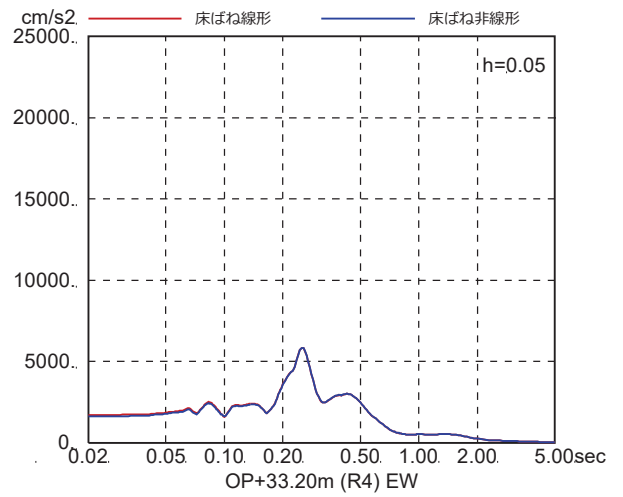
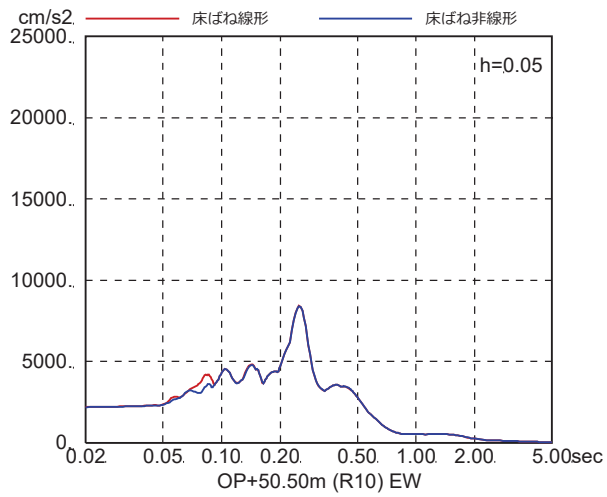


図 4-7(42) 床ばね線形モデルと床ばね非線形モデルの床応答の比較
(EW 方向, ケース 6, S s - N 1)

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，Ss-D2），部材番号(12)では 0.24×10^{-3} （ケース 2，Ss-D2）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