

電源開発株式会社
大間原子力発電所

原子炉施設設置地盤の安定性検討の結果概要

平成19年2月
原子力発電安全審査課

原子炉施設設置地盤の動的FEM解析ケース及び解析結果

解析ケース			埋戻し部		断層内物質及びシームの強度 τ		断層内物質及びシームの動せん断弾性係数 G_d , 減衰定数 h		応力履歴を考慮する範囲のシームの強度 τ	風化を考慮する範囲のシームの強度 τ	燃料補助建屋		軟岩の動せん断弾性係数 G_d		岩盤の減衰定数 h		解析結果																
																	MMR	岩ずり	平均値	平均値 -1σ	平均値	平均値 -1σ	平均値 $\times 0.7$	$\tau=0$	なし	あり	平均値	平均値 $\times 0.85$	3%	1%	最小すべり安全率	建屋基礎の傾斜	
																																最大相対変位量 (鉛直方向) (cm)	最大傾斜
原子炉建屋基礎地盤の安定解析	I. 基本解析	1. 建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析 (T.P. +4.8m まで MMR による建屋埋込み効果を考慮した解析)	○	○	○	○					○	○	○	○	3.6	0.46	1/13,000																
		2. 建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析		○	○	○						○	○	○	○	3.4	0.48	1/13,000															
	II. 比較解析	1. 断層内物質及びシームの物性のばらつきを考慮して強度特性を低減させた解析		○		●	○					○	○	○	○	2.9	0.48	1/13,000															
		2. 断層内物質及びシームの物性のばらつきを考慮して変形特性を低減させた解析		○	○			●				○	○	○	○	3.3	0.59	1/10,000															
		3. シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた解析		○	○				●			○	○	○	○	3.0	0.48	1/13,000															
		4. シームの風化部を考慮して強度特性を低減させた解析		○	○					●		○	○	○	○	3.1	0.48	1/13,000															
		5. 燃料補助建屋を付加したモデルによる解析		○	○								●			4.4	0.30	1/19,000															
		6. 軟岩のひずみを考慮して変形特性を低減させた解析		○	○									●		3.4	0.66	1/9,100															
		7. 岩盤の減衰定数を1%に低減させた解析		○	○										●	3.0	0.58	1/10,000															
	III. 燃料補助建屋基礎地盤の安定解析		—	○								●			○	○	4.2	0.20	1/18,000														

- ・ 建屋と地盤の間の埋戻し部については、周辺の岩盤と同等の拘束効果を確保するため、T.P. +4.8mまでMMRを打設するとしているが、基本設計の現段階では、T.P. +4.8mまでMMRで埋戻すケースと岩ずりにより埋戻すケースを基本解析として実施している。
- ・ 物性のばらつきを考慮する等の比較解析は、上記の基本解析結果のうち保守的な結果が得られている、建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした条件で実施するとしている。
- ・ 岩盤とは、表土等の土質材料を除く基礎地盤（硬岩・軟岩）をいう。

I. 原子炉建屋基礎地盤の安定性検討

1. 慣用法による安定性検討

2. 動的FEM解析による安定性検討（基本解析）

1. 慣用法による安定性検討

(1) 支持力に対する検討

表-1 に原子炉建屋基礎底面における接地圧分布を示す。原子炉建屋基礎底面地盤は、原子炉建屋の常時の接地圧約 0.6N/mm² に対して淡灰色火山礫凝灰岩の支持力試験による上限降伏値が 6.1N/mm² と大きく上回ることから、十分な長期の支持力を有している。また、地震時の最大接地圧約 1.6N/mm² に対して淡灰色火山礫凝灰岩の支持力試験による極限支持力が 13.1N/mm² 以上と大きく上回ることから、十分な地震時の支持力を有している。

(2) 平面すべりに対する検討

表-2 に原子炉建屋基礎底面の平面すべり検討結果を示す。原子炉建屋基礎底面の地震時のすべり安全率は 2.1 以上であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

(3) 沈下に対する検討

表-3 に原子炉建屋の沈下に対する検討結果を示す。原子炉建屋の沈下量は、隣接して設置するタービン建屋及び廃棄物処理建屋の荷重を考慮すると、原子炉建屋中心で約 3.2cm である。また、原子炉建屋に生じる不同沈下量は最大約 0.8cm、建屋の傾斜は最大約 1/7,300 であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

表-1 支持力に対する検討結果

水平地震力方向 鉛直地震力方向	常時	地震時								
		X-X'				Y-Y'				
		鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	
鉛直力・有効鉛直力 ¹⁾ (N)	210.23×10 ⁷	191.78×10 ⁷	159.77×10 ⁷	141.33×10 ⁷	260.69×10 ⁷	242.24×10 ⁷	159.77×10 ⁷	141.33×10 ⁷	260.69×10 ⁷	242.24×10 ⁷
転倒モーメント ²⁾ (N・m)	2,623.3×10 ⁷				2,651.9×10 ⁷					
水平力 ²⁾ (N)	89.56×10 ⁷				89.56×10 ⁷					
建屋荷重	浮力を考慮しない場合 									
	浮力を考慮した場合 									

注1) 有効鉛直力では浮力を考慮 注2) 3C₁による 注3) ○は常時、地震時それぞれの最大値を示す

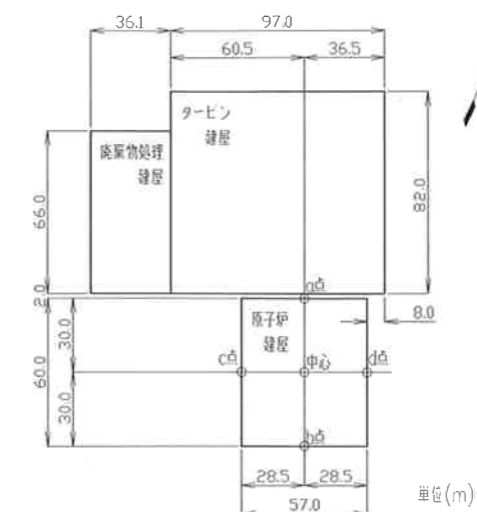
表-3 原子炉建屋の沈下に対する検討結果

	沈下量算定位置					
	中心	a点	b点	c点	d点	
原子炉建屋荷重による沈下量 (cm)	2.31	1.57	1.57	1.58	1.58	
タービン建屋荷重による沈下	沈下量 (cm)	0.85	1.43	0.61	0.88	0.75
	不同沈下量 (cm)	—	0.82		0.13	
	傾斜	—	1/7,300		1/44,000	
原子炉建屋及びタービン建屋荷重による沈下量 (cm)	3.16	3.00	2.18	2.46	2.33	

※)タービン建屋は、廃棄物処理建屋と一体構造とする。

表-2 すべり安全率 原子炉建屋基礎底面の平面すべり

水平地震力方向	鉛直地震力方向	抵抗力(N)	せん断力(N)	すべり安全率
X-X'	↑	200.7×10 ⁷	89.56×10 ⁷	2.2
	↓	340.1×10 ⁷	89.56×10 ⁷	3.7
Y-Y'	↑	190.1×10 ⁷	89.56×10 ⁷	2.1
	↓	333.9×10 ⁷	89.56×10 ⁷	3.7



原子炉建屋の沈下に対する検討位置

2. 動的FEM解析による安定性検討(基本解析)

(1) 支持力に対する検討

原子炉建屋の接地圧が最大となる時刻における主応力分布、要素ごとの安全率及びモビライズド面について、建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析を図-1及び図-2に、建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析(T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析)を図-3及び図-4に示す。これらの図によれば、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はなく、モビライズド面(潜在すべり面)が連続するすべり線は存在しないため、原子炉建屋基礎地盤は地震時における応力状態からみて支持力が問題となるものではない。

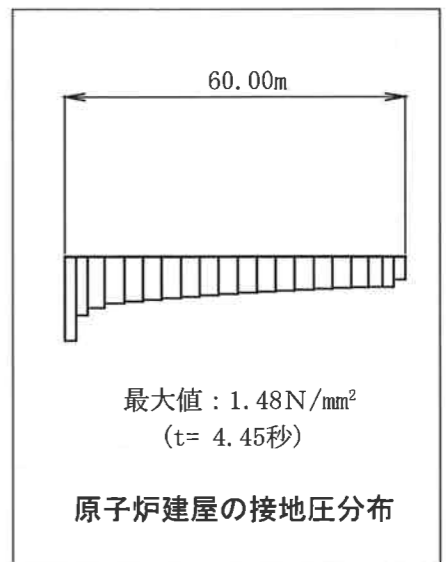
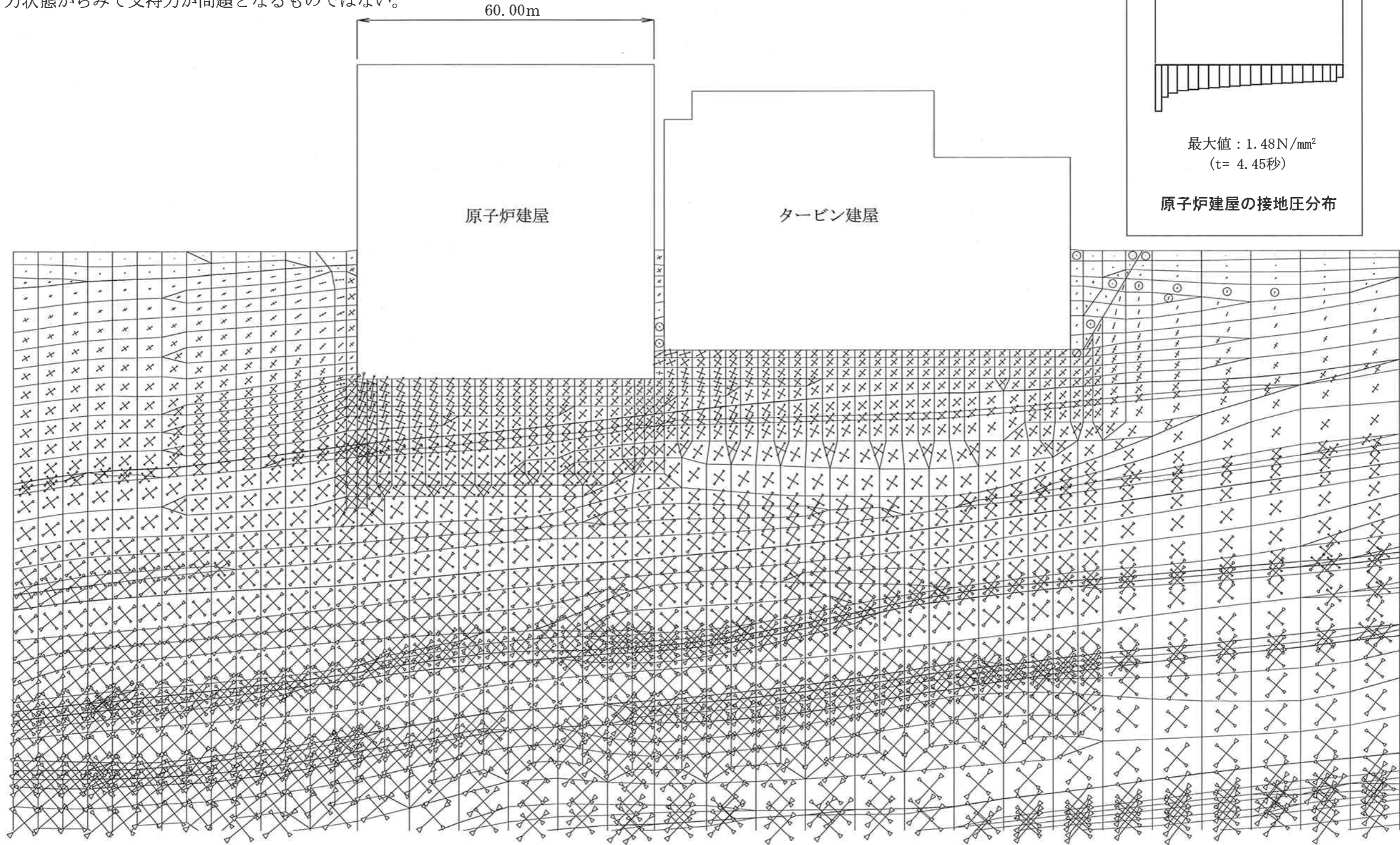
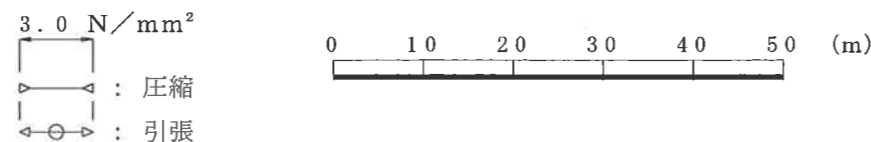
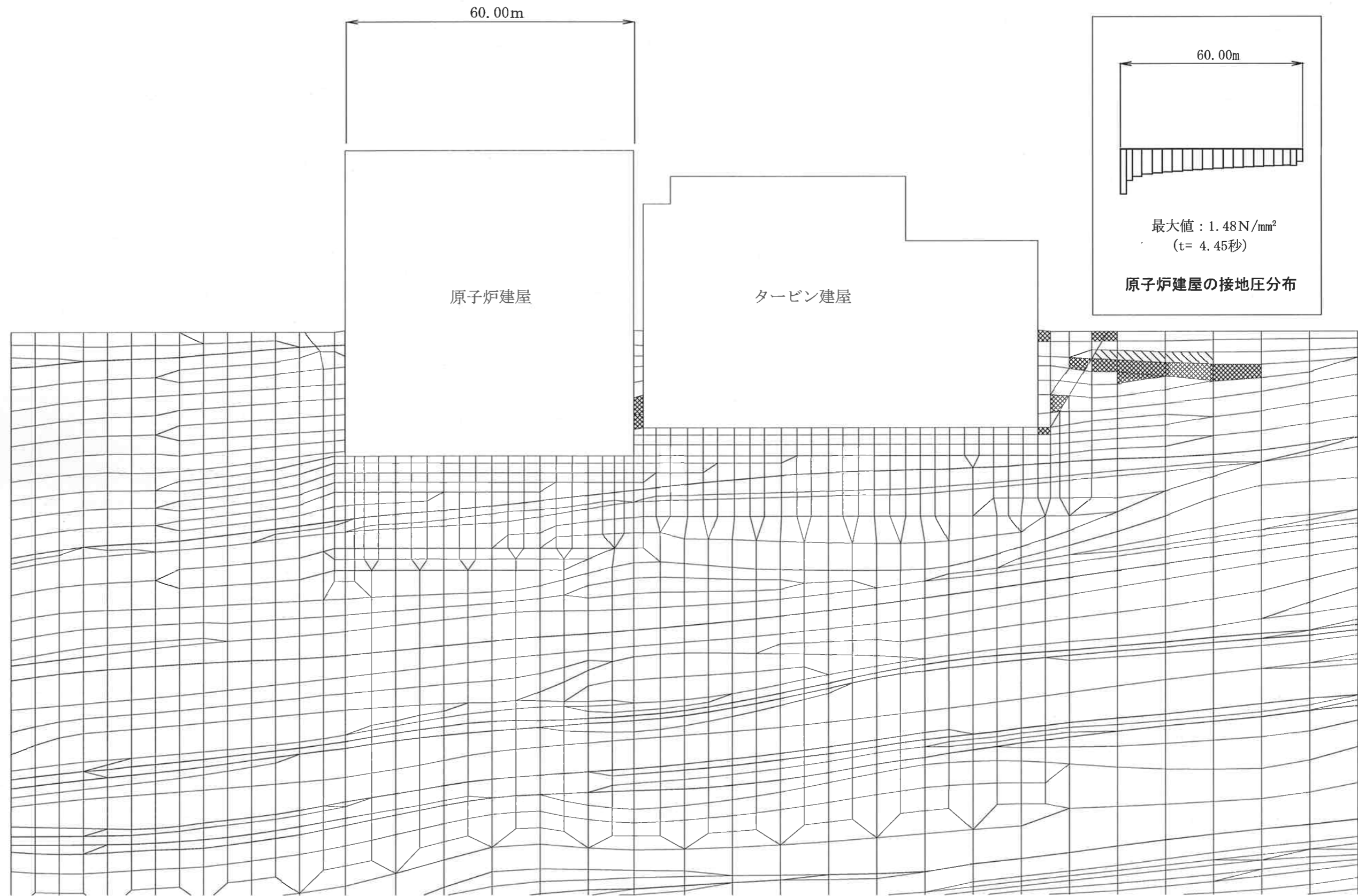


図-1(1) 主応力図

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析, X-X'断面, S_s-2波, t=4.45秒)





- : せん断強度に達した要素
- ▨ : 引張応力が発生した要素
- ▨ (horizontal lines) : $1.00 \leq f_s < 1.50$
- ▨ (diagonal lines) : $1.50 \leq f_s < 2.00$
- : $2.00 \leq f_s$

0 10 20 30 40 50 (m)

図-1(2) 要素ごとの安全率(基礎岩盤)

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析,
X-X'断面, S_s -2波, $t=4.45$ 秒)

I. 原子炉建屋基礎地盤の安定性検討

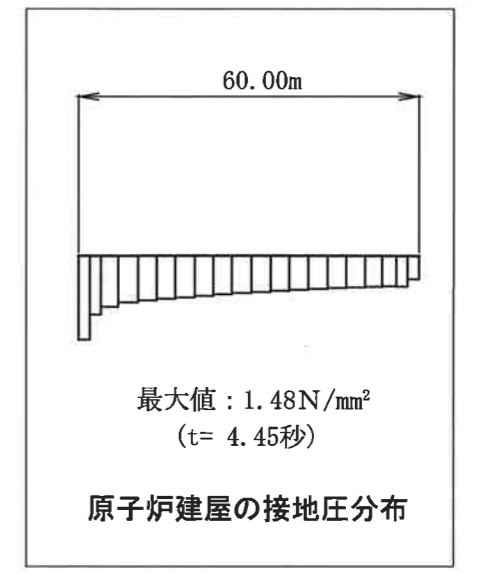
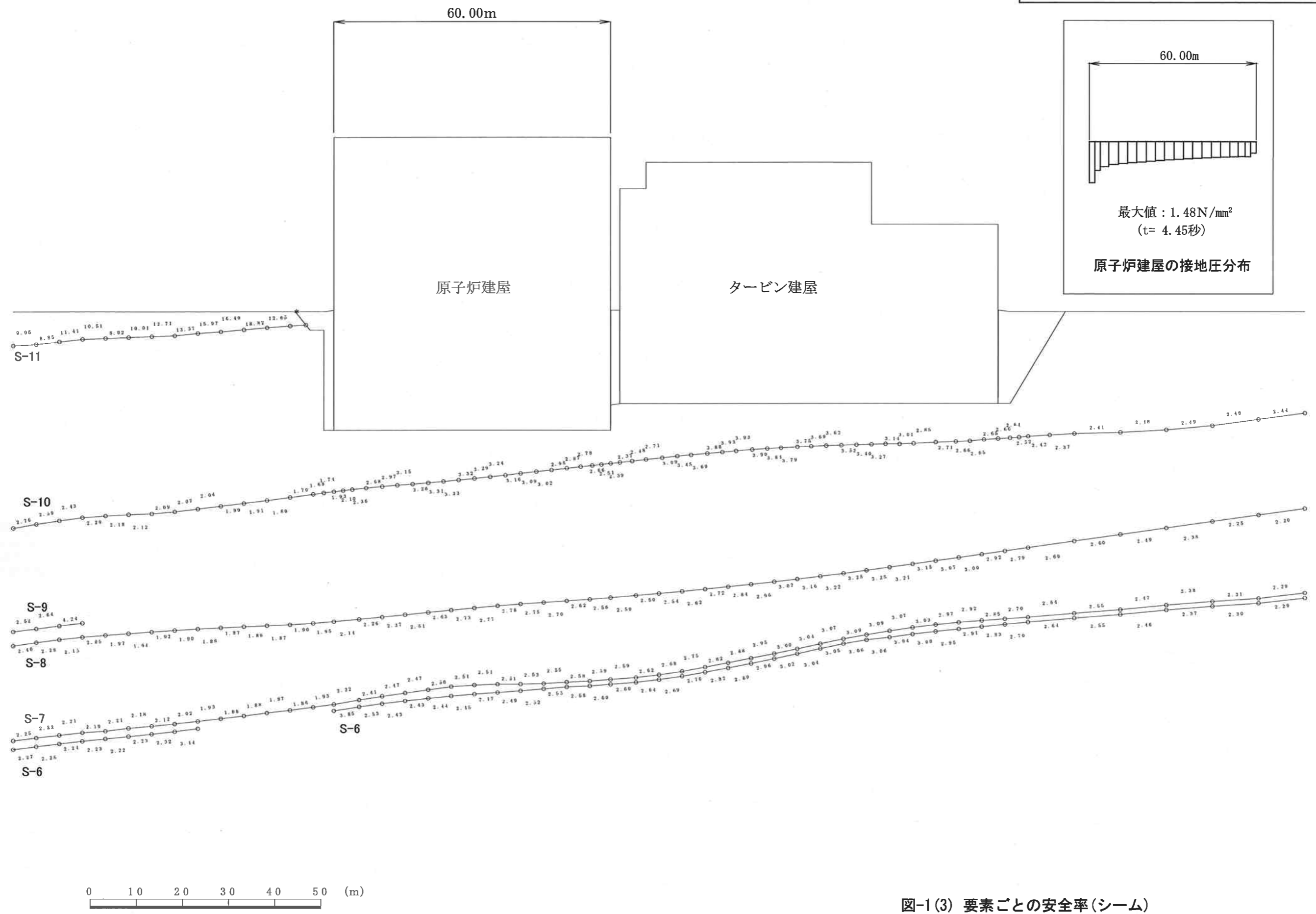


図-1(3) 要素ごとの安全率(シーム)

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析,
X-X'断面, S_s-2波, t=4.45秒)

* : 引張応力が発生した要素
: せん断強度に達した要素

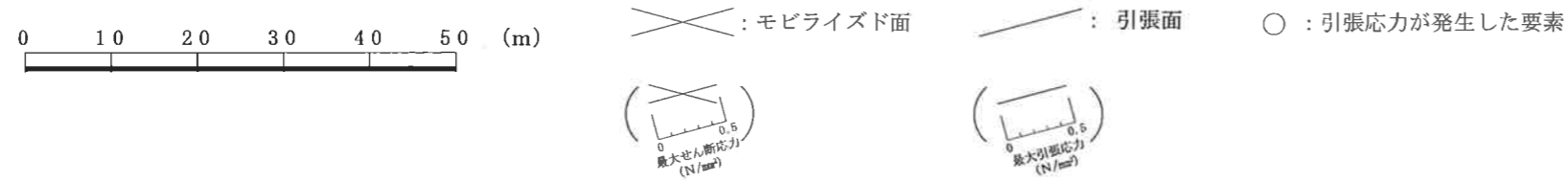
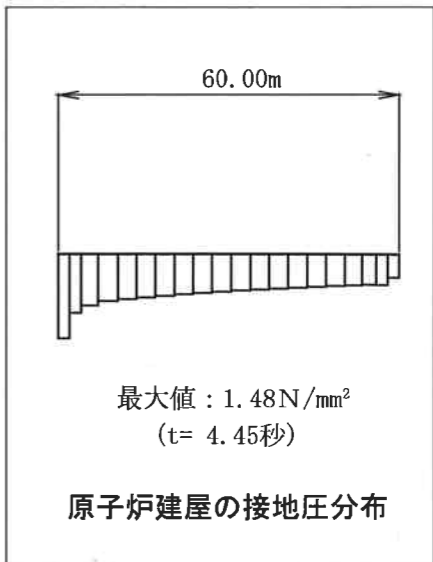
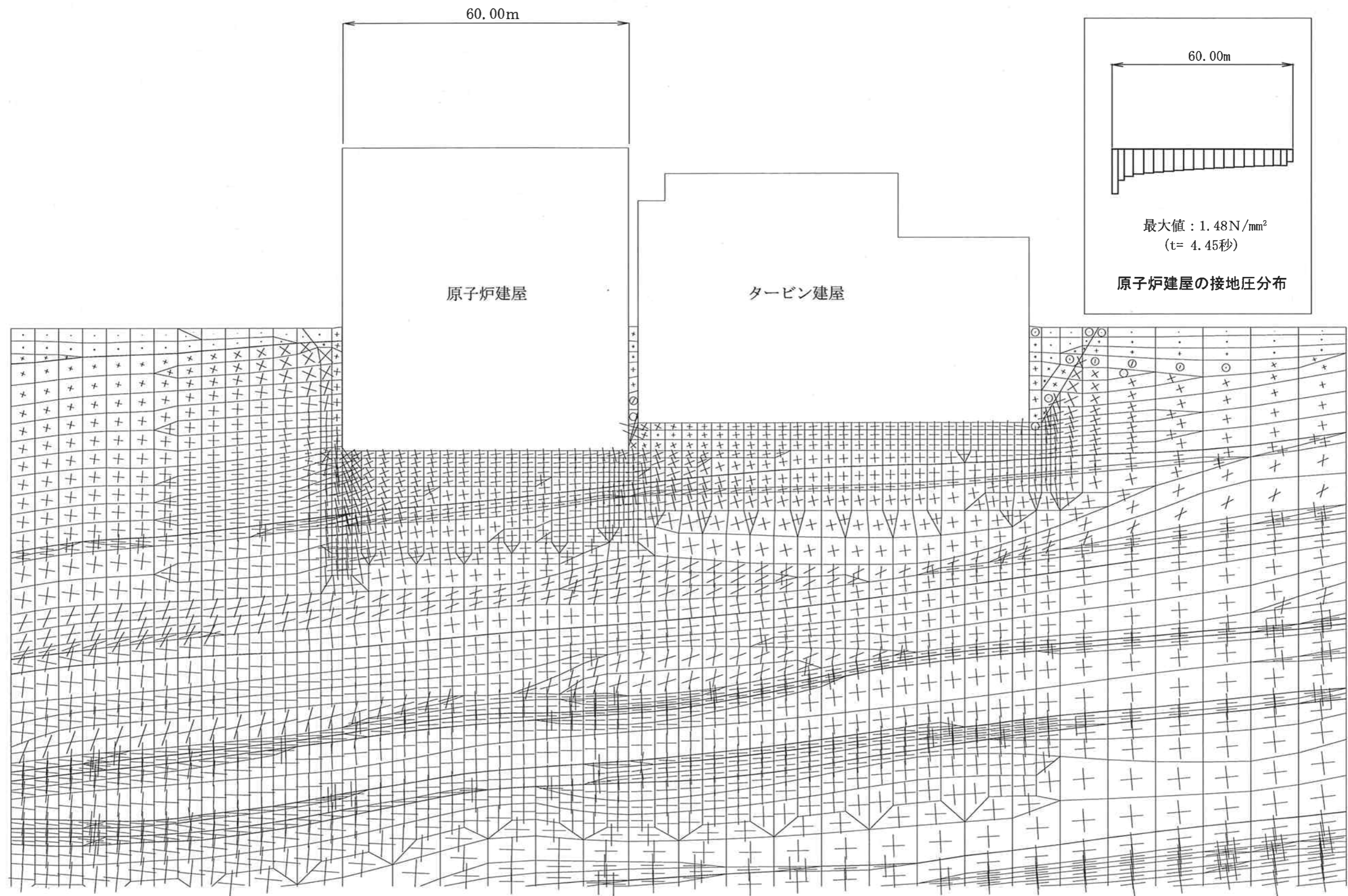
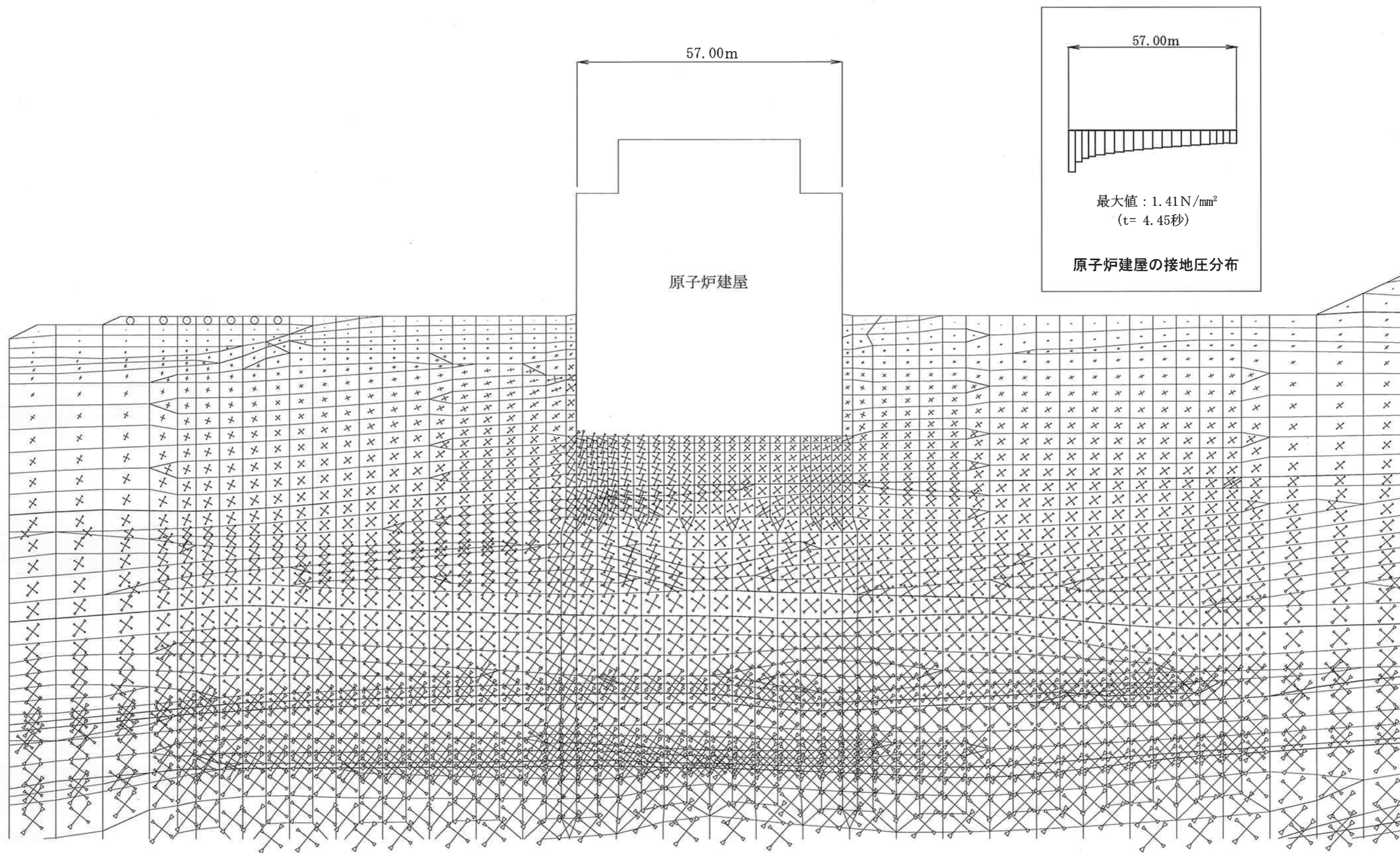


図-1(4) モビライズド面
(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析,
X-X'断面, S_s-2波, t=4.45秒)



最大値 : 1.41 N/mm²
(t = 4.45秒)

原子炉建屋の接地圧分布

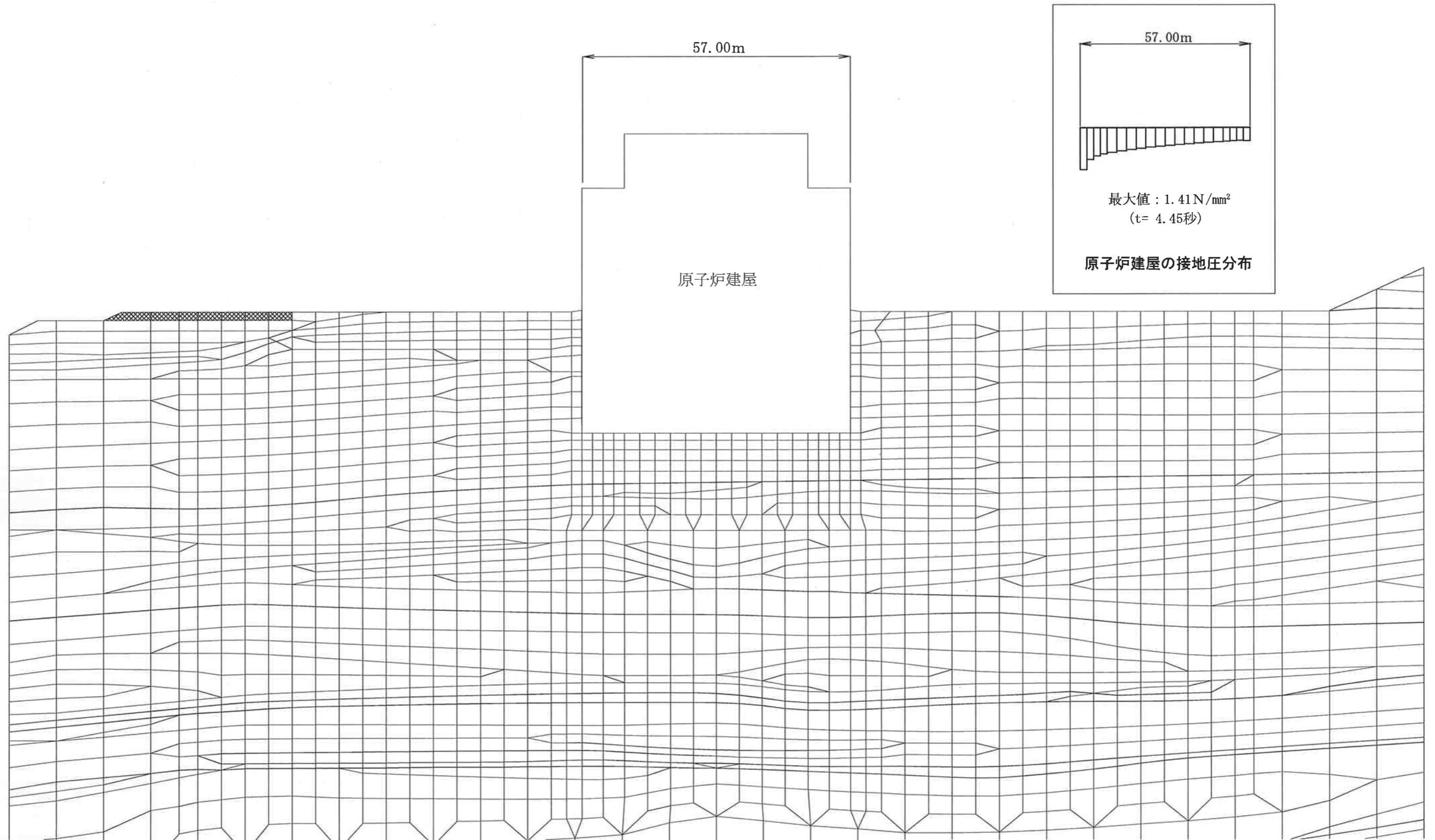
3.0 N/mm²

 : 圧縮
 : 引張

0 10 20 30 40 50 (m)

図-2(1) 主応力図

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析,
Y-Y'断面, S_s-2波, t = 4.45秒)



最大値 : 1.41 N/mm²
(t = 4.45秒)

原子炉建屋の接地圧分布

- : せん断強度に達した要素
- ▨ : 引張応力が発生した要素
- ▬ : $1.00 \leq f_s < 1.50$
- ▧ : $1.50 \leq f_s < 2.00$
- : $2.00 \leq f_s$

0 10 20 30 40 50 (m)

図-2(2) 要素ごとの安全率 (基礎岩盤)

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析,
Y-Y' 断面, S_s-2波, t = 4.45秒)

I. 原子炉建屋基礎地盤の安定性検討

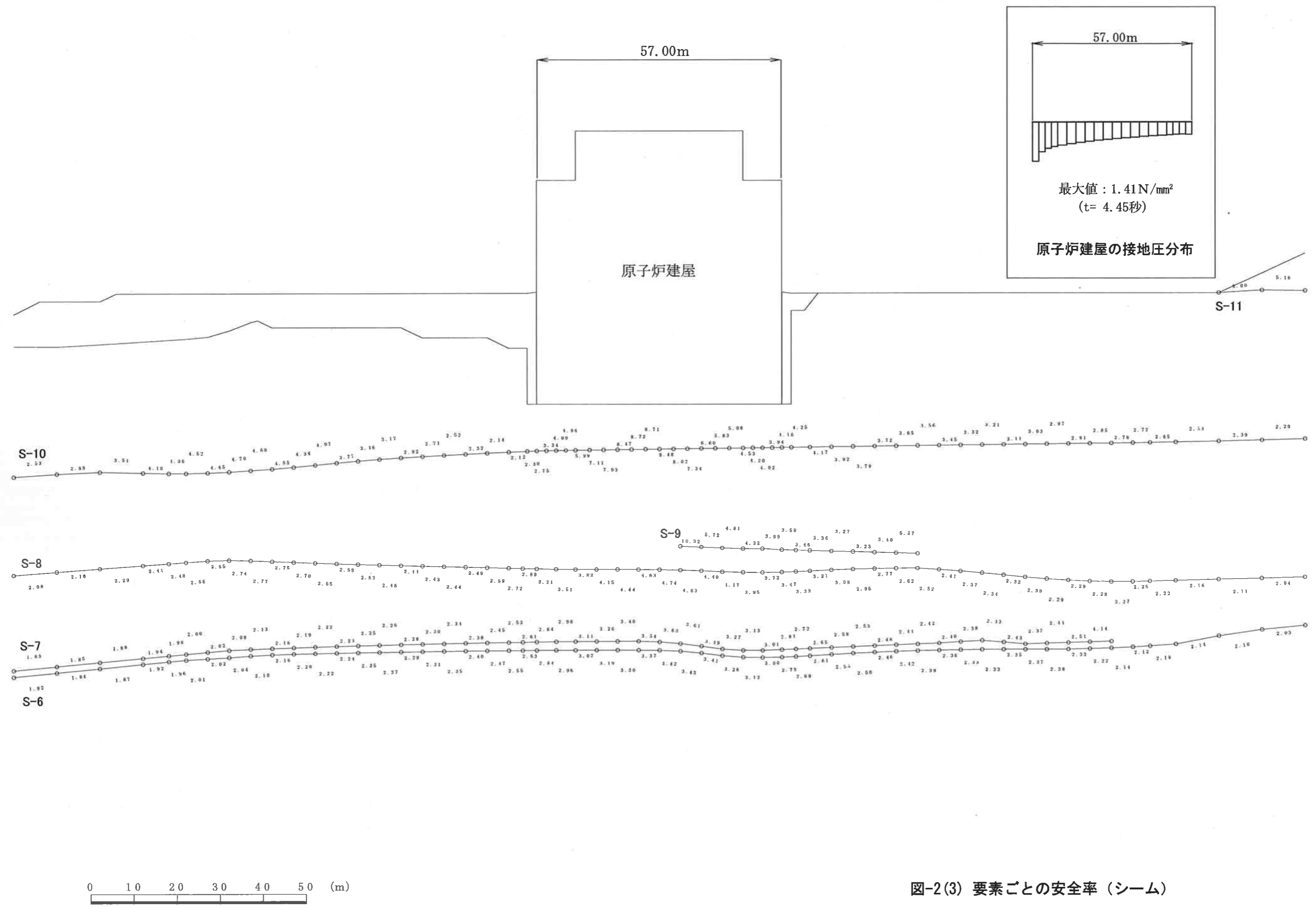
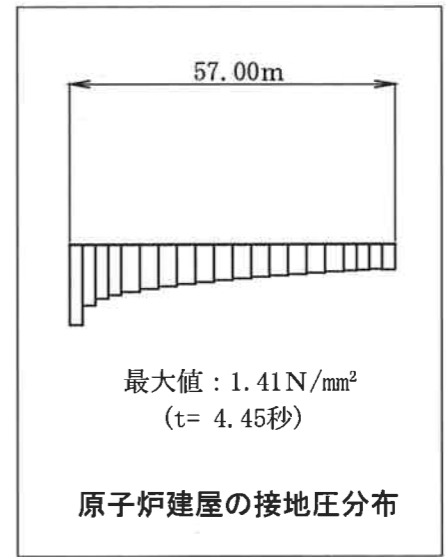
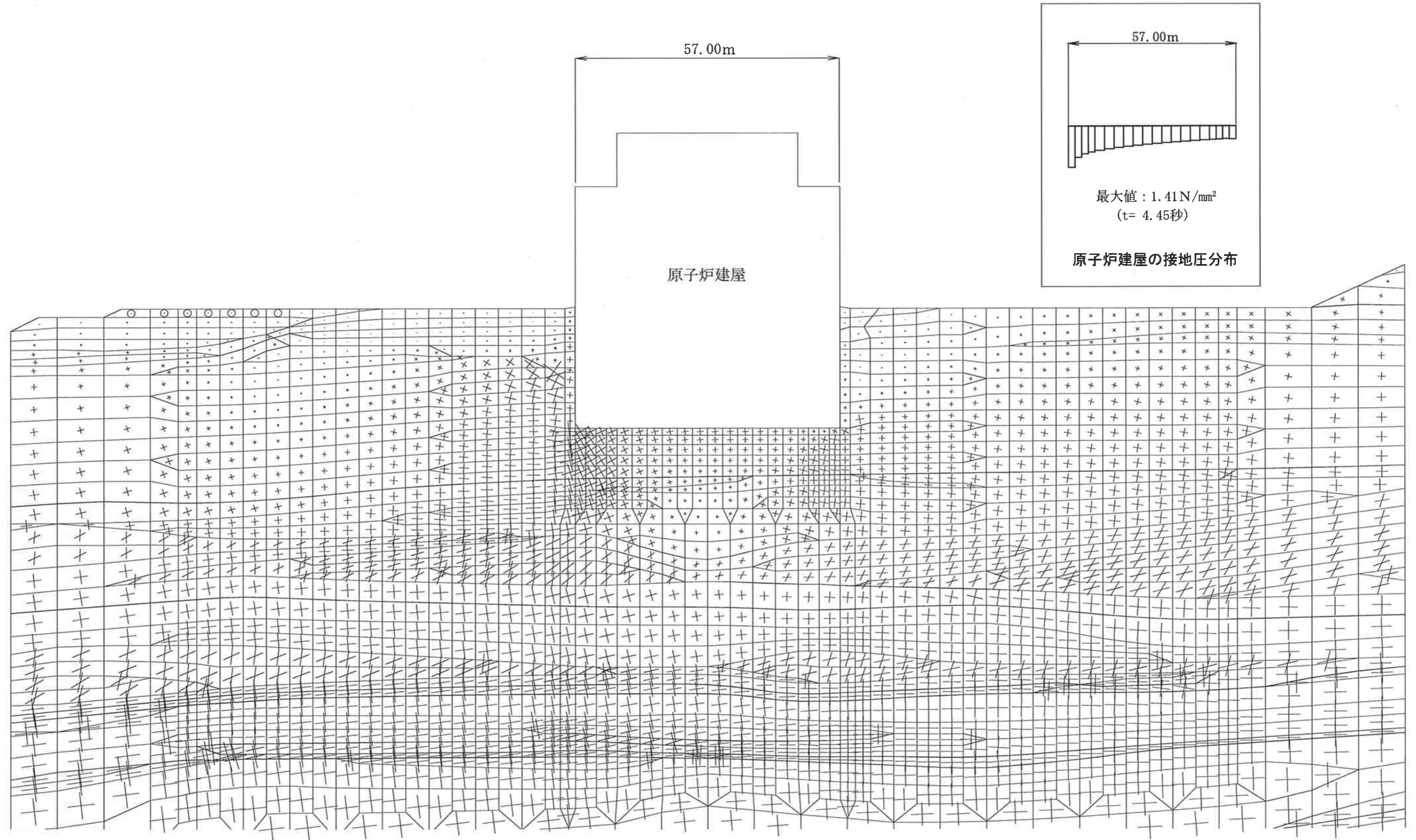


図-2(3) 要素ごとの安全率 (シーム)

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析,
Y-Y'断面, S_s-2波, t=4.45秒)

* : 引張応力が発生した要素
: せん断強度に達した要素



0 10 20 30 40 50 (m)

 : モビライズド面
  : 引張面
 ○ : 引張応力が発生した要素

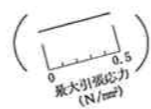


図-2(4) モビライズド面

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析,
Y-Y' 断面, S_s-2波, t=4.45秒)

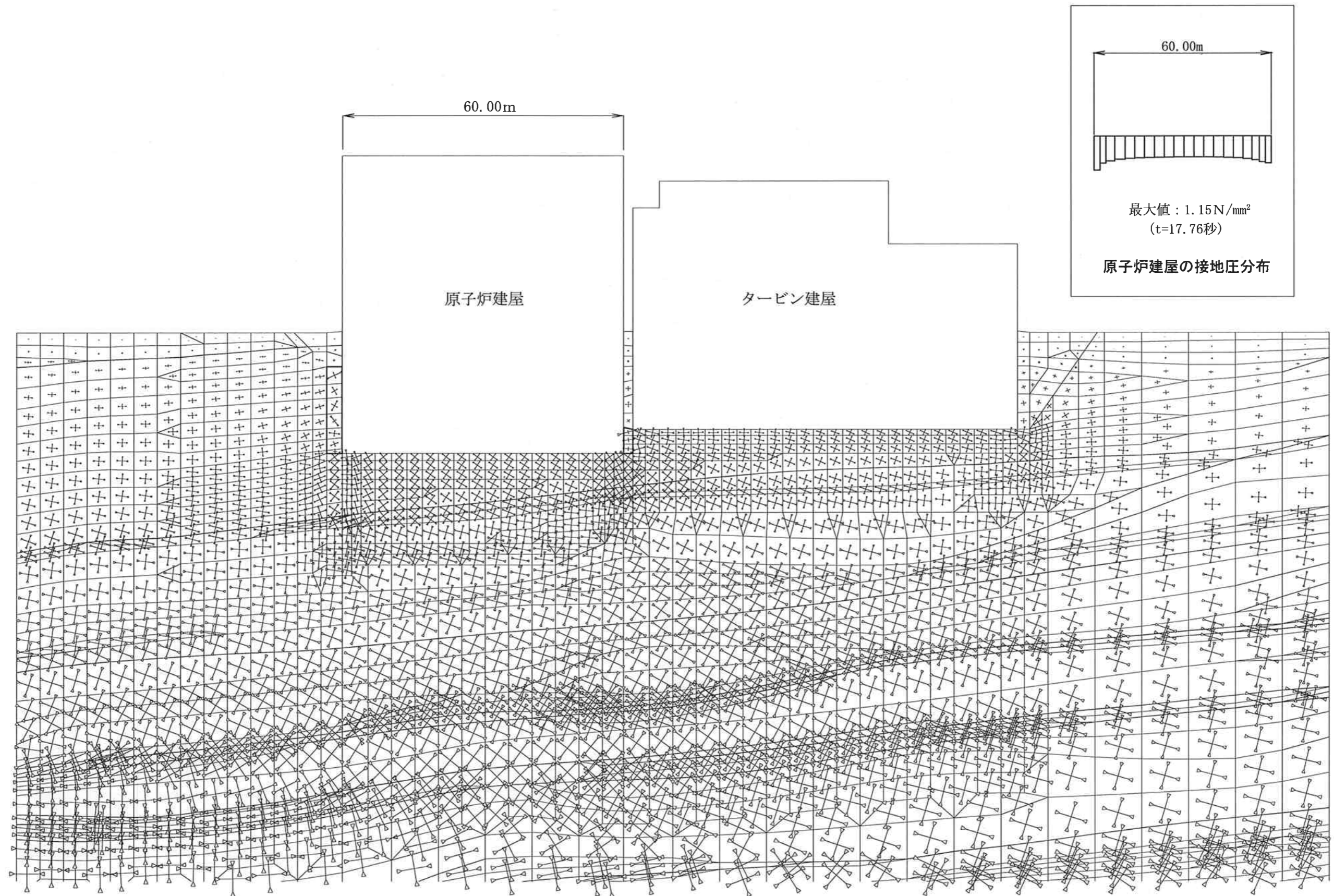
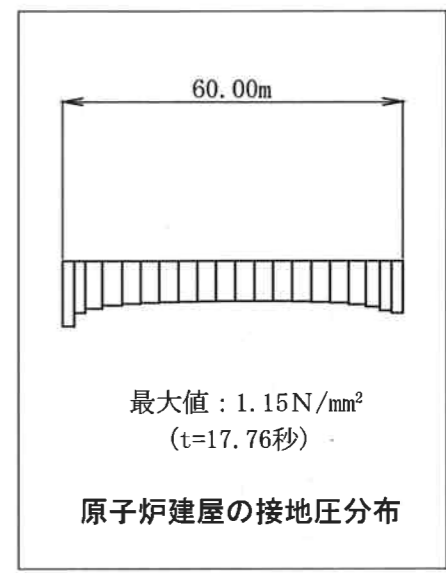
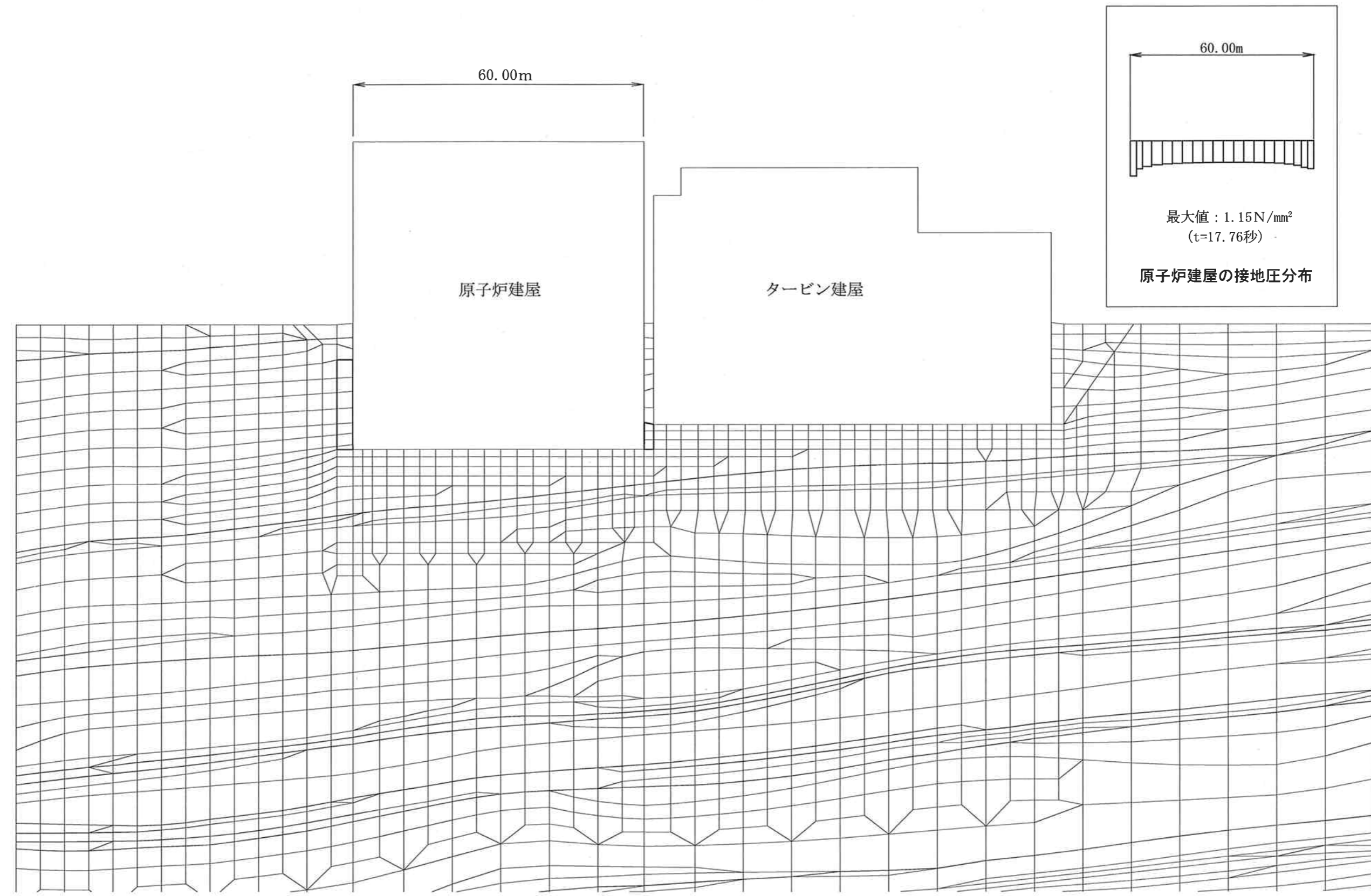


図-3(1) 主応力図

(建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析
(T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析),
X-X'断面, S_s-1波, t = 17.76秒)



- : せん断強度に達した要素
- ▨ : 岩盤は引張応力が発生した要素
- ▧ : MMRは引張強度に達した要素
- ▩ : $1.00 \leq f_s < 1.50$
- : $1.50 \leq f_s < 2.00$
- : $2.00 \leq f_s$

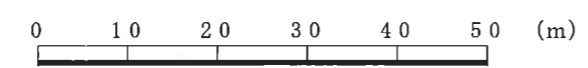


図-3(2) 要素ごとの安全率 (基礎岩盤)
 (建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析
 (T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析),
 X-X'断面, S_g -1波, $t=17.76$ 秒)

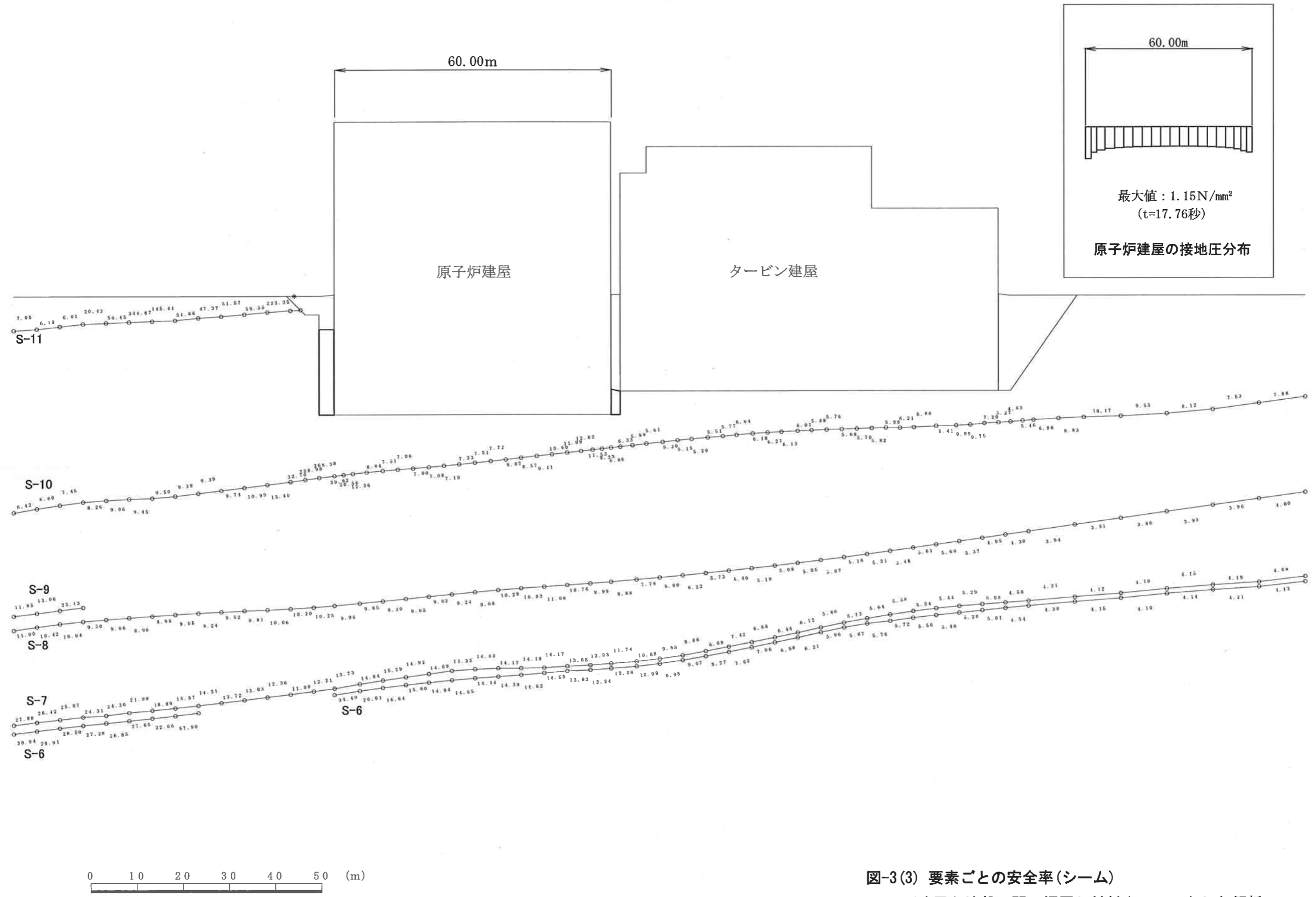
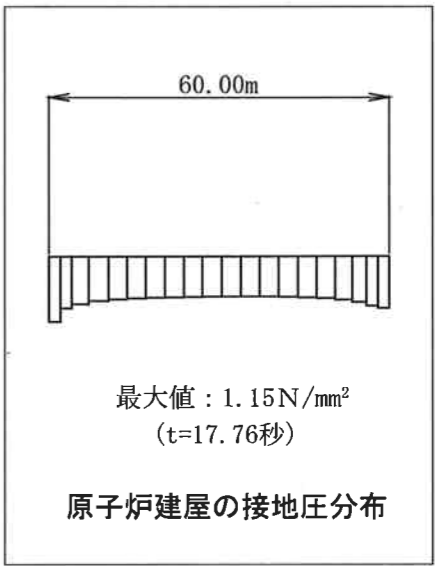
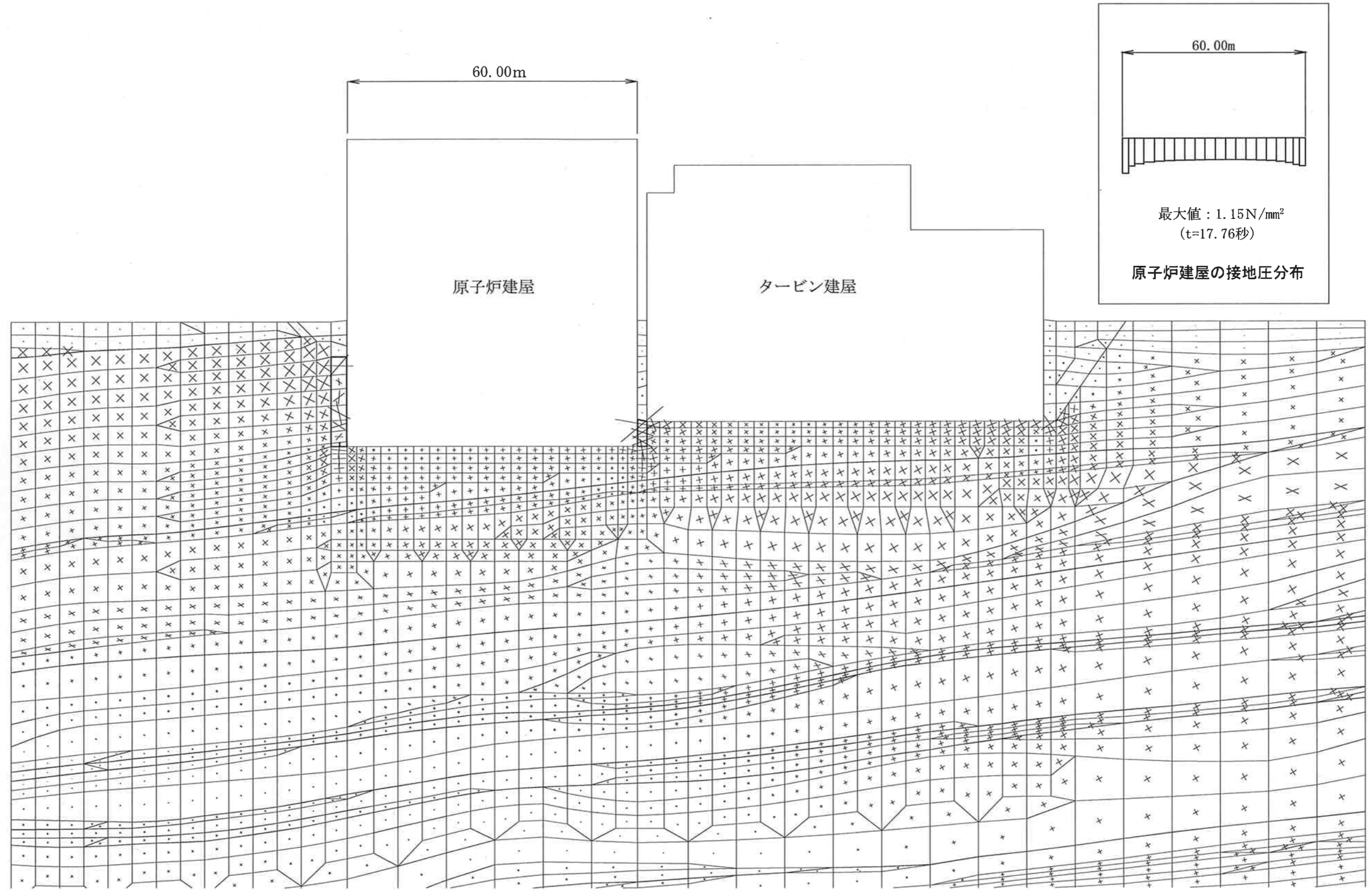


図-3(3) 要素ごとの安全率(シーム)
 (建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析
 (T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析),
 X-X'断面, S_s-1波, t=17.76秒)

* : 引張応力が発生した要素
 # : せん断強度に達した要素



0 10 20 30 40 50 (m)

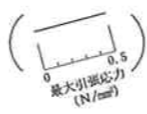
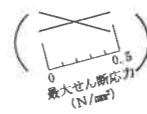
× : モビライズド面

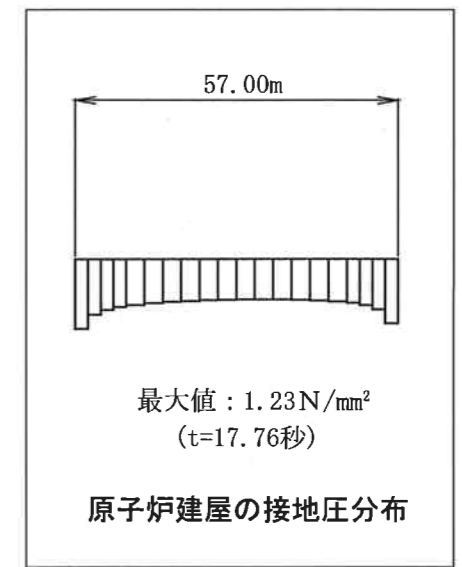
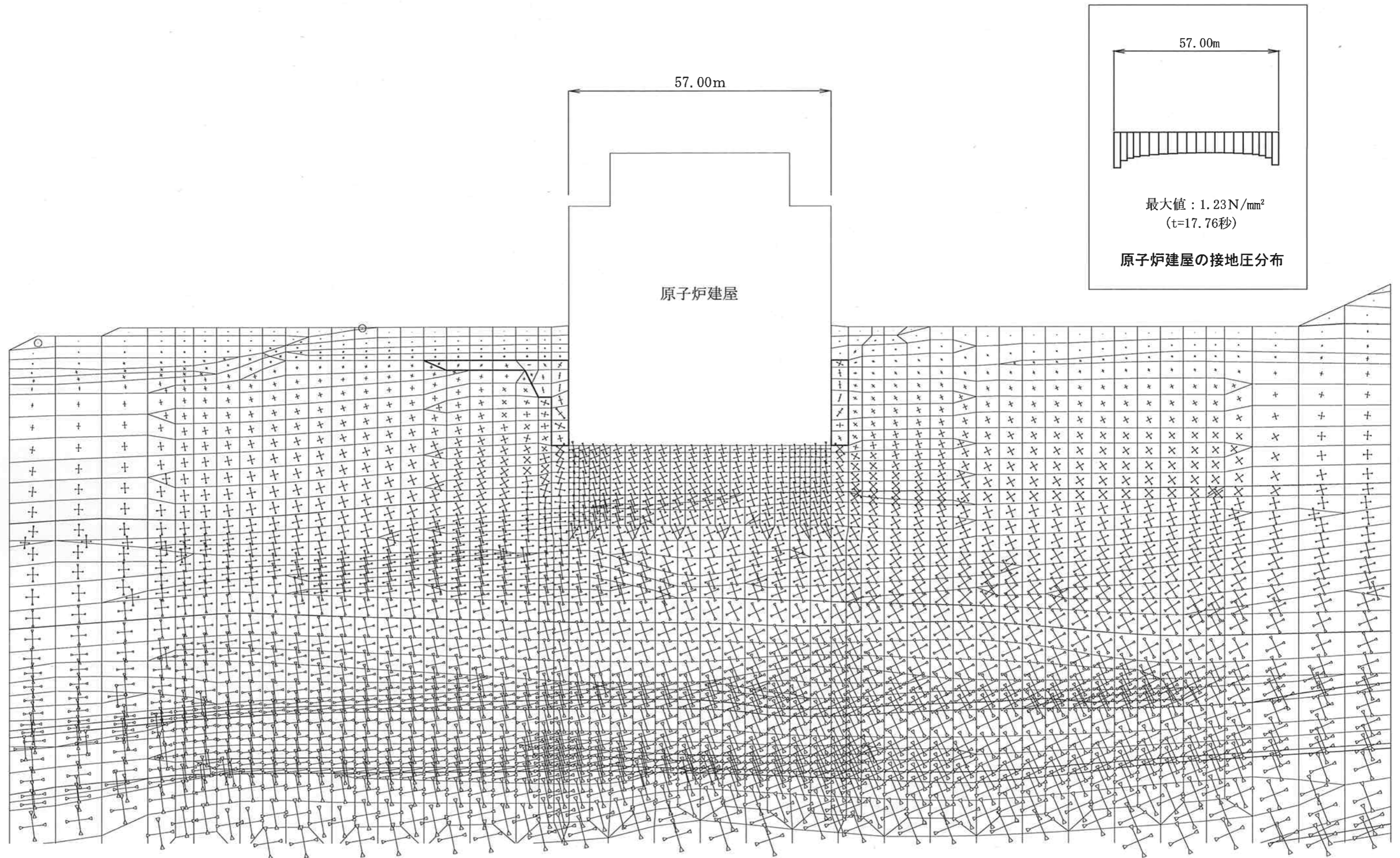
— : 引張面

○ : 岩盤は引張応力が発生した要素
MMRは引張強度に達した要素

図-3(4) モビライズド面

(建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析
(T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析),
X-X'断面, S_s-1波, t=17.76秒)



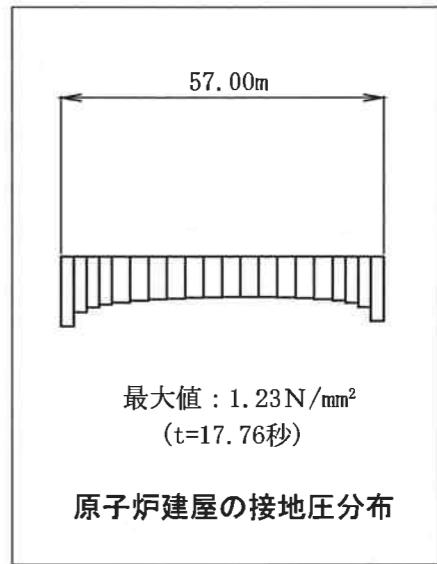
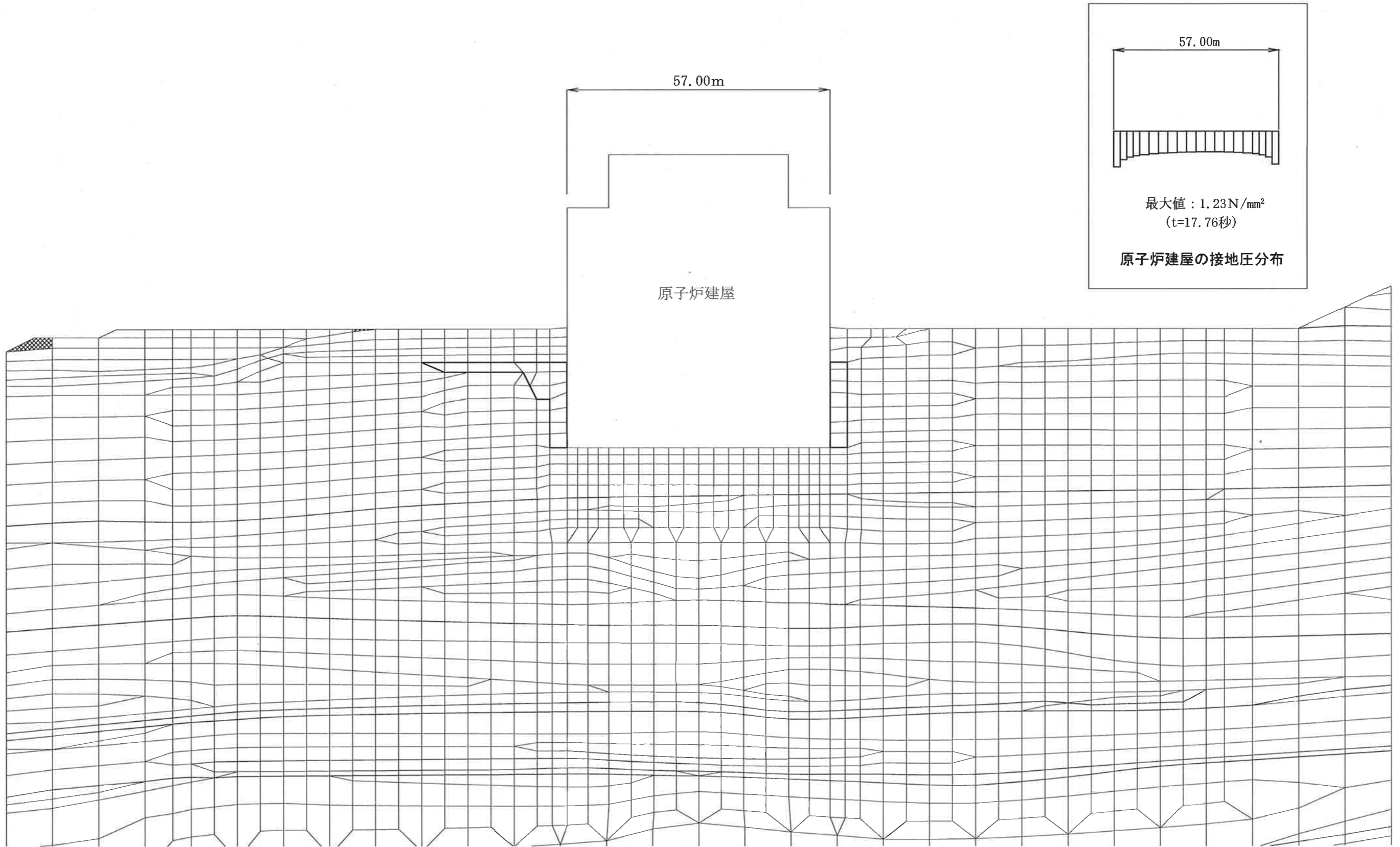


3.0 N/mm²

0 10 20 30 40 50 (m)

: 圧縮
 : 引張
 : 岩盤は引張応力が発生した要素
 : MMRは引張強度に達した要素

図-4(1) 主応力図
 (建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析
 (T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析),
 Y-Y'断面, S₅-1波, t = 17.76秒)



- : せん断強度に達した要素
- ▨ : 岩盤は引張応力が発生した要素
- ▧ : MMRは引張強度に達した要素
- ▩ : $1.00 \leq f_s < 1.50$
- : $1.50 \leq f_s < 2.00$
- : $2.00 \leq f_s$

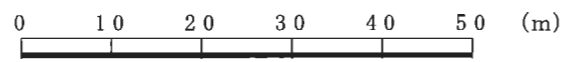


図-4(2) 要素ごとの安全率 (基礎岩盤)
 (建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析
 (T.P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析),
 Y-Y'断面, S_g -1波, $t = 17.76$ 秒)

I. 原子炉建屋基礎地盤の安定性検討

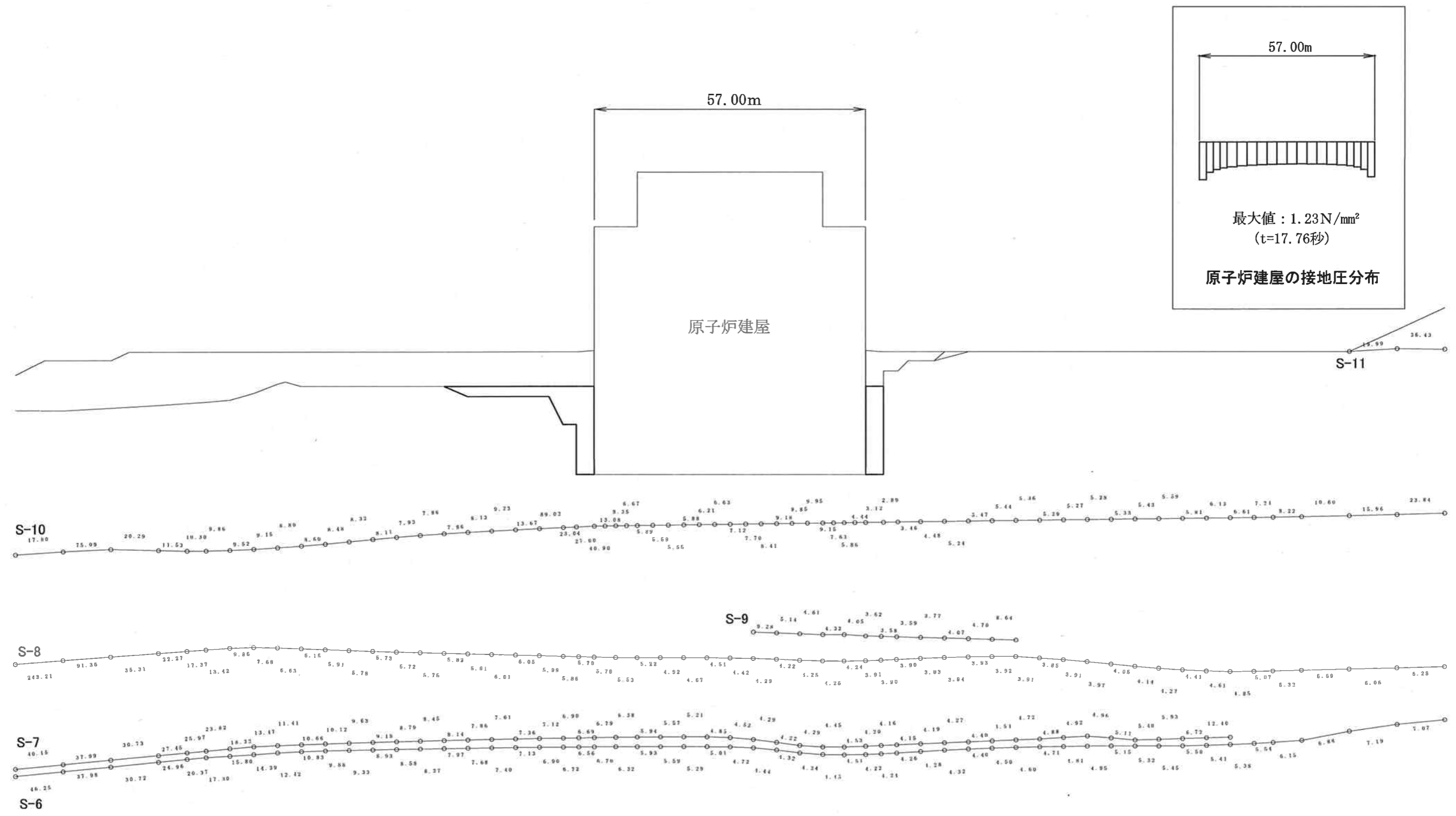
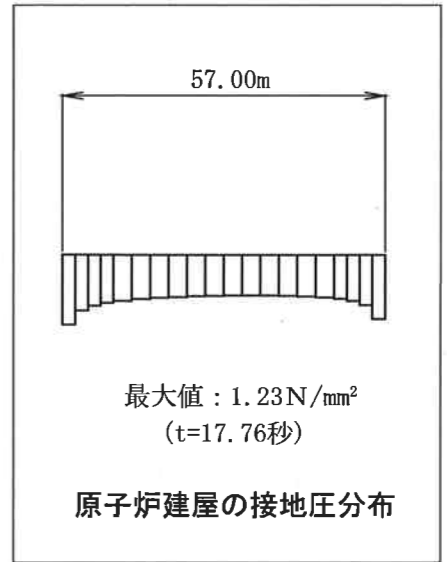
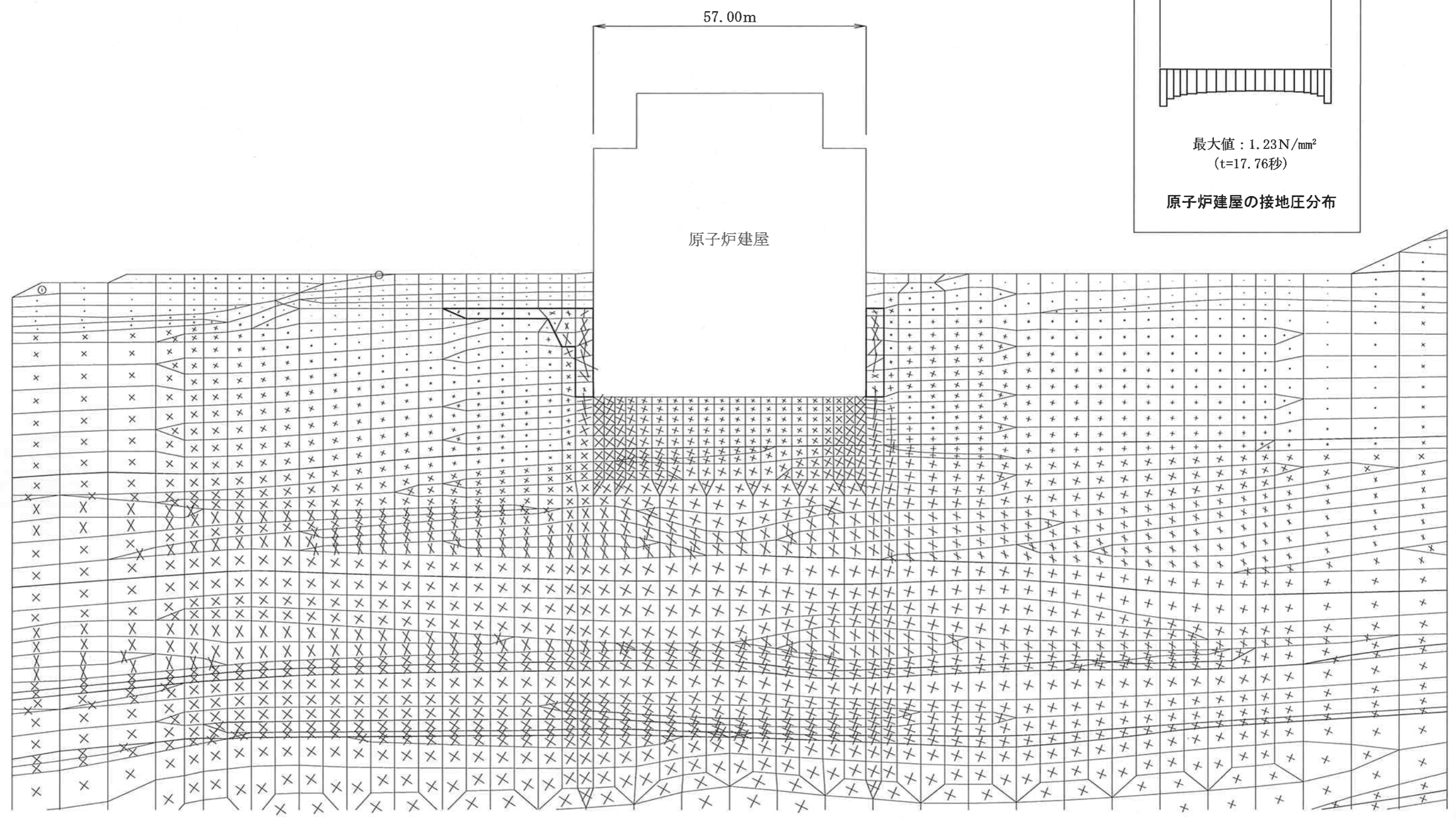


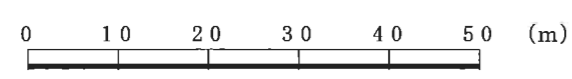
図-4(3) 要素ごとの安全率(シーム)
 (建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析
 (T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析),
 Y-Y'断面, S_s-1波, t=17.76秒)

* : 引張応力が発生した要素
 # : せん断強度に達した要素

I. 原子炉建屋基礎地盤の安定性検討



最大値 : 1.23N/mm²
(t=17.76秒)



: モビライズド面
 : 引張面
 ○ : 岩盤は引張応力が発生した要素
MMRは引張強度に達した要素

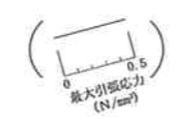


図-4(4) モビライズド面

(建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析
(T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析),
Y-Y'断面, S_s-1波, t = 17.76秒)

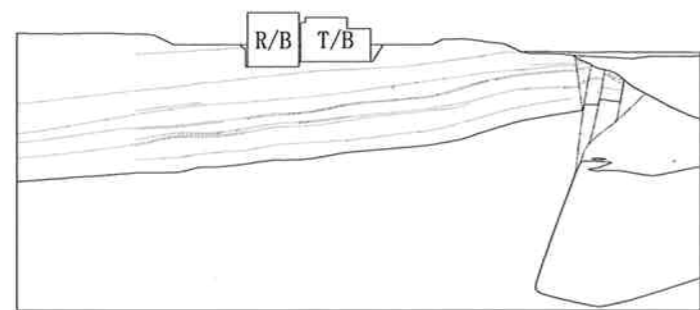
(2) すべりに対する検討

動的FEM解析により得られたすべり安全率について、建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析を表-4及び表-5に、建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析(T.P.+4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析)を表-6及び表-7に示す。原子炉建屋基礎地盤の地震時のすべり安全率は3.4以上であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

表-4 すべり安全率(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析, X-X'断面)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
1		6.5	7.8
2		7.1	9.0
3		8.3	8.4
4		4.9	5.3

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
5		5.2	5.7
6		5.0	5.4
7		4.9	5.7
8		3.4	4.2
9		3.6	4.5

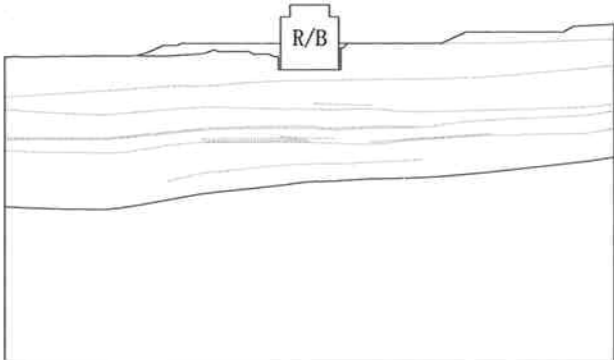


- 凡例
- すべり線
 - 断層・シーム
 - 地層境界
 - すべり安全率の最小値

表-5 すべり安全率(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析, Y-Y'断面)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
1		9.3	9.6
2		10.4	10.5
3		9.9	9.8
4		13.8	13.0

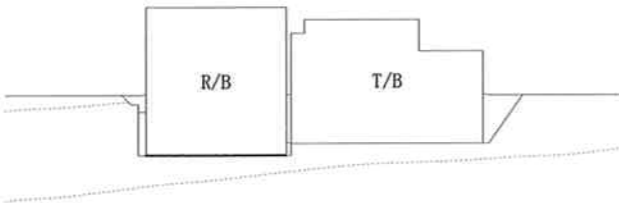
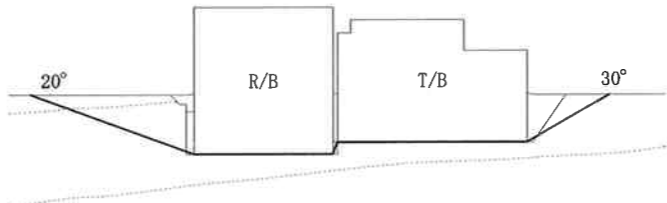
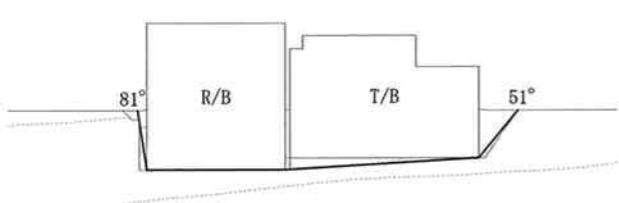
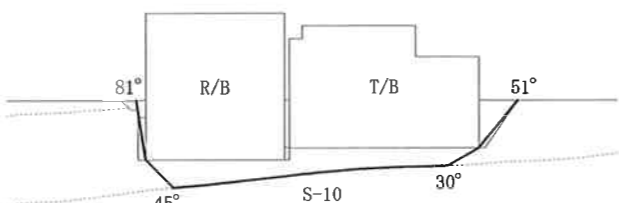
すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
5		12.0	11.9
6		11.4	12.2
7		7.0	7.6
8		4.3	4.7

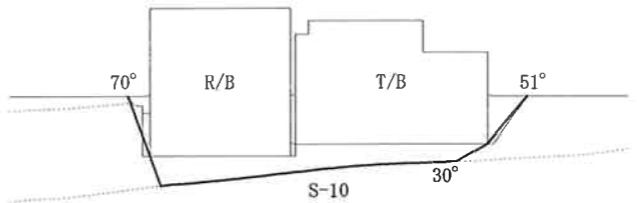
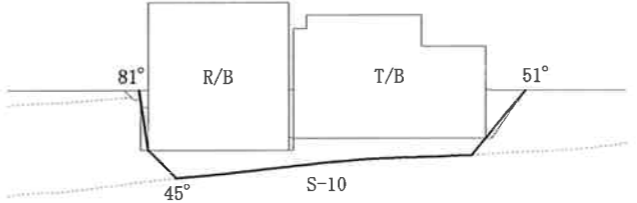
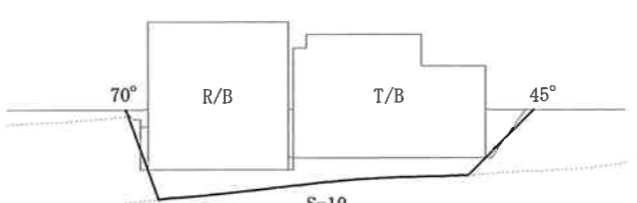
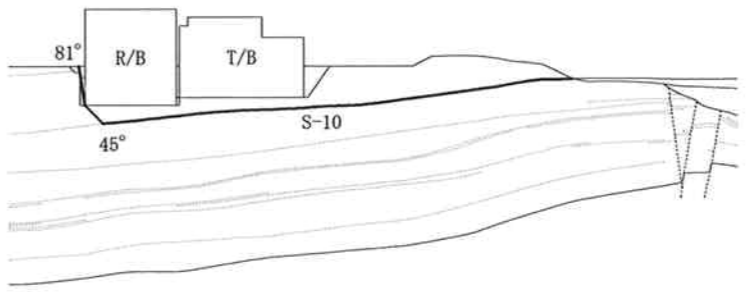
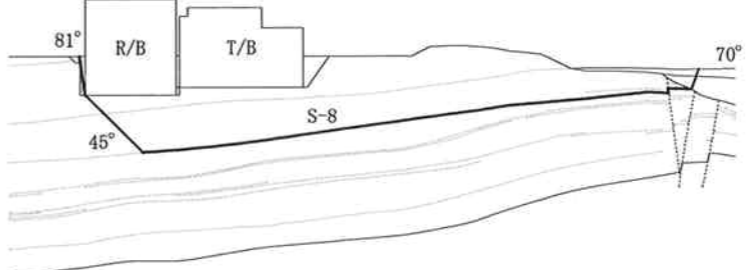


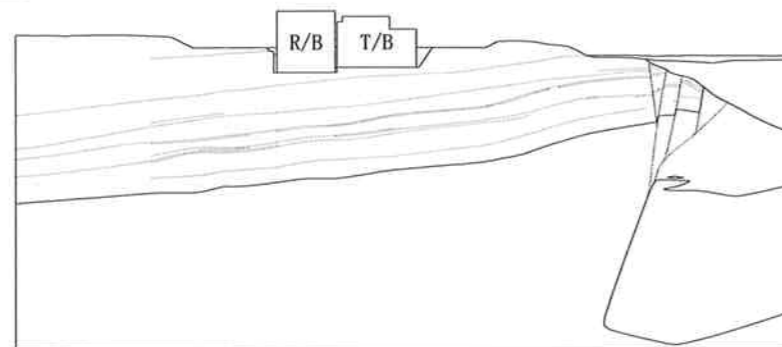
凡例

- すべり線
- - - 断層・シーム
- 地層境界
- すべり安全率の最小値

表-6 すべり安全率(建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析 (T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析), X-X'断面)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
1		7.2	9.2
2		7.2	9.4
3		8.1	10.7
4		4.9	6.3

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
5		4.3	5.8
6		5.0	6.5
7		4.1	5.7
8		3.6	4.6
9		4.0	4.9

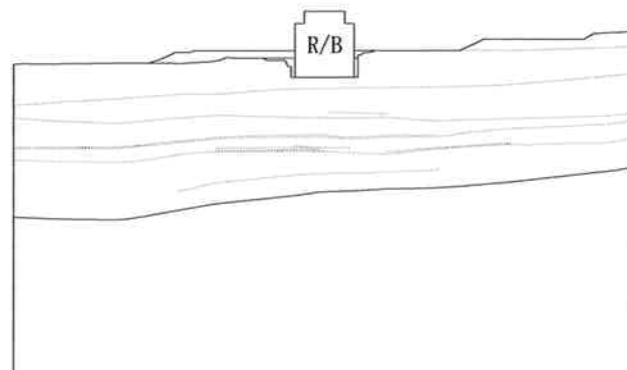


凡例
 — すべり線
 - - - 断層・シーム
 — 地層境界
 ○ すべり安全率の最小値

表-7 すべり安全率(建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析 (T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析), Y-Y' 断面)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
1		8.7	9.1
2		19.4	20.5
3		12.3	12.0
4		20.7	20.4

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
5		16.6	18.0
6		12.6	12.1
7		7.3	7.1
8		4.4	4.5



- 凡例
- すべり線
 - 断層・シーム
 - 地層境界
 - すべり安全率の最小値

(3) 沈下に対する検討

原子炉建屋基礎両端の相対変位量及び基礎の傾斜について、建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析を表-8 及び表-9 に、建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析(T. P. +4.8mまでMMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析)を表-10 及び表-11 に示す。地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の相対変位量は最大で0.48cm, その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約1/13,000であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

表-8(1) 原子炉建屋基礎の傾斜

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析, X-X'断面, S_s-1波)

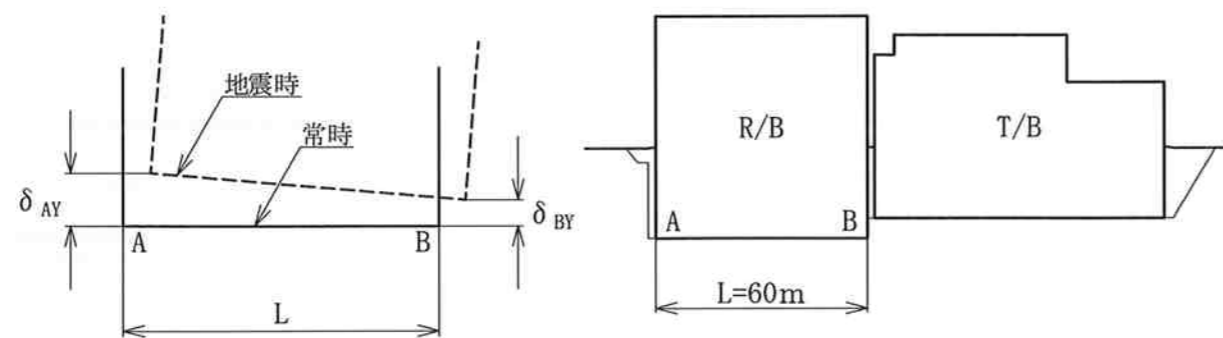
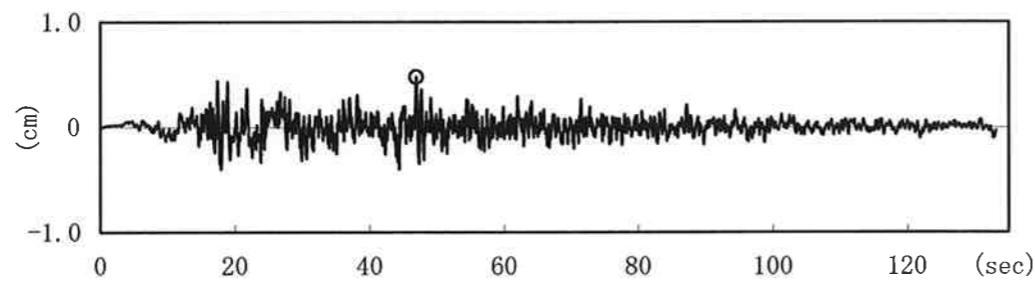
時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
46.95	0.48	1/13,000

表-8(2) 原子炉建屋基礎の傾斜

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析, X-X'断面, S_s-2波)

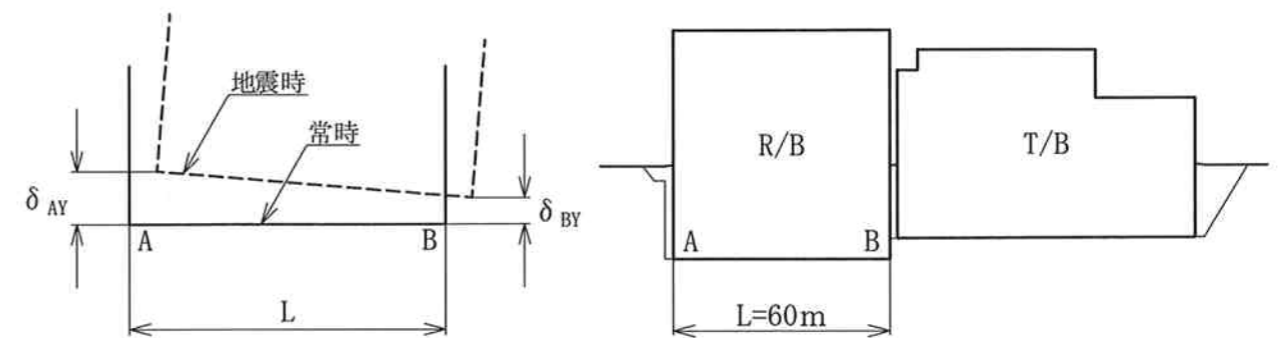
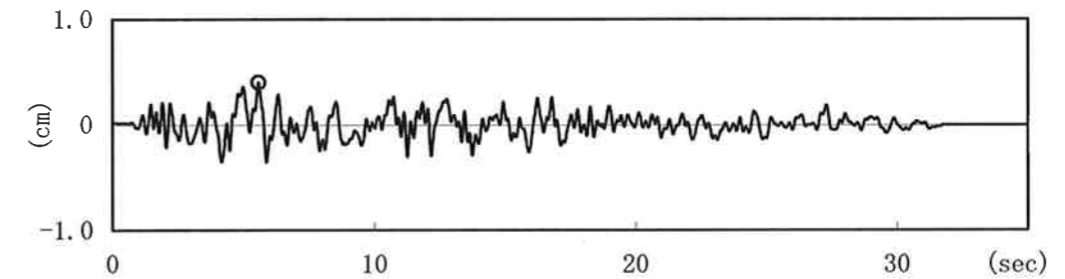
時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
5.57	0.40	1/15,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



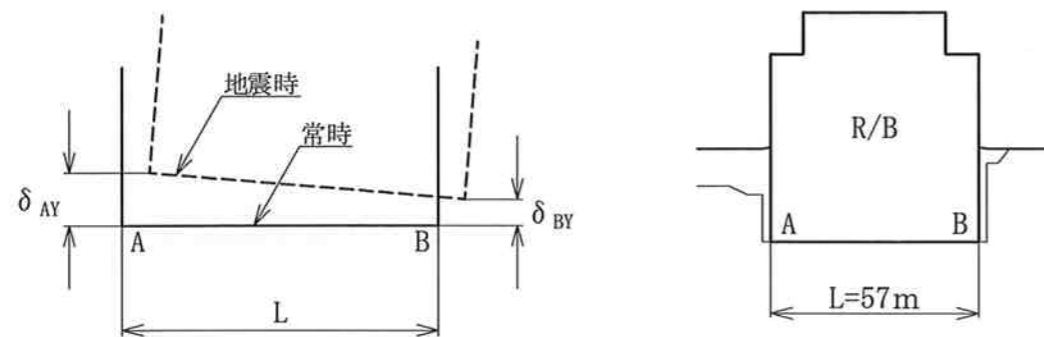
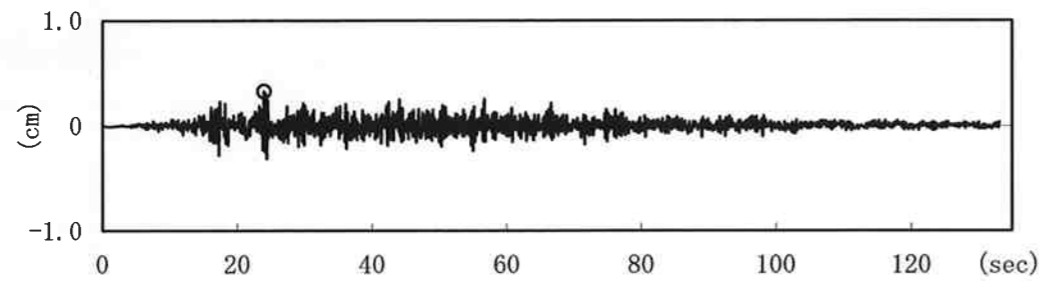
δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-9(1) 原子炉建屋基礎の傾斜

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析, Y-Y' 断面, S_s-1 波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
23.98	0.33	1/17,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。

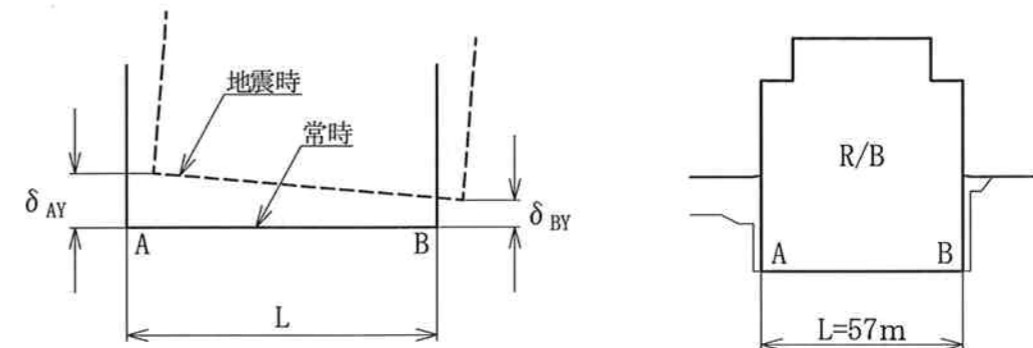
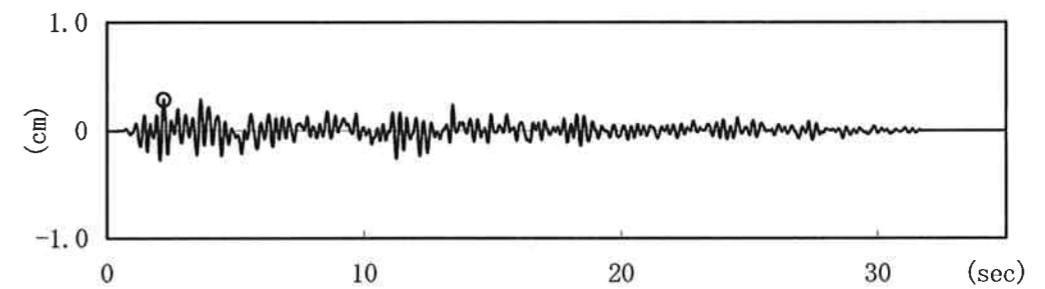
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-9(2) 原子炉建屋基礎の傾斜

(建屋と地盤の間の埋戻し材料を岩ずりとした解析, Y-Y' 断面, S_s-2 波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
2.21	0.28	1/20,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。

鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

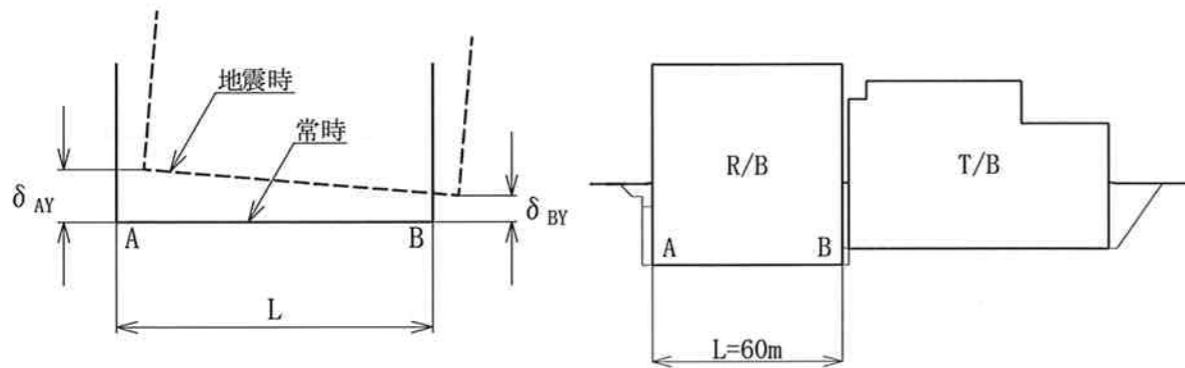
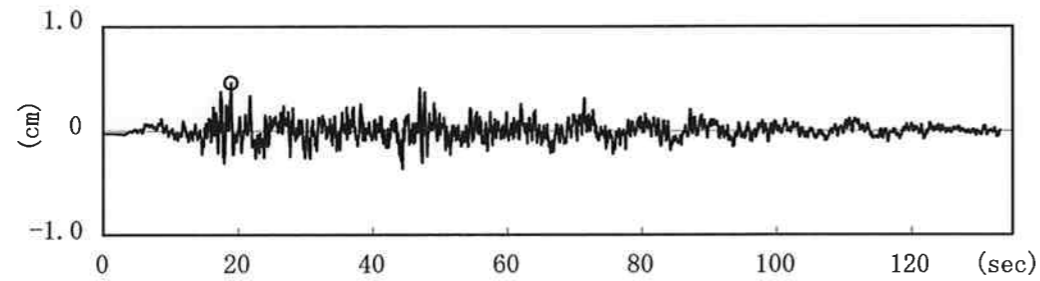
表-10(1) 原子炉建屋基礎の傾斜
 (建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析 (T. P. +4.8mまで
 MMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析), X-X'断面, S_s-1波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
18.93	0.46	1/13,000

表-10(2) 原子炉建屋基礎の傾斜
 (建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析 (T. P. +4.8mまで
 MMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析), X-X'断面, S_s-2波)

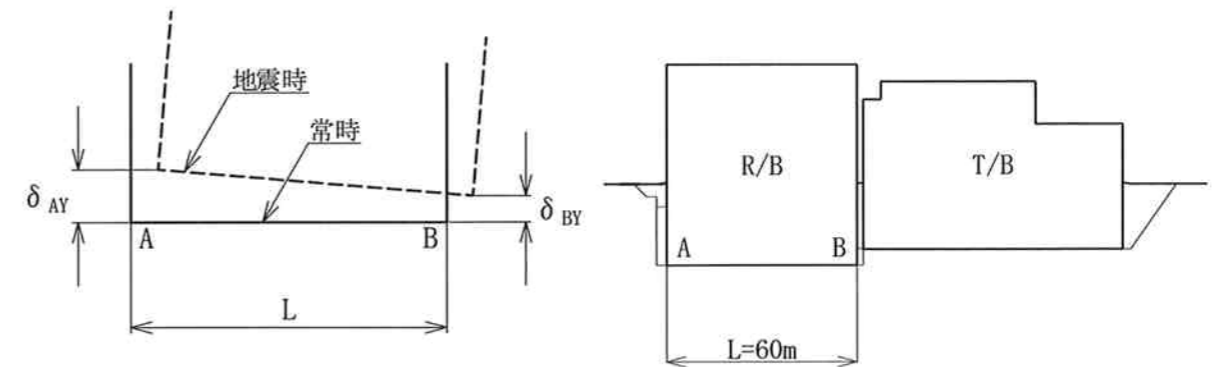
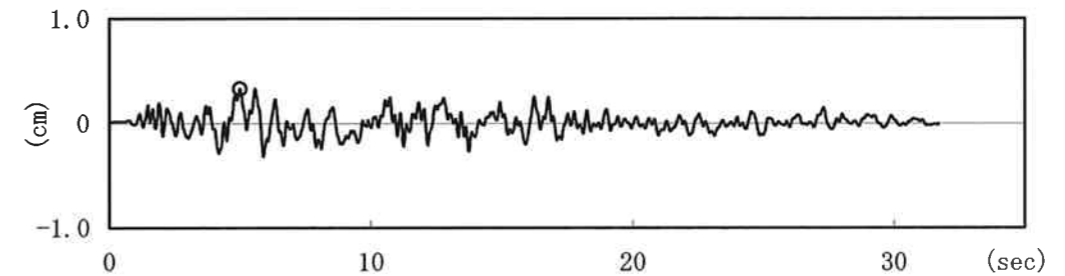
時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
4.98	0.33	1/18,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
 鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



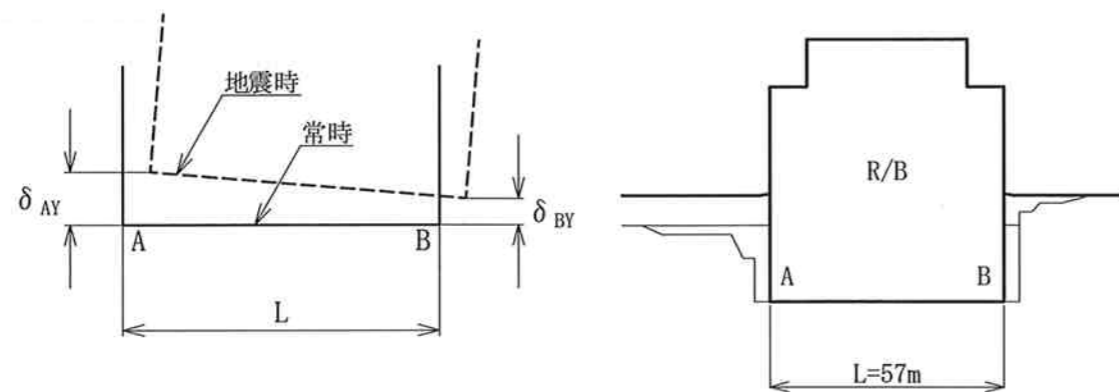
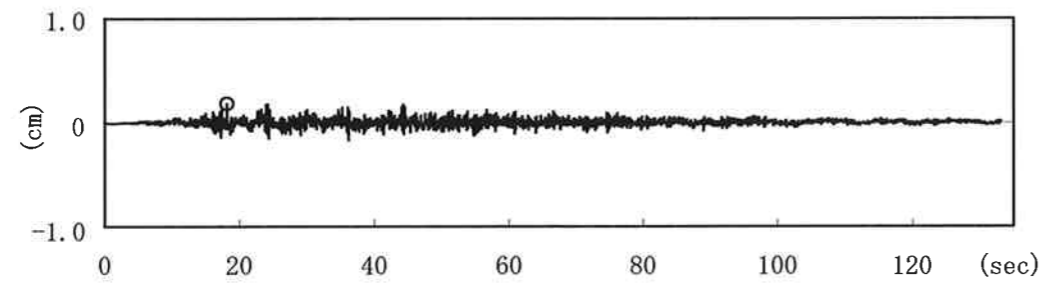
δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
 鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-11(1) 原子炉建屋基礎の傾斜

(建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析 (T. P. +4.8mまで MMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析), Y-Y'断面, S_s-1波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
18.17	0.18	1/32,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



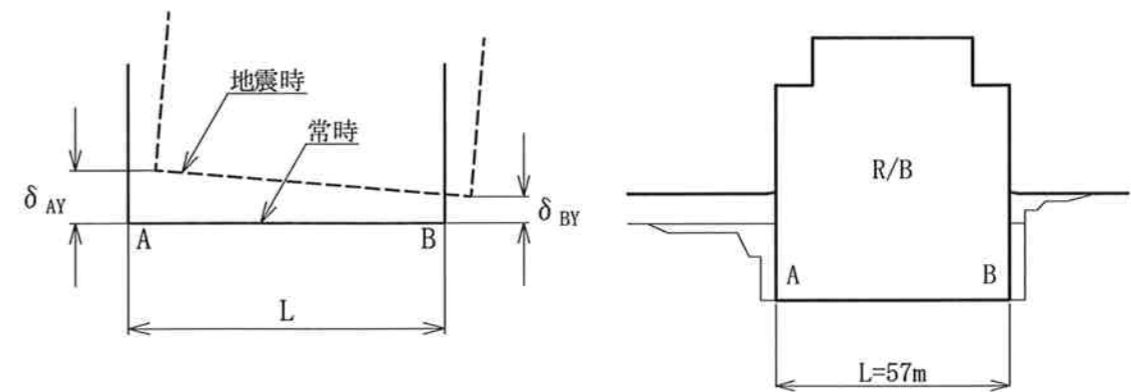
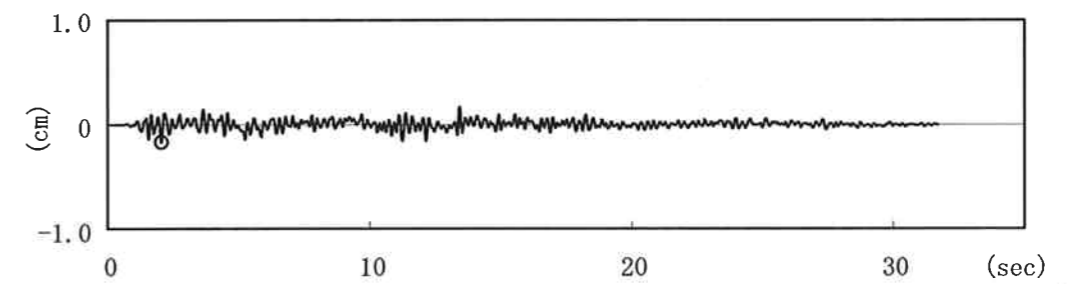
δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-11(2) 原子炉建屋基礎の傾斜

(建屋と地盤の間の埋戻し材料をMMRとした解析 (T. P. +4.8mまで MMRによる建屋埋込み効果を考慮した解析), Y-Y'断面, S_s-2波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
2.04	-0.17	1/34,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

Ⅱ. 原子炉建屋基礎地盤の安定性検討（比較解析）

1. 断層内物質及びシームの強度特性を低減させた解析
2. 断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析
3. シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた解析
4. シームの風化部を考慮して強度特性を低減させた解析
5. 燃料補助建屋を付加したモデルによる解析
6. 軟岩のひずみを考慮して変形特性を低減させた解析
7. 岩盤の減衰定数を1%に低減させた解析

1. 断層内物質及びシームの強度特性を低減させた解析

(1) すべりに対する検討

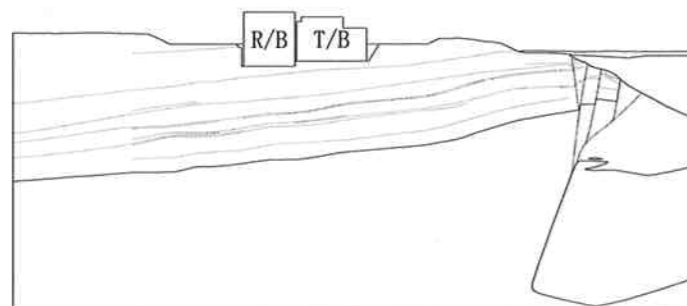
動的FEM解析により得られた各すべり線の最小すべり安全率を、基本解析の結果と比較して表-1に示す。断層内物質及びシームの強度特性を低減させた解析の最小すべり安全率は2.9であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

なお、支持力及び沈下に対する検討については、基本解析の結果と同等である。

表-1 すべり安全率(断層内物質及びシームの強度特性を低減させた解析, X-X'断面, S₅-1波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	断層内物質及びシームの強度特性を低減させた解析
4		4.9	4.6
5		5.2	4.8
6		5.0	4.6

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	断層内物質及びシームの強度特性を低減させた解析
7		4.9	4.5
8		3.4	2.9
9		3.6	3.3



凡例

- すべり線
- 断層・シーム
- 地層境界
- すべり安全率の最小値

2. 断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析

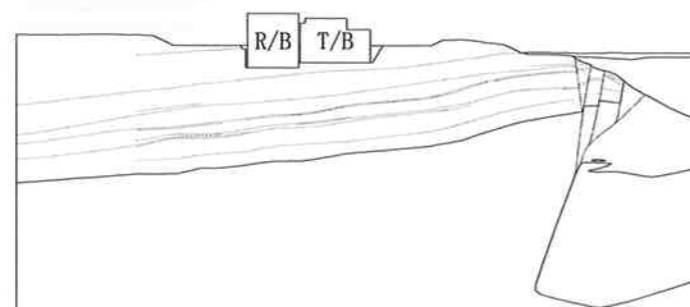
(1) すべりに対する検討

動的FEM解析により得られた各すべり線の最小すべり安全率を、基本解析の結果と比較して表-2に示す。断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析の最小すべり安全率は3.3であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

表-2 すべり安全率 (断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析, X-X'断面, S₅-1波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析
1		6.5	6.3
2		7.1	6.8
3		8.3	8.1
4		4.9	4.9

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析
5		5.2	5.1
6		5.0	5.0
7		4.9	4.9
8		3.4	3.3
9		3.6	3.5



凡例

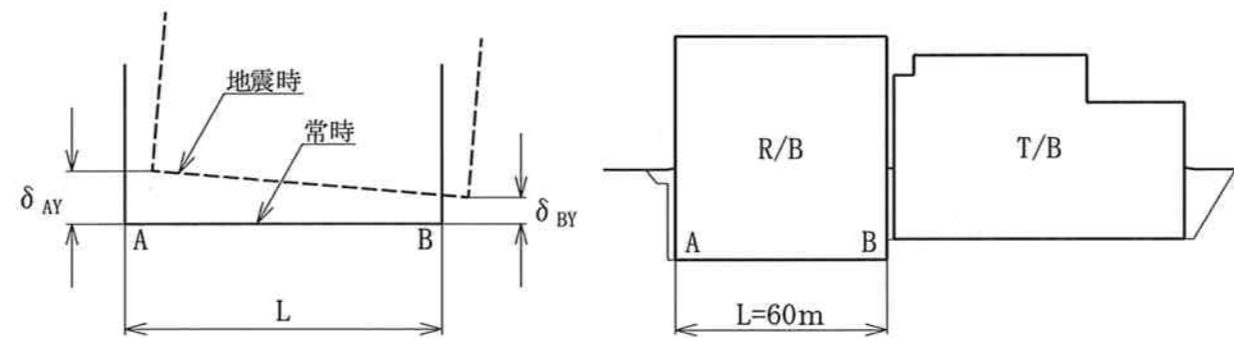
- すべり線
- 断層・シーム
- 地層境界
- すべり安全率の最小値

(2) 沈下に対する検討

原子炉建屋基礎両端の相対変位量及び基礎の傾斜を、基本解析の結果と比較して表-3 に示す。断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析の地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の相対変位量は最大で 0.59 cm、その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約 1/10,000 であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

表-3 原子炉建屋基礎の傾斜
(断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析, X-X' 断面, S_s-1 波)

	時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
基本解析	46.95	0.48	1/13,000
断層内物質及びシームの変形特性を低減させた解析	46.96	0.59	1/10,000



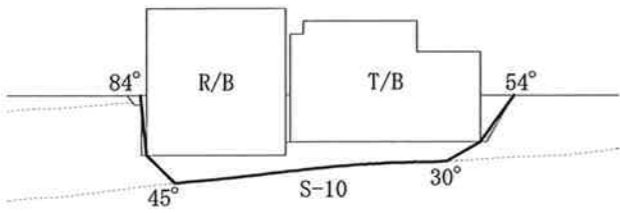
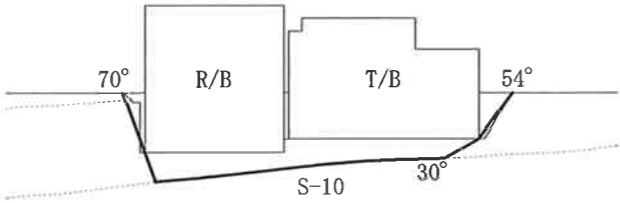
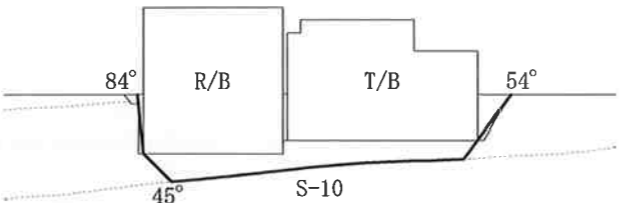
3. シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた解析

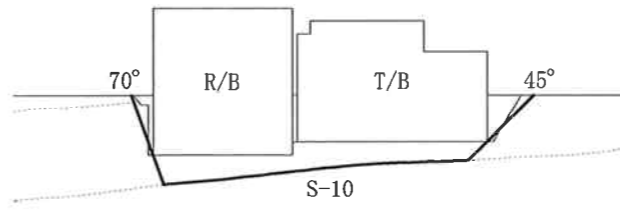
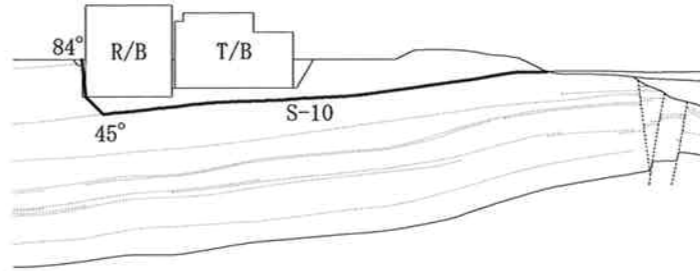
(1) すべりに対する検討

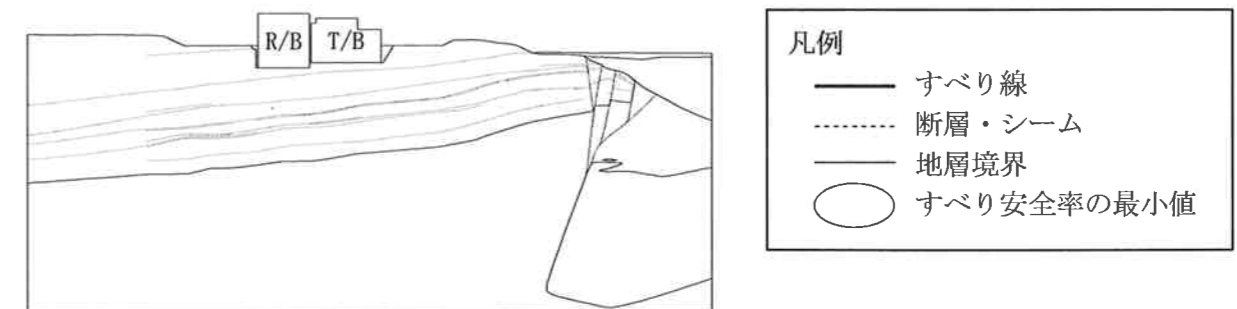
動的FEM解析により得られた各すべり線の最小すべり安全率を、基本解析の結果と比較して表-4 に示す。シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた解析の最小すべり安全率は 3.0 であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

なお、支持力及び沈下に対する検討については、基本解析の結果と同等である。

表-4 すべり安全率(シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた解析, X-X' 断面, S₅-1 波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた解析
4		4.9	4.2
5		5.2	4.4
6		5.0	4.1

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた解析
7		4.9	4.1
8		3.4	3.0



4. シームの風化部を考慮して強度特性を低減させた解析

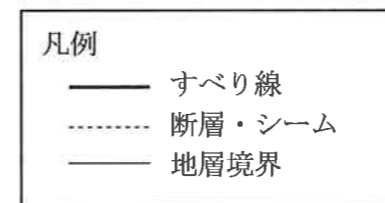
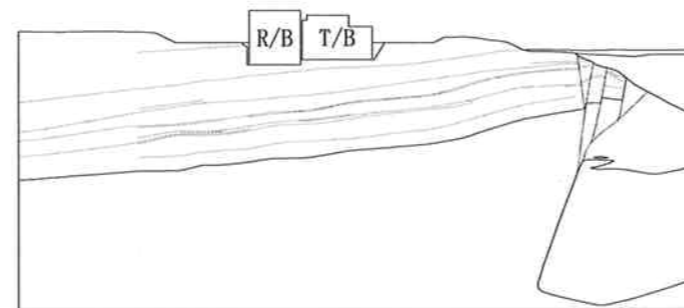
(1) すべりに対する検討

動的FEM解析により得られた最小すべり安全率を、基本解析の結果と比較して表-5に示す。シームの風化部を考慮して強度特性を低減させた解析の最小すべり安全率は3.1であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

なお、支持力及び沈下に対する検討については、基本解析の結果と同等である。

表-5 すべり安全率
(シームの風化部を考慮して強度特性を低減させた解析, X-X'断面, S_s-1波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	シームの風化部を考慮して強度特性を低減させた解析
8		3.4	3.1



5. 燃料補助建屋を付加したモデルによる解析

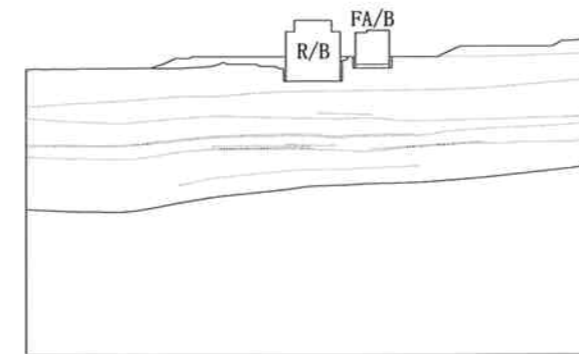
(1) すべりに対する検討

動的FEM解析により得られた各すべり線の最小すべり安全率を、基本解析の結果と比較して表-6に示す。燃料補助建屋を付加したモデルによる解析の最小すべり安全率は4.4であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

表-6(1) すべり安全率(燃料補助建屋を付加したモデルによる解析, Y-Y'断面, S₅-1波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	燃料補助建屋を付加したモデルによる解析
1		9.3	8.3
2		10.4	9.4
4		13.8	13.0

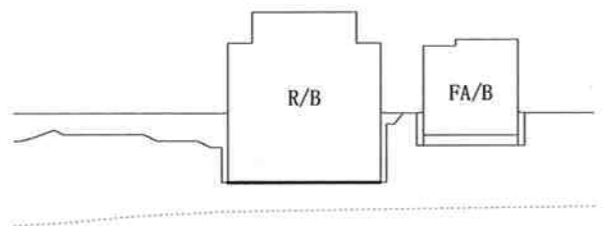
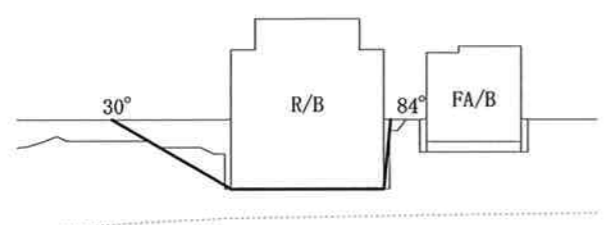
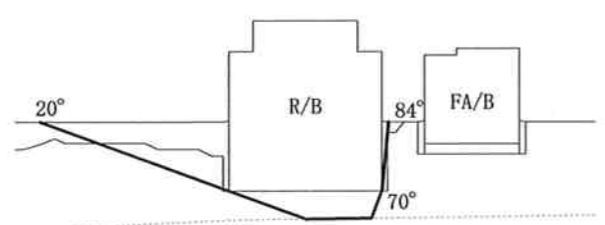
すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	燃料補助建屋を付加したモデルによる解析
7		7.0	7.6
8		4.3	4.4

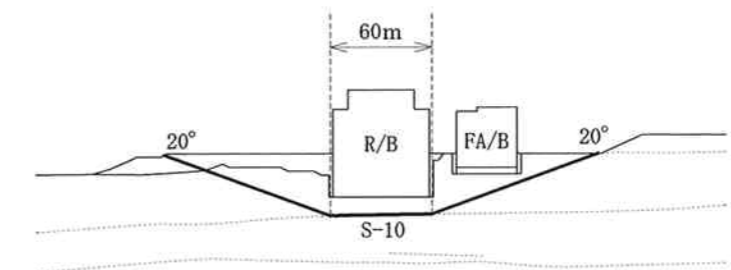
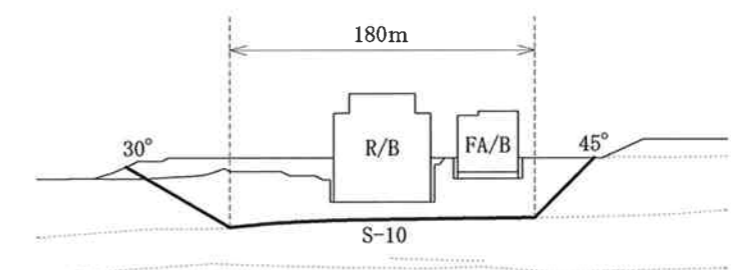


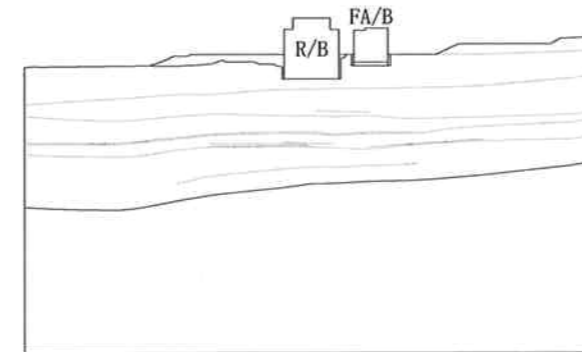
凡例

- すべり線
- 断層・シーム
- 地層境界
- すべり安全率の最小値

表-6(2) すべり安全率(燃料補助建屋を付加したモデルによる解析, Y-Y'断面, S₅-2波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	燃料補助建屋 を付加したモデルによる解 析
1		9.6	8.7
2		10.5	9.7
4		13.0	12.7

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	燃料補助建屋 を付加したモデルによる解 析
7		7.6	8.7
8		4.7	5.0



凡例

- すべり線
- 断層・シーム
- 地層境界
- すべり安全率の最小値

(2) 沈下に対する検討

原子炉建屋基礎両端の相対変位量及び基礎の傾斜を、基本解析の結果と比較して表-7 に示す。燃料補助建屋を付加したモデルによる解析の地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の相対変位量は最大で 0.30 cm、その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約 1/19,000 であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

表-7(1) 原子炉建屋基礎の傾斜

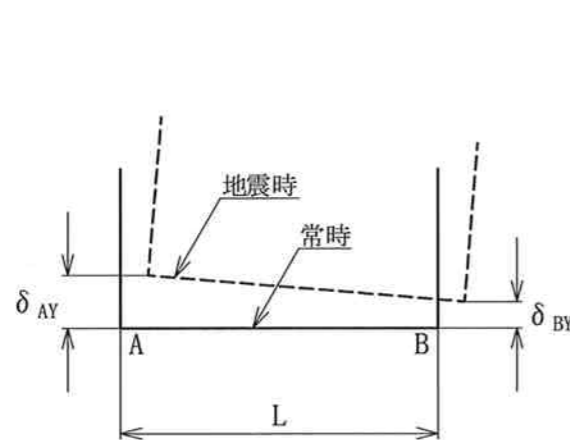
(燃料補助建屋を付加したモデルによる解析, Y-Y' 断面, S_s-1 波)

	時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
基本解析	23.98	0.33	1/17,000
燃料補助建屋を付加したモデルによる解析	24.40	-0.30	1/19,000

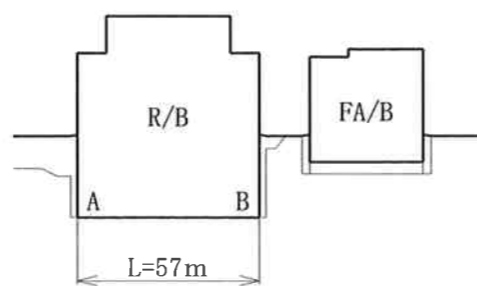
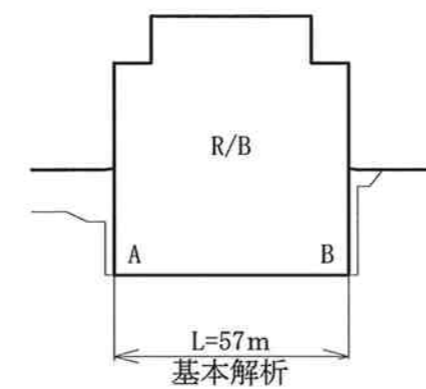
表-7(2) 原子炉建屋基礎の傾斜

(燃料補助建屋を付加したモデルによる解析, Y-Y' 断面, S_s-2 波)

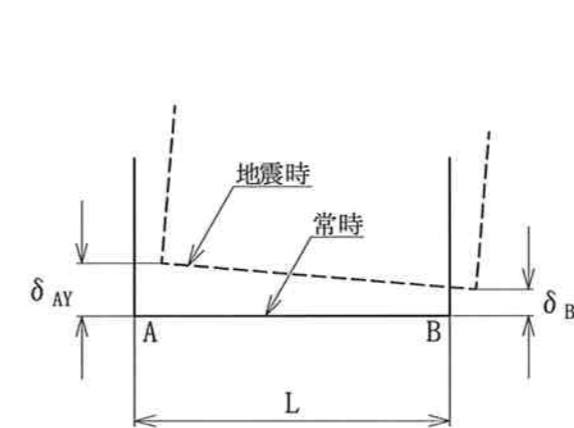
	時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
基本解析	2.21	0.28	1/20,000
燃料補助建屋を付加したモデルによる解析	2.22	0.28	1/20,000



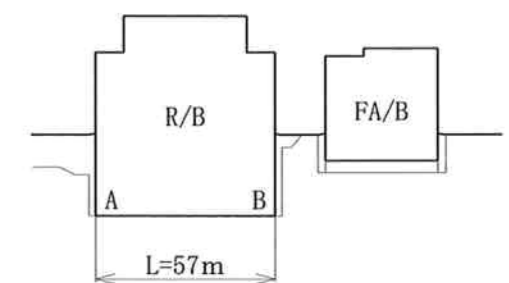
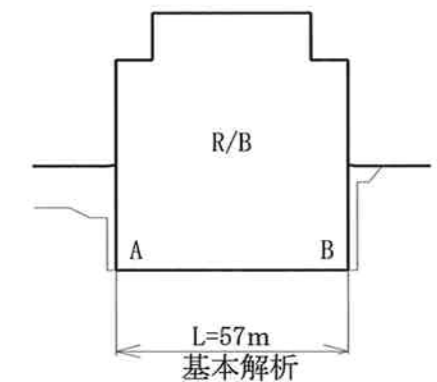
δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。



燃料補助建屋を付加したモデルによる解析



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。



燃料補助建屋を付加したモデルによる解析

6. 軟岩のひずみを考慮して変形特性を低減させた解析

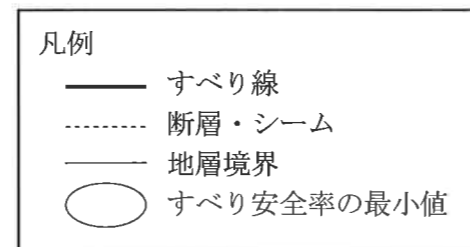
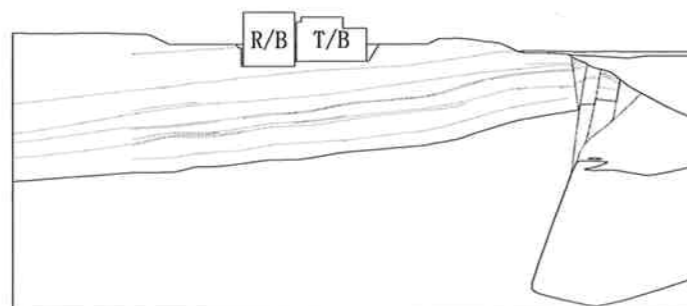
(1) すべりに対する検討

動的FEM解析により得られた各すべり線の最小すべり安全率を、基本解析の結果と比較して表-8に示す。軟岩のひずみを考慮して変形特性を低減させた解析の最小すべり安全率は、軟岩の変形特性を低減させた解析(ケースA)において3.6、淡灰色火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩の変形特性を低減させた解析(ケースB)において3.4であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

表-8 すべり安全率(軟岩のひずみを考慮して変形特性を低減させた解析, X-X'断面, S_g-1波)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率		
		基本解析	軟岩の変形特性を低減させた解析 ケースA	淡灰色火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩の変形特性を低減させた解析 ケースB
1		6.5	6.4	6.2
2		7.1	7.1	7.0
3		8.3	8.1	8.1
4		4.9	5.0	4.8

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率		
		基本解析	軟岩の変形特性を低減させた解析 ケースA	淡灰色火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩の変形特性を低減させた解析 ケースB
5		5.2	5.5	5.1
6		5.0	5.1	4.9
7		4.9	5.2	4.9
8		3.4	3.6	3.4
9		3.6	3.7	3.5

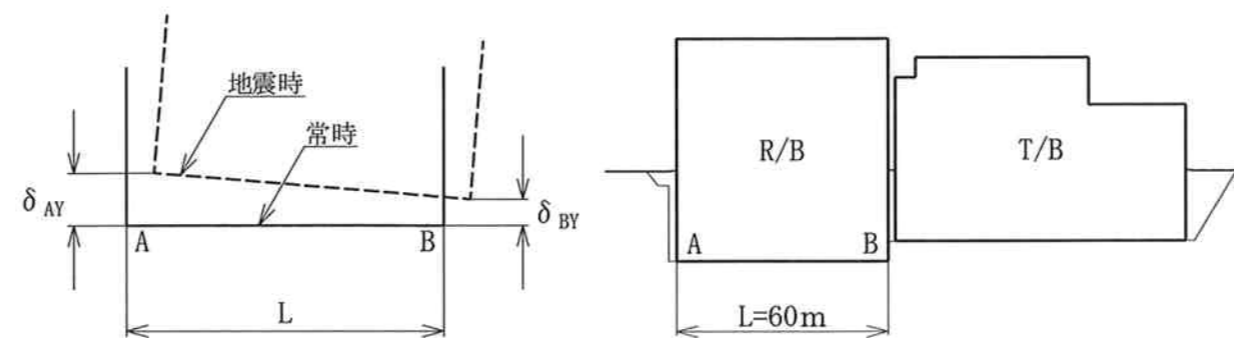


(2) 沈下に対する検討

原子炉建屋基礎両端の相対変位量及び基礎の傾斜を、基本解析の結果と比較して表-9 に示す。軟岩のひずみを考慮して変形特性を低減させた解析の地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の相対変位量は、軟岩の変形特性を低減させた解析（ケースA）において最大で 0.53 cm，その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約 1/11,000，淡灰色火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩の変形特性を低減させた解析（ケースB）において最大で 0.66 cm，その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約 1/9,100 であり，問題となる不同沈下が生じることはない。

表-9 原子炉建屋基礎の傾斜
(軟岩のひずみを考慮して変形特性を低減させた解析, X-X' 断面, S_s-1 波)

	時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
基本解析	46.95	0.48	1/13,000
軟岩の変形特性を 低減させた解析 ケースA	46.98	0.53	1/11,000
淡灰色火山礫凝灰岩及び 凝灰角礫岩の変形特性を 低減させた解析 ケースB	46.95	0.66	1/9,100



7. 岩盤の減衰定数を1%に低減させた解析

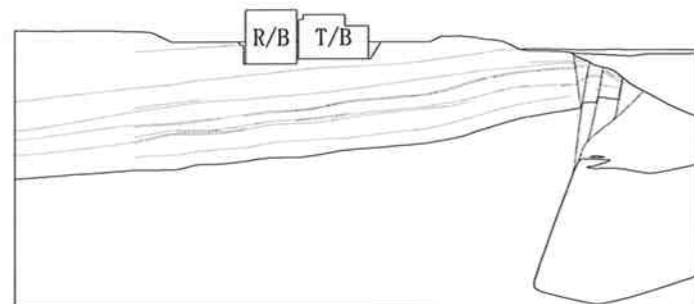
(1) すべりに対する検討

動的FEM解析により得られた各すべり線の最小すべり安全率を、基本解析の結果と比較して表-10に示す。岩盤の減衰定数を1%に低減させた解析の最小すべり安全率は3.0であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

表-10 すべり安全率(岩盤の減衰定数を1%に低減させた解析, X-X'断面, S₅-1波)

すべり線番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	岩盤の減衰定数を1%に低減させた解析
1		6.5	5.8
2		7.1	6.2
3		8.3	7.0
4		4.9	4.4

すべり線番号	すべり線形状	すべり安全率	
		基本解析	岩盤の減衰定数を1%に低減させた解析
5		5.2	4.6
6		5.0	4.4
7		4.9	4.3
8		3.4	3.0
9		3.6	3.4



凡例

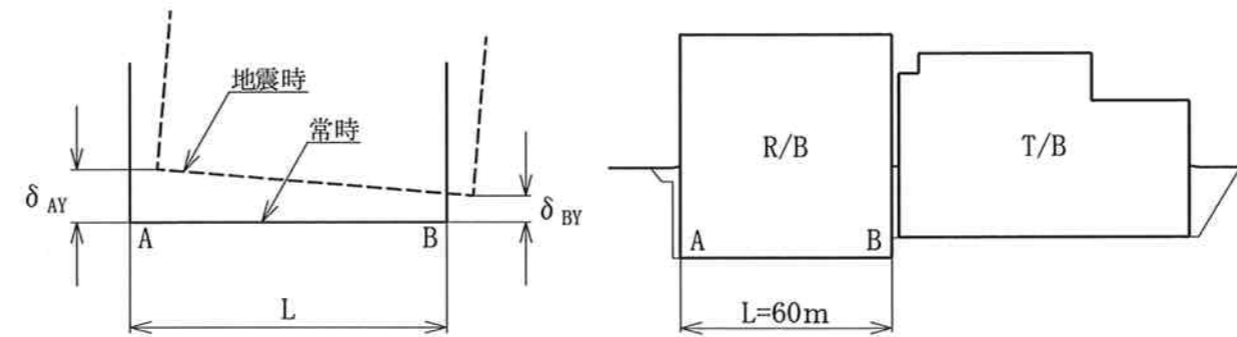
- すべり線
- 断層・シーム
- 地層境界
- すべり安全率の最小値

(2) 沈下に対する検討

原子炉建屋基礎両端の相対変位量及び基礎の傾斜を、基本解析の結果と比較して表-11 に示す。岩盤の減衰定数を 1% に低減させた解析の地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の相対変位量は最大で 0.58 cm, その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約 1/10,000 であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

表-11 原子炉建屋基礎の傾斜
(岩盤の減衰定数を 1% に低減させた解析, X-X' 断面, S_g-1 波)

	時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
基本解析	46.95	0.48	1/13,000
岩盤の減衰定数を 1% に低減させた解析	46.94	0.58	1/10,000



Ⅲ. 燃料補助建屋基礎地盤の安定性検討

1. 慣用法による安定性検討
2. 動的FEM解析による安定性検討

1. 慣用法による安定性検討

(1) 支持力に対する検討

表-1 に燃料補助建屋基礎底面における接地圧分布を示す。燃料補助建屋基礎底面に分布する凝灰角礫岩の支持力は岩石試験結果からみて淡灰色火山礫凝灰岩とほぼ同程度と考えられ、燃料補助建屋の常時の接地圧は約 0.3N/mm²、地震時の最大接地圧は約 0.7N/mm²であり、燃料補助建屋の接地圧は原子炉建屋に比べて小さいことから支持力が問題とならない。

(2) 平面すべりに対する検討

表-2 に燃料補助建屋基礎底面の平面すべり検討結果を示す。燃料補助建屋基礎底面の地震時のすべり安全率は 3.3 以上であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

(3) 沈下に対する検討

表-3 に燃料補助建屋の沈下に対する検討結果を示す。燃料補助建屋の沈下量は、燃料補助建屋中心で約 0.8cm であり、問題となる沈下が生じることはない。

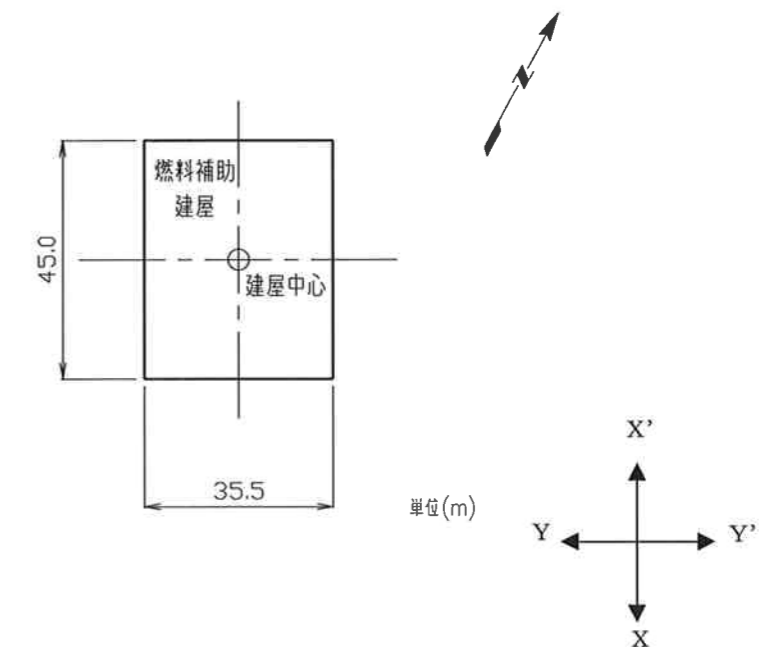
表-1 支持力に対する検討結果(燃料補助建屋)

水平地震力方向 鉛直地震力方向	常時	地震時								
		X-X'				Y-Y'				
		鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	
鉛直力・有効鉛直力 ¹⁾ (N)	44.746×10 ⁷	40.829×10 ⁷	34.007×10 ⁷	30.090×10 ⁷	55.485×10 ⁷	51.569×10 ⁷	34.007×10 ⁷	30.090×10 ⁷	55.485×10 ⁷	51.569×10 ⁷
転倒モーメント ²⁾ (N・m)	—	—	325.6×10 ⁷				332.3×10 ⁷			
水平力 ²⁾ (N)	—	—	18.75×10 ⁷				18.75×10 ⁷			
3) 解析結果(接地圧分布)	浮力を考慮しない場合									
	浮力を考慮した場合									

注1) 有効鉛直力では浮力を考慮 注2) 3C_iによる 注3) ○は常時、地震時それぞれの最大値を示す

表-3 燃料補助建屋の沈下に対する検討結果

燃料補助建屋荷重による沈下量(cm)	0.79
--------------------	------



燃料補助建屋の沈下に対する検討位置

表-2 すべり安全率 燃料補助建屋基礎底面の平面すべり

水平地震力方向	鉛直地震力方向	抵抗力(N)	せん断力(N)	すべり安全率
X-X'	↑	8.0×10 ⁹	1.9×10 ⁹	4.2
	↓	11.1×10 ⁹	1.9×10 ⁹	5.8
Y-Y'	↑	6.4×10 ⁹	1.9×10 ⁹	3.3
	↓	10.8×10 ⁹	1.9×10 ⁹	5.6

2. 動的FEM解析による安定性検討

(1) 支持力に対する検討

図-1及び図-2に燃料補助建屋の接地圧が最大となる時刻における主応力分布，要素ごとの安全率及びモビライズド面を示す。これらの図によれば，引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はなく，モビライズド面(潜在すべり面)が連続するすべり線は存在しないため，燃料補助建屋基礎地盤は地震時における応力状態からみて支持力が問題となるものではない。

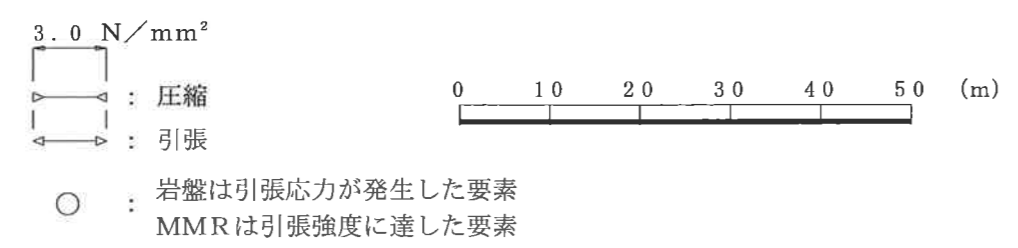
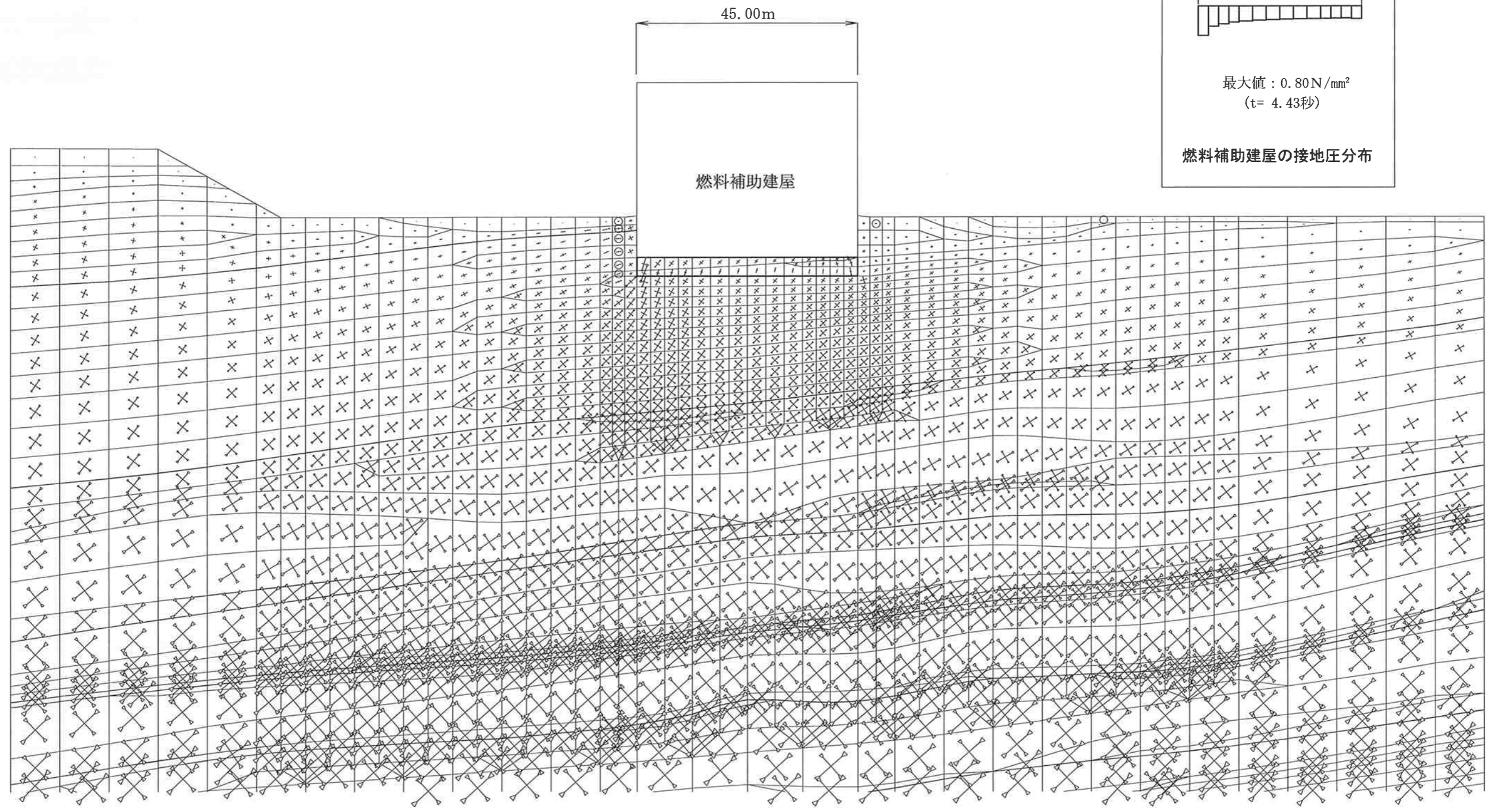
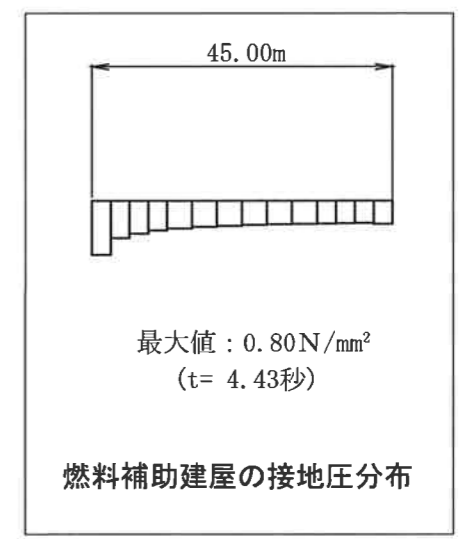
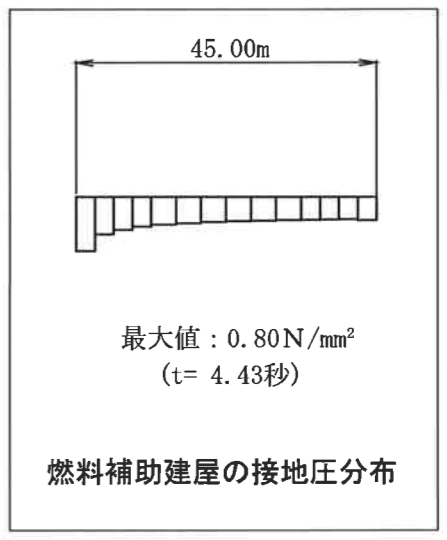
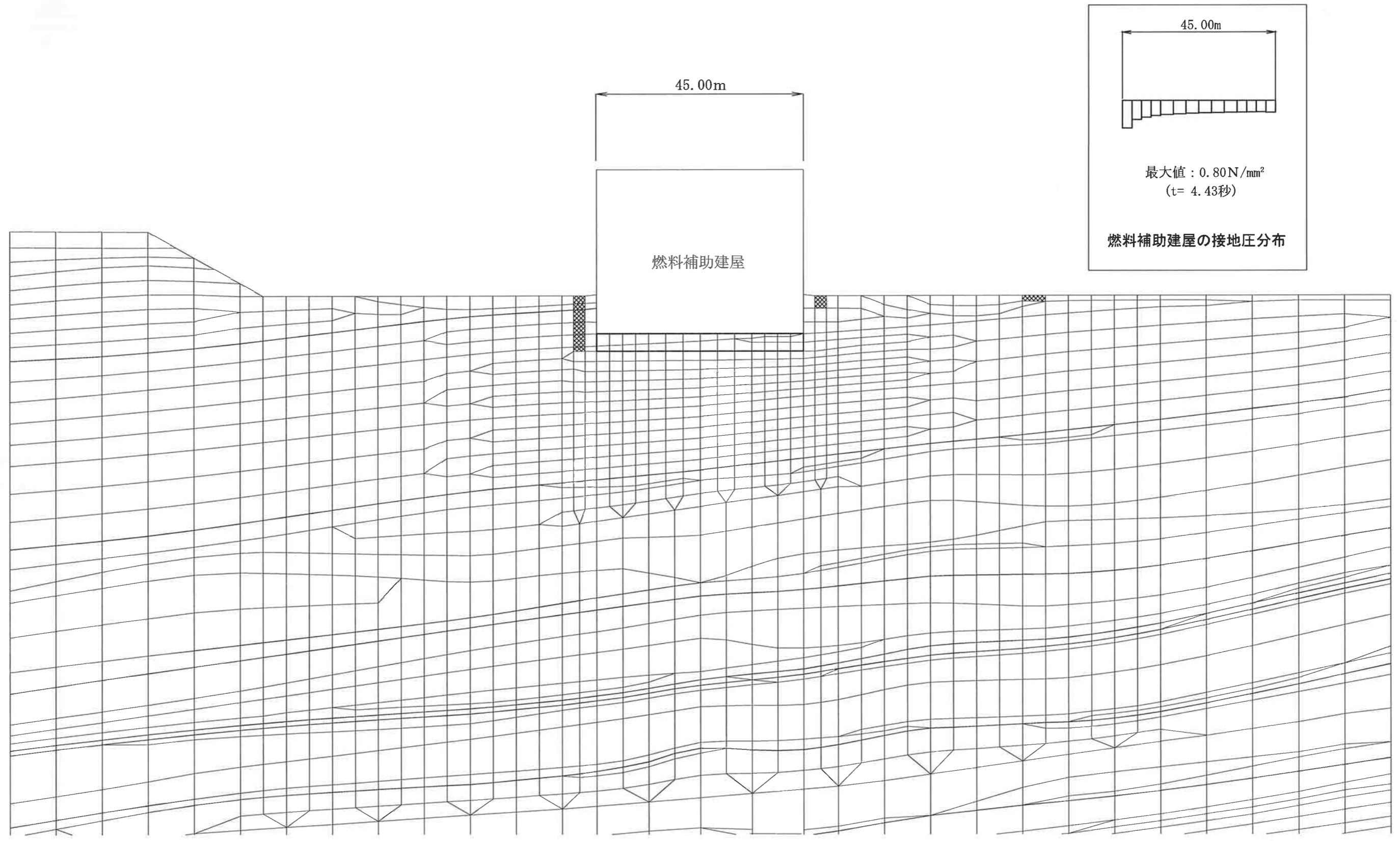


図-1(1) 主応力図
(燃料補助建屋, X-X'断面, S_s-2波, t=4.43秒)

Ⅲ. 燃料補助建屋基礎地盤の安定性検討



- : せん断強度に達した要素
- ▨ : 岩盤は引張応力が発生した要素
- ▧ : MMRは引張強度に達した要素
- ▩ : $1.00 \leq f_s < 1.50$
- : $1.50 \leq f_s < 2.00$
- : $2.00 \leq f_s$

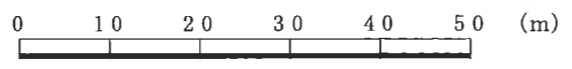


図-1(2) 要素ごとの安全率(基礎岩盤)
 (燃料補助建屋, X-X'断面, S_s-2波, t = 4.43秒)

Ⅲ. 燃料補助建屋基礎地盤の安定性検討

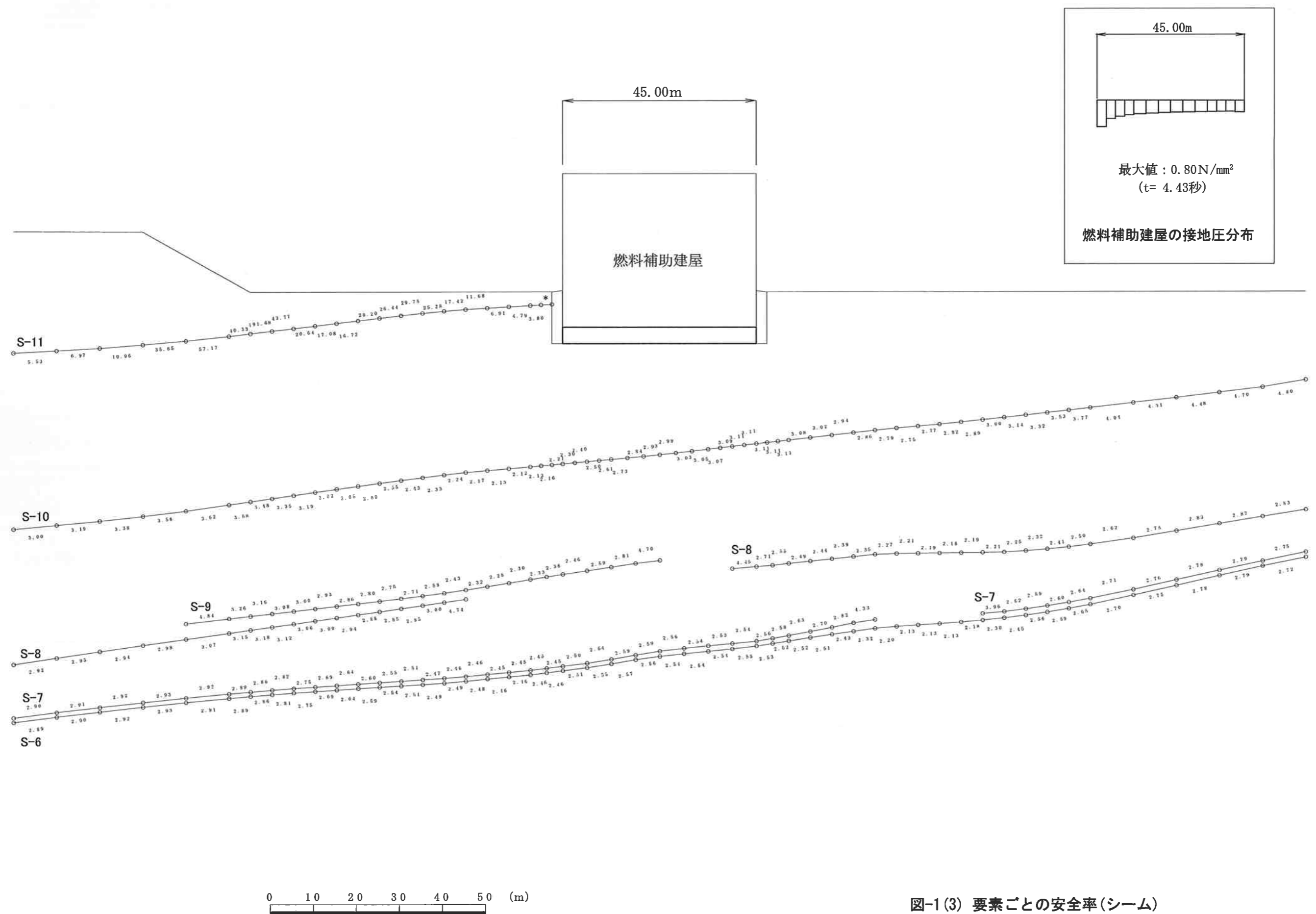


図-1(3) 要素ごとの安全率(シーム)
(燃料補助建屋, X-X'断面, S_s-2波, t=4.43秒)

III. 燃料補助建屋基礎地盤の安定性検討

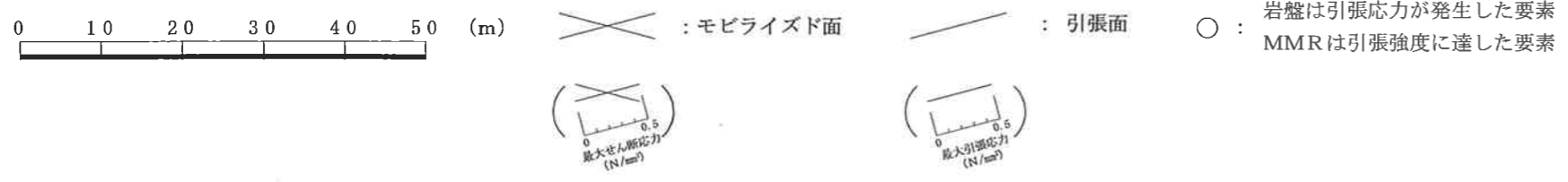
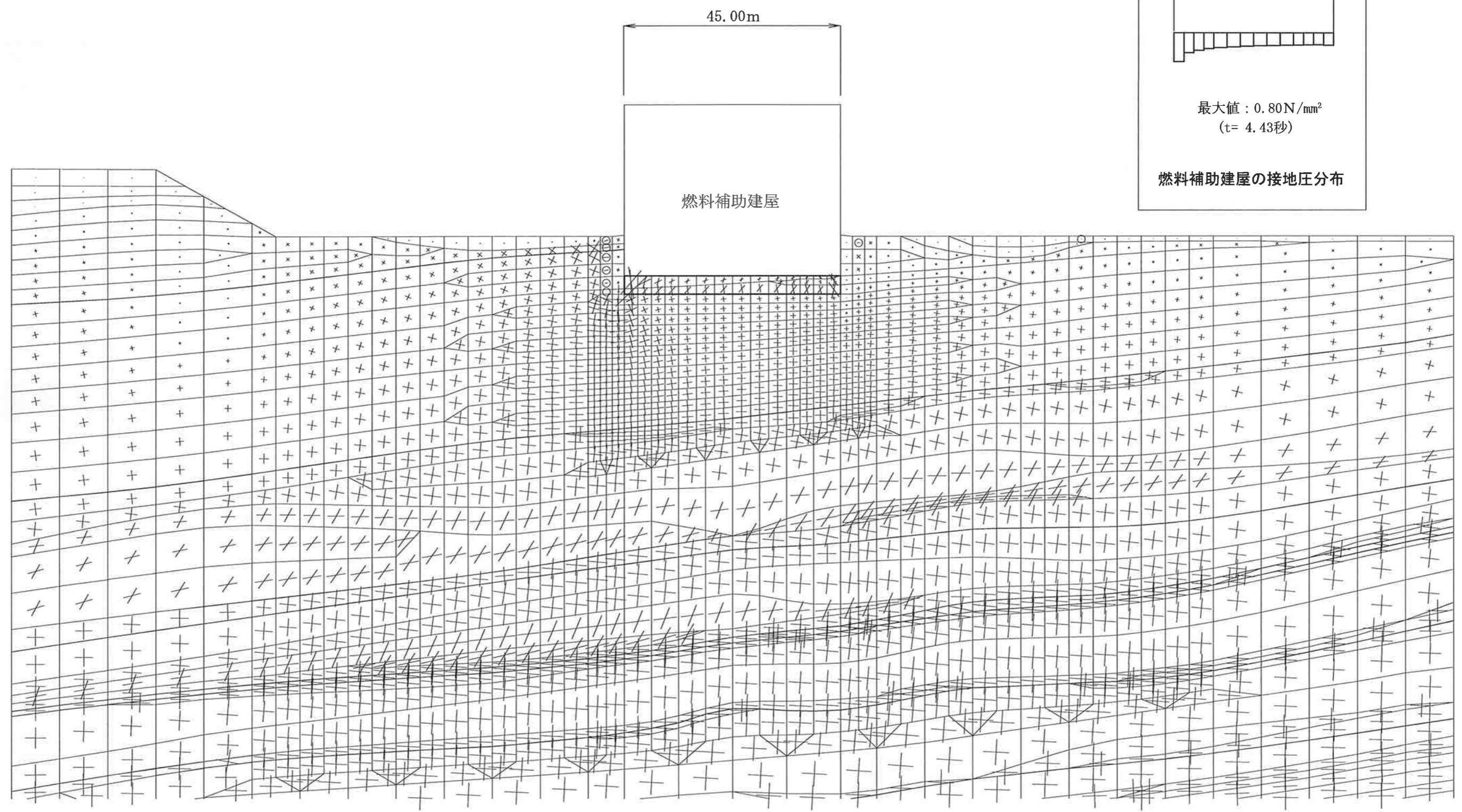
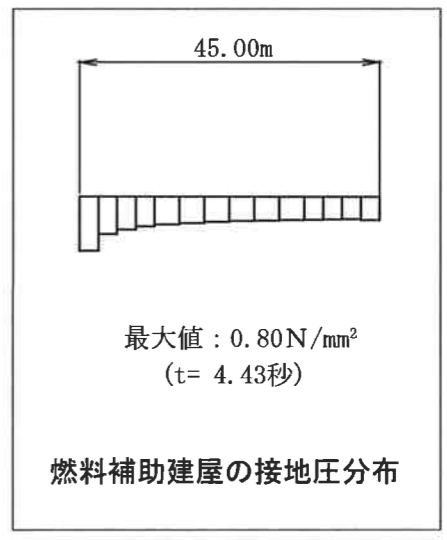
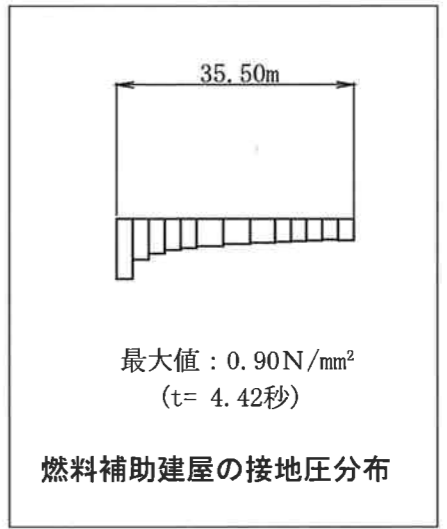
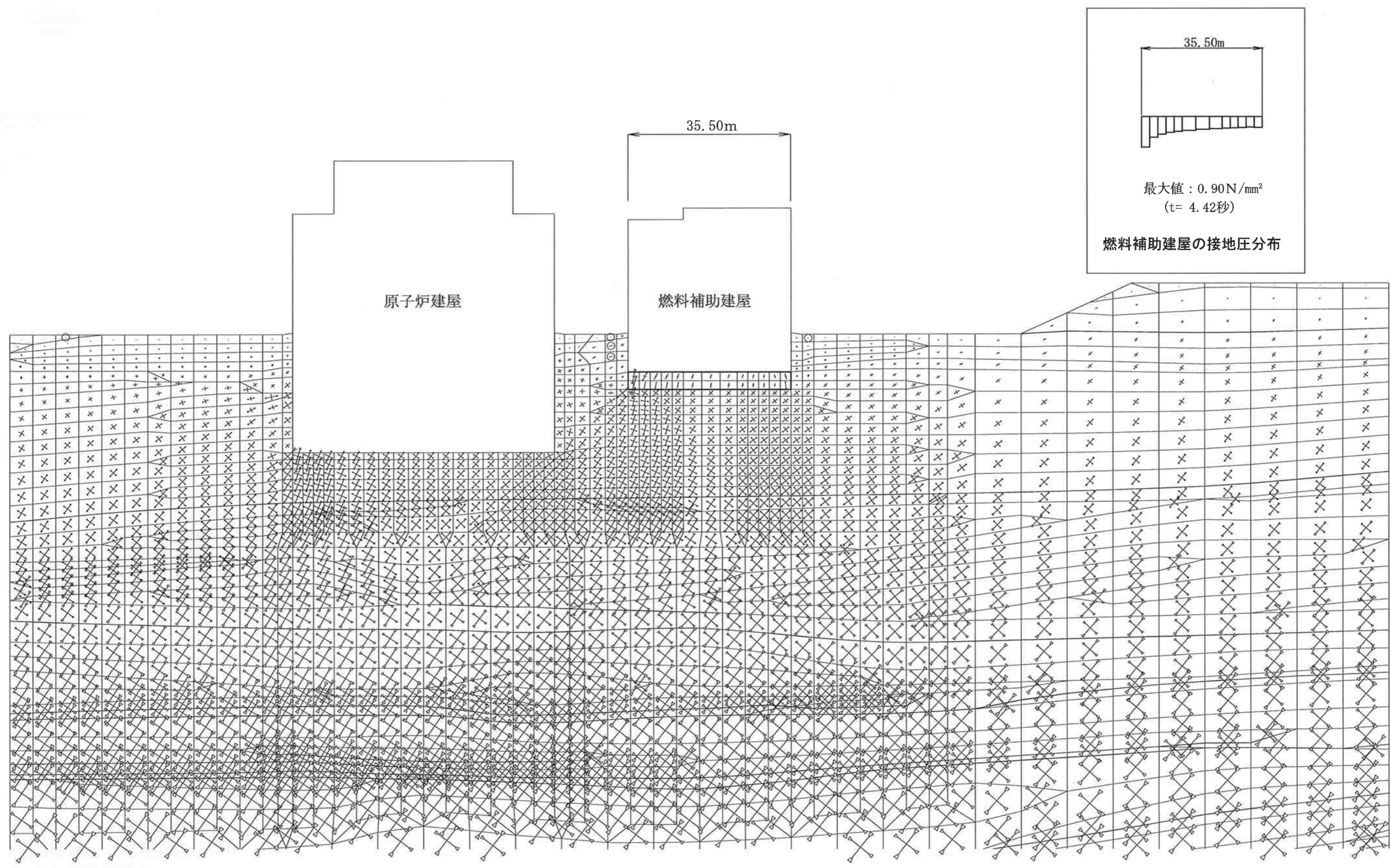


図-1(4) モビライズド面
(燃料補助建屋, X-X'断面, S_s-2波, t=4.43秒)

III. 燃料補助建屋基礎地盤の安定性検討



3.0 N/mm²

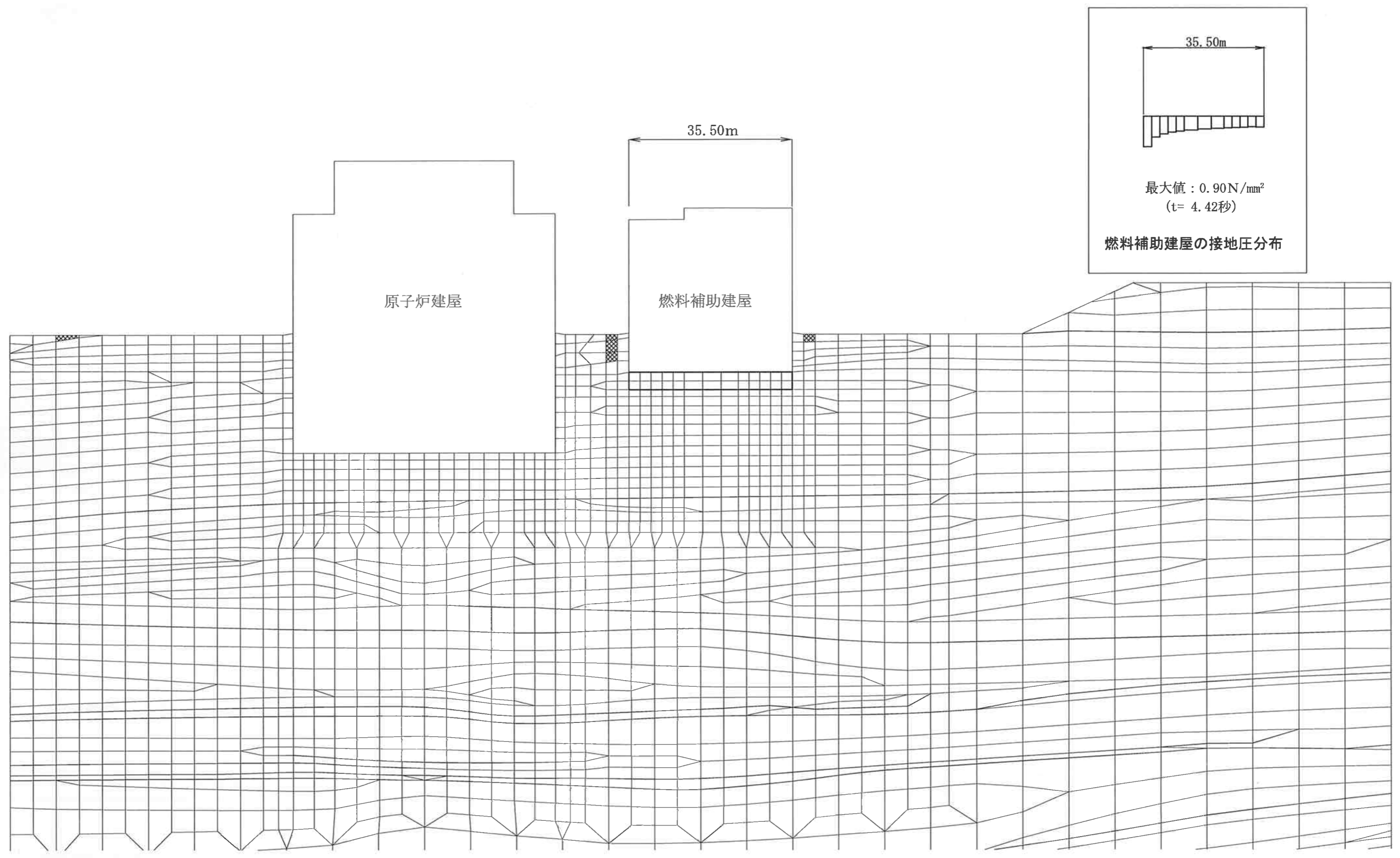
: 圧縮
 : 引張

: 岩盤は引張応力が発生した要素
 : MMRは引張強度に達した要素

0 10 20 30 40 50 (m)

図-2(1) 主応力図
(燃料補助建屋, Y-Y'断面, S_s-2波, t = 4.42秒)

Ⅲ. 燃料補助建屋基礎地盤の安定性検討



: せん断強度に達した要素
 : 岩盤は引張応力が発生した要素
 : MMRは引張強度に達した要素
 : $1.00 \leq f_s < 1.50$
 : $1.50 \leq f_s < 2.00$
 : $2.00 \leq f_s$

0 10 20 30 40 50 (m)

図-2(2) 要素ごとの安全率(基礎岩盤)
 (燃料補助建屋, Y-Y'断面, S_s -2波, $t = 4.42$ 秒)

Ⅲ. 燃料補助建屋基礎地盤の安定性検討

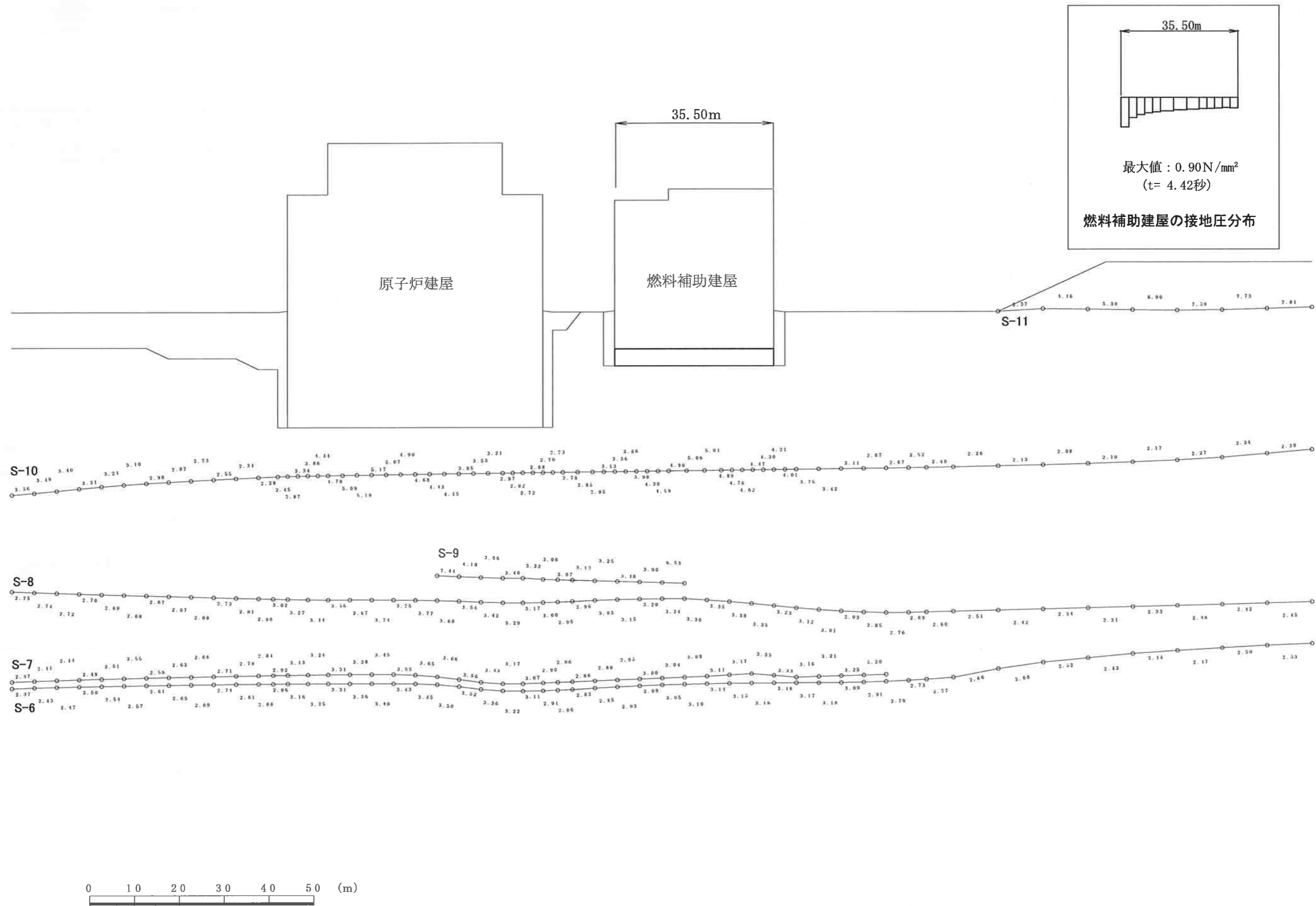


図-2(3) 要素ごとの安全率(シーム)
(燃料補助建屋, Y-Y'断面, S_s-2波, t = 4.42秒)

* : 引張応力が発生した要素
: せん断強度に達した要素

Ⅲ. 燃料補助建屋基礎地盤の安定性検討

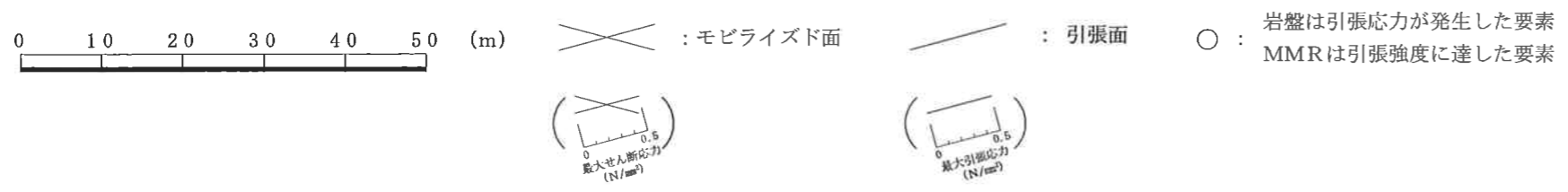
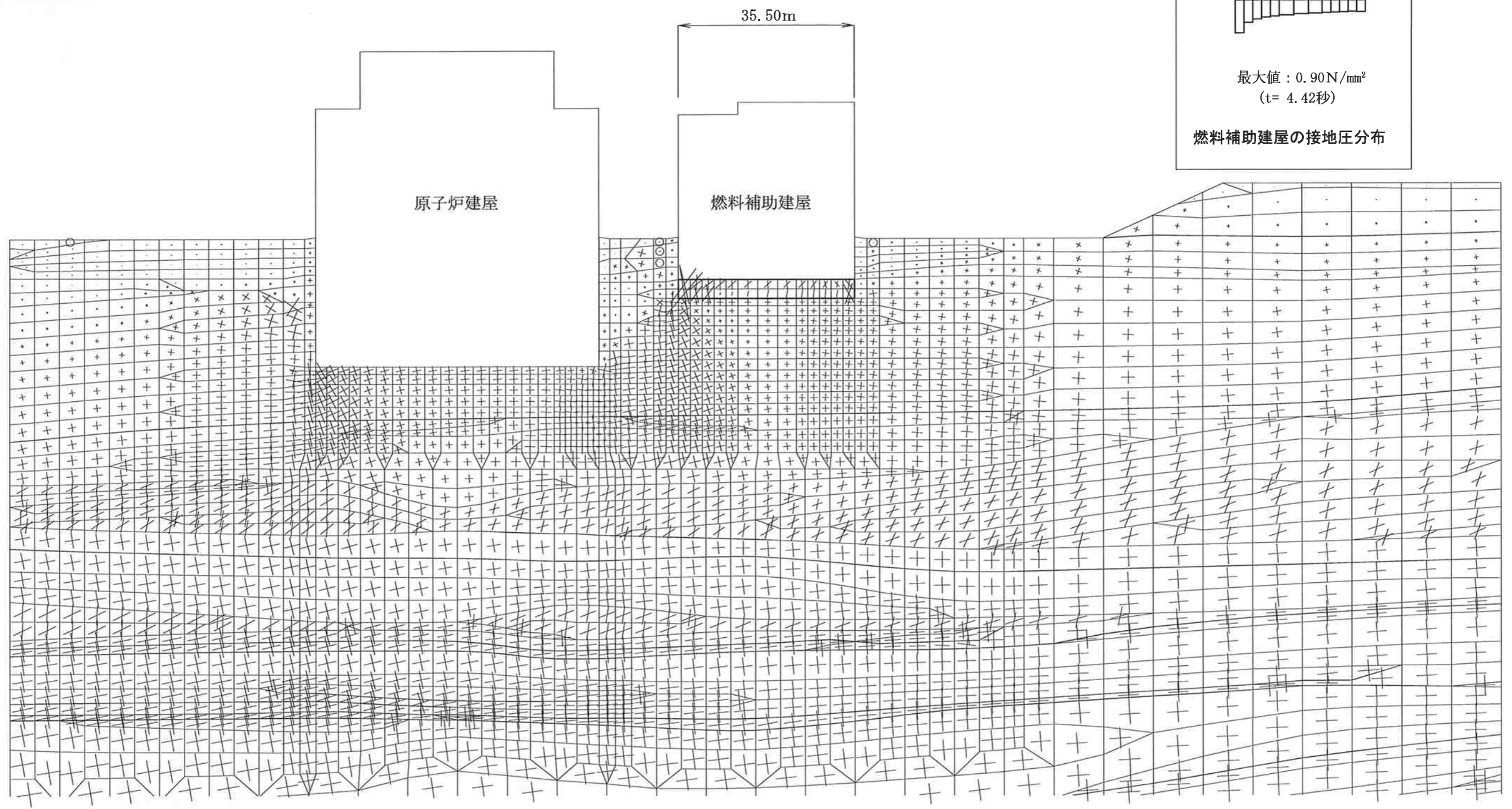
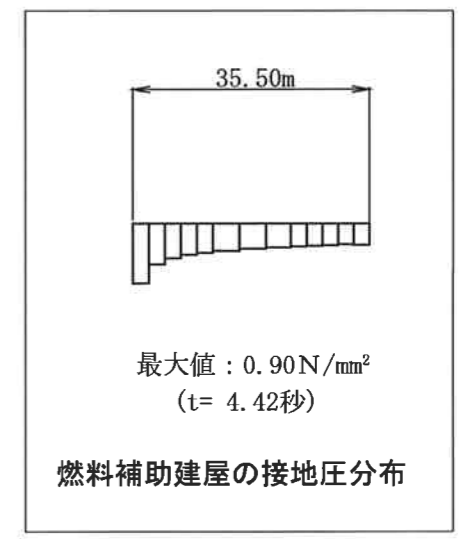


図-2(4) モビライズ面
(燃料補助建屋, Y-Y'断面, S_s-2波, t = 4.42秒)

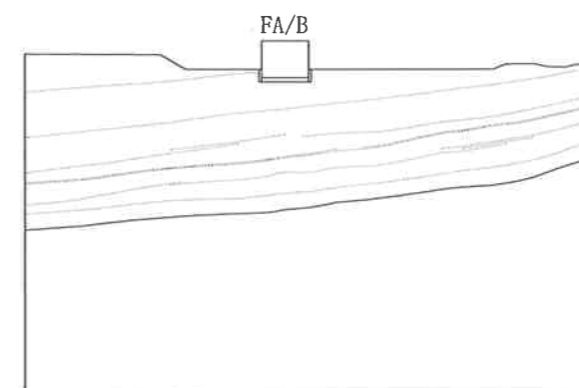
(2) すべりに対する検討

表-4 及び表-5 に動的 FEM 解析により得られた各すべり線の最小すべり安全率を示す。燃料補助建屋基礎地盤の地震時のすべり安全率は 4.2 以上であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

表-4 すべり安全率(燃料補助建屋, X-X' 断面)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1 波	S _s -2 波
1		9.7	11.5
2		9.1	10.3
3		10.3	11.6
4		9.7	11.2

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1 波	S _s -2 波
5		7.5	8.4
6		5.4	6.3
7		4.4	5.2



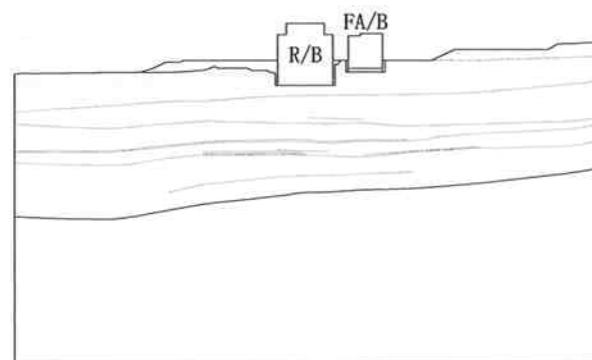
凡例

- すべり線
- 断層・シーム
- 地層境界
- すべり安全率の最小値

表-5 すべり安全率(燃料補助建屋, Y-Y'断面)

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
1		9.0	9.7
2		11.0	11.7
3		9.7	10.9
4		8.4	9.4

すべり線 番号	すべり線形状	すべり安全率	
		S _s -1波	S _s -2波
5		8.8	9.4
6		8.4	9.3
7		5.9	6.8
8		4.2	4.8



- 凡例
- すべり線
 - 断層・シーム
 - 地層境界
 - すべり安全率の最小値

(3) 沈下に対する検討

燃料補助建屋基礎両端の相対変位量及び基礎の傾斜を表-6及び表-7に示す。地震時の燃料補助建屋基礎両端における鉛直方向の相対変位量は最大で0.20cm, その時の燃料補助建屋基礎の傾斜は約1/18,000であり, 問題となる不同沈下が生じることはない。

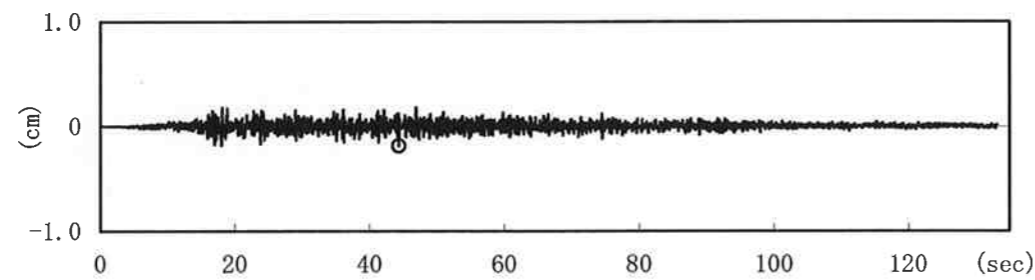
表-6(1) 燃料補助建屋基礎の傾斜(X-X'断面, S_s-1波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
44.38	-0.19	1/24,000

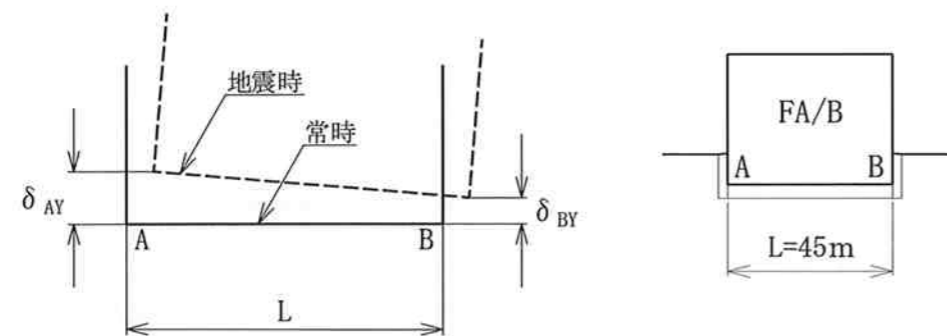
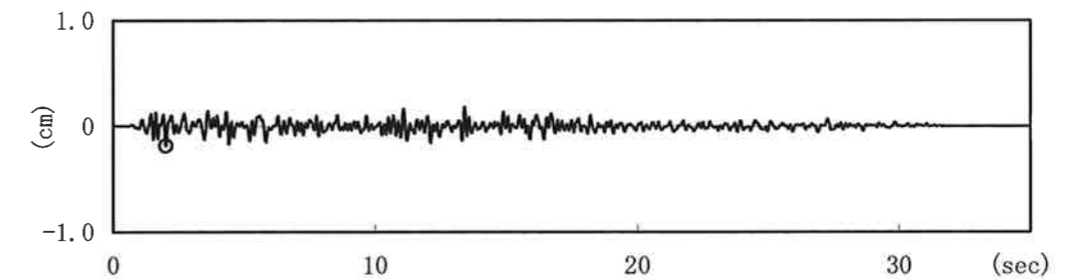
表-6(2) 燃料補助建屋基礎の傾斜(X-X'断面, S_s-2波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
2.02	-0.18	1/25,000

相対変位量(鉛直方向)の時刻歴

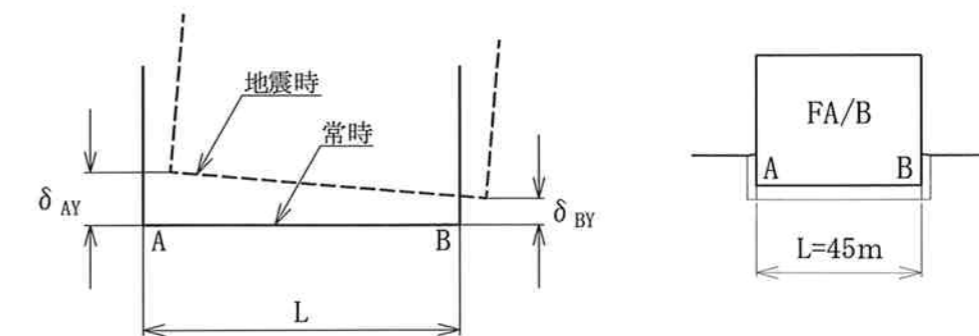


相対変位量(鉛直方向)の時刻歴



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。

鉛直方向相対変位は左上りを正とする。



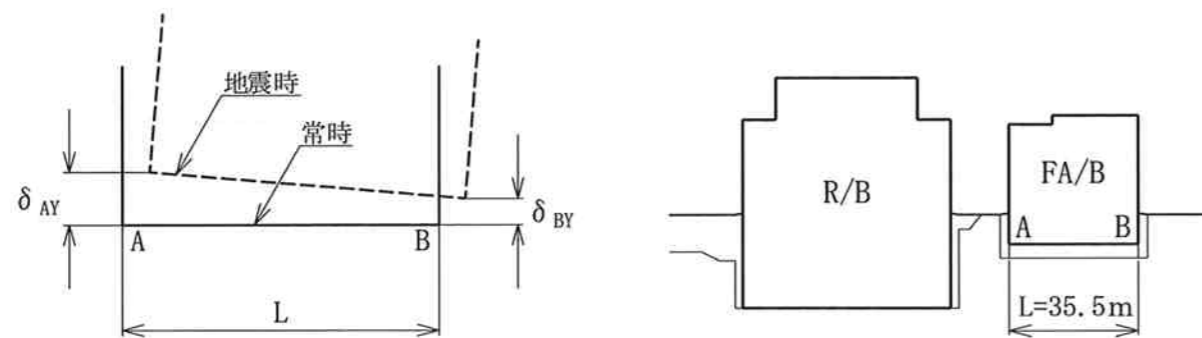
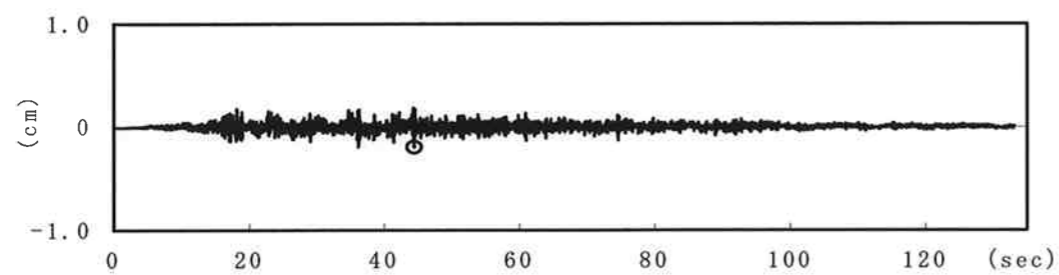
δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。

鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-7(1) 燃料補助建屋基礎の傾斜(Y-Y'断面, S_s-1波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
44.37	-0.20	1/18,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴

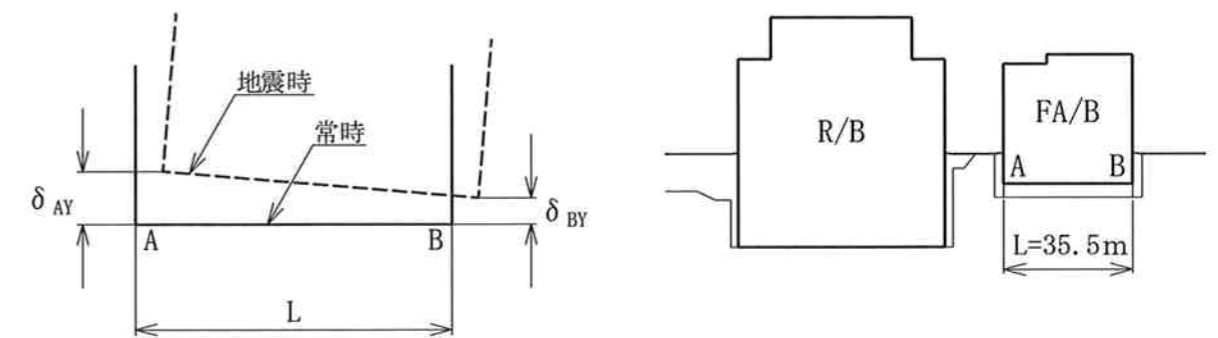
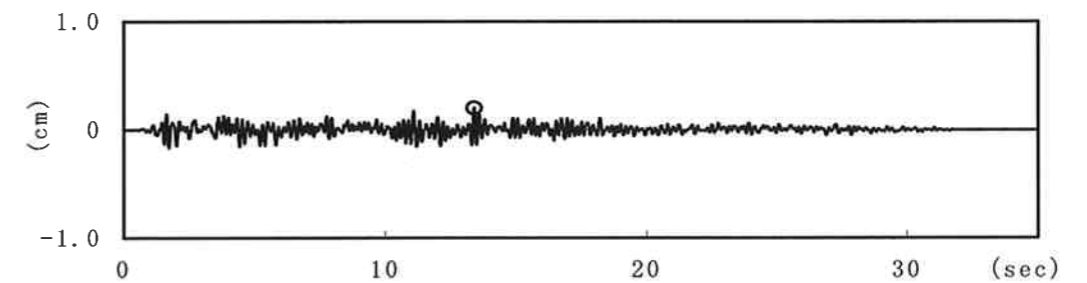


δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-7(2) 燃料補助建屋基礎の傾斜(Y-Y'断面, S_s-2波)

時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
	$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
13.40	0.20	1/18,000

相対変位量 (鉛直方向) の時刻歴



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。