

受動的に機能を発揮する設備について

「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」(以下、「ガイド」という。)における有毒ガス防護に係る妥当性確認において、対象発生源を特定するためにスクリーニング評価を実施するが、評価を実施するに当たって、ガイドの解説-5(対象発生源特定のためのスクリーニング評価の際に考慮してもよい設備)を考慮した。

玄海原子力発電所では、受動的に機能を発揮する設備として防液堤及び覆いをスクリーニング評価上考慮している。

評価に当たっては、漏えいした有毒化学物質が防液堤又は覆い内部にとどまるものとして、開口部面積を設定し蒸発率を算定している。

【ガイド記載】

(解説-5)対象発生源特定のためのスクリーニング評価の際に考慮してもよい設備

有毒ガスが発生した際に、受動的に機能を発揮する設備については、考慮してもよいこととする。例えば、防液堤は、破損する可能性があったとしても、更地となるような壊れ方はせず、堰としての機能を発揮すると考えられる。また、防液堤内のフロートや電源、人的操作等を必要としない中和槽等の設備は、有毒ガス発生抑制等の機能が恒常的に見込めると考えられる。このことから、対象発生源特定のためのスクリーニング評価(以下、単に「スクリーニング評価」という。)においても、これらの設備は評価上考慮してもよい。

1. 防液堤及び中和槽等の容量

毒物及び劇物取締法において、屋内外タンクには漏えいした毒物又は劇物を安全に収容できる施設又は除害、回収等の施設を設け、貯蔵場所外へ流出等しないような措置を講ずることが要求されている。

流出時安全施設の保持容量を表1に示す。原則タンク容量の100%相当とし、防液堤を共有するタンクについては、最大タンクの容量の100%相当以上の容量を有することとされる。

表1 毒物及び劇物取締法における流出時安全施設の保持容量

法令名	流出時安全施設の保持容量
毒物及び劇物取締法 (毒物及び劇物の貯蔵に関する構造・設備等基準)	原則としてタンク容量の100%相当とし、2ヶ以上のタンクが存在する場合には、最大タンクの容量の100%相当以上とし、止むを得ず100%に満たない場合は、除外回収等の施設の処理能力を考慮することができる。

玄海原子力発電所で特定した固定源について流出時安全施設となる防液堤及び中和槽等の容量を表 2 に示す。また、タンク全量が流出するタンク下部配管の両端破断により多量に漏えいすることを仮定した際の評価結果を表 3、評価条件を表 4 に示す。一部の防液堤については対策を実施することとし、その他の防液堤については、防液堤内最大タンクから防液堤への流出量より防液堤から中和槽等への排液量が大きいたことが確認できたことから、流下の途中経過においてタンクから漏えいした有毒化学物質は防液堤から溢れることなく中和槽等へ排出可能と判断した。

したがって、有毒化学物質の貯蔵量を収容できる容量を有しており、全量漏えいした場合でも防液堤及び中和槽等にとどまることを確認した。

表2 特定した固定源の防液堤容量等 (評価結果)

設備名称※1		貯蔵量 (m ³)	防液堤 容量※2 (m ³)	中和槽等 容量(m ³)	評価結果
3/4号 補給水 処理装 置	塩酸貯槽	25	12.0 (堰H)	282 (高塩系 再生排 水槽)	中和槽等を共有する全ての防液堤の有毒化学物質が防液堤内に漏えいした場合は、有毒化学物質を全量貯留できる容量を有している高塩系再生排水槽に流下する構造となっている。 また、堰H、堰Iに覆いを設置することとしており、有毒化学物質が漏えいした場合は、覆い内部に流下する構造とする。
	H塔用塩酸計量槽(B)	2.3			
	H塔用塩酸計量槽(C)	2.3			
	MBP塔用塩酸計量槽(B)	0.6			
	MBP塔用塩酸計量槽(C)	0.6	4.1 (堰I)		
	H塔用塩酸計量槽(A)	2.3			
	MBP塔用塩酸計量槽(A)	0.6			
3号 復水脱 塩装置	塩酸貯槽	32	2.5	550 (中和 槽)	中和槽等を共有する全ての防液堤の有毒化学物質が防液堤内に漏えいした場合は、有毒化学物質を全量貯留できる容量を有している中和槽に流下する構造となっている。 また、堰Jに覆いを設置することとしており、有毒化学物質が漏えいした場合は、覆い内部に流下する構造とする。
	塩酸計量槽	6	(堰J)		
	アンモニア原液タンク (3/4号薬液注入装置)	22	2.3 (堰K)		
4号 復水脱 塩装置	塩酸貯槽	32	5.4 (堰L)	550 (中和 槽)	有毒化学物質が防液堤内に漏えいした場合は、有毒化学物質を全量貯留できる容量を有している中和槽に流下する構造となっている。
	塩酸計量槽	6			
高塩系 排水回 収装置	塩酸貯槽	10	13.6 (堰M)	10 (薬品ヤ ード中 和ピット)	有毒化学物質が防液堤内に漏えいした場合は、有毒化学物質を全量貯留できる容量を有している薬品ヤード中和ピットに流下する構造となっている。 なお、堰Mから薬品ヤード中和ピットへの排水弁については、施錠開とすることを保安規定の下部規定にて定める。
3/4号 排水処 理装置	塩酸貯槽	35	11.3 (堰N)	1,200 (A高塩 系排水 貯槽)	有毒化学物質が防液堤内に漏えいした場合は、有毒化学物質を全量貯留できる容量を有しているA高塩系排水貯槽に流下する構造となっている。 また、堰Nに覆いを設置することとしており、有毒化学物質が漏えいした場合は、覆い内部に流下する構造とする。

※1：堰A～Gについては、玄海1/2号炉の運転終了に伴い共用終了になるので、薬品を貯蔵しないことから、調査対象外として欠番とする。

※2：現状の防液堤高さでの容量を示しており、覆い等の施工状況により容量が変わる可能性がある。

表3 タンク下部配管の両端破断により多量に漏えいすることを仮定した際の評価結果

防液堤名称	タンク名称	タンク容量と防液堤容量の比較		流出量、排液量の比較		評価結果
		タンク容量	防液堤容量	タンクからの流出量 ^{※1} (m^3/s) (配管断面積 (m^2))	防液堤からの排液量 ^{※1} (m^3/s) (排液口面積 (m^2))	
堰 H	塩酸貯槽	25 m^3	> 12.0 m^3	約 5×10^{-3} (約 1.8×10^{-3})	< 約 5×10^{-3} (約 5.4×10^{-3} 以上)	防液堤及び中和槽等に留まる
堰 I	H塔用塩酸計量槽 (A)	2.3 m^3	< 4.1 m^3			防液堤に留まる
堰 J	塩酸貯槽	32 m^3	> 2.5 m^3	約 8×10^{-3} (約 1.8×10^{-3})	< 約 2×10^{-2} (約 2.4×10^{-2} 以上)	防液堤及び中和槽等に留まる
堰 K	アンモニア原液タンク	22 m^3	> 2.3 m^3	約 5×10^{-3} (約 1.5×10^{-3})	< 約 7×10^{-3} (約 7.9×10^{-3} 以上)	防液堤及び中和槽等に留まる
堰 L	塩酸貯槽	32 m^3	> 5.4 m^3	約 7×10^{-3} (約 1.8×10^{-3})	< 約 5×10^{-2} (約 6.3×10^{-2} 以上)	防液堤及び中和槽等に留まる
堰 M	塩酸貯槽	10 m^3	< 13.6 m^3			防液堤に留まる
堰 N	塩酸貯槽	35 m^3	> 11.3 m^3	約 9×10^{-3} (約 3.1×10^{-3})	< 約 9×10^{-3} (約 7.7×10^{-3} 以上)	防液堤及び中和槽等に留まる

※1: 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に示される液体流出の式を用いて評価した。

表4 タンクからの流出量・防液堤からの排液量の評価条件

	タンクからの流出量	防液堤からの排液量
流出孔面積	タンク下部配管断面積	排液口面積
液面高さ	タンクから防液堤容量分流出した時点でのタンク内液面高さ [※]	防液堤高さ
圧力	大気圧 (タンク内圧力)	大気圧 (排液先圧力)

※: タンク内液量をタンク断面積で割った高さ

2. スクリーニング評価への反映

(1) 覆いの効果

有毒ガス発生の影響の大きい防液堤に対し、覆いを設置することとしており、覆いは有毒化学物質が漏えいした場合に有毒ガスの発生が抑制される機能を有する構造とする。覆いの下には空間を設けており、配管等の機器の大部分はこの覆いの下の空間に配置されており、配管のフランジ部等から有毒化学物質が漏えいした場合でも、覆いの上に有毒化学物質が滞留することはない設計とする。

さらに、覆いには緩やかな傾斜を設け、覆いの上に有毒化学物質が滞留することなく、速やかに覆いの下に流下する設計とする。仮に、覆いよりも上の配管等から有毒化学物質が漏えいした場合には、覆いに設けられた開口部や隙間から覆いの下へ流下することになる。

覆いを設置する際に、防液堤内にあるタンクやポンプ、水位計、配管等の干渉物を避けるために覆いに開口部を設ける必要がある。

覆いの下空間は、開口部及び隙間でのみ外気と通じていることから覆いの下に滞留した有毒化学物質から発生する有毒ガスは、大気中に多量に放出することはない、開口部及び隙間からのみ外気中に拡散する。

(2) 開口部面積設定の保守性

a. 評価面積設定の考え方

評価面積については、現場の配管等の配置を踏まえて設定した覆いの設計の開口部面積に、施工状況による変動を考慮して約 30～40%大きい面積を設定した。

b. 風速条件を考慮した保守性

覆い内の風速は屋外に比べて小さく、屋内と同等の風速 (0.1m/s 以下) であると仮定すると蒸発率は屋外の 1/10 以下となり、有毒ガス発生抑制等の機能が恒常的に見込めると考えられる。したがって、覆い内から有毒ガスが大気中に多量に放出されることはないと思えるが、開口部を液面として評価している。

c. 中和槽等を評価上考慮しないことの保守性

全ての防液堤には中和槽等があるため、有毒化学物質が漏えいした場合には、防液堤内の排液口より中和槽等に流下するが、スクリーニング評価においては、この中和槽等の機能には期待せず、漏えいした有毒化学物質が防液堤内に留まることとした。

これは、想定し得る最も厳しい条件として、評価対象タンクが保有する有毒化学物質全量が漏えいし、一定時間、防液堤全体に有毒化学物質が広がるものとして評価しているものである。

3. 防液堤の状況及び覆い設置について

調査対象として特定した固定源の防液堤の状況を図 1～図 13 に示す。これら調査対象固定源からの漏えいが発生しても、漏えいした有毒化学物質は防液堤又は中和槽等の中に留まることを確認した。

毒物及び劇物取締法の要求に基づき設置する防液堤及び中和槽等は、鉄筋コンクリート製であり、防液堤内に設置されるタンクの全量が漏えいした場合においても、漏えいした有毒化学物質を防液堤及び中和槽等内に留めることができるよう設計上の配慮を行っている。仮に、ひび割れなどが発生して防液堤から漏えいしたとしても、漏えいした有毒化学物質は周囲の側溝等に落ちるため、化学物質が広範囲に広がることはない。

有毒化学物質が漏えいした場合に有毒ガスの発生を抑制するために設置する覆いの構造イメージを図 14 に示す。覆いは、鋼鉄製の堅牢な構造物であり、受動的に機能を発揮する設備である既設の防液堤及び中和槽等と同等な一般産業施設として設計し、以下のとおり、設計上の配慮を行っていることから、防液堤が更地となるような事象が発生しない限り構造を保つことができ、その機能に期待できる。

- ・覆いは防液堤と一体構造になっている。
- ・仕切り部は防液堤と一体構造になっている。
- ・覆いとタンク等の機器に隙間があるためフレキシビリティがあり、地震による応力を逃がすことができる。

また、以下のとおり、設計上の配慮を行っていることから、毒物及び劇物取締法の要求に基づき設置する防液堤及び中和槽等に悪影響を与えることはない。

- ・鋼鉄製の仕切り部は過度に重いものではない。(1m 当たり 30kg 程度)
- ・覆いは過度に重いものではなく (60kg/m² 程度)、通路として使用されることを考慮する。
- ・覆いの脚及び仕切り部は、排液口と干渉しない位置に設置する。

4. 防液堤等の状況確認方法について

固定源に対しては、固定源の有毒ガス影響を軽減することを期待する防液堤等の現場の設置状況を踏まえ、評価条件を設定し、運転員の吸気中の有毒ガス濃度の評価結果が、有毒ガス防護のための判断基準値を下回るよう設計するとしている。

このため、有毒ガス濃度評価においては、防液堤等の開口部面積を有毒化学物質の蒸発面積として設定している。評価条件として設定した開口部面積は、実際の開口部面積に対して余裕を見込んでいることから、図 15～21 に示すとおり防液堤及び覆いが設置されていれば、実際の開口部面積が評価条件として設定した開口部面積を超えることはない。よって、現地において、防液堤及び覆いが図 15～21 のとおり設置されていることを確認する。



図1 調査対象とした敷地内固定源について

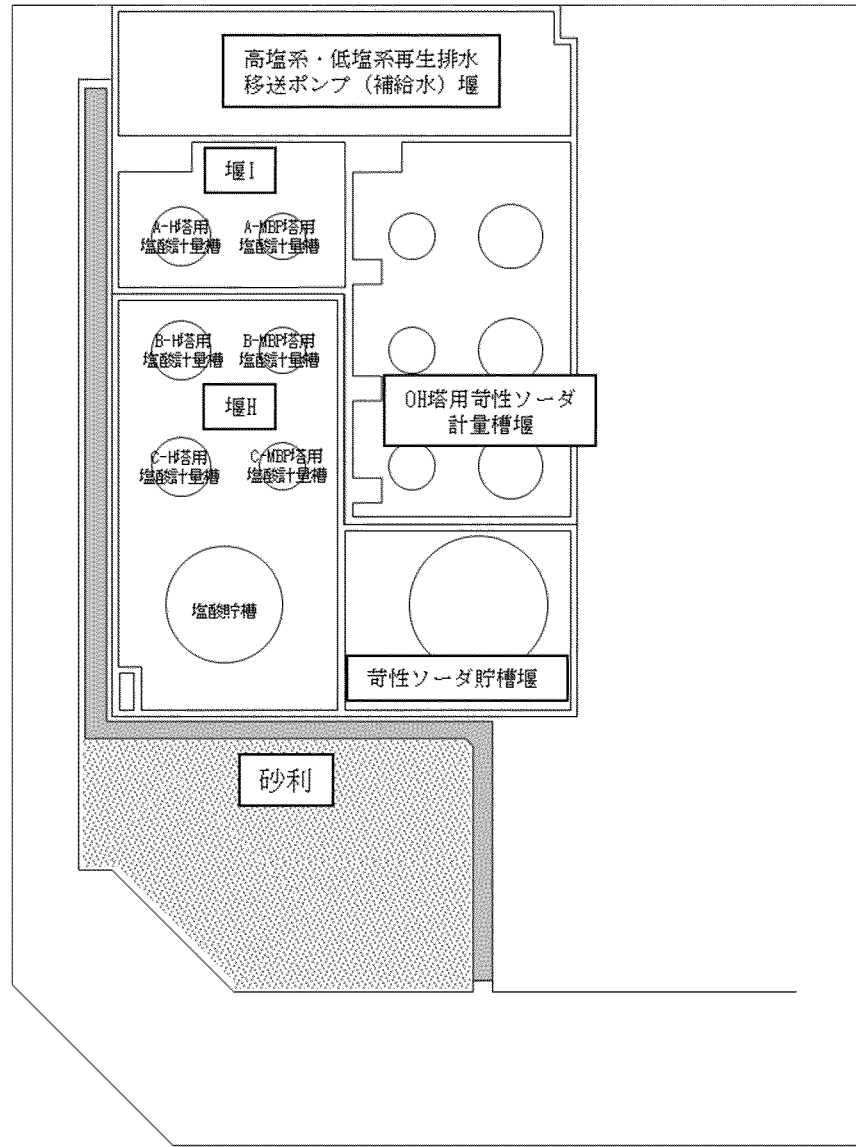


図 2 全体図 (3/4 号補給水処理装置)

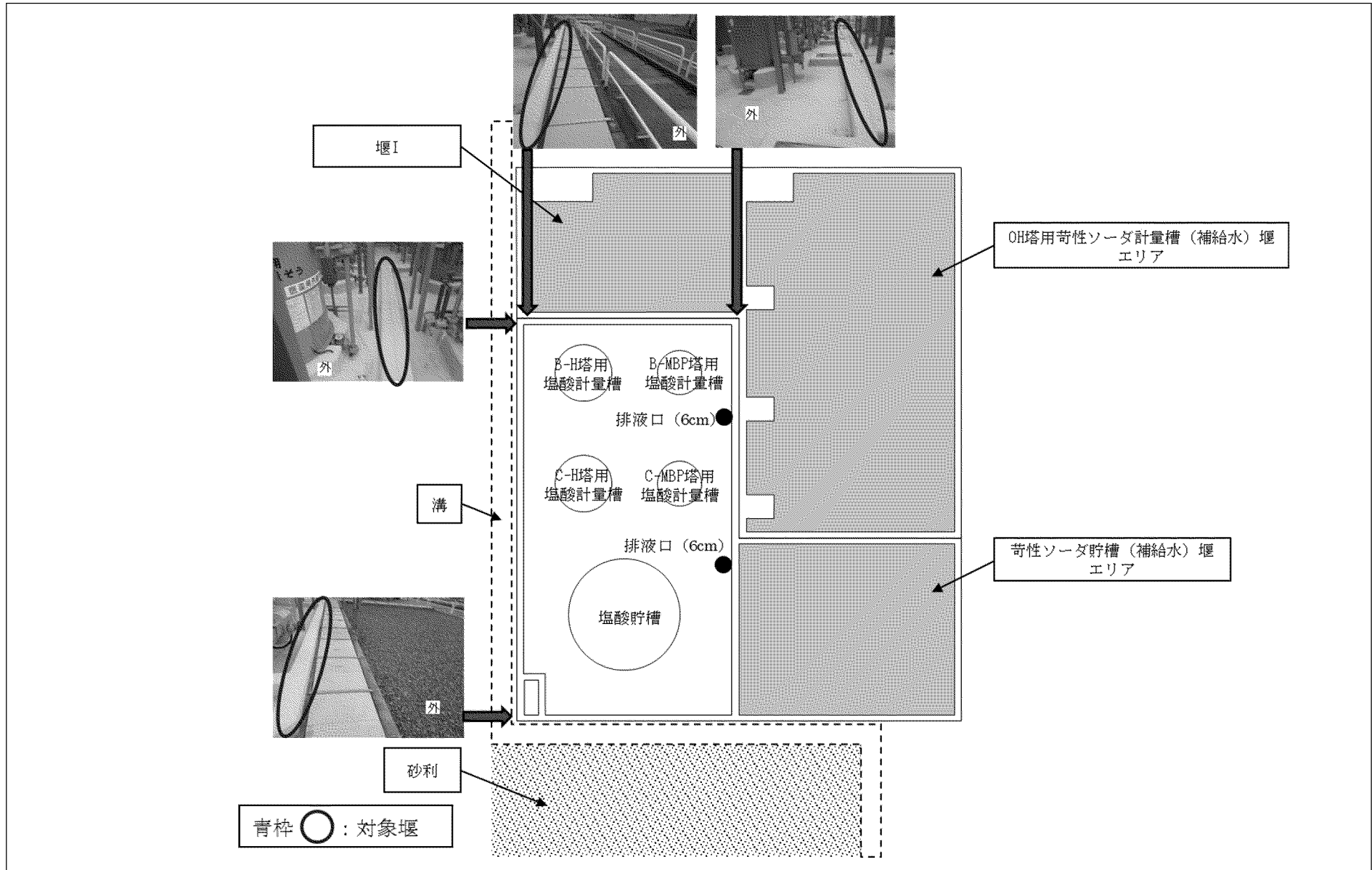


図3 堰H（3/4号補給水処理装置）防液堤の状況

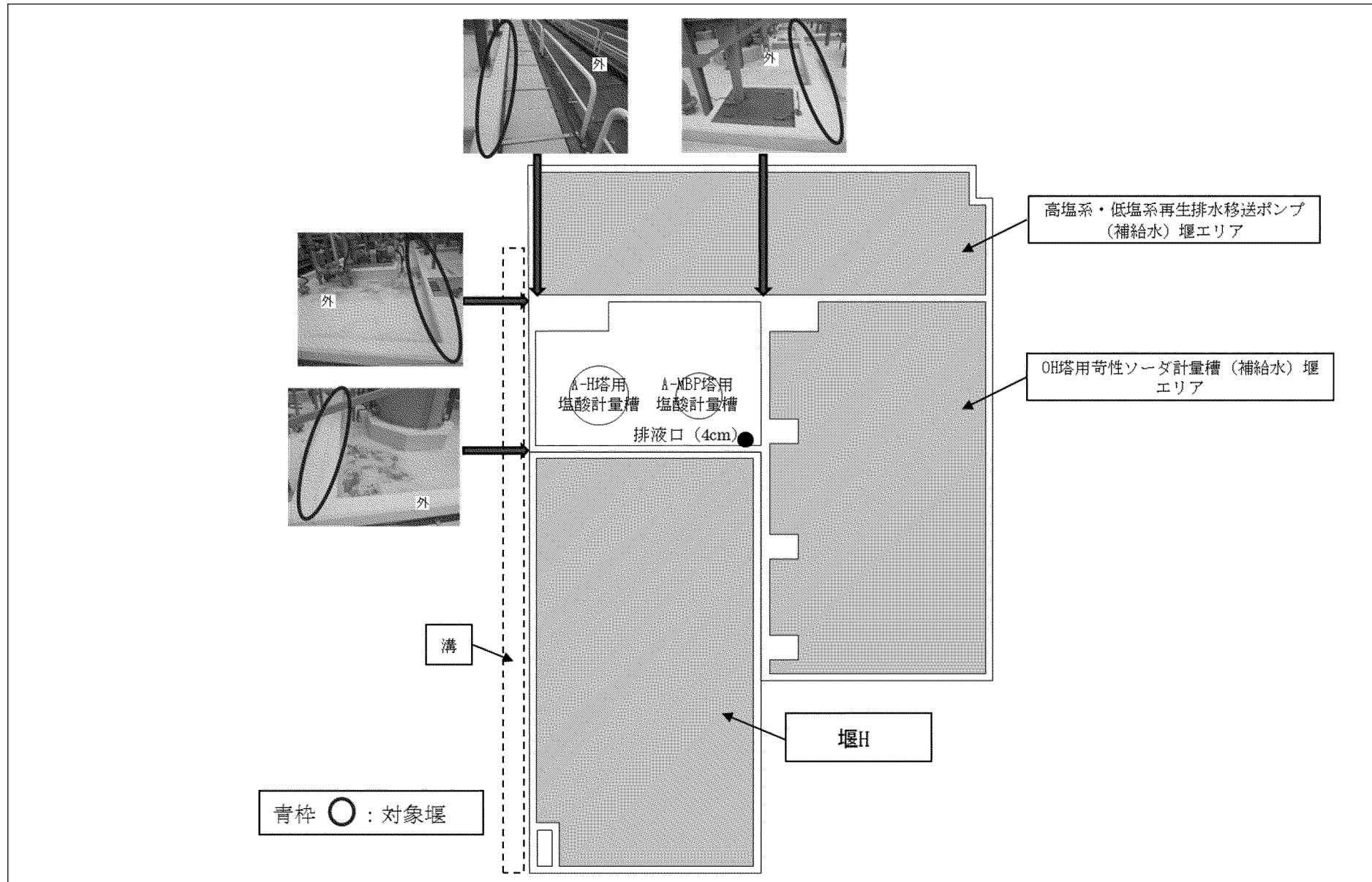


図4 堰I (3/4号補給水処理装置) 防液堤の状況

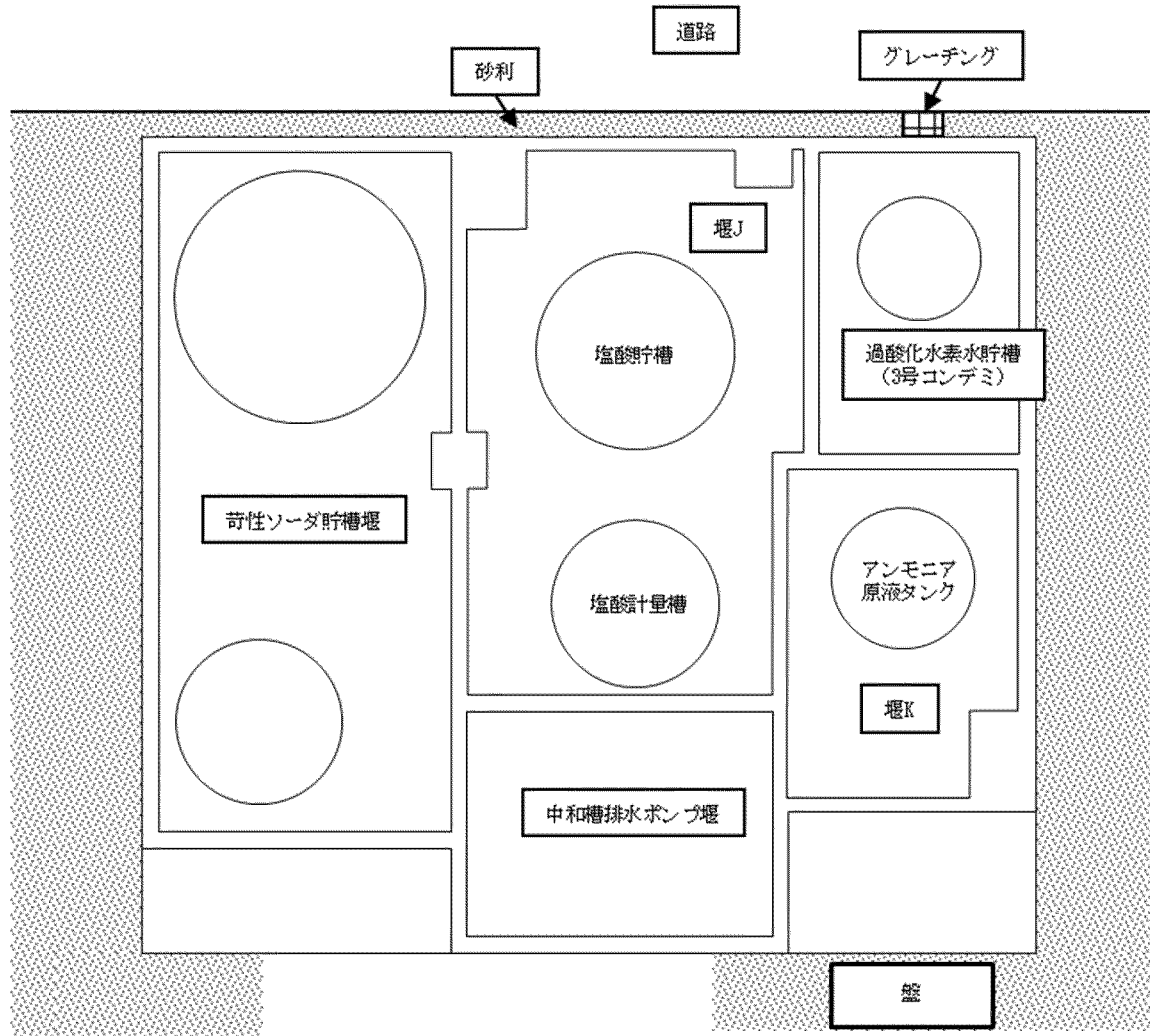


図5 全体図 (3号復水脱塩装置)

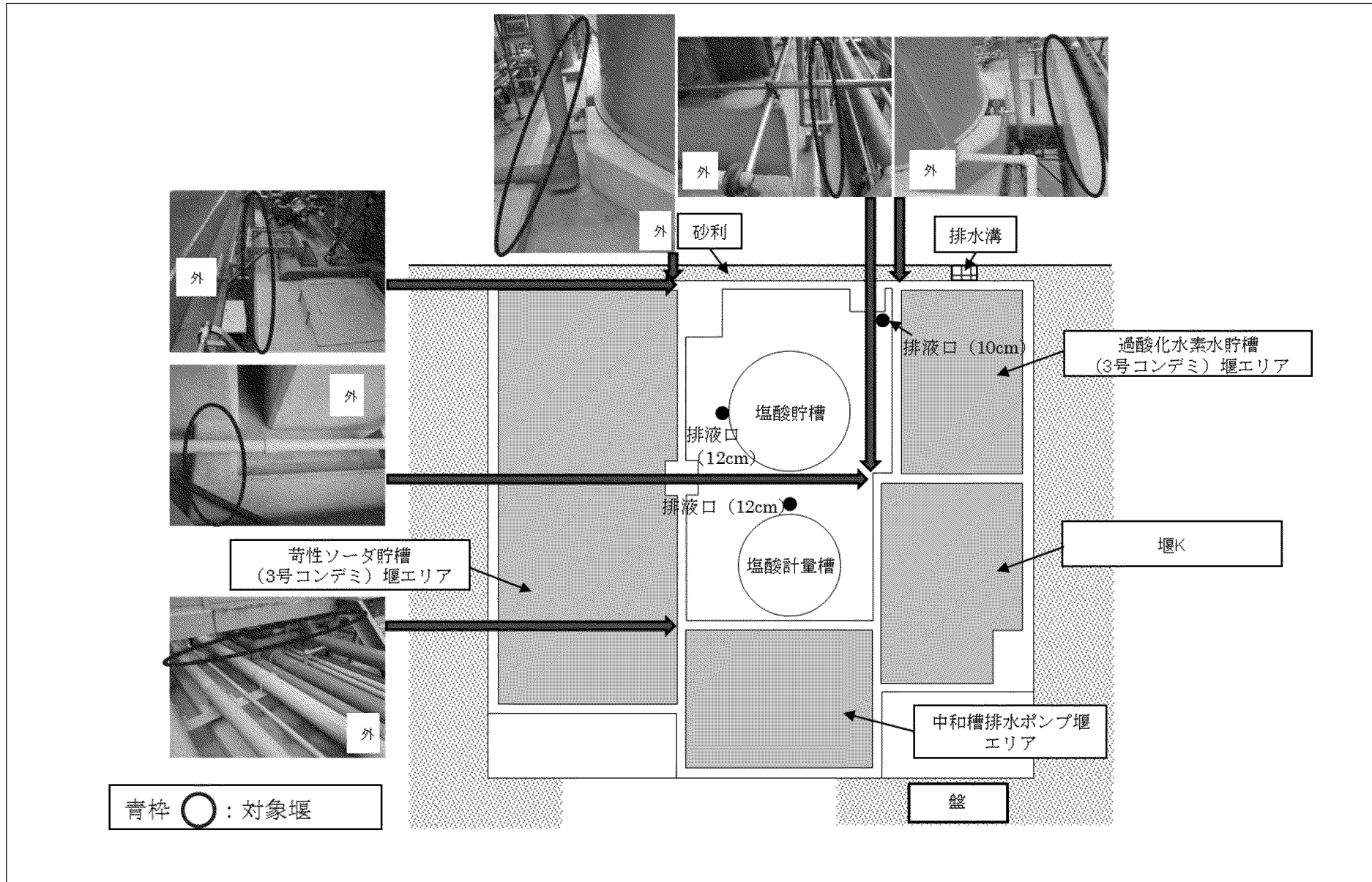


図6 堰J (3号復水脱塩装置) 防液堤の状況

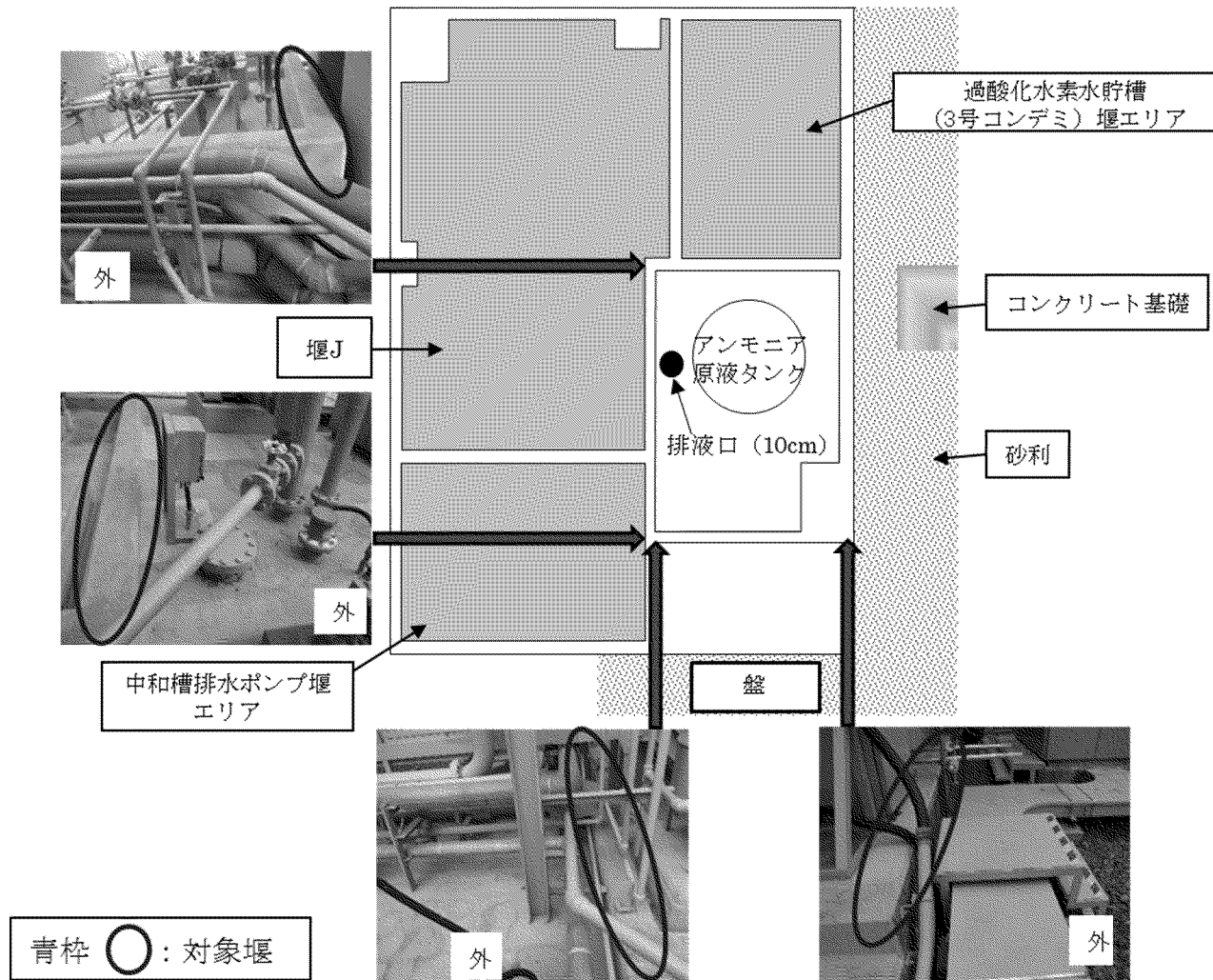


図7 堰K (3/4号薬液注入装置) 防液堤の状況

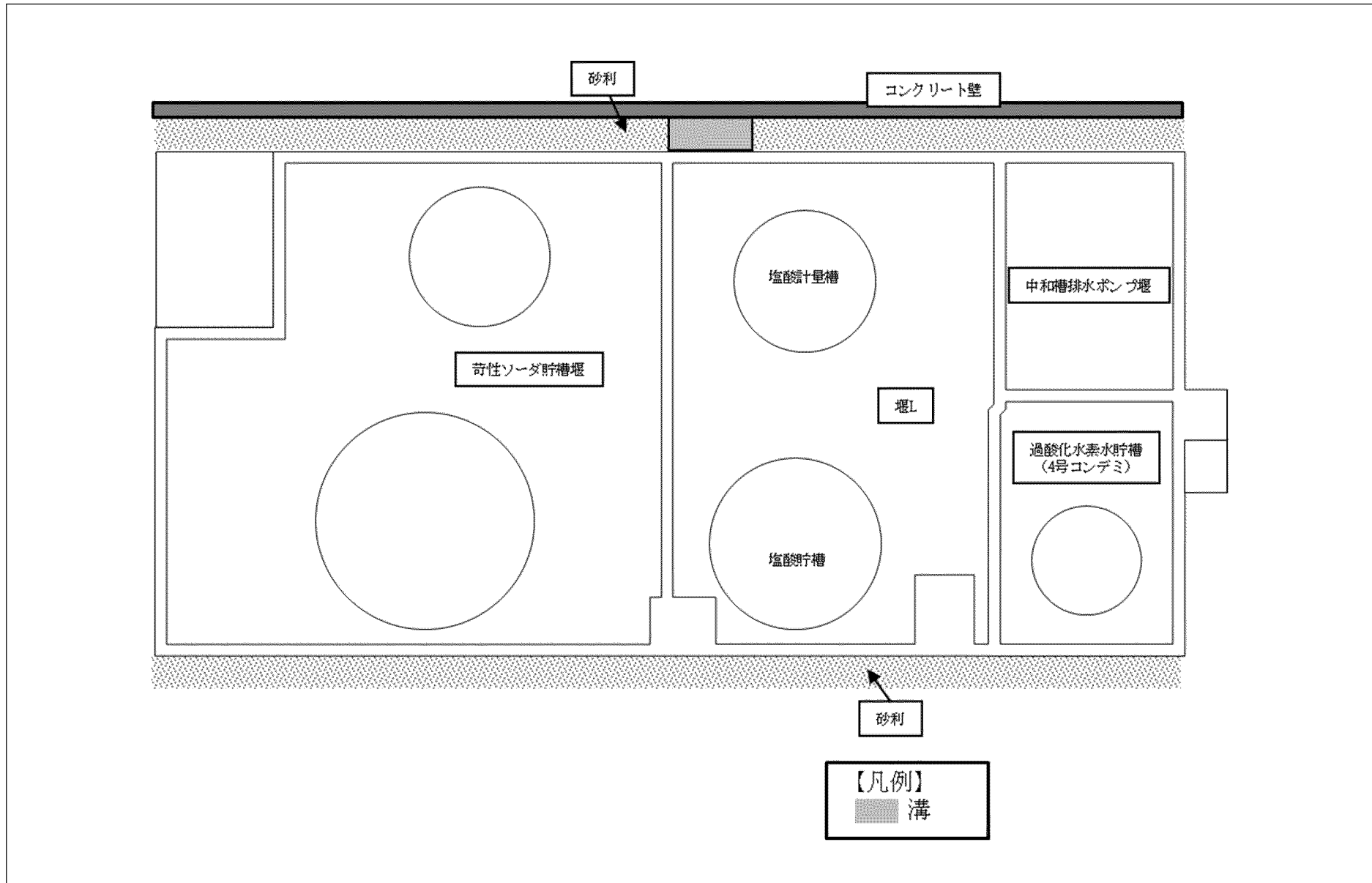


図8 全体図 (4号復水脱塩装置)

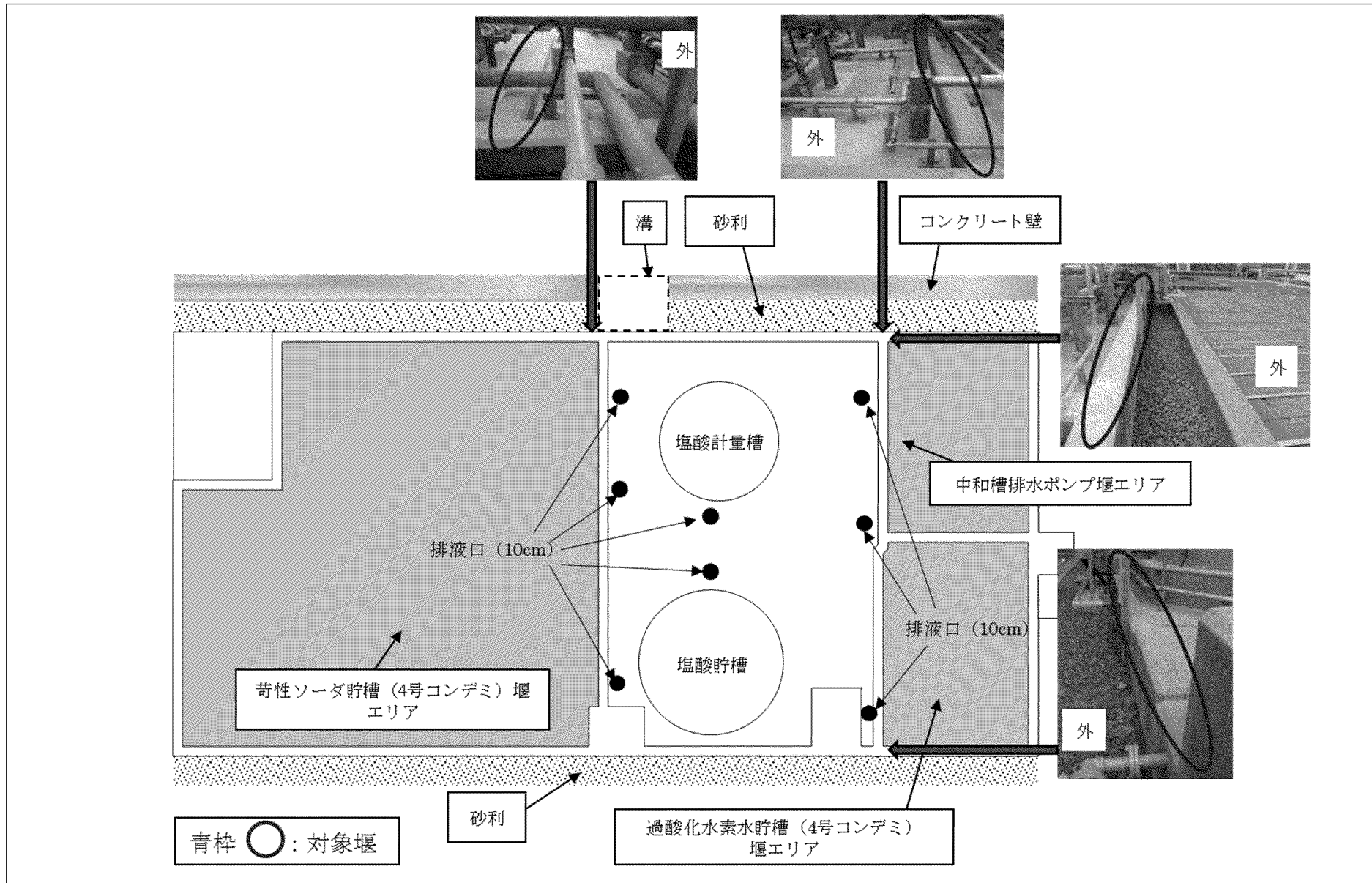


図9 堰L (4号復水脱塩装置) 防液堤の状況

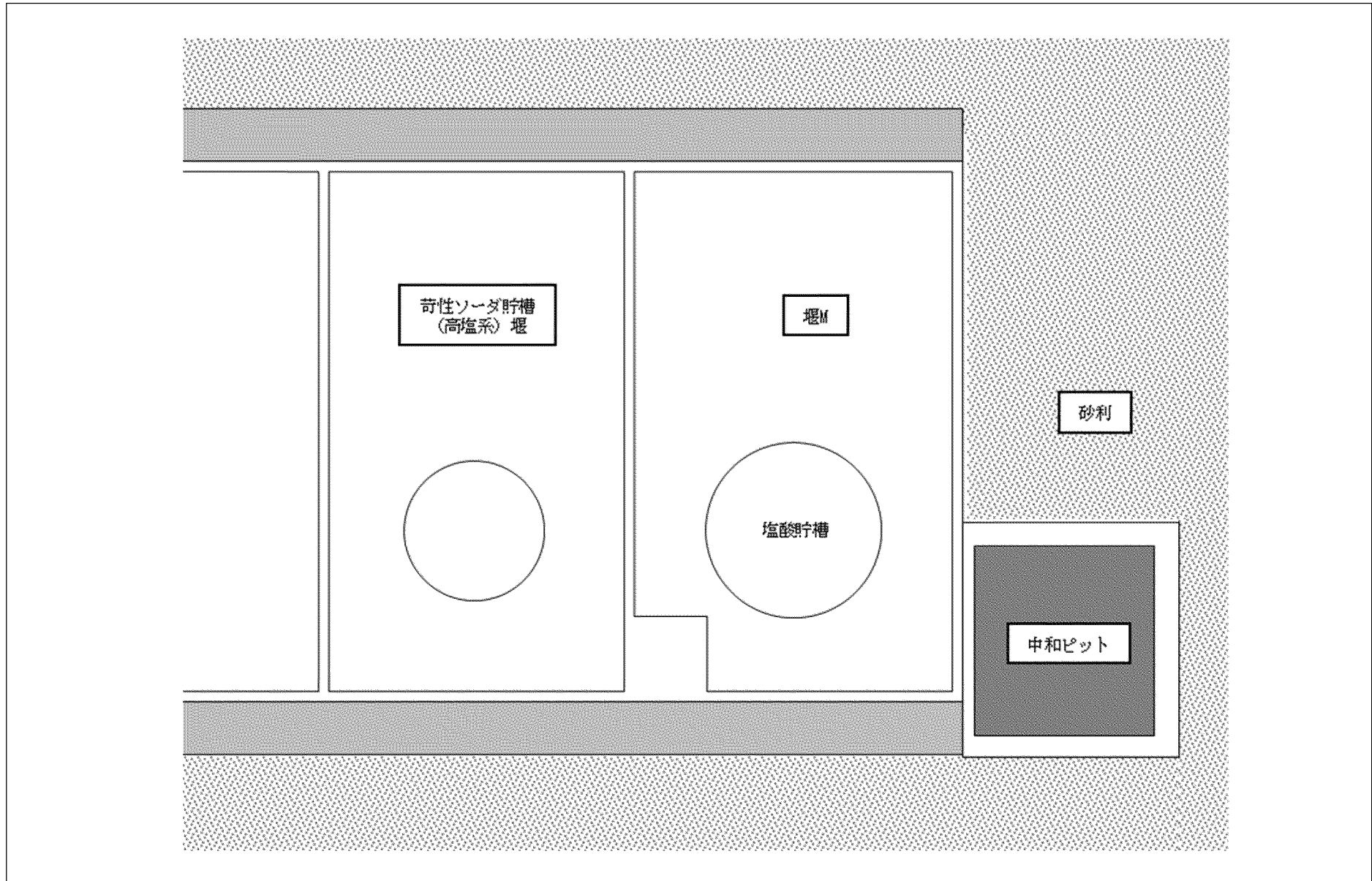


図 10 全体図 (高塩系排水回収装置)

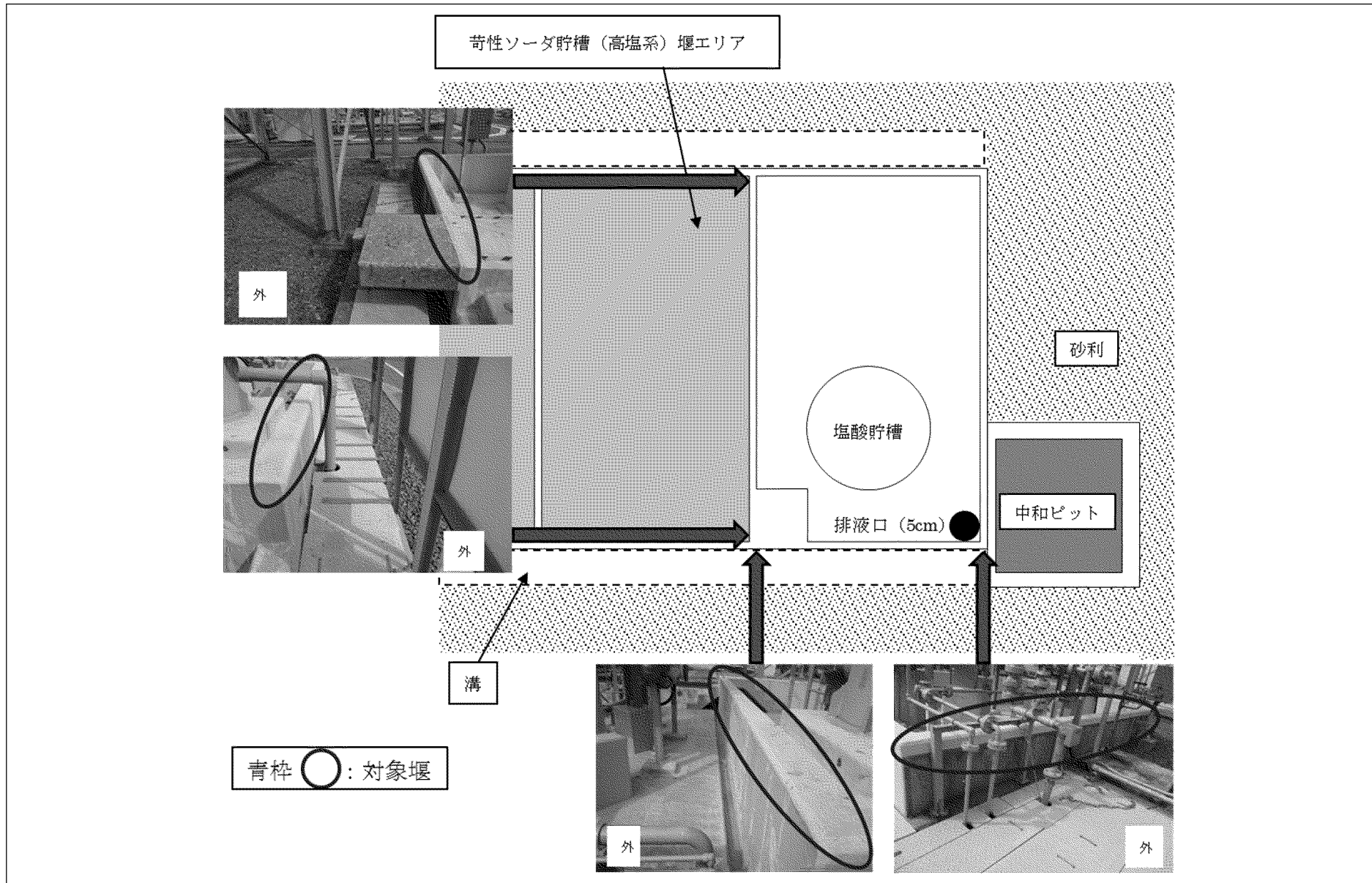


図 11 堰 M (高塩系排水回収装置) 防液堤の状況

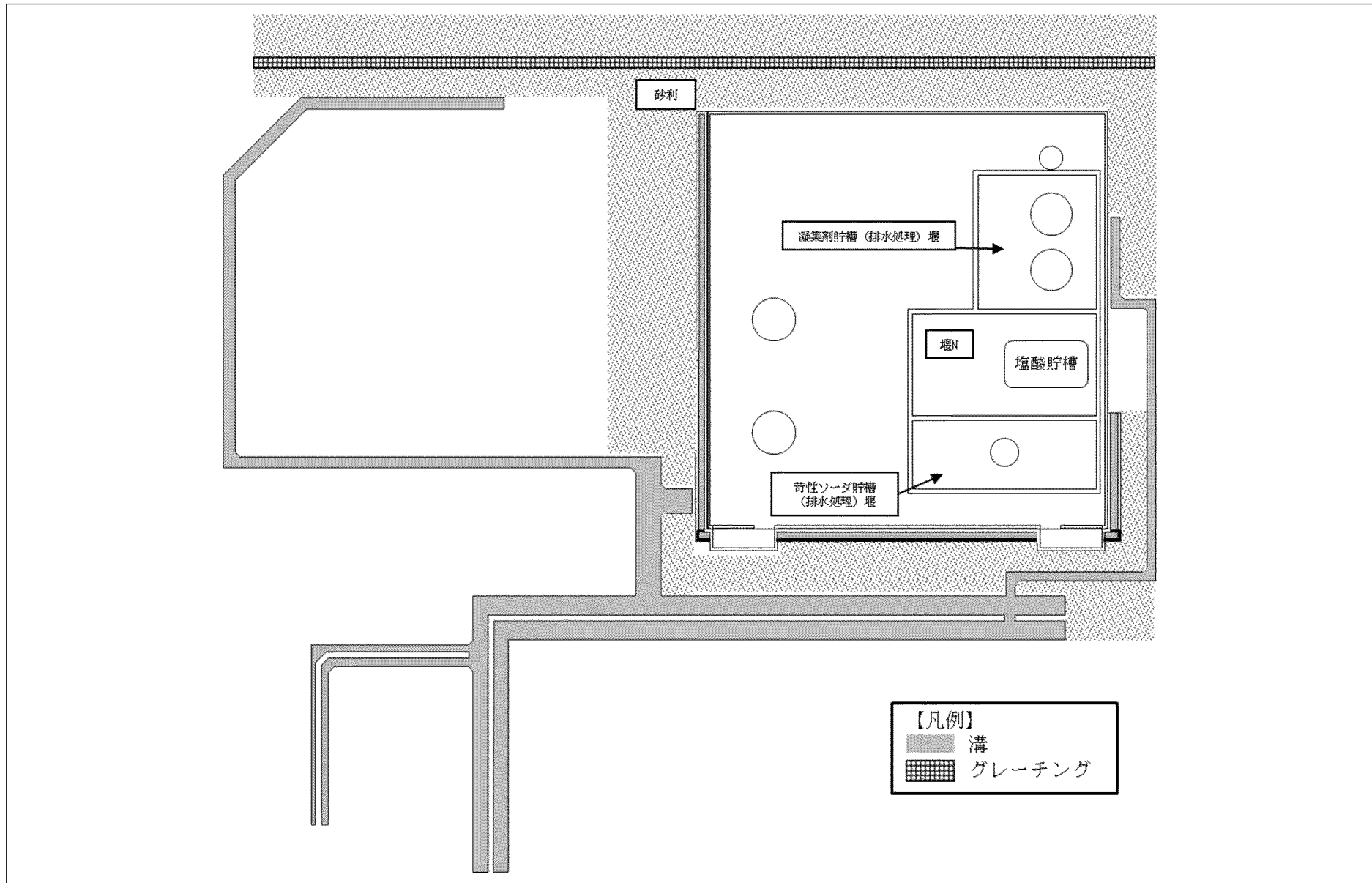


図 12 全体図 (3/4 号排水処理装置)

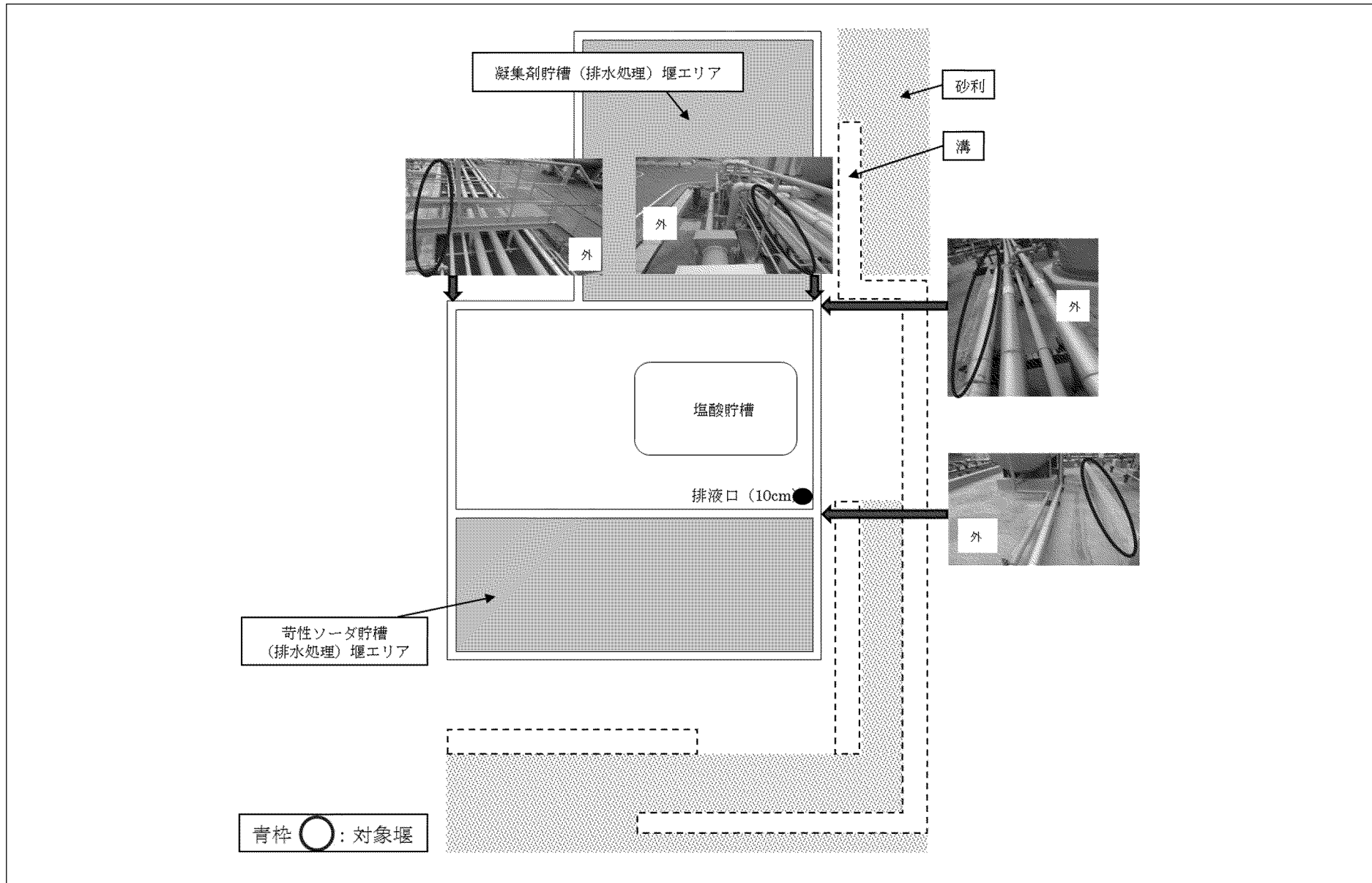


図 13 堰 N (3/4 号排水処理装置) 防液堤の状況

- ・ 覆い及び仕切り部は鋼鉄製で、建築基準法における建築物には該当せず、法令上の構造強度に係る要求はない。
- ・ 覆いは、堰の床面にボルト固定された支柱の上に鋼板を渡す構造とし、覆い部（鋼板）は脚部（支柱）と接する部分でボルト締めされて一体構造とする。
- ・ 覆い部は複数の鋼板からなり、漏えいした薬品が万一覆いの上に広がったとしても流下するよう、鋼板同士に僅かな隙間及び勾配を持たせる。
- ・ 仕切り部は角部で溶接又はシールにて接続して一体構造とする。
- ・ 仕切り部は防液堤にボルト締めにて固定して一体構造とする。
- ・ 防液堤及び中和槽等で有毒化学物質の貯蔵量を収容できる容量を有しており、覆い及び仕切り部については毒物及び劇物取締法上の管理は不要である。

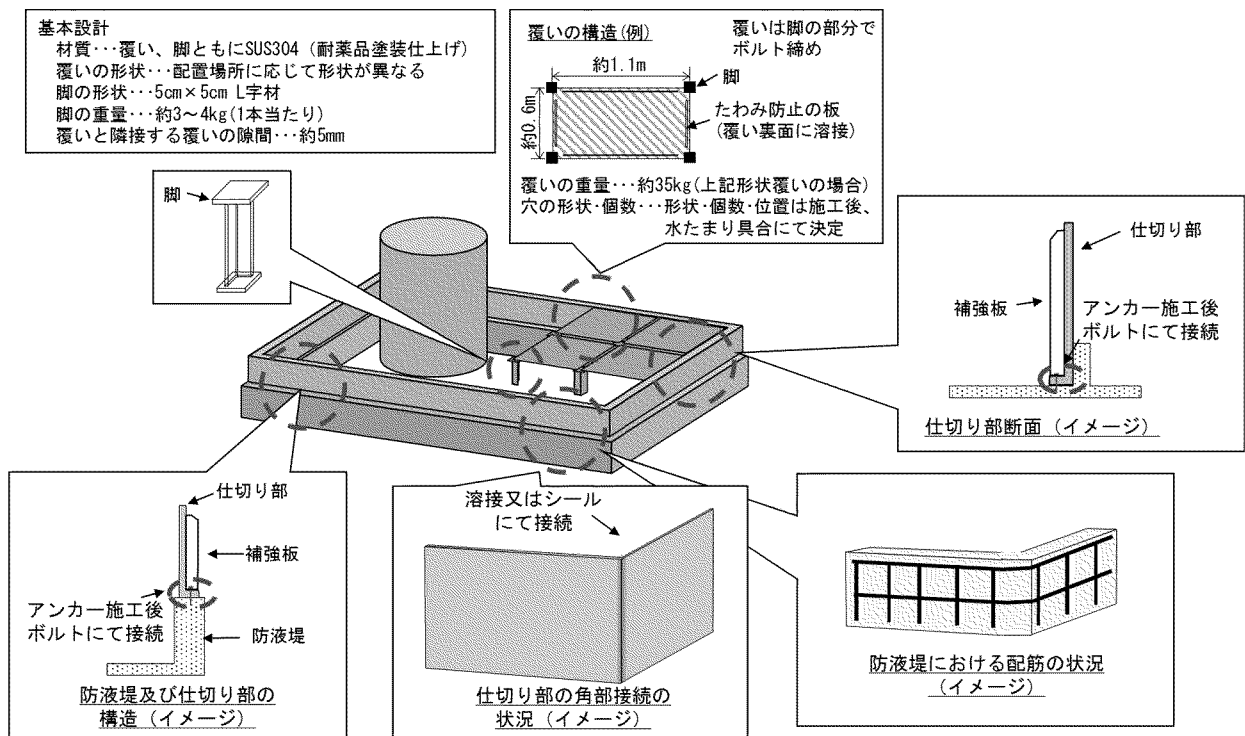
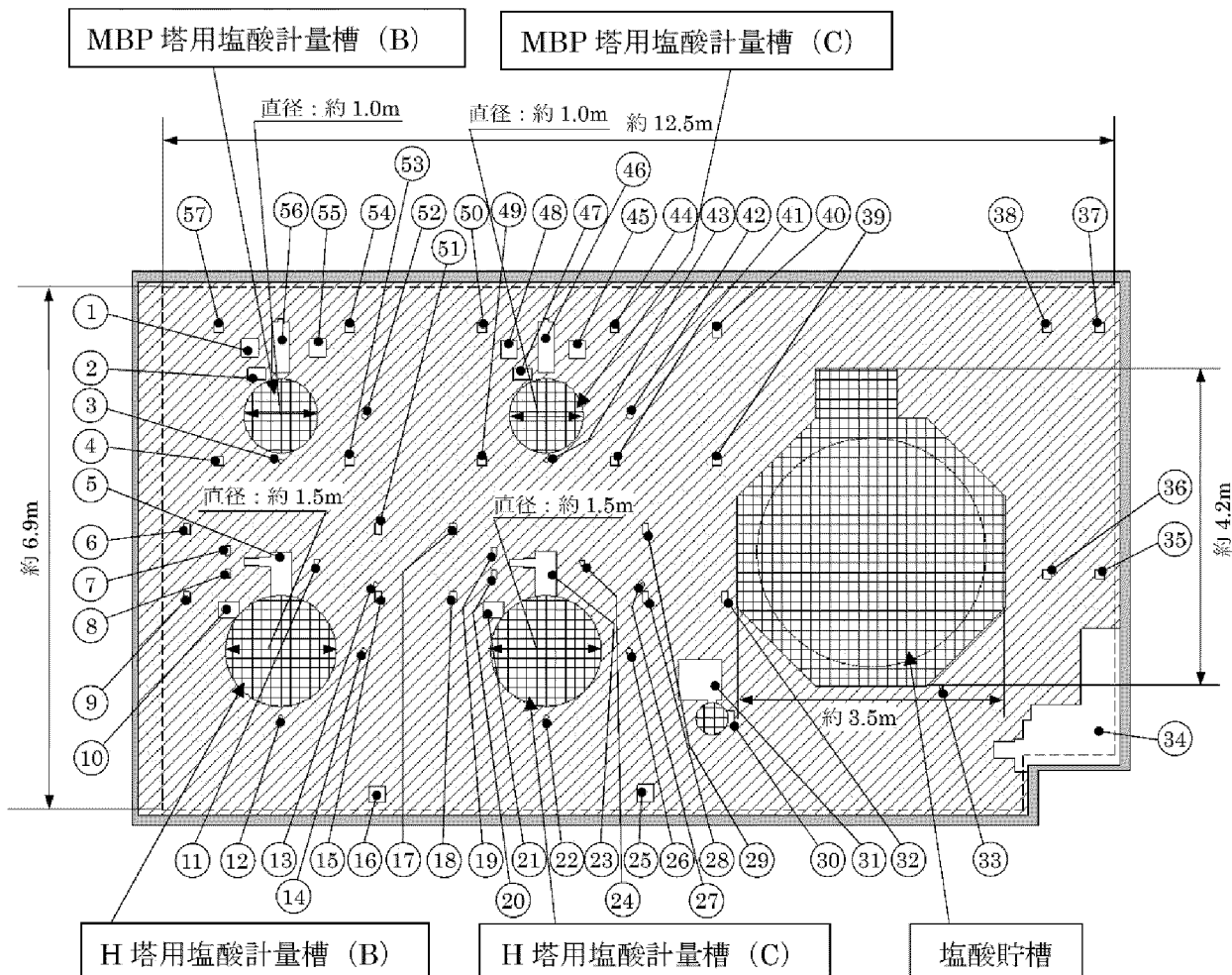


図 14 覆い及び仕切り部の構造イメージ図

実際の防液堤等開口部面積が評価面積 7.2m²を下回ることを示すため、開口部についてその面積の合計を確認した。現場の設置状況を踏まえた開口部面積の合計は約 5.31m²となり、評価面積 7.2m²を超えていない。



No.	開口部面積[m ²]	No.	開口部面積[m ²]	No.	開口部面積[m ²]	No.	開口部面積[m ²]	No.	開口部面積[m ²]	No.	開口部面積[m ²]
①	0.05	⑪	0.01未滿	⑲	0.06	⑳	0.32	㉑	0.01	㉒	0.01
②	0.04	⑫	0.01未滿	⑳	0.01未滿	㉑	0.01	㉒	0.01	㉓	0.01
③	0.01未滿	⑬	0.01未滿	㉑	0.21	㉒	0.01未滿	㉓	0.01未滿	㉔	0.01
④	0.01	⑭	0.01	㉒	0.01未滿	㉓	1.63	㉔	0.01	㉕	0.01
⑤	0.20	⑮	0.01	㉓	0.05	㉔	0.01	㉕	0.05	㉖	0.05
⑥	0.01	⑯	0.05	㉔	0.01	㉕	0.01	㉖	0.15	㉗	0.16
⑦	0.01	⑰	0.01	㉕	0.01未滿	㉖	0.01	㉗	0.04	㉘	0.01
⑧	0.01	⑱	0.01	㉖	0.01	㉗	0.01	㉘	0.05		
⑨	0.01	⑳	0.01	㉗	0.01	㉘	0.01	㉙	0.01		
⑩	0.06	㉑	0.01	㉘	0.02	㉙	0.02	㉚	0.01		

合計 3.58
(覆い同士の接合を考慮した面積: 5.31)

: 防液堤 (ただし、覆い・開口部と重なる部分は白抜き)
 : 開口部
 : 防液堤の内壁
 : 基礎・タンク等
 : 覆い (床面から高さ約0.6m)

図 15 堰 H (3/4 号補給水処理装置) 受動的に機能を発揮する設備 (開口部確認)

実際の防液堤等開口部面積が評価面積 2.0m^2 を下回ることを示すため、開口部についてその面積の合計を確認した。現場の設置状況を踏まえた開口部面積の合計は約 1.43m^2 となり、評価面積 2.0m^2 を超えていない。

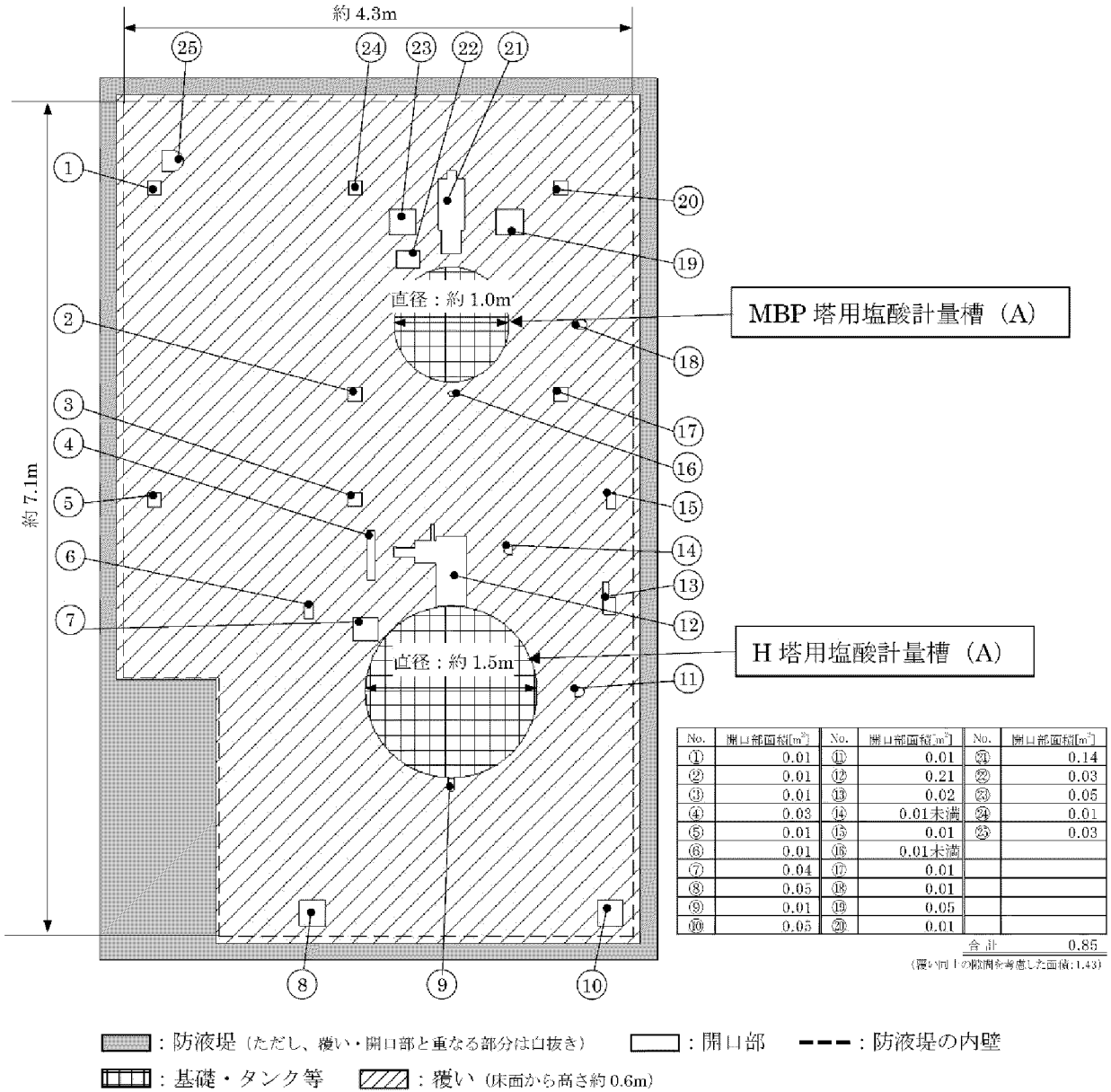


図 16 堰 I (3/4 号補給水処理装置) 受動的に機能を発揮する設備 (開口部確認)

実際の防液堤等開口部面積が評価面積 8.0m^2 を下回ることを示すため、開口部についてその面積の合計を確認した。現場の設置状況を踏まえた開口部面積の合計は約 6.26m^2 となり、評価面積 8.0m^2 を超えていない。

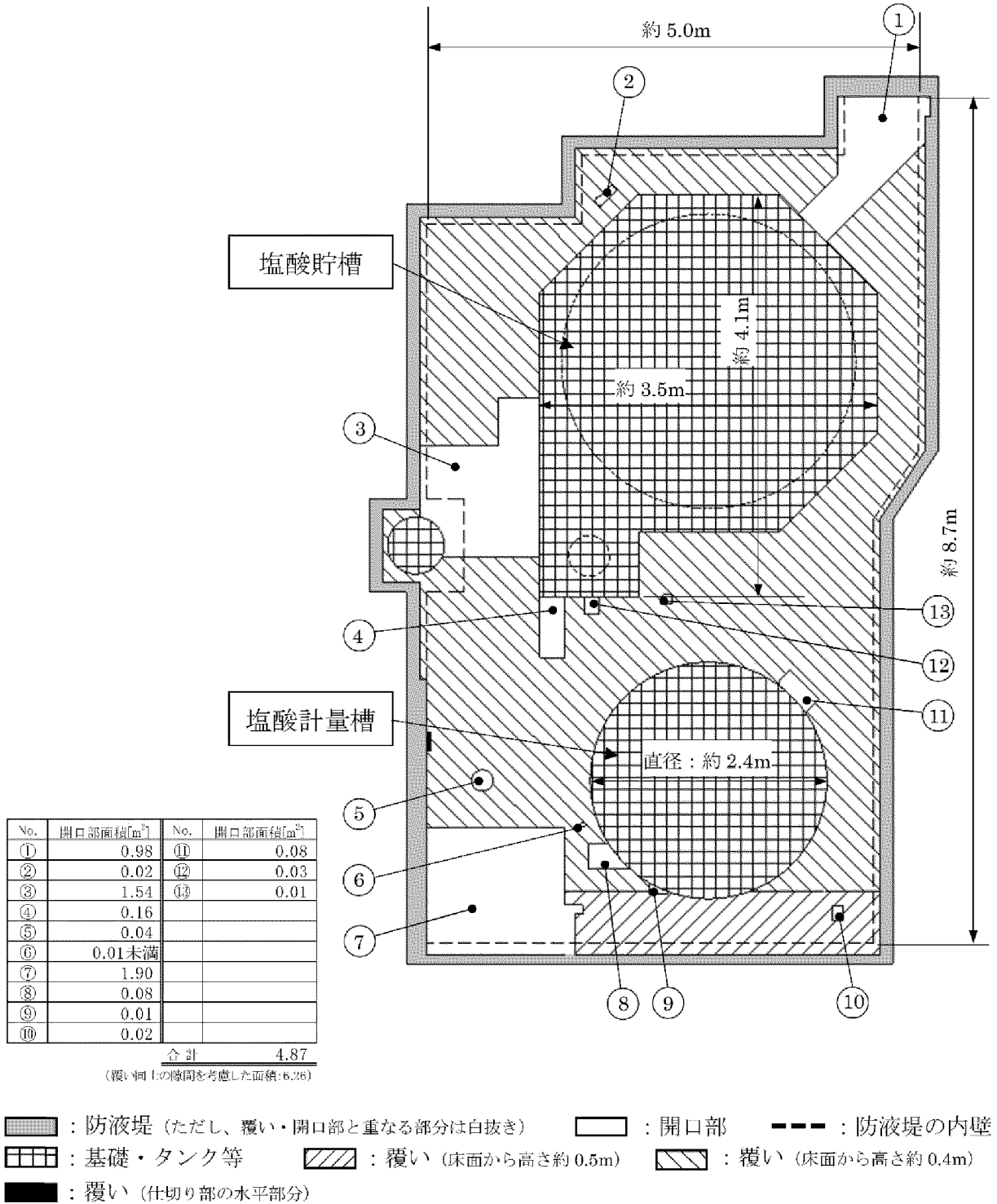


図 17 堰 J (3号復水脱塩装置) 受動的に機能を発揮する設備 (開口部確認)

実際の防液堤等開口部面積が評価面積 14.3m²を下回ることを示すため、開口部についてその面積の合計を確認した。現場の設置状況を踏まえた開口部面積の合計は約 14.24m²となり、評価面積 14.3m²を超えていない。

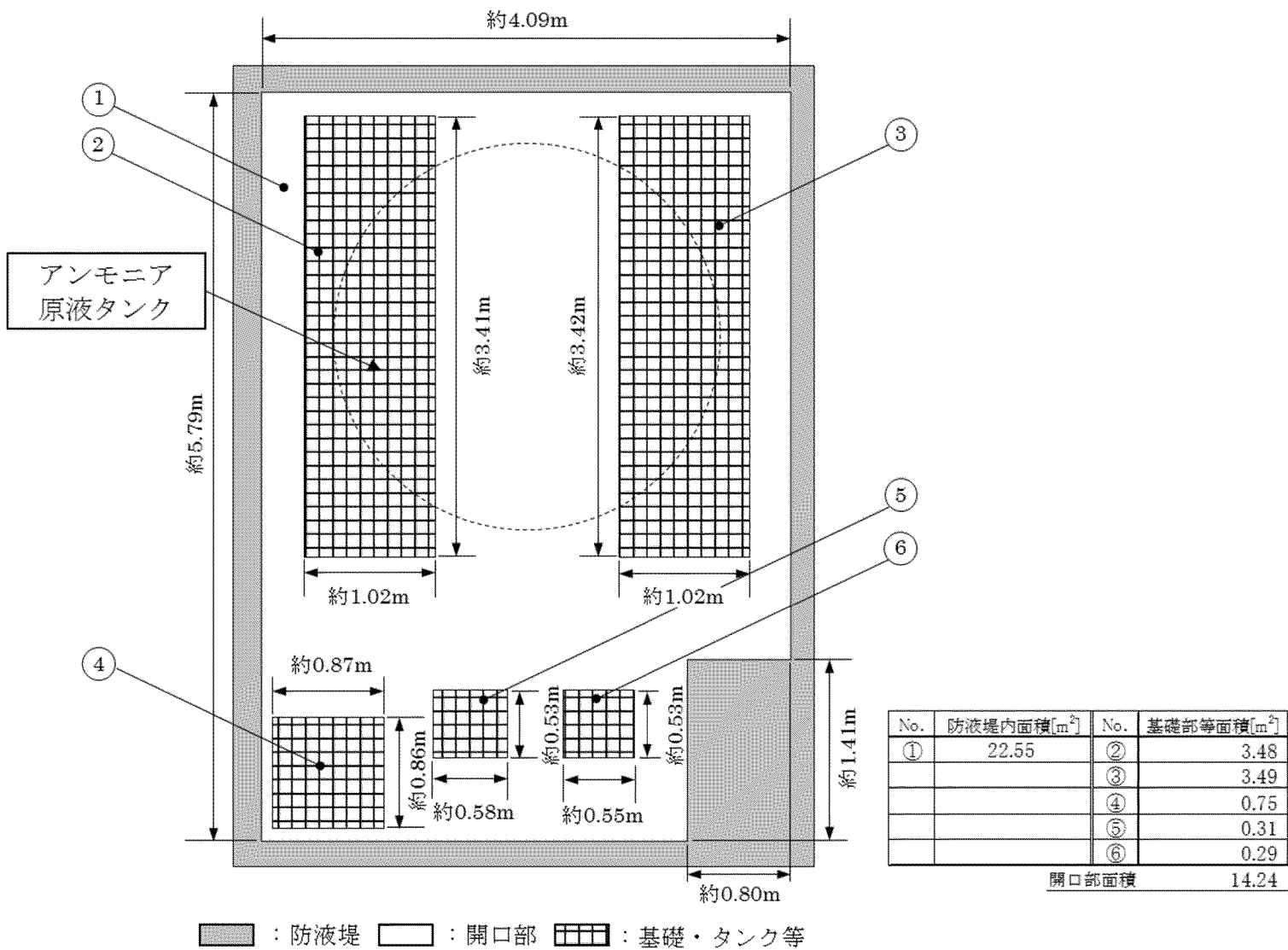
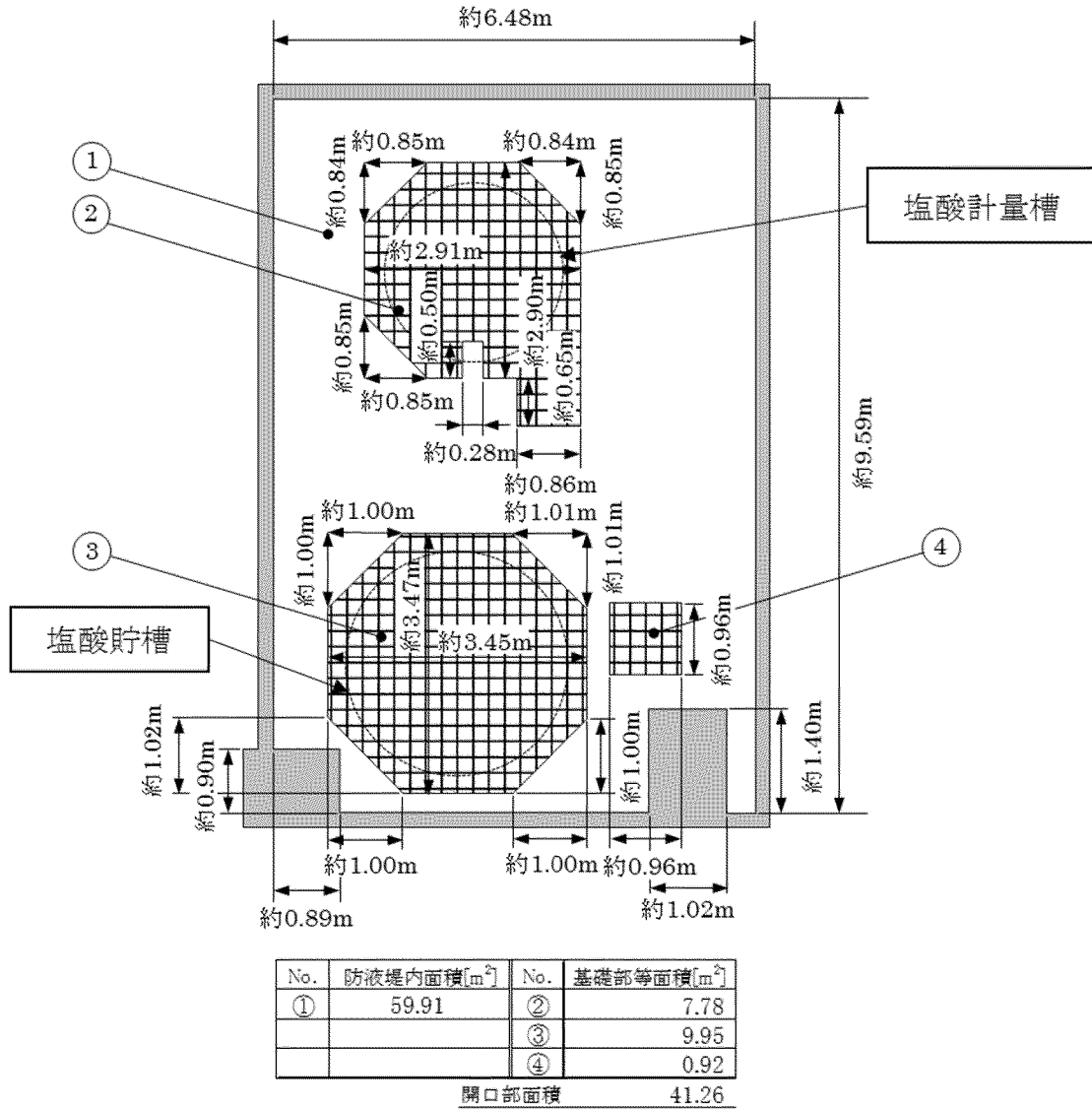


図 18 堰 K (3/4 号薬液注入装置) 受動的に機能を発揮する設備 (開口部確認)

実際の防液堤等開口部面積が評価面積 41.7m²を下回ることを示すため、開口部についてその面積の合計を確認した。現場の設置状況を踏まえた開口部面積の合計は約 41.26m²となり、評価面積 41.7m²を超えていない。



■：防液堤 □：開口部 ▤：基礎・タンク等

図 19 堰 L (4号復水脱塩装置) 受動的に機能を発揮する設備 (開口部確認)

実際の防液堤等開口部面積が評価面積 19.0m²を下回ることを示すため、開口部についてその面積の合計を確認した。現場の設置状況を踏まえた開口部面積の合計は約 18.34m²となり、評価面積 19.0m²を超えていない。

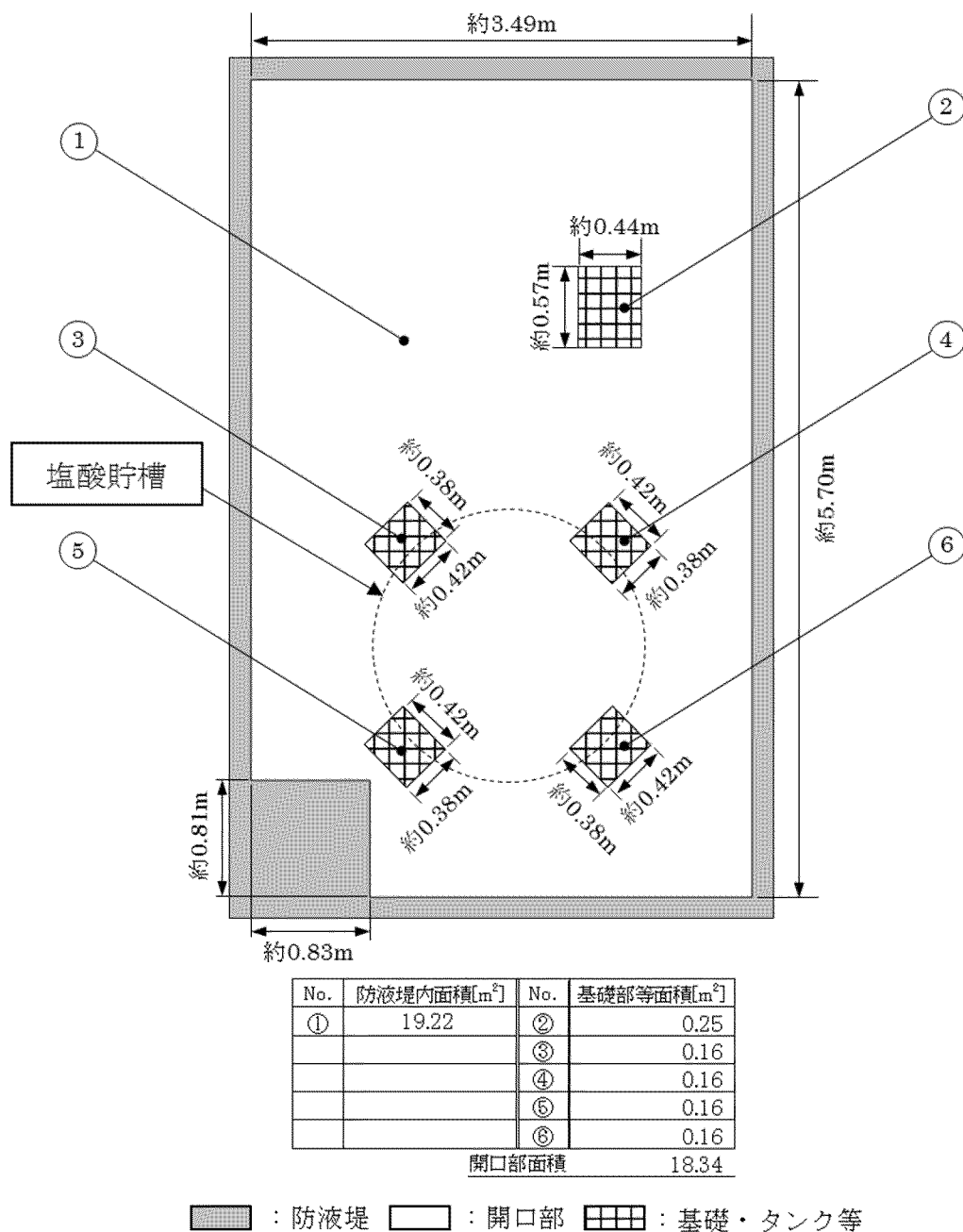


図 20 堰 M (高塩系排水回収装置) 受動的に機能を発揮する設備 (開口部確認)

実際の防液堤等開口部面積が評価面積 6.2m^2 を下回ることを示すため、開口部についてその面積の合計を確認した。現場の設置状況を踏まえた開口部面積の合計は約 4.92m^2 となり、評価面積 6.2m^2 を超えていない。

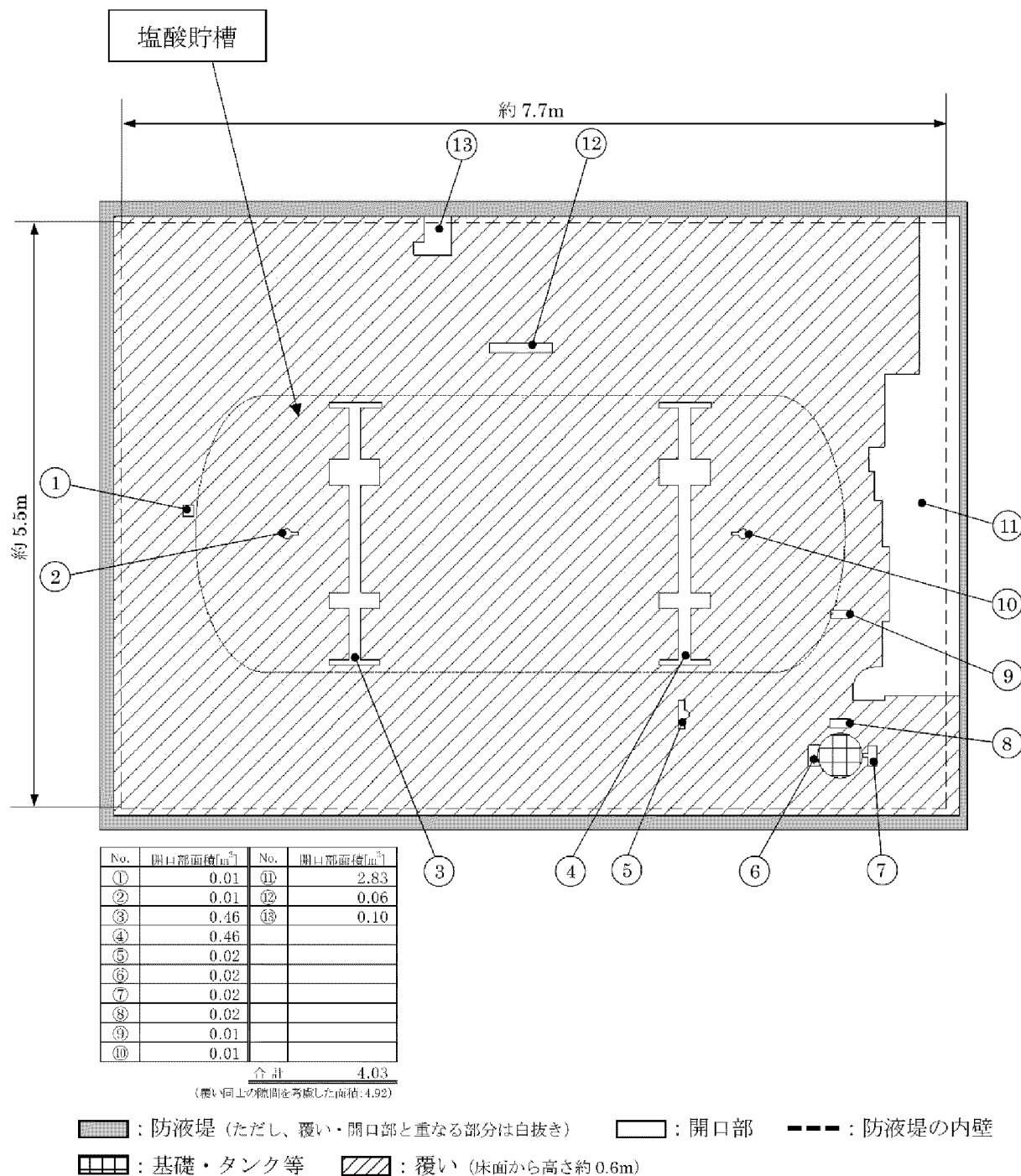


図 21 堰 N (3/4 号排水処理装置) 受動的に機能を発揮する設備 (開口部確認)

有毒ガス影響評価に使用する気象条件について

敷地において観測した 2011 年 1 月から 2011 年 12 月までの 1 年間の気象データにより評価を行うに当たり、この 1 年間の気象データが長期間の気象状態を代表しているかどうかの検討を行った結果、代表性があると判断した。以下に検定方法及び検定結果を示す。

(1) 検定方法

a. 検定に用いた観測記録

気象データの代表性を確認するに当たり、地上付近を代表する標高37mの観測記録を用いて検定を行った。

b. データ統計期間

統計年：2007年1月～2010年12月、2012年1月～2017年12月(10年間)

検定年：2011年1月～2011年12月(1年間)

c. 検定方法

風向別出現頻度（16 項目）、風速階級別出現頻度（11 項目）について、F 分布検定（有意水準 5%）を行い、棄却個数が 3 個以下の場合は、気象データに代表性があると判断する。

(2) 検定結果

表1に検定結果を示す。また、表2及び表3に棄却検定表を示す。

観測項目 27 項目のうち、棄却された項目は 1 個であることから、検定年が十分長期間の気象状態を代表していると判断する。

表1 異常年検定結果

観測項目	検定結果
風向別出現頻度	棄却項目なし
風速階級別出現頻度	1項目

表 2 玄海原子力発電所 風向 F 分布検定

検定年：玄海観測所 A(標高 37m、地上高 10m) 2011 年 1 月～2011 年 12 月

統計期間：玄海観測所 A(標高 37m、地上高 10m) 2007 年 1 月～2010 年 12 月、2012 年 1 月～2017 年 12 月

(%)

風向	統計年 2007年 1月 ～ 2007年 12月	2008年 1月 ～ 2008年 12月	2009年 1月 ～ 2009年 12月	2010年 1月 ～ 2010年 12月	2012年 1月 ～ 2012年 12月	2013年 1月 ～ 2013年 12月	2014年 1月 ～ 2014年 12月	2015年 1月 ～ 2015年 12月	2016年 1月 ～ 2016年 12月	2017年 1月 ～ 2017年 12月	平均値	分散	検定年		棄却限界(5%)		判定 ○採択 ×棄却
													2011年 1月 ～ 2011年12月	上限	下限		
N	3.77	3.60	3.52	4.91	4.28	3.32	3.67	3.14	2.91	2.35	3.55	0.45	4.78	5.23	1.87	○	
NNE	3.00	3.16	4.90	4.50	2.69	2.44	3.09	3.63	3.45	2.37	3.32	0.63	4.07	5.29	1.35	○	
NE	10.99	12.23	15.06	11.68	13.30	10.44	14.17	15.51	14.81	9.25	12.74	4.16	9.84	17.84	7.64	○	
ENE	6.26	6.41	5.40	4.69	11.39	7.98	10.08	9.84	11.25	10.65	8.40	5.85	6.61	14.45	2.35	○	
E	8.93	8.70	7.11	8.20	7.07	6.41	6.96	8.26	6.49	5.63	7.38	1.07	7.73	9.97	4.79	○	
ESE	5.56	6.38	5.76	6.56	6.16	4.89	5.95	6.30	5.87	5.51	5.89	0.22	5.79	7.06	4.72	○	
SE	7.52	7.56	5.58	7.53	4.90	5.27	4.31	4.25	4.34	4.26	5.55	1.87	5.22	8.97	2.13	○	
SSE	4.45	5.39	5.66	6.32	4.48	4.44	5.70	5.26	5.31	5.57	5.26	0.35	5.10	6.74	3.78	○	
S	3.18	2.58	5.59	4.61	3.66	3.44	4.72	5.36	5.07	5.02	4.32	0.95	4.43	6.76	1.88	○	
SSW	1.49	1.13	3.63	2.51	2.66	2.99	3.88	3.43	2.49	2.73	2.69	0.69	2.84	4.76	0.62	○	
SW	8.69	6.02	6.75	7.32	5.98	10.67	4.41	2.60	2.81	3.61	5.89	6.12	7.16	12.07	-0.29	○	
WSW	6.52	4.58	3.21	3.11	3.58	5.02	4.46	3.83	4.86	5.74	4.49	1.09	3.59	7.10	1.88	○	
W	11.40	10.03	7.77	9.97	8.65	11.29	9.39	10.55	11.52	12.29	10.29	1.78	8.72	13.63	6.95	○	
WNW	9.83	9.58	9.83	10.10	9.06	9.98	7.09	8.76	7.87	9.82	9.19	0.92	11.41	11.58	6.80	○	
NW	3.50	4.52	4.16	3.86	6.09	4.43	4.10	4.16	3.92	5.07	4.38	0.49	5.73	6.12	2.64	○	
NNW	1.18	0.97	1.06	1.27	1.92	1.54	1.83	2.00	2.64	2.45	1.69	0.30	1.54	3.06	0.32	○	
静穏	3.74	7.15	5.02	2.84	4.12	5.42	6.20	3.13	4.39	7.69	4.97	2.44	5.45	8.87	1.07	○	

表3 玄海原子力発電所 風速F分布検定

検定年：玄海観測所A(標高37m、地上高10m) 2011年1月～2011年12月

統計期間：玄海観測所A(標高37m、地上高10m) 2007年1月～2010年12月、2012年1月～2017年12月

(%)

風速分布(m/s)	統計年											平均値	分散	検定年		棄却限界(5%)		判定 ○採択 ×棄却
	2007年 1月 ～ 2007年 12月	2008年 1月 ～ 2008年 12月	2009年 1月 ～ 2009年 12月	2010年 1月 ～ 2010年 12月	2012年 1月 ～ 2012年 12月	2013年 1月 ～ 2013年 12月	2014年 1月 ～ 2014年 12月	2015年 1月 ～ 2015年 12月	2016年 1月 ～ 2016年 12月	2017年 1月 ～ 2017年 12月	2011年 1月 ～ 2011年12月			上限	下限			
0.0～0.4	3.74	7.15	5.02	2.84	4.12	5.42	6.20	3.13	4.39	7.69	4.97	2.44	5.45	8.87	1.07	○		
0.5～1.4	30.68	33.43	33.26	31.41	30.96	31.91	31.10	31.18	30.23	29.73	31.39	1.28	33.03	34.22	28.56	○		
1.5～2.4	31.48	29.39	33.15	30.90	26.21	23.66	25.60	25.12	26.05	24.32	27.59	10.07	26.16	35.52	19.66	○		
2.5～3.4	15.84	14.08	12.64	15.08	16.67	14.77	14.45	15.97	14.66	13.17	14.73	1.40	14.65	17.68	11.78	○		
3.5～4.4	7.07	5.73	5.80	7.62	8.46	8.68	8.43	9.50	8.23	8.82	7.83	1.46	7.74	10.84	4.82	○		
4.5～5.4	3.59	3.72	3.69	3.77	4.37	5.19	4.70	5.14	5.42	5.27	4.49	0.50	4.46	6.25	2.73	○		
5.5～6.4	2.32	2.58	2.05	2.65	2.76	2.96	2.86	2.59	3.25	3.14	2.72	0.12	2.90	3.58	1.86	○		
6.5～7.4	1.76	1.82	1.79	1.80	1.71	2.22	1.87	1.59	1.87	2.04	1.85	0.03	2.34	2.26	1.44	×		
7.5～8.4	1.27	1.13	1.02	1.22	1.45	1.98	1.31	1.47	1.10	1.36	1.33	0.67	1.38	1.97	0.69	○		
8.5～9.4	0.94	0.55	0.76	0.91	1.21	1.14	1.14	1.29	1.13	1.21	1.03	0.05	0.97	1.58	0.48	○		
9.5～	1.32	0.42	0.80	1.79	2.06	2.06	2.35	3.02	3.68	3.24	2.07	0.99	0.93	4.56	-0.42	○		

原子炉施設周辺の建屋影響による拡散の影響について

有毒ガス評価における大気拡散については、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）（平成 21・07・27 原院第 1 号（平成 21 年 8 月 12 日原子力安全・保安院制定）」（以下「被ばく評価手法（内規）」という。）に準じて評価をしている。この内規は、LOCA 時の排気筒や SGTR 時の大気放出弁という中央制御室から比較的近距离からの放射性物質の放出を想定した場合での中央制御室の居住性を評価するための評価手法等を定めたものであり、評価の前提となる評価点と放出点の位置関係など有毒ガスの大気拡散の評価においても相違ないため、適用できる。

1. 原子炉施設周辺の建屋影響による拡散

放出点から比較的近距离の場所では、建屋の風下側における風の巻き込みによる影響が顕著となると考えられ、放出点と巻き込みを生じる建屋及び評価点との位置関係によっては、建屋の影響を考慮して大気拡散の計算をする必要がある。

緊急時対策所（緊急時対策棟内）の有毒ガス評価においては、放出点と巻き込みを生じる建屋及び評価点との位置関係について、以下に示す条件すべてに該当した場合、放出点から放出された有毒ガスは建屋の風下側で巻き込みの影響を受け拡散し、評価点に到達するものとする。放出点から評価点までの距離は、保守的な評価となるように水平距離を用いる。

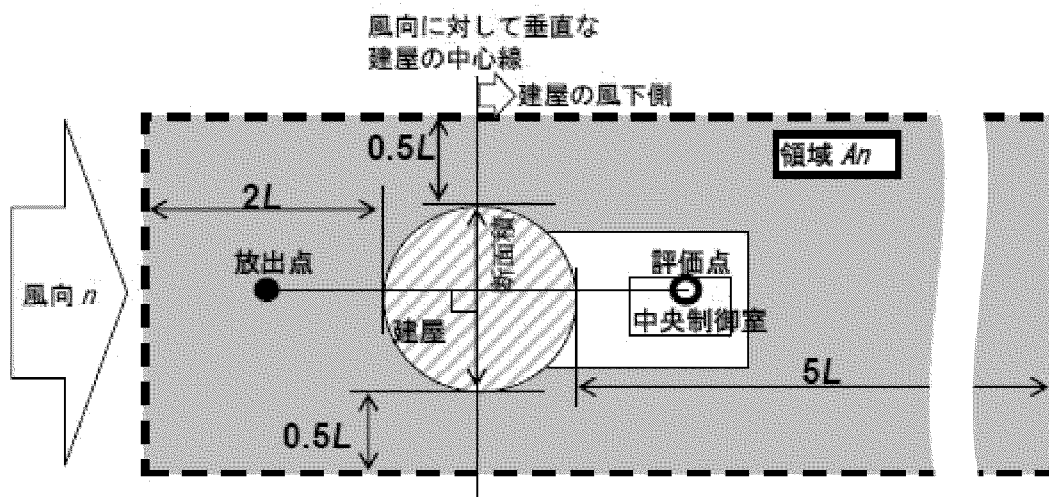
- 1) 放出点の高さが建屋の高さの 2.5 倍に満たない場合
- 2) 放出点と評価点を結んだ直線と平行で放出点を風上とした風向 n について、放出点の位置が風向 n と建屋の投影形状に応じて定まる一定の範囲(図 1 の領域 An) 中にある場合
- 3) 評価点が、巻き込みを生じる建屋の風下側にある場合

上記の三つの条件のうちの一つでも該当しない場合には、建屋の影響はないものとして大気拡散評価を行うものとする。

建屋の影響の有無の判断手順を図 2 に示す。

また、建屋巻き込みを生じる建屋として、放出点の近隣に存在するすべての建屋が対象となるが、巻き込みの影響が最も大きいと考えられる一つの建屋を代表として選定する。

評価点を緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口とした場合、各放出点において建屋影響の有無、建屋巻き込みを考慮する代表建屋の選定の考え方について示す。



注:L 建屋又は建屋群の風向に垂直な面での高さ又は幅の小さい方

図1 建屋影響を考慮する条件（水平断面での位置関係）
（被ばく評価手法（内規）図5.1）

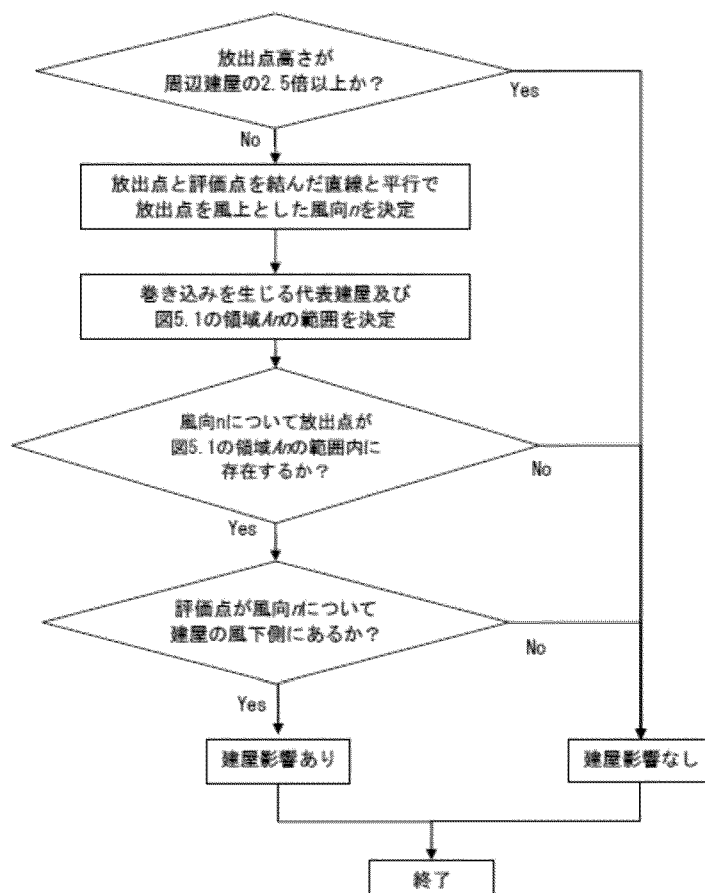


図2 建屋影響の有無の判断手順
（被ばく評価手法（内規）図5.2）

① 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口－放出点：塩酸貯槽（3u 復水脱塩装置）

塩酸貯槽の近傍には3/4号タービン建屋及び3号原子炉建屋が位置している。巻き込みの影響が最も大きいと考えられる一つの建屋として、放出点の近傍にあり建屋投影面積の大きい「3/4号タービン建屋」とした場合、図3-1のとおり、図1に示す建屋影響を考慮する条件に合致するため、3/4号タービン建屋を代表建屋として選定する。



図3-1 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口－放出点：塩酸貯槽（3u 復水脱塩装置）での建屋影響範囲

② 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口ー放出点：アンモニア原液タンク（3, 4u 薬液注入装置）

アンモニア原液タンクの近傍には3/4号タービン建屋及び3号原子炉建屋が位置している。巻き込みの影響が最も大きいと考えられる一つの建屋として、放出点の近傍にあり建屋投影面積の大きい「3/4号タービン建屋」とした場合、図3-2のとおり、図1に示す建屋影響を考慮する条件に合致するため、3/4号タービン建屋を代表建屋として選定する。



図3-2 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口ー放出点：アンモニア原液タンク（3, 4u 薬液注入装置）での建屋影響範囲

③ 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口－放出点：塩酸貯槽（4u 復水脱塩装置）

塩酸貯槽の近傍には、3/4号タービン建屋及び4号原子炉建屋が位置している。3/4号タービン建屋は、図3-3のとおり、図1に示す建屋影響を考慮する条件に合致するため、3/4号タービン建屋を代表建屋として選定する。



図3-3 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口－放出点：塩酸貯槽（4u 復水脱塩装置）での建屋影響範囲

敷地内固定源のMBP塔用塩酸計量槽（A）（3/4号機補給水処理装置）、塩酸貯槽（3/4号機補給水処理装置）、塩酸貯槽（高塩系排水回収装置）、塩酸貯槽（3/4号機排水処理装置）は、図1に示す建屋影響を考慮する条件に合致しないため、建屋影響を考慮しない。

各評価点で考慮した代表建屋を表1に示す。

表1 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口における建屋影響を考慮する代表建屋

固定源		巻き込みを生じる代表建屋	
敷地内	3/4号機補給水処理装置	MBP塔用塩酸計量槽（A）	建屋考慮せず
		塩酸貯槽	建屋考慮せず
	3号機復水脱塩装置	塩酸貯槽	3/4号タービン建屋
	3/4号機薬液注入装置	アンモニア原液タンク	3/4号タービン建屋
	4号機復水脱塩装置	塩酸貯槽	3/4号タービン建屋
	高塩系排水回収装置	塩酸貯槽	建屋考慮せず
	3/4号機排水処理装置	塩酸貯槽	建屋考慮せず

2. 建屋巻き込みを考慮する場合の着目方位

緊急時対策所（緊急時対策棟内）の有毒ガス評価の計算では、代表建屋の風下後流側での広範囲に及ぶ乱流混合域が顕著であることから、有毒ガス濃度を計算する当該着目方位としては、放出点と評価点とを結ぶラインが含まれる1方位のみを対象とするのではなく、代表建屋の後流側の拡がりの影響が評価点に及ぶ可能性のある複数の方位を対象とする。

評価対象とする方位は、放出された有毒ガスが建屋の影響を受けて拡散すること、及び建屋の影響を受けて拡散された有毒ガスが評価点に届くことの両方に該当する方位とする。

具体的には、全16方位について以下の三つの条件に該当する方位を選定し、すべての条件に該当する方位を評価対象とする。

- i) 放出点が評価点の風上にあること。
- ii) 放出点から放出された有毒ガスが、建屋の風下側に巻き込まれるような範囲に、放出点が存在すること。
- iii) 建屋の風下側で巻き込まれた大気が評価点に到達すること。

建屋の影響がある場合の評価対象方位選定手順を、図4に示す。

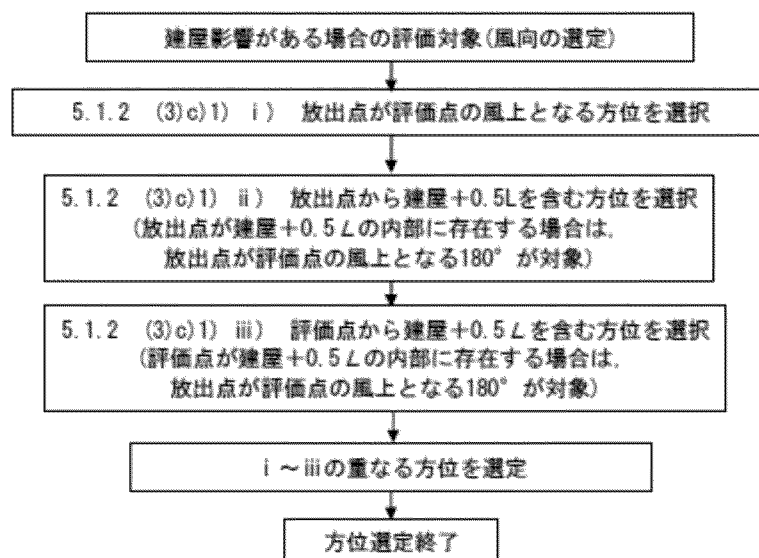


図4 建屋の影響がある場合の評価対象方位の選定手順
(被ばく評価手法(内規)図5.7)

評価点を緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口とした場合の、各放出点における評価対象方位の選定の考え方を示す。

① 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口－放出点：塩酸貯槽（3u 復水脱塩装置）

i) 放出点が評価点の風上にあること

評価点が緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口、放出点が塩酸貯槽（3u 復水脱塩装置）の場合、放出点が評価点の風上となる方位は、図 5-1 のとおり、9 方位（SW、WSW、W、WNW、NW、NNW、N、NNE、NE）が対象となる。



図 5-1 風上方位*の選定

（放出点：塩酸貯槽（3u復水脱塩装置）、評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口）

ii) 放出点から放出された有毒ガスが、建屋の風下側に巻き込まれるような範囲に、放出点が存在すること。

図 5-2 のとおり、放出点から見て巻き込みを生じる代表建屋+0.5L の範囲を含む方位は 9 方位 (SSW、SW、WSW、W、WNW、NW、NNW、N、NNE) となる。



図 5-2 放出点から建屋+0.5L を含む方位^{*}の選定
(放出点：塩酸貯槽 (3u復水脱塩装置)、評価点：緊急時対策所 (緊急時対策棟内) の換気設備の外気取入口)

iii) 建屋の風下側で巻き込まれた大気が評価点に到達すること。

図 5-3 のとおり、評価点から見て巻き込みを生じる代表建屋+0.5L の範囲を含む方位は 2 方位 (NW、NNW) となる。



図5-3 評価対象方位（風向）※の選定
（評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口）

i) ～ iii) の重なる方位を選定

i) ～ iii) の重なる方位は 2 方位であり、これを着目方位の見込み方位 (SE、SSE) とする。

② 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口ー放出点：アンモニア原液タンク（3, 4u 薬液注入装置）

i) 放出点が評価点の風上にあること

評価点が緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口、放出点がアンモニア原液タンク（3, 4u 薬液注入装置）の場合、放出点が評価点の風上となる方位は、図 5-4 のとおり、9 方位（SW、WSW、W、WNW、NW、NNW、N、NNE、NE）が対象となる。



図 5-4 風上方位*の選定

（放出点：アンモニア原液タンク（3, 4u薬液注入装置）、評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口）

ii) 放出点から放出された有毒ガスが、建屋の風下側に巻き込まれるような範囲に、放出点が存在すること。

図 5-5 のとおり、放出点から見て巻き込みを生じる代表建屋+0.5L の範囲を含む方位は 8 方位 (SW、WSW、W、WNW、NW、NNW、N、NNE) となる。

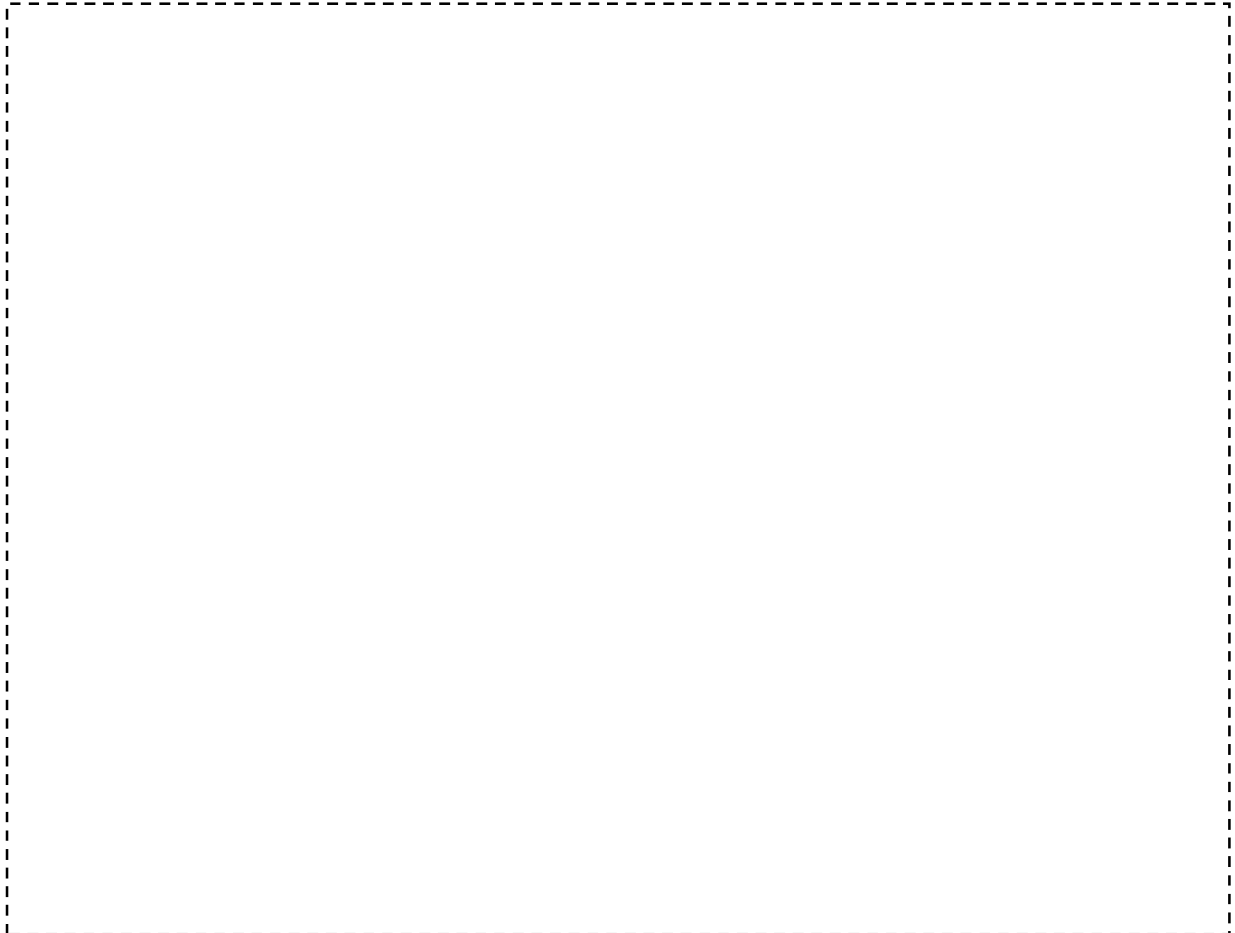


図 5-5 放出点から建屋+0.5L を含む方位*の選定

(放出点：アンモニア原液タンク (3, 4u薬液注入装置)、評価点：緊急時対策所 (緊急時対策棟内) の換気設備の外気取入口)

iii) 建屋の風下側で巻き込まれた大気が評価点に到達すること。

図 5-3 のとおり、評価点から見て巻き込みを生じる代表建屋+0.5L の範囲を含む方位は 2 方位 (NW、NNW) となる。

i) ~ iii) の重なる方位を選定

i) ~ iii) の重なる方位は 2 方位であり、これを着目方位の見込み方位 (SE、SSE) とする。

③ 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口－放出点：塩酸貯槽（4u 復水脱塩装置）

i) 放出点が評価点の風上にあること

評価点が緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口、放出点が塩酸貯槽（4u 復水脱塩装置）の場合、放出点が評価点の風上となる方位は、図 5-6 のとおり、9 方位（SW、WSW、W、WNW、NW、NNW、N、NNE、NE）が対象となる。

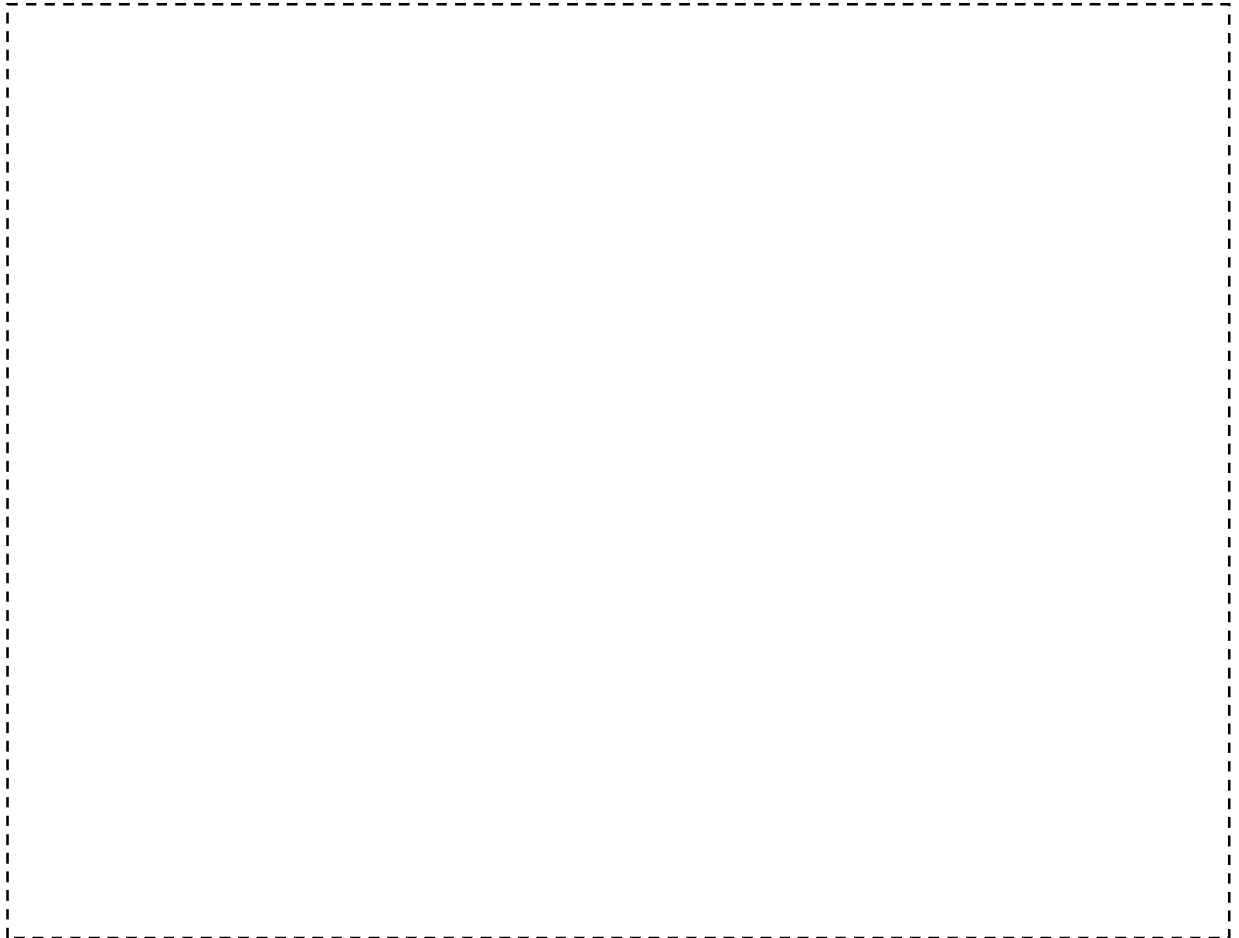


図 5-6 風上方位*の選定

（放出点：塩酸貯槽（4u復水脱塩装置）、評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口）

ii) 放出点から放出された有毒ガスが、建屋の風下側に巻き込まれるような範囲に、放出点が存在すること。

図 5-7 のとおり、放出点から見て巻き込みを生じる代表建屋+0.5L の範囲を含む方位は 9 方位 (SW、WSW、W、WNW、NW、NNW、N、NNE、NE) となる。

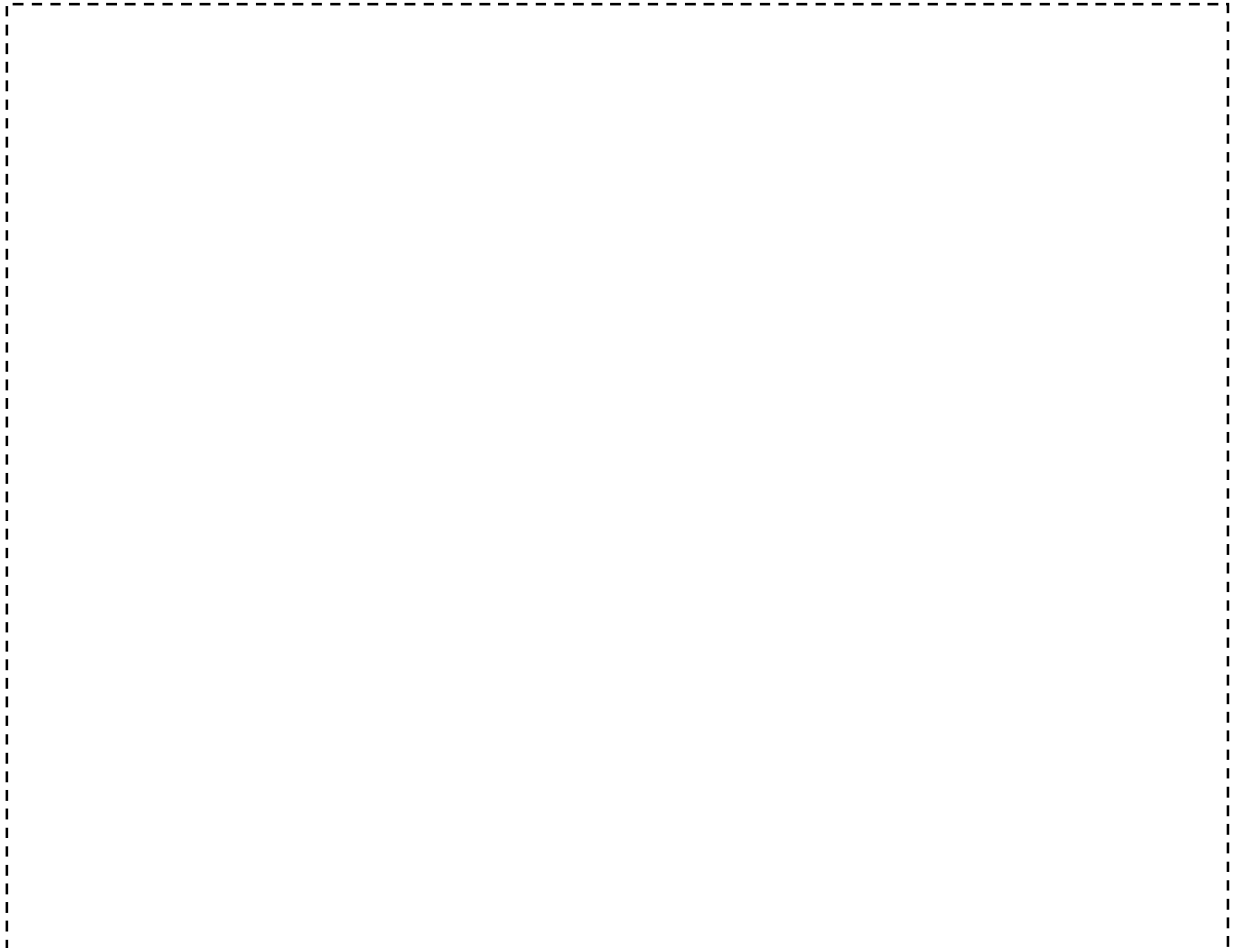


図 5-7 放出点から建屋+0.5L を含む方位^{*}の選定
(放出点：塩酸貯槽 (4u復水脱塩装置)、評価点：緊急時対策所 (緊急時対策棟内) の換気設備の外気取入口)

iii) 建屋の風下側で巻き込まれた大気が評価点に到達すること。

図 5-3 のとおり、評価点から見て巻き込みを生じる代表建屋+0.5L の範囲を含む方位は 2 方位 (NW、NNW) となる。

i) ~ iii) の重なる方位を選定

i) ~ iii) の重なる方位は 2 方位であり、これを着目方位の見込み方位 (SE、SSE) とする。

※ここでいう評価対象方位（風向）は、評価点から放出点の方位を示している。着目方位は、放出点から評価点の方位であり、評価対象方位（風向）とは180° 向きが異なる。

着目方位を表2に示す。

表2 評価点：緊急時対策所（緊急時対策棟内）の換気設備の外気取入口での着目方位

固定源		着目方位	巻き込みを生じる代表建屋	
敷地内	3/4号機 補給水処理装置	MBP 塔用塩酸計量槽 (A)	SE	—
		塩酸貯槽	SE	—
	3号機復水脱塩装置	塩酸貯槽	SE、SSE	3/4号タービン建屋
	3/4号機 薬液注入装置	アンモニア原液タンク	SE、SSE	3/4号タービン建屋
	4号機復水脱塩装置	塩酸貯槽	SE、SSE	3/4号タービン建屋
	高塩系排水回収装置	塩酸貯槽	SE	—
	3/4号機 排水処理装置	塩酸貯槽	SE	—

3. 建屋投影面積の設定について

建屋の影響がある場合の多くは複数の風向を対象に計算する必要があるので、図6のように風向の方位ごとに垂直な投影面積を求める必要がある。代表建屋は矩形状であるため、方位ごとに投影面積を算出する。

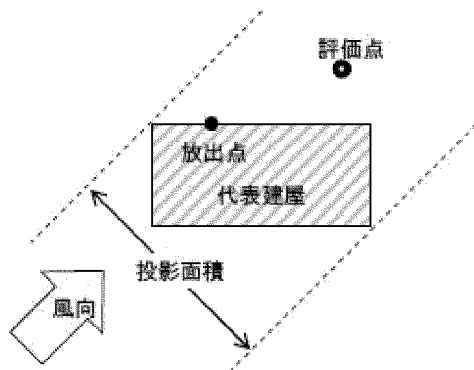


図6 風向に垂直な建屋投影面積の考え方
(被ばく評価手法(内規)図5.9)

評価点を中緊急時対策所(緊急時対策棟内)の換気設備の外気取入口とした場合に、建屋影響を生じる代表建屋の建屋投影面積の設定の考え方を示す。

図7に見込み方位別の建屋投影面積を示す。

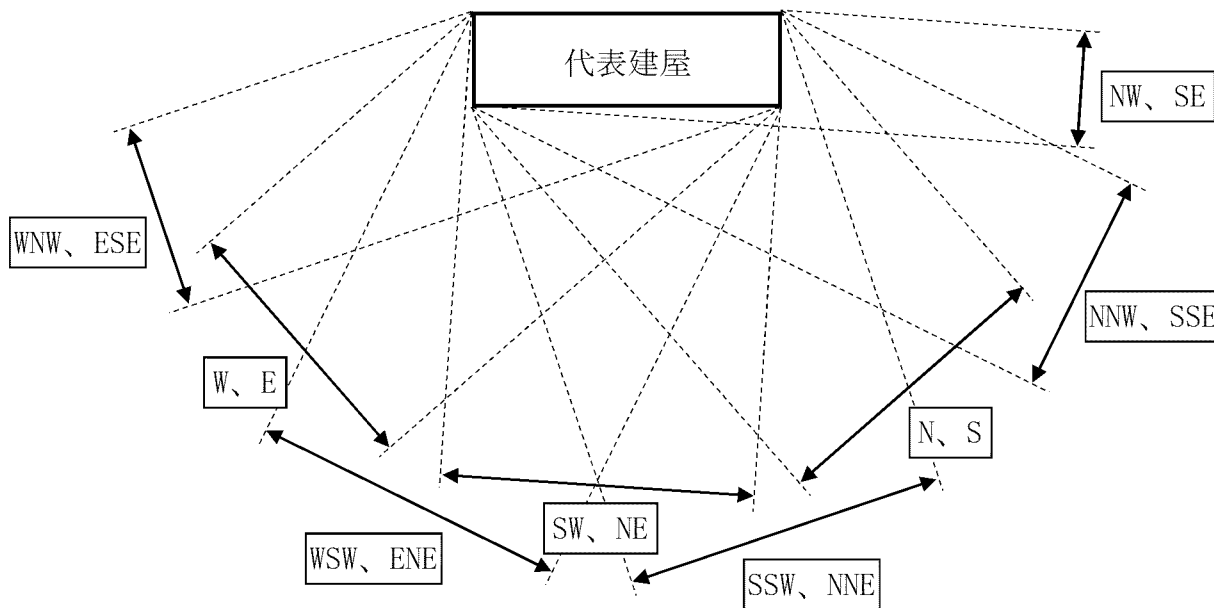


図7 代表建屋の見込み方位別の建屋投影面積

各代表建屋の着目方位別の建屋投影面積を表 3 に示す。

表 3 各代表建屋の着目方位別の建屋投影面積 (m²)

着目方位	代表建屋
	3/4 号タービン建屋※
N、S	該当なし
SSW、NNE	該当なし
SW、NE	該当なし
WSW、ENE	該当なし
W、E	該当なし
WNW、ESE	該当なし
NW、SE	6,200
NNW、SSE	6,000

※ 3/4 号タービン建屋の大きさ：(W) 約 200m× (D) 約 35m× (H) 約 30m

可動源に対する防護措置について

敷地内可動源からの有毒ガスの発生が及ぼす影響により、運転・指示要員の対処能力が著しく損なわれることがないように、中央制御室及び緊急時対策所の運転・指示要員に対して、以下の対策を実施する。

なお、対策の実施にあたり、敷地内可動源として特定された薬品タンクローリは原則、平日通常勤務時間帯に発電所構内に入構する運用とする。

また、発電所において設計基準事故及び重大事故等が発生した場合には、既に入構している敷地内可動源は発電所構外に退避させ、新たな薬品タンクローリは発電所構内に入構させないこととする。

敷地内可動源から敷地内固定源へ補給中に当該事象が発生した場合は、補給を中止し、敷地内可動源が健全であること、アクセスルートが確保されていることを確認し、速やかに退避させる。敷地内可動源退避時は、発電所構外へ退避するまで立会人が随行することとする。

(1) 有毒ガスの発生の検出

敷地内可動源からの有毒ガスの発生の検出のための実施体制及び手順を別紙 7-1 のように整備する。

敷地内可動源である薬品タンクローリからの有毒化学物質の漏えいは、発電所構内の移動経路のいずれの場所でも発生しうるため、有毒ガスの発生の検出は、人の認知によることとする。

したがって、特定した敷地内可動源が発電所構内に入構する場合は、発電所員が発電所構内への入構から薬品タンク等への補給完了まで随行・立会を実施すること（以下、随行・立会を実施する者を「立会人」という。）で、速やかな有毒ガスの発生の検出を可能とする。

(2) 通信連絡設備による伝達

敷地内可動源からの有毒ガス防護に係る実施体制及び手順を別紙 7-2 のように整備する。

薬品タンクローリからの有毒化学物質の漏えいが発生し、有毒ガスの発生による異常を検知した場合は、立会人は速やかに中央制御室の当直課長に通信連絡設備等を用いて連絡する。

有毒ガスの発生による異常の連絡を受けた中央制御室の当直課長は、緊急時対策所に緊急時対策本部が設置される場合は、通信連絡設備等を用いて緊急時対策所の全体指揮者に有毒ガスの発生を連絡する。

通信連絡設備は、既存のもの（技術基準規則第 47 条、第 77 条）を使用す

る。

技術基準規則第 47 条、第 77 条の通信連絡設備は、以下の設計方針としており、有毒ガスが発生した場合に当該設備を使用しても、既存設備に変更はなく、既許可の基準適合性結果に影響を与えるものではない。

・設計基準事故が発生した場合において、発電所内の者に対し必要な指示ができるよう、警報装置及び多様性を確保した通信連絡設備を設置又は保管する。

設計基準事故が発生した場合において、中央制御室等から人が立ち入る可能性のある原子炉補助建屋、タービン建屋等の建屋内外各所の者への操作、作業又は退避の指示等の連絡をブザー鳴動等により行うことができる装置及び音声等により行うことができる設備として、警報装置及び多様性を確保した通信設備（発電所内）を設置又は保管する設計とする。

・重大事故等が発生した場合において、発電所の内外の通信連絡をする必要のある場所と通信連絡を行うために必要な通信連絡設備を設置又は保管する。

重大事故等が発生した場合において、発電所内の通信連絡をする必要のある場所との通信連絡をするための通信設備（発電所内）を設ける。

重大事故等が発生した場合に発電所内の通信連絡をする必要のある場所と通信連絡を行うために必要な通信設備（発電所内）として、衛星携帯電話設備、無線連絡設備及び携帯型通話設備は、中央制御室内、緊急時対策所内に設置又は保管する設計とする。

(3) 防護措置

1) 空調装置及び換気設備の隔離等

中央制御室及び緊急時対策所の運転・指示要員に対して、敷地内可動源からの有毒ガス防護に係る実施体制及び手順を別紙7-2のとおり整備する。

中央制御室の運転員は、敷地内可動源から有毒ガスの発生による異常の連絡を受けた場合は、速やかに中央制御室の空調装置を隔離する。また、緊急時対策所に緊急時対策本部が設置される場合は、緊急時対策所の指示要員は、速やかに緊急時対策所の換気設備を隔離する。

中央制御室及び緊急時対策所の空調装置及び換気設備を隔離した場合は、酸素濃度計や二酸化炭素濃度計を用いて運転操作等に支障がない範囲にあることを確認する。さらに、敷地内可動源からの有毒ガスの発生による異常が終息した場合は、速やかに外気取入れを再開する。

なお、緊急時対策所に緊急時対策本部が設置される場合は、敷地内の有毒化学物質の処理等の措置が完了するまでは指示要員のうち初動対応を行う要員である緊急時対策本部要員（指揮者等）で対応する。

2) 防護具等の配備

中央制御室及び緊急時対策所の運転・指示要員に対して、第 1-1 表のとおり防毒マスクを配備する。

中央制御室の運転員は、敷地内可動源から有毒ガスの発生による異常の連絡を受け、臭気等により異常を認知した場合は、防毒マスクを着用する。

また、緊急時対策所に緊急時対策本部が設置される場合において、緊急時対策所の指示要員は、臭気等により異常を認知した場合は、防毒マスクを着用する。

また、防毒マスクを着用することによって、意思疎通や運転操作等への支障はない。なお、設置許可基準規則への適合性においても保護具類等の着用により作業性に有意な影響を与えることはないことを確認している。

3) 敷地内の有毒化学物質の処理等の措置

敷地内の有毒化学物質が漏えいし、有毒ガスの発生による異常が発生した場合の敷地内可動源に対する有毒化学物質の処理等の措置に係る実施体制及び手順を別紙 7-3 のとおり整備する。

なお、終息活動は、立会人の立ち会いのもと、終息活動要員（薬品受入作業をする担当課員）が実施する体制とする。また、終息活動要員については、重大事故等対策に必要な要員以外の者が対応する。

第 1-2 表に示すとおり、薬品防護具等を配備する。

第1-1表 防毒マスクの配備（指示要員用）

対象箇所 (防護対象者)	要員数	防毒マスク数量 (吸収缶数量)	配備場所
緊急時対策所 (緊急時対策棟内) (指示要員)	4人	4個 (各4個、対象ガス別※)	宿直室

※：塩酸用、アンモニア・ヒドラジン用の計2種類

第1-2表 防毒マスクの配備（立会人・終息活動要員用）

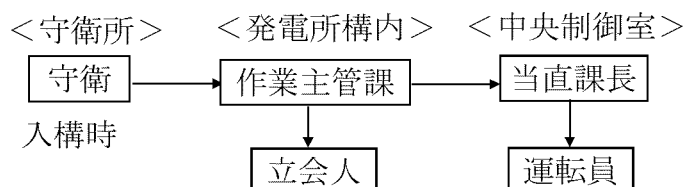
防護対象者	要員数	防護具	配備場所
立会人	1人	<ul style="list-style-type: none"> ・耐薬品手袋 ・耐薬品長靴 ・防毒マスク ・吸収缶 (対象ガス別※ ¹) 1セット※²	サービスビル
終息活動要員	3人	<ul style="list-style-type: none"> ・耐薬品手袋 ・耐薬品長靴 ・防毒マスク ・吸収缶 (対象ガス別※ ¹) 3セット※²	終息活動要員待機場所

※1：塩酸用、アンモニア・ヒドラジン用の計2種類

※2：1/2号用（吸収缶は塩酸用のみ）及び3/4号用にそれぞれ配備

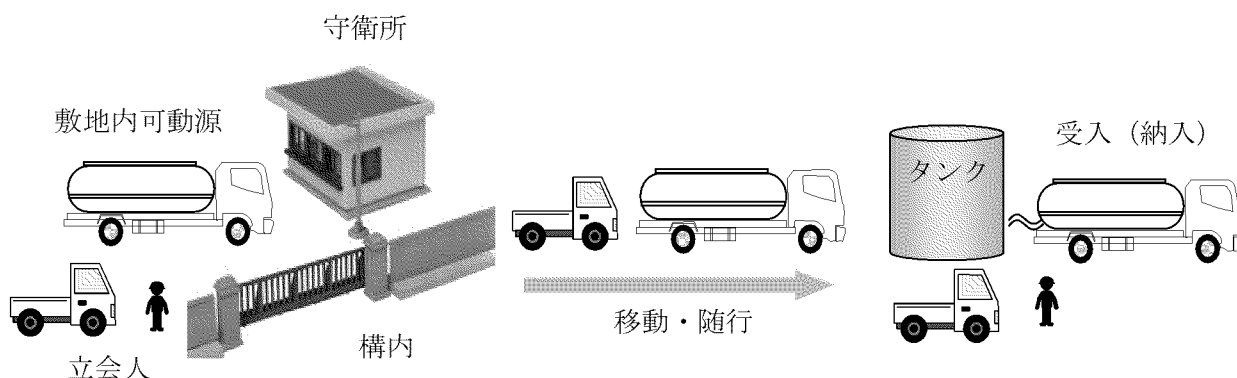
敷地内可動源に対する有毒ガスの発生の検出のための実施体制及び手順

1. 実施体制



2. 実施手順

- (1) 敷地内可動源である薬品タンクローリが発電所構内へ入構する際、守衛は作業主管課に連絡する。
- (2) 連絡を受けた作業主管課は、立会人を入構箇所に向かわせるとともに、当直課長に連絡する。
- (3) 立会人は、受入（納入）箇所まで敷地内可動源に随行し、受入（納入）完了まで立ち会いを実施する。立会人は、薬品保護具を常備する。
- (4) 当直課長は、運転員に敷地内可動源が入構したことを連絡し、空調装置隔離手順の確認を指示する。
- (5) 運転員は、空調装置隔離手順を確認する。
- (6) 立会人は、受入（納入）完了を確認し、作業主管課に連絡する。
- (7) 連絡を受けた作業主管課は、当直課長に連絡する。



3. その他

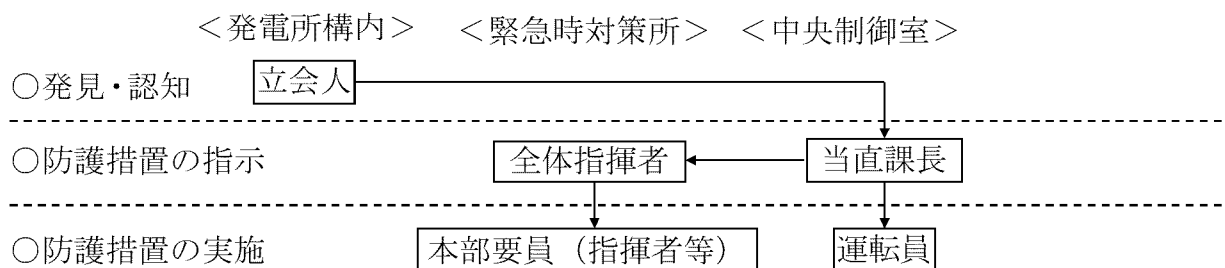
- (1) 敷地内可動源の入構は、原則、平日の通常勤務時間帯とする。
- (2) 発電所で設計基準事故及び重大事故等が発生した場合には、既に入構している敷地内可動源は、立会人随行の上発電所構外に退避させ、新たな敷地内可動源は発電所構内に入構させないこととする。

敷地内可動源から敷地内固定源へ補給中に当該事象が発生した場合は、補給を中止し、敷地内可動源が健全であること、アクセスルートが確保されていることを確認し、速やかに退避させる。

敷地内可動源退避時は、発電所構外へ退避するまで立会人が随行することとする。
- (3) 立会人については、化学物質の管理を行う者であって重大事故等対策に必要な要員以外の者が対応する。化学物質の管理にあたっては、教育訓練を行うことにより、立会人は化学物質の取り扱いに関して十分な力量を有する。

敷地内可動源からの有毒ガス防護に係る実施体制及び手順

1. 実施体制



2. 実施手順

- (1) 立会人は、有毒ガスの発生による異常を検知した場合、通信連絡設備等により当直課長に連絡する。
- (2) 当直課長は、運転員に有毒ガスの発生による異常を検知したことを連絡し、中央制御室空調装置の隔離を指示する。
- (3) 当直課長は、緊急時対策所に緊急時対策本部が設置される場合は、通信連絡設備等により全体指揮者に有毒ガスの発生による異常を検知したことを連絡する。
- (4) 全体指揮者は、本部要員（指揮者等）に緊急時対策所換気設備の隔離を指示する。
- (5) 運転員は、中央制御室空調装置を隔離する。また、当直課長及び運転員は、中央制御室において臭気等による異常を認知した場合、定められた手順に従い防毒マスクを着用する。

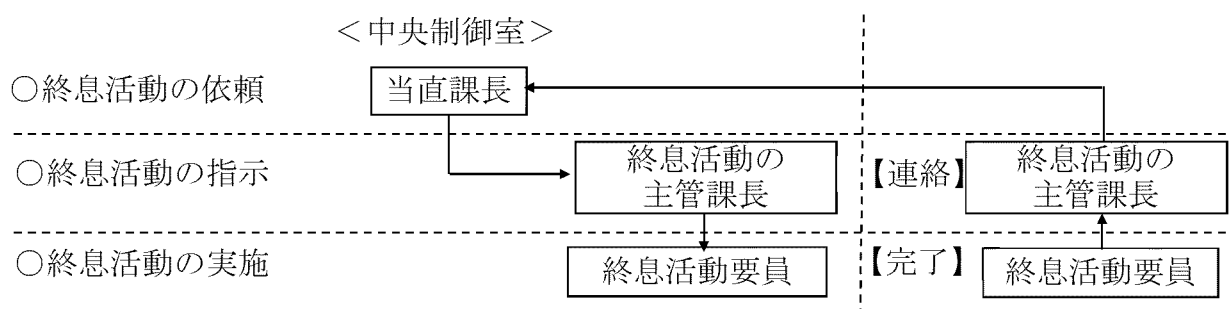
なお、防毒マスクを着用することによって、意思疎通や運転操作等への支障はない。

- (6) 本部要員（指揮者等）は、緊急時対策所換気設備を隔離する。全体指揮者及び本部要員（指揮者等）は、緊急時対策所において臭気等による異常を認知した場合、定められた手順に従い防毒マスクを着用する。

なお、防毒マスクを着用することによって、意思疎通等への支障はない。

敷地内可動源に対する有毒化学物質の処理等の措置に係る実施体制及び手順

1. 実施体制



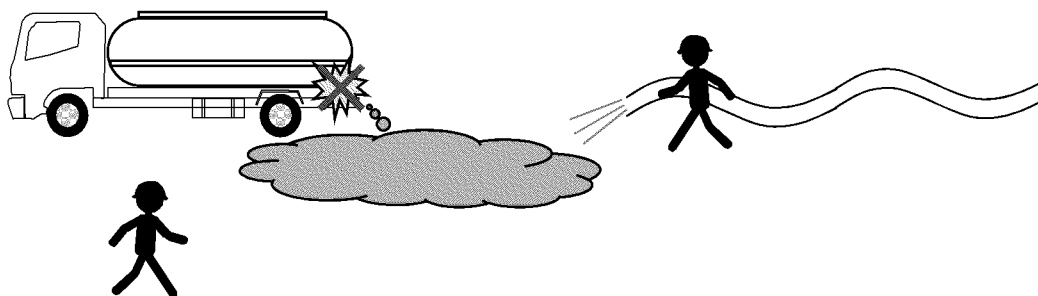
2. 実施手順

- (1) 有毒ガスの発生による異常の検知の連絡を受けた当直課長は、終息活動の主管課長に終息活動の実施を依頼する。
- (2) 終息活動の主管課長は、終息活動要員（立会人を含む）に防毒マスク等の着用とともに、有毒ガスの終息活動を実施するよう指示する。
- (3) 終息活動要員は、防毒マスク等を着用するとともに、有毒ガスの発生を終息させるために速やかに処理等を実施する。
- (4) 終息活動要員は、有毒ガスの発生の終息*を確認すれば、終息活動の主管課長へ連絡する。
- (5) 終息活動の主管課長は、当直課長に有毒ガスの発生が終息したことを連絡する。
- (6) 当直課長は、運転員に有毒ガスの発生が終息したことを連絡し、運転員に外気取り入れを再開するよう指示する。
- (7) 当直課長は、緊急時対策所に緊急時対策本部が設置される場合は、全体指揮者に有毒ガスの発生が終息したことを連絡する。
- (8) 全体指揮者は、本部要員（指揮者等）に有毒ガスの発生が終息したことを連絡し、外気取り入れを再開するよう指示する。
- (9) 運転員は、中央制御室空調装置の外気取り入れを再開する。
- (10) 本部要員（指揮者等）は、緊急時対策所の換気設備の外気取り入れを再開する。

3. その他

- (1) 終息活動要員（立会人を含む）については、重大事故等対策に必要な要員以外の者が対応する。

※希釈開始とともに、濃度測定を実施し、可動源の防護判断基準値以下となれば、終息と判断する。



有毒ガスの発生を検出し警報するための装置に関する
要求事項（別記－9）への適合状況について

「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」別記－9に定められた要求は以下の通り。

技術基準規則第38条第5項、第46条第2項及び第53条第2号¹の規定に対応する工場等内における有毒ガスの発生²を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に自動的に警報するための装置の設置に関する要求事項については、以下のとおりとする。なお、同規則の規定と当該要求事項との対応関係は別表に掲げるところによる。

(1) 工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置

- ① 工場等内における有毒ガスの発生源（固定されているものに限る。）の近傍に、有毒ガスの発生又は発生の兆候を検出する検出装置を設置すること。
- ② 有毒ガスの到達を検出するために、原子炉制御室近傍に検出装置を設置すること。
- ③ 有毒ガスの到達を検出するために、緊急時対策所近傍に検出装置を設置すること。
- ④ 有毒ガスの到達を検出するために、緊急時制御室近傍に検出装置を設置すること。

(2) 当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に自動的に警報するための装置

- ① 原子炉制御室には、(1) ①から④に掲げる検出装置からの信号を受信して原子炉制御室で自動的に警報する警報装置を設置すること。
- ② 緊急時対策所には、(1) ③に掲げる検出装置からの信号を受信して緊急時対策所で自動的に警報する警報装置を設置すること。
- ③ 緊急時制御室には、(1) ①から④に掲げる検出装置からの信号を受信して緊急時制御室で自動的に警報する警報装置を設置すること。

¹ 技術基準規則の解釈第53条3(b)に規定される緊急時制御室に限る。

² 有毒ガスの発生時において、原子炉制御室及び緊急時制御室の運転員並びに緊急時対策所の指示要員の対処能力が著しく低下し、安全施設の安全機能及び特定重大事故等対処施設の機能が損なわれるおそれがあり、当該運転員及び指示要員の吸気中の有毒ガスの濃度が有毒ガス防護のための判断基準値を超えるおそれがあることをいう。

別表 技術基準規則の規定と要求事項との対応関係

	以下の場所に検出装置を設置すること。				以下の場所に設置した検出装置からの信号を受信し、警報する装置を設置すること。			
	発生源の近傍	原子炉制御室近傍	緊急時対策所近傍	緊急時制御室近傍	発生源の近傍	原子炉制御室近傍	緊急時対策所近傍	緊急時制御室近傍
(原子炉制御室) 第三十八条 5 (前略) 次の各号に掲げる場所の区分に応じ、当該各号に定める防護措置を講じなければならない。 一 原子炉制御室及びその近傍並びに有毒ガスの発生源の近傍 工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に原子炉制御室において自動的に警報するための装置の設置 二 (略)	○	○	—	—	○	○	○	○
(緊急時対策所) 第四十六条 2 緊急時対策所及びその近傍並びに有毒ガスの発生源の近傍には、有毒ガスが発生した場合に適切な措置をとるため、工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に緊急時対策所において自動的に警報するための装置の設置その他の適切な防護措置を講じなければならない。	○	—	○	—	—	—	○	—
(特定重大事故等対処施設) 第五十三条 二 原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備を有すること。(※)	○	—	—	○	○	○	○	○

凡例 ○：それぞれの条文において要求するもの
—：それぞれの条文において要求しないもの
※：緊急時制御室の要求事項に限る。

このうち、別表にてそれぞれの条文において要求するものと整理されているものについては、以下のとおり適合している。

別表 技術基準規則の規定と要求事項との対応関係

	以下の場所に検出装置を設置すること。				以下の場所に設置した検出装置からの信号を受信し、警報する装置を設置すること。			
	発生源の近傍	原子炉制御室近傍	緊急時対策所近傍	緊急時制御室近傍	発生源の近傍	原子炉制御室近傍	緊急時対策所近傍	緊急時制御室近傍
(原子炉制御室) 第三十八条 5 (前略) 次の各号に掲げる場所の区分に応じ、当該各号に定める防護措置を講じなければならない。 一 原子炉制御室及びその近傍並びに有毒ガスの発生源の近傍 工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に原子炉制御室において自動的に警報するための装置の設置 二 (略)	①	②	—	—	①に対する警報装置	②に対する警報装置	③に対する警報装置	④に対する警報装置
(緊急時対策所) 第四十六条 2 緊急時対策所及びその近傍並びに有毒ガスの発生源の近傍には、有毒ガスが発生した場合に適切な措置をとるため、工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に緊急時対策所において自動的に警報するための装置の設置その他の適切な防護措置を講じなければならない。	①	—	③	—	—	—	③に対する警報装置	—
(特定重大事故等対処施設) 第五十三条 二 原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備を有すること。(※)	①	—	—	④	①に対する警報装置	②に対する警報装置	③に対する警報装置	④に対する警報装置

(1)

(2)

1. 固定源に対する適合性について

(1) 「工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置」に対する適合性

a. 中央制御室

固定源に対しては、貯蔵容器すべてが損傷し、有毒化学物質の全量流出によって発生した有毒ガスが大気中に放出される事象を想定し、令和2年3月30日付け原規規発第20033012号及び同日付け原規規発第20033013号にて認可された工事の計画に示した、中央制御室の運転員の吸気中の有毒ガス濃度の評価結果が、有毒ガス防護のための判断基準値を下回ることで、別記-9で規定される「有毒ガスの発生」はなく、同規則に基づく有毒ガスの発生を検出するための装置の①発生源の近傍、②原子炉制御室近傍への設置を不要とする設計とする。

b. 緊急時対策所

固定源に対しては、貯蔵容器すべてが損傷し、有毒化学物質の全量流出によって発生した有毒ガスが大気中に放出される事象を想定し、緊急時対策所の指示要員の吸気中の有毒ガス濃度の評価結果が、有毒ガス防護のための判断基準値を下回ることで、別記-9で規定される「有毒ガスの発生」はなく、同規則に基づく有毒ガスの発生を検出するための装置の①発生源の近傍、③緊急時対策所近傍への設置を不要とする設計とする。

c. 緊急時制御室

固定源に対しては、貯蔵容器すべてが損傷し、有毒化学物質の全量流出によって発生した有毒ガスが大気中に放出される事象を想定し、令和3年3月10日付け原規規発第2103108号及び同日付け原規規発第2103107号にて認可された設計及び工事の計画に示した、特定重大事故等対処施設の特重施設要員の吸気中の有毒ガス濃度の評価結果が、有毒ガス防護のための判断基準値を下回ることで、別記-9で規定される「有毒ガスの発生」はなく、同規則に基づく有毒ガスの発生を検出するための装置の①発生源の近傍、④緊急時制御室近傍への

設置を不要とする設計とする。

(2) 「当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に自動的に警報するための装置」に対する適合性

a. 中央制御室

(1) における①発生源の近傍、②原子炉制御室近傍、③緊急時対策所近傍、④緊急時制御室近傍への検出装置の設置を不要とする設計とすることから、当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に自動的に警報するための装置の中央制御室への設置を不要とする設計とする。

b. 緊急時対策所

(1) における③緊急時対策所近傍への検出装置の設置を不要とする設計とすることから、当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に自動的に警報するための装置の緊急時対策所への設置を不要とする設計とする。

c. 緊急時制御室

(1) における①発生源の近傍、②原子炉制御室近傍、③緊急時対策所近傍、④緊急時制御室近傍への検出装置の設置を不要とする設計とすることから、当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に自動的に警報するための装置の緊急時制御室への設置を不要とする設計とする。

2. 可動源に対する適合性について

可動源に対しては、立会人の随行、通信連絡設備による連絡、換気設備の隔離、防護具の着用等により、中央制御室の運転員、緊急時対策所の指示要員及び特定重大事故等対処施設の特重施設要員を防護することで、別記-9に基づく有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に自動的に警報するための装置の設置を不要とする設計とする。

補足説明資料 7

耐震性に関する説明書に関する補足説明資料

目 次

- 補足説明資料 7-1 基礎地盤及び周辺斜面安定性評価に関する補足説明資料
 - 補足説明資料 7-1-1 基礎地盤の安定性に関わる設置許可から工事計画で変更となる項目及び変更による影響確認について
 - 補足説明資料 7-1-2 基礎地盤の安定性評価における建屋剛性の設定方法について

- 補足説明資料 7-2 建物・構築物の地震応答解析に関する補足説明資料
 - 補足説明資料 7-2-1 地震応答解析モデル及び解析手法の概要
 - 補足説明資料 7-2-1 別紙 1 地震応答解析モデルにおける質点重量及び剛性
 - 補足説明資料 7-2-1 別紙 2 建屋の滑動に関する検討
 - 補足説明資料 7-2-2 地震荷重と風荷重、積載荷重と積雪荷重の比較
 - 補足説明資料 7-2-3 地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の減衰乗数に関する検討
 - 補足説明資料 7-2-4 地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討
 - 補足説明資料 7-2-4 別紙 1 コンクリート強度のばらつきによる建屋応答への影響に関する考察
 - 補足説明資料 7-2-4 別紙 2 機器・配管系評価への影響
 - 補足説明資料 7-2-5 入力地震動算定用地盤モデルの 1 次元地盤モデル 2 次元地盤モデルの比較
 - 補足説明資料 7-2-5 別紙 建屋の埋め込みが機器・配管系へ与える影響に関する検討
 - 補足説明資料 7-2-6 地盤の地震応答解析における水平成層の成立性
 - 補足説明資料 7-2-6 別紙 1 1 次元地盤モデルにおける マンメイドロックの影響に関する検討
 - 補足説明資料 7-2-6 別紙 2 入力地震動の算定における **SHAKE** の適用性

- 補足説明資料 7-3 建物・構築物の耐震性評価に関する補足説明資料
 - 補足説明資料 7-3-1 応力解析モデル及び解析手法の概要
 - 補足説明資料 7-3-1 別紙 1 応力解析モデルの鳥瞰図及び層分解図
 - 補足説明資料 7-3-1 別紙 2 耐震重要度分類 C クラス施設としての耐震評価について
 - 補足説明資料 7-3-2 **FEM** モデルを用いた応力解析による評価における断面の評価対象部位の選定

- 補足説明資料 7-3-3 応力解析における地震荷重等の入力方法
- 補足説明資料 7-3-3 別紙 1 応力解析における土圧荷重の算出
- 補足説明資料 7-3-3 別紙 2 土圧荷重の算定において JEAG4601-1991 追補版を用いることの妥当性
- 補足説明資料 7-3-4 建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用
- 補足説明資料 7-3-5 応力解析における応力集中部位の確認
- 補足説明資料 7-3-6 緊急時対策棟気密扉の基準地震動 S_s による地震力に対する気密性の維持について
- 補足説明資料 7-3-7 地下水位上昇を仮定した場合の基礎の耐震性について
- 補足説明資料 7-4 水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組み合わせに関する検討
- 補足説明資料 7-5 緊急時対策所（緊急時対策棟内）の居住性評価に係る条件とその耐震性について
- 補足説明資料 7-6 地盤の支持性能に係る基本方針に関する補足説明資料
- 補足説明資料 7-7 既工認との耐震評価手法の整理一覧

補足説明資料 7-1-1 基礎地盤の安定性評価に関わる設置許可から工事計画で
変更となる項目及び変更による影響確認について

緊急時対策棟の設置許可から工事計画で変更となった項目として、建屋重量、建屋
周辺掘削形状、及び建屋周辺の埋戻材料があげられる。

一方、設置許可時の最小すべり安全率は、断層・シームを通る地中深いすべり線で
示されるため、これらの変更がすべりの評価結果に与える影響は小さいと考える。

また、設置許可時の基礎の最大傾斜は 1/47,000 であることから、これらの変更によ
って傾斜に対する安全性が損なわれるものではないと考える。

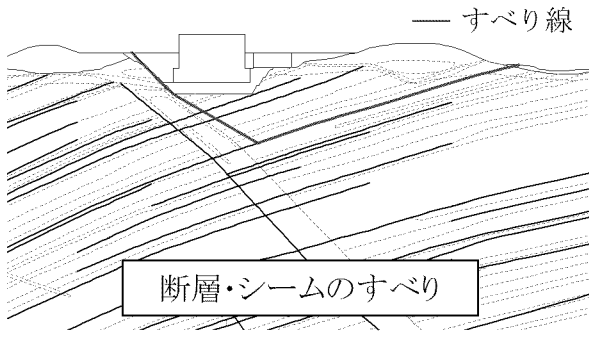
本資料では、緊急時対策棟の設置許可から工事計画で変更となる項目を反映した基
礎地盤の安定性評価を実施し、変更による影響を確認する。

第 1 表に工事計画時と設置許可時の変更内容を第 2 表に設置許可時における基礎地
盤の安定性評価結果を示す。

第 1 表 工事計画時と設置許可時の変更内容

項目	設置許可時	工事計画時
建屋重量	660MN	518MN
掘削形状	斜掘り	直掘り
基礎下 MMR 範囲	EL.7.0m～EL. 0.0m	EL.7.0m～EL.2.0m
埋戻材料	MMR	埋戻土

第 2 表 設置許可時における基礎地盤の安定性評価結果

評価項目	評価結果	評価基準値
最小すべり 安全率		3.0 1.5 以上
最大傾斜	1/47,000	1/2,000 以下

地震動 Ss-1～Ss-5 のうち、最小すべり安全率、最大傾斜を示す地震動は Ss-4

1. 建屋重量について

設置許可時の建屋重量と工事計画時の建屋重量は以下のとおりである。

- ①設置許可時における基礎地盤の安定性評価においては、緊急時対策棟の基本設計における建屋重量を基に **660MN** として設定した。
- ②工事計画時における緊急時対策棟の耐震安全性評価においては **518MN** である。
- ③本資料における基礎地盤の安定性評価においては、安全側の評価となることを考慮して、緊急時対策棟の耐震安全性評価の建屋重量である **518MN** を割増して **622MN** として設定した。

なお、建屋重量を割増すことにより、安定性評価においてすべりや傾斜に影響がある滑動力や転倒モーメントが大きくなり、安全側の評価となる。

第3表に設置許可時と工事計画時の建屋重量を示す。

第3表 工事計画時と設置許可時の建屋重量

設置許可時	工事計画時	
①基礎地盤の安定性評価	②建屋の耐震安全性評価	③基礎地盤の安定性評価
660MN	518MN	622MN

注: 518MN から 622MN へは (割増) とあり、右向き矢印が示されている。

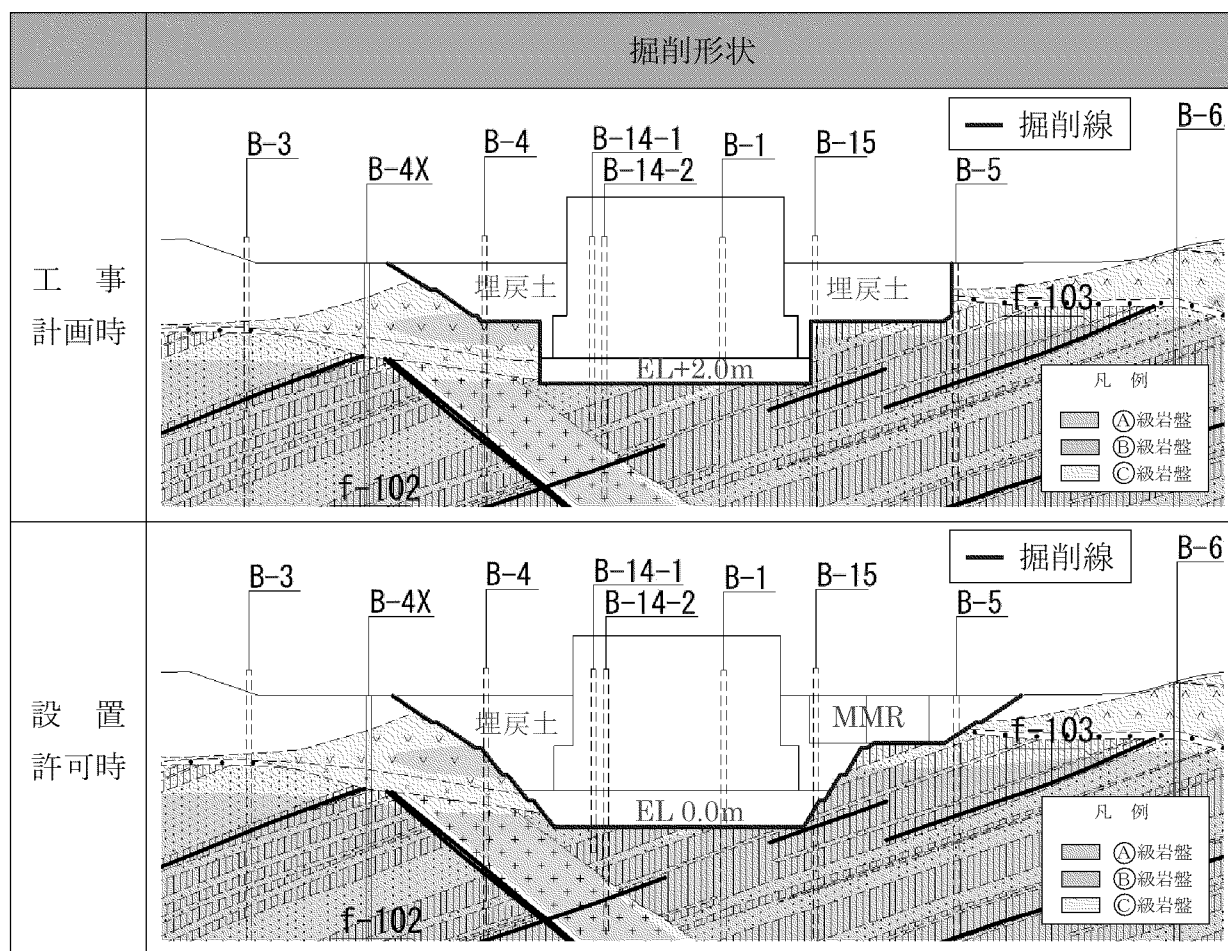
2. 建屋周辺の掘削形状、基礎下の MMR 範囲、及び埋戻材料について

設置許可時における建屋の基礎掘削形状は、周辺地盤の土質区分により安定的な勾配をつけた斜掘としたが、工事計画時は、資材置場、作業ヤードの確保等により、土留め壁を用いた直掘に変更した。

基礎下の MMR 範囲については、設置許可時は EL.0.0m から MMR とする計画であったが、工事計画時は、地質図を基に耐震設計で考慮している岩盤の出現が想定される EL.2.0m に変更した。

また、建屋東側の埋戻材料は、設置許可時は緊急時対策所用発電機車の設置場所として MMR とする計画であったが、工事計画時は、設計進捗により設置場所を変更したことにより、評価断面上の MMR は埋戻土に変更した。

第 2 図に工事計画時と設置許可時の基礎掘削形状を示す。



第 2 図 工事計画時と設置許可時の基礎掘削形状

本資料においては、建屋周辺の掘削形状、基礎下の MMR 範囲、及び埋戻材料を解析モデルに反映した。

3. 実施項目

設置許可時のすべり安定性評価において最少すべり安全率及び最大傾斜を示す地震動 Ss-4 について評価を実施した。

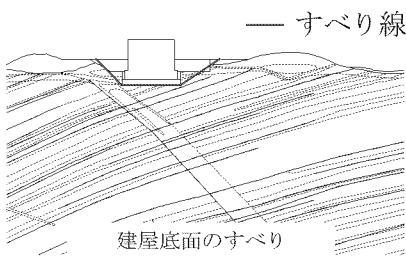
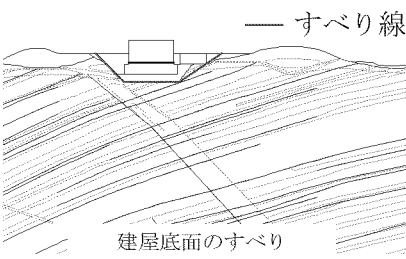
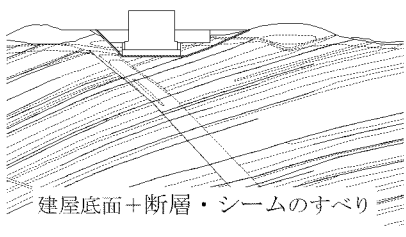
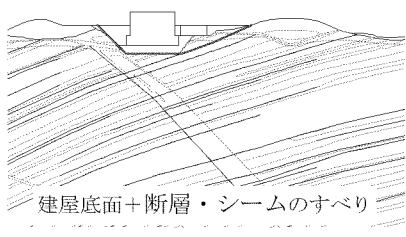
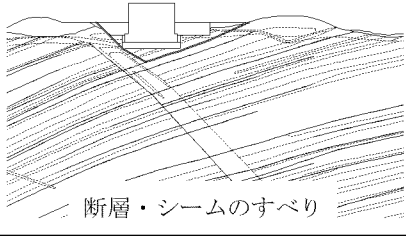
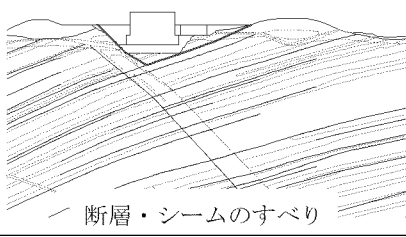
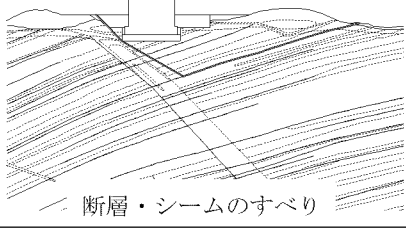
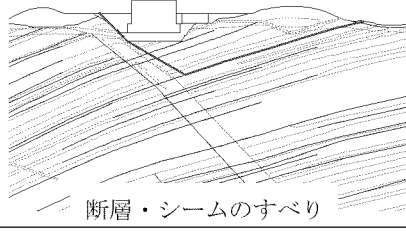
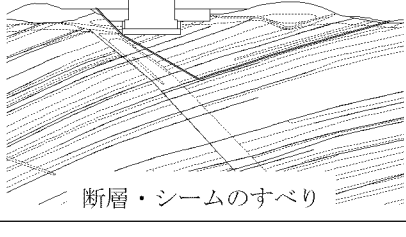
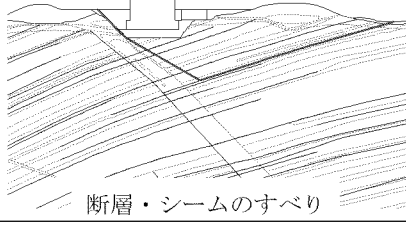
4. 評価結果

評価の結果、最小すべり安全率は 3.0、基礎の最大傾斜は 1/47,000 となった。

以上より、緊急時対策棟の設置許可から工事計画で変更となった項目が基礎地盤の安定性評価に与える影響は軽微であることを確認した。

第 4 表にすべり安全率を第 5 表に基礎底面の傾斜を示す。

第4表 すべり安全率 (Ss-4)

	工事計画時		設置許可時	
1	 <p>— すべり線</p> <p>建屋底面のすべり</p>	10.2	 <p>— すべり線</p> <p>建屋底面のすべり</p>	10.4
2	 <p>建屋底面+断層・シームのすべり</p>	7.6	 <p>建屋底面+断層・シームのすべり</p>	7.4
3	 <p>断層・シームのすべり</p>	6.2	 <p>断層・シームのすべり</p>	6.1
4	 <p>断層・シームのすべり</p>	3.0	 <p>断層・シームのすべり</p>	3.0
5	 <p>断層・シームのすべり</p>	4.8	 <p>断層・シームのすべり</p>	4.8

第5表 基礎底面の傾斜 (Ss-4)

	工事計画時	設置許可時
基礎底面両端 の傾斜	1/47,000	1/47,000

補足説明資料 7-1-2 基礎地盤の安定性評価における建屋モデルの設定と 建屋の割増重量の影響について

1. 概要

基礎地盤の安定性評価において、建屋は平面ひずみ要素によりモデル化し、その剛性及び重量については、建屋の設計に用いる質点系モデルを基に設定している。

本資料は、建屋モデルの設定における以下の事項について補足するものである。

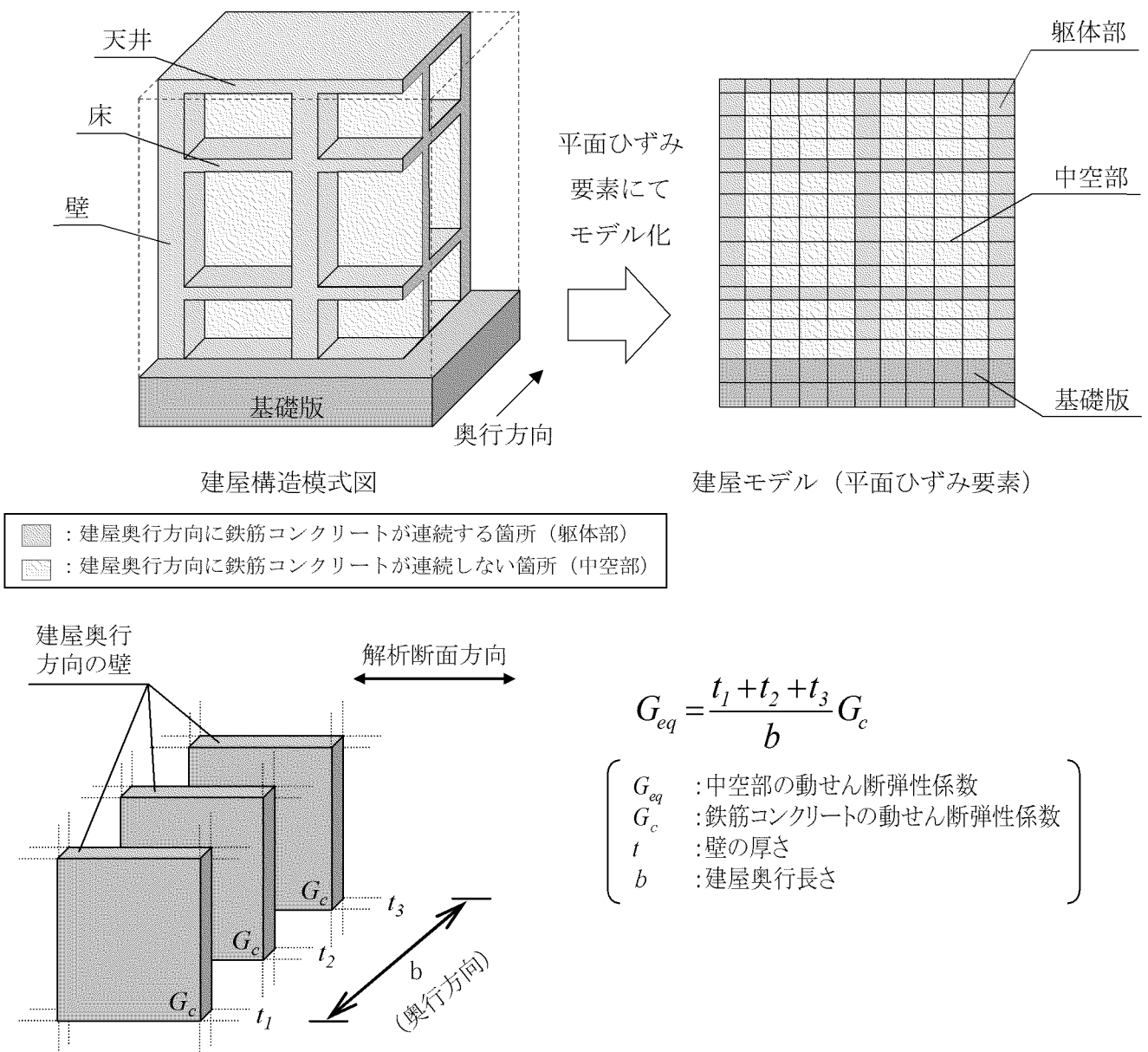
- ・ 緊急時対策棟の建屋剛性の設定方法及び各申請段階における建屋モデルの設定概要
- ・ 建屋重量の割増が基礎地盤の安定性評価に与える影響

2. 建屋モデルの設定

2.1 緊急時対策棟の建屋剛性の設定方法

緊急時対策棟は平面ひずみ要素でモデル化し、今回評価時の建屋の剛性は、設置許可時と同様に、躯体部は鉄筋コンクリートの動せん断弾性係数を設定した。また、中空部は鉄筋コンクリートの動せん断弾性係数に、建屋奥行長さに対する壁の厚さの割合を乗じて求めた動せん断弾性係数（等価剛性）を設定した。

第 1 図に建屋構造（躯体部、中空部）の模式図、及び中空部の剛性の設定方法を示す。



第 1 図 建屋構造模式図及び中空部剛性の設定方法

2.2 各申請段階における建屋モデルの設定概要

基礎地盤の安定性評価における建屋モデルは、建屋の設計に用いる質点系モデルを基に設定する。

質点系モデルについては、基本設計モデルと詳細設計モデル（工認モデル）がある。

緊急時対策棟の基礎地盤の安定性評価においては、設置変更許可時は基本設計モデル、今回の設工認時については詳細設計モデルを基に建屋モデルを設定している。

第1表に、各申請段階における建屋モデルの設定概要を示す。

第1表 各申請段階における建屋モデルの設定概要

		設置変更許可	今回の設工認	参考
		①緊急時対策棟 (新設構造物)	②緊急時対策棟 (新設構造物)	③原子炉建屋等 (既設構造物)
質点系 モデル		基本設計モデル	詳細設計モデル (工認モデル)	詳細設計モデル (工認モデル)
FEM モデル (平面ひずみ)	建屋 剛性	基本設計の建屋構造 を基にした等価剛性	詳細設計の建屋構造 を基にした等価剛性	質点系モデルと振動 特性を整合させた剛性
	建屋 重量	基本設計重量 +割増重量	詳細設計重量 +割増重量	詳細設計重量

3. 建屋重量の割増が基礎地盤の安定性評価に与える影響について

基礎地盤の安定性評価において、建屋重量は建屋の設計に用いる質点系モデルの重量から割増して設定している。

建屋重量を割増すことにより、安定性評価においてすべりや傾斜に影響がある滑動力や転倒モーメントが大きくなり、安全側の評価となると考えられる。

一方、建屋重量を割増すことにより、建屋の振動特性も変わることから、ここでは、以下の 3 つのモデルについて固有値解析を行い、その結果から建屋の割増重量が基礎地盤の安定性評価に与える影響について検討を行った。

- ① 地盤全体モデル：地盤安定解析に用いる FEM 解析モデルそのもの。
- ② 建屋モデル 1：①より建屋のみを取り出したモデル。割増重量を含む。
- ③ 建屋モデル 2：①より建屋のみを取り出したモデル。割増重量を含まない。

第 2 表に地盤全体モデル及びそれぞれの建屋モデルの固有値解析結果を示す。

参考として、建屋の設計に用いた質点系モデルの固有値解析結果を示す。

第 2 表 固有値解析結果

項目		建屋重量	固有周期 (s)
FEM	① 地盤全体モデル	詳細設計重量 + 割増重量	0.70
	② 建屋モデル 1	詳細設計重量 + 割増重量	0.11
	③ 建屋モデル 2	詳細設計重量	0.10
質点系	[参考] 建屋モデル	詳細設計重量	0.10

固有値解析の結果、①地盤全体モデルは長周期側（0.70s）の振動特性であり、この周期帯が地盤の応答に対する影響が大きいことを表している。

一方、②建屋モデル 1、③建屋モデル 2 は、短周期側（0.11s、0.10s）の振動特性であり、固有周期に大きな差異はない。また、地盤全体モデルの周期帯から離れている。

したがって、②建屋モデル 1 と③建屋モデル 2 のいずれの場合においても、建屋が地盤の応答と共振することはないため、建屋の割増重量が基礎地盤の安定性評価に与える影響は軽微であると考えられる。

7-2-1. 地震応答解析モデル及び解析手法の概要

目 次

	頁
1. 概 要	1
2. 地震応答解析モデル及び解析手法	2
別紙 1 地震応答解析モデルにおける質点重量及び剛性	
別紙 2 建屋の滑動に関する検討	

1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟（以下「緊対棟」という。）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）（以下「加圧設備棟」という。）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）（以下「燃料設備棟」という。）の地震応答解析モデル及び解析手法の概要を示すものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」

2. 地震応答解析モデル及び解析手法

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、地震応答解析モデル及び解析手法の概要を第 2-1 表に示す。また、令和元年 6 月 3 日付け原規規発第 1906035 号にて認可された工事計画の添付資料 11-16-1「緊急時対策棟（指揮所）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」（以下「川内新規制基準工認」という。）における川内 1 号機緊急時対策棟（指揮所）（以下「指揮所棟」という。）、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答モデル及び解析手法並びに平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の添付資料 3-16-20「代替緊急時対策所の地震応答解析」（以下「玄海新規制基準工認」という。）における玄海 3 号機代替緊急時対策所の地震応答解析モデル及び解析手法を、併せて示す。

第2-1表 地震応答解析モデル及び解析手法の概要(1/2)

項目		今回工認	参考（川内新規制基準工認）	参考（玄海新規制基準工認）	備考
		玄海3号機 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟	川内1号機 指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟	玄海3号機 代替緊急時対策所	
入力地震動の算定方法	水平方向	基準地震動を基に、一次元波動論により評価	同左	同左	
	鉛直方向	基準地震動を基に、一次元波動論により評価	同左	同左	
解析コード		NUPP4 Ver.1.4.13	TDAPIII Ver.3.08	NORA2D Ver.1.02	
建屋のモデル化	モデル	水平方向：並列多質点系曲げせん断棒モデル 鉛直方向：並列多質点系軸棒モデル	同左	水平方向：1軸多質点系曲げせん断棒モデル 鉛直方向：1軸多質点系軸棒モデル	
	材料物性	コンクリートのヤング係数 指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟： $E_c=2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 基礎： $E_c=2.27 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	コンクリートのヤング係数 指揮所棟： $E_c=2.59 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 加圧設備棟、燃料設備棟： $E_c=2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 基礎： $E_c=2.27 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	コンクリートのヤング係数 $E_c=2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	①
	剛性評価	水平方向：耐震壁を考慮 鉛直方向：耐震壁及び柱を考慮	水平方向：同左 鉛直方向：同左	水平方向：同左 鉛直方向：耐震壁を考慮	
	質点重量評価	階高の1/2の高さを基準に上下階に振り分け	同左	同左	
	減衰定数	水平方向：RC：5% 鉛直方向：RC：5%	同左	同左	②
地盤のモデル化	底面ばね	振動アドミッタンス理論に基づく近似法 水平方向：水平ばね及び回転ばねを考慮 鉛直方向：鉛直ばねを考慮	同左	同左	③ ④
	側面ばね	水平方向：考慮せず 鉛直方向：考慮せず	同左	同左	
非線形特性	耐震壁	水平方向：考慮 鉛直方向：考慮せず	同左	同左	③
	底面ばね	水平方向：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	同左	同左	

【表の備考欄に対応】

- ①：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会、2005 制定）及び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—（（社）日本建築学会、1999 改定）に基づき設定。
- ②：鉄筋コンクリートの減衰定数については、5%を基本とし、耐震性向上の観点から3%とした場合についても考慮。
- ③：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（（社）日本電気協会）に基づき設定。
- ④：底面ばねの剛性は0Hzにおける値を定式化。減衰係数は振動系全体のうち地盤の影響が卓越する最初の固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ傾きで定式化。

第2-1表 地震応答解析モデル及び解析手法の概要(2/2)

項目	今回工認		参考（川内新規制基準工認）	参考（玄海新規制基準工認）	備考
	玄海3号機 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟		川内1号機 指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟	玄海3号機 代替緊急時対策所	
モデル図	水平方向				
	鉛直方向				

7-2-1-別紙 1. 地震応答解析モデルにおける
質点重量及び剛性

目 次

	頁
1. 概 要	別 1 - 1
2. 質点重量の算出方法	別 1 - 3
2.1 質点重量の算出における基本方針	別 1 - 3
2.2 地震応答解析モデルの質点重量の内訳について	別 1 - 6
3. 剛性評価において考慮した耐震壁及び柱	別 1 - 9
3.1 緊対棟	別 1 - 9
3.2 加圧設備棟	別 1 - 15
3.3 燃料設備棟	別 1 - 18
4. 耐震壁の非線形特性の設定について	別 1 - 21
4.1 第 1 折点の設定	別 1 - 22
4.2 第 2 折点の設定	別 1 - 22
4.3 終局点の設定	別 1 - 23
5. まとめ	別 1 - 24

1. 概 要

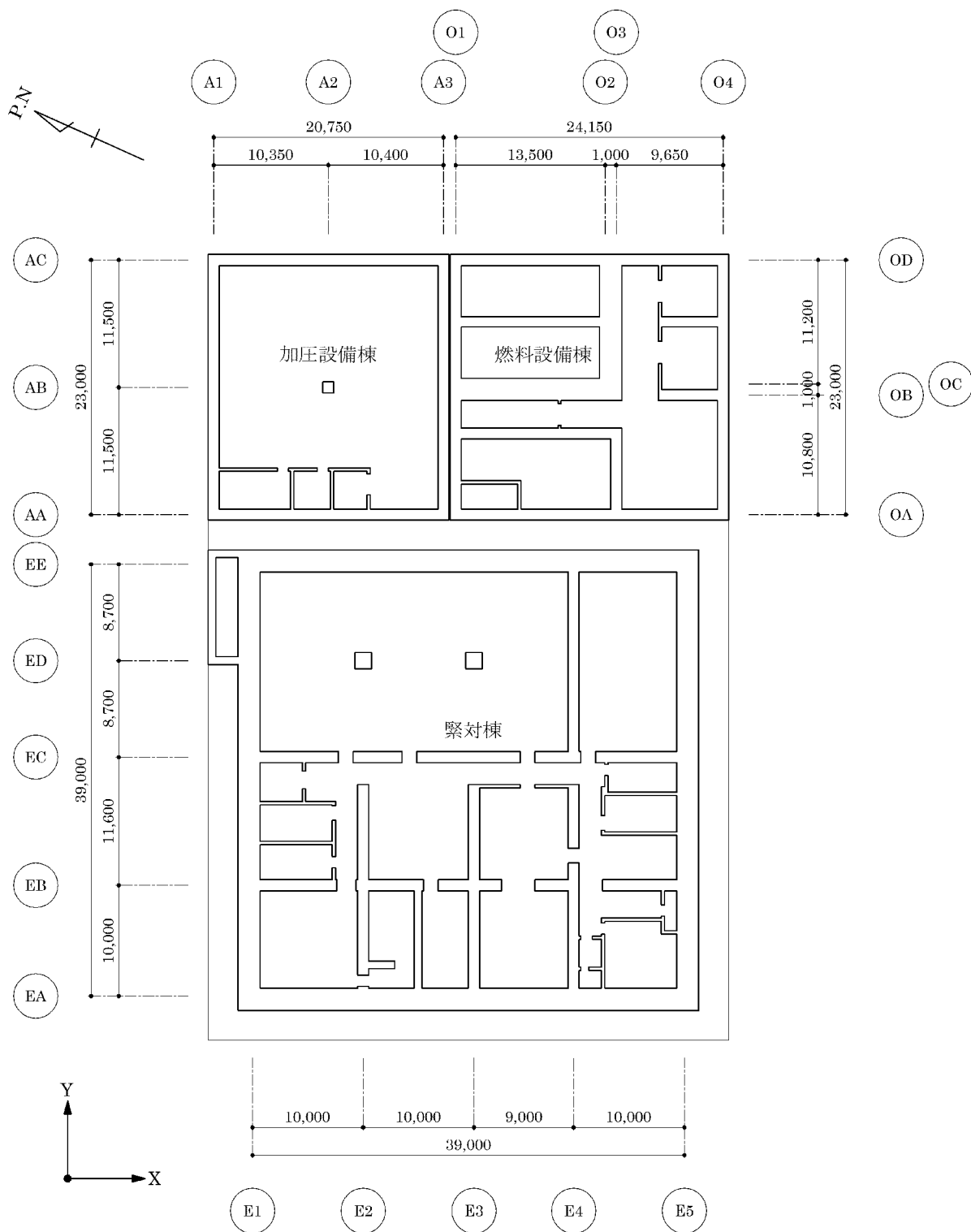
本資料は、緊急時対策棟（以下「緊対棟」という。）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）（以下「加圧設備棟」という。）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）（以下「燃料設備棟」という。）の地震応答解析モデルにおける質点重量の算出方法及び部材剛性評価において考慮した耐震壁を示すものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」

ここで、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、建屋の向きがプラントノースに対して東側に 65.8° 傾いているため、基礎版の短辺方向を X 方向、長辺方向を Y 方向と定義する。緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図を第 1-1 図に示す。

(mm)



第 1-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図 (地下 2 階)

2. 質点重量の算出方法

2.1 質点重量の算出における基本方針

地震応答解析モデルにおいて質点重量は各階床位置に集中しているものとし、階高の 1/2 の高さを基準に上下階に振り分けて算出している。質点重量の振り分けの概念図を第 2-1 図に示す。

(1) 固定荷重

固定重量については、鉄筋コンクリート躯体を主とし、仕上げ等を含めた重量とする。鉄筋コンクリート躯体の重量は、体積を算定し単位体積重量との積により算出する。また、人通開口等の壁開口については、開口に設置される建具等の重量を考慮するため、開口部分がないものとして躯体重量を算出する。

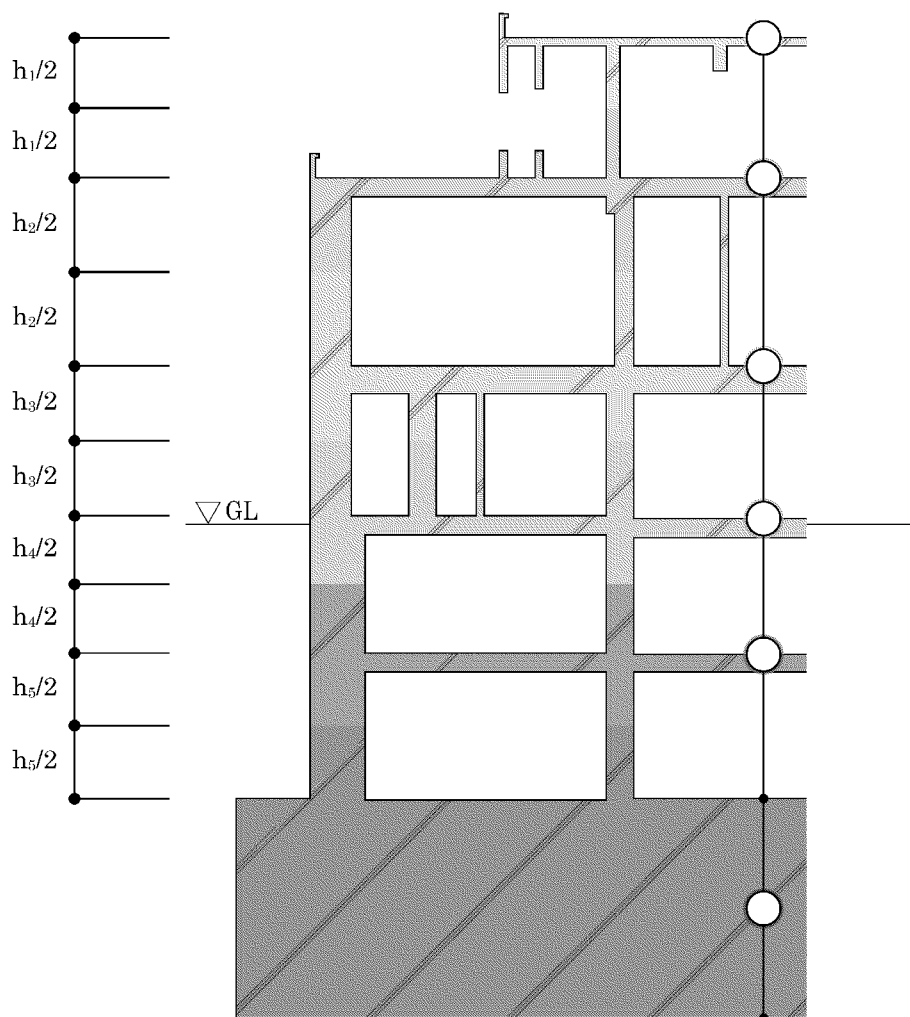
緊対棟について、各荷重の一例を以下に示す。

a. 躯体重量

- ・鉄筋コンクリート躯体重量：24.0kN/m³
- ・デッキプレート重量（デッキプレート、デッキ溝部コンクリート及びデッキ受け梁重量を含む）：3.3kN/m²

b. 仕上げ荷重

- ・屋根スラブ：アスファルト防水：2.5kN/m²
- ・地下外壁：防水仕上げ（パラテックス相当）：0.05kN/m²
- ・地上外壁：フカシ仕上げ：0.48kN/m²
- ・床：フリーアクセスフロア：0.5kN/m²



(注) 基礎浮上りを保守的に評価するため、基礎跳ね出し部分上部の地盤重量は考慮しない。

第 2-1 図 質点重量の振り分けの概念図

(2) 積載荷重

積載荷重による重量については、各エリアの用途に応じた積載荷重（床：0.5kN/m²、屋根：0.7kN/m²）に床面積を乗じることで算出し、加えて、機器荷重及び配管荷重を考慮する。機器荷重は、各機器重量の作用位置を考慮し、各棟・各層で集計した重量を用いる。配管荷重は、各棟・各層で設定した単位面積当たりの荷重に床面積を乗じることで算出する。

ここで、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎は、跳ね出し部を有するが、基礎浮上りを保守的に評価するため、基礎跳ね出し部分上部の地盤重量は考慮しないものとしている。

緊対棟を例として、各層の機器荷重及び配管荷重を第2-1表に示す。

第2-1表 機器荷重及び配管荷重（緊対棟）

フロア	質点番号 ^(注)	高さ EL. (m)	機器荷重 (kN)	配管荷重 (kN/m ²)
RFL	1	42.70	83.5	3.3
塔屋屋根	2	37.60	—	3.3
屋根			753.2	5.3
一般部				6.3
2FL	3	30.75	1,944.1	3.3
1FL	4	25.30	463.3	3.3
B1FL	5	20.30	579.1	3.3
B2FL	10	11.00	688.3	1.8

(注) 添付資料12-16-1「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」における地震応答解析モデルの番号を示す。

(3) 積雪荷重

積雪荷重が積載荷重を下回るため、積雪荷重は地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。積雪荷重が積載荷重を下回ることを確認は、補足説明資料7-2-2「地震荷重と風荷重、積載荷重と積雪荷重の比較」に示す。

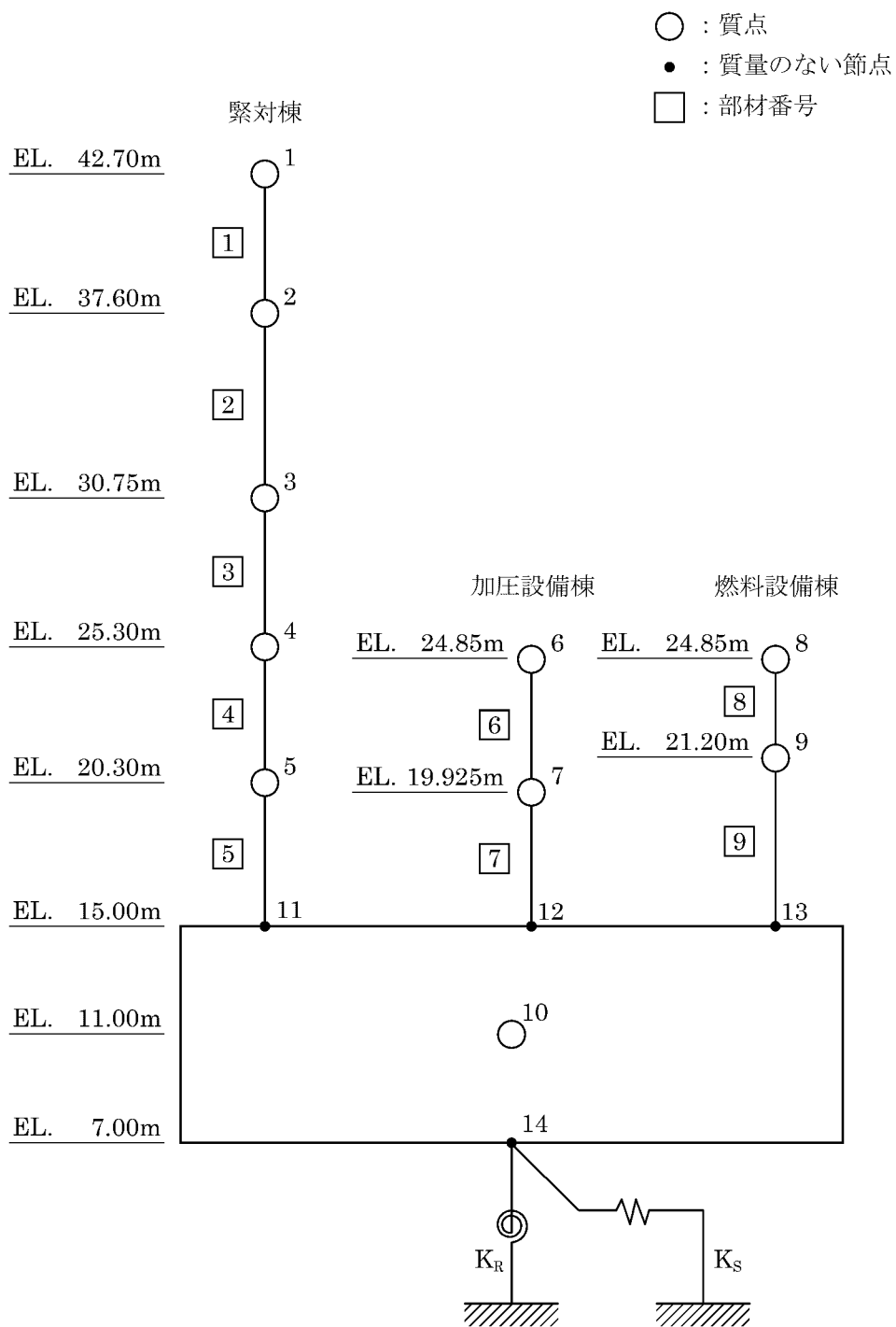
2.2 地震応答解析モデルの質点重量の内訳について

緊対棟の質点 3 を例として、質点重量の算定方法及び質点重量の内訳を第 2-2 表に示す。また、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルを第 2-2 図、地震応答解析モデルの諸元を第 2-3 表に示す。

第 2-2 表 質点重量の算出方法及び内訳（緊対棟、質点 3）

荷重		算出方法 ^(注)	重量内訳 (kN)
固定 荷重	コンクリート躯体	$24.0(\text{kN}/\text{m}^3) \times V$	93,925.0
	外壁仕上げ	地上部： $0.48(\text{kN}/\text{m}^2) \times A$ 地下部： $0.05(\text{kN}/\text{m}^2) \times A$	507.2
	フリーアクセスフロア	$0.5(\text{kN}/\text{m}^2) \times A$	106.1
	デッキプレート	$3.3(\text{kN}/\text{m}^2) \times A$	0.0
積載 荷重	積載荷重	$0.5(\text{kN}/\text{m}^2) \times A$	778.1
	機器荷重	各層機器重量	1,944.1
	配管荷重	$3.3(\text{kN}/\text{m}^2) \times A$	5,135.5
合計			1.02×10^5

(注) 記号の凡例…V：体積(m³)、A：面積(m²)



第 2-2 図 地震応答解析モデル (水平方向)

第 2-3 表 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

部位	質点 節点 番号	高さ EL. (m)	重量 (kN)	部材 番号	せん断 断面積 (m ²)		断面二次 モーメント (m ⁴)	
					X	Y	X	Y
緊対棟	1	42.70	1.61×10 ⁴	①	28	30	1.20×10 ³	1.06×10 ³
	2	37.60	8.31×10 ⁴	②	179	175	4.86×10 ⁴	4.64×10 ⁴
	3	30.75	1.02×10 ⁵	③	184	177	4.91×10 ⁴	4.43×10 ⁴
	4	25.30	9.31×10 ⁴	④	246	268	6.50×10 ⁴	6.64×10 ⁴
	5	20.30	9.09×10 ⁴	⑤	241	246	6.49×10 ⁴	6.25×10 ⁴
加圧 設備棟	6	24.85	2.77×10 ⁴	⑥	47	52	3.51×10 ³	4.73×10 ³
	7	19.925	2.26×10 ⁴	⑦	47	52	3.51×10 ³	4.73×10 ³
燃料 設備棟	8	24.85	3.29×10 ⁴	⑧	111	63	6.90×10 ³	4.92×10 ³
	9	21.20	3.23×10 ⁴	⑨	117	83	7.75×10 ³	6.04×10 ³
基礎	10	11.00	7.11×10 ⁵	Rigid				
	11	15.00	—					
	12	15.00	—					
	13	15.00	—					
	14	7.00	—					

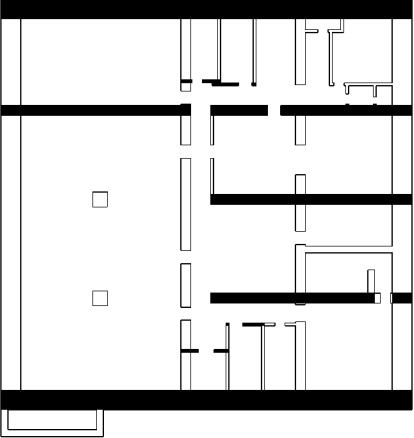
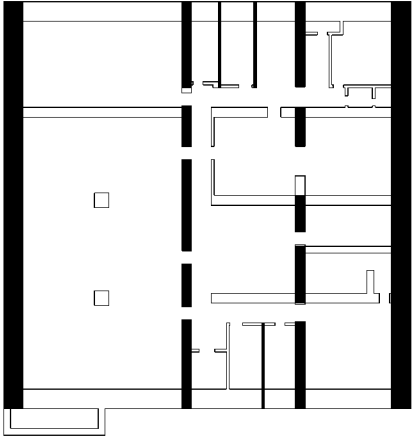
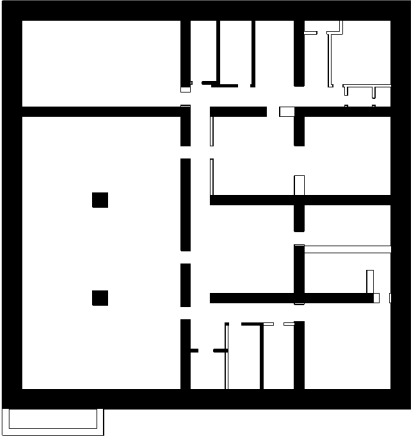
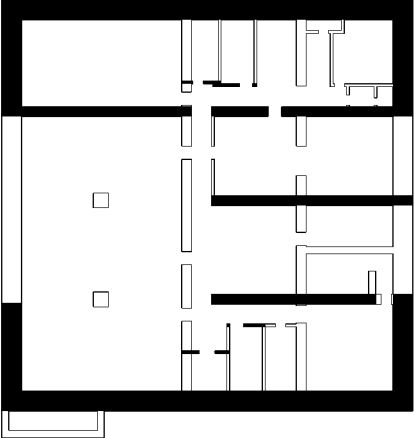
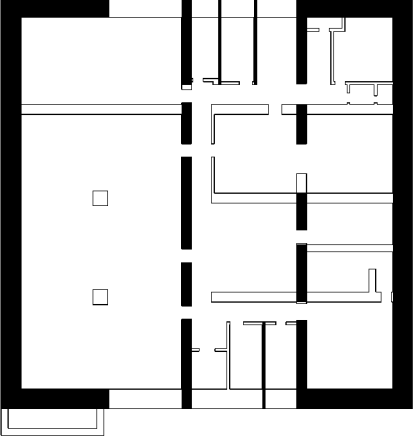
3. 剛性評価において考慮した耐震壁及び柱

建屋の部材剛性について、水平方向は、せん断剛性として地震方向の耐震壁におけるウェブ部分のせん断剛性 GA_s 、曲げ剛性として地震方向の耐震壁におけるウェブ部分及びフランジ部分の曲げ剛性 EI を考慮する。また、鉛直方向は、耐震壁及び柱の軸剛性 EA を考慮する。ここで、 G はコンクリートのせん断弾性係数、 E はコンクリートのヤング係数、 A_s は耐震壁のせん断断面積、 I は耐震壁の断面二次モーメント、 A は軸断面積である。

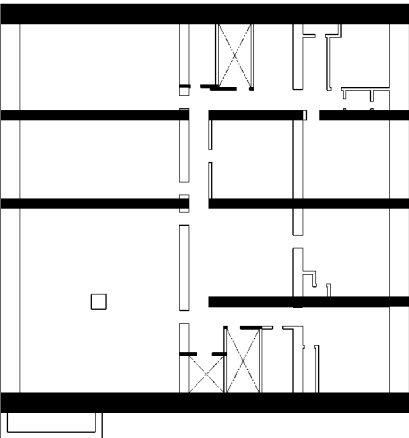
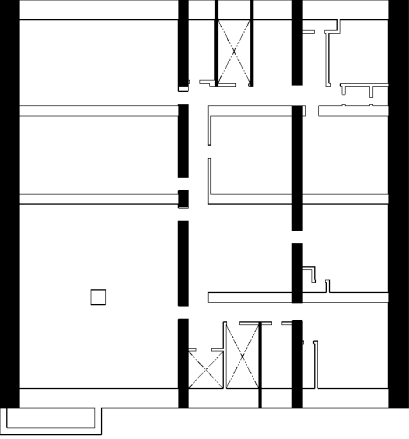
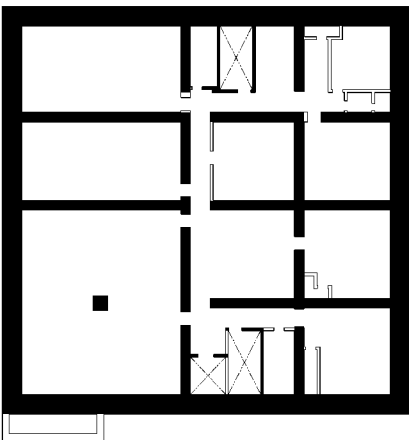
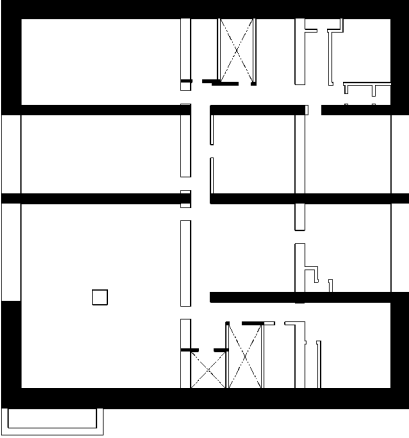
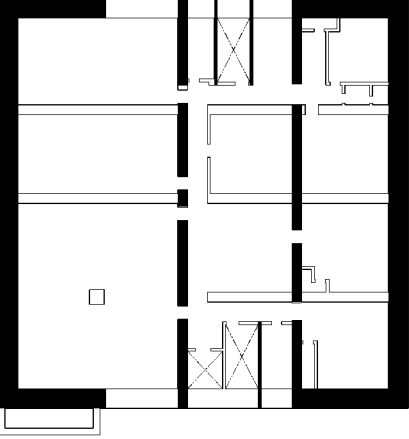
以下、各建屋の地震応答解析モデルにおけるせん断断面積 A_s 及び断面二次モーメント I 並びに鉛直方向の地震応答解析モデルにおける軸断面積 A の評価において考慮した耐震壁及び柱を示す。

3.1 緊対棟

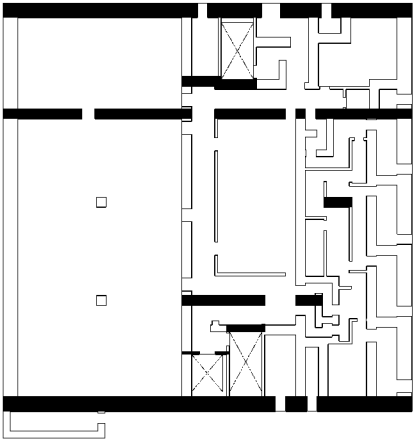
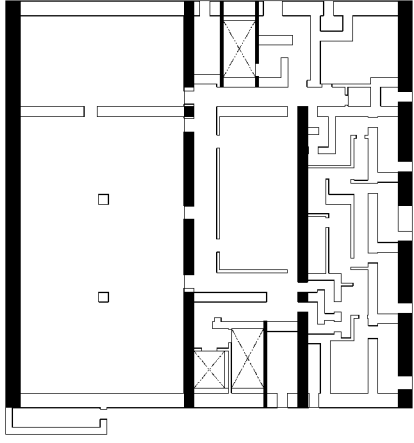
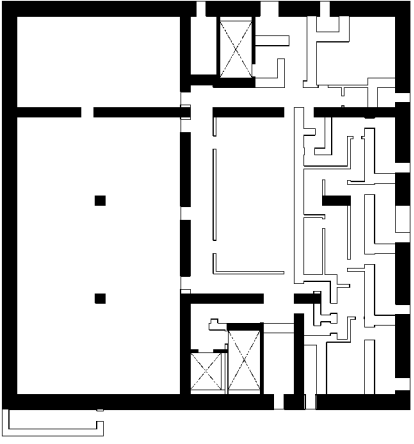
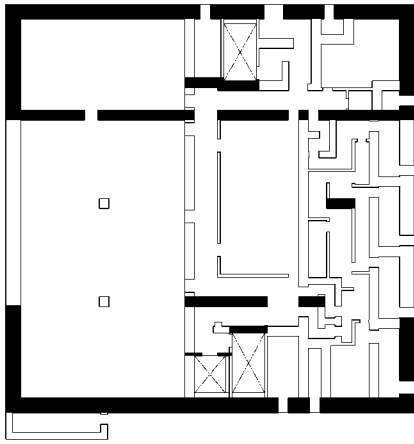
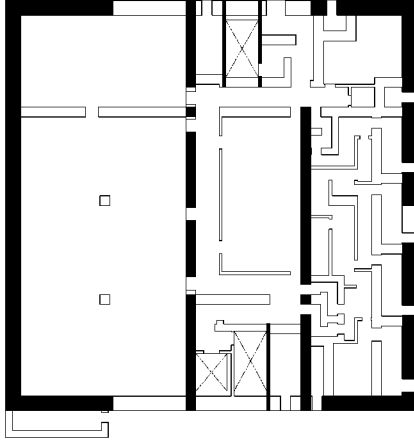
水平方向の地震応答解析モデルにおけるせん断断面積 A_s 及び断面二次モーメント I 並びに鉛直方向の地震応答解析モデルにおける軸断面積 A の評価において考慮した耐震壁及び柱を第 3-1 図～第 3-5 図に示す。

X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>軸断面積(A)</p>
 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	

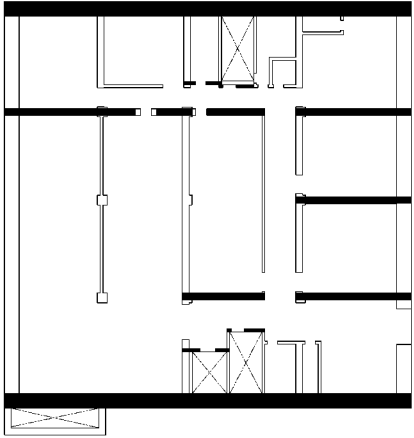
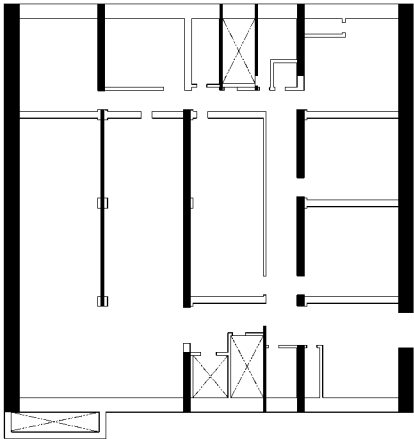
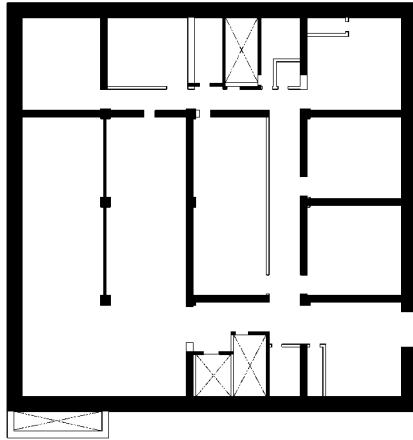
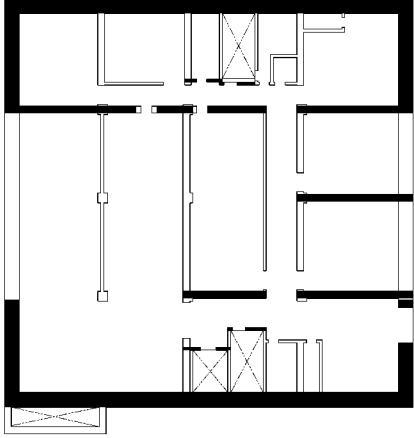
第 3-1 図 緊対棟(EL.15.00m)

X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p data-bbox="750 1601 790 1848">せん断面積(As)</p>	 <p data-bbox="750 996 790 1243">せん断面積(As)</p>	 <p data-bbox="1037 436 1077 593">軸断面積(A)</p>
 <p data-bbox="1324 1556 1364 1881">断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p data-bbox="1324 952 1364 1276">断面 2 次モーメント(I)</p>	

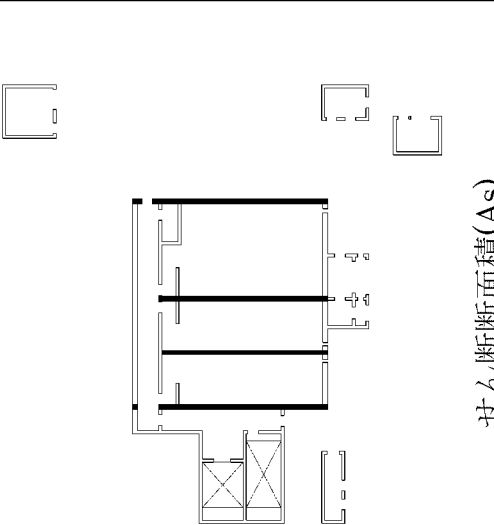
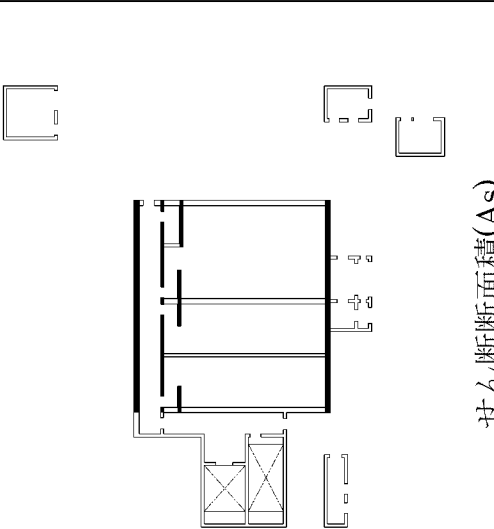
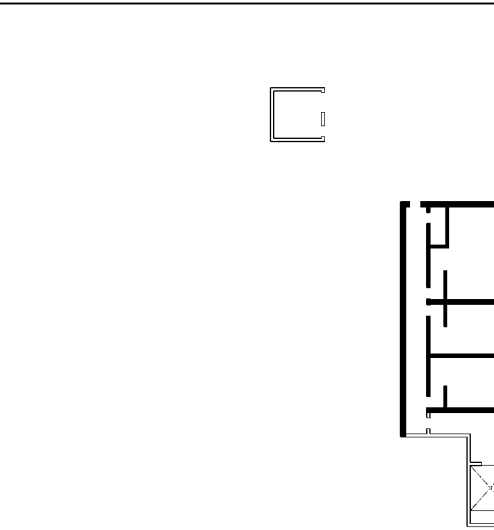
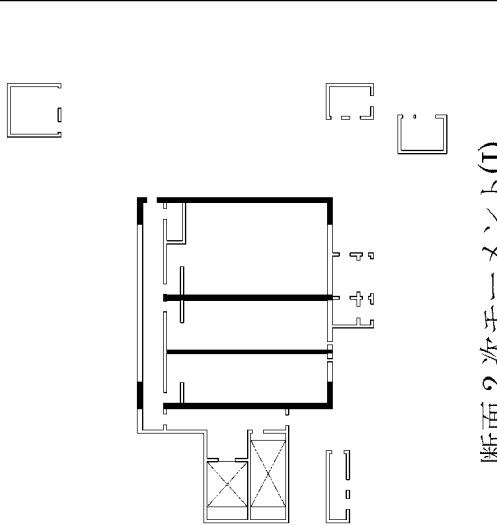
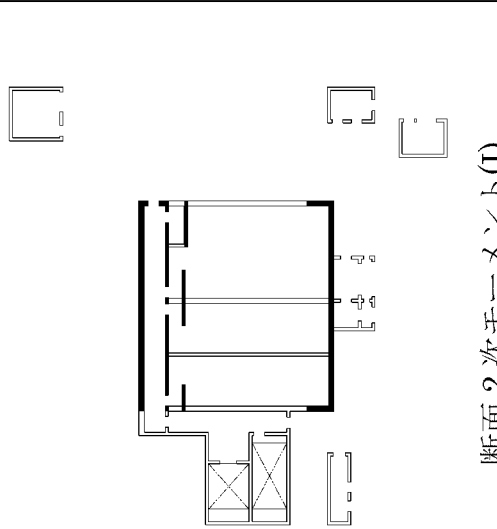
第 3-2 図 緊対棟(EL.20.30m)

X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>軸断面積(A)</p>
 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	

第 3-3 図 緊対棟(EL.25.30m)

X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>軸断面積(A)</p>
 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	

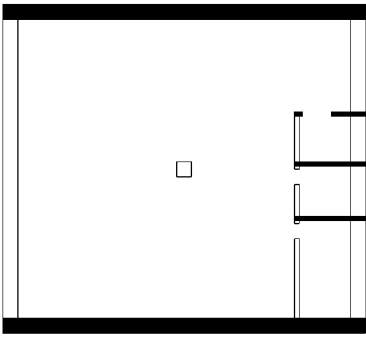
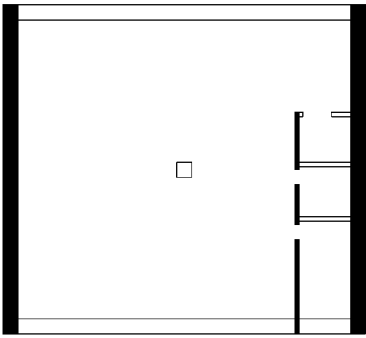
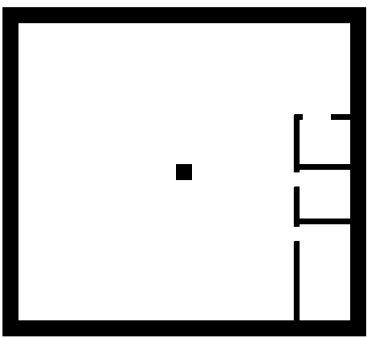
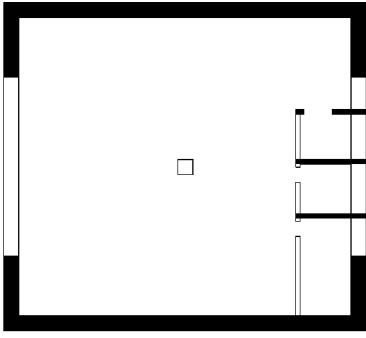
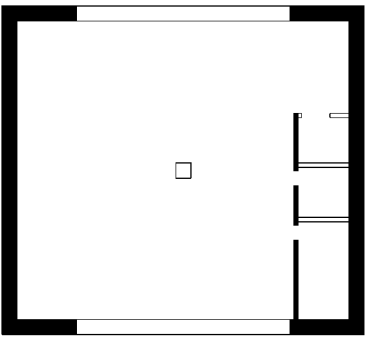
第 3-4 図 緊対棟(EL.30.75m)

X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p style="text-align: center;">せん断断面積(As)</p>	 <p style="text-align: center;">せん断断面積(As)</p>	 <p style="text-align: center;">軸断面積(A)</p>
 <p style="text-align: center;">断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p style="text-align: center;">断面 2 次モーメント(I)</p>	

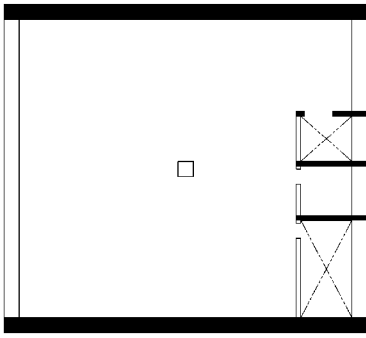
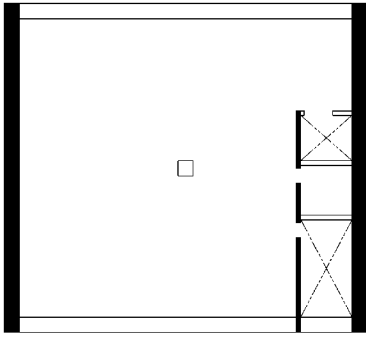
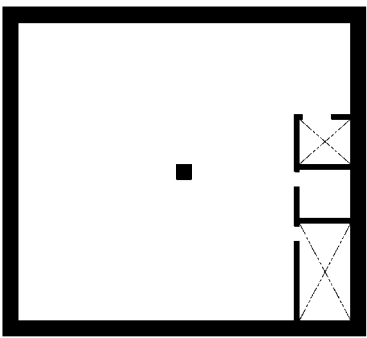
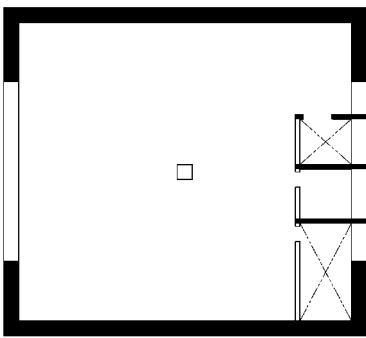
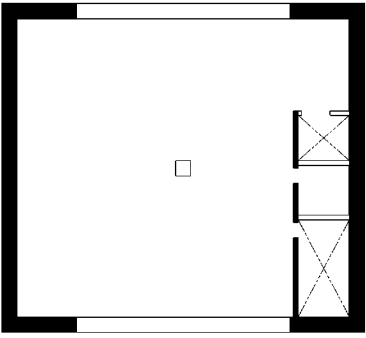
第 3-5 図 緊対棟(EL.37.60m)

3.2 加圧設備棟

水平方向の地震応答解析モデルにおけるせん断断面積 A_s 及び断面二次モーメント I 並びに鉛直方向の地震応答解析モデルにおける軸断面積 A の評価において考慮した耐震壁及び柱を第 3-6 図及び第 3-7 図に示す。

X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>軸断面積(A)</p>
 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	

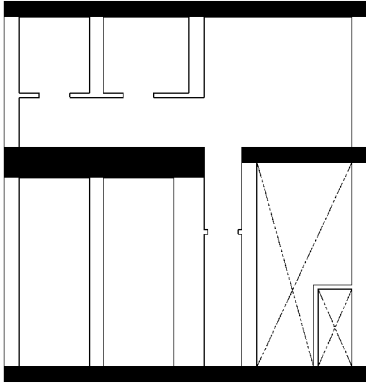
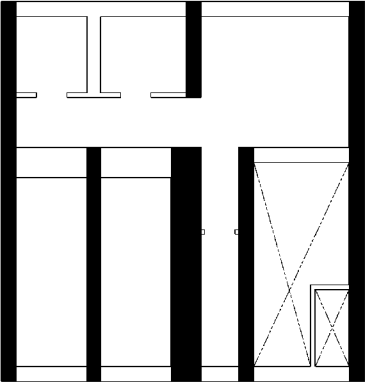
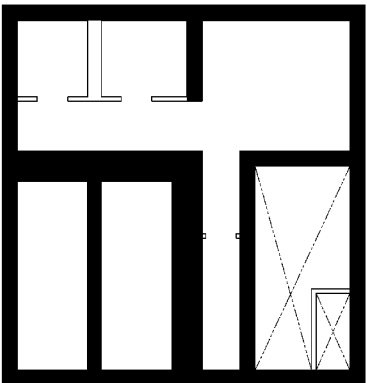
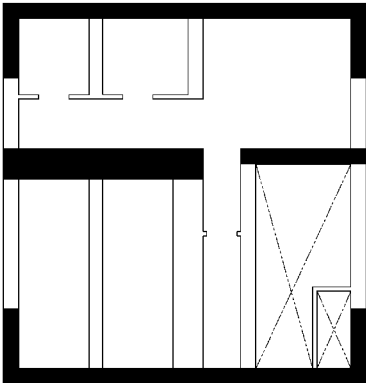
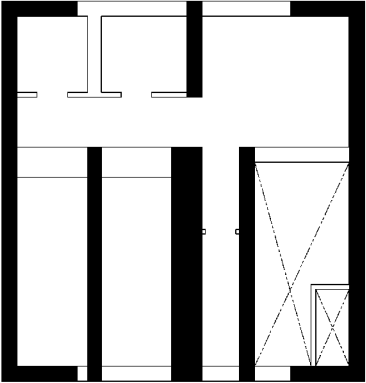
第 3-6 図 加圧設備棟(EL.15.00m)

X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>軸断面積(A)</p>
 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	

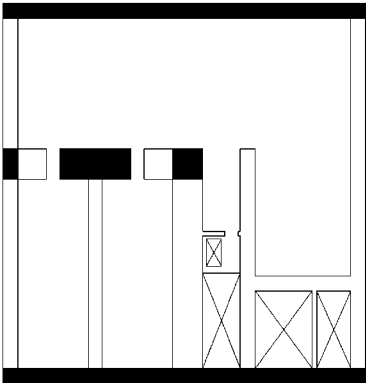
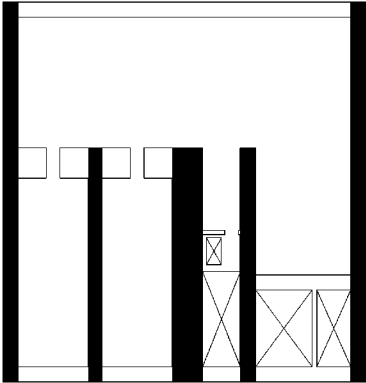
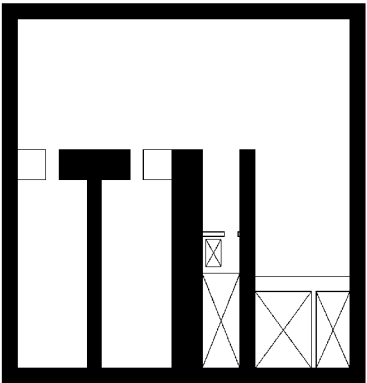
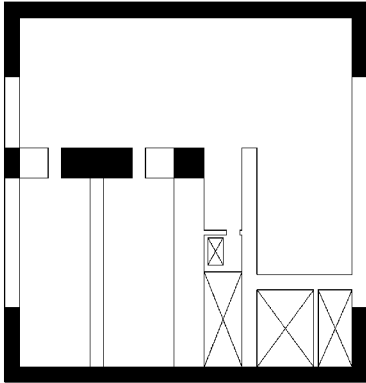
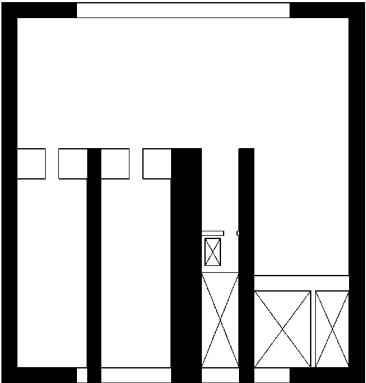
第 3-7 図 加圧設備棟(EL.19.925m)

3.3 燃料設備棟

水平方向の地震応答解析モデルにおけるせん断断面積 A_s 及び断面二次モーメント I 並びに鉛直方向の地震応答解析モデルにおける軸断面積 A の評価において考慮した耐震壁を第 3-8 図及び第 3-9 図に示す。

X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>軸断面積(A)</p>
 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	

第 3-8 図 燃料設備棟(EL.15.00m)

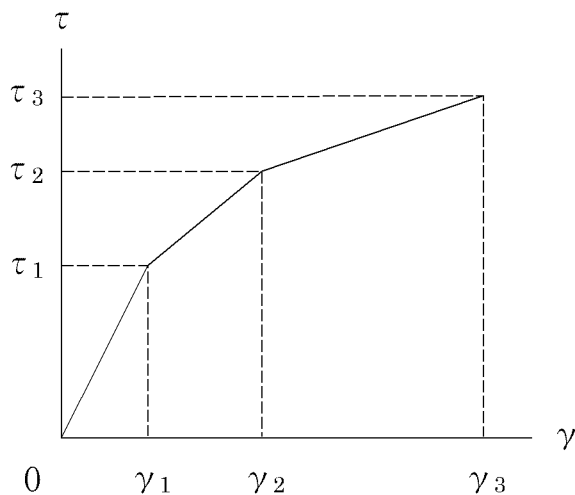
X 方向	Y 方向	鉛直方向
 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>せん断面積(As)</p>	 <p>軸断面積(A)</p>
 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	 <p>断面 2 次モーメント(I)</p>	

第 3-9 図 燃料設備棟(EL.21.20m)

4. 耐震壁の非線形特性の設定について

耐震壁の非線形特性は、「3. 剛性評価において考慮した耐震壁及び柱」に示した耐震壁について、添付資料 12-16-2 「緊急時対策棟の耐震計算書」、添付資料 12-16-4 「緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の耐震計算書」、添付資料 12-16-5 「緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）の耐震計算書」に示す壁の厚さ及び配筋を考慮し、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「JEAG4601-1991 追補版」という。）に基づき設定する。

以下、耐震壁の非線形特性のうち、せん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）の算出方法を示す。せん断応力度－せん断ひずみ関係を第 4-1 図に示す。



- 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(4.0×10^{-3})

第 4-1 図 せん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

4.1 第1折点の設定

せん断スケルトンカーブの第1折点は、JEAG4601-1991 追補版に基づき、以下の式より算出する。

$$\tau_1 = \sqrt{\sqrt{F_c}(\sqrt{F_c} + \sigma_v)}$$

$$\gamma_1 = \tau_1 / G$$

ここで、

F_c : コンクリートの圧縮強度(kgf/cm²)

G : コンクリートのせん断弾性係数(kgf/cm²)

σ_v : 縦軸応力度 (kgf/cm²) (圧縮を正とする。)

4.2 第2折点の設定

せん断スケルトンカーブの第2折点は、JEAG4601-1991 追補版に基づき、以下の式より算出する。

$$\tau_2 = 1.35\tau_1$$

$$\gamma_2 = 3\gamma_1$$

4.3 終局点の設定

せん断スケルトンカーブの終局点は、JEAG4601-1991 追補版に基づき、以下の式より算出する。

$\tau_s \leq 4.5\sqrt{F_c}$ の場合

$$\tau_3 = \left(1 - \frac{\tau_s}{4.5\sqrt{F_c}}\right) \tau_0 + \tau_s$$

$\tau_s > 4.5\sqrt{F_c}$ の場合

$$\tau_3 = 4.5\sqrt{F_c}$$

$$\gamma_3 = 4.0 \times 10^{-3}$$

ここで、

$$\tau_0 = \left(3 - \frac{1.8M}{QD}\right) \sqrt{F_c}$$

ただし、 $M/QD > 1$ のとき $M/QD = 1$

$$\tau_s = \frac{(P_V + P_H) \cdot {}_s\sigma_y}{2} + \frac{(\sigma_V + \sigma_H)}{2}$$

ここで、

P_V, P_H : 縦、横筋比 (実数)

σ_V, σ_H : 縦、横軸応力度(kgf/cm²) (圧縮を正とする。)

${}_s\sigma_y$: 鉄筋降伏応力度(kgf/cm²)

M/QD : シアスパン比

5. まとめ

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルにおける質点重量の算出方法を示した。また、地震応答解析モデルの部材剛性評価において考慮した耐震壁及び柱並びに耐震壁の非線形特性の算出方法を示した。

7-2-1-別紙 2. 建屋の滑動に関する検討

目 次

	頁
1. 概 要	別 2 - 1
2. 検討方法	別 2 - 2
3. 評価結果	別 2 - 4
4. まとめ	別 2 - 6

1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟（以下「緊急棟」という。）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）（以下「加圧設備棟」という。）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）（以下「燃料設備棟」という。）の滑動に関する評価について説明するものである。緊急棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎底面に設置されるマンメイドロックが厚く、四方を埋戻土で囲まれている特徴を踏まえ、地震応答解析により得られた建屋基礎底面に伝わる反力から、滑動の検討を行う。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・ 添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」

2. 検討方法

建屋の滑動については、以下の指針に検討方法が示されている。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 ((社) 日本電気協会)
(以下「JEAG4601-1987」という。)
- ・ 建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会、1999 改定)

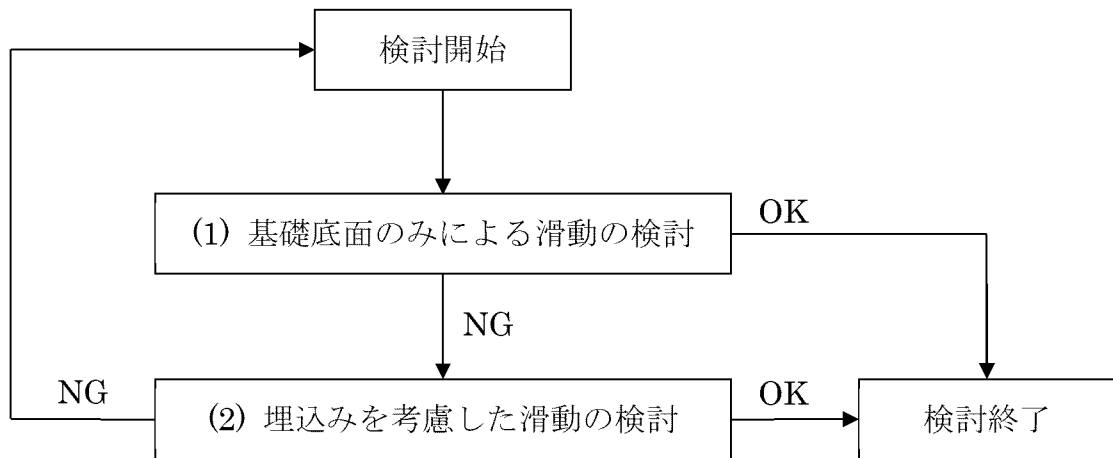
このうち、建築構造設計指針は、50 年～500 年に 1 回程度遭遇する地震荷重に対する一般建築物を対象とした検討方法であるのに対し、本検討では、より低頻度の基準地震動 S_s という大入力を考慮することから、JEAG4601-1987 を踏まえた検討を行う。

ここで、JEAG4601-1987 では、滑動の検討について、以下の 2 項目が示されている。

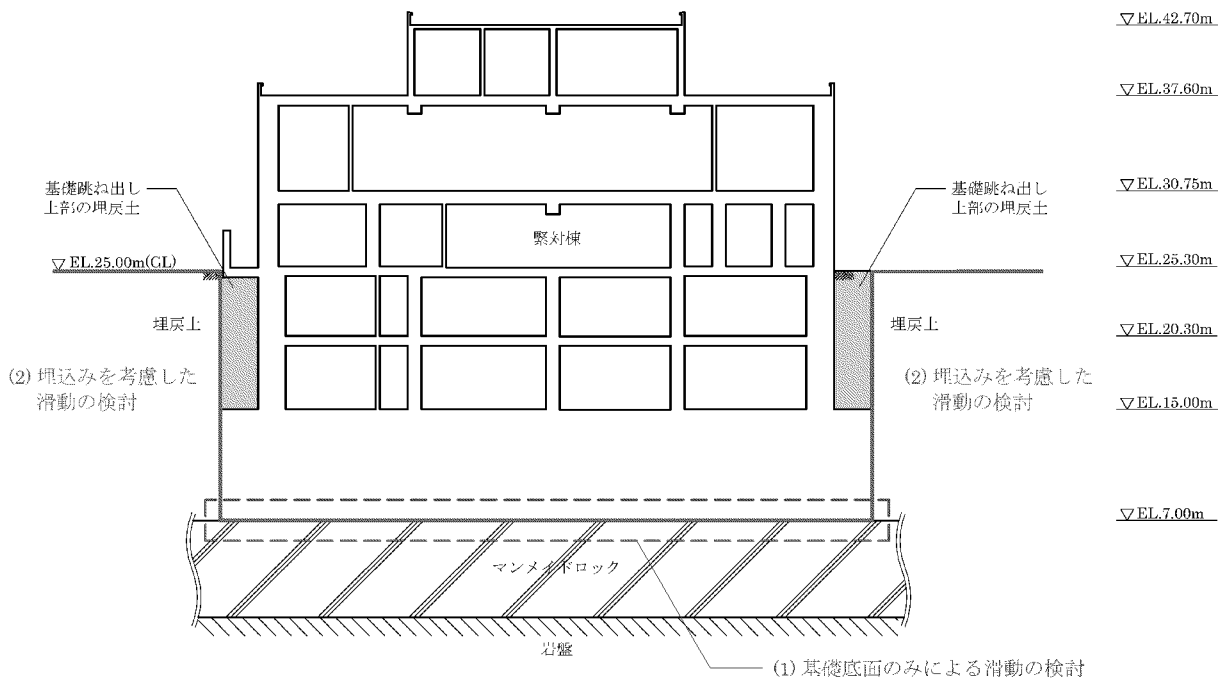
- (1) 基礎底面のみによる滑動の検討
- (2) 埋込みを考慮した滑動の検討

本資料では、緊急棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について滑動抵抗を算定し、建屋の基礎底面に作用する水平地震力と滑動抵抗とを比較することによって、滑動の検討を行う。添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」に示す地震応答解析モデルにおいて、保守的に建屋の埋込みによる効果を考慮していないことから、「(1) 基礎底面のみによる滑動の検討」を行う。また、参考として、「(2) 埋込みを考慮した滑動の検討」も行うものとする。

緊急棟、加圧設備棟及び燃料設備棟における滑動の検討フローを第 2-1 図に示す。また、建屋の滑動に対する概念図を第 2-2 図に示す。



第 2-1 図 滑動の検討フロー



第 2-2 図 建屋の滑動に対する概念図

3. 評価結果

(1) 基礎底面のみによる滑動の検討

基礎底面のみによる滑動の検討に用いる諸元を以下に示す。本検討においては、基礎底面の摩擦力のみを考慮する。

建屋総重量	:	1.212×10^6 (kN)
基礎跳出部上部埋土重量	:	8.792×10^4 (kN)
基礎底面に作用する水平地震力	:	6.19×10^5 (kN)
(基礎底面地盤ばね反力)		

ここで、基礎底面に作用する水平地震力は、添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」における地震応答解析モデルの基礎底面地盤ばね反力（水平方向）を用いる。

基礎底面の摩擦抵抗は、「(建屋総重量+基礎跳出部上部埋土重量)×摩擦係数 μ 」より算出する。マンメイドロック及び基礎コンクリート間の摩擦係数は、「道路橋示方書・同解説 ((社) 日本道路協会)」及び「道路土工擁壁工指針 ((社) 日本道路協会)」に準拠し、コンクリート同士の摩擦係数 $\mu = 0.6$ とする。したがって、基礎底面の摩擦抵抗は、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} \text{基礎底面の摩擦抵抗} &= (1.212 \times 10^6 \text{ (kN)} + 8.792 \times 10^4 \text{ (kN)}) \times 0.6 \\ &= 7.80 \times 10^5 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

緊急時対策棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎底面のみによる滑動の検討結果を第 3-1 表に示す。検討の結果、基礎底面に作用する水平地震力よりも基礎底面の摩擦抵抗が大きいことから、建屋の滑動が起こらないことを確認した。

第 3-1 表 基礎底面のみによる滑動の検討結果

①基礎底面に作用する水平地震力 (kN)	②基礎底面の摩擦抵抗 (kN)	安全率 (②/①)
6.19×10^5	7.80×10^5	1.25

(2) 埋込みを考慮した滑動の検討

(1)の検討結果より、建屋の滑動が起こらないことは確認しているが、ここでは、参考として、建屋の埋込みを考慮した滑動を検討する。

埋込みを考慮した滑動の検討においては、補足説明資料 7-2-5「入力地震動算定用地盤モデルの1次元地盤モデルと2次元地盤モデルの比較」で示した2次元地盤モデルを用いる。2次元地盤モデルは、建屋周辺の地盤を精緻にモデル化しているため、埋込みの影響を考慮したモデルとなっている。埋込みを考慮した滑動の検討に用いる諸元を以下に示す。

建屋総重量	:	1.212×10^6 (kN)
基礎跳出部上部埋土重量	:	8.792×10^4 (kN)
基礎底面に作用する水平地震力	:	5.75×10^5 (kN)

(2次元地盤モデルにおける基礎底面位置のせん断力)

ここで、基礎底面に作用する水平地震力は、2次元地盤モデルの地震応答解析結果より、建屋の基礎底面位置に作用するせん断力を用いる。また、基礎底面の摩擦抵抗については、(1)の検討と同様に、 7.80×10^5 (kN)とする。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の埋込みを考慮した滑動の検討結果を第3-2表に示す。検討の結果、建屋底面に作用する水平地震力よりも基礎底面の摩擦抵抗が大きいことから、建屋の滑動が起こらないことを確認した。

第3-2表 埋込みを考慮した滑動の検討結果

①基礎底面に作用する水平地震力 (kN)	②基礎底面の摩擦抵抗 (kN)	安全率 (②/①)
5.75×10^5	7.80×10^5	1.35

4. まとめ

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の滑動に関する検討を行った。検討の結果、建屋の滑動が起こらないことを確認した。

7-2-2. 地震荷重と風荷重、 積載荷重と積雪荷重の比較

目 次

	頁
1. 概 要	1
2. 地震荷重と風荷重の比較	2
2.1 風荷重の評価条件	2
2.2 荷重の比較	7
3. 積載荷重と積雪荷重の比較	12
4. まとめ	13

1. 概 要

添付資料12-9「機能維持の基本方針」において、風荷重については、コンクリート構造物などの自重が大きい施設を除いて、地震力と組み合わせることとしている。本資料は、緊急時対策棟（以下「緊対棟」という。）について、鉄筋コンクリート構造物に対する地震荷重と風荷重との比較を行い、風荷重の影響が軽微であることを確認することで、自重が大きい鉄筋コンクリート構造物については風荷重と地震荷重との組合せを考慮する必要がないことを説明するものである。

また、添付資料12-9「機能維持の基本方針」において、積雪荷重については、積雪による受圧面積が小さい施設、又は埋設構造物など常時の荷重に対して積雪荷重の割合が無視できる施設を除き、地震力と組み合わせることとしている。本資料は、緊対棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）（以下「加圧設備棟」という。）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）（以下「燃料設備棟」という。）について、積雪荷重が積載荷重に包絡されることを確認することで、積雪荷重と地震荷重との組合せは、積載荷重と地震荷重との組合せで考慮されることを説明するものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 12-16-1「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」

2. 地震荷重と風荷重の比較

2.1 風荷重の評価条件

緊対棟の風荷重の評価条件である速度圧を第 2-1 表に示す。

また、加圧設備棟及び燃料設備棟を含む各棟の概略平面図及び概略断面図を第 2-1 図及び第 2-2 図に示す。ここで、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、建屋の向きがプラントノースに対して東側に 65.8° 傾いているため、基礎版の短辺方向を X 方向、長辺方向を Y 方向と定義する。

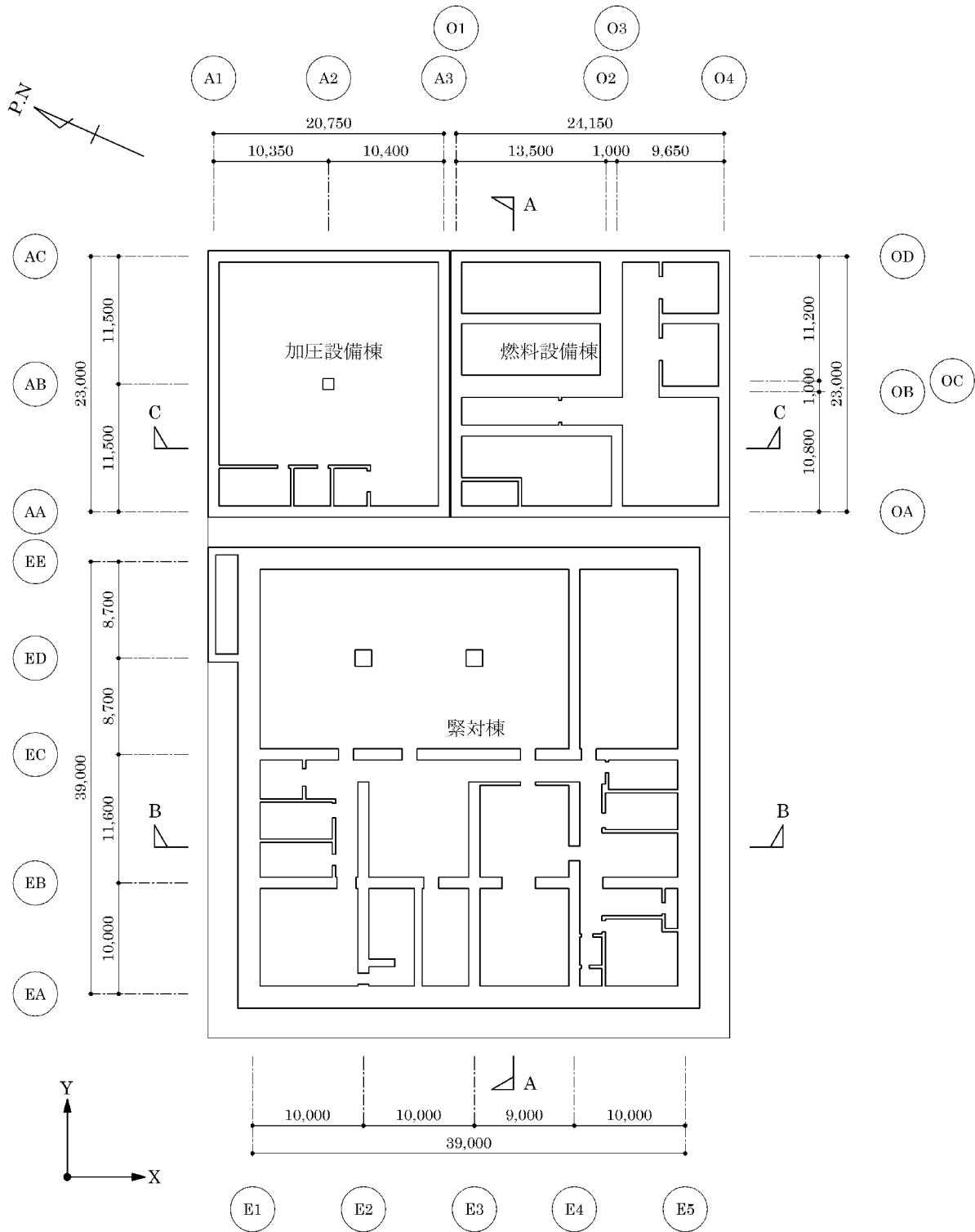
第 2-1 表 評価条件

	基準風速 V_D (m/s)	全高 H (m)	Z_G (m)	α	ガスト影響 係数 G	速度圧 q (N/m^2)
緊対棟	34	18.6	350	0.15	1.0	832

(注) 玄海原子力発電所敷地状況より、地表面粗度区分は II とする。

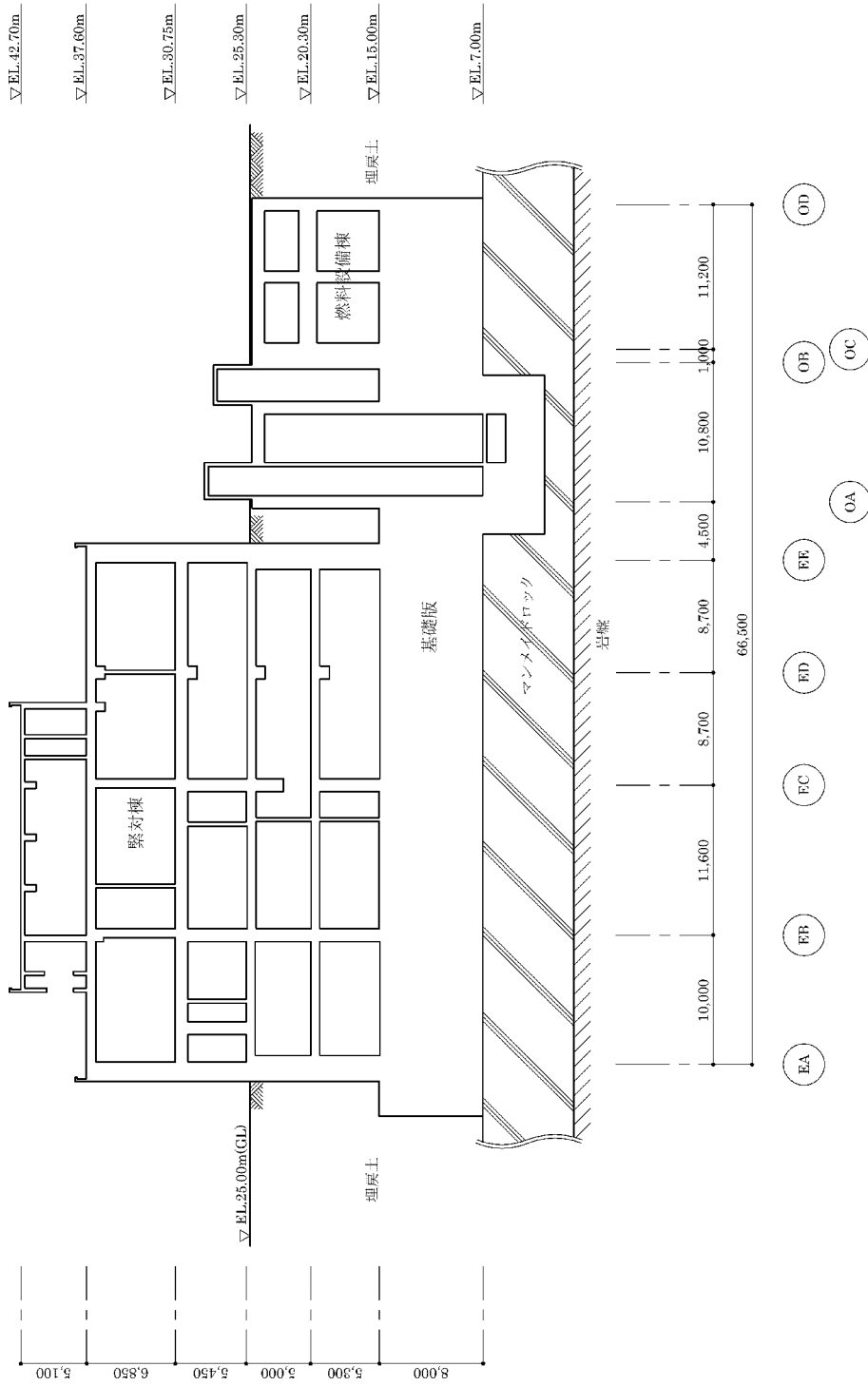
Z_G 、 α : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
地震と組み合わせる場合のガスト影響係数は 1.0 とする。

(mm)



第 2-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図 (地下 2 階)

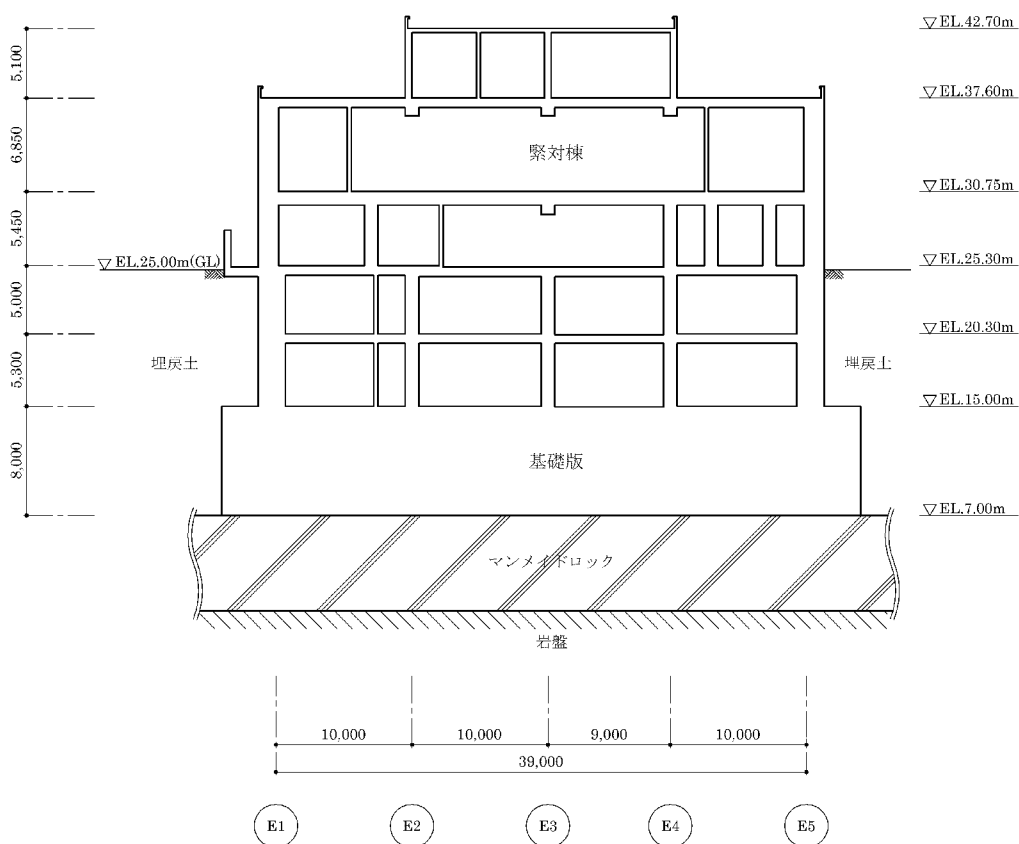
(mm)



(a) A-A 断面

第2-2 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略断面図(1/3)

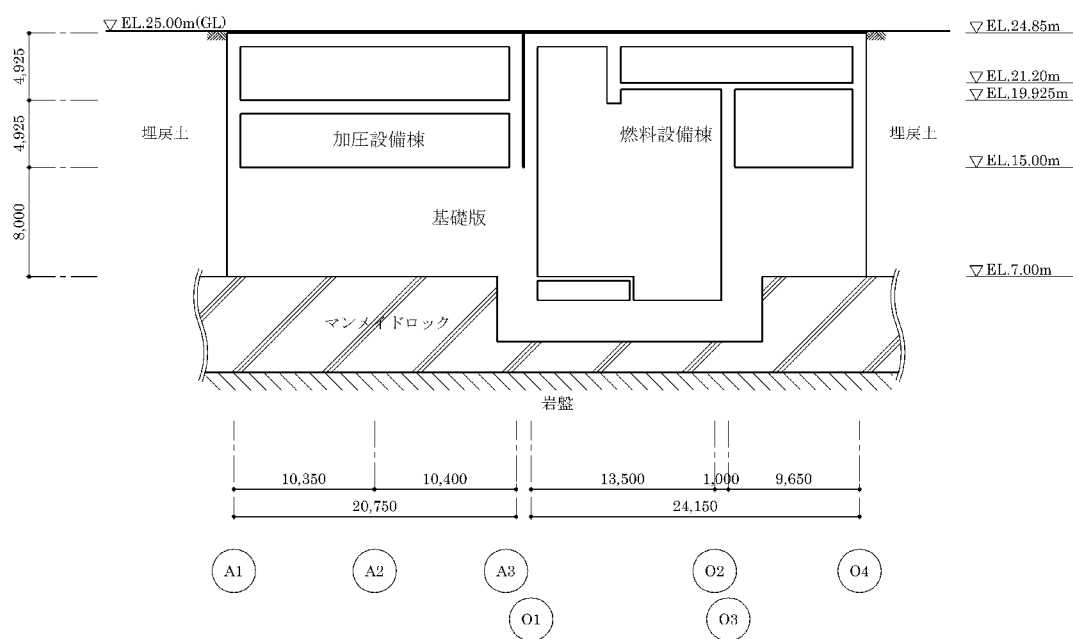
(mm)



(b) B-B 断面

第 2-2 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略断面図(2/3)

(mm)



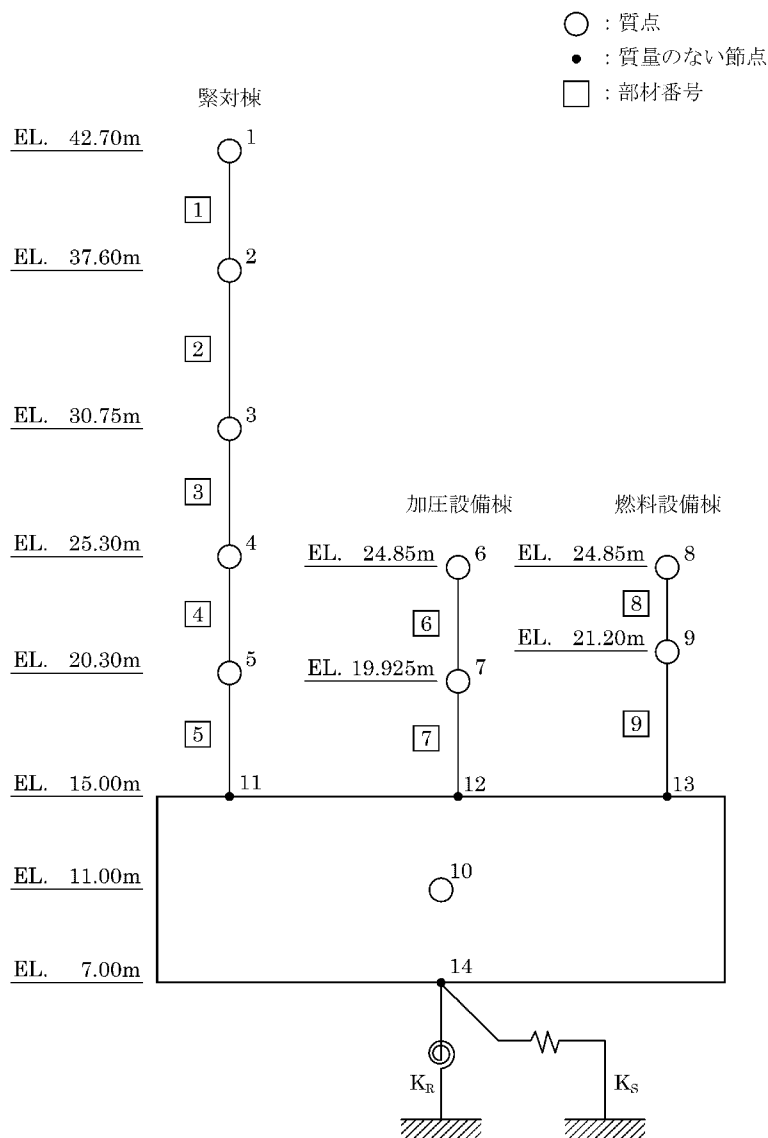
(c) C-C 断面

第 2-2 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略断面図(3/3)

2.2 荷重の比較

風荷重による層せん断力について、第2-1表に示す速度圧に基づき算出する。ここで、風荷重による層せん断力は、風荷重により発生する建屋の地震応答解析モデルにおける部材の層せん断力である。また、地震荷重による層せん断力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より得られた最大応答せん断力である。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルを第2-3図に示す。また、緊対棟の風荷重による層せん断力を第2-2表、風荷重による層せん断力と地震荷重による層せん断力の比較を第2-3表に示す。



第2-3図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデル（水平方向）

第 2-2 表 緊対棟の風荷重による層せん断力(1/2)

(a) X 方向正加力

部材 番号	高さ (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m ²)	速度圧 q (N/m ²)	風荷重による 層せん断力 $\Sigma q \cdot C \cdot A$ (kN)
1	EL.42.70~ EL.37.60	風上	0.80	161	832	161
		風下	-0.40	161		
2	EL.37.60~ EL.30.75	風上	0.80	402	832	562
		風下	-0.40	402		
3	EL.30.75~ EL.25.30	風上	0.80	256	832	818
		風下	-0.40	256		

(b) X 方向負加力

部材 番号	高さ (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m ²)	速度圧 q (N/m ²)	風荷重による 層せん断力 $\Sigma q \cdot C \cdot A$ (kN)
1	EL.42.70~ EL.37.60	風上	0.80	161	832	161
		風下	-0.40	161		
2	EL.37.60~ EL.30.75	風上	0.80	402	832	562
		風下	-0.40	402		
3	EL.30.75~ EL.25.30	風上	0.80	256	832	818
		風下	-0.40	256		

第 2-2 表 緊対棟の風荷重による層せん断力(2/2)

(c) Y 方向正加力

部材 番号	高さ (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m ²)	速度圧 q (N/m ²)	風荷重による 層せん断力 $\Sigma q \cdot C \cdot A$ (kN)
1	EL.42.70~ EL.37.60	風上	0.80	223	832	223
		風下	-0.40	223		
2	EL.37.60~ EL.30.75	風上	0.80	432	832	654
		風下	-0.40	432		
3	EL.30.75~ EL.25.30	風上	0.80	262	832	916
		風下	-0.40	262		

(d) Y 方向負加力

部材 番号	高さ (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m ²)	速度圧 q (N/m ²)	風荷重による 層せん断力 $\Sigma q \cdot C \cdot A$ (kN)
1	EL.42.70~ EL.37.60	風上	0.80	223	832	223
		風下	-0.40	223		
2	EL.37.60~ EL.30.75	風上	0.80	432	832	654
		風下	-0.40	432		
3	EL.30.75~ EL.25.30	風上	0.80	262	832	916
		風下	-0.40	262		

第 2-3 表 緊対棟の層せん断力の比較(1/2)

(a) X 方向正加力

部材 番号	風荷重による 層せん断力 ① ($\times 10^3 \text{kN}$)	地震荷重による 層せん断力 ② ($\times 10^3 \text{kN}$)	層せん断力比 ②/①
①	0.161	43.3	268
②	0.562	195	346
③	0.818	320	391

(b) X 方向負加力

部材 番号	風荷重による 層せん断力 ① ($\times 10^3 \text{kN}$)	地震荷重による 層せん断力 ② ($\times 10^3 \text{kN}$)	層せん断力比 ②/①
①	0.161	43.3	268
②	0.562	195	346
③	0.818	320	391

第 2-3 表 緊対棟の層せん断力の比較(2/2)

(c) Y 方向正加力

部材 番号	風荷重による 層せん断力 ① ($\times 10^3\text{kN}$)	地震荷重による 層せん断力 ② ($\times 10^3\text{kN}$)	層せん断力比 ②/①
①	0.223	39.5	177
②	0.654	193	295
③	0.916	317	346

(d) Y 方向負加力

部材 番号	風荷重による 層せん断力 ① ($\times 10^3\text{kN}$)	地震荷重による 層せん断力 ② ($\times 10^3\text{kN}$)	層せん断力比 ②/①
①	0.223	39.5	177
②	0.654	193	295
③	0.916	317	346

3. 積載荷重と積雪荷重の比較

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、積載荷重と積雪荷重の比較を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 積載荷重及び積雪荷重の比較

	地震荷重と組み合わせる積雪荷重 ① (注) (N/m ²)	地震荷重と組み合わせる積載荷重 ② (N/m ²)	荷重比 ②/①
緊対棟	140	700	5.00
加圧設備棟	140	700	5.00
燃料設備棟	140	700	5.00

(注) 建築基準法の多雪区域における積雪荷重及び地震荷重の組合せを適用して建築基準法施行細則（佐賀県）に定められた玄海町の垂直積雪量 20cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮して算出。

4. まとめ

本資料では、緊対棟について、地震荷重と風荷重を比較した結果、風荷重の影響が軽微であることから、自重が大きいコンクリート構造物については風荷重と地震荷重との組合せを考慮する必要はないことを確認した。

また、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、積雪荷重が積載荷重を下回るため、積雪荷重は地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮されることを確認した。

7-2-3. 地震応答解析に用いる
鉄筋コンクリート造部の減衰定数に関する検討

目 次

	頁
1. 概 要	1
2. 既往の知見の整理	2
2.1 RC 耐震壁試験	2
2.2 システム同定による評価	2
2.3 3次元 FEM モデルを用いた検討	2
3. 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の 地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数	4
4. まとめ	6

1. 概 要

本資料は、添付資料 12-6「地震応答解析の基本方針」において設定している、緊急時対策棟（以下「緊対棟」という。）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）（以下「加圧設備棟」という。）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）（以下「燃料設備棟」という。）の地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート造（以下「RC造」という。）の減衰定数の妥当性について説明するものである。

地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数について、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料 10-3「地震応答解析に用いるプレストレストコンクリート造部及び鉄筋コンクリート造部の減衰定数に関する検討」（以下「新規制基準工認補足 10-3」という。）における検討を整理し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基準地震動 S_s に対する応答レベルを確認した上で、入力地震動並びに建物・構築物の構造及び形状を踏まえた考察を行い、妥当性を確認する。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 12-16-1「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」

2. 既往の知見の整理

新規制基準工認補足 10-3 において、既往の実験及び観測結果の整理並びに玄海原子力発電所 3 号機の地震観測記録を用いた減衰定数の検討を行っている。

これらの結果を以下の通り整理する。

2.1 RC 耐震壁試験

(財) 原子力発電技術機構において、ボックス型 RC 耐震壁が多方向から同時に地震力を受ける際の動的挙動の調査を目的とした 3 次元振動台を用いた加振試験（以下「RC 耐震壁試験」という。）^(注) が実施されている。

RC 耐震壁試験の結果より、減衰定数は応答レベルが大きくなるにつれて大きくなる傾向であることを確認している。

(注) 松本ほか：論文 RC 耐震壁の多方向同時入力振動台試験 コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.2、2003

2.2 システム同定による評価

新規制基準工認補足 10-3 において、玄海原子力発電所 3 号機の内部コンクリートについて、地震観測記録を用いたシステム同定による減衰定数の評価を実施している。

システム同定により評価した減衰定数は、観測記録レベルにおいて 5~8% 程度であり、振幅依存性が期待できるとしている。

2.3 3 次元 FEM モデルを用いた検討

新規制基準工認補足 10-3 において、玄海原子力発電所 3 号機の原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋について、原子炉格納容器の減衰定数を 2%かつ原子炉周辺建屋の減衰定数を 3%とした 3 次元 FEM モデル及び原子炉格納容器の減衰定数を 3%かつ原子炉周辺建屋の減衰定数を 5%とした 3 次元 FEM モデルにより、観測記録を用いた地震応答解析を行い、床応答スペクトルを算定して、観測記録との比較を実施している。

比較の結果、RC 造部である原子炉周辺建屋に着目すると、減衰定数の違いによる床応答スペクトルの差はわずかであるか、または、減衰定数を 5%とした解析結果の方が、観測記録との整合が良い結果となっている。

以上より、新規制基準工認補足 10-3 においては、玄海原子力発電所 3 号機の建物・構築物について、地震応答解析モデルに用いる減衰定数を 5% とすることの妥当性を確認している。但し、RC 造の単純な構造体は、振幅依存性が期待できるものの、構造の複雑さによる減衰効果が期待しにくいことから、弾性設計用地震動 S_d を用いた評価においては、減衰定数の設定に起因する不確かさを考慮することとしている。減衰定数の設定に起因する不確かさとしては、川内原子力発電所と同様に、減衰定数を 3% とした場合を考慮することとしている。

既往の知見の整理を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 既往の知見の整理

応答レベル	線形		非線形		
	微小振幅領域	第 1 折点 未満	第 1 折点 付近	第 2 折点 付近	許容限界 付近
玄海原子力発電所 3 号機における 地震動	観測記録	弾性設計用地震動 S_d	基準地震動 S_s		
RC 耐震壁試験 ※履歴減衰を含む		1~4% 程度	5% 程度	6~7% 程度	6~7% 程度
地震観測記録 による評価	5~8% 程度	5% 程度	5% 程度以上	5% 程度以上	5% 程度以上
3 次元 FEM モデル を用いた検討	5% 程度	5% 程度			

3. 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数

基準地震動 S_s に対する緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の応答レベルと、既往の知見との関係を確認し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数を 5% とすることの妥当性を確認する。

基準地震動 S_s に対する緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の最大せん断ひずみは、添付資料 12-16-1「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」より、第 1 折点未満である。

したがって、既往の知見における第 1 折点未満の減衰定数に着目し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数について、考察を行う。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の応答レベルと既往の知見との関係を第 3-1 表に示す。

RC 耐震壁試験について、第 1 折点未満における減衰定数は、1~4%程度となっている。但し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、多数の耐震壁及び構造床から構成された 3 次元的な広がりを持つ複雑な構造体であり、このような複雑な構造体は、地震時の接合部及び直交部材の挙動により、減衰効果が得られると考えられることから、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の減衰定数は、RC 耐震壁試験より得られた減衰定数より大きな減衰定数であると推定される。

地震観測記録を用いたシステム同定による評価について、微小振幅領域である観測記録地震動レベルにおいて、5~8%程度の減衰定数が得られており、第 1 折点未満においては、5%程度の減衰定数となっている。さらに、システム同定に用いた観測記録は、基礎上端の応答加速度が水平方向 1~90cm/s²、鉛直方向 1~50cm/s² 程度であり、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟における入力地震動（基準地震動 S_s : 水平方向 150~490cm/s²、鉛直方向 160~410cm/s² 程度）とのレベル差を考慮すると、振幅依存性により、5%程度以上の減衰定数が得られるものと考えられる。

3 次元 FEM モデルを用いた検討について、RC 造部である原子炉周辺建屋についての検討結果は、減衰定数の違いによる床応答スペクトルの差はわずかであるか、または、減衰定数を 5% とした解析結果の方が、3% とした解析結果と比較して観測記録との整合が良い結果となった。緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、原子炉周辺建屋と同様に、複雑な構造物であることから、地震応答解析モデルに設定する RC 造部の減衰定数を 5% とすることで、観測記録により近い床応答が得られる

と推定される。

以上より、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析に用いる RC 造部の減衰定数は、5%が妥当である。

第 3-1 表 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の応答レベルと既往の知見との関係

応答レベル	線形		非線形		
	微小振幅領域	第 1 折点 未満	第 1 折点 付近	第 2 折点 付近	許容限界 付近
緊対棟、加圧設備棟 及び燃料設備棟 における地震動		基準地震動 Ss			
RC 耐震壁試験 ※履歴減衰を含む		1~4% 程度	5% 程度	6~7% 程度	6~7% 程度
地震観測記録 による評価	5~8% 程度	1~数% 程度以上	5% 程度以上	5% 程度以上	5% 程度以上
3次元 FEM モデル を用いた検討	5%程度	5%程度			

4. まとめ

地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数について、新規制基準工認補足 10-3 における検討を整理し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基準地震動 S_s に対する応答レベルを確認した上で、入力地震動並びに建物・構築物の構造及び形状を踏まえた考察を行った。

考察の結果、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数は、基準地震動 S_s に対して、5%が妥当である。

但し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、新設の構造物であるため、耐震性向上の観点から、減衰定数の設定に起因する不確かさとして、3%とした場合を考慮する。

7-2-4. 地震応答解析における
材料物性のばらつきに関する検討

目 次

	頁
1. 概 要	1
1.1 検討概要	1
1.2 検討方針	3
2. 検討ケース	5
3. 材料物性のばらつきの設定	8
3.1 地盤物性のばらつきの設定について	8
3.2 コンクリート強度のばらつきの設定について	11
4. 地盤物性のばらつきによる影響	12
4.1 検討方針	12
4.2 固有値解析結果	13
4.3 地震応答解析結果	21
5. コンクリート強度のばらつきによる影響	30
5.1 検討方針	30
5.2 固有値解析結果	31
5.3 地震応答解析結果	36
6. 地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきによる影響	45
6.1 検討方針	45
6.2 固有値解析結果	46
6.3 地震応答解析結果	54
7. 建物・構築物の耐震性評価における設計用地震力の設定	63
8. まとめ	72
別紙1 コンクリート強度のばらつきによる建屋応答への影響に関する考察	
別紙2 機器・配管系評価への影響	

1. 概 要

1.1 検討概要

本資料は、緊急時対策棟（以下「緊対棟」という。）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）（以下「加圧設備棟」という。）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）（以下「燃料設備棟」という。）の地震応答解析における材料物性のばらつきの考慮に関する検討について説明するものである。

地震応答解析に用いる材料定数は、地盤定数を含む材料物性のばらつきによる変動幅を適切に考慮することとしているが、本資料では、地盤物性のばらつき及び建屋剛性の変動について変動幅を設定し、地盤定数を含む材料物性のばらつきが地震応答解析結果に及ぼす影響を検討する。また、その影響検討結果を踏まえ、建物・構築物の耐震計算書において考慮する材料物性のばらつきについて検討する。

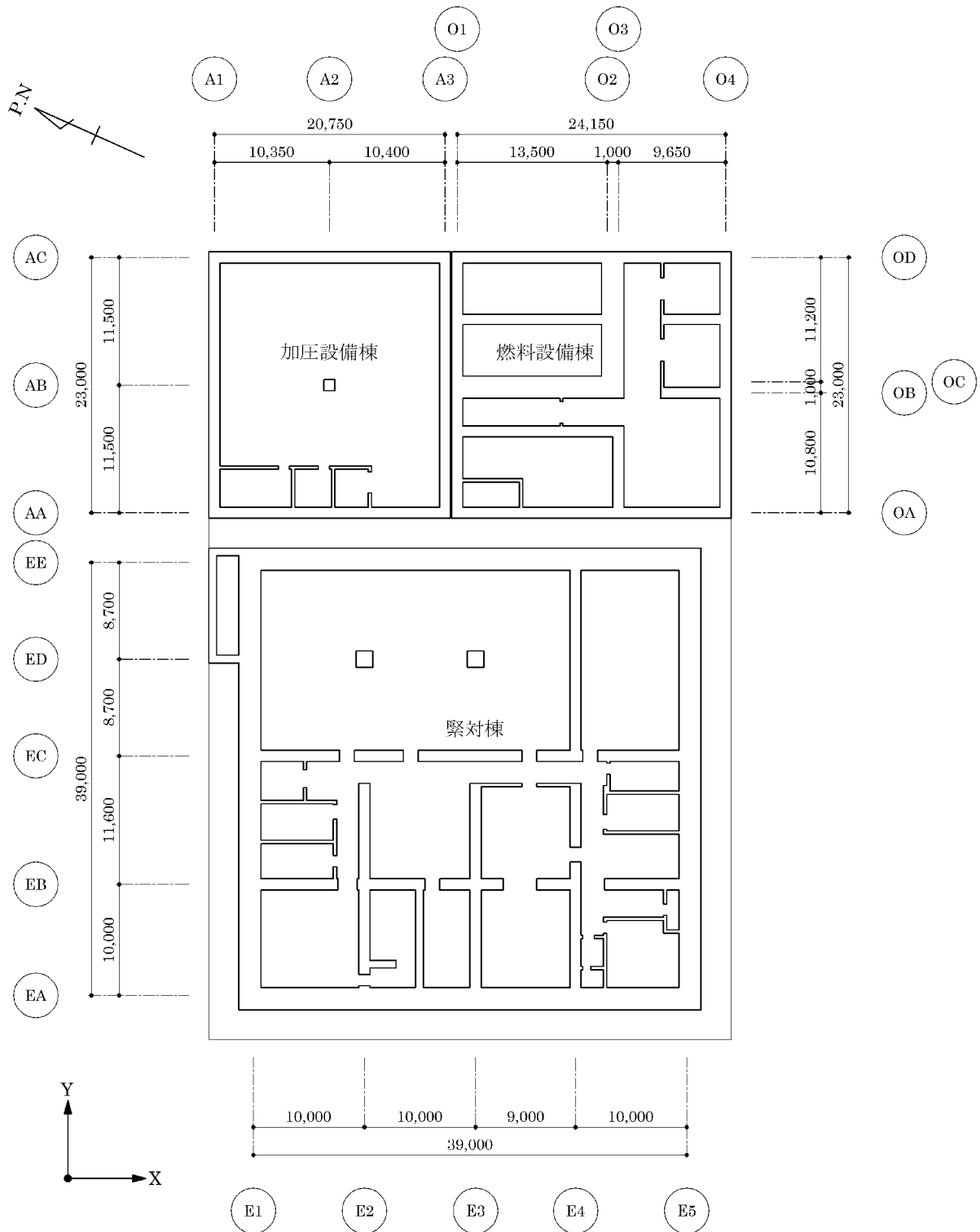
さらに、材料物性のばらつきの影響評価として、機器・配管系の評価への影響について、別紙2「機器・配管系評価への影響」に示す。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」

ここで、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、建屋の向きがプラントノースに対して東側に 65.8° 傾いているため、基礎版の短辺方向を X 方向、長辺方向を Y 方向と定義する。緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図を第 1-1 図に示す。

(mm)



第 1-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図 (地下 2 階)

1.2 検討方針

建物・構築物の動的地震力は、時刻歴応答解析法による地震応答解析結果に基づき設定しており、地震応答解析により得られる床応答スペクトルは、地盤剛性、建屋剛性、地盤のばね定数の算定式、減衰定数、地震波の位相特性等の影響を受ける。特に床応答スペクトルの変動に影響を及ぼす因子としては地盤剛性と建屋剛性であることが確認されている。^(注)

建物・構築物の地震応答解析モデルについて、地盤との相互作用を考慮した地震応答解析モデルにおける地盤ばねは、実測した地盤のせん断波速度 V_s を用いて算定していることから、地盤物性のばらつきが建屋応答へ影響を及ぼすことが考えられる。

また、建物・構築物の地震応答解析モデルの剛性は、コンクリート強度として設計基準強度を用いて算定しているが、構造体コンクリートの強度は設計基準強度を上回るよう設計されるため、実構造物と地震応答解析モデルとで建屋剛性が異なることが考えられる。

そこで、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮したモデルによる地震応答解析を行い、建物・構築物の応答及び耐震安全性に及ぼす影響について検討する。

ここで、建物・構築物の地震応答解析モデルの剛性設定について、壁の剛性評価方針を第 1-1 表に示す。耐震壁として考慮していない壁（補助壁）が存在する場合は、実現象においては補助壁が地震応答解析モデルの剛性に寄与することが考えられるが、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟については、ほぼ全ての構造耐力上主要な壁の剛性を考慮しているため、補助壁が地震応答解析モデルの剛性に及ぼす影響は小さい。緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルの剛性設定に際して考慮した耐震壁を補足説明資料 7-2-1-別紙「地震応答解析モデルにおける質点重量及び剛性」に示す。

(注) 日本電気協会：「参考資料 4.7 鉛直方向の設計用床応答スペクトルの拡幅率」、第 29 回耐震設計分科会資料 No.29-4-5-7、平成 20 年 1 月 18 日

第 1-1 表 壁の剛性評価方針

壁の種類	剛性評価方針
耐震壁	通り芯上の壁で、壁厚が 300mm 以上の壁を「耐震壁」と定義する。耐震壁は、全て剛性評価の対象とする。 ^(注1) ^(注2)
補助壁	耐震壁以外の壁を「補助壁」と定義する。補助壁のうち、「基礎から屋根まで連層となる壁で、壁厚 300mm 以上の壁」については、剛性評価の対象とする。 ^(注1) ^(注2)

(注 1) 開口により剛性評価に参入できないと判断される壁については、剛性評価の対象としない。

(注 2) 緊対棟の 3 階部分については、ペントハウス状の躯体形状となっているため、通り芯上の壁ではない部位についても、耐震壁又は補助壁として取り扱い、剛性評価に参入する。

2. 検討ケース

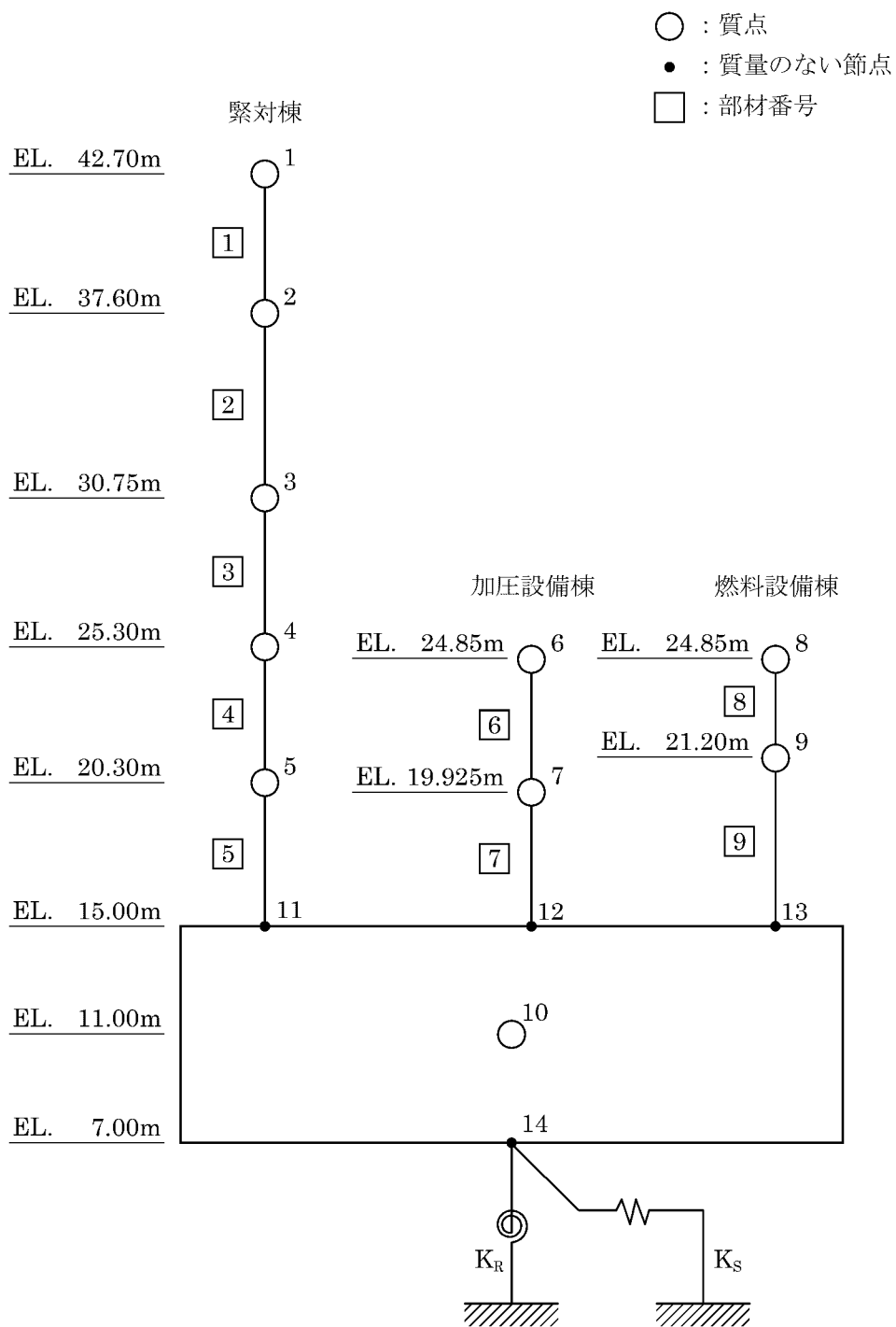
地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきについて、これらを考慮した場合の固有値解析及び地震応答解析を行い、建物・構築物の応答及び耐震安全性に及ぼす影響について検討する。

入力地震動は、基準地震動 S_s-1 を基に、1次元波動論により基礎底面位置で算定した地震動を用いる。

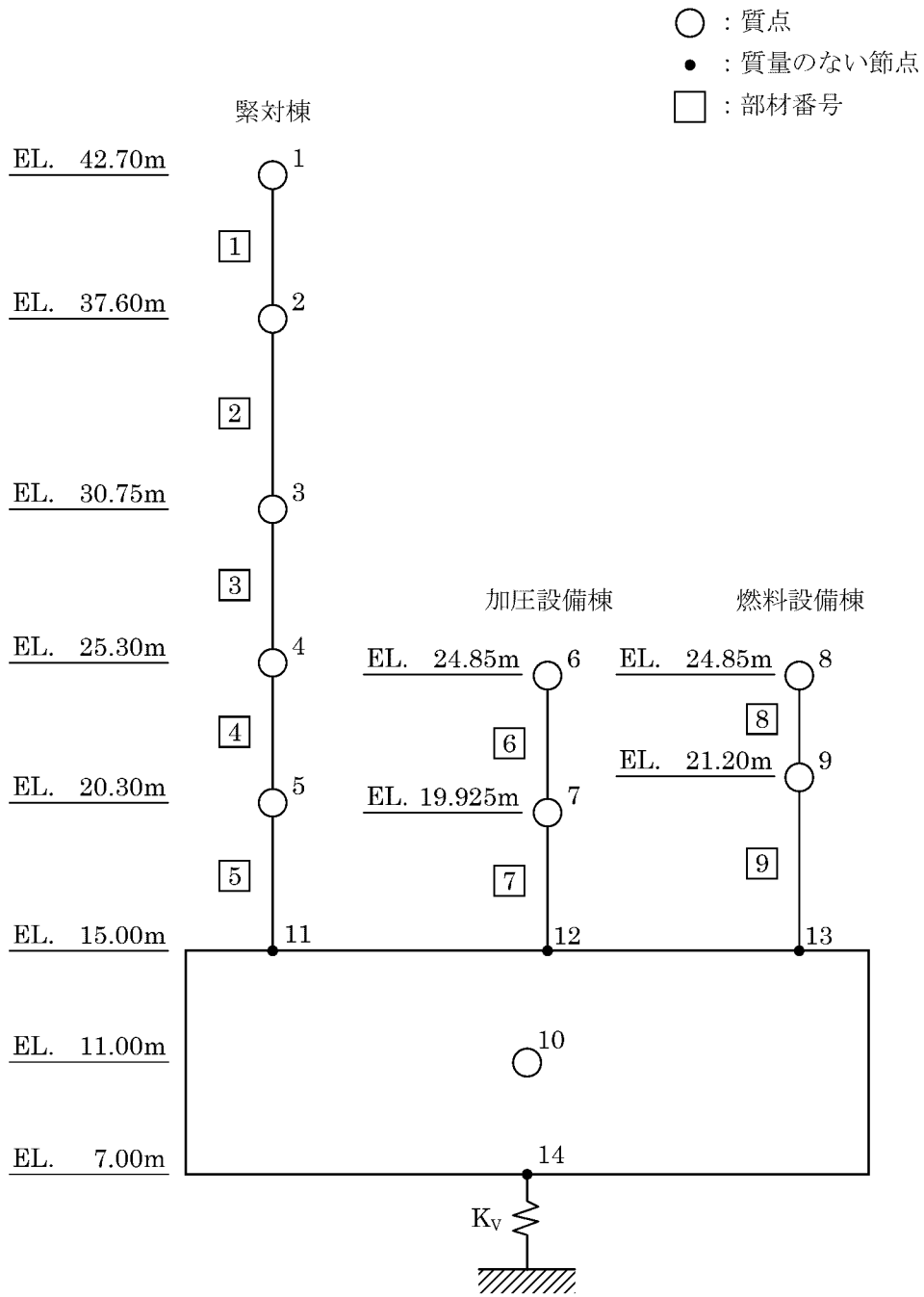
検討ケースを第 2-1 表、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデル図を第 2-1 図及び第 2-2 図に示す。

第 2-1 表 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の検討ケース

検討ケース		建屋剛性	地盤剛性
		コンクリート強度	地盤のせん断波速度
基本ケース	—	設計基準強度	標準地盤
地盤物性のばらつき考慮	地盤 $V_s (-1\sigma)$	設計基準強度	地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ)
	地盤 $V_s (+1\sigma)$	設計基準強度	地盤物性のばらつきを考慮 ($+1\sigma$)
コンクリート強度のばらつき考慮	実強度	実強度	標準地盤
地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつき考慮	地盤 $V_s (-1\sigma)$ +実強度	実強度	地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ)
	地盤 $V_s (+1\sigma)$ +実強度	実強度	地盤物性のばらつきを考慮 ($+1\sigma$)



第 2-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデル (水平方向)



第 2-2 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデル (鉛直方向)

3. 材料物性のばらつきの設定

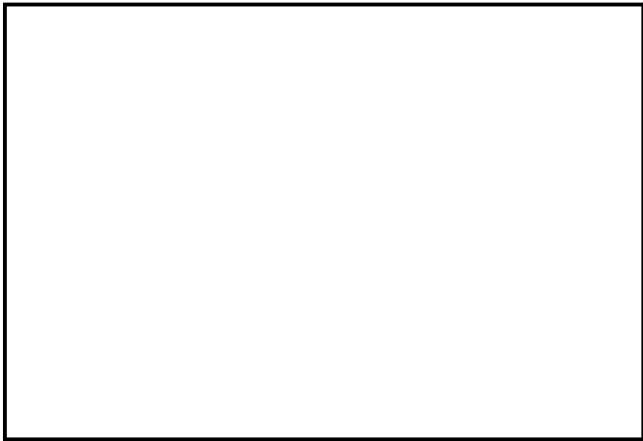
3.1 地盤物性のばらつきの設定について

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルについて、基本ケースにおける地盤ばねは、敷地内のボーリング孔における PS 検層結果に基づく地盤のせん断波速度 V_s を用いて算定している。

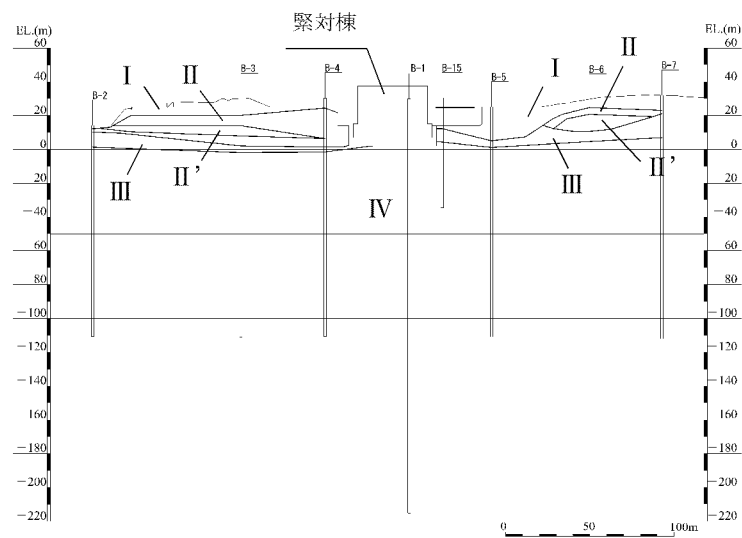
緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の設置位置における速度層断面を第 3-1 図に示す。

地盤物性ばらつきの影響に関する検討においては、地盤のせん断波速度 V_s の設計値に対し、上記の PS 検層結果に基づく標準偏差 ($\pm 1\sigma$) を変動幅として考慮した場合について検討を行う。

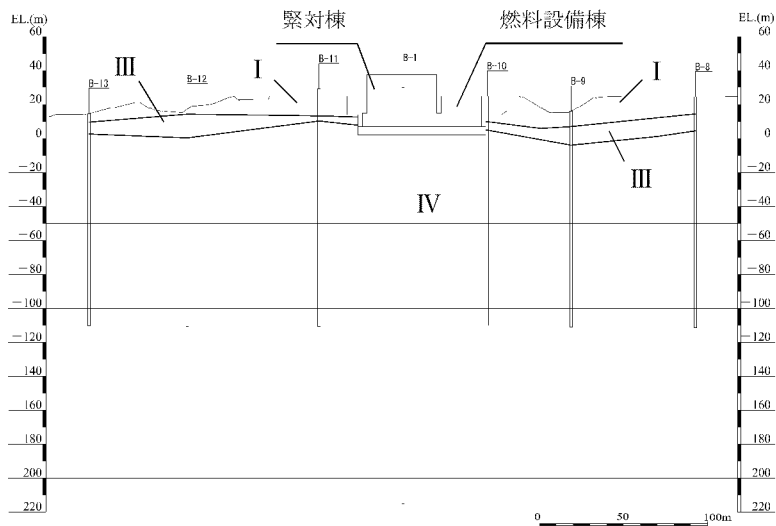
地盤のせん断波速度 V_s のばらつきの設定値を第 3-1 表に示す。



速度層 区分	せん断波速度 Vs(km/s)	標準偏差 (km/s)
I	0.26	0.05
II	0.84	0.24
II'	2.32	0.32
III	0.75	0.16
IV	1.62	0.08



(a) B₁断面



(b) B₂断面

第3-1図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟設置位置の速度層断面図

第3-1表 地盤物性のばらつきの設定値

解析ケース	高さ (m)	速度層	地盤の せん断波速度 Vs (km/s)	ヤング係数 E (N/mm ²)	備考
基本ケース	EL.7.00～ EL.6.40	Ⅲ	0.75	3.80×10 ³	砂岩・頁岩 A,B級
	EL.6.40～ EL.5.74	Ⅲ	0.75	3.34×10 ³	頁岩 C級
	EL.5.74～ EL.4.92	Ⅲ	0.75	3.80×10 ³	砂岩・頁岩 A,B級
	EL.4.92～ EL.-215.00	Ⅳ	1.62	1.67×10 ⁴	砂岩・頁岩 A,B級
地盤 Vs (-1σ)	EL.7.00～ EL.6.40	Ⅲ	0.59	2.37×10 ³	砂岩・頁岩 A,B級
	EL.6.40～ EL.5.74	Ⅲ	0.59	2.08×10 ³	頁岩 C級
	EL.5.74～ EL.4.92	Ⅲ	0.59	2.37×10 ³	砂岩・頁岩 A,B級
	EL.4.92～ EL.-215.00	Ⅳ	1.54	1.52×10 ⁴	砂岩・頁岩 A,B級
地盤 Vs (+1σ)	EL.7.00～ EL.6.40	Ⅲ	0.91	5.54×10 ³	砂岩・頁岩 A,B級
	EL.6.40～ EL.5.74	Ⅲ	0.91	4.86×10 ³	頁岩 C級
	EL.5.74～ EL.4.92	Ⅲ	0.91	5.54×10 ³	砂岩・頁岩 A,B級
	EL.4.92～ EL.-215.00	Ⅳ	1.70	1.82×10 ⁴	砂岩・頁岩 A,B級

3.2 コンクリート強度のばらつきの設定について

コンクリート強度のばらつきとして、コンクリートの実強度を考慮する。コンクリートの実強度は、「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準（(社)日本原子力学会、2007 制定）」を参考とし、設計基準強度に対してコンクリート強度を 1.40 倍した値を用いる。

コンクリート強度のばらつきとして設定するコンクリートの実強度を設計基準強度と比較して第 3-2 表に示す。

第 3-2 表 設計基準強度と実強度の比較

		コンクリート強度 F_c (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)
緊対棟 加圧設備棟 燃料設備棟	設計基準強度	30.0	2.44×10^4
	実強度	42.0	2.73×10^4
基礎	設計基準強度	24.0	2.27×10^4
	実強度	33.6	2.54×10^4

4. 地盤物性のばらつきによる影響

4.1 検討方針

地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（地盤 V_s (-1σ)、地盤 V_s ($+1\sigma$)) について、固有値解析及び地震応答解析を行い、基本ケースの結果と比較した。

地盤物性のばらつきの設定は、「3.1 地盤物性のばらつきの設定について」に示したとおりである。

4.2 固有値解析結果

地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（地盤 $V_s (-1\sigma)$ 、地盤 $V_s (+1\sigma)$ ）について、固有値解析を行い、基本ケースの結果と比較した。固有値解析結果の比較を第 4-1 表及び第 4-2 表、刺激関数図を第 4-1 図～第 4-6 図に示す。

基本ケースに対する地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースの固有振動数の変動幅は、 $-5\% \sim +4\%$ 程度である。

第4-1表 固有値解析結果（地盤Vs（-1σ））^(注)

（単位：Hz）

次数	固有振動数					
	X方向		Y方向		鉛直方向	
	基本ケース	地盤Vs (-1σ)	基本ケース	地盤Vs (-1σ)	基本ケース	地盤Vs (-1σ)
1	8.16	7.72 (0.95)	8.45	8.03 (0.95)	14.05	13.36 (0.95)
2	14.36	13.61 (0.95)	14.32	13.64 (0.95)	29.34	29.13 (0.99)
3	17.92	17.68 (0.99)	18.56	18.55 (1.00)	42.17	42.14 (1.00)
4	21.61	21.37 (0.99)	19.84	19.50 (0.98)	50.10	50.05 (1.00)

（注）（ ）内は基本ケースに対する比率

第4-2表 固有値解析結果（地盤Vs（+1σ））^(注)

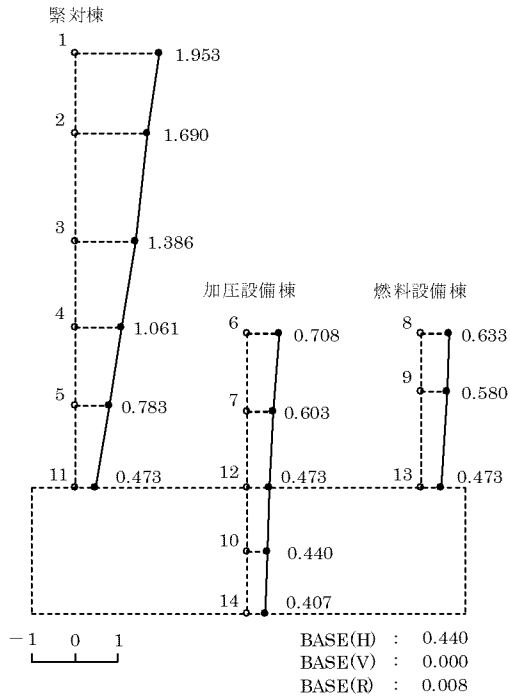
（単位：Hz）

次数	固有振動数					
	X方向		Y方向		鉛直方向	
	基本ケース	地盤Vs (+1σ)	基本ケース	地盤Vs (+1σ)	基本ケース	地盤Vs (+1σ)
1	8.16	8.44 (1.03)	8.45	8.73 (1.03)	14.05	14.61 (1.04)
2	14.36	14.94 (1.04)	14.32	14.88 (1.04)	29.34	29.53 (1.01)
3	17.92	18.16 (1.01)	18.56	18.57 (1.00)	42.17	42.19 (1.00)
4	21.61	21.77 (1.01)	19.84	20.12 (1.01)	50.10	50.14 (1.00)

（注）（ ）内は基本ケースに対する比率

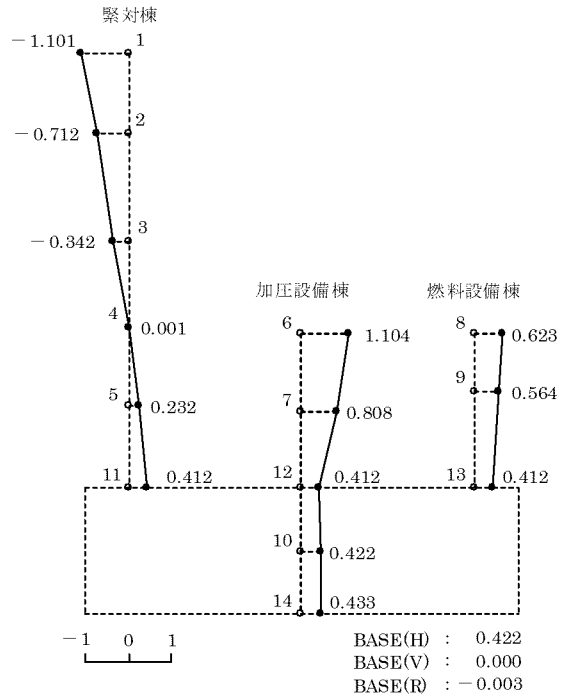
MODE1

FREQUENCY=7.72(Hz)



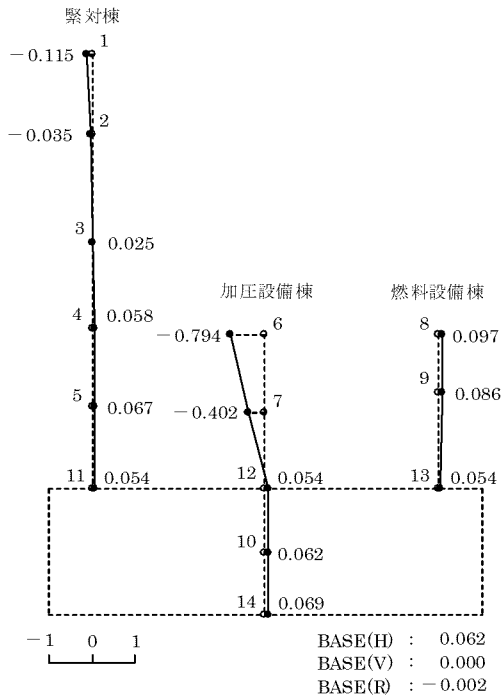
MODE2

FREQUENCY=13.61(Hz)



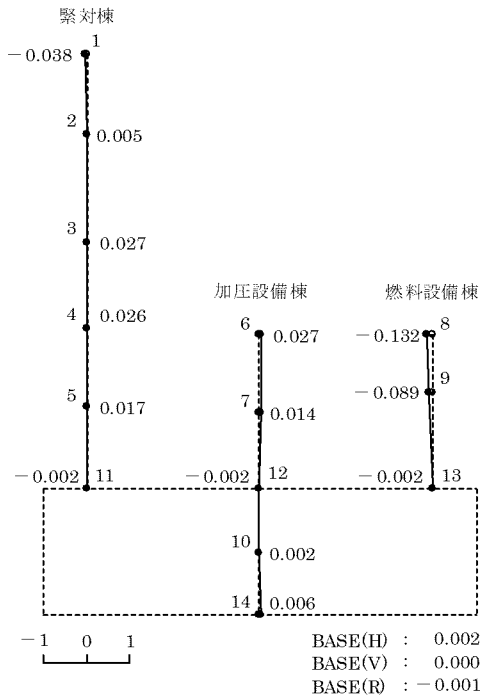
MODE3

FREQUENCY=17.68(Hz)



MODE4

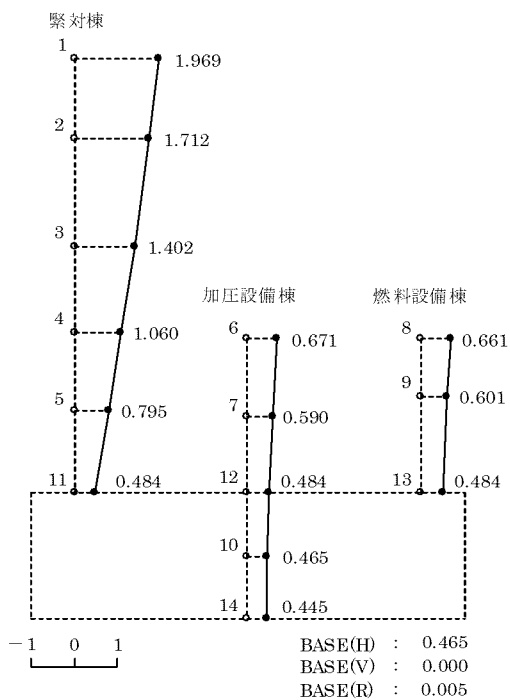
FREQUENCY=21.37(Hz)



第4-1図 刺激関数図 (X方向、地盤Vs (-1σ))

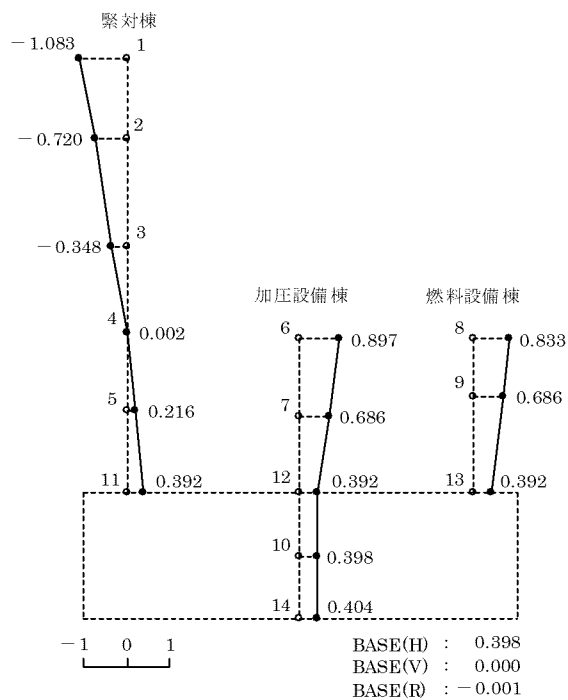
MODE1

FREQUENCY=8.03(Hz)



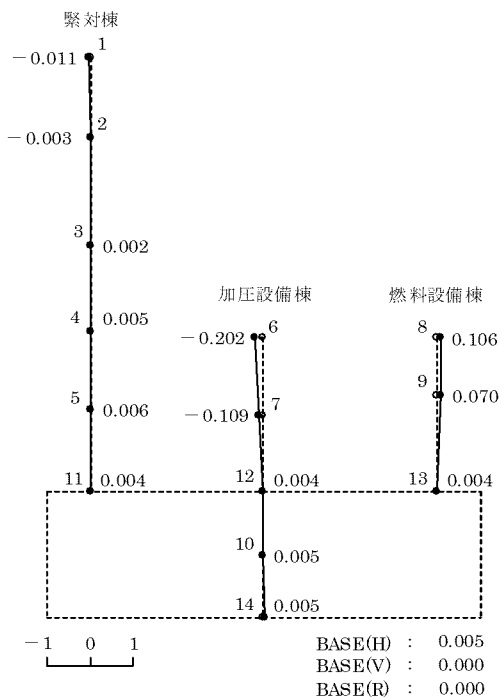
MODE2

FREQUENCY=13.64(Hz)



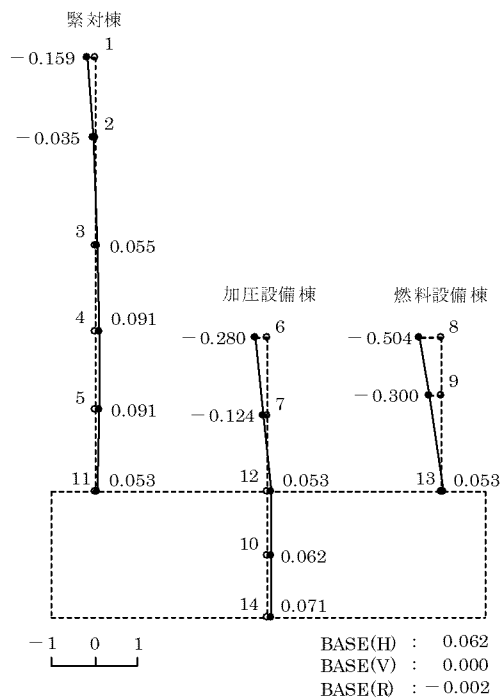
MODE3

FREQUENCY=18.55(Hz)



MODE4

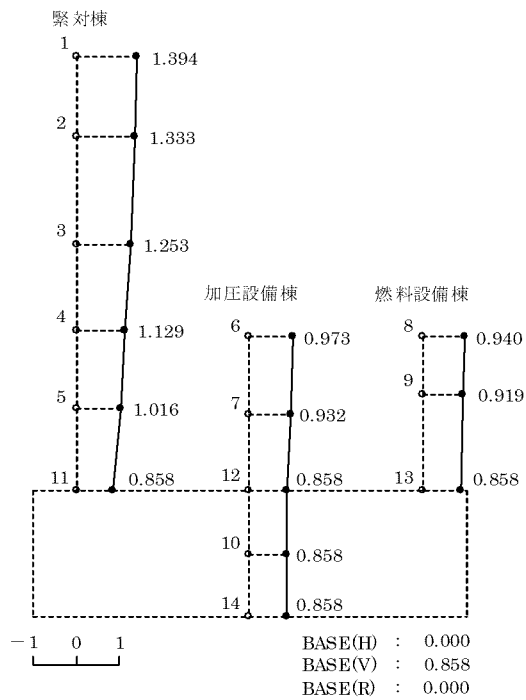
FREQUENCY=19.50(Hz)



第4-2図 刺激関数図 (Y方向、地盤Vs (-1σ))

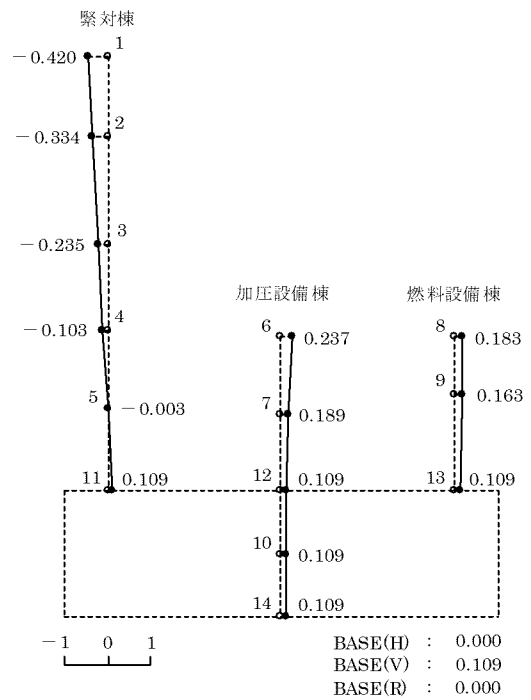
MODE1

FREQUENCY=13.36(Hz)



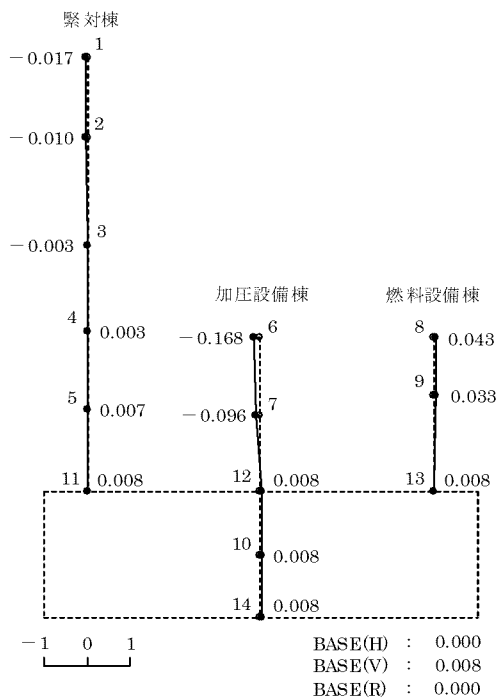
MODE2

FREQUENCY=29.13(Hz)



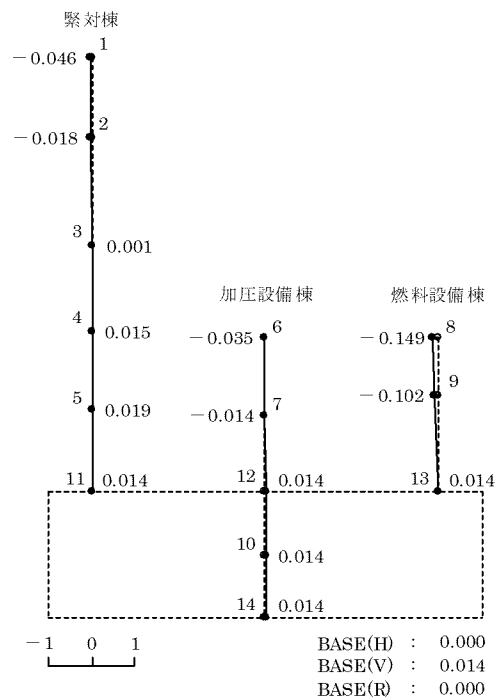
MODE3

FREQUENCY=42.14(Hz)



MODE4

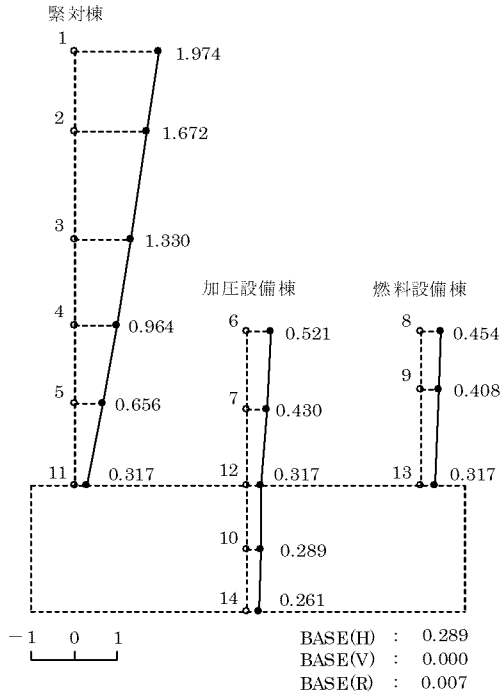
FREQUENCY=50.05(Hz)



第4-3図 刺激関数図 (鉛直方向、地盤 V_s (-1σ))

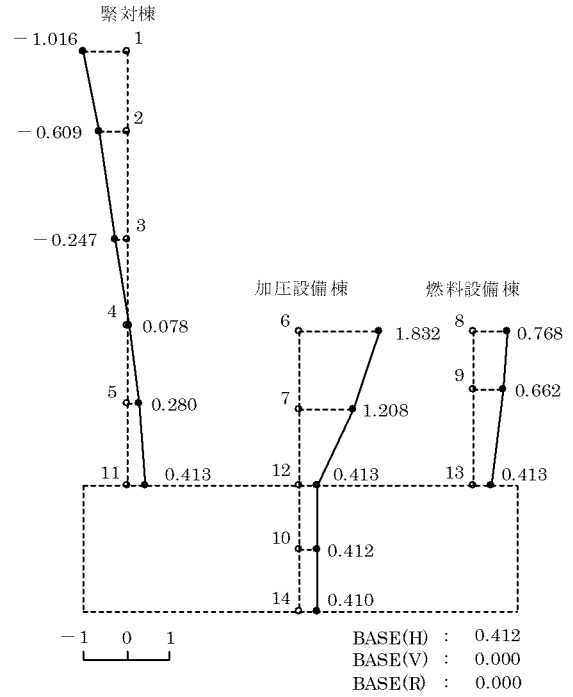
MODE1

FREQUENCY=8.44(Hz)



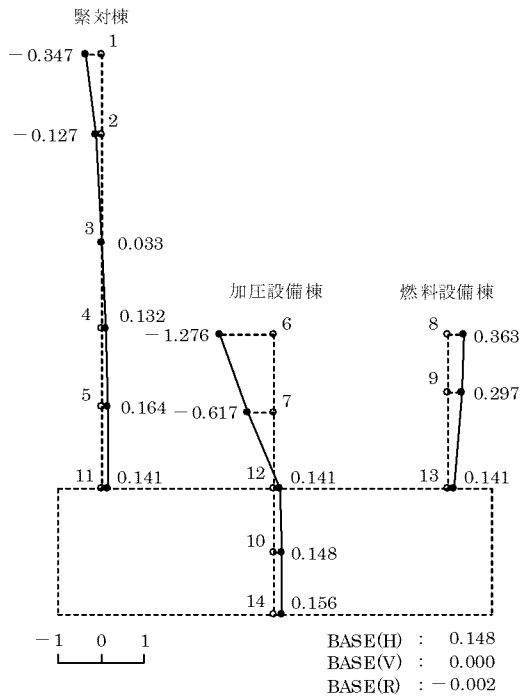
MODE2

FREQUENCY=14.94(Hz)



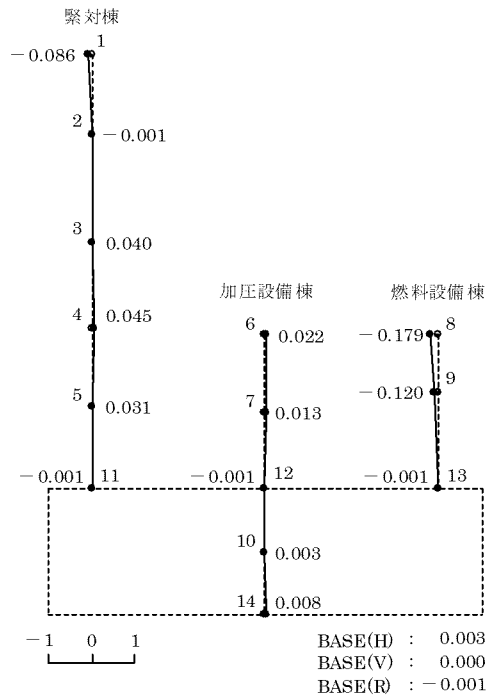
MODE3

FREQUENCY=18.16(Hz)



MODE4

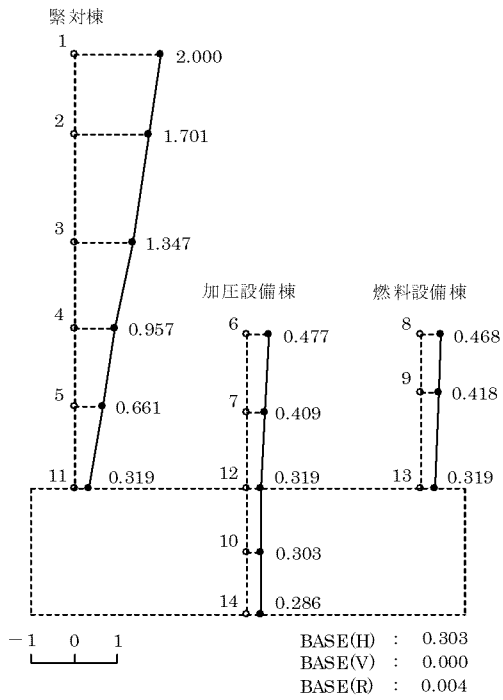
FREQUENCY=21.77(Hz)



第4-4図 刺激関数図 (X方向、地盤Vs (+1σ))

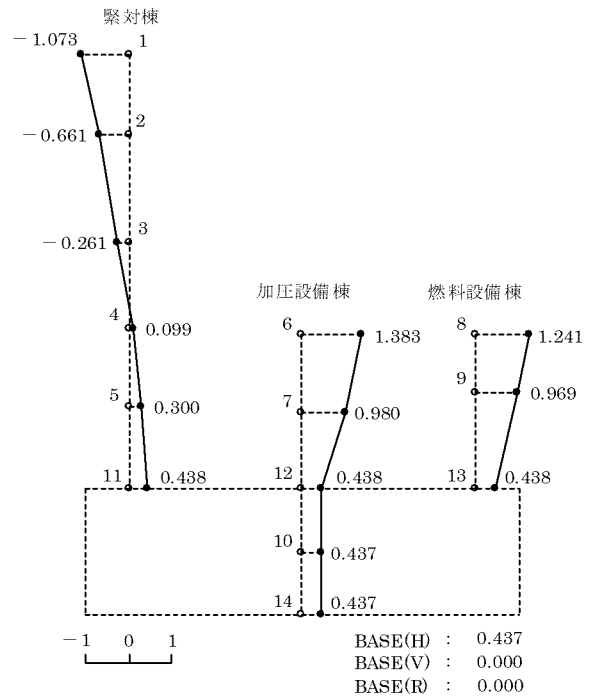
MODE1

FREQUENCY=8.73(Hz)



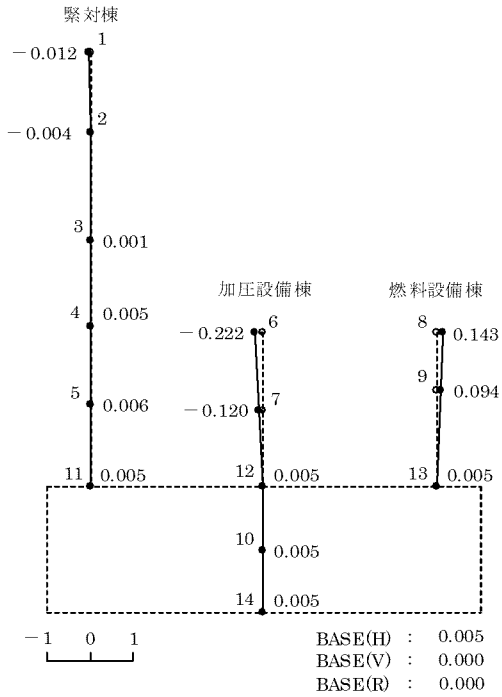
MODE2

FREQUENCY=14.88(Hz)



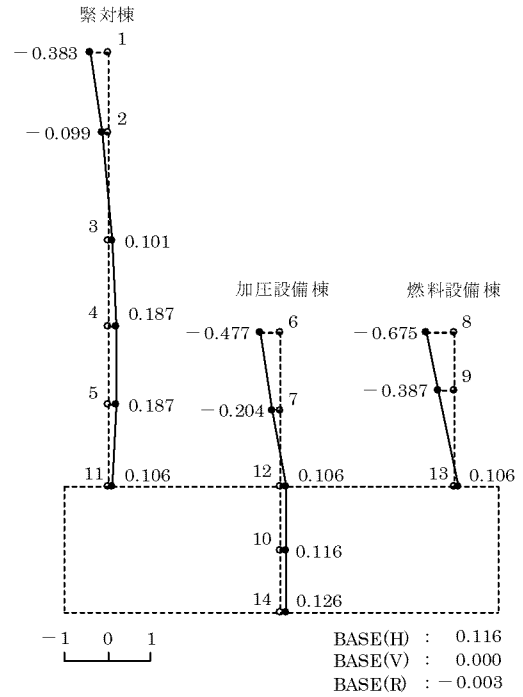
MODE3

FREQUENCY=18.57(Hz)



MODE4

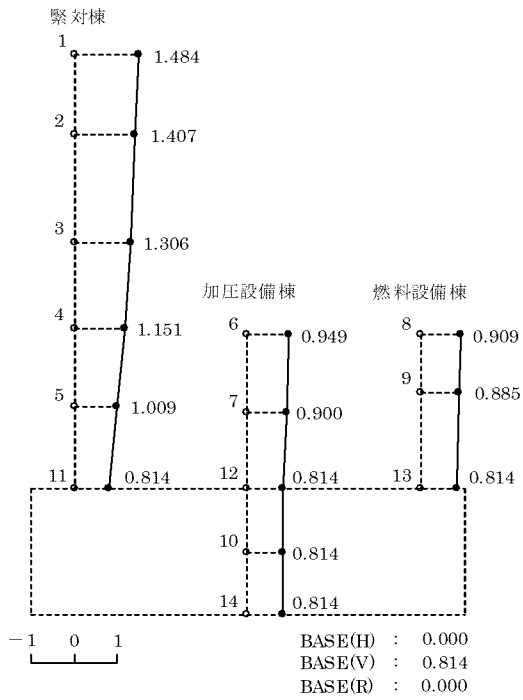
FREQUENCY=20.12(Hz)



第4-5図 刺激関数図 (Y方向、地盤Vs (+1σ))

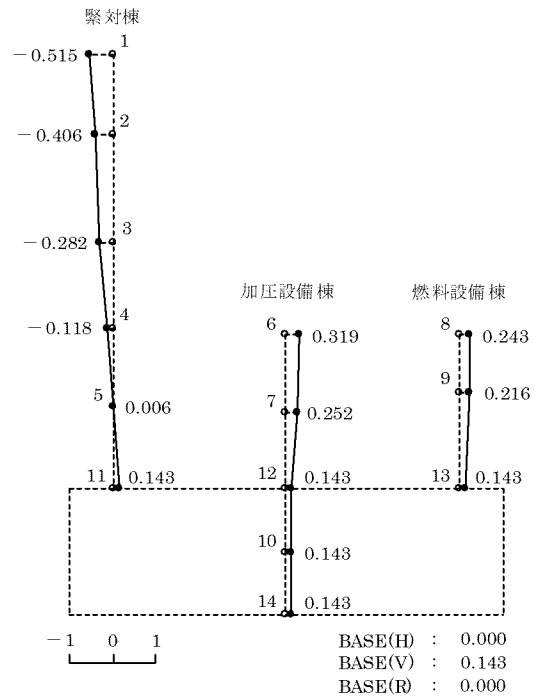
MODE1

FREQUENCY=14.61(Hz)



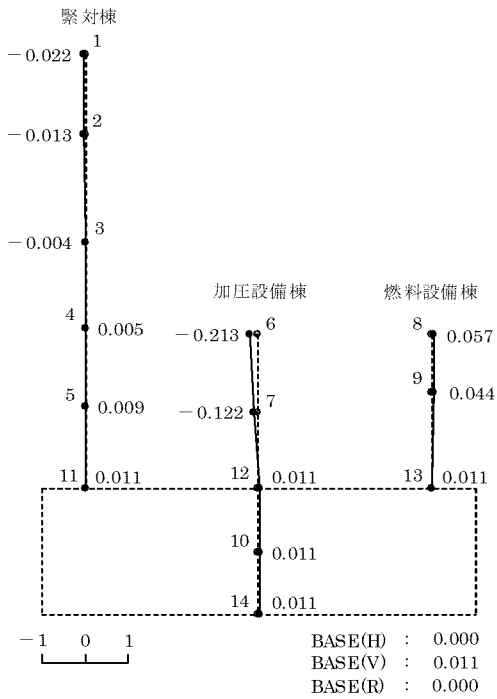
MODE2

FREQUENCY=29.53(Hz)



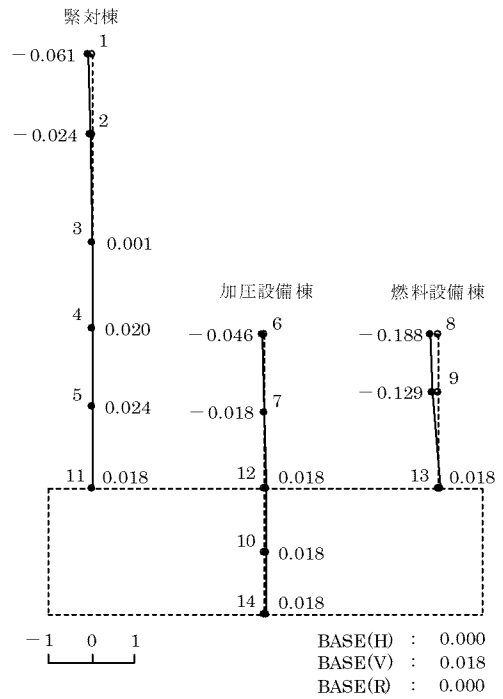
MODE3

FREQUENCY=42.19(Hz)



MODE4

FREQUENCY=50.14(Hz)



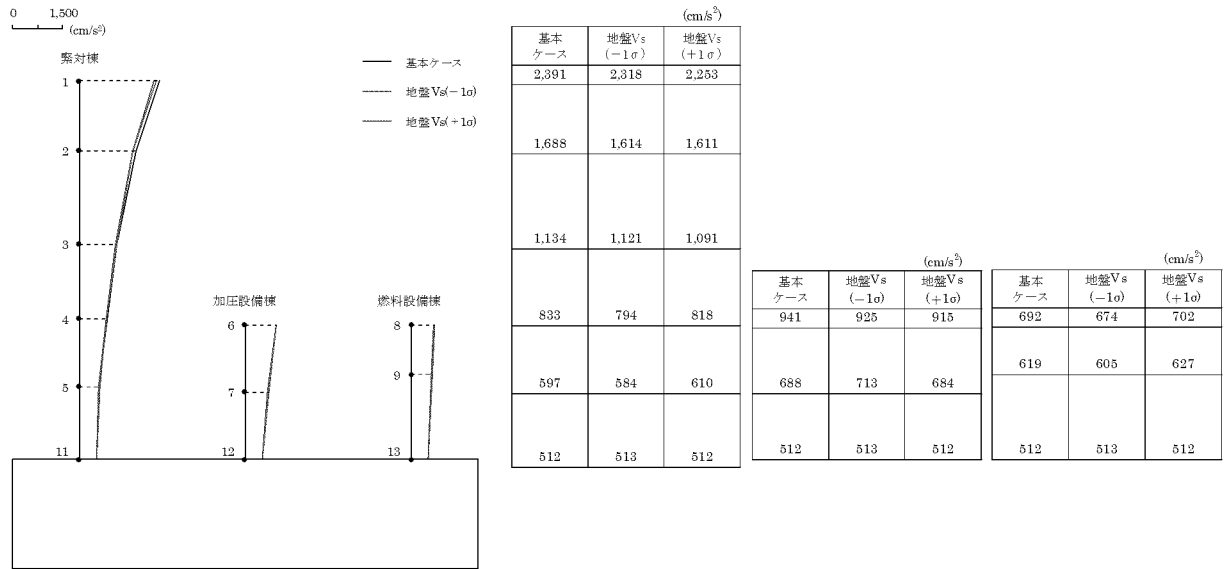
第4-6図 刺激関数図 (鉛直方向、地盤 $V_s (+1\sigma)$)

4.3 地震応答解析結果

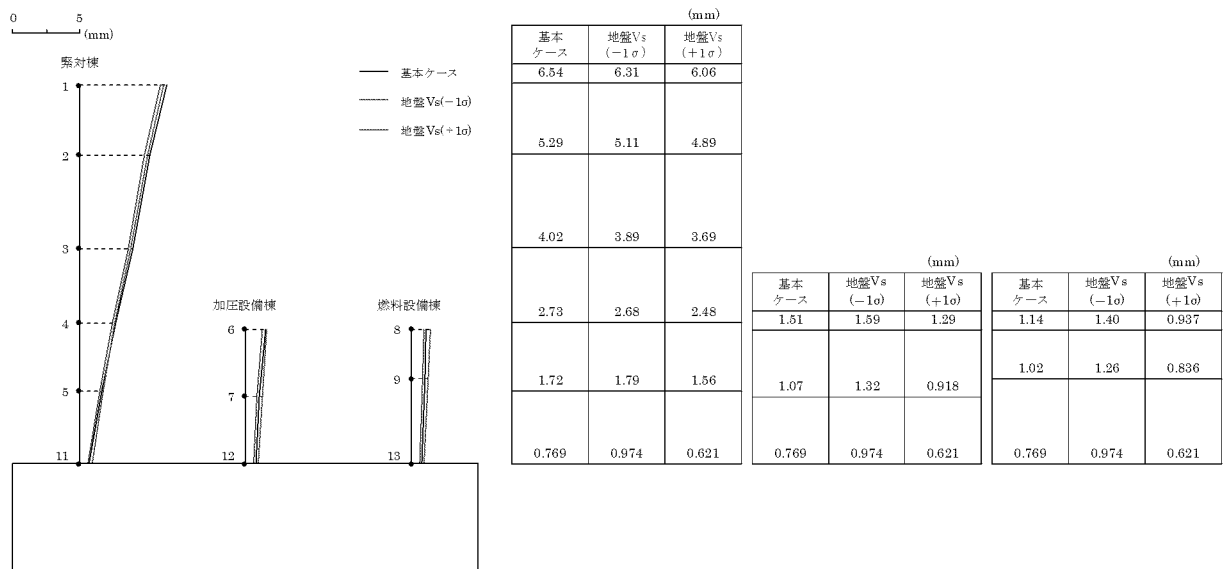
地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（地盤 $V_s (-1\sigma)$ 、地盤 $V_s (+1\sigma)$ ）について、地震応答解析を行い、基本ケースの結果と比較した。最大応答値の比較を第 4-7 図～第 4-19 図に示す。

水平方向について、地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースの最大応答加速度、最大応答変位、最大応答せん断力、最大応答曲げモーメント及び最大応答せん断ひずみは、基本ケースと同等であり、最大応答値の変動は非常に小さい。

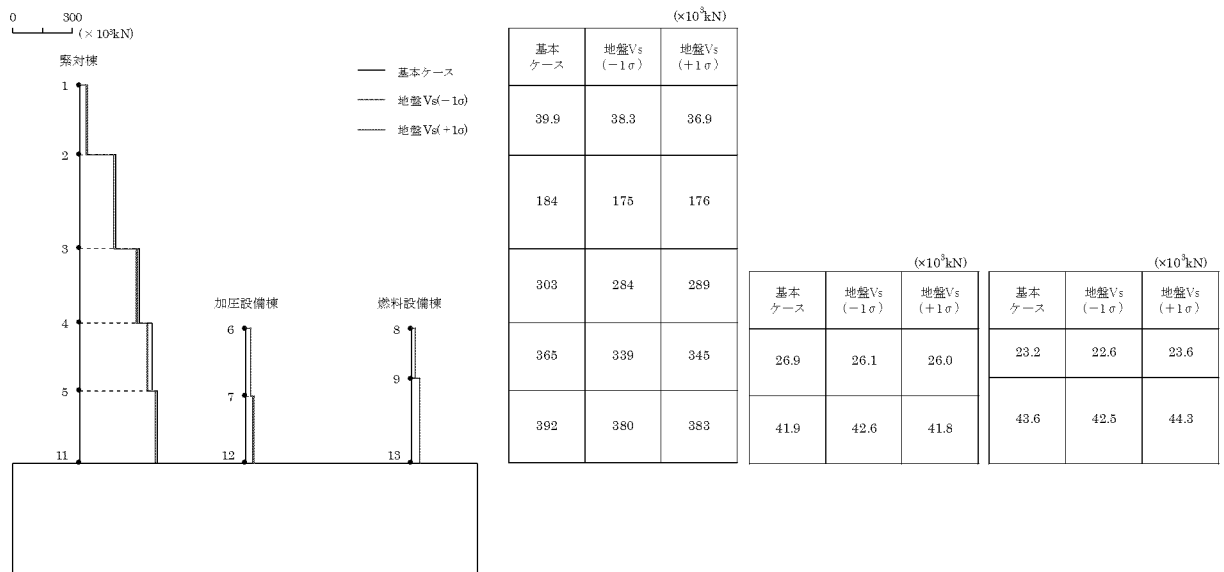
鉛直方向についても、地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースの最大応答加速度、最大応答変位及び最大応答軸力は、基本ケースと同等であり、最大応答値の変動は非常に小さい。



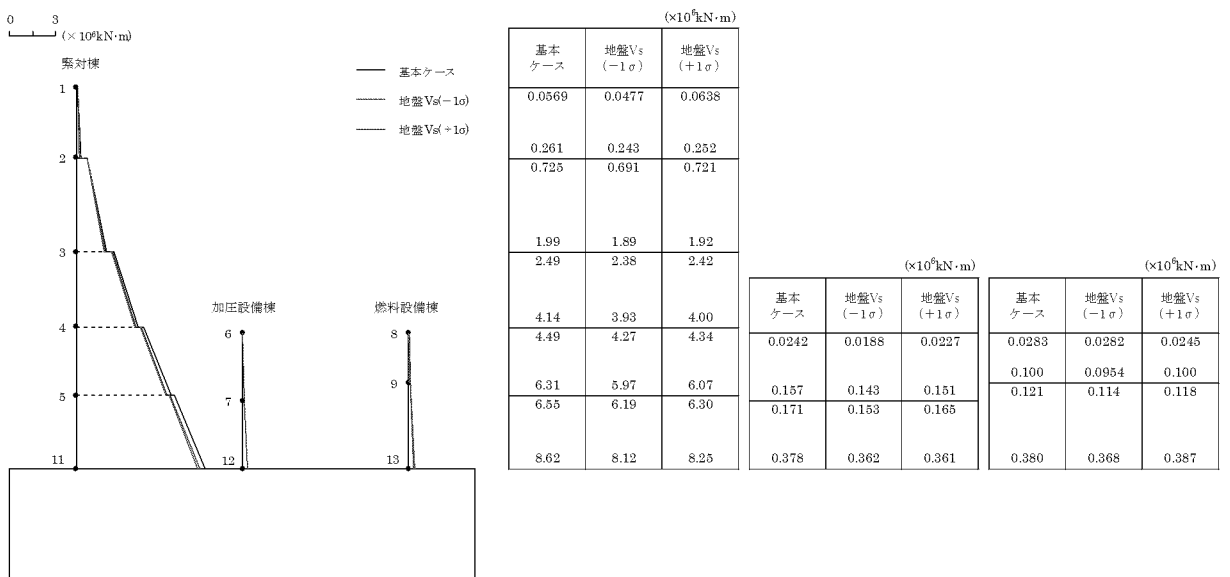
第4-7図 最大応答加速度 (X方向)



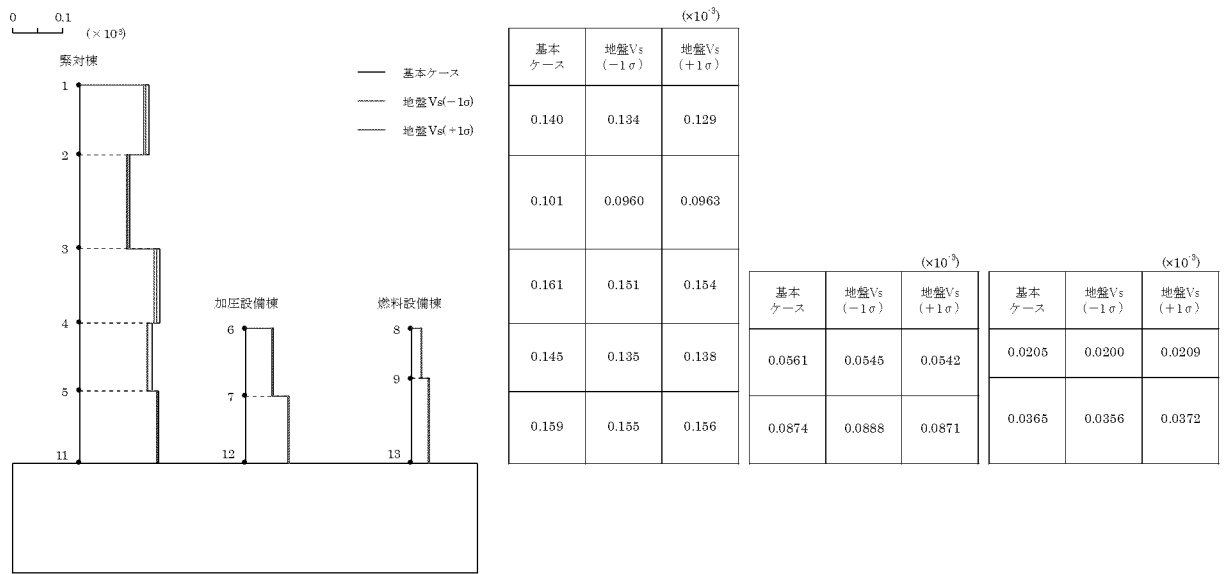
第4-8図 最大応答変位 (X方向)



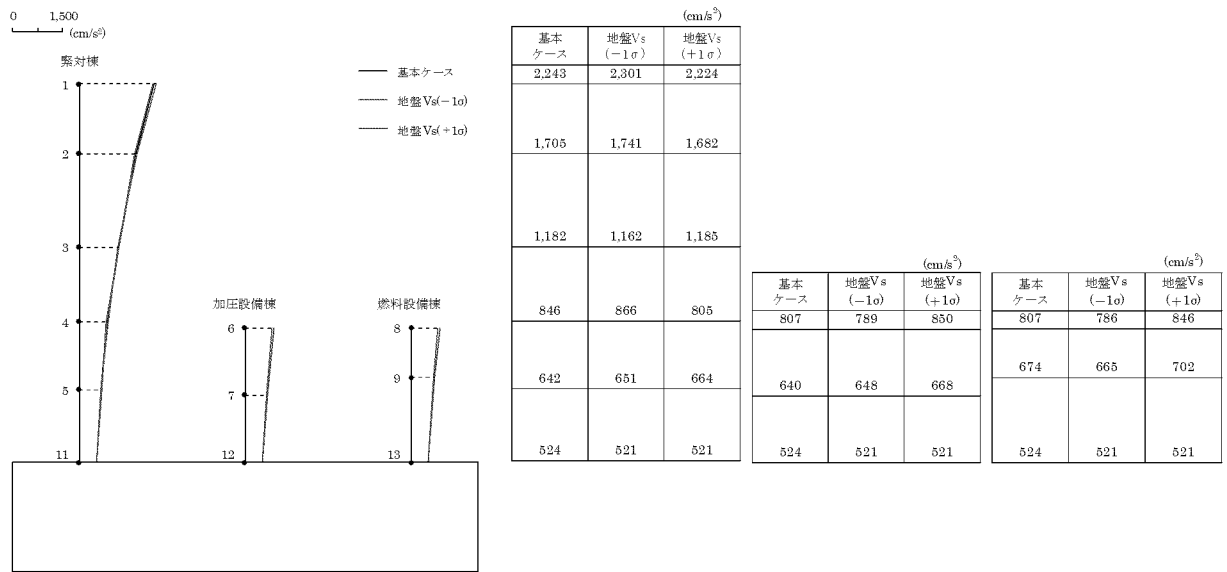
第4-9図 最大応答せん断力 (X方向)



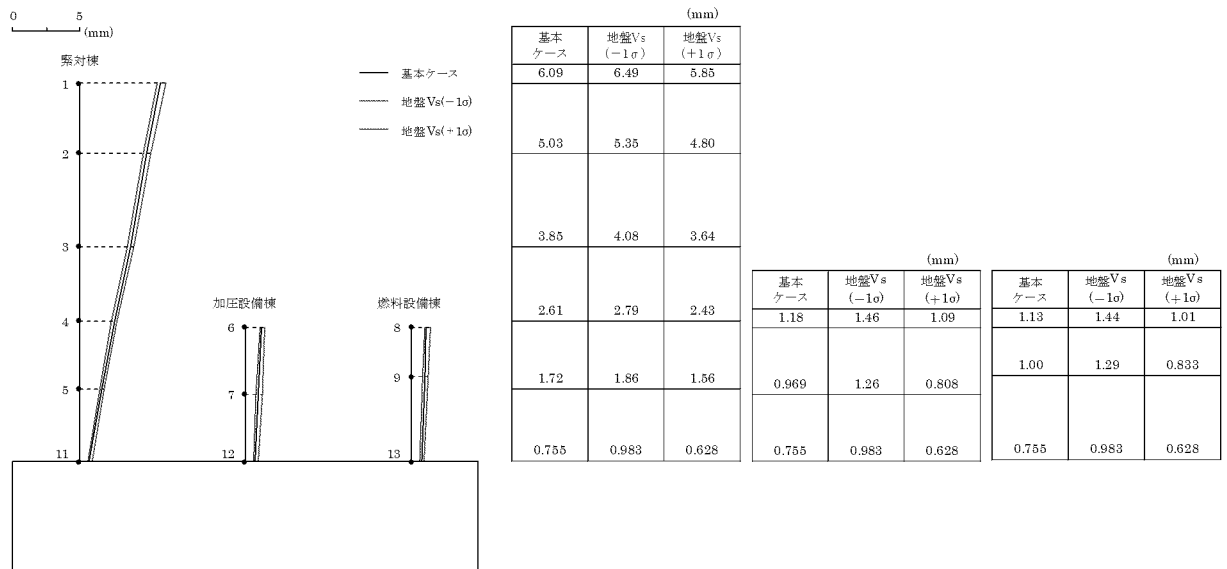
第4-10図 最大応答曲げモーメント (X方向)



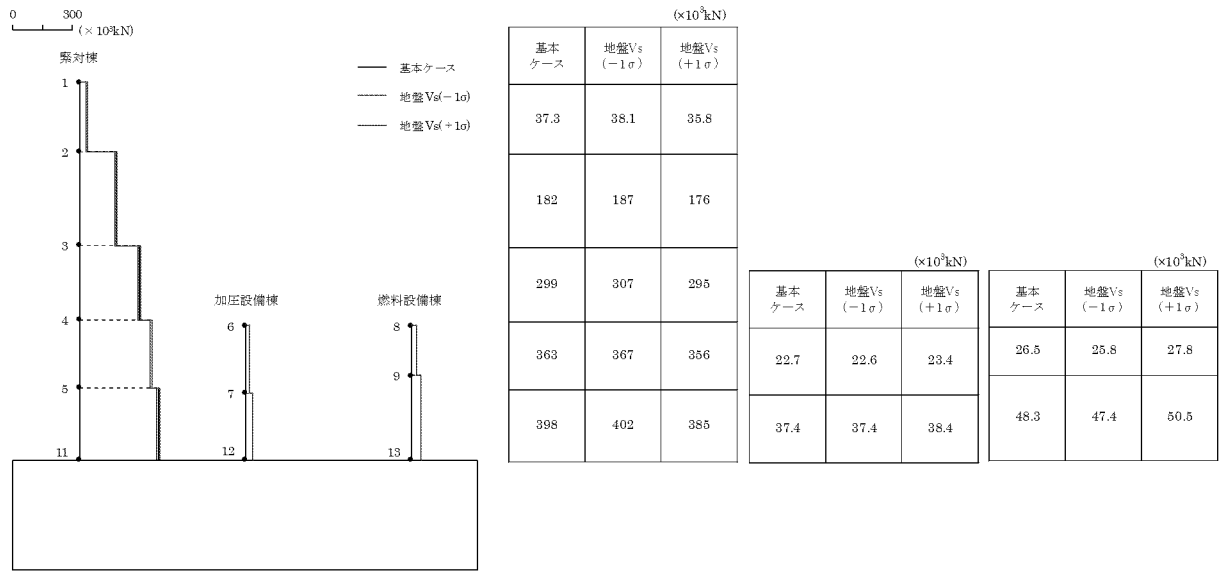
第4-11図 最大応答せん断ひずみ (X方向)



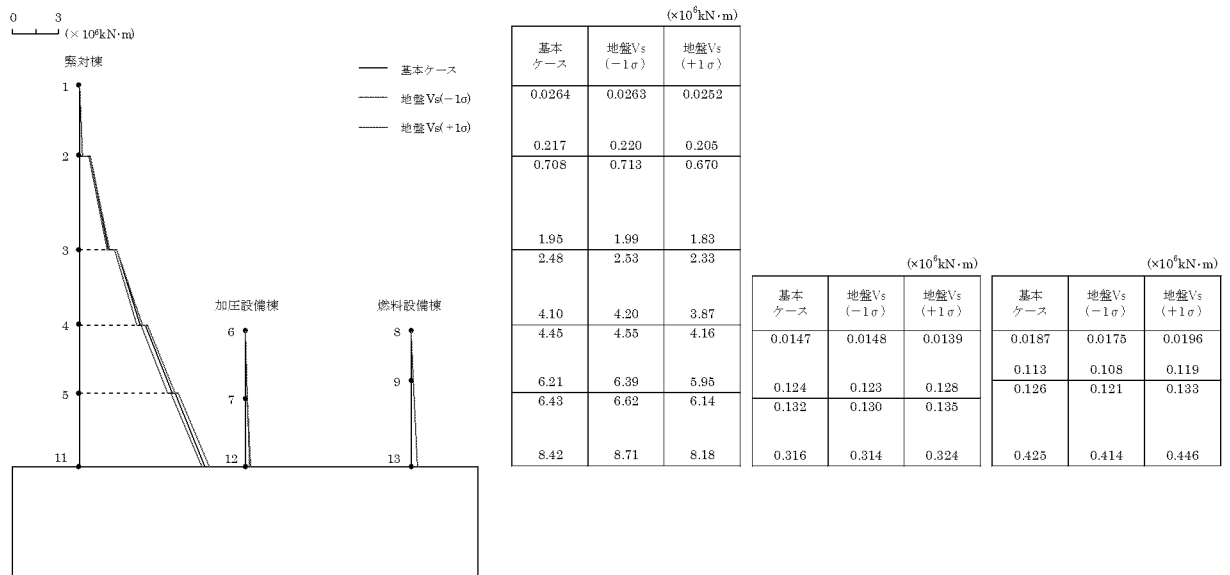
第4-12図 最大応答加速度 (Y方向)



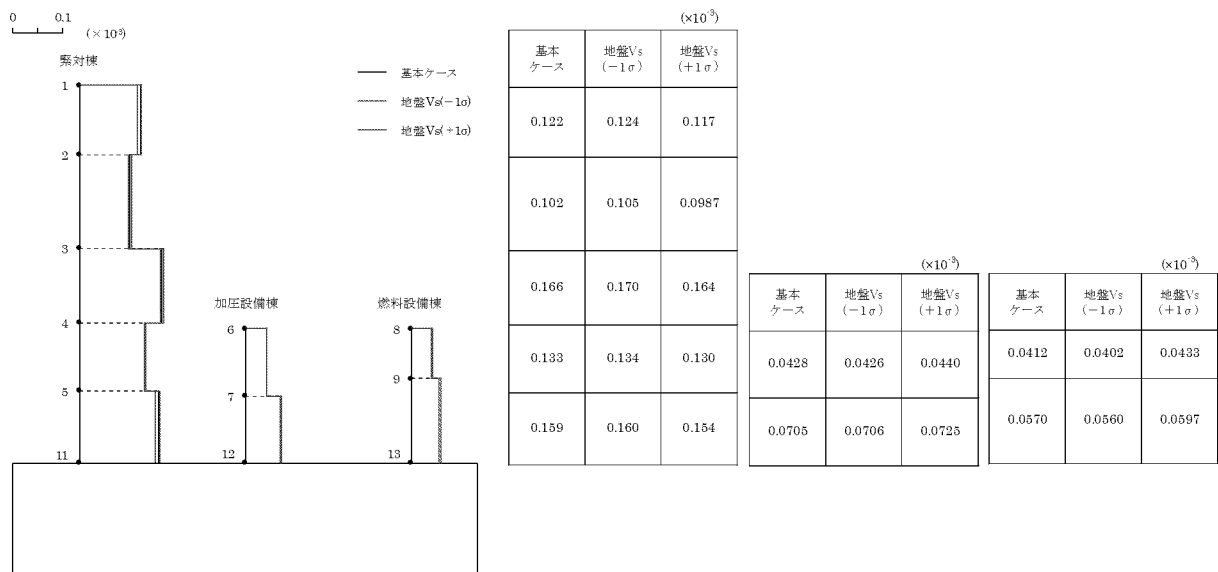
第4-13図 最大応答変位 (Y方向)



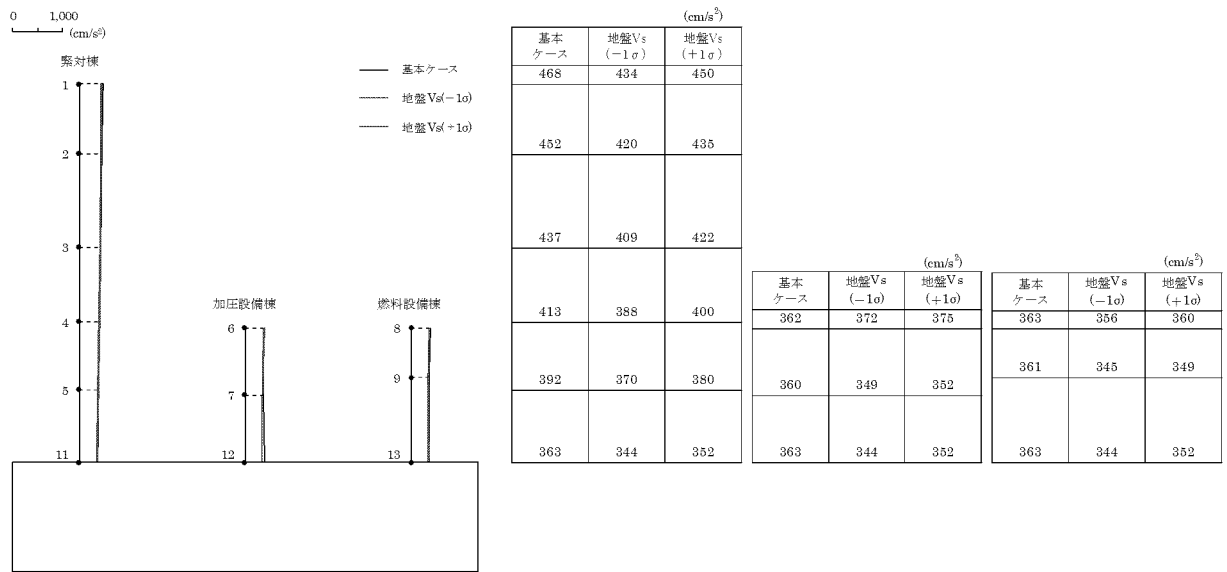
第4-14図 最大応答せん断力 (Y方向)



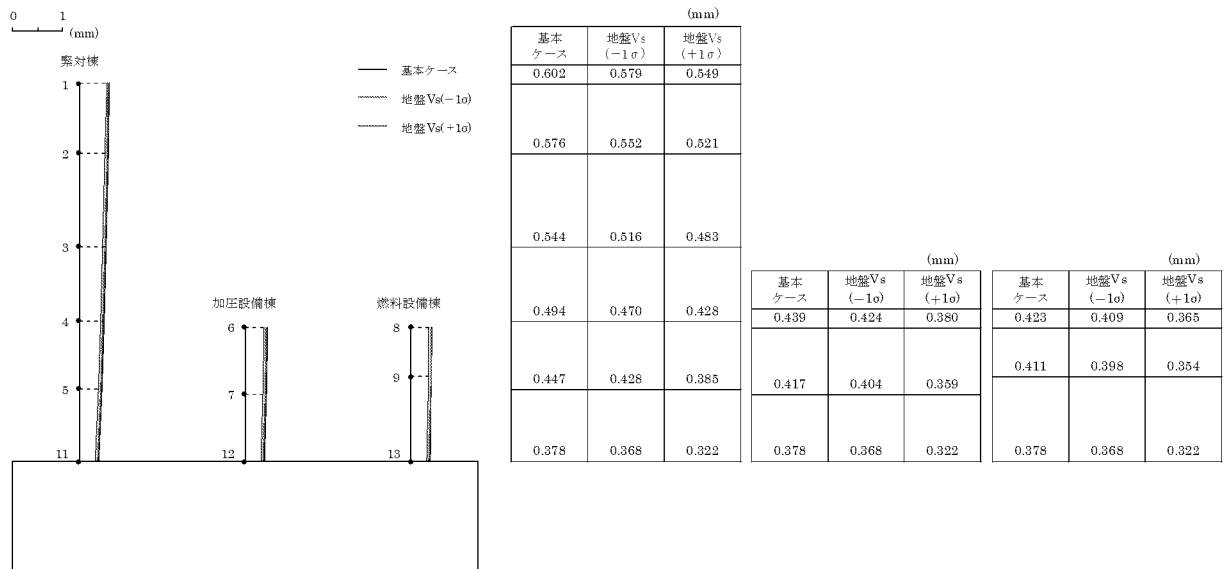
第4-15図 最大応答曲げモーメント (Y方向)



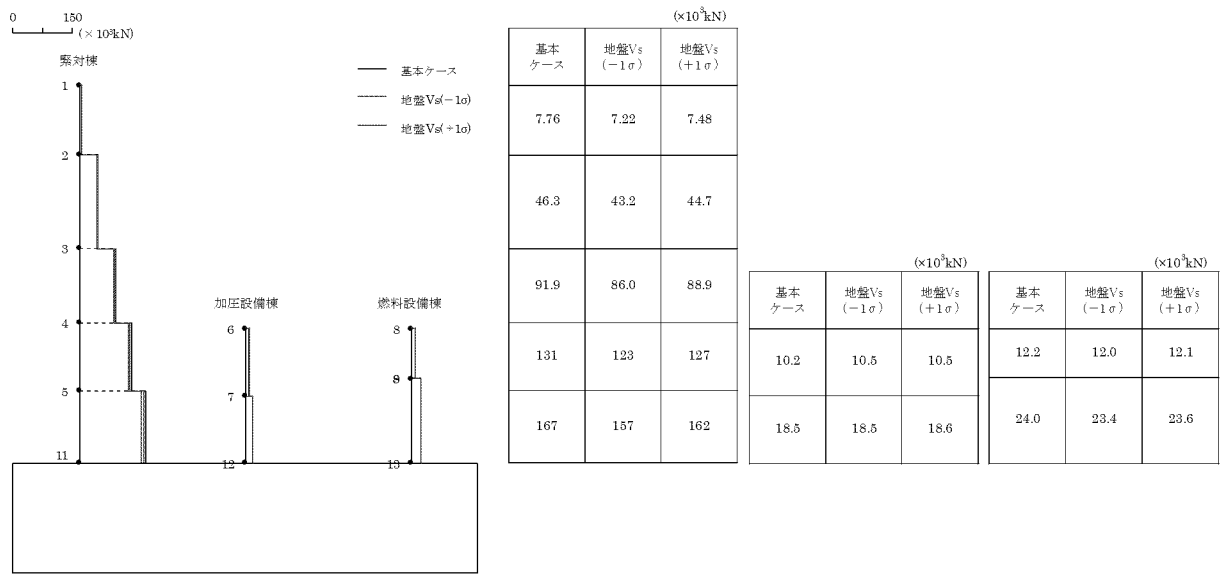
第 4-16 図 最大応答せん断ひずみ (Y 方向)



第4-17図 最大応答加速度（鉛直方向）



第4-18図 最大応答変位（鉛直方向）



第4-19図 最大応答軸力（鉛直方向）

5. コンクリート強度のばらつきによる影響

5.1 検討方針

コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケース（実強度）について、固有値解析及び地震応答解析を行い、基本ケースの結果と比較した。

コンクリート強度のばらつきの設定は、「3.2 コンクリート強度のばらつきの設定について」に示したとおりである。

5.2 固有値解析結果

コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケース（実強度）について、固有値解析を行い、基本ケースの結果と比較した。固有値解析結果を第 5-1 表、刺激関数図を第 5-1 図～第 5-3 図に示す。

基本ケースに対するコンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースの固有振動数の変動幅は、+1%～+6%程度である。

第5-1表 固有値解析結果（実強度）^(注)

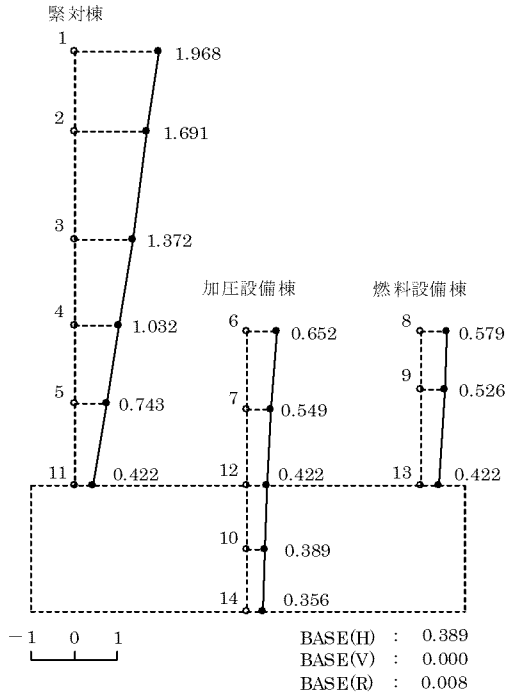
（単位：Hz）

次数	固有振動数					
	X 方向		Y 方向		鉛直方向	
	基本ケース	実強度	基本ケース	実強度	基本ケース	実強度
1	8.16	8.39 (1.03)	8.45	8.70 (1.03)	14.05	14.17 (1.01)
2	14.36	14.81 (1.03)	14.32	14.78 (1.03)	29.34	30.83 (1.05)
3	17.92	18.80 (1.05)	18.56	19.62 (1.06)	42.17	44.58 (1.06)
4	21.61	22.66 (1.05)	19.84	20.74 (1.05)	50.10	52.95 (1.06)

（注）（ ）内は基本ケースに対する比率

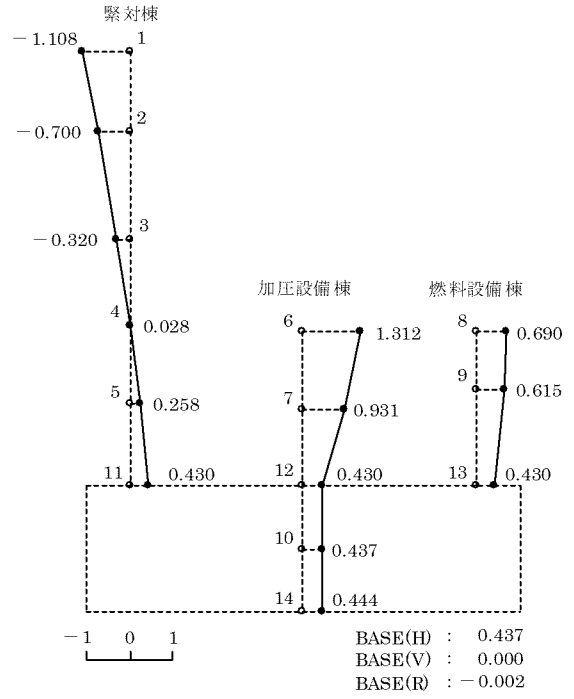
MODE1

FREQUENCY=8.39(Hz)



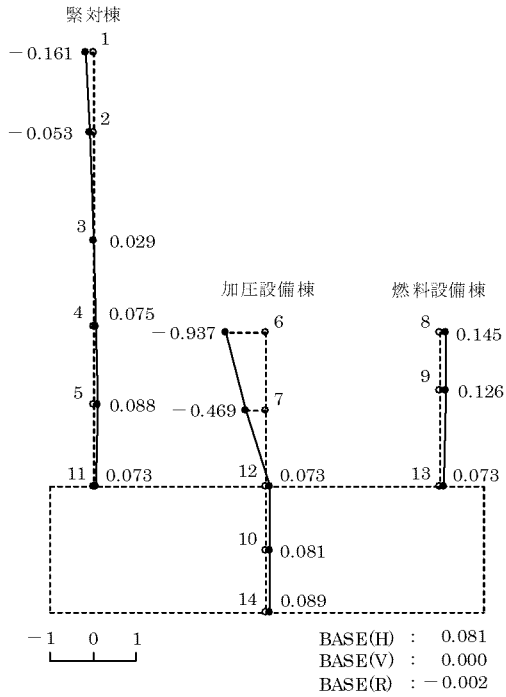
MODE2

FREQUENCY=14.81(Hz)



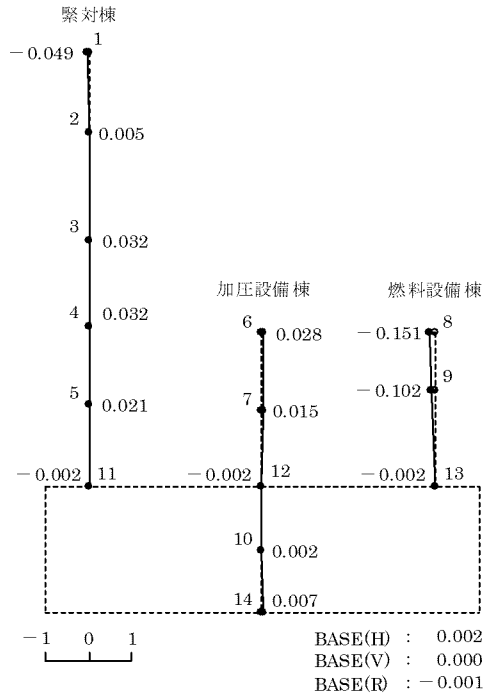
MODE3

FREQUENCY=18.80(Hz)



MODE4

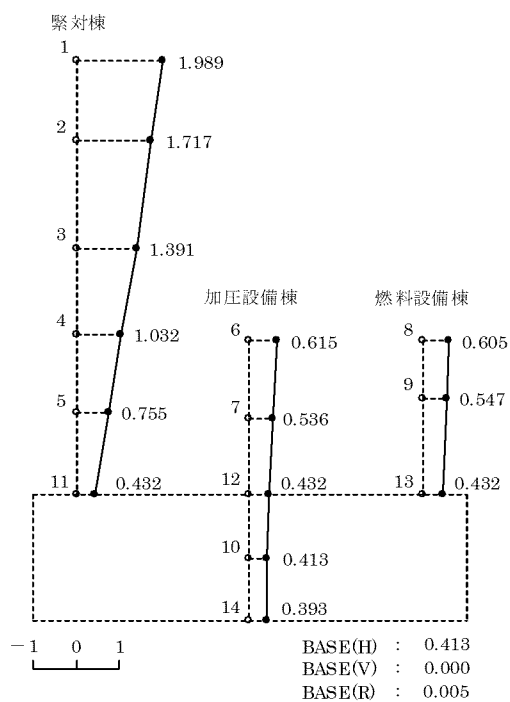
FREQUENCY=22.66(Hz)



第5-1図 刺激関数図 (X方向、実強度)

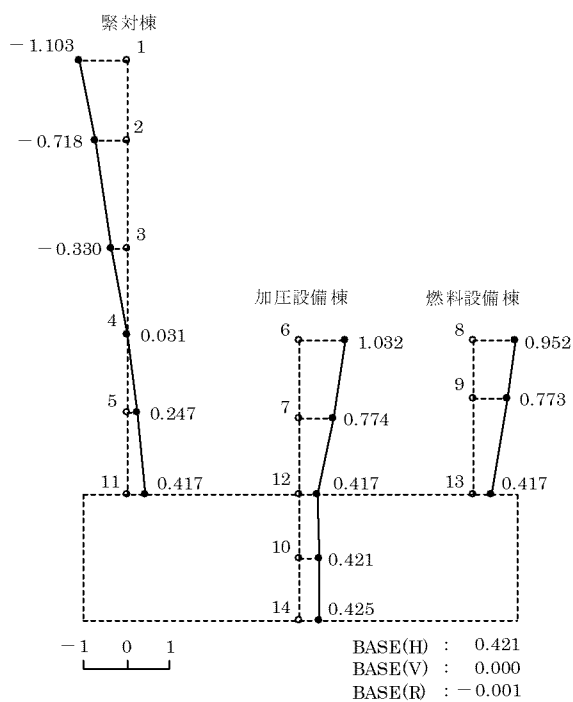
MODE1

FREQUENCY=8.70(Hz)



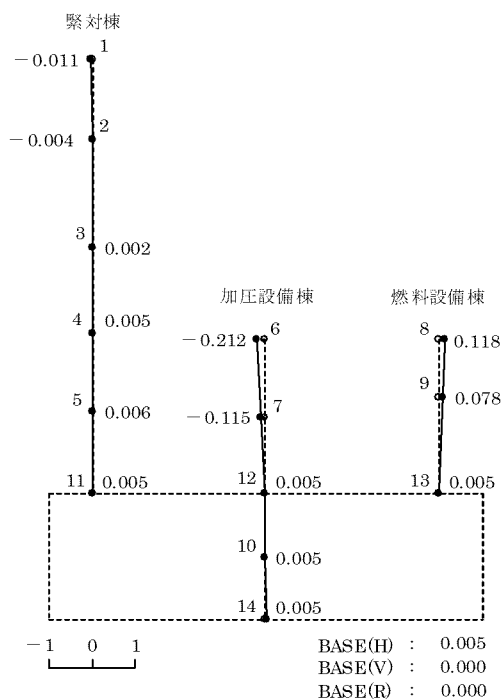
MODE2

FREQUENCY=14.78(Hz)



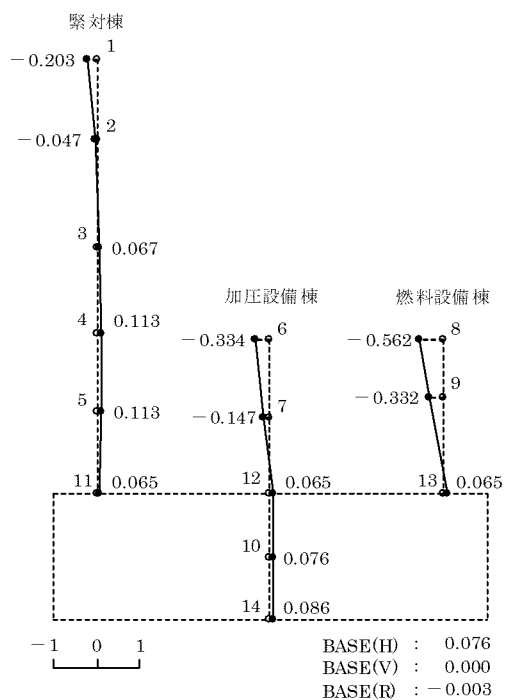
MODE3

FREQUENCY=19.62(Hz)



MODE4

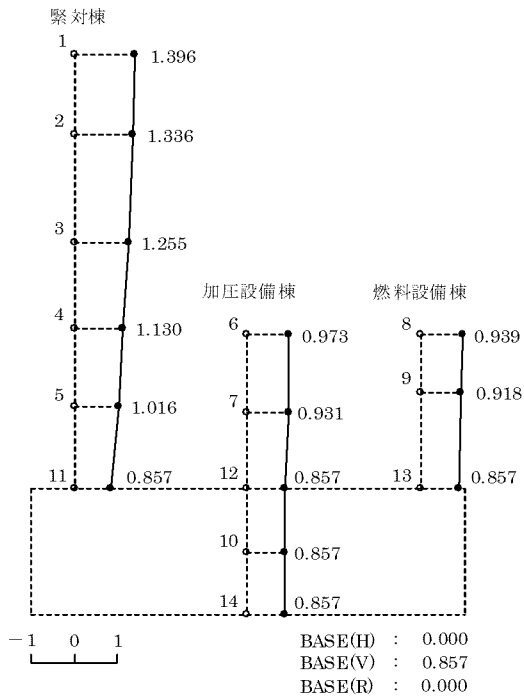
FREQUENCY=20.74(Hz)



第5-2図 刺激関数図 (Y方向、実強度)

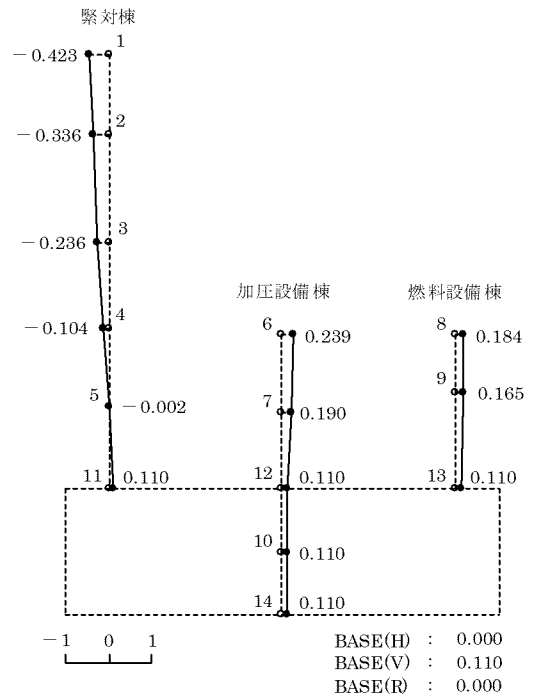
MODE1

FREQUENCY=14.17(Hz)



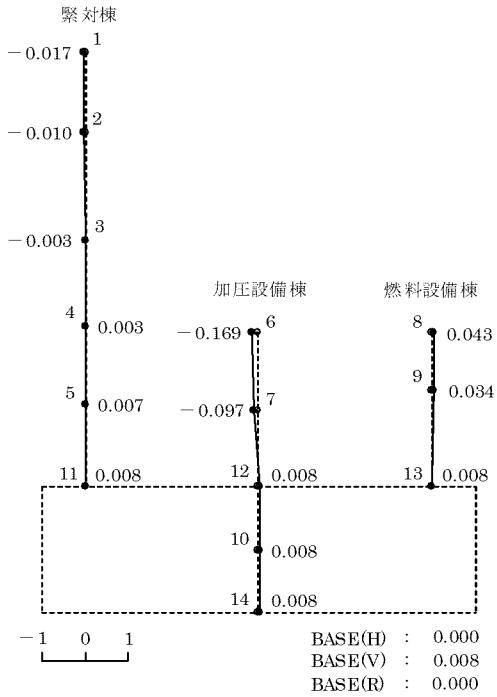
MODE2

FREQUENCY=30.83(Hz)



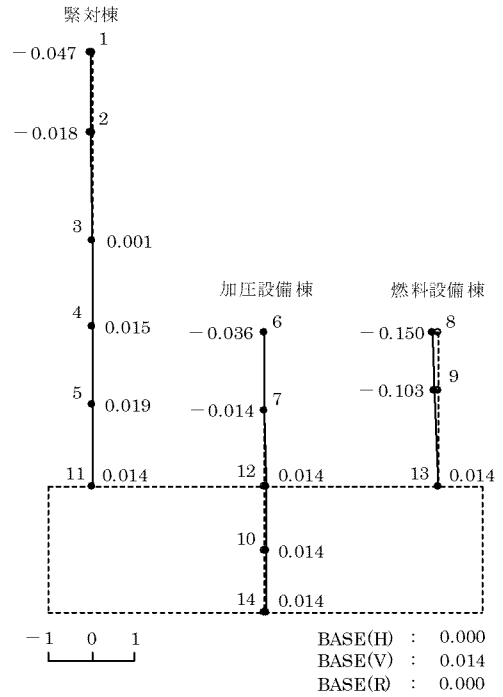
MODE3

FREQUENCY=44.58(Hz)



MODE4

FREQUENCY=52.95(Hz)



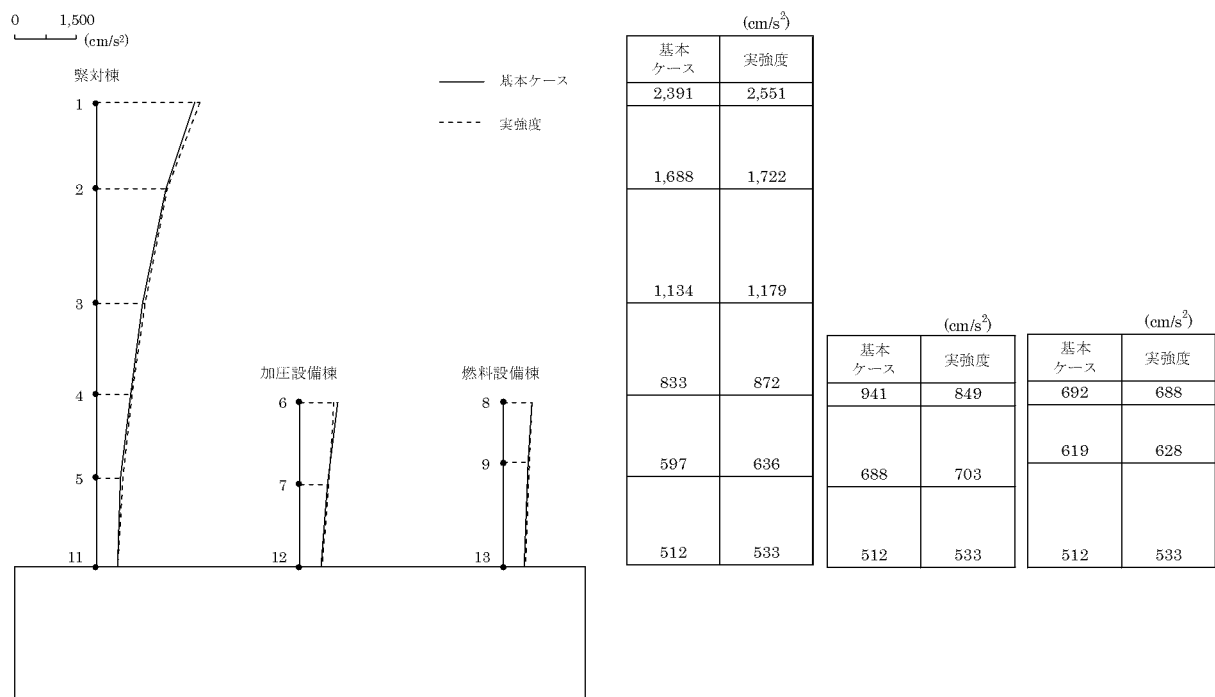
第 5-3 図 刺激関数図 (鉛直方向、実強度)

5.3 地震応答解析結果

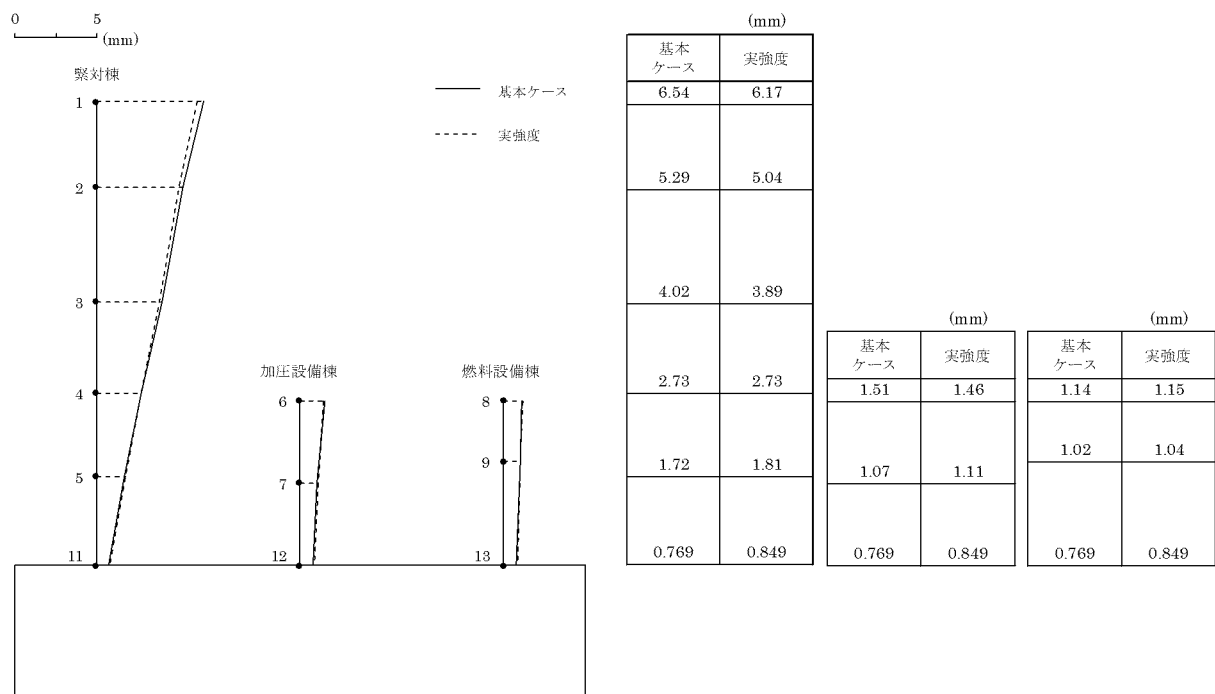
コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケース（実強度）について、地震応答解析を行い、基本ケースの結果と比較した。最大応答値の比較を第 5-4 図～第 5-16 図に示す。

水平方向について、コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースの最大応答加速度、最大応答変位、最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントは、基本ケースと同等である。一方、最大応答せん断ひずみについては、コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースが基本ケースに対して小さくなる傾向であることが確認できる。

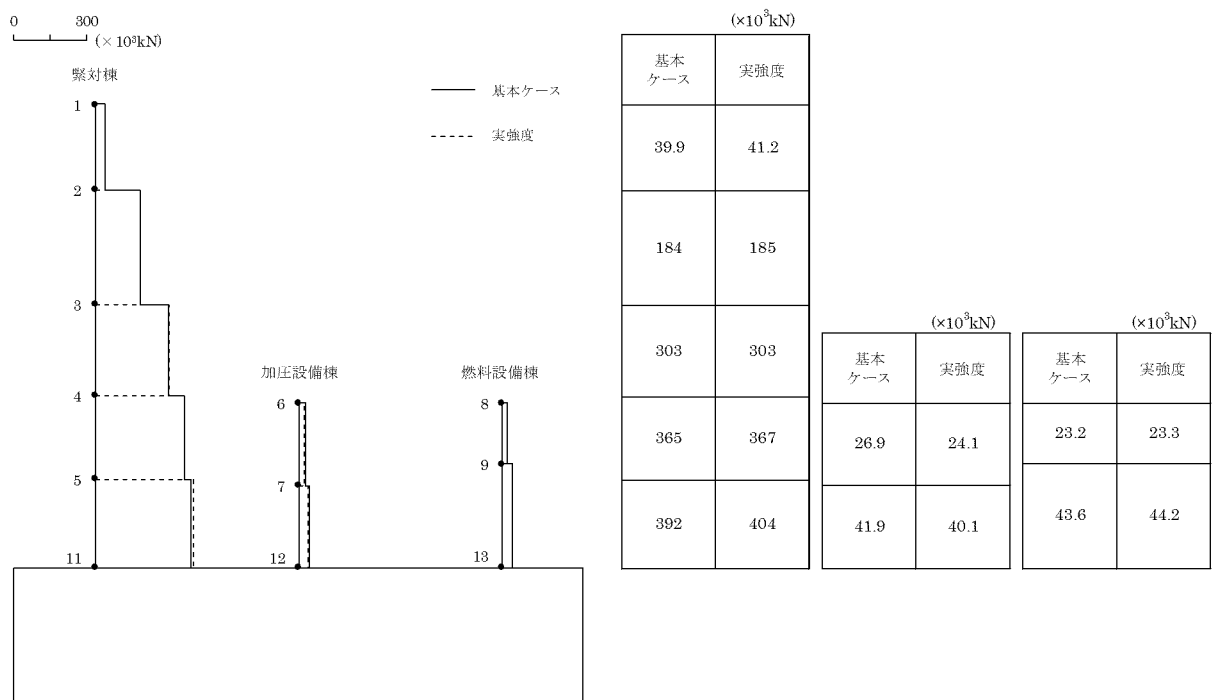
鉛直方向について、コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースの最大応答加速度、最大応答変位及び最大応答軸力は、基本ケースと同等であり、最大応答値の変動は非常に小さい。



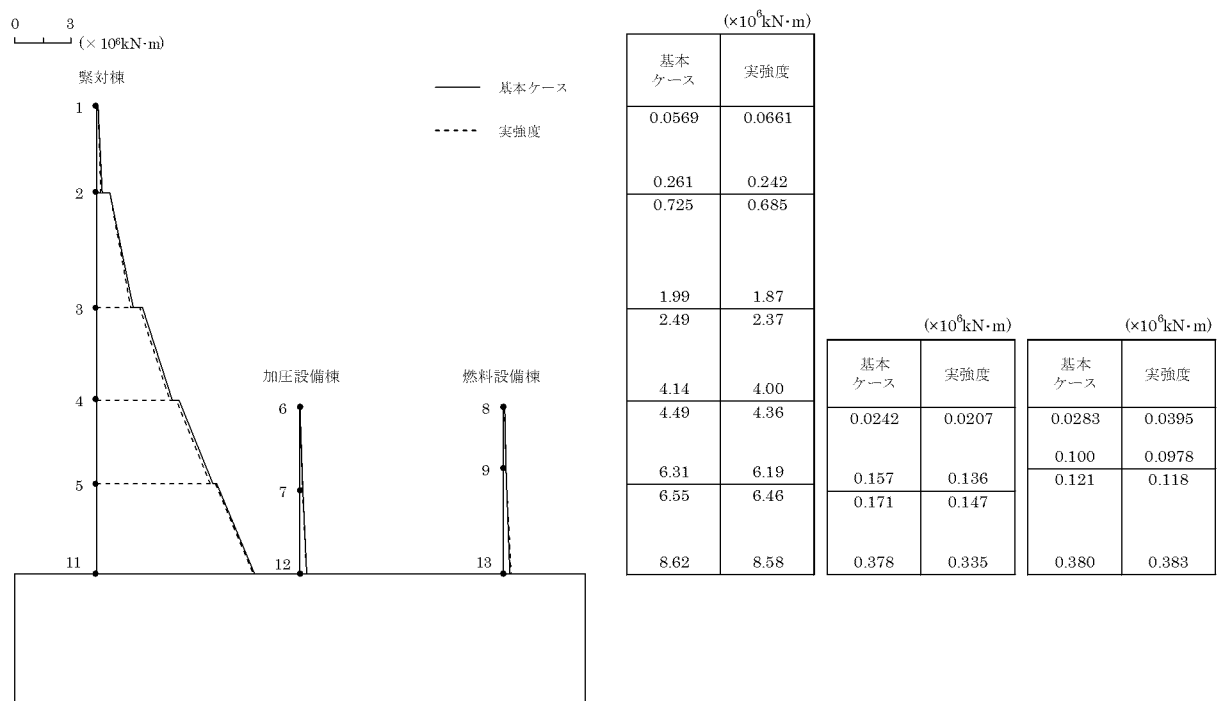
第 5-4 図 最大応答加速度 (X 方向)



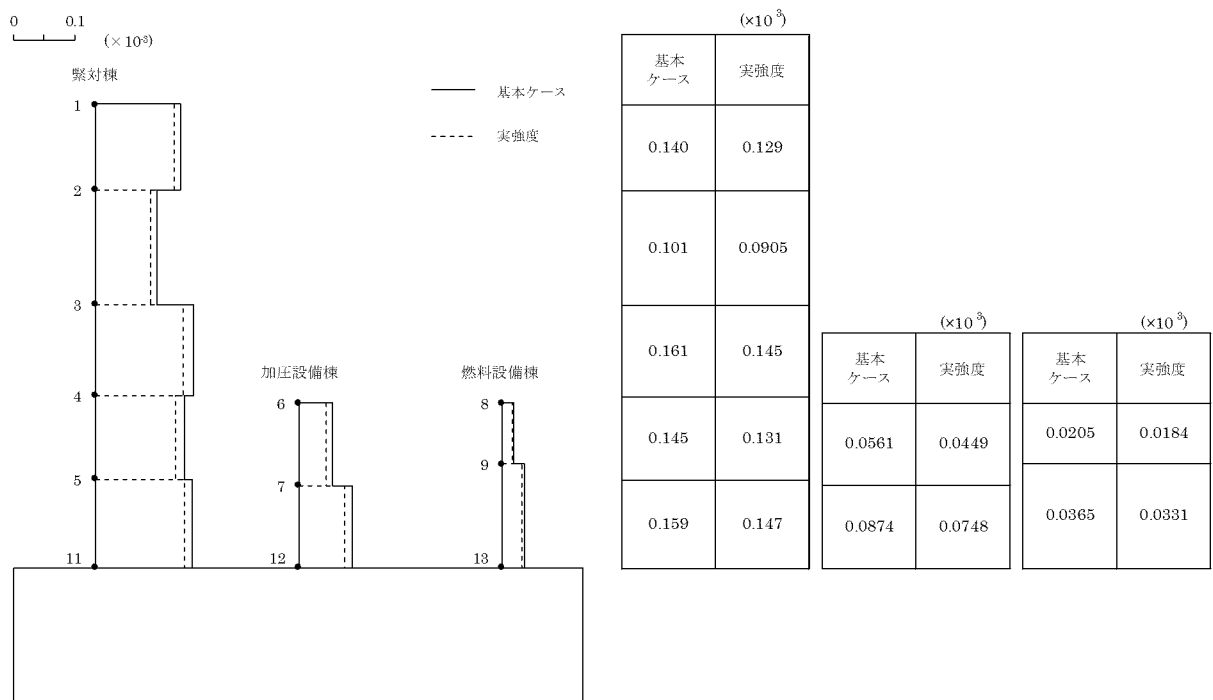
第 5-5 図 最大応答変位 (X 方向)



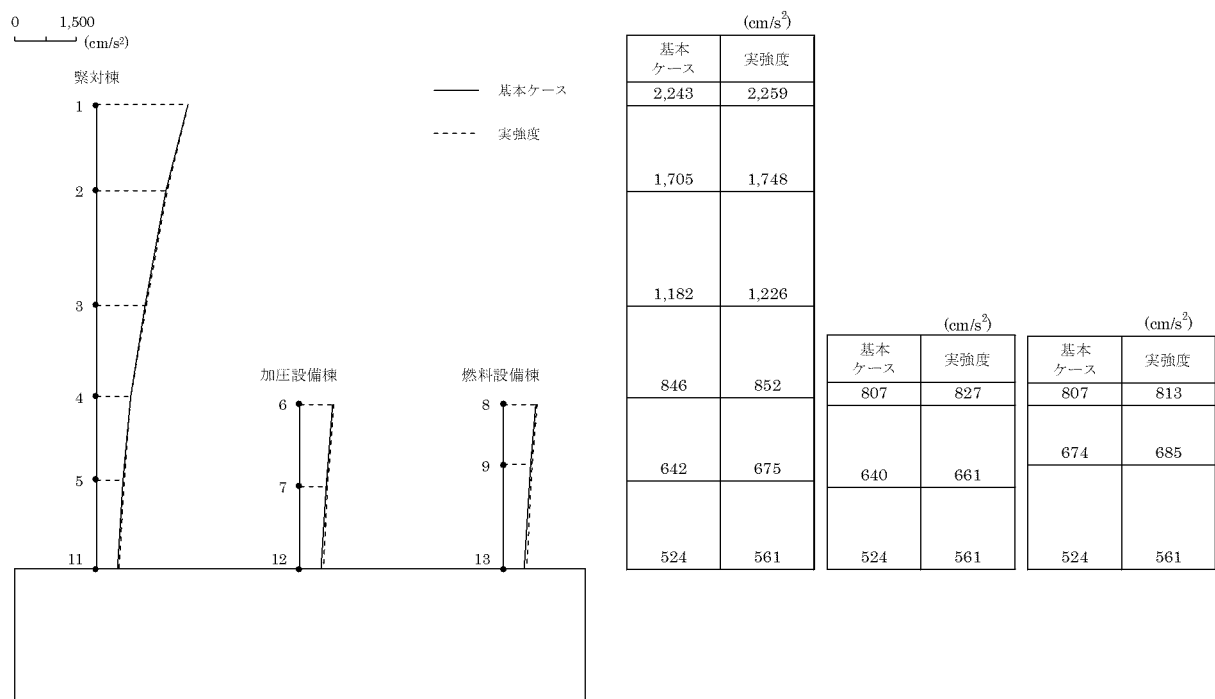
第 5-6 図 最大応答せん断力 (X 方向)



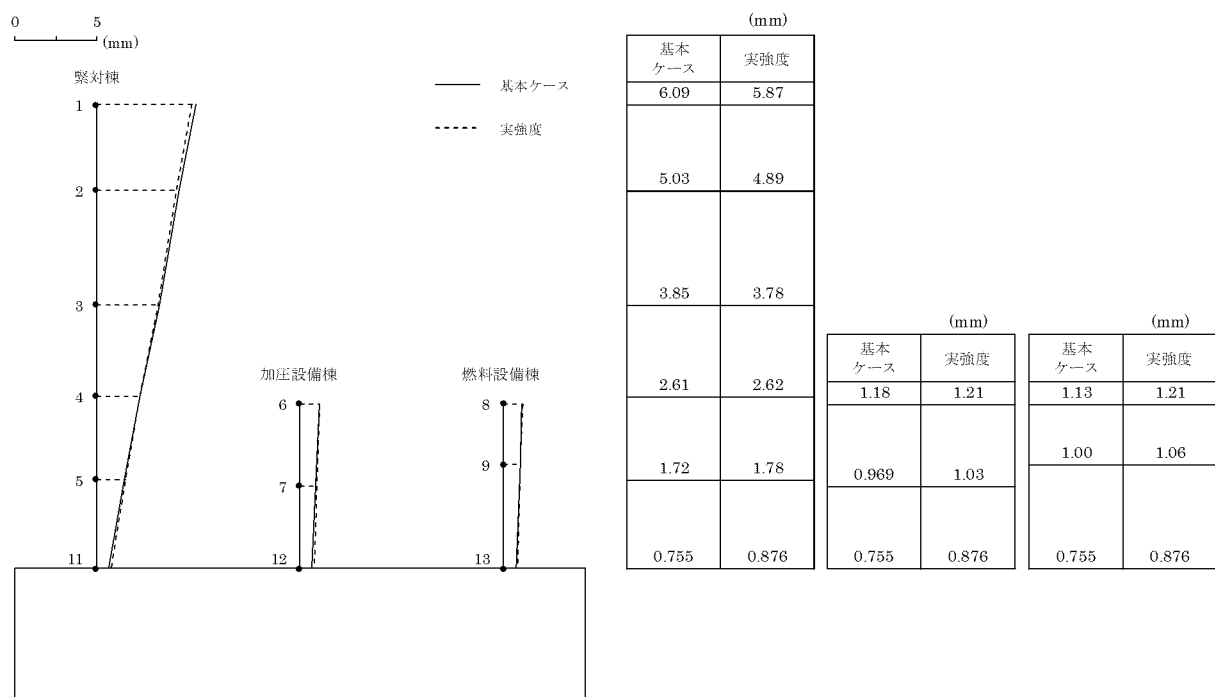
第 5-7 図 最大応答曲げモーメント (X 方向)



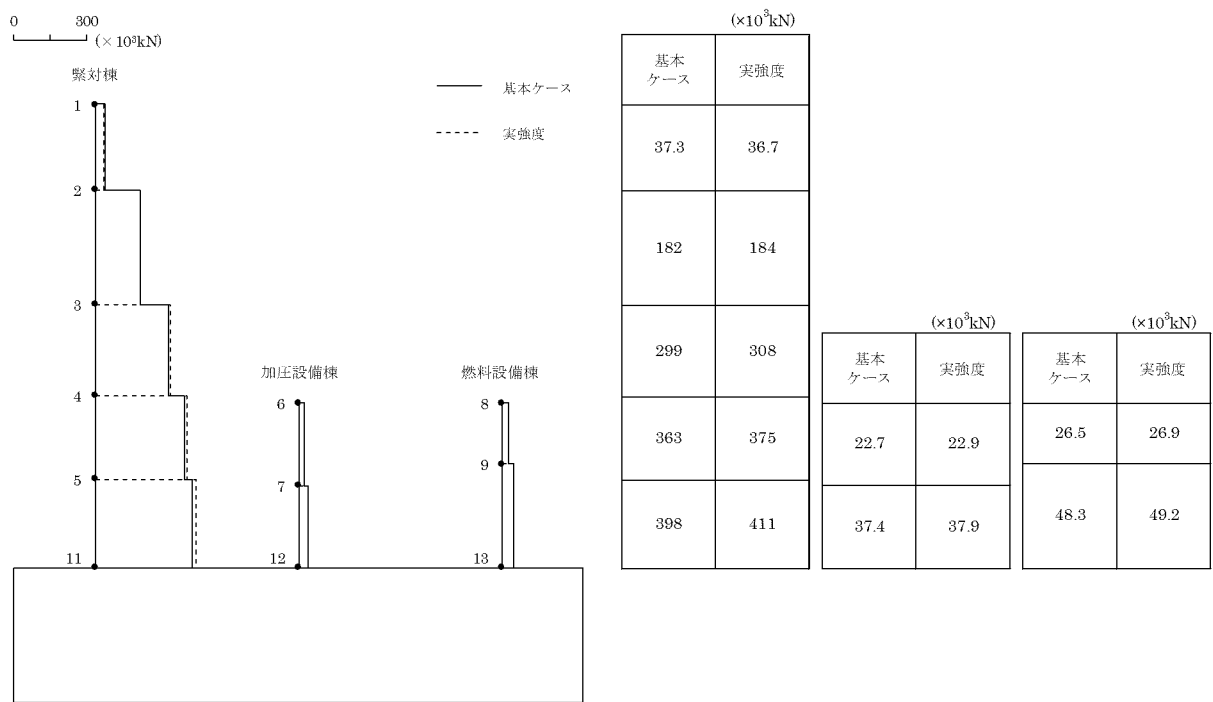
第 5-8 図 最大応答せん断ひずみ (X 方向)



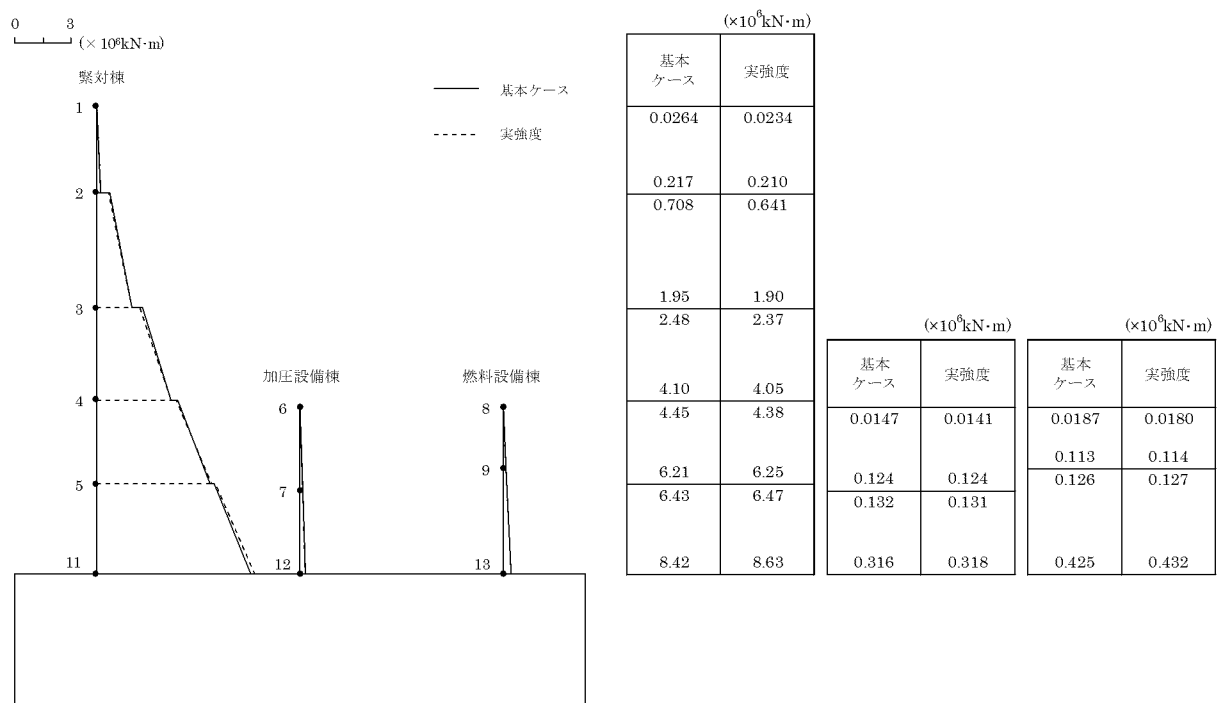
第 5-9 図 最大応答加速度 (Y 方向)



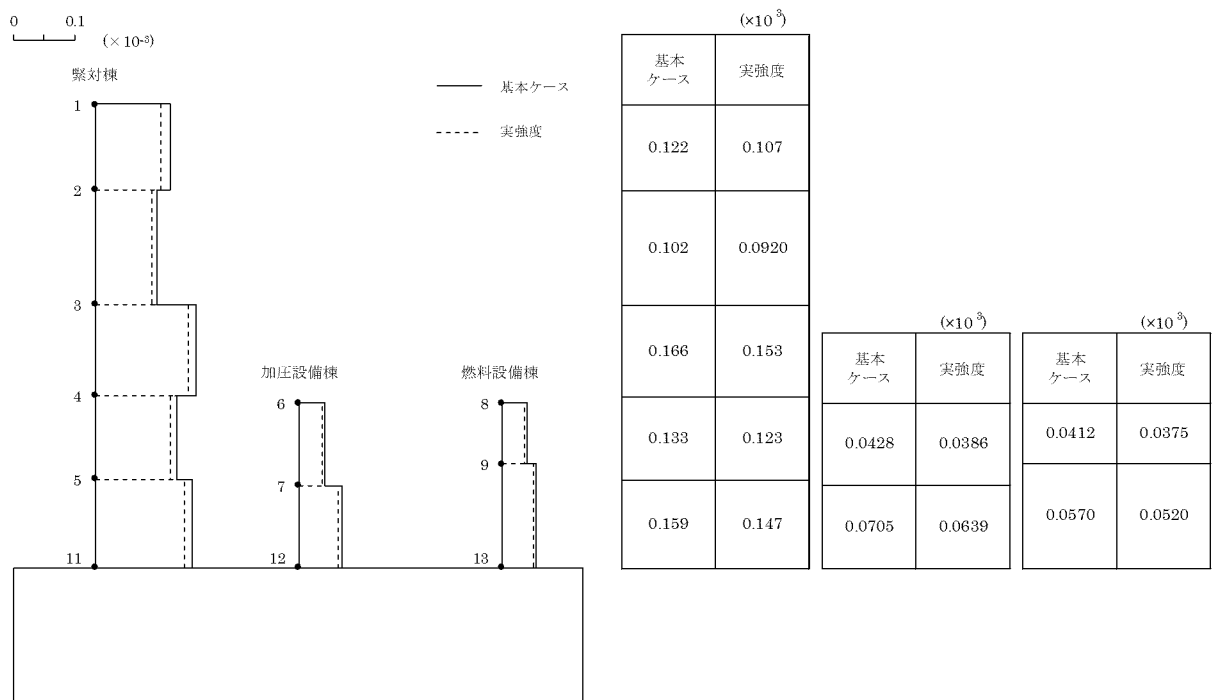
第 5-10 図 最大応答変位 (Y 方向)



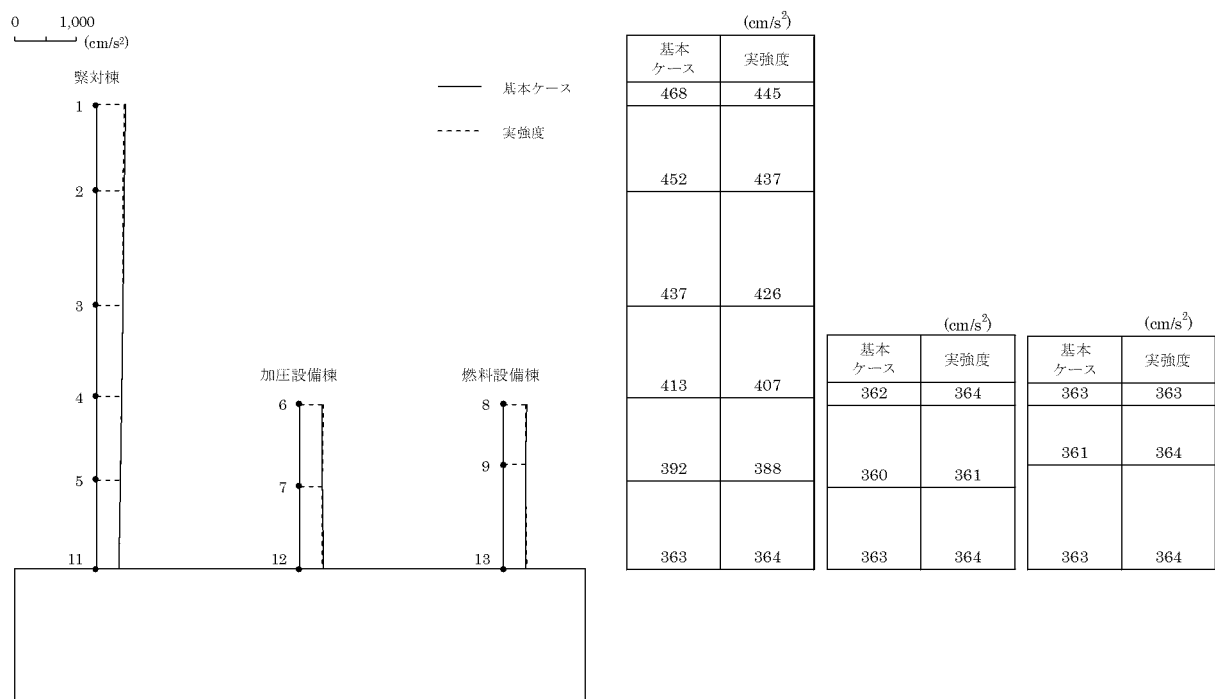
第5-11図 最大応答せん断力 (Y方向)



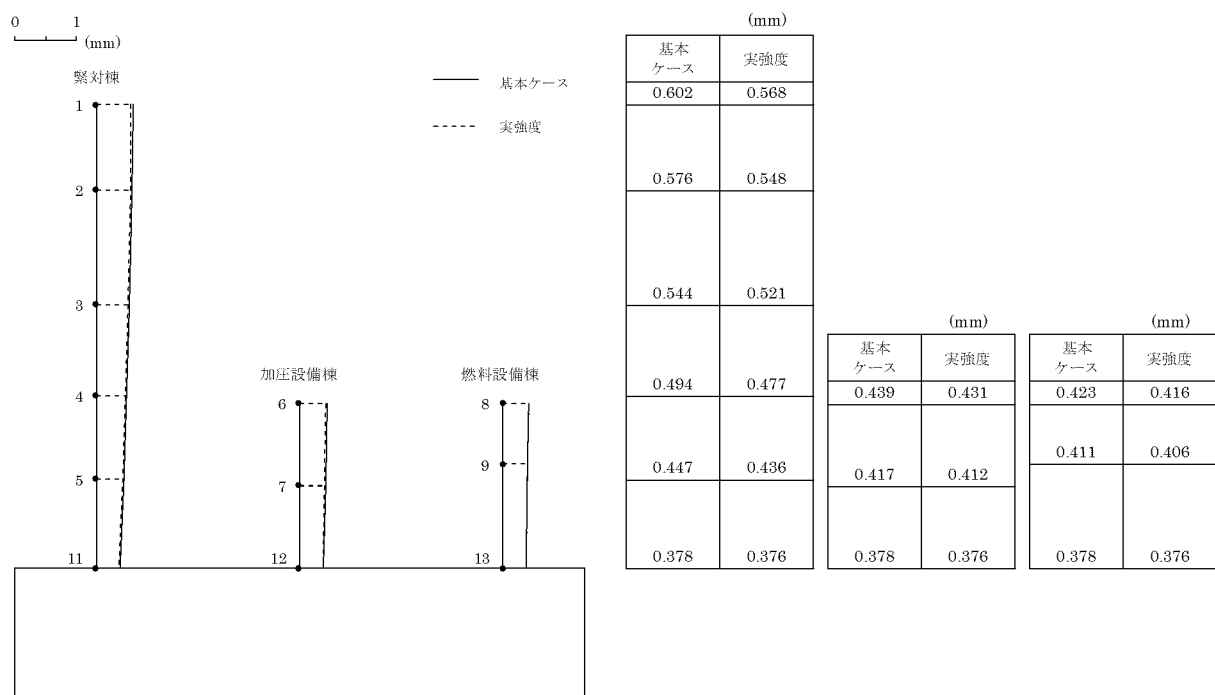
第5-12図 最大応答曲げモーメント (Y方向)



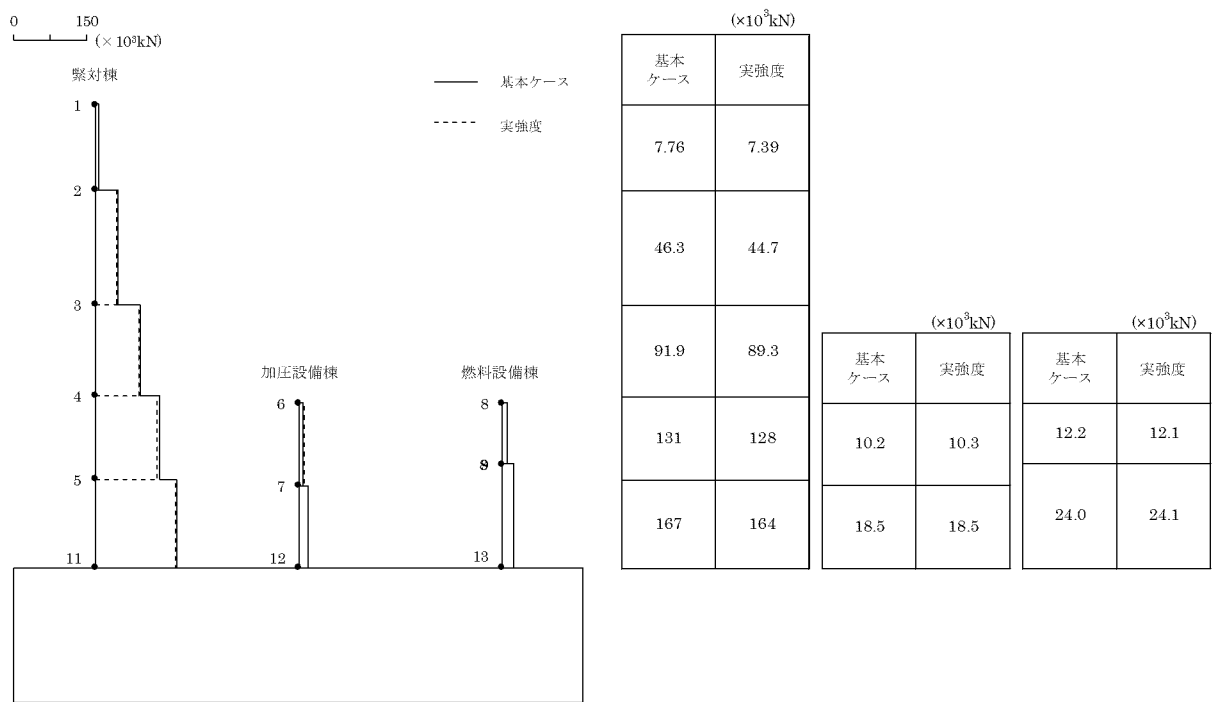
第5-13図 最大応答せん断ひずみ (Y方向)



第5-14図 最大応答加速度（鉛直方向）



第5-15図 最大応答変位（鉛直方向）



第5-16図 最大応答軸力（鉛直方向）

6. 地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきによる影響

6.1 検討方針

地盤物性のばらつきに加え、コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケース（地盤 V_s ($\pm 1\sigma$) + 実強度) について、固有値解析及び地震応答解析を行い、基本ケースの結果と比較した。

地盤物性のばらつきの設定は、「3.1 地盤物性のばらつきの設定について」に示したとおりである。また、コンクリート強度のばらつきの設定は、「3.2 コンクリート強度のばらつきの設定について」に示したとおりである。

6.2 固有値解析結果

地盤物性のばらつきに加え、コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケース（地盤 V_s ($\pm 1\sigma$) + 実強度）について、固有値解析を行い、基本ケースの結果と比較した。固有値解析結果の比較を第 6-1 表及び第 6-2 表、刺激関数図を第 6-1 図～第 6-6 図に示す。

基本ケースに対する地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースの固有振動数の変動幅は、 -4% ～ $+7\%$ 程度である。

第6-1表 固有値解析結果（地盤Vs（-1σ）+実強度）^(注)

(単位：Hz)

次数	固有振動数					
	X方向		Y方向		鉛直方向	
	基本ケース	地盤Vs（-1σ） +実強度	基本ケース	地盤Vs（-1σ） +実強度	基本ケース	地盤Vs（-1σ） +実強度
1	8.16	7.91 (0.97)	8.45	8.23 (0.97)	14.05	13.46 (0.96)
2	14.36	14.04 (0.98)	14.32	14.10 (0.98)	29.34	30.64 (1.04)
3	17.92	18.58 (1.04)	18.56	19.60 (1.06)	42.17	44.56 (1.06)
4	21.61	22.36 (1.03)	19.84	20.38 (1.03)	50.10	52.90 (1.06)

(注) () 内は基本ケースに対する比率

第6-2表 固有値解析結果（地盤Vs（+1σ）+実強度）^(注)

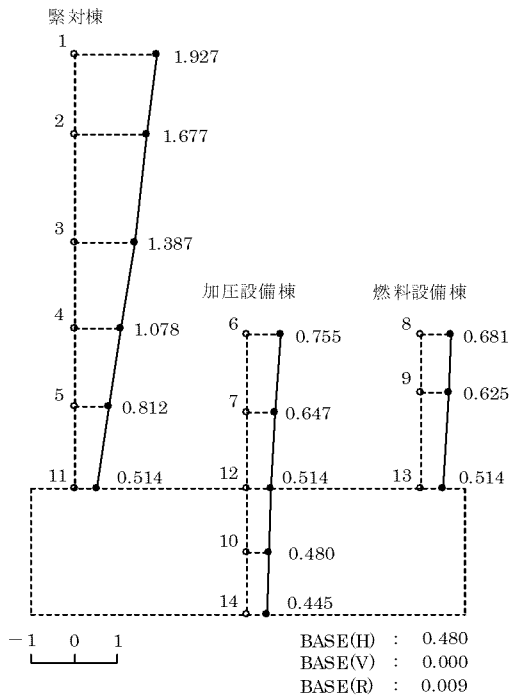
(単位：Hz)

次数	固有振動数					
	X方向		Y方向		鉛直方向	
	基本ケース	地盤Vs（+1σ） +実強度	基本ケース	地盤Vs（+1σ） +実強度	基本ケース	地盤Vs（+1σ） +実強度
1	8.16	8.72 (1.07)	8.45	9.03 (1.07)	14.05	14.75 (1.05)
2	14.36	15.43 (1.07)	14.32	15.35 (1.07)	29.34	31.00 (1.06)
3	17.92	19.02 (1.06)	18.56	19.63 (1.06)	42.17	44.60 (1.06)
4	21.61	22.85 (1.06)	19.84	21.04 (1.06)	50.10	52.98 (1.06)

(注) () 内は基本ケースに対する比率

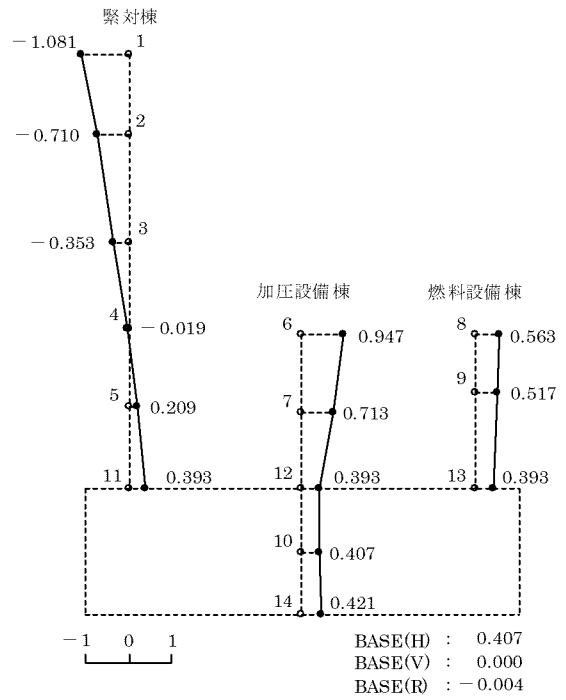
MODE1

FREQUENCY=7.91(Hz)



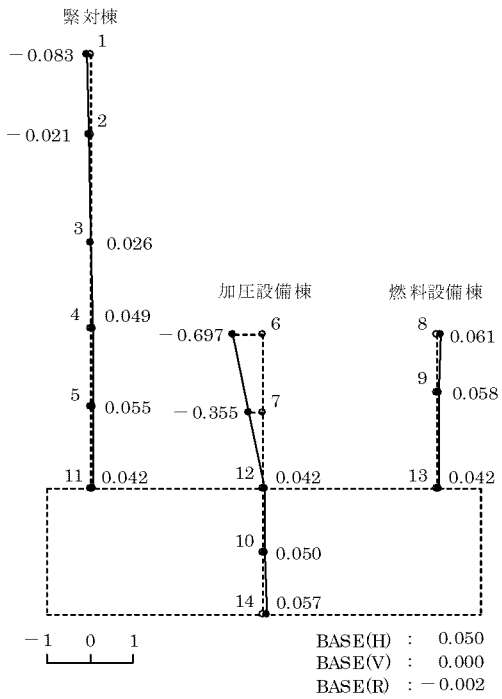
MODE2

FREQUENCY=14.04(Hz)



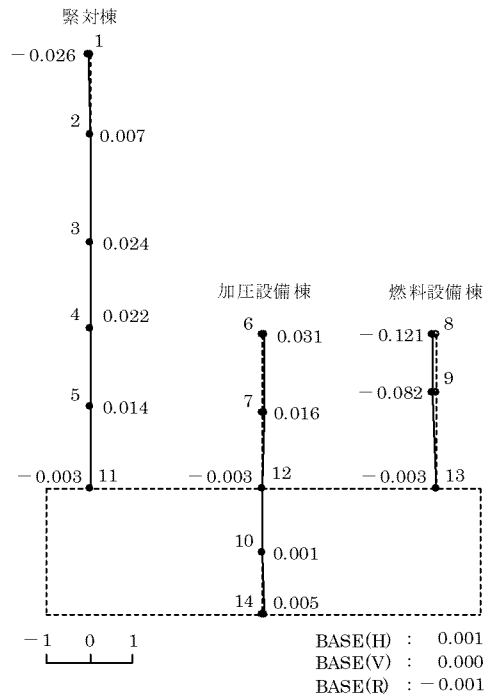
MODE3

FREQUENCY=18.58(Hz)



MODE4

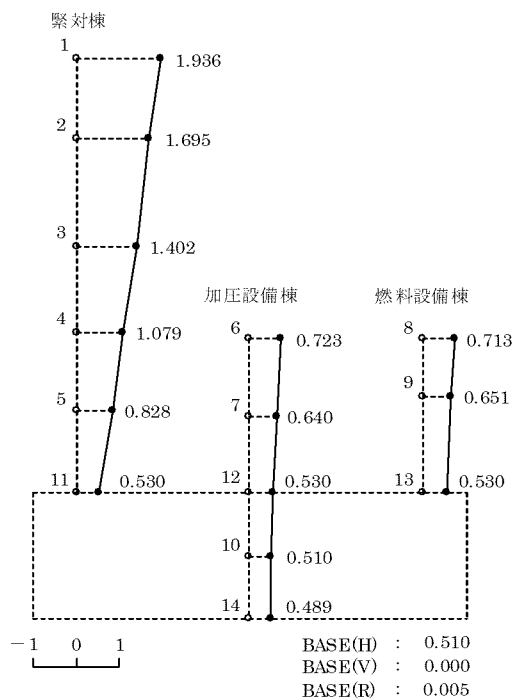
FREQUENCY=22.36(Hz)



第 6-1 図 刺激関数図 (X 方向、地盤 Vs (-1σ) + 実強度)

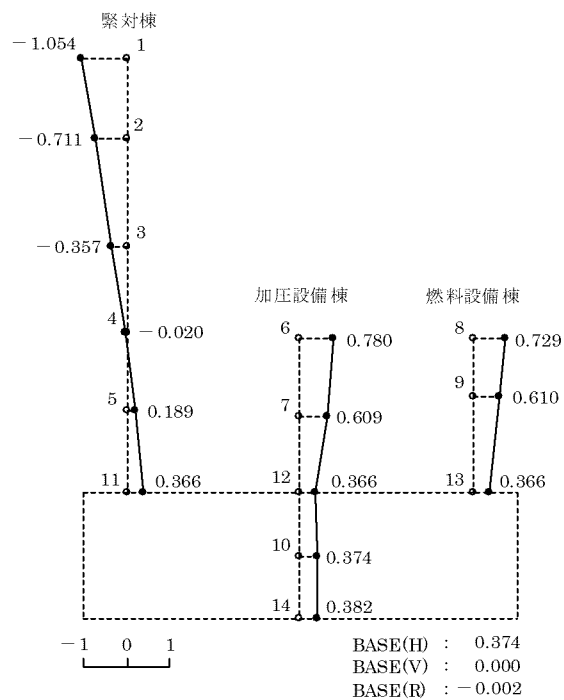
MODE1

FREQUENCY=8.23(Hz)



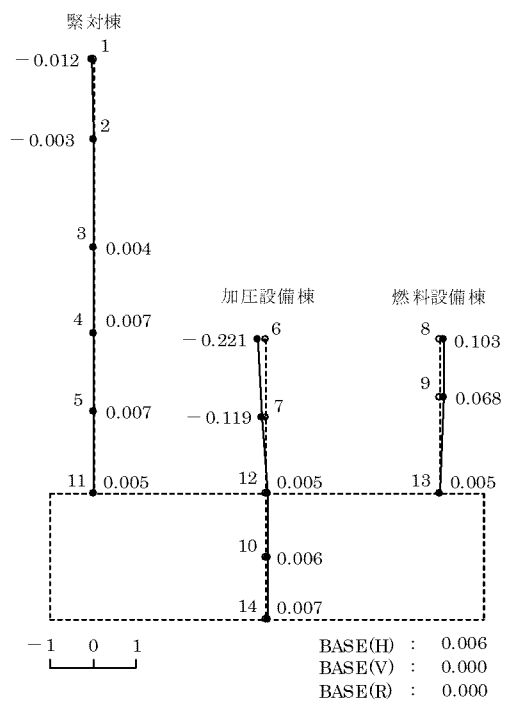
MODE2

FREQUENCY=14.10(Hz)



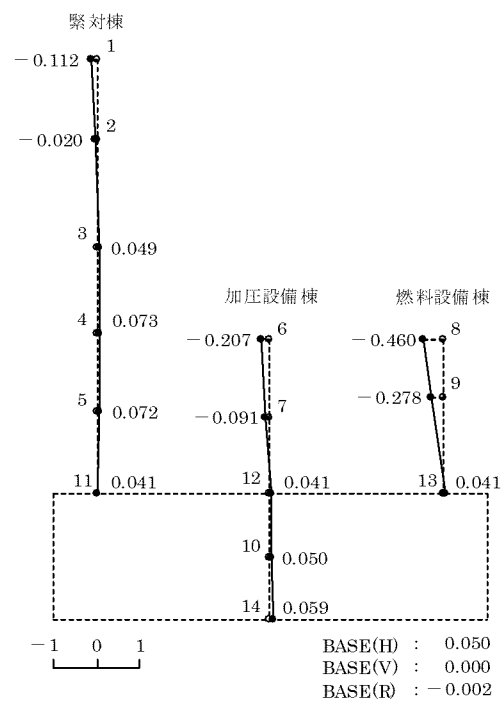
MODE3

FREQUENCY=19.60(Hz)



MODE4

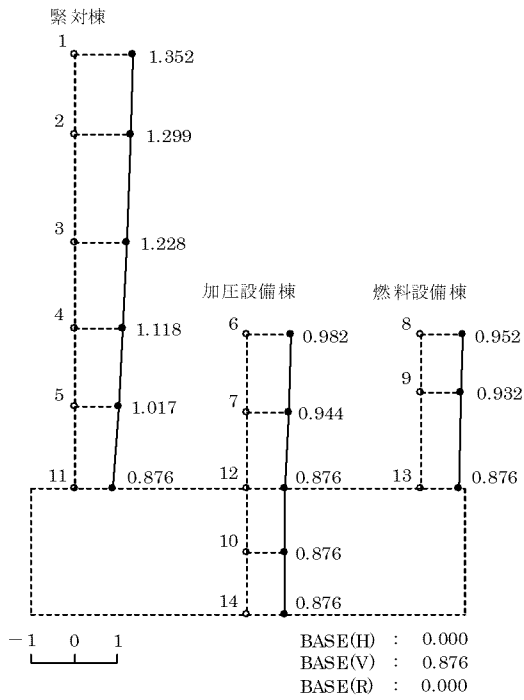
FREQUENCY=20.38(Hz)



第 6-2 図 刺激関数図 (Y 方向、地盤 Vs (-1σ) + 実強度)

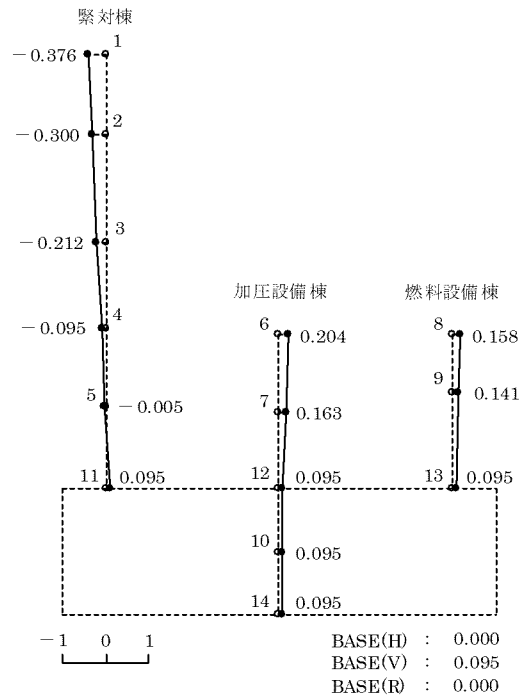
MODE1

FREQUENCY=13.46(Hz)



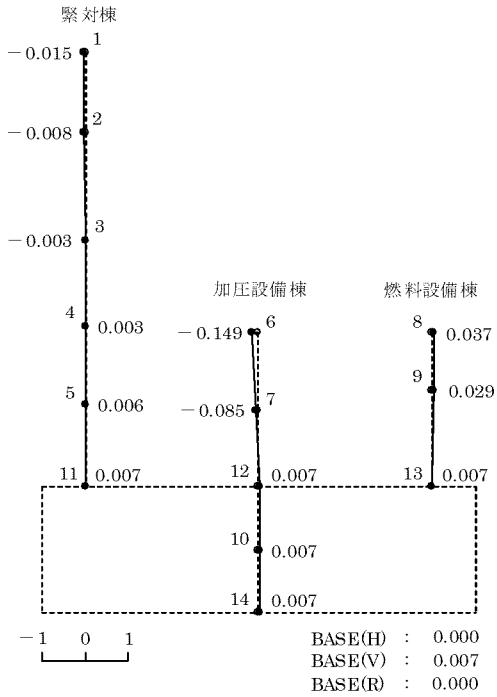
MODE2

FREQUENCY=30.64(Hz)



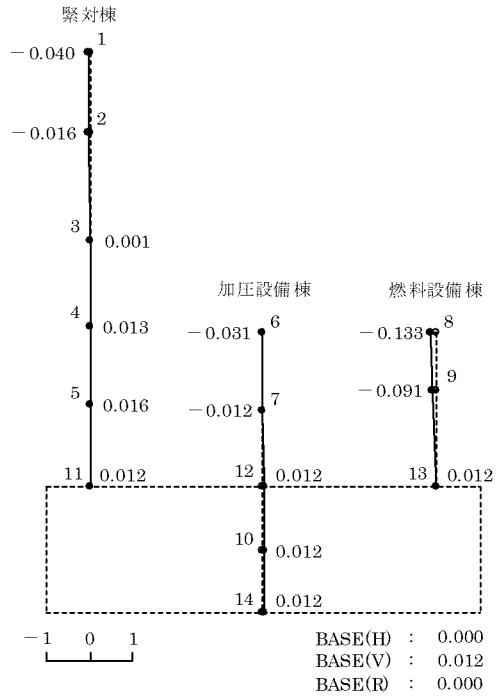
MODE3

FREQUENCY=44.56(Hz)



MODE4

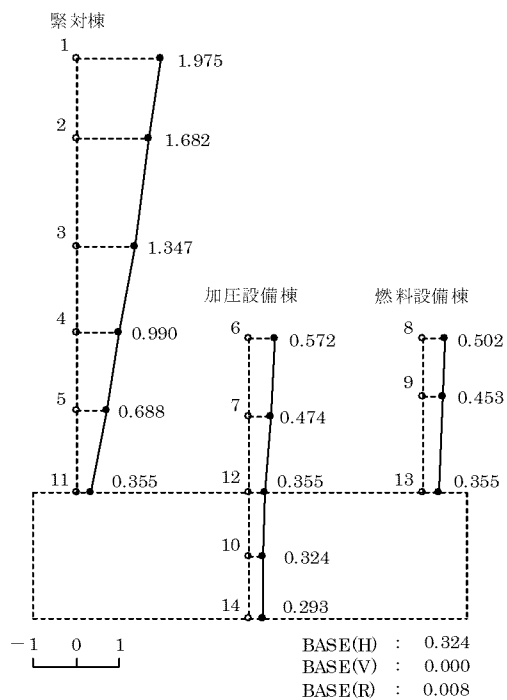
FREQUENCY=52.90(Hz)



第 6-3 図 刺激関数図 (鉛直方向、地盤 Vs (-1σ) + 実強度)

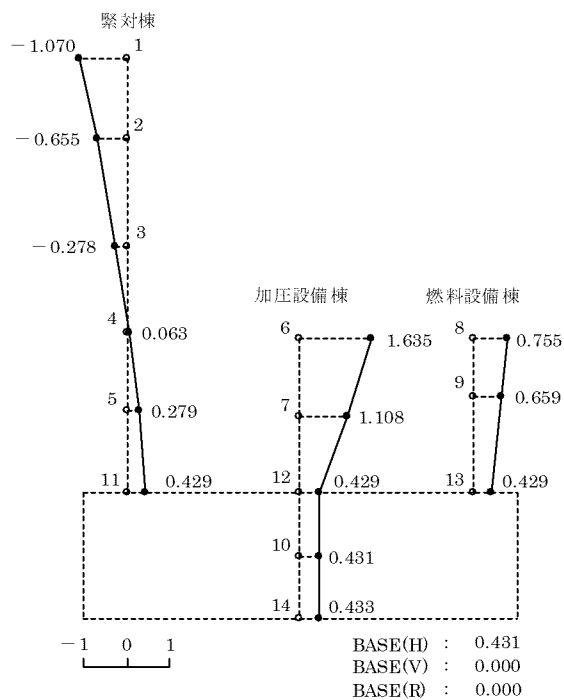
MODE1

FREQUENCY = 8.72(Hz)



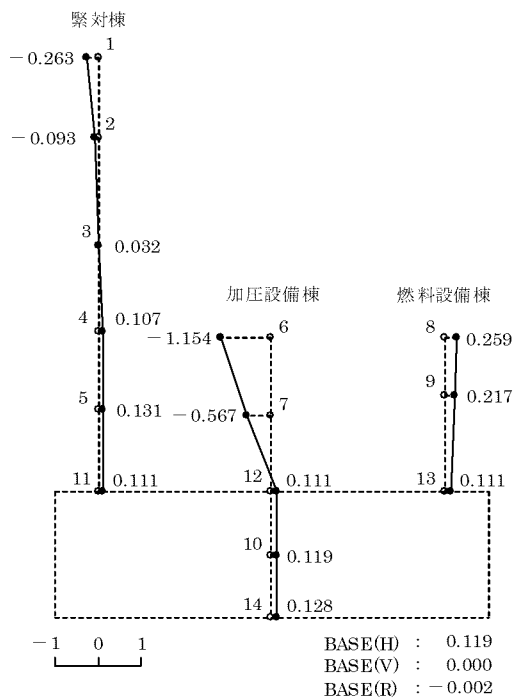
MODE2

FREQUENCY = 15.43(Hz)



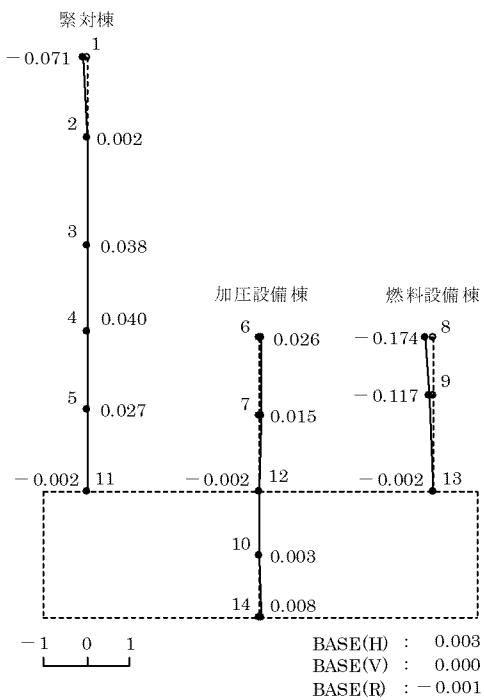
MODE3

FREQUENCY = 19.02(Hz)



MODE4

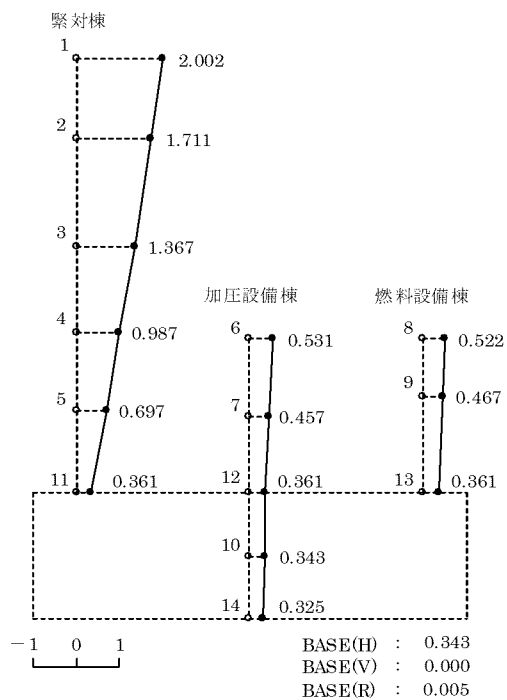
FREQUENCY = 22.85(Hz)



第 6-4 図 刺激関数図 (X 方向、地盤 Vs (+1σ) + 実強度)

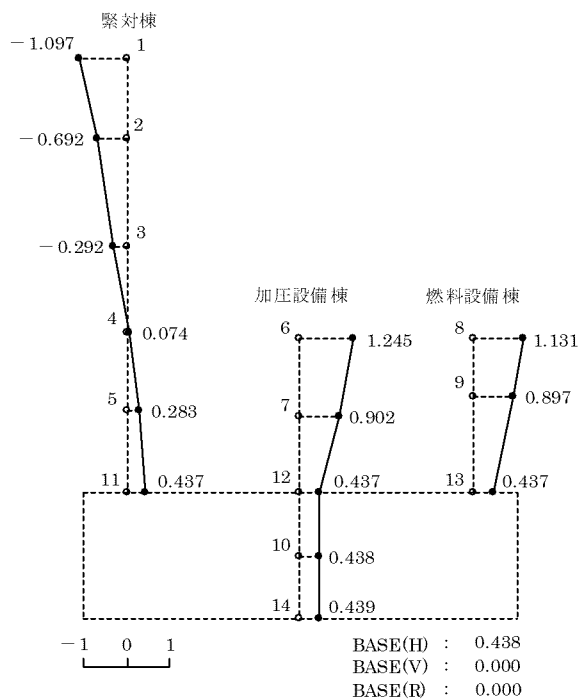
MODE1

FREQUENCY = 9.03(Hz)



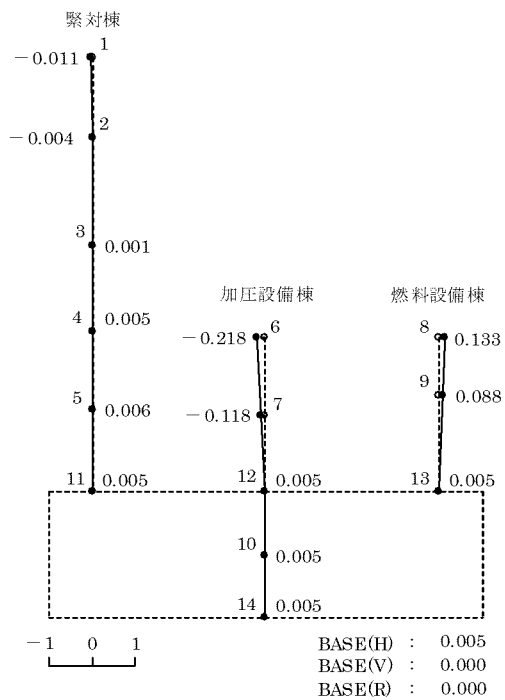
MODE2

FREQUENCY = 15.35(Hz)



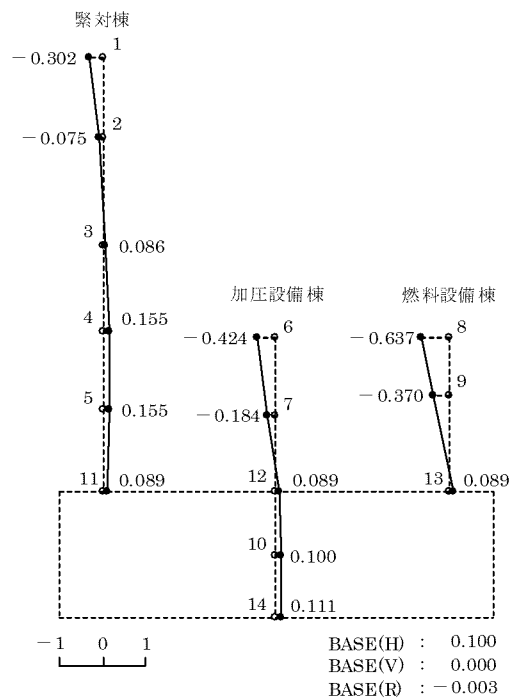
MODE3

FREQUENCY = 19.63(Hz)



MODE4

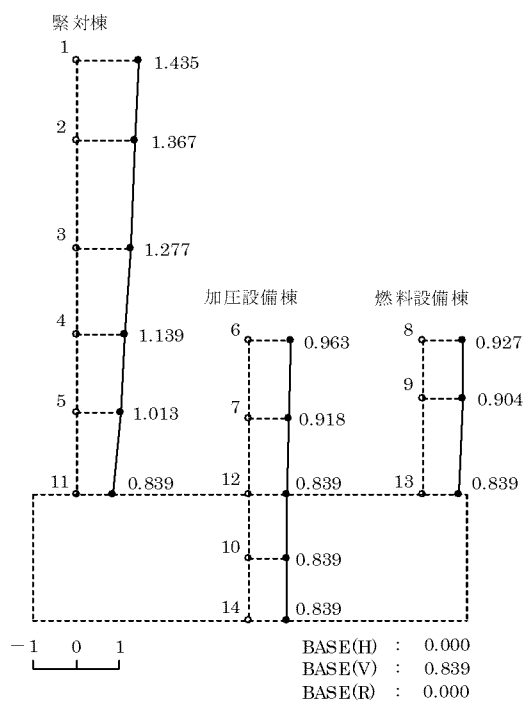
FREQUENCY = 21.04(Hz)



第 6-5 図 刺激関数図 (Y 方向、地盤 Vs (+1σ) + 実強度)

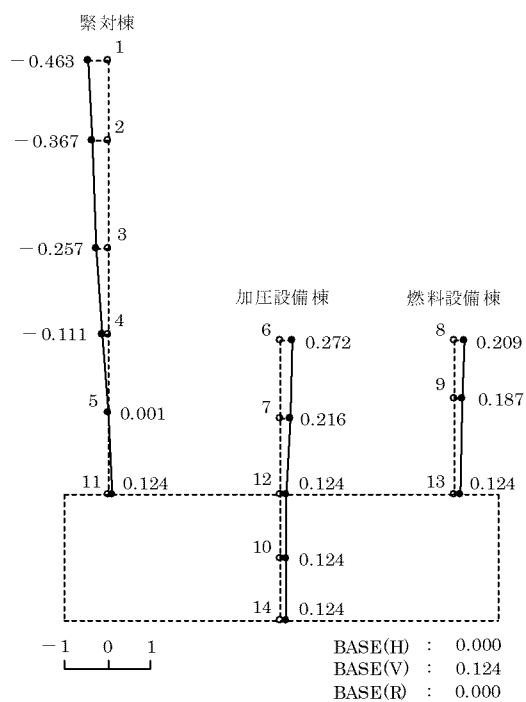
MODE1

FREQUENCY = 14.75(Hz)



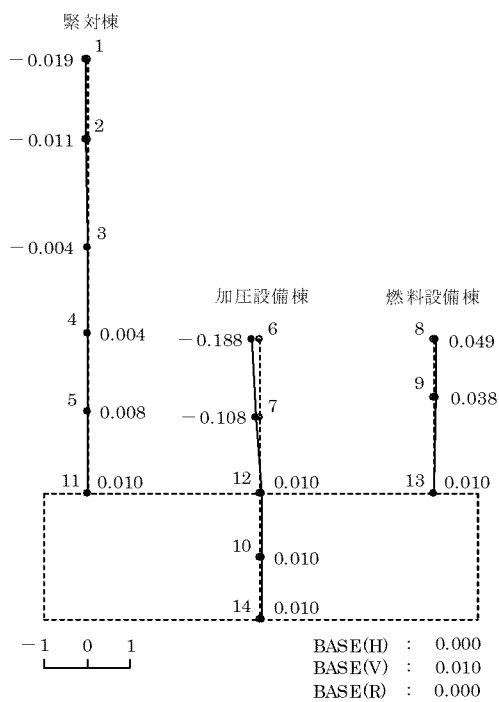
MODE2

FREQUENCY = 31.00(Hz)



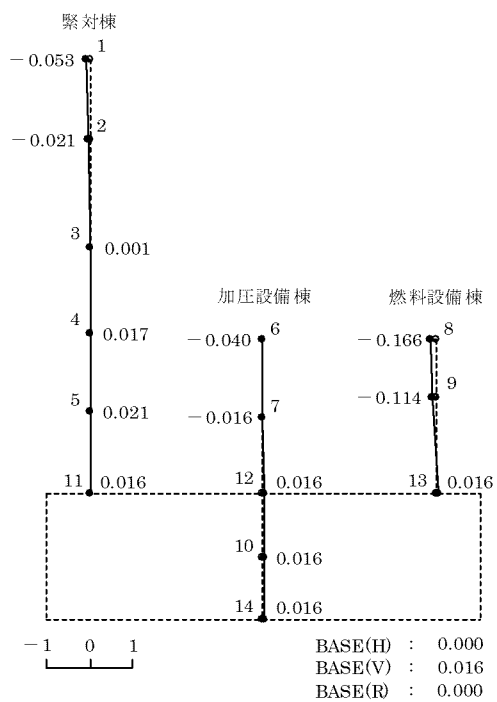
MODE3

FREQUENCY = 44.60(Hz)



MODE4

FREQUENCY = 52.98(Hz)



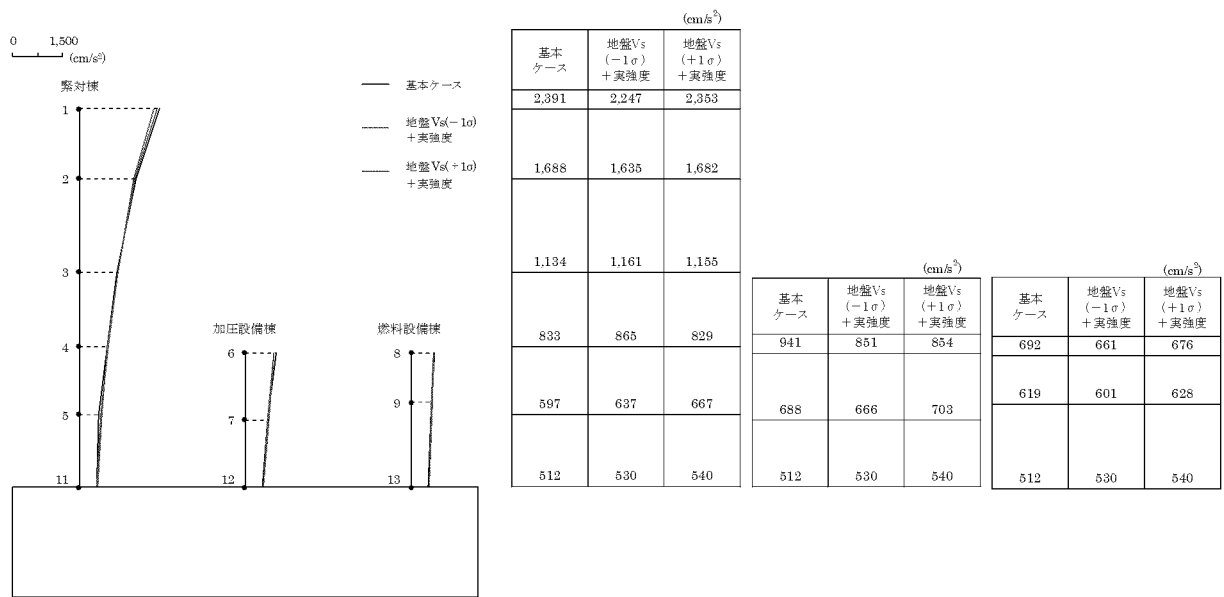
第 6-6 図 刺激関数図 (鉛直方向、地盤 Vs (+1σ) + 実強度)

6.3 地震応答解析結果

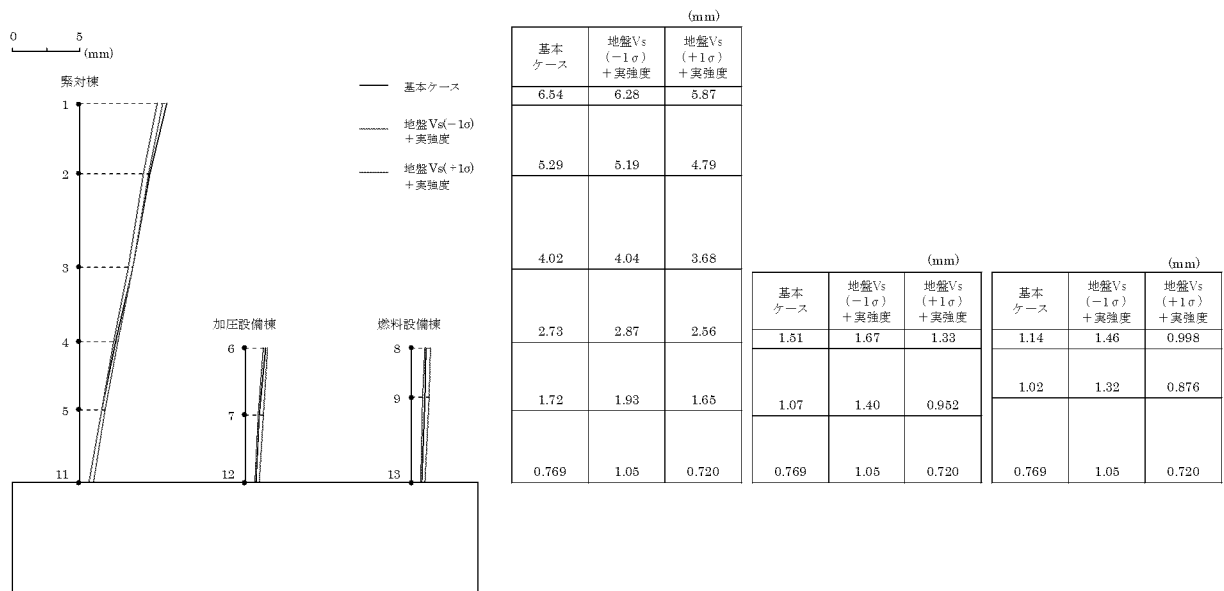
地盤物性のばらつきに加え、コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケース（地盤 V_s ($\pm 1\sigma$) + 実強度）について、地震応答解析を行い、基本ケースの結果と比較した。最大応答値の比較を第 6-7 図～第 6-19 図に示す。

水平方向について、地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースの最大応答加速度、最大応答変位、最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントは、基本ケースと同等である。一方、最大応答せん断ひずみについては、地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースが基本ケースに対して小さくなる傾向であることが確認できる。

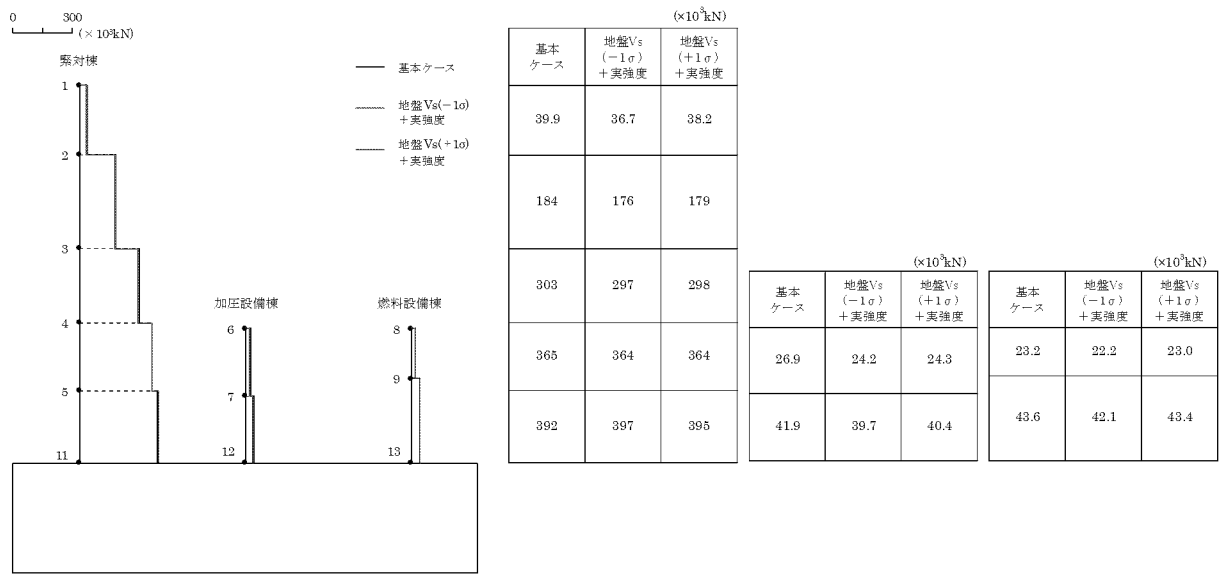
鉛直方向について、地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースの最大応答加速度、最大応答変位及び最大応答軸力は、基本ケースと同等であり、最大応答値の変動は非常に小さい。



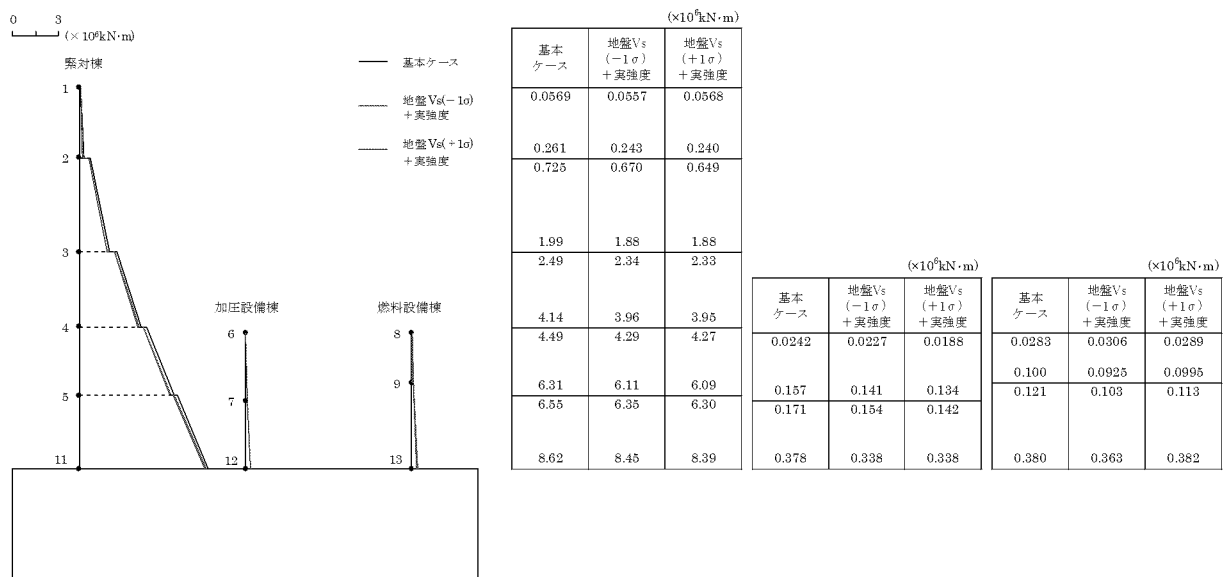
第6-7図 最大応答加速度 (X方向)



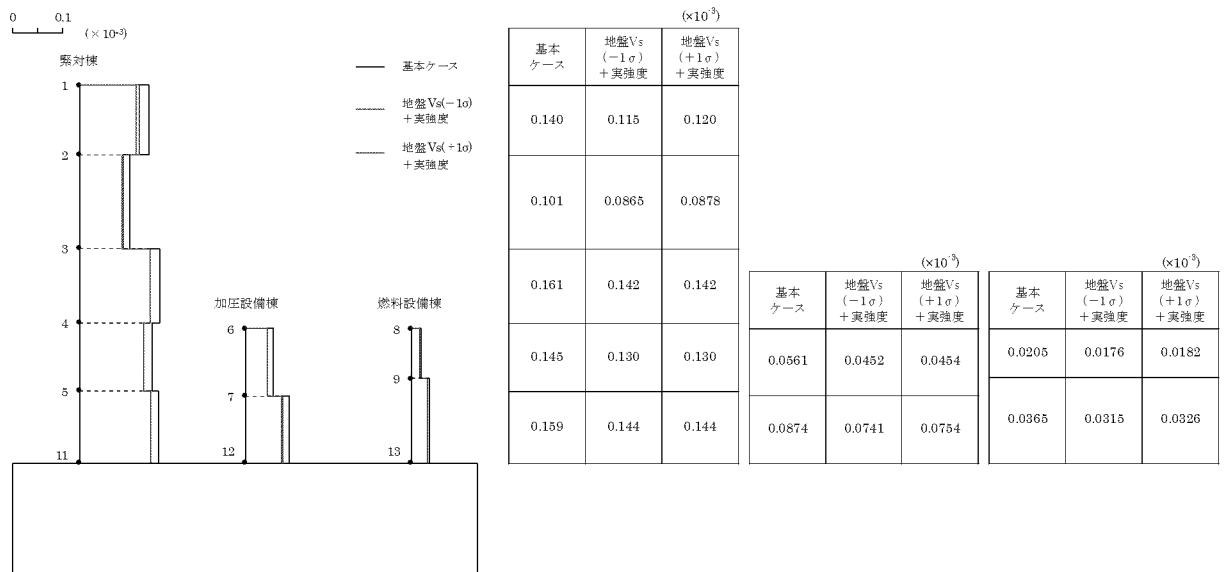
第6-8図 最大応答変位 (X方向)



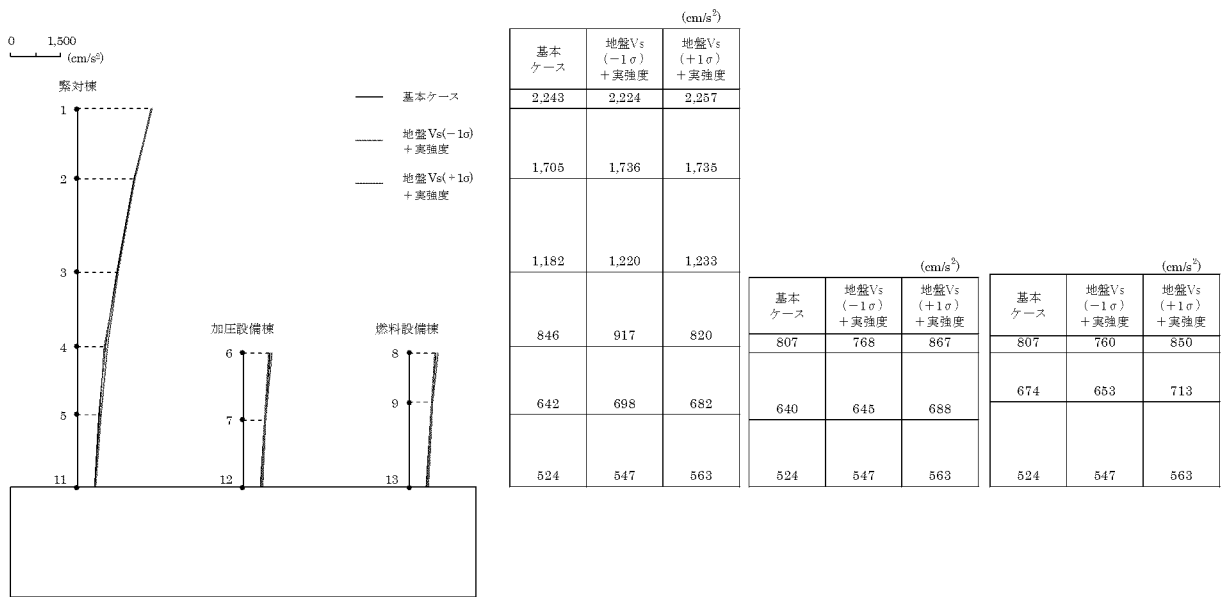
第6-9図 最大応答せん断力 (X方向)



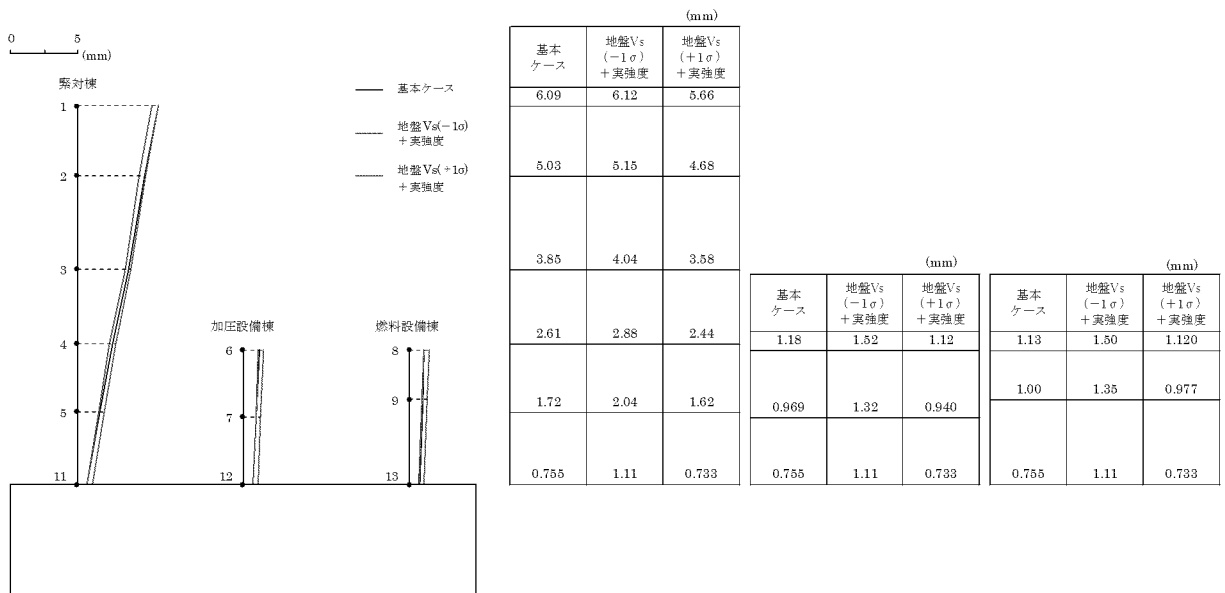
第6-10図 最大応答曲げモーメント (X方向)



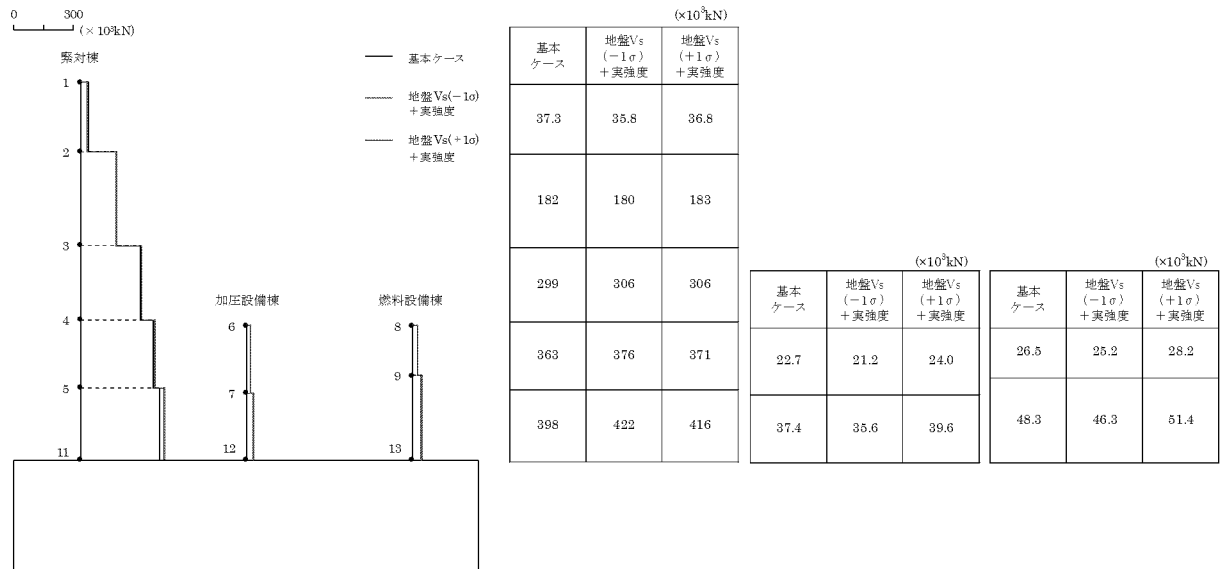
第6-11図 最大応答せん断ひずみ (X方向)



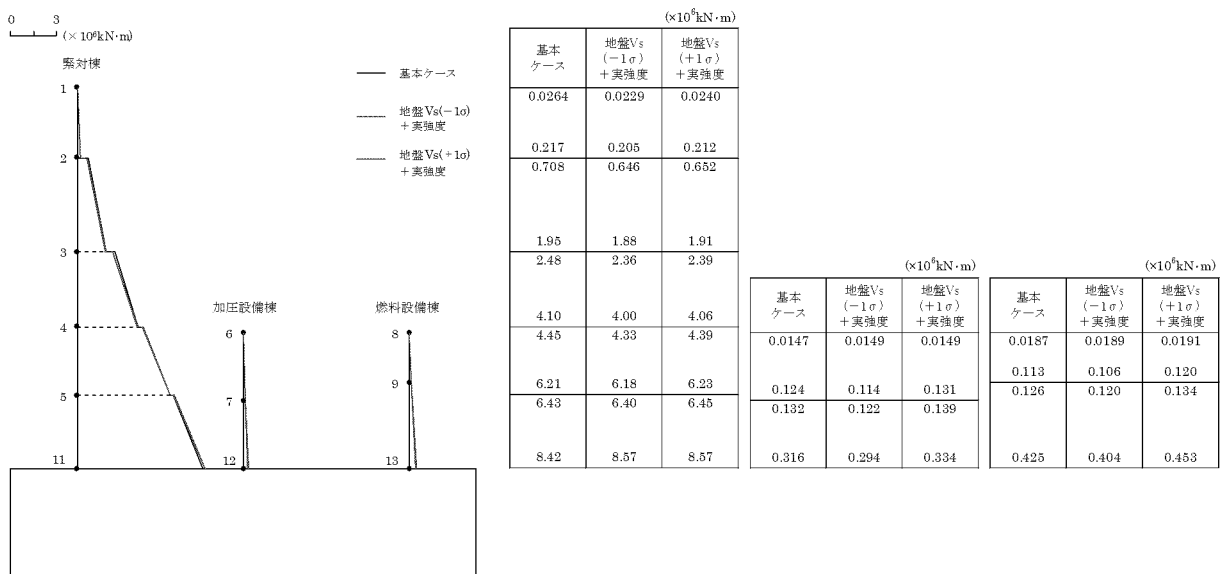
第6-12図 最大応答加速度 (Y方向)



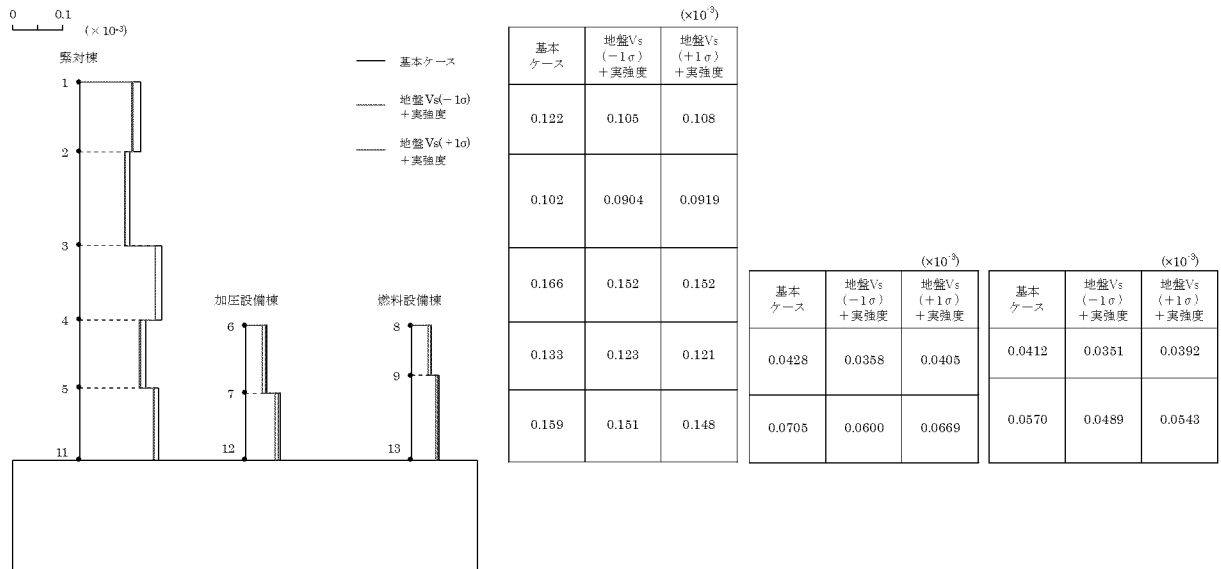
第6-13図 最大応答変位 (Y方向)



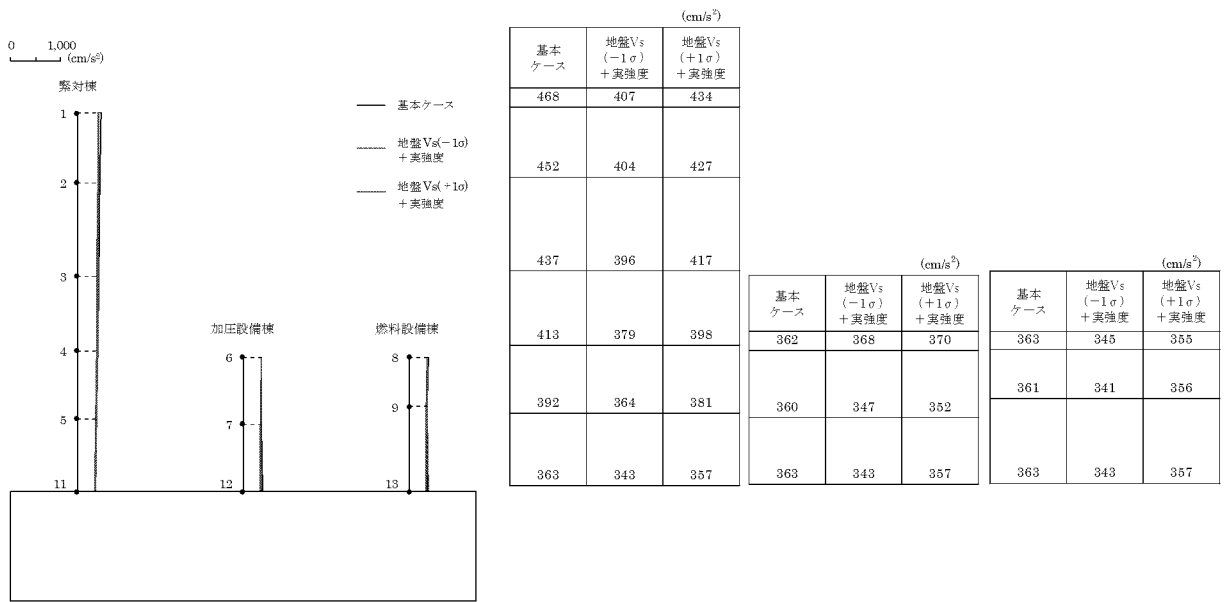
第6-14図 最大応答せん断力 (Y方向)



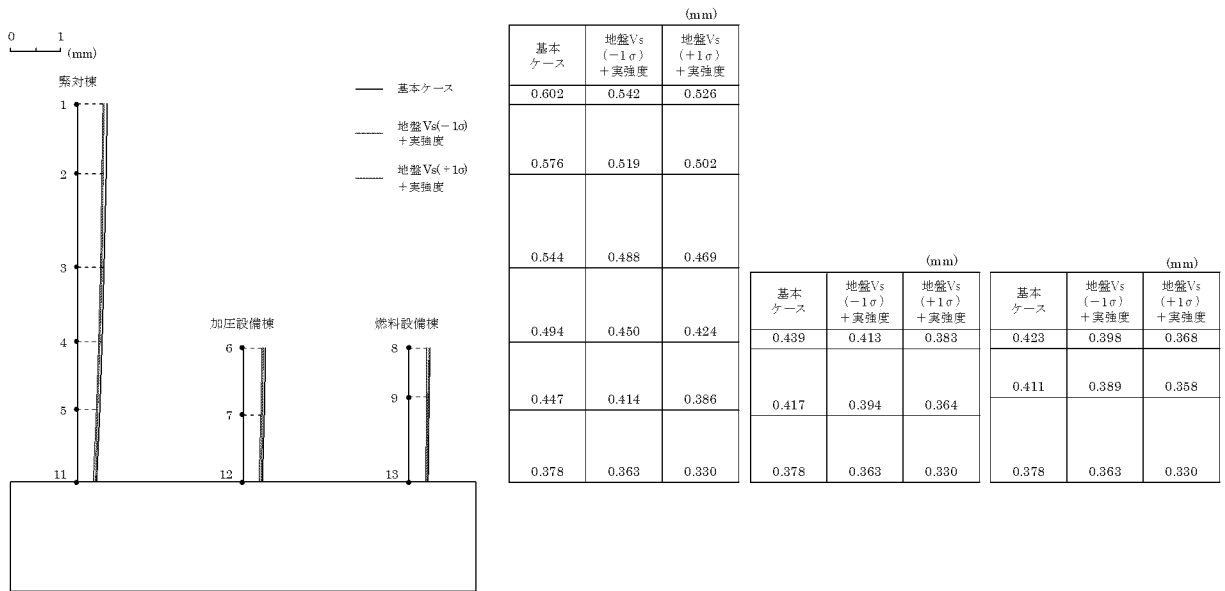
第6-15図 最大応答曲げモーメント (Y方向)



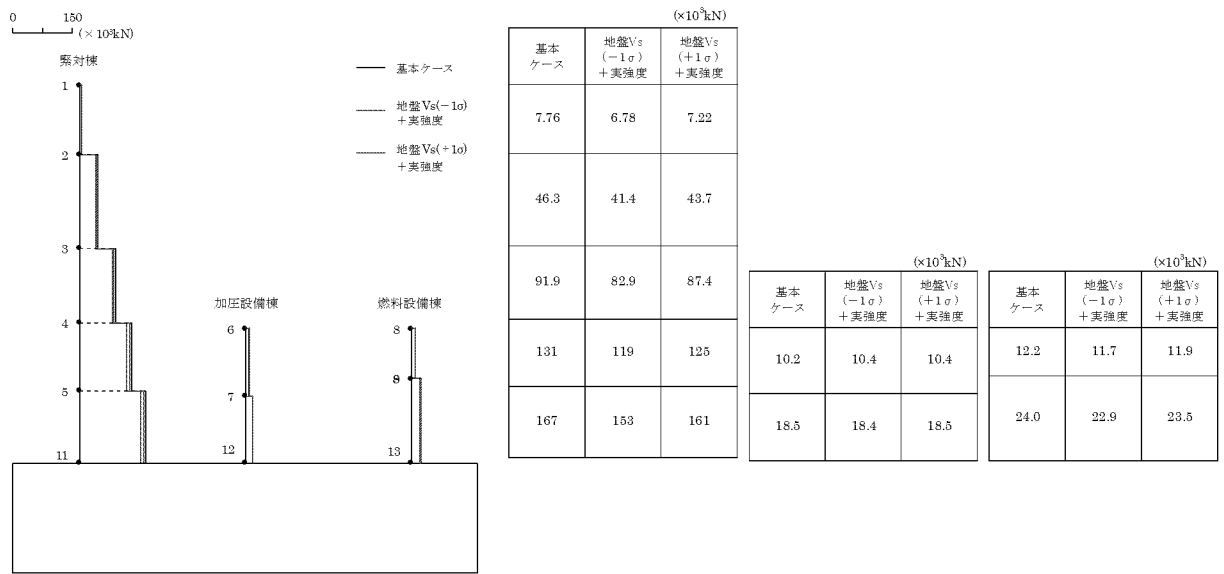
第6-16図 最大応答せん断ひずみ (Y方向)



第6-17図 最大応答加速度（鉛直方向）



第6-18図 最大応答変位（鉛直方向）



第6-19図 最大応答軸力（鉛直方向）

7. 建物・構築物の耐震性評価における設計用地震力の設定

材料物性のばらつきの影響について検討を行った各要因のうち、地盤物性のばらつきは、ばらつきを考慮したとしても、構造物の剛性及び耐力が上昇することはない。一方、コンクリート強度のばらつきは、コンクリート強度を実強度とするため、構造物自体の剛性及び耐力が上昇する。

本章では、材料物性のばらつきの影響検討を行った各要因について、ばらつきの考慮と構造物の剛性及び耐力が直接関連付かない要因（以下「外的要因」という。）と、ばらつきを考慮することで構造物自体の剛性及び耐力が変動する要因（以下「内在的要因」という。）に分類し、各ケースの地震応答解析結果と基本ケースの地震応答解析結果の比較分析を行う。また、比較分析を踏まえた設計用地震力の設定について示す。

要因分析の分類を第7-1表に示す。

第7-1表 要因分析の分類

検討ケース	分類
地盤物性のばらつき考慮 (地盤 V_s ($\pm 1\sigma$))	外的要因
コンクリート強度のばらつき考慮 (実強度)	内在的要因
地盤物性のばらつき及び コンクリート強度のばらつき考慮 (地盤 V_s ($\pm 1\sigma$) + 実強度)	外的要因と内在的要因の 重ね合わせ

(1) 外的要因

最大応答せん断力及び最大応答せん断ひずみについて、地盤物性のばらつきを考慮したケースと基本ケースの比較を第 7-2 表に示す。

地盤物性のばらつきを考慮したケースの最大応答せん断力は、基本ケースを上回っている部材がある。地盤物性のばらつきは、ばらつきを考慮したとしても、構造物の剛性が上昇することはないため、最大応答せん断ひずみについても、最大応答せん断力の変動に伴い、一部の部材において基本ケースを若干上回っている。

したがって、建物・構築物の耐震性評価における設計用地震力は、地盤物性のばらつきを考慮した応答を考慮し設定する。

(2) 内在的要因

最大応答せん断力及び最大応答せん断ひずみについて、コンクリート強度のばらつきを考慮したケースと基本ケースの比較を第 7-3 表に示す。

コンクリート強度のばらつきを考慮したケースの最大応答せん断力について、基本ケースを上回っている部材があるが、コンクリート強度を実強度とすることで、構造物の剛性が大きくなるため、最大応答せん断ひずみは小さくなる傾向である。また、コンクリート強度を実強度とすることにより、構造物の剛性だけでなく、耐力も大きくなる。コンクリートを実強度とした場合について、応答せん断力と応答せん断ひずみの関係に関する考察を補足説明資料 7-2-4-別紙 1「コンクリート強度のばらつきによる建屋応答への影響に関する考察」に示す。

したがって、コンクリート強度のばらつきを考慮したケースの応答は、建物・構築物の耐震性評価における設計用地震力の設定において考慮しない。

(3) 外的要因と内在的要因の重ね合わせ

最大応答せん断力及び最大応答せん断ひずみについて、地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮したケース（地盤物性のばらつきを考慮し、コンクリート強度を実強度としたケース）と基本ケースの比較を第 7-4 表に示す。

地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮したケースの最大応答せん断力は、基本ケースを上回っている部材があるが、最大応答せん断ひずみについては、小さくなる傾向である。これは、コンクリート強度を実強度とすることで、構造物の剛性が大きくなることに起因している。また、コン

クリート強度を実強度とすることにより、構造物の剛性だけでなく、耐力も大きくなる。

したがって、地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮したケースの応答は、建物・構築物の耐震性評価における設計用地震力の設定において考慮しない。

第7-2表 最大応答値の比較（地盤物性のばらつき考慮）(1/2)

(a) X方向

部材 番号	最大応答せん断力($\times 10^3\text{kN}$)			最大応答せん断ひずみ($\times 10^{-3}$)		
	基本ケース	地盤物性のばらつき考慮		基本ケース	地盤物性のばらつき考慮	
		-1σ	$+1\sigma$		-1σ	$+1\sigma$
①	39.9	38.3	36.9	0.140	0.134	0.129
②	184	175	176	0.101	0.0960	0.0963
③	303	284	289	0.161	0.151	0.154
④	365	339	345	0.145	0.135	0.138
⑤	392	380	383	0.159	0.155	0.156
⑥	26.9	26.1	26.0	0.0561	0.0545	0.0542
⑦	41.9	42.6	41.8	0.0874	0.0888	0.0871
⑧	23.2	22.6	23.6	0.0205	0.0200	0.0209
⑨	43.6	42.5	44.3	0.0365	0.0356	0.0372

第7-2表 最大応答値の比較（地盤物性のばらつき考慮）(2/2)

(b) Y方向

部材 番号	最大応答せん断力($\times 10^3\text{kN}$)			最大応答せん断ひずみ($\times 10^{-3}$)		
	基本ケース	地盤物性のばらつき考慮		基本ケース	地盤物性のばらつき考慮	
		-1σ	$+1\sigma$		-1σ	$+1\sigma$
①	37.3	38.1	35.8	0.122	0.124	0.117
②	182	187	176	0.102	0.105	0.0987
③	299	307	295	0.166	0.170	0.164
④	363	367	356	0.133	0.134	0.130
⑤	398	402	385	0.159	0.160	0.154
⑥	22.7	22.6	23.4	0.0428	0.0426	0.0440
⑦	37.4	37.4	38.4	0.0705	0.0706	0.0725
⑧	26.5	25.8	27.8	0.0412	0.0402	0.0433
⑨	48.3	47.4	50.5	0.0570	0.0560	0.0597

第 7-3 表 最大応答値の比較（コンクリート強度のばらつき考慮）(1/2)

(a) X 方向

部材 番号	最大応答せん断力($\times 10^3\text{kN}$)		最大応答せん断ひずみ($\times 10^{-3}$)	
	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)
①	39.9	41.2	0.140	0.129
②	184	185	0.101	0.0905
③	303	303	0.161	0.145
④	365	367	0.145	0.131
⑤	392	404	0.159	0.147
⑥	26.9	24.1	0.0561	0.0449
⑦	41.9	40.1	0.0874	0.0748
⑧	23.2	23.3	0.0205	0.0184
⑨	43.6	44.2	0.0365	0.0331

第 7-3 表 最大応答値の比較（コンクリート強度のばらつき考慮）(2/2)

(b) Y 方向

部材 番号	最大応答せん断力($\times 10^3\text{kN}$)		最大応答せん断ひずみ($\times 10^{-3}$)	
	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)
①	37.3	36.7	0.122	0.107
②	182	184	0.102	0.0920
③	299	308	0.166	0.153
④	363	375	0.133	0.123
⑤	398	411	0.159	0.147
⑥	22.7	22.9	0.0428	0.0386
⑦	37.4	37.9	0.0705	0.0639
⑧	26.5	26.9	0.0412	0.0375
⑨	48.3	49.2	0.0570	0.0520

第7-4表 最大応答値の比較
 (地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつき考慮) (1/2)

(a) X方向

部材 番号	最大応答せん断力($\times 10^3 \text{kN}$)			最大応答せん断ひずみ($\times 10^{-3}$)		
	基本ケース	地盤物性のばらつき及び コンクリート強度の ばらつき考慮		基本ケース	地盤物性のばらつき及び コンクリート強度の ばらつき考慮	
		-1σ +実強度	$+1\sigma$ +実強度		-1σ +実強度	$+1\sigma$ +実強度
①	39.9	36.7	38.2	0.140	0.115	0.120
②	184	176	179	0.101	0.0865	0.0878
③	303	297	298	0.161	0.142	0.142
④	365	364	364	0.145	0.130	0.130
⑤	392	397	395	0.159	0.144	0.144
⑥	26.9	24.2	24.3	0.0561	0.0452	0.0454
⑦	41.9	39.7	40.4	0.0874	0.0741	0.0754
⑧	23.2	22.2	23.0	0.0205	0.0176	0.0182
⑨	43.6	42.1	43.4	0.0365	0.0315	0.0326

第7-4表 最大応答値の比較
 (地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつき考慮) (2/2)

(b) Y方向

部材 番号	最大応答せん断力($\times 10^3 \text{kN}$)			最大応答せん断ひずみ($\times 10^{-3}$)		
	基本ケース	地盤物性のばらつき及び コンクリート強度の ばらつき考慮		基本ケース	地盤物性のばらつき及び コンクリート強度の ばらつき考慮	
		-1 σ +実強度	+1 σ +実強度		-1 σ +実強度	+1 σ +実強度
①	37.3	35.8	36.8	0.122	0.105	0.108
②	182	180	183	0.102	0.0904	0.0919
③	299	306	306	0.166	0.152	0.152
④	363	376	371	0.133	0.123	0.121
⑤	398	422	416	0.159	0.151	0.148
⑥	22.7	21.2	24.0	0.0428	0.0358	0.0405
⑦	37.4	35.6	39.6	0.0705	0.0600	0.0669
⑧	26.5	25.2	28.2	0.0412	0.0351	0.0392
⑨	48.3	46.3	51.4	0.0570	0.0489	0.0543

8. まとめ

地震応答解析における材料物性のばらつきの影響評価として、地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮した地震応答解析を行い、以下の傾向を確認した。また、地震応答解析結果の傾向を踏まえ、地盤物性のばらつきを考慮した応答に基づき、緊対棟、加圧設備棟、燃料設備棟及び基礎の耐震評価における設計用地震力を設定することとした。

(1) 地盤物性のばらつき

地盤物性のばらつきを考慮したケースの発生応力は、基本ケースと概ね同程度であり、最大応答せん断ひずみについては、基本ケースを若干上回っている部材がある。

(2) コンクリート強度のばらつき

コンクリート強度のばらつきを考慮したケースの発生応力は、基本ケースと概ね同程度である。最大応答せん断力は基本ケースを上回る部材があるが、最大応答せん断ひずみは小さくなる傾向である。

(3) 地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつき

地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮したケースの発生応力は、基本ケースと概ね同程度である。最大応答せん断力は基本ケースを上回る部材があるが、最大応答せん断ひずみは小さくなる傾向である。

地震応答解析結果における上記(1)～(3)の傾向については、以下の理由によるものと考えられる。

地盤物性のばらつきを考慮したケースについては、基本ケースと概ね同程度であるが、ばらつきを考慮することで発生応力が変動することから、最大応答せん断ひずみについて、基本ケースを若干上回る部材が生じた。コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースについては、実強度を考慮することによる建屋剛性の変動に伴い、発生応力が変動するが、建屋剛性が大きくなる側に変動することから最大応答せん断ひずみは小さくなったと考えられる。地盤物性のばらつき及びコンクリート強度のばらつきを考慮したケースについては、ばらつきの考慮に伴い発生応力が変動するものの、建屋剛性が大きくなる側に変動することから、最大応答せん断ひずみは小さくなったと考えられる。

7-2-4-別紙 1. コンクリート強度のばらつき
による建屋応答への影響に関する考察

目 次

	頁
1. 検討概要	別 1 - 1
2. コンクリート強度のばらつきによる影響の考察 （理論式に基づく検討）	別 1 - 2
3. コンクリート強度のばらつきによる影響の考察 （応答値による検証）	別 1 - 4

1. 検討概要

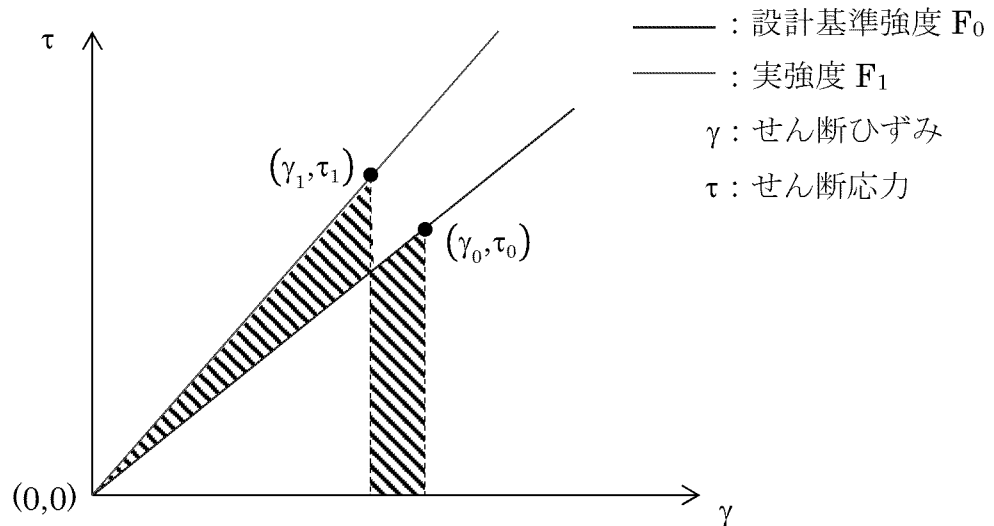
補足説明資料 7-2-4「地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」において、コンクリート強度のばらつきについては、コンクリート強度を実強度とすることで構造物自体の剛性及び耐力の上昇を伴うため、最大応答せん断ひずみは小さくなる傾向であった。よって、建物・構築物の耐震評価において、設計用地震力にコンクリート強度のばらつきは考慮しないとしている。

本資料では、コンクリート強度のばらつきによる建屋剛性変動の影響について、応答せん断力と応答ひずみの関係に着目し考察を行う。

2. コンクリート強度のばらつきによる影響の考察（理論式に基づく検討）

コンクリート強度について、設計基準強度を用いた場合及び実強度を用いた場合の地震の入力エネルギーが同等であると仮定し、コンクリート強度のばらつきがひずみ及び応力に与える影響について検討を行う。

コンクリート強度を設計基準強度とした場合及び実強度とした場合の $\tau - \gamma$ 関係図を第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 $\tau - \gamma$ 関係図

建物への地震の入力エネルギーが同等であることから、以下の関係式が得られる。

$$\frac{1}{2} \cdot \tau_1 \cdot \gamma_1 = \frac{1}{2} \cdot \tau_0 \cdot \gamma_0$$

ここで、 $\tau = G \cdot \gamma$ より（ G ：せん断弾性係数）、

$$G_1 \cdot \gamma_1^2 = G_0 \cdot \gamma_0^2$$

上式を γ_1 について解くと、

$$\gamma_1 = \gamma_0 \sqrt{\frac{G_0}{G_1}} < \gamma_0 \quad (G_0 < G_1) \quad \dots \textcircled{1}$$

$\tau_1 = G_1 \cdot \gamma_1$ より、

$$\tau_1 = G_1 \cdot \gamma_0 \sqrt{\frac{G_0}{G_1}} = \gamma_0 \sqrt{G_1 \times G_0} = G_0 \cdot \gamma_0 \sqrt{\frac{G_1}{G_0}} = \tau_0 \sqrt{\frac{G_1}{G_0}} > \tau_0 \quad (G_0 < G_1) \dots \text{②式}$$

$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ であることから (E: ヤング係数、 ν : ポアソン比)

$$\tau_1 = \tau_0 \sqrt{\frac{G_1}{G_0}} = \tau_0 \sqrt{\frac{E_1}{E_0}} \dots \text{③式}$$

ここで、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— ((社) 日本建築学会、1999 改定) より、

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{r}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_1}{60}\right)^{\frac{1}{3}}}{3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{r}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_0}{60}\right)^{\frac{1}{3}}} = \frac{F_1^{\frac{1}{3}}}{F_0^{\frac{1}{3}}} = \left(\frac{F_1}{F_0}\right)^{\frac{1}{3}}$$

すなわち、

$$\frac{E_1}{E_0} = \left(\frac{F_1}{F_0}\right)^{\frac{1}{3}} \dots \text{④式}$$

③式に④式を代入し、

$$\tau_1 = \tau_0 \sqrt{\frac{E_1}{E_0}} = \tau_0 \sqrt{\left(\frac{F_1}{F_0}\right)^{\frac{1}{3}}} = \tau_0 \left(\frac{F_1}{F_0}\right)^{\frac{1}{6}} \dots \text{⑤式}$$

したがって、

$$\frac{\tau_1}{\tau_0} = \left(\frac{F_1}{F_0}\right)^{\frac{1}{6}} < \frac{F_1}{F_0} \quad (F_0 < F_1) \dots \text{⑥式}$$

①式及び②式より、コンクリート強度を実強度とした場合は、コンクリート強度を設計基準強度とした場合と比較して応力は大きくなるが、部材剛性も増大するため、ひずみは減少する。また、⑥式より、コンクリート強度を実強度とすることによる応力の増加率 τ_1/τ_0 は、コンクリート強度の増加率 F_1/F_0 に比べて小さい。

3. コンクリート強度のばらつきによる影響の考察（応答値による検証）

補足説明資料 7-2-4「地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」より、コンクリート強度のばらつきを考慮した解析ケースの Ss-1 の最大応答値（せん断力、せん断ひずみ及び軸力）を第 3-1 表に示す。

コンクリート強度を実強度にした場合については、設計基準強度に対してコンクリート強度を 1.40 倍した値を用いて検討している。

(1) 応力（軸力及びせん断力）の観点

コンクリート強度のばらつきによる影響検討ケースの軸力及びせん断力は、基本ケースに対して大きくなる傾向があるものの、その比率は 0.90~1.03 であり、コンクリート強度の増加率 1.40 に対して小さい結果となっている。

これは、「2. コンクリート強度のばらつきによる影響の考察（理論式に基づく検討）」にて確認した、コンクリート強度を実強度とすることによる応力等の増加率 τ_1/τ_0 は、コンクリート強度の増加率 F_1/F_0 に比べて小さくなる結果と整合的である。

地震応答解析により得られる軸力及びせん断力の基本ケースに対する比率(0.90~1.03)について、理論値との整合を以下のとおり確認した。

⑥式より、コンクリート強度を実強度とした場合の応力等の比率（例えば τ_1/τ_0 ）は、コンクリート強度の比率(F_1/F_0)の 1/6 乗となる。⑥式のコンクリート強度の項について、設計基準強度： $F_0=30\text{N/mm}^2$ 、実強度： $F_1=42\text{N/mm}^2$ とした場合、設計基準強度に対する実強度の応力等の増加率（例えば τ_1/τ_0 ）は 1.06 となる。基本ケースに対する比率(0.90~1.03)は、理論値の 1.06 に対して概ね対応した値となっていることを確認した。

(2) 変位（せん断ひずみ）の観点

コンクリート強度のばらつきによる影響検討ケースのせん断ひずみは、基本ケースに対して小さくなり、その比率は0.80~0.92となっている。

これは、「2. コンクリート強度のばらつきによる影響の考察（理論式に基づく検討）」にて確認した、コンクリート強度を実強度とすることにより、せん断ひずみが小さくなる結果と整合的である。

地震応答解析により得られるせん断ひずみの基本ケースに対する比率(0.80~0.92)について、理論値との整合を以下のとおり確認した。

①式より、コンクリート強度を実強度とした場合の変形量の比率（例えば γ_1/γ_0 ）は、剛性の逆数比（例えば G_0/G_1 ）の 1/2 乗となる。①式のせん断弾性係数の項に

ついて、設計基準強度におけるせん断弾性係数： $G_0=1.02\times 10^4\text{N/mm}^2$ 、実強度におけるせん断弾性係数： $G_1=1.14\times 10^4\text{N/mm}^2$ とした場合、設計基準強度に対する実強度の変形量の減少率（例えば γ_1/γ_0 ）は0.95となる。基本ケースに対する比率(0.80～0.92)は、理論値の0.95に対して概ね対応した値となっていることを確認した。

第3-1表 最大応答値の比較（コンクリート強度のばらつき考慮）(1/3)

(a) X方向

部材 番号	最大応答せん断力($\times 10^3\text{kN}$)		最大応答せん断ひずみ($\times 10^{-3}$)	
	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)
①	39.9	41.2	0.140	0.129
②	184	185	0.101	0.0905
③	303	303	0.161	0.145
④	365	367	0.145	0.131
⑤	392	404	0.159	0.147
⑥	26.9	24.1	0.0561	0.0449
⑦	41.9	40.1	0.0874	0.0748
⑧	23.2	23.3	0.0205	0.0184
⑨	43.6	44.2	0.0365	0.0331

第 3-1 表 最大応答値の比較（コンクリート強度のばらつき考慮）(2/3)

(b) Y 方向

部材 番号	最大応答せん断力($\times 10^3\text{kN}$)		最大応答せん断ひずみ($\times 10^{-3}$)	
	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)
①	37.3	36.7	0.122	0.107
②	182	184	0.102	0.0920
③	299	308	0.166	0.153
④	363	375	0.133	0.123
⑤	398	411	0.159	0.147
⑥	22.7	22.9	0.0428	0.0386
⑦	37.4	37.9	0.0705	0.0639
⑧	26.5	26.9	0.0412	0.0375
⑨	48.3	49.2	0.0570	0.0520

第 3-1 表 最大応答値の比較（コンクリート強度のばらつき考慮）(3/3)
(c) 鉛直方向

部材 番号	最大応答軸力(×10 ³ kN)	
	基本ケース	コンクリート強度 のばらつき考慮 (実強度)
①	7.76	7.39
②	46.3	44.7
③	91.9	89.3
④	131	128
⑤	167	164
⑥	10.2	10.3
⑦	18.5	18.5
⑧	12.2	12.1
⑨	24.0	24.1