

川内1号機 緊急時対策棟接続工事設工認 説明事項リスト(耐震関係)

No.	説明資料	ページ	説明項目	説明内容	(参考) 前回の説明資料(ページ)
1	補足9-3-別紙2 建屋の滑動に関する検討	(2)-7,8	均しコンクリートのせん断強度の設定について追記すること。	均しコンクリートのせん断強度の設定について追記した。詳細は補足9-3-別紙2にて示す。	9/6ヒアリング資料2 No.4~5 建屋の滑動に関する検討 ((2)-87)
2	補足9-3-別紙2 建屋の滑動に関する検討	(2)-8	滑動の安全率について、許容限界の考え方を追記すること。	滑動の安全率について追記した。詳細は補足9-3-別紙2にて示す。	9/6ヒアリング資料2 No.4~5 建屋の滑動に関する検討 ((2)-87,88)
3	補足9-3-別紙2 建屋の滑動に関する検討	(2)-6	第2-1図のフローを修正すること。	滑動のフローを修正した。詳細は補足9-3-別紙2にて示す。	9/6ヒアリング資料2 No.4~5 建屋の滑動に関する検討 ((2)-84)
4	補足9-3-別紙2 建屋の滑動に関する検討	(2)-15,16	基礎と均しコンクリート間の粘着力が保守的であることを説明すること。	基礎と均しコンクリート間の粘着力が保守的であることを追記した。詳細は補足9-3-別紙2にて示す。	9/6ヒアリング資料2 No.4~5 建屋の滑動に関する検討 ((2)-85,86)
5	補足9-3-別紙2 建屋の滑動に関する検討	(2)-13,14	基礎浮上りに関する付着力の説明について、補足資料に追加すること	基礎浮上りに関する付着力の説明を参考に追加した。詳細は補足9-3-別紙2にて示す。	9/6ヒアリング資料2 No.4~5 建屋の滑動に関する検討 ((2)-80~93)
6	補足9-6 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	(2)-21~31	建屋の減衰定数を5%としていることを説明すること。	建屋の減衰定数の設定について補足9-6を用いて説明する。	9/6ヒアリング資料4 補足9-6 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 ((4)-145~152)
7	別紙 滑動のフローについて	(2)-32	滑動の評価を添付資料に記載しないこと理由を追記すること。	滑動の評価を添付資料に記載しないこと理由を追記した。詳細は別紙にて示す。	9/6ヒアリング資料2 No.6 滑動のフローについて ((2)-94)
			以下余白		

9-3-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
(参考 1) 岩盤及び均しコンクリートの施工状況	別 2 - 7
(参考 2) 基礎両端における浮上りの確認	別 2 - 8
(参考 3) 付着力を考慮した基礎浮上りの検討	別 2 - 10
(参考 4) 基礎と均しコンクリート間の滑動の検討	別 2 - 12
(参考 5) JNES 報告書による付着力の適用性の確認	別 2 - 16

1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」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。

滑動に関する評価は、連絡通路の基礎底面の接地状況を踏まえ、地震応答解析結果を用いて検討を行う。

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 9-13-1 「緊急時対策棟（連絡通路）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) (以下「建築基礎構造設計指針」という。)

連絡通路は、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物であり、基準地震動 S_s に対して評価を行う。ここで、建築基礎構造設計指針は、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。

なお、添付資料 9-13-2「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」にて接地圧の評価を行っており、接地圧の評価の際には、JEAG4601-1987 に従い建築基礎構造設計指針を適用している。

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

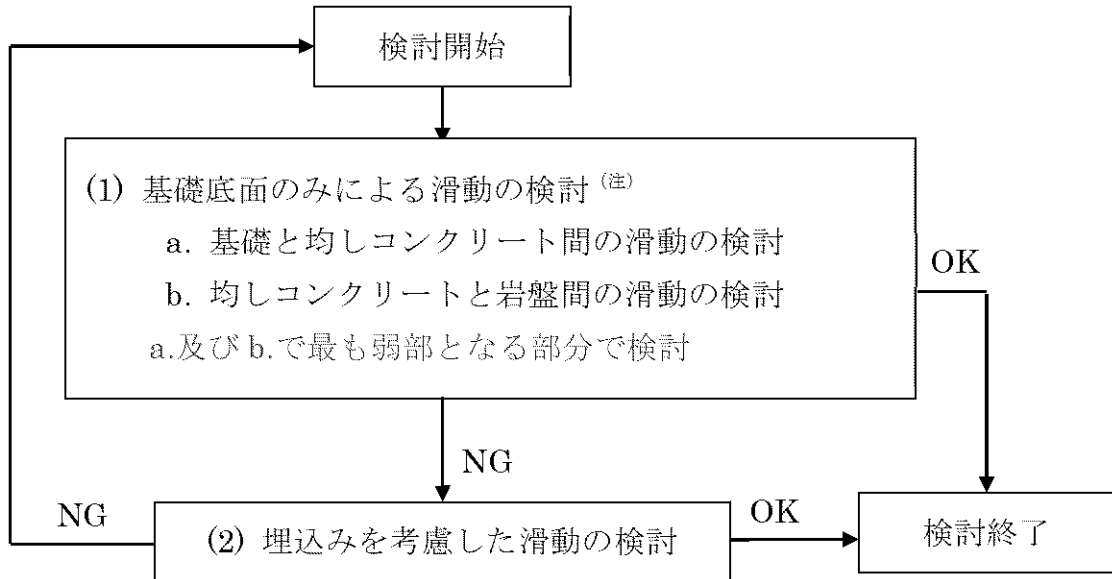
本資料では、連絡通路について滑動抵抗力を算定し、建屋の基礎底面に作用する水平地震力と滑動抵抗力とを比較することによって、滑動の検討を行う。添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」に示す地震応答解析モデルにおいて、保守的に建屋の埋込みによる効果を考慮していないことから、「(1) 基礎底面のみによる滑動の検討」を行う。

連絡通路は、岩盤上に均しコンクリートを介して設置されるため、基礎と均しコンクリート間及び均しコンクリートと岩盤間のそれぞれについて、滑動の検討を行う。ここで、連絡通路が設置される岩盤のせん断強度は 0.24N/mm^2 、連絡通路基礎の鉄筋コンクリート（設計基準強度 30N/mm^2 ）のせん断強度は 1.18N/mm^2 であり、岩盤のせん断強度の方が小さいため、最も弱部となる均しコンクリートと岩盤間で滑動の検討を行う。

「(1) 基礎底面のみによる滑動の検討」において、建屋の基礎底面に作用する水平地震力が滑動抵抗力を上回る場合は、「(2) 埋込みを考慮した滑動の検討」によ

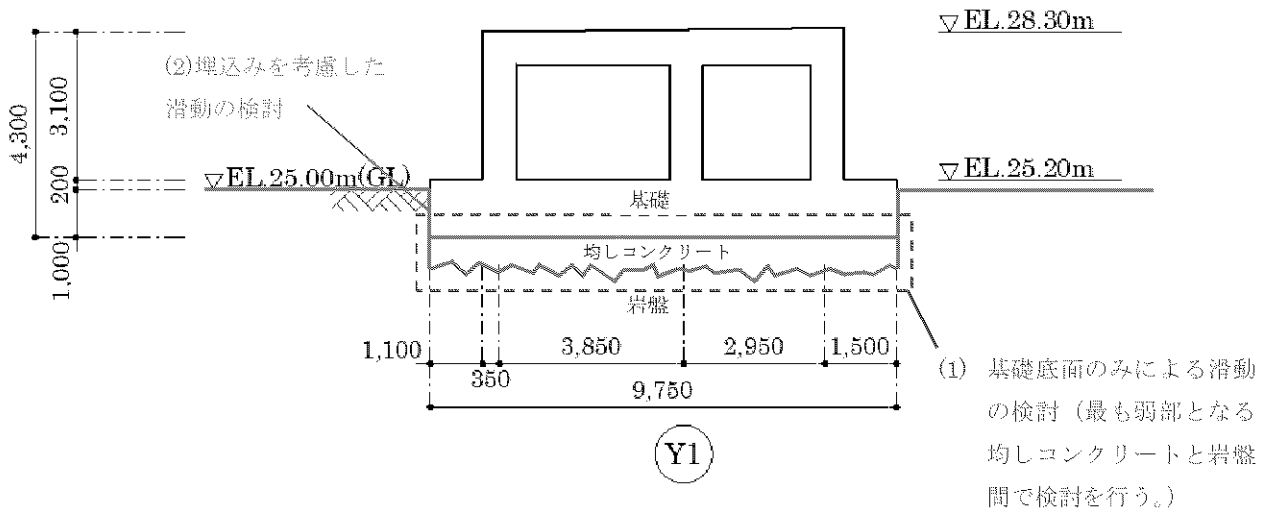
り、連絡通路の滑動が起こらないことを確認する。

連絡通路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。



(注 1) 滑動抵抗力に付着力を考慮する場合は、建屋基礎の浮上りの有無を確認する。

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

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。基礎底面に作用する水平地震力は、添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）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。

建屋総重量	:	7.120×10^3 (kN)
基礎底面に作用する水平地震力 (基礎底面地盤ばね反力)	:	9.325×10^3 (kN)
建屋基礎底面積	:	117.4(m ²)

建屋基礎の打設にあたっては、岩盤の不陸の残置、岩盤清掃、湿潤状態での打設等の打ち込み準備工がなされる（参考 1 参照）。そのため、均しコンクリートと支持岩盤は十分にかみ合うことから、本検討の滑動抵抗力は、均しコンクリートのせん断抵抗力または岩盤のせん断抵抗力で算出される。ここで、均しコンクリートのせん断強度を 0.495N/mm^2 (注 1)、岩盤（砂岩 CL 級）のせん断強度を既工認資料「地盤の支持性能に係る基本指針」に示した 0.24N/mm^2 とすると、岩盤のせん断強度は、均しコンクリートのせん断強度より小さい。したがって、本検討で用いる滑動抵抗力は、岩盤のせん断抵抗力とする。

岩盤のせん断抵抗力は、JEAG4601-1987 を参考に以下の式で算出する。

$$H_u = C \cdot A + V \cdot \tan\phi$$

ここで、

- H_u : せん断抵抗力
- C : 岩盤のせん断強度
- A : 建屋基礎底面積
- V : 底面に作用する鉛直力（建屋総重量とする。）
- ϕ : 内部摩擦角

C 及び ϕ は、前述した既工認資料「地盤の支持性能に係る基本方針」に示した砂岩 CL 級におけるせん断強度及び内部摩擦角（ $C : 0.24 \text{ N/mm}^2$ 、 $\phi : 27.6^\circ$ ）を用いる。

また、連絡通路の地震応答解析においては、JEAG4601-1987 に基づき建屋の浮上りを考慮した解析モデルとしているため、地震応答解析との整合性を考慮し、岩盤のせん断強度についても、建屋の浮上りを考慮する。地震応答解析結果より、

最小の接地率は、建屋短辺方向の 64% (Ss-1、NS 方向) であるが、地震動の正負繰り返し载荷によって建屋両端が浮上りを経験するため、岩盤のせん断強度を考慮できる基礎面積は、建屋両端の浮上りを考慮して算出する。基礎両端における浮上りの確認を参考 2 に示す。参考 2 より、建屋両端の浮上りを考慮した場合、岩盤のせん断強度を考慮できる基礎面積の割合は 42% である。

$$\begin{aligned} \text{滑動抵抗力} &= 0.24(\text{N/mm}^2) \times 10^3 \times 117.4(\text{m}^2) \times 0.42 \\ &\quad + \tan 27.6^\circ \times 7.120 \times 10^3 \text{ (kN)} \\ &= 1.556 \times 10^4 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

連絡通路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、滑動抵抗力が基礎底面に作用する水平地震力を上回ることから、建屋の滑動が起こらないことを確認した。また、参考として、滑動の安全率の許容限界について、「道路橋示方書・同解説 ((社) 日本道路協会) (以下「道路橋示方書」という。))」を参照すると、道路橋示方書記載の安全率 1.2 を満足することを確認した。

第 3-1 表 基礎底面のみによる滑動の検討結果
(均しコンクリートと岩盤間)

①基礎底面に作用する水平地震力 (kN)	②滑動抵抗力 (kN)	安全率 (②/①)
9.325×10^3	1.556×10^4	1.66

(注 1) 均しコンクリートの設計基準強度は $18(\text{N/mm}^2)$ であり、コンクリートの許容せん断応力度として「コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕((社) 土木学会 2002 年制定)」、「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)」及び「令和 3 年度北海道開発局道路設計要領」を参照すると、それぞれ 3.6N/mm^2 、 0.9N/mm^2 及び 0.495N/mm^2 となる。本検討では、最小の値である $0.495(\text{N/mm}^2)$ を採用した。

4. まとめ

連絡通路の滑動に関する検討として、最も弱部と考えられる均しコンクリートと岩盤間について、滑動の検討を行った。検討の結果、建屋の滑動が起こらないことを確認した。

(参考1) 岩盤及び均しコンクリートの施工状況

緊急時対策棟（休憩所）の岩盤状況を下図に示す。



EL.25.20m 平面図

(KEY PLAN)



(砂岩 C_L級の出現状況)

(参考2) 基礎両端における浮上りの確認

1. 検討概要

本資料の滑動の検討では、均しコンクリートと岩盤間の滑動の検討として、岩盤のせん断強度を考慮している。岩盤のせん断強度は、地震時に建屋基礎の浮上りを経験していない範囲の面積を考慮することとしており、地震応答解析上は、基礎浮上りが最大で 36% (接地率 64%) 生じる結果となっているが、地震動が正負繰り返し载荷であるため、基礎両端が浮上りを経験することが考えられる。

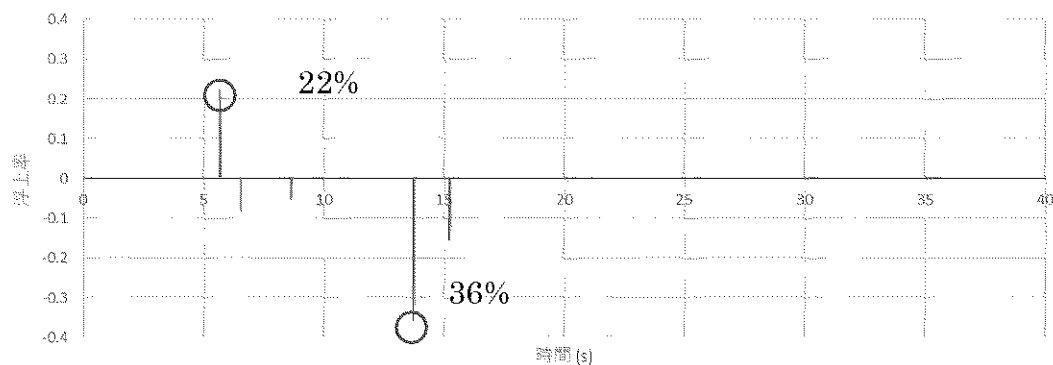
ここでは、浮上り率の時刻歴応答結果を示すことで、基礎両端の浮き上がりを確認するとともに、岩盤のせん断強度として考慮できる基礎面積について検討する。なお、以下に示す浮上り率の時刻歴応答結果については、基礎と均しコンクリート間を想定したものであるが、連絡通路基礎下の均しコンクリートと岩盤間については、支持岩盤と十分にかみ合うこと及び均しコンクリートの重量が浮上りに対する抵抗力として作用することで、基礎と均しコンクリート間と比較して浮上り率が小さくなる。そこで、本検討では、保守的な検討として基礎と均しコンクリート間の浮上り率の時刻歴応答結果を用いる。

2. 浮上り率の時刻歴応答結果

浮上り率の時刻歴応答結果を参考 2.2-1 図に示す。参考 2.2-1 図より以下が分かる。

- ・浮上り率は最大で 36% であり、逆側では最大で 22% の浮き上がりが生じている。
- ・浮上りは連続的ではなく、局所的なタイミングで発生する。

よって、粘着力を考慮できる面積は、基礎面積の 42%(100% - 22% - 36%) となる。



参考 2.2-1 図 浮上り率の時刻歴応答結果

3. まとめ

連絡通路の基礎両端における浮上りの確認を行い、滑動の検討において岩盤のせん断強度として考慮できる基礎面積について検討を行った。検討の結果、岩盤のせん断強度は、基礎面積の42%の範囲を考慮できることを確認した。

(参考3) 付着力を考慮した基礎浮上りの検討

1. 概要

1.1 検討概要

地震応答解析上は、基礎下の付着力を考慮しないため、基礎浮上りが生じる結果となっている。本資料において、滑動の検討では、地震応答解析における浮上りを考慮した評価としているが、実際の建物は、基礎下に付着力が生じている。ここでは、基礎底面と均しコンクリート間の付着力を考慮した浮上りの検討を行い、滑動の検討において、地震応答解析の結果から、浮上りを考慮することが保守的な評価となっていることを確認する。

1.2 検討方針

連絡通路において、浮上りが発生しないために必要な基礎底面と均しコンクリート間の付着力が、JNES 報告書による付着力を超えないことを確認することで、基礎の浮上りが発生しないことを確認する。

検討は、地震応答解析における浮上りの検討で、最も接地率の小さい Ss-1 の NS 方向を代表して行う。

2. 検討方法

地震応答解析結果の最大転倒モーメントが浮上り限界モーメントを上回る場合に、基礎浮上りが発生する。

浮上り限界モーメントは、JEAG4601-1991 追補版より以下の式で表される。

$$M_0 = \frac{W \cdot L}{6}$$

ここで、

M_0 : 浮上り限界モーメント

W : 建屋総重量

L : 建屋基礎幅

基礎浮上りが発生しないために必要な単位面積当たりの付着力は、以下の式で算出する。

$$M - M_0 = \frac{\sigma_{at} \cdot A \cdot L}{6}$$

$$\sigma_{at} = (M - M_0) \frac{6}{A \cdot L}$$

ここで、

M : 最大転倒モーメント

σ_{at} : 単位面積当たりの付着力

A : 基礎底面積

基礎浮上りが発生しないために必要な付着力を参考 3.2-1 表に示す。

参考 3.2-1 表 基礎浮上りが発生しないために必要な付着力

建屋	地震動	方向	W (kN)	L (m)	A (m ²)	M (kN・m)	M ₀ (kN・m)	σ_{at} (N/mm ²)
連絡通路	Ss-1	NS	7.120 ×10 ³	9.750	117.4	1.960 ×10 ⁴	1.157 ×10 ⁴	0.042

3. 評価結果

基礎浮上りが発生しないために必要な付着力と、JNES 報告書による付着力の比較を参考 3.3-1 表に示す。基礎浮上りが発生しないために必要な付着力は、JNES 報告書による付着力に対して十分小さく、基礎浮上りが発生しないことを確認した。よって、滑動の検討において浮上りを考慮することは保守的な評価となる。

参考 3.3-1 表 付着力の比較

(N/mm ²)	
基礎浮上りが発生しない ために必要な付着力	JNES 報告書による 付着力
0.042	0.6

4. まとめ

連絡通路の基礎底面と均しコンクリート間の付着力を考慮した浮上りの検討を行い、基礎浮上りが発生しないことを確認した。したがって、本検討において、浮上りを考慮することが保守的な評価となっていることを確認した。

(参考4) 基礎と均しコンクリート間の滑動の検討

1. 概要

本資料では、基礎と均しコンクリート間よりも弱部と考えられる均しコンクリートと岩盤間で滑動の検討を行っている。

本検討では、保守的に基礎と均しコンクリート間の粘着力及び摩擦力による滑動抵抗力を考慮した評価を行い、基準地震動 S_s による地震力が作用した場合に基礎と均しコンクリート間が滑動しないことを確認する。また、基礎と均しコンクリート間よりも均しコンクリートと岩盤間の方が弱部となることも確認する。

2. 検討方法

滑動抵抗力は、JEAG4601-1987 に準拠し、基礎底面の摩擦力及び粘着力の和として算出する。

基礎底面の摩擦力は、「建屋総重量×摩擦係数 μ 」より算出する。均しコンクリート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）（以下「道路橋示方書」という。）」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、基礎底面の摩擦力は、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned}\text{基礎底面の摩擦力} &= 7.120 \times 10^8 (\text{kN}) \times 0.6 \\ &= 4.272 \times 10^8 (\text{kN})\end{aligned}$$

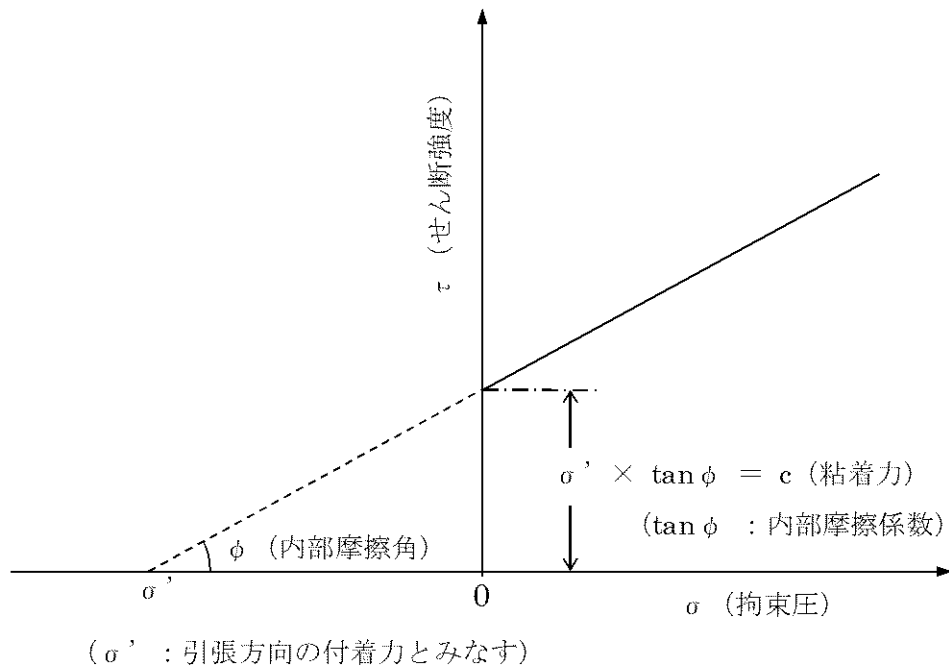
また、基礎底面の粘着力は、独立行政法人原子力安全基盤機構による付着力の試験結果^(注)（以下、「JNES 報告書」という。）及びモール・クーロンの破壊条件式から算出する。

JNES 報告書では、引張方向の付着力を算出しているが、引張方向の付着力とせん断方向の付着力との関係までは明らかにされていない。よって、本検討で用いるせん断方向の粘着力は、JNES 報告書の付着力試験の結果を用い、モール応力円と破壊基準との関係を考慮した保守的な設定を行うこととする。

具体的には、モール・クーロンの破壊条件式において、せん断応力 $=0$ の時の垂直応力を引張方向の付着力とみなすと、せん断方向の粘着力は、引張方向の付着力×摩擦係数で算出できる。モール・クーロンの破壊条件式による粘着力算出の概念図をに示す。

また、参考 4.2-2 図にモール円の概念図を示す。上記のように設定した粘着力

Cは、参考4.2-2図に示す破壊基準における粘着力C'と比較して保守的である。



参考 4.2-1 図 モール・クーロンの破壊条件式による粘着力算出の概念図

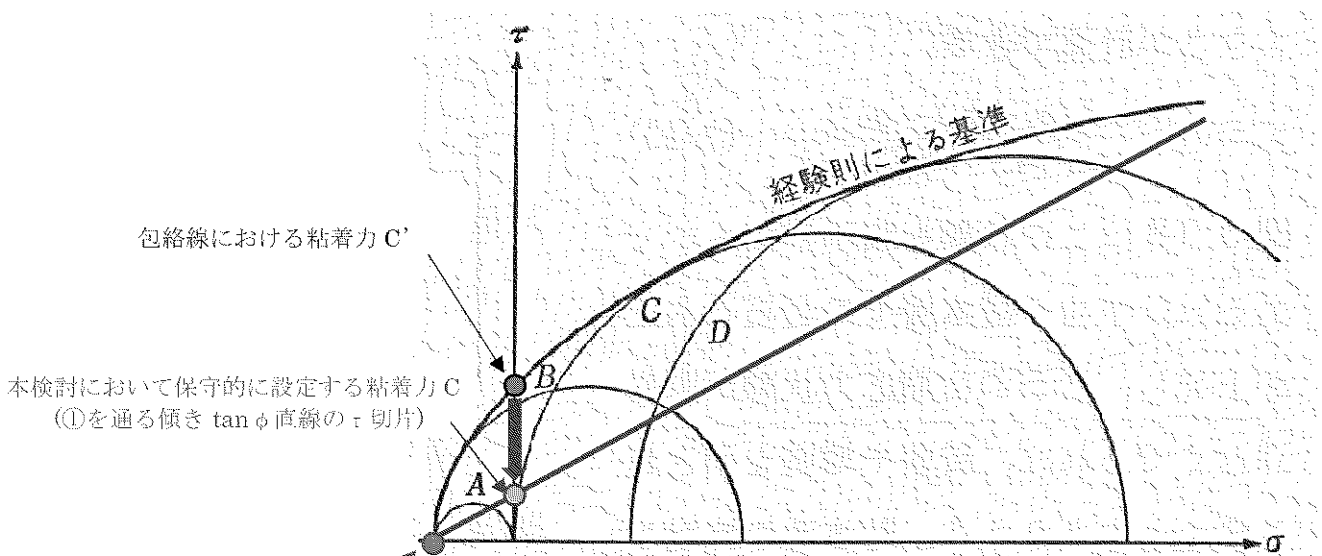


図 3.19 モールの円に包絡線を描いて作成した実験結果による破壊基準：A, 引張り：B, 圧裂：C, 一軸圧縮：D, 三軸圧縮

(「鹿島出版社 わかりやすい岩盤力学」に一部加筆)

参考 4.2-2 図 モール円の概念図

JNES 報告書のレベルコンクリートと基礎コンクリート間を模擬した試験結果による引張方向の付着力の平均（以下「JNES 報告書による付着力」という。）は、 $0.6\text{N/mm}^2(=600\text{kN/m}^2)$ であり、摩擦係数は 0.6 である。

ここで、地震応答解析においては、JEAG4601-1987 に基づき建屋の浮上りを考慮した解析モデルとしているため、地震応答解析との整合性を考慮し、粘着力についても、建屋の浮上りを考慮して算出することとし、均しコンクリートと岩盤間の検討と同様に、基礎面積の 42%を考慮することとする。

したがって、基礎底面の粘着力は以下の通り算出される。

$$\begin{aligned} \text{基礎底面の粘着力} &= 600(\text{kN/m}^2) \times 0.6 \times 117.4(\text{m}^2) \times 0.42 \\ &= 1.775 \times 10^4(\text{kN}) \end{aligned}$$

以上より、基礎底面の抵抗力は以下の通り算出される。

$$\begin{aligned} \text{基礎底面の抵抗力} &= 4.272 \times 10^8(\text{kN}) + 1.775 \times 10^4(\text{kN}) \\ &= 2.202 \times 10^4(\text{kN}) \end{aligned}$$

3. 評価結果

連絡通路の基礎底面のみによる滑動の検討結果を参考 4.3-1 表に示す。検討の結果、滑動抵抗力が基礎底面に作用する水平地震力を上回ることから、建屋の滑動が起こらないことを確認した。また、本資料の検討と同様に、道路橋示方書記載の安全率 1.2 を満足することを確認した。

また、本資料で示した均しコンクリートと岩盤間の滑動抵抗力よりも大きくなっていることから、均しコンクリートと岩盤間が弱部となることを確認した。

参考 4.3-1 表 基礎底面のみによる滑動の検討結果
(基礎と均しコンクリート間)

①基礎底面に作用する水平地震力 (kN)	②滑動抵抗力 (kN)	安全率 (②/①)
9.325×10^8	2.202×10^4	2.36

(注) 独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験

及び調査 原子力施設の非線形地盤・構造物相互作用試験及び基準整備基礎浮上り評価手法の調査に係る報告書（平成 18 年度）」

(参考5) JNES 報告書による付着力の適用性の確認

1. 概要

JNES 報告書では、「基礎・地盤間の付着力に関する中規模試験」において、岩盤とレベルコンクリート間及びレベルコンクリートと基礎コンクリート間に働く付着力に関する試験データ取得を目的として、中規模試験体を作製し、基礎浮上り時に生じる付着力の大きさを評価している。本資料においては、基礎と均しコンクリート間の滑動の検討で、JNES 報告書による付着力である 0.6N/mm^2 を用いている。

ここでは、JNES 報告書の試験条件を実機と比較することで、JNES 報告書による付着力が、連絡通路の基礎底面と均しコンクリート間の付着力に適用できることを確認する。

2. 材料条件の比較

JNES 報告書のレベルコンクリートと基礎コンクリート間を模擬した試験体（以下「JNES 試験体」という。）と実機について、材料条件の比較を行う。コンクリートの調合の比較を参考 5.2-1 表、コンクリートの圧縮強度の比較を参考 5.2-1 表に示す。実機の値については、連絡通路は未施工のため、連絡通路と設計基準強度が等しい緊急時対策棟（休憩所）の値を用いる。

比較の結果、コンクリートの調合及び圧縮強度の値は同等であり、JNES 試験体と実機の材料条件はほぼ等しいと考えられる。

参考 5.2-1 表 コンクリート調合の比較

種類		セメント種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m^3)
JNES 試験体	上層	基礎コンクリートを模擬した試験体	20	51	45.0	172
	下層	レベルコンクリートを模擬した試験体	20	74	48.3	173
実機 ^(注)	上層	基礎コンクリート	20	49.5	46.8	170
	下層	均しコンクリート	20	61.9	45.5	174

(注) 緊急時対策棟（休憩所）の値を示す。

参考 5.2-1 表 コンクリート圧縮強度の比較

(N/mm²)

	JNES 試験体	実機 (平均) (注)
上層 (基礎コンクリート)	33.6	39.2
下層 (均しコンクリート)	20.5	24.3

(注) 緊急時対策棟 (休憩所) の値を示す。

3. 試験体による考察

JNES 試験体は上層材及び下層材ともに鉄筋が配筋されているが、連絡通路基礎下の均しコンクリートは無筋コンクリートであるため、試験体と実機で条件が異なる。しかし、JNES 報告書では、剥離後の表面観察結果より、一部の試験体において下層材の上端鉄筋位置で剥離が生じていることから、鉄筋位置では剥離に抵抗する力が低下すると推察される。したがって、JNES 報告書の試験結果は、鉄筋位置で剥離した試験結果を含めたものであるため、JNES 報告書の試験は、実機と比較して、保守的な条件であると考えられる。

接合面の状態について、JNES 試験の下層材は、実機と同様に均しコンクリートの標準的な仕上げである木ごて仕上げである。また、JNES 試験ではレイタンスの除去等の打継ぎ処理を行っていないが、実機では、レイタンス等の除去を実施する予定としている。したがって、JNES 試験体と実機の接合面の状態は同等若しくは保守的であると考えられる。

4. まとめ

基礎と均しコンクリート間の滑動の検討に用いた JNES 報告書による付着力について、連絡通路への適用性の確認を行った。確認の結果、JNES 報告書における試験条件は、実機と同等若しくは保守的であると考えられるため、JNES 報告書による付着力は、基礎と均しコンクリート間の滑動の検討に適用できる。

9-6. 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. 連絡通路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 9-6「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（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の地震応答解析モデルに設定した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 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料 10-4「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」（以下「新規制基準工認補足 10-4」という。）における検討を整理し、連絡通路の基準地震動 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 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）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 10-4 において、既往の実験及び観測結果の整理並びに川内原子力発電所 1 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)が行われている。

新規制基準工認補足 10-4 では、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 10-4 において、川内原子力発電所 1 号機の外部遮蔽建屋、内部コンクリート及び原子炉補助建屋について、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行っている。

システム同定により評価した減衰定数は、3~10%程度となっている。また、応答レベルが大きくなるにつれて、減衰定数も大きくなる傾向を確認しており、観測記録より大きな地震動に対しては、より大きな減衰が期待できると推定している。さらに、複雑な構造物である内部コンクリート及び原子炉補助建屋の減衰定数は、単純な構造物である外部遮蔽建屋の減衰定数と比較し、大きな値となる傾向を確認している。

2.3 3次元 FEM モデルを用いた検討

新規制基準工認補足 10-4 において、川内原子力発電所 1 号機の外部遮蔽建屋、内部コンクリート及び原子炉補助建屋について、減衰定数を 3%とした 3次元 FEM モデル及び 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行っている。

比較の結果、内部コンクリート及び原子炉補助建屋に着目すると、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 10-4 においては、川内原子力発電所 1 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。減衰定数の設定に起因する不確かさとしては、システム同定による減衰定数の評価結果が概ね 3%程度以上となったことから、減衰定数を 3%とした場合を考慮するとしている。

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
川内原子力発電所 1 号機における 地震動	観測記録	弾性設計用 地震動 Sd	基準地震動 Ss		
RC 耐震壁試験 ※履歴減衰を あまり含まない		2~4% 程度	4% 程度	4~5% 程度	4~5% 程度
システム同定 による評価	3~10% 程度	3~10% 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			

3. 連絡通路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 に対する連絡通路の応答レベルと、既往の知見との関係を確認し、連絡通路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 に対する連絡通路の最大せん断ひずみは、添付資料 9-13-1 「緊急時対策棟（連絡通路）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、連絡通路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。連絡通路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、2~4%程度となっている。但し、連絡通路は、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構造体であり、このような構造体は、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、連絡通路の減衰定数は、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。

システム同定による評価について、第 1 折点未満における減衰定数は、3~10%程度以上となっており、微小振幅領域である観測記録地震動レベルにおいて、5%を超える減衰定数が得られている。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 1~60cm/s² 程度であり、連絡通路における入力地震動（基準地震動 S_s : 400~1170cm/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、複雑な建物・構築物である内部コンクリート及び原子炉補助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。連絡通路は、内部コンクリート及び原子炉補助建屋と同様に、3 次元的な広がりを持つ構造体であることから、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、連絡通路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 連絡通路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
連絡通路		基準地震動 S_s			
RC耐震壁試験 ※履歴減衰をあまり含まない		2~4% 程度 構造の複雑さによる減衰の増加	4% 程度	4~5% 程度	4~5% 程度
システム同定による評価	3~10% 程度	3~10% 程度以上 振幅依存性による減衰の増加	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 振幅依存性による減衰の増加			

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 10-4 における検討を整理し、連絡通路の基準地震動 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、連絡通路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。

なお、連絡通路は、新設の構造物であること及び構造形状の複雑さによる減衰効果が期待しにくく、地震観測を実施していないため、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。

10-4. 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

7. 減衰定数についてのまとめ

川内原子力発電所 1 号機の地震応答解析において、既往の知見に加え、既設施設の地震観測記録等による検討の結果から、入力地震動及び建物・構築物の構造及び形状に応じ、建物・構築物（RC 部）の減衰定数について考察した。

既往の実験及び観測結果と観測記録を用いた検討結果の整理、また、応答が第 1 折点以上となると履歴減衰の効果が生じてくるが、地震応答解析においては履歴減衰を保守的に取り扱っているといった設計の保守性を踏まえると、応答が第 1 折点付近にある基準地震動 S_s 応答レベルにおける減衰定数は 5% 程度以上となる。また、応答が弾性域にある S_s 応答レベルについても、観測記録地震動レベル（1～60 cm/s^2 程度）で得られた減衰定数を基に、減衰定数の振幅依存性を踏まえ検討した結果、 S_s 地震動レベル（水平方向 540 cm/s^2 以上、鉛直方向 320 cm/s^2 以上）に対して、減衰定数は 5% 程度以上とできるものと考えられる。

S_d 地震動レベル（水平方向 320 cm/s^2 以上、鉛直方向 190 cm/s^2 以上）での減衰は、応答が弾性域にある S_s 応答レベルと同様に振幅依存性を踏まえると、5% 程度以上を基本とできるものと考えられる。

ここで、構造及び形状から、複雑な構造体については、観測記録地震動レベル（1～60 cm/s^2 程度）においても、5% を超える減衰定数の同定結果が得られていることから、振幅依存性とあいまって、水平、鉛直動ともに S_d 地震動レベルの解析に用いる RC 部の減衰定数は 5% 程度以上とできるものと考えられる。

一方、単純な構造体である外部遮蔽建屋については、水平、鉛直とも、観測記録地震動レベルで 5% 近い結果が得られ、また、明確な振幅依存性から減衰定数は 5% 程度以上とできるものと考えられるが、構造の複雑さによる減衰効果が期待しにくい。

以上の結果から、建物・構築物の地震応答解析に用いる鉄筋コンクリートの材料減衰定数については、入力地震動による建物・構築物の応答レベル及び構造形状の複雑さを踏まえ、既往の知見に加え、地震観測記録等を用いた検討を行い、適用性が確認できたことから第 7-1 表に示す建物・構築物に対して 5% と設定する。但し、原子炉格納施設のうち外部遮蔽建屋は、地震観測記録を用いた検討において、低振幅レベルでは減衰定数が 5% を上回ることが確認できないことから、弾性設計用地震動 S_d を用いた評価は、減衰定数を 3% とした場合についても考慮する。また、代替緊急時対策所、燃料油貯蔵タンク基礎、タンクローリ車庫は、構造形状の複雑さによる減衰効果が期待しにくく、地震観測を実施していないことから、耐震性向上の観点から、3% とした場合を減衰定数の不確かさとして考慮する。

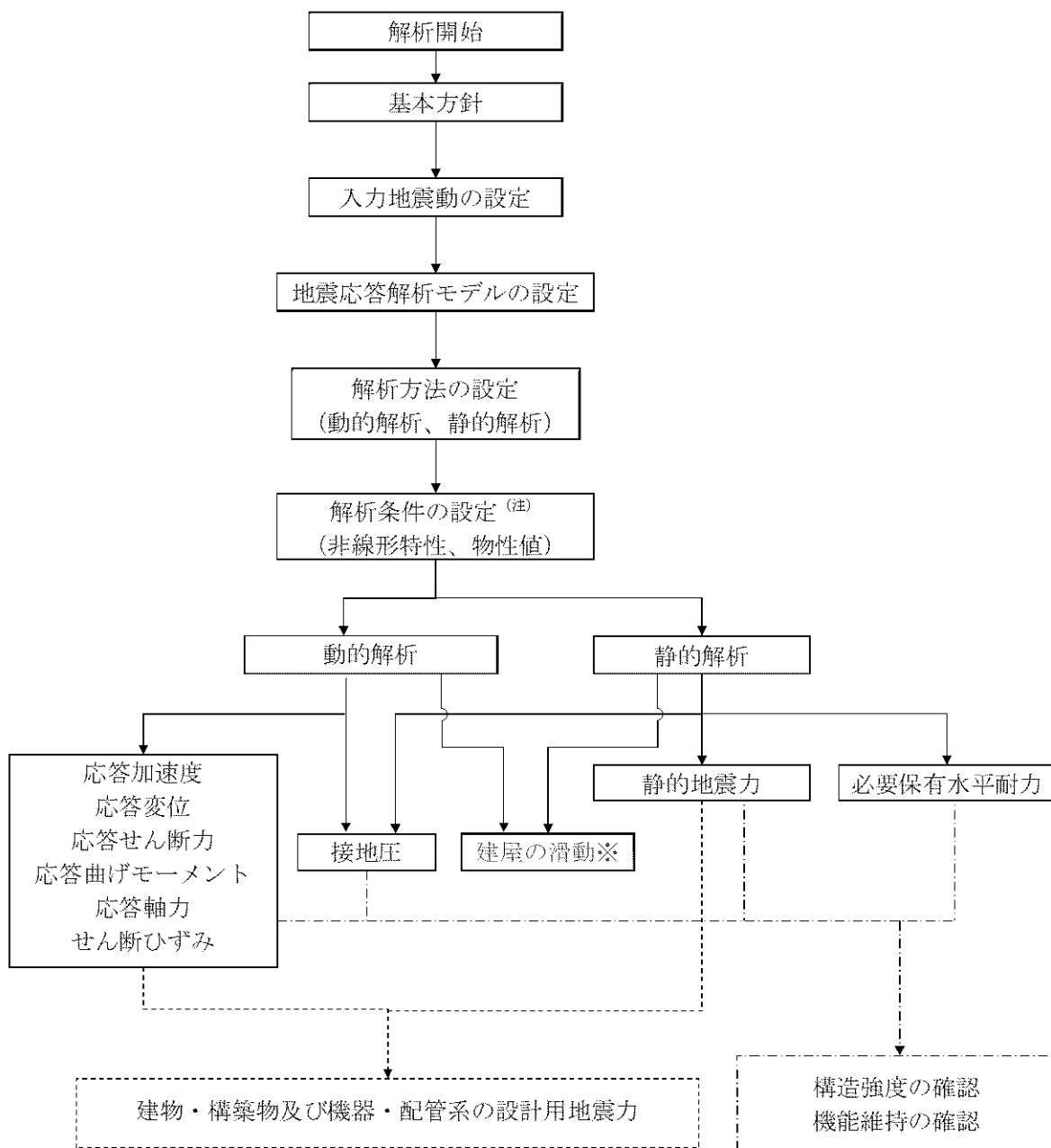
第7-1表 川内原子力発電所1号機 建物・構築物の減衰定数

建物・構築物		構造種別	既工認の減衰定数	今回工認の減衰定数
原子炉格納施設	外部遮蔽建屋[O/S] 内部コンクリート[I/C]	RC造	5%	5%
	原子炉格納容器 [C/V]	—	1%	1%
	蒸気発生器 [S/G]	—	1%	水平：3% 鉛直：1%
原子炉補助建屋		RC造	5%	5%
燃料取扱建屋		RC造	5%	5%
		S造	2%	2%
ディーゼル建屋		RC造	5%	5%
主蒸気管室建屋		RC造	5%	5%
屋外タンク基礎	防護壁	RC造	—	5%
	竜巻防護ネット架構	S造	—	2%
	復水タンク、1次系純水タンク、 燃料取替用水タンク、 燃料取替用水補助タンク	—	1%	1%
代替緊急時対策所、燃料油貯蔵タンク基礎、タンクローリ車庫		RC造	—	5%
廃棄物処理建屋		RC造	—	5%
タービン建屋		RC造	—	5%
		S造	—	2%

滑動のフローについて

第1図に地震応答解析のフローを示す。

滑動の検討については、地震応答解析及び静的解析を行い、建屋底面に発生する水平力を算出する。滑動しないことについては、滑動抵抗力を算出し、建屋底面に発生する水平力を上回っていることを確認する。



(注) 材料物性のばらつき等を考慮する。

※ 解析結果をもとに、地震応答解析モデルの設定の前提条件である、建屋が滑動しないことの確認を実施する。前提条件を満足することの確認をもって、滑動の検討は終了する。

添付資料 9-13-1 「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」第 2-4 図に加筆

第 1 図 緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析フロー