

県原子力安全専門委員会からの追加確認事項について

- 1 機器の固有周期は、建屋等との連成で変わることはないか
- 2 制御棒落下時の抵抗となる浮力や流体抗力、メカニカル抗力と地震による抗力のそれぞれの寄与はどれくらいなのか
- 3 - 1 岩の物性値の与え方について説明すること
- 3 - 2 すべり面の設定の仕方について説明すること
- 3 - 3 岩級の境界部ですべり安全率が小さくなるのではないか
- 3 - 4 1・2号機周辺斜面のみ対策を行う理由を説明すること
- 4 安全性向上対策計画のうち、平成24年4月以降に主に完了した工事はなにか(大飯発電所3・4号機)

関西電力株式会社

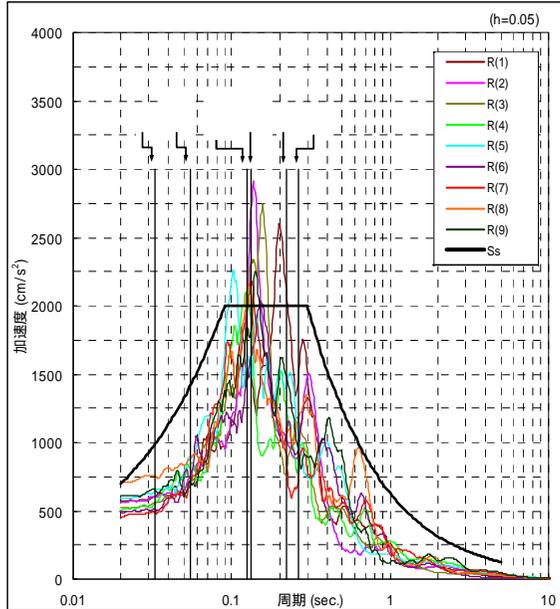
平成24年6月10日

1. 機器の固有周期は、建屋等との連成で変わることはないか

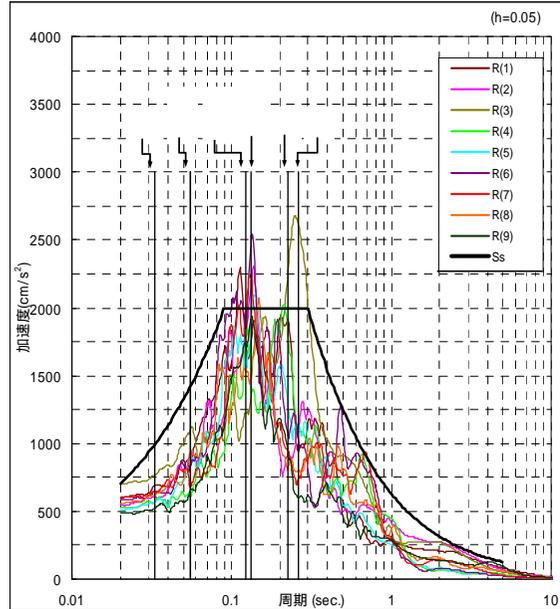
(回答)

機器単体で固有周期を算定したものと、建屋等の連成解析で算定したものとでは、値が異なります。耐震解析では、地震時の揺れの相互作用影響が無視できない(重量、剛性が近い)場合は、構造物を連成させた解析モデルにより、固有周期を算定します。下図では、固有周期を連成・単体のどちらで評価しているかを追記しています。

FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動を仮定した地震動評価結果
および大飯3号機主要施設の固有周期について(水平方向)



建屋のNS方向



建屋のEW方向

凡例

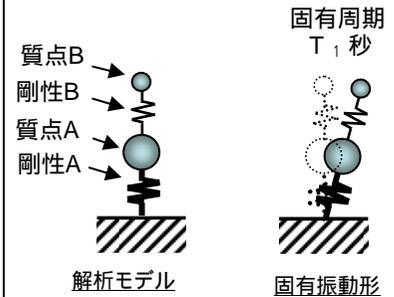
- 炉内構造物
- 制御棒挿入性(燃料集合体)
- 余熱除去ポンプ
- 余熱除去配管
- 原子炉容器
- 一次冷却材管
- 蒸気発生器
- 原子炉格納容器
- (原子炉建屋に含む)
- 原子炉建屋
- 原子炉補助建屋

- 青: 一次冷却材管と蒸気発生器等を連成
- 緑: 原子炉容器と炉内構造物等を連成
- 橙: 機器単体で評価
- 黒: 原子炉建屋および原子炉補助建屋は、機器重量を考慮した解析モデルを用いている。また、原子炉建屋(原子炉格納容器を含む)の解析モデルでは一次冷却設備を組み込んでいる。

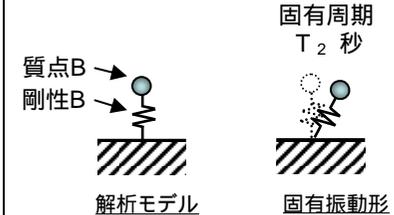
R(1)～R(9): 断層の連動を仮定した地震動
Ss: 応答スペクトル法による基準地震動

[固有周期の概念]

【構造物Aと構造物Bの連成振動】

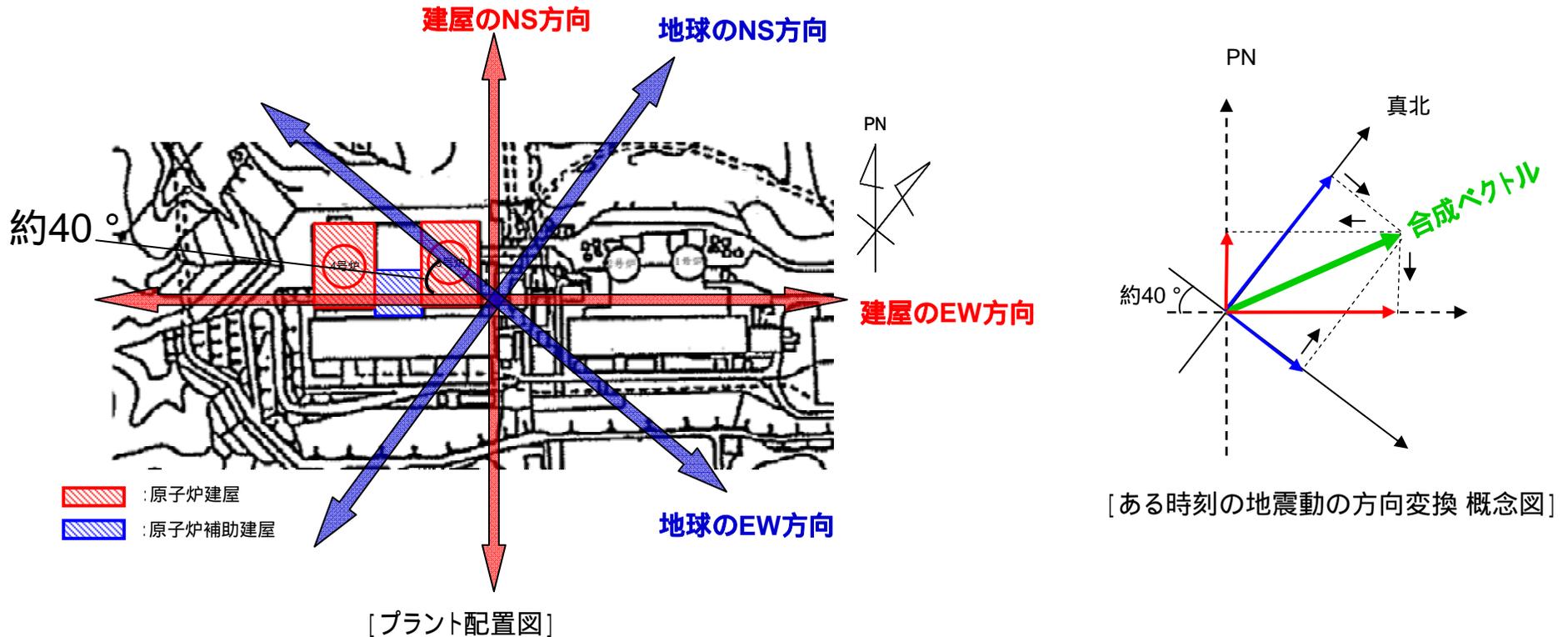


【構造物Bの単体振動】



連成振動時の固有周期(1次) T_1 秒は、構造物Bの単体振動時の固有周期(1次) T_2 秒と異なる。

資料No.1 - 1 「断層の連動を仮定した地震動および主要施設の固有周期
について」 に用いた地震動の方向変換について(1)



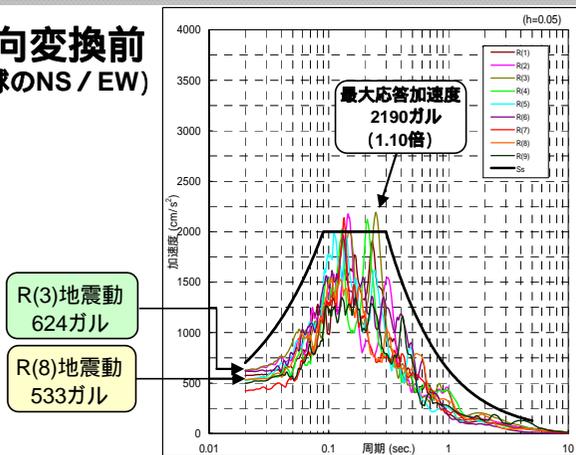
断層モデルによる地震動評価は、地球の真北を基準とし、そのNS・EW方向で地震動を設定している。
(= 地球のNS方向 / 地球のEW方向)

一方、主要施設の評価では、建屋の設置方向を考慮して建屋の揺れを算出するため、建屋の北(PN)を基準とし、もともになる地震動を真北 PNへ方向変換(上図右側)して使用する。(= 建屋のNS方向 / 建屋のEW方向)

以上より、方向変換したスペクトル形状は変わるが、概念図に示すとおり、もともになる地震動の大きさ(概念図に示す合成ベクトル)は変わらず、 は同じ地震動を表わしている。

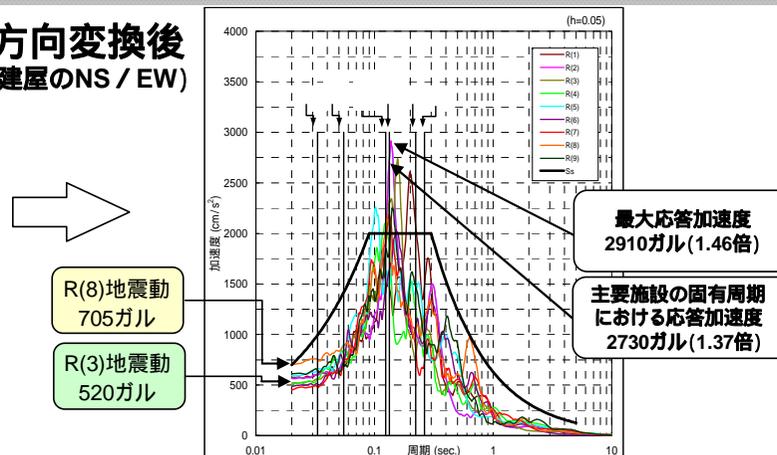
資料No.1-1 「断層の連動を仮定した地震動および主要施設の固有周期について」 に用いた地震動の方向変換について(2)

方向変換前 (地球のNS/EW)

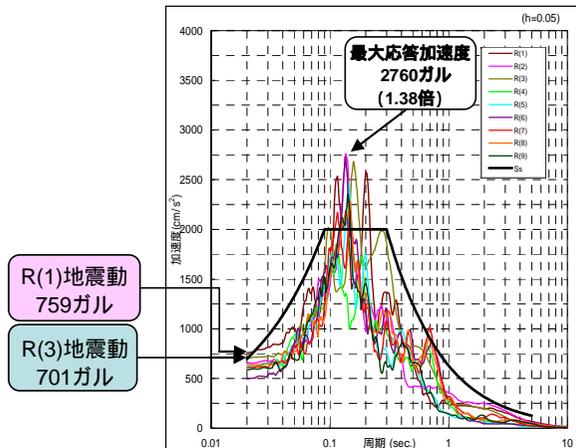


方向変換前の地震動(地球のNS方向)

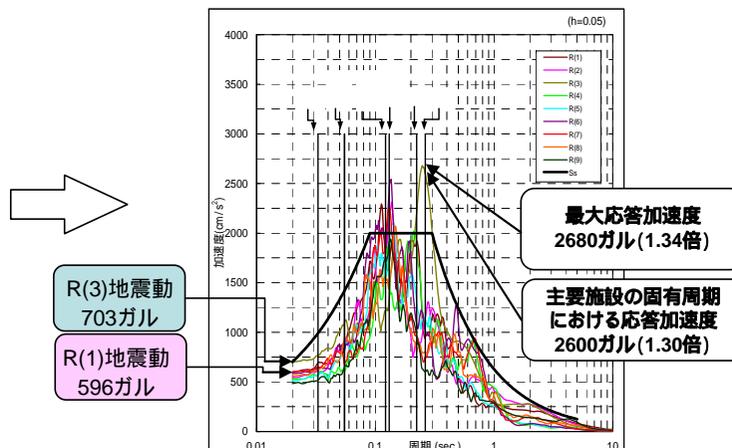
方向変換後 (建屋のNS/EW)



方向変換後の地震動(建屋のNS方向)



方向変換前の地震動(地球のEW方向)



方向変換後の地震動(建屋のEW方向)

方向変換後における断層の連動を仮定した地震動(R(1)～R(9))の基準地震動(Ss)に対する最大比率は、以下のとおり。

- ・ 主要機器の固有周期において、NS方向1.37倍、EW方向1.30倍
- ・ 断層の連動を仮定した地震動の最大値において、NS方向1.46倍、EW方向1.34倍

これらは、大飯3・4号機ストレステスト1次評価で確認したクリフエッジ(基準地震動の1.8倍)を下回っていることから、仮に連動を伴う地震が発生した場合でも、原子炉の安全を確保するために必要な機器の耐震性は問題ないことを確認した。制御棒挿入性についても、基準地震動の詳細評価による耐震裕度(2.39倍)が十分に大きく、問題ないことを確認した。

2. 制御棒落下時の抵抗となる浮力や流体抗力、メカニカル抗力と地震による抗力のそれぞれの寄与はどれくらいか。

(回答)

下記運動方程式の抗力 F_f, F_m, F_u, F_v の寄与について検討する。

$$\text{運動方程式} \quad M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = M \cdot g - \{F_f + F_m + F_u + F_v\}$$

- M: 制御棒クラス質量
- x: 制御棒クラス挿入距離
- t: 制御棒クラス挿入時間
- g: 重力加速度
- F_f: 流体による抗力
- F_m: メカニカル抗力
- F_u: 浮力による抗力
- F_v: 地震外力による抗力

・各抗力は実機制御棒挿入実験に基づき設定。
 ・また、この運動方程式を用いた評価手法は、多度津工学試験所の実証試験で検証されており、美浜1号機の耐震バックチェックで適用し、国の審査においても審査済み。

Ss-1地震時の挿入時間(1.88秒)に対する各抗力と挿入距離との関係を上図に示す。各抗力の寄与比は以下のとおり。

抗力の種類	寄与比
F _f (流体による抗力)	3.4
F _m (メカニカル抗力)	5.2
F _u (浮力による抗力)	1.0
F _v (地震外力による抗力)	1.4

上図にて85%挿入位置までの各抗力の積分値を求め、F_uを1.0としたときの比率

中図及び下図のとおり、自重と合計抗力とのバランスで制御棒の落下速度が決まり、初期は自重が優位で速度が上昇、その後、重力と合計抗力が釣りあうと等速度となり、地震で抗力が優位になると減速する。85%挿入付近で、制御棒案内シンプルの絞り部の効果で減速し、その後全挿入となる。

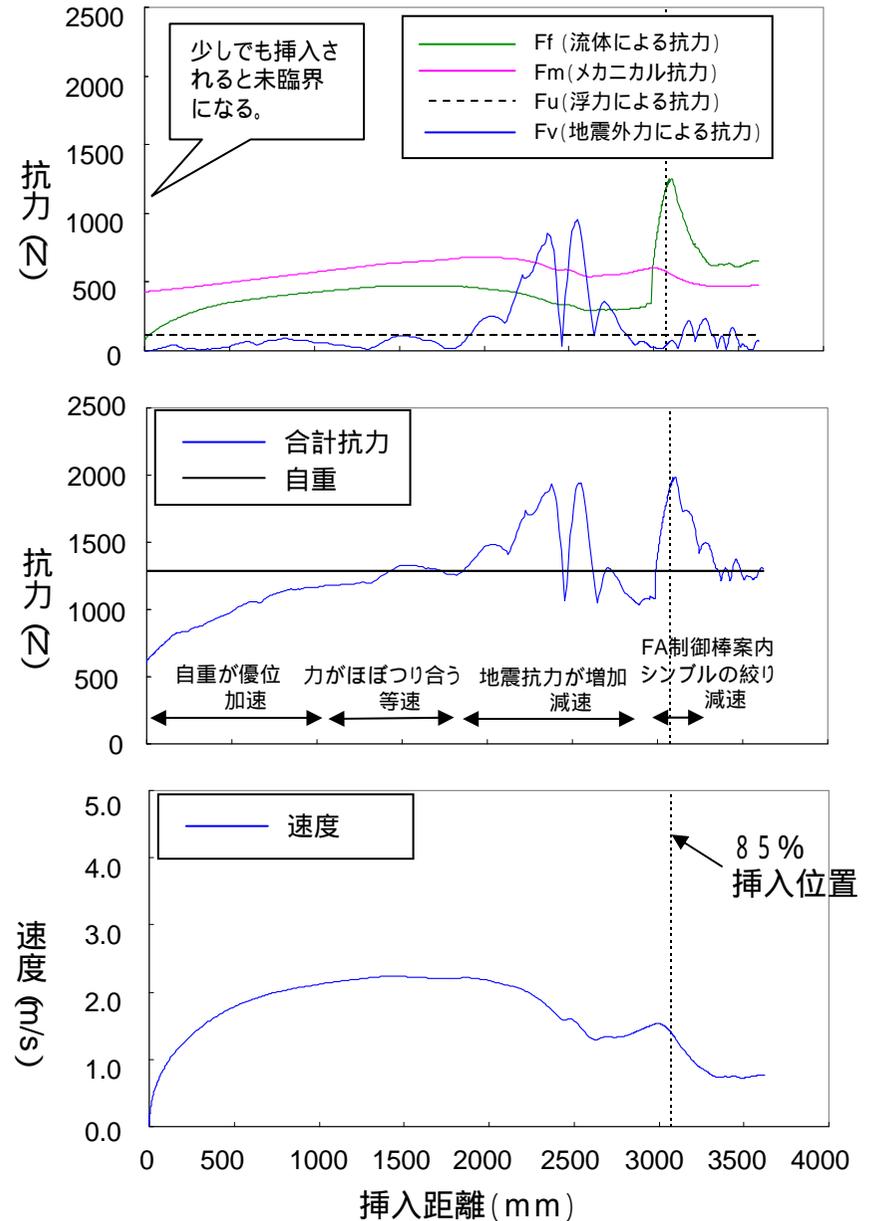
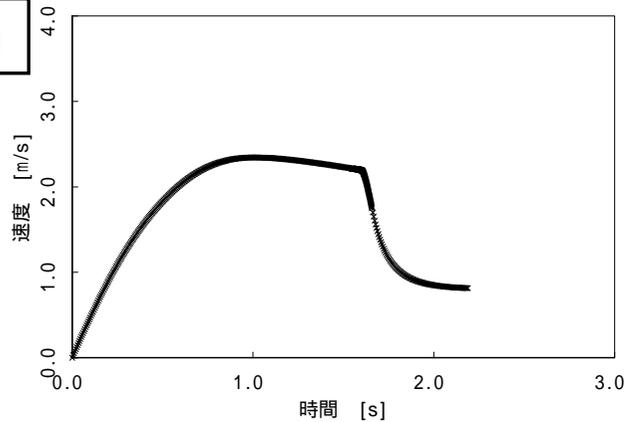


図 抗力と挿入距離、速度と挿入距離との関係

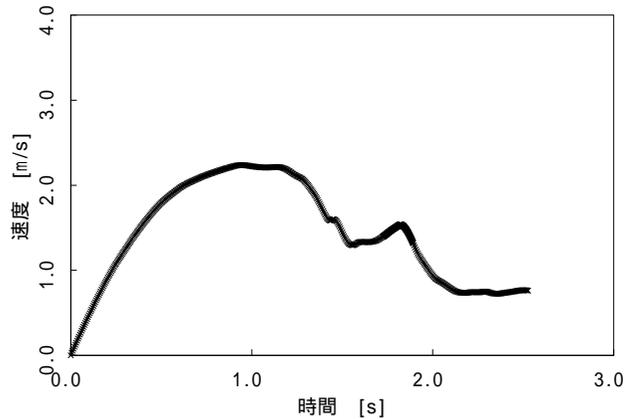
通常時(加振なし)



概要

地震動増加による影響をみるため、Ss地震時と、Ss地震を超える条件としてSsによる各挿入経路の地震応答(変位、加速度)を1000/700倍と仮定した時の制御棒挿入解析を実施した。地震動が増加した時の制御棒の挿入速度と挿入時間の関係が示されている。

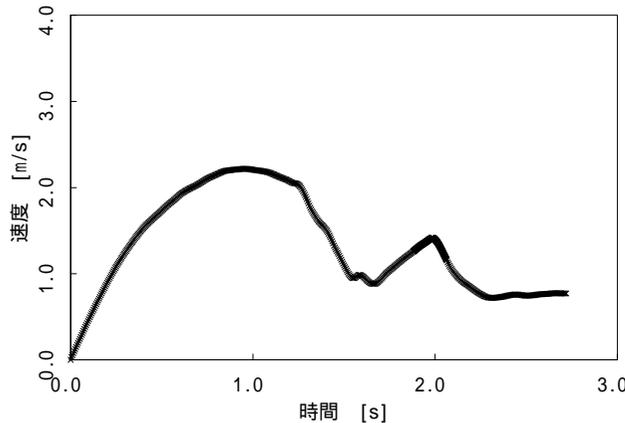
Ss地震時



考察

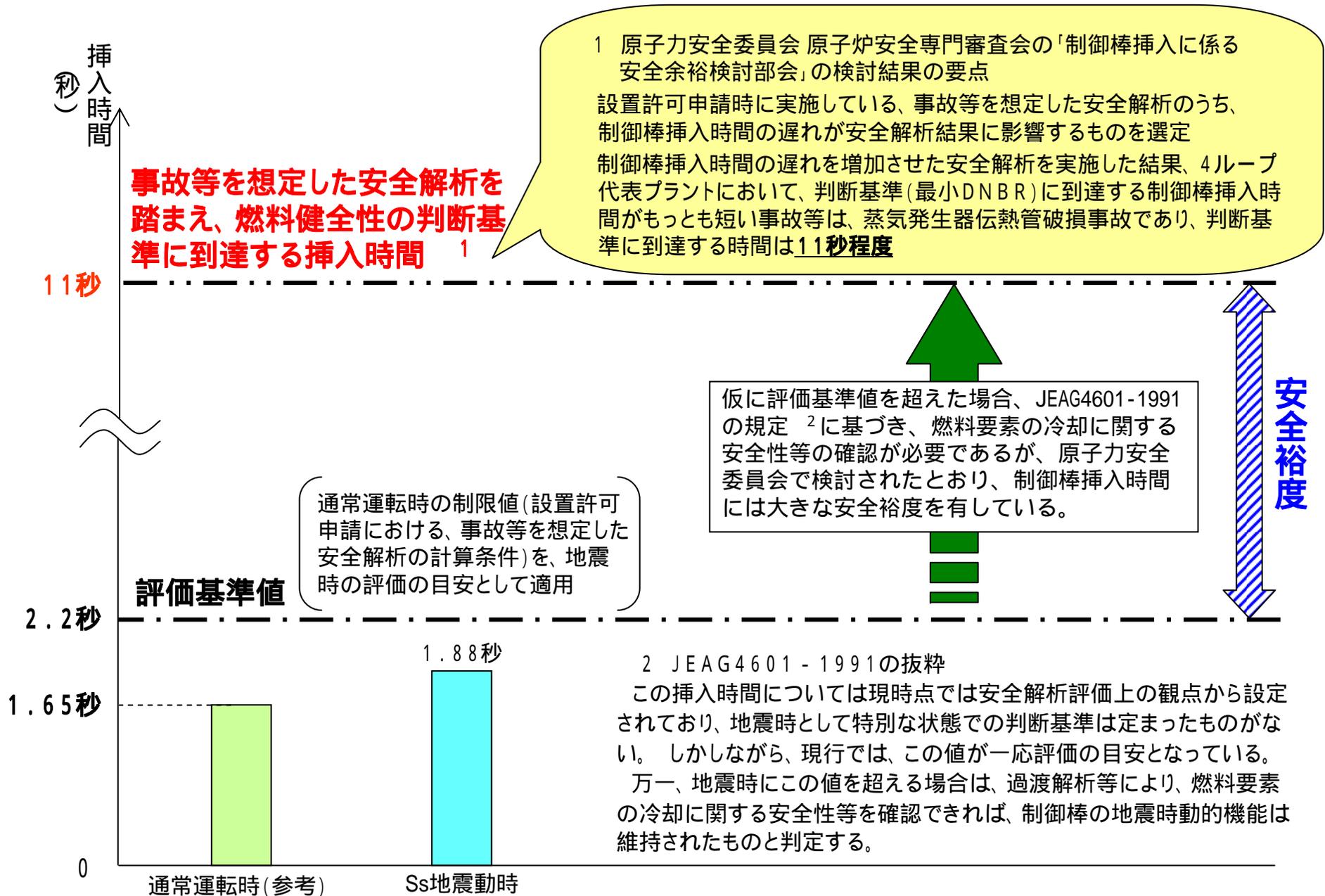
- 地震動が増加すると、
- ・ 制御棒挿入速度の初期の立ち上がり傾向は、ほぼ同じであるが、制御棒挿入速度のピーク値が低下している。
 - ・ 制御棒挿入速度のピーク値が低下する分、制御棒挿入時間が増加していく傾向がわかる。

Ss地震を超える地震時

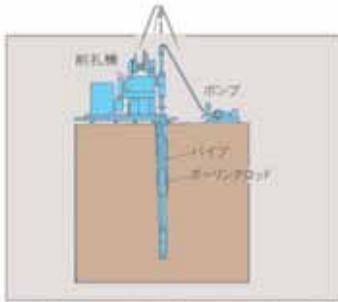


Ss地震時の機器応答(変位、加速度)を1000/700倍と仮定

大飯3・4号機の地震時の制御棒挿入時間および安全裕度について

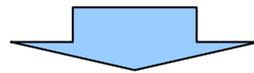


周辺斜面安定性評価の流れ

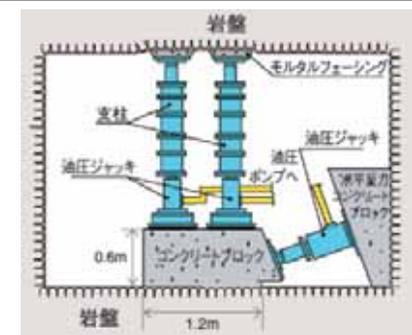


ボーリング調査の例

：地質調査および地盤物性調査

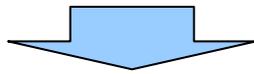


- ・評価箇所の抽出
- ・岩盤等級の判定
- ・物性値の設定

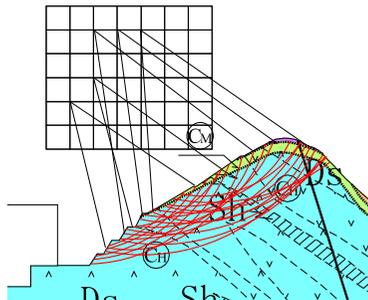


物性値の設定

：すべり面の検討

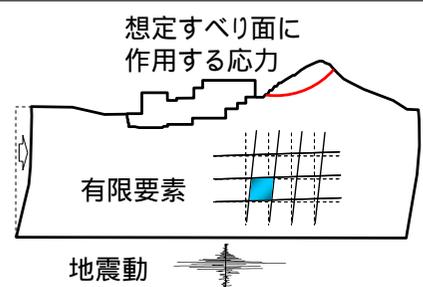
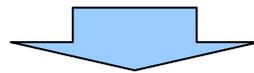


- 詳細に検討する想定すべり面を絞り込む



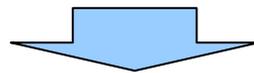
すべり面の選定

：地震応答解析の実施

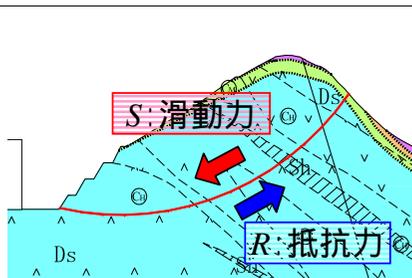


地震時の地盤内応力算出

：すべり安定性検討

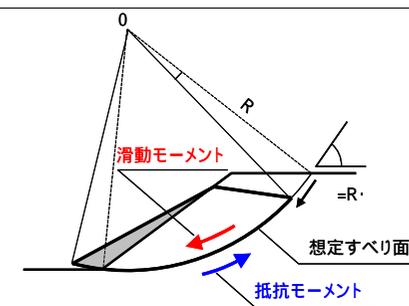


- 安全率が1を下回る場合



すべり安全率 (R/S) を算出

：変位量評価



変位量算出

(回答)

岩盤等級の判定を行う

風化の度合、岩盤の硬さ、割れ目の間隔、割れ目の状態をもとに区分する

岩盤は表層から次第に風化の程度が進んでくるが、明確な境界があるわけではなく、評価の便宜上、岩盤等級として区分している。

物性値を設定する

岩盤等級毎にせん断強度等を地盤工学会が定める試験方法により物性値を設定している

例) 輝緑岩の強度特性
(平均値)

岩盤等級	ピーク強度 (N/mm ²)	残留強度 (N/mm ²)	n = 0.6N/mm ² の時 (深度約20mの状態)	
			ピーク強度 (N/mm ²)	残留強度 (N/mm ²)
CH級	$2.1 + n \times \tan 56.1^\circ$	$2.6 n^{0.65}$	2.99	1.87
CM級	$1.4 + n \times \tan 38.9^\circ$	$2.2 n^{0.41}$	1.88	1.78
CL級	$0.20 + n \times \tan 35.1^\circ$	$0.8 n^{0.65}$	0.62	0.57
D級	$0.07 + n \times \tan 17.4^\circ$	$0.07 + n \times \tan 17.4^\circ$	0.26	0.26

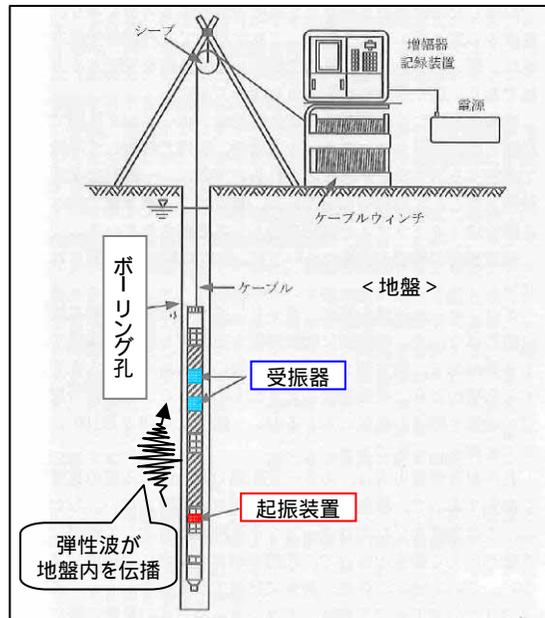
n (N/mm²) : すべり面に対して垂直に作用する応力

岩盤等級の判定

岩盤等級の概念

岩盤等級 (岩級区分)	A級	B級	CH級	CM級	CL級	D級
風化の度合	新鮮	←		→		風化
岩盤の硬さ	硬質	←		→		軟質
岩盤の割れ目	少ない	←		→		多い

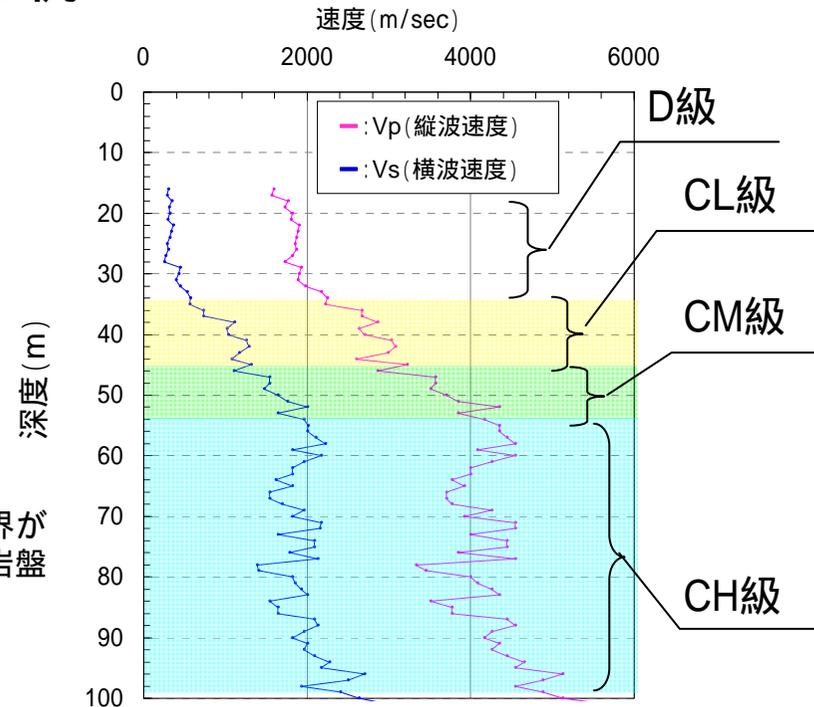
弾性波速度分布における岩盤等級の境界の例



PS検層の装置構成

PS検層
 ボーリング孔を利用して、孔内で弾性波の受発信を行ない、岩盤を伝播する弾性波速度の深さ方向分布を求める試験。

深部方向に対して、明確な境界があるわけではないが、便宜上岩盤等級を区分している。



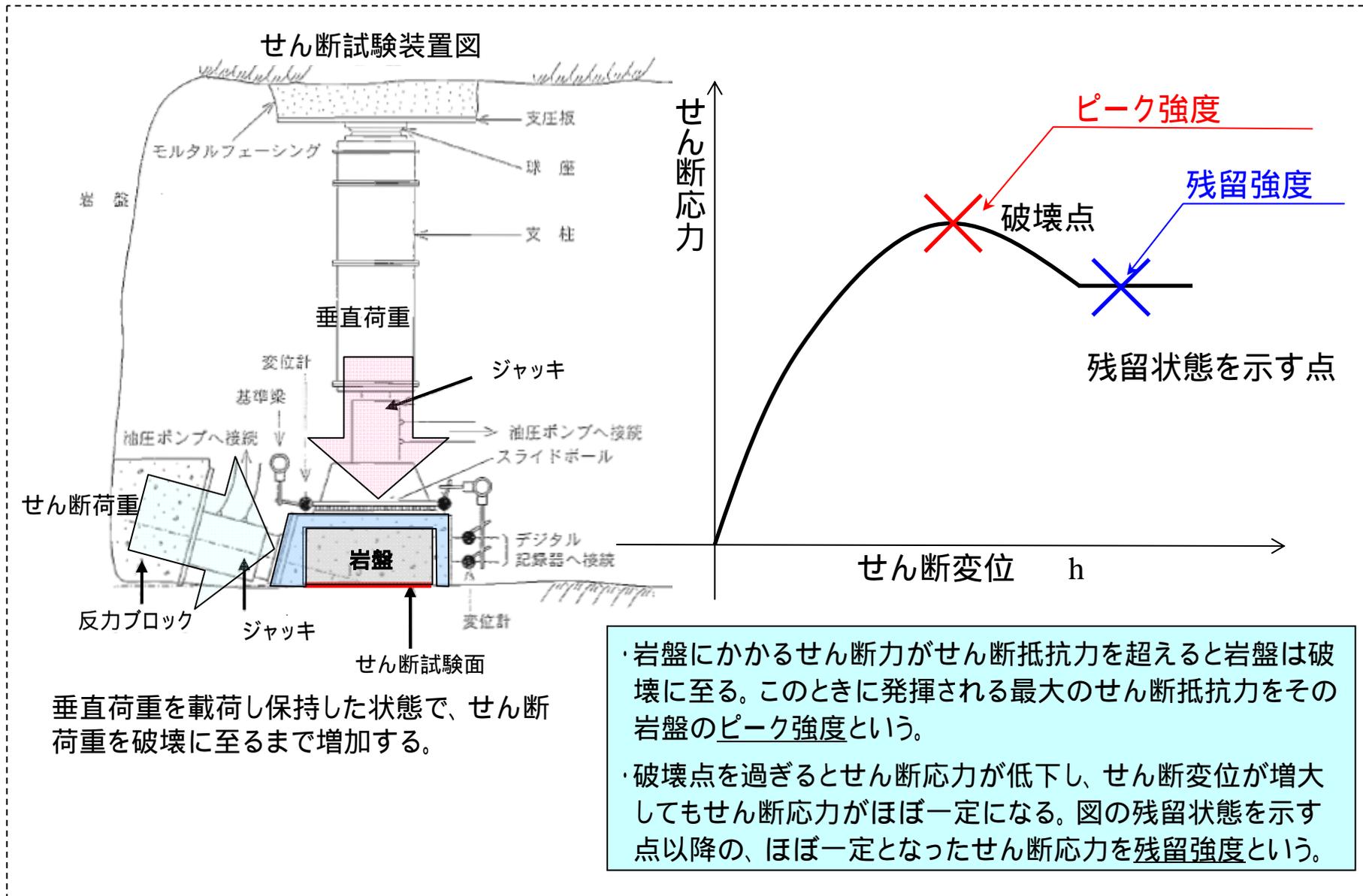
PS検層結果(弾性波速度)と岩盤等級

「地盤調査の方法と解説(地盤工学会)」より加筆引用

岩盤の強度の求め方

10

せん断強度



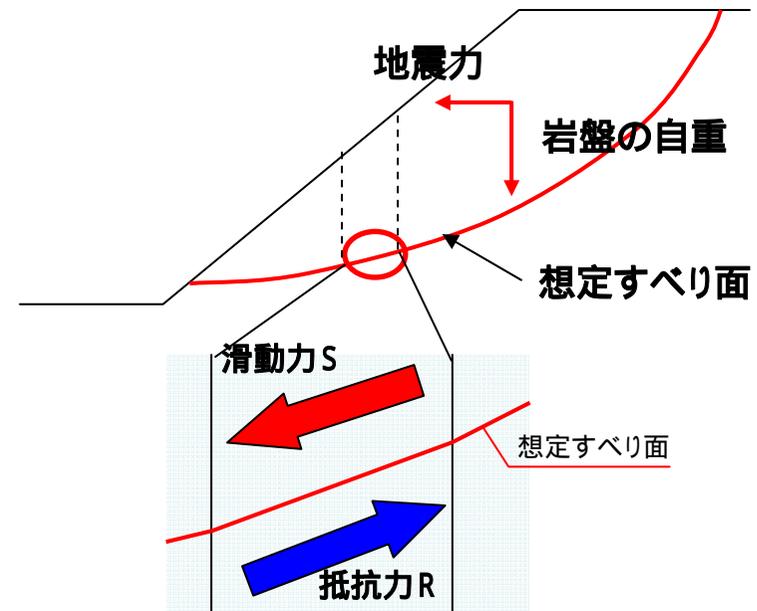
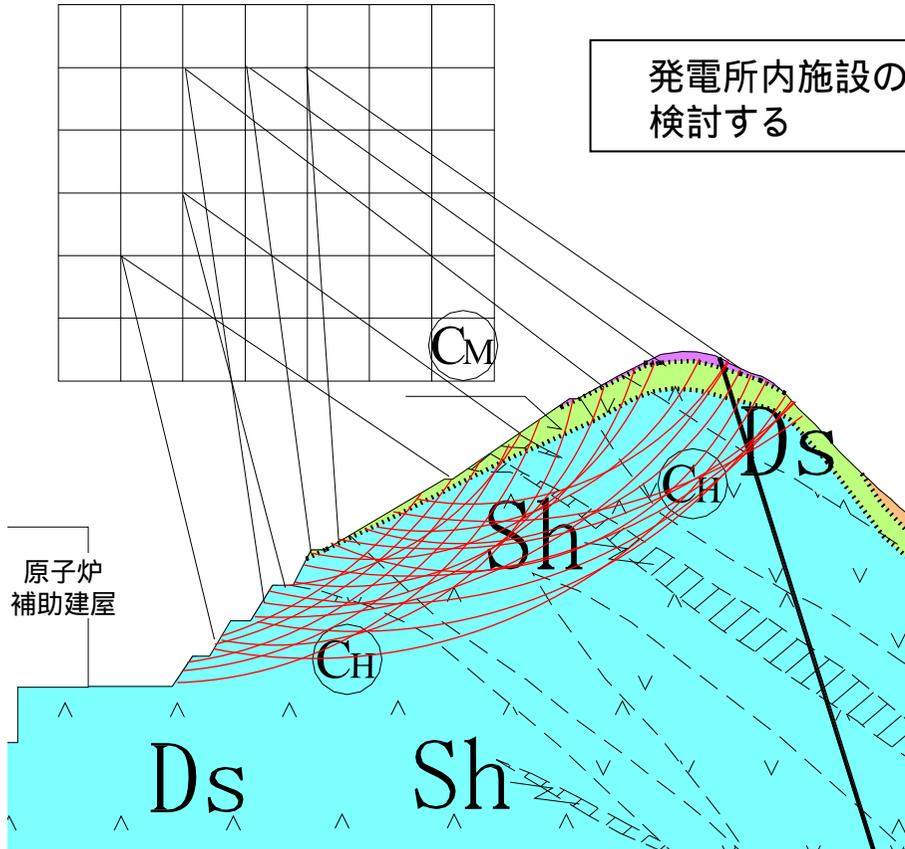
(回答)

多数の円弧に対して想定すべり面を設定

評価の一例

円弧の中心(格子位置)および半径を多数変化させて検討する

発電所内施設の安全性を評価するため、発電所施設側の想定すべり面を検討する



S:滑動力 自重と地震力により発生

R:抵抗力 岩盤のせん断抵抗力

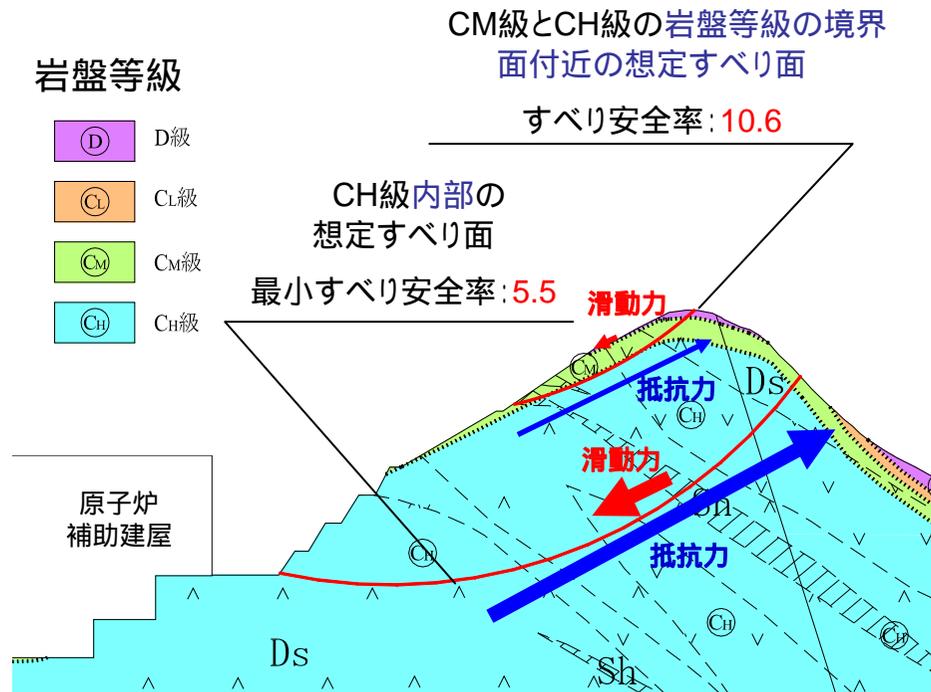
最も厳しい安全率となる想定すべり面を抽出し、その面ですべりが発生するかどうかを詳細検討する。この方法は、これまでの原子力発電所の斜面安定性評価やダム等の評価で一般的に用いられているものである。

(回答)

斜面は一体の岩盤であり、岩盤等級の境界面に弱部となる境界面が存在するというものではない。

すべり安全率は、想定すべり面において、自重と地震力により求まる滑動力と、せん断強度より求まる抵抗力とのバランスで決まり、必ずしも岩盤等級の境界面でのすべり安全率が小さくなるわけではない。

例) 1・2号機周辺斜面(B-B 断面)

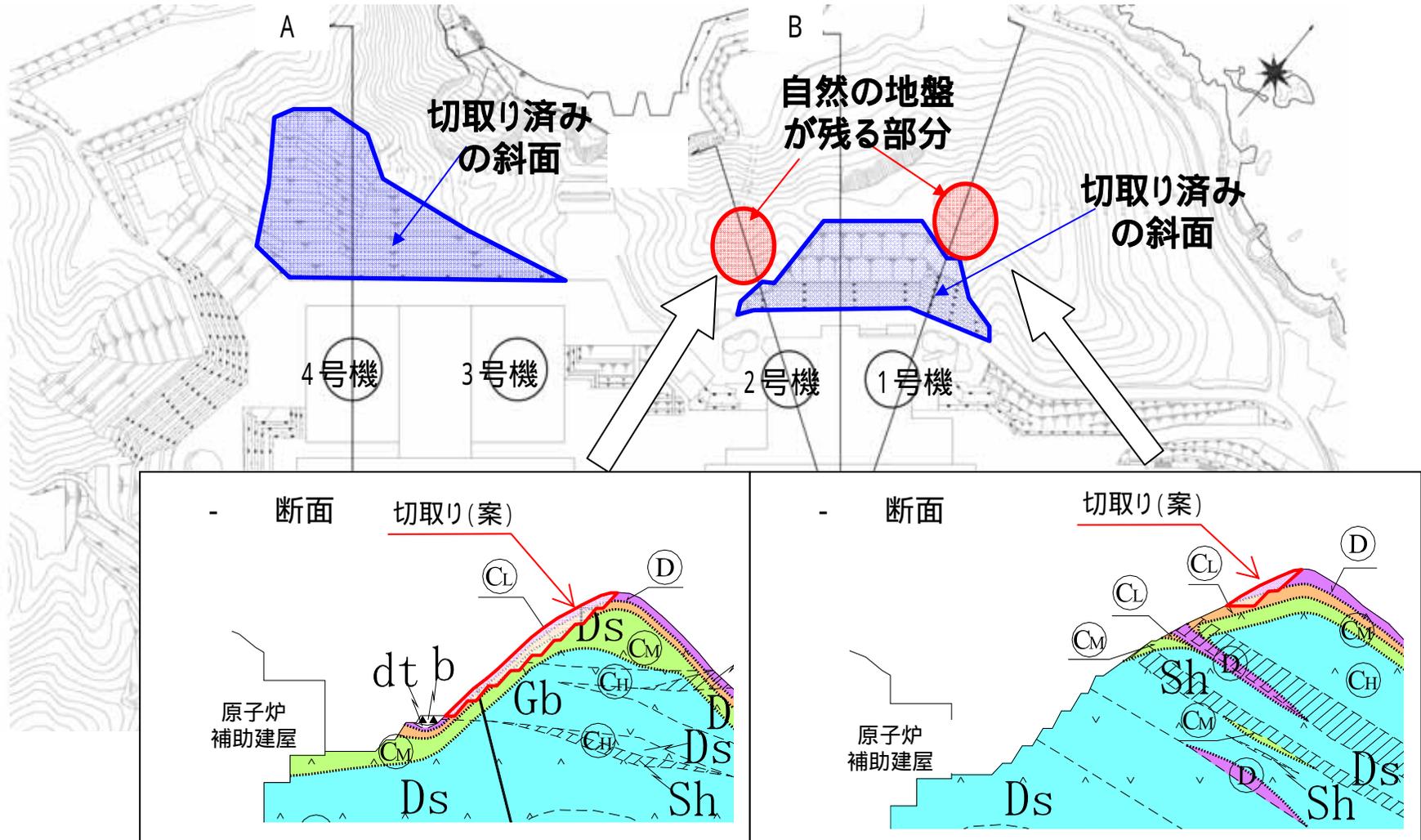


すべり面は、すべり面に比べて岩盤等級が低く、抵抗力は小さいが、自重が小さく地震力も小さくなる効果により安全率は大きくなった

(回答)

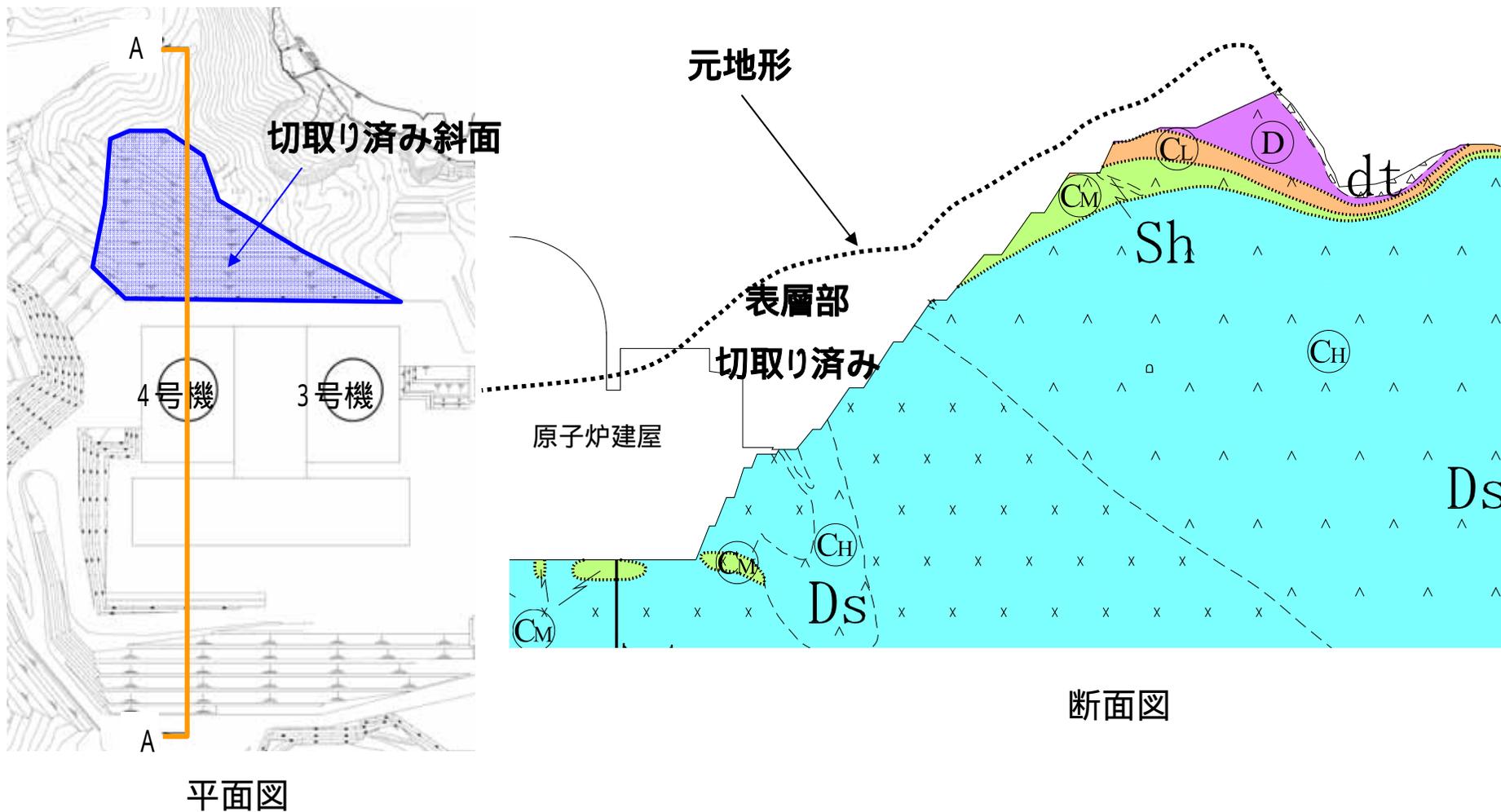
1・2号機周辺斜面には風化等の影響により強度が小さな自然の地盤が存在し、その表層部に変位が生じる為、念のため耐震裕度向上工事を行う。

一方、3・4号機側周辺斜面には、建設時に既に表層部の自然の地盤は切取り済みであり、原子炉建屋側への変位は生じない為、対策は不要である。



3・4号機周辺斜面について(切取り済み)

(3・4号機周辺斜面)



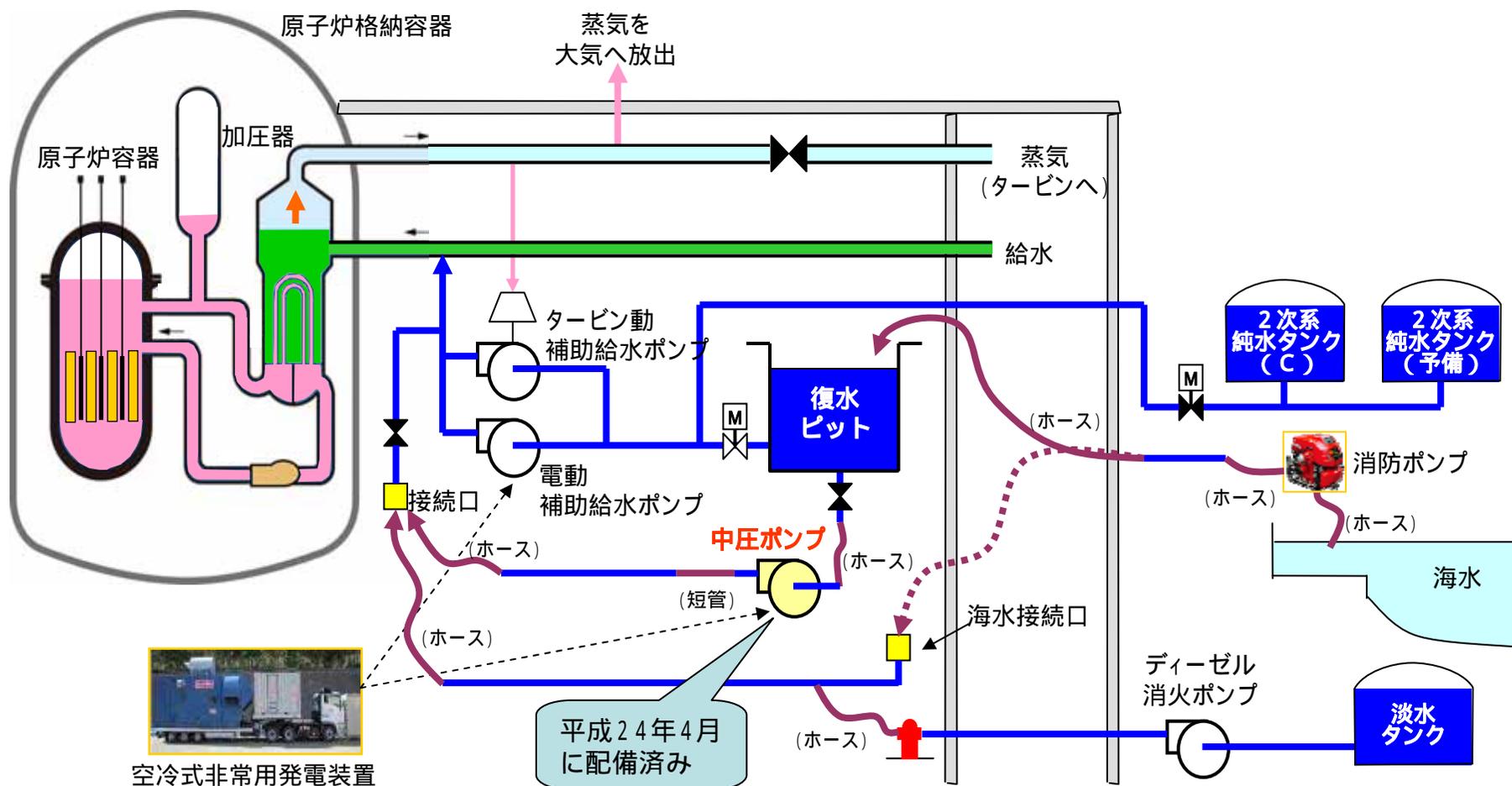
3・4号機周辺斜面については、建設時に既に表層を切取り済みである。

4. 安全性向上対策計画のうち、平成24年4月以降に主に完了した工事は
なにか(大飯発電所3・4号機)

(回答)

中圧ポンプの配備 (吐出圧: 3 MPa, 流量: 50 m³/h)

- ・蒸気発生器への代替注水機能強化のため、補助給水ラインへの消火水ライン接続や海水接続口の設置により、水源の多重化、多様化を確保するとともに、既に配備した1 MPa程度の消防ポンプに加えて、更に吐出圧力の高い中圧ポンプ(電動)の配備や配管の一部恒設化を実施した。
- ・なお、中圧ポンプを使用した訓練および、マニュアルの制定を平成24年5月末までに実施した。



訓練概要

手順書に基づき、中圧ポンプ廻りの配管・フレキホースの接続
および免震架台の固定

訓練日

平成24年5月24日(3号機)
25日(4号機)

訓練実績

- ・3号機 4名 100分 平日昼間模擬(暗闇模擬)
↳ 社員による訓練
- ・4号機 4名 85分 休祭日模擬
↳ 初動対応要員による訓練

暗闇を模擬した訓練



ホース繋ぎこみ前

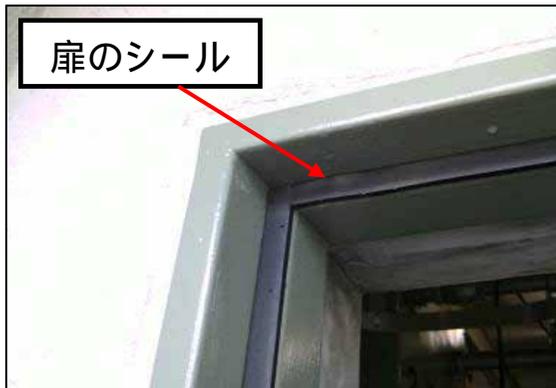


ホース繋ぎこみ後



浸水対策の強化(建屋扉の浸水防止対策)

【扉等のシール施工】



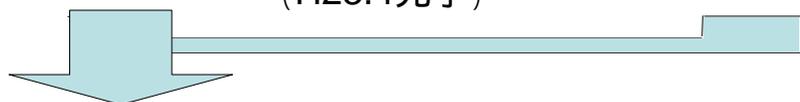
外壁にある扉5箇所
シールゴム施工実施
(H23.4完了)



外壁にある扉8箇所
防潮扉を設置
(H23.9完了)



配管等の貫通部57箇所
についてシール材注入実施
(H23.9完了)



【水密扉】 水密扉取替え状況(5月31日現在)
津波耐性確保完了(塗装準備中)



大飯3/4号機水密扉(外部扉)
取替え進捗状況
4枚/13枚
(5月31日現在)
H24.9未完了予定

(強度)
津波の波力を考慮しても健全

(浸水)
ゴムパッキンによる浸水防止
防潮扉に比べ、止水性能に優れている。

防潮扉及び水密扉は、
EL.15mの静水圧に耐える強度を有している。

初動対応要員のさらなる増員(大飯発電所の例)

- ・ケーブルつなぎ込み口の改造により少人数でも迅速な電源確保を可能にするとともに、外部支援がない状態であっても電源確保と給水確保が独立して実施できるよう、初動対応要員を現状の44名から10名増員した。(4月27日)

震災前		震災後		H23/12/28以降		H24/4/27以降		余裕
運転員	22名	運転員	22名	運転員	22名	運転員	22名	
				運転員の支援	2名	運転員の支援	2名	
当番	2名	当番	1名	当番	2名	当番	3名	1名
消防	5名	消防	5名	消防	5名	消防	5名	
				当番(現場指揮)	1名	当番(現場指揮)	1名	
		瓦礫	1名(消防と兼務)	瓦礫	1名	瓦礫	1名	
		電源確保	6名 (消防と兼務4名)	電源確保	8名	電源確保 (燃料補給)	8名 4 6名 (2名追加)	2名
				給水確保 (3名)	3名	給水確保 [必要数11]	3名 7 14名 (7名追加)	3名
合計	29名	合計	30名	合計	44名	合計	54名	6名
		増員数	1名	増員数	14名	増員数	10名	
守衛	3名	守衛	3名	守衛	3名	守衛	3名	
合計	32名	合計	33名	合計	47名	合計	57名	

電源確保、瓦礫処理に必要な体制を確保

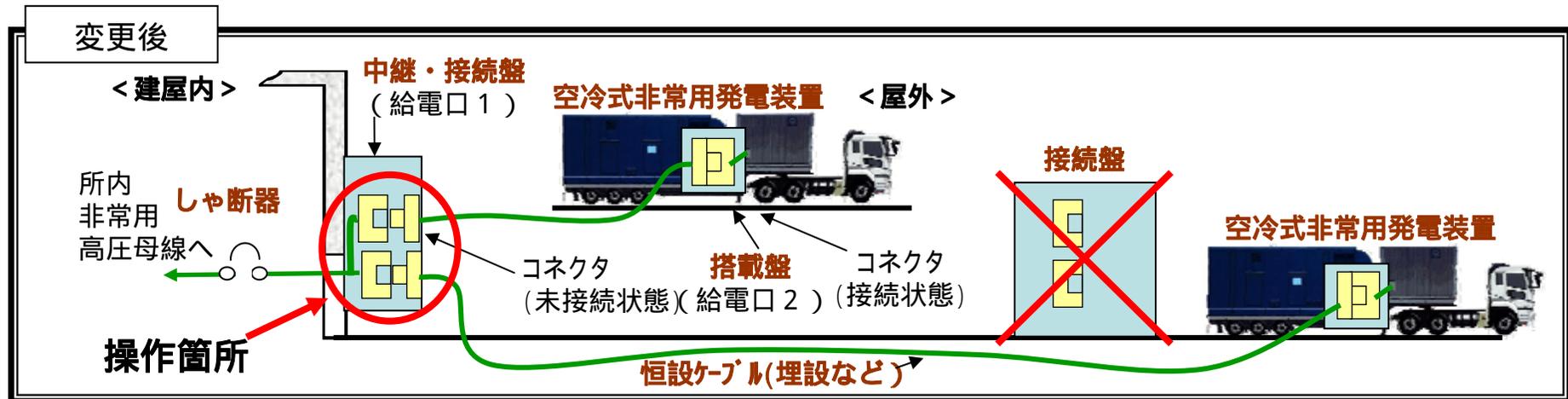
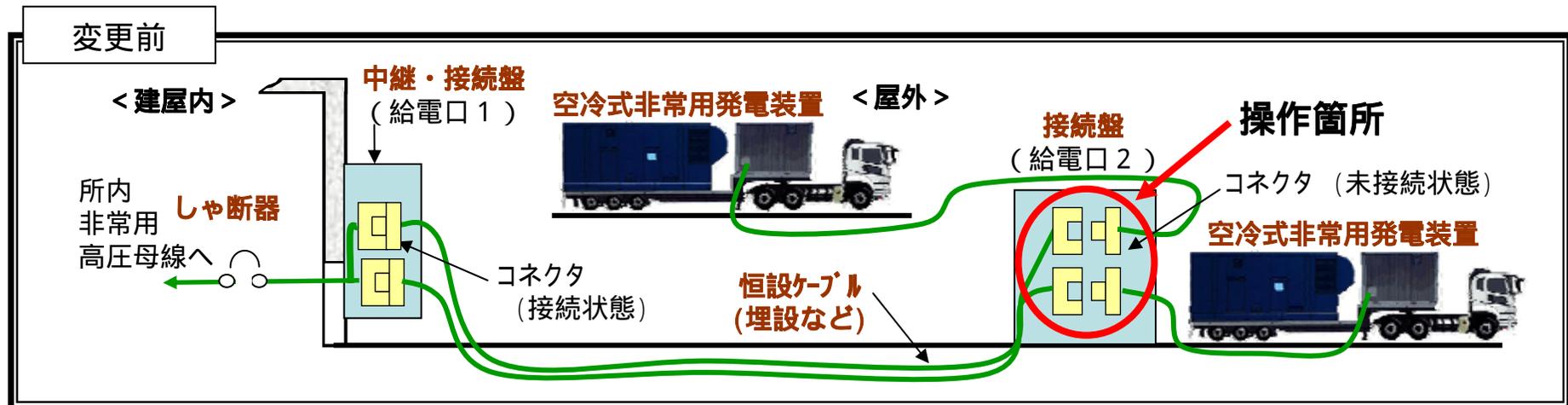
想定外事象に対応する運転員の支援を期待

複数プラント同時作業が実施できるよう要員を増強

外部支援がなくても電源給水確保を独立して実施

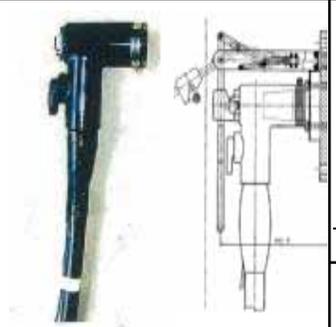
空冷式非常用発電装置の分散配置に伴う接続方法の変更

- ・ 2台の空冷式非常用発電装置の落石等による共通要因故障を防止するため、接続盤機能を車載し分散配置する
- ・ 搭載盤を取付けたことで接続盤を経由せずに給電が可能であることから、分散配置のための場所選定が容易になる
- ・ 搭載盤が空冷式非常用発電装置の転倒評価に影響しないことを確認しており、空冷式非常用発電装置の地震に対する耐性は従来と同等である



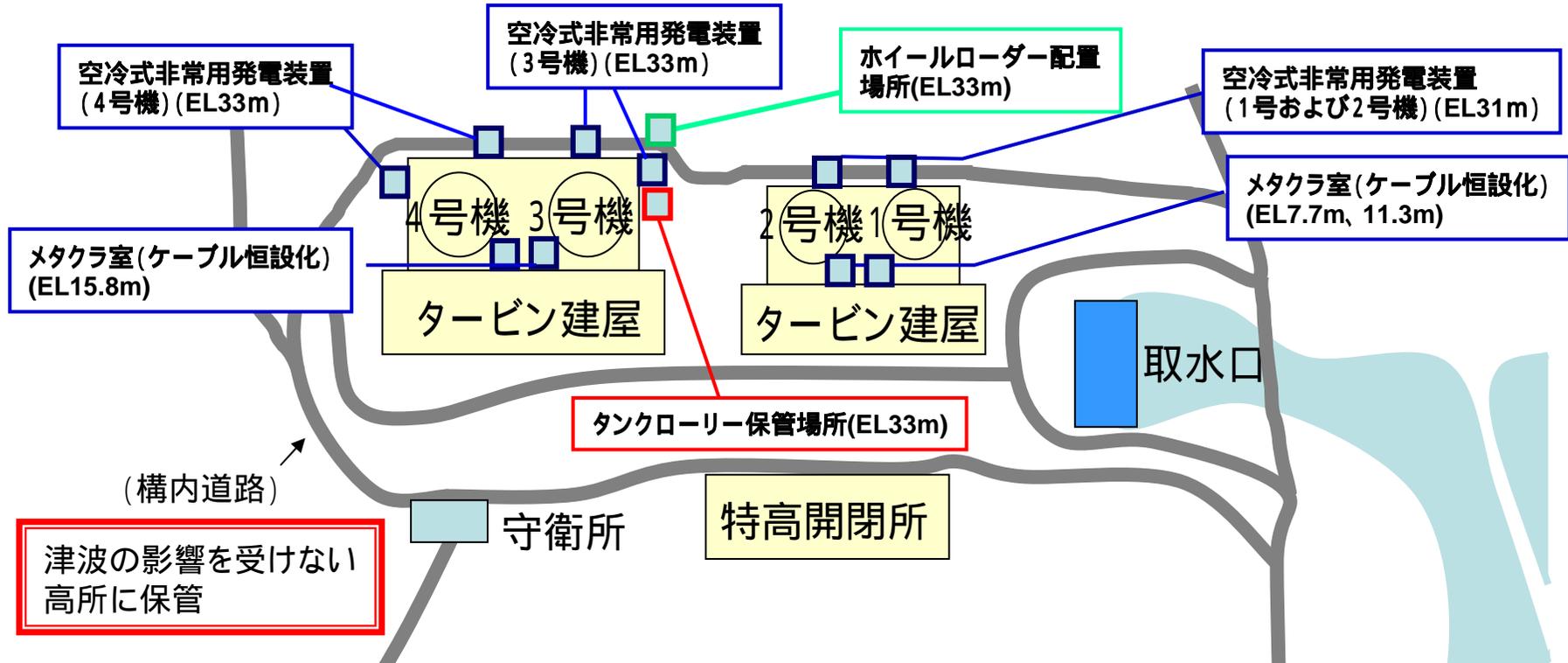
空冷式非常用発電装置 接続装置の分散配置に伴う運用変更(参考資料)

空冷式非常用発電装置の搭載盤、中継・接続盤の接続コネクタの改良(作業効率化)

	改良型(押し込み式)	旧型(ネジ込み式)
概要	 <ul style="list-style-type: none"> ・難燃性ゴムに変更 ・抜き差し補助機構により小さな力で操作可能。 ・ゴム製のため軽量(2kg程度) 	 <ul style="list-style-type: none"> ・コネクタ頂部のネジ込みにより接続 ・ネジ込み機構のため、重量のある金属外装付き(10kg程度) ・接続に20分以上必要。
必要人数	<ul style="list-style-type: none"> ・1人/ユニットの体制で操作可能 ・加えて冗長性を確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・2人/ユニットの体制

接続コネクタ改良後の訓練実績: 6回(平成24年3月末現在)

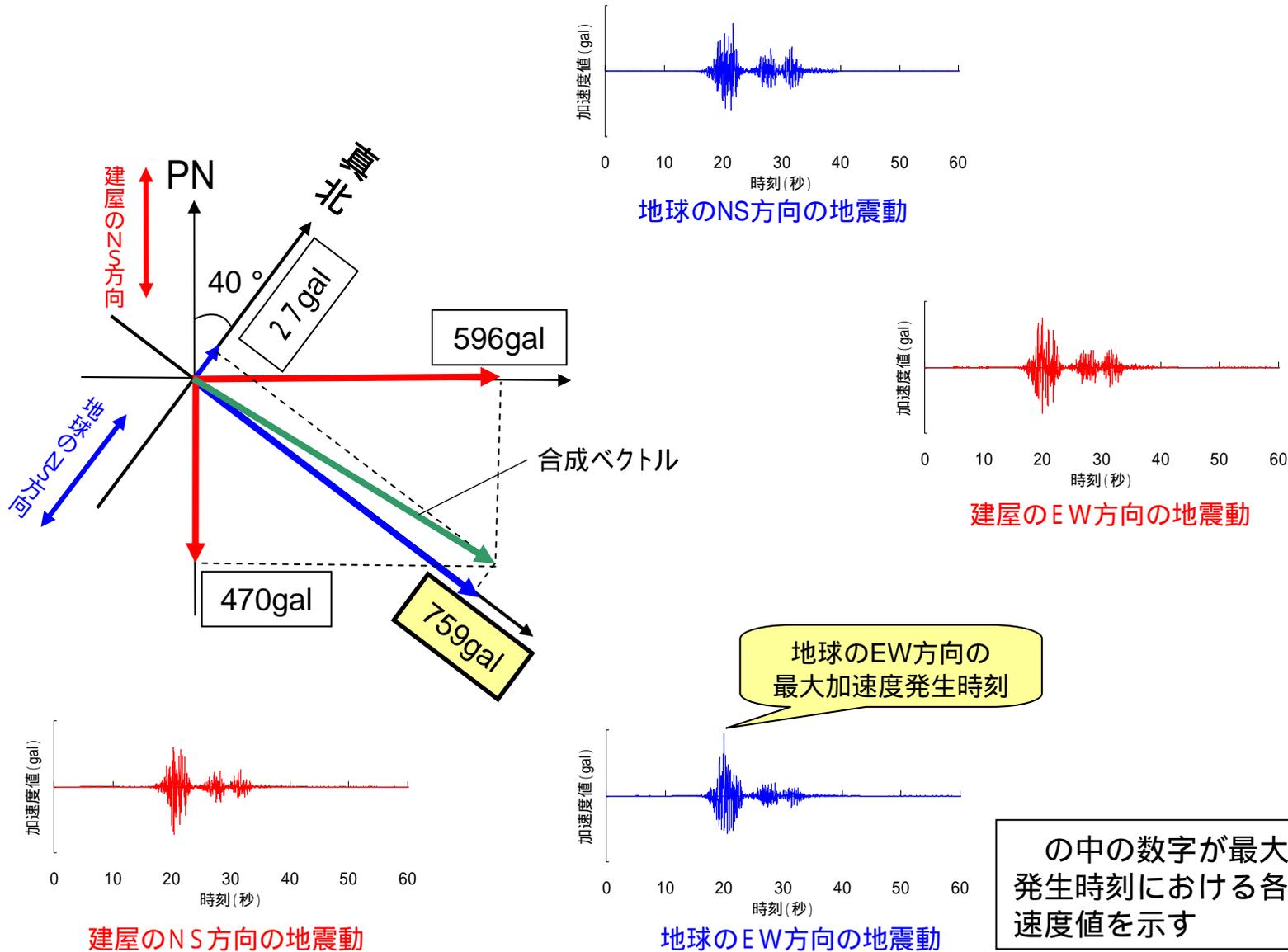
空冷式非常用発電装置の構内配置図



參考資料

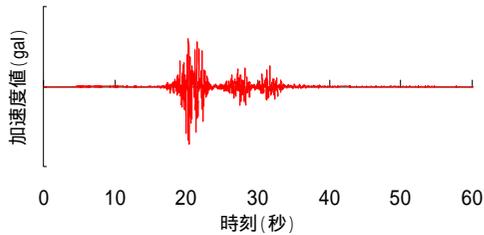
(参考1 - 1) R(1)地震動の方向変換前後の加速度値について

地球のEW方向の最大加速度値発生時刻(20.0秒)における加速度成分

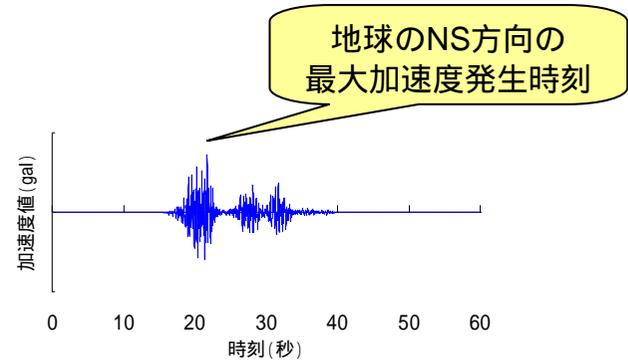


(参考1 - 2) R(1)地震動の方向変換前後の加速度値について

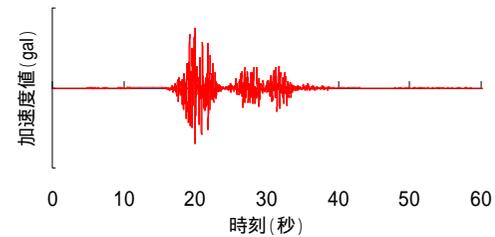
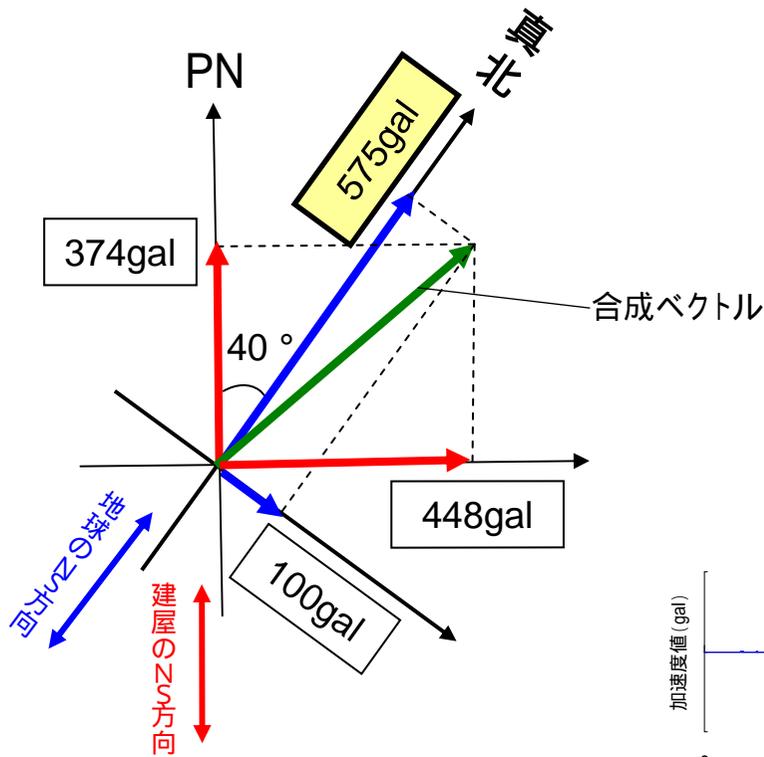
地球のNS方向の最大加速度値発生時刻(21.7秒)における加速度成分



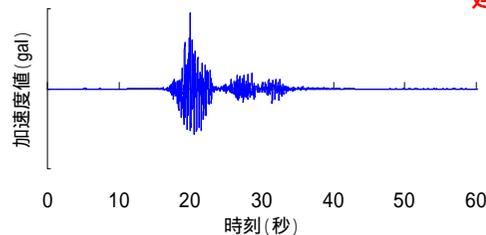
建屋のNS方向の地震動



地球のNS方向の地震動



建屋のEW方向の地震動



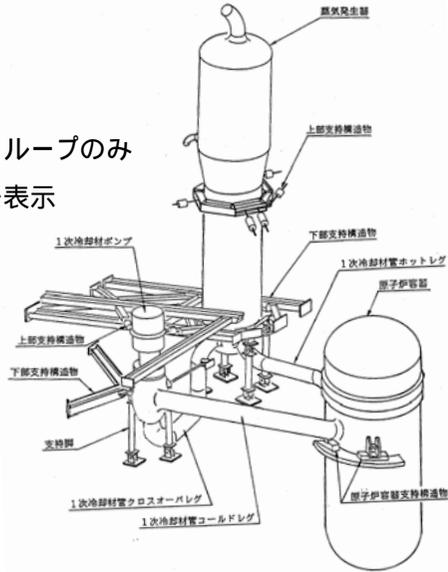
地球のEW方向の地震動

の中の数字が最大加速度値発生時刻における各成分の加速度値を示す

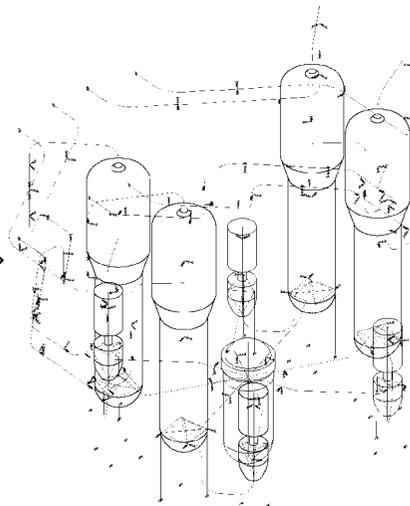
(参考2 - 1) 1次冷却設備の地震応答解析モデルの例

1次冷却設備の鳥瞰図

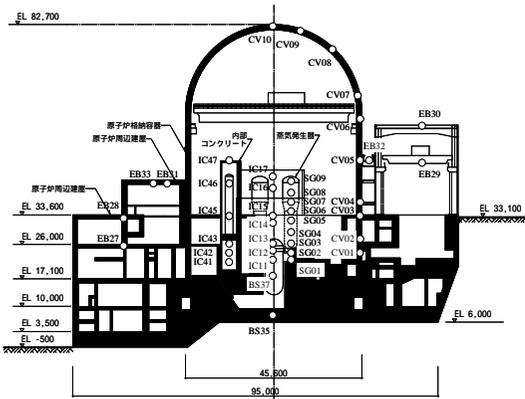
注: 1ループのみ
を表示



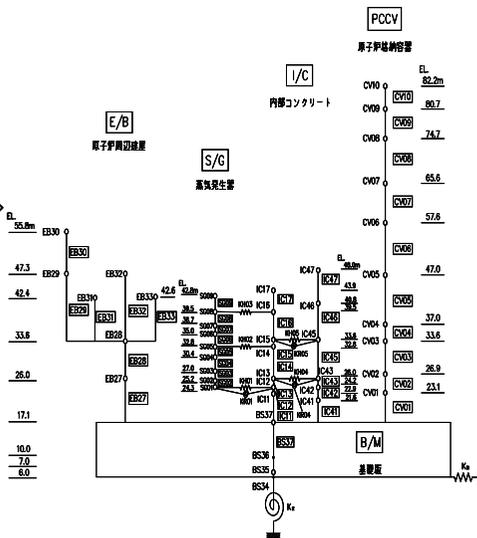
1次冷却設備のモデル



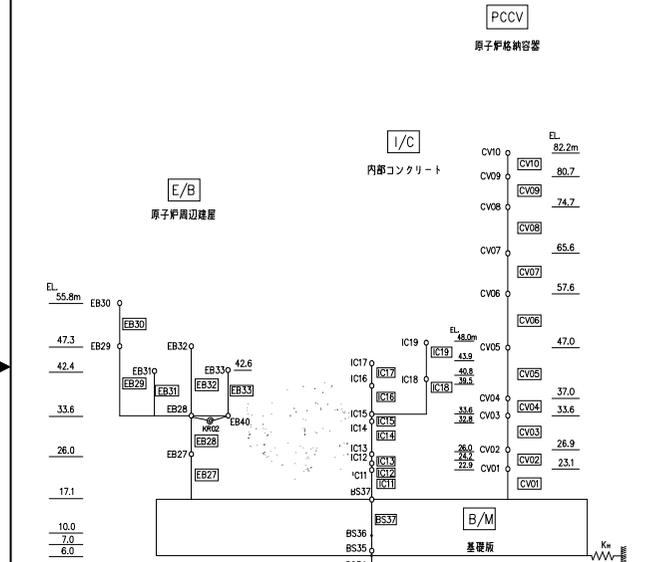
原子炉建屋の断面図



原子炉建屋のモデル



1次冷却設備の地震応答解析モデル

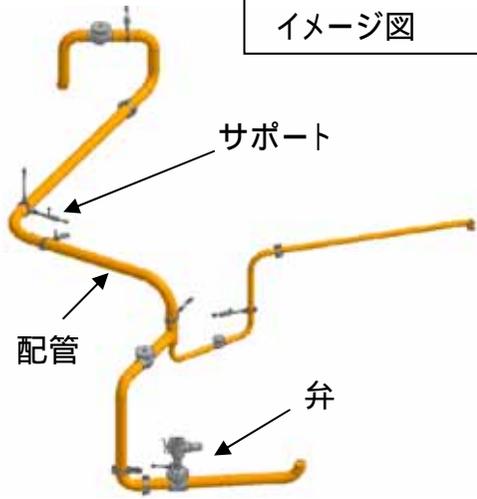


基準地震動を入力

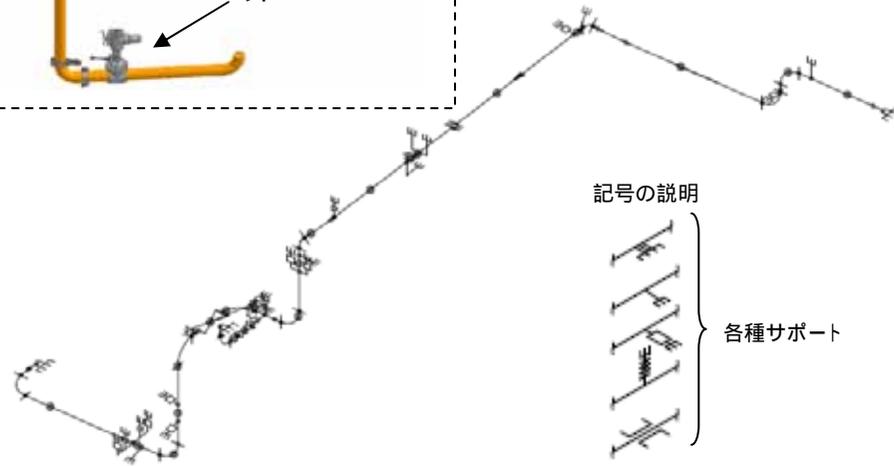
原子炉容器については、支持条件が固定と見なせるため、建屋への影響については、重量のみをモデルに考慮している。

余熱除去配管の解析モデル

イメージ図



左図は、下記解析モデルに対応したのではなく、配管系の構造を示すためのイメージ図です。



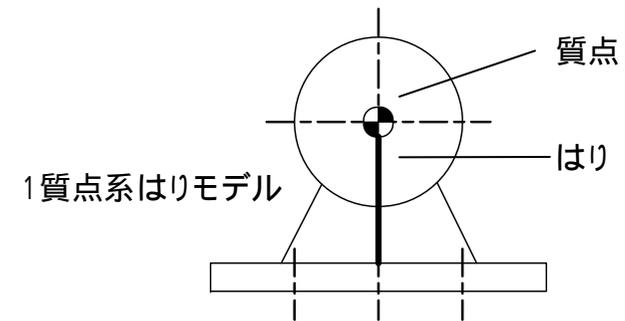
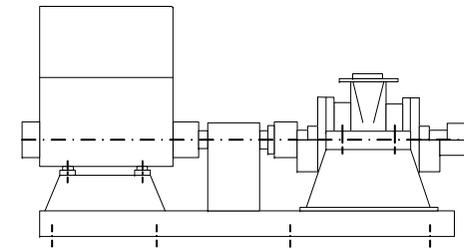
多質点系はりモデル

記号の説明



建屋応答地震動を各サポート点から配管系に入力

余熱除去ポンプの解析モデル



1質点系はりモデル

建屋応答地震動を入力

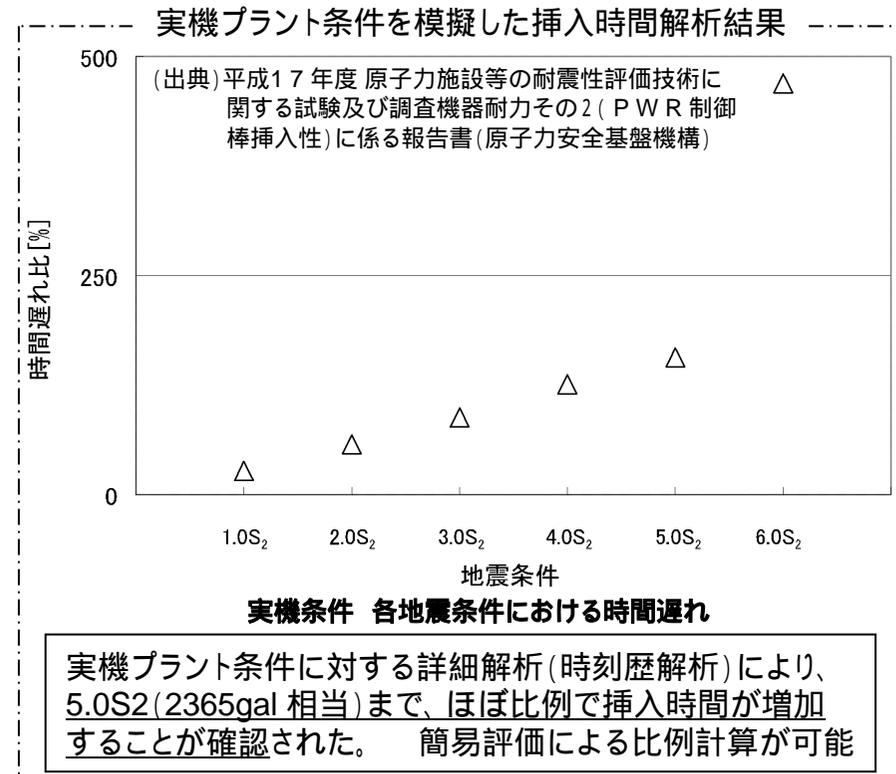
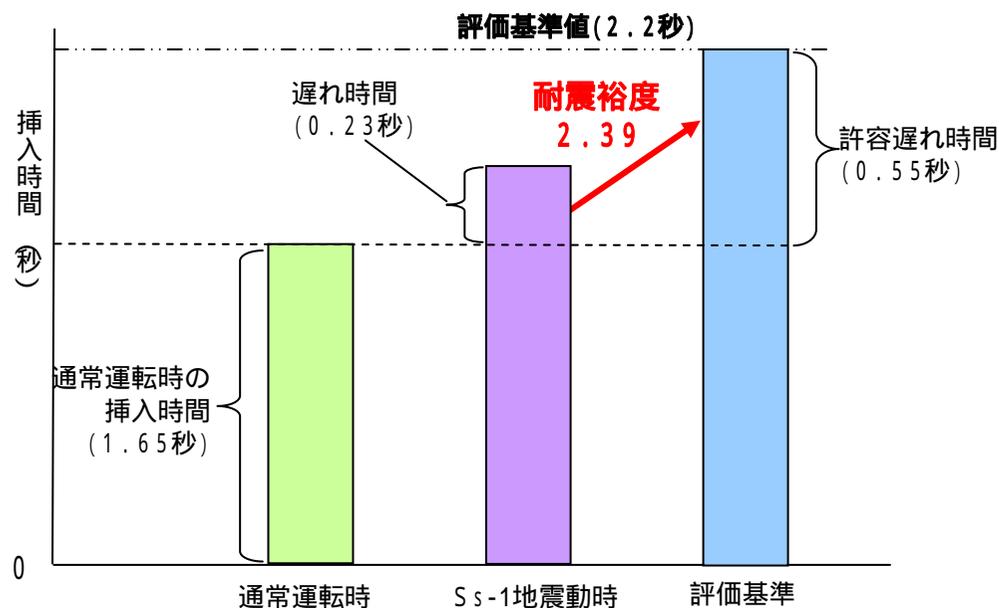
(参考3) FO - A ~ FO - B断層と熊川断層の連動を考慮した地震動に対する制御棒挿入性について

大飯3、4号機の基準地震動 S_{s-1} に対する制御棒挿入時間については、詳細解析結果より1.88秒と求まり、地震による遅れ時間は 1.88秒 - 1.65秒(通常時挿入時間) = 0.23秒 となる。

地震による遅れ時間0.23秒は、評価基準値2.2秒に対する許容遅れ時間0.55秒に対して、十分な耐震裕度2.39を有している。

$$\text{耐震裕度} = \frac{\text{許容遅れ時間}}{S_{s-1}\text{に対する遅れ時間}} = \frac{2.2\text{秒} - 1.65\text{秒}}{1.88\text{秒} - 1.65\text{秒}} = \frac{0.55\text{秒}}{0.23\text{秒}} = 2.39$$

一方、地震による遅れ時間は、地震動の増加に対し線形的に増加する傾向があるとの知見踏まえると、FO - A ~ FO - B断層と熊川断層の連動を仮定した地震動が基準地震動 S_{s-1} を部分的に超えていても、評価基準値2.2秒以内に制御棒は挿入できるものとする。



(参考4) 通常運転時における抗力と挿入距離の関係について

通常運転時について、下記運動方程式の抗力 F_f , F_m , F_u の寄与について検討する。

運動方程式
$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = M \cdot g - \{F_f + F_m + F_u\}$$

- M : 制御棒クラスタ質量
- x : 制御棒クラスタ挿入距離
- t : 制御棒クラスタ挿入時間
- g : 重力加速度
- F_f : 流体による抗力
- F_m : メカニカル抗力
- F_u : 浮力による抗力

・各抗力は実機制御棒挿入実験に基づき設定。
 ・また、この運動方程式を用いた評価手法は、多度津工学試験所の実証試験で検証されている。

通常運転時の挿入時間(1.65秒)に対する各抗力と挿入距離との関係を上図に示す。各抗力の寄与比は以下のとおり。

抗力の種類	寄与比	
	通常時	参考(Ss時)
F _f (流体による抗力)	3.9	3.4
F _m (メカニカル抗力)	5.7	5.2
F _u (浮力による抗力)	1.0	1.0
F _v (地震外力による抗力)	-	1.4

上図にて85%挿入位置までの各抗力の積分値を求め、Fuを1.0としたときの比率

注) 寄与比と遅れ時間との関係

- ・地震によりF_vが加わると、制御棒の落下速度が減少するため、速度に依存するF_fやF_mは抗力がその分減少するが、挿入時間が延長するため、F_f、F_m、F_uが作用する時間も増加する。
- ・F_f、F_m、F_uが作用する時間の増加により、各抗力の寄与比も地震で変化する。
- ・以上のとおり、地震と地震以外の寄与比と通常時の抗力による遅れ時間と地震による遅れ時間の比を単純に比較できない。

中図及び下図のとおり、自重と合計抗力とのバランスで制御棒の落下速度が決まり、初期は自重が優位で速度が上昇し、重力と合計抗力が釣りあうと等速度となる。85%挿入位置付近で、制御棒案内シンプルの絞り部の効果で減速し、その後全挿入となる。

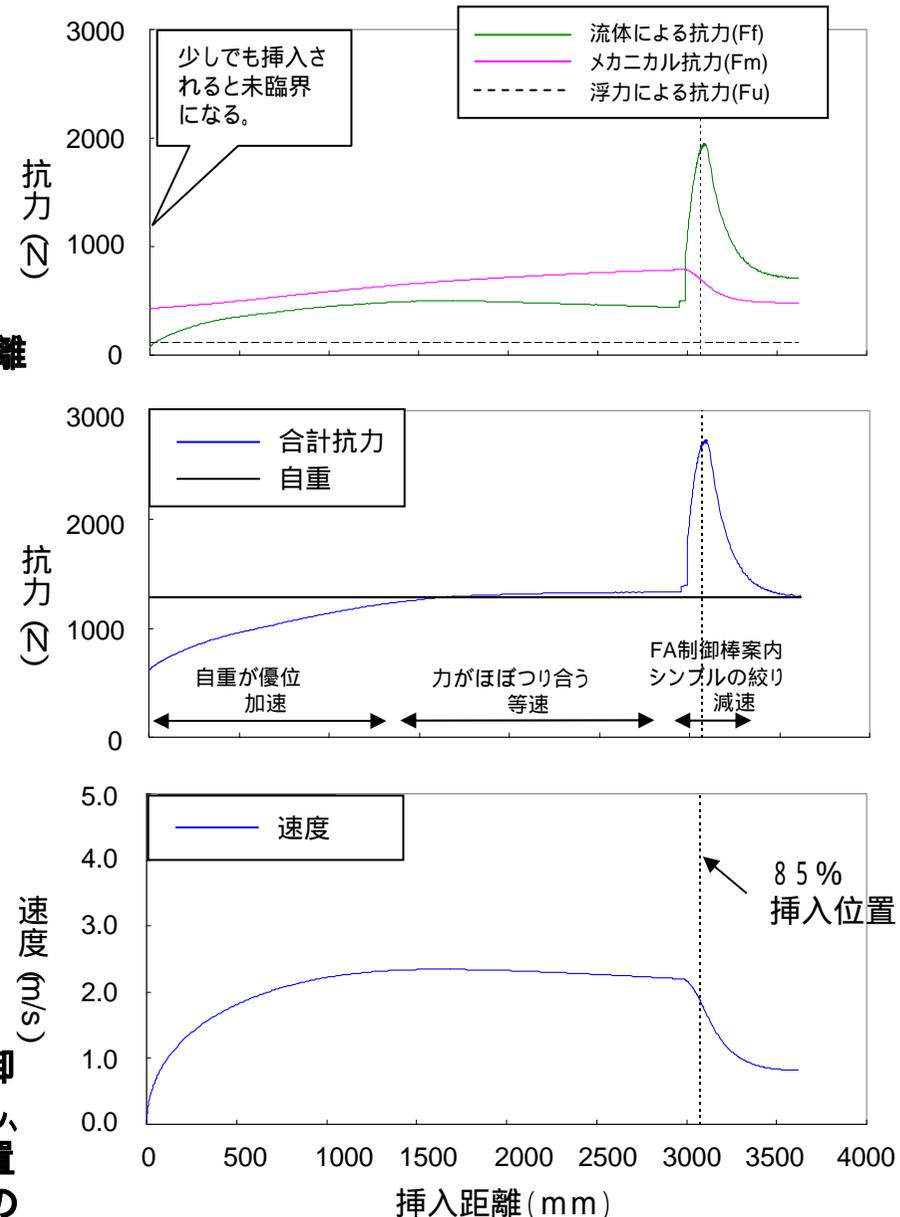
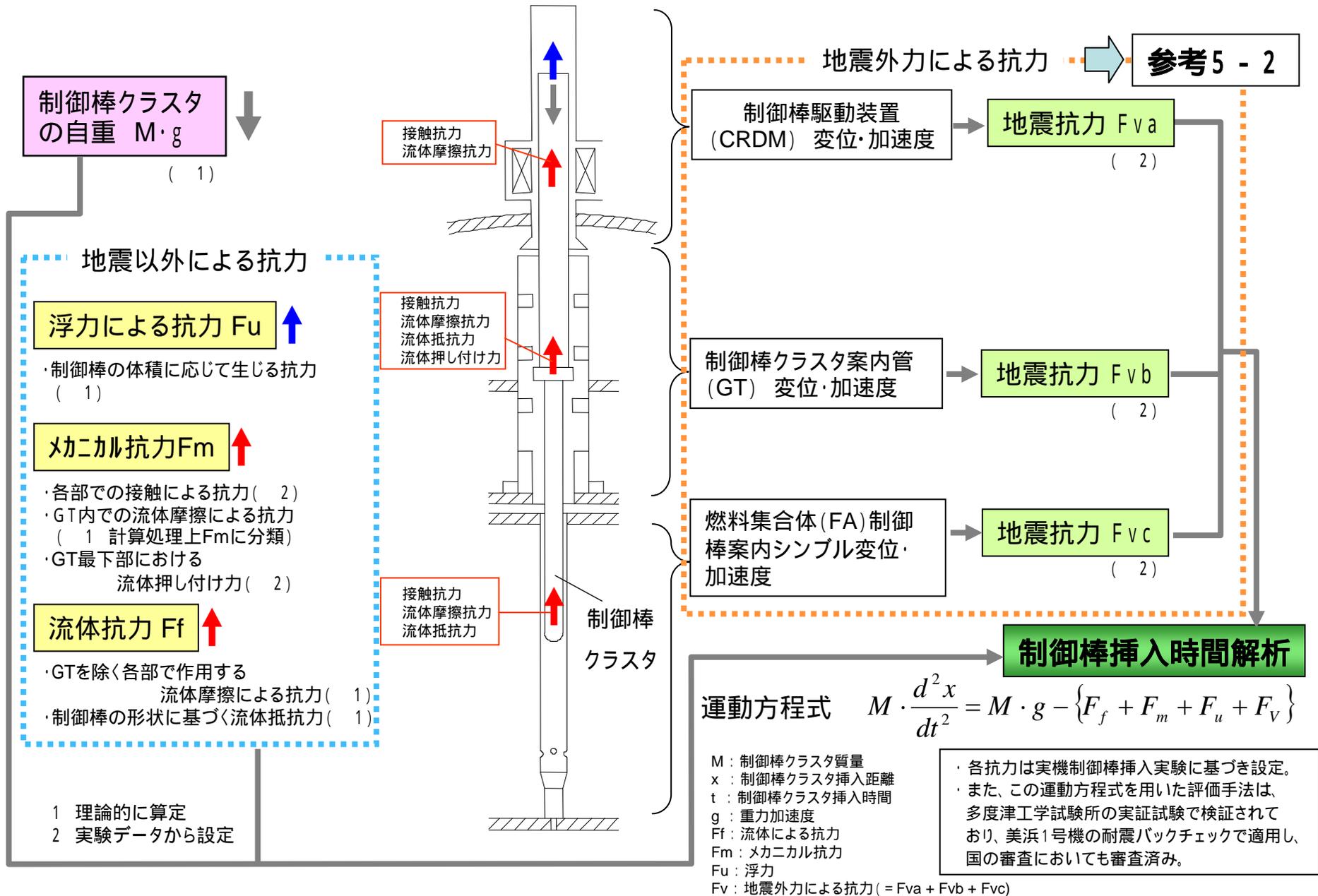


図 抗力と挿入距離、速度と挿入距離との関係

(参考5 - 1) 制御棒挿入性解析における抗力の設定方法



(参考5 - 2) 地震外力による抗力の設定手順

地震外力による抗力 = 変位抗力 + 加速度抗力

変位抗力 …… 挿入経路の曲がりにより制御棒と干渉する効果によるもの

加速度抗力 …… 挿入経路が振動することにより制御棒が挿入経路に押し付けられる効果によるもの

[設定手順]

挿入実験によるデータ取得

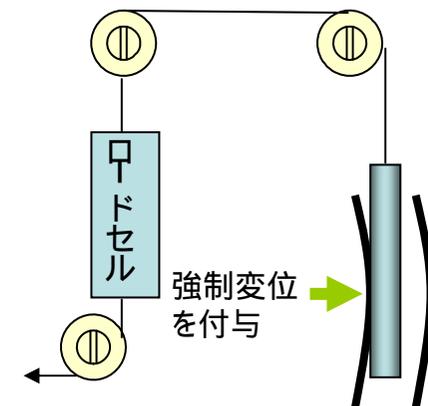
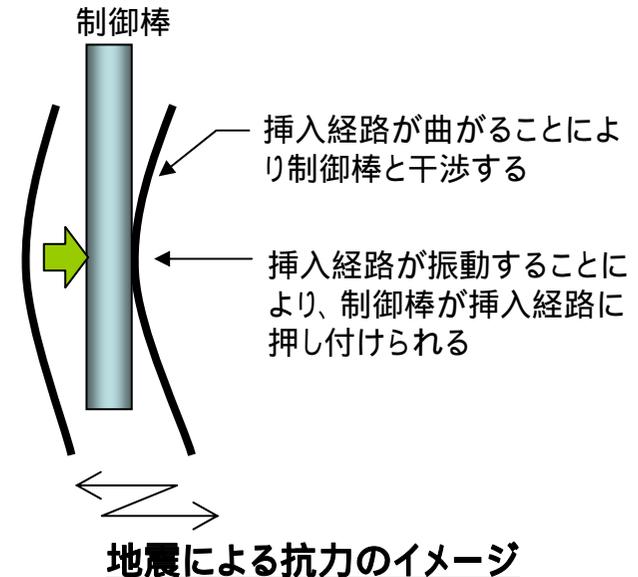
各挿入経路の固有振動数での正弦波加振条件で、制御棒落下試験により、落下時間および落下特性を取得

「変位抗力」の設定

- 挿入経路の各機器に静的に強制変位を与えた状態で制御棒を挿入し、抗力を測定すること(挿入抗力試験)により、変位 - 抗力の関係データを取得
- 試験結果を再現できることを確認した解析により、実機条件(温度等)での変位抗力と変位との関係を設定

「加速度抗力」の設定

変位抗力と組み合わせ、正弦波加振試験における制御棒挿入時間(で取得したデータ)を再現するような加速度抗力を設定。(変位抗力は最大値一定ではなく、正弦波振動における時間変化を考慮)



変位抗力測定実験イメージ

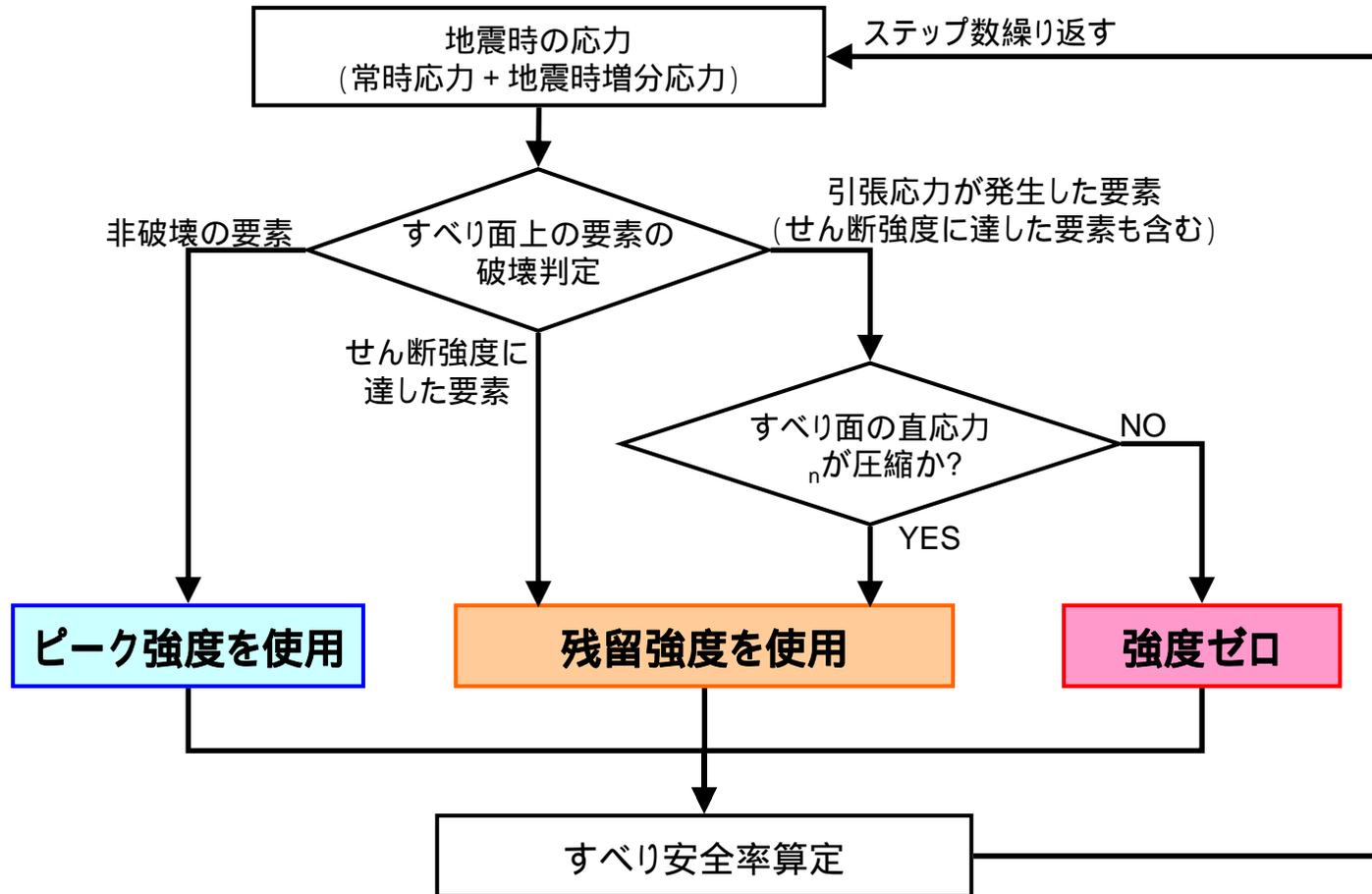
岩盤の物性値(強度特性)

		強度特性(平均値)			強度特性(地盤のばらつきを考慮)		
		せん断強度 (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	残留強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	残留強度 (N/mm ²)
輝緑岩	CH級	2.1	56.1	$2.6 \frac{0.65}{n}$	1.1	56.1	$2.2 \frac{0.65}{n}$
	CM級	1.4	38.9	$2.2 \frac{0.41}{n}$	0.88	38.9	$1.9 \frac{0.41}{n}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8 \frac{0.65}{n}$	0.13	35.1	$0.6 \frac{0.65}{n}$
	D級	0.07	17.4	$0.07 + \frac{0.65}{n} \cdot \tan 17.4^\circ$	0.05	17.4	$0.04 + \frac{0.65}{n} \cdot \tan 17.4^\circ$
班れい岩	CH級	2.1	56.1	$2.6 \frac{0.65}{n}$	1.1	56.1	$2.2 \frac{0.65}{n}$
	CM級	1.4	38.9	$2.2 \frac{0.41}{n}$	0.88	38.9	$1.9 \frac{0.41}{n}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8 \frac{0.65}{n}$	0.13	35.1	$0.6 \frac{0.65}{n}$
	D級	0.07	17.4	$0.07 + \frac{0.65}{n} \cdot \tan 17.4^\circ$	0.05	17.4	$0.04 + \frac{0.65}{n} \cdot \tan 17.4^\circ$
細粒石英 閃緑岩	CH級	2.1	60.3	$2.2 \frac{0.62}{n}$	1.2	60.3	$2.0 \frac{0.62}{n}$
	CM級	1.6	50.3	$2.2 \frac{0.58}{n}$	0.78	50.3	$1.9 \frac{0.58}{n}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8 \frac{0.65}{n}$	0.13	35.1	$0.6 \frac{0.65}{n}$
	D級	0.07	17.4	$0.07 + \frac{0.65}{n} \cdot \tan 17.4^\circ$	0.05	17.4	$0.04 + \frac{0.65}{n} \cdot \tan 17.4^\circ$
頁岩	CH級	2.1	60.3	$2.2 \frac{0.62}{n}$	1.2	60.3	$2.0 \frac{0.62}{n}$
	CM級	1.6	50.3	$2.2 \frac{0.58}{n}$	0.78	50.3	$1.9 \frac{0.58}{n}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8 \frac{0.65}{n}$	0.13	35.1	$0.6 \frac{0.65}{n}$
	D級	0.06	18.3	$0.06 + \frac{0.65}{n} \cdot \tan 18.3^\circ$	0.05	18.3	$0.04 + \frac{0.65}{n} \cdot \tan 18.3^\circ$
崖錐堆積物, 新期扇状地堆積物 および沖積層		0.02	26.7	$\frac{0.65}{n} \cdot \tan 26.7^\circ$	0.01	26.7	$\frac{0.65}{n} \cdot \tan 26.7^\circ$
段丘堆積物		0.03	25.0	$\frac{0.65}{n} \cdot \tan 25.0^\circ$	0.02	25.0	$\frac{0.65}{n} \cdot \tan 25.0^\circ$
盛土および埋め戻し土		0.09	18.2	$\frac{0.65}{n} \cdot \tan 18.2^\circ$	0.08	18.2	$\frac{0.65}{n} \cdot \tan 18.2^\circ$
破碎帯		0.08	19.5	$\frac{0.65}{n} \cdot \tan 19.5^\circ$	0.06	19.5	$\frac{0.65}{n} \cdot \tan 19.5^\circ$

$\frac{0.65}{n}$ (N/mm²) : すべり面に対して垂直に作用する応力

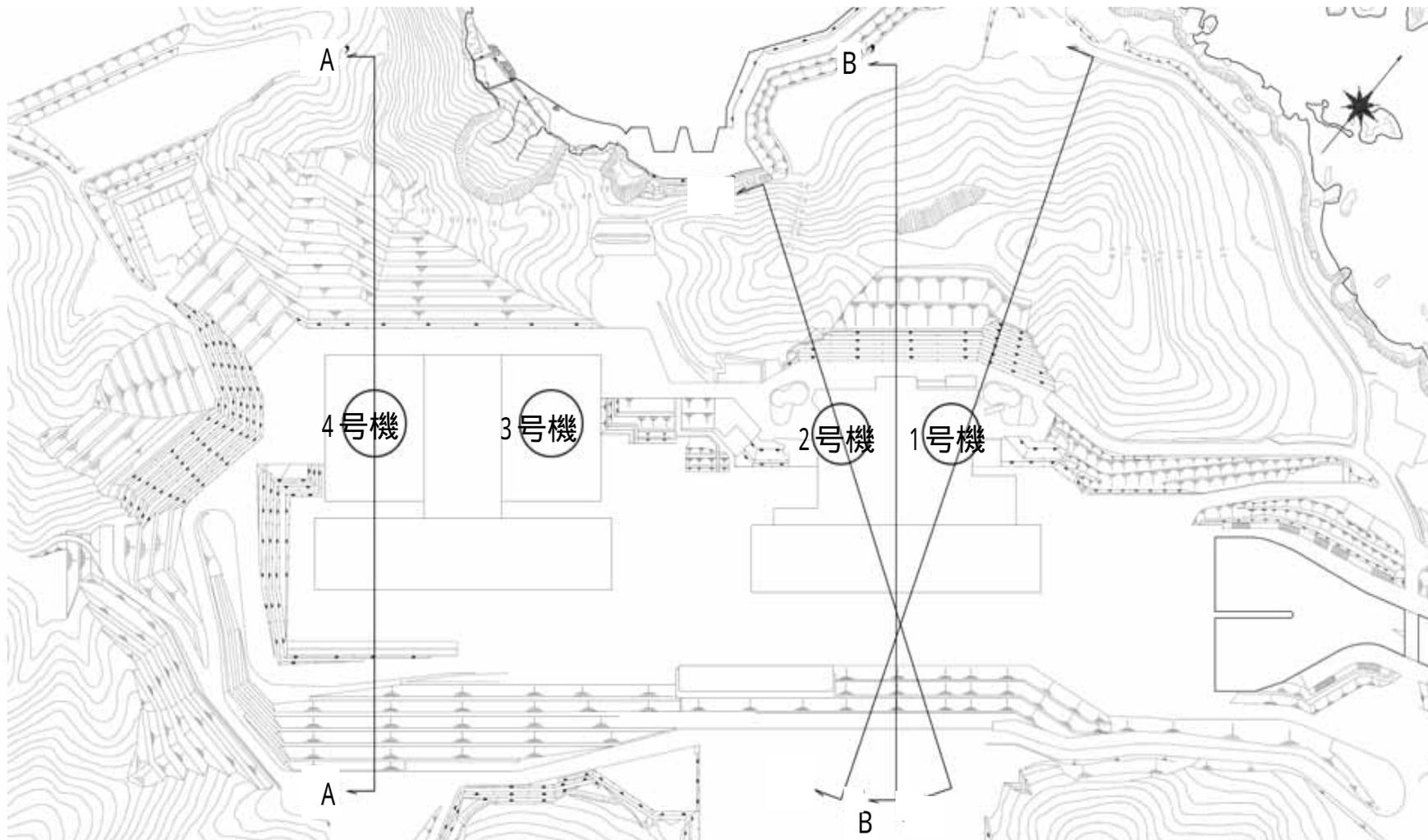
安全率算定フロー

5月14日地震・津波に関する意見聴取会資料より



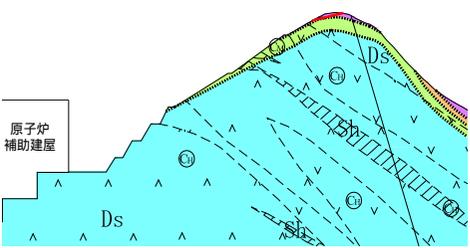
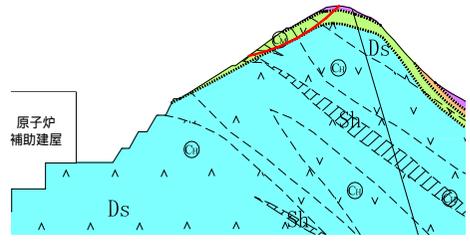
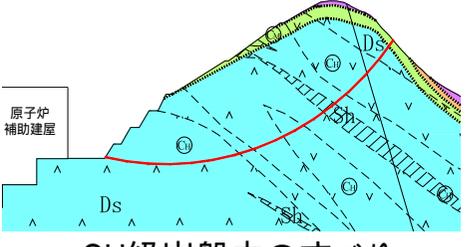
・要素の応力状態に応じて、ピーク強度、残留強度、強度ゼロを使い分けている。

検討断面位置図



評価結果すべり安全率一覧表(1)

1・2号機周辺斜面(B-B 断面)

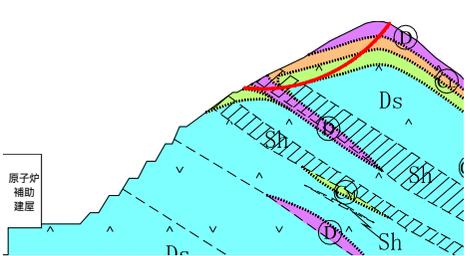
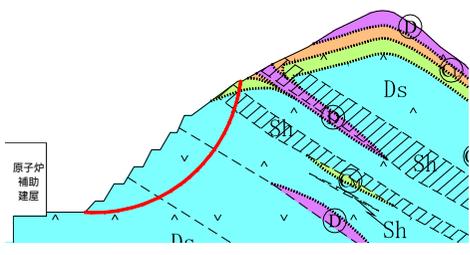
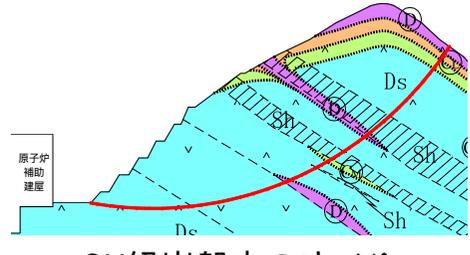
すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
1	 <p>D級岩盤内のすべり</p>	<p>8.7 (36.15秒)</p>	<p>11.0 (20.39秒)</p>	<p>9.9 (11.21秒)</p>
2	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	<p>10.6 (16.14秒)</p>	<p>18.3 (20.38秒)</p>	<p>15.6 (11.35秒)</p>
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	<p>5.5 (16.14秒)</p>	<p>7.9 (20.38秒)</p>	<p>7.0 (11.35秒)</p>

— : 想定すべり面
 ○ : すべり安全率の
 最小値
 ()内は発生時刻

すべり安全率はいずれも評価基準値1.2を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している

評価結果すべり安全率一覧表(2)

1・2号機周辺斜面(- 断面)

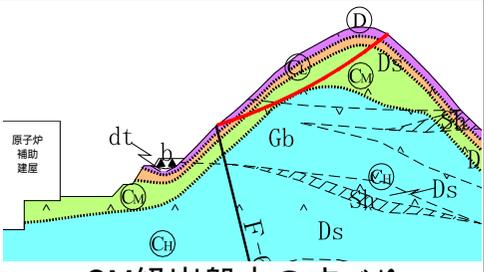
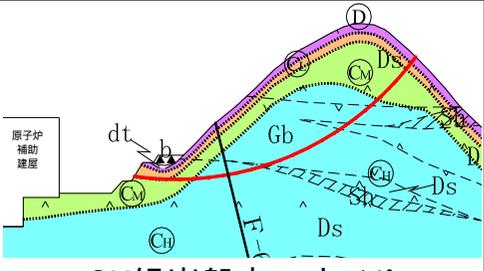
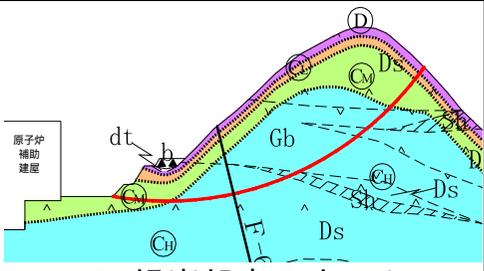
すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
1	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	4.7 (16.14秒)	7.9 (20.39秒)	6.3 (11.34秒)
2	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	6.5 (32.19秒)	15.0 (20.37秒)	14.0 (11.03秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	3.9 (16.13秒)	6.8 (20.37秒)	6.0 (10.85秒)

	: 想定すべり面
	: すべり安全率の 最小値
()	: 発生時刻

すべり安全率はいずれも評価基準値1.2を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している

評価結果すべり安全率一覧表(3)

1・2号機周辺斜面(- 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
1	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	<p>2.5</p> <p>(8.55秒)</p>	<p>7.2</p> <p>(20.39秒)</p>	<p>5.4</p> <p>(11.05秒)</p>
2	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	<p>3.4</p> <p>(21.43秒)</p>	<p>6.4</p> <p>(20.39秒)</p>	<p>4.8</p> <p>(10.82秒)</p>
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	<p>3.7</p> <p>(21.43秒)</p>	<p>6.5</p> <p>(20.38秒)</p>	<p>5.0</p> <p>(10.81秒)</p>

— : 想定すべり面

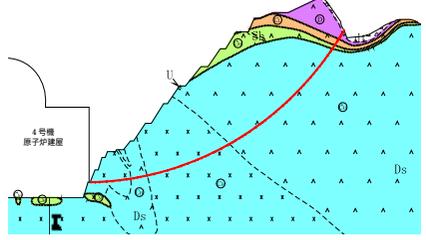
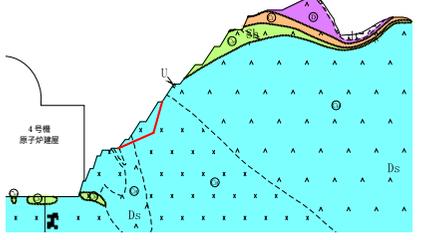
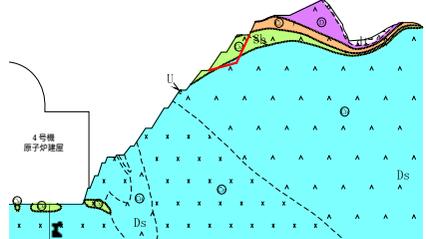
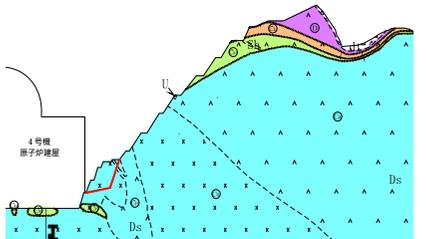
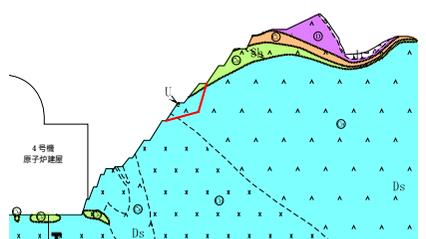
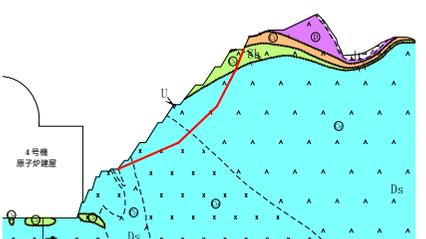
○ : すべり安全率の
最小値

()内は発生時刻

すべり安全率はいずれも評価基準値1.2を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している

評価結果すべり安全率一覧表(4)

3・4号機周辺斜面(A-A 断面)

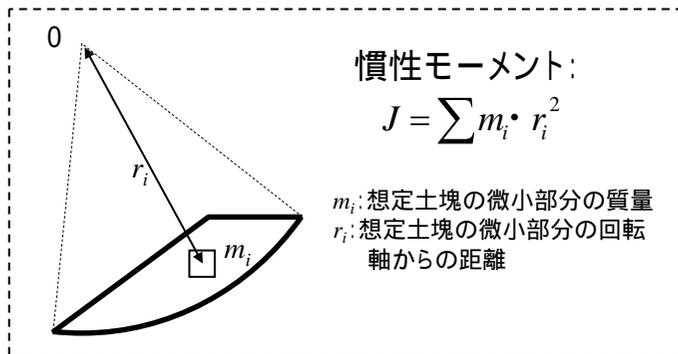
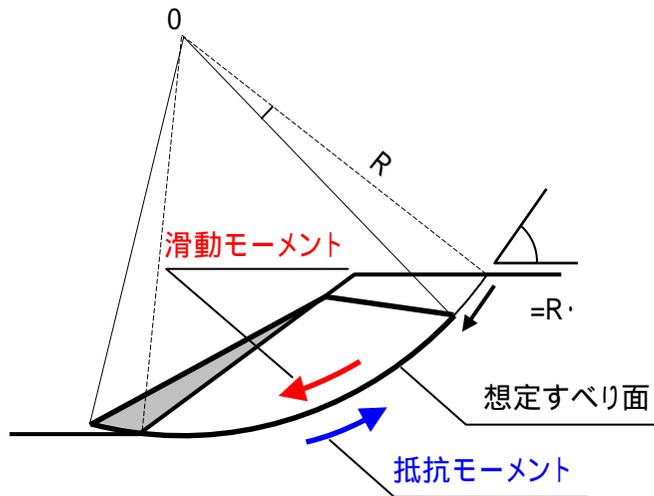
すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率			すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}			S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
1	 CH級岩盤内のすべり	4.0 (16.47秒)	6.1 (20.38秒)	5.6 (10.85秒)	4	 CH級岩盤内のすべり	7.2 (16.37秒)	19.2 (20.99秒)	18.4 (10.86秒)
2	 CM級岩盤内のすべり	11.2 (16.48秒)	15.7 (20.39秒)	14.7 (11.06秒)	5	 CH級岩盤内のすべり	12.0 (21.36秒)	21.8 (20.34秒)	18.5 (11.31秒)
3	 CH級岩盤内のすべり	12.5 (16.48秒)	18.7 (20.99秒)	17.6 (10.87秒)	6	 CH級岩盤内のすべり	6.8 (16.37秒)	10.4 (20.99秒)	9.6 (10.86秒)

すべり安全率はいずれも評価基準値1.2を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している

— : 想定すべり面 ○ : すべり安全率の最小値
()内は発生時刻

表層部の変位量の評価手法

地震時応答解析の応力結果を用いて、表層部の滑動力が抵抗力を上回る時間と、その時の角速度を求め、累計での滑動変位量を算出



$$\text{角加速度 } \ddot{\theta} = (M_D - M_R) / J$$

$$\text{角速度 } \dot{\theta}_{t+\Delta t} = \dot{\theta}_t + \frac{1}{2}(\ddot{\theta}_t + \ddot{\theta}_{t+\Delta t})\Delta t$$

$$\text{角変位 } \theta_{t+\Delta t} = \theta_t + \dot{\theta}_t\Delta t + \frac{1}{6}(2\ddot{\theta}_t + \ddot{\theta}_{t+\Delta t})\Delta t^2$$

$$\text{変位 } \delta = R \cdot \theta$$

: 回転角、 J : 慣性モーメント

M_D : 滑動モーメント = $F_D \times R$ 、 M_R : 抵抗モーメント = $F_R \times R$

F_D : 地震応答解析から求まるすべり面上の滑動力合計(時刻歴)

F_R : 地震応答解析から求まるすべり面上の抵抗力合計(時刻歴)

R : すべり円弧の半径

滑動モーメント 抵抗モーメント

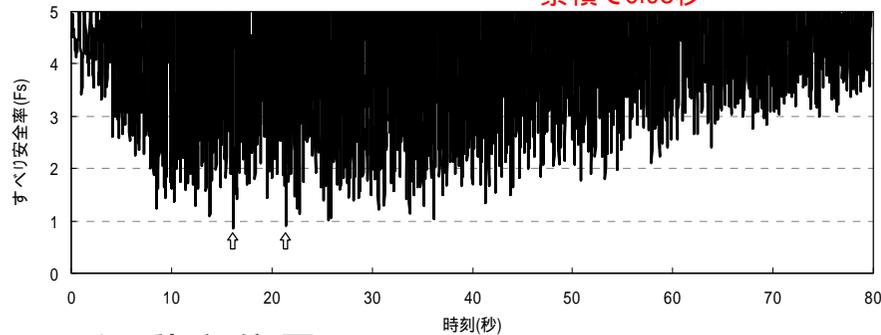
$M_D > M_R$ となった(角加速度 > 0)時刻、すなわち滑動力が抵抗力を上回る時刻から角速度0となる時刻まで変位計算

1・2号機周辺斜面表層部の検討結果

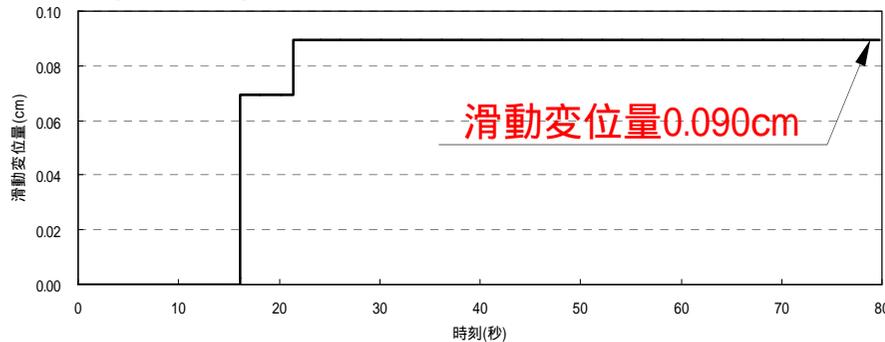
- 断面
(1号機側)

- ・ S_{S-1} 反転無し
- ・地盤のせん断強度 平均値-

すべり安全率時刻歴 ↑: 滑動力が抵抗力を上回る時間
累積で0.03秒



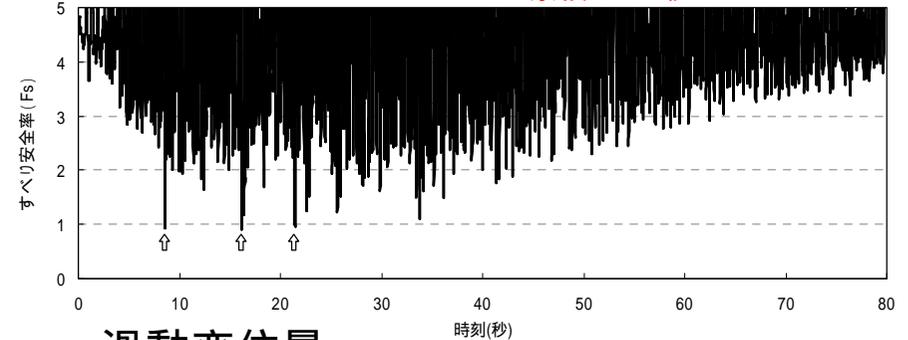
滑動変位置



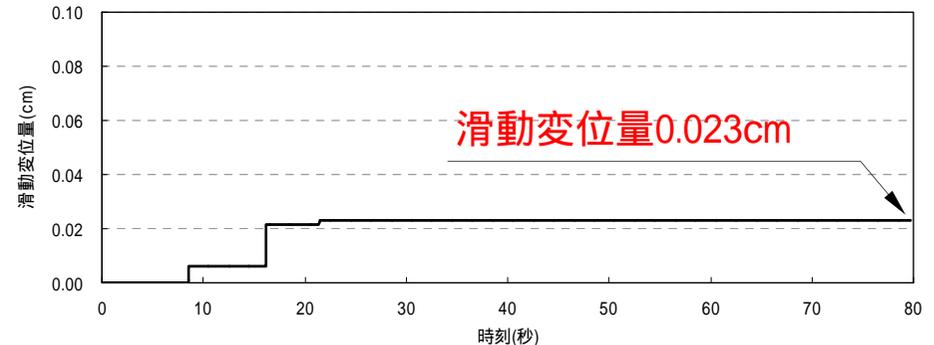
- 断面
(2号機側)

- ・ S_{S-1} 反転無し
- ・地盤のせん断強度 平均値-

すべり安全率時刻歴 ↑: 滑動力が抵抗力を上回る時間
累積で0.04秒



滑動変位置



- 断面: 表層部の変位置0.090cm (滑動力が抵抗力を上回る時間0.03秒)
- 断面: 表層部の変位置0.023cm (滑動力が抵抗力を上回る時間0.04秒)

変位置は極めて小さく、滑動力が抵抗力を上回る時間も極めて短いことから、
表層部が滑落し、施設の安全機能に重大な影響を与えることは無いものと考えられる

念のため、安全率が1を下回った時刻以降はすべて残留強度として滑動変位置を算出した結果でも滑動力が抵抗力を上回る時間は小さい

- 断面: 表層部の変位置0.11cm (滑動力が抵抗力を上回る時間0.05秒)
- 断面: 表層部の変位置2.50cm (滑動力が抵抗力を上回る時間0.39秒)