

No.	高浜1－耐震－7 Rev.3	事象：耐震												
質 問	<p>工事計画認可審査の内容を踏まえた高経年化技術評価の見直しがある場合、以下の事項について、見直し前後の相違点を整理し提示すること。</p> <p>イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係 ロ) 評価条件・手法 ハ) 評価結果</p>													
回 答	<p>工事計画認可申請の審査の内容を踏まえて、高経年化技術評価における耐震安全性評価の見直しを行うものは、以下のとおり。</p> <p>1. 制御棒挿入性評価</p> <p>高浜1号機の新規制基準への適合に係る工事計画認可申請側で評価手法を見直した再評価を行っており、劣化事象を考慮した耐震安全性評価においても、これに合わせた評価手法として、評価の見直しを行う。</p> <p>イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係</p> <p>① 制御棒クラス案内管（案内板）の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価 ② 制御棒被覆管の摩耗を考慮した制御棒挿入性評価 ③ バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した制御棒挿入性評価</p> <p>※①、②については、案内板及び被覆管の摩耗を重畳させた評価を実施</p> <p>ロ) 評価条件・手法（相違点比較）</p> <table border="1" data-bbox="400 1305 1428 1980"> <thead> <tr> <th></th> <th>現評価（H27.11 補正申請）</th> <th>工認に合せた評価手法反映</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価条件</td> <td>燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7</td> <td>燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7</td> </tr> <tr> <td>解析モデル</td> <td>建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%</td> <td>建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：<u>1%</u></td> </tr> <tr> <td>評価手法</td> <td> 《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 </td> <td> 《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：<u>スペクトルモーダル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：<u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管：<u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法 </td> </tr> </tbody> </table>			現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映	評価条件	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>	評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置： <u>スペクトルモーダル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置： <u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管： <u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法
	現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映												
評価条件	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 （照射影響の考慮有り） Ss-1(700gal)～Ss-7												
解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>												
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法	《挿入経路機器の応答解析》 ・制御棒駆動装置： <u>スペクトルモーダル解析</u> ・制御棒クラス案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 ・制御棒駆動装置： <u>最大抗力一定</u> ・制御棒クラス案内管： <u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法												

ハ) 評価結果

		挿入時間*1		規定時間
		現評価 (H27.11 補正申請)	工認手法反映	
評価 条件	評価地震動	Ss-1~Ss-7 [-----]	Ss-1~Ss-7 [-----]	1.8 秒
	照射条件	照射後条件	照射後条件	
地震時挿入時間		1.43	[-----]	
制御棒クラスター案内管（案内板）及び被覆管の摩耗を考慮した地震時挿入時間		1.45	[-----]	
バップルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した地震時挿入時間		1.45	[-----]	

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：挿入時間の下段のカッコ内は評価地震動を示す。

2. 炉内構造物等の耐震安全性評価

工事計画認可申請側の評価を踏まえ、燃料集合体の減衰定数を10%から1%へ変更することに伴い、原子炉容器－炉内構造物の連成モデルによる評価を行っている以下の評価について、応力評価及び疲労累積係数の評価の見直しを行う。

イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係

No.	評価対象機器（部位）	経年劣化事象
①	原子炉容器（炉心支持金物）	低サイクル疲労
②	原子炉容器（胴部）	中性子照射脆化
③	炉内構造物（上部炉心支持板、上部炉心支持柱、下部炉心支持板、下部炉心支持柱）	低サイクル疲労
④	炉内構造物（下部炉心支持柱）	熱時効
⑤	炉内構造物（シンプルチューブ）	摩耗
⑥	炉内構造物（炉心そう）	中性子照射による靱性低下
⑦	制御棒クラスター（被覆管）	摩耗

ロ) 評価条件・手法（相違点比較）

	現評価（H27.11 補正申請）	工認に合せた評価手法反映
評価条件	Ss-1(700gal)~Ss-7	Ss-1(700gal)~Ss-7
解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ハ) 評価結果：



① 原子炉容器（炉心支持金物）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
FA 減衰率：10%での評価結果 	0.009	0.001	0.010
FA 減衰率：1%での評価結果 	0.009	0.001	0.010

②-1 原子炉容器（胴部）の中性子照射脆化を考慮した影響評価（関連温度上昇）

	応力拡大係数	
	き裂深さ 10mm	き裂深さ 5mm
FA 減衰率：10%での評価結果 	$K_{IC} > K_I$	$K_{IC} > K_I$
FA 減衰率：1%での評価結果 	$K_{IC} > K_I$	$K_{IC} > K_I$

②-2 原子炉容器（胴部）の中性子照射脆化を考慮した影響評価（上部棚評価）

	弾塑性破壊力学評価
FA 減衰率：10%での評価結果 	<ul style="list-style-type: none"> • $J_{app} < J_{mat}$ (at $\Delta a = 2.5\text{mm}$) (き裂は進展しない) • J_{app} 曲線と J_{mat} 曲線の交点で J_{app} 曲線の勾配 $<$ J_{mat} 曲線の勾配 (想定欠陥は不安定成長しない)
FA 減衰率：1%での評価結果 	<ul style="list-style-type: none"> • $J_{app} < J_{mat}$ (at $\Delta a = 2.5\text{mm}$) (き裂は進展しない) • J_{app} 曲線と J_{mat} 曲線の交点で J_{app} 曲線の勾配 $<$ J_{mat} 曲線の勾配 (想定欠陥は不安定成長しない)

③ 炉内構造物（上部炉心支持板、上部炉心支持柱、下部炉心支持板、下部炉心支持柱）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

		疲労累積係数（許容値 1 以下）		
		通常運転時	地震時	合計
FA 減衰率 10%での評 価結果	上部炉心支持板	0.181	0.000	0.181
	上部炉心支持柱	0.030	0.001	0.031
	下部炉心支持板	0.017	0.027	0.044
	下部炉心支持柱	0.001	0.006	0.007
FA 減衰率 1%での評 価結果	上部炉心支持板	0.181	0.000	0.181
	上部炉心支持柱	0.030	0.001	0.031
	下部炉心支持板	0.017	0.027	0.044
	下部炉心支持柱	0.001	0.007	0.008

④ 炉内構造物（下部炉心支持柱）の熱時効を考慮した影響評価

	発生応力
FA 減衰率：10%での評価結果	MCPの包絡条件確認 MCP(208MPa) > 下部炉心支持柱(133MPa)
FA 減衰率：1%での評価結果	MCPの包絡条件確認 MCP(208MPa) > 下部炉心支持柱(140MPa)

⑤ 炉内構造物（シンプルチューブ）の摩耗を考慮した影響評価

	発生応力（1次膜+1次曲げ）		
	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果			0.02
FA 減衰率：1%での評価結果			0.02

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

⑥ 炉内構造物（炉心そう）の中性子照射による靱性低下を考慮した影響評価

	応力拡大係数		
	発生値 (MPa√m)	許容値 (MPa√m)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果	7.4	51	0.15
FA 減衰率：1%での評価結果	7.4	51	0.15

⑦ 制御棒クラスタ（被覆管）の摩耗を考慮した影響評価

	発生応力（1次膜+1次曲げ）		
	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
FA 減衰率：10%での評価結果			0.48
FA 減衰率：1%での評価結果			0.48

3. 工事計画を踏まえ、影響評価を行うもの

工事計画において、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組合せた耐震計算に対して、設備の構造特性等により水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位を抽出し、影響評価を行った結果、耐震性に影響がなく従来の設計手法で対応可能であることが確認されているが、高経年化技術評価の耐震安全性評価においても、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認した。

イ) 評価対象の機器・構造物と経年劣化事象の関係

No.	評価対象機器（部位）	経年劣化事象
①	蒸気発生器（給水入口管台）	低サイクル疲労
②	1次冷却材ポンプ（支持脚）	低サイクル疲労
③	炉心支持構造物（下部炉心支持柱）	低サイクル疲労、熱時効
④	燃料取替用水タンク（基礎ボルト）	腐食（大気接触部）

ロ) 評価条件・手法

高経年化評価対象設備のうち、工事計画において設備の構造特性等から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があり、水平2方向+鉛直方向地震力の影響評価が行われた部位であって、耐震評価に影響する劣化事象が想定される部位について、影響評価を行った。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ハ) 評価結果

① 蒸気発生器（給水入口管台）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.235	0.008	0.243
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.235	0.024	0.259

② 1 次冷却材ポンプ（支持脚）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.235	0.001	0.236
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.235	0.001	0.236

③-1 炉心支持構造物（下部炉心支持柱）の低サイクル疲労を考慮した影響評価

	疲労累積係数（許容値 1 以下）		
	通常運転時	地震時	合計
水平 1 方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果	0.001	0.007	0.008
水平 2 方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果	0.001	0.031	0.032

※FA 減衰率 1%を考慮した再評価結果

③-2 炉心支持構造物（下部炉心支持柱）の熱時効を考慮した影響評価

	発生応力
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 [Redacted]	MCPの包絡条件確認 MCP(208MPa)*1>下部炉心支持柱(140MPa)*2
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 [Redacted]	MCPの包絡条件確認 MCP(208MPa)*1>下部炉心支持柱 [Redacted]*2

*1：水平1方向+鉛直方向地震動を考慮した評価結果

*2：FA減衰率1%を考慮した再評価結果

④-1 燃料取替用水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した影響評価【引張荷重*1】

	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 [Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.70
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 [Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.92

*1：せん断荷重との組合せを考慮した評価

④-2 燃料取替用水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した影響評価【せん断荷重】

	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
水平1方向+鉛直方向地震動 を考慮した評価結果 [Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.42
水平2方向+鉛直方向地震動 を考慮した影響評価結果 [Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.60

以上

[Redacted] 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

No.	高浜1-耐震-18 Rev.2	事象：耐震
質問	<p>(別冊-16耐震-3.7炉内構造物-3.7.15, 16頁) バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価の具体的内容(評価仕様、解析モデル、入力条件(変位、加速度、抗力)等)について、評価結果を含む)を提示すること。</p>	
回答	<p>以下のとおり評価の具体的内容を示します。 なお、本評価については、別紙のとおり、工認に合せた評価手法を反映し再評価を行いました。</p> <p>1. ボルト損傷本数と想定箇所 技術評価において、原子力安全基盤機構「照射誘起型応力腐食割れ(IASCC)評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数(全体の20%)以下との結果が得られていますが、本耐震安全性評価では、図1に示すとおり2~7段全てのバッフルフォーマボルト(全バッフルフォーマボルト□□本のうち、□□本の損傷を想定)が損傷したと仮定しました。</p> <div data-bbox="582 1120 1220 1780" data-label="Diagram"> </div> <p>図1 バッフルフォーマボルト損傷想定箇所</p> <p>【評価対象部位】 他のバッフル板で端が支持されていない③、⑤のバッフル板(地震荷重を全てボルトで受けるため厳しい)のうち、幅が大きくボルト1本あたりの地震荷重が最も大きくなる「バッフル板③」のボルトを評価対象としました。</p>	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 解析モデル及び諸元

(1) 地震応力

バッフルフォーマボルトが受ける地震荷重は、図1に記載のバッフル板③をはり要素でモデル化し、これを組込んだ炉内構造物耐震評価モデル(図2)を用いて、スペクトルモーダル法によるSs地震時の応答解析を実施し算出しました。なお、本モデルにおける燃料集合体の減衰定数は従来より1%を採用しており、また入力荷重についても変更はないことから、評価の見直しは実施していません。

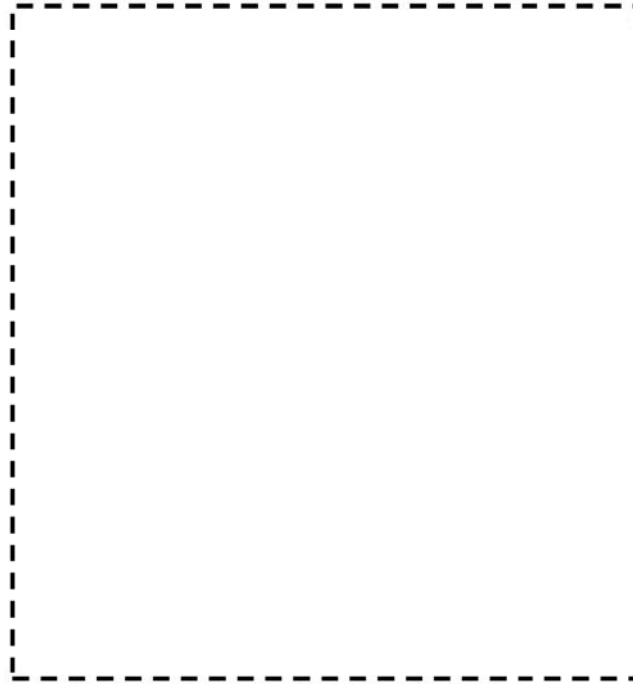


図2 炉内構造物耐震評価モデル

(2) 機械的荷重による応力

機械的荷重として、運転時の差圧によるバッフル板荷重を考慮しました。評価には最大差圧 1.2 kg/cm^2 を用い、最上段及び最下段のそれぞれ4本のボルトが受ける荷重は、図3に示す斜線部面積に作用する荷重としました。

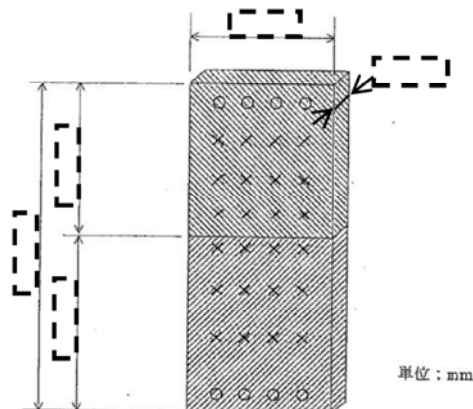


図3 バッフルフォーマボルト応力評価モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(3)許容応力

許容応力については、炉内構造物の許容応力の $D_s (IV_{AS})$ の規定を適用しました。

表1 炉内構造物の許容応力

	一次応力強さ(一般膜応力)
$D_s (IV_{AS})$	$\text{Min}(2.4S_m, 2/3S_u)$
材料	
温度	

3. 評価内容

(1)地震応力

算出された、最上段及び最下段のボルト1本あたりに作用する地震荷重をもとに、地震応力を算出しました。

ボルト1本に作用する地震荷重(軸力):

〔 〕 (最上段)

〔 〕 (最下段)

ボルトシャンク径:

〔 〕

ボルトの地震応力(軸方向応力):

〔 〕 (最上段)

〔 〕 (最下段)

(2)機械的荷重による応力

ボルト1本に作用する差圧荷重(軸力):

〔 〕 (最上段)

〔 〕 (最下段)

ボルトの機械的荷重による応力(軸方向応力):

〔 〕

(3)地震時の応力(合計)

地震時のバップルフォーマボルトの応力は以下の通りです。

〔 〕 (最上段)

〔 〕 (最下段)

〔 〕 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 評価結果

ハッフルフォーマボルトの地震時における応力評価結果を表2に示します。発生応力は許容応力を超えることはなく、耐震安全上問題がないことを確認しました。なお、発生応力は大きい方の最下段の評価結果を採用しました。

表2 高浜1号炉

ハッフルフォーマボルトの照射誘起応力腐食割れに対する耐震安全性評価結果

評価部位	地震時の発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
ハッフルフォーマボルト (最下段)			0.15

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

5. 制御棒挿入性評価

バッフルフォーマボルトの照射誘起応力腐食割れに対する評価として実施する、制御棒挿入時間評価の内容は以下のとおりです。

(1) 評価仕様

制御棒挿入時間評価は、制御棒クラスタが自重で落下する時に受ける各種の抗力を考慮し、下記の運動方程式を解くことで、最終的に制御棒クラスタの挿入距離と挿入時間を求めるものです。地震時の挿入時間の算出においては、制御棒挿入経路機器である制御棒駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体（制御棒案内シンプル）の地震応答に対応する制御棒挿入抗力を考慮し、挿入時間を算出します。

バッフルフォーマボルトの照射誘起応力腐食割れに対する評価として実施する制御棒挿入時間評価では、燃料集合体の応答解析において、バッフルフォーマボルトの損傷を仮定した燃料集合体群振動解析モデルにより算出される応答を用いて挿入時間を算出することで、バッフルフォーマボルト損傷の影響を評価しています。

なお、地震応答に対応する制御棒挿入抗力は各機器に対する静的抗力測定試験や正弦波加振下での制御棒落下試験結果を基に、機器の応答変位や応答加速度に対応する抗力データを取得しています。

制御棒挿入時間解析においては、機器の時刻歴応答解析結果とこれらの抗力データから、解析の各タイムステップにおいて地震外力による抗力を求め、運動方程式に反映し、挿入時間を求めています。

添付-1に制御棒挿入時間評価の全体の流れ、制御棒挿入時間評価において考慮する各種抗力、及び制御棒挿入時間解析における抗力の取り扱いを示します。

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = M \cdot g - (F_f + F_v + F_m + F_u)$$

ここで、

M	:	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 _v	:	地震外力による抗力
F _m	:	メカニカル抗力
F _u	:	浮 力

(2) 入力条件

①ボルト損傷本数と想定箇所

技術評価において、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数(全体の20%)以下との結果が得られていますが、本耐震安全性評価では、図1に示すとおり2~7段全てのバップルフォーマボルト(全バップルフォーマボルト \square 本のうち、 \square 本の損傷を想定)が損傷したと仮定しました。(「1. ボルト損傷本数と想定箇所」と同じ)

②挿入経路機器の地震応答

制御棒挿入時間評価の入力となる地震時の制御棒挿入経路機器の最大応答変位を表3に示します。これらの機器応答に対応する地震時の制御棒挿入抗力を求め、挿入時間を算出します。

表3 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒 駆動装置	制御棒クラス 案内管	燃料集合体 (制御棒案内シンプル)

(3) 評価結果

制御棒挿入時間の評価結果を表4に示します。バップルフォーマボルトの損傷を考慮した場合も、挿入時間は規定時間を満足しており、耐震安全上問題がないことを確認しました。

表4 制御棒クラス挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラス挿入時間*1	規定時間*2
通常運転時	1.31	1.8
地震時 (バップルフォーマボルトの損傷を考慮)		

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：設置許可申請書 添付10の値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(4) 補足 (バッフルフォーマボルト損傷を考慮しない場合)

①地震時 制御棒挿入経路機器応答

表5 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒クラスタ 駆動装置	制御棒クラスタ 案内管	燃料集合体 制御棒案内シンプル

②評価結果

表6 制御棒クラスタ挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
地震時挿入時間		1.8

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：設置許可申請書 添付10の値

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

6. 制御棒挿入性評価（見直し前の評価）

参考として、見直し前の制御棒挿入性の評価結果を以下に示します。なお、バップルフォーマボルトの地震時における応力評価結果はFA減衰定数の変更に伴う影響はありません。

(1) 評価仕様

制御棒挿入時間評価は、制御棒クラスタが自重で落下する時に受ける各種の抗力を考慮し、下記の運動方程式を解くことで、最終的に制御棒クラスタの挿入距離と挿入時間を求めるものです。地震時の挿入時間の算出においては、制御棒挿入経路機器である制御棒駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体（制御棒案内シンプル）の地震応答に対応する制御棒挿入抗力を考慮し、挿入時間を算出します。

バップルフォーマボルトの照射誘起応力腐食割れに対する評価として実施する制御棒挿入時間評価では、燃料集合体の応答解析において、バップルフォーマボルトの損傷を仮定した燃料集合体群振動解析モデルにより算出される応答を用いて挿入時間を算出することで、バップルフォーマボルト損傷の影響を評価しています。

なお、地震応答に対応する制御棒挿入抗力は各機器に対する静的抗力測定試験や正弦波加振下での制御棒落下試験結果を基に、機器の応答変位や応答加速度に対応する抗力データを取得しています。

制御棒挿入時間解析においては、機器の時刻歴応答解析結果とこれらの抗力データから、解析の各タイムステップにおいて地震外力による抗力を求め、運動方程式に反映し、挿入時間を求めています。

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = M \cdot g - (F_f + F_v + F_m + F_u)$$

ここで、

M	:	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 _v	:	地震外力による抗力
F _m	:	メカニカル抗力
F _u	:	浮力

(2) 入力条件

①ボルト損傷本数と想定箇所

技術評価において、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数(全体の20%)以下との結果が得られていますが、本耐震安全性評価では、図1に示すとおり2~7段全てのバップルフォーマボルト(全バップルフォーマボルト \square 本のうち、 \square 本の損傷を想定)が損傷したと仮定しました。(「1. ボルト損傷本数と想定箇所」と同じ)

②挿入経路機器の地震応答

制御棒挿入時間評価の入力となる地震時の制御棒挿入経路機器の最大応答変位を表7に示します。これらの機器応答に対応する地震時の制御棒挿入抗力を求め、挿入時間を算出します。

表7 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒 駆動装置	制御棒クラス 案内管	燃料集合体 (制御棒案内シンプル)

(3) 評価結果

制御棒挿入時間の評価結果を表8に示します。バップルフォーマボルトの損傷を考慮した場合も、挿入時間は規定時間を満足しており、耐震安全上問題がないことを確認しました。

表8 制御棒クラス挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラス挿入時間*1	規定時間*2
通常運転時	1.31	1.8
地震時 (バップルフォーマボルトの損傷を考慮)	1.45	

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：設置許可申請書 添付10の値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(4) 補足 (バッフルフォーマボルト損傷を考慮しない場合)

①地震時 制御棒挿入経路機器応答

表9 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒クラスタ 駆動装置	制御棒クラスタ 案内管	燃料集合体 制御棒案内シンプル

②評価結果

表10 制御棒クラスタ挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
地震時挿入時間	1.43	1.8

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：設置許可申請書 添付10の値

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

制御棒挿入性評価について

制御棒挿入性の評価については、新規制基準への適合に係る工認側で評価手法を見直した再評価を実施したため、これに合わせた評価手法により評価の見直しを行った。

	現評価 (H27.11補正申請)	工認に合せた評価手法反映
評価条件	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(700gal)～Ss-7
解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA連成モデル FA減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA連成モデル FA減衰率： <u>1%</u>
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 	《挿入経路機器の応答解析》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：<u>スペクトルモーダル解析</u> ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：<u>最大抗力一定</u> ・制御棒クランク案内管：<u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法

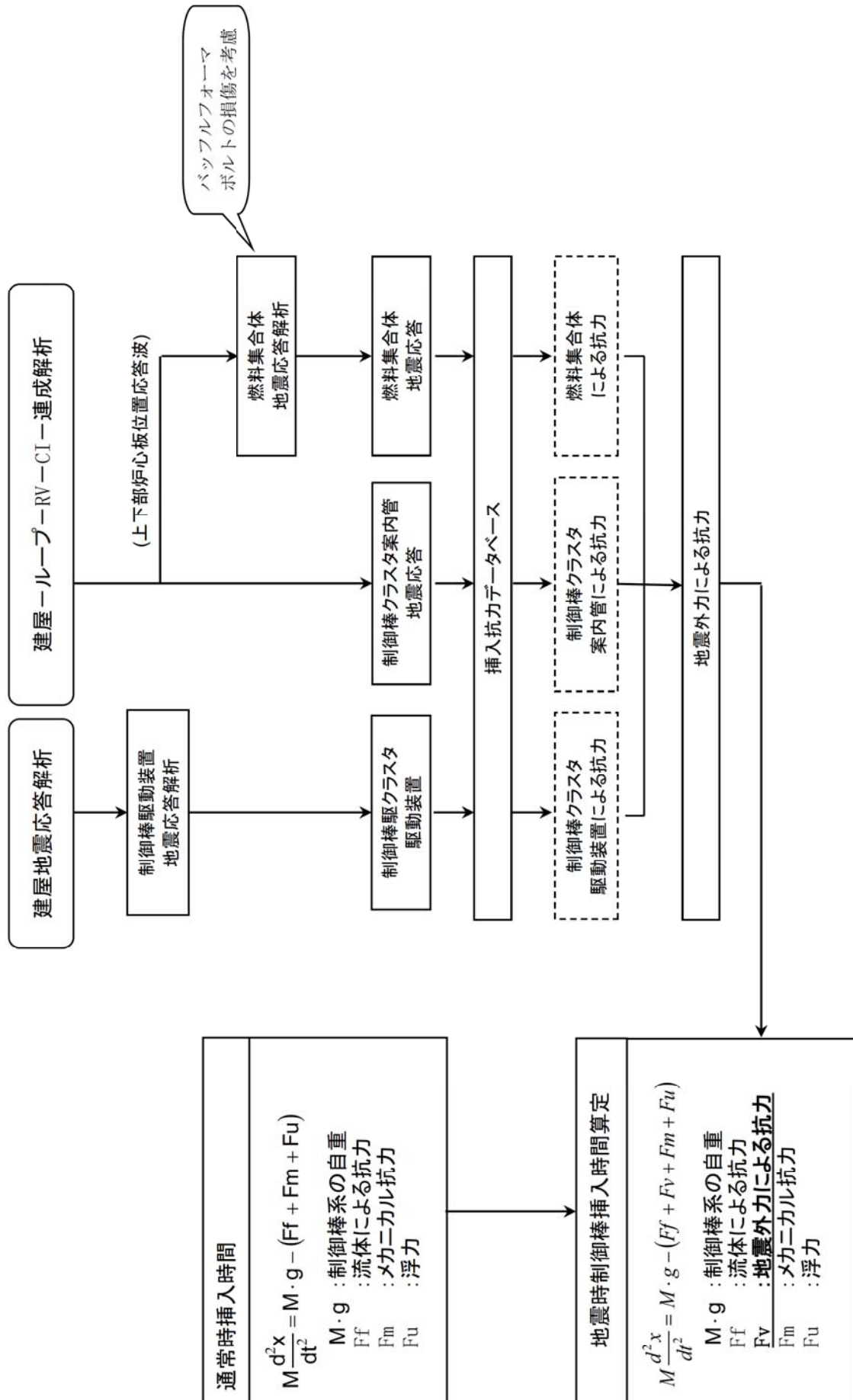


図1 制御棒挿入時間評価の流れ

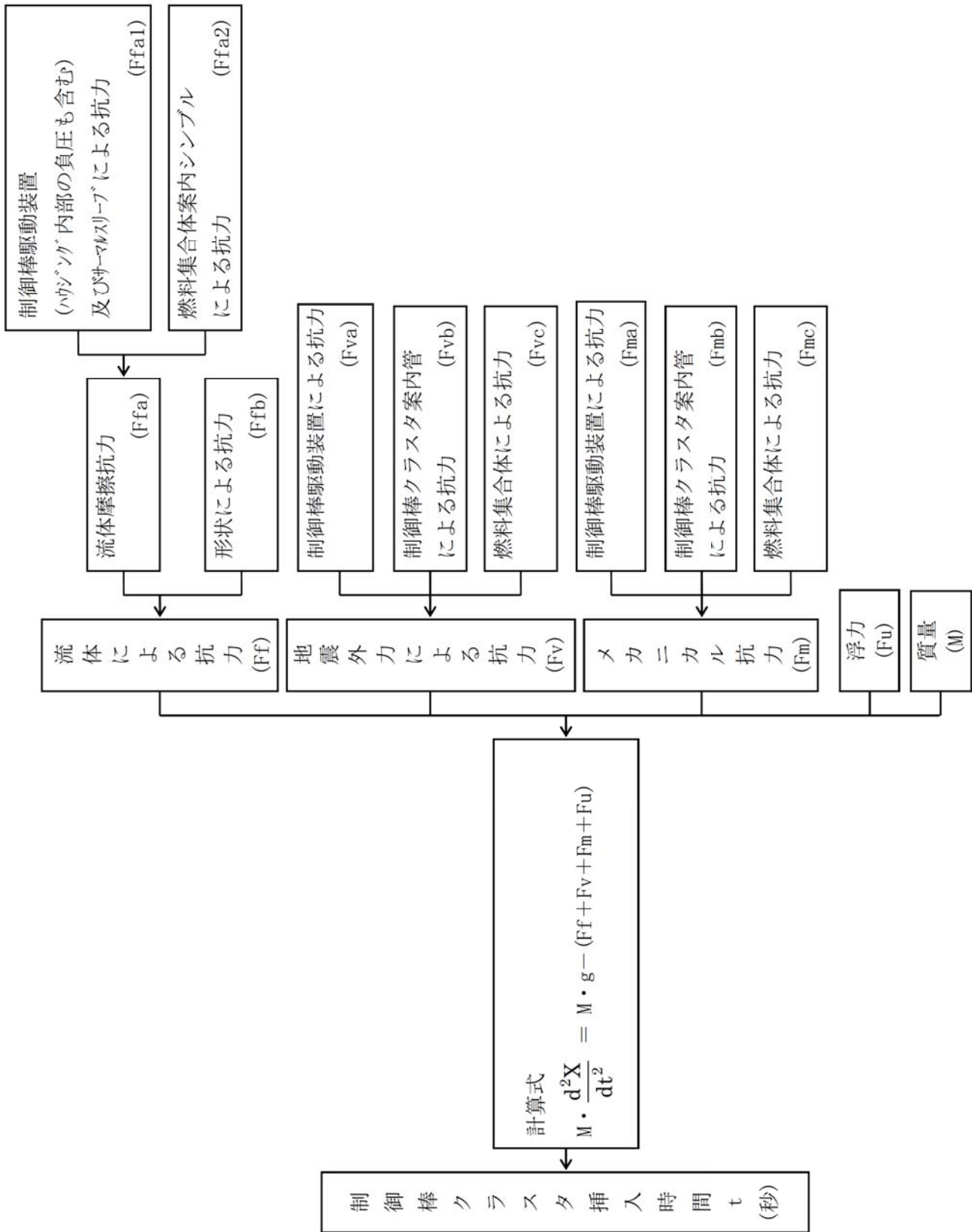
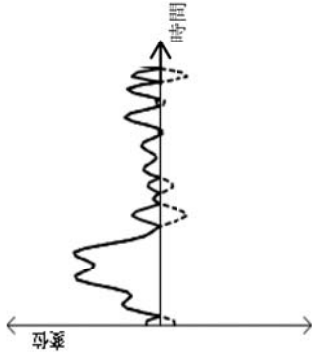


図2 制御棒挿入時間評価において考慮する各種抗力

＜時刻歴手法における地震応答及び抗力の取り扱い＞

- ・地震応答の取り扱い
機器の応答解析結果から時々刻々と変化する変位、加速度を用いる



- ・抗力データ
機器に対し、変位量に対応する挿入距離に対する抗力テールプル及び加速度抗力係数を設定（下図はFA変位抗力の例）



機器の時刻歴応答（変位、加速度）及び抗力テールプル、加速度抗力係数より、解析の各タイムステップにおいて、その時刻の応答変位、応答加速度と挿入距離に対応する抗力を算出し、運動方程式に反映する。
※静的手法では、最大応答に対応する抗力を一定に考慮する。

＜入力条件＞

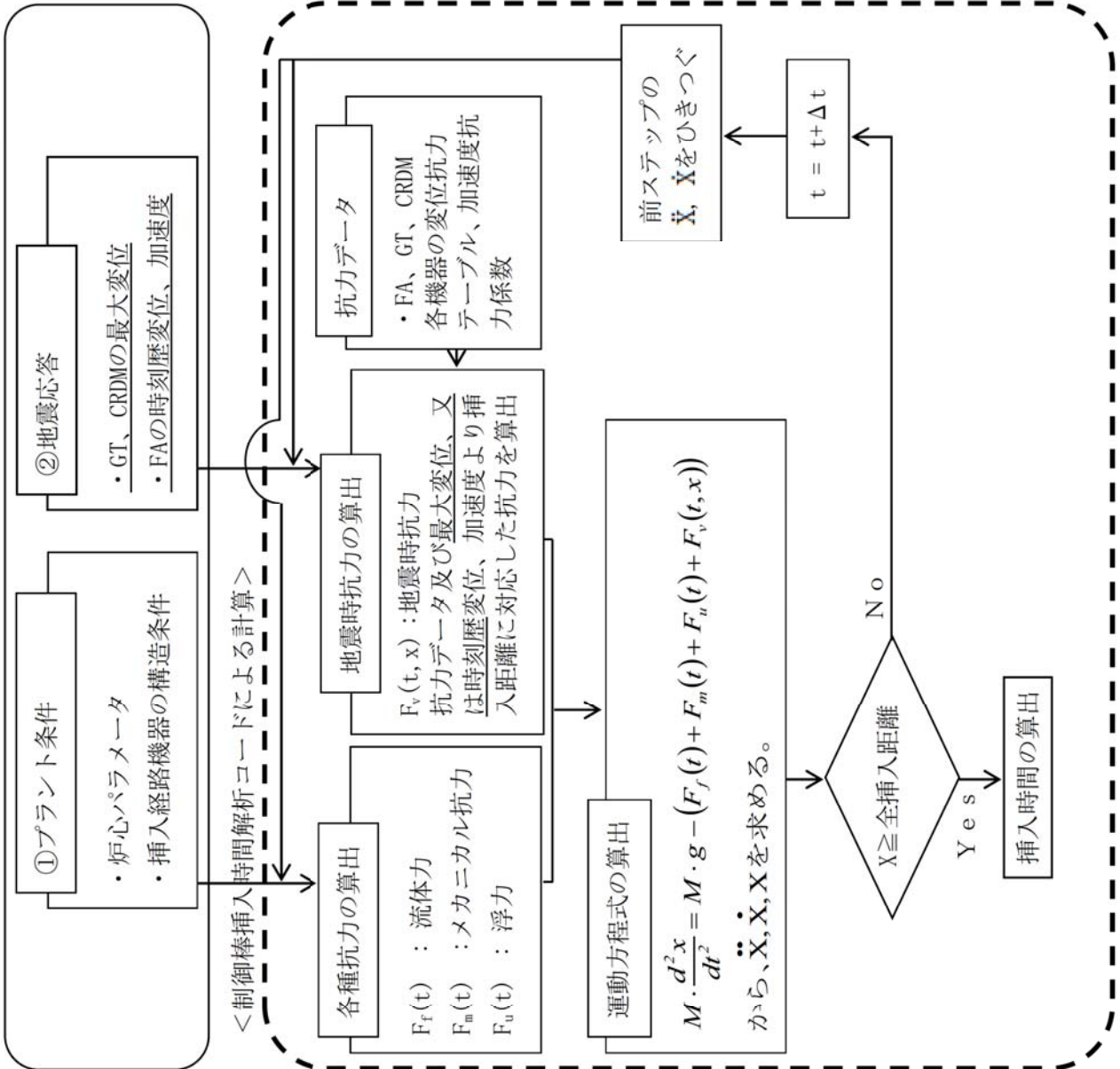


図3 制御棒挿入時間解析における抗力の取り扱い