

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

福島第一原子力発電所の建屋・構造物健全性とリスク評価

Building/Structure Integrity and Risk Assessment of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

(1) 損傷を受けた構造物に対しての強度基準の在り方

(1) Concept of strength evaluation criteria for damaged structures

*鈴木 俊一¹¹東京大学

1. はじめに

福島第一原子力発電所（以下、1F）の設備には、東京電力福島第一原子力発電所事故の影響により損傷を受けた構造物が存在する。例えば、2022年に実施された1号機の原子炉格納容器内部調査においては、ペデスタル開口部壁面のコンクリートが失われ、鉄筋、インナースカートが露出していることが確認されている¹⁾。このように損傷を受けた構造物に対しても、長期にわたる廃炉作業期間中に必要な機能を確保していく必要がある。そこで、福島第一原子力発電所廃炉検討委員会の分科会である強度基準検討分科会（以下、本分科会）では、損傷を受けた構造物に対する強度基準の在り方について検討を進めている。強度評価は、構造物の機能を確保できているかを確認するための一つの方法であるが、機能確保の判断はリスク評価など他の方法も合わせて実施されるべきと考えられる。そのため、本分科会では、具体的な許容値等の議論前に、必要な機能が確保できているかを確認する方法の体系化（フロー）を実施している。本発表では、体系化（フロー）の基本的な考え方、体系化（フロー）の検討結果、ケーススタディ結果（1号機ペデスタル）について、報告する。

2. 体系化（フロー）の基本的な考え方の検討

損傷を受けた構造物に対して必要な機能が確保されているかを確認する方法の体系化（フロー）にあたり、以下の4点を基本的な考え方として設定した。

- ①事故炉においても、原子力安全（放射線の有害な影響から環境と人を守る）が求められることは変わらない。
 - 各構造物が損傷した際の環境と人への影響有無を確認し、影響を与える設備を特定する必要がある。
- ②放射線の有害な影響から環境と人を守るためには、各構造物が持つ要求機能の確保可否を確認する必要がある。
 - 1F構造物に求められる要求機能の整理が必要である。
 - 要求機能の確保可否の判断基準が必要である。
- ③地震等により要求機能が確保できないと想定される場合には、その対策が必要である。
 - 耐震強化等の発生防止対策が可能ならば、その対策が有効である。
 - 発生防止対策が困難な箇所への対応を検討する必要がある。
- ④1Fの設備状態は、廃炉作業の進捗と共に変化する。
 - 継続的（設備状態変化毎）に評価し、対策を見直すことが、安全性向上のための必須条件である。

3. 体系化（フロー）の検討結果

検討結果を図1、図2に示す。図1（管理状態評価フロー）に示す様に、初めに対象構造物が損傷した場合の環境又は人身災害への影響が許容できるかを確認する。これは、対象とする構造物の物量が膨大に存在するため、初めに影響がないものを評価対象外とすることにより、重要な構造物を絞り込むことを意図している。許容できない場合には、構造物が持つ機能（支持機能等）が要求機能を満足しているかを判断する。こ

の判断は図 2 に示すフローを用いて判断する。具体的には、「検査」、「評価」、「補修」の観点と「想定を越える事象の拡大防止等対策」の有無の確認結果から判断する。本フローの特徴は、検査が可能な構造物と困難な構造物では強度評価結果の不確かさが大きく異なることを考慮し、検査困難な構造物については強度評価結果が問題ない場合にも「想定を越える事象の拡大防止等対策」を要求している点である。また、「想定を越える事象の拡大防止等対策」には、損傷した場合の破損シーケンスを事前に検討し、構造物単体としての対策だけでなく、システム全体としての対策も含まれている点も特徴である。例えば水の漏えいが発生した場合の対策として、取水ポンプ事前に用意しておくことが挙げられる。

図 2 に示すフローの判断結果から、管理状態 A（対象構造物の状況が望ましい姿に合致している状態）と評価された場合には、現状の対策を継続し、また、継続的な改善を実施していくことを要求している。一方、管理状態 B（対象構造物の状況が望ましい姿に合致しない状態）と評価された場合には、異常検知の可否を確認することとしており、異常検知が可能な場合には機動的対応による対処等を要求している。これは、事象の進展が遅いと考えられる 1F の特徴から、異常検知により、機動的対応が有効な手段と考えられるためである。また、異常検知が出来ない場合には、根本的な対策の検討が必要としている。

なお、構造物の状態に変化が発生した場合には、本フローを用いて再度評価し、対策を見直すことを要求している。

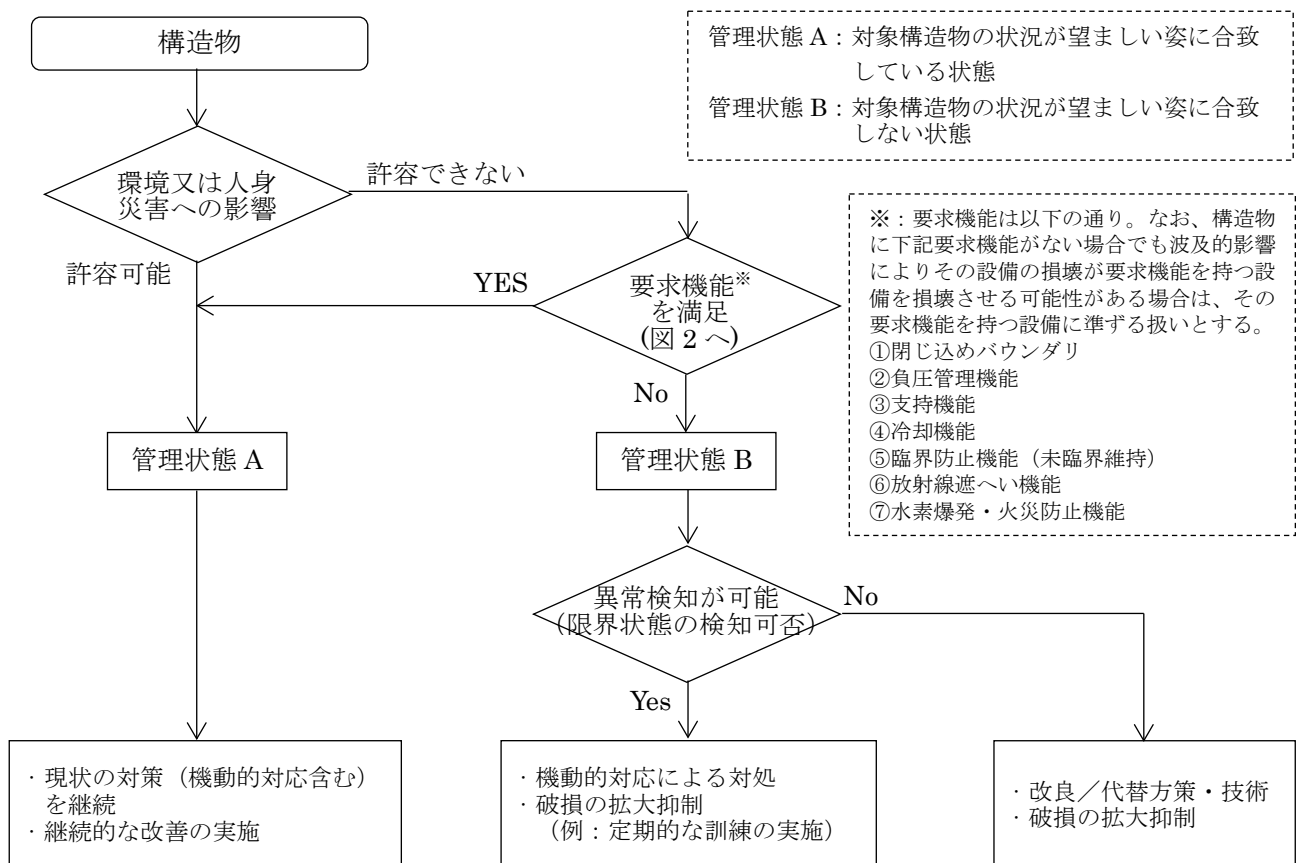


図 1 管理状態評価フロー

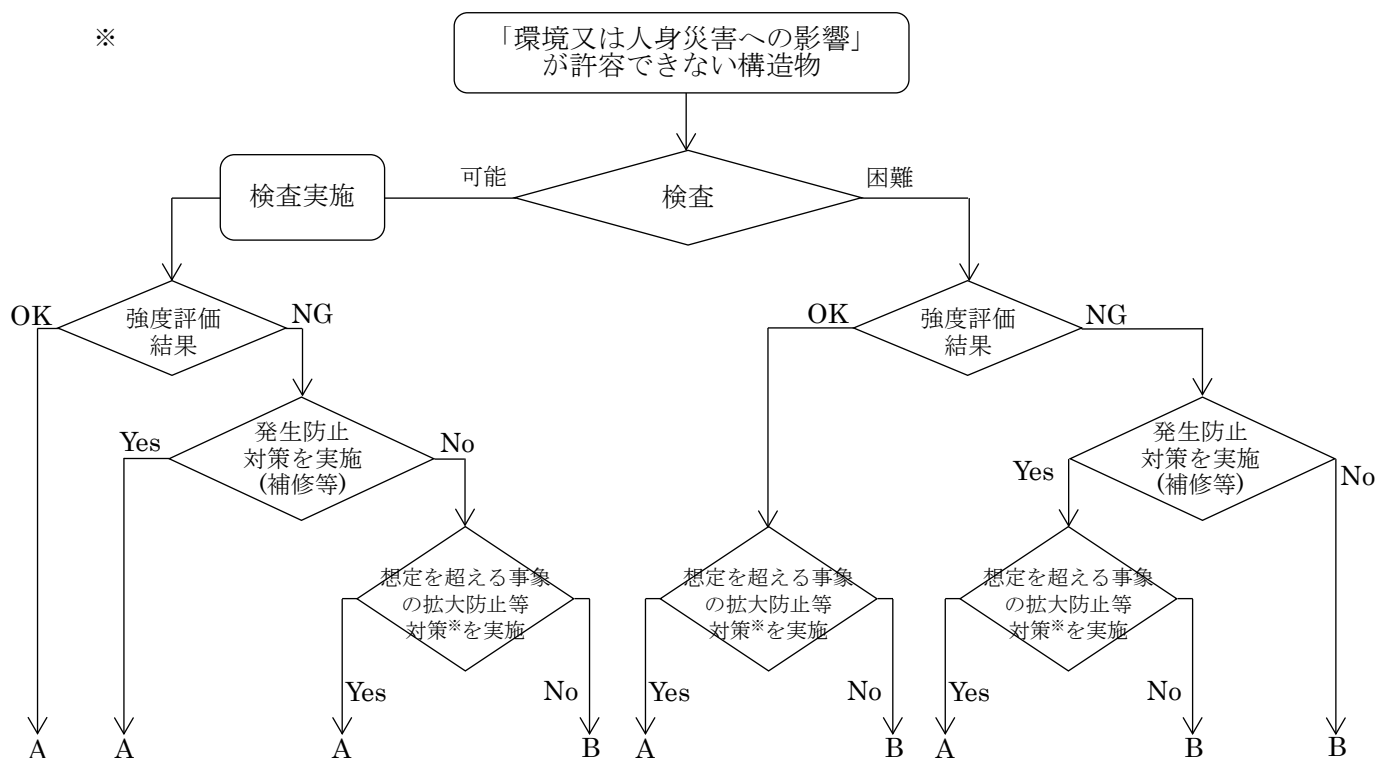


図2 管理状態 A、B の判断方法

4. ケーススタディ結果

検討したフローのケーススタディとして、1号機ペDESTALを選定し、評価した。1号機ペDESTALは、前述の通り、開口部壁面のコンクリートが失われ、鉄筋、インナースカートが露出していることが確認されている。

ケーススタディ結果を図3と図4に示す。判断「環境又は人身災害への影響」については、判断基準が明確になっていないため、今回の評価で「許容できない」とした。次の判断「要求機能を満足」では、図4に示すように、「検査」についてはこれまでの内部調査では部分的に確認できている状態のため「困難」と判定、「強度評価結果」については2016年度に国際廃炉研究開発機構で実施された解析結果²⁾から、「OK」と判定、「想定を超える事象の拡大防止等対策を実施」については次の段落に一例として示す損傷イベントツリーの検討結果から、現状の設備等で必要な機能を確保できていると考えられることから「YES」と判定した。その結果、管理状態 A と評価される。

次に、今回の評価では管理状態 A となるが、管理状態 B と評価された場合に考えられる対策を検討した。管理状態 B となった場合、図1に示す様に「機動的対応による対処」、「破損の拡大抑制」及び、「改良／代替方策・技術」のいずれかの対策を要求している。対策の検討では、損傷イベントツリーを検討し、シーケンス毎に対策を検討している。図5に損傷イベントツリー（PCV 閉じ込めバウンダリ（液相）損傷による外部放出関係のみ）を示す。なお、損傷イベントツリーのヘディングは、マスターロジックダイアグラムの検討結果を反映している（詳細は省略）。損傷イベントツリーの結果から、対策として、トラス室水取水設備関係では可搬型ポンプの事前準備、トラス室水位上昇検知関係では可搬型水位計の事前準備、PCV 注水設備起動関係ではペネ等からの注水ラインの事前構築、PCV 水位低下検知関係では代替 PCV 水位計の設置が挙げられた。また、「改良／代替方策・技術（＝管理状態 B かつ異常検知ができない場合）」として、図6に示すように、ペDESTALの損傷モードである座屈への耐性を向上させるためにペDESTAL下部にセメント系材料を注入することも一案と考えられる。

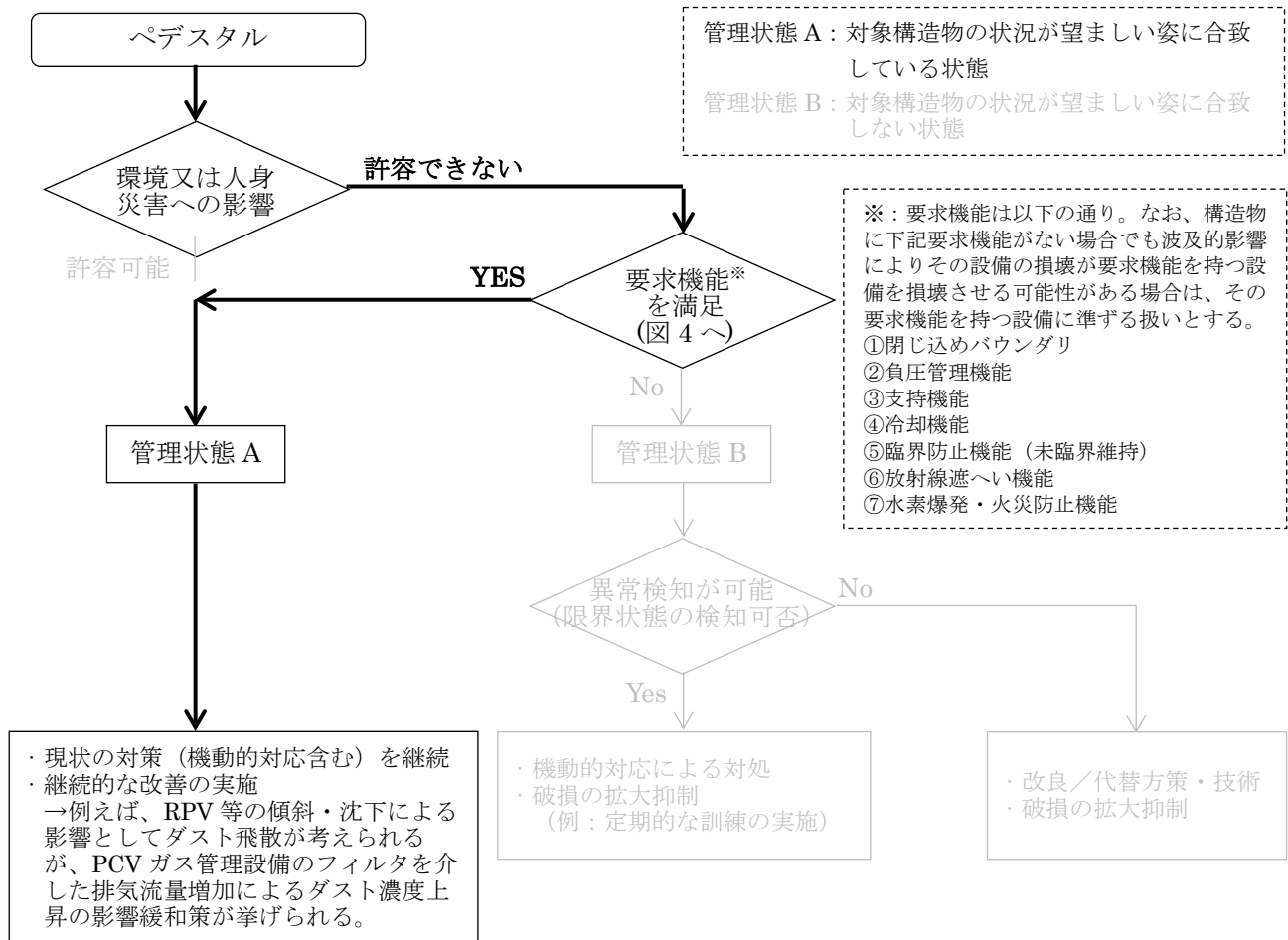


図3 ケーススタディ結果 (1/2)

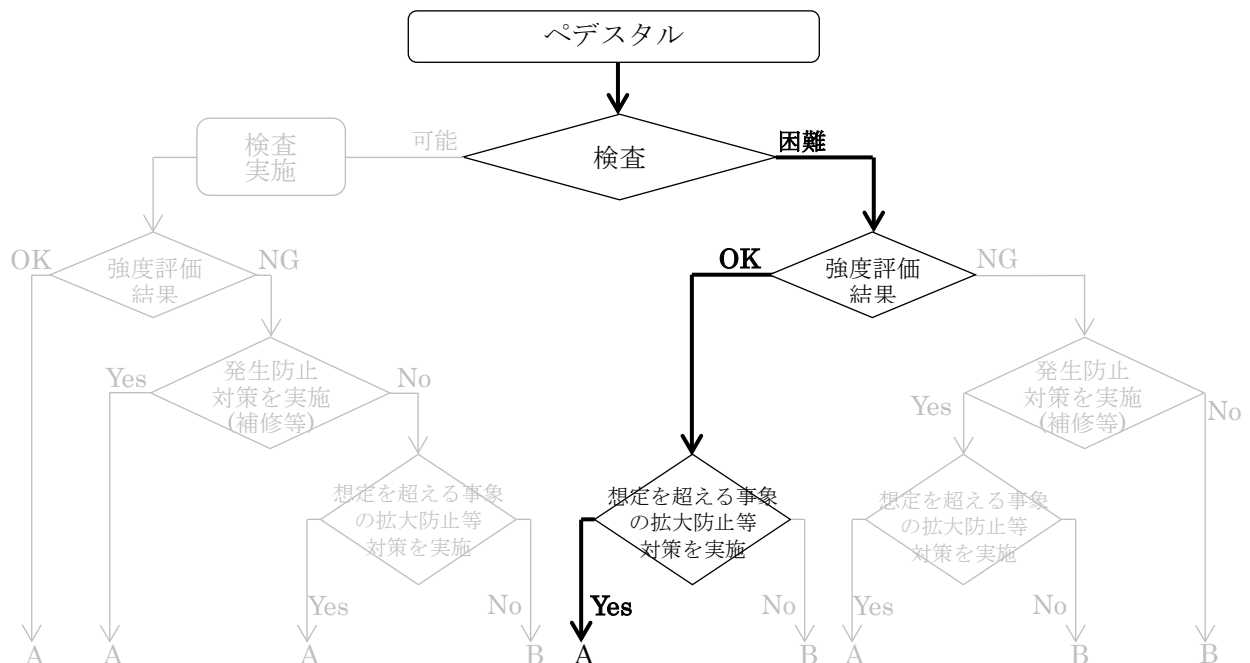


図 4 ケーススタディ結果 (2/2)

RPV 支持機能		閉じ込めバウンダリ・冷却機能（液相）					最終状態	対策							
RPV 支持	RPV 移動	PCV シェル（液相部）	PCV 水位低下検知	PCV 注水	トーラス室水位上昇検知	トーラス室内の水の取水									
成功							外 部 放 出								
失敗	なし						なし								
							外 部 放 出								
	あり						なし								
		損傷あり	成功	成功	成功	成功	外 部 放 出								
							なし								
							失敗	可搬ポンプによるトーラス室水取水							
														外部放出	水位計の多重化 等
														失敗	別ラインからの注水（ペネ等からの注水）
							失敗	水位計の多重化 等							
							失敗	外部放出							

図5 損傷イベントツリーの一例（原子炉格納容器閉じ込めバウンダリ（液相）損傷による外部放出）

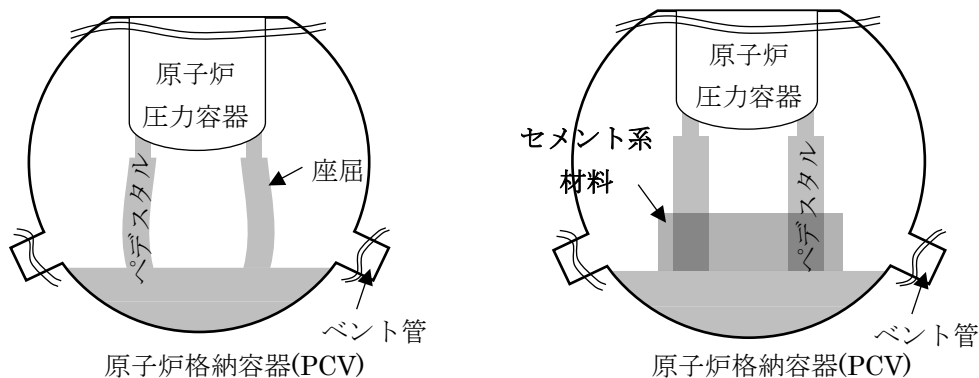


図6 ペDESTAL損傷モード（左）と改良／代替方策・技術の一例（右）

5. 今後の方針

今後は福島第一原子力発電所を対象とした新たな検知技術・補修技術や腐食等経年劣化評価並びに、設計想定を超える場合の強度評価についても検討を行う予定である。検討にあたっては、原子力学会廃炉検討委員会「建屋の構造性能検討分科会」や「廃炉リスク評価分科会」等と連携をとり、構造物・機器単体のみならず構成するシステム全体の機能維持に関して適切な基準の考え方を提言する。

参考文献

- 1) 第100回特定原子力施設監視・評価検討会 資料3「1号機 原子炉格納容器内部調査の状況について」
- 2) 技術研究組合国際廃炉研究開発機構 「圧力容器／格納容器の耐震性・影響評価手法の開発 平成28年度成果報告」

*Shunichi Suzuki¹

¹The University of Tokyo