

柏崎刈羽原子力発電所4号機

新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る

点検・評価計画書

(建物・構築物編)

平成20年9月18日

東京電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 点検・評価の計画の策定	1
2.1. 点検・評価の位置付け	1
2.2. 点検・評価に関する基本的な考え方	2
2.3. 参照法令・規格基準等	3
3. 点検	3
3.1. 点検の対象	3
3.2. 点検方法策定にあたっての基本的な考え方	4
3.3. 点検方法の策定	4
4. 地震応答解析	7
4.1. 解析の対象	7
4.2. 解析の方法	7
4.3. 構造評価の方法	8
5. 総合評価の方針	12
6. 記録	13
7. 点検・評価の体制	13
8. 第三者機関による確認	15
9. スケジュール	15
10. 添付資料	16

1. はじめに

新潟県中越沖地震が柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に及ぼした影響について評価するため、新潟県中越沖地震の発生後、建物・構築物については順次点検および構造評価を実施しているところである。また、稼働中、建設中の発電用原子炉施設等について求められている、改訂された耐震指針に照らし、新潟県中越沖地震から得られる新たな知見を適切に反映した耐震安全性評価を今後実施していくこととしている。

本計画書は、「新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価計画について（経済産業省 平成 19・11・06 原院第 2 号 平成 19 年 11 月 9 日）」を受け、新潟県中越沖地震が柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に及ぼした影響について評価することを目的に、柏崎刈羽原子力発電所 4 号機における建物・構築物の点検・評価の計画を纏めたものである。

2. 点検・評価の計画の策定

2.1. 点検・評価の位置付け

当社においては、これまで、新潟県中越沖地震（以下、「本地震」という）後の建物・構築物の点検として、耐震設計およびコンクリート構造物等に関する知見を有する技術者による目視点検を実施し、冷温停止状態を安全に維持するのに支障となるような変状のないことを確認している。

今回の点検・評価の位置付けは、

- ・点検により建物・構築物の損傷の有無、損傷の程度、原因について確認を行うこと
- ・今回の点検以降に計画・実施する、原子炉の蒸気を発生することが可能となった時期以降に行う性能確認試験等に先立ち、地震による影響を解析により評価すること
- ・点検および解析による評価を実施することにより、建物・構築物の健全性の総合評価を行うこと

である。

2.2. 点検・評価に関する基本的な考え方

点検・評価とは、建物・構築物における点検、地震応答解析による評価および両者の結果を踏まえた健全性の総合評価をいう。

点検は、各建物・構築物に共通的に実施する目視点検により行う。

地震応答解析では、本地震の観測波にもとづく各建物・構築物の解析的な評価を実施する。

点検・評価に関する基本的な考え方は以下のとおり。(図-2.1 参照)

- ・耐震安全上重要な建物・構築物については、点検と地震応答解析を実施し、両者の結果を照合して健全性の総合評価を行う。
- ・目視点検で異常が確認された場合は、非破壊試験等の追加点検を行い、必要に応じて補修を実施することも検討する。
- ・地震応答解析結果において裕度が比較的小さい場合は、詳細検討を行う。

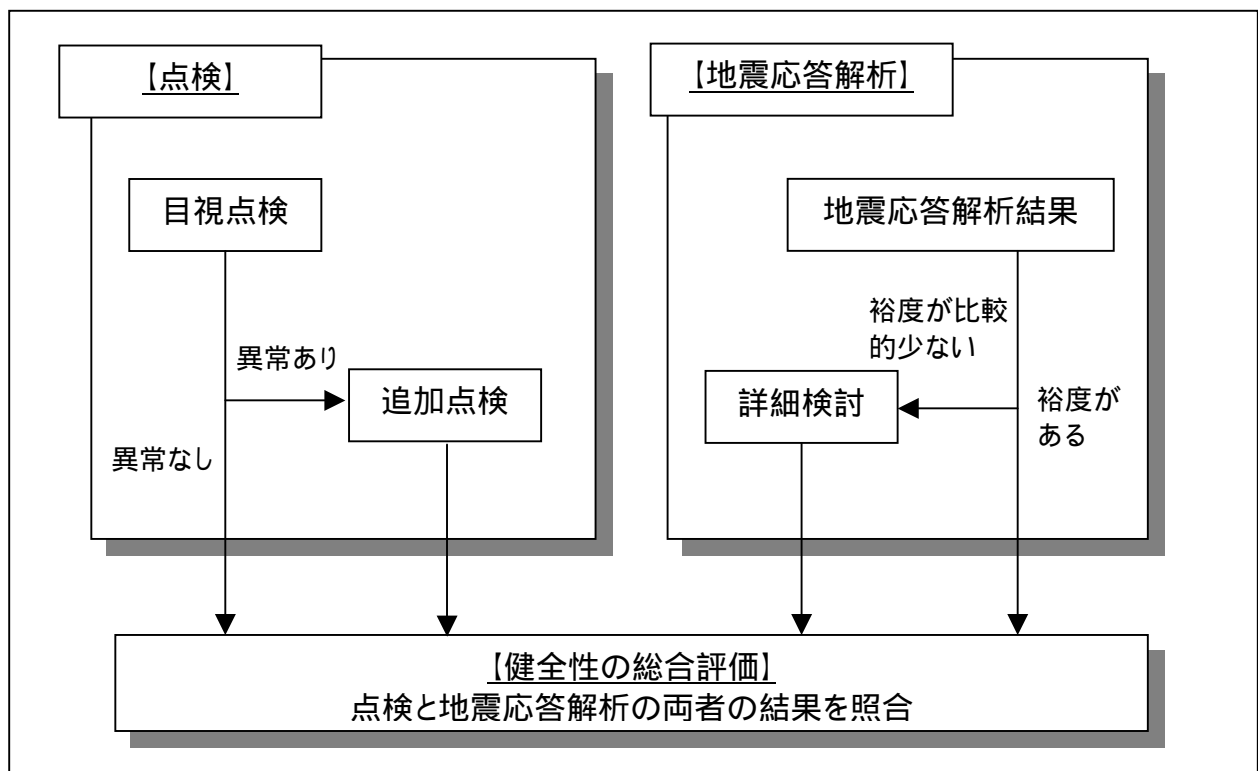


図-2.1 建物・構築物の点検・評価の全体フロー

2.3. 参照法令・規格基準等

今回の点検・評価にあたって参照する法令・規格基準等については以下のとおり。

- ・電気事業法
- ・電気設備に関する技術基準を定める省令
- ・発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令
- ・発電用原子力設備に関する構造等の技術基準
- ・日本工業規格（JIS）
- ・日本電気協会原子力発電所における安全のための品質保証規程（JEAC4111-2003）
- ・発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針
- ・発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針
- ・日本電気協会原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）
- ・日本機械学会発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格（JSME S NE1-2003）
- ・日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・土木学会コンクリート標準示方書
- ・土木学会原子力土木委員会原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針
- ・日本建築防災協会震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針
- ・日本非破壊検査協会コンクリート構造物の目視試験方法 等

3. 点検

3.1. 点検の対象

電気事業法にもとづく事業用電気工作物の工事計画書に記載のある全ての建物・構築物とする。また、耐震上重要な機器の間接支持構造物に該当する建物・構築物、安全上の重要度分類クラス1に該当する建物・構築物も点検対象とする（添付資料1および添付資料2参照）。

3.2. 点検方法策定にあたっての基本的考え方

点検方法の策定にあたっては、以下を考慮して策定する。

対象とする建物・構築物の構造形式ごとに地震時に想定される影響を把握し、点検手法に反映させる。

目視点検によって健全性が十分確認できない場合は、適宜非破壊試験等の実施を検討すること。

作業員被ばく低減、人身安全等の観点から点検が困難な場合については、構造的に類似した部位の点検結果および解析結果を踏まえた上で必要に応じて合理的な評価方法を策定すること。

3.3. 点検方法の策定

(1) 各構造形式における点検方法

建物・構築物への本地震の影響を把握するにあたり、構造形式に着目した点検を行う必要がある。そこで、各構造形式への地震の影響を整理し、それに応じた点検を行う。

a. 鉄筋コンクリート構造(鉄骨鉄筋コンクリート構造を含む)

鉄筋コンクリート構造物への地震の影響については、ひび割れおよび剥離・剥落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、「日本非破壊検査協会コンクリート構造物の目視試験方法」に準拠し、目視点検を主体とした点検を実施する(添付資料3, 添付資料4, 添付資料5および添付資料9参照)。

b. 鉄骨構造

鉄骨構造物の地震の影響については、部材の変形・座屈・破断、溶接接合部のきれつ・破断、ボルト接合部のボルト破断・緩みが想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、目視点検を主体とした点検を実施する(添付資料6参照)。

c. その他

- ・排気筒の杭基礎構造については、「兵庫県南部地震における震災建物基礎の被災度調査（日本建築学会技術報告集 第5号，1997年12月）」を参考に傾斜・沈下量の測定を行うとともに杭基礎部の目視点検を実施する。（添付資料7および添付資料8参照）
- ・本計画に基づき得られる点検の結果および知見をもとに、必要に応じて計画の見直しを適宜行う。

(2) 評価方法

点検結果の評価においては、原則として、これまでの保守点検等において用いられる規格・指針等を準用して、要求機能に応じて判定基準を策定するが、準用が困難である場合には技術的に妥当であると確認されたものを採用するなど、各点検対象ごとに判定基準を適切に策定する。表-3.2 に判定基準例一覧を示す（添付資料10参照）。なお、判定基準を満たさないものを「異常あり」とする。

表-3.2 判定基準例一覧

点検対象	構造形式	判定基準
生体しゃへい装置	鉄筋コンクリート構造	・遮へい性能に影響を与える断面欠損がないこと
原子炉格納施設	鉄筋コンクリート構造	・構造上問題となるひび割れがないこと (幅 1.0mm 以上のひび割れがないこと) ・構造上問題となる剥離・剥落がないこと
	鉄骨構造	・構造上問題となる変状(変形・座屈等)がないこと
排気筒	鉄骨構造	・構造上問題となる変状(変形・座屈等)がないこと
	基礎構造	・十分な支持性能を有すること
非常用取水路	鉄筋コンクリート構造	・取水機能に影響を与える水路の破損等がないこと
原子炉補機冷却系配管ダクト	鉄筋コンクリート構造	・配管の支持機能に影響を及ぼす破損等がないこと
非常用ガス処理系配管ダクト		
堰その他の設備	鉄筋コンクリート構造	・堰に耐漏えい性能に影響を与えるひび割れがないこと

：原子炉格納施設の気密性については、原子炉建屋気密性能検査にて確認を行う。

4. 地震応答解析

4.1. 解析の対象

地震応答解析は、添付資料 1 の表の右欄に記載のある建物・構築物を対象にして行うこととする。

4.2. 解析の方法

(1) 原子炉建屋の地震応答解析

本地震に対する原子炉建屋の地震応答解析の方法を以下に示す。

地震時に観測した基礎版上における水平方向の地震観測記録を用いた動的解析は、設計時に用いた解析モデルを基本としている。また、鉛直方向の地震観測記録を用いた動的解析については、水平方向の解析モデルに用いた設計時の解析諸元を基に新たに構築した解析モデルを基本としている。

その際、地震時に水平方向および鉛直方向の地震観測記録が得られている中間階（4号機の場合は地上2階）について、地震観測記録と解析結果が整合するように解析モデルを修正しながら構築することとし、次の4項目について基本の解析モデルから修正して新たな解析モデルを構築することとしている。

設計時にはコンクリートの設計基準強度を基に算定していた鉄筋コンクリート部の剛性評価を、コンクリートの実際の平均的な強度を基に算定し直して見直すこととする。

設計時には耐震要素として考慮していなかった補助壁について、上下階に応力伝達が可能と考えられる壁を再評価して、新たに耐震要素に取り入れることとする。

設計時には、建物と地盤の相互作用を反映するために側面ばねとして Novak の水平ばねを考慮していたが、Novak の回転ばねも新たに考慮することとする。（地盤表層部については のとおり）

設計時には、地盤表層部も地盤ばねとして考慮していたが、今回は地震時の表層地盤の変状を踏まえ、地盤 - 建屋相互作用効果が見込めないと判断し、この部分のばね評価を行わないこととする。

(2) 原子炉建屋以外の建物・構築物の地震応答解析

4号機において、原子炉建屋以外の建物・構築物として地震応答解析を実施するのは、タービン建屋、海水熱交換器建屋および排気筒である。その方法を以下に示す。

4号機のタービン建屋の場合には地震時に基礎版上の観測記録が得られているので、原子炉建屋と同様の手法で基本の解析モデルから一部を修正して新たな解析モデルを構築することとする。

4号機の海水熱交換器建屋および排気筒の場合には地震時に観測記録が得られていないので、原子炉建屋の基礎版上での地震観測記録から地盤 構造物連成系の解析モデル下端における地震動を算定し、これを入力地震動として地震応答解析を行うこととする。なお、敷地内の基盤等における地震動についても、参考として確認を行うこととする。

(3) 屋外重要土木構造物の地震応答解析

4号機において、屋外重要土木構造物として地震応答解析を実施するのは、非常用取水路、原子炉補機冷却系ダクト、および非常用ガス処理系配管ダクトである。その方法を以下に示す。

4号機の屋外重要土木構造物の場合には地震時に観測記録が得られていないので、4号機の原子炉建屋の基礎版上での地震観測記録から地盤 構造物連成系の解析モデル下端における地震動を算定し、これを入力地震動として地震応答解析を行うこととする。なお、敷地内の基盤等における地震動についても、参考として確認を行うこととする。

4.3. 構造評価の方法

(1) 原子炉建屋

a. 耐震壁の鉄筋コンクリート部

耐震壁の構造評価については、地震応答解析により得られた各階のせん断応力度と、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度とを比較することによって評価を行うことを原則とする。また、地震応答解析により得られた各階のせん断ひずみについても確認を行うこととする。この結果、

目安として、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度に対して地震応答解析により得られた各階のせん断応力度が 20%以上の余裕がない階については、せん断力分配解析等を行って個別の構造部材毎の応力を算出し、詳細な構造計算によるチェックを行う。

なお、この段階で裕度が比較的少ない場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。原子炉建屋の地震応答解析の評価手順を、図-4.1 に示す。

b. 屋根トラスの鉄骨部

屋根トラスの構造評価については、地震応答解析により得られた主要な構造部材の発生応力が評価基準値以下であることを確認することを原則とする（座屈評価についても行うこととする）。

なお、この段階で裕度が比較的少ない場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。

(2) タービン建屋

タービン建屋の構造評価については、タービン建屋の一部に耐震上重要な機器の間接支持機能が要求されることから、該当部位の機能維持について評価することとする。

その具体的な方法としては、該当部位の耐震壁について、地震応答解析により得られたせん断応力度に対して、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度とを比較することによって評価を行うことを原則とする。また、地震応答解析により得られたせん断ひずみについても確認を行うこととする。

なお、この段階で裕度が比較的少ない場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。

(3) 海水熱交換器建屋

海水熱交換器建屋の構造評価については、海水熱交換器建屋の一部に耐震上重要な機器の間接支持機能が要求されることから、該当部位の機能維持について評価することとする。

その具体的な方法としては、該当部位の耐震壁について、地震応答解析により得られたせん断応力度に対して、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度とを比較することによって評価を行うことを原則とする。また、地震応答解析により得られたせん断ひずみについても確認を行うこととする。

なお、この段階で裕度が比較的少ない場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。

(4) 排気筒

排気筒の構造評価については、地震応答解析により得られた主要部材の発生応力が評価基準値以下であることを確認することを原則とする（座屈評価についても行うこととする）。また、筒身内部に設置されている非常用ガス処理系（SGTS）用配管については、筒身の变形に対して追従できる許容応力度以下であることを確認することを原則とする。

なお、この段階で裕度が比較的少ない場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。

(5) 屋外重要土木構造物

屋外重要土木構造物である非常用取水路、原子炉補機冷却系配管ダクトおよび非常用ガス処理系配管ダクトの構造評価については、地震応答解析により得られた構造物の变形量や部材の断面力が、照査用限界値以下であることを確認することを原則とする。

なお、この段階で裕度が比較的少ない場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。

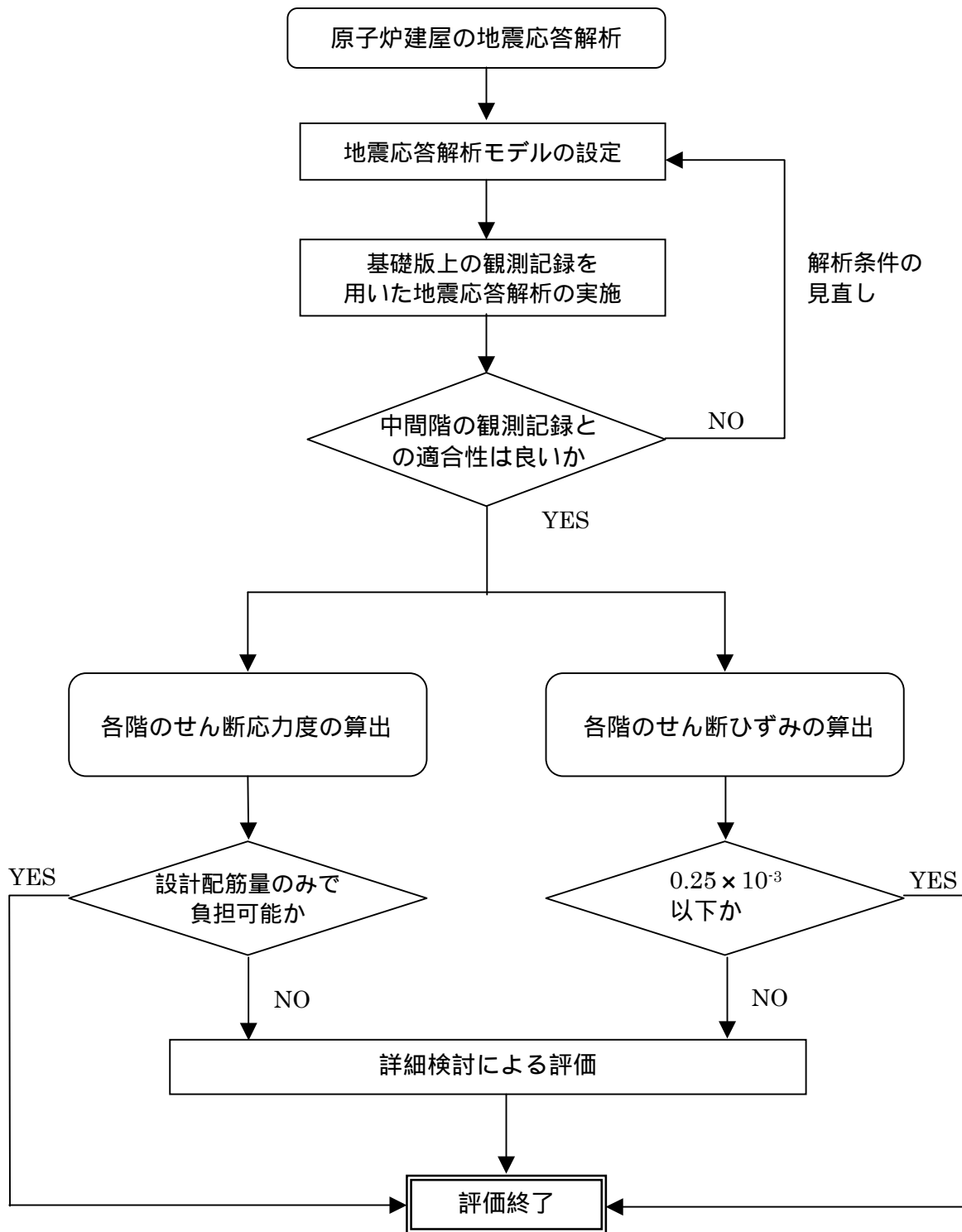


図-4.1 原子炉建屋の地震応答解析の評価手順

5. 総合評価の方針

点検および地震応答解析による評価の両者の結果を踏まえ、建物・構築物の健全性の総合評価を行う（表-5.1 参照）。

点検結果において異常がなく、かつ、地震応答解析において余裕がある評価結果（鉄筋等が短期許容応力度レベル以下であることなど）が得られた建物・構築物については、健全性を満足するものと評価する。

点検結果において異常がないにもかかわらず、地震応答解析において余裕が比較的少ないとの結果が得られた建物・構築物については、地震応答解析において保守的な配慮が行われている可能性を考慮し、より詳細な追加解析やモックアップ試験等により十分な構造強度を有することが確認できる場合には、健全性を満足するものと評価する。

点検結果において異常が認められた建物・構築物（判定基準を満足できないもの）については、原則として、損傷原因の究明を行うとともに、必要に応じてモックアップ試験等により要求性能への損傷の影響がないことを確認できる場合には、健全性を満足するものと評価する。

表-5.1 総合評価(解析-点検)

		点検による評価	
		異常なし	異常あり
地震応答解析の結果に基づく構造評価	余裕がある	評価終了 (健全)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 損傷の原因究明 ・ 損傷の健全性への影響を評価
	余裕が比較的少ない	下記検討を実施。 ・ より詳細な追加解析 ・ モックアップ試験等	

6. 記録

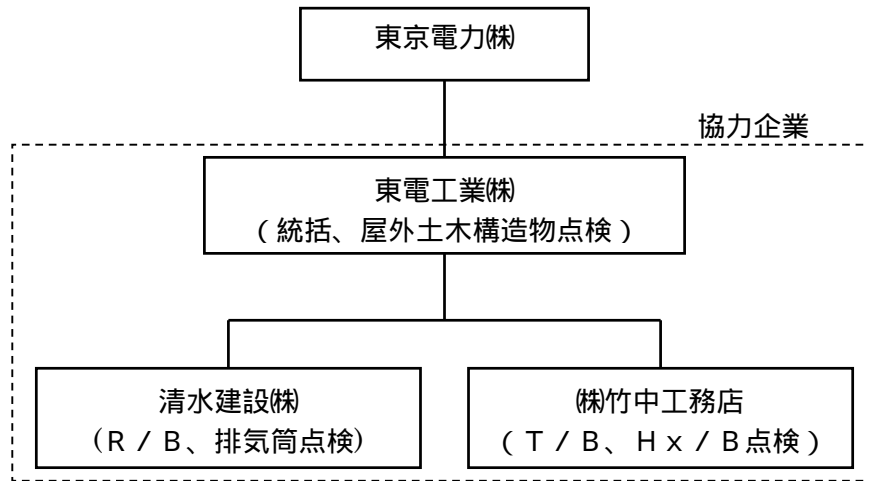
「实用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」の原子炉施設の保守管理記録に基づき、点検・評価の実施記録、評価の結果等を記録し、当該記録の保存期間は、保守管理を実施した原子炉施設を解体または廃棄した後五年が経過するまでの期間とする。

7. 点検・評価の体制

点検・評価の主要な体制については図-7.1のとおり。

また、点検・評価の実施者（東京電力および協力企業）の力量管理については以下のとおりとする。

- ・ 非破壊検査作業等の有資格作業等については、必要となる有資格者を配置する。
- ・ 目視点検については、以下に留意した人員配置を行う。
 - JIS Z 2305「非破壊試験 - 技術者の資格及び認証」に規定の非破壊試験員に要求される近方視力の確認を行う等、視力に問題のない者を配置すること。
 - 業務経験年数等、適切な力量を有する者を配置すること。
 - 必要に応じ、地震によって影響を受け破損しやすい箇所等を把握可能な設計者に意見を求めることが可能な体制とすること。



	東京電力	協力企業	第三者機関
計画	計画書作成	実施要領書の作成	
	実施要領書の承認		計画書の審査
	計画書への反映	実施要領書への反映	
点検 / 確認	点検の指示	点検の実施 および報告書の作成	
	報告書の確認 および現場確認 ¹	追加点検および 補修計画の検討 (異常があった場合)	
			点検結果の妥当性確認 および現場確認 ²
	報告書の受領		

¹ 現場確認は抜取り確認。

² ひび割れが発生した等の箇所および第三者機関が選定した箇所について、報告書と現場の整合性を確認し、点検結果を評価する。

図-7.1 点検・評価体制および概略業務フロー

8. 第三者機関による確認

建物・構築物の点検の計画および点検結果の妥当性について、第三者機関の確認を受けることとする。

建物関係

第三者機関：(社)建築研究振興協会(国土交通省所管)

点検方法：建物内外における耐震壁等のひび割れ発生状況等は、現地調査を実施して確認。

確認方法：「2007年新潟県中越沖地震後の柏崎刈羽原子力発電所建物・構築物の点検・評価委員会」を設置し、点検計画および点検結果の妥当性を確認。

屋外重要土木構造物関係

第三者機関：(社)土木学会(文部科学省所管)

点検方法：取水路、配管ダクト等の屋外重要土木構造物における鉄筋コンクリート部材のひび割れ発生状況、変位および沈下等は、現地調査を実施して確認。

確認方法：「新潟県中越沖地震後の柏崎刈羽原子力発電所土木構造物健全性評価ワーキンググループ」を設置し、点検計画および点検結果の妥当性を確認。

9. スケジュール

全体の工程については、以下のとおりとする。

実施内容	平成20年	平成21年					
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
1. 点検	}}						
2. 地震応答解析	}}						
3. 総合評価	}						

図-9.1 概略スケジュール

なお、当該工程は現時点におけるものであり、点検・評価等の進捗等により変更する可能性がある。

10. 添付資料

- 添付資料 1 柏崎刈羽原子力発電所 4 号機 点検・評価対象の建物・構築物一覧
- 添付資料 2 点検・評価対象の建物・構築物の断面図
- 添付資料 3 点検方法：鉄筋コンクリート建造物の点検方法 - 原子炉建屋の例 -
- 添付資料 4 点検方法：鉄筋コンクリート建造物の点検方法 - 非常用取水路の例 -
- 添付資料 5 点検方法：鉄筋コンクリート建造物の点検方法 - 原子炉補機冷却系および非常用ガス処理系配管ダクトの例 -
- 添付資料 6 点検方法：鉄骨建造物の点検方法
- 添付資料 7 点検方法 - 杭基礎建造物の点検 - 排気筒の例 -
- 添付資料 8 排気筒 杭基礎構造の概念図
- 添付資料 9 点検方法：堰その他の設備の点検方法
- 添付資料 10 判定基準に関する参考資料

柏崎刈羽原子力発電所 4 号機 点検・評価対象の建物・構築物一覧

	対象電気工作物の名称	対象の建物・構築物 (他号機との共用を除く)
工事計画書本文上に記載のある建物・構築物	・放射線管理設備のうち生体しゃへい装置 (1) 1次しゃへい壁 (2) 2次しゃへい壁	・原子炉建屋
	・原子炉格納施設 (1) 原子炉建屋 (二次格納施設)	・原子炉建屋
	・堰その他の設備 (1) 漏えいの拡大を防止するために施設する堰その他の設備 (2) 施設外への漏えいを防止するために施設する堰その他の設備	・原子炉建屋
	・廃棄設備 (1) 固体廃棄物貯蔵庫	・(該当なし ¹⁾)
	・排気筒 (1) 排気筒	・排気筒
耐震上重要な機器の間接支持構造物に該当する建物・構築物	・耐震安全上重要度が高い設備(耐震クラスがAs、Aクラスの機器設備)を間接支持する建物・構築物	・原子炉建屋 ・排気筒 ・タービン建屋 ・海水熱交換器建屋 ・原子炉補機冷却系配管ダクト ・非常用ガス処理系配管ダクト
安全上の重要度分類クラス1に該当する建物・構築物	・原子炉建屋 ・非常用取水設備 ・制御室及びそのしゃへい	・原子炉建屋 ・非常用取水路

¹ 1号機における点検・評価対象



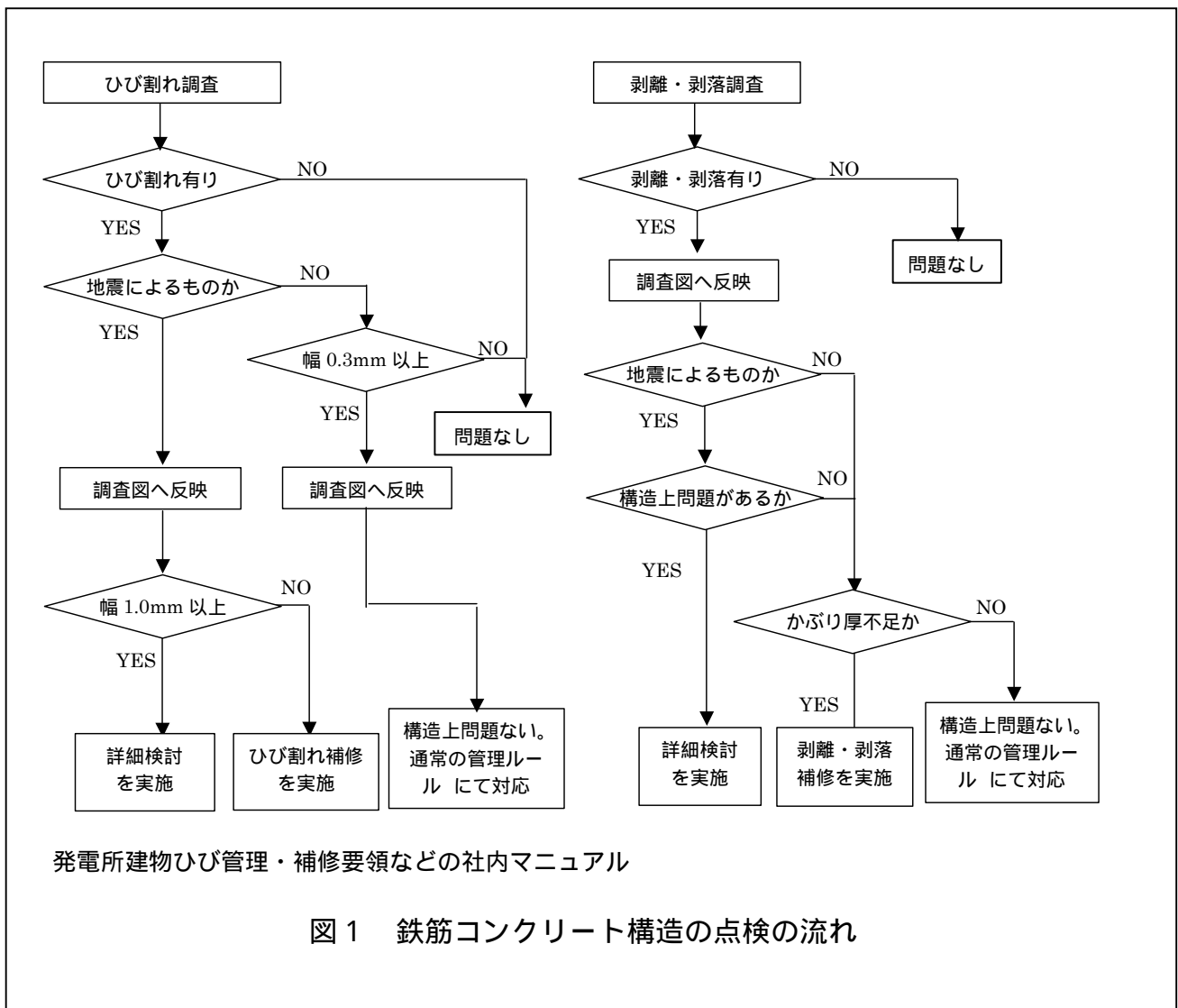
図 1 点検・評価対象の建物・構築物の断面図

点検方法：鉄筋コンクリート構造物の点検方法

- 原子炉建屋の例 -

1. 点検に基づく評価の流れ

点検は、鉄筋コンクリート構造物（耐震壁等）について図1に示す流れで実施する。



2. 点検方法

点検は、目視を基本とし、「コンクリート構造物の目視試験方法 NDIS 3418 社団法人日本非破壊検査協会」に準拠して実施する。

1) ひび割れ

ひび割れについては、ひび割れの形態、ひび割れの発生部位・位置・方向、ひび割れの程度を対象として点検を実施する。

ひび割れの形態：ひび割れの形態と規則性の有無を確認

ひび割れの発生部位・位置・方向：

柱(柱頭・中央・柱脚)、梁(下面・側面)、壁(中央・上部・下部)

床(全面)において、ひび割れの有無と方向性(縦・横・斜め、又は主筋沿い)を確認

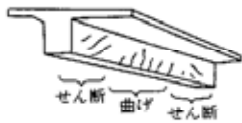
ひび割れの程度：ひび割れ幅、ひび割れ長さを測定

地震による影響を評価するため、今回の地震によって発生したことが否定できない曲げ・せん断による構造ひび割れについて記録する。このような構造ひび割れであるか否かの判断は、図2の構造ひび割れパターン等のひび割れ種類および図3のひび割れ新旧比較を参考に分類する。

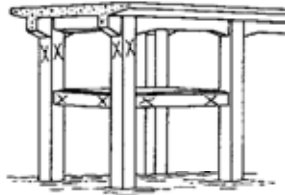
また、耐久性等の観点から、日本建築学会や日本コンクリート工学協会の既往指針類の許容値を参考として、上記の構造ひび割れ以外も含めて、ひび割れ幅 0.3mm 以上のひび割れについて記録することとする。これは今後の保守管理における参考資料として用いるためである。

【建築物の耐久性向上技術シリーズ
コンクリート造建築物の耐久性向上技術】

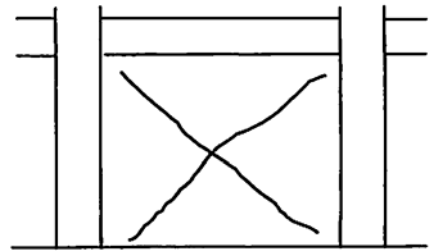
【コンクリート構造物の目視試験方法
NDIS 3418 社団法人日本非破壊検査協会】



荷重
通常、曲げモーメントを受ける部材には微細なひびわれ(幅0.1~0.2mm)が発生するが、0.2mmをこえる幅のもの、あるいはせん断力によるひびわれの発生は異常であり、詳細な検討が必要である。

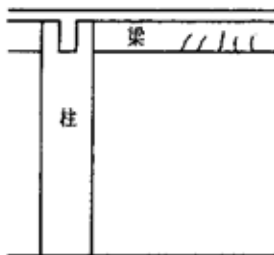


荷重(主として地震によるもの)図のようなひびわれは、地震時水平力による代表的なものである。



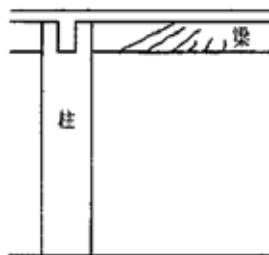
地震時に壁の中央で斜め方向にひび割れが交差し、せん断ひび割れが生じた例

【鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説】



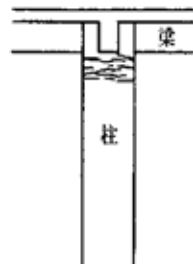
曲げモーメントを受けている梁では、微細なひび割れは許容されている。

曲げひび割れ



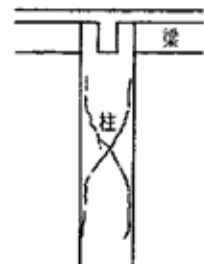
不同沈下や地震時にせん断力を受けた場合に、斜めに入るひび割れ。

せん断ひび割れ



地震時に柱頭部分に曲げひび割れが生じた例

曲げひび割れ



地震時に斜め方向にせん断ひび割れと、主筋に沿った付着ひび割れが生じた例

せん断ひび割れ

図2 構造ひび割れパターン

【新しいひび割れ】



角が鋭い（塗装面）



角が鋭い（無塗装面）

【古いひび割れ】



既存のチェックマークがある



変色がある



角が丸い

拡大図（幅約 0.1mm 程度）

図3 ひび割れの新旧比較例

2) 剥離・剥落

剥離・剥落については、剥離・剥落の発生部位・位置、剥離・剥落の程度を対象とする。

剥離・剥落の発生部位・位置

：柱（柱頭・中央・柱脚）、梁（下面・側面）、壁（中央・上部・下部）

において、剥離・剥落の有無を確認

剥離・剥落の程度

：面積、深さの測定、落下の危険性などを確認

点検によって確認された剥離・剥落は、耐久性に与える影響が大きいことから全て記録する。

剥離・剥落については、地震発生前から、補修を適宜実施するなど適切な保守管理を実施している。点検で認められた顕著な剥離・剥落については、今回の地震によって発生したものとして、確認後補修を行う。

3. 評価方法

耐震性の評価については、ひび割れ幅の評価が重要である。ひび割れ幅の評価基準値については、(財)日本建築防災協会の「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」を参考にし、ひび割れ幅 1.0mm とする。

同指針に記載されている損傷度分類の基準と補修後の耐力回復係数の目安を表 1 に示す。同指針によれば、損傷度 に分類されるひび割れについてはエポキシ樹脂等のシーリング材によるひび割れの補修により、耐力が従前の状態まで回復することが可能とされている。なお、今回の計画書では、地震によって発生したひび割れは全て補修することとしている。

また、ひび割れ幅 1.0mm を超えた場合については、補強を含めた対処法を詳細に検討する。

表1 . 損傷度分類の基準と補修後の耐力回復係数の目安

耐力壁の損傷度	損傷内容	補修後の耐力回復係数	補修方法
	近寄らないと見えにくい程度のひび割れ(ひび割れ幅 0.2 mm 以下)	0.95 ~ 1.0	エポキシ樹脂等の注入による補修
	肉眼ではっきり見える程度のひび割れ(ひび割れ幅 0.2 mm ~ 1 mm 程度)	0.95 ~ 1.0	
	比較的大きなひび割れが生じているが、コンクリートの剥落は極くわずかである。(ひび割れ幅 1 ~ 2 mm 程度)	0.9 ~ 1.0	エポキシ樹脂等の注入、コンクリート剥落補修、せん断補強、鉄骨ブレースによる補強などの組合せ工法
	大きなひび割れ(2 mm を超える)が多数生じ、コンクリートの剥落も著しく鉄筋がかなり露出している。	0.8 ~ 1.0	
	鉄筋が曲がり、内部のコンクリートも崩れ落ち、一見して耐力壁に高さ方向や水平方向に変形が生じていることがわかるもの。沈下や傾斜が見られるのが特徴。鉄筋の破断が生じている場合もある。	0.7 ~ 0.9	

地震による鉄筋コンクリート構造物への影響評価について記載された海外の文献として EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake がある。その記載は、以下のとおりであり、評価基準値としたひび割れ幅 1.0mm は EPRI の基準値を下回る値である。

幅 0.06 インチ (約 1.5mm) を超えて新しく地震によって生じたひび割れ、コンクリートの剥離、目視で確認できるフレームの変形を重大な損傷とする。

0.06 インチ以上のコンクリートひび割れは鉄筋の降伏を示している。

コンクリート構造物のわずかなヘアークラックのような微細なひび割れは重要な被害ではない。

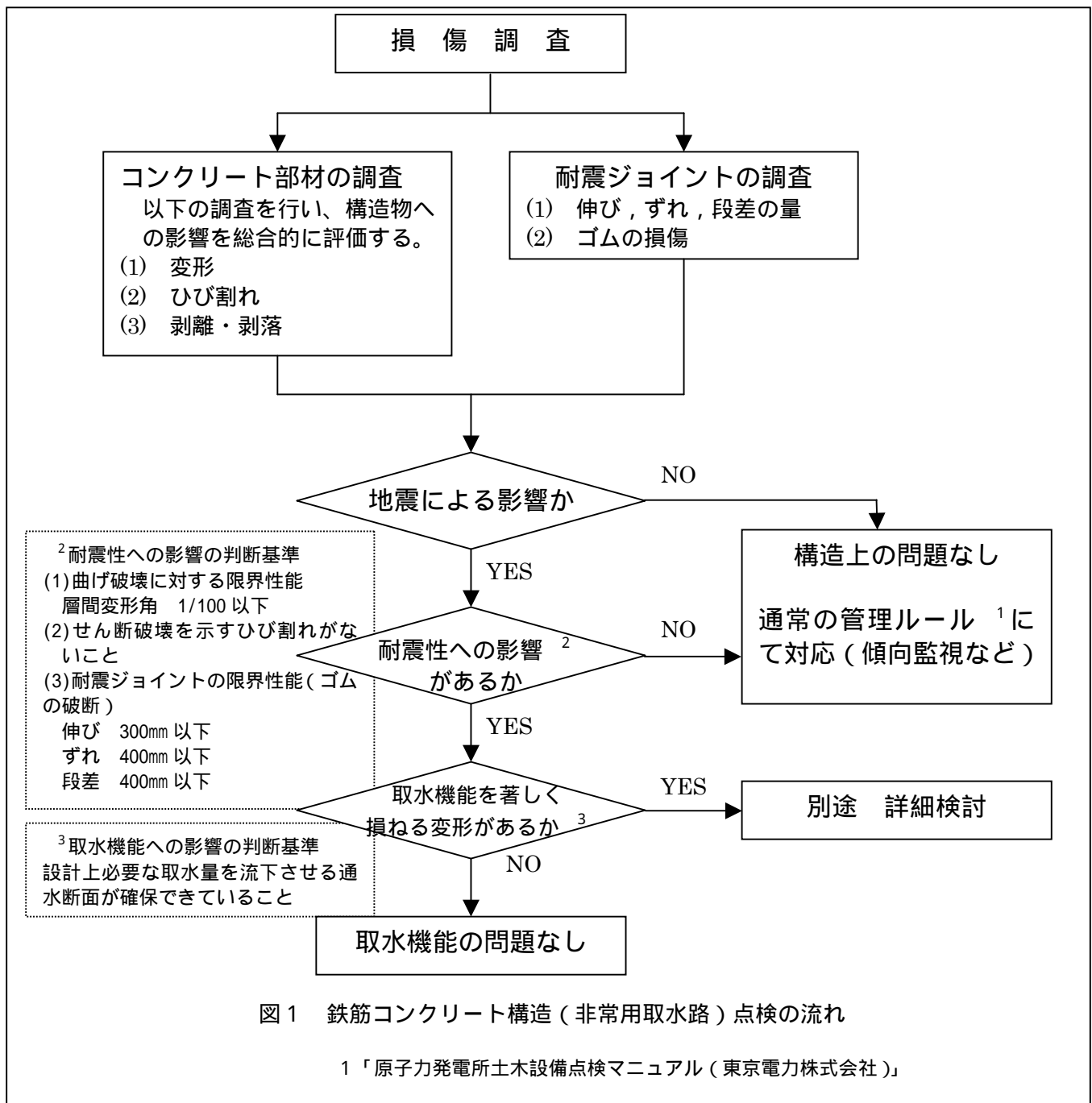
遮へい性能については、耐震性能への影響がなければ確保されると判断する。点検により記録したひび割れ幅と基準値 (1.0mm) を比較し、基準値を上回るひび割れが確認されなければ、耐震性能と遮蔽性能への影響はないものと判断する。

点検方法：鉄筋コンクリート構造物の点検方法

- 非常用取水路の例 -

1. 点検に基づく評価の流れ

点検は、コンクリート部材および耐震ジョイントについて図1に示す流れで実施する。



2．点検方法

コンクリート部材については、目視を基本とし、「コンクリート構造物の目視試験方法 NDIS 3418 社団法人日本非破壊検査協会」に準拠して実施する。耐震ジョイントについては、くいちがい量として、伸び、ずれ、段差の量を測定する。

なお、ひび割れやコンクリートの剥離・剥落箇所および、破損した耐震ジョイントについては適切な方法で補修を行う。

3．評価方法

「土木学会 原子力土木委員会 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」に耐震性能に関する解説として、「機器・配管を支持しない屋外重要土木構造物については、取水性を確保することが必要であり、その基本的な性能は耐荷性能であるため、構造物が崩壊しないことを（基準地震動 S_2 に対する）目標性能とする。」との記載がある。

点検により記録した変状等については、設計上必要な取水量を流下する通水断面が確保できなくなるような取水機能を著しく損ねる変形が確認されなければ、耐震性能への影響はないものと判断する。

また、耐震ジョイントのくいちがい量（伸び、ずれ、段差）については、重大な損傷（ゴムの大幅な破損等）が確認されなければ、耐震性能への影響はないものと判断する。

点検方法：鉄筋コンクリート構造物の点検方法

- 原子炉補機冷却系および非常用ガス処理系配管ダクトの例 -

1. 点検に基づく評価の流れ

点検は、コンクリート部材について図1に示す流れで実施する。

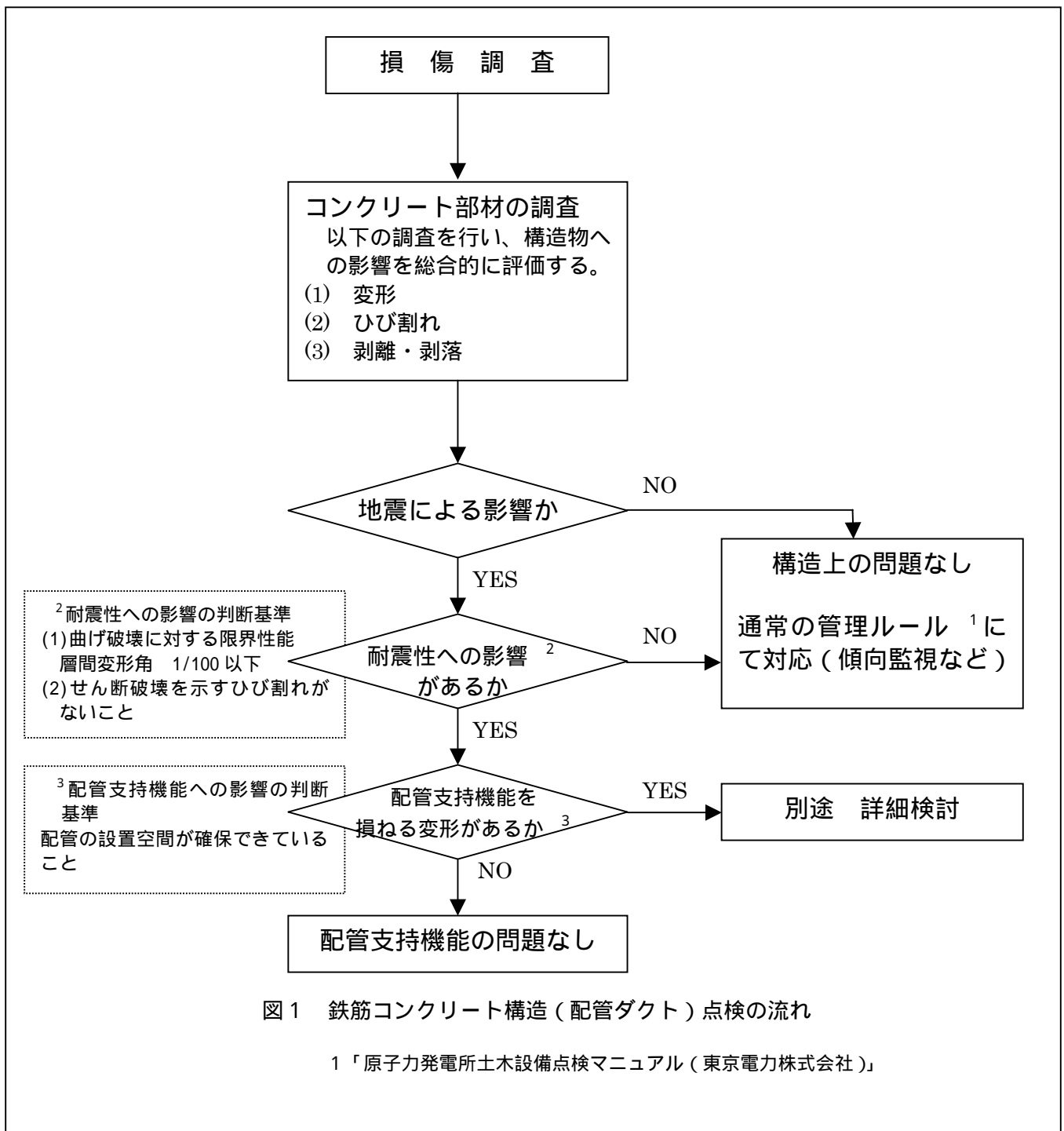


図1 鉄筋コンクリート構造（配管ダクト）点検の流れ

1 「原子力発電所土木設備点検マニュアル（東京電力株式会社）」

2．点検方法

点検は、目視を基本とし、「コンクリート構造物の目視試験方法 NDIS 3418 社団法人日本非破壊検査協会」に準拠して実施する。

なお、ひび割れやコンクリートの剥離・剥落箇所については適切な方法で補修を行う。

3．評価方法

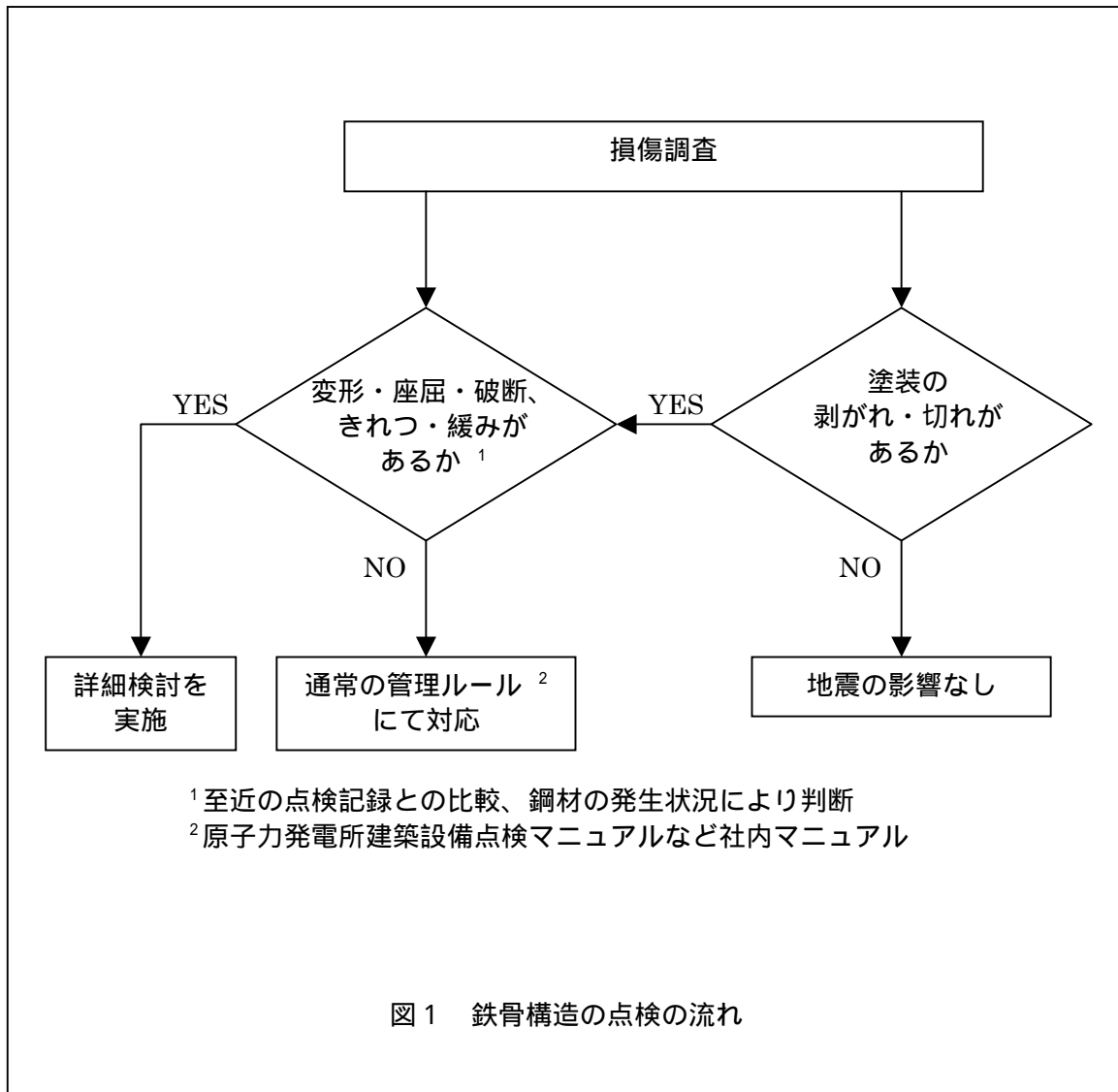
「土木学会 原子力土木委員会 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」によれば、「Asクラス、Aクラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構造物については、機器・配管の設置空間等を確保することが必要であり、その基本的な性能は耐荷性能であるため、構造物が崩壊しないことを（それぞれ基準地震動 S_2 、 S_1 に対する）目標性能とする。」と、耐震性能に関する解説がある。

点検により記録した変状等については、配管の設置空間が確保できなくなるような配管支持機能を損ねる変形が確認されなければ、耐震性能への影響はないものと判断する。

点検方法：鉄骨構造物の点検方法

1. 点検に基づく評価の流れ

点検は、鉄骨構造物について図 1 に示す流れで実施する。



2 . 点検方法

点検は、目視を基本とし、下記事象の有無について確認を行う。

1) 母材・溶接部

母材・溶接部の状態

- ・母材の座屈・変形・たわみ
- ・ガセットプレートの変形
- ・ベースプレートの折れ・凹凸
- ・溶接部の変形・破断

塗装の状態

- ・塗膜層の剥れ

2) ボルト接合部

ボルト接合部の状態

- ・ボルトの伸び・破断・緩み・はずれ
- ・アンカーボルトの伸び・破断

塗装の状態

- ・塗膜層の切れ

点検において上記変状が確認された場合は、発生部位・状態を全て記録すると共に至近の点検記録との比較および鋼材の発錆状況により評価を行い、今回の地震により生じたものであるかを分類し記録する。

3 . 評価方法

耐震性の評価については、EPRI の文献を参照して評価を行う。

地震による鉄骨構造物への影響評価について EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake の記載は以下のとおり。

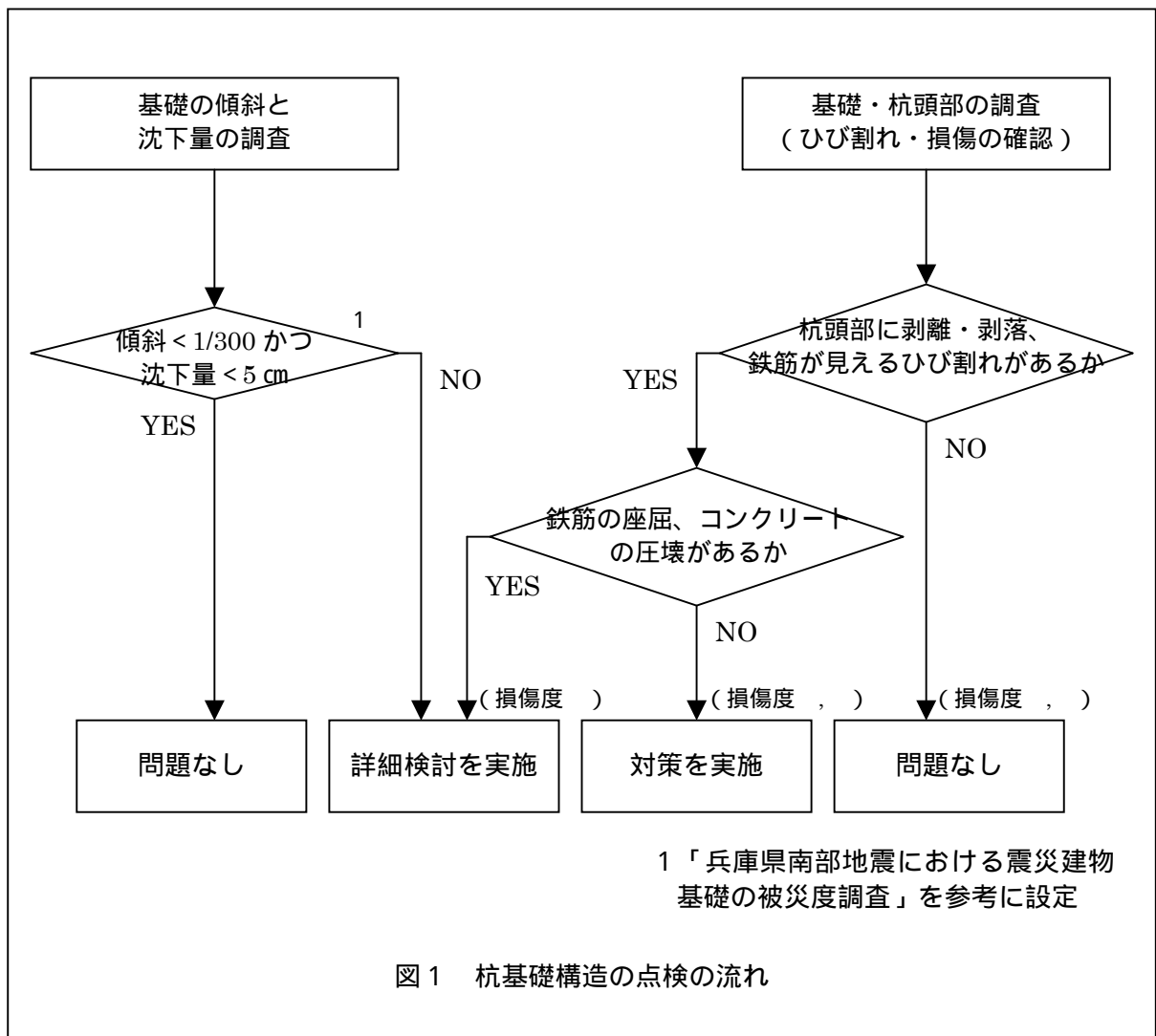
地震により新しく生じた、目視で確認できる塑性変形または接合部のきれつ、ボルト・ボルト穴・鋼材のゆがみは重大な損傷とする。

点検により記録した変状等については、重大な損傷が確認されなければ、耐震性能への影響はないものと判断する。

点検方法 - 杭基礎構造物の点検
- 排気筒の例 -

1. 点検に基づく評価の流れ

点検は、杭基礎構造物について図 1 に示す流れで実施する。



2. 点検方法

「兵庫県南部地震における震災建物基礎の被災度調査（日本建築学会技術報告集第5号，1997年12月）」を参考に傾斜・沈下量の測定を行うとともに基礎・杭頭部の目視点検を実施する。

1) 基礎の傾斜・沈下測定

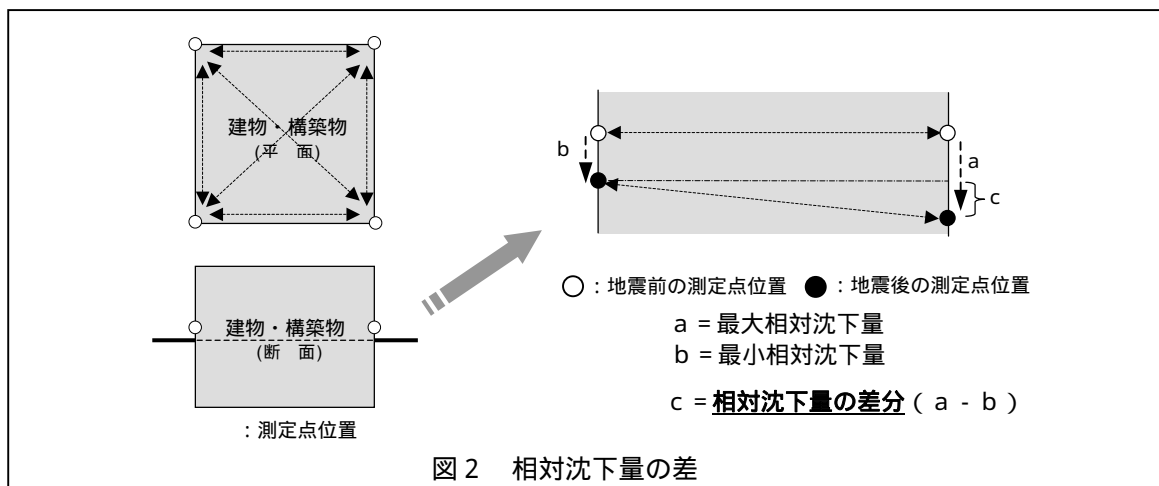
基礎の傾斜

原則として、建物・構築物の全体傾斜角の値で評価する。全体傾斜角はトランシットや下げ振り等で建物・構築物頂部の四隅X、Y方向の変位を測定し次式により求める。

$$= \sqrt{x^2 + y^2} \quad (x: X \text{方向傾斜角}, y: Y \text{方向傾斜角})$$

基礎の沈下量

建物・構築物各測定点の最小相対沈下量と最大相対沈下量との差分（図2）で評価する。



2) 基礎・杭頭部の調査

基礎・杭頭部の目視確認

掘削により基礎・杭頭部の損傷状況を目視にて確認する。なお、杭頭部については杭の損傷度分類例（図3）を参考に目視にて確認する。

3. 評価方法

1) 基礎の傾斜角・沈下量

被災度の判定の考え方として、傾斜角 1/300 未満かつ沈下量 5cm 未満のものを耐震性能への影響はないものと判断する。

2) 目視点検

点検により記録した変状等については、杭としての支持性能（鉛直、水平）の保持に大きな支障となる損傷（杭頭部に剥離・剥落、鉄筋が見えるひび割れ等）が確認されなければ、耐震性能への影響はないものと判断する。

損傷度	I	II	III	IV	V
軸力と曲げによる被害	基礎スラブ 1.5D 以内に 1~3本 0.2mm 以下 D	基礎スラブ 1.5D 以内に 1~3本 1mm 程度 表面剥離 鉄筋は見えない D	基礎スラブ 1.5D 以内に 3本程度 約10cm または 0.2D 1~2mm 程度 局所的な剥落 鉄筋が少し見えてもよい D	基礎スラブ 表面コンクリートの剥落 縦ひび割れ 鉄筋が局部的に座屈 軸方向に縮んでいる 鉄筋がすべて座屈 鉄筋の破断	基礎スラブ 鉄筋が座屈 鉄筋の破断
杭とせん断による被害	基礎スラブ 1~3D 0.2mm 以下 D	基礎スラブ 1~3D 1mm 程度 D	基礎スラブ 1~3D コンクリートの剥落 鉄筋は見えない 1~2mm 程度 D	基礎スラブ 1~3D コンクリートの剥落 2mm 以上 鉄筋が見える 鉄筋は座屈していない 軸方向に縮んでいる 鉄筋が座屈 鉄筋の破断	基礎スラブ 鉄筋が座屈 鉄筋の破断
軸力による被害	基礎スラブ 1D 程度以上 0.2mm 以下 D	基礎スラブ 0.5~1D 以下 1mm 以下 D	基礎スラブ 0.5~1D 以下 鉄筋がわずかに見える コンクリートの剥落 10cm 幅程度 (わずか) 2mm 程度 D	基礎スラブ フーチングと離れる 定着鉄筋が見える コンクリートの剥落 鉄筋の露出 軸方向に縮んでいる 鉄筋が座屈 鉄筋が破断 杭の折れ 曲り	基礎スラブ 鉄筋が座屈 鉄筋が破断 杭の折れ 曲り

場所打ちコンクリート杭の損傷度と損傷パターン

(出典：二木幹夫，建築基礎の耐震診断・耐震補強，基礎工，1999.4)

図3 杭の損傷度分類例

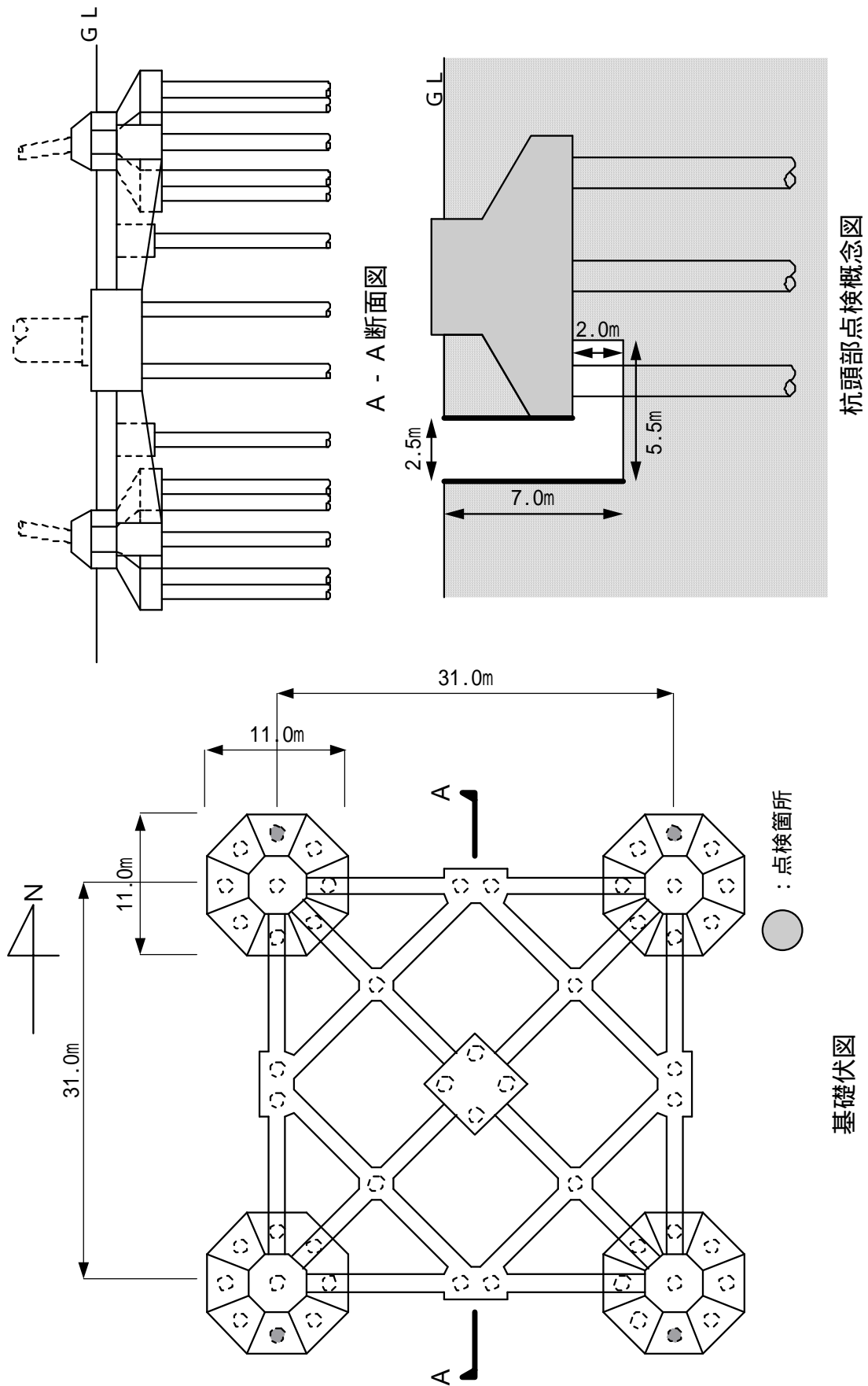
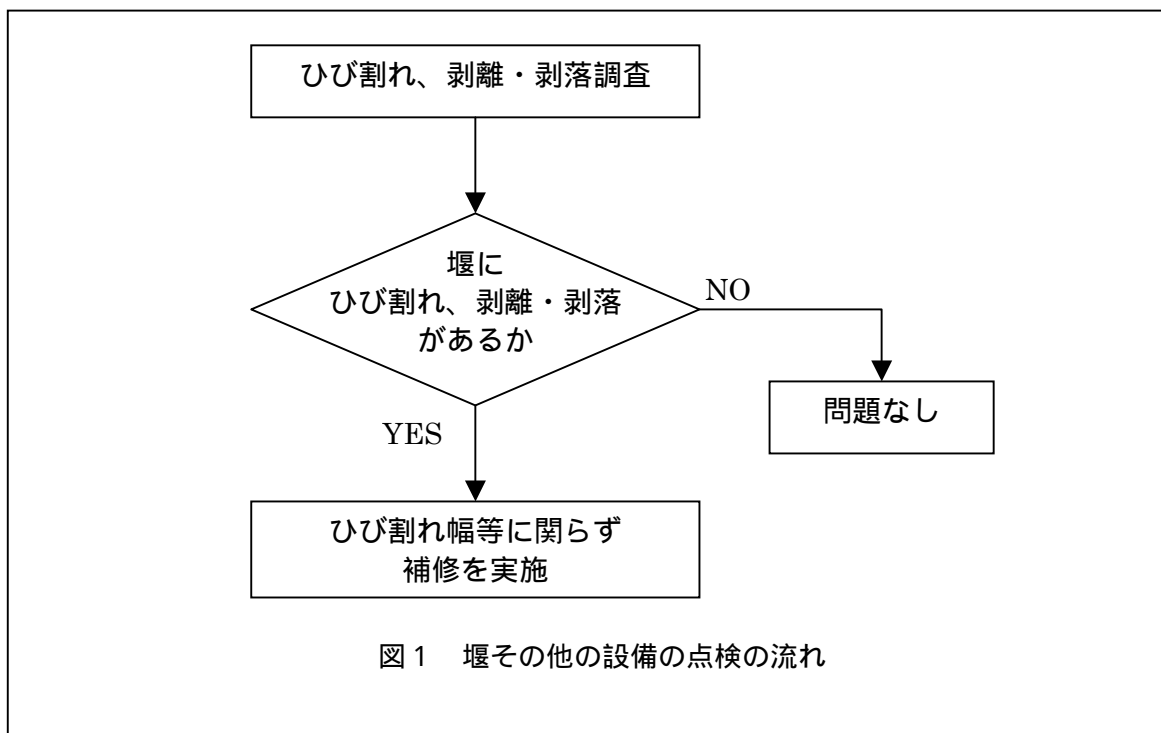


図1 排気筒 杭基礎構造の概念図

点検方法：堰その他の設備の点検方法

1. 点検に基づく評価の流れ

点検は、図 1 に示す流れで実施する。

2. 点検方法

目視によりひび割れや剥落・剥離等の有害な欠陥が無いことを確認する。

3. 評価方法

堰の塗装については、地震による影響に限らず、作業時の衝撃による損傷が生じる場合もあり、今回の地震により生じたものか判断は困難である。有害な欠陥があった場合は、確認後補修を行う。

判定基準に関する参考資料

．コンクリート構造物1．生体遮へい装置

遮へい性能に関わるひび割れ

既往の知見として、壁厚とひび割れ幅が遮へい性能に与える影響について下記文献に記載があるため、参考に以下に示す。

- 1) B. T. Price, C. C. Horton and K. T. Spinny; "RADIATION SHIELDING", Pergamon Press, London · NY · Paris, 1957

図 1 に示すように、通常の品質の高いコンクリート工事で許容される乾燥ひびわれで、構造的な強度や仕上げの美観上問題の無いひびわれについては、コンクリート躯体を直線的に貫通することはないので、線の漏洩 (Radiation Leakage) が発生することはないとしている。なお、図 1 における例示は、幅が 1.6mm (1/16 インチ) で、直線からの偏差が $\pm 4.8\text{mm}$ ($\pm 3/16$ インチ) であるようなひびわれである。

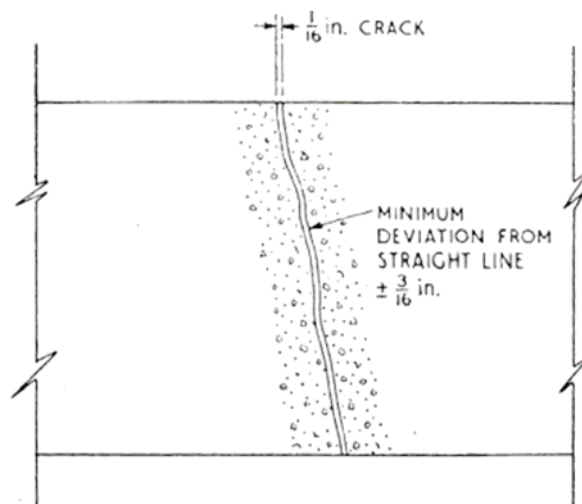


図 1 Typical crack through mass concrete shield

2) T. Rockwell III; "Effect of Irregularities in Shield", Reactor Shielding Design Manual, Chapter 8

スリットがコンクリートを貫通している場合の、スリットから漏洩する放射線量の減衰率を算定するもので、(1)式によると、コンクリート遮へい厚さ 1000mm、スリット幅 1mmとすると、減衰率 = 2×10^{-5} となるとしている。

$$\frac{\phi_{out}}{\phi_{in}} = 20 \times (t / z)^2 \quad \text{-----} \quad (1) \text{式}$$

ϕ_{out} : コンクリート壁外側の放射線量

ϕ_{in} : コンクリート壁内側の放射線量

t : スリット幅

Z : コンクリート遮へい厚さ

さらに、現実にはスリットではなく図 1 に示すようなひびわれとなるので、放射線の透過は実質的にはひびわれの無いコンクリートとほぼ同等と考えられる。

2 . 原子炉格納施設

耐震性能

- ・ EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake に、地震による鉄筋コンクリート構造物への影響評価について以下の記載がある。

幅 0.06 インチ(約 1.5mm)を超えて新しく地震によって生じたひび割れ、コンクリートの剥離、目視で確認できるフレームの変形を重大な損傷とする。

0.06 インチ以上のコンクリートひび割れは鉄筋の降伏を示している。コンクリート構造物のわずかなヘアークラックのような微細なひび割れは重要な被害ではない。

気密性能

- ・ (財)原子力発電技術機構：原子力発電施設耐震信頼性試験「原子炉建屋総合

評価 建屋基礎地盤系評価に関する報告書(その2):平成8年度」

(財)原子力発電技術機構では、原子力発電施設耐震信頼性試験を行い、鉄筋コンクリート壁の S_2 地震後のひび割れ等から空気の外気侵入量と施設の負圧を維持する機器の容量との関係から、機能維持について検討している。

ここで、外気侵入量が機器の容量未満である場合には、耐漏洩機能が要求されている部位は、地震後も十分負圧を維持できるとしている。

この検討結果では、鉄筋コンクリート壁の許容限界の目安値 $\mu/1.5$ (S_2 地震時の許容限界せん断ひずみ $\gamma = 2/1000$ に相当するせん断応力度として設定)を経験した場合で、安全側に評価しても最大で鉄筋コンクリート壁からの外気侵入量は負圧維持する機器容量の13%程度であり、残留ひび割れからの外気侵入量総量は負圧維持用ファン容量に比較すると無視できると結論付けている。

また、原子炉建屋気密性能検査により気密性能を確認することから、ひび割れ等による評価は不要であると考えられる。

3. 非常用取水設備

取水機能

- ・「土木学会原子力土木委員会原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」によれば、「機器・配管を支持しない屋外重要土木構造物については、取水性を確保することが必要であり、その基本的な性能は耐荷性能であるため、構造物が崩壊しないことを(基準地震動 S_2 に対する)目標性能とする。」と、耐震性能に関する解説がある。そのため、取水機能を著しく損ねる変形が無いことを確認する。

4. 配管ダクト

配管支持機能

- ・「土木学会 原子力土木委員会 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」によれば、「Asクラス、Aクラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構造物については、機器・配管の設置空間等を確保することが必

要であり、その基本的な性能は耐荷性能であるため、構造物が崩壊しないことを（それぞれ基準地震動 S_2 、 S_1 に対する）目標性能とする。」と、耐震性能に関する解説がある。そのため、機器・配管の支持性能を著しく損ねる変形がないことを確認する。

鉄骨構造物

1. 原子炉格納施設（屋根トラス）

耐震性能

- ・ EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake に、地震による鉄骨構造物への影響評価について以下の記載がある。

地震により新しく生じた、目視で確認できる塑性変形または接合部のきれつ、ボルト・ボルト穴・鋼材のゆがみは重大な損傷とする。

2. 排気筒

耐震性能

- ・ EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake に、地震による鉄骨構造物への影響評価について以下の記載がある。

地震により新しく生じた、目視で確認できる塑性変形または接合部のきれつ、ボルト・ボルト穴・鋼材のゆがみは重大な損傷とする。

基礎構造

1. 排気筒基礎

耐震性能

- ・ 排気筒の傾斜 1/300 未満、沈下量 5 cm 未満であり、基礎・杭頭部に杭としての支持性能（鉛直、水平）の保持に大きな支障となる損傷（杭頭部に剥離・剥落、鉄筋が見えるひび割れ等）が確認されない場合には被害がないものと判断する。