

地震後の機器健全性評価ガイドライン
[検査手法—配管・基礎ボルト等]

平成24年3月

一般社団法人 日本原子力技術協会

はじめに

新潟県中越沖地震を契機として、平成 19 年秋に発足した「中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会」(SANE: Structural Integrity Assessment for Nuclear Power Components experienced Niigata Chuetsu-Okii Earthquake Committee) では、構造強度・検査・耐震などを専門的分野とする学識経験者と電力・メーカー等の関係者が一同に会し、被災した柏崎刈羽原子力発電所重要設備の健全性評価の検討を進めております。

ここで得られた貴重な知見を、今後の地震遭遇に備えて関係者が広く共有するため、地震後の機器健全性評価ガイドラインとして取り纏めることと致しました。

特に、設計上の想定を超える大地震に遭遇した発電所の膨大な設備を点検・検査していくためには、各設備に共通的に実施する目視点検・作動試験等の基本点検と、基本点検や地震応答解析結果に応じて実施する追加点検(分解点検・非破壊試験等)の点検計画を作り、遵守すべき関係法令・基準と、点検・評価者に必要とされる力量を明確にし、損傷の可能性のある部位を的確に予測して設備点検することが必要となります。

このため、SANE 委員会では検査 WG を設置して、遵守すべき基準や点検・評価者の資格を検討、非破壊検査などとともに塑性ひずみの評価、基礎ボルトの健全性評価の評価方法をガイドラインとして取り纏めました。

なお、平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震・津波により、東京電力福島第一原子力発電所では深刻な事故が発生しました。本委員会の検討は、主として東北地方太平洋沖地震以前に実施され、また地震動、すなわち地震による揺れに起因する損傷を対象としています。そのため、本ガイドラインも地震動による損傷のみを対象とした構成、内容となっています。

本ガイドラインが活用され原子力発電所の安全・安定運転の一助になるとともに、産業設備全般の検査手法検討の際にも参照されることを期待しております。

最後に、ご多忙のなか審議に参画いただき多大な提言を賜りました、委員・参加者等、関係各位に深く感謝申し上げます。

平成 24 年 3 月

中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会
主 査 野 本 敏 治

地震後の機器健全性評価ガイドライン[検査手法—配管・基礎ボルト等]

改訂履歴

改訂年月	版	改訂内容	備考
平成 24 年 3 月	初版発行		

ガイドラインの責任範囲

このガイドラインは、日本原子力技術協会に設置された、中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会において、専門知識と関心を持つ委員と参加者による審議を経て制定されたものである。

日本原子力技術協会はガイドライン記載内容に対する説明責任を有するが、ガイドラインを使用することによって生じる問題に対して一切の責任を持たない。またガイドラインに従って行われた点検・評価等の行為を承認・保証するものではない。

従って本ガイドラインの使用者は、本ガイドラインに関連した活動の結果発生する問題や第三者の知的財産権の侵害に対し補償する責任が使用者にあることを認識して、このガイドラインを使用する責任を持つ。

地震後の機器健全性評価ガイドライン [検査手法—配管・基礎ボルト等]

目次

- 1 目的、適用範囲
 - 1.1 目的
 - 1.2 適用範囲
2. 設備点検の基本方針
3. 基本点検
 - 3.1 点検方法と判定基準
 - 3.2 点検実施者・評価者
4. 配管と基礎ボルトの追加点検
 - 4.1 点検方法と判定基準
 - 4.2 点検実施者・評価者

- 附属書A 塑性ひずみの検出・測定要領
附属書B 植込みボルトの超音波探傷試験要領
附属書C 基礎ボルトのトルク確認要領
附属書D 配管エルボの超音波探傷試験要領

1. 目的、適用範囲

1.1 目的

本ガイドラインは、原子力発電所が地震に遭遇した際に実施する静的機器、特に配管と基礎ボルトの点検要領を示す。ここに示す点検要領は、新潟県中越沖地震後の原子力発電所への適用事例を成文化したものであり、原子力発電所の個々の健全性評価計画に活用され、安全・安定運転に資することを目的とする。

1.2 適用範囲

地震後の点検対象機器、部位は、地震後の機器健全性評価ガイドライン[地震前計画と地震後の点検・評価] (JANTI-SANE-G1) に従い選定する。選定された機器、部位の検査方法は想定される損傷形態に応じて決定され、検査目的、点検範囲等が合致する場合には本ガイドラインに示す検査手法を適用することができる。

2. 設備点検の基本方針

設備の点検を以下に分類して実施する。

- ① 基本点検：目視点検、作動試験(性能確認、振動等確認、漏洩確認)等で構成され、選定された対象設備について実施する。
- ② 追加点検：非破壊試験、塑性ひずみ測定等で構成され、基本点検、地震応答解析の結果に応じて実施する。容器等の開放点検、計測制御装置の特性試験等による異常の有無確認を含む。

ここで、原子力発電所の地震後の機器健全性評価の総論としての考え方、地震前の計画、及び地震後の地震影響のレベルに応じてとるべき対応については 地震後の機器健全性評価ガイドライン [地震前計画と地震後の点検・評価] (JANTI-SANE-G1) に記載している。

3. 基本点検

3.1 点検方法と判定基準

設備点検の手順および判定基準は、保守点検等において用いられる規格・指針等（表-3-1 参照）を準用するとともに、技術的に妥当であると確認されたものを採用し、各点検対象設備ごとに定めることとする。

表-3-1 各点検・評価方法の判定基準例一覧（基本点検）

点検手法	手順および判定基準
目視点検	・ 日本機械学会発電用原子力設備規格 維持規格 VT-3 ・ JIS Z 3090 溶接継手の外観検査方法 ・ NDIS 3414 目視試験方法 ・ NDIS 3415 設備および装置の点検方法 等
漏えい試験	・ 日本機械学会発電用原子力設備規格 維持規格 VT-2 等
作動試験	・ 定例試験実施時の値 ・ 定期事業者検査等の機能・性能試験における手順および判定基準 ・ 軽水型原子力発電所の運転保守指針 (JEAC4803) 等

機能確認試験	・定期事業者検査等の機能・性能試験における手順および判定基準 等
--------	----------------------------------

3.2 点検実施者・評価者

点検を実施・評価する者は表-3-2 に示す技量、力量を有する者とする。

表-3-2 点検、検査の実施・評価者に要求される技量、力量（基本点検）

点検方法	技量、力量
目視点検	<ul style="list-style-type: none"> ・NDIS 3413 「非破壊試験技術者の視力及び色覚の試験方法」にて準用される、JIS Z 2305 「非破壊試験－技術者の資格及び認証」にて非破壊試験員に要求される近方視力の確認を行う等、視力に異常のない者とする。 ・業務経験年数、社内認証、教育・訓練受講履歴等、適切な力量を有する者とする。

4. 配管と基礎ボルトの追加点検

地震後の構造健全性評価に際し、静的機器のなかでも物量が多い配管と基礎ボルトについて、追加点検の必要性が認められた場合に適用可能なように、中越沖地震後の非破壊検査法と硬さ測定法等実施例をもとに知見を整理するとともに、附属書 A～D に試験要領の詳細を纏めた。

4.1 点検方法と判定基準

(1) 配管を対象とする点検方法と判定基準を表 4-1～表 4-5 に示す。

表 4-1 配管の目視試験方法および判定基準（追加点検）

項目	内容
目的	配管に変形等、表面の異常の有無を確認する。
点検範囲	基本点検において損傷が確認された系統、および、耐震 S クラス配管の観測波による地震応答解析に対し許容値を満足しない結果となる系統を選定し、目視試験（VT）の対象とする。 対象箇所は選定された各系統の全外観範囲とし、保温材等の取外しを行い全範囲に対して目視点検を実施する。
点検方法	維持規格（JSME S NA1-2004）の IA-2523 VT-3 試験に準拠し、配管表面を直接目視にて VT を実施する。
準拠規格又は適用規格	維持規格（JSME S NA1-2004）
判定基準	配管に変形等、表面に異常がないこと。 なお、異常が検出された場合は、異常内容に応じた非破壊試験を実施する。

JSME S NA1-2004：発電用原子力設備規格 維持規格（日本機械学会）

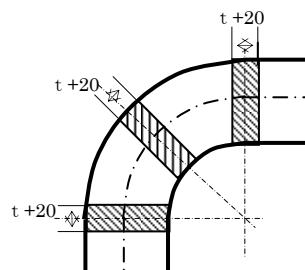
表 4-2 配管の浸透探傷試験方法および判定基準（追加点検）

項 目	内 容
目的	配管外表面の割れの有無を確認する。
点検範囲	観測波による地震応答解析から許容値を満足しない箇所を選定し、浸透探傷試験（PT）の対象とする。対象箇所について下図の範囲とする。
点検方法	維持規格（JSME S NA1-2004）の IA-2532 浸透探傷試験に準拠し、配管外表面に対して PT を実施する。
準拠規格又は適用規格	維持規格（JSME S NA1-2004）
判定基準	割れによる指示模様がないこと。 なお、割れによる指示模様が認められた場合は、UT 等他の非破壊試験を実施する。

JSME S NA1-2004：発電用原子力設備規格 維持規格（日本機械学会）

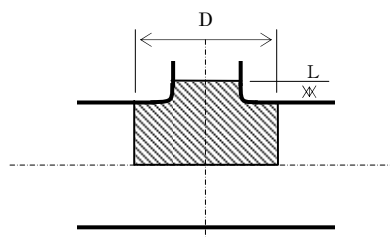
(1) エルボ部の PT 範囲概略図

エルボ部は、両端および曲がり中心に、
 $t+20$ mmの範囲で全周（ t ：配管厚さ）



(2) ティー部の PT 範囲概略図

母管外径（D）と同一範囲の鞍形部
（枝管側半周面+枝管の直管部まで）
L：母管と枝管 R 止まりまでの距離



(3) 直管部の PT 範囲概略図

サポート部、溶接部およびアンカー部は、
右図に示す $t+20$ mmの PT 可能な範囲
（ t ：配管肉厚）

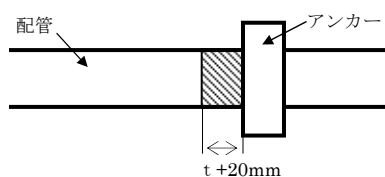
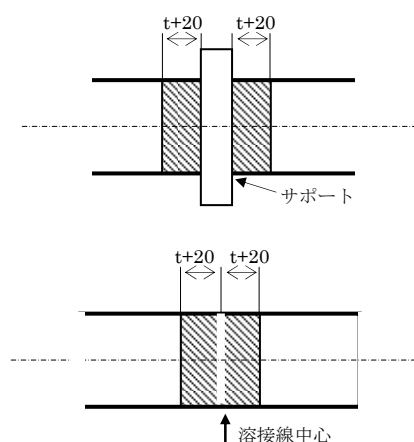


表 4-3 配管溶接継手の超音波探傷試験方法および判定基準（追加点検）

項 目	内 容
目的	配管溶接継手内表面のき裂の有無を確認する。
点検範囲	観測波による地震応答解析から許容値を満足しない溶接継手箇所を選定し超音波探傷試験(UT)の対象とする。
点検方法	配管溶接継手の内表面全周に対して、軸方向および周方向からの UT を実施する。
準拠規格又は適用規格	維持規格（JSME S NA1-2004） JEAG4207-2004
基準感度	JEAG4207-2004 で規定する基準感度の設定に準じる。なお、DAC 曲線は内面前後のスキップ点を用いて作成する。 1) 厚さ 25 mm以下：2S/8 と 6S/8 2) 厚さ 25 mm超え：3S/8 と 5S/8
探傷感度	探傷感度は以下とする。 1) 手動探傷：基準感度の 2 倍（+6dB）以上 2) 自動探傷：基準感度
記録レベル	DAC20%を超える指示。
判定基準	DAC20%を超える指示がないこと。 DAC20%を超える内面からのエコーを検出した場合は、反射源の種類を評価する。評価にあたっては、必要に応じて追加試験、他の非破壊試験等を行う。 なお、内面き裂と評価した場合は別途協議する。

JSME S NA1-2004：発電用原子力設備規格 維持規格（日本機械学会）

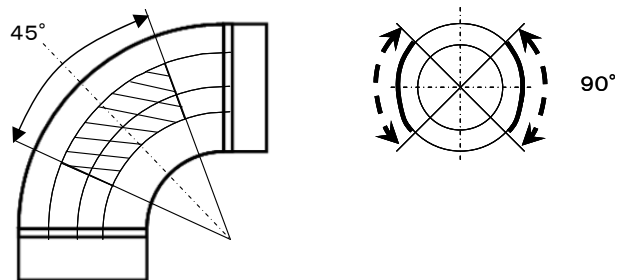
JEAG4207-2004：軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験
指針（日本電気協会）

表 4-4 配管点検(エルボ部)の超音波探傷試験方法および判定基準 (追加点検)

項 目	内 容
目的	配管エルボ部の内表面き裂の有無を確認する。
点検範囲	観測波による地震応答解析から許容値を満足しない箇所(エルボ部)を選定し超音波探傷試験(UT)の対象とする。対象箇所について下図の範囲とする。
点検方法	配管エルボ部の内表面について、周方向からの UT を実施する。
準拠規格又は適用規格	設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)
基準感度	対比試験片の内面に付与したスリットからの反射エコーを探傷器画面の 80%に調整した感度を基準感度とする。
探傷感度	探傷感度は以下とする。 1) 手動探傷：基準感度の 2 倍 (+6dB) 以上 2) 自動探傷：基準感度
記録レベル	基準感度で表示器の 40%を超える指示。
判定基準	表示器の 40%を超える指示がないこと。 表示器の 40%を超える内面からのエコーを検出した場合は、反射源の種類を評価する。評価にあたっては、必要に応じて追加試験、他の非破壊試験等を行う。 なお、内面き裂と評価した場合は別途協議する。

JSME S NC1-2005：発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (日本機械学会)

(1) エルボ部の UT 範囲概略図



(2) 探傷方法

探傷角度 45° (横波、5MHz) で
周方向探傷

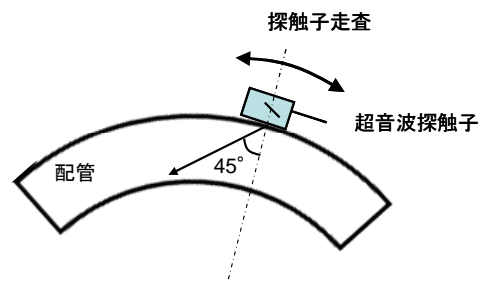
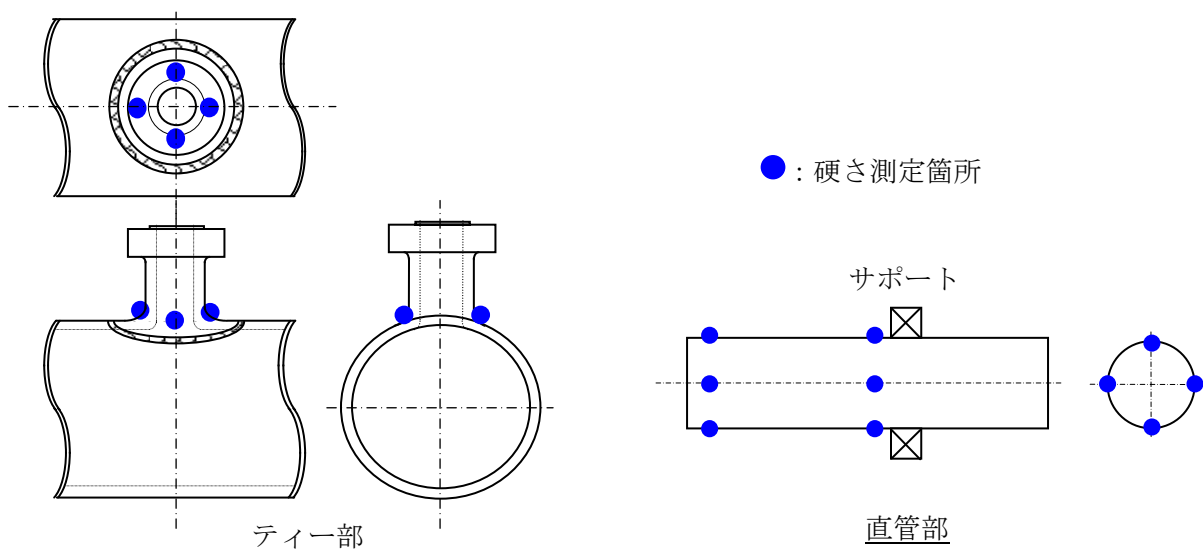


表 4-5 配管の表面硬さ試験方法と判定基準（追加点検）

項目	内容
目的	疲労強度に影響を与える塑性ひずみの有無を確認する。
点検範囲	観測波による地震応答解析から許容値を満足しない箇所を選定し、表面硬さ試験の対象とする。最大応力が許容値を満足しない箇所（評価部）および影響が小さい箇所（比較部）を選定し、試験対象とする。
点検方法	評価部および比較部の測定箇所は、口径、形状、材質、製造方法および方位が同等な位置とする。 ポータブルビッカース硬さ計を用いて表面硬さを測定する。 ・ティ部（下図参照） ・直管部（下図参照）
準拠規格又は適用規格	JIS Z2244-2003
試験要領	表面硬化層を除去する。 最終表面研磨条件は#400 とする。
	硬さ標準試験片を用いて、標準硬さと測定値に有意な差がないことを試験前後に確認する。
	各測定箇所の測定点数は 40 点とし、平均値および標準偏差を算出する。
判定基準	評価部、比較部の各部位で最大値および最小値を求め、最大値同士、最小値同士を比較し、評価部の最大値が比較部の最大値を下回るもしくはばらつき（標準偏差）の範囲内であること、評価部の最小値が比較部の最小値を下回るもしくはばらつき（標準偏差）の範囲内であること。 なお、判定基準を越えた場合は、測定値のばらつき、製造履歴、材料の不均一性等の可能性を検討し、総合的な評価を行う。

JIS Z2244-2003：ビッカース硬さ試験－試験方法（日本工業規格）



(2) 機器の基礎ボルトの点検方法および判定基準を表 4-6～表 4-8 に示す。

表 4-6 基礎ボルトの目視試験方法および判定基準 (追加点検)

項 目	内 容
目的	基礎ボルトの変形、緩み、脱落等、表面の異常の有無を確認する。
点検範囲	基本点検において損傷が確認された系統、および、耐震Sクラス設備の観測波による地震応答解析に対し許容値を満足しない結果となる部位を選定し、目視試験 (VT) の対象箇所とする。
点検方法	基礎ボルトを直接目視にて VT を実施する。
準拠規格又は適用規格	維持規格 (JSME S NA1-2004)
判定基準	基礎ボルトの変形、緩み、脱落等、表面の異常がないこと。 なお、異常が認められた場合は、打診試験、トルク確認試験、UT 結果等を確認し、総合的な評価を行う。

JSME S NA1-2004 : 発電用原子力設備規格 維持規格 (日本機械学会)

表 4-7 基礎ボルトの超音波探傷試験方法および判定基準 (追加点検)

項 目	内 容
目的	基礎ボルトのねじ部についてき裂の有無を確認する。
点検範囲	基本点検において損傷が確認された系統、および、耐震Sクラス設備の観測波による地震応答解析に対し許容値を満足しない結果となる部位を選定し、基礎ボルトのねじ部を超音波探傷試験 (UT) の対象箇所とする。
点検方法	基礎ボルトのねじ部を垂直法 (底面エコー方式) により実施。
準拠規格又は適用規格	設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)
基準感度	基準感度は以下とする。 1) 超音波入射側のねじ部 : 健全部底面からの反射エコーを探傷器画面の 80% に調整した感度。 2) 超音波入射反対側のねじ部 : 健全部底面からの反射エコーを探傷器画面の 80% に調整した感度の 4 倍 (+12dB) の感度。
探傷感度	探傷感度は、基準感度+6dB とする。
記録レベル	エコー高さが 5% を超える指示。
判定基準	エコー高さが 5% を超える有意な指示がないこと。 なお、有意な指示が認められた場合は別途協議する。

JSME S NC1-2005 : 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (日本機械学会)

表 4-8 基礎ボルトのトルク確認試験方法および判定基準(追加点検)

項目	内容
目的	基礎ボルトについて締結力の喪失の有無を確認する。
点検範囲	基本点検において損傷が確認された系統、および、耐震Sクラス設備の観測波による地震応答解析に対し許容値を満足しない結果となる部位を選定し、トルク確認試験対象とする。
点検方法	トルクレンチ等の機材を用いてトルク確認試験（緩め側）を行う。 トルク値は、設計上必要とされるボルト軸力などを参考に部位に応じて決定する。
準拠規格又は適用規格	—
判定基準	トルク確認試験でナットが回転しないこと。 なお、ナットが回転した場合は、打診試験、VT、UT 結果等を確認し、総合的な評価を行なう。

4.2 点検実施者・評価者

点検を実施・評価する者は表-4-9 に示す技量、力量を有する者とする。

表-4-9 点検、検査の実施・評価者に要求される技量、力量（追加点検）

点検方法	技量、力量
目視点検	<ul style="list-style-type: none"> ・NDIS 3413 「非破壊試験技術者の視力及び色覚の試験方法」にて準用される、JIS Z 2305 「非破壊試験—技術者の資格及び認証」にて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とする。 ・業務経験年数、社内認証、教育・訓練受講履歴等、適切な力量を有する者とする。
非破壊試験	実施する非破壊試験に対して、以下の資格、技量を有すること <ul style="list-style-type: none"> ・JIS Z2305 「非破壊試験—技術者の資格及び認証」 レベル 2 以上 ・上記資格と同等の技量を有すること
配管の表面硬さ試験	<ul style="list-style-type: none"> ・業務経験年数、教育・訓練受講履歴等、適切な力量を有する者とする。
基礎ボルトのトルク確認試験	<ul style="list-style-type: none"> ・業務経験年数、教育・訓練受講履歴等、適切な力量を有する者とする。

附属書 A 塑性ひずみの検出・測定要領

附属書 B 植込みボルトの超音波探傷試験要領

附属書 C 基礎ボルトのトルク確認要領

附属書 D 配管エルボの超音波探傷試験要領

附属書 A 塑性ひずみの検出・測定要領

目次

附属書 A

1. 総 則
 - 1.1 目 的
 - 1.2 適用範囲
 - 1.3 用語及び略語
 - 1.4 関連規格
2. 試験要領
 - 2.1 評価部と比較部
 - 2.2 研磨作業員及び測定員
 - 2.3 使用機材
 - 2.4 試験要領
3. 判定及び塑性ひずみ測定の要領
 - 3.1 塑性ひずみ発生の有無の判定
 - 3.2 塑性ひずみの測定
4. 記録要領
 - 4.1 記録手順
 - 4.2 記録内容
5. 地震による塑性ひずみの影響評価

附属書 A 解説

- (解説-1.1) 評価部, 比較部, 測定部及び測定箇所 の定義
- (解説-2.1) 低温焼なまし又は焼ならしを施したフェライト鋼
- (解説-2.2) 固溶化熱処理を施したオーステナイト系ステンレス鋼
- (解説-2.3) 同程度の硬さをもつ材料
- (解説-2.4) 研磨作業員
- (解説-2.5) 硬さ測定員
- (解説-2.6) 硬さ測定器
- (解説-2.7) 繰返し性及び誤差の検証
- (解説-2.8) 加工硬化層除去の確認方法
- (解説-2.9) 試験前後の誤差確認

- (解説-2.10) 測定部あたりの測定箇所の根拠
- (解説-2.11) 測定箇所の間隔
- (解説-3.1) 判定方法
- (解説-4.1) 記録要領
- (解説-5.1) 地震による塑性ひずみの影響評価
- (解説-5.2) 試験対象機器に関する知識

附属書 A

1. 総 則

本附属書の目的，適用範囲，使用される用語，略語及び関連規格について示す。

1.1 目 的

本附属書は，フェライト鋼及びオーステナイト系ステンレス鋼の原子力発電所用配管等母材部に対し，地震により発生した塑性ひずみの検出又は測定するための試験，判定及び記録の要領について示す。

1.2 適用範囲

原子力発電所用配管等母材部表面の硬さ測定による塑性ひずみの検出及び測定に適用する。

1.3 用語及び略語

本附属書では，本項及び JIS G 0202 鉄鋼用語（試験）の 2. (1.4) 項 硬さ試験で規定された用語及び略語を用いる。

(1) 硬さ測定部位（解説-1.1）

地震による塑性ひずみの検出又は測定において，平均硬さを決定するために定められたそれぞれの測定範囲をいう。

(2) 硬さ測定箇所（解説-1.1）

硬さ測定部位内の硬さ測定点をいう。

(3) 評価部（解説-1.1）

地震による塑性ひずみの検出又は測定を行うための硬さ測定部位を総称して評価部という。

(4) 比較部（解説-1.1）

地震前の評価部の硬さとみなす測定部位を総称して比較部という。

(5) 測定部（解説-1.1）

評価部と比較部の測定部位を総称して測定部という。

1.4 関連規格

- (1) JIS G 0202 鉄鋼用語（試験）（1987 年版）
- (2) JIS Z 2244 ビッカース硬さ試験-試験方法（2003 年版）
- (3) JIS B 7725 ビッカース硬さ試験-試験機の検証（1997 年度版）
- (4) JIS B 7735 基準片の校正方法（1997 年度版）
- (5) JIS Z 2244 ビッカース硬さ試験-試験方法（2009 年度版）

2. 試験要領

本項は、原子力発電所用配管等の塑性ひずみの検出及び測定における試験要領を示す。

2.1 評価部と比較部

(1) 材料

- a. 評価部及び比較部の材料は、低温焼なまし又は焼ならしを施したフェライト鋼あるいは固溶化熱処理を施したオーステナイト系ステンレス鋼とする。(解説-2.1, 解説-2.2)
- b. 評価部及び比較部は、地震前の硬さが同程度と推定できる材料とする。(解説-2.3)

(2) 製造履歴

材料の最終熱処理後に塑性加工を施していないものとする。ただし、ショットブラストなどの表面処理による塑性加工はその限りではない。

(3) 表面状態

評価部に塗装、酸化皮膜などの固着スケールがある場合は、固着スケールを除去する。

(4) 評価部

地震により塑性変形を受ける可能性の高い部位から選定する。

(5) 比較部

地震により塑性変形を受ける可能性の低い部位から選定する。

2.2 研磨作業員及び測定員

(1) 研磨作業員 (解説-2.4)

研磨作業員は、研磨経験者とする。

(2) 測定者 (解説-2.5)

硬さ測定員は、次のいずれかを満たす者とする。

- a. 可搬式ビッカース硬さ計を用いて、硬さ測定を訓練した者
- b. 2.2 (2) a項が任命した硬さ測定技術の習得者

なお、2.2 (2) a 又は 2.2 (2) (2)b 項以外の者であっても、2.2 (2) a 又は 2.2 (2) b 項を満たす監督のもとで硬さ測定を行う場合は、硬さ測定員とみなしてよい。

2.3 使用機材

(1) 研磨材

評価部表面の加工硬化層除去に有効な研磨材を使用する。また、研磨材に適合した研磨機を使用する。

(2) 硬さ測定器

次の仕様を満たす硬さ測定器を使用する (解説-2.6)。

- a. 可搬式のビッカース硬さ計であること。
- b. 測定部の硬さ範囲の硬さ測定に適合していること。
- c. 試験力 HV1 以上で硬さ測定ができること。

- d. 表示の最小単位が 1HV 以下であること。
- e. 繰返し性の許容値及び誤差の許容差が所定範囲内であること（解説-2.7）。
- f. 上記 e 項が、使用前の 1 年以内に確認されていること。

(3) 基準片

JIS B 7735 により校正された基準片とする。

2.4 試験要領

測定部の試験は、次の手順で行う（解説-2-8）。

- (1) 測定部の硬さ測定前に、測定部の硬さ測定と同じ試験力で基準片を 5 点測定し、その結果により求めた誤差の許容差が所定範囲内であることを確認する。（解説-2.9）。
なお、この確認は 2.4(3)項の前に行えばよい。
- (2) 測定部の表面研磨を行う。表面研磨は、次の手順で行う。
 - a. 表面加工硬化層の除去に有効な研磨条件で表面研磨を行う。
 - b. 表面研磨により適切に表面加工硬化層が除去したか否かの確認を行う。
 - c. 表面加工硬化層の除去が不十分な場合は、2.4 (2)a 項により表面研磨を行う。なお、必要に応じて、2.4 (2)b 項の後に表面加工硬化層を除去するための表面研磨（仕上げ研磨）を行ってもよい。
- (3) 測定部の硬さ測定を行う。各測定部における測定箇所は 20 点以上とし、測定箇所は、硬さ測定結果に隣接する測定箇所による影響を受けない間隔に保つ（解説-2.10, 解説-2.11）。
- (4) 測定部の硬さ測定後に、2.4(1)項の要領で基準片による硬さ測定を行い、所定の範囲であることを確認する。その結果が所定の範囲を超えた場合は、前回の基準片による確認以降の硬さ測定を無効とし、正常な硬さ測定器を行い、無効になった測定部について再試験を行う。

3. 判定及び塑性ひずみ測定の要領

本項は、原子力発電所用配管等の塑性ひずみ発生の有無の判定及び塑性ひずみ測定の要領について示す。

3.1 塑性ひずみ発生の有無の判定

- (1) 地震による塑性ひずみ発生の有無は次の基準で判定し、これらの基準のいずれも満たす場合は、地震による塑性ひずみ無しと判定する（解説-3.1）。
 - a. 評価部における測定部の平均硬さの最大が、比較部における測定部の平均硬さの最大より小さい、又は硬さ測定誤差（標準偏差）範囲で同等
 - b. 評価部における測定部の平均硬さの最小が、比較部における測定部の平均硬さの最小より小さい、又は測定誤差（標準偏差）範囲で同等
- (2) 3.1 (1)項の基準のうち、a項又はb項のいずれか又はいずれも満足しない場合は、原則、地震による塑性ひずみ有りとしみなす。ただし、地震以外の要因により3.1 (1)項の基準を満足しない可能性がある場合は、その要因を分析し、総合判定を行ってもよい。

3.2 塑性ひずみの測定

3.1項で地震による塑性ひずみ有りとして判定された場合、地震により発生した塑性ひずみ量の測定には妥当性を確認された測定法を用いる。

4. 記録要領

本項は、記録手順及び記録内容について示す。

4.1 記録手順

記録は次の要領で作成する。

(1) 硬さ測定値の記録

各測定部における全測定箇所の硬さ測定値を記録する。再測定した場合は、再測定の硬さ測定値を記録に残す（解説-4.1）。

(2) 平均硬さと標準偏差の記録

各測定部における全測定箇所の硬さ測定値より、各測定部の平均硬さ及び標準偏差を少数点第一位の四捨五入により整数で求め、記録する。

4.2 記録内容

測定部の硬さ測定前後の誤差確認及び測定部の硬さ測定に係る次の事項について記録し、保存すると共に、その記録と測定部が照合できるようにする。記録の保管期間は、発電所（号機）の地震後の再起動後1運転サイクル以上とする。

(1) 発電所（号機）名

(2) 評価部名

(3) 測定日

(4) 硬さ測定員

(5) 測定部の材料

(6) 測定部の位置

(7) 測定条件

a. 使用機材

硬さ測定器の管理番号，硬さ測定用センサの管理番号

b. 試験力

c. 試験前の誤差確認記録

(a) 使用機材

硬さ測定器の管理番号，硬さ測定用センサの管理番号，基準片の管理番号

(b) 試験力

(c) 基準硬さの測定日時

(d) 硬さ測定

d. 試験後の誤差確認記録

(a) 使用機材

硬さ測定器の管理番号，硬さ測定用センサの管理番号，基準片の管理番号

(b) 試験力

(c) 基準硬さの測定日時

(d) 硬さ測定

- e. 試験要領書番号
- f. 各測定点の硬さ測定値
- g. 各測定部の平均硬さ及び標準偏差
- h. 判定結果

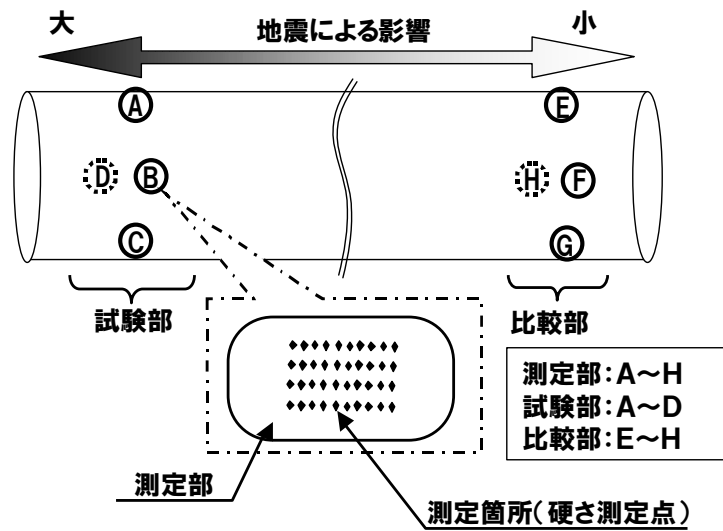
5. 地震による塑性ひずみの影響評価

- (1) 地震による塑性ひずみの影響評価は、3.1項で地震による塑性ひずみ発生有と判定された場合に行う。ただし、影響評価の使用目的に応じて、地震による塑性ひずみ発生無しと判定された場合でも影響評価を行ってもよい（解説-5.1）。
- (2) 塑性ひずみの影響評価は、試験対象機器に関する知識を有する者が行う（解説-5.2）。

附属書 A 解説

(解説-1.1) 評価部，比較部，測定部及び測定箇所(硬さ測定点)の定義

評価部，比較部，測定部及び測定箇所に関する説明図を，解説図 1.1 に示す。この図は，評価部に A～D で表す測定部と比較部に E～H で表す測定部があり，各測定部について複数の測定箇所(硬さ測定点)が存在することを示した模式図である。



解説図 1-1 評価部，比較部，測定部及び測定箇所(硬さ測定点)の説明図

(解説-2.1) 低温焼なまし又は焼ならしを施したフェライト鋼

低温焼なまし又は焼ならしを施したフェライト鋼とは、JIS G 3455, JIS G 3456 などで規定されたフェライト組織を主成分とする炭素鋼や低合金鋼などである。柏崎刈羽原子力発電所での予め計画する追加点検では、次のフェライト鋼配管に対して硬さによる塑性ひずみ測定が行われた。

- a. 炭素鋼 (JIS 正式名称 STS480)
- b. 炭素鋼 (JIS 正式名称 STPT410)
- c. 低合金鋼 (JIS 正式名称 SFVC2B)

(解説-2.2) 固溶化熱処理を施したオーステナイト系ステンレス鋼

固溶化熱処理を施したオーステナイト系ステンレス鋼とは、JIS G3459 で規定されたオーステナイト系ステンレス鋼などである。柏崎刈羽原子力発電所での予め計画する追加点検では、次のオーステナイト系ステンレス鋼配管に対して硬さによる塑性ひずみ測定が行われた。

- a. オーステナイト系ステンレス鋼 (JIS 正式名称 SUS304TP)

(解説-2.3) 同程度の硬さをもつ材料

地震前の硬さが同程度と推定できる材料とは、一般的に、化学成分、熱処理条件及び製造履歴などが同じ材料などである。柏崎刈羽原子力発電所での予め計画する追加点検では、塑性ひずみ測定対象となる評価部及び比較部を同じインゴット、ヒート番号の材料から選定し、評価部より地震裕度の高い方を比較部とした。

(解説-2.4) 研磨作業員

フェライト鋼配管は錆防止用塗装を塗布する前にショットブラストなどの表面処理が施される場合があり、このような配管の表面には加工硬化層が形成されている。また、オーステナイト系ステンレス鋼は、フェライト鋼と比べて、研磨により加工硬化層が形成しやすい傾向がある。

研磨作業員は、このような材料の特徴を理解し、加工硬化層を適切に除去できるような研磨経験者が望ましく、解説図2.1に示すような炭素鋼配管などの試験体を用いて表面研磨と硬さ測定を繰り返し行い、硬さ測定値の再現性から技量を確認するとよい。



解説図 2.1 研磨の訓練の様子

(解説-2.5) 測定者

硬さ測定員は、研磨作業員が研磨により配管等表面の加工硬化層を除去したか否かを判断する必要がある。また、既設配管では硬さ測定時にサポートなどが干渉し、安定した姿勢で測定できない場合があり、このような場合においても再現よく硬さを測定し、加工硬化層除去を確認できるような訓練が必要である。

柏崎刈羽原子力発電所での予め計画する追加点検では、解説図 2.2 に示すように、炭素鋼配管などの試験体を用いて訓練が行われた。また、実機配管の点検で測定員が不足した場合などは、作業員が硬さ測定員の指導の下で実機配管の硬さ測定を行い、再現よく測定できる技術と加工硬化層除去を確認する技術の習得が行われた。



解説図 2.2 硬さ測定の訓練の様子

(解説-2.6) 硬さ測定器

可搬式の硬さ測定器には、超音波接触インピーダンス法、リバウンド法及びくぼみ直視型法の測定原理を利用した測定器などがある。

圧痕の対角長さを光学的に読み取るくぼみ直視型が、他の原理の硬さ計に比べて、形状、板厚、構造などの影響を受けにくいことが確認されたため、柏崎刈羽原子力発電所での予め計画する追加点検では、くぼみ直視型ビッカース硬さ計が採用された。

(解説-2.7) 繰返し性及び誤差の検証

硬さ測定器の繰返し性の許容値及び誤差の許容差の求め方は、JIS B 7725の「5. 間接検証」に規定された要領で行うとよい。ただし、検証に用いる基準片の種類及び試験力については、評価部の硬さ範囲が狭いため、次の(1)及び(2)を適用してもよい。

- (1) 400～600HV、700HV以上の硬さ範囲の基準片による検証を省略し、225HV以下（評価部で予想される硬さ範囲程度）の1種類の基準片により検証を行う。
- (2) 試験力は、測定部の硬さ測定で使用する試験力のみとする。

繰返し性の許容値及び誤差の許容差に対する所定範囲とは、JIS B 7725の「5. 間接検証」に規定された繰返し性の許容値及び誤差の許容差を参考に設定するとよい。

(解説-2.8) 加工硬化層除去の確認方法

研磨は配管等表面の加工硬化層除去の目的で行われるが、研磨機の押し付け方などの条件によっては研磨により加工硬化が生じることがある。このような場合は、研磨によって加工硬化が生じて、軟化することはないという基本原理を活用し、加工硬化の除去程度を確認するとよい。確認方法には次のような方法などがある。

- a. ミルシートなどの素材の硬さと比較する方法
- b. 測定部の最小硬さと比較する方法
- c. 研磨と硬さ測定を繰り返し行い、研磨による各測定部の硬さの変化から確認する方法

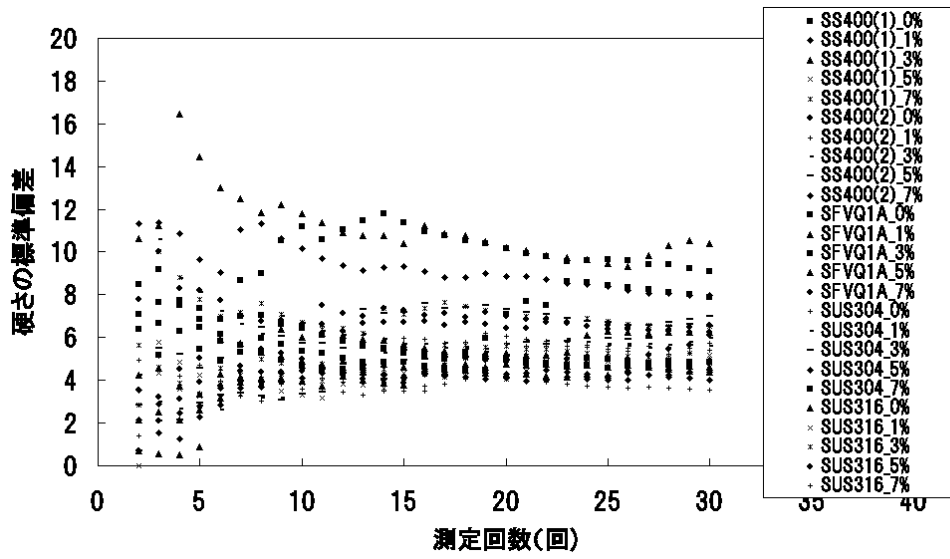
(解説-2.9) 試験前後の誤差の確認

評価部で予想される硬さ範囲は100～220HVのように狭い範囲であることから、試験前後の誤差確認に使用する基準片は、225HV以下の1種類でよい。柏崎刈羽原子力発電所での予め計画する追加点検では、試験前後の誤差確認には硬さ約200HVの基準片が使用された。

(解説-2.10) 測定部あたりの測定箇所の根拠

可搬式のビッカース硬さ計による硬さ測定値の標準偏差と測定回数との関係を、解説図 2.3 に示す。硬さの標準偏差は、フェライト鋼、オーステナイト系ステンレス鋼ともに20点以上で安定する傾向が確認されていることから、各測定部の測定箇所は20点以上と規定した。柏崎刈羽原子力発電所での予め計画する追加点検では、各測定部の測定箇所を40点とし、

40 点の平均硬さを測定部の硬さとした。



解説図 2.3 硬さ測定値の標準偏差と測定回数
の関係
(可搬式のビッカース硬さ計)

(解説-2.11) 測定箇所の間隔

測定箇所のくぼみの中心間の距離は、JIS Z2244 7(f)項による。

(解説-3.1) 判定方法

地震で塑性変形が発生した場合、地震前に比べて硬さが上昇し、硬度が低い部分が優先的に硬くなることが予想されることから、評価部と比較部の最大硬さ及び最小硬さ同士を比較し、ばらつき（標準偏差）程度であるか評価部が比較部より小さい場合に疲労強度に影響を与える塑性ひずみは発生していないと判定する^{[1][2][3]}。

なお材料により加工硬化傾向が異なるが、発電所で一般的に使用されている鋼材（SS400, SFVQ1A, SUS304, SUS316L）で試験を実施した結果、本手法により 2～4%の塑性ひずみを検出することが可能である^[4]。

出典

- [1] 東京電力 柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価に関する報告書（機器レベルの点検・評価報告），平成 20 年 9 月 19 日
- [2] 東京電力 柏崎刈羽原子力発電所 6 号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価に関する報告書（機器レベルの点検・評価報告），平成 21 年 1 月 28 日
- [3] 「塑性ひずみ測技術の開発とその適用について」，非破壊検査 Vol. 59, No. 6, 2010
- [4] 中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価 平成 20 年度中間報告 日本原子力技術協会 平成 21 年 4 月

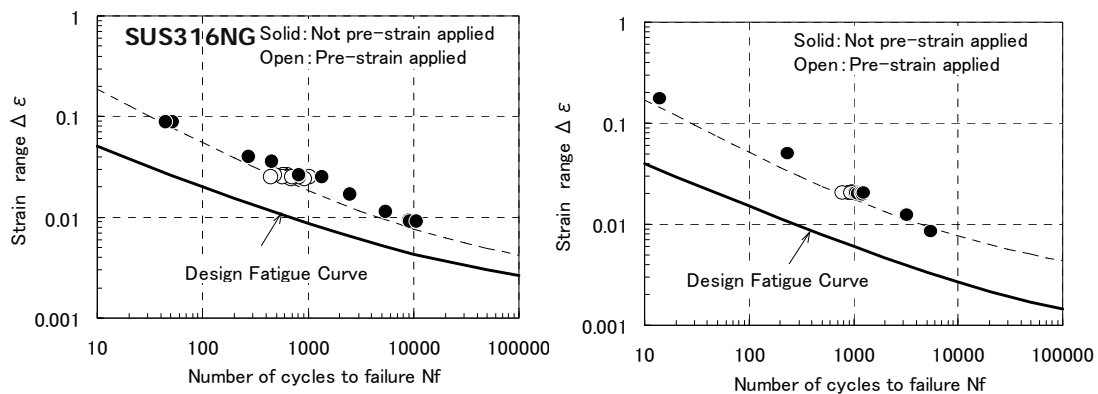
(解説-4.1) 記録要領

試験記録は測定部毎に作成し、試験前後の誤差確認の記録と照合できるようにするとよい。また、判定又は塑性ひずみ量の測定には各測定部の平均硬さを用いるため、各測定箇所的位置情報は記録に残す必要はない。

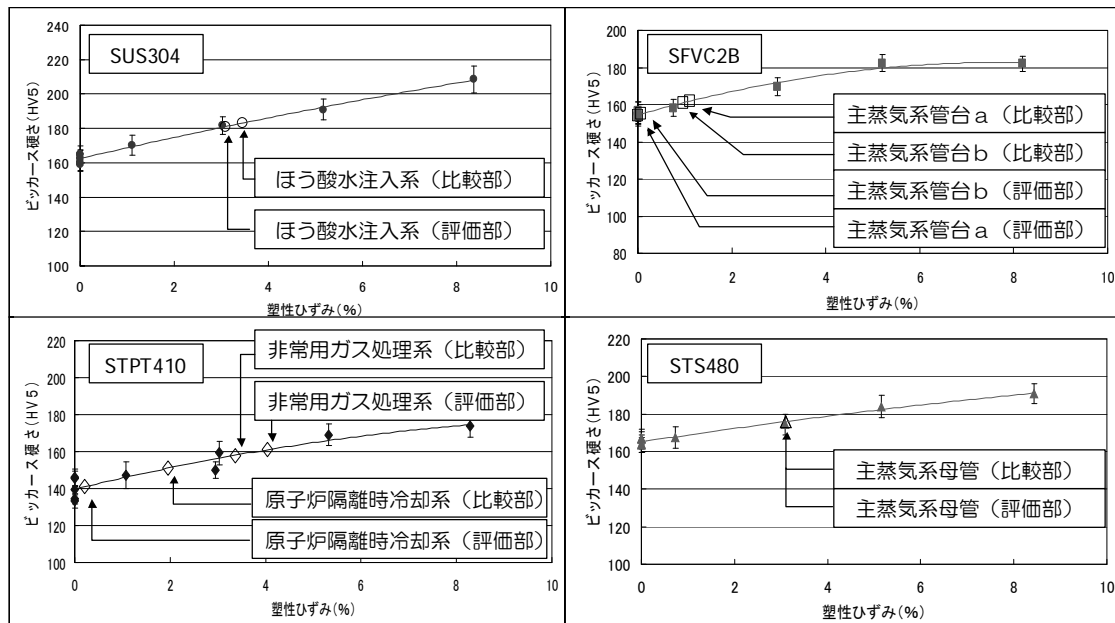
(解説-5.1) 地震による塑性ひずみの影響評価

解説図 5.1 に示すように、地震荷重を模擬した負荷を与えた材料（予ひずみ付与材）による低サイクル疲労強度の評価では、疲労強度が設計疲労曲線に対して裕度を有しており、8%までの塑性ひずみ量は疲労強度に有意な影響を与えないことが確認されている。このような知見に基づき、塑性ひずみによる影響評価を行うことができる。

柏崎刈羽原子力発電所での予め計画した追加点検では、塑性ひずみ無しと判定されたが、念のために地震による影響評価が行われた。影響評価は、解説図 5.2 に示すように、測定部と比較部の硬さ測定の最大値を試験片によるデータと比較する方法が採用され、検出限界以下の塑性ひずみ量では疲労強度に影響を与えるような塑性ひずみがないことが確認されている^[4]。



解説図 5.1 予ひずみサイクル付与材の疲労試験結果の例
($\Delta \varepsilon_{pre} = 1.6\%$)



解説図 5.2 各測定部位の最大値と塑性ひずみの相関^[1]

出典

[4] 「低サイクル疲労寿命に及ぼす予ひずみの影響」、非破壊検査、Vol. 59、No. 6、2010

(解説-5.2) 試験対象機器に関する知識

試験対象機器に関する知識とは、試験対象機器の仕様、用途、使用環境、使用限界などの地震による影響評価に必要な知識という。

附属書 B 植込みボルトの超音波探傷試験要領

目次

附属書 B

1. 総 則
 - 1.1 目 的
 - 1.2 適用範囲
 - 1.3 用語及び略語
 - 1.4 関連規格
2. 試験要領
 - 2.1 試験範囲
 - 2.2 試験員及び試験評価員
 - 2.3 使用機材
 - 2.3.1 超音波探傷器
 - 2.3.2 探触子
 - 2.3.3 接触媒質
 - 2.3.4 超音波探傷器及び探触子の校正
 - 2.4 試験要領
 - 2.4.1 時間軸、基準感度の調整及び確認
 - 2.4.2 試験
3. 判定要領
 - 3.1 指示部の抽出
 - 3.2 判定
4. 記録要領
 - 4.1 記録手順
 - 4.2 記録内容

附属書 B 解説

- (解説-1.1) 地震により発生した欠陥とは
- (解説-1.2) 本附属書に規定する要領
- (解説-2.1) 端面の周辺付近での基準感度調整
- (解説-3.1) 抽出基準
- (解説-3.2) 刻印の影響
- (解説-3.3) 地震により発生した欠陥によるものかどうかを判定

附属書 B

1 総 則

本附属書の目的，適用範囲，使用される用語，略語及び関連規格について示す。

1.1 目 的

本附属書は，原子力発電所用機器等基礎部の植込みボルトに対し，地震により発生した欠陥を検出するための試験，判定及び記録の要領について示す（解説-1.1）。

1.2 適用範囲

植込みボルトのねじ部の超音波探傷試験に適用する（解説-1.2）。

1.3 用語及び略語

本附属書では，本項，JIS B0101 及び JEAC4207 の 1310 項で規定された用語及び略語を用いる。

(6) 予め計画した追加点検

((準備会で記載内容を検討))

(7) 試験対象ボルト

超音波探傷試験の対象となる原子力発電所用機器等基礎部の植込みボルトをいう。

(8) 設置面

試験対象ボルトの端面のうち，超音波探傷試験時に探触子を設置する面をいう。

(9) 底面

試験対象ボルトの端面のうち，超音波探傷試験時に探触子を設置しない面をいう。

1.4 関連規格

- (1) JEAC 4207 軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規定（2008 年度版）
- (2) JIS B 0101 ねじ用語（1994 年度版）
- (3) JIS B 1173 植込みボルト（1995 年度版）

2. 試験要領

本項は、植込みボルトのねじ部の欠陥検出にかかわる試験要領について示す。

2.1 試験範囲

試験範囲は、植込みボルトのねじ部の全範囲とする。ただし、ナット部の取付け位置が確認できる場合は、試験範囲を図 2.1 に示すように円筒部と完全ねじ部との境界からナット取付け部までの範囲としてもよい。

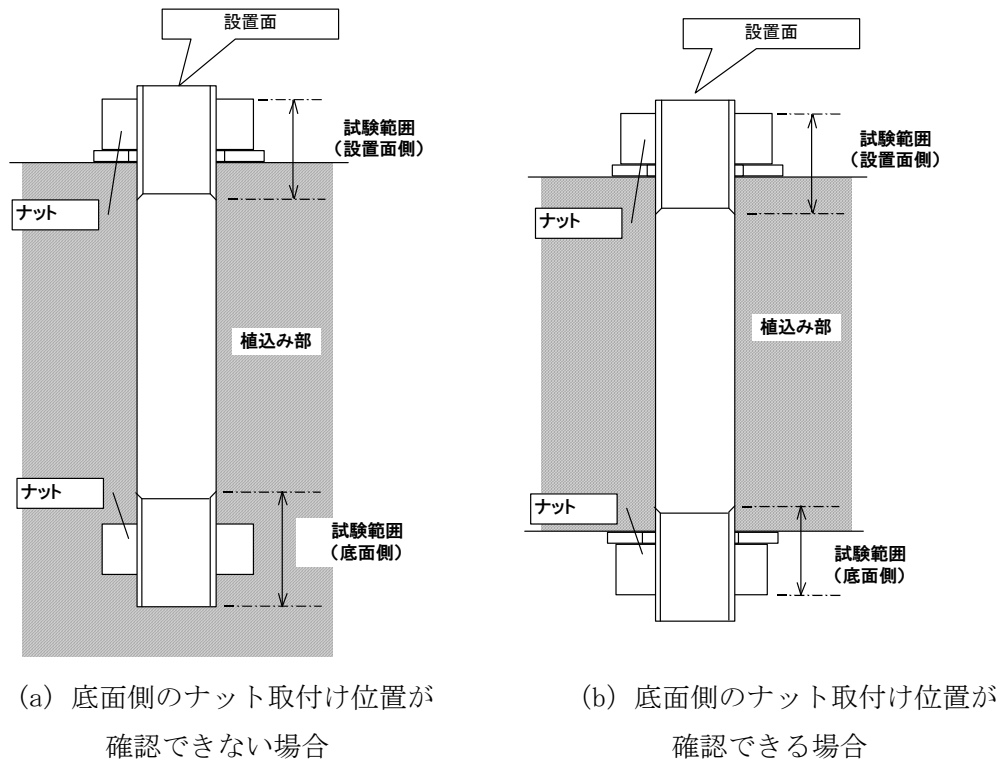


図 2.1 試験範囲

2.2 試験員及び試験評価員

試験員及び試験評価員は、JEAC4207 2200 項による。

2.3 使用機材

2.3.1 超音波探傷器

パルス反射式の超音波探傷器を用いる。

2.3.2 探触子

- (1) 探触子は、使用する探傷器の仕様に適合するものとする。
- (2) 探触子は、垂直探触子を用いる。
- (3) 超音波の伝ばをよくするために、くさび(探触子シュー)を用いてよい。この場合、

試験に使用するくさびをつけて校正を行う。

- (4) 周波数は 0.4~15MHz, 超音波のモードは横波又は縦波とし, 2.4.1 項に規定する基準感度に調整できるものを選択する。
- (5) 振動子の大きさは, 試験部の形状及び寸法に対して適合しており, 超音波が十分透過するものを選択する。

2.3.3 接触媒質

使用する接触媒質は JEAC4207 2330 項による。

2.3.4 超音波探傷器及び探触子の校正

超音波探傷器の校正は JEAC4207 の 2410 項による。また, 探触子の校正は JEAC4207 の 2420 項による。

2.4 試験要領

2.4.1 時間軸, 基準感度の調整及び確認

(1) 時間軸の調整及び確認

1) 時期

- a. 時間軸の調整は, 試験開始時及び探傷システム(探傷器, 探触子, くさび, 接触媒質, ケーブル及, 部品など)の組合せが変わる毎に行う。
- b. 時間軸の確認は, 試験終了時及び試験員が交替した時に行う。

2) 方法

時間軸の調整及び確認は, JIS Z 2345 に規定された標準試験片, 図面, 記録などにより寸法を確認できる試験対象ボルト, 又は試験対象ボルトと超音波特性(主として音速と減衰)の同等な材料で作られた既知の寸法の試験片を用いて行う。

(2) 基準感度の調整及び確認

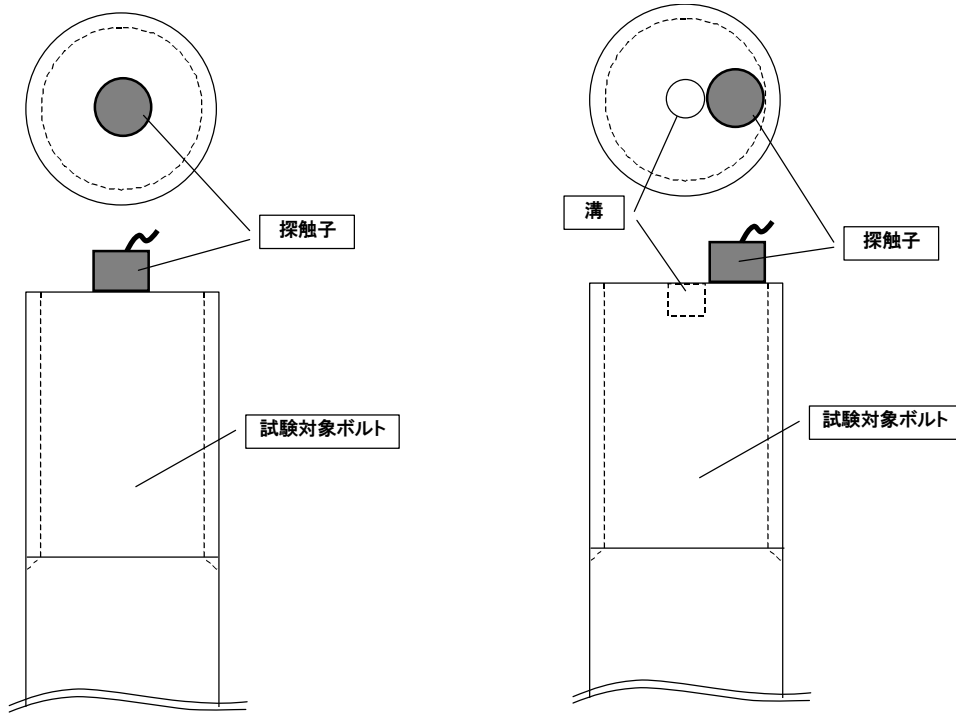
1) 時期

- a. 基準感度の調整は, 試験開始時及び探傷システム(探傷器, 探触子, くさび, 接触媒質, ケーブル及, 部品など)の組合せが変わる毎に行う。
- b. 基準感度の確認は, 試験終了時及び試験員が交替した時に行う。
- c. 上記 b 項の確認で 2dB 以上の感度変動が確認された場合は, 最後に確認された時点以降の試験は無効とし, 新たな調整を実施し, 無効になった試験対象ボルトについて再試験を行う。

2) 方法 (解説-2.1)

- a. 基準感度の調整は, 原則, 試験対象ボルトの設置面中央付近で行う。但し, 設置面中央付近に溝などの超音波の伝ばへの影響要因が存在する場合は, 設置面外周付近の探触子が安定する部分で基準感度を設定してもよい (図 2.2)。

- b. 探触子設置側ねじ部の超音波探傷試験における基準感度は、試験対象ボルトの底面エコーを表示器上 80%±5%の範囲にあわせた時の感度とする（図 2.3）。
- c. 底面側ねじ部の超音波探傷試験における基準感度は、試験対象ボルトの底面エコーを表示器上 80%±5%の範囲にあわせ、その 4 倍の感度とする（図 2.3）。



(a) 探触子を設置面中央付近に
設置できる場合

(b) 探触子を設置面中央付近に
設置できない場合

図 2.2 基準感度調整及び確認における探触子の位置

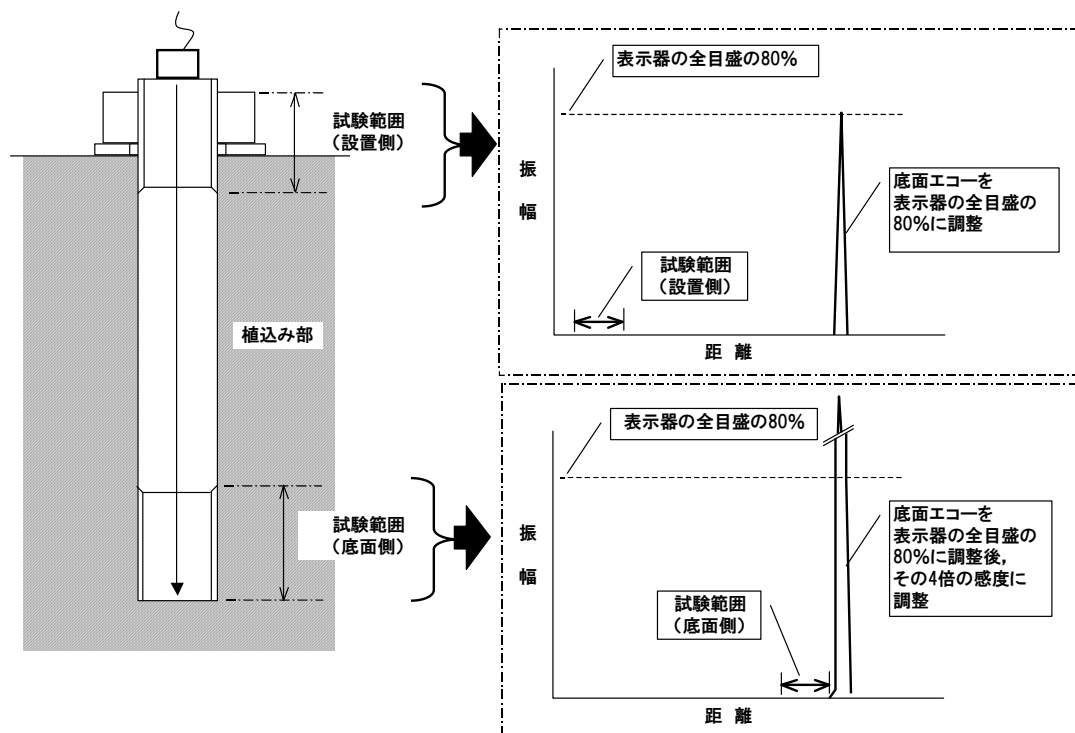
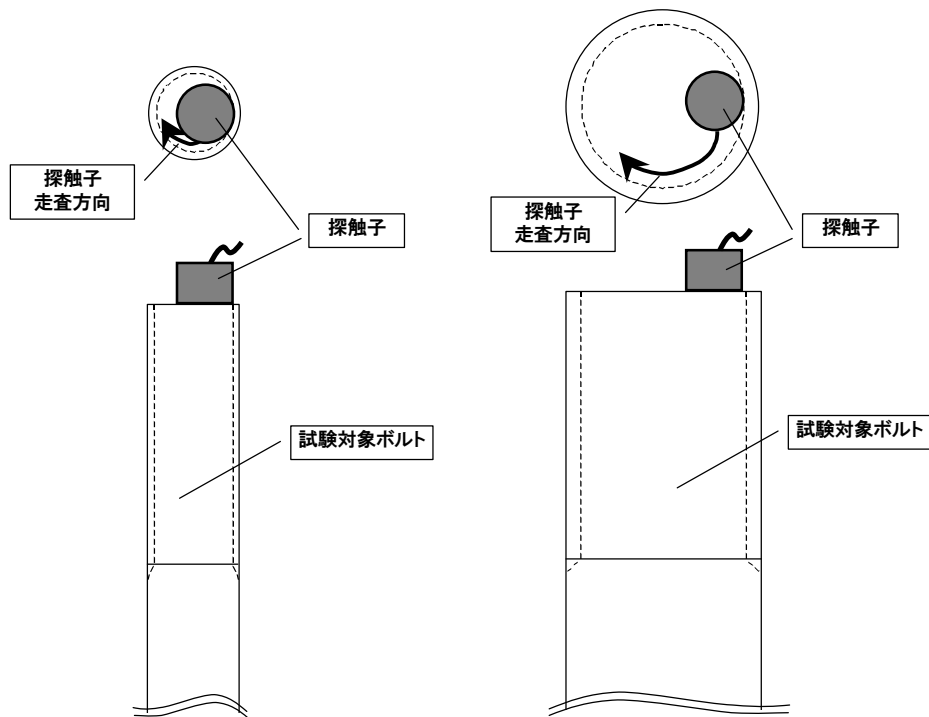


図 2.3 基準感度と試験範囲との関係

2.4.2 試験

- (1) 図 2.4 に示すように、探触子はボルト端面の周辺付近を円周方向に走査する。
- (2) 探触子の走査速度は 150mm/秒以下とする。
- (3) 試験時の探傷感度は基準感度の 2 倍以上とする。



(a) 試験対象ボルトの外径が
探触子外形と同程度の場合

(b) 試験対象ボルトの外径が
探触子外形より十分大きい場合

図 2.4 探触子の走査パターン

3. 判定要領

本項は、植込みボルトのねじ部の欠陥検出にかかわる判定要領について示す。

3.1 指示部の抽出

抽出する指示部は、基準感度による表示器目盛において 5%以上のエコーを有する指示部とする（解説-3.1）。

3.2 判定

- (1) 3.1 項で抽出した指示は、次の場合を除き、欠陥とみなす。
 - a. 試験対象ボルトの設置面外周付近で基準感度の調整を行った場合
 - b. 試験対象ボルトの設置面に探触子が密着しない状態で基準感度の調整を行った場合（解説-3.2）
- (2) 上記(1)a 及び b 項に該当する場合は、試験対象ボルトの設置面を平坦に仕上げ、中央付近で基準感度を調整し、再試験を行う。再試験で 3.1 項を満たす指示部を欠陥とみなす。
- (3) 上記(1) 及び(2) 項で欠陥とみなした場合でも、次の判定に有効な方法により、指示エコーが地震により発生した欠陥によるものかどうかを判定してもよい（解説-3.3）。
 - a. ねじ溝を起点とする表面欠陥によるものかどうかの判定
 - b. 形状によるものかどうかの判定

4. 記録要領

4.1 記録手順

記録は次の要領で作成する。

(1) A スコープ表示の記録

- a. 表示の範囲は、底面エコーを含む試験対象ボルトの全範囲とする。
- b. 各試験範囲の試験で調整した基準感度で表示する。

(2) 指示部の記録

- 3.1(1)又は(2)項で抽出した指示部の位置及び最大エコー高さを求める。

4.2 記録内容

(1) 記録を要する指示

- 3.1項による。

(2) 記録内容

超音波探傷試験を行った後に次の事項を記録し、保存すると共に、その記録と試験部とが照合できるようにする。

- a. 発電所名
- b. 試験箇所名
- c. 試験年月日
- d. 試験評価員及び試験員（資格）
- e. 適用手法
- f. 校正記録
 - (a) 使用機材（超音波探傷器，探触子，接触媒質）
 - (b) 基準感度
 - (c) 時間軸調整時の表示器の目盛
 - (d) 校正日時
- g. 試験要領書番号
- h. 電子媒体番号
- i. 試験結果
 - (a) A スコープ表示
 - (b) 抽出した指示部の最大エコー高さ及び位置
 - (c) 判定結果

附属書 B 解説

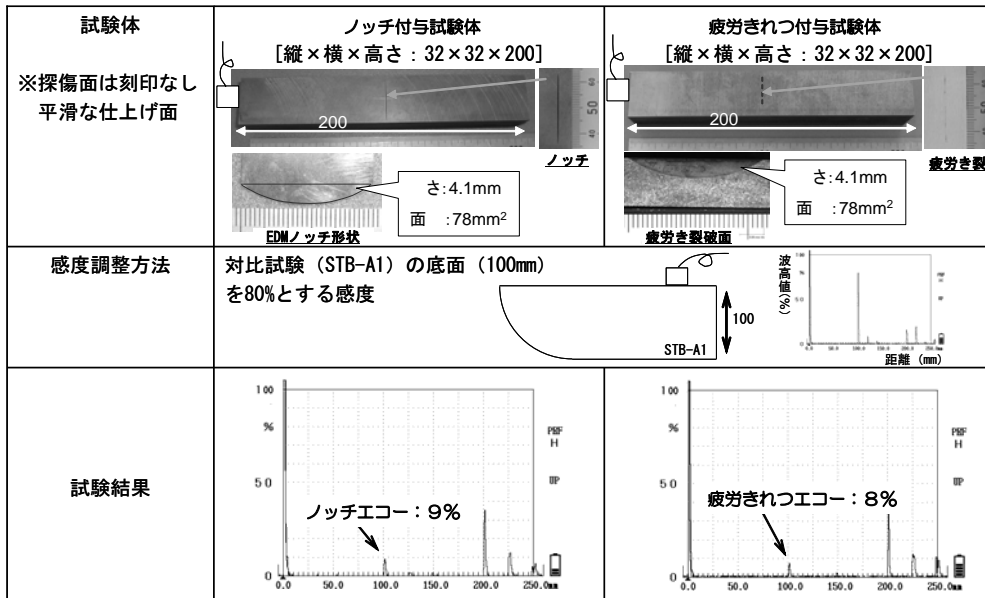
(解説-1.1) 地震により発生した欠陥とは

地震により植込みボルトに発生する欠陥は、ねじ溝を起点とする表面欠陥と想定される。本附属書で用いる地震により発生した欠陥とは、植込みボルトのねじ溝を起点とする表面欠陥を表す。

(解説-1.2) 本附属書に規定する要領

ボルトとノッチの寸法をパラメータとした種々のノッチ付与植込みボルトなどを用いた超音波探傷試験により、次に示すことが確認されている。そこで、本附属書では、ねじ溝を起点とする深さ 1.6mm 以上の表面欠陥を検出でき、なお且つ、欠陥エコーとねじ部からの形状エコーを識別可能な試験及び判定の要領について規定した。

- 植込みボルトでは、ボルト寸法によらず設置面側と底面側ともに、ねじ溝に付与した深さ 1.6mm 以上のノッチからの欠陥エコーを検出した(深さ 0.8mm は検出不可であった)。
- 同じ寸法の疲労欠陥とノッチは、ほぼ同じエコー高さで検出した(解説図 1.1)。
- 健全な植込みボルトでも、ねじ溝などからの形状エコーを検出した。
- 欠陥エコーと形状エコーの現れ方が探触子の位置で異なった。



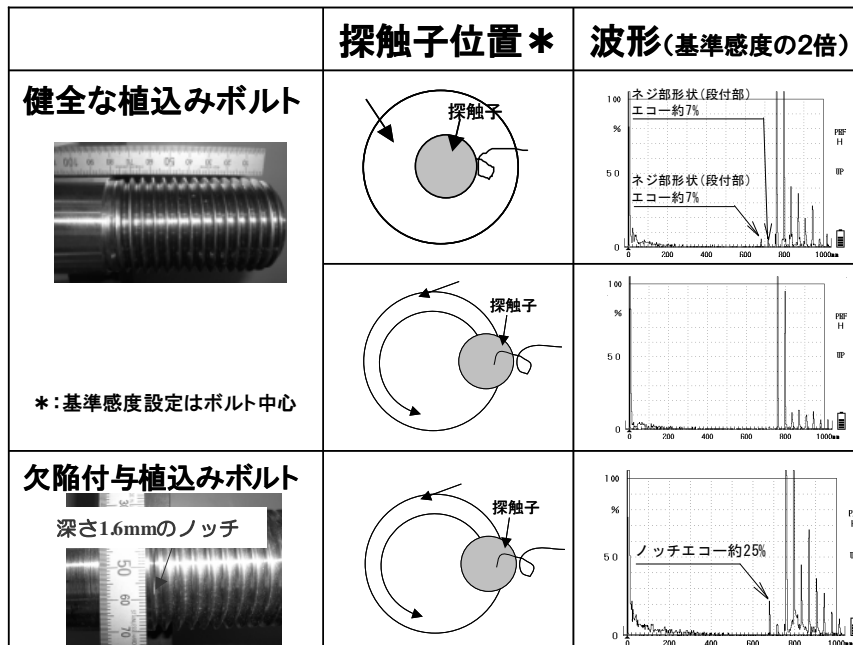
解説図 1.1 同じ寸法の疲労欠陥とノッチの検出性比較例

(解説-2.1) 設置面外周付近での基準感度調整

同じエコー高さの底面エコーを得るために必要な探傷器感度(ゲイン)の設定値は探触子の設置位置で異なり,設置面中央付近の方が外周付近に比べて低いゲインで基準感度を調整できる。そのため,感度調整を外周付近で行うと,中央付近で行う場合に比べて欠陥や形状のエコーが高まり,保守性が確保されることから,外周付近での感度調整も適用してよいことにした。ただし,本附属書は,中央付近での基準感度調整を基本とした指示部の抽出基準を採用していることから,基準感度の調整を周辺付近で行うと,3.1項により形状エコーなどの欠陥以外のエコーを抽出することが想定される。このような場合は,3.2(2)項により再試験を行うとよい。

(解説-3.1) 抽出基準

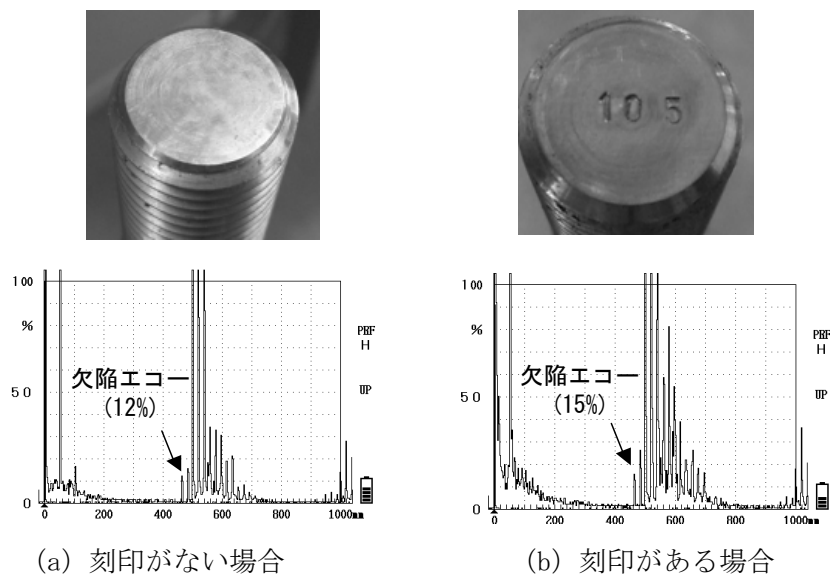
本附属書に規定する試験要領では,解説図-3.1に示すように,深さ1.6mmの表面欠陥を10数%以上のエコー高さで検出可能である。しかし,同時に,エコー高さが数%程度のねじ部からの形状エコーも検出するため,本附属書では10数%以上の欠陥エコーを見逃さず,数%程度の形状エコーを除去するような指示部の抽出基準を採用した。



解説図 3.1 欠陥付与植込みボルトと健全な植込みボルトによるエコーの比較例

(解説-3.2) 刻印の影響

刻印が設置面中央付近ある場合、探触子が適切に密着しないことで、超音波の伝達減衰が生じ、刻印がない場合に比べて高めの探傷器感度（ゲイン）で基準感度を調整することになる。このような条件で探触子が欠陥検出に有効な外周付近に密着すると、探傷感度が向上し（解説図 3.2）、形状エコーを抽出する可能性が高まることから、抽出した指示部が形状によるものかどうかを判定するために、端面を平坦に仕上げて再試験を行う必要がある。



(a) 刻印がない場合

(b) 刻印がある場合

解説図 3.2 刻印が設置面中央付近にある場合とない場合の欠陥エコーの比較例（ノッチ深さ 1.6mm）

(解説-3.3) 地震により発生した欠陥によるものかどうかを判定

ねじ溝を起点とする表面欠陥によるものかどうかの判定方法として、フェーズドアレイを用いた画像化表示などがある。また、形状エコーかどうかの判定方法として、試験対象ボルトと同じ寸法及び形状の模擬試験片を用いた再現試験などがある^[1]。

それ以外の方法として、指示部を浸透探傷法や磁粉探傷などで判定する方法があるが、本附属書は超音波探傷試験の要領に係る規定であることから規定の対象外とする。

出典

[1] 「基礎ボルトの超音波探傷技術の適用と開発」、非破壊検査、Vol. 59、No. 6、2010

附属書 C 基礎ボルトのトルク確認要領

目次

附属書 C

1. 総 則
 - 1.1 目 的
 - 1.2 適用範囲
 - 1.3 用語
2. 試験要領
 - 2.1 使用機材
 - 2.2 試験要領
3. 判定要領
4. 記録要領

1. 総 則

1.1 目 的

本附属書は、地震後の原子力発電所用ねじ締付体の締結状態を確認するための試験、判定及び記録の要領について示す。

1.2 適用範囲

地震後ねじ締付体の締付力確認試験に適用する。

1.3 用語

JIS Z 8103 計測用語による。

1.4 関連規格

次に掲げる規格は、その最新版（追補を含む）を適用する。

- (1) JIS B 4652 手動式トルクツールの要求事項及び試験方法
- (2) JIS Z 8103 計測用語

2 試験要領

本項に、地震後ねじ締付体の締付力確認試験の試験要領について示す。

2.1 使用機材

2.1.1 トルクレンチ

試験には、原則、次の手動式トルクレンチを使用する。ただし、その他のトルク計測機器であっても表-1.1 を満足する場合は試験に使用してもよい。

- a. タイプ I : 指示式トルクレンチ
 - ・ ねじりバー形レンチ
 - ・ たわみバー形レンチ
 - ・ スケール付きハウジング形レンチ
 - ・ ダイヤル付きハウジング形レンチ
 - ・ 表示器付きハウジング形レンチ
- b. タイプ II : プリセット式トルクレンチ
 - ・ 目盛付きトルク可変形レンチ
 - ・ 表示器付きトルク可変形レンチ
 - ・ トルク固定形レンチ
 - ・ 目盛なしトルク可変形レンチ
 - ・ 目盛付きたわみバートルク可変形レンチ

2.1.2 トルクレンチの校正

- (1) 手動式トルクレンチの校正

- a. 校正時期

使用する期間の開始時又は JIS B 4652 で規定される校正周期内であること

b. 校正

JIS B 4652 の「校正」に従い算出した許容差が表-1.1 を満たすこと。

(2) その他のトルク計測機器の校正

a. 校正時期

使用する期間の開始時，12 ヶ月以内又は 5000 回の使用期間内であること

b. 校正

JIS B 4652 の「校正」を参考に算出した許容差が表-1.1 を満たすこと。

表-1.1 トルクレンチの許容差

	最大トルク 10N・m 以下	最大トルク 10N・m 超え
ねじりバー形レンチ たわみバー形レンチ 目盛付きたわみバートルク可変形レンチ	±6%	
スケール付きハウジング形レンチ ダイヤル付きハウジング形レンチ 表示器付きハウジング形レンチ 目盛付きトルク可変形レンチ 表示器付きトルク可変形レンチ トルク固定形レンチ 目盛なしトルク可変形レンチ	±6%	±4%
その他のトルク計測機器	±6%	±4%

2.2 試験要領

- (1) 試験には試験対象ボルトに適合した手動式トルクレンチ又はその他のトルク計測機器（以下，トルクレンチ等と略す）を使用する。
- (2) トルクレンチ等のソケットを試験対象ボルトのナットに差し込み，所定トルク値を超えるまで徐々に負荷する。このとき所定トルク値は，設計で必要とされるボルト軸力を基準に直接算出するか，設計裕度などからトルクの許容低減係数を算出して施工管理基準値に乗じて決定する。
- (3) トルクレンチ等の回転方向は，試験対象ボルトの緩め方向とする。
- (4) 締め方向に負荷した場合は，試験対象ボルトのナットが回転しなかった場合を除き，その試験を無効とする。なお，締め方向に負荷し，試験対象ボルトのナットが回転しなかった場合は，再試験を行ってもよい。

3. 判定要領

本項に、地震後ねじ締付体の締付力確認試験の判定要領について示す。

地震後の原子力発電所用ねじ締付体の締結状態は、次に示す判定基準で判定する。

- ・トルク値以下でナットが回転しないこと。

4. 記録要領

本項に、地震後ねじ締付体の締付力確認試験の記録要領について示す。

次の事項を記録する。

(1) 試験条件

- a. 発電所名
- b. 試験箇所名
- c. 試験年月日
- d. 試験員
- e. 適用手法
- f. 校正記録
 - (a) トルクレンチ
 - (b) 校正日時
- g. 試験要領書番号

(2) 試験結果

3項による判定結果を記載する。

附属書 D 配管の超音波探傷試験要領

目次

附属書 D

1. 総 則
 - 1.1 目 的
 - 1.2 適用範囲
 - 1.3 用語及び略語
2. 試験要領
 - 2.1 試験部
 - 2.2 試験員及び試験評価員
 - 2.3 使用機材
 - 3.4 試験要領
3. 判定要領
 - 3.1 指示部の抽出
 - 3.2 判定
4. 記録要領
 - 4.1 記録手順
 - 4.2 記録内容

1. 総 則

1.1 目 的

本附属書は、地震で発生した原子力発電所用配管内面の開口き裂を検出するための試験、判定及び記録の要領について示す（解説-D-1100-1）。

1.2 適用範囲

地震後配管の溶接部及びエルボ部の超音波探傷試験に適用する（解説-D-1100-2）。

1.3 用語及び略語

1.4 関連規格

- (1) 日本機械学会 発電用原子力設備規格設計・建設規格（JSME S NC1-2005）
- (2) 日本機械学会 発電用原子力設備規格維持規格（JSME S NA1-2008）
- (3) 日本電気協会 軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程（JEAC4207-2008）

2. 試験要領

本項に、地震後配管の溶接部及びエルボ部の超音波探傷試験の試験要領について示す。

2.1 試験部

(1) 溶接部の場合

試験範囲は溶接止端部から母材側10mmを含む溶接部の内面側 $1/3T$ 以下の範囲とする(図2.1参照)。

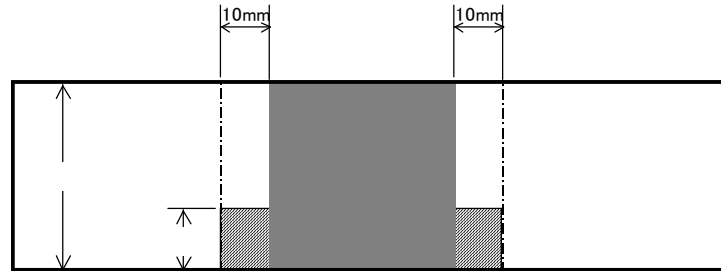


図 2.1 地震後配管溶接部の試験範囲

(2) エルボ部の場合

試験範囲はエルボ曲がり中心から軸方向 45° 範囲で、周方向 90° 範囲の内面側 $1/3T$ 以下の側面部とする(図2.2参照)。ここで、 T は配管の公称板厚を表す。

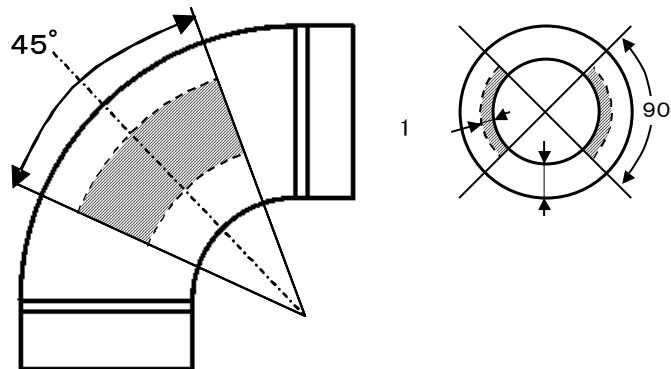


図 2.2 地震後配管エルボ部の試験範囲

2.2 試験員及び試験評価員

(1) 試験評価員は、次の規格・基準のいずれかに従って所定の認定機関によりレベル2以上の有資格者で供用期間中検査について試験員として経験を有する者とする。

- a. JIS Z 2305
- b. SNT-TC-1A
- c. ASTM Sec. XI, Appendix VII
- d. EN 473
- e. ISO 9712

- (2) 試験員は、前項に掲げる規格・基準のいずれかに従って所定の認定機関によりレベル1以上の有資格者とする。

2.3 使用機材

2.3.1 超音波探傷器

パルス反射式の超音波探傷器を用いる。

2.3.2 探触子

- (6) 探触子は使用する探傷器の仕様に適合するものでその探傷器との組合せで基準感度を調整できるものとする。
- (7) 探触子は横波又は縦波の斜角探触子とし、公称屈折角は 45° とする。ただし、試験部の厚さなど幾何学的形状のため 45° が適さない場合には、他の屈折角を用いてもよい。
- (8) 探触子の周波数は $0.4\sim 15\text{MHz}$ とする。
- (9) 超音波の伝ばをよくするために、くさび(探触子シュー)を用いてよい。この場合、試験に使用するくさびをつけて校正を行う。
- (10) 振動子の大きさは、試験部の形状及び寸法に対して適合しており、超音波が十分透過するものを選択する。

2.3.3 対比試験片

超音波探傷試験には、次に適合する対比試験片を使用する。

- (1) 対比試験片に用いる材質は、試験部と超音波特性(主として音速と減衰)が同等な材料とする。
- (2) 対比試験片の探触子接触面の表面状態は、探傷面と同程度とする。
- (3) 探触子が接触する面の曲率半径が 254mm を超える場合に用いる対比試験片は、接触部と同じ曲率半径をもつもの、接触部の 0.7 倍 ~ 1.1 倍の曲率半径を持つもの又は平らなものとする。
- (4) 探触子が接触する面の曲率半径が 254mm 以下の場合に用いる対比試験片は、接触部と同じ曲率半径をもつもの、接触部の 0.7 倍 ~ 1.1 倍の曲率半径を持つものとする。
- (5) 平らな対比試験片を用いる場合の探触子の公称振動子寸法(長方形探触子の場合は短い辺の寸法)は接触媒質に応じて、次の値以下とする。

接触媒質	公称振動子寸法(mm)
水又は油等液状のもの	$6.37\sqrt{R/f}$
グリセリン等のり状のもの	$8.84\sqrt{R/f}$

ここで R は、試験部の探触子接触面の曲率半径(単位: mm)、 f は周波数(単位: MHz)とする。

- (6) 対比反射体として横穴を用いる場合は、試験部の厚さと対比試験片の厚さの関係、対比試験片に設ける横穴の位置及び穴径は表 2.1 に従う。
- (7) 対比反射体として角形溝を用いる場合は、試験部の厚さと対比試験片の厚さの関係、

対比試験片に設ける角形溝の位置及び穴径は表 2.2 に従う。

表 2.1 横穴対比試験片の厚さ、横穴の位置及び穴径

試験部の厚さ 区分 (mm)	対比試験片の厚さ T (mm)	横穴の位置 a (mm)	横穴の穴径 d (mm)
25 以下	公称厚さまたは 19	1/2T	2.4
25 を超え 51 以下	公称厚さまたは 38	3/4T	3.2
51 を超え 102 以下	公称厚さまたは 76	3/4T	4.8
102 を超え 152 以下	公称厚さまたは 127	3/4T	6.4
152 を超え 203 以下	公称厚さまたは 178	3/4T	8.0
203 を超え 254 以下	公称厚さまたは 209	3/4T	9.6
254 を超えるもの	公称厚さ	3/4T	注 1

注 1 : 試験部の厚さ 254mm に対し、厚さの増加量が 51mm 以下の場合、校正用反射体の穴径は 11.2mm とし、それ以降については厚さの増加量が 51mm を超える毎に 11.2mm に 1.6mm を加えて決定する。

表 2.2 角形溝対比試験片の厚さ、角形溝の寸法

試験部の厚さ 区分 (mm)	対比試験片の厚さ T (mm)	角形溝の寸法 (mm)		
		長さ	幅	深さ : H
25 以下	公称厚さまたは 19	25	1.5	注 1
25 を超え 51 以下	公称厚さまたは 38	25	1.5	0.05T
51 を超え 102 以下	公称厚さまたは 76	25	1.5	0.05T
102 を超え 152 以下	公称厚さまたは 127	25	1.5	0.05T
152 を超え 203 以下	公称厚さまたは 178	25	1.5	0.05T
203 を超え 254 以下	公称厚さまたは 209	25	1.5	0.05T
254 を超えるもの	公称厚さ	25	1.5	0.05T

注 1 : 厚さの 5% が 0.1mm 未満の場合は 0.1mm の角形溝又はこれと同等の反射効果を有する反射体とする。

2.3.4 接触媒質

水、油、グリセリン、ひまし油等超音波伝ば性がよく、試験部に対して有害でないものを使用する。

2.3.5 超音波探傷器及び探触子の校正

(1) 超音波探傷器の校正

探傷器を使用する期間の開始時又は12ヶ月以内に次の確認を行う。

- a. 探傷器の増幅直線性
JIS Z 2352 に従って測定し、±3%以内であること。
- b. 探傷器の時間軸直線性
JIS Z 2352 に従って測定し、±1%以内であること。

(2) 探触子の校正

試験開始時に次の確認を行う。

- a. 入射点の測定
入射点の測定は JIS Z 2345 に規定する標準試験片あるいは幾何学的に入射点の測定が可能な試験片を用いて実施し、1mm 以下の値で測定する。
- b. 屈折角の測定
屈折角の測定は JIS Z 2345 に規定する標準試験片を用いて 0.5° 以下の角度まで読み取る。これらの試験片と試験部の材料とで超音波の音速が異なる場合は計算により補正するか、又は音速が同等な材料で製作した、幾何学的に屈折角の測定が可能な試験片を用いて確認する。

2.4 試験要領

2.4.1 時間軸の調整及び確認

(3) 一般事項

- a. 時間軸及び基準感度の調整は、試験開始時及び探傷システム(探傷器、探触子、くさび、接触媒質、ケーブル及、部品など)の組合せが変わる毎に行う。
- b. 時間軸及び基準感度の確認は、試験終了時及び試験員が交替した時(自動短小の場合を除く)に行う。

(4) 調整方法

1) 時間軸の調整

- c. 時間軸の調整及び確認は、JIS Z 2345 に規定された標準試験片又は試験対象配管と超音波特性(主として音速と減衰)の同等な材料で作られた既知の寸法を有する半円形等の試験片を用いて行う。時間軸の全幅は、試験に必要なビーム路程を含む必要最小限とする。
- d. 時間軸の確認の結果、時間軸が全幅の3%を超えてずれた場合、前回の確認時点以降の試験は無効とする。この場合は、新たな調整を実施し、無効になった試験範囲を再試験すること。

2) 基準感度の調整

- a. 基準感度の調整及び確認に使用する対比試験片は、2.3.3 する横穴付対比試験片または角形溝付対比試験片いずれかとする。ただし、過去の試験結果と比較する場合は過去の試験に使用した反射体と同じ対比試験片を使用し、縦波を使用する場合は角形溝付対比試験片を使用する。
- b. 基準感度の調整は次のとおり行う。
 - (a) 横穴を用いる場合 (図 2.3)

1. 試験部の板厚、曲率半径に適合した横穴付対比試験片を用いて、(2/8) S 又は(3/8) S での最大エコー高さが表示器上の全目盛の 80±5%になるよう感度を調整し、そのままの感度で (4/8) S 又は(5/8) S での最大エコー高さを求める。
2. (2/8) S 又は(3/8) S 及び (4/8) S 又は(5/8) S の最大エコー高さを結び DAC 曲線とする。
3. DAC 回路を使用する場合は、(2/8) S から (4/8) S 又は(3/8) S から(5/8) S の時間軸範囲にわたって表示器の全目盛の 80±5%になるよう感度を調整する。

(b) 角形溝を用いる場合 (図 2.4)

試験部の板厚、曲率半径に適合した角形溝付対比試験片を用いて、(1/2) S での最大エコー高さが表示器上の全目盛の 80±5%になるよう感度を調整する。

- c. 基準感度の確認で 20%又は 2dB 以上の感度変化が確認された場合は、最後に感度を確認した時点以降の試験を無効とし、新たな調整を行い、無効になった試験範囲について再試験を行う。

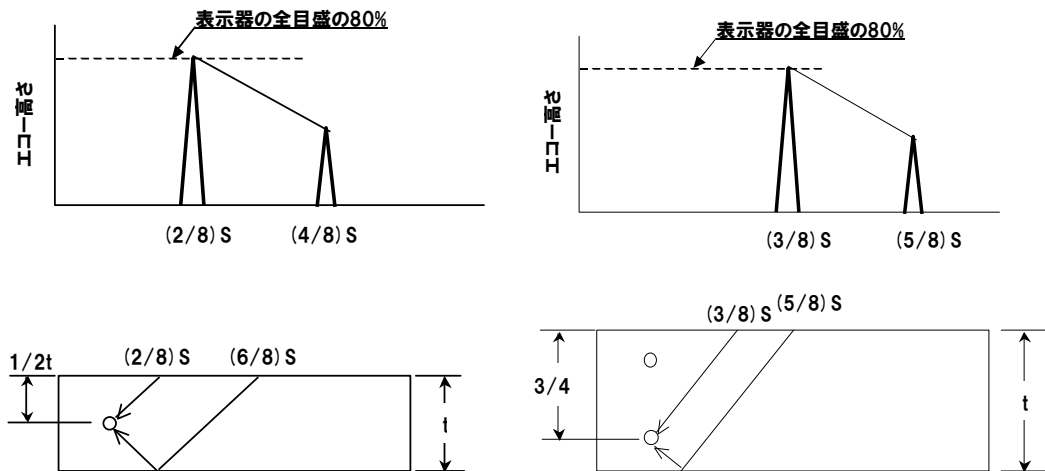


図 2.3 横穴による基準感度の調整

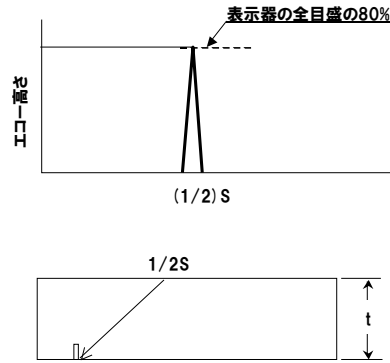


図 2.4 角形溝による基準感度の調整

2.4.2 試験

(1) 探触子の走査方法

- d. 試験部が溶接部の場合は、超音波ビームが溶接線に対して直交方向及び平行方向に伝ばするよう探触子を走査する。
- e. 試験部がエルボ部の場合は、超音波ビームが配管周方向に対して平行方向に伝ばするよう探触子を走査する。
- f. 探触子走査の重なりは、振動子寸法の 50%以上とする。ただし、探触子のビームの広がり considering -6dB のビームの重なりが保たれている場合には、この限りではない。
- g. 探触子の走査速度は 150mm/秒以下とする。なお、全ての A スコープを記録するような自動探傷装置については、速度を受けない範囲でこれを超過してよい。
- h. 走査は基準感度の 2 倍以上（自動又は半自動探傷装置を用いる場合を除く）の感度で行う。指示を記録する場合は、基準感度で走査を行う。
- i. 自動探傷の場合には探触子の押付力等を調整し、探触子と試験体との音響結合がデータ評価に影響が無いように確実に行われていることを確認する。

(2) 探触子の走査範囲

- 2.1 項で規定する試験範囲全体に超音波が伝ばするよう探触子を走査する。

3. 判定要領

本項に、地震後配管の溶接部及びエルボ部の超音波探傷試験の判定要領について示す。

3.1 指示部の抽出

配管溶接部の場合はエコー高さが表示器 16% (DAC20%) を超える指示部を抽出する。また、配管エルボ部の場合はエコー高さが表示器 40% を超える指示部を抽出する。ただし、エコーの出現に再現性がなく、雑エコーと特定できるものについてはこの限りではない。

3.2 判定

- (1) 反射源の位置の解析

3.1 項で抽出した指示部について、ビーム路程、屈折角、試験部の厚さ等をもとに反射源の位置の解析を行う。

(2) 反射源の種類解析

その反射源が開口欠陥に基づくものか、試験部の金属組織、形状など開口欠陥以外の反射源に起因するものかを判断するために解析を行う。

4. 記録要領

本項に、地震後配管の溶接部及びエルボ部の超音波探傷試験の記録要領について示す。

4.1 記録手順

3.1 項で検出した指示部について次の手順で記録する。

a. 最大エコー高さ

反射源からのエコー高さが最大となる位置に探触子を置き、探傷器の表示器上のエコー高さを DAC% で読み取る。

b. 探触子と基準点（又は線）との距離

反射源からのエコー高さが最大となる位置に探触子を置き、基準点と探触子の入射点との距離を測定し、記録する。

c. ビーム路程

反射源からのエコー高さが最大となるビーム路程を読み取る。

d. 指示長さ

反射源からのエコー高さが最大となる位置を中心に探触子を左右に移動させ、そのエコー高さが連続して記録レベルを超える範囲を探触子の移動距離で測定し、記録する。

4.2 記録内容

次の事項を記録する。

(3) 試験条件

a. 発電所名

b. 試験箇所名

c. 試験年月日

d. 試験員と試験評価員（資格）

e. 適用手法

f. 校正記録

(a) 使用機材

超音波探傷器、探触子、接触媒質、対比試験片

(b) 探触子の入射点、屈折角

(c) 基準感度及び時間軸調整時の探傷器の目盛

(d) 校正日時

g. 測定方向

- h. 探傷感度
- i. 試験要領書番号
- j. 探傷不可範囲及び走査不可範囲
- k. 自動探傷の場合は次を加える。
 - (a) ゲート設定範囲
 - (b) 探触子走査間隔
 - (c) 測定範囲

(4) 試験結果

- 4.1 項に従い採取した記録及び3.2 項に基づく反射源の位置及び種類の解析結果

SANE委員会委員，検査WG委員と主な参加者（平成24年3月，順不同，敬称略）

	氏名(敬称略)	所 属
主査(検査WG)	野本 敏治	東京大学 名誉教授
委員	安藤 柱	横浜国立大学 名誉教授
委員(検査WG主査)	大岡 紀一	(社)日本溶接協会
委員	小川 武史	青山学院大学
委員	笠原 直人	東京大学
委員	北山 和宏	首都大学東京
委員(検査WG)	古村 一朗	(財)発電設備技術検査協会
委員	小茂鳥 潤	慶応義塾大学
委員	佐藤 靖彦	北海道大学
委員(検査WG)	澤 俊行	広島大学
委員	鈴木 浩平	首都大学東京 名誉教授
幹事(検査WG)	鈴木 俊一	東京電力(株) 技術開発研究所
委員(検査WG)	高木 敏行	東北大学
委員	瀧口 克己	東京工業大学 名誉教授
委員(検査WG)	中曾根 祐司	東京理科大学
委員	中村 いずみ	防災科学技術研究所
委員	中村 光	名古屋大学
委員	西口 磯春	神奈川工科大学
委員	三浦 直樹	(財)電力中央研究所 材料科学研究所
委員	三橋 博三	東北工業大学
委員(検査WG)	望月 正人	大阪大学
委員	森下 正樹	日本原子力研究開発機構
委員	湯原 哲夫	東京大学
委員	吉村 忍	東京大学
委員(検査WG)	渡辺 豊	東北大学
委員	落合 兼寛	日本原子力技術協会
主な参加者	舟根 俊一	北海道電力(株) 原子力部
主な参加者	竹島 光博	東北電力(株) 原子力部
主な参加者	高木 愛夫	東京電力(株) 技術開発研究所
主な参加者	鈴木 純也	中部電力(株) 発電本部 原子力部
主な参加者	米田 貢	北陸電力(株) 原子力部
主な参加者	小江 秀保	関西電力(株) 原子力事業本部
主な参加者	田村 伊知郎	中国電力(株) 電源事業本部
主な参加者	戸村 典章	日本原子力発電(株) 発電管理室
主な参加者	岩田 吉左	電源開発(株) 原子力建設部
主な参加者	齋藤 利之	(株)東芝 電力システム社 原子力事業部
主な参加者	米谷 豊	日立GEニュークリア・エナジー(株)
主な参加者	吉賀 直樹	三菱重工(株) 原子力プラント技術総括部
主な参加者	中嶋 昭弘	日本原燃(株) 再処理事業部 施設建設部
主な参加者	渡辺 剛史	電気事業連合会 原子力部
事務局	関 弘明	日本原子力技術協会

地震後の機器健全性評価ガイドライン
[検査手法—配管・基礎ボルト等]

編集者 一般社団法人 日本原子力技術協会
中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会
発行者 一般社団法人 日本原子力技術協会
〒108-0014 東京都港区芝4-2-3 NOF芝ビル7階
電 話 03 (5440) 3603 (代)
FAX 03 (5440) 3606