

設備小委 45-4

# 耐震壁ひび割れ幅の評価基準値に関するの 補足説明

平成22年9月14日



東京電力

---

## ひび割れ幅の評価基準値1.0mmの妥当性について

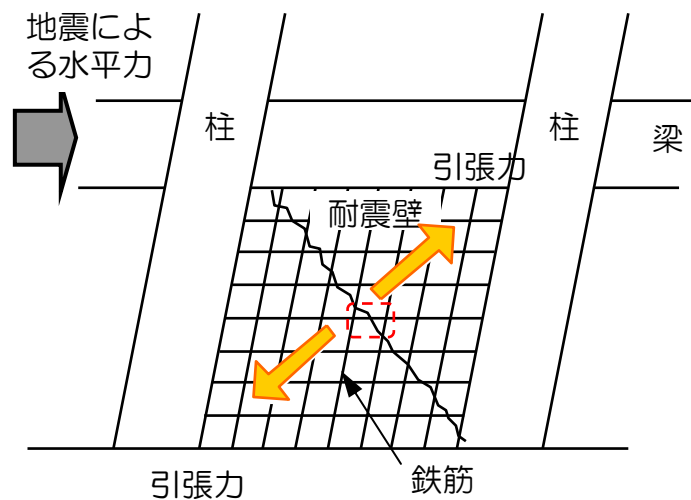
---

- 新潟県中越沖地震後の鉄筋コンクリート構造物におけるひび割れ点検では、ひび割れ幅に基づき評価を行っている。
- より詳細な点検評価※を行うかどうかの評価基準値としては、（財）日本建築防災協会発行『震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針』（以下、『復旧技術指針』）に基づき、**ひび割れ幅1.0mm**としている。
- 評価基準値の設定にあたっては、『復旧技術指針』のみでなく、米国の原子力発電所に関する指針についても参照している。
- 点検の結果、柏崎刈羽原子力発電所5号機の各建屋で確認されたひび割れは全て1.0mm未満であった。

※より詳細な点検評価：モックアップ試験、より詳細な補修方法の検討、FEMによる詳細解析、材料試験等

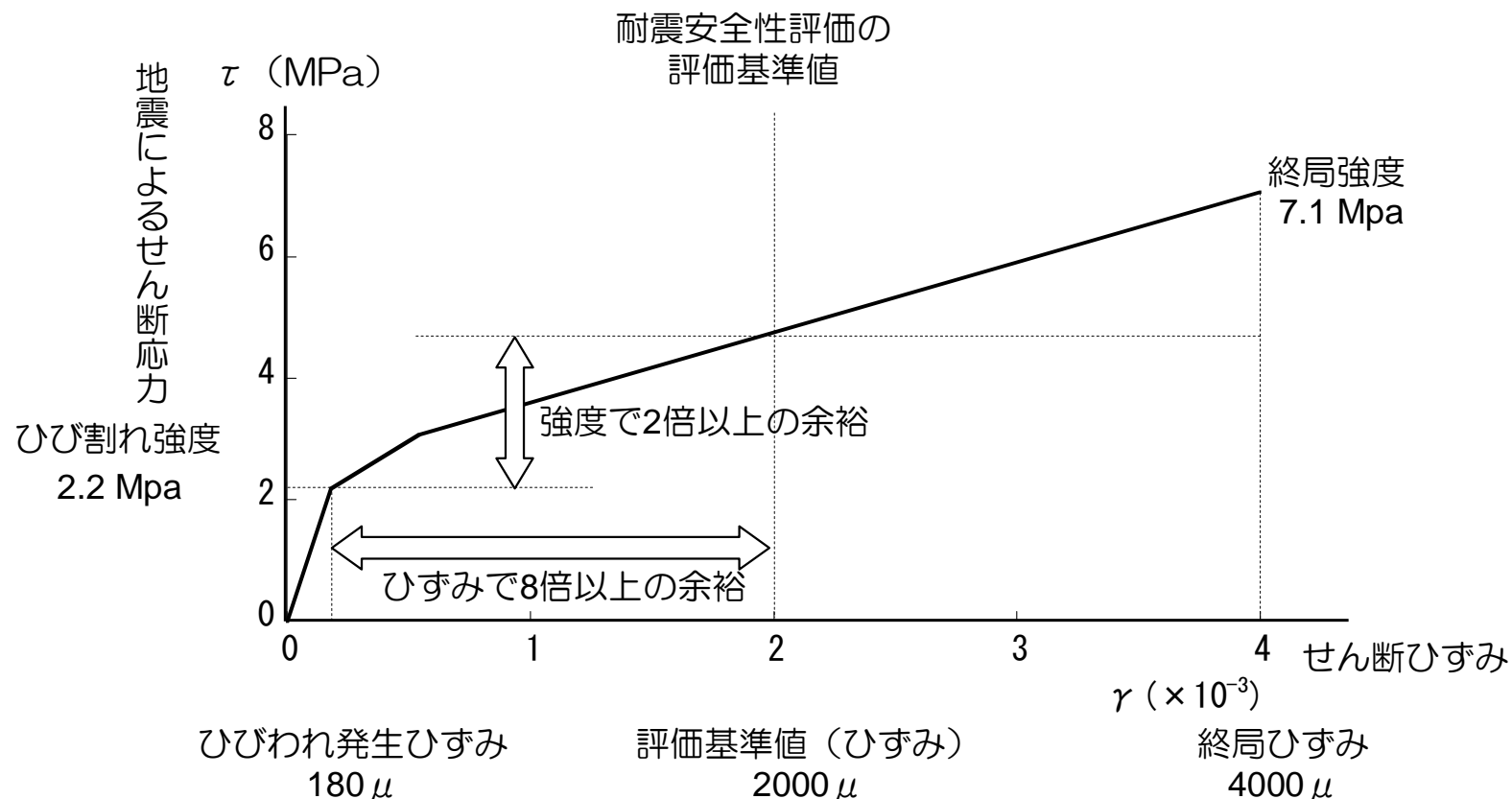
# ひび割れ幅の評価基準値1.0mmの妥当性について

- 鉄筋コンクリート構造は、引張力を鉄筋で、圧縮力をコンクリートで負担するような複合構造物である。
- コンクリートのひび割れは引張力が作用することにより発生するが、ひび割れ発生後は鉄筋が引張力を負担するため、鉄筋が健全であれば、ひび割れが生じても直ちに健全性を損なうようなものではない。



7号機原子炉建屋の配筋例

# ひび割れ幅の評価基準値1.0mmの妥当性について

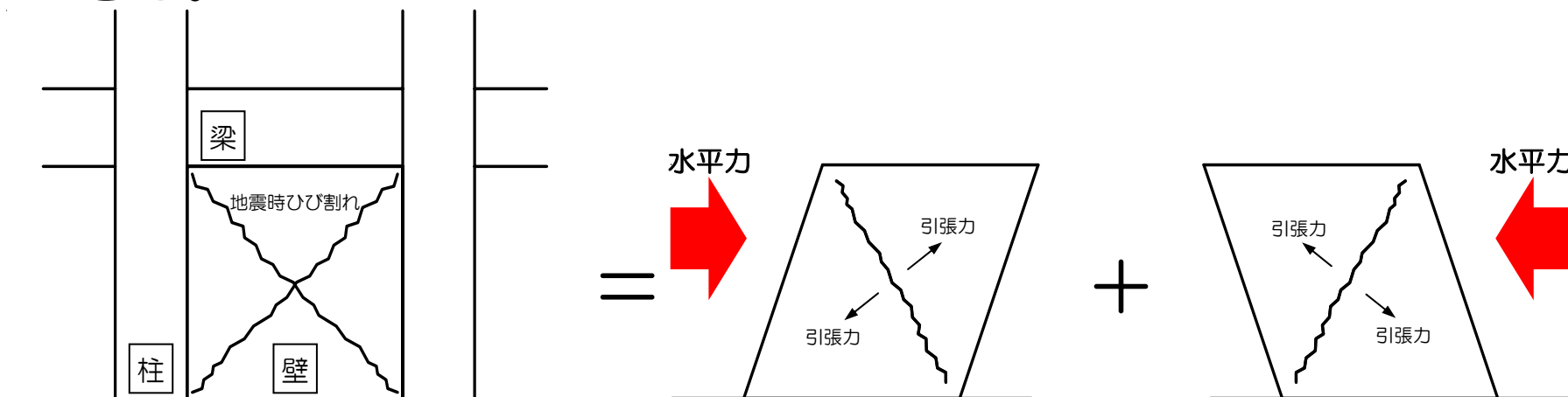


鉄筋コンクリートの耐震壁は、ひび割れ発生後も**強度は上昇**。  
耐震安全性評価の評価基準値であるせん断ひずみは、ひび割れ発生  
の目安であるせん断ひずみに対して、十分な余裕を持っている。

※スケルトンカーブは社団法人日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 追補版 JEAG 4601-1991」に基づき、  
柏崎刈羽原子力発電所1号機原子炉建屋の地下5階EW方向の例に算定した。

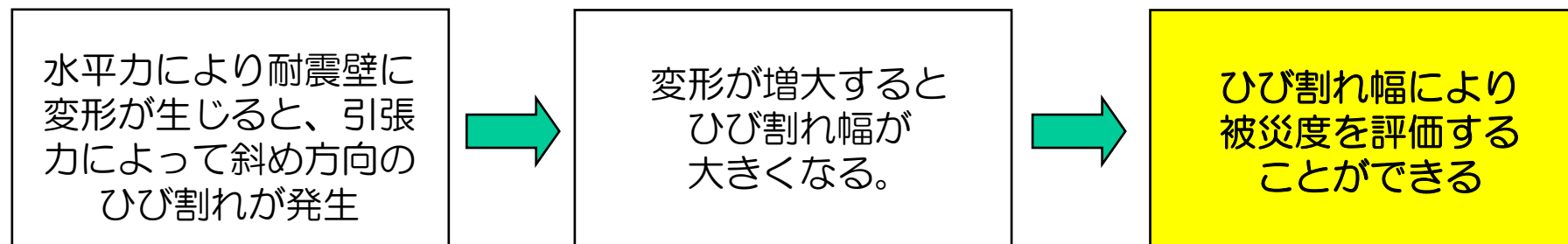
# ひび割れ幅の評価基準値1.0mmの妥当性について

- 地震時の被災度は一般にひび割れ幅に基づき評価することができる。



地震時水平力の繰返しにより、壁部に斜め方向のひび割れが生じる。

コンクリートは引張力に弱いいため、壁部に生じる引張力により斜め方向のひび割れが発生する。



# ひび割れ幅の評価基準値1.0mmの妥当性について

- 評価基準値の設定にあたっては、『復旧技術指針』の記載を参考にして、**ひび割れ幅1.0mm**と設定した。

## 損傷度分類の基準（復旧技術指針より）

柱、耐力壁の損傷度	損傷内容
I	近寄らないと見えにくい程度のひび割れ。 (ひび割れ幅0.2mm以下)
II	肉眼ではっきり見える程度のひび割れ。 (ひび割れ幅0.2～1mm程度)
III	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わずかである。 (ひび割れ幅1～2mm程度)
IV	大きなひび割れ（2mm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。
V	鉄筋が曲がり、内部のコンクリートも崩れ落ち、一見して柱（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。

エポキシ樹脂等の注入による簡易な補修により、地震前の耐力に対して、0.95～1.0まで回復するとされている。

## ひび割れ幅の評価基準値1.0mmの妥当性について

- ひび割れ幅の評価基準値については、『復旧技術指針』を参考とするとともに、以下に示す米国の指針についても、あわせて参照している。

### 米国の指針

米国原子力規制委員会の発行するRegulatory Guide 1.167『Restart of a Nuclear Power Plant Shut down by a Seismic Event』の中で引用されているEPRI NP-6695『Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake』では、幅 0.06インチ(1.5mm程度)未満のひび割れは重大なものではないという記載がある。

- 上記の記載内容「幅 0.06インチ(1.5mm程度)未満のひび割れは重大なものではない」を適用する際の壁厚や配筋等の付帯条件は特に無く、日本の原子力発電所の耐震壁の地震後の健全性評価にも適用可能であると考えられる。
- なお、『復旧技術指針』および『EPRI NP-6695』ともに、豊富な経験を持つ専門家の議論により決められたものとされている。

## ひび割れ幅の評価基準値1.0mmの妥当性について

- 日本建築学会『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2010）』によると、「鉄筋応力が一定であれば、コンクリートかぶり厚が厚いほど、鉄筋径が太いほど、また、付着強度が低いほどひび割れ幅が大きくなる」とされている。
- 原子力発電所の建築物は、一般的な建築物と比較して、かぶり厚が厚く、鉄筋径も太いため、ひび割れ幅は比較的大きくなる傾向があるものと考えられる。
- したがって、『復旧技術指針』に示されている1.0mmを原子力発電所の建物・構築物に適用することは保守的な評価となるものと考えられる。

	原子力発電所	一般建築
かぶり厚さ	6～8cm程度	4～5cm程度
鉄筋径	D19～D38	D13～D19



## まとめ

---

- ◆鉄筋コンクリート耐震壁の点検・評価に当たって採用しているひび割れ幅1.0mmという評価基準値は、原子力発電所を対象に米国で定めている評価基準値である0.06インチ（約1.5mm）と、『復旧技術指針』から引用した1.0mmの両者を参照し、数値の小さい方を採用して定められたものである。
- ◆原子力発電所を対象に米国で定めている評価基準値は、壁の厚さや配筋量などでの適用範囲の制限は示されておらず、日本の原子力発電所の耐震壁の地震後の健全性評価にも適用可能であると考えられる。
- ◆『復旧技術指針』は、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造などを対象として網羅的に取り纏められたものであり、用途や構造規模による適用範囲は特に定められておらず、原子力発電所の評価に適用することは可能であると考えられる。
- ◆原子力発電所の建物・構築物は、一般建築物と比較して、コンクリートのかぶり厚が厚く、鉄筋径も太いため、同じ鉄筋応力が作用した時にはひび割れ幅は比較的大きくなる傾向があり、原子力発電所の建物・構築物に『復旧技術指針』に示されている1.0mmを適用することは保守的な評価となるものと考えられる。

○以上のことを踏まえ、ひび割れ幅の評価基準値として1.0mmを採用することは妥当であるものと考えられる。

---

## 参考資料 1

ひび割れ幅の評価基準値1.0mmを採用した経緯について

# ひび割れ幅の評価基準値1.0mmを採用した経緯について（1）

---

## 原子力安全・保安院の審議会での主な議論のまとめ

- ◆平成19年7月16日 新潟県中越沖地震が発生した。
- ◆平成19年11月9日 原子力安全・保安院より指示文書『平成19・11・06原院第2号 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』を受領し、点検・評価計画書の作成を開始した。
- ◆平成20年1月11日 第9回構造WGにおいて、点検・評価計画書の作成方針について説明。点検・評価の全体方針についての説明であり、説明資料中にひび割れ幅に関する記載は無かった。なお、この時点で、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』（以下、復旧技術指針という）を点検・構造評価で参考とする規格基準の例としてあげていた。
- ◆平成20年2月6日 第10回構造WGにおいて、点検・評価計画書(案)について審議。EPRI NP-6695『Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake』の記述を参考に、ひび割れ幅の評価基準値を1.5mmに設定することを説明したが、この時点では特段の議論にはならなかった。

## ひび割れ幅の評価基準値1.0mmを採用した経緯について（2）

- ◆平成20年2月25日 『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・評価計画書(建物・構築物編)』を原子力安全・保安院へ提出した。
- ◆平成20年3月11日 第11回構造WG(柏崎市で開催)において、点検評価計画書と7号機原子炉建屋の点検結果について審議。その際、保安院より「ひび割れ幅の評価基準値を1.5mmとすることの根拠と妥当性を明らかにするように」とのコメントを受け、EPRI NP-6695の記載に関する調査を開始した。
- ◆平成20年3月～5月 EPRI NP-6695の執筆者に対して、ひび割れ幅の基準値を1.5mmとした経緯について確認したところ、「実験等によるものではなく、NP-6695が発行された時点での経験と専門家による技術的な総合判断に基づいて決められたものである」ことがわかった。その後、日本国内における指針類の調査を実施し、ひび割れ幅1.0mm程度までであれば、従前の耐力・剛性をほぼ回復するという復旧技術指針の記載を基に評価基準値を1.0mmに見直すこととした。
- ◆なお、この段階で日本建築学会『鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説』（2004）についてもレビューしたが、新しい概念である性能設計法に基づき新規に建物を設計するための技術資料であり、そもそも被害を受けた建物の評価のための資料ではなかったため、点検計画を作成する際に参考にするには適切でないと判断した。

## ひび割れ幅の評価基準値1.0mmを採用した経緯について (3)

---

- ◆平成20年5月21日 『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・評価計画書(建物・構築物編) (改訂1)』を原子力安全・保安院へ提出。その際、これまでの審議を踏まえ、EPRI NP-6695に加え、復旧技術指針を参考にし、ひび割れ幅の評価基準値を1.5mmから1.0mmに見直した。なお、同日に第14回構造WGが開催されており、点検・評価計画書(改訂1)の説明およびひび割れ幅の評価基準値に関するコメント回答を実施しており、内容については了承されている。
- ◆平成20年9月1日 『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・評価報告書(建物・構築物編)』を原子力安全・保安院へ提出。
- ◆平成20年10月23日 原子力安全・保安院より、『新潟県中越沖地震に対する東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所7号機の建物・構築物の健全性評価結果』の通知があり、原子力安全・保安院での7号機の審議が終了。

## ひび割れ幅の評価基準値1.0mmを採用した経緯について（4）

---

- ◆その後、6号機、1号機、5号機の順で建物・構築物の健全性評価結果についても報告書として取り纏め、原子力安全・保安院に報告している。また、それらの報告書については、原子力安全・保安院より7号機同様に評価結果の通知があり、原子力安全・保安院での審議が終了。

【6号機】 東電報告書：平成20年12月25日提出

保安院評価書：平成21年2月12日通知

【1号機】 東電報告書：平成21年12月22日提出

保安院評価書：平成22年1月21日通知

【5号機】 東電報告書：平成22年5月21日提出

保安院評価書：平成22年6月14日通知

また、平成20年7月に発刊された、日本建築学会『原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説』については、発刊された段階でレビューを実施しており、点検・評価計画書へ新たに反映するべき点が無いことを確認している。

---

## 参考資料2

点検で参照した各指針類の位置付けについて

## 点検で参照した各指針類の位置付けについて

---

### ◆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』

○発行：2001年

○概要：

- 地震により被災した建築物を対象に、その被災度を区分するとともに、継続使用のための復旧の要否を判定し、被災建築物および被災地域の早期回復に資することを目的としたものである。
- ひび割れ幅1.0mm程度までであれば、エポキシ樹脂等の注入による簡易な補修により、従前の耐力・剛性がほぼ回復することが示されている。なお、このことは、過去に実施された実験においても確認されている。
- 鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造などを対象として網羅的に取り纏められたものであり、用途や構造規模による適用範囲は特に定められていない。
- 震災を受けた建物の評価のための指針であり、柏崎刈羽原子力発電所の点検計画を策定するにあたって、本指針を参照することは適切であると考えられる。



## 点検で参照した各指針類の位置付けについて

---

### ◆EPRI 『NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake』

○発行：1989年

○概要：

- 地震により停止した原子力発電所において、再起動に向けて実施する点検・評価の手順をまとめた指針である。
- 米国及び米国外の様々な原子力発電所での経験・知見等を踏まえて制定されている。

『The guidelines are based on information obtained from a review of earthquake response procedures from numerous U.S. and foreign nuclear power plants』 (参考和訳：指針は米国および海外の原子力発電所での地震後の対応手順のレビューにより得られた情報に基づくものである。)

- 幅 0.06インチ(1.5mm程度)未満の地震によるひび割れは重大なものではないという記載がある。なお、それを適用する際の壁厚や配筋等の付帯条件は特に無い。
- EPRI NP-6695に記載された点検方法は、NRC(米国原子力規制委員会)が発行するRegulatory Guide 1.167 『Restart of a Nuclear Power Plant Shut down by a Seismic Event』においても認められている。

## EPRI NP-6695からの抜粋 (定義)

Significant Damage. Significant damage (physical or functional) is considered to be damage which has the potential to adversely affect the operability, functionality, or reliability of equipment or structures required for the safe operation of the nuclear power plant. Significant damage is indicated by each or a combination of any or all of the following indicators.

### Concrete Structures

New or earthquake-induced cracks in concrete >0.06 inches in width, spalling of concrete, visible distortion of frames. [1]

1. Concrete cracks  $\geq 0.06$ " are indicative of yielding of reinforcement.

### [参考和訳]

#### 重大な損傷

重大な損傷（物理的、機能的）は、原子力発電所の安全な運転のために必要となる機器・構造物の操作性や機能性、信頼性に悪影響を与えうる被害であると考えられる。重大な被害は、次の指標により示される。

### コンクリート構造

地震により発生した幅0.06インチ(1.5mm)より大きなひび割れ、コンクリートの剥落、フレームのゆがみ [1]

1. 1.5mm以上のコンクリートのひび割れは、鉄筋降伏の指標である。

# EPRI NP-6695からの抜粋 (点検のクライテリア)

## 5.3.3 Inspection Criteria

Criteria for performing visual inspections of equipment and structures during the post-shutdown inspections (focused and expanded) are provided in Table 5-1. This table lists the type of inspections to be performed for each class of equipment or structure. In general, the inspections consist of: (a) a visual observation of the condition of the equipment anchorage, (b) a visual observation of the condition of the attached piping and conduits, and (c) check for other evidence of physical or functional damage.

Table 5-1 VISUAL INSPECTION OF EQUIPMENT AND STRUCTURES AFTER EARTHQUAKE

### 8. Reinforced Concrete Structure

1. Check for new open (>0.06 inches) cracks, spalling of concrete. [Note: Minor cracks, even if caused by the earthquake, are not considered significant unless they are large enough to result in yielding of rebar.]

[参考和訳]

## 5.3.3 点検のクライテリア

停止後の点検時に設備・構造物で実施する目視点検のクライテリアを表5-1に示す。この表は、設備・構造物のそれぞれのクラスに対して実施される点検の型を一覧表にしたものである。一般に、点検は (a)設備のアンカーの状態の目視点検、(b)設置されたパイプ類の状態の目視点検、(c)物理的、機能的損傷に係わるその他の形跡が無いかの確認 から構成されている。

表5-1 地震後の設備・構造物の目視点検

### 8. 鉄筋コンクリート構造

1. 新規に発生したひび割れ (0.06インチより大きなもの)、コンクリートの剥落を調査する。(注釈：鉄筋が降伏するほど大きなひび割れでなければ、たとえ地震で発生したものであっても、微細なひび割れは重大なものではない。)

## 点検で参照した各指針類の位置付けについて

---

### ◆日本建築学会『鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説』

○発行：2004年

○概要：

- ・ 2001年に改定された建築基準法において採用することが可能となった性能設計について、鉄筋コンクリート構造で適用する場合の方法を試行的にまとめてみたものであり、現在は（案）という形になっている。序文には『まだいろいろと課題も残っているので継続的な検討を行い、内容を洗練していく必要がある』との記載がある。
- ・ 新しい概念である性能設計に従いひび割れ幅をコントロールするような設計法を提案しているが、現時点ではこのような考え方は学会の中でも大勢を占めてはならず、実際の建物の設計等を行った実績はほとんど無いのが実情である。
- ・ 地震被害を受けた建物の評価には適していないと考えられる。

# 点検で参照した各指針類の位置付けについて

---

## ◆日本建築学会『原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説』

○発行：2008年

○概要：

- ・原子力施設の建築物に要求される機能を、供用期間中にわたって維持するために実施する維持管理の標準を示した指針である。
- ・通常の維持管理で確認するひび割れ（使用性等に影響するもの）については、定量的な評価基準が示されているが、地震等により生じる構造安全性に影響しうるひび割れに関しては定量的な評価基準は示されておらず、ひび割れの状況を確認し、検討を行うこととされている。
- ・当社の点検・評価計画書においては、地震により生じるひび割れとそれ以外のひび割れを分類し、地震により生じたひび割れは全て補修することとしている。また、地震計の記録を基に解析的な検討を実施することとしており、本指針との整合は取れているものと判断している。

# 点検で参照した各指針類の位置付けについて

## ◆各指針の用途および主な適用対象について

	性能評価用	維持管理用	地震後の点検・評価用
一般建築物	鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能評価指針(案)・同解説	建築物の耐久計画に関する考え方(日本建築学会)など	震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針
原子力発電所の建物	—	原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説	NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake

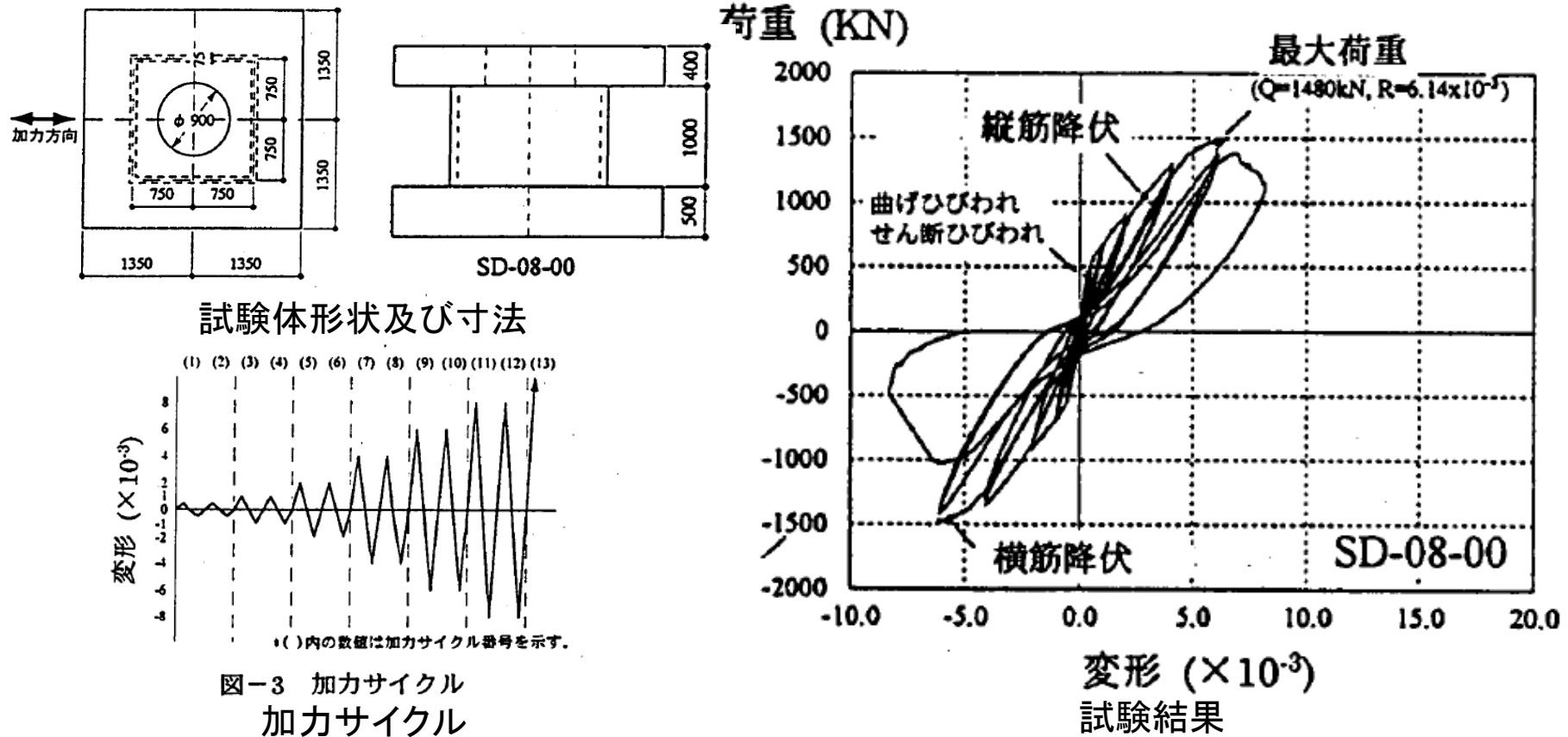
---

## 参考資料3

# ひび割れに関する既往の実験について

# 鉄筋コンクリート造耐震壁の復元力特性に関する既往実験例

ボックス型耐震壁への交番加力試験結果を示す。試験体にひび割れが発生した直後に除荷すると、概ねひび割れ発生前の状態に戻ることが確認できる。また、ひび割れが発生した試験体を再度加力した場合でも、耐震壁の性能は保持されることが確認できる。



(文献) 羽場崎ほか、「斜め方向入力を受けるRCボックス型耐震壁の復元力特性」、日本建築学会構造系論文集, 2001年

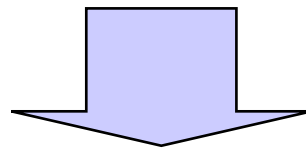


# 補修後の耐震壁の強度回復に関する既往実験例

建設省総合技術開発プロジェクト「震災建造物の復旧技術の開発」(1981～1985年)において、大地震により被災した鉄筋コンクリート建造物の補修効果の確認を目的とした各種実験が行われた。

(文献)

志賀ほか、「曲げ破壊型RC造耐震壁の被災度及び補修効果に関する実験 - 総合プロジェクト・鉄筋コンクリート造震災建造物の復旧技術の開発 (その1～4)、日本建築学会学術講演梗概集, 1983年9月



耐震壁を対象とした実験結果から、平均ひび割れ幅で1mm程度 (最大ひび割れ幅で2mm程度) にひび割れた耐震壁試験体の荷重-変形特性は、エポキシ補修前後で同等の特性を示す (強度性能が回復する) ことが確認された。

以下に、実験の概要を示す。

# 試験体

- 実際の耐震壁を約 1 / 4 倍に縮小した壁厚 6cm × 高 2.1 m × 幅 1.9 m の試験体
- 水平力を左右端より作用させ、ひび割れ状況と荷重-変形特性を測定

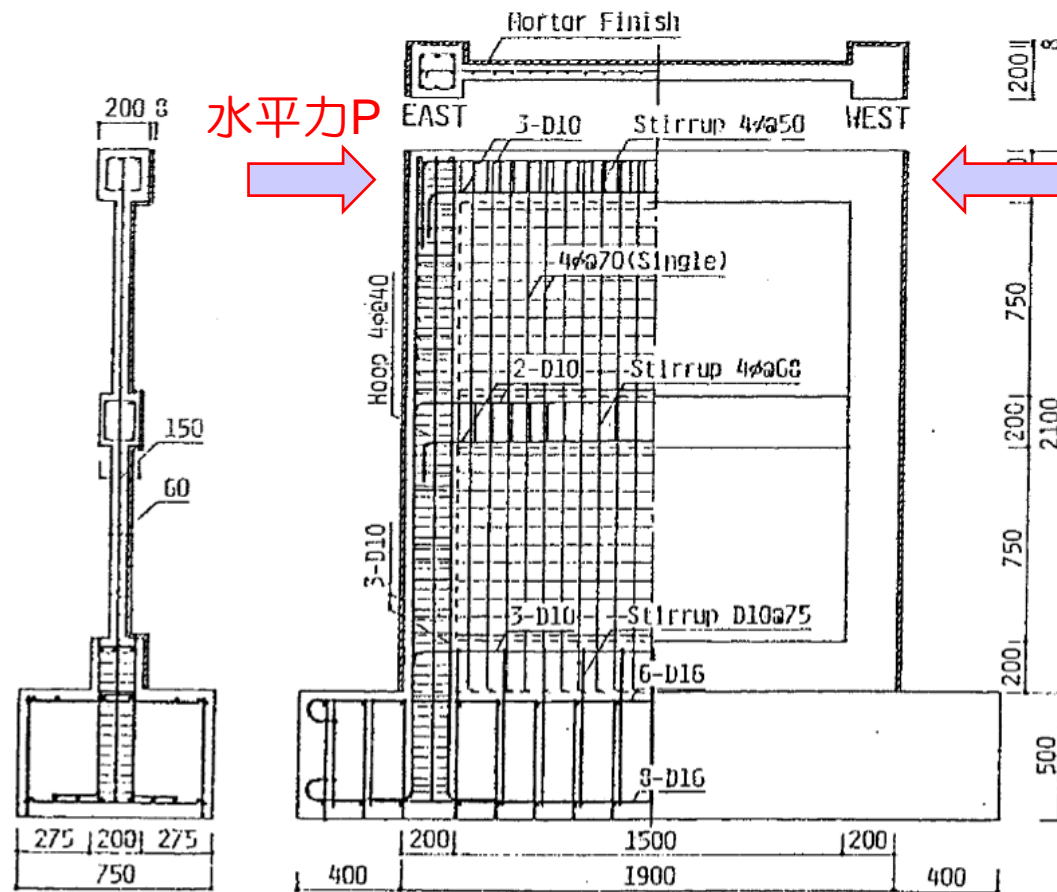


図1 試験体

# 試験体の寸法について

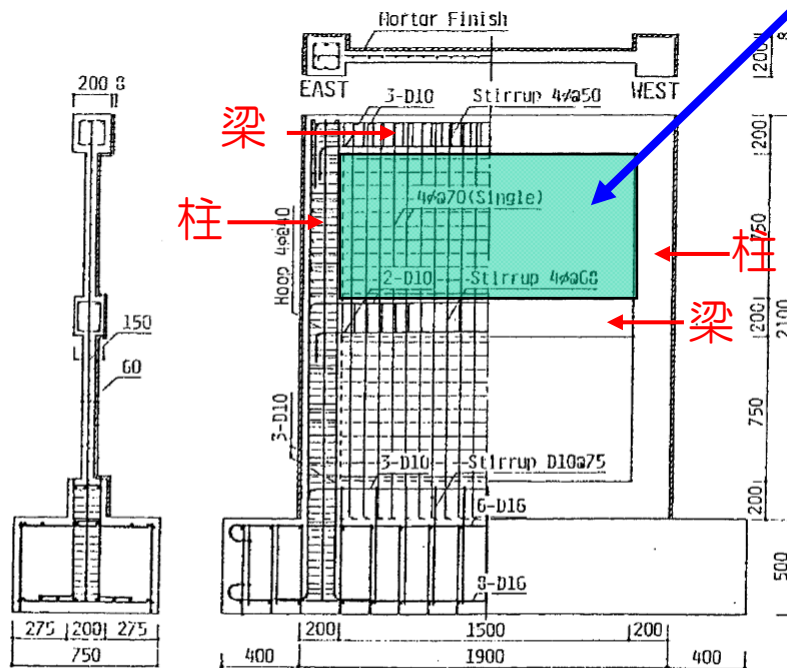


図1 試験体

○試験体の耐震壁部分の寸法 (実際の1/4)  
壁厚6cm×高さ0.75m×幅1.5m



○実験で想定している耐震壁の寸法  
壁厚24cm×高さ3.0m×幅6.0m

(参考)

○5号機原子炉建屋の耐震壁の例※1  
壁厚140cm×高さ6.2m×幅7.0m

○5号機タービン建屋の耐震壁の例※2  
壁厚60cm×高さ8.0m×幅6.8m

※1：原子炉建屋1階 R1-RE~F

※2：タービン建屋1階 T3-TD~E

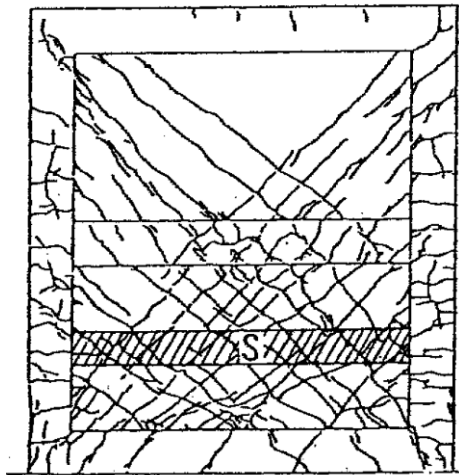
(ひび割れ深さ測定対象「E011」, 「E014」の存在する壁)

# 実験方法

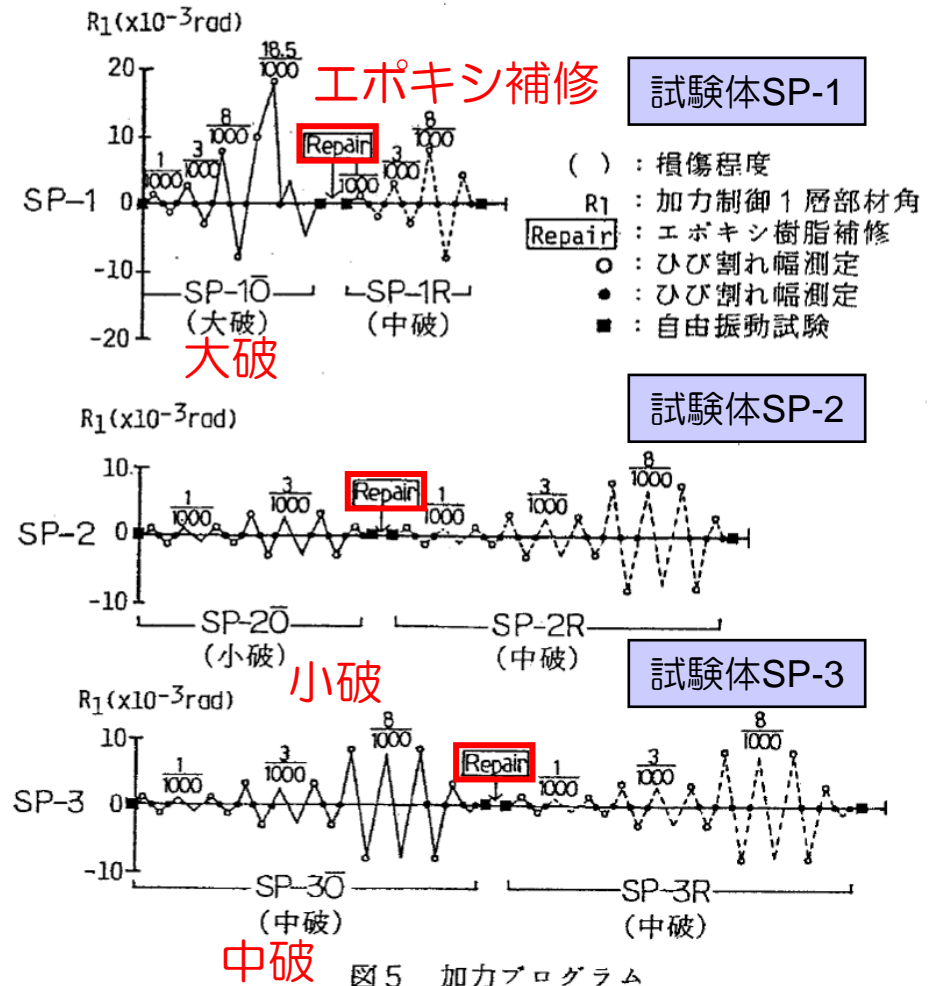
① 同じ試験体を3体準備し、エポキシ補修前の水平力による変形の程度（変形角R1で制御）を小破～大破まで3段階に変えて実験を実施

② 試験体の下層壁中央部に発生したひび割れ幅（平均幅と最大幅）を計測

③ エポキシ補修を行った後に、再度水平力を加え、荷重-変形特性を測定



ひび割れ幅の計測位置（図中Sの範囲）



# 実験結果

- エポキシ補修前のひび割れは、最大で平均幅 1 mm程度（最大幅 2 mm程度）  
 ※縮小試験体であるため、実大壁では更に大きなひび割れ幅に相当
- 荷重-変形特性は、エポキシ補修前後で同等（強度が回復）

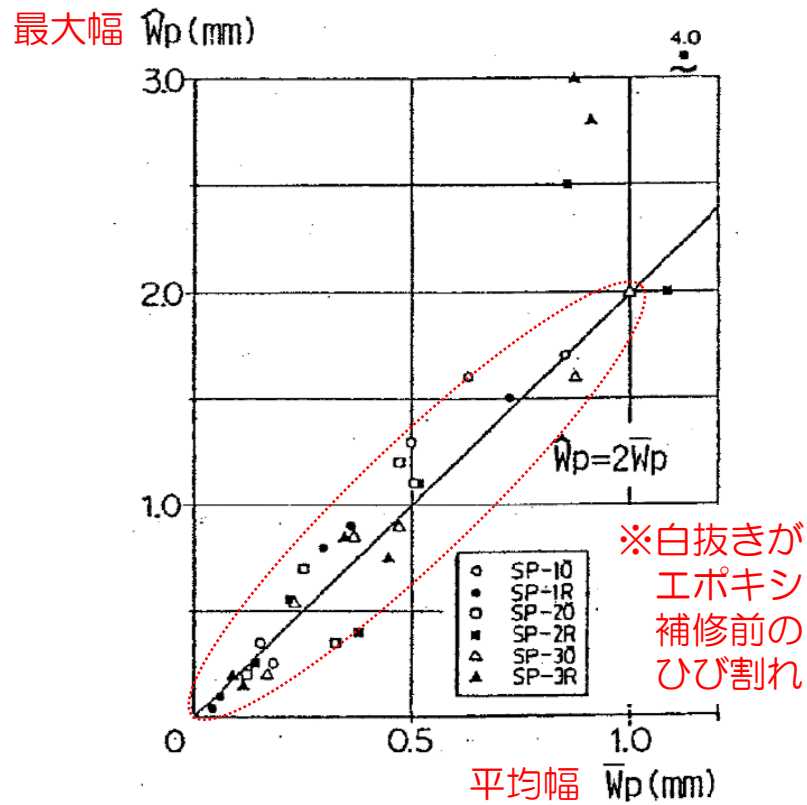
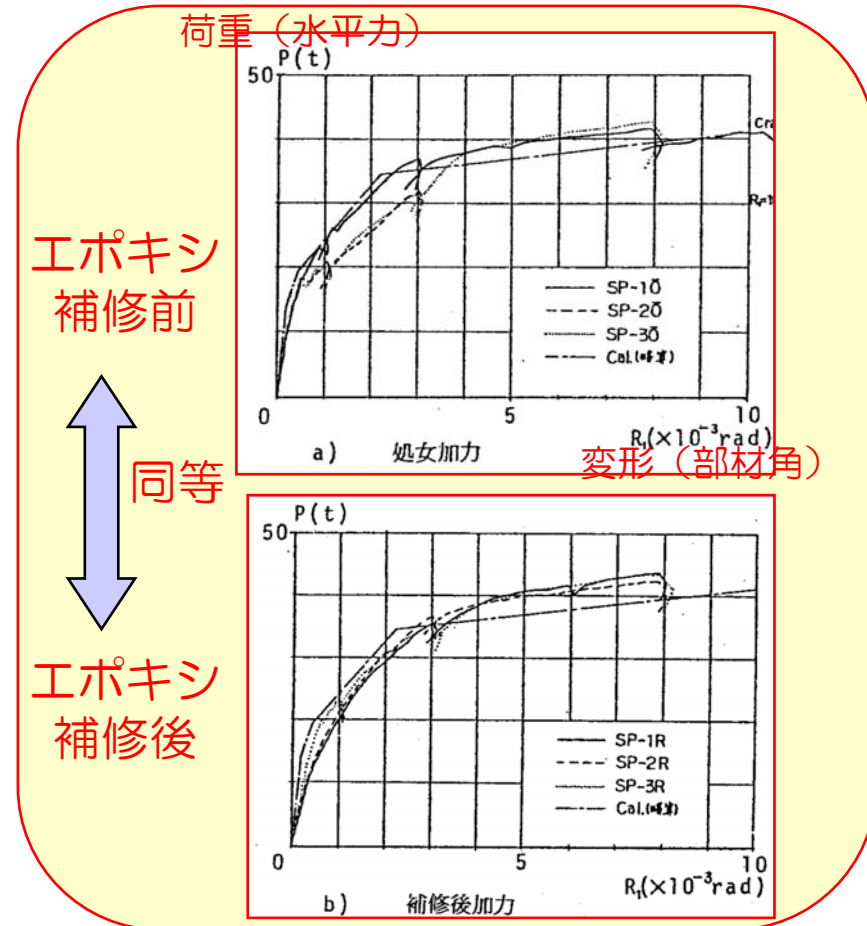
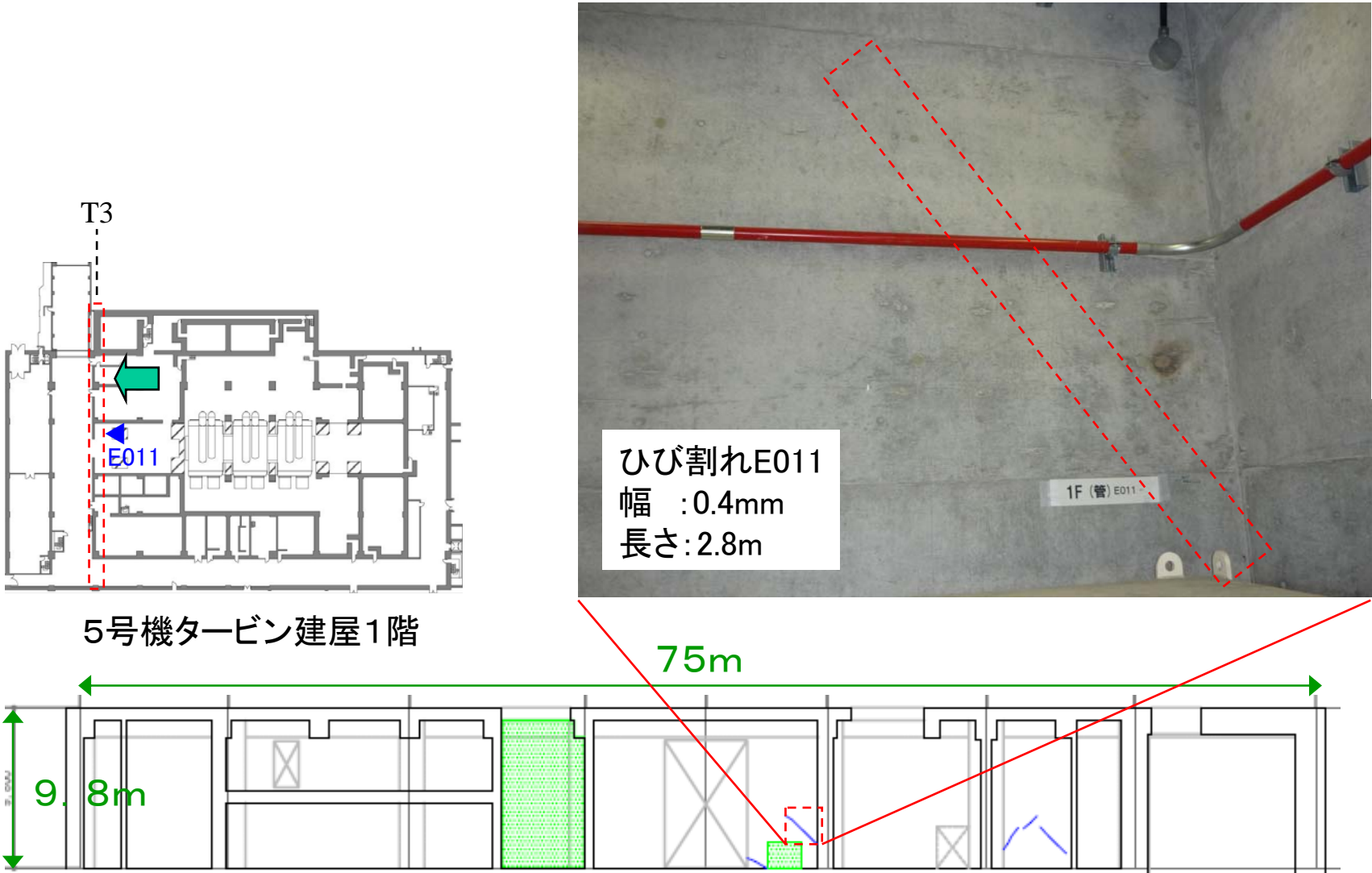


図3 せん断ひび割れ幅の最大値と平均値



参考

点検で確認されたひび割れの例（5号機タービン建屋・1階）



T3通り壁北側展開図(ひび割れ発生状況)