

# 福島第一・第二原子力発電所における 耐震安全性について

平成20年5月26日  
東京電力株式会社



東京電力

1. 新指針によれば、「耐震設計上考慮する活断層」として、「後期更新世以降の活動が否定できないもの」としている。双葉断層については、いくつかの地点で、最終間氷期の地層、地形に断層による変位を与えていないとしているが、これをもって、後期更新世以降の活動を直ちに否定できないのではないか。

活断層の評価について耐震設計審査指針では以下のとおり示されている。  
「耐震設計上考慮する活断層としては、後期更新世以降の活動が否定できないものとする。なお、その認定に際しては最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることができる。」

また、バックチェックルール<sup>(※)</sup>では、以下のとおり示されている。  
「考慮すべき活断層は、後期更新世以降の活動が否定できないものとする。ただし、後期更新世の地層の分布に限られる場合が少なくない状況等を考慮し、実際の評価に際しては、最終間氷期の地層または地形面等に断層による変位または変形等が認められるか否かにより評価することができる。」

双葉断層の活動性の評価にあたっては、上記指針およびバックチェックルールに基づき、双葉断層上に分布するM1'、M2、L1面もしくはその堆積物に変位・変形があるか否かによって活動の有無を判断している。(添付-1)



(※) 新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価及び確認に当たっての基本的な考え方並びに評価手法及び確認基準について (案)  
(平成18年9月13日, 原子力安全保安院)

2. 小齊東方地区の双葉断層調査に関して、M1'面はどの程度の年代の地層と推定されているのか。ここの断層位置は断面から確認できるのか。

M1面は、太平洋沿岸に広く分布する海成面であり、堆積物を覆うローム層最下部に安達太良-岳軽石（約12万年前）を挟在することから南関東の下末吉面（MIS5e）に、M1'面は、M1面の若干低位に、南関東の小原台面に対比されるM2面の高位に分布することから南関東の引橋面（約10～12万年前）にそれぞれ対比される。

小齊東方のM1面及びM1'面は、太平洋岸に分布するM1面及びM1'面から阿武隈川沿いに、沖積面からの比高、段丘面の開析の程度などにに基づき追跡して対比したものである。

小齊東方では、M1'面の南北で双葉断層の露頭を直接確認していること、M1'面の分布域を含む大内層の地質構造から、双葉断層はM1'面の直下に存在し、そのM1'面に変位地形が認められないことから活動性は無いと判断している。

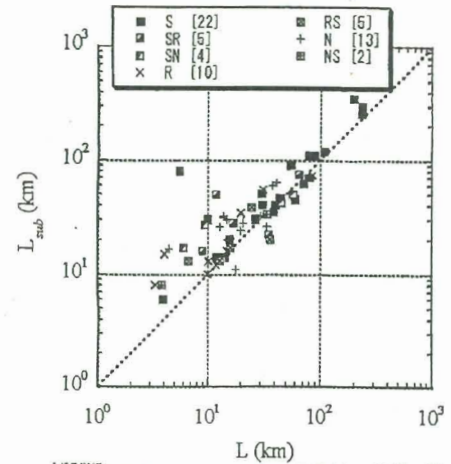


M1'面の南北で双葉断層の露頭を直接確認していること、M1'面の分布域を含む大内層の地質構造から、双葉断層はM1'面の直下に存在し、そのM1'面に変位地形が認められないことから活動性は無いと判断している。

3. 双葉断層について、南部では後期更新世以降の活動を否定しているが、過去の地震の規模は不明であり、地下では連動して動き、単に表層の地層に影響を与えていなかったということもあるのではないかと。

既往の研究によれば地表断層長さが20kmよりも大きい地震では地表断層長さと震源断層長さはよく対応するとされていることから、仮に南部も活動的であり、繰り返し活動していれば、地形に痕跡を残していると考えられる。

活断層評価にあたっては、耐震設計審査指針及びバックチェックルールに基づき、最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによって、活断層かどうかの判定をしている。



L (地表断層長さ) と  $L_{hyp}$  (震源断層長さ) の関係。記号はすべりタイプ別 (S, R, Nはそれぞれ横ずれ断層、逆断層、正断層; SR, SN, RSは横ずれ、縦ずれ、および正断層の混合すべり)を示す。String et al.(2002)<sup>(13)</sup> によるコンパイルデータのうち、Lと $L_{hyp}$ が記載された地震で、Mwの信頼性が低いと考えられるものを除いた61地震をプロットしている。野澤(2006)<sup>(14)</sup>より引用。

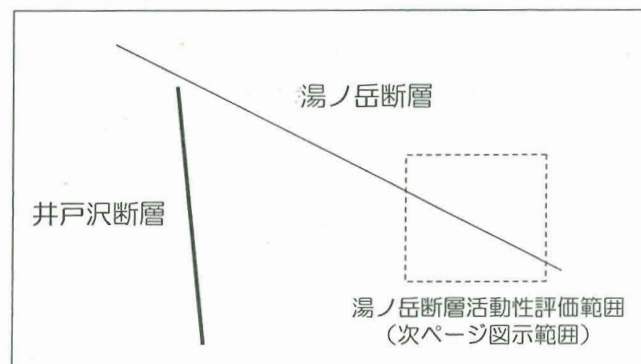
原子力発電所の耐震設計のための基準地震動より抜粋 (入倉孝次郎, 日本地震工学会誌, No.5, Jan.2007)

4. 井戸沢断層が湯ノ岳断層に変位を与えていないということは、湯ノ岳断層の方が新しいということにならないのか。

湯ノ岳断層の活動性については、変動地形学的調査、地表地質調査結果から、断層の位置を横断してM1面が分布し、このM1面に変位地形が認められないことを確認していることから、活断層ではないと評価している。

一方、井戸沢断層については、いわき市佐倉において、第四系に変位を与える露頭を確認したことから、活断層であると評価しており、井戸沢断層の活動時期は湯ノ岳断層よりも新しいと判断している。

なお、井戸沢断層については、その変位が、湯ノ岳断層に達していないことを確認しており、湯ノ岳断層より北での活動はないと判断している。



断層位置関係概念図

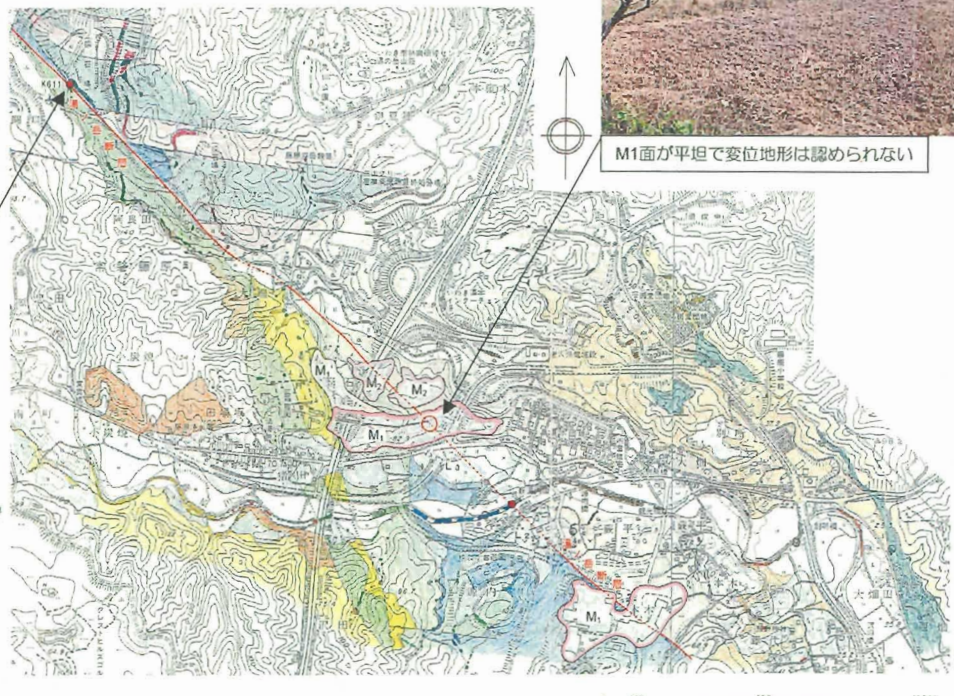


断層破碎部は固結している

湯ノ岳断層の活動性



M1面が平坦で変位地形は認められない



- 凡 例
- 沖積層
  - 礫石地層物 (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>等は武蔵野の名称、例証参照)
  - 細粒砂層
  - 中粒～粗粒砂層
  - 砂層、砂質、礫層
  - 砂層
  - 砂質・泥質互層、泥層
  - 砂質・泥質互層、砂層
  - 砂質・泥質互層、砂層
  - 泥層
  - 砂質・泥質互層、泥層
  - 砂層、礫層
  - 砂質泥層
  - 泥質砂層～礫砂層
  - 砂層、礫層
  - 礫層
  - 変成岩
- 三沢層群
- 高久層群
  - 白土層群
  - 早層
  - 湯沢層群
  - 水野谷層
  - 五反層
  - 白坂層
  - 清水層群
  - 石炭層
  - 群衆層変成岩類
- 断層 (----は仮定、-----は認定)
- , ○ 断層線位置・番号
- 地形写真位置

断層破碎部が固結していること、断層横断位置でM1面に変位地形が認められないことから活断層ではないと評価



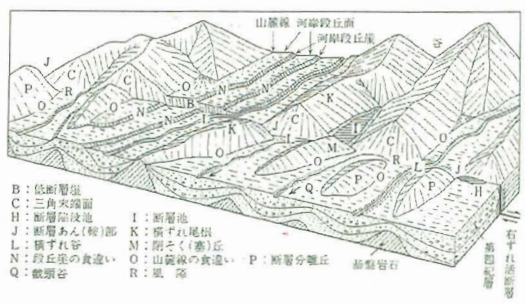
東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力

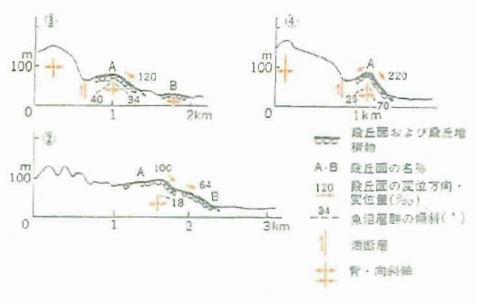
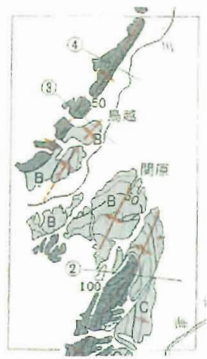
5. 変動地形学的調査や地球物理学的調査といった新耐震指針で明示的に追加された調査手法による調査結果からどのような知見が得られているか。

地球物理学的調査としては、反射法地震探査、海上音波探査を実施し、現在調査結果をとりまとめ中であり、7月末を目途に報告する予定である。

また、変動地形学的調査としては、次ページに示す変動地形判読基準に基づき、空中写真判読を行っている。変動地形判読基準については、運用補助共用施設申請時からすでに変動地形学的観点を取り入れ、直線的な地形に加えて地形の撓みや傾動についても基準にとりいれていることから、従来の評価結果から変更はない。



変動地形概念図



撓み・傾動の例



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力

# 中間報告における変動地形判読基準

第3.2.2-2表 空中写真による変動地形判読基準

| リニアメント <sup>1)</sup> のランク  | 山地・丘陵内   |  | 段丘面、扇状地等の平坦面上   |   |
|--|--|--|---|---|
|  | 崖・鞍部等  | 尾根・水系の屈曲   | 崖・溝状凹地等   | 盛り・傾斜面  |
| <p><b>L<sub>A</sub>リニアメント</b></p> <p>変位地形<sup>2)</sup>と認定できる数多くの地形要素が認められ、他の成因による可能性が否定でき、かつ、新しい基準地形に累積的な連続性が認められ、その位置が確実に認定できるもの。</p>                             | <p>新鮮な崖、鞍部等の連続の良い直線状ないし弧状の配列からなり、連続区間が長く、両側の地形形態が類似し、一様な高度差が認められ、かつ、延長上の段丘面に同方向の崖が認められるもの。</p>   | <p>尾根・水系が長い区間で同方向に屈曲し、かつ、<br/>(1)屈曲は鮮明であり河川の規模と屈曲量との相関<br/>あるいは、<br/>(2)閉塞丘、風障等の特異な地形のいずれかが認められるもの。</p>  | <p>崖、溝状凹地等の連続の良い配列からなり、方向が水系の側割方向と異なり、延長が長く、かつ、<br/>(1)時代の異なる複数の段丘面に連続し、古い段丘面ほど比高が大きい。<br/>(2)崖面が山地、丘陵側に向き段丘面の傾斜方向とは逆向きを示す。<br/>(3)山地、丘陵内の明瞭な崖、鞍部等に連続する。<br/>のいずれかが認められるもの。</p>                             | <p>a. 盛り状の形態が鮮明であり、その盛りが大きいもの。<br/>b. 平坦面の傾斜角が大きいもの。<br/>上記a, bのうち、盛り傾斜角に累積性があり、かつ、延長が長いもの。</p>   |
| <p><b>L<sub>B</sub>リニアメント</b></p> <p>変位地形と認定できる地形要素及び新しい基準地形に不連続が認められるものの、位置に不連続があるもの、あるいは、変位地形として認定できる地形要素がやや少なく、その他の成因によるものである可能性が若干あるもの。</p>                    | <p>崖、鞍部等の連続の良い直線状ないし弧状の配列からなり、連続区間が長く、両側の地形形態が類似し、一様な高度差が認められ、かつ、<br/>(1)地形形態は鮮明であるもの、あるいは、<br/>(2)地形形態はやや不鮮明であるが、延長上の段丘面に同方向の崖が認められるもの。</p> | <p>尾根・水系が同方向に屈曲し、屈曲は鮮明であり、かつ、<br/>(1)連続区間は長い、河川の規模と屈曲量との相関、あるいは、閉塞丘、風障等の特異な地形のいずれも認められないもの、<br/>あるいは、<br/>(2)連続区間は短い、河川の規模と屈曲量との相関、あるいは、閉塞丘、風障等の特異な地形が認められるもの。</p> | <p>崖、溝状凹地等の連続の良い配列からなり、延長は短い方向が水系の側割方向と異なるもの、あるいは、方向が水系の側割方向であるが延長が長いものうち、<br/>(1)時代の異なる複数の段丘面に連続し、古い段丘面ほど比高が大きい。<br/>(2)崖面が山地・丘陵側に向き、段丘面の傾斜方向とは逆向きを示す。<br/>(3)山地・丘陵内の明瞭な崖、鞍部等に連続する。<br/>のいずれかが認められるもの。</p> | <p>上記a, bのうち、延長は短い、盛り傾斜角に累積性があり、段丘面の傾斜方向とは逆向きであるもの、あるいは、累積性は認められないが、延長の長いもの。<br/>盛り状の形態が鮮明であり、その盛りが小さいが、延長が長く、傾斜角が段丘面の傾斜方向とは逆向きのもの。</p> |
| <p><b>L<sub>C</sub>リニアメント</b></p> <p>変位地形と認定できる地形要素が認められるが、リニアメントの両側の基準地形が同一であるか否かの認定に不確実さがあり、その他の成因によるものである可能性もあるもの、あるいは、比較的大きな不連続が認められるもの、新しい地形面での変位が不明瞭なもの。</p> | <p>崖、鞍部等の直線状ないし弧状の配列からなり、両側で一様な高度差があるが、地形形態は一部で不鮮明、不連続か、あるいは、延長上の段丘面に崖が認められないもの。</p>   | <p>尾根・水系が同方向に屈曲し、かつ、<br/>(1)連続区間は長い、河川は不鮮明であり、屈曲量も小さく、河川の規模と屈曲量との相関が認められないもの、<br/>あるいは、<br/>(2)連続区間は短い、河川の規模と屈曲量との相関が認められるもの。</p>                                  | <p>崖、溝状凹地等の配列からなり、かつ、<br/>(1)方向が水系の側割方向とやや異なり、時代の異なる複数の段丘面に連続するが、延長が短いもの、<br/>あるいは、<br/>(2)方向が水系の側割方向であるが、延長が長いもの。</p>  | <p>盛り状の形態が鮮明なもの、上記以外のもの。<br/>盛り状の形態が不鮮明であり、平坦面の傾斜角も小さいが、延長が長いもの、あるいは、延長が短い段丘面の傾斜方向とは逆向きであるもの。</p>                                       |
| <p><b>L<sub>D</sub>リニアメント</b></p> <p>基準地形が古く、リニアメントをなす地形にやや間断が連続しているもの、あるいは、新しい基準地形面上に認められるものの、延長が短いか、その比高や屈曲量が小さいため、変位地形がその他の成因によるものか識別が困難なもの。</p>                | <p>崖、鞍部等の直線状ないし弧状の配列からなり、連続が断続的か、あるいは地形形態が不鮮明であり、両側の高度差が一様ではないもの。</p>  | <p>尾根・水系が同方向に屈曲しているが、連続区間が短く、屈曲が不鮮明であり、屈曲量が小さいもの。</p>  | <p>崖、溝状凹地等の配列からなり、延長が短いもの。</p>  | <p>盛り状の形態が不鮮明なもの及び平坦面の傾斜角が小さいもの、上記以外のもの。</p>  |

※井上ほか(2002)及び武田ほか(2006)に基づき作成  
1)リニアメント:活断層や活褶曲に起因した変動地形である可能性のある地形  
2)変位地形:活断層や活褶曲に起因した変動地形



無断複製・転載禁止 東京電力

## 運用補助共用施設申請時のリニアメント判読基準

表3 リニアメント判読基準

| リニアメントのランク   | 山地・丘陵内   |   | 段丘面、扇状地等の平坦面上   |   |
|--|--|---|---|---|
|  | 崖・鞍部等  | 尾根・水系の屈曲  | 崖・溝状凹地  | 盛り・傾斜面  |
| <p><b>L<sub>A</sub></b></p> <p>変位地形である可能性が高い。</p>    | <p>・新鮮な崖、鞍部等の連続の良い直線状の配列からなり、連続区間が長く、両側の地形形態が類似し、一様な高度差が認められるもので、かつ、延長上の段丘面に同方向の崖が認められるもの。</p>                                       | <p>・尾根・水系が長い区間で同方向に屈曲し、かつ屈曲は鮮明であり、河川の規模と屈曲量との相関あるいは閉塞丘、風障等の特異な地形のいずれかが認められるもの。</p>  | <p>・崖、溝状凹地等の連続の良い直線状の配列からなり、方向が水系の側割方向と異なり、延長が長く、かつ、<br/>(1)時代の異なる複数の段丘面に連続し、古い段丘面ほど比高が大きいもの。<br/>(2)崖面が山地・丘陵側に向き段丘面の傾斜方向とは逆向きを示すもの。<br/>(3)山地・丘陵内の明瞭な崖、鞍部等に連続するもの。</p>                             | <p>・盛り量、傾斜角が大きく、延長が長いものあるいは延長が長く、かつ、傾斜角が大きく、段丘面の傾斜方向とは逆向きであるもの。</p>                         |
| <p><b>L<sub>B</sub></b></p> <p>変位地形である可能性がある。</p>    | <p>・崖、鞍部等の連続の良い直線状の配列からなり、連続区間が長く、両側の地形形態が類似し、一様な高度差が認められるもので、<br/>(1)地形形態は鮮明であるもの、<br/>(2)地形形態はやや不鮮明であるが、延長上の段丘面に同方向の崖が認められるもの。</p> | <p>・尾根・水系が同方向に屈曲し、かつ屈曲は鮮明であり、<br/>(1)連続区間は長い、河川の規模と屈曲量との相関あるいは閉塞丘、風障等の特異な地形のいずれも認められないもの、<br/>(2)連続区間は短い、河川の規模と屈曲量との相関あるいは閉塞丘、風障等の特異な地形のいずれかが認められるもの。</p> | <p>・崖、溝状凹地等の連続の良い直線状の配列からなり、方向が水系の側割方向と異なるが延長が短いものあるいは方向が水系の側割方向であるが延長が長いもので、かつ、<br/>(1)時代の異なる複数の段丘面に連続し、古い段丘面ほど比高が大きいもの。<br/>(2)崖面が山地・丘陵側に向き段丘面の傾斜方向とは逆向きを示すもの。<br/>(3)山地・丘陵内の明瞭な崖、鞍部等に連続するもの。</p> | <p>・盛り量、傾斜角が小さいが、段丘面の傾斜方向とは逆向きのものであるものは延長が長いもの。<br/>・盛り量、傾斜角が大きい、延長は短く、段丘面の傾斜と同方向であるもの。</p> |
| <p><b>L<sub>C</sub></b></p> <p>変位地形である可能性が低い。</p>    | <p>・崖、鞍部等の直線状の配列からなり、両側で一様な高度差があるが、地形形態は一部で不鮮明かあるいは不連続となるもの。</p>   | <p>・尾根・水系が同方向に屈曲し、<br/>(1)連続区間は長い、屈曲は不鮮明であり、屈曲量も小さく、河川の規模と屈曲量との相関が認められないもの。<br/>(2)屈曲は鮮明であるが、連続区間は短く、屈曲量も小さく、河川の規模と屈曲量との相関が認められないもの。</p>                  | <p>・崖、溝状凹地等の直線状の配列からなり、<br/>(1)方向が水系の側割方向とやや異なり、時代の異なる複数の段丘面に連続するが、延長が短いもの。<br/>(2)方向が水系の側割方向であるが、延長が長いもの。</p>  | <p>・盛り形態が不明瞭あるいは傾斜角が小さいが、延長が長いもの。</p>   |
| <p><b>L<sub>D</sub></b></p> <p>変位地形である可能性が非常に低い。</p> | <p>・崖、鞍部等のほぼ直線状の配列からなり、連続が断続的か、あるいは地形形態が不鮮明であり、両側で局所的に高度差は認められるが一様ではないもの。</p>  | <p>・尾根・水系が同方向に屈曲しているが、連続区間が極めて短いもの。</p>   | <p>・直線状の崖、溝状凹地等からなり、延長が短いもの。</p>  | <p>・盛り形態が不明瞭あるいは傾斜角が小さく、連続しないもの。</p>  |



無断複製・転載禁止 東京電力

6. 変動地形として抽出する際の判断基準はどのようなものか。他の活断層の評価が修正された事例（島根）で、変動地形学的考察が不十分であったとの指摘がなされているが、こうした知見をどのように踏まえているのか。

変動地形学的調査としては、前述の変動地形判読基準に基づき、空中写真判読を行っている。変動地形判読基準については、運用補助共用施設申請時からすでに変動地形学的観点を取り入れ、直線的な地形に加えて地形の撓みや傾動についても判読を行うこととしていたことから、従来の評価結果から変更はない。

7. 活断層の長さに基づく地震規模の推定については、元となる経験式の誤差はどの程度のものなのか。想定すべき地震の上限を適切に評価していると言えるのか。

■回答

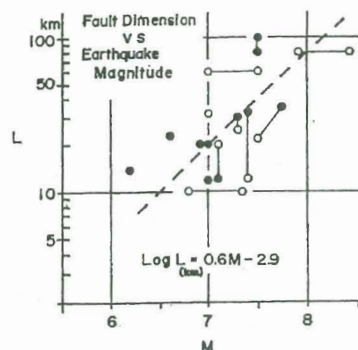
今回、活断層の長さに基づく地震規模の推定は、松田式（1975）によっている。

$$\log L = 0.6 M - 2.9 \quad \text{【日本内陸】}$$

ここで、L：断層長さ（km）

M：マグニチュード

影響の大きい活断層については、断層モデルを用いた評価を実施し、不確かさを考慮して基準地震動を策定している。



活断層から発生する地震の規模と周期について  
松田時彦, 地震 第2輯 第28巻 (1975)より

8. 被害地震の記録の集計について1922年以前は「最新版 日本被害地震総覧」を1923年以降は気象庁カタログによる値を用いている理由は何か。

■回答

気象庁は2001年10月から地震観測記録の見直し（震源改訂作業）を行っており、1923年以降の地震について、精度の高いデータを気象庁カタログとして取りまとめているため、1923年以降のデータについては気象庁カタログによることとした。

1923年以前の地震については、最も活用実績があり信頼性が高いと考えられる「最新版 日本被害地震総覧」によることとした。

9. 地震調査研究推進本部は、「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り」の領域において、M8クラスのプレート間地震を想定している。また、1677年には、磐城・常陸・安房・上総・下総の地震のようにM8.0の地震が発生している。福島県沖のプレート間地震でM7.9という想定は過小評価ではないか。

■回答

地震調査研究推進本部では、三陸沖北部から房総沖にかけての地震活動の長期評価を領域に分割して行っている。

この中で、「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り（1677年の地震もこの領域において発生）のプレート間地震」ではM8クラスを想定しているが、敷地に近く影響の大きい福島県沖ではM7.4前後を想定している。

今回の評価では、福島県沖において不確かさを考慮して仮想塩屋崎沖の地震（M7.9）を想定して基準地震動を策定している。



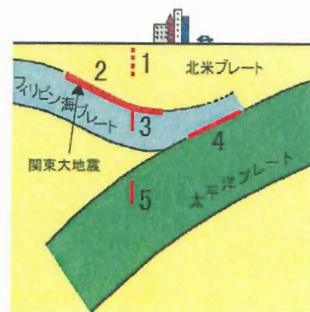
三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について  
地震調査研究推進本部報告書集（2002）

10. 海洋プレート内地震の規模について、平成15年宮城県沖のM7.1を想定しているが、日本原電東海第二原子力発電所の耐震安全性再評価中間報告では、海洋プレート内地震で茨城県南部では、M7.3が想定されている。海洋プレート内地震の想定としては、十分安全側に評価していると言えないのではないか。

■ 回答

日本原電東海第二原子力発電所の耐震安全性再評価中間報告では、中央防災会議の検討を参考にフィリピン海プレート内の地震（図の③）としてM7.3を想定している。

今回の評価対象としている海洋プレート内地震は、「図の⑤」であり、想定される規模は異なる。地震調査研究推進本部では、敷地が位置する領域における海洋プレート内地震の最大規模はM7.1としている。評価においては、発生位置の不確かさも考慮しており、十分安全側であると考えている。



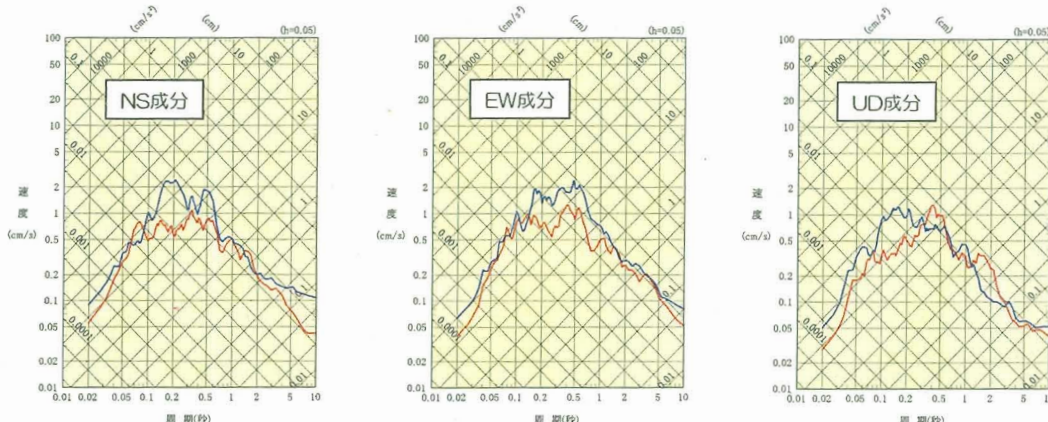
- ①地殻内の浅い地震
- ②フィリピン海プレートと北米プレートとの境界の地震
- ③フィリピン海プレート内の地震
- ④フィリピン海プレートと太平洋プレートとの境界地震
- ⑤太平洋プレート内の地震

首都直下で発生する地震のタイプ  
(中央防災会議資料)

11. 福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所に対する海洋プレート内地震の発電所に及ぼす影響の違いは具体的にどのような地下の地質構造の違いを反映しているのか。

■ 回答

震源から福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所までの伝播経路の特性の違いにより生じているものと考えている。



要素地震（2003/02/16）はざとり波の応答スペクトルの比較（赤：福島第一，青：福島第二）



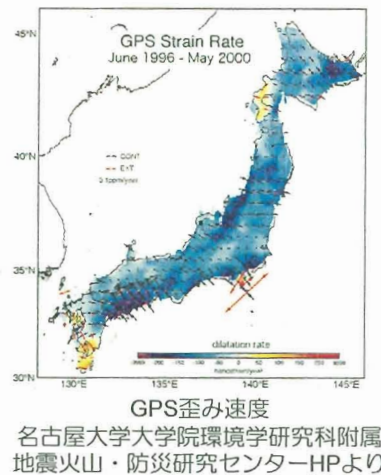
12. 新潟県中越沖地震を踏まえ耐震バックチェックに反映すべき事項に対する対応として、検討用地震の選定に当たっては「ひずみ集中帯」のような構造帯に係わる地震についても考慮することとされているが、どのような検討を行っているのか。

■ 回答

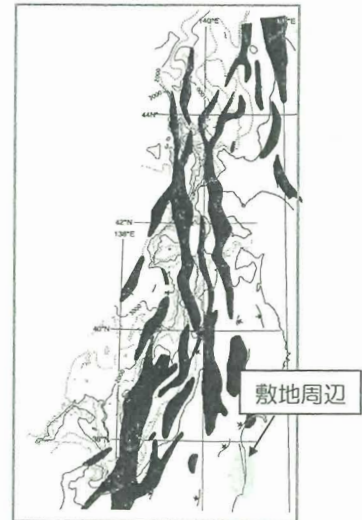
既往の文献より、敷地周辺が「ひずみ集中帯」に位置していないことを確認した。

また、「ひずみ集中帯」の構造体に係わる地震の発生状況を整理し、敷地からの震央距離が200km程度以内の位置で発生している以下の2地震において、敷地に大きな影響がなかったことを確認した。

- ・ 2004年新潟県中越地震 (M6.8)
- ・ 2007年新潟県中越沖地震 (M6.8)



GPS歪み速度  
名古屋大学大学院環境学研究科附属  
地震火山・防災研究センターHPより



日本海東縁の地質学的歪集中帯の分布  
大竹他, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス (東京大学出版会) に加筆

13. 新潟県中越沖地震を踏まえ耐震バックチェックに反映すべき事項に対する対応として、断層モデルによる地震動評価においては、地下構造探査データに基づき、適切な地下構造モデルを構築し、地盤の非線形効果の必要な場合にはこれも含めて評価を行うこととされているが、どのように考慮されているのか。

■ 回答

断層モデルによる地震動評価においては、以下の方法により適切に設定している。

地震基盤面以浅の構造：地中における地震観測記録の水平/上下スペクトル  
振幅比の逆解析による地下構造推定法

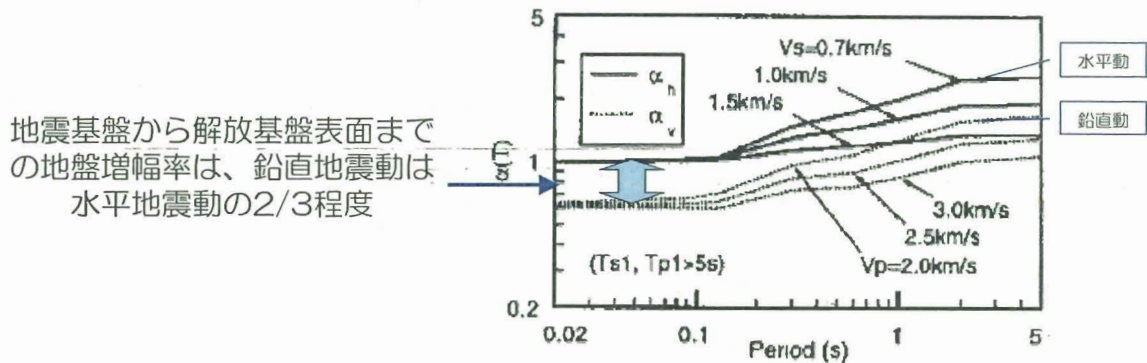
地震基盤面以深の構造：既往の文献を参考

なお、新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、反射法探査など追加調査を実施し、現在とりまとめている。

14. 新耐震指針では、鉛直方向の地震動評価について、従来の水平方向の2分の1と評価していたことを改め、鉛直方向についても個別に評価することになったが、鉛直地震動についてはどのように評価し、水平地震動の2/3としたのか。

■ 回答

過去の観測記録の分析から、水平地震動の2/3とした。



Noda et al (2002) : Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct. 16-18, Istanbul, pp.399-408

15. 周期を0.02秒以上で計算している理由は何か。

■ 回答

設備の評価では、固有周期0.05秒未満（振動数20Hzを超える）のものは剛体として扱うことから、対象とする周期帯域は0.05秒（振動数帯域20Hz未満）であればよいが、時刻歴での解析において慣例的に時間刻みを0.01秒としていることから、周期0.02秒以上について計算を実施している。

16. 検討用地震動は、計測震度では、どの程度の地震となるのか。

■回答

基準地震動は解放基盤表面において設定している。計測震度は気象庁の算出方法に従い、地表での揺れの強さとして算出されるが、解放基盤表面以浅の地盤構造により異なった値となるため、今後検討していきたい。

なお、今回の検討用地震とした1938年塩屋崎沖の地震群（M7.0～M7.5）では、敷地周辺において震度V（計測震度4.5～5.5程度）とされているが、基準地震動の評価では、不確かさを考慮して仮想塩屋崎沖の地震（M7.9）を想定しているので、計測震度は5.5以上と考えられる。

17. 基準地震動 $S_s$ は、各プラントの原子炉建屋基礎版上では、どの程度になるのか。

■回答

今回策定した基準地震動 $S_s$ による原子炉建屋基礎版上の応答加速度の最大値は以下のとおり。

単位： $\text{cm/s}^2$

|          | 水平動 | 鉛直動 |
|----------|-----|-----|
| 福島第一 5号機 | 452 | 427 |
| 福島第二 4号機 | 415 | 504 |

18. 今回、東京電力が耐震安全性評価に用いている地震応答解析モデルは、現実のプラントの挙動を十分に把握できるものなのか。

- ・屋根トラスの各部材における発生応力はどう評価するのか。
- ・隣接して巨大な構造物がある現実のプラントの実際の挙動を適切に評価できないのではないか。

耐震安全性評価に用いている地震応答解析モデルは、これまでの研究成果や許認可実績等を踏まえて設定している。地震応答解析モデルの妥当性については、今後、地震観測記録のシミュレーション等により確認していく。

今回の中間報告では原子炉建屋の耐震壁を評価しており、屋根トラスについては、最終報告までに評価していく。

(財)原子力発電技術機構〔現、(独)原子力安全基盤機構〕の報告「地震観測にもとづく構造物の隣接効果の検討」によれば、埋め込まれた状態の隣接配置された同種2棟の最大加速度は、単独配置された建物よりも小さいという結果が得られている。よって、耐震安全性評価結果は若干保守的ではあるが、適切な評価であると考えている。

19. 評価の前提として採用した原子炉建屋の物性値の根拠は何か。(例えば1F-5では、コンクリート強度 $35.0\text{N/mm}^2$ としているが、以前には、設計基準強度は、 $22.1\text{N/mm}^2$ と説明されている。)

原子炉建屋のコンクリートの設計基準強度は、1F-5で $22.1\text{N/mm}^2$ 、2F-4で $23.5\text{N/mm}^2$ であるが、これまでに発電所で実施されているコンクリートの圧縮強度試験データがあることから、より実状に近づけた評価を行うために、コンクリートの実強度を考慮した解析を実施している。

|                                      | 1F-5 | 2F-4        |
|--------------------------------------|------|-------------|
| 設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )          | 22.1 | 23.5        |
| 試験体数 (本)                             | 33   | 7 (30)      |
| 平均圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )          | 40.6 | 44.9 (47.5) |
| 平均値の95%信頼区間の下限值 (N/mm <sup>2</sup> ) | 36.4 | 42.5 (46.1) |
| 採用強度 (N/mm <sup>2</sup> )            | 35.0 | 40.0        |

( ) 内の数値は、設計基準強度が同じ2~4号機のデータを含めた値

## 20. 建屋の使用年数を踏まえた評価を行う必要はないか。

建屋の耐震性は、コンクリートの中性化やアルカリ骨材反応による有害なひび割れ発生等の経年変件事象により、損なわれる可能性がある。

これまでの高経年化技術評価または日常の保全活動で、建屋の耐震安全性に影響を与える経年変件事象は確認されていない。今後、継続して保全活動を実施していくが、その過程で、顕在化し、かつ耐震性に影響を与える可能性のある経年変件事象が抽出された場合には、補修または経年変件事象を考慮した耐震安全性評価を実施する。

21. 今回、設定した基準地震動 $S_s$ による応答値が評価基準値以下であることを確認したとしているが、それぞれどのような評価手法により評価しているのか。

### ■回答

添付-3参照。

22. 機器・構造物の設計における耐震性に関する安全裕度はどのようになっているのか。

■回答

添付－3参照。

23. 機器・配管の減衰定数は、どのような考えに基づき、どのように設定しているのか。また、減衰定数を変えるとどの程度影響するのか。

■回答

添付－3参照。

24. 福島第二4号機の中間報告で主蒸気系配管の最大応力発生点の評価値が157MPaとなっているが、今回の配管構造強度の誤りによる同プラントの工事認可申請書の再評価では、全てにおいて157MPaを超えている。なぜ、従来より大きな地震動を考慮した中間報告の評価値の方が小さくなるのか。

■回答

計算に用いている減衰定数に保守的な0.5%を用いているため、工事計画認可申請書における発生応力のほうが大きくなっていると考えている。

|                    | 減衰定数(%)                   | 発生応力 |
|--------------------|---------------------------|------|
| 工事計画認可申請書<br>(再評価) | 0.5                       | 大    |
| 中間報告               | 2.0<br>(JEAG4601-1991による) | 小    |

25. 平成7年9月に公表された「指針策定前の原子力発電所の耐震安全性（S<sub>2</sub>バックチェック）」によれば、1F-5の主蒸気系配管の応答値39.3kg/mm<sup>2</sup>（許容値42.7kg/mm<sup>2</sup>）である。今回の評価で基準地震動が大きくなったのに裕度が大きくなっているのは何故か。

■回答

S<sub>2</sub>バックチェックにおいては、応答倍率法※を用いているのに対して、今回の評価においては、詳細な評価を実施している。応答倍率法※は保守的な結果が出る傾向にあるため、地震動は小さいにも関わらず比較的大きな応答値であったと考えられる。

※水平方向の地震動の比率（S<sub>2</sub>/建設時）にて算定。

26. 平成7年9月に公表された「指針策定前の原子力発電所の耐震安全性（S<sub>2</sub>バックチェック）」によれば、1F-5の圧力容器の許容値44.7kg/mm<sup>2</sup>であるが、今回の基準値は222MPaであり大きく異なる。許容応力設定の考え方を説明すること。

■回答

今回の中間報告で、圧力容器に関しては地震の影響を受けると考えられる支持部（基礎ボルト）について評価した。このため、現状は評価対象部位が異なり、許容値が異なる結果となっている。最終報告では、主蒸気ノズルも含めて評価する。許容値設定の考え方は以下のとおり。

|                | 評価部位   | 材料    | 応力分類 | 許容値の考え方                       | 許容値                                       |
|----------------|--------|-------|------|-------------------------------|---|
| S <sub>2</sub> | 主蒸気ノズル | SFVW1 | 膜+曲げ | 1.5×2/3Su                     | 44.7 [kg/mm <sup>2</sup> ]<br>(438 [MPa]) |
| S <sub>s</sub> | 基礎ボルト  | S25C  | 引張   | 1.5×1/2×<br>MIN [1.2Sy、0.7Su] | 222 [MPa]                                 |

Sy：設計降伏点

Su：設計引張強さ



互理町 〆 澁

地震調査研究推進本部の示す北限

不確かさとして考慮する  
区間(47.5km)

小斉東方

M1'面(約12万年前~10万年前)に高度不連続は認められない。

H2, H3, M2, H3面に高度不連続及び変位地形は認められない。

初野~萱倉南西

直線性の乏しいLDリニアメントが雁行状に判読されるが、大部分のリニアメントは断層と一致しない。また、断層は直線性に乏しく不規則に連続することからも、後期更新世における活動は及んでいないと判断される。

栃窪

露頭においてL2面(MIS 3)段丘堆積物に変位を与えている。

(福島県 1999:トレンチ調査により、約2000年前の活動を確認)

椋原

露頭においてL3面(MIS 2)段丘堆積物に変位を与えている。

大谷

扇状地堆積物基底面並びにその上位の大山倉吉軽石層産出層準(約5万年前)及び沼沢金山軽石層産出層準に高度不連続がない。

(福島県)約5万年前の地層に変位は認められない。

馬場

L1面(MIS 5a)段丘堆積物基底面に高度不連続は認められない。

(福島県)L1面(MIS 5a)に変位は認められない。

片倉南方

H2面(MIS 7以前の高海面期)に高度不連続が認められる。

室原

M2面(MIS 5c)段丘堆積物基底面に高度不連続は認められない。

(福島県)M2面(MIS 5c)に変位は認められない。

室原南方

(福島県)約3万年前の地層に変位は認められない。

大堀

M1'面(約12万年前~10万年前)段丘堆積物基底面に高度不連続は認められない。

(福島県)M1'面(約12万年前~10万年前)に変位は認められない。

野上

M2面(MIS 5c)に高度不連続は認められない。

(福島県)トレンチ調査により、M2面(MIS 5c)段丘堆積物以降の活動は認められない。

塩貝

M1'面(約12万年前~10万年前)段丘堆積物基底面に変位は認められない。

苗代替

M1'面(約12万年前~10万年前)に高度不連続は認められない。



活動性を評価している区間 37km

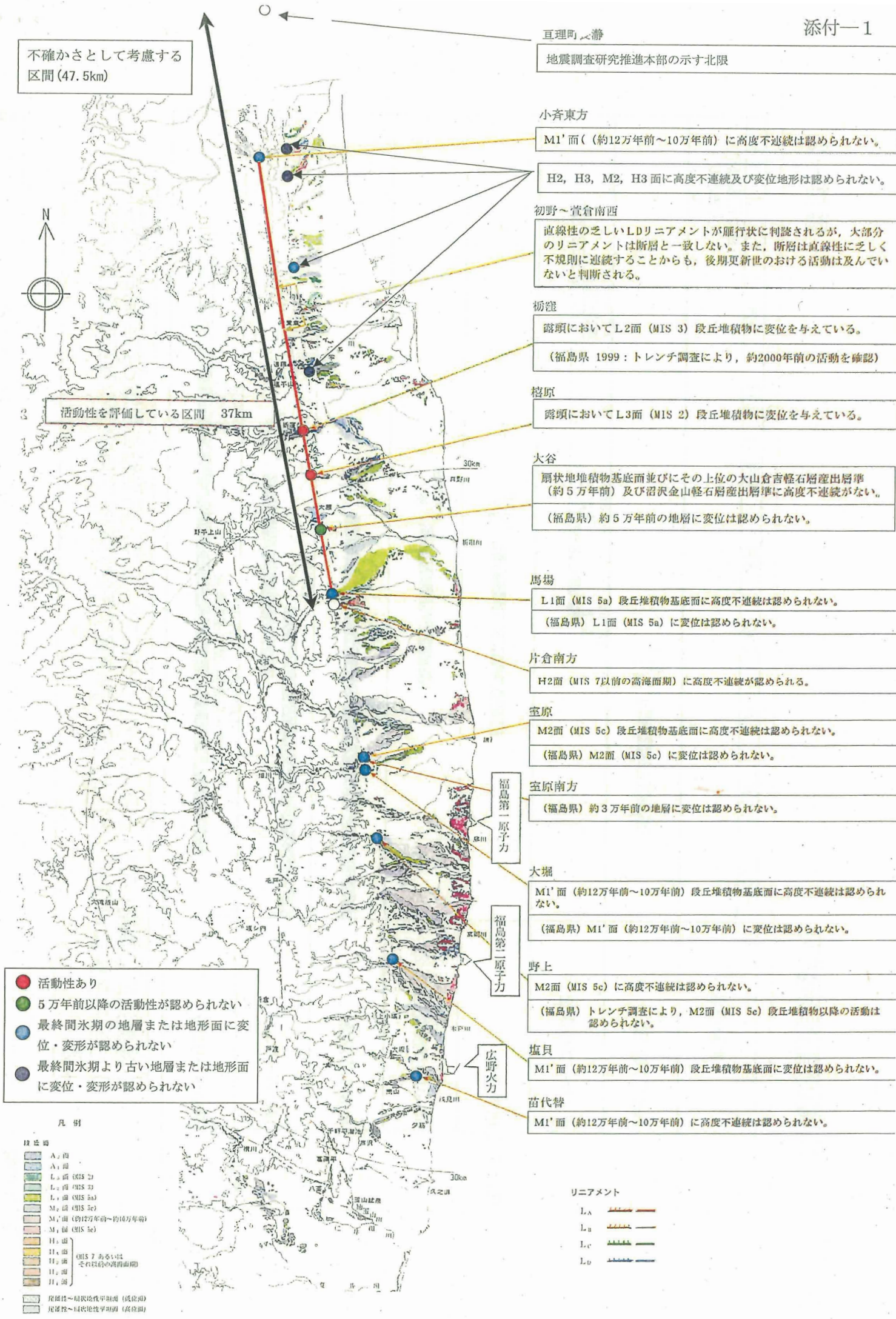
- 活動性あり
- 5万年前以降の活動性が認められない
- 最終間氷期の地層または地形面に変位・変形が認められない
- 最終間氷期より古い地層または地形面に変位・変形が認められない

凡例

- 段丘面
- A<sub>1</sub>面
  - A<sub>2</sub>面
  - L<sub>1</sub>面(MIS 2)
  - L<sub>2</sub>面(MIS 3)
  - L<sub>3</sub>面(MIS 5a)
  - M<sub>1</sub>面(MIS 5c)
  - M<sub>2</sub>面(MIS 5c)
  - M<sub>1'</sub>面(約12万年前~10万年前)
  - M<sub>1</sub>面(MIS 5c)
  - H<sub>1</sub>面
  - H<sub>2</sub>面
  - H<sub>3</sub>面
  - H<sub>4</sub>面
  - H<sub>5</sub>面
  - H<sub>6</sub>面
  - H<sub>7</sub>面
- MIS 7あるいはそれ以前の海面期
- 段丘性~扇状地性早期面(低位面)
  - 段丘性~扇状地性早期面(高位面)

リニアメント

- L<sub>A</sub>
- L<sub>B</sub>
- L<sub>C</sub>
- L<sub>D</sub>



# 地質調査進捗状況

# 添付-2

|      |              | 11月                  | 12月 | 1月          | 2月              | 3月              | 4月          | 5月          | 6月           | 7月          | 8月           |  |
|------|--------------|----------------------|-----|-------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--|
| 調査項目 |              | 地質調査結果<br>とりまとめ<br>▽ |     |             |                 |                 |             |             |              |             |              |  |
| 敷地周辺 | 海上音波探査       |                      |     | 1月19日<br>終了 |                 |                 |             |             |              |             |              |  |
|      | バイケール探査      |                      |     |             | 2月18日<br>開始     | 4月3日<br>休止      |             |             | 6月中旬<br>再開予定 |             |              |  |
|      | 地下探査         |                      |     |             |                 | 3月9日<br>終了      |             |             |              |             |              |  |
|      | ボーリング調査(上手岡) |                      |     |             |                 |                 | 3月29日<br>終了 |             |              |             |              |  |
|      | 地表地質調査       |                      |     |             |                 |                 |             | 3月31日<br>終了 |              |             |              |  |
|      | 浅いボーリング      |                      |     |             |                 | 2月19日<br>終了     |             |             |              | 4月10日<br>終了 |              |  |
|      | 深いボーリング      |                      |     |             | 1月22日<br>第一掘進開始 | 2月10日<br>第二掘進開始 |             |             |              |             | 5月8日<br>第一終了 |  |

福島第二で実施している深いボーリングについては、柵平層と想定される礫岩の層厚が当初想定より厚かったことから、調査終了予定時期を7月中旬へ延長することとする。



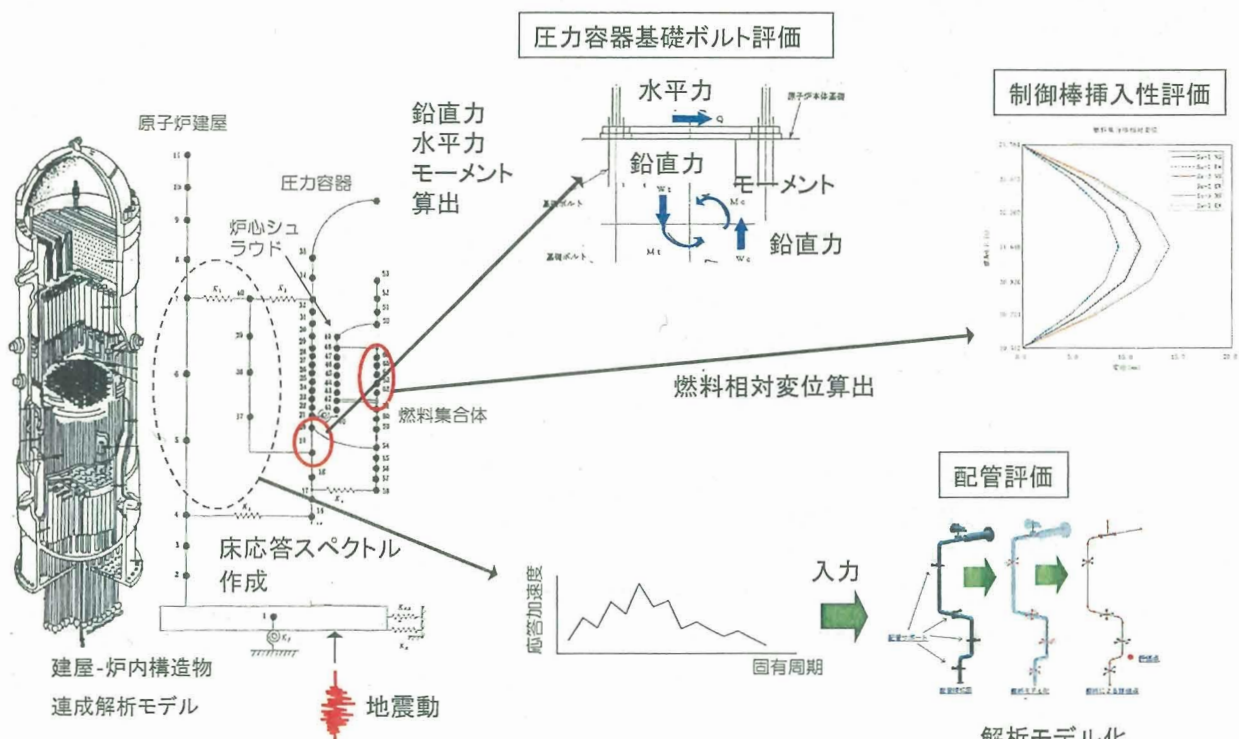
# 新耐震指針に照らした 安全上重要な機器・配管系の 耐震安全性評価（中間報告）について

平成20年5月26日

東京電力株式会社



## 地震応答解析モデル



## 対象設備毎の評価手法（1 / 2）

- 今回の基準地震動  $S_s$  による耐震評価における評価部位と評価手法は以下に示す。

| 評価対象設備    | 評価部位          | 評価手法                            |
|-----------|---------------|---------------------------------|
| 原子炉圧力容器   | 基礎ボルト         | 応答倍率法による評価                      |
| 原子炉格納容器   | ドライウェル        | 応答倍率法による評価                      |
| 炉心支持構造物   | シュラウド<br>サポート | 応答倍率法による評価                      |
| 残留熱除去系ポンプ | 基礎ボルト         | 工認同様の評価(1F-5)<br>応答倍率法による評価(2F- |
| 残留熱除去系配管  | 配管本体          | 4) 工認同様の評価                      |
| 主蒸気系配管    | 配管本体          | 工認同様の評価                         |

## 対象設備毎の評価手法（2 / 2）

### 応答倍率法による評価

- 既往評価での評価方法に応じて、以下の方法①または方法②で実施

#### 方法①

$$S_s \text{による発生値} = \left[ \begin{array}{l} \text{既往評価等の応力} + \text{既往評価等の応力} \\ \text{(地震以外による応力)} \quad \text{(地震による応力)} \end{array} \right] \times \text{応答比}^*$$

#### 方法②

$$S_s \text{による発生値} = \begin{array}{l} \text{既往評価等の応力} + \text{既往評価等の応力} \times \text{応答比}^* \\ \text{(地震以外による応力)} \quad \text{(地震による応力)} \end{array}$$

#### ※応答比

原子炉圧力容器や炉内構造物等，発生値を算定するにあたり，加速度，せん断力，モーメント，軸力を用いる機器

- ・ 基準地震動  $S_s$  による地震動と既往評価等の地震力との比  
(加速度，せん断力，モーメント，軸力毎に応答比を算定)

ポンプの基礎ボルト等，発生値を算定するにあたり，水平加速度，鉛直加速度を用いる機器

- ・ 基準地震動  $S_s$  による床応答スペクトルからの水平加速度と鉛直加速度の二乗和平方根と既往評価等で用いた床応答スペクトルからの水平加速度と鉛直加速度の二乗和平方根との比

## 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

### ■ 評価結果（福島第一5号機）

基準地震動Ssによる応答値，相対変位が評価基準値以下であることを確認した。

#### ● 構造強度評価

| 評価対象設備    | 評価部位      | 応答値 (MPa) | 基準値 (MPa) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 原子炉圧力容器   | 基礎ボルト     | 39        | 222       |
| 原子炉格納容器   | ドライウェル    | 90        | 255       |
| 炉心支持構造物   | シュラウドサポート | 86        | 300       |
| 残留熱除去系ポンプ | 基礎ボルト     | 29        | 202       |
| 残留熱除去系配管  | 配管本体      | 197       | 364       |
| 主蒸気系配管    | 配管本体      | 356       | 417       |

#### ● 動的機能維持評価

| 評価対象設備   | 地震時の相対変位 (mm) | 基準値 (mm) |
|----------|---------------|----------|
| 制御棒（挿入性） | 13.8          | 40.0     |

## 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

### ■ 評価結果（福島第二4号機）

基準地震動Ssによる応答値，相対変位が評価基準値以下であることを確認した。

#### ● 構造強度評価

| 評価対象設備    | 評価部位      | 応答値 (MPa) | 基準値 (MPa) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 原子炉圧力容器   | 基礎ボルト     | 11        | 492       |
| 原子炉格納容器   | ドライウェル    | 38        | 380       |
| 炉心支持構造物   | シュラウドサポート | 89        | 247       |
| 残留熱除去系ポンプ | 基礎ボルト     | 4         | 342       |
| 残留熱除去系配管  | 配管本体      | 165       | 321       |
| 主蒸気系配管    | 配管本体      | 157       | 309       |

#### ● 動的機能維持評価

| 評価対象設備   | 地震時の相対変位 (mm) | 基準値 (mm) |
|----------|---------------|----------|
| 制御棒（挿入性） | 14.1          | 40.0     |

## 応力に及ぼす地震力の影響について

耐震安全性評価（中間報告）における、福島第一5号機の発生応力について、評価基準値を100とした場合の荷重毎の発生応力の割合を以下に示す。

### 地震力の影響（1F-5）

| 評価対象設備    | 評価部位      | 考慮すべき荷重※1 |    |     | 発生応力※1 | 裕度※1 |
|-----------|-----------|-----------|----|-----|--------|------|
|           |           | 自重※2      | 圧力 | 地震力 |        |      |
| 原子炉圧力容器   | 基礎ボルト     | 4         | 0  | 14  | 18     | 82   |
| 原子炉格納容器   | ドライウェル    | 11        | 0  | 25  | 36     | 64   |
| 炉心支持構造物   | シュラウドサポート | 4         | 0  | 25  | 29     | 71   |
| 残留熱除去系ポンプ | 基礎ボルト     | 2         | 0  | 13  | 15     | 85   |
| 残留熱除去系配管  | 配管本体      | 4         | 10 | 40  | 54     | 46   |
| 主蒸気系配管    | 配管本体      | 20        | 11 | 54  | 85     | 15   |

※1 許容応力を100とした場合の応力の割合 (%)

※2 スクラム反力等の活荷重を含む

## 応力に及ぼす地震力の影響について

耐震安全性評価（中間報告）における、福島第二4号機の発生応力について、評価基準値を100とした場合の荷重毎の発生応力の割合を以下に示す。

### 地震力の影響（2F-4）

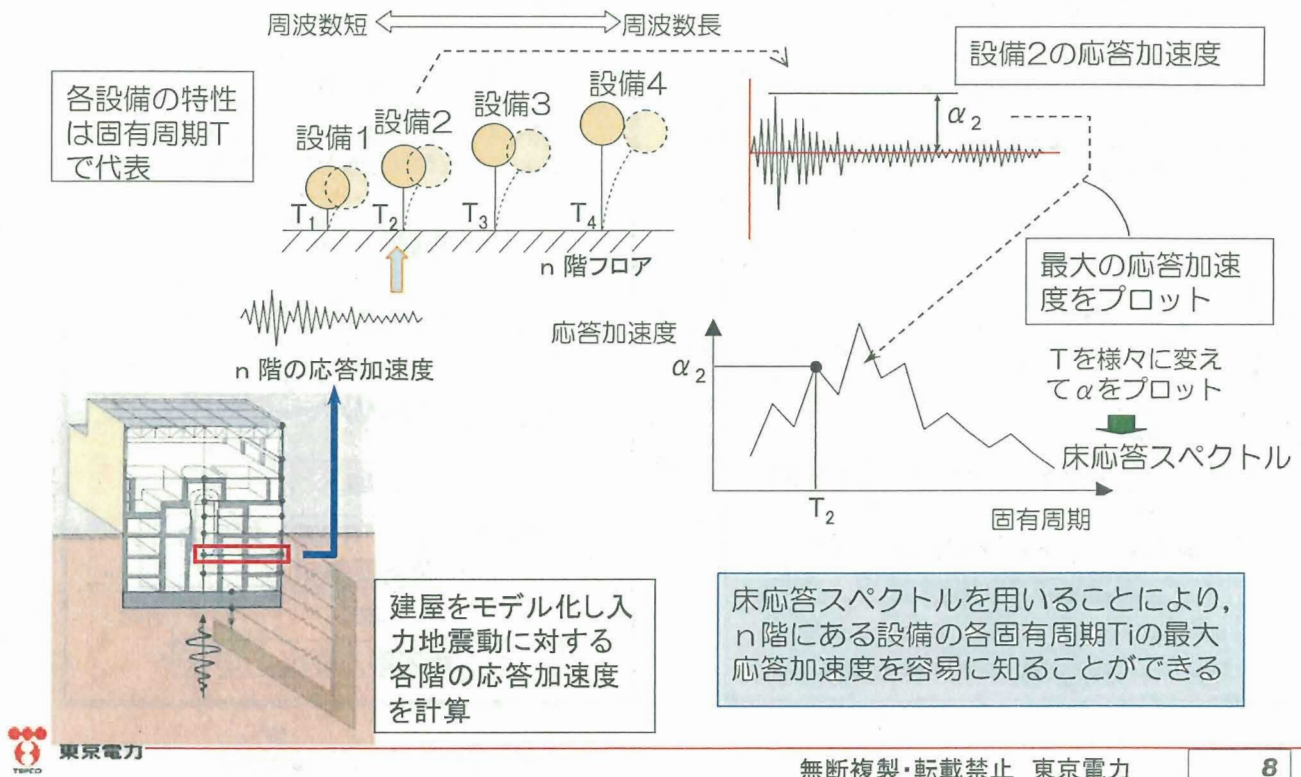
| 評価対象設備    | 評価部位      | 考慮すべき荷重※1 |    |     | 発生応力※1 | 裕度※1 |
|-----------|-----------|-----------|----|-----|--------|------|
|           |           | 自重※2      | 圧力 | 地震力 |        |      |
| 原子炉圧力容器   | 基礎ボルト     | 0         | 0  | 2   | 2      | 98   |
| 原子炉格納容器   | ドライウェル    | 4         | 0  | 6   | 10     | 90   |
| 炉心支持構造物   | シュラウドサポート | 2         | 0  | 34  | 36     | 64   |
| 残留熱除去系ポンプ | 基礎ボルト     | 0         | 0  | 1   | 1      | 99   |
| 残留熱除去系配管  | 配管本体      | 11        | 3  | 38  | 52     | 48   |
| 主蒸気系配管    | 配管本体      | 3         | 6  | 42  | 51     | 49   |

※1 許容応力を100とした場合の応力の割合 (%)

※2 スクラム反力等の活荷重を含む

# 解析手法に関する説明 (1 / 3)

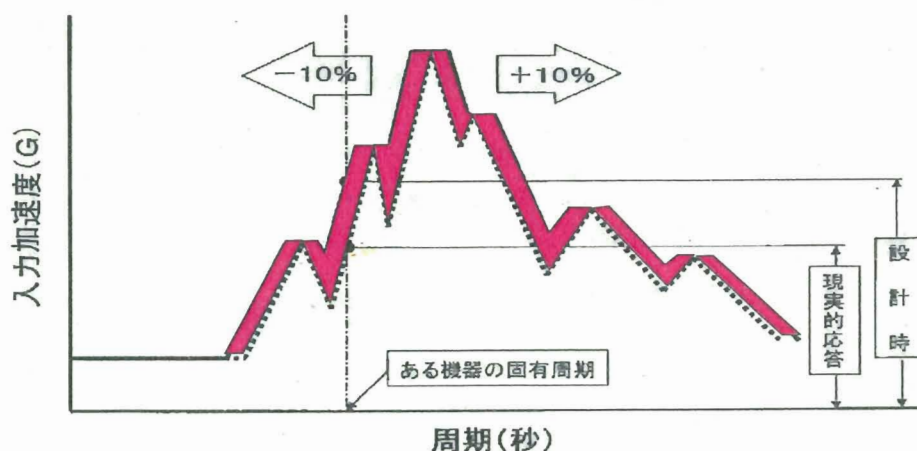
## ■ 床応答スペクトル



# 解析手法に関する説明 (2 / 3)

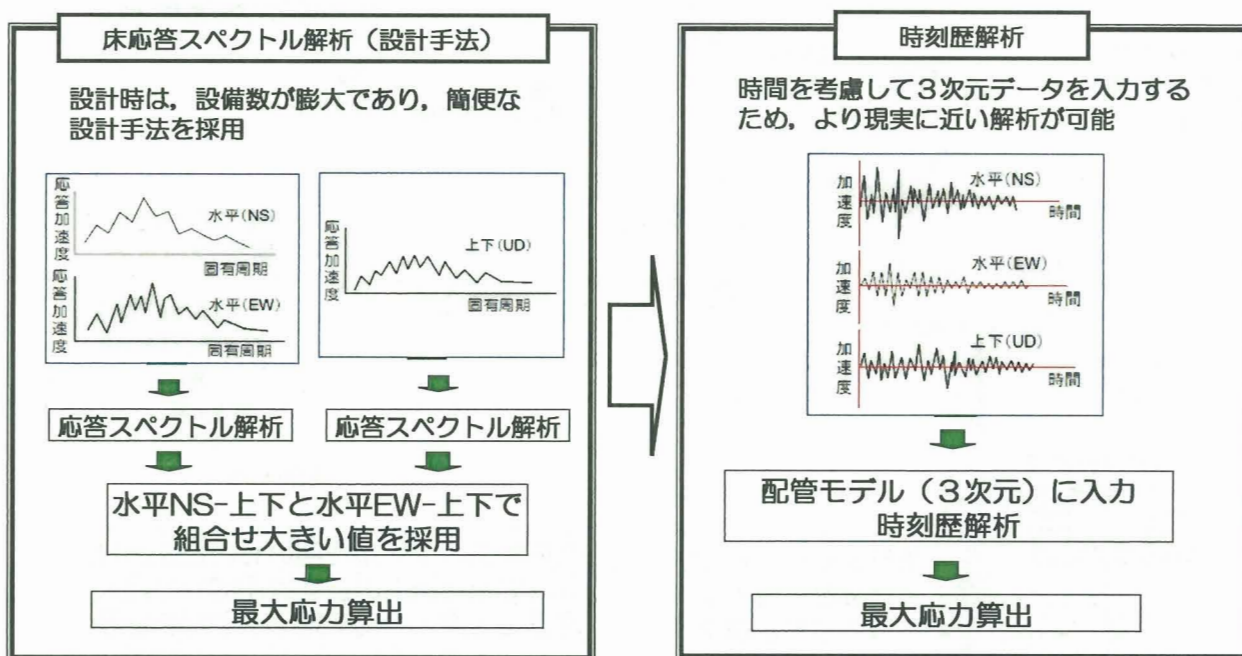
## ■ スペクトルモーダル法を用いた設計手法の裕度について

- 各モードの時間変化は考えず、設備の各固有周期の最大応答を自乗和平方根
  - 得られた床応答スペクトルを±10%拡幅したものでより設備の各固有周期の最大応答加速度を求めている
- ✓ 10%の根拠⇒床応答スペクトルに影響を与える因子(地盤物性, 建屋剛性等)の変動をカバーできる



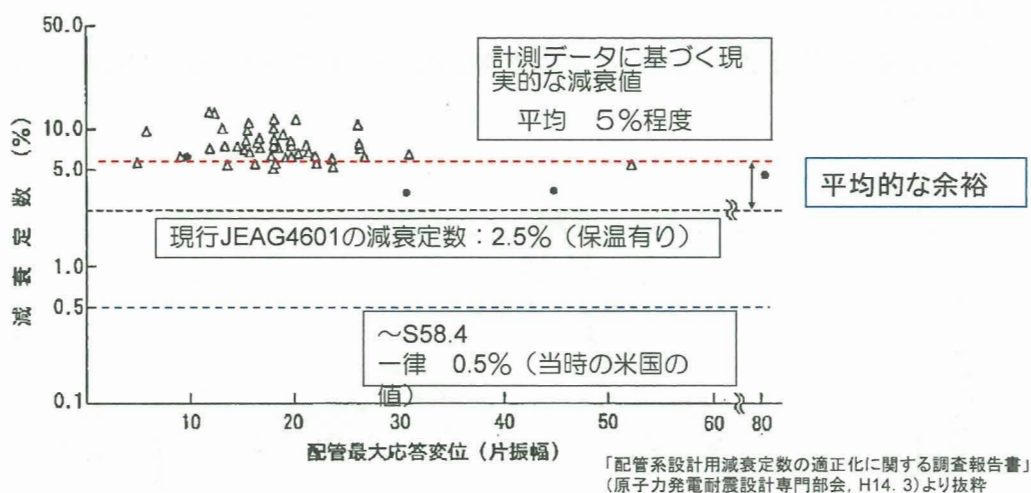
## 解析手法に関する説明 (3/3)

時々刻々変化する荷重を、機器の固有周期における最大荷重の重ね合わせとして設定し解析を行うことで、保守性を確保



## 減衰定数に関する説明 (1/3)

- 配管の減衰定数の例 (配管区分 I : スナッパ主体, 保温材あり)
  - JEAGで規定される減衰定数は計測データの下限值で定められている





## 減衰定数に関する説明 (2/3)

|         |        |      | 設計用*1<br>(%) | IAEA (国際標準)*2<br>(%) |
|---------|--------|------|--------------|----------------------|
| 配管      | 区分 I   | 保温材有 | 2.5          | 5.0                  |
|         |        | 保温材無 | 2.0          | 5.0                  |
|         | 区分 II  | 保温材有 | 1.5          | 5.0                  |
|         |        | 保温材無 | 1.0          | 5.0                  |
|         | 区分 III | 保温材有 | 1.0          | 5.0                  |
|         |        | 保温材無 | 0.5          | 5.0                  |
| 機器      |        |      | 1.0          | 5.0                  |
| 電気盤     |        |      | 4.0          | 5.0                  |
| ケーブルトレイ |        |      | 5.0          | 7.0                  |
| 制御棒駆動機構 |        |      | 3.5          | 5.0                  |
| 燃料集合体   |        |      | 7.0          | 5.0                  |

\* 1 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601-1987) より作成

\* 2 Seismic Evaluation of Existing Nuclear Power Plants (H15 IAEA) より作成

## 減衰定数に関する説明 (3/3)

減衰定数を大きくした場合、応力値は低くなる傾向にある。

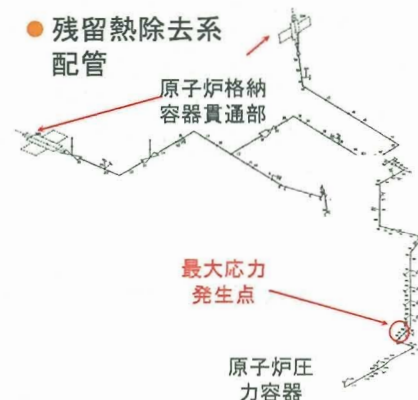
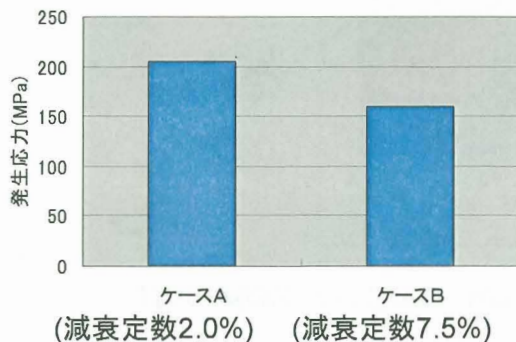
例としてKK7号機の残留熱除去系配管における現実的な評価を実施した結果を示す。

(検討ケース)

|      | 温度・圧力入力条件 | 減衰定数 | 1次応力 | 許容値 |
|------|-----------|------|------|-----|
| ケースA | 最高使用温度・圧力 | 2.0% | 205  | 274 |
| ケースB | 最高使用温度・圧力 | 7.5% | 160  |     |

※1: 最高使用温度:302°C, 最高使用圧力:87.9kg/cm<sup>2</sup>

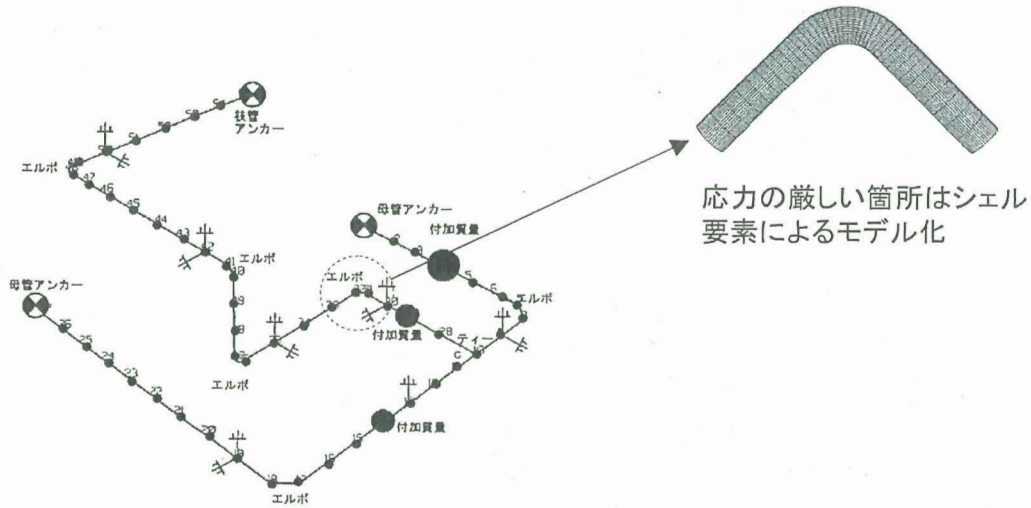
※2: 減衰定数2.0%は規格基準値, 7.5%は諸試験から推定した現実的な値



# 解析モデルに関する説明

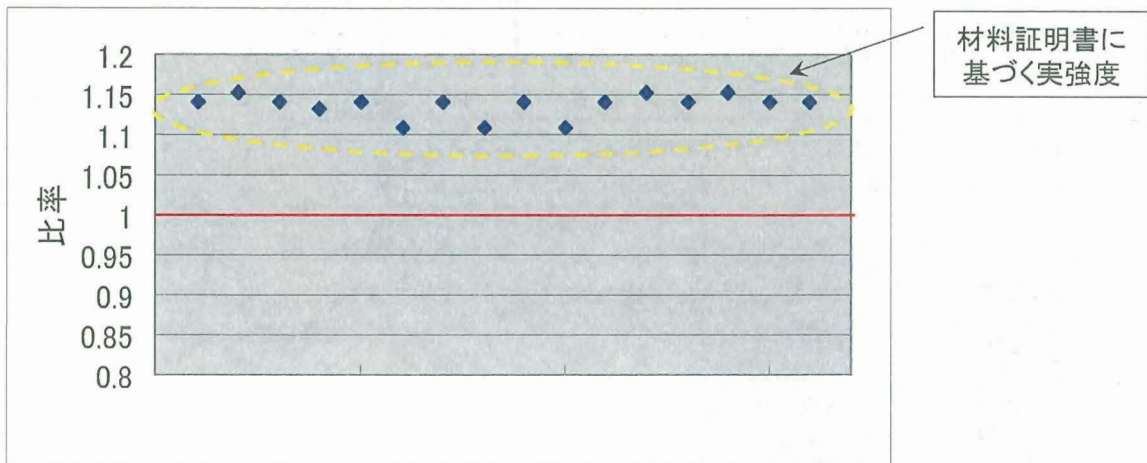
## ■ 解析モデル

プラントの配管応力解析については、設備数が膨大であるため、簡便な設計手法を採用している。



# 材料強度に関する説明

鋼材等は設計値を上回るように製作するために、部材の実強度は設計で用いる強度に対して保守性を確保



2F-4号機 原子炉压力容器基礎ボルト他の設計基準強度と実強度の比率

※2F4 原子炉压力容器基礎ボルト他材料試験成績表(抜粋)より作成