

福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う 耐震安全性評価結果 中間報告書の概要

1. はじめに

平成 18 年 9 月 20 日付けで原子力安全・保安院より、改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(以下「新耐震指針」という。)に照らした耐震安全性の評価を実施するよう求める指示が出され、当社は、福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所の耐震安全性評価を行ってきました。

また、平成 19 年 7 月には新潟県中越沖地震があり、経済産業大臣より、新潟県中越沖地震から得られる知見を耐震安全性の評価に適切に反映し早期に評価を完了する旨の指示があるとともに、平成 19 年 12 月 27 日には、原子力安全・保安院より、新潟県中越沖地震を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項(中間取りまとめ)の通知がありました。

これらを踏まえ、本日(平成 20 年 3 月 31 日)、地質調査結果、基準地震動 Ss の策定結果、福島第一原子力発電所 5 号機および福島第二原子力発電所 4 号機における主要施設の評価結果など、これまで実施してきた耐震安全性評価に関する中間報告をとりまとめ、国に提出いたしました。中間報告の概要は以下のとおりです。

なお、基礎地盤の安定性および地震随件事象(津波に対する安全性、周辺斜面の安定性)については、現在解析・評価を行っているところであり、最終報告において結果を示す予定です。

また、当社としてこれまで実施してきた耐震裕度向上工事を引き続き実施してまいります。

【中間報告のポイント】

新耐震指針に照らして、各種地質調査(変動地形学的調査、地表地質調査等)を実施し、活断層の長さ等を安全側に評価するとともに、プレート間地震および海洋プレート内地震について、不確かさを考慮した安全側の地震動評価を行いました。

基準地震動 Ss は、1938 年に塩屋崎沖で発生した福島県東方沖地震(M7.5)とその余震等の一連の地震群が同時に発生すること、2003 年宮城県沖の地震(M7.1)が敷地下方で発生することを想定するなど安全側に評価を行い、余裕をもたせて策定した結果、最大加速度 600 ガルといたしました。

基準地震動 Ss に基づき、原子炉建屋や安全上重要な機能を有する耐震 S クラスの主要な設備等の耐震解析を実施し、耐震安全性が確保されていることを確認いたしました。

2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ

耐震安全性評価の検討に先立ち、新耐震指針に照らした各種地質調査を実施し、この調査結果を用いて、新耐震指針に照らした基準地震動 S_s の策定を行い、建物・構築物や機器・配管系の耐震安全性評価を順次実施しました。

なお、新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れは、別紙 - 1 のとおりであり、新潟県中越沖地震を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項も踏まえ、評価を行います。

3. 地質調査の実施

既往の設置許可申請時等に実施した地質調査結果および新耐震指針を先取りし、平成 18 年 6 月から実施した地質調査の結果を踏まえて活断層の評価を実施しました。主な調査項目は別紙 - 2 のとおりです。

なお、現在取り纏めを行っている地下探査、海上音波探査、地表地質調査、ボーリング調査結果については、最終報告に反映します。

4. 活断層の評価

活断層評価にあたっては、「新耐震指針」や「中越沖地震を踏まえ反映すべき事項」（平成 19 年 12 月 27 日、原子力安全・保安院）における活断層評価の考え方や趣旨を踏まえ、変動地形学的観点からの地形判読などを行い、また、設置許可以降の文献等も考慮しながら安全側に評価を行いました（表 4-1、図 4-1）。

従来の活断層評価が変更となった考え方のポイントは以下のとおりです。

1. 活断層評価対象期間が 5 万年から 12～13 万年前までに変更になったことによるもの
2. 文献調査に基づき地震地体構造上想定する地震として評価していたものを詳細な地質調査に基づき再評価したもの
3. 文献調査に基づき評価していたものを詳細な地質調査に基づき再評価したもの
4. 最新の文献調査等に基づく不確かさを考慮した安全側の評価によるもの

表 4-1 新旧指針に基づいた活断層の評価

| | 新耐震指針における評価 | | | 旧耐震指針における評価 | | 変更理由 1 |
|--------|-------------|---------|----------------|--------------------|------------------|-----------|
| | 断層名 | 断層長さ | マグニチュード (M) | 原子炉設置許可申請書に記載の断層長さ | マグニチュード (M) | |
| 陸 域 | 双葉断層 | 47.5km | 7.6 | 18km | 6.9 | 1・4 |
| | 福島盆地西縁断層帯 | 57 km | 7.8 | - | 7.5 ² | 2・4 |
| | 井戸沢断層 | 19.5 km | 7.0 | - ³ | - | 3 |

- 1) 文章中の「従来の活断層評価が変更となった考え方のポイント」の記号を示す。
- 2) 地震地体構造上想定する地震として、M7.5 の地震を想定。
- 3) 断層の長さや敷地からの距離を考慮すると敷地に与える影響は小さいと評価。

福島盆地西縁断層帯による地震
 (地質調査に基づく再評価、不確かさを考慮した安全側の評価による)
 57km、M7.8
 双葉断層の影響を上回らない

旧耐震指針では
 福島盆地西縁断層帯
 (M7.5)

| | |
|--|-------------------|
| | 従来評価 (地質調査に基づく評価) |
| | 従来評価 (文献調査に基づく評価) |
| | 今回評価 |

福島第一原子力発電所 1 ~ 6号炉施設変更許可時

双葉断層による地震
 (活断層の評価期間の変更(5万年前から12~13万年前)、不確かさを考慮した安全側の評価による)
 47.5km、M7.6

旧耐震指針では
 双葉断層
 (18km、M6.9)

井戸沢断層による地震
 (地質調査に基づく再評価による)
 19.5km、M7.0
 双葉断層の影響を上回らない

旧耐震指針では
 文献調査結果から、双葉断層
 の影響を上回らないと評価
 (「新編日本の活断層」にて約14.5kmの
 断層を図示)

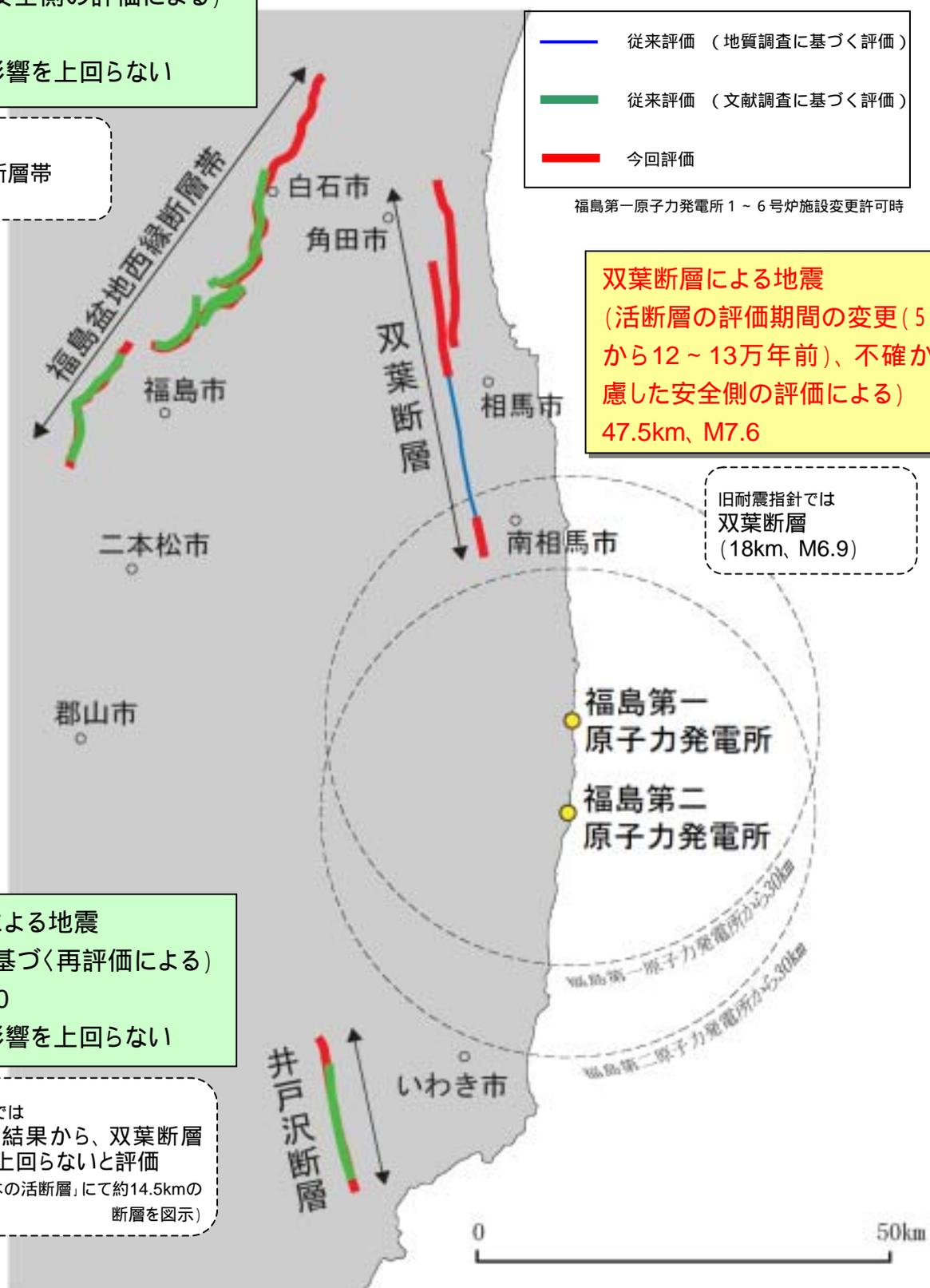


図4 - 1 新耐震指針に照らした耐震安全性評価において考慮する断層

5 . 基準地震動 Ss の策定

5.1 検討用地震の選定

活断層調査結果や既往の研究成果を踏まえ、特に敷地に大きな影響を及ぼすと考えられる地震を地震発生様式ごとに検討用地震として選定しました（図 5-1）。

- ・ 双葉断層については、地震調査研究推進本部による評価を踏まえ、その断層長さを従来の 18km から念のため 47.5km (M7.6) として考慮しました。その結果、考慮すべき活断層による内陸地殻内地震の中で、双葉断層による地震が最も発電所に影響が大きいことから、これを検討用地震として選定しました。
- ・ プレート間地震については、1938 年に発電所の敷地沖合で発生した福島県東方沖地震をはじめとする一連の地震（以下、塩屋崎沖地震群）のうち、敷地への影響が最も大きい塩屋崎沖の地震（1938 年福島県東方沖地震、M7.5）と塩屋崎沖の地震（M7.3）を検討用地震として選定しました。
- ・ 海洋プレート内地震については、現時点で具体的な発生位置の特定が困難なことから、2003 年宮城県沖の地震(M7.1)の震源を敷地下方の海洋プレート内に想定し、これを検討用地震として選定しました。

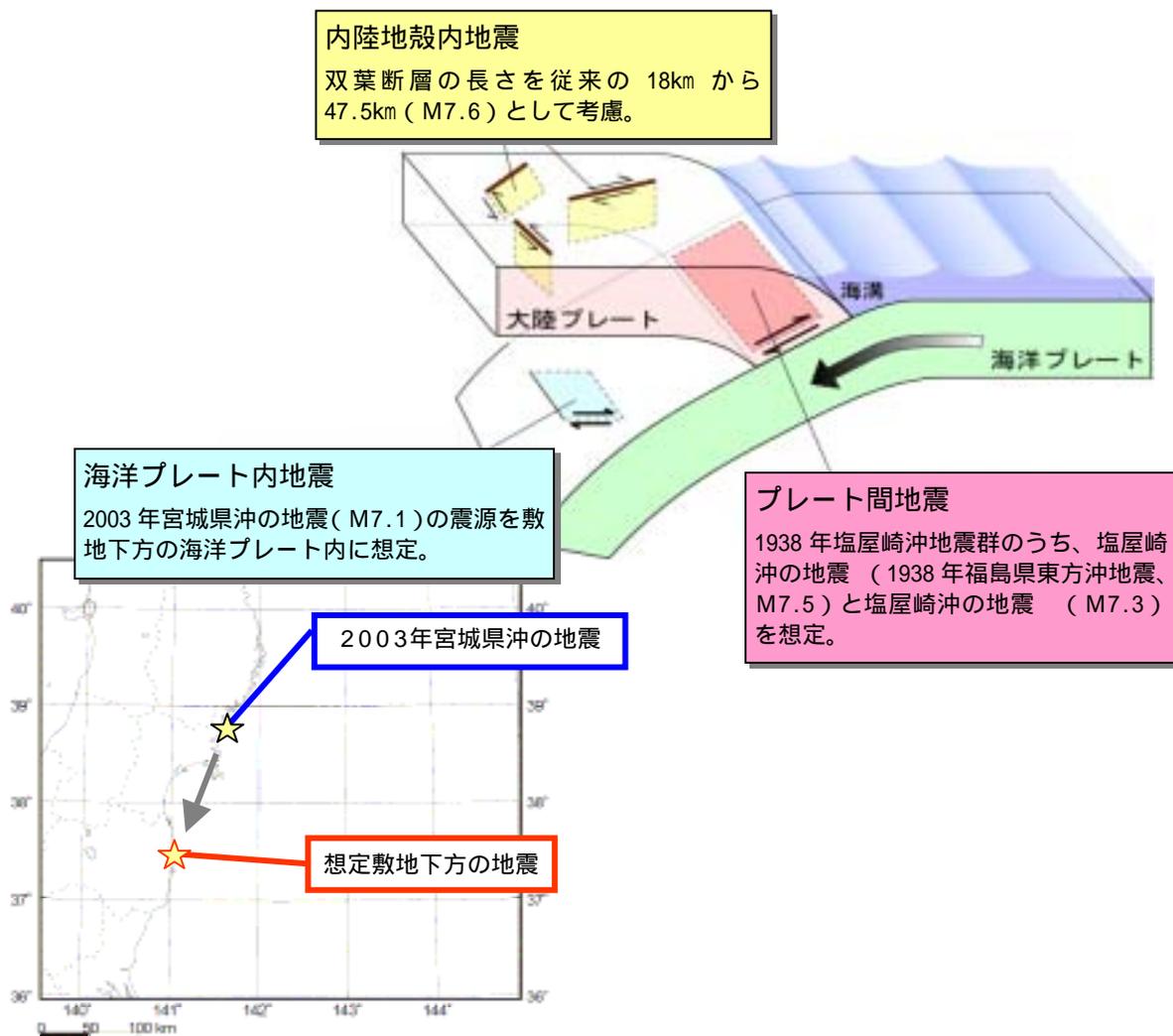


図 5-1 地震発生様式ごとの検討用地震の選定

5.2 検討用地震の地震動評価

選定した検討用地震について、応答スペクトルに基づく地震動評価および断層モデルを用いた手法による地震動評価をそれぞれ実施しました。なお、評価にあたっては、地震の発生様式に応じた地震動特性や、敷地地盤の振動特性を考慮しています。

また、この地震動評価にあたっては、その評価結果に及ぼす影響が大きいと考えられる震源要素（震源の位置・規模など）を選定し、その不確かさを適切に考慮することで、安全側な評価を実施しています。

このうちプレート間地震については、検討用地震として選定した塩屋崎沖の地震（M7.5）と塩屋崎沖の地震（M7.3）の地震動評価に加え、不確かさを考慮してからの一連の塩屋崎沖地震群が連動するケースを仮想塩屋崎沖の地震（M7.9）として設定し、その地震動を評価しました（図5-2）。



図5-2 検討用地震と仮想塩屋崎沖の地震

5.3 「震源を特定せず策定する地震動」

新耐震指針に基づき、「震源を特定せず策定する地震動」を基準地震動の策定において考慮しました。「震源を特定せず策定する地震動」としては、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模を予め特定できない地震による震源近傍の岩盤上の強震記録に基づき、解放基盤表面上の応答スペクトルが提案されており、敷地周辺の地域性を考慮した上でも妥当なものと考えられることから、これを採用しました。

5.4 基準地震動 Ss の策定のまとめ

5.4.1 福島第一原子力発電所

地震動評価結果に基づき、以下の通り 3 種類の基準地震動 Ss を策定しました(図 5-3、4)。

- ・基準地震動 Ss - 1(最大加速度 450 ガル)：内陸地殻内地震・プレート間地震の評価結果を上回るように設定
- ・基準地震動 Ss - 2(最大加速度 600 ガル)：海洋プレート内地震の評価結果を上回るように設定
- ・基準地震動 Ss - 3(最大加速度 450 ガル)：震源を特定せず策定する地震動

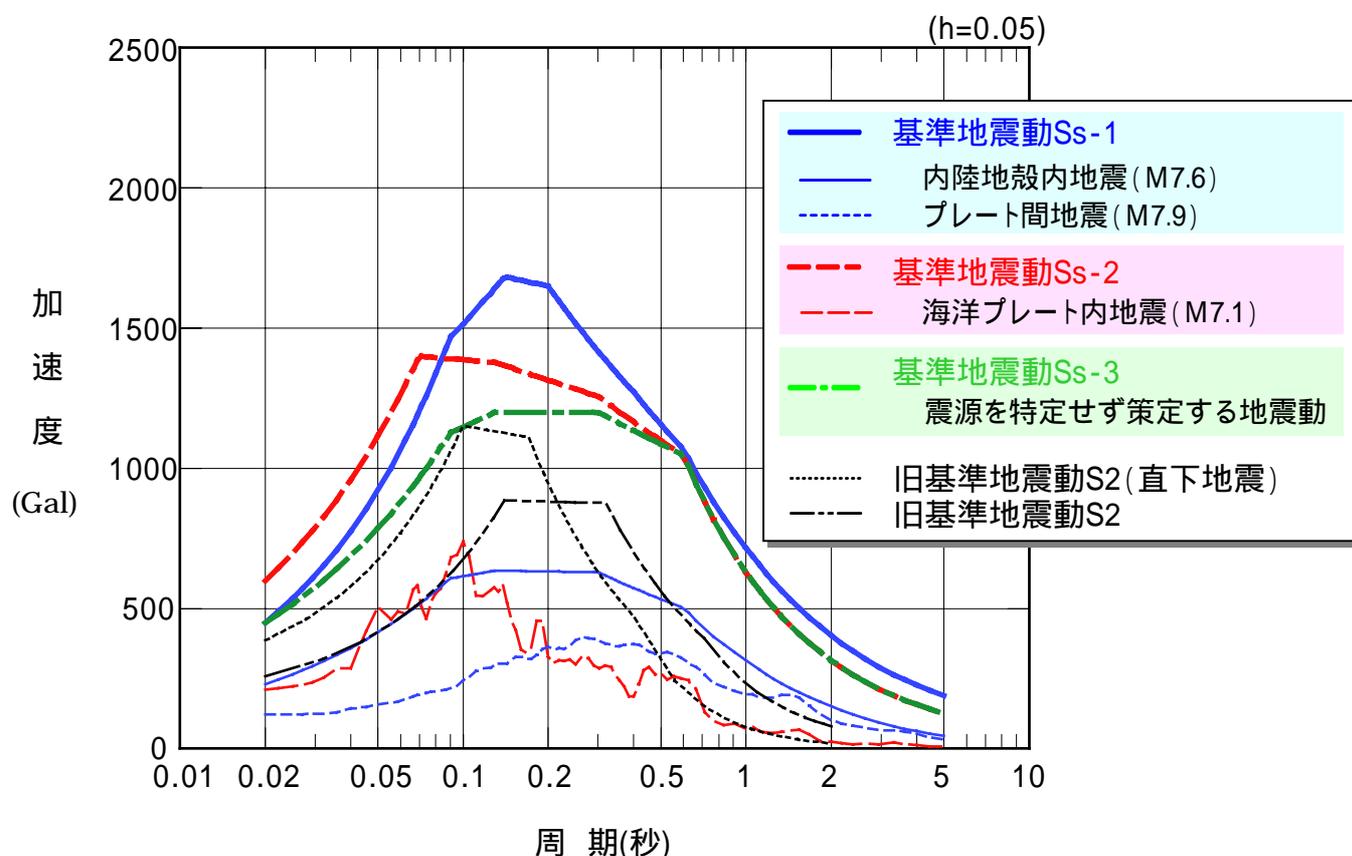
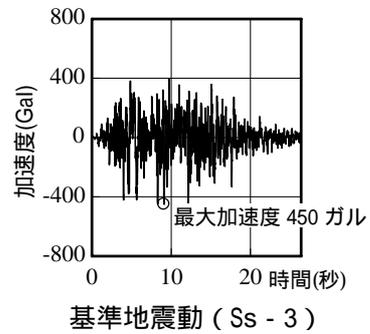
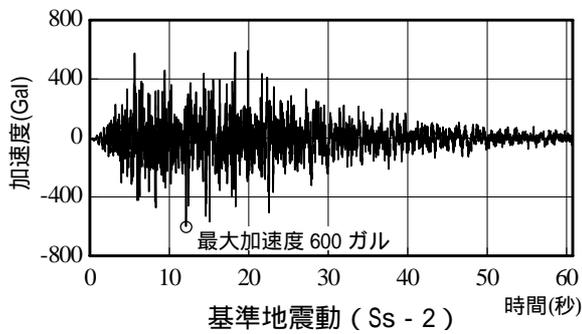
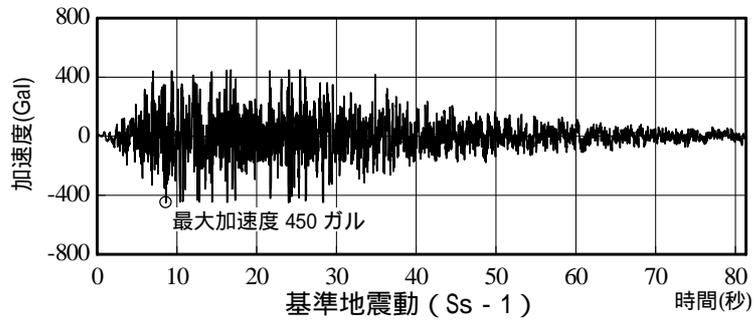


図 5-3 策定した 3 種類の基準地震動の
応答スペクトル(水平動)

【新耐震指針に基づく基準地震動 Ss の加速度波形(水平動)】



【参考 旧耐震指針に基づく基準地震動 S2 の加速度波形(水平動)】

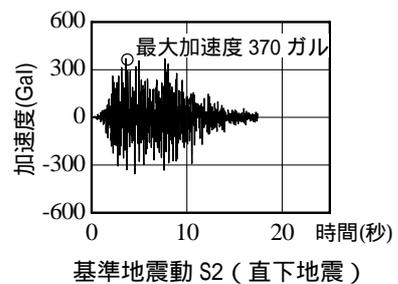
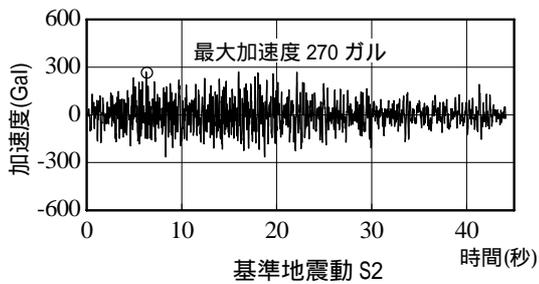


図 5-4 福島第一原子力発電所における基準地震動の加速度波形(水平動)

5.4.2 福島第二原子力発電所

地震動評価結果に基づき、以下の通り3種類の基準地震動Ssを策定しました(図5-5、6)。

- ・基準地震動Ss-1(最大加速度 450ガル)：内陸地殻内地震・プレート間地震の評価結果を上回るように設定
- ・基準地震動Ss-2(最大加速度 600ガル)：海洋プレート内地震の評価結果を上回るように設定
- ・基準地震動Ss-3(最大加速度 450ガル)：震源を特定せず策定する地震動

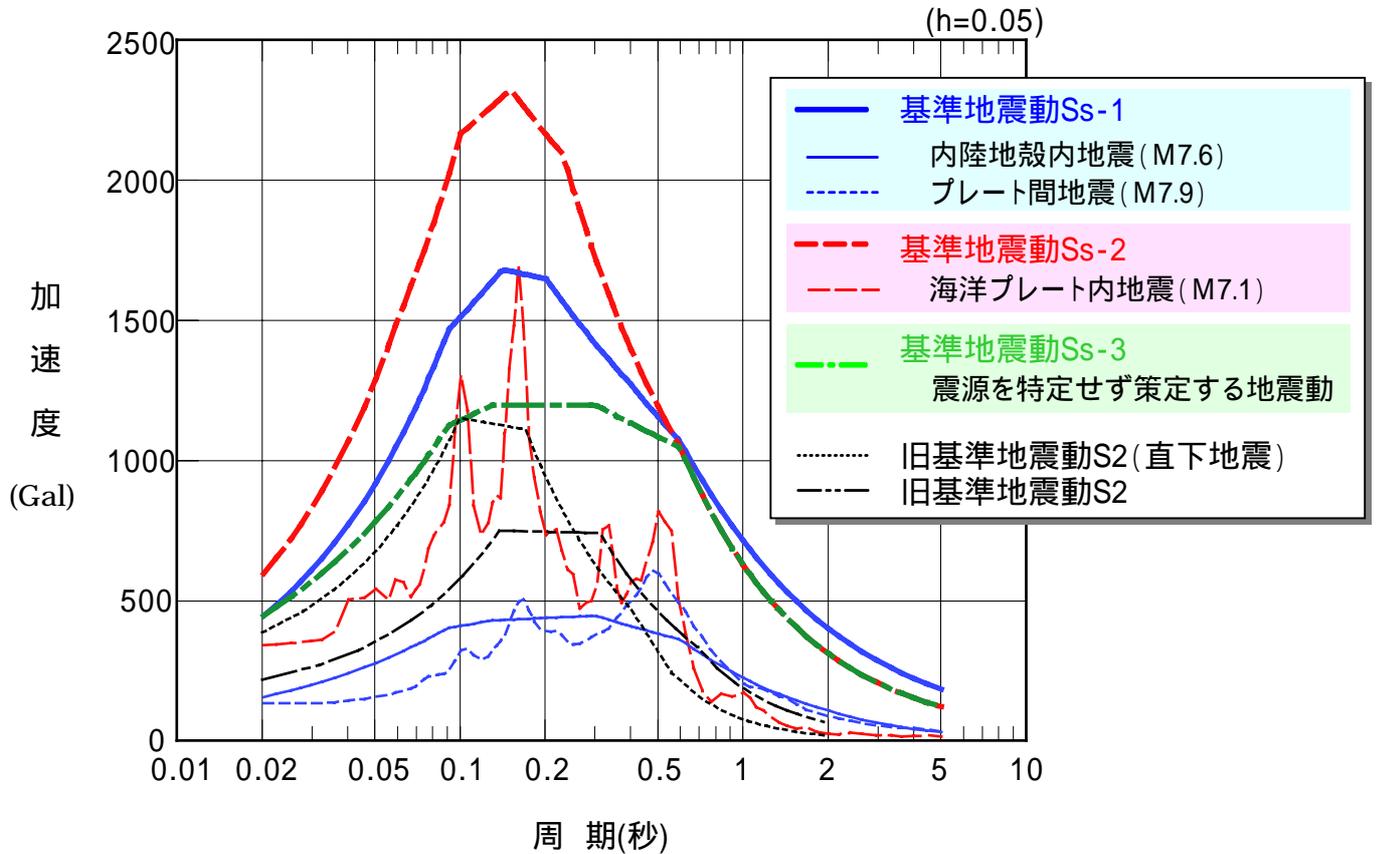
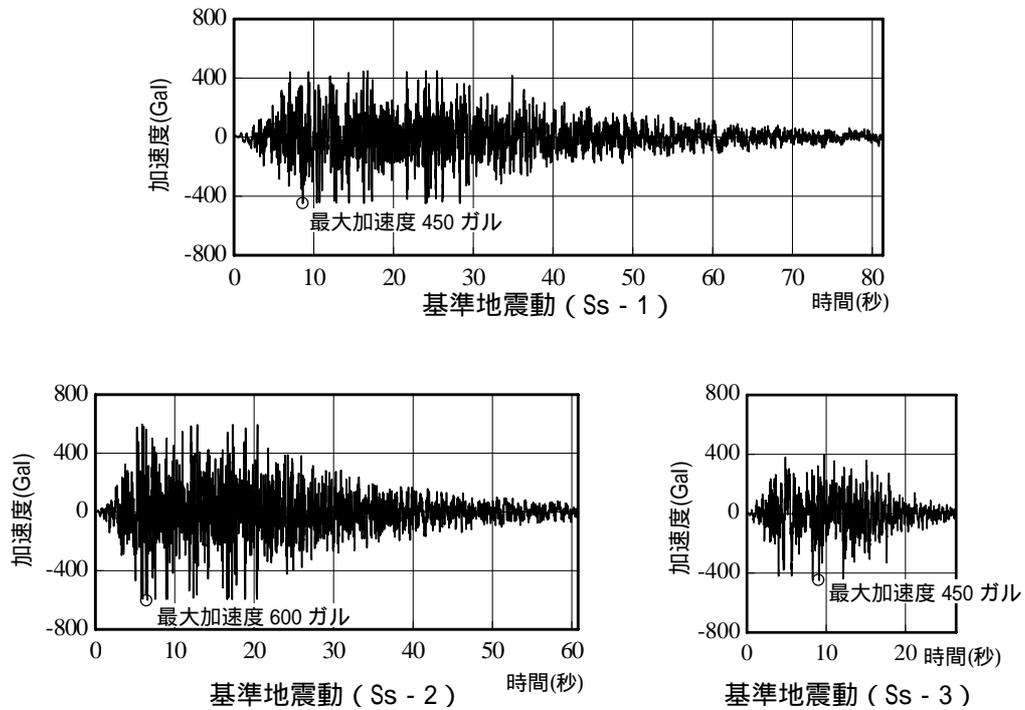


図 5-5 策定した3種類の基準地震動の
応答スペクトル(水平動)

【新耐震指針に基づく基準地震動 Ss の加速度波形(水平動)】



【参考 旧耐震指針に基づく基準地震動 S2 の加速度波形(水平動)】

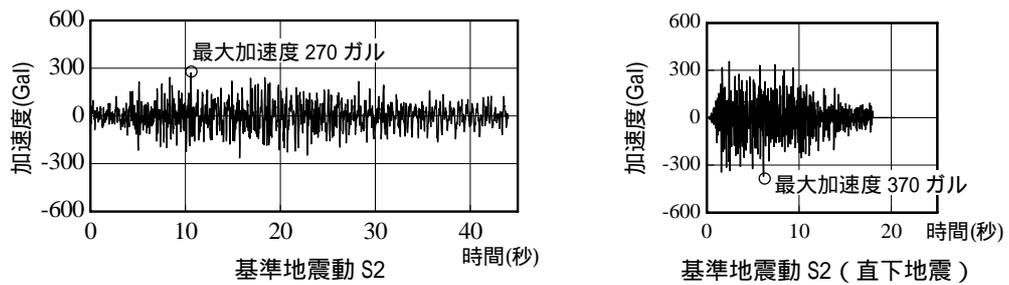


図 5-6 福島第二原子力発電所における基準地震動の加速度波形(水平動)

6. 施設等の耐震安全性評価

6.1 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

6.1.1 福島第一原子力発電所

福島第一原子力発電所5号機原子炉建屋の耐震安全性の評価にあたっては、建屋全体の健全性を確認する観点から、地震応答解析の結果による耐震壁のせん断ひずみを評価しました。

建物・構築物の耐震安全性の評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析（時刻歴応答解析法）によることとし、建物・構築物や地盤の特性を適切に表現できるモデル（図 6-1）を設定した上で実施しました。

評価の結果、耐震壁の最大せん断ひずみは評価基準値 (2.0×10^{-3}) を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認しました（図 6-2、3 表 6-1、2）。

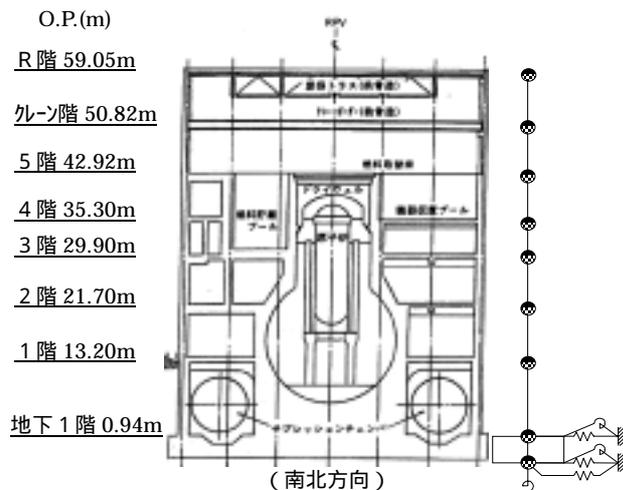


図 6-1 原子炉建屋（モデル図）

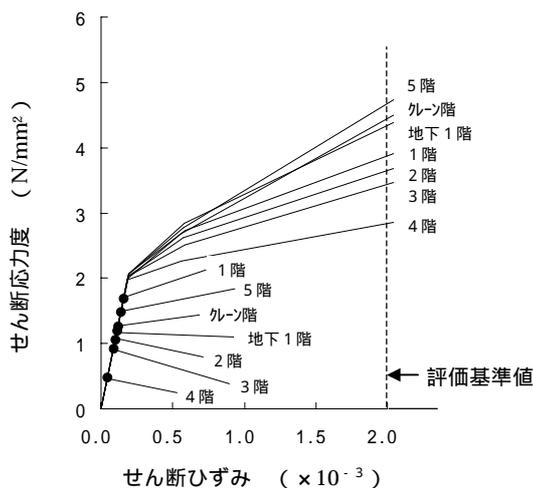


図 6-2 耐震壁のせん断ひずみ (Ss-2 南北方向)

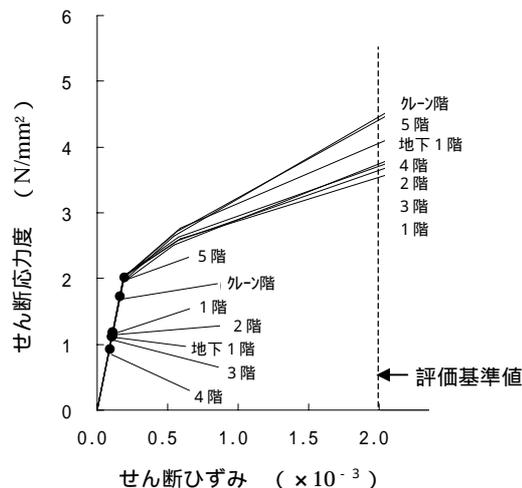


図 6-3 耐震壁のせん断ひずみ (Ss-1 東西方向)

表 6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧

| (南北方向) | | | | ($\times 10^{-3}$) |
|--------|------|-------------|------|----------------------|
| 階 | Ss-1 | Ss-2 | Ss-3 | 評価基準値 |
| クレーン階 | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 2.0 以下 |
| 5階 | 0.14 | 0.14 | 0.12 | |
| 4階 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | |
| 3階 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | |
| 2階 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | |
| 1階 | 0.15 | 0.16 | 0.13 | |
| 地下1階 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | |

* 網掛け部は最大せん断ひずみ

表 6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧

| (東西方向) | | | | ($\times 10^{-3}$) |
|--------|-------------|------|------|----------------------|
| 階 | Ss-1 | Ss-2 | Ss-3 | 評価基準値 |
| クレーン階 | 0.16 | 0.16 | 0.14 | 2.0 以下 |
| 5階 | 0.19 | 0.18 | 0.16 | |
| 4階 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | |
| 3階 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | |
| 2階 | 0.11 | 0.12 | 0.10 | |
| 1階 | 0.11 | 0.12 | 0.10 | |
| 地下1階 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | |

* 網掛け部は最大せん断ひずみ

6.1.2 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所 4号機原子炉建屋の耐震安全性の評価にあたっては、建屋全体の健全性を確認する観点から、地震応答解析の結果による耐震壁のせん断ひずみを評価しました。

建物・構築物の耐震安全性の評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析（時刻歴応答解析法）によることとし、建物・構築物や地盤の特性を適切に表現できるモデル（図6-4）を設定した上で実施しました。

評価の結果、耐震壁の最大せん断ひずみは評価基準値 (2.0×10^{-3}) を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認しました（図6-5、6 表6-3、4）。

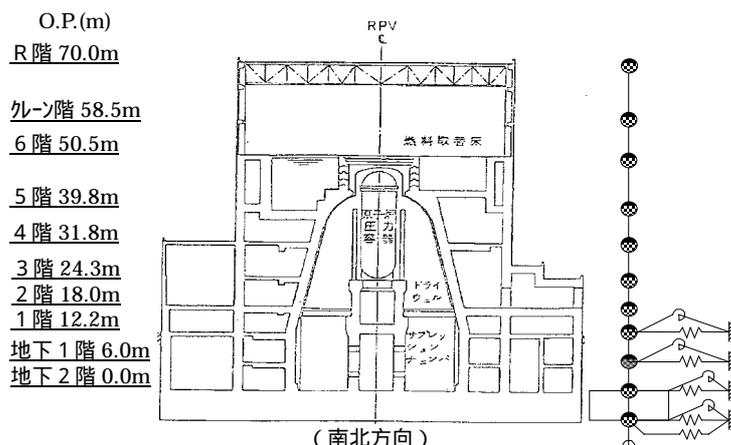


図6-4 原子炉建屋（モデル図）

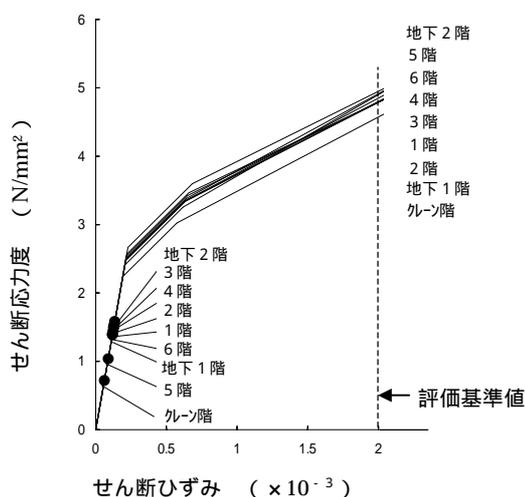


図6-5 耐震壁のせん断ひずみ (Ss-1 南北方向)

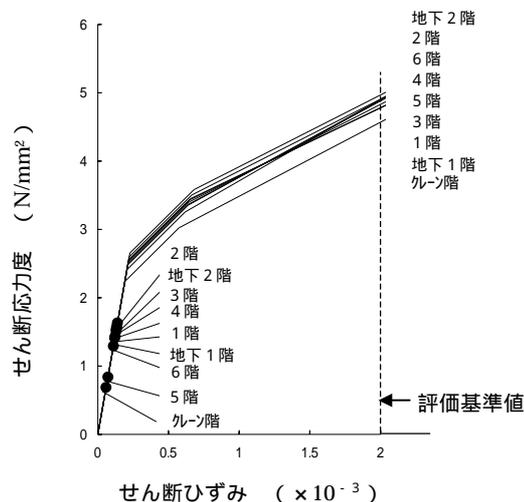


図6-6 耐震壁のせん断ひずみ (Ss-1 東西方向)

表6-3 耐震壁のせん断ひずみ一覧

| (南北方向) | | | | ($\times 10^{-3}$) |
|--------|------|------|------|----------------------|
| 階 | Ss-1 | Ss-2 | Ss-3 | 評価基準値 |
| クレーン階 | 0.06 | 0.07 | 0.05 | 2.0 以下 |
| 6階 | 0.12 | 0.13 | 0.10 | |
| 5階 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | |
| 4階 | 0.13 | 0.13 | 0.10 | |
| 3階 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | |
| 2階 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | |
| 1階 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | |
| 地下1階 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | |
| 地下2階 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | |

* 網掛け部は最大せん断ひずみ

表6-4 耐震壁のせん断ひずみ一覧

| (東西方向) | | | | ($\times 10^{-3}$) |
|--------|------|------|------|----------------------|
| 階 | Ss-1 | Ss-2 | Ss-3 | 評価基準値 |
| クレーン階 | 0.06 | 0.07 | 0.05 | 2.0 以下 |
| 6階 | 0.11 | 0.12 | 0.09 | |
| 5階 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | |
| 4階 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | |
| 3階 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | |
| 2階 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | |
| 1階 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | |
| 地下1階 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | |
| 地下2階 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | |

* 網掛け部は最大せん断ひずみ

6.2 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

6.2.1 福島第一原子力発電所

評価は、以下に示す福島第一原子力発電所5号機の原子炉を「止める」「冷やす」放射性物質を「閉じ込める」といった安全上重要な機能を有する耐震Sクラスの主要な設備に対して実施しました。

| | | |
|----------|----------|----------|
| 炉心支持構造物 | 制御棒（挿入性） | 残留熱除去ポンプ |
| 残留熱除去系配管 | 原子炉圧力容器 | 主蒸気系配管 |
| 原子炉格納容器 | | |

基準地震動 S_s による応答解析を行い、その結果求められた発生値（または応答加速度）を評価基準値と比較することによって構造強度評価、動的機能維持評価を行いました。

ここで評価基準値とは、構造強度評価の場合は材料毎に定められた許容応力等、動的機能維持評価の場合は試験で予め正常に作動することが確認された確認済相対変位等のことを言います。

評価の結果、発生値は評価基準値を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認しました。（表6-5、6）

表 6-5 構造強度評価結果

| 区分 | 設備 | 評価部位 | 単位 | 発生値 | 評価基準値 (許容値) |
|-------|----------|-----------|------------------------|-----|----------------|
| 止める | 炉心支持構造物 | シュラウドサポート | 応力(N/mm ²) | 86 | 300 |
| 冷やす | 残留熱除去ポンプ | 基礎ボルト | 応力(N/mm ²) | 29 | 202 |
| | 残留熱除去系配管 | 配管 | 応力(N/mm ²) | 197 | 364 |
| 閉じ込める | 原子炉圧力容器 | 基礎ボルト | 応力(N/mm ²) | 39 | 222 |
| | 主蒸気系配管 | 配管 | 応力(N/mm ²) | 356 | 417 |
| | 原子炉格納容器 | ドライウェル | 応力(N/mm ²) | 90 | 255 |

発生値は基準地震動 S_s - 1、2、3 によるもののうち最も厳しいものを記載

表 6-6 動的機能維持評価結果

| 区分 | 設備 | 単位 | 発生値 | 評価基準値 (許容値) |
|-----|----------|-----------|------|----------------|
| 止める | 制御棒（挿入性） | 相対変位 (mm) | 13.8 | 40.0 |

発生値は基準地震動 S_s - 1、2、3 によるもののうち最も厳しいものを記載

6.2.2 福島第二原子力発電所

評価は、以下に示す福島第二原子力発電所4号機の原子炉を「止める」「冷やす」放射性物質を「閉じ込める」といった安全上重要な機能を有する耐震Sクラスの主要な設備に対して実施しました。

| | | |
|----------|----------|----------|
| 炉心支持構造物 | 制御棒（挿入性） | 残留熱除去ポンプ |
| 残留熱除去系配管 | 原子炉圧力容器 | 主蒸気系配管 |
| 原子炉格納容器 | | |

基準地震動 S_s による応答解析を行い、その結果求められた発生値（または応答加速度）を評価基準値と比較することによって構造強度評価、動的機能維持評価を行いました。

ここで評価基準値とは、構造強度評価の場合は材料毎に定められた許容応力等、動的機能維持評価の場合は試験で予め正常に作動することが確認された確認済相対変位等のことを言います。

評価の結果、発生値は評価基準値を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認しました。（表6-7、8）

表 6-7 構造強度評価結果

| 区分 | 設備 | 評価部位 | 単位 | 発生値 | 評価基準値 (許容値) |
|-----------|----------|-----------|------------------------|-----|----------------|
| 止める | 炉心支持構造物 | シユウト・サ・ート | 応力(N/mm ²) | 89 | 247 |
| 冷やす | 残留熱除去ポンプ | 基礎ボルト | 応力(N/mm ²) | 4 | 342 |
| | 残留熱除去系配管 | 配管 | 応力(N/mm ²) | 165 | 321 |
| 閉じ 込める | 原子炉圧力容器 | 基礎ボルト | 応力(N/mm ²) | 11 | 492 |
| | 主蒸気系配管 | 配管 | 応力(N/mm ²) | 157 | 309 |
| | 原子炉格納容器 | ドライウエル | 応力(N/mm ²) | 38 | 380 |

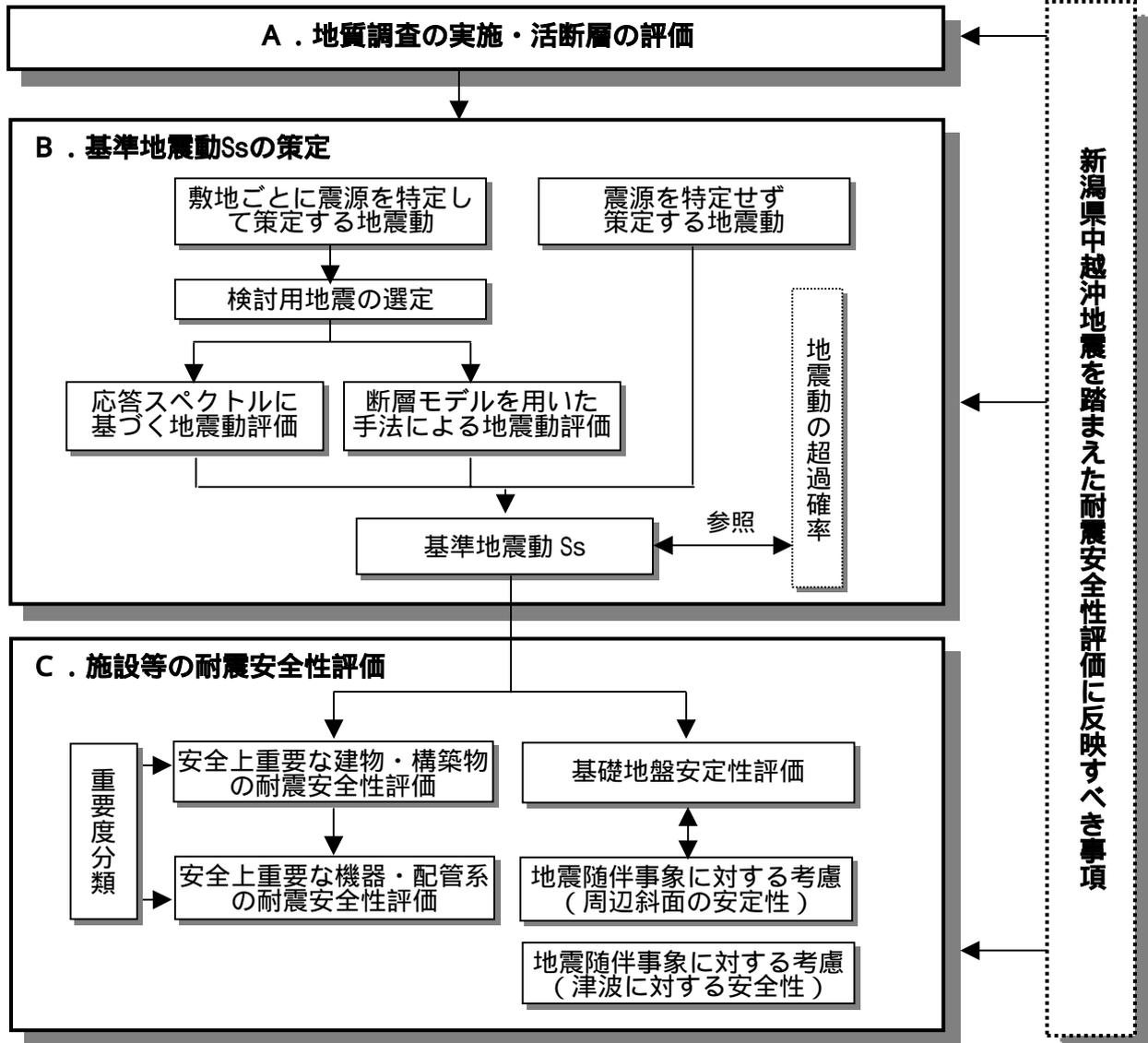
発生値は基準地震動 S_s - 1、2、3 によるもののうち最も厳しいものを記載

表 6-8 動的機能維持評価結果

| 区分 | 設備 | 単位 | 発生値 | 評価基準値 (許容値) |
|-----|----------|-----------|------|----------------|
| 止める | 制御棒（挿入性） | 相対変位 (mm) | 14.1 | 40.0 |

発生値は基準地震動 S_s - 1、2、3 によるもののうち最も厳しいものを記載

【別紙 - 1】耐震安全性評価の流れ



【耐震安全性評価の流れ】

【別紙 - 2】主な調査項目

文献調査（敷地から半径約 100km の範囲）

変動地形学的調査（範囲）

地表地質調査（範囲）

文献調査の結果を踏まえて、敷地を中心とする半径約 30km の範囲の陸域について変動地形学的調査並びに地表地質調査を、さらに、同範囲以遠に分布する主要断層沿いについて同様の調査を実施した。

変動地形学的調査（範囲）

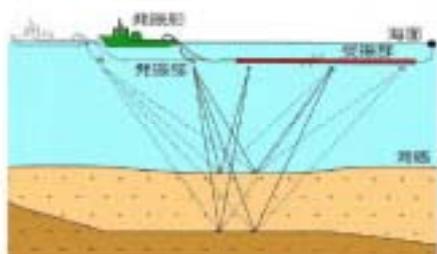
地表地質調査（範囲）

敷地近傍の地質及び地質構造を高精度で把握するため、敷地を中心とする半径 5km の範囲において、詳細な変動地形学的調査、地表地質調査を実施した。

海上音波探査（範囲、）

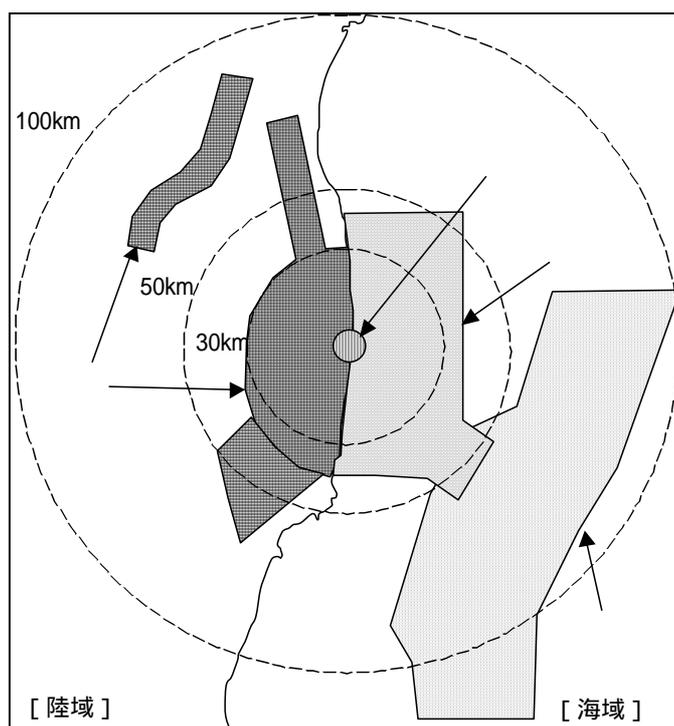
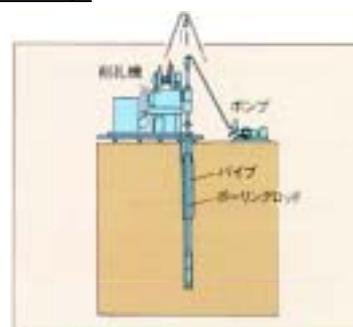
同記録解析（敷地から半径約 100km の範囲）

敷地を中心として、汀線方向約 80km、汀線直交方向約 30km の範囲の海域について海上音波探査を実施した。さらに、敷地前面海域よりも外海の周辺海域においては、文献調査の結果を踏まえて海上音波探査を実施した。また、他機関の海上音波探査記録についても解析を行った。



ボーリング調査（範囲）

活断層の認定基準の変更に対応するため、双葉断層周辺においてボーリング調査を実施した。



福島第一原子力発電所
について例示

【地質調査の範囲】