「地球を考える会」Team For The Earth 2008年4月14日(月)

2007年新潟県中越沖地震と 原子力発電所

入倉孝次郎 愛知工業大学客員教授

1.1995年兵庫県南部地震(神戸地震)の衝撃と教訓

- 2. 原発の耐震設計審査指針の改訂の経緯
- 3. 新指針に基づく既存原子炉施設のバックチェック
- 4.2007年7月16日新潟県中越沖地震がもたらした新たな 衝撃
- 5. 新潟県中越沖地震を踏まえた原子力施設の耐震安全 性の課題。
- 6. まとめ

2. 原発の耐震設計審査指針の改訂の経緯

耐震設計審査指針は昭和53年(1978年)に当時の地震学、 地震工学の知見を結集して原子力委員会が定めた。昭和56 年7月(1981年)に静的地震力の算定法等の見直し。 平成18年(2006年)に全面改訂。

口旧指針の果たした役割と問題点

口指針改訂の背景

口改訂のポイント

口旧指針の果たした役割と問題点

- ・電気事業者に建設予定の原発の敷地周辺域における活断層 調査が義務付けられ、活断層の長さに基づいて将来発生する 地震規模の評価、震源距離、地盤特性等を考慮して、応答スペ クトルの経験的関係式(大崎スペクトル)を用いて設計用の基準 地震動が策定され、原子力施設の耐震設計がなされた。
- 敷地周辺に活断層がない場合にも、直下にM6.5の地震が発生すると考えて基準地震動が評価された。

耐震設計のために、活断層の調査や地盤調査を行う必要があること、活断層がなくても直下に一定の大きさの地震が起こる可能性を考えて揺れを予測する、当時の最新の知見に基づいて策定された。

なぜ耐震設計審査指針を改訂する必要があるのか?

口改訂の背景

旧指針は1981年(昭和53年)当時の最先端の知見(活断層調査、応答スペクトルによる地震動評価、静的地震力の算定法など)に基づいて定められた。

1981年(昭和56年)から現在まで(25年間)に、 地震学およびに地震工学に関する新たな知見の蓄積。 原子炉施設の耐震設計技術の改良および進歩。

1995年兵庫県南部地震の経験:

原子力施設に特段の影響を及ぼしたものはなかったが、断層の活動様式、震源破 壊過程と地震動特性、構造物の耐震性、等に係わる貴重な知見が得られた。 原子力施設の耐震安全性に対する信頼性の向上に上記の新たな知見の反映させ る必要があるとの認識が高まる。

原子力発電所の耐震安全性について社会的説明責任の声が高まる。

海外、とくに米国で原子力耐震設計にPSA(確率論的安全評価)評価を取り入れる 動きに合わせて、日本でも一部の研究者からPSAを導入すべきとの強い意見が 出されるようになった。

改訂指針の重要ポイント



<u>新耐震設計審査指針(新指針)の特徴と意義</u>

 信頼性の高い詳細な地形・地質調査等に基づく活断層に起因する地震、及び 地震テクトニック・文献等の調査に基づく海溝型地震、を認定し、検討用地震を 選定。

考慮すべき活断層:旧指針では、5万年前以降に活動したもの→新指針では、 後期更新世以降の活動が否定できないもの。

② 基準地震動Ssの評価は、従来の応答スペクトルを用いた経験的な手法に加え 断層モデルによるs手法、で行う。

経験的手法は限られたデータで作られるため、震源近傍域で精度が十分ではない 可能性がある。 断層パラメータの設定で、不確実さを適切に考慮することが要求されている。

③ Ssを超える地震動の可能性を認識して「残余のリスク」を評価(解説で努力 すべきものして記載)

+分な調査を行って基準地震動を策定してもそれを上回るレベルの地震動に襲われる可能性は否定できない。「残余のリスク」を可能な限り小さくするための努力 を求める。

基準地震動の策定

基準地震動Ssは「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定 せず策定する地震動」について、敷地における解放基盤表面上における水平方向 及び鉛直方向の地震動として策定。

(1)「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定

敷地周辺の活断層の性質、過去及び現在の地震の発生状況、地震発生 様式に等による地震の分類から、検討用地震を複数選定。

- i) 応答スペクトルに基づいた地震動評価
- ii) 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- ・震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法を重視。
- ・策定過程に伴う不確かさ(ばらつき)を適切な手法を用いて考慮。
- (2)「震源を特定せず策定する地震動」の策定 震源と活断層を関係付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について 得られた震源近傍の観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤特性を加 味した応答スペクトルを設定 → 地震動評価

新指針でのその他の変更点

□「岩盤に支持(岩着という。)」→「十分な支持性能 を持つ地盤に設置」と変更。

岩盤というのは必ずしも定義が明確ではない。十分な支持性能を持つ 地盤とする方がより正確な規定。 旧指針では「重要な建物・構築物は岩盤に支持」と規定されていたが、 新指針では「建物・構造物は、十分な支持性能をもつ地盤に設置されね ばならない」と規定。

□「建物・構造物は原則として剛構造とする」という 規定の廃止。

耐震安全性を高める新たな技術開発があれば、それらを取り入れること ができる規定とするのがねらい。工学の先生の強い要望。免震の技術 を原子力施設の耐震設計に取り入れるとこれからの検討課題の1つ。

3. 新指針に基づく既存原子炉施設のバックチェック

- 耐震設計審査指針の改訂(2006年9月)を受けて、原子力安全委員会は、 行政庁に原子力事業者に対して既設も含めて原子力施設の耐震安全性の 評価の実施とその結果の速やかな報告を指示。
- ・原子力安全保安院は、原子力施設について新耐震指針に照らした耐震安 全性の評価(バックチェック)を原子力事業者に要請。それを受けて 原子力事業者は、耐震安全性の評価の実施計画書を行政庁に提出、既設 原発の耐震安全性の評価のために地形・地質調査と基準地震動の評価の 検討を開始した。

そのような状況の中で、2007年7月16日新潟県中越沖地震(M 6.8)が 起こった。

新耐震指針を踏まえた主な調査項目(参考例)



耐震安全性評価の手順(参考例)



新指針に基づく既存原発の耐震安全性の再評価(中間報告)

- ・原子力発電所を有する電力各社は再評価(バックチェック)結果を 2008年3月31日経済産業省原子力安全保安院の提出
- 各電力は変動地形学的調査や反射法探査など手法を用いて敷地周辺の
 活断層調査を実施し、その結果に基づいて震源断層モデルを想定して
 基準地震動の評価を行った。
- ・中間報告では、新たに評価された基準地震動の最大加速度は450ガル~
 800ガルで、従来の1.2~1.6倍。
- ・島根原発は、再調査の結果、活断層の長さを約2倍(10キロ→22 km)
 に設定し、基準地震動は1.5倍(600ガル)に見直し。
- ・敦賀原発は敷地の地下を走る「浦底断層」を活断層と認定し、基準 地震動を1.2倍に想定。
- ・上で認定された活断層は近くに存在する他の原発にも影響を及ぼし、「もんじゅ」が1.3倍、美浜、高浜、美浜が約1.4倍に設定されている。

4. 2007年7月16日中越沖地震がもたらした新たな衝撃

□この地震を引き起こした断層はどこか?

□この地震の強震動は大きかったのか?

□この地震の強震動は数値的に再現可能か?

口柏崎刈羽の強震動は中越沖地震発生前に予測可能であっ たか?











概念図



強震動は大きかったのか?

- 地表で観測された地震動の最大加速度は経験的距離減衰式(司・翠川, 1999)に
 ほぼ従っている。しかし、震源域近くの柏崎刈羽原発での地表の最大加速度は経験式に比べて大きい。
- 岩盤上で観測された地震動の最大加速度の経験的距離減衰式(Fukushima and Tanaka, 1989)と比べると、柏崎刈羽原発の敷地における岩盤地中で得られた最大加 速度は極めて大きい。
- 柏崎刈羽原発の敷地で強震動記録に、3つの顕著なパルス波がみられる。

考えられる原因

- 1. 破壊の放射特性・指向性効果など震源の性質による
- 2. 敷地近傍の地盤の増幅効果による
- 3. フォーカッシングなど伝播経路の性質による

本震記録と距離減衰式との比較



広域の最大加速度記録は、過去の同規模の地震の最大加速度と調和的

→ 本震は、過去の同規模の地震と比較して平均的な大きさの地震

しかしながら、柏崎川羽原発における観測記録は、距離減衰式より顕著に大きい。





→ 観測されたパルスの時間差からパルスの発生した場所を推定

22



07/07/16 21:08 速度波形











KKZ1R2





東京電力 柏崎刈羽原子力発電所 サイト近傍の地下構造





柏崎刈羽原発周辺地域で大きくなった一因(フォーカッシング効果)

- 5. 新潟県中越沖地震を踏まえた原子力施設の耐震安全性の課題(その1)
- □ 新潟県中越沖地震の震源となった活断層は事前に特定可能か? 審査時点の申請書類で活断層(F-B断層)と確認されていたが、 旧指針に基づく評価手法では適切な地震動評価ができなかった。
- 新指針で定めている活断層調査および認定基準で震源モデルの評価 および地震動評価は可能か? 今回の地震と同一のアスペリティをもつ震源モデルは特定できなく ても、新指針で要求する不確実さを考慮して震源断層のモデル化を 行えば今回の地震の地震動は評価可能。
- □ 今回の地震の震源となった活断層を見逃した場合、原発の耐震安全 性は確保できるか?

今回の地震は気象庁マグニチュード 6.8で、この程度の規模の地震の震源断層 がどこでも事前に特定できるとはいえない。地震に関わる構造帯の地域的特性 を考慮した「震源を特定せず策定する地震動」の適切な評価法の検討が必要 (現在原子力安全委員会のもとに設置された「手引き検討委員会」で検討中。



地震を引き起こした改訂活断層は事前に活断層と認定されていたもの



新指針による設計用基準地震動の策定方法



- 5. 新潟県中越沖地震を踏まえた原子力施設の耐震安全性の課題(その2)
- □ 設計時の想定を大きく超える揺れに対して、原子炉施設は損傷がなかっ た理由は何か?

この地震のとき観測された地震動を外力として原子炉建屋のシミュレーション解 析で、設計時には考慮しない補助壁による強度増およびコンクリートの実強度を 用いると、地震時に建屋に生じた地震力は、保有水平耐力に対して大きな余裕 があり、鉄筋に作用する応力は男性範囲であることが確認されている(東電に よる解析および原子力安全基盤機構によるクロスチェック)。

□ 他の原子力発電所等の耐震安全性に反映すべき事項

今回の地震により原子炉建屋基礎版上で観測された地震動を踏まえ、各サイト の地盤特性、建屋や機器などの機能や実耐力、振動特性の実態なども考慮した 耐震安全性の評価を行う必要がある。

□ 安全審査体制の強化の必要性

原子力施設の耐震安全性の確保のためには、審査に関わる専門家に高い力量 が求められる。審査委員の適切な選定をおこなうことにより、国民から信頼 される安全審査が行えるように審査体制の強化が必要。

原子炉建屋の設計用地震力 Seismic Force for Reactor building design



中越沖地震による原子炉建屋のせん断力



中越沖地震による原子炉建屋のせん断力は、 原子炉建屋の設計用地震力と同程度かやや 大きいレベルであった。

また、<u>保有水平耐力に対しては大きな余裕</u> がある結果となっている。

原子力安全研究フォーラム2008発表資料 東京電力 http://www.nsc.go.jp/forum/2008/siryo/08.pdf Shear force in the reactor building caused by Chuetsu-Oki Earthquake was as same level as the seismic force or a little stronger. Considering Horizontal load-carrying capacity, there is sufficient seismic margin for Chuetsu-Oki Earthquake".

* 中越沖地震によるせん断力は、耐震壁及び補助壁を 耐震要素として考慮した解析に基づき算定。

Rigidity evaluation of the support walls besides the bearing walls

原子炉建屋の健全性評価例



原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会構造WG(第9回)及び原子力施設に関する調査・対策委員会運営管理・設備健全性評価WG設備健全性評価サブWG (第3回)合同会合)(H20.1.11) 配付資料-配付資料2(1), http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80111b03j.pdf



建設段階

ご清聴ありがとうございました。

