

「平成28年度 第6回例会講演会」レジュメ

日 時：2017年1月13日（金）18:00～20:00

場 所：日本技術士会荻手第2ビル5階AB会議室

講演者：野田 静男 氏

（一般社団法人 原子力安全推進協会 施設運営本部 技術運営部 技術グループ 部長）

演 題：「最近の地震と原子力施設の耐震設計」

司 会：芳中 副部会長

参加者：37名

1. はじめに

芳中副部会長より、講演の開催に先立ち挨拶があり、講演者の略歴等の紹介があった。

野田氏は東京都立大学の建築構造工学科の修士課程を修了後、東京電力(株)に入社、福島第二原子力発電所の建築課、柏崎・刈羽原子力発電所、福島第一、第二原子力発電所の耐震設計を担当、その後日本原子力発電(株)でも耐震設計に従事、現在は、原子力安全推進協会で耐震、外部事象（洪水、竜巻等）を含めた指針作りに取り組まれている。

2. 講演の概要

本日の講演の目次は、以下の通りである。

- ① 最近の地震
- ② 地震の起きる仕組み
- ③ 原子力発電所の耐震設計の流れ
- ④ 地震調査
- ⑤ 地震動の策定
- ⑥ 原子炉施設の耐震設計
- ⑦ 耐震性の検証

以降、本目次に基づき講演概要を示す。

2.1 最近の地震

最近の地震から特徴的な2つの地震、2016年に発生した熊本地震（陸の地震）と2011年の東北地方太平洋沖地震（海の地震）について解説があった。

熊本地震は、日奈久断層が活動した地震と布田川断層が活動した地震によるものであり、それぞれM6.5とM7.3という2つの断層の活動による地震である。

特に被害の大きかった益城町の被害要因は、以下のとおりと考察している。

- ① 活断層が町の直下に存在していた。
- ② 2016/4/14の前震（日奈久断層の活動によるM6.5の地震）と4/16の本震（布田川断層の活動によるM7.3の地震）で震度7が2回観測された。前震、本震の2回の大きな地震により相当のダメージを受けた。
- ③ 1981年と2000年に建築基準法が改正され、建築年によって耐震基準が異なっていた背景があり、総じて古い建築物の被害が多い状況である。
- ④ 丘陵地から秋津川にかけて建築物が分伏しており、地盤状況が異なっている。異なる表層付近の地盤が揺れの特性に影響を与えた可能性がある。



これらをまとめると、従来の4つの被害原因、①立地(建築物が立地された地盤と活断層の位置)、②設計(立地を考慮した対応; しっかり杭打ちが考慮されていたか等)、③施工(耐震性を考慮した良い施工か、悪い施工か)、④メンテナンス(シロアリや土台の腐れ等に対する保守・補修がなされていたか否か)で被害の状況や規模の分析は可能であるが、熊本地震の被害は、これらが複雑に複合したものといえることができる。

東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、地震観測記録に基づき、多くの研究者が震源断層の推定を実施している。震源断層面は、約200km×500kmという広範囲にわたり、海溝沿いに数十mを超える大きな滑りを起こしている。これらは、GPS(日本には約1,000の観測点がある)によるすべり分布とこのすべり分布から計算される上下変動の値により、この地震によって日本列島は総じて西南西に移動(約64m)し、海溝沿いは5m近く隆起し、陸に近いところは、沈降したことが観測と解析計算により明らかになっている。これらは全て地震後に明確になったデータである。

現在、地震学はかなり発達しており、数多くのデータもあることから地震後に発生した事象については、明確に説明ができる状態にある。しかし、地震前に、これらを予測するところまで至っていないのが現状で、今後の大きな課題でもある。

また、観測された地震波を解析することにより、大きな加速度をもたらした強震動生成域(SMGA/Strong Motion Generation Areas; 地震動を評価するための断層モデルに使用する用語。断層面の中で特に強い地震波(強震動)を発生させる領域をいう)が5つあり、岩手県沖(1つ)、宮城県沖(2つ)、福島県沖(1つ)、茨城県沖(1つ)に分布している。また、これらの解析から、海溝沿いにゆっくり滑って、大きな変位があったため、地震に伴う海底の変動により大津波が発生し、東北地方海岸に押し寄せたと推察している。

2.2 地震の起きる仕組み

地震発生のメカニズムの概要を理解する上で、地球を半熟卵に例えると、黄身は核(コア)、白身はマントル(マントルは、通常、固体的として扱えるが地震の発生する時間間隔、百年程度以上を考えると液体的で流動的に振る舞う)、殻は地殻に相当する。

内側の核は高温(数千°C)でその熱が地表に近づき冷えている地表付近で熱対流し、地表近くの岩石の板(プレート)を動かし、地震を発生させるというものである。ハワイ島付近には同じ場所からマグマが吹き出して移動の軌跡がハワイ諸島として残っている。ハワイ島はこの熱対流により年間で十cm程度動いており、計算上では、あと1億年で日本に接近することになる。

地球はプレートと呼ばれる硬い岩盤に覆われており、これらプレートの運動によって地震が発生すると考えられている。日本の場合、日本列島の乗った陸のプレートが太平洋側の海のプレートから常時押されていることにより、これらプレート境界の摩擦力やプレート内で生じる歪を急激に解消する際に地震が発生する。

地震は、その発生の仕組みから3つのタイプに分類することができる。

① プレート間地震

海のプレートと陸のプレートの境界で発生するもので、東北地方太平洋沖地震が代表的。

日本列島は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、ユーラシアプレート、北米プレートの4つのプレートから構成されている。

プレートが移動し(陸側のプレートに海側のプレートが沈み込むイメージ)、プレート内に歪エネルギーが発生・蓄積し、歪エネルギーが解放されるとき(陸側のプレートが跳ね上がるイメージ)に地震が発生する。この跳ね上がりが津波の原因にもなる。

② 陸のプレート内で発生する地震

しばしば地表で活断層として認識される。縦方向のズレと横方向のズレがある。熊本地震は、主に横方向のズレにより発生したものである。浅いところのズレほど大きな影響の地震動と

なる。

③ 沈み込む海のプレート内部の地震

これは、かつては平らだったプレートが沈み込みにより歪が発生し、この歪を解消する時に地震が発生する。海底下では津波を伴うこともある。

2.3 原子力発電所の耐震設計の流れ

原子力発電所の耐震設計は、大よそ、以下の流れで進められる。

- ①地質・地盤調査と過去の地震調査
- ②考慮する地震の抽出
- ③耐震設計に用いる基準地震動の策定
- ④基準地震動による建屋・機器等の耐震設計

2.4 地震調査

(1) 文献・古文書調査

古文書等の各種文献（416年から地震発生の記録）が残っている。これは、日本書紀による記録である。例えば、1662年に琵琶湖にてM7.3相当の地震が発生したこと等が古文書を収集、分析することで推定できる。

被害は大よそ震度5くらいから発生することから、古文書に記載されている地震発生日時と被害状況の詳細な情報（場所、震度の分布等）を基に、地震の規模及び震央（分布の中心が震央位置、エネルギー放出の中心に対応、震度の範囲（面積）が地震のマグニチュード（大きさ）に対応する）が推定できることになる。

(2) 科学的調査例

科学的調査の具体例を以下に示す。

① プレート間地震と原子力発電所の調査例：原電 東海第二発電所

深さ80km程度以深では、太平洋プレートの二重深発地震面がある。これは日本で初めて発見された現象であり、プレートが沈み込むところに地震の発生する層が上下2つある現象である。それぞれプレートが曲げられた時の引張力と圧縮力を伸ばす時に発生する地震である。海側と陸側のプレートがぶつかり合うようなところでは、プレート境界の地震を想定できる。

2011/3/11以降の調査では、陸側での地震発生が多く、福島県と茨城県の県境付近の深さ10km程度において内陸地殻内地震が発生している。いわゆる引張の地震（正断層の地震）が起きている。これは、3.11の地震が起き、陸側のプレートに大きな引張力が生じ、そのひずみを解消するために地震が発生したと考えられる。

② プレート内地震と原子力発電所の調査例：原電 敦賀発電所

敦賀発電所を中心とする若狭地域で発生した地震の分布を調査すると、プレート境界の地震は深いため影響がなく、陸のプレート内部の地震は、地震の発生深さは5~20kmの間に集中して見られる。

地表に近いところでは、地表が軟らかいため地震は発生しにくく、深いところで多く発生している。この時、活断層の断層面がどこかがポイントとなる。5~20kmにあるとみるのが正しいということになるが、曖昧さが残ってしまう。また、これだけの情報では、断層面の傾きまでは推定するのは難しく、これらの調査で精度はせいぜい深さが数百mのオーダーであり震源断層のオーダーkmに対して、不確定さがあるのは否めない。

③ 空中写真による活断層調査

空中写真による調査は、地震によって地表における地形の変位を調査するものだが、地

形の変形は、地震以外の要因で起こる場合もあるため、対策が必要な断層かどうかについては、現地を歩き調査してみないとわからない。

④ トレンチによる活断層調査

地下数十 km の深さにある断層が動くと地表面付近の地形に影響を及ぼすことがある。

活断層の疑いのある場所付近の地面を掘削し、活断層を調査・確認する方法がある。掘削して断層を調査することにより、水平に堆積していた土砂がある時期、ある境界をもって動いたことがわかる。

⑤ 海域調査

海域での調査は、海底地形面調査、海上音波探査、海上ボーリング調査等がある。

海上音波探査は、海面から音波を出しその跳ね返りで海底断面を確認するもので、跳ね返ってきた音波は、地層の速度の違うところで跳ね返ってくるので、船を使って観測センサを海上にたくさん並べて活断層を調べる。

断層が長ければ長いほど、地震の大きさ（マグニチュード）は大きい。これは経験値から判っている。敦賀地区の発電所近くには、浦底-内池見断層が長さ 21km に渡っている。これは、M7 位ではあるが、発電所に近いところにあるので、地震に対して注意をした方が良いといえる。

2.5 地震動の策定

耐震設計では、地震、地震動、地震力を厳密に分けて考えていく必要があるため、それぞれ以下の定義を整理する。

【地震】 地表面下、数 km ～数百 km で岩盤が急激に破壊する物理現象

【地震動】 地震により破壊した岩盤の破壊面（断層面）の動きが地表に伝わり、観測される揺れ

【地震力】 地震動が建物などの物体に作用し、物体に生じる力

地震の大きさを表すマグニチュード(M)は、地震（震源）に対して1つであるが、地震動（揺れ）の大きさを示す震度は、岩盤（固い）や地盤の組合せでいくつもあることになる。

一般的に、岩盤の固いところでは、波はほとんど変わらずに伝わってくるが、地表付近の軟らかいところでは、地震動は増幅する。例えると文鎮（岩盤）の上にプリン（地表付近の地盤）を載せ、文鎮を叩くと文鎮は揺れないが、プリンは揺れるようなイメージである。（原子力発電所の観測例では、岩盤での地震波に対して、地表面付近の地震波は、約2～3倍）。原子炉建屋に作用する地震動を考える場合、重要な施設は、増幅の少ない岩盤に支持させ、震源からの地震動特性があまり変化しない基盤に地震動を想定する。

耐震設計ではどこで地震動を定義するかが重要である。原子力発電所の場合は、性質のあまり変わらない岩盤で地震動を定義するとしている。これが基準地震動 S_s である。

基準地震動 S_s の策定には、①震源を特定して策定する地震動と②震源を特定せず策定する地震動の2つを考慮する。

先に述べた、各種調査、検討が必要となる地震の選定、地震動評価（経験的な方法、断層モデルによる方法）を経て策定した基準地震動は、年超過確率（地震ハザード解析結果）との比較を行い、最終決定する。

以下に経験的な方法と断層モデルによる方法を述べる。

予備知識として耐震設計では良く使われる、応答スペクトルを説明する。

これは、ある地震動が共通の基盤に発生した時に、ある周期の構造物がどれ位揺れるかを最大値で示したものである。つまり、地震動の持っている性質を一質点系（構造物）の応答という揺れの最大値を用いて一質点系（構造物）の固有周期ごとに書き連ねることで表現したものである。構造

物は自信の固有周期と同じ周期を多く持つ地震動であれば大きく揺れ影響が大きいことになる。

(1) 経験的な方法

地震が決まり、地震の大きさ（マグニチュード： M ）が判り、その地震がどこで起きるかが決まり、震源から建設地までの距離が決まって、地震動が策定できる。この裏付けとしては、多くの地震観測記録、地震の大きさと距離に関する記録がある。これらのデータに基づき統計解析を行い、地震の大きさ（マグニチュード： M ）と震源距離を関数として表わし、どのような関数で表せば良いかについては、多くの地震に対して分析することによって判断でき、地震動の標準的なものが判る。バラつきはあるが、簡易的な方法である。例えるとインスタントカメラのようなものである。

(2) 断層モデルによる方法

ある断層が地下にどれ位あるかについて、3次元的な大きさがわからないと明確にはできないが、活断層の調査により、地表から40kmの長さであれば、地震発生層の内部数km～20km程度の範囲で傾斜角がどれ位の断層面であるかを推定することとなる。

その断層面の中で、強い地震動が発生するところは、全断層面の20%位と言われているので、強震動を生成する領域も、どこか発電所の建設地に近いところにあると仮定し、安全側に設定することができる。このような推定を重ね合わせて、例えば小地震の観測波形（ $M5$ 位）を集めて、それをスケールリングして、ある程度断層面の大きいマグニチュードの地震に対して距離で補正することにより、その箇所で発生した地震動になるだろうと推定する。破壊の伝搬は、ドップラー効果で発電所の建設地に近づき大きな地震動になることが判っているので、時間差をもって破壊が進展したと仮定して、それらを合成することにより、当該地点の地震動が設定できるとしたものが、断層モデルでの評価方法である。

経験的な方法は、インスタントカメラ程度と例えたが、断層モデルによる方法は、一眼レフカメラのような高級なやり方と例えることができる。これは、ある程度使い手の能力と相応の機材がないと正しい値が見出せないからである。

経験的な方法も断層モデルによる方法も一長一短がある。よって耐震設計では、両方のやり方を使うようにしている。

地震動の設定事例として、原電 敦賀発電所の耐震設計の例を解説する。

震源を特定して策定した地震動としては、14箇所の地質・断層の応答スペクトルを考慮した。労力、後々の解析を考慮し、14のスペクトルを包絡した設計用応答スペクトルを設定した。これに合うようにサイン波を重ね合わせて加速度時刻歴波形を設定、耐震設計の波形を策定している。さらに、上記設計用応答スペクトルを超える断層モデルによる地震動も用いる。

震源を特定せず策定する地震動としては、原子力規制委員会により提示されている震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震の16の地震リスト(地震名, 日時, 規模)を用いている。

原子力施設の建設予定地に必ずしも活断層があるか無いかは判らなくとも、これらの過去の地震を参考に地震動として大きなものは考慮しておくという考えのものである。

活断層を生じなくとも大きな地震動が観測される場合があり、不意打ち的な地震が発生する可能性もあるので、耐震設計上は考慮しておく必要がある。

例えば、2004年に発生した北海道留萌支庁南部地震は、 $Mw5.7$ の地震であり、1127galの地震がEW方向に観測されている。地盤の詳しい情報が無いので岩盤での地震動がどれ位かは判っていないが、ボーリング調査で地層のデータを調査し、岩盤までの地盤のプロファイル

を調べ、そこから基盤の地震動を求めている。解析の結果、ある周期帯によっては、大きな加速度が出ているところもあるので、その周期帯に共振する機器・配管については、影響を与えることになる。そこで耐震設計上考慮する必要が生じる。

2.6 原子炉施設の耐震設計

原子炉施設の耐震設計は、策定した基準地震動 S_s により建物の地震応答解析を行い、建屋内に設置する機器配管の耐震設計を行うための設計用床応答スペクトルを策定する。この設計用床応答スペクトルに基づき、機器・配管の応力解析を行い、各耐震クラスに対しての耐震構造強度設計を行う。具体的な手順は、以下の通りである。

建物のモデル化は、建物のマット、床に質量を集中させ、地震動自体も岩盤から直接入力するのではなく、ある程度地盤の影響をバネとして考慮し、マットの下や側面から入力する。また回転も考慮する必要があるため、マット下には回転バネを考慮し、建物全体をモデル化する。

これらのモデル化は単純すぎるのではないかとの懸念を示す意見もあるが、建物の床に設置している地震計の過去の記録により解析した事例もあり、これらの結果から設計上は十分に模擬することができることが検証されている。

このモデルに対して実際に地震動を入力して建物を揺らしてやり、壁等の耐震要素に発生する力を算出し、それらの力に対してコンクリート構造物（鉄筋、コンクリート自体）が耐えられるように建物の構造設計を行う。

機器・配管類の耐震設計の手順は以下の通りである。

建物の床レベルに質量を集中させ、その質点のところに地震動に対する揺れ、その揺れの周期に対して揺れの強さをプロットすることにより、床応答スペクトルを作成する。このスペクトルは色々なバラつきがあるので、それを周期方向に10%拡幅し設計用の床応答スペクトルとする。

建物の床上に、ある固有周期をもった機器・配管があるとすると、その周期の最大応答値がこの床応答スペクトルから判るので、その応答の最大値を地震力に設定する。この地震力に対する構造設計の結果得られる、機器・配管に発生する応力や据付ボルトの強度や引抜力を許容値と比較することにより、構造設計の強度確認を行う。

その他の設計例として原子炉格納容器は、薄肉円筒容器モデルにより、軸(ビーム形)振動モードやオーバル形振動モードでの解析を行っている。

また、原子炉建屋は一般の建築物より厚い壁や床を持ち、発電時や事故時の荷重（力）を考慮しなければいけない複雑な構造物である。考慮すべき荷重としては、自重や積載荷重に加えて活荷重、圧力、熱応力、運転時又は事故時に発生する荷重、そして地震力がある。よって建屋全体や各部分を適切にモデル化できる有限要素法（FEM）を用いた解析を行い、これらの荷重を適切に組み合わせて構造設計を行っている。

一般建築物は、水平方向の静的地震力で設計されることが多く、おおよそ自重の20%の荷重を各階層にかける。原子力発電所の場合は、一般建築物の約3倍の静的地震力とするので、直接岩盤に支えられている発電所（例：柏崎・刈羽、東海第二等）では、動的地震力による評価に対し、かえって静的地震力の方が建物に対して厳しい場合もある。これは、動的解析では建物と比較して軟らかい岩盤で免震のような作用が働き、軟らかい岩盤で地震力を吸収し、上の方に地震力が入らない効果を評価できることによるものである（このことは観測事例からも判っている）。

なお、一般建築物でも超高層建物や重要な建築物は、原子力施設と同様に地震動を用いた応答解析による地震力で設計されるようになっている。

2.7 耐震性の実証

耐震性の実証としては、耐震実証試験や解析による評価がある。

耐震実証試験としては、原子炉格納容器や主蒸気配管等の実物あるいは縮小試験体を大型振動台で揺らし、十分な耐震上の安全裕度のあることを確認している。確証試験での安全裕度は、約2倍以上、コンクリート製原子炉格納容器では設計の約5倍以上であることを実証し、解析では、約7～8倍の安全裕度を確認している。

また、原子炉建屋が所定の振動特性を有しているか確認するため、建屋を起震機により強制的に揺らし、固有周期、減衰、振動モード等が設計時の想定と違っていないか確かめている。

津波解析の例としては、2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルを用いて東海第二発電所の津波を推定し、推定された津波高さは観測値と良く対応した結果が得られている。

また、ソフト対策を前提とした津波対策の例として、津波の早期観測に向けた観測の整備に向けた日本海溝海底地震津波観測網（S-net）が進められている。これは、防災科学技術研究所が進めているプロジェクトであり、地震計と津波計が一体となった観測装置を光海底ケーブルで接続し、これを東北地方太平洋沖の海底に設置し、リアルタイムに24時間連続で観測データを取得するもの。観測装置は150カ所に設置し、ケーブル総全長は約5,700kmであり、海溝型地震や直後の津波を直接的に検知し、迅速・高精度な情報伝達により被害の軽減や避難行動などの防災対策への貢献が期待されている。

2.8 おわりに(野田氏の私見)

地震と地震による津波といった不確実性の大きい自然現象に対する安全性確保のために何をすべきか（考えるべきか）を整理してみた。

2011年の東北太平洋沖地震の事例では、防災に関係する国の委員会（内閣府の中央防災会議）等では太平洋側ではどこでも10mを超えるような大津波を想定すべきとの意見があったが、M9の東北太平洋沖地震は事前に発生を予知されていなかった。また、産総研による津波堆積物（過去の津波により陸地に堆積した物）の調査をしている研究者から、太平洋側に大津波を起こした地震があった可能性が指摘されていたという報告も出ている。

これらのことから、以下の対応をしていくことが必要であると考えます。

- ① 自然の声に敏感になること
- ② リスクを念頭に意思決定し、説明すること
自然現象も対策もあらゆることを系統立て考慮に入れ、自然現象の有する不確実さもロジックツリーなどを利用し確率的な観点から検討ができるはずである。
- ③ ハードによる何から何まで対策を打つのは無理である。リスクマネジメントの概念も取り入れ、ソフトも考慮し柔軟に対応すべきである。

2.9 まとめ

- ① 原子力発電所の耐震設計は地震の源である地下の断層を想定することから始まる。
- ② このために地震の起きる仕組みを理解し、新たな知見に適切に対処することが重要。
- ③ 原子力発電所の耐震設計は、地震調査、地震動の策定、原子炉施設の設計の流れに沿って実施される。
- ④ 重要な施設は所要の耐震性を有していることが各種の試験により検証されている。
- ⑤ 不確実さを念頭に置いてハードのみに頼まず、ソフト対策も活用した設計に移行している。

3. 質疑応答

- Q)熊本地震の発生地域では、活断層が街に存在していたということだが、地震が発生することは事前に分かっていたのか。
- A)地震調査推進本部が事前に調査し、M7.5クラスの地震が2013年位に0.9%程度の確率で発生することは分かっていた。地震学者によるそのような発言はあったが、九州地方でそれほど大きな地震はすぐには起きないだろうということで、それほど地震発生に対するケア（対策）を実施していなかったのが実状である。
- Q)例えば、事前に分かっていたとして、その地域に建物を建てて良いものなのか。
- A)活断層を研究している人の中では、該当地域での建物建設に規制をすべきと発言している人もいる。アメリカのサンドレアス断層近辺1kmには、建築物の規制をしている例もあるが、日本の場合は断層だらけなので、規制に対しては懐疑的な意見が多いのが実状である。活断層自体は地表に出てきた地震の爪痕みたいなもので、地表に出てきた部分が地震を起こしているわけではない。力学的に考えてみると、柔らかいところは力を溜めておくことはできない。地表に出ている活断層は、地下の深いところで起きたズレが地表に現れただけ。そのズレさえ何とかなれば、被害はそれほど大きくないと考えられる。活断層の真上にあれば、影響は少ないとは言い切れないが、表層付近の活断層による地震動自体は、そんなに大きくないと言われている。実際、地震動の解析をしてみると、地震自体が全く地震力を出さないというわけでは無いが、ゆっくりと滑るのでそんなに大きな被害を起こすような地震にはならないという解析結果が出されている。
- Q)地震が起きると、直後に津波の有無についての発表があるが、これは何を持って判断をしているのか。
- A)津波の速度より、地震動の方が速く伝達する。3点以上の観測により振動伝達の時間差が判れば、発生した場所を特定することができる。発生した場所が直ぐに判り、そこが海域であれば津波の発生が予測される。地震動の長さからある程度マグニチュードが判る。M7以上だと、地震が海域で発生し、なおかつ浅ければ、津波が発生するであろうと判断する。さらにこれまでの地震と津波に関する数多くのデータも判断材料として、素早く発表ができるようになっている。
- Q)モーメントマグニチュード (M_w) と一般に言うマグニチュード(M)の違いは。
- A)モーメントマグニチュードは物理的に求められる値であり、マグニチュードは気象庁が使っているもの。地震は地下の岩盤がズレから起こるものであり、この岩盤のズレの規模(すべり量とすべった面積と摩擦係数:岩盤の固さ)をもとにして計算したマグニチュードをモーメントマグニチュードという。普通に使っている気象庁のマグニチュードは地震計で観測される波の振幅から計算するものである。
- Q)地震についての挙動について加速度を使って計算をしているが、長周期地震動とかで変位や速度を使った話題も出ている。地震挙動に関する強度的な問題を把握するのに何か制限があるか。
- A)耐震設計自体は、加速度を入力しその力のつり合いで時々刻々と加速度を求めているのが実態。よって加速度が前面に出て説明に使われている。ただし、加速度の時間積分が速度、速度の時間積分が変位となるので、そういった意味では積分方法の誤差はあるにしても加速度、速度、変位も同じである。ただし構造設計としては、加速度を計算した後、実際は変位の形でも評価している。また速度はエネルギーと関係しているので疲労評価については、速度で見た方

がよい。建物の被害についても、速度が大きい方がモノは壊れると評価はするが設計としては使いづらい。速度を1回微分して加速度にして入れ直し、解析しているので直接結びつかない。よって、速度では耐震設計として体系化しにくいことから加速度の方が便利に使われていると言える。

Q)本日の講演では、各発電所での設計値と今回の地震に対しての比較に関しての話しがなかったもので、解説して欲しい。

A)熊本地震については、川内原発が1つ該当するが、川内原発は今回発生した地震より大きな規模の地震で評価はしている。しかし、実距離としては離れているのでわざわざ解析評価をするまでもないとの理由で実施はしていない。

地震動自体は、現在分析中なのでわからないが、今までの地震の性質（顔つき）と変わっているわけではないということは判っている。バラつきの範囲ではあるが、特異な周期成分が存在することも判っている。恐らく、岩盤の地震動と言えば驚くような地震動ではないと言える。東北地方太平洋沖地震については、福島発電所における記録が取れているので、これについてもほとんど設計値とかけ離れていることはなく、これもある特定の周期では特異な成分もあるが、ほとんど設計値を下回っていることが判っている。東海第二発電所も同様である。

これらのことから今回の福島における事故の原因は、地震が直接的なものではなく津波による電源設備の損壊に伴う停電（電源供給断）が主要因であると考えている。

Q)（先の回答に対して）その意見については、疑問がある。今の設計はある程度の地震を想定したものとなっているとは考えるが、福島発電所はそれ相応の耐震設計が確実に実施されていたかは懐疑的であるとする。女川発電所は、バックフィットを実施したことは聞いてはいるが、福島発電所では実施していたとは聞いたことがない。

A)バックフィット自体は、実施しているはずである。詳しい内容までは把握していないが、今までの指針に対してバックフィットは実施している。ただし、何が東北太平洋沖地震で問題になったかについては、M9という地震があつた時点で想定できたであろうかということはある。マグニチュードは、変位と面積の物理量で決まっている。岩盤のレ（変位）が大きいと大きな津波も発生する。M9の地震を想定していなければ、大津波も想定していないことになる。よって、津波による停電であるような事故につながることも想定していなかったと考えている。

Q)耐震設計は、加速度から力を求めて許容荷重の中に入っているかという評価により実施しているとのことであるが、東北太平洋沖地震は地震の時間的長さが長かったということ、また熊本地震は大きな地震が2回立て続けに起こっているというのも大規模損壊の要因と考えられるので、このような観点での評価（耐震設計上の考慮）も必要と考える。この点に関するご意見が聞きたい。

また、加振試験も実施しているとのことであるが、ある一定の加振時間で評価するのではなく、加振時間を長くするとか、熊本地震のように1回の振動だけでなく、続けて2回加振するとか、繰り返しに対する応力についても試験条件や評価に対して考慮すべきと考える。この点についてもご意見が聞きたい。

A)（立場上回答がしづらいが）余震が起きることは事実であり、自然現象は読み切れないのが実態である。よって、先のまとめでも述べたが、起こり得る可能性のある全てのことに対してハードで対応することは、やりすぎでないかとは考える。どのように対応していくか（考えていくべきか）は、今後の課題であると考えている。

他出席者からのコメント) 加振確認試験については、最終加振まで相当回数、繰り返して試験を実施している。これら（連続加振、長期加振）については、ある程度のデータが得られ、データベース化されているが、活用されていないのが実状である。是非とも活用して欲しいものである。

- Q)不確実性の大きい自然現象に対する安全性確保に対して何かコメントがあればご教示願いたい。ハードだけでなく、ソフトで対応することは重要と考える。シミュレーションも経験に頼っているところもあるので、数多くのデータを蓄積しビッグデータを活用してそこから予測していくようになるのではないかと考える。アメリカでは既にやってそうであるが、日本でそのような動きがあるようであれば、ご教示願いたい。
- A)原子力施設ではないが、津波に関しては数多くのシミュレーションを行い、あらゆる断層を破壊し、そこから発生する津波を予測し、起きた場所や規模を予測することにより発生時の対策の検討を実施している。まだ失敗例の方が多いと聞いてはいるが、これらの実績を原子力施設の方にも取り入れ、研究開発を活性化していくことが重要と考える。
- Q)国全体としての動きはあるのか。
- A)未だ無いようである。

以 上