

原子力土木構造物の耐震裕度評価

背景・目的

2006年の発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針改訂以降、「耐震安全性の再評価（バックチェック）」、「耐震裕度評価」、「残余のリスク評価」等の実施が事業者に要請されている。耐震裕度評価は、地震入力に対して構造物がどの程度の余裕を有するかを定量的に示すことにより、原子力発電所の耐震安全性に対する説明性の向上を目指している。

本課題では、原子力土木構造物の耐震裕度の評価法を確立するために、「どこまで大きな地震が生じるのか」、「どこまで構造物や斜面は地震に耐えられるのか」、「どのように得られた結果を説明していくのか」について明らかにする。

主な成果

1. 基準地震動策定精度を高める地盤の減衰設定手法の確立

硬質地盤の地震記録から下限値を有するバイリニア型周波数依存モデルにより減衰定数を同定し、約3%という下限値を得た。この結果はボーリング弾性波探査(PS検層)および地震波の上昇波成分を用いて独立に求められた減衰定数と整合し、下限値の妥当性が示された(図1左)。また、PS検層結果に見られる岩盤の不均質性によると考えられる弾性波(S波)速度の揺らぎの大きさと減衰定数の下限値との間の関係を示した(図1右)[N10004]。これらの結果は、原子力安全・保安院における硬質地盤サイトの基準地震動策定に係る地盤モデルの妥当性評価審議で活用された。

2. 活断層の連動性評価手法の確立

1891年濃尾地震の震源域北部での地震波トモグラフィ解析より、1948年福井地震との震源域境界部では、地震発生深度(6~9km)に境界を横断する地質構造の存在が推定された(図2)。一方、濃尾地震時に連動した温見断層と根尾谷断層の間では、より浅部の地表付近で断層に平行な低速度領域が推定された。後者には、地形・地質調査で確認された小規模な活断層が断続的に存在し、これらは過去の両断層の連動性を示す指標になるものと考えられる。

3. 岩盤の引張および動的物性評価法の確立

大きな地震動を受けると原子炉建屋の基礎地盤や周辺斜面では引張応力が発生する。従来は、信頼性の高い岩盤の引張強度を現地で測定できない等の理由により、引張強度がないと仮定して評価が行われてきた。そこで、より合理的な岩盤強度の評価を行うため、引張強度を求めるいくつかの室内試験方法を比較した(図3)。今後実施する大型原位置試験結果と比較することにより、最適な引張強度の評価方法を選定する。

4. 岩盤斜面の地震時崩壊挙動の再現

基準地震動強さを超える地震動に対する周辺斜面の挙動を評価する解析手法の高度化・検証を図ることを目的として、現実に近い破壊状態を再現できる遠心力模型実験を実施した。その結果、岩盤内に不連続面をもつ斜面の特徴的な地震時崩壊挙動を再現することに成功し、解析手法の検証に有用なデータを取得できた(図4)。

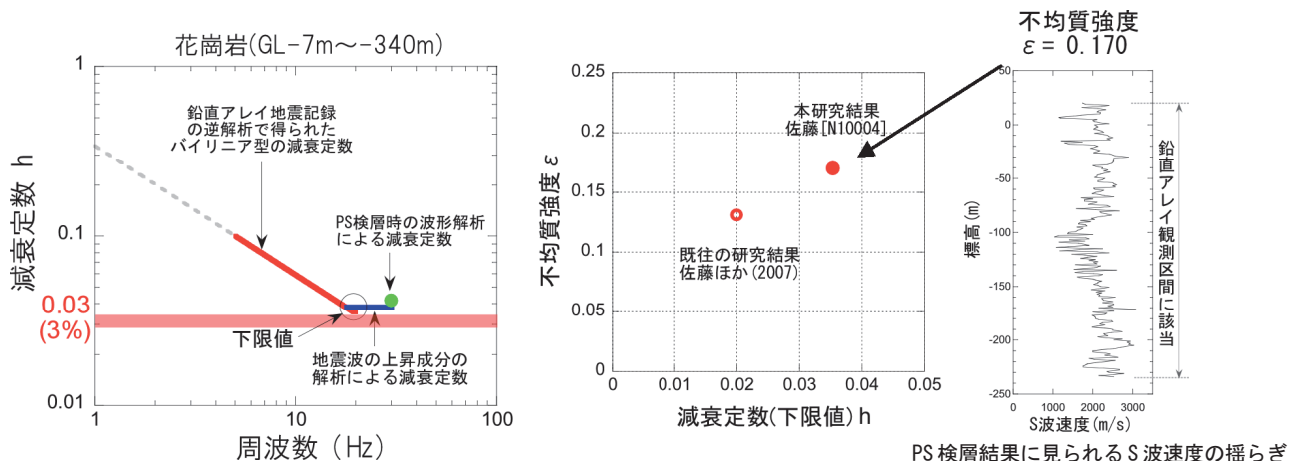


図1 岩盤における減衰定数の評価結果

鉛直アレイ地震記録の逆解析による地盤の減衰定数の下限値はPS検層や地震波の上昇成分を用いた解析による減衰定数と整合し、下限値の妥当性が示された(左)。減衰定数の下限値と岩盤の弾性波(S波)速度の揺らぎの大きさ(不均質強度)との関係を示した(右)。

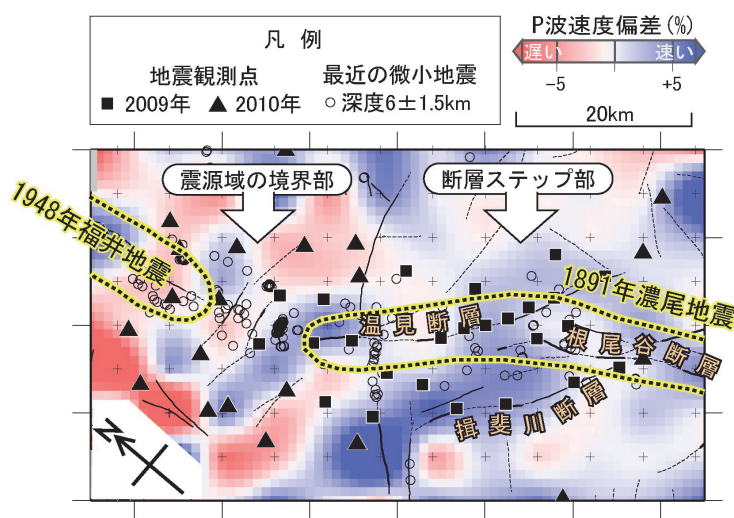


図2 濃尾地震断層系北部の弾性波(P波)速度分布(深度6km) 震源域の境界部では弾性波(P波)速度が急変しており、両断層を横切る地質構造が存在する。地下構造の変化は断層の連動性指標の一つになると考えられる。

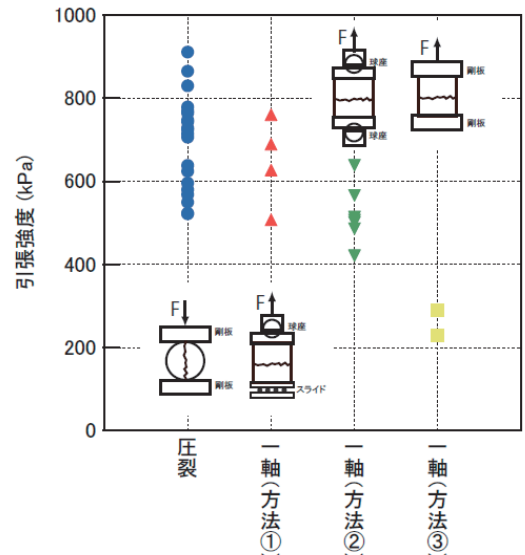


図3 圧裂試験と各種一軸引張試験の比較 球座とスライドを有する一軸引張試験(方法①)では、汎用的に用いられている圧裂試験と同等の引張強度が得られることがわかった。

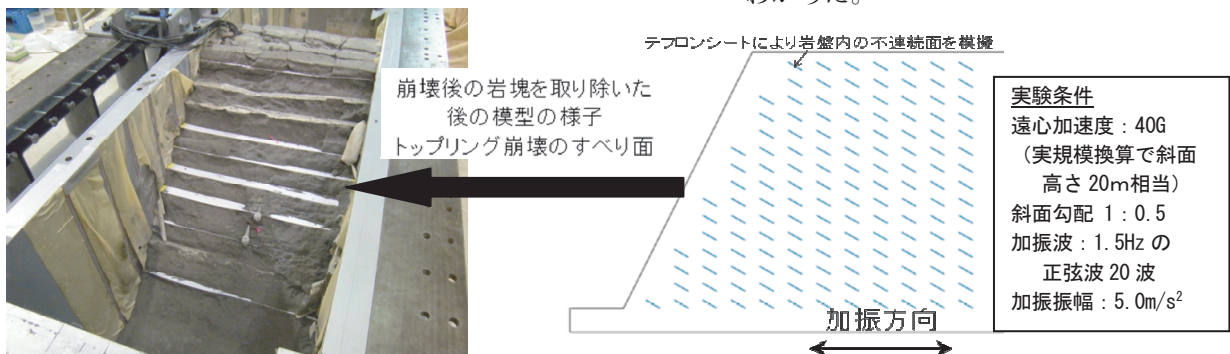


図4 遠心力模型実験による岩盤斜面の地震時崩壊挙動

テフロンシートにより岩盤内の不連続面を模擬した斜面模型(右)の実験で、トップリング崩壊(斜面岩塊の転倒崩壊;左の写真)や平面すべり崩壊といった特徴的な崩壊挙動が得られた。