

重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

自然外部事象に対する原子力施設のフラジリティ評価

背景・目的

東日本大震災以来、原子力発電所の稼働率は著しく低下し、電力の安定供給への支障が指摘されている。安定電源の確保に向け、地震・津波等の巨大な自然外部事象に対する原子力施設の健全性を評価し、安全性を確保す

ることが喫緊の課題となっている。

本課題では、地震・津波等の自然外部事象に対する原子力発電施設のリスク評価手法を確立することにより、原子力発電所の安全性向上と信頼回復に貢献する。

主な成果

1 地盤の地震時安定性評価のための時刻歴非線形解析手法の開発

原子力発電所の基礎地盤および周辺斜面における地震時安定性評価の高度化を目的に、2次元時刻歴非線形解析手法で用いる有限要素モデルを開発した。本モデルは、ひずみ状態においてマルチスプリングモデル*に基づき導出された応力-ひずみ関係にせん断

破壊・引張り破壊の影響を考慮したものである。斜面の動的遠心力模型実験を対象に再現解析を実施した。その結果、破壊が発生するタイミングや地盤内の残留変位量が実験結果とほぼ一致した(図1)。

2 津波作用時の傾斜堤(防波堤)の健全性評価

原子力発電所の防波堤の健全性の評価にあたり、防波堤を形成する消波ブロックの津波に対する安定性評価手法の開発を進めている。水理模型実験により、消波ブロックの質量と防波堤を越流する津波の流速を変えながら、消波ブロックのダメージの様相変化を観察した。その結果、越流する津波の流速と消波

ブロックの質量との関係式から、消波ブロックの安定限界を明らかにした(図2(a))^[1]。また、防波堤を越流する津波の流速を評価する数値モデルを開発し、室内実験により得られた水位と流速データからモデルの適用性を検証した(図2(b))。

3 津波波力および漂流物の衝突力の評価

原子力発電所における津波に対する構造物・機器の頑強性評価手法の精度向上に向け、津波・氾濫流水路を用いて津波による外力を把握する大規模な水理実験を実施した。防潮堤や角柱構造物に作用する津波波力の計測実験から^[2]、陸上遡上した津波の先端が構造物に衝突した際に発生する衝撃波圧の推

定手法を提案した(図3)^[3]。また、漂流物衝突力評価手法の検証に向け、津波によって漂流する丸太や自動車の津波衝突実験を実施した(図4)。その結果、津波による流れの速度域では、衝突力は衝突速度に比例することが明らかとなった。

* 多方向のせん断挙動を表すために剛壁で作られた円の中に多数のばねを配置したモデル

[1] 神山、土木学会論文集B2(海岸工学)、67、1_791-1_795(2011)。

[2] 高島 他、土木学会論文集B2(海岸工学)70、1_1491-1_1495(2014)。

[3] Kihara, N., et al., Coastal Engineering, 99, 46-63(2015)。

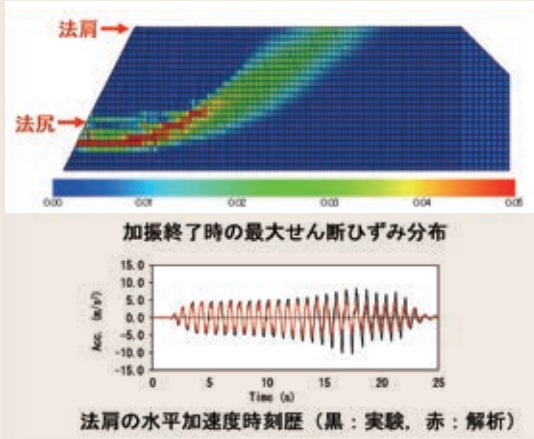


図1 斜面の遠心力模型実験のシミュレーション(上段:数値解析によるひずみ分布、下段:応答加速度の実験との比較)

地盤の時刻歴非線形解析手法の適用性を検証するため、斜面の動的遠心力模型実験の再現解析を実施した。その結果、実験結果と比較的良く一致することを確認した。

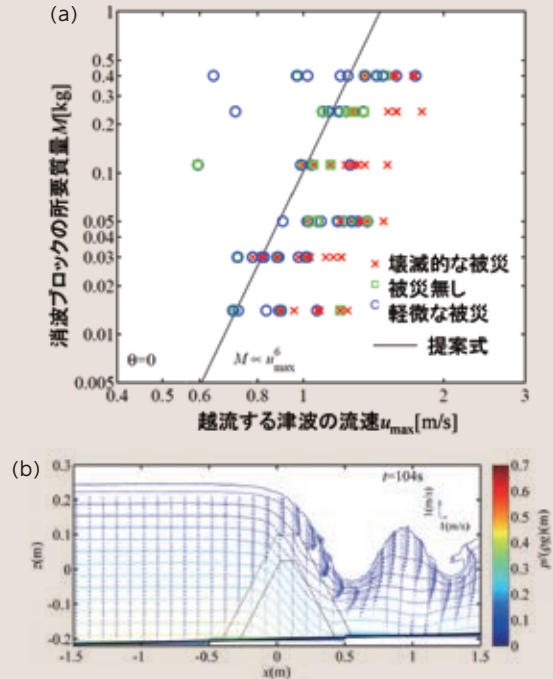


図2 津波による傾斜堤の健全性評価

津波が防波堤を越流した際に、流体力が消波ブロックの抵抗力よりも大きい場合に消波ブロックは津波によって流される。流体力は流速に依存し、消波ブロックの抵抗力は質量に依存する。消波ブロックの安定限界を見極めるために水理模型実験を実施し、流速と質量との関係を明らかにした(a)。また、防波堤を越流する津波の挙動を数値計算により高精度に再現した(b)。

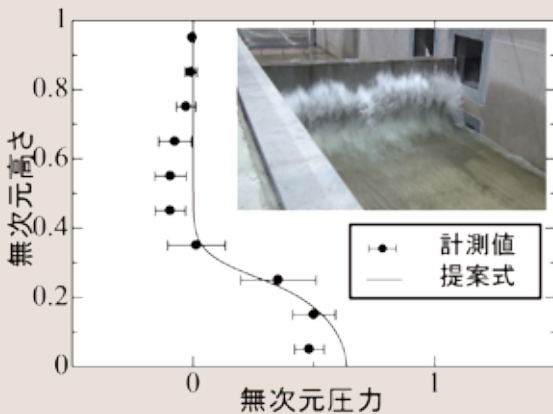


図3 衝撃的な津波波力の評価

陸上遡上した津波の先端部が構造物に衝突した時に発生する衝撃的な波圧の鉛直分布を推定する手法を提案した。

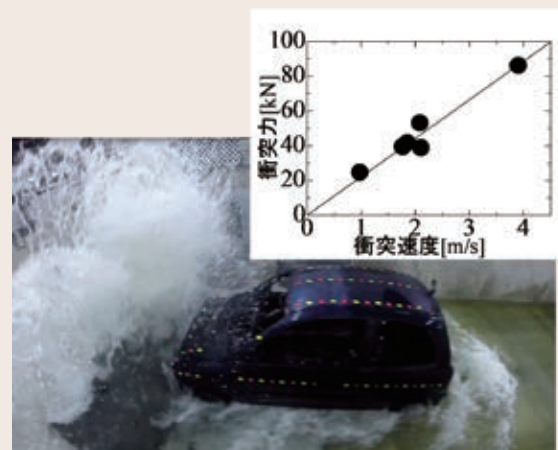


図4 津波に伴う漂流物の衝突力評価

図は、自動車の衝突速度と衝突力との関係を示している。自動車は段波状の流れに伴って漂流する。津波による流れの速度域では、衝突力は衝突速度に比例することが明らかとなった。