本資料に掲載している図(図番号付き)は東日本大震災合同調査報告土木編5「原子力施設の被害とその影響」より引用しており，土木学会より**転載許諾**(2016/7/19付)を得ています．

「地中構造物の耐震性能照査高度化」に関する公開講演会
日時：2016年7月27日（水）10:00～15:40
場所：土木学会講堂

東日本大震災合同調査報告「原子力施設の被害とその影響」

電力中央研究所
大友敬三※

※ 土木学会 東日本大震災報告書編纂委員会 委員兼幹事
＜土木編5「原子力施設の被害とその影響」 編集主査＞
※ 地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会 委員

東日本大震災合同調査報告書（八学会合同）

■共通編（3編）
共通編1 地震・地震動 （幹事学会：日本地震工学会）
共通編2 津波の特性と被害 （幹事学会：土木学会）
共通編3 地盤災害 （幹事学会：地盤工学会）
■土木学会（8編）2014年～2016年刊行予定
土木編1 土木構造物の地震被害と復旧
土木編2 土木構造物の津波被害と復旧
土木編3 ライフライン施設の被害と復旧
土木編4 交通施設の被害と復旧
土木編5 原子力施設の被害とその影響
土木編6 緊急・応急期の対応
土木編7 社会経済的影響の分析
土木編8 復興
■日本建築学会（11編）
■地盤工学会（2編）
■日本機械学会（1編）
■日本都市計画学会（1編）
■日本地震工学会・日本原子力学会（1編）
■総集編（1編）（幹事学会：日本建築学会）

DVD＋概要冊子、八学会すべてに会員価格を適用

青字は既刊（2016年7月現在）

土木編5「原子力施設の被害とその影響」構成と執筆者（各章五十音順）

第1章 震災前の耐震設計，耐津波設計のレビュー（土木関連）
- 青柳恭平（電力中央研究所） (1.1,1.2)
- 岡田哲実（電力中央研究所） (1.4)
- 木原直人（電力中央研究所） (1.3)
- 松尾豊史（電力中央研究所） (1.1)
- 宮川義範（電力中央研究所） (1.5)

第2章 震災の事例と教訓
- 浅井聡史（東京電力） (2.2、2.3)
- 伊藤悟郎（東北電力） (2.1)
- 内海 博（東北電力） (2.1)
- 窪 泰浩（東京電力） (2.2、2.3)
- 坂上武晴（日本原子力発電） (2.4)
- 松尾豊史（電力中央研究所） (2.4)

第3章 放射性汚染廃棄物
- 河西 基（電力中央研究所） (3.1,3.2, 3.3)
- 新 孝一（電力中央研究所） (3.1,3.2, 3.3)

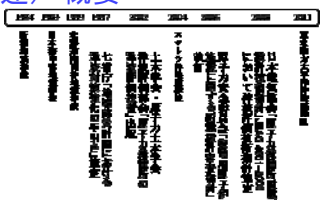
土木編5「原子力施設の被害とその影響」位置づけ・特徴

- 第1章 震災前の耐震設計，耐津波設計のレビュー（土木関連）
  - 原子力土木施設の耐震設計や津波影響評価の技術変遷史としての利用価値
- 第2章 震災の事例と教訓
  - 設計用基準地震動超過もしくは相当レベル，敷地内津波遡上などの条件下における敷地内地盤，土木構造物ならびに関連設備の被災事例と復旧事例として貴重
- 第3章 放射性汚染廃棄物（本日の説明では割愛）
  - 現在でも進捗中である，放射性汚染廃棄物を対象とする環境修復・中間貯蔵施設の設置に係わる土木技術の貢献を理解する上で重要

第1章 震災前の耐震設計，耐津波設計のレビュー（土木関連） 概要

第1章の構成

1 耐震設計審査指針の概要
2 断層活動性評価技術
3 津波評価技術
4 基礎地盤および周辺斜面の地盤安定性評価技術
5 屋外重要土木構造物の耐震性能評価技術



※ 図番号とキャプションは原則，報告書と対応させた．以下，同様．

図-1.3.1※ 原子力発電所設計における津波評価の歴史

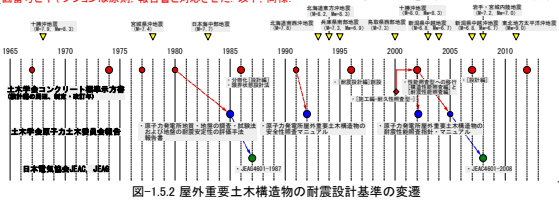


図-1.5.2 屋外重要土木構造物の耐震設計基準の変遷

第2章 震災の事例と教訓 構成

1 女川原子力発電所
- 1.1 発電所概要
- 1.2 地震の記録
- 1.3 津波の記録
- 1.4 主要な設備被害
- 1.5 土木構造物の地震・津波の影響
- 1.6 地震による影響
- 1.7 津波による影響
- 1.8 国際原子力機関（IAEA）による現地踏査
- 1.9 まとめ

2 福島第一原子力発電所
- 2.1 はじめに
- 2.2 地震観測記録の概要
- 2.3 津波の概要
- 2.4 土木構造物の被害の概要
- 2.5 地震・津波被害の教訓

3 福島第二原子力発電所
- 3.1 はじめに
- 3.2 地震観測記録の概要
- 3.3 津波の概要
- 3.4 土木構造物の被害の概要
- 3.5 地震・津波被害の教訓

4 東海第二発電所
- 4.1 発電所概要
- 4.2 地震の概要
- 4.3 地震による影響
- 4.4 津波による影響
- 4.5 おわりに

地震による影響

既往震害事例に見られる被害形態	・既往の国内被害地震において見られた公共土木構造物，産業施設，港湾施設，ライフライン施設，人工地盤，自然地盤，などの被害事例・被害モードと類似している事例 ・2007年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所における屋外施設と同様な被害事例
原子力発電所として初経験の被害形態	・耐震設計では考慮されていない被害モード ・構造的被害は軽微または中程度であるものの，事故対応・復旧にあたっての弱点となった事例
耐震裕度・対策等が発揮された事例	・設計用基準地震動に対して耐震設計されていた安全上重要な木構造物の挙動 ・2006年耐震設計審査指針改訂に伴う耐震安全性評価結果を踏まえた耐震裕度向上対策 ・2007年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所における被害を教訓とした対策

津波による影響

津波の水理（外力作用）	・津波の浸水（高さ・深さ，時間，速度，圧力など）に伴う外力であり，波圧（静水圧，動水圧），浮力などの影響
津波の二次的影響	・（土砂移動・堆積，漂流物）津波に伴う諸現象
建屋等開口部からの海水侵入	・津波の水理現象による構造的被害は伴わないものの流体挙動の結果，原子力発電所機器の機能に影響を与えた事例
耐津波裕度・対策が発揮された事例	・サイトの津波評価等に基づいて実施されていた対応策事例

女川原子力発電所の被災概況

地震動		津波		外部電源	原子炉炉心
Ssによる最大応答値	Ssによる応答スペクトル	評価（m）	高さ（m）		
・超過	・超過 EW：周期0.1s以下 NS：周期0.5s付近	+13.6※	+13.0	地震により4/5回線喪失（復旧なし）	冷温停止（1～3号機）

※　土木学会手法(2002)に準じた評価

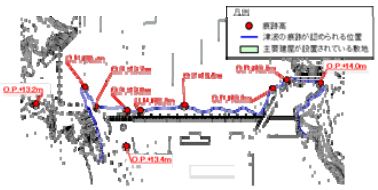


図-2.1.6　痕跡高および浸水域

原子力発電所として初経験の被害形態

図-2.1.18　工業用水取水ルート

図-2.1.19　工業用水設備の被害状況

耐震裕度・対策等が発揮された事例

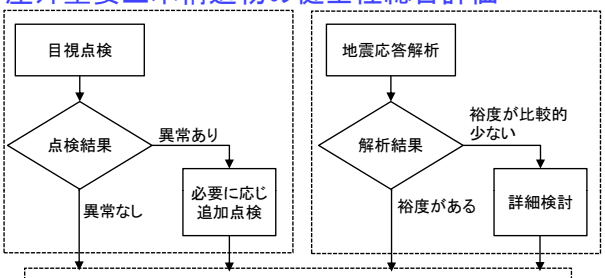
図-2.1.12　3号機取水路

図-2.1.13　2号機海水ポンプ室（除塵機エリア）

女川原子力発電所

「東北地方太平洋沖地震による女川原子力発電所土木構造物への影響」（電力土木，No.364）に基づき作図

屋外重要土木構造物の健全性総合評価



		点検結果	
		異常なし	異常あり
地震応答解析結果	裕度がある	評価終了（健全）	・原因究明 ・健全性への影響評価
	裕度が比較的小さい	・詳細追加解析 ・モックアップ試験等	

建屋等開口部からの海水侵入

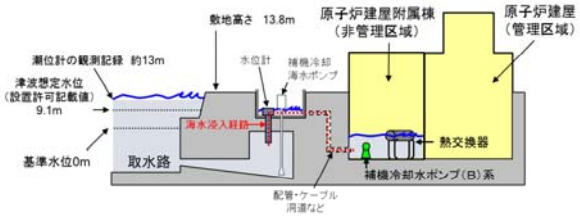


図-2.1.9　2号機原子炉建屋付属棟への海水流入経路

図-2.1.10　海水ポンプ室水位計
跡の止水処理

耐津波裕度・対策が発揮された事例

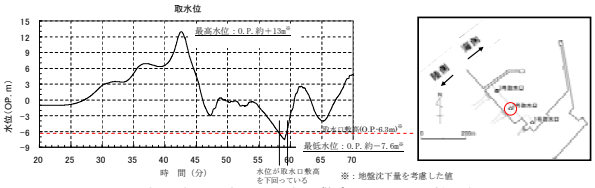


図-2.1.20　取水口前面の水位と取水口敷高の関係(2号機の例)

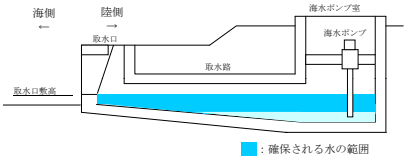


図-2.1.21　取水口敷高と海水確保の仕組み

福島第一原子力発電所の被災概況

地震動		津波		外部電源	原子炉炉心
Ssによる最大応答値	Ssによる応答スペクトル	評価（m）	高さ（m）		
・一部の号機で超過	・一部の周期帯で超過	+5.4～+6.1※	+13.1（推定値）	地震により5/5回線喪失（復旧なし）別途1回線は工事中	炉心損傷（1～3号機）冷温停止（5，6号機）

※　土木学会手法(2002)に準じた評価

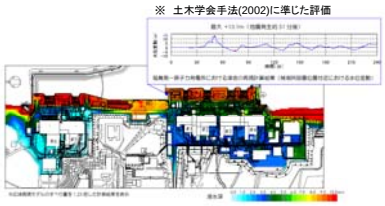


図-2.3.1　福島第一原子力発電所における津波の再現計算結果（浸水深及び浸水域）

原子力発電所として初経験の被害形態

図-2.4.7　盛土の崩壊により倒壊した夜ノ森線No.27鉄塔の状況

図-2.4.9　5号機碍子洗浄水タンク基礎の不等沈下の状況

津波の水理（外力作用）

図-2.4.19　取水路角落し口の蓋流出箇所の状況（被災時）

図-2.4.23　No.1重油タンクの漂流の状況

津波の二次的影響

図-2.4.20　ブロック積の法面背面で発生した吸い出しの状況（6号機海側）

図-2.4.22　5号機屋外トレンチ内へ土砂が流入・堆積した状況

応急復旧

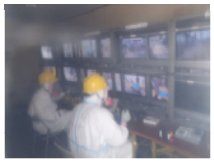


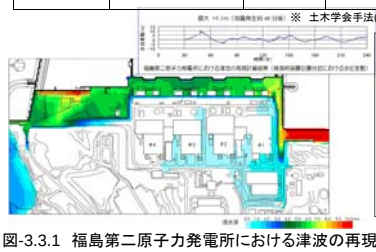
図-2.5.1　遠隔操作重機による瓦礫撤去の状況（上段：道路脇へ移動された瓦礫を撤去しコンテナへ積み込んでいる状況，下段：遠隔操作状況）

図-2.5.3　飛散防止剤散布の状況

図-2.5.4　集塵機による集塵作業の状況

福島第二原子力発電所の被災概況

地震動		津波		外部電源	原子炉炉心
Ssによる最大応答値	Ssによる応答スペクトル	評価（m）	高さ（m）		
・非超過	・一部の周期帯で超過	+5.1～+5.2※	+9.1（推定値）	地震により1/3回線喪失（復旧なし）別途1回線は点検中	冷温停止（1～4号機）



＜地震，津波影響と復旧概要＞
・土木施設への地震の影響，津波の影響などについては，福島第一原子力発電所とほぼ同様．
・過酷事故の回避に土木技術による復旧が貢献．
・福島第二原子力発電所港湾を福島第一原子力発電所荷役等のための中継港として利活用．

図-3.3.1　福島第二原子力発電所における津波の再現計算結果（浸水深及び浸水域）

東海第二発電所の被災概況

地震動		津波		外部電源	原子炉炉心
Ssによる最大応答値	Ssによる応答スペクトル	評価（m）	高さ（m）		
・非超過	・超過（一部の周期帯；工認設計波による床応答スペクトル）	+5.8※ +6.61※※	+6.24（推定値）	地震により3/3回線喪失（2日後に1回線復旧）	冷温停止（1号機）

※　土木学会手法(2002)に準じた評価
※※　茨城県津波浸水想定

図-4.3.1　津波の浸水状況

建屋等開口部からの海水侵入　ならびに耐津波裕度・対策が発揮された事例

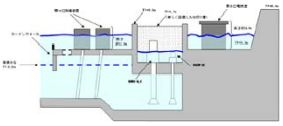


図-4.5.1　取水口周辺の浸水状況

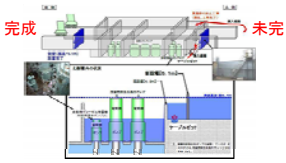
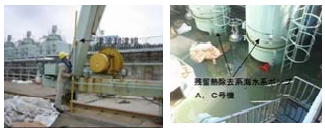


図-4.5.3　海水ポンプ室の浸水状況



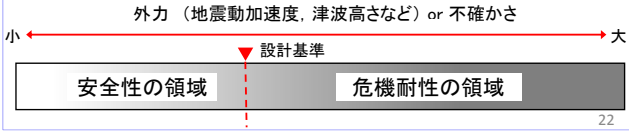
(a)取水口クレーン部　(b)取水口北側ポンプ槽

図-4.5.2　取水口における浸水状況

図-4.5.4　取水口電気室の津波被害例

土木編5　原子力施設の被害とその影響
＜今後の課題※＞

- 地震，津波に対する設計およびリスク管理の枠組みを見直し，従来の「安全性」に加えて，「危機耐性」の概念を導入すべき
- 危機耐性の概念を原子力発電所敷地外に拡張して，総合的に安全性を確保すべき
- 東日本大震災で被害の拡大防止や影響緩和に成功した例や，その後の緊急安全対策で土木工学が果たしている役割を踏まえて，これらの継続的な改善のためには，分野の垣根を越えたコミュニケーションが必要

※原子力安全土木技術特定テーマ委員会報告「原子力発電所の耐震・耐津波性能のあるべき姿に関する提言（土木工学からの視点）」（2013年7月）より

設計およびリスク管理の枠組みの新たな概念