

提言 3

原子力安全を支える土木技術について — 東北電力女川原子力発電所現地調査を踏まえて —

現地調査の実施

東日本大震災特別委員会・原子力安全土木技術特定テーマ委員会

（委員長…（財）電力中央研究所 当麻純一）では、東日本大震災を踏まえた原子力発電所の地震・津波安全にかかわる土木工学的課題について検

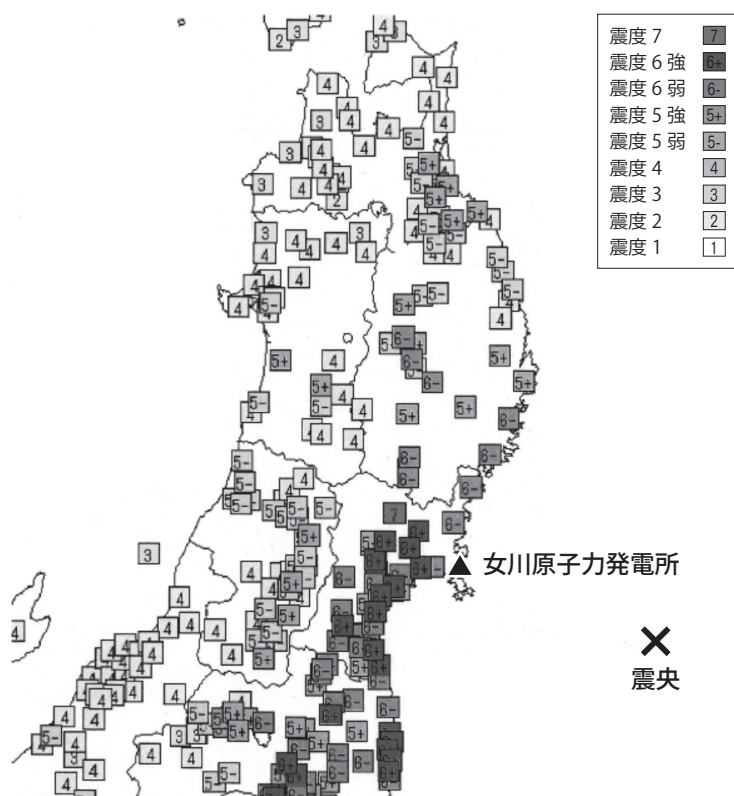


図1 女川原子力発電所位置図（気象庁震度分布図に一部加筆）

地震・津波の概要

東北地方太平洋沖地震は、わが国がこれまで経験したことのない最大規模（ $M_w 9.0$ ）の地震であった。女川原子力発電所は震源から西方120 kmに位置（図1）しており、1号機原子炉建屋の地震計において最大

について得た知見を報告する。原子力発電所の安全を支える土木技術について得た知見を報告する。

表1 女川原子力発電所土木設備の被害状況

設備名称	主な被災状況
1. 耐震安全上重要な設備	
①取水口・取水路 ^{※1} (図2b)	耐震性に影響を及ぼすような変状は確認されていない。 (主な変状事例) ・コンクリート躯体の最大ひび割れ幅0.8mm (乾燥収縮等により発生した既存のひび割れが、地震力により開いた) ・取水口の海側隅角部に側面護岸との接触による剥離 ・海水ポンプ室の埋金物部のコンクリート剥離 ・排気筒の航空障害灯落下
②海水ポンプ室 ^{※1} (図2c)	
③補機配管ダクト ^{※1}	
④排気ダクト ^{※2}	
⑤排気筒・排気筒基礎 ^{※2}	
2. 一般の土木設備	
①港湾設備	・地殻変動(約1m沈下)により防波堤・カーテンウォールからの越波
②地中構造物(ダクト)	・複合基礎部における不同沈下
③機械基礎	・埋戻し地盤の沈下により杭基礎スラブ下に空洞 ・埋戻し地盤の不同沈下に起因する基礎の傾斜
④構内道路(図2d)	・埋戻し地盤の不同沈下等に起因するアスファルトのひび割れや波打ち ・地中構造物近傍における道路の不同沈下
⑤所内用水設備	・取水地～発電所間における導水管の破断、漏水

※1：非常時に原子炉の崩壊熱を除去するための機能を有する設備

※2：非常時に原子炉建屋内に発生する気体放射性廃棄物を、原子炉建屋内の負圧を保ちながら安全に処理するための機能を有する設備

加速度567 Galを計測し、全3基とも自動停止した。原子炉建屋等の観測地震動によると、一部の周期帯で基準地震動 S_s を上回っているものの、おおむね基準地震動 S_s と同程度以下の地震動であった。

また、この地震に伴い発生した巨大津波は三陸沖ノ房総沖の広範囲にわたり大きな被害を及ぼしたが、女川原子力発電所における最高水位は女川原子力発電所工事用基準面

(O・P) 約+13mであり、主要な建屋を設置している敷地へは到達しなかった。

設備の被害状況について

今回の地震・津波により1号機高圧電源盤の火災、1号機重油タンクの倒壊(図2a)、2号機原子炉建屋付属棟への海水流入といった被害が発生したものの、「止める、冷やす、閉じ込める」機能は正常に働き、女川原子力発電所は無事、冷温停止に至った⁽¹⁾。

現地での聞き取りで得た女川原子力発電所における土木設備の被害状況を表1に示す。原子力発電所の設備は重要度に応じて耐震重要度分類されており、これまでの点検の結果、基準地震動Ssに対して機能維持が求められる取水路(図2b)や海水ポンプ室(図2c)といった耐震安全上重要な設備においては、耐震性に影響を及ぼすような変状は確認されていない。一方、敷地地盤においては、層厚30m程度の埋戻土において最大60cm程度の沈下が発生しており、これに伴い構内道路の波打ち(図2d)や、諸機械基礎の傾斜等が発生した。また、港湾設備では、地殻変動により約1m沈下した結

果、満潮時等に防波堤・カーテンウォールからの越波が生じるようになった。

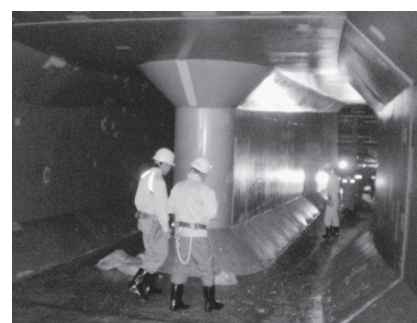
女川原子力発電所の事例から得られる知見

まず、地震動による被害については、一般土木設備では、埋戻し地盤の不同沈下起因する機械基礎の傾斜や構内道路の不陸などが見られたものの、耐震安全上重要な土木構造物には、コンクリートの圧縮破壊やせん断破壊などの顕著な損傷はまったくみられず、明らかに今回の地震によって生じたひび割れもほとんど観察されなかった。これらの被害状況は、平成19年新潟県中越沖地震における東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所の状況と比べても全般的に小さかったと言える。基礎地盤や周辺斜面に関しても同様な状況である。こうしたことから、女川原子力発電所の重要土木構造物に関しては、基準地震動Ssと同程度の地震動に対しても、安全性を確保し、これまでの耐震検討の知見が活かされた事例であると考えられる。

一方で、現時点において、今回の地震の発生要因は研究途上であり、十分に解明されていない状況にあり、東北



(a) 1号機重油タンク
暖房等の燃料となる重油を貯蔵している1号機重油タンクは、O.P.+3.5m盤に設置されていたため、津波により浮き上がり転倒した



(b) 3号機取水路
非常時に原子炉を冷却する熱源となる海水を取水する取水路には、軽微なひび割れが発生した程度だった



(c) 2号機海水ポンプ室(除塵機エリア)
地中ピット構造の海水ポンプ室には、軽微なひび割れが発生した程度だった



(d) 埋戻土の沈下により生じた不陸
杭支持された地中埋設ダクトの周囲の埋戻土が沈下し、ダクトの境界に不陸が発生

図2 土木設備の被害例

地方太平洋沖地震の特徴(断層すべり量が大いことや地震動継続時間が長かった等)を踏まえて、耐震性評価の見直しの議論が行われるであろう。設計時点における解析的評価は、安全側ではあるものの、実際の地震時挙動を再現しているとは言い難く、今

後は、設計地震動を超えた場合の安全性や対策も重要である。真の耐震裕度を評価していくうえでは、議論が

集中しがちな入力地震動の大きさのみでなく、それに見合った照査手法の高度化や土木構造物の極限状態の評価などが必要となる。また、深刻な事態を生じさせないために、復旧や補修の容易さを考慮した破壊モードも検討されるべきであろう。

次に、女川原子力発電所で観測された津波は、最高水位O・P・約+13mの巨大津波であったものの、発

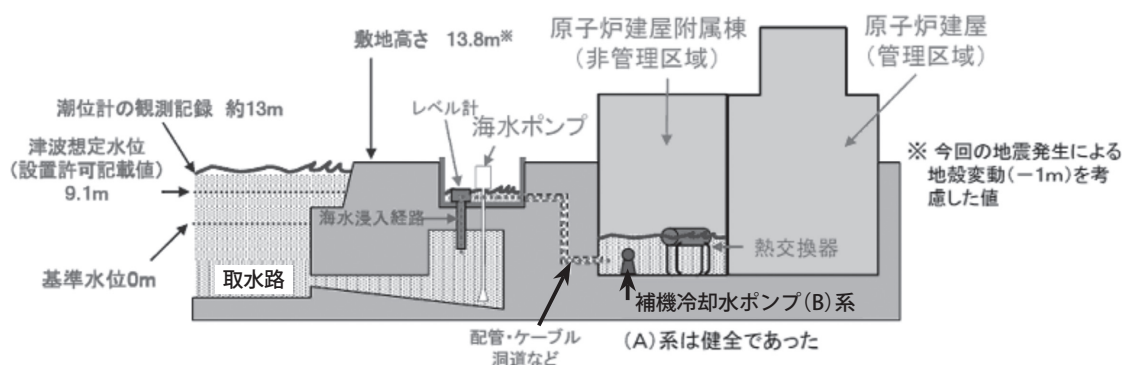


図3 女川2号機への海水流入メカニズム⁽¹⁾

電所施設への重大な被害を及ぼさなかった。東北電力(株)では、1号機建設時(1970年頃)の検討において、敷地高さにより津波対策を行うこと

とし、敷地高さをO・P・+14・8mと決定した経緯がある。これは、文献調査や聞き込み調査に基づき、既往の津波高はせいぜい3m程度であると評価したうえで、不確かさを考慮し、余裕を見込んだ高さとして決定されたものである。その後の2号機、3号機の増設時や新知見が確認されるたびに、当時の知見に基づき津波堆積物調査や数値シミュレーションによる津波評価が行われ、その都度、安全性が確認されてきた。また、津波に対する土木設備の構造的な特徴として、非常に原子炉を冷却するポンプを支持する海水ポンプ室(2号機)は、敷地高さのO・P・+14・8mから地盤を掘りこんだピット形式とすることにより、津波が敷地高さを超えない限りは浸水しない構造としている(3号機は熱交換器建屋にポンプを設置)。このため、地震に伴う地殻変動により敷地が約1m沈下したものの、主要設備を設置している敷地には津波は到達しなかった。

一方、2号機の海水ポンプ室(図3)では、海水が流入し、B系非常用ディーゼル発電機が起動不能となった(A系とB系の2系統があり、A系の機能に問題なし)。これは、運転開始後に設置されたポンプ制御用のレベル計(水

位計)のふたが今回の津波による圧力に耐えられずに開口したことが原因である。レベル計追設時に、津波の押し波による影響を考慮した設置場所の選定および止水対策を行わなければならない。今回の津波波源については、複数震源域の連動などの特徴が明らかになっており、こうした新たな知見を踏まえた津波評価と安全対策が望まれる。対策にあたっては、設計津波が敷地や防潮堤を超えることも想定したシステム全体の多重の安全性確保が重要であり、ここでも津波の遡上解析や波力の評価など土木技術の貢献はきわめて大きいものと考えられる。

女川原子力発電所の被災直後の対応として次のような事例も特筆できる。同発電所では、所員、構内従事者を含め1700名の生活用原水は約40km離れた北上川より水道管で導水していた。地震時にはこれが寸断された。このような事態に際して、北上川取水地までのアクセス道路の確保とタンクローリーによる約8000tに及ぶ原水運搬を計画し実施したのは同発電所土木技術者であった。また、津波により家を流された地域住民約400名が発電所に避難し、約3ヶ月間生活され、同発電所が地域の避

難所としての機能を果たした点も付言しておく。

以上のように、今回の巨大地震、津波において、女川原子力発電所が重大な被害に至らなかった背景の一つとして、過去から現在に至るまでの土木技術が有効に寄与してきたことが挙げられよう。一方で、現地調査を踏まえると、土木系設備が原子力安全に間接的に重要な役割を果たすとともに、安全性を多重で確保していくことや土木技術のさらなる高度化の必要性が認識された。土木技術者は、地震、津波をはじめとした自然現象への感覚とこれに対応する技術を有する者として、土木設備だけでなくプラント全体の安全性確保に対して、これまでに以上に積極的に関与していくことが必要である。

参考文献

(1) 東北電力「女川原子力発電所における平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による主な被害状況について」、原子力安全委員会、地震小委第5-1-1号、2011年10月(<http://www.nsc.go.jp/seimon/shidai/jishin.htm>)

「提言者」

松尾 豊史

正会員 (財)電力中央研究所
原子力安全土木技術特定テーマ委員会委員