

火力発電所取放水設備の耐震裕度評価について

東北電力(株) 土木建築部 正会員 ○齊藤 知秀

1. はじめに

大地震発生の際、火力発電所は電力の安定供給確保の観点から、早期の運転再開が求められる。運転再開には、地震後の設備健全性を迅速に判断する必要があり、設備の耐震裕度を事前に評価しておくこと、構造物の破壊モードや構造的弱点箇所を予め把握しておくことは、設備管理上の重要な要素となるとともに、対策等の事前予防の観点からも重要となる。しかし、通常の設計は、設計対象となる地震に対して応力的に裕度をもった設計を行うため、実際にどの程度の規模の地震まで構造的に耐えうるかは把握されておらず、耐震裕度・破壊モード等は推定することができない。

そこで、本研究では、宮城県による想定宮城県沖地震の地震動波形を基本とし、この加速度振幅を係数倍した入力地震動を用いた二次元時刻歴非線形解析を実施し、構造物が有する耐震裕度や破壊モードを推定した。さらに、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震後の設備健全性判断への活用を図った。

2. 検討対象構造物および解析モデルの概要

検討対象構造物を図-1に示す。検討対象構造物は発電所取水路であり、2連ボックスカルバートの鉄筋コンクリート(RC)造地中構造物である。解析のモデルについて、RC部材はファイバーモデルを用い、各ファイバーに当該材料の非線形性を考慮した。また、周辺地盤は、平面ひずみ要素でモデル化し、修正GHEモデルで非線形性を考慮した。

3. 地盤諸元の設定

当該地盤の土層区分図および地盤物性値を、図-2、

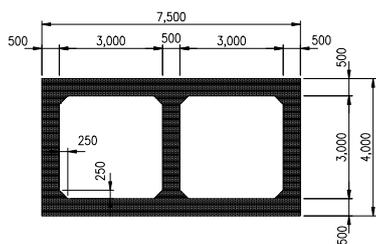


図-1 検討対象構造物

表-1 地盤物性値

層区分	層厚 (m)	N 値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断波速度 V_s (m/s)	動せん断弾性係数 G_d (kN/m ²)
Bs	3.8	10	19	190	69,990
As2	2.2	26	18	250	114,796
Ac	4.8	1	16	110	19,755
Asg	3.7	9	19	200	77,551
Ot-slt	13.0	80	19	540	565,347

表-1に示す。地質調査結果により、当該地盤は5層で構成され、N値が50以上を有する砂岩・シルト岩を基盤とし、その上位に礫質土層、粘性土層、砂質土層、盛土砂質土層が存在する。また、地盤の非線形特性は室内試験データに基づいて設定した。

4. 検討手法の概要

検討用地震動は、「想定宮城県沖地震(連動型)(宮城県防災会議対策等専門部会第三次地震被害想定調査報告書、平成16年3月)」の発電所位置における工学的基盤での地震動を用いた。加速度時刻歴波形を図-3に示す。

検討手法は、まず、上記地震動を用いて、二次元時刻歴非線形解析を実施した。次に構造物の損傷状態を確認後、弾性限界を超えて終局限界に至るまで加速度振幅を全時刻にわたり比例的に増加させ、加速度振幅を係数倍した地震波形を用いて、同様な解析を行い、構造物が破壊に至る限界の最大加速度を推定するとともに、破壊モードを推定した(図-4)。

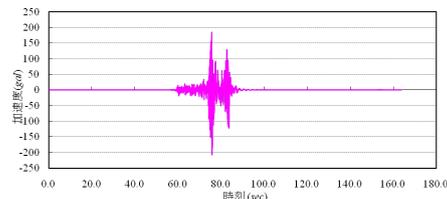
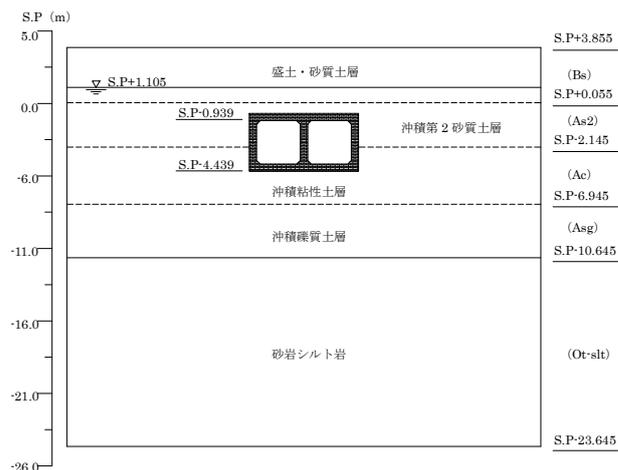


図-3 検討用地震動の加速度波形

キーワード 耐震裕度評価, 二次元時刻歴非線形解析, 設備健全性, 破壊モード

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町1-7-1 TEL 022-799-6103 FAX 022-262-5851

構造物の照査は、変形性能照査とし、曲げ系の破壊およびせん断破壊の対する照査を行った。限界値については、曲げ系破壊では圧縮縁コンクリートひずみ1.0%、せん断破壊ではせん断耐力評価式を用いた。

5. 健全性評価結果

地震波の加速度振幅を1.0倍としたCASE1においては、一部の部材にコンクリートひび割れが発生するものの、ほとんどの部材が無損傷である。次に、加速度振幅を1.5倍としたCASE2においては、大半の部材接合部に曲げひび割れが発生するものの断面降伏には至らず、またせん断力もせん断耐力を下回り耐震性能は確保されている。さらに、加速度振幅を2.0倍としたCASE3においては、すべての部材接合部に曲げひび割れが発生するものの、断面降伏までは至らず、曲げ系破壊に対しては耐震性を保つ。一方、左側底版の発生せん断力がせん断耐力を上回ることから、対象構造物の破壊モードはせん断破壊先行型となる。また、本構造物は想定地震規模の1.5~2.0程度の耐震裕度を有する(図-5~図-8)。

6. 地震発生後における健全性評価への活用

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震後の構造物健全性の推定に上記検討結果を活用した。発電所における地震規模の推定は、発電所近傍の国交省港湾局の港湾地域強震観測点の基盤データを用いた。地震規模は、上記検討の $\alpha=1.0\sim 1.5$ 程度であり、大きな被害には至らないことが推定できる(表-2)。ただし、詳細については、発生地震の特性に留意しながら判断していく必要がある。

7. まとめ

構造物の耐震裕度評価や破壊モード推定は、大地震発生後の設備健全性を迅速に判断できる情報となる。また、事前の補強対策立案にも有効に活用できるものと考えられる。

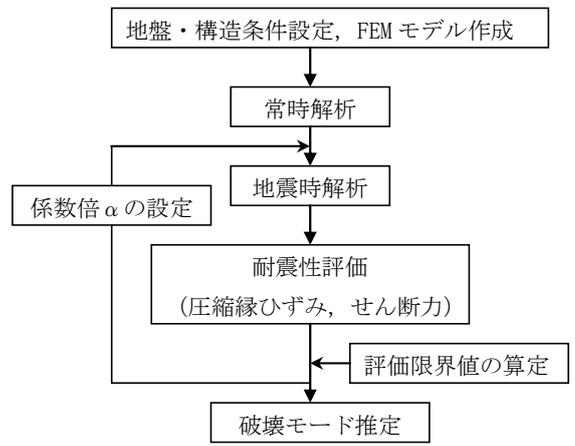


図-4 検討フロー

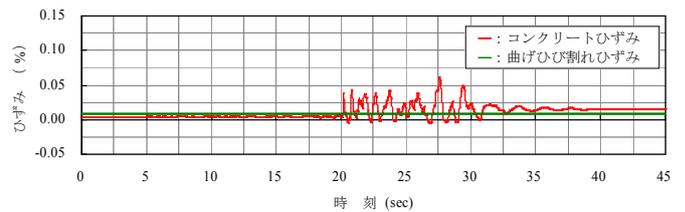


図-5 コンクリートひずみの時刻歴波形 (CASE3: 左側壁下端外側)

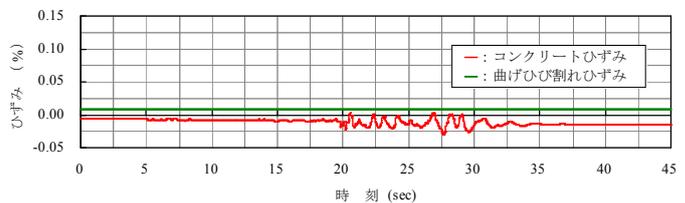


図-6 コンクリートひずみの時刻歴波形 (CASE3: 左側壁下端内側)

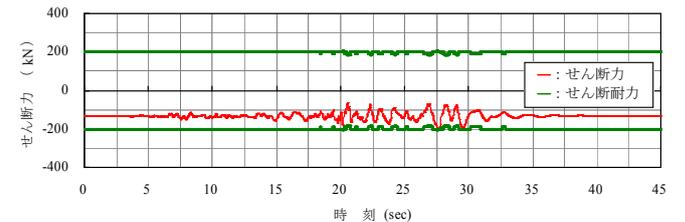
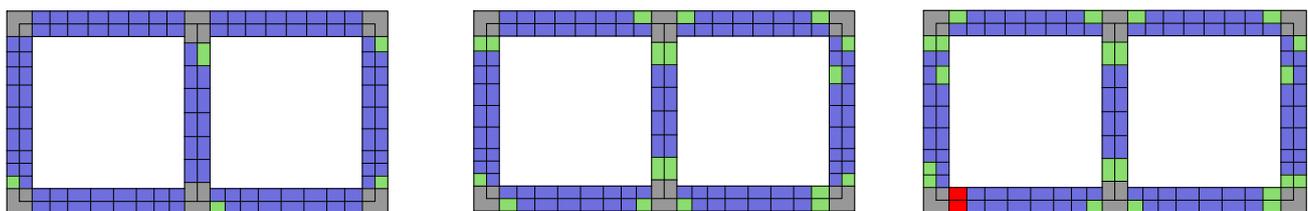


図-7 せん断力の時刻歴波形 (CASE3: 底版左側)

表-2 東北地方太平洋沖地震における基盤面最大加速度

係数倍 α	1.0	東北地方太平洋沖地震	1.5	2.0
最大加速度(gal) (基盤)	203	252	305	406



CASE1 ($\alpha=1.0$)

CASE2 ($\alpha=1.5$)

CASE3 ($\alpha=2.0$)

工学的基盤；最大加速度 203gal

工学的基盤；最大加速度 305gal

工学的基盤；最大加速度 406gal

凡例：■：剛域，■：損傷レベル1（無損傷），■：損傷レベル2（引張縁コンクリートにひび割れ発生）
 ■：損傷レベル3（引張鉄筋降伏），■：損傷レベル4（圧縮縁コンクリート圧壊），■：せん断破壊

図-8 入力加速度振幅の違いによる健全性評価結果