

箱型構造物への変位照査手法の有効性の検討

東北電力(株) 正会員 ○菊地 慶太 堀見 慎吾
(株)大林組 正会員 永井 秀樹 渡辺 伸和

1. はじめに

原子力発電所の屋外重要土木設備の中で、海水ポンプ室のような箱型構造物の耐震照査について、3次元地盤～構造物連成モデルによる解析および照査は、大変時間のかかる煩雑な作業になる。そのため地盤～構造物の連成解析を2次元等価剛性モデルで行い、その結果を3次元構造物モデルにプッシュオーバー(以下、PO)にて静的載荷する手法が適用されている場合が多い。本報告では、このPO手法による照査結果と昨年度まで筆者らが提案してきた変位照査手法(変位制御の交番載荷解析により構造物の限界変位を設定し、連成解析により応答変位を求めて照査する手法)^{1), 2)}による結果を比較することにより、本手法の有効性について検討した結果を報告する。

2. 解析モデル

対象構造物は、海水ポンプ室の一部分を切り出した簡易モデルで、2階建の箱型構造物とした。解析モデル(図-1)は、構造物および地盤を六面体(要素数：37060、節点数：59739)とし、解析ソフトは、大規模非線形有限要素法プログラム「FINAL-GEO」を用いた。

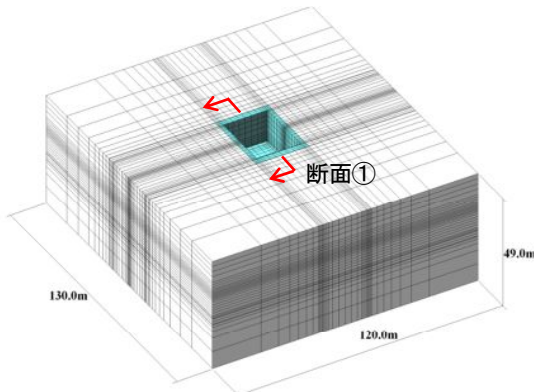


図-1 3次元連成解析モデル図

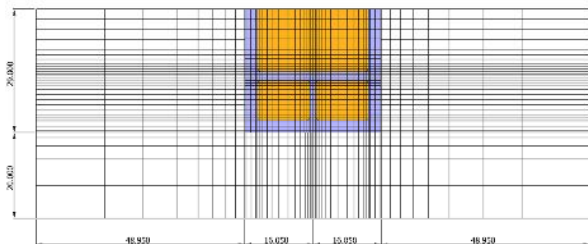


図-2 2次元等価剛性モデル図(断面①)

構造物のコンクリート強度 $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 、鉄筋 SD345 とした。構造物は、岩盤(CM級)上の直接設置される基礎構造とし、地盤は、カルバート直下の風化岩～硬岩層を弾性体とし、上層の埋戻土や表土に修正 GHEモデルを適用した。地盤境界は、周期境界条件(左右モデル端部の地盤節点の変位を同一)とし、構造物と地盤間には、ジョイント要素を設定した。

3. PO手法による照査

(1) 地震応答解析

地震波は、水平1方向/鉛直1方向の2方向同時加振とし、最大加速度464gal、継続時間約165秒のうち、図-3に示す30秒分を切りだし、モデル下面での入射波を算定して用いた。

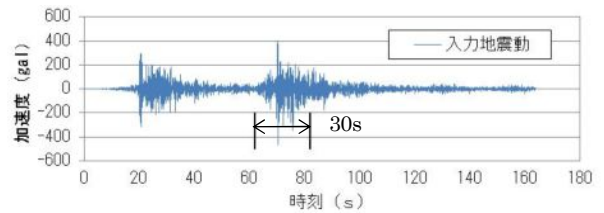


図-3 入力地震波

最大層間変形が発生する時刻($t=69.4\text{s}$)の応答加速度、作用土圧を算出した結果を、図-4に示す。作用土圧について3次元連成解析の壁中央部の土圧を比較した結果、2次元等価剛性モデルを用いた解析結果と概ね一致することを確認した。

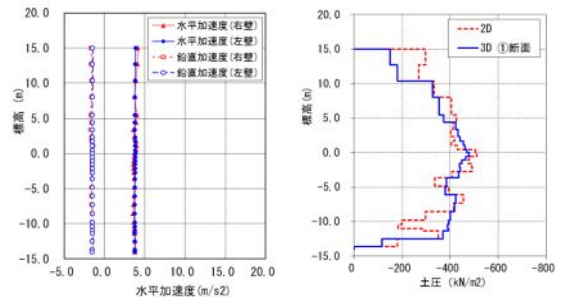


図-4 応答加速度と側壁作用土圧(加振方向)

(2) PO解析

構造物ソリッドモデルに対して、地震時荷重(応答加速度、作用土圧)を作用させたPO解析を行った。地震時荷重×1倍を100ステップに分割し、各ステップ

キーワード 電力施設, 地中構造物, 地震応答解析, 照査手法

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

で収束計算を最大 3 回行いながら地震時荷重を漸増させた。

P O解析において、せん断破壊の判断基準を、断面のせん断合力が低下する最初のステップとし、2 階壁下端の断面において各ステップのせん断合力を計算した。各ステップのせん断合力-荷重倍率について纏めた結果を、図-5 に示す。底版下面のせん断断面の合力も計算を行い、同じステップにせん断合力-荷重倍率図の曲線が乱れる傾向にあることが分かった。P O解析の照査値は、 $0.41(=3.80 \times 10^5 \text{kN} / (1.26 \times 10^6 \text{kN} / 1.35))$ 、部材係数=1.35)となった。

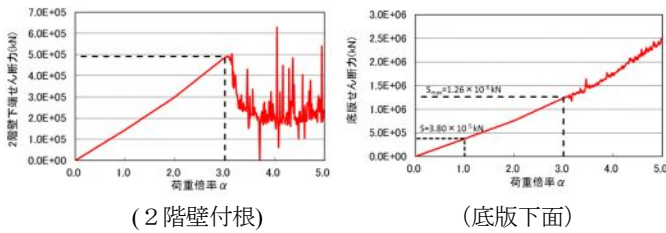


図-5 せん断力～荷重倍率関係

P O解析と3次元連成解析のひびわれ図の比較を、図-6に示す。妻壁部の面内せん断による損傷が、3次元連成解析で早期に発生していることが分かる。これは、構造物側方の地盤の周面せん断力などにより、より大きな荷重が妻壁に作用しているためと考えられる。地震波3倍の比較では、P O解析(地震波1倍の作用荷重を3倍した解析結果)において底版と妻壁の接続部で面内せん断破壊が卓越し、構造物が破壊した。なお、3次元連成解析(地震波を3倍した解析)では、構造物全体の破壊に達していないものの、一部コンクリートの軟化が起こる結果となった。

	プッシュオーバー解析	3次元連成解析
地震波1倍		
地震波3倍		

図-6 ひび割れ図の比較

4. 変位照査手法の有効性

箱型構造物の構造全体の破壊モードが、図-6 に示すように1 階妻壁の面内せん断破壊であることより、変位照査手法で適用する限界変位は、2 階床版に強制変位を与える変位制御交番載荷を行い、1 階妻壁の面内せん断破壊が壁全体に発生する変位とした。

変位照査手法による照査値は、 $0.34(=11.1\text{mm} / (38.9\text{mm} / 1.2))$ 、部材係数=1.2)となり、照査値は、P O解析より 18%程度小さくなった。

1 階層間変位と底版せん断力の関係を、図-7 に示す。ここでは、3 種類の解析(交番載荷解析、P O解析、連成解析)による変位～荷重曲線を示している。全ケースで1 階妻壁の限界変位の値がほぼ一致し、面内せん断破壊の指標である $0.4\% \times$ 層間変位の制限値(=37.8mm)に近い値を示した。連成解析とP O解析を比較すると、構造物の側方地盤の影響による荷重分布の違いにより、面内せん断破壊時の底版せん断力に約 50%の相異が生じている。これらから、変位を指標とした照査手法の方が、構造物に対する荷重の掛かり方に関係なく照査できることが分かる。

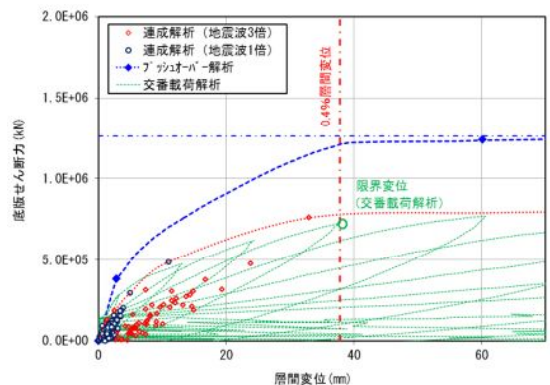


図-7 1 階層間変位と底版せん断力の関係

5. まとめ

箱型構造物において、破壊モードが面内せん断破壊となるような場合、変形照査手法を用いることで精度良く照査できるとともに、照査値が小さくなることが分かった。今後、2 階前面壁が先行して破壊するような曲げ破壊する構造でも、変位照査手法が適用できるように検討を進めたい。

参考文献

- 1) 伊達, 大内「地中構造物における変位照査手法の有効性について」2011/9, 土木学会第 66 回年次学術講演会
- 2) 大内, 伊達「変位照査を用いた大規模地震に対する地中構造物の裕度の検討」2011/9, 土木学会第 66 回年次学術講演会