

3 次元解析による地中構造物の変位照査手法の検討

東北電力(株) 正会員 ○堀見 慎吾 伊達 政直
(株)大林組 正会員 永井 秀樹 米澤 健次

1. はじめに

地中構造物の地震時の挙動は、地盤と構造物の両方の非線形性を考慮する必要があるため、構造物の耐震性能照査手法をより合理的なものとする努力が続けられている。従来、3次元構造物に対する評価は、解析規模及び計算時間の制約から、2次元モデルを用いて地盤のみで応答解析を実施し、その応答値を3次元構造物に載荷するという手法を用いてきた。

本報告では、3次元構造物における変位照査手法の構築に資するため、地中RC構造物に対して3次元の構造物-地盤系の非線形地震応答解析（以下、応答解析）を実施するとともに、その結果を用いて変位照査手法の適用性について検討した結果を示す。

2. 解析モデル

3次元地中構造物は、2階建の箱型構造物とし、連成モデル(図-1)として、構造物および地盤をモデル化した。(要素数：37060、節点数：59739)とした。解析ソフトは、計算時間を大幅に短縮できる大規模・高速化非線形有限要素法プログラム「FINAL-GEO」とした。

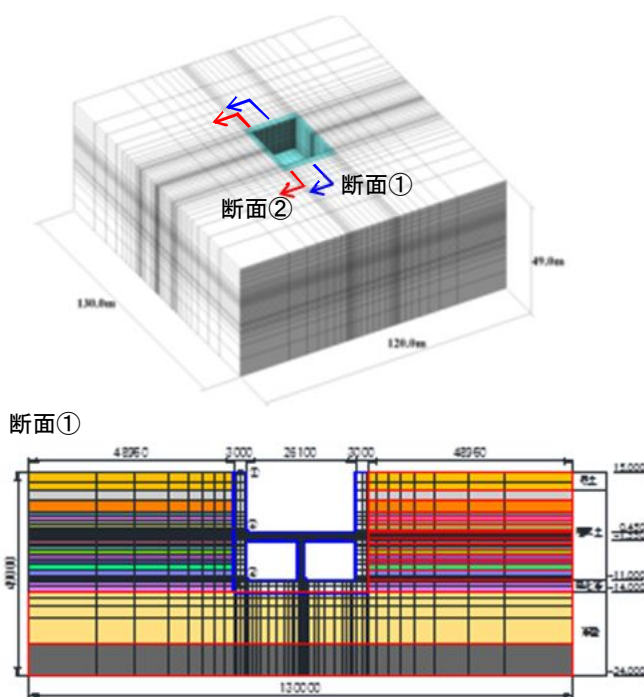


図-1 3次元構造物モデルおよびメッシュ図(断面①)

構造物は、岩盤(CM級)上の直接設置される基礎構造とした。地盤構成則は、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。履歴法則はMasing則を改良することにより、任意の $G/G_{max} \sim \gamma$ 関係、 $h \sim \gamma$ 関係と強度特性(せん断応力の上限值)を満足できる。3次元モデルに拡張するために、要素の局所 xy, yz, xz 平面における剪断ひずみに対する応力・剛性を修正GHEモデルにより求め、3平面の平均せん断剛性を用いて、直応力・ひずみ成分の応力～ひずみ関係マトリックスを算定し、随時、要素剛性を更新した。

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する)とした。構造物と地盤間には、ジョイント要素を設定した。

3. 応答解析

地震波は、水平1方向、鉛直1方向の2方向同時加振とした。東北地方太平洋沖地震の観測記録より、最大加速度464gal、継続時間約165秒のうち、図-2に示す30秒分を切りだした。モデル下面での入射波は、1次元応答解析により算定した。

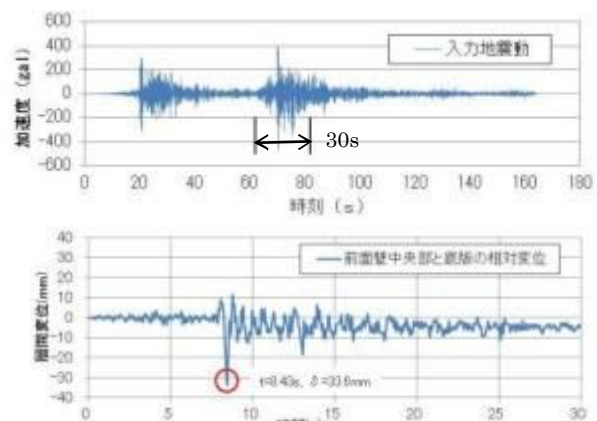


図-2 入力地震波 および
前面壁中央部と底版との層間変位(断面①の節点①と③)

応答解析の結果、約8.4sで最大層間変位33.6mmを示した。解析結果(変形図、ひび割れ図)を、図-3に示す。

地震時にひび割れが多数発生するが、鉄筋が降伏に至るような応答は発生していない。

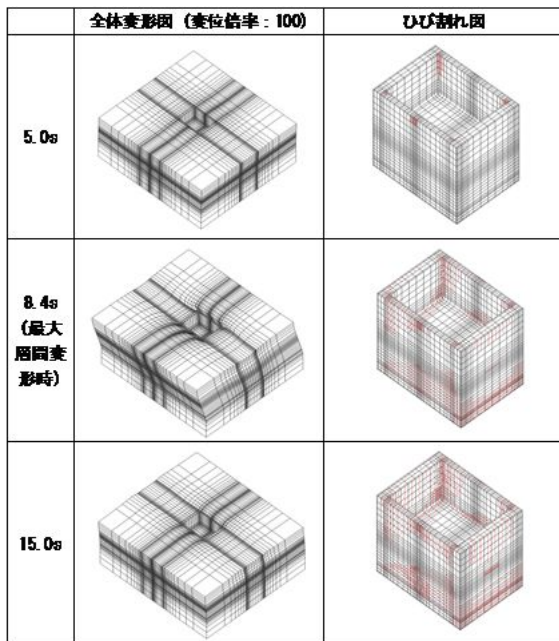


図-3 解析結果

構造物の変形モードについて、交番載荷解析で最大相対変位がほぼ同等となるステップでの比較を図-4に示す。応答解析での変形は、交番載荷解析と比較して1階部分の変形が大きくなっている。同様に、ひび割れおよびコンクリートの最小ひずみの分布より、両者で1階の側壁にひび割れが集中し、同時にコンクリートの最小ひずみも卓越していることがわかる。

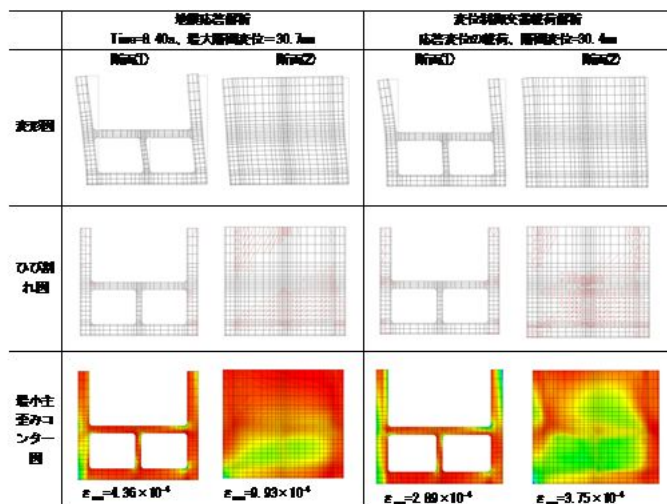


図-4 水平荷重～変位関係

4. 変位照査の適用性

構造物の荷重～変位関係について、交番載荷解析の結果に重ねて、応答解析の結果をプロットした(図-5)。荷重～全体部分の変位の関係は、交番載荷解析と一致していない。これは、応答解析において前面の壁中央部の変形が大きくなり、壁中央部では、土圧による作用荷重が小さくなっていると考えられる。

一方で、荷重～構造物1階部分の変位の関係は、交番載荷解析と応答解析と概ね一致しており、構造物の荷重～変位関係を表す代表位置として評価できる。

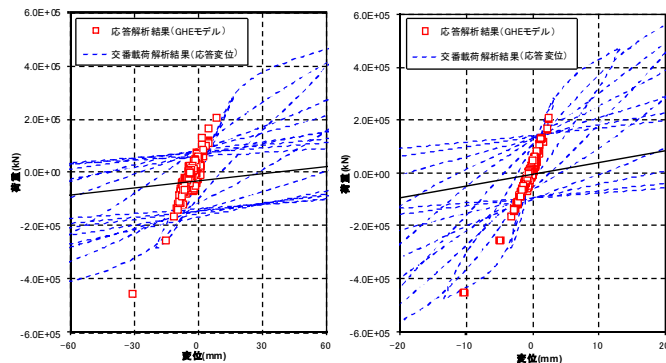


図-5 荷重～変位結果(断面①)

階別および代表断面別に算出した変位照査^{1),2)}(=限界変位/応答変位)の結果を、表-1に示す。変位照査結果は、全体部分での裕度が大きく、一方で、1階部分で値が最も小さくなっている。1階部分の面内せん断破壊が、最終的な破壊モードとなることから、断面①の1階部分の裕度が、構造物を代表する裕度になると考えられる。交番載荷解析により破壊モードを確認し、その破壊を決定している部材の荷重～変位関係が応答解析の結果と一致すれば、その部分の荷重～変位関係に着目することで、簡便に構造物の裕度を知ることができると考えられる。

表-1 変位照査結果

	断面①			断面②		
	応答変位 (mm)	限界変位 (mm)	裕度	応答変位 (mm)	限界変位 (mm)	裕度
全体部分	33.6	519	15.4	22.7	148	6.5
1階部分	10.4	38.9	3.7	9.5	38.9	4.1
2階部分	23.5	310	13.2	14.2	73.0	5.1

5. 今後の課題

3次元の構造物-地盤系の非線形地震応答解析は、地盤材料の構成則や境界条件の設定手法等で多くの課題を抱えているため、今後更に改善を進める予定である。変位照査では、加速度の影響を考慮していないため、今後その影響度合いについて検討を行っていきたいと考える。

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