

有限要素法による地震応答解析の地盤要素分割に関する一考察

東電設計	正会員	○茂木寛之
同上	正会員	山谷 敦
同上	正会員	松原勝己

1. はじめに

有限要素法による地震応答解析では、要素分割を過度に粗くすると、ある周波数以上の波動が地盤要素厚さに応じて遮断されて、地盤応答挙動を適切に評価できなくなる。その結果、解析精度の低下を招くことから、入力地震動や地盤の周波数帯域を考慮して、地盤要素厚さを設定しなければならない。しかし、地盤要素の分割を細かくすると、地盤モデルは高周波数の波動まで透過することができるが、2次元あるいは3次元地盤～構造物連成系の非線形解析等、大規模問題の場合には、計算時間が長くなるという問題点がある。

そこで、本検討では、地盤応答結果に影響を及ぼす要素分割に関する検討を実施した。

2. 解析モデル

対象とする地盤の地層は、地表面から G.L.-20.1m までが盛土・埋土($V_s=200\text{m/s}$)、それ以深は洪積層($V_s=255\sim 542\text{m/s}$)となっており、盛土・埋土層内には $V_s=140\text{m/s}$ の弱層、また、洪積層内には $V_s=225\text{m/s}$ の弱層部が存在している。解析モデルの地盤要素厚さは、通常の要素分割の際用いられる以下の式(1)に基づいて設定した。

$$H \leq V_s / (5 \times f_{\max}) \cdots (1) \quad (H: \text{地盤要素厚さ (m)}, V_s: \text{地盤の初期せん断波速度 (m/s)}, f_{\max}: \text{層を透過できる波動の最大周波数 (Hz), 以下、透過最大周波数})$$

解析モデルは、要素分割の粗細による 2 ケースとし、地盤の初期剛性に対して、透過最大周波数を 10Hz とした要素分割の粗い 1 次元モデルをケース 1 とした。比較として、透過最大周波数を 20Hz 以上とした要素分割の細かい 1 次元モデルについても作成し、ケース 2 とした。解析モデルを図 1 に示す。地盤の構成則は大崎モデルとした。

3. 解析条件

解析方法は、両ケースとも、まず側方の境界条件を鉛直ローラとして自重解析を行い、続いて水平ローラに変更して地震応答解析を実施した。その際、底面は固定境界とした。入力地震動(入射波+反射波)を図 2 に示す。最大加速度は 420gal である。数値積分法は、Newmark β 法を用い、高周波ノイズを除去する目的から、 $\gamma=0.7$, $\beta=0.36$ とした¹⁾。粘性減衰については考慮しなかった。計算時間の間隔は 0.02s とした。

4. 解析結果

地表面変位の時刻歴の比較を図 3 に、地表面変位の+側最大時(19.66s)における変位分布の比較を図 4 に示す。両ケースとも挙動はよく一致している。次に、同時刻の加速度分布の比較を図 5 に示す。ケース 1 の G.L.-30m 以浅で、加速度応答が不安定になっていることがわかる。図 5 の G.L.-9.3m 地点(赤丸)の加速度時刻歴の比較を図 6 に、フーリエスペクトルを図 7 に示す。最大加速度は、ケース 1 で 882gal, ケース 2 で 442gal となっている。また、ケース 1 のフーリエスペクトルは、ケース 2 に比べ、8~10Hz より増幅していることから、ケース 1 の G.L.-30m 以浅の応答は高周波による影響と考えられる。そこで、等価線形解析で得られた収束剛性に基づいて計算した 8Hz 透過必要要素厚さとケース 1 の地盤厚さとの比較を図 8 に示す。同図より、ケース 1 の透過最大周波数は、収束剛性から換算すると 8Hz となっている。つまり、ケース 1 では、地震による剛性低下によって、8Hz 以上の波動は地盤モデルを透過できないはずであるが、図 7 では、8Hz 以上の波動が出現していることから、これは高周波ノイズと考えることができる。一方、図 3 より、この高周波ノイズが地

キーワード ; 有限要素法, 地震応答解析, 要素分割, 高周波ノイズ

連絡先 (住所 ; 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 ・ TEL ; 03-6372-5559 ・ FAX ; 03-6372-5595)



ケース1 ケース2
図1 解析モデル

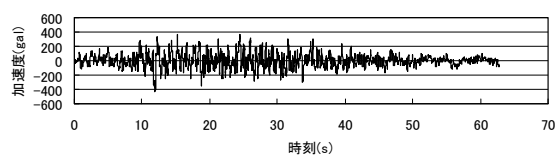


図2 入力地震動(入射波+反射波)

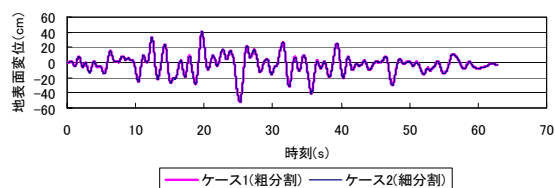


図3 地表面変位の時刻歴

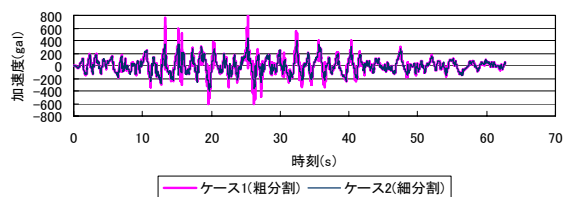


図6 深さ-9.3m地点(赤丸)の加速度時刻歴

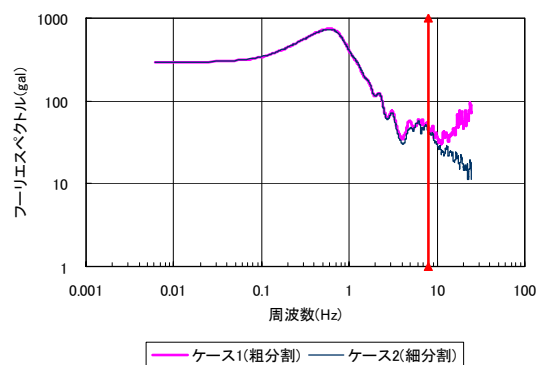


図7 深さ-9.3m地点(赤丸)の加速度時刻歴
のフーリエスペクトル

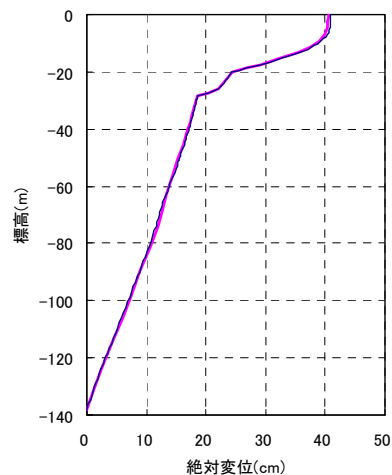


図4 地表面変位+側最大時
(19.66s)における変位分布

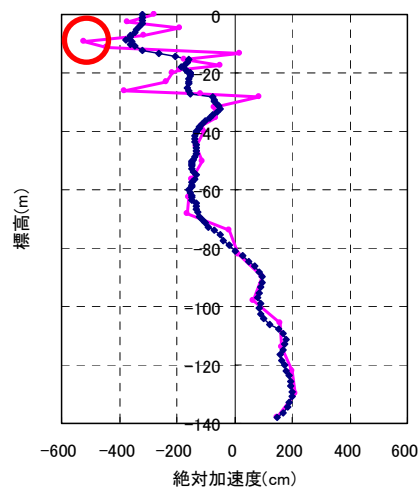


図5 地表面変位+側最大時
(19.66s)における加速度分布

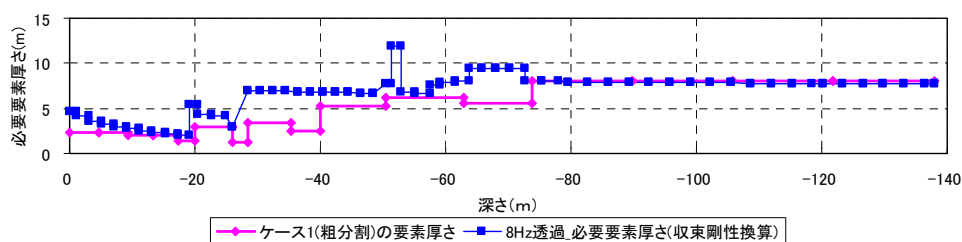


図8 収束剛性(等価線形解析)に基づいて計算した8Hz透過必要要素厚さとケース1の地盤厚さとの比較

盤変位に与える感度は小さいことが示されていることから、地盤変位の精度だけが求められる場合には、8Hz以上の波動による影響はないと考えられる。よって、2次元あるいは3次元の大規模な有限要素法の問題において、対象が、例えば、地盤変位による挙動が支配的となる構造物のような場合には、地盤要素の分割を必要以上に細かくしなくてもよいことがわかった。

5. まとめ

有限要素法による地震応答解析において、対象が、地盤変位による挙動が支配的な構造物の場合には、入力地震動や地盤の周波数帯域を考慮すれば、地盤要素の分割を必要以上に細かくしなくてもよいことがわかった。

【参考文献】

- 1) 土木学会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，2005