FEMによる重要構造物の基礎岩盤の動的挙動に関する数値解析的評価

長崎大学工学部　学生会員　○藤井乙貴　長崎大学大学院　学生会員　楊磊
長崎大学工学部　フェロー会員　蒋宇静　フェロー会員　棚橋由彦　正会員　李博

1. 研究の背景･目的

我が国は地震国であることから重要構造物を設置、稼動させるためには高度な調査、設計技術が必要とされる。特に原子力発電所を設置する基礎岩盤は想定される地震力に対して安全性を有していることが建設の前提条件である。そのため、基礎岩盤の選定には地震による断層の挙動を含めた基礎岩盤の強度、変形特性が構造物に与える影響を評価する必要がある。本研究では基礎岩盤を対象とした場合における建設地点選定の評価手法の１つとして、有限要素法(FEM)を用いて動的数値シミュレーションを実施することにより、岩盤中に存在する不連続面の性状と地震動の特徴が岩盤の強度、変形特性に与える影響を考察し、基礎岩盤の動的数値解析の評価手法を確立することを目的とする。

2. 対象岩盤および地震動の概要

本研究の対象岩盤は硬岩に分類される中生代の堆積岩であり、岩盤変形試験を実施した結果、割線弾性係数は500～1700MPaとなった。岩盤基質部および割れ目の力学特性を表-1に示す。また、地震動については、平成19年7月16日10時13分に発生した新潟県中越沖地震を対象地震とし、観測地点NIG019小千谷での観測地震動を選定した。

表-1　対象岩盤の物性値

(a) 岩盤基質部

項目	値
密度 ρ (g/cm^3)	2.66
弾性係数 E (MPa)	7.1×10^4
ポアソン比　ν	0.18
粘着力　c (MPa)	22.3
内部摩擦角　ϕ (°)	62.0
引張強度　σ_t (MPa)	10.2

(b)割れ目

項目	値
垂直剛性　Kn (MPa/mm)	31.78
せん断剛性　Ks (MPa/mm)	3.22
粘着力 c (MPa)	0.027
内部摩擦角　ϕ(°)	35.9

3. 一次元応答解析の概要

解析モデルの基盤面に入力する地震動を算出するために一次元応答解析を行った。図-1に応答解析の概要を示す。基準値地震動$2E_0$とは対象岩盤の特性を反映した一次元モデルの表層（深度0m）で観測された地震動を再現したものである。一次元応答解析により基準値地震動$2E_0$に引き戻し計算を適用し、入力基盤面での応答地震動$2E_N$（深度200m）を算出した。図-2に一次元応答解析で算出した応答地震動$2E_N$の加速度波形と速度波形を示す。なお、対象岩盤のS波速度は3363m/s、減衰率は3.0%である。

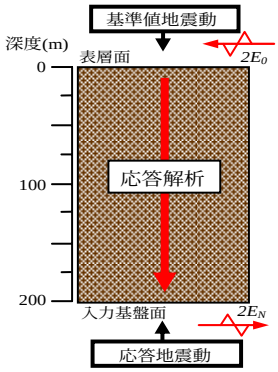


図-1　応答解析の概要

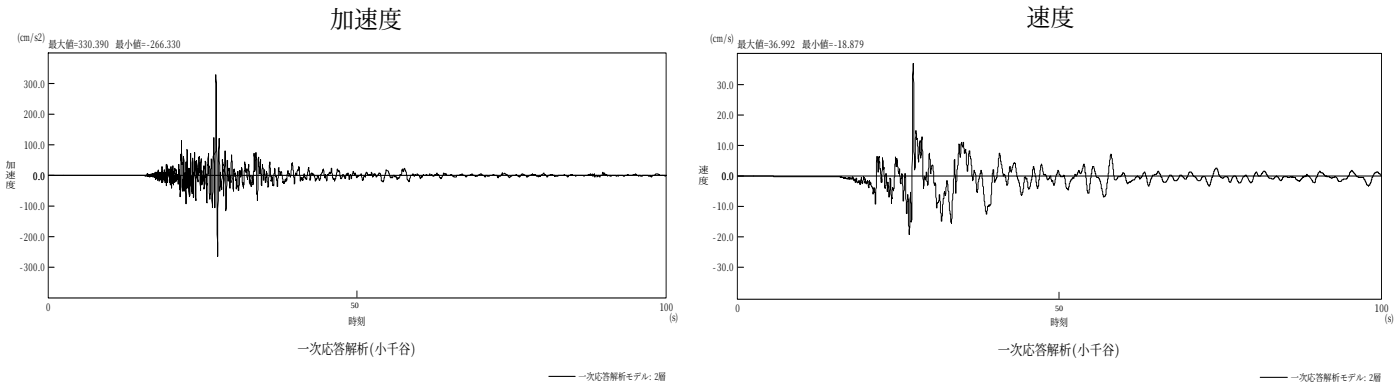


図-2　一次応答解析結果（加速度波形・速度波形）

4. FEMによる動的解析の概要

本研究に用いたFEM解析モデルを図-3に示す。このモデルは昨年の解析モデルと同様、ある原子力発電所の基礎

岩盤をもとに、原子炉建屋、タービン建屋および断層をモデル化したものである[1)]。地震動を与えるため、一次元応答解析より算出した応答地震動 $2E_N$ の加速度波形をモデル基盤面に入力した。入力波形は、地震動の最大波形が観測される 20.8s～30.8s の 10 秒間を用いた。また、一直線上に深度による違いを把握するため、モデルの中央部に深度 0m、50m、100m、150m、200m の計 5 点の箇所において加速度波形と速度波形を計測した。

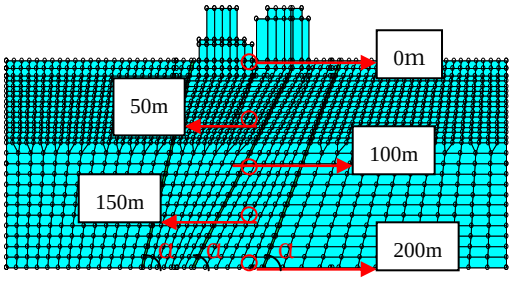
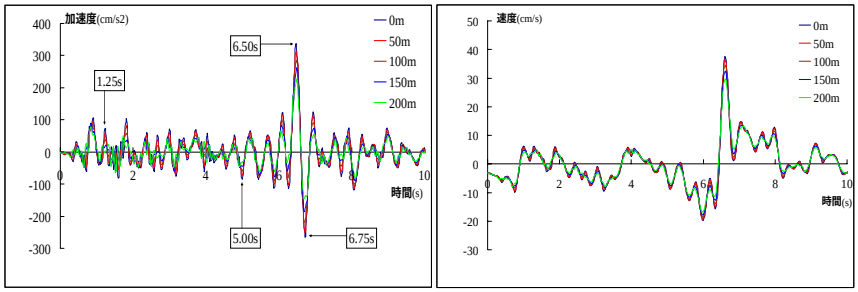


図-3 原子力発電所の基礎岩盤解析モデル

5. FEM による動的解析結果と考察

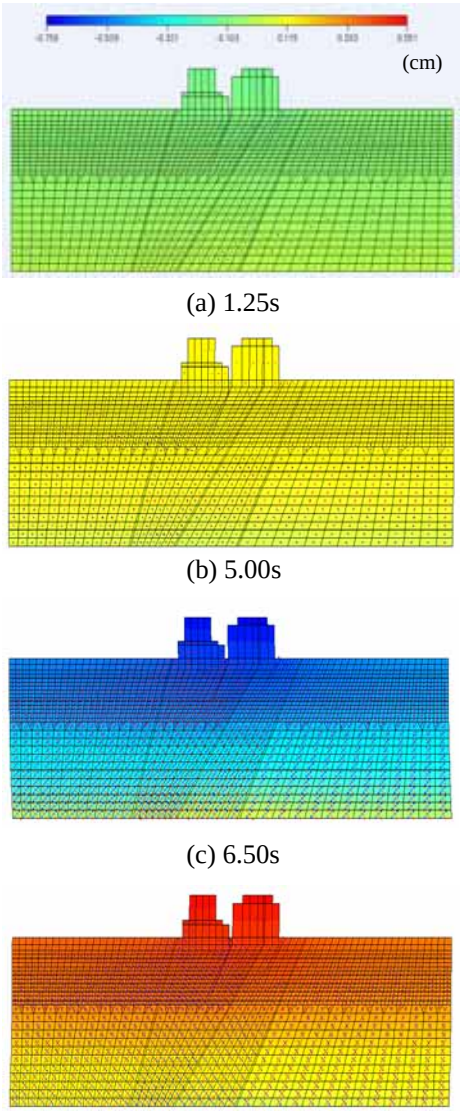
図-4(a),(b)に図-3 に示す各深度で計測した水平加速度波形と水平速度波形の比較をそれぞれ示す。両種類の波形においても深度が浅くなるほど、最大値が大きくなり振動も大きくなっていることが分かる。また、波形を重ねて比較した結果、多少のずれがあるが、ほぼ同じ形状を示し、地震動はほぼ同時に伝わっていることが分かった。さらに、図-5(a),(b),(c),(d)には、図-4(a)に示す四つの代表的な時刻における水平方向の相対変位を示す。ここで相対変位とはモデル底部中心点を基準点として変位を差引いたものである。水平変位は加速度の方向と大きさの違いによって異なることを読み取るものである。地震動に従ってモデルが全体的に動き、深度が浅くなるにつれ揺れが大きくなることが分かる。しかし、断層付近では明確な変位の違いを読み取れなかった。



(a)水平加速度 (b)水平速度

図-4 深度による比較

対象となる基礎岩盤中において幾つかの卓越した断層が存在していることが現場調査より分かった。その断層の角度が基礎岩盤の動的特性に与える影響を評価するため、3 本の平行な断層を設置し、傾斜角 α (図-3 参照)を 45°、60°、75°、90°と変化させて解析を行った。水平加速度、水平速度の両波形においても傾斜角の違いによって生じる差は殆ど見られなかった。不連続性岩盤の動的変形特性は岩盤中に存在する不連続面の間隔や傾斜角などに大きく影響されると考えられるが、今回の結果から、FEM 解析を用いる場合に岩盤の動的変形挙動を過小評価する可能性があると推察する。



(a) 1.25s

(b) 5.00s

(c) 6.50s

(d) 6.75s

図-5 各時刻における相対変位

6. 結論

本研究は FEM 解析手法を用いて断層を含めた岩盤の動的変形特性、特に断層の傾斜角による影響について考察した。解析モデルでは断層をジョイント要素として扱い、試験で得られた物性値を与えて解析を行ったが、断層の性状（傾斜角）の違いが岩盤の動的特性に与える影響を十分に表現することができなかった。今後、岩盤を不連続体と扱う個別要素法（DEM）と FEM を併用することにより不連続面の性状、地震動の周期・振幅などの性質が岩盤の強度、変形特性に与える影響を解析・評価していく。

【参考文献】

1) 吉田敬一:個別要素法による動的シミュレーションに基づく基礎岩盤の変形挙動評価, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.503-504, 2010