

節理の性状が基礎岩盤の動的変形特性に及ぼす影響の考察

長崎大学 学生会員 ○鄭 聖也

正会員 李 博

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静

フェロー会員 棚橋 由彦

1.研究の背景

我が国は地震国であることから重要構造物を設置、稼働させるためには高度な調査、設計技術が必要であり、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不連続面の挙動を含めた基礎岩盤の強度、変形が構造物に与える影響を評価する必要がある。本研究では節理を有する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、地震動に対してあまり利用されていない個別要素法(DEM)による動的数値シミュレーションを用いて、亀裂など不連続面の有無や、亀裂の角度設定の違う解析を行い、その結果から重要構造物の基礎岩盤の動的特性を明らかに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ところ、割線弾性係数は500～1700MPaとなった。岩盤基質部、割れ目の力学特性は、表-1(a),(b)の特性値が得られている。この特徴をもとに対象岩盤のモデル化を行った。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小千谷の観測地震動を選定した。

表-1 力学特性値

(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 K_n (MPa/mm)	31.78
せん断剛性 K_s (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

解析モデルに入力する地震動を算出するために一次元応答解析を用いた。図-1に応答解析概要を示す。基準値地震動 $2E_0$ とは対象岩盤特性を反映した一次元モデルの表層上で観測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、基盤面での応答地震動 $2E_N$ を算出した。表-2に一次元応答解析モデルの岩盤特性値を示している。図-2に一次元応答解析で算出した応答地震動 $2E_N$ の速度波形を示している。

4.DEMモデルの解析条件

DEMモデルは、原子力発電所(浜岡原子力発電所)の基礎岩盤基盤をもとに、簡易化して原子炉建屋及びタービン建屋をモデル化した基本的なモデルを作成している。岩盤領域の特性値は表-1をもとに決定した。地震動入力方法として、一次元応答解析より算出した応答地震動 $2E_N$ 速度をモデル基盤面に入力する。入力波形は、地震動の最大波形が観測される20.8～30.8sの10秒間の波形を用いた。境界条件として、モデル下端の境界面を底面粘性境界とし、底面境界において逸散する波動エネルギーの吸収、地震波の上昇波成分のみの入力が可能となる。そして、モデル側方の両境界面では自由岩盤領域を設け、エネルギー伝達境界とした。エネルギー伝達境界によりモデル側面において逸散する波動エネルギーを伝達し、自由岩盤領域で吸収することができる。これにより、側方境界を半無限地盤領域として評価できる。以上の条件のもとに解析を行った。

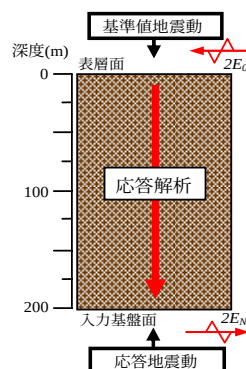


図-1 応答解析概要

表-2 岩盤特性値

項目	値
密度 ρ (g/cm ³)	2.66
S波速度 V_s (m/s)	3363
減衰率 h (%)	3.0

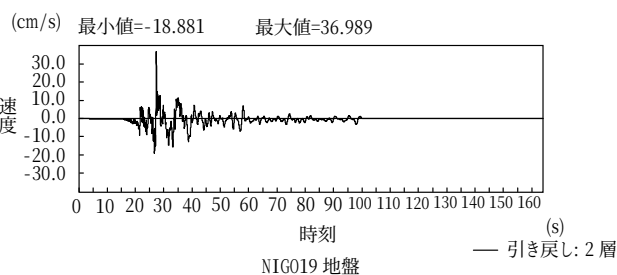


図-2 一次元応答解析結果(速度)

5. DEMモデルの解析結果

図-3に個別要素法モデルを示す。図-3(b)の評価対象領域は対象岩盤性状及び力学的特性に基づき、高角度割れ目Set 1と低角度割れ目Set 2をモデル化し、Set 1の間隔 t とSet 2の間隔 b の比を1:2と固定した。解析モデルは割れ目Set1の傾斜角 α を10°、20°、55°、60°、65°、75°、80°でそれぞれの割れ目Set 1の間隔 t を5.0mに設定したものをモデル化する。なお、比較は図-3(a)上の対象地点A、対象地点Bで行った。

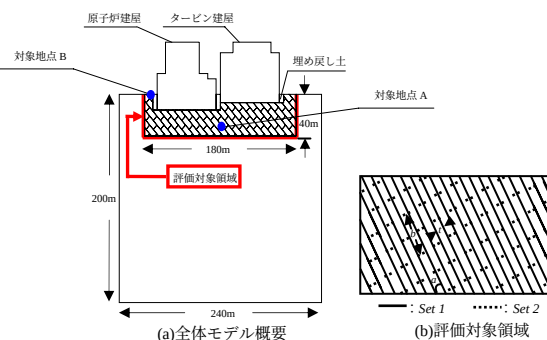


図-3 個別要素法モデル

まず、水平変位の最大値の比較を行う。図-4 と図-5 は対象地点の X 軸方向の変位の最大値を絶対値で表示している。対象地点 A と B とともに傾斜角 75°で5secを除いたすべての秒数で変位の値が低くなっている。このことより高角度割れ目 set1 が 75°のときに最も揺れが少ない節理を有する岩盤と考えられる。傾斜角 75°の 5sec が他の傾斜角に対して大きな値をとっている理由は、他の傾斜角は対象地点周辺に変位ベクトルが集中しているのに対し傾斜角 75°の場合は対象地点上に変位ベクトルが集中しているためだと考えられる。なお、傾斜角 75°において変位ベクトルの集中が見られるのは 5sec のみである。

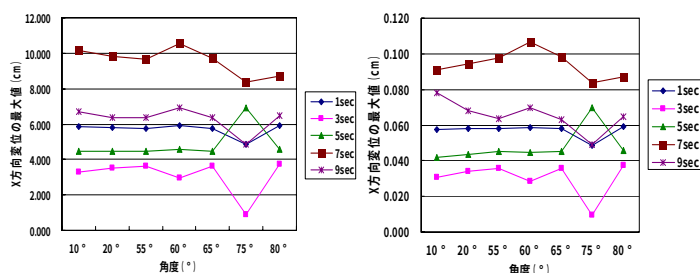


図-4 (a) 地点 A の水平変位の最大値

図-4 (b) 地点 B での水平変位の最大値

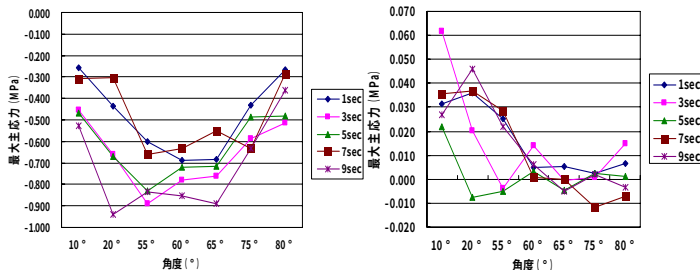


図-5(a) 地点 A での最大主応力

図-5(b) 地点 B での最大主応力

次に、主応力の比較を行う。図-6 と図-8 の 7sec に着目すると、低角度の 10°と高角度の 80°で最大主応力と最小主応力の差が顕しく大きくなっていることがわかる。これは、高角度割れ目 set1 と低角度割れ目 set2 の角度が圧縮応力と引張応力の向きと同じ向きになり対象領域に通常よりも影響を及ぼしやすくなったためと考えられる。つまり低角度または高角度に近づくほど地震に対する影響も大きくなると考えられる。ここで変位のときと同様に 75°に着目すると、7sec での主応力差は顕しく小さな値であることがわかる。このことにより傾斜角 75°が地震に対する影響が最も少ないと考えられる。しかし、グラフを概観すると 7sec 以外の秒数であれば 60°前後で主応力差が小さくなっているため、低角度、高角度でなければ揺れは少ないということが考えられる。次に、図-7 と図-9 を比較すると、グラフの形状には様々な変化が見られるが数値はいずれも大きくないことがわかる。このことより地点 (b) ではどの角度でも地震による影響が小さいと考えられる。

6. 結論

DEM解析における対象地点、傾斜角、秒数の違いによる地震に対する影響の違いを見出すことができた。今後は、今回の結果を中心に、解析条件に亀裂の幅も加えて、さらにどのように影響していくのかを考察していきたい。また、変位、主応力だけでなく、せん断変位も地震によってどのような変化を生じるかを解析によって調べていく必要がある。

【参考文献】 1) 独立行政法人防災科学研究所：強震ネットワーク(K-NET), 2007. 2) 中部電力株式会社：浜岡原子力発電所 4 号「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書, 2007