

大深度構造物の地震時の挙動に関する考察

清水建設（株） 正会員 馬場崎 宗之助

1.はじめに

地中構造物は地震時に固有の振動を起こす事はなく、周辺地盤と同様に振動する。あるいは地上構造物のように地震による慣性力の影響は小さくなく、地中構造物の地震時挙動は、地震による慣性力ではなく周辺地盤の相対変位に支配されることが知られている¹⁾。従って、地中構造物の地震時挙動を把握する上で構造物周辺地盤の地震時挙動を適切に評価することは重要な事となる。本報告では、大深度構造物の耐震設計を行うことを目的として、地盤の動的特性値であるせん断波速度 (V_s) を変化させて次元重複反射理論による地盤の動的解析を行い、 V_s の変化が周辺地盤の変位特性に与える影響について考察を行った。

2.地盤の動的解析に用いた解析条件

表.1 モデル地盤の物性値

表.1 に今回検討を行ったモデル地盤を示す。最深部での深度は GL -200.0m、地盤は深さ 2.0m 毎に分割し、水平方向に無限遠方まで広がっているとモデル化している。また、地表面から GL -20m までは地盤改良層を想定し、表.1 に示すように、地盤の動的物性値であるせん断波速度を $V_s = 200\text{m/sec}$ 、 300m/sec の 2 ケースを設定した。地震の基盤面は、花崗岩新鮮部の上面に設定し、基盤面に地震動を入力した。

地層区分 GL	単位体積重量 γ (kN/m^3)	せん断波速度 V_s (m/sec)	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m^2)
①層：地盤改良層 ±0 (m) ~ -20.0 (m)	18	200 300	73,000 165,000
②層：礫層 -20.0 (m) ~ -40.0 (m)	19	400	310,000
③層：泥岩砂岩互層 -40.0 (m) ~ -70.0 (m)	19	400	310,000
④層：花崗岩（風化部） -70.0 (m) ~ -100.0 (m)	20	600	730,000
⑤層：花崗岩（漸移部） -100.0 (m) ~ -130.0 (m)	23	1500	5,300,000
⑥層：花崗岩（新鮮部） -130.0 (m) ~ -200.0 (m)	26	2600	18,000,000

入力した。入力時振動には十勝沖地震の八戸 EW 地震波を想定し、最大水平加速度振幅を LEVEL1 に対しては 90gal、LEVEL2 に対しては 200gal と設定し検討を行った。

3.解析結果

図.1 に地表面の相対変位が最大になる時刻における地盤の相対変位分布を示す。図中の a) は LEVEL1 を、b) は LEVEL2 の結果をそれぞれ示している。ここで相対変位は、モデル地盤の最下端 (GL -200m) を基準としている。図より、LEVEL1 地震動に対してはせん断波速度を $V_s = 300\text{m/sec}$ としたケースの方が地表面での相対変位の最大値が 22mm 低下し、地盤改良層とその直下の層との相対変位の曲率の変化が大きく低減されていることが分かる。また、③層以深の地盤の変形分布は、せん断波速度を変化させた影響がほとんど現れない結果となっている。LEVEL2 地震動に対しては、LEVEL1 と同様に $V_s = 300\text{m/sec}$ としたケースの方が地表面での相対変位の最大値が 29mm 低下し、地盤改良層とその直下の層との相対変位の曲率の変化が低減されている。しかし、地盤改良層以下の層における相対変位が増加しており、③層と④層との間で相対変位の曲率変化が大きくなる事が分かる。また、図.2 に、せん断ひずみ分布を示す。この図より、LEVEL1、LEVEL2 いずれの場合においても相対変位の曲率が変化する深度においてせん断ひずみが急激に大きくなっている事が分かる。

4.水平変位量算定式による地盤変位の算定²⁾

地盤の動的解析では、地表面のせん断波速度を変化させて LEVEL2 地震動による検討を行った際に、地表面のせん断波速度を増加させ、その直下の層と値を近づけることにより、地表面の最大相対変位が小さくなり、層境

大深度立坑、動的解析、応答変位

清水建設株式会社 土木事業本部 設計部 基盤施設グループ Tel 03-5441-0592 Fax 03-5441-0511

での相対変位の曲率変化が小さくなるという結果を得た。だが一方で、③層と④層の間では変形の曲率が大きくなった。そこで、**図.3** に示すように地盤の変形モードを仮定して表層地盤の固有周期に応じた地盤の水平変位量の鉛直方向分布を算出し、先に行った動的解析結果との比較を行った。なお、計算に用いる地盤物性値は**表.1**と同様とし、地表面から 70m までの地盤を 2 層地盤として、式 (1)、(2) を用いて水平変位量を算出した。

$$f(z_1) = a_g \cos \frac{\omega_0 z_1}{v_{s0d1}} \quad (1)$$

$$f(z_2) = a_{g2} \left(\cos \frac{\omega_0 z_2}{v_{s0d2}} - \cot \frac{\omega_0 H_2}{v_{s0d2}} \sin \frac{\omega_0 z_2}{v_{s0d2}} \right)$$

$$a_{g2} = a_g \cos \frac{\omega_0 H_1}{v_{s0d1}} \quad (2)$$

ここに、 H_1 、 H_2 ：第一層、第二層の層厚 (m)
 v_{s0d1} 、 v_{s0d2} ：第一層、第二層の設計初期せん断波速度 (m/sec)

ω_0 ：地盤の設計固有円振動数

図.4 に計算結果と解析結果の比較を表す。計算結果と解析結果は最大加速度が異なるため相対変位の値は異なるものの、地盤の挙動は概ね一致していると言える。

5. 終わりに

本報告では、地盤の動的物性値であるせん断波速度を変化させて、地盤の動的解析を行った。これにより、地表面のせん断波速度を増加させることにより、地表面の最大相対変位、層境での急激な変形曲率の変化を低減できる事が確認できた。しかし一方では、相対変位の増加に伴い、変形曲率が増加するケースも考えられる事が地盤の動的解析、水平変位量算定式により確認できた。大深度立坑のようないくつもの地層を跨る構造物においては、このような変形曲率の急激な変化点での構造物に発生する断面力を適切に評価し、設計を行う必要があると考えられる。

【参考文献】1) 例えば、日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計

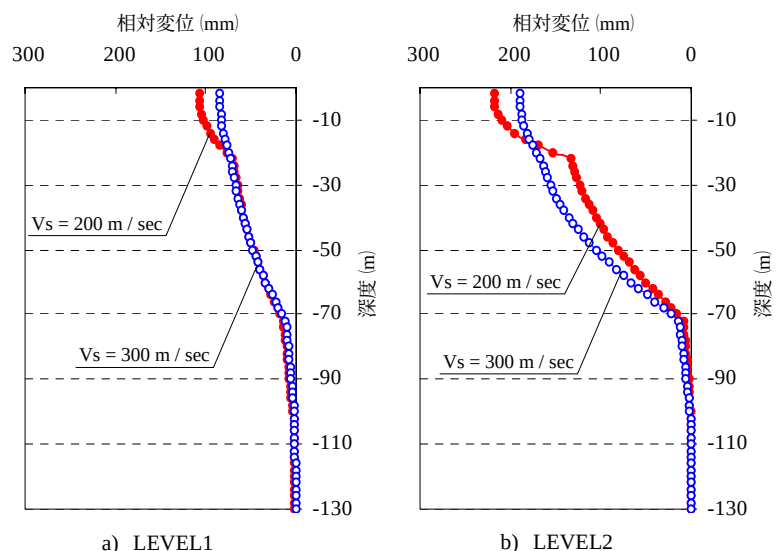


図.1 相対変位分布

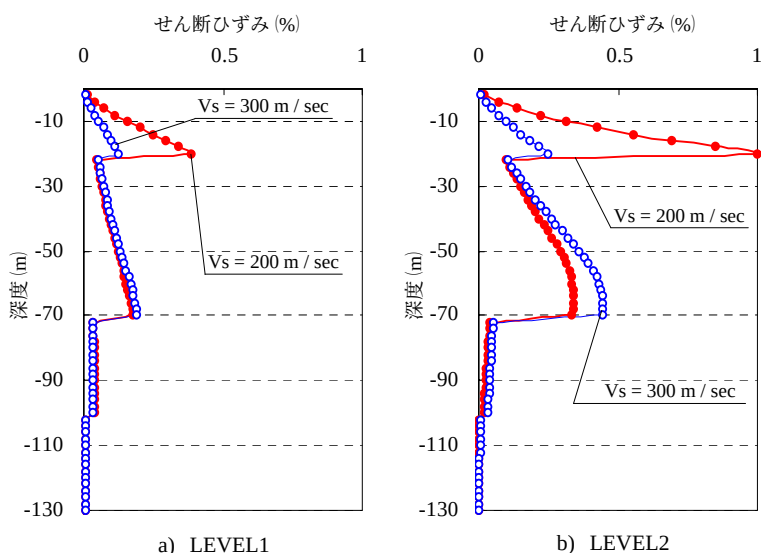


図.2 せん断ひずみ分布

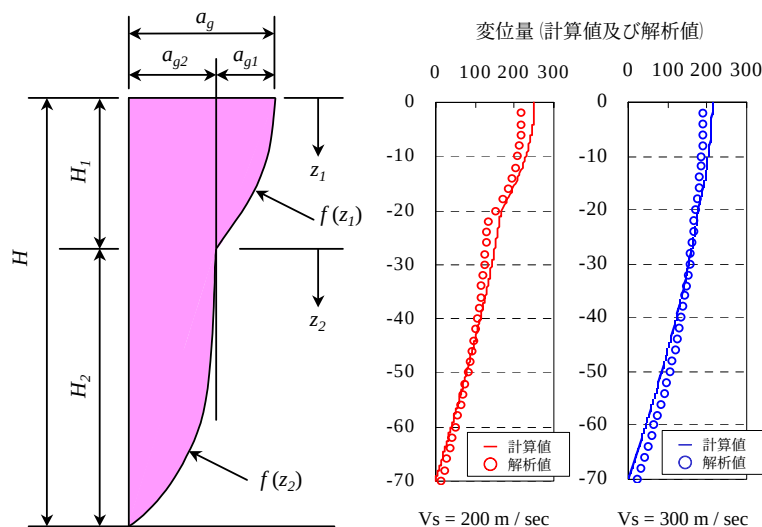


図.3 地盤の変形モード

図.4 解析結果と計算結果の比較