

大規模工場が立地する不整形地盤の震動特性に関する研究

名古屋大学工学部社会環境工学科
建築学コース 福和研究室 杉山拓真

1. 研究の背景と目的

愛知県は製造業が集中しており、工場施設の耐震性は産業への影響が大きい。特に、一边数百 m にもなる大規模工場では、南海トラフ巨大地震に備えて、工場の敷地内における地震動の予測が必要である。大規模工場では、立地条件によって、同じ敷地内でも表層地盤の震動特性が場所によって大きく異なる場合がある。特に丘陵地、台地の縁などの傾斜した地形を持つ場所に施設が立地している場合は、人工的な地形改変が行われるため、建設サイトの表層地盤構造は不整形となり、予測される地震動も地点により大きく異なることが考えられる。

そこで、本研究では大規模工場敷地内の旧地形、現地地形図やボーリングデータを参考にしつつ、浅層レーリー波探査、常時微動計測により、場所による表層地盤の震動特性の違いを把握する。

2. 対象サイト概要

対象サイトは西三河地区に立地する 3 工場である。本論ではその内の A 工場の分析結果について示す。A 工場は、1968 年に起伏のある山間部を地盤造成して建設された。図 1 に配置図、1890 年の等高線を重ねて示す。等高線の間隔は 5 m で、標高 35 m の等高線を太線で示す。現在の敷地内の標高は 33 m 程度で、旧版地図との比較から、盛土厚は最大で 20 m 程度と推測される。

図 1 の(X)、(Y)地点のボーリングデータを図 2 に示す。ボーリングデータの盛土厚さの違いからも、旧地形の起伏の差が大きいことが確認できる。また、盛土境界以深においても N 値は小さく、基盤岩風化帯と推定されている。旧版地図から推測される盛土厚とボーリングデータの盛土厚が 8 m 程度異なる部分もみられた。N 値から (1)式により S 波速度を簡易的に換算し、深度 10 m までの平均 S 波速度を算出すると 200 m/s 程度と推測される。

$$V_s = 112.73 \times N^{0.256} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{粘土層} 1.000 \\ \text{沖積層} 1.000 \\ \text{砂層} 0.885 \end{array} \right\} \quad (1)$$

3. 計測概要

地盤構造をできるだけ詳細に把握するため、浅層レーリー波探査、常時微動計測を行った。浅層レーリー波探査とは、人工振源により励起された表面波を用いて表層地盤の二次元的な S 波速度構造を求める手法である。計測範囲は図 1 の(a)、(b)であり、図 3 に一部の計測地点、計測測線を示す。計測範囲(a)の浅層レーリー波探査から、切盛の違いによる S 波速度構造の把握、常時微動計測では、地盤震動特性の把握、(b)の常時微動計測から、法面上下の地盤震動特性の把握を目的とし計測を行った。

4. 計測結果に基づく地盤震動特性の把握

4.1. 浅層レーリー波探査に基づく地盤震動特性の把握

得られたデータをもとに解析を行い、切盛の違いによる S 波速度構造を把握する。図 4 は図 3 に示す測線 S のカケヤによる人工起振によって励起された記録の 1 つであり、起振位置に近い受振点から順に図の上から並べている。起振により励起された波の走時から、表面波の見かけ速度は 230 m/s 程度であり、

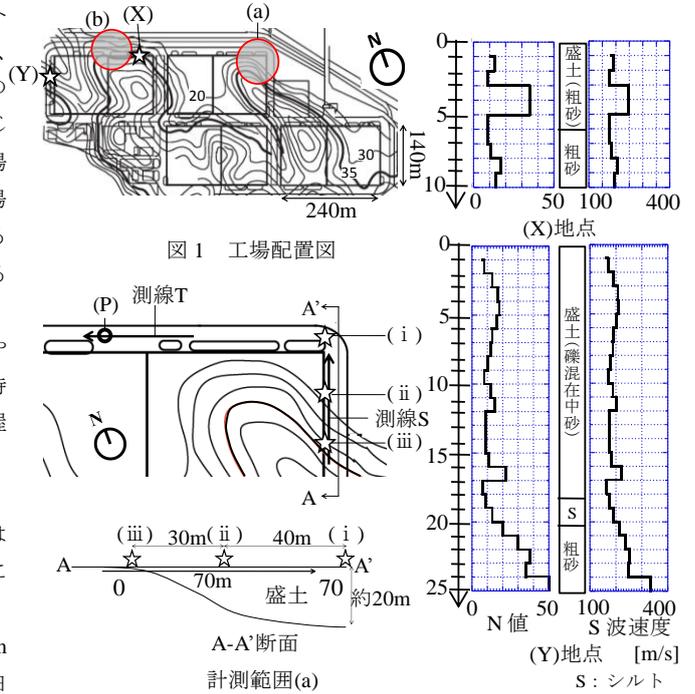


図 1 工場配置図

図 2 ボーリングデータ (記号は図 1 参照)

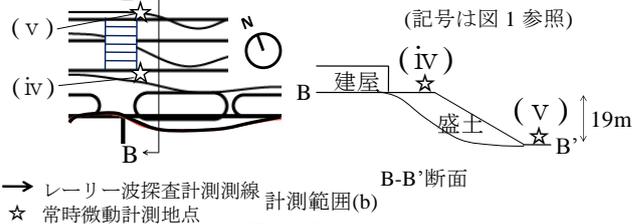


図 3 計測地点

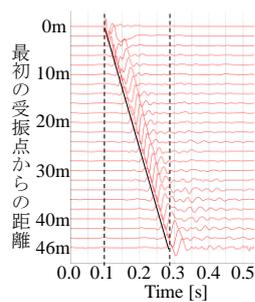


図 4 起振記録

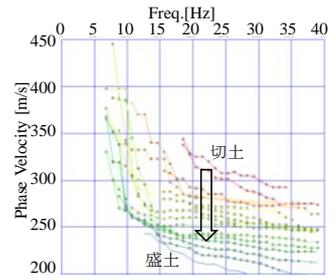


図 5 分散曲線

ボーリングデータから推測される S 波速度と概ねの対応している。起振記録をもとに解析を行い、得られた分散曲線を図 5 に示す。測線は切盛土を含むため、各分散曲線に違いがあることが確認できる。

得られた分散曲線から非線形最小二乗法を用いて逆解析を行い、S 波速度構造を求めた結果を図 6 に示す。浅層レーリー波探査の計測測線が北に進むにつれて表層の S 波速度が遅くなっていることが確認できる。したがって、この部分は盛土と推測でき、旧版地図から推測される地形と対応している。また、深度 20 m 付近には、工学的基盤となる S 波速度 400 m/s 以上である層が確認できる。

4.2 常時微動計測に基づく地盤震動特性の把握

切盛の違いによる地盤震動特性を把握するため、速度フーリエスペクトル、H/V スペクトル、伝達関数により分析を行う。図7に地点(i)~(v)で得られた常時微動記録の3成分の速度フーリエスペクトル、図8にH/V スペクトルを示す。H/V スペクトルは、水平成分のフーリエスペクトルのベクトル和と上下成分の比を意味する。

地点(i)~(iii)の結果では、どの方向の速度フーリエスペクトルも、振幅が地点(i)から(iii)にむけて小さくなっている。H/V スペクトルを見ると、地点(i)では3 Hz 付近に卓越がみられるが、地点(ii)、(iii)では、4~5 Hz 付近に卓越がみられる。盛土から切土になるにつれて、卓越振動数が高振動数側へ移動していることが確認できる。

地点(iv)、(v)の結果では、速度フーリエスペクトルから、法面上の地点(iv)の振幅が大きく、盛土の影響による増幅と考えられる。また、地点(iv)からEW、UD方向では4 Hz 付近に、NS方向では5 Hz 付近に卓越が見られ、卓越振動数に差があることが分かる。これは、地点(iv)の北側が法面であることが影響しているためと考えられる。

図9に法面下に対する法面上の伝達関数を示す。EW方向を見ると、4 Hz 付近で卓越が見られ、位相差も90度となっており、卓越振動数と考えられる。法面の平均S波速度は4分の1波長則により $f=4\text{ Hz}$ $H=19\text{ m}$ から300 m/s程度となることが推測される。

5. 計測結果とボーリングデータの比較

実測記録から得られたS波速度とボーリングデータから(1)式により求めたS波速度の比較を行う。図3のP地点における両者の深さ方向の分布を図10(a)に示す。深度2~7mでは両者は良く対応していることが分かる。

A工場では両者のデータの地点が近いものが1地点のみだったので、B工場の比較結果を図10(b)、(c)に示す。B工場も起伏のある山間部を地盤造成した敷地に立地している。図11(b)は推定盛土厚が約4mの地点、(c)は切土地点のものである。両者は良く対応していることがわかる。しかし、(b)の計測結果から、4m付近の盛土によるS波速度の違いは見られなかった。また、(b)、(c)から浅層レーリー波探査の結果は、ボーリングデータから求めたS波速度に見られるような逆転層をとらえられていないことが分かる。

6. まとめと今後の展望

地形図やボーリングデータを参考に浅層レーリー波探査、常時微動計測を行った。前者の分析結果から、切盛土の違いによるS波速度構造を把握できた。後者の分析結果から、切盛土、法面上下の違いによる地盤震動特性を把握することができた。浅層レーリー波探査から得られたS波速度とボーリングデータから求めたS波速度の比較では、実測結果が推定と良く対応していることが確認できたが、実測結果は逆転層をとらえていないことが分かった。

今後は、得られた地盤特性を用いて、1次元重複反射理論や非線形を考慮した数値解析を行うことで、地震時の場所による地盤震動の評価を行う予定である。

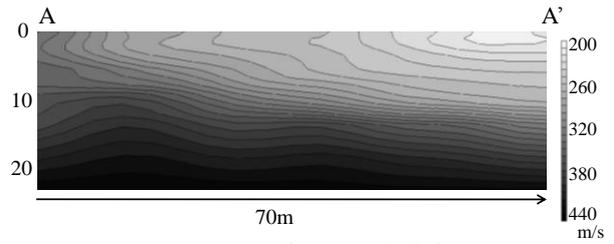


図6 測線SのS波速度構造

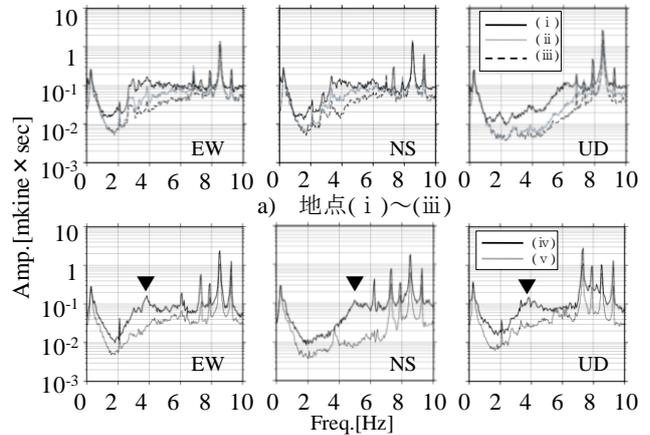


図7 速度フーリエスペクトル

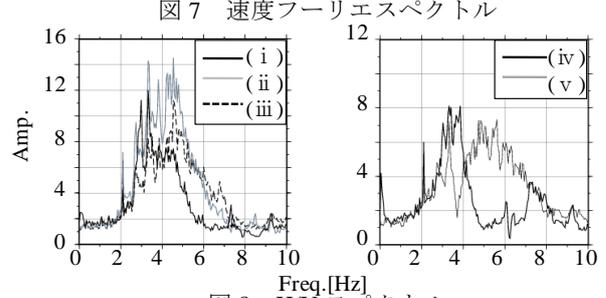


図8 H/V スペクトル

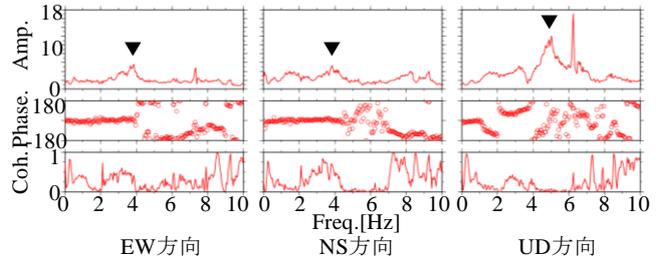
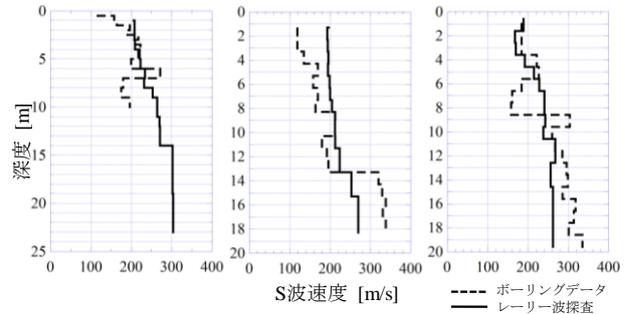


図9 伝達関数(法面上/下)



(a) A工場 P地点 (b) B工場(盛土) (c) B工場(切土)

図10 実測結果とボーリングデータのS波速度の比較
参考文献

- 1) 内閣府：東南海、南海地震等に関する専門調査会(第16回)-地盤構造に関する資料-, pp81、2003.12