

## 北上山地花崗岩体における地中微振動測定

### MICROTREMOR MEASUREMENTS IN THE UNDERGROUND OF GRANITE ZONE IN KITAKAMI MOUNTAINS

松永裕樹<sup>#, A)</sup>, 松下仁士<sup>A)</sup>, 井上竜太<sup>A)</sup>, 下河内隆文<sup>A)</sup>, 吉岡正和<sup>B)</sup>, 佐貫智行<sup>B)</sup>, 小貫勅子<sup>B)</sup>  
Hiroki Matsunaga<sup>#, A)</sup>, Hitoshi Matsushita<sup>A)</sup>, Ryota Inoue<sup>A)</sup>, Takafumi Shimogouchi<sup>A)</sup>,  
Masakazu Yoshioka<sup>B)</sup>, Tomoyuki Sanuki<sup>B)</sup>, Tokiko Onuki<sup>B)</sup>  
<sup>A)</sup> Takenaka Corp., <sup>B)</sup> Tohoku University

#### Abstract

A river crossing area in the planned construction site for the ILC has a thinnest earth covering on bedrock. Therefore it is beneficial to clarify a vibration influence to a tunnel of the ILC caused by vehicular traffics around the river previously. This paper is described about results of microtremor measurements on a ground surface and in an underground of the granite zone in the area with the aim to clarify amounts of vibration and vibration transmission characteristics from the ground surface to underground.

A boring survey and vibration measurements for microtremor and impulse excitations by truck are carried out in a site, which is along the National Route 343 close to Satetsu River. The impulse excitations by truck are carried out when a pile hole is excavated to a depth GL -3.5m and GL -10m, then vibration transmission characteristics from the ground surface to underground are evaluated. Also, vibration transmission characteristics to a depth GL -16m, which is assumed to be thinnest earth covering on the tunnel of the ILC, are estimated. As a result, it is considered that the vibration at a depth GL -16m is reduced by 55% compared with the one at a depth GL -10m.

The vibration caused by vehicular traffics is mainly evaluated based on an integrated displacement at 1Hz about a vertical direction. The displacements at a depth GL -10m are up to 14.6nm on average during 15 minutes and up to 43.7nm when evaluating data at the moment large vehicles pass on the road. Taking the above vibration reduction rate, it is estimated that the displacement near to a depth GL -20m is less than 10nm except for the moment large vehicles pass on the road.

#### 1. はじめに

砂鉄川と国道 343 号が近接する一関市大原町地域は、ILC 建設予定地の中でも特に岩盤に対する土被りが少ない地域となるため、地表面の道路上における車両の通行が ILC のトンネル内に与える振動影響が懸念される。本稿では、当該地域においてボーリング削孔を実施し、地表面および地中(花崗岩体)の微振動測定を行った結果について報告する。

測定は、砂鉄川と国道 343 号が近接するエリアの国道沿いの敷地にて行い、ボーリング削孔、トラックによる衝撃加振、及び一般車両通行時の微振動測定を実施した。トラックによる衝撃加振は、GL-3.5m まで掘削した時点と GL-10m まで掘削した時点で実施し、地表面から地中への振動伝達特性を評価した。更に、ILC のトンネルの土被りが最小の部分を GL-16m 地点と想定し、上記振動伝達特性と車両通行時の微振動測定結果を基に、GL-16m 地点の振動環境を推定した。

#### 2. 測定概要

##### 2.1 測定日時

本測定は 2018 年 10 月 17 日(水)~22 日(月)に実施した。Table 1 に測定スケジュールを示す。

ボーリング削孔は 10 月 18 日~21 日昼前にかけて実

施し、GL-10m まで掘削した。トラックによる衝撃加振時の振動測定は、GL-3.5m 掘削後(10 月 18 日)と、GL-10m 掘削後(10 月 21 日)の 2 回実施した。一般車両通行時の微振動測定は、10 月 21 日 12 時~22 日 13 時まで、24 時間以上実施した。また、測定した時間帯において、大きな地震、及び一関近辺での震度 1 以上の地震は観測されていないことを確認している。

Table 1: Measurement Schedule

10 月 17 日(水)	現地入り、試掘(GL-1.5m)
10 月 18 日(木)	ボーリング用機材搬入 ~GL-3.5m まで掘削 ⇒トラックによる衝撃加振実施
10 月 19 日(金) ~21 日(日)11 時	GL-10m まで掘削
10 月 21 日(日)11 時 ~22 日(月)13 時	トラックによる衝撃加振、及び 24 時間以上の微振動測定実施

##### 2.2 測定場所

Figure 1 に示す国道 343 号沿いの敷地(待機所)において測定を実施した。次節に示す加速度計を地表面と地中に設置し、国道の端からの距離はそれぞれ 3m で統一した。また、トラックによる衝撃加振は地中設置の加速度計に近い位置で実施した。

<sup>#</sup> matsunaga.hiroki@takenaka.co.jp



Figure 1: Map around measurement point. (<https://map.yahoo.co.jp/maps>)

### 2.3 測定方法

地中での振動測定にあたり埋設型の振動センサが必要であったため、東京測振製のサーボ型加速度計 SV355R (水平 2 成分、上下 1 成分) を用いることとした。SV355R の測定分解能については、他の加速度計との実測値比較を行い、文献[1, 2] で用いた特許機器製サーボ型加速度計 MMI-06X (カタログ値  $1 \mu\text{m/s}^2$ ) よりも高分解能であることを確認している。

地表面には、Fig. 2 に示すようにセンサ本体を埋め込んで設置した。地中へのセンサ設置については、掘削孔の最深部までセンサを吊り降ろした後、荒砂を投入してセンサを地中に固定した。また、測定は全てサンプリング振動数 500 Hz で実施した。



Figure 2: Accelerometer placed on ground surface.

## 3. 測定結果

### 3.1 ボーリングコアの性状

10 月 17 日に Fig. 1 の地中加速度計の位置で GL-1.5m まで試掘 (手掘り) し、10 月 18 日にボーリング用機材を搬入して、 $\phi 116$  で GL-1.5m 以深のボーリング削孔を開始した。Figure 3 に採取した 10m 分のボーリングコアの様子を示す。

GL-1.5m までは盛土、GL-3.9m までは礫まじり粘土状コアであった。GL-3.9m 以深が本測定地の岩盤であり、花崗閃緑岩が所々風化しながら GL-10m まで続いていることを確認した。

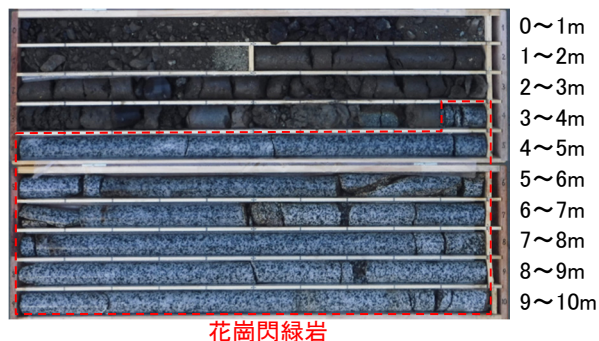


Figure 3: Boring core (GL 0m~GL-10m).

### 3.2 トラックによる衝撃加振時の微振動測定結果

トラックによる衝撃加振は、Fig. 4 に示すように角材を乗り越えて着地する時の衝撃により実施した。測定は 3 成分について実施したが、本稿では地表面、地中ともに鉛直方向の振動について分析した結果を示す。

10 月 18 日の GL-3.5m 掘削後に実施した測定の加速度波形を Fig. 5 に、10 月 21 日の GL-10m 掘削後に実施した測定の加速度波形を Fig. 6 に示す。

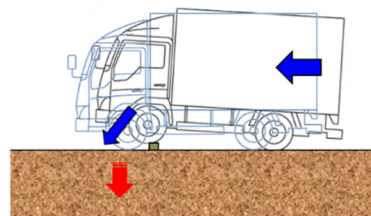


Figure 4: Impulse excitations by a truck.

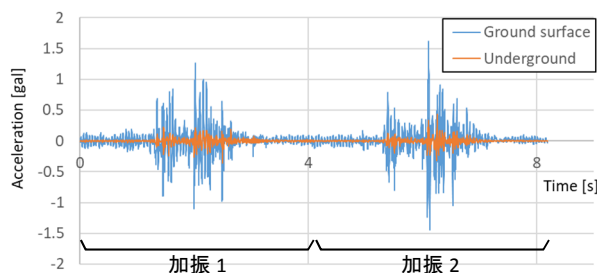


Figure 5: Vertical acceleration caused by impulse excitations on October 18th.

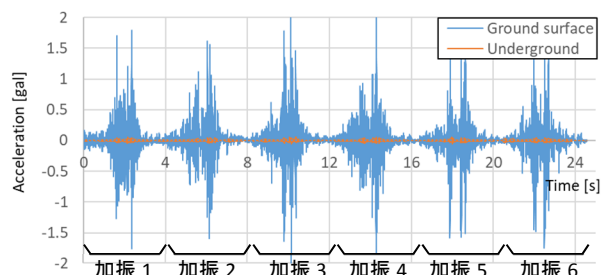


Figure 6: Vertical acceleration caused by impulse excitations on October 21th.

Figure 5, 6 は、適切に測定できた加振ケースについて、1 加振ごとに 2048 点 (4.096 秒) の時刻歴データを切り出し、それらを繋げて表示している。両データについて、Table 2 のパラメータで FFT 分析を行い、「地中 (GL-3.5m) / 地表面」、及び「地中 (GL-10m) / 地表面」の伝達率を算出する。さらに対数軸上で 1 Hz 以降等間隔となるよう、1/3 オクターブバンド中心周波数帯域内の値を算術平均して、各中心周波数の平均値をプロットしたものを Fig. 7 に示す。地表面から GL-3.5m までで概ね 1/5 程度、地表面から GL-10m までで概ね 1/40 程度に振動低減されることがわかる。

次に、Fig. 7 の各中心周波数の伝達率の値を用い、GL-3.5m から GL-10m に伝搬する際の伝達率を算出したものを Fig. 8 に示す。この伝達率を基に、式(1)で表される距離減衰式[3]を適用して、GL-10m から GL-16m までの振動伝達率を下記 ①~⑦ の手順で推定すると、少なく見積もっても 0.45 程度となる。

- ① 基準点  $r_0 = 3.5$  m、受振点  $r = 10$  m とする
- ② 幾何減衰定数  $n = 1.0$  とする
- ③ 基準点の振動レベル  $L(r_0) = 0$  dB とする
- ④ 受振点の振動レベル  $L(r)$  には Fig. 8 の伝達率で安全側の値として 0.245 を代入し、dB 値に変換する (本稿では 1 Hz の積分変位で評価するため、30 Hz 以上の振動は無視できると判断)
- ⑤ 上記手順より、減衰率  $\alpha = 0.055$  が導出され、Fig. 9 の距離減衰率のグラフを得る
- ⑥ Figure 9 より、基準点を GL-3.5m とした時の GL-16m までの距離減衰率は 0.11 となる
- ⑦ GL-10m から GL-16m までの距離減衰率は、「 $0.11 / 0.245 = 0.45$ 」と推定される

Table 2: FFT Parameters

サンプリング	:500Hz
ウィンドウ幅	:2048 点
窓関数	:ハニングウィンドウ
オーバーラップ	:0%
平均方法	:加算平均

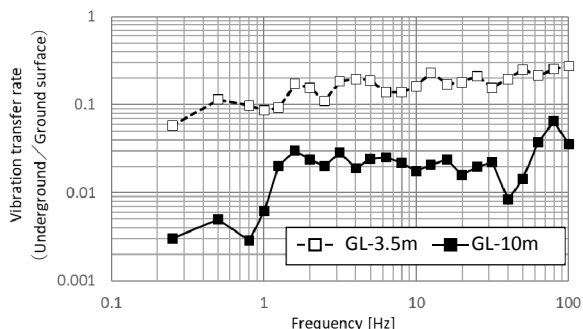


Figure 7: Vibration transfer rate from ground surface to underground about a vertical direction.

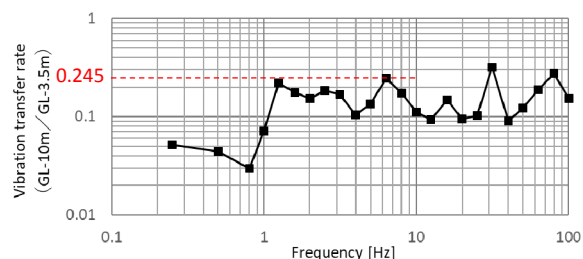


Figure 8: Vibration transfer rate from GL-3.5m to GL-10m about a vertical direction.

$$L(r) = L(r_0) - 20 \cdot n \cdot \log_{10} \left( \frac{r}{r_0} \right) - 8.68 \cdot \alpha \cdot (r - r_0) \quad (1)$$

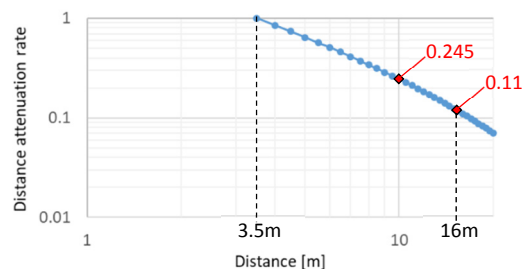


Figure 9: Distance attenuation rate ( $\alpha = 0.055$ ).

### 3.3 一般車両通行時の微振動測定結果

10月21日12時~22日13時にかけて、微振動測定を実施した。測定は3成分について実施したが、本稿では地表面、地中ともに鉛直方向の振動について分析した結果を示す。

車両通行が全く無い静かな時間帯と、多い時間帯について、地表面と地中 (GL-10m) の変位パワースペクトル密度の例を Fig. 10, 11 に示す。FFT 分析は、Table 2 のパラメータでオーバーラップの部分 を 75% に変更した条件で行った。

Figure 10 では、地表面と地中ではほぼ同等の値を示していることから、地表面を含めて加速度計の分解能以下の極めて静かな振動環境であった。尚、50 Hz におけるスパイク状の値は電源ノイズである。

Figure 11 では、当然地表面の方が応答が大きく、3 Hz 以降の振動数領域では地中に振動伝搬して、加速度計の分解能以上の振動が生じていることが確認できる。尚、Fig. 11 については、大型車両が1分間につき平均1台通行する交通状況であった。

次に、車両通行の瞬間の振動量を把握するため、10月22日の7時~13時の間で、大型車両が通行した瞬間の鉛直方向の加速度波形に着目する。波形の最大値が 0.5 gal を超えた 20 ケースを選定し、それぞれ 2048 点 (4.096 秒) の時刻歴データを切り出して、20 ケース分繋げた加速度波形を作成する。その波形に対し、Table 2 の条件で FFT 分析して得られたパワースペクトル密度を Fig. 12 に示す。Figure 11 と比較して、地中の応答が全体的に大きくなっており、大型車両通行の影響をより適切に評価できている。



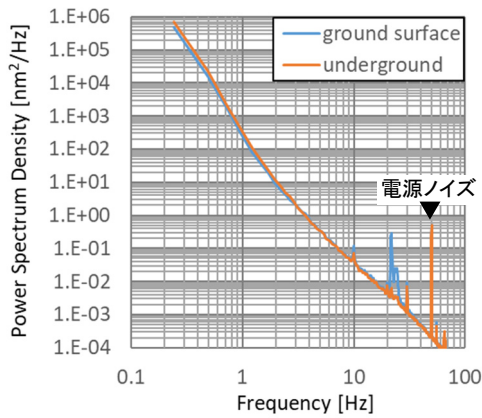


Figure 10: Power spectrum density when any cars didn't pass on the road on October 22th from 1:39 a.m. to 1:49 a.m.

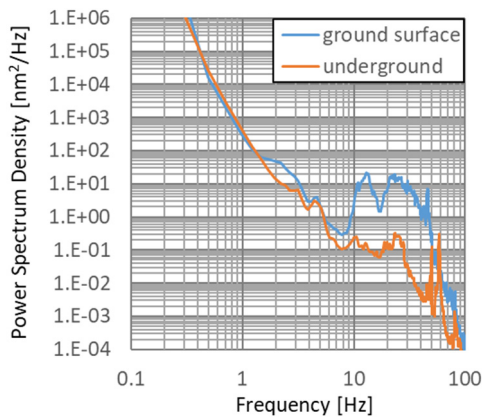


Figure 11: Power spectrum density when the traffic was heaviest on October 22th from 9:37 a.m. to 9:52 a.m.

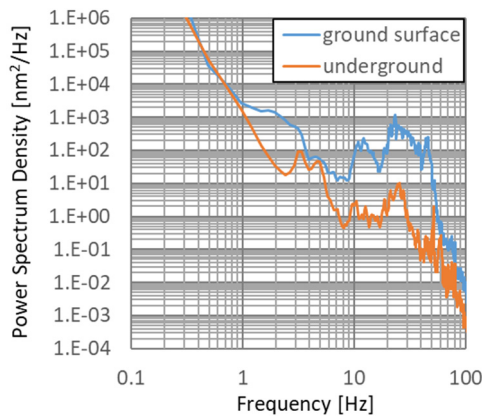


Figure 12: Power spectrum density when evaluating data at the moment a large vehicle pass on October 22th.

最後に、Fig. 10~12 の地中の結果を基に、1 Hz の積分変位を算出した結果を Table 3 に示す。これらの結果は GL-10m 地点のものであり、前節で推定した GL-16m 地点までの距離減衰率 0.45 を乗じると、大型車両が通行した瞬間の積分変位は 19.6 nm、それ以外の状況では 4~7 nm 程度になる。

以上より、ILC のトンネル内では車両通行時に、少なく

とも常時 20 nm (@1 Hz) 未満の振動環境であることが予想される。

Table 3: Integrated Displacement (@1 Hz) About Underground at a Depth GL -10m

Any cars don't pass.	9.2 nm
The traffic is heaviest.	14.6 nm
The moment large vehicles pass.	43.7 nm

#### 4. まとめ

本稿では、砂鉄川と国道 343 号が近接するエリアにて、ボーリング削孔、トラックによる衝撃加振、及び車両通行時の微振動測定を実施した。

トラックによる衝撃加振により、地表面から GL-3.5m 地点、及び GL-10m 地点までの振動伝達特性を評価した。更に ILC のトンネルの土被りが最小の部分で GL-16m 地点と想定し、GL-16m 地点の振動環境を推定した。結果、大型車両が通行した瞬間の積分変位は 19.6 nm、それ以外の状況では 4~7 nm 程度になり、車両交通に対しては少なくとも常時 20 nm (@1 Hz) 未満の振動環境であることが予想される。

#### 謝辞

本測定を実施するにあたり、岩手県科学 ILC 推進室、及び一関市 ILC 推進課の方々には多大なるご尽力をいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] H. Matsunaga *et al.*, "FEASIBILITY STUDY ON MEASUREMENT AND CONTROL OF RELATIVE POSITIONING FOR NANO-BEAM COLLISION", Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, Aug.9-11, 2014, pp.307-311.
- [2] H. Matsunaga *et al.*, "VIBRATION ENVIRONMENT IN THE VICINITY OF BEAM COLLISION POINT IN SUPERKEKB DUE TO LEGAL POWER OUTAGE", Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Aug.7-10, 2018, pp.272-275.
- [3] 塩田正純, "公害振動の予測手法", 井上書院, 1986, pp.130-145.