

ILC 施設への河川流下による影響の評価を目的とした地質と振動の調査

SURVEYS OF GEOLOGICAL FEATURES AND VIBRATIONAL AIMED AT ASSESSING THE INFLUENCE OF RIVER FLOWS ON ILC FACILITIES

小林真人^{#, A)}, 兼松亮^{A)}, 川端康夫^{A)}, 佐貫智行^{B)}, 京谷孝史^{B)}, 吉岡正和^{B), C)}

Masahito Kobayashi^{#, A)}, Takuya Kawasumi^{A)}, Kiyoshi Kanematsu^{A)}, Yasuo Kawabata^{A)}, Tomoyuki Sanuki^{B)},
Takashi Kyoya^{B)}, Masakazu Yoshioka^{B), C)}

^{A)} Tobishima Corporation,

^{B)} Tohoku University, ^{C)} Iwate University

Abstract

Since some streams flow to the Kitakami mountains, which is being considered as a candidate site for ILC construction, it was decided to evaluate in advance the effect of vibration due to rocking under the river flow above the ILC accelerator facility. Therefore, to understand the characteristics of the vibration due to the Satetsu River that flows through the Kitakami site, we carried out survey boring, standard penetration tests, PS logging, and borehole loading test. Besides, a vibration velocimeter has been installed in the bedrock (G.L-21m) directly below the river, and we have started to constantly measure vibrations from March 2020. This paper reports on these outlines.

1. はじめに

ILC 計画候補地の北上エリアには複数の道路や河川がとおり、その一部は ILC 施設を横断する可能性がある。そのため、これらの区間においては道路交通振動や河川流下の揺動による振動の ILC 施設へ与える影響を評価しておく必要がある。これまでに筆者らは、国道 343 号(大原バイパス)と砂鉄川が隣接する地点における道路路盤上の交通振動調査と FEM 解析を行い、土被り 20 m 程度で弾性係数 200 MN/m² 程度の軟岩が出現する条件でも ILC 施設では道路交通振動の影響を受けにくいことを報告している[1]。一方、河川による振動影響の調査研究例は見当たらず ILC 施設への影響は不明である。

この様な背景により、2020 年 3 月末から砂鉄川河床岩盤内での振動調査を継続している。また、調査に先立って Fig. 1 に示す地点の砂鉄川河床にて、メンテナンスル天端が想定されている深さまでボーリングを行い、ILC で計画されている岩盤と同等の強度を有する岩盤であることを確認した。本報では調査地点における地盤調査結果および振動の調査結果について示す。

2. 地盤調査

2.1 地盤調査の概要

振動調査として、河川流下の揺動による振動を捉えることを目的とし、河床直下の岩盤内に計測孔を設けて高精度の振動センサーを埋設することとした。地盤内の振動の大きさは、振動源のエネルギーだけでなく、伝播経路の地盤性状も影響を与えることを筆者らは確認している。よって、計測孔の設置作業を利用し以下に示す地盤調査・試験を実施し地盤性状を確認した。

【地盤調査項目】

- ・調査ボーリング(L=21.0 m コア採取)



Figure 1: Outline of survey point.

- ・標準貫入試験
 - ・PS 検層
 - ・孔内水平載荷試験(1 箇所)
 - ・岩石試験(一軸圧縮試験、密度試験、超音波速度試験)
- 調査位置は砂鉄川沿いで良好な岩盤の分布が期待でき、計測システムを長期間設置することができる箇所を選定した。

2.2 調査・試験結果

各種調査結果を Fig. 2 に示す。調査位置の地盤は地表から 2 m まで土砂、それ以深は岩盤(花崗岩)が分布し、概ね期待した通りの地質構成であった。コアには 5 cm~数 10 cm 間隔に割れ目が存在するものの、岩盤自体は硬質(岩片を割るのにハンマー強打を要する)であり、風化による強度低下や土砂化(マサ化)は部分的であった。

計測孔沿いの岩盤 P 波速度(PS 検層)は、深度 11 m

[#] masahito_kobayashi@tobishima.co.jp

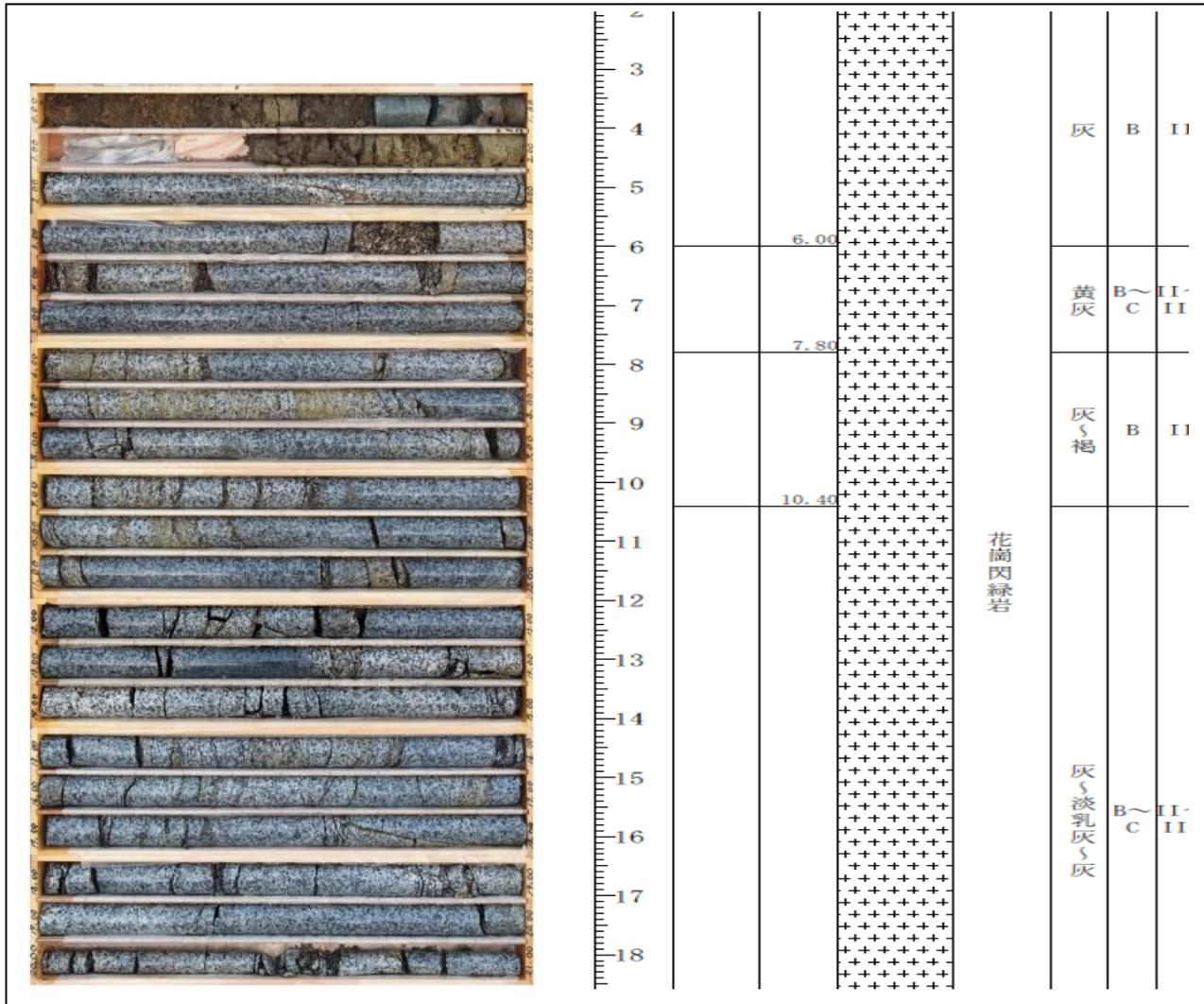


Figure 2: Boring core and log.

以深が $V_p=3,000$ m/s 以上を示しており良好な岩盤であることが確認できた。また、振動センサーを設置する孔底周辺の岩盤では、一軸圧縮強度 (20.2~20.3 m) が 95.3 MN/m²、P 波速度 (コアの超音波速度試験: 20.2~20.3 m) が 5.13 km/s で硬岩レベル、孔内載荷試験 (20.5 m) による変形係数は $4,110$ MN/m² で中硬岩レベルの数値を示した。

各種調査・試験結果から調査位置は中硬岩以上の岩盤が分布していることが明らかとなり、ILC で計画されている岩盤と同等であることを確認できた。

3. 振動調査

3.1 調査方法

Figure 3 に振動の計測システムを示す。システムのうち AD 変換器や PC は現地に設置した計測小屋に収納して 2020 年 3 月末から自動計測を継続している。ここで、埋設型 3 成分サーボ型速度計 (東京測振 VSE-355D6M, 測定周波数範囲 0.1~70 Hz, 感度 10 V/kine) を地盤調査の際に削孔したボーリング孔の最深部 (メ

ントンネル天端が想定される深さ G.L. -21 m) に設置した。ボーリング孔には速度計メーカー指定による 3 分砂利を充填して速度計を固定した。振動の測定方向は南北・東西の水平 2 方向と鉛直 1 方向とした。速度の時間応答はサンプリング周波数 200 Hz で 90 秒間を 1 ファイルとして PC へ記録している。記録した速度応答を時間積分して変位とし、ファイル毎に最大値を記録するとともに FFT 処理によりスペクトルを確認している。

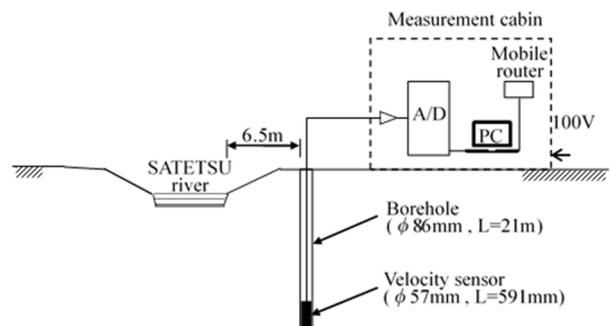


Figure 3: Measurement system.

3.2 調査結果

Figure 4 a), b), c)に2020年3月末から2021年6月末までの振動方向別の振動変位(橙)の計測結果を示す。ただし、90秒毎に記録した変位波形から最大値を抽出し、1時間幅で移動平均した値である。また、図中には調査地点から1kmほど上流にある岩手県の川内観測所による砂鉄川の流量(m^3/s)、および気象庁の唐桑波浪観測施設(宮城県気仙沼市)による波高(m)データを引用して併記する。

振動について常時 $0.1 \mu m$ から $0.2 \mu m$ ほどの変位を生じており、時折、 $0.5 \mu m$ から $0.6 \mu m$ と大きな変位を生じていることがわかる。また、振動の方向による相違は小さいようである。砂鉄川の流量(赤)に着目すると定常的に $0.01 m^3/s$ から $0.05 m^3/s$ の流量となっているが、計測期間中に9回ほど短時間で $10 m^3/s$ を超える流量を観測し、 $4 m^3/s$ から $6 m^3/s$ となる流量も9回ほど観測するなど時折急激に増水している様子が確認できる。波高(青)に着目すると $0.5 m$ 前後で日々変動する様子が見られ、計測期間中に20回ほど $2 m$ を超える波高が出現している。ここで、各計測量の対応について見る。一例として、2020年4月19日には変位が $0.5 \mu m$ 程度となり、砂鉄川の流量が $10 m^3/s$ を超え $6 m$ 近い波高記録して

いる。ところが、例えば2020年7月28日や8月8日には砂鉄川流量が $10 m^3/s$ を超えているにもかかわらず変位に大きな変化は見られない。その一方で、波高が高くなると変位も大きくなっており、波高と変位に何らかの相関があるように見える。

河床下部の岩盤内で発生している振動の状態を確認するため、砂鉄川流量が大きい2020年8月8日9:03から計測した変位のパワースペクトル密度、波高の高い2020年9月26日12:08から計測した変位のパワースペクトル密度をFig. 5, Fig. 6に示す。Figure 5に着目すると、いずれの方向も $0.1 Hz$ から $0.3 Hz$ にピークが見られ、N-SとVerticalのパワースペクトル密度は $0.01 \mu m^2/Hz$ 程度でEWは若干小さくなっている。また、 $1 Hz$ 付近より高い周波数ではランダムな応答となっており砂鉄川による影響が示唆されるが、ノイズの影響も考えられるので今後分析方法を精査する必要がある。Figure 6ではFig. 5と同様な周波数特性を示すものの応答が増大し $0.2 Hz$ 付近のピークもより明確になって波浪の影響が伺える。

Figure 4においても変位と波高の相関が示唆されたため、唐桑波浪観測施設で観測された波高に対応する波浪の周期から求めた周波数をFig. 7に示す。これを見ると波浪の周波数は $0.1 Hz$ から $0.3 Hz$ の間で変動してい

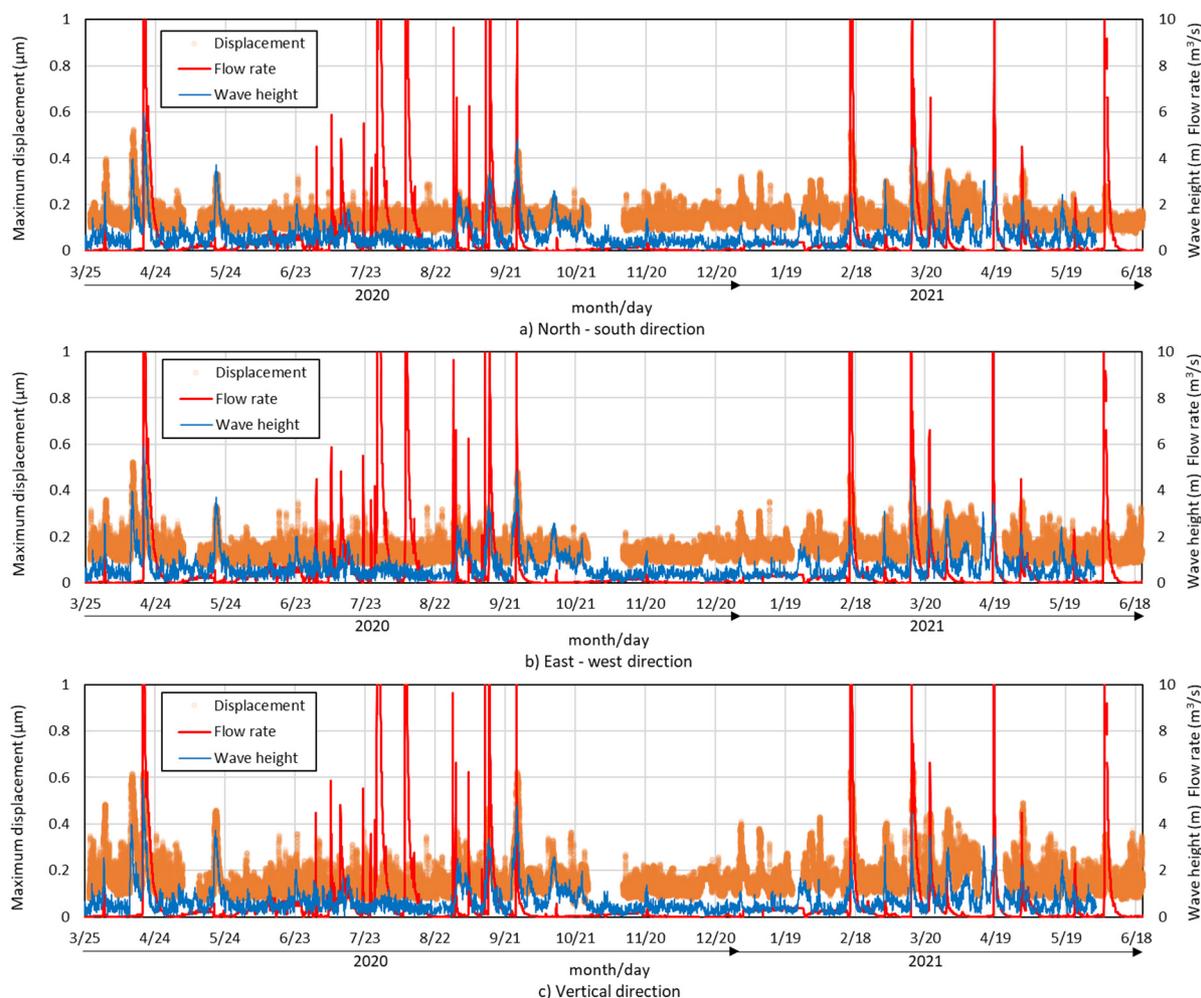


Figure 4: Comparison of displacement measurement results with flow rate and wave height.

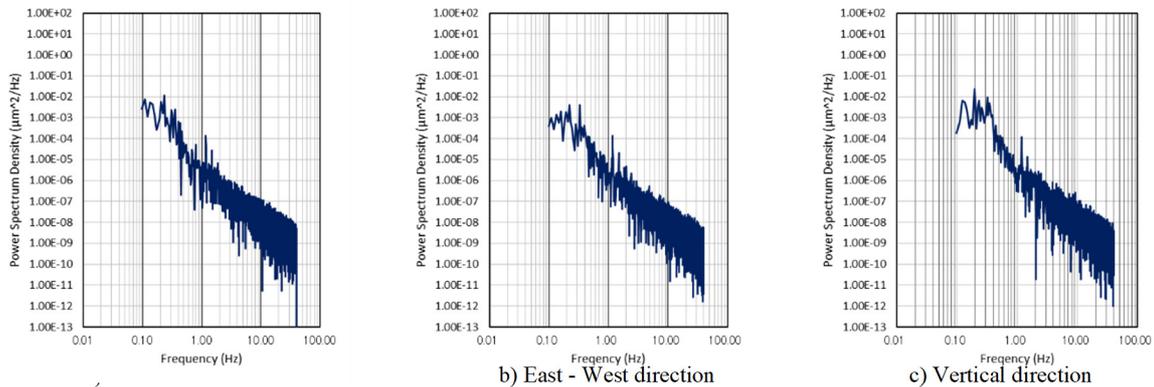


Figure 5: Power spectrum density of displacement (2020.8.8, 9:03:00).

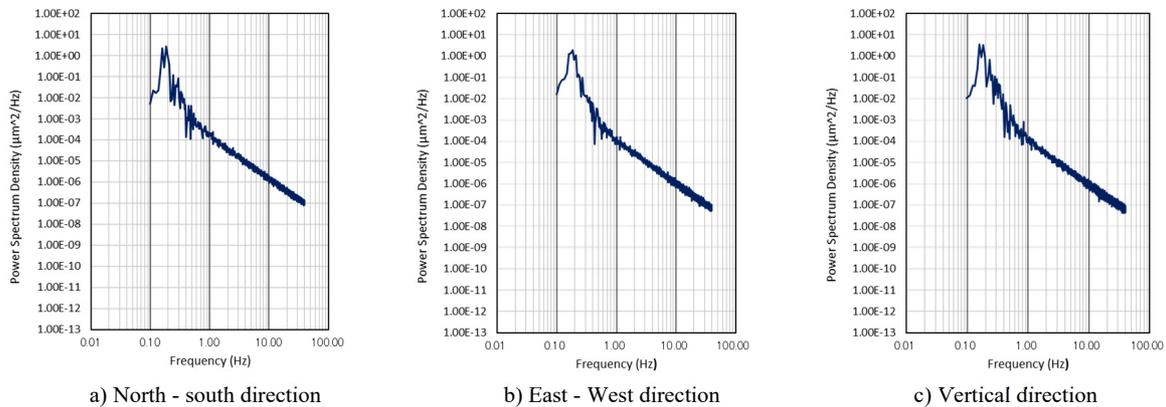


Figure 6: Power spectrum density of displacement (2020.9.26, 12:08:00).

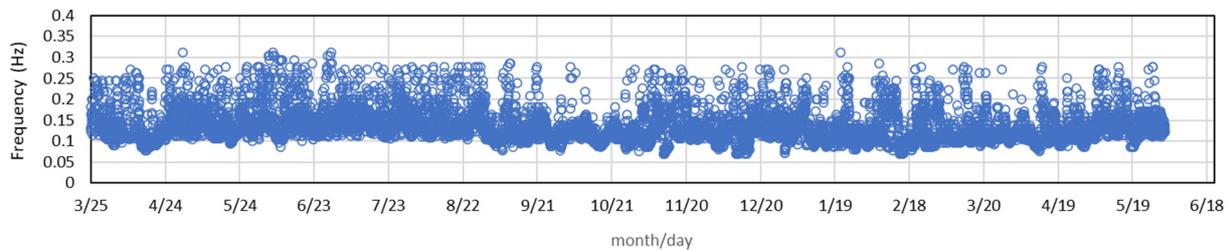


Figure 7: Wave frequency measurement results.

ることがわかる。これらの結果からも岩盤内の振動に対して波浪の影響が示唆される。菅原[2]らは、江刺潮汐観測施設の坑道で常時微動計測を行い、スペクトル解析で得られた 0.2 Hz 付近のピークは波浪による影響であると報告している。いずれも太平洋沿岸部から 30 km 程度内陸の調査結果ではあるが、波浪の影響が見えている可能性がある。

4. まとめ

河川流下による ILC 施設への影響を評価することを目的に ILC で計画されている岩盤と同等の強度を有する砂鉄川の河床下部岩盤で振動の長期計測に着手した。本報では 2020 年 3 月から 2021 年 6 月末までの結果を示した。調査結果から流量と振動の関係は明確にならなかったが波浪による影響が示唆された。現在も調査を継続しており砂鉄川流量の影響を見るため河床浅部の

G.L. -4 m へ測点を追加した。今後、G.L. -21 m での振動との相関を分析して ILC 施設に対する河川振動の影響を検討する予定である。

謝辞

調査研究は、岩手県南広域振興局、同科学 ILC 推進室、および一関市からの多大な協力の下に実施することができた。ここに深謝する。

参考文献

- [1] 小林真人 他, “ILC 施設への道路交通振動の影響検討および河川の揺動による振動の調査計画, Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Kyoto, Japan, Jul. 31- Aug. 3, 2019, pp.950-953.
- [2] 菅原龍平 他, “脊振地点および江刺地点における常時微動測定”, KEK Report 2007-6, Feb., 2008.