

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

INVESTIGATION OF INFLUENCE OF ROAD TRAFFIC VIBRATION ON ILC FACILITIES AND INVESTIGATION PLAN OF VIBRATION BY FLUCTUATION OF RIVER

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^{C)}
Masahito Kobayashi^{#, A)}, Kiyoshi Kanematsu^{A)}, Yasuo Kawabata^{A)}, Tomoyuki Sanuki^{B)}, Takashi Kyoya^{B)},
Masakazu Yoshioka^{C)}
^{A)} Tobishima Corporation
^{B)} Tohoku University, ^{C)} Iwate Univ., Tohoku Univ.

Abstract

The route being considered in the ILC plan is a section that passes under a road and a river with a soil coverage of less than 20m. In these sections, it is necessary to evaluate the influence of vibration caused by road traffic vibration and fluctuation of river flow on accelerator facilities. Therefore, we measured the road traffic vibration at the point where National Route No. 343 and the SATETSU River were adjacent. The propagation characteristics of road traffic vibration in the direction of ground depth were examined by FEM analysis given the point of excitation force of automobile. In addition, at the intersection of the ILC planned route and the SATESTSU River, a survey is planned to understand the characteristics and propagation characteristics of the river's vibration. This report presents the analysis results of the effects of road traffic vibration on the main tunnel, and the investigation plan of the fluctuation due to the fluctuation of the river.

1. はじめに

ILC 計画候補地の北上エリアには、計画ルート上に複数の道路や河川がとおり、その一部ではメンテナンスが小土被りでそれらの直下を通過することになる。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。

この様な背景のもと、まず、道路交通振動による影響に着目した。そこで、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を実測した。実測値から自動車走行時の加振力を逆算し、これを点加振源として与えた FEM 解析によって道路交通振動の岩盤深さ方向への伝搬特性を検討した。メンテナンスは花崗岩体に建設される計画であるが、ここでは、岩盤の弾性係数を軟岩相当とした場合、硬岩相当とした場合について解析を行った。

一方、河川流下の揺動による振動影響を評価することを目的として、計画ルート上を流れる砂鉄川下部の岩盤内における振動の実測調査を計画している。

本報では道路交通振動によるメンテナンスへの影響の解析結果、および河川の揺動による振動の調査計画案について報告する。

2. 道路交通振動の実測調査

2.1 調査の概要

道路交通振動の調査は、一関市大東町を通る国道 343 号(大原バイパス)の路面上で行った。調査地点の概要を Fig. 1 に示す。調査は 2018.11.20 および

2018.11.21 の 10:00 から 15:00 に行った。計測機器等の配置を Fig. 2 に示す。調査対象は国道 343 号を陸前高田方面へ走行する車両として、路面で発生する振動加速度(3 方向)と通過速度を計測し、併せて車種を記録した。ただし、ILC 施設の外乱振動に対する管理は変位で行うため、後分析によって加速度から変位を求めた。ここ



Figure 1: Outline of survey point.

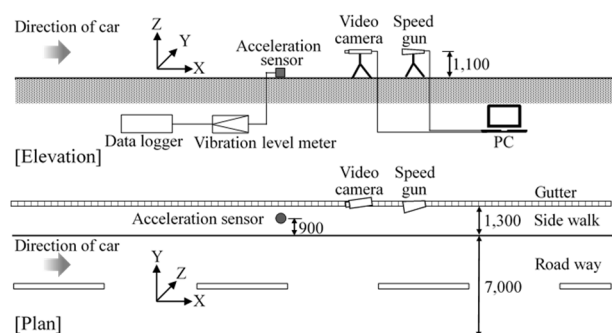


Figure 2: Placement of measuring equipment.

[#] masahito_kobayashi@tobishima.co.jp

で、路面は密粒アスファルト舗装であり、調査地点の周囲に目視で確認できる亀裂や段差等は生じていなかった。また、調査時間帯の天候は曇り時々晴れであり、気象による道路交通への影響は生じていなかった。

2.2 調査結果

調査期間中、調査対象車線を車両が単独で通過する場合以外に、連続して車両が通過する場合、両車線同時に車両が通過する場合があった。ここでは1台あたりの影響を明らかにすることを優先したため、調査対象車線を単独で通過する車両のみを分析対象とした。単独で通過した車両は大型車67台、普通車641台であった。ここでは積載量2 ton以上の車両を大型車とした。大型車の内訳は、10 ton ダンプ 24台、10 ton 以上貨物5台、10 ton 未満貨物26台、ローリー車やミキサー車などが11台であった。

まず、車両走行によって発生する振動の傾向を確認するため、振動の方向別に変位時刻歴の最大値と車速の関係を Fig. 3 に整理した。ただし、大型車、普通車とも上位20台のデータである。振動の方向別に比べると X と Y に比べて Z の応答が大きくなり、車両のタイヤやサスペンションと上乗荷重による鉛直方向の動きが振動の発生に寄与していることがわかる。また、大型車と普通車で比べれば、明らかに大型車の振動が大きく、このことから振動の発生が上乗荷重に大きく影響を受けていることがわかる。また、現地地で得られた走行速度(大型車:43 km/h~61 km/h, 普通車:43 km/h~73 km/h)の範囲では車速と振動との関係性は低いことがわかる。大型車について上位20台の最大値(Z)を与えたのは、骨材を積載した10 ton ダンプ(速度:50 km/h)であった。これを含め12台が10 ton ダンプで最も多く、8台はローリー車やミキサー車であった。

以上のことから、現地において ILC 施設へ最も大きな影響を与える可能性が高いのは骨材を積載した10 ton ダンプ(総重量:約20 ton)の走行である。10 ton ダンプ走行時の振動特性の例として、上述のダンプによる振動の時刻歴と周波数特性を Fig. 4 と Fig. 5 に示す。

時刻歴に着目すると、先にも述べたように X と Y に比べて Z の応答が大きくなる。また、特に Z で顕著であるが、1.8 秒付近で前輪、2.1 秒付近で後輪が通過(このダンプの速度は50 km/hで、0.3 秒間には約4.0 m 移動するので前後輪の間隔にほぼ等しい)したことによると思われる振動が生じ、接地荷重の大きい後輪では

7 μm の変位となった。また、Y は道路横断方向の応答であるため、道路端の構造的変化による反射波の影響が懸念されたが、計測結果からは反射の影響は確認できない。周波数特性に着目すると3 Hz から4 Hz にピークが確認できる。これは、車両のばね上共振による影響[1]であり大型車では特に顕著である。

以上のようにメンテナンスと国道343号の交差点部においては10 ton ダンプの走行による影響が懸念される。そこで、次章では現地地で得られた10 ton ダンプ走行時の振動を用い、FEM 解析によりメンテナンスが施工されると想定される岩盤深さでの変位の推定を試みる。

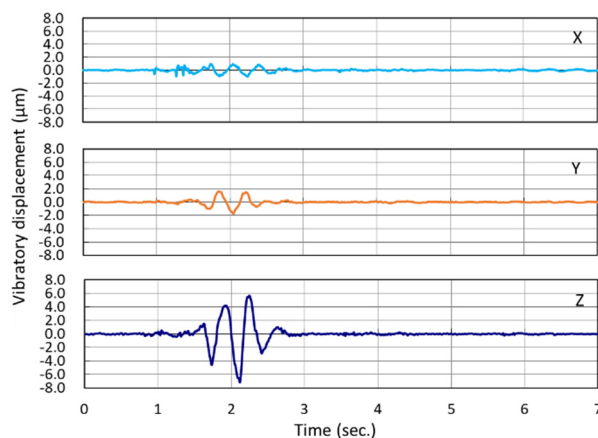


Figure 4: Time response of displacement.

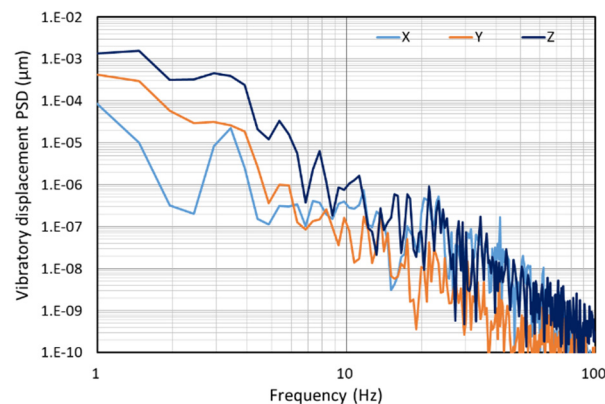


Figure 5: Frequency response of displacement.

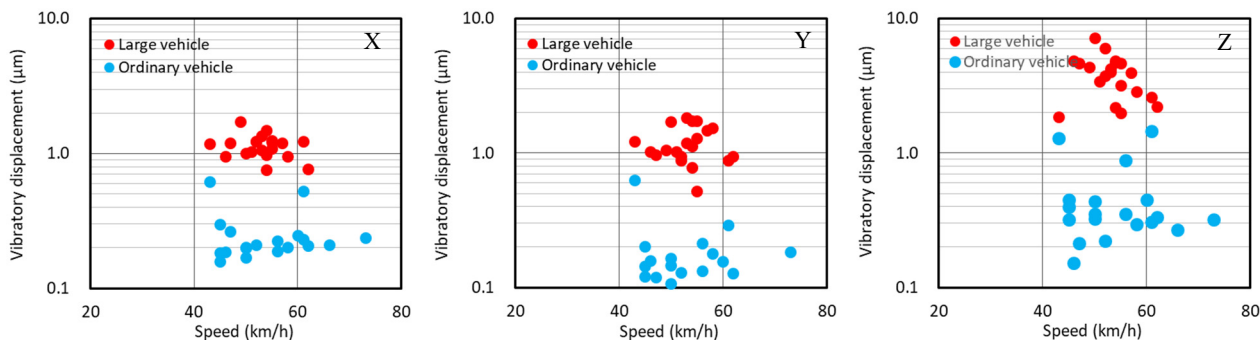


Figure 3: Relationship between maximum displacement and vehicle speed (Top 20).

3. FEMによる地盤応答解析

3.1 解析モデル

地盤応答解析には、地盤-トンネル系の動的応答解析ソフトであるMIDAS IT社製“GTS NX”を用いた。

解析対象エリアの地盤構造を岩盤上に真砂土が堆積し盛土されているものと想定して Fig. 6 のモデルを作成した。ここで、モデルの大きさを L: 400 m, W: 400 m, D: 232 m として、メッシュはソフトのメッシュ自動生成機能により作成した。ただし、地盤はソリッド、路盤とメイントンネルはシェルでモデル化した。振動の方向は陸前高田方向を X, メイントンネル軸方向を Y, 鉛直方向を Z として、加振力はモデルの中央に与えた。境界条件は側面を粘性境界、底面は固定とした。

地盤の材料物性はメイントンネルが計画されている岩盤と同種の人首花崗岩を掘削した“岩手県発注; (仮称) 梁川トンネル工事”の詳細設計資料[2], ILC 立地可能性評価に関する研究[3]を参照して設定した。ただし、現地の土被りが 20 m 弱であり軟岩が出現する可能性があるため、岩盤の弾性係数については、硬岩と軟岩の両方を想定した解析を行った。ここで、軟岩の弾性係数については文献[2]に示された値、硬岩の弾性係数については文献[3]を参考に軟岩の 100 倍とした。Table 1 に解析に用いた物性を示す。

3.2 加振力の推定

10 ton ダンプ走行時の路面における加速度実測値を用い、下記により解析に供する加振力を推定した。

- 仮の加振力を F' , 仮の荷重を m' , 加速度の実測値を a として F' を求める。ここでは m' を 10 ton とした。
- F' を加振点に与えて実測点の加速度を計算する。
- 実測加速度と解析による加速度の比を補正係数 K として推定加振力 F を求める。

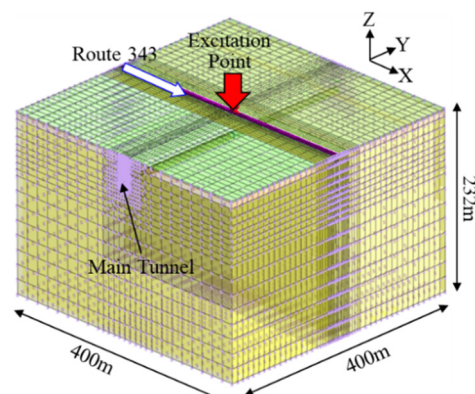
3.3 解析結果

Table 2 に岩盤を軟岩とした場合、Table 3 に硬岩とした場合の解析結果を示す。ここで、評価は加振点直下のメイントンネル覆工で行うものとして、Fig. 7 に示す 1 から 10 の評価点における変位を求めた。

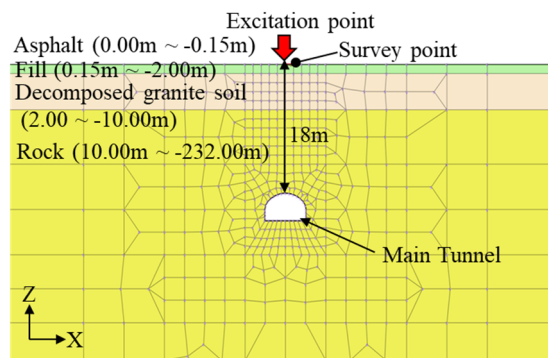
Table 2 に着目すると、X と Y に比べて Z の変位が大きくなり、特に No. 1 (トンネル天端) の変位が最大になることがわかる。結果には変位の合成値も併記したが、その振幅はほぼ Z での成分で決定されているようである。一方で Table 3 に着目すると、応答は軟岩に比べて十分の一程度になることがわかる。ILC 施設への振動は 100 nm 以下で管理されることが提案[4]されている。よって、本報の解析条件であれば、軟岩の場合であっても管理値以下であり、硬岩の場合はさらに道路交通の影響を受けにくいものと考えられる。

4. 河川の揺動による振動の調査

計画ルート上には砂鉄川が流れることから、砂鉄川の揺動による ILC 施設への振動の影響が懸念されている。そこで、砂鉄川下部の岩盤内における振動を調査し、その結果に基づいた ILC 施設への影響評価を行い、対策を検討することが重要である。ここでは、現在検討している振動調査計画の概要を示す。



a) 3D Model



b) Cross section (Z-X)

Figure 6: Analysis model.

Table 1: Physical Property Value of Each Element

| | Rock | | Decomposed granite soil | Fill | Asphalt | Concrete | |
|---|-----------|-----------|-------------------------|------|---------|-----------------|-----------------|
| | Soft rock | Hard rock | | | | Lining (Tunnel) | Bottom (Tunnel) |
| Elastic modulus (MN/m ²) | 200 | 20,000 | 21.7 | 21.7 | 6,400 | 22,000 | 22,000 |
| Poisson ratio | 0.3 | 0.25 | 0.3 | 0.3 | 0.35 | 0.2 | 0.2 |
| Unit volume weight (kN/m ³) | 25 | 26 | 16 | 16 | 25 | 23 | 23 |
| Lateral pressure ratio | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | - | - | - |
| Thickness (m) | 222 | 222 | 8 | 1.85 | 0.15 | 0.35 | 0.4 |

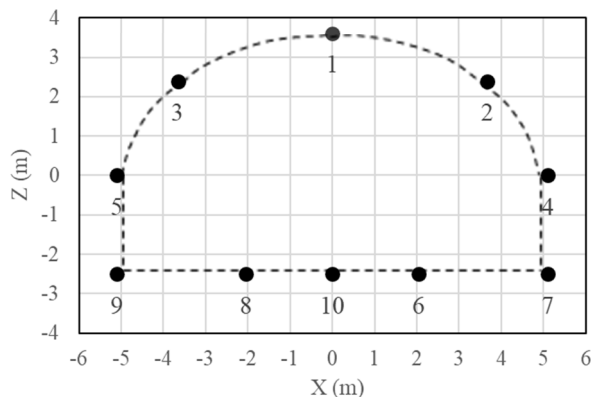


Figure 7: Evaluation points of vibration displacement.

Table 2: Analysis Result (Soft Rock)

| No. | X (nm) | Y (nm) | Z (nm) | Composite (nm) |
|-----|--------|--------|--------|----------------|
| 1 | 2.11 | 1.36 | 35.46 | 35.55 |
| 2 | 4.47 | 1.32 | 25.13 | 25.56 |
| 3 | 6.23 | 1.34 | 25.40 | 26.19 |
| 4 | 8.32 | 1.26 | 21.01 | 22.63 |
| 5 | 10.47 | 1.27 | 20.86 | 23.38 |
| 6 | 1.17 | 1.17 | 15.57 | 15.66 |
| 7 | 1.15 | 1.20 | 20.53 | 20.60 |
| 8 | 1.32 | 1.17 | 15.65 | 15.75 |
| 9 | 1.44 | 1.20 | 20.40 | 20.48 |
| 10 | 1.25 | 1.16 | 15.49 | 15.58 |

Table 3: Analysis Result (Hard Rock)

| No. | X (nm) | Y (nm) | Z (nm) | Composite (nm) |
|-----|--------|--------|--------|----------------|
| 1 | 0.11 | 0.08 | 2.11 | 2.11 |
| 2 | 0.16 | 0.07 | 1.87 | 1.87 |
| 3 | 0.15 | 0.07 | 1.86 | 1.87 |
| 4 | 0.19 | 0.06 | 1.54 | 1.55 |
| 5 | 0.19 | 0.05 | 1.53 | 1.54 |
| 6 | 0.07 | 0.04 | 1.15 | 1.15 |
| 7 | 0.13 | 0.04 | 1.35 | 1.35 |
| 8 | 0.08 | 0.04 | 1.15 | 1.15 |
| 9 | 0.13 | 0.04 | 1.34 | 1.35 |
| 10 | 0.06 | 0.04 | 1.13 | 1.13 |

4.1 調査方法

振動調査に用いる計測システムの概要を Fig. 8 に示す。Table 4 に 2019 年度の調査スケジュールを示す。2019 年度はまず、ILC 施設への影響の程度を把握するために、トンネル底盤に相当する深さの岩盤で振動の計測を行う(測点No.1)。ここで、センサーは埋設型の3成分センサー型速度計を用いる。また、河川流量が季節変化するため、年単位で流量と振動との対応を検討する必要がある。そこで、計測システム設置後の1年間にわたり計

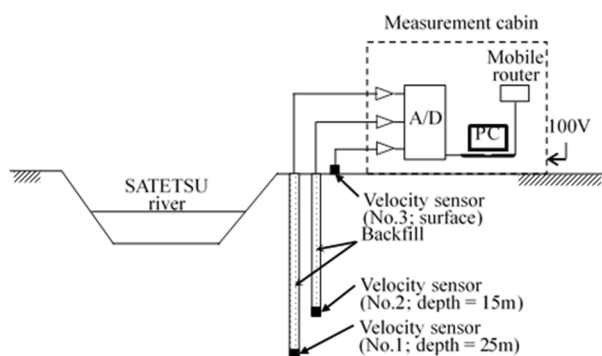


Figure 8: Measurement system.

Table 4: Survey Process

| | 2019 | | |
|----------|----------------------------------|---------------|-----------------------------|
| | Second quarter | Third quarter | Fourth quarter |
| Planning | Review of specifications | | |
| | Production of measurement system | | |
| Survey | Coordination consultation | | |
| | Request, Approval | Inatall | Measurement, №1, (~2020.11) |

測を行うこととする。No. 1 における1年間のデータから ILC 施設への影響が示唆された場合には、トンネル天端に相当する岩盤にも測点を追加(測点 No. 2)する。この際、自動車等の影響を区別するために地表面にもセンサーを設置(測点 No. 3)する。測点を3点としたうえで流量と振動を対応させたデータを取得し、得られた結果から河川による加振力を逆算してFEMによってメイントンネルへの影響を評価する。なお、河川流量は当該箇所の約 800 m 上流における観測所(川内水位局)のデータを利用する予定である。

4.2 計測管理

センサーの埋設点や計測小屋の設置個所については関係機関と協議のうえ決定するが、屋外での長期計測となることから下記によりシステムの保全を図る。

- ・計測システムは借地に計測小屋を設置して収納する。
- ・商用電源を利用し無停電装置を設置する。
- ・地元の協力業者へ日常の目視点検を委託する。
- ・計測データはネットワークを介して適宜確認する。
- ・2 カ月に 1 回程度の頻度で、現地にてシステム稼働状態の確認と計測データのバックアップを行う。

5. まとめ

国道 343 号と砂鉄川が隣接する地点において、FEM 解析によって岩盤深さ方向に対する道路交通振動の影響を推定した。岩盤内の振動振幅は弾性係数に大きく依存するので、メイントンネルが計画されている岩盤と同種の人首花崗岩体を掘削した(仮称)梁川トンネル工事の詳細設計資料に示された軟岩の弾性係数を与えた場合、および硬岩として軟岩の 100 倍の弾性係数を与えた場合について検討した。その結果、2019.11.20, および 11.21 に実施した道路交通振動の調査結果に基づく推定ではあるが、ILC 施設の振動許容値 100 nm に対して、軟岩であってもこれ以下の値となり、硬岩ではさらに交通振動の影響を受けにくい結果が得られた。

今後は砂鉄川の揺動による振動の影響評価に関する調査研究を実施する予定であり、これらの結果についても順次報告する。

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] 深田宰史, 他, “土木学会論文集 E1, Vol.68, No.3”, 高速道路走行時の大型車ドライバーにより抽出された短波長の苦情路面に対する評価, 2012, pp.1 45-1 53.
- [2] 平成 25 年度 一般国道 107 号梁川~口内地区道路及びトンネル詳細設計資料・路線測量・地質調査業務委託平成 27 年 3 月.
- [3] 公益社団法人地盤工学会東北支部 ILC 立地可能性評価に向けた北上山地地質調査研究委員会, “ILC 立地可能性評価に向けた北上山地地質調査報告書 第 1 部 地表面調査”, pp.139, 2013.7.
- [4] 早野仁司, “第 5 回 ILC 技術セミナー資料”, ILC トンネルと許容地盤振動, 2019.2.