

松山市の一地点における地盤と建物の環境振動 に対する気象・交通・人流の影響

森 伸一郎¹・平田 靖明²・佐古 昇大³

¹フェロー 愛媛大学准教授 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: mori@chime-u.ac.jp (Corresponding Author)

²正会員 広島市役所 (元・愛媛大学工学部学生) (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: hirata.yasuaki.17@cee.chime-u.ac.jp

³正会員 復建調査設計 (元・愛媛大学大学院理工学研究科学生) (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3
番)

E-mail: sako.shota.15@cee.chime-u.ac.jp

新型コロナウイルス感染症のパンデミックに伴う微動・環境振動への影響（振幅低減現象）を「コロナ微動」と呼ぶことにする。コロナ微動の成因を明らかにするには、振動が観測される地盤の微動や建物の環境振動に及ぼす気象、交通、工場、建設工事、人流の影響をきめ細かく調べる必要がある。本論文では、松山市の2地点の地盤・建物で4台の高精度動コイル型速度計を用いて連続観測することにより、松山市内のコロナ微動の基になる微動・環境振動への気象と市内交通の影響を明らかにする。また、建物の環境振動について、周辺交通量と人流を一日調査し、地盤微動との相関を明らかにする。

Key Words: ambient vibrations, microtremors, traffic, foot traffic, COVID-19

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症 (Covid-19) リスクへの対応のため、人の移動制限や社会の活動の制限・自粛が世界的に実施されている。感染の拡大・低減は社会経済活動の増減と密接な相関が考えられる。一方、人の社会経済活動は気候事象とともに地盤の微動や構造物の環境振動の源泉である。したがって、微動や環境振動は Covid-19 の感染拡大・減少と人の社会経済活動の増大・低減と時間的ずれを伴いながら相関があることが想定される。

Gibney¹⁾は3月末にニュースとして取り上げ、その対象となった Lecocq は27か国の77名の研究者をまとめ、世界各地でロックダウンが微動・環境振動を低下させたことを示した²⁾。このような新型コロナウイルス感染症のパンデミックに伴う微動・環境振動への影響（振幅低減現象）を「コロナ微動」と呼ぶことにする。コロナ微動の成因を明らかにするには、振動が観測される地盤の微動や建物の環境振動に及ぼす気象、交通、工場、建設工事、人流の影響をきめ細かく調べる必要がある。

本論文では、松山市の2地点の地盤・建物で4台の高精度動コイル型速度計を用いて連続観測することにより、

松山市内のコロナ微動の基になる微動・環境振動への気象と市内交通の影響を明らかにする。また、建物の環境振動について、周辺交通量と人流を一日調査し、地盤微動との相関を明らかにする。

2. 松山市内の建物・地盤の連続振動観測と分析

(1) 方法

松山市文京町にある愛媛大学工学部2号館 (EUSE2: 6階建てのRC造建物) の屋上階 (RF) と周辺地盤 (G) において、2020年6月12日より連続振動観測を実施した。この建物は、西側25mに松山市道が、南側25mに伊予鉄市内環状線の線路がある。また、大学キャンパスの西門からの構内道路に面しており、学生・他の車両・人の往来が多い。また、本町3丁目の共同住宅でも観測した。図-1に観測対象地点と気象・交通流の観測地点を示す。

地盤の微動と建物の環境振動の振幅の時間変動を比較することを目的とした。センサーは0~20Hzで平坦な振動数特性を有する動コイル型速度計 (KVS-300) であり、

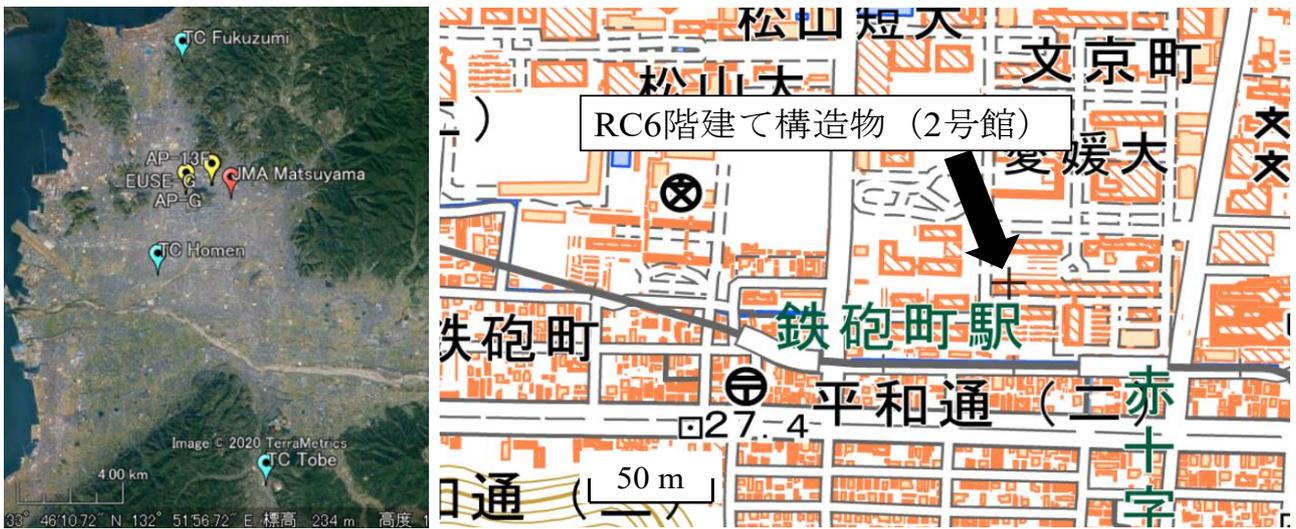


図-1 対象地点と交通・気象観測地点および愛媛大学城北キャンパス工学部2号館

記録器 EDR-X7000 に 250Hz サンプリングの ADC で記録した。16384 秒を 1 セグメントとして、16 セグメント (4.37 分間) を平均化した。また、バンド幅 0.3~3.0 Hz のバンド幅の Parzen ウィンドウで平滑化した。2, 4 Hz 成分は 0.3 Hz のバンド幅、8, 10 Hz 成分は 3.0 Hz のバンド幅の結果を採用した。振動の一日の時間変動は、正時について解析した。2 週間の変動については、0, 3, 8, 10, 12, 15, 17, 21 時について解析した。

(2) 建物・地盤の環境振動のスペクトル振幅の変動

図-2 に愛媛大学工学部 2 号館 (EUSE2) の屋上階 (RF) と周辺地盤 (G) における微動のフーリエ振幅の一日の変動を示す。地盤でも建物でも、4, 8, 10 Hz では概ね同程度の振幅で、時間変動の様子も同じ傾向を示し、0~5 時で低く、6~18 時で高く、18~24 時にかけて漸減する。

図-3 に建物と地盤のフーリエスペクトル振幅比の一日の変動を示す。9~21 時の間で振幅比が 1.5~4.5 倍に増幅され、その比は変動する。増減は 2 Hz と 4 Hz で見られるが、これは建物の固有振動数と関係している、また、建物の出入りする人や建物内に滞留すると考えられるため、建物の固有振動特性を調べる必要がある。

図-4 に EUSE2 の RF と G における微動のフーリエ振幅の 2 週間の変動を示す。どの地点、どの振動数成分の振幅においても、先に見た 1 日の変動が繰り返されており、1 日を周期とする変動があることがわかる。

4, 8, 10 Hz の振幅の大きさとその変動は互いに似ている。昼間の振動レベルに対して深夜は 20~40% に低下しており、その様子は 1 週間を周期とする変動のようで前と後の 1 週間は互いに似ている。また、昼間の振幅は平日に対して土曜で 60~70% に、日曜で 50% 程度に低減している。この割合は建物で大きく地盤で小さい。この傾向

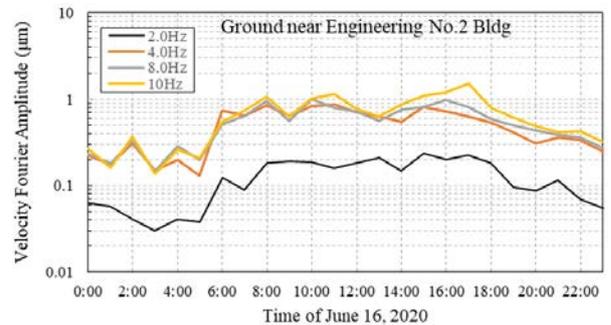
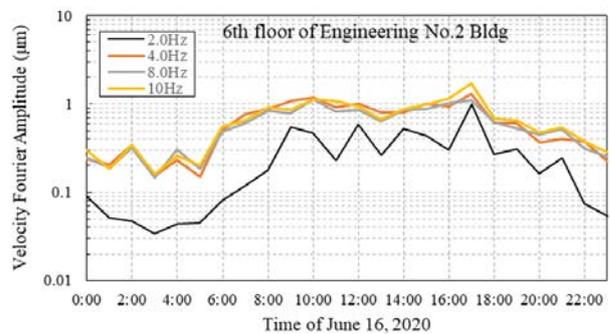


図-2 愛媛大学工学部 2 号館と周辺地盤における微動のフーリエ振幅の一日の変動

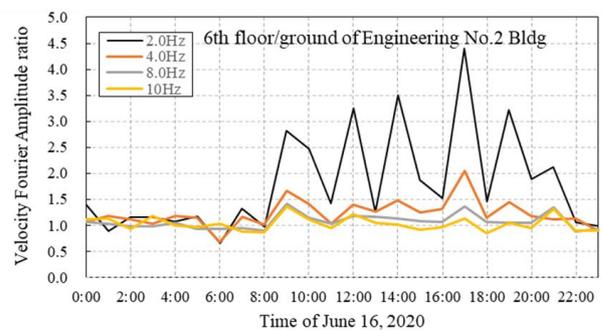
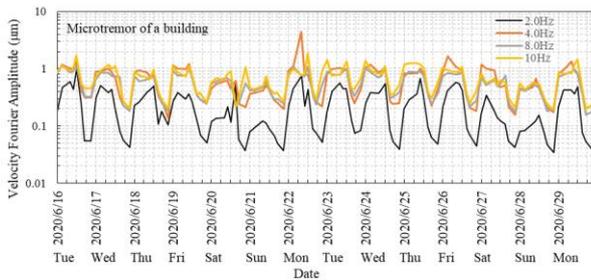


図-3 愛媛大学工学部 2 号館の周辺地盤に対する振動フーリエスペクトル比の変動



は Lecocq らの成果と同様の傾向であるが、彼らの対象は

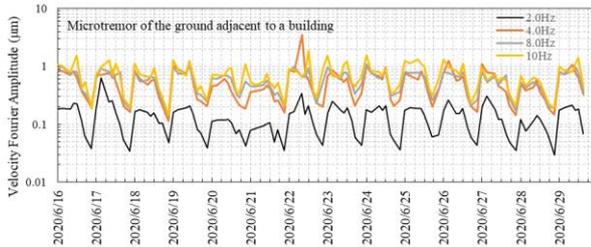


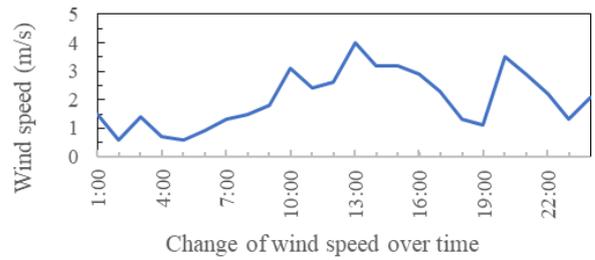
図4 EUSE2のRFとGにおける微動のフーリエ振幅の2週間の変動

地盤か建物かは明記していない。一方、2 Hz 成分は 4, 8, 10 Hz の成分に比べて振幅は 1/2 以下である。特に、平日では昼間に対する夜間の振幅の低減は建物で 10—30%、地盤で 20—50% に低下する。また、平日に対して土曜・日曜での振幅の低減は、建物では大きい、地盤では相対的に小さいように見える。すなわち、2 Hz では地盤よりも大きく、その増幅の度合いは昼間に大きく、夜は小さくなっている。

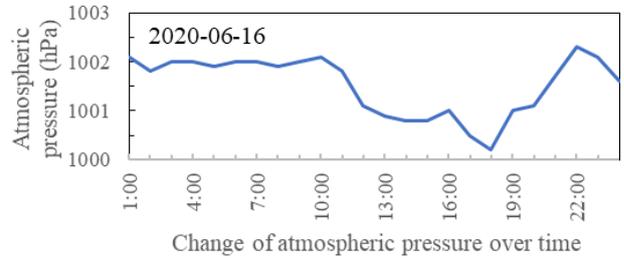
3. 地盤と建物の微動・環境振動と気象と市内交通流の相関

図-5に松山地方気象台（JMA 松山）における(a)風速と(b)気圧の一日の変動を示す。風速は、地盤と建物のフーリエ振幅の消長と同期している。特に建物とは変動がよく現れており、風速の影響が大きい。それに対して、気圧変動は振動のフーリエ振幅とは合わない。

図-6 に(a)保免 TC（交通流観測所）での上下線の小型・大型の車両台数および合算台数の時間変動を示す。上り車線と下り車線を別々に評価して、傾向にはその違いが顕著ではない。その上で、大型自動車台数=10×小型自動車台数として、小型自動車台数と合算した。3 点の交通量は、いずれの地点においても、1:00-6:00 で小型自動車が減っても大型車は減らない、16:00 から 21:00 にかけて大型車は減少するが 1:00 から 8:00 にかけて増加するという特性を示す。一方、小型車は Tobe で 18:00, Fukuzumi で 19:00, Homen で 20:00 から減少し始め、3:00-4:00 で最小になりその後に増加に転ずるといった傾向を示す。

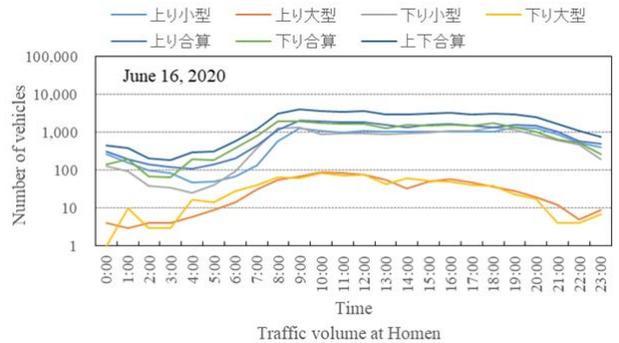


Change of wind speed over time

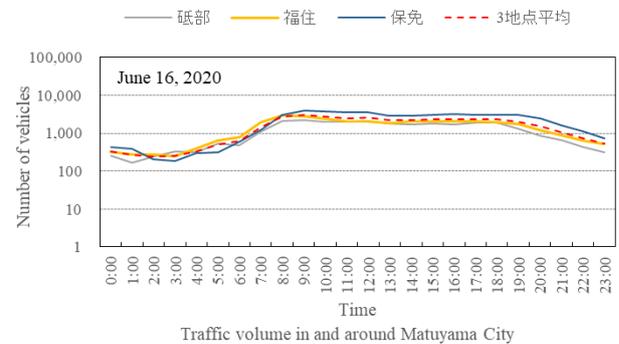


Change of atmospheric pressure over time

図-5 松山地方気象台（JMA 松山）における(a)風速と(b)気圧の一日の変動



Traffic volume at Homen



Traffic volume in and around Matuyama City

図-6 (a)保免 TCにおける交通流と(b)3 地点 (TC) における合算交通量の比較

す。合算交通量は 3 地点で互いに似ており、以下、この合算交通量を用いる。図-6 (b)には 3 地点 (TC) における合算交通量を示す。互いによく似ている。

図-2において、地盤の振動数成分ごとの振幅の対数の時間変動は、どの振動数でもおおむね同形である。図-6 で 3 点の等価合算交通量の平均値の変動は、8:00 から 18:00 までは平坦であるが、18:00 から減少し始め、2:00-

3:00で最も少なくなり、それ以降は8:00まで増加するという特徴を示す。図-2と図-6の比較から、地盤の微動振幅の消長と同様の傾向である。地盤微動は、3点の等価合算交通量に支配されていると言える。

5. 環境振動に及ぼす周辺交通と人流の影響調査

(1) 調査の方法

微動調査の対象としたのは、次の2地点である。図-1に調査対象の位置を示す。愛媛県松山市文京町に位置する愛媛大学城北北キャンパス工学部2号館（6階建てRC構造物）の屋上、工学部2号館周辺地盤である。対象地盤の地質については後期更新世-完新世の海成または非海成堆積岩類である。2号館周辺地盤の調査点のすぐ西側に大学の出入り口があり、その先は市道が通っている。そして南側には伊予鉄道環状線がある。市道と環状線が交差する踏切の近くには駅がある。

地盤微動を測定するため、2号館上階と2号館地盤の2か所に地震計を設置した。設置期間は2020年8月11日～9月30日までである。用いた地震計は近計システム社製の可動コイル型の3成分一体型速度計KVS-300で、データロガーも同じく近計システム社製のEDR-X7000である。9月16日6:00～24:00まで、NS方向(x),EW方向(y),UD方向(z)の3成分を毎時のはじめ16384秒を1セグメントとして14セグメント、定時から229376秒間を解析した。また9月16日6:00～24:00まで、2号館の出入り口において人数カウント調査及び周辺交通量調査を実施した。交通量は2号館西側市道の車を対象として、秒単位での記録を実施した。

図-5 毎時はじめ4分間の2号館出入り人数

メントとして14セグメント、定時から229376秒間を解析した。また9月16日6:00～24:00まで、2号館の出入り口において人数カウント調査及び周辺交通量調査を実施した。交通量は2号館西側市道の車を対象として、秒単位での記録を実施した。

(2) 時刻歴波形とフーリエスペクトル

図-7、図-8に、速度時刻歴とフーリエスペクトル図の代表例として、9月16日8:00の解析結果（UD方向）を示す。速度時刻歴は、8:00～8:04の人の出入り、交通状況を図中に記載した。Kは軽自動車、Fは普通車を示し、例えば北行き普通車はF（北）とあらわしている。車両通過時、振幅が大きくなっていることが確認できる。

(3) 交通量・人流と地盤微動との相関

9月16日における交通量及び人流がどれだけ地盤微動に影響を及ぼしているのかを検討した。まずフーリエスペクトルについて、どの振動数成分が交通量・人流と相関が高いかを調べるため、2,4,6,8,10,20,30 Hzに着目して2号館上階・地盤の2か所において3成分着目振動数の1日の変動を追った。図-9に代表して2号館上階UD方向

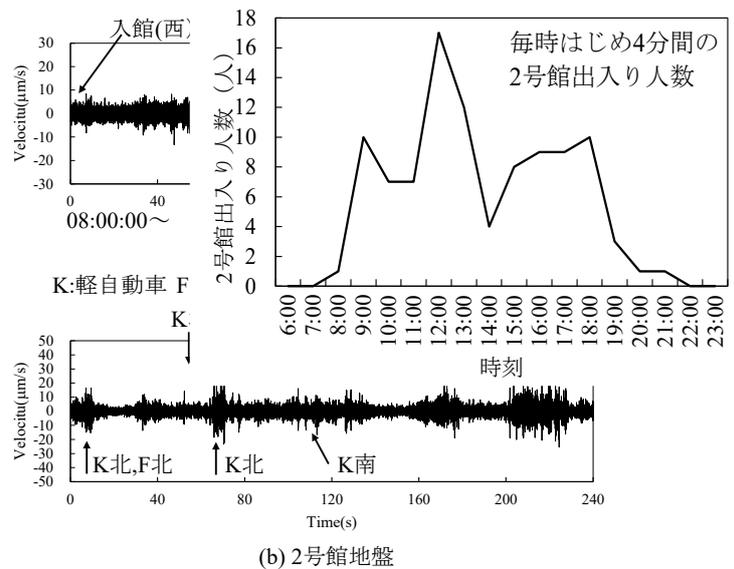


図-7 (a)2号館上階、(b)2号館地盤の時刻歴波形（UD方向、9月16日08:00より）

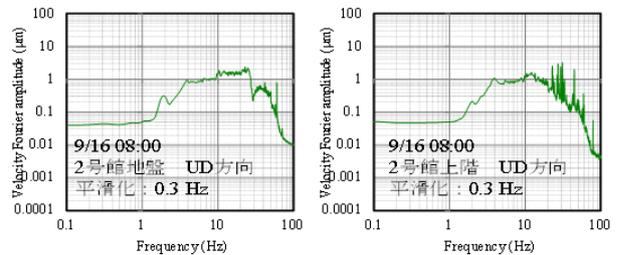


図-8 (a)2号館上階、(b)2号館地盤のフーリエスペクトル（UD方向、9月16日08:00より、バンド幅0.3HzのParzenウィンドウ）

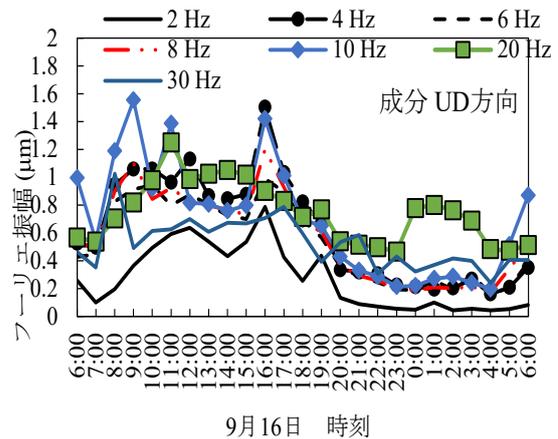


図-9 2号館上階における9月16日の24時間中のフーリエ振幅の変動

の着目振動数の一日の振幅変動を示す。振幅は1日の定時におけるものを採用している。日中と夜間の振幅を比較すると、どの振動成分においても日中のほうが大きい。次に交通量については、4分、8分、16分、30分、1時間

での2号館沿いの透過車両台数を1分間あたりに換算し、着目振動数との相関を求めた。交通量についても同様に日中多く、夜間少ない。そして人流については、2号館の定時ごとの滞在人数、2号館を4分間、1時間に入り出る人数の合計をそれぞれ求め、この3パターンと着目振動数との相関を求めた。図-10に、毎時はじめ4分間の2号館出入り人数時刻歴を示す。こちらも図4同様、13~14:00ごろ一度小さくなっているが、日中において大きく、夜間小さくなっている。

図-11に、2号館上階UD方向における毎時の2Hz振動成分と2号館を4分間に入り出した人数との相関を、例として散布図で示す。相関係数は0.76であり、2号館出入り人数とフーリエ振幅に正の相関があることがわかる。このように散布図で求めた相関係数を、2号館上階と2号館地盤で3成分比較した。図-12に、代表としてUD方向における、4分間の2号館出入り人数と着目振動数を比較して求めた相関係数のグラフを示す。図-12より、人の出入りの影響を2号館上階、すなわち建物のほうが、特に2, 4, 6, 8 Hzにおいて強く受けているといえる。またページの都合上省くが、交通量と、建物・地盤での着目振動数の相関を求めたところ、地盤のほうが交通量と相関が強い傾向にあった。

6. 結論

- (1) 地盤でも建物でも、4, 8, 10 Hzでは概ね同程度の振幅で、時間変動も同じ傾向を示し、0~5時で低く、6~18時で高く、18~24時にかけて漸減する。
- (2) 2週間の微動・環境振動の変動は、どの地点、どの振動数成分の振幅においても、1日を周期とする変動と、土日で低くなる1週間を周期とする変動がある。
- (3) 風速は、地盤と建物のフーリエ振幅の消長と同期するが、気圧変動は振動のフーリエ振幅とは合わない
- (4) 地盤微動は、市内3点の等価合算交通量に支配されている。
- (5) 愛媛大学城北北キャンパス工学部2号館(6階建てRC構造物)において、着目振動数と人流・建物の相関を求めたところ、2, 4, 6, 8 Hzで相関係数が0.7と、かなり相関が強い。
- (6) 建物は館内の人流の影響を強く受け、地盤は交通量の影響を強く受けるといえる。

謝辞：国土交通省四国地方整備局松山河川道路事務所

からは交通データを提供戴きました。人流および周辺交通調査では、愛媛大学工学部地震工学研究の諸氏にお世話になりました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Gibney, E.: Coronavirus lockdowns have changed the way Earth moves, *Nature* 580, 176-177 (2020).
- 2) Lecocq et al.: Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures, *Science* 369, 1338-1343 (2020).

図-10 毎時はじめ4分間の2号館出入り人数

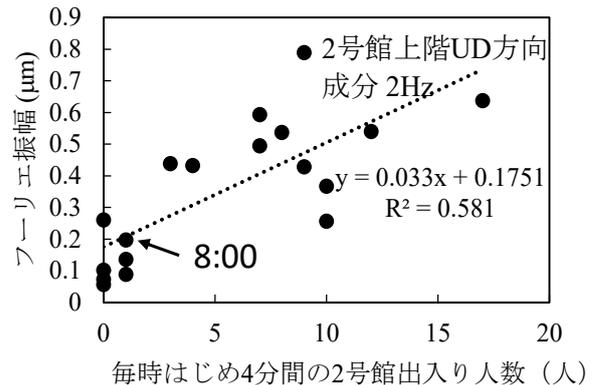


図-11 2号館上階UD方向2Hzと出入り人数の相関

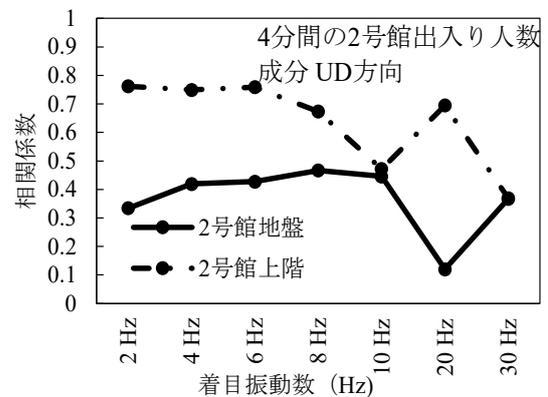


図-12 着目振動数と毎時はじめ4分間の2号館出入り人数との相関係数の比較

- 3) 国土地理院：愛媛県松山市愛媛大学の上空地図，地理院地図，<https://maps.gsi.go.jp/> (最終閲覧日：2020年11月2日)
- 4) 産業技術総合研究所：20万分の1日本シームレス地質図，<https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/>

(Received **, 2021)
(Accepted **, 2021)

POINT IN MATSUYAMA CITY

Shinichiro MORI, Yasuaki HIRATA and Shota SAKO

The effects of a new corona pandemic on microtremors and environmental vibrations (amplitude reduction phenomenon) are referred to as "coronal microtremors. In order to clarify the causes of coronal microtremors, it is necessary to investigate the effects of weather, traffic, factories, construction work, and human flow on microtremors in the ground and environmental vibrations in buildings where the vibrations are observed. In this paper, the effects of meteorology and traffic on microtremors and environmental vibrations, which are the basis of coronal microtremors in Matsuyama City, are clarified by using four high-precision dynamic coil velocimeters to continuously observe the ground and buildings at two locations in Matsuyama City. In addition, we will investigate the correlation between the environmental vibration of buildings and the ground microtremors by conducting a one-day survey of the traffic volume and human flow around the buildings.