

法定停電による SuperKEKB 停止時の ビーム衝突点近傍の振動環境調査

2018年 8月10日

竹中工務店 ○松永裕樹、松下仁士、井上竜太、下河内隆文
東北大学 吉岡正和、佐貫智行、小貫勅子
KEK 早野仁司
真英計測 坪川恒也

1.1 背景

- ・ SuperKEKBビーム衝突点近傍では3Hz付近で卓越する鉛直方向の地盤振動が観測されている
- ・ 2013年7月に、ビーム衝突点の両側約10m離れた2点間の鉛直相對振動は数十nm程度であることを確認
- ・ 一方で、振動源については明確には特定されていなかった

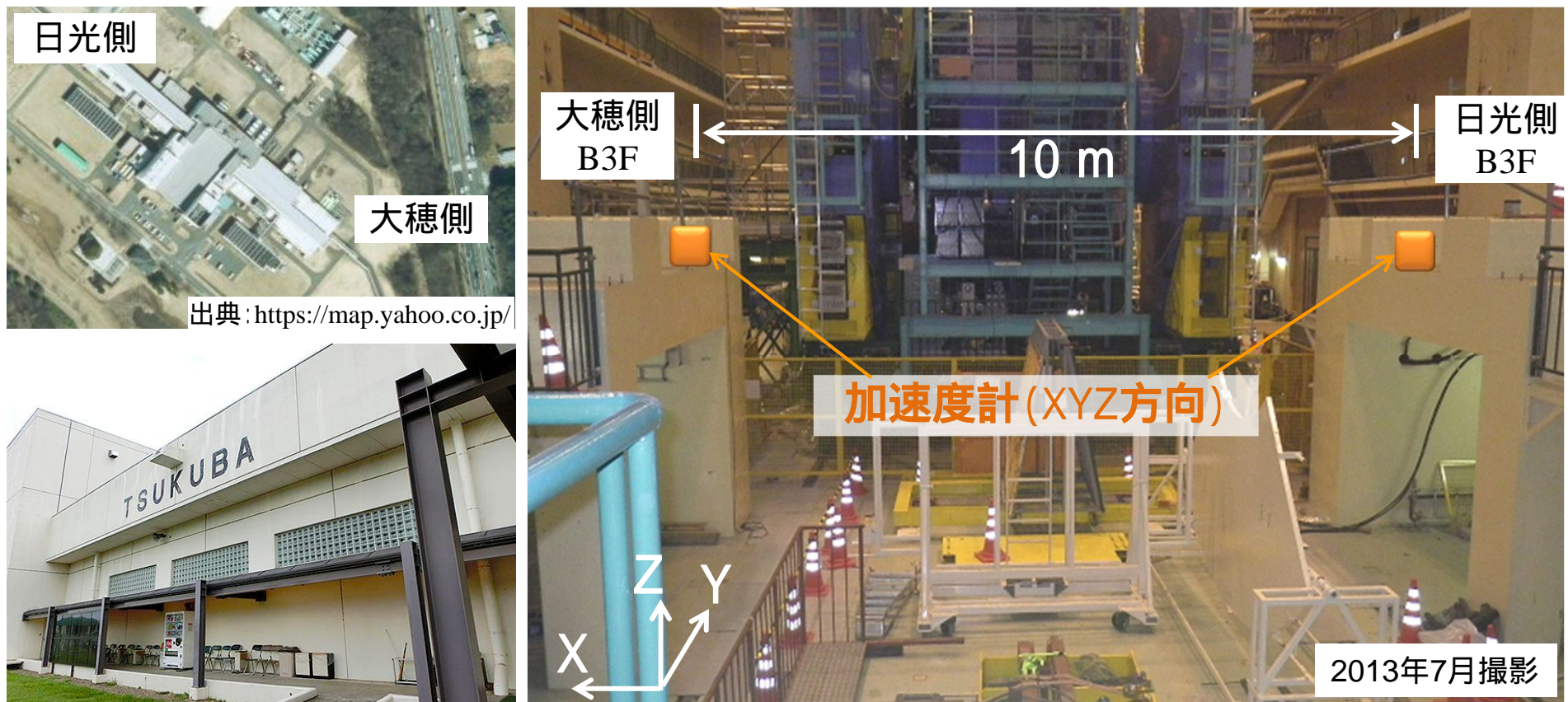
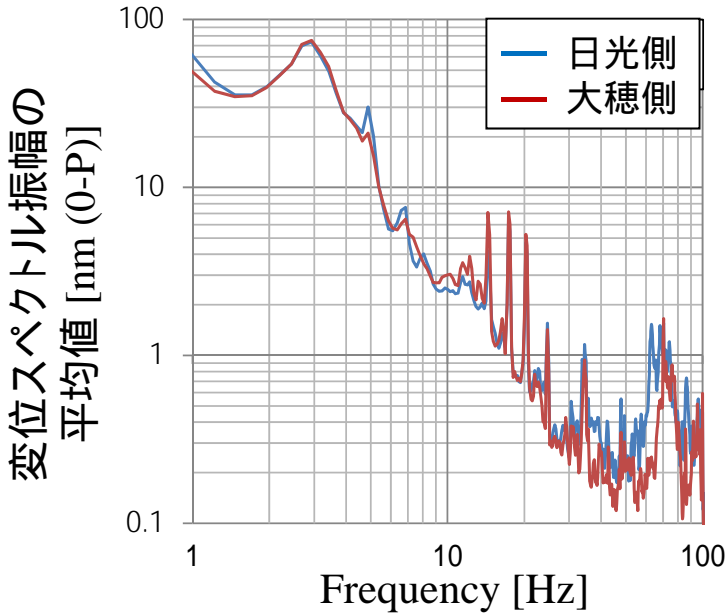
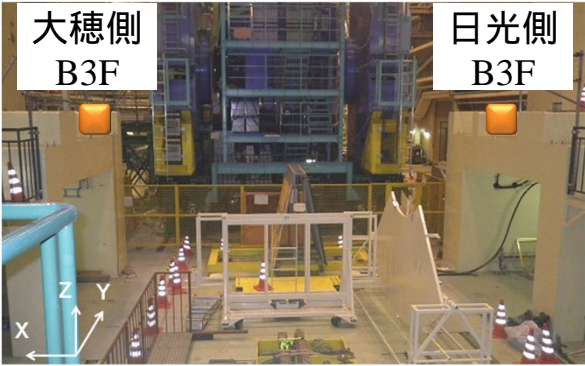


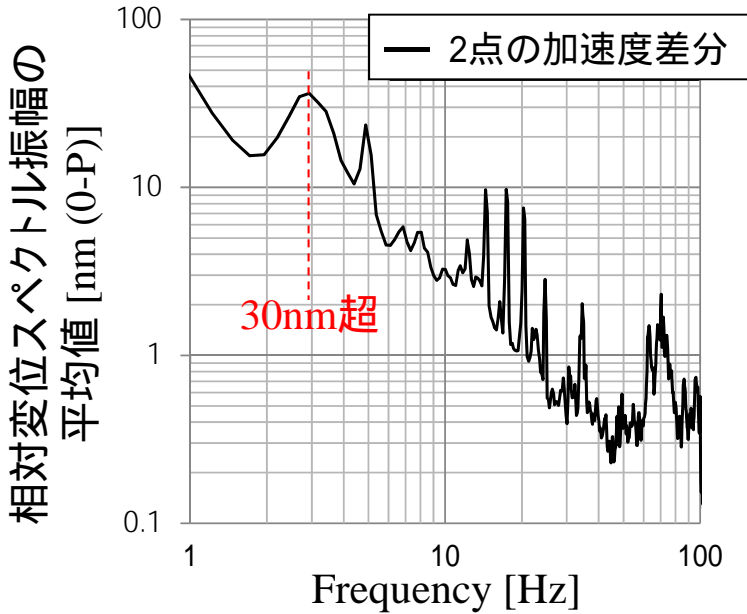
Fig.1 KEK筑波実験棟の概観、及び2013年7月の振動測定概要

1.2 2013年7月に実施の振動測定

- ・10m離れた2点を対象に、加速度計単体、及び2点の加速度の差分を取った値で評価
- ・加速度波形を2階積分して変位波形に変換し、変位スペクトル振幅の平均値を算出



(a) 鉛直変位の平均値



(b) 2点の加速度差分から算出した鉛直相対変位の平均値

Fig.2 2013年7月19日 14時45分～14時55分までの変位スペクトル振幅の平均値

SuperKEKBのビーム縦幅は50nmであり、その半分以上の鉛直相対変位が生じている

- ・3Hz付近の地盤振動の振動源を明確にすることを目的とする
 - ・振動源は**大通りの車両交通**と**設備振動**が有力で、それぞれの寄与度を確認する
- 2017年8月、法定検査のため停電となる期間に合わせて地盤振動測定を実施

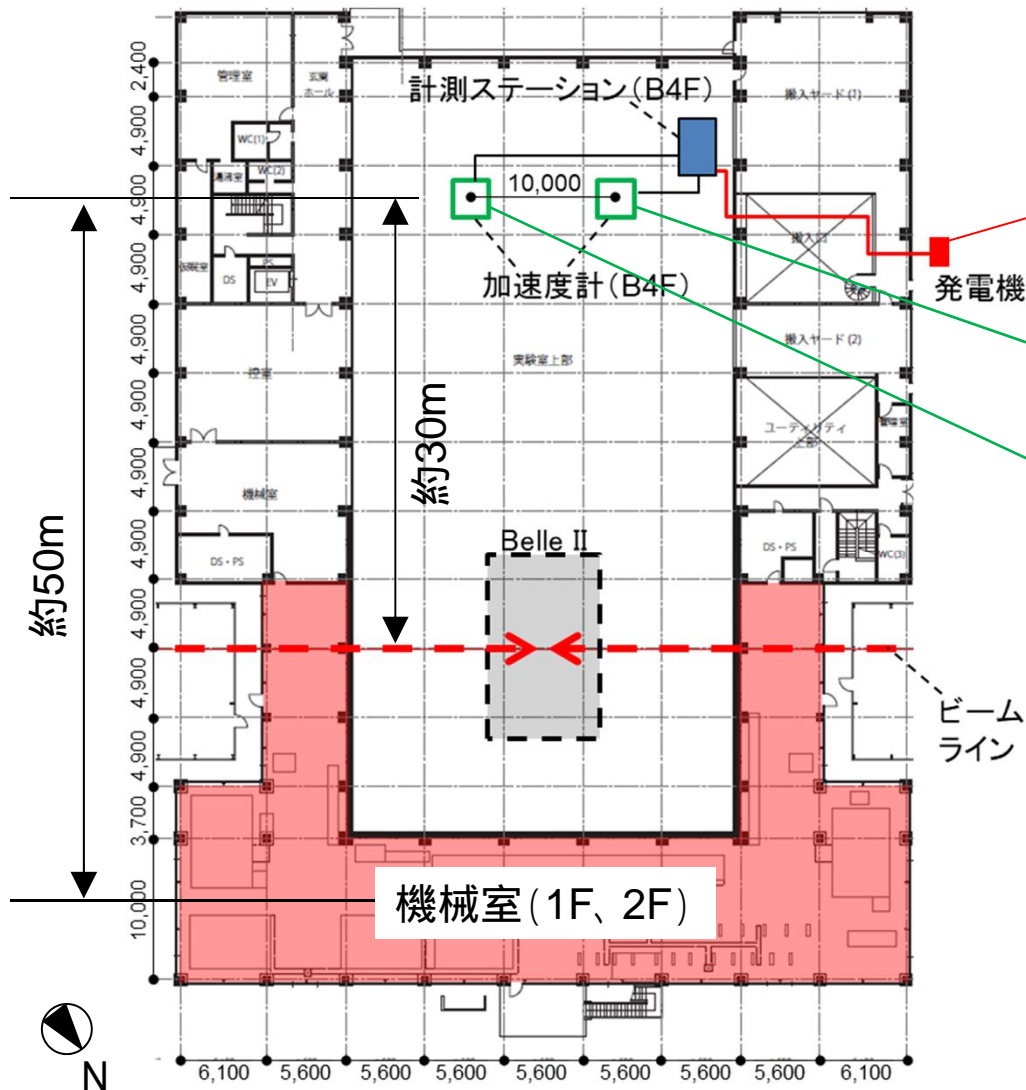


出典: <https://map.yahoo.co.jp/>

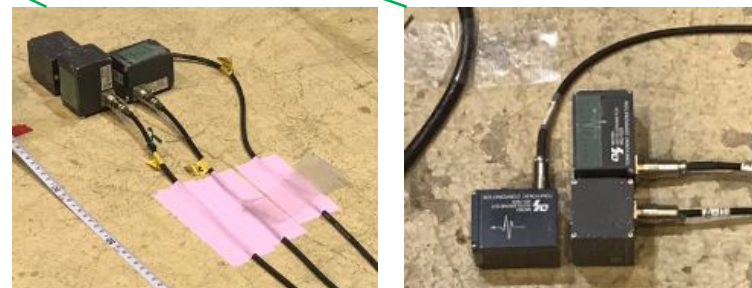
Fig.3 筑波実験棟の測定点と学園東大通りとの位置関係

2.1 測定箇所・測定機材

- ・Belle 測定器近傍は立入り禁止のため、周辺のB4F土間コンクリート上で測定実施
- ・10m離れた2点にそれぞれ加速度計をXYZ方向に設置



停電時の発電機
(建物外の地盤上に設置)



サーボ型加速度計

〔 特許機器製:MMI-06X
カタログ分解能:1 μ m/s² 〕

Fig.4 筑波実験棟1F平面図

2台の加速度計の差分から相対変位波形を算出し、下表のパラメータでFFT分析を実施

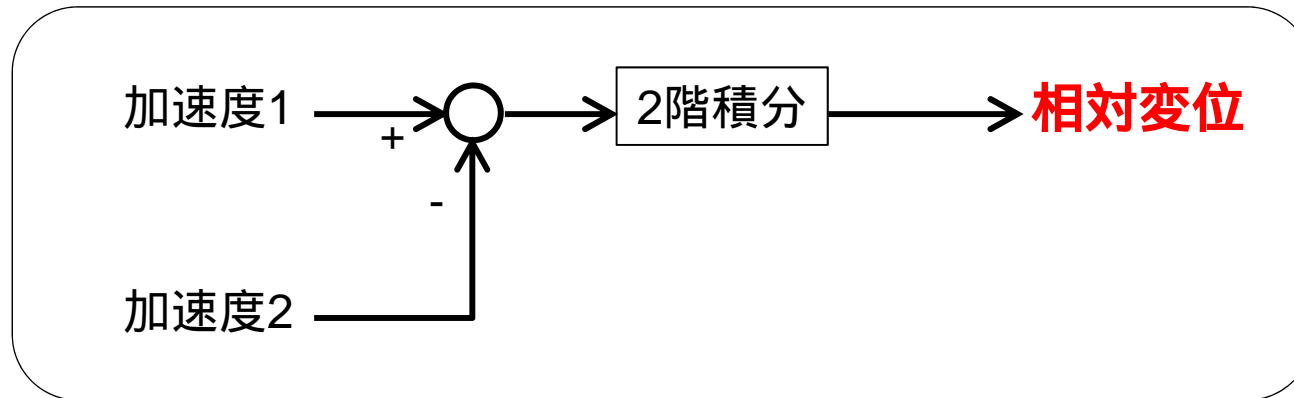


Fig.5 2点間の相対変位波形の算出方法

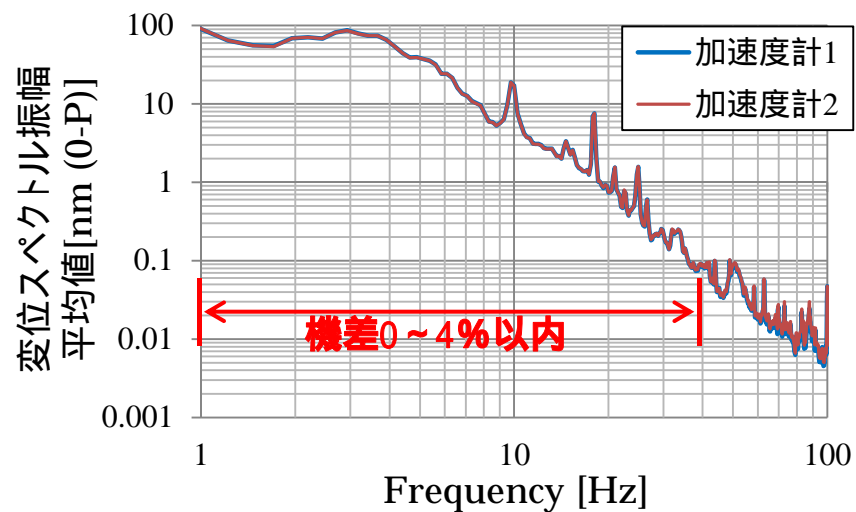
Table.1 FFTパラメータ

サンプリング	1000Hz
ウィンドウ幅	4096点
窓関数	ハニングウィンドウ
オーバーラップ	75%
平均方法	加算平均

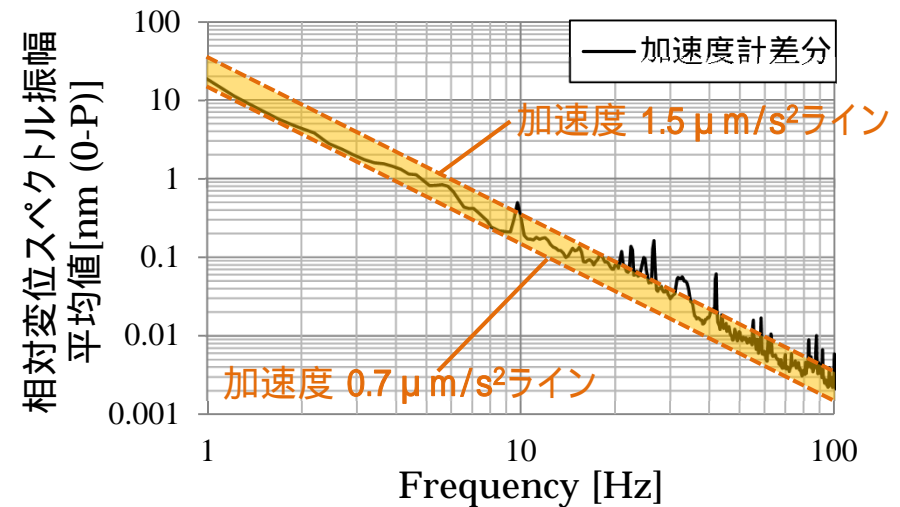
2.3 2台の加速度計を用いた相対振動測定の分解能



- ・土間コンクリート上に加速度計2台を同一方向に設置
- ・常時微動計測結果から加速度計の機差、および加速度計差分による分解能を検証



(a) 加速度計単体の比較結果



(b) 加速度計差分の結果

Fig.6 加速度計による常時微動測定結果

カタログ値の通り、約 $1 \mu\text{m}/\text{s}^2$ の分解能があることを確認

3.1 測定スケジュール

- ・停電状態だったのは8月5日0時～18時の間と8月6日8時30分～17時30分の間であった
- ・8月6日夕方までは復電時でも設備は停止していた
- ・振動測定は、8月5日18時過ぎから8月7日12時まで実施した

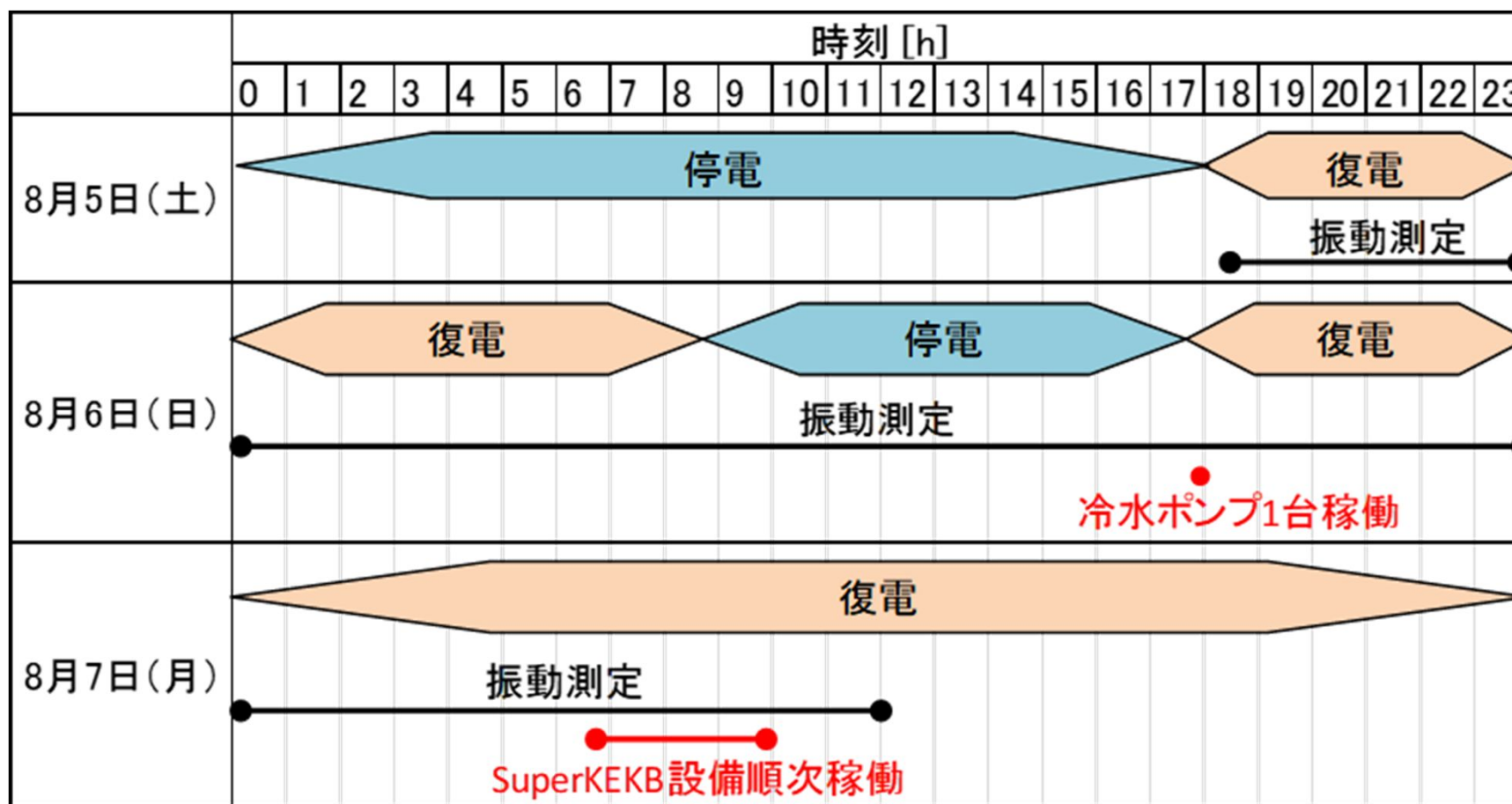
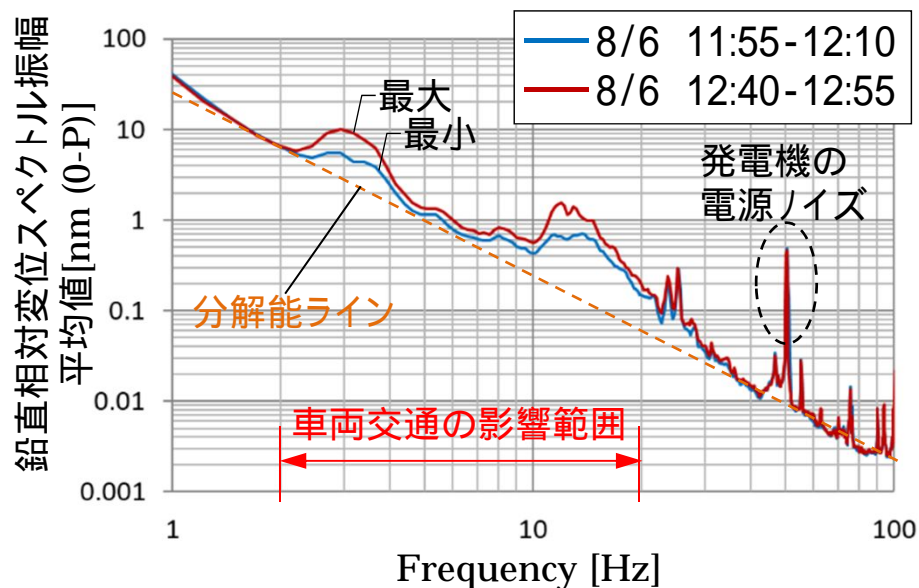


Fig.7 振動測定スケジュール

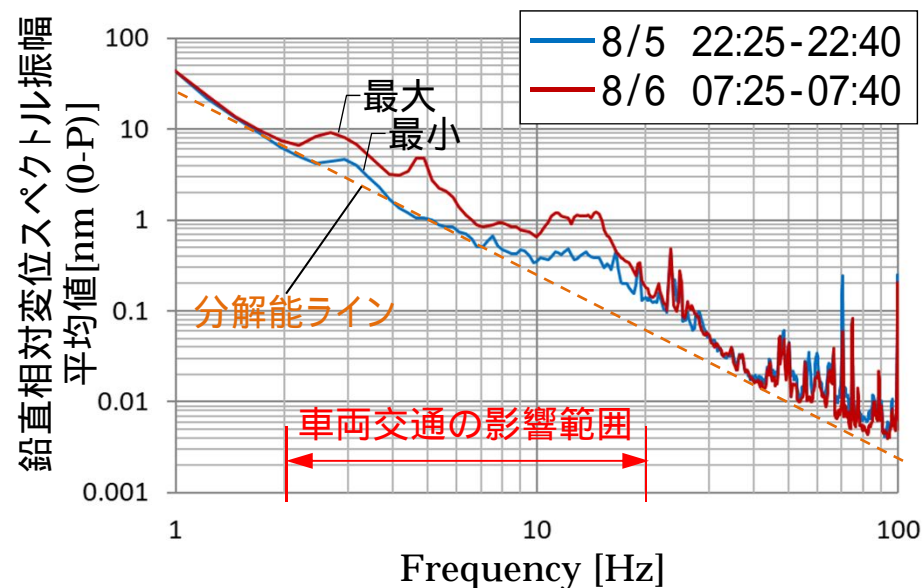
3.2 停電時、及び全設備停止時の結果 ~ 車両交通の影響

停電時、全設備停止時(復電後)において、
3Hz付近の鉛直相対変位が最大 / 最小レベルの時間帯の結果を示す

8月5日(土) 18時 ~ 8月6日(日) 17時30分



(a) 停電時



(b) 全設備停止時

Fig.8 停電時、全設備停止時の最大 / 最小レベルの鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

- ・3Hz付近の鉛直相対変位は、最大で 10.2nm、最小で 4.7nmであった
- ・十数Hz周辺で緩やかなピークが見られ、3Hzの振動と相関があるものと思われる
- ・20Hz以上の振動数領域では車両交通はほとんど影響しない

3.3 冷水ポンプ 1台稼働時の結果 1

8月6日夕方の復電後は冷水ポンプが1台のみ稼働、翌7日の7時までその状態だった。
8月6日17時30分～24時までの代表的な鉛直相対変位を示す

8月6日(日) 17時30分～24時

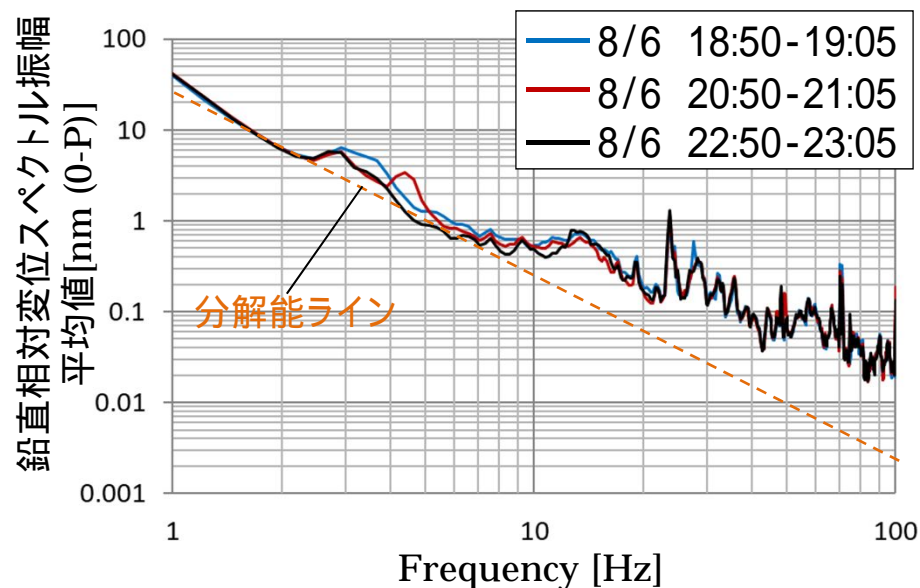


Fig.9 冷水ポンプ1台稼働時の代表的な鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

- ・3～20Hzの振動量は比較的安定しており、車の通行量が少ないものと思われる
- ・20Hz以上の振動数領域では、冷水ポンプの稼働により顕著に振動量が増加

3.4 冷水ポンプ 1台稼働時の結果 2

8月7日の 0時 ~ 7時までの代表的な鉛直相対変位を示す

8月7日(月) 0時 ~ 7時

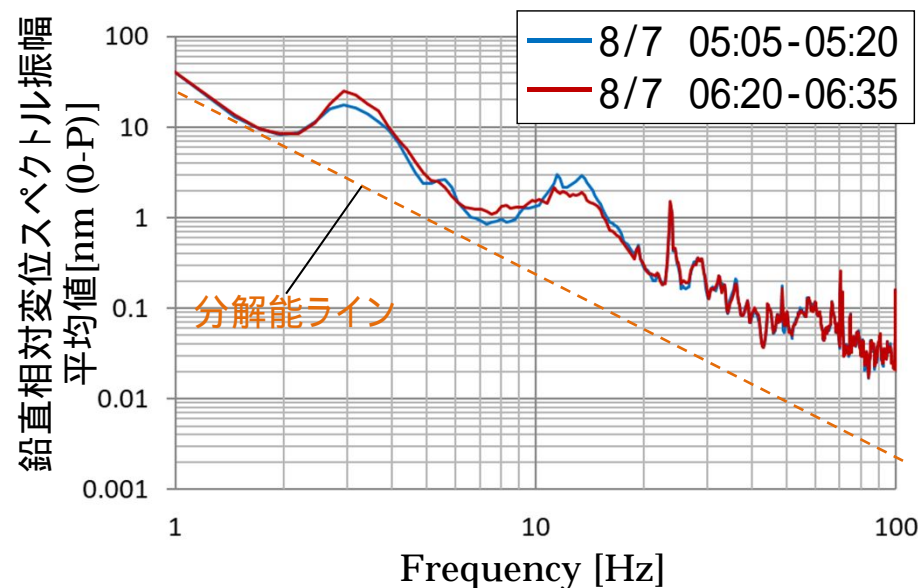
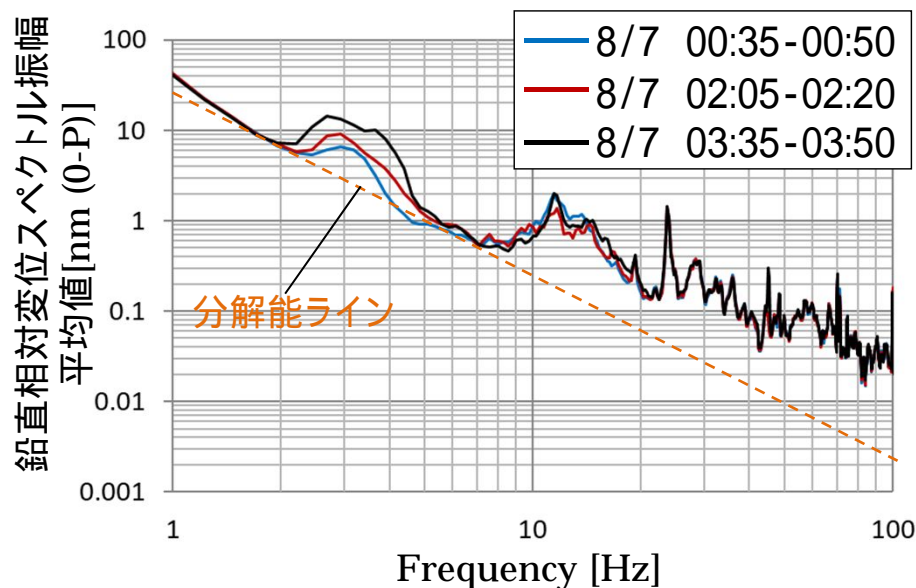


Fig.10 冷水ポンプ1台稼働時の代表的な鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

- ・明け方になるにつれ、3Hz付近の振動量が顕著に増加 交通量の増加
- ・十数Hz付近の振動は、3Hzの振動と完全には連動していないが増加傾向にある
- ・20Hz以上の振動数領域ではほとんど変化なし 車両交通は影響しない

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 6時43分 ~ 6時50分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

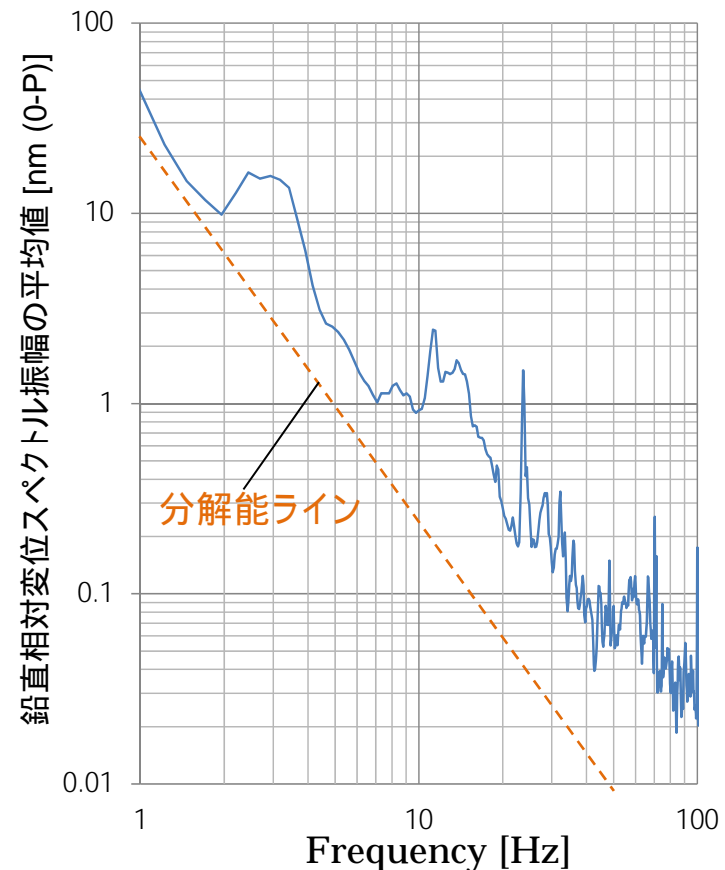


Fig.11 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 6時50分 ~ 7時05分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

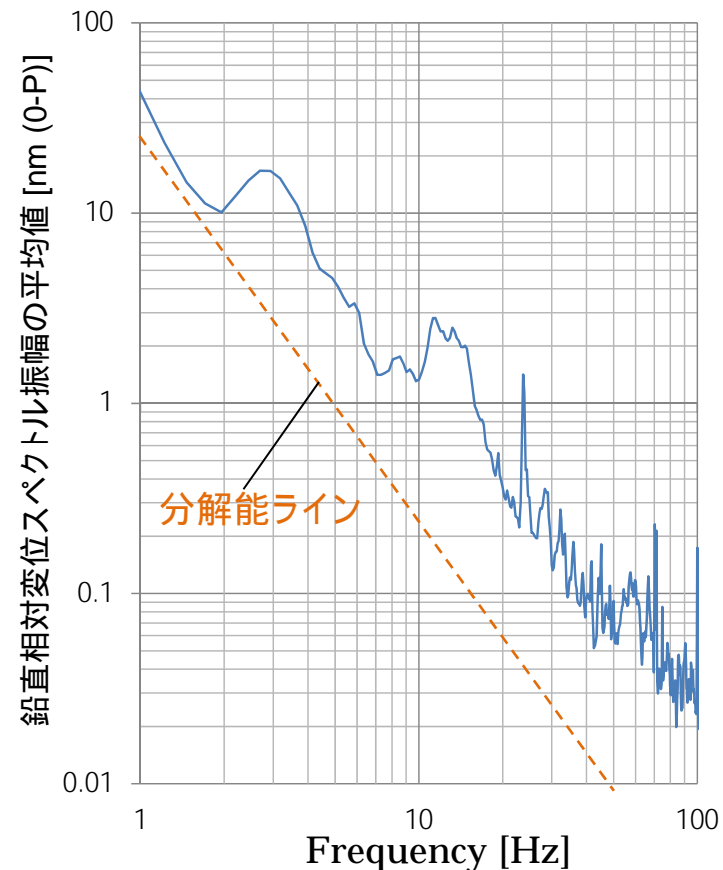


Fig.12 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 7時05分 ~ 7時20分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

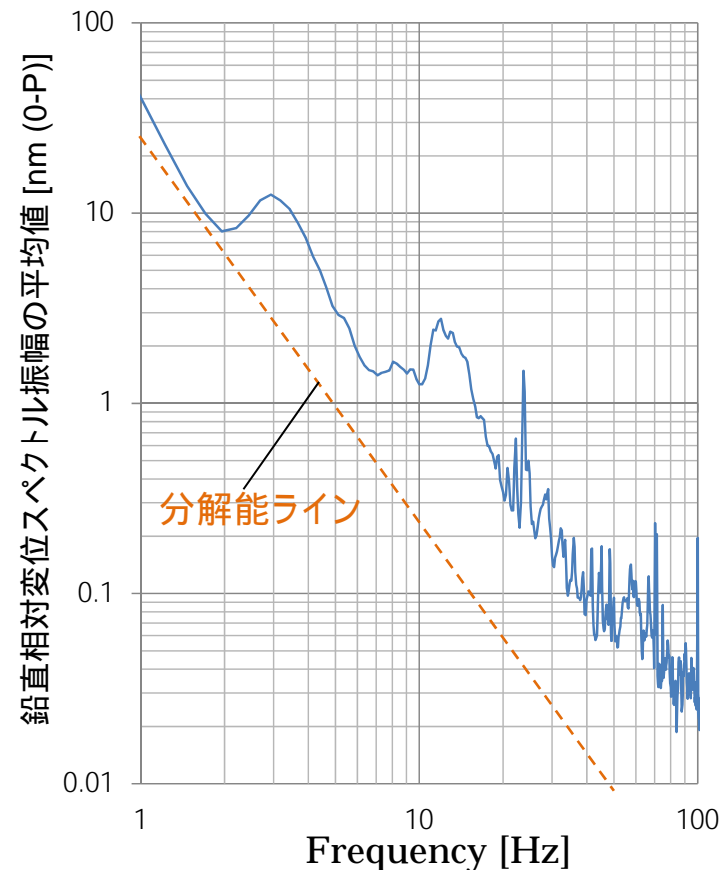


Fig.13 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 7時20分 ~ 7時35分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

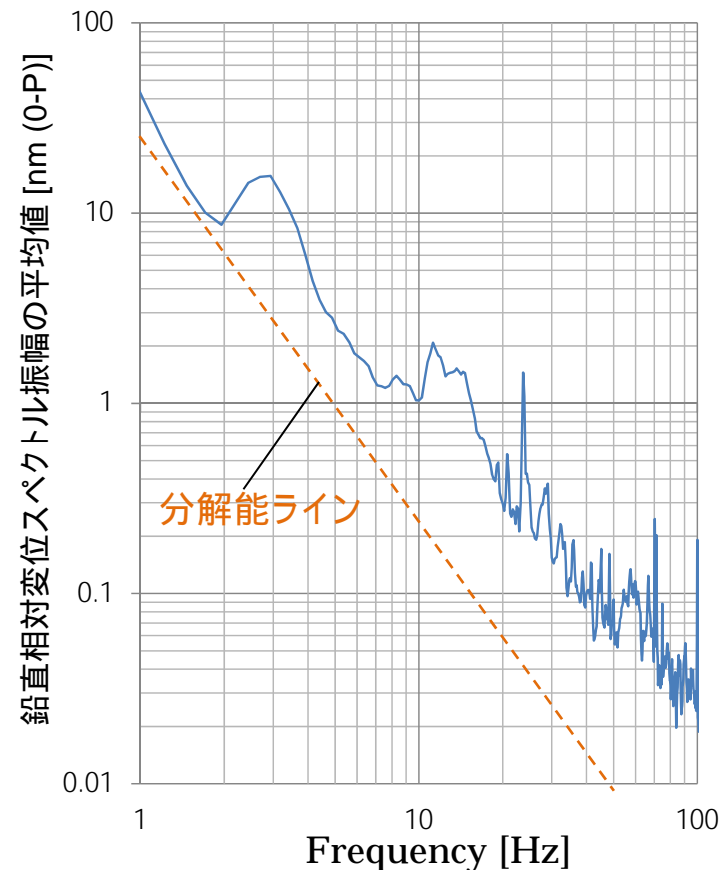


Fig.14 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 7時35分 ~ 7時50分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

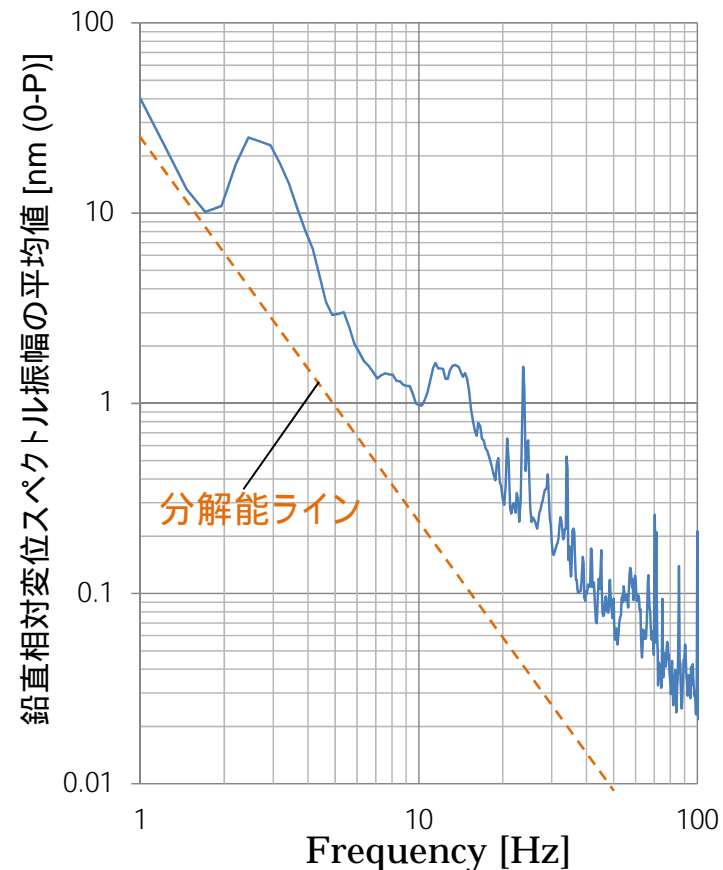


Fig.15 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 7時35分 ~ 9時10分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

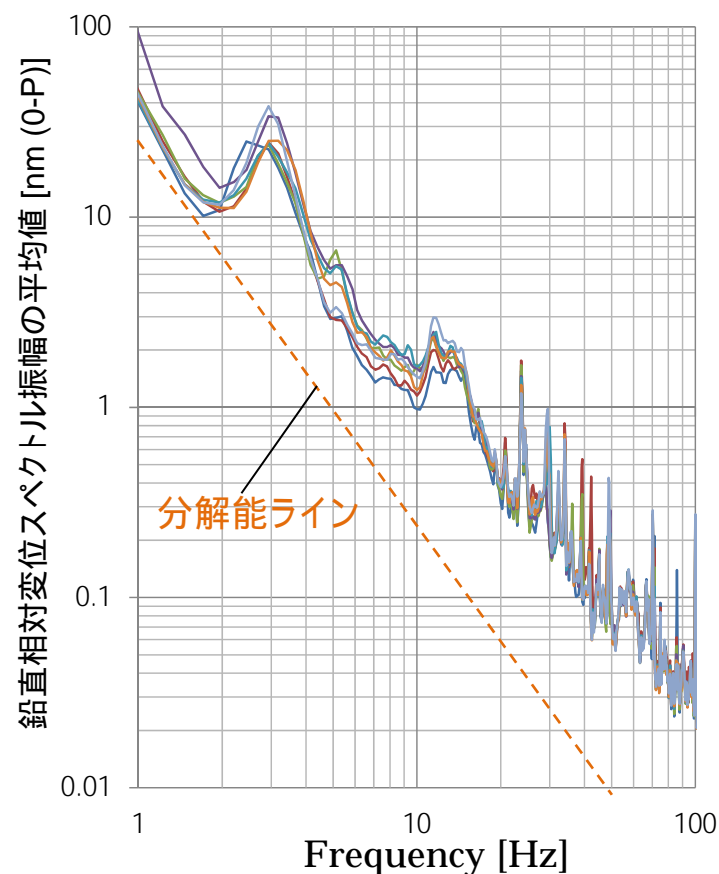


Fig.16 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 9時10分 ~ 9時20分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

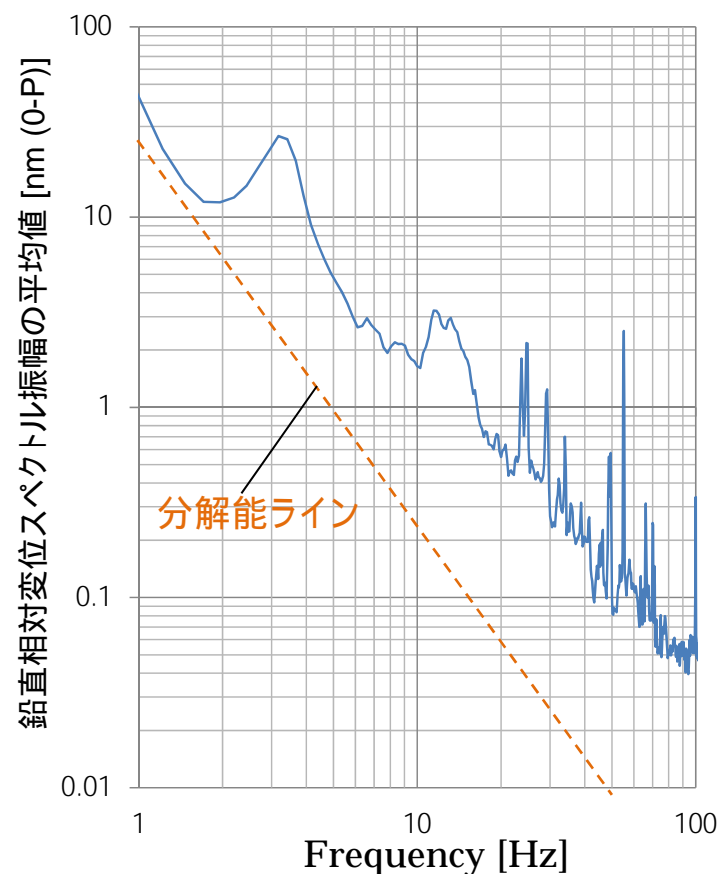


Fig.17 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 9時20分 ~ 9時26分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

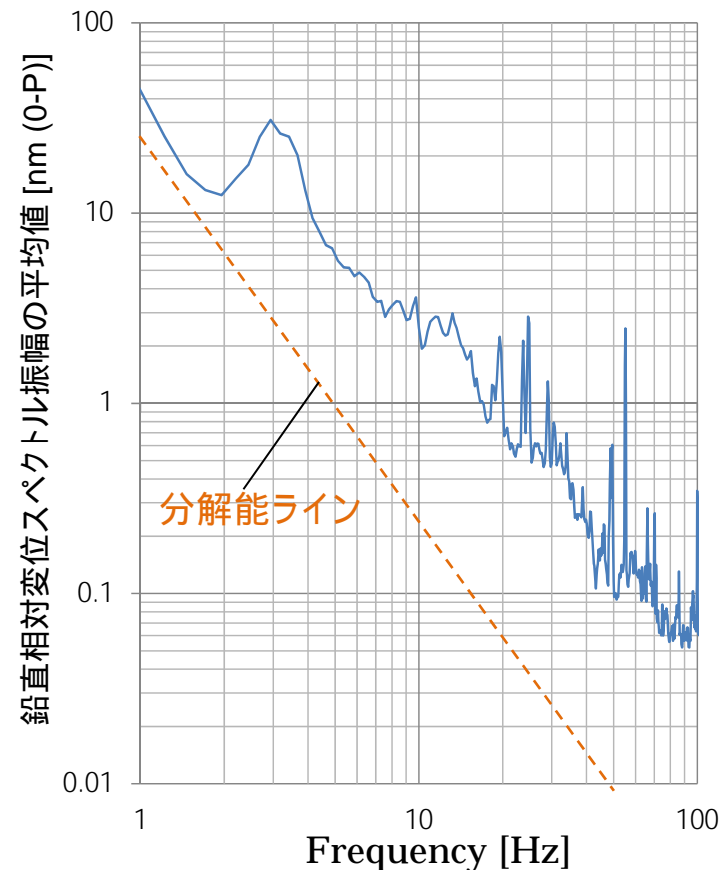


Fig.18 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 9時27分 ~ 9時35分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

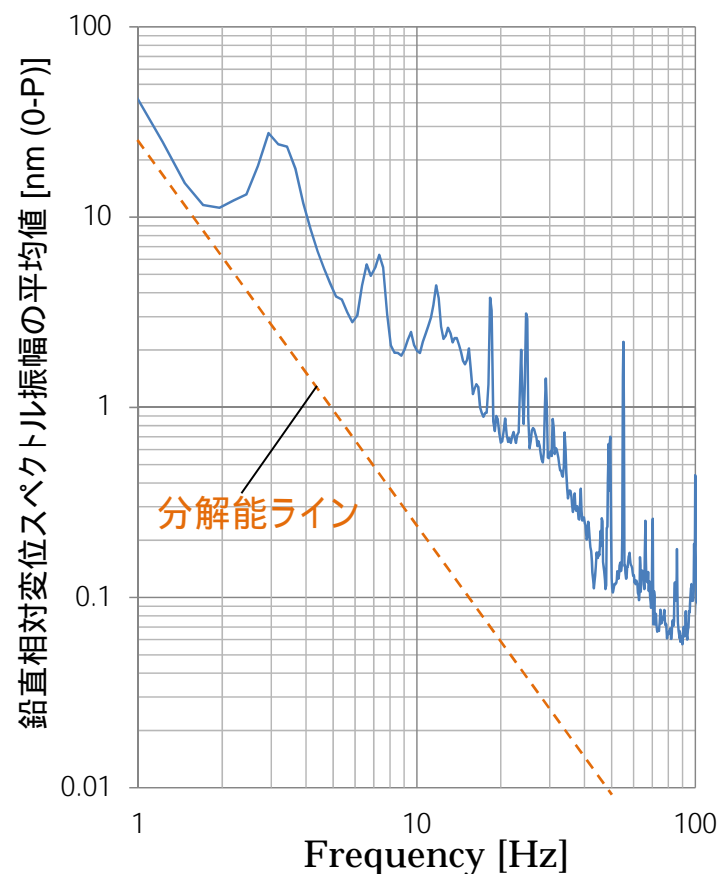


Fig.19 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 9時44分 ~ 9時53分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

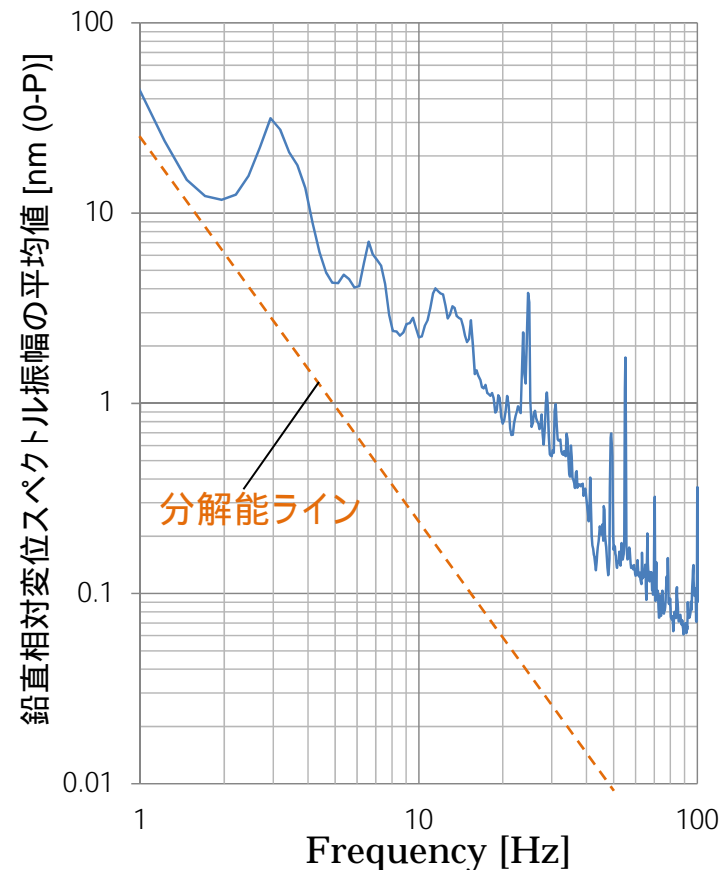


Fig.20 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 10時08分 ~ 10時20分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

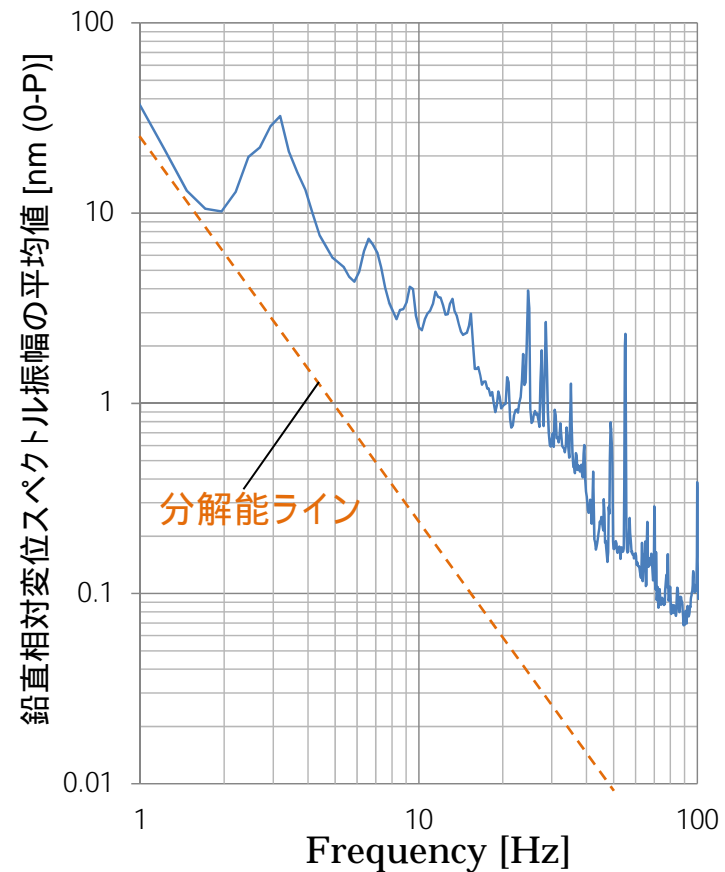


Fig.21 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

3.5 設備順次稼働時の結果

8月7日の設備が順次稼働する 7時以降の鉛直相対変位を順に示す

8月7日(月) 6時43分 ~ 10時20分

Table.2 各設備の稼働時刻

冷水ポンプ	7時1分頃
温水ポンプ(2台)	7時12分頃 7時29分頃
冷凍機	7時46分頃
空調機	9時10分頃
ポンプ	9時22分頃
空調機	9時28分頃
冷水ポンプ	9時47分頃
ポンプ	9時54分頃

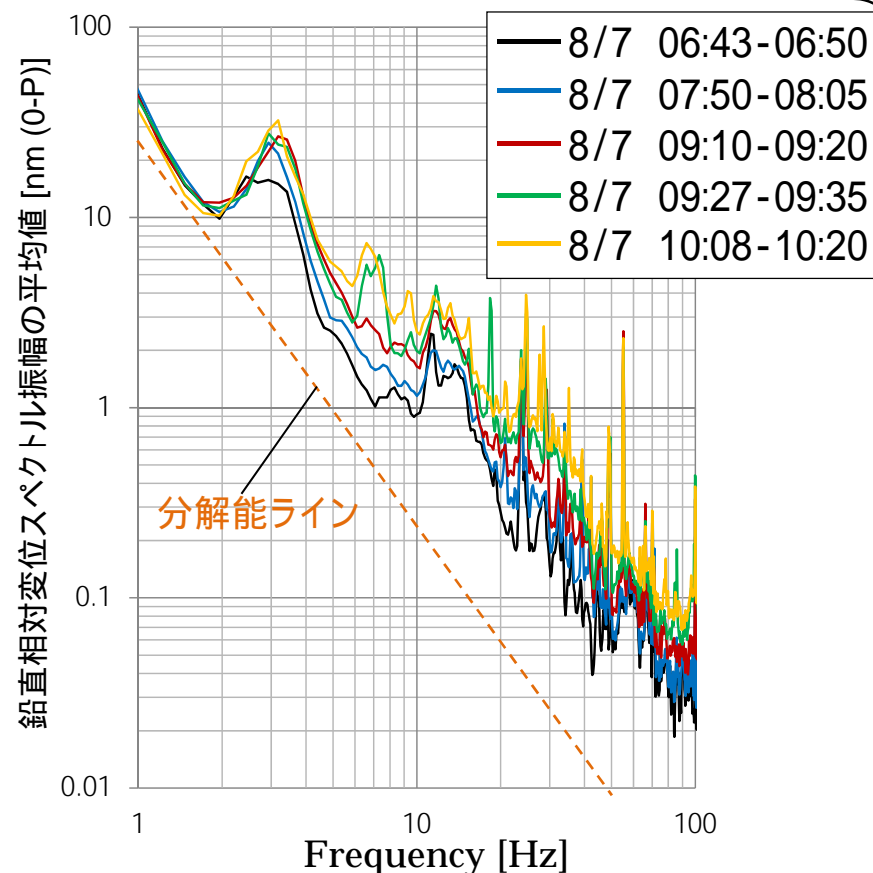


Fig.22 鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

設備の稼働により、20Hz以上の振動数領域で段階的に振動増幅している

3.6 当日稼働予定の全設備稼働後の結果

8月7日10時～12時の当日稼働予定の全設備が稼働した状況において、3Hz付近の鉛直相対変位が最大/最小レベルの時間帯の結果を示す

8月7日(月) 10時 ~ 12時

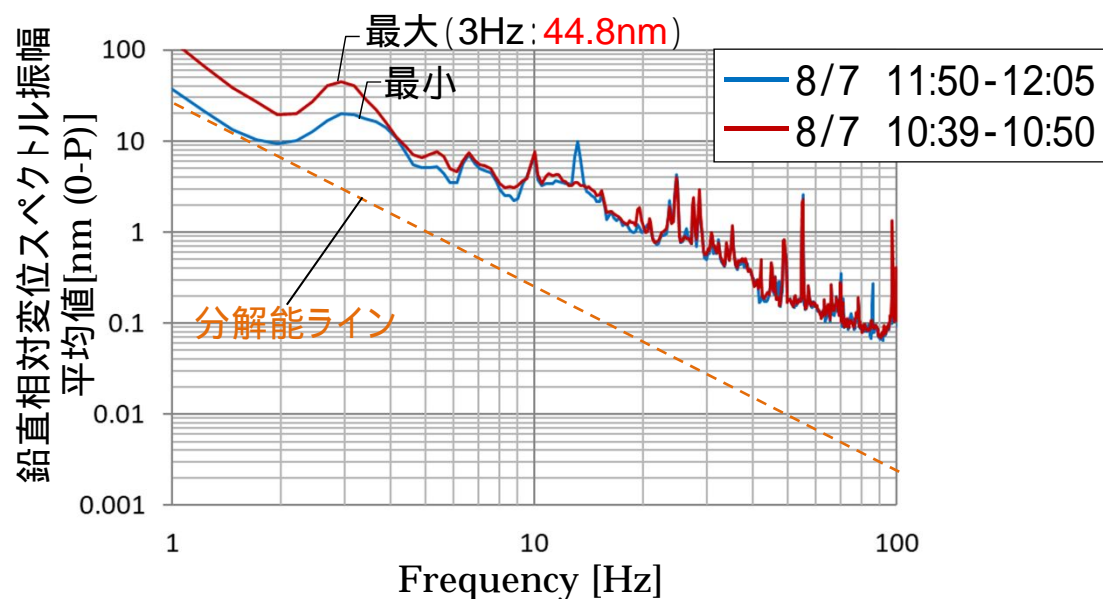


Fig.23 設備稼働後の最大/最小レベルの鉛直相対変位スペクトル振幅平均値

- ・3Hz付近の鉛直相対変位は最大で 44.8nmになることを確認
- ・SuperKEKBのビーム縦幅 50nmに匹敵する相対振動が生じている

KEK筑波実験棟B4Fにおいて地盤振動の振動源を明確にするため、全設備停止状態、及び復電後の設備稼働状態での振動測定を実施した

車両交通について

- ・3Hz付近の振動は車両交通由来であり、最小で4.7nm、最大で44.8nmと9倍以上も変動することを確認した
- ・十数Hz周辺の振動についても車両交通由来と思われるが、若干相関は弱い
- ・20Hz以上の振動数領域にはほとんど影響しない

設備振動について

- ・主に20Hz以上の振動数領域で影響することを確認した

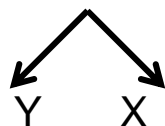
補足資料

付1. 大通り近くでの地盤振動測定

- ・KEK敷地内の大通りにできるだけ近い場所で、別のセンサを用いて振動測定を実施
- ・測定は、8月6日(日)17時 ~ 8月7日(月)8時まで行った

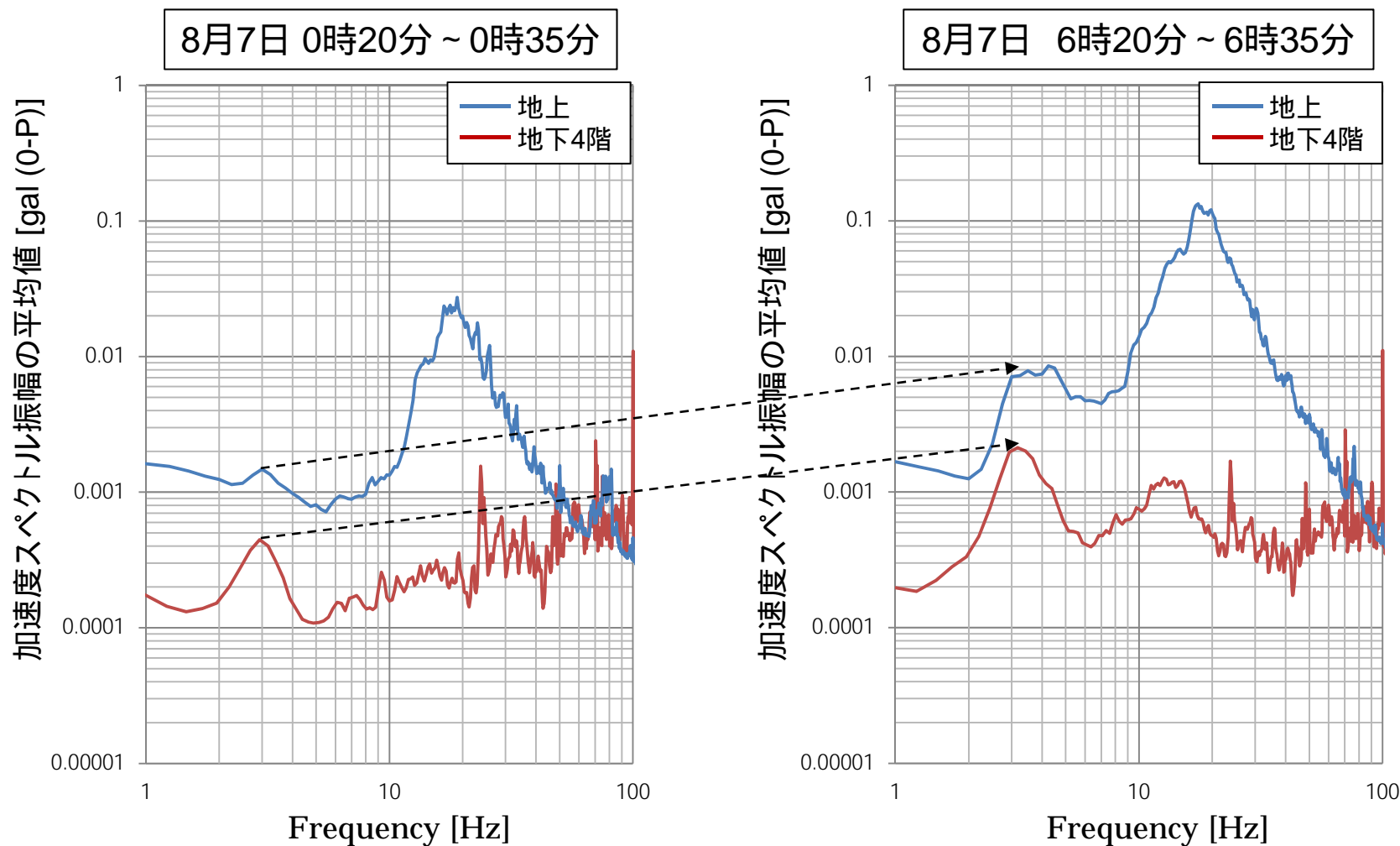


使用機器: VM-53(公害振動計)
測定内容: XYZ加速度測定



付1. 大通り近くでの地盤振動測定

8月7日(月)0時～7時までで、振動の小さい時間帯00:20～00:35と、振動の大きい時間帯06:20～06:35について、地上と地下4階で比較

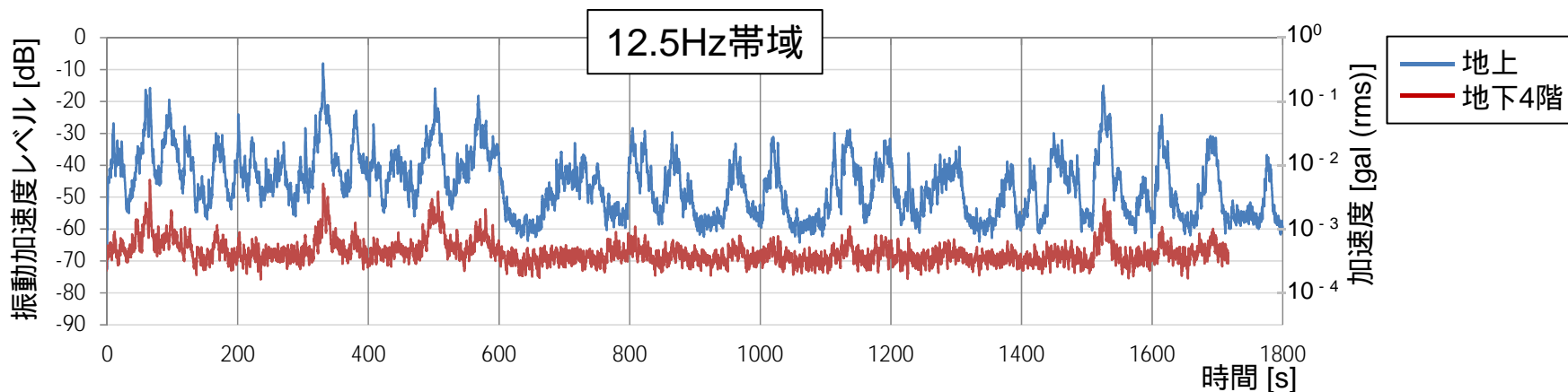
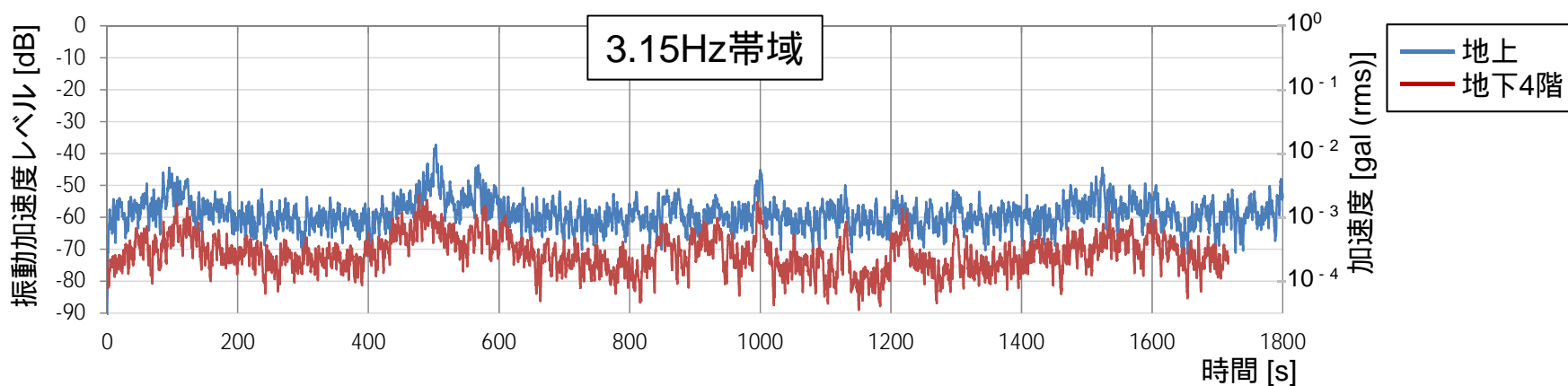


3Hz付近では、地上(大通り近く)と地下4階の振動量が連動して増加することを確認

付1. 大通り近くでの地盤振動測定

地上と地下4階の3.15Hz帯域と12.5Hz帯域の振動レベル波形を比較

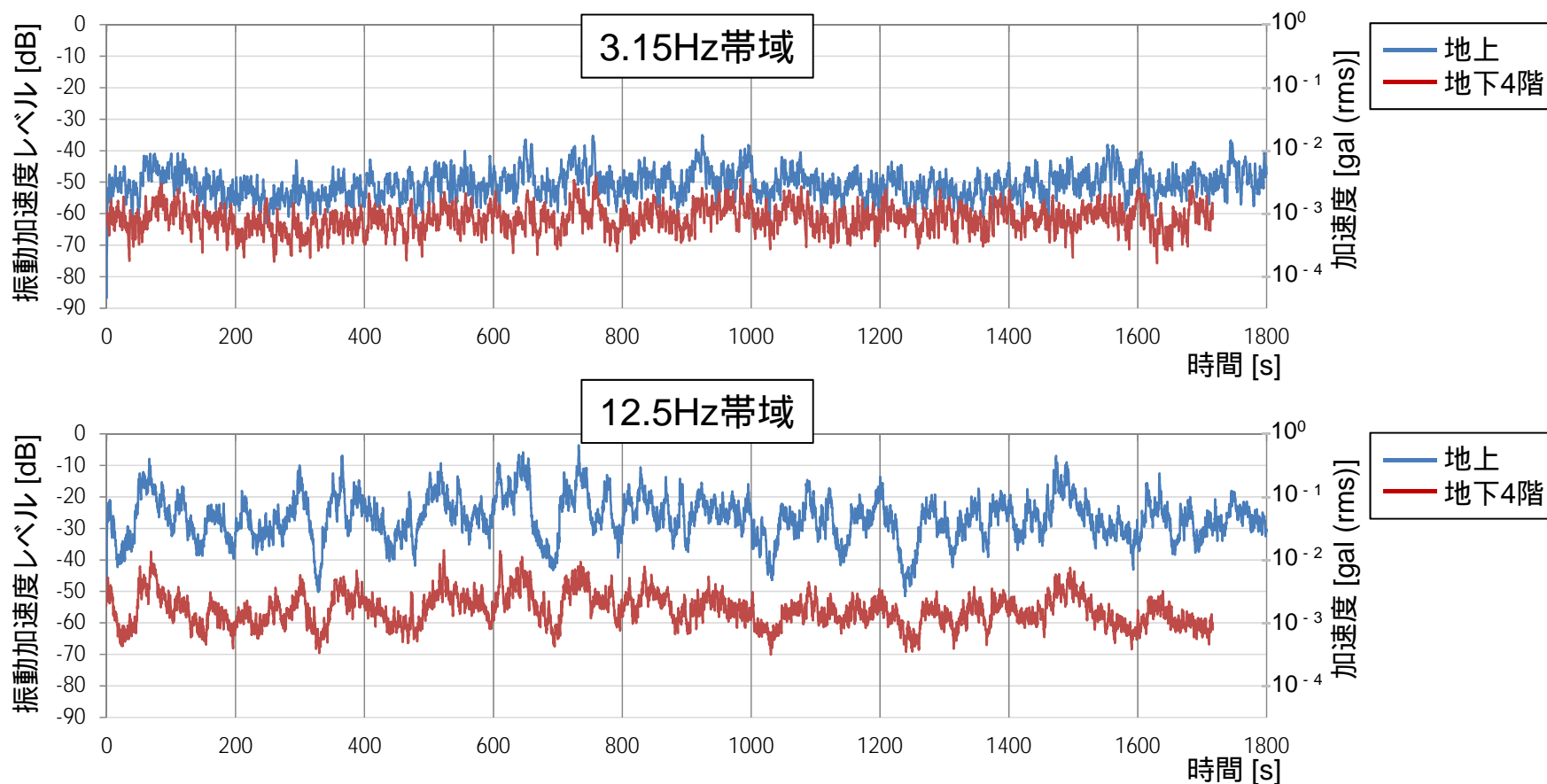
8月7日(月) 0:05~0:35



付1. 大通り近くでの地盤振動測定

地上と地下4階の3.15Hz帯域と12.5Hz帯域の振動レベル波形を比較

8月7日(月) 7:05~7:35



- ・地上東大通際と地下4階の振動には、強い相関がある
- ・3.15Hzと12.5Hzは、それぞれ異なる特徴を持った車両によるもの考えられる