

## SACLA 加速器棟の沈下防止用杭基礎の振動特性への影響

### INFLUENCE OF PILES FOR SETTLEMENT PREVENTION ON THE VIBRATION IN THE SACLA LINEAR ACCELERATOR BUILDING

松井佐久夫<sup>#</sup>  
Sakuo Matsui<sup>#</sup>  
RIKEN

#### Abstract

Many piles for the settlement prevention were made under the SACLA linear accelerator building. Influence on the vibration characteristics of these piles were measured. The influence from 5Hz up to 200Hz region cannot be detected in the horizontal directions. The vertical vibration seems to be slightly smaller at the area on the pile. The vibration in the ew direction is influenced by the pit for the cooling water pipe.

#### 1. はじめに

一般に柔らかい地盤に建物を立てる場合、杭を打ち沈下を防止する方法が採用される場合が多い。SACLAの線型加速器のエリアは主に盛土なので杭が埋め込まれている。他の放射光の施設でも多くの杭を使用している例がある。これらは主に沈下防止のためで、振動を意識したものではない。また、杭の振動への影響としては地震の関連で問題になるので実験等がなされているが、主に振れ幅が大きい場合を想定している。

一方、電子顕微鏡や半導体製造の施設では除振が重要なテーマで、一般の建物でも工事や交通などの環境振動が内部に及ぼす影響は重要であり、設計のためにシミュレーションのプログラムも開発されている。

SACLA はすでに建設されており、測定が可能なので今回、振幅の小さい振動特性への影響を調査した。

SACLA では、Fig. 1 のように長さ 400m の盛土地盤に太さ 1.5~1.6m、長さ 19~52m (平均 30m) の杭が計 139 本打ち込まれている。杭は厚さ 2m の遮蔽用コンクリ

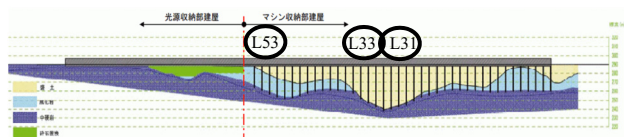


Figure 1: Cross sectional view of SACLA foundation.

ートを支える2筋 7.5m間隔のもの(Fig.2 黄緑と茶色)と、クライストロンギャラリーを支える、ほぼ 15m 間隔のもの(青色)と計3筋が埋められている。杭の影響を調べるの

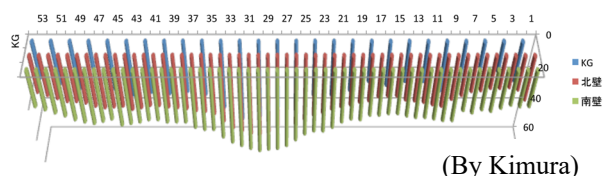


Figure 2: Piles in the accelerator area.

<sup>#</sup> matsui@spring8.or.jp

に収納部の下の杭は通り芯の中央すべてにあり、影響の判別が難しいことが予想されるので今回はクライストロンギャラリーの下の杭を対象にした。

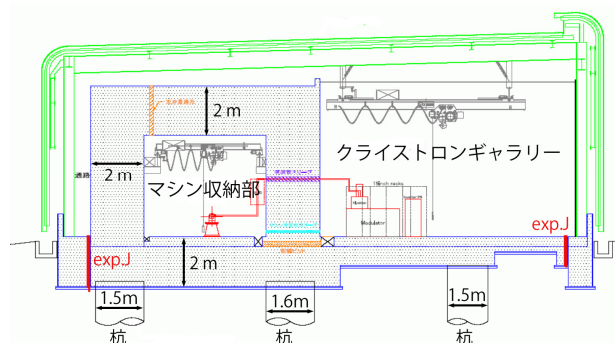


Figure 3: Cross sectional view of accelerator building.

#### 2. 杭の打設

対象の地盤は埋め立て地で数十センチの岩塊もある。そこで、まず旋回式に地面を堅い岩に達するまで土を取り除きながらくりぬく。その後、円筒状の鉄筋籠を投入した後、コンクリートを流し込む方法が採用された(Fig.4,5)。



Figure 4: Piles installation.



Figure 5: Scraping pile after installation and three lines of piles.

### 3. 沈下の状況

#### 3.1 HLS による測定

2008 年に線型加速器棟が建設された後、2012 年に 400m にわたり HLS (Hydrostatic Leveling System) のセンサーを 8 個収納部内側南側ピットに設置した。これらは床の上下の変化を常にモニターしておりデータは 1 分毎に蓄積されている。加速器棟最下流で光源棟につながる付近 L53 の床レベルを基準に他の場所のこの 6 年半のレベル変化を Fig. 7 に示す。埋立て深さにほぼ比例して沈下している。その速度はややゆるくなってはいるが、建設後 10 年を経た現在でも 0.5mm/年あることがわかる。



Figure 6: HLS in the tunnel pit.

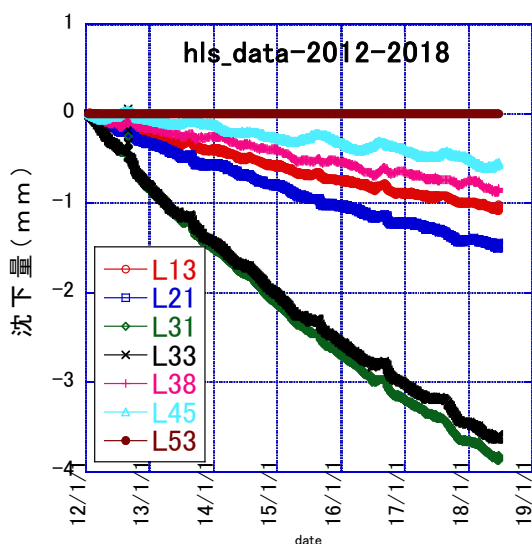


Figure 7: Levels during six years with HLS.

### 4. 振動の測定

#### 4.1 センサー

永久磁石にコイルを巻いた単純なセンサー ジيوفオン GS-11D を使用した。固有振動数 4.5Hz、速度出力 1V/(cm/s)のタイプで周波数特性を Fig. 8 に示す。抵抗をつながずオープンで使用したため 5Hz 付近がピークになるので 2Hz~30Hz の範囲は補正を行った。

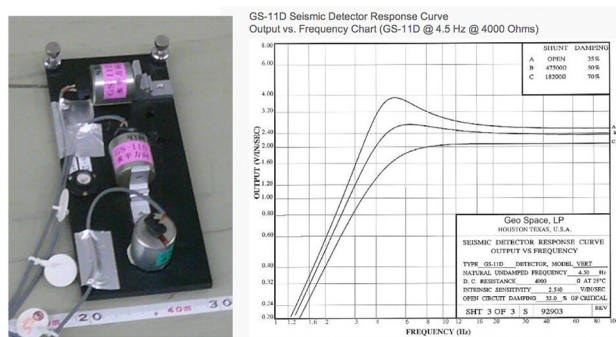


Figure 8: Sensors Geophone (GS-11D) on the Al plate and frequency characteristics.

#### 4.2 測定器

多チャンネルの FFT として Graduo (小野測器 24bit) を使用した。電源は建物内の壁コンセントではノイズが大きいので 12V の自動車用バッテリーを用いた。PC も内部のバッテリーで駆動した。センサーは Fig. 9 のようにアルミの板に水平用 2 個、垂直用 1 個の計 3 個、両面テープで固定したものをベースとして 4 セット計 12ch で測定した。400Hz まで測定するためサンプリング周波数は 1024Hz で行った。(1024=400×2.56)

#### 4.3 ベースの周波数特性

測定の便宜上アルミの板に載せて測定を行うが、信用できる周波数帯を調べるため、比較的振動の小さい場所 (L30 の下流 102m) で床に直接固定したセンサーとアルミの板に載せた場合で同時測定を行った(Fig. 9)。Figure 10 にスペクトルを示す。赤が床に直接固定したスペクトルで Base2,3,4 がアルミの板の上のスペクトルである。東西方向、南北、上下の 3 方向で少しずつ異なるが 150~200Hz まではあまり差はなく、それ以上ではベースの固有振動のようなものも見えてきている。

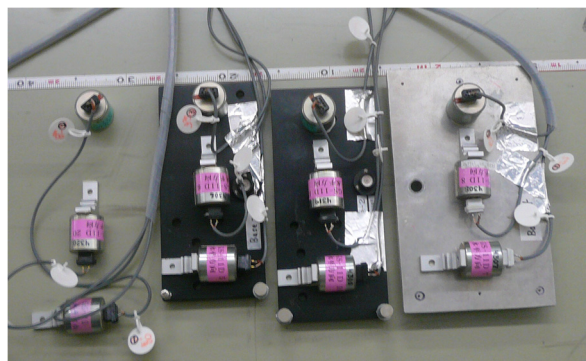


Figure 9: Sensors on the floor and Base2-4.



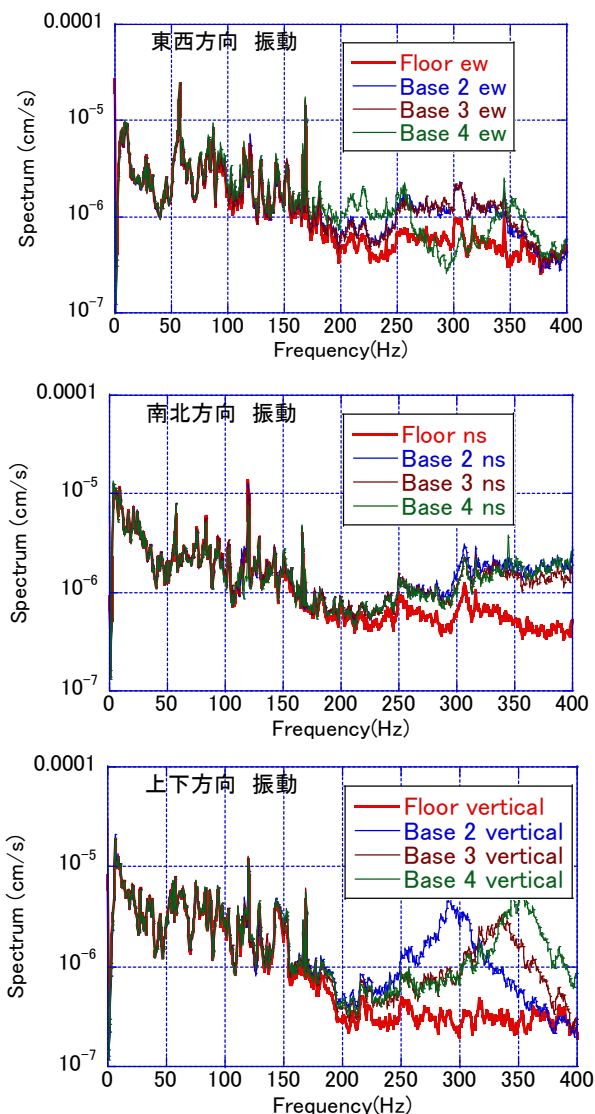


Figure 10: Vibration spectra of floor and AI Base.

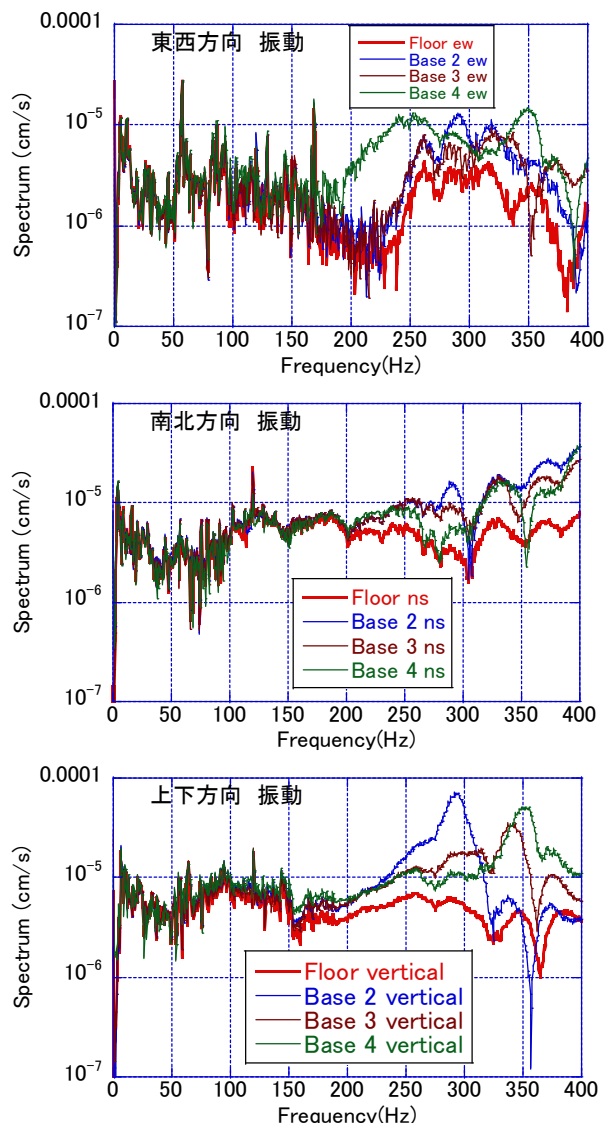


Figure 12: Spectra of floor and AI Base at impulse.

#### 4.4 床加振の場合

床の固有振動を調べるため 7.2kg の砲丸を高さ 3 センチ程の高さから落下させ加振時の振動を得た。Figure

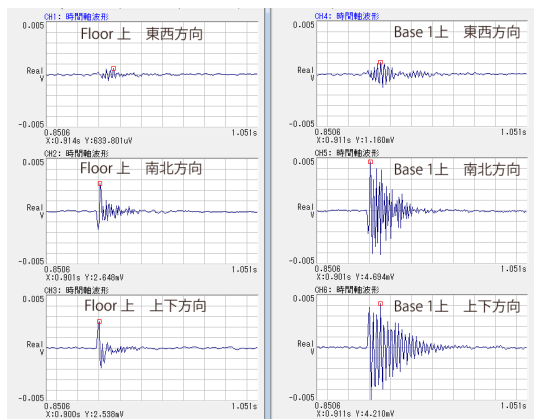


Figure 11: Velocities of floor and AI Base at impulse.

11 は床に直接固定したのとアルミ板上のセンサーの時間波形を示している。最初の衝撃の後、床の振動は収まっているのにアルミ板の上ではしばらく振動が続いている。Figure 12 はこの場合のスペクトルで 150Hz~200Hz までの領域では板の上も床と同じスペクトルを示している。

## 5. 測定

### 5.1 測定場所

クライストロンギャラリーの床下の杭の真上を加速器棟の中央付近(通り芯 L30)から最下流まで 196mを 25cm 間隔で測定した。Figure 13 のように4個のベースを用い 1回の測定毎に 1m 下流に移動した。測定は 60 秒の生データを記録した。この時、クライストロンは 30Hz で運転中で、もちろん冷却水も流れていた。冷却施設からの配水管はクライストロンギャラリーをとどこどこで横断しており、ピットの上に鉄のプレートで蓋をしてある。今回はその蓋の上でも測定した。

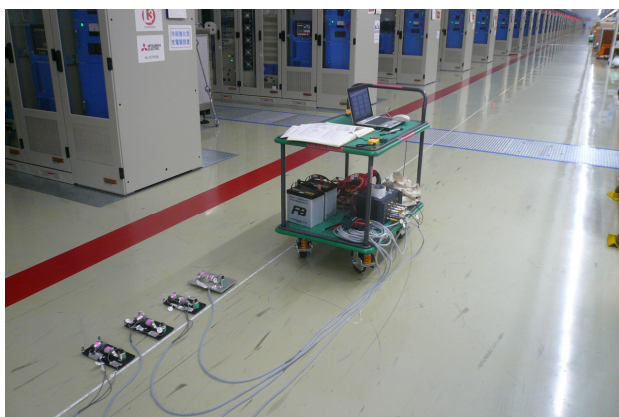


Figure 13: Vibration measurement at klystron gallery.

## 5.2 解析

生データをサンプル条件 2048 個 (2 秒分) でハンギングウィンドウで1秒分ずつ重ねながら平均化し 0.5Hz きざみのスペクトルを求めた。

## 6. 測定結果

### 6.1 変位の例

冷却機械室に近い振動が大きい場所の変位波形を Fig. 14 に示す。センサーの出力(速度)を1回積分したもので上下方向が最も大きく $\pm 50\text{nm}$ 程度の振幅が見られる。加速器が東西に長い形から東西方向の振動は小さいがそれでも振幅は $\pm 10\text{nm}$ 程度ある。

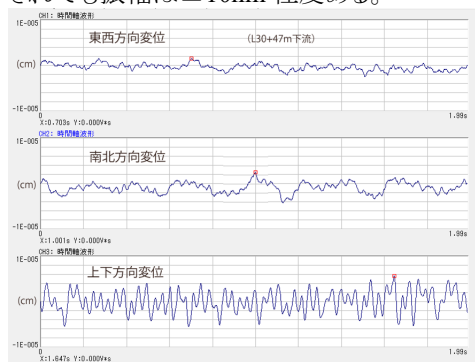


Figure 14: Floor vibration (displacement) in the three directions.

### 6.2 スペクトルの例

Figure 15 左図に冷却機械室に近いエリアのスペクトルを示す。特に 30Hz 以下の上下振動が大きいことがわかる。冷却機械室から遠い所 (Fig. 15 右図) では3成分とも同程度に小さい。

### 6.3 東西方向振動

25cm 間隔で測定した東西方向振動(速度)のスペクトルを 196mにわたり Fig. 16 に色グラフで示した。杭の位置を赤線で示しているがはっきりした杭の影響は認められない。黄色の丸の部分は冷却配管用のピットがあるエリアで、45~60Hz のスペクトルがその両側で Fig. 17 のように大きく異なっている。ピットの深さは 40cm あり、防

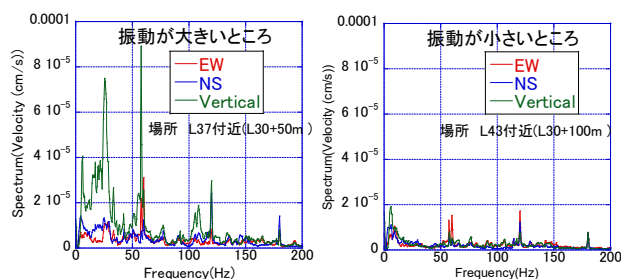


Figure 15: Spectra at both large and small vibration points.

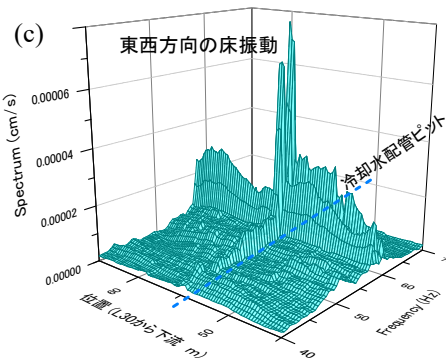
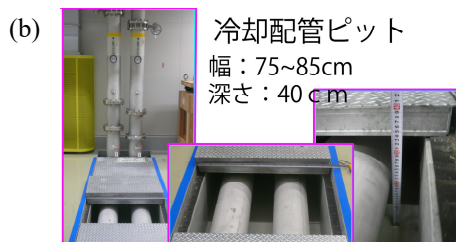
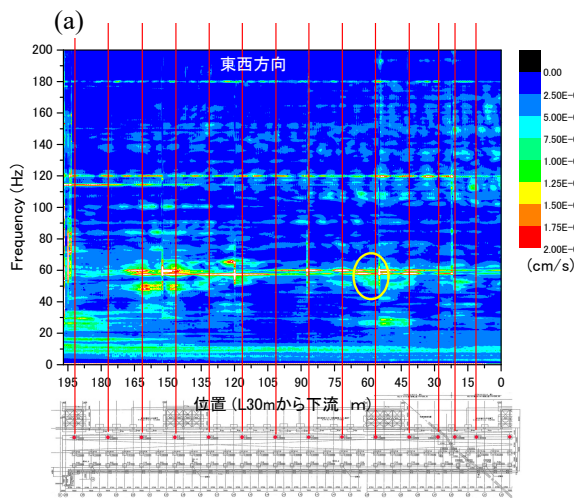


Figure 16: (a) EW vibration spectra and pile positions. (b) Photo of the pit for cooling water pipe. (c) Three dimensional spectra in the yellow circle.

振の観点からどのような溝が効果的か、建設後の実際とシミュレーションからの検討の余地が SPring8 の施設でもあるかもしれない[1]。構造的に仕切る目的のエクspansionは多く用いられているので再評価は興味深い。

### 6.4 南北方向振動

この方向の振動も杭との相関は認められなかった。

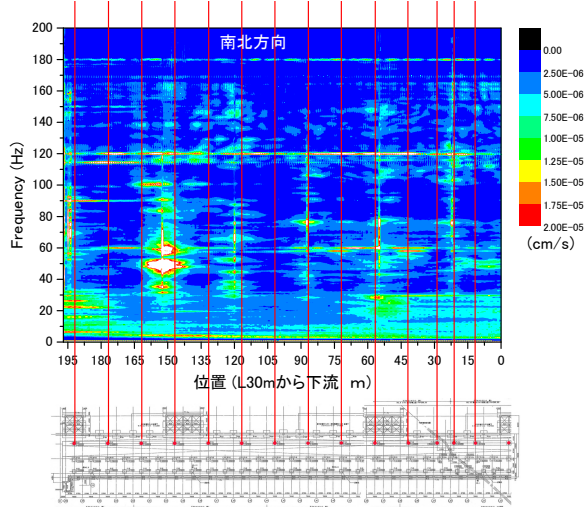


Figure 17: NS vibration spectra and pile positions.

### 6.5 上下方向振動

Figure 18 を見ると 40~70m と 130~160m のエリアは加速器棟の北側の空調冷却機械棟の影響で振動が大きくなっている。また、構造の影響のためか通り芯とその

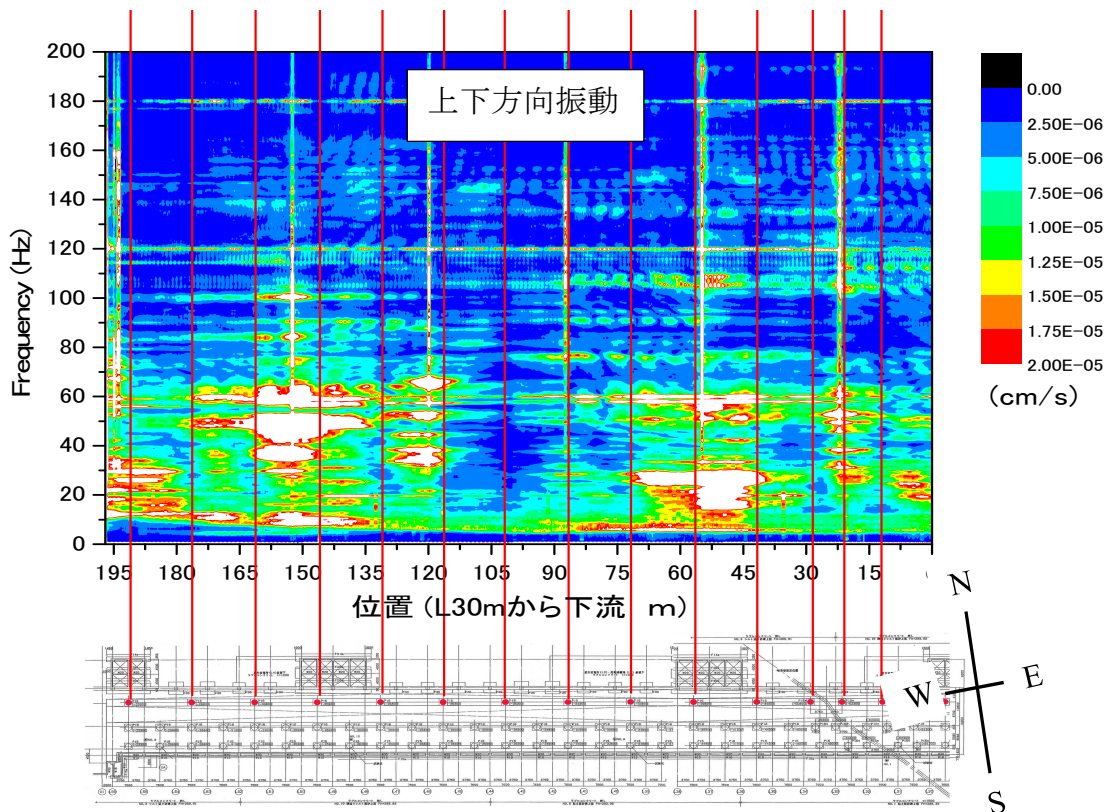


Figure 18: Vertical vibration spectra on the floor of klystron gallery and pile positions.

中間の場所で振動がやや大きくなっているところが認められる。また、杭の位置でやや振動が小さくなっているところがわずかに認められるようにも見える。杭のあるところは、上下に拘束を受けるため、上下方向の振動が抑制されるのは考えられるが、この測定結果から見ると 5~200Hz の領域で見る限り顕著な影響はないと思われる。

## 7. まとめ

SACLA 加速器棟のクライストロンギャラリーで運転中、杭の打たれているその床上を直線状にほぼ 200m (加速器部分の約 1/2)、25cm おきに振動測定した。

振動数の領域 5~200Hz で杭の影響は水平の東西方向、南北方向ともに認められなかった。上下方向には影響はあるとしてもわずかであると思われる。

防振溝で表面波を抑制するためのエクspansionの検討はまだ残された課題ではないかと思われる。

## 参考文献

- [1] 保井 美敏、藤堂 正喜  
<http://www.toda.co.jp/lucubration/pdf/p321.pdf#search=>  
振動を抑える+防振溝