

# 大強度陽子加速器施設建設予定地の極微小振動測定

渡辺 和彦<sup>1</sup>、榊 泰直

日本原子力研究所 大強度陽子加速器施設開発センター

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方 2-4

## 概要

今回建設する大強度陽子加速器の線形加速器はビームトランスポートラインの直線部分を含むと全長約 260m という大きなものであるが<sup>[1]</sup>、ビームロスの低減を計るために全域に亘って  $\pm 50 \mu\text{m}$  のアライメント精度が求められる。今回の計画では KEKB で使用されたレーザーアライメントシステム<sup>[2]</sup>をベースアイデアとした高精度レーザーアライメントシステム<sup>[3]</sup>を利用する。しかし、外的要因により建物自体が振動した場合、アライメント調整用のレーザー発振器やターゲットにも悪影響を与え、精度の高いアライメント調整を行うことは困難である。外的要因による振動を防ぐことはほぼ不可能に近いが、この振動を解析することにより、振動の原因を把握できれば、そのデータを考慮して予測的に作業することで、より信頼性の高いアライメントが取れるものと思われる。そこで今回、実機の設置場所と類似する位置環境である、日本原子力研究所 東海研究所陽子加速器開発棟 B2F (地下 約 10m) にて振動を測定し、解析を行ったのでここに報告する。

## 1. はじめに

統合計画とよばれている原研と KEK による大強度陽子加速器施設は、平成 18 年のビーム出しに向けて、原研東海研究所において、施設建設予定地の伐採作業が始まっている。この建設予定地は、太平洋に面した上、全域に亘って砂地であり、潮汐や波の影響を受けることが懸念されるために、精密な機器の据付精度が求められる巨大加速器には、最適な場所であるとは言い切れない。信頼性の高い精密アライメントを行うためには、建設予定地の「振動特性」を完全に把握することは非常に重要で、アライメントにとって「外乱因子」となるものが理解できれば、信頼性向上のための予防的な処置を講じることができる。そこで、今回はその準備として建設予定地に類似した位置環境で、振動を測定し、予備的な解析を行うことにした。

## 2. 測定装置の設置条件

今回、振動を測定するにあたり、陽子加速器開発棟の地下 2 階のピット、地上 (海拔 21.09m) から深さ約 10m の場所に振動測定装置を設置した。この場所は海岸線から約 630m、原研に接している国道 245

号線から約 410m の距離に位置している。対して、建設予定の大強度陽子加速器施設のリニアック棟は海岸線から約 530m、国道から約 550m の距離に位置しており、ビームラインは地上 (海拔 15m) から深さ 11.8m のところを通る予定である。陽子加速器開発棟とリニアック棟建設予定地の位置関係は図 1 のようになっている。

このように測定地点は大強度陽子加速器のリニアック部が実際に設置される環境と類似した位置環境であるため、実機の設置において、有効なデータが収集できるものと思われる。



図 1 : 建屋の位置関係

## 3. 振動測定装置

### 3.1 振動測定システム

今回、振動測定に使用した機器構成を図 2 に示す。振動計にはソニープレジジョンテクノロジー株式会社製 レーザードップラ振動計 VL10 を使用した。この振動計は計測モードを速度モードに設定した場合、DC ~ 100 kHz まで、広範囲に亘って振動を測定することができる。このとき  $0.05 \mu\text{m} \sim 1\text{mm}$  まで、変位の分解能を持っている。この振動計の出力をアナログ I/O PC カードを搭載したデータ収集用 PC に入力する。今回使用しているアナログ I/O PC カードの分解能は 12bit である。データの収集は Windows 2000 上で動作するデータ収集プログラムによって、100ms 周期で振動計の出力を読み取り、1 日ごと (864000 点) につき 1 つの CSV 形式ファイルと

<sup>1</sup> E-mail: [kaz\\_wa@linac.tokai.jaeri.go.jp](mailto:kaz_wa@linac.tokai.jaeri.go.jp), (株)原子力資料サービスより出向

して自動的に記録する。今回振動計を設置した場所は、普段から人の出入りが全く無く温度変化が非常に小さな部屋であり、温度変化による ADC の揺らぎは無視できるほど小さい。また、振動計は建屋の振動の影響を受けにくくするため、トレイに砂を敷き詰め、その上に振動計を設置し、防振効果を期待した。振動の測定は建屋の壁面にレーザーを照射し測定する。しかし、測定地点の壁面はコンクリートであるため、レーザーを効率的に反射しなかった。そこで、レーザー用ターゲットとして、平面率及び反射率が高いといわれる CD-R 用ブランクメディア (CD) を壁面に接着した。

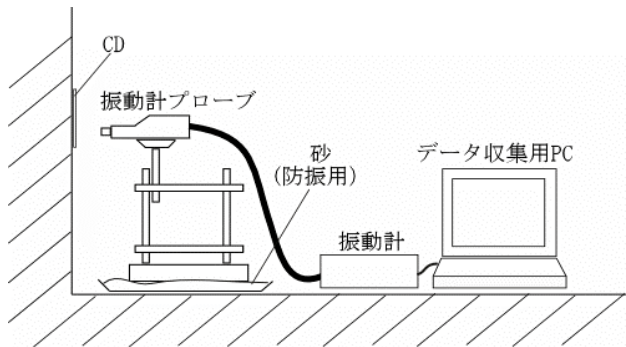


図 2 : 振動測定装置の機器構成

### 3.2 測定データ

振動計は測定対象 (今回は陽子加速器開発棟壁面) の瞬間速度を検出する。検出された速度は瞬間的な揺れ変位の大きさと同じ意味をもっているために、測定値が大きければ、大きな揺れが発生したことになる。測定された一般的なデータを図 3 に示す。

縦軸には壁面の瞬間速度、横軸には測定経過時間を示す。測定システムは ADC の性能が 12 ビット分解能であるため、振動速度分解能は  $48.8 \mu\text{m/s}$  となる。建屋の振動の揺らぎはその分解能以下であるために、測定データは ADC のビット揺らぎがメインとなって離散値となっている。

今回の測定のターゲットは潮汐が主原因と考えられる非常に穏やかな変動周期 (DC ~ 12 時間周期程度) 及び、東海研究所が接する海岸線に打ち寄せる波が原因と考えられる変動周期 (5 ~ 15 秒周期程度) の揺れである。潮汐の影響は 100ms 周期で測定された今回のデータ内ではほぼ直流成分として扱えるために、このような分解能のデータであってもその影響を抽出できると思われる。しかし、波の影響は測定分解能以下 (システムのビットエラーにも埋もれるほど) の揺らぎであるためか、時系列のデータからは定性的にも、一見してわかるほどのものではなかった。

図 4 には、たまたま測定された茨城県南部を震源とした M5.2 の地震のデータを示す。

体感的な揺れとしては数十秒ほどであったが、測定データによれば 10 分近く振動が継続していることが確認できる。このことにより実際にアライメントを行う際には、地震が収まったと感じても直ちにア

ライメントを再開させてはならない。さらに、測定期間中、地震は 2 週間に 1 度程度の頻度で発生した。加速器施設として、地震が多いということも将来問題にせねばならない可能性がある。

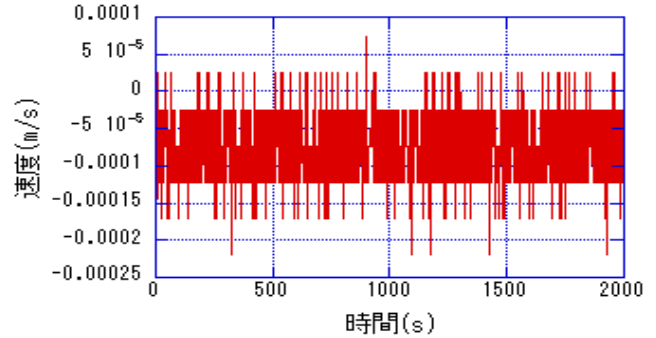


図 3 : 一般的な測定データ

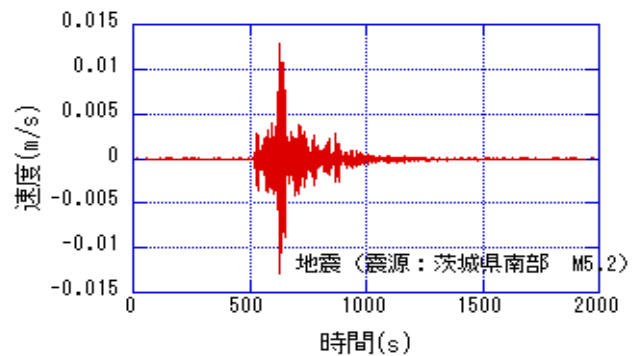


図 4 : 地震時の測定データ

## 4 . 解析

### 4.1 周波数解析

収集したデータを FFT 解析し、特出した周波数成分が有るかを検討した。波の影響が何らかの微小振動として観測されるならば、FFT によるパワースペクトル上で  $1/5 \sim 1/10\text{Hz}$  程度のところにピークが観測されると思われる。図 5 に FFT によって得られた振動速度の周波数パワースペクトルを示す。

このグラフからわかるように、特徴のある周波数がほとんど観測されない、いわゆるホワイトノイズ揺らぎに近いことがわかる。これは測定分解能が低いため、離散的なビット揺らぎによって引き起こされたものと思われる。なお、このデータの平均的な振幅を求めるとおよそ  $0.5 \mu\text{m}$  である。これは同測定システムで測定した KEK 大強度リニアック棟のバックグラウンドの振動<sup>[4]</sup>とほぼ同じである。

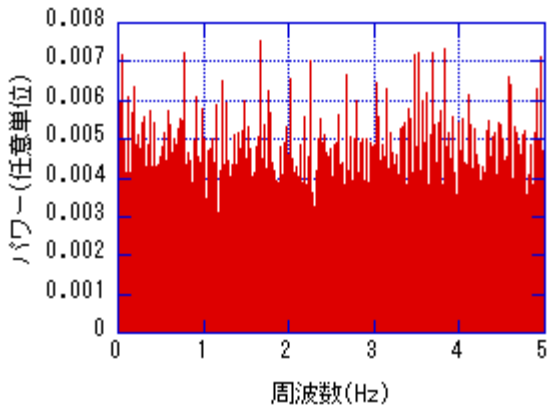


図5：周波数パワースペクトル

#### 4.2 潮汐データの抽出

潮汐データは DC ~ 12 時間周期程度の揺らぎをもつものである。このようなデータはローパスフィルターを通すことで抽出できるはずである。

図6にローパスフィルターを通した測定データと潮汐データによる予測値（茨城県日立港）<sup>[5]</sup>を示す。

このように振動速度の変化の周期は潮汐の位相とほぼ一致し、測定データに潮汐が影響していることが定性的に読み取れる。しかし、振幅に関する傾向は一致しているとは言い難い。今後、振幅に関して寄与因子を検討していかねばならない。

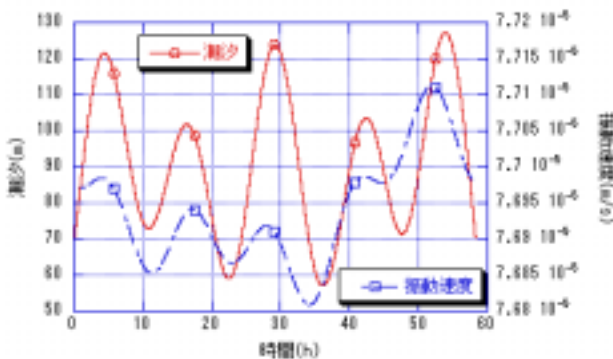


図6：振動及び潮汐のグラフ

#### 4.2 波の影響の評価

本測定系の分解能では波の影響を十分に評価できない。そこで、時系列のデータに統計的な処理を施し、平均値や標準偏差などから波の影響を評価できないか考えた。測定データはホワイトノイズに近い揺らぎ成分であるため、その頻度分布はガウス分布にフィッティング可能である。海が荒れて波が高い場合などには建屋振動の揺らぎの頻度が変化し、標準偏差が大きくなると思われる。一日毎の標準偏差、平均値を記録していけば何らかの傾向が読み取れる可能性がある。図7は5月15日から6月17日までの標準偏差と平均を表したものである。

5/26 ~ 5/28 の標準偏差は休日の所内工事のためか、値が大きいが、それ以外の部分を見れば、なんらかの周期があるように感じられる。しかし、1ヶ月分のデータでは情報不足であり、結論を述べることはできない。平均のグラフを見ると、土日は平均値の絶対値が小さいように思われる。人間の社会活動が低い場合は振動の発生が減少すると考えれば納得のいくものではあるが、このデータも情報量が充分ではないため、結論を述べることはできない。

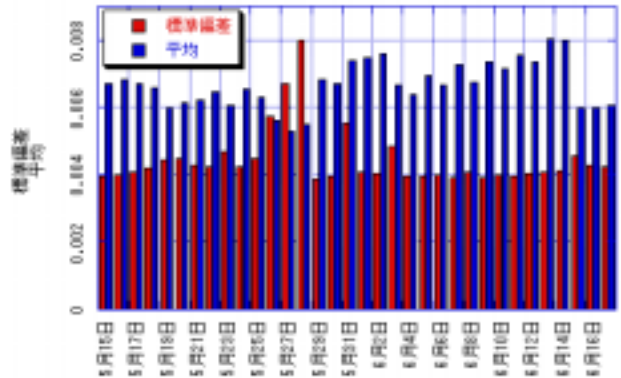


図7：標準偏差及び平均

### 5. まとめ

今回、大強度陽子加速器リニアックのアライメント精度を向上させるためにリニアックが建設される位置環境と同等の建屋で微小振動の基礎データを測定した。その結果、潮汐と、人間の社会活動の影響がある程度評価できた。しかし、波の影響は標準偏差、平均値を用いて評価を試みたが、情報不足から十分に評価できなかった。気象の影響や、原研東海研究所、もしくは近隣の特定の施設が稼動した際の影響等も調査する必要がある。今後もさらに測定を続け、建設予定地の振動メカニズムを何らかのモデルにし、アライメント精度を向上させるための努力を続けたいと考えている。

### 参考文献

- [1] 伊藤 崇, in these proceedings.
- [2] Y.Ogawa et al., "IMPROVEMENT OF THE ALIGNMENT SYSTEM FOR THE KEK 2.5GEV ELECTRON LINAC", Proc. of the PAC'95, p.2087(1995).
- [3] JAERI/KEK Joint Project Team, "ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT", (2002).
- [4] 榊 泰直, "DTLQの振動測定及びその評価", 内部資料 (2001).
- [5] 海上保安庁水路部, "日本沿岸 潮汐調和定数表", 平成4年2月