

DISPLACE MEASUREMENT OF BUILDING FLOOR AND ALIGNMENT BY WIRE POSITIONING SYSTEM (WPS) AT XFEL

Sakuo Matsui^{#,A)}, Masafumi Yamashita^{C)}, Yoshifumi Tsukamoto^{C)}, Yusuke Maeda^{A)}, Tomoya Kai^{A)}, Noriyoshi Azumi^{B)}, Hiroaki Kimura^{B,C)}

^{A)}RIKEN / SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148

^{B)}SPring-8 Service Co., Ltd. / 1-20-5 Koto, Shingu-cho, Tatsuno-shi, Hyogo, 678-1205 Japan

Abstract

The floor of undulator tunnel shifts maximum 50 μm in the north-south direction between the 110m east-west stretched wire. This change time seems seasonally but one month faster than that of the under-floor temperature. The linearity of Kevlar carbon wires were tested by stretching two ones for 41m which distances were same in the parallel direction. The distance between these wires were measured by Fogale two WPS's every 5 meter. The distances between two wires were about 175mm and fluctuated within 10 μm . The monuments positions measured by WPS's agreed with that by the laser tracker T3 of API within 50 μm through the 130m length.

XFEL 床の横方向変位とアライメントに用いたワイヤによる測定方法 (WPS)

1. はじめに

SPring-8 サイトに X 線自由電子レーザー (XFEL 名称:SACLA) 施設を建設した。加速器棟は盛り土部の上にあるため杭基礎の構造になっているが、レーザー増幅を行う挿入光源が設置されているエリアの床はさらに安定度が要求されるため切土以外のところは、地盤改良されている。(図 1)

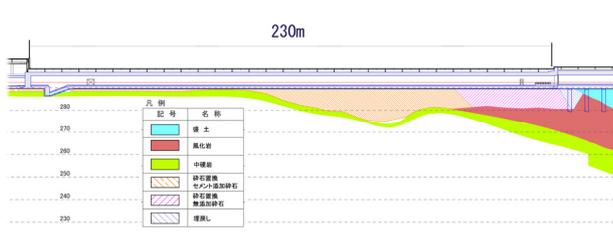


図 1 : 光源棟の地盤断面図

光源棟収納部は東西 230m 南北 20m の細長くその床は図 2 の断面図に示すように南北にエクステンションジョイントで切られており上部の変形が床に影響を与えにくい構造がとられている。

床下 1 m の深さには温度センサーが、東西 7 列各列南北 3 箇所、計 21 箇所に埋め込まれている。

光源棟では数 m の距離で数ミクロンの精度で電子ビームをコントロールしなければならないため床のモニターには上下変動を測定できる連通管 (Hydro Leveling System HLS) を 150 はり、センサー 10 箇所、水平方向は 110m のワイヤを張り、ワイヤセンサー (Wire Positioning System WPS) を固定部 2 箇所を含め計 7 箇所に設置した。(図 2、図 3)

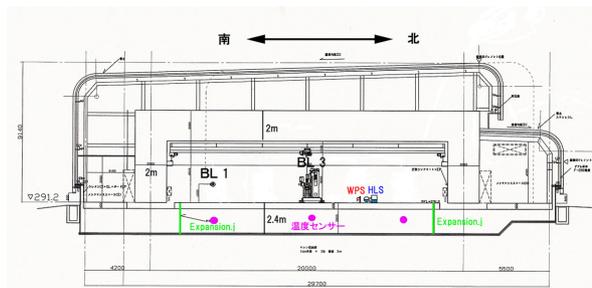


図 2 : 光源棟断面図とセンサーの位置。



図 3 : BL3 の挿入光源の位置とセンサー平面図。

2. 光源棟床の変位

2.1 センサー

上下変動の測定にはすで SPring-8 でも実績がある連通管タイプのセンサーを、水平方向は 1 次元のタイプのワイヤセンサーを用いた。(図 4) これらいずれも Fogale 社製で静電容量タイプ、測定レンジ 2.5mm、アナログ出力 0-10V で分解能は 0.1 μm 以下である。放射線のそれほど強くないところなのでアンプ内蔵タイプを選択した。ワイヤセンサーで一箇所のみ 2 次元タイプを用い、ここでワイヤの垂直方向の変位をモニターしている。ワイヤには金属を用いることもできるが垂れ下がる量を少なくするため炭素のケブラー線を用いた。張力約 20kgf で BL

[#] matsui@spring8.or.jp

3に沿って東西に110 m張り、垂れ量は27mmであった。(図5)

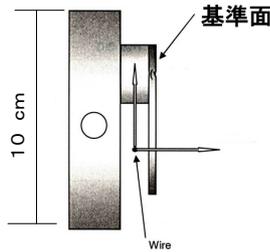


図4: Fogale社製ワイヤセンサー。

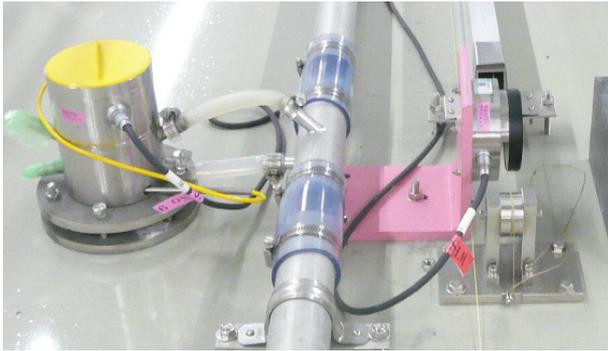


図5: 最も西のセンサ。左がHLSで右がWPS。

2.2 水平変位

図6に測定を始めてほぼ1年のワイヤセンサーによる床の南北方向の変化を示す。図の上部はセンサー内の温度で雰囲気より2度ほど高い値を示している。

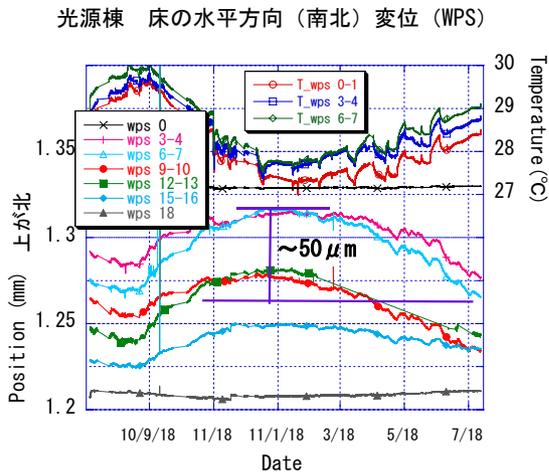


図6: ワイヤセンサーによる床の南北方向の変化。

図中 wps の後ろの数字は挿入光源の番号で図3に示しているセンサーの位置を表している。wps 0 と wps 18 はワイヤの固定部なので変化していないことがわかる。その他のセンサーは上流側から順に並ぶ位置にプロットしている。挿入光源6-7付近が最も大きく $50 \mu\text{m}$ ほど季節変化をしているように見

える。センサーの温度も季節で 2°C も変化しており収納部内部の温度コントロールが十分ではないことを示している。時期は異なるが床下でも同様の季節変化をしていることがわかる。図7に光源棟通り芯10と26でBL3の真下とその4 m南のところの温度を示す。しかし、床下の温度の変曲点は2010年9月下旬となっており、床の変曲点である8月下旬より1ヶ月程遅い。このことから床の動きは外気の変化からあまり遅れないところからの影響が大きいことが推測される。

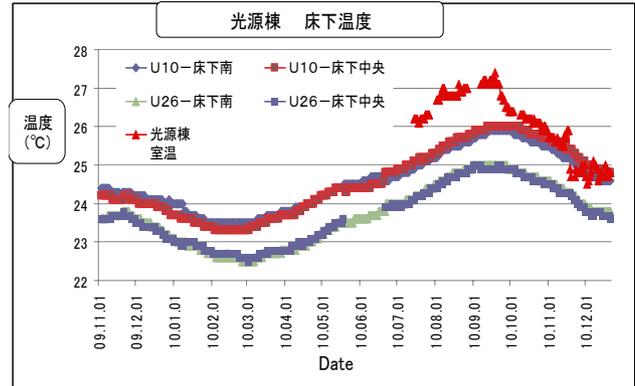


図7: 光源棟床下の温度。

2.2 垂直変位

図8に2009年11月からの床の上下変化を示す。最も西にあるHLSセンサーを高さの基準にしてプロットしたもので上流側が年間 0.2mm 程度沈下している。

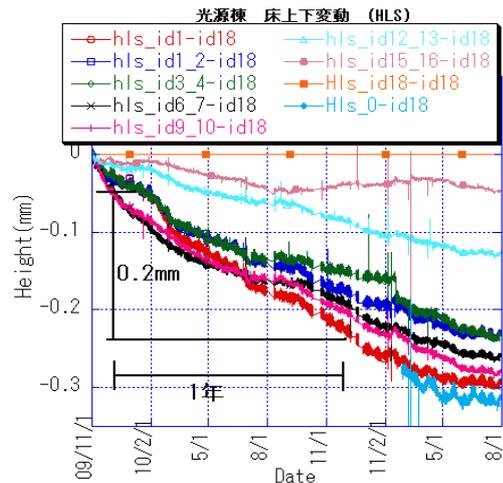


図8: 光源棟の床のHLSによる上下変動測定。

2.3 3.11地震時の床の変形

西播磨では体には感じなかったが長い周期の振動のため連通管は水パイプの両端ではレンジオーバーになっていた。落ち着いたあと地震前と比べると最も西にある位置(hls id18)で約 $13 \mu\text{m}$ 上昇していることがわかった。(図9)すぐ隣のhls id15-16も

少し上昇している。ワイヤの中央付近に図 10 のように 2 次元の WPS を設置しているが、ここではワイヤが上昇したように見えている。その量は hls_id 18 の半分程度の上昇—id9 付近の上昇= $13/2 - (-1) = 7 \mu\text{m}$ と測定値と一致するところから HLS センサーの内部で水滴がついたりしたせいではないと判断できる。このような大きな変形が発生すればビームを調整しなおさなければレーザー増幅はできなくなるが、頻度はまれだと考えられる。近くの小さな地震等での程度の変形が発生するのかについてはこれまでのデータから調査を行う。

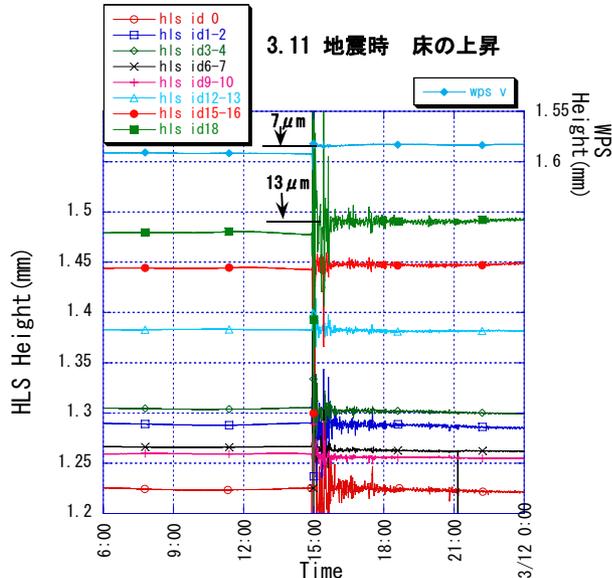


図 9 : 3. 1 1 地震前後 18 時間の床の上下動。

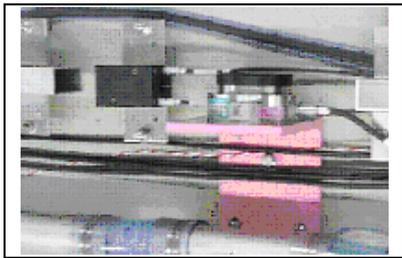


図 10 : 2 次元 WPS (左) と 1 次元 WPS (右)。

3. ワイヤによるアライメント

3.1 ワイヤの直線性テスト

数十 m にわたり精度 $10 \mu\text{m}$ 程度の直線の基準を得るのは容易ではない。そのためワイヤと WPS によるアライメントシステムのチェックをするのは簡単ではなくここでは 2 本平行に張りその線間の距離の変化を測定する事で間接的にそれらの直線からのずれの程度を見積もることにした。風により 2 本とも同じように曲がる事が想定されるが今回はビニールハウスの中で風速は 0.01m/s 以下と小さく所

有する測定器では測れないほどであった。

3.1.1 張力と垂れ下がり量

ワイヤの長さは 41m で図 11 のような設定でレバーブロックで張力を変えながら垂れ量をオートレベルで測定した。

10kgf 付近からは張力を上げても伸びるばかりで垂れ量はあまり改善しない。15kgf での垂れ量は 4.5mm であった。



図 11 : ワイヤを張る。

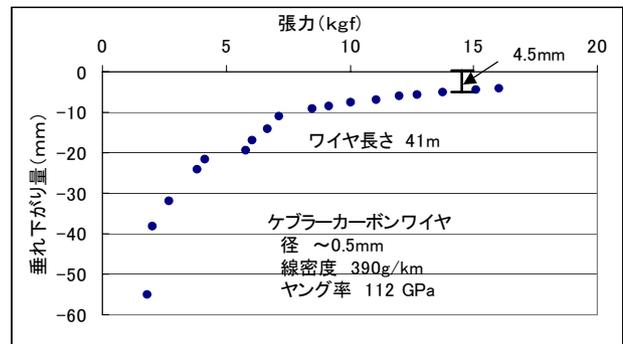


図 12 : ワイヤの張力と垂れ量。

3.1.2 直線性テスト

2 本のワイヤを図 13 のように 175mm ほどの間隔で高さも揃え張力 15kgf で張った。また移動して線間距離を測定する治具 2 方向の傾き、1 方向のスライドステージ上に光学レールを固定し、さらに L アンクルで WPS 2 個を固定した。(図 14)

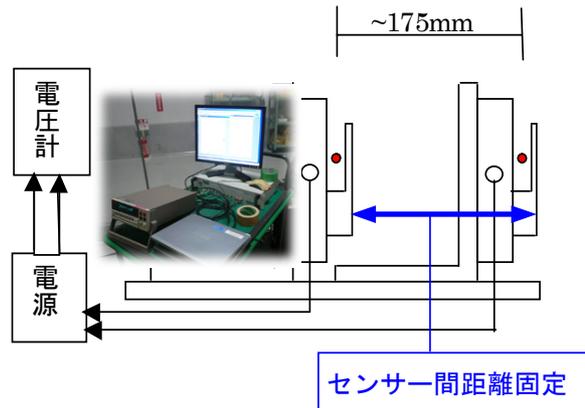


図 13 : 線間距離測定治具。

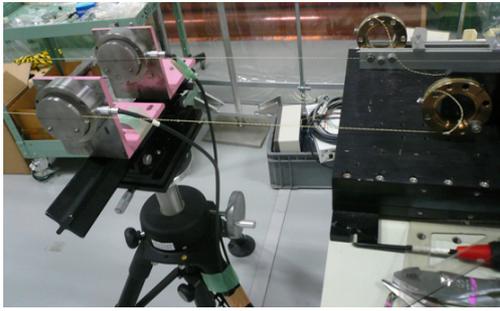


図 14 : ワイヤ固定部と線間距離測定治具。

まず線間距離測定治具でワイヤの両端で等距離になるよう、図 14 のワイヤの固定部のステージで調整した。治具の2つの方向の傾きは気泡管とデジタル水準器で調整した。また向きはとりつけた視準器で見ながら調整した。(図 15)

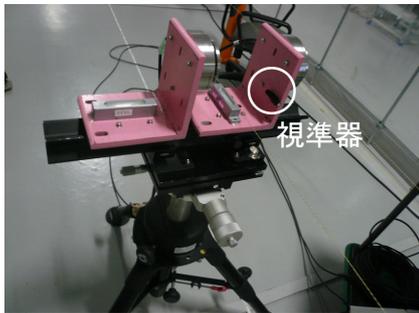


図 15 : 距離測定治具の傾きの調整。

一箇所でも長手方向に 0.5mm をステージで $10\mu\text{m}$ ずつ移動し WPS の出力を測定した。それぞれの出力は $5\mu\text{m}$ ほど変化したが差は $0.6\mu\text{m}$ 以内に入っている。また 23mm にわたり 0.5mm ずつ移動し測定したが、出力は $150\mu\text{m}$ ほど変化したが差は $1\mu\text{m}$ 以内に入っている。(図 16、17)

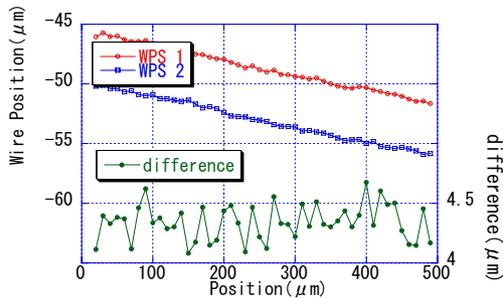


図 16 : $10\mu\text{m}$ ずつ移動して出力測定した結果

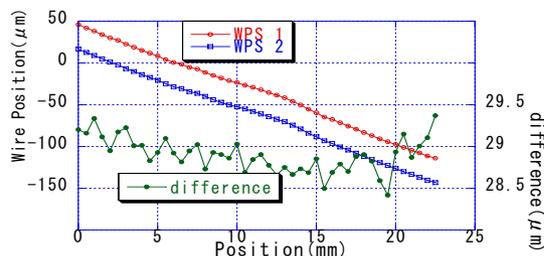


図 17 : 0.5mm ずつ移動して出力測定結果。

ワイヤはより線であるが細かいところでの問題は見当たらなかった。

その後ほぼ 5m ごとに距離測定治具を移動し、まず北側 WPS の出力が 5.00V(測定範囲の中心)になるようにステージで調整した後、南側の WPS の出力を測定した。治具はこちらの出力もほぼ 5 V になるように調整固定している。WPS によりそれぞれ非線形性があるため測定場所はほぼ同じところを使っている。その結果は図 18 のように 2 線間距離の変動は $10\mu\text{m}$ 程度の範囲に入った。視準の方法に問題がありそのエラーが大きいのでまだケブラー線の直線性については上限の推測にとどまる。

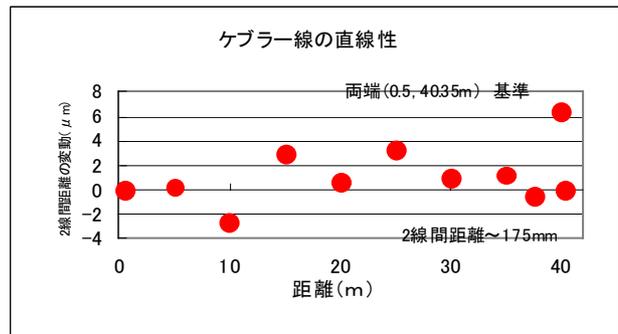


図 18 : 2 線間の距離の変動。

3.2 レーザートラッカーの測量結果との比較

図 3 に示した Mt32 から Mt37 までを中心に 10 箇所のモニュメントをレーザートラッカーで毎月測量しているが Mt32 から Mt37 の測量結果は 0.1mm 以内で一致している。この結果とそのあとに行ったワイヤによる測定を比較した。

モニュメントは球が載せられるように円錐の座になっている。ワイヤの両端ではモニュメントの中心の真上にワイヤを置く方がわかりやすいので WPS を反転して同じ値になるようにワイヤを調整した。



図 19 : WPS によるモニュメントの位置の測定。

その上で各モニュメントの上に乗せて測定した。しかし距離が長くなると垂れ量が大きくなり WPS の位置を上下しなければならず実際には大きく移動可能な治具をもう一台使用した。モニュメントの球の中心からワイヤまでの距離が長いので傾斜の測定は重要でモニュメントの上では必ず反転した状態で測定しエラーのチェックに用いた。

このような注意を払いながら Mt32 から Mt37 ま
でワイヤを張って (図 20) 測定し両端をトラッ
カーの結果と重ねたのが図 21 である。130m という
長距離であるが 50 以内で一致していることがわか
る。



図 20 : 133mワイヤを張っている状態。

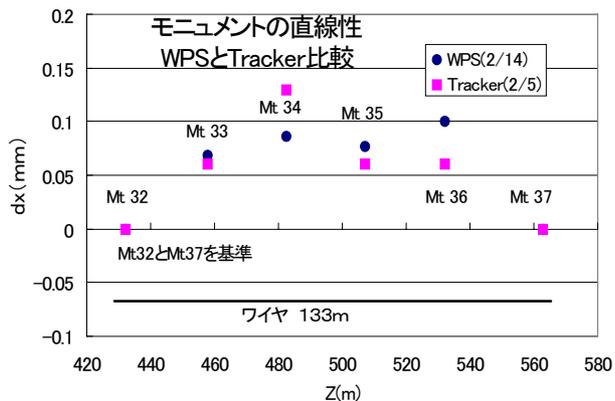


図 21 : レーザートラッカーの結果との比較。

3.3 WPS による BPM の測定

SACLA 加速器にはバンチコンプレッサーが 3 箇
所ありさらに暗電流除去用のシケイン部が 1 箇所あ
る。これらのところの 4 つの BPM を水平方向に正
確に直線に設置することが求められており、ワイ
を用いて測定した。

BPM 測定用は 2 点のピンで BPM 側面に接し、そ
の確認のために 0.5 ミクロン読みのダイヤルゲー
ジを取り付けている。(図 22)

一方治具の WPS に接するところは図 23 のよう
に精密ステージの上に WPS を載せて位置きめを行
う。WPS の参照面が治具の球に接すると出力が下
がり始める。この下がる直前でステージの送りを停
止し、その時の WPS の出力電圧を測定する。この
方法は鋭敏で再現性は 5 μ m 程度に収まる。タッチ
の手による感覚より良好でわかりやすい。

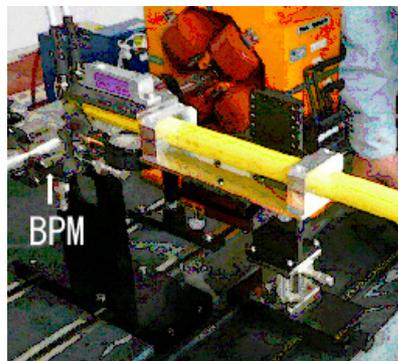


図 22 : BPM 水平位置測定治具の BPM 側。



図 23 : 電圧の値を見ながら接触直前で停止する。

このような方法で BC2、BC3、シケイン部を測定
した。ワイヤの距離は 40 m から長いところで
170m に及んだ。ワイヤを逆に張ったりしての確認
も含め再現性は 20-50 μ m 程度に収まった。

4. まとめ

- ・光源棟の床は東西 110 m の距離でみると、夏は南に冬は北に、その変動幅は大きいところで 50 μ m ほどあり、変化の時期は床下の温度より 1 ヶ月早い。
- ・ワイヤ 2 本を平行に 41 m を張り、Fogale 製ワイヤセンサーでこのシステムでの直線性をテストした。視準のエラーが大きいながらも 10 μ m 程度で収まることを確認できた。さらにステージで部分的に細かく 20mm 程度調べた範囲ではより線の問題は見つからなかった。現実的な問題として、一度使用したワイヤも別のところで使えるかどうかのチェックがこのような方法で可能だと考えられる。
- ・光源棟の 130 m にわたる 6 箇所のモニュメントのレーザートラッカーによる測量と WPS による測定の比較ではその差は 50 ミクロン以内に収まった。
- ・ワイヤセンサーの基準面に定尺の棒の先端が接すると測定値が変化することで探知でき、5 μ m 程度でセンサーの位置決めができることがわかった。
- ・光源棟の中央付近の床が 3.11 の地震で 13 μ m ほど上昇した。

古川敏美氏には HLS、WPS の設置など大変お世話になりました。謝意を表します。