

SPring-8 蓄積リング収納部床面レベルの長期変位解析

ANALYSIS OF THE LONG TERM VERTICAL FLOOR DEFORMATION OF SPRING-8 RING TUNNEL

木村洋昭^{#, A, B)}, 岡安雄一^{A)}, 張 超^{A)}, 安積則義^{A, B)}, 松井佐久夫^{B)}
Hiroaki Kimura^{#, A, B)}, Yuichi Okayasu^{A)}, Zhang Chao^{A)}, Noriyoshi Azumi^{A, B)}, Sakuo Matsui^{B)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Institute

^{B)} RIKEN SPring-8 Center

Abstract

We have investigated floor level deformations in SPring-8 storage ring tunnel using measurement data from 1996, and identified the position and the cause of large local deformations. For analysis, changes of height difference between neighboring two control points were used instead of changes of height. A long term level deformation was specified on RF waveguide tunnels, and the deviation and the maximum deformation were evaluated to be 10 μm and 40 μm , respectively via recent data analysis. Also, seasonal level deformation was specified on drain pipes and under pass, and the deviation and the maximum deformation were estimated to be 75 μm and 300 μm , respectively.

1. はじめに

SPring-8 の蓄積リングは周長約 1.5km の円形加速器である。このような大型の加速器の場合には、長期的・短期的に安定な加速器設置床面であるかが、性能や維持管理のコストを左右する。その為、安定な岩盤の上に建屋を建設できる現在の場所が選定された。リング棟建屋の地盤は、その 4/5 が岩盤の切り土で、残り 1/5 は地盤改良により形成された人工岩盤である。

そのおかげで、1997 年の供用開始以来これまで、収納部床面の変位に対応する為の加速器の再アライメントは一度も行っていないが、加速器運転上の大きな問題にはなっていない。

一方、SPring-8 では次期計画に向けて、既存のリングと置き換える極低エミッタンスの蓄積リングの設計を行っている。この新しいリングでは、架台間のアライメント許容値として約 50 μm (1 σ)という、現リングの 4 分の 1 の値が提示された。

そこで、加速器運転上問題となる収納部床面の長期変位に関して、これまでの水準測量のデータを使って、経年変位(一方向に動き続ける変位)と季節変位(1 年周期で元に戻る変位)がどのようになっているか調査し、大きな変位がある場合はその原因特定を行うこととなった。

2. これまでのデータと解析方法の検討

2.1 レベル測量とデータ処理

SPring-8 蓄積リングは 48cell で構成され、1cell の長さは約 29.9 m である。Figure 1 に示すように 1cell の構成は、挿入光源-共通架台 A-偏向電磁石 B1-共通架台 B-偏向電磁石 B2-共通架台 C となっている。レベル測量では、3つの共通架台両端の四極電磁石の上の基準台座を計測し、1cell あたり 6 点(a1、a2、b1、b2、c1、c2)の計測点があり、全体で約 280 点を計測している。

水準測量には、デジタルレベル DiNi(初期は Leica N3)を使用した。起点から 2 つの計測点の比高差(高低差)を次々に計測していき、一周分計測する。得られた比高差を積分していき、各計測点を起点基準の高さに換算する。一周して起点に戻ってきた時(終点=起点)に、高さの結果は 0 に戻らなければならないが、測定のエラーが必ずあり 0 にはならない。この差を環閉合差と呼ぶ。これを測定時に直線的な計測エラーあったと仮定し、測定距離に応じて補正をかけて、起点と終点の高さを合わせるデータ処理を行う(環閉合補正)。この補正は、例えば一周 100m の測定を行った時に、起点(終点でもある)での差が -10mm の場合、1m につき 0.1mm の補正値を加算して、データの辻褄を合わせる操作である。このデータ処理を行った場合、高さの基準点とした所から遠いところで誤差が大きくなると考えられる。

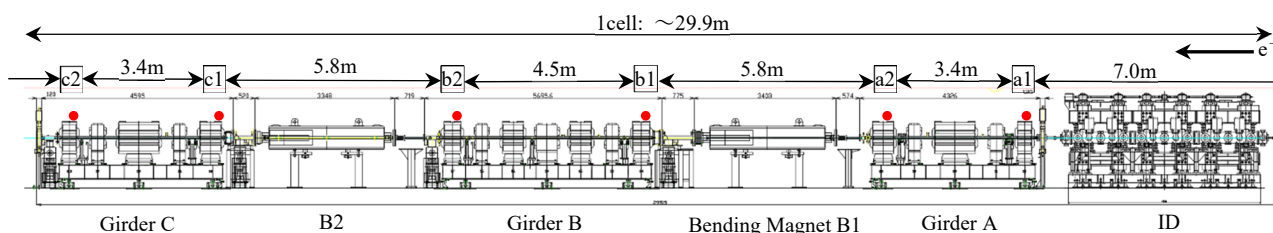


Figure 1: Side view of one cell with measuring points.

[#] kimura@spring8.or.jp

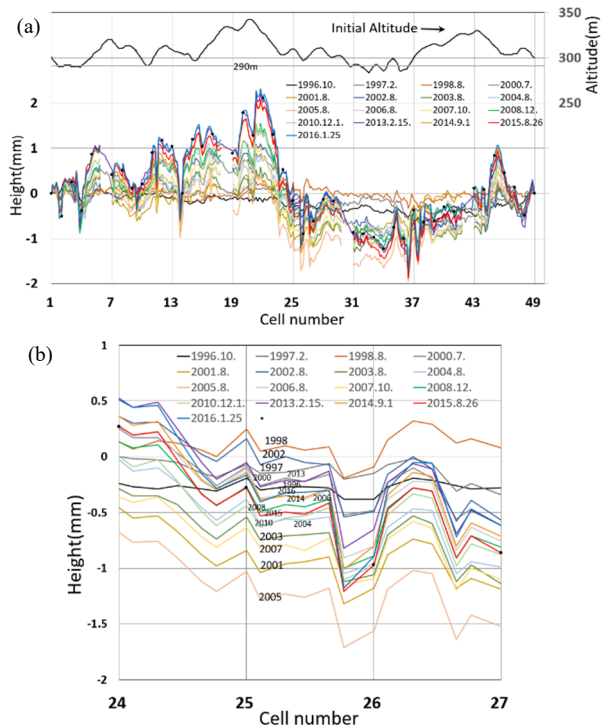


Figure 2: (a) Level survey data from 1996 to 2016 with altitude before construction. 01a1 (cell01) is standard point. (b) Magnified chart around cell25. Order of the lines does not correspond in a measurement year.

2.2 これまでのレベル測量結果

Figure 2(a)に蓄積リング運転開始時の 1996 年から 2016 年 2 月までのレベル測量結果を示す。絶対的な固定点がわかっていないので、セル 1 の a1 点を 0(起点)としてプロットしている。

最初のアライメント時に $\pm 0.3\text{mm}$ 程度であった高低差が、19 年経過した現在では、 $\pm 2\text{mm}$ 程度になっている事がわかる。このグラフの上部には、造成作業前の元標高をリングに沿って等高線図から読み取りプロットした。整地作業時の基準高さは 290m であり、高低差約 50m を造成した。グラフから、最近の測量結果と元標高のグラフの形状は似ていることがわかる。これは、岩盤を削って平地にしても、まったく安定な地盤が得られるわけではない事を意味する。削った部分はその分軽くなり、19 年の歳月でだんだん盛り上がり、結局元標高の形状になっていくと考えている。

Figure 2(a)のグラフで、基準点からもっとも離れた 25セル付近の拡大図を Fig.2(b)に示す。図に示すように、ここではデータが測定年順には並んでおらず、これまでの変化を議論することが困難であることがわかる。過去の計測時のデータを調査すると、環閉合差が 4~6mm 程度あり、その閉合差程度のエラーがある可能性があることがわかった。尚、2014 年以降のレベル測量に関しては、測定方法を改良し、環閉合差は 0.3mm 以下になっている [1]。

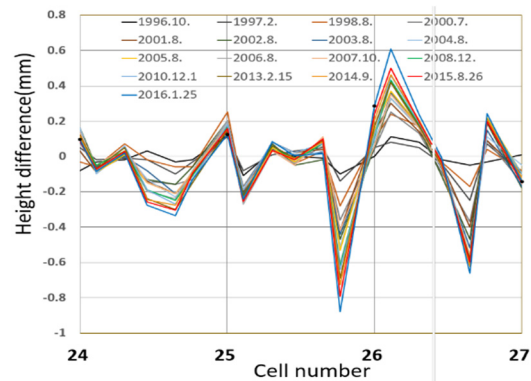


Figure 3: Height difference between neighboring 2 measuring points data around cell 25. Order of the lines almost corresponds in a measurement year.

2.3 解析方法の検討

そこで、高さのデータにする前の比高差のデータに戻して、データの傾向を調べた。比高差のデータには、高さに換算する際に入ってくる積分累積誤差がない。すると、各計測点での比高差は、計測年とともにほぼ単調減少・単調増加をしている事がわかった。25 セル付近(Fig. 2(b)と同じ範囲)の比高差の変化を Fig.3 に示す。グラフは複雑に絡みあつたりすることなく、ほぼ測定年順に並んでいることがわかる。これは、測量時の個々のデータはある程度の精度で計測されている事を示している。

比高差の経年変化は、その計測点が上流側の計測点に対してどのように変位していったかを示しており、各架台間のアライメントの変化に対応する。比高差の極性が逆転する場所は、そこが山或いは谷になっている事を示している。局所的な変位が際立ってわかり、加速器運転への影響を調べるという観点から、比高差の変化を元に解析する事とした。

比高差で解析するもう一つの利点としては、基準点(動かないとする固定点)がいらない事である。高さのデータでは、基準点をどうとるかで見え方がだいぶ変わる。リング一周の計測ができない場合でも、比高差のデータなら部分的なデータで他の年と比較が可能になる。

3. 経年変位の解析

3.1 経年変位の抽出

Figure 4 に、1996 年から 2005 年までの最初の 9 年間で、2005 年から 2015 年までの後の 10 年間で、1 年あたりに換算した比高差の変位を示す。各セル番号に対応した蓄積リング棟建屋の地下構造物を示した。c07a1、c19a1、c31a1、c43a1 の 4 カ所の長直線部は、コンポーネントの入れ替えが何度かあったため、その前のセルのデータがなく、距離約 30m の比高差になっているので、値が大きくなっているが無視する。

最初の 9 年間に比べて後の 10 年間の変位は小さくなっており、一周のデータの分散(σ)は $18\mu\text{m} \rightarrow 10\mu\text{m}$ と約半分になっている。後の 10 年間のデータでは、最も大きい変位箇所でも $40\mu\text{m}$ 程度である。

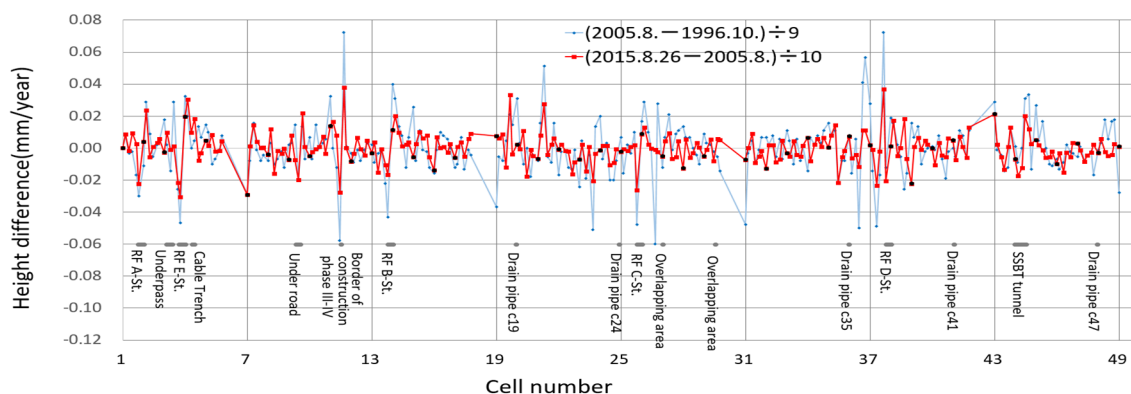


Figure 4: Long term level deformation of SPring-8 storage ring with descriptions of underground components.

3.2 経年変位の大きい箇所

経年変位が大きい 30 μ m を超える箇所としては、RF ステーション、III-IV期工事境界、埋設排水管 c19 であった。

RF ステーション部には、収納部下部に地下ピットがある。導波管等を通す地下ピットは、収納部床面下 1m のところにビーム軸方向 10m 高さ 2.2m の地下室であるが、空調が行われているので、後の季節変化は見えない。

工事境界は他にもあるが、この III-IV期境界だけ大き

な変位がある理由はわかっていない。

埋設排水管は収納部床面 1m 下を天端として直径 1m の管が埋まっている。しかし、排水管 c19 だけ経年変化が大きい理由はわかっていない。

いずれにしても、経年変化の量はあまり小さくなく、今後減少していく事が予想される。

4. 季節変位の解析

4.1 高さが極大・極小となる月

9 cell 付近には、蓄積リング棟の外側から内側に通じ、車両が通行できる地下道路(under road)があり、この部分では季節変位が大きい事が知られていた。Figure 5 に 8~10 cell に設置された HLS (Hydrostatics Leveling System, 水管傾斜計)の約 2 年間のデータを示す。HLS は固定点としたセンサーの高さを基準とした、相対的な高さを計測する事ができる。c10a2 を固定点とすると、c09a1 や c09b2 は 0.33mm 変位している。又、10 月と 4 月に極値をとることがわかる。平均気温が極値となる 8 月、2 月と比べて、建屋地下構造の温度は 2 ヶ月程度の遅れがある事を意味する。

蓄積リングの運転停止時に行うレベル測量は、8 月と 12 月~3 月の間に行うが、12 月に測量したデータは、10 月に極値をとることを考慮すると、冬のデータとして扱うことができず、季節変位の観点からは 8 月と変わらないデータになってしまう事がこの事からわかる。又、季節変位が三角関数的に変化していると仮定すると、8 月-2

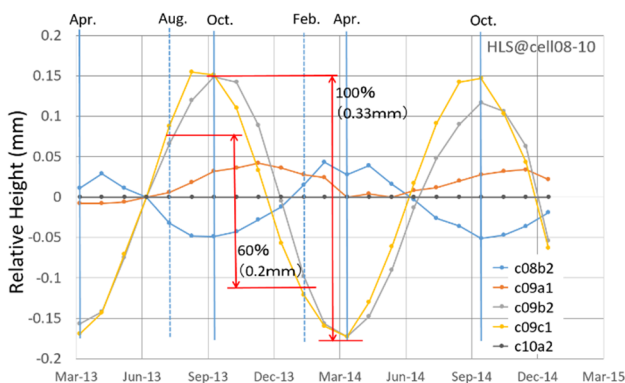


Figure 5: HLS data at cell08-10. C10a2 is a standard point. Relative heights Relative height have turning points in April and October. Height difference between August and February is estimated to be 60% of the p-values.

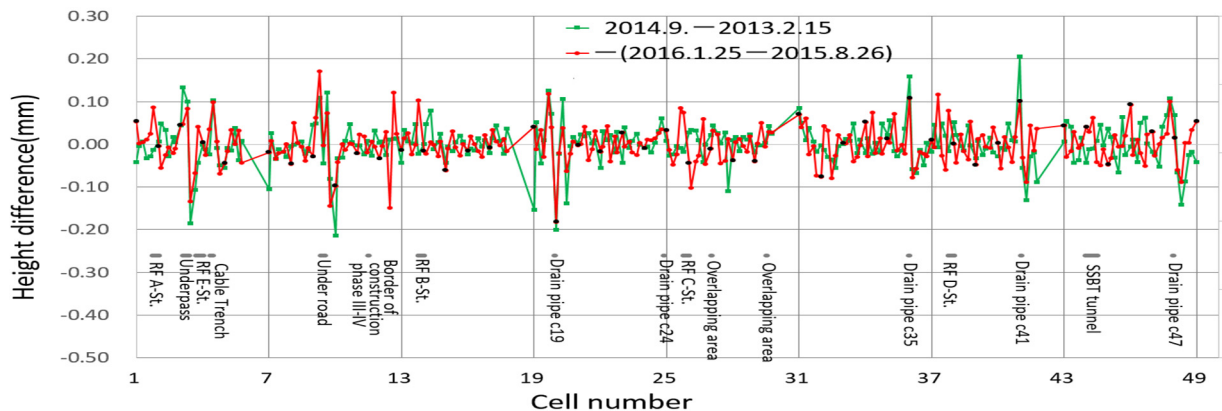


Figure 6: Seasonal level deformation of SPring-8 storage ring with descriptions of underground components.

月のデータの差は、10月-4月の変位に比べて60%程度の差になっている事もわかる。

4.2 季節変位の抽出

季節変位に注目したのは近年の事なので、解析に使えるデータセットが少ない。Figure 6に、2016年1月と2015年8月、2014年9月と2013年2月の比高差の変化を示す。データの極性は、後夏-前冬に合わせてある。また、3章で得られた後半の10年での経年変位の結果を経過期間に合わせて引いてある。

グラフから季節変位は最大で200 μ m程度と、経年変位の5倍程度であることがわかる。一周のデータの分散は二つとも50 μ m程度であった。尚、これらの値は前節の解析から、年間の最大変位の2/3の値と考えられ、実際は各々300 μ m、75 μ mと見積もられる。この分散は現在の次期計画で提示された値の1.5倍になってしまっている。

4.3 季節変位の大きい箇所

季節変位が大きい、グラフで200 μ m程度になる箇所は、基本的に空調をしていない構造物の箇所である。地下通路(underpass)、地下道路(under road)、埋設排水管c19・c35・c41・c47であった。埋設排水管の中でc24だけ季節変位が見えない理由はわかっていない。

また季節変位は大きい、対応する地下構造物がわかっていない場所もいくつか見られる。

5. 変位の原因である地下構造への対処

季節変位が大きな所で、対処が可能な箇所に関しては対応を始めている。

地下通路に関しては、屋外空気を取り入れて換気していることがわかったので、空調された実験ホールの排気を取り入れるようにした。現在、効果を検証中である。

埋設排水管に関しては、真夏・真冬に温度が異なる空

気が管の中を流れる事に関しては抑制可能と考え、排水は流れるが空気は流れにくい構造の蓋の検討を始めた。現在、管内の温度を測り始め、基礎データを収集している。

季節変位が最も大きい地下道路の部分に関しては、道路トンネルの加速器収納部にあたる部分の側面・天井面には既に断熱パネルが設置してある。防水シールが破れている箇所の補修を行う予定だが、温調パネル等の対策は、費用を考慮し現状では考えていない。

6. まとめ

最後に今回の解析により、蓄積リング床面の変位についてわかった事をまとめる。

- リング加速器の全周の高低差は設置当初の1996年では ± 0.3 mm程度であったのが、2015年では ± 2 mm程度になっていた。変位の形状は、造成前の元標高に似ており、岩盤を削って整地した場所でもある程度は、元標高反映した変位がおこる。
- 局所の変位の解析には、高さではなく比高差の方が、積分累積誤差が入らず適している。
- 経年変位に関して、最初の9年間に比べその後の10年間では変位は半分になり分散は10 μ mになった。大きな変位箇所は、主にRFステーション部で、比高差の1年あたりの最大変位は40 μ m程度であった。
- 季節変位に関して、4月と10月に極値をとり、分散は75 μ m、大きな変位箇所は、埋設排水管と地下通路・道路で、最大変位は300 μ m程度であった。

参考文献

- [1] Y. Okayasu *et al.*, "SPring-8 蓄積リングのレベル測定の改良", 本学会 2016 年報告集.

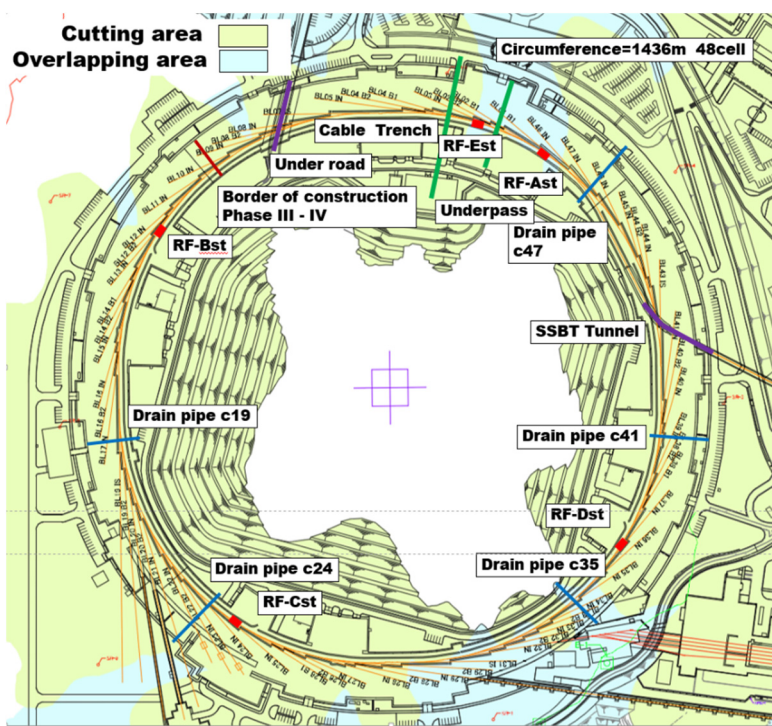


Figure 7: Underground structures of SPring-8 storage ring building.