

# EFFECT OF J-PARC 3GeV RCS ALIGNMENT AFTER THE TOHOKU EARTHQUAKE IN JAPAN

Norio Tani <sup>#</sup>), Hideaki Hoshi

Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1195

## Abstract

At J-PARC 3GeV RCS, the ground in the outside power receiving yard was extensively sagged due to Tohoku Region Pacific Coast Earthquake and external power supply became unusable. A temporary power supply is used at the moment, but a limit of electricity to be used has a disadvantage for recovery works. At 3GeV RCS deformation in the accelerator tunnel was mild since the start of beam operation in October 2007 until the earthquake and realignment was not necessary. However slope measurement of magnets and floor datum after the earthquake found deformation in the accelerator tunnel. Also survey of floor level, magnets, and so on were carried out in order to examine the effect of the earthquake. In this presentation the survey result in the accelerator tunnel after the earthquake at J-PARC 3GeV RCS is reported.

## 地震による J-PARC 3GeV RCS アライメントへの影響

### 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に M9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生した。J-PARC 施設周辺では震度 6 弱の横揺れを数分間にわたって受け続け、本施設の南約 10km にある K-Net 那珂湊<sup>[1]</sup>で水平方向に 546gal、上下方向に 412gal の最大加速度が記録された。また国土地理院の電子基準点で検出された測定データ<sup>[2]</sup>から茨城県海岸部の地盤が海側に 1m 移動し、30cm 程度沈下したことがわかっており、地震後も余震等により広い範囲で地殻変動が継続している。

J-PARC 3GeV RCS では屋外ヤードが広範囲に 50cm 以上陥没し、受電設備や多くの機器が傾き、外部電源が使用できない状態になった。また、周回道路が多数陥没したことで、屋外ヤードの復旧作業が困難を極めた。現在はビーム運転再開に向けて復旧作業を継続している。

3GeV RCS では 2007 年 10 月のビーム運転開始から震災前まで加速器トンネル内の変形は軽微であり、再アライメントを実施することなくビーム運転を行ってきた<sup>[3]</sup>。しかし、地震後に実施した電磁石や床基準面の傾斜測定において、軽微ではあるが加速器トンネル内の変形が確認された。その為、3GeV RCS のトンネル躯体への影響ならびに電磁石アライメントの変動を調査するため、4 月に GPS による J-PARC 施設の全体測量<sup>[4]</sup>、5,6 月に 3GeV RCS の主トンネル床レベルの水準測量とレーザートラッカーによる電磁石測量を実施した。また、現在は電磁石の精密水準測量が実施されている。

本発表では、J-PARC 3GeV RCS における東北地方太平洋沖地震による加速器アライメントへの影響と、その後の測量結果について報告する。

### 2. 地震後の測量

地震直後は受電設備が使用不能となったため、加

速器トンネル内の確認並びに復旧作業の実施が J-PARC の中で最も遅れた。仮設電源が一時的に稼働し始めた 5 月から作業エリアを限定して給電し、加速器トンネル内の機器の確認が本格的に実施できるようになった。

#### 2.1 電磁石の傾斜測定

電磁石について、ビーム軸周りの回転を水準器 (Wyler MiniLevel NT) を用いて測定した。傾斜の正方向は内周側に傾く方向である。RCS の初期の段階では全て 0.1mrad 以内に収まっていた。図 1 は 2010 年 9 月と今回の測量における傾斜の変動を示す。震災前は傾斜の変動はあまり大きく無く、0.1mrad 以内に収まっていた。地震後も傾斜の変動は小さいが、明らかにアーク部が内周側、直線部が外周側に傾斜したことがわかる。

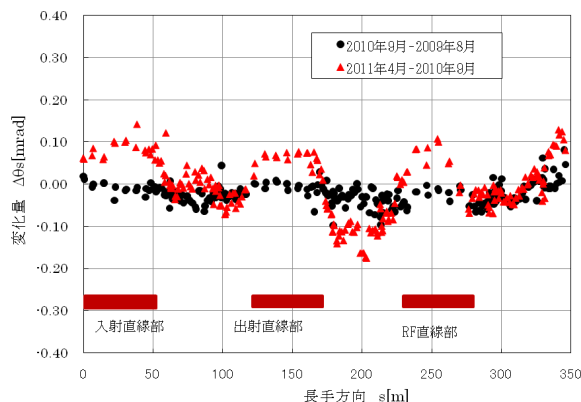


図 1 : 電磁石基準座のビーム軸周りに傾斜変化量

#### 2.2 床高さの変動

3GeV RCS トンネル床に設置された基準座の配置を図 2 に示す。RCS トンネル床に配置した基準点はデジタルレベル (Leica DNA03) とデジタル標尺を

<sup>#</sup> tani.norio@jaea.go.jp

用いて測定された。2010年8月から震災後の2011年4月と6月の床基準座のレベル変動を図3に示す。RCS\_01が2010年8月と同じ標高であると仮定して高さの変動を示している。RCS\_F01とRCS\_03以外は全て内周通路側に設置した点である。出射直線部からRF直線部にかけて沈下の傾向にあり、2011年4月と6月の変化はあまりなく、余震による影響は今のところ小さいと考えられる。しかし、震災前の床測量ではRCS\_03の変動が最も大きかったが、震災後はRCS\_F08の変動が最も大きく、その高低差は3mm程度ある。

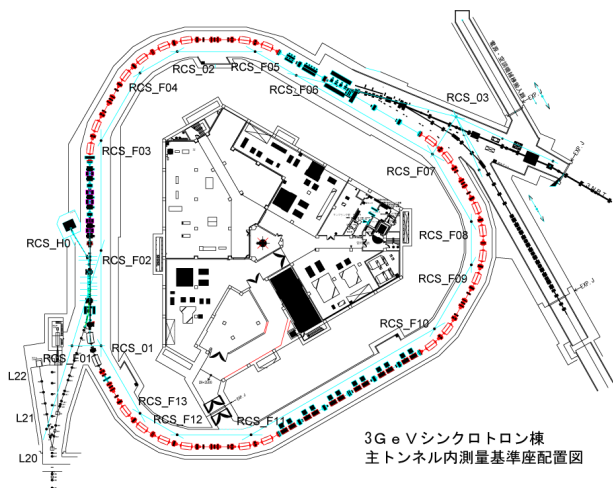


図2：3GeV RCS トンネル内基準座配置図

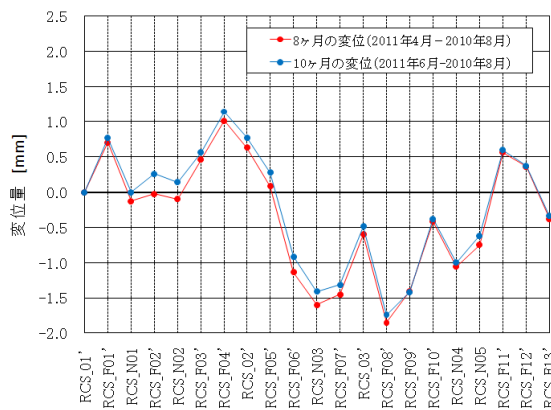


図3：床基準座のレベルの変動

### 3. レーザートラッカーによる測量

3GeV RCS は、主電磁石として偏向電磁石 24 台、四極電磁石 60 台、六極電磁石 18 台が設置されている。これらに対し測量網を形成するために、加速器トンネルの内外周壁にL型基準座がほぼ5 mおきに配置されている。一回の測量で、トラッカーは10個のL型壁基準座上の基準点とそれに相対する電磁石群の基準点（偏向電磁石：3点、他電磁石：2

点）の座標を三次元で測定する。鉛直軸（z軸）についてはトラッカーに内蔵されている水準器により0.02mrad以内に収まるよう軸出しが行われるが、他の2軸は任意の方向を向いている。データ解析時にすべての測量の座標を統一するため、トラッカー測量は壁のL型基準座とそれに相対する電磁石群を重複して行う。

測量時にトラッカーの鉛直を出しているので、鉛直方向の解析ではz座標値のみを取り出して独立に電磁石群の高さを算出している。ビーム軸方向およびビーム横方向の解析では、隣接する壁基準座のデータを重複させて最小2乗法によりデータを繋ぎ、直線部の両端に位置する6台のQDX電磁石の上流基準点に重ね合わせた。それぞれの解析における閉号差は、一周後のQDX60上流基準点で横方向1.2mm、鉛直方向0.05mm、ビーム軸方向で-1.6mmであった。閉号差には始点から一周周回するまでの距離に応じた重みを付け、最終的に閉じる様データ全体を補正した。

#### 3.1 電磁石の鉛直方向の変動

図4に周回上に設置された電磁石の2010年8月からの鉛直方向の変動を示す。不動点がないので基準を入射直線部上流に設置された四極電磁石QDX60の上流側基準座が2010年8月と同じ標高であると仮定して表したものである。出射直線部からRF直線部にかけて沈下傾向にあり、床レベルの変動と傾向が一致している。電磁石の高低差は約3.7mmとなった。

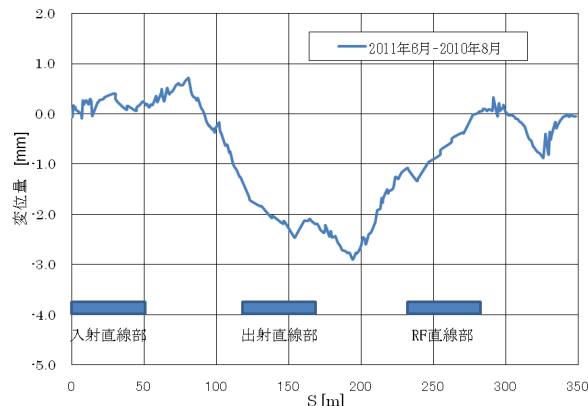


図4：電磁石の高さ変位量

#### 2.3 水平方向の変動

図5は3GeV RCS リングを上から見た水平方向の変位を示している。実線は設計上の電磁石の配置を示しており、赤色の点は、2011年6月にレーザートラッカーを用いて測定した電磁石の基準座の位置を示している。水平方向の変位は見やすい様に変位を1000倍して表示した。矢印はGPS測量による貫

穿孔測量の結果である。GPS の測量では、トンネル内において 10mm を超える有意な変動が加速器施設全体で観測されている。RCS においては、主トンネル内が東西に引っ張られるように変形した結果となっている。トラッカー測量による水平方向の変動は、GPS 測量の変動を必ずしも一致していないが、入射直線部は東西方向に伸びていることが判った。

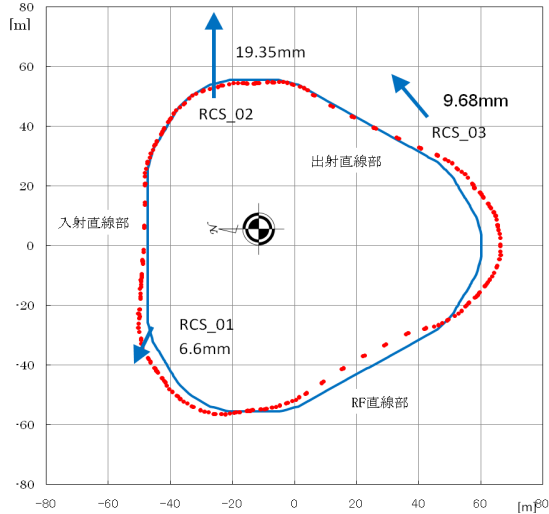


図 5 : 水平方向の変位 (変位量 : 1000 倍で表示)

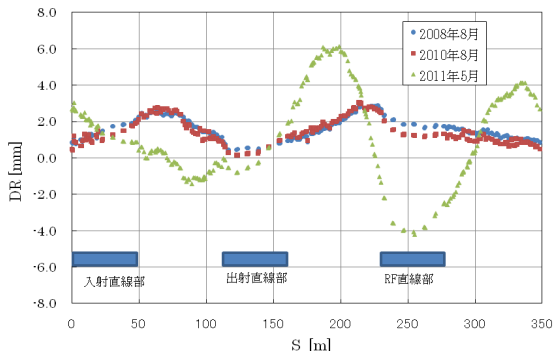


図 6 : 横方向の変位

図 6 の水平方向の変位は、設計値に対して横方向 (ビーム進行方向に対して垂直外向き) の変位として示したものである。今回の測量では設計値と合わせるのに 6 点のみを使用した。2008 年と 2010 年のデータでは全体の変位量が小さいため、全基準点を使用している。2008 年と 2010 年のデータでは横方向の変位が + 方向で最大で 3mm 程度の膨らみが生じているが、グラフの形状はほぼ一致しており、大きなズレが生じていないことがわかる。しかし、今回の測量データでは、出射直線部下流から入射直線部上流にかけて大きく変位しており、地震による影響を受けたと考えられる。その変位量は 10mm 程度となった。

同様に、図 7 はビーム進行方向の設計値からの変位を示している。2008 年と 2010 年のデータでは進行方向の変位は小さい。今回の測量データでは変位量が約 5mm 程度となった。また、ビームライン上に設置された電磁石の基準点間の距離で評価した値であるが、今回の震災で周長が 10.4mm 伸びていることが判った。

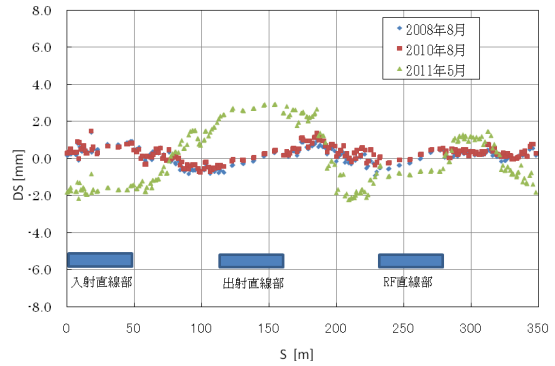


図 7 : ビーム方向の変位

#### 4. まとめ

加速器ビームラインは、東北地方太平洋沖地震により大きく変形した。現在、測量結果を用いた軌道解析が行われているが、電磁石の再アライメントは避けられない。しかし、J-PARC では年内にビーム運転を再開することになっており、再アライメントの時期やその調整量が重要となってくる。軌道解析の途中ではあるが、現状の電磁石の配置で COD 補正が可能で、ビームハロー生成やロスの一因となるベータ関数の歪みも COD 補正することで震災前と殆どかわらないことも確認され、ビームロスの評価が今後実施される。

#### 参考文献

- [1] 防災科学技術研究所：強震観測網 (K-Net) , <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/data/>
- [2] 国土地理院：平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動について ～データ回収により、新たに牡鹿半島での変動が明らかに～, [http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukanshi\\_tohoku2.htm](http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukanshi_tohoku2.htm)
- [3] N.Tani, et al., “Present status of survey and alignment for J-PARC”, Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting in Japan (2009) 317-319.
- [4] N.Tani, et al., “震災後の J-PARC 加速器アライメント”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPL04, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.