

ALIGNMENT STATUS OF J-PARC MAIN RING AFTER THE MEGA QUAKE

Masashi Shirakata^{A)}, Yoichi Sato^{A)}, Junpei Takano^{A)}, Shuei Yamada^{A)}, Hideki Kobayashi^{B)}, Yasuaki Horie^{C)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Nippon Advanced Technology Co., Ltd, 146-5 Shirane-Muramatsu Tokai, Ibaraki, 319-1112

^{C)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd, 2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

Abstract

In J-PARC, positions of magnets have been measured in every two years for the check of alignment status. The displacements of magnets measured in August 2010 remained still small since the full alignment in autumn 2007. The 2011 Tohoku Pacific Earthquake happened in 11th March shook the ring for two minutes with seismic intensity six. We measured the magnet alignment status after the mega quake.

震災後の J-PARC 主リングアライメント

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日午後の東北地方太平洋沖地震では、加速器施設に震度 6 弱の横揺れをほぼ 2 分間にわたって受け続けた。また、余震も多数発生している。この地震による J-PARC 主リング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べく、4、5 月に GPS によるサイト全体測量¹⁾、レーザートラッカーによる主リング電磁石測量を実施した。GPS 測量では、10 mm を越える有意な変動が J-PARC 加速器施設全体で観測されている。主リングのある原科研東海研究所南地区は図 1 に示すように複雑な地盤形状を持っており、建設当初より不等沈下の発生が懸念されていた。加速器の経時沈下を抑えるべく主リングトンネルでは杭基礎を採用しており、一年おきに全周にわたってトンネルの床、壁に設置された基準点と電磁石の測量を行い、それらの経年変化を観測している。

直近では 2010 年 8 月に全体測量が実施されており、今回の測量結果との比較から震災の影響を考察した。

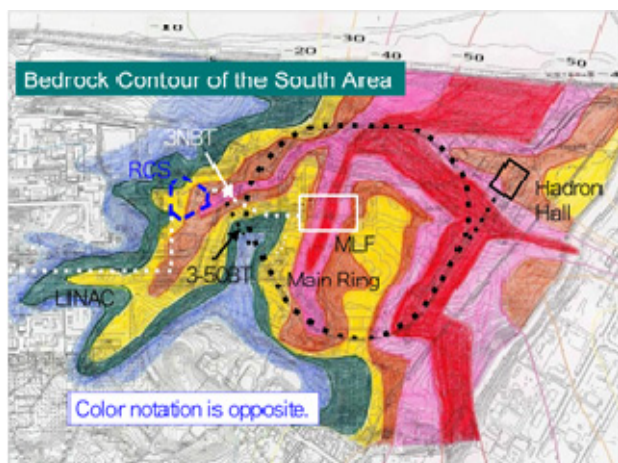


図 1：主リング周辺の基盤コンター図

2. トラッカー測量

主リングには、主電磁石として偏向電磁石 96 台、四極電磁石 216 台、六極電磁石 80 台（クロマティシティ補正用 72 台、遅い取り出し用 8 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、通路を挟んで壁側に L 型基準座がほぼ 12 m おきに配置されている。一回の測量で、トラッカーは 3 つの 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（偏向電磁石には 3 つ、他には 2 つ）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基準座 2 つ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、隣接するデータ間で 6 点以上を重複させて最小 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 QFS 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 QFS001 上流基準点で横方向-3.8 mm、鉛直方向+0.9 mm、ビーム軸方向で-47.0 mm であった。閉合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. 測量結果

3.1 鉛直方向変位

図 2 に、2010 年 8 月からの変位を示す。不動点が無いのでゼロ点は適当に定めているが、J-PARC 施設の標高基準である JRR-3 を起点としたその後の床基準点精密水準測量では、2010 年から浮き上がっている場所は無いことが分かっている。入射直線部 (INS-A) 周辺が最も高く、沈下大きいのは、

遅い取り出しビームライン(INS-B)から Arc-B へ入って QFX099 にかけてと、Arc-B 終盤から速い取り出しビームライン(INS-C)の中程までである。この部分を図 1 と比較すると、QFX099 から QFN162 にかけての高低が基盤層の起伏と一致していることが分かる。QDN193 にある沈下は、3NBT ライン交差部のやや上流にあるやはり基盤層の低い部分に対応している。INS-B の上流部だけが沈下に逆らっている様に見えるが、この部分は両脇から電源棟、脱出棟へ至るサブトンネルが繋がっており、この 2 本が支えていると考えられる。トンネルの床や壁にはいくつもの亀裂が入っているが、特にアーク下流部に多く見られている。変動の大きい箇所ではあるが、トンネルの隆起と完全に傾向が一致しているわけではない。

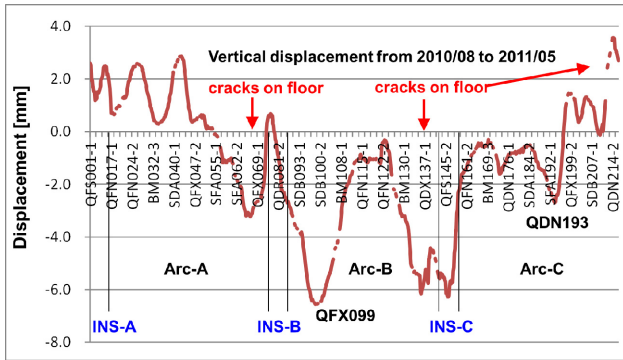


図 2 : 鉛直方向変位

2007 年秋にリング全周のアラインメントを終えて以降、一年おきの全体測量で経時変化の確認を行っていた。2008 年と 2010 年の夏に実施した全体測量では、周辺土木工事の影響も含めて全幅でそれぞれ 3.5 mm^[2]と 2.5 mm の変位 (変位の場所やパターンは、必ずしも一致していない) が観測されているが、震災による影響はこの数倍に相当している。

3.2 横方向変位

図 3 に、2010 年 8 月と今回の測量における横方向 (ビーム進行方向に対して垂直外向き) の設計値からの変位を示す。今回の測量では設計値と合わせるのに 6 点のみを使用しているが、2010 年のデータでは全体の変位量が小さいため、全基準点を使用した。図 4 には、電磁石基準座のビーム軸周りの傾きを示す。2007 年のデータは全周アラインメント時のもので、目標値である ± 0.2 mrad にほぼ入っている。今回の結果は図 3 の横方向変位と明らかに相関があり、震災により磁石が傾いたと考えられる。ただしその量は最大でも 0.8 mrad 未満であり、大きくは無い。

横方向の動きに対して杭の長い箇所が弱そうな印象があるが、図 1 と比較して必ずしも相関は無さそうである。大きく変位しているのは INS-A 下流部と各アーク部である。直線部は入出射用のビームラインが設置されるためアーク部に比べて断面が大きく、またビームロスを見込んで躯体のコンクリートも厚

くなっている。Arc-B は、90 番地あたりまでは直線部と同じ躯体構造であるが、それ以降は壁の薄い小断面のトンネルとなる。他のアーク部についても事情はほぼ同じであるが、QFX099 周辺は変位の起こりやすい箇所と言え、要注意である。

INS-A 最下流部および Arc-C 下流部の 3NBT ビームラインとの交差部前後では、壁、天井から多量の漏水が見られた。特に天井からの漏水は加速器本体の装置に悪影響を及ぼすため、緊急に止水処置がとられた。

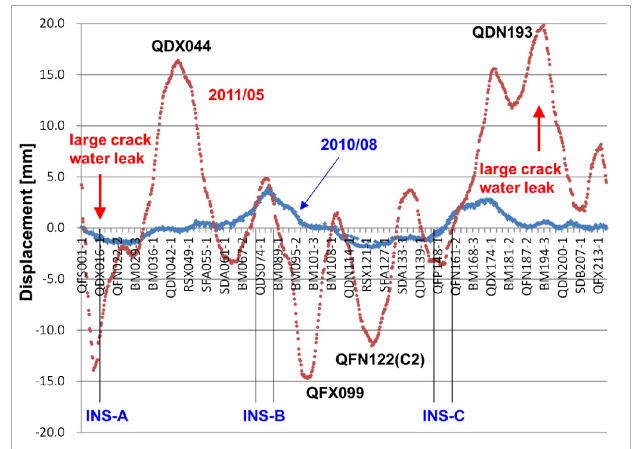


図 3 : 横方向変位

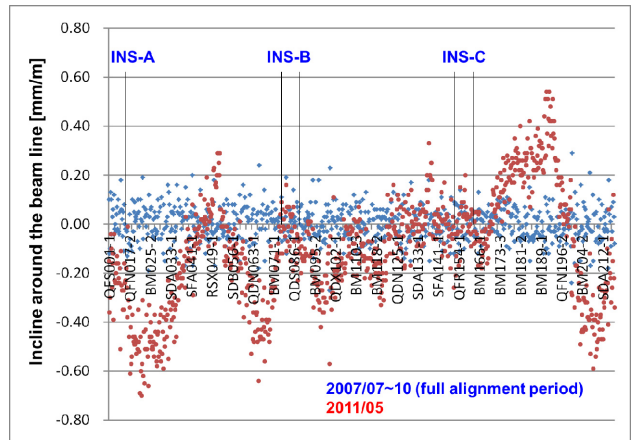


図 4 : ビーム軸周りの傾き

3.3 ビーム方向変位

図 5 に、2010 年 8 月と今回の測量におけるビーム進行方向の設計値からの変位を示す。ここでは、下流側に動いているものをプラスと定義している。拘束条件として円周方向は動径方向より強いので、変位量は横方向の半分である。蛇行の効果もあって、リング周長は 20 cm 伸びていた。個別には INS-A、Arc-B は伸び、Arc-A、Arc-C はやや縮んでいる。INS-B、INS-C は、ほぼ変化無しである。

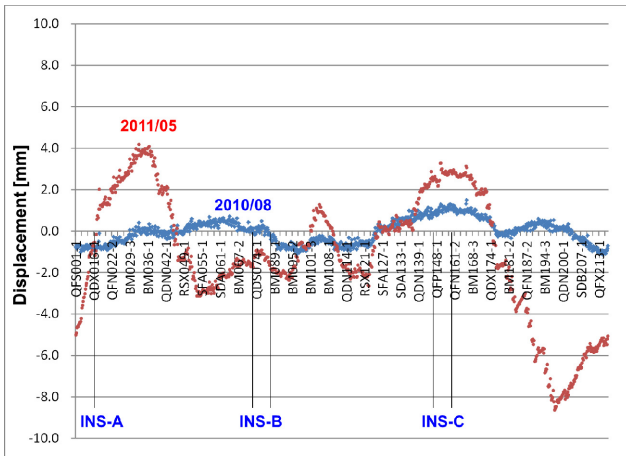


図 5 : ビーム方向変位

4. 再アライメント

図 6 にリングを上から見た、水平方向の変位を示す。見やすいように変位を 2000 倍に拡大し、また直線部の電磁石は赤色で表示した。矢印は、GPS 測量による貫通孔測量の結果である。貫通孔は C1, C2 以外では主トンネルとエキスパンション・ジョイントで区切られているため、必ずしも電磁石と同じ動きにはなっていない。変位量の一致は良くないが、全体として傾向は合っている。本来主リングの形状は角の丸い正三角形であるが、東南方向につぶれ北西方向に伸び、かつ 6 周期ほどの速いサイクルで波打っていることがわかる。変位に図 1 との相関は無く、地震波（横揺れ）の方向に依存しているものと思われる。

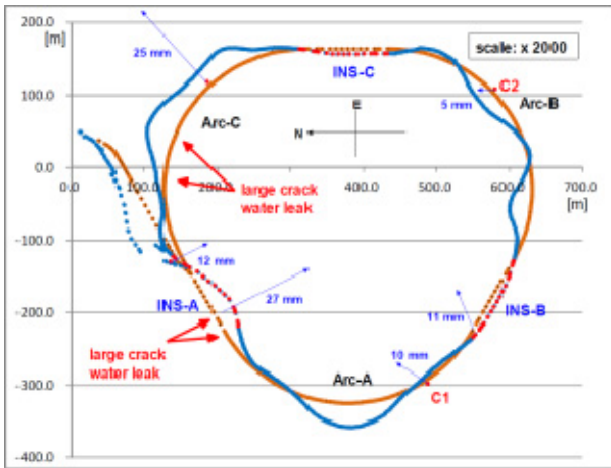


図 6 : 水平方向変位拡大図

ビームシミュレーションによれば、現在のアライメント状態は現行のステアリングシステムで COD 補正に支障の出るレベルであり、電磁石全数の再アライメントが必要との結論に至っている。ニュートリノビームライン(INS-C)およびハドロン

ビームライン(INS-B)とのずれはすべての方向で 2 mm 程度以下と小さいため特段の支障は出ていないが、入射直線部(INS-A)と入射ビームライン(3-50BT)は、10 mm を越える修正が必要である。またアーク部においては横方向に関して電磁石架台の調節可能範囲を超えているものがあるため、それらについては電磁石架台の改造など特別な対応が求められている。2007 年の実績では、1 チームで主電磁石 392 台のアライメントに一日平均 5.8 台で約 4 ヶ月を必要とした。今回は 2 チーム体制を取り、2 ヶ月での作業終了を見込んでいる。

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震は、主リングアライメントに重大な影響を与えており、電磁石は全数再アライメントを余儀なくされている。

横方向の外力に対しては、現在のトンネルは対抗できるような構造にはなっていない。また、杭の長さや水平方向変位には相関があるとは言えず、地震による変動の予測は困難である。

鉛直方向の変動には基盤層との相関が認められ、経時沈下と比較して、今回の震災で数年分の沈下が起こったと見なせる。しかしながら、その変位量は電磁石架台の位置調節機構で対応できる範囲に収まっており、杭基礎に期待した効果はあったと考えられる。

参考文献

- [1] N.Tani, et al., MOPL04 “震災後の J-PARC 加速器アライメント”, Proc. of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011
- [2] N.Tani, et al., WPCEA07 “J-PARC における測量とアライメントの現状”, Proc. of the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tokai, Aug. 5-7, 2009
- [3] M.J.Shirakata, et al., WE007, Proc. of IWAA2008, Tsukuba, Japan, Feb. 11-15, 2008