

DEFORMATION OF J-PARC LINAC AFTER THE TOHOKU EARTHQUAKE IN JAPAN

Takatoshi Morishita^{#,A)}, Hiroyuki Asano^{A)}, Masanori Ikegami^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency

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

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

Abstract

J-PARC linac has finalized its precise alignment at the end of summer 2006, and the beam provision to the RCS(Rapid Cycling Synchrotron) has been started at Sept. 2007. Since then, the deformation of the accelerator tunnel is small enough to keep the soundness of the alignment accuracy in the beam operation. Therefore, the linac has been operated without re-alignment for these four years. However, the alignment has seriously been damaged due to the large earthquake at Mar. 11th, 2011 in eastern Japan. There has been observed more than 40 mm settlement and about 25 mm jackknife – like horizontal deformation at the straight section in linac accelerator tunnel. After that earthquake, there continued a directional settlement in the straight section for two months. The linac accelerator tunnel has two expansion joints at the transport section to RCS synchrotron. At these jointing points, abrupt displacements have been observed more than several millimeters both horizontally and vertically. Now, re-alignment started for restoration of the linac alignment.

地震による J-PARC リニアックアライメントへの影響

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、J-PARC 施設全域において建家、ユーティリティー設備、装置等に被害が生じ、現在、ビーム運転再開に向けて復旧作業を継続している[1,2]。

J-PARC リニアックは 2006 年夏に精密アライメントを完了し、2007 年 9 月より下段の加速器 (3GeV-RCS) にビーム供給を開始した。以後、加速器トンネルの変形は軽微であり、アライメントの悪化に起因するビーム品質の低下は見られず、再アライメントを実施することなく 4 年以上ビーム供給を継続してきた。しかしながら、地震後に実施した加速器トンネルの測量においては深刻な変形が明らかとなり、ほぼ全数の加速空洞並びに電磁石の再調整が必要となった。

図 1 にリニアック加速器機器配置概要を示す。リニアックはおよそ 300m の直線部と、およそ 150m の 2 つのアーチ部を含むビームトランスポートからなる。今回の地震によって、直線部においては垂直方向には 40mm 以上の不等沈下、水平方向にはおよそ 25mm の折れ曲がりが発生した。その後も定期的なトンネル変形観測を実施した結果、地震発生後 2 カ月間は局所的な沈下が継続したが、現在では安定し、現在精密アライメントに着手した。

本発表では、J-PARC リニアック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、並びにその後の変動観測結果を報告する。

2. 東北地方太平洋沖地震による変形

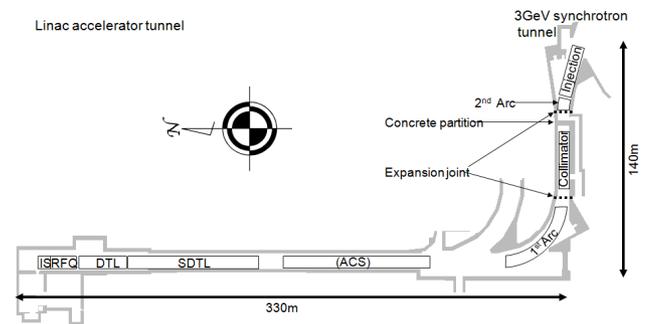


図 1 : リニアック加速器機器配置概要。第一アーチ出口と第二アーチ入口にエキスパンションジョイント (建家連結部) を有する。第二アーチ以降は RCS シンクロトロン建家に属する。

地震直後は加速器トンネル内への浸水や空調設備の停止によって、加速器トンネル内環境は気温 28°C、湿度 100%であり、結露等の問題で測量が困難であった。その後、仮設給電による揚水や除湿機の導入で湿度が改善され、3 月末には本格的に被災状況確認測量が実施できるようになった。

2.1 高さ変動

リニアックトンネル床に配置したレベル基準鈎をデジタルレベル (Leica DNA03) を使用して測定した。2010 年 7 月に対する、床レベル鈎の高さ変動を図 2 に示す。比較のため、最上流のレベル鈎を

[#] takatoshi.morishita@j-parc.jp

2010年7月と同標高とした。直線部全域で沈下し、SDTLセクションの上流側で40mmを超える変動が発生した。第一アーク以降のビームトランスポート部では、2か所あるエキスパンションジョイントにおいて、第一アーク出口では1.1mm、第二アーク入口では3.0mmの段差が発生した。

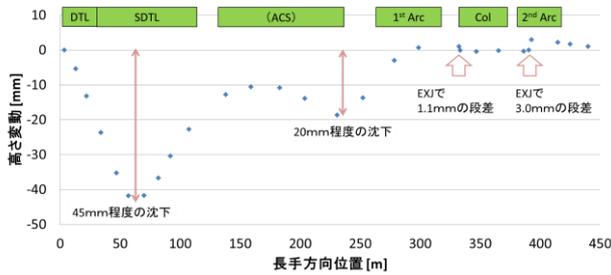


図2：地震によるリニアック高さ変動。03/31, 04/01, 04/11 測定。

2.2 傾斜角変動

電磁石並びに加速空洞のビーム軸周りの傾斜角を図3に示す。傾斜角は機器基準座の傾きを水準器(Wyler MiniLevelNT)で測定した。傾斜角の正方向は直線部が西側に倒れる方向であり、水平がゼロである。リニアックインストール時(2006年)並びに2008年の測量時にはすべて0.1mrad以内であったが、直線部全域で西側に倒れ、上流部では3mradを超える傾斜がみられた。また、エキスパンションジョイント部でも急激なねじれが発生していることがわかる。

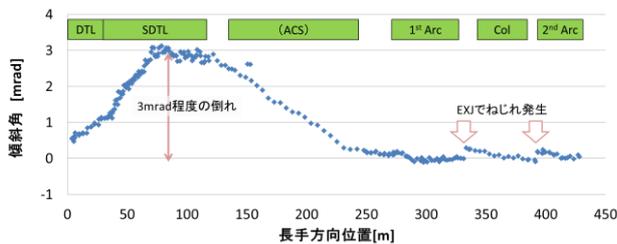


図3：地震による機器傾斜角(ビーム軸周りの回転)の変動。プラスは西側へ倒れる方向。03/31, 04/20 測定。

2.3 直線部水平横方向変動

水平横方向の変形は、インストール時に加速器トンネル通路に直線に配置した墨だしマーカーの直線性を、トータルステーション(Leica TDA5005)を用いて測定した。測定方法は、トータルステーションを上流端マーカー直上に設置し、下流端マーカー直上に立てたミラーを基準として、上流側半分のマーカーの東西方向位置を測定した。下流側半分は上下流機材配置を逆にして測定した。インストール時、床マーカーの直線からの設置誤差は±2mm以下であり、本測定での測定誤差は、直線中央部でおおよそ±3mm程度である。図4に示すように、SD

TLセクションとACSセクションにて折れ曲りが発生し、リニアック最上流部と第一アーク入口で直線を定義すると、東方向に25mm程度の変位が起こった。

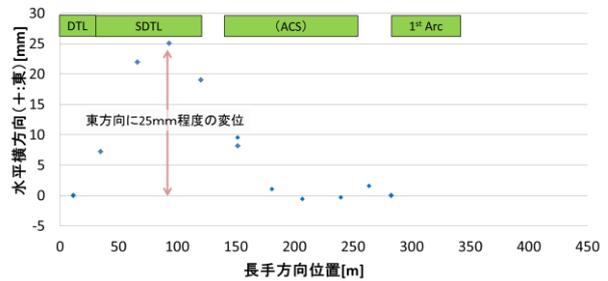


図4：地震によるリニアック直線部水平横方向変動。04/09 測定。

2.4 変動経過観察

頻発する余震の影響も鑑み、定期的に観測を続けた。直線部水平横方向(東西方向)や電磁石傾斜には有意な変動は見られなかったが、高さの変動は安定するまでおおよそ2カ月を要した。図5に地震後からの床高さ変動結果を示す。直線部上流において大きいところで1.5mmの沈下が継続したが、6月にはほぼ終息したことが確認できた。

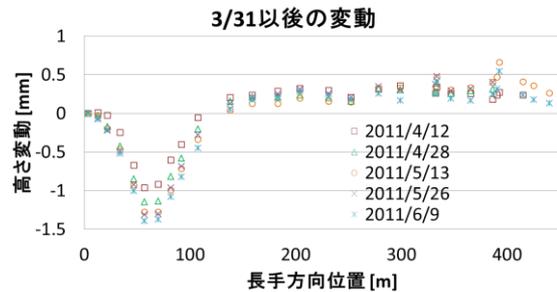


図5：地震後からの床高さ変動結果

3. レーザートラッカーによる機器基準座測定と再アライメント方針

リニアック再アライメントに向けて、レーザートラッカーによる電磁石および加速空洞基準座の位置測定を実施した。

3.1 直線部

図6はレーザートラッカーにより測定した基準座高さ、図7は基準座水平横位置を示す。高さおよび水平横方向の変形は、図2および図4と同傾向である。DTL/SDTL空洞は、大きな加速度を受けた場合に、ドリフトチューブの相対位置ずれを軽減するための免震機構が空洞架台に設けられている。特に、DTL空洞はドリフトチューブ内に4極電磁石が内蔵されているため、位置ずれによるビームへの影響が強い^[2,3]。免震機構は水平方向にはレール上

でスライドできる構造であり、レール上の空洞は、ばねとショックアブソーバを介して架台に固定されている。図7におけるSDTLセクションで大きなばらつきが発生しているのは、このレール上でスライドしたためである。図中の点線はリニアック直線部再アライメント目標ラインを示す。リニアック直線部全域をダンプに向かって直線状に再アライメントするためにはDTL空洞を20mm以上位置調整する必要がある。しかしながらDTQへの配線が多数あることや、およそ3mのユニットタンクを連結して1つのDTL空洞としているため、現状をとどめたままでの調整範囲は数ミリであり、大幅に位置調整するためにはユニットタンクの分割、再結合が必要である等、長期の作業期間が必要となる。そこで、早期のビーム運転再開に向けて、DTLの調整量を最小限(2~3mm程度)にとどめ、DTL出口の軌道補正電磁石において折り曲げることにした。

また、長手方向はSDTLセクションの上流部においておよそ8mm、ACSセクションの下流部においておよそ1mm伸長している事がわかった。そこで、SDTLとACSを結ぶマッチングセクション(およそ15m)の電磁石間隔をなめらかに調整することでこの伸長を吸収することとした。

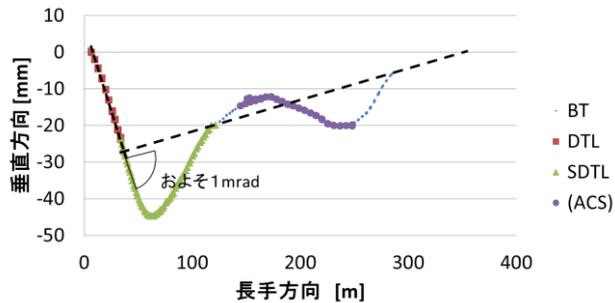


図6：基準座高さ。04/26~04/27 測定。点線はリニアック直線部再アライメント目標ラインを示す。

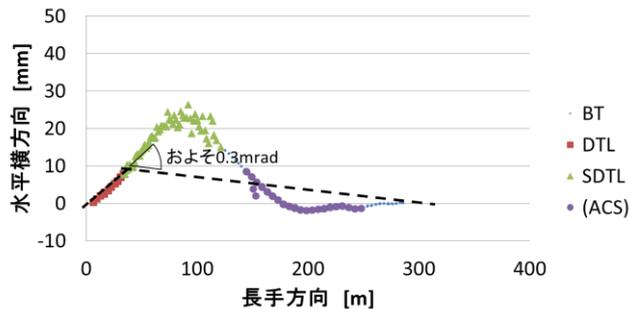


図7：基準座水平横位置。04/26~04/27 測定。

3.2 エキスパンションジョイント水平方向の変動

エキスパンションジョイント部では、ビームダクトベロー部の変形やクレーンレールのずれなど、目視点検においても有意な段差や折れ曲りを示唆する兆候が見られた。

基準座の測量では、第一アーク出口のエキスパン

ションジョイントでは、南北方向に0.8mmの局所的なずれが発生し、前後のビームラインにおいて0.3mradの折れ曲りが発生した。また、長手方向はおよそ1.0mmの伸長が生じた。

第二アーク入口のエキスパンションジョイントでは、南北方向におよそ9mmの局所的なずれが発生し、前後のビームラインにおいて0.4mradの折れ曲りが発生した。また、長手方向はおよそ1.3mmの伸長が生じた。

第一アーク以降のビームトランスポート部のアライメントは、前節で示した直線部の機器アライメント位置を出発点とし、

- RCSシンクロトロン^[4]入射点への連結。
- 第一アーク以降3か所設置されているビームダンプへのビーム輸送。

を両立させるよう、電磁石の位置と、偏向電磁石の曲げ角を調整する予定である。

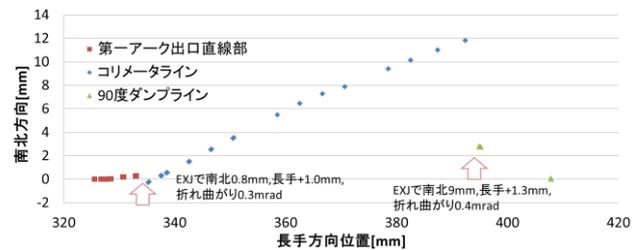


図8：地震によるリニアックビームトランスポートラインエキスパンションジョイントでの水平方向変動。06/24~06/28 測定。

4. スケジュール

6月後半より上流側から再アライメントに着手した。DTLセクションは完了し、現在SDTLのアライメントを行っている^[2]。年内のビーム加速再開を目指し、リニアック全域のアライメントは、確認測量を含め12月中に終了させる予定である。

参考文献

- [1] K.Hasegawa et al., “J-PARC 加速器の現状”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS003, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011
- [2] T.Itou et al., “地震後の J-PARC リニアック復旧状況”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, TUPS144, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011
- [3] M.Ikegami et al., “J-PARC リニアックにおける DTQ の大きなアライメントエラーの影響”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, TUPS094, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011
- [4] N.Tani et al., “地震による J-PARC 3GeV RCS アライメントへの影響”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOPS164, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011