

LEVEL AND HEIGHT SURVEY OF THE KEKB MAGNETS AFTER THE EAST JAPAN EARTHQUAKE

Yasunobu Ohsawa ^{#A)}, Mika Masuzawa ^{A)}, Hiromi Iinuma ^{A)}, Naoto Shimodoma ^{B)}

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

^{B)} Mitsubishi Electric System & Service CO., LTD.
2-8-8 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0045

Abstract

KEKB completed its operation with many achievements on June 30, 2010. The East Japan Earthquake hit the area in the middle of construction of SuperKEKB on March 11, 2011. The tunnel, which will also be used for SuperKEKB, received various damages from the earthquake. Discussions on the tunnel damages are given in this paper. Survey results of the level and height of the tunnel monuments and the magnets are also summarized.

東日本大震災後の KEKB 電磁石の傾き高さ測量

1. はじめに

KEKB は、2010 年 6 月に実験が終了し、その後トンネルでは SuperKEKB に向けて^[1]、解体工事が進行している。そんな中、3 月 11 日の東日本大地震に見舞われた。所内では、道路の陥没や建物に亀裂が入るなど大きな被害を受けた。トンネルでは、繋ぎ目の天井部にひびが入り、そこから水が染み出し電磁石などの機器が濡れる等の被害が 10 箇所近くで見られた。また床では、段差や亀裂、コンクリートの破損が至る所に認められた。このように目視検査での被害が大きかったこともあり、SuperKEKB へ向けて整備して来た測量基準点及び測量網の健全性を急遽調査することになった。測量網調査の結果の一部を報告する。

2. 測量基準点の重要性

KEKB の建設では、トリスタンで使用した床のモニメント等を使い、リング一周測量しながら調整を行うという作業を繰り返すことによりアライメントを行なった^[2]。SuperKEKB では予めトンネル内に測量網を構築し、その座標に基づいて電磁石を設置する。測量網が既に精度良く構築されていれば、アライメントを収束させる作業が省けアライメント全体の時間を短縮できる。その一部に、SuperKEKB でも位置が変わらないアーク部の HER 四極電磁石を利用する事を考えている。

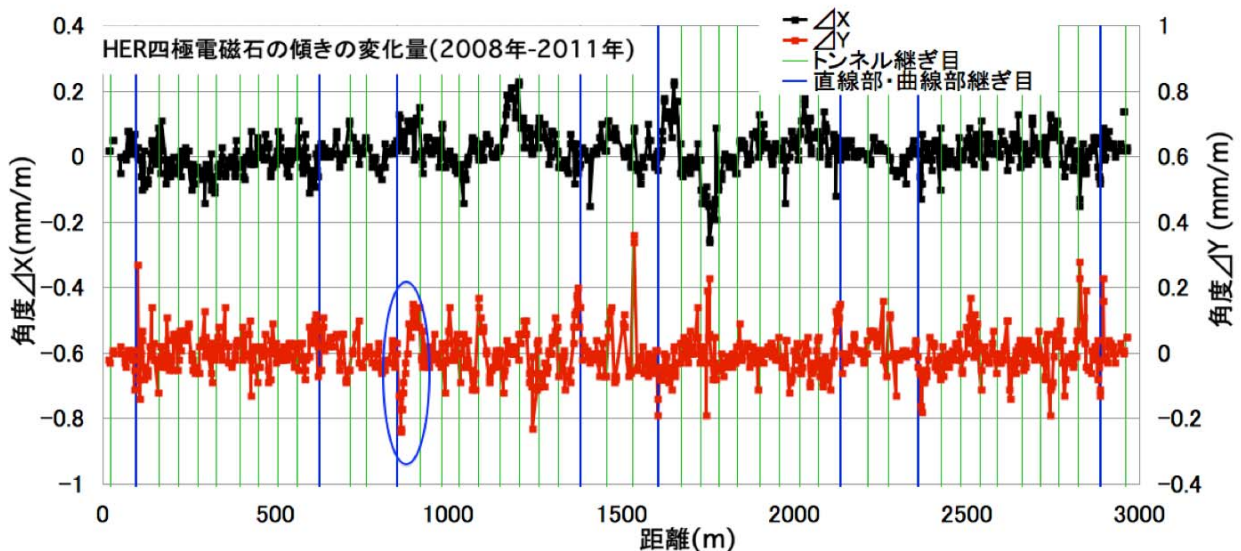


図 1: HER 四極電磁石の傾きの変化量

3. 電磁石と測量基準点の調査

3.1 水準器による電磁石の傾き調査

HER 四極電磁石(HER-Q)の基準面の傾きを、新潟精機のレベルニック(DL-m1)を使っておこなった。地震後の測量と 2008 年の測量結果の差を図 1 に示す。X 方向はビームに直角な方向で、リング外側が高いとプラス方向とした。Y 方向はビーム方向で、リング全体を時計回りに見て上流が高ければプラスとした。
X 方向よりも Y 方向で凸凹が目立ち、特に実験室と

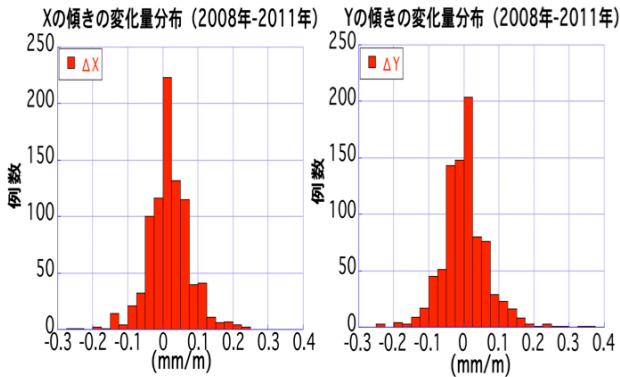


図 2: 傾きの変化量分布

の境目での変化量が多い。傾きの変化量の分布を図 2 に示す。両者ともゼロ付近に平均があることより地震によりどちらか位置方向に傾いてしまったというようなことはなかったと言える。分布の標準偏差はやはり両者とも 0.06 mm/m 程度であるが、これは初期アライメントの標準偏差の 0.1 mm/m と比較して決して無視出来る程の小さい量ではない。

3.2 高さ測定

次にライカ DNA03 デジタルレベル計を使って HER の四極電磁石の高さと、トンネル内側の壁面に取り付けてある測量網基準点の一つである IT^[1]の高さを測量した。図 3 にトンネル一周の測量結果を衝突点から時計回りで測った距離の関数で示す。図 4 には IT について、2010 年 7 月の IT の測量からの変化量を図 3 と同様に衝突点からの距離でプロットした。

図 3 でまず目につくのは大穂、富士、日光実験室にかけての大きく緩やかな沈下である。この部分は、実は毎年沈下していることが分かっている^[4]。今回の地震により急激な沈下で起きたわけではないのでここでは特に議論しないことにする。

今回特徴的なのは、図 3 と図 4 の橙色で丸をした、直線部と曲線部との継ぎ目の部分である。ここには規則性があり、実験室が有る直線部が高く、曲線部側がそれより必ず低く成っているという点である。

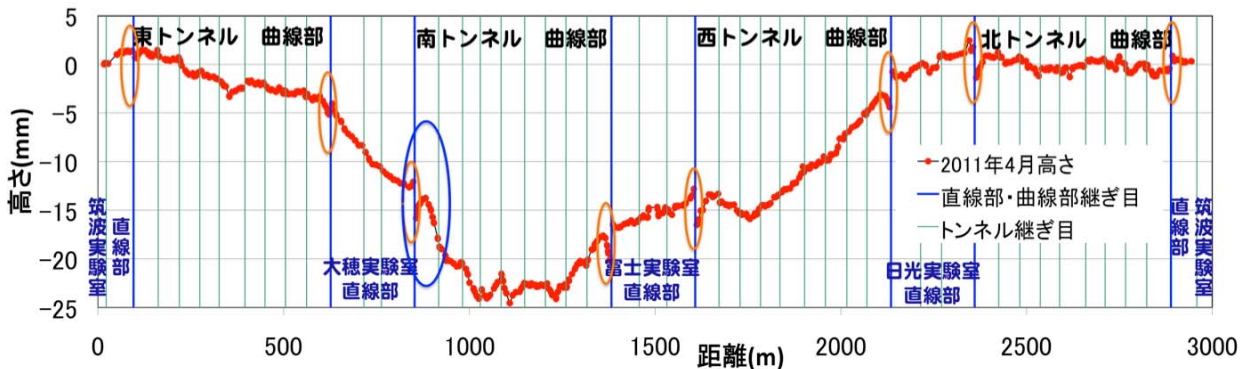


図 3: HER 四極電磁石基準面高さ

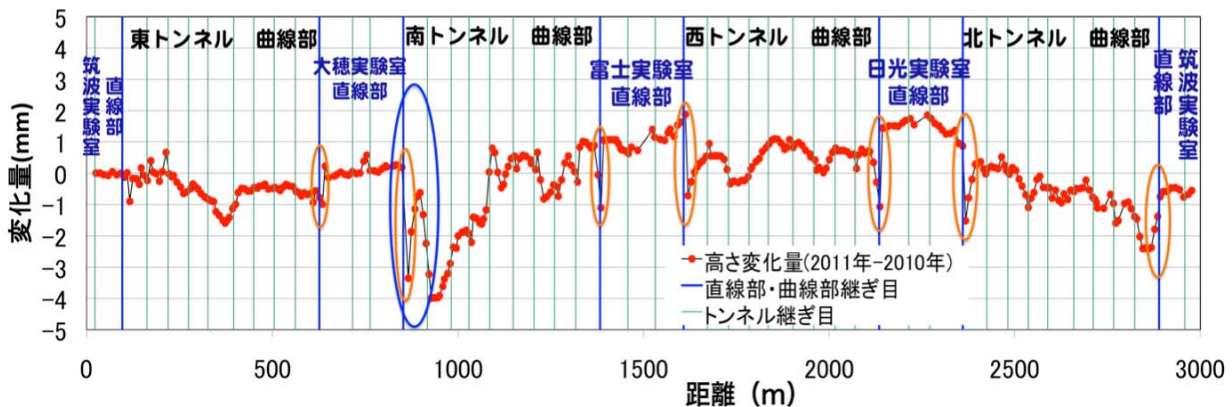


図 4: IT 基準点高さ変化量

また、青丸部分でひとつのトンネルユニット（トンネルの継ぎ目と継ぎ目に挟まれたブロック）内に湾曲したようなアーチ形状に見える箇所があった。これは、図1の HER 四極電磁石の傾きの Y 方向の変化量にも、その傾向が見られている。

4. 考察

4.1 直線部と曲線部とのトンネルの継ぎ目

直線部と曲線部とのトンネルの継ぎ目について考察した。各実験室とその接続されている直線部には、各々460本の鋼管坑（直径 550~1100mm）が深さ約23mまで打ち込まれ、しっかりとした基礎の上に建設をしている。しかし、曲線部は鋼管坑がなく、実験室間を継いだ形のトンネルとなっている。衝突型加速器施設主リングトンネル等新営土木工事その4より抜粋したトンネル継ぎ目の図を、図5に示す。継ぎ目の構造をよく見ると、赤色と橙色の境目に斜めの部分が有り、実験室の直線部構造体の下側に曲線部の構造体が組まれる構造になっている。トンネ

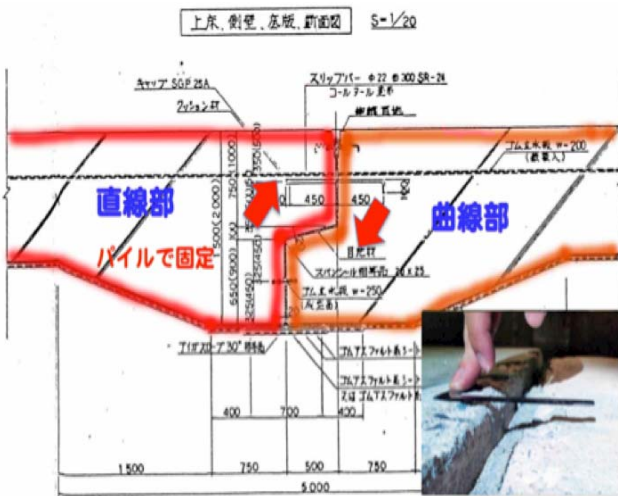


図5: トンネル継ぎ目

ルの継ぎ目の本来の役割はトンネルの熱収縮・膨張を吸収することである。しかし、今回の変動量は想定していた吸収量をはるかに越え、継ぎ目の斜めの境界部で両側のトンネルが競り上がり下がりを起こし段差が出来てしまったものと想像する。

4.2 トンネル構造体の大きな湾曲

図1.3.4の800m付近の青く囲まれている部分を見てみると、一個のトンネル構造体で、トンネル中央部から大きく高さが増え、アーチ状に両端が下がっている。図6はIT高さ変化量をこの部分だけ拡大したものである。これからトンネル構造体が、3mm以上湾曲しことがわかる。このような湾曲は以前には見られなかったので今回の地震でストレスがかかりトンネルが変形したものであると考えられる。さらに調べてみると湾曲された際に発生したと思われる亀裂が側壁にある箇所が見つかった。このような亀裂も今までにはなかった。

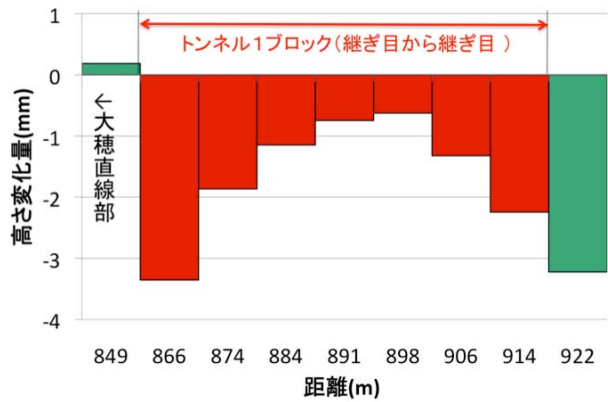


図6: IT 基準点高さ変化量一部拡大

5. まとめ

今回の大地震により、電磁石アライメントが狂い、トリスタン時代に構築し、KEKBに引き継ぎ、さらに SuperKEKBでも基準として利用するはずの測量網が崩れてしまったことが明らかになった。また、トンネル内で湾曲が見られコンクリートに亀裂が走っている箇所が見つかった。このような箇所やトンネルの継ぎ目が破損してしまった箇所は、今後、更に変形が進む可能性がある。

今後の検討課題は第一に、SuperKEKB用測量基準点をどのように回復するか対策を立てることである。第二に、引き続きトンネル変動の測定を行い、更に綿密なトンネルの健全性について調査が必要である。

参考文献

- [1] M.Masuzawa.“Next Generation B-factories”, Proceedings of the 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC10), Kyoto,May 2010
- [2] R.Sugahara. et al., “Installation and Alignment of KEKB Magnets”. Proceedings of the 6th International Workshop on Accelerator Alignment (IWAA 1999), Grenoble,October. 1999
- [3] Y.Ohsawa, et al., “Monument set for KEKB MR tunnel surveying network”, Proceedings of the 7th Accelerator Meeting in Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010
- [4] N.Shimodome, et al., “KEKB Monument Level Survey”, Proceedings of the 7th Accelerator Meeting in Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010