

## KEKB Monument Level Survey

Naoto Shimodome<sup>1,A)</sup>, Mika Masuzawa<sup>B)</sup>, Yasunobu Ohsawa<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Mitsubishi Electric System & Service CO., LTD.

2-8-8 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0045

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

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

### Abstract

SuperKEKB is a planned upgrade to the KEKB accelerator, with a design luminosity of  $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . The design of SuperKEKB is based on the “nano-beam scheme,” a low-emittance lattice. The new nano-beam lattice requires a significant amount of magnet replacement and reinstallation, particularly in the Low Energy Ring. A new set of monuments for magnet alignment was required, with greater coverage than the previous set. These monuments have been installed, and a survey has been carried out. The results of the tunnel level survey will be described in this report.

## 測量基準点レベル測量

### 1. はじめに

SuperKEKB は KEKB のアップグレードマシンで KEKB で達成したピークルミノシティの約 40 倍に相当する  $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  をデザインルミノシティとし、現在オプティクス及びハードウェアの設計が進められている<sup>1)</sup>。SuperKEKB ではルミノシティを上げるために低エミッタンスラティスが採用される。低エミッタンスラティスを実現するために衝突点及びその両側約 100 m の直線部の大幅な改造、LER 曲線部偏向電磁石の総入れ替え及びウィグラー電磁石の増設と並び替え等の大規模な電磁石据え付け・アライメントを行わなければならない。限られた建設期間内で効率的に精度よく電磁石据え付け・アライメントを行うために予めトンネル測量基準点の増設を行った。今回はレベル測量用の基準点設置と測量データの解析結果について記述する。

### 2. 測量基準点の設置

高さ測量に使用する Leica DNA03 は、図 1 にあるようにインバール製の測量尺のバーコードを測量器で観測して、測量尺の底部から測量器の目線の位置までの幅を 10 ミクロン単位の精度で計測することができる測量器である。測量尺を設置する台座を測量基準点として、トンネルのリング内側壁と L 字鋼支柱に取り付ける工事を行った<sup>2)</sup>。今回は 2 種類の台座の取り付けを行った。ひとつは図 2 左側にある、HUBBS 社製の直径 5cm 高さ 1cm の円柱状の台座、もうひとつは座金を L 字鋼支柱に接着剤で貼り付けたものである。測量尺の底部には鉄球が取り付けられているので測量基準点の磁石部分に固定できる仕組みになっている。測量基準点はトンネル内側のコンクリート側壁に、ドリルでコンクリート壁に穴を開け台座にアラルダイト接着剤を塗りネジ止めをするという方法で等間隔に設置した。台座の取り付け位置は、加速器のビームラインから一定の高さにするた

め、レーザー水準器を用いて HER (High Energy Ring) の四極電磁石の基準面から 160mm の高さにレーザーが照射されるように調整し、台座の中心がレーザー光線のビームの拡がりの中心になるように設置していった。レーザービームの広がりやドリルの穴開け作業を考慮すると実際の設置（四極電磁石高さ移設）精度は  $\pm 2 \text{ mm}$  であると思われる。測量基準点には、個別に識別できるように ID を付けた。各モニュメントの ID はシールに表記して測量基準点近くに貼り付けた（図 2 右側）。



図 1 : 測量尺と測量器 (Leica 社 DNA03)



図 2 : 測量基準点と ID シール

<sup>1)</sup> E-mail: doumae@post.kek.jp

### 3. レベル測量

一カ所(ステーション)に測量器をセットした場合、測量出来る基準点は、トンネル曲線部で8カ所、トンネル直線部では4カ所になる。トンネル全周の基準点を測量するには測量点をオーバーラップさせながら測量器を移動して行くが必要になる。移動する場合、あえて測量器の高さを調整することは行わない。従って測量したデータはステーションごとに異なる高さのオフセットを持つ事になる。ステーション毎のオフセットについてはオーバーラップした測量点を用いて補正を行い、隣り合うステーションのデータを連結していった。最終的には、測量スタート地点に戻りリング一周分のデータセットを作った。オーバーラップには図3にあるように通常4点を使った。測量作業は基本的には測量尺をHUBBS社製台座に取付け測量尺が揺れないように補助する担当者(図4)とDNA03を操作する者の二人で行うことが出来る。DNA03のメリットはデジタル測量器であるので測量値が操作者に依存しない点である。また一回の測量時間も例えばアナログレベルのN3と比較して短い。

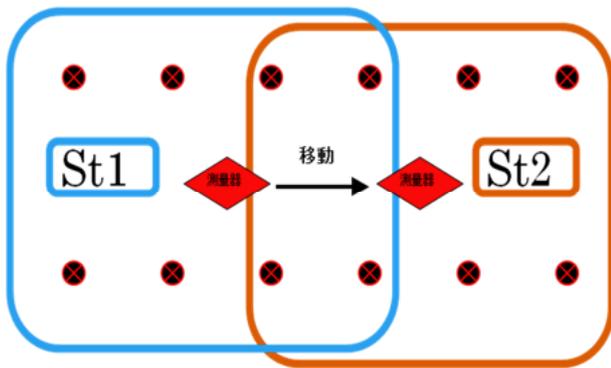


図3：測量器の移動と測量範囲を隣り合う二つのステーションについて模式的に示す。四点をオーバーラップさせながら移動する。



図4：DNA03を使った高さ測量の様子

#### 3.1 2010年2月及び2010年7月のデータ比較

2010年の2月と7月にDNA03で前述の高さ基準点の測量をKEKBトンネル一周について行った。KEKBトンネルは図4にもあるようにリング内側がいわゆる通路側で通常測量はこちら側(リング内側)に機器を設置して行う。このように毎回同じ測量器の置き方をして周長3kmのトンネル一周を繰り返し測量を行って行く場合はどうしてもsystematicな誤差が積算してしまう。

積算の評価としては、例えば測量をトンネル一周して始点に戻って来たときの食い違い、つまり「閉合差」を計算する方法がある。閉合差は2月、7月の両方の測量で1mm以内と小さかった。今回の解析では閉合差が小さかったので高さデータの補正は行わなかった。

図5に衝突点に対するトンネル基準点の相対的な高さを示す。2月と7月の2回の高さのデータをトンネル周長に沿って(横軸に衝突点からKEKBリングを上からみて時計回りに進む方向で定義した距離をとって)プロットしてある。これを見ると、衝突点から約1000mの場所でトンネルが沈下しているのがわかる。これはKEKB建設時以前からすでに観測されている現象<sup>[3]</sup>で毎年このような沈下が見られる。両者の各基準点での差をヒストグラムにしたものが図6である。7月のデータから2月のデータを引いたものであるが平均値が僅かではあるがマイナス側にシフトしている。これは2月に比べて7月には更にトンネルが全体的に沈下した事を示している。

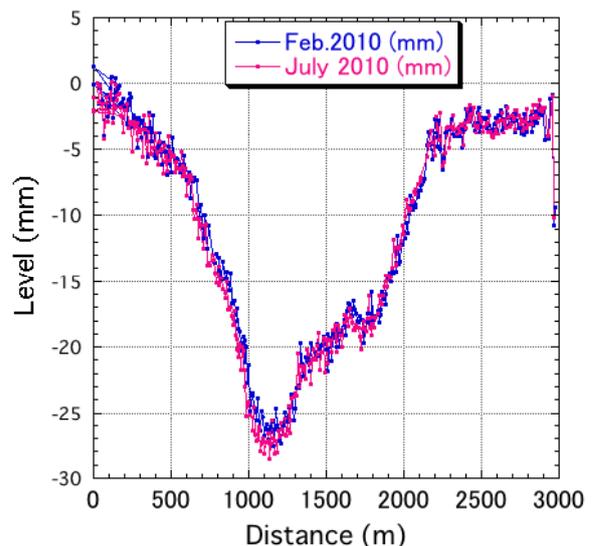


図5：KEKBトンネルレベルを衝突点(0m)からの距離の関数でプロットしたものの。レベルは衝突点からの相対的な高さで定義してある。

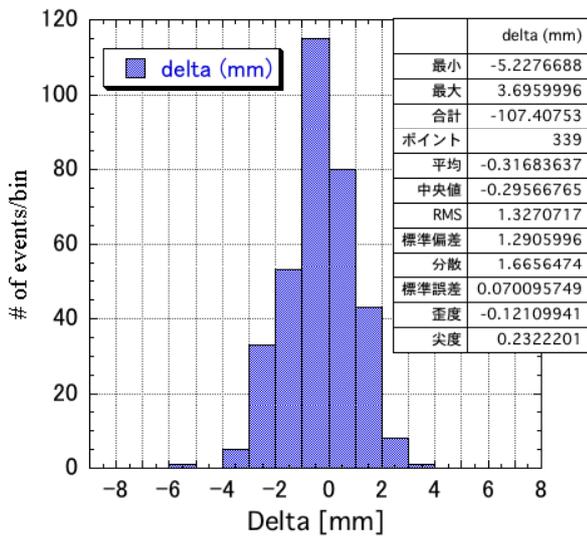


図 6 : 2010 年 7 月の高さから 2 月の高さを引いたもの。全体にマイナス側にシフトしている。

### 3.2 2009 年夏までの高さデータ

KEKB 建設以来、トンネルのレベルについては Leica N3 を使って毎年 1 回、通常夏の加速器シャットダウン期間を利用して測量している。図 7 には 2001 年から 2009 年夏までのトンネルレベルの変遷がまとめられている。図 5 と同様に衝突点の反対側で沈下が見られ、平均すると毎年数ミリにもなる。必ずしも沈下スピードは一定ではなく、年によって（例えば 2008 年と 2009 年）沈下量の少ない場合もある。図 5 と比較してみると、2010 年でさらにトンネル沈下が進んだことが伺える。地盤沈下の原因に関しては、直接の因果関係は不明であるが、加速器冷却水などに利用されている地下水の汲み取り過ぎや、沈下場所地上部の建築物の荷重による沈下などが推測される。

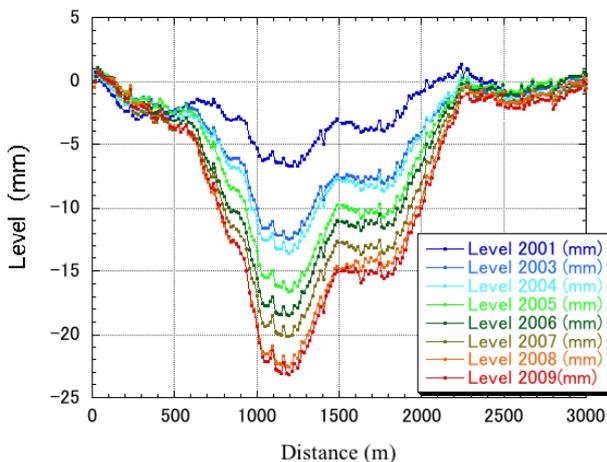


図 7 : 2009 年までの N3 によるトンネルレベル測量。

## 4. まとめ

SuperKEKB 建設を念頭においた測量網構築用の基準点設置を行い、この基準点のレベル測量を Leica DNA03 を使って KEKB トンネル全周に渡って行った。レベルデータの解析の結果、今までに行ってきた Leica N3 での測量と食い違いのない結果が得られた。操作が簡易であること、トンネルレベル測量には十分な精度が出ることから DNA03 を定期的なレベル測量に使用して行きたい。

また、今回の測量で KEKB トンネルが更に沈下したことも判明した。

今後 SuperKEKB の建設にも DNA03 及び新規に設置したモニュメント群を活用して行きたい。

## 参考文献

- [1] M. Masuzawa, "Next Generation B-factories", Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Particle Accelerator Conference (IPAC10), Kyoto, May 2010.
- [2] Y.Ohsawa, et al., "Monument set for KEKB MR tunnel surveying network", Proceedings of the 7<sup>th</sup> Accelerator Meeting in Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010
- [3] R.Sugahara, et al., "Installation and Alignment of KEKB Magnets", Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Workshop on Accelerator Alignment, Grenoble, 18-21, 1999.