

HLS でモニターした SuperKEKB 衝突点近傍床レベル変動

TUNNEL LEVEL VARIATION IN THE SUPERKEKB INTERACTION REGION MONITORED BY HLS

川本 崇, 増澤 美佳, 安達 利一

Takashi Kawamoto, Mika Masuzawa, Toshikazu Adachi
High Energy Accelerator Research Organization, KEK

Abstract

SuperKEKB is an electron-positron collider, which aims to achieve a peak luminosity 40 times higher than that of KEKB. Therefore, it is necessary to reduce the vertical beam sizes of both rings to 50 - 60nm at the interaction point. But the level variation of the accelerator tunnel has big influence on the collision performance with such small beam sizes. In SuperKEKB accelerator south tunnel, HLS (Hydrostatic Leveling System) was installed in the approximately 500m section, and tunnel level variation has been observed. Also to observe level variation in the interaction point (IP) neighborhood, HLS was installed on both sides of the IP, and observation was started. In about 11 months from the installation up to the present, some interesting observation results including the effects of heavy rain and radiation shields installation are obtained. The HLS data obtained during SuperKEKB construction and during commissioning which started from February are reported here.

1. はじめに

SuperKEKB 加速器[1,2,3]におけるトンネルレベルの変動は、極小ビームサイズでのビーム衝突性能に大きな影響を及ぼす可能性がある。よって、このレベル変動を観測するため、ビーム衝突点の左右それぞれ約 100m の local chromaticity correction (LCC) セクションに、

Hydrostatic Leveling System (HLS) が設置される事になった (Figure 1)。

設置は 2015 年に行われ、同年 8 月から稼働を始めた。データは 18 個の静電容量センサ (BINP 製[4])から読み出され、現在に至るまで、外気温、降雨、潮汐、及び加速器建設等による影響が記録されている。以下では、これらの観測データについて報告する。

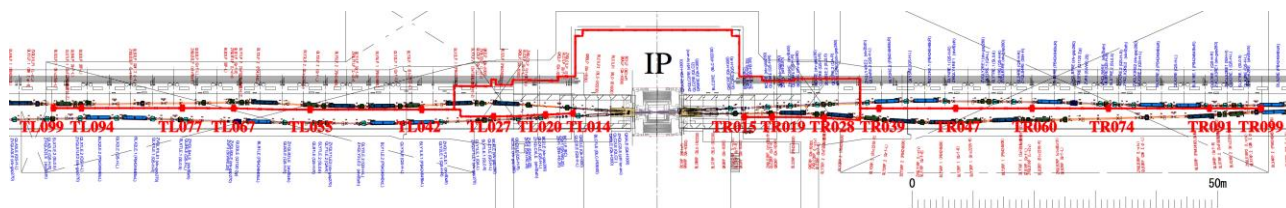


Figure 1: HLS pipe (red line) & sensors(TL099 etc.).

2. 気象に起因するレベル変動

Figure 2 に、現在に至るまでの約 11 ヶ月間のレベル変動のプロットを示す。このプロットで表わされている各センサのデータは、Figure 1 における最も左側のセンサ (TL099) のデータとの差になっている。つまり、各センサが TL099 センサに対して相対的にどれだけレベルが高いか/低いか、という事が示されている。また、この Figure 2 におけるセンサ名 (ex.TL094) は、各センサのビーム衝突点からの方向(L/R)と距離(m)を示している。

プロットを見ると、データを取り始めた当初から、ビーム衝突点近傍のレベルは次第に下がってきている。(あるいは、左右端近傍のレベルが上がってきている、のどちらかである。) この動きは冬に至るまで続き、トンネルレベルは最大で 1.2mm 程度の沈下 (or 上昇) を記録した。その後反転して、現在は当初のレベルに戻りつつある。この時期の近隣の外気温と降水量のプロットを Figure 3 に示す。外気温とトンネルレベルの変動は、明らかに相関があるように見える。この外気温による変化は、Figure 4 のように 1 日周期の変動としても観測されている。トン

ネルの床面は地下 11m に位置し、外気温の影響は小さいはずだと推測されるが、このように大きな変動が観測される理由はよく分かっていない。ビーム衝突点がある実験室は、地上 2 階～地下 4 階の建築物なので、地上部が外気温によって膨張/収縮する動きが、地下の構造物まで伝搬しているとも考えられる。

他にも周期的な変動が観測される事がある。Figure 5 では 1 日に 2 回ピークが見られるが、これは潮汐力の影響によるものと考えられ、同時にプロットした最寄りの検潮所での潮汐データと phase が一致している。この時は大潮の時だったので変動が大きく、peak to peak で最大 25 μ m の変位となって現れている。

また Figure 2 では、2015 年 9 月に短期間の大きな変動が見られる。これは、この時発生した関東・東北豪雨による多量の降雨で、地下水位が大きく上昇したためと推測される。地下水位の上昇と共に、トンネル躯体が浮力で浮き上がった状態になり、それがレベルの変動に現れたと考えられる。この状態は約 1 ヶ月続き、その後レベルは元に戻る方向に変位している。Figure 6 では 8~9 月の変位を 3 次元的に表示した。時間軸は奥から手前に

推移、左端が TL099、右端が TR099 になっている。

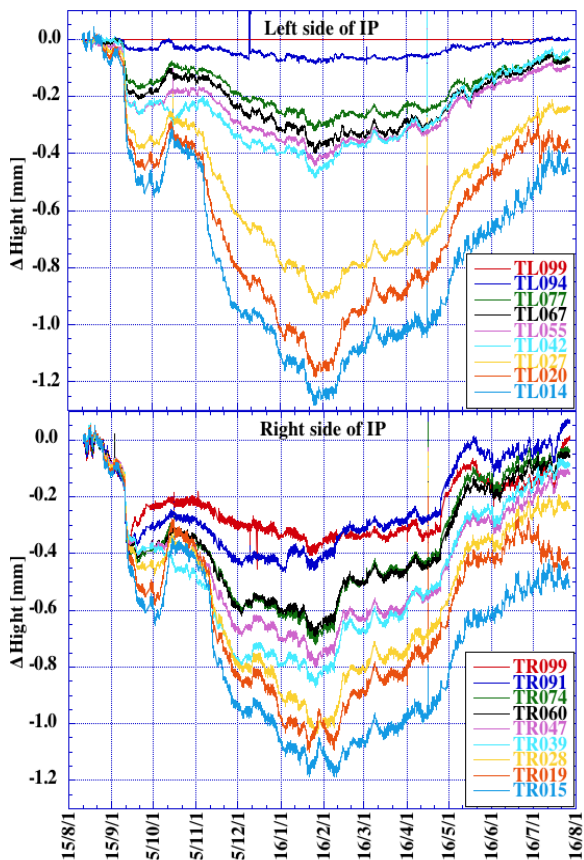


Figure 2: Tunnel level changes.

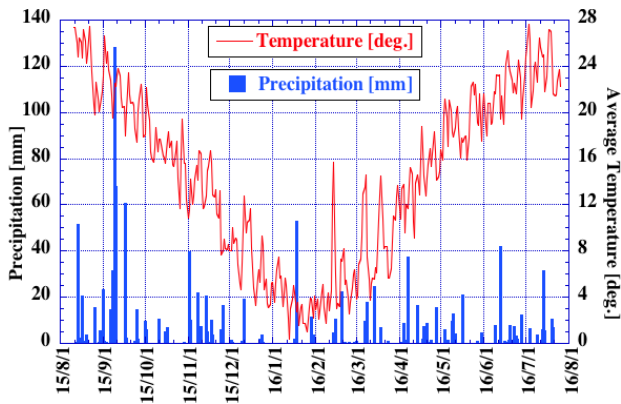


Figure 3: Precipitation and outside air temperature.

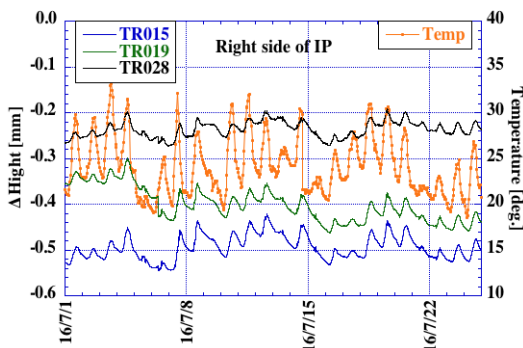


Figure 4: Effects of outside air temperature.

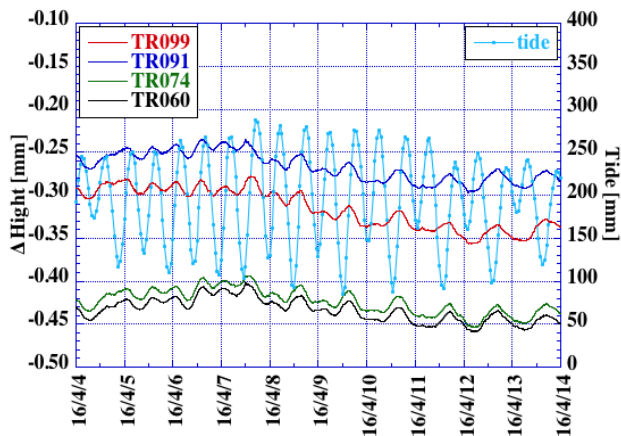


Figure 5: Tidal data compared with the tunnel motion.

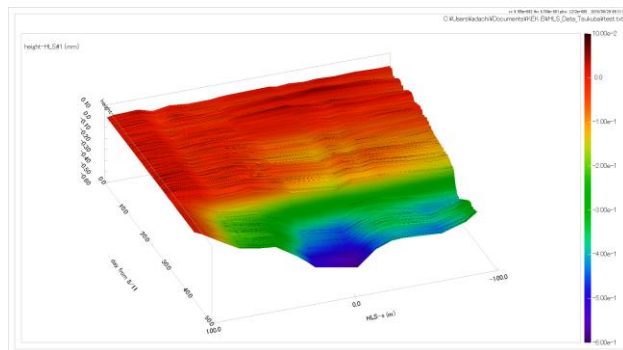


Figure 6: Effects of precipitation in early September.

3. 放射線遮蔽シールド設置による影響

2015年11月に、ビーム衝突点を挟む約30mの領域に、放射線遮蔽のためのU字型コンクリートシールドが設置された(Figure 7)。シールドは衝突点左右に6台ずつの計12台。これにより衝突点の左右それぞれに約60tの重量が加わった事になる。これらは1日に2台ずつ設置され(Figure 8の矢印の位置)、結果、最大で計200 μ mの沈み込みが発生した。

シールド設置が行われたのは、衝突点近傍電磁石のアライメント後であったが、今回、この200 μ mの沈下に対応する再アライメントは行なわなかった。SuperKEKBの最初のコミッショニング(phase 1)ではビーム衝突実験は行なわないため、アライメント精度はそれ程必要とされないからである。しかし、衝突実験が開始されるphase 2以降のコミッショニングでは、再アライメントが必須となる。

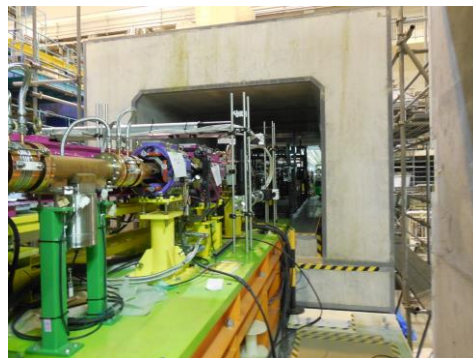


Figure 7: Radiation shield covering the beam line.

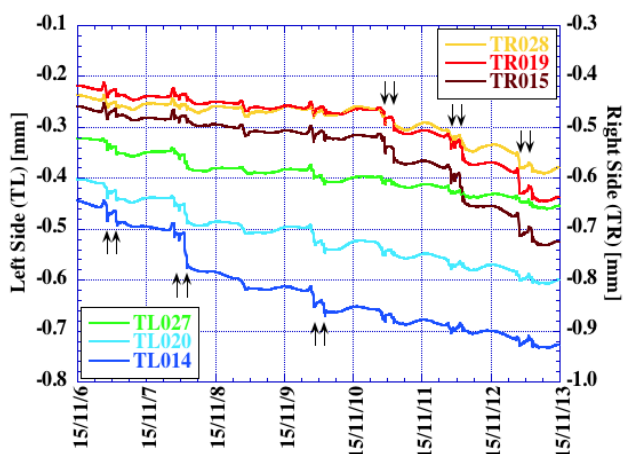


Figure 8: Level change due to the radiation shield installation.

4. 地震による影響

Figure 2 のプロット中には、時々スパイク状の変動が現れている。これは HLS 配管への接触による事が多いが、地震による変動を示している場合もある。特に 2016 年 4 月に発生した熊本地震の影響は、このプロット中でも大きく見えている。SuperKEKB 加速器があるつくばでは、マグニチュードが最も大きかった 4 月 16 日の地震 (M7.3) でも震度 1 程度の揺れしか観測されていないが、HLS データには極めて高いスパイクが見えている (Figure 9)。HLS データのサンプリング間隔は 6 分なので、地震があっても HLS の観測に引っ掛からない事も多いが、この時は遠方の巨大地震であったため、周期の遅い揺れが長く続き、結果、配管内の水も揺れ続け、観測するには十分な時間があつた。

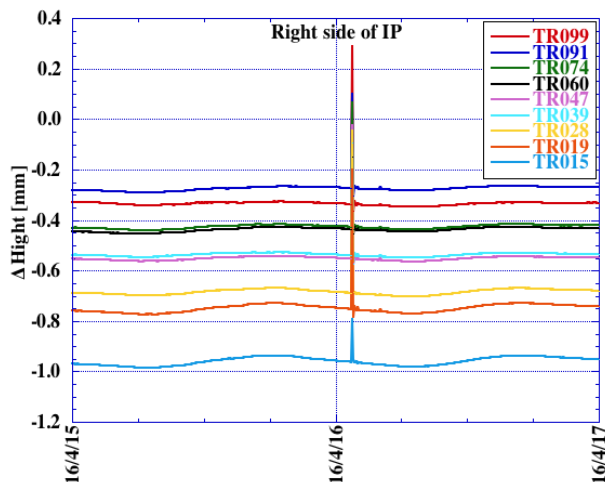


Figure 9: Level jump caused by the earthquake.

HLS 設置から現在に至るまで、つくばでは最大で震度 4 までの地震を経験しているが、HLS データを見る限り、幸い地震の前後で大きく変動した箇所は無い。ビームコミッションに於いても、地震によってビームがアポートされる事はあっても、その後の加速器運転に大きな支障が出る事は無かった。但し、今回の phase 1 コミッションでは極小ビームサイズでのビーム衝突実験は

行っていないため、多少のレベル変動では加速器の性能を大きく損なう事は無い。しかし極小サイズのビームを衝突させる phase 2 以降のコミッションでは、問題になる可能性がある。

5. まとめ

今回の HLS 設置により、ビーム衝突点を挟む LCC セクションのレベル変動が年間で最大 1.2mm 程度と、思いの外大きい事が分かった。豪雨の影響、及び放射線遮蔽シールドの設置等の特別な要因があつたとは言え、それを除いても年間 1mm 近くのレベル変動があつた事になる。また phase 2 以降では Belle II 測定器がロールインするため、さらに衝突点近傍のレベルが沈下する事になり、電磁石の再アライメントも必要になってくる。

なおビーム衝突点直近は設置スペースの問題で HLS が設置されていなかったが、phase 2 以降、このレベル変動の監視は必須となるため、新たな設置計画が進行中である。

また LCC セクションにはビーム衝突性能に重要な役割を果たす六極電磁石が設置されているが、これと隣接する四極電磁石との位置関係の変化は、衝突性能に関して極めて重要な問題になる。Phase 2 以降に向けて、この隣接する六極と四極とのレベル変動に特化した HLS システムの計画も進行中である。

Phase 2 以降のコミッションに於いては、加速器コンポーネント間の相対位置のわずかな狂いでも影響が出る恐れがあるため、HLS でのトンネルレベル変動の監視はより重要になる。データを即時に解析して、加速器運転に feedback させる事も必要になるかもしれない。

参考文献

- [1] Belle II Technical Design Report, KEK Report 2010-1.
- [2] M. Masuzawa, "Next Generation B-factories," in Proc. 1st Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), Kyoto, Japan. May 2010, paper FRXBMH01, pp. 4764, 2010.
- [3] Y. Ohnishi, "Lattice Design of Low Emittance and Low Beta Function at Collision Point for SuperKEKB", in Proc. 2nd Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'11), San Sebastian, Spain. Sept. 2011, paper THPZ007, p. 3693.
- [4] <http://www.slac.stanford.edu/econf/C0802113/papers/P024.pdf>