

DISPLACE MEASUREMENT OF SPRING-8 BL29XUL AND XFEL BUILDING

Tomoya Kai^{#, A)}, Yusuke Maeda^{A)}, Hiroaki Kimura^{B, C)}, Sakuo Matsui^{B)}, Noriyoshi Azumi^{B)}

^{A)} SPring-8 Service Co., Ltd. 1-20-5 Kouto, Tatsuno, Hyogo 678-5165

^{B)} XFEL/RIKEN 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148

^{C)} XFEL/JASRI 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198

Abstract

BL29XUL is located at 50 m south from XFEL building. Comparing with displacement data of BL29XUL and XFEL building is important to know and understand a displacement of the ground and the buildings. We made a re-survey of BL29XUL. The speed of subsidence of BL29XUL in these 5 years was 4.5 mm/year where the embankment is the deepest. It is a half of that of the 7 years before 2006. The horizontal displacement of the same place was 12mm in these 4 years. However, at XFEL building adopted pillar foundation, its subsidence was half of BL29XUL, and its horizontal displacement was small and within ± 2 mm.

SPring-8 の BL29XUL と XFEL 建屋の変位計測

1. はじめに

(独)理化学研究所播磨研究所は、(財)高輝度光科学研究センターと協力して 2007 年 7 月より X 線自由電子レーザー(XFEL 名称:SACLA)施設の建設を行った。一般に地盤が堅固で大変良いとされる SPring-8 地区であるが、残念ながら施設を建設したエリアの 8 割が谷を埋めた盛土部であったので(図 1 参照)、建設に先立ち建屋の南側 50m に 1999 年に設置された SPring-8 1 k m ビームライン BL29XUL のビームパイプの変位を 2006 年 10 月~4 月に計測し、7 年間の地盤表面の動きの測定した^[1]。その結果、土地造成後約 10 年経過した後にビームラインは建設されたにもかかわらず盛土は変位し続けており、盛土厚 50m 付近で 8mm/年の沈下と、2mm/年の横変位が起きている事がわかった。

これらの情報は XFEL 建屋の基礎構造の設計に反映された^[2]。線形加速器が設置されたマシン加速器

棟建屋は盛土部の下の岩盤層まで届くコンクリート杭によって支える構造とし、高い精度のアライメントが要求されるアンジュレータ部が設置させる光源棟建屋は盛土層を取り除いて高充填砕石置換によって作られた人工岩盤の上に建てられた。

XFEL 建屋床面の変位計測は建屋建設途中の 2008 年 8 月から継続的に行われてきた。そのデータと今回行った BL29XUL の再測量(前回から 5 年経過)を比べることにより、それらの関係について議論する。

2. BL29XUL の屋外部について

BL29XUL と XFEL が設置されている部分の地盤は 1990 年に造成工事が行われた。盛土の最も深い部分(真空ポンプ小屋 #51 付近)では 50m 程度の盛土が行われた。図 1 に切土・盛土の区分を示す。又、ビームラインの南側約 30m 付近はビームラインに並行に高さ 35m 程度の崖になっている。

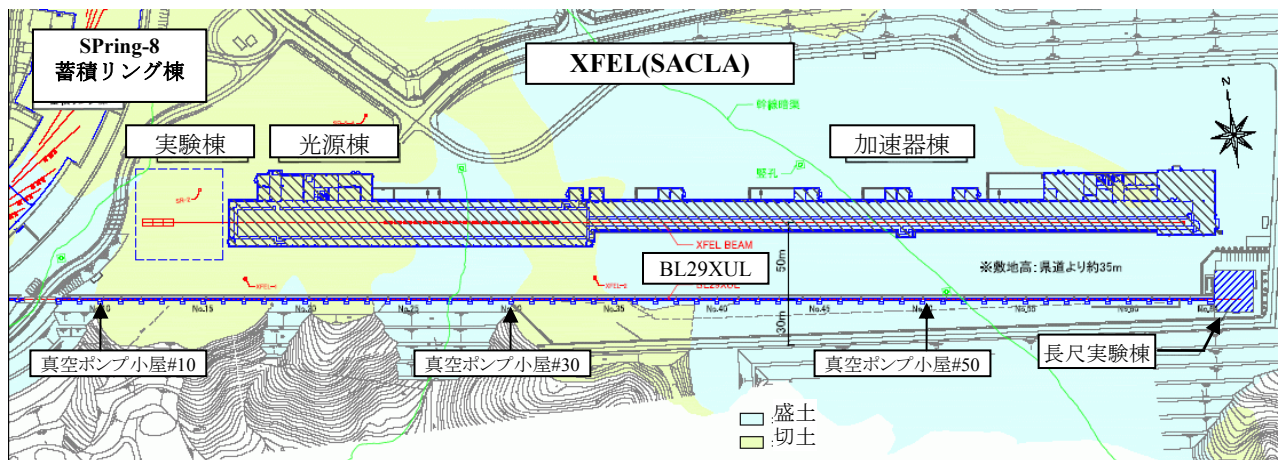


図 1 : BL29XUL と XFEL 建屋の配置。緑の線は旧谷筋を表し、設置された暗渠管の位置を示す。

[#] kaito@spring8.or.jp



図 2 : 1km ビームライン BL29XUL の全景の写真

BL29XUL は 1999 年に建設が行われた。蓄積リング棟と長尺実験棟の間の放射光を導くビームパイプ(外径 114mm、長さ約 900 m)と真空ポンプ小屋(64カ所)は、厚さ 0.5m・幅 2m (真空ポンプ小屋部は 4m) の基礎コンクリートの上に設置された。真空ポンプ小屋の設置間隔は 13.6m で、小屋の間は 4 本のサポート架台によってビームパイプを支えている。

3. BL29XUL の測量

3.1 レベル測量

屋外ビームパイプの各ポンプ小屋下流側 2 番目のパイプ架台部の水準点板にバーコードスタッフを垂直に立てデジタルレベル (Trimble 社 Dini03 1km 往復偏差 0.3mm 図 3 参照) を使用して高さの相対値を測定した。測定はデジタルレベル計のピントをバーコードスタッフに合わせることで機械が自動で読み取り複数回測定の平均を表示し、その結果を PC に Bluetooth でエクセルファイルに取り込む。これにより結果もすぐに参照する事が出来る。

前回の高さ基準点(SR-2)は、XFEL 建屋建設に伴い撤去されたので、2007 年 1 月に新たに設置された基準点 (XFEL-2) を使用した。どちらの基準点も標高がわかっているのので、今回は個々の水準点板高さの前回との差をそのままビームパイプ高さの変位とした。

3.2 横方向測量-トータルステーション (TS) 測量

横方向の測量は、前回と同様に GNSS 測量による絶対値測量とトータルステーション(TS) (Leica 社 TDA-5005 図 4) で相対値測量を併用した。

TS の設置はビームパイプと高さが同じになる様に、かつビームパイプから TS の中心が 700mm になる様にセットした。レベル測量の時と同じパイプ架台の上流側に、視準用ターゲット固定用治具を測定視線に垂直で水平にセットする。ビームパイプからターゲットまでの距離を一定にする様に固定用治具をビームパイプに突き当てた。



図 3 : デジタルレベルとバーコードスタッフ

各測量点での視準用ターゲットの距離と水平角方位を測定することにより、パイプ突き当て部の横方向変位の相対値が求められる。

今回の距離測定モードは、屋外での測定のためにファストモード 3mm+2pp を使用し 5 回連続の自動測定で行った。一度に測定できる距離は天候に左右されるが約 200m であったので、場所を移動しながら繰り返し測定を行った。

3.3 横方向測量-GNSS 測量

GNSS 測量器 (Topcon 社 NET-G3 精度±2mm 図 5) を使用して横方向の位置の絶対値を測定した。この測量器は GPS 衛星と GLONASS 衛星に対応している。測量には 2 台を 1 セットとして使用する。1 台を基準点として固定、もう 1 台を移動点として測定を行いスタティック測量により移動点の座標を求める。

基準点は XFEL-2 に鉛直器を用いて設置した。移動点は、屋外ビームパイプの各小屋下流側 2 番目のパイプ架台部のパイプ上段の上流側に測量治具を用いて動かない様に固定し、アンテナ裏側マークを北側に向く様にセットした。移動点の測定時間は 10 分とし、この場合の測定誤差は±2mm 程度である。今回の GNSS 測定では TS 測量でのつなぎ目にあたる部分を中心に 12 カ所の測定を行った。この GNSS 測量のデータを元に、TS 測量のデータをフィッティングし全体の横方向変位のグラフとした。



図 4 : トータルステーションと視準用ターゲット固定治具



図 5 : GNSS 測量時の基準点と移動点

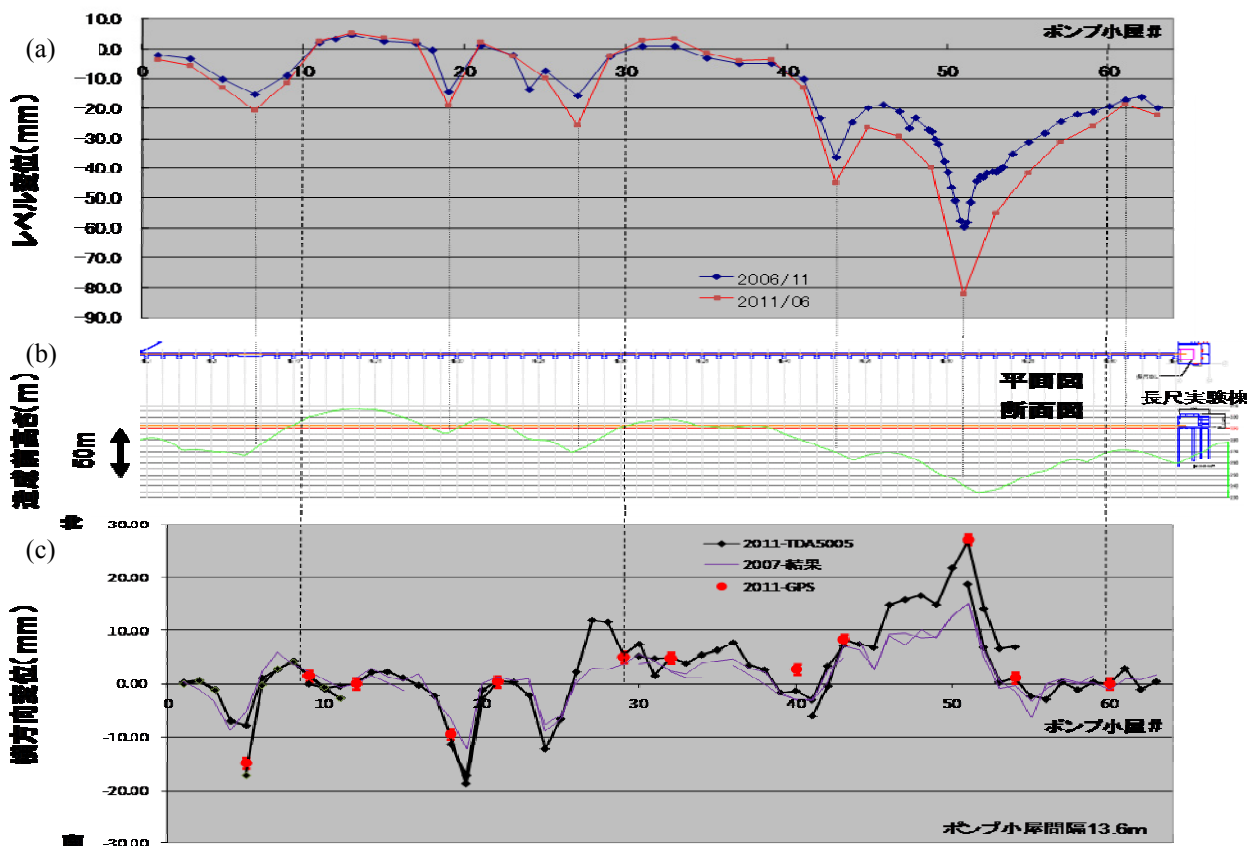


図 6 : 1999 年に建設した BL29XUL のビームパイプの変位。横軸は 13.6m 間隔で設置されているポンプ小屋の番号。(a)レベル変位、(b)造成前の地盤高さ(盛土厚)、(c)横方向変位

4. BL29XUL の測量結果

前回の測量結果（レベルは 2006 年 11 月、横方向は 2007 年 4 月）と今回の測量結果(2011 年 7 月)、及び造成前の断面を図 6 に示す。

レベルに関して測定された沈下は 2006 年の測定時と同じ場所で進んでおり、造成前の地形を非常に良く反映している。沈下量と盛土厚はほぼ比例している事から、沈下は盛土の浅い部分だけでなく全ての部分で起きていると考えられる。前回の最深部(盛土厚約 50m)での沈下量は 58mm 程度であるので、8 mm/年程度であるが、今回 5 年分の沈下量は 22mm 程度であるので 4.5 mm/年程度であり、平均の沈下速度は約半分になっている。

横方向の変位に関しては基準点が変わってしまったので、前回と同様に小屋#12 と#60 の GNSS データを使って基準線とし、その直線からの GNSS データの各位置での距離を計算し、その点になるべく合うように TS データをフィッティングした。

図 6(c)に示されるように、盛土部では今回も同様の傾向で横方向にも変位している。旧地盤は BL29XUL の南側（グラフ Y-方向）に向かって谷が深くなっており崖になっているので南側に変位することは理解できるが、小屋#25 より下流はほとんど北側に変位している。

小屋#51 付近の最深部での変位量は前回 8 年で 15mm 程度であったが、今回 4 年分の変位量は 12mm 程度であり、変位速度は増えている。

尚、サポート架台の傾きを計測したが、前回同様全て $\pm 0.2^\circ$ 以内でありランダムであったので架台自体が横方向に変位していると考えられる。

5. XFEL 建屋と収納部床面変位計測

XFEL 建屋加速器棟の基礎は杭構造とし、深さ 30 ~ 50m にある中硬岩層まで直径約 1.5m のコンクリート杭を打設している(図 7(a)参照)。ビーム方向の杭の間隔は 7.5m で、ビームと直交方向には各々 2.5 本の杭を打ち、総数 139 本の杭で収納部トンネルとクライストロンギャラリーを支えている。一方、アンジュレータが置かれる光源棟は $10 \mu\text{m}$ 以下のアライメント精度が要求される事から、直接基礎と高充填砕石置換による人工岩盤の基礎上に建設された。

収納部床面の変位測量は BL29XUL の計測で使用したのと同じデジタルレベルと TS が使用された。測定したポイントは電子ビームラインと平行に約 30m 間隔で設置された据付基準モニュメントである [3,4]。

レベル測量の結果を図 7(b)に示す。加速器棟の沈下の様子は図 7(a)の盛土部の底のラインの形状とよ

く一致している。コンクリートの乾燥収縮が大きい初期を除き 2009 年 4 月からの沈下量は、盛土が一番厚い上流から 200m 地点において、最初の 1 年で約 2.5mm、直近の 1 年で約 2mm である。光源棟の沈下はずっと小さく、最も変位する上流側でも直近の 1 年で約 0.2mm であった。

横方向の変位測量の結果を図 7(c)に示す。建屋内での測定では動かない基準点がないので、解析上、上流部と下流部に固定点を設定している。400m から下流の光源棟はほぼ一直線を保っていることがわかる。400m から上流の加速器棟では、若干の変位はあるがその幅は±2mm 程度である。

現状、上下(レベル方向)・水平の両方向の変位とも XFEL 施設の床面としては、許容できる範囲内である。

6. まとめとおわりに

今回の BL29XUL の再測量の結果と収納部床面変位計測の結果から推測できる事を以下にまとめる。

- ・レベル方向に関して、盛土部の 2006-2011 年の平均沈下速度は 1999-2006 年平均に比べて半分の約 4.5 mm/年に落ちている。現在の加速器棟の沈下は最大のところで約 2mm/年であるので、杭構造によってその差の分が支えられていると考えられ、今後も 5 年で半分になるような沈下を示すと推察する。盛土の沈下量と建屋の沈下量の差は今後増えていくと思われるので、建屋コンクリート躯体底盤部と地面の間に隙間ができると思われる。

- ・横方向に関して、盛土の特に小屋#45~#55 の 150m にわたる部分の北側への変位の速度は増している。一方この部分にあたる加速器棟は±2mm 程度の変位で大きく異なる。これは加速器棟のコンクリート躯体により杭の上部は全長 400m にわたって拘束されているので、途中の 150m という一部分の盛土の横方向変位は建屋へ影響が殆ど出ないと推察する。尚、盛土の横変位が盛土の底部分でも同じようになっているとすると、崖になっている岩盤部に底面を載せている杭がずれて、岩盤から離れてしまうということが想像できる。

今後とも同様の測量を継続し、XFEL 建屋変位を計測する予定である。

参考文献

- [1] H. Kimura, et al., “SPring-8 の 1km ビームライン BL29XUL での地盤変位”、本学会 2007 年報告集, p859.
- [2] H. Kimura, et al., “X線自由電子レーザー施設の設計と建設”、本学会 2008 年報告集, p580.
- [3] H. Kimura, et al., “XFEL の据付基準と床面沈下計測”、本学会 2010 年報告集, p1156.
- [4] Y. Maeda, et al., “XFEL 据付基準モニュメントの測量方法と結果”、本学会 2010 年報告集, p1151.

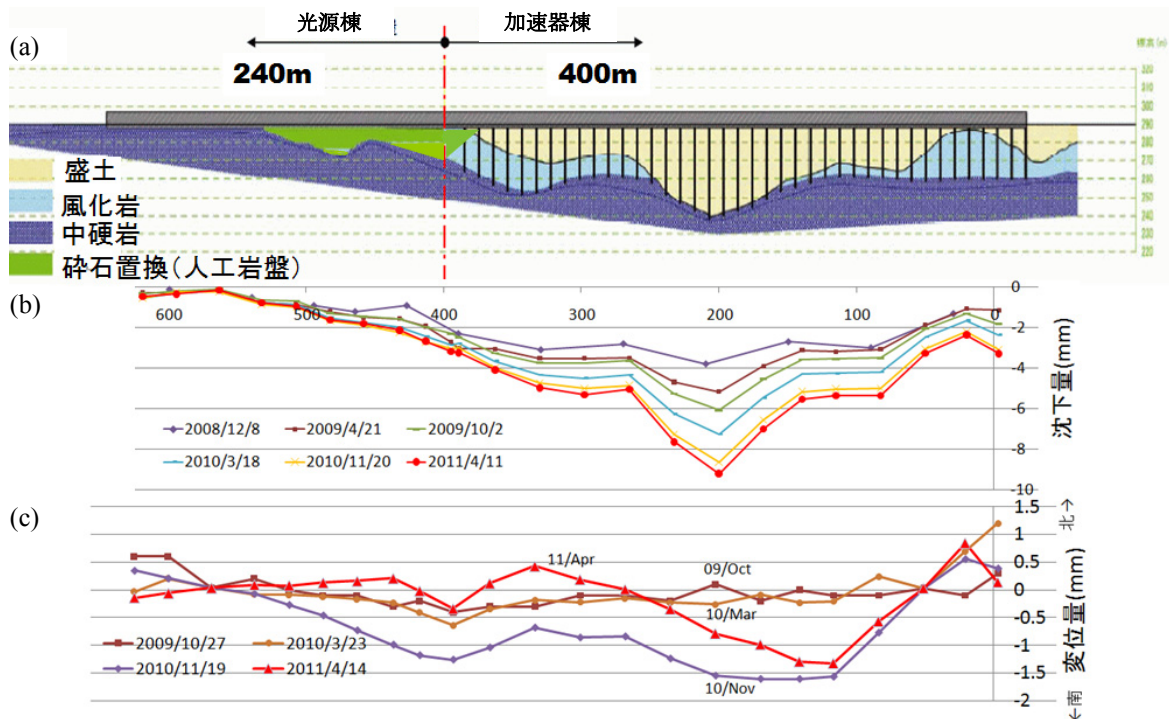


図 7 : (a):XFEL 建屋基礎部の構造 (側面図), 赤線より左の加速器棟は杭構造、右側の光源棟は直接基礎構造と高充填砕石置換構造。縦軸の目盛(破線間隔)は 10m、(b):2008 年 8 月を基準とした収納部床面のレベル変位、(c):2009 年 10 月からの収納部床面の横方向変位