

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FACILITY FOR XFEL

Hiroaki Kimura^{1,A, B)}, Takashi Otsuka^{A)}, Sanae Itakura^{A)}, Kazuo Ohshima^{A)}, Yoshihiro Sekiguchi^{C)}

^{A)} SPring-8 Joint-Project for XFEL/RIKEN, Kouto 1-1-1, Sayo, Hyogo, 679-5148

^{B)} SPring-8 Joint-Project for XFEL/JASRI, Kouto 1-1-1, Sayo, Hyogo, 679-5198

^{C)} RIKEN/Headquarters, Hirosawa 2-1, Wako, Saitama, 351-0198

Abstract

A facility for X-ray free electron laser (XFEL) is now under construction and will be completed at the end of fiscal year 2008. The machine part of the facility consists of an accelerator building and an undulator building, and its total length is 640m. The facility was designed for achieving high stability. We report that the fundamental structure, the concrete frame, and the air-conditioning method, etc. of the facility.

X線自由電子レーザー施設の設計と建設

1. はじめに

(独)理化学研究所は2010年度の完成を目指して、(財)高輝度光科学研究センターと協力してX線自由電子レーザー(XFEL)施設^[1]の建設を行っている。

XFELの線型加速器部と光源部が設置される全長約640mのXFEL施設は現在建設中で、2008年度末に竣工予定である。このXFEL施設を設計・建設するにあたり、装置設置部床の恒常的精度確保、装置収納部の外的環境からの影響の抑制等の加速器施設としての要求に答えるために、基礎構造や躯体コンクリート、空調方式等にどのような工夫を行ったかを報告する。

2. XFELの概要

XFELは長さ400mの線型加速器部と240mの光源部からなる。線型加速器部は幅4.5mの加速器トンネル内に設置され電子銃、バンチャー、バンチコンプレッサー部、Sバンド加速部、Cバンド加速部等で構成される。クライストロンや各種制御装置は、トンネル北側のクライストロンギャラリーに設置される。

光源部は幅17mのアンジュレータホールに設置さ

れ、上流のビーム振分部の後に5本ビームラインが平行に設置され、多数のアンジュレータとビームダンプ、そして実験ホールにレーザー光を導くためのフロントエンドがそれぞれのビームラインに設置される。

このアンジュレータ部ではX線と電子ビームを相互作用させるので、最終的には電子ビームを完全な直線を通す必要があり、その精度は120mにわたって30 μ m、任意の15mでは5 μ m以下である。その為、アンジュレータホール床部には特に高い形状安定性が要求される。

3. 基礎構造

XFEL施設は、実験ホールも含めると全長700mとなり、このような長い施設が建設できる場所としSPring-8の1kmビームラインの北側のエリアが選定された。このエリアは1/3が中硬岩の切土で、2/3が盛土となっており(最大盛土厚50m)、1990年に造成が行われた。将来、蓄積リングとXFELのビームを同時に利用する実験を行う事を考慮し、電子ビームの

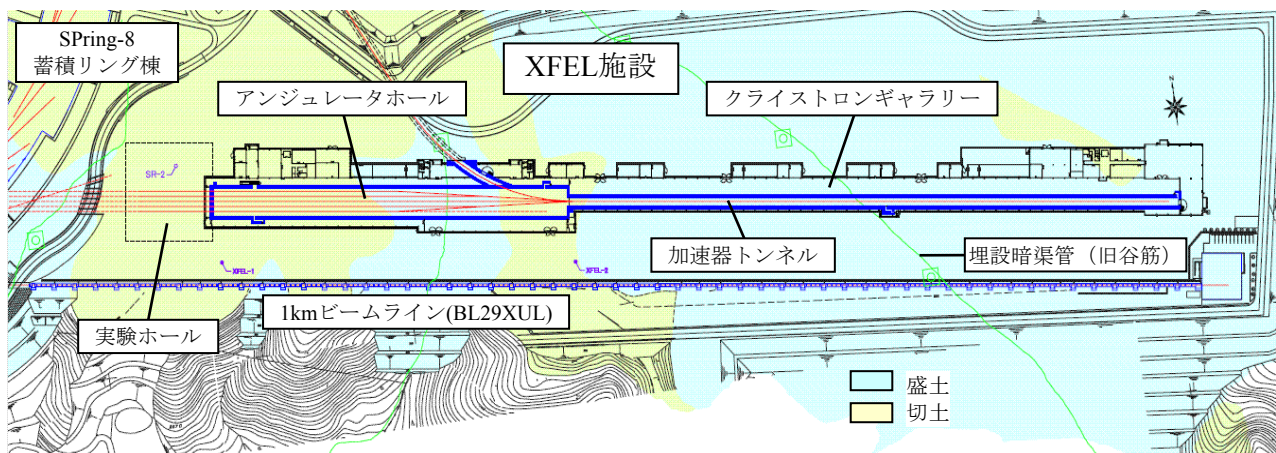


図1. XFEL施設の概略

¹ E-mail: kimura@spring8.or.jp

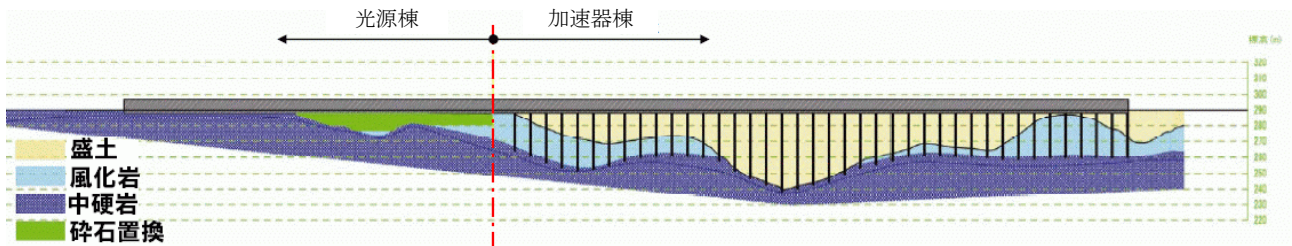


図2. XFEL建屋の地盤と基礎部の構造 赤線より右の加速器棟は杭基礎構造、左側の光源棟は直接基礎構造と高充填砕石置換構造。縦軸の目盛(破線)間隔は10m。

方向は西向きとした。これにより床安定性を要求する光源部は切土部エリア側になった。

3.1 地質調査・地盤変動調査

基礎形式を決める為に、まずボーリング調査をビーム軸に沿って11箇所で行った。これにより中硬岩層の深さを確定し、途中の盛土や風化岩の堅さ、地下水位等の情報を得た。

その結果盛土層には転石や礫などが混在し非均質であることがわかったので、実物規模の載荷試験を行った。盛土が最も厚い場所に約130kN/m²の荷重をかける5×5×6.5m²のコンクリートブロックを設置して沈下計測した結果、1ヶ月で数ミリ程度沈下し3ヶ月経過しても沈下は止まらなかった。

又、1999年に建設された1kmビームラインのビームパイプ位置を再測量し、建設後の8年間の地表面の変位を測定した^[2]。その結果、沈下量は盛土厚に比例しており、その量は盛土厚10mあたり1.5mm/年程度の沈下が起こっていることがわかった。

3.2 採用した基礎形式

載荷試験と1kmビームラインの変位測定から盛土層は支持層に適さないことが、ボーリング調査の結果から風化岩層も同様に適さないことがわかり、中硬岩層を本施設の支持層とする事とした。

加速器棟では支持層が深度20m以上にあるので杭基礎構造とし、直径1.6m程度の大口径場所打コンクリート杭を旋回式オールケーシング工法を用いて加速器トンネル部は7.5m間隔で2本ずつ、クライストロンギャラリーは15m間隔で1本ずつ打設することとした。

光源棟に関しては、中硬岩層が露頭する部分では

直接基礎にて中硬岩層にて支持し、露頭していない部分では盛土・風化岩層を薄層転圧した高充填砕石に置換した改良土層に直接基礎にて支持させることとした。この構造により光源棟は、初期沈下を除いて10年間で2mm以下の沈下と予測されている。

4. コンクリート躯体

加速器トンネルとアンジュレータホールは放射線遮蔽のために、それぞれ厚さ2mと1.5mのコンクリート躯体で覆われている。恒常的精度確保のため装置設置部床は、マスコンクリートとなる壁・天井躯体からの影響をできるだけ受けしない構造形式とした。また、建屋外皮の天井・壁部の柱部基礎とも独立構造になっている。

4.1 コンクリート

マスコンクリートとなる部分には、コンクリート発熱によるひび割れを抑制するために、低熱ポルトランドセメントを使用した。また、単位セメント・水量を少なくするために、最大粗骨材粒径を40mmとした。アンジュレータホールの壁・天井部においては、施工上最大粗骨材粒径を20mmとしたが、収縮低減型の混和剤を使用している。

また、装置設置部床は仕上がりの平坦さを厳しく管理するために、40cmの嵩上げコンクリート打設することにした。この嵩上げコンクリート部には伸縮目地を設けていないため、コンクリートに膨張剤を添加して、乾燥収縮によるひび割れを抑制している。

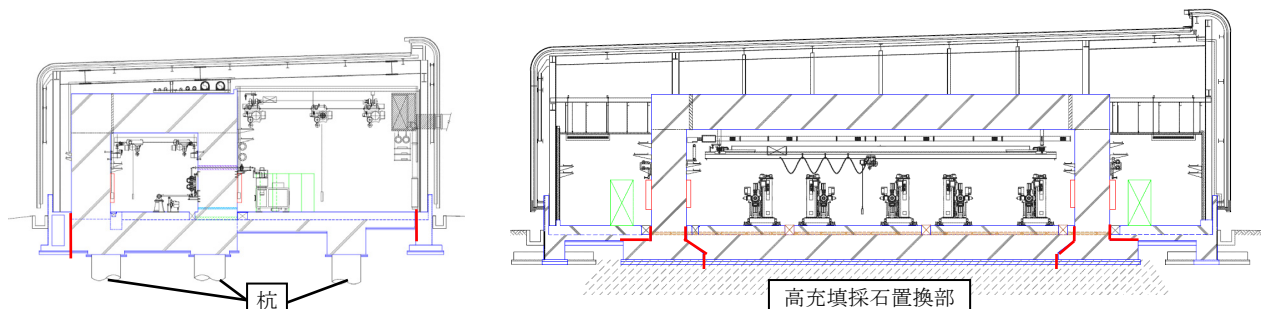


図3. 加速器棟断面図(左)と光源棟断面図(右) 赤線は縁切部

4.2 躯体構造

加速器トンネルの壁・天井は7.5mごとに縁切りされ、壁と床は構造上必要最低限の接続となっている。床については伸縮目地を設けない一体の構造となっている。

アンジュレータホールは床部基礎と天井の荷重がかかる壁部基礎を独立させている。壁・天井は加速器トンネルと同様に7.5mごとに縁切りされ、床については伸縮目地を設けない一体の構造となっている。

両棟の壁・天井の伸縮目地部は50mmの凸凹を設け、放射線遮蔽を考慮している。装置設置部床の底盤には伸縮目地を設けていないが、ひび割れ抑制のために22.5mごとに7.5mの後打ち部を設け、後打ち部は1ヶ月以上後に打設した。

4.3 装置設置部床面

加速器トンネル部の嵩上げコンクリート打設時に床表面レベルを目標精度±5mmで打設するために、設置部の両サイド(幅約1.5m)にL型アングルを±1mmの精度で設置し、そのアングルをガイドにして、必要エリアを直定規を使用しながら表面を均すという方法を採用した^[3]。現在、上流部60m分の打設を行ったが、打設後1週間での表面のレベルは-4～+3mmであった。

5. 施設空調方式

装置を一定の温度で安定して運転させるという観点から、加速器トンネル及びアンジュレータホールは外気を空調処理した空気を0.5回/h程度の風量で下流から上流に向けて流す方式とした。

外的要因による温湿度の変化や日射による輻射熱の影響を考慮し、加速器トンネルおよびアンジュレータホールには外皮を設けるダブルスキンとした。外皮にはダブル折板を使用し、断熱性能を向上させるため下折板と上折板の間にはグラスウールを充填している。加速器トンネルと外皮との空間は空調を行い、トンネル躯体が温度変化による変形を起こさないようにしている。アンジュレータホールの天井裏は空調を行っていないが、装置設置部床と壁・天井は構造的に縁切りされているため、温度変化による壁・天井躯体の変形が装置設置部床に影響を与えることはないと考えている。

クライストロンギャラリーの空調は、室温制御の安定性に優れたディスプレイメント(置換)空調

方式とした。一般的な空調システムのように速い気流がマシンを振動させることがないようにするため、機器発熱による自然対流に沿ってゆっくりと冷気を押し流す空調方式である。大風量・低風速により、機器に振動を与えることなく安定した温度環境を保つこととしている。

6. ユーティリティ

マシンに直接給電する交流電源を建屋建設工事にて設置することとした。マシン直近の場所にユニットごとに分電盤を設置し、分かりやすく管理しやすい構成としている。

またマシンを冷却し温度を一定に保つための装置冷却水設備も建屋建設工事にて設置することとした。高効率インバータターボ冷凍機を熱源として使い、従来システムの1/3程度のエネルギーで冷却可能とし、大幅な省エネルギーを図っている。

これらの分電盤と冷却水配管を建設工事で設置することにより、高密度に機器を設置するトンネル壁の取り合いが容易とすることができ、マシンの据え付け期間を半年程度短縮できる。

7. おわりに

10 μ mクラスの床安定性を要求するXFELにとって、建屋の安定性は、加速器の性能の一部とすることができる。我々建設チームは、精度がcm～数mmの土木・建築の世界と、mmやそれ以下の精度を要求する加速器研究者との橋渡しとなり、限られた予算と時間の中で選択してきた最善の方策を探しながら建設を進めてきた。

2008年8月現在、基礎部分・躯体底盤の工事は終了し、躯体側壁・天井部のコンクリート打設と外皮工事の一部を行っているところである。竣工後も加速器建設グループのメンバーとして安定なXFEL光発振実現に向けて、床の変形等の測定を行っていく予定である。

参考文献

- [1] T. Shintake, et al., “X線自由電子レーザー建設の現状”, in this proceeding.
- [2] 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.
- [3] H. Kimura, et al., “ミリメートル精度のコンクリート床面のレベル調整”, 本学会2005年報告集, p412.

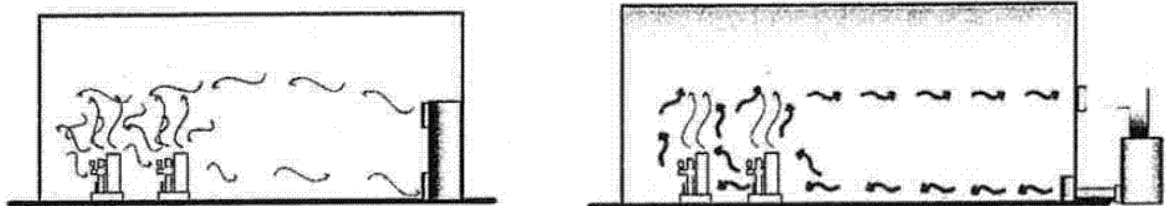


図4. 従来空調方式の概念図(左)とディスプレイメント空調方式概念図(右)