

DEVELOPMENT OF STABLE SUPPORT STAND USING CORDIERITE CERAMIC AND ITS VIBRATION MEASUREMENT

Yuji Otake^{1,A)}, Tsumoru Shintake^{A)}, Takamitsu Seike^{B)}, Kouichirou Nakaushiro^{C)}

^{A)}RIKEN Harima Institute,

1-1-1 Kouto, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148, Japan

^{B)}JASRI: Japan Synchrotron Radiation Research Institute (SPring-8)

1-1-1 Kouto, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198, Japan

^{C)}Daito Corporation

3-4-38, Matsubara, Izumisano, Osaka, 598-0045 Japan

Abstract

A stable ceramic stand has been developed in order to support the high-precision BPMs: beam position monitors and focusing elements along the undulator line in SCSS X-ray FEL project^[1], which is aiming at generating coherent X-rays in 1 wavelength before a year of 2010. The ceramic support made by cordierite material that has a very low thermal expansion coefficient of $\sim 2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{K}$. This is about ten times lower than that of steel, thus provides higher stability against temperature variation. Additionally, position adjustment screws were removed from supporting structure design, i.e., the ceramic stand will be directly placed on a very flat concrete floor, which is polished by a special grinding machine, and accelerator components will be directly mounted on the top flange of the stand without using level adjustment screws. This is for rigid mechanical structure, and provides lower mechanical vibration amplification and a stable positioning function against transverse forces due to various connections, such as vacuum pipes, electric cables, and cooling water pipes. In this paper, we report development and vibration measurement of the stable ceramic support, and show how stable the stand is as compared with a steel stand.

コージライト製安定架台の開発：振動測定について

1. はじめに

なぜ、セラミックを架台に使うのか。理研播磨研究所で建設が予定されている波長 1 の線自由電子レーザーを成功させるカギが、高精度のアライメントと機器の安定保持技術であることを思い起こすと、その必要性を再認識するのである。なんと、アンジュレータ区間に設置するBPMのアライメント要求精度は $\pm 4 \mu\text{m}$ である（3台のアンジュレータ区間を想定して、軌道の曲がりかが $\pm 4 \mu\text{m}$ 以内であることが線の増幅に必要であることがわかって）。故に、BPMや収束磁石の位置に影響する全ての不安定要素を排除しなくてはならない。

そのひとつが、室温変動にともなう熱膨張であり、例えば、通常行われるように鉄を用いた架台では、1m高さで1 Kの温度変化に対して $10 \mu\text{m}$ 以上の変動となり、線FELでの要求精度 $\pm 4 \mu\text{m}$ を超えて不可である。また左右の足の温度が1 K異なるとき、幅30cm、高さ1mの長方形の上端は左右に約 $30 \mu\text{m}$ も変位してしまう。そこで熱膨張係数が一桁も小さいコージライト材を用いた架台を開発した。また、従来の加速器架台の設計では、高さや左右の位置調整機構が設けてあり、通常ネジの頭を押し当てるような簡単な方式が取られる。ここがもっとも構造的に弱く、地面振動を増幅したり、外力によって容易に変位しがちである。調整機構をなくせば構造が強固になり安定となるはずである。これには、基礎の床面がフラットで、かつその高さが既知である必要がある。

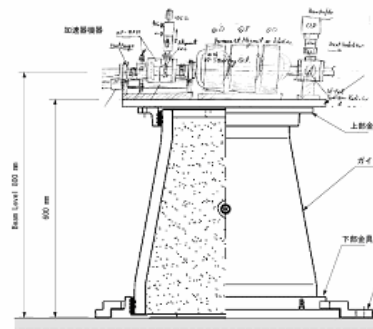


図1. コージライト架台と上部にのせたBPMなど。

そこで我々はコンクリート床研削装置^[2]を開発し、1m x 1m 広さのコンクリートの床面を水平度 $< 50 \mu\text{m/m}$ 、凹凸の高低差 $< 30 \mu\text{m/m}$ という極めてフラットな面に、あたかも石定盤のように仕上げる事が出来るようになった。これによって、セラミック架台から高さ調整ネジを取り除くことができた。また架台の底板に圧縮空気を送ることにより、エアパッドとして機能して左右の位置調整を行うことができるようになっている^[3]。その性能を確認するために、実験室のコンクリート床を研削して、コージライト架台を設置し、天板上に振動計を置いて、振動試験を行った。

¹ E-mail: otake@spring8.or.jp

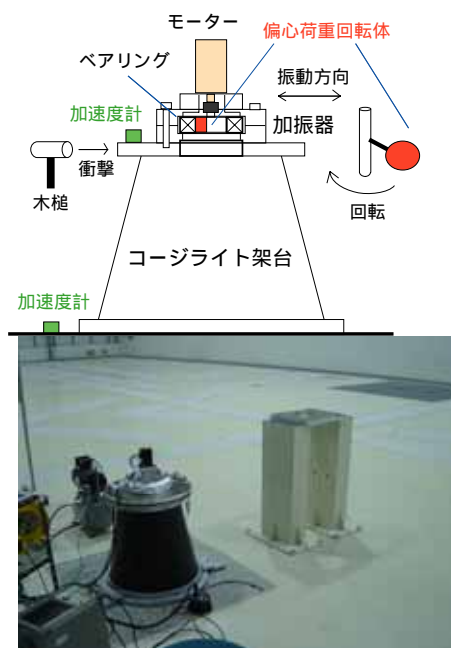


図2．コージライト架台(写真の左)，ステンレス支柱(写真の右)の振動特性取得実験の配置．上の図は，偏心荷重を使った回転型起振器をコージライト架台にのせた構成と，加速度計の配置図．

2．コージライト製安定架台の開発

図1に開発したコージライト製安定架台を示す(台形円柱，上部が 0.35m^{ϕ} で下部が 0.5m^{ϕ} ，高さが 0.54m)．このコージライト円筒は，火力発電所のばい煙処理向け静電集塵器の高電圧碍子であり，そこでは，高温にさらされる環境でセラミックに割れを生じないように，熱膨張の小さいコージライト磁器が使用されてきた．その高電圧碍子がもともと台形断面をしており，安定性に好都合ということでそのまま使用している．上下のフランジは，鉄の鋳造品であり，セメントによって固定している．この技術は長年高電圧の懸垂碍子にて使用されており，強度，耐久性ともに信頼性がたかい．高純度のコージライト(Iolite, $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$)は深い青色であり， 1200°C までの熱膨張が著しく小さく 0.15×10^{-6} しかない(石英よりも小さい)．これは鉄の100分の1である．しかし工業的に使用されるコージライトは純度がやや低いために，熱膨張は 1×10^{-6} 前後となる．架台用のコージライト円筒を加熱試験した測定結果は $\alpha < 2 \times 10^{-6}$ であった^[4]．これでも一桁近く鉄よりも小さい．

コージライト円筒の内部には，振動減衰と重量付加のために，珪砂が封入されている．円筒外周は不慮の衝突破損防止のために，建屋外装用のウレタンゴム材の壁面防水化粧材(黒色)を塗布している．これは断熱の役割も担っている．図1に示すように，架台の上に天板を載せて，ここに直接に加速器部品を搭載する．床研削装置にてコンクリート床面のレベルと水平度を確保することで，架台から高さ調整機構を取り除いた．

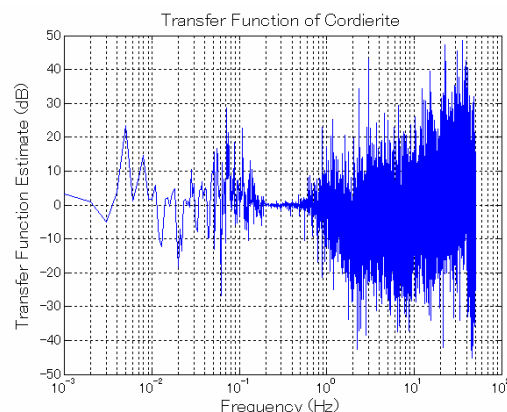


図3．コージライト架台の振動伝達関数．高感度地震計CMG - 3Tの2台を架台の上下に置き，地動測定を行なった．2台のデータから伝達関数を計算した．

3．コージライト架台の振動特性

外界で励起される不必要な振動で加速器を揺らさないためには，コージライト架台には次のことが要求される．1. 外力で妙に振動したりしないように高い剛性が必要である．2. 0.1Hz 以下の振動は，主に温度変化に依存するので線膨張率が低い必要がある．3. 外力を素早く減衰する必要がある．以上の観点からコージライト架台を評価するために，図2に示すような実験配置で振動特性を取得した．比較のために，通常の加速器で使用しているステンレス支柱(SUS304)の2本を一直線に並べてつけた構成で，同様の実験を行った．支柱のサイズは，コージライトとほぼ同じ高さで，一辺が約 0.2m 角である．

実験項目は，a.1の架台が外力で不必要な振動をしてないかを確かめるために，架台の上と地面にCMG - 3T(イギリス，グラルプ社)広帯域・高感度地震計を設置することで地動を測定して，相互のデータからコージライト架台の伝達関数を計算した．その結果を図3示す．伝達関数は，ほぼ 0.01Hz から 1Hz までの周波数で1近傍を示しており，架台で不必要な振動が増幅されてないことが判る．若干 1Hz より上で1からのずれがあるが，これは測定に使用した2つの地震計での同一ノイズの測定結果から，相互の特性の個体差が影響していると思われる．b.次に上記の2は，コージライトの線膨張係数が $2 \times 10^{-6} / \text{K}$ であることから判るように，問題ない．その結果として，図1の測定の 0.1Hz 以下の振動がコージライトの上下で増幅されていない．ちなみに今回使用した地震計は，測定した周波数帯域で 10^{-10}g 以下の感度があり， 0.1K の温度変化のコージライトの伸び縮みも十分検出できる．c.3の減衰であるが，この架台は円筒内部に砂を詰めており，振動の減衰特性を向上している．図4には，架台上部を木槌で叩いた場合の，台の上部に設置した低感度加速度計(NEC三栄9G201S)の測定波形を示した．加速度計は，木槌で叩いた場所の近傍に設置してある．振動は3山くらいで無くなっており，減衰係数は 0.16 である．

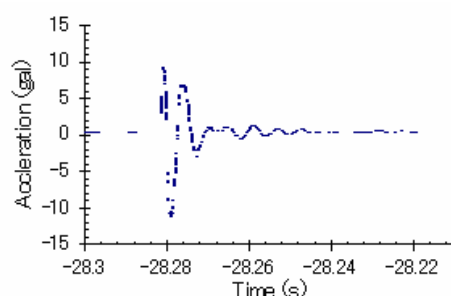


図4．コージライト架台を図2にあるように木槌で叩いて、架台上部の低感度加速度計で計った衝撃応答．

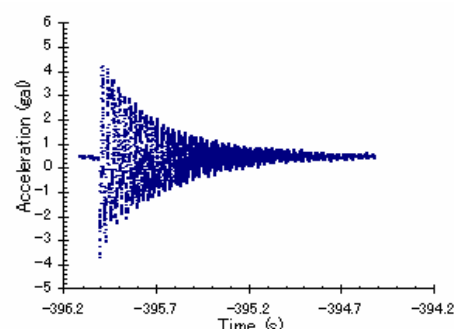


図5．ステンレス支柱の上部を木槌で叩いて、架台上部の加速度計で計った衝撃応答．コージライトの100倍以上．

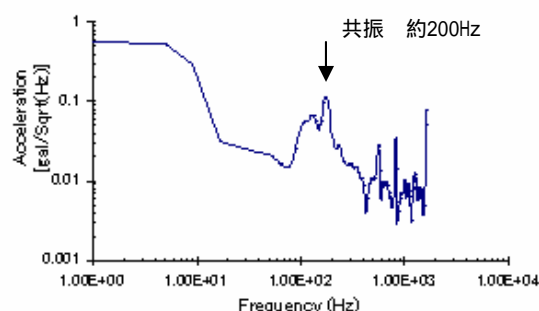


図6．図4のコージライト架台の衝撃応答を周波数解析したもの．200Hzくらいに共振がある．モデル計算での共振周波数は240Hzで、調和的である．

図5は、ステンレス支柱での同じ実験で得られた波形を示す．コージライトの場合よりも100倍以上長い減衰時間である．コージライトの衝撃応答の周波数解析をしたものを図6に載せる．コージライト架台の共振周波数の測定値は200Hz近傍である．架台を真ん中の高さの径の円柱に近似したモデル計算では、共振周波数が234Hzとほぼ調和的な値であった．

次に我々は、コージライト架台の上部に偏心荷重をモータで回す起振器^[5]を取り付け、同じく架台の振動応答を測定した．図2の写真の架台上部には、起振器が取り付けられている．その結果は、コージライト架台に28Hz、730Nのサイン波の回転力を加えた時に、28Hzのピークで数Hz幅の、きれいなスペクトル振動が励起された（図7）．図中の高調波は、通常の機械構造なら必ずするので、問題としない．しかしながらステンレス支柱は、

同一周波数、力を加えたときに、10Hz程度の幅広い振動スペクトルが励起された．重さが軽く剛性が低いことも手伝って、極度に非線形な応答を示した（図8）．

4．まとめ

今まで述べたコージライト、鉄架台の振動実験の結果から、コージライト架台がステンレス（鉄）支柱と比較して、いかに剛性が高く振動のダンピング性能が良いかを理解いただけると思う．またコージライト架台が、730Nという大きな力を加えた時のステンレス支柱のようなとんでもない振動をしないことは、剛性の高さを示している．FEL加速器のように振動の嫌う装置では最適の架台である．

参考文献

- [1] 新竹 積，他，「理研SCSS X線FEL計画の現状」，本研究会
- [2] 新竹 積，他，「床面研削装置の開発」，本研究会
- [3] 渡川和晃，他，「重量物の精密位置決め用エアパッド開発」，本研究会
- [4] T. Saeki et al. Development of a New Support-stand with High Thermal-stability for the SCSS Project, Proc. APAC2004, Korea.
- [5] 大竹雄次，他，「荷重変更型精密制御震源の開発と地下展開」，月刊地球，2004．

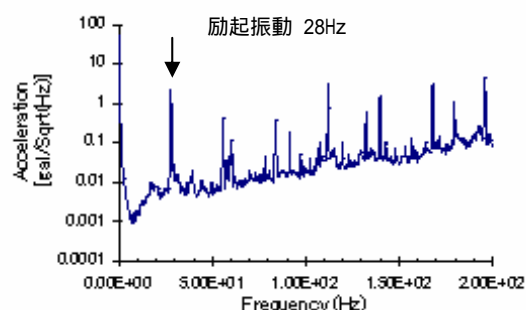


図7．コージライト架台の上部に回転型起振器を設置して、28Hzの振動を加えたとき加速度周波数応答（架台上部の加速度計で測定）．

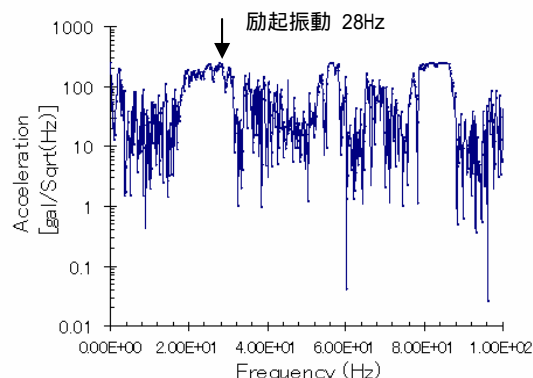


図8．ステンレス支柱の上部に回転型起振器を設置して、28Hzの振動を加えたとき加速度応答（架台上部の加速度計で測定）．極度に非線形な振る舞いをしている．