

フーコーの振り子の製作と新規支点部構造の提案

Development of Foucault's pendulum and proposal of a ball joint type pivot point

○木村太紀¹, 菊本春雄¹, 植松桃子², 澤紗音², 平山泰行³, 浅井朋彦⁴
Taiki Kimura¹, Haruo Kikumoto¹, Momoko Uematsu², Suzune Sawa², Yasuyuki Hirayama³, Tomohiko Asai⁴

A large Foucault pendulum has been developed in Nihon University Daiichi Junior & Senior High School. The developed Foucault's pendulum consists of a stainless steel wire of 21 m in length and a spherical weight of 25 kg. Since the air resistance depends on the speed, the long wire has maximum length to fit in the central part of the spiral staircase in an eight-story building to realize long-term vibration. Initially, a knife-edge type pivot point was employed to hang the weight to reduce friction. However, the knife-edge type pivot point might have anisotropic friction resistance, therefore, in this study, the quantitative investigation of direction dependence of the swing plane of Foucault's pendulum. Also, a ball joint type pivot point has been proposed and developed for isotropic swing of the Foucault's pendulum.

1. はじめに

フーコーの振り子は、1851年にフランスの物理学者であるレオン・フーコーが地球の自転の証明をする際に用いたものである[1]。地球上に置かれた振り子には、自転によるみかけの力であるコリオリ力がはたらくため、振動面は徐々に回転する。この振動面の回転は振り子の設置された緯度に依存し、東京で1時間あたり8.75°とわずかなものであるため、振動面の回転を観測するためには長時間減衰しない振動が求められる。本研究では、高大連携教育活動の一つとして、日本大学第一高等学校の校舎内にある螺旋階段を利用して制作されたフーコーの振り子[2]について、振動面の回転の評価を行い、また新たな支点部の提案を行った。従来から使用しているナイフエッジ型支点部は、摩擦により抵抗が増えることや、振動方向により摩擦が異なることが懸念されていた。そこで今回は、ナイフエッジ型支点部の摩擦抵抗の振動方向依存性が、振動面の回転にどの程度影響があるのかを定量的に調べた。また、実験により新たに得られた課題について、その解決方法を考察した。

2. フーコーの振り子の製作

実験対象であるフーコーの振り子は、長さ21mのステンレス鋼製ワイヤー、質量25kgのステンレス鋼製の錘を用いて製作されている。空気抵抗は速度に依存することから、ワイヤーを長くし振動周期を大きくするほどこれを低減することができる。また、錘の質量を大きくすることで空気抵抗やワイヤーの影響を相対的に小さくし長時間振動させることができる。

支点部は点で錘を支えることが可能なナイフエッジ型支点部とした。

(図1)ただしこの支点部は、構造上摩擦抵抗に異方性があると考えられる。

3. 振動面回転角の測定

これまでの活動で、日本大学第一高等学校のフーコーの振り子には、錘の振動部直下に透明なステージが設置されており、真下から錘の軌跡を観察できることを特徴とする(図2)。振動面回転角の測定は、振動開始から20分間30秒毎に、振り子下部のネジ穴に取り付けたレーザーポインターの光をもとに振動の最上点を模造紙に記録して行く。実験は、北東・南西方向および北西・南東方向の2方向について行なった。解析では、同周期の振動の



Figure 1. Knife edge pivot point



Figure 2. Transparent observation stage

最上点同士を結んだ線を振動面とみなし、異なる観測時間の振動面同士のなす角を振動面回転角 θ_{ex} とした。振動面回転角 θ_{ex} は、図 3 に示す直角三角形を描き、(1)式を用いて求めた。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{r}{x} \quad (1)$$

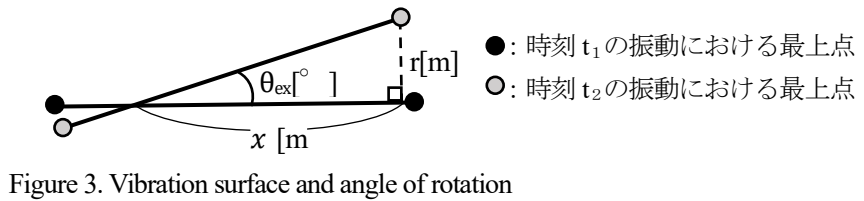


Figure 3. Vibration surface and angle of rotation

3. 測定結果及び考察

結果を図 4 に示す。横軸が観測開始からの経過時間、縦軸が振動面回転角であり、最小二乗法を用いて線形近似を行なった。いずれの場合においても時間の経過とともに回転角が増加する傾向がみられた。また、振り子の運動は単純な振動ではなく複数の振動モードが重なって複雑な軌道を描いており、各時刻における測定値は理論値を中心にばらついているが、両振動方向ともに線形近似は理論値とよい一致を示した。また、各方向に振動させた場合の理論値との相対偏差は、数 % に留まった。

ナイフエッジ型支点部の振動方向依存性を調べるため、振動方向を変えて実験を行なった。観測の結果、いずれの場合においても短い周期の振動が重なり振動面は安定しなかったものの、線形近似が理論値と一致したことから、振動面の中心は理論的に予測されるような回転をしていると言える。

振動面が安定しなかった原因について、ナイフエッジ型支点部の構造上の影響、振動位置による気流の差が影響する可能性もある。特に、気流による影響は、振り子が建物の出入り口に近い螺旋階段に設置されていることや、表面積が大きい撚り線のワイヤーを吊り線に用いていることから大きいと考える。また、各時刻の測定値が理論値を中心に振動することから、振動面回転角の評価方法についても検討する必要があると思われる。そして、これらの結果を踏まえ、ナイフエッジのような構造が原因によって発生する、摩擦からの影響が少ない球体支点部を考案した (Figure 5)。これは、摩擦が振動方向に依存せず、接触面積が大きくなり摩擦が一定になることが期待される支点部である。

4. まとめ

今回の実験から、振動面の回転に短周期の振動が重なっていることが観測され、またそれはナイフエッジ型支点部の構造による可能性が示唆された。今後は、新たに考案した球体支点部について同様の実験を行い、振動面の回転角や安定度を調べる予定である。また、振動面が安定しない原因として気流の影響を評価する計画である。さらに、振動面回転角の評価方法についても再度検討したい。

5. 参考文献

- [1] アミール・D・アグゼル (著) 水谷淳 (訳) 『フーコーの振り子 科学を勝利に導いた世紀の大実験』 (早川書房、2005 年)
- [2] 浅井朋彦: 「フーコーの振り子・高大連携プロジェクト」, 理工サーキュラー Vol.47, No.174, p.4 (2017)

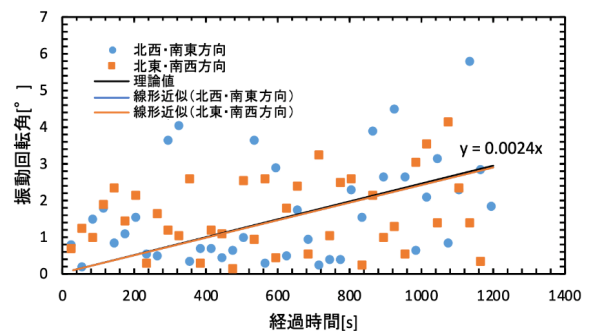


Figure 4. Time change of vibration rotation angle

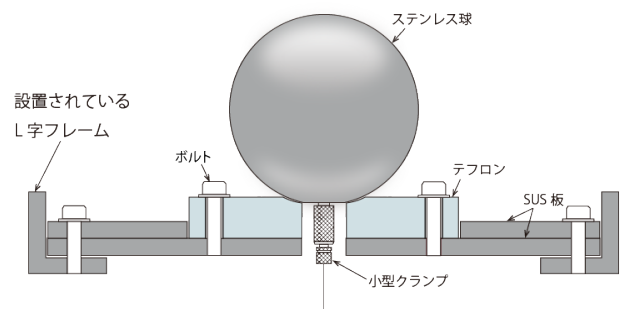


Figure 5. Ball joint type pivot point