

現代技術設計㈱ 正会員 中野和雄
 関東学院大学 正会員 古谷寅雄
 関東学院大学 正会員 高橋憲雄

まえがき

鉄道に対する多くの要望を工学的に要約すると、スピードアップと騒音振動公害対策の二点になる。これらを実現するためには、鉄道線路を列車が走行することによって起る道床振動の低減対策が不可欠となる。本論文では、弾性模型軌道における実験から、鉄道のスピードアップと騒音振動公害の低減について、二つの技術的対策を提案するものである。それは、走行列車の軸重の軽減と、軌道のまくらぎを増設してまくらぎ相互を密着させた密着まくらぎ軌道を用いることである。

1. 弾性模型軌道装置¹⁾

弾性模型軌道は、高さ1.95 m、幅3.04 m、長さ29.6 mのわくで支えられている。その中の、縦1.12 m、横1.70 mの空間に、わくに取り付けた固定板に支持されたフックボルトに通した径8 mmの丸鋼で、縮尺10分の1の模型軌道が、まくらぎごとに、両端で上下左右四方向に鋼鉄製コイルばねで引っ張ってある。この鋼鉄製コイルばねは、道床に相当するもので、ばね常数0.0018 kg/cmのものをを用いた。

模型軌道上を走る模型列車は、二軸車で、軸距離220 cm、車輪径8.60 cmであり、軸重は車両中央部の荷重を調節することによって5.45 kg、6.65 kg、8.95 kgの三種類に変化できるものである。なお、車輪と車体とは、ピボット軸受を用い、車両条件を一定なものとした。

模型車両の変速した速度を測定する速度計は、光電リレー装置および電接時計からなり、電磁記録装置によって測定した。列車速度は、模型車両が振動記録装置のピックアップを通過する前後1 mの平均速度を求めた。

道床振動の状態を求めるため、軌道中央部に記録装置のピックアップを取り付け、この位置における軌道振動変位を測定記録した。測定装置は、模型軌道の上下振動変位を測定するもので、レール下のまくらぎ中心部に取り付けたピアノ線を導いて、上下振動変位をそのまま記録装置に伝えるようにしたものである。記録装置は、水平に張られたピアノ線に取り付けた記録用ペンにより、記録用回転ドラム上の用紙に、軌道の振動変位が記録されるようになっている。

2. 実験方法

2.1 列車の軸重と上下振動の実験方法

列車の軸重を、三種類に変化させ、列車速度と道床振動の関係、ならびに軸重の増減による道床振動への影響を究明するために、広範囲の列車速度(5.61～151.5 cm/秒)で、軌道の上下振動を測定した。この場合、まくらぎ間隔は22.0 cmとした。なお、弾性模型軌道(レール道床系)に、模型車両が乗っているときの軌道の自由振動数は、軸重5.45 kgのとき181 Hz、軸重6.65 kgのとき173 Hz、軸重8.95 kgのとき162 Hzであった。

2.2 密着まくらぎ軌道での実験方法

密着まくらぎ軌道による道床振動の低減効果を究明するために、まくらぎを相互に密着させ敷設した軌道を用いて、その上下振動を測定した。22.0 cm間隔にまくらぎを設置した軌道との比較を容易にするために、軸重は6.65 kgとし、単位軌道重量ならびに、ばね常数は等しく製作した。なお、模型車両の速度範囲は6.96～142.9 cm/秒である。

3. 列車速度と道床上下振動の関係

弾性軌道上を車輪が等速度で走行する場合、軌道に起る上下振動変位を測定して、道床に生ずる振動の原因、およびその性質を究明するために行った模型実験の結果、次のごときことが明らかとなった。

(1) 道床に生ずる振動の一つの原因は、車輪がまくらぎ上を通過することによって生ずる強制振動である。(2) 他のもう一つの原因は、軌道の有する減衰をもった自由振動である。なお、強制振動により道床に生ずる小周期振動変位の最大振幅、およびその上方振動加速度と列車速度との関係は、近似的に次のとき関係式が成立する。(3) 小周期振動変位の最大振幅 $a = a_0 / \sqrt{n^2 s^2 / m^2 \pi^2 v^2 + (k^2 s^2 / 4 m \pi^2 v^2 - 1)^2}$ (4) 小周期振動の上方振動加速度 $\alpha = 4 \pi^2 a_0 v^2 s^2 \sqrt{n^2 s^2 / m^2 \pi^2 v^2 + (k^2 s^2 / 4 m \pi^2 v^2 - 1)^2}$ ここで、 m = 有効軌道質量と車輪質量 $g \text{ 秒}^2 / \text{cm}$ 、 n = 減衰係数 $g \text{ 秒} / \text{cm}$ 、 k^2 = 基礎係数 g / cm 、 a_0 = 常数 cm 、 s = まくらぎ間隔 cm 、 V = 列車速度 $\text{cm} / \text{秒}$ である。

4. 走行列車の軸重と道床上下振動の関係

弾性軌道上を、軸重の異なる列車が等速度で走行する場合、軌道に起る上下振動変位を測定して、列車軸重の変化が道床振動におよぼす影響を究明するために行った模型実験の結果、次のときことが明らかとなった。(1) 軌道の自由振動数は、軸重の増加に伴って減少し、その関係式は、 $f = 1 / 0.0185(W + 24.4)$ 、ただし f = 軌道の自由振動数 Hz 、 W = 列車軸重 kg である。(2) 共振列車速度は、軸重の増加に伴って低下し、その関係式は、 $V_r = 1 / 0.000842(W + 24.4)$ 、ただし V_r = 共振列車速度 $\text{cm} / \text{秒}$ 、 W = 列車軸重 kg である。(3) 小周期振動の変位振幅は、列車速度と小周期振動の変位振幅に関する実験式の比較によって、軸重の増加に従って大きくかつ顕著に表われることがわかった。(4) 小周期振動の上方振動加速度は、列車速度と小周期振動の上方振動加速度に関する実験式の比較によって、軸重の増加に従って大きく表われ、上方振動加速度の差は、列車速度が速くなる程大きくなることがわかった。

5. 東武営業線における道床振動と許容列車速度

模型軌道における実験結果と、東武鉄道伊勢崎線春日部駅付近で行われた道床振動実験結果をもとに、実際の鉄道線路を、軸重の異なる列車が走行した場合の道床振動加速度比²⁾と、許容列車速度をそれぞれ計算によって求めた。その結果を、軸重との関係で整理すると、次のときことが明らかとなった。(1) 列車速度 $100 \text{ km} / \text{時}$ において、道床振動加速度比 k と列車軸重 $W(\text{t})$ の間には、 $k = 0.028w$ なる比例関係が成り立つ。(2) 同一条件下の線路において、列車の許容速度 $V_s(\text{km} / \text{時})$ と列車軸重 $W(\text{t})$ との関係は、軌間 1067 mm で直角継ぎ目のない線路では、 $V_s = 62.1 + 1609 / (W + 2.81)$ であり、直角継ぎ目のある線路では、 $V_s = -80.7 + 3996 / (W + 10.6)$ である。

6. 密着まくらぎ軌道による道床振動の低減効果

密着まくらぎ軌道を車輪が等速度で走行する場合、軌道に起る上下振動変位を測定して、その道床振動の低減効果を究明するために行った模型実験の結果、次のときことが明らかとなった。密着まくらぎ軌道に生ずる上方振動加速度は、同軸重 (6.65 kg) の車両が、 22.0 cm 間隔のまくらぎを持つ軌道を走行した場合に生ずる上方振動加速度と比較すると、共振列車速度 ($38.1 \text{ cm} / \text{秒}$) 付近で 53% 、それ以上の実験列車速度の範囲では、平均 23% 低減する。

あとがき

道床振動は、列車軸重の軽減に比例して低減し、また密着まくらぎ軌道とすることによって 20% 低減でき、スピードアップは、例えば軸重を 30% 軽減することによって、平均 30% の向上が可能であることが明らかとなり、本研究の目的は達成された。

なお、実験については、運輸省交通安全公害研究所の川島宏氏ならびに関東学院大学の中村久人工学部助教授には、絶大な協力を賜り、その厚意に心から謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 中村久人・古谷寅雄・高橋憲雄：直線区間のレール重量が道床振動に及ぼす影響について，土木学会 25 回学術講演会概要集，1970 年 11 月
- 2) 高橋憲雄：スピードアップと脱線，丸善，1957 年 3 月 10 日