

列車通過時のレール変形から軌道システムを評価する試み Evaluation of Track Systems Using Rail Displacements while LRV Running on Tracks.

○濱田 卓¹, 井出 夏海², 由川 響³, 中山 晴幸⁴*Suguru Hamada¹, Natsumi Ide², Hibiki Yoshikawa³, Haruyuki Nakayama⁴

Abstract: Railway companies have to measure rail profiles by a track inspecting apparatus or a manual inspection. It is necessary to measure at least once a year to keep good riding quality. The inspections are carried out under the unloading condition of wheel load on track systems. In this research, versed sine displacements are measured by the laser sensor when LRV is running on the track especially on embankments and soft ground to evaluate track performance. This is the fundamental research to evaluate of track system performance by considering wheel loads.

1. はじめに

軌道の主な管理手法として軌道変位の手検測や軌道検測装置を使用する方法があるが、これらの目的は乗り心地に影響するレールの変位を把握することであり、実際の荷重を負荷した状態では行われていない。

本研究では、路床、路盤、バラスト、枕木、レールからなる軌道構造全体を軌道システムとしてとらえ、盛土や軟弱地盤上を車両が通過する際のレールの相対変位を計測することで、軌道システムの力学的特性を評価する。富山県高岡市及び射水市で鉄道を運行する「万葉線株式会社」にご協力をいただき、営業路線上での定位置の計測を行う。列車荷重を考慮することで、軌道の健全度を安価・簡便に評価できるシステムを構築するための基礎的研究である。

2. 研究方法

輪荷重による軌道や路盤への影響を把握するため、レールに相対変位センサを設置し、車両が通過する前後 5 秒間のデータを自動記録する (Figure 1)。計測手



Figure 1. The laser sensor to measure versed sine displacements

法は、計測器の中心に据え付けられた非接触型の変位センサによって左右の基準点との高低差を計測することで、1m 弦正矢法による荷重作用時のたわみ (高低変位) を求めるものである。荷重が作用する時の微小区間の変位を対象とすることで、実際の運行時と同様の、移動荷重による軌道や路盤への影響を知ることができると考えられる。

正矢法で計測したレールのたわみの比較対象として、連続弾性支持モデルによるレールのたわみを計算した。連続弾性支持モデルはレールを連続的に弾性支持されたはりとして仮定するもの (Figure 2) で、位置 x での変位 y は、輪荷重を W 、レールのヤング率を E 、レールの断面二次モーメントを I_x 、単位支持ばね係数を k とおいて、式(1)、(2)により求められる^[1]。これを相対変位に変換して理論解とした。

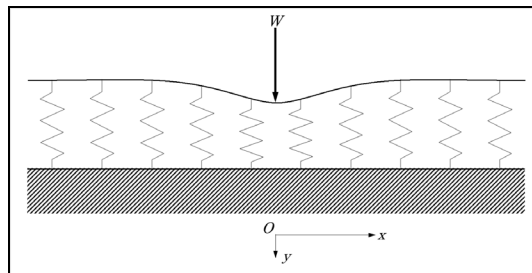


Figure 2. The continuous elastic support model

$$y = \frac{W}{8EI_x \beta^3} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x) \quad (1)$$

$$\text{ただし、} \beta = \sqrt[4]{k/(4EI_x)} \quad (2)$$

計測するレールのたわみは列車が通過していくときに発生するものであり、連続弾性支持モデルにより静力学的に求めたたわみとは異なるものであるが、微小区間の計測とすることでこれを近似できるものと考え

1 : 理工・学部・交通, 2 : JR 西日本, 3 : 藤沢市, 4 : 日大理工・教員・交通

られる。また、列車が走行する際に発生する衝撃荷重の影響を最小限にするため、レールの継ぎ目から十分に離れた箇所で計測するなどの注意が必要である。

単位支持ばね係数を種々に変えた理論解と計測したレールのたわみを比較することにより、軌道システムの力学的特性（変形係数）を推定する。

軌道システム全体の変形係数が正しく推定できたかを確認するために、コーンペネトロメータを使用した試験を実施する。コーンペネトロメータは、主に軟弱地盤におけるトラフィカビリティ（建設機械等の走行性）を確認するために用いられ、その指標としてコーン指数 qc が算出される。なお、軌道の直下はバラストがまかれており試験ができないため、線路脇にて貫入試験を実施する。求めた qc から支持地盤の変形係数を推定しこれにバラスト強度を考慮することで、レールの相対変位から推定した軌道システムの力学的特性が正しいものであるかを確認する。

3. 解析結果

井出^[2]は、海王丸軟弱地盤部（越ノ潟駅～海王丸駅間）および米島口盛土部（能町口停留場～米島口停留場間）においてレール変位の計測を実施し、理論解との比較により解析を行った。その結果、以下の点が明らかになった。

- ・海王丸軟弱地盤部の軌道全体の変形係数は約 $50\text{MN}/\text{m}^2$ である (Figure 3)。
- ・米島口盛土部の軌道全体の変形係数は約 $40 \sim 50\text{MN}/\text{m}^2$ である。

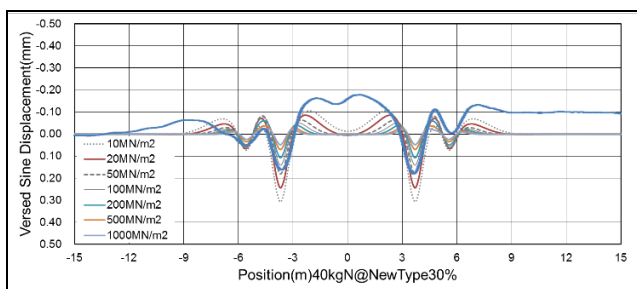


Figure 3. The versed sine displacement in Kaiomaru soft ground section

また、同地点においてコーンペネトロメータ貫入試験を実施し解析した結果、以下の点が明らかになった。

- ・海王丸軟弱地盤部のコーン指数 qc は、最大で $1.25\text{MN}/\text{m}^2$ （深さ 80cm）、最小で $0.3\text{MN}/\text{m}^2$ （深さ 20cm）である。
- ・米島口盛土部のコーン指数 qc は、最大で $1.6\text{MN}/\text{m}^2$ （深さ 40cm）、最小で $0.5\text{MN}/\text{m}^2$ （深さ 10cm）である。

- ・いずれの地点も LRV が走行可能な qc を超えた値となっているが、特に海王丸軟弱地盤部は輪重を支持できる限度に近い値であるため注意が必要である。
- ・貫入試験の結果と相対変位から得られた変形係数の値を比較すると、バラストの応力分散効果を考慮すれば、相対変位から軌道システム全体の力学的特性をほぼ推定できた。

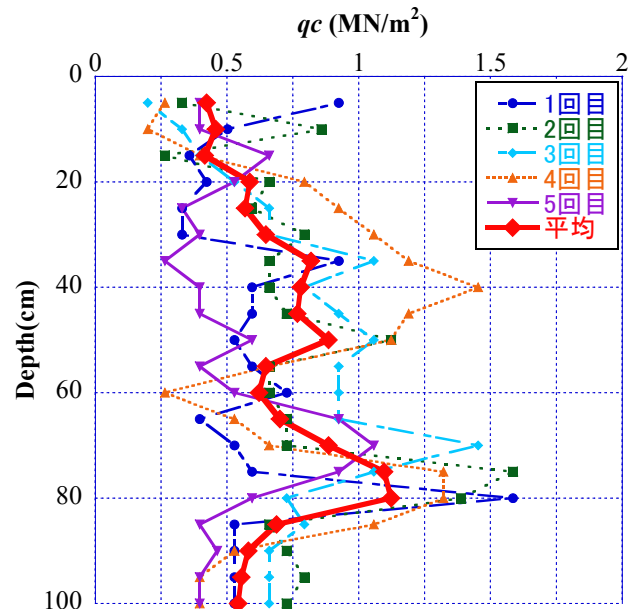


Figure 4. The corn index in Kaiomaru soft ground section

本年度は海王丸軟弱地盤部および内川盛土部（東新湊駅～中新湊駅間）において予備調査を実施し、同地点におけるコーン指数が明らかとなった (Figure 4)。なお、レールのたわみデータにはエラーが出ており、計測機器の材質等を再検討する必要がある。

4. 今後の課題

今後は予備調査の解析を進めるとともに、計測地点を増やして本調査を行う。また、万葉線株式会社で実施された軌道検測結果や車両上加速度計測による軌道健全度評価と比較して総合的に軌道システムの評価をするために、計測箇所のキロ程を把握するとともに、各種計測結果を視覚的に表示するシステムを構築する必要があると考えている。

5. 参考文献

- [1] 佐藤吉彦：「新軌道力学」，鉄道現業社，pp.15-20, 1997.
- [2] 井出夏海：「レールの相対変位から軌道システムの力学的特性を評価する試み」，日本大学理工学部社会交通工学科卒業論文，2014.