「センシングまくらぎ」を用いたまくらぎ下面とバラスト砕石層との接触荷重の測定

〇[土] 浦川 文寛(鉄道総研)
[土] 河野 昭子(鉄道総研)
[土] 名村 明(鉄道総研)

Title English

OFumihiro Urakawa, (RTRI) Akira Aikawa, (RTRI) Akiko Kono, (RTRI) Akira Namura, (RTRI)

It is very important to measure the realities how the train load is transmitted to the ballast layer through rail, track pad, and sleeper in detail to clarify the mechanism of the track deterioration. This paper describes a newly developed technique, using a special sensing sleeper, for measuring the transmission characteristic of dynamic load in a contact part on the sleeper bottom and the ballast layer and reports the measurement results of using it in the experiment track.

キーワード:バラスト軌道,まくらぎ下面圧力,軌道動的測定

Key Words : ballasted track, Pressure on sleeper bottom plane, Dynamics measurement

1. はじめに

営業線の多くは、路盤とまくらぎの間に道床バラストと呼 ばれる砕石を敷き詰めたバラスト軌道である.バラスト軌 道は、排水性、施工性、修繕のしやすさ等多くの長所を持 つ反面、列車走行による繰返し荷重が長期的に作用するこ とにより道床部の塑性沈下が累積する「軌道破壊」という 劣化現象が避けられず、その維持管理が課題となっている. 道床内部における劣化のメカニズムを解明するには、列車 走行による荷重が、レール、軌道パッド、まくらぎを介し、 まくらぎ下面とバラスト砕石層との接触部分において、ど のようにして伝達されるかの実態を詳細に測定することが 重要である.本発表では、まくらぎ下面とバラスト砕石層 との接触点における動的荷重の伝達特性を測定することを 目的に開発した「センシングまくらぎ」の概要および実験 線での測定結果について報告する.

2. センシングまくらぎの開発

2.1 センシングまくらぎの概要

図1にセンシングまくらぎの概略を示す.本まくらぎは 薄型 PC3 号まくらぎの下面に,8 cm × 8 cm サイズの荷 重センサを縦 25 個×横 3 列に隙間無く貼り付け,まくら ぎ下面の接触荷重とその分布を測定するものである.

2.2 薄型 PC3 号まくらぎの設計・製作

従来品のまくらぎの厚さより 2 cm 薄く, それでいて従

来品と同程度の強度を有するまくらぎを新たに設計,製作 した.また,荷重センサについては,まくらぎ下面に一致 する金属製ユニット板にてあらかじめ取付けて 75 個のセ ンサを一体構造とし,その一体構造をまくらぎ下面に固定 することで,取り付け精度を確保した.

2.3 衝撃荷重測定用動荷重センサ

荷重センサには従来より各種のものがあるが、①面的な 荷重を測定可能なこと、②8 cm×8 cm のサイズで最大荷 重 10 kN まで測定可能なこと、③低周波~数 kHz までの 動的荷重を測定可能なこと、④治具を含めた厚さが 20 mm 以下であることを考慮し、図 2(a) のピエゾフィルムを 用いた超薄型の衝撃荷重センサ¹⁾を採用した.センサ本体



図1 センシングまくらぎの概略図



(a) 超薄型衝撃荷重センサ

(b) 配線状況



(c) 荷重センサのまくらぎ下面への設置状況設

図2 超薄型衝撃荷重センサとまくらぎ下面への設置

は大きさ 60 mm×60 mm の正方形で,その厚さは僅か 4 mm と薄く,センサの片側に固定用金属板を貼り付けるこ とで,ユニット板への脱着を可能としている.もう片側に は 60 mm×60 mm×10 mm のスペーサーを設け,図2 (b) のように配線用スペースを 確保した.また,このスペーサ ーには4 つのネジ穴が切ってあり,配線を行った後に砕石 に接する面に 80 mm×80 mm×5 mm のアルミ合金製の 受圧板を取付ける構造とした(図2(c)).

2.4 センシングまくらぎの寸法および重量

センシングまくらぎ全体の寸法は、PC3 号まくらぎと比 較してまくらぎ底部が約8mm厚い.また、重量は194kg と、PC3 号まくらぎの標準値160kgと比較して34kg重 い.

2.5 まくらぎの強度試験

JISE1202「ポストテンション式 PC まくらぎ」に準じた 強度試験を行い、PC3号まくらぎの基準強度を満たしてい ることを確認した.

2.6 まくらぎの電気絶縁抵抗試験

センシングまくらぎは、まくらぎ下面に鋼製のユニット 板と薄型のセンサを貼り付け、表面にアルミ製受圧板を貼 り付けた構造となっているため、現地敷設の前に、電気絶 縁抵抗試験を行った. 在来線のまくらぎの電気絶縁抵抗値 は、信号システムが安定作動する条件として、軌道 1 km あたり 2.0 Ω以上が必要とされている. 試験の結果、乾燥 状態および時雨量 180 mm の散水状態において,電気絶縁 抵抗の基準を満たしていることを確認した.

2.7 簡易型積分回路の設計・製作

本センサは、薄いピエゾフィルムの両面に金属電極を貼 り付けたもので、電気回路上はコンデンサと同じである.



図3 簡易型の積分回路の構成

両電極から衝撃荷重に比例した電荷が出力されるが、電荷 のままでは測定しにくいので、通常はセンサ出力端子に積 分回路(チャージアンプ)を設けて、電荷を電圧に変換し 測定する.本機の場合、測定チャンネル数が75 個と多い ので、チャージアンプのかわりに、図·3 に示すような1 個 のコンデンサ(10 μ F)による積分回路を作成した.本回 路は、簡易型のため直流成分は測定できないが、概ね0.3 Hz より高い周波数に関して線形性があることを、等価回 路の応答解析により確認した.これは、軌道振動の測定に は十分な測定性能と考えられる.

3. 実験線での測定試験

3.1 実施概要

開発したまくらぎを実験線に設置し、軌道モーターカー 走行によるまくらぎの動的荷重を測定した.本まくらぎは 寸法・強度ともに従来品とほぼ互換であり、既設まくらぎ と入れ替えて、通常の締結装置にて軌道に固定するのみで 設置が完了する.また、当該まくらぎの交換作業にあたっ ては、まくらぎと砕石層の接触部分に浮きが発生したり、 接触部分が偏らないように、まくらぎ交換後に、まくらぎ 全周にわたり十分なつき固め作業を実施した.また、軌道 条件は表1、モーターカー緒元は表2のとおりである.

3.2 試験条件

表3に示すとおり, 左レール頭頂面の凹凸, まくらぎ下 の浮きの有無により, Case 1, Case 2, Case 3の三つの条 件で行った. 頭頂面凹凸は左レールの頭頂面を削り, 図 4 に示す深さ最大1mmの溝を与えた. なお, 溝の最も深い 部分がセンシングまくらぎの中心上にくるよう位置を調整 している. また, まくらぎ下の浮きは, 左右の軌道パッド とまくらぎの間に厚さ1mmのスペーサー挿入した状態で つき固め, スペーサーを外した後に締結装置でまくらぎを ジャッキアップすることで, まくらぎ下全面に1mmの浮 きを与えた.

表1 軌道条件

線形	直線	
レール種別	60 kg レール	
軌道構造	バラスト軌道	
路盤	センシングまくらぎ設置箇所の前後 1.5 m のみコンクリート路盤. 他土路盤	
まくらぎ間隔	57 cm	

表2 モーターカー諸元

軸重	60 kN
軸距	3.5 m
走行速度	約 40 km/h



3.3 測定結果

(1) まくらぎ下面荷重の時刻歴応答

Case 1, Case 2, Case 3 の測定結果の一例として、右レ ール直下、左レール直下、軌間中心のまくらぎ下面のある 荷重センサの出力値、まくらぎ下面全荷重(まくらぎ下面 全面の接触荷重の合計値)の波形を 図5, 図6, 図7のそ れぞれ(a), (b), (c), (d)に示す. 図中の破線はモーター カーの前後軸の通過時刻を表しており, Case 1, Case 2 で は概ね前後軸二つの軸通過時を山型の頂点とする波形が見 られる. なお、後軸通過時に衝撃荷重が見られるのは、モ ーターカー後輪にフラットがあったためと思われる.

図5より、Case 1では右レール直下および軌間中心のま くらぎ下面では、前軸通過時に8cm角で約0.2kNの荷重 を受けているのに対し、左レール直下ではほとんど荷重を 受けておらず、つき固めを行った直後においても、荷重を



分担しない部分が生じていることがわかる.また,前軸通 過時のまくらぎ下面圧力は約20kNであり,軸重の3分の 1に相当する.

図6より、Case 2 では、左レール直下および軌間中心の センサ、まくらぎ下面全荷重で、前軸通過時に左レール頭 頂面に与えた凹凸に起因すると思われる衝撃荷重が現れた が、右レール直下では同様の衝撃荷重は見られない。

図7より, Case 3 ではまくらぎ全体に浮きを1mm 与え たため,まくらぎ下面はほとんど接しておらず,わずかに 衝撃荷重が見られるのみである.

(2) まくらぎ下面の荷重分布

Case 1 でモーターカーの前軸が, まくらぎの手前側の端 部に達し, 徐々にまくらぎ上を移動し, 反対側の端部へ抜 ける際の, 車輪位置とまくらぎ下面の荷重分布を図7に示 す. 図より, まくらぎ中に荷重を受けていない場所が見ら れており, 動的な走行荷重は, まくらぎ下面の全面で均等 に受け持つのではなく, 場所的にばらつきが生じることが わかった.

図8の上図に、Case 2 で前軸がセンシングまくらぎ上を 通過する際のまくらぎ下面全荷重を示す.図より,時刻1.8 ~1.85秒の間で、凹凸に起因すると思われる衝撃荷重が読 み取れる.また、この衝撃荷重がピークとなる時刻 (1.81575秒)と、その前後で荷重が極小となる時刻 (1.811秒,1.82675秒)並びに前軸通過時刻(1.81295 秒)でのまくらぎ下面の荷重分布を図8の下図に時系列順 に示す.図8より、まくらぎ下面全荷重が最初に極小とな るのは、車軸が幅100mm溝の起点を通過した直後で、終 点通過直前に最大となることがわかる.また、まくらぎ下 面圧力のピーク値と極小値との差はまくらぎ全体で約 20 kN(図8の上図より)であるが、図8の下図を見る と、主に荷重が変動しているのは、レールに凹凸を与え た左側であり、右側のまくらぎでは荷重の変動は小さい.

4. おわりに

まくらぎから道床に伝わる荷重を測定するため,超薄 型動荷重センサを用いた「センシングまくらぎ」を開発 した.このセンシングまくらぎを実験線に設置し,測定 を行ったところ,高周波の衝撃に対してもまくらぎ下面 の荷重およびその分布を測ることができた.測定結果よ り,入念なつき固め直後においてもまくらぎ下面に作用 する動的な荷重は,場所的にばらつきが生じることがわ かった.

今後は、センシングまくらぎを営業線に1ヶ月程度設 置し、まくらぎ下面の荷重分布の変遷をまくらぎ敷設後 から連続して追跡する予定である.

参考文献

 藤本由紀夫, Taufiq A. S.: 圧電フィルムを用いたシート型衝撃力測定センサ,日本機械学会論文集 C·73, 725, pp.184-191, 2007.