

まくらぎから道床に伝わる動的荷重の測定技術

鉄道力学研究部 軌道力学

研究員 浦川文寛

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碎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碎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碎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、取付精度を確保した。

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(1)の piezofilm 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(2)のように配線用スペースを

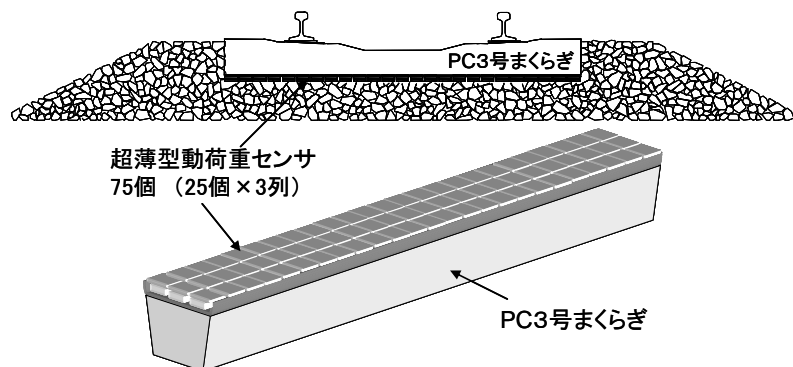
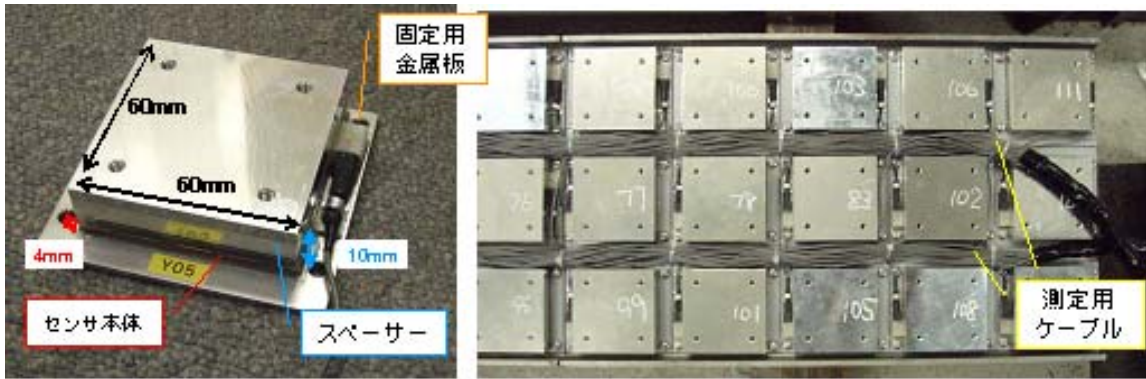
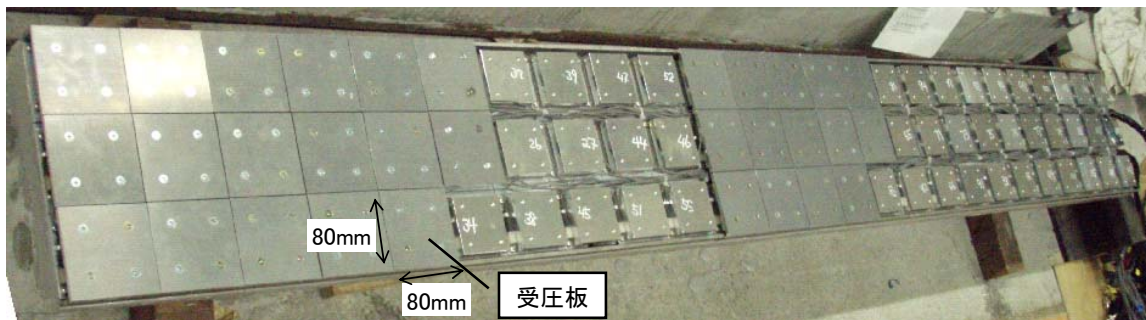


図-1 センシングまくらぎの概略図



(1) 超薄型衝撃荷重センサ

(2) 配線状況



(3) 荷重センサのまくらぎ下面への設置状況

図-2 超薄型衝撃荷重センサとまくらぎ下面への設置

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おり、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(3))。

2. 4 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、PC 3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. 5 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 2.0Ω 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. 6 簡易型積分回路の設計・製作

本センサは、薄い piezofilm 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。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)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

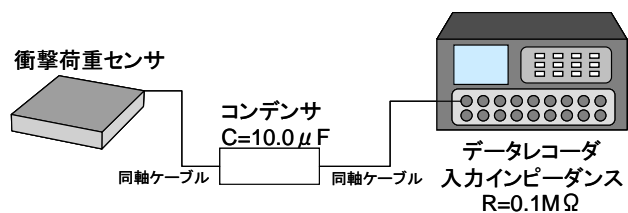


図-3 簡易型の積分回路の構成

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

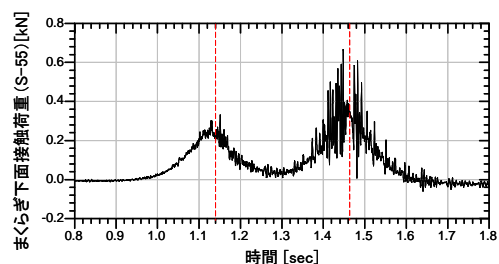
開発したまくらぎを実験線に設置し、軌道モーターカー走行によるまくらぎの動的荷重を測定した。本まくらぎは寸法・強度ともに従来品とほぼ互換であり、既設まくらぎと入れ替えて、通常の締結装置にて軌道に固定するのみで設置が完了する。また、当該まくらぎの交換作業にあたっては、まくらぎと碎石層の接触部分に浮きが発生したり、接触部分が偏らないように、まくらぎ交換後に、まくらぎ全周にわたり十分なつき固め作業を実施した。

3. 2 まくらぎ下面荷重の時刻歴応答

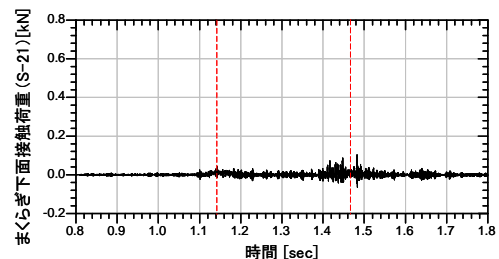
測定結果の一例として、右レール直下、左レール直下、軌間中心のまくらぎ下面のある荷重センサの出力値を図-4 (1), (2), (3)に示す。図中の破線(赤)はモーターカーの前後軸の通過時刻を表しており、それぞれ、1.1402 秒、1.4620 秒である。図より、右レール直下および軌間中心のまくらぎ下面では、軸通過時に8 cm角で約0.2 kNの荷重を受けているのに対し、左レール直下ではほとんど荷重を受けておらず、つき固めを行った直後においても、荷重を分担しない部分が生じていることがわかる。まくらぎ下面の接触荷重の合計値を図-4(4)に示す。軸通過時の荷重は約20 kNであり、軸重測定値の3分の1に相当する。

3. 3 まくらぎ下面の荷重分布

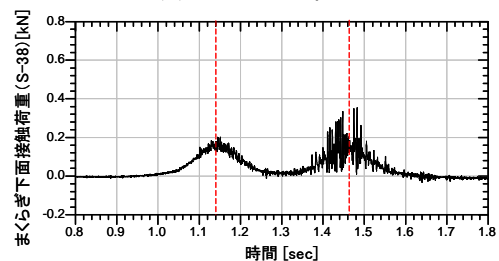
モーターカーの前軸が、まくらぎの手前側の端部に達し、徐々にまくらぎ上を移動し、反対側の端部へ抜ける際の、車輪位置とまくらぎ下面の荷重分布を図-5に示す。図より、まくらぎ中に荷重を受けていない場



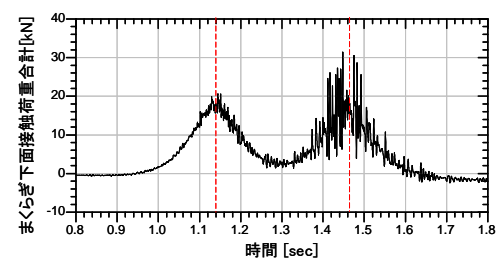
(1) 右レール直下



(2) 左レール直下



(3) 軌間中心



(4) まくらぎ全面の合計

図-4 まくらぎ下面荷重測定結果

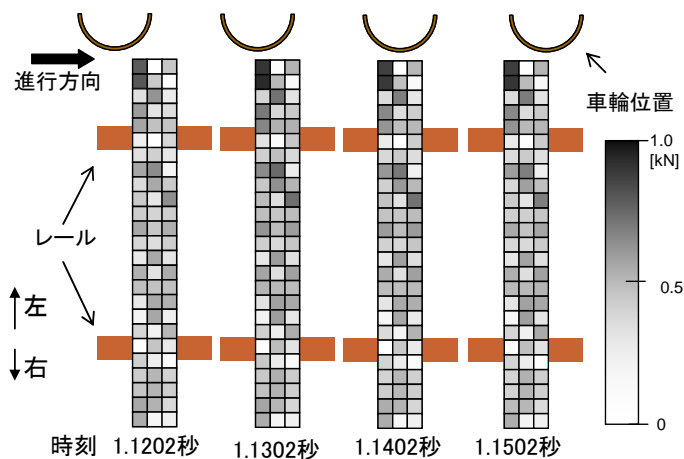


図-5 まくらぎ下面荷重分布の時間的変化測定例

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。

3. 4 レール凹凸を通過する際のまくらぎ下面荷重

左レールの頭頂面を削り、図-6に示す深さ0.1 mmの凹凸を与えた状態で、走行試験を行った。なお、凹凸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。

図-7の上図に、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荷重の合計値を示す。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秒でのまくらぎ下面の荷重分布を図-7の下図に示す。荷重のピーク値と極小値との差はまくらぎ全体で約20 kN（図-7の上図より）であるが、図-7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ことがわかる。

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

- 1) 藤本由紀夫他: 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.

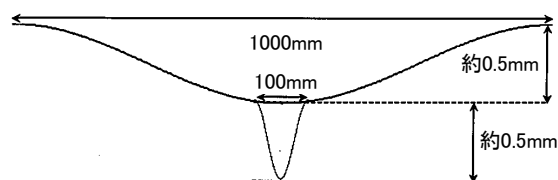


図-6 左レール頭頂面の凹凸形状

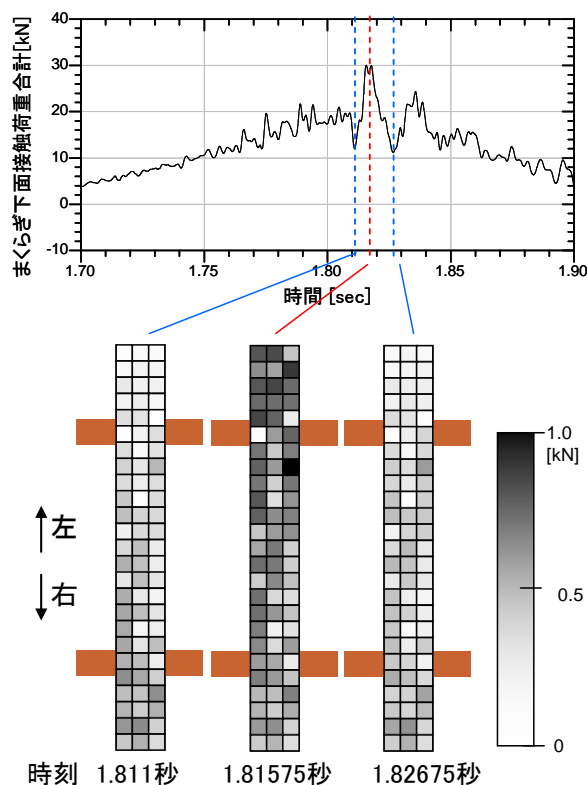


図-7 レール凹凸を通過する際のまくらぎ下面荷重の時間的变化