

1. まえがき

著者らは以前に室内模型軌道や現地軌道において、落錐による衝撃力や列車荷重によって生じる軌道各部の振動加速度分布を測定し、道床内部における衝撃力の伝達や吸振効果などを検討した。本研究では、鋼棒からなる2次元道床モデルに繰返し荷重を与えることによって、道床深さ方向の振動特性を振動波形の絶対値だけでなく、特に振動数特性の点から加速度波形のフーリエ・スペクトルなどを求めて、各振動数における道床振動の減衰特性などについて実験的考察をした。

2. 加振実験の概要

図-1に示すごとくレール進行方向に前後各40cm、まくらぎ方向(レール直南方向)10cmに道床を切断した場合を想定した。すなわち、まくらぎモデル(以下“まくらぎ”と記す)には $100 \times 130 \times 20$ mmの鋼厚板を使用し、2次元道床モデルとしては、道床バラストを均一な鋼製丸棒($l=100$ mm, $\phi=8$ mm)の積層($h=150$ mm)で置き換える。路盤相当部分には、H型鋼($200 \times 200 \times 20 \times 20$ mm)と厚さ2mmのゴム板を使用した。また、繰返し荷重を与える方法としては、門形フレームからなる載荷フレームを振動台上板に固定し、フレーム頂部からその反力がまくらぎ-鋼製丸棒の積層に伝わるようにした。この場合、一定の繰返し荷重を与えるために、まくらぎ-鋼棒の沈下につれて、載荷点を追従移動させる必要があり、このためフレーム頂部中央にプーリーを取付け、常時、張力を与えてシャフトにトルクを生じさせながら下降させて、振動台からの入力絶えずまくらぎに伝達されるよう配慮した。なお、模型道床を加振するために、松平式振動試験機(UBC-10A型)を使用し、振幅一定(上下1mm)のもとで、加振振動数をパラメータに選び、まくらぎ上面の沈下量が10mmに達するまで加振した。振動数はカム駆動方式で2.0~10.0Hzまで、1.0Hzきざみで実験を行なった。振動台からの繰返し荷重の大きさを知るため、シャフト下端にロード・セル(LU-1TD, 最大1ton)を取付けた。また、変位計(可動コア型508-A, 最大 ± 5 mm)によって、入力変位としての振動台上板の変位と道床上面の沈下量を示すものとして、まくらぎ上面の変位をそれぞれ計測した。加速度計(BA-2G-120, 最大2G)はまくらぎ上面、道床中間、道床下面の3箇所、すべてロード・セル下方の鉛直線上(道床深さ方向)に選び設置した。

3. 実験結果とその考察

まくらぎ、道床中間、道床下面 各箇所の加速度波形を得、得られたデータは125Hzのサンプリング周波数でデジタル化した。これら各加速度記録は一度フーリエ変換したのち、加速度計の周波数特性より与えら

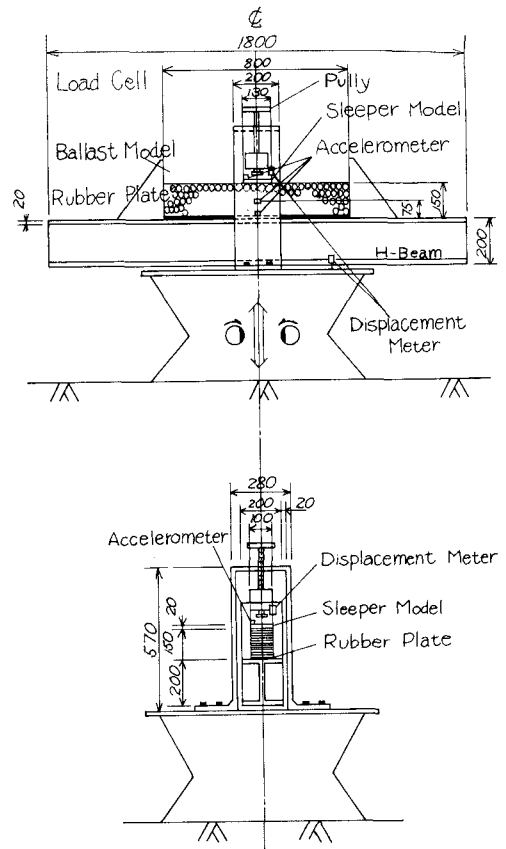


図-1 加振実験装置概略(縦断面、横断面)

れた応答倍率を用いて、各振動数成分について修正をほどこす。これを再びフーリエ変換して得えられた波形をもとに解析を進めた。なお、本実験において計測したデータを処理するに際し、使用した履歷式は周知の下記のごときものである。

$$\text{フーリエ・スペクトル} : F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

$$\text{パワー・スペクトル} : S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left\{ \frac{2}{T} |F_T(if)|^2 \right\}, \text{ここで } f = 2\pi\omega \quad (2)$$

$$\text{自己相関関数} : R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) \cdot x(t+\tau) dt \quad (3)$$

a) 加速度フーリエ・スペクトル

まくらぎ、道床中間、道床下面の各加速度フーリエ・スペクトルをみると加振振動数にかかわらず、まくらぎにおいては 32 Hz 前後の成分が著しく卓越していた。このことは まくらぎ に対し繰返し荷重による拘束が常時十分でない瞬間があり、まくらぎ がその間、浮き傾向の状態にあったとも考えられる。また、それぞれ各加振振動数に対して加速度フーリエ・スペクトルが増加の傾向を有することから、入力機構上挿入したロード・セル・まくらぎ・道床上面 との複雑な相互作用によって、高振動成分に至るほどその振幅成分は増加する傾向が見うけられた。また、道床中間部においては、まくらぎ固有振動数付近の成分は逆にかなりの程度消去されるが、全般的には高振動数成分での勢力はゆるやかな増加傾向が認められた。すなわち、まくらぎの瞬間的浮き傾向の状態に要した運動エネルギーは、道床上面付近でかなりの部分減衰してしまうものと考えられる。このようにまくらぎにおいて最も大きなエネルギーをもった振動数成分は、自らの振動により減衰し、また、道床上面の鋼棒自身の横方向のずれ摩擦等によって散散するものと考えられる。

表-1 測定加速度の最大値 (gal)

加振振動数(Hz)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
まくらぎ	648	354	1160	1276	822	1422	1583	1197	1414
道床中間	145	89	150	136	140	239	271	200	242
道床下面	23	20	23	29	33	50	55	39	72

b) 自己相関関数

表-2 測定加速度の標準偏差 (gal)

加振振動数(Hz)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
まくらぎ	221	155	553	332	313	528	1063	401	784
道床中間	23	18	30	28	33	66	70	53	78
道床下面	3	5	5	6	8	15	14	13	16

まくらぎ上面では、実験範囲の加振振動数において周期 0.032 Hz の周期性がかなり著しく現われた。すなわち、まくらぎは加振入力にかかわらず、まくらぎ自身の性質によって振動し、その固有振動数は約 30 Hz であるといえる。道床中間部、同下面に至って振動の周期性

は急激に失われ、加速度波形はきわめてランダムになり、また、道床内部、同下面では加振振動数による相関関係は顕著となる傾向がある。なお、各振動数で加振した際の加速度絶対値の最大値、標準偏差をそれぞれ上記表-1, 2 に示した。これらより加速度の絶対値は、まくらぎから道床を通して著しく減衰し、道床中間部から同下面の間では全加振振動数について一様な減衰を示すが、まくらぎ・道床中間部 ではかなりのばらつきが生じている。これよりまくらぎ自身が消費するものと考えられる振動エネルギーは、かなりの部分、まくらぎ自身の固有振動によって消費され、また、道床以下への振動エネルギーの伝播は、加振載荷時におけるまくらぎと道床上面間の状態、すなわち、突き固め程度、接触面積、摩擦係数 など物理的条件に左右される要素がかなり影響するものと考えられる。具体的には、軌道狂い、騒音などの原因のかなりの割合を占めることになる。また、道床内部での振動加速度の減衰は、道床構成材料の描く履歷特性、同材料相互の摩擦抵抗によるもの、他、路盤下方へ弾性波が伝わることによる遠散減衰も見がしなくてはならないと考えられよう。鋼棒の積層からなる本道床モデルは、実軌道での道床バラストの示す粒状体としての挙動とはかなり異なった結果であるとも考えられる。