Ⅳ-130　模型道床における振動の減衰特性

岐阜高専　正員　渡部卓郎

1. はじめに

本研究では，鋼棒からなる2次元道床モデルに繰り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・スペクトルなどを用いて，各振動数における道床振動の減衰特性について考察した。

2. 加振実験の概要

実軌道では，列車通過時の荷重が まくらぎ と レール の交叉部直下に集中すると考え，まくらぎ とレールの交叉部を中心として，レール進行方向に 前後各 40 cm，まくらぎ方向（レール直角方向）10 cm に道床を切断した場合を想定した。ここで，まくらぎモデル（以下 まくらぎ と記す）には 100 × 130 × 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，ϕ = 8 mm）の積層（h = 150 mm）で置き換える。なお，道床が進行方向に向って十分長いものと考えられるので，モデル側方は拘束されているものとした。

路盤相当部分には H型鋼（200 × 200 × 20 × 20 mm）と厚さ 2 mm のゴム板を使用した。また，繰り返し荷重を与える方法として門形ラーメン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，できるだけ一定の繰り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り付け，常時張力を与えてプーリーのシヤフトにトルクを生じさせ下降させて振動台からの入力が絶えず まくらぎ に伝達されるよう配慮した。

模型道床を加振するために，松平式振動試験機（伊藤精機製 UBC-10A 型）を使用し，振幅一定（1 mm）のもとで，加振振動数をパラメーターに選び，まくらぎ上面の沈下量が 10 mm に達するまで加振した。加振振動数はカム駆動方式で 2.0 ～ 10.0 Hz まで，1.0 Hz きざみで実験を行なった。振動台からの繰り返し荷重の大きさを知るため，シヤフト下端にロード・セル（共和電業製 ストレインゲージ式 LU-1TD，最大 1 ton）を取り付けた。また，変位計（日本測器製 可動コア型振動計 508-A，最大 ±5 mm）によって，入力変位としての振動台上面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（新興通信製 ストレインゲージ式 BA-2G-120，最大 2G）は，まくらぎ上面，道床中間，道床下面 3カ所，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。

一度 沈下を完了した道床は鋼棒の積層からなる2次元モデルであることから，実際の道床が示す圧密沈下，締め固めなどの性質をほとんど現わさないものと考えた。しかし，毎回の実験が同じ条件下で実施できるよう，道床モデルの積み直しを行なった。

3. 実験結果とその考察

まくらぎ，道床中間部，道床下面 各カ所の加速度波形をえ，えられたデータは 125 Hz のサンプリング周波数でデイジタル化した。デイジタル化した加速度記録は一度フーリエ変換した後，加速度計の周波数特性より与えら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し，これを再びフーリエ逆変換してえられた波形をもとに解析を進めた。また，データのサンプリングに当っては，入力としての振動台変位が振幅 1 mm を示し始めてから，まくらぎの沈下量が最終的に 10 mm となるまでを有効と認め，データ個数と沈下に要した時間を示したものが表-1

表-1　データ数，沈下時間

加振振動数 (Hz)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
データ数 (個)	350	380	350	330	290	270	250	240	230
沈下時間 (sec)	2.60	2.85	2.60	2.45	2.15	2.00	1.80	1.70	1.65

である。

a) 加速度フーリエ・スペクトル

加速度波形の変動を異なった振動数をもつ調和波の和であると考え，振動数領域に変換して，振動数成分に対する振幅を示すことから変動の性質を明らかにしようとした。まくらぎ，道床中間，道床下面の各加速度フーリエ・スペクトルの計算結果をみると加振振動数にかかわらず，まくらぎにおいてはおよそ 32 Hz 前後の成分が著しく卓越している。このことは まくらぎに対し繰り返し載荷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，拘束のない状態にあったともいえる。すなわち，本実験に使用したまくらぎの固有振動数は，おおよそ 32 Hz であるといえよう。また，それぞれの加振振動数に対する加速度フーリエ・スペクトルが振動数の増加につれて右上り傾向を有していることから，つぎのようなことが考えられる。すなわち，入力機構上挿入したロード・セル・まくらぎ・道床上面 との間の複雑な相互作用によって，高振動数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を示し衰えない。すなわち，まくらぎの瞬間的に無拘束な状態が考えられ，こ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よう。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等によって拡散現象を起こすものと考えられる。道床中間部から道床下面に至っては，比較的広範囲にわたる周波数成分について かなり相似的な減衰を示している。なお，高振動数成分での勢力は衰えを見せず，各加振振動数成分付近のスペクトル値を基準として増減の状態を示す傾向にある。

b) 変位スペクトル

振動台よりの正弦波載荷入力を強調し，まくらぎ固有の複雑な振動成分を取り除くため，振動台の加振振動数を忠実に反映するであろうと思われる 応答変位について考察する。ここで変位スペクトル $F_D(f)$ は加速度フーリエ・スペクトル を用いて次のように表わす。

$$F_D(f) = F_A(f)/\omega^2$$

ここに $F_A(f)$：加速度フーリエ・スペクトル，ω：円振動数 。上式より変位フーリエ・スペクトルを求め，これらより次のことがいえよう。すなわち，まくらぎにおいては加振振動数付近で最大値をとり，35 Hz 付近で大きなピークを形成する。また，道床中間部，道床下面では加振振動数付近でピークを示し，高振動数になるにつれ，両者ともなだらかな減少の傾向を示す。

路盤モデルはゴム板（厚さ 2^{mm}）を剛体で支持した構造を有し，路盤における塑性変形は許さないことを前提としている。その結果，道床下面では加振振動数で弾性変形を繰り返していることになる。また道床下面での形状に類似した変位スペクトルをもつ道床中間部においても線形応答の割合が大であると予想される。まくらぎでの形状の道床中間，道床下面との大きな相違は，その固有振動数付近でピークを有することである。このことから，まくらぎの無拘束支持状態が道床の沈下に及ぼす影響は少なからぬものがあると考えられる。これらより軌道狂いの原因と考えられる道床沈下のかなりの部分は，道床上面でのバラストの横方向のずれなどによって，道床上部で発生するものと考えられよう。

c) 自己相関関数

自己相関関数 $R(\tau)$ は一般に次のように定義される。$R(\tau) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t)\cdot x(t+\tau)\,dt$ 。実際の数値計算にあたっては，前に求めたフーリエ・スペクトル $F(f)$ から求めた パワー・スペクトル $S(f)$ を利用した。 その結果，まくらぎ上面ではそれぞれの加振振動数において周期 0.032 秒の周期性があらわれた。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，同下面に至っては振動の周期性は急激に失われ，加速度波形はランダムになってあらわれている。