

岐阜高専 正員 ○渡部 卓郎
京都大学 正員 後藤 尚男
三菱金属 正員 岡島 裕

1. まえがき

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を考察した。

2. 加振実験の概要

実験道床では、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（レール直交方向）10 cm 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100×130×20 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（ $l=100$, $\phi=8$ mm）の積層（ $g=150$ 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、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、常時張力を与えてシャ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に選り、まくらぎ上面の沈下量が10 mmに達するまで加振した。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、シャ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）に選り設置した。

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えるよう、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のサンプリング間波数でデジタル化した。デジタル

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)	320	350	320	300	260	240	220	210	200
沈下時間(sec)	2.56	2.80	2.56	2.40	2.08	1.92	1.76	1.68	1.60

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す。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 1mm を示し始めてから、まくらぎの沈下量が最終的に 10mm 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前頁下の表-1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・スペクトルをみると加振振動数にかかわらず、まくらぎにおいては 32Hz 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、自由な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、おおそ 32Hz であるといえよう。また、それぞれの加速度フーリエ・スペクトルが右より傾向を有することから、入力機構上挿入したロード・セルーまくらぎー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かなりの程度消し去られるが、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で衰えない。すなわち、まくらぎの瞬時的に自由な支持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等によって散散するものと考えられる。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、かなり相似した減衰を示す。

b) フーリエ・スペクトル倍率

まくらぎ上面における上下方向振動加速度 $\ddot{x}_1(t)$ のフーリエ・スペクトル $F_1(f)$ 、同じく道床中間部の加速度 $\ddot{x}_2(t)$ 、スペクトル $F_2(f)$ 、道床下面のそれぞれを $\ddot{x}_3(t)$ 、 $F_3(f)$ で表わす。また、まくらぎ上面から道床中間部に至る間の部分のフィルター特性を $H_{12}(f)$ 、まくらぎ上面から道床下面までを $H_{13}(f)$ 、道床中間部から道床下面までを $H_{23}(f)$ とすると、これらのフィルター特性は次式で定義される。

$$H_{12}(f) = F_1(f) / F_2(f)$$

$$H_{13}(f) = F_1(f) / F_3(f)$$

$$H_{23}(f) = F_2(f) / F_3(f)$$

なお、この $H_{12}(f)$ はこの部分に入力として単位衝撃を与えたときの、この部分の線形応答（単位衝撃応答関数）のフーリエ変換（周波数応答関数）となっている。また、フィルター特性、すなわち、スペクトル倍率相互間には以下の関係が成立する。

$$H_{13}(f) = H_{12}(f) \cdot H_{23}(f)$$

これらの関係より以下のことが明らかとなった。すなわち、本実験においては、まくらぎから道床下面に至る振動の減衰は、振動数成分 30Hz 付近で最も著しく現われ、また、高振動の成分が比較的よく減衰する傾向にある。振動数成分 30Hz 前後の振動減衰はかなりの部分、まくらぎ、道床中間部にまで生じており、このことからまくらぎの固有振動数はおよそ 30Hz であろうと考えられる。載荷時の荷重変動による影響は、道床中間部に至る間にかかなり消去され、道床中間部から道床下面の間では、比較的広範囲の周波数成分について、なだらかな減衰を示す。また、振動数の増大につれて減衰の割合が、わずかではあるが増加する傾向が認められた。広範囲にわたって H_{23} は H_{12} を下まわっており、このことから道床内部での振動は、深き方向に指数的に減衰するといえよう。

なお、本実験では道床へのまくらぎのめり込み、それに伴うまくらぎ付近の道床の盛り上がりなど、軌道破壊が顕著であった点も考慮する必要があると考えられる。