

# 橋梁の免震基礎に関する模型振動実験

早稲田大学 建設工学専攻 学生員 安 同祥  
 早稲田大学 土木工学科 学生員 渡辺 勉  
 早稲田大学 土木工学科 フェロー 清宮 理

**1. まえがき** 橋梁の上部構造と下部構造からの荷重を確実に基礎構造に伝達するために、従来の橋梁においては下部構造と基礎構造が一体となる構造形式が採用されてきた。一体構造の場合は上、下部構造の地震荷重はそのまま基礎構造に作用されるため、基礎構造の規模は大きくなる傾向がある、特に、軟弱地盤において大規模な基礎になるケースは多い。従来一体型の下部構造と基礎構造を分離し、その間に緩衝材とすべり材で形成する免震層を充填し、下部構造と基礎構造との相対変位（ロッキング・すべり）及び緩衝材の履歴減衰を利用して地震エネルギーの吸収を図ることを提案した。この免震構造の振動特性及び耐震性能などを調べるために、模型振動実験を実施した。

**2. 実験模型** 相似則に基づいて、1基の橋脚と上部構造を1/36で縮小して、杭式橋脚の実験模型を作成した。この相似比は振動台の能力によって決定した。

上部構造の質量は鉄板によって与え、作用位置は角木材にて調整した。下部構造はモルタルにて作成した。基礎構造は杭式で今回はアルミの角材と受台からなるフレーム構造を用いて基礎のパネ値に合わせた。橋脚フーチング部を水平方向に分割し、この間に免震材を挟んだ。

図1に示すように模型の主な諸元は次のとおりである。

- 上部構造；質量:46kg, 重心位置:下部構造天端から 53mm
- 下部構造；重量:36kg, 高さ:440mm, 底版寸法:310(加振方向)\*350mm
- 基礎構造；アルミ角材: 10mm\*20mm\*500mm - 10本
- 受台:440mm(加振方向)\*490mm

相似比；変位:1/36, 加速度:1/1, 重(質)量:1/36<sup>3</sup>, 振動数:6/1

**3. 実験装置及び実験方法** 計測機器の配置箇所は図1に示す。

フーチング下面のすべりを計測するためにフーチングと受台に加振方向に加速度計及び変位計を取り付け、ロッキングを計測するためにフーチングの両端に鉛直加速度計を取り付けた。また、基礎構造及び上部構造の振動挙動を計測するためにアルミ材(杭)にひずみ計、鉄板(上部構造)に加振方向に加速度計及び変位計、鉛直方向に加速度計を取り付けた。なお、滑り面の摩擦係数も測定した。

**4. 実験ケース及び入力波** 実験は基礎フーチング部の構造を大きく分けて次の4ケースとした。

- ・ 一体構造(従来型) ・ 分離構造(分離のみ) ・ 分離し緩衝材を充填した構造(今回の実験に用いた緩衝材は豊浦砂とした) ・ 分離し緩衝材とすべり材を充填した構造(すべり材はテフロンにした)

これらの摩擦係数は分離構造で0.5, 豊浦砂で0.45, テフロンで0.3程度と静的引張実験より得た。実験の入力は正弦波とした。入力波の周波数は模型の1次固有振動数( $f_0=4.8\text{Hz}$ )を考慮して  $f = 2.4, 3.2, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 7.2 \text{ Hz}$ とした。入力波の振幅は段階的に増加させたが、ロッキング・すべりが発生する時、すなわち、上部構造の応答波形が変化する時に着目した。

**5. 実験結果及び考察** 5.1 同一入力波による異なる構造系の最大応答値

表1に上部構造の重心位置における水平加速度の最大値を示す。

従来一体構造に比べ砂を充填したケースでは、入力波の周波数は構造物の固有振動数(4.8Hz)より高い場合、ロッキングにより免震効果があるが(共振点に近付くと効果が大きくなる)、低い場合には逆に上部

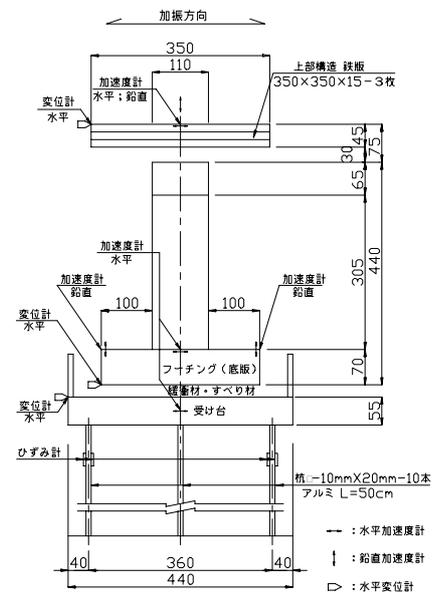


図1 模型の構造

キーワード 免震基礎, 模型振動実験, 滑り材, 残留変位

連絡先 〒169 8555 東京都新宿区大久保3-4-1 51号館16F-01 TEL&FAX03-5286-3852

構造の応答加速度は大きくなる；テフロンを導入したケースでは，高い周波数の入力に対してあまり免震効果が見られないが，低い周波数の大きい振幅の入力に対してはすべりにより免震効果が顕著である．

表1 各ケース毎の水平加速度の最大値 単位: Gal (cm/s<sup>2</sup>)

周波数	2.4 Hz		3.2 Hz		4.0 Hz		4.5 Hz	5.0 Hz	6.0 Hz	7.2 Hz
A	229.48	272.62	191.23	383.44	119.64	129.45	71.59	86.30	263.80	498.18
B	325.19	386.32	310.87	623.33	317.03	343.03	323.30	724.69	465.62	416.39
C	<b>349.12</b>	---	<b>349.12</b>	---	<b>354.02</b>	---	<b>392.27</b>	<b>405.02</b>	<b>358.92</b>	<b>349.12</b>
D	<b>302.04</b>	<b>282.43</b>	<b>310.87</b>	<b>315.77</b>	---	<b>315.77</b>	---	---	421.69	---
C/B	107.4%	---	112.3%	---	111.7%	---	121.3%	55.9%	77.1%	83.8%
D/B	92.9%	73.1%	100.0%	50.7%	---	92.1%	---	---	90.6%	---

ここに、A：入力波の最大値；B：従来一体構造系；C：緩衝材厚さ 15.5mm(底版幅の 1/20)の砂を充填；D：C にテフロンを底版（フーチング）の下に 1 枚を貼り、砂の上に 1 枚敷いた．

### 5.2 ロッキングについて

・ロッキングが生じ始める時の入力波の周波数に対しての依存性 表 2 にロッキングが生じ始める時に上部構造の最大加速度を示す．入力波の周波数が大きくなるにつれてロッキングは生じやすくなる．

表2 ロッキング発生時の最大加速度 単位: Gal (cm/s<sup>2</sup>)

周波数	3.2Hz	4.0 Hz	4.5 Hz	5.0 Hz	6.0 Hz	7.2 Hz
A	224.57	91.20	52.96	48.05	139.25	196.13
B	224.57	239.28	239.28	239.28	215.75	157.89
D/B	14.71	14.71	9.81	9.81	14.71	14.71

図 2 に示すようにロッキングの振動数は入力波の周波数の 4 倍になる．

### 5.3 すべりについて テフロンの導入により滑り面の摩擦係数は 0.30 前後まで下げた，これによって，低い周波数の入力に対して上部構造の応答加速度が 300Gal 位になった時に下部構造は滑り始まった．図 3 に f=2.4Hz 振幅 a=272.62Gal の入力による変位を示す．

**6. まとめ** 下部構造と基礎構造を分離し，緩衝材とすべり材を導入することによって免震効果が得られることが判った．また、すべりとロッキング共に入力波の周波数に依存し，滑りは周波数の低い成分に，ロッキングは周波数の高い成分に免震効果があることも判明した．これによって，低い周波数が卓越する軟弱地盤の地震動に対して滑りによる免震効果が期待できると思われる．

分離することにより免震効果が期待できる一方，ロッキング・すべりによって荷重の伝達が不連続となり，衝突が生じたり，鉛直振動が無視できなくなったりする．また、すべりによって過大な残留変位を生じるおそれがある．

これらの問題を解決するために，実際の地震波（水平・鉛直）を用いて，水平振動と鉛直振動の関連性を分析し，すべり材・緩衝材・構造系などについて更に検討する必要がある．

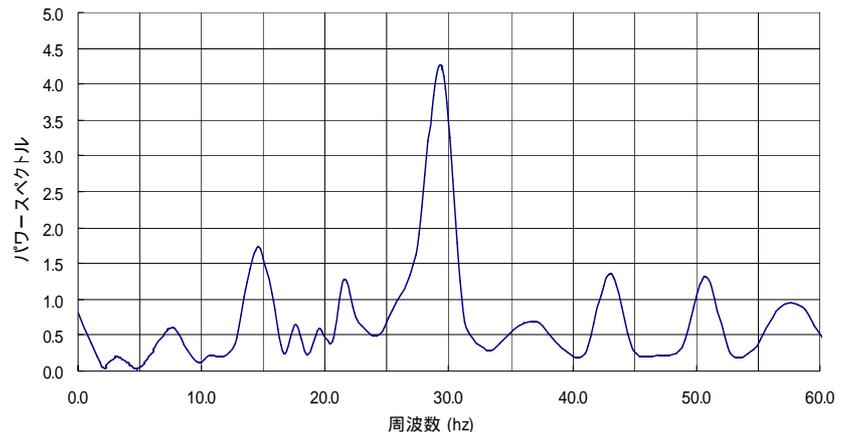


図2 ロッキング振動の周波数  $f_m=29.3\text{Hz}$   $f_{input}=7.2\text{Hz}$

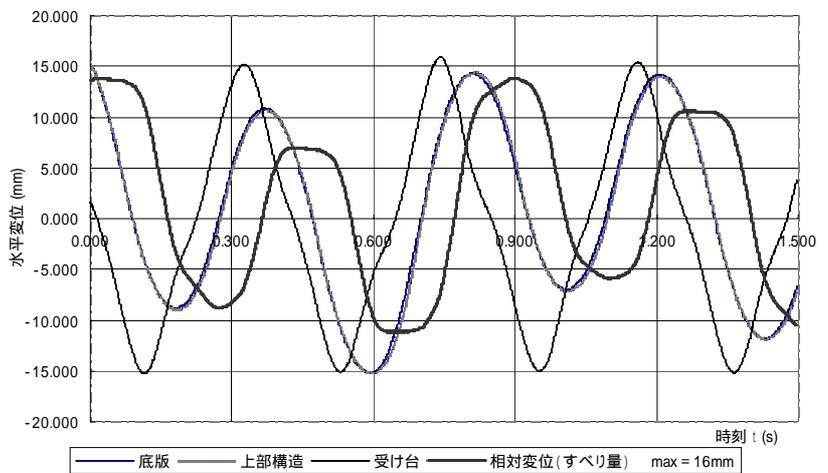


図3 水平変位の応答値 (入力  $f=2.4\text{Hz}$ ,  $a=272.62\text{gal}$ )

