滑り型免震橋梁における支承部軸力変動に着目した振動台実験

京都大学工学研究科　学生員　○柳川 智史
京都大学工学研究科　フェロー　家村 浩和
京都大学工学研究科　正会員　高橋 良和

1　概要

本研究では、滑り免震システムを採用予定の道路橋上部工を対象として振動台実験を実施し、地震動により支承部に軸力変動が生じた場合の応答性状を検討した。また、軸力変動の影響を解析的に検討した。

2　振動台実験

2.1　軸力変動

本研究では連続桁橋の免震支承部軸力変動の発生要因として
要因(A) 上下地震動に起因する橋桁の鉛直慣性力
要因(B) 水平地震動による橋軸直角方向の桁のロッキング振動
に着目して実験を行う。

項目	模型/実橋	項目	模型/実橋
長さ	$1/S$	加速度	1
面圧	1		
時間	$1/\sqrt{S}$	速度	$1/\sqrt{S}$
質量	$1/S^2$	重量	$1/S^2$
周期	$1/\sqrt{S}$	振動数	$\sqrt{S}$
ばね剛性	$1/S$	慣性力	$1/S^2$

表 1　相似則(S＞1)

2.2　実験方法

- 相似則･･･加速度、鉛直慣性力とロッキングによる軸力変動の比、滑り支承の面圧を実橋と模型で一致。
- 対象橋梁･･･滑り支承を採用予定の都市高速道路高架橋(図 1)
- 供試体･･･上部工(支承+橋桁)を用いた(図 2)。桁重心高さは Case2 の方が高くロッキングが起こり易い。
- 入力波･･･対象橋梁の架橋地点近傍の断層のズレによって橋梁に達すると考えられる模擬地震動(図 3)を用いた。桁部のみを用いて実験を行ったため、地震動に対する橋梁全体の応答解析を行い支承部の応答加速度を求め、相似則を用いて時間軸を圧縮し、橋軸直角方向及び鉛直方向に入力した。

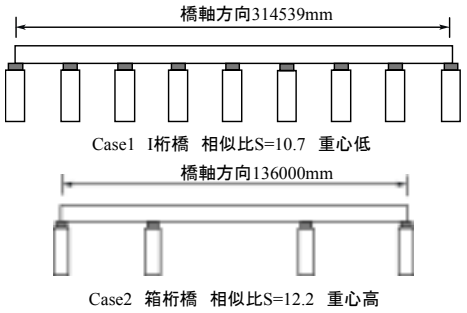


図 1　対象橋梁

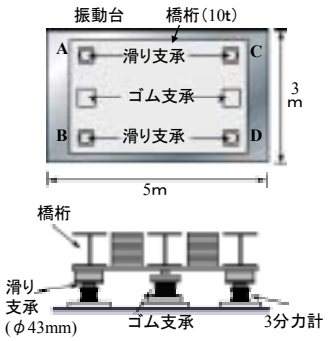


図 2　実験供試体

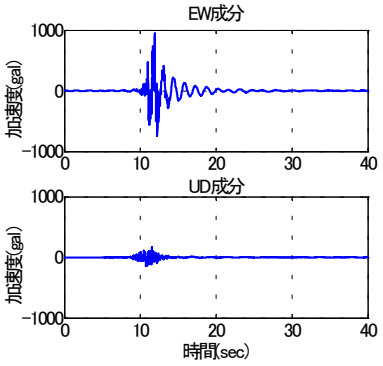


図 3　模擬地震動

2.4　実験結果

- 軸力変動･･･Case1、2 において支承 A に生じる軸力変動を図 4(a)(b)に示す。鉛直慣性力には差はないが、要因(B)による軸力変動は重心位置の高い Case2 の方が大きくなっている。また、Case1 の振動方向の隣り合う支承 A、B の要因(B)による軸力変動を重ね合わせたものを図 5 に示す。ロッキング振動の影響により一方の軸力が増加するときに他方は減少している。

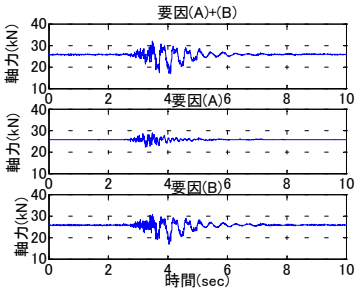


図 4(a)　要因別の軸力変動(Case1)

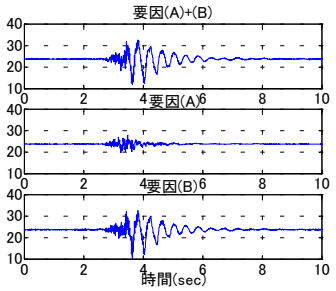


図 4(b)　要因別の軸力変動(Case2)

- 履歴曲線･･･Case1 の各支承の履歴を図 6 に示す。台形をしているのはロッキング振動の影響であり、一方の変位が大きくなった場合に桁が浮くような動きをして (図 7(a))軸力、摩擦力はが減少する。逆の場合には

Key Words：　滑り免震橋梁、軸力変動、ロッキング振動
〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL(075)753-5088 FAX(075)753-5926

桁が支承を押すような動きをして(図 7(b))摩擦力は増加する。支承 A～D の履歴を合計した曲線(図 8)はほぼ左右対称であるが、ロッキングにより一方の支承の軸力が減少するとき隣り合う支承の軸力は増加し、全体ではその影響がキャンセルし合うためである。1 つの支承ではロッキングにより軸力が減少する時に応答が悪化することが考えられるが、桁全体では大きな影響はないと考えられる。

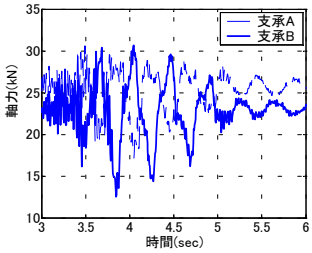


図 5　A、B の軸力変動(要因 B)

・ 上下動の有無による比較･･･Case1 の上下動がない場合の支承 4 個分の履歴曲線を図 9 に示す。上下動がない場合は鉛直慣性力による影響が少ないため上下動がある場合よりも履歴の凹凸が小さい。また応答値にも差が見られたが、本実験で用いた入力波では大きな影響はなかった。

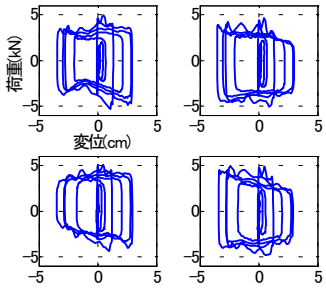


図 6　各支承の履歴曲線

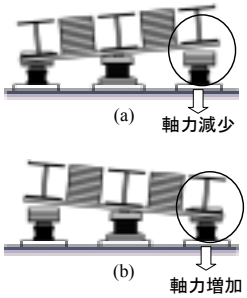
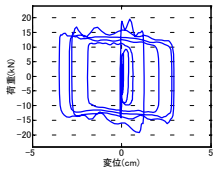


図 7　ロッキングと軸力の増減

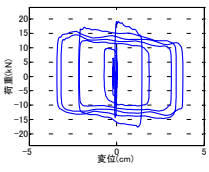


最大加速度　937gal

最大変位　3.49cm

履歴吸収エネルギー　532kNcm

図 8　履歴の合計(上下動あり)



最大加速度　983gal

最大変位　3.99cm

履歴吸収エネルギー　531kNcm

図 9　履歴の合計(上下動なし)

3　応答解析

・ 解析方法･･･実験 Case1 の上部工を 1 自由度にモデル化した。滑り支承の履歴は初期剛性を 2 次剛性の 10000 倍、2 次剛性をゴム支承の剛性とするバイリニアモデルである。摩擦力は要因(A)の軸力変動を考慮し((B)は全体でキャンセルするので考慮しない)、摩擦係数 μ は速度(v)面圧(P)依存性を考慮した(式(1))。

$$\mu = 1.379\left[1-\exp\left(-0.197v\right)\right]\cdot\frac{\left[1-\exp\left(-0.102P\right)\right]}{P}+0.046 \qquad (1)$$

・ 解析結果…実験で用いた模擬地震動の上下動がない場合と上下動振幅 500%の場合の履歴曲線及び、上下動の加速度を変化させた場合の応答倍率(上下動がない場合を 1 とする)を図 10～12 に示す。上下動が大きい場合でも、軸力が変動している時間が一瞬であるため水平応答に大きな影響は見られなかった。

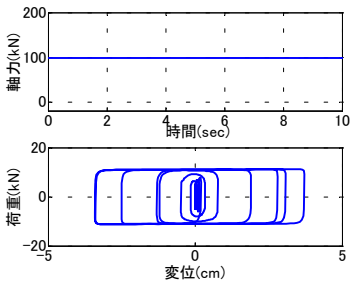


図 10　軸力と履歴（上下なし）

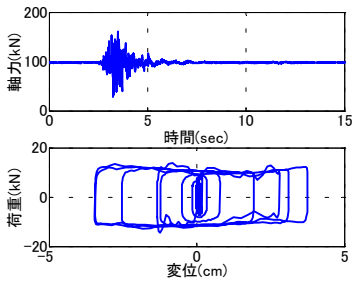


図 11　軸力と履歴(上下 500%)

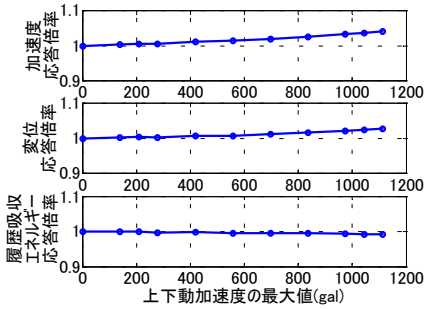


図 12　上下動による応答倍率

4　まとめ

・ 橋桁のロッキング振動によって滑り支承部に軸力変動が生じても、免震橋梁桁組全体の応答には大きな影響を及ぼさないことが分かった。

・ 上下動の有無によって多少応答性状に差が出るが、本実験で用いた入力波では大きな影響はなかった。

謝辞　本研究を進めるにあたり、阪神高速道路公団に御協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献　高橋良和・日比雅一・家村浩和,滑り型免震支承の速度･面圧依存型数値モデルの提案,土木学会関西支部,2003