

大阪大学大学院 学生員 ○市村賢太郎
大阪大学大学院 学生員 池内智行

川崎製鉄(株) 正会員 長町 賢
大阪大学工学部 正会員 西村宜男

1. 概 要

兵庫県南部地震によって橋梁の上・下部工が大きな損傷を被った。震災後の被害原因の調査・研究により、上・下部工の損傷と支承部の損傷の関連が指摘されている。復旧にあたっては、破損した支承の大部分が鋼製の支承であったことを踏まえてゴム支承を採用し、地震力を分散化する例が多く見られる。しかしながら、ゴム支承は大反力に耐えられないことや水平変位が大きいことから鋼製支承として復旧されている橋梁もあり、今後の免振設計に対する検討が必要であると思われる。本研究においては上部工の自重および上・下部工間に生ずる動摩擦力を復元力として利用する皿型免震支承を対象とした解析を行い、その地震応答特性について検討した。

2. 解析モデルと運動方程式

免震支承モデルを図-1に示す。図-1より免震支承を含む全体系の振動方程式は次式で表される。

(上部工)

$$X \text{ 方向: } M_1 \ddot{X}_1 = -N \sin \theta - M_1 \ddot{\Phi}_X - \mu N \cos \theta \quad (1)$$

$$Z \text{ 方向: } M_1 \ddot{Z}_1 = -M_1 g + N \cos \theta - M_1 \ddot{\Phi}_Z - \mu N \sin \theta \quad (2)$$

(下部工)

$$X \text{ 方向: } M_2 \ddot{X}_2 = \mu N \cos \theta + N \sin \theta - M_2 \ddot{\Phi}_X - K_X X_2 - C_X \dot{X}_2 \quad (3)$$

$$Z \text{ 方向: } M_2 \ddot{Z}_2 = \mu N \sin \theta - N \cos \theta - M_2 g - M_2 \ddot{\Phi}_Z - K_Z Z_2 - C_Z \dot{Z}_2 \quad (4)$$

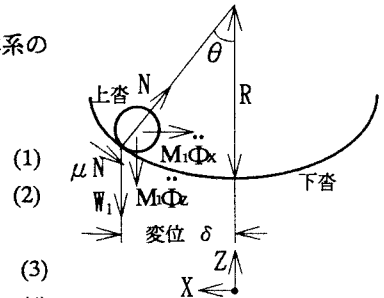


図-1 解析モデル

本解析においては数値計算手法として線形加速度法(Newmark's β methodで $\beta=1/6$ の場合)を用いた。また、非線形収束計算にはニュートン・ラプソン法を用いた。

3. 構造諸元と入力地震動

解析に用いた構造諸元を表-1に示す。入力地震動は兵庫県南部地震で観測された神戸海洋気象台 NS 地震動とした。

表-1 構造諸元

下部工 (鋼製円形脚)						上部工
ϕ (mm)	t (mm)	I (cm ⁴)	A (cm ²)	h (cm)	W ₁ (tf)	W ₂ (tf)
2,800	36	29,857,275	3,126	1,750	75	1200

4. 地震応答解析結果

4. 1 下沓の半径を変化させた場合の応答変位

免震支承を設置し、下沓半径を 150cm とした場合の応答変位時刻歴を図-2に示す。図-2から上部工、下部工ともに応答変位が十分に抑えられていることが分かる。また、図-3に下沓半径 R と上沓および下沓の制振率（上・下沓最大応答変位/支承剛結の場合の最大応答変位）の関係を示す。免震支承は下部工に対する上部工の慣性力の低減を期待するものであるから、下沓の制振率が重要であり、下沓半径が 100~200cm の場合が最も効果的であることが分かる。

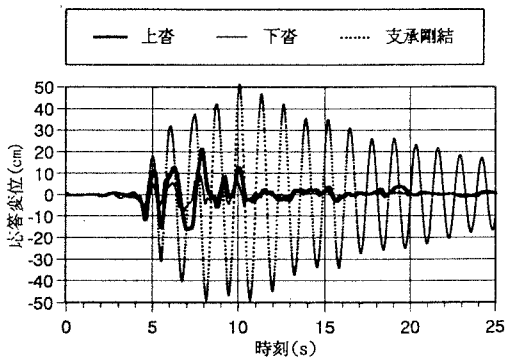


図-2 免震沓(R=150cm)の地震応答特性

4. 2 橋脚基部の発生応力度の検討

Kentaro ICHIMURA, Ken NAGAMACHI, Tomoyuki IKEUCHI, Nobuo NISHIMURA

橋脚基部で降伏応力度が発生する時の橋脚頭部の変位 δ_Y は $M_Y = \frac{3EI}{h^2} \delta_Y$, $\sigma_Y = \frac{M_Y}{Z}$ から求められる。 $\sigma_Y = 2700 \text{ kgf/cm}^2$ とすると、 $\delta_Y = 9.375 \text{ cm}$ となる。下沓の応答変位が最も小さくなる下沓半径 $R=150 \text{ cm}$ の場合の橋脚頭部（下沓）の最大変位は 8.98 cm である。この結果より橋脚基部の応力は弾性域内に留まり、損傷はほとんど受けないものと考えられる。ただし、上部工の最大変位は 21.4 cm となり、隣接桁間の遊間及び伸縮装置の遊間を大きく越える値である。

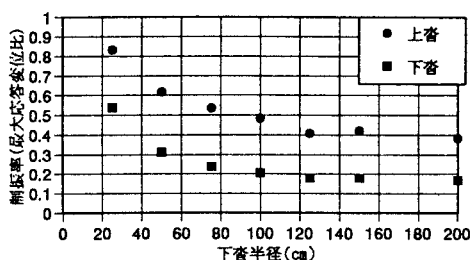


図-3 下沓半径と制振率の関係

4. 3 鉛直地震動の影響

鉛直地震動の免震効果に与える影響つまり、上沓の下沓からの浮き上がり・飛び出し等の有無を検討するため、水平地震動と鉛直地震動を同時入力した場合の応答変位と抗力変動を求めた。入力地震動は鉛直動として兵庫県南部地震 JR 鷹取駅 UD 成分を用い、下沓半径は $R=150 \text{ cm}$ の場合について解析した。抗力変動および応答変位時刻歴を図-4、図-5

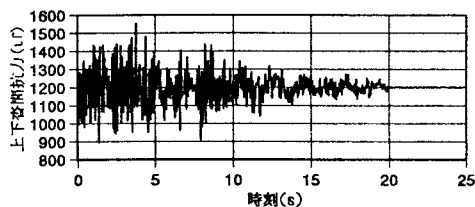


図-4 抗力変動

に示す。図-4 から抗力が 0 になり上沓が下沓から浮き上がることはなく、図-5 から上・下沓の相対変位が下沓半径を越えることはない。また、図-1 と図-5 を比較すると免震沓の挙動に大きな差はなく、上下動が免震効果に与える影響はほとんどないと言える。

5. 鋼管吸振装置の併用に関する検討

皿型免震支承を用いた地震応答解析から、下沓変位は下部工に損傷を与えない程度に十分抑えられるが上沓変位については、十分抑えられるものの、隣接桁間の遊間及び伸縮装置の遊間を大きく越える変位が生じ、隣接桁の衝突等が起こる可能性があるため、上部工の変位をさらに抑制することが望ましい。ここでは皿型免震支承を固定支承側に、極低降伏点鋼管の塑性ねじりを利用した鋼管吸振装置（図-6）を可動支承側に取り付けた場合の地震応答解析を行い、上部工変位の制振効果を検討した（図-7）。

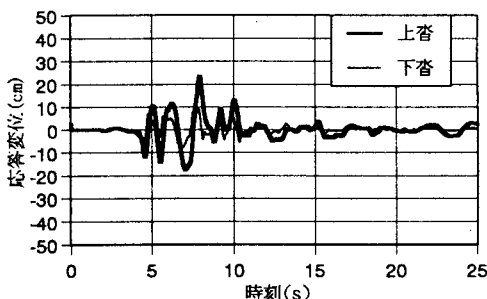


図-5 上下動入力時の応答変位

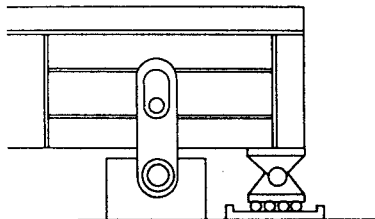


図-6 吸振装置の概要

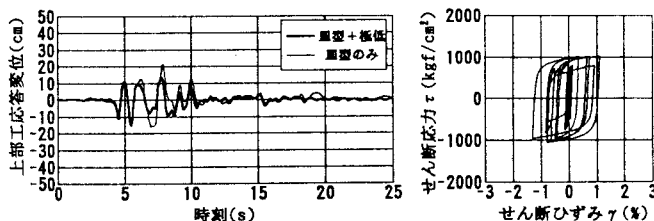


図-7 吸振装置を併用した場合の上部工応答変位

図-7 より可動支承側に吸振装置を併用することで上部工応答変位は 15.7 cm (支承剛結の場合 51.6 cm) まで抑制され、制振効果が大きく向上することが分かる。

6. まとめ

地震応答解析から皿型免震支承を用いることにより上・下部工の応答変位を大きく抑制でき、さらに、吸振装置と併用することで上部工変位の制振効果を大きく向上できることが明らかとなった。