

構造物と地盤の動的相互作用が
球面すべり支承を有する免震橋梁の地震時挙動に及ぼす影響

宇都宮大学(元群馬高専) 学生会員 ○井澤 亮介 宇都宮大学 正会員 藤倉 修一
群馬工業高等専門学校 正会員 井上 和真

1. はじめに

近年、積層ゴム支承と異なる免震支承として、球面すべり支承が注目され、日本の橋梁への適用へ向けての研究がなされている。例えば高橋ら¹⁾は、ダブル球面すべり支承を有する免震橋梁を対象に非線形動的解析を行い、レベル2地震動のような大きい地震動が作用したときの挙動を検証した。しかし、これまでに球面すべり支承自体の地震時挙動や橋脚への影響は検証されているが、構造物と地盤の動的相互作用が球面すべり支承を有する免震橋梁の地震時挙動に及ぼす影響については明らかにされていない。

そこで本研究では、構造物と地盤の動的相互作用が球面すべり支承を有する免震橋梁の地震時挙動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、球面すべり支承を有する地盤剛性の異なる橋梁モデルに対して、非線形動的解析を実施し、地盤剛性の違いによる応答値の標準偏差について検討を行う。

2. 球面すべり支承について

球面すべり支承とは、コンケイブプレートと呼ばれる凹状に球面加工された厚鋼板の上を、スライダと呼ばれる凸状に球面加工された可動体が摺動する振り子型の免震装置であり、振り子運動による復元機構と摩擦力による減衰機構を有している(図1)。すべり面の球面半径 R により固有周期が決まるため、長周期化が容易であり、スライダとコンケイブプレートの諸元および接触面の摩擦係数 μ により、力学的特性の調整が可能であるという利点がある²⁾。本研究においては、球面半径 $R=1.5\text{m}$ とし、摩擦係数 $\mu=0.05, 0.075, 0.1$ の3種類の球面すべり支承モデルを作成する。

3. 橋梁モデルを対象にした地震応答解析の条件

汎用解析ソフト TDAPIII³⁾を使用して、非線形動的解析を実施する。対象とするのは道路橋の耐震設計に関

表 1 解析ケースのまとめ

地盤種別	モデルⅠ (Ⅰ種地盤上の 直接基礎を想定)			モデルⅡ (Ⅱ種地盤上の 杭基礎を想定)		
	摩擦 係数 μ	0.05	0.075	0.1	0.05	0.075
入力 地震動	Ⅰ-Ⅰ-1, 2, 3			Ⅰ-Ⅱ-1, 2, 3		
	Ⅱ-Ⅰ-1, 2, 3			Ⅱ-Ⅱ-1, 2, 3		

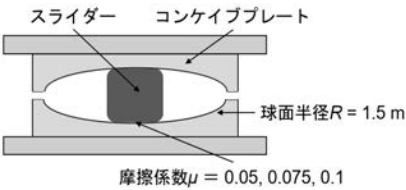


図 1 球面すべり支承の概略図

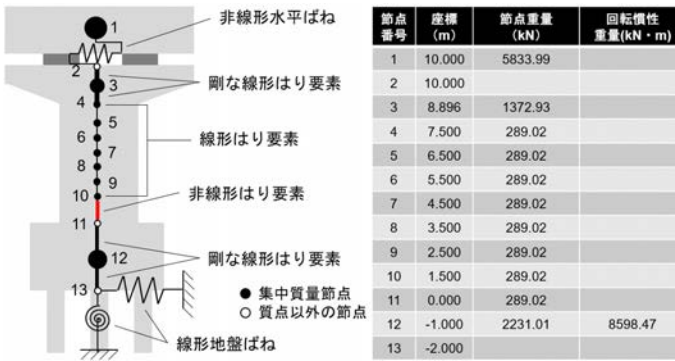


図 2 解析モデル概要 (モデルⅠ, Ⅱ共通)

する資料に掲載されている免震橋梁⁴⁾であり、Ⅰ種地盤上の直接基礎を想定したモデルⅠと、Ⅱ種地盤上の杭基礎を想定したモデルⅡの地盤剛性が異なる2種類の橋梁モデルを作成する(図2)。両モデルに共通し、履歴復元力特性として、橋脚基部に武田モデル、球面すべり支承にバイリニアモデルを用いる。入力地震動は、道路橋示方書⁵⁾に示されているⅠ種地盤の観測波の振幅調整波をモデルⅠに、Ⅱ種地盤の観測波の振幅調整波をモデルⅡに用いる。地盤剛性の異なる2種類の橋脚モデルと、摩擦係数の異なる3種類の球面すべり支承モデルの計6パターンのモデルに対し、地盤種別を合わせた6種類の入力地震動を用いて、計36ケースの解析を行う(表1)。

キーワード 球面すべり支承, 免震橋梁, 構造物と地盤の動的相互作用, 地震応答解析, 非線形動的解析

連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 TEL : 028-689-6227

4. 地震応答解析の結果

解析結果の1例として、モデルⅠ、Ⅱに対し、レベル2地震動を入力した際の球面すべり支承と橋脚基部の履歴曲線を図3、4に示す。解析結果の整理として、入力地震動のタイプごとに各モデルの球面すべり支承の最大応答変位（絶対値）と橋脚基部の最大曲げモーメント（絶対値）の標準偏差を算出する（表2）。振動制御の観点から、同じレベルの入力地震動では、応答スペクトルがほぼ等しくなっているため、球面すべり支承の最大応答変位と橋脚基部の最大応答曲げモーメントの標準偏差は小さいほど好ましいと言える。

球面すべり支承の最大応答変位（絶対値）と橋脚基部の最大応答曲げモーメント（絶対値）ともに、ほぼ全てのケースにおいて、モデルⅠの方がモデルⅡよりも標準偏差が小さいという結果であった。

5. おわりに

本研究では、球面すべり支承を有する地盤剛性の異なる橋梁モデルに対して、非線形動的解析を実施し、地盤剛性の違いによる応答値の標準偏差について検討を行った。その結果、ほぼ全てのケースにおいて、Ⅰ種地盤上の直接基礎を想定したモデルⅠの方が、Ⅱ種地盤上の杭基礎を想定したモデルⅡよりも応答値の標準偏差が小さく、振動制御の観点から、球面すべり支承を適用する際には、地盤剛性が高い（地盤が硬い）ほうが好ましい可能性が示唆された。

謝辞

本研究は、科研費 22H01570 および 20K14186 の助成を受けて遂行させていただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 高橋ら：ダブル球面すべり支承で支持された免震橋の地震時挙動に関する研究，土木学会論文集，Vol.76，No.4，I_620-I_632，2020.

2) 藤倉ら：静的正負交番載荷実験によるダブル球面すべり支承の復元力特性，構造工学論文集，Vol.64A，pp.283-292，2018.3.

3) アーク情報システム：TDAPIII マニュアル ver.3.10，2018

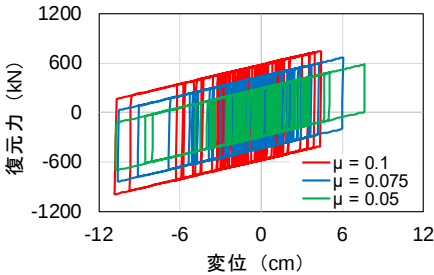
4) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，丸善，1997.

5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2017.11.

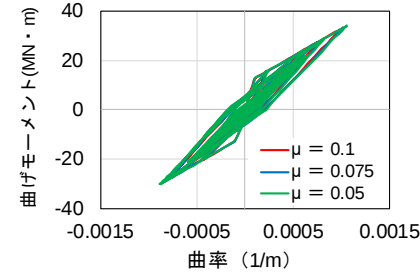
表2 各モデルの入力地震動ごとの標準偏差

	入力地震動	モデルⅠ 摩擦係数 μ			モデルⅡ 摩擦係数 μ		
		0.05	0.075	0.1	0.05	0.075	0.1
球面すべり支承の最大応答変位	I-I, II-1	7.0	5.8	5.3	34.7	33.1	26.6
	I-I, II-2	(-10.8, 10.4)	(-9.6, 8.6)	(-8.5, 7.4)	(-13.2, 14.6)	(-11.4, 13.3)	(-9.7, 12.3)
	I-I, II-3						
橋脚基部の最大曲げモーメント (MN・m)	II-I, II-1	8.9	5.8	7.1	19.0	18.3	16.8
	II-I, II-2	(-9.5, 9.0)	(-9.4, 8.0)	(-9.0, 7.5)	(-22.1, 16.0)	(-21.0, 14.9)	(-20.1, 13.7)
	II-I, II-3						
橋脚基部の最大曲げモーメント (MN・m)	I-I, II-1	322	459	511	707	763	810
	I-I, II-2	(-23.3, 23.7)	(-22.6, 23.1)	(-21.8, 22.3)	(-11.5, 12.4)	(-11.1, 12.1)	(-10.9, 12.1)
	I-I, II-3						
橋脚基部の最大曲げモーメント (MN・m)	II-I, II-1	533	421	331	455	496	526
	II-I, II-2	(-32.0, 30.7)	(-31.4, 30.1)	(-30.9, 29.5)	(-22.4, 21.4)	(-21.9, 21.0)	(-21.6, 20.6)
	II-I, II-3						

※上段は標準偏差を、下段の括弧内の数字は最大、最小値の平均を示す

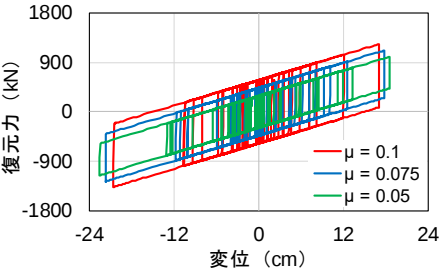


a) モデルⅠの球面すべり支承の履歴曲線

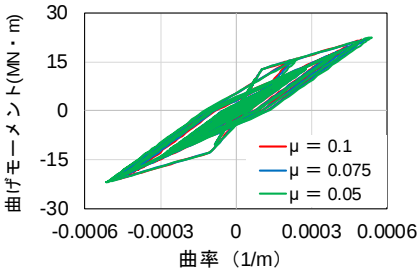


b) モデルⅠの橋脚基部の履歴曲線

図3 入力地震動Ⅱ-I-1におけるモデルⅠの解析結果



a) モデルⅡの球面すべり支承の履歴曲線



b) モデルⅡの橋脚基部の履歴曲線

図4 入力地震動Ⅱ-II-1におけるモデルⅡの解析結果