

球面すべり支承を適用した連続桁橋の地震時挙動に対する解析的検討

日鉄エンジニアリング (株) 正会員 ○尾上 紘司
 正会員 山崎 伸介
 (株) ニューブリッジ 正会員 加藤 修

1. はじめに

現在、我が国の免震構造には、積層ゴム系支承が多用されているが、近年の大地震後には破断などの損傷が散見された。一方で、想定外の巨大地震の地震作用力の低減には、より効果的な免震技術の導入が必要である。そこで、筆者らはゴム系支承以外の免震構造の選択肢として、ゴム系支承よりも長周期化が容易な球面すべり支承（以下、SSB）を開発した¹⁾。本研究では、SSB を適用した橋梁の免震効果を解析的に検討した。

2. SSB の概要

本研究では、コンケイブと呼ぶ凹面部材を上面（桁側）に設置し、それをスライダと呼ぶ凸型球面を有する部材で支持した、すべり面が1面の「シングル球面すべり支承」を対象とした。地震時は、コンケイブ面をスライダが摺動し、その際の摩擦力により減衰する機構である。概要を Fig.1 に示す。

SSB は球面半径 R 及び摩擦係数 μ が主なパラメータである。周期 T 及び二次剛性 K は、上載荷重 w とともに式(1)(2)で表される。式(1)の通り、固有周期は上載荷重によらずすべり面の球面半径で決まるため、長周期化が容易である。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{w}{Kg}} = 2\pi \sqrt{\frac{w}{\frac{w}{R}g}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (1)$$

$$K = \frac{w}{R} \quad (2)$$

3. 解析概要

本研究では、一般的な5径間連続鋼I桁橋を対象とした²⁾。橋梁諸元を Table 1 に示す。モデルは Fig.2 のように、中間橋脚及び上部工を集中質点とし、橋脚基部と支承部はバネ要素とした。なお、橋台は固定とし、モデル化していない。支承部は SSB の免震効果

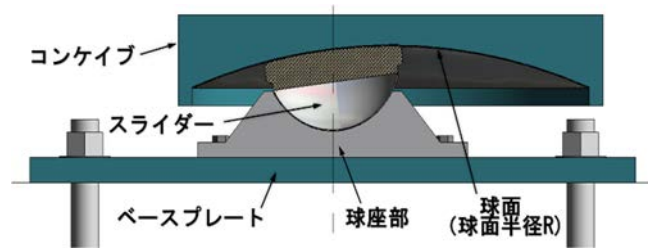


Fig.1 SSB (Spherical Sliding Bearing)

Table 1 橋梁諸元

項目	橋梁諸元	
上部工	形式	鋼5径間連続鋼I桁橋
	橋長	200.000m
	支間割	5@40.000m
	幅員	12.000m
	支承条件	・球面すべり支承 (SSB) ・高減衰積層ゴム支承
下部工	橋脚	RC柱式T形橋脚 (橋脚躯体高H=12.000m)
	基礎	直接基礎
	使用材料	コンクリート: $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$ (橋脚) $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$ (フーチング) 鉄筋: SD295
その他	重要度の区分	B種の橋
	地盤種別	I種地盤

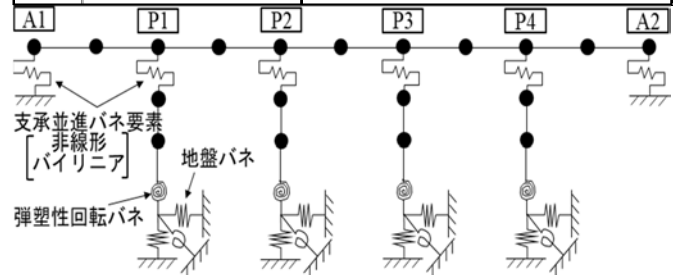


Fig.2 解析モデル

を確認するために、高減衰積層ゴム支承も比較検討した。支承の骨格曲線はバイリニアモデル、橋脚は $M-\phi$ バイリニアとし、履歴モデルは Takeda 型モデルとした。要素ごとの減衰定数は、上部桁を 2%、支承 0%、橋脚一般部 5%、橋脚基部 2%、基礎 10% とし、減衰は Rayleigh 減衰とした。地震動は、道路橋示方書 V、タイプ I・II 地震動を入力している。ただし、本報告は、橋軸方向を対象としている。

キーワード 免震、球面すべり支承、高減衰積層ゴム支承、5径間連続鋼I桁橋

連絡先 〒141-8604 東京都品川区大崎1丁目5番地1号 日鉄エンジニアリング(株) TEL:03-6665-3370

各支承解析ケースを Table 2 に示す。摩擦係数 0.02~0.08, 球面半径 1000 mm~4500 mmとした。なお、記載の固有周期は、最大変位量の 70%から求めた等価剛性による等価固有周期である。

4. 解析結果

各解析 CASE における P1 橋脚基部の 3 波平均の最大の曲率を Fig.3 に示す。CASE1 (ゴム支承) では、橋脚基礎が塑性化しているのが分かる。一方、SSB の場合には、摩擦力の大きい、つまり上部工慣性力が比較的大きく作用する CASE4 (摩擦係数 0.08) 群はすべて橋脚基礎が塑性化する結果となったが、摩擦係数 0.04 以下では CASE2-1 を除き橋脚基礎が弾性域となった。

また、Fig.4 では各解析 CASE における上部工の最大変位を示しており、CASE2 (摩擦係数 0.02) 群を除き変位量が 300 mm以下である。ゴム支承と比較すると変位は大きい傾向にあるが、新設橋梁では遊間量を 500 mm程度以上確保できれば問題ない。特に、CASE3 (摩擦係数 0.04) 群は、変位量は 300 mm以下と比較的小さいうえ、橋脚基部の曲げモーメントの低減効果が大きい結果となった。

今回検討ケースで最も免震効果が大きい CASE3-2 (摩擦係数 0.04, 球面半径 R2500mm) と CASE1 の支承及び橋脚基部の履歴曲線を Fig.5 に示す。SSB を適用することにより、上部工慣性力が下がり橋脚基部が弾性挙動していることが確認できる。

5. まとめ

本研究では、球面すべり支承 (SSB) の橋梁構造への適用性を確認するため、非線形時刻歴応答解析を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ・本解析ではレベルII地震動において、SSB を適用した 9CASE 中 5CASE が、橋脚基部が塑性化せず弾性域に留まった
- ・SSB を適用すると、変位量はゴム支承よりも大きくなる傾向にある。本解析では、変位量はゴム支承の 0.9~2.6 倍の範囲であった

・本解析結果から判断すると、橋脚基部の曲げモーメント低減効果および変位量の観点からは CASE3 ($\mu=0.04$) が最適 CASE といえる

上述の結果から、レベルII地震においても橋脚の塑性化を期待せずに設計を行える可能性がある。これは、ダメージフリーや想定外地震に対する有効な対策の 1 つになりうる。また、想定外の地震動や遊間の狭いケースに関しては、今後検討する予定である。

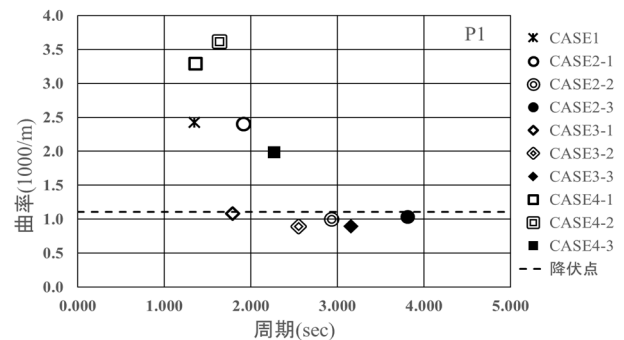


Fig.3 CASE 毎の P1 橋脚基部の曲率と周期

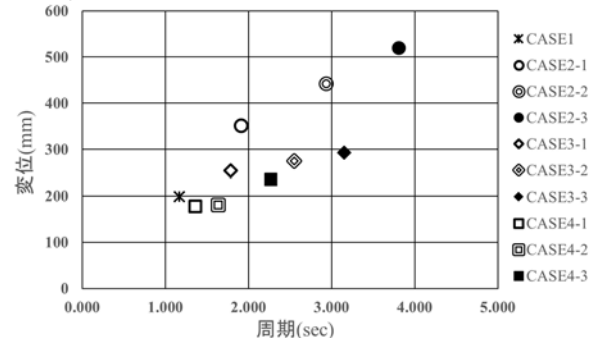


Fig.4 CASE 毎の上部工の最大変位量と周期

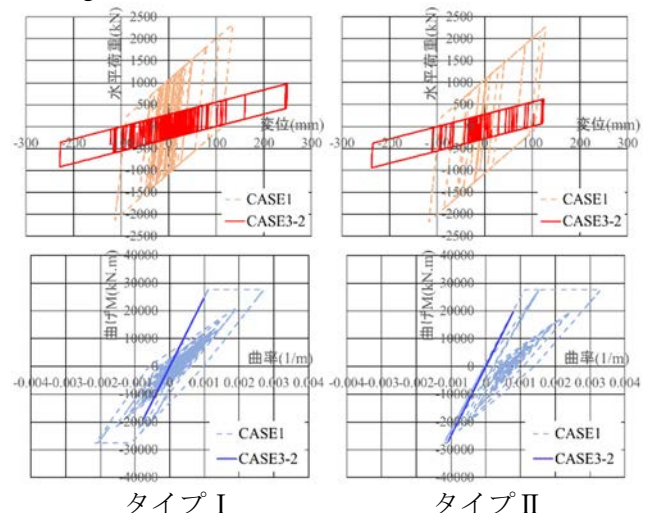


Fig.5 履歴曲線 (上段: 支承, 下段: 橋脚基部)

参考文献

- 1)山崎, 野呂, 田村: 高耐久性シングルタイプ球面すべり支承の開発, 第 76 回年次学術講演会, 2021.9
- 2) (社) 日本道路協会: 道路橋の耐震設計に関する資料, 1997

Table 2 解析ケース

免震 ゴム 支承	CASE1	ゴム厚(A1,A2)	層数(A1,A2)	P1橋脚での等価剛性(kN/mm)			
		10mm	12層	等価減衰定数(%),等価周期(sec)			
SSB	CASE1	ゴム厚(P1~P4)	層数(P1~P4)	等価剛性	等価減衰	等価周期	
		14mm	8層	4.113	21.3	1.344	
	摩擦係数 μ	球面半径R(mm)	0.02	1000	7.649	5.4	1.920
			0.02	2500	3.273	9.2	2.935
			0.02	4500	1.939	12.6	3.813
			0.04	1000	8.824	13.2	1.788
			0.04	2500	4.328	22.5	2.553
			0.04	4500	2.835	28.7	3.154
			0.08	1000	15.095	34.1	1.367
			0.08	2500	10.547	46.8	1.635
0.08	4500	5.457	45.5	2.273			