

I-B 52

変位制御装置付き免震支承の開発

川崎重工業(株) 橋梁技術総括部 技術部 正会員 小川 一志
 川崎重工業(株) 橋梁技術総括部 技術部 正会員 ○ 斎藤 敏雄
 川崎重工業(株) 橋梁技術総括部 技術部 正会員 玉木 利裕
 川崎重工業(株) 橋梁技術総括部 正会員 坂井 藤一

1. まえがき

阪神大震災により高速道路が壊滅的な被害を被り、大地震力（ 800 gal 以上）に耐えうる免震支承の開発が急務となっている。従来の免震支承（LRB（鉛プラグ入り積層ゴム支承）や高減衰積層ゴム支承）では阪神大震災クラスの地震に対して橋桁が大きく水平変位（ $30\sim70\text{ cm}$ ）して、伸縮装置部（橋桁と橋台の繋ぎ部）の設計が困難となり、また支承の鉛直耐力（水平移動時）が問題となることがある。

免震支承の変位を抑えるにはダンパーが有効であるが、従来のダンパー（油圧ダンパー等）は1方向のみに有効であり橋軸方向と橋軸直角方向の2方向に変位する免震支承には、2系統のダンパーが必要となる。これらの問題点を解決するために、新たに変位制御装置付き免震支承を考案した。その変位制御装置について、エネルギー法による簡易計算および地震時の応答シミュレーション解析を行って、有効性を検討したので以下に報告する。

2. 装置の説明

変位制御装置付き免震支承を図-1に示す。変位制御装置は免震支承④と併用して使用され、受台①、突起部②および板バネ③から構成されている。

地震により、橋桁が水平に変位することとともなって橋桁下面に付けた突起部②が受台①に強く押しつけられてバネ③は変形し、その反力に比例して受台と可動部の間のクーロン摩擦力は増大し、橋桁の水平変位を拘束することができる。

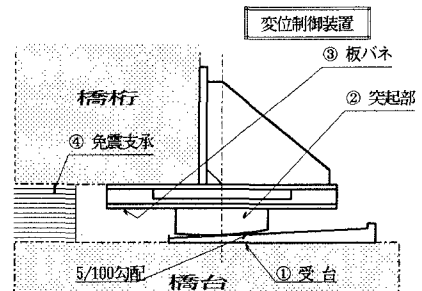


図-1 変位制御装置付き免震支承

3. 装置の原理

従来のすべり支承の場合の外力(F)と変位(X)との関係を図-3に、変位制御装置付きを図-4に示す。

従来のすべり支承の場合には、摩擦係数 μ と板バネのバネ定数 K_S 、受台の傾き角 θ の値を調整して摩擦係数 μ の値を常にバネ③による復原力 F_1 より小さくするように設定して、すべり摩擦（クーロン摩擦）にともなう残留変位が生じないようにすることができる。

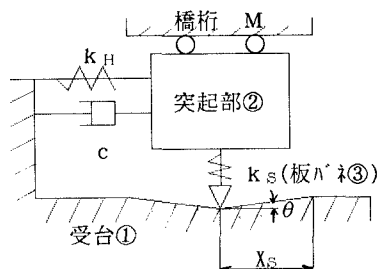


図-2 解析モデル

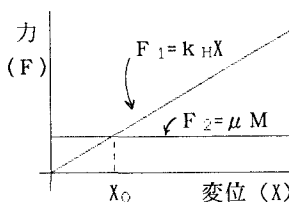


図-3 従来のすべり支承

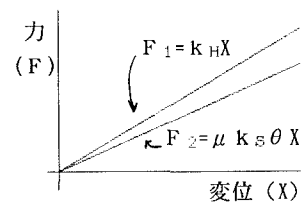


図-4 変位制御装置付き支承

4. 解析による検討

4. 1 簡易計算による検討

以下の条件のもとに計算を行い効果を確認した。

「条件」：受台と突起部の間のすき間（静止時） $\delta = 0$

免震支承④の水平バネ定数 $K_H = \text{一定}$

「条件式」

$$1/2 \cdot MV_0^2 = 1/2 \cdot K_H X_0^2 \text{----- (1) (変位制御装置無)}$$

$$1/2 \cdot MV_0^2 = 1/2 \cdot K_H X_1^2 + \int_0^{X_1} \mu N dx \text{--- (2) (変位制御装置有)}$$

$$N = K_S \cdot X \theta \text{----- (3)} \quad K_S: \text{バネ③のバネ定数}$$

式(2)の第2項は式(3)を考慮して

$$\int_0^{X_1} \mu N dx = \int_0^{X_1} \mu K_S \theta X dx = \mu K_S \theta X_1^2 / 2 \text{--- (4)}$$

式(1), (2)と(4)より

$$1/2 \cdot K_H X_0^2 = 1/2 \cdot K_H X_1^2 + 1/2 \cdot \mu K_S \theta X_1^2$$

$$X_1 = X_0 / \sqrt{1 + \mu (K_S / K_H) \theta}$$

例えば $\mu = 0.3$, $K_S / K_H = 100$, $\theta = 0.05$ の時

$$X_1 = 0.63 \cdot X_0$$

となり水平変位量は変位制御装置を付けることにより約40%の低減効果があることが予想される。

4. 2 応答シミュレーション解析による検討

図-2に示す1自由度モデルにより、簡易計算と同一条件で応答シミュレーション解析を行った。運動方程式を式(5)~(8)に示す。

・運動方程式

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = -M\ddot{Z} + Fr \text{----- (5)}$$

・摩擦力

$$Fr = -\text{sgn}(\dot{X}) \mu N(X) \text{----- (6)}$$

・バネ力

$$N(X) = K_S |X| \theta \quad (|X| < |X_S| \text{の時}) \\ = K_S |X_S| \theta \quad (|X| \geq |X_S| \text{の時}) \text{----- (7)}$$

・(5)~(7)より

($X_S = 200\text{mm}$)

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + \text{sgn}(\dot{X}) \mu K_S \theta |X| + K_H X = -M\ddot{Z} \text{----- (8)}$$

解析結果を表-1および図-5, 6に示す。その結果によれば、変位制御装置がある場合、応答変位がレベルIに対して約20%、レベルIIに対して約50%の低減効果がある。

表-1 応答シミュレーション解析結果

	レベルI地震#1		レベルII地震#2	
変位制御装置	無	有	無	有
最大変位(m)	0.28	0.22	0.66	0.35
最大加速度(m/s/s)	5.818	5.719	4.370	3.467
最大水平力(tf)	3177	3124	2387	1894

*1:最大加速度=104 [gal], *2:最大加速度=385 [gal]

5. まとめ

応答シミュレーション解析結果によれば、変位制御装置の効果は、地震力の大きい方が効果があり、例えばレベルIIにおいて、水平変位では、約50%の低減、加速度および水平力では約20%の低減効果があった。今回は解析によりその効果を確認したが、今後、模型試験により検討する予定である。

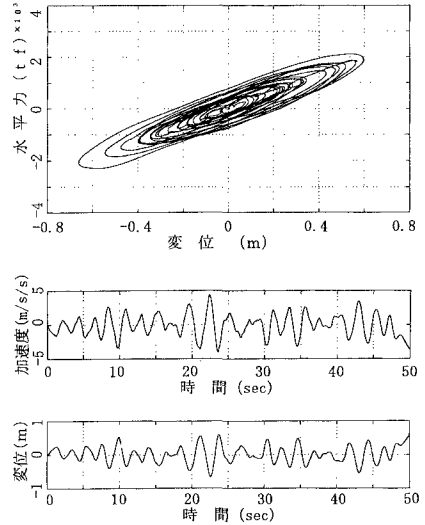


図-5 レベルII（変位制御装置無）

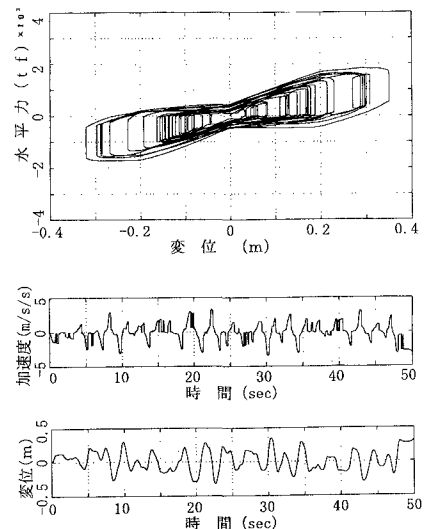


図-6 レベルII（変位制御装置有）