

分散ゴム支承, 免震支承, すべり支承, 反重力すべり支承の調和入力による応答

オイレス工業(株) ○正会員 宇野裕恵 JIPテクノインクス(株) 正会員 佐藤知明  
 京都大学大学院 正会員 五十嵐晃 熊本大学大学院 正会員 松田泰治  
 阪神高速道路(株) 正会員 足立幸郎 阪神高速道路(株) 正会員 八ツ元仁  
 オイレス工業(株) 正会員 二木太郎 東武鉄道(株) 正会員 北 聖大

1. 目的

支承部に変位を許容するデバイスを用いる振動系の応答性状は、履歴特性や減衰機能に依存する。本論文では、分散ゴム支承(RB)、免震支承(LRB)、すべり支承(SB)および反重力すべり支承(UPSS)<sup>1)</sup>の振動特性を調和入力により分析した。ここで、反重力すべり支承とは、図-1に示す平面すべり面と斜めすべり面からなるすべり支承であり、地震時に斜めすべりにより応答を制御する。

2. 検討対象モデル

検討対象モデルは、PC12 径間連続箱桁橋<sup>1)</sup>の橋脚1基が支持する上部構造死荷重を質点とする図-2の1質点(W=5, 122kN)系のモデルである。それぞれの支承構成を表-1および表-2に示す。支承の履歴形状は図-3のようであり、図中の下側に変位状態を付記する。免震支承の履歴特性はせん断ひずみ250%で設定し、2次剛性を分散ゴムの水平ばねに合わせた。粘性減衰は全ての支承に0.03を与え、大変位時の応答を比較しやすくした。粘性減衰は分散ゴムの共振周期1.2535秒で設定し、質量比例型減衰を用いた。

3. 入力外力

外力は表-3のパラメータに基づき、図-4(入力周期1.25秒の例)の正弦波の変位波形を基盤面に10秒まで漸増入力し、10秒後に所定の入力変位として応答の定常化を図った。入力時間は50秒までとし、40~50秒の応答変位より最大応答変位を抽出した。

4. 時刻歴応答変位と応答変位倍率

各支承の時刻歴応答変位の例を図-5に示す。また、免震支承の最大応答変位倍率の変化を図-6に示し、各支承の入力変位と応答変位倍率の関係を図-7に示す。

分散ゴム支承は粘性減衰0.03を有する線形ばねであることより、入力変位の大小にかかわらず最大応答倍率は理論値である約16.67(=1/2・0.03)となり、応答振幅は20~30秒付近でほぼ一定となっている。

免震支承では入力変位が大きくなるにしたがい長周期化すると共に、分散ゴムの共振周期1.2535秒に近づく。ここで、免震支承の2次剛性を分散ゴムの水平ばねに合わせているため、入力変位を100mと極端

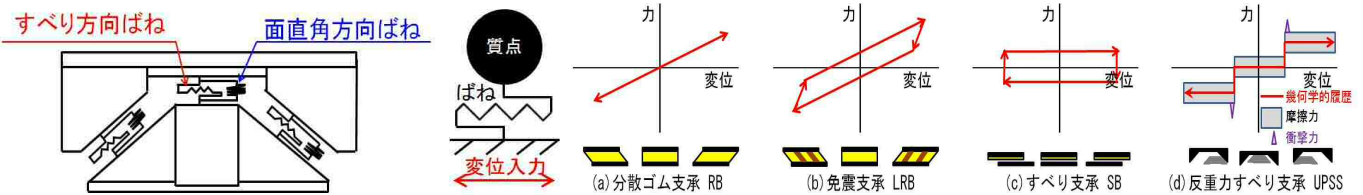


図-1 反重力すべり支承

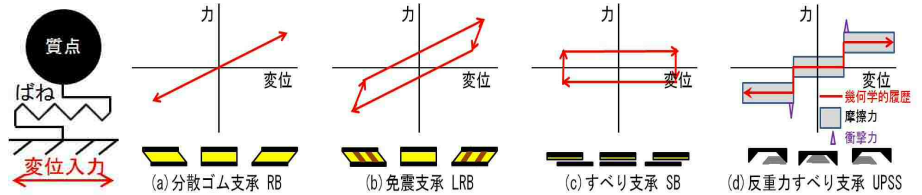


図-3 支承の履歴モード

表-1 分散ゴム支承と免震支承

表-2 すべり支承と反重力すべり支承

表-3 入力パラメータ

	鉛プラグ			水平ばね		斜面角度 度	遊間 mm	すべり面			分散ゴム支承	入力周期	入力変位 (m)
	形状	面積比率 %	降伏荷重 kN	1次剛性 kN/m	2次剛性 kN/m			圧縮ばね kN/m	摩擦係数	降伏変位 mm			
分散ゴム支承	□1620×1620×240(5層-48mm)	-	-	13,122	0	0	-	0.02	0	0.03	0.015, 0.030, 0.060, 0.120, 0.180, 0.240, 0.300, 0.400, 0.500, 1.5, 10, 50, 100, 0.01	0.03	
免震支承	□1714×1714×240(5層-48mm)	5-φ329	12	3,544	131,585	5	30	4,719,700	0.05	25	0.03, 0.06, 0.09, 0.12, 0.15, 0.18, 0.21, 0.24, 0.27, 0.30, 0.40, 0.50, 1.00	0~5.0sec (0.05sec刻)	0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50

キーワード 反重力すべり支承, すべり支承, 免震支承, 分散ゴム支承, 共振周期, 動的解析

連絡先〒541-0053 大阪市中央区本町4丁目6番7号 オイレス工業(株) TEL 06-6267-0855

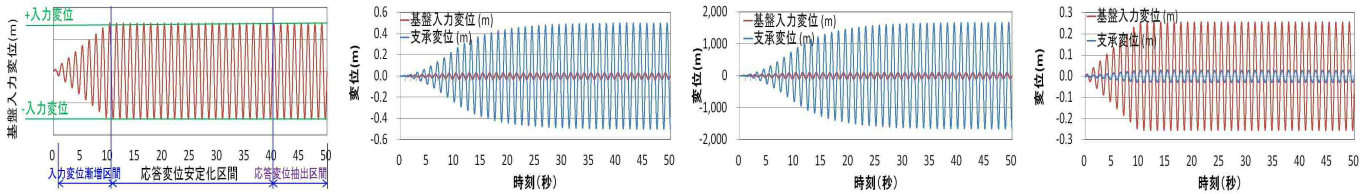
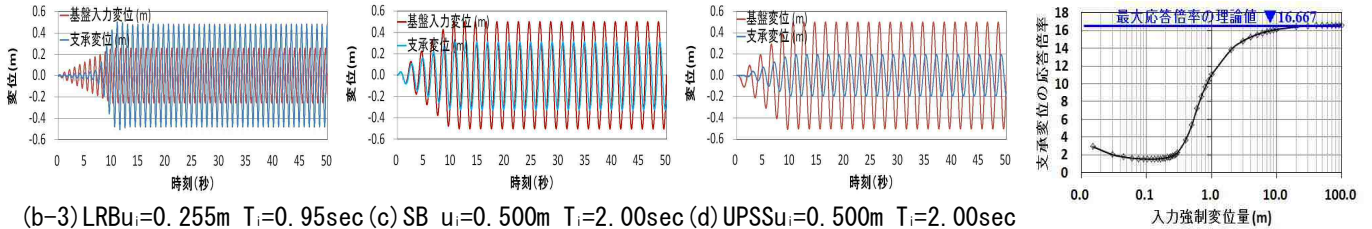
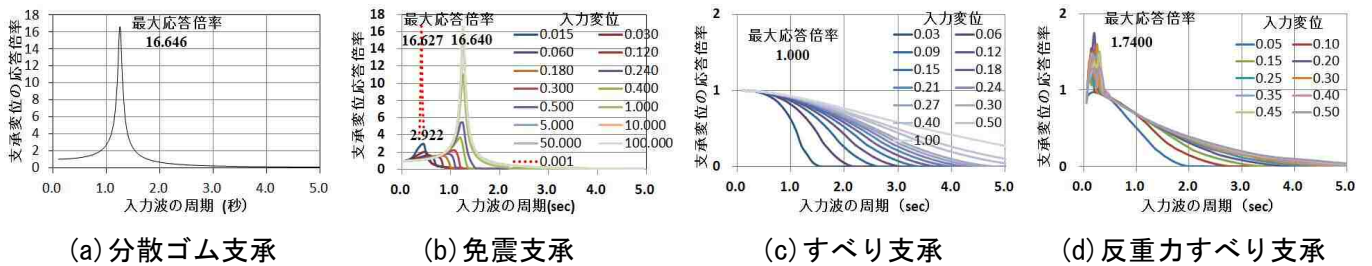


図-4 基盤入力変位 (a)RB  $u_i=0.030m$   $T_i=1.25sec$  (b-1)LRB  $u_i=100m$   $T_i=1.25sec$  (b-2)LRB  $u_i=0.255m$   $T_i=1.25sec$



(b-3)LRB  $u_i=0.255m$   $T_i=0.95sec$  (c)SB  $u_i=0.500m$   $T_i=2.00sec$  (d)UPSS  $u_i=0.500m$   $T_i=2.00sec$

図-5 支承の時刻歴応答変位 (LRB)「図中  $u_i$  : 入力変位  $T_i$  : 入力周期」 図-6 免震支承の最大応答変位倍率



(a)分散ゴム支承 (b)免震支承 (c)すべり支承 (d)反重力すべり支承  
図-7 支承の応答変位倍率

に大きくすると履歴減衰が小さくなって粘性減衰が支配的になり、共振周期は分散ゴム支承に一致するようになる。この時刻歴応答変位は図-5(b-1)であり、分散ゴム支承と同様な入力波形と応答波形の関係となっている。このため、図-5(b-2)の入力変位0.255m、入力周期1.25秒では共振状態になく、応答変位は小さい。この入力変位0.255mでは、約0.95秒で同図(b-3)に示す共振状態となるが、応答変位は0.504mmで、応答変位倍率は1.976と小さい。また、時刻8秒程度まで応答変位の増大は緩慢であるが、その後急激に大きくなっている。これらは、免震支承の履歴減衰による応答低減効果である。一方、図-7(b)の赤破線は、免震支承の1次剛性による固有周期0.3958秒で粘性減衰を0.03に設定した質量比例型減衰を用いた解析結果であり、入力周期0.3958秒で応答変位倍率は理論値の16.67程度となる。しかし、入力変位は1mmと小さく、応答変位も小さい。この共振状態は実地震動では一過性の入力変位であり、1次剛性での共振は設計上の問題にならない。

すべり支承はばね特性を有しないため、応答変位倍率は図-7(c)のように小さく、共振は見られない。すなわち、すべり支承は絶縁機能を発揮し、入力変位が大きくなるにしたがい応答変位倍率が大きくなり、入力周期が大きくなるにしたがい応答変位倍率が小さくなるが、全て1.0より小さい。

反重力すべり支承では、抵抗力が図-3(d)のように急激に大きくなる履歴特性を有している。図-6(d)より0.5秒程度以下の短い入力周期では入力加速度が大きくなることにより応答変位倍率が1.0よりやや大きくなるが、0.5秒程度以上になるとすべり支承と同様に長周期化するため、応答倍変位率は1.0をより小さくなっている。反重力すべり支承の応答変位倍率は長周期の入力ですべり支承より小さくなっているのは、摩擦係数は同じであるものの斜めすべり時に抵抗力の発現し、摩擦減衰が増大する影響と考えられる。

### 5 まとめ

以上より、弾性要素を有する支承では共振現象が顕著に発生するが、減衰性能が大きい免震支承では大きく抑制され、弾性要素のないすべり支承では共振現象はほとんど発現しないことが確認された。これらの挙動から、Ⅲ種地盤に位置する橋に適用する支承としてすべり支承および反重力すべり支承が有望であり、復元力を付与する場合は、共振抑制効果の高い免震支承が適切であると考えられる。

参考文献 1)宇野ほか:反重力すべり支承を用いた振動系の周期特性の評価, 土論 A1, 70(4), I\_419-, 2014.