

I - B 64

機能分離型支承システムの衝突载荷実験

立命館大学理工学部 正員 伊津野和行

阪神高速道路公団 正員 袴田文雄・志村 敦

1. 機能分離型支承システム 道路橋示方書の改訂を受け、既存道路橋の耐震補強にもゴム支承が使用されるようになった。しかし、既存橋梁では、必ずしもゴム支承の設置空間が十分確保されているとは限らず、大幅な縦断勾配変更も不可能な場合が多い。また、地震に強い構造にすることは必要であるが、平常時の機能もおろそかにしてはならない。そこで、平常時の荷重に対する支承の働きと、地震荷重に対するバンプの働きとを分離し、従来の線支承の交換にも用いることができるような、背の低い機能分離型支承システムが開発された。

この装置は、PTFE（テフロン）とステンレスとを用いたすべり摩擦型支承装置の一種であり、摩擦係数が面圧やすべり速度によって変動することが知られている。これまでの正弦波加振実験では、大地震時における数十kineのすべり速度に対する摩擦係数が未確認であった。本研究では、振り子を試体に衝突させることによって高速载荷を実現し、摩擦係数の载荷速度と面圧による変動を検証した。

2. 実験システム 機能分離型支承システムは、図-1に示すように、荷重支持板とその上に設けられたスライド部、および側面に取り付けられたゴムバンプからなる。荷重支持板は薄いゴムからなり、常時の鉛直荷重支持と、桁の回転吸収を行う。スライド部は、PTFEとステンレスとの間ですべり摩擦が生じることを利用し、地震時における橋軸方向の揺れの長周期化と、摩擦減衰の付加をねらっている。スライド部は強制スライド形式として、荷重支持板のゴムには大きなせん断変形が生じないようにしてある。ゴムバンプは天然ゴムの積層ゴムからなり、地震時における反力分散と三方向の変位制限装置として働く。橋軸方向のみならず、鉛直方向に対してもゴムのせん断変形に抵抗し、地震時における桁の浮き上がりを防止する。

本装置の面圧依存性と载荷速度依存性を調べるため、装置の全体模型に対して、図-2の実験システムによって衝突载荷実験を行った。荷重支持板に鉛直方向の面圧を加えた状態で、振り子によって装置を水平方向に打撃した。打撃によってスライド部にはすべり摩擦が生じ、ゴムバンプはせん断変形を受ける。実験ケースを表-1に示す。荷重支持板に対する鉛直荷重（面圧）については、25tf（6MPa）、50tf（12MPa）、100tf（25MPa）の3通りとし、衝突速度を70～120kineで各7通り実施した。面圧50tfは、本装置模型を設計するにあたって用いた死荷重相当反力である。なお、面圧50tfのケースについては、同じケースをそれぞれ2回繰り返して、実験結果が再現できることを確認している。

振り子前面に設置したロードセルによって衝突荷重を、非接触型レーザー変位計によって振り子と供試体の変位を、それぞれ1/10,000秒単位で測定した。また、変位計の記録を数値微分し、速度を計算した。

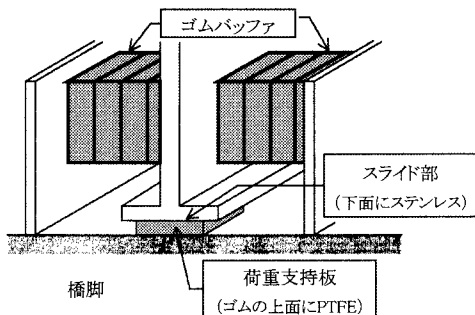


図-1 機能分離型支承システム概念図

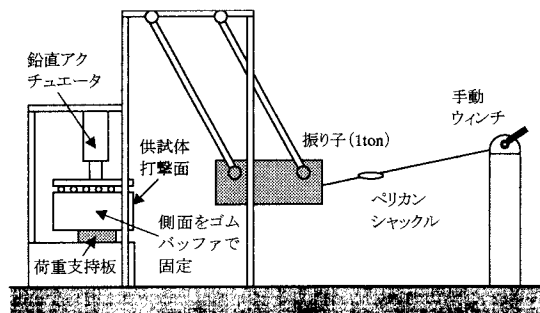


図-2 衝突载荷実験装置

キーワード: すべり摩擦、支承、衝突、PTFE、地震応答

連絡先: 〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 Tel./Fax.077-561-2728

3. 衝突載荷実験結果 実験結果の一例として、鉛直荷重50tf、振り子の落下高さ7cmのケースにおける、振り子と供試体の変位時刻歴を図-3に示す。衝突速度は125kineであり、衝突によって供試体は38kineの速度で移動した。図中の時間軸0.06秒付近で衝突しているが、その少し前から供試体が動き始めている。これは、振り子前面にロードセルを保護するためのゴム片を貼り付けたためである。これらの波形から摩擦係数を推定する。供試体の運動は、速度が時々刻々と変化しているが、簡単化のため、あるひとつの周期に対しては、摩擦係数が一定だと仮定する。

衝突させる振り子の質量を m 、供試体の移動部分の質量を m' とする。反力壁と供試体をつなぐゴムバンプも動き、 m' の大きさは明らかではないので、衝突前後の速度から推定する。振り子が速度 v_0 で衝突し、衝突後に速度が v_1 に変化したとする。その衝突によって、静止している供試体が速度 v_1' で動き始めるとする。反撥係数を e とすると、それぞれの速度には次の関係がある。

$$v_1' - v_1 = e \cdot v_0 \quad (1)$$

本実験結果の平均は、 $e=0.6$ （標準偏差0.04）であった。運動量の保存則と(1)式より、 m' が次のように計算される。

$$m' = (1 + e)mv_0 / v_1' - m \quad (2)$$

衝突後、最大変位を示した時点から、元の位置へ供試体可動部が動いている過程に対して運動方程式をたてる。ゴムバンプは天然ゴムで粘性減衰は小さいため、減衰はすべて摩擦 F によるものと仮定する。

$$m'\ddot{x} + kx = F \quad (3)$$

初期条件 $t=0$ で、 $x=x_0$ 、 $x'=0$ のもとでの解は、 $\omega^2=k/m'$ とおくと次式で表される。

$$x = \frac{F}{k} + \left(x_0 - \frac{F}{k}\right) \cos \omega t \quad (4)$$

よって、最大変位 $x_0(>0)$ と、反対方向の最大変位 $x_1(<0)$ 、およびゴムバンプのバネ定数 k から、次式によって F が求められる。

$$F = k(x_0 + x_1)/2 \quad (5)$$

以上より、摩擦係数 μ は、鉛直載荷荷重を N 、重力加速度を g として次式で表される。

$$\mu = F/Ng \quad (6)$$

表-1の全ケースについて、摩擦係数を推定し、供試体の速度 v_1 とのグラフで示すと図-4になる。図中には、これまでの研究¹⁾で得られた、最大速度0.018～18kineの範囲の正弦波加振実験による面圧12MPaに対する摩擦係数も示してある。正弦波加振において、常時における低速度の動きに対しては $\mu=10\%$ で、高速になるに従い摩擦係数が高くなり、 $\mu=20\%$ に達する。

本衝突載荷実験では摩擦係数がばらついているが、少なくとも、速度が上がるにつれ摩擦係数が小さくなることはないといえる。地震時の速い速度においても、摩擦による振動減衰を見込める。よって、面圧12MPaのケースでは、地震時に対する摩擦係数の設計値としては、安全側の評価として $\mu=15\%$ 程度を与えればよいと考えられる。

また、面圧の違いによる摩擦係数の変化は大きいことがわかる。面圧が半分になれば、摩擦係数は約2倍になった。なお、本実験終了後、荷重支持板、ゴムバンプ、スライド部とも、供試体に異常は認められなかった。

表-1 実験ケース

鉛直荷重(tf)	25			50			100		
面圧(MPa)	6			12			25		
振り子高さ(cm)	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0		
衝突速度(kine)	75	80	90	95	105	115	125		

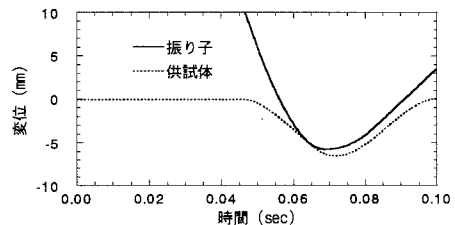


図-3 衝突変位波形

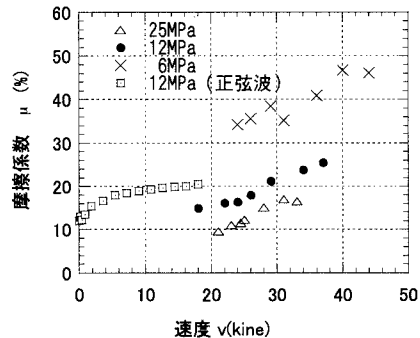


図-4 摩擦係数

参考文献 1) 伊津野和行・袴田文雄・佐藤大輔・中村一平：橋梁の機能分離型免震すべり支承に関する実験的研究，第10回日本地震工学シンポジウム，Vol.3，pp.2783-2788，1998年11月。