

鋼製支承と高減衰ゴムダンパーによる 機能分離型支承の耐震性能実験

鈴木森晶¹・青木徹彦²・森下宣明³・前野裕文⁴・鶴野禎史⁵・森重行雄⁶

¹正会員 博(工) 愛知工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247)

²正会員 工博 愛知工業大学教授 工学部土木工学科 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247)

³正会員 工修 名古屋高速道路公社 工務部設計課 (〒460-0002 名古屋市中区丸の内 2-1-36 NUP フジサワ丸の内ビル)

⁴正会員 工博 名古屋高速道路公社 保全部保全一課 (〒462-0844 名古屋市北区清水四丁目 17-30 名古屋高速黒川ビル)

^{5,6}正会員 (社) 日本支承協会 (〒104-0031 東京都中央区京橋 1-1-1 八重洲ダイビル A4)

鋼製支承はゴム支承に比べ、鉛直剛性に優れ、また支承寸法を小さくできる等の利点がある。特に連続桁端部では走行荷重の振動を生じやすく、ゴム支承より鋼製支承が望ましい。そこで鉛直荷重を鋼製支承で分担させ、ダンパーとして減衰性の特に高い高減衰ゴムダンパーを用い、これらを組み合わせた機能分離型支承を提案した。機能分離型支承は他機関でも研究・検討^{1, 2)}されているが、ここで報告する機能分離型支承は、死荷重や活荷重など主に鉛直荷重には鋼製支承の機能を、地震時の変形やエネルギー吸収等の主に水平荷重にはダンパー機能を持たせている。本研究はこの実大モデルについての静的および動的実験を行ったもので、ほぼ予期した性能が確認できた。特に橋軸直角方向ではボルトを破断させ、巨大地震に対処させている。

Key Words: *sliding bearing, damper, coefficient of friction*

1. まえがき

一般に、連続橋は地震時水平反力分散構造とするためゴム支承が用いられているが、桁端支点部ではゴム支承の鉛直剛性が低いために、桁端部で路面に段差が生じることがあるなどの問題点がある。そこで、ゴム支承に比べて鉛直剛性が高く、桁端部で路面に段差が生じにくい鋼製支承 (BP・B支承) とダンパー (ゴムダンパー) を組み合わせた機能分離型の支承部構造が、他機関で近年研究・検討^{1, 2)}されている。

機能分離型支承は、死荷重や活荷重など主に鉛直荷重には鋼製支承を、地震時の変形やエネルギー吸収等の主に水平荷重には高減衰ゴムダンパーなどを用いることにより、それぞれの状態を分離し機能を発揮させるものである。

本研究で報告する機能分離型支承構造は、従来のゴム支承を用いた場合に生じていた支点変形の防止やゴム支承寸法を小さくできるだけでなく、ダンパー機能により自由に変形能を調整できる等の利点がある。

本実験は鋼製支承 (BP・B支承) およびダンパー (超

高減衰ゴムを用いたゴムダンパー) の個々の特性およびこれらを組み合わせた機能分離型支承としての特性を把握するために行うものである。実験を行うにあたっては、静的加力実験および動的加力実験を行い、特性を確認し、実際の地震時における挙動を把握するものとする。今後、支承の選定においてはその使用性・耐久性・経済性などを総合的に検討しなければならず、本機能分離支承の開発・検討は、支承の選択肢拡大を図るものである。

2. 実験供試体

実験に用いた供試体は、1500kN 実大モデル鋼製支承とし、その形状を図-1 に示す。鋼製支承は、温度や活荷重および地震時の橋軸方向の変形に対し上査とテフロン板とのすべりで追従し、地震時の橋軸直角方向の変形に対し下査とベースプレートとのすべりで追従させることにより、全方向の変位に対し追従できる構造をもつ。下査とベースプレートはボルトにより連結されており、橋脚の降伏耐力未満の地震力に対してはジョイントプロテクターとして抵抗し、それを超える地震力に対してはボル

トが破断することにより橋軸直角方向の変形に対し追従できる機能を有している。また、ダンパーは復元性能と減衰性能を兼ね備えた高減衰ゴムなどを用いることにより地震時慣性力の低減を行うため、水平力のみに抵抗する高減衰ゴムを用いたゴムダンパー（HDR-S）とする。その形状を図-2 に示す。

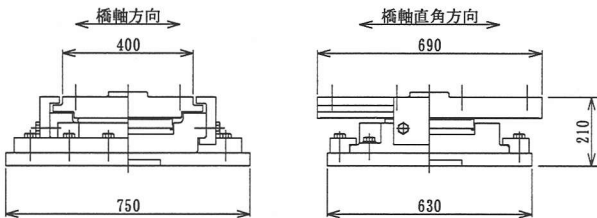


図-1 鋼製支承の形状

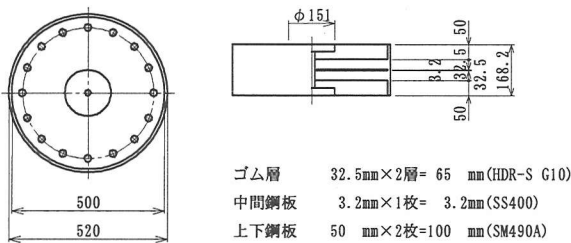


図-2 ダンパーの形状

3. 実験方法

実験は、鋼製支承とダンパーのそれぞれの機能を調べる単体実験と鋼製支承 2 体とダンパー 1 体の組み合わせ実験を行った。なお、鋼製支承単体の実験については載荷方向により破壊の形態が異なるため橋軸方向と橋軸直角方向の 2 方向とした。また、加振周波数を変化させることにより静的および動的載荷実験についても行った。組み合わせ実験では従来のゴム支承の設計値と対応させるためダンパーのせん断ひずみ 250%までの載荷とした。また、ダンパーには設計上鉛直荷重が作用しないため、実験装置の制御の範囲内で最小となるように鉛直荷重(100kN 以下)を載荷することとした。

鉛直荷重は 4000kN ジャッキを 2 基用いて実験中常に一定荷重値を保つように制御した。水平荷重は 1000kN 動的アクチュエータを 2 基用いて載荷した。表-1～表-3 に全実験の載荷ケースを示す。図-3 には組み合わせ実験の様子を示す。なお、表中の変位の項における () 内の数値は水平ダンパーのせん断ひずみを示す。●印は加振回数 10 回である。その他は加振回数 5 回である。また、鋼製支承単体の実験において、橋軸方向載荷の場合についてのみ◎印のケースに対しては鉛直荷重として全反力(1500kN)と死荷重反力(900kN)の 2 種類を載荷して実験を行った。その他は死荷重反力(900kN)のみを載荷して実験を行った。

表-1 鋼製支承単体の特性確認実験載荷ケース

変位(mm)		32.5 (50%)	65 (100%)	97.5 (150%)	162.5 (250%)	195 (300%)
周波数	静的実験	0.003Hz ◎	◎	○	●	○
	0.01Hz	—	○	—	—	—
動的実験	0.5Hz	—	○	—	○	—
	1.0Hz	—	○	○	—	—
	1.5Hz	○	○	—	—	—

表-2 水平ダンパー特性確認実験載荷ケース

変位(mm)		32.5 (50%)	65 (100%)	97.5 (150%)	162.5 (250%)	195 (300%)
周波数	静的実験	0.003Hz —	○	—	—	—
	0.01Hz	○	○	○	●	○*
動的実験	0.5Hz	—	○	—	○	—
	1.0Hz	—	○	○	—	—
	1.5Hz	○	○	—	—	—

注) *印は 300%以降 32.5mm(50%) 毎変位を増加させ加振

表-3 組み合わせ実験載荷ケース

変位(mm)		65 (100%)	97.5 (150%)	162.5 (250%)
周波数	静的実験	0.003Hz ○	—	○
	0.5Hz	○	—	○
動的実験	1.0Hz	○	○	—
	1.5Hz	○	—	—

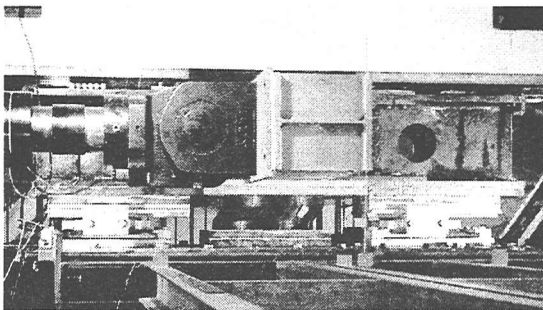


図-3 組み合わせ実験の様子

4. 実験結果

(1) 鋼製支承橋軸方向の挙動

鉛直荷重 900kN を載荷したときの鋼製支承の橋軸方向動的載荷実験(0.5Hz)について、加振回数 5 回目の履歴曲線を図-4 に示す。ここで、水平変位 65mm はダンパーのせん断ひずみ 100%に相当し、同 162.5mm は同 250%に相当する。静的載荷における上巻とテフロン板の摩擦係数は、振幅が大きくなるにつれ大きくなり、振幅 32.5mm(50%)のとき約 0.07 から振幅 195mm(300%)のとき約 0.12 となった。動的載荷では、加振振幅および加振周波数による依存性は特に目立った変化はなく、約 0.11～0.13 で一定していた。

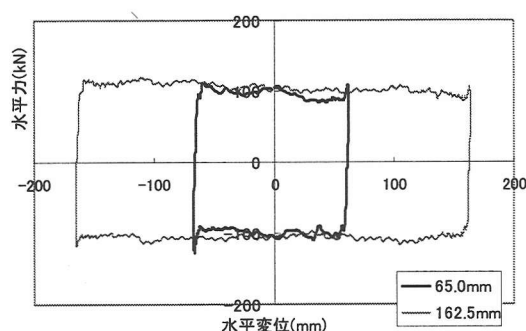


図-4 橋軸方向動的载荷の履歴曲線
(鉛直荷重 900kN, 加振周波数 0.5Hz)

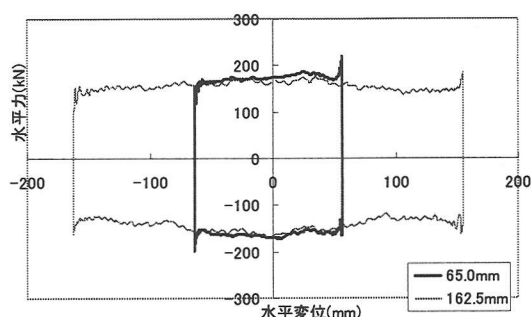


図-6 橋軸直角方向動的载荷の履歴曲線
(鉛直荷重 900kN, 加振周波数 0.5Hz)

(2) 橋軸直角方向の挙動

橋軸直角方向载荷実験における橋軸直角方向に加振した場合の下沓固定ボルト（ジョイントプロテクター兼用，M20，強度区分 8.8，4 本使用）の静的载荷実験における破断までの荷重-変位曲線を図-5 に示す。図-5 よりボルト破断時における最大荷重は 692kN であり，その時の水平変位は 5.4mm であった。また，動的加振時の摩擦抵抗力が 200kN 以下であるのに対し，ボルト破断時の抵抗力は 692kN であり，十分なエネルギー吸収能力があることが確認された。

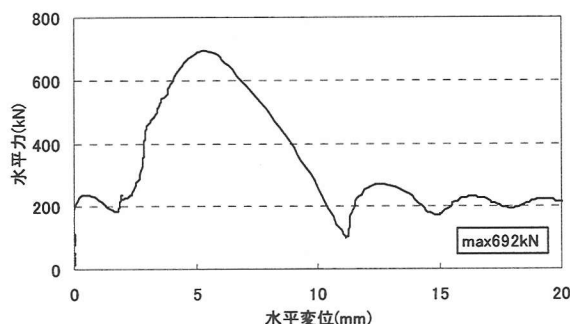


図-5 動的载荷時のボルト破断までの荷重-変位関係
(鉛直荷重 900kN, 加振周波数 1.5Hz)

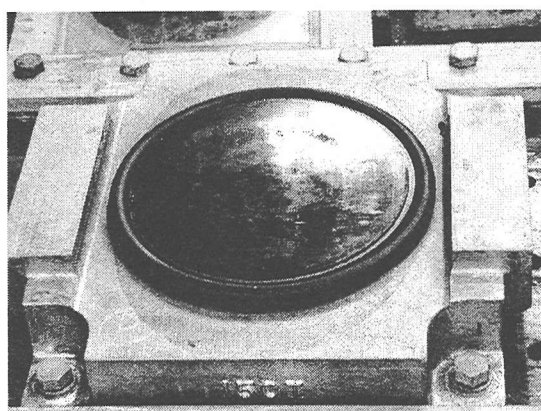


図-7 実験終了後の鋼製支承（下沓）

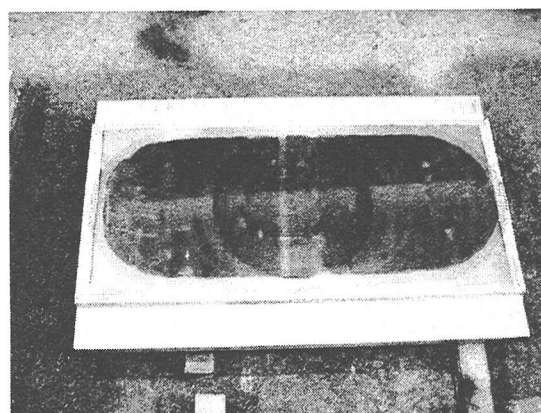


図-8 実験終了後の鋼製支承（上沓）

ボルト破断後の正負繰返し载荷実験結果のうち加振回数 5 回目の履歴曲線を図-6 に示す。

静的载荷時の橋軸直角方向における下沓とベースプレートの摩擦係数は加振振幅が 62.5mm 以下では約 0.15 であるのに対し，加振振幅が増大するにつれ大きくなり，振幅 195mm では約 0.28 と 2 倍近い値となった。動的载荷時は橋軸方向と同様に大きな変化は無く，振幅 32.5mm で約 0.16，振幅 62.5mm 以上では約 0.19 程度であった。

実験終了後における鋼製支承を分解した上沓と下沓の状態を図-7 および図-8 に示す。若干の摩擦によりテフロン剥がれ落ちが見られたが，鋼製支承の機能を損なうほどの損傷は見られなかった。

(3) ゴムダンパーの挙動

ゴムダンパー単体での動的载荷実験における加振回数 5 回目の履歴曲線を図-9 に示す。ここで，水平変位 65mm はダンパーのせん断ひずみ 100%に相当し，同 162.5mm は同 250%に相当する。この図より 250% (162.5mm) 付近から高減衰ゴムの特徴であるハードニング現象により剛性が高くなる傾向が見られる。しかし，等価減衰定数には周波数依存性は見られなかった。図-10 には，静的実験においてゴムダンパーが破断したときの様子を示す。

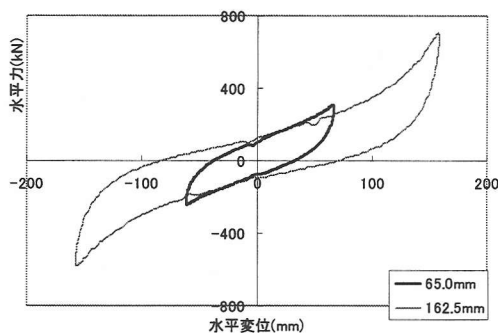


図-9 動的載荷実験における変位ごとの履歴曲線

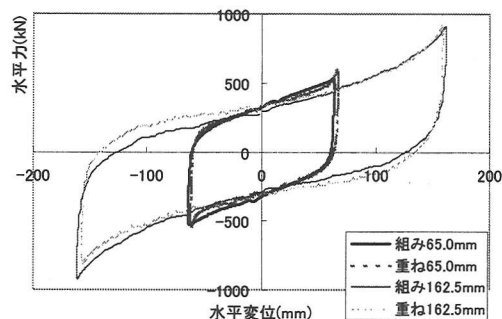


図-12 機能分離型支承と単体の重ね合わせた場合の履歴曲線の比較（加振周波数 0.5Hz）

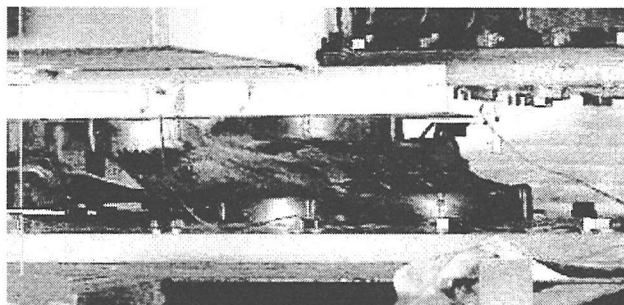


図-10 ゴムダンパー破断時の様子

(4) 機能分離型支承（組み合わせ実験）の挙動

機能分離型支承の特性確認実験は、鋼製支承 2 体とダンパー 1 体を組み合わせて載荷治具に取り付けを行った。加振方向は橋軸方向とした。加振周波数 0.5Hz における加振回数 5 回目の履歴曲線を図-11 に示す。また、等価剛性および加振周波数により 8%程度の変動があったが、等価剛性に関しては加振周波数の影響はほとんど見られなかった。

5 回目加振時の機能分離型支承の履歴曲線を「組み」として、また、鋼製支承単体の履歴曲線の水平力を 2 倍したものとダンパーの履歴曲線の水平力を足し合わせたものを「重ね」として、各実験結果の 65mm と 162.5mm の場合について比較したものを図-12 に示す。どちらも加振周波数は 0.5Hz である。この図より鋼製支承 2 体とダンパー 1 体の組み合わせによる橋軸方向動的載荷実験の結果は、単体の結果を重ね合わせた場合と非常によく一致している。

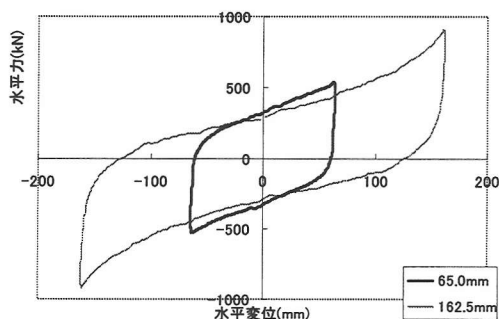


図-11 加振周波数 0.5Hz における履歴曲線

5. まとめ

本研究は機能分離型支承に用いる鋼製支承の摩擦特性とダンパーとしての高減衰ゴムの履歴特性を調べる目的で静的および動的載荷実験を行った。以下のような内容が結論として挙げられる。

- (1) 静的載荷実験の場合、水平変位が大きくなると摩擦係数が大きくなる傾向を示している。
- (2) 動的載荷実験では、水平変位や加振速度による顕著な摩擦特性の依存性は見られなかった。
- (3) ジョイントプロテクターの役割を果たす下固定ボルトが破断することにより十分なエネルギー吸収能力があることが確認された。
- (4) ダンパーは、せん断ひずみが大きくなるに従い、等価剛性、等価減衰定数ともに小さくなる傾向を示すが、せん断ひずみ 250%以上になると、ハードニングの影響により等価剛性は大きくなる傾向を示す。
- (5) ダンパーの加振周波数による依存性は、周波数が大きくなると等価剛性が大きくなる傾向を示すが、等価減衰定数には依存性は見られなかった。
- (6) 機能分離型支承は、それぞれの特性を組み合わせることにより機能分離型支承としての特性を評価できることが確認できた。

謝辞：本実験は愛知工業大学 耐震実験センターで実施した。また、横浜ゴム株式会社より供試体用ゴムダンパーをご提供いただいたのでここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 家村浩和：機能分離型免震装置の水平・上下動応答実験、第 2 回免震・制振コロキウム講演論文集，土木学会地震工学委員会，2000.11
- 2) 伊津野和行，袴田文雄，中村一平：機能分離型支承装置の動特性と設計手法に関する研究，土木学会論文集 No. 654，pp. 233-244，2000.7

(2001.5.25 受付)