

ゴム材の圧縮変形を利用した 地震時反力分散装置の開発

伊津野和行¹・児島孝之²・鈴木亮介³・和田教志⁴・濱田譲⁵・吉野伸⁶

- ¹正会員 工博 立命館大学助教授 理工学部土木工学科 (〒525-77 草津市野路東1-1-1)
²フェロー会員 工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科 (〒525-77 草津市野路東1-1-1)
³正会員 ドービー建設工業株式会社 大阪支店積算室 (〒530 大阪市北区万歳町4-12)
⁴工修 ドービー建設工業株式会社 大阪支店設計部 (〒530 大阪市北区万歳町4-12)
⁵正会員 工修 ドービー建設工業株式会社 技術センター (〒170 東京都豊島区北大塚1-16-6)
⁶東京ファブリック工業株式会社 大阪営業所 (〒532 大阪市淀川区西宮原1-4-2)

本研究では、ゴム材の圧縮変形を利用した装置によって、連続橋の大変形の抑制と地震時反力分散をはかるための基礎的な検討を行った。まず、供試体の載荷試験によって基礎的な特性を明らかにし、次にその復元力特性のモデル化を行った。さらに、反力分散装置を設置した連続橋をモデル化し、その地震応答特性を数値シミュレーションによって検討した。その結果、それほど大きな減衰効果は望めないものの、反力分散装置として十分な特性を持っていることを示した。また、変形は小さく抑えられている一方、桁の加速度応答や基部の断面力応答は、衝撃的なパルスを含んだ応答波形になり、衝撃力に対する検討が必要となることがわかった。

Key Words : distribution of seismic lateral force, rubber device, multi-span continuous girder bridge, earthquake response

1. はじめに

橋梁を多径間化することにより、構造上の弱点である桁端部を減らすことや、走行性を改善することができる。しかし、固定支承の選定方法によっては、温度応力の問題と地震時の反力分散方法の問題が生じる。そこで様々な手段によって、多径間連続橋の試みが検討されている^{1),2)}。

従来、反力分散装置としては、オイルダンパーや粘性ストッパー等の粘弾性ダンパーが用いられることが多く、これらは、応答速度に比例した減衰力を各橋脚に伝えることによって反力の分散をはかっている³⁾。その効果は十分に実証されているが、常日頃からのメンテナンスの必要がある。また、ゴム支承によって桁を弾性支持することによっても、反力分散を期待することができる。反力分散装置や免震装置としては、ゴム材のせん断変形を利用したゴム支承の利用が一般的であるが、変位応答が大きくなるため、継手部の工夫やストッパーの検討が必要である⁴⁾。

変位応答を抑制するためには、ゴム材の圧縮変形を用いることが有効だと考えられる。ただし、単なる

ストッパー的な使用方法では、橋脚に作用する地震力が過大となる可能性があり、固有周期を長くする等の工夫が必要となる。

また、1995年兵庫県南部地震による被災を鑑みた道路橋の復旧に係わる仕様⁵⁾においても、落橋防止構造として緩衝材の利用が考えられている。耐震安全性の確保のためには、地震時におけるゴム材の圧縮挙動について、詳細な検討が必要とされる。

本研究では、著者らの1人が考案した、ゴム材の圧縮変形を利用した反力分散装置⁶⁾によって、連続橋上部構造の慣性力を複数の下部構造に分散させるとともに、大変形の抑制をはかるための基礎的な検討を行っている。まず、供試体の載荷試験によって基礎的な特性を明らかにし、次にその復元力特性のモデル化を行った。さらに、反力分散装置を設置した連続橋をモデル化し、その地震応答特性を数値シミュレーションによって検討した。

2. 反力分散装置の載荷試験

(1) 反力分散装置の概要

本方法では、支承にはスライド沓等の可動沓を用

表-1 供試体の種類と載荷ケース

供試体 No.	形状(mm) 厚さ×幅×長さ	層数	静的載荷パターン				動的載荷 実験
			1	2	3	4	
1	30×75×600	3	○	○	○	○	○
2	30×90×650	4	—	○	○	—	—
3	30×90×550	3	—	○	○	—	—
4	30×75×625	3	—	○	○	—	—

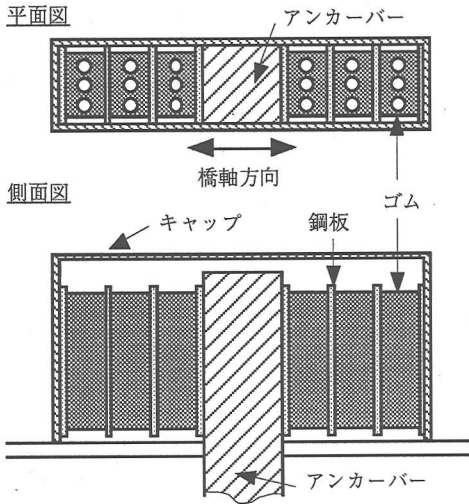


図-1 反力分散装置の概要

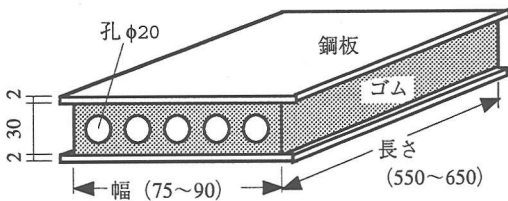


図-2 供試体の形状

い、鉛直反力を受け持たせる。反力分散装置の模式図を図-1に示す。アンカーボルトには、従来より単純桁によく使用されているキャップ方式のアンカーバーを使用する。その際、アンカーバーとキャップを矩形断面として、橋軸直角方向には拘束固定とする。橋軸方向には、アンカーバーとキャップとの間にゴム弾性体を介在させ、ゴムの圧縮バネを利用して各橋脚に反力を分散させようとするものである。

ただし、板状のゴムをそのまま用いるとバネ定数が大きくなりすぎる。コンクリート橋に適用する場合、温度変化以外にコンクリートのクリープや乾燥

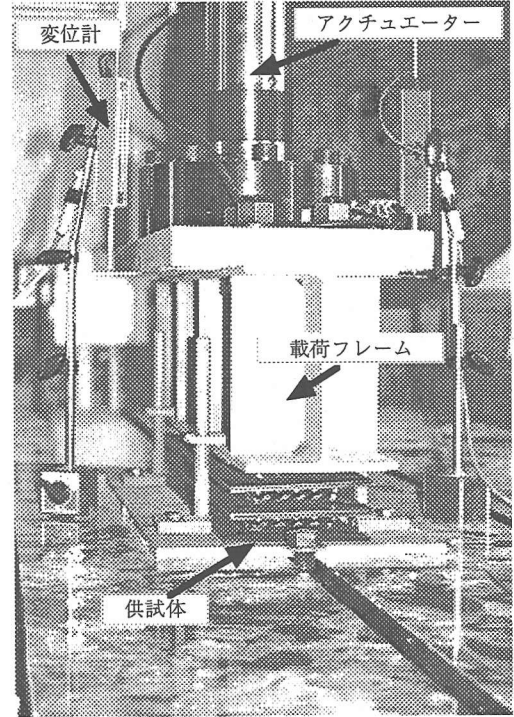


写真-1 実験システム

収縮による反力も大きくなるので、橋梁を多径間化することが不可能になる。そのため数個の孔を開けて剛性を調節している。剛性を適切に設定することによって、地震時挙動の改善と、橋梁の多径間化を可能とすることができる。

供試体は表-1に示す4種類であり、静的載荷パターンとして4種類、動的載荷として5種類の試験を行なった。すべての載荷を行なったのはNo.1供試体であり、他は静的載荷パターン2と3のみを実施した。いずれも荷重制御の実験である。実験システムを写真-1に示す。供試体を、載荷フレームを介して油圧アクチュエーターで圧縮載荷し、その変形量を載荷フレームに取り付けた変位計で計測した。各供試体は幅と長さが異なり、これによって剛性が異な

表-2 橋梁の設計条件

下部構造形式	張出し式橋脚	
有効幅員	8.50m	
支間	プレテンション	20.9m
	ポストテンション	31.0m
連続支間	5 径間連続あるいは10径間連続	
橋脚高さ	11.0m	
設計水平震度	地域	地域区分A
	地盤	II種地盤
	重要度	重要度区分1級
基礎構造形式	直接基礎	
コンクリートの設計基準強度	210kgf/cm ² (20.6MPa)	
ゴムの許容支圧応力度	常時	80kgf/cm ² (7.8MPa)
	地震時	120kgf/cm ² (11.8MPa)
ゴムの許容圧縮変形量	常時	層圧の15%以内
	地震時	層圧の50%以内

表-3 動的载荷パターン

パターン	Pmax		Pmin		载荷振動数 (Hz)
	(tonf)	(kN)	(tonf)	(kN)	
1	1	9.8	20	196	1
2	1	9.8	20	196	0.2
3	1	9.8	20	196	0.05
4	10	98	13	127	5
5	4	39.2	6	58.8	5

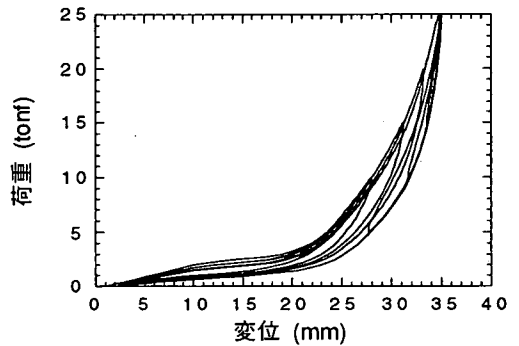
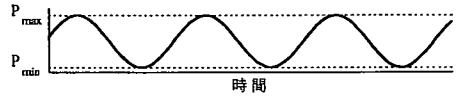


図-4 静的载荷実験の履歴曲線の例 (No.1供試体の静的载荷パターン1)

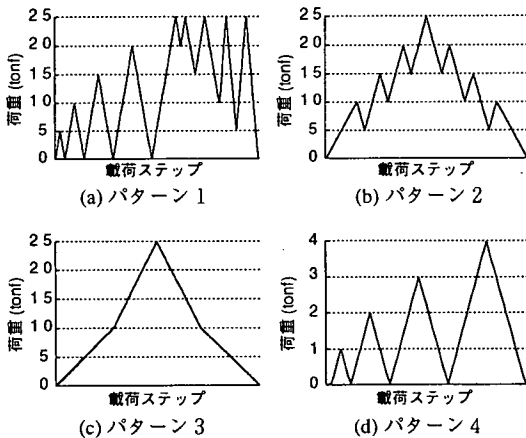


図-3 静的実験载荷パターン

る。またNo.2供試体は厚さ30mmの板を4層重ねており、他は30mmの板を3層にしてある。各層は、厚さ2mmの鋼板で上下を挟んで拘束してある。各層の供試体形状の模式図を、図-2に示す。ゴム材としては、天然ゴムを用いている。供試体形状等の決定にあたっては、5径間あるいは10径間連続橋に使用することを仮定して、プレテンション及びポストテンション形式PC橋梁の試設計を行った。設計条件を表-2に示す。この条件で試設計すると、橋梁の等価固有周期は、形式によって異なるが、1.4~2.2秒となった。

静的载荷パターンを図-3に示す。図-3(a)のパターン1は、0tonfからの载荷と、25tonf (245kN)からの除荷を繰り返す試験であり、一般的な履歴特性の概略

を検討した。25tonf(245kN)という数字は、実験装置の载荷能力と、表-2のゴムの許容支圧応力度、許容圧縮変形量を考慮し、さらに、本装置の重要な特性であるハードニング現象は十分に発生する値として設定した。図-3(b)のパターン2は、0tonfから25tonf(245kN)までの载荷・除荷・部分载荷を繰り返す試験で、部分载荷特性について検討するために実施した。図-3(c)のパターン3は、0tonfから25tonf(245kN)まで载荷して、再び0tonfまで除荷する試験で、履歴復元力特性の骨格曲線を決定するために実施した。図-3(d)のパターン4は、微小振幅レベルにおける履歴復元力特性について検討するために、0tonfから4tonf(39.2kN)までの载荷と除荷を繰り返した。

動的载荷パターンを表-3に示す。試験機の性能により、大振幅の高振動数载荷は無理なため、ケース1~3では、1tonf(9.8kN)から20tonf(196kN)まで正弦波的に载荷力を変化させる大振幅の低振動数(0.05~1Hz)载荷を、ケース4と5は10tonf(98kN)と13tonf(127kN)の間、あるいは4tonf(39.2kN)と6tonf(58.8kN)の間で正弦波的に载荷力を変化させる小振幅の高振動数(5Hz)载荷を行なった。

(2) 実験結果

静的載荷実験結果の荷重-変位曲線（履歴曲線）の1例を図-4に示す。降伏点やハードニング開始点等が異なるものの、いずれの供試体も同様な履歴復元力特性を示している。微小変形ではバイリニア特性に近く、ハードニングが起きると非線形性が大きくなり、曲線的なグラフとなる。

層圧の40%程度の圧縮変形（3層の供試体で約35mm）をおこす、静的載荷のパターン3（25tonfまでの載荷）に対し、履歴曲線が囲む面積から、等価粘性減衰定数を求めると約2%であった。ゴムのせん断変形を利用した高減衰ゴム支承のように、十数%という大きな減衰効果は望めないことになる。

動的載荷実験の結果得られた履歴曲線を図-5に示す。なお、図中の変形量は、圧縮力のかかっていない状態からの変位で表示している。1~20tonfの範囲で載荷したケース1~3では、荷重の小さな領域での挙動がわずかに異なるだけで、荷重の大きい領域では同じ曲線を描いている。5Hzで載荷したケース4と5でも、大振幅で載荷したケース1~3の曲線の一部分とほぼ重なっている。以上、本実験で行った周期20秒から0.2秒の範囲では、載荷速度の影響はそれほど大きく現われていない。載荷実験に用いた機器の能力の制限もあり、本実験では明確な載荷速度の影響を把握するまでには至らず、実用化にあたってはさらに検討が必要である。

3. 履歴復元力特性のモデル化

(1) 圧縮ゴムモデル

圧縮変形を用いると、一般のゴム支承のようなせん断変形を利用する場合よりも、ハードニング現象の影響が大きい。ハードニングによって変形に限界があり、また、せん断変形を利用した装置よりも構造的に破断等がおこりにくいため、ダンパーストップや反力分散装置としての特性が優れている。本装置は、ゴムに孔を空けて、小変形時の低剛性領域を広く取ることをねらったものであるが、履歴復元力特性のモデル化にあたっては、ハードニング領域をも考慮することが必要である。

従来、高分子化学の分野では、ゴムの圧縮引っ張り特性として、ひずみ ϵ に対して応力 σ を、次式で表現されている⁷⁾。

$$\sigma = (2c_1 + 2c_2/\epsilon)(\epsilon - \epsilon^{-2}) \quad (1)$$

ここで、 c_1 、 c_2 は定数である。しかし、これは微小変形、平衡モジュラスの基本式であり、大変形の繰

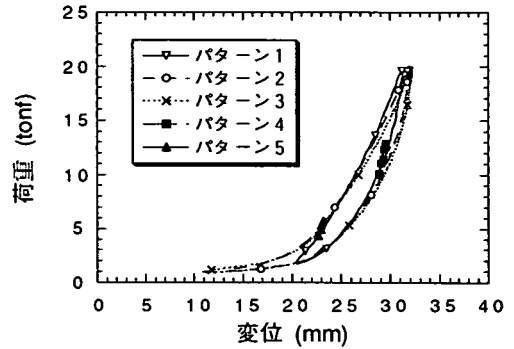


図-5 動的載荷実験結果の履歴曲線

り返し載荷は考慮されておらず、また、鋼板で上下を拘束されている供試体とは条件が異なることもあって、前章での実験結果をうまく説明できない。

免震ゴム支承の履歴復元力特性としては、バイリニアモデルがよく利用されており、各種実験結果との相関性も高い。山田・家村・渡辺ら⁸⁾は、このバイリニアモデルの大変形領域に三角形のハードニング領域を加え、この領域では直線的に変形すると仮定して、ゴム支承の実験結果と比較を行なっている。しかし、前章での実験結果を見ると、圧縮変形ではハードニングの度合いが高い。ゴムのせん断変形を利用するゴム支承では、一般に層圧の200%以上のせん断変形によってハードニングが発生する。これに対し、ゴムの圧縮変形では、ハードニングが発生する限界ひずみが小さく、孔を空けてハードニングの発生を遅らせた本供試体でも、層圧の25%程度の変形でハードニングが発生している。また、除荷時の経路が直線ではなく曲線的である。三角形領域の付加だけでは、本実験結果を説明できない。

また、孫・後藤ら⁹⁾は、衝突緩衝装置をバネとダンパーでモデル化して、桁の衝突現象を解析しているが、緩衝装置の特性としては、線形を仮定している。せん断変形を利用した反力分散支承の履歴復元力特性としても、線形モデルが用いられることが多い。しかし、本実験結果では非線形なハードニングの影響が大きく、ここでは非線形モデルが必要とされる。

よって、本解析では、天然ゴムの圧縮変形に対して、以下のような圧縮ゴムモデルを、新たに提案することとする。

まず、ハードニング現象が発生するまでの、変形が小さい領域では、せん断変形を利用した免震ゴム支承等で用いられるバイリニア特性を仮定しても問題ないと判断した。そこで、図-6に示すようなバイリニア領域を仮定する。静的載荷実験をもとに、降

表-4 履歴復元力特性のルール

ルール	条件	定義	式
ルール 1	バイリニア領域での変形増	初期剛性または2次剛性での直線	$f=ax+b$
ルール 2	正のハードニング領域での変形増	ハードニング開始点S+と通過点P+を通る変位の4次曲線	$f=ax^4+b$
ルール 3	正のハードニング領域での変形減	除荷開始点とハードニング終了点E+とを通る変位の6次曲線	$f=ax^6+b$
ルール 4	負のハードニング領域での部分載荷による変形増	部分載荷開始点と除荷開始点E+とを結ぶ直線	$f=ax+b$
ルール 5	バイリニア領域での変形減	初期剛性または2次剛性での直線	$f=ax+b$
ルール 6	負のハードニング領域での変形減	ハードニング開始点S-と通過点P-を通る変位の4次曲線	$f=ax^4+b$
ルール 7	負のハードニング領域での変形増	除荷開始点とハードニング終了点E-とを通る変位の6次曲線	$f=ax^6+b$
ルール 8	負のハードニング領域での部分載荷による変形減	部分載荷開始点と除荷開始点E-とを結ぶ直線	$f=ax+b$

伏点Yと、ハードニング開始点（バイリニア限界）Sを決める。原点Oと降伏点Yから求められる初期剛性と、降伏点Yとハードニング開始点Sから求められる2次剛性により、原点に対して点対称を仮定して、平行四辺形をしたバイリニア領域が決定される。この領域では通常のバイリニア特性を示すものと仮定した。つまり、除荷時は常に初期剛性に戻り、載荷は平行四辺形の領域から出ない範囲では初期剛性で、それ以上は第2剛性で動くと仮定した。

次にハードニング領域を設定する。バイリニア領域に隣接して、変位が正の位置に正のハードニング領域を、変位が負の位置に負のハードニング領域を設ける。履歴復元力特性は、原点に対して点対称とするため、以下正のハードニング領域について詳述する。

まず、ハードニング後の通過点Pを1点決める。この点Pは、ハードニング後の値であれば、任意の実験値を利用できる。前章の実験では25tonfまでの載荷を行なったので、ここではP点として25tonf時の値を用いた。ハードニング領域とバイリニア領域は連続している必要があるため、これらの領域はハードニング開始点Sと、図-6のS点の下側のバイリニア限界（これをハードニング終了点Eとする）で接することになる。ハードニング領域では、載荷時はハードニング開始点Sと通過点Pを通る4次曲線に従うと仮定した。除荷時は、除荷開始点とハードニング終了点Eとを通る6次曲線に従うものとし

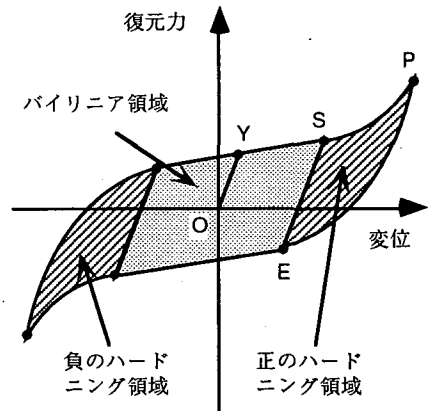


図-6 動的載荷実験結果の履歴曲線

た。また、除荷がE点に達しないときに再載荷された場合には、これを部分載荷と呼び、部分載荷開始点と除荷開始点とを結ぶ直線に沿って運動すると仮定した。部分載荷によってハードニング領域の上辺S-Pを越える場合には、以降S-Pに沿って4次曲線で上昇する。

以上の仮定をまとめると、表-4の8つのルールでダンパーストッパーの履歴復元力特性を規定することができる。ルール中、 x は変位、 f は復元力である。 a と b は係数であり、前ステップでの x 、 f と、それぞれのルールで規定される通過すべき点より、その都度決定される。また、ハードニング開始点S、ハードニング終了点E、通過点Pは、正のハードニ

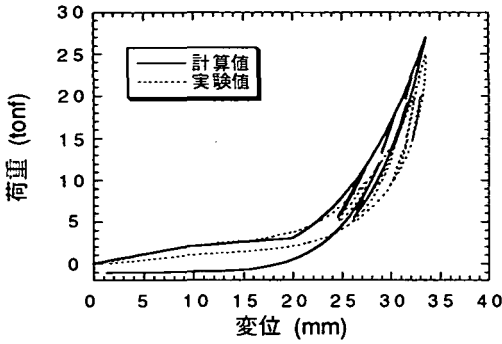


図-7 実験結果と数値解析結果との比較

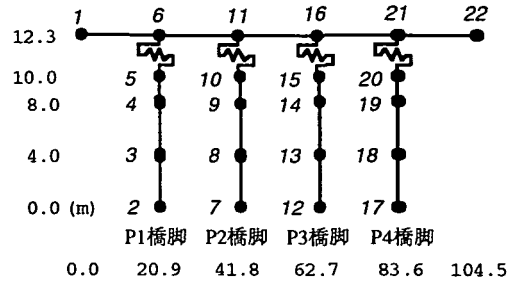


図-8 5径間連続橋の有限要素骨組みモデル

表-5 橋脚の最大応答値

	P1橋脚(端)	P2橋脚(中央)
桁の加速度応答	443 gal	436 gal
桁と橋脚の相対変位応答	3.2 cm	3.19 cm
反力分散装置の復元力	22.0 tonf (0.216 MN)	21.8 tonf (0.214 MN)
反力分散装置の履歴吸収エネルギー	1.03 tonf.m (1.01 MN.m)	1.03 tonf.m (1.01 MN.m)
橋脚基部の曲げモーメント	1020 tonf.m (10.0 MN.m)	1010 tonf.m (9.90 MN.m)
橋脚基部のせん断力	207 tonf (2.03 MN)	205 tonf (2.01 MN)

ング領域における点にそれぞれ添字+をつけ、負のハードニング領域における点に添字-をつけて区別する。

本モデルの特性を決定するには、降伏点、ハードニング開始点、ハードニング後通過点の3点を与える必要があり、また逆に、この3点のみで本モデルを規定することができる。

(2) 載荷実験結果のシミュレーション

試験結果で得られた変位の時刻歴波形を用い、前述の圧縮ゴムモデルによって荷重曲線の再現を試みた。No.1供試体の載荷パターン2に対する履歴曲線を図-7に示す。図中点線が実験結果、実線が数値モデルによるシミュレーション結果である。載荷実験が荷重制御の片振幅繰り返し載荷実験であるのに対し、数値モデルは変位制御となる。実験では荷重が0付近になると、時間とともに変位が0に戻っていくが、数値シミュレーションでは荷重が0となった時点でかなり残留変形が残るという差がある。それ以外は、ハードニングや部分載荷等もある程度再現されている。地震応答解析に用いるには、十分実用的なモデルだと考えられる。

4. 反力分散装置を設置した連続橋の地震応答特性

(1) 解析モデル

ここでは、前出の表-2の設計条件によって試設計された5径間連続PC橋を、有限要素骨組みモデルでモデル化し、反力分散装置を設置した場合の地震応答解析を行なった。

図-8に、5径間連続橋の、有限要素骨組みモデルを示す。22節点、21部材の2次元モデルである。図中の数字は、細字が座標値で、太字の斜体が節点番号である。4本の橋脚を左からP1、P2橋脚と呼ぶこ

とにする。橋梁の橋軸方向の運動に対するモデルとして、橋脚と桁を線形梁(柱)部材、支承部を前章で仮定した圧縮ゴム特性を持った非線形バネ部材とした。基礎は固定とし、入力地震動は、平成2年の道路橋示方書¹⁰⁾のII種地盤に対する震度法レベルの地震波形を用いた。

図-9に一番端のP1橋脚上の桁の加速度、図-10に同位置での桁と橋脚の相対変形、つまり反力分散装置の変形量、図-11に反力分散装置の履歴曲線(荷重-変位曲線)、図-12にP1橋脚の基部に作用する曲げモーメントを示す。また、これらの最大応答値を表-5に示す。端のP1橋脚も、中央部のP2橋脚も、どの値も1%程度しか差がない。設計通り、反力が分散されていることがわかる。

図-10及び図-11に示されるように、変形は3cm程度に小さく抑えられている。一方、図-9の加速度波形には、値は小さいものの、衝撃的なパルス波形が含まれているのがわかる。橋脚基部での断面力(図-

12) も、同様に衝撃的な力が含まれる応答となる。瞬間的な力によって橋脚がどの程度損傷を受けるか、詳細な検討が必要である。本研究では、橋脚を線形部材と仮定したが、入力地震レベルによっては、橋脚にも非線形性を考慮することが必要となる。

低剛性領域をより広く設定して衝撃波形を防ごうとすると、数十 cm の変形が生じ、過大な変形を防げるという本装置の利点がなくなる。高減衰ゴム材料の使用や、あるいは減衰器の付加によって減衰性を高めることや、弾塑性ダンパー等との併用も考えられる。

また、これらの結果は、緩衝材としてゴム材を用いても、ある程度の衝撃力の発生は防げないことも示している。緩衝材を用いることによって、衝撃をやわらげることは重要であるが、その場合でも衝撃に対する照査を省略することはできないと考えられる。緩衝材の耐震効果については、今後の検討が必要である。

本装置の施工にあたっては、橋梁の乾燥収縮とクリープの終了時に中立状態となるように、装置に圧縮力を与えて設置することになろう。しかし、反力分散装置の設置誤差や、桁の温度伸縮などにより、各橋脚に設置した反力分散装置の変位と復元力が、どの装置もが 0 の状態から、地震応答が始まることは考えにくい。実用化にあたっては、各橋脚に設置した反力分散装置の、地震に対する初期状態の差が、地震応答に与える影響についても、検討が必要である。

5. 結論

以上、ゴム材の圧縮変形を利用した反力分散装置の地震時挙動に関して、載荷実験と数値シミュレーションを行なった。本研究で得られた主な結論は、以下の通りである。

- 1) 4 種類の供試体を用いて、反力分散装置の静的載荷実験を行なった。これらの供試体は、低剛性域の後、ハードニング現象が発生するという特性があった。降伏点やハードニング開始点等が異なるものの、いずれの供試体も同様な履歴復元力特性を示した。微小変形ではバイリニア特性に近く、ハードニングが発生すると曲線的な動きとなる。
- 2) 履歴曲線が囲む面積から、等価粘性減衰定数を求めると約 2% となり、それほど大きな減衰効果は望めない。
- 3) ゴムの圧縮変形に対して、ハードニング領域を

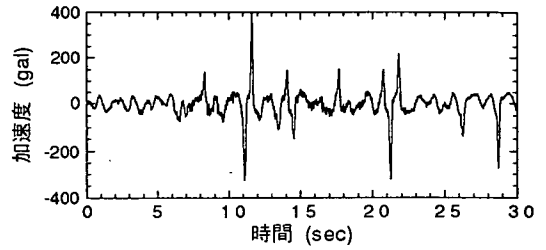


図-9 桁の加速度応答時刻歴波形

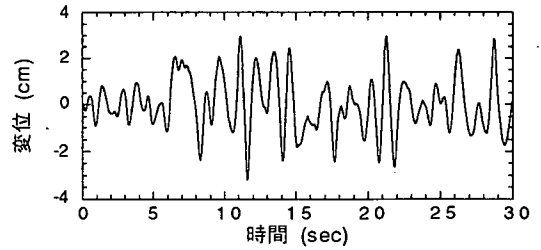


図-10 桁の変位応答時刻歴波形

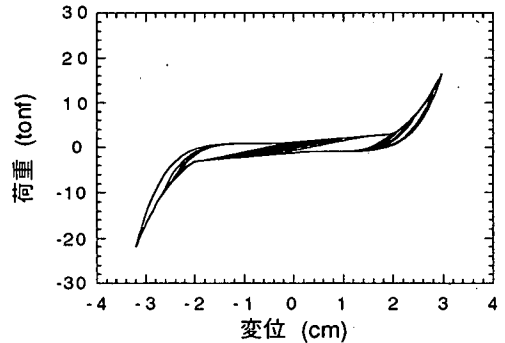


図-11 反力分散装置の履歴応答曲線

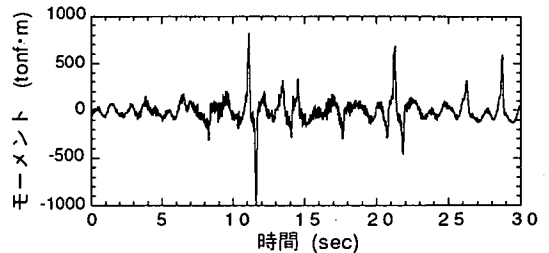


図-12 橋脚基部曲げモーメントの時刻歴応答波形

考慮した履歴復元力特性として、バイリニア領域とハードニング領域とを組み合わせた圧縮ゴムモデルを提案した。試験結果で得られた変位の時刻歴波形を用い、前述の圧縮ゴムモデルによって荷重曲線の再現を試みた結果、地震応答解析に用いるには、十分実用的なモデルだと考えられる。

- 4) 5 径間連続橋を、有限要素骨組みモデルでモデ

ル化し、圧縮ゴム特性を持った非線形バネを仮定して、反力分散装置を設置した連続橋をモデル化した。端の橋脚も、中央部の橋脚も、ほぼ同様な応答を示しており、反力分散装置として十分な特性を持っていることがわかる。変形は小さく抑えられている一方、加速度波形には衝撃的なパルス波形が含まれているのがわかる。橋脚基部での断面力も、同様に衝撃的な応答となる。

謝辞：供試体の載荷実験にあたっては、立命館大学理工学部土木工学科の高木宣章助教授および同大学院生の松尾真紀氏にお世話になった。また、東京ファブリック工業株式会社の糸山謙治氏、浜田英比古氏、渡辺富夫氏らの多大な協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 久保明英, 河村幸夫, 熊井三晃, 佐藤正明: ゴム支承による地震力の多脚分散を図った北明橋の動的性能, 第22回地震工学研究発表会, 土木学会, pp. 791~794, 1993年7月.
- 2) 後藤洋三, 菊池敏男, 伊奈義直: 超多径間連続免震橋の最速固有周期に関する考察, 第22回地震工学研究発表会, 土木学会, pp. 811~814, 1993年7月.
- 3) 日本道路協会: 道路橋支承便覧, 1991年7月.
- 4) 土木研究センター: 道路橋の免震設計マニュアル(案), 1992年3月.
- 5) 日本道路協会: 「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案), 1995年6月.
- 6) 鈴木亮介: 連続桁構造物の水平反力分散方法, 日本国特許庁, 公開特許公報, 昭63-114705, 1988年5月.
- 7) 村上謙吉: レオロジー基礎論, 産業図書, 1991年5月.
- 8) 山田善一, 家村浩和, 渡辺典男: 高減衰積層ゴム支承の履歴モデルと地震応答に関する研究, 平成4年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, I-45, 1992年5月.
- 9) 孫利民, 後藤洋三: 大地震における免震橋用衝突緩衝装置の挙動に関するシミュレーション, 第23回地震工学研究発表会, 土木学会, pp. 509~512, 1995年7月.
- 10) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, V 耐震設計編, 1990年2月.

(1996.4.5 受付)

EFFECTIVE DISTRIBUTION OF SEISMIC LATERAL FORCE UTILIZING COMPRESSIVE DEFORMATION OF RUBBER DEVICES

Kazuyuki IZUNO, Takayuki KOJIMA, Ryosuke SUZUKI, Takashi WADA,
Yuzuru HAMADA and Shin YOSHINO

The rubber devices to distribute the seismic lateral force for the multi-span continuous girder bridge was developed utilizing its compressive deformation. First, the force-displacement relationship was verified from the loading tests of the specimens, which resulted in the highly nonlinear relationship showing the hardening effect of rubber material. Then, the inelastic earthquake response analysis of the multi-span continuous bridge with the rubber elements was conducted to verify the effect for the distribution of seismic lateral force. Though the girder showed the acceleration response with some impulses, the deformation of the girder was suppressed to be small. Furthermore the maximum reaction force of each pier was almost identical.