

衝突を考慮した高架橋モデルの振動台実験とそのシミュレーション

渡邊英一¹・宇都宮智昭²・永田和寿³・梶田幸秀⁴・杉浦邦征⁵

¹フェロー会員 Ph.D.・工博 京都大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 工博 京都大学大学院助教授 工学研究科土木工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

³正会員 修士(工学) 京都大学大学院助手 工学研究科土木工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

⁴正会員 修士(工学) 防衛大学校助手 土木工学科
(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

⁵正会員 Ph.D. 京都大学大学院助教授 工学研究科土木システム工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

1995年兵庫県南部地震以後、高架橋の耐震設計においては、地震後のライフラインとしての機能確保が大きな課題となっている。そのため、高架橋を基礎、桁、支承等からなるシステムとしてとらえ、総合的にその耐震性を確保する方策に関する研究が精力的に進められている。本研究では、3連の単径間高架橋の縮小模型の橋軸方向に正弦波ならびにスケールした実地震波を入力することにより、隣接する高架橋の上部構造の衝突を考慮した高架橋群の応答性状について検討した。固定・可動支承ならびにゴム支承を組み入れるなどし、高架橋の各構造要素を理想状態に再現した模型を用いての加振実験を行った。また、得られた実験結果をもとに、パネー質点系による高架橋の時刻歴応答解析手法の妥当性について検討した。

Key Words : *shaking table test, elevated bridge, fixed/movable support, pounding of girders*

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以降による被災の経験から、高架橋の耐震設計を行う場合には、橋脚の耐震設計のみにとどまらず、高架橋をシステムとしてとらえ、その耐震性を評価し、落橋を防ぐために落橋防止システムの設置が義務づけられており、地震後の緊急交通の確保を行うことが重要視されている。これを背景として、高架橋をシステムとしてとらえるため、橋脚、基礎、支承、上部構造ならびに落橋防止構造といった各構造要素の相互作用、例えば桁間衝突などを考慮した解析が多数行われている^{1), 2), 3)}。しかしながら、高架橋の全体システムの解析を行うには、各構造要素の特徴を工学的に表現しうる解析モデルを作成する必要があり、地盤・基礎の挙動や支承・衝突等の現象のモデル化においても、まだまだ不明

瞭な点が多く、解析モデルの妥当性を評価するために実際の被災例をシミュレートするなど、その特性を逆解析する手法がとられている^{2), 3)}。

高架橋を構成する構造要素である支承に着目した研究では、森重ら⁴⁾がBP-P支承の水平荷重下での挙動を、宇佐美ら⁵⁾がピン支承の水平荷重下での挙動を実験・解析の両面から明らかにしている。また、高架橋全体システムを対象とした実験として、庄司ら⁶⁾は2連の単径間高架橋モデルを用い、スケールした実地震波を入力することにより桁間衝突や桁間連結装置に加えてゴム製緩衝装置の有効性を検討している。また、森山ら⁷⁾も2連の単径間高架橋モデルに対する橋軸方向の正弦波加振実験により、落橋は、橋梁の共振現象と桁間衝突が影響していることを実証している。

これらの研究成果をふまえ、桁間衝突の隣接する

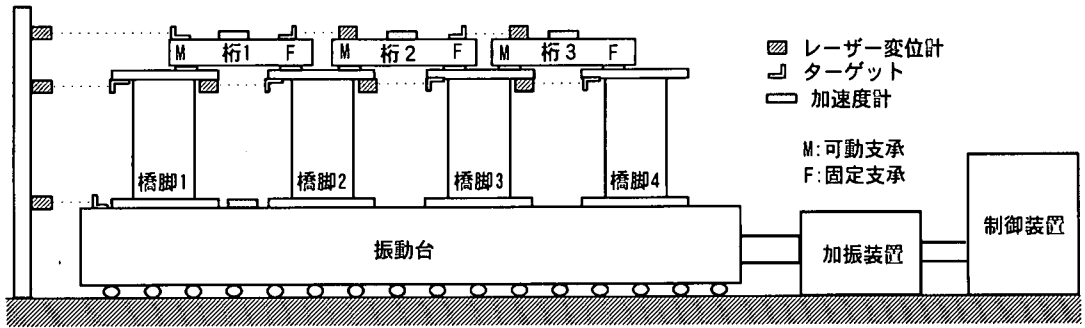


図-1 実験供試体概要図

高架橋の応答に及ぼす影響を検討することを本研究の主な目的とする。したがって、実験供試体として3連の単径間高架橋モデルを製作することにした。高架橋モデルの製作にあたっては、既存の研究³⁾等で用いられている解析手法の妥当性を評価する意味でも、高架橋の各構造要素を理想状態で再現する必要があると考え、固定・可動支承を考慮できる固定可能なスライドベアリングを使用した。また、1995年兵庫県南部地震後、免震支承の設置が積極的に行われているのを考慮に入れ、ゴム支承を用いた場合の桁間衝突ならびにその応答への影響についても別途検討した。ここでは、高架橋モデルの橋軸方向に正弦波やスケールした実地震波を入力し、衝突現象をともなう応答性状を提示するとともに、得られた実験結果をもとに高架橋の応答解析手法としてバネ一質点系による解析法の妥当性についても別途検討を加えた。なお高架橋モデルの支承部は十分に強度を有しており、衝突時においても支承は破壊せず、数値解析でも同様なモデル化を行った。

2. 振動台実験の概要

(1) 振動台実験

本実験で対象としたモデルは、図-1に示すような3連の単径間高架橋を想定したものである。また、本実験で高架橋をモデル化する際に考慮したのは、モデルの固有周期が一般の桁橋の固有周期(0.2~1.2秒程度)におさまるように橋脚柱の剛性、上部質点の質量を調整したもので、実在する高架橋に対して質量、長さ等の相似則が成り立つようにモデル化を行っているわけではない。また、本実験では、桁や橋脚等は鋼製(SS400材を用いた)で作成し、弾性範囲で実験を行った。なお、本実験に使用する振動台は、京都大学に設置された大地震動載荷システムの高精度振動台で、駆動方式は電気油圧サーボ式、振動台寸法は1500mm×1500mm、最大搭載重量は2ton、

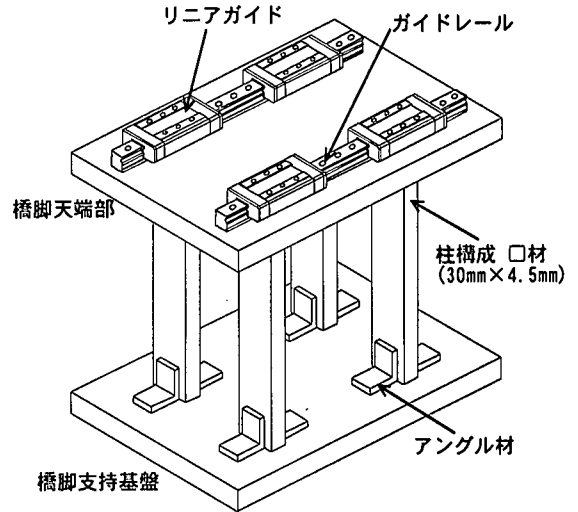


図-2 橋脚詳細図

最大加振力は3ton・g、最大振幅は±100mmの性能を有するものである。

図-2に橋脚および脚上の支承構造のモデルの概略を示す。縦横の長さが1500mmの正方形形状をした振動台に橋脚支持基盤(厚さ20mm、幅140mm、長さ240mm)をボルトで剛結した。その上に厚さ4.5mm、幅30mm、高さ600mmの板材を4本1組とし橋脚をモデル化した。橋脚支持基盤と板材はそれぞれ垂直になるようにアングル材で両側からはさみこみ固定した。

一方、橋脚上に橋脚天端部(厚さ20mm、幅160mm、長さ240mm)を設け、橋脚基盤の取り付けと同様に板材と垂直になるようにアングル材で固定した。なお、橋脚天端部にはゴム支承を設置するための孔加工を施すと同時に、橋脚天端部上面にガイドレール(長さ220mm)を橋軸方向に2本設置し、上載質点の橋軸方向への移動を可能にした。これら橋脚支持基盤、橋脚部材、橋脚天端部、ガイドレールから構成されるユニットをもって1本の橋脚のモデルと考

え、振動台の加振方向に橋脚を4つ設置し、単径間が3つ並ぶ高架橋構造を取り上げた。橋脚は便宜上、加振装置から遠いものを橋脚1、橋脚2、橋脚3、橋脚4と呼ぶことにする。さらに、ガイドレールに桁（上載質点）と一体となったガイドをはめ込み、上部構造とした。桁は、橋脚1-橋脚2、橋脚2-橋脚3、橋脚3-橋脚4間に設置することになる。一方、支承は図-1示すように、可動支承、固定支承が交互にくるように配置している。さらに本実験ではゴム支承を設置したケースの実験も行った。固定支承については、ガイドを両端から接着したストッパーで固定し、橋軸方向の移動を制限することによりモデル化した。これにより、桁は、固定支承を有する橋脚と一体となって動くことになる。可動支承については、レールとガイドの間に摩擦力が存在するものの、上部構造に作用する慣性力に対して小さいので、橋軸方向には自由に動けるものと考え、ゴム支承については、橋脚天端と桁にあげられた穴に柱状のゴム（直径30mm、高さ93mm）をはめ込み、桁と橋脚間の変位に対して復元力を発揮できるような構造にした。また、桁は、橋脚間をまたがってガイドに固定されるわけだが、各橋脚の水平移動にともなう上下動が引き起こす微小な回転運動を拘束しないよう、ガイドと桁の間に球面軸受を設置した。図-3にガイドと球面軸受を示す。なお、本実験では、桁同士の衝突を発生させるため、各橋脚の固有周期を変える必要があり、桁の質量を変えることにより対応した。本実験では以下の桁を使用した（桁A：厚さ40mm、幅160mm、長さ345mm、質量16.8kg、桁B：厚さ26mm、幅160mm、長さ345mm、質量10.9kg）。ここで、加振装置から遠い方から単径間1、単径間2、単径間3、と呼ぶこととする。なお、桁は、加振装置に遠い方から桁1、桁2、桁3と呼ぶこととする。

これらの供試体の応答を計測するために、図-1中に示す位置にセンサーを設置した。加速度計は振動台および桁1、桁2、桁3の加速度を測定するために設置し、橋脚1、橋脚2、橋脚3、橋脚4および桁1-2、桁2-3間の相対変位、桁脚間の相対変位をレーザー式変位計で測定した。用いた加速度計は、(株)東京測器研究所製のARF-20Aであり、最大加速度1960gal、応答周波数70Hzの性能を有するものである。レーザー式変位計は、(株)キーエンス製のLB-01であり、測定範囲は60mmから140mm、分解能40 μ m、応答性18Hzの性能を有するものである。データ収録には、衝突による加速度や変位の変動を十分計測できるようにサンプリング時間を0.001秒として、オンライン計測を行った。

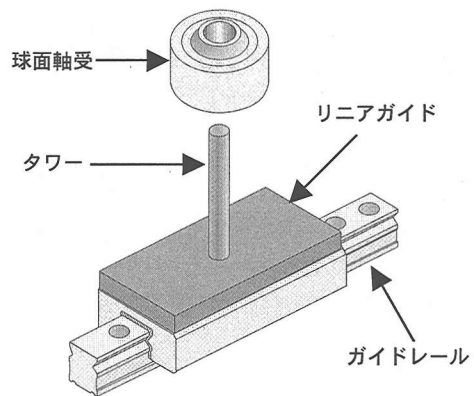


図-3 球面軸受とガイド

表-1 固有周期と減衰定数

	固有周期 (秒)	減衰定数 (%)
橋脚 1	0.157	0.38
橋脚 2	0.168	0.36
橋脚 3	0.165	0.36
橋脚 4	0.161	0.29

表-2 橋脚の諸元

	質量 (kg)	剛性 (N/mm)
橋脚 1	8.70	13.73
橋脚 2	8.14	11.97
橋脚 3	8.04	11.76
橋脚 4	8.30	12.79

表-3 固有周期と転がり摩擦

	固有周期 (秒)	転がり摩擦 (N)
単径間 1	0.294	5.19
単径間 2	0.290	6.86
単径間 3	0.280	5.39
単径間 3 (桁 B)	0.245	5.88

(2) 自由振動実験によるモデルの同定

橋脚が単独で振動する際の固有周期と減衰定数を算定するために、自由振動実験を行った。まず、桁および可動支承をはずした状態で、橋脚1~橋脚4を順次起振した。ここでは、橋脚それぞれに初期変位を与え、その自由振動中の変位振幅およびそのピーク値の時間間隔より固有周期と減衰定数を算出した。その結果を表-1に示す。なお、減衰定数は、次

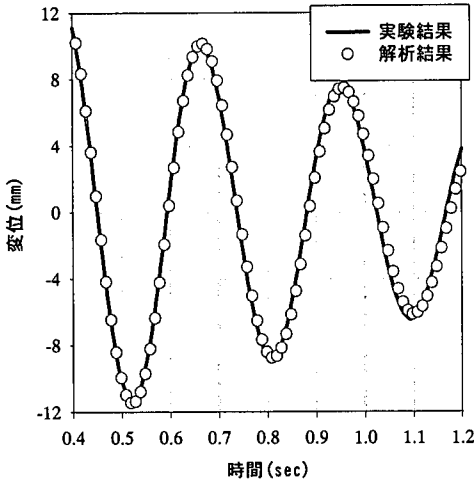


図-4 単径間2の自由振動実験結果

式を用いて求めた⁸⁾.

$$h = \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{Y_n}{Y_{n+1}} \quad (1)$$

ここで、 Y_n : n サイクル目のピーク変位振幅である。また、実験で使用した橋脚モデルの質量と剛性を表-2に示す。

次に、桁 A を載せたときの高架橋の自由振動実験を行った。この振動系では、設置精度に依存した可動支承の摩擦力が存在し、また、製作精度とも関連して各橋脚ユニットの減衰を一定に保つことは困難である。そこで、摩擦力をパラメータとした自由振動の解析をパラメトリックに行い、自由振動実験を再現できる場合の値を可動支承の摩擦力とした。得られた固有周期と、可動支承（スライドベアリング 2 つ分）の摩擦力の値を表-3 に、また、一例として単径間 2 の自由振動実験と自由振動解析の比較結果を図-4 に示す。ここで、摩擦係数はそれぞれ、0.063, 0.083, 0.072 となるが、道路橋示方書⁹⁾では転がり摩擦の摩擦係数を 0.05 としており、本実験ではそれより大きな値となった。実橋においては、他の環境にも影響されると考えられるため、現況を把握するため実橋での実測等が今後行われるべきだと考えられる。

(3) 共振実験

橋脚に桁を載せ、単径間が単独で振動できる状態において、2.5Hz~5.0Hz の周波数帯で、0.1Hz きざみで正弦波加振する共振実験を実施した。なお、単径間 3 については桁 B を設置した場合についても実験を行った。周波数を 0.1Hz きざみで変化させたときの桁の応答加速度が最大になる周波数を表-4 に、

表-4 共振周波数

	共振周波数 (Hz)	固有周期 (秒)
単径間 1	3.51	0.285
単径間 2	3.50	0.286
単径間 3	3.60	0.278
単径間 3 (桁 B)	4.00	0.250

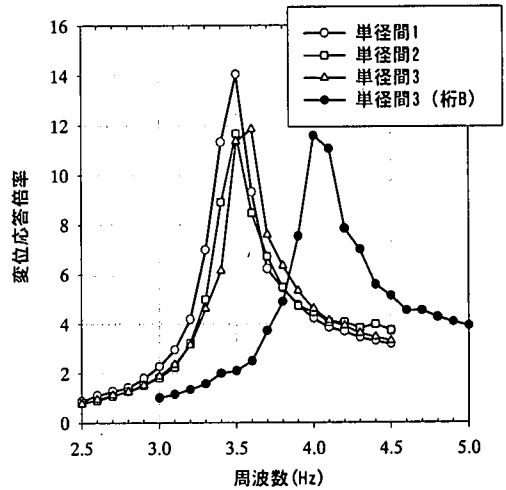


図-5 変位応答倍率

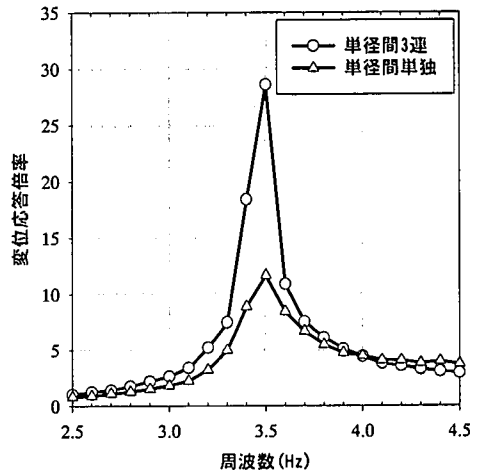


図-6 単径間2の変位応答倍率

応答変位と周波数の関係図を図-5 に示す。単径間 1, 単径間 2, 単径間 3 では桁の質量が同じであるため、3.5Hz 付近で共振しているのがわかるが、単径間 3(桁 B)については桁の質量が軽いため、単径間 1, 単径間 2, 単径間 3 よりも高い周波数で共振しているのがわかる。また、表-4 を表-3 に示す自由振動結果と比較すると、固有周期には整合性があることわかる。

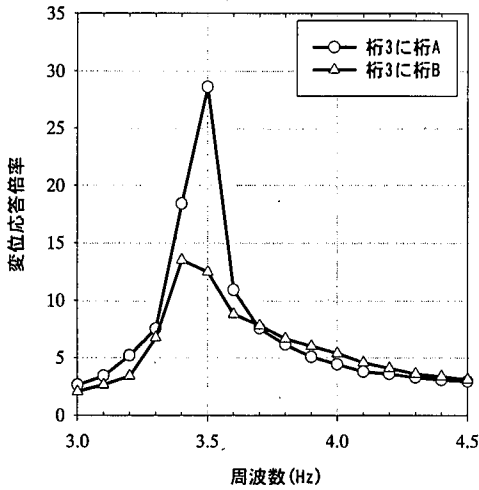


図-7 単径間2の変位応答倍率

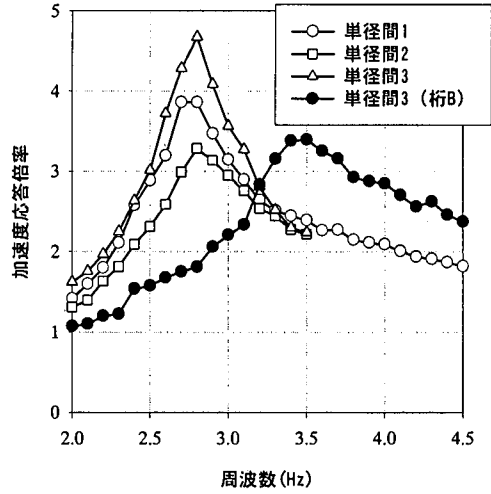


図-8 加速度応答倍率

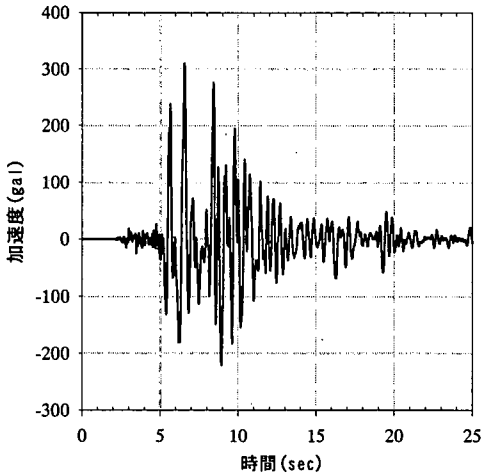


図-9 入力地震波

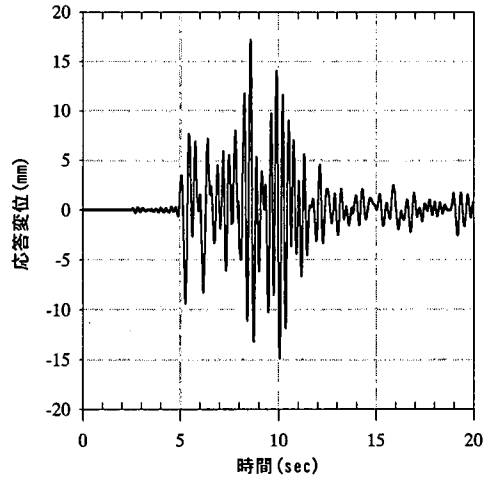


図-10 桁1の変位応答 (Case1)

次に、単径間1、単径間2、単径間3をそれぞれ連続にした状態(桁を3つ載せ、3連の単径間高架橋とする)で、2.5Hz~4.5Hzの加振周波数帯で、約0.1Hzきざみで最大加速度が50gal程度の正弦波で加振する共振実験を行った。まず単径間1~3に桁Aを載せ、共振実験を行った。その際の橋脚3の周波数と変位応答倍率を、単径間2単独で共振実験を行った結果と比較した図を図-6に示す。この比較より、高架橋の共振周波数付近では、単径間が連続する状態において、単径間が単独で振動する場合よりも変位の応答倍率が增大していることがわかる。この理由としては、同じ固有周期を持つ単径間が連続する場合、隣り合う単径間同士は同じ位相で振動する。そのため、桁間の相対変位がほとんど生じず、可動支承上の桁-脚間にも変位が発生しない。それにより、単径間単独で振動する際に、減衰力として働いていた可

動支承の摩擦力が働かないためであると考えられる。

次に単径間1、単径間2に桁Aを単径間3に桁Bを載せた状態で共振実験を行った。その際の単径間2の周波数と変位応答倍率を前述の単径間1~3に桁Aを載せた場合と比較した結果を図-7に示す。なお、この実験では桁同士の衝突が起きないように入力加速度を調整した。この比較結果より、異なる固有周期を持つ単径間が存在する場合には、共振周波数付近での変位応答倍率が同じ固有周期が連続する場合に比べて小さい値となっていることがわかる。すなわち、単径間高架橋が連続して存在する場合でも、異なる固有周期を持つ単径間が隣接する場合には、それぞれが異なった位相で振動するため、可動支承上の桁-脚間に相対変位が発生し、可動支承の摩擦力が減衰として作用することで高架橋全体の変位応答が抑制される結果となった。

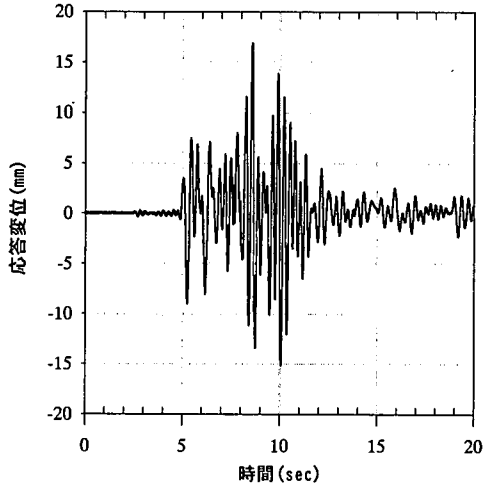


図-11 桁2の変位応答(Case1)

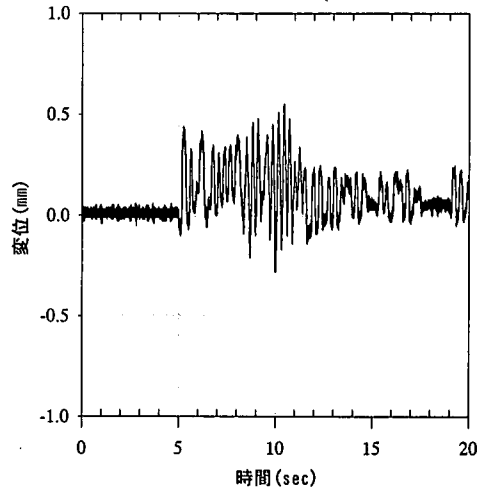


図-12 桁1-2間の相対変位(Case1)

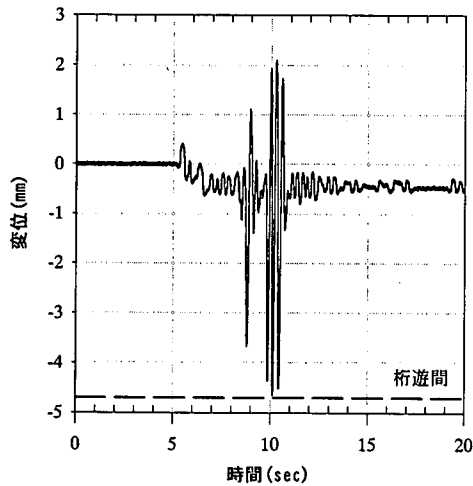


図-13 桁1-2間の相対変位(Case2)

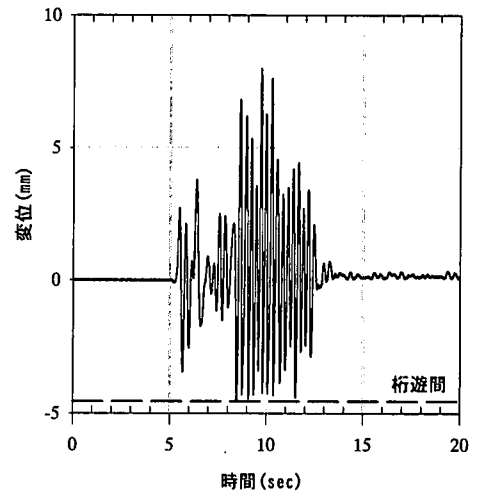


図-14 桁2-3間の相対変位(Case2)

次に、固定支承のストッパーを取りはずし、ゴム支承を橋脚天端部と桁の孔に設置した。単径間が単独である状態に対して0.1Hzきざみで、正弦波により加振する共振実験を実施した。その際の桁の加速度応答と周波数を図-8に示す。図-5と図-8を比較することにより、ゴム支承を設置することにより、固定支承を設置したときよりも共振周波数が小さくなるのがわかる。

3. 実験結果および考察

(1) 固定・可動支承による実験結果

最大加速度を40%程度にスケールダウンした兵庫県南部地震時の神戸海洋気象台記録波形(kobe_ns)を3連の単径間高架橋モデルに対して入力し実験を行った。(図-9参照)

表-5 橋脚の最大応答変位

ケース	最大/最小	(mm)		
		橋脚 2	橋脚 3	橋脚 4
Case1	最大値	17.2	16.9	16.8
	最小値	-14.9	-15.1	-14.9
Case2	最大値	16.6	15.2	11.9
	最小値	-14.7	-13.9	-10.9

a) 固有周期が同じ単径間が隣接する場合

Case1として桁1, 2, 3に桁Aを載せ、加振実験を行った。そのときの桁1, 桁2の変位応答を図-10, 図-11に、桁1-2間の相対変位応答を図-12に示す。なお、この時の桁1-2, 桁2-3間の桁遊間は4.45mm, 3.35mmである。図-10, 図-11より、いずれの桁も変位は15mmを越えているが、各橋脚の固有周期が近接しているため、ほぼ同じ位相で振動し、桁間の

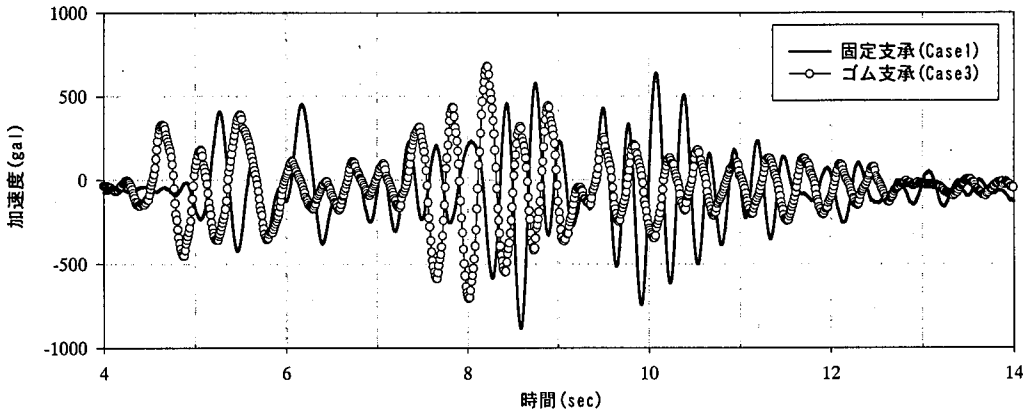


図-15 桁1の加速度応答

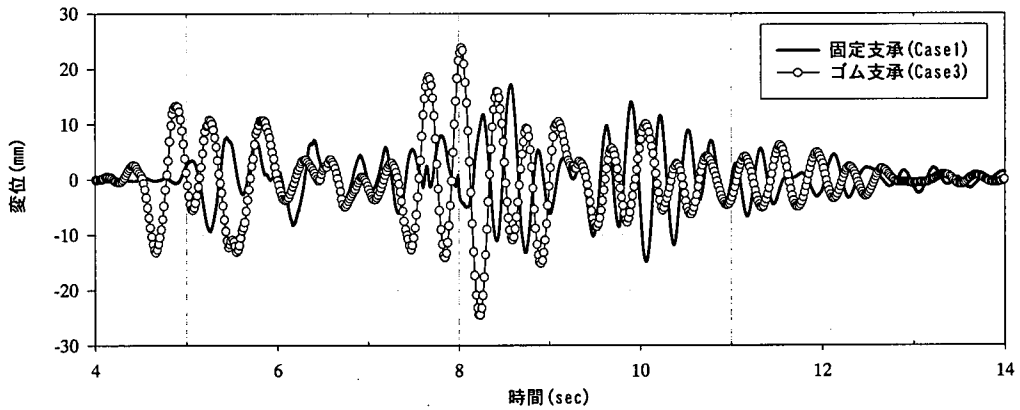


図-17 桁1の変位

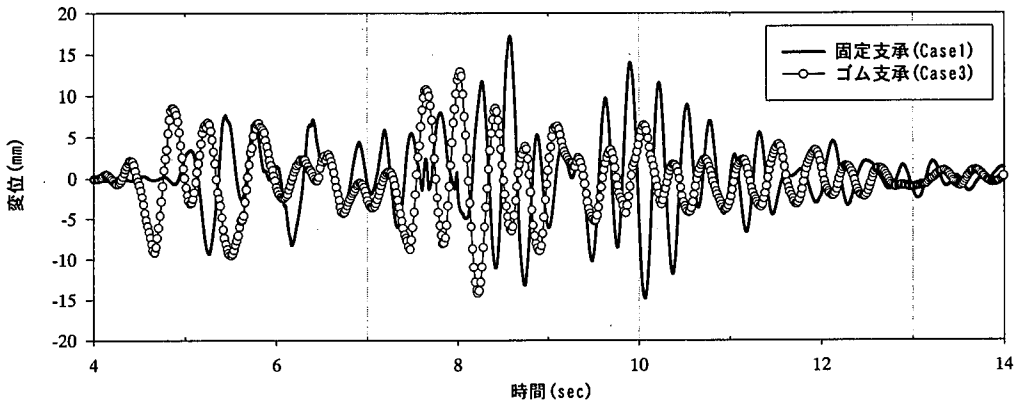


図-16 橋脚2の変位

相対変位がほとんど発生せず、衝突現象も発生していないことがわかる。

b) 固有周期が異なる単径間が隣接する場合

Case2として桁1, 桁2を桁Aとし, 桁3を桁Bとして加振実験を行った。なお, この時の桁1-2, 桁2-3間の遊間は, それぞれ4.70mm, 4.55mmとした。桁1-2, 桁2-3間の相対変位応答を図-13, 図-14に表

す。桁2と桁3の質量が異なり, 橋脚3と橋脚4が異なる固有周期で振動するため, 桁2-3間で桁の衝突が発生している。そして図-13より, 桁3が桁2に衝突した結果として桁2の応答が乱され, その結果, 同じ固有周期を有する単径間の間で, すなわち桁1-2でも衝突が発生していることがわかる。これら2ケースについて, 固定支承を有する橋脚である

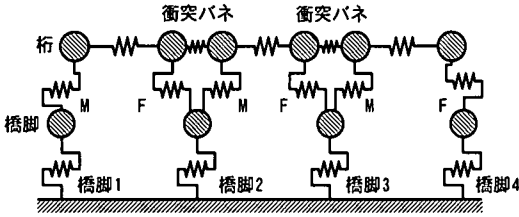


図-18 バネ-質点系解析モデル

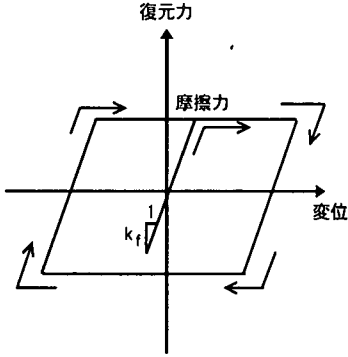


図-19 可動支承の復元力モデル

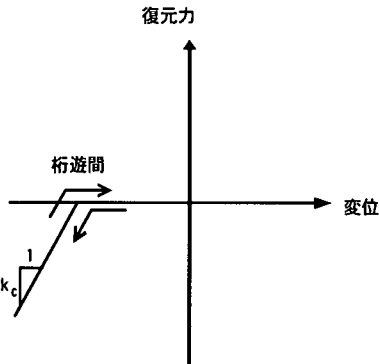


図-20 衝突バネの復元力モデル

橋脚 2, 橋脚 3, 橋脚 4 についての最大変位を表-5 にまとめた。この比較結果より、いずれの橋脚の変位も Case1 の方が大きいことがわかる。すなわち隣接する単径間の固有周期が異なっている場合には、異なった位相で振動するため、可動支承部での相対変位が生じ、それにともない発生する可動支承の摩擦力が橋脚の変位を抑制する方向に働くが、隣接するの固有周期が同じである場合には、同位相で振動するため橋脚の変位を抑制する方向に摩擦力が働かないためであると考えられる。

(2) ゴム支承による実験結果

次に、Case3として桁 1, 2, 3 に桁 A を載せ、固定支承をゴム支承に変更し実験を行った。その際の桁 1 の加速度応答、橋脚 2 の変位応答、桁 1 の変位

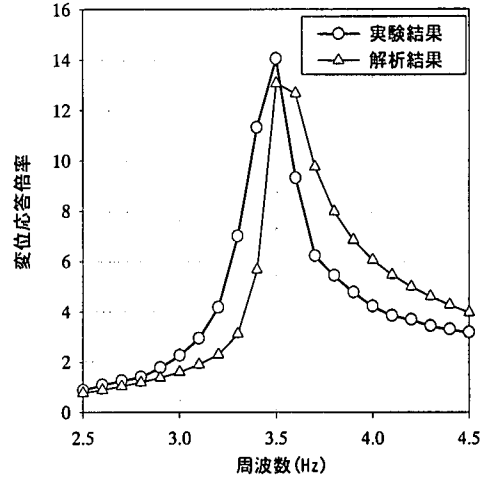


図-21 橋脚2 (単径間1) の変位応答倍率

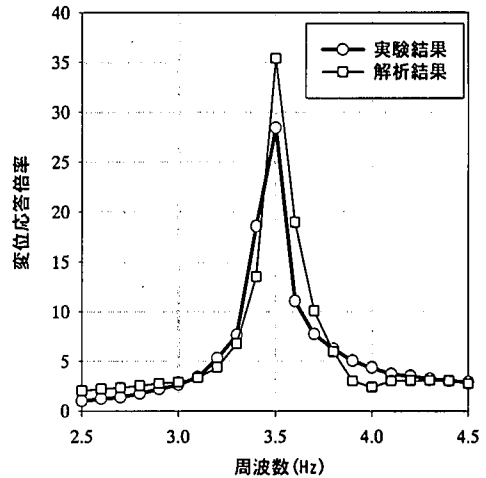


図-22 橋脚2 (単径間1) の変位応答倍率 (3連)

応答の Case1 と比較したものを図-15, 図-16, 図-17 に示す。これより、桁の加速度応答は若干減少し、橋脚の変位応答は減少するものの、桁の変位応答が増大する傾向にあるということがわかる。

4. 応答解析による実験結果のシミュレーション

(1) バネ-質点系モデルによるシミュレーション

応答解析には、図-18 に示すようなバネ-質点系モデルを用いた。橋脚、固定支承、桁の復元力特性は弾性モデルとし、可動支承は摩擦力を降伏とした完全弾塑性型の履歴モデル、桁間には衝突バネを考慮した。可動支承の復元力モデルを図-19 に衝突バネの復元力モデルを図-20 に示す。なお、摩擦力については、表-3 で与えられる数値を用い、初期剛性 k_f

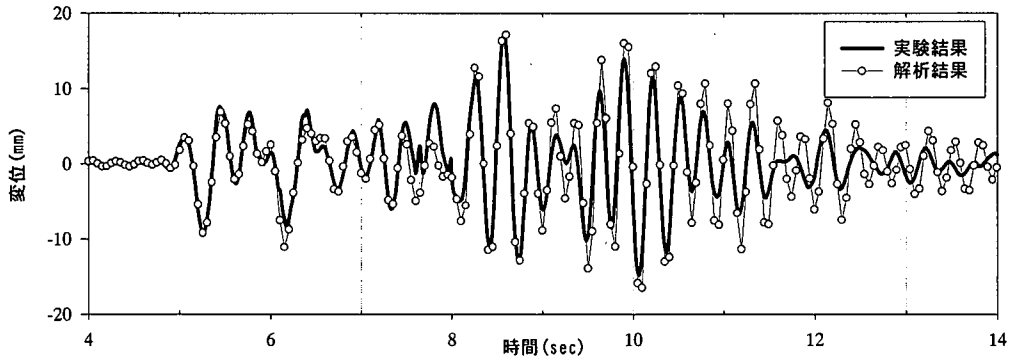


図-23 橋脚3の変位応答(Case1)

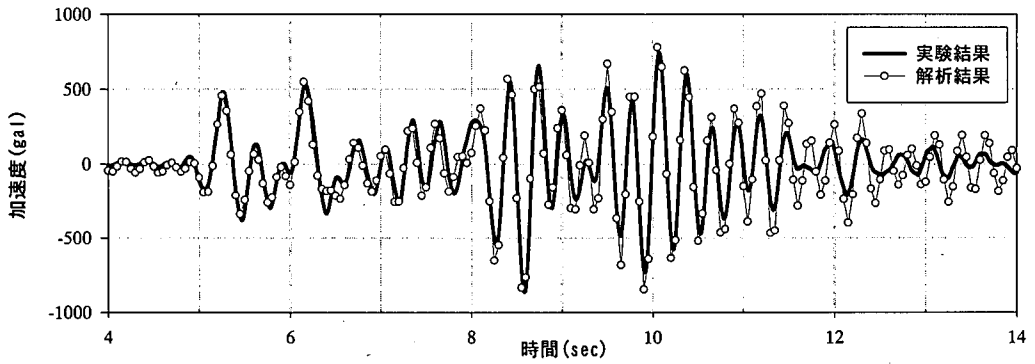


図-24 桁3の加速度応答(Case1)

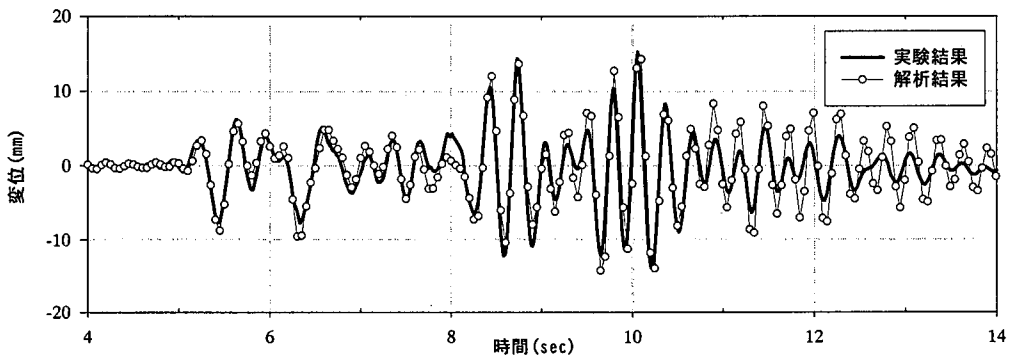


図-25 橋脚3の変位応答(Case2)

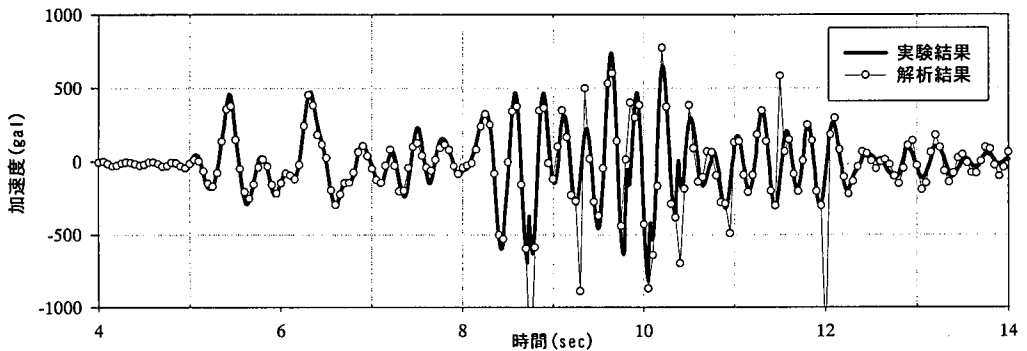


図-26 桁3の加速度応答(Case2)

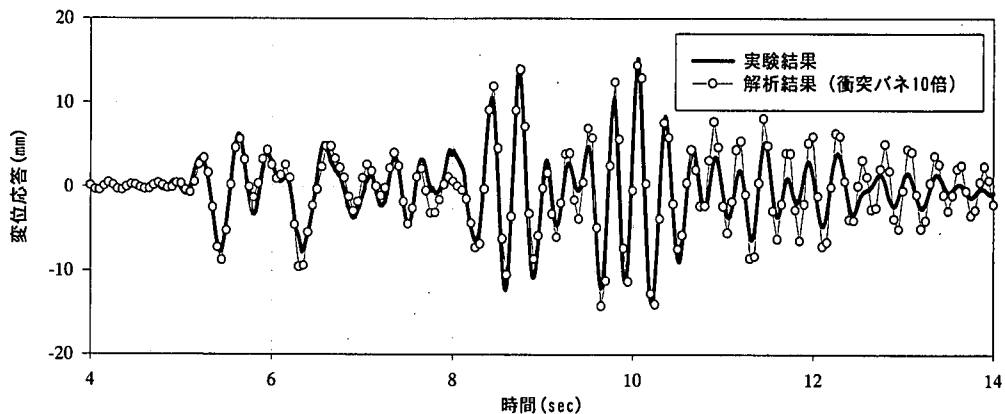


図-27 橋脚3の変位応答 (衝突バネの剛性10倍)

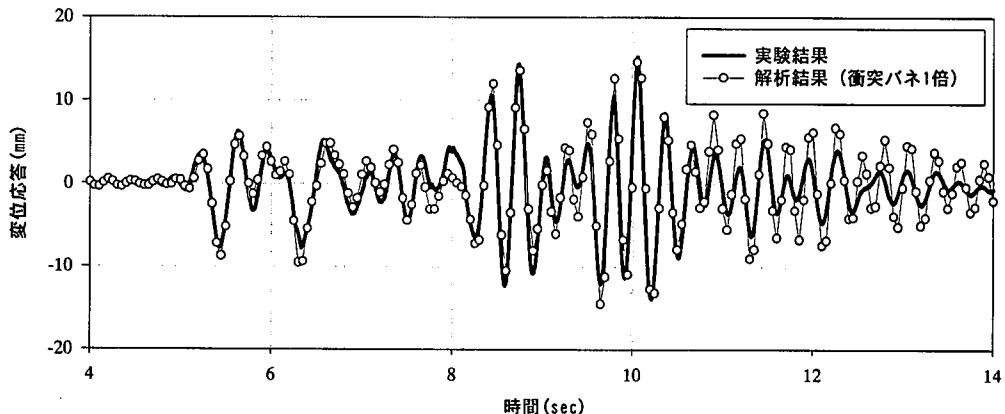


図-28 橋脚3の変位応答 (衝突バネの剛性1倍)

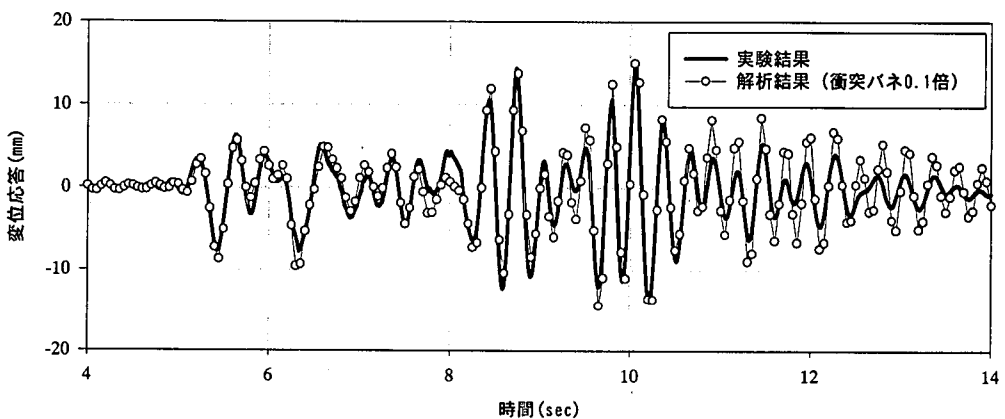


図-29 橋脚3の変位応答 (衝突バネの剛性0.1倍)

については、可動支承が1mm変位したときに摩擦力の値になるように決定している、また、衝突バネの剛性 k_c は、桁(鋼板)の軸方向剛性を適用した¹⁰⁾。

まず、単径間が単独の状態、正弦波を入力し、振動数をパラメータにとり、変位応答倍率を調べ、実験結果と比較した。橋脚2の変位応答倍率を図-21に示す。なお、解析で用いた減衰定数は、橋脚対

しては実験により得られた値を、固定支承、可動支承、桁についてはそれぞれ5%、4%、3%の値を用いた。これらの比較結果より、共振周波数に若干の違いが見られるが、変位振動特性はとらえていると考えられる。一方、単径間が3連の状態、正弦波を入力し、振動数をパラメータにとり、変位応答倍率を調べ、実験結果と比較した結果を図-22に示す。

表-6 橋脚の最大応答変位

	(mm)		
	橋脚 2	橋脚 3	橋脚 4
Case1	17.2 (18.7)	16.9 (18.9)	16.8 (17.6)
Case2	16.6 (18.6)	15.2 (17.5)	11.9 (14.6)

() 内は解析結果を表す

表-7 橋脚の衝突に対する影響

	(mm)		
衝突バネ剛性	橋脚 2	橋脚 3	橋脚 4
桁剛性の 10 倍	18.7	17.0	14.2
桁剛性の 5 倍	18.9	17.1	14.2
桁剛性の 1 倍	18.6	17.5	14.6
桁剛性の 0.5 倍	18.6	17.0	14.1
桁剛性の 0.1 倍	18.7	17.0	14.2
実験値	16.6	15.2	11.9

図-21, 図-22 を比較すると, 実験より明らかになった単径間が単独で振動する際の応答倍率より, 3 連の単径間が同位相で振動する際の応答倍率の方が大きくなるという現象が再現されていると考えられる。

次に, 実験の Case1, Case2 を, 解析により再現した。Case1 における橋脚 3 の変位ならびに桁 3 の加速度を図-23 および図-24 に示す。さらに, Case2 における橋脚 3 の変位ならびに桁 3 の加速度を図-25 および図-26 に示す。また, 各橋脚の最大応答変位の実験結果との比較を表-6 に示す。図-23 および図-25 に示す変位応答では, 解析結果と実験結果では解析結果が全般的に大きな応答を示しているものの, 比較的精度良く再現できていると考えられる。図-24 および図-26 に示す加速度応答では, 桁の衝突が起きない Case1 の場合は, 精度よくシミュレートできているが, 桁の衝突が起きる Case2 の場合は, 衝突時に解析結果では, 瞬間的に大きな加速度を示している。これは, 実験に用いた加速度計では計測できないような高周波数の成分であると考えられる。

(2) 衝突バネ剛性の解析解に及ぼす影響

次に, 衝突バネの剛性が橋脚変位に及ぼす影響について考えた。Case2 において, 桁の衝突バネの剛性をパラメトリックに変化させ, 応答解析を行った。その際の橋脚の最大変位を表-7 に, 衝突バネの剛性が桁の軸方向剛性の 10 倍, 1 倍, 0.1 倍とした時の橋脚 3 の変位応答を実験結果と比較した図をそれぞれ図-27, 図-28, 図-29 に示す。これより, 衝突バネの剛性の変化による橋脚の最大変位への影響はほとんどなく, 局所的な波形に

対する違いもほとんど見られない。また, これらの比較結果より, 衝突を考慮した高架橋モデルの応答性状を, 衝突バネを用いたバネ-質点系モデルで比較的精度良く再現することができることがわかる。

5. 結論

本研究では, 3 連の単径間高架橋モデルの橋軸方向に正弦波ならびにスケールダウンした実地震波を入力し, 隣接する高架橋の上部構造の衝突を考慮した高架橋群の応答性状について検討を行った。また, バネ-質点系モデルによる応答解析を実施し, その妥当性について考察を加えた。本研究により, 以下のことが明らかになった。なお, 本実験における高架橋モデルは, 支承部は十分に強度を有しており, 衝突時においても支承は破壊せず, 固定支承の破壊までは考慮していない。

- ・ 固有周期が同じ単径間が連続しているときは, 桁同士の衝突は起きにくい。
- ・ 固有周期が同じ単径間が隣り合っている場合でも, 固有周期が異なる他の脚からの衝突の影響を受けることにより, 衝突が発生する可能性がある。
- ・ 固有周期が異なる単径間が隣り合っている場合は, 可動支承の摩擦力の働きにより橋脚の変位が減少することもある。
- ・ ゴム支承を適用すると, 橋脚の応答変位を減少させることができるが, 桁の応答変位が増大する結果となる。
- ・ 衝突を考慮した高架橋モデルの応答性状を, 衝突バネを用いたバネ-質点系モデルで比較的精度良く再現することができる。
- ・ 衝突バネの剛性の変化による各橋脚の最大変位および応答性状への影響はほとんどない。

謝辞: 振動台の使用にあたり, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻の家村浩和教授, 五十嵐晃助教授, 中西伸二技官に大変お世話になりました。また, 京都大学大学院工学研究科修士課程の津村洋祐君には, 実験, 解析の両面において多大な助力を得ました。ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川島一彦, 庄司学: 衝突緩衝用落橋防止システムによる桁間衝突の影響の低減効果, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.129-142, 1999.1.
- 2) 西川大介, 目黒公郎: 兵庫県南部地震による阪神高速 3 号線高架橋崩壊被害のメカニズム解析, 第 24 回地震

- 工学研究発表会講演論文集, Vol.2, pp.1017-1020, 1997.7.
- 3) 梶田幸秀, 渡邊英一, 杉浦邦征, 丸山忠明, 永田和寿: 鋼製支承の破損を考慮した連続高架橋の地震時応答性状と落橋防止装置の有効性の検討, 構造工学論文集, Vol.45A, 土木学会, pp.903-914, 1999.3.
 - 4) 森重行雄, 鶴野禎史, 藤野陽三, 阿部雅人, 宇佐美哲, 柳野和也: BP-B 支承の水平荷重下での挙動, 土木学会第 54 回年次学術講演会, I-B220, pp.438-439, 1999.9.
 - 5) 宇佐美哲, 藤野陽三, 阿部雅人, 森重行雄, 鶴野禎史: ピン支承の水平荷重下での挙動, 土木学会第 54 回年次学術講演会, I-B221, pp.440-441, 1999.9.
 - 6) 庄司学, 川島一彦, Anat Ruangrassamee, 運上茂樹, 足立幸郎, 長屋和宏: 桁間衝突の影響に対するゴム製緩衝装置の有効性に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.45A, 土木学会, pp.891-902, 1999.3.
 - 7) 森山卓郎, 依田照彦, 平栗一哉: 桁間衝突が落橋におよぼす影響に関する実験的研究, 土木学会第 54 回年次学術講演会, I-B303, pp.602-603, 1999.9.
 - 8) 平井一男, 水田洋司: 耐震工学入門, 森北出版株式会社, 1994.3.
 - 9) (社)日本道路協会: 道路橋示方書-同解説 I 共通編, p92, 1996.12.
 - 10) 渡邊学歩, 川島一彦: 衝突バネを用いた桁間衝突の解析精度, 第 2 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.443-448, 1998.12.
- (2000. 3. 15 受付)

A SHAKING TABLE TEST ON THE ELEVATED BRIDGES CONSIDERING THE POUNDING OF GIRDERS AND ITS NUMERICAL SIMULATION

Eiichi WATANABE, Tomoaki UTSUNOMIYA, Kazutoshi NAGATA,
Yukihide KAJITA and Kunitomo SUGIURA

The 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake has emerged the necessity of highway system in function as a lifeline even after main shock. Therefore, many research works have been carried out in order to evaluate the response of elevated bridges under severe ground motions. Carried out herein is a shaking table test on scaled elevated bridge model, consisting of three single span elevated bridges. The bridge model was shake in the direction of the bridge axis and the effect of pounding between the adjacent girders on the global response is focused. In addition, the validity of the response analysis available currently is assessed by comparing to the experimental results.