

振動台実験による圧縮側/引張側ゴム製緩衝装置の有効性に関する検討

川島一彦*, 庄司学**, 星恵津子***

* 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)
** 修 (工) 東京工業大学助手 工学部土木工学科 (同上)
*** 東京工業大学大学院 理工学研究科国際開発工学専攻 (同上)

本研究では、緩衝装置の有効性を検討するために桁質量比の異なる2連の桁橋模型を製作し、桁間衝突を緩和するために圧縮側および引張側にゴム製緩衝装置を桁端部に設置して振動台実験を行った。この結果、緩衝装置を設けることにより、桁間衝突の衝撃が大きく低減できること、桁質量比が異なると衝突に伴い質量の小さい桁の変位が大きく増加する可能性があることが明らかとなった。さらに、桁間衝突を衝突ばねでモデル化して解析を行い、振動台実験結果と比較することによりモデル化の妥当性を検討した。

Key Words : Bridge, Seismic design, Pounding, Shaking table test, Nonlinear dynamic analysis

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震以降、免震支承を設けて地震力の低減を図る免震橋や、積層ゴム支承を設けて桁の慣性力を下部構造間で平滑化させて、橋全体系の耐震性の向上を図る地震時水平力分散形式橋梁などの長周期の連続橋が多くなってきている。しかし、長周期化に伴う隣接桁間の桁掛け違い部や桁～橋台間の衝突によって桁間や桁～橋台間の相対変位が大きくなると落橋に至る可能性が出てくる。

桁間に衝突が生じると、その衝突力は桁重量の数倍という大きな値となる場合もある。そこで、本研究では高ひずみ・高圧面下においても荷重の繰り返し回数や載荷速度に対して比較的安定した性能を示すゴム製緩衝装置を桁質量比の異なる2連の桁橋の桁端部に設置して振動

台加振実験を行い、緩衝装置の有効性を検討した。さらに、それに対し動的解析を行い、衝突ばねを用いた非線形動的解析法の妥当性を検討した。

2. 実験供試体および実験方法

模型および橋脚は鋼材 (SS400) で作製した。桁質量の異なる2連の桁橋 (図-1 参照) を3種類用意した。桁の平面寸法は 1000mm×300mm、橋脚断面は 3.2mm×50mm である。自由振動実験から求めた固有周期とともに模型橋の特性を表-1 に示す。

図-2のように、緩衝装置は桁1と桁2が開く方向 (引

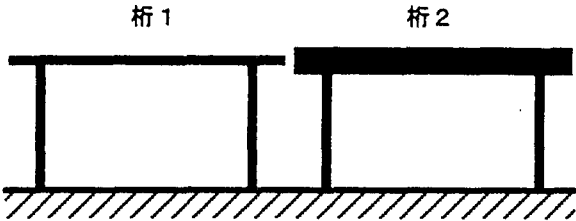


図-1 実験模型橋

表-1 模型橋の特性

桁質量比 (桁1 : 桁2)	桁1			桁2		
	桁重量 (kgf)	橋脚高さ (cm)	固有周期 (sec)	桁重量 (kgf)	橋脚高さ (cm)	固有周期 (sec)
1 : 1.5	21.2	50	0.35	31.6	50	0.44
1 : 5				103.6	52.85	0.75
1 : 7				155.4	52.85	1.09

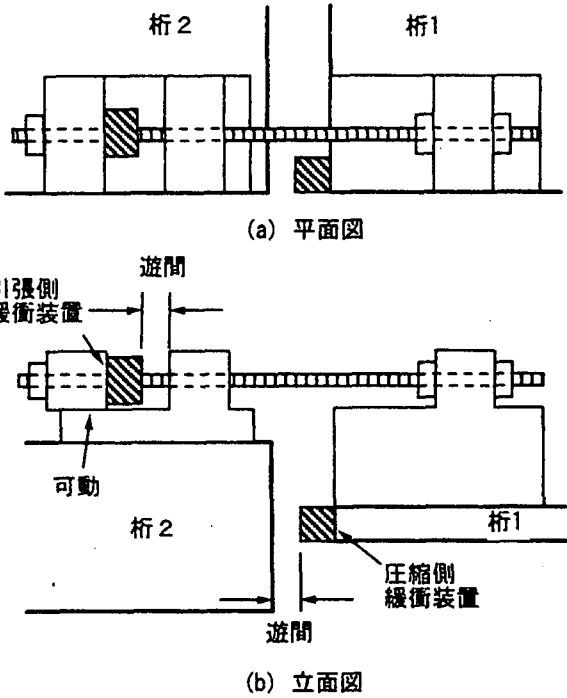


図-2 緩衝装置

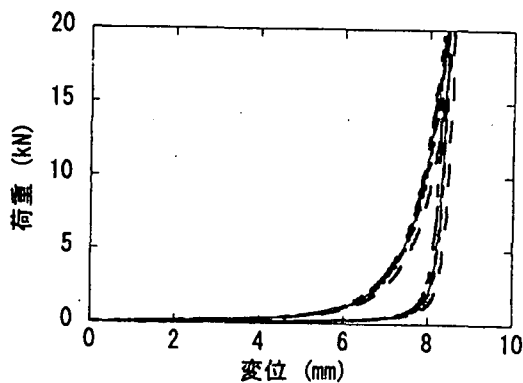


図-3 緩衝ゴムの圧縮特性 (厚さ10mmの場合)

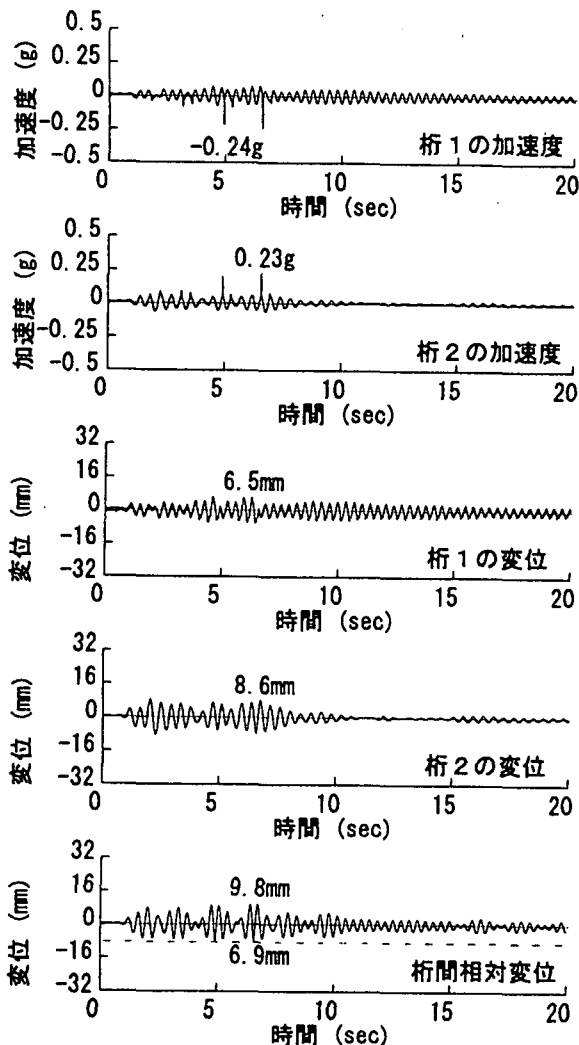


図-4 緩衝装置を圧縮側に設けた場合 (桁質量比 1:1.5)

張側)に機能するものと閉じる方向(圧縮側)に機能するものの2種類を考え、それぞれ桁の両端に各1組ずつ取り付けられるようになっている。緩衝ゴムの断面寸法は、引張側では15mm×12mm、圧縮側では15mm×9mmで、厚さは圧縮側には5、10、15mmの3通り、引張側には10mmとした。緩衝装置は、積層ゴム支承などに通常用いられる天然ゴムと同じ材質で製作した。硬度は57Hs、伸びは490%、引張強さは175kgf/cm²、圧縮永久ひずみ率は20%である。厚さ10mmの緩衝装置に5

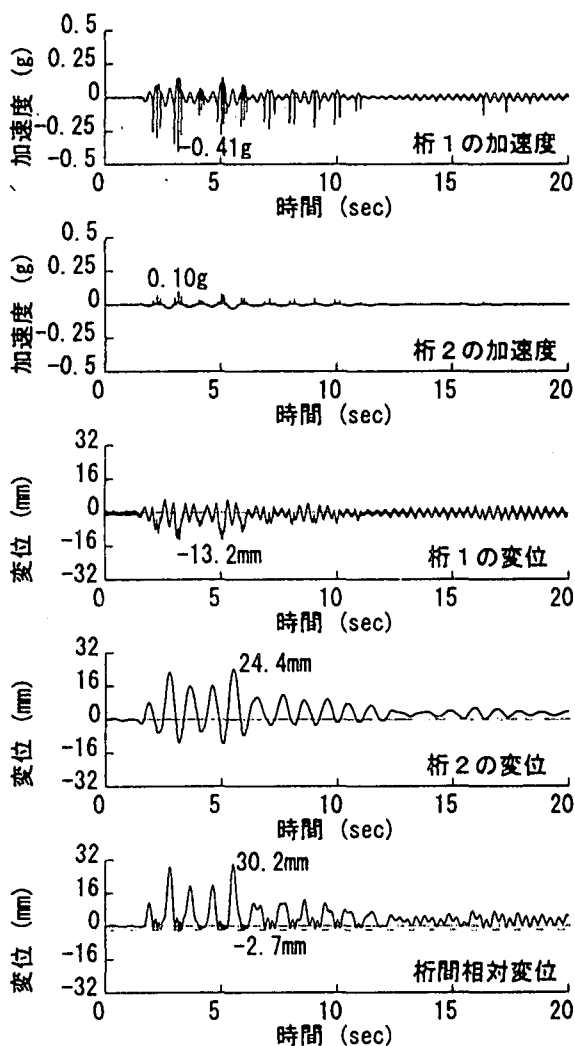


図-5 緩衝装置を圧縮側に設けた場合 (桁質量比 1:7)

回の繰り返し圧縮載荷実験を行った結果を示すと図-3のようになる。80%を上回る程度の変形を繰り返し与えても、安定した圧縮特性を示している。

建設省土木研究所の振動台を使用し、1995年兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で観測されたNS成分記録と1940年Imperial Valley地震の際にエルセントロで観測された記録をスケールを変えて入力した。

3. 桁間衝突の影響と緩衝装置の効果

図-4、図-5は厚さ10mmの緩衝装置を圧縮側に設け、桁質量比をそれぞれ1:1.5、1:7とした場合の桁の応答を示したものである。ここでは、神戸海洋気象台記録を入力した場合を示している。桁質量比が1:1.5の場合には、4.9秒と6.6秒の2回にわたって桁1と桁2が衝突している。これは桁遊間が約6.9mmであり、桁間が閉じる方向の相対変位がこの値に達したためである。衝突により桁の応答加速度がパルス状に0.23~0.24gと大きな値を示している。衝突に伴い桁が閉じる方向の相対変位は6.9mmに抑えられたため、桁が開く方向の相対変位よりも小さくなっている。

図-5は、桁質量比をさらに1:7と小さくするととも

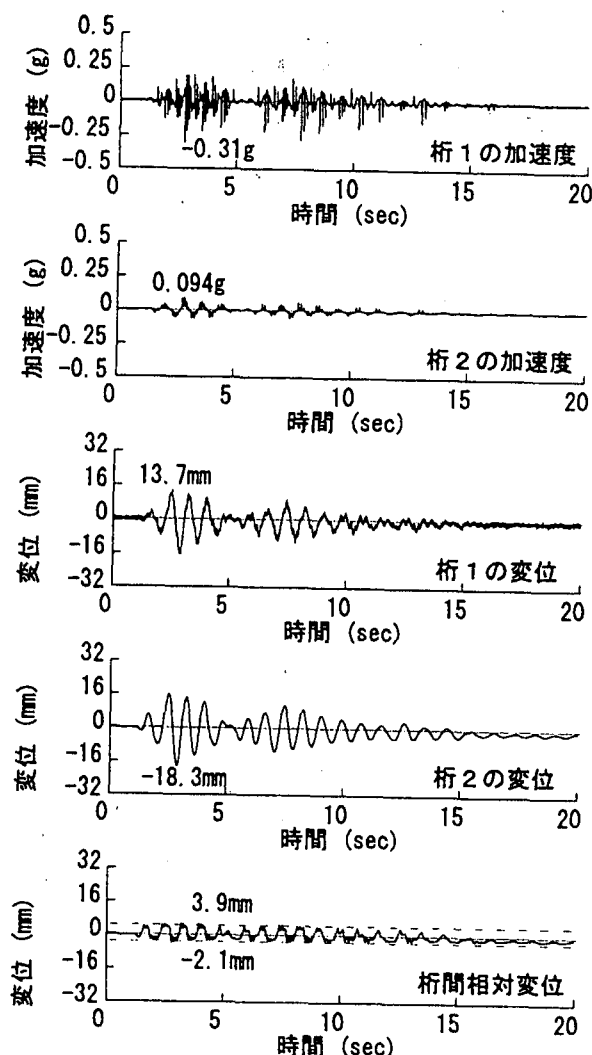


図-6 緩衝装置を圧縮側・引張側に設けた場合
(桁質量比 1 : 7)

に、桁遊間を約2.7mmと小さくした場合である。桁遊間が小さいため、桁間にはより強い衝突が生じ、桁の応答加速度は最大で0.41gに達している。桁間の相対変位は、桁が閉じる方向には2.7mmと小さいが開く方向には30.2mmと大きくなっている。このため、桁1、桁2の応答変位もそれぞれマイナス側（図-1上では左側）、プラス側（右側）により大きく応答している。これは、桁の衝突に伴う跳ね返りによるものであり、より桁が大きく変位した方向とこれとは反対側の桁の変位の比を見ると、桁質量比が大きく異なる場合には質量の大きい桁よりも質量の小さい桁の方がより大きく跳ね返りの影響が現れていることが分かる。

また、図-5の模型にさらに引張側にもゴム厚さ10mmの緩衝装置を設けた場合の応答が図-6である。図-5と同じく神戸海洋気象台記録を入力した場合の応答を示している。桁間の開きが3.9mm以上になると引張側の緩衝装置が作動するため、桁間の開きはこの範囲に抑えられており、引張側の緩衝装置の効果が現れている。このため、桁間相対変位が圧縮側にも引張側にも抑えられた強い非線形性を有する応答となっている。

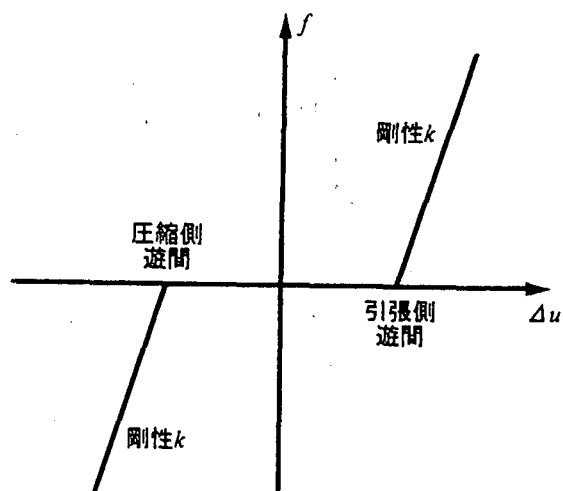


図-7 衝突ばねモデル

4. 振動台実験と非線形動的解析の比較

模型橋の振動特性を解析的に検討するために2次元離散型骨組み構造にモデル化した。実験では、橋脚は非線形化しないように加振したため、橋脚および桁は線形はり要素で、また、圧縮側および引張側のゴム製緩衝装置は、装置に生じた最大変形に相当する割線剛性を有する線形ばね要素によってそれぞれモデル化した。桁間衝突の影響は衝突ばね¹⁾によってモデル化した（図-7参照）。模型橋の断面寸法から求めた剛性と自由振動実験から求めた減衰定数を基本とし、実験結果と最もよく一致するように剛性や減衰定数の他、ゴム製緩衝装置の剛性、桁遊間を微調整しながら、地震波加振実験に対する解析を行った。

桁質量比1:5で、厚さ10mmの緩衝装置を圧縮側、引張側の両方に取り付けて神戸海洋気象台記録を入力した場合の解析結果を実験結果と比較して図-8に示す。解析結果は、振動実験による模型橋の応答を細部に至るまでよく表しており、ここで用いた解析法の適用性が実用上十分であることを示している。また、図-9は解析によって求めた緩衝装置の作用力を示したものである。圧縮側には315Nの圧縮力が生じており、これは質量の小さい桁の1.52倍、質量の大きい桁の0.31倍に相当する。

5. 結論

桁間の衝突を含む落橋防止装置の有効性を模型振動実験によって検討すると同時に、衝突ばねを用いた非線形動的解析法の妥当性を検討した。本研究の範囲内から得られた結論をまとめると、以下の通りである。

(1) 2連の桁の固有周期の比が大きくなる程、両者の振動応答が異なる結果、桁間に衝突が生じやすい。桁間に衝突が生じると、質量が小さい桁は質量の大きな桁よりも大きくリバウンドし、桁遊間の数倍もの大きな相対変位が桁間に生じる。

(2) 緩衝機能及びエネルギー吸収機能により圧縮側に作動する緩衝装置は桁間に生じる衝突力を低減するために、また、引張側の緩衝装置は桁間の開きを抑制するために有効である。

(3) 桁間の衝突の影響や緩衝装置の特性を考慮すること

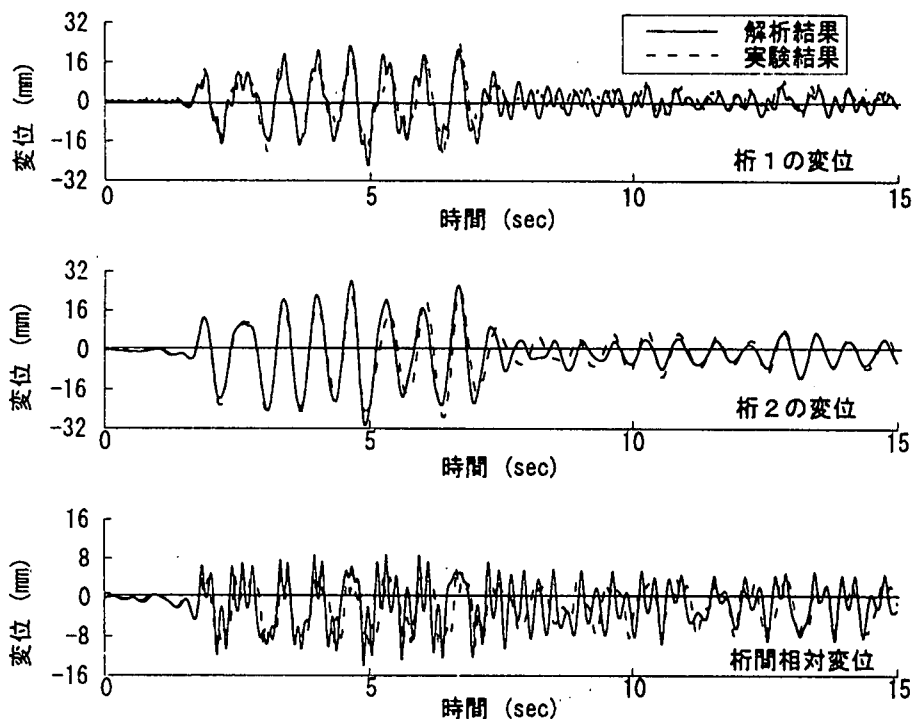


図-8 実験結果と解析結果の比較

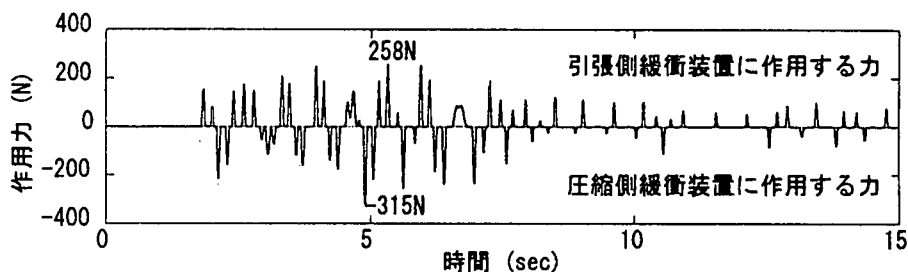


図-9 解析によって求めた緩衝装置の作用力

により、非線形動的解析は振動台加振実験結果を精度よく再現することができる。

究員に大変お世話になりました。また、ゴム製緩衝装置は横浜ゴム株式会社に製作していただきました。ここに記して謝意を表します。

謝辞：本研究における振動台実験は建設省土木研究所中
型振動台で行ったものである。振動台実験の際には、同
耐震技術研究センター耐震研究室の運上茂樹室長をはじ
め、足立幸郎主任研究員、近藤益夫研究員、長屋和宏研

参考文献

- 1) 川島一彦：動的解析における衝突のモデル化に関する一考察,土木学会論文集, 第308号, 1981.7.

(1999年11月19日受付)

EFFECT OF A RUBBER-TYPE CUSHION AND RESTRAINER ON MITIGATING POUNDING IN BRIDGES

Kazuhiko KAWASHIMA, Gaku SHOJI and Etsuko HOSHI

This paper describes a series of shaking table tests to clarify the effectiveness of a rubber-type cushion and restrainer on mitigating the pounding between adjacent decks. A model bridge system consisting of two deck-column with different natural periods were set on a shaking table. It was found that with the device the high frequent components of acceleration response due to the pounding were eliminated and the relative displacement between two decks in both compression and tension directions was reduced. It was also found that the nonlinear dynamic response in which pounding between adjacent decks was idealized by the impact-spring represented the response of the bridge model with seismic excitations.