

桁間衝突におけるゴム緩衝材の緩衝効果に 及ぼす桁形状の影響

近藤博¹・水越基貴²・難波達郎³・本間重雄⁴

¹東海大学工学部教授(259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

E-mail:kondohr@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

²東海大学大学院工学研究科(259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

E-mail:4accm012@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

³東海大学大学院工学研究科(259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

E-mail:nmb971365@hotmail.co.jp

⁴東海大学工学部教授(259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

E-mail:shonma@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

桁間衝突現象は振動・波動問題であり、そのメカニズム解明には桁寸法等を考慮して検討する必要がある。本論文では、長さや形状の異なる4種の桁供試体を用いて、桁間衝突の再現実験を行い、ゴム緩衝材の緩衝効果に与える、補構材、桁の長さ、桁の断面積、ゴム緩衝材の面積の影響について調べた。その結果、衝突応力に与える桁長の影響が大きいことと、衝突継続中のゴム緩衝材の平均的な変形係数がわかれば、インピーダンス法を用いて桁間衝突応力を推定できることを示した。

Key Words: impact, pounding girder, shock absorber, impedance, bridges

1. はじめに

現在の道路橋示方書・V耐震設計編¹⁾には、落橋防止システムを設けるよう記述されている。さらに、落橋防止構造には、衝撃的な地震力を緩和するためゴムパット等の緩衝材を用いて耐衝撃性を高める構造とすると記されている。すなわち、落橋防止構造には緩衝能力とエネルギー吸収能力が期待されている。そのため、ゴム緩衝材の緩衝効果に関する研究が現在までに数多く^{2)~7)}実施されている。

例えば、島ノ江ら³⁾は、コンクリート製のブロックに設置したゴム製緩衝材に台車を衝突させる方法で、ゴム緩衝材の力学特性に関して検討し、応力-ひずみ関係に及ぼす衝突力の影響やゴム材のエネルギー吸収効果等について考察している。また、金光ら⁷⁾は、桁をモデル化した角鋼材(1000×200×200)の突起部(50×50×50)にゴム緩衝材を設置し桁間衝突実験を行い、桁供試体の種々の挙動を測定し、衝突応力やゴム材の緩衝効果について考察している。しかし、これらの研究では、桁間衝突のメカニズム解明に重要になる、ゴム緩衝材の載荷速度効果や桁長と衝突応力の関係、すなわち、寸法効果について論じていないようである。

本研究は、主として、プレートガーター橋の桁間

衝突現象のメカニズム解明のための基礎実験として、桁供試体は、長さ、断面積、形状を変えた4種のスチール製弾性棒を採用して、振り子スタイルで桁間衝突の再現実験を行い、ゴム緩衝材の緩衝効果に与える、補構材、桁長、桁の断面積、緩衝材の断面積、厚さ、硬度等の影響を調べた。また、インピーダンス法^{8),9)}を用いて桁間衝突現象のシミュレーション計算を行い、インピーダンス法の優位性を検証した。

2. 実験装置と方法

(1) ゴム緩衝材

表-1は、使用したゴム緩衝材の種類とその物性を示したものである。緩衝材の剛性の影響を調べるために、硬度は30, 50, 70の3種を、緩衝材の面積の影響を調べるために、直径は25mm, 35mmの2種、厚さは10mm, 20mmの2種を用いて実験を行った。

(2) 桁供試体

図-1は用いた、4種の桁供試体の概要を示したものである。桁供試体Aは直径25mm、長さ1000mmのス

表-1 ゴム緩衝材の種類と特性

径	硬度	厚さ[mm]	密度[×104N/m ³]	波動伝播速度[m/s]
25	30	10	1.27	71
		20		
	50	10	1.2	104
		20		
35	30	10	1.27	71
		20		
	50	10	1.2	104
		20		

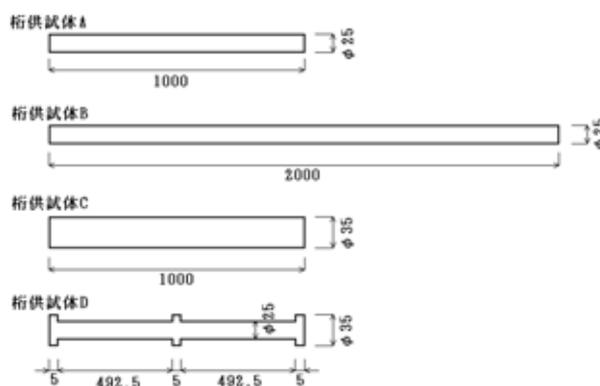


図-1 桁供試体の概要

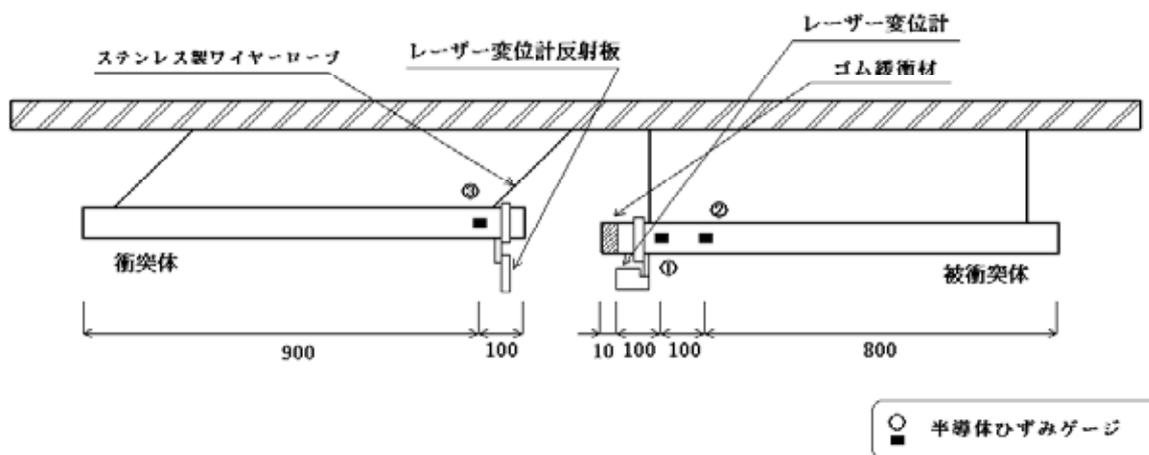


図-2 実験装置の概要

チール製丸棒である。桁供試体 B は直径 25mm、長さ 2000mm で桁供試体 A の 2 倍の長さになっている。桁供試体 C は直径 35mm、長さ 1000mm になっており、断面積が桁供試体 A の約 2 倍の関係にある。桁供試体 D は、基本的には桁供試体 A と同寸法であるが、補構材を想定して、図に示すように桁供試体の両端と中央部の断面積を約 2 倍にしたものである。また、この桁供試体 D は直径 35mm の丸棒を切削して作製した。

(3) 実験装置と方法

図-2 は実験装置の概要を示したものである。同種の桁供試体をステンレス製ワイヤーロープで釣り、衝突体を所定の高さから振り子スタイルで被衝突体に衝突させる方法で実験を行った。衝突体の衝突面から 100mm の位置(ゲージ)と、被衝突体の衝突面から 100mm 位置(ゲージ)及び 200mm の位置(ゲージ)に曲げの影響を排除するために対称に半導体ひずみゲージを貼付した。ゲージでの測定波形は主に実験の解析に用いるものである。ゲージとゲージの測定波形を用いると 2 点ゲージ法¹⁰⁾により、被衝突体の全点での挙動が明らかになるよう

になっている。ゲージは衝突の状況を観察するために設置したものである。桁供試体がシンプルであるので、波の乱れが少なくひずみゲージの記録波形から桁供試体とゴム緩衝材の挙動を求めることができる。しかし、計算の精度を確認するために、図に示すように、桁供試体にレーザー変位計を設置しゴム緩衝材の変形量-時間関係を記録した。応力波形等はロガーステーションを用いてサンプリングタイム 1μs で収録・処理した。

表-2 は実験の組み合わせを示したものである。表からわかるように、桁供試体 4 種、緩衝材の面積 2 種、緩衝材の厚さ 2 種、緩衝材の硬度 3 種、載荷速度 2 種と変化させて、計 62 種の実験を行った。

3. 実験結果と検討

(1) 衝突応力-時間関係について

a) ゴム緩衝材の効果

図-3 は、桁供試体 A を用い、衝突速度 2 段階で、ゴム緩衝材を設置せずに実験を行ったときのゲージでの測定

表-2 実験の組み合わせ

実験 番号	衝突体	被 衝突体	ゴム緩衝材						衝突速度		
			無	厚さ		硬度		直径		1m/s	2m/s
				10mm	20mm	30	50	70	25mm		
1			0								
2			0								
3											
4											
5											
6											
7	A	A									
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15			0								
16			0								
17	B	B									
18											
19											
20											
21			0								
22			0								
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31	C	C									
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43			0								
44			0								
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53	D	D									
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											

波形を示したものである。図から、理論値に近い矩形形状の測定波形が得られるとともに、衝突速度が2倍になると応力値も2倍になっていることがわかる。また、ゲージとゲージの測定波形に2点ゲージ法を適用して求めた衝突端の応力波形から、被衝突体に入射したエネルギーを求めたところ、衝突体が保持したエネルギーの約98%になった。よって、本実験装置によりゴム緩衝材の緩衝効果等が精度良く検討できることになる。

図-4は、桁供試体Aを用いて、衝突速度1m/sで、緩衝材なしの場合と、ゴム緩衝材を設置して実験したときのゲージでの測定波形を並べて示したものである。図から、ゴム緩衝材を設置しない場合の桁に生じる応力は約20.5MN/m²であるが、硬度50、厚さ10mmの緩衝材を設置すると、最大応力は約1.5MN/m²と非常に小さくなる。また、応力波の継続時間は、緩衝材なしの場合は約0.4msであるが、緩衝材を設置すると約18倍となった。以上の結果から、

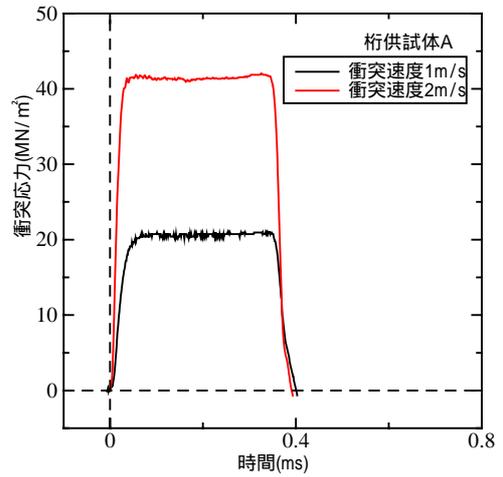


図-3 衝突応力-時間関係(緩衝材なし)

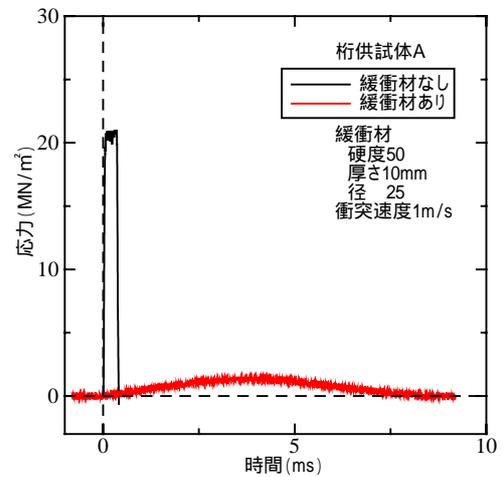


図-4 ゴム緩衝材の有無と衝突応力

ゴム緩衝材を設置すると、応力波の継続時間は長くなるものの、衝突応力値は小さくなり、ゴム材の緩衝効果が非常に大きいことがわかる。このとき、当然のことであるがゲージでの測定波形はゲージでの測定波形と一致した。また、ゴム緩衝材のインピーダンスがスチールと比較して非常に小さいので、ゲージでの測定波形もゲージでの測定波形とほぼ一致した。以後、測定波形とは、ゲージでの記録波形を指すこととする。

b) 補構材の影響

図-5は補構材が衝突応力に与える影響を調べるため、桁供試体Aと桁供試体Dを用いた実験結果の一例として、衝突速度1m/sで硬度50、厚さ10mm、直径25mmのゴム緩衝材を用いたときの測定波形を示したものである。図から、両者の実験波形はよく一致していることがわかる。直径25mmの緩衝材を用いた他の条件での両桁供試体の測定波形も同様な結果となり、桁間衝突のメカニズム解明には補構材の影響を無視して検討してよいことがわかる。

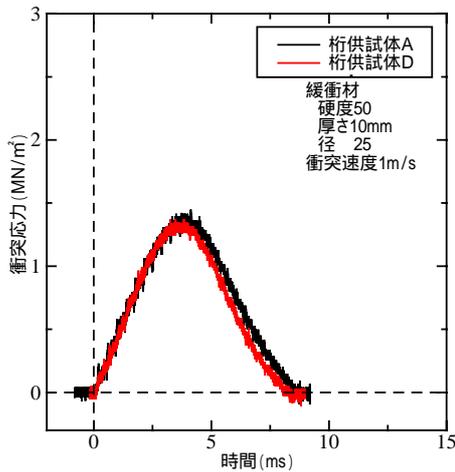


図-5 補構材の有無と衝突応力

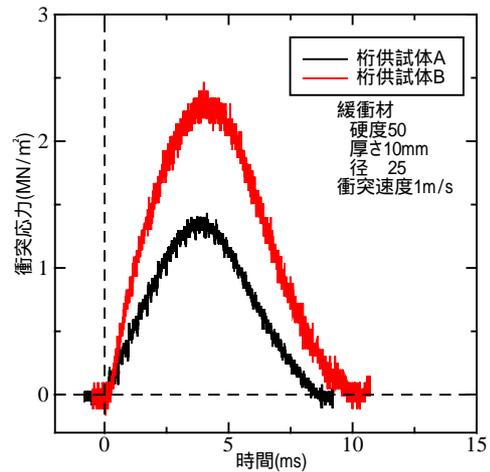
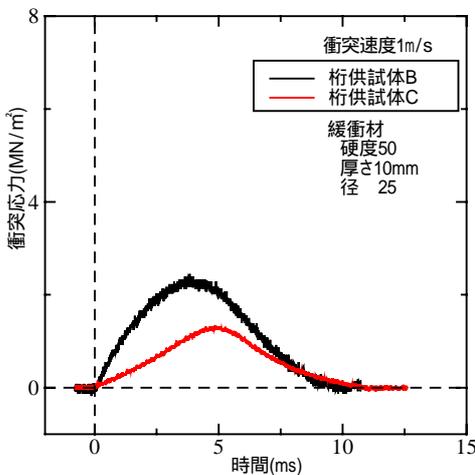
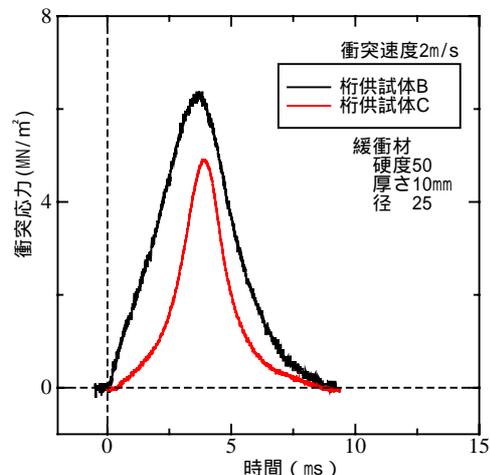


図-6 桁長と衝突応力



(a) 衝突速度 1m/s



(b) 衝突速度 2m/s

図-7 桁供試体の形状の影響

c) 桁供試体の長さによる影響

図-6 は桁長が衝突応力に与える影響を調べるために、桁供試体 A と桁供試体 B を用いた実験結果の一例として、衝突速度 1m/s, 硬度 50, 厚さ 10mm, 25 のゴム緩衝材を用いて実験を行ったときの測定波形を並べて示したものである。図から明らかなように桁供試体 B の最大応力値は桁供試体 A の値の約 1.8 倍になった。ゴム緩衝材を設置しない場合には、応力値は両桁供試体で同一になるが、応力の継続時間は桁供試体 B が 2 倍になる。しかし、緩衝材を設置した場合、桁長が長くなると、衝突応力が大きくなるが、衝突継続時間が 1.2 倍に縮まる傾向を示した。このように、桁長が大きくなると、ゴム緩衝材の応力緩衝効果が小さくなるのがわかる。他の条件での結果も同様な傾向を示した。実際の橋は、さらに桁長が大きくなるので、長さに関する詳細な研究が必要である。

d) 桁供試体の形状の影響

桁供試体 B と桁供試体 C は重量が同じで形状が異なっ

ている。そこで、ゴム緩衝材の面積が同じときに衝突応力に及ぼす影響について検討する。図-7 は、硬度 50, 厚さ 10mm のゴム緩衝材を設置したときの両供試体での測定波形を並べて示したものである。図から、桁長が大きい桁供試体 B の衝突応力が大きくなるが、衝突速度が大きくなると、両者の差が小さくなる傾向を示した。

e) ゴム緩衝材の面積の影響

ゴム緩衝材の面積の大きさが衝突応力に与える影響を調べるため、桁供試体 C と桁供試体 D を用いて、ゴム緩衝材の直径を変化させて実験を行った。図-8 は、桁供試体 C を用い、ゴム緩衝材の硬度 50, 厚さ 10mm で、直径 25mm, 35mm の 2 種での測定波形を並べて示したものである。ゴム緩衝材を設置しない場合には、衝突時の両桁供試体での応力-時間関係は同一になる。図から、衝突速度 1m/s の場合には、緩衝材直径が 35mm での応力値のほうが大きくなったが、衝突速度が 2m/s になると、逆に緩衝材直径の小さいほうの応力値が大きくなった。

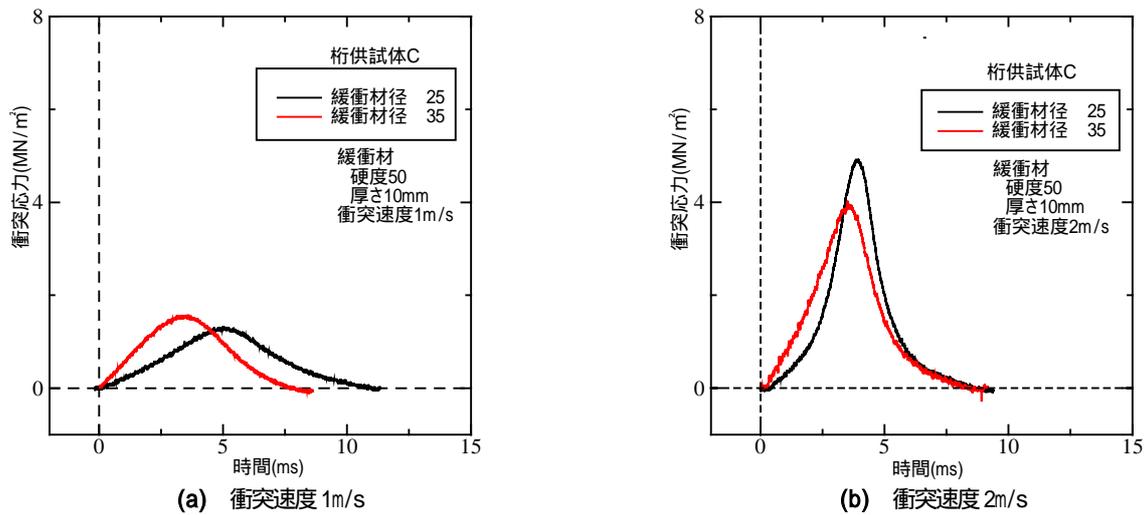


図-8 ゴム緩衝材面積と衝突応力

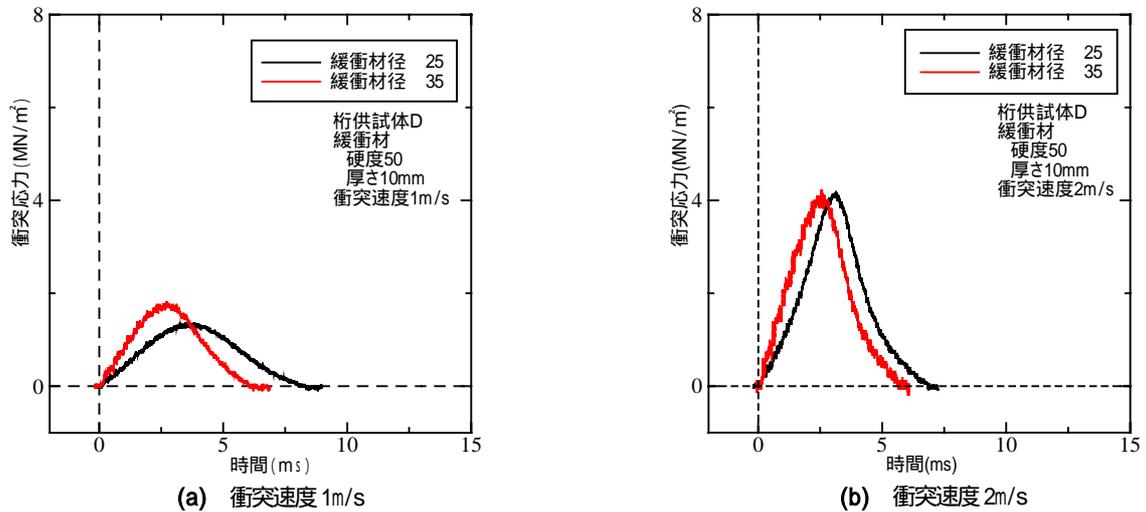


図-9 ゴム緩衝材面積と衝突応力

衝突応力の大きさは、ゴム緩衝材の面積を A 、変形係数を E とすると、 $A \times E$ の大きさと比例的関係を示す。衝突速度が小さく、緩衝材の圧縮量の小さいときは面積の影響割合が大きく、大きな面積の緩衝材での衝突応力が大きくなる。衝突速度が大きくなり、緩衝材の圧縮量が大きくなると、より圧縮量の大きくなる面積の小さな緩衝材の変形係数がハードニング効果により急に大きくなり、面積の小さな緩衝材での衝突応力が大きくなったと推察される。

図-9 は桁供試体 D を用い、図-8 と同様な条件での測定波形を示したものである。図から、衝突速度と衝突応力の関係が図-8 と同様な傾向になっていることがわかる。

以上の検討から、衝突速度に合ったゴム緩衝材の面積があることがわかる。

f) ゴム緩衝材の硬度の影響

図-10 は、ゴム緩衝材の硬度が衝突応力に与える影響を

調べるために行った桁供試体 A で、ゴム緩衝材厚さ 10mm、衝突速度 1m/s での実験結果の一例を示したものである。図から、応力値は硬度 30 の場合に比べ、硬度 50 で約 12% 大きくなったが、波形状に大差がないことがわかる。硬度 70 の場合は硬度 50 に比べて応力値が約 37% 大きくなるとともに、衝突継続時間が硬度 50 に比較して約 30% 小さくなった。

g) ゴム緩衝材の厚さによる影響

図-11 は、ゴム緩衝材の厚さの違いが衝突応力に与える影響を調べるために、硬度 50、直径 25mm、厚さ 10mm、20mm の 2 種類のゴム緩衝材を用いて行ったときの実験結果の例である。図-11(a)は、桁供試体 A の測定波形であるが、緩衝材厚さ 20mm での最大応力は、厚さ 10mm での最大応力に比べて約 40% も減少した。応力の継続時間は、緩衝材厚さが 2 倍になると、1.6 倍と長くなった。図-11(b)は、桁供試体 B での衝突応力-時間関係で示したものであるが、桁供

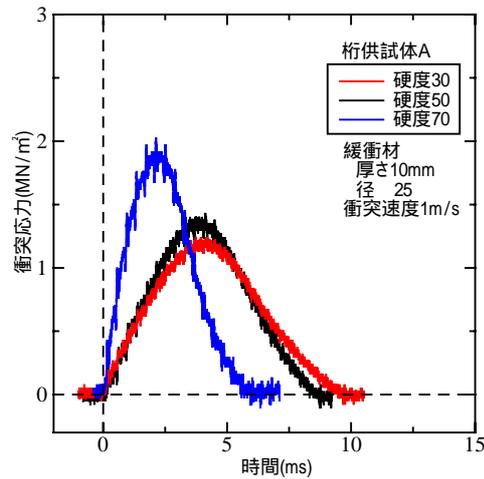


図-10 ゴム緩衝材硬度と衝突応力

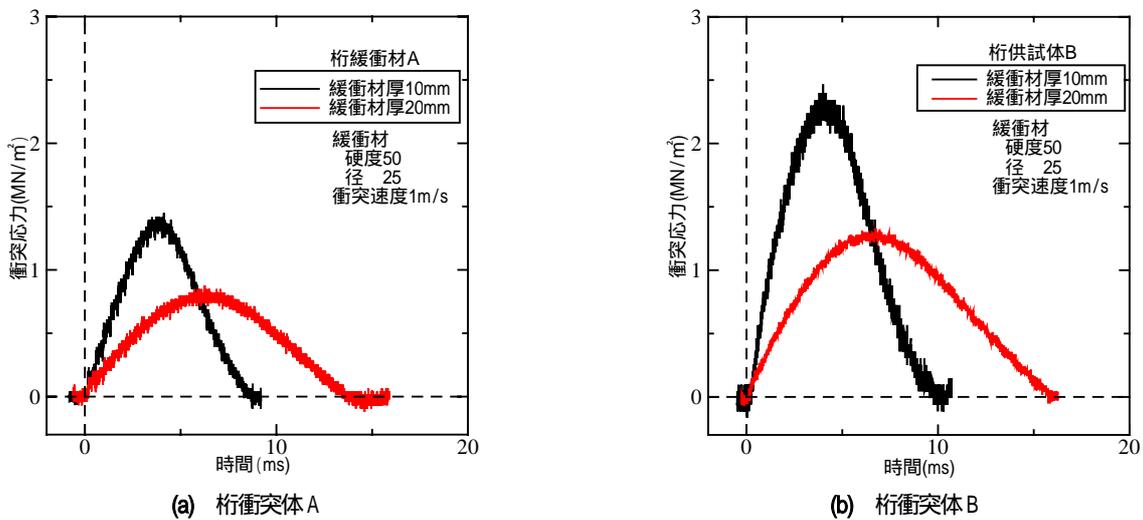


図-11 ゴム緩衝材厚さと衝突応力

試体 A の場合と同様な傾向になった。すなわち、桁長に拘わらずゴム緩衝材の厚さが大きくなると、衝突応力への緩衝効果はほぼ同率で増加した。

(2) 桁供試体の速度

a) ゴム緩衝材の硬度の影響

図-12 は、ゴム緩衝材の硬度が桁供試体の速度に及ぼす影響を調べるために、緩衝材厚さ 10mm、硬度を 3 段階と変化した桁供試体 A での測定波形から計算した速度-時間関係の例である。衝突体の速度は時間とともに低下し、被衝突体は時間とともに速度が増加していく様子が見られる。被衝突体の速度に着目すると、硬度 50 での速度が最も大きくなり、衝突応力の最も大きくなる硬度 70 での速度が小さくなる興味ある結果が得られた。このときの力積を図-10 の測定波形から求めてみると、硬度 30 のとき、3.06Ns、硬度 50 のとき、3.16Ns、硬度 70 のとき、2.78Ns と、硬度 70 での力積が最も小さくなった。

この結果は、桁速度を低下させるための最適な硬度が

あることを示唆するとともに、桁間衝突問題は衝突応力と力積の両面から検討する必要があることを示唆している。

b) ゴム緩衝材の厚さの影響

図-13 はゴム緩衝材の厚さが桁供試体の速度-時間関係に及ぼす影響を調べるために、緩衝材厚さを 2 段階と変化した桁供試体 A での測定波形から計算した例である。図-11 に示したように、緩衝材を厚くすると衝突応力は小さくなるが、図-13 示すように、被衝突体になる桁の速度が大きくなることからわかる。この結果も、桁間衝突問題は力積の面から検討する必要があることを示唆している。

c) 緩衝材の載荷速度変化

ゴム緩衝材の応力-ひずみ関係に与える載荷速度の影響は非常に大きい。そこで、衝突継続中の、ゴム緩衝材への載荷速度-時間関係について調べた。

図-14 は、ゴム緩衝材厚さ 10mm、直径 25mm で、硬度 30・50・70 の 3 種類を用いたときの桁供試体 A での結果を比較して示したものである。図-14(a)は載荷速度 1m/s のもの

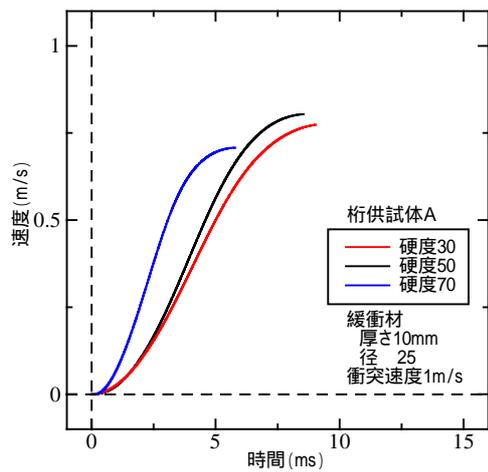
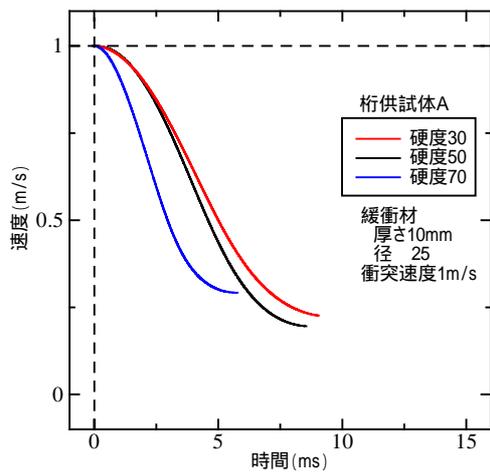


図-12 ゴム緩衝材の硬度と桁供試体の速度変化

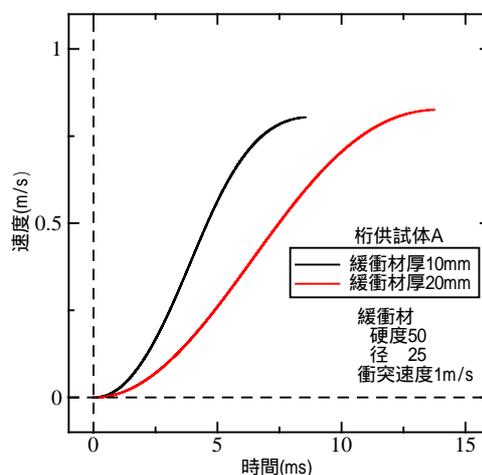
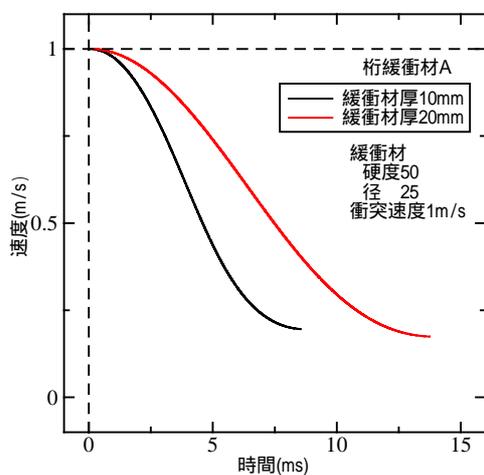


図-13 ゴム緩衝材の厚さと桁供試体の速度変化

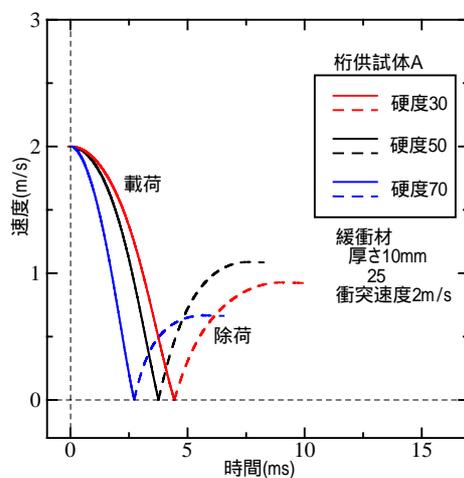
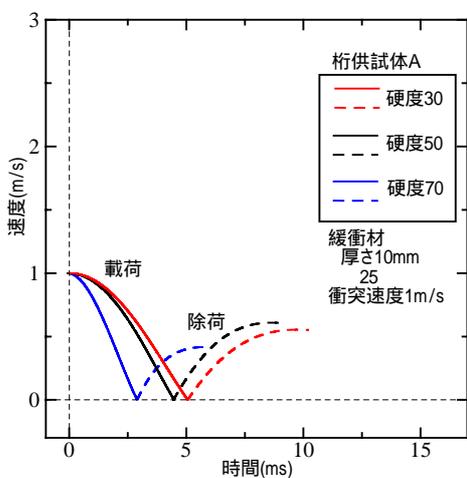


図-14 ゴム緩衝材の硬度と載荷速度の変化

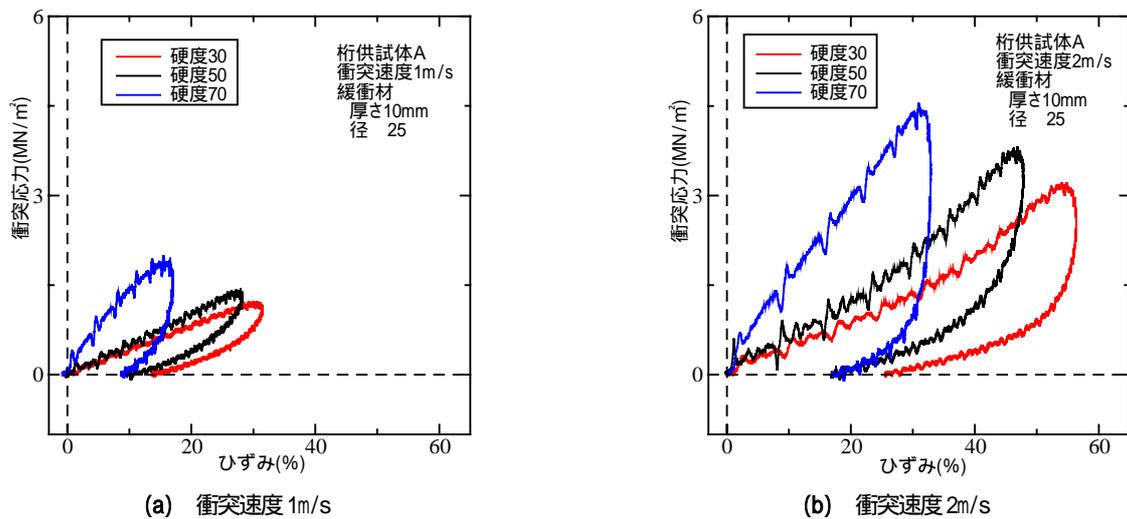


図-15 ゴム緩衝材の硬度と応力-ひずみ関係

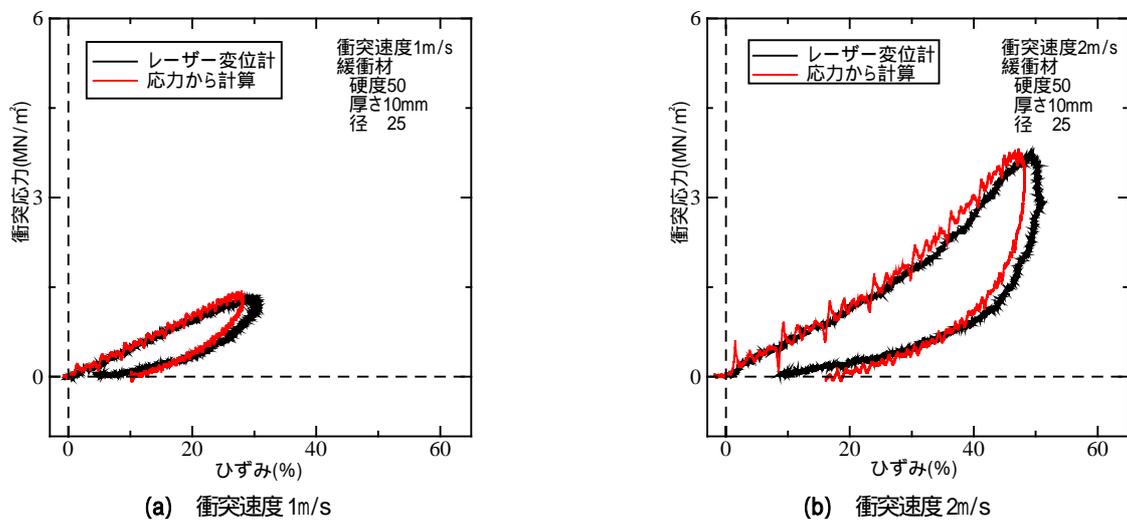


図-16 レーザー変位計と応力計算の応力-ひずみ関係

で、図-14(b)は载荷速度 2m/s のものである。図中の実線は载荷時、破線は除荷時のものであるが、時々刻々、载荷・除荷速度が変化していることがみてとれる。また、ゴム緩衝材の硬度が大きいくほど、速度の変化率が大きいこともわかる。緩衝材を設置しない場合には、桁中を応力波が 1 往復すると、衝突体は停止し、被衝突体は衝突体の衝突速度で運動を始めるので、緩衝材を設置することにより、桁の動きが大きく変化することになる。

(3) ゴム緩衝材の応力-ひずみ関係

a) ゴム緩衝材の硬度による影響

図-15 は、桁供試体 A での衝突継続中のゴム緩衝材の応力-ひずみ関係の例を示したものである。図-15(a)には、衝突速度 1m/s でゴム緩衝材は厚さ 10mm、直径 25mm、硬度を 3 段階と変化させたときの結果を示した。図-15(b)は同様な条件で衝突速度が 2m/s のものである。図から、一般に知られている载荷速度一定での応力-ひずみ曲線とは形状が

異なることと、衝突速度が大きくなると、载荷部分の曲線形状が凸形から凹形に変化する様子が見てとれる。

よって、桁間衝突現象のモデル化に関して、载荷速度を図-14 に描いたように制御できる、新たな载荷試験法を工夫する必要がある。

b) 衝突応力から求めたひずみ量の検証

3.(2)以降で図示した曲線(波形)は、全て衝突応力波形から計算したものである。そこで、その妥当性について、レーザー変位計で測定したゴム緩衝材の圧縮量の測定波形を用いて検証した。

図-16 に示した応力 - ひずみ関係のひずみ値は、応力波形から求めたものを赤線で、レーザー変位計の測定値から求めたものを黒線で描いたものである。両曲線はよく一致しており、本実験装置を用いた場合には応力波形を利用しゴム緩衝材の変形量を求めても精度上問題がないことがわかる。

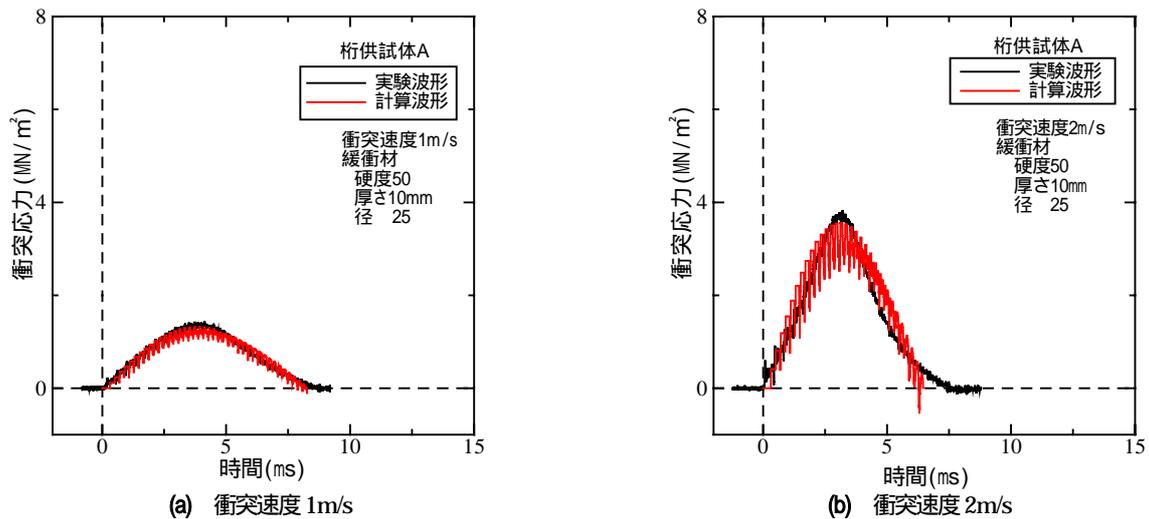


図-17 計算波形と測定波形の比較 1

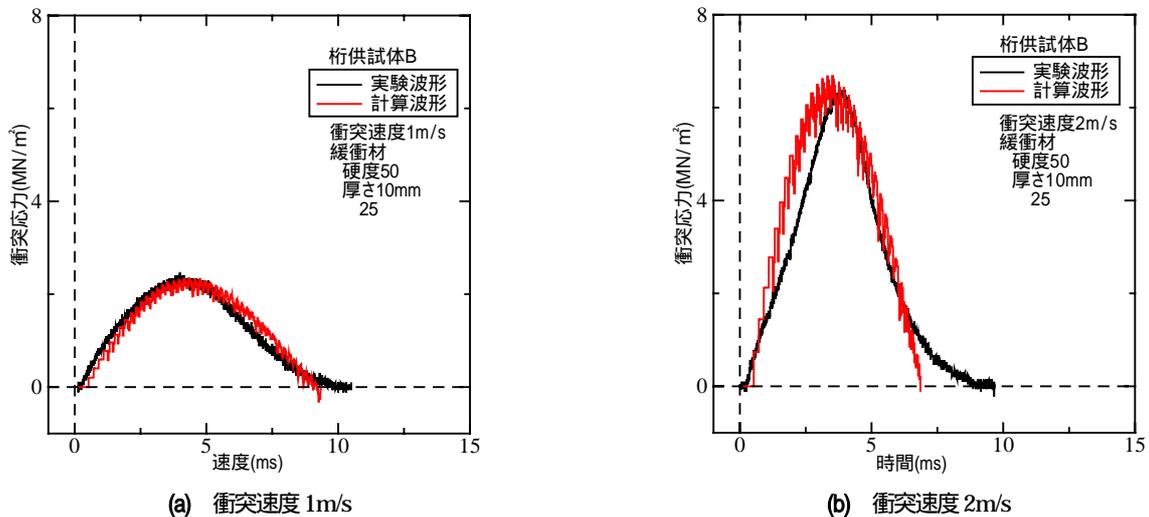


図-18 計算波形と測定波形の比較 2

4. インピーダンス法によるシミュレーション計算

桁 - 衝材系の問題は、一般にバネ - 質点系モデルで検討されているが現在のところ精度に若干の問題があるようである。

3.(1)での検討から、桁長が衝突応力に与える影響が大きいことがわかった。そこで、インピーダンス法を適用して桁供試体Aと桁供試体Bでの実験波形の再現を試みた。

図-17は、桁供試体Aに硬度50、厚さ10mm、径25のゴム緩衝材を設置し、衝突速度2段階で実験したときの実験波形とインピーダンス法によって求めた計算波形を比較したものである。また、図-18は、同様な条件での桁供試体Bでのものである。両図から計算波形が実験波形をよく再現していることがわかる。インピーダンス法でシミュレーションする場合に特に問題になるのは、ゴム緩衝材の変形係数(弾性係数)と波動伝播距離による応力値の低下率である。ゴム材の変形係数は載荷速度の影響を大きく

受ける。また桁間衝突でゴム緩衝材が受ける載荷速度は図-14に示すように、時々刻々変化する。そこで、計算に用いた変形係数(弾性係数)は、載荷時の測定波形から計算した応力-ひずみ関係から求めた。応力-ひずみ関係の最大応力値の1/3の応力値点と2/3の応力値点を結ぶ直線の傾きを変形係数とした。

桁間衝突継続中に、最初にゴム緩衝材に入射した応力波は、ゴム材緩衝材の波動伝播速度を100m/sと仮定すると、ゴム材中を1m前後伝播することになる。よって、鋼材では無視できる応力値の低下率(ゴム棒を応力波が10mm伝播したときの応力値の低下割合と定義する)が問題となる。そこで、直径25mm、長さ30cmのゴム棒の2カ所に加速度計を貼付し、一端を打撃し応力値の低下率を求めたところ、硬度50のゴム緩衝材で1%と算定された。この他に計算に用いる物理定数は、桁供試体の弾性係数、単位体積重量、波動伝播速度及びゴム緩衝材の単位体積重量、波動伝播速度である。

以上の検討から、桁間衝突時のゴム緩衝材の平均的な変形係数を推定出来れば、衝突応力等がインピーダンス法を用いたシミュレーション計算によって推定できることがわかる。

5. まとめ

桁間衝突のメカニズム解明には波動伝播状況の明確な桁供試体を採用する必要があるとの立場から 4 種の桁供試体を採用して実験を行った。桁供試体に関しては、補構材、長さ、断面積、形状、ゴム緩衝材に関しては、硬度、厚さ、面積が衝突応力及ぼす影響等について検討するとともに、その一部についてインピーダンス法を適用したシミュレーション計算法の妥当性について検討した。本研究から得られた結論をまとめると以下の通りである。

1. 桁間衝突現象を検討するときに補構材の影響は無視できる。
2. 衝突応力に与える桁長の影響が非常に大きい。今回の模型実験では桁長が 2 倍になると衝突応力が 1.8 倍になった。
3. 衝突速度によりゴム緩衝材の最適な面積が存在する。
4. ゴム緩衝材の硬度が大きくなると、衝突応力は増大するが、被衝突体の速度が小さくなる興味ある結果が得られた。
5. 桁間衝突中のゴム緩衝材の応力-ひずみ関係は、一般に行われている載荷速度一定での試験結果と大きく異なる。すなわち、桁間衝突中の載荷速度は時々刻々変化するので、桁間衝突のモデル化を検討する場合には新たな載荷試験法を工夫する必要がある。
6. 波動伝播の状況が明確な桁供試体を用いると、レーザー変位計等を採用しなくても、衝突応力から桁供試体の挙動が求められる。

7. 桁間衝突中のゴム緩衝材の平均的な変形係数が推定できると、インピーダンス法を適用したシミュレーションにより、かなりの精度で衝突応力が推定できる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，1996.12.
 - 2) 伊津野和行，児島孝之，鈴木亮介，和田教志，濱田譲，吉野伸：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，土木学会論文集，No.563/ -39，pp.71-78，1997.4.
 - 3) 島ノ江哲，長谷川恵一，川島一彦，庄司学：衝突力を受けるゴム製緩衝装置の動的特性，土木学会論文集 No.612/ -46，pp.129-142，1999.1.
 - 4) 梶田幸秀，西本安志，石川信隆，香月智，渡邊英一：桁間衝突現象のモデル化に関する一考察，土木学会論文集，No.661/ -53，pp.251-264，2000.10.
 - 5) 西本安志，園田佳巨，石川信隆，彦坂熙，西川信二郎：落橋防止用矩形形状ゴム緩衝材の設計法に関する一考察，土木学会論文集，No.689/ -57，pp.355-360，2001.10.
 - 6) 園田佳巨，西本安志，石川信隆，彦坂熙：落橋防止用矩形形状ゴム緩衝材の性能評価法に関する基礎的考察，土木学会論文集，No.689/ -57，pp.215-224，2001.10.
 - 7) 金光明，梶田幸秀，香月智，石川信隆：ゴム製緩衝材を用いた桁間衝突実験のシミュレーション解析，構造工学論文集，Vol.48A，pp.887-898，2002.3.
 - 8) 野村昭一郎，武者利光，内藤喜之，森泉豊栄：振動・波動入門，コロナ社，pp.143-151，1991.
 - 9) 近藤博，木村修一，鈴木勝也，本間重雄：インピーダンス法による桁間衝突のモデル化とゴム材の緩衝効果について，土木学会論文集，No.752/ -66，pp.193-202，2004.1.
 - 10) 柳原直人，斎藤博：一次元弾性応力波理論に基づく衝撃力，速度，変位の測定理論と測定システム，日本機械学会論文集(C編)，51巻，464号，pp.790-796，1985.4.
- (2005. 3. 15 受付)

Influence of beam dimensions on the buffering effect of shock absorbing rubber in beam bumping

Because beam bumping is the problem for vibration and wave motion, it is necessary to consider the beam dimensions for elucidating its mechanism. In this paper, beam bumping experiments were carried out with 4 test pieces of different length and shapes to investigate the influences of support system, length and cross sectional area of the beam, and area of the rubber on the buffering effect of the shock absorbing rubber. It was revealed that bumping stress is largely affected by the beam length, and the bumping mechanism can be estimated successfully by the impedance method if mean stiffness of the shock absorbing rubber during bumping is known.