

38. 横衝撃を受ける梁のたわみと動的荷重の関係

(動的載荷試験の静的設計への利用法に関する一考察)

東海大学大学院 ○難波 達郎

東海大学大学院 長田 健吾

東海大学工学部 近藤 博

1. はじめに

構造部材の設計は、静的力学を基礎としている。よって、構造部材が動的力を受ける場合でも、衝撃係数的なものを採用して、静的耐力計算を基礎とした計算法によって設計を進めている。この方法は、現状では妥当な手法と考えられる。たとえば、建設機械の転倒時保護構造等の設計法もその例である。

動的問題の合理的な設計法の確立のためには、構造部材の変形に与える、動的荷重と静的荷重の関係を明らかにすることが重要になる。しかし、両者の関係についての詳細な検討はなされていないようである。これは、動的荷重の測定に利用されてきたロードセルに一因があると考えられる^{1), 2)}。

本報告は、動的荷重を定量的に評価するための一歩として、入力棒(図-3 参照)を採用した基礎的な桁の動的載荷実験を行い、動的荷重と静的荷重の関係について調べ、動的載荷試験の静的設計への適用法について考察したものである。

2. 動的ロードセルの問題点

現在、土木学会では、動的載荷試験の標準化の検討を進めている³⁾。図-1 は装置の一例を示したものである。すなわち、重錘にロードセルを設置し、梁に与える動的荷重を測定している。その標準化試験では、載荷部形状を変化させて実験を行っている。また、図-2 は、そのときの荷重波形を示したものであるが、載荷部の曲率が小さくなる(接触面積が大きくなる)と、測定荷重値が大きくなっている。しかし、この原因については、考察されていない。このように、ロードセルは、被衝突体との接触面積や、ロードセルの設置場所の剛性、ロードセルの寸法により、荷重計測システム内に生じる、多重反射応力波の影響により、計測荷重値が変化する²⁾。このことが、動的荷重と静的荷重の関係に関する

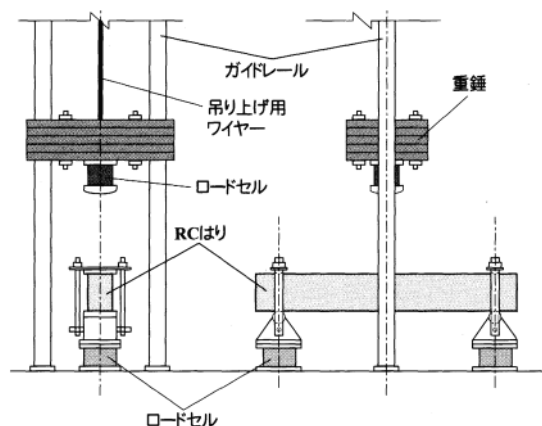


図-1 動的載荷実験装置の概要(土木学会)

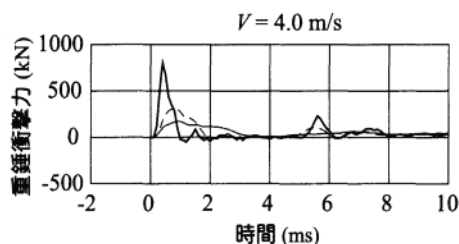


図-2 動的載荷実験の結果の一例
衝突荷重-時間関係(土木学会)

研究が進んでいない一因と考えられる。

3. 実験装置と方法

3.1 模型桁

表-1 は、実験に採用したアルミ製模型桁の寸法と呼び名を示したものである。桁長は 600 mm, 900 mm の 2 種類を用意した。桁の断面は、幅 25mm, 高さ 10 mm, 15 mm の 2 種類とした。また、桁長 600mm では、中央から 100 mm の位置に、桁長 900mm では、中央から 100 mm と 250 mm の位置に、桁の上下面の発生応力を測定する半導体ひずみゲージを貼付した。

3.2 実験装置と方法

図-3 は、動的載荷実験装置の概要を示したものである。一般の動的載荷実験方法と異なるところは、

図に示したような、半導体ひずみゲージを貼付した長さ 300 mm、直径 25mm の入力棒を用いたことである。

入力棒の先端の形状は、線载荷させるために円弧になっている。入力棒で正確な動的荷重を測定するためには、入力棒の衝突面(上端)が自由端的に挙動する必要がある。そこで、入力棒の衝突端にゴム製緩衝材(以下、緩衝材と記す)を設置した。また、緩衝材を設置することで、入力棒が剛体的な挙動をすることになる。緩衝材の厚さは 2 mm、4 mm の 2 種類とした。

動的荷重は長さ 300mm の打撃棒を、50mm、100mm、200mm の高さから自由落下させて、入力棒を打撃し発生させた。そのときの、入力棒での荷重、模型桁の上下面での応力、さらに模型桁の中央部のたわみ(レーザ変位計を採用)を、サンプリングタイム $2\mu s$ で計測・処理した。

4. 実験結果と検討

4.1 緩衝材厚さと入力荷重

図-4 は、桁 A60、打撃棒の落下の高さ 100mm、緩衝材厚さ 2mm と 4mm で実験したときの、入力荷重を並べて示したものである。図から、緩衝材厚さにより、入力荷重波形形状が大きく異なることがわかる。動的最大荷重は緩衝材厚さ 2 mm で約 3.1kN、厚さ 4 mm で約 1.3kN になった。このとき、入力棒は剛体的に挙動しているので、桁への载荷速度比は約 2.4(= 3.1/1.3)になる。また、荷重継続時間も緩衝材が無い場合には約 0.12ms になるので、それぞれ約 6 倍と約 13 倍になった。しかし、両荷重波形の力積は、緩衝材厚さ 2 mm で約 0.96Ns、緩衝材厚さ 4 mm で約 0.94Ns とほぼ同なった。

4.2 入力荷重形状と桁の曲げ応力

図-5 は、図-4 に示した実験での、桁の応力を示したものである。図から、両者はよく一致していることがわかる。従来、桁の応力は载荷速度に比例すると言われている⁴⁾が、桁の応力は動的最大荷重(载荷速度に関係)に直接影響を受けるのではなく、入力荷重の力積の影響が大きいことが推察できる。また、最大桁応力の生じる時間は、入力荷重よりかなり遅

表-1 模型桁の寸法と呼び名

桁長(mm)	幅(mm)	高さ(mm)	呼び名
600	25	10	A60
		15	B60
900	25	10	B90
		15	B90

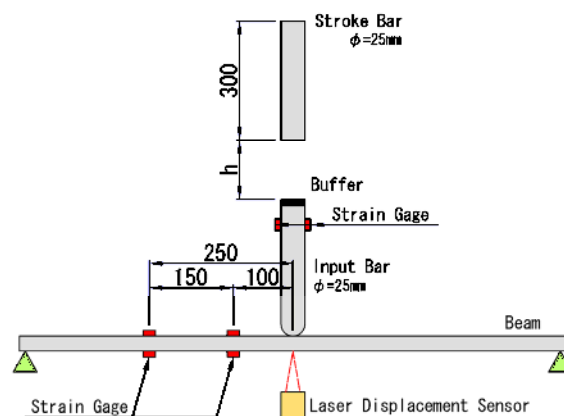


図-3 実験装置の概要

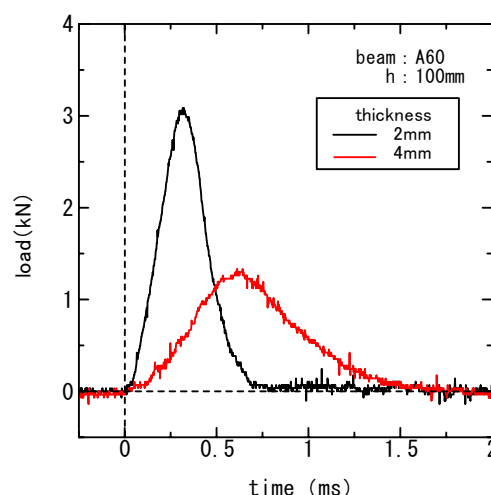


図-4 緩衝材の厚さと入力荷重

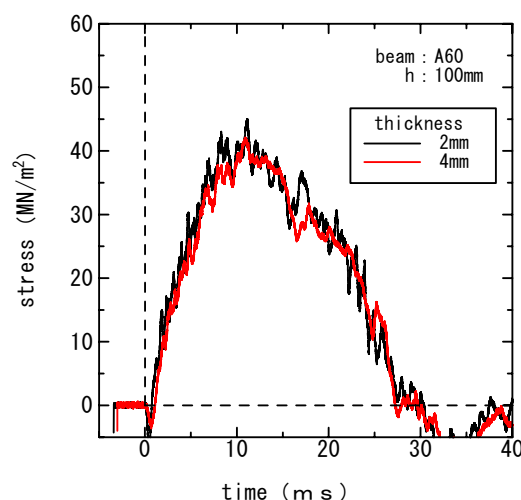


図-5 緩衝材の厚さと桁の曲げ応力

れることもわかる。

4.3 桁のたわみ

図-6 は、桁 A60、緩衝材厚さ 2mm、打撃棒の落下の高さ 100mm で実験したときの、桁で測定した応力から求めた桁中央のたわみ(曲げモーメントの形状を静的载荷と同様になると仮定)－時間関係と桁の中央部下方に設置したレーザ変位計で計測した、たわみ－時間関係を並べて示したものである。図から、両者はよく一致することがわかる。よって、今回採用した実験方法では、桁のたわみ性状は静的载荷試験と同一として扱ってもよいことがわかる。また、桁の最大たわみは約 5.7 mm になった。

表-2 同一たわみでの静的荷重と動的荷重の比較

Static Load(kN)	Dynamic		
	Buffer(mm)	Load(kN)	Impulse (Ns)
0.19	2	3.1	0.96
	4	1.3	0.94

4.4 静的荷重と動的荷重の関係

桁の中央のたわみが 5.7 mm になる静的荷重を求めたところ約 0.19kN になった。同様なたわみを生じさせる動的最大荷重は、緩衝材厚さ 2 mm の場合、約 3.1kN、4 mm で約 1.3kN になり、静的荷重と大きな差が生じることがわかる(表-2)。以上の検討から、最大動的荷重を直接設計等に利用するのは問題があることがわかる。さらに、動的荷重の場合でもかなりの違いが生じる。よって、力積と静的荷重の関係を明らかにする必要があることがわかる。

4.5 打撃棒の衝突速度の影響

衝突速度の影響をみるために、打撃棒の落下高さを変えて実験を行った。

図-7 は、桁 A60、緩衝材厚さ 2mm、打撃棒の落下高さ 50mm と 200mm で実験したときの、入力棒で計測した荷重を示している。今回の実験条件では、落下の高さ 50mm と 200mm での最大動的荷重比が約 3、荷重波形の力積比は約 2(それぞれの力積は、約 0.62Ns、約 1.24Ns)になった。

図-8 は、両者で計測された桁応力から算出した、たわみを示したものである。図から、桁のたわみ比は約 2 となり、動的荷重の力積に比例する様子がわかる。この結果からも、スパンが同一であれば、たわみは入力荷重の大きさではなく力積に比例する

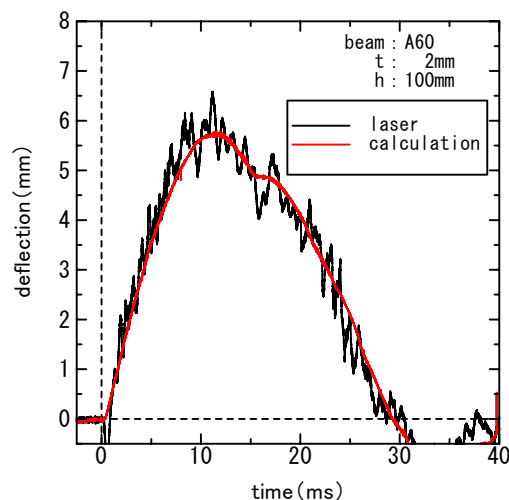


図-6 桁の変位挙動の比較

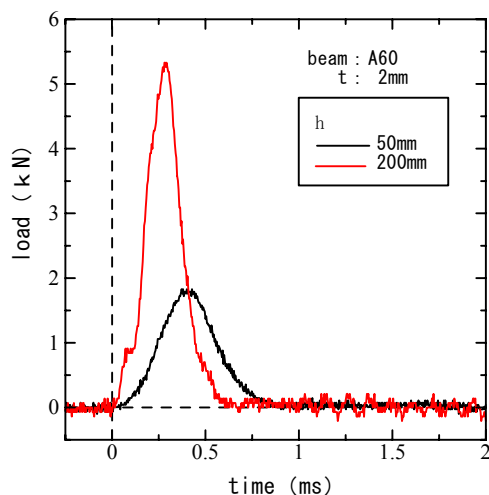


図-7 打撃棒の落下高さと入力荷重

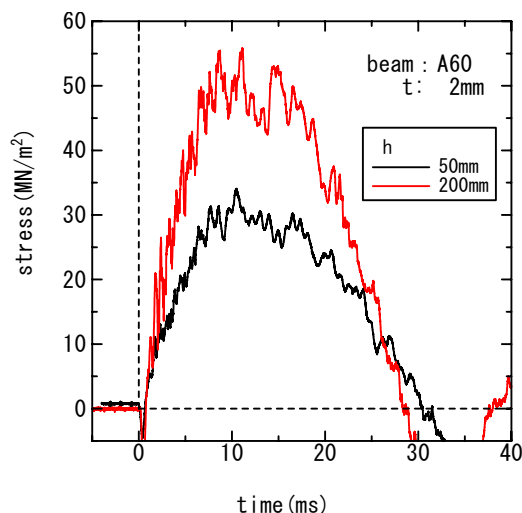


図-8 落下高さと桁の曲げ応力

ことがわかる。

4.6 スパンの影響

図-9 は、桁 A60 と桁 A90 を用いて、緩衝材厚さ 2 mm、打撃棒の落下の高さ 200mm で実験したときの入力荷重の図である。図からスパンを変化させても入力荷重形状にほとんど差異が生じないことがわかる。入力荷重は、桁高さの大きい桁 B では、桁 A より大きくなった。よって、入力荷重波形は载荷箇所の機械インピーダンスに影響することが推察される。また、図-10 は、そのときの桁の応力を示したものである。図から、スパンが変化しても、载荷点から同一の距離での応力は同じになり、従来から言われていた結果⁴⁾と同じになった。

図-9 と図-10 の結果から、スパンが 1.5 倍になると、たわみが約 2 倍になることがわかる。静的の場合は、同一荷重が作用するとたわみはスパンの 3 乗に比例するが、動的の場合はスパンの約 1.7 乗に比例することになる。

4. まとめ

入力棒を採用した桁の動的载荷試験結果から次のことがわかった。

- (1) 桁のたわみは、動的最大荷重ではなく、動的载荷荷重の力積に比例する。よって、荷重の継続時間により注意する必要がある。
- (2) スパンが異なっても、入力荷重形状と桁の応力形状の両者が同じになる、興味ある結果が得られた。
- (3) 桁のたわみは、静的荷重の場合には、スパンの 3 乗に比例するが、動的荷重の場合には、約 1.7 乗に比例する。
- (4) 桁に同一たわみを表じさせる動的荷重は、静的荷重に比較して非常に大きくなる。
- (5) 以上から、動的設計を静的設計で行う場合には、動的桁応力を計測し、同一桁応力を生じさせる静的荷重を用いる方法で、より合理的な設計が可能と思料する。

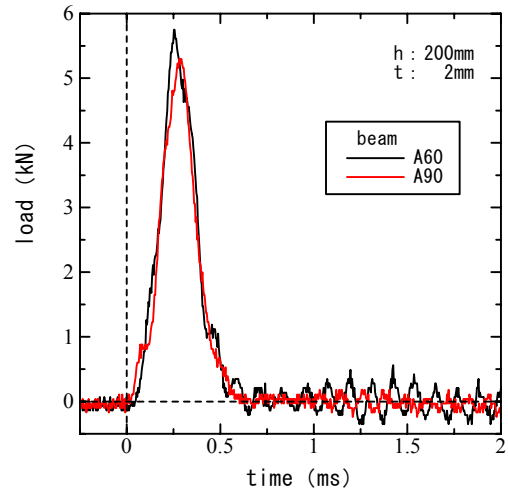


図-9 スパンと入力荷重

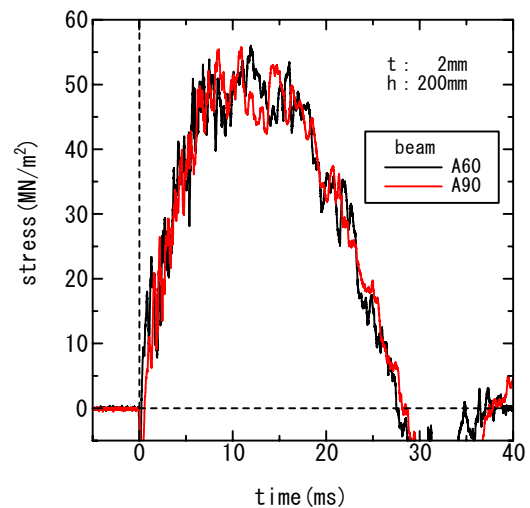


図-10 スパンと桁の曲げ応力

参考文献

- 1) 近藤博, 木村修一, 本間重雄: ロードセルの動的応答特性, 計測自動制御学会論文集, Vol.41, No.10, pp.783~786, 2005.
- 2) 近藤博, 木村修一, 本間重雄: ロードセルの設置条件が出力値に及ぼす影響, 計測自動制御学会論文集, Vol.42, No.2, pp.111~114, 2006.
- 3) 土木学会構造工学委員会: 衝撃実験・解析の基礎と応用, 土木学会, 2003.
- 4) 日本機械学会編: 機械工学便覧, 材料力学, p.A4-39, 2001.