

## I-B288

## 局所変形を考慮した梁の衝撃力波形について

|            |      |       |
|------------|------|-------|
| 北海道大学工学研究科 | 学生員  | 村井 伸康 |
| 北海道大学工学研究科 | フェロー | 三上 隆  |
| 釧路工業高等専門学校 | フェロー | 芳村 仁  |
| 北海道大学工学研究科 | 学生員  | 柴田 俊文 |

## 1. はじめに

梁に作用する衝撃力の特性の把握は設計上重要である。本報告は、衝突体(剛球)と梁の衝突点における相互作用を考慮して、動的等価剛性 $k_{dy}$ を用いて解析し、衝撃力波形の時間分布に与える衝突体、梁の寸法などの影響を明らかにしたものである。なお解析には、衝突体(剛球)と梁の相互作用(局所変形)の影響を、ばね(等価剛性)に置き換えた簡便な計算法<sup>1)</sup>を用いた。

## 2. 解析方法

## 2-1. 基礎方程式

質量 $m_c$ 、速度 $v_0$ の剛球が両端単純支持梁の中央に衝突する場合を考える。図-1に示すように局所変形の等価剛性を $k_{dy}$ とし、衝撃力は集中荷重で作用すると仮定した。梁には古典理論を採用すると、梁の運動方程式及び質点の運動方程式は以下のように示される。

$$\rho A \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 u_2}{\partial x^4} + k_{dy} (u_2 - u_1) \delta \left( x - \frac{l}{2} \right) = 0 \quad (1)$$

$$m_c \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} + k_{dy} (u_1 - u_2) \delta \left( x - \frac{l}{2} \right) = 0 \quad (2)$$

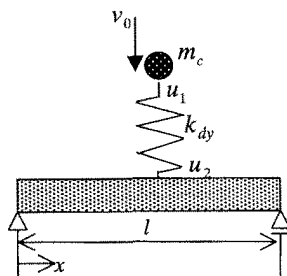


図-1 解析モデル

ここで $\rho$ は密度、 $A$ は梁の断面積、 $EI$ は曲げ剛性で、 $u_1$ は接触点の変位、 $u_2$ は梁の変位である。衝撃力 $f$ は次式で求められる。

$$f = -m_c \ddot{u}_1 \quad (3)$$

式(1)と式(2)はモーダル解析により解く。

2-2. 動的等価剛性 $k_{dy}$ の導出<sup>2)</sup>

$M_0$ を梁の質量、 $c$ を縦波の速度、 $k_{st}$ を文献<sup>2)</sup>で求めた静的等価剛性とすると動的等価剛性 $k_{dy}$ は次のように表される。

$$k_{dy} = k_{st} \times 27.6 \times \exp \left( 3.17 \times \left( \frac{h_0}{h} \right)^4 \right) \times \left( \frac{\rho h^3}{m_c} + \frac{\rho h^3}{M_0} \right)^{-\frac{1}{3}} \times \left( \frac{v_0}{c} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (4)$$

## 3. 解析結果

## 3-1. 衝撃力波形の分類

数値計算は正方形断面で $l/h=10 \sim 100$ に対して行った。ただし $h$ は梁の高さである。なお $k_{st} = 4 \times 10^6$ である。縦軸に衝撃力、横軸に時間を表すと、衝撃力波形は図-2の4種類に分類することができる。

- (a) 一回の衝突で衝撃が終了するAタイプ
- (b) 衝撃現象が終了するまで複数回の衝突をするBタイプ
- (c) 衝撃現象が終了せずに固有周期以上続くCタイプ
- (d) 一回衝撃現象が終了した後、Cタイプ型の波形が現れるBCタイプ

キーワード：衝撃力、局所変形、ばね-質量系、梁

連絡先：住所 札幌市北区北13条西8丁目 TEL (011)716-2111(内線6177) FAX (011)726-2296

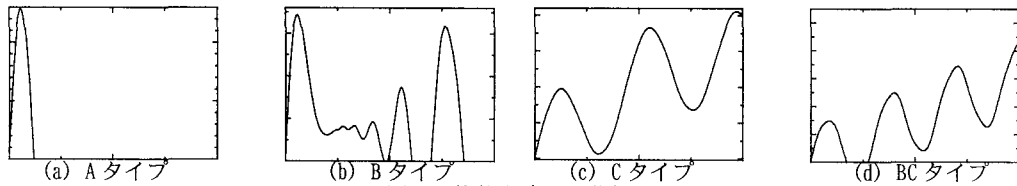


図-2 衝撃力波形の分類

### 3-2. 解の精度

37 次の重ね合わせた解を厳密解として実線で表し次数の影響を調べた結果を図-3に示す。ここで縦軸に衝撃力、横軸に時間を無次元化して示している。また破線が1次、点線が3次、(b)にある一点鎖線が17次までそれぞれ考慮した結果である。A・C・BCタイプは3次以上の重ね合わせはほとんど影響ないが、Bタイプの場合は厳密解に近くなるには多くの重ね合わせが必要である。以下では  $n=37$  とした。

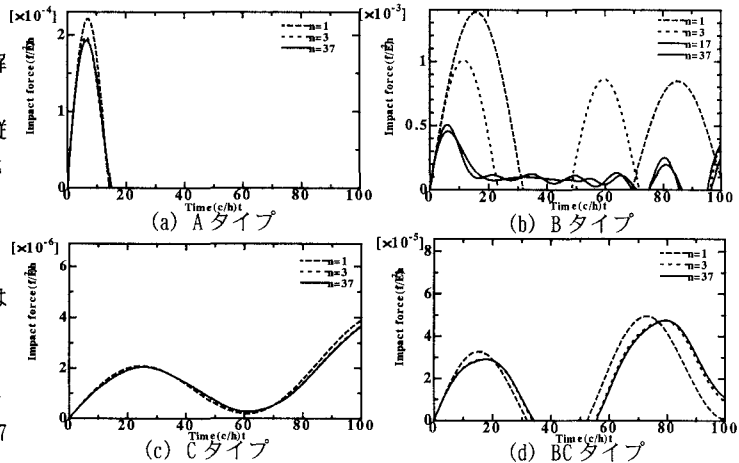


図-3 重ね合わせの次数 n の影響

### 3-3. 衝撃力波形の分布

梁の高さ・幅を一定にして長さを変化させてタイプの分布を調べた。まず、 $v_0/c = 1.0 \times 10^{-3}$  を一定として  $m_c$  を変化させ横軸に  $k_{dy}/k_0$ 、縦軸に  $m_c/M_0$  をとした場合の各タイプの分布を図-4に示す。ただし  $k_0 = 48EI/l^3$  である。Aタイプは  $m_c/M_0$  が小さい部分に出現し、逆にBタイプは  $m_c/M_0$  が大きい部分に現れた。そして  $k_{dy}/k_0$  が大きい場合にBタイプが多く発生した。またこの速度ではCタイプ・BCタイプは発生しなかった。速度を小さくして他の条件はすべて同じにした場合のタイプの分布を図-5に示す。図-5(a)に示すように速度を遅くすると、梁が短く  $m_c/M_0$  が大きいときにBCタイプが現れてくる。さらに速度を遅くするとCタイプが出現する(図-5(b))。

### 4. まとめ

衝撃力は大きく分けてA・B・C・BCの4種類に分類することができる。そのうちAタイプは  $m_c/M_0$  が小さいときに現れ、逆にBタイプは  $m_c/M_0$  が大きいときに現れる。Bタイプの発生領域は梁の長さが増える場合の方が大きくなる。また、Cタイプ・BCタイプは速度が遅く梁の長さが短いときに現れ、Aタイプ・Bタイプの分布は速度を変化させてもあまり変わらない。

### 参考文献

- 1) 柴田俊文, 三上隆, 須藤昌志, 須藤敦史, 菲澤憲吉: 局所変形を考慮した梁の衝撃力の一計算法, 構造工学論文集, vol144A, pp1753-1759, 1998
- 2) 柴田俊文, 三上隆, 須藤敦史: 梁の衝撃問題における局所ばねの一考察, 土木学会北海道支部 論文報告集, 第55号(A), pp42-47, 1999

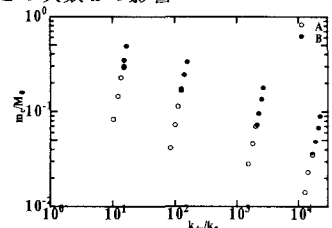
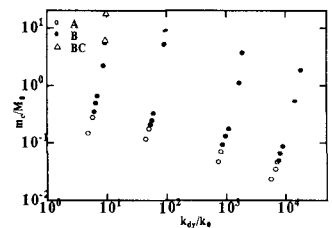
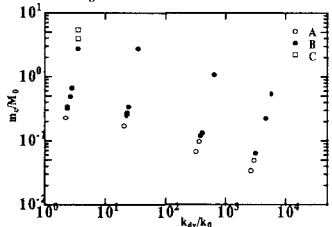


図-4 タイプの分布



(a)  $v_0/c = 1.0 \times 10^{-4}$  の結果



(b)  $v_0/c = 1.0 \times 10^{-5}$  の結果

図-5 タイプの分布