

I-70

梁の一衝撃解法について

北海道大学大学院工学研究科	○学生員	村井 伸康
北海道大学大学院工学研究科	正 員	小池 明夫
北海道大学大学院工学研究科	学生員	柴田 俊文
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	三上 隆

1. はじめに

構造物に作用する衝撃力を明確にすることは構造物の衝撃応答性を明記したり、設計を行う上にも重要なことである。最近では三次元有限要素法の汎用コード等により解析がなされつつあるが、簡便な解析手法が開発されれば基本的な衝撃特性を把握する際には極めて有効と思われる。

本研究では、衝撃体(円柱棒)と被衝撃体(梁)の接触点に仮想的線形な接触ばねを導入して、衝撃体と被衝撃体の相対変位から衝撃力を算定する簡易な解析手法を示し、適切なばね定数の決め方について検討を加えたものである。

2. 解析方法

図-1 に示すような梁の中央に直径 ϕ_1 、長さ L_1 の円柱棒が高さ h から落下する衝突問題を考える。

図-2 は本研究で用いた解析モデルで、円柱棒下端と梁中央に仮想的線形な接触ばね(ばね定数 k)を導入し、衝撃力 f は円柱棒の最下点の変位(u_1)、梁の変位(u_2)の相対変位と接触ばね定数 k の積で評価することにする。

$$f = k(u_1 - u_2) \quad (1)$$

梁および棒の離散化には有限要素法を用いる。すなわち、梁に対しては曲げ剛性のみを、棒に対しては伸び剛性のみを考慮し、減衰の影響を無視すれば、運動方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (2)$$

ここで $[M]$ =質量マトリックス、 $[K]$ =剛性マトリックス、 $\{\ddot{u}\}$ =加速度ベクトル、 $\{u\}$ =変位ベクトル、 $\{F\}$ =外力ベクトルである。

なお式(2)の時間方向の離散化にはNewmark β 法($\beta=1/4$)を用いる。

3. 解析結果

接触ばね定数の算定は、軟鋼梁の中央に軟鋼円柱棒を落下させ衝撃力を実験で求めた文献¹⁾に一致するように決めるものとし、解析に用いた梁、棒の諸定数には文献¹⁾の以下のものを用いる。

単位体積重量 $\gamma=7.693 \times 10^4 \text{ N/m}^3$ 、弾性係数 $E=2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ 、梁の長さ L 、棒の長さ $L_1=1\text{m}$ 。

接触ばね定数 k の値は、軟鋼の弾性係数 E と衝突棒の径 ϕ_1 の積を

Simplified Analysis of Impact Force of Beams

by Nobuyasu MURAI, Akio KOIKE, Toshifumi SHIBATA and Takashi MIKAMI

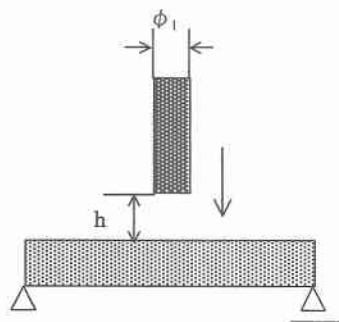


図-1 棒と梁の衝突

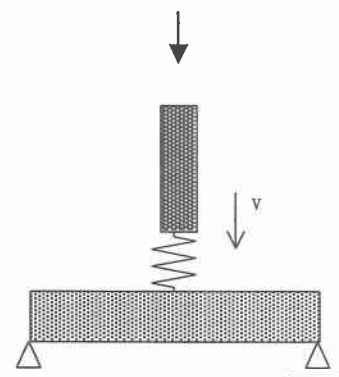


図-2 解析モデル

基準にし評価することとする。

$$k = \alpha E \phi_1 \quad (3)$$

ここで α は修正係数($\alpha > 0$)である。

3.1 要素分割数の影響

要素分割数 N の衝撃力に与える影響を調べるために、長方形断面梁(幅 25mm、高さ 12mm、長さ 2.7m)に直径 $\phi_1=20\text{mm}$ の棒を高さ $h=300\text{mm}$ から落下させた場合を修正係数 $\alpha=1/40$ として解析を試み、その結果を図-3に示す(時間刻み $\Delta t=1 \times 10^{-6}\text{sec}$)。これによれば、梁の要素分割数 $N \geq 50$ であれば、衝撃力波形に大きな影響を与えないようである。以下の解析では梁の要素分割数に $N=100$ を用いる。

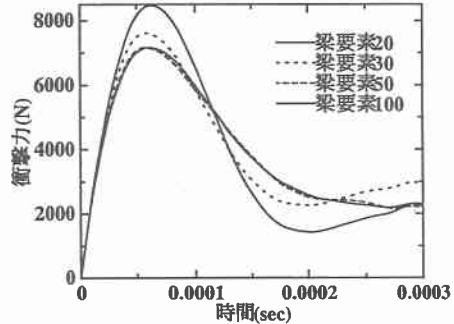


図-3 要素分割数と衝撃荷重の関係

3.2 接触ばね定数の評価

1) 長方形断面梁に径の異なる棒が衝突する場合

長方形断面梁(幅 25mm、高さ 12mm、長さ 2.7m)に、直径 $\phi_1=20\text{mm}$ の円柱棒を高さ $h=300\text{mm}$ から落下させたときの衝撃力波形を図-4および図-5に示す。図で黒丸は文献¹⁾の実験結果であり、他の図でも同様である。

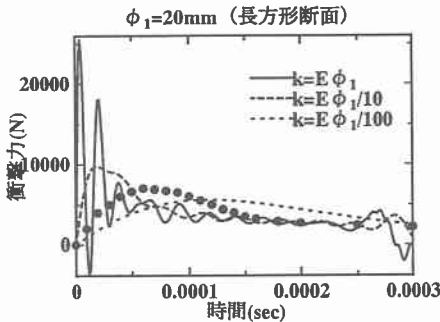


図-4 衝撃荷重とばね定数の関係(1)

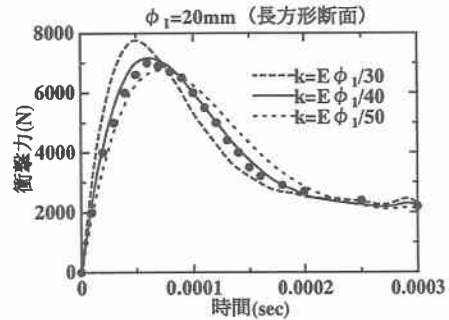


図-5 衝撃荷重とばね定数の関係(2)

図-4 は式(3)の修正係数を $\alpha=1, 1/10, 1/100$ について解析したものである。これによれば、 $\alpha=1$ の場合は応答の応答の立ち上がり早く、その後衝撃力波形は大きな振動状態を示し、 $\alpha=1/100$ では応答の立ち上がりが遅く平坦な衝撃力波形となっている。

図-5は、 $\alpha=1/30, 1/40, 1/50$ について解析した結果で、これによれば $\alpha=1/40$ の場合が応答の立ち上がり、衝撃力の最大値およびそれを与える時刻等が実験結果と良い一致を示しているということがわかる。

図-6は、円柱棒の径 $\phi_1=10\text{mm}$ について解析し、衝突棒の断面径のばね定数に与える影響をみたものである。これによれば、 $k=E\phi_1/40$ ($\alpha=1/40$)の結果が $\phi_1=20\text{mm}$

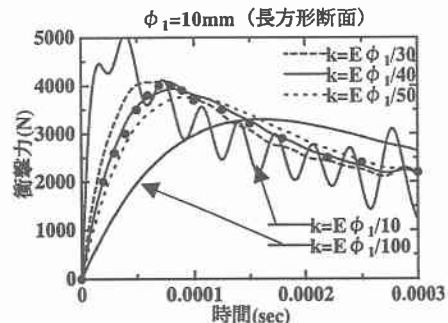


図-6 衝撃荷重とばね定数の関係(3)

の場合と同様に実験結果と良い一致が認められる。

2) 円形断面梁に径の異なる棒が衝突する場合

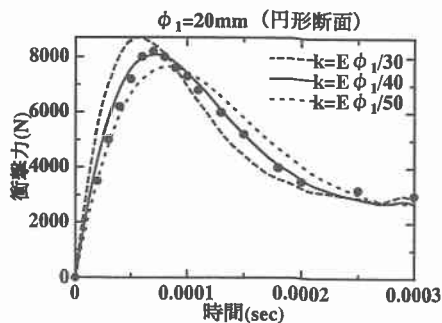


図-7 衝撃荷重とばね定数の関係(4)

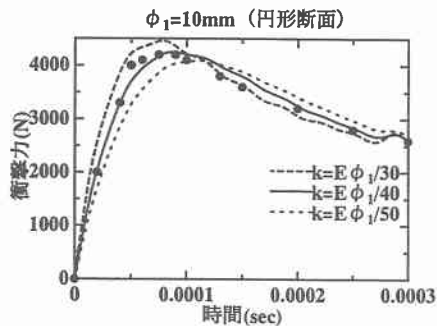


図-8 衝撃荷重とばね定数の関係(5)

梁の断面形状の接触ばね定数 k に与える影響を調べるために、径 $\phi_2=20\text{mm}$ の円断面で長さ 2m の梁の中央に高さ $h=300\text{mm}$ の位置から $\phi_1=20\text{mm}$ および $\phi_1=10\text{mm}$ の円柱棒が落下する場合を解析し、衝撃力波形をそれぞれ図-7 および図-8 に示す。

図-7 および図-8 は、 $k=E\phi_1/30$ ($\alpha=1/30$), $k=E\phi_1/40$ ($\alpha=1/40$), $k=E\phi_1/50$ ($\alpha=1/50$) について解析したが、長方形断面と同様に接触ばね定数を $k=E\phi_1/40$ ($\alpha=1/40$) の場合が実験結果と良い対応を示している。

3) 種々の高さから円柱棒が落下する場合

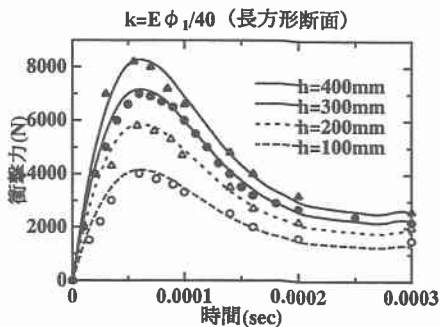


図-9 衝撃速度と衝撃荷重の関係(1)

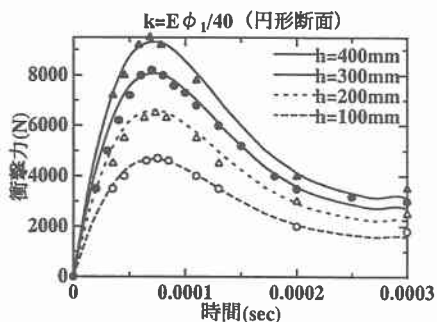


図-10 衝撃速度と衝撃荷重の関係(2)

衝突体の落下高さ h のばね定数に与える影響を検討するために $k=E\phi_1/40$ ($\alpha=1/40$) と一定にし、種々の落下高さ ($h=100\text{mm}\sim 400\text{mm}$) で長方形断面梁および円形断面梁を解析し、その結果をそれぞれ図-9 および図-10 に示す。

実験データは衝突速度 ($v=\sqrt{2gh}$) が大きい程応答が早く立ち上がり、また最大衝撃力を生じる時間がほぼ一定となる特徴を示しているが、 $k=E\phi_1/40$ ($\alpha=1/40$) にある本解析結果もほぼ正確に実験結果の特徴をとらえており、本解析法の妥当性・有効性を示している。

4. まとめ

二物体の衝突において衝撃力波形を求めるために接触部をばねに置き換えることによって検討を行ってきた。以上の解析結果をまとめると次のようになる。

- (1) 棒と梁の衝突において接触部をばね(ばね定数 $k=E\phi_i/40$) でモデル化する方法は、実測値に近い衝撃力波形を与える。
- (2) ばね定数 $k=E\phi_i/40$ は円柱弾性棒(衝撃体)の径、梁の断面形状(長方形および円)、および任意の落下高さ ($h=100\text{mm}\sim 400\text{mm}$, 衝突体の落下速度 $v=1.4\text{m/sec}\sim 2.8\text{m/sec}$) によらず一定である。

参考文献

- 1) 松本浩之, 中原一郎, 菊川貴行, 黒川祐: 衝突による衝撃荷重, 非破壊検査 pp. 895-903, 1983