

防衛大学校 学生員 ○山田伊智郎 正 員 大野 友則

// 学生員 高橋 芳彦 正 員 内田 孝

1 まえがき

近年、RC構造物の耐衝撃設計の重要性が増大し、衝撃応答解析に関する研究が盛んになってきた。しかし、衝撃現象の複雑さなどの原因により、未だ衝撃応答解析法自体が確立されていない現状にある。著者らは、耐衝撃設計に応用できる衝撃応答解析法確立のために、衝撃現象特有のひずみ速度効果の影響を考慮した離散化モデルによるRCはりの衝撃応答解析法を提案し、報告した¹⁾。本研究は、先に提案した解析法を利用して衝撃実験で得られた荷重の時刻歴を衝撃外力として入力する方法（以下、荷重入力法）と衝突物の初速度を入力する方法（以下、初速度入力法）の2種類について衝撃応答解析を行い、実験結果との比較により衝撃応答解析法における衝撃外力の取り扱いについて検討したものである。

2 衝撃実験

載荷は落錘式衝撃試験機を用い、重量 50kgfの鋼製重錘の自然落下により、単純支持はりの中央部に横衝撃を与えるようにした。実験におけるパラメータは衝突速度（落下高さ）とし、落下高さを1.0m、1.5m、2.0mおよび2.3mの4種類に変化させた。試験体は引張側に軸鉄筋（異形鉄筋 D13）を2本配置した単鉄筋コンクリートはりである。その全長およびスパン長は、それぞれ140cm、120cm、断面は 15x20cm、有効せいは17cmである。また、せん断に対する補強として20cm間隔にスターラップ（異形鉄筋 D6）を配置した。荷重の計測は重錘下部に取り付けたロードセルを用い、変位の計測は非接触型変位計を用いた。

実験の結果得られた荷重の時刻歴は衝突速度の変化にかかわらずほぼ等しく、Fig.1 に示した近似モデルのように三角形を3つ並べた形状であった。そのピーク値（ $F_1, F_2, \dots$ ）およびピーク値の生ずる時刻（ $T_1, T_2, \dots$ ）をTable 1 に示す。

3 衝撃応答解析における衝撃外力

解析に用いたはりモデルは、連続体であるはりを、任意長の剛体で質量を持たないパネルと質量とたわみ性を有する分割点から成るパネルで離散化したものとした。分割点1における力の釣り合いから、つぎの運動方程式が成立する（文献1)参照）。

$$m_i \ddot{y}_i(t) = 1/\ell_{i+1} \cdot \{M_{i+1}(t) - M_i(t)\} - 1/\ell_i \cdot \{M_i(t) - M_{i-1}(t)\} + P_i(t) \quad (1)$$

ここで、 m_i 、 $\ddot{y}_i(t)$ 、 $M_i(t)$ 、 $P_i(t)$ はそれぞれ時刻 t における分割点 i の質量、変位加速度、曲げモーメントおよび外力、 ℓ_i は分割点 i の左側のパネル長である。

さらに、分割点 i における変形適合条件およびひずみ速度効果の影響を考慮したRCはりの動的曲げモーメント～曲率モデルを定式化した¹⁾。数値計算はNewmarkの β 法を用いて行った。

荷重入力法(Case A)では、Fig.1 に示す近似化した荷重の時刻歴を、衝突点に対応する分割点 I における運動方程式の外力項 P_I に代入した。なお、衝突点以外の分割点 i では $P_i=0$ とした。

また、初速度入力法(Case B)の場合は、重錘が試験体に衝突後そのまま試験体に付着して運動するものと

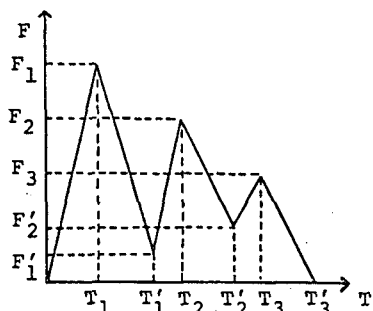


Fig.1 Shape of idealized impact load.

Table 1 Peak values and their appeared time.

Impact Velocity	4.43m/s	5.42m/s	6.26m/s	6.71m/s
F_1 (ton)	12.9	15.6	16.7	17.5
F_1' (ton)	1.0	1.0	2.5	1.5
F_2 (ton)	11.9	13.9	13.3	14.8
F_2' (ton)	3.2	3.0	5.5	3.5
F_3 (ton)	6.8	7.4	6.0	4.5
T_1 (ms)	0.6	0.4	0.5	0.4
T_1' (ms)	1.3	1.3	1.3	1.5
T_2 (ms)	2.1	2.0	2.1	2.1
T_2' (ms)	2.8	2.8	2.9	3.0
T_3 (ms)	3.6	3.5	3.4	3.6
T_3' (ms)	5.8	6.0	5.2	5.8

仮定し、衝突点に相当する分割点 I の初期条件を次式のように与えた。

$$\dot{y}_I(0) = \frac{m_W}{m_I + m_W} \cdot v_0 \quad (2)$$

ここで、 $\dot{y}_I$ 、 m_I はそれぞれ、分割点 I の変位速度および質量、 m_W 、 v_0 は重錘の質量および衝突速度である。なお、衝突点以外の分割点 i では $y_i(0)=0$ とした。

4 解析結果と実験結果の比較検討

(1) 変位の時刻歴応答

Fig.2 (a),(b) は、それぞれ落下高さ $h=1.0\text{m}$ および $h=2.0\text{m}$ に対するはり中央点変位の時刻歴応答を示す。図中、実線は実験結果、破線は荷重入力法 (Case A) による結果、一点鎖線は初速度入力法 (Case B) による結果である。図から、荷重入力法のほうが初速度入力法に比べ実験結果に近い値を示していることがわかる。とくに、衝突速度が遅い $h=1.0\text{m}$ の場合は荷重入力法が Fig.2(a) に示すように衝突後の最初の半周期において、極めて良く実験結果をシミュレートしていることが認められる。

(2) 最大応答変位

Fig.3 は、衝突速度の違いによるはり中央点の最大応答変位を比較したものである。●印は実験結果、○印は荷重入力法、△印は初速度入力法による結果を示す。図から、初速度入力法は衝突速度の変化にかかわらず実験結果に比べ、かなり小さな値を示している。これに対し、荷重入力法は衝突速度が速くなるにしたがい実験値よりもやや小さな値を示しているが、初速度入力法に比べると、より実験値に近い値を示していることが認められる。

5 まとめ

以上のことより、本研究で行った载荷条件の範囲において、ひずみ速度効果の影響を考慮した荷重入力法による解析の妥当性が認められた。しかしながら、荷重入力法は荷重の時刻歴があらかじめ得られていなければならず、構造物設計のための解析に応用することは困難である。このため、さらに衝突のモデル化などの検討を行い、構造物の耐衝撃設計に応用できるより実用的な解析法を確立する必要があると考える。

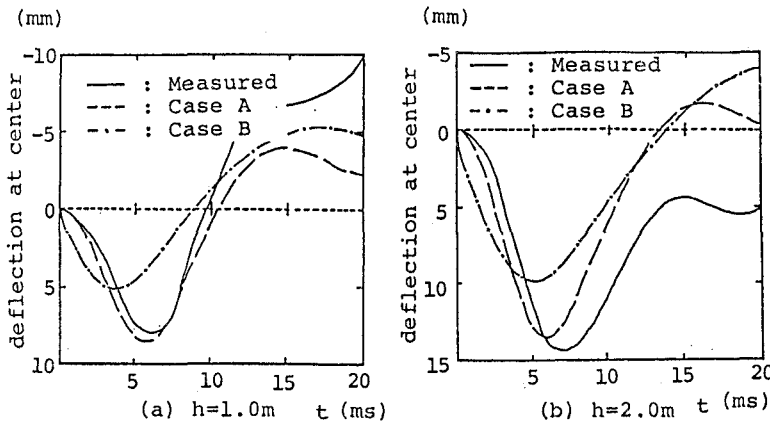


Fig.2 Time histories of deflection at midspan.

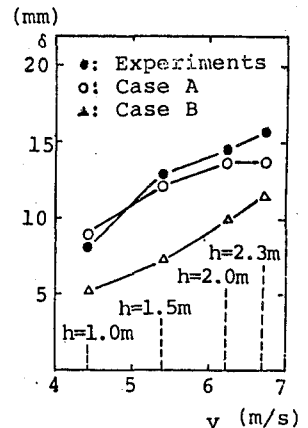


Fig.3 Relation between maximum deflection at midspan and impact velocity

参考文献 1) 高橋 芳彦、塩冶 長、大野 友則、石川信隆、内田 孝：ひずみ速度効果を考慮した鉄筋コンクリートはりの衝撃曲げ応答解析、構造工学論文集、1986.3。