

# 衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの力学的挙動

神戸大学工学部

正員

藤井 学

神戸大学大学院自然科学研究科

正員

宮本 文穂

神戸大学工学部

正員

中村 伴之

佐藤工業(株)

○正員

境 晃三

1. まえがき 衝撃荷重を受けるRCはりの解析に非線形動的有限要素法を適用する場合、平衡方程式における粘性項の考慮の要否、要素形状、鉄筋とコンクリート間の付着、ひびわれ面でのコンクリートのせん断剛性、等の取り扱いが解析上の問題点として挙げられる。特に、平衡方程式における粘性項の考慮の要否は、材料特性等への載荷速度の影響を考える上で、重要なところである。本研究は、粘性項の考慮が材料特性（コンクリートの圧縮一軸特性）、及びRCはりの衝撃挙動へどのような影響を与えるかを、それぞれコンクリート直方体、RCはりを用いて、解析的に検討したものである。

## 2. 解析手法及び解析モデル

2.1 解析手法 本研究では、材料非線形特性（後述する確認実験より得られる静的荷重下でのデータを使用）を考慮した動的有限要素法にNewmark- $\beta$ 法を併用して、動的平衡方程式を解いた。動的平衡方程式を解くにあたって、微小時間 $\Delta t$ ごとの増分形を考え、Newmark- $\beta$ 法を適用して、次式で与えられる連立一次方程式に変形し、バンドマトリックス法により解を得た。また、解の精度と安定性を高めるため各時間ステップで反復計算を行った。（ただし、 $\beta = \frac{1}{4}$ ；一定加速度法）

$$([K] + \frac{1}{2\beta \cdot \Delta t} [C] + \frac{1}{\beta \cdot \Delta t^2} [M]) \{ \Delta U \}_{t+\Delta t} = \{ R \}_{t+\Delta t} + [C] \left( \frac{1}{2\beta} \{ \dot{U} \}_t - \frac{1-\beta}{4\beta} \cdot \Delta t \{ \ddot{U} \}_t \right) + [M] \left( \frac{1}{\beta \cdot \Delta t} \{ \ddot{U} \}_t + \frac{1}{2\beta} \{ \ddot{U} \}_{t+\Delta t} \right) \quad (1)$$

ここで、実効剛性マトリックス $[K^*]$ は次式で与えられ、右辺第2項が粘性項の影響である。

$$[K^*] = [K] + \frac{1}{2\beta \cdot \Delta t} [C] + \frac{1}{\beta \cdot \Delta t^2} [M] \quad (2)$$

減衰マトリックス $[C]$ の決定に際して減衰定数 $\zeta$ を10%とした。<sup>2)</sup>

2.2 解析モデル 要素形状は、コンクリートに関して、応力状態や解の安定性が定ひずみ三角形要素より優れた四角形4節点アイソパラメトリック要素を用い、コンクリート直方体、及びRCはり（コンクリート）の要素分割をそれぞれ図1、図2(a)に示す。また、鉄筋に関して、定ひずみの線要素を用い、要素分割を図2(b)に示す。質量マトリックスは、回転慣性を考慮でき、振動形が正しく、振動数が上界であることが、保証されている整合

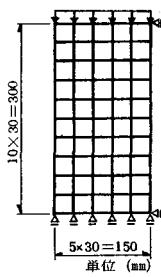
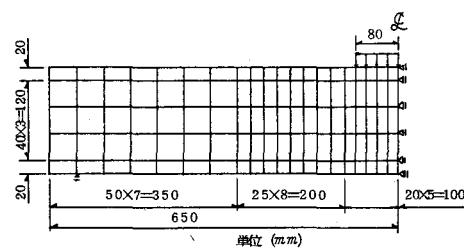
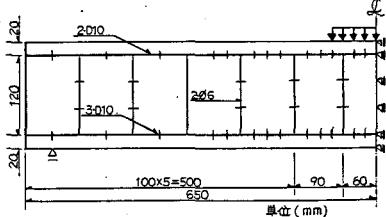


図1 コンクリート直方体の要素分割



(a) コンクリート



(b) 鉄筋

図2 RCはりの要素分割

質量マトリックスを用いた。なお、鉄筋とコンクリート間の付着は剛とした。ひびわれ発生後、最大主応力方向の剛性を零として要素全体を直交異方性化するとともに、それまで蓄積された弾性エネルギーの一部を等価節点力として解放した。また、A作用を考慮するため、ひびわれ発生後のコンクリートのせん断剛性を弾性時の0.3倍(静的)、0.5倍(衝撃)とした。

### 3. 確認実験

3.1 供試体 供試体は、 $130 \times 16 \times 15 \text{ cm}$  の複鉄筋長方形断面はり(図3)で、支間長  $120 \text{ cm}$  の単純支持とした場合の設計荷重は  $1.9 \text{ t}$  ( $\sigma_{sa} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$ ) である。

3.2 実験方法 衝撃試験は重錘式衝撃試験装置<sup>1)</sup>を用い、ゴム厚を変えることにより2種類の載荷速度(比較的速い衝撃(F)と比較的遅い衝撃(L))の衝撃荷重を加えた。衝撃荷重特性を表1に示す。

### 4. 実験結果及び解析結果との比較

4.1 材料特性 実験より得られた材料特性(コンクリートと鉄筋; 図4)を、解析の入力データとした。

4.2 粘性項の影響 図5は、コンクリート直方体に2種類の載荷速度を有する衝撃圧縮力を加えた場合の応力と平均ひずみの関係に及ぼす粘性項の影響を示したものであるが、載荷速度にかかわらずわずか(1%未満)に初期剛性が大きくなる程度となつた。図6はRCはりに衝撃(L,F)を載荷した場合の荷重-変位関係を示す。平衡方程式に粘性項を入れたものと入れないものとの差は、コンクリート直方体よりやや大きいが、5%前後なので、粘性項を無視しても衝撃荷重下での力学的挙動に大きな影響を与えないものと考えられる。

5. 結論 平衡方程式に粘性項を考慮した場合の力学的挙動に及ぼす効果を検討した結果、本研究で対象としたソフトな衝撃荷重下では、小さく、考慮しなくてもよいことが明らかになつた。

### 参考文献

- 1) 藤井学他: 有限要素解析におけるRCはりの衝撃挙動に関する研究, F.E.M. コロキウム論文集, 1984.12
- 2) 富沢稔: 実用耐震設計法, オーム社, 1984

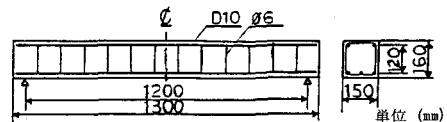
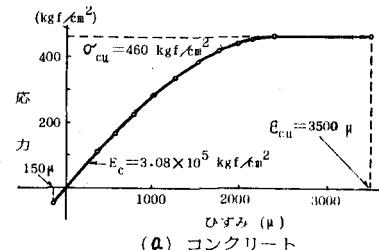


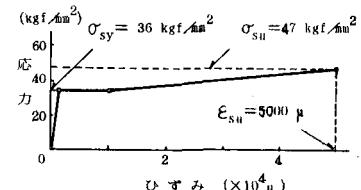
図3 RCはり供試体

表1 衝撃荷重特性

	立ち上り時間(ms)	接触時間(ms)	ゴム厚(cm)	載荷速度V(t/ms)
衝撃(F)	1.5 ~ 2.0	4 ~ 6	2.2	8.0 ~ 9.0
衝撃(L)	4.0 ~ 5.0	10 ~ 13	5.0	1.0 ~ 1.3



(a) コンクリート



(b) 鉄筋

図4 材料一軸特性(静的)

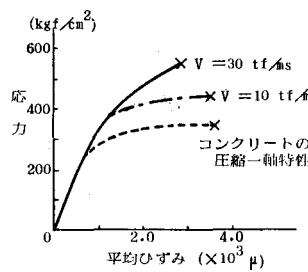


図5 圧縮一軸特性に及ぼす粘性項の影響

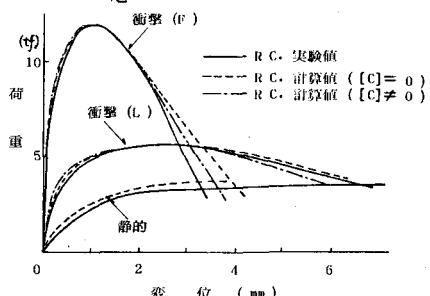


図6 R.C.はりの荷重-変位関係に及ぼす粘性項の影響