

鉄筋端部の不連続を考慮した波動解析

名古屋大学 工学部 学生会員 石原 和典
 名古屋大学 工学部 学生会員 石川 達也
 名古屋大学 工学部 学生会員 余 国雄
 名古屋大学 工学部 正会員 田邊 忠顕

1. はじめに

平成7年1月17日の阪神大震災は、土木構造物に、大きな被害をもたらした。その主要な原因として直下型地震であったことが指摘され、そのことが、上下方向振動の影響についての研究を促すことになった。この地震によりRC部材の鉄筋端部の不連続部分でクラックが発生したことが多数報告されていることから、本研究では、RC部材の鉄筋端部の不連続部における応力波の状態、クラックの発生進展の解析を2次元非線形FEM解析を用いて行って、鉄筋の不連続が地震時のコンクリート構造物の健全性にどのような影響を及ぼすか基礎的な検討を行った。

2. 解析概要

①解析モデル

解析の対象は、図-1に示すRC部材である。要素の分割は、96分割とし、その切り方を図-2に示した。実際では、コンクリートと鉄筋端部の節点部分は、結びつきが弱く、その部分のコンクリートの強度は、他の部分よりも弱いと思われるため、このモデルでは、鉄筋端部とコンクリートは連続していないとしている。

なお、このモデルに用いた材料定数は、以下の通りである。

1) コンクリート:

ヤング率 $E_c = 2.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、

密度 $\rho_c = 2.5 \times 10^{-6} \text{ kgf sec}^2/\text{cm}^4$ 、

ポアソン比 $\nu = 0.2$ 、軟化勾配 $E_1 = -2.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

以下のコンクリートの構成則として、図-3のように軟化領域を有するDrucker-Prager則を用いた。

圧縮強度 $f'_c = 287.92 \text{ kgf/cm}^2$ 、引張強度 $f_t = 28.62 \text{ kgf/cm}^2$

コンクリートを伝播する縦波の速度

$$C_c = \sqrt{\frac{E_c}{\rho_c}} = 2.83 \times 10^5 \text{ cm/sec}$$

2) 鉄筋:

ヤング率 $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

密度 $\rho_s = 7.8 \times 10^{-6} \text{ kgf sec}^2/\text{cm}^4$

鉄筋を伝播する縦波の速度

$$C_s = \sqrt{\frac{E_s}{\rho_s}} = 5.19 \times 10^5 \text{ cm/sec}$$

②解析方法

応答の数値解析を行うにあたり数値積分

図-2 要素分割図

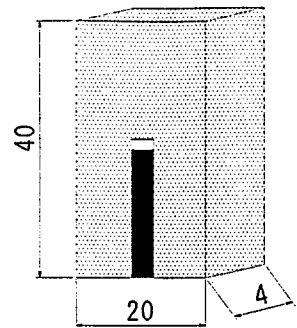


図-1 解析モデル
 単位 (cm)
 ■ コンクリート
 ■ 鉄筋
 □ 空洞

図-1 解析モデル

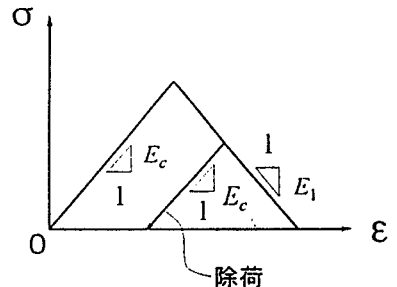
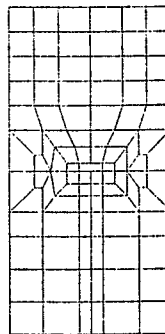


図-3 解析に用いたコンクリートの引張繰返し挙動

により順次解を定めていくとき、時間刻みの大きさによって積分が発散して正しい解が得られないことがある。それに対し、Newmark の β 法の安定性とはいうと、 $\beta = 1/4$ とした時（平均加速度法）、時間刻みの大きさに関わらず無条件に安定で発散が生じないという利点があるため、本研究では、Newmark の β 法（ $\beta = 1/4$ ）を用いた。

また、モデルに入力する波形は、例として図-4のような矩形パルス加速度で、解析モデルの下面から衝撃引張力や衝撃圧縮力として作用させる。また、境界条件は、解析モデルの下面の鉛直方向のみを拘束した。本研究の最大の目的は、この矩形パルス加速度の衝撃時間 T や解析モデルの要素分割の数や切り方を変化させたときの応答を比較検討することである。

時間刻みは、衝撃時間や解析モデルの大きさを考慮し、計算の精密さを確保する値として、 5.0×10^{-7} sec とした。

以上のような条件で、2次元非線形 FEM 解析を行った。

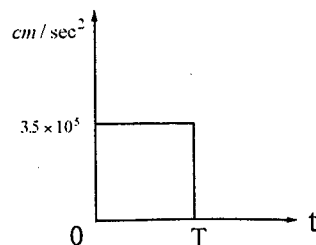


図-4 モデルへの入力波例

3. 解析結果

ここでは、図-4で表された入力波について行った解析を例とする。まず、図-5、図-6、図-7は時間経過に伴う入力波の遷移を表したものである。また、それぞれの図は、加速度波の入射後の時間

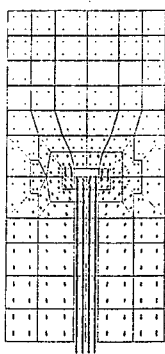


図-5 t_1 における応力波
状態

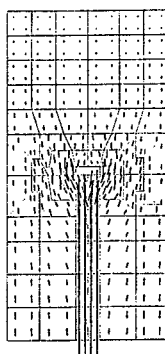


図-6 t_2 における応力波
状態

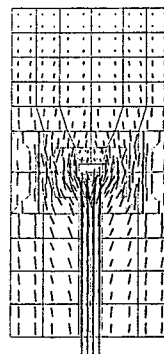


図-7 t_3 における応力波
状態

$t_1 = 7.5 \times 10^{-5}$ 、 $t_2 = 1.25 \times 10^{-4}$ 、 $t_3 = 2.50 \times 10^{-4}$ (sec) での主応力波の流れを表している。 t_1 (図-5) は、鉄筋を伝わる応力波が鉄筋端部付近に到達した時間であり、 $c_{st} > c_c$ である事がはっきり確認できる。 t_2 (図-6) は、コンクリートを伝わる応力波が鉄筋端部付近に到達した時間であり、鉄筋端部周辺に応力集中している事がわかる。 t_3 (図-7) は、モデルの上端で反射した応力波が再び鉄筋端部付近に到達した時間であり、 t_2 よりもさらに著しい応力集中が認められる。また、それによる鉄筋端部でのクラックの発生が確認でき、クラックの発生状態を図-8に示す。

また、要素分割の数や大きさ、衝撃時間などを変化させることによる影響など詳細な事項は、講演当日発表する予定である。

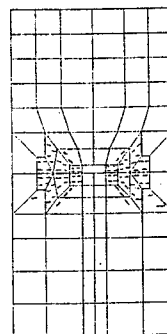


図-8 クラック発生図