

V-498

鉄筋端部の不連続を考慮したコンクリート体の応力波動解析

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、コンクリート構造物に多大な被害を与えた。被災構造物の調査結果から、破壊原因について詳細な説明を必要とする破壊形態も数多く見受けられた。その中の1つとしてRC部材の鉄筋端部の不連続部で脚柱を輪切りにするようなクラックの発生がある。また、この地震は、類を見ない直下型地震であり、地震初期に大きな衝撃的地震動が生じたのではないかと推定されている。これらの関連を解析的に説明する事がまず必要であるが、鉄筋段落とし部を有するRC柱の衝撃挙動の説明は、まず第一義的重要性を有している。また、クラックが段落とし部で発生するにしても、衝撃波としての観点からの鉄筋端部での応力波動的アプローチは、未だ行われていないという背景がある。そこで、本研究では、極めて単純なモデルについて鉛直方向の衝撃波が、RC部材の鉄筋端部の不連続をどのような応力波で伝播し、クラックがどのように発生・進展するかを2次元非線形FEM解析を用いて解析的に再現し、基礎的な検討を行なった。なお、その延長として鉄筋の不連続が地震時の実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について検討を行うことになるが、本研究範囲ではそこまでは触れていない。

2. 解析概要

本研究では、応力場を2次元平面応力状態に限定し、有限要素法を用い、解析モデルを四辺形4節点要素に分割して行った。また、その応答解析には、加速度法系のNewmarkの β 法（ $\beta = 1/4$ ：平均加速度法）を用いた。なお、時間刻みは、衝撃時間や解析モデルの大きさを考慮し、 10^{-7} (sec)のオーダーで行なっている。本研究では、大きく分けて以下の3つについて行った。

1. 有限要素法によって波動伝播問題を扱うときの要素分割の影響、加速度入力時間の影響の検討
2. 断面急変点での2次元的な波動伝播の特性の検討
3. 上の1、2を考慮した上で、鉄筋の段落とし部を単純化したモデルを用いて、不連続面が衝撃的応力波動に及ぼす影響についての検討

また、衝撃波の入力方法は、拘束されたモデル底面に図-1のような矩形パルス加速度を鉛直下向きに与えている。また、本解析では、コンクリート材料は、軟化領域を有するDrucker-Prager則、鉄筋については、Von-Mises則に従い、次の様な材料定数を用いた。

<コンクリート>

ヤング率 E_c (kgf/cm^2) : 2.0×10^5	ポアソン比 ν : 0.2
軟化勾配 E_1 (kgf/cm^2) : -2.0×10^5	圧縮強度 f'_c (kgf/cm^2) : 287.92
引張強度 f_t (kgf/cm^2) : 28.62	密度 ρ (g/cm^3) : 2.5

<鉄筋>

ヤング率 E_s (kgf/cm^2) : 2.1×10^6	ポアソン比 ν : 0.2
密度 ρ (g/cm^3) : 7.8	降伏強度 f_y (kgf/cm^2) : 4000

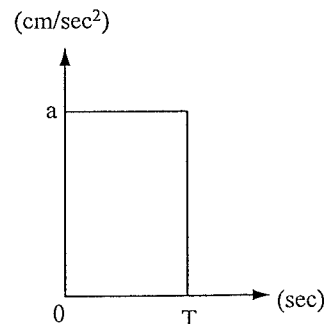


図-1 モデルへの入力波形

3. 解析結果

はじめに、前述の1、2の解析で分かったことは次のことである。

1. 衝撃的加速度を入力する場合は、本研究範囲では、継続時間に相当する時間に波が進む距離の2倍程度まで要素間隔を広げても問題ない。
2. 衝撃的加速度を入力する場合、加速度の値を一定にして継続時間を2倍、3倍にして入力すれば、コンクリート体の示す応力値も2倍、3倍になる。
3. 解析で用いた有限要素法は、断面の不連続を有するモデルでは、2次元的な波動特性を表せることが確認できた。

以上のような基礎的知見を得た上で、前述の3の解析である単純化した鉄筋不連続面を有するRCモデルについて解析を行なった結果を以下に示す。用いた解析モデルは、図-2のようであり、それを図-3のように要素分割した。このモデルの拘束された底面に図-1の衝撃波を入力した結果、図-4のように時間経過に伴ない主応力波が伝播する。主応力波の大きさと方向は、直線の長さと方向で表されている。弾性解析を行なった結果、鉄筋端部周辺のコンクリート体は、高い応力値を示しており、他の部分の3倍程度の値となっている。そこで、非線形解析を行なった結果、入力加速度 $a = 1.9 \times 10^6 (\text{sec})$ 、加速度継続時間 $T = 2.83 \times 10^{-5} (\text{sec})$ で、図-5の波線で塗りつぶされた要素にひび割れが発生することが確認できた。しかも、ひび割れは、鉄筋端部周辺から水平方向外側へ進展していくことも分かった。

4. 結論

以上のような解析結果から、本研究で得られた結論は、以下の通りである。

- ① 鉄筋不連続面を考慮したモデルを解析することで、衝撃力が作用すると鉄筋端部に応力集中が発生し、そこを起点として水平方向にひび割れが進展することがありうる。即ち、段落とし部が波動伝播の上でも弱点になる可能性があるのである。
 - ② コンクリートおよび鉄筋の応力の大きさは底面の加速度の値と継続時間の積、即ち、入力速度によって変化することが判明した。本研究で用いた1900Gの加速度の継続時間 $2.83 \times 10^{-5} (\text{sec})$ は、速度に直すと約52kineであり、阪神大震災で測定された地盤加速度のオーダーである。
 - ③ 鉄筋段落とし部を有する実構造物が上下方向の強い衝撃力を受ける場合の挙動解析をする際には、本論文で示したような鉄筋端部の不連続面を考慮した解析モデルの検討が必要となる。
- また、詳細な事項は、講演当日発表する予定である。

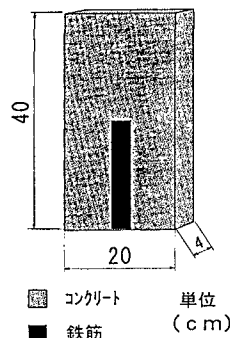


図-2 解析モデル

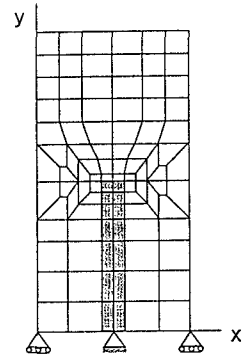
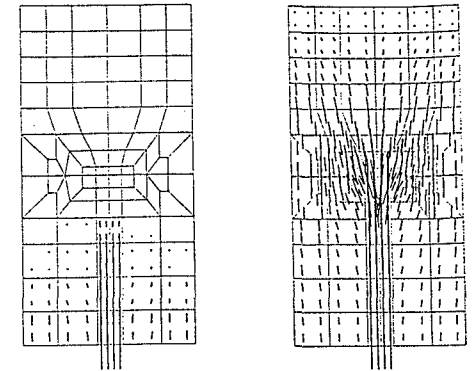


図-3 要素分割図



$$t_1 = 2.83 \times 10^{-5} (\text{sec}) \quad t_2 = 1.13 \times 10^{-4} (\text{sec})$$

図-4 主応力波流れ図

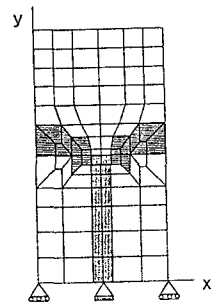


図-5 ひび割れ発生図