

コンクリート柱の衝撃突き上げによる輪切り状ひび割れの数値解析

(株)長大 正員 新井田武久 防衛大学校 学生員(当時) 別府 万寿博
 防衛大学校 フェロー 石川 信隆 北見工業大学 フェロー 大島 俊之
 北見工業大学 正員 三上 修一 北見工業大学 正員 山崎 智之

1. まえがき

1995年1月に発生した兵庫県南部地震ではRC橋脚の輪切り状ひび割れ、鋼製橋脚の軸対称座屈など軸方向に卓越した破壊現象が確認された。これらの現象は曲げによる破壊現象とは異なることから、水平動の他に衝撃的な上下動の影響が考えられている。現象の検討のため防衛大学校土木工学科振動破壊研究室においてコンクリート柱供試体の衝撃突き上げ実験が行われており、輪切り状ひび割れなど地震で確認された現象の実験的再現がなされた。

本研究では、クラックの発生を考慮した衝撃応答解析を行い、この実験結果をシミュレーションすることを目的としている。

2. 実験概要

実験では、高速変形荷重装置と突き上げ装置を併用することにより衝撃の上下動を再現しており、RC橋脚の実物の大きさを意識して作られた縮尺1/30、1/40の円柱コンクリートにそれぞれM10ボルトを上下のみに埋め込んだもの、または全部通したもの計4種類の供試体(図1)に衝撃荷重実験を行っている。高速変形荷重装置は、1.38m/sの最大速度で突き上げることができる。この速度を高速とし、中速(0.69m/s)、低速(0.35m/s)の3種類の荷重速度で強制変位量は0.5cmの衝撃力を供試体を与える。なお、供試体には500kgfの重錘が載荷されており、縮尺1/30モデルで約6.4kgf/cm²の初期圧縮応力が与えられている。実験における測定項目は基盤、上部重錘の加速度、供試体各部位のひずみなどである(図2)。

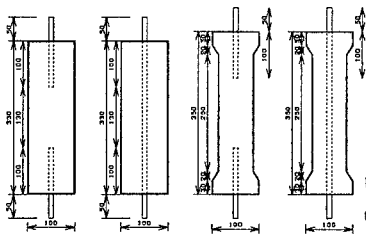


図1 供試体の種類

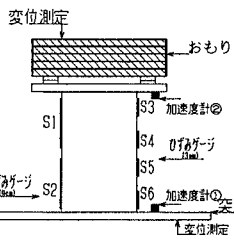


図2 測定項目

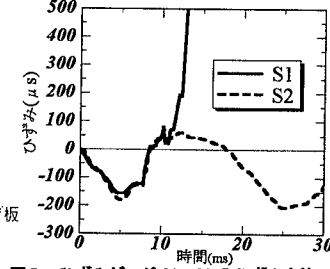


図3 ひずみゲージS1、S2のひずみ応答

3. 実験結果

次に、ひずみゲージS1、S2で得られた応答値を図3に示す。両方とも最初の8msは突き上げによる圧縮ひずみが生じ、S1では13msにおいてひび割れによるデータの発散が見られる。また、ひずみ波形がS1、S2においてひび割れが生じるまで顕著な差異が見られないことから、変形の伝播速度は非常に速いものと考えられる。

4. 数値計算

今回、解析対象とした実験は縮尺1/30の供試体に高速で突き上げた場合である。図4に解析モデルを示すが、供試体形状、衝撃荷重による変形共々軸対称であるため、軸対称解析用の要素が使用されている。ボルトの存在する部位は剛性を高くしており、軸方向にのみ剛性を持っている。ここでは、鉄筋は弾-完全塑性材料であり、ヤング率 $2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.3、質量密度 0.8t/m^3 、降伏応力 3500kgf/cm^2 。コンクリートはひび割れの発生を考慮した低引張材料としており、ヤング率 $3 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.17、質量密度 0.24t/m^3 、降伏応力 175kgf/cm^2 、限界引張応力 24.8kgf/cm^2 となっている。引張限界強度に達する

Keyword: 衝撃突き上げ

連絡先: 〒090 北海道北見市公園町165番地 北見工業大学 工学部 土木開発工学科 大島俊之(Tel.0157-26-9476)

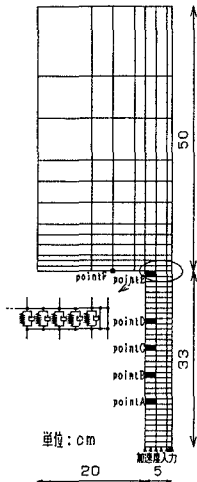


図4 解析モデル

とコンクリートにはひび割れが発生し伝達する応力は減退するが、軟化を考慮しているため直ちにゼロとはならない。軟化に入ったときの残留ひずみをひび割れのひずみとしている。本報告中の解析モデルの破壊状況はこのひび割れひずみ(クラックひずみ)の大きさをパラメータとして評価する。荷重は、下部の全節点に図2の加速度計①で得られた加速度を入力する。プログラムは加速度を積分して変位を計算し、これを強制変位として節点に与える。時間積分法はニューマークβ法($\gamma=1/2$, $\beta=1/4$)、時間ステップは $10\mu s$ である。次に、境界条件の設定であるが、まず、初期に供試体に加わる圧縮力を得るため上載重錘の質量($0.52t/m^2$)に重力加速度($9.8m/s^2$)を与えた。これを与えないと、図7で示される初期の圧縮ひずみが得られない。なお、上載重錘の質量は円周方向に体積を持ったとき $500kgf$ となるように決定されている。また、供試体と上載重錘の接合部であるが、これは実験の状況から上載重錘の節点と供試体の持つ節点をダッシュポットとバネで接続している。但しボルトと重錘はほぼ剛結なのでこの部位は同じ節点を共有する(図4)。この境界条件によってひずみ応答が変化することが分かっているので、試行錯誤によって実験値に近くなるバネ定数、減衰係数を調べた結果バネ剛性 $=400tf/m$ 、減衰係数 $=2.0tf\cdot s/m$ となった。解析結果を図5に示す。この図で示されるひずみ履歴は図4中に示されるpointA~Eで出力されたものである。10ms間での圧縮ひずみは各点でほぼ同じ

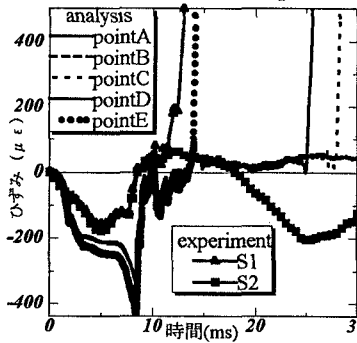


図5 ひずみ応答(数値計算結果)

(図3)で見られるひずみの引張反転後のさらなる圧縮側への転移が全く得られていないことから、数値解析では、引張反転後の圧縮力が低く評価される傾向があるためといえる。しかし、クラック発生分布をみると実験結果とほぼ一致しており、ひび割れの発生をシミュレーションするという目的は達した。なお、試行錯誤によって決定した境界条件の妥当性を確認するため低速衝撃実験についても同様の計算を行った結果ひずみ応答が実験値と概ね一致する結果が得られた。

6. まとめ

軸方向衝撃載荷実験で得られた輪切り状ひび割れを数値計算で再現するため、FEMによる衝撃応答解析を行った。衝撃突き上げに伴う供試体の変形挙動は上載重錘の圧縮力に大きな影響を受ける事を確認し、数値解析上での重錘-供試体間の境界条件を本報告では高速衝撃載荷実験のシミュレーションを行い、試行錯誤を繰り返すことにより決定している。これにより、下部から入力される荷重が上載重錘の圧縮力を上回って、供試体内部の応力が引張に転移するまでの挙動を再現できた。また、低速衝撃載荷実験のシミュレーションを行うことにより、この境界条件の妥当性を確認した。

参考文献

- 1) 別府、香月、石川：衝撃突き上げ実験によるコンクリート柱供試体の輪切り状ひび割れ、第3回落石などによる衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、1996.5
- 2) 防衛大学校土木工学科振動破壊研究室：第一回衝撃突き上げ実験報告資料集、1996.7
- 3) 大島、三上、青地、新井田：繊維強化複合材料中を伝播する軸方向衝撃波の伝播特性、構造工学論文集、Vol.42A、1996