

RC柱の高周波数振動と破壊挙動の考察

熊本大学工学部 学生員 ○坂本健俊 熊本大学工学部 正会員 大津政康
 熊本大学大学院 渡辺 健 熊本大学工学部 正会員 友田祐一

1. はじめに

阪神・淡路大震災では多くの鉄筋コンクリート柱に被害が認められた。その特徴的な終局段階での破壊性
 状も含め、破壊原因については様々な観点から研究が行われており、その1つとして衝撃的な外力である高
 周波数振動の影響が言及されている。そこで、実在構造物で予想される地震時の衝撃応答（高周波数振動挙
 動）を相似律に基づいて考察した。高周波数振動の影響に関する鉄筋コンクリート(RC)柱のモデル実験とし
 て鋼球落下試験を行い、そこでの破壊開始の要因を境界要素法(BEM)の応力解析により検討した。

2. 実験概要

2. 1 相似律

鉄筋コンクリート柱の破壊原因としては、縦揺れ、衝撃的な地震力、ひずみ速度の影響等が指摘されてい
 る。このような動的応答の特徴は時間の効果が含まれることである。従って、実物の挙動をモデル供試体
 より検討するには、相似律による考察は不可欠となる。RC 柱（橋脚）に対象を絞り、橋脚の長さを L 、幅
 あるいは径を h 、橋脚内の弾性波動の伝播速度を v 、周波数を f として次元解析を行った結果、2つの無次
 元パラメータ $\alpha = fL/v$ 、 $\beta = L/h$ が得られた。

2. 2 モデル供試体

RC 橋脚の高周波数挙動を検討するために、
 10cm×10cm×40cm の角柱供試体で無補強
 のものと、かぶり 1.5cm で軸方向に 4 本の
 D10 で補強したものと 2 種類の供試体を作
 成した。従ってこのモデルのアスペクト比は
 $\beta=4$ である。コンクリートの配合を表-1に、
 水中養生 28 日後の力学特性を表-2 に示す。

表-1 配合設計

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				AE 剤 (kg)
	W	C	S	G	
50	172	346	834	1021	0.104

表-2 材料の力学特性

圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
48.5	4.0	33.0	0.21

2. 3 鋼球落下試験

モデル供試体が高周波数の外力を入力するため、鋼球落下を採用することにした。そこで与えられる衝撃
 の接触時間 T_c が衝撃力の周波数成分を決定する。以下の鋼球落下試験で入力される周波数成分の上限は接
 触時間より $1/[2T_c]$ と設定し、目標値は $\alpha=0.1$ である。無筋供試体を直立させ上部先端中央部に高さ 17cm
 から径 3cm の鋼球を落下させた。この場合の周波数入力の上限は 3788Hz となる。ところが、応答を供試
 体高さ方向中央部に取り付けた加速時計で記録し、周波数分析を実施したところ共振周波数は 5120Hz とな
 った。つまり、入力周波数よりも高い共振周波数が測定された。これは入力波の影響を含まない共振である
 ので、これを軸方向の共振周波数として弾性係数を求めたところ、37.3GPa となり表-1の結果より少々大
 きめの値となった。これは、測定時に材齢が 2 ヶ月程度になった影響と考えられる。

2. 4 BEM 解析

手法の検討として、弾性係数の決定に用いた鋼球落下試験の解析を試みた。無筋コンクリート柱を直立さ
 せた場合に、5120Hz で 1N の衝撃力が垂直に作用した場合と同時に水平方向からも作用した場合を解析し
 た。この場合、周波数が非常に高いことより $\alpha=0.51$ となり、 $v=3000\text{m/s}$ で 20m の鉄筋コンクリート柱で
 考えれば 76.5Hz と現実には相当な高周波数の地震力が衝撃的に作用した場合に相当する。その結果、値と
 して垂直力のみによる変位は非常に小さいことが判明した。

3. 鉄筋コンクリート柱の水平方向衝撃力に対する考察

直立させたモデル供試体の BEM 解析結果から、高周波数振動でも水平方向の衝撃力の影響が卓越してい
 ることが認められたことより、供試体を固定し水平力を与える実験を行った。図-1に実験と対応する BEM

解析モデルを示す。図-2に無筋コンクリート供試体で径2cmの鋼球を16cmの高さより落下させた場合の検出波形とその周波数スペクトル解析結果を示す。周波数解析のためのサンプリング時間間隔は100 μ secでサンプリングデータ数は1024個である。この場合、接触時間は $T_c=101 \mu$ secであることより、上限周波数は4951Hzとなり図のスペクトル解析の周波数帯とほぼ一致する。図より500Hz、1500Hz、および2400Hz付近の3箇所に共振ピークが見られる。次に、径7.6cmの鋼球を2mの高さから落下させ高周波数衝撃力による破壊試験を行った。この場合には無筋供試体では接触時間 $T_c=299.4 \mu$ sec、上限周波数が1672Hz、軸鉄筋補強供試体では $T_c=291.6 \mu$ sec、上限周波数が1712Hzとなる。これより α の上限値は0.122、0.125となり、今回の実験で対象とした周波数範囲となっている。鋼球落下試験を無筋供試体および軸鉄筋補強供試体で行った結果を図-3に示す。上図は無筋供試体の1672Hzにおける変位モード図であり、中段は鋼球落下による破断面図、下段は軸鉄筋補強供試体に4回鋼球を落下させた後のひび割れ図である。いずれも曲げひび割れが観測される。

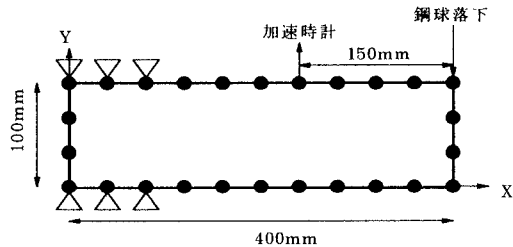


図-1 BEM 解析モデル ($\beta = 3.0$)

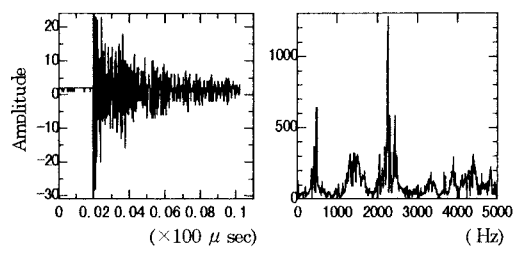


図-2 検出波形と周波数スペクトル

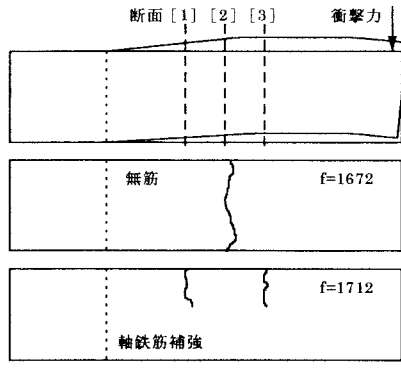


図-3 鋼球落下試験での
変形モードと破壊パターン

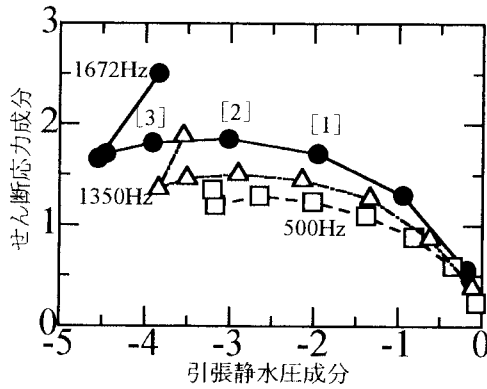


図-4 内部応力分布図

この破壊性状を解明するため、BEM 解析により1 μ joule の衝撃エネルギーが与えられた場合の応力分布を無筋供試体で上限周波数1672Hzと共振周波数500Hz、1350Hzにおいて求めた。その静水圧成分($\sigma_{xx} + \sigma_{yy})/2$ とせん断応力成分 $\sqrt{\left\{\left(\frac{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}}{2}\right)^2 + (\sigma_{xy})^2\right\}}$ のプロット図を図-4に示す。これより、同一入力エネルギーに対し応力は周波数の上昇につれて増大することが分かる。そして、断面[1]、[2]、[3]でせん断応力成分が卓越しており、そこで図-3のひび割れが発生していることが認められる。

参考文献

[1] 白鳥 雅也・桧具 勇・岡村 雄樹：軽い衝撃荷重を受けるコンクリート部材の応答解析、コンクリート工学年次論文報告週, Vol. 14, pp. 679-684, 1922. 6