

せん断スパン比が異なる RC はりの変形量と固有振動数の関係

東北大学 学生会員 ○長谷川 俊
東北大学 学生会員 上田 博之

東北電力 正会員 渡辺 孝和
東北大学 正会員 内藤 英樹
東北大学 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

従来から振動試験による構造物の地震時損傷評価手法が検討されており¹⁾、ひび割れなどの損傷に伴って部材の固有振動数が低下することが報告されている。しかし、固有振動数の低下は、軸力やせん断スパン比、載荷履歴や残留変形などに影響すると考えられるため¹⁾、地震時損傷評価手法を高度化するためには、これらをパラメータとした基礎的データの収集が必要である。

そこで、本研究では、せん断スパン比をパラメータとした RC はり供試体の静的曲げ載荷試験を行い、塑性率(変位/降伏変位)と固有振動数との関係を整理した。本研究では、たわみ振動と併せて部材長さ方向の縦振動も検討し、両者の有用性について考察した。

2. 実験概要

供試体諸元を表-1に示す。せん断スパン比をパラメータとするため、断面高さを250~400 mmまで変化させた。供試体の概略図を図-1に示す。引張鉄筋比は0.54~0.95%であり、曲げ破壊型とするようにスターラップを配筋した。鉄筋およびコンクリートの材料試験の結果を表-2に示す。

載荷条件を図-1に示す。載荷方法は3点載荷および4点載荷とした。3点載荷ではスパン中央に鉛直荷重を加え、4点載荷ではモーメント一定区間を280 mmとした。スパン中央の変位を計測し、表-2の材料特性と引張主鉄筋に貼付したひずみゲージの値から、実験時の降伏変位 δ_y を定めた。載荷パターンは、降伏荷重の半分(0.5 P_y)まで載荷した後に除荷を行い、その後は降伏変位 δ_y を基準として、 δ_y の整数倍の変位まで載荷した。各載荷ステップの除荷後には、振動試験および目視によるひび割れ状況の観察を行った。

振動試験は、0.5 P_y 、1 δ_y 、2 δ_y 、・・・、6 δ_y の各載荷ステップの除荷後に行った。本研究では、スパンの1/4点付近を鉛直加振するたわみ振動計測と、部材端部から長さ方向に水平加振する縦振動計測を行った。加速度

表-1 供試体諸元

供試体名	部材長さ(mm)	断面幅(mm)	断面高さ(mm)	せん断スパン比	載荷形式
S250	1800	200	250	3.5	3点曲げ
D250				2.8	4点曲げ
S300			300	2.8	3点曲げ
D300				2.2	4点曲げ
S350			350	2.3	3点曲げ
D350				1.9	4点曲げ
S400			400	2.0	3点曲げ
D400				1.6	4点曲げ

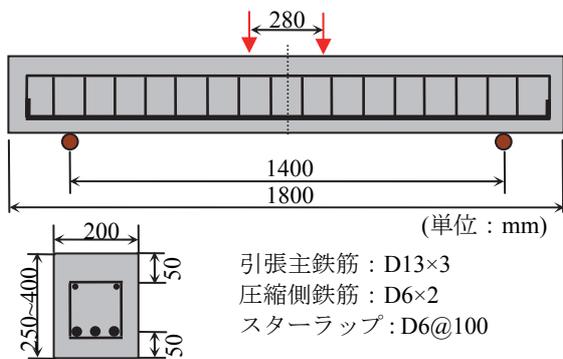


図-1 供試体の概略図

表-2 鉄筋およびコンクリートの材料特性

材料	降伏強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
鉄筋	D6	289	141000	7.8
	D13	326	163000	16.3
材料	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)	動弾性係数 (N/mm ²)	密度 (kg/m ³)
コンクリート	31.8	27800	31800	2300

キーワード：振動試験，固有振動数，損傷評価，たわみ振動，縦振動，せん断スパン比

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL：022(795)7449 FAX：022(795)7448

振幅 5 m/s^2 を一定として調和振動を与えた。加振器稼働部の錘は 0.13 kg である。たわみ振動では周波数 $30 \sim 1200 \text{ Hz}$ 、縦振動では周波数 $500 \sim 2500 \text{ Hz}$ を基本として、加振器の周波数を3分間で連続的に変化させた。計測された供試体の応答加速度から、共振曲線(周波数-加速度関係と位相特性)を得た。使用機材の仕様や実験方法の詳細などは、参考文献2)と同様とした。

3. 曲げ載荷試験の結果

いずれの供試体でも、スパン中央のひび割れが $1\delta_y \sim 3\delta_y$ にかけて大きく開口する傾向が示された。各供試体の $1\delta_y$ の載荷ではスパン中央のひび割れ幅は 0.1 mm 以下であり、目視での発見は容易ではなかった。 $2\delta_y$ 以降はスパン中央のひび割れが上縁付近まで達している。ひび割れが発生する区間は $800 \sim 1000 \text{ mm}$ 程度であり、供試体ごとの大きな差異はなかった。3点載荷では斜め方向のひび割れの割合が多く、4点載荷ではモーメント一定区間において鉛直ひび割れが発生した。

4. 振動試験の結果

横軸に各載荷ステップの変位を降伏変位 δ_y で除した塑性率、縦軸に固有振動数を健全時の固有振動数 f_0 で除した固有振動数の低下率を表し、載荷に伴う固有振動数の変化を整理した。たわみ振動は2次、縦振動は1次の振動モードに着目している。たわみ振動および縦振動の実験結果をそれぞれ図-2および図-3に示す。これらの実験結果より、せん断スパン比が小さい(断面高さの大きい)供試体であるほど、固有振動数の低下が大きく、たわみ振動ではその傾向が顕著であった。また、ひび割れの方法が異なる3点載荷と4点載荷については、固有振動数の低下傾向に明確な差異は見られなかった。図-2より、たわみ振動については、 $2\delta_y$ 以降の載荷によって固有振動数が90%以下にまで低下しており、部材塑性率や損傷程度が推定可能になると考えられる。1次の縦振動では、図-3より $2\delta_y$ 程度までに固有振動数が健全時の60%程度まで低下しており、その後の低下勾配は緩やかになる傾向が示された。これより、1次の縦振動の固有振動数は、 $2\delta_y$ 程度までの損傷評価に有用であると考えられる。特に、目視による外観調査ではひび割れの確認が困難な $0.5P_y$ や $1\delta_y$ の段階でも、縦振動計測によって損傷程度を評価できる可能性が示唆された。

5. まとめ

RC部材の地震時損傷評価を目的とした基礎的検討として、せん断スパン比をパラメータとしたRCはり供試体の曲げ載荷試験と振動試験を行った。その結果、せん断スパン比が小さいほど載荷に伴う固有振動数の低下が顕著になることが示された。さらに、塑性率2程度までは部材長さ方向の縦振動計測によって軽微なひび割れが検知できることや、塑性率2以上に対して2次のたわみ振動計測の有用性が示された。

参考文献：1) 平澤征夫, 古澤誠司, 伊藤和幸：RC高橋脚モデルの損傷過程と振動特性に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.372/V-5, pp.75-84, 1986. 2) 内藤英樹, 齊木佑介, 鈴木基行, 岩城一郎, 子田康弘, 加藤潔：小型起振機を用いた強制加振試験に基づくコンクリート床版の非破壊試験法, 土木学会論文集 E2, Vol.67, No.4, pp.522-534, 2011.

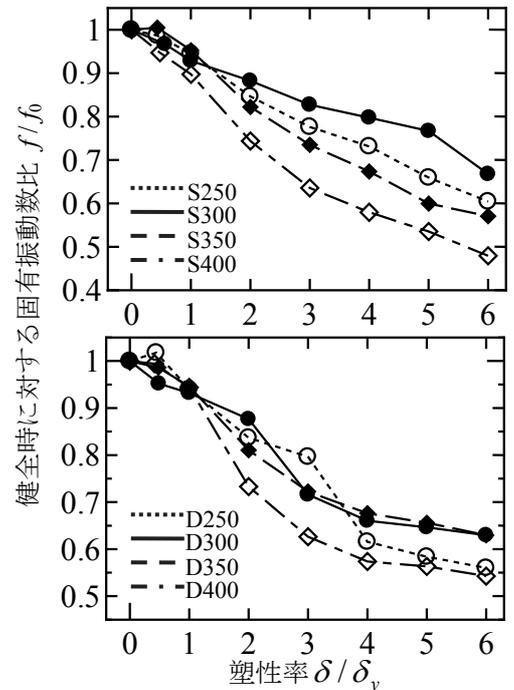


図-2 塑性率と固有振動数の関係 (たわみ振動)

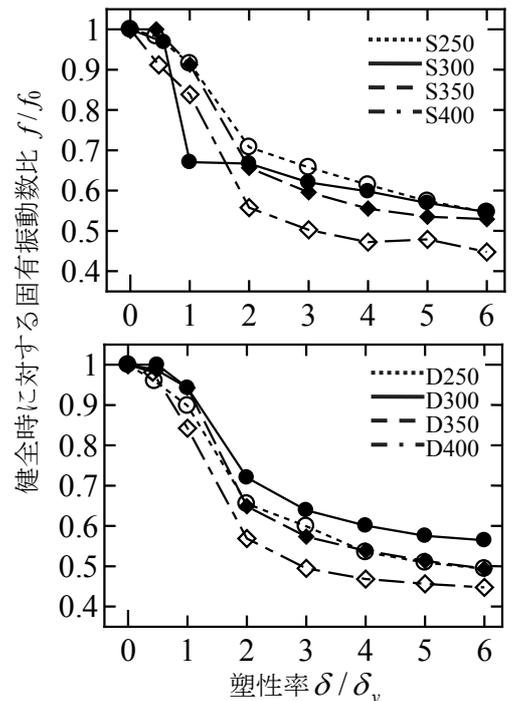


図-3 塑性率と固有振動数の関係 (縦振動)