

振動特性の変化に着目した RC 橋脚の地震時損傷評価に関する基礎的研究

東北大学 学生会員 ○上田博之

東北大学 学生会員 笠原康平

東北大学 学生会員 長谷川俊

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

地震を受けたコンクリート構造物の損傷度、復旧性、安全性などの評価は、部材に生じた最大応答変位に基づいて行われることが妥当である。しかし、RC 部材の復元力などによってひび割れが閉口することがあり、外観目視による構造物のひび割れ調査のみでは、部材の最大応答変位を推定することは難しい。また、橋台・擁壁・カルバートの背面土側や、RC 部材の表面に塗装が施された場合など、目視ではひび割れや損傷状況を確認できない場合も少なくない。これに対して、著者ら¹⁾は振動試験に基づく RC 部材の地震時損傷評価を検討している。

本研究は、3 つの異なる入力波形による RC 柱供試体の振動台実験を行い、柱の最大応答変位と固有振動数との関係を整理する。さらに、上記のような目視困難箇所において地震時の損傷を発見するため、加振器を用いた周波数スイープ試験によって RC 柱の局所的な動的応答の抽出とひび割れ箇所の同定を試みた。

2. 実験概要

(1) 振動台実験

供試体の概略図を図-1 に示す。本実験では同じ諸元の供試体を 3 体作製し、それぞれに異なる入力波形を与えた。供試体のフーチングを振動台に固定し、柱上部の錘の慣性力によって柱に水平力を作用させた。せん断破壊が先行しないように、柱断面には十分な帯鉄筋を配置した。

3 体の供試体に対して、それぞれに sine 波と 2 つの地震波を入力した振動台実験を行った。入力は水平 1 成分とした。地震波は、1995 年の兵庫県南部地震の JR 鷹取駅・東西成分 (以下、鷹取波) および神戸海洋気象台・南北成分 (以下、JMA 波) の観測波とし、時間軸を 1/4 に縮小した。柱基部の損傷を段階的に進展させるため、降伏荷重の半分程度の応答から振動台の性能上限まで、1 つの供試体に対して入力加速度を段階的に増加させて複数回加振した。

(2) 非破壊試験

各载荷ステップ後にハンマーの打撃による衝撃振動試験を行った。着目する振動モードは、たわみ 1 次モードと縦 1 次モード (柱の鉛直方向) である。応答加速度のサンプリング周波数は、たわみ振動と縦振動ともに 5000 Hz とし、たわみ振動はゼロクロッシング法、縦振動はフーリエ解析によって固有振動数を求めた。

さらに、振動台実験の終了後に、加振器を用いた強制加振試験 (周波数スイープ試験) によって柱の局所的な振動特性の抽出とひび割れ箇所の同定を試みた。

写真-1 に示すように、強制加振試験では伝達棒を介して柱の断面幅方向に水平加振した。伝達棒先端の加速度振幅 5 m/s^2 を一定として、周波数を 5000~10000 Hz まで 3 分間で連続的に上昇させた。このとき、加振点付近に貼付した応答加速度ピックアップにより、共振曲線 (周波数-応答加速度関係) を

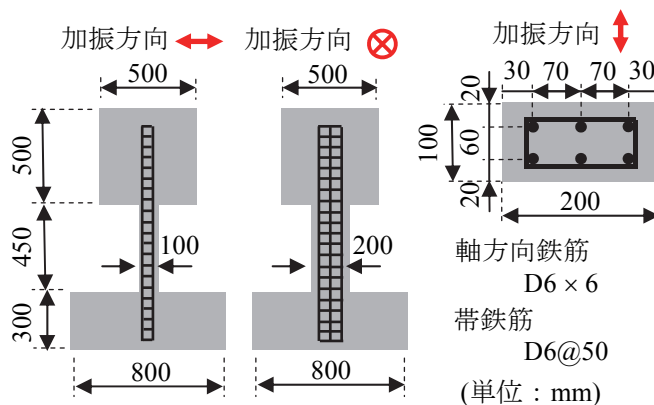


図-1 供試体の概略図

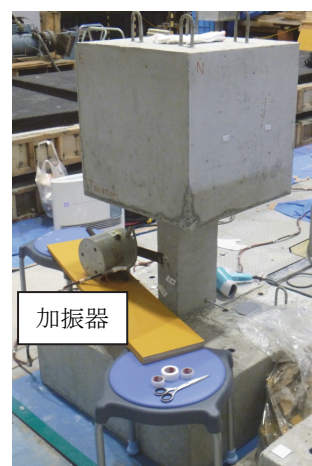


写真-1 局所振動試験

キーワード：RC 柱，振動台実験，固有振動数，損傷同定

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

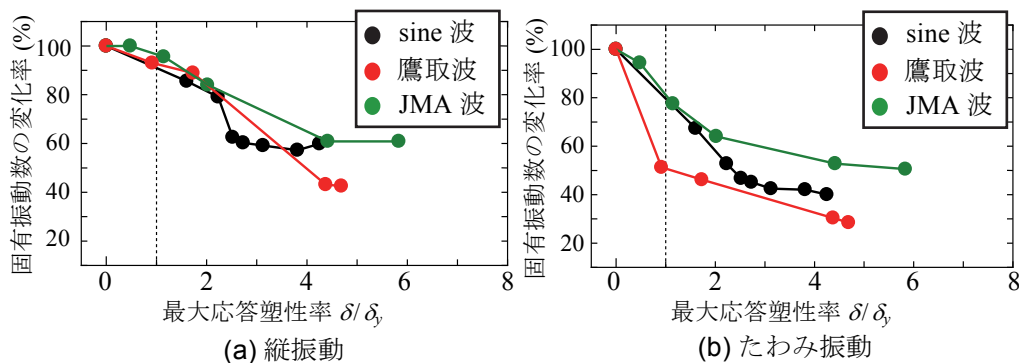


図-2 最大応答塑性率と固有振動数の関係 (柱の全体振動)



写真-2 柱基部の損傷状況 (sine 波入力)

得た。加振および応答測定は、柱上部 (柱と錘の接合部)、中間部、柱基部の 3 箇所で行った。実験方法の詳細などは、参考文献 1), 2) に示した。

3. 実験結果

(1) 最大応答変位と固有振動数の関係

実験終了後の柱基部の損傷状況を写真-2 に示す。いずれの供試体でも、柱とフーチングの接合部において水平方向のひび割れ 1 本が生じており、それ以外の柱区間には損傷は見られなかった。柱供試体の最大応答変位と衝撃振動試験による固有振動数との関係を図-2 に示す。図の横軸は各载荷ステップでの最大応答変位を降伏変位 δ_y で除した塑性率、縦軸は各载荷ステップ終了時の固有振動数を健全時の値で除した変化率を示した。図-2 より、3 つの入力波形の種類によらず、最大応答変位と固有振動数には概ね同様の関係が見られた。このことから、地震動の载荷履歴に依存しない地震時損傷評価の可能性が示唆された。縦振動とたわみ振動は、いずれも健全時から $4\delta_y$ 程度までに固有振動数が健全時の 40~60 % 程度まで低下しており、その後は応答変位が増加しても固有振動数に大きな変化は見られなかった。

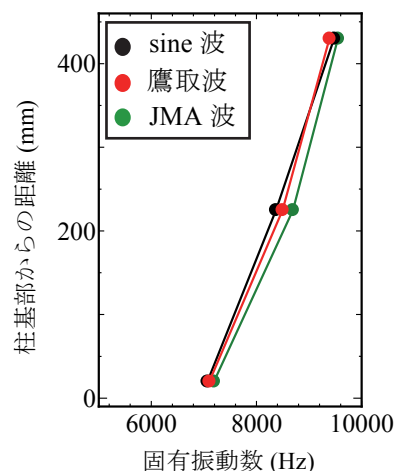


図-3 局所振動試験

(2) 局所振動に基づく RC 柱の損傷位置同定

柱上部、中間部、柱基部のそれぞれで行った局所振動試験の結果を図-3 に示す。なお、コンクリートのテストピース (直径 100 mm, 高さ 200 mm) の物性から計算できる柱の健全時の固有振動数 (厚さ 200 mm の縦振動) は 9276 Hz である。図-3 より、柱上部の固有振動数 (3 体の平均値) は 9471 Hz であり、理論値と良好に対応することが示された。そして、柱上部からひび割れが存在する柱基部に向かって固有振動数が直線的に低下する傾向が示された。中間部の測定結果は、柱基部のひび割れの影響を含んだものと推察される。また、中間部や柱基部の固有振動数は、入力波形に依らずに概ね同様の値となった。これは、図-2 の実験結果とも整合している。

以上より、局所振動試験に基づく RC 柱の損傷位置同定の可能性が示唆された。このことは、コンクリート表面に塗装が施された場合や、橋台・擁壁・カルバートにおいて背面土側からひび割れが生じた場合など、目視では損傷が確認できない箇所の点検に対して有用であると考えている。

4. まとめ

3 つの異なる入力波形を用いた RC 柱供試体の振動台実験を行った。本実験の範囲では、入力波形に依らず、柱の最大応答変位と固有振動数 (たわみ振動・縦振動) は概ね同様の関係となった。また、加振器を用いた強制加振試験によって、柱の局所的な振動特性の抽出と損傷位置同定の可能性が示唆された。今後、目視困難な箇所の点検などへの応用が期待される。

参考文献: 1) 渡辺孝和, 長谷川俊, 内藤英樹, 鈴木基行: 固有振動数の低下に着目した RC 部材の地震時損傷評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No. 2, pp. 901-906, 2012. 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.