

鉄筋コンクリート梁の曲げ載荷試験による損傷と固有振動数の変化

愛媛大学工学部環境建設工学科 学生会員 ○小林 巧

愛媛大学 大学院理工学研究科 正会員 森 伸一郎

1. はじめに

コンクリート橋の損傷評価のために、振動測定の有効性を明らかにすることを目的とした研究が行われている。本実験では鉄筋コンクリート梁(以下、RC 梁)の多段階曲げ載荷試験を行い、力学的損傷の進展と梁の 1 次曲げモードの固有振動数の変化についての分析を行った。

2. 実験対象

図-1 に本実験で用いた RC 梁試験体の正面図及び断面図を示す。RC 梁は幅 64cm、高さ 35cm の矩形断面で下端が 70cm に拡幅されている。また、試験体の長さは 5.5m であり、4 点曲げ試験を行う際に支間長が 5m となるように設置した。D19 の主鉄筋を断面上側に 6 本、下側に 10 本、D10 のせん断補強筋を 30cm 間隔でそれぞれ配置した。この試験体のうち一方は、中央部に深さ 5cm、幅 20cm の欠損を設けてあり、欠損のない梁を試験体 A、欠損のある梁を試験体 B とする。

3. 実験方法

損傷の進展に伴う RC 梁の単純梁としての基本固有振動数の変化を明らかにするために、各載荷荷重段階ごとに載荷器具を全て取り除き、ハンマー打撃振動測定を行う、4 点曲げ多段階載荷試験を実施した。

載荷間隔は 50cm である。図-2 に静的段階載荷計画について示す。計算終局荷重の 70%程度を試験最大荷重として、30kN ずつ各段階最大荷重とする。載荷速度は 10kN/min とし、10kN 増加するごとに荷重とたわみを計測し、クラックの進展を目視でトレースした。

次に振動測定の方法を述べる。図-1 より梁上の同一軸上に振動計を設置した。次に木製の槌で支点間の 1/4、1/2、3/4 地点に減衰を考慮し 25 秒間隔で打撃を行い、打撃により生じた微小な振動を振動計で検出した。振動計は、3 成分の感振器が内蔵された動コイル型速度計 GEODAS (ANET 社製)を用いた。サンプリング周波数は 200Hz、データ長は 60 秒である。

また、波形時刻歴から減衰を考慮し、20 秒間のデータを抽出し、スペクトル解析を行った。

4. 実験結果及び考察

図-3 に荷重たわみ履歴を示す。両試験体について顕著な差異が無いことが確認された。荷重が比較的小さい段階では荷重とたわみはほぼ線形であるが、載荷の進行に伴い次第に非線形に変化し、塑性化が確認できる。さらに載荷の進行に伴い、残留たわみの発生や、除荷時の剛性が最大履歴荷重の増加と共に低下する等の損傷が進展している様子が読み取れる。また、図-4

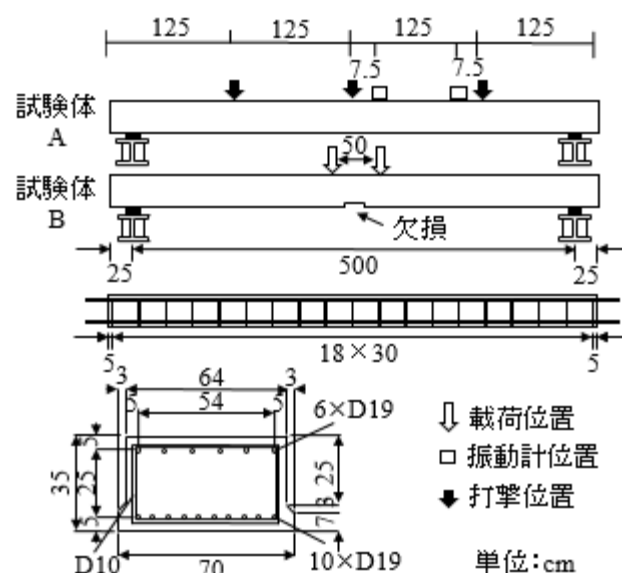


図-1 RC梁試験体の正面図と断面図及び実験方法

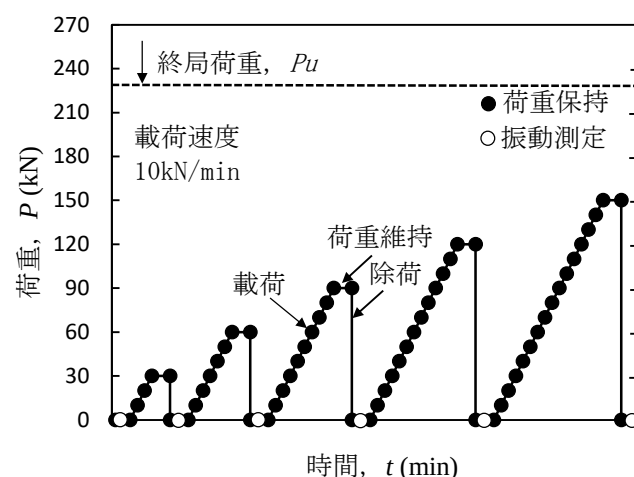


図-2 静的段階載荷計画

より曲げ載荷試験による可視クラックの進展が確認された。以上より、最大履歴荷重の増加に伴う載荷時剛性・除荷時剛性の低下は、残留たわみの増大、可視クラックの進展を因果事象として明瞭に理解できる。

図-5 に各最大履歴荷重とスペクトル解析により得られた1次卓越振動数との関係を示す。最大履歴荷重の進行に伴い試験体 A, B 共に1次卓越振動数の値が有意に低下している様子が確認できる。また、1次卓越振動数のモード形は1次曲げモードであると別途確認済みである。1次曲げ固有振動数は単純梁の場合以下の理論式によって示される。

$$f_1 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (1)$$

(f_1 :1次曲げ固有振動数(Hz), ω :1次固有円振動数(rad/s), L :支間長(m), E :ヤング係数(N/m²), I :断面2次モーメント(m⁴), ρ :密度(kg/m³), A :断面積(m²))

式(1)に基づけば1次曲げ固有振動数の低下は、曲げ剛性の低下に関係すると言える。即ち、損傷の進展に伴い動的に剛性が低下していることを裏付けている。

次に損傷の進展による RC 梁の静的剛性の低下と1次曲げ振動数の低下の関係を考察する。実験結果を一般的視点から議論できるように、それぞれの値を初期値で正規化した。これにより低下率の相関として考察できる。図-6 に正規化1次曲げ振動数と正規化除荷時剛性についての関係を示す。試験体 A, B の1次卓越振動数と除荷時剛性との相関係数が共に 0.996 となり、高い相関がある。これは、固有振動数と剛性の変化に関係が有る事と、動的な剛性の変化と静的な剛性の変化にも相互関係があることを示している。

5. 結論

2つの RC 梁試験体を対象に段階載荷実験を行い、損傷と固有振動数の変化について考察した。得られた結果は以下の通りである。

- (1)段階的な載荷の進行に伴い、損傷が進展し静的に剛性が低下する様子が観測できた。
- (2)段階的な載荷の進行に伴い、固有振動数が低下し動的に剛性が低下する様子が確認できた。
- (3)固有振動数と除荷時剛性、即ち動的な剛性の変化と静的な剛性の変化には正の高い相関関係が有る。
- (4)固有振動数の変化が RC 梁試験体の損傷の程度を示しているといえる。

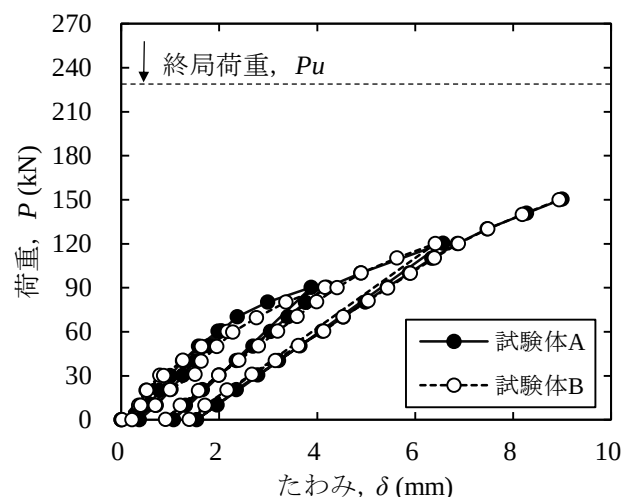


図-3 荷重たわみ履歴

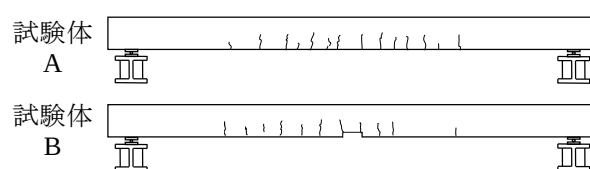


図-4 150kN載荷後のひび割れ状況

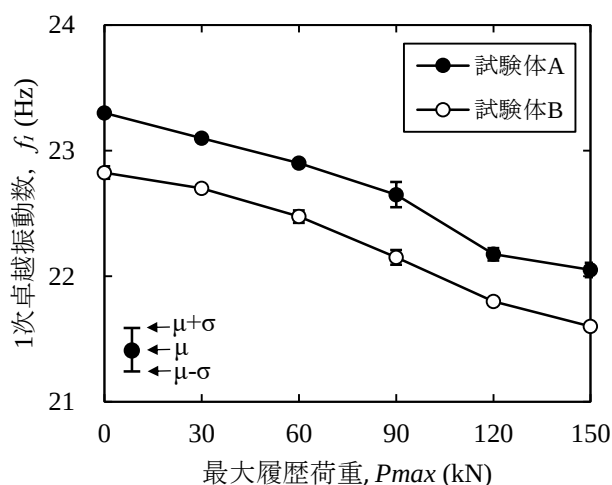


図-5 1次卓越振動数の推移

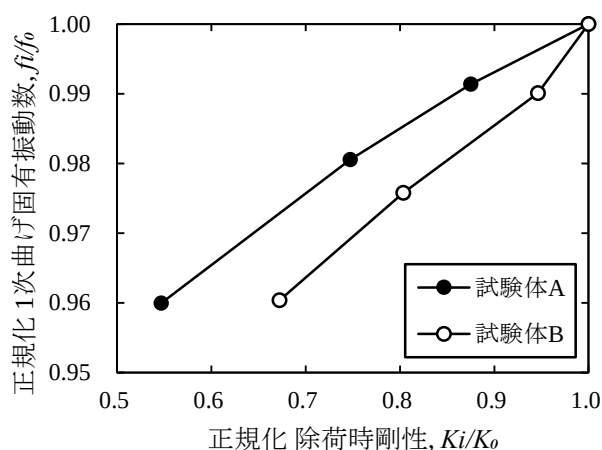


図-6 正規化した1次卓越振動数と除荷時剛性の相関