

史雅藤 加正 名古屋大学

○ 東亞建設工業 正 高木保志

名古屋大学 正 島 田 静 雄

1) はじめに

近年、橋梁の診断の重要性がとげられるようになり、点検や補修に関する研究が新しい課題となつてきている。橋梁の健全度調査の一つとして、振動測定によってその動的性状から診断しようとする方法が以前から試みられてきた。しかし、振動測定をその一方法として広く業務に通用できるようにするには、測定結果の評価基準の確立を計ることが必要である。これにはまず、橋梁が欠陥の発生や老朽化によって、その振動性状にどの程度の変化を生じるかを把握しなければならぬ。

本文は、実在橋梁を対象として振動性状の変化を把握するために、PC橋で破壊に至るまでの静的載荷実験を実施した際に、載荷の各段階ごとに振動測定を行い、その結果について検討を加えたものである。

## 2) 靜的載荷實驗

実験対象とした橋梁は、図-1に示すPC斜材付セル型ラーメン橋で、ポストテンション方式のホロースラブ構造となっている。また垂直材は上下端でメナーゼヒンジ結合である。この実験橋は活荷重TL-14、コンクリートの圧縮強度35.0MPaで設計されており、完成後5年を経過している。

載荷実験は、実験橋の主桁スパン中央の下方に施工されたアースアンカーを反力として、ジャッキ載荷方式で行われた。なお実験前に、図-3に示すように主桁の地覆・壁高欄は切削撤去され、鋪装も全面切削された。載荷は6段階の繰返し載荷で行われ、最終段階では最大予想耐力をはるかに越え、437ton までは載荷されたが、終局には至らなかった。しかし、コンクリートのひずみ、PC鋼材の応力状態からみると終局直前と考えられる。一方、材料試験ではコンクリートコア ( $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ ) の平均圧縮強度は  $527 \text{ kgf/cm}^2$  にも達していた。

### 3] 振動実験

振動実験は、ピックアップと主桁上のスパン中央、 $1/4$ 点、垂直軌真上等に置き常時微動法によって行った。測定は次の4ケースについて実施した。

Case 1 — 載荷實驗直前 (健全時)

Case 2 — 272 ton 載荷後の除荷時

Case 3 — 324 ton 載荷後の除荷時

Case 4 — 434 ton 載荷後，除荷時

実験結果の固有振動数と減衰定数をもとめて表-1に示す。

スパン中央での載荷であることから、振動特性の変化をみると、上下動1次（対称モード）の固有振動数がCase1からCase4に向うにつれ大きく変化している。橋軸直角方向水平動の固有振動数にも同様の変化がみられるが、上下動2次（逆対称モード）および橋軸方向水平動の固有振動数にはほとんど変化がみられない。また、減衰定数はCase4に向って増大する傾向はあるものの誤差等を考慮すると、その変化はわずかである。

振動特性の変化が明瞭な上下動1次と橋軸直角方向水平動の固

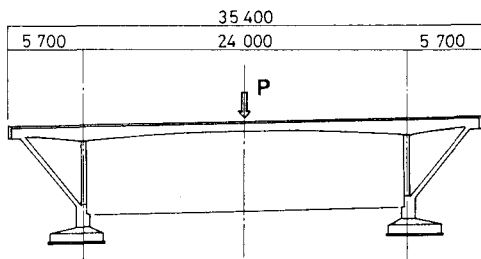


圖-1 實驗橋

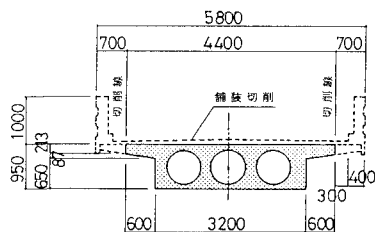


図-2 実験橋のスパン中央断面

有振動数の低下の割合を図示すると図-3のようである。図中で横軸は推定された終局限界荷重で各ケースの載荷荷重を除いたもの、縦軸は健全時 (Case 1) の固有振動数で各ケースの固有振動数を除いたものである。

#### 4) 数値解析による検討

実験結果も数値解析によってシミュレートし、振動性状の変化のメカニズムについて検討を試みた。ここでは面内振動を対象とし、2次元モデルを用いた。検討結果はまとめて表-2に示してある。

健全時の計算では弾性係数は  $5.245 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  としたが、これはコンクリートの圧縮強度を基に推定した値とほぼ一致する。

固有振動数を荷重載荷時の剛性低下がそのまま振動実験時の剛性低下となると仮定すると (計算値(A))、実験値に比して過大な変化を呈するとともに、実験値ではほとんど変化しない上下動2次等も変化し、メカニズムが少し異なると考えられる。

また、スパン中央をヒンジ結合とし他の部分は全て健全と仮定すると (計算値(B))、上下動1次は実験値より過大に変化するが、上下動2次等は変化せず実験値に近い性状を示す。

一方、実験橋はフルプレストレス設計であるため、ひびわれが生じても除荷時にはひびわれは収着する。したがってPC鋼線が降伏するまではひびわれによる断面2次モーメントの減少はほとんど無いと考える。

載荷実験ではCase 4ではじめて主桁スパン中央部のPC鋼線が降伏したこと、Case 4について、主桁スパン中央のひびわれ発生部のみ載荷実験時の剛性低下を用いた場合 (計算値(C))、主桁スパン中央部のみひびわれによって断面2次モーメントを減少させた場合 (計算値(D)) の計算を行った。この結果は両者ともほぼ実験値と一致する。

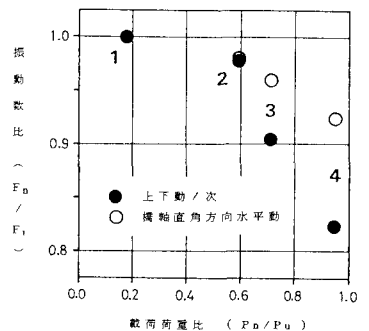
#### 5) まとめ

以上より、次の点が明らかとなった。

- ① スパン中央載荷によって橋梁が破壊に近づくにつれ、この点が振動の腹となる上下動1次 (対称モード) の固有振動数は加速度的に低下する。
- ② フルプレストレスのPC橋梁では、PC鋼材が降伏するまでは動的な剛性の低下すなわち固有振動数の低下は少ないが、PC鋼材が降伏すると急激な低下を示す。このことは、実在PC橋梁のプレストレス力に異変が生じた場合には、振動測定によって発見可能であることを示唆していると言えよう。

表-1 実験結果

| 種 別    | 上 下 動              |       |                     |       | 橋軸方向水平動         |       | 橋軸垂直方向水平動          |       |
|--------|--------------------|-------|---------------------|-------|-----------------|-------|--------------------|-------|
|        | 1 次 (対称)           |       | 2 次 (歪称)            |       | 固有振動数           | 減衰定数  | 固有振動数              | 減衰定数  |
|        | 固有振動数              | 減衰定数  | 固有振動数               | 減衰定数  |                 |       |                    |       |
| Case 1 | 8.96 <sup>Hz</sup> | 0.010 | 18.49 <sup>Hz</sup> | 0.006 | — <sup>Hz</sup> | —     | 7.67 <sup>Hz</sup> | 0.011 |
| Case 2 | 8.78               | 0.012 | 18.48               | —     | 3.92            | 0.013 | 7.42               | 0.018 |
| Case 3 | 8.07               | 0.011 | 18.42               | 0.008 | 4.03            | 0.021 | 7.32               | 0.013 |
| Case 4 | 7.45               | 0.025 | 18.30               | 0.011 | 4.03            | —     | 7.05               | 0.011 |



Pu : 終局限界荷重

図-3 破壊過程における固有振動数の低下(実験値)

表-2 固有振動数の数値計算結果

(単位: Hz)

| 種 別                |        | 橋軸方向水平動 | 上下動1次 | 上下動2次  |
|--------------------|--------|---------|-------|--------|
| Case 1<br>(健全時)    | 実験値    | —       | 8.96  | 18.49  |
|                    | 計算値    | 4.148   | 8.955 | 20.534 |
| Case 2<br>(22%載荷後) | 実験値    | 3.92    | 8.78  | 18.48  |
|                    | 計算値(A) | 3.515   | 6.999 | 20.425 |
| Case 3<br>(32%載荷後) | 実験値    | 4.03    | 8.07  | 18.42  |
|                    | 計算値(A) | 3.193   | 6.130 | 19.759 |
| Case 4<br>(43%載荷後) | 実験値    | 4.03    | 7.45  | 18.30  |
|                    | 計算値(A) | 2.601   | 4.876 | 17.522 |
|                    | 計算値(B) | 4.150   | 6.592 | 20.533 |
|                    | 計算値(C) | 4.089   | 7.393 | 20.402 |
|                    | 計算値(D) | 4.049   | 7.379 | 20.039 |

計算値(A) : 静的載荷実験時の各ケースの剛性低下を用いた場合

計算値(B) : 主桁スパン中央にヒンジを挿入した場合

計算値(C) : 主桁スパン中央のひびわれ発生部のみ、静的載荷実験時の剛性低下を用いた場合

計算値(D) : 主桁スパン中央部のみ、ひびわれによる断面2次モーメントを減少させた場合