

大阪市立大学工学部 正会員 中井 博 大阪市立大学工学部 正会員 北田俊行
 大阪市立大学工学部 学生員 池田 仲裕 阪神高速道路公団 正会員 加藤 泰一

1. まえがき：兵庫県南部地震によって支承が崩壊し、座屈損傷を起こしたアーチ橋の 6 本の上横繫ぎ材の損傷原因を調べるために、文献 1) の研究においては、橋梁全体を骨組構造の有限要素の集合体でモデル化した弾塑性有限変位解析²⁾が行われた。その一環として、本研究では、損傷を起こした上横繫ぎ材のみを取り出し、それらを板構造の有限要素の集合体でモデル化した弾塑性有限変位解析³⁾を行い、文献 1) の検討結果の、再評価、および、より定量的な検討を加えた。

2. 解析モデル、および載荷荷重

(1) 上横繫ぎ材の板要素としての解析モデル：図-1 には、対象橋梁の上横繫ぎ材の配置図、および座屈損傷位置を示す。本研究では、座屈損傷を起こした 6 本の上横繫ぎ材のうち、支材 L_6 、 L_7 、および L_{12} 、ならびに斜材 D_{11} の座屈損傷に着目して解析を行った。これらの部材の断面図を、図-2 に示す。後述の図-5 に示すように、これらの部材は、三角形板要素の有限要素の集合体でモデル化した。ただし、支材の水平補剛材は、弾塑性有限変位挙動が考慮できる梁・柱要素でモデル化している。

これらの支材 L_6 、 L_7 、および斜材 D_{11} の解析モデルには、軸方向圧縮力のみを載荷した。また、支材 L_{12} の解析モデルには、水平軸まわりの純曲げモーメントを載荷した。

なお、対象とする上横繫ぎ材の鋼種が SS400 材であるため、解析モデルの降伏点には $\sigma_y = 2,400 \text{ kgf/cm}^2$ 、ヤング係数には $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、そしてポアソン比には $\mu = 0.3$ を用いた。

(2) 骨組構造の解析モデル：まず、上横繫ぎ材とアーチリブとは、弾塑性有限変位挙動が考慮できる箱形断面の梁・柱要素でモデル化した。また、支承は、剛体要素でモデル化した。なお、崩壊に至った南西側の支承位置がジャッキ架台で支持されたために、この位置における支承条件は、崩壊後も不変とみなした¹⁾。さらに、落下した南東側の支承に代り、ジャッキ架台が貫入した部分の端横桁腹板を、弾塑性バネ要素によってモデル化した。なお、その他の部材は、すべて弾性有限変位挙動のみが考慮できる弾性梁・柱要素でモデル化した。このようにして作成した解析モデルを、図-3 に示す。

つぎに、死荷重 D は、各有限要素の両節点に振り分け、鉛直荷重として作用させた。また、地震荷重は、死荷重に水平震度 k_h を乗じた水平横荷重 $k_h D$ として作用させた。そして、 k_h を漸増させ、解析を行った。

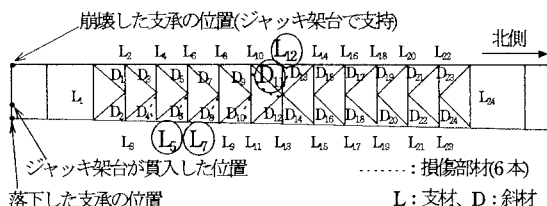


図-1 着目部材位置

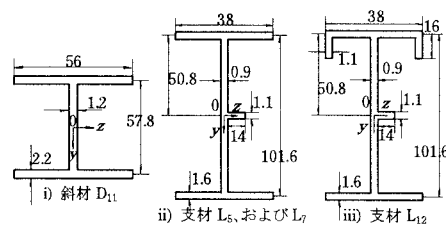


図-2 解析モデルの断面形状(寸法単位: cm)

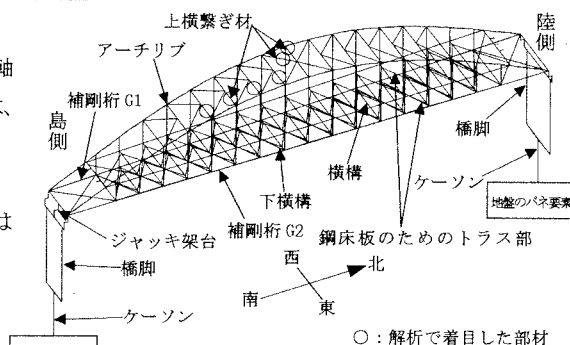


図-3 骨組構造の解析モデル

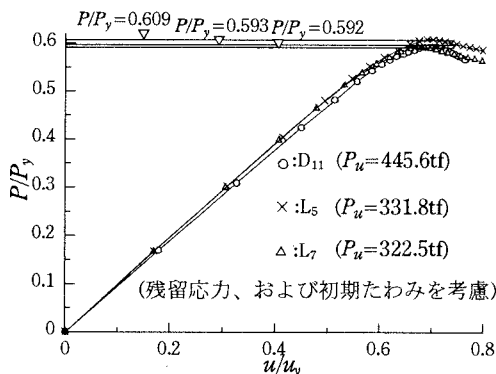


図-4 軸方向圧縮力・軸方向変位曲線

3. 解析結果

支材 L_5 、 L_7 、および斜材 D_{11} の解析結果を、図-4 に示す。この図において、縦軸は軸方向圧縮力 P を全塑性軸力 P_y で無次元化した値を、また横軸は軸方向平均圧縮変位 u を降伏変位 u_y で無次元化した値をとっている。これらの部材は、全塑性状態に至るまでに、柱としての座屈によって終局限界状態に達していることがわかる。

また、支材 L_7 の終局限界状態における変位状況と弾塑性領域とを、図-5 に示す。この座屈モードは、実際の被害状況とよく類似したものである。

さらに、以上の結果と、文献 1) の骨組構造モデルによる解析結果と比較したものを、図-6 に示す。

一方、純曲げモーメントのみを載荷した支材 L_{12} の終局曲げモーメントは、ほぼ断面の全塑性曲げモーメント M_p と一致した。ちなみに、支材 L_{12} に対しては、曲げモーメントに着目した骨組構造としての弾塑性有限変位解析も行った。その結果を、図-7 に示す。

4. 考察とまとめ

- i) 斜材 D_{11} 、および支材 L_7 に対しては、本解析で求められた終局軸方向圧縮力と同等か、あるいはそれ以上の軸方向圧縮力が地震によって作用したことが明らかとなった。すなわち、これらの部材の座屈損傷は、支承の崩壊が起因して発生したものと考えられる。
- ii) 支材 L_9 、および L_{11} は、ともに支材 L_7 よりも長く、これらの支材の終局強度は、支材 L_7 のそれよりも小さいと考えられる。ところが、これらの部材の作用軸方向圧縮力が、支材 L_7 よりも大きいため、これらの部材も、支材 L_7 と同じ理由で座屈損傷を起こしたことがわかる。また、支材 L_5 における作用軸方向圧縮力は、終局軸方向圧縮力よりも小さくなった。しかし、上記の支材 3 本が座屈損傷を起こしたため、支材 L_5 に負担がかかり、この支材も座屈損傷を起こしたと考えられる。
- iii) 支材 L_{12} においては、全塑性曲げモーメントの 4 割程度の曲げモーメントしか作用しない。そのため、文献 1) の解析結果を勘案しても、支材 L_{12} は、支承が崩壊したこと起因する軸方向圧縮力、および曲げモーメントによって、座屈損傷が発生しないと考えられる。したがって、この部材は、支承が崩壊した後のさらに大きな地震力の作用によって座屈損傷を起こしたものと考えられる。この点を確認するために、今後も検討を続ける必要がある。

参考文献

- 1) 中井 博・北田俊行・興地正浩・石崎 浩：大地震により損傷を受けたアーチ橋の損傷原因のシュミレーション解析、土木学会関西支部年次学術講演会概要集、pp. I-16-1～I-16-2、1996 年 5 月
- 2) 北田俊行・大南亮一・丹生光則・田中克弘：ケーブルを用いた鋼橋の耐荷力解析用の汎用プログラム開発、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、日本鋼構造協会、Vol. 13、pp. 89～94、1989 年 7 月
- 3) USSP 研究会：USSP、ユーザーズ・マニュアル、理論編、Ver. 3.0、日本構研情報㈱、1996 年 10 月

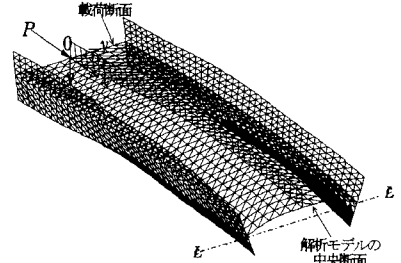


図-5 終局状態における支材 L_7 の変位状況、および塑性領域

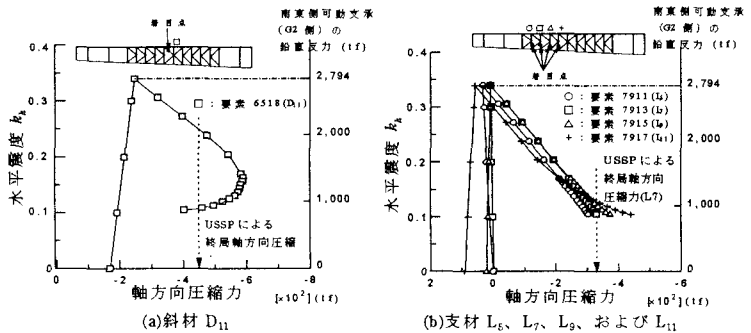


図-6 水平震度と軸方向圧縮力との関係

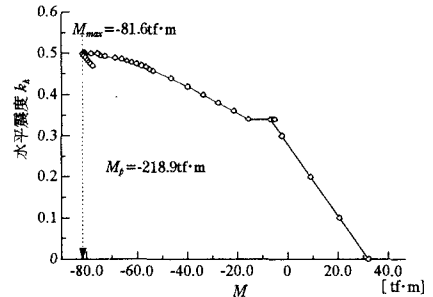


図-7 水平震度と部材 L_{12} に作用した曲げモーメントとの関係