

橋脚と基礎の弾塑性応答を考慮した最適耐震設計

山口大学工学部 正会員 古川浩平
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤忠信
 鹿島建設(株) 正会員 前川智敏

1. まえがき

現在、橋脚の設計においては、道路橋示方書¹⁾では、非線形領域はある一定の安全率により考慮しているが、単に安全率を大きくすることにより大地震に対処することは経済的に不適当であるので、弾性領域のみならず、塑性領域も含めた橋脚及び基礎の動特性を把握し、その結果を設計に反映する必要がある。また、現行示方書では、橋脚を1質点1自由度系として設計されているが、実際には橋脚は、基礎の振動及び地盤の影響を受ける。従って、本研究においては対象RC橋脚を2質点3自由度系にモデル化し、等価線形化手法を使用して、塑性率の期待値を求める。この塑性率を制約条件として、RC橋脚の最適化を行うとともに、設計空間において制約条件及び目的関数の等高線を図示する。これにより、最適解のみならず、最適解近傍の情報をも得た上で、弾塑性応答を考慮した杭基礎-橋脚系の最適耐震設計に関する検討を行う。

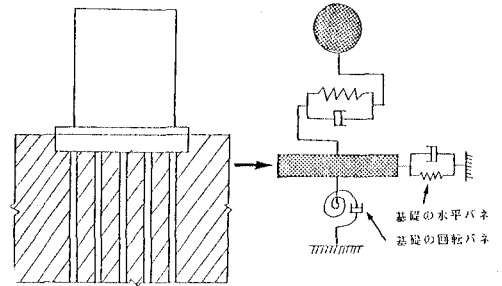


図1 2質点3自由度系モデル (初期剛性)

2. 解析方法

対象とするRC橋脚-基礎系を図-1に示す2質点3自由度系にモデル化する。橋脚躯体については、道路橋示方書「V. 耐震設計編」¹⁾により、橋脚が支持する上部構造部分と橋脚躯体とを1質点で置き換える。その重量は、上部工の重量に橋脚躯体の重量の30%を加えたものとする。フーチング基礎も1質点で表し、基礎の並進・動揺振動の2自由度を考慮する。

対象RC橋脚の履歴復元力曲線には、剛性劣化型のtrilinear型(武藤モデル)を用いる。これは橋脚天端に水平力を作用させた時の水平力と天端変位との関係より求めた²⁾。基礎の動揺振動及び並進振動の復元力特性はHardin-Drnevich型のモデルで表す。このモデルは、骨格曲線を表すもので、動揺振動あるいは並進振動の初期剛性 K_0 と降伏強度 Q_0 の2つのパラメータを用いて表される。

次に等価線形化を行う。橋脚躯体の復元力特性は、前述の通り武藤モデルで表現されるものとし、この武藤モデルの非線形特性を等価線形化し、線形系に置き換える。等価線形化の方法として、最大点剛性を用いる。等価剛性は、履歴曲線において、原点と載荷直線上の最大変位点とを結ぶ直線の勾配で表される。入力としては定常ガウス過程を考えるので、最大応答変位は期待値として評

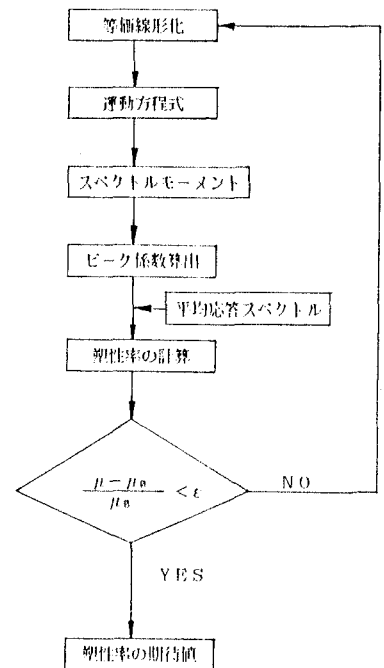


図2 フローチャート

価される。

橋脚と基礎の運動方程式を定式化し、減衰項及び外力項を除いてモード解析を行い、固有モードと固有円振動数 $\{\phi\}_n$ 、 ω_n ($n=1,2,3$)を決定する。次に、スペクトルモーメント及びピーク係数を求める。平均応答スペクトルを用いることにより応答のスペクトルモーメントが求まる。これにより、最大変位応答の期待値を求める。この値を各降伏変位で除して、塑性率の期待値を求める。塑性率の値が初期値と異なればモード解析の最初に戻って同じ計算を行う。これを繰り返して、計算される塑性率がある誤差の範囲内になったら計算を終了する。この解析手順を図-2に示す。

3. 橋脚-杭基礎の弾塑性応答を考慮した最適化

本研究で対象とする橋脚は、現在我国で一般に用いられている鉄筋コンクリート橋脚とした。目的関数には総工費を、設計変数としては、橋軸方向の橋脚躯体幅 d と杭基礎の杭径 D を用いた。制約条件には、橋脚躯体の塑性率 μ_s 、基礎の塑性率(並進振動・動揺振動) $\mu_h \cdot \mu_o$ を用いた。これらの塑性率の値は2.0で述べた方法により求める。本研究では、弾性領域のみならず塑性領域も含めた動特性を考慮しているため、各部材に関する応力の制約条件は考えない。 $\mu_s, \mu_h, \mu_o=3.0$ の各制約条件及び目的関数の等高線の例を図-3に示す。縦軸は杭径 D 、横軸は橋脚躯体幅 d である。この計算では、橋脚高さ15m、杭長25mとしている。

μ_s の制約は縦軸にほぼ平行であり、これは杭基礎の直径の変化による橋脚躯体の塑性率への影響

は小さいことを意味する。次に、基礎の並進振動に関する塑性率は、橋脚躯体寸法の変化及び杭の直径の変化の両方の影響を受けて複雑に変化している。基礎の動揺振動に関する塑性率は横軸にほぼ平行であり、これは橋脚躯体幅が基礎の動揺振動の塑性率へ及ぼす影響が小さいことを意味する。以上のことから、橋脚躯体の塑性率 μ_s は橋脚躯体の形状・寸法によりほぼ支配されていること、基礎の塑性率 μ_h は、橋脚躯体寸法の変化及び基礎の変化の両方の影響を受けること、 μ_o は杭径により支配されていることがわかる。また、これら3つの塑性率 μ_s, μ_h, μ_o の制約条件は非常に複雑な形状を示している。このことは、橋脚や杭基礎のわずかな形状の変化が応答に影響し、その設計が非常に難しいことを示している。

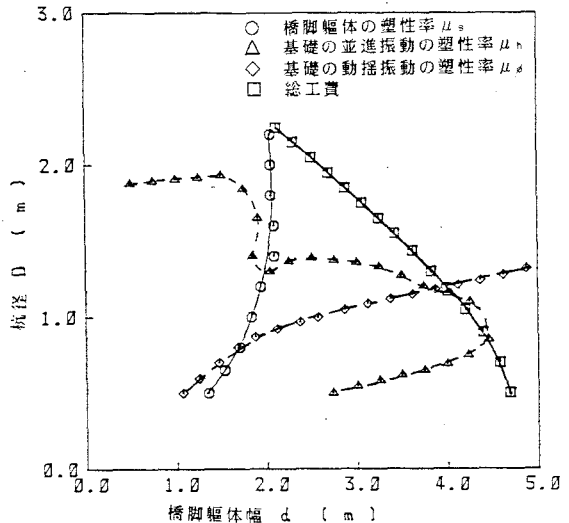


図3 制約条件及び目的関数の等高線

4 結論

本研究においては、現在一般に使用されている鉄筋コンクリート橋脚を2質点3自由度系にモデル化し、等価線形化手法を使用して、塑性率の期待値を求めた。更に、この塑性率を制約条件として、総工費を目的関数として、RC橋脚の最適化を試みた。

本研究により橋脚躯体の塑性率は主として橋脚躯体の寸法に依存すること、基礎の並進振動の塑性率は橋脚躯体及び基礎の変化の両者の影響を受けること、基礎の動揺振動の塑性率は主として杭径に依存することが明らかになった。本研究で求めた橋脚躯体および杭基礎の並進・動揺の塑性率の制約条件は、非常に複雑な形状を示す。このことは、系の応答には橋脚幅と杭径の変化が敏感に反映し、その最適設計が非常に難しいことを示している。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説「v.耐震設計編」，昭和55年5月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説「iv.下部構造編」，pp262~327，昭和55年5月