

鋼製ラーメン橋脚の面内方向耐震性に関する検討

首都高速道路公団 正会員 野村 和嗣

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震における鋼製ラーメン橋脚の被災結果によると、座屈の生じている部分については単柱形式橋脚のような脚柱部だけでなく、様々な部位に渡っていると報告されている。鋼製ラーメン橋脚に大きな地震動が作用したときに生じる損傷は、大まかに1)脚柱部、2)横梁部、及び3)隅角部と分類されるが、この中で特に面内挙動においては、柱のみならず横梁のせん断変形の影響が大きく、これを無視できない場合が多くなると考えられる。

そこで本検討においては、鋼製ラーメン橋脚の横梁部に損傷が予想されるものについて、FEM解析等を実施することにより損傷モードや最大耐力及び変形性能を評価するとともに、その保有性能が地震時における要求性能を満足するものであるかを確認した。

2. 対象とする既設鋼製ラーメン橋脚

首都高速道路における一層の既設門型鋼製ラーメン橋脚590基より今回解析対象となる橋脚を選定した。上部構造死荷重の載荷状態と橋脚形状から分類を行うとともに、梁と柱の剛比($k = (EI_{梁}/l_{梁}) / (EI_{柱}/l_{柱})$)の違いに伴う柱と梁の損傷順序及び形態の相違を考慮し、2次元骨組(弾性解析)モデルによる簡易解析で梁先行損傷と予想されるものから優先して検討を行った。

図-1は今回解析対象となった首都高速道路3号渋谷線に位置する一層の門型鋼製ラーメン橋脚(P33)である。昭和46年に建設された本橋脚には、耐震補強として内部にコンクリート充填(柱基部より約5m)が実施されており、支承についても鋼製から弾性ゴムへの取替えが行われている。

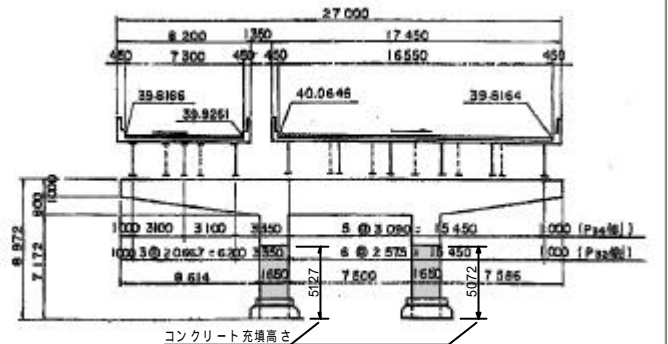


図-1 P33橋脚一般図

3. 解析モデルと解析条件

P33橋脚の全体系解析モデルを図-2に示す。

柱と梁及び隅角部の鋼断面は3次元シェル要素とし、柱部コンクリート充填部については鋼、コンクリートそれぞれの応力-ひずみ関係(材料非線形)を考慮して非線形梁要素(ファイバーモデル)とした。上部構造と橋脚躯体の死荷重を載荷した後、橋軸直角方向(面内方向)に地震荷重(水平荷重)を漸増載荷させるプッシュオーバー解析を行った。なお、プログラムについては汎用有限要素法コードABAQUSを用いている。

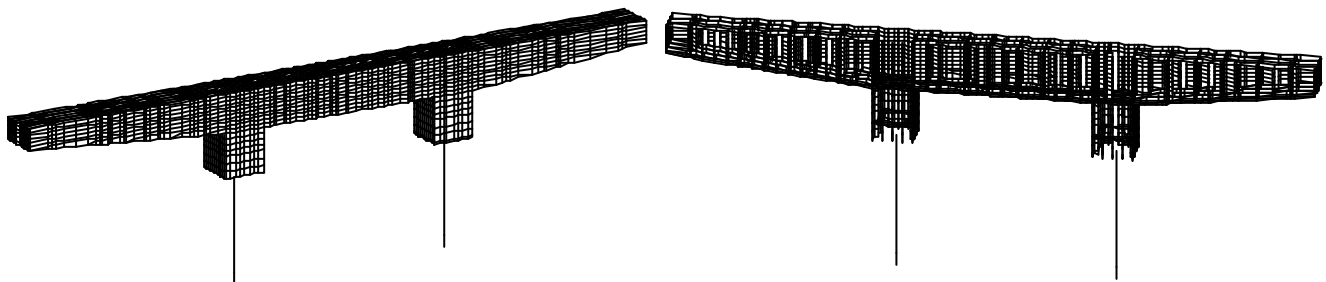


図-2 全体系解析モデル

Key word : ラーメン橋脚, FEM解析, せん断座屈, 保有性能, 要求性能

〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1 TEL 03-3539-9464 FAX 03-3502-2411

4. FEM解析結果による鋼製ラーメン橋脚の損傷状態及び保有性能の評価

P33橋脚の損傷位置は、隅角部から少し離れた中央梁の板厚変化位置となった。ウェブにはせん断座屈が発生し、上下フランジにはウェブの面外変形に伴うものと思われる変形が生じる結果となった。張り出し部の横梁及び左右の柱鋼断面は、塑性化を生じているものの局部座屈は生じていない（図-3）。

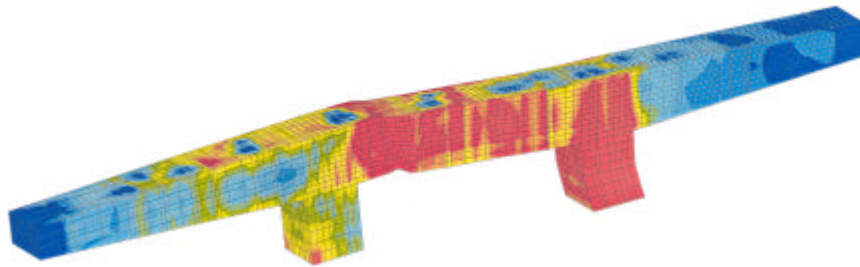


図-3 変形と応力状態（水平変位 318 mm時）

本橋脚については、最終的に横梁に損傷（局部座屈）が生じて、ラーメン全体としては十分な変形性能を有していることが確認された。当初、設計水平震度 $k_h = 約 0.3$ で許容応力度法に基づいて耐震設計された鋼製ラーメン橋脚の系としての降伏水平耐力 k_{hy} は遥かに大きく、また水平変位約 600 mmまでの間に横梁の損傷による耐力低下は現れず、右柱コンクリート充填部は水平変位 267 mm (8.1 y)、左柱は水平変位 352 mm (10.7 y) でコンクリートが終局ひずみ ($\epsilon_{cu} = 1.1\%$) に達することが確認された。

5. 動的解析による耐震性検討結果

非線形動的解析結果によって地震時に要求される性能（要求性能）を評価するとともに、FEM解析によって求めた保有性能と比較することにより本橋脚の耐震性を照査した。動的解析は、FEM解析により得られた水平荷重 - 変位関係を元に作成した等価質量からなる非線形1質点系モデルを用いて行った（図-4）。減衰は鋼部材 1%、コンクリート充填部 2%を見込んでおり、入力した地震動は、道路橋上方書標準波（タイプ1及び2）である。

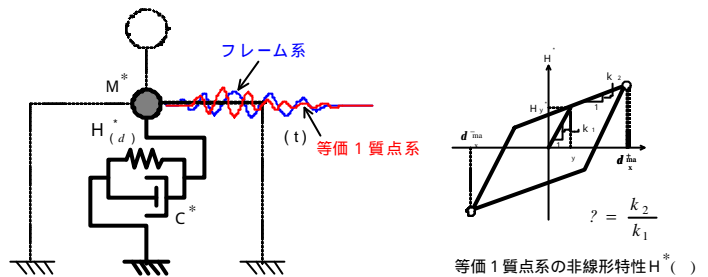


図-4 多自由度系に等価な1自由度系の形成

図-5に示すとおり、P33橋脚の非線形応答は弾性領域を少し超えた程度に留まっており、十分な耐震性を有していることがわかる。系の最大応答から求めた残留変位についても、許容残留変位（ここでは $h/100$ ）を満足している。

6. まとめ

首都高速道路の既設鋼製ラーメン橋脚を対象に、FEM解析によるプッシュオーバー解析（保有性能評価）と非線形動的解析（要求性能評価）を実施した結果、保有性能が要求性能を満足し十分な耐震性を有していることが確認された。今回対象とした橋脚は横梁の剛性及び耐力が非常に小さく、横梁先行損傷型の橋脚を評価する中では最も厳しくなるケースであったものと推測される。このため、これ以外の既設橋脚についても同様の結果が予想されると考えられる。

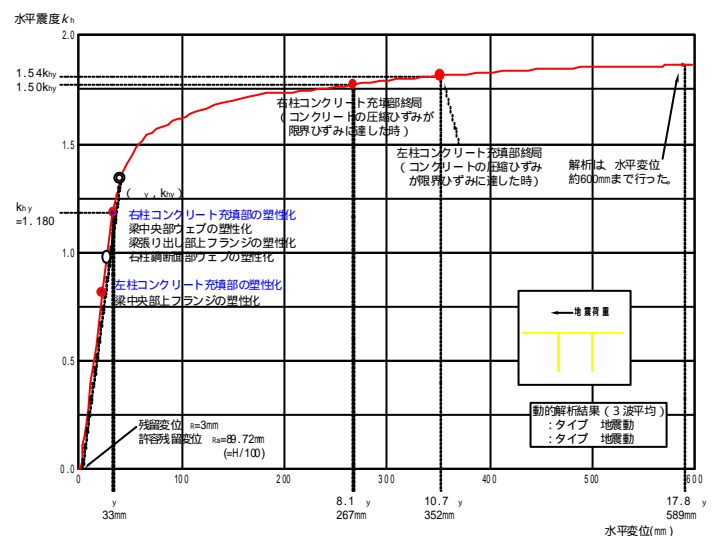


図-5 P33橋脚の動的解析結果（種地盤）