

早稲田大学大学院 学生員 ○水本 崇
 早稲田大学大学院 学生員 岩崎 求起
 早稲田大学大学院 学生員 小玉 乃理子
 早稲田大学理工学部 正会員 依田 照彦

1.はじめに

神戸地震では、構造物の地震時動的挙動に起因する破壊が、橋梁に多大な被害を与えたことは周知の事実である。しかしながら、複雑な構造ではその動的応答は必ずしも明確にされているとは言い難い。そこで、本研究では、2種類の1層1径間鋼製ラーメン橋脚を対象に、汎用 FEM コードを用いて、プッシュオーバー解析を行った後、実物大の鋼製ラーメン橋脚の地震時弾塑性挙動をシミュレートすることを試してみた。2種類のラーメン橋脚を取り上げ、シミュレーション結果を比較検討し、耐震性能（変形性能、最大耐力等）の評価と、部材と構造系の耐震性を調べた。

2.解析モデル

今回の解析では、首都高速道路公団で製作された鋼製ラーメン橋脚実験供試体（高さ：2.94m，幅：4.5m）をモデル化したものと、これを3倍にした実物大モデル（高さ：8.82m，幅：13.5m）を対象とする。1倍モデルでは、プッシュオーバー解析を行い、3倍モデルでは、神戸海洋気象台で観測された地震波の南北方向成分を入力して動的応答解析を行った。

橋脚としては矩形断面を持つ、1層1径間の橋脚構造を採用している。解析に用いた橋脚は図1に示す2ケースである。各ケースとも、シェル要素モデルと梁要素モデルを用いて解析を行っている。Case1は、柱基部と柱上端部を異なる断面とし、梁は柱より先には降伏しない断面である。Case2は、柱に比べて梁が弱い断面である。図1にその特徴を示す。鋼材にはSS400を用いており、その構成則を図3に示す。

モデル化にあたっては、柱基部を完全固定とし、4節点厚肉シェル要素(S4R)および梁要素(B23)を用いた。付加質量はマ要素(MASS)で与えた。シェル要素に関しては座屈破壊の予想される固定部・隅角部周辺は十分に細かく要素分割を行っている。シェル分割に際し

ては、板厚変化点での偏心を考慮して座標値を変化させている。また、梁要素に関しては要素を等分割した。解析は最初のステップで自重解析を行い、その後プッシュオーバー解析および動的解析を行った。

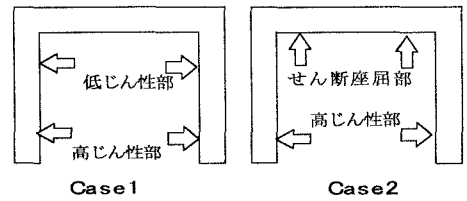


図1. 解析モデルの特徴

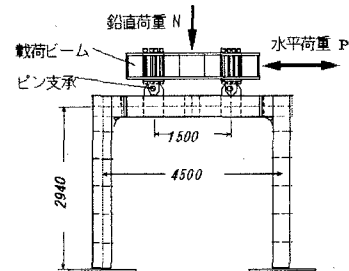


図2. 解析対象 (1倍モデル)

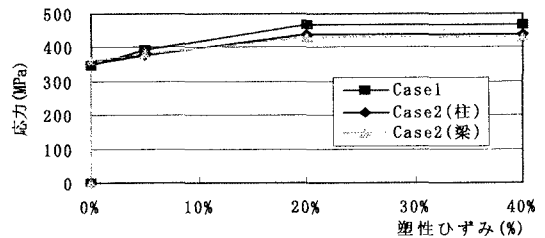


図3. 材料構成則

3.解析手法

実構造物の載荷状態を模擬するため、梁部材に2点ピン支持(実構造物の桁の支点部を想定)の載荷桁を取り付けて、載荷梁に鉛直方向に一定軸力Nを作用させ、水平方向に荷重Pを作用させた(図2参照)。付加質量としては、1倍モデルで34.12tf、3倍モデルでは307.08tf(実荷重に相当)を与えた。解析は最初のステップで自重解析を行い、プッシュオーバー解析では水

平方方向に 0.1[m]強制変位させ、動的解析については時間増分を 0.005 秒にして 10 秒まで地震波を入力し、その後 3 秒間自由振動させた。ここに、水平変位は梁部材のピン支承の水平変位である。

解析コードとしては汎用有限要素法コード ABAQUS (Version5.8) を用いた。非線形動的応答解析では、台形則にわずかに修正を加えた陰解法 Hilber-Hughes-Taylor 法を用い、非線形つり合い方程式を Newton 法で解いた。

4. 解析結果

① プッシュオーバー解析について

図 4 は、Case1 に関する梁要素モデルおよびシェル要素モデルのプッシュオーバー解析結果である。梁要素モデルの方が初期剛性が若干高いがほとんど同じ曲線を描いている。初期降伏変位 δ_y は、実験では $\delta_y = 1.19 \times 10^{-2}$ [m]、梁要素モデルでは $\delta_y = 1.20 \times 10^{-2}$ [m]、シェル要素モデルでは $\delta_y = 1.46 \times 10^{-2}$ [m] となった。

② 動的応答解析結果について

図 5 および図 6 は、それぞれ Case1、Case2 の動的応答解析における梁要素モデルおよびシェル要素モデルの時刻歴変位応答である。10 秒までの地震波入力の際の応答の大きさに関しては、シェル要素モデル、梁要素モデルとも Case1 の方が大きいことが分かり、このことが表 1 に示す解析終了後の残留変位の値の大きさに繋がったことが分かる。図 7 に、Case1 のシェル要素モデルについての相当塑性ひずみコンター図を示したが、橋脚固定部と隅角部直下の柱の板厚変化点で塑性化がわずかに見られる程度である。Case2 については、塑性化した箇所は全く見られなかった。

5. 結論

柱と梁の保有じん性を変化させた 2 ケースについて動的応答解析を行ったが、最大 818gal という大きな加速度を持つ地震動に対しても、多少塑性化するかしなないかの違いがあるだけで、ラーメン構造は、1 本柱に比べて部材的にも構造的にも優れた耐震性能を持つことが分かった。おわりに、数値解析モデルの作成にあたり首都高速道路公団よりデータをいただきました。記して謝意を表します。

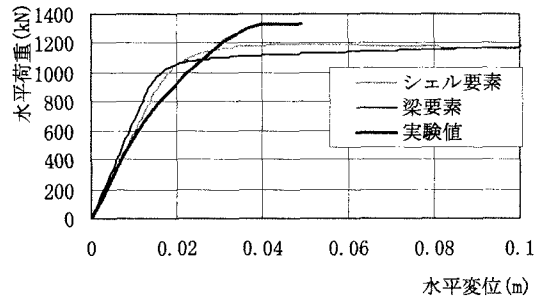


図 4. 水平荷重—水平変位図(Case1)

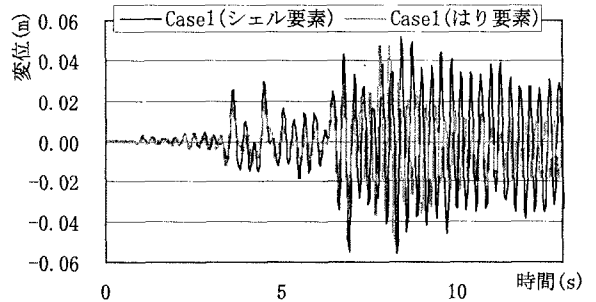


図 5. 時刻歴変位応答(Case1)

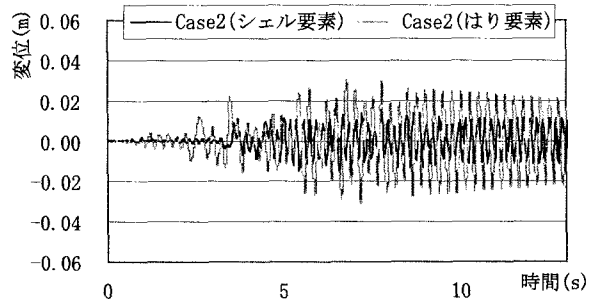


図 6. 時刻歴変位応答(Case2)

表 1. 残留変位 (単位:m)

Case1	シェル	-0.01
	はり	0.00
Case2	シェル	0.00
	はり	0.00

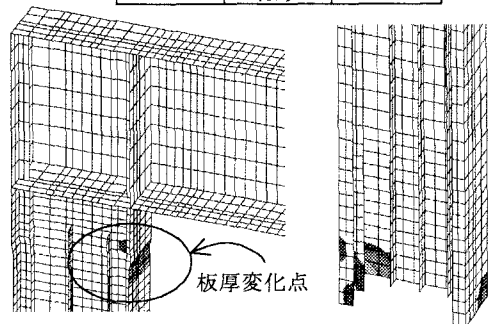


図 7. 隅角部および柱基部の動的解析結果(Case1)

<参考文献>1) 山村啓一、依田照彦: 鋼製円筒橋脚の地震時における局部座屈発生機構について
第 26 回関東支部技術研究発表会 講演概要集、土木学会関東支部、pp.78-79, 1999. 3
2) 小玉乃理子、依田照彦: ラーメン橋脚の耐荷力特性と地震時動的応答解析の数値解析、
土木学会 第 3 回鋼構造の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集、pp.143-148, 2000. 1