

鋼製ラーメン橋脚の地震時の動的挙動に関する数値解析的研究

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	遠藤学史
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	山村啓一
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

現在、構造物の地震時動的挙動に起因する破壊が、土木構造物に多大な被害を与えたことが明らかになっている。しかしながら、複雑な構造ではその力学的機構は明確に解明されているとは言い難い。例えば、ラーメン構造の動的挙動と破壊過程を解明することは重要かつ実用的な課題である。そこで、本研究では、まず鋼製円筒橋脚（単柱）の挙動を研究し、円筒橋脚の解析に対して妥当な結果を得た後、1層1径間の鋼製ラーメン橋脚をモデル化し、汎用有限要素法コード ABAQUS（Version5.7）を用いてプッシュオーバー解析と地震時のシミュレーションを行い、ラーメン橋脚の地震時の挙動、局部座屈などの破壊箇所の特定、耐震性能の評価を行うこととした。

2. 解析モデル

今回の解析では、鋼製ラーメン橋脚実験供試体を解析の対象とする。この供試体は、鋼製ラーメン橋脚の耐震性能を確認するために首都高速道路公団で製作されたものである。橋脚は矩形断面を有し、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ケースとする。Case1は、柱基部と柱上端部を異なる断面とし、梁は降伏しない断面である。Case2は、柱に比べて梁が弱い断面とし、柱の断面は補強後を想定している。また、鋼材はSS400を用いている。

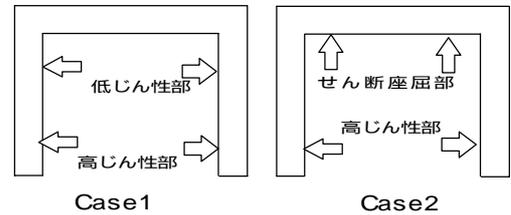


図1. 解析モデルの特徴

解析モデルのモデル化は以下のように行った。柱基部は完全固定、橋脚側面および補剛材は4節点厚肉シェル要素（S4R）および梁要素（B23）を用いた。付加質量はマス要素（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、梁要素に関しては図に示すように要素を等分割した。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応答解析を行った。

地震波形には実際に神戸海洋気象台で観測された地震波の南北方向成分を使用した。最大加速度は、地震発生後約4.5秒付近において約818galである（図5参照）。

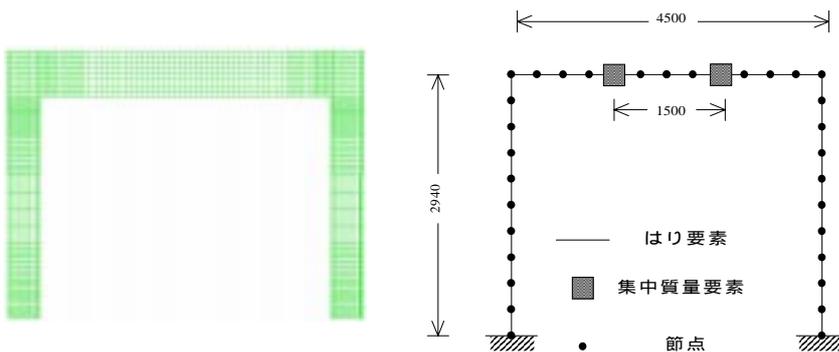


図2. シェル要素モデル図

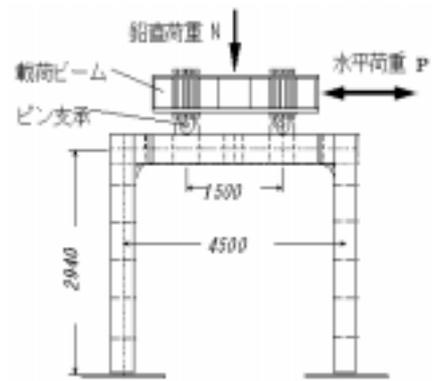


図3. 梁要素モデル図

図4. 実験装置

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 （34.12tf）を作用させ、水平方向にプッシュオーバーおよび動的応答解析を行う。解析コードとしては汎用有限要素法コード ABAQUS（Version5.7）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、非線形釣り合い方程式を

キーワード：鋼製ラーメン橋脚、局部座屈、弾塑性解析、有限要素法解析

連絡先：早稲田大学理工学部 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 Tel&Fax 03-5286-3399

Newton 法で解いた。解析は最初のステップで自重解析を行い、その後地震波による動的解析を行った。時間増分値は 0.005 秒で、ケースによって異なるが 10 秒前後を解析時間とした。

4. 解析結果

図 6 は、プッシュオーバー解析における梁モデルおよびシェルモデルの水平荷重 - 水平変位曲線である。ただし、水平変位はピン支承の変位である。この図より、初期剛性の値はシェルモデルよりも梁モデルの方が大きくなっていることが分かる。

図 7 および図 8 はシェルモデルにおける Case1、Case2 のプッシュオーバー解析の結果である。この図から、Case2 では梁部分にせん断座屈が生じていることが分かる。図 9 は、ラーメン橋脚の動的応答解析について、地震波を神戸海洋気象台の 2 倍、軸力比を 20% とした場合の、解析終了時の変形図(変形倍率 3 倍)である。この図から橋脚固定部と隅角部直下の柱の部分で座屈が見られるもののラーメン橋脚の耐震性能が高いことが分かる。入力条件を変えて動的解析を行った結果、軸力比の影響が大きいことも確かめた。

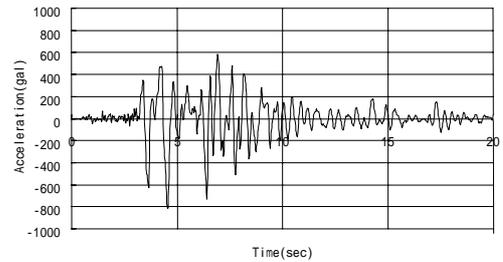


図 5. 神戸海洋気象台観測波 (南北方向)

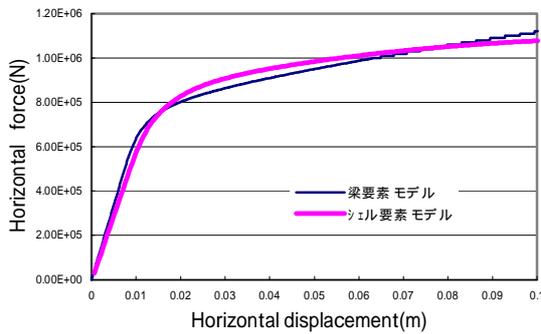


図 6. 水平荷重 - 水平変位図
せん断座屈部



図 7. プッシュオーバー解析図 (Case1)
(強制水平変位=10cm)

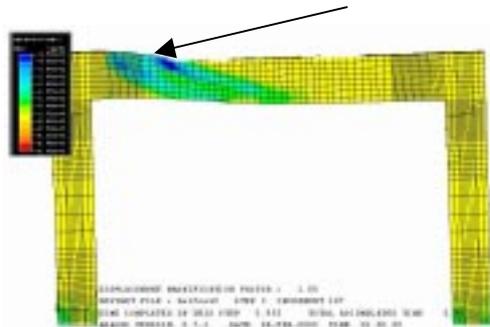


図 8. プッシュオーバー解析図 (Case2)
(強制水平変位=10cm)



図 9. 動的解析結果 (Case1)
(t=13 秒)

5. 結論

鋼製ラーメン橋脚解析に関しては、ある程度妥当と考えられるモデル化ができた。そして、ラーメン構造の耐震性能の高さを具体的に調べることができた。

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。記して謝意を申し上げます。

- <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 回鋼構造物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