

I-590

仮動的実験による鋼製橋脚の地震時弾塑性応答の再現性

関西電力（株） 正員 樋口良典 京都大学工学部 正員 渡邊英一
 京都大学工学部 正員 古田 均 京都大学工学部 正員 杉浦邦征
 京都大学工学部 正員 宇都宮智昭 阪神高速道路公団 正員 南 荘 淳

1. はじめに

強震時における鋼製橋脚の安全性・信頼性を評価するため、弾塑性応答解析・静的載荷実験・振動台実験が従来より用いられてきた。一方、載荷装置、計算機および計測／制御機器の著しい発達に伴って、数学的に解明困難な、あるいはモデル化が非常に複雑な要素の特性を載荷実験より求め、これをオンラインで計算機内に送り込み、全体系の数値解析を行う手法（仮動的実験、ハイブリッド実験、オンライン実験等と呼ばれている）が考案され実用化されてきた¹⁾。本研究では、仮動的実験手法による地震時弾塑性応答の再現性に関して、仮動的実験の応答結果を歪める要因の1つである載荷速度の影響による復元力の変化、つまり材料の動特性を考慮した手法を確立することを目的とする。

2. 実験手法およびその結果

対象とした構造物は、補剛箱型断面の単柱式鋼製橋脚である。標準的な鋼製橋脚柱を1/8にスケールダウンした橋脚モデルに対して、高速載荷実験および仮動的実験を行った。載荷装置を図-1に示す。上部構造物の自重を考慮した一定軸圧縮力および地震力を柱頭に与えた。本研究では、

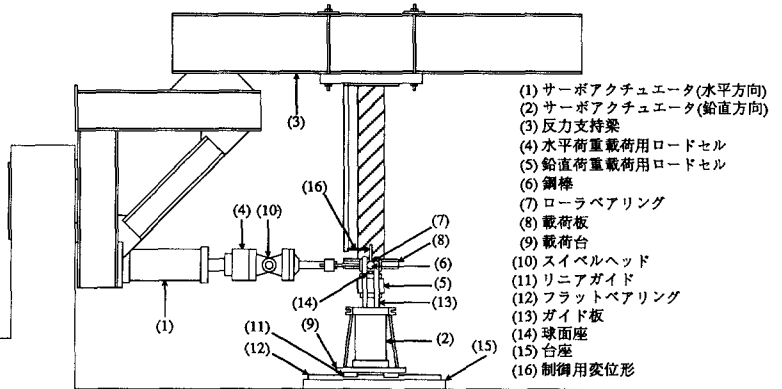


図-1 載荷装置の全体図

図-2に示す橋脚モデルを3体（B1,B2,B3）製作し、載荷速度が構造物の復元力特性およびその地震時弾塑性応答に及ぼす影響を明らかにするため以下に述べる手順で載荷実験を実施した。

まずB1供試体を用いて弾性応答実験を行い、実験システムの精度（変位誤差、供試体の剛性および載荷治具間の摩擦力）について検証した。さらに、同じ供試体を用いて高速載荷実験を行い、仮動的実験の応答結果を歪める要因の1つである載荷速度の影響による復元力の変化を定量的に評価した。つぎに、B2供試体を用いて動特性を考慮しない、従来のままの仮動的実験を行った。最後に、B3供試体を用いて高速載荷実験で得られた結果を復元力特性に取り込んだ仮動的実験を行った。このB3とB2の供試体で得られた応答結果を比較することにより、載荷速度が地震時応答に及ぼす影響について検討した。また、仮動的実験結果とBi-Linear型の履歴モデルを用いた数値解析結果により、仮動的実験の応答結果に含まれる種々の誤差を定量的に評価した。制御方法・入力波形などの詳細は以下のものである。

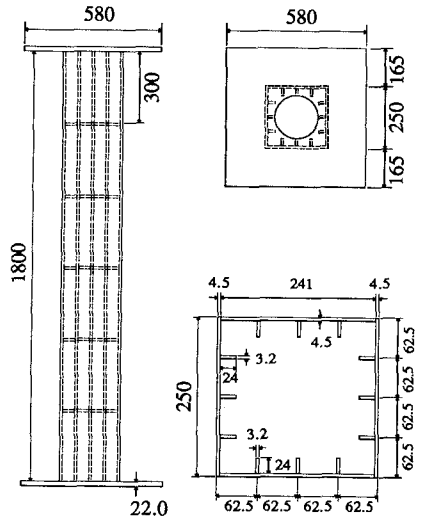


図-2 橋脚のモデル（単位：mm）

(1) 高速載荷実験

目標変位まで所定の變形速度で連続的に載荷し、目標変位に達した後10秒間だけ変位をホールドする。つぎに、方向を反転させ再び目標変位まで連続的に載荷するような波形を繰り返し与えた。変位振幅 $x_0=0.5x_y, 1.0x_y, 1.5x_y, 2.0x_y$ (x_y は初期降伏水平変位)に対して、3種類の変形速度 $\dot{x}=0.2, 2.0, 20.0$ (mm/sec)でそれぞれ3サイクルずつ載荷した。ここで目標変位に達したとき10秒間変位をホールドするのは、目標変位に達した瞬間の復元力の値(R_0)と10秒間の停止後の復元力の値(R_{10})を比較することによって、載荷速度が復元力に及ぼす影響を調べるためである。文献(2)と同様に、載荷速度が復元力に及ぼす影響を考察する際の指標として復元力上昇率を次のように定義する。

$$\beta = (R_0 - R_{10}) / R_{10} \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここで、 R_0 : 目標の変位振幅に達したときの復元力、

R_{10} : 10秒間の停止後の復元力。

図-3にその結果を示す。水平変位振幅 $2.0x_y$ (塑性変形としては $x_p=1.0x_y$)、変形速度20mm/secで最大3.2%の復元力上昇率が得られた。

(2) 載荷速度を考慮した仮動的実験

1質点系の運動方程式の解法には、中央差分法を用い、質点の質量は対象橋脚の一次固有振動数($f=0.928$ Hz)を一致させるよう設定し、2%の減衰を仮定した。また、実構造物と橋脚モデルの縮尺率を考慮し、変位・変形速度・復元力を補正した。復元力特性に及ぼす載荷速度の影響を考慮するため、載荷中計測した復元力を(1)式で定義される復元力上昇率 β で割増して、次ステップでの目標変位を算出した。一般に、載荷速度による復元力の上昇は、降伏時からの塑性変形量に依存するので限られた高速載荷実験結果より補間してこれを考慮した。入力地震波(加速度記録)は十勝沖地震・八戸記録(NS成分)であるが、載荷実験時間の制約より全記録(120秒間)を用いず、最大加速度時を含む10秒間(30秒~40秒)の記録のみを用いた。なお、原記録の最大加速度は264galであり、強度を一定倍することで最大加速度が500galおよび900galとなるよう波形を補正し、3タイプの入力波形を用いてそれぞれ

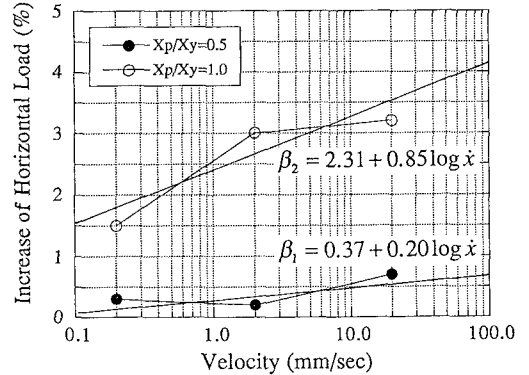


図-3 載荷速度にともなう復元力の上昇

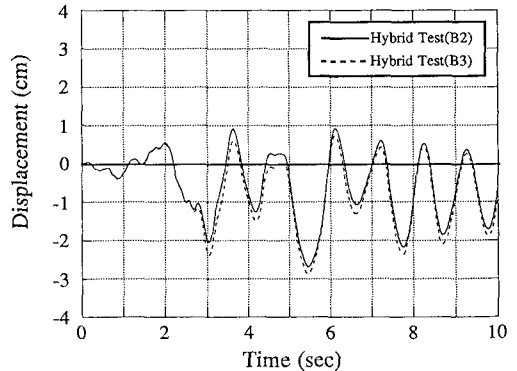


図-4 仮動的実験で得られた変位応答(900gal)

10秒間の地震時応答を調べた。応答変位の時刻歴の一例を図-4に示す。載荷速度を考慮することで応答変位は異なるが、一時的な復元力の上昇を生じて必ずしも応答変位が小さくならないことがわかった。

3. 結論

本研究で得られた主な結果を以下にまとめる。

- 1)変形速度20mm/sec(ひずみ速度で2.3%/sec)で最大3.2%の復元力上昇率が得られた。
- 2)載荷速度の影響による復元力の変化は仮動的実験の応答結果に差異を生じさせるが、必ずしも応答変位を小さくするものではない。さらに、強震時でひずみ速度10%/sec程度生じる場合、今後検討が必要である。

参考文献 1)伯野元彦 他：ハイブリッド実験の応用マニュアル，平成元年度科学研究費補助金(総合研究(A))研究成果報告書，平成2年3月。 2)増田匡 他：鉄骨部材の復元力特性に及ぼす載荷速度の影響，第8回日本地震工学シンポジウム論文集第2分冊，平成2年12月，pp.1389-1394。