

## ハイブリッド載荷実験に基づく2方向地震力を受けるRC橋脚の耐震性

東京工業大学 学生会員 ○永田 聖二  
 東京工業大学 フェロー 川島 一彦  
 東京工業大学 正会員 渡邊 学歩

## 1. はじめに

現在の耐震設計では橋軸方向、橋軸直角方向それぞれに独立して耐震性能を照査し、2方向地震力の同時作用の影響が見込まれていない。2方向地震力を受けた場合のRC橋脚の非線形応答に関する研究は少なく、2方向載荷した場合の載荷履歴が橋脚の耐力および変形性能に及ぼす影響は明らかにされていない。そこで本研究では、正方形断面を有する2体のRC模型橋脚に対して1方向地震力だけが作用した場合、および2方向地震動が同時に作用した場合の地震応答をハイブリッド載荷実験により再現し、現在までに東工大で行なわれた2方向の繰り返し載荷実験の結果も取り入れて、1方向地震力を受ける場合に比較して2方向地震力を受ける場合の耐震性、および繰り返し載荷した場合に比較して地震動で加振した場合の耐震性を検討したのでその結果を報告する。

## 2. 実験供試体および実験方法

ハイブリッド載荷実験および2方向の繰り返し載荷実験に用いた実験供試体は、図-1に示すように400mm×400mmの正方形断面を有するRC単柱式橋脚である。基部から水平アクチュエータの載荷点までの有効高さは1350mm、かぶりコンクリートの厚さは40mmである。また、せん断支間比は3.75である。軸方向鉄筋としてはD13(SD295A)を16本配置し、帯鉄筋としては、D6(SD295A)を50mm間隔で配置した。

実験は東京工業大学の耐震実験施設を用いて行なった。鉛直方向のアクチュエータにより160kNの軸力を荷重制御で加え、橋脚基部から1350mmの位置に取付けた2台の水平方向アクチュエータを用いて水平力を与えた。ハイブリッド実験では、入力地震動として兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で観測されたNS成分およびEW成分をオリジナルの35%に縮小して用いて、1方向入力および2方向入力を対象として実験を行なった。なお、1方向入力した場合にはNS成分を作用させた。以下では、NS成分を作用させた方向をN面、S面、EW成分を作用させた方向をE面、W面と呼ぶ。2方向の繰り返し載荷実験は、同一変位振幅における繰り返し回数を3回とした変位漸増型で行なわれ、円形オービットが用いられている。

## 3. 2方向地震力の同時作用の影響

ハイブリッド載荷実験により1方向にJMA神戸を作用させた場合の載荷終了後の損傷を示すと図-2(a)のようになる。ここには比較のため、2方向同時入力した場合および2方向に繰り返し載荷した場合の結果も示す。この場合、S面からE面、W面に曲げひび割れが伝わる。N面でも曲げひび割れは生じるが、

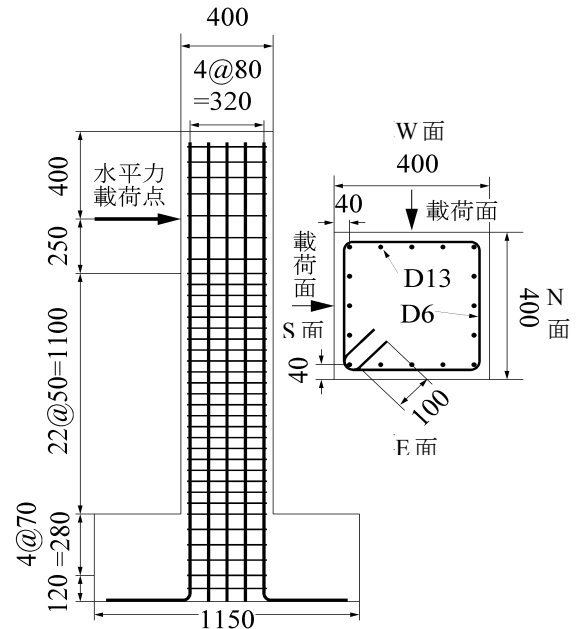
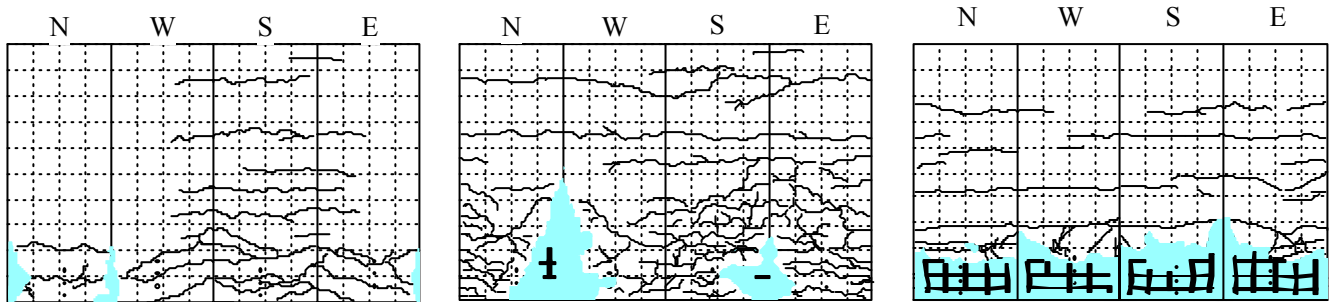


図-1 実験供試体



(a) 1方向加振(実験終了後)

(b) 2方向加振(実験終了後)

(c) 繰り返し載荷(ドリフト3.5%)

図-2 損傷状況

キーワード 2方向地震力, RC橋脚, 耐震設計, ハイブリッド載荷実験, 繰り返し載荷実験, 載荷履歴  
 連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学 川島研究室 TEL 03-5734-2922

ように応答変位が+側(N 面側)に偏っているためである。最大応答変位は+側(N 面側)には 4.3%ドリフト，-側(S 面側)には 1.7%ドリフトであり，**図-4(a)**に示す荷重点における水平力～水平変位関係の履歴曲線によると曲げ耐力の低下は生じていない。これに対し，2方向に JMA 神戸を作用させた場合，**図-2(b)**に示すように橋脚の4面で多数の曲げひび割れが生じる他，N面とW面のコーナーおよびS面とE面のコーナーでコンクリートが剥落する。荷重終了後の調査によると，N面とW面のコーナー付近の軸方向鉄筋が3本座屈している。**図-3**に示す応答変位の時刻歴によると，最大応答変位は+側(N 面側)に 6.2%ドリフト，側(S 面側)に 2.3%ドリフトであり，地震力を1方向に作用させた場合に比較して+側(N 面側)では 44%，-側(S 面側)では 35%大きい。また，地震力を1方向だけに作用させた場合には，残留変位はほとんど生じていないのに対し，2方向同時作用の場合には，N方向に4%ドリフトと大きな残留変位が生じている。**図-4(b)**に示す水平力～水平変位の履歴曲線によると，2方向に地震力を作用させた場合，曲げ耐力はドリフト+1.2%付近で最大耐力 116kN となり，ドリフト+6%付近では 99kN と小さくなっている。

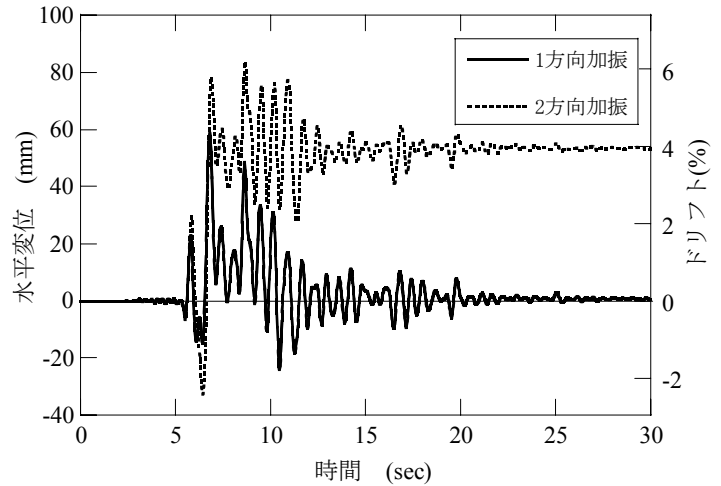


図-3 時刻歴応答変位

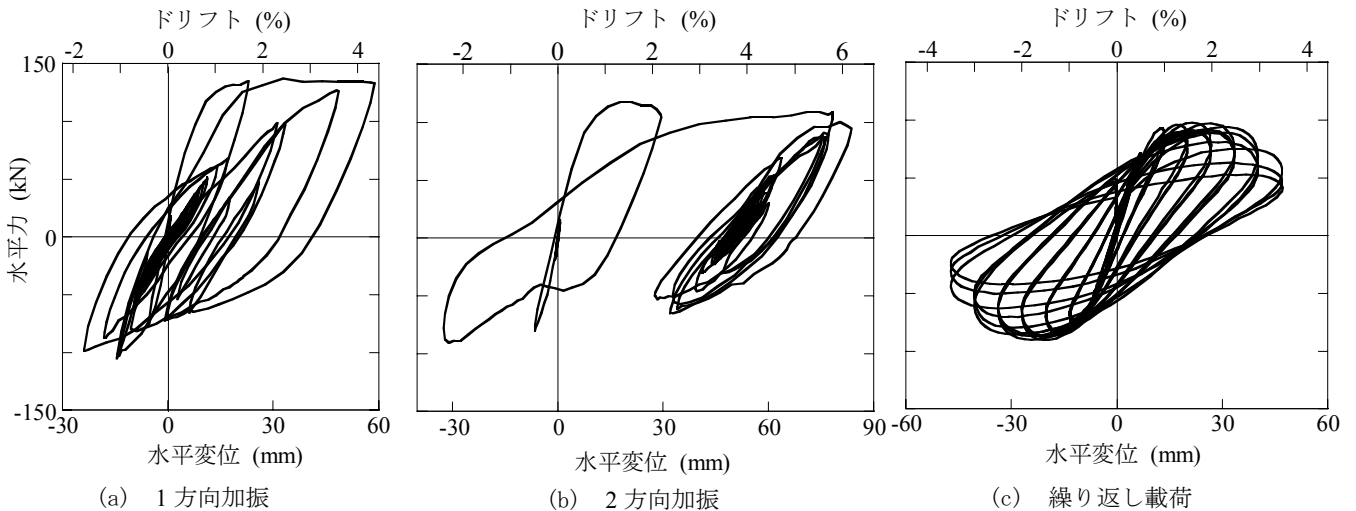


図-4 水平力～水平変位の履歴曲線(NS成分)

#### 4. 荷重履歴がRC橋脚の耐震性能に及ぼす影響

2方向に繰り返し荷重した場合の損傷を**図-2(c)**に示す。繰り返し荷重実験では，1.5%ドリフトで4隅に斜めや縦方向にひび割れが生じ，2.5%ドリフトでは，4隅だけでなく，橋脚の基部全面でかぶりコンクリートが剥落し始める。3.5%ドリフトになると橋脚基部から 200mm 程度の範囲のかぶりコンクリートが全面的に剥落し，全ての軸方向鉄筋が座屈する。ハイブリッド荷重実験した場合に比較して，繰り返し荷重した場合，小さいドリフトでコンクリートにも軸方向鉄筋にも大きな損傷が生じる。この場合の水平力～水平変位の履歴曲線を示すと**図-4(c)**のようになる。これと**図-4(b)**を比較すると，ハイブリッド荷重実験により2方向地震力を同時作用させた場合では，+5.8%ドリフト付近まで曲げ耐力が安定しているのに対し，2方向に繰り返し荷重した場合には，+側(N面側)ではドリフト3.5%，-側(S面側)ではドリフト3%から耐力低下が顕著となる。

#### 5. 結論

- (1)同一変位振幅における繰り返し回数を3回とした変位漸増型の繰り返し実験に比較して，ハイブリッド実験では橋脚の損傷は小さく，耐力の低下も小さい。
- (2)1方向に地震動を与えた場合には，荷重方向に直交する2面から損傷が進展するのに対して，2方向に地震動を与えた場合には，隅角部から4面に損傷が進展し，損傷のレベルも1方向だけに地震動を与えた場合よりも著しい。
- (3)変位制御に基づく繰り返し荷重実験とは異なり，ハイブリッド実験では，荷重に伴い残留変位が生じる。