

コンクリート充填による鋼製橋脚の耐震性能の向上と 2 方向載荷実験

愛知工業大学 学生会員 ○小澤 拓也 愛知工業大学 正会員 党 紀
愛知工業大学 学生会員 木下 光 愛知工業大学 正会員 青木 徹彦

1. はじめに

都市内の高架高速道路には、一般にトラックなどの車両からの衝突により、橋脚の重大な損傷を防止するために、橋脚基部にコンクリートを充填することが多い。基部にコンクリートを充填した鋼製橋脚は、兵庫県南部地震後では、無充填橋脚より損傷が少なく、基部鋼板の座屈が抑制され、耐震性能が向上することが確認されている¹⁾。

過去のコンクリート充填鋼製橋脚の耐震性能に関する研究は、水平 1 方向独立載荷に基づく実験結果や解析によるものがほとんどであり、ハイブリッド実験を用いた研究は比較的ほとんどなく、特に水平 2 方向同時載荷によるものはまだなされていないようである。

著者らは、正方形補剛断面鋼製橋脚に対して、同じ構成断面を有するコンクリート充填橋脚と無充填橋脚の供試体を用い、それぞれ 1 方向載荷と 2 方向載荷するハイブリッド実験を行った。本研究では、これらの実験で得られた結果を用い、水平 2 方向地震動を受けるコンクリート充填鋼製橋脚の応答挙動と耐震性能について検討を行う。

2. 実験計画及び方法

実験で使用した供試体は、材質 SM490、板幅 450mm、板厚 6mm の正方形補剛箱型断面橋脚である。各板パネルに縦方向補剛材（リブ）を 2 本ずつ配置し、鉛直方向に基部から 900mm まではダイアフラム間隔（ a ）= 225mm、それ以降は 450mm のダイアフラム間隔を持つ。供試体基部から載荷点までの有効高さは h_0 = 2400mm である。コンクリート充填および無充填橋脚供試体の側面図、および共通的な鋼断面図を図 1(a)～(c)に示す。橋脚の構成断面の幅厚比パラメータは R_f = 0.13、細長比パラメータは λ = 0.35 である。

図 1(b)に示すように、コンクリートを基部に充填した鋼製橋脚の供試体の充填高さは、コンクリート充填による断面の最大曲げ耐力が約 1.5 倍（ M_{ys}/M_c = 1.5）上昇するとし、下記の式により定めた。

$$h_c = h(1 - M_{ys}/M_c) \tag{1}$$

上記の式(1)による最適充填率は、 $h_c/h_0 \approx 33\%$ と考えられるが、ダイアフラム位置までコンクリートを充填することとし、実際には供試体基部から高さ h_c = 900mm までコンクリートを充填し、充填率は約 40%となっている。充填コンクリートの圧縮強度は、

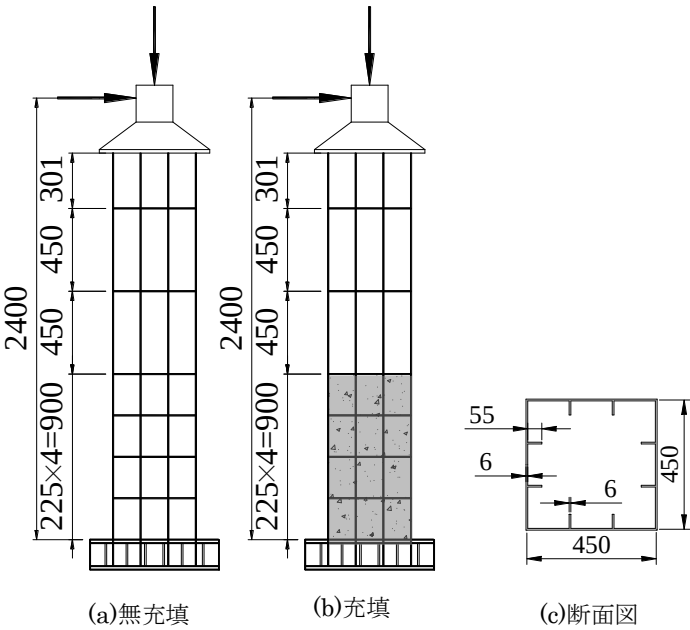


図 1 実験供試体寸法

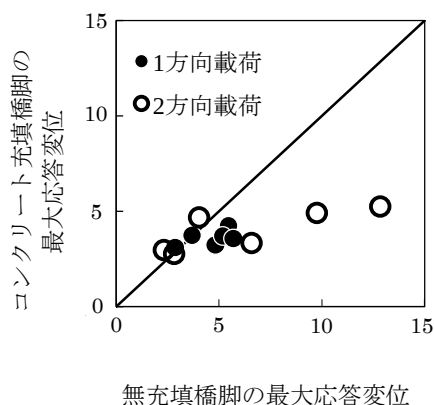
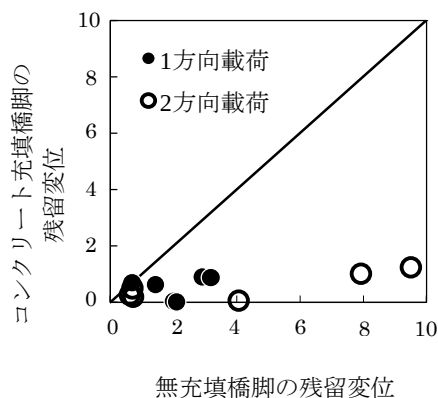
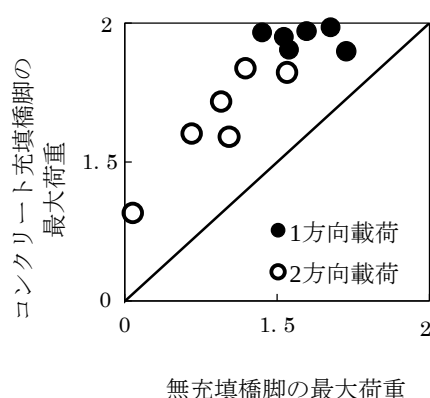
表 1 ハイブリッド実験計画

地震波名	入力方向	地盤種類	最大加速度 (gal)	橋脚種類	載荷方法
JMA	NS	I	-812	コンクリート充填及び無充填橋脚	1 方向及び 2 方向載荷ハイブリッド実験
	EW		766		
JRT	NS	II	687		
	EW		-673		
PKB	NS	III	-557		
	EW		619		

約 21N/mm² である。

ハイブリッド実験では、相似率 $S=4$ を用いる。すなわち想定実橋脚が供試体の 4 倍の大きさとする。想定橋脚の上部質量は、試験体の鉛直荷重 P から、 $m=1048t$ と算出した。想定実橋脚の剛性 $k_0 = 64$ (kN/mm) と固有周期 $T=0.8$ (秒) は、試験体の剛性から相似率を用いて算出し、減衰定数 $h=0.05$ 、減衰係数 $c=0.8$ (kNS/mm) となった。実験で用いる入力地震波、橋脚および載荷方法などを表 1 に示す。

コンクリート無充填の橋脚の 1 方向および 2 方向ハイブリッド実験(計 9 本)の結果は、すでに文献 2) で公

図2 最大応答変位(δ_{max}/δ_0)図3 残留変位(δ_r/δ_0)図4 最大荷重(H_m/H_0)

開されている。著者たちが最近行ったコンクリート充填橋脚の1方向および2方向ハイブリッド実験は、文献2)と同じ载荷方法と実験設定を用いている。

3. 実験結果とその考察

1方向および2方向载荷ハイブリッド実験で得られた結果、すなわち水平2方向地震動を受けるコンクリート充填と無充填橋脚の最大応答変位、残留変位および最大荷重を図2～4で示す。各図中で、1方向と水平2方向载荷の結果をそれぞれ●印および○印で表している。なお、各実験結果は、変位を降伏変位 δ_0 、荷重を降伏荷重 H_0 で無次元化しており、降伏変位と降伏荷重は、あらかじめ行われた静的繰り返し実験による。コンクリートを充填していない橋脚に対して、 $\delta_0=15.0\text{mm}$ 、 $H_0=233\text{kN}$ であり、コンクリートを充填した橋脚において、 $\delta_0=15.0\text{mm}$ 、 $H_0=251\text{kN}$ である。図2～4の対角線は、各実験の値がコンクリート充填した場合と無充填の場合で同じであることを示している。

a. 最大応答変位

図2で実験点はほとんど対角線の右側に位置している。このことより橋脚の最大応答変位は、1方向载荷および2方向载荷ともに、コンクリートを充填することにより大きく低下していることがわかる。最大応答変位の平均値はコンクリート充填橋脚で $3.8\delta_0$ 、無充填で $5.5\delta_0$ である。なお、図中の○印で示されている水平2方向载荷された橋脚の応答に着目すると、無充填橋脚の最大応答変位の平均値は $6.4\delta_0$ であるが、コンクリート充填橋脚の応答変位の平均値は $4\delta_0$ と減少している。静的繰り返し実験での、最大荷重時変位 δ_m は、コンクリート充填および無充填の橋脚に対して、それぞれ約 $4\delta_0$ と $2.6\delta_0$ である。すなわち、コンクリートを充填することにより、コンクリート充填橋脚の変形能力が上昇している。

b. 残留変位

図3に示す残留変位に関する結果から、図中●印で示す1方向载荷実験では、コンクリート充填橋脚の残

留変位は平均 $0.52\delta_0$ であり、コンクリートを充填していない橋脚の残留変位は平均 $2.1\delta_0$ であった。すなわちコンクリート充填により、橋脚の残留変位は75%低減された。2方向载荷された場合、コンクリートを充填することにより橋脚の残留変位の平均値は、 $3.9\delta_0$ から $0.55\delta_0$ まで約86%低減された。

c. 最大荷重

図4に示すように、コンクリート充填により、図中●印で示す1方向载荷された橋脚の最大荷重の平均値は $1.6H_0$ から $1.95H_0$ となり、約23%上昇した。図中○印で示す2方向载荷された橋脚の最大荷重の平均値は $1.3H_0$ から $1.65H_0$ となり、約27%上昇した。1方向载荷されたコンクリート充填橋脚の最大荷重(●印)は、ほぼ一定値を示しているが、無充填橋脚の場合は多少ばらつきが表れている。また、○印で示す2方向载荷されたコンクリート充填と無充填橋脚の最大荷重は、入力地震波によって $1.0H_0$ から $1.8H_0$ まで変化している。

4. 結論

本研究では、コンクリートを充填した鋼製橋脚と無充填橋脚の水平1方向と2方向载荷ハイブリッド実験の結果を用い、コンクリート充填が鋼製橋脚の耐震性能に及ぼす効果について比較的検討を行った。

コンクリートを充填することにより、橋脚の強震時応答と損傷が大幅に低減され、最大応答変位が平均約20%減少し、残留変位は約75%低減された。また、1方向と2方向载荷における応答変位の差も少なくなっている。橋脚の最大荷重は、コンクリートを充填することにより、約23～27%上昇したことも確認された。

参考文献：

- 1) 森下益臣，青木徹彦，鈴木森晶：コンクリート充填円形鋼管柱の耐震性能に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.46A，pp.73-83，2000年3月
- 2) 党紀，中村太郎，青木徹彦，鈴木森晶：正方形断面鋼製橋脚の水平2方向载荷ハイブリッド実験，構造工学論文集，Vol.56A，pp.367-380，2010年3月。