

無充填区間を設けるコンクリート充填工法による既設鋼製橋脚の耐震補強法に関する実験的研究

大阪市立大学工学部 学生員 中原嘉郎
 大阪市立大学工学部 正 員 松村政秀
 大阪市立大学工学部 正 員 北田俊行
 阪神高速道路公団 正 員 澤登善誠
 福井工業大学 正 員 中井 博

1. まえがき 基部定着部のアンカーボルトの耐力に十分な余裕のない既設鋼製橋脚の耐震補強方法としては、補剛板および縦補剛材を補強する工法が採用されている。しかし、この方法はコンクリート充填補強に比べ、必ずしも経済性・施工性で有利とは言えない。そこで、本研究では、図-1 に示すように、中埋めコンクリート上方に隙間を設けてコンクリートを追加充填する耐震補強工法を提案している。3 体の実験供試体を用いて漸増繰返し水平変位載荷実験を行い、その妥当性を検討している。

2. 実験供試体の設計 実験供試体には、文献 1) に規定される補強が必要な断面（図-2 参照）、すなわち縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ R_R 、補剛板全体の幅厚比パラメータ R_F 、および縦補剛材の幅厚比パラメータ R_S を、それぞれ 0.638、0.468、および 0.589 の断面を採用した。また、中空コンクリート充填補強法の補強効果に大きな影響を及ぼすと考えられる、下記の 3 つの長さを考慮し、図-3 に示す 3 体の実験供試体（C02-L/5、C04-L/5、および C04S-L/5）を、製作した。すなわち、①中埋めコンクリートの充填高さ L_n ：実橋脚の中埋めコンクリートの充填高さを参考に $L/5$ （ L ：橋脚高さ）とした。②中空間隔、すなわち補剛板の板パネルのアスペクト比 α_s （ $= L_d/b$ ）：弾塑性有限変位解析による結果を参考に、鋼断面に局部座屈が生じない、 $\alpha_s=0.2$ を採用した。また、中空間隔の補強効果に与える影響を調べるため、 $\alpha_s=0.4$ も採用した。さらに、図-4 のように $\alpha_s=0.4$ で中空部分の縦補剛材の下端を削ったモデルも採用した。③追加充填コンクリートの高さ：文献 2) を参考にし、すべての実験供試体において、鋼断面に局部座屈が発生しない高さ（ $=2L/5$ ）とした。表-1 には実験供試体の主なパラメータをまとめており、比較対象として、文献 3) の無補強の実験供試体 CEO-1 の主なパラメータも並記している。なお、追加充填コンクリートおよび中埋めコンクリートは、それぞれ既設のダイアフラム、および本工法のために追加するダイアフラムにより上下で密閉され、それらの充填効果を高めている。

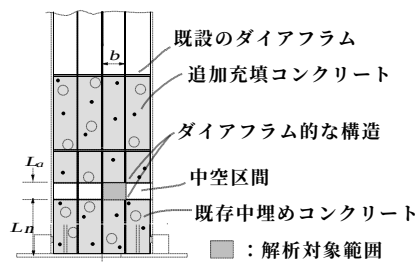


図-1 中空コンクリート充填補強工法の概要

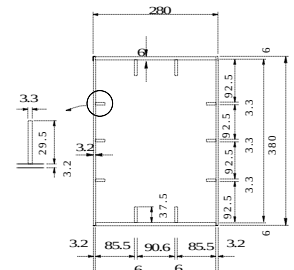


図-2 実験供試体断面図（寸法：mm）

表-1 実験供試体の幅厚比パラメータおよび縦補剛材剛比

主なパラメータ	実験供試体 C02-L/5 C04-L/5 C04S-L/5	CEO-1
既設の縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ R_R	0.638	0.616
補剛板全体の幅厚比パラメータ R_F	0.468	0.471
縦補剛材の幅厚比パラメータ R_S	0.589	0.564
縦補剛材剛比 γ_s / γ_s^*	2.028	1.856
作用軸方向圧縮力 N/N_Y	11%	11%
鋼材の降伏点 σ_Y	285.2 N/mm ²	287.1 N/mm ²
中埋めコンクリートの目標強度 σ_{ck}	18 N/mm ²	-
中埋めコンクリートの充填高さ L_n	$L/5$	-

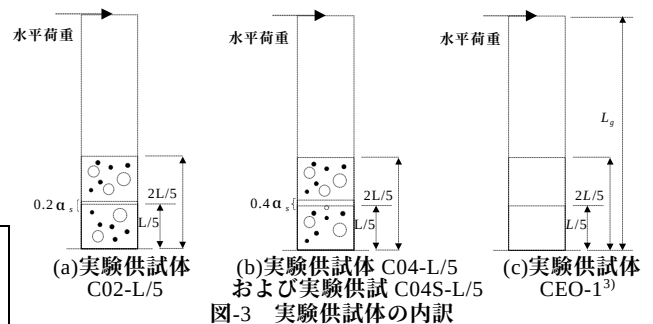


図-3 実験供試体の内訳

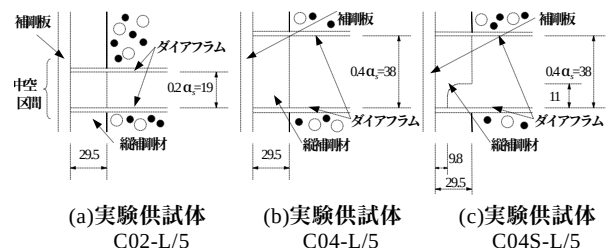


図-4 中空区間の縦断面図（寸法：mm）

3. 漸増繰返し水平変位載荷実験 荷重の載荷は、作用軸方向力 N （上部構造物の死荷重を想定し、鋼断面の全塑性軸方向圧縮力 N_Y の 11%）を一定とし、供試体頂部に $\pm n \delta_Y$ （ $n=1,2,\dots$ ）づつ漸増水平変位 δ を作用させ

Key Words：既設鋼製橋脚，耐震補強，漸増繰返し載荷実験，塑性率，強度上昇率，コンクリート充填鋼製柱
 連絡先：〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学工学部土木工学科

TEL06-6605-2735 FAX06-6605-2765

る繰返し載荷実験を行った。

図-5 には、一例として実験供試体 C04S-L/5 の曲げモーメント-回転角曲線を示す。ただし、繰返し回数の増大にともなう、2 種類の履歴特性が見られた。そこで、鋼断面特有の紡錘型のヒステリシスを描く前半と、RC 断面特有の S 字型を描く後半とで分けて示している。同図の縦軸は、中空区間下端に作用する曲げモーメント M を、コンクリートを充填しない鋼断面のみからなる実験供試体 CEO-1 の降伏曲げモーメント M_{YO} で無次元化したものである。また、横軸は、頂部の回転角 $\theta_o (= \delta_o/L_g)$ を各実験供試体の降伏回転角 $\theta_{YO} (= \delta_{YO}/L_g)$ で無次元化したものである。ここで、 δ_o および δ_{YO} は、それぞれ供試体基部の弾性ばね変形による、剛体変形を取り除いた水平変位および降伏水平変位を、また L_g は供試体基部から水平荷重の作用位置までの高さを示す。つぎに、図-6 には、すべての実験供試体の塑性率および作用最大曲げモーメントを比較するため、各載荷サイクルの正側および負側の曲げモーメント-回転角曲線のピーク時点の座標値の絶対値の平均値をプロットしている。なお、同図中の全塑性曲げモーメントは、ひずみ硬化を無視して求めたものである。表-3 には、これらの図から得られた各実験供試体の実験供試体 CEO-1 に対する強度上昇率（各実験供試体のピーク荷重を鋼断面のみからなる実験供試体 CEO-1 のピーク荷重で無次元化した値）、および塑性率 μ_p （作用曲げモーメントが最大となる終局回転角 θ_{uo} を降伏回転角 θ_{YO} で無次元化した値）を比較した。

4. 実験結果の考察 図-6 および表-2 から、中空区間の異なる実験供試体 C02-L/5 と C04-L/5 とを比較すると、強度上昇率および塑性率ともに、今回設定した 2 種類の中空間隔の違いによる影響は顕著に認められない。さらに、中空区間の縦補剛材の下端を削った実験供試体 C04S-L/5 と C04-L/5 とを比べると、中空区間の縦補剛材を削ると強度上昇率は約 4% 程度に抑制できる。一方、塑性率は実験供試体 C04-L/5 では 6、実験供試体 C04S-L/5 では 5 となり、縦補剛材の一部を削ると、その箇所に応力が集中するため、塑性率が若干減ると考えられる。

つぎに、実験供試体の崩壊過程に着目すると、中空区間を $\alpha_s=0.2$ に設定した実験供試体 C02-L/5 では、中空区間の鋼断面はあまり座屈変形せず、断面下端コーナ部に割れが進展し崩壊に至る。また、実験供試体 C04-L/5 ($\alpha_s=0.4$) では、中空区間の縦補剛材間の板パネルの著しい座屈、および中埋めコンクリート充填部の鋼板の断面外側への座屈が見られる。一方、中空間隔が $\alpha_s=0.4$ で中空区間の縦補剛材下端を削った実験供試体 C04S-L/5 では、中埋めコンクリート充填部分でほとんど損傷せず、中空区間の鋼断面のみに損傷が集中した。

以上から、いずれの実験結果も、本研究で提案した耐震補強方法により、強度上昇率を 20% 以下に抑え、十分な変形性能を確保できることがわかる。さらに、 $\alpha_s=0.4$ 程度の適切な中空間隔を設定し、中空区間の縦補剛材の一部を削ることにより、橋脚の損傷箇所を中空区間に限定して発生させることができ、地震後の補修・早期復旧に有利な構造になる。

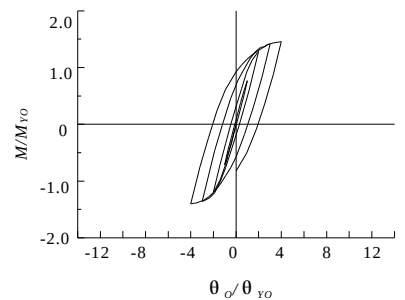
5. まとめ (1) 本研究で提案した耐震補強方法により、強度上昇率を 20% 以下に抑え、十分な変形性能を確保できることがわかる。

(2) $\alpha_s=0.4$ 程度の適切な中空間隔を設定し、さらに中空区間の縦補剛材の一部を削ると、橋脚の損傷箇所を中空区間に限定して発生させることができ、地震後の補修・早期復旧に有利な構造となる。

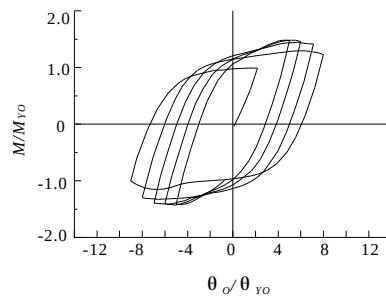
参考文献 1) 阪神高速道路公団：既設鋼製橋脚の耐震補強設計要項（案）、平成 9 年。

2) 阪神高速道路公団・工務部、(財)災害科学研究所：曲面を有する鋼製橋脚の設計法に関する研究業務、平成 11 年 3 月。

3) 北田俊行・中井博・加賀山泰一・松村政秀：既設鋼製橋脚における補剛板の耐震補強法に関する研究、構造工学論文集, Vol.45A, 土木学会, pp.215-226, 1999 年 3 月。



(a) $-4\theta_o/\theta_{YO} \leq \theta_o \leq 4\theta_o/\theta_{YO}$ のループ



(b) $\theta_o < -4\theta_o/\theta_{YO}, 4\theta_o/\theta_{YO} < \theta_o$ のループ
図-5 作用曲げモーメント-回転角曲線
(実験供試体 C04S-L/5)

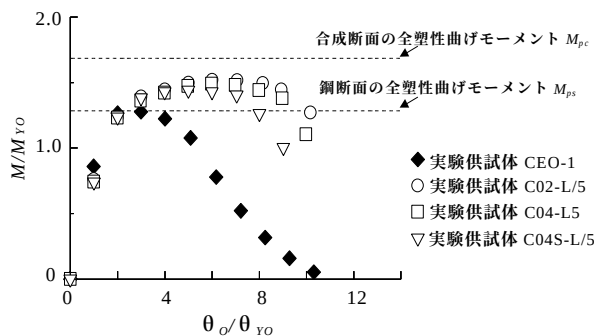


図-6 各実験供試体の曲げモーメント-回転角曲線のピーク点

表-2 各実験供試体の強度上昇率および塑性率

実験供試体名	中空間隔 L_g	強度上昇率	塑性率 μ_p	主な崩壊箇所
CEO-1	-	1.00	3	-
C02-L/5	0.2 α (19mm)	1.19	6	基部
C04-L/5	0.4 α (38mm)	1.17	6	中空部分
C04S-L/5	0.4 α (38mm) 中空区間の縦補剛材下端を切削	1.13	5	中空部分

ただし、強度上昇率は、平成 9、10 年度の実験における、補強の行っていない既設鋼製橋脚モデルの終局水平荷重 M_u で無次元化した値。