

I-5

コンクリートの充填による鋼製橋脚のダクティリティの改善に関する実験的研究

名古屋大学 学生員○葛 漢彬 名古屋大学 学生員 戸谷和彦
名古屋大学 正 員 宇佐美勉

1. まえがき 鋼製橋脚の耐震設計を行う際、強度と共にダクティリティも考慮しなければならない。文献[1,2]では、コンクリートを部分的に充填した箱形鋼柱について耐震性能への影響が考えられる幅厚比パラメータ、細長比パラメータをかえることにより、コンクリートの充填率が鋼製橋脚の弾塑性挙動、強度劣化、エネルギー吸収能力などへ与える影響を調べた。本研究では、さらに、それらのパラメータによるダクティリティへの影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要 本研究では、鋼製橋脚を想定した無補剛箱形断面柱（ウェブ幅とフランジ幅の比 $d/b=3/4$ ）7 体、補剛箱形断面柱（ $d/b=2/3$ ）5 体に鉛直方向に橋脚などの上部構造物の自重を想定した一定軸力を、水平方向に地震力を想定した繰り返し荷重を静的に載荷する実験を行った。板パネル、補剛材の鋼種は SS400 を用い、構造形態については片持柱とした。供試体板厚は、無補剛柱に対して 6mm（ $\sigma_y=308\text{MPa}$ ）、補剛柱に対して 4.5mm（ $\sigma_y=320\text{MPa}$ ）である。主なパラメータは、フランジの幅厚比パラメータ R_f 、柱の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ およびコンクリートの充填長さ l_c とした。また、ダイアフラムの有無によって強度やダクティリティなどにおよぼす影響について調べるため、無補剛断面の供試体の内 2 体には、充填コンクリート最上部にダイアフラムを設けず実験を行った。供試体の各パラメータを Table 1 に示す。UC と SC で始まる供試体はそれぞれ無補剛箱形断面と補剛箱形断面であり、供試体名の最後に D がつくものは充填コンクリート最上部にダイア

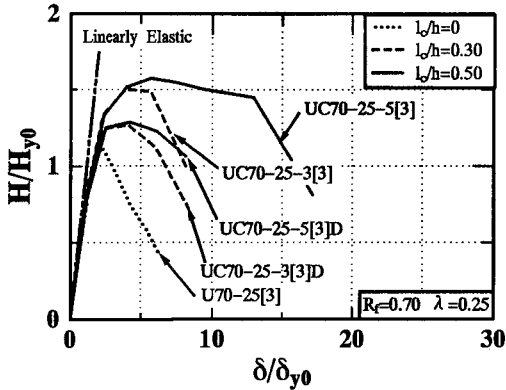
Table 1 Parameters of Test Specimens

Specimen	R_f	$\bar{\lambda}$	l_c	n
UC70-40-3[0]	0.70	0.40	0.3h	0
UC70-25-3[0]	0.70	0.25	0.3h	0
UC70-25-3[3]	0.70	0.25	0.3h	3
UC70-25-5[3]	0.70	0.25	0.5h	3
UC70-25-3[3]D	0.70	0.25	0.3h	3
UC70-25-5[3]D	0.70	0.25	0.5h	3
UC90-40-5[3]	0.90	0.40	0.5h	3
SC45-25-3[0]	0.45	0.25	0.3h	0
SC45-25-3[3]	0.45	0.25	0.3h	3
SC45-25-5[3]	0.45	0.25	0.5h	3
SC60-35-3[3]	0.60	0.35	0.3h	3
SC60-35-5[3]	0.60	0.35	0.5h	3

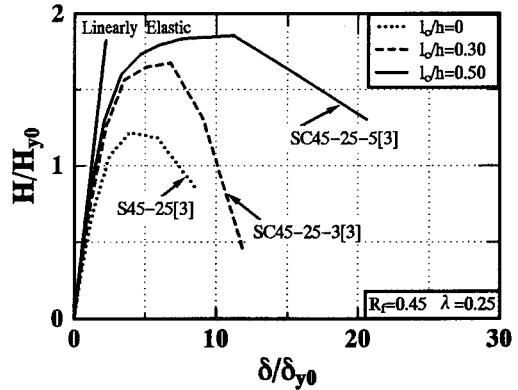
Notes: $\bar{\lambda}$ =Slenderness Ratio Parameter of Column;
 R_f =Width-Thickness Ratio Parameter of Flange Plate;
 n =Cycles of Loading; l_c =Length of Filled Concrete;
 $P/P_y=0.2$; P =Axial Load; P_y =Squash Load;
 $\gamma/\gamma^*=1.0$; γ =Relative Flexural Rigidity;
 γ^* =Required Relative Flexural Rigidity.

フラムのない供試体である。充填コンクリートは普通コンクリートを用い、設計基準強度は 23.5MPa (240kgf/cm²) とした。コンクリートは、供試体の下のエンドプレート中央に開けられた穴から、所定の長さまで中詰めした。所定の長さのところに穴のないダイアフラムが設置されており、コンクリートはこのダイアフラムと下のエンドプレート（供試体を実験床に固定する鋼板）の中で閉じこめられている状態で実験している。ただし、本実験では所定の長さのところにダイアフラムのない供試体があり、その供試体については上のエンドプレートの中央に開けられた穴から、所定の長さまで中詰めした。実験装置および載荷方法については、文献[1]と同様にした。

3. 実験結果および考察 ここには、水平荷重-水平変位曲線のみについて考察する。水平荷重 H と柱基部の回転の影響を考慮して補正された変位 δ をそれぞれ H_y と δ_{y0} ($=H_y h^3/3EI$) で無次元化し、水平荷重-水平変位履歴曲線の各変位振幅での第一サイクルの最大変位点を結んだ水平荷重-水平変位履歴曲線の包絡線の一部を Fig.1 に示す。図より次のことがわかる。a) 充填コンクリート高さの影響：無補剛断面 $R_f=0.70$ 、 $\bar{\lambda}=0.25$ の場合、鋼柱と比較すると最大荷重は $l_c/h=0.30$ については 35 %、 $l_c/h=0.50$ については 42 % 増加し、最大荷重に対応する変位はそれぞれ 1.35 倍、1.42 倍となっている [Fig.1(a)]。補剛断面 $R_f=0.45$ 、 $\bar{\lambda}=0.25$ の場合、鋼柱と比較すると最大荷重は $l_c/h=0.30$ については 42 %、 $l_c/h=0.50$ については 54 % 増加し、最大荷重に対応する変位はそれぞれ 1.73 倍、2.88 倍となっている [Fig.1(b)]。以上のことより、充填コンクリート最上部にダイアフラムがある場合、無補剛断面、補剛断面ともに、コンクリートを充填することにより最大荷重はかなり増加し、耐震面で優れた変形性能がみられた。特に、充填率を 50% にすることによりその傾向は顕著にみられる。b) 中詰めコンクリートの拘束状態による影響：充填コンクリート最上部のダイアフラムがない場合とある場合を比較するとダイアフラムがある場合の方が最高荷重は $l_c/h=0.30$ については 20%、 $l_c/h=0.50$ については 23% 増加する。最高荷重に対応する変位はそれぞれ 1 倍、1.3 倍となっている。Fig.1(a) からわかるように、ダクティリティは $l_c/h=0.30$ の場合にはあまり改善されないが、 $l_c/h=0.50$ の場合にはダイアフラムがあるとかかなり改善される。これはダイアフラムがあると鋼板とコンクリートが拘束されコンクリートが担う荷重が増加す



(a) Unstiffened Columns



(b) Stiffened Columns

Fig.1 Envelope of Horizontal Load versus Horizontal Displacement Curves

る。しかし、ダイアフラムがない場合鋼板とコンクリートが拘束されずコンクリートが担う荷重が少なく鋼板が受け持つ荷重が多くなるためと考えられる。充填コンクリート最上部のダイアフラムがない場合の充填率の影響は最高荷重に達するまではほとんど影響がなく、その後 $l_c/h=0.30$ の方が強度劣化が著しい。鋼柱と比較すると、最高荷重は 15 % 増加しそれに対応する変位は 1.93 倍となっている。これはコンクリートにより内側への変形が拘束されているため局部座屈変形が小さくなるためである。

4. 塑性率および等価水平震度の評価 Table 2 に全供試体について実験より得られた最大水平荷重、そのときの水平変位などを示す。構造物の変形能力を測る指標の 1 つとして塑性率がある。最もよく使われる定義式は、最高荷重に対応する変位 δ_m (Fig.2) と初期降伏または局部座屈が起こる水平荷重 H_y に対応する水平変位 δ_y との比で表す方法である。

しかし、最高荷重点がとらえずらという場合がある。そこで本研究では、さらに最高荷重の 95 % に対応する変位 δ_{95} 、 H_y に対応する変位 δ'_y と δ_y との比で表す。 δ_y は、実験から得られる水平荷重—水平変位履歴曲線の包絡線で H_y に対応する δ_y である。求められた塑性率 μ_m 、 μ_{95} および μ' の値を Table 2 に示す。同表より次のことがわかる。コンクリートの充填高さを高くすることによって、充填コンクリート最上部にダイアフラムがある場合、明らかに塑性率は大きくなりダクティリティが改善されている。また、等価水平震度を前述した三つのケースについて求めてみた。初期降伏荷重 H_y の場合、Newmark のエネルギー一定則に基づき、完全弾塑性系を考えたが、 H_y は H_{max} よりかなり小さいということから、Fig.2 のような弾塑性折線型の応答で置き換える提案を試みた。その結果、等価水平震度 D_{95} は供試体 UC70-25-3[3]D と SC60-35-3[3] を除いて 0.14-0.30 の範囲にある。したがって、コンクリートを充填することによって、95% H_{max} を破壊点と考える場合、等価水平震度は 0.3 以下に抑えることが可能である。

5. あとがき より詳しい内容については講演当日に述べる。

参考文献 1) 宇佐美勉ら：構造工学論文集，Vol.38A，1992。2) 宇佐美勉ら：構造工学論文集，Vol.39A，1993。

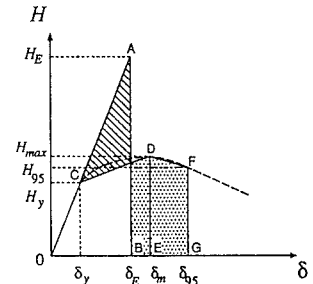


Fig.2 Lateral Earthquake Load—Displacement Relationship

Table 2 Strength and Ductility Capacity

Specimen	$\frac{H_{max}}{H_{y0}}$	$\frac{\delta_m}{\delta_{y0}}$	Ductility Factor			Equivalent Seismic Coefficient		
			μ_m	μ_{95}	μ'	D_m	D_{95}	$\frac{k_h}{k_{h0}}$
UC70-40-3[0]	1.44	4.40	4.14	5.28	10.67	0.315	0.264	—
UC70-25-3[0]	1.51	4.63	4.41	6.86	20.51	0.299	0.220	—
UC70-25-3[3]	1.54	3.92	3.68	5.65	8.78	0.331	0.245	0.265
UC70-25-5[3]	1.57	5.66	5.32	9.34	16.45	0.265	0.181	0.199
UC70-25-3[3]D	1.28	4.11	3.72	4.47	7.35	0.347	0.306	0.298
UC70-25-5[3]D	1.29	4.26	3.85	5.59	8.99	0.339	0.263	0.283
UC90-40-5[3]	1.39	2.17	3.95	11.89	17.76	0.296	0.141	0.170
SC45-25-3[0]	1.66	6.46	5.40	7.55	18.94	0.260	0.206	—
SC45-25-3[3]	1.68	6.77	5.45	5.86	8.66	0.258	0.245	0.258
SC45-25-5[3]	1.85	11.22	9.91	11.34	16.21	0.180	0.163	0.182
SC60-35-3[3]	1.57	2.80	2.73	3.17	5.92	0.391	0.348	0.332
SC60-35-5[3]	1.70	6.13	6.47	8.42	11.48	0.226	0.187	0.233