

V-75 プレキャストコンクリート中空柱とプレキャストコンクリート桁との接合における PC鋼材の中間定着

東京大学 正員 国分正樹
電力中央研究所 正員 田辺忠顕

1 序 プレキャストの柱と桁とをプレストレスで接合した合成ラーメンは、急速施工の見地から今後は普及すると思われるが現在迄は殆んど実用されていない。わずかに国鉄総武線荒川東高架橋などが挙げられるに過ぎないが、この場合には接合用PC鋼材を基礎に定着し、次に矩形断面の柱を建て込み、予め設けられた柱及び桁の孔にPC鋼材を通しこれの緊張によって柱と桁とを接合したのである。

合成ラーメンを建造する場合、市販品の大口径プレストレストコンクリート(PC)パイルを柱材として活用すれば更に経済的になるので、その種の合成ラーメンについて研究しているが、この場合の接合用PC鋼材の定着に中間定着方法を考案した。即ち、予め柱の中間に打設した中詰めコンクリートにPC鋼材を定着しておき、現場では桁に設けた孔にPC鋼材を通して緊張する作業だけを行う方法である。この方法によれば桁における孔の位置の誤差とPC鋼材の可撓性で吸収できるので緊張作業は容易となり、PC鋼材の長さも減る。又、PC鋼材の腐食はグラウティングその他で防止する事が可能である。

この種の中間定着の応用範囲は必ずしも狭くないと思われるが、実用を提案する前に定着部の特性、特に終局耐力を確かめておく必要がある。本報告は、引抜き試験及び押抜き試験によってこの定着部の終局耐力を検討した結果をとりまとめたものである。

2 試験方法

2.1 供試体の作製 柱材に用いたプレキャストコンクリートパイルは、外径が20^{mm}肉厚が5^{mm}のパイル、外径が30^{mm}肉厚が5^{mm}~6^{mm}のパイル、及び外径が70^{mm}肉厚が11^{mm}の実物大のパイルである。外径が20^{mm}のもの、及び30^{mm}のものの一部は、プレストレスが導入されていない。他の供試体には80kg/cm²~100kg/cm²のプレストレスが導入されている。パイルに用いたコンクリートの品質、パイルの肉厚、長さ、内面形状、プレストレス量は総括して表-1に示した。パイルの材令が1ヶ月以上経った後、パイル中空部に中詰めコンクリートを打設した。プレキャストコンクリート柱の内壁面には、種々の処理を施した。外径20^{mm}及び30^{mm}のパイルについては、内壁面に鉄筋の突出がある場合について検討を行ない、外径70^{mm}のパイルについては、レイタンスを取り除き、更にコンクリートの表面をばつて凹凸を施した処理の場合について検討を行ったのである。前記の様な表面処理を施してあるパイル中空部に、外径20^{mm}及び30^{mm}の供試体の場合には4種φ22^{mm}PC鋼棒1本を、中詰めコンクリートの中央に定着板を用いて定着した。外径70^{mm}のパイルの場合には、PC鋼材は定着せず単に中詰めコンクリートのみを打設した。これは試験装置の関係上押し抜き試験にあてたためである。

2.2 試験方法 外径20^{mm}及び30^{mm}のパイルの場合には、PC鋼棒を図-1に示す様に油圧

アムスラー型100 TON 万能試験機

機により引抜き、各荷重階に於ける中詰めコンクリートの引抜き量、軸方向の歪、円周方向の歪を測定した。引抜き量の測定にはダイヤルゲージをパイル端面にセットしてPC鋼棒のパイルに対する相対的変位が測定できる様にした。外径70mmのパイルにおける押し抜き試験の載荷方法は次の様であつた。アルミナセメントコンクリートを用いて圧縮強度700kg/cm²程度の径30mm長さ40mmのシリンダーを作業しこれに中詰めコンクリートの上部に設置した。中詰めコンクリートとシリンダーの間には、セメントペーストとしき密着させたのである。東大大型試験室2000TON万能試験機により、このシリンダーを押し試験した。

各荷重時の押し抜き量及び供試体各部の歪を測定し、その力学的性状を検討したのであるが、押し抜き量は図-1B

に示す10所にダイヤルゲージを設置して測定し、歪はパイル表面の6ヶ所の軸方向、半径方向の歪と全ての供試体について測定するとともに、一部の供試体に於てはパイル内面の6ヶ所の歪及び中詰めコンクリートの歪めとともに測定した。これらのワイヤーストレインゲージの貼布位置並びにモールドゲージの埋込み位置は図-1Bに示すようである。なお、これらの供試体に於ては、載荷位置は中詰めコンクリートの中央が殆んどであるが、一部の供試体に於てはパイルと接する附近の4箇所と同時に載荷する方法も採用し、載荷方法が引き抜き耐力に及ぼす影響も検討した。

3. 中向接着部の終局耐力 試験の結果は表-2及び図-2に示したようであつた。図-2の上部にPD1、PD2の平均付着応力度と引抜き量との関係を示したが、これらの場合には引抜き量が1mm以上となり付着が完全に切れたと思われる状態となつてもパイル表面にはひびわれが全く認められなかつたのである。しかしこの様に中詰めコンクリートのすべりが大きくなつてもパイル内面との摩擦力により抵抗力が保持されてゐて引抜き荷重と更に増加できる場合もあつた。それで更に大きな荷重を作用させると、PD1とPD2の場合には、引抜き量がそれぞれ3mm及び2mmとなつたところ縦方向にひびわれを生じた。載荷と更に持続すると引抜き量はますます増大し縦ひびわれと

表-1 引抜き供試体

	外形 cm	内径 cm	内面形状	付着長 cm	プレストレス kg/cm ²	付着長 mm	圧縮強度 MPa	引張強度 MPa	中詰めコンクリートの 圧縮強度 MPa	中詰めコンクリートの 引張強度 MPa	試験方法
PD-1	20	10.8	変形なし レタス状	5	0	0.463	596.6	1	360.0	2	引抜き
PD-2	20	10.8	変形なし レタス状	10	0	0.925	596.0	1	360.0	2	〃
PD-3	20	10.6	鉄筋突出	10	0	0.943	590.0	1	439.0	2	〃
PD-4	30	18.2	変形なし レタス状	20		1.099	574.0	1	439.0	2	〃
PD-5	30	19.6	変形なし レタス状	10		0.510	573.0	1	439.0	2	〃
PD-6	30	18.0	変形なし レタス状	10	80	0.556	565.0	1	350.0	2	〃
PD-7	30	18.0	変形なし レタス状	20	80	1.111	537.0	1	350.0	2	〃
PD-8	30	20.0	変形なし レタス状	10	80	0.500	565.0	1	350.0	2	〃
PD-9	70	50.0	変形なし レタス状	25	60	0.500	500.0	3	223.0	4	2箇所抜き
PD-10	70	50.0	変形なし レタス状	25	60	0.500	500.0	3	306.0	5	〃
PD-11	70	50.0	変形なし レタス状	35	60	0.700	500.0	3	306.0	5	〃
PD-12	70	50.0	変形なし レタス状	45	60	0.900	500.0	3	306.0	5	〃
PD-13	70	50.0	不規則な 凹凸	27	60	0.540	500.0	3	210.0	6	〃
PD-14	70	50.0	不規則な 凹凸	27	60	0.540	500.0	3	522.0	7	〃
PD-15	70	50.0	不規則な 凹凸	35	60	0.700	500.0	3	522.0	7	〃
PD-16	70	50.0	不規則な 凹凸	45	60	0.900	500.0	3	522.0	7	〃

荷台	W/C	Sp	C	W		W/C	Sp	C	W
1	38.0	40.0	435.0	165.0	5	39.0	35.3	405	158.0
2	45.0	42.0	395.0	178.0	6	40.0	42.0	406	144.2
3	45.0	46.0	400.0	152.0	7	39.0	35.3	405	158.0
4	70.0	42.0	266.0	144.2					

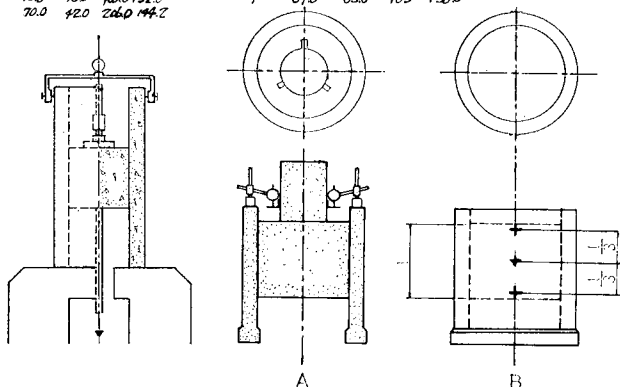


図-1

縦ひびわれの面に横ひびわれが発生し、定着部附近のパイルが完全に破壊されるのが認められた。

即ちこれらはプレキャスト柱の内壁面と中詰めコンクリートとの間に付着破壊が生じたのである。

又、図-2の下部にPD12とPD14の押し抜き荷重と押し抜き量との関係を示したがこれらの供試体に於ては押し抜き量が0.2mm程度の時パイルに縦ひびわれが発生し、同時に押し抜き量が急増し始めたのである。即ちこれらの破壊は、中詰めコンクリートのすべりが強くと発生しないうちにコンクリート柱壁面に縦ひびわれが発生しそのひびわれ巾が増大する引張り破壊と考えられる。

前記のように、この種定着部の破壊モードには、2種類ある事が明瞭に示された。(表-2参照) PC鋼材に緊張力を与えると中詰めコンクリートとの境界面には付着応力が生じ、コンクリート柱の壁内には円周方向の引張応力が発生して、この種定着部の終局引抜き破壊モードは、これらの2種類の応力と各応力発生位置の強度との大小関係によって定まるものと考えられる。壁厚が内半径に比べて大きな小口径のコンクリート柱(外径20mm~30mm)では付着破壊する場合が多く、壁厚が内半径に比べて小さな大口径のプレキャストコンクリート柱では引張破壊が卓越する。

引張破壊を生じる場合について更に検討するため、大口径(70mm)のパイルを用いて、付着長・付着面の処理の程度・中詰めコンクリートの品質を2・3種類に変化させて、これらが破壊耐力に及ぼす影響を試験した。即ち外径70mm、内径50mmのパイルにおける中詰めコンクリートの付着長と30mm、35mm、45mmと変化させて比較した。これらの結果は表-2のPD14~PD16に示すように付着長の影響は何等認められず、外径・内厚が等しいパイルは付着長が異なるにも拘らずほぼ等しい荷重の時円周方向応力による引張破壊を生じたのである。(表-2・PD6~PD8参照) 従って、この種の定着部が引張り破壊を生じる場合には、付着長を極端に長くしても有効ではなく、効果的な付着長の極値が存在すると考えられる。

次にプレキャスト柱の壁面の処理前記の場合と同程度にし、即ちレイタンスを完全に除去し、更に、壁面に凹凸を施した場合に、中詰めコンクリートの品質を変化させて比較し、定着部の終局耐力に及ぼす影響を検討した。その結果は表-2のPD13~PD16に示すようであって中詰めコンクリートの品質がある場合には、引張破壊耐力も減りある事が明瞭に示されている。

更にパイル内面を処理しないまま、中詰めコンクリートを打込んだ場合について中詰めコンクリートの高さ25mm、35mm、45mmと変化させて実験し、その終局耐力を内面を処理して打込んだ場合

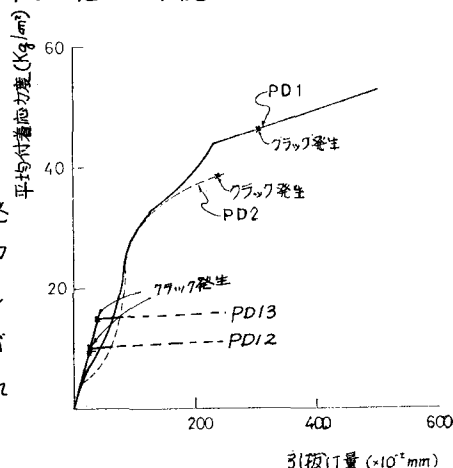


図-2 引抜き荷重と引抜き量との関係

表-2 引抜き試験の結果

	①	②	③	④	⑤	⑥
	付着面積	破壊荷重	破壊モード	σ_c	引張破壊の時の付着長	α
PD-1	169	7.9	付着初壊	46.5	11.7	—
PD-2	339	13.2	"	38.8	11.7	—
PD-3	333	20.0	引張付着	60.0	11.7	—
PD-4	1144	31.0	引張破壊	27.1	25.3	—
PD-5	615	19.7	付着破壊	32.1	25.0	—
PD-6	565	26.0	引張破壊	46.0	25.5	—
PD-7	1130	26.0	"	23.0	25.5	—
PD-8	673	20.0	"	32.1	23.6	—
PD-9	3925	60.0	"	15.0	114.0	0.24
PD-10	3925	47.0	"	12.3	114.0	0.17
PD-11	5495	68.0	"	12.4	114.0	0.24
PD-12	7065	71.0	"	10.0	114.0	0.27
PD-13	4710	75.0	"	15.9	114.0	0.28
PD-14	4710	118.0	"	20.0	114.0	0.50
PD-15	5495	93.0	"	16.9	114.0	0.50
PD-16	7065	110.0	"	15.6	114.0	0.50

と比較した。その結果は表-2のPD9~PD16に示すようであつてこの場合には付着強さが非常に小さいため終局耐力は十分な付着がある場合の60~70%となった。前記のように、この種定着部の引張破壊耐力は、種々な要因によって影響される事が明らかとなつたが、有効付着長を考慮してこれらを統一的に論じる事を試みた。図-4には、この種定着部=引抜き力が作用した時の応力の伝達機構を模式的に示した。この余材方向の力線の水平方向分力が柱壁コンクリートに水平な引張応力を発生させると考えられる。又、水平方向分力に抵抗するコンクリート柱壁面の有効な範囲は、付着長、付着面の処理程度、中詰めコンクリートの品質等によって定まると考えられる。付着長を長くしてもその全

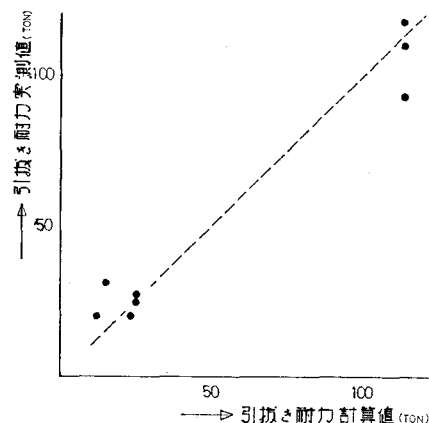


図-3 引張破壊荷重の実測値と計算値

長にわたって水平方向分力は抵抗する事にばらず抵抗点域のある一定の長の範囲に限られると思われる。この有効な範囲の付着長をプレキャスト柱の内径 D と係数 α との積 αD で表わし、表面処理を十分施した場合についてみると $\alpha=0.5$ 以内である事が表-2によつて示唆される。図-4に示すように引張応力はプレキャスト柱壁の $0.5D$ の長さの範囲に生じる仮定して引張応力の総和と引抜き力との比を破壊時に於て計算したところ約15%となった。この力の割合は、載荷斜率等しい試験体に於てはほぼ等しいと考えられたので、この値を基礎として付着が著しく劣る場合、中詰めコンクリートの品質が低下している場合等について α を求めると表-2の様になった。この値によつて付着の長さ、中詰めコンクリートの品質の程度等が引張破壊耐力に及ぼす影響とある程度を評価できると考えられる。引抜きまたは押し抜きによる引張破壊の実験荷重と上記の有効付着長に基づく計算上の破壊荷重とを比較すると図-3の様になった。少数の実験結果に基づいたものであるが、外径相対異なる20 ϕ 、30 ϕ および70 ϕ のパイルについて計算値は実測値とほぼ一致している。定着部が付着破壊する場合の破壊機構は比較的簡明であり、破壊耐力は、平均付着強度と付着面積との積で与えられる。この場合には中詰めコンクリートはプレキャスト柱から圧力を受けた軸圧縮の状態になっている。このために付着強度は単なる打継目における付着強度よりも大きくなると考えられる。

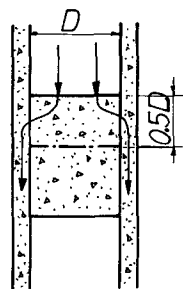


図-4

以上、この種定着部の耐力と引張破壊する場合と、付着破壊する場合とを合せて論じたが、いずれも小スリットが終局耐力と支配するのは当然である。現在のJISに定めるPCパイルはこの種の柱材に用いるためには、ラセン鉄筋量が過少であるので大口径のPCパイルでは、引張破壊を生じ定着耐力が低くなる。従つて大口径のPCパイルの中空部にPC鋼材を定着するためには、定着部附近に予め十分なラセン鉄筋を配置しておくか、円周方向プレストレスを導入しておく必要があると思われる。これらのラセン鉄筋或いは円周方向のプレストレスの所要量については、上記の方法によりある程度の目安と得る事が可能と思われる。例えば外径70 ϕ 壁厚10 ϕ のPCパイルに対して、270 TONの引抜き耐力を確保するためには、SR24 ϕ 10 ϕ の丸鋼を15 ϕ と、4程度でラセン状に配置したり、或いは60 kg/m 2 程度の円周方向プレストレスを導入する必要がある。これらの補強効果は、更に実験によって確かめる必要があるが、この種定着法の実用性は明らかであり、プレキャストコンクリート柱とプレキャストコンクリート桁との接合方法として有効な手段と考えられるのである。