

# PC 杭および PC ポール

青 山 信 一\*

## 1. ま え が き

土木構造物に用いられる PC 杭と PC ポールはほとんど全部工場生産の既製部材である。したがって以後の記述も工場生産の既製部材に限って概要を述べるが、PC 杭について主として述べ、PC ポールについては最後にごく簡単にふれることにする。

## 2. PC 杭の略歴

わが国において遠心力鉄筋コンクリート杭(RC杭)が使用されたのは昭和9年であるが、本格的に RC 杭が使用されるようになったのは昭和30年代に入ってからである。RC 杭は曲げに対する靱性が大きい、比較的小さな曲げモーメントによりコンクリートにひびわれが生じ、取扱い上および耐久性に疑問が持たれるだけでなく、大きな曲げ抵抗を持つ断面の設計が困難である。これらの欠点を改善するものとしてコンクリートにプレストレスを導入した PC 杭が製造されるようになった。PC 杭が初めてわが国に使用されたのは昭和37年である。初めはプレテンション方式とポストテンション方式の両方で製造され、JIS にも両方式が制定されているが、製造の容易さ、および施工時に杭頭カットした場合の処理の問題等により、現在ではほとんどすべてプレテンション方式である。昭和42年にセメントにシリカ粉末を混入してオートクレーブ養生(高温高圧蒸気養生)を行い短時間に圧縮強度 800 kgf/cm<sup>2</sup> 以上の高強度を得る方法が開発され、高強度 PC 杭として出荷されるようになった。その後、引き続いて製法の多様化が行われ、高性能分散剤等を用いて、常圧蒸気養生のみで前記と同等の高強度コンクリートが短時間で得られるようになり、同じく高強度 PC 杭として出荷されている。また最近では杭に対しても地震に対する強度が重視され、PC 杭に対してもより大きな曲げ耐力が要求されるようになり、超早強混和材を用いて大きな曲げ耐力を持たせた高プレストレスト高強度 PC 杭や、異形鉄筋を補強筋として用いた大きな曲げ耐力を持たせた PRC 杭も使用されはじめている。

PC 杭はその開発以来、利点が認められ、既製コンク

\* 東急コンクリート工業(株)

リート杭のうちに占める出荷割合は急激に増大し、現在では普通 PC 杭と高強度 PC 杭を合わせた出荷割合はおおよそ 85% に及び、年間の出荷数量は、土木・建築を合わせて約 650 万 t に達している。なおこのうち土木に用いられるものはおおよそ 20% である。

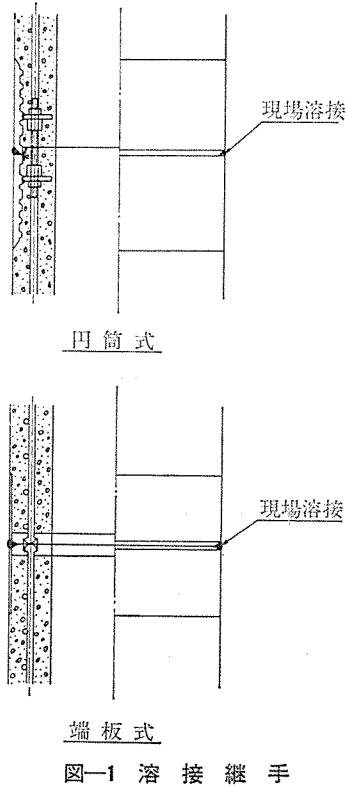
## 3. PC 杭の形状寸法

普通 PC 杭の形状寸法は、JIS A 5335 プレテンション方式遠心力プレストレストコンクリート杭、および

表一 PC 杭の規格 (JIS A 5335)

外径 (mm)	厚さ (mm)	種別	ひびわれ 曲げモー メント (tm)	長さ (m)										
				7	8	9	10	11	12	13	14	15		
300	60	A	2.5											
		B	3.5	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	
		C	4.0											
350	65	A	3.5											
		B	5.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		C	6.0											
400	75	A	5.5											
		B	7.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		C	9.0											
450	80	A	7.5											
		B	11.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		C	12.5											
500	90	A	10.5											
		B	15.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		C	17.0											
600	100	A	17.0											
		B	25.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		C	29.0											
700	110	A	27.0											
		B	38.0	○	○	○	○	○	○	○	—	—		
		C	45.0											
800	120	A	40.0											
		B	55.0	○	○	○	○	—	—	—	—	—		
		C	65.0											
1000	140	A	75.0											
		B	105.0	○	○	○	○	—	—	—	—	—		
		C	120.0											
1200	150	A	120.0											
		B	170.0	○	○	—	—	—	—	—	—	—		
		C	200.0											

注: 1) A種、B種およびC種の有効プレストレスはそれぞれ約 40, 80, 100 kg/cm<sup>2</sup> である。  
 2) 破壊曲げモーメントは表記ひびわれ曲げモーメントに対し、A種の場合は1.5倍以上、B種の場合は1.8倍以上、C種の場合は2.0倍以上なければならない。



図一 溶接継手

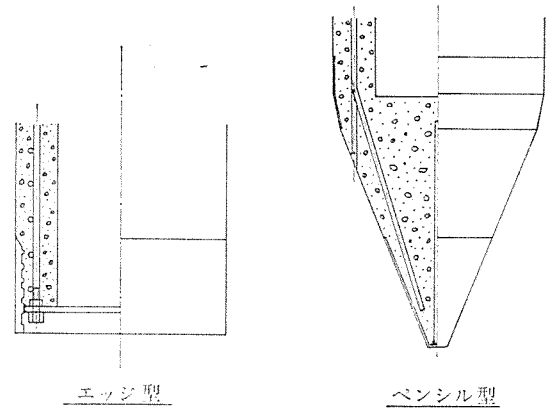
JIS A 5336 ポストテンション方式遠心力プレストレストコンクリートに規定されている。また高強度 PC 杭の形状寸法はプレテンション方式高強度プレストレストコンクリート（案）により JIS 化の審議が行われているが、コンクリートの強度が  $800 \text{ kgf/cm}^2$  と大きくなったことを除き、寸法形状は前記の JIS とほとんど同じである。その他、高プレストレス高強度杭および PRC 杭についてはまだ使用実績が少なく JIS 化は行われていないが、形状寸法は前記 JIS に準じている。

JIS 化されたものの標準寸法仕様を表一に示す。

有効プレストレスは普通 PC 杭および高強度 PC 杭ではおおよそ  $40, 80, 100 \text{ kgf/cm}^2$  の 3 種類に決められているが、曲げ耐力を強化した高プレストレス高強度杭では  $160 \text{ kgf/cm}^2$  までとられている。なお現在、有効プレストレスが  $200 \text{ kgf/cm}^2$  に及ぶ超高プレストレス杭の研究もなされている。PRC 杭に用いられている有効プレストレスはおおよそ普通 PC 杭のそれと同じであるが、異形鉄筋の量を調整して比較的容易に所要の曲げ耐力と靱性が得られる。

PC 杭は工場生産のため表一に示されるように標準寸法が決まっており、長尺杭を必要とするときは施工現場において継ぎ足して使用される。現在、継手としては最も信頼性のある溶接継手を使用されている。溶接継手には端板式と円筒式の 2 種類が使用されているが、その形状を図一に示す。

PC 杭の先端形状にはペンシル形、フラット形、エ



図二 杭の先端部

ジ形等がある。またフラット形、エッジ形には閉鎖形と開放形がある。地盤条件、施工条件等により使いわけられる。ペンシル形とエッジ形の例を図二に示す。

#### 4. PC 杭の材料

PC 杭に用いられる主な材料は、コンクリートおよび鋼材である。

##### 4.1 コンクリート

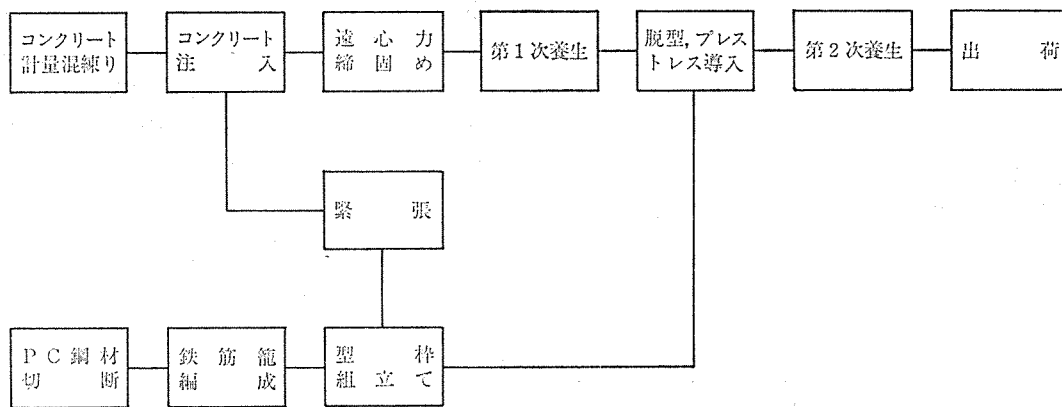
普通 PC 杭用コンクリートに用いるセメントはポルトランドセメントで、これに骨材、分散剤等を混練りして製造する。圧縮強度は材令 28 日で  $500 \text{ kgf/cm}^2$  以上が保証されている。高強度 PC 杭用コンクリートは JIS 案により、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメント、シリカセメント等となっており、コンクリートの圧縮強度は所定の養生完了時において  $800 \text{ kgf/cm}^2$  以上を保証するように規定してある。コンクリートの製造方法は第 2 次養生にオートクレーブ養生を用いるものが大部分であるが、高性能分散剤を用いて常圧蒸気養生により高強度を出す方法も用いられている。

最近話題になってきた高プレストレス高強度 PC 杭に用いられるコンクリートは超早強混和材を用い、2 次養生に常圧蒸気養生を行って、材令 7 日の圧縮強度として  $850 \text{ kgf/cm}^2$  以上が得られている。これにより早期に高強度を得られ、応力導入時のプレストレスロスを少なくし、また高温養生による PC 鋼材のリラクゼーションとコンクリートのクリープの増大を防ぎ、大きな有効プレストレスを確保している。

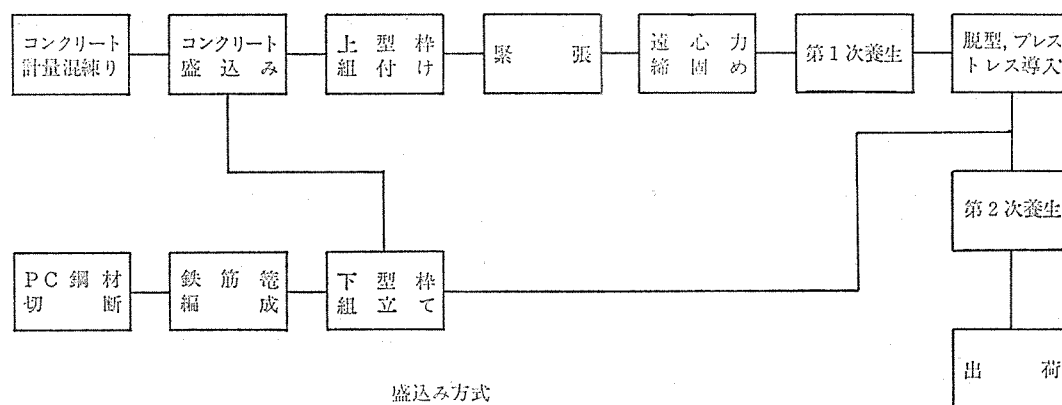
いずれの場合においても PC 杭は工場製品であり、十分な品質管理が行われているので、コンクリートの強度は安定している。

##### 4.2 鋼材

PC 杭に用いられる鋼材にはプレストレスを導入するための PC 鋼材および組立て鉄筋、補強鉄筋、継手用鋼



ポンプ注入方式



盛込み方式

図-3 製造工程図

材等がある。

(1) PC 鋼材

現在使用されている PC 鋼材は、PC 鋼線、異形 PC 鋼線、異形 PC 鋼棒の 3 種類であり、これはそれぞれ JIS 化され品質は安定している。

PC 鋼線および異形 PC 鋼線 JIS G 3536 : PC 鋼線および PC より線に規定する種別——SWPR 1, SWPD 1, 線径 5, 7, 9 mm

PC 異形棒鋼 JIS G 3109 : PC 鋼棒に規定する種別——SBPD 130/145, 棒径 7.4, 9.2, 11, 13 mm

(2) 鉄筋

PC 杭に用いる組立て鉄筋および補強鉄筋はいずれも JIS に規定されているものを用いる。

JIS G 3112 : 鉄筋コンクリート用棒鋼に規定する種別——SD 30, SD 35

JIS G 3101 : 一般構造用圧延鋼材に規定する種別——SS 41, SS 50

JIS G 3521 : 硬鋼線

JIS G 3552 : 鉄線に規定する種別——普通鉄線

(3) 継手金物用鋼材

PC 杭に用いる継手はいずれも溶接継手であり、これに用いる鋼材は溶接性を加味して、主として下記のいずれかに適合するものを用いる。

JIS G 3101 : 一般構造用圧延鋼材に規定する種別——SS 41, SS 50

JIS G 3106 : 溶接構造用圧延鋼材に規定する種別——SM 41, SM 50

5. PC 杭の製造方法

わが国における PC 杭の製造方法は、現在大部分プレストレス方式で、成形は遠心力成形方法により、第 1 次の蒸気養生を行ったあと、脱型し、同時に応力を導入したあと、引き続いて水中養生または第 2 次の蒸気養生を行って製品としている。コンクリートの注入方法、第 2 次養生方法等、各社同一ではないが、製造工程は 図-3 に示す 2 種類に大別される。以下各工程について順を追

## 土木構造物

って説明する。

コンクリートはセメント、水、骨材、混和材、混和剤等をパッチャープラントで計算し、強制練りミキサーで一様になるまで混練り製造されることはいずれの工場においても同じであるが、次の工程でコンクリートを型枠に注入する方法として、ポンプ注入方式と盛込み方式の2種類がある。ポンプ注入方式は鉄筋籠が挿入され組み上がった型枠内にコンクリートポンプによりコンクリートを注入する方式で、比較的高スランプのコンクリートを用いる。盛込み方式は、型枠を二つ割りにして置き、下型枠に鉄筋籠を挿入し、それに上からコンクリートを落とし込み注入したあと、上型枠をかぶせ型組みを完了するもので、比較的低スランプのコンクリートを用いる。これらの方法はそれぞれ一長一短があり、いずれが良いともいえない。

鉄筋籠は定尺に切断された PC 鋼材および補強筋がある場合は、それを組立て筋を用いて組み立てられる。鉄筋籠の端部には継手金物等が取り付けられる。取り付け方法としては PC 鋼材の端部を加熱成形機によりポタンヘッドに成形して継手金物に定着するか、または PC 鋼材の端部にネジを転造してナットにより定着する。

PC 鋼材の緊張方法は杭の継手構造によって差があるが、工場生産においてはいずれにおいても、全部の PC 鋼材を油圧ジャッキにより同時に一様に緊張し、型枠の端に取り付けられた端板に1個ないし複数個のナットにより定着し、型枠の本体を介して PC 鋼材の初期緊張力を脱型応力導入工程まで保つ。

コンクリートの締固めはコンクリートを注入し、PC 鋼材を初期緊張してある型枠を遠心成形機に載せ、所定の締固め工程によって行う。

遠心成形を終わった杭は型枠に入ったまま、養生室に入れられ約 65°C の温度で第1次の蒸気養生が行われる。脱型は PC 鋼材の初期緊張力を保持していたナットを緩めることにより行われるが、これと同時に型枠によって受け持たれていた PC 鋼材の初期緊張力が、第1次養生によって固化したコンクリートにより受け持たれることになり、コンクリートにプレストレスが導入される。コンクリートへの応力導入は、前記のように全部の PC 鋼材を同時に一様に緊張してあるために杭断面に一様に行われる。引き続いて第2次の養生が行われるが、PC 杭の種別、コンクリートの配合等により異なった方法が用いられている。そのうちの主だった方法について簡単に述べる。普通 PC 杭の第2次養生方法は脱型後3日以上水中養生を行ったあと、屋外の置き場において自然養生し、材令 28 日以上で出荷されるのが普通であるが、最近では在庫の回転を早めるために第2次養生にオ

ートクレープ養生を行い早期強度を出し、直ちに出荷する方法も用いられてきた。高強度 PC 杭の第2次養生方法にはコンクリートの配合によって、オートクレープ養生によって早期に高強度を発現する方法と常圧蒸気養生を繰り返すことにより早期高強度を発現する方法が用いられている。最近使用されはじめた高プレストレス高強度 PC 杭の第2次養生は、前述のように第2次養生中に高温養生により PC 鋼材のリラクゼーションとコンクリートのクリープが激増することを防止するために常圧蒸気養生によっている。

品質の管理については材料検査および脱型時、第2次養生後、出荷時等の外観寸法検査が各工程について製造基準によって行われており、製品の安定と信頼性が確保されている。

## 6. PC 杭の設計

基礎に用いる杭は、構造物を安全に支持するとともに構造物に有害な変位を生じないように設計しなければならない。したがって荷重条件、地盤条件、施工条件等をよく検討して設計を行い、設計荷重時および施工時において次の三つの条件を満たすことが要求される。

- 1) 杭を支持する地盤が破壊しないこと。
- 2) 杭頭の変位が構造物の許容変位以下であること。
- 3) 杭体が破壊しないこと。

一般に杭基礎の場合には、作用する鉛直荷重および水平荷重は、原則として杭だけで負担するように設計される。杭の許容鉛直支持力は地盤調査資料を用いた支持力算定式による計算結果か、または杭の載荷試験結果を安全率で除して算出する。安全率として通常支持杭の場合、常時荷重時に3、地震時に2が取られている。荷重作用としては構造物よりの作用荷重のほか、地盤の圧密沈下による負摩擦力等、考えられる条件はすべて検討に入れる。多くの場合、杭の許容水平支持力は構造物の許容水平変位によって定まる水平支持力とするが、これも計算または杭の水平載荷試験によって求める。

このようにして決められた杭体に作用する荷重を用いて杭本体の設計を行う。杭体の設計は一般的に常時作用荷重および地震時の作用荷重に対して行うが、施工中および完成後これに加わるすべての荷重作用のほか、プレストレス、コンクリートの乾燥収縮およびクリープ等の影響も考慮に入れなければならない。通常常時作用する荷重(死荷重、活荷重、衝撃等)に対しては許容応力度を用いて弾性計算法(許容応力度法)によって検討する。これは各荷重作用による杭体に生ずる応力度と、材料強度を安全係数で除して求めた材料の許容応力度とを比較し安全を確認する方法である。地震時の荷重に対しては

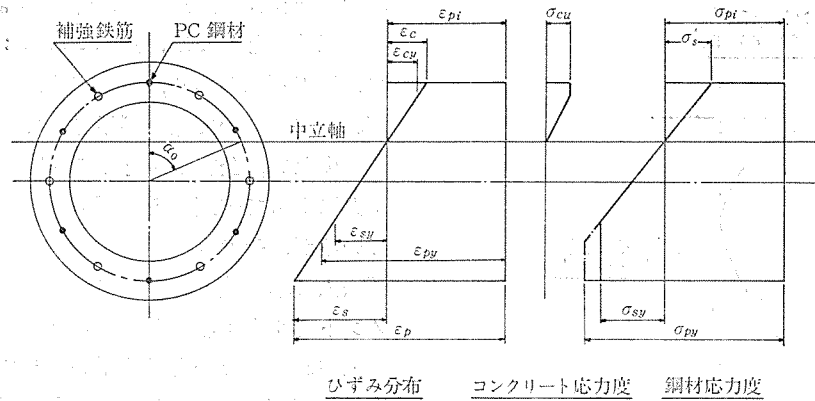


図-4 断面に生ずるひずみおよび応力度

杭の破壊の終局限界状態の耐力と、杭に生ずる応力とを比較し安全度を検討する方法（終局耐力法）か、常時作用荷重に対する検討と同じように、許容応力度法によって安全度を検討する。杭の使用状態を考えると、杭の断面寸法はほとんどの場合地震時荷重によって決定されるのが普通である。この場合は弾性限界をこえた設計となり、杭の破壊の終局限界状態について安全度を検討するのが合理的であるとされているが、現状では一般的に許容応力度法によって地震時も検討される場合が多い。

杭頭の結合部、杭の継手部、杭の先端部等についても考えられる荷重作用に対して十分安全であるように寸法仕様を決める。なお杭の継手部は通常前記にかかわらず、杭本体と同等の性能が付与されている。

ここに参考のためにある汚水処理場用杭基礎の上部杭として用いられた PRC 杭についての設計例を示す。杭は直径 600 mm、全長 45 m で曲げモーメントの大きく作用する上杭だけ長さ 12 m の PRC 杭とし、作用曲げモーメントの小さい下部は高強度 PC 杭の A 種を用いたものである。常時は水平力の作用がなく鉛直荷重だけが作用している場合であるので、常時荷重作用時の検討は省略し、地震時だけについて検討結果を示す。

地震時に与えられた設計条件

- 鉛直荷重：116.6 tf
- 水平荷重：23.3 tf
- 横方向地盤反力係数： $K=0.5 \text{ kgf/cm}^3$
- 杭頭結合方式：ピン
- 杭頭突出長さ：90 cm
- 杭頭変位制限：なし
- コンクリートの強度： $\sigma_{ck}=800 \text{ kgf/cm}^2$
- 地震時許容応力度
  - コンクリート： $\sigma_{ca}=400 \text{ kgf/cm}^2$
  - 補強鉄筋 (SD 30)： $\sigma_{sa}=2700 \text{ kgf/cm}^2$
  - PC 鋼材： $\sigma_{pa}=10150 \text{ kgf/cm}^2$

杭の仕様

- 外 径： $D=600 \text{ mm}$
- 肉 厚： $T=100 \text{ mm}$
- PC 鋼材：12- $\phi 11 \text{ mm}$
- 補強鉄筋：12- $D 25$
- 有効プレストレス (PRC 部)： $\sigma_{ce}=44 \text{ kgf/cm}^2$

PRC 杭の抵抗曲げモーメントは下記の仮定を用いて計算する。

- 1) 断面は破壊まで平面を保持する。
- 2) コンクリート、補強鉄筋および PC 鋼材は薄肉シリンドーとして部材の平均半径上に分布する。
- 3) コンクリート、補強鉄筋および PC 鋼材は完全弾塑性体として挙動する。弾性限界はコンクリートの場合、圧縮強度、鋼材の場合は降伏点とする。
- 4) コンクリートの圧縮側が圧縮破壊歪 (0.25%) に達したときをもって杭の破壊とする。
- 5) コンクリートの引張強さは 0 とする。

断面におけるひずみおよび応力度の分布は図-4 のようになる。以上の仮定によって地震時の許容応力度に対する杭の軸力と曲げモーメントの関係を計算した  $N-M$  曲線を図-5 に示す。これより地震時の設計条件である鉛直荷重 116.6 tf に対して杭の抵抗モーメントを求めると 47.4 tf-m となる。一方、与えられた設計条件により杭に生ずる曲げモーメントの分布をチャンの連続弾性

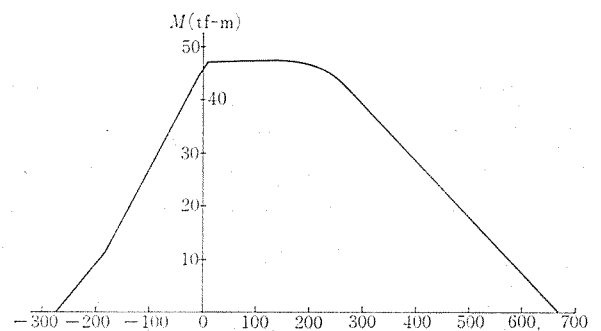


図-5  $\phi 600$  PRC 杭の  $N-M$  曲線 (地震時許容)

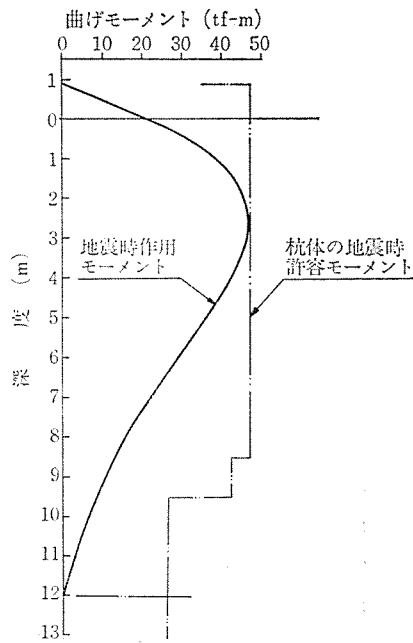


図-6 地震時の曲げモーメント分布図(φ600 PRC 杭)

支承梁の式によって求めると 図-6 になる。これより杭に生ずる最大曲げモーメントは深度 4.7m に生じ、46.6tf-m であり、杭の抵抗モーメント 47.4tf-m より小さい。また設計条件に対する杭の破壊曲げモーメントを求めると 101.5tf-m となり、作用曲げモーメントに対し 2.2 倍となり安全である。地震時の設計条件における杭体に生ずる応力度を前出の仮定より計算するとそれぞれ、

$$\text{コンクリート} : 393 \text{ kgf/cm}^2 < 400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{補強鉄筋} : 1165 \text{ kgf/cm}^2 < 2700 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{P C 鋼材} : 8891 \text{ kgf/cm}^2 < 10150 \text{ kgf/cm}^2$$

となり、いずれも地震時許容応力度以下である。PRC 杭を用いる場合、補強鉄筋の終末部は強度および剛性の不連続をなるべく少なくなるようにしているが、この場合は終末部で半数の補強鉄筋の長さを変えてある。図-6 に杭体の抵抗モーメントを図示してあるが、下方で階段が付いているのがそれに当たる。

## 7. PC 杭の施工

杭の施工法は地盤条件、環境条件、支持力等を考慮して適切な方法を用いなければならない。現在 PC 杭の先端支持力は地盤調査資料を用いて、支持力算定式： $R_u = \alpha \cdot \bar{N} \cdot A_p$  によって設計されることが多いが、施工法の種別によって用いられる係数  $\alpha$  が異なる。昭和 53 年の建設省告示第 1623 号では打込み杭で  $\alpha=30$ 、セメントミルク工法の埋込み杭で  $\alpha=20$  とされている。ここに、 $R_u$ ：地盤の極限支持力、 $\bar{N}$ ：杭の先端部の平均  $N$  値、

$A_p$ ：杭先端の有効断面積を表わす。

施工標準としては、JIS A 7201：遠心力コンクリート杭の施工標準があり、打撃工法、掘削工法、圧入工法、振動工法について標準が示されている。最近では振動騒音の少ない低公害工法として、杭を埋め込み、セメントミルクによって先端部を根固めする方法がいろいろ行われているが、そのうちのセメントミルク工法については財団法人日本建築センターにより、埋込み杭施工指針（セメントミルク工法）が作られた。

現在わが国で一番多く用いられている施工法は打撃工法で、直打ちだけでなく、振動・騒音公害を軽減するために最終の打止めだけを行うオーガー併用打撃工法や中掘打撃工法等を含めると全工事量の 70~80% をしめる。大都市およびその近郊では杭打ち公害問題が大きくなり、振動・騒音を極力減らすために打撃を行わない工法（セメントミルク工法、中掘圧入工法、中掘先端根固め工法等）が多く用いられるようになった。

打撃工法は振動・騒音等を除けば施工中に動力学的公式を用いて支持力の推定ができること、施工能率が良く、施工費も安いなどの利点があり、一番信頼性のある工法とされている。一方、低公害工法は施工能率が良くないこと、施工費が高くなること、支持力の推定が施工中に行えないため確認は載荷試験によらなければならないこと、施工管理が難しいことなど、改善すべき問題が少なくないが、低公害工法の要望がますます強くなる情勢にあるので、確実な信頼性における工法の早急な確立が望まれる。

## 8. PC ポール

わが国におけるコンクリートポールはすでに昭和 9 年以後工場生産されているが、昭和 26 年は森林資源の枯渇防止対策が国策として取り上げられ、木材ポールのコンクリートポール化が強力に推進された。その頃より PC ポールの試作が行われ、その利点が認められて昭和 30 年以後徐々に普及し、現在ではコンクリートポールの大部分が PC ポールとなり、年間生産量もおおよそ 140 万 t に達している。

PC ポールの規格は、JIS A 5309：遠心力プレストレストコンクリートポールおよび遠心力鉄筋コンクリートポールに規格化されている。種類は送電、配電、通信および信号用等に用いられる 1 種ポールと電車線用に用いられる 2 種ポールとがある。1 種ポールの形状寸法は末口 12~22 cm、長さ 6~17 m のさい頭円すい形ポールで、2 種ポールは末口径 19~22 cm、長さ 8~14 m のさい頭円すい形ポールと直径 30~35 cm、長さ 9~12 m の円筒形ポールであるが、電車線用としては、現在直径

40 cm の円筒形ポールも使用されている。

ポールの設計強度規格は、1種ポールの場合は載荷点の荷重で規定し、2種ポールの場合は支点における曲げモーメントで規定している。なお2種ポール前記のほかにはポールの軸方向の曲げモーメントの分布も使用目的によって5種類規定している。PC ポールの材料および製造方法は普通 PC 杭と同じであるが、ポールの場合には足場ボルト取付け用付属金具等を一体成形する。また成形後キャップおよび底蓋を取り付ける。PC ポールに用いるコンクリートは材令 28 日の圧縮強度で  $500 \text{ kgf/cm}^2$  以上を要求されている。

## 9. おわりに

PC 杭および PC ポールについて、ごく大雑把に概要を述べてきたが、宮城沖地震の際に既成コンクリート杭および PC ポールにかなりの被害があり、現在建設省で新耐震設計法に反映するために建築基礎の設計体系の見直しを行っており、また PC ポールについても、国鉄等で設計荷重、植込み方法等について検討されていることを付記し、その結果が PC 杭および PC ポールの設計、施工等に正しく反映され、PC 杭と PC ポールの信頼性がより一層向上し発展することを期待する。

### ◀刊行物案内▶

## “PC フラットスラブの設計に関する FIP 指針” 購入斡旋

FIP 本部より新刊図書(1980年初版)の案内がありました。ご希望の方は下記要領にてお申し込みください(ただし入荷は船便につき10月末頃の予定)。

### 記

名 称 : Recommendations for the design of flat slabs in post-tensioned concrete (using unbonded and bonded tendons) (図書番号-15709)

内 容 : Foreword, R1 General, R2 Materials, R3 Design, R4 Detailing requirements, R5 Construction

体 裁 : A4判 22頁

申込み期限 : 昭和 55 年 9 月 10 日

価 格 : ¥3,500 (送料とも)

申込み方法 : ハガキに「PC フラットスラブ設計指針」申込み部数, 所属会社, 担当者名, 電話番号ご記入のうえ協会事務局宛お申し込みください。

送金は三井銀行銀座支店(普通預金)920-790 または郵便振替口座 東京 7-62774。