

新構造方式による某工場新築工事の設計施工

KK 竹 中 工 務 店
オリエンタルコンクリートKK

1. ま え が き

わが国の建築界にPC工法が導入されて10数年を経過し、今日建築計画が行なわれる際には一応考慮の対称にされるようになってきている。PC工法には数多くの種類があり応用範囲も大変広がっている。

今回某地に建設される工場にPC工法が採用され、その内容で変化があると思われる応用部分につき設計および施工面から報告する。

2. 概 要

規 模：平家建，低層高層延べ7668m²
(約2322坪)

設 計 施 工：KK竹中工務店

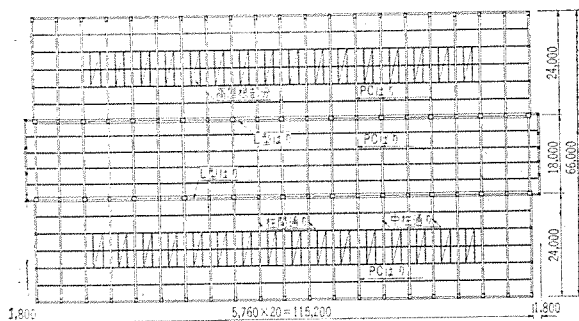
構 造 設 計 施 工：オリエンタルコンクリートKK

工 期：昭和39年6月～同11月

(1) 構造概要

RC造と一体式PC造を併用し、基礎は松ぐいを使用した独立基礎としている。はり間は24.00+18.00+24.00=66.00mの3スパンをPC一体式、桁ばり方向は1.80+5.76×20+1.80=118.80m、軒高は、はり間24.00m部分が7.20m、18.00m部分が11.49mである。中柱の間隔は11.52mにしてPCばり1本おきとし、24.00mスパンのPCばりをL型断面の桁方向ばりに支持させる方法にしている。また、18.00mスパンPC部分も同時にトラスを形成し支持させている。図-1および口絵写真にて建物概要が見られる。

図-1 はり伏図



(2) 施工概要

施工については、RC造と一体式PC造との併用であるから、PCケーブルの組込みなどによる仮設段取り以外はほとんど同様と考えられる。

3. 設計について

(1) 一般計画

工場という設計条件から種々の変った点が要求された。「大スパン」、「耐火性」、「耐久性」、「気密性」などがまず考えられ、さらに構造上の安定性、全体的には経済的であることが打ち出されてきた。

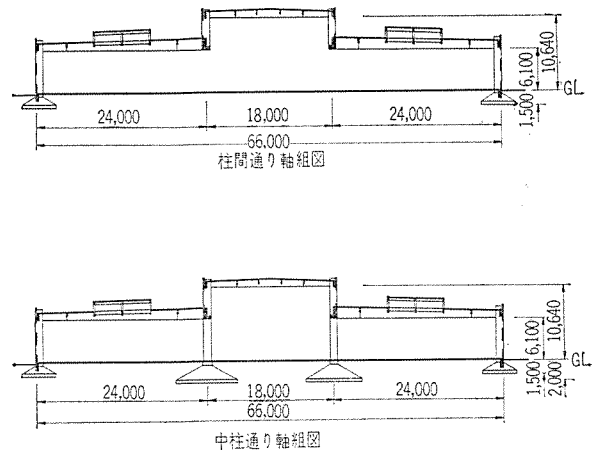
各条件に対して、RC造、SRC造、鉄骨造、組立式PC造、一体式PC造と種々の工法が取り上げられたが各条件に最も適合するのは一体式PC造であった。

(2) 構造施工の計画

一般計画における機械その他の配置などから図-1のような平面計画がされた。構造上の可能性と施工上の実現性からは、完全に満足できるものでなければならないが、一体式PC造を考慮して構造計画を行なった場合は、施工上極端な問題は生じないことが、ある程度経験的に実証されているので安易にあつかえた。また、構造上とくにPC部材と他の部材とのコネクションについては一体式PC造が最も優れている。

各方面から検討して決定した構造は図-1、図-2のようなものとなった。特に中柱列をPCばり1本おきに間引きしたいという要求に対してはさらに研究した結果、十分可能であることを確認した。

図-2



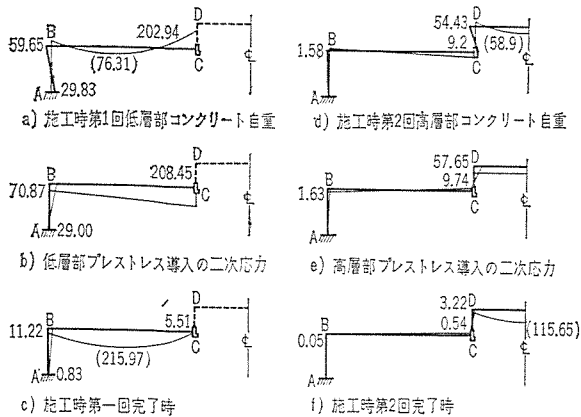
(3) PCばりの架構について

構造計画の実現には種々の準備計算が必要であるが、PC工法を取り入れる場合にはプレストレス導入による応力を考慮しなければならない、屋根面には水勾配が必

要なためはりを変断面にしなければならない、中柱列でPCばりを支える柱を1本おきに間引きしたい、などの要求から 図-2 のラーメンを決定した。またPCばりを支える柱を間引きした中柱列のラーメンは(4)項で述べることにする。

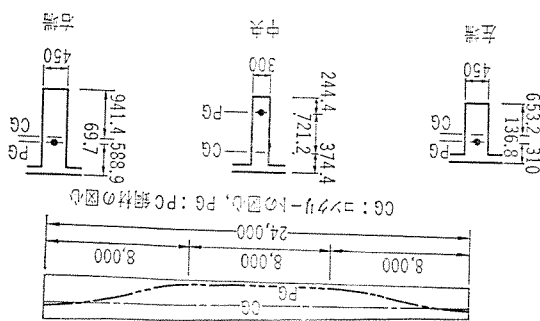
中柱を有するPCラーメンにおいては、各荷重時の応力算定について全く問題はない。ここでは、中柱を間引きしたPCラーメンについて 図-3 にしたがって各荷重時の応力の大要を説明する。

図-3



a) 施工時第1回(低層部コンクリート打設、プレストレス導入まで)においてC点を仮に固定としてA,B,C点までのラーメンとして取扱い、コンクリート自重によるC点曲げモーメントの大きさ(+202.94 t·m)とほぼ同じ大きさで逆方向のプレストレス モーメント(-208.45 t·m) がC点に生ずるようにPC鋼材の配置を行なって曲げモーメントを処理している。PC鋼材の配置は 図-4 に示す。

図-4



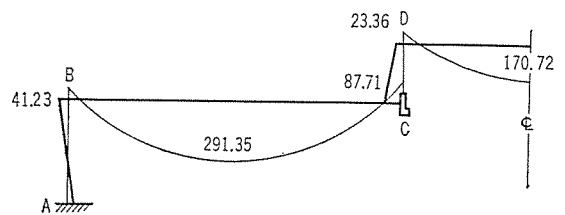
上記をさらにくわしく考えるとコンクリート自重の曲げモーメント時とプレストレス導入時を同一の固定条件としているので固定度に差が生じても打消し合う応力の割合は同じであると解釈してさしつかえない。このラーメンのC点には曲げモーメント $+202.94 - 208.45 = -5.51 \text{ t}\cdot\text{m}$ が施工時応力としてL型断面の桁ばりに残留する結果となった。

b) 施工時第2回(高層部コンクリート打設、プレスト

レス導入まで)における応力については、すでに施工を完了している低層部の上であるからラーメンの解析は全ラーメンについて行なった。このラーメン完成時には 図-4 のC点とD点を結ぶ柱があるのでそれぞれの $-9.2 \text{ t}\cdot\text{m}$, $+9.74 \text{ t}\cdot\text{m}$ はこの柱が十分負担するはずであり、L型断面のC点を支えるはりは $-5.51 \text{ t}\cdot\text{m}$ の施工時第1回の曲げモーメントだけを負担すればよいことになる。

c) さらに上記の施工時の荷重(コンクリート自重、プレストレス導入による二次応力)のほかに仕上げによる荷重と積載による荷重とを加算した設計荷重によるものがあるが、これは ABCD の全ラーメンに負担させるので 図-5 のようなものである。結局C点の桁ばり方向の

図-5 中柱のないPCラーメンの設計荷重応力



L型ばりは $-5.51 \text{ t}\cdot\text{m}$ の曲げモーメントと、この点に働く鉛直方向荷重を負担することになる。ただしこのC点とD点の間は中柱を結ぶトラス架構を形成してあり、前述の鉛直方向の荷重は 図-6 および 写真-1 で示す

図-6

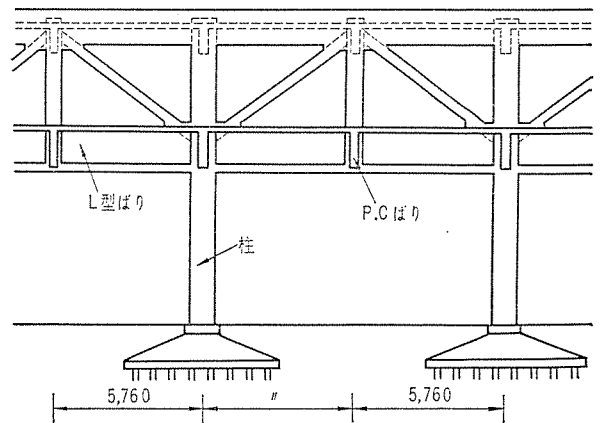


写真-1



ラスで支持することになる。

(4) 中柱列のPCばりを支えるトラス架構について

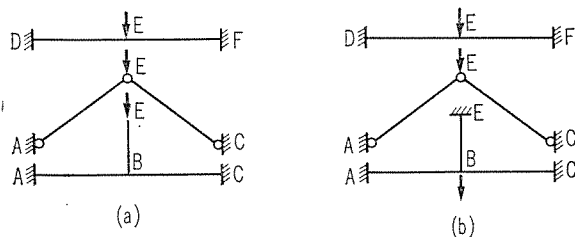
図-6 および写真-1 で示した架構部分についてはPCばりと同様の施工段階に分類して考えなければならぬ。図-3 のC点とD点の間を直角方向からみた架構、すなわちトラスを 図-7 (a)~(c) のようにわけて考えることにする。

図-7

図-7 (a) の施工時第1回における P_1 は低層部コンクリート自重によるスパン 24.00m のPCばりのせん断力が働くことになる。図-7 (b) の施工時第2回における P_2 は、高層部コンクリート自重によるスパン 18.00m のPCばりのせん断力が働く。この場合はトラス自重はそれぞれの時期のものが加算され、また P_1 と P_2 は時間的に差をもって働くから別に計算しなければならないものである。図-7 (c) の完成時の P_3 は高層部の仕上げと積載荷重によるもの、 P_4 は低層部の仕上げと積載荷重によるものである。

P_1 が作用するときは下弦材 ABC は両端固定のほりとして問題ないが P_2, P_3, P_4 が作用するときについてはトラス架構が完成されてから作用するので、それぞれ部材の断面を仮定したのちに曲げ変形、せん断変形、および斜材については圧縮変形を一定にしたときの耐力の割合で荷重の分担量を決定している。 P_2 と P_3 は作用点と完成時の結果がまったく同様であるから取り扱い同じに考えることにする。すなわち 図-8 (a) がトラスの上から荷重が働く場合 (P_2 と P_3 の場合)、図-8 (b) は

図-8



トラスの下から荷重が働く場合で、図中の鉛直材 BE の伸びおよび縮みが影響するので大別してこの2つに分類された。

求めようとする荷重の分担は、分解したトラス各部分の変形量が同一である条件から算定する方法を選んだ。

すなわち、この架構は鉛直方向だけであるから変形を δ であらわすと

$$\delta = \delta_M + \delta_Q \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{または } \delta = \delta_M + \delta_Q + \delta_N \dots\dots\dots (2)$$

δ_M : 曲げ変形, δ_Q : せん断変形,

δ_N : 軸力による変形

図-8(a), 上弦材 DEF についてまず考えると式 (1) によって求まる。

$$\delta_{上} = \delta_{M上} + \delta_{Q上}$$

$$\delta_{M上} = \frac{Pl^3}{192EI} \text{ より } P_{M上} = \frac{192\delta EI}{l^3}$$

$$\delta_{Q上} = \frac{\tau_{max}}{G} \cdot l \text{ より } P_{Q上} = \frac{2\delta AG}{KI}$$

を得る。

P_M : 曲げ耐力 (集中荷重), P_Q : せん断耐力 (集中荷重)

E : 材のヤング係数, I : 材の断面二次モーメント,

l : スパン, A : 材の断面積

K : せん断力を受ける材の形状係数……(1.5)

G : せん断弾性係数…… $\left(\frac{E}{2.3}\right)$

つぎに 図-8(a) 斜材 AEC については、

$$P_{斜} = \frac{2 \cdot A \cdot E}{\sec^2 \theta l'}$$

$P_{斜}$: 斜材の耐力, θ : 斜材の角度, l' : 斜材の長さ
さらに下弦材 ABC については鉛直材 BE をふくめて考えなければならない。なぜならばE点に作用した力に対してはB点とE点の変位量は当然異なるからである。そこで BE 材の変位量と ABC 材の変位量がそれぞれ必要である。これを加えたものがE点に加わった荷重による変位となる。すなわち、

$$P_{鉛} = \frac{\delta EA_{鉛}}{h}$$

$A_{鉛}$: 鉛直材の断面積, h : 鉛直材の長さ, $P_{鉛}$: 鉛直材の耐力

下弦材についてはさらに上弦材と同じ方法にて $P_{M下}$ および $P_{Q下}$ を求めた。

上記E点に荷重が作用する場合の変位一定にしたときの耐力をまとめると 図-8 (a) に対して表-1 のようになる。また表-2 には 図-8 (b) のB点に荷重が作用したときの耐力についてまとめている。

表-1 および表-2 を比較してみると鉛直材の影響が無視できないことがよくわかる、またその影響を大きく

表-1 図-8 (a) の場合の荷重負担率

部 材 名	$\delta=1 \text{ cm}$ のとき の耐力 (t)	荷重負担の割合 (%)
D E F	106.3	106.3/1 447.3=7.34
A E C	635.0	685.0/1 447.3=47.33
A B C	656.0	656.0/1 447.3=45.33

表-2 図-8 (b) の場合の荷重負担率

部 材 名	$\delta=1\text{ cm}$ のとき の耐力(t)	荷重負担の割合 (%)
D E F	106.3	$106.3/1\ 620.4=6.55$
A E C	685.0	$685.0/1\ 620.4=42.30$
A B C	829.1	$829.1/1\ 620.4=51.15$

受けるのは斜材であることもわかる。

PC工法を採用した設計について本建物の基本的な部分を取り上げてみたが、つぎのような利点を得ることができたと考えられる。

1) PCばりの支点を施工時に固定にしてプレストレス導入を行なった場合は、接続する他の部材に二次応力を利用して、大スパンにしたために部材の接点に生じる大きな応力を打消すことができる。

2) また特に一体式工法のPCにおいては、組立式工法に比較して、絶対曲げモーメント (M_0) を端部の上端にも相当大きく負担させることができるので、はりせいが小さくできる。

3) 構造全体が一体化しているので継手目地などによる難点がまったくなく建物全体の剛性が高く、安定性がある。

よって一体式PC工法は利用の仕方により相当に有利な設計ができるように思われる。

なお、プレストレス導入によるPCばりの軸長変化応力は特許 277243 号 (施工時において柱を割柱としプレストレス導入完了後に一体の柱とする方法) を採用して応力の処理を行なっている。

4. 施工について

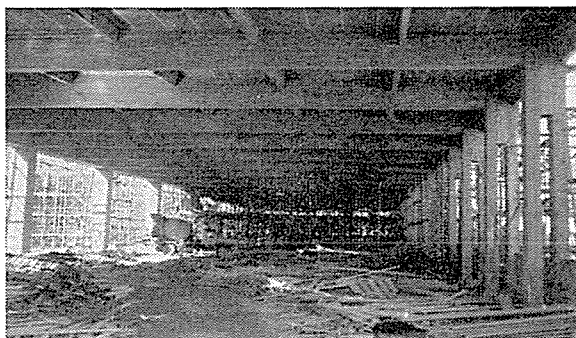
(1) 基礎および土間スラブの施工

松くいを使用した独立基礎としている点、別に変化のある箇所は察せられない。ただし、工場の機械が相当に重量物であるのと、配置に自由性を持たせるためとから土間スラブ下にも松くいを使用して布基礎を縦横に設けて、荷重は構造体と地盤には負担させないように設計してある。またこの土間スラブは構造体完成後にコンクリート打設を行なうために、くい打ち施工後に仮整地を行ない構造体の施工をしている。

(2) PC工法により施工方法が特殊な点

(a) プレストレス導入による軸長変化の応力 (プレストレス導入により生じるPCばりの軸長変化の拘束をなくしないと柱を内側へ引き寄せ応力が長期応力として残留し、またPCばりに所定のプレストレスが導入できなくなる) この応力の有利な点はないために柱を二つ割りにする方法 (特許 277243 号) を採用したが、その部分の柱について **写真-2** により概要がわかる。特に中柱列は二つ割りにしないで外側の柱をその方法によ

写真-2



り施工し中央部分に建物全体を締め付けるようにした。階高が比較的高く生じる部材角が小さいので、片側のみにてその処理は十分行なうことができ結果は良好であった。

b) PCばりの型わくの組立てについて PCばりのせいが大きい場合には、はり型わくを完全に組立ててしまうとPC鋼材の組込み配置ができないために **図-9** および **写真-3** のように小ばり1スパンおきに型わくの組立てとPCばり組立筋の完成を行ない、その後にはり側

図-9 型わく組立順序

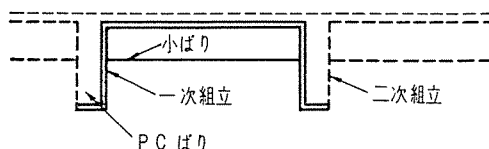
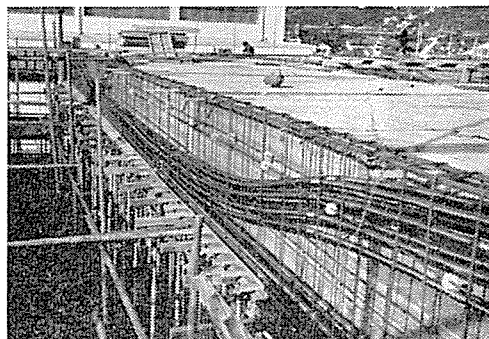


写真-3



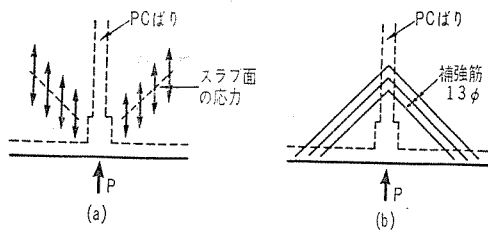
面よりPC鋼材の組込み配置を行なった。この方法によるとPC鋼材の取付け位置の確認と他のはりせいの大きいことによる障害を防げるなどの大きな利点がある。またはりの締め付けは全型わく完了後に行なった。

c) PCばり端部柱頭付近のスラブ補強 この部分の応力は現実には光弾性などにより調査し決定できるものであるが、**図-10 (a)** のような仮定をし、**図-10 (b)** のような補強を行なった。

構造物全体を考えた場合には当然プレストレス力が局部圧力を与えることになるから相当に効果があるものと思われる。

d) 施工時第1回について 低層部のコンクリート打設からプレストレス導入までは、型わくの組立て完了後

図-10



低層部スラブまでをコンクリート打設をし、プレストレス導入所要圧縮強度 250 kg/cm^2 に達したことを確認した上でプレストレス導入を行なった。

施工は比較的容易であった。

e) 施工時第2回 高層部コンクリート打設からプレストレス導入までは低層部と同じように施工したが、コンクリートトラスを形成した部分のコンクリート打設は斜材の部分の 填充にやや不安感があったが、 $40 \times 50 \text{ cm}$ の断面であり振動打ち型わく外面からのたたき作業も行なったので良好なコンクリート打設を行なった。

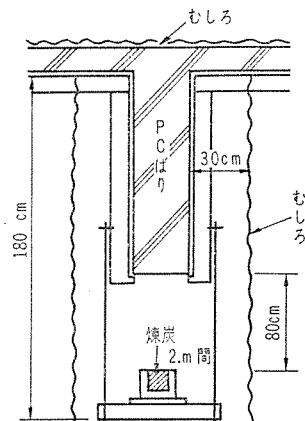
f) グラウトの養生について プレストレス導入後に

施工したグラウトは冬期

施工であるので 図-11

に示す方法で養生した。熱源には煉炭を使用した。外気温度が最低 $-5^\circ \sim -6^\circ \text{C}$ に低下したが、むしろで覆った部分の内側は相当に暖かく $10^\circ \sim 15^\circ \text{C}$ に保たれていた。またこれを3日間行なっているため、10月末から12月始めという冬期の条件に心配されるグラウト

図-11



の凍結などについては全く問題のない施工が行なわれた。

5. 考 察

PC工法のうち一体式PC造を採用した工事を取り上げて特に変化のある面を掲げたのであるが、本工事のように用途が構造の特性を十分に発揮できるものに利用しているため、完成間近い工場の内部の大きさは雄大である。口絵写真は内部の様子であるが、 24.00 m スパンは非常に大きく他の工法では相当に困難であったと思われる。また、中柱を1本おきに間引きした点は特にこの工法の活用された大きなポイントである。 7668 m^2 の建物を中柱 18 本で納めてあることは工場内の機械配置および資材、製品の流れを円滑化し、製造工場における生産性の向上にも建築構造が役立った一例である。

6. む す び

将来の建築構造は限りなく発展してゆくことであろうが、ここに取り上げにPC工法もさらに大きく伸展することを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：“鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説”
- 2) 日本建築学会：“プレストレスト コンクリート 設計施工規準・同解説”
- 3) 坂・六車・岡田：“プレストレストコンクリート” 朝倉書店
- 4) 建築学大系 16：“II鉄筋コンクリートの設計法” 彰国社
- 5) 梅村・鈴木：“骨組のデザイン” 産業図書

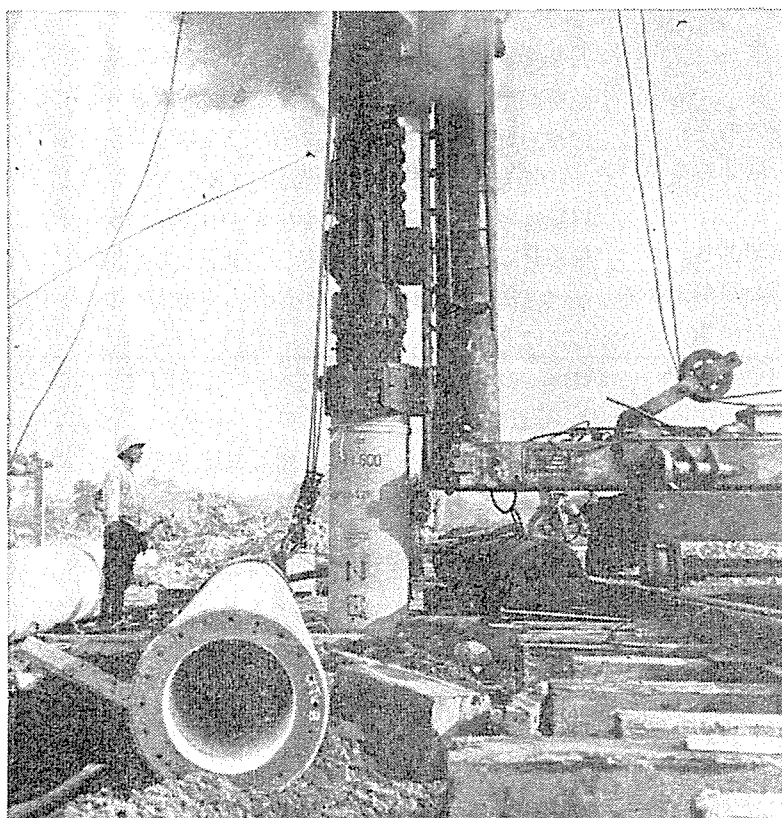
1965.2.26・受付

会 員 増 加 に つ い て お 願 い

会員の数はその協会活動に反映するもので、増加すればそれだけ多くの便益が保証されています。現在の会員数は創立当時に比較すると約4倍の1,200名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されています。お知合の方を一人でも余計ご紹介下さい。事務局へお申し出で下されば入会申込書はすぐお送りいたします。

NCS-PCパイイル

プレテンション方式———NCS溶接継手



NCS-PCパイイルの特長

① 継 手

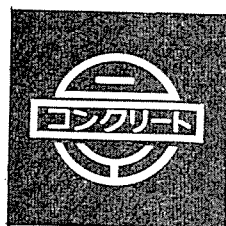
全強であるから支持力の低減が要らない。

② 耐 撃 性

頭部が耐撃的であるため確実に打止りが得られる。よって支持力に全材強を活用できる。

③ 曲げ剛性

プレストレスの効果によって曲げ剛性が大きい。よってパイイル施工中の安全はもちろん、くい基礎の経済設計ができる。



日本コンクリート工業株式会社

本 社 東京都中央区銀座東 8-19
営業所 大阪市阿倍野区天王寺町南 2 の 6 6
〃 名古屋市中村区下広井町 1 の 66 (三建設備工業ビル)
工 場 川 島 (茨城県下館市)
〃 鈴 島 (三重県鈴鹿市)
研究室 茨城県下館市川島工場内

電話 東京 (542) 大代表3151
電話 大阪 (718) 1881~3
電話 名古屋 (54) 5918・5938
電話 下館 2181~4
電話 鈴鹿 (8) 1155 (代)
電話 下館 3942