

PC パイルのカットオフならびにクリープテスト

渡 辺 明*・石 井 啓 文**
星 野 親 房**・早 野 正 義***

1. 序

近年、建設工事の進展にともない、コンクリートパイ
ルに対する需要がいちじるしく増大し、なかんずく、
PCパイルは昭和 37 年首都高速道路公団によって高速
一号線に採用されて以来、その曲げ抵抗力、打ち込み
に対しての抵抗力、そしてくい耐久力の大きいことなど
が買われて急速に普及している。

これらの優れた特長は、引張りに弱いコンクリートに
プレストレスを導入した結果として生れたものであり、
したがって、パイル断面に所要のプレストレスが導入さ
れ確保されるためには、緊張材定着の問題ならびにコン
クリートのクリープに基づくプレストレス減退の問題がき
わめて重要である。

これらの見地から、著者らはPCパイルのカットオフ
テストならびにクリープテストを実施した。

2. PC パイルのカットオフテスト

(1) 緒 言

まくらぎや桁などのPC部材はその使用目的に応じた
長さがすでに決っていて、これを途中で切るなどという
必要はないが、くいの場合には地盤の高低や障害物など
により、設計長まで貫入しない場合が起ってきて、ど
うしても残った長さは切断しなくてはならない状態と
なる。そこで、プレテンション工法によるPCパイルを切
断した場合、プレストレスはどのように変化するか、伝
達長はどの程度か、そして鋼線定着の仕組みはどうか
などを調べるため、カットオフテストを実施した。

(2) 材料の諸性質

今回使用したPCパイルはプレテンション方式による
もので、緊張材としては高周波熱錬(株)製異形PC鋼
棒(ウルボン)を用いた¹⁾。同鋼棒の機械的性質は表-1
のとおりである。また、コンクリート配合ならびに圧縮

表-1 ウルボンの機械的性質

直 径	9.2 mm
断 面 積	63.7 mm ²
引 張 強 さ	150 kg/mm ²
降伏点応力	142 kg/mm ²
伸 び	8.5 %
ヤング率	20 000 kg/mm ²

表-2 コンクリートの配合

セメント (kg)	水セメ ント比 (%)	水 (kg)	砂 (kg)	砂 利 (kg)	骨材の 最大径 (mm)	スランブ (cm)
492	38	187	611	1 350	25	5~6

表-3 コンクリートの強度、弾性係数

	プレストレス導入時 (kg/cm ²)	カットオフ時 (kg/cm ²)
圧 縮 強 度	447	495
弾 性 係 数	367 000	374 000

強度、弾性係数を表-2, 3 に示す。プレストレス導入
はコンクリート打設の翌日、カットオフテストは1週間
後実施したので、表-3 の諸値はそれぞれ材令2日、7
日に対するものである。カットオフテストを1週間後実
施したのは、パイル表面にワイヤーストレングージを
貼布する都合から、コンクリート面のある程度の乾燥を
持つ必要があったためである。

(3) テンションメータの製作

PC鋼棒緊張力の測定は、特別に製作したテンション
メータを緊張ジャッキと各鋼棒の間にそう入して行な
った。すなわち図-1 に示すとおり、高張力鋼棒の表面に
4枚のストレングージを貼布し、相対するゲージすな
わちAとB、CとDをそれぞれ直列接続した後それらを
並列接続したもので、このようにすれば鋼棒の引張りひ
ずみの平均値が自動的に直ちに得られる利点があり、筆
者らは多年この方法を用いている²⁾。

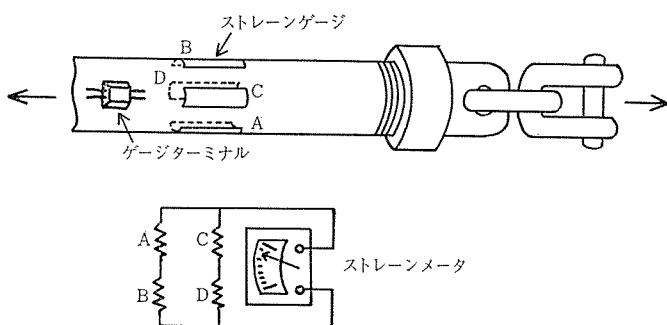
テンションメータは、本テストに先立ち計 12 個準備
し、それぞれについてキャリブレーションテストを実施

* 工博 九州工業大学助教授 開発土木工学科

** 九州工業大学大学院 修士課程

*** 日本ヒューム管KK 若松工場 製造課長

図-1 テンションメータ



した。

(4) 試験方法

一般に、プレテンション工法PCパイルのプレストレスング作業は、縦方向に配置された数本の鋼棒を一括緊張する方式で行なわれるため、各鋼棒の緊張力には多少の差異が生ずる。この場合の全緊張力は緊張ジャッキの荷重計で測定されるが、本テストに入るのに先立ち、それらを正確に調べておく必要があると考え、(3)に述べたような特製のテンションメータを各鋼棒に連結して、初期緊張力を実測した。

実際のPCパイル施工において、不要長のカットオフは手ノミ、あるいはコンクリートブレイカーを用いるが、本実験では、図-2に示すような治具をあらかじめ供試体にセットし、サンダーによりPC鋼棒を切断して、パイル頭部をカットオフする方法を採った。この場合、特別のカットオフ方式を採ったのは、カットオフに長時間を要して測定精度が低下することを避けるため、カットオフ時のボンド定着機構を本質的に究明するにはむしろの方が好結果を得ると判断したからである。供試体寸法、切断位置そしてゲージ貼布位置などは図-2に示すとおりで、ゲージ結線は原則として(3)に述べた平均結線法によった。パイル中央にもゲージを貼布したのは、それでインジケータの0点移動を読み、各測定値を修正せんがためである。

供試体は3本製作し、計9個のカットオフテストを行った。

PC鋼棒の任意点(ただし伝達長以遠)の引張応力度を σ_s とすれば、コンクリートの圧縮応力度(プレストレス) σ_c は次式で与えられる。

$$\sigma_c = A_s \sigma_s / A_c = r_c \sigma_s$$

ここに、

A_s : PC鋼棒の断面積 (63.7 mm² × 6 本 = 3.8 cm²)

A_c : コンクリートの断面積 (448.3 cm²)

r_l : 鋼棒比 (8.476 × 10⁻³)

σ_c : プレストレス (79.8 kg/cm²)

さて、パイルの任意点を切断すると、その端から内部に向かってアンカーボンが生じて、新に鋼棒の定着が達成されることになる。鋼棒端はコンクリート内にすべり込むので σ_s は完全に失なわれて0になるが、内部に入るにしたがい σ_s の残留量は漸増して一定値に達する。したがって、カットオフの進行にともないパイル表面にあらかじめ貼布されたストレインゲージの読みは、引張ひずみとして現われ、端部におけるほど大きい理屈となる。この引張ひずみを ϵ' とすれば、 $\sigma_c' = \epsilon' E_c$ (E_c : コンクリートの弾性係数) が初期プレストレスの減退量を意味するから、パイル切断後のプレストレスは $(\sigma_c - \sigma_c')$ で表わされる。

(5) 試験結果および考察

プレストレスング時の各鋼棒の引張力をテンションメータで実測した結果、最大値 6.43 t, 最小値 5.61 t, 平均値 6.00 t であった。

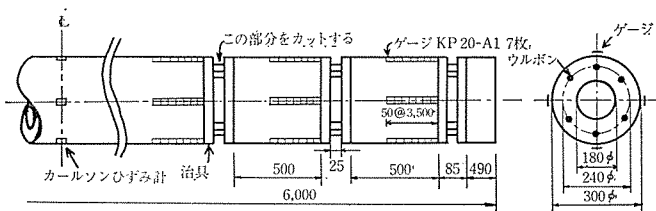
表-4 は前記の方法でカットオフ時のプレストレス分
表-4 測定データの一例(供試体 I-2)

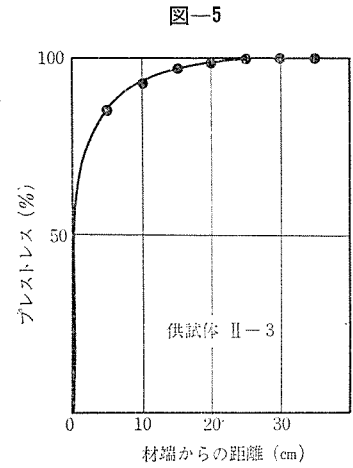
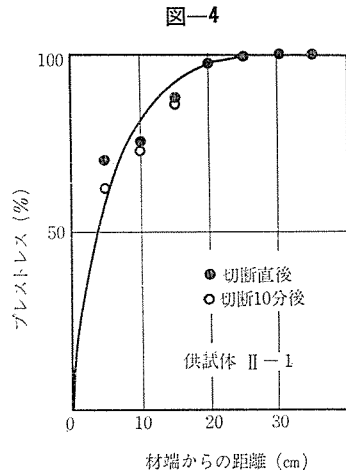
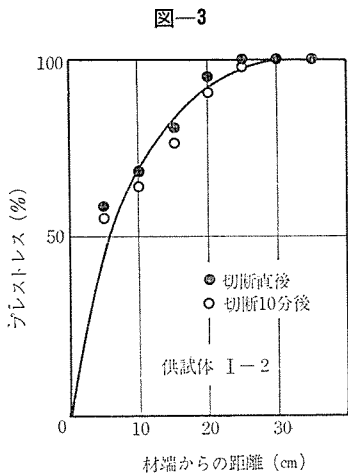
材端からの距離 (cm)	測定ひずみ (×10 ⁻⁶)	応力 σ_c' (kg/cm ²)	残留プレストレス $\sigma_c - \sigma_c'$ (kg/cm ²)	$\frac{\sigma_c - \sigma_c'}{\sigma_c} \times 100$ (%)
5	88 (95)	33.0 (35.5)	46.8 (44.3)	58.6 (55.5)
10	70 (76)	26.2 (28.4)	53.6 (51.4)	67.2 (64.4)
15	45 (50)	16.8 (18.7)	63.0 (61.0)	78.9 (76.6)
20	9 (20)	3.4 (7.4)	76.4 (72.4)	95.7 (90.7)
25	2 (4)	0.7 (1.5)	79.1 (78.3)	99.1 (98.1)
30	0 (2)	0 (0.7)	79.8 (79.1)	100.0 (99.1)
35	0 (0)	0 (0)	79.8 (79.8)	100.0 (100.0)
中央	0 (0)	0 (0)	79.8 (79.8)	100.0 (100.0)

注: () 内は切断10分後の値

布を測定したデータの一例である。表中()内の値は切断10分後のものであり、切断直後の値より多少大きくなっていることがわかる。コンクリート表面のひずみ測定値は、カットオフ直後はPC鋼棒に近い測点ほど大きいのが、漸次全体的に、立体的に平均化される傾向が認められ、測定値の時間的变化は、それとインジケータの0点移動などに起因する

図-2 切断位置およびゲージ貼付位置





ものと解される。

表-4 を図示すれば 図-3 になり、パイル端から有効プレストレスの 95% が導入される点までの距離を伝達長 (λ) とすれば、この場合の λ は約 25 cm である。第 1, 第 2, 第 3 カットオフ に対し同様な方法で求めた結果の一例を 図-4, 5 に示す。これらによると λ の平均値は 25~30 cm で、一般の平滑 PC 鋼線に比べてかなり短縮されている。表面にらせん状の溝を有するウルボンのボンド性良好なることが認められる。

なお、理論的には、カットオフ部がパイル中央に近づくほど鋼棒の有効引張応力度は小さいから、伝達長が短くなる理屈となるが、このことを実測で見出すことはできなかった。

一般に、鋼線の定着に関する付着力、つまりアンカーボンドを、筆者はつぎの 5 つに大別できると考えている³⁾。すなわち、① ; PC 鋼線緊張解放後の鋼線径の増加によるまさつ抵抗力 τ_{01} 、② ; プレストレスにともなう横方向ひずみに基く鋼線把握力 τ_{02} 、③ ; PC 鋼線とコンクリート間の純付着力 τ_{03} 、④ ; くさび形によるすべり抵抗力 τ_{04} 、⑤ ; 機械的すべり抵抗力 τ_{05} などである。上に示した中で①, ②, ④ はプレテンション部材独特のボンドであり、すなわち、緊張を解放された鋼線はいくぶん短縮し、したがって、断面が膨張してコンクリートを押し (τ_{01})、同時にくさび形を形成して定着を強化するものと考えられ (τ_{04})、その際、まわりのコンクリートは縦方向プレストレスにともなう横方向ひずみを生ずるから、側圧はさらにその影響も受けて変化し、したがって、まさつ抵抗力も変化するものと解される (τ_{02})。 τ_{03} は鋼線とコンクリートの間に相対的すべりが生じない間存在する粘着力に基くボンドである。したがって、プレテンション部材の中央部分では自然のまま残存しているのに対し、材端に向かうにしたがって失なわれ、材端では 0 であると解される。これは、材端におけるほど大

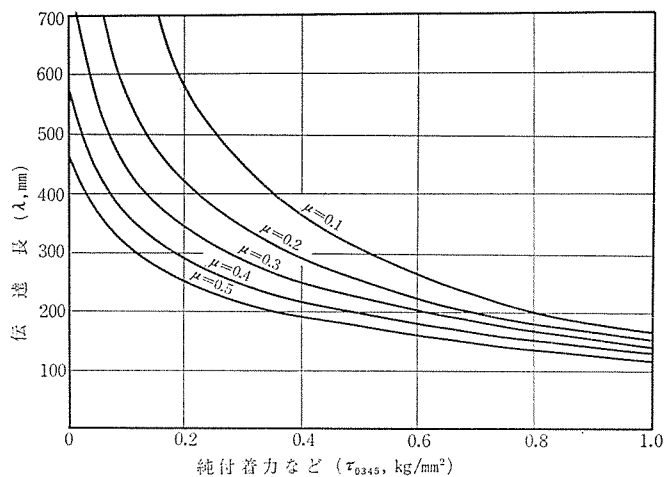
きく中央に向かうほど小さい τ_{04} と全く逆の性質を示しており、したがって、取扱上は τ_{03} と τ_{04} の和は、ほぼ鋼線にそって等分布するものとする。

τ_{05} は鋼線表面の凹凸に基くもので、異形鋼線やストランドにみられるボンドである。

図-6 は、フリクションボンド (τ_{01}) に密接に関係する鋼線まさつ係数 (μ) および純付着力など (τ_{0345}) を実用の範囲内で仮定して、伝達長 (λ) との関係を実験に用いたウルボンに関して理論的に求めたものである。いま、同図によると純付着力などを 0.2 kg/mm^2 とした場合、 $\mu=0.2$ では $\lambda=43 \text{ cm}$ であるのに対し、 $\mu=0.4$ では $\lambda=29 \text{ cm}$ と大きく短縮されていることがわかり、 μ 値の影響が非常に大きいことを示している。

τ_{0345} についてながめてみると、この値が大体 0.4 kg/mm^2 以上では、 μ 値のいかんにかかわらず λ 値への影響は非常に小さいが、 τ_{0345} 値が前記の値以下の場合には比較的大きな影響を与えている。いま、 $\mu=0.3$ とした場合、 $\tau_{0345}=0.1 \text{ kg/mm}^2$ では $\lambda=35 \text{ cm}$ であるのに対し、 $\tau_{0345}=0.3 \text{ kg/mm}^2$ では $\lambda=30 \text{ cm}$ に短縮されることになる。今回、ウルボンの μ 値を測定してみた結果⁴⁾

図-6 μ - τ_{0345} - λ 曲線



$\mu=0.4\sim 0.5$ 程度で、純付着力 τ_0 は 0.3 kg/mm^2 程度であった。したがって、図-6 によると付着長は $22\sim 25\text{ cm}$ 位となる。

3. PC パイルのクリープテスト

(1) 緒 言

コンクリートは定温定湿の下で荷重を持続的に加えておくと、日時の経過にともない変形が増大する。この現象はクリープと呼ばれ一般にゲル中の水の放出吸収が主因であると説明され、さらに膠質物質の粘性流動や結晶構造の塑性変形等も原因の一部をなしていると解されている。

さて、プレストレスト コンクリートでは、導入されたプレストレスはコンクリートのクリープと硬化収縮とによって次第に減少する。このクリープだけを硬化収縮と切離して測定することはできないので、プレストレスを導入した供試体（載荷供試体）とそれと同一条件でプレストレスを導入しない供試体（無載荷供試体）とを作り、プレストレスを導入した供試体の変形からプレストレスを導入しない供試体の変形を差し引いてこの差をクリープと考える。

コンクリートのクリープ、硬化収縮はその養生条件、載荷中の温度、湿度などにも影響されるが、本テストにおいては、パイル表面にストレインゲージを貼布した都合から、一般のパイル製造過程すなわち、コンクリート打設—蒸気養生—脱型—水中養生（4日～7日）—自然放置の過程から、水中養生の項目を削除し、屋内自然放置の状態での長期クリープ計測を実施した。

(2) 試験方法

供試体は、前章カットオフテストに用いたものを併用する。載荷供試体、無載荷供試体ともその中央断面にカールソン型鉄筋計を4個セットした。なお、鉄筋計には、パイル製造中、遠心力が加わってもその位置、方向などが狂わないように、その両側にウルボン鋼棒を連結し、その数カ所をスパイラル筋に緊着せしめた。

インジケータには土木測器センター（株）製 M-4 S 型を使用した。

(3) 試験結果および考察

図-7 は、プレストレスを導入していない、無載荷供試体の乾燥収縮による鉄筋計応力減退量（カッコ内はひずみ）の時間的推移を示したものの一例である。また、図-8 は、プレストレスを導入した、すなわち載荷供試体の鉄筋計応力総減退量または総減退ひずみの推移を測定した結果の一例である。

恒温恒湿下の測定ではないから、全体的に測定がばらついており、70日近傍からはそれが特にいちじるしい

のは、当時の不順な天候の変化を敏感に反映したものと考えられる。

以上に掲げた乾燥収縮による減退量曲線および総減退量曲線のそれぞれの平均曲線や、後者より前者を差し引いた、つまりクリープによる減退量曲線などを示せば図-9 のとおりである。この実測結果から終局クリープ係数 ϕ_n を求めると、 $\phi_n=1.4$ となって、PC設計施工指

図-7 乾燥収縮による減退量曲線

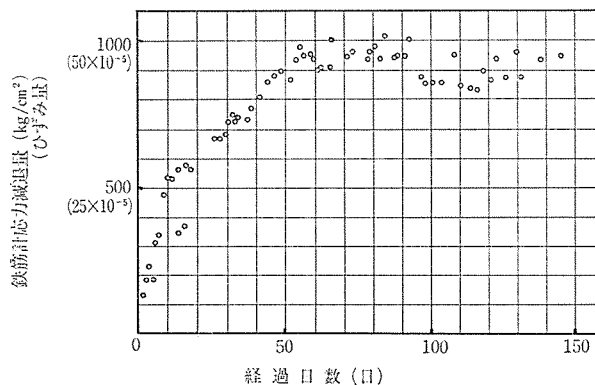


図-8 総減退量曲線

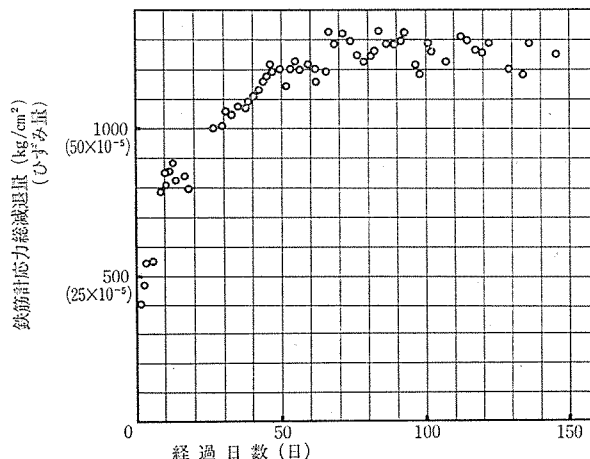
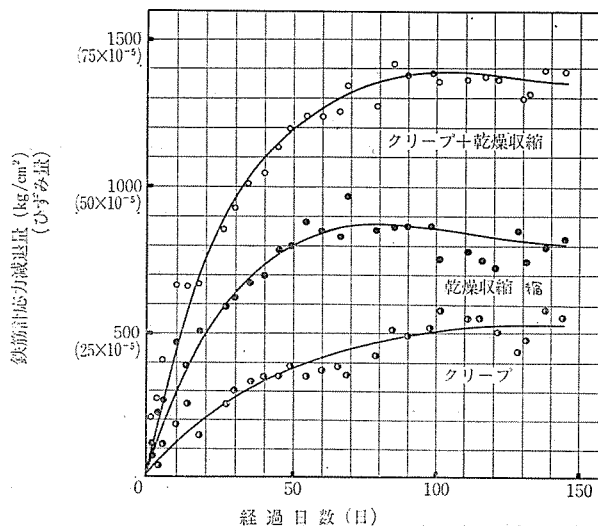


図-9 クリープによる減退量曲線（平均）



針が与えている値より小さい。本供試体に用いたコンクリートは、水セメント比が非常に小さい ($W/C=38\%$) 上に、遠心力により、さらに水分が排除された結果として、クリープが低くあらわれたかと思われるが、また他方、乾燥収縮量が意外に大きかったためでもある。一般に、コンクリートは硬化の初期に十分な湿気養生を行なえば、水和作用が促進されて、乾燥収縮量は小さいといわれているのに、本実験に用いた供試体は(1)でも述べたとおり、水中養生の過程を削除したためにこのような比較的大きな乾燥収縮があらわれたとも推察される。

4. あとがき

以上の基礎的実験結果から、径 9.2 mm ウルボンを用いた場合の伝達長は 25~30 cm であること、終局クリープ係数は 1.4 であることなどがわかった。今後ともプレテンション方式 PC 部材の場合、鋼線定着の強化、伝

達長短縮への要望は必須のものであろうが、特に PC パイルにおいては、打込時に頭部が引張破断した例もあるようで、いっそうその必要が痛感される。また、衝撃、疲労などによるボンド低下の問題も今後の興味ある課題かと考えている。

本実験の結果では、コンクリートの乾燥収縮、クリープによるプレストレス損失は約 15% であった。

参 考 文 献

- 1) 藤田 真, 水馬克久: 新しい PC 鋼材ウルボンについて, 材料と設計, Vol. 12 No. 10
- 2) 水野高明, 渡辺 明: コンクリート 弾性係数測定の方法と考察, セメント技術年報, 昭和 40 年
- 3) 渡辺 明: ボンド定着 プレテンション 部材の鋼線定着に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第 125 号
- 4) 渡辺 明: ボンド定着 プレテンション 工法における鋼線のまさつ係数およびその測定法に関する研究, 土木学会論文集, 第 135 号

1968.2.5・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 1 400 名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されており、お知合いの方を一人でも余計ご紹介下さい。事務局へお申し出て下されば 入会申込書 はすぐお送りいたします。

スパイラルシース

(特許公告 昭40.10.7)

昭40-22729 [®]



神奈川県工業試験所で
製品の優秀性 実証

PC 器材専門製造

鋼弦器材株式会社

取締役社長 平野勝之助

本 社

製造工場

関西支社

横浜市西区中央 2 丁目 42 番 6 号

電話 横浜 (44) { 5 7 8 1 • 5 7 8 2
2 2 6 4 • 7 2 3 9

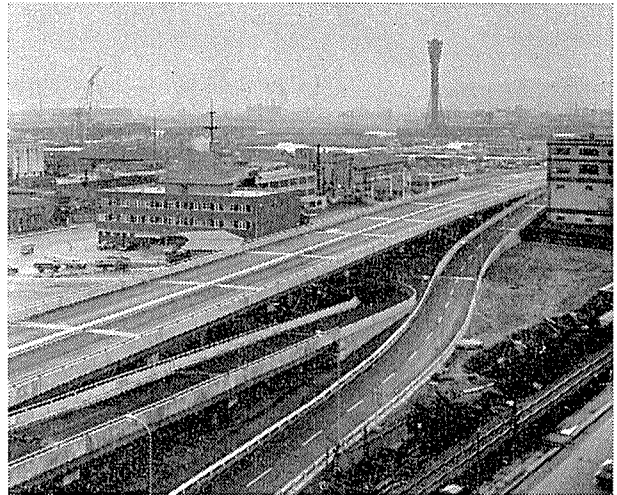
(合) 平野機械製作所

大阪鋼弦器材株式会社



鋼弦コンクリート

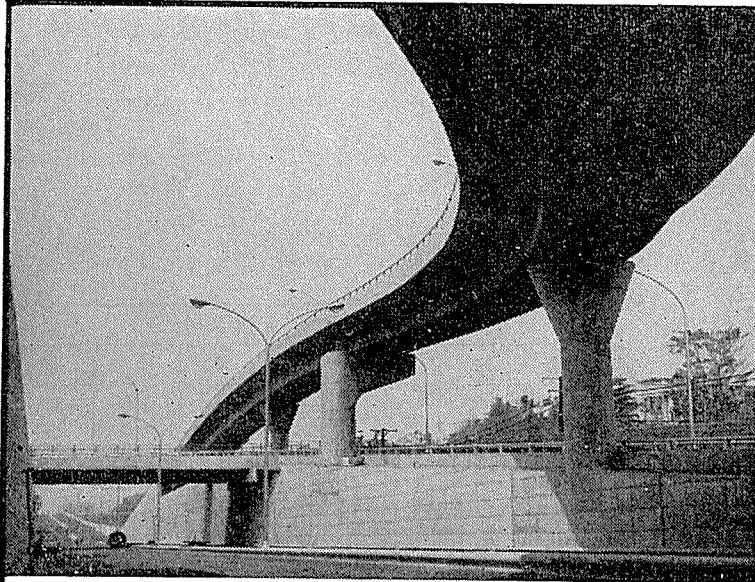
設	計
施	工
製	造



九州鋼弦コンクリート株式会社

代表者 取締役社長 山崎 剛 秋

本社	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)	TEL 大代表(75) 6031
大阪事務所	大阪市北区芝田町9-7(新梅田ビル)	TEL 代表(372) 0384
東京営業所	東京都港区新橋4丁目24番8号(第2東洋海事ビル)	TEL (431) 6447
大分出張所	大分市府内町2の3(吉良ビル)	TEL (2) 9850
宮崎営業所	宮崎県市二葉町1	TEL 5220
福岡山家工場	福岡県筑紫郡筑紫野町山家	TEL (二日市) 2733~5
大阪大東工場	大阪府大東市新田	TEL 大東(72) 1010
工 場	夜 須 ・ 甘 木 ・ 大 村	



BBRV、MDC、フレッシュナー、マニエル工法による プレストレスト・コンクリート

- 構造物の設計・施工
- 製品の製造・販売
(ケタ、ハリ、矢板、床板、屋根版他)
- コンクリートポール・パイル・ブロック

首都高速道路公団 421工区高架橋
 橋長 203.77m 幅 6.0~8.7m
 型式 BBRV方式 ポストテンション工
 連続桁橋及単純桁橋



北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社・東京営業所	東京都豊島区巢鴨6丁目1344番地(大塚ビル)	東京(918)6171(代)
札幌営業所	札幌市北三条西4丁目(第一生命ビル)	札幌(24)5121
仙台事務所	仙台市元寺小路172番地(日本オフィスビル)	仙台(25)5381
静岡事務所	静岡県静岡市泉町7の44(マルエムビル)	静岡(85)6618
名古屋事務所	名古屋市中区栄町4丁目1番地(栄町ビル)	名古屋(961)8780
大阪事務所	大阪市北区万才町43番地(浪速ビル東館)	大阪(361)0995~6
福岡事務所	福岡市大名1丁目9番21号	福岡(75)3646
札幌別工場	北海道幌別郡登別町字千歳	幌別(2)2221
川掛工場	静岡県掛川市富部	掛川(2)7171(代)