

## PC 鋼線の温度のおよぼす緊張力の変化について

中 川 昭\*・井 上 和 政\*  
石 栗 利 宏\*・萩 原 昌 明\*

### 1. ま え が き

プレテンション工法によるプレストレストコンクリートの施工時において、PC 鋼線は緊張後コンクリート打設までは単独に外気温度の影響を受けていると思われる。したがって、この外気温度変化によって、PC 鋼線の緊張力も変化するのであることは十分に考えられることであるが、これに関する実験は数少ないように思えるので、今回は緊張力を引張り強さの 60%、70%、80% の三段階に変化させて、温度を  $-50^{\circ}\text{C}$  から  $+50^{\circ}\text{C}$  までの実用的範囲において、温度変化による緊張力の変化状態を調べることにした。

### 2. 供試材と実験方法

実験に使用した材料は、パテンチング後に伸線を施して所定の機械的性質を与えた PC 鋼線の 5.0 mm であって、その化学成分を表-1 に示した。

また、 $20^{\circ}\text{C}$  における機械的性質を表-2 に示した。

表-1 供試材の化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.76	0.22	0.81	0.022	0.018	0.06

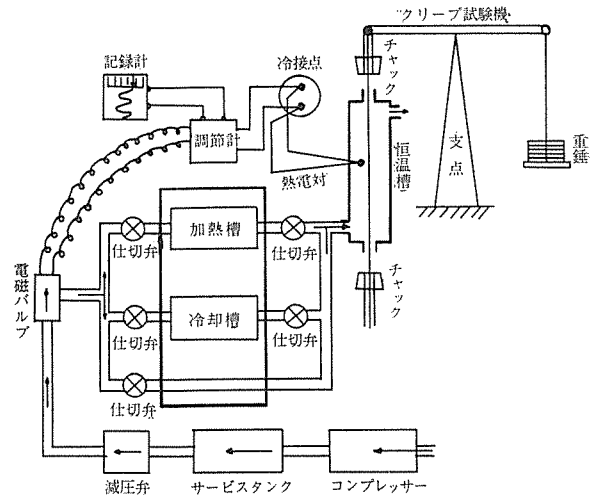
表-2 供試材の機械的性質

Dia. (mm)	$\sigma_B$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{0.2}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{0.05}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	Bend. (10 mm R)	Relax. (10 hr %)
5.01	189.0	179.0	167.3	20900	5.8	12.0	1.46

実験装置は図-1 に示すような容量 5 t の槓桿式クリープ試験機を使用して、チャック間に恒温槽を設置し、コンプレッサーからの空気はサービスタンクに入れ、減圧弁、電磁バルブをとおして加熱槽と冷却槽を有する温度変化調節装置をとおして恒温槽に入る。この恒温槽には熱電対がそう入されていて、冷接点をとおして調節計に入り、記録計で温度を記録するとともに温度調節も行った。

\* 鈴木金属工業株式会社

図-1 実験装置



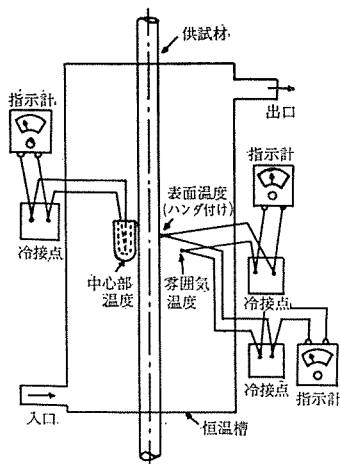
また、試験材の緊張力の測定には自己温度補償ワイヤストレンゲージ (S21-11) を試験片に貼りつけ、無緊張試験片にも同一ゲージを貼り付けて、恒温槽内のほぼ中央測温部付近に置き、緊張力測定用のゲージと無緊張試験片のゲージを 4 ゲージ法によって結線してひずみを X-Y レコーダーによって自動連続的に記録して測定した。

実験方法としては、前述の PC 鋼線 5.0 mm を恒温槽 340 mm をとおして、チャック間隔 350 mm でつかみ、3 種類の緊張力を与えた。すなわち、

- 引張り強さの 60% の荷重 2 210 kg  
(応力 113 kg/mm<sup>2</sup>)
- 引張り強さの 70% の荷重 2 580 kg  
(応力 132 kg/mm<sup>2</sup>)
- 引張り強さの 80% の荷重 2 950 kg  
(応力 151 kg/mm<sup>2</sup>)

の各緊張力を  $+20^{\circ}\text{C}$  において与えておき、温度を  $+20^{\circ}\text{C}$  から順次低下せしめて、 $-50^{\circ}\text{C}$  まで下げる。つぎに再び温度を  $+50^{\circ}\text{C}$  まで昇温してのち  $+20^{\circ}\text{C}$  で実験を完了する。この間  $20^{\circ}\text{C}$  の間隔で連続的に温度を変化させた。各温度には 10 分間保持し、試験材の中心部まで所定温度に到達したのちに緊張力の変化を測定した。またそれぞれの温度における PC 鋼線の引張り特性の変化

図-2 熱電対の装てん状況



をみるために、応力-ひずみ曲線を各温度で描いて求めた。

### 3. 予備実験

上記の実験方法に関して、つぎのような予備実験を行った。

#### (1) 温度測定方法

恒温槽内にて、供試材に熱が伝達される経路を考えると、恒温槽内温度を試験温度にセットした時点ではつぎの3ヵ所の温度はそれぞれ異なった値を示すものと考えられる。

- a) 恒温槽内雰囲気
- b) 線の表面
- c) 線の中心部

したがって、今回予備実験として、恒温槽内雰囲気の

図-3 中心部の温度測定に使用したパイプ

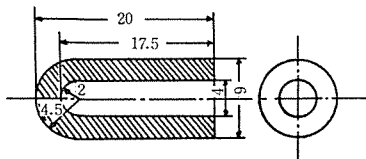
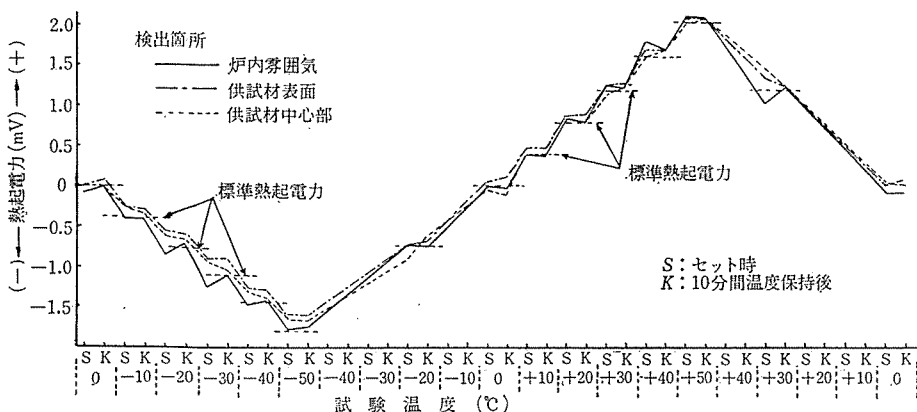


図-4 検出箇所の相違による熱電対起電力の比較



温度を試験温度にセットしたときの線の表面温度の相異、および線の中心部の温度の相異、さらに10分間温度保持を行なったのち、これらの3ヵ所の温度変化を測定した。これらの温度の測定方法は銅-コンスタンタン熱電対を図-2に示すごとく、恒温槽内に装てんした。図-2で線の表面温度は熱電対を供試材の表面にハンダづけをして測定し、一方、線の中心部の温度の測定には図-3に示すごとく、炭素含有量0.45%の軟鋼にてパイプ状の試験片を作り、孔の底における肉厚を供試材の直径の1/2に相当するように仕上げたものを使用した。温度測定には、その試験片の孔の底に熱電対をそう入し、これを恒温槽内の他の熱電対の近くに置いて測定を行なったものである。

このようにして測定された結果を示すと図-4のごとくになる。

図-4によると温度保持後の各温度は温度保持前より差が小さく、高温側では3点がほとんど一致している。

このことより実験では少なくとも10分以上、恒温槽内雰囲気を試験温度に保持する必要があるように考えられる。

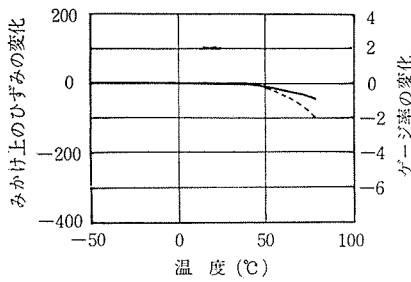
#### (2) ゲージの温度補正

前述のごとく、緊張力の測定にはワイヤストレインゲージを使用したが、この実験にて使用したゲージは自己温度補償ゲージであり、使用接着剤はシアノアクリレート系接着剤(アロンアルファ)であって、この場合、温度変化によるゲージ自身の熱膨張収縮による抵抗変化が考えられ、ひずみ計にて測定されるゲージの出力の中でこのゲージ自身の温度変化による抵抗変化の量を補正する必要がある。したがって、予備実験として供試材に貼り付けた測定用ゲージと温度補正用として測定用ゲージと同一のゲージを無緊張状態の供試材に貼りつけ、これらの測定用ゲージと温度補正用ゲージとを4ゲージ法にて結線し、これを前述の実験装置の項で述べたように、恒温槽内のほぼ中央測温部付近にセットした。その後、

測定用ゲージにひずみを与えないで、すなわち、測定用ゲージを貼り付けた供試材を無緊張状態にして、恒温槽内の温度を変化させた場合のゲージの出力を測定した。その結果を示すと図-5のごとくである。

図-5は各試験温度によるゲージのみかけ上のひずみの変化とゲージ率の変化を示すもので、50°Cにてみかけ上

図-5 温度によるゲージの見かけ上のひずみとゲージ率の変化

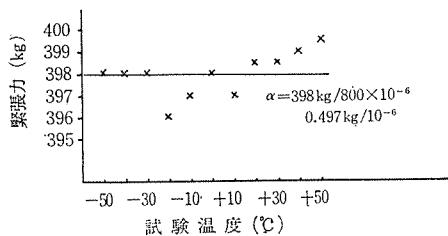


のひずみの変化は、 $-25 \times 10^{-6}$ であり、ゲージ率の変化は $-0.5\%$ 程度であるので、今回の実験では温度によるこれらのみかけ上のひずみの変化やゲージ率の変化は無視できるものと考えて、実験を行なった。

(3) ひずみと緊張力の変換

緊張力の測定には、ワイヤストレインゲージを使用し、測定されるひずみの値を緊張力に変換する必要がある。すなわち、緊張力をひずみの値から求める換算係数を、供試材に  $800 \times 10^{-6}$  のひずみを与えときの緊張力を測定することによって求めた。この測定を各試験温度にて行なった結果は図-6のごとくであるが、測定値の平均値を求めると、398 kg となり、これが  $800 \times 10^{-6}$  に相当することになるので、ひずみ  $1 \times 10^{-6}$  当りの緊張力、すなわち緊張力-ひずみ換算係数  $\alpha$  は、 $\alpha = 398 \text{ kg} / 800 \times 10^{-6} = 0.497 \text{ kg} / 10^{-6}$  となる。

図-6 緊張力-ひずみ換算係数 ( $\alpha$ )

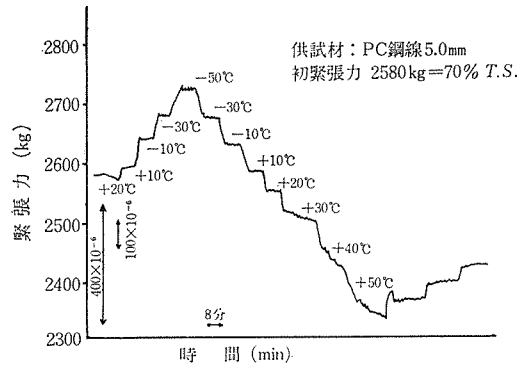


4. 実験結果

(1) 温度変化による緊張力変化の測定

以上の実験方法にて、まず初緊張力を引張強さの70%の荷重 2580 kg において、温度変化による緊張力の変動を求めると、図-7のごとくである。図-7によると +20°C より温度が低下して -50°C になると、2580 kg の初緊張力が 2733 kg となり、5.9% の張力増加を生じている。つぎに +50°C に温度を上昇せしめると、2368 kg に、さらに 10 分間、温度保持を行なうと、2335 kg となり、8.2% から 9.5% まで張力が減少している。このように温度の降下によって張力が増加し、反対に温度の上昇によって張力が減少するような現象は

図-7 温度変化による緊張力の変化



温度変化による熱膨張収縮の影響と考えられる。

図-7 による他の特徴は、+20°C 以上の高温側にて 10 分間の温度保持の間、クリープ現象と思われる張力の減少を生じていることであるが、最高温度、+50°C での温度保持終了後の降温過程では昇温過程のようなクリープ現象による張力の変化は現われていないようである。

初緊張力が引張強さの 60%、および 80% の場合も、表-3 および 図-8 に示すように引張強さの 70% の場合と同じような傾向を示している。最低温度および最高温度における供試材の緊張力の変動量を表-3 および 図-8 よりまとめてみると、表-5のごとくである。表-5にて最大変化量は -50°C より +50°C の温度変化の間で生じた緊張力の最大値と最小値の差である。また、最終減少量は試験開始より終了までの緊張力の減少

表-3 温度変化のおよぼす緊張力の変動

緊張力 温度 °C	T.S.×60%		T.S.×70%		T.S.×80%	
	2210 kg		2580 kg		2950 kg	
	保持前	保持後	保持前	保持後	保持前	保持後
+20	2210	2200	2580	2572	2950	2936
+10	2233	2233	2592	2595	2960	2957
0	—	—	—	—	—	—
-10	2277	2277	2640	2640	3009	3005
-20	—	—	—	—	—	—
-30	2327	2327	2680	2680	3054	3054
-40	—	—	—	—	—	—
-50	2382	2382	2733	2733	3112	3112
-40	—	—	—	—	—	—
-30	2325	2325	2678	2673	3045	3045
-20	—	—	—	—	—	—
-10	2265	2265	2633	2628	2983	2983
0	—	—	—	—	—	—
+10	2203	2203	2584	2583	2926	2912
+20	2177	2177	2550	2550	—	—
+30	2140	2121	2518	2498	2850	2828
+40	2090	2045	2452	2422	—	—
+50	2011	1968	2368	2335	2743	2680
+40	—	—	2365	2370	—	—
+30	2031	2031	2390	2398	2710	2726
+20	2063	2063	2420	2425	2748	2748

T.S.=引張強さ

量である(図-8参照)。表-5によると、 $-50^{\circ}\text{C}$ では緊張力の変化量は初緊張力の差に比べると、どの初緊張力の場合も、ほぼ同じ値を示している。これは低温側では緊張力の変化がその温度で決定される熱膨張収縮量によるものとみることができる。しかし、高温側では初緊張力に応じたクリープ現象を生ずるので、最終における緊張力は試験開始のときの緊張力より減少し、その減少

表-4 試験温度域の機械的性質の変化

温度 $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_B$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{0.2}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{0.05}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{0.2}/\sigma_B$ (%)	$\sigma_{0.05}/\sigma_B$ (%)	$el$ (%)	$E$ (kg/mm <sup>2</sup> )
-50	194	188	180	96.9	93.0	3.0	19900
-30	192	185	178	96.5	92.5	3.8	20000
-10	191	182	174	95.4	90.9	4.3	20000
+10	190	180	171	94.9	90.1	5.3	20100
+20	189	179	167	94.9	88.5	5.8	20000
+30	188	177	166	94.3	88.1	5.8	20300
+40	187	175	165	93.5	87.8	6.0	20000
+50	186	173	163	93.4	87.7	6.3	20100

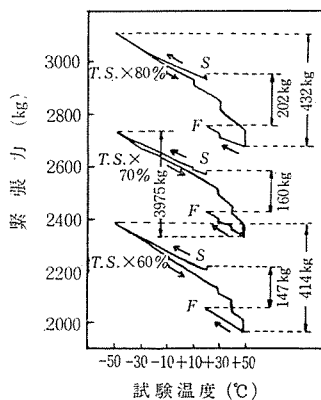
注  $\sigma_B$ : 引張強さ  
 $\sigma_Y$ : 永久伸び 0.2% における降伏点  
 $\sigma_e$ : 永久伸び 0.05% における弾性限  
 $el$ : 標点距離 100 mm における破断後突合せ伸び  
 $E$ : ヤング率

表-5 温度変化と張力変動量

20 $^{\circ}\text{C}$ での張力	T.S. $\times$ 60 % 2210 kg	T.S. $\times$ 70 % 2580 kg	T.S. $\times$ 80 % 2950 kg
-50 $^{\circ}\text{C}$	+172 kg (+7.8%)	+153 kg (+5.9%)	+162 kg (5.5%)
+50 $^{\circ}\text{C}$	保持前 -199 kg (-9.0%)	-212 kg (-8.2%)	-207 kg (-7.0%)
	保持後 -242 kg (-11.0%)	-245 kg (-9.5%)	-270 kg (-9.2%)
最大変化量	414 kg	398 kg	432 kg
最終減少量	147 kg	160 kg	202 kg

( ) は 20 $^{\circ}\text{C}$  での張力に対する変化率, 正号は増加, 負号は減少を示す。

図-8 温度変化のおよぼす緊張力への影響



(注) S: 試験開始  
F: 試験終了

量は引張強さの 80% が 202 kg で最高の値を示し、引張強さの 70% が 160 kg, 引張強さの 60% では 147 kg となっており、緊張力の大きいほど、その差の大きいことを求めている。

(2) 周期的な温度変化のおよぼす緊張力への影響

引張強さの 70% の荷重, 2580 kg の緊張力を与えて、 $+20^{\circ}\text{C} \rightarrow -50^{\circ}\text{C}$  の温度上下を 4 回の周期で行ない、そのときの緊張力への影響について調べたのが 図-9 である。

この試験では温度勾配のひずみ速度は  $1 \times 10^{-6}/\text{sec}$  となるように温度調節を行なった。この 図-9 によると、最初の  $+20^{\circ}\text{C}$  から  $-50^{\circ}\text{C}$  までの温度降下において、2580 kg の緊張力は 2819 kg まで上昇し、 $+50^{\circ}\text{C}$  では 2431 kg に低下するが、 $+50^{\circ}\text{C}$  の 10 分間保持の間にも 2431 kg  $\rightarrow$  2376 kg とクリープ現象による緊張力の低下を生ずる。しかるに、再び温度を下げて 4 回までの  $-50^{\circ}\text{C}$  における緊張力は 2733, 2730, 2726, 2726 kg とほぼ安定し、 $+50^{\circ}\text{C}$  においても 2371, 2373, 2375, 2373 kg と安定してくる。さらに  $+50^{\circ}\text{C}$  での 10 分間の温度保持におけるクリープ現象も 2 回以降は生じなくなるが、4 回までの温度上下試験のあとの  $+20^{\circ}\text{C}$  における緊張力は 2476 kg に低下し、試験開始前より 104 kg, 4.03% も低下することがわかる。2 回以降の緊張力の周期変動をみると、低温側にて第 1 回の緊張力より、86~93 kg 低い値を示しているが、これは、第 1 回の

図-9 周期的温度変化による緊張力の変化

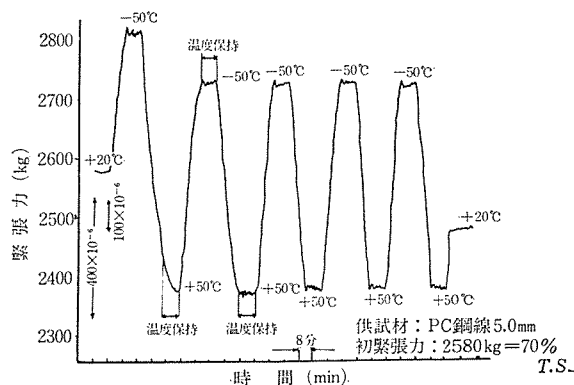
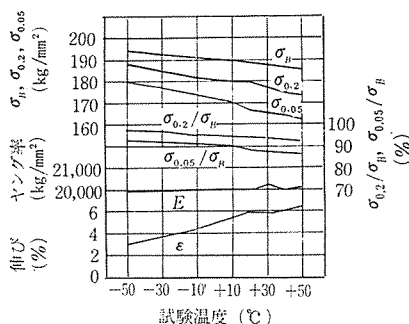


図-10 試験温度域の機械的性質の変化



+50°Cにおけるクリープ変形による緊張力の変化によって低温側の方も緊張力のくいちがいを生じたのともみることができる。一方高温側では2回以降、第1回の温度保持終了時の緊張力とほぼ同じ値を示し、これ以上のクリープ現象による緊張力の低下を生じていない。これは、比較的長期間にわたって持続されるクリープ現象が、第1回の温度保持によって、促進されたことによるものとみることができる。あるいはこの過程にて、遷移クリープ過程が、温度の影響によって比較的短時間で終了し、つぎの定常クリープの過程に入ったのともみることができる。前述の図-7にて示されている降温過程における張力安定化現象も同じような現象によるものと考えることができる。

### (3) 試験温度域の機械的性質の変化

-50°C~+50°Cの20°C間隔における各温度での機械的性質を測定した結果は表-4のごとくである。また表-4をグラフにて示すと、図-10のごとくである。図-10によると室温以下の低温側では $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0.2}$ ,  $\sigma_{0.05}$ などは高い値を示し、伸びは反対に値が小である。温度上昇によって、これらの $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0.2}$ ,  $\sigma_{0.05}$ などは減少し、伸びは増加の傾向にある。また、 $\sigma_{0.2}/\sigma_B$ ,  $\sigma_{0.05}/\sigma_B$ などは温度上昇によって大きな変化を生じないが、若干低下していくように思われる。ヤング率は高温側で若干高い値を示しているが、温度が変化しても、ヤング率の変化はないのともみべきであろう。

## 5. ま と め

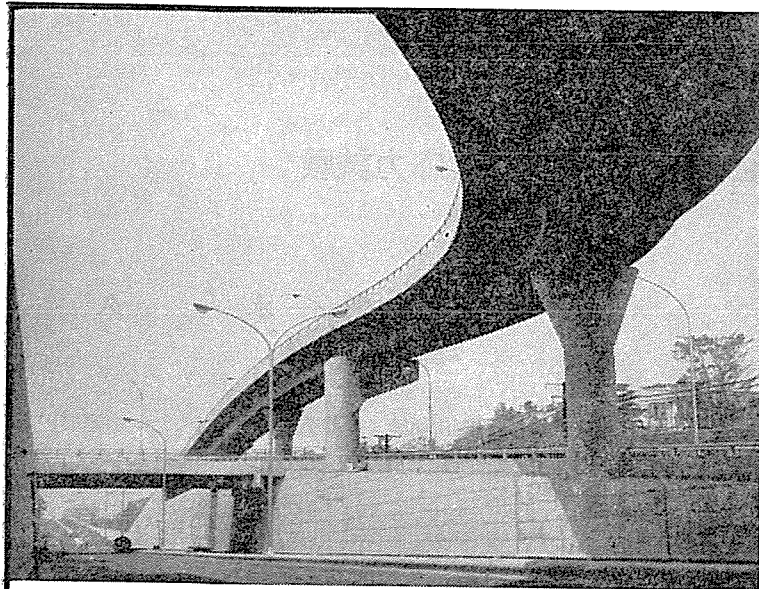
- 1) 供試材の緊張力が温度変化によって変動するのは、供試材の熱膨張収縮によるものと考えられる。
- 2) 室温より低い温度区域ではクリープ現象が現われず、緊張力の変化はどの初緊張力の場合も、ほぼ同じ値を示している。
- 3) 室温以上の高温側ではクリープ現象により、熱膨張収縮以上の緊張力の変化を生じ、試験完了時における緊張力の低下の原因となる。
- 4) 最終における緊張力の減少量は初緊張力の大きいほど大で、その初緊張力に対する減少率をみると、引張強さの80%の場合が、6.85%、70%の場合が、6.20%、60%の場合が、6.25%となっている。
- 5) +50°Cより温度を下げる過程、および温度の周期的変動における第2回以降の緊張力の変動に張力安定化の現象がみえる。これは昇温過程および温度保持過程にて、遷移クリープ変形が温度の影響によって促進された結果とみることができる。
- 6) 各試験温度における機械的性質の変化をみると、 $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0.2}$ ,  $\sigma_{0.05}$ などは低温域では比較的高い値を示し、伸びは小である。温度上昇によって、 $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0.2}$ ,  $\sigma_{0.05}$ は減少し、伸びは増加するが、ヤング率は大きな変化を示していない。

1967.4.27・受付

## 御 寄 稿 の お 願 い

この雑誌は、プレストレストコンクリートのわが国でただ一つの総合技術雑誌です。会員諸兄の技術向上にいささかでも役立つように日夜苦心して編集に当たっておりますが、多くの問題を広くとりあげるにはこれでなかなか大変なことです。一方的になっても困りますし、とにかく皆様の卒直な声をお聞かせ願えませんでしょうか。自由に気楽に意見を述べて頂く会員欄、疑問点を相談していただきたい質疑応答欄、工事の状況、施工の苦心点を、現場から速報してほしい工事ニュース欄、口絵写真欄、その他報告、資料など、お気軽にどしどし原稿をお寄せ下さい。また、新設してほしい欄とか、もっと充実してほしい欄、雑誌に対する建設的な御意見なども募ります。少しでも多く皆様の声を反映した親しみやすい雑誌に育て上げたいと念じておりますので御協力願います。以上の原稿、御意見などはすべて下記へお送り下さい。

東京都中央区銀座東2の1 銀鹿ビル3階 PC技術協会編集委員会 電話(541)3595



## 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

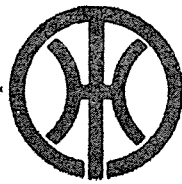
首都高速道路公団 421工区高架橋  
橋長 203.77m 幅 6.0~8.7m  
型式 BBRV方式 ポストテンションニング  
連続箱桁及単純桁橋



## 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
幌別工場	北海道幌別郡登別町字千歳	幌別(2)221
掛川工場	静岡県掛川市富部	掛川(2)7171(代)

## 水道管の革命!!



安くて強い

### “プレストレストコンクリート管”

特長

1. 設計水圧に応じた合理的な管が製造出来る。
2. 同じ水圧または口径に対して鉄管類より遥かに安い。
3. 高圧に堪えて破壊することなく特殊な複元性がある。
4. 内面が平滑で永久に変化しない為流量が減少しない。

本 社 東京都中央区日本橋本石町3-6

電 話 (241) 2111 (代表)

工 場 横浜・名古屋・大阪・岩国

帝国ヒューム管株式会社

