

ソ連における PC 部材の工場生産方式 (緊張作業の自動化)

森 田 司 郎*

ソ連では、構造物のプレファブ化が大規模に実施されていることは周知のとおりである。プレストレスト コンクリート（以下 PC と略記）部材の工場生産に当っては、PC 鋼材の緊張作業が一般に手間のかかる自動化のむずかしい工程であるが、ソ連では V.V. Mikhailov 博士を中心にこの問題について大規模な独自の研究開発を続け、多くはすでに実用化されている。ソ連のこのような技術のわが国への紹介は、言語上の問題もあって西欧諸国の事情ほどは行なわれていないようである。筆者もロシア語に不明であって、東ドイツなどの文献における断片的な紹介記事を通じて知識を得ていたが、たまたま 1964 年 7 月にモスクワの国立鉄筋コンクリート研究所をはじめ所々の PC 工場を実地見学する機会を持ち、その集中的な研究体制や、大規模な工業化実験に感服し、実用本位の大味な生産方式に驚嘆してソ連らしさを満喫した。この見学で得た資料や最近の外来文献を通じての知識を種にして、緊張作業の自動化という点を中心にソ連における PC プレキャスト材の生産方式の数例を紹介したい。

1. 巻取機によって鋼線を緊張する方法¹⁾

糸巻に糸を巻き取る要領を機械化したもので、一定の張力を与えた鋼線を緊張ベッドが回転しながら連続的に巻き取ってゆく方法である。その原理は 図-1 に示されている。鋼線の緊張は滑車の間に重錘をつるすことによつて行なわれる理であるが、張力の一方の反力は当然巻取機の巻取りトルクで受け持たれ、他方の反力は鋼線が V 型ロールをとおるときの抵抗で受け持たれる。この方法は、長さが比較的短く、幅も余り広くない板（長さ 7 m 以下、幅 1~4 m）の生産に適した方法であつて、 図-2 はこの方式を用いて PC 床版を工場生産している状況であり、 図-3 はこの回転機によって二方向 4 層に鋼線が緊張されている状況を示している。 図-3 でわかるように、鋼線はベッドに固定された突起に巻きつけるのである。蒸気養生を行なつて即日プレストレスを導入

するのが工場生産における常道であるが、導入には鋼線を切断する方法と、 図-4 のように突起にソケットをか

図-1 回転巻取機による緊張原理¹⁾

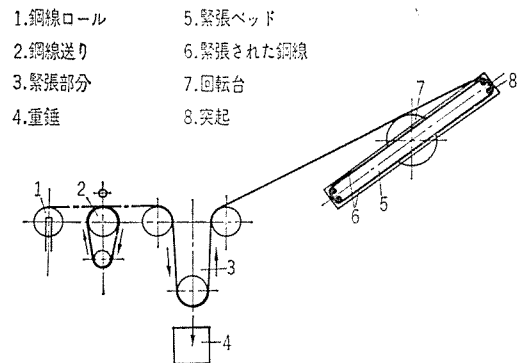


図-2 回転巻取機による PC 板の工場生産¹⁾

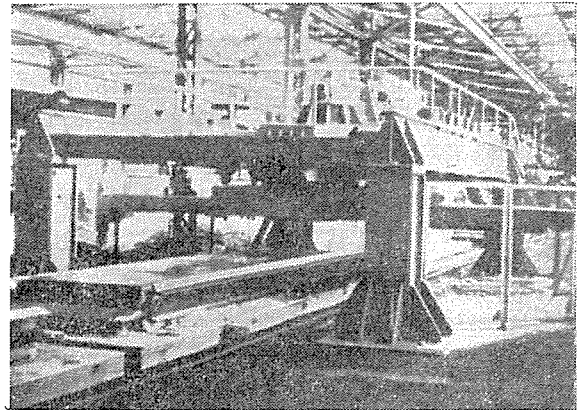
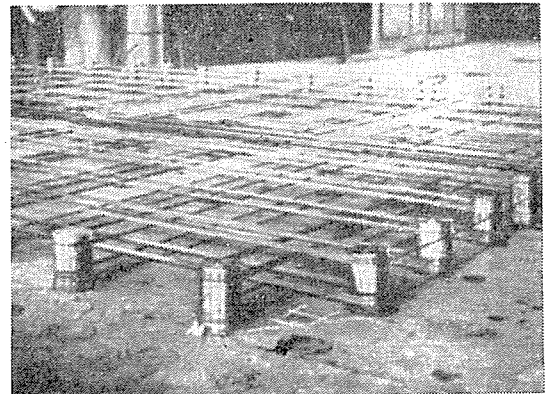


図-3 回転機によって二方向 4 層に緊張された鋼線¹⁾



* 京都大学助教授 工学部建築学教室

図-4 鋼線を切断しない場合の巻付部¹⁾

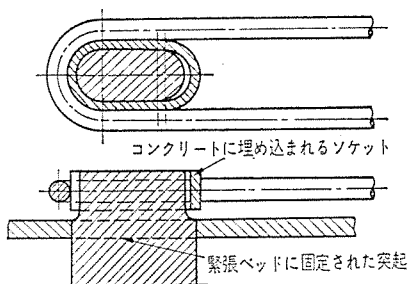
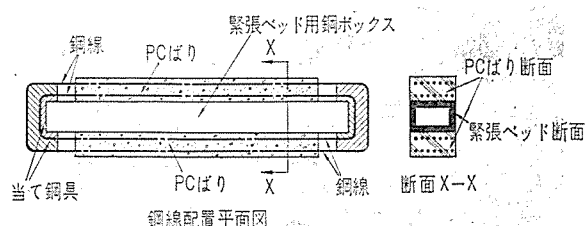


図-5 研究所内実験用回転機



図-6 回転機によるPCばりの製作例



ぶせてその外に鋼線を巻きつけ、ソケットを突起から抜きとって導入する方法がある。後者の場合にはソケット部材中に埋め込まれてアンカーの役目をする。

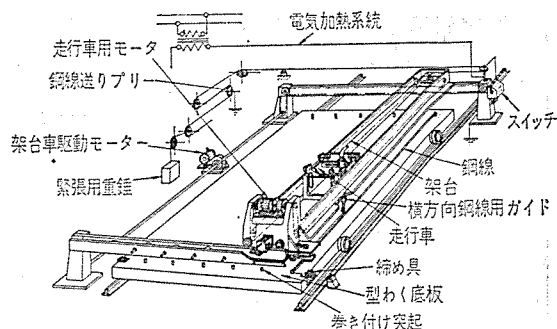
この方法は、実験室の規模でも応用されていて、図-5は鉄筋コンクリート研究所内の実験用小型回転機を写したものである。円盤上の穴に任意の形状の突起付緊張ベッドを固定することによって不規則な形状にでも鋼線を自動的に緊張することができる。実験室内でしばしば図-6のような鋼線の配置をした部材が見られるのは、この巻取機を利用して緊張したものである。

2. 走行車によって鋼線を連続的に緊張する方法^{1), 2)}

前項でベッドが回転して巻きとるかわりに、ベッドは固定され鋼線を走行車によってクモが巣を張る要領で連続的に緊張する方法が実用されている。図-7はこの種の装置を模型的に示したものである。この方法の特色は鋼線の緊張に電氣的加熱を応用している点にある。

緊張材に通電するとジュール熱によって加熱され、その結果鋼材は熱膨張する。加熱されて伸びた緊張材をベ

図-7 走行車による鋼線の張緊²⁾



ッドに固定して冷却すると自動的に鋼材が緊張されるという簡単な原理の応用であってソ連ではなかなか盛んである。この際に加熱によって鋼材の品質に悪影響を与えないことが大切であって、加熱温度は 300~350°C 以上にならないよう十分管理しなければならない。

加熱しているから、この場合の重錘は鋼線の曲がりもなくすためのものである。架台車とその上を走る走行車によって、ベッド上の相対する突起間に鋼線を任意の回数巻きつけ、つぎの突起に移るという手順で X, Y 二方向に鋼線を連続的に自動的に配置することができる。図-7に示した 6899/8 A 型では、長辺 6.40 m, 短辺 4.40 m, 厚さ 280 mm までの床板を作ることができる。この装置についての性能を示すと、

電気加熱を利用した場合の最大緊張力	2.4 t
架台車の走行速度	7.7 m/min
走行車の走行速度	31.8 m/min
重量	19.5 t

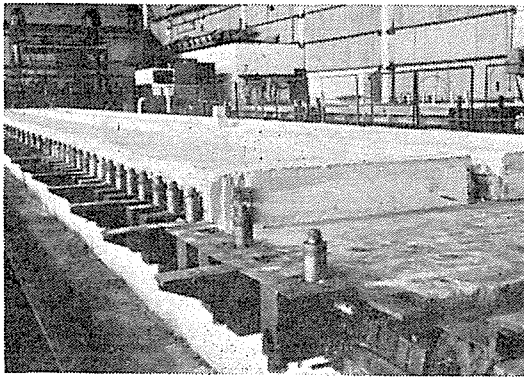
筆者の見学した研究所内の実験プラントにあった装置では、長辺 12 m, 短辺 3 m, 厚さ 50 cm までの部材を製作することができる。また突起の直径は φ5 mm 鋼線で 30 mm 以上で、緊張力は φ5 mm インデントワイヤーで 2t/本 であった。

パネルのコンクリート打ちは、固練りコンクリートを型わく底板を兼ねるベッド上にならし、上からリブの型を彫り込んだ上板をスタンプを押すように押しつけ、振

図-8 プレストレス導入直前のPCパネル



図-9 プレストレスを導入ずみの PC パネル



動（振幅 0.2 mm, 振動数 3 000 rpm, 振動時間 3 分）を与えるという手法が採られている。そこでこの方法を英訳で Vibro-Stamping Process と称している。200 g/cm² の加圧下に 70°C 蒸気養生を 4 時間行なったのち鋼線をカッターで切断してプレストレスを導入する。図-8 は、プレストレス導入直前のパネルを示していて鋼線の配置がよくわかる。図-9 は、プレストレス導入を終わって脱わく直前の状態を示していて、いずれも研究所実験棟で写したものである。

3. ジュール熱を利用して鋼棒を緊張する方法²⁾

ジュール熱を利用する原理は前項と同じであるが、今度は鋼棒の緊張に利用されている方法を紹介する。図-10 はその装置を図示したもので、鋼棒が熱膨張してある一定の長さまで伸びれば垂れ下がって自働しゃ断器を作動させ電源を切るので、多数の鋼棒を同時に加熱しても加熱温度の管理が容易である。図-11 は研究所内での実験装置を撮ったもので、左側に加熱装置、右側にベッドを兼ねる型わくにセットした状態が示されている。この方法はすでに実用化されていて、図-12 に示すような穴あきスラブ [スパン 4 700 mm (+10, -5), 幅 1 190 mm (+5, -5), 全成 220 mm (+5, -3)] 一背後に積まれている一やリブ付きスラブ [スパン 6 400 mm (+10, -5), 幅 1 190 mm (+5, -5), リブ成 220 mm (+5, -5)] 一手前に 3 枚重ねてある一の工場生産に応用されている。緊張ベッドを兼ねる型わくへの鋼棒の固定は、BBR 法で見られるようなヘッドを作って 図-13 (a) のように利用している。このヘッドの製作も同じ工場内で 図-13 (b) のようにジュール熱を利用して熱間加工している。コンクリートは早強セメントを 340 kg/m³ 用い、w/c=40% である。この種の製品にとってもっとも普通の方法として採用されている 図-14 のような 80°C 蒸気養生が採用されていて、打設後 10 時間で 28 日強度の 70% に達する。プレストレス導入はこのときに鋼棒端をガスで切断して行なわれる。したがっ

図-10 ジュール熱による鋼棒の加熱²⁾

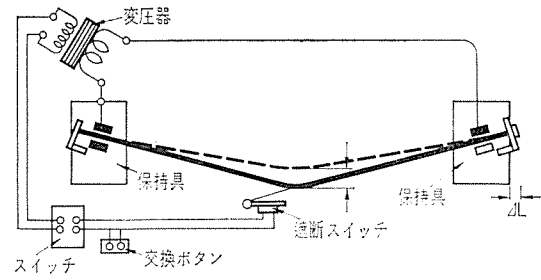


図-11 実験用加熱装置と型わく

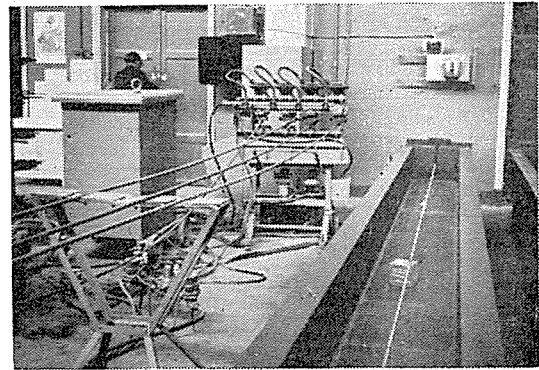
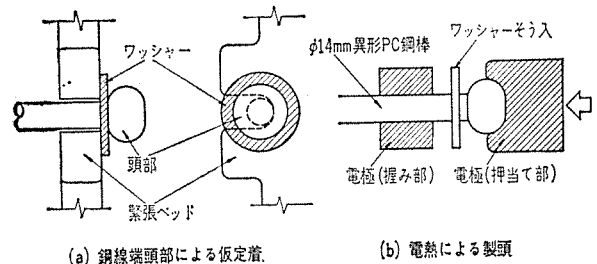


図-12 電熱による緊張で製作された PC スラブ



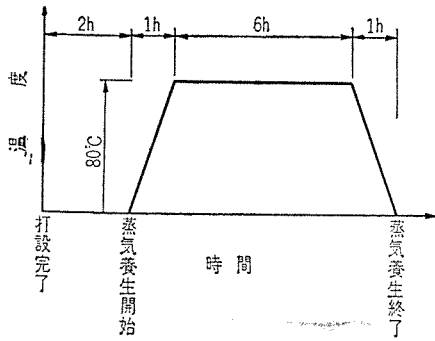
図-13 アンカーのための鋼棒頭部



て鋼棒の定着はボンドによる伝達に期待しているのであって、高いフシを持った $\phi 12 \sim 14$ mm の异形 PC 鋼棒 (0.3% C, 引張強さ 90 kg/mm²) を用いている。有効プレストレス力の大きさはあまり正確を期しにくいようで 2 000~3 000 kg/cm² 程度である。

このような方式はプレストレスが運搬中の破損率を減少させ、ひびわれ耐力を RC より向上させるといういわば補助的な役割でよい場合、またプレストレスの時間的

図-14 代表的な蒸気養生



減退が致命的でなく鋼棒1本当りのプレストレスを大きくして、鋼棒本数を極端に少なくするより、むしろ1本当りのプレストレスが比較的小さく鋼棒緊張応力も比較的低い鋼棒を数多く用いる方が部材の力学的性質にとって好ましい場合に適した方式であろうと筆者は考える。たとえばプレハブ住宅用の薄い床、壁の類、最近流行のPC支持杭などの生産には適しているのではなからうか。

ジュール熱による緊張は、工場生産に限らず現場でのプレキャスト材の組立てに应用された例をすでに本誌に紹介した³⁾。

4. 膨張性セメントを利用してPCパイプを製造する方法⁴⁾

膨張性セメントは tricalcium aluminate C_3A の比較的多いポルトランドセメントとアルミナセメントと石こうを 66:20:14 の比で混合したものである。水セメント比 20~30%, 1:1 モルタルを 24 時間自然硬化させたのち 100°C 程度の高湿養生をすると、まず low-sulfate sulfoaluminate $C_3A(C\bar{S})_2H_{12}$ を生じ、それが high-sulfate sulfoaluminate $C_3A(C\bar{S})_3H_{32}$ (ettringite または cement bacillus) へと再結晶する。この再結晶の過程で膨張するのであるが、このときにはモルタルはすでにある程度硬化しているので、また鋼線とのボンドが期待できるので、コンクリートにプレストレスを与えることができる。

この原理がPCパイプの工場生産に应用されている。セメントが急結性であり、水量の少ない配合を用いるからいかにコンクリートを打設するかが要点である。実際の工法としてはショットクリート法 ($\phi 600 \sim 1000$ mm)、遠心力法 ($\phi 300 \sim 500$ mm)、振動圧さく法 ($\phi 150 \sim 200$ mm) の3つが採用されている。これらの方法で作られたPCパイプは、15~20 気圧まで水もれを生ぜず、6~10 気圧用として実用されている。図-15⁵⁾はショットクリート法の機構図であって、軸まわりに回転するコア④の壁に上下方向に移動する作業台③上のノズル⑩から膨

図-15 膨張セメントを用いてショットクリート工法により高圧PCパイプを製作する原理⁵⁾

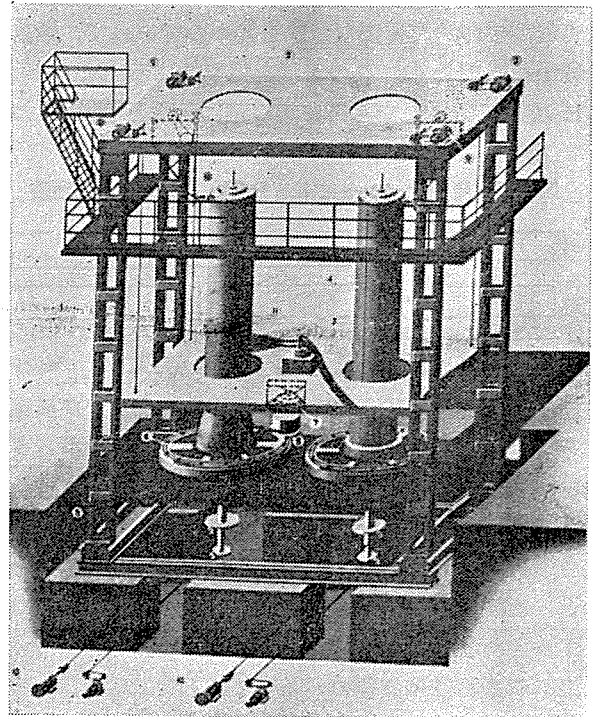
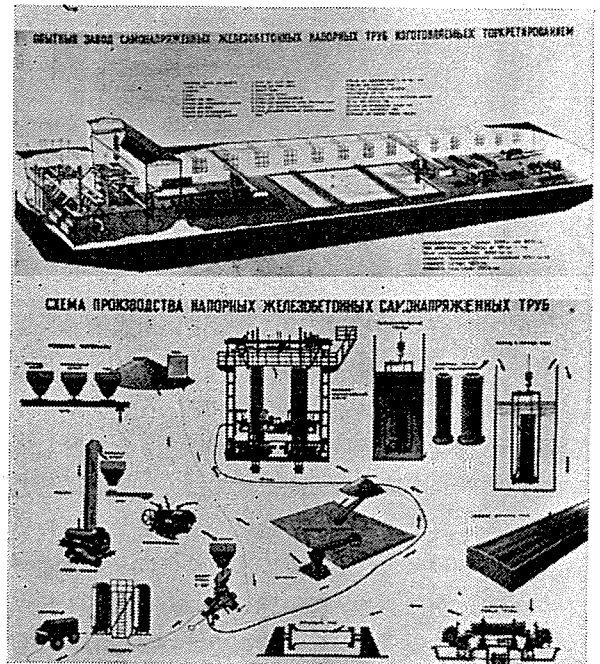


図-16 ショットクリート工法によるPCパイプ製造工程⁴⁾

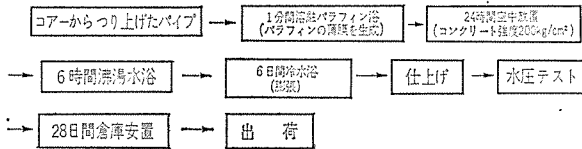


張性セメントの上記モルタルを吹き付ける。同時に鋼線が台③につけられたマグネット⑦によってすいつけられながら、リール⑧からコアへ巻き取られてゆく。このように幾層にも鋼線を巻きながらモルタルを吹き付けて所定の厚さに達するとナイフで表面を平滑に仕上げる。表面仕上げを行なったパイプは、直径が小さくなる機構を持っているコアからはずされてつぎの養生工程へと移動される。この作業を 図-15 の装置の左右交互に行なう

と装置を休みなく稼働させることができる。

tringite は一步誤まれば有害物となるので、つぎの養生工程がきわめて重要な意味を持つのであって、厳重な管理が必要である。この工程を模型的に示したのが 図-16 である。これをさらに工程順に示すと 図-17 のような工程図を得る。

図-17 膨張セメントによる PC パイプの養生工程図



遠心力法での問題点はセメントの急結性をいかに克服するかによって、その対策として振動を与えながらミキシングを 10 分間行なう、という方法を採用して成功した。この振動練りによって初期に形成されるモルタル構造を破壊して 30 分程度は必要なコンシステンシーを保つといわれている。コンクリート打設後の特殊養生は、ショットクリート法の場合と同様である。

振動圧さく法は細径のパイプに適した工法で、外わくの縦振動と内わくの横振動を併用してモルタルを十分締め固めてパイプを作る。

これらの工法の成功の原因は、セメントの早結性に起因するワーカビリチの劣化を解決した点と、コンクリートが約 300 kg/cm² という強度に達してから再結晶によって体積膨張するようなセメント成分と特殊養生工程を開発した点にあると筆者は考える。

5. 内圧によってパイプの周方向プレストレスを与える方法

レニングラードの工場では、わが国にも技術導入されているスウェーデンの Sentab 方式と酷似した方法で PC 圧力パイプ (径 1 200, 1 000, 900, 700, 500 mm の 5 種類、長さ 5 m、管壁厚 45 mm 以上) を生産している。プレストレスは円周方向だけでなく軸方向にも導入されるが、これは外わく鋼管を反力受けとしてプレテンション方式で行なわれる。本工法の特徴は、周方向プレストレス導入法にある。図-18 はあらかじめ自動巻線機で巻かれた円周方向 PC 鋼線の受け口側端部を写したもので、鋼線の巻きピッチを決めるスペーサー金具の工夫、鋼線端の処理がよくわかる。図-19 は巻線機を写したものである。型わく内への鋼線の配置を説明すると、まず円周方向の巻かれた鋼線を外わく鋼管に入れ、軸方向鋼線は円周鋼線の内側をとおして張られる。したがって、円周鋼線の位置が正しく決まり、軸方向鋼線も受け口のところで傾斜して張ることができる。

型わくの構造は 図-20(a) のように外わく鋼管と内

図-18 円周方向 PC 鋼線の受け口側端部

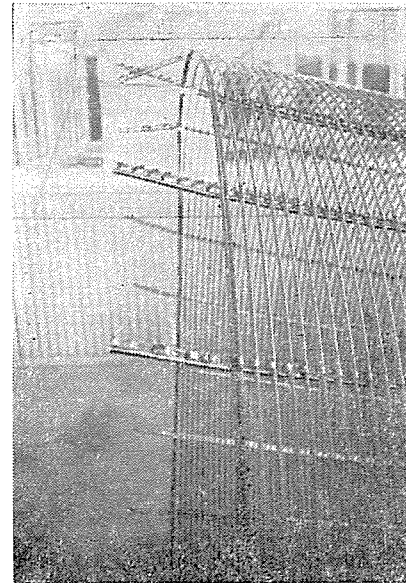


図-19 自動巻線機

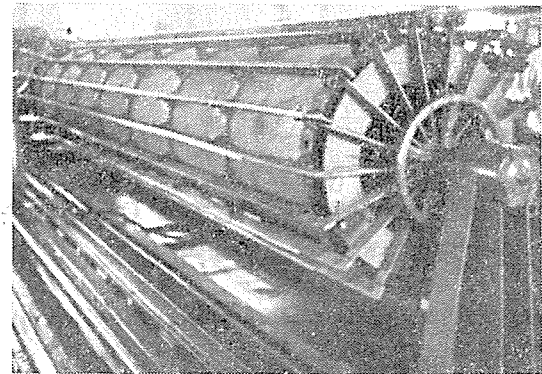
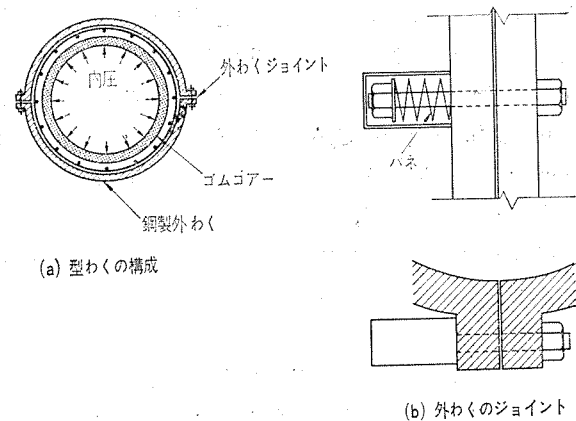


図-20 内圧を利用した PC パイプ



わくゴム管とからなり、外わく鋼管は二つ割になっていて、その接合部は 図-20(b) のようにスプリング ワッシャーを用いた特殊な工夫がしてある。単位セメント量 500 kg/m³, w/c=30% の固練りコンクリートを強力な振動を与えて縦打ちする。コンクリート打設直後にゴムコアの内側から 26~64 気圧の内圧をかけるとゴムコアはふくらむ。外わく鋼管は 図-18(b) のような接合になっているので、内圧によってジョイント目地が開き結果

として外わくの径も拡大する。この径の拡大によってコンクリート中の円周方向鋼線が緊張される。また加圧によって開いた外わくの目地からコンクリート中の余剰水がしぼり出されて 25% 程度まで水量を減じることができるのが特色である。内圧をかけたまま、7時間、80°Cの温水養生を行ない4週強度の70%の強度を得て内圧をのぞいてプレストレスを導入する。

6. おわりに

以上ソ連におけるPCプレハブ材の製造方式の数例を紹介した。このような大量生産方式では品質管理、とくに有効緊張力の管理をどのような方法でどの程度行なうかという点が関心事であろうが、この点に関して筆者はソ連らしい考え方にしばしば接した。それは緊張力を直接管理しなくても製品検査を適正に行なって、部材としての耐力規格を満足していればよいという考え方である。たとえば3.でのべた鋼棒を通电加熱してPCスラブを製造する場合には、有効プレストレス力の正確なコントロールは期しにくい、スラブの単純ばりなど分布載荷実験をしばしば行ない、そのひびわれ耐力、破壊耐力から品質管理を行なっている。筆者はこのスラブのかぶり厚さが小さく腹補筋強もない点から附着破壊しないかという点が気になったが、はたして筆者らの目の前で行なわれた実験では典型的なBond-Shear failureをし

た。これでは不健全ではないかと質問すると工場長の返答は、規格耐力を満足しているから問題はないときた。この点われわれの感覚では満たされないものが残るがどちらの感覚が健全であるのか即断できない問題であろう。また5.でのべたPCパイプの工場では、でき上った製品に内圧をかけてそのろ水荷重を調べるが、もし規格が満足しておれば除荷してそのまま出荷することであった。

説明では内圧がなくなればひびわれは完全に閉じるから何ら実用上差しかえないということである。まったくそのとおりではある。

筆者の手元にはPCに限らずこの種のプラントのロシア語の資料が若干ある。この紹介記事とともに読者の参考になれば有難い。

参 考 文 献

- 1) F. Leonhardt: "Spannbeton für Die Praxis" Zweite Auflage Wilhelm Ernst & Sohn p. 145~146.(1962)
- 2) "Mechanisierung beim Vorspannen von Spanndrähten und Stabbündeln" Bauplanung-Bautechnik 19 Jg. H. 11 p. 572. Nov. (1965)
- 3) W. Fischer: "Silos in Motagebauweise in der Sowjetunion", Bauplanung-Bautechnik 17 Jg. H. 7 Juli(1963) (本誌第5巻第5号, 昭和38年10月p.9)
- 4) V.V. Mikhailov: "Stressing Cement and the Mechanism of Self-Stressing Concrete Regulation" Fourth International Symposium on the Chemistry of Cement, Washington, D.C., (1960) (1966.7.25・受付)

東京製網製品



P C

JIS G 3536

鋼線・鋼より線
B B R工法鋼線
多層鋼より線 (19,37本より)

製造元 **東京製網株式会社**
発売元 **東網商事株式会社**

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階
電 話 (211) 2 8 5 1 (大代表)