

ポストテンションまくらぎの製造管理、特に即時脱型について

田 中 茂 美*

1. 緒 言

わが国の P C まくらぎの歴史も 10 年の歳月を経て、今日までに製造された P C まくらぎの総数は 300 万本に達しようとしている。しかし、これら P C まくらぎの製造は、従来ほとんどがプレテンション方式で製造されたのであるが、国鉄新幹線用のまくらぎは、短期間にばう大な生産を必要とするので、従来のプレテンションまくらぎの製造能力に、一時的な能力の増強が要求され、種々検討の結果ポストテンションまくらぎの製造によってこれを補うことが決定された。同時にこの機会に、コンクリートの即時脱型工法が、わが国では始めて本格的に採用されたもので、まくらぎ製造の歴史にとって画期的なことがらと言わねばならない。

ポストテンションまくらぎは、設計上も種々の特徴を持っているのであるが、製造管理の上から見ると、集約された機械設備による量産に適していることが、プレテンション工法に比較して優れた点であろう。この特徴を生かすために、いかに設備し、いかに作業するかが、この工法成否のキーポイントになるのである。

これらの諸問題について、今日までの経過を述べ参考に供したいと思う。

2. ポストテンションまくらぎの特徴

ポストテンションまくらぎの製造が、上述のように機械化量産に適している理由は、

(1) コンクリート打ちが 1 ヲ所に集中できるので、コンクリートの運搬距離が短かく、高性能の機械をすえつけることができる。

(2) プレテンション方式に比し蒸気養生が簡単にできるので、製造時間の短縮ははかれる。

(3) 同上の理由で型わく、あるいはパレット(底板)の回転率が高い。

(4) 型わくの清掃、準備などの作業が 1 ヲ所に集約しやすい。

(5) 鋼棒による緊張作業やグラウティング等、順序よく狭い場所に配置されるので、純粹の作業時間以外の浪費時間が少ない。

(6) 振動機の作業時間を延ばすことによって、1 日のまくらぎの製造能力をフルにあげることができる。などであるが、さらに即時脱型工法を用いることによって、上述の (3)、(4)、(5) の特徴をいっそう発揮させることができる。

新幹線用ポストテンションまくらぎの形状および製造に必要な諸元は次のとおりである(図-1 参照)。

コンクリート

許容応力 圧縮 200 kg/cm²

圧縮強度 σ_{28} 600 "

(立方体供試体)

P C 鋼 棒 直径 12 mm 4 本(まくらぎ 1 断面当り)

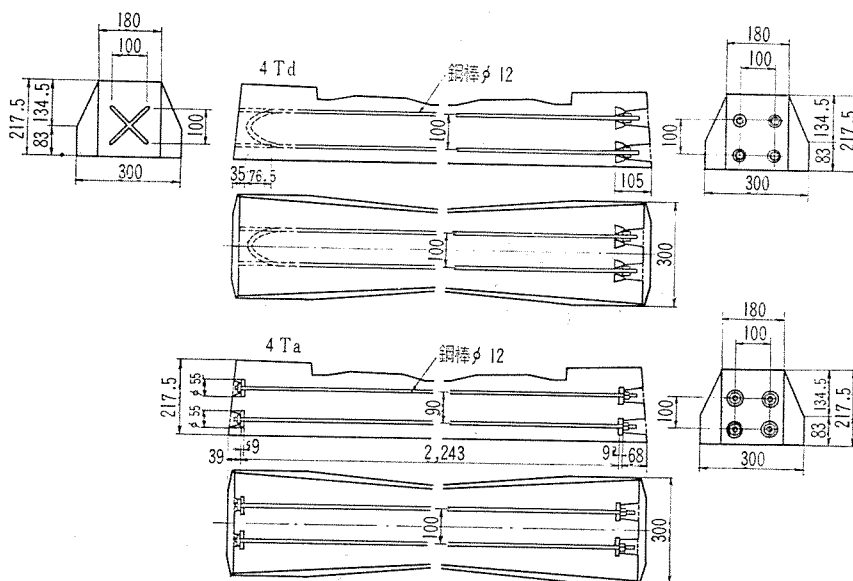
緊 張 力 初期 9 t × 4 = 36 t

有効 28.8 t

さて、今日新幹線用まくらぎのポストテンション方式には三つの方法が用いられている。一つは、テーブル振動台による普通の工法であり、次はいわゆる国鉄型と称する即時脱型工法で、次はドイツの Dywidag 工法(以下 DW 工法と称する)という即時脱型方式である。

第一の工法を概説すると、まづ型わくに成形棒やポリエステル製埋込栓などを装備し、硬練りコンクリートを填充し、振動台によって締固める。このコンクリート打

図-1 国鉄新幹線用ポストテンションまくらぎ



* 工博 興和コンクリートKK社長

ちの終わった型わくをそのまま5段ぐらいに積上げ、約1時間後に成形棒を抜きとり、シートをおおい3時間程度(最高 60°C)の蒸気養生を施す。蒸気養生終了後4本のP C 鋼棒を配置し、1本あたり 1000 kg で仮締めしたのち脱型する。その後置場にて自然養生し、コンクリートの強度が 450 kg/cm² 以上になったとき4頭ジャッキで鋼棒1本あたり 9 t の力で緊張しプレストレスを導入する。プレストレス導入後グラウティングを施し、最後に両端のモルタル仕上げをして完成するのである。この方法では型わくの数多くいるわけであるが、短時間の養生後仮締めをすることによって脱型を早めて極力型わく数を少なくしている。またパレットを要さないこと、本緊張はコンクリートの養生が十分に終わったのち任意に行なうので、早期強度を出すための配合上の不経済性を避けること、適当なスランプのコンクリートを用いるので、でき上がりがきれいなこと等の特徴があげられる。

次に国鉄型即時脱型工法であるが、この工法ではP C 鋼棒を4本用い、まくらぎの両端で止めてあるのがDW工法とのいちじるしい相違であるが、他の一切の設備は流れ作業の方式に配置され、即時脱型工法の利点を十分に発揮している。即時脱型工法でも、個々の設備やその配置にはいろいろと工夫をこらして能率の向上に努めているのであるから、国鉄型とDW工法との違いもそう言う意味において、根本的な相違ではない。DW工法については次に詳細に説明するので、国鉄型の製法についてここでは述べない。

3. DW 工法のまくらぎ製造管理

DW まくらぎ工法は、ドイツのディッカーホーフ・ウント・ヴィッドマン社が、即時脱型方式を取り入れて1953年より試験研究し、戦後の改良を加えて今日に至ったもので、自国内だけでもすでに1100万本くらいが使用されている。同社はこの10年間の経験の上に立って、技術的経済的にあらゆる検討を加え、些細なる点にまで研究が行き渡っている点は高く評価されるべきである。

(1) DW まくらぎ工法の特徴

DW工法の特に優れた点をあげれば次のようである。

P C 鋼棒をヘアピン形に曲げ、2本を交差させて使用することにより、一端の定着装置を省略できるので、経済的に非常に有利である。

定着板の代りに、釣鐘状のグロッケン定着体を使用することによる定着効果の向上

と経費の節約ができる。

コンクリートの型わくへの投入に、往復分散投入機を用い、層状に振動締固めをするので、締固めが完全に能率よく行なわれる。

即時脱型に加えて、型わくの準備がきわめて簡単なので、型わく数は、同時2本製作の場合でも6個で足りる。したがって型わくには相当金をかけてもよいことになり、製品の形状寸法の正確が期せられる。

P C 鋼棒の緊張は、四装連動自動ジャッキによって巧妙に操作され、作業の能率化と緊張力の均一化が達せられる。

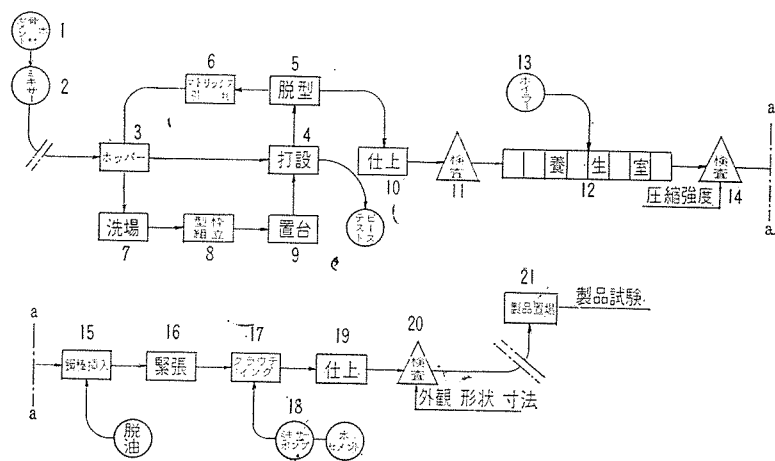
(2) 製造設備と作業工程

まくらぎ製造の作業能率をあげるためには、骨材その他諸材料の受け入れから、最後の製品の搬出に至るまでの、作業用機械の選択や配置、人員の配置が大切である。しかしながら前にも述べたように、各種の理由によって工場ごとに多少の違いがあるので、一例としてここでは興和コンクリート K K 大月工場の設備によって、作業の実態を説明することとする(図-2 参照)。

1は骨材、セメント、水等の貯蔵であるが、骨材は貨車卸しのものを、いったんベルトコンベヤーで受け、これをバケットコンベヤーでホッパーに上げる。骨材はホッパーに種類別に分類して貯蔵され、セメントはセメントサイロに貯蔵されている。各材料はバッチャープラントを経てミキサー2に投入される。ミキサーは即時脱型工法ではコンクリートが超硬練りのため、強制ミキサーを使用している。

ミキサーと振動機とはできるだけ接近して設けるべきであるが、大月の場合では敷地の関係上相当の距離があるので、コンクリートの運搬にクレーンやコンベヤーが使えず、小型ダンプカーを用いて運搬している。したがって運搬されたコンクリートはいったんホッパー3に受け、これをコンベヤーで配分機に入れる。このとき型わ

図-2 大月工場まくらぎ製造工程図



くはすでに整備されて振動台 4 の上に置かれているが、配分機はこの型わくの真上に位置し、配分機の底部に設けられたスクリー コンベヤーにより、コンクリートを配分機の端部に押し出し、同時にこの配分機自身がまくらぎ型わくの真上を自動的に往復するので、コンクリートが均一に型わく内に分配される。この配分機はきわめて巧妙にできており DW 工法の一特徴とも言えよう。

振動機は周期 9000 rpm の上下振動で振幅は 0.6 mm の高性能を有し、テーブルに振動が有効に伝わるように特殊の工夫が凝らしてある。型わくとテーブルとの締付け装置は油圧ジャッキにより強固に、しかも迅速に緊解ができるようになっている。

型わくは一本取り 2 本を並べ、1 回の作業で 2 本ずつ製作するようになっているが、ドイツでは 3 本取り型わくを用いて同時に 3 本製作する振動機もあるとのことである。コンクリートの打設で大切なことは、振動の終わりに、上部振動板によって上部からコンクリートに圧力と振動を加えることであって、まくらぎ全体のでき上りに非常に良い効果を与えるとともに、コンクリート上面の仕上げができるのである。

振動が終れば、型わくは振動台から 5 の作業台に移される。この操作には大月工場においては、ハンド フォーク リフトを用いているが、機械的な方法としては、ローラー コンベヤーを振動台に接近して配置し、ハンドルの操作によってローラー面を持ち上げ、型わくを移動する方法が多く用いられている。特に 3 本取りの場合にはこの方法が多い。

型わくが作業台に移されると、パレットを上にかぶせ固定する。次に、天井走行クレーンに取りつけられた型わく回転機にて型わくを吊り上げ、これを上下に回転して作業台に置く。4 本組合わせになった成型棒（マトリックス）をウインチで 6 の方へ徐々に引抜いたのち再び回転機を吊り上げると、型わくと一緒に上昇して成形されたコンクリートまくらぎの本体がパレットの上に残される。

吊上げられた型わくと成型棒はそのまま洗場 7 に送って清掃され組立台 8 に移される。ここで埋込栓、マトリックス棒、ジベルなどを取りつけて整備し、架台 9 に送られてコンクリートの打込みを待つことになる。

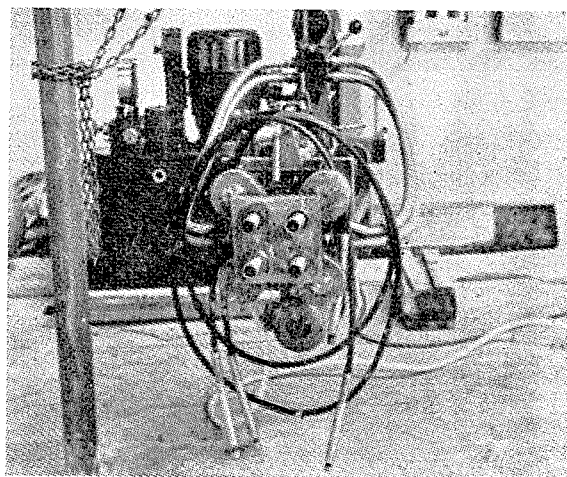
一方、脱型されたまくらぎは、パレットに乗ったまま天井走行クレーンによって養生槽 2 に持ち運ばれる。もっともその前に 10、11 の場所において、些少の傷の補修や成型上の検査をすることになっている。

養生槽は 8 槽設けられ、一槽の容量は 4 本並び 4 段計 16 本積み の架段 2 組を収容できる。一槽ごとに吊りカンバスが天井から下りてまくらぎをおほい、床から噴出

する蒸気によって熱養生をするが、養生工程についてはあとで別に少し詳細に述べることにしたい。

養生の終わったまくらぎは、クレーンにて 4 本積み の台車に積まれ次々の作業場に移される。コンクリートのテストピースも、同時に養生槽から取り出され、圧縮強度の試験をうけて、ストレス導入時の判定の資料に供される。作業場 15 はヘヤピンのそう入であって、まづ短かい方が先に、次に長い方がそう入され、ナットを取りつけて緊張の準備を終り作業場 16 に移す。ここではストレス導入が行なわれるが、緊張はディビダーク独特の四装連動ジャッキ（写真—1）を用い、正確に迅速に所定の緊張がなされる。ストレスが正確に導入されているかどうかを確かめるには、ダイナモメーターを用いてチェックするようになっている。鋼棒 1 本あたりの緊張力は 9 t で、まくらぎ 1 本あたり 36 t である。

写真—1 四装連動ジャッキ



次にはグラウト 17 であるが、ヘヤピンの弯曲側のまくらぎ端面に注入口を固着させ、ここからペーストを注入するのであるが、反対側には鏡がとりつけてあって、ペーストの噴出が注入作業員からも見えるようになっている。

最後には仕上げ 19 であるが、両端の凹部に硬練りモルタルを詰め込む作業が主で、その他レール踏面のガタを削正したり、大きな気孔を埋めたりする。

かくして完成したまくらぎ全部に対し、寸法のチェックをして、フォーク リフトを用いて製品置場に送り込む。以上の全工程に対し、大月工場 で用いられる設備を一覧表にすると次のとおりである。

- (1) 骨材貯蔵場 収容量 500 t
- (2) 総合プラント
 - 骨材ホッパー、4 槽に区分、1 槽 30 t
 - コンクリート混合場、1 階運搬車、2 階コンクリートホッパー 3 階ミキサー 3 基
- (3) コンクリート運搬機、ダンプカー 1 台
- (4) コンクリート打設設備

コンクリート ホッパーおよびコンベヤー	1
型わく	6
コンクリート配分機	1
テーブル振動機および上部振動機	1
型わく回転機	2
マトリックス引抜用ウインチ	1
ハンド フォーク リフト 3t	2
クレーン、電気ホイス 1t	1
ガントリー クレーン 3t	1
ローラー コンベヤー	1
パレット	300

(5) 養生設備

ボイラーおよび配管設備一式	1
養生槽 (キャンバスとも)	8
養生棚 (まくらぎ 16 本用)	16
ガントリー クレーン 3t	1

(6) 緊張ならびにグラウト関係

台車 (まくらぎ 4 本積)	10
緊張用四装連動ジャッキ	2
コンプレッサー	1
グラウト ミキサーおよびポンプ	1
まくらぎ吊機	1
フォーク リフト	1

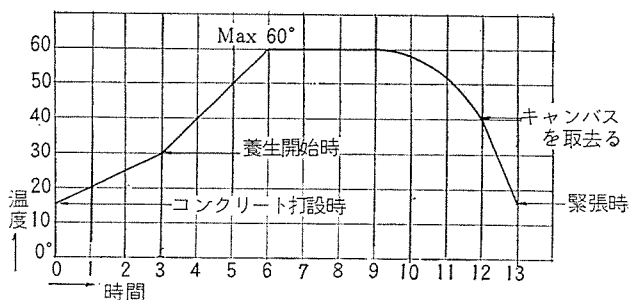
(7) まくらぎ貯蔵場

ガントリー クレーン 3t	1
フォーク リフト	1

(3) 蒸気養生の詳細

即時脱型工法と蒸気養生は切りはなせないものであるが、養生の方法はコンクリートの強度、作業能率に影響するところであるから慎重を期せねばならない。大月工場において実施されている養生の時間温度の関係を図示すると図-3 のとおりである。

図-3 養生槽の温度-時間曲線



すなわち、脱型後のまくらぎを養生槽に入れ、キャンバスをかけてから 3 時間そのまま放置したのち、蒸気を供給する。蒸気は、母管から枝を出して各槽に床から噴出させるのであるが、量はバルブによって自由に調節できるようになっている。3 時間かかって 60°C まで上げ、この温度を 3 時間持続して蒸気を止め、キャンバスをかけたまま 3 時間放置しキャンバスを取り除く。テストピースも同時に養生して圧縮試験を行ない、所定の強度 450 kg/cm² に達しているかどうかを確かめて、ま

くらぎ緊張の資料にする。

4. 即時脱型工法の問題点

即時脱型工法は、コンクリート製品の量産に適し、ヨーロッパでは、まくらぎ以外にも利用されているが、わが国においては、フランス国鉄の RS マクラギ製造機が数年前大月工場にはいったのが始めてである。この RS の機械でコンクリート ブロックを製造した経験は持っているが、PC まくらぎの製造となると、コンクリートの強度、PC 鋼棒孔の成型、プレストレスの導入など幾多の問題があって、完全な製品が量産されるまでには相当の日時を要したのである。

問題点はどこかと言えば、まづすべての機械が設計どおりに完全に動くこと。即時脱型に独特のコンクリートの配合を見出すこと。振動、脱型の要領等であるが、一番の問題はコンクリートの配合設計である。

即時脱型工法では、型わくをはずしたのちコンクリートが硬化するまで、変形があってはいけないことはもちろんであるが、特にまくらぎのように、レールの締結を正確に確保するには、わづかの変形も許されない。DW まくらぎの場合には、脱型後養生槽に入れられるまでに種々の操作を受けるので、コンクリートの硬さは相当のもでなければ変型のおそれがある。一方コンクリートの硬さが非常に硬い場合には、製品の表面に沢山の気泡が残ったり、面が平滑にでき上がらないので、両方の条件に合う配合設計の範囲は非常に狭く、これを見出すことが容易でないのである。

大月工場でのコンクリートの配合設計の目標は、プレストレス導入時すなわち蒸気養生後数時間内の圧縮強度が 450 kg/cm² 以上、 σ_{28} が 600 kg/cm² 以上の強度を考えた。

コンクリートの所要強度は水セメント比によって定まるが、即時脱型の場合は所要の硬度をうるために水の量を最小限度 (120 kg/m³ 付近) に押えなければならないので、セメントの使用量もきわめて少なくすむが、それではよい製品ができない。すなわちコンクリートに練性が足りないために、できばえが悪いのである。これを補うためにセメントよりも価格の安いバイコン (志村化工製) をセメントの 1/10 だけ混ぜることにした。

また骨材の上で注意を要する点は、粗骨材には川バラストよりも碎石の方が成型上まさっていること、10 mm 以下の粒度はふくまないこと、細骨材の量を余り多くすると製品の変形が起りやすく、過少だと表面の仕上がりが悪くなることなどである。

以上のことがらを考慮に入れて試験をくり返し、また実際の製造実績から得た基準配合は次のとおりである。

1 m ³ あたり	セメント	バイコン	水	細骨材	粗 骨 材	w/c	て塗布している。
					10~20 mm 20~30 mm		
	365 kg	36.5 kg	128 kg	733 kg	400 kg 824 kg	35 %	5. 製品の試験

昭和 37 年 11 月より 38 年 1 月までの製造せるコン

クリートの強度

管理図を示すと

図—4 のごとく

である。すなわ

ち、圧縮強度

は最低 615 kg/

cm²、最高 785

kg/cm² の範囲

で平均値は 685

kg/cm²、標準偏

差は 29.4 kg/

cm²、変動係数

は 4.3% で、い

ずれの数値も満

足すべき範囲に

至るものと言え

る。また蒸気養

生を終えたの

ちのテストピー

スの強度は、常

に 470~550 kg/

cm²であるので、

これも指示され

た 450 kg/cm²

に比し十分の強

度が出ている。

振動機の周期

は毎分 9 000 回

以上、振幅は

0.6 mm 程度で

コンクリートの

振動機として高

性能に属する。

またはく離剤

は、現在のとこ

ろ国産品では即

時脱型用として

理想的なもの

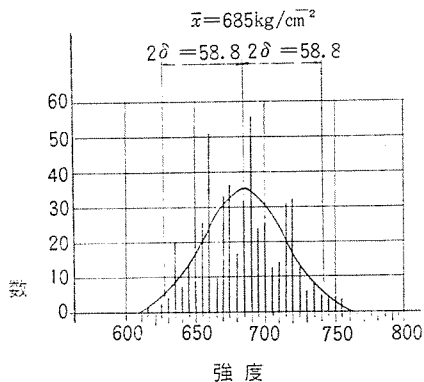
が見劣らず、ド

イツよりの輸入

品を使用し、圧

さく空気で吹つけ

図—4 東海道新幹線まくらぎ 4 Td
101 型 σ_{28} 強度管理図



(1962.11~1963.1)				
強 度	数	強度×数	x との差	差の自乗×数
615	1	615	70	4 900
625	2	1 250	60	7 200
630	5	3 150	55	15 125
635	21	13 335	50	52 500
640	8	5 120	45	16 200
645	14	9 030	40	22 400
650	9	5 850	35	11 025
655	26	17 030	30	23 400
660	51	33 660	25	31 875
665	10	6 650	20	4 000
670	33	22 110	15	7 425
675	37	24 975	10	3 700
680	17	11 560	5	425
685	32	21 920	0	0
690	57	39 330	5	1 425
695	24	16 680	10	2 400
700	26	18 200	15	5 850
705	13	9 165	20	5 200
710	14	9 940	25	8 750
715	31	22 165	30	27 900
720	34	24 480	35	41 650
725	14	10 150	40	22 400
730	7	5 110	45	14 175
735	8	5 880	50	20 000
740	5	3 700	55	15 125
745	5	3 725	60	18 000
750	5	3 750	65	21 125
755	4	3 020	70	19 600
760	1	760	75	5 625
765	1	765	80	6 400
785	1	785	100	10 000
計	516	353 860		445 800

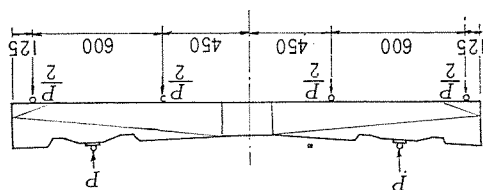
$$\begin{aligned} \text{平均値 } \bar{x} &= \frac{353\,860}{516} = 685 \\ \text{標準偏差 } \delta &= \sqrt{\frac{445\,800}{516}} = \sqrt{864} \\ &= 29.4 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{変動係数 } \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100 &= \frac{29.4}{685} \times 100 = 4.3\% \\ \text{試料範囲 } &785 - 615 = 170 \\ \text{試料数 } &516 \text{ 個} \end{aligned}$$

製品試験は次の 5 項目に分かれている。

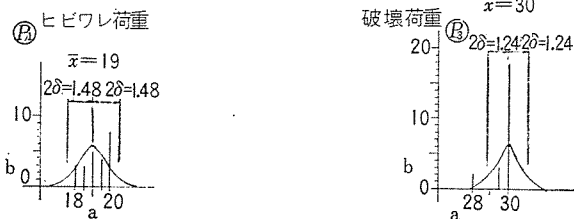
- (1) ひびわれ保証強度確認試験
- (2) 埋込栓の引抜き保証抵抗力確認試験
- (3) ひびわれ発生強度試験
- (4) 曲げ破壊強度試験
- (5) 埋込栓の引抜き抵抗力試験

試験度数は、(1) および (2) に対しては、製作順に 50 本に 1 本の、(3)、(4)、(5) に対しては、1 000 本に 1 本の割合で行なわねばならない。(3)、(4) の試験の実例を示すと、図—5 のようである。

図—5 (a) レール位置の下縁の試験



図—5 (b) 4 Td まくらぎ 101 型曲げ試験レール位置断面
(1962.11~1963.2)



t	数	a × b	(c) x との差	(c ² × b) 差の自乗 × 数
18	3	54	1	3
18.5	3	55.4	0.5	0.75
19	5	95	0	0
19.5	4	78	0.5	1
20	8	160	1	8
計	23	442.5		12.75

$$\text{平均値 } \bar{x} = \frac{442.5}{23} = 19 \text{ t}$$

$$\text{標準偏差 } \delta = \sqrt{\frac{12.75}{23}} = \sqrt{0.55} = 0.75 \text{ t}$$

$$\text{変動係数 } \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100 = \frac{0.75}{19} \times 100 = 3.9\%$$

$$\text{試料範囲 } 20 - 18 = 2$$

$$\text{試料数 } 23 \text{ 個}$$

a	b	a × b	c	c ² × b
28	2	56	2	8
29.5	3	88.5	0.5	0.75
30	18	540	0	0
計	23	684.5		8.75

$$\text{平均値 } \bar{x} = \frac{684.5}{23} = 30 \text{ t}$$

$$\text{標準偏差 } \delta = \sqrt{\frac{8.75}{23}} = \sqrt{0.38} = 0.62 \text{ t}$$

$$\text{変動係数 } \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100 = \frac{0.62}{30} \times 100 = 2\%$$

$$\text{試料範囲 } 30 - 28 = 2$$

$$\text{試料数 } 23 \text{ 個}$$

すなわち、ひびわれ荷重の試験値は最低 18 t、最高 20 t、平均 19 t であって、規定された強度 12 t に対し十分であるし、他の係数も満足すべき範囲には入っている。また破壊荷重試験の値は最低 28 t、最高 30 t、平均も 30 t になり、十分な強度を有するものと言える。

6. む す び

P C まくらぎの使用は、年々増加してゆくことは世界的傾向であるが、その設計および製造方法は現在のところ各種各様である。将来において、その技術的優劣が判然とすれば、使用箇所に応じて自ら分野が定まってくるであろう。しかしながら、いずれにしても使用する数量が大量なものであるから、少しでもコストの安いものが優位に立つことは間違いない。ただ製造原価の構成には複雑な要素が沢山に含まれていて、わづかの差違の場合には、にわかに判定を下しにくい場合が多い。特に、

機械化量産方式を取った場合、受注の不動性が特に望まれるのに対し、ロングベンチ式においては、施設を他の製品と共用することによって少量の受注に便利な点を有しているなど、受注の状況いかんにも大きく左右されるものである。

しかしながら、量産方式ということがコストダウンの結論であることに疑う余地がないし、コンクリート製品の場合に即時脱型工法が、その可能性を最大に持つものであると思われる。

本文のデータには、元大月工場長小林義太郎君に負うものが多い。同君に感謝し付記する。 1963.5.7・受付

第 4 回国際プレストレスト コンクリート大会および道路と滑走路とのシンポジウムの議事録予約申込みについて

- (1) IVth International Congress on Prestressed Concrete, Rome-Naples, May 27~June 2, 1962. 2 Vols.
Vol. I 1963 年 9 月発行予定 Vol. II 1963 年 12 月発行予定
- (2) The Ppocceedings of the FIP-PIARC Symposium on P C Road and Airfield Runways. 1963 年秋発行予定

●申込要領 申 込 先：東京都中央区日本橋 2 丸善 K.K.

申 込 期 限：1963 年 9 月末

頒 価：(1) 約 12 000 円 (2) 約 2 400 円

予約申込金：(1) 6 000 円 (2) 1 200 円

Freyssinet
METHODS

Prestressing

営 業 種 目 ●コンサルタンツ計画・調査・設計・監理・試験・技術指導

●販 売・貸 与—フレシパッド（橋梁用ゴム支承版）・F M シース
フレシネーコーン・P C 鋼線・各種 P C 機材

F.K.K.

— 仏国 STUP 社極東総代理店 —

極東鋼弦コンクリート振興株式会社

取締役社長 藤 田 亀 太 郎

本 社 東京都中央区銀座西六の六（合同ビル） TEL (571) 8 6 5 1 (代)