

わが国におけるポストテンション方式PCマクラギ

渡 辺 偕 年*

1. 経 緯

わが国におけるポストテンション方式PCマクラギ（以下ポステンマクラギとよぶことにする）の歴史は昭和29年近畿日本鉄道KKにおけるKB-I型、KB-II型の試作をもって始まった。この場合はPC鋼棒に関する諸試験、マクラギの載荷試験および疲労試験が行なわれたがその後、国鉄において昭和30年末から昭和31年にかけてポステンマクラギについての試作研究が行なわれ、東海道本線大森～蒲田間（下り線）に約2年間の試験敷設が行なわれた。また同じころ京阪神急行電鉄KKにおいてもポステンマクラギについての研究が進められたが、昭和34年2月梅田～十三間の複線増設工事において約2.6kmの区間に実際敷設が行なわれ今日に至っている。これらのポステンマクラギに関する諸元は、後で述べる国鉄新幹線用ポステンマクラギとともに表一―1に一括して示した。

しかしながらこれらの試作研究は、従来行なわれていたプレテンション方式PCマクラギ（以下プレテンマクラギとよぶことにする）のPC鋼線をPC鋼棒に置きかえたというに過ぎず、主としてPC鋼棒の使用分野の拡大という面が強く出ていて、ポステンマクラギのプレテンマクラギに対する製造技術的特性とか経済的特性についてまでは深い検討がおよんでいなかった。すなわちプレテンマクラギと同様なコンクリート品質、形状、および製作方法によるコンクリートマクラギを、PC鋼棒でプレストレスした場合のマクラギの強度比較以上に余り出る所がなく、PCマクラギ需要の過少、償却ずみのプレテンマクラギ製造設備等の条件に支配されて、ポステンマクラギの大量使用という事態は招かれず結局試験段階を大して出ていなかったのである。ただ昭和33年～34年に国鉄において研究が行なわれた、わく形マクラギには、プレテン部材を後からPC鋼棒で緊張して組立てるといふPCマクラギ製造方法の合理化に対する配慮がある程度見られた。

このような状況のもとに超高速新幹線建設の機運が高まり、東京～大阪間複線約500kmに敷設すべき約160万本のコンクリートマクラギについての研究が昭和34年頃から開始されたが、その出発点においてつぎの事項が検討考慮されたのち即時脱型工法によるポステンマク

ラギの開発が研究の一焦点として決意されたのである。

（1）諸外国の実情を見ると、コンクリートマクラギの生産量が多い場合には、その製造に振動台利用による即時脱型工法を採用しており、その理由が単価を下げることにあると言われているので、新幹線のように所要数量が多い場合にはこの工法について研究する必要がある。

なお、振動台利用方式の中プレテンとポステンとの得失については、プレテンは大量の型わくを要するので、新幹線のように短期生産しか必要でない場合にはポステンの方が有利であると思われる。

（2）新幹線用コンクリートマクラギの製作に現有のロングライン工法の設備のみを用いた場合には生産に多くの期間を要し、昭和36年初頭に発注しなければ間に合わないという報告が調達担当局から昭和35年3月頃提出されたが、わが国在来線あるいは諸外国の例を見てもわかるように、コンクリートマクラギ締結装置の経済的設計をうるまでに少なくとも7～8年の歳月を要していることから、昭和36年初頭までの短期間で理想的な設計をうることは非常に困難である。したがって設計研究期間を長くするため、生産速度が速くて短期間に量産が可能な振動台利用の即時脱型工法の研究をする必要がある。なお同じ目的で現行ロングライン工法についても量産のための研究を進める必要がある。

（3）世界の状況を眺めたとき、ドイツのB55形、B58形、フランスのRS形などのマクラギ（いずれも振動台利用の即時脱型工法）の製品輸出、プラント輸出がさかんであり、すでに南鮮にもドイツの方式がプラント輸入されているなどの事情から、わが国においてもこの振動台利用の即時脱型工法についての技術研究を十分にやっておく必要がある。

（4）振動台利用の即時脱型方式ポステンマクラギとロングライン工法によるプレテンマクラギの単価差はあまり大きくないと思われる。また新幹線の将来の需要が急激に減ることを考えると、大きな生産設備拡張を避けるべきなので単価差が小さい場合は現有ロングライン工法との協同生産が望ましいかも知れない。

（5）振動台利用の即時脱型工法の研究は、その研究期間が十分でない点を考慮して、ドイツのDywidag社のB58形、ポステンマクラギの製作工法、フランスのRSマクラギ製作工法および国産工法の併行研究とする

* 国鉄技師，新幹線局土木部軌道課

ことが望ましい。

とは、その需要あるいはマクラギ寸法などの関係で、そ

(6) 在来線PCのマクラギにこの工法を適用するこ

の有利不利が不明であるので新幹線における研究ではこ

表-1 わが国のポステン マクラギ諸元一覧表

使用箇所		近鉄(試作)	国鉄(試作)	国鉄(試作)	阪急(梅田・十三)	国鉄(新幹線試作)			国鉄(新幹線)		
マクラギ名称		KB-1	KB-2	鉄研式	HB-III	3A	3B	3C	4Ta, 4Tb 4Td, 4Tg	4Td	
長さ	cm	230	240	200	230	200	200	200	235	235	
底面幅	max	24.0	24.0	20.0	23.6	26.0	26.0	26.0	30.0	30.0	
	min	—	—	14.0	22.9	26.0	26.0	26.0	23.0	23.0	
頂面幅	max	15.0	15.0	14.0	18.2	22.7	22.7	22.7	18.5	18.5	
	min	—	—	11.2	16.2	21.0	21.0	21.0	16.5	16.5	
高さ	max	18.0	18.0	15.0	18.5	23.6	23.6	23.6	21.8	21.8	
	min	14.5	14.5	10.0	12.0	15.0	15.0	15.0	17.5	17.5	
重量	kg	127	153	110	—	200	200	200	256 259	254	
PC鋼材	直径	mm	24	18	17.38, 18.27	17.4	14	14	15.88	12	12
	種別	—	両ネジ鋼棒	同左	同左	同左	同左	同左	同左	両ネジ鋼棒	ヘアピン鋼棒
	本数	本	1	2	2	2	4	4	4	4	2
緊張力	初期	t	22.5	22.5	20.0 (26.0)	22.0	40.0	40.0	40.0	36.0	36.0
	有効	t	19.2	19.2	20.0 (再緊張)	20.0 (再緊張)	32.0	32.0	32.0	28.8	28.8
PC鋼材の機械的性質	引張強度 σ_u	kg/mm ²	>100	>100	>97, >118	>80	>110	>125	>105	>132	>132
	降伏点応力度 σ_y	kg/mm ²	>67	>67	>78, >88	>60	>95	>110	>95	>123	>123
	ネジ部破断強度 σ_n	—	—	—	—	—	—	—	—	127	127
	伸び	%	8~15	8~15	—	>5.0	>5.0	>5.0	>5.0	>7	>7
PC鋼材応力	初期 σ_c	kg/mm ²	49.7	44.3	42.5, 38.5 (55.0), (50.1)	46.5	64.9	64.9	50.5	94.1	94.1
	有効 σ_c	kg/mm ²	42.2	37.8	42.5, 38.5	42.5	52.0	52.0	40.4	73.3	73.3
安全率	$\sigma_t/\sigma_n \times 100$	%	<49.7	<44.3	<43.8, <32.6 (<56.7)(<42.5)	<58.1	<59.1	<52.0	<48.1	<71.4	<71.4
	σ_t/σ_r	—	—	—	—	—	—	—	—	<74.4	<74.4
	σ_t/σ_y	%	<74.1	<66.2	<54.5, <43.7 (<70.6)(<57.0)	<77.5	<68.3	<59.1	<52.6	<76.9	<76.9
	σ_c/σ_n	%	<42.2	<7.8	<43.8, <32.4	<43.8	<47.3	<41.6	<38.6	<57.1	<57.1
	σ_c/σ_n	—	—	—	—	—	—	—	—	<59.5	<59.5
	σ_c/σ_y	%	<63.1	<56.5	<54.5, <43.7	<54.5	<54.7	<47.3	<42.6	<61.5	<61.5
設計荷重	t	8	8	8	9	8	8	8.0	10.0	10.0	
コンクリート圧縮強	kg/cm ²	>550	>550	>500	>500	>500	>500	>500	>480	>480	
コンクリート許容応力	圧縮	—	180	180	特に規定せず	150	特に規定せず	特に規定せず	特に規定せず	200	200
	曲げ引張り	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0
抵抗モーメント	レール下面	t·cm	—	—	83.0	95.2	160.5	160.5	160.5	107	107
	中央上面	t·cm	—	—	36.8	53.5	117.5	117.5	117.5	87	87
発生最大モーメント	レール下面	—	87.5	87.5	75.6	94.4	[119.5] 75.6	[119.5] 75.6	[119.5] 75.6	87	87
	中央上面	—	40	40	51.7	50	[105.9] 51.7	[105.9] 51.7	[105.9] 51.7	77	77
安全率	レール下面	%	—	—	91.1	99.2	[74.5] 42.2	[74.5] 42.2	[74.5] 42.2	81.4	81.4
	中央上面	%	—	—	140.5*	93.5	(90.0) 44.0	[90.0] 14.0	[90.0] 88.5	88.5	88.5

注) 1. この他名鉄型、国鉄技研型(津田沼試験所内に敷設したもの)等があるが、ここでは省略する。

注) 2. [] は当時新幹線用として考えられた軸重 22t に相当する場合を示したものである。

注) 3. 鉄研式は強度チェックが試験目的であったので、マクラギ中央ではコンクリートの曲げ引張強度を考えないと強度不足であるような設計となっている(*)。

の点別問題として取扱う。

すなわち新幹線のポステンマクラギは“振動台による即時脱型工法”という名が示すごとく、その製作技術的特性が、超高速運転を可能にする高性能軌道設計のための研究期間確保と、新幹線建設の経営的必要性からもたらされた短期量産要請に適合したがゆえに開発されたといつてよい。これはポステンマクラギがプレテンマクラギに対して経済的競争に打勝って登場してきたものではないけれども、単なるPC鋼材の種類変更という従来の研究段階からは本質的に一步前進したことを意味すると考えられる。

その後、この即時脱型工法ポステンマクラギの研究は約3000万円の試験費を投じて推進されたが、その研究事項の主なものつぎのとおりである。

- ①即時脱型工法用の振動台他関連機械の試作研究
- ②即時脱型工法の工程に関する研究
- ③PC鋼棒の機械的性能、疲労強度に関する試験研究
- ④PC鋼棒のリラクゼーションに関する試験研究
- ⑤コンクリートのクリープ、乾燥収縮に関する試験研究
- ⑥高温養生に関する試験研究
- ⑦PC鋼棒支圧板の傾斜に関する試験研究
- ⑧マクラギの機械的性能、疲労強度に関する試験研究
- ⑨マクラギ凍結融解試験研究
- ⑩緊張ジャッキの性能に関する試験研究
- ⑪PC鋼棒端の Heading の方法、効果に関する試験研究
- ⑫量産マクラギの性能に関する試験研究

この間民間においてもポステンマクラギに対する関心が高まり、昭和36年秋から昭和37年にかけてドイツDywidag社の即時脱型工法プラント輸入が行なわれ、また即時脱型ではないけれども振動台を利用する半養生後脱型によるポステンマクラギ製作工法が国内で開発されたので、これらの工法によって国鉄設計のポステンマクラギを製作する場合の諸問題についても、その後研究が追加推進された。

これらの研究の結果、各種工法によるポステンマクラギに関して一応さしつかえない性能をうることに成功したので、大きな単価差も予想されず、国内メーカーの生産能力と生産期間との関係も考慮して、各工法によるポステンマクラギを網羅した仕様書を作りプレテンマクラギとともに国内生産能力をフルに働かせて新幹線PCマクラギ調達にあたることになった。

すなわち新幹線のポステンマクラギは、国鉄が開発した即時脱型工法によるものと、民間開発の半養生後脱型によるものおよびドイツのDywidag社の即時脱型工法

によるもの3種類併行の形で昭和37年9月に設計および仕様書が決定され、目下総数約60万本の生産および敷設が進行しているのである。なおこれは新幹線に使用するPCマクラギ総数の約4割弱に相当する。

前述したごとく新幹線のポステンマクラギの研究は在来線の問題には触れなかったが、その後在来線における軌道近代化の要請にもとづく需要増等の理由から、在来線用ポステンマクラギの研究も開始され、試作品の現場敷設が行なわれる段階となっている。

2. 設計および仕様上の問題点

1. で述べたように、わが国のポステンマクラギはその製作工法の特徴がクローズアップされて飛躍的な発展を遂げたわけであり、その製作方法の内容について説明することによって、わが国のポステンマクラギの実情あるいは問題点を最も理解しやすいので、紙面の都合もあり3. に重点を置くことにして、設計および仕様上の問題点については簡単に新幹線の場合に考慮された事項を要約するとどめ、くわしくは別の機会にゆずることにする。なおPCマクラギ一般に関する問題点については、拙稿「わが国におけるPCマクラギの発展および問題点」(プレストレストコンクリート Vol. 4, No. 6, 1962) に記してあるので、ここでは主としてポステンマクラギに関する問題点のみについて述べる。すなわち

(1) マクラギ長は、プレテンマクラギの場合のPC鋼線付着長を考慮して、ポステンマクラギの場合2.3m、プレテンマクラギの場合2.4mとした。

(2) 即時脱型のポステンマクラギの場合、コンクリートの品質管理がやりやすいのでパーシャルプレストレッシングで設計すべきとも考えられたが、製作の歴史がほとんどないのでプレテンマクラギの設計と同様にフルプレストレッシングで設計することとした。なおプレストレスの有効率は0.8とし、2度緊張はやらないことにした。

(3) PC鋼棒の品質については、できうれば統一した性能を規定したかったが、PCマクラギに使用するような高強度PC鋼棒に関するわが国の歴史が浅く、現在各メーカーごとに独自の研究を進めている段階であったため、各メーカーごとのPC鋼棒について試験をくり返したのち、最も経済的な規格を各メーカーごとに決定して併列形式で仕様を作った。

(4) ネジ形状は国産形ではJISネジ、DW形では特殊な非対象ネジとした。

(5) 支圧板形状は国産形では正方形、DW形では特殊花卉状とし、マクラギ底面から支圧板までのかぶり厚は国産形の場合7.5mm、DW形の場合10mmとした。

(6) 支圧板の傾きは DW 形の場合問題ないが、国産形の場合は P C 鋼棒に曲げ破壊を起こすおそれがあるので傾斜角を 3° 以下に制限した。

(7) 国産形の場合当初 P C 鋼棒端にいずれもネジを切り支圧板にナットで定着する設計であったため、ヘアピン状鋼棒を使用する DW 形に対して締着部が 4 カ所多く不経済であるのみならず、(6) の支圧板傾斜による P C 鋼棒曲げ等の問題があったが、その後 P C 鋼棒端を Heading した P C 鋼棒の製作に成功してこれらの問題点の改良が行なわれた。

(8) 養生条件はプレストレスト コンクリート設計施行指針にしたがって、脱型後加熱までの保持時間を 3 時間、温度上昇速度を 15 °C/時、最高温度を 60°C と規定した。最高温度についてはドイツで行なわれている 80°C についても検討したが今回はデータ不足で 60°C に止めることとした。

(9) コンクリートの配合については、脱型後変形を生じないという条件を示したのみで特に示方配合を決めなかった。

(10) 骨材の max size は 40 mm とした。

(11) マクラギ表面のアバタについては、凍結融解試験およびビブロジール試験の結果新幹線の場合問題ないことを確認したが、製作指導としては輸入されたドイツの B 58 形マクラギの表面状態を規準として一定の条件で管理することにした。

(12) プレストレスを与えてよいときのコンクリート圧縮強度は 450 kg/cm² とした。

(13) P C 鋼棒の緊張力の設定は ±200kg/本とした。

(14) P C 鋼棒と型わくとの間の相対誤差は端部で ±1 mm 以下中央部で ±2 mm 以下とした。

このほか設計仕様の際して検討した事項を列記するとつぎのとおりである。

ナ ッ ト：支圧板の材質、形状、寸法

グ ラ ウ ト：填充モルタルの規定

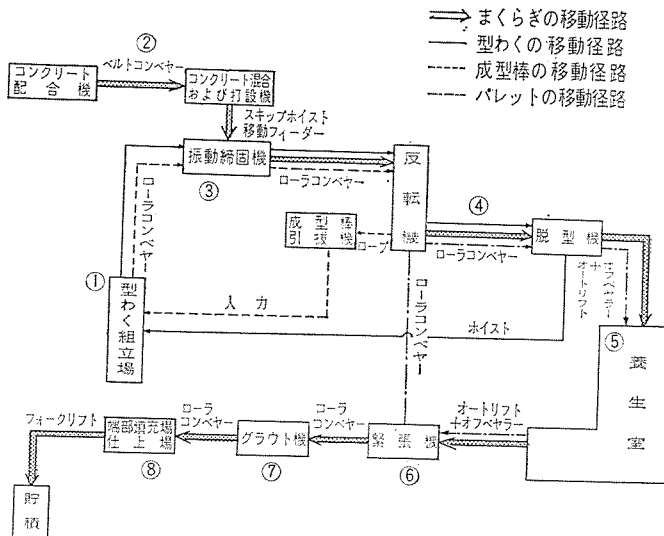
コンクリート：P C 鋼棒、マクラギの品質管理の方法

形 状、外 観：寸法の許容範囲

3. 製作工法

わが国のポステンマクラギ式の製作工法は、

図-1 A1工法の標準平面図



注：○内の数字は本文 3. の中の工程番号を示す。

図-2 B1工法の標準平面図

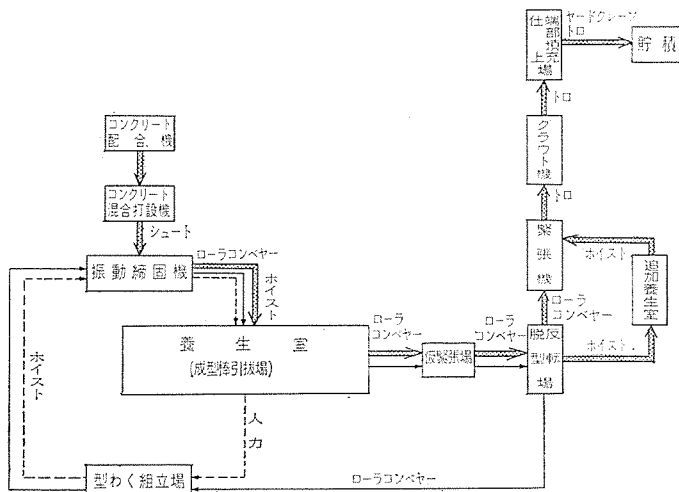
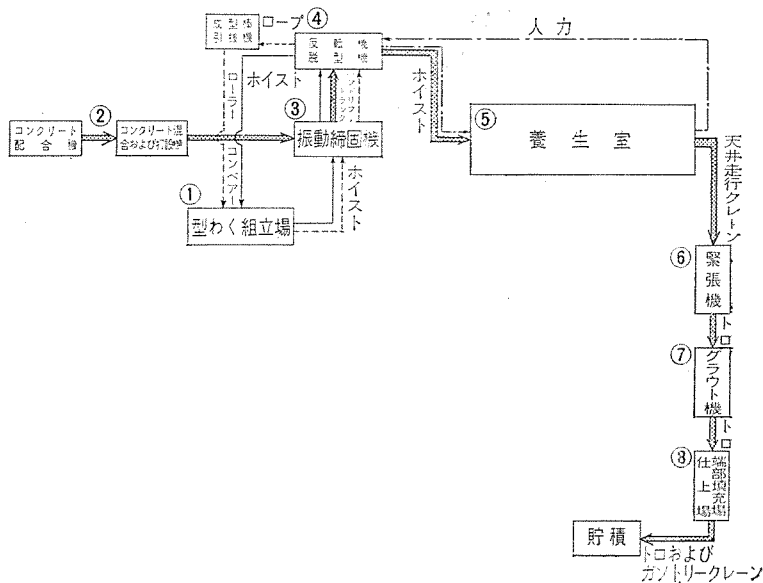


図-3 C1工法の標準平面図



現在さきに述べた3種類のものがあるので、これらの特色について説明する。記述の簡略化のためこれら3工法をそれぞれつぎのようにA工法、B工法、C工法とよぶことにする。

A工法：国鉄で技術開発された即時脱型工法

B工法：民間で技術開発された半養生後脱型工法

C工法：ドイツからプラント輸入された即時脱型工法

A,B,C 3工法の間の最も特徴的な差は、

(1) PC鋼棒の形状が図-1に示すように、A,B工法の対象マクラギ($\frac{4T_a}{4T_b}$, $\frac{4T_f}{4T_g}$)では4本の両端(4T_f, 4T_g)の場合は片側)ネジ切り直線鋼棒であるのに対し、C工法の対象マクラギ(4T_d)では2本のヘアピン状鋼棒であること。

(2) A, C工法は純然たる即時脱型工法、すなわち数分間の振動締固め後ただちに脱型が行なわれるのに対して、B工法は振動締固め後数時間(コンクリート圧縮強度が150 kg/cm²程度となるまで)養生してコンクリートの凝結をある程度進行させたのち脱型が行なわれる半養生後脱型工法であること。

の2点に関する事項であるが、個々の工程別にその特徴の主な点を述べる。なおA,B,C 3工法の標準的な平面模式図を図-1,2,3に示した。

(1) 型わくの整備

ポステンマクラギでも量産方式をとらない場合はロングライン工法のプレテンマクラギとその型わくの整備組立に関してなんら変る所はないが、即時脱型工法その他の量産方式の場合、型わくの組立速度がマクラギ生産速度を支配することが多い。もし型わくの組立速度が遅ければ一定の生産速度を確保するために多くの型わくと型わくの移動空間を要しコスト高の原因を作ってしまう。

また即時脱型方式の場合は硬練りのコンクリートを強固に締固めるために激しい振動をくり返し受けるから、型わく自体が頑丈でなければならないことはもちろん、各部品の締着が振動の過程で弛まない配慮が必要となる。

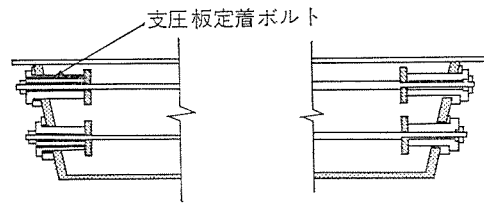
これらの点について

a) C工法では支圧板が緊張側にしかないので、図-4(b)のごとく成形棒径を変えることによって支圧板を一方に押しつけ、成形後は締着側に成形棒を抜くことができるが、A,B工法では両側に支圧板があるため、図-4(a)のごとく別のネジで取りつけている。この場合、支圧板の回転を防ぐためにC工法では支圧板形状によって、A,B工法では取り付けネジを偏心させることによって解決している。

b) レール締結用ボルト締着のための埋込栓の取り付けはA,B工法では図-5(a)のごとく単に径を途中で

図-4 成形棒定着方法

(a) A, B工法



(b) C工法

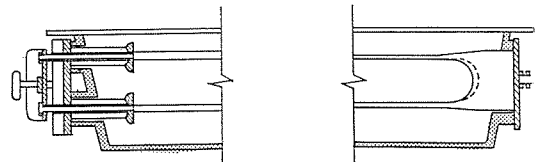
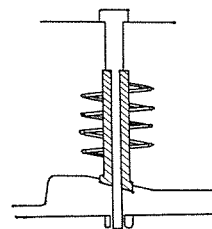
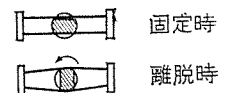
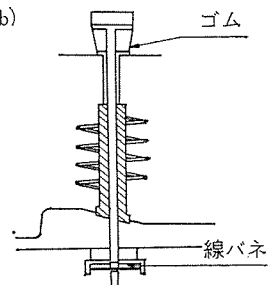


図-5 埋込栓固定方法

(a)



(b)



変えたネジつきボルトで型わくにネジ着するが、C工法では図-5(b)のごとくゴムと線バネを使った巧妙な方式をとっている。しかしこのゴムの弾性は振動締固め中のモルタル浸入を防ぐために、かなり硬い必要があるが、そのためにたわみしろが不足で埋込栓の長さの公差が大きい場合それに追従し切れぬおそれがある。またゴムの劣化、バネのへたり等を製作の過程に常に注意しておく必要があり、取り付けの敏速性と確実性においてA,B工法およびC工法いずれも一長一短があると思われる。

(2) コンクリートの配合、混合、打込み

A,C工法では即時脱型のために超硬練りのコンクリートが必要であるのに対し、B工法では養生によってコンクリートが凝結を起したのち脱型するから、コンクリートは普通の配合でさしつかえない。現在行なわれている各工法におけるコンクリートの配合は表-2のとおりである。

また、超硬練りのコンクリートでは当然のことながらその混合には強制攪はん式ミキサを要する。各工法におけるミキサの概要および混合時間は表-3のとおりである。

表—2 工法別コンクリート配合比較

工法	セメント重量 (kg)	W/C (%)	骨 材			水重量 (kg/m ³)
			砂	粗 骨 材 (碎石)		
				粒 径 (mm)	重 量	
A	400	33	970	4号 20~30 5号 10~20 6号 5~10	485 324 161	132
B	500	35	622	10~20	1 137	175
C	365	33	730	20~30	824	128

表—3 工法別コンクリート混合工程比較

工法	形 式	容 量 (m ³)	回 転 数 (rpm)	練り混ぜ時間 (分)
A	横型強制攪はん式	0.65	16	>3
B	傾 胴 式	0.45	15	>1.5
C	豎型強制攪はん式	0.375	16~18	3

コンクリート打込みについてもコンクリートの硬さ、締固めの方法が関係してくる。すなわち軟いコンクリートの場合斜路の利用がある程度可能であるのに対して、硬練りの場合は機械的なフィード装置を考える必要があるし、硬練りコンクリートの強制振動締固めの場合には型わくと振動機は密接に固定し「打込みながら締固める」方法をとることが望ましいことから、コンクリート打込み装置は可動式でなくてはならない。

A, B, C 3 工法の打込み方式の概要を 表—4 に示す。

表—4 工法別コンクリート打込み工程比較

工法	ホ ッ パ ー		フ ィ ー ド 装 置 形 式	速 度 (m/min)
	容 量 (m ³)	形 式		
A	0.5	固 定	ベルトコンベヤー方式	10
B	—	固 定	斜 路	—
C	2~3	可動(m/s)	スクリューコンベヤー方式	約 5

(3) 振動締固め

振動締固めは特に即時脱型工法の場合コンクリートの品質および、その生産速度を支配する重要な意義を持っているから、その所要振動エネルギー、振動機構等はコンクリートの配合、全製作工程との関連を十分考慮して決定されなければならない。即時脱型に際して脱型後マクラギが変形することなく、しかもマクラギ内部および表面の気泡が少なく、所定の養生で十分強度その他必要な品質のものが得られなければならない。したがって振動エネルギーとコンクリート配合の種々の組み合わせによって得られたコンクリートの品質の研究が当然重要であるし、またコンクリートの打込み方法、離型剤、振動機械の研究も同時に推進されなければならない。なお型わくの振動機に対する固定装置は即時脱型工法における工程で最も故障しやすい部分であるから、この点に対する細心の配慮が必要である。A, B, C 3 工法における振動

表—5 工法別コンクリート振動締固め工程比較

工法	振 動 数 (rpm)		加 振 時 間 (sec)		型 わ く 固 定 法
	型 わ く	プレス板	型 わ く	プレス板	
A	3 000	3 000	130	40	電気方式
B	(1 IP) 3 600	—	40~120	—	"
C	9 000	3 000	120	20~30	油圧方式

締固めに関する諸元は 表—5 のとおりである。なおA, C工法では振動締固め中上部(マクラギとしての底部)からプレス板を振動を加えながら押圧するが、B工法ではロングライン工法と同じく無載荷自由締固めである。

(4) 脱 型

脱型の行程は、埋込部品固定装置取外し、成形棒引抜き、型わく反転および型わく離脱に分ける。この各項目について、3工法を比較して見ると、

a) 埋込部品固定装置取外しに関しては(1)の逆の工程を考えればよく、A, B 工法は定着の確実性にまさるが取外しの難易度において劣り、特にA工法の場合この過程が全工程の速度を押える傾向がある。B工法では即時脱型でないため取外し速度は大して問題にならない。これに対してC工法は取外しは簡単であるが定着の確実性に関して定着材料の劣化を常に管理する必要がある。

b) 成形棒引抜きは A, C 工法の間には本質的に差はなく振動締固め後ただちに4本の成形棒を同時にモーターで引抜いているが、B工法では振動締固め後1時間程度養生を行なう関係上成形棒引抜き速度が A, C 工法の場合にくらべてマクラギの製作スピードに影響を与えないので、1本ずつ人力で引抜いている。

c) 型わく反転は A 工法では型わくを反転機内にパレットとともに固定し(動力はコンプレッサー)モーターで回転(この場合の回転の中心はマクラギの外方にある)し、脱型は反転機よりローラーコンベヤーで送出されたパレット上の型わくを頂面2点吊りで抜上げる。

C工法では、型わくの両端面の2本の管(この管を結ぶ線はマクラギ底面に平行で、マクラギ断面重心より頂面寄りである)に反転機の2本の棒(この2本の棒を結ぶ線の中央に反転機の回転中心がある)をはめ込みパレットを固定したのち、型わくを持上げるにより重力で回転を行ない再び型わくを下ろしてパレットの固定をはずすと反転機はそのまま脱型に使用できる。

いずれも即時脱型であることからまだ固まらないコンクリートに悪影響を与えないよう種々の配慮が払われているが、脱型の際型わく内部にできる真空作用を防ぐことについては今一步の感がある。

B工法では、振動締固め後型わくとともに養生が行なわれ、ある程度強度が出た後脱型されるので、一般のロ

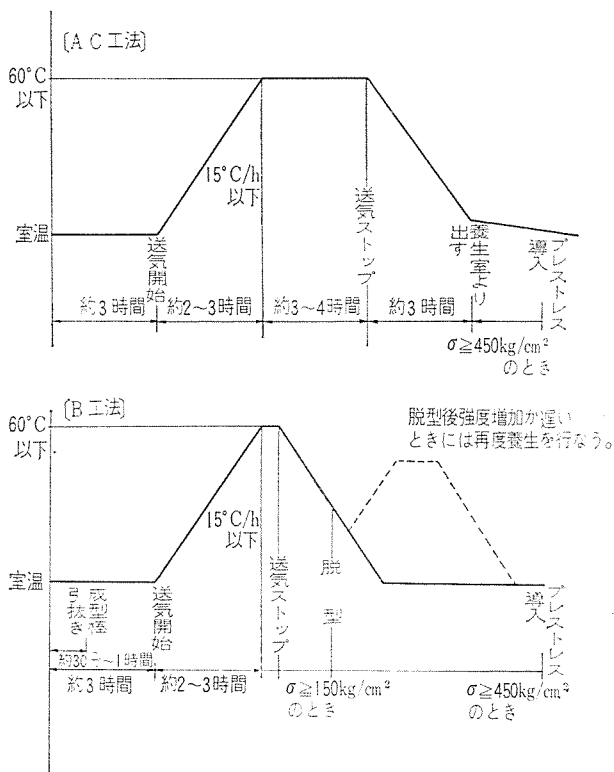
ングライン工法の脱型で大した差はない。

(5) 養生

A,C工法は養生方法に関しては本質的な差はなく(4)においてパレット上に脱型されたまだ固まらないコンクリートマクラギを高温蒸気で促進養生を行ない、450 kg/cm²の所要圧縮強度を得たのちプレストレス導入行程に移行するが、B工法では型わくに入ったままのコンクリートマクラギ(したがってマクラギとしては逆向きになったまま)をただちに高温蒸気による促進養生を加え、養生開始後約30分~1時間に成形棒を引抜き、さらにコンクリートの圧縮強度が150 kg/cm²に達したとき脱型を行なう。高温蒸気は脱型前にすでに送気を中止しており脱型後は、もっぱら自然養生でプレストレス導入所要強度をうるまで待機するのである。

これらの養生の行程を 図-6 に示す。

図-6 工法別マクラギ養生工程比較



A,C工法では養生の行程と型わくの数が無関係なので養生温度条件とコンクリート強度増進の関係だけで養生場所のスペースが決定でき、成形、養生、プレストレス導入の一貫した製作工程の計画的設計が比較的容易であるが、B工法では型わくの数が養生の工程に関係し、型わくが養生場所にある時間が長ければ長いほど型わく数を多く必要とする。すなわち型わく所要数を少なくするために脱型を早めれば、残りの養生のためのスペースがそれだけ必要となり、2段養生を避けるためにプレストレス導入所要強度まで脱型をしないと、それだけ型わくを要するわけで、マクラギ製作工程の計画的設計のた

めの要素が一つ多いことになる。しかし前者がまだ固まらないコンクリートマクラギの取扱いにパレット使用等の種々の配慮をしなければならないのに、後者ではまったくその必要はなく(B工法では脱型後PC鋼棒をただちにそう入して約1tの仮緊張を行なう)、また現在プレテンマクラギとポステンマクラギが共存しているわが国の現状においてその型わくがプレテンマクラギのロングライン工法に流用可能な利点を有し、振動締固めの機械設備にしても即時脱型に必要な強力締固め機構を必要とせず簡単なものでよい点、マクラギの生産所要量、設備投下資本、人件費、型わく費等の総合的検討の上立った場合、B工法が必ずしも不経済な工法であるとはいえない。

高温養生の場所としてはA工法は養生室にマクラギを仮積みし、B,C工法では仮積みしたマクラギにキャンバスをかけてともに下方から蒸気を送っているが、段積みされたマクラギ各部における温度分布の制御方法、管理方法についてさらに研究を要すると思われる。

(6) プレストレス導入はA,B,C3工法とも4本の鋼棒を同時に緊張するジャッキを使用している。これは、もちろん緊張作業の迅速のためであるが、単独緊張の場合、端部コンクリート内の偏応力を考慮しなければならず、特にC工法では端部破壊の危険が大きいので同時緊張によって端部コンクリートの破壊防止をはかる意味もある。

現在A,B工法で使用されているジャッキは国産で、マクラギの支圧板をアンカーとしてPC鋼棒を引張るが、C工法はドイツ製でマクラギ端面をアンカーとしている。A,B工法では支圧板がアンカーなのでPC鋼棒に対する緊張力は正しく伝わる利点があるが、ジャッキのアンカー部をマクラギ端部の孔中に入れなければならないため、アンカー部分のへたり、緊張作業によるマクラギ端部の破壊等が起りやすい。これに対してC工法ではマクラギ端面をアンカーとするので、マクラギ端部の孔は小さくてよくA,B工法の場合のような欠陥はないが、マクラギ端面が傾斜していることとか、緊張後の支圧板の移動等で正しい緊張力がPC鋼棒に伝わらないおそれもある。

なおC工法はヘアピン状鋼棒の屈曲部を交差させた端部構造に特徴があるから、これを1本ずつ逆向きにして両側から緊張することはできないが、A,B工法ではこれを2本ずつ両側から緊張することもできる。しかし、やはりマクラギ端部における応力が支圧板を同一鉛直面内に配置できないので偏よること、緊張作業に危険がともなうこと、あるいはPC鋼棒取扱いのスペースがマクラギ両側に必要となり工場面積が不経済となるなどのた

めあまり望ましいことではない。

(7) グラウト注入

A, B 工法のグラウト注入は1本1本の孔ごとに行なわれるので手間がかかるが、一方注入が不完全になるおそれが少ない。これに対してC工法では4本の孔を同時に注入するので能率はよいが、いずれかの孔がつまっても他の孔から流出するグラウトのために発見しにくいおそれがある。注入の確認は A, B 工法では反対側にいる人間が行なうがC工法では鏡で確認できるようになっているのでグラウト注入のための人口は1人少ない。

その他マクラギ中央部に孔をあらかじめ作っておき、これから両側に向かって注入を行なう方法（この孔を作る型棒はまた成型棒の位置を確保するのに役立つ）とか、填充モルタルとグラウトを同一配合として、グラウト注入作業とモルタル填充作業を同時に行なう方法などが研究されたか現在はいずれも行なわれていない。

(8) 端部填充および仕上げ

端部填充に関してはB工法で電動パーカッションで填充を行なっている他大して特記すべき点はない。

B工法では型わく中でコンクリートが硬化する関係で、その外観形状に関しては、A, C 工法でコンクリートの配合が軟かい場合、脱型時の真空作用でコンクリート面が持上ったり、端部が垂れたりするような欠陥は起らない。また型わくの数が A, C 工法では少ないので1つの型わくが狂うと非常に多くのマクラギの形状に影響をおよぼすが、B工法の場合には比較的その点安心である。もっとも型わくの強度の点において型わくの数が多いB工法の場合、型わくが狂うおそれは多くマクラギの形状に対する得失は明確ではない。仕上げはB工法では一般プレテンマクラギと同様工程の最後に行なわれるが、A, C 工法では脱型直後コンクリートがまだ固まらないときに行なうことができる。ただこの作業が行きすぎるとマクラギ形状や性能に悪影響をおよぼすから注意を要する。

A, C 工法では振動締固めの際マクラギ底面に対するプレス板による圧縮を行なうので、プレス板に加工を施すことによりマクラギ底面にマクラギの道床内抵抗を増すための凹凸をつけることができるが、B工法ではマクラギ底面は打ちなしであるから、もしこのような凹凸をつけるとすればそれだけ労力増となる。

4. 将来性

さきに述べたようにわが国におけるポステンマクラギは、プレテンマクラギによって始まった。わが国PCマクラギの発展のさ中に、主としてプレテンマクラギのPC鋼線をPC鋼棒に変えた構造についての技術的関心か

ら出発した試験段階を経たのち、新幹線建設にともなう高度の設計の短期量産という特殊要請を条件として一応需給市場における生産物としての位置を獲得したわけであるが、世界各国におけるPCマクラギ発展の歴史的経過を省りみ、現在わが国におけるポステンマクラギに関してわれわれが得た技術的経済的な諸問題を総合検討するとき、その将来性についてはなお幾多の問題が残っているといわなければならない。これらの問題中おもなものについて簡単に述べるとつぎのとおりである。

(1) PCマクラギの需要

ポステンマクラギはプレテンマクラギに対して種々の技術的特徴を有するが、ポステンマクラギ量産国の実情を省みると、年間一定の需要が確保された場合その生産速度の迅速性による生産合理化が可能な点にその最も大きな特徴があるといつてさしつかえない。過去わが国においてポステンマクラギに関する種々の研究が行なわれながら結局その生産物としての実現化は、新幹線建設というPCマクラギ量産まで待たねばならなかったことも、この辺の消息を物語るものと言えよう。したがって、もし逆に年間一定の生産を可能にするPCマクラギ需要がない場合、ポステンマクラギのプレテンマクラギに対する特徴ははなはだしく減殺されるといなければならない。

PCマクラギ需要を決定する要素は数多くあるが、そのうちの大きなものとして木マクラギ価格と軌道近代化のスピードがあげられる。木マクラギとPCマクラギがほぼ等価格であるドイツでPCマクラギが全面的に採用されているのに、北アフリカからの良質低廉な木マクラギを有するフランスで木マクラギ採用のかなりの支持者があるといった二つの鉄道先進国間の差は、木マクラギ価格がPCマクラギ需要に大きな関係のあることを示している。

また終戦後の木材資源不足の情勢下で木マクラギ代替材として誕生したわが国のPCマクラギが、ロングレールに代表される軌道近代化の流れとともに、いちじるしくその需要を増大したことは誰しも理解する所であるが、この間木マクラギ価格のいちじるしい高騰が見られていないことは、PCマクラギ需要が単なる木マクラギとの経済比較のみで決定されるものでないことを示している。

このようにPCマクラギの需要は以上の2つの要素に大きく支配されるが、わが国における木マクラギ価格も、また軌道近代化のスピードを支配する鉄道におけるサービス向上の要請、軌道の保守管理の合理化要請および投下資本の準備等の諸条件も、ともに、その時期の社会的状況に非常に複雑に影響されているから、ポステン

マクラギの将来性に大きな関係を有するPC需要の見とおしについてはこの辺の検討を十分にやっておく必要があると思われる。

(2) ポステンマクラギの価格

ポステンマクラギとプレテンマクラギとの価格内容で最も大きな相違点は、PC鋼材価格と製作人口である。ポステンマクラギは、PC鋼材アンカー部の価格と、PC鋼材径と強度の関係から同一緊張力に対して鋼材量が大きいこととの二つの理由で、プレテンマクラギと比較してPC鋼材価格は一般に高いが、製作人口については逆にその工程の機械化、製作工場面積の集約化等によって相当の節減が期待できる。したがって、もしPC鋼材単価が下るとか、強度が向上してPC鋼棒径を小さくできるとか、あるいはアンカー部分の設計が廉価に改良されれば、マクラギあたりのPC鋼材価格は下り、ポステンマクラギが有利になるし、また製作の熟練度が不十分で能率が悪いとか、年間生産量が不足するとか、労賃が低くて製作人口減の利点が余り大きくない場合などは逆に不利となるわけである。

ポステンマクラギの価格を支配するこれらの因子について正しい認識を持つことが、ポステンマクラギの将来性を正しく把握する大きな条件であると考えられる。

(3) アンカー部の設計

ポステンマクラギはプレストレス導入の確実性に利点を有する反面、全緊張力をアンカー部のみで負担するという構造上のアンバランスを有している。これはマクラギ断面を小さくする場合に、マクラギ端部コンクリートの負担を増加し種々の部品の取つけ空間を狭くする意味で経済的設計の障害となる。また、ポステンマクラギのPC鋼棒緊張作業は、プレテンマクラギの場合にくらべてかえって個別作業となっているため、この作業の能率が全工程のスピードに大きな影響を与えるので緊張ジャッキの設計はポステンマクラギの製作において非常に重要な意義を有している。しかもこのジャッキの設計はマクラギ端部におけるアンカーの位置に支配され、むしろ逆にジャッキの設計限度がアンカーの設計を、さらにポステンマクラギの設計を決定することも考えられる。このような意味で現在のわが国におけるポステンマクラギのアンカー部の設計に関しては、まだ種々の検討の余地が残されているように思われる。

(4) 品質の管理

即時脱型工法によるポステンマクラギは、製作工程が機械化集約化されていることと、プレストレス導入が確実である点で緊張作業さえ管理すれば比較的その品質を管理状態にすることが容易であると考えられるので、その設計をパーシャルプレストレスングで行なう検討も行なわれたが、製作の歴史が浅いことと、従来のプレテンマクラギ(すでに10年余の歴史を有し、最近ではPC鋼線さびつけに対しても十分な管理体制を作りプレストレス導入の確実性に注意が払われていることから、その品質が相当に管理されていると思われる)との関係もあって、現在フルプレストレスングで設計されている。しかしながら1本のPCマクラギきれつと軌道の破壊との間の一義的関連の度合を考慮するとき、マクラギの保守管理およびメーカーにおけるマクラギの品質管理の向上とともに設計の考え方は変更されてよく、これは当然マクラギ価格の低下と結びつく、このようにマクラギの品質管理状態およびその判断がPCマクラギ対木マクラギ、あるいはポステンマクラギ対プレテンマクラギの経済比較に影響をおよぼすし、ひいてはポステンマクラギの将来性を占う条件の一つとなるわけである。

(5) 基礎産業の発展

即時脱型工法のポステンマクラギの製作には種々の機械設備を使用するが、これらの機械の性能がポステンマクラギの品質あるいは価格を支配する点も多い。しかるにわが国では過去この種のコンクリート2次製品の製作経験にとぼしく、コンクリートの振動機構、力の伝達機構その他の機構あるいは設備でまだ完全であると言えない部分が見られるし、またドイツからのプラント輸入によるDW方式の機械設備に関してもその修理のための材料あるいは機械等の国内調達について問題があるように見える。すなわち、ある技術の生産は突発的に起るものではなく長い技術史の裏づけが当然そこにあるわけで、その国の一般工学の水準が、結局個々の生産物に影響をおよぼしていることになる。したがってこのような多くの機械設備を必要とする即時脱型工法によるポステンマクラギの場合、その進歩発展はわが国の基礎産業の発展状態と密接な関係を持つと考えられるのである。

1964. 3. 17・受付