

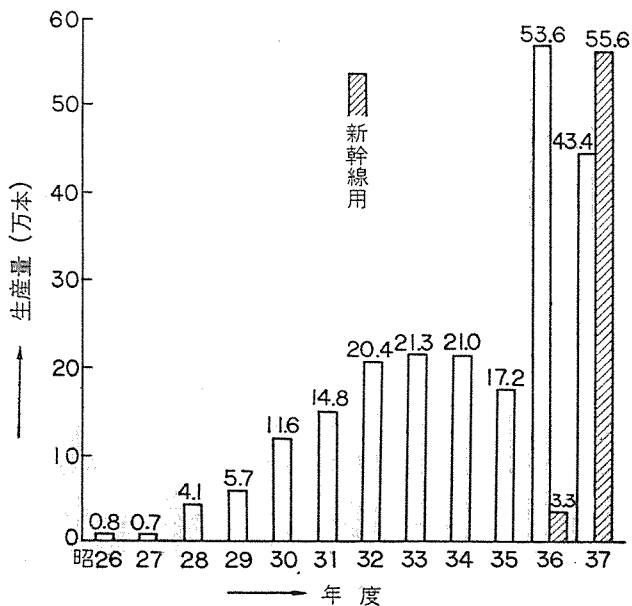
## わが国における PC マクラギの発展および問題点

渡 辺 階 年\*

### 1. ま え が き

鉄道開設以来「まくら木」の名の示すごとく一世を風びした木製マクラギのただ中に、明暗の運命をともに秘めてデビューしたPCマクラギも本年をもって齢 11 才を迎えるに至った。時あたかも全日本国民のひそかなる夢と希望をのせた東京～大阪間新幹線建設工事はようやく本格的なピッチをあげ始め、新幹線用PCマクラギの設計仕様もこのほど決定の運びとなった。そもそもわが国のPCマクラギは当初より数多くの問題点を包蔵し、その解決のため関係者の絶え間ない努力のうちに今日に至っているわけであるが、新幹線用PCマクラギの設計および仕様が決まるにあたって思いをはせれば、これら努力の跡はすべてこの新設計仕様の中に結晶していると言ってよく、またそこに未解決のまま残されている問題点は今後のわが国PCマクラギ技術発展の軸を形成するものと考えてよい。加えて誕生当初数千本に過ぎなかったPCマクラギ年間使用量は 図-1 に示すごとく、ここ数年の間に急増し、新幹線需要のためのピークと言う点はあるにせよ昭和 37 年度生産量は、ついに 100 万本に達するに至った。このことは、とにかく誕生以来 10 年を経た今日においてPCマクラギが軌道材料として安定した位置づけを一応獲得したことを意味すると考えられよう。

図-1 PC マクラギ生産量推移



\* 国鉄新幹線総局作業局土木部軌道課

以上のような意味で、この際わが国におけるPCマクラギ発展の経緯をふり返るとともに、これまでに解決され、あるいは未解決のまま残されているPCマクラギに関する問題点を新幹線用PCマクラギを中心に明らかにしておくことは、わが国PCマクラギの将来の発展のための一里塚として無意味なことではないと考えた。

### 2. わが国 PC マクラギ発展の跡

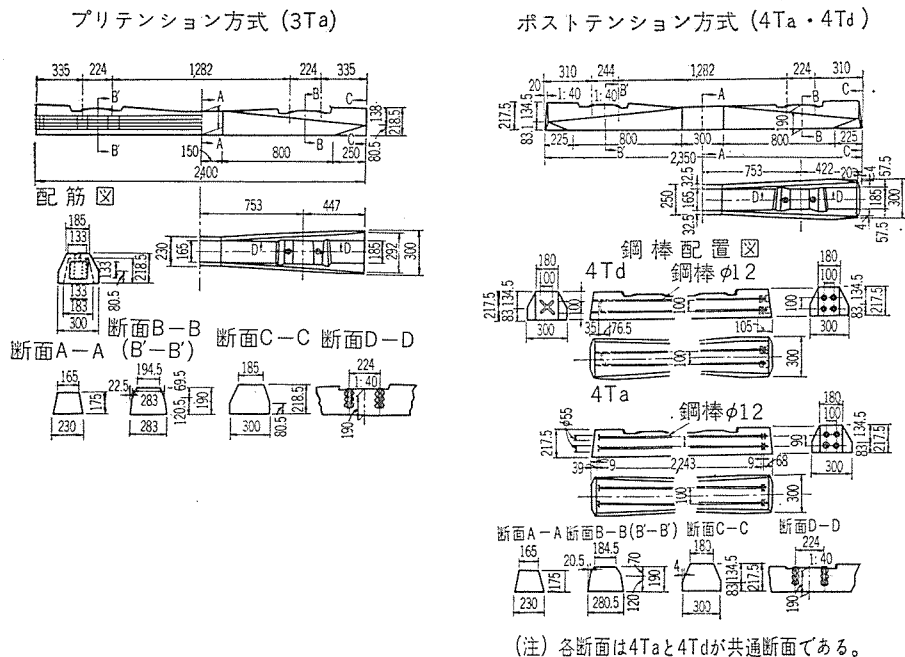
PCマクラギの前身である鉄筋コンクリート(以後RCと記す)マクラギの国鉄における研究開始は昭和初年にさかのぼるが、本格的には終戦後荒廃した線路の早急復旧要請と木材資源払底との相互事情から木マクラギ代替材として取上げられた昭和 21 年頃をもってするのが正しい。RCマクラギはこの後昭和 27 年まで研究が続けられたが、次第に安定してきた木マクラギ事情、輸送力増強にとともなう苛酷条件下の材料としての性能要請および経営合理化の波に洗われる経済性検討に応じて、約 11 種類の設計(総数約 175 000 本)を残してPCマクラギにその座を譲っていった。

すなわちPCマクラギはRCマクラギの欠陥改良としてのきれつ防止、弾性化、軽量化、製作合理化の旗印のもとに、単に木マクラギ代替材としてではなく、ロングレールとともに近代的軌道構造に不可欠の構成要素という積極的意義をもって登場してきた、鉄道近代化の騎士であると言ってよい。

PCマクラギの研究は昭和 26 年に始まり今日に至っているが、この間 図-3 に示す 8 種類(新幹線用を除く)の設計が生れている。これらの詳細な経緯については別の資料にゆづるが、その技術的進歩の内容の概略を示すと次のようになる。

- (1) プレストレス増大によるマクラギ強度増加
- (2) プレストレス作用点合理化によるプレストレス効果向上
- (3) マクラギ中央部道床反力軽減のための形状改良
- (4) 道床面圧力減少、ねじれ防止、安定化のための断面改良
- (5) PC鋼線定着効果増大のための改良
- (6) 局部応力に対する配筋の考慮
- (7) 横圧抵抗増大のための形状改良
- (8) 匍進抵抗増大のための形状改良
- (9) 電気絶縁抵抗・排水性への考慮

図-2 新幹線用 PC マクラギ



(注) 各断面は4Taと4Tdが共通断面である。

これらの技術改良事項は、しかしながら昭和 33 年に設計完了された 2 号型をもって一応の安定を得たと考えてよく、その後の研究はこの 2 号型の使用領域の拡張という形で行なわれているものと見てよい。2 号およびその類型の使用量が、国鉄全体の PC マクラギ使用量の 89% を占める事実がこの辺の消息を物語っている。

このような在来線における PC マクラギの歴史を受継いで、新幹線用 PC マクラギの研究は昭和 33 年発足したが、当初研究にあたって考慮された事項は次の諸点であった。

(1) 新幹線は世界に類例の無い高速運転であるため、この高速列車のくり返し通過に対して十分な安全を保証する優秀な性能を有しなければならない。

(2) 現在世界の優秀設計と言われているドイツの B 58 型、フランスの R.S 型マクラギの最終設計が得られるまでの研究期間が 8~10 年、わが国においても上記 2 号型の設計完了まで約 8 年を要していることから、新幹線用設計の場合も、できるだけ長い研究期間を確保する必要があり、逆に言って高生産速度の PC マクラギ製法について十分検討する必要がある。

(3) 新幹線所要 PC マクラギ約 100~150 万本は過去 10 年間の在来線用生産量に相当し、(2) で述べた短期生産の必要からも突貫工事的様相を呈することが予想されるので、その生産が管理状態にあることが特に必要である。

(4) 新幹線では完成の時期を守ること、および過剰投資を避けることが至上命令であるので、マクラギ価格が必要最小限度であること、建設工事速度を阻害しな

い設計であることが必要である。

(5) 研究期間不足を補う意味からも、世界の技術水準を詳細に確認し、その成果のうち利用しうる点があれば卒直にこれを採用した方がよい。

(6) 新幹線は日本の鉄道技術史上、画期的な企てであるから、これを機に従来未解決のまま保留されていた問題を一気に解決する等、国内技術発展促進の観点から研究計画を立てるべきである。

このような基本構想で出発した新幹線用コンクリートマクラギの研究は、当初非破壊永久軌道の理念のもとに縦マクラギ、

わくマクラギと言った大型マクラギの研究として進められたが、新幹線の諸計画が具体化するにつれて前記 (2) (3), (4) の考え方を積極的に前面に押し出す必要に迫られ、種々検討の結果、以下述べるプレテンション方式およびポストテンション方式の PC 横マクラギに研究の方向が集約された。その後新幹線用 PC マクラギの研究は

- (1) 世界の PC マクラギに関する技術的分析
- (2) 最適軌道構造としての PC マクラギの位置づけ
- (3) マクラギ量産方式としての即時脱型工法の研究
- (4) PC マクラギ設計上の諸問題に関する実験的研究

(5) 試作 PC マクラギの敷設試験

以上の併行的推進によって行なわれ、昭和 35 年 11 月東海道第 3 線 (島田~藤枝間) における狭軌高速試験、昭和 36 年 7 月新幹線モデル線 (大和~小田原間) 用設計および仕様決定、同年 12 月頃からモデル線用 PC マクラギ生産開始、37 年 3 月マクラギ敷設開始、同年 10 月モデル線竣工 200 km/h 高速試験、という一連の大規模な試験計画の中で、着実に成果を築いて今日に至り、このほど最終設計をうることになったわけである。

3. PC マクラギに関する諸問題

(1) 設計計算の基礎について

PC マクラギの設計計算のためには、マクラギに加わる荷重条件、マクラギを支承する反力条件および使用する材料の許容応力について統一的な考えのもとに仮定を立てなければならない。なぜならばこの三条件はある一定の条件下に敷設されたマクラギの安全度に関してそれ

ぞれに関連するからである。しかしながら従来これらについての理論的説明は十分になされておらず、敷設試験による試行的修正によって理想への接近が行なわれているに過ぎない。図-2 において逐年プレストレス合力作用点が上方へ上がっていることも、この試行過程を如実に示すものである。

荷重条件は一般に輪重によって支配されるが、さらに列車速度、車輪フラット、レール波状摩耗、横圧、荷重分布中また荷重分配に関してレール支承体縦バネ常数および横バネ常数、レール締結および道床支持の均等性、等が関係する。在来線では速度割増し、荷重分配については考慮せず、荷重分布中のみ 20 cm としして輪重 8 t が直接働くものと仮定しているが、新幹線の設計では上記事項について種々検討した結果、表-1 に示す荷重条件を決定した。

表-1 新幹線用 PC マクラギ設計条件 (抜萃)

設計荷重	レール圧力	$P = 10 \text{ t}$ $P' = 9 \text{ t}$ $P'' = 0.559 \text{ t} (0.673 \text{ t})$	軸重……………16 t 横圧(A荷重)……6 t (B荷重)………3 t 荷重分配係数……0.6 横圧分配係数……0.5 荷重割増係数……1.0 横圧割増係数……0.5	
	レール圧力作用位置	中央より75 cm の位置		
	レール横圧	$Q = 4.5 \text{ t}$		
	レール横圧作用位置	レール位置断面の中立軸より 27 cm 上		
反力条件	(A)			
	(B)			
	(C)			
許容応力	コンクリート	圧縮 $200 \text{ kg/cm}^2$ 曲げ引張り 0	コンクリート $\sigma_{28}$ ……………ロングライン 500 $\text{kg/cm}^2$ 即時脱型 600 $\text{kg/cm}^2$ (立方体供試体)	
	PC鋼線	初期	$\leq 0.8 \times \sigma_y$	使用 PC 鋼線 $\phi 2.9 \text{ mm}$ 2本ヨリ $\sigma_H \geq 197$ $\sigma_y \geq 175$ $\phi 5 \text{ mm}$ Deformed $\sigma_H \geq 165$ $\sigma_y \geq 145$
		有効	$\leq 0.6 \times \sigma_y$	
	PC鋼棒	初期	$\leq 0.75 \sigma_y$	使用 PC 鋼棒 $\phi 12 \text{ mm}$ $\sigma_H \geq 132$ $\sigma_y \geq 123$
有効		$\leq 0.6 \sigma_y$		
プレストレス率	プレテンション	$\phi 2.9 \dots 0.65$ $\phi 6 \dots 0.58$		
	ポストテンション	0.80		
電気抵抗	$\geq 5 \text{ k}\Omega/\text{本}$	一軌道回路所要抵抗 $\geq 2 \Omega$ 一軌道回路延長 1.5 km		

反力条件は PC マクラギ設計上最も不確定な要素である。在来線ではマクラギ中央部の道床反力を軽減するためマクラギ形状として種々の考慮を払うとともに、道床突固め箇所指定などを行なっているが、列車運転状況、線路保守状況、道床路盤状況などによって実態は必

ずしも仮定に一致せず、もっぱら発生応力の実測、マクラギ破損の有無、等によって設計の可否を判断しているのが実情である。新幹線の場合、広軌であるためマクラギ中央部の道床をある長さわたってすかすことにより、理論的仮定を割合うまく実現できると考え、その点を設計に反映して経済的断面をうるることができたが、これも突貫的な建設工事、高速下の保守において中すかし条件がどの程度まで守られるか今後の大きな課題の一つと言えよう。施工上および保守上、このうち、すかし実現の手段の一つとして、新幹線のマクラギにはマクラギ上面のうち、すかし部分の両端に相当する位置に指標をつけることにしてある。なお横圧を考慮した場合の反力条件についてはまだ明確な資料がないが、高速運転においてこれを無視することは不可能と考え、マクラギ沈下量に比例する反力を表-1 (C) のごとく仮定した。

許容応力で問題になるのは、プレストレスングの計算をフルで行なうかパーシャルで行なうかということであるが、新幹線用設計では反力条件確保の不安定、短期量産における製作管理面の不安、高速運転の無経験などの理由から在来どおりフルで計算することにした。ポストテンションの場合アンカーが確実でありドイツで  $30 \text{ kg/cm}^2$  の曲げ引張強度を認めている実績があるが、荷重条件において速度の割増し係数をドイツの 1.4 に対して 1 しか見ていないこと、およびこの方式の製作経験がわが国においてとぼしいこと等の理由で同じく認めないことにした。しかしながら PC マクラギの破壊は PC 桁などの破壊とは異なって、軌道をつ一つの構造物と見た場合、ある局部破壊と全体の機能喪失との間の関連に一義性が割合とぼしく、その安全度に対する考え方には本質的にはある余裕があると考えてよい。したがって PC マクラギの設計と製作に関する確実性が進めばパーシャル設計も可能になると考えられる。なおコンクリート圧縮応力および PC 鋼材の応力について PC マクラギの場合、一般の PC 構造物にくらべて相当に高い値をとるが、この点についても前記の安全度に関する一連の考え方を適用することができる。

(2) プレストレスの確実性について

PC マクラギは一般の PC 部材にくらべて短小でプレストレスも短い長さの間で変化するから、マクラギの収縮量がプレストレスの有効値に影響する割合が大きい。また PC マクラギは断面が小さく、使用量が大きくまとまるため一本あたりの PC 鋼材使用量をできるだけ少なくした方が望ましいので、一般 PC 部材にくらべ

て相当高張力で使用することになるが、そのためPC鋼材のリラクゼーション量もかなりの大ききとなる。すなわち、このコンクリートの乾燥収縮、クリープおよびPC鋼材のリラクゼーション量を正しく評価することがPCマクラギ設計のため特に重要で、多年の実験研究の結果、有効緊張力を最初の緊張力に対してプレテンションの場合65~70%、ポストテンションの場合80%にとればよいことが確かめられている。

プレテンションの場合のこの値は、しかしながらPCマクラギの養生が自然養生の場合のものであるから、これを高温養生で生産する場合には、PC鋼線の温度伸びおよび高温時のリラクゼーション増の影響を考慮しなければならない。在来線ではこの点あまり検討の必要がなかったが、新幹線では短期量産要請に応ずるため養生方法の主体が高温養生に転換することを想定して研究を進めた結果、養生温度をPC鋼線緊張時温度+40°Cに制限し、高温養生の場合の緊張力を自然養生の場合より5~6%増加することにより解決した。このほか緊張力増加と鋼線増加の優劣比較、これらの処置にともなう経費増と型わく回転増にともなう経費減の関連、鋼製移動アバット使用の場合の高温時緊張の問題など、種々の重要な課題が残されているが、これらはすべて実績の分析の積上げにより始めて完全に解決されるものと思われる。

部材自由端から最大曲げモーメント発生点までの距離が短いPCマクラギの場合、これまでの議論の前提となっているPC鋼線とコンクリートとの付着に関して独自の研究が必要である。わが国のPCマクラギ用PC鋼線としては、よく錆づけした2本ヨリ線が最も望ましいとされているが、その付着性が錆づけという製作行程上の技術管理に依存していることから、新幹線の短期量産事情における信頼性に不安が感じられたので、PCマクラギ工場での錆づけ方法の再検討には、鋼線メーカーにおける錆づけ処理など、製作管理上の考慮を進めるとともに、PC鋼線表面形状に関してヨリピッチおよび異形PC鋼線について研究を進めた結果、表面に突起を有するφ5mmの異形PC鋼線のコンクリートに対する付着効果が確認され、新幹線用PCマクラギとして使用対象に上げることになった。

ポストテンションの場合には、PC鋼棒緊張前に養生が行なわれるから高温養生に関する考慮は不要であり、またプレストレスは端部アンカーから導入されるから確実であるし、一般のプレストレス損失も再緊張によってこれを修正することが可能である。もちろん、この再緊張は所要経費との関連において採用すべきことはいうまでもない。ポストテンションの場合には、しかしながらマクラギ端部破壊の安全に関するアンカーの設計が問題と

なる。ドイツのDywidag方式におけるPC鋼棒のヘアピン型弯曲によるアンカー方式は、コストの低廉な合理的設計であるが、弯曲径とコンクリートおよび鋼材の強度に関してマクラギ断面のいかんによっては詳細な検討を要するものと思われる。新幹線の研究としては、このほか製作公差にもとづくナットとアンカーとの傾斜によってPC鋼棒に働く曲げに関する研究も行なわれた。

### (3) PC鋼材について

PCマクラギの断面寸法から要求される径10mm前後の、しかも第4種鋼棒を超える機械的性能を必要とするPC鋼棒に関しては従来知られるところがあまり多くなかったので、新幹線用PCマクラギのPC鋼棒に関しては、その適正径と機械的性能の合理的な関連について関係者の研究の焦点が合わされた。すなわち機械的性能を上げること、これは必然的に鋼材使用量を減らすことになるが、これと製作コストの適正な均衡点を見出すことが、現段階におけるマクラギ用PC鋼棒における研究課題である。

しかしながら材質の問題と同時にその転造ネジ切り技術に関する研究が重要で、転造ダイスの性能によって逆にPC鋼棒材質が、さらに所要径が決定される場合すらある。高張力鋼のネジ転造に関して特筆すべき技術事項としては、転造ダイスの消耗度を減らす目的でわが国JISで規定する対称ネジに対して、谷部に大きな半径を入れた非対称ネジを採用しているドイツのDyckerhoff und Widmann社の方法、冷間加工効果を犠牲にして熱処理前にネジ転造を行なう転造後熱処理技術、熱処理後の加工性において長所を有すると言われる高周波焼入れ技術などが上げられる。とにかくPCマクラギにおけるPC鋼材はその価格的な支配要素の一つであり、またそのネジ転造価格はPC鋼材価格の中の相当部分を占めることから、これらの技術的開発はPCマクラギの将来に対して大きな役割りを果すものと考えられる。

PC鋼線および鋼ヨリ線に関しては昨年のJIS規格制定にともない、材料としての新段階に入ったと考えられるが、その素材であるピアノ線の製作についてJIS制定前の技術事情との間にある種の飛躍があり、新幹線のごとく短期大量需要にともなう過去の実績重視の思想との間に、ある程度の矛盾が感じられた。これはおそらく一つの過渡的現象であると思われるが、新幹線用PCマクラギの鋼線についてはJIS指定メーカーであって過去実績を有しないものについては鉄道技術研究所の試験調査をあらかじめ行なうことにしている。

### (4) マクラギ形状について

PCマクラギの形状はPC構造物としての応力条件を満足する経済的寸法といった姿では必ずしも決定されな

い。むしろ以下に述べる諸条件から先に形状寸法が決定される場合が多い。PCマクラギ形状決定のために考慮すべき事項のうち、おもなものは次のとおりである。

(1) PCマクラギの長さを決定する条件としては、レール下およびマクラギ中央部に発生する曲げモーメントのバランス、軌道横抵抗に関連する道床肩幅およびこれに付随する道床量、施工基面幅に対する経済的配慮、およびプレテンションの場合、レール下からマクラギ端までの距離と鋼線有効付着長との関連、などが上げられる。レール下とマクラギ中央の曲げモーメントが等しくなる長さとしては断面その他の設計によって一概にいえませんが、2.3~2.4m程度が望ましいと言われているし、プレテンションの場合の鋼線付着長は40cm以上という実験の結果がある。このほか軌道工用諸機械設備の設計もマクラギ長に関係し、またマクラギ振動の方から最適長を求める試みもある。

(2) マクラギの底面幅は主として道床支持面積と保守作業の容易さの点から決まってくる。道床支持面積および重量は軌道の安定性を支配する大きな要素であり、輸送力増強にともなう軌道破壊力増大に応じて逐年マクラギ幅は増加の傾向を示してきた。しかし道床突固めの容易さ、および取扱い運搬などの点から、必然的にそこには一定の限度があり、またマクラギ間隔を考慮しないマクラギ幅の議論はナンセンスに近い。また軌道敷設においてマクラギを密接して並べておき、その上にレールを乗せて一締結ごとに締結を行ない、軌框として運び去る工法が経済的であるという観点に立てば、マクラギ幅は所要マクラギ間隔の半分であるのが望ましい。

(3) マクラギ頂面幅を支配するものは、列車荷重によるマクラギのねじり破壊、底面幅との関連で決る側面勾配、締結装置の大きさ、特に軌道パッドの所要幅などである。マクラギのねじり破壊防止のためには頂面幅はできるだけ小さいことが望ましく、後に述べる即時脱型によるマクラギ製作の場合、抜け勾配に対する配慮は特に必要だし、また防振ゴムとしての軌道パッドの設計応力は新幹線の場合、縁端で70kg/cm<sup>2</sup>を許容している。

(4) マクラギの高さは他の寸法にくらべて応力計算上決められる傾向が多いが、これもマクラギ重量、道床量などの点からの経済的配慮、道床内移動抵抗所要面積などについて検討の必要がある。PCマクラギ長が短かくPC鋼材を曲げることができないので、レール下およびマクラギ中央の正負の曲げモーメントを考慮して、一般に両部分の高さは異なるのが常である。なお中央反力軽減のため中央底面を上げ底にしたりハンチをつけたりする場合も多い。

(5) マクラギが道床内で動かないということは、近

代的軌道でロングレールを使用する場合、レールの温度座屈防止のみならず、ロングレール理論の基本条件を満たすという意味で特に重要である。道床内におけるPCマクラギの安定性に関してその重量、底面積および各側面積のはたす割合は明確でないが、逐年それぞれ増加の傾向をたどっていることは図-3によっても理解できる。フランスのRCマクラギ等の2個のブロックを鋼材でつないだブロックマクラギは2つの側面の故に横抵抗が大きく中央反力に対して絶対安全であるが、その重量、道床支持面積、剛性などの点で必ずしも理想的なマクラギとは言いがたい。モデル線におけるマクラギの横引き抵抗実測の結果、その抵抗値が列車による落着きが期待できない来夏の夏季の事情を想定した場合、一般に不十分であると結論されたことから、マクラギ裏面の粗度と道床内横抵抗について実験を行なったところ、裏面を小手仕上げしたものにくらべ打ち放しの粗面のもので30%、特殊の形状加工を施したものでは40%の横抵抗増が確認されたので、新幹線用PCマクラギの底面処理について、この成果を十分反映することにした。

#### (5) 電気抵抗について

PCマクラギの使用箇所は当初から自動信号回路を有する幹線であったため、電気絶縁に対する考慮はあったが、本格的にこれが取上げられたのは東海道本線はじめ各線で信号障害が頻発した昭和32年末以降のことで、以来確認されてきた事項は次のとおりである。

(1) 現在一軌道回路の所要絶縁抵抗は2Ωであるが、スピードアップにともなう閉そく区間延長増加に応じてマクラギ1本あたりの所要抵抗を増さなければならない。在来線の2号型の絶縁抵抗は新品マクラギで、時間降雨量200mmに対して7~8kΩ/本である。

(2) コンクリート本体の抵抗は600Ω程度の実測値があるが、これは材令によって変化し、材令の若い間は抵抗は実質的に無いと考えるべきである。

(3) PCマクラギの絶縁抵抗を確保する箇所は締結装置であるから、その絶縁部品の表面および体積抵抗を規制しなければならない。絶縁部品が新しい間は主として表面抵抗がきくので、レールに連なる鋼製品の縁端からコンクリート面までの絶縁表面自由距離の設定が特に重要である。

(4) 経年劣化による絶縁材の抵抗低下を当初の規格値に見込んでおかなければならない。

(5) 道床の汚れが軌道回路抵抗にかなりの影響をおよぼす。

新幹線用設計では、実測によって降雨時(200mm/h)の各絶縁部分の表面および体積抵抗を求め、かつ経年劣化により体積抵抗のみが10<sup>2</sup>~10<sup>3</sup>kΩ低下するとしてマ

クラギ1本あたりの基本抵抗値を仮定したのち、抵抗が仕様書の規格値より一桁低い不良絶縁部品が消費者危険率10%で入ってきた場合の一軌道回路(1.5kmマクラギ2500本)の抵抗が $2\Omega$ 以上あるように仕様書の規格値および抜取り数を決定した。

#### (6) 耐久性について

PCマクラギの寿命については、わが国における敷設実績がないので明確にはわからない。昭和初年に山陰本線に敷設された鉄筋コンクリートマクラギの状態から締結部分を除けば30~50年の寿命があるのではないかとされているが、これは軌道破壊力のいかににもよるわけで、すべては今後の実績によるべきであろう。新幹線用PCマクラギに関する耐久性試験として、ビブロジール(くり返し疲労試験機)による疲労試験と、A.S.T. MC 290-52 Tの凍結融解試験方法に準じた耐候性試験を行なった結果、新幹線に投入されることが予想される品質のPCマクラギについて、ビブロジール試験で $5.2 \pm 3.6t$  30°、傾斜荷重で1800万回のくり返し荷重に耐えることがわかり、また東京~大阪間で予想される気象条件では凍結融解作用に対して実用上さしつかえないという結論を得た。すなわち従来ともすれば神経質になりがちであったPCマクラギ表面気泡に関して、ある目安をうることができ、製作工程における労力減に資することができたと思われる。

#### (7) レール締結について

昭和26年以來のPCマクラギ本体の設計10種類に対してレール締結装置の設計の数は30種類を越えているが、このような設計変更はPCマクラギが現場に敷設されていて問題が起ったがゆえに行なわれたものであり現場においてはこの場合、単に締結装置ではなくPCマクラギの設計が不十分であったとして理解されてきた。このように、軌道力学的に見た場合、レールと道床との媒介物としてPCマクラギとその締結装置は同一範囲内にあり、お互いを除外して考えることはできない。すなわちPCマクラギは締結装置とともに苦難の道を歩み、また締結装置の完成とともに完成するものというべきである。PCマクラギが木マクラギ代替材より脱皮して近代軌道における新しい位置づけを得たとき、締結装置も単純な締結から弾性的締結へ移行し、レールを二つのバネで吊った形でマクラギに取りつける二重弾性締結の思想へ発展してきた。新幹線においてはPCマクラギと二重弾性締結がロングレールとともに軌道構造の三つの支柱を形成している。

締結装置とPCマクラギの間の問題を要約すると、レールをマクラギに締着する方法、両側レールの電気絶縁を確保する方法およびレールからの荷重・衝撃・振動の

伝達の仕方の三点にしばられる。

ボルト類のマクラギ締着の方法としてはプラスチック等の埋込材をマクラギ内に埋込み、これにボルト類を締着して締着と同時に電気絶縁および緩衝をかねさせる方式と、マクラギの一部に直接ボルト類を締着し、電気絶縁および緩衝は別に考える方式とがあるが、わが国では前者によっている。この場合、寿命に関しては現在のところ埋込材がマクラギ本体より短かく、したがって交換または補修を前提とするのが一般的な考えである。

荷重その他の伝達について鉛直方向に関してはレール下に緩衝用パッドをそう入する点で世界的に思想が一致しているが、横方向については横弾性による緩和横圧をマクラギ本体で支える思想と、レール締結力とレール下摩擦係数を増加し、いわゆる摩擦力によって横圧を吸収する思想とがあって、わが国ではこれまで前者によってきたが最近、後者についての検討も行なわれるようになった。横圧をマクラギで受けることは、あまり望ましいことではなく、特にマクラギ表面が複雑な形状になることは局部応力あるいは製作上の理由から極力避けるべきかも知れない。しかしながら最終的には締結装置の鉛直方向の所要弾性あるいはコストなども総合的に考慮して決定すべきであろう。

#### (8) 製造方法について

PCマクラギの製造方法について考える場合、考慮すべき点が4つある。すなわち

1. プレテンション方式かポストテンション方式か
2. 即時脱型か養生後脱型か
3. ロングライン方式かインディビジュアル方式か
4. プレテンション方式の場合アンカーとなるべきアバットが固定式であるか移動式であるか

この4方式を組み合わせると次のようになる。

- ① プレテンション—ロングライン—養生後脱型—固定アバット
- ② プレテンション—ロングライン—養生後脱型—移動アバット
- ③ プレテンション—インディビジュアル—養生後脱型—移動アバット(型わく)
- ④ ポストテンション—インディビジュアル—養生後脱型
- ⑤ ポストテンション—インディビジュアル—即時脱型

世界各国のPCマクラギ製作方式をこの分類にあてはめて見ると、

- ④: 日本(18工場) フランス(VW型) イギリス
- ⑤: 日本(1工場) ハンガリー
- ③: ドイツ(WuF型, BuM型, Thost型) アメリカ(MR型) 南鮮(BuM型)
- ①: 日本(1工場)
- ②: 日本(4工場) ベルギー(FW型) ドイツ, オーストリア, アイルランド, ノルウェー, オランダ, デンマーク(以上DW型) スウェーデン(DW型, 101型) etc.

となる。これらの方式の特質は一長一短があるが世界のすう勢から判断すると、量産の需給体勢が確立し、かつ工賃の高い国では㉔㉕㉖方式が多く採用され、逆に使用量が少ないか、または波動があり、かつ工賃が安い国では㉗㉘方式が行なわれる傾向にある。

㉗～㉘方式は養生後脱型であるため多くの型わくを要し、特に㉗方式ではPC鋼材アンカーのため型わくが高価となるが、これが使用されているのは需給事情により型わくの適正償却が行なわれているためであろう。しかしながら、この方式は同じやり方で型わくが少ない㉘方式に次第にその座を奪われているようである。また㉗方式は㉗方式の能率化された一形態と考えられるし、㉘方式は工賃が安くロングライン方式と型わくが共用できるような場合に考えられたポストテンション方式PCマクラギの過渡的製作方法と考えてよい。このように見るとPCマクラギ製作方法として㉗方式と㉘方式およびその中間の方式があり、それが使用される社会事情に応じて、それぞれ妥当すると考えるべきであろう。

新幹線のPCマクラギについては、国内生産能力の不足を補うため、世界のPCマクラギ製作法を検討のすえ、即時脱型工法によるポストテンション方式PCマクラギ製作に関する研究を鉄道技研において進めてきたが、コンクリート配合と振動エネルギーの関係からマスプロ行程の諸問題に至る一連の研究が、このほど終了した。またこれと併行して民間でドイツのDywidag方式のプラント輸入が企てられ、さらに国内における民間技術開発も進められてきて、従来の製作設備とともに各方式協力の形でこのPCマクラギ生産の集中ラッシュを乗切ることになったわけであるが、これらの製作方式のわが国における将来性についてはPCマクラギ需給事情、材料費および工賃の今後の推移によって自ら決定されてゆくであろう。

### (9) 製作管理について

PCマクラギはその技術内容と発足の歴史的経過においてPC桁と同一基盤にあるため、その品質の管理方法についても工事監督の傾向が強く、在来線PCマクラギ仕様書はその中に製作工程上の諸注意などが記載してあって、最終性能に関する品質規定を理想とする一般物品としての仕様書から、相当に趣きを異にしている。すなわち最終性能のチェック以上にその製作工程の技術管理が、その物の品質に対して支配的であるような場合に、必要な製作監督がPCマクラギに対して必要であるという考えがこれまでは常識であった。

しかるに最近PCマクラギ需要の増加に対して製作監督要員不足のため、監督業務が本来の中間監督から完成検査的なものに移行したり、また監督のための事務手続

きが計画的需給を支障する場合も考えられて、製作技術の安定を理由に製作監督不要論がとなえられるようになり、在来線ですでに数年の実績を有する2号型マクラギについて実績ある工場に限り製作監督省略が試みられている。

PCマクラギが物品と構造物との中間的位置を占めることから、購入事務と製作技術の間に本来相いれないものがあるにしても、設計と需給事情が安定するにつれ、関係者協力のもとに製作工程および品質の安定化をはかり、管理状態におかれた物品として位置づけるよう努力すべきではあるが、先進国であるドイツにおいても製作監督員のPCマクラギ工場駐在が行なわれており、また性能不良率と使用状態における安全度との関連が明確でない現状で、現在ただちにこれを単に物品としての管理体勢に置くには、かなりの飛躍が感じられる。

新幹線用PCマクラギでは、新設計で製作実績が無いこと、および飛躍的集中生産のために製作監督を行なうことにしたが、監督業務中、完全検査的業務はその実測データの管理分析にもとづいて検査方式および立会区分緩和処置を講じ、工場ごとに国鉄仕様書(新幹線用仕様書では、製作上の事項については数値の規定を除いては一般に記さず品質規程のみとした)と、工場事情を十分反映したPCマクラギ製作要領を作成させることによって、工場内製作管理体制を充実させるとともに、この要領と実態の比較によって、誰にでも製作工程チェックができるようにして製作監督体勢の合理化をはかった。

### (10) 軌道構造の一要素としての位置づけ

軌道を構成する要素すなわちレール、マクラギ、道床などの設計には従来統一的な考え方がなく、それぞれ他に無関係に研究が行なわれていた。これは軌道が不完全構造物でその強度・破壊および保守の関係が複雑であったことによるものであるが、軌道近代化の一環として軌道破壊の機構を明らかにし、軌道構造の動力的設計を可能にするための実験研究が強力に推進され、その結果、新幹線の軌道構造の各構成要素の設計諸元が統一的な考えのもとに決定された。その要点は軌道破壊力  $L$  を(トン)×(速度)×(車両の性能係数)に比例するとし、軌道の破壊される程度  $M$  を(道床反力)×(道床加速度)×(衝撃係数)に比例するとして求めた破壊量  $L \times M$  に比例する保守費と、建設費および利子の和を最小にするように各要素の組合わせ設計を求めるのである。この理論で考慮されたPCマクラギに関する要素は、道床支持面積、マクラギ間隔、マクラギ質量およびパッドバネ常数であるが、今後多くの要素を統一的に考えうるようになるであろう。

一般に軌道材料の仕様を決定する場合、その規格値お

よび抜取数は生産者および消費者の危険を考慮すべきであるが後者に対する考慮は、その材料の軌道構造における明確な位置づけができないかぎり不可能である。すなわちある曲げ強度と抜取数を規定した仕様で納入されたマクラギに当然予想すべき不良品の存在の許容限界は、

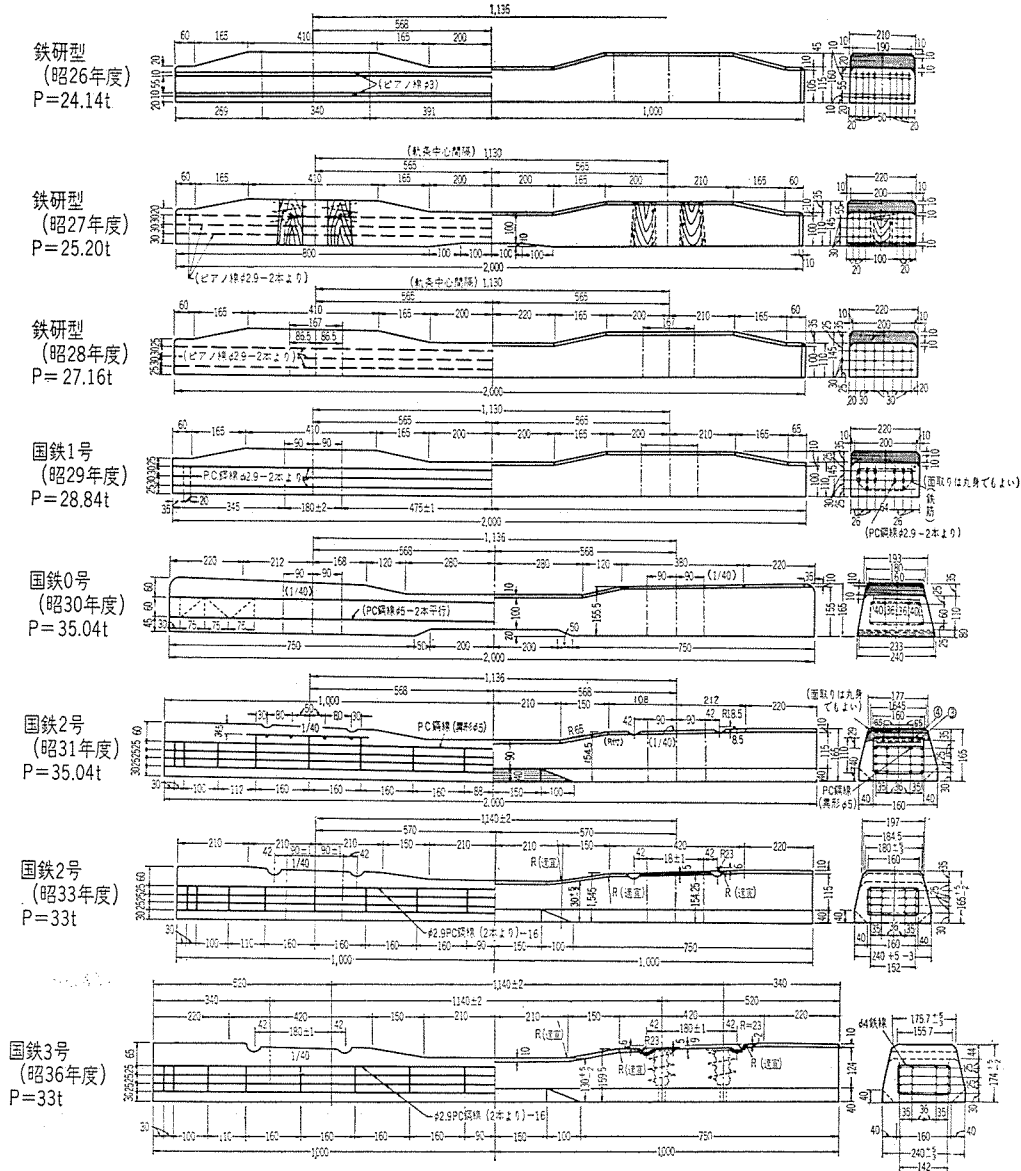
折損マクラギと軌道の安全度との間の理論的裏づけによって始めて判断される。このような理論が、上述の軌道破壊理論の延長として達せられるかどうかは別問題としても、この点が明確にされない以上、厳密な意味ではPCマクラギの合理的設計およびその性能規格は決定され得な

表-2 PCマクラギ諸元比較

使用国名		日本新幹線				日本 在来線	ドイツ		フランス		イギリス		アメリカ
マクラギ名称		3Ta	3Tb	4Ta 4Te	4Td	2	B55	B58	RS-E2	VW-DE	F	G	MR-1
長さ		cm	240		235	200	230	240	224	230	259		259.4
底面巾	max	cm	30		24	16	30.1		29	25	26.3		30.5
	min		23				22				24.3		
頂面巾	max	cm	18.5		16	16	15		22	19	23.1		22.8
	min		16.5				15				21.6		
高さ	max	cm	21.85		21.8	16.5	19.95		22	15.2	20.3		17.8
	min		17.5				17.5				17.5		
重量		kg	259	262	256 259	254	160	225	235	197	155	262	265
型式			プレテン		ポステン		プレ テン	ポステン		ブロック	プレテン	プレテン	プレテン
PC鋼材 種別	直徑	mm	2.9	5	12	2.9	9.7(6.7)		—	7	5		7本より 11.1
	本数	本	2本より 44	異形 鋼線 20	鋼棒 4	ヘアピ ン鋼棒 2	2本より 32	ヘアピン鋼 棒(鋼棒) 2 (8)		—	鋼線 8	異形鋼線 26	34
緊張力	初期	t	45.3	50.8	36.0	33.0	28.0	32.0	—	32.0	52.0	68.0	36.7
	有効		29.5	28.8	21.4	24.0	27.0	24.0					
PC鋼材機 械的性質	引張強度 $\sigma_u$	$\frac{kg}{mm^2}$	197	165	132	195	150(160)		—	140	155		
	降伏点応力度 $\sigma_y$		175	145	123	170	135(140)		—	105	110		
	ネジ部破断強度 $\sigma_n$		—	—	127	—	—		—	—	—		—
	伸び	%	3.5	4.5	7	3	—		—	—		—	
PC鋼材 応力	初期	$\frac{kg}{mm^2}$	156	129.2	94.1	156	93.1	108.1	—	103.9	101.9		
	有効		99.9	72.6	73.3	99.9	81.2	90.6	—	67.5	72.7		
安全率	$\sigma_t/\sigma_u \times 100$	%	79.2	78.4	71.4	79.6	62.1	72.1	—	74.0	65.7		
	$\sigma_t/\sigma_n \times 100$		—	—	74.4	—	—	—	—	—	—		—
	$\sigma_t/\sigma_y \times 100$		89.1	89.1	76.9	91.8	70.2	80.2	—	98.8	92.6		
	$\sigma_e/\sigma_u \times 100$		50.7	44.1	57.1	51.1	54.1	60.8	—	48.1	47.0		
	$\sigma_e/\sigma_n \times 100$		—	—	59.5	—	—	—	—	—	—		—
	$\sigma_e/\sigma_y \times 100$		57.1	50.1	61.5	58.8	60.3	67.6	—	70.4	66.1		
設計荷重		t	10			8	15				35		
コンクリート圧縮強度		$\frac{kg}{cm^2}$	500		480	500	480		320	500	445		
コンクリート許容応力	圧縮	$\frac{kg}{cm^2}$	200			200	30				281		
	曲げ引張り		0			0					21		
抵抗モーメント	レール下下面	t-m	1.10	1.07	0.82	1.30	1.22			0.76	4.31	4.73	
	中央上面		0.86	0.87	0.60	1.11	1.21			0.43	1.27	1.30	2.30
発生最大モーメント	レール下下面	t-m	0.97	0.87	0.76	1.08	1.15						
	中央上面		0.64	0.77	0.52	1.04	0.95					1.73	
安全率	レール下下面	%	78.2	81.4	92.6	83.0	94.3						
	中央上面		74.4	88.5	86.6	93.6	78.6					75	



図-3 PCマクラギの変せん



いのである。

#### 4. むすび

紙面の都合で、概略的説明に流れすぎたきらいがあるが、上述してきたところを要約すると次のようになる。

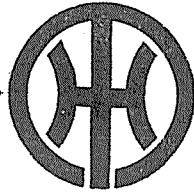
- (1) PCマクラギは単なる木マクラギ代替材でなく近代的軌道構造の必要なる構成要素である。
- (2) PCマクラギはPC技術のみでは完成しない。軌道が力学および推計学的に完全に解析された場において始めて完全なる設計条件をうることができる。
- (3) PCマクラギと締結装置は切り離して考えることはできない。

(4) PCマクラギは構造物と物品の中間的存在で物品であるべく努力されなければならないが、その管理上の取扱い方は、その程度に応じた形態をとるべきである。

(5) PCマクラギのプレストレス方式および製作方式は、材料単価および工賃の変動、プレストレスの確実度、マクラギ需給状態および品質管理に対するメーカーの努力の度合などによって、その消長が決まると思われる。

なお世界のPCマクラギの諸元比較表(表-2)および新幹線用PCマクラギ設計図(概略)の一部(図-2)を十分に参考されたい。

1962.10.18 受付



# 水道管の革命!!

## 安く強い “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

# 帝国ヒューム管株式会社

# 豊田コンクリート株式会社

(旧) エタカスレコン株式会社

プレストレスト・コンクリート  
プレキャスト・コンクリート

PC矢板施行状況



### 本社・工場

豊田市トヨタ町6  
TEL 798

### 東京営業所・工場

東京都大田区古市町18  
TEL (731) 4047

### 名古屋営業所

名古屋市中村区笹島町 豊田ビル517号  
TEL (54) 9369・8842