

## N-307

## ラダー型マクラギの設計法と新軌道構造の展開

鉄道総研 正会員 井上 寛美  
 鉄道総研 正会員 涌井 一  
 鉄道総研 正会員 松本 信之  
 鉄道総研 正会員 曾我部正道

## 1. はじめに

ラダー型マクラギは、写真1に示すように、スリーパーとしてのP R C構造の縦梁と、タイとしての小径厚肉鋼管製の継材とを一体成型した、剛結混合構造からなる「はしご」状のマクラギである。長さは、5 mを最短として2.5 mピッチで選択できるが、最長は無理なく運べる長さとして12.5 mとしている。この新型マクラギの誕生を可能とした構造設計面での要点（限界状態設計法、P R C構造の縦梁と新開発のP C鋼線、剛結埋込み部）およびラダー型マクラギを用いた新軌道構造の展開について報告する。

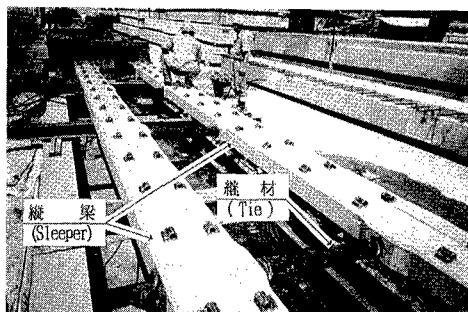
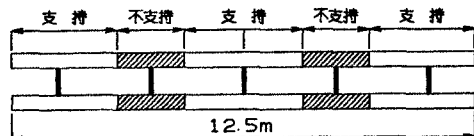


写真 1 ラダー型マクラギ

## 2. P R C構造の縦梁の設計と耐荷性能

ラダー型マクラギの構造解析により、バラスト道床上で縦梁に作用する曲げモーメントは、図1に示すような種々の状態に対して図2に示す結果が得られている。ここでは、Case 2（輪重16tf、不支持長 180cm）の値程度をひび割れ発生の設計抵抗曲げモーメントに設定し、付着特性の優れた異形P C鋼より線を用いたプレテンション式P R C構造を採用することにより、車輪フラット等によってさらに大きな負荷が作用することがあっても十分な耐荷性能と耐久性を確保できると判断した。車輪フラットに対する耐荷性能については、現在、検討を進めている。また、終局曲げ耐力としては、Case 3（輪重16tf、不支持長 360cm）を満足するものと設定した。実際の軌道では不支持長が 360cmにも達することは考えにくく、また仮にあったとしても縦梁のたわみにより支持状態は回復される。したがって、路盤陥没でもない限り縦梁が終局限界状態に



| 荷重条件   | 荷 重    | 支 持 条 件 | 記 事    |
|--------|--------|---------|--------|
| Case 1 | 輪重16tf | 連続支持    |        |
| Case 2 | 輪重16tf | 3締結間不支持 | 180cm  |
| Case 3 | 輪重16tf | 6締結間不支持 | 360cm  |
| Case 4 | 保守時    |         | 30mm打上 |
| Case 5 | 運搬時    |         | 2点吊り   |

図 1 縦梁の構造解析条件

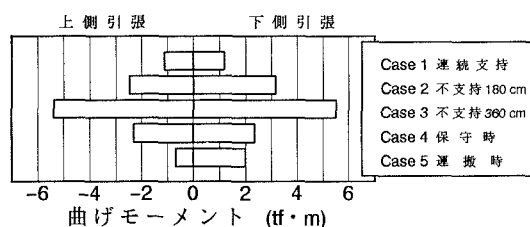


図 2 縦梁の作用曲げモーメント

至ることはないものと考えられる。

上記の設計条件を満たす断面諸元と補強鋼材の配置を図3に示す。異形P C鋼より線は新開発のSWPD 3（φ4.22mm 3本より線）またはSWPD 5（5本より線）であり、従来のφ2.9mm3本より線に比較すると、約2倍の緊張力を導入することができる。この結果、設計上のひび割れ発生モーメントは2.6tf・m、終局曲げ耐力は7.2tf・mとなった。

縦梁の耐荷性能を把握するために、縦梁単体の

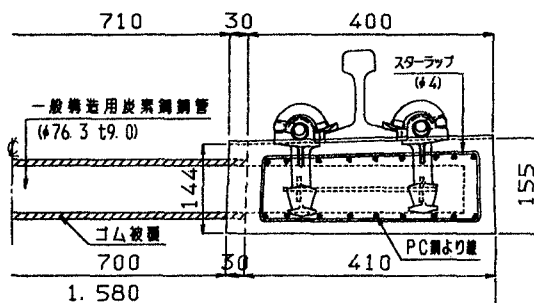


図 3 断面諸元と補強鋼材の配置

曲げ試験およびせん断試験を行った。図4に曲げ試験の荷重－変形曲線を示す。曲げひび割れの発生モーメントは  $2.8 \text{ tf} \cdot \text{m}$ 、終局曲げ耐力は  $7.2 \text{ tf} \cdot \text{m}$  であり、いずれも設計値とほぼ一致した。最大加力時の曲げひび割れの間隔は約10cm、ひび割れ幅は0.20mm程度であり、ひび割れの分散性は良好であった。また、設計で想定した通り、極めて靱性に富む部材であることが確認された。

せん断試験は、 $a/d$  を2.8として行ったが、せん断ひび割れは発生せず、曲げで破壊した。曲げひび割れの発生モーメントは  $2.6 \text{ tf} \cdot \text{m}$ 、終局曲げ耐力は  $8.0 \text{ tf} \cdot \text{m}$  であった。

### 3. 継材用鋼管と剛結埋込み部の設計

ラダー型マクラギはP R C構造の縦梁と小径厚肉鋼管製の継材とを一体成型した剛結混合構造であり、鋼管母材の剛性と耐力の設定および鋼管埋込み部の細部の補強設計が重要なポイントとなる。継材用鋼管については、構造解析により、図3に示す $\phi 76.3 \text{ mm}$ 、 $t 9 \text{ mm}$  (STK 540)を2.5 m間隔で用いれば、所要の剛性と耐力の両面からタイとしての妥当な性能が得られることが明らかにされた。ここではそれを受けて、鋼管埋込み部の細部の補強設計を行った。

写真2に、鋼管埋込み部の補強筋の配置等を示す。鋼管は緊張されたP C鋼より線によって上下から挟まれ、また押抜きせん断に抵抗するように付け根の部分には上と下から交差する補強筋で鋼管を固定している。また鋼管には、回転止めと引抜き止めのリブを設けている。鋼管周囲のスパイラルは、鋼管によるプレストレスの乱れに対する補強である。なお、鋼管内には、耐荷性能の向上および内面からの腐食防護のために、無収縮モルタルを充填している。

### 4. 新軌道構造の展開

ラダー型マクラギは、最も厳しい道床条件であるバラスト道床上に敷設して「マクラギ交換のみでメンテナンスフリーに近いバラスト道床軌道に更新する」ことを最大の目標としているが、スラブ版の代替材としてC Aモルタルや充填道床等の種々の道床と組み合わせた実用化や、防振装置により支持するフローティング型への発展も期待することができる。これら5タイプの新軌道構造の構成を表1に示す。バラスト道床型、バラスト道床弾性型およびフローティング型は、マクラギ下を調整部位としているためにレールの連続支持が可能となり、レールの波状磨耗や転動音の低減が期待できる。

表 1 ラダー型マクラギ軌道のタイプ

| タイプ        | 締結装置       | マクラギ下面コンクリート | 道床      | 調整部位 | レール連続支持 |
|------------|------------|--------------|---------|------|---------|
| バラスト道床型    | ハント・ロール方式等 | 無            | バラスト    | バラスト | 可       |
| バラスト道床弾性型  | ハント・ロール方式等 | マクラギ・ハット     | バラスト    | バラスト | 可       |
| 充填バラスト道床型  | タイフ・レート方式等 | マクラギ・ハット     | 充填バラスト  | 締結装置 | 困難      |
| C Aモルタル道床型 | タイフ・レート方式等 | コンクリート・ハット   | C Aモルタル | 締結装置 | 困難      |
| フローティング型   | ハント・ロール方式等 | 無            | 無       | 防振装置 | 可       |

### 5. むすび

設計したラダー型マクラギの縦梁は、在来線のバラスト道床用としてミニマムの断面寸法とマキシマムの耐荷性能の両立を追求したものである。ラダー型マクラギ軌道のタイプにより縦梁の断面寸法や補強設計は異なってくるが、設計のコンセプトは既に確立されており、用途に応じた展開は容易であると考えている。

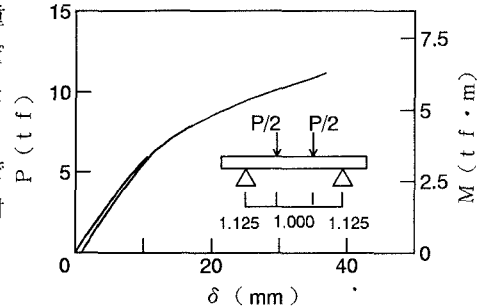


図 4 曲げ試験の荷重－変形曲線

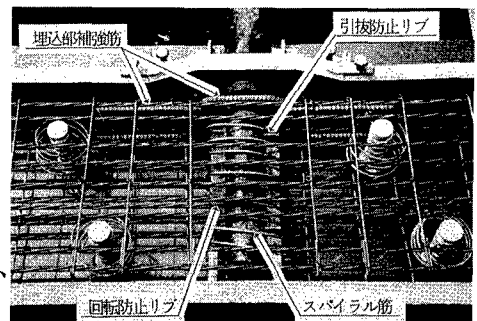


写真 2 鋼管埋込み部の補強筋の配置