

営業線における経年 PC まくらぎの摩耗性状に関する研究

鉄道総研 正会員 ○渡辺 勉 鉄道総研 正会員 箕浦 慎太郎

鉄道総研 非会員 鈴木 大輔 鉄道総研 正会員 曾我部 正道

1. はじめに

プレストレストコンクリート製のまくらぎ（以下、PC まくらぎという）は、列車通過時の動的作用によってバラストとの相対運動が発生することにより特にその底面が摩耗する。PC まくらぎが摩耗した場合、断面減少に伴う曲げ保証荷重、曲げ破壊荷重の減少だけでなく、鋼材のかぶりの減少も懸念される。鋼材のかぶりが減少した場合、プレテンション式 PC まくらぎではプレストレスの伝達の問題が、ポストテンション式 PC まくらぎでは定着板や定着具の露出などの問題が懸念されることとなる。既往の研究では、こうした PC まくらぎの摩耗に関する定量的な研究事例がないことから、本研究では営業線に敷設されていた経年 PC まくらぎの底面の摩耗量調査を行い、摩耗量と累積通過トン数（以下、累積通トンという）および経年の関係、摩耗パターンおよび摩耗進展メカニズムなどについて概観したので報告する。

2. 検討方法

2.1 PC まくらぎの摩耗メカニズム 摩耗はその機構によって分類すると、一般的に切削摩耗、表面疲労摩耗、凝着摩耗、トライボ化学摩耗の4つに分類される。コンクリートの摩耗についてはこれらの中で、切削摩耗と表面疲労摩耗が支配的である^{1), 2)}。また、このような摩耗機構の下で作用要素ごとの相対運動に着目すると、表1に示すように分類することができる。本研究で対象とする PC まくらぎの底面の摩耗は、主に PC まくらぎ（コンクリート）とバラスト（岩石）との相対運動で生じるものである。相対運動を生じさせる要因としては、列車通過時の動的作用に加えて、車輪フラットやレール凹凸に起因する衝撃力も含まれる場合がある。以上のように作用要素や作用力の特徴を考慮すると、PC まくらぎ下面の摩耗は表1に示す固体/コンクリートの相対運動の複合で生じると考えられるが、特に衝撃摩耗、フレティング摩耗が支配的であると考えられる。

表1 コンクリートの摩耗の分類^{1), 2)}

作用要素	摩耗名称	相対運動
固体/ コンクリート	すべり摩耗	すべり
	転がり摩耗	転がり
	衝撃摩耗	衝撃・衝突
	フレティング摩耗	振動
液体/ コンクリート	キャビテーション摩耗	流れ
液体+固体/ コンクリート	エロージョン摩耗	流れ

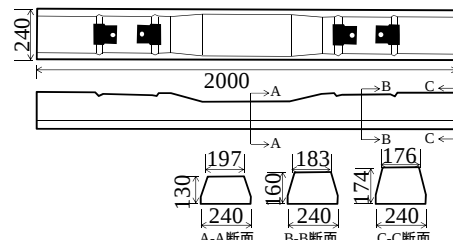


図1 対象PC まくらぎの概要 (JIS-3号)



図2 PC まくらぎの摩耗量の簡易測定断面

2.2 対象まくらぎ 図1に対象とした PC まくらぎの概要を示す。営業線に敷設されていた JIS-3号 PC まくらぎ^{3), 4)}約 200 本を対象とした。3号 PC まくらぎは製造時の緊張方式の違いによりプレテンション式とポストテンション式の2種類に分類されるが、形状寸法は全く同じであるため、両者は区別せずに取り扱った。

2.3 摩耗量の測定方法 摩耗量の測定は、2種類の方法で実施した。具体的には、専用の治具を用いて PC まくらぎの底面をデジカメで2cm ピッチで撮影し、得られた画像をパソコン上で座標解析を行うことにより摩耗量を取得する方法（以下、詳細法という）と、図2に示す11断面において幅方向3断面の摩耗量をノギスと定規によって測定する方法（以下、簡易法という）である。なお、簡易法においては凍害や明らかな欠けなどの結果は除外した。

3. 検討結果

3.1 摩耗量の測定結果 図3に詳細法による摩耗量測定結果を2つ例示する。図中の黒線で囲った部分がレール中心位置である。A まくらぎでは、レール中心位置付近において30mm程度の摩耗量で、中央付近においては数mm～10mm程度の摩耗量となっていることがわかる。B まくらぎでは、A まくらぎよりも平均的に摩耗量は小さいが局所的に30mmを超える箇所も見られる。このように詳細法によれば三次元的に PC まくらぎ底面の摩耗状態を把握することが可能である。また、図3には PC まくらぎ中心線における摩耗量の簡易法と詳細法の測定結果の比較も併せて示した。簡易法は詳細法を概ねトレースできていることがわかる。簡易法は局所的な値は欠落する場合もあるが、PC まくらぎ全体の摩耗パターンを捉えるには十分であると考えられる。以降の摩耗パターンの分類および摩耗量と通過

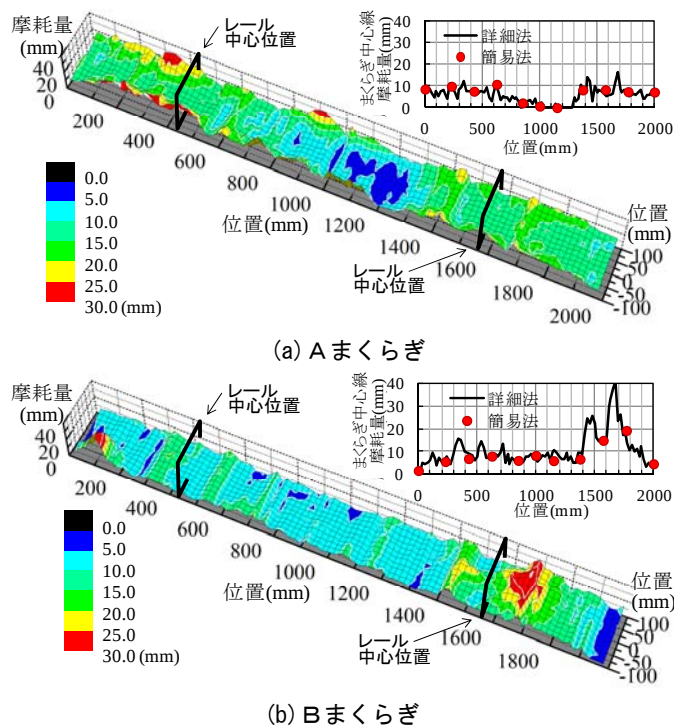


図3 PC まくらぎの摩耗量の詳細測定結果

キーワード PC まくらぎ, 軌道, JIS, 経年劣化, 摩耗

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 TEL042-573-7290

トン数との関係に関する検討は、簡易法の測定結果をベースとして行うこととする。

3.2 最大摩耗量と経年および累積通トンとの関係 図4にPCまくらぎの最大摩耗量と累積通トンの関係を示す。最大摩耗量は簡易法で得られた摩耗量の最大値を採用した。また、各経年および累積通トンにおける最大摩耗量の最大値を包含する累乗近似曲線も併せて記載した¹⁾。同図より、概ね累積通トンが10億トン程度になると最大摩耗量が20mm程度となる結果が得られた。また、累積通トン12億トン程度で30mmを超える結果が得られている。このPCまくらぎはポストテンション式であり、PC鋼材のかぶり厚は37mmであるので、PC鋼棒および定着具が露出しており、PC鋼棒については錆による腐食、破断が認められた。なお、プレテンション式のかぶり厚は30mmである。

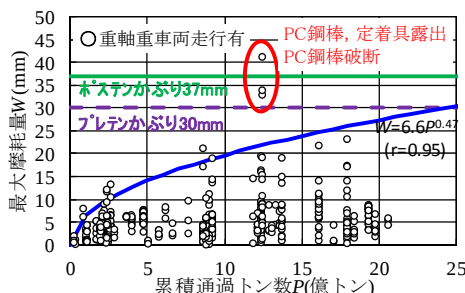


図4 最大摩耗量と累積通トンの関係

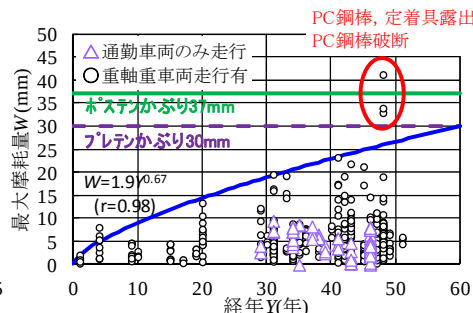


図5 最大摩耗量と経年の関係

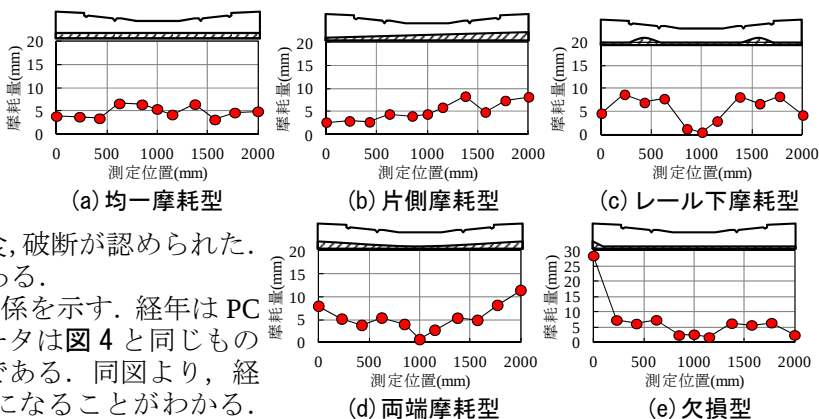


図6 PCまくらぎの摩耗パターンの分類

図5にPCまくらぎの最大摩耗量と経年の関係を示す。経年はPCまくらぎ製造年からの年数である。図5のデータは図4と同じもので、横軸を累積通トンから経年に変えたものである。同図より、経年の増加とともに最大摩耗量が増加する傾向になることがわかる。概ね経年が30年となると、最大摩耗量が20mmを超える結果が得られた。なお、図5には通勤車両のみが走行する線区の最大摩耗量の結果も併せて示した。経年30～50年において、通勤車両のみが走行する線区とそうでない線区を比較すると、前者の最大摩耗量は10mm程度以内となっており最大摩耗量が小さい傾向にあることがわかる。

3.3 摩耗パターンの分類 図6にPCまくらぎの長手方向の摩耗パターンの分類および代表的な摩耗形状を示す。摩耗パターンとしては、均一摩耗型、片側摩耗型、レール下摩耗型、両端摩耗型、欠損型の概ね5つのパターンに分類できることがわかった。

3.4 摩耗進展メカニズムの概観 図7、図8に累積通トンおよび経年ごとの摩耗パターンの分類を示す。累積通トン1億トン未満では均一摩耗型の割合が90%程度、経年5年未満では均一摩耗型の割合が100%であった。その後、累積通トンおよび経年の増加とともにその他の摩耗パターンの割合が増えていくことがわかる。累積通トン10億トン以上あるいは経年40年以上で均一摩耗型が再び増えるのは、レール下摩耗型あるいは両側摩耗型であった摩耗パターンが列車通過時の動的作用によりさらに摩耗し、均一摩耗型へと再び変化したものと推察される。以上のことから、PCまくらぎの底面の摩耗進展メカニズムは、まず均一摩耗型の摩耗パターンから始まり、その後PCまくらぎの敷設環境に応じてその他のパターンに進展するものであると考えられる。

4. まとめ 本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) PCまくらぎ底面の最大摩耗量と累積通トンの関係を整理すると、概ね累積通トンが10億トン程度になると最大摩耗量が20mmを超える結果が得られた。最大摩耗量と経年の関係を整理すると、経年の増加とともに最大摩耗量が増加する傾向があり、概ね経年が30年となると、最大摩耗量が20mmを超える結果が得られた。
- (2) 通勤車両のみが走行する線区では重軸重車両が走行する線区に比べて最大摩耗量が小さく、経年30～50年でも10mm程度以内であった。
- (3) PCまくらぎ底面の摩耗形態を、均一摩耗型、片側摩耗型、レール下摩耗側、両端摩耗型、欠損型の5つのパターンに分類した。
- (4) PCまくらぎ底面の摩耗は均一摩耗型から始まり、累積通トンや経年の増加とともにその他の摩耗パターンに進展していくというメカニズムを概観した。

今後はPCまくらぎの摩耗パターンが耐力低下に及ぼす影響、PCまくらぎの摩耗がPCまくらぎの固有振動数変化に及ぼす影響、PCまくらぎのひび割れの影響、衝撃荷重の影響などについて検討を行う予定である。

参考文献 1)豊福ら：コンクリートの衝撃摩耗特性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，1998 2)堀口敬：コンクリートの摩耗に関する研究の現状，コンクリート工学，Vol.31，No.10，pp.17～27,1993.10 3)日本工業標準調査会：JIS E 1201 プレテンション式PCまくらぎ，1997 4)日本工業標準調査会：JIS E 1202 ポストテンション式PCまくらぎ，1997

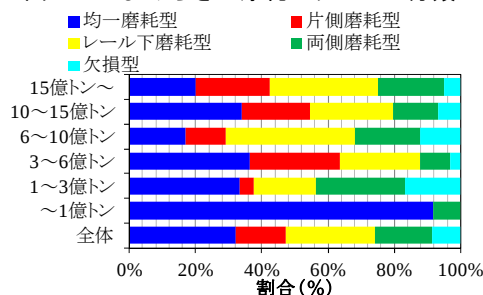


図7 累積通トンごとの摩耗パターンの分類

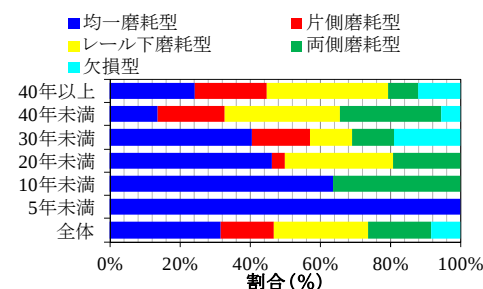


図8 経年ごとの摩耗パターンの分類