

凍害を受けた PC まくらぎの健全度評価手法の検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○箕浦 慎太郎
 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺 勉

1. はじめに PC まくらぎは現代の鉄道の安定・高速輸送を支える重要な構成要素である。現在製造されている PC まくらぎは一般的に AE コンクリートが使用されているが、過去には AE 剤未使用の PC まくらぎが製造され、凍害危険度の高い地域¹⁾にも敷設されてきた。そのような PC まくらぎは現在でも多く残っており、実際に凍害によるとみられる変状（スケーリング）も散見されている。凍害を受けた PC まくらぎ（以下、凍害 PC まくらぎという）の交換基準は個々の現場での目視検査による判断で行われているのが実情であるが、今後は凍害が進行し、凍害 PC まくらぎの交換はさらに増加すると予想されることから、凍害 PC まくらぎの定量的な健全度評価手法が望まれている。PC まくらぎの実態調査については、筆者らによって損傷実態や凍害 PC まくらぎの曲げ耐荷力を調査した事例^{2,3)}などがあるが、凍害 PC まくらぎのスケーリング量の把握は目視検査を基本としており、それらを定量的に評価した事例はない。そこで本研究では、PC まくらぎのスケーリングを定量的に評価する手法を提案し、実際に営業線における凍害 PC まくらぎのスケーリングの定量評価を行った。その結果をもとに、PC まくらぎの耐荷力との関係を整理し、目視検査による健全度判定手法の検討を行った。

2. 検討手法 図 1 に本研究で対象とした 3 号 PC まくらぎを示す。対象まくらぎは日本国有鉄道規格(JRS)に規定されたプレテンション式 3 号 PC まくらぎである。このまくらぎは直線区間および半径 800m 以上の曲線区間に使用される。本研究では凍害危険度の高い 4 地域（線区 1～線区 4）から合計 165 本のまくらぎを収集した。収集したまくらぎの製造年は 1963 年から 1973 年であり、特に 1964 年から 1966 年のものが多く全体の 8 割以上を占めた。

図 2 に提案するスケーリングの定量化手法のフローチャートを、図 3 に PC まくらぎに外観調査図の例を、図 4 に図 3 の外観調査図からスケーリング箇所を抽出したものを示す。本研究では、まず凍害 PC まくらぎのスケーリングの位置を記録した外観調査図を作成し、それを画像処理してスケーリングの面積を求めることで定量化する手法を提案した。具体的には、まず外観調査図をスキャンして画像データとする。次に画像データのノイズを除去するとともに画像のゆがみ等を修正してサイズをそろえる。その後スケーリングが生じた領域のみを塗りつぶして抽出し、その面積を計測することでスケーリングの面積を求める。この手法ではスケーリングの面積はピクセル単位で求められるが、本研究では PC まくらぎ全表面積または後述する調査対象の各面の面積に対して、どの程度の割合でスケーリングが生じているかで評価した。

図 5 に PC まくらぎの表面の分類方法を示す。スケーリングの発生位置の傾向を把握するために、PC まくらぎ全表面積に対するスケーリング面積の割合に加えて PC まくらぎの各面ごとのスケーリング面積の割合を算出した。なお、PC まくらぎは通常バラストと呼ばれる砂利に埋まっており、上面以外の目視検査はバラストを掻き出す必要があり負担が大きい。

図 6 に JIS E 1201:1997 に規定されたレール位置での曲げ耐荷力試験を示す。凍害 PC まくらぎを対象として JIS 曲げ耐荷力試験を実施し曲げ破壊荷重を調査した。なお、対象 PC まくらぎは JRS の 3 号まくらぎであるが、JIS のものと敷設範囲が同じであり、形状もほぼ差がないことから JIS に規定の試験方

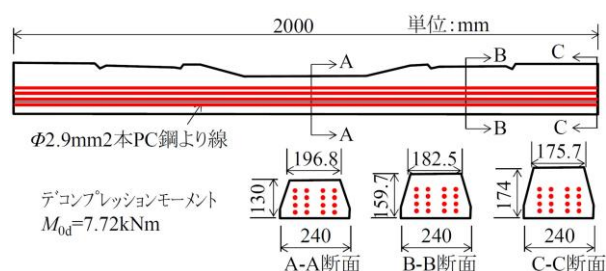


図 1 3号 PC まくらぎ

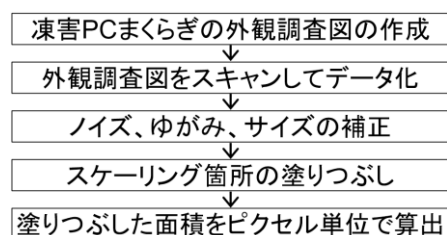


図 2 スケーリングの定量化手法

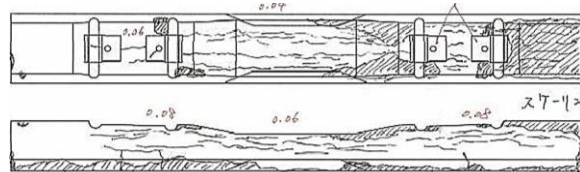


図 3 外観調査図の例（一部）



図 4 スケーリング箇所の抽出例（赤い部分がスケーリング箇所）

キーワード PC まくらぎ、凍害、スケーリング、画像処理、耐荷力、健全度評価

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-18 （公財）鉄道総合技術研究所 軌道力学 TEL 042-573-7291

法及び基準値で評価した。

3. 検討結果 図7にPCまくらぎの各面及び部位ごとのスケーリング面積の割合の平均値を示す。この図より、特にスケーリング面積が比較的大きい線区1及び線区2において、PCまくらぎ上面及び端部にスケーリングが発生しやすいことが確認された。これにより上面のみの目視検査でもある程度診断が可能であると考えられる。

図8にPCまくらぎの経年及び累積通過トン数と曲げ破壊荷重の関係を示す。本研究で求めた曲げ破壊荷重と、結果と既往の研究で実施した凍害の発生していないPCまくらぎの曲げ破壊荷重²⁾について、経年及び累積通過トン数（ある線区を通過する列車の総重量）に対して整理した。既往の研究においても本研究と同様に3号PCまくらぎを対象としたJIS曲げ耐力試験を実施した。図より、経年に対して、スケーリング面積が比較的大きなPCまくらぎは凍害がないものに比べて耐力力の低下が大きいことが確認された。また、累積通過トン数が比較的小さい段階でも凍害により曲げ耐力力が急激に低下することが確認された。

図9にPCまくらぎ上面のスケーリング面積の割合と曲げ破壊荷重の関係を示す。同図に4線区すべてのデータから最小二乗法により求めた回帰直線及びJIS規格値（曲げ破壊荷重）も併せて示す。この図より、PCまくらぎ上面のスケーリング面積の増加に伴い曲げ破壊荷重が低下し、平均的にみると上面の約50%以上にスケーリングが生じるとJIS規格値を下回る傾向が得られた。これにより上面のスケーリング面積が50%を超えるかどうか健全度判定の目安となると考えられる。一部のPCまくらぎにはスケーリング面積が20%以下でも規格値を下回るものがあるが、通常まくらぎに損傷が生じても前後のまくらぎが健全であれば走行の安全性に問題はないため、今回は平均的な値で評価した。

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)まくらぎ上面のみの目視検査でも、凍害PCまくらぎの健全度をある程度評価可能であることが確認された。
(2)凍害がないPCまくらぎと比較し、凍害を受けたPCまくらぎは曲げ耐力力の低下が大きく、累積通過トン数に対しては比較的低い段階から大きく曲げ耐力力が低下した。
(3)PCまくらぎ上面のスケーリング面積の増加に伴い曲げ破壊荷重が低下し、平均的にみると、50%程度以上にスケーリングが生じるとJIS規格値を下回る傾向が得られた。

参考文献 1)長谷川寿夫:コンクリートの凍害危険度の算出と水セメント比限界値の提案, セメント技術年報, Vol.29, pp.248-253, 1975 2)箕浦慎太郎, 渡辺勉, 曾我部正道, 清水裕介: 経年PCまくらぎの耐力低下に関する検討, 土木学会第70回年次学術講演会, pp.333-334, 2015 3)渡辺勉, 後藤恵一, 飯島亨, 盛田慶: 寒冷地におけるAEコンクリートを使用していない経年PCまくらぎの性能評価, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, Vol.28, pp.377-382, 2019

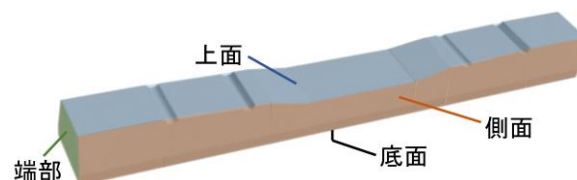


図5 PCまくらぎの表面の分類方法

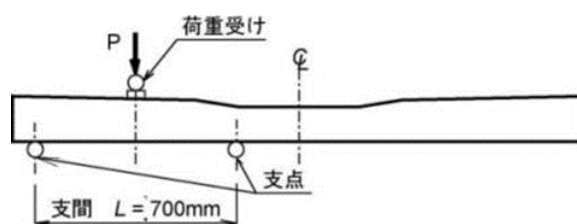


図6 レール位置での曲げ耐力試験

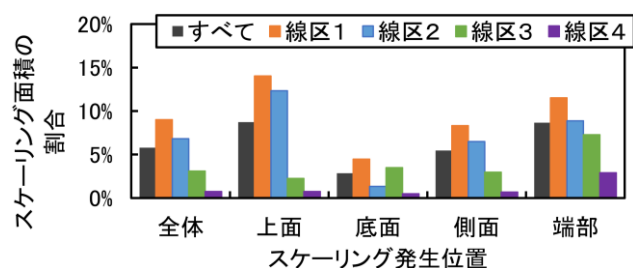
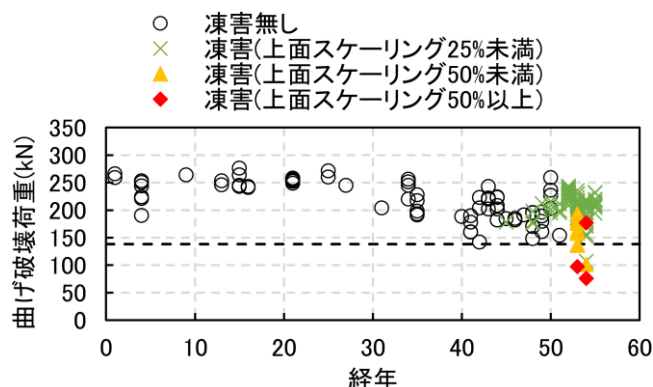
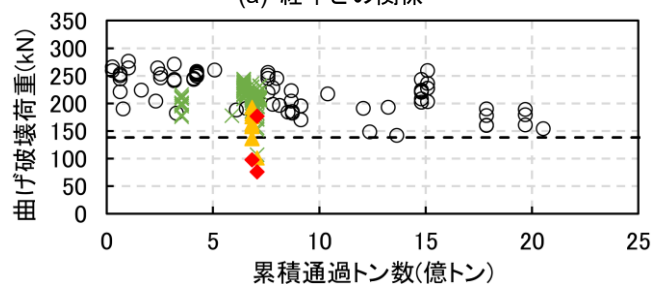


図7 PCまくらぎの各面及び部位ごとのスケーリング面積の割合（平均値）



(a) 経年との関係



(b) 累積通過トン数との関係

図8 PCまくらぎの経年及び累積通過トン数と曲げ破壊荷重の関係

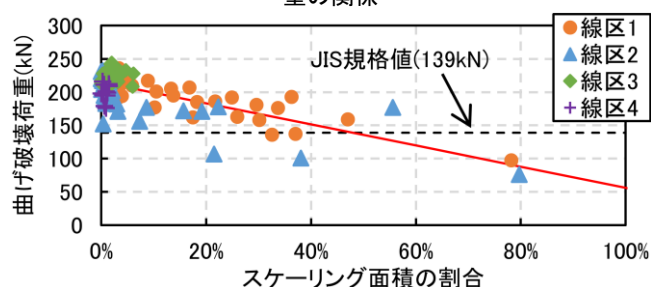


図9 PCまくらぎ上面のスケーリング面積の割合と曲げ破壊荷重の関係