

## 凍害を受けた PC まくらぎの体積減少が耐荷力に及ぼす影響の評価

鉄道総研 正会員 ○箕浦 慎太郎  
 鉄道総研 正会員 渡辺 勉  
 鉄道総研 正会員 池田 学

**1. はじめに** プレストレストコンクリート製まくらぎ（以下、PC まくらぎ）は、鉄道の安全・安定輸送に貢献する重要な軌道部材である。現在では、PC まくらぎのコンクリートには一般的に AE 剤が使用されているが、JIS 規格化される 1990 年以前には、AE 剤未使用の PC まくらぎも製造されており、近年ではそれらの PC まくらぎの一部に、スケーリングや微細ひび割れなどの凍害と考えられる変状が散見されている。

図 1 に凍害を受けたとみられる PC まくらぎ（以下、凍害 PC まくらぎ）の例を示す。凍害 PC まくらぎの一部では変状が著しく鋼材が露出しているようなものもみられる。AE 剤未使用の PC まくらぎは 2021 年現在でも多く敷設されており、将来的に凍害による PC まくらぎの交換が増大する可能性があるため、適切な維持管理手法の構築とそのための実態調査が求められている。筆者らは、凍害 PC まくらぎについての実態調査及び維持管理指標の提案を実施しており、既往の研究ではスケーリングの面積を定量化し、耐荷力との関係を調査したり、その結果、PC まくらぎ上面に生じたスケーリングを、徒歩巡視時などの目視検査により凍害 PC まくらぎの耐荷力のある程度定量的に評価可能であることを示した。しかしながら、この研究ではスケーリングを面的に評価しており、例えば同じスケーリング面積でもスケーリングの深さが大きい場合、耐荷力を過大に評価する可能性が懸念される。そこで本研究では、画像処理手法を用いて凍害 PC まくらぎのスケーリングによる体積の減少を定量的に評価し、凍害 PC まくらぎ上面のスケーリング面積と体積の減少量との相関性や耐荷力への影響を調査した。

**2. 調査手法** 図 2 に本研究で対象とした PC まくらぎを示す。本調査では、凍害危険度の高い線区に敷設された、日本国有鉄道規格(JRS)に規定されるプレテンション式の 3 号 PC まくらぎ(品型:3PR)を収集した。この種類のまくらぎは直線区間及び半径 800m 以上の曲線区間に敷設されるものである。本調査では、合計 11 本の PC まくらぎを対象とし、経年は 38~39 年であった。

図 3 に JIS に規定された PC まくらぎの曲げ試験方法（レール位置）を示す。凍害 PC まくらぎの曲げ耐荷力を評価するために、JIS E 1201 に規定された曲げ試験を実施し、曲げ破壊荷重を調査した。なお、今回対象とした PC まくらぎは日本国有鉄道規格(JRS)のものであるが、形状は JIS の PC まくらぎとほぼ同じであることから、JIS 規定の試験方法及び基準値で評価した。

図 4 に既往の研究で実施したスケーリング面積の定量化手法を示す。表面のスケーリング面積と体積減少の量の関係を調査するために、既往の研究と同様に凍害 PC まくらぎ上面のスケーリング量を定量化した。具体的な手法は、まず対象の PC まくらぎのスケーリング発生位置を示した外観調査図を作成し、それをスキャンしてデジタルデータに変換してノイズや画面のゆがみ、画像サイズ等を修正する。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。スケーリングの面積は PC まくらぎ上面全体の面積との比で表した。

凍害 PC まくらぎのスケーリングによる体積減少の実態調査のために、多視点画像から 3 次元形状(3 次元メッシュモデル)を取得する SfM 多視点ステレオ写真測量(Structure-from-Motion Multi-View Stereo Photogrammetry)により凍害 PC まくらぎの 3 次元形状を取得した<sup>2)</sup>。この手法は、詳細な形状取得のために大量の画像が必要であるものの、市販のデジタルカメラで撮影した画像から 3 次元形状の取得が可能であり、事前のカメラキャリブレーションも



図 1 凍害 PC まくらぎの例

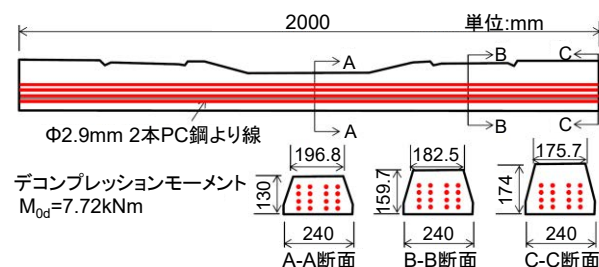


図 2 対象 PC まくらぎ

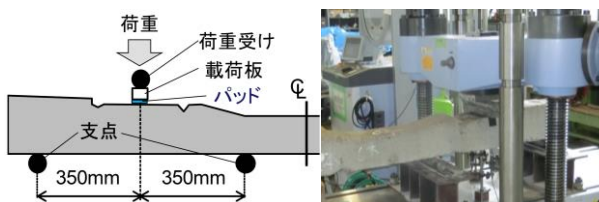
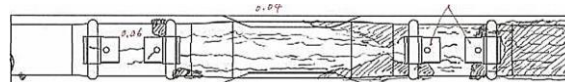


図 3 レール位置での曲げ試験



(a) 外観調査図の例



(b) スケーリング抽出例(赤い部分がスケーリング箇所)

図 4 スケーリング面積の定量化手法<sup>1)</sup>

キーワード PC まくらぎ、凍害、スケーリング、耐荷力、健全度評価、SfM 多視点ステレオ写真測量

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 軌道管理 TEL 042-573-7277

不要である。本調査では、写真測量用ソフトウェア“3D zephyr”を使用した。各 PC まくらぎに対し、それぞれ約 300~500 枚の画像から底面以外の 3 次元形状を取得し、凍害 PC まくらぎのスケーリングによる体積の減少量を調査した。なお、PC まくらぎの底面には列車通過時の荷重により摩耗が生じるが<sup>3)</sup>、今回対象とした線区は通過トン数が比較的小さいため、3 次元形状取得の際には底面摩耗を考慮していない。

**3. 調査結果** 図 5 に取得した凍害 PC まくらぎの 3 次元メッシュモデルの例を、図 6 に取得した凍害 PC まくらぎの断面の例を、図 7 に凍害 PC まくらぎの体積減少率（設計図面より算出した体積と 3 次元メッシュモデルから取得した体積の比）を示す。図に示す通り、SfM 多視点ステレオ写真測量手法により凍害 PC まくらぎの細かな凹凸や断面の減少を取得することが可能であった。体積減少率が最も大きい PC まくらぎでは、レール位置の側面では最大約 50mm、ショルダー部では上面から最大約 71mm の深さまでスケーリングが生じ、これらの位置では PC 鋼より線が露出していた。また今回対象とした凍害 PC まくらぎでは、最大で約 15%体積が減少していることが確認された。

図 8 に体積減少率とレール位置での曲げ破壊荷重との関係を示す。図中には最小二乗法により求めた近似直線も併せて示す。体積減少率が 5%程度でも JIS 規格値を下回るものがあるなどばらつきが大きい、体積減少率が大きくなるほど曲げ破壊荷重が低下し、平均的に約 7.5%程度体積が減少すると JIS 規格値を下回る傾向にあった。図 6(b) で示したように、凍害 PC まくらぎのスケーリングは端部に発生しやすい傾向にあり、曲げ破壊荷重との関係のばらつきの要因としては、スケーリング発生位置の違い（PC まくらぎ端部や中央部付近では曲げ破壊荷重への影響が小さく、レール位置付近では影響が大きい）が考えられる。

図 9 に PC まくらぎ上面のスケーリング面積とレール位置での曲げ破壊荷重との関係を、図 10 に PC まくらぎ上面のスケーリング面積と体積減少率の関係を示す。図 9 には最小二乗法により求めた近似直線も併せて示す。今回対象とした PC まくらぎでは上面の約 30%にスケーリングが生じると JIS 規格値を下回る傾向にあった。また、ばらつきがあるものの、スケーリング面積の増加とともに体積減少率も増加する傾向にあり、上面のスケーリング面積に基づく目視検査でもある程度体積の減少の影響を評価できることが確認された。

**4. まとめ** 本研究では、凍害 PC まくらぎの健全度評価のための基礎検討として、凍害 PC まくらぎ上面のスケーリング面積と体積の減少量との相関性や耐荷力への影響を調査した。得られた知見は以下の通りである。①SfM 多視点ステレオ写真測量手法を用いることで、凍害 PC まくらぎの詳細な 3 次元形状の取得が可能であった。②今回対象とした PC まくらぎでは、最大で約 15%の体積の減少が確認され、平均的に約 7.5%体積が減少すると JIS 規格値を下回った。③PC まくらぎ上面のスケーリング面積と体積減少率の相関性を明らかにした。これにより、PC まくらぎのスケーリングによる断面減少を詳細に把握しなくても、徒歩巡視時などの目視検査で確認可能な上面のスケーリング面積を把握することで、PC まくらぎの健全度評価が行えることを明らかにした。

**参考文献** 1)箕浦慎太郎, 渡辺勉, 飯島亨, 石田哲也: 凍害を受けた PC まくらぎの実態調査と健全度評価基準の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.659-664, 2020, 2)織田和夫: 解説: Structure from Motion (SfM) 第一回 SfM の概要とバンドル調整, 写真測量とリモートセンシング, Vol.55, No.3, pp.206-209, 2016, 3)箕浦慎太郎, 渡辺勉, 鈴木大輔, 上半文昭: 営業線 PC まくらぎの摩耗性状とその耐荷力への影響に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.1345-1350, 2015

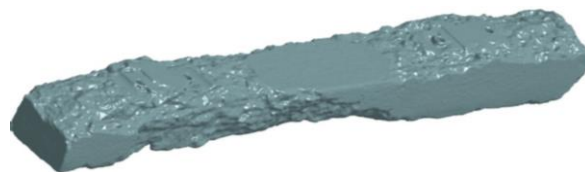


図 5 凍害 PC まくらぎの 3 次元メッシュモデルの例

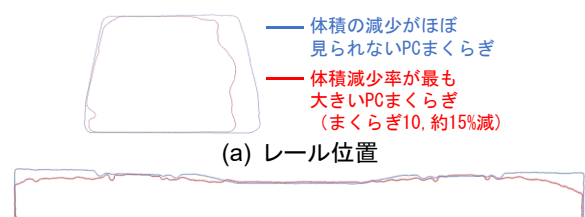


図 6 凍害 PC まくらぎの断面形状の例

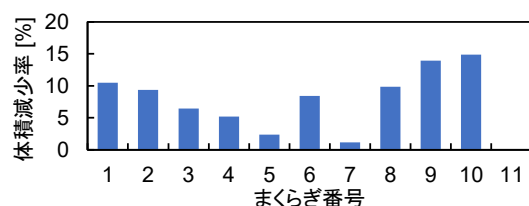


図 7 凍害 PC まくらぎの体積減少率

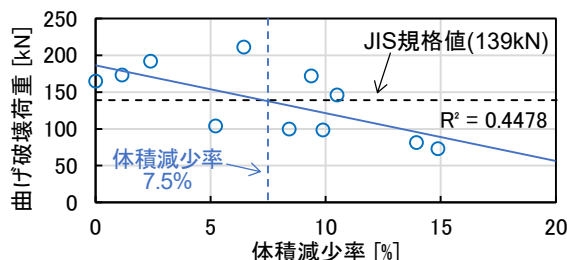


図 8 体積減少率と曲げ破壊荷重(レール位置)

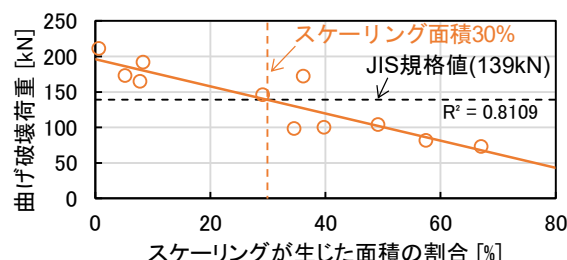


図 9 スケーリング面積と曲げ破壊荷重(レール位置)

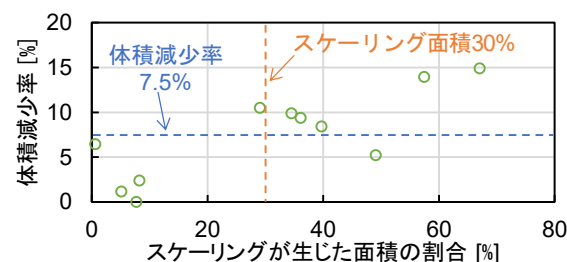


図 10 スケーリング面積と体積減少率