

PC まくらぎの疲労寿命推定に関する検討

| | | |
|-------------|-----|-------|
| 西日本旅客鉄道株式会社 | 正会員 | 有本 仁史 |
| 西日本旅客鉄道株式会社 | 正会員 | 今城 正嗣 |
| 株式会社レールテック | 正会員 | 奥田 広之 |

1. はじめに

PC まくらぎは腐朽により劣化しやすい木まくらぎに代わる材料として設計され、1960～70年代に集中的に投入された。JR 西日本管内で敷設されている約580万本のPC まくらぎのうち、その年代のものが400万本程度敷設され概ね40～50年経過していることから、これらのPC まくらぎの余寿命推定は中期的な交換計画を策定する上で極めて重要といえる。そこで本稿では、発生PC まくらぎを使用した各種試験によって得られた強度に関する各種データならびに余寿命推定の可能性について、その検討内容を報告する。

2. 過去に実施した劣化調査および強度試験結果²⁾

現地から採取した発生PC まくらぎに関して行った試験項目は、外観による劣化調査、コンクリート圧縮強度試験および中性化深さ試験、残留プレストレス量の測定試験、曲げ強度試験、埋込栓引抜強度試験、疲労試験である。なお、曲げ強度試験および埋込栓引抜試験はJIS E 1201、JIS E 1202に基づき実施した。外観上のひび割れは、まくらぎ下面において、横方向のひび割れが全体の37%に発生し、バラストに埋まっているまくらぎ下面などの不可視な部位で多く発生していた。すり減り量は、累積通過トン数との相関性が見られると想定していたが、明確な傾向は見られなかった。圧縮強度は、99%がJISに規定される設計基準強度を満足しており、経年による強度低下は無く一定の強度を保っていることが分かった。中性化については、0.5mm以下であり確認されないものもあった。また、乾湿を繰り返す上面、常に道床バラスト内で湿潤状態となる下面での違いは見られなかった。プレストレスの残留率は、経年による低下の明確な傾向は見られなかった。また、まくらぎ下部の鋼より線ほど上部に比べ残留率が低下していたことから、曲げ応力やクリップ等の影響により、プレストレスが低下したと考

えられる。曲げ強度は、明確な経年による破壊荷重低下の傾向は見られないが、全体の95%がJISの規定値を上回っていた。40年程度経過し、下面に横方向のひび割れが生じている場合でも曲げ強度は大きく低下していないことが確認できた。引抜荷重は、26%がJISの規定値を下回っていた。外観調査によって埋込栓付近にひび割れが確認できたことから、埋込栓とコンクリートの付着力が低下していたと考えられる。

3. 今回実施した疲労試験結果

PC まくらぎは曲げ強度、引抜強度など静的試験での指標は規定されているが、疲労部材としての耐力については明確になっていない。そこで、冒頭に述べた余寿命推定の可能性について検討を行った。余寿命算出は、PC まくらぎへの1年間の荷重載荷回数と疲労試験での繰返回数に対比する方法で検討した。1年間の荷重の載荷回数は図1に示す累積頻度曲線を基に算出した。累積頻度曲線とは、荷重毎の超過確率の分布を近似したモデルである。過去の知見では、べき乗モデルと指数分布モデルにより近似している¹⁾。実際の軌道における超過確率や近似方法は、車両、軌道構造、線形等の様々な条件を考慮し設定することが望ましいが、相当な労力および膨大なデータを要することから、本稿では過去の知見で得られた累積頻度曲線を参考とした。

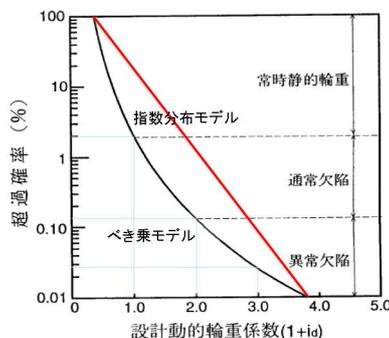


図1 累積頻度曲線

キーワード PC まくらぎ、疲労、耐力、曲げ破壊、残留プレストレス

連絡先 〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2丁目4番24号 西日本旅客鉄道株式会社 施設部施設技術室 TEL 06-6375-2296

近年ではロングレール化等による軌道状態の良化、車体の軽量化等により、列車走行に伴うPCまくらぎへの負荷は低減していると考えられるものの、安全側の評価のため指数分布により検討を行うこととした。疲労試験は、JIS E 1201の曲げ試験の荷重方法に準拠しており、静的荷重、繰返荷重の順に実施した。荷重は96kNから160kNの5段階とし、支点間距離70cm、荷重周波数5Hzとする。試験本数は、レール直下のまくらぎ下面にひび割れの無いもの6本、有るもの14本の合計20本である。疲労試験結果は、表1に示すとおりであり、同じ荷重でも繰返回数に大きな差が生じていた。

表1 疲労試験結果 : 未破断

| 年度 | 番号 | 設計動的輪重係数(1+i) | 曲げモーメント(kN・m) Pst × 0.07 × (1+i) | 最大荷重(kN) 4 × M/L | 荷重回数(回) | 経年(年) | 累積通過トン数(億t) | 推定残留プレストレス(%) |
|----|----|---------------|-------------------------------------|---------------------|-----------|-------|-------------|---------------|
| 25 | 1 | 5.0 | 28.0 | 160 | 1,695,048 | 48 | 19.44 | 140超 |
| | 2 | 5.0 | 28.0 | 160 | 79,994 | 44 | 8.23 | 110 |
| | 3 | 4.5 | 25.2 | 144 | 131,246 | 40 | 11.92 | 100 |
| | 4 | 4.0 | 22.4 | 128 | 1,790,061 | 48 | 19.44 | 110 |
| | 5 | 4.0 | 22.4 | 128 | 237,188 | 40 | 11.92 | 90 |
| | 6 | 3.5 | 19.6 | 112 | 2,022,789 | 43 | 9.46 | 100 |
| 26 | 1 | 5.0 | 28.0 | 160 | 38,034 | 40 | 17.480 | 100 |
| | 2 | 5.0 | 28.0 | 160 | 2,314 | 50 | 14.016 | 60 |
| | 3 | 4.5 | 25.2 | 144 | 78,156 | 40 | 17.480 | 110 |
| | 4 | 4.5 | 25.2 | 144 | 45,431 | 40 | 17.480 | 95 |
| | 5 | 4.5 | 25.2 | 144 | 41,358 | 40 | 17.480 | 100 |
| | 6 | 4.5 | 25.2 | 144 | 10,521 | 50 | 24.144 | 70 |
| | 7 | 4.0 | 22.4 | 128 | 3,000,000 | 40 | 17.480 | 95 |
| | 8 | 4.0 | 22.4 | 128 | 2,000,000 | 50 | 18.576 | 120 |
| | 9 | 4.0 | 22.4 | 128 | 2,000,000 | 40 | 17.480 | 120 |
| | 10 | 4.0 | 22.4 | 128 | 2,000,000 | 40 | 17.480 | 100 |
| | 11 | 4.0 | 22.4 | 128 | 68,672 | 50 | 24.144 | 80 |
| | 12 | 3.5 | 19.6 | 112 | 4,000,000 | 40 | 17.480 | 80 |
| | 13 | 3.5 | 19.6 | 112 | 3,000,000 | 50 | 18.576 | 90 |
| | 14 | 3.0 | 16.8 | 96 | 5,000,000 | 50 | 19.440 | 110 |

4. 疲労試験結果の検証

繰返回数の差の要因を検証するため、疲労試験前に行った静的荷重試験の上側ひずみデータを確認した。一例として荷重荷重 144kN の場合を記述する。繰返回数は、25-3、26-3、26-4、26-5、26-6 の順、上側コンクリート応力度は、25-3、26-3、26-4 と 26-5、26-6 の順で大きくなっており、疲労試験の繰返回数と上側コンクリート応力度に関係があると考えた。図2は、プレストレスの残留率を50%から140%に変化させ、PRC計算により求めた上側コンクリート応力度と静的荷重荷重との関係を示す。図3は、各PCまくらぎの荷重荷重と上側コンクリート応力度の試験結果に、図2の残留率をパラメータとした解析結果を併せて示したものである。その他の供試体の解

析によるプレストレスの推定残留率は表1のとおりである。プレストレスの残留率の影響により、疲労試験結果において繰返回数に差が発生したものと考えられるが、試験で使用したPCまくらぎは40年程度経過しており、プレストレスが低下し続けることはない想定できるため、これ以上の大幅な耐力低下は考えられない。

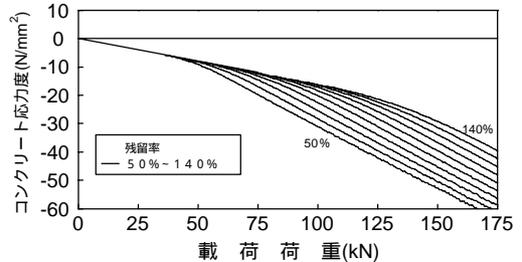


図2 解析による荷重荷重と応力度

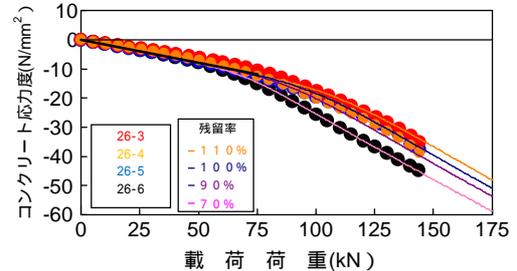


図3 残留プレストレスによる荷重荷重と応力度

5. まとめ

経年が概ね40~50年のPCまくらぎ発生品の中で今回供試したPCまくらぎは、すり減り、ひび割れ、といった様々な影響を受けているが、曲げ強度については95%がJISの規定値を満足しており、中性化、圧縮強度等についても顕著な変状はなかった。そのため、供試まくらぎの物性値としては経年が40~50年のものであっても十分な耐力を有しているものと考えられる。また、PCまくらぎ本体は耐用年数が50年程度と考えられているが、疲労試験結果から疲労部材としての耐力はそれを超えるさらに大きなものであると考えられる。しかし、埋込栓は経年による劣化が発生しているため、一定の補修が必要である。PCまくらぎの疲労耐力は十分に検討された事例がないため、疲労試験の結果を分析し疲労寿命推定のさらなる検討が重要と考える。

[参考文献]

- 1) 涌井一他：PCマクラギの限界状態設計法に関する研究、土木学会論文集 No.557、1997.2
- 2) 中村貴章他：PCまくらぎの現状評価、土木学会第68回年次学術講演会、2013.9