

下級線に適した PC まくらぎ化の検討

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○藪中 嘉彦
西日本旅客鉄道株式会社 正会員 高尾 賢一

1.はじめに

JR 西日本（以下、「当社」という）では、2003 年度から下級線の軌道構造強化を目的に、3 本に 1 本の割合で木まくらぎを PC まくらぎに置き換え（以下、「1/3PC 化」という）、主に軌間保持機能の強化を図ってきた。これらの区間について、更なるメンテナンス性の向上を図るため「全 PC まくらぎ化」を検討している。鉄道事業の特徴として、膨大な設備を有し、それに相当な労力をかけて保守・管理を行うことから、設備更新の際には低コストで最大のパフォーマンスとなるよう設計することが重要である。これらを踏まえ、構造と施工性の両面から検討した結果を以下に述べる。

2.下級線に適した軌道構造の設計

当社におけるまくらぎ配置間隔等の軌道構造の設計に関しては、主として軌道破壊量、座屈安定性及び部材の発生応力で評価している。当社では、基本的に国鉄時代に規定されたまくらぎ配置間隔をそのまま継承しており、2005 年度より実施している中下級線の連続 PC まくらぎ化施策で一部見直しをした¹⁾ 以外は特に変更していない。そこで、今後下級線を対象に推進していく全 PC まくらぎ化施策に合わせて、最適な軌道構造（以下、「下級線 PC 化構造」という）を検討することとした。

(1)基本的な考え方

下級線 PC 化構造におけるまくらぎ配置間隔の基本的な考え方については、以下のとおりとした。

- ①対象線区における列車荷重条件による部材の発生応力と許容応力の照査を行う。
- ②まくらぎ本数については、軌道破壊量や座屈安定性能が現状非悪化となる範囲内で減じることが可能とする。

③1/3PC 化区間において、最小限の施工量で実現可能な構造とする。

④現行の保守・管理の範疇で労力減や保安度向上に寄与する。

(2)具体的な検討方法

当社では 1/3PC 化施策を実施してから 10 数年経過しており、同区間には既に約 100 万本の PC まくらぎが敷設されている。下級線 PC 化構造の検討では、同区間において如何に効率的に構造変更を実現させるかが、最大の制約条件となる。理屈的には、木まくらぎを PC まくらぎに置き換えることによる構造強化分に相当するまくらぎ本数を減じることが可能となるが、工事施工の効率性を考慮すると PC まくらぎの間にある 2 本の木まくらぎを抜き、その間に PC まくらぎを挿入するのが最も有効である。そのため図-1 に示すまくらぎ配置を下級線 PC 化構造のベースとなるよう検討を進めることとした。この場合、まくらぎ本数は 25m あたり 37 本から 26 本となり、前述の中下級線における連続 PC まくらぎ化と比べて 2 本少なくなる。

3.軌道構造の設計検討

下級線 PC 化構造の検討には、表-1 に示す 5 項目について検討することとし、具体的には、理論計算及び有限要素法による構造解析と部材の性能確認試験により評価することとした。紙面の都合上、項目④⑤については詳細を割愛する。

(1)PC まくらぎの性能照査

下級線 PC 化構造で使用する PC まくらぎは、当社が開発した一般形 PC まくらぎ（以下、「一般形 PC」という）であり、形状・寸法は図-2 のとおりである。なお、これまでの 1/3PC 化施策においても同まくらぎを使用しており、主な特徴は以下の 2 点である。

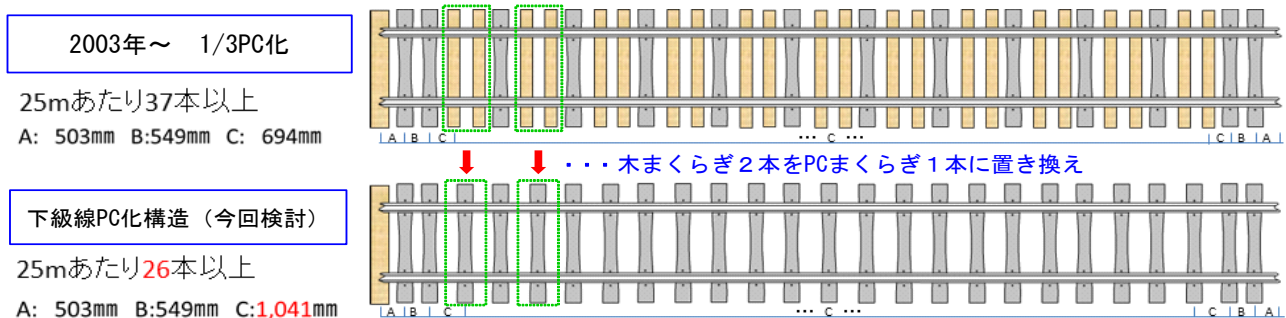


図-1 下級線 PC 化構造の一例

表-1 設計検討項目

①	PC まくらぎの性能照査
②	レール締結装置の性能照査
③	座屈安定性に関する照査
④	まくらぎ不良時の軌間拡大量の評価
⑤	軌道保守量への影響評価

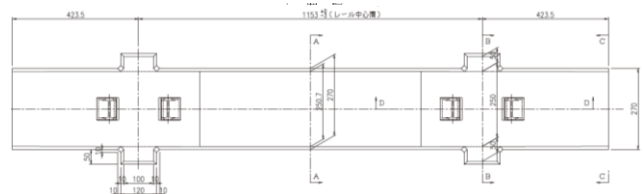


図-2 一般形 PC まくらぎの形状・寸法

キーワード PC まくらぎ、下級線、配置間隔

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田 2 丁目 4 番 24 号 西日本旅客鉄道(株) 施設部 施設技術室 TEL 06-6375-2296

- ①置き換え対象の木まくらぎよりも幅が広く(+70mm)、列車荷重を広く分散できる。
- ②レール下位置に翼(凸部)を設け、道床横抵抗力の増強を図っている。

一般形 PC は開発時にまくらぎ間隔を 909mm とし、まくらぎに生じる曲げモーメントに対する照査を行い、十分な耐力を有することを確認している。この結果を基に照査を行い、今回のまくらぎ間隔拡大による曲げモーメントの増分が、まくらぎ耐力の範囲内であることを確認した。

また、締結装置を介して横圧が伝達されるショルダー部については、鉄道構造物等設計標準²⁾を参考に、コンクリートの押し抜きせん断耐力に関する照査を行い、必要な性能を有することを確認した。

(2)レール締結装置の性能照査

レール締結装置については、省メンテナンスを目的に一般形 PC に適用している線ばねクリップ(パンドロール e2009)を使用する。今回の照査では、対象とする下級線の列車荷重から設計荷重を設定し、連続弾性支持モデル²⁾によりレール圧力及びレール横圧力を算出して、当社及び公益財団法人鉄道総合技術研究所(以下、「鉄道総研」という)における過去の知見³⁾を基に判定値を設定し、これと対比して評価することとした。照査結果の一例として、静止軸重を 120kN、レール種別を 50N レールとした場合は表-2 のとおりとなる。対象線区の多くでは本結果の適用が可能となるが、重軸車(特殊な旅客列車や貨物列車等)が走行する線区では設計荷重が異なるため、これより締結間隔を縮小することとなる。

(3)座屈安定性に関する照査

座屈安定性については、木まくらぎと PC まくらぎの道床横抵抗力を比較評価して照査することとした。一般形 PC の道床横抵抗力は、開発時に実施した試験により木まくらぎの 1.5 倍以上であることを確認している。PC まくらぎ化による増加分とまくらぎ本数減少分を合わせた結果は表-3 に示すとおりであり、道床横抵抗力については現行と同等以上となる。なお、PC まくらぎ化による軌きょう剛性の増加も期待できるが、遊間管理においては安全側に評価すべく軌きょう剛性比を 1.0 (レール単体の剛性のみ)として扱うこととした。

4.現地測定試験

検討した下級線 PC 化構造物を営業線に敷設し、列車通過時における各軌道部材の応答値を確認した。

(1)試験条件

測定条件及び測定項目を表-4 に示す。測定は、地上側設備(レール及び締結装置)に各種センサーを設置して行った。

(2)測定結果

測定結果を表-5 に示す。表中の値は、測定データの最大値であり、全ての測定項目において、測定値が限度値を大幅に下回っていた。また、輪重・横圧を設計値見合いとして各項目を比例換算しても限度値を大幅に下回る結果となった。

5.おわりに

今後も引き続き本検討を深度化し、より効率的な PC まくらぎ化の実現を目指すこととしたい。最後に、

表-2 締結装置照査結果の例 (静止軸重 120kN)

曲線半径 (m)	締結間隔 (mm)	算出値	判定値
		上:レール圧力 下:レール横圧力 (kN)	上:レール圧力 下:レール横圧力 (kN)
800 ≤ R, 直線	1,050 (26 本/25m)	40.7 21.2	40.9 44.9
600 ≤ R < 800	1,050 (26 本/25m)	40.7 31.8	40.9 44.9
R < 600	1,050 (26 本/25m)	40.7 42.4	40.9 44.9

表-3 道床横抵抗力の評価

増加率	道床横抵抗力(1 本あたり)の増加 一般形 PC/木まくらぎ=1.51
減少率	まくらぎ本数(25m あたり)の減少 26 本/37 本=0.70
増加率 × 減少率 = 1.51 × 0.70 = 1.06	

表-4 測定条件及び測定項目

軌道構造	直線、50N レール、一般形 PC まくらぎ配置間隔 1,041mm
車両形式	キハ 40 形、キハ 47 形、キハ 120 形
通過速度	50~70km/h
測定項目	輪重、横圧、レール頭部左右変位 レール底部応力、締結装置応力

表-5 現地測定の結果

測定項目	測定値	限度値
輪重 (kN)	59.2	—
横圧 (kN)	6.5	—
レール頭部左右変位 (mm)	0.3	7.0 ⁴⁾
レール底部応力 (N/mm ²)	51.5	160 ⁵⁾
締結装置応力 (N/mm ²)	耐久限度線図 ²⁾ による(図-3)	

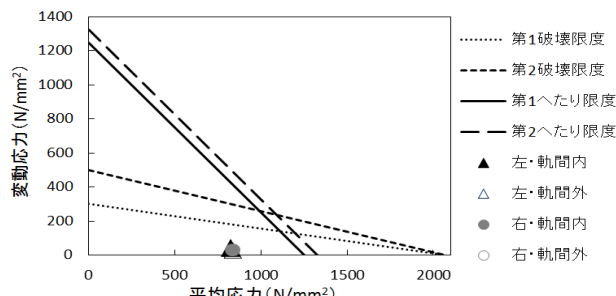


図-3 締結装置の応力照査結果

本検討に際しては鉄道総研から多大なるご指導ご支援をいただいた。ここに感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 楠田将之、田淵剛、高山宜久：PC まくらぎ化の低廉化に向けた軌道構造物の検討，土木学会第 59 回年次学術講演会，2004
- 2) 鉄道総合技術研究所 編：鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造，丸善 2012
- 3) 弟子丸将，本野貴志，片岡宏夫，若月修：急曲線部における線ばね形レール締結装置の適用区分の提案，鉄道総研報告，Vol.26，No.2，2012.2
- 4) 例えば 弟子丸将，西原敬人，飯田政巳，玉川新悟：本設利用工事用レール締結装置の開発，鉄道総研報告，Vol.28，No.6，2014.6
- 5) 土木関係技術基準調査研究会 編：鉄道に関する技術基準（土木編）第三版，日本鉄道施設協会 2014