

レール横圧載荷治具を用いた軌間拡大 リスクに対する検討

交通システム研究部 上席研究員 緒方 正剛

目次

- ◆はじめに
- ◆横圧載荷治具の検討と製作
- ◆実験用軌道における実験
- ◆評価法の検討
- ◆現地実験による評価法の検証
 - ・地方鉄道の構内の側線での現地実験
 - ・路面電車の併用軌道での現地実験
- ◆まとめ

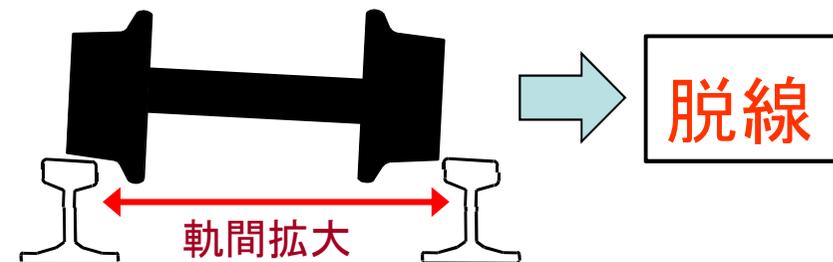
はじめに

- ✓ 急曲線部などでは列車の走行に伴い比較的大きな横圧がレールに作用
- ✓ 木まくらぎの劣化などにより犬くぎによるレール締結力が低下すると、軌間拡大が発生



【軌間拡大による脱線事故例】

平成31年1月 熊本電気鉄道
平成29年5月 わたらせ溪谷鐵道
平成29年2月 熊本電気鉄道
平成29年1月 紀州鐵道
平成28年10月 西濃鐵道

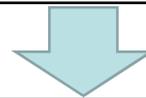


はじめに

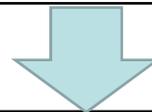
従来から、軌道検測車を用いて輪重
や横圧が作用する条件での軌間変位
を管理することは可能



コスト等の面から軌道検測車を導入する
ことが困難な地方鉄道事業者もある

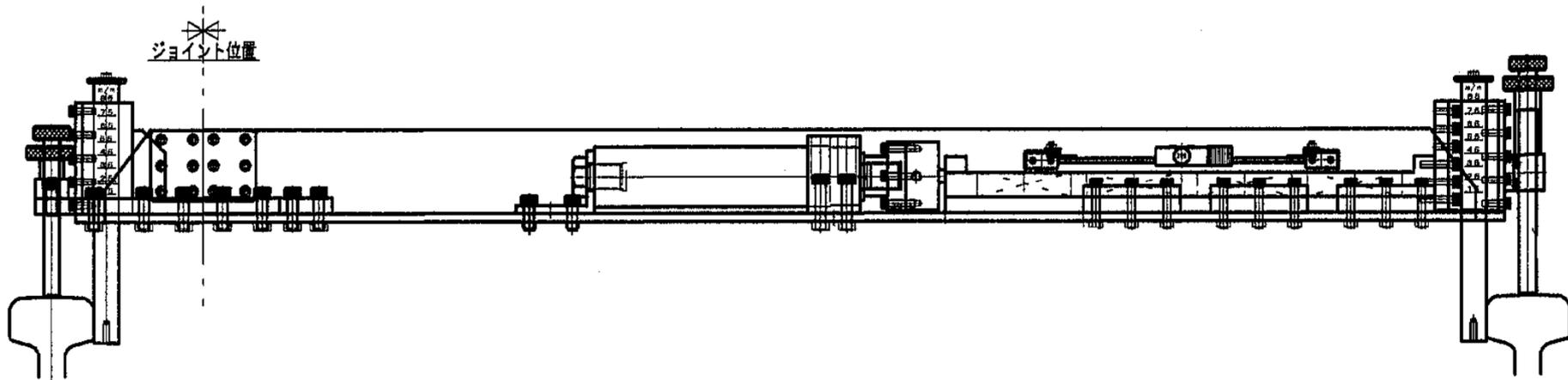


横圧方向の荷重をレールに載荷でき、かつ、載荷荷重に対す
る軌間の変化を測定できる治具を製作し、締結の不良状態を
模擬した実験を実施



実際の本まくらぎ、犬くぎ締結における軌道条件でこの治具を
用いた実験を実施し、締結状態の良否を数値で評価できるか
を検討

横圧载荷治具の検討と製作



主な仕様

- 1)油圧ジャッキ、手動ポンプ、ロードセル等で構成
- 2)载荷荷重が測定できる(最大15kN)
- 3)荷重をかけた際の変位量(軌間拡大量)が測定できる
- 4)治具は、1435mm、1067mm両方の軌間に対応
- 5)可動範囲(ストローク)は100mm
- 6)現場への運搬、軌道へのセットが容易な小型軽量
- 7)レール頭部以外は地中に埋まっても载荷可能(併用軌道対応)
- 8)商用電源は不要(乾電池使用)

実験用軌道における実験

- ✓ 室内の実験用軌道において、製作した横圧载荷治具を用いた実験を行い、レール締結状態と軌間変化の関係を把握



実験用軌道における実験

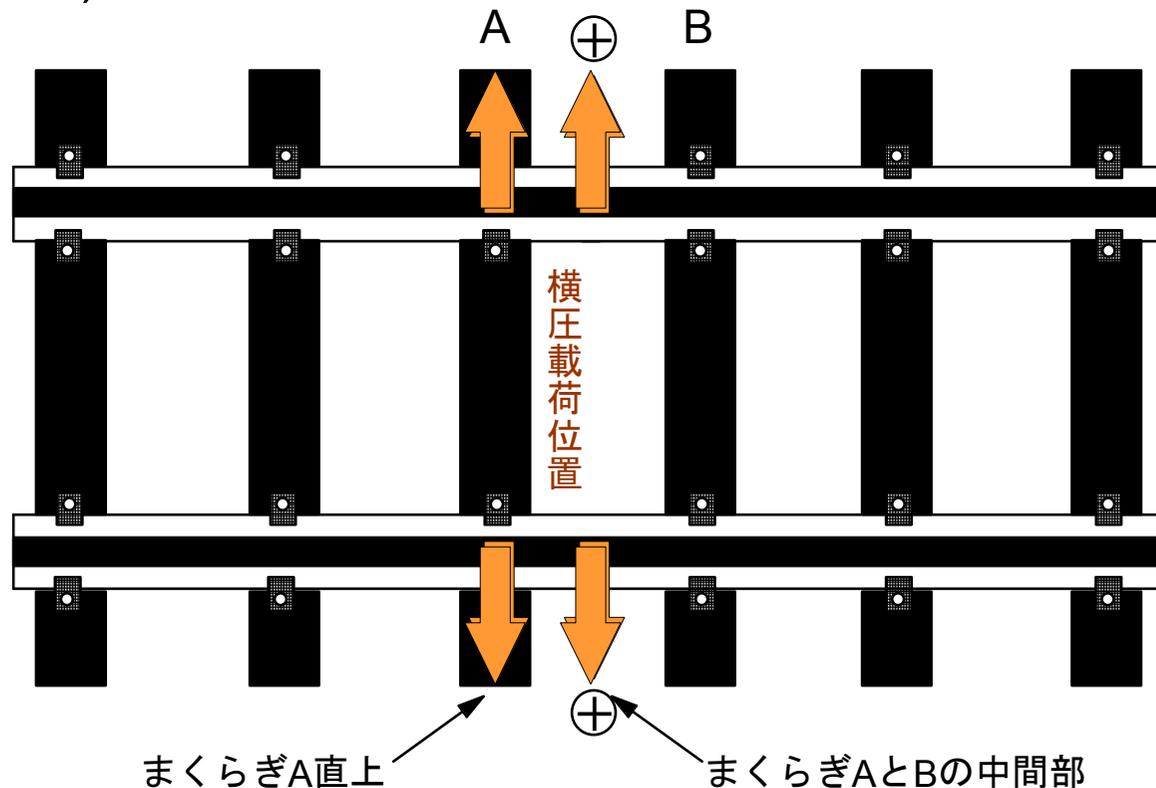
実験用軌道の諸元

軌道全長	5m(直線)
軌間	1435mm
レール種別	50N
まくらぎ種別	PCまくらぎ
まくらぎ配置 本数	6本/5m
締結装置	二重弾性締結装置(締結 トルク100Nm)
道床	なし(実験室のコンクリ ート床上に設置)

実験用軌道における実験

実験方法(軌道側の条件)

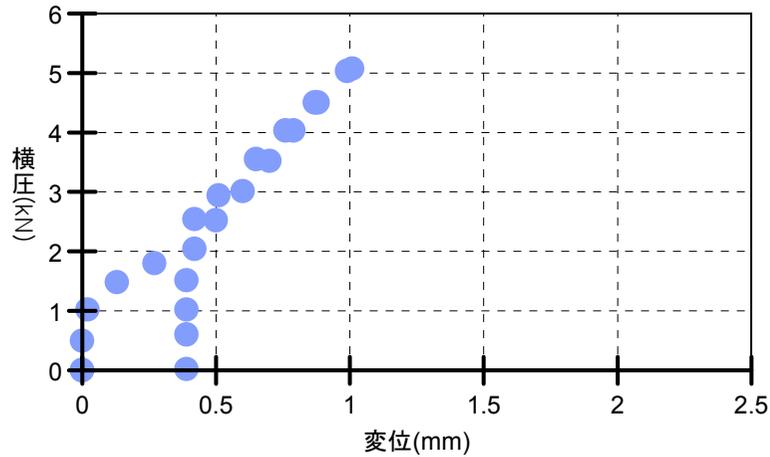
- 1)締結装置が全て正常(締結トルク100Nm)の場合
- 2)中央部2本のまくらぎの締結装置が緩んでいた場合(まくらぎ不良2本)
- 3)まくらぎ不良3本
- 4)まくらぎ不良4本



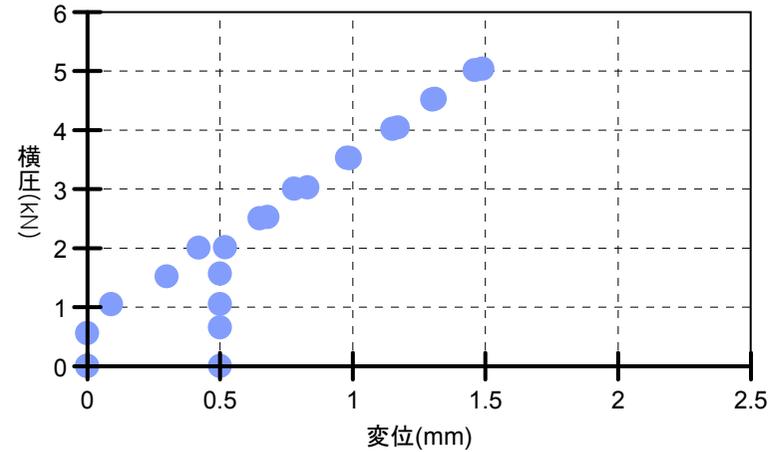
荷重は、0.5kNずつ増加させ、それぞれの荷重における変位量(軌間拡大量)を測定

実験用軌道における実験

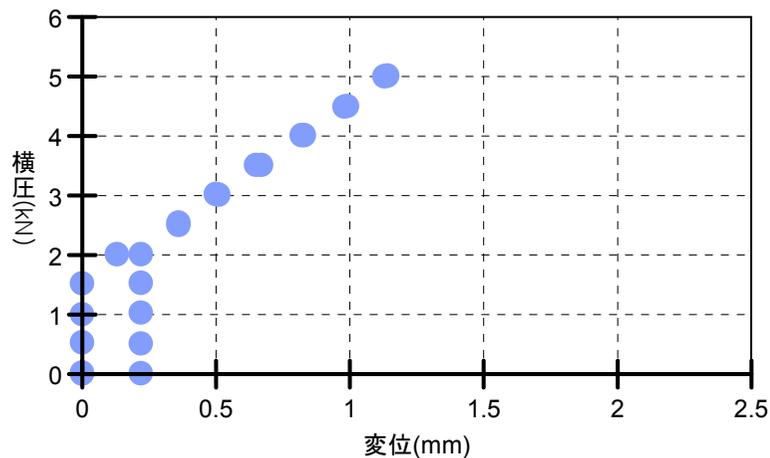
横圧と軌間拡大量の関係



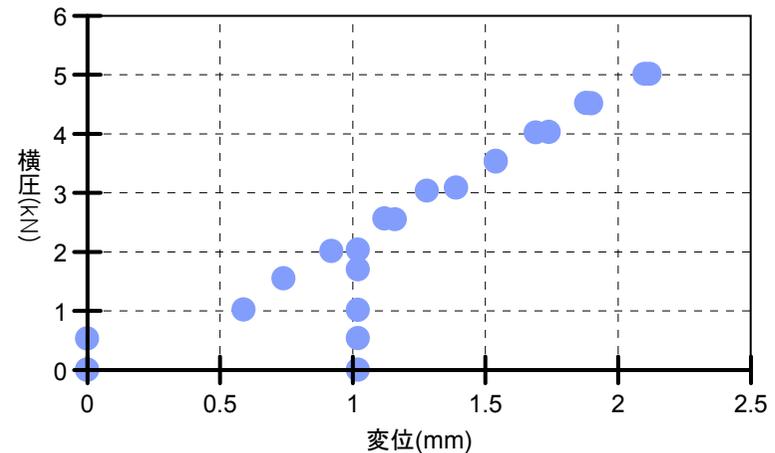
締結装置が全て正常



まくらぎ不良3本



まくらぎ不良2本



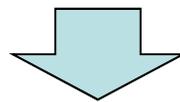
まくらぎ不良4本

実験用軌道における実験

横圧と軌間拡大量の関係

- ✓ 5kNまでの載荷におけるいずれの条件においても、荷重と変位の間にはほぼ線形の関係
- ✓ 締結状態が不良であるまくらぎの本数が増えるほど、同じ荷重による変位(軌間拡大量)が増加

- 締結装置が全て正常の場合の荷重5kNにおける変位量は1.0mm
- まくらぎ不良4本の場合の荷重5kNにおける変位量は2.1mm



レール横圧載荷治具による荷重と軌間拡大量の関係に基づき、締結状態を含むまくらぎの不良を判断できる可能性がある

評価法の検討

軌間拡大量の推定と許容値の設定

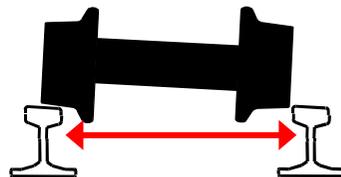
横圧と軌間拡大量の間にはほぼ線形の関係があることを前提に、車両の当該箇所通過時の発生横圧がわかれば、レール横圧載荷治具による荷重と軌間拡大量の関係に基づき、車両による横圧発生時の軌間拡大量を推定することができる

①曲線通過時の発生横圧

定常横圧(転向横圧及び超過遠心力)と横圧変動分(車両の左右動の影響等)の和として算定

②動的な軌間拡大量の許容値 (当該箇所のスラックや静的な軌間変位によって異なる)

動的な軌間拡大量の許容値＝
軌間変位の**限度値**－スラックの最大値
－軌間変位の静的値



軌間変位の**限度値**は、レールと輪軸の寸法関係から、一般に40mm程度

評価法の検討

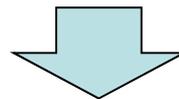
実験結果を用いた評価例

①曲線通過時の発生横圧 40kN

②動的な軌間拡大量の許容値 $40\text{mm} - 25\text{mm} - 5\text{mm} = 10\text{mm}$ の場合

まくらぎ連続不良本数(本)	2	3	4
軌間拡大量(mm)(5kN載荷実験時)	1.1	1.5	2.1
軌間拡大量(mm)(横圧40kN推定値)	8.8	12	16.8
軌間拡大量(mm)(許容値)	10	10	10
判定	○	×	×

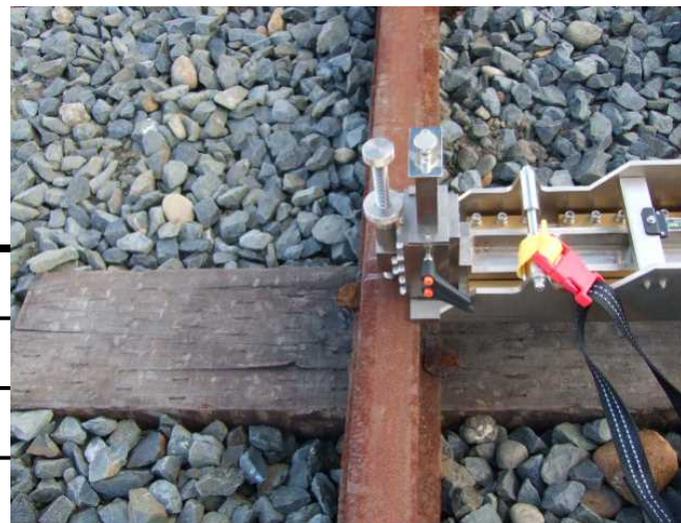
まくらぎ連続不良2本までは、横圧40kN発生時の軌間拡大量は許容値を下回る一方、まくらぎ連続不良3本以上では許容値を上回る



車両通過時の横圧と、当該箇所での載荷荷重と軌間拡大量の関係がわかれば、軌間拡大のリスクが定量的に把握可能に

現地実験による評価法の検証(鉄道事業者)

- ✓ 地方鉄道の構内の側線で現地実験を実施



軌間	1067mm			
レール種別	30kg			
まくらぎ種別	木まくらぎ			
まくらぎ配置本数	6本／5m			
締結装置	犬くぎ(1まくらぎ当たり4本)			
道床	碎石			
地点	1	2	3	4
線形	直線	曲線	直線	曲線
締結状態(目視)	不良	良	不良	良(最近打直し)

2カ所はまくらぎ及び締結の状態が比較的良好と思われる箇所、2カ所はまくらぎの劣化により締結状態が比較悪くと思われる箇所を選定

現地実験による評価法の検証



地点1(不良)



地点2(良)



地点3(不良)



地点4(良(交換後すぐ))

現地実験による評価法の検証

実験結果

地点	2	3	4
軌間拡大量 (mm) (3kN載荷実験時)	0.7	1.8	0.4
軌間拡大量 (mm) (横圧40kN推定値)	8.8	24.3	5.1
軌間拡大量 (mm) (許容値)	10	10	10
判定	○	×	○

- ✓地点1については、締結状態不良により横圧を1.5kN載荷した時点で変位が3mmに達する状況であったため、載荷を中止。
- ✓目視でも不良が疑われた地点3については、軌間拡大量は許容値を超えると推定されるため、不良と判断。ただし、地点3は直線区間であり、横圧及び実際の軌間拡大量はかなり小さくなるものと考えられる。
- ✓犬くぎ締結直後の地点4は、最も軌間拡大量が小さいことが確認された。

現地実験による評価法の検証(路面電車事業者)

- ✓ 路面電車の併用軌道敷での現地実験を実施

軌間	1435mm			
レール種別	50N			
まくらぎ種別	なし	木まくらぎ		
まくらぎ配置本数	スラブ2m	9本/5m		
締結装置	直結	犬くぎ		
道床	コンクリート	碎石		
地点	1	2	3	4
線形	直線	直線	直線	直線
締結状態(目視)	良	やや不良	不良	不良

1カ所はまくら木交換直後のと思われる箇所、3カ所は表面を見て、まくら木の劣が疑われ締結状態が比較的悪いと思われる箇所を選定

現地実験による評価法の検証(路面電車)



地点1(施工後すぐの軌道)



地点2(やや不良)



地点3(不良)



地点4(不良)

現地実験による評価法の検証(路面電車)

実験結果

地点	1	2	3	4
軌間拡大量 (mm) (3kN載荷実験時)	0.9	1.3	1.7	2.0
軌間拡大量 (mm) (横圧23kN推定値)	6.7	9.7	12.7	15.1
軌間拡大量 (mm) (許容値)	10	10	10	10
判定	○	○	×	×

- ✓舗装アスファルトのひび割れ状況等から、目視でも不良が疑われた地点3及び地点4については、軌間拡大量は許容値を超えて大きくなると推定されるため、曲線部では不良と判断される
- ✓地点2の締結状態では、判定結果は問題ないものの、曲線部では許容値に近い軌間拡大量となることも想定される
- ✓スラブ直結構造に更新された地点1では、最も軌間拡大量が小さいことが確認された

まとめ

- 車両通過時の横圧の推定値と、当該箇所での横圧载荷治具による载荷荷重と軌間拡大量の関係がわかれば、締結の劣化状況やまくらぎの連続不良本数が不明な場合であっても、まくらぎの不良等による軌間拡大のリスクが定量的に把握可能になる
- 現地実験の結果から、目視による劣化状況と横圧载荷治具による判定結果は一致しており、しかも定量的に評価できることを確認した
- 今回製作した治具は、狭軌及び標準軌、地方鉄道の軌道のほか、路面電車の併用軌道にも対応可能なことを確認した