

側線用レール締結装置の設計に用いる変動係数に関する一考察

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○額 纈 智也
〃 正会員 弟子丸 将

1. はじめに

鉄道構造物等設計標準・同解説（軌道構造）（以下、「設計標準」という.）における在来線用のレール締結装置の設計・性能照査では、本線の新設を想定し、表 1 に示すように設計軸重の半分に変動係数を乗じて設計作用を算定する。一方、最小曲線半径等の線路条件が本線とは異なる側線において軌道の新設する場合も、本線の変動係数を用いて設計作用を算定している。側線の線路条件次第では、本線を上回る輪重・横圧が発生すると考えられるが、実測値については殆ど知見が得られていない。また、筆者らは過去に側線の急曲線部（曲線半径 160m）において列車通過時の輪重・横圧の測定を実施し分析を行っているが¹⁾、測定対象は旅客用車両に限定されており在来線の設計軸重に相当するような重軸重の車両が走行した場合についてはこれまで十分に検証されていない。

そこで、本検討では側線の急曲線部を軸重の大きな車両が走行した際の輪重・横圧を測定し、分析することで側線に用いる締結装置の変動係数について考察した。

表 1 在来線のレール締結装置の設計作用（設計軸重が標準の 150kN の場合）

線 別	荷重種別	直・曲別	A 荷 重 (kN)	B 荷 重 (kN)
在来線	輪 重	直・曲	$150 \times 1/2 \times 1.3=98$	$150 \times 1/2 \times 1.15=86$
	横 圧	$R<600m$	$150 \times 1/2 \times 0.8=60$	$150 \times 1/2 \times 0.4=30$
		$800m>R\geq 600m$	$150 \times 1/2 \times 0.6=45$	$150 \times 1/2 \times 0.3=23$
		直・ $R\geq 800m$	$150 \times 1/2 \times 0.4=30$	$150 \times 1/2 \times 0.2=15$

2. 側線における測定の概要と分析結果

2.1 測定概要

側線の急曲線部において、軸重の大きな車両が通過する際の輪重および横圧の測定を実施した。表 2 に測定を実施した側線の軌道諸元を、表 3 に測定対象車両の諸元をそれぞれ示す。測定箇所は分岐器部のリード部であり曲線半径は 118m と本線上の最小曲線半径(160m)よりも半径が小さい点が特徴として挙げられる。また、測定対象列車は旅客用車両ではなく保守用車であり、その平均走行速度は 5～10km/h 程度である。また、積載時と無積載時で軸重が異なっており、最小で 83kN、最大で 136kN であった。また、測定位置は継目部から十分な距離があり、継目遊間通過時の衝撃荷重の影響は無視できるものとした。

2.2 輪重の統計分析

測定中に通過した全ての軸での輪重の測定結果を対象として整理し、統計分析を実施した。表 4 に輪重の分析結果を示す。極まれに発生する極大荷重に相当する平均値(μ)と標準偏差(σ)の 3 倍の和($\mu+3\sigma$)を算定し測定最大値と比較した結果、外軌については全車種と積載の有無を分けた場合のいずれも測定最大値が($\mu+3\sigma$)を下回った。また、全ての輪重がレール締結装置の設計作用の鉛直方向成分(98kN)以下であることを確認した。

一方、内軌では図 1 に示すように無積載時に($\mu+3\sigma$)を超過する横圧が観測されたが、その回数は 176 回中 1 回のみであった。また、内軌についても全ての輪重がレール締結装置の設計作用の鉛直方向成分(98kN)以下であった。

表2 測定箇所の軌道諸元

レール種別	JIS 50kgN レール
曲線半径	118m
カント	0mm
スラック	15mm

表3 測定対象車両の諸元

軸 重	68.1kN(積載時) 43.0kN(無積載時)
軸 距	1800mm
台車間距離	12000mm

2.3 横圧の統計分析

横圧については、台車前軸（進行方向から順に第 1 軸および第 3 軸目）と台車後軸（第 2 軸および第 4 軸目）ではその傾向が異なるため、測定値が大きく観測される傾向にある台車前軸に対応する横圧の測定結果を対象として整理し、統計分析を実施した。

表 5 に横圧の分析結果を示す。外軌・内軌共に全車種、载荷の有無で分けた場合のいずれも測定最大値は $(m+3\sigma)$ を下回った。また、 $(m+3\sigma)$ の最大値は積載ありの場合に外軌で 47.3kN となり、測定した横圧は、全て現在のレール締結装置の設計荷重(60kN)の範囲内であった。

2.4 輪重と横圧の関係

図 2 に台車前軸に対応する輪重と横圧の関係を示す。外軌、内軌ともにほぼ同様の傾向がみられた。相関係数は外軌で 0.76、内軌で 0.72 であり相関がみられた。

3. 設計輪重の変動係数の算出結果

前章に示した分析結果について、静止輪重に対する測定値の比を割増係数と定義し、レール締結装置の性能照査で用いられる変動係数（表 6）との比較により側線に適用する変動係数を検討した。検討の際は、静止輪重（P）に対して、A 荷重、B 荷重、C 荷重に相当する割増係数を $(m+3\sigma)/P$ 、 $(m+\sigma)/P$ 、 m/P とし、算定した。

輪重については、A 荷重、B 荷重において外軌側で全車種を総合した場合の割増係数が最も大きく、A 荷重、B 荷重が 1.92、1.39 となり、C 荷重の最大値は外軌の積載時が走行した場合で、1.14 となった。横圧については、A 荷重、B 荷重において外軌側で全車種を総合した場合の割増係数が最も大きく、A 荷重、B 荷重が 0.81、0.56 となり、C 荷重の最大値は外軌の積載時が走行した場合で、0.45 となった。

以上の結果より、今回の測定結果に基づき算定した側線の変動輪重・横圧係数は、共に現行の設計標準に記載されている本線上の変動係数を上回る結果となった。

過去の研究で得られた変動係数と比較すると、今回の分析結果は外軌の変動輪重係数が大きく、変動横圧係数は小さく算定された。今回の測定箇所はカントが 0mm であることから、カントが 35 mmであった過去の研究と比べて、車両の傾きがないことにより外軌輪重が増加したと考えられる。また、過去の研究では車両速度が 30km/h と今回の測定と比較して速く、これが発生横圧の増加に影響したと考えられる。

4. まとめ

本検討では、側線に敷設するレール締結装置の設計荷重の検討の一環として、重軸重の車両が側線の急曲線部を走行した場合の輪重・横圧を測定し、統計分析を行った結果より変動係数を検討した。

今回の分析により得られた結果および過去の分析結果を踏まえ、引き続き側線における適切な設計荷重の検討を進める予定である。

【参考文献】

1) 弟子丸，他：側線におけるレール締結装置設計荷重の提案，第 60 回土木学会年次学術講演会，2005 年 9 月

表 4 輪重の統計分析結果

外軌・内軌	車種	平均値	標準偏差	最小値	最大値	m+3σ
		m	σ			
外軌	積載時	77.6	4.7	70.6	86.9	91.7
	無積載時	50.7	3.4	43.6	57.8	60.9
	全車種	65.0	14.0	43.6	86.9	107.2
内軌	積載時	66.1	5.7	53.4	76.1	83.3
	無積載時	40.3	3.8	32.3	55.5	51.7
	全車種	54.0	13.8	32.3	76.1	95.3

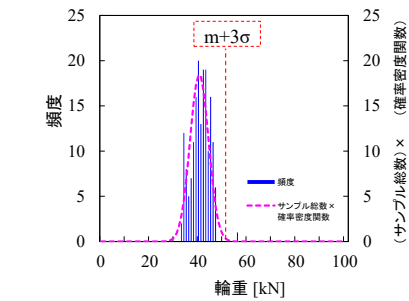


図 1 無積載時の輪重分布（内軌）

表 5 横圧の分析結果

外軌・内軌	車種	平均値	標準偏差	最小値	最大値	m+3σ
		m	σ			
外軌	積載時	29.6	5.9	16.8	39.2	47.3
	無積載時	19.2	2.8	12.0	23.7	27.5
	全車種	24.4	6.9	12.0	39.2	45.3
内軌	積載時	22.3	5.5	13.2	30.6	38.8
	無積載時	14.5	3.1	9.5	19.9	23.9
	全車種	18.4	5.9	9.5	30.6	36.2

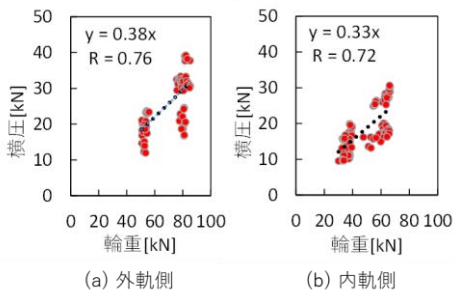


図 2 台車前軸の輪重と横圧の関係

表 6 静止輪重と設計荷重の変動係数

		(a) 輪重			
内外軌別	車種	静止輪重 (kN)	静止輪重との差		
			A荷重	B荷重	C荷重
外軌・内軌	現行標準	75	1.30	1.15	1.00
外軌	過去の研究	45	1.65	1.27	1.09
外軌	積載時	68	1.35	1.21	1.14
	無積載時	47	1.43	1.17	1.04
	全車種	53	1.92	1.39	1.12
内軌	積載時	68	1.22	1.05	0.97
	無積載時	47	1.44	1.17	1.03
	全車種	53	1.66	1.21	0.98
		(b) 横圧			
内外軌別	車種	静止輪重 (kN)	静止輪重との差		
			A荷重	B荷重	C荷重
外軌・内軌	現行標準	75	0.80	0.40	0.20
外軌	過去の研究	45	0.91	0.59	0.44
外軌	積載時	68	0.64	0.51	0.45
	無積載時	47	0.69	0.52	0.43
	全車種	53	0.81	0.56	0.44
内軌	積載時	68	0.56	0.41	0.34
	無積載時	47	0.57	0.41	0.33
	全車種	53	0.65	0.44	0.33