吊上げ式レール軸力測定法を用いた低温時作業時の絶対レール軸力の推定

鉄道総合技術研究所　正会員　○三原　輝久
鉄道総合技術研究所　正会員　玉川　新悟
鉄道総合技術研究所　正会員　西宮　裕騎

1．はじめに

吊上げ式レール軸力測定法は，一定区間のレール締結装置を緩解したロングレールを鉛直方向に吊上げ，吊上げ荷重とレール扛上量を測定することでレールに作用している引張軸力を測定するものである．海外では吊上げ式軸力測定装置（VERSE）[1]を用いた手法が開発され，国内でも本装置によるレール軸力の測定や測定原理に関する理論的な検討が行われ，精度良く軸力を測定可能なことが報告されている[2),3)]．

本研究では，VERSE を参考として，山越器，レールクランプ，ロードセル，変位計およびデータロガーにより構成した自作の吊上げ式軸力測定装置を用いて，営業線における現地測定を行い，レール軸力の絶対値（以下，絶対レール軸力）と中立温度の推定を行った．

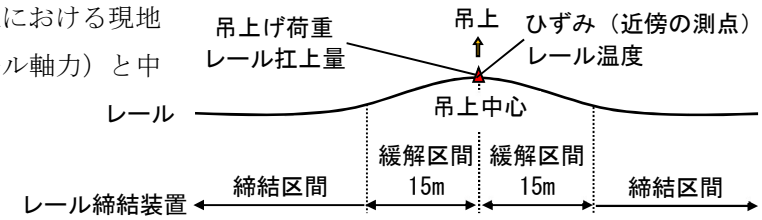


図 1　測定方法

2．測定事例

2.1　測定目的

鉄道総研では，軌道の更なる保守省力化を見据えた検討のひとつとして，理論的な根拠に基づく低温時の保守作業制限の体系化を目指している．本検討の一環として，過去には曲線半径 800m のロングレール区間で，低温時作業を行った際のレール軸力の変化とレール曲線内方への変位を現地試験により把握している[4)]．しかしながら当該箇所のレール軸力は，ひずみゲージの貼り付け時を 0 とした相対値である．このため，上記の作業時における絶対レール軸力と中立温度は不明であった．そこで本研究では，吊上げ式レール軸力測定法を用いて低温時作業時の絶対レール軸力と中立温度を推定することとした．

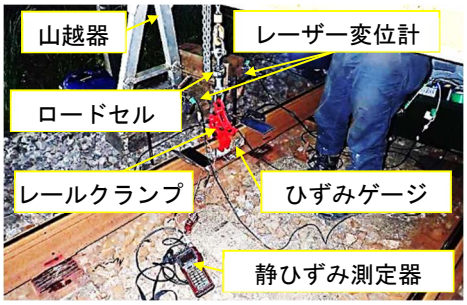


図 2　測定装置の構成

2.2　現地測定

図 1 に示すように，レールの吊上げ中心から前後 15m のレール締結装置を緩解し，吊上げ荷重とレール扛上量，レール温度およびレールのひずみを測定した．吊上げ中心は図 2 のように測定装置を配置した．吊上げ箇所は外軌側 1 箇所(A 点)と内軌側に 2 箇所(B 点，C 点)とした．当該箇所は，前述の低温時作業を行った箇所であり，レールの腹部にはひずみゲージが貼付・保護されている．レールのひずみは，静ひずみ測定器を用い，レールの温度は放射温度計を用いて測定した．また，吊上げ荷重はロードセルを用い，レール扛上量はレーザー変位計を用いて測定した．測定手順は「吊上げ中心から前後 15m のレール締結装置を緩解→レールのひずみと温度を測定→吊上げ＆吊上げ荷重とレール扛上量を連続測定開始→吊上げ荷重 12kN で吊上げ停止→レールを降下→連続測定終了」とした．表 1 と図 3 にレールのひずみとレール温度および吊上げ荷重とレール扛上量の測定結果を示す．

表 1　レールのひずみとレール温度

吊上げ中心A		吊上げ中心B		吊上げ中心C	
ひずみ（×10⁻⁶）	温度（℃）	ひずみ（×10⁻⁶）	温度（℃）	ひずみ（×10⁻⁶）	温度（℃）
1583	16.2	403	16	1692	15.8

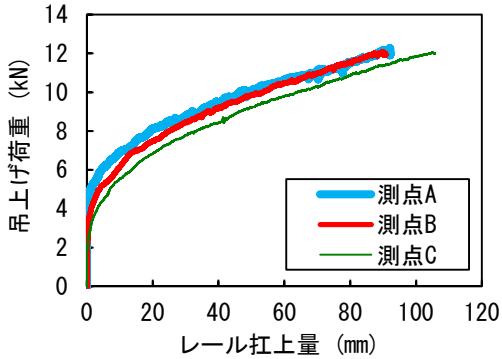


図 3　吊上げ荷重と扛上量の関係

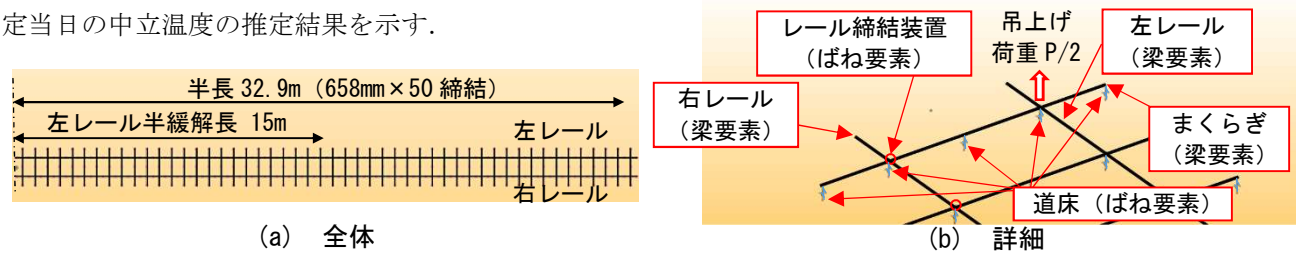
キーワード　ロングレール，レール軸力，レール軸力測定法，中立温度
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　（公財）鉄道総合技術研究所　軌道構造　ＴＥＬ042-573-7275

© Japan Society of Civil Engineers

2.3　レール吊上げ解析

吊上げ式レール軸力測定法によるレール軸力の推定には，今回の測定方法と軌道条件を再現した FEM 解析モデルを用いた．図 4 にレール吊上げ解析モデルを示す．解析モデルはレール吊上げ中心を対称にしたハーフモデルとし，レールやまくらぎ，レール締結装置や道床を梁要素やばね要素でモデル化した．

図 5 に現地測定と解析で得られた吊上げ荷重 P と吊上げ点のレール扛上量の関係を示す．本解析では，温度変化量を 0℃～-35℃の範囲で与えている．得られた解析結果から吊上げ荷重 P＝10～12kN の範囲における吊上げ荷重－レール扛上量の傾きと温度変化およびレール軸力の関係を整理した．図 6 に結果を示す．また，表 2 にレール吊上げ測定当日の中立温度の推定結果を示す．



(a)　全体　　(b)　詳細

図 4　レール吊上げ解析モデル

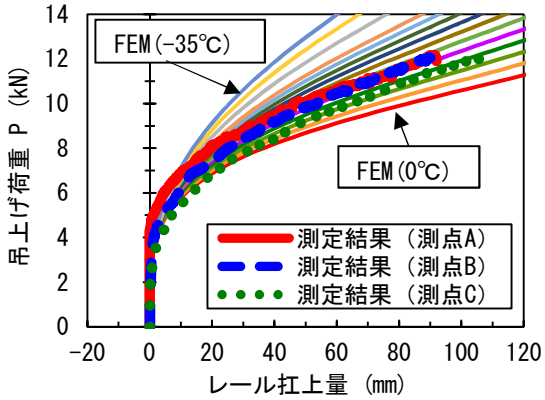


図 5　測定結果と解析結果

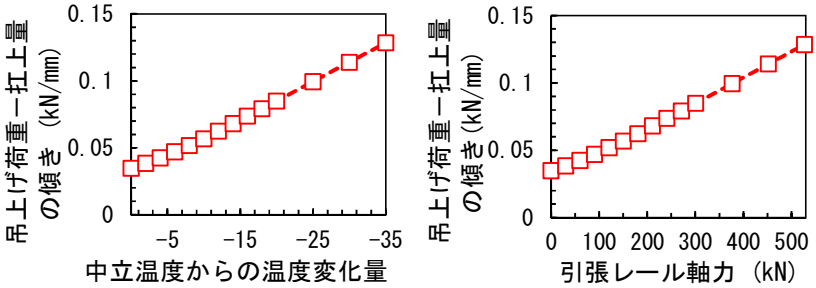


図 6　吊上げ荷重の傾きと温度変化量，レール軸力の関係

表 2　レール吊上げ測定当日の中立温度の推定値

項　目	単位	吊上げ中心		
		A	B	C
絶対レール軸力	kN	85.85	138.57	114.47
中立温度	℃	21.9	25.2	23.4

2.4　低温時作業時の絶対レール軸力と中立温度の推定

2.3 節で得られた結果をもとに，低温時作業時に測定したレール温度とレールのひずみの結果から，低温時作業時の絶対レール軸力と中立温度を推定した．表 3 に推定結果を示す．

絶対レール軸力と中立温度は，本測定法によりそれぞれ 304.3kN～341.8kN と 23.4℃～24.1℃と推定された．これにより，低温時作業に伴うレール軸力の変化およびレール曲線内方への変位と，測定当時の絶対レール軸力との対応関係が明らかとなった．

表 3　低温時作業前の絶対レール軸力と中立温度の推定

実施事項	項目	単位	レール吊上げ中心		
			A	B	C
①レール吊上げ作業時	ひずみ	$\times 10^{-6}$	1583	403.0	1692.0
	絶対レール軸力	kN	85.85	138.6	114.5
②低温時作業時	ひずみ	$\times 10^{-6}$	2013	803.0	2121.0
	レール温度	℃	-	1.4	1.3
②→①の変化量	ひずみ	$\times 10^{-6}$	-430.0	-400.0	-429.0
	レール軸力	kN	-218.4	-203.2	-217.9
低温時作業時の推定結果	絶対レール軸力	kN	304.3	341.8	332.4
	中立温度	℃	-	24.1	23.4

※レール吊上げ中心 A は②のレール温度を測定していないため，中立温度の推定不可．

3．まとめ

本稿では，吊上げ式軸力測定装置を用いて，吊上げ荷重とレール扛上量の関係を測定するとともに，FEM 解析を行い，絶対レール軸力と中立温度を推定した事例を示した．今後は，必要に応じて本測定法を研究や調査等に活用していくとともに，測定事例を増やしていきたい．

参考文献

1)Vortok International:An Operators Guide to VERSE-A non-destructive Method of Stress Free Tempera-ture(SFT)Measurement、2013
2)田中洋介他：吊上げ式レール軸力測定法に関する解析的検討__鉄道工学シンポジウム論文集__pp.112-119、2011
3)元好茂他：吊上げ式レール軸力法を用いた軸力測定試験__鉄道工学シンポジウム論文集__pp.120-123、2011
4)玉川新悟他：低温時のロングレールの保守作業に伴うレール軸力の変化とレール内方変位の把握__土木学会第 74 回年次学術講演会__2019

© Japan Society of Civil Engineers