

線ばねクリップの発生応力の低減方法に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 ○弟子丸 将

鉄道総合技術研究所 正会員 本野 貴史

鉄道総合技術研究所 正会員 片岡 宏夫

1. 目 的

近年、線ばね形レール締結装置に使用される線ばねクリップ（以下、「クリップ」とする）の折損事例が報告されている。その原因は主に急曲線区間での車輪横圧の作用による疲労破壊と腐食環境下における応力腐食割れの2つに大別されることが明らかになっている¹⁾²⁾。このうち、急曲線区間に敷設されたクリップの折損対策を目的として、クリップの主たる折損部位であるフロントアーチ部に生じる締結時応力を低減する方法を提案し、平均応力の低減効果を検証した。

2. 線ばねクリップの損傷と締結時応力および平均応力

図1にe2009形クリップの外観と部位の名称を示す。クリップは締結治具を用いてショルダーと呼ばれる部位に締結されるが、その際クリップに大きな応力が生じる。フロントアーチ部に生じる締結時応力は、ばね鋼（SUP7もしくはSUP9）の真破断強度（1750N/mm²）には達しないものの概ね800～1000N/mm²と非常に高い値を示す。これに伴い平均応力も高い値となるため、平均応力と変動応力を用いてばね鋼の耐久限度線図によるクリップの応力照査を行うと、列車通過時の車輪横圧が大きい場合に変動応力の余裕が少なく、第2破壊限度を超過しクリップが損傷する可能性がある。したがって、締結時応力の低減により平均応力を低減し、変動応力の余裕を増すことにより（図2）クリップ折損の抑制が期待できると考えた。



図1 クリップの概要

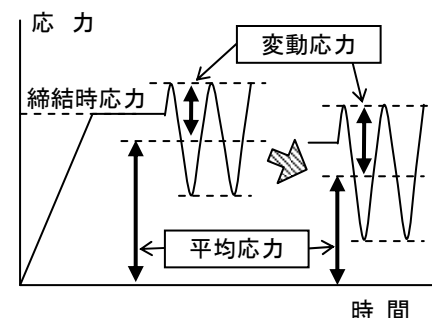


図2 クリップの発生応力の概念

3. クリップに生じる締結時応力および平均応力の低減方法

締結時応力はクリップの形状やレール押さえ位置によりほぼ決まることから、締結時応力および平均応力の低減方法として次の二つを提案した。

- ① 現行品とは異なる形状でレール押さえ力の低いクリップを使用する。
- ② 現行品を使用し、レール下の軌道パッド厚さを減じる。

①については、PR447A形クリップを選定し、各種試験によりe2009形クリップとの比較を行った。②については、クリップはe2009形とし、軌道パッド厚さを従来の10mmから8mmに減じた場合の効果を検証した。

4. 実締結状態での検証

クリップに発生する応力状態を把握するため、ひずみゲージを貼付したクリップによる1締結分の試験軌きょうを用いて、以下の各節に示す載荷試験を実施した。表1に試験体のクリップ一覧を示す。試験条件は、50kgNレールの有道床軌道（PCまくらぎ区間）、および60kgレールの直結系軌道を模擬した条件とした。

(1) 静的載荷試験

レールおよび線ばね形レール締結装置を1締結分模擬した試験体を構築し、クリップ種別毎にレール締結装置の設計A荷重およびB荷重³⁾に相当するレール圧力および横圧力が作用するよう荷重および載荷角度の条件を求め、図3に示す静的載荷を実施し平均応力と変動応力を把握した。なお、本試験の実施に先立ち、クリップの種別毎にレール締結装置の各種ばね定数を把握し、試験条件を算出する際に用いた。

図4に試験結果を示す。有道床軌道（ケースA～C）については、e2009形クリップをPR447A形クリップに
キーワード 線ばね形レール締結装置、クリップ、耐久限度線図、応力照査、平均応力

連絡先 〒185-8541 東京都国分寺市光町2丁目8-38 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 TEL042-573-7275

表1 試験を実施したクリップおよび試験条件

項 目	単 位	試験ケース名						
		A	B	C	D	E	F	G
線 形	—	曲線半径 600m 以下						
レール種別	—	50kgN レール			60kg レール			
軌道構造	—	有道床軌道(PC まくらぎ)			直結系軌道			
クリップ種別	—	e2009		PR447A	e2009		PR447A	
レール締結間隔	mm	806(31 本/25m 相当)			750			
軌道パッドばね定数	MN/m	110			50			
軌道パッド寸法	mm	180(長さ) × 125(幅)			270(長さ) × 140(幅)			
軌道パッド厚さ	mm	10	8	10	10	8	10	8

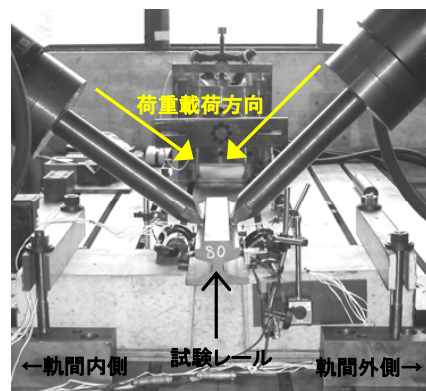


図3 荷重試験の実施状況例

変更することで明確な平均応力の低減効果が確認された。しかし、同種のクリップで軌道パッド厚さを減じた場合には明確な低減効果を確認することはできなかった。一方、直結系軌道（ケース D～G）については、クリップ種別の変更による平均応力の低減効果が確認できなかったのに対し、軌道パッド厚さを減じることにより明確な平均応力の低減効果が確認された。このような差が生じた理由として、クリップの応力状態は締結後のクリップの姿勢等の要因によってばらつきが大きかったことが考えられる。しかし、提案した平均応力の低減方法により、全体として概ね低減効果を確認できた。

(2) 疲労試験

(1) で用いた荷重・載荷角度条件により繰返し載荷を実施し、クリップの耐久性および試験後のレール締結装置の構成部材の劣化状態について検証を行った。なお、載荷回数は最大 100 万回、載荷周波数は 5.5Hz とした。図 5 に載荷開始後 1 万回経過時の応力状態を示す。図 4 に示した静的載荷試験の結果と比較して、全体的に平均応力が低下する一方、変動応力が増加する傾向にあることが確認された。

表 2 に疲労試験結果を示す。有道床軌道（ケース A～C）に着目すると、e2009 形クリップと厚さ 10mm の軌道パッドを組み合わせた場合にクリップが折損に至ったのに対し、クリップ種別を変更した場合、および軌道パッド厚さを減じた場合のいずれについても、クリップは折損せず目標載荷回数を達成した。このことから、提案した平均応力の低減方法はいずれも有効であることが明らかとなった。また、直結系軌道（ケース D～G）については、いずれの試験ケースも疲労試験の目標載荷回数を達成した。なお、構成部材については全てのケースで損傷等は認められなかった。

5. まとめ

締結時応力および平均応力に及ぼすクリップの種別と軌道パッド厚さの影響を検討した結果、平均応力の低減方法について一定の効果を確認した。今後これらの方法を定量化、深度化し、クリップの折損リスク低減について更に検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 野本他, 「急曲線部における線ばね形レール締結装置の適用について」, 土木学会第 65 回年講, 2010 年 9 月
- 2) 和田他, 「既設締結装置（線ばね）の余寿命評価」, 土木学会第 65 回年講, 2010 年 9 月
- 3) 須田他, 「新しい線路」, (社) 日本鉄道施設協会, 1997 年

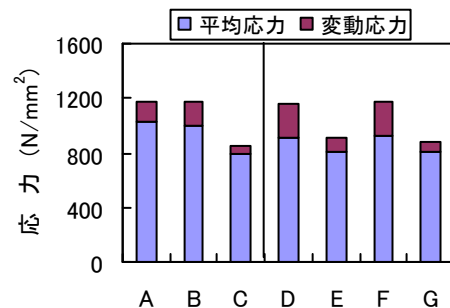


図4 静的載荷試験結果

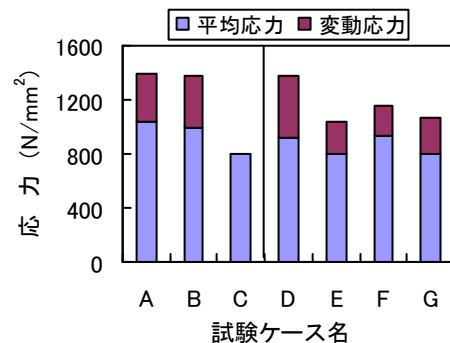
図5 1万回経過時の応力状態
(※ケース C の変動応力はデータ無し)

表2 疲労試験結果

項 目	単 位	試験ケース名						
		A	B	C	D	E	F	G
レール種別	—	50kgN レール			60kg レール			
軌道構造	—	有道床軌道			直結系軌道			
クリップ種別	—	e2009		PR447A	e2009		PR447A	
軌道パッド厚さ	mm	10	8	10	10	8	10	8
疲労試験結果	—	×	○	○	○	○	○	○

※ 凡例：○→100 万回の載荷達成、構成部材に異状なし

×→載荷途中でクリップ折損