

IV-2 経年レールの残留応力について

東京大学 正員 工博 八十島教之助

東京大学 正員 修士 〇町井且昌

1. 要旨 著者が前に測定した使用前レールの残留応力は、大きさが 20 kg/mm^2 に達するものがあり、活荷重による応力と競う大きさを示した。しかしそれらが使用中に如何なる挙動を示すかについては明らかでなかったため、今度は現場で敷設されたレールの残留応力を重層的に測定し、それらの経年との関係を残留応力の減少率を定義して検討した。

2. 使用后レールの残留応力 実測結果によると使用后レールの残留応力は減少の傾向が見られる。(図-1) しかし使用后レールの使用前の残留応力が明らかでないため厳密な意味での減少率とはいえないが新しい普通レールの残留応力は頭頂面で 12 kg/mm^2 に集中しておりその他の部分も分散が少ないので使用后レールの残留応力を、 12 kg/mm^2 で除したものを減少率と定義し比較の対象とした。

試料のレールは、東海道線で1年、2年、4年、9年の間敷設された経歴を持つものを採用し、センターの摩耗の度合をmmで表わしたものを摩耗度として減少率との関係を示した。(図-2) これによると残留応力は、最初の1年で大きく減少し(新しい品の20%)4年後でほぼ安定の状態に入る。その際、一旦減少した値は、又増加して新しい時の30~40%で定常状態に入るものと思われる。又通トンとの関係は、強い相関が見られない。

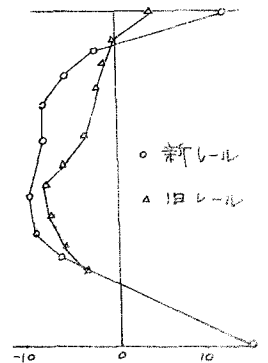


図-1
ハダツツカレール新旧の
残留応力 (kg/mm^2)

使用后レールの残留応力減少の理由は、摩耗による欠損によってその部分の応力が解放される事と、レールの車輪との接触圧力によって塑性変形を生じ同時にレール鋼の材質変化が、予想される。レールが使用当初に著しい塑性変形を受けて(鉄研報告、伊藤氏 No.211)変形し、同時に加工硬化して接触圧力による変形に対する抵抗を増加して定常状態に入る過程は、残留応力の使用中の挙動と似ている。

部分的に解放された残留応力によってレールには再びキョウセイ前と逆の不整な曲りを生ずるはずであるが、これは現場で認められる。後述するように、残留応力の発生のメカニズムは、ローラーによる接解圧力でうまく説明できるので、使用中にも当然これと同じ効果が車輪によって与えられるものと思なければならぬ。

普通レールでは頭部に長手方向に引張りの残留応力があり、車輪による断面方向との応力が

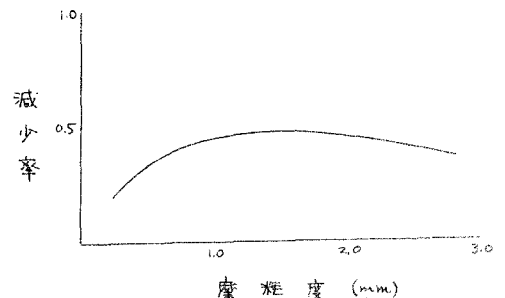


図-2 踏面の摩耗と減少率との関係

図-3のように重なりあい、頭部にくさびを打つものと同じ状況になる。

3. 普通レール残留応力の発生機構 圧延されたままのキョウセイされないレールの測定

結果は、頭頂部で -4 kg/mm^2 に満たず、冷却応力の特徴的な分布を示している。すなわち冷却速度の大きい部分では圧縮応力、冷却の遅れる部分では引張り応力が残っている傾向が見られる。(図-4)

4. 残留応力の発生機構 既述の論文において指摘されている通り (H. Meier の如き) 残留応力の主たる発生源は、圧延後の不整な曲がりな冷間でキョウセイする過程であると考えられている。レールローラーキョウセイは普通の塑性曲げ加工として理解するときの残留応力は実測の結果と著しく違っている。

すなわち弾性限界を越えた曲げを与えた場合圧縮側には引張りの、又引張り側には圧縮の残留応力が生じ、その分布は引張り、圧縮が交代で現われるはずである。然るに実際には、曲げによる引張り側に引張り残留応力が見られる。(圧延直後のレールは一般に頭部を内側にして湾曲している。従ってこれをキョウセイする為には頭部に引張り、底部に圧縮の応力を与えるような曲げが必要である) この理由は例えば、ローラーキョウセイは純粋な曲げ加工でないこと、交互に繰り返される曲げの過程におけるバウシング効果、及個々に発生した残留応力の相互の影響などである。著者の考えでは、特にローラーの接触圧力の影響で接触部分の近傍で局所的な塑性変形が進み、これが固有応力源になっている。キョウセイ用のローラーは上に4個、下に3個交互にかみ合っているが、このうちの1組の曲げ過程についてみると、荷重は、計算によると 70 t 以上になっておりその際の接触面の大きさは、

約 9 mm , 18 mm の短径及長径を持つ楕円になる。これはレールのディメンションに比べると、十分小であるからレールは長径長向の二次元半無限弾性平面と考えることができる。前述の荷重が 70 t のとき最大接触圧力は、計算上 216 kg/mm^2 に達する。この事は曲げ応力と同程度に、又はそれ以上に接触圧力がレールの塑性変形に寄与している事を暗示している。(このモデルは、図-3 でも適用した。)

Prandtl の解を仮定すると、図-5 に示す如くそれらが曲げ応力と重なり合って Tresca の塑性条件を満足しやすい状態を作り出す部分が生ずる。従って塑性変形はこの部分で最も効果的に進行し、引張り曲げ応力のみの影響を受ける側は、変形が遅れるのではないだろうか。実際キョウセイ前のレールを、頭おしで荷重をかけた後の残留応力は、頭部で引張り、底部でも引張り、首部と上腹部で圧縮応力が残っていた。又同じ頭部でも中央部から偏るにつれて残留応力が減少することも、前述の仮設を裏づけることにならないだろうか。レールの底部の残留応力が中央部と両端部とで特に著しく変化している。

5. 測定法—補足 レールにあらかじめストレインゲージをはっておき除々に短かく切っていくと長さ約 $60 \sim 80 \text{ mm}$ で解放歪が収斂する。しかも長さ約 $150 \sim 200 \text{ mm}$ 附近から大きな値を示すようになる。著者は最初の長さを(中央部の残留応力が乱されない長さ) 600 mm 以上と決め最終的に $60 \sim 90 \text{ mm}$ に切って残留応力による解放歪とした。

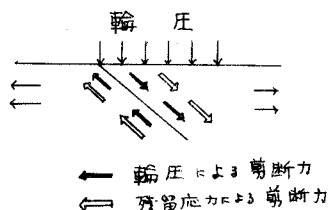


図-3 フランジの応力状態

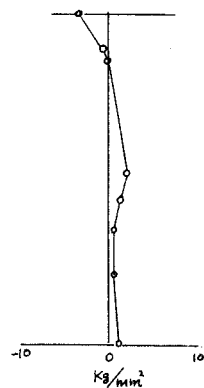


図-4 キョウセイ前レールの残留応力(ハダ)

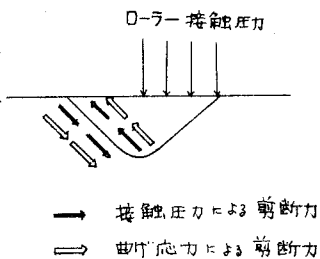


図-5 発生機構のモデル