新幹線用ノーズ可動クロッシングのき裂進展特性

鉄道総合技術研究所　正会員　○細田　充
鉄道総合技術研究所　正会員　吉野　哲也
鉄道総合技術研究所　正会員　片岡　宏夫

1．はじめに

新幹線用ノーズ可動クロッシングの管理には労力を要するため，効率的な傷の管理手法が求められている。そのためには傷の大きさと残存寿命の関係を把握する必要がある．筆者らは過去に，可動レールの第２ロッド近傍部と断面変化部（図１）の列車通過時の発生応力およびき裂進展試験結果について報告した[1]．本報告ではき裂進展試験結果の試験数を増やして把握したき裂進展特性について述べる．

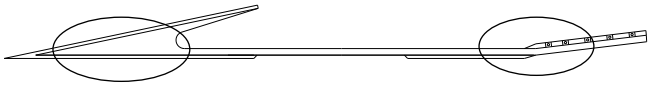
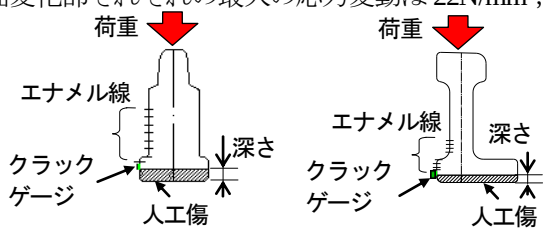


図１　可動レール全体図

2．き裂進展試験

過去に実施した現地応力測定結果を基に[1]，第２ロッド近傍部および断面変化部に着目しき裂進展特性を把握するため，き裂進展試験を実施した．試験は３点曲げの疲労試験とし，供試体の底部には鉛直方向に1㎜幅のスリット状の人工傷を設定，レール長さ方向において傷の位置が試験機の載荷点直下に位置するように設置した[1]．

き裂進展の測定は，人工傷の直上に5㎜幅のクラックゲージを貼り付け，それより頭部側についてはき裂が進展する方向が不明であるため，レール長手方向に約200㎜ の長さのエナメル線を貼り付けて行った．また，高さ方向の測定範囲は，底面から55㎜もしくは85㎜までとした．図２に測定状況を示す．表１に各供試体の試験条件を示す.現地応力測定結果から第２ロッド近傍部，断面変化部それぞれの最大の応力変動は22N/mm^2，



(a) 第２ロッド近傍部　　(b) 断面変化部

図２　各供試体の測定状況（断面図）

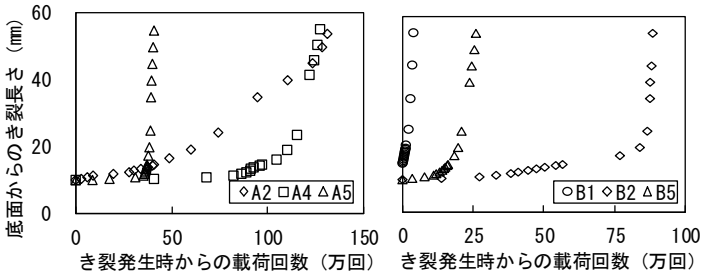
表１　試験条件

供試体		応力振幅※ (N/mm^2)	人工傷深さ (mm)	支持間隔 (mm)
第２ロッド近傍部	A2	50	10	1100
	A4	50	10	1100
	A5	75	10	1100
断面変化部	B1	200	15	1800
	B2	100	10	800
	B5	100	10	800

※傷の無い状態の底部の応力振幅

95 N/mm^{2}であり，供試体A2～A5，B1では促進試験となっている．試験は両供試体とも計５体実施しているが，本稿ではクラックゲージを貼付けた側を起点としてき裂が進展した３体のデータについて分析した．

得られた試験結果を図３に示す．き裂進展速度は各供試体でばらつきがあり，底部から腹部へ達すると速度が急速に増大しているが，既報告でも示したように，全ての供試体においてレール高さの半分までき裂が進展しても，普通レールで見られるような急進的な破断には至らなかった[1]．これは，高マンガン鋼が高い靭性と延性を持っているためと考えられる．



(a) 第２ロッド近傍部　　(b) 断面変化部

図３　試験結果

3．実軌道におけるき裂進みの算定

上記の試験結果にはばらつきがあるが，これらの結果を考慮して実軌道におけるき裂進みを推定するため，以下の理論検討を行った．

まず，レール断面形状を断面係数とレール高さが合うように矩形断面へと置換え，矩形断面の梁に曲げが作用するときの理論式(1)から応力拡大係数 K_I を求めた[2]．その後，既往の研究において示されている高マンガン鋳

キーワード　ノーズ可動クロッシング，高マンガン鋳鋼，き裂進展
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 軌道技術研究部(軌道構造)　ＴＥＬ042-573-7275

鋼の疲労き裂進展特性[3]を基に，ばらつきを考慮して最大および最小の疲労き裂進展則を求め，これに応力拡大係数K_Iを代入して，き裂進展速度を算出した．これを解析条件①とする．

$$K_{\mathrm{I}} = \sigma\sqrt{\pi a} \times F(\alpha) \quad \cdots \quad (1)$$

ただし，a ：き裂長さ，σ ：底面の曲げ応力

$F(\alpha)$：き裂長さと梁の断面寸法に依存する係数

図４に算定値と試験値の比較を示す．なお試験値は底部におけるき裂進展速度を最小二乗法により求めた．図より試験値は算定値の範囲内にほぼ入った．このことから本解析手法は妥当であり，第２ロッド近傍の本試験とは異なる位置についても，発生応力とレール断面形状から，おおよそのき裂進展速度を推定できる見通しを得た．

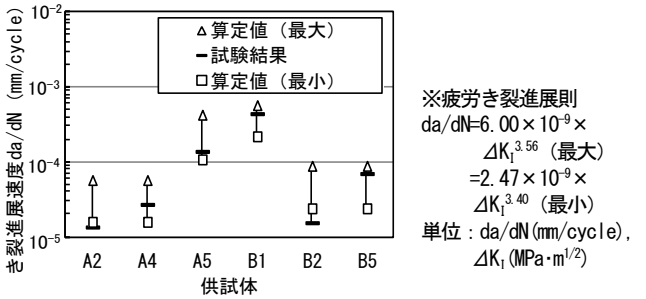


図４　算定値と試験値の比較

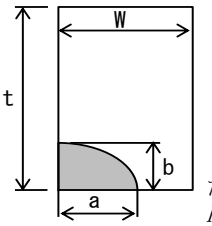
ここで，実軌道におけるき裂進みを求めた．まず，想定した応力として，表２に示す現地試験から得られた底側面の応力を正規分布と仮定した後，底面位置の値に換算して用いた．次にその値を理論式(1)に代入して応力拡大係数K_Iを求め図４に示した最大の疲労き裂進展則に代入して，き裂進展速度を算出した．

表２　現地試験から得られた応力（単位 N/mm²）

断面位置	平均値 m	標準偏差 σ	最小値	最大値	m−3σ	m＋3σ
第2ロッド近傍部	18.1	1.7	14.3	22.0	12.9	23.3
断面変化部	85.7	4.4	76.7	95.2	72.4	99.1

上で述べた試験および解析条件①では，スリット状のき裂を想定したが，断面変化部については軌間内外の発生応力の差が大きいため，き裂の形状が異なる可能性がある．そこで，円形のき裂形状を仮定し，図５に示すような楕円形状のき裂に対する理論式(2)[2]を用いて応力拡大係数K_Iを求め，最大の疲労き裂進展則に代入してき裂進展速度を試算した．これを解析条件②とする．ただし，レール断面形状は解析条件①と同様に矩形断面へと置換えた．

以上により求めた第２ロッド近傍部および断面変化部のき裂進みを図６に示す．なお，き裂長さの初期値は1㎜ とした．２つの部位のき裂進みには大きな差異があり，断面変化部では数十万回で腹部に達する結果となった．これは，断面形状の違い等による発生応力の差が大きいためである．また，解析条件①と比較すると，解析条件②はき裂長さ 10～30㎜ に達する繰返し数は約３倍となり，き裂形状によりき裂進展速度が異なる可能性が示された．



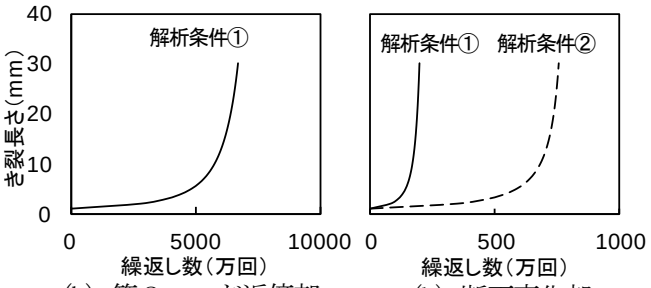
$$K_{\mathrm{I}} = \frac{\sigma\sqrt{\pi b}}{E(k)} Fc$$

$$E(k) = \left[1 + 1.464\left(\frac{b}{a}\right)^{1.65}\right]^{1/2} \quad \cdots \quad (2)$$

ただし，σ ：底面の曲げ応力，

Fc：き裂の形状と断面の高さに依存する係数

図５　解析条件②のき裂の想定



(b) 第２ロッド近傍部　　(b) 断面変化部

図６　解析結果

き裂進展速度について，本試験結果では，腹部ではき裂速度が速くなる傾向が得られているが，き裂が底部付近ではほぼ一定であったレール変位が，底面からのき裂長さが約 30㎜ を過ぎると増大した．このことから，実軌道において支持間隔が狭く，大きな変位が生じない場合には腹部から頭部へかけてのき裂進みは，本試験結果と比べて遅くなる可能性がある．き裂の形状による差異および腹部のき裂進展速度等については，さらに検討の余地があると考えられる．

４．まとめ

き裂を加工したノーズ可動クロッシングの曲げ疲労試験により，部位ごとのおおよそのき裂進みを把握することができた．

参考文献

1) 吉野他, 新幹線用ノーズ可動クロッシングのき裂進展特性の一考察，土木学会第 66 回年次学術講演会，4-121，(2007)

2) S.AOKI 他，STRESS INTENSITY FACTORS HANDBOOK ，VOL1-2，(1987)

3) 柏谷他, 高マンガンオーステナイト鋳鋼の疲労き裂　進展挙動とX 線フラクトグラフィ，材料，VOL49，PP722-734(2000)