

高速走行時の列車動揺特性評価



輪田 朝亮*



小関 昌信*

地震や動揺申告などに基づく運転規制が発令された後、通常運行への復旧のために行う安全性確認は、地上設備点検とともに、車両動揺加速度測定に基づく速度向上判定により実施されている。判定は、速度段ごとに車両動揺加速度を測定し、測定速度に応じた運転規制解除基準を確認する方法による。

当社では、2012年度末より営業速度の320km/h化を予定しており、従来どおり車両動揺加速度と列車速度の関係から速度向上判定する手法が適用可能か評価した。通常とおりに整備された軌道状態では、評価に適したデータを得ることが難しいため、軌道に人為的に変位を設定し、その区間において走行試験を実施し、走行安全性指標（横圧・輪重比）や車両動揺加速度を測定し、両者の関係や、速度と列車動揺加速度の関係について分析した。当社管内では、昭和57年に開業前の上越新幹線を実施して以来、約30年ぶりに軌道変位設定試験の実施となった。

●キーワード：運転規制解除、車両動揺加速度、通り変位、走行試験

1. はじめに

営業速度を320km/h域へ向上した際に、地震や動揺申告などに基づき発令された運転規制の解除に用いる速度向上手法が、現行と同様に適用可能か、その可否について評価した。通常とおりに整備された軌道状態では、評価に適したデータを得ることは難しいため、適度な軌道変位を設定した走行試験を実施し、車両動揺加速度と速度の関係を測定し分析した。軌道変位の種別は走行安全性に影響が大きいと考えられる通り変位（左右水平方向）を選定した。

2. 現行の運転規制解除判定式

現在、規制解除に用いる判定は、車両動揺加速度と列車速度の関係から行う。判定式は160km/h以下とそれ以上の高速域で異なり、160km/h以下では測定値に速度比を乗じた値、それ以上では速度比を1.5乗した値を乗じた値が到達限度値未満であれば速度向上可能と評価する。イメージを図1に示す。

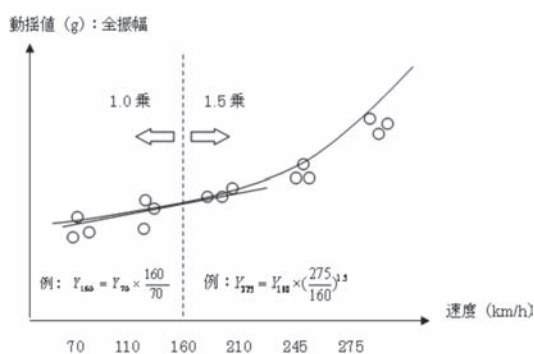


図1 運転規制解除などに用いる推定方法

3. 走行試験概要

軌道に人為的な変位を設定し、その区間において速度の異なる試験列車を計画し、走行試験を実施して、速度と車両動揺加速度の関係を評価した。設定する軌道変位の波長や振幅は、適切な分析を実施するため、過去の知見やシミュレーションをもとに選択した。以下に走行試験、設定した軌道変位の概要を示す。

(1) 時期 平成21年3月～平成21年5月

(2) 評価区間

・走行試験区間 東北新幹線の仙台～北上

・軌道変位設定（評価）区間 一ノ関～水沢江刺

(3) 車両形式と速度段

走行試験に使用する車両形式は、320km/h走行に対応したE954形式、車両長の異なるE3系の2種類を用いた。

速度段は、臨時速度制限と関連する次の6速度段（70km/h、110km/h、160km/h、210km/h、275km/h、320km/h）を中心に設定した。走行試験の実績は、表に示すとおりE954形式が22回、E3系が18回であった。

表1 車両形式と走行回数

	E954形式	E3系
70km/h	3	3
110km/h	2	3
160km/h	3	3
210km/h	3	3
245km/h	2	3
275km/h	3	3
290km/h	1	—
300km/h	1	—
310km/h	1	—
320km/h	3	—
合計	22	18

(4) 測定号車

各車両形式において、図2に示す各位置で車両動揺加速度、輪重 (P)・横圧 (Q) を測定した。

車両動揺加速度は台車直上の床上に図3に示す加速度計 (ピックアップ) を設置し測定した。輪重 (P)・横圧 (Q) は新連続PQ測定法を用いた。図4に測定輪軸を、図5に車上の新連続PQ測定データ処理装置を示す。

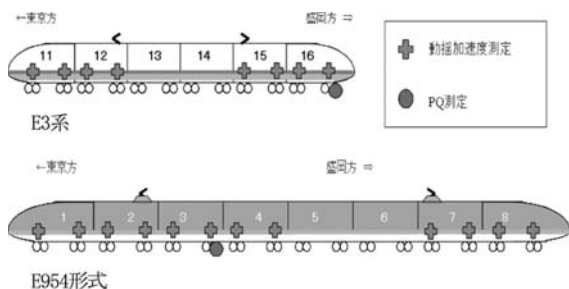


図2 測定装置の配置

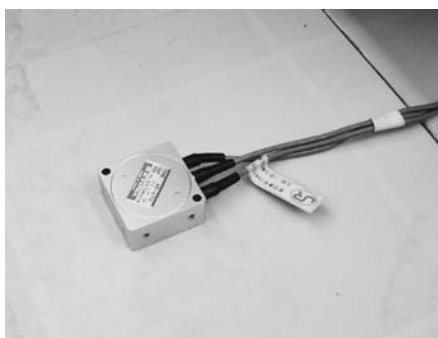


図3 加速度計 (ピックアップ)

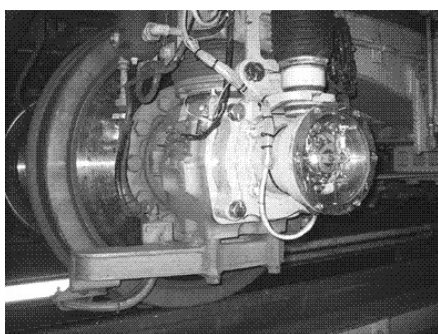


図4 輪重 (P)・横圧 (Q) 測定輪軸



図5 新連続PQ測定装置 (車上データ処理)

(5) ランカーブ

車両動揺加速度と速度の関係に対する分析は、評価区間を異なる速度で通過した際の車両動揺加速度の違いを比較して行うため、ランカーブは評価区間に対し一定速度で走行するように、速度段ごとに設定した。

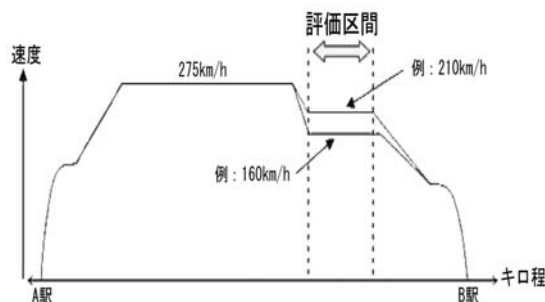


図6 ランカーブの例

(6) 軌道変位設定作業、走行試験ダイヤ

走行試験は終電通過後から初電発車までの間に実施した。最終電車通過後、約2時間で軌道変位を設定し、地上作業員の安全を確保の上、走行試験を2往復し、その後、約2時間で初電までに軌道変位を復位する作業ダイヤで実施した。作業ダイヤのイメージを図3に示す。

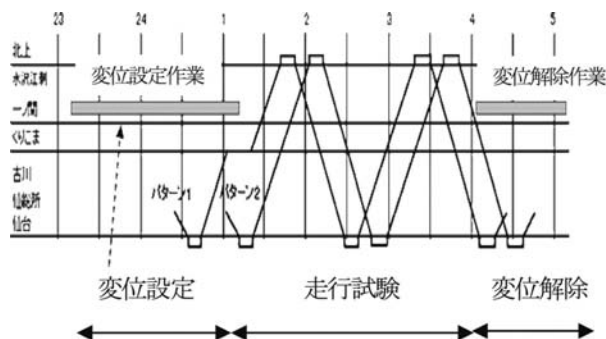


図7 軌道変位設定作業、走行試験ダイヤイメージ

(7) 設定した軌道変位

一ノ関～水沢江刺の2ヶ所に軌道変位を設定した。

設定区間の線路条件は、評価の際に軌道変位以外の影響を受けにくい、勾配のない直線区間とした。

軌道変位の種別は、既往の研究から走行安全性に影響の大きいと考えられる通り変位を選択した。

通り変位の波長は、過去のシミュレーション結果から走行安全性に及ぼす影響が大きいと考えられる15m、20mを選択し、振幅は、ほぼ10m弦の安全管理値 (整備基準値) に相当するものとした。軌道変位のイメージは、図8に示すように片振りの2波連続波とした。

表2 設定軌道変位

	波長	振幅	10m弦換算
第1区間	20m	11mm	5.5mm
第2区間	15m	7mm	5.2mm

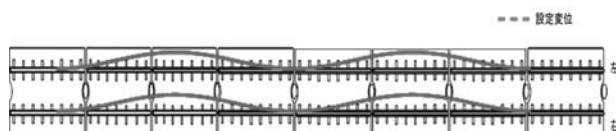


図8 軌道変位イメージ

(8) 軌道変位設定作業

軌道変位の設定作業は、夜間の限られた時間の中で実施するため短時間での施工が求められること、また、走行試験が複数日に渡るため施工日ごとに軌道変位にばらつきが生じる可能性があることから繰返し精度が要求された。

軌道変位を設定する際は、軌道スラブ上でレールを水平方向に移動し固定する。そこで、あらかじめ軌道スラブ表面に移動後のレール位置にターゲットを印付けし、作業性の簡便さと繰返し精度の確保に努めた。ターゲットは2m間隔で設置した。また、設定した軌道変位は、図9に示すように、毎試験前後にトラックマスターで確認した。

各試験日の設定軌道変位について、各ターゲット位置における誤差を測定した結果、両評価区間の誤差はほぼ0.2mm以内に収まり最大で0.4mmであったことから、有意な差はなく、再現性が確保されていると考えられた。図10に第1区間の最大誤差を整理した結果を示す。

また、試験車の通過により設定した軌道変位が変化してはいないか、各試験日における走行前後の軌道変位を比較した結果、走行による変化がないことが確認された。例として、図11に320km/hの試験日における走行前後の軌道変位を示す。ほとんど変化がないと考えた。

上記により、すべての走行試験は、同じ軌道変位条件下で実施されたことが確認された。



図9 トラックマスターによる軌道変位測定作業

施工誤差の検証(第1区間)

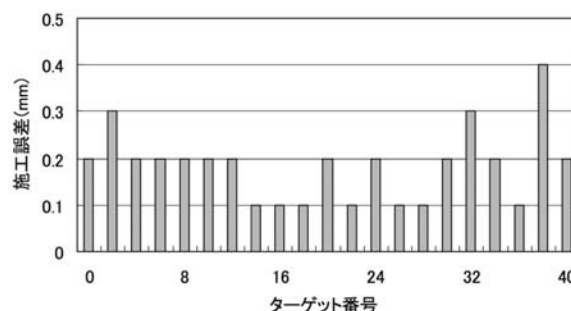


図10 各ターゲット位置における施工誤差の検証

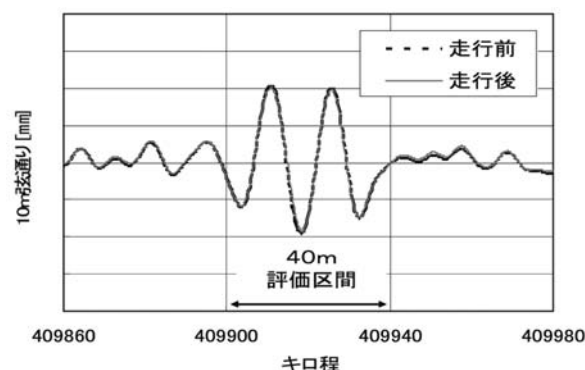


図11 走行前後の軌道変位 (320km/h走行試験時)

4. 走行試験結果

(1) 車両動揺加速度と走行安全性

各区間で測定された左右動揺加速度(全振幅)と最大走行安全性指標(横圧・輪重比)との関係性を評価した。その結果、車両形式、軌道変位の波長により異なり、左右動揺加速度と横圧・輪重比には、ばらつきはあるものの相関関係があることが確認された。

(2) 左右動揺加速度の速度依存性

両車両形式、各号車の左右動揺加速度について、速度との関係を散布図に整理した。その結果、各車両形式の各評価区間における左右動揺加速度は、70km/h～320km/hまで一定の速度依存性が認められた。例として、E954形式、E3系の第1区間の測定結果を図12、図13に示す。

その他の特徴として、各車両の前台車上と後台車上の加速度を比較すると、全体的に前台車のほうが大きな値を示した。一方で、加速度の速度に対する増加率は、後台車上が大きくなる傾向を示した。判定式を提案する際には、これらの特徴も考慮する必要があると考える。例としてE3系11号車の左右動揺加速度と速度の関係を図14に示す。累乗近似式のべき乗値は、前台車上が1.1、後台車上が1.8であった。

両車両形式、各評価区間ともに、一定の速度依存性が認められることから、高速域の動揺加速度を推定することは可能と考えられる。

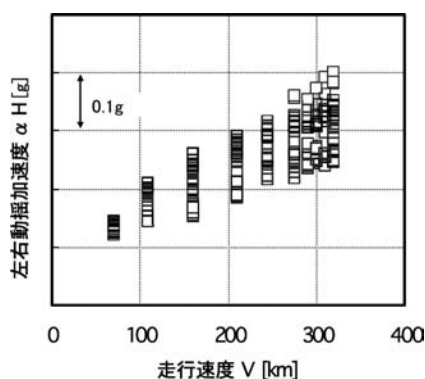


図12 E954形式測定結果（第1区間）

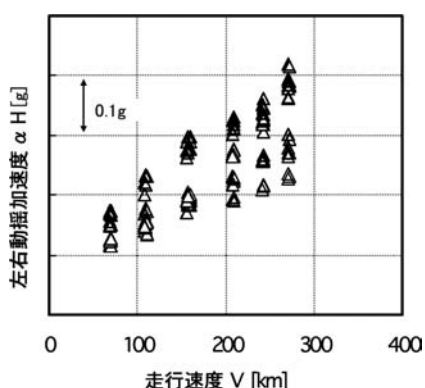


図13 E3系測定結果（第1区間）

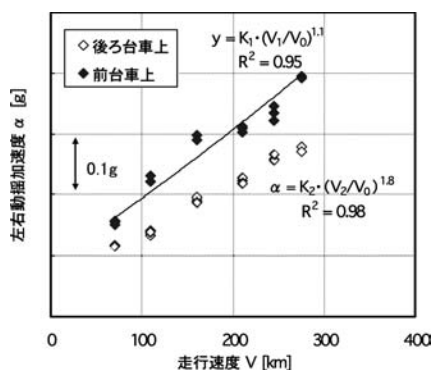


図14 前後台車の違い（E3系11号車）

次に、各号車ごとの左右動揺加速度と走行速度との関係を、現行の判定式を考慮し累乗式で近似した。その結果、各測定号車ともに高い相関が確認された。累乗式の指数（べき乗値）について整理した結果、べき乗値は0.65～1.8の範囲に分布した。例として、各車両形式の中で最もべき乗値の大きかったE954形式7号車とE3系12号車の近似曲線を図15、図16に示す。

上記のとおり、70km/hから320km/h域まで、各測定号車における左右動揺加速度と速度の関係は累乗近似式で表現することが可能であることから、速度向上の判定に、従来のとおり速度比の累乗式に基づく判定式を採用することができると考えられる。ただし、図12、図13に示したとおり、測定値は列車編成内の号車によりばらつきがあることから、判

定値を試算する際には、号車毎のばらつきを考慮し、信頼性の高い評価手法を提案する予定である。

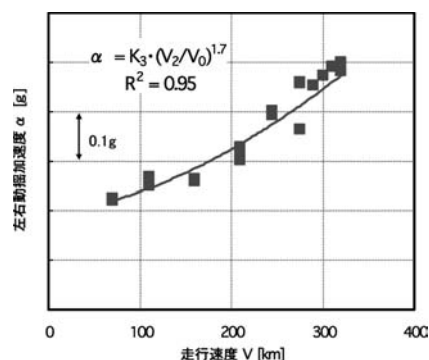


図15 動揺加速度と速度 E954形式7号車（第1区間）

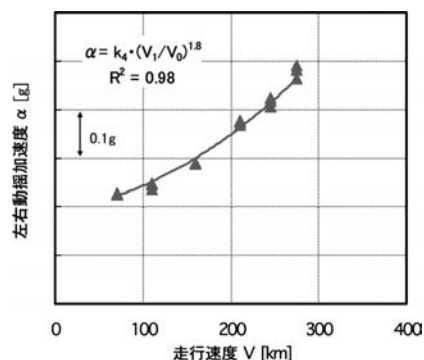


図16 動揺加速度と速度 E3系12号車（第1区間）

5. おわりに

車両動揺加速度測定による速度向上の320km/h域への適用の可否について、軌道変位設定試験を実施し、その結果を踏まえ検討した。その結果、走行安全性指標と車両動揺加速度に概ね相関関係があること、および左右車両動揺加速度と速度は、車両形式、設定区間、測定号車により異なるが、各測定号車において、70km/h～320km/hまで一定の速度依存性が認められ、累乗式で表すことが可能であることがわかった。

今回の結果から、320km/h営業運転時も従来どおり動揺加速度による速度向上の判定が可能で、70km/hの測定により320km/hまでの各速度段を判定することも可能と考えられる。

今後は、測定結果を活用し、運転規制が発令された後、通常運行への復旧のために行う安全性確認に要するダウンタイムの短縮などに向け、あらたな解除基準の設定を検討する予定である。

最後に、軌道変位設定による走行試験に関し技術指導をいただいた財団法人鉄道総合技術研究所の皆さま、また、軌道変位設定工事に際して、施工に携わったユニオン建設株式会社およびその協力会社の皆さまに心より感謝申し上げます。