

論文 在来線における動的な 軌道工事検収手法の検討

西島 悠太¹・田中 博文¹・松本 麻美²・原田 祐樹²

¹正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所（〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38）

E-mail: nishijima.yuta.57@rtri.or.jp, tanaka.hirofumi.96@rtri.or.jp

²正会員 西日本旅客鉄道株式会社（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24）

E-mail: mami-matsumoto@westjr.co.jp, yuuki-harada@westjr.co.jp

在来線における軌道整備後の軌道状態の確認は、施工当日の静的な軌道検測（仕上り検査）と、整備から 2 週間程度後に実施する人力による静的な軌道検測（引継検査）によって行われている。しかしながら、これらには多大なる労力を割いており、その省力化が求められている。そこで本論文では、営業車で高頻度に測定可能な列車動揺を用いた動的検収の可能性について検討した。具体的には、引継検査の省略を可能とする列車動揺を用いた動的検収フローを提案した。次に、軌道整備前後の列車動揺の推移を確認することで提案手法の実現可能性を検証した。最後に、列車動揺による動的検収手法の適用条件を検証するために、汎用マルチボディダイナミクスツールによる動的な走行シミュレーションを実施し、提案手法の適用条件の検討と今後の課題について整理した。

Key Words: track maintenance, track irregularity, car body acceleration, multi-body dynamics
acceptance method for track maintenance work due to on-board monitoring

1. はじめに

新幹線における軌道整備後の軌道状態の確認は、施工当日の静的な軌道検測（以下、仕上り検査という）に加えて、約 10 日に 1 回の頻度で走行している軌道検測車で取得できる動的な検収データを用いて軌道整備の結果を評価する検収（以下、動的検収という）により行われている。

一方、在来線における軌道整備後の軌道状態の確認は、一般に、仕上り検査と、整備から 2 週間ほど後に実施する軌道検測（以下、引継検査という）の 2 段階で行われており、いずれも人力による静的検測である。これは、在来線における軌道検測車の走行頻度が年 2～6 回と新幹線と比較して低頻度であり、新幹線のような動的検収が困難なためである。このため、在来線における引継検査には多大なる労力を割いており、また営業線に入ることによる保安上のリスクも高いことから、この省力化が求められている。

本研究では、この引継検査の省略化を実現するため、営業車の車上で高頻度に測定可能な加速度データ（以下、列車動揺という）に着目した。列車動揺は、軌道検測車より測定が比較的容易であり、動的な軌道状態が把握可能である。動的な軌道状態把握の重要性は、静的軌道検

測と動的軌道検測には差があること¹⁾²⁾や、静的軌道検測と動的軌道検測の差から、動的な変状が生じている箇所を抽出する手法³⁾が構築されていることから示されている。したがって、引継検査で静的な軌道状態のみを確認している在来線において、引継検査に動的な軌道状態の評価方法を導入することは、品質管理の観点からも有効であると考えられる。

列車動揺測定は、乗り心地管理等を目的に多くの鉄道事業者で実施されており、2007年に国土交通省から通達された「鉄道構造物等維持管理標準（軌道編）」⁴⁾（以下、「維持管理標準」という）や、その補足となる「鉄道構造物等維持管理標準（軌道編）の手引き」⁵⁾にも、走行安全性の観点から列車動揺を測定することが望ましいと示されている。

維持管理標準には、列車動揺測定は軌道検測の補完という位置づけとされているが、これは、列車動揺は軌道の不整（以下、軌道変位という）の大小によって変化するが、測定時の走行速度などによっても変化するためである。一方で、列車動揺と軌道変位の関係についての研究がこれまで進められてきた結果、特に上下動揺と高低変位には線形関係があることがわかっており⁶⁾、高低変位を入力データとして上下動揺を予測するモデルが構築

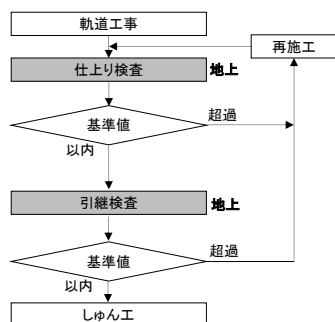


図-1 現状における軌道整備後の軌道状態の確認手順

されている⁷⁾。さらに、上下動揺だけでなく、通り変位及び水準変位を入力データとして左右動揺を予測するモデルの構築⁸⁾や、シミュレーションを用いた左右動揺と通り変位の関係分析⁹⁾も行われている。

以上のことから、本研究では、在来線において、比較的測定が容易であり、軌道変位と相関のある営業車による列車動揺を活用した動的検収の実施の可能性を検討した。具体的には、営業車で高頻度に測定された列車動揺を活用した、引継検査の省略法を検討した。次に、実際の軌道整備前後において、高頻度に営業車で列車動揺を測定し、その推移を確認することで、提案する手法の実現可能性を検証した。最後に、列車動揺による動的検収手法の適用範囲を検証するために、汎用のマルチボディダイナミクスツールによる動的走行シミュレーションを実施し、提案手法の適用範囲の検討と今後の課題について整理した。

なお、今回は、上下動揺を用いた高低変位に係る軌道整備を対象とし、その中でも、一般に施工頻度が高いと考えられる、比較的延長が短い（数 m～十数 m）工種（以下、むら直しという）の動的検収について主に検討することとする。

2. 在来線における軌道工事検収の概要と課題

図-1 に、現状において在来線で実施されている軌道整備後の軌道状態の確認手順の例を示す。軌道整備後に行われる仕上り検査は、主として軌道整備直後における列車等の走行安全を確認するためのものである¹⁰⁾。一方、引継検査は、軌道整備後の列車の繰り返し通過により動的に変化しやすい軌道変位に対して、請負者の工事責任を明確にすること等を目的に行われるものであり、軌道整備の完了後、軌道の初期沈下が終了する約 2 週間後に実施される¹⁰⁾。同図のとおり、引継検査の結果が仕上り検査の基準値以内であればしゅん工となり、基準値を超過している場合は不良と判定され、当該の不合格部分に対して再施工をした上で、再検査を行うことになる。

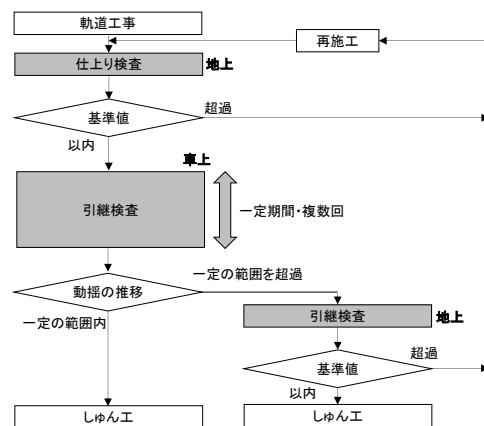


図-2 提案する動的検収手法のフロー

ここで、仕上り検査及び引継検査は地上において人力で測定するため、請負者は少なくとも 2 回現場に入る必要があり、線路内に留まって検査を行うことから、列車と接触する危険がある。また、現状の在来線の軌道工事検収手法は、静的な軌道検測に基づいており、動的な軌道変位を確認できていない点から、労力や保安上の観点のみでなく、軌道状態確認の品質管理の観点からも課題があるといえる。

3. 列車動揺を活用した動的検収手法の提案と検証

本章では、在来線を対象とした動的検収手法を提案するとともに、列車動揺の実データを用いた動的検収の実用可能性を検証する。

(1) 提案する動的検収手法のフロー

図-2 に、本研究で提案する在来線を対象とした動的検収手法のフローを示す。本手法では、在来線の営業車において、比較的容易に測定可能と考えられ、軌道変位と相関のある、列車動揺を活用することを前提としている。具体的には、常設型の列車動揺センサを搭載した営業車によって、高頻度に測定された列車動揺の推移を分析することで、軌道整備後の軌道状態の推移を把握する。

まず、軌道整備の当日は、従来通りの静的な仕上り検査を行う。これは、現状においても、列車等の走行安全を確認するために実施されているものであり、この手順の変更は想定しない。

次に、軌道整備前後を通じて、高頻度に測定されている列車動揺の推移を分析し、条件付きで引継検査を実施する。具体的には、仕上り検査から一定期間内に複数回実施された列車動揺の値が、一定範囲内で推移していれば、軌道整備後の軌道状態は良好に維持されているとみなし、これをもって引継検査とし、しゅん工する。一方で、列車動揺の値が、一

定の範囲を超えて変化していた場合は軌道状態が悪化している可能性があるため、従来通りの人力による引継検査を実施する。なお、何らかの理由で必要な回数の列車動揺が測定できなかった場合についても、軌道整備後の軌道状態の推移を把握できないため、従来通りの人力による引継検査が必要となる。人力による引継検査以降のフローは、図-1 に示す現状の確認手順と同じである。

(2) 実データによる検証

図-2 で提案した動的検収手法の妥当性を確認するため、実際に、営業車（近郊形電車）で高頻度に列車動揺を測定し、その推移を検証した。検証は、表-1 に示す線区において実施された複数の軌道整備について、従来通りの図-1 に示した手順での軌道状態の確認に加えて、当該線区を走行する営業車で常設型の列車動揺測定装置（ニシヤマ製レールナビⅡ）を用いて、試験的に動揺を高頻度に測定し、その推移を分析した。

図-3 から図-5 に、軌道整備前後の各種データの推移の例として、むら直し箇所データのデータを示す。なお、いずれの区間もバラスト軌道の直線区間である。

各図の(a)は、軌道整備箇所における静的軌道検測の結果を、各図の(b)は、営業車で測定した当該箇所

表-1 検討した線区の概要

年間通トン	2100～2600万トン
最高速度	120km/h
単線/複線	複線
貨物列車の有無	無し
特急列車の有無	有り
平均P値	17
平均σ値	2.4mm

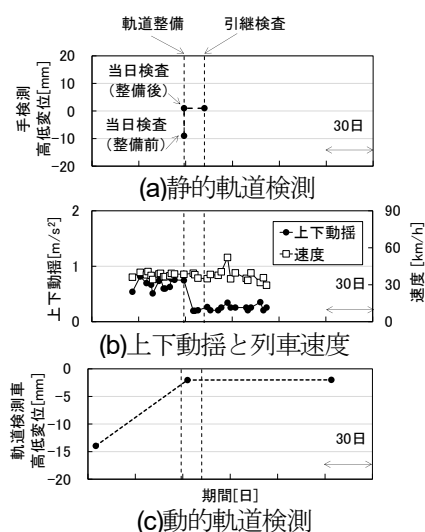


図-3 むら直し箇所のデータの推移の例①（良好）

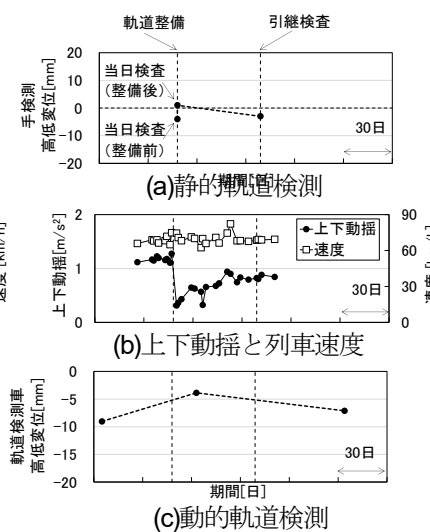


図-4 むら直し箇所のデータの推移の例②（悪化傾向）

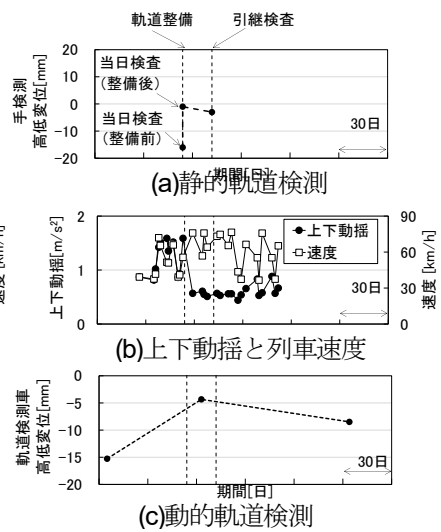


図-5 むら直し箇所のデータの推移の例③（速度影響）

の上下動揺及び列車速度を、各図の(c)は、当該箇所

の軌道検測車による動的軌道検測の結果を示している。

図-3 は、軌道整備による良好な軌道状態が維持されていることが列車動揺の推移により把握できる例である。(a)より、施工前は-9mm の低むらであったが、施工直後の仕上り検査では+1mm となり、良好な施工がされたことがわかる。また、約 2 週間後の引継検査でも+1mm のままであり、軌道状態が良好に維持されていることがわかる。(b)より、軌道整備によって上下動揺が、施工前は約 0.75m/s^2 であったが、施工後は約 0.20m/s^2 まで減少し、その後 0.20m/s^2 から 0.35m/s^2 の範囲内で推移していることがわかる。これは、(a)で確認された軌道状態が良好に推移していることと一致する。(c)についても、施工前の動的軌道検測では-14mm の低むらであったが、施工直後の検測では-2mm となり、良好な施工がされたことがわかる。また、約 3 か月後の検測でも-2mm のままであり、軌道状態が良好に維持されていることがわかる。

図-4 は、軌道整備後の軌道状態の推移が悪化傾向であることが、上下動揺の推移によって把握できる例である。(a)より、軌道整備によって、高低変位が-4mm から+1mm となっているが、引継検査時は-3mm であり、高低変位が進んでいることがわかる。(b)より、上下動揺は施工前の約 1.30m/s^2 から、施工後は約 0.30m/s^2 まで減少しているが、施工後以降は約 50 日間で約 0.85m/s^2 まで増加しており、軌道状態が悪化傾向にあることと一致する。(c)より、動的軌道検測の高低変位が、施工前は 9mm であるのに対し、施工直後には-4mm に改善されているが、約 3

か月後の検測では-7mm であり，軌道状態が悪化していることがわかる。

図-5 は，軌道状態以外の要因により，上下動揺による軌道状態の把握が困難な例である．(a)より，施工前は-16mm の低むらであったが，施工直後の仕上り検査では-1mm となり，良好な施工がされたことがわかる．また，約 2 週間後の引継検査は-3mm であり，若干の軌道変位進みが見られるものの，良好な軌道状態が維持されていることがわかる．しかし，(b)より，上下動揺は施工前では約 1.60m/s^2 であり，施工後には約 0.55m/s^2 まで減少しているが，施工後以降は上下動揺測定時の走行速度のばらつきが大きく，上下動揺も 0.50m/s^2 から 0.90m/s^2 の間でばらついている．そのため，上下動揺の変化が軌道状態の変化により生じたのか走行速度の変化のために生じたのかが判断しにくいことがわかる．なお，(c)より，軌道検測車による動的軌道検測の高低変位が，施工前は-15mm であったのに対し，施工直後は-4mm に改善されているが，約 3 か月後の検測では-8mm であり，この箇所の軌道状態は悪化傾向にあることがわかる。

図-3 及び図-4 の結果から，今回分析を行った直線区間での高低変位に係る軌道整備については，基本的には図-2 に示した手順での軌道状態確認が可能であると考えられる．一方で，図-5 に示した事例のように，列車動揺を測定した際の走行速度のばらつきが大きいなど，軌道状態以外の要因により，上下動揺による軌道状態の把握が困難な場合は，図-2 に示した手順での軌道状態確認が難しいと考えられる．このため，列車速度が一定とみなせるデータにより列車動揺の推移を確認する必要があると考えられる。

4. シミュレーションによる適用条件の検討

3 章では，直線区間のむら直し箇所において，動的検収の実現可能性があることを示した．しかし，軌道変位や平面線形によっては，本研究で提案する手法が適用できない条件が存在すると考えられる．そこで，本章では，汎用のマルチボディダイナミクスツールである SIMPACK を用いた動的な走行シミュレーションにより，軌道変位や平面線形が上下動揺に与える影響を検証し，本研究で提案する動的検収手法の適用条件を検討する．

(1) 軌道モデル

図-6 に，作成した軌道モデルの軌道変位波形及び平面線形を示す．平面線形は，直線モデル及び曲線

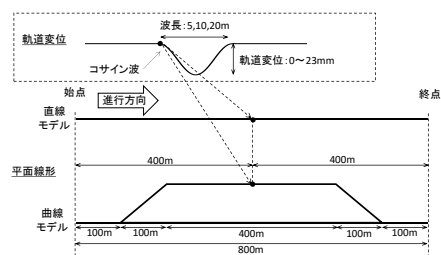


図-6 シミュレーションに用いた軌道モデルの軌道変位波形および平面線形

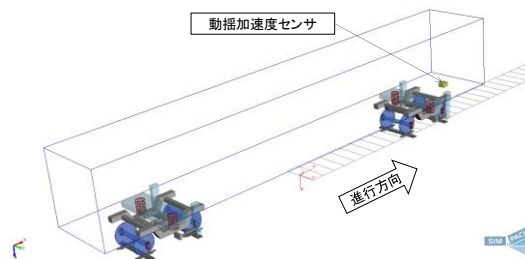


図-7 シミュレーションに用いた車両モデルと動揺加速度センサの設置位置

表-2 代表的なパラメータ (近郊形電車)

項目	値
軸距	2.1m
台車中心間隔	13.8m
車体重量	25537kg
台車質量	2748kg
輪軸質量	1418kg
左右軸ばね間隔	1.64m
左右空気ばね間隔	1.00m
車輪踏面形状	修正円弧踏面

モデル (半径 600, 900, 1200m) の 2 種類とし，その一部区間に軌道変位 (高低変位及び通り変位) を付与した。

直線モデルについては，シミュレーション延長を 800m とし，軌道変位をシミュレーション開始地点から 400m の位置に付与した．曲線モデルについては，円曲線長を 400m，入口及び出口の緩和曲線長を 100m とし，前後に 100m の直線を設けた．軌道変位は，直線モデルと同じくシミュレーション開始地点から 400m の位置の円曲線中に軌道変位を付与した．なお，今回の検討では緩和曲線中に存在する軌道変位については検討対象外とした．軌道変位はコサイン波で与え，波長は，今回提案する動的検収フローの主な対象工種であるむら直しの延長が，一般的に数 m ～ 十数 m であることから，5m, 10m, 20m の 3 種類とした．軌道変位の振幅は高低変位，通り変位ともに 0mm から 1 級線の整備基準値 (動的) に相当する 23mm の間で変化させた。

(2) 車両モデル

図-7 に作成した車両モデルを示す．車両モデルは，

1 個の車体，2 個の台車，4 個の輪軸で構成される 42 自由度の 1 車両モデルとした．車体～台車間などの各結合要素は，ばね・ダンパ要素によりモデル化している．車両諸元は，表-2 に示す近郊形電車（3 章の検証において列車動揺を測定した車両）のものをを用いた．列車動揺を算出する動揺加速度センサの設置位置は，3 章で述べた実データの検証結果と比較するために，常設型の動揺加速度センサと同じ位置に相当する，車両進行方向前方の運転室内の車体中心線上に設置した．

(3) シミュレーションモデルの妥当性の検討

作成したシミュレーションモデルの妥当性を検証するため，実際の軌道形状の近似波形である復元波形¹⁾（高低変位及び通り変位）を SIMPACK の軌道モデルに付与してシミュレーションを行った結果を上下動揺の実測値と比較した．図-8 に，軌道モデルに付与した復元波形の例を示す．復元波形は軌道検測車の動的軌道変位から算出し，処理帯域は 3～50m とした．図-9 に，上下動揺の実測値及び図-8 の復元波形を付与した軌道モデルによるシミュレーションから得られた上下動揺を示す．シミュレーションにおける車両の走行速度は，上下動揺の実測値を取得した際の列車走行速度と同じ 70km/h とした．ここで，実測値及びシミュレーション結果には共に 8Hz のローパスフィルタ処理を行い，高周波成分を取り除いた．同図より，実測値とシミュレーション結果は概ね一致していることがわかる．よって，作成したシミュレーションモデルは，実際の車両の挙動を概ね再現できていると考えられる．

そこで，表-1 に示す線区において常設型の動揺計を用いて測定された上下動揺及び軌道検測車による動的軌道変位の実測値を用いて，シミュレーション結果との比較を行った．図-10 に，上下動揺（実測値及びシミュレーション値）と高低変位（実測値）の関係を示す．実測値については，25m ロットにおける上下動揺及び 10m 弦高低変位の最大値をプロットしている．ここで，シミュレーション値は，波長 10m の高低変位 1 波を付与した場合における結果であるため，実測値とシミュレーション値の比較においては，前後の軌道変位が小さく，1 波に近い条件の実測値データを抽出する必要がある．そこで，対象ロットの進行方向 1 つ前のロットの高低変位最大値が，対象ロットの高低変位最大値の半分以上である場合を，手前のロットの高低変位が大きい場合として区別した．

図-10 より，手前のロットの高低変位が大きい場合は，実測値にばらつきが存在するが，手前のロッ

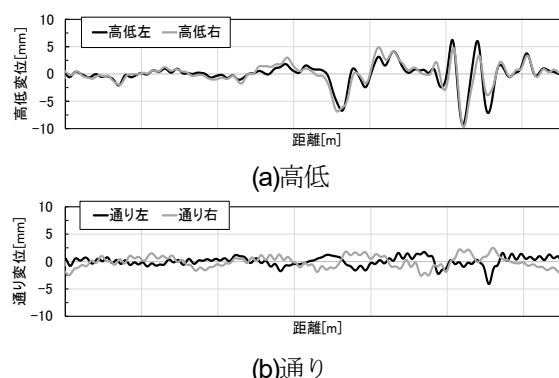


図-8 軌道モデルに付与した復元波形の例

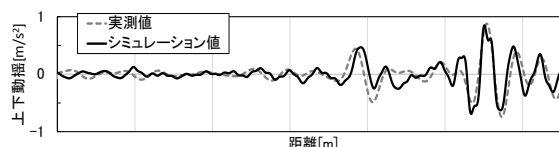


図-9 動揺実測値とシミュレーション結果
(軌道モデルに復元波形を付与)

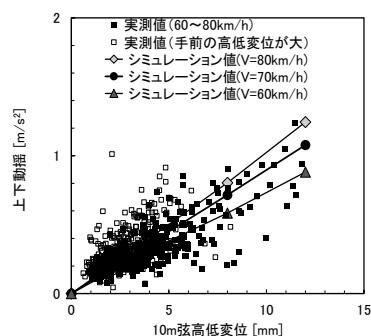


図-10 上下動揺と高低変位
(実測値およびシミュレーション値)

表-3 シミュレーション条件

条件名	平面線形	曲線半径 [m]	カント [mm]	走行速度 [km/h]
Case1	直線			120
Case2	曲線	600	70	70
Case3		900		85
Case4		1200		100

トの高低変位が大きい場合を除くと，実測値とシミュレーション値は良く整合していることがわかる．

以上のことから，作成したシミュレーションモデルは概ね妥当であると考えられる．

(4) シミュレーションの条件及び結果

シミュレーションは，平面線形及び走行速度により条件を設定し，各条件について様々な軌道変位を付与して実施した．表-3 に，軌道変位以外に関するシミュレーションの条件を示す．

Case1 は直線の軌道モデルとし，走行速度は表-1 に示す線区の最高速度である 120km/h とした．Case2～4 は曲線の軌道モデルとし，カントを 70mm で設

定し、曲線半径及び走行速度を変化させた。走行速度は、曲線半径及びバントから算出できる曲線の均衡速度とした。

a) シミュレーション結果①（高低変位の影響）

図-11に、Case1において、左右レールに高低変位1波及び3波を付与した場合のシミュレーション結果を示す。

(a)に示すように、高低変位3波の場合は全て同じ波長の軌道変位とし、2波目の高低変位の値を変動させた。1波目及び3波目の高低変位には、3章の(2)で述べた実データの検証を行った線区の軌道状態を考慮し7mmを付与した。なお、上下動揺の値は、2波目の軌道変位によるものをプロットしている。

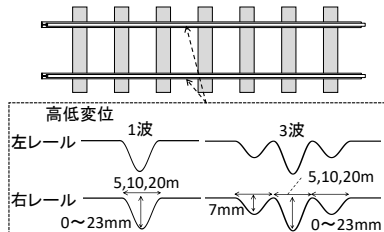
軌道変位が1波の場合は、(b)のように全ての波長において、上下動揺と高低変位は線形関係となった。一方、軌道変位が3波の場合は、(c)に示すように、1波の場合と比較して波長5mでは上下動揺が減少する傾向にあり、波長20mの場合では上下動揺が増加する傾向にあることがわかる。

図-12に一例として、軌道変位波長5mと20mの1, 3波目を7mm, 2波目を8mmとした場合の上下

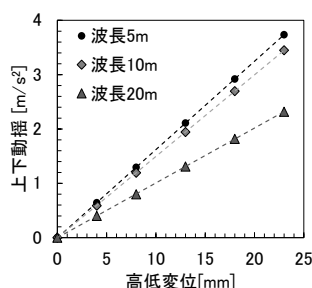
動揺と高低変位の波形を示す。これより、軌道変位の波長が5mの場合は、1波目より2波目の軌道変位が大きいが、上下動揺の全振幅は1波目の方が大きく、軌道変位の波長が20mの場合は、1波目より2波目の軌道変位による上下動揺の全振幅が大きいことがわかる。これは、1波目における車両の振動が2波目における振動に影響しているためだと考えられる。このことから、検収対象区間の近傍に短波長の高低変位が存在する場合、上下動揺では正確な軌道状態を確認できない可能性がある。

b) シミュレーション結果②（通り変位の影響）

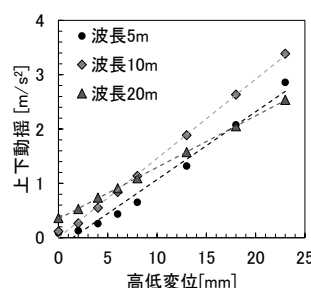
図-13に、Case1において、左右レールに高低変位1波及び通り変位1波を付与した場合のシミュレーション結果を示す。通り変位は、左右レールとも同じ方向（軌間変位は無し）とし、高低変位と同じ波長で同じ箇所に付与している。なお、通り変位についても高低変位と同様に0mmから23mmの間で変化させ、シミュレーションを実施しているが、同図では1級線における整備目標値（動的）である13mm、及び整備基準値（動的）である23mmの場合を示している。



(a) 軌道変位の条件

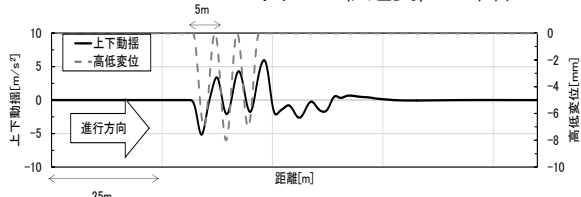


(b) 上下動揺と高低変位
(高低変位1波)

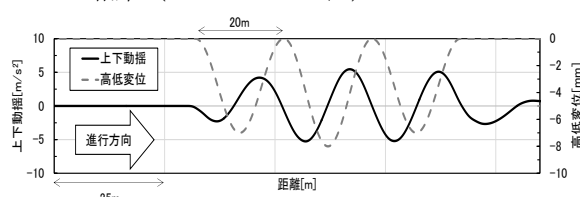


(c) 上下動揺と高低変位
(高低変位3波)

図-11 軌道変位の条件とシミュレーション結果 (Case1: V=120km/h)

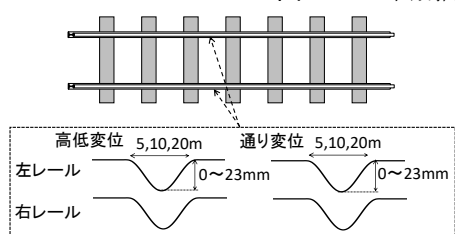


(a) 軌道変位波長5m

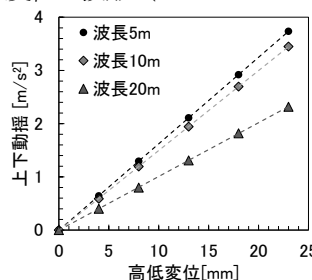


(b) 軌道変位波長20m

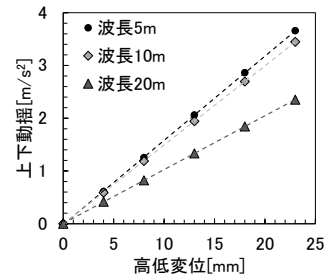
図-12 上下動揺と高低変位の波形 (Case1: V=120km/h)



(a) 軌道変位の条件



(b) 上下動揺と高低変位
(通り変位13mm)



(c) 上下動揺と高低変位
(通り変位23mm)

図-13 軌道変位の条件とシミュレーション結果 (高低変位および通り変位1波を付与) (Case1: V=120km/h)

同図より、軌道変位波長や通り変位の大きさによらず、図-11(b)に示す直線区間における高低変位 1 波の場合とほぼ同じ結果となったことから、通り変位が上下動揺に与える影響は小さいと考えられる。

c) シミュレーション結果③ (曲線区間)

図-14 から図-16 に、曲線区間を検討する Case2～4 において、内外軌、外軌側のみ、内軌側のみに高低変位 1 波を付与した場合のシミュレーション結果を示す。a)で述べた直線区間の場合と同じく、上下動揺と高低変位は線形関係となったが、曲線半径が小さいほど、走行速度が遅くなり、上下動揺が小さくなるため、高低変位の変動による上下動揺の変動を捉えることが難しくなると考えられる。

なお、軌道変位の付与の違いについては、図-14 に示す内外軌に高低変位がある場合と比較して、図-15 に示す外軌側のみ高低変位がある場合、及び図-16 に示す内軌側のみ高低変位がある場合の方が、上下動揺が小さく、内外軌に高低変位がある場合の約 1/2 の値となった。これは、車両モデルにおける動揺加速度センサの設置位置が、車体中心線上である

ため、内外軌に高低変位がある場合と比較して、外軌側のみ、または内軌側のみ高低変位がある場合では、車体中心線における上下方向の動揺加速度が減少するためと考えられる。このことから、外軌側のみ、または内軌側のみ高低変位がある場合は、内外軌に高低変位がある場合と比較して、高低変位に対する上下動揺の感度が小さいといえる。

(5) 列車動揺を用いた動的検収の適用条件の検討

シミュレーション結果より、局所的な軌道変位が点在し、前後の軌道変位の影響が小さい路線では、列車動揺を用いた動的検収を実用化できる可能性がある。そのような条件の線区としては、ロングレール主体で連続した継目落ちが生じにくい主要線区が考えられる。一方、軌道変位が連続して存在し、前後の軌道変位の影響が大きい路線への適用は、更なる検討が必要である。そのような線区の条件としては、定尺レール主体で連続した継目落ちが生じやすい線区が考えられる。

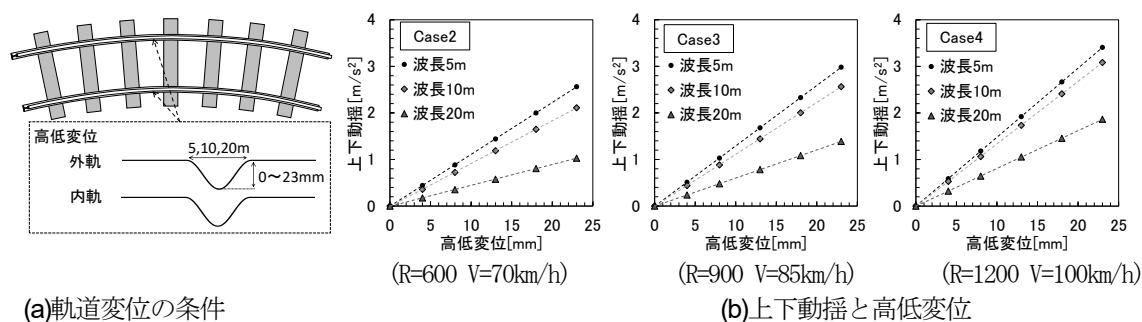


図-14 軌道変位の条件とシミュレーション結果 (Case2～4: 内外軌に高低変位 1 波)

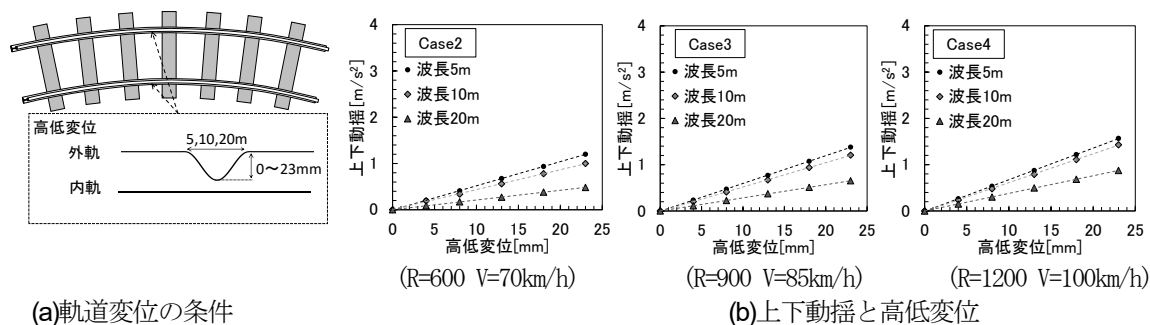


図-15 軌道変位の条件とシミュレーション結果 (Case2～4: 外軌側のみ高低変位 1 波)

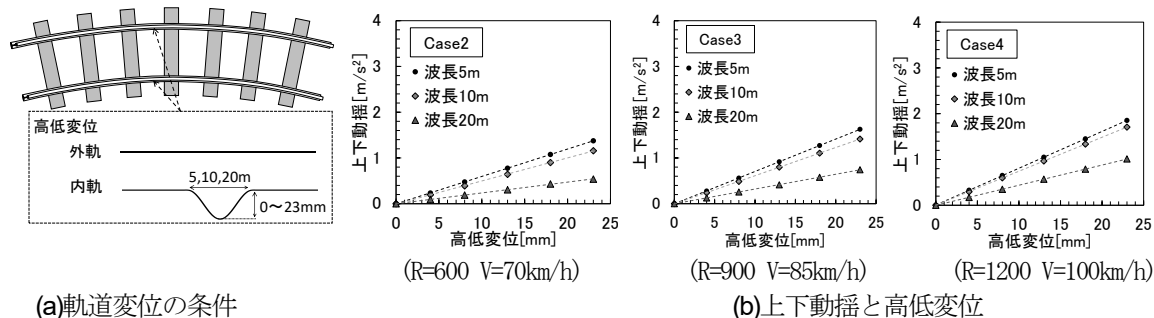


図-16 軌道変位の条件とシミュレーション結果 (Case2～4: 内軌側のみ高低変位 1 波)

4. まとめ

本研究では、在来線における動的検収の実施の可能性を検討した。具体的には、列車動揺を活用した動的検収手法のフローを提案した。さらに、実データによる検証と動的な走行シミュレーションにより、提案する動的検収手法の実現可能性及び適用条件の検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 在来線において、常設型の列車動揺測定装置を設置した営業車によって高頻度に測定された動揺データの推移を用いることを前提とした動的検収手法のフローを提案した。
- (2) 提案した動的検収手法の妥当性を確認するため、実際に、軌道整備後に営業車で高頻度に列車動揺を測定し、その推移を検証した。その結果、軌道状態が良好に維持されている場合は、上下動揺が概ね一定で推移しており、軌道状態が悪化傾向の場合は、上下動揺が増加傾向であった。このことから、本研究で提案する動的検収手法による軌道状態確認は可能であると考えられる。ただし、列車速度のばらつきが大きい場合は、その影響が大きいので、列車速度が一定とみなせるデータを用いる必要がある。
- (3) 提案した動的検収手法の適用条件を検討するため、SIMPACTを用いて動的な走行シミュレーションを行い、軌道変位や平面線形等が上下動揺に与える影響を検証した。その結果、対象箇所の近傍に短波長の高低変位が存在する場合は、上下動揺では正確な軌道状態を確認できない可能性が考えられる。一方、平面線形の違いや通り変位の有無による上下動揺の差は小さいと考えられるが、曲線半径が小さいほど走行速度が遅くなり、上下動揺も小さくなるため、高低変位の変動による上下動揺の変動を捉えることが難しくなると考えられる。また、外軌側のみ、または内軌側のみ高低変位がある場合は、内外軌に高低変位がある場合と比較して、高低変位に対する上下動揺の感度が小さかった。
- (4) 本手法の適用条件として、ロングレール主体で連続

した継目落ちが生じにくく、前後の軌道変位の影響が小さいと考えられる主要線区では、本研究で提案する列車動揺を用いた動的検収を実用化できる可能性があると考えられる。一方、定尺レール主体で連続した継目落ちが生じやすく、前後の軌道変位の影響が大きいと考えられる線区への適用は、更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 池守昌幸：動的軌道狂いと静的軌道狂いの関係、鉄道技術研究所速報、第 62 巻、1962.9.
- 2) 相馬雅人、三和雅史、水野真敏：軌道状態を考慮した軌道変位の静的・動的値間の関係分析、第 20 回 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2013)、S2-1-1. 2013.12.
- 3) 田中博文、松本麻美、原田祐樹、片山雄一郎：軌道検測車による道床劣化箇所の抽出法の開発、第 24 回 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2017)、S2-2-3. 2017.12.
- 4) 国土交通省鉄道局：通達 鉄道構造物等維持管理標準の制定について、国鉄技第 73 号、2007.1.
- 5) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準（軌道編）の手引き、2007.3.
- 6) 吉村彰芳：軌道の高低狂いに対する車両の上下動揺の応答解析、鉄道総研報告、Vol.1, No.3, pp.29-38, 1987.11.
- 7) 古川敦、吉村彰芳：統計モデルによる車両上下動揺の予測と軌道管理への適用、鉄道総研報告、Vol.17, No.2, pp.29-34, 2003.2.
- 8) 古川敦、吉村彰芳：軌道狂い管理のための車両左右動特性の同定、鉄道総研報告、Vol.18, No.3, pp.29-34, 2004.3.
- 9) 吉田尚：連続した通り変位と列車の左右動揺の関係について、土木学会第 70 回年次学術講演会、VI-456, 2015.9.
- 10) 日本鉄道技術協会：本社委託研究報告、軌道工事標準示方書、1974.1.
- 11) 吉村彰芳：軌道狂い原波形の復元に関する理論的基礎の検討とその応用、土木学会論文集、第 377 号、IV-6, 1987.1.

(2019.4. 5 受付)

STUDY OF ACCEPTANCE METHOD FOR TRACK MAINTENANCE WORK DUE TO ON-BOARD MONITORING BY COMMERCIAL TRAIN

Yuta NISHIJIMA, Hirofumi TANAKA, Mami MATSUMOTO and Yuki HARADA

In this study, we examined the possibility of acceptance method for track maintenance work due to on-board monitoring by commercial train. Specifically, we proposed acceptance method for track maintenance work by using car body acceleration. Next, we verified the feasibility of the proposed method by confirming the transition of car body acceleration on commercial train before and after track maintenance work. In addition, we examined the condition of application of the proposed method and analyzed the future issues by multi-body dynamic running simulation.