1109　PQモニタリング台車による営業線データの報告とその活用方法について（第3報）

○大林 弘史　世木智博（東京地下鉄）

大木 康孝　小坂田 潤　水野 将明（新日鐵住金）

正[機]谷本 益久（住友金属テクノロジー）

3rd report; Report of the commercial train running data measured by new on-board measuring method of derailment coefficients

○Hiroshi OHBAYASHI,Tokyo Metro Co.,Ltd,3-19-6,Higashi-ueno,Taito-ku,Tokyo
Tomohiro SEKI,Tokyo Metro Co.,Ltd
Yasutaka OHKI,Jun OSAKADA,Masaaki MIZUNO,(Nippon Steel & Sumitomo Metal)
Masuhisa TANIMOTO,(Sumitomo Metal Technology)

By using a new monitoring system for derailment coefficients, the authors have succeeded in measuring derailment coefficients everyday on every curve of a commercial line. From these data, we could evaluate the variations of derailment coefficients statistically which change according to the track conditions and train boarding conditions. In this paper we introduce the commercial running data analysis, and propose a new management method for maintaining good railway track conditions.

Key Words : railway,derailment coefficient,wheel/rail contact,contact force,measurement

1．はじめに

車両の走行安全性は，新線開業や路線延伸，新形式車両導入時や既存車両の改良時等の節目に実施される，終車後の脱線係数測定によって評価することが一般的である．しかしながら，更なる安全性の向上のためには，脱線係数測定の実施頻度を増やし現状の車両および軌道状態での走行安全性評価を行うことはもちろん，営業時間中に常時脱線係数測定を行い，状態の変化や異常値の早期発見等リアルタイムで走行安全性を確認・管理できるシステムを構築することが有効であると考える．このような考えにありながら，車輪に貼り付けた歪ゲージにより車輪の歪量を計測し，輪重・横圧を推定する PQ 輪軸を用いた従来の測定方法では，その耐久性から営業線での常時測定は難しい状況にあった．具体的には，歪ゲージの測定用配線を車軸の中央に貫通させる必要があり，長期的には車軸の強度が問題となることや，車輪のひずみ信号を回転系である輪軸から静止系である車上の測定器に伝達するために使用する，スリップリングの接点部分の摩耗が問題であった．

そこで東京地下鉄では，交通安全環境研究所，新日鐵住金（旧住友金属），住友金属テクノロジーと共同で，脱線係数の常時監視を目的に，台車枠等の静止系から簡易的に脱線係数を測定する方法を検討した．そして，輪重は軸バネのたわみ量を磁歪式変位計により測定し，横圧は渦電流式の非接触変位計により車輪板部の変位を測定することで，強度・耐久性の問題を解決し，脱線係数を測定する新手法を確立した[1]．この測定方法の妥当性を検証するために実施した，交通安全環境研究所の台上試験機による曲線通過実験および本線路での走行試験の結果から，技術的な実現性が確認されたことから，実際の営業車両で使用できる量産仕様台車（PQ モニタリング台車）を製作し，平成 21 年 1 月より丸ノ内線 02 系へ 2 台車（T 車，標準軌），平成 23 年 8 月より東西線 15000 系へ 2 台車（T 車，狭軌），平成 24 年 2 月より新たに千代田線 16000 系へ 2 台車（T 車，狭軌）装着し，営業使用を開始している[2],[4]．

本報告では，PQモニタリング台車の概要の他，第２報より新たに導入された16000系PQモニタリング台車のPQデータを加え，各線で得られたPQデータの効果的な統計処理方法について報告する．

2．PQ モニタリング台車概要

2.1 PQ モニタリング台車の構造

各線の PQ モニタリング台車基本的な構造は同じであるが，代表例として 16000 系 PQ モニタリング台車の概観を図 1 に示す．各線とも基本的な構造と台車仕様は同様である．ただし，丸ノ内線は標準軌，東西線と千代田線は狭軌となっている．車輪は，横圧検知のために C 種車輪(板部ストレ

[No. 12-79] 日本機械学会 第 19 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 [2012-12. 5～7. 東京]

ート)およびディスクブレーキ(軸マウント式)を採用している．また，車輪板部の横圧測定面は精密平面加工を施し，ディスクブレーキの採用により車輪部の熱変形を防ぎ，上述の軸箱－車輪間のスラスト方向移動量を極力小さくするために，円錐ころ軸受を採用する等の測定精度向上を図った設計としている．
輪重測定用の磁歪式変位計，および横圧測定用の渦電流式変位計の設置状況を図2に示す．

2.2 輪重・横圧測定方法及びセンサ概要

PQモニタリング台車での測定項目は4項目あり，それぞれ①輪重を求めるための軸ばね上下変位，②横圧を求めるための車輪板部変位，③車輪/レール間の潤滑状態を推定するためのモノリンク荷重，④レール波状摩耗の有無を検知するための軸箱上下振動である．なお脱線係数 (=外軌 Q/P) は進行方向先頭台車の前軸にて測定をしている．なお，横圧測定用の渦電流式変位計は軸受けのガタによる車輪の平行移動や車輪の傾きによる変位の影響を補正するため，車輪板部以外に車軸の上下位置にも取り付けており，3カ所の変位から横圧による変形量のみを捉えるようにしている．さらに，横圧測定については，車輪とセンサの距離から横圧を換算しているが，車輪板部表面の影響を考慮し，一定時間毎に平均した値を横圧として算出している．

2.3 現車走行試験

各線とも輪重・横圧測定の精度を検証するために，営業使用する前に現車走行試験を実施しており，今回新導入した千代田線についても同様の試験を行った．
試験は各線とも全線を走行させ，空車および満車条件を設定し，営業運転並みの速度の他に，特定曲線に関して 10km/h 以下での低速走行を行った．なお，本台車による測定結果との比較のために，従来の輪重･横圧測定用 PQ 輪軸も同時に装着し測定を行った．図3に千代田線 16000 系の現車試験結果の一例を示す．図3から丸ノ内線および東西線 PQ モニタリング台車現車試験結果と同様に，PQ モニタリング台車により測定される測定値と PQ 輪軸による測定値の波形は概ね一致していることが確認できる．

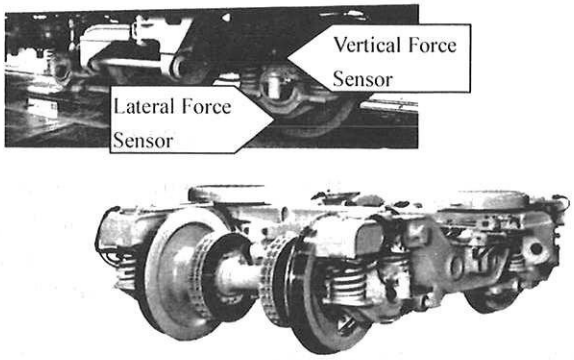

Fig.1 PQ Monitoring Bogie of Chiyoda Line

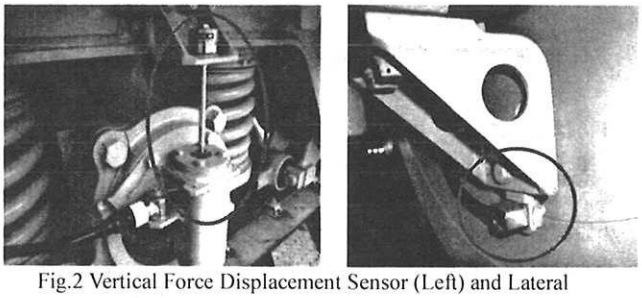

Fig.2 Vertical Force Displacement Sensor (Left) and Lateral Force Displacement Sensor (Right)

路線名	軌間	最大乗車率(ラッシュ時)	曲線の割合
丸ノ内線	標準軌 (1,435mm)	152% 新大塚→茗荷谷	R＜200m 13.8% 200m≦R<300m 6.56% 300m≦R<600m 19.03%
東西線	狭軌 (1,067mm)	199% 木場→門前仲町	R＜200m 0% 200m≦R<300m 9.43% 300m≦R<600m 13.86%
千代田線	狭軌 (1,067mm)	199% 町屋→西日暮里	R＜200m 2.87% 200m≦R<300m 9.28% 300m≦R<600m 20.16%

Table 1 specification of 3 subway lines for measuring

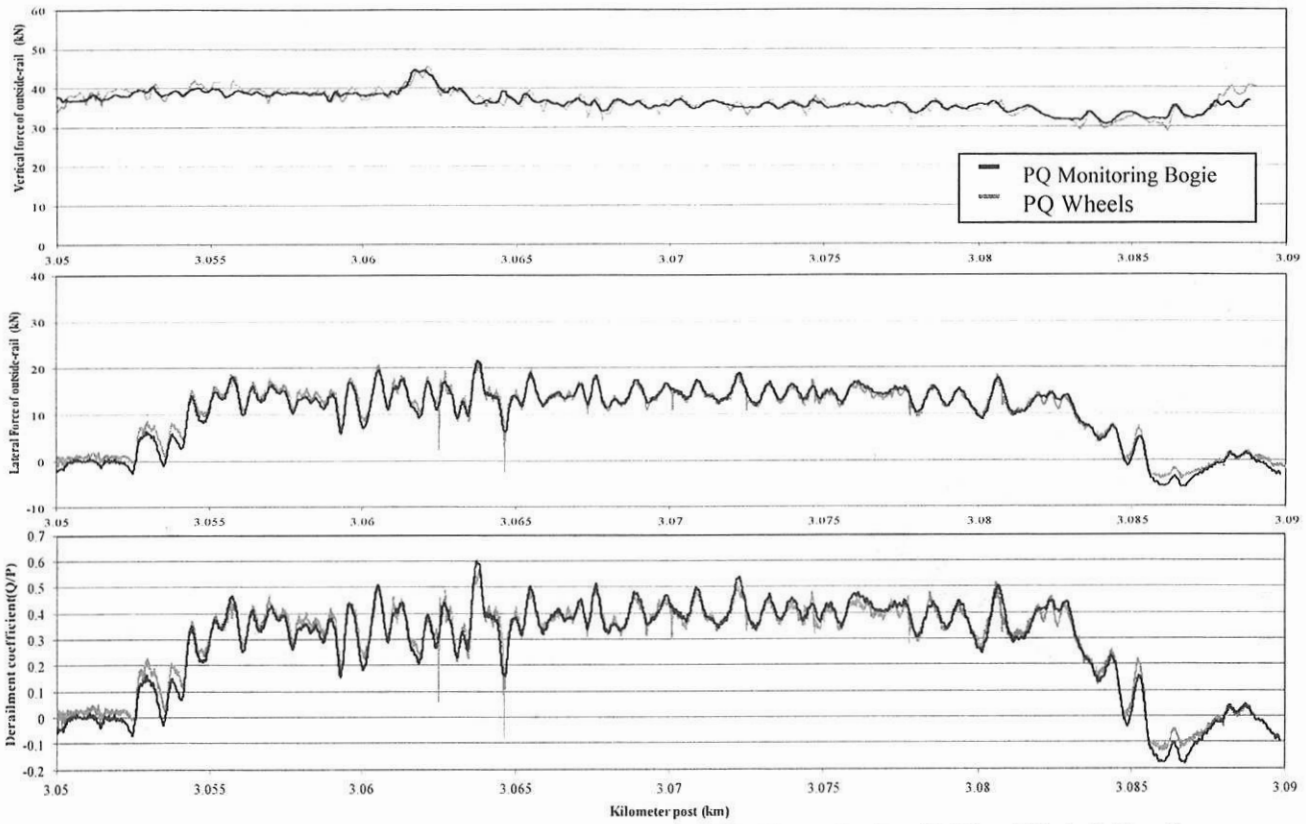

Fig.3 Result of running test for chiyoda line (Curve radius :R=500[m],Super elevation :C=44[mm],Slack :S=5[mm])

3. 営業線における PQ データとその活用方法

3.1 脱線係数(外軌 Q/P)波形データ

16000 系 PQ モニタリング台車を営業線で取得した PQ データを，図 3 に示す．この波形は，曲線中の値を測定回ごとに重ね合わせたものである．この得られた波形は，丸ノ内線，東西線の PQ モニタリング台車と同様な波形データであった．次に，図 4 と同じ曲線半径 200m 程度のものを選定し，丸ノ内線，東西線と比較を行った．図 5 は丸ノ内線，図 6 は東西線の外軌 Q/P 波形のデータである．これらのデータから，軌間の違いによらず，以下三つの事が分かった．

まず，第一に外軌 Q/P が時々刻々と大きくばらつくことがわかる．これは，脱線係数の値は毎回同じ値が計測されるわけではなく，様々な外部要因によって値が大きく変化する．横圧 Q は車輪/レール間の接触状態の変化によって大きく増減し，輪重 P は乗車率（閑散時・ラッシュ時）・走行速度（超過遠心力の作用等）などにより変化すると考えられる．

第二に曲線中における最も高い脱線係数の地点はいつも高い値を示していることが分かり，どの線区の PQ モニタリング台車も高い測定の再現性を示している．

第三に，PQ モニタリング台車を用いることで，営業線における脱線係数データを高頻度で確認できることから，曲線毎にデータの傾向を事前に把握することが可能となった．目安値を超過した場合には，早急な対策が必要であるが，比較的緩やかな状態変化については，曲線毎に傾向は異なるため，経年的な変化を把握できるシステムが求められる．このシステムについては 4 項で述べる．

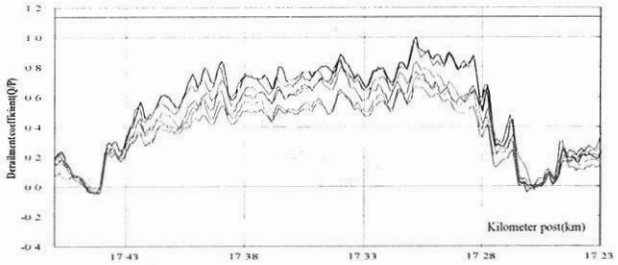

Fig.4 Chiyoda line data (R=204.6,C=94,S=9)

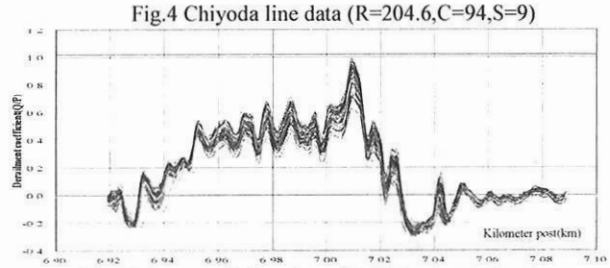

Fig.5 Marunouchi line data（R=201.5,C=136,S=13)

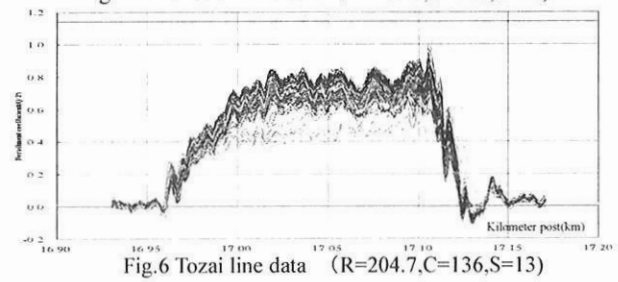

Fig.6 Tozai line data （R=204.7,C=136,S=13)

3.2 路線毎の PQ データの特徴

PQ モニタリング台車で取得できるデータを利用して，各線の特徴についてこの項では述べる．ここでは，丸ノ内線と東西線について，図 7 は前項で示した丸ノ内線の曲線データの測定毎の最大外軌 Q/P とその時の内軌 Q/P の関係を示し，図 8 は同様に処理した東西線のデータである．PQ モニタリング台車は外軌 PQ データだけではなく，内軌側の PQ データも同時に測定しており，急曲線中においては内軌 Q/P を車輪/レールの摩擦係数と近似することができる．このデータから，どちらの路線のデータも内軌 Q/P の上昇ともに外軌 Q/P が上昇するという傾向がみられる．この強い相関性は路線が変わっても同傾向である． 丸ノ内線のデータと東西線のデータを比較すると，丸ノ内線の内軌 Q/P は 0.3 程度の低い値から 0.8 程度の高い値まで変化していることが確認でき，それに伴って脱線係数も上昇していることが分かる．東西線のデータは内軌 Q/P が 0.3～0.6 程度と比較的安定していることが確認できる．

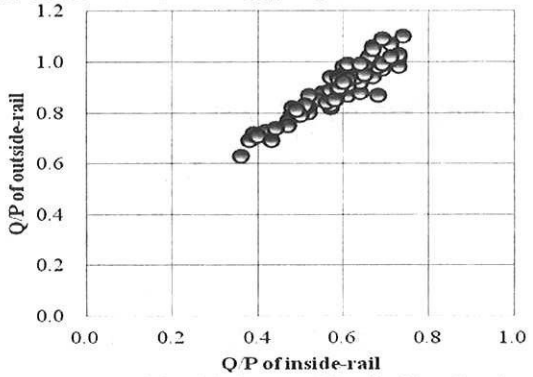

Fig.7 Relationship between Q/P of inside-rail and Q/P of outside-rail(Marunouchi line)

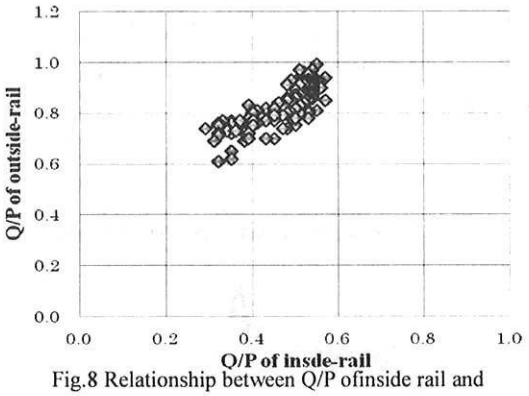

Fig.8 Relationship between Q/P ofinside rail and Q/P of outside rail(Tozai line)

3.3 取得した PQ 値の統計処理方法

PQ モニタリング台車によって多くの定量的データがこれまで取得されてきたたが，走行安全性を向上するためには脱線係数変動の要因を分析し，それらを改善する必要がある．しかし，様々な曲線のデータに対し要因分析を行うことは非常に煩雑であり，車両の走行安全性に精通した者でしかできない．現状として図 4～6 に示した波形等から原因を特定しているが，定性的な判断となってしまっている．第 3 項で述べたとおり，曲線毎の Q/P 波形や最大の Q/P 値を，PQ モニタリング台車を使用すれば取得できる事を示した．しかし，表 1 から分かるように東京メトロの各路線は曲線数が膨大であり，これら曲線毎の波形を管理するにあたり，前述のとおり解析や原因特定に非常に膨大な時間を要し，即時の対応が取りにくい．さらに時間がかかってしまう事によって，他の注意すべき曲線を見逃してしまい対応できない可能性が考えられる．そこで，外軌 Q/P の経年的な変化と全線の脱線係数を把握するために，図 9 に示すような 1 通過毎の脱線係数最大値に対し，1 カ月分の最大・最小・平均の値を統計的に求めた例を示す．この図の縦軸は外軌 Q/P，横軸は曲線の管理番号になっている．このように一定期間毎に統計的にデータ処理をすることで，変化のあった曲線について早期に発見できる取り組みを行っている．一定期間毎の変化を比較する事で，要注意曲線を選定し，継続的な軌道状態の把握が可能になると考えられる．

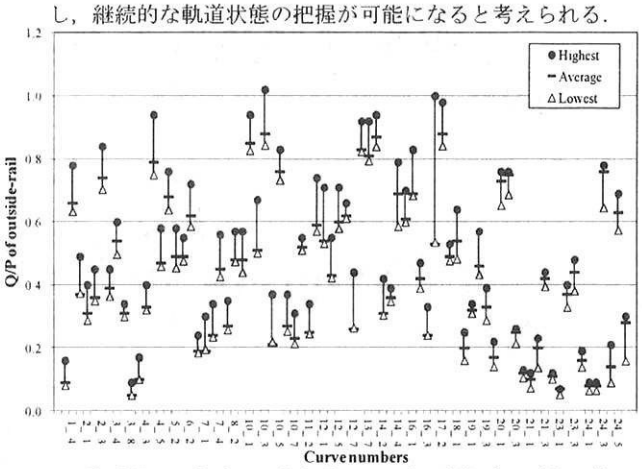

Fig.9 Example for statistical processing Q/P of outside-rail

これら軌道状態の把握した結果を，軌道のメンテナンスに活用するためには，実際に軌道のメンテナンスを行う者にも分かりやすい解析システムの開発が必要であり，今後も検討・改良を行っていく．

4．まとめと今後の課題

第 1 報，第 2 報に加え，16000 系 PQ モニタリング台車の PQ データ，並びに取得した PQ データの活用方法について報告した．今後も PQ モニタリング台車の全線導入を目指すと共に，取得した PQ データから軌道管理をアシストできる手段として開発を進めていく．

今後の課題として，現在データの蓄積は車上でリアルタイムに出来ているが，地上へのデータ通知はリアルタイムでは出来ないので，無線等を活用しリアルタイムで通知できる方法を引き続き開発していきたいと考えている．

参 考 文 献

1) 佐藤，田口他，PQ 輪軸を用いない車輪／レール接触力の測定方法 第 4 報，J-Rail2009，pp.639-642，2009.
2) 清水，中島他，東京メトロ営業線車両の脱線係数常時モニタリング，鉄道車両と技術 No.167，pp.15-23，2010.
3) Makoto,Shimizu, et al. :A New Monitoring System For Derailment Coefficients without a Special Wheel-set (Monitoring results on a subway line, Bogie10, 2010.
4) 砥上他，PQ モニタリング台車による営業線データの報告とその活用方法について(第 2 報)，J-Rail2011，pp.385-388，2011.