

東京ゲートブリッジの鋼床版ひずみ計測の経時変化

高橋 健*・森 晴夫**・工藤 博幸***・菅 崇****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

*** 国土交通省 関東地方整備局 東京港湾事務所 企画調整課 課長

**** 前 国土交通省 関東地方整備局 東京港湾事務所 企画調整課 港湾保安調査官

東京ゲートブリッジは、大田区城南島と江東区若洲を結ぶ東京港臨海道路のうち、東京東航路(第三航路)を横断する橋梁区間 2,618m の連続橋であり、平成 24 年 2 月の開通から約 9 年が経過した。主橋梁部には、「維持管理の省力化・費用の低減・劣化メカニズムの把握」を目的として設置された各種計測機により、継続的にモニタリングを実施している。本検討は、鋼床版ひずみ計により得られた長期間データを分析し、活荷重載荷などの経時変化について取りまとめを行ったものである。

キーワード：東京ゲートブリッジ、鋼床版ひずみ計、経時変化

1. はじめに

東京ゲートブリッジ(以下、TGB)は、増大する東京港の物流の円滑化を図るとともに、国道 357 号やレインボーブリッジ等の周辺道路の混雑緩和と物流の効率化を目的として整備された中央防波堤外側埋立地と江東区若洲地区を結ぶ東京港臨海道路の主要施設であり、橋梁延長 2,618m、主橋梁の構造は鋼 3 径間連続トラスボックス複合構造(最大支間長：440m)の長大橋(写真-1)である。



写真-1 東京ゲートブリッジ

TGB では、「維持管理の省略化・費用の低減・劣化メカニズムの把握」を目的とした「橋梁モニタリングシステム」が導入されている。

モニタリングシステムのセンサー配置及び配置状況を図-1 に示す。

2012 年 2 月の供用からモニタリングを実施し、4 年後の 2016 年に蓄積データの分析をしている。また、2018 年には蓄積データを基にしてシステム検証や効率的、効果的な維持管理を実現するため維持管理計画が更新された。

橋梁部を 1~8 工区に分類し、供用後に計画された年度で実施している近接目視による定期点検が令和 2 年度で一巡したこともあり、またモニタリングシステムの更新も必要となることから、令和 3 年度以降に改めて維持管

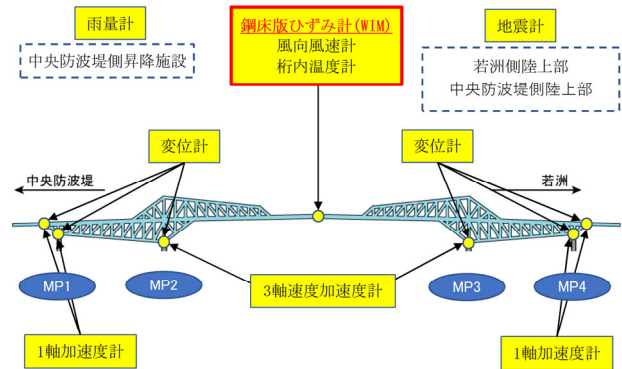


図-1 モニタリングシステム配置

理計画の更新が計画されている。

本稿では、令和 3 年度以降の TGB 維持管理計画更新に向け、鋼床版ひずみ計に着目し、これまでに蓄積された長期間のデータ分析を行い、活荷重載荷や通過速度の経時変化について述べる。

2. 計測データの分析

2.1 鋼床版ひずみ計

(1) 鋼床版ひずみ計の概要

TGB では、床版構造に高疲労耐久性の新型鋼床版構造が採用されている。大型車交通量が多い本路線においては活荷重載荷状況を把握し、疲労損傷が発生した際の参考データとして活用することを目的として、最もたわみが大きくなる中央径間(図-1 参照)に鋼床版ひずみ計の Weigh-In-Motion(以下、WIM システム)が導入された。

WIM システムでは、中央径間の鋼床版トラフリップ下面、横リブ下フランジおよび対傾構に取り付けたひずみ計のひずみ応答から、橋梁上を通行する車両の軸重や全重量、車両速度および台数を測定する。

このシステムを用いることにより、鋼床版への疲労蓄積を定量的に把握できるため、劣化予測および損傷車線の設定が可能となり、効率的かつ効果的な維持管理を目指す。

(2) 分析内容

WIM システムからは、車線毎の通過車両に関する通過時間、車両重量、通過速度が情報として蓄積されている。鋼床版の疲労に影響を与えるような重量車両の計測を目的としており、また精度の関係上、計測結果が 10tf 以上の車両を対象に集計している。

これまで取得したデータに対して、疲労への影響を把握するために、平均重量や重量の 95%信頼区間等の重量指標や、車重損傷度や等価重量、20 トン換算台数等疲労に関する指標を算出し、通過台数や通過速度も含めて期間を変えて様々な角度から分析を行った。

(3) 1 日の通過車両台数重量別頻度分布

各曜日の 1 日における重量別頻度分布図を作成し、重量車両や曜日による変動を整理した。

港外側走行車線(中央防波堤行/西方面)における 2015 年 9 月, 2017 年 9 月, 2019 年 9 月の平日のある 1 日を比較したデータを図-2, 図-3, 図-4 に示す。

頻度分布は 10tf から 1 tf 刻みにクラス分けし、台数を累計した。また、走行車線と追越車線別に色分けしている。重量指標としては平均重量(μ)、平均重量(μ) + 2 σ (標準偏差) 範囲重量(95%階級値)、最大重量(W_{max})、等価重量(W_{rmc})を算出した。

等価重量とは、式(1)に示す車両重量の 3 乗平均値の 3 乗根で求められ、変動する交通荷重を疲労損傷に対する等価な荷重として捉える指標である。数値が大きいほど疲労に影響を与える重量車両の割合が大きい交通特性である。

$$W_{rmc} = \sqrt[3]{\frac{\sum_i^n w_i^3}{n}} \quad (1)$$

ここに、

- W_{rmc} : 等価重量
- W : 車両重量
- n : 計測車両台数

車両重量 10~15tf の交通量が最も多く、その交通量は大きく変化はしていない。走行車線は等価重量が 20tf を超え、追越車線よりも厳しい疲労環境にある。長期的には平均重量、等価重量ともに減少傾向にある。

(4) 1 週間の通行台数と車重損傷度

前述の(3) 1 日の通過車両台数重量別頻度分布で対象とした各 1 週間の車線毎の各日通過台数の積み上げと車重損傷度を整理した。

各年度の同じ通行量と思われる 1 週間の車線毎の各日通過台数を図-5, 図-6, 図-7 に示す。

10tf 刻みでクラス分けを行い、どの程度の重量の車両が多くを占めるか把握できるように整理した。

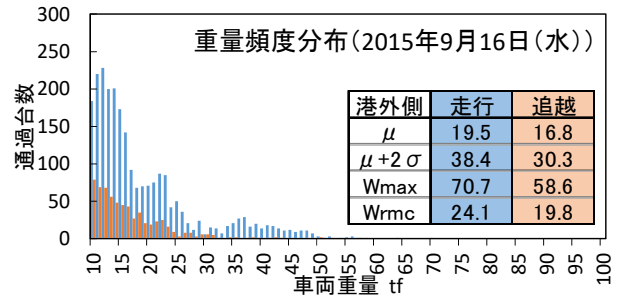


図-2 重量頻度分布(2015年9月16日)

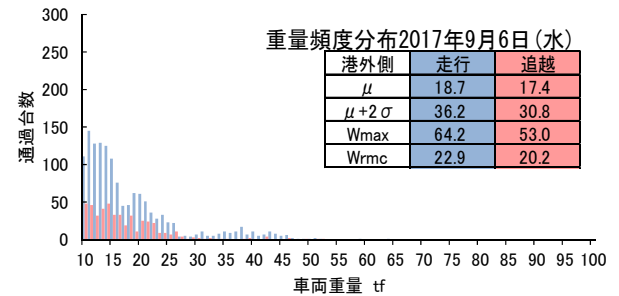


図-3 重量頻度分布(2017年9月6日)

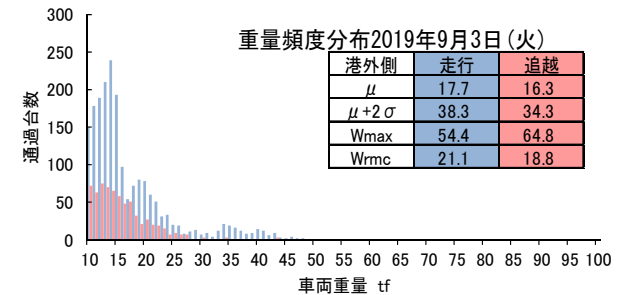


図-4 重量頻度分布(2019年9月3日)

港内側走行車線(若洲行/東方面)の交通量が港外側走行車線(中央防波堤行/西方面)よりも多くなっており、走行車線交通量は追越車線の交通量より多くなっている。日曜日の交通量は少なく、重量車両も少ない。また、図-5(2015年9月)~図-7(2019年9月)の走行車線の通過台数を比較すると、年々減少しているが、追越車線はほとんど変化がなく、車線によっては増加している。

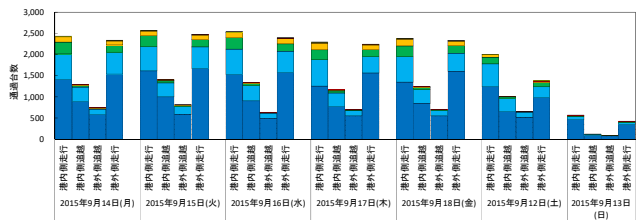


図-5 1 週間の通過台数(2015年9月)

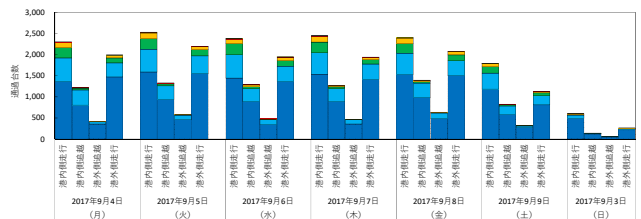


図-6 1 週間の通過台数(2017年9月)

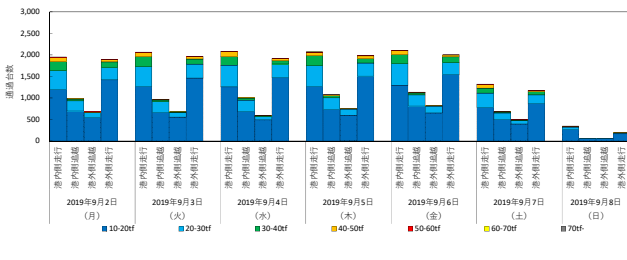


図-7 1週間の通過台数(2019年9月)

各年度の1週間の車線毎の車重損傷度を図-8, 図-9, 図-10に示す。

車重損傷度とは、式(2)に示す通過台数と車両重量を考慮し、疲労に対する累積ダメージの大きさを評価した指標である。

$$D_w = W^3 \times n \quad (2)$$

ここに、

- D_w : 車重損傷度
- W : 車両重量
- n : 走行台数

10tf刻みでクラス分けを行い、車線及び曜日毎の疲労への影響度の違いについて整理した。

図-5~図-7に示す交通量の比率が2割程度の30tf以上の車両が、図-8~図-10で疲労への影響が全体比率の6割以上を占め、車線によって大きな差がある。また、走行車線の40tf以上の重量車両の影響が年々低下しているが、追越車線は大きな変化はない。

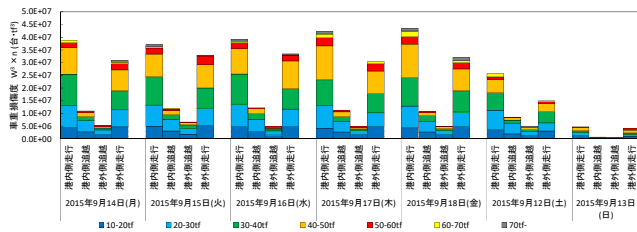


図-8 1週間の車重損傷度(2015年9月)

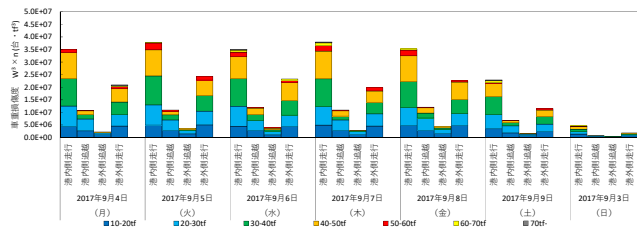


図-9 1週間の車重損傷度(2017年9月)

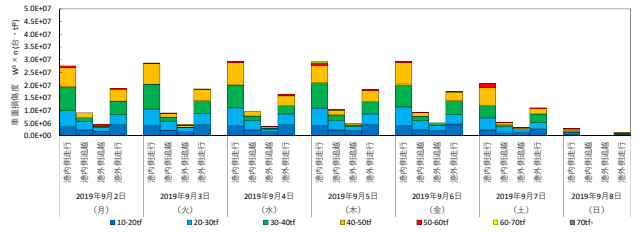


図-10 1週間の車重損傷度(2019年9月)

(5) 通過速度と車両重量

WIMシステムでは車両速度が重量算出用の影響線推定精度に影響するため、車両速度と車両重量および台数の関係について整理した。また、車両重量走行車両の速度分布に

大きな変化がないか別の年度で確認した。

港外側追越車線(中央防波堤/西方面)における2016年9月, 2019年9月の平日のある1日を比較したデータを図-11, 図-12に示す。

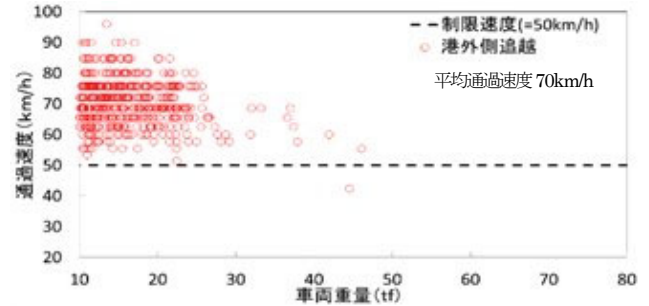


図-11 通過速度と車両重量(2016年9月12日)

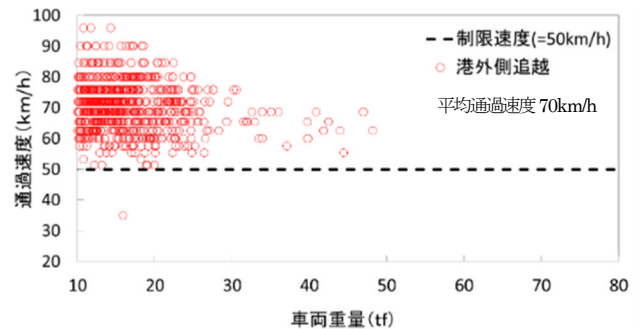


図-12 通過速度と車両重量(2019年9月5日)

制限速度 50km/h 以上の走行車両が多くを占め、平均速度は 70km/h である。重量が小さい車両ほど通過速度が大きくなる傾向にある。また、2016年から2019年で通過速度の分布、平均速度に大きな変化はないが、高速走行車両が依然多い。

通過速度の分解能は縦リブ下面の2つの車両検知センサー間隔とひずみデータのサンプリング間隔で決まるが、速度が 60km/h を超えたあたりから 5km/h ピッチで通過速度が分布し、車両速度が速くなるほど分解能が粗くなっていることから、速度推定精度が十分でない車両がある。

一般的には重量車両ほど低速で走行すると考えられ、図-11 および図-12 から重量車両の方が低速で走行する傾向が見られる。

(6) 長期データ

2012年の供用開始から長期における走行車両重量特性の推移に着目し、車両重量特性の変化について分析するため、月ごとの次に示す①通過台数の変化、②車重損傷度の変化、③平均値等重量指標の変化、④20トン換算台数の変化について整理した。

20トン換算台数とは、式(3)に示す大型車通行台数を車重ごとに集計し、車重 20tf に換算した累計値を示す。

$$N_{20} = \sum n_i \times \left(\frac{W_i}{W_{20}}\right)^3 \quad (3)$$

ここに、

- N_{20} : 20tf の換算累計大型車通行台数
- n_i : 車重ごとの通行台数

W_{20} : 累計基本車重 (20tf)

W_i : 累計対象の大型車重量

なお、累計値である通過台数及び車重量損傷度については、月によって日数に違いが生じるため、月の有効日数にて除した日当たりの平均値を使用した。

また、TGB を含む臨海道路の交通量を把握するために本路線内に設置されたトラフィックカウンター(以下、トラカン)の交通量との比較を行っている。

トラカンにて計測された交通量を図-13 に示す。なお、トラカンから計測できる交通量としては通過台数のみである。

トラカンにて計測された交通量からは、図-13 に示す通り国道 357 号東京港トンネルの開通の影響によって、開通した方面それぞれに対応する臨海道路の車線の計測台数が減少していることが確認でき、東京港トンネルの開通が臨海道路の交通状況に変化を与えていることが把握できている。

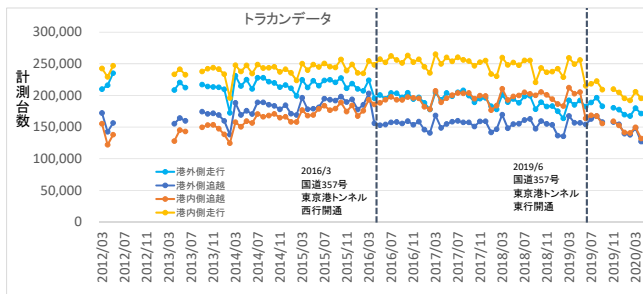


図-13 トラカン計測値の経年変化

①通過台数の変化

港外側走行車線(中央防波堤行/西方面)における各月の通過台数のデータを図-14 に示す。

通過台数は国道 357 号東京港トンネル開通により減少しており、トラカン計測結果の増減の傾向とほぼ同じ傾向である。

②車重損傷度の変化

港外側走行車線(中央防波堤行/西方面)における車重損傷度のデータを図-15 に示す。

車重損傷度は国道 357 号東京港トンネル開通により減少しており、トラカン計測結果の増減の傾向とほぼ同じ傾向である。また、特に 50tf 以上の重量車両の影響がほとんどなくなっている。

③平均値等重量指標の変化

港外側走行車線(中央防波堤行/西方面)における平均値等重量指標のデータを図-16 に示す。平均値、等価重量は国道 357 号東京港トンネル開通によってわずかに減少しているが大きくは変化していない。

④20 トン換算台数の変化

港外側走行車線(中央防波堤行/西方面)における 20 トン換算台数のデータを図-17 に示す。

20 トン換算台数は概ね大型車計画交通量の 6 割程度以下となっており、傾向として減少傾向にあるため、疲労への影響は少ないと思われる。また、トラカン計測結果の増減とほぼ同じ傾向である。

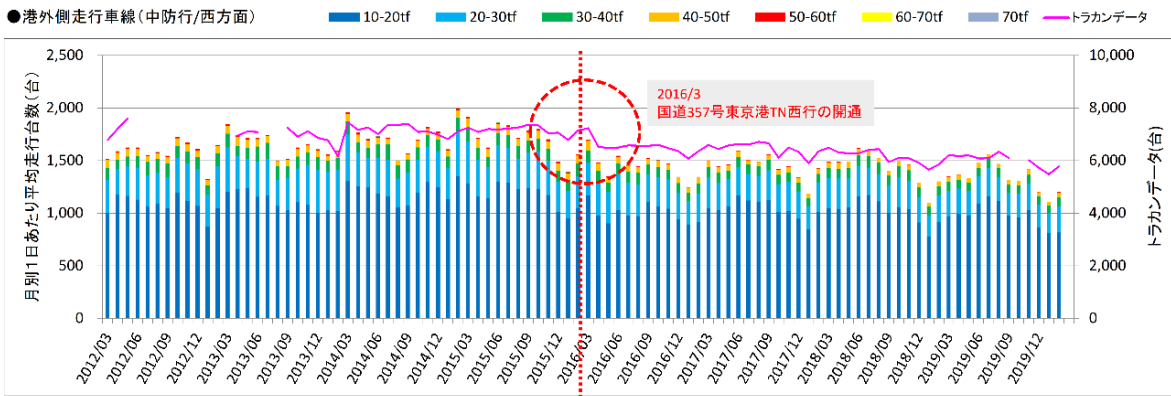


図-14 通過台数

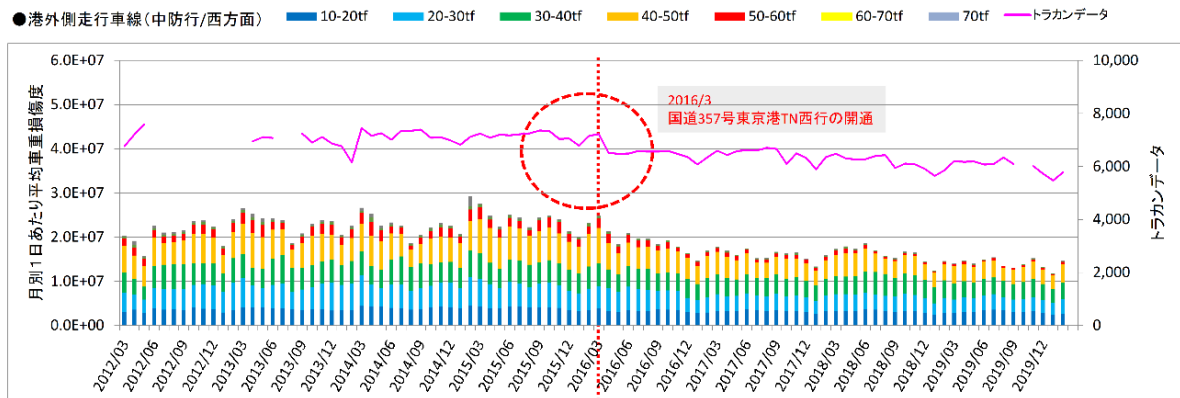


図-15 車重損傷度

●港外側走行車線(中防行/西方面)

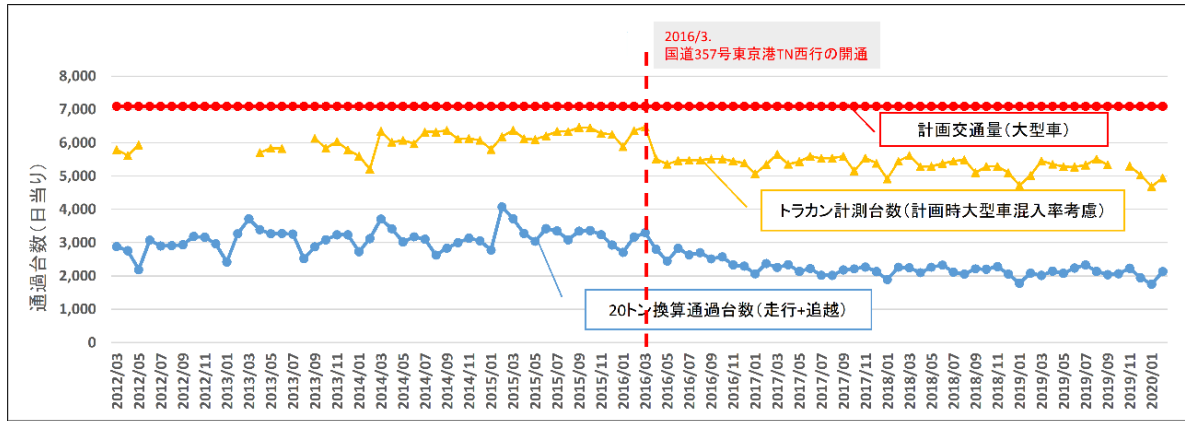


図-16 平均値等重量指標

●港外側走行車線(中防行/西方面)

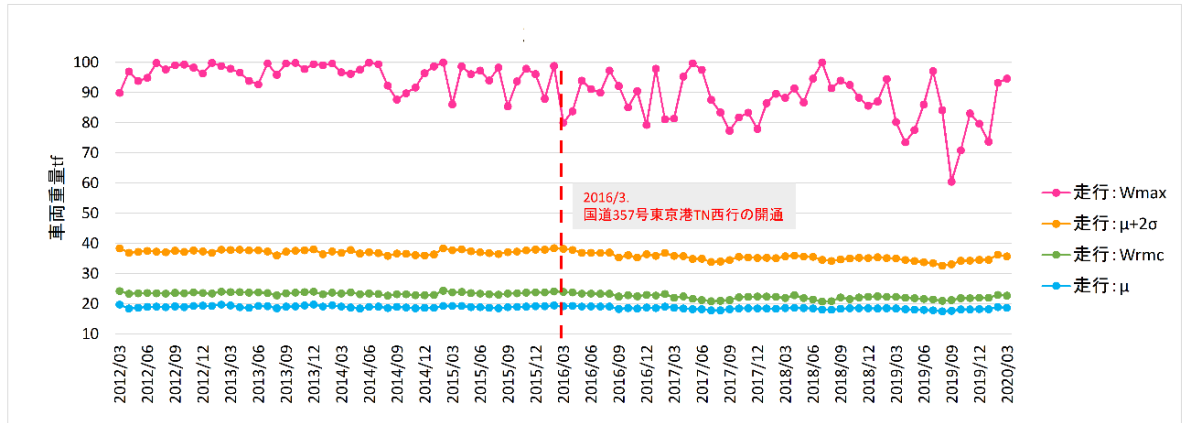


図-17 20トン換算台数

(7) 長期データの分析結果まとめ

長期のWIMシステムによる計測結果より、重量車両の影響が小さくなっていることや全体的な通過台数の減少により疲労への影響も小さくなっていることが確認できた。また、トラカンから計測された通過台数と相関があることが確認できた。

3. おわりに

TGBではWIMシステム以外にも支承の劣化損傷などのモニタリングを実施し、長期間データを分析している。これら全てのモニタリング結果を活用し、本年度以降に維持管理計画書の見直し、モニタリングシステムの更新や新技術の導入等による維持管理の効率化が期待できる。

謝辞

本稿は、国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所発注の「臨港道路構造物計測技術検討業務」の成果の一部をまとめたものである。業務実施にあたっては、関東地方整備局 東京港湾事務所の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所：平成18年度東京港臨海道路施設のライフサイクルを考慮した良好かつ効率的な維持管理手法の確立業務，2006
- 2) 国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所：平成28年度東京ゲートブリッジ技術検討業務，2016
- 3) 国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所：平成29年度東京臨港道路技術検討業務，2017
- 4) 国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所：臨港道路構造物計測技術検討業務，2019
- 5) 横田 昭人：東京ゲートブリッジの維持管理計画について，国土交通省 関東地方整備局 東京港湾事務所，2012
- 6) 松本 和之：「東京ゲートブリッジ」橋梁モニタリングシステム，橋梁と基礎，2012