

東京ゲートブリッジにおける点検結果と鋼床版ひずみ計測を活用した 点検の効率化の考察

高橋 健*・森 晴夫**・工藤 博幸***・渋間 陽二****

* (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

*** 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 課長

**** 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港道路のうち、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 10 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の計測データから疲労環境を把握し、過去に実施した主橋梁部上部構造の定期点検結果の疲労損傷の有無を確認することで、計測データから想定される溶接部のひびわれなどの疲労損傷箇所との整合性を確認し、鋼床版の近接目視点検の省力化および重点化について考察を行ったものである。

キーワード：東京ゲートブリッジ, 鋼床版ひずみ計測, 維持管理の効率化, WIM システム

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 号やレインポ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港湾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。

主橋梁部に設置し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、2019 年に、2015 年と 2016 年の 2 年分の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。また、2020 年に、

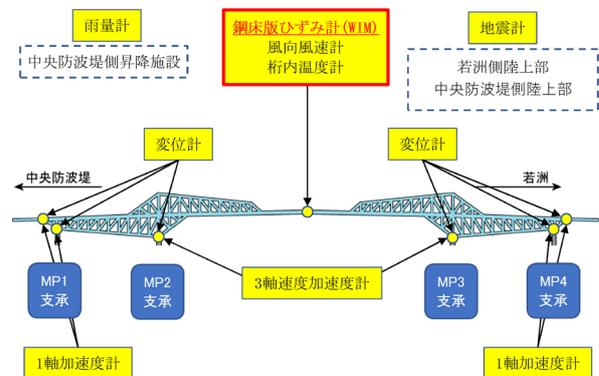


図-1 主橋梁部 モニタリングシステム配置

2012 年から 2019 年の長期の蓄積データの分析をしている。

モニタリングシステムを配置している主橋梁部では、令和 2 年に近接目視による詳細定期点検診断が実施された。供用から 10 年が経過し、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 4 年度以降に改めて維持管理計画の更新が計画されている。

本稿では、令和 4 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、計測データから車両等が橋に与える疲労の蓄積と、点検結果の疲労損傷箇所から損傷の整合性を確認し、主橋梁部の鋼床版の近接目視点検の効率化に向けた考え方について述べる。

2. 点検結果

2.1 一般定期点検診断結果

TGB では、橋梁の主要部材を対象とした目視による一般定期点検診断を年に1回実施している。

一般定期点検診断の点検ルートを図-2に示す。

徒歩による目視点検を原則とし、主桁内部の点検は実施せず、主橋梁部の上部トラスや下部トラスは遠望目視を実施している。

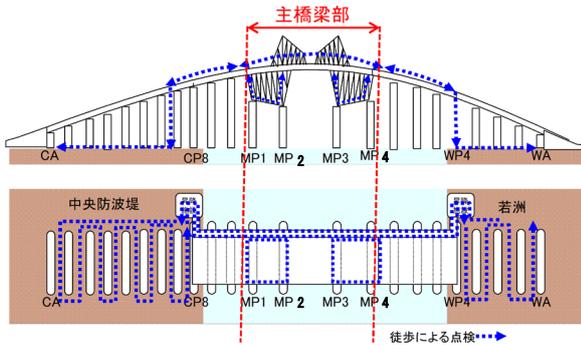


図-2 一般定期点検診断の点検ルート

2012年から2020年までに実施した主橋梁上部工の一般定期点検診断の損傷箇所数の合計を表-1に、判定区分を表-2に示す。

表-1 一般定期点検診断の損傷箇所数合計

判定区分		主橋梁		
		I	II	III
上部工	発錆・腐食		51	0
	塗膜劣化		1	0
	ひびわれ		0	0
	その他		3	0

表-2 判定区分

判定区分	状 況
I 健全	損傷が特に認められない
II やや注意	損傷がある。記録する必要がある。
III 危険	損傷が著しい。緊急に補修を行う必要がある。

主橋梁の構造部材については発錆・腐食などが局部的に報告されているが、いずれも判定区分はIIであり著しいとされる判定区分IIIはない。また、溶接部のひびわれなどの疲労損傷は報告されていない。

2.2 詳細定期点検診断結果

詳細定期点検診断は、一般定期点検診断で実施困難な部分を含めて近接目視を主体とする方法により5年に1回実施している。平成25年度に全体の初回点検、平成28年から令和2年にかけて橋梁部を各工区に分類した一巡目の詳細定期点検診断を実施している。主桁内部の近接目視のみならず、高所作業車による上部トラスの近接目視や、特殊高所作業による下部トラスの近接目視も実施している。

2020年に実施した主橋梁上部構造の詳細定期点検診断の点検結果総括を表-3に、健全度の評価判定区分を表

-4に、対策区分の判定区分を表-5に示す。

対策区分の判定はA・B・Mであり、健全度の評価判定区分はII（予防保全段階）である。また、対策区分で“予防保全の観点から補修を行う必要がある”C1には点検時点で該当はない。

表-3 詳細定期点検診断結果総括(2020年度)

径間	点検	健全度	上部構造						備考
			主桁	横桁	床版	対傾構	横構	主構トラス	
12径間	MP1~MP2	II	B	A	B	B	B	M	格点:B
13径間	MP2~MP3		B	A	B	B	B	B	格点:M
14径間	MP3~MP4		B	B	B	B	B	B	格点:M

表-4 健全度の評価判定区分

区分	健全度	定義	対策区分
I	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。	A, B
II	予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。	C1, M
III	早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性あり、早期に措置を講ずべき状態。	C2
IV	緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。	E1, E2

表-5 対策区分の判定区分

A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある
C1	予防保全の観点から補修などを行う必要がある。
C2	構造の安全性の観点から補修などを行う必要がある。
E1	構造の安全性の観点から緊急対応の必要がある。
E2	その他、緊急対応の必要がある。
M	維持工事に対応する必要がある。
S1	詳細調査の必要がある。
S2	追跡調査の必要がある。

主構トラスおよび格点については対策区分でMがあり、雨水の吹き込み等による腐食が一部に見られ、予防保全の観点から速やかに再塗装による補修を実施する必要がある箇所はあったが、溶接部のひびわれなどの疲労損傷は報告されていない。

写真-2に格点で確認された対策区分M、健全度の評価判定区分IIの腐食状況を示す。

写真番号	101	径間番号	2	現地確認年月日	2020.12.23
部材名	格点	要素番号	0402	前回損傷程度	
損傷の種類	腐食	損傷程度	d	-	
メモ 格点部に腐食が見られる。 ⑤防食機能の劣化-e (分類:1) 【新規損傷】					
対策区分:M 健全度:II					

写真-2 格点の腐食状況

主構造部材の材料である鋼材については、塗装の防食

機能の劣化、腐食についても対策区分B（損傷深さ：小、損傷の面積：小）と軽微ではあるものの散見されているが、溶接部のひびわれなどの疲労損傷は報告されていない。

写真-3 に主桁(箱桁内)で確認された対策区分B, 健全度の評価判定区分 I の腐食状況を示す。

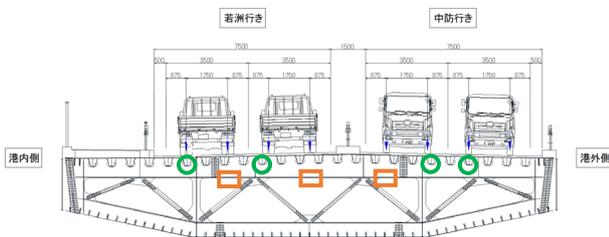
写真番号	48	径間番号	2	現地確認年月日	2020.12.23
部材名	主桁	要素番号	9204	前回損傷程度	-
損傷の種類	腐食	損傷程度	b		
写真					
メモ 主桁(箱桁内)に腐食が見られる。 ⑤防食機能の劣化-e(分類:1) 【新規損傷】					
<div style="border: 1px solid green; padding: 5px; display: inline-block;"> 対策区分: B 健全度: I </div>					

写真-3 主桁(箱桁内)の腐食状況

3. 鋼床版ひずみ計測データ

3.1 鋼床版ひずみ計の概要

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 Weigh-In-Motion(以下、WIM システム)が導入された。WIM システムのひずみ計の配置イメージを図-3 に示す。



- : 横リブ下フランジのひずみ計
- : 鋼床版トラフリブ下面のひずみ計

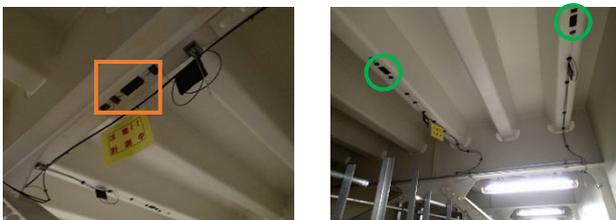


図-3 WIM システム ひずみ計の配置イメージ

WIM システムでは、中央径間の鋼床版トラフリブ下面、横リブ下フランジ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換算する。

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特定が可能となり、効率的かつ効果的な維持管理

を目指す。

WIM システムからは、主橋梁部の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 10ton 以上の車両を対象に集計している。

3.2 鋼床版ひずみ計測結果

(1) 重量別 累計走行台数

WIM システムにより得られた 2012 年 3 月から 2020 年 2 月までの重量別の累計走行台数を図-4 に示す。

10ton 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。

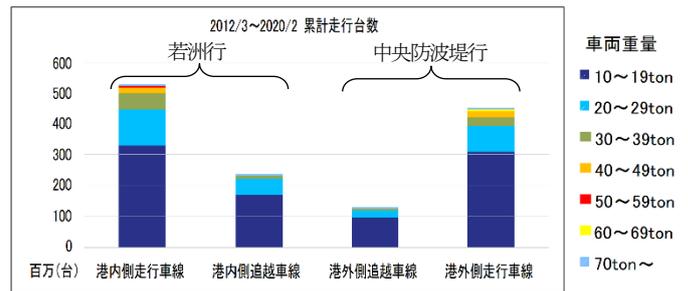


図-4 累計走行台数

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。

車両重量 10ton~19ton が全体の 6 割以上の比率を占めており、車両重量 20ton 以上が全体の 4 割程度を占めている。

(2) 走行車線別 累計車重損傷度

WIM システムにより得られた 2012 年 3 月から 2020 年 2 月までの走行車線別に集計した累計車重損傷度を図-5 に示す。

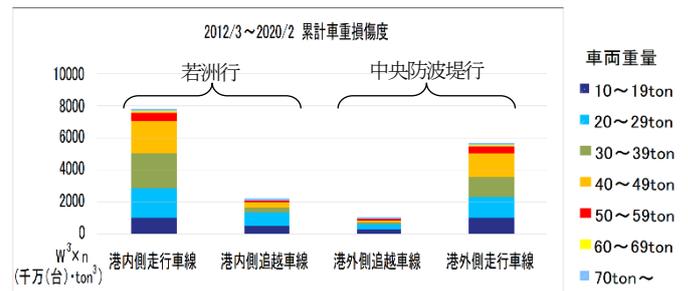


図-5 累計車重損傷度

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

車重損傷度とは、式(1)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。

$$D_w = W^3 \times n \quad (1)$$

ここに、

D_w : 車重損傷度

W : 車両重量

n : 走行台数

交通量の比率が4割程度の20ton以上の車両が、疲労への影響が全体比率の8割以上を占め、車線によって大きな差がある。また、交通量の比率が6割以上を占めている10ton~19tonの車両が、疲労への影響で全体比率の2割以下しか占めておらず、20ton以上の車両が疲労へ大きく影響している。

(3) 累積20トン換算通過台数

2012年の供用開始から長期における大型車を考慮した累積の通過台数について比較するため、計画交通量(大型車)、トラフィックカウンターによる計測台数(計画時大型車混入率考慮)、20トン換算通過台数(走行+追越)について整理し、累積疲労の影響を調べた。

平成24年に策定されたTGBの点検管理要領(案)では、WIMシステムに対する管理基準値は計画交通量の大型車通行台数と定めており、累積20トン換算通過台数が計画交通量の大型車通行台数を下回る場合は定期点検における床版の点検範囲を簡略化できるとしている。

港外側走行車線(中央防波堤行/西方面)における累積通過台数を図-6に、港内側走行車線(若洲行/東方面)の累積通過台数を図-7に示す。

トラフィックカウンター(以下、トラカン)とは、交通量の観測地点において通過する車両数を自動的に計測す

るための観測機器であり、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ている。

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ため、式(2)に示す計画時の大型車混入率を考慮することで大型車の累積台数を算出している。

$$\text{大型車混入率} = \text{大型車通行台数} \div \text{計画交通量} \quad (2)$$

ここに、

$$\text{大型車混入率} : 16,597 \div 35,419 = 0.469$$

$$\text{大型車通行台数} : 16,597 \text{ 台/日}$$

$$\text{計画交通量} : 35,419 \text{ 台/日}$$

20トン換算通過台数とは、式(3)に示す大型車通行台数を車重ごとに集計し、車重20ton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} : 20tonの換算累計通過台数

n_i : 車重ごとの通行台数

W_{20} : 累計基本車重(20ton)

W_i : 累計対象の大型車重量

20トン換算通過台数は概ね大型車計画交通量の4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。

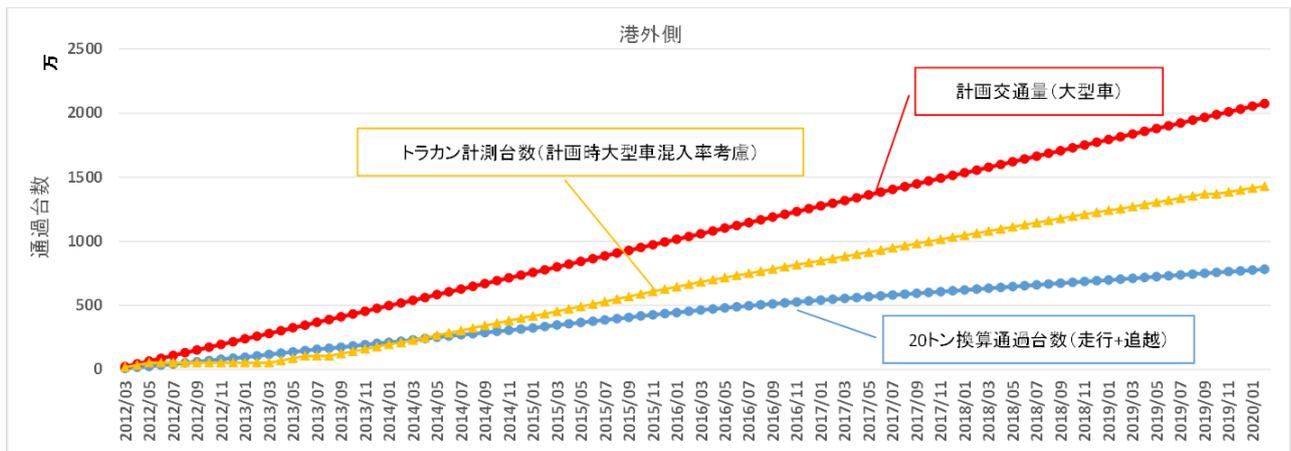


図-6 港外側 計画交通量・トラカン交通量・20トン換算通過台数(大型車)別累積通過台数

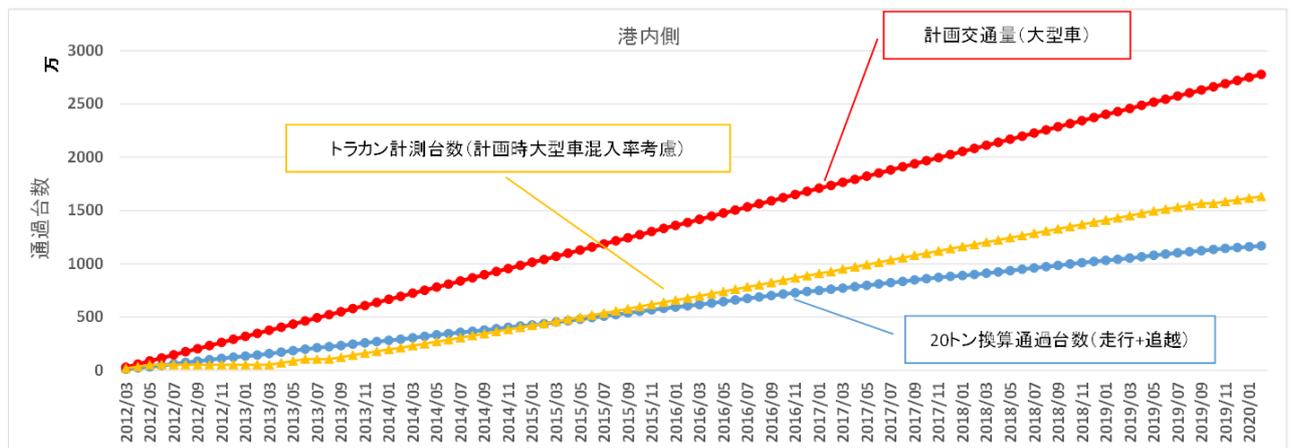


図-7 港内側 計画交通量・トラカン交通量・20トン換算通過台数(大型車)別累積通過台数

3.3 点検結果に対する計測データの評価

点検結果によれば、現時点で溶接部のひびわれから現れる塗膜劣化や亀裂といった鋼材の疲労損傷は確認されていない。WIM システムの計測結果から、計画交通量に対して実交通量が少なく推移しており、溶接部の疲労亀裂の発生は極めて低いと考えられ、点検結果と計測データは整合している。

4. 鋼床版近接目視点検の効率化の考察

WIM システムの分析結果を活用し、鋼床版の点検範囲、点検頻度等の調整を行い、疲労対策の効率化を図れる可能性がある。

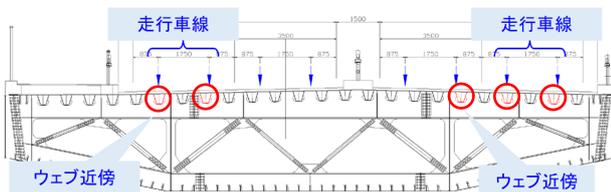
鋼床版の疲労亀裂の早期発見のため、現状では定期点検時に鋼床版の溶接部のひびわれから現れる塗膜劣化について全箇所で見極めを実施している。

TGB は耐用年数 100 年を目指す橋梁であり、WIM システムの長期データの分析結果から想定される累積疲労損傷度と当初の計画交通量(大型車)から推定される累積疲労損傷度を比較して、現状は耐用年数を目指す 100 年以内には疲労亀裂が発生しない状況であることが予測されるため、今後はトラカンの計測台数から累積疲労損傷度を推定し、交通量が大幅に増加するなどの傾向が見られるまでは近接目視点検箇所を重点化して点検の効率化を図ることができると考える。

疲労亀裂が発生しやすい箇所としては下記①～③が挙げられる。

- ①大型車交通量及び疲労損傷度が大きな走行車線の車輪直下(図-8「走行車線」参照)
- ②ひずみが集中しやすいウェブ近傍(図-8「ウェブ近傍」参照)
- ③施工上弱点となりやすい現場溶接部

上記①～③の箇所については亀裂が生じやすい部位であるため近接目視点検を今後も実施し、その他の箇所については亀裂が極めて発生しにくいことから遠望目視とするなど、着目部位によって棲み分けを行い省力化を図ることができると考えられる。近接目視点検箇所を図-8に示す。



○:疲労亀裂が発生しやすい箇所

図-8 近接目視点検重点箇所

なお、今後はトラカンにて定期的に大型車の交通量が計画交通量(大型車)を下回っていることを確認し、大型車の交通量が大幅に増加するなどの傾向が見られる場合には、疲労損傷が懸念されるため、近接目視点検箇所を再検討する必要がある。

5. おわりに

TGB では WIM システム以外のモニタリング結果も活用し、今後、維持管理計画書の更新による維持管理の効率化が期待される場所である。

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。

検討にあたっては、東京ゲートブリッジ技術検討委員会(委員長:東京都市大学 三木学長)の各委員、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) 国土交通省道路局国道技術課:橋梁定期点検要領,2019
- 3) 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
- 4) 国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所:東京港維持管理計画書-臨港交通施設:東京港臨港道路(II期)-5版,2021
- 5) 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,2021

