

首都高速道路の橋梁上部工における累積軸数と設計基準変遷による損傷発生特性分析

吉田 祥二¹・稲村 肇²・森地 茂³

¹正会員 首都高速道路株式会社 神奈川建設局 (〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目無番地)

E-mail:s.yoshida7141@shutoko.jp

²正会員 政策研究大学院大学 客員教授 (106-8677東京都港区六本木7-22-1)

E-mail: h-inamura@grips.ac.jp

³正会員 政策研究大学院大学 客員教授 (106-8677東京都港区六本木7-22-1)

E-mail: smorichi.pl@grips.ac.jp

鋼橋における疲労損傷の発生要因は、累積軸数、設計基準、橋梁構造等様々な要因が関与している。よって、ある特定の要因が疲労損傷に与える影響を分析するためには、それ以外の他の要因による影響を排除した上で分析を行う必要があるが、既往研究では、そのような分析を行った事例は少ない。そこで、本研究では、疲労損傷の主要な発生要因と考えられる累積軸数と設計基準に着目し、外的条件、設計的条件、構造的条件を統一した上で、統計的に分析した。その結果、主桁間部材が全て横桁である橋梁は対傾構である橋梁より疲労損傷が多いことや、昭和39年道示に準拠した橋梁は昭和47年以降の道示に準拠した橋梁より損傷数が多いことが分かり、損傷数の差はいずれの場合でも統計学的に有意な差であった。また、昭和47・55年道示に準拠した橋梁では、累積軸数と疲労損傷数の関係に相関が認められた。

Key Words : 鋼橋, 疲労損傷, 10t換算累積軸数, 道路橋示方書

1. 研究の背景と目的

橋梁上部工の代表的な損傷である疲労損傷は、様々な要因により発生する。例えば、大型車交通量やその重量分布などの外的要因、設計基準や製作時の品質・誤差などの設計・施工的要因、橋梁の構造形式などの構造的要因などが挙げられる。特に、構造的要因については様々な種類があり、I桁・箱桁等の主桁形状の違いや、主桁と床版の合成・非合成構造の違い、単純桁・連続桁の違い、更には、径間長・主桁本数・主桁高さ・床版厚等の各部材寸法の違いなど、非常に多岐に渡る。以上のことから、鋼橋における疲労損傷の発生傾向分析を行う際には、着目すべき要因を特定し、それ以外のすべての要因による影響を排除した上で分析を行う必要がある。橋梁の損傷分析に関する事例は非常に多く存在するものの、そのような手法により分析した事例はほとんどない。

首都高速道路では、これまで定期的に近接目視点検を実施してきている。点検のデータベースも確立されており、日々の点検記録がデータベースに蓄積されている。また、上部工の構造形式や適用基準等に関する情報についてもデータベース化されている。そうしたデータを駆

使することにより、上記のような多岐に渡る要因をコントロールしながら分析を行うことが可能である。

本研究では、上記の様々な要因のうち、影響が特に大きいと考えられる累積軸数と設計基準に着目し、それら要因が鋼橋の疲労損傷に与える影響について明らかにすることを目的として、外的条件・設計的条件・構造的条件を出来る限り統一した上で、疲労損傷の発生傾向の統計的な分析を行った。

2. 既往の研究と本研究の位置付け

鋼橋における疲労損傷の発生傾向分析に関する研究は非常に多く、様々な切り口での分析事例があるが、累積軸数に着目した事例は少ない。そのうち、首都高速道路の上部工を対象に、累積軸数と疲労損傷数との関係について分析した一例として、時田らの研究¹⁾では、首都高速道路が実施しているOD調査や料金所に設置されている軸重計の計測データなどの様々な交通データを用いて10t換算累積軸数を算出するとともに、累積軸数と点検結果による疲労損傷発生件数との関係について分析して

いる。既往研究では、累積損傷度を算出することに重点を置いているものが多く、損傷分析としてはマクロ的な視点での分析に留まっている。また、構造形式や設計基準といった累積軸数以外の要因による影響を排除できていないため、累積軸数と損傷数との相関が小さい結果となっている。したがって、本研究は、着目すべき累積軸数・設計基準以外の様々な要因による影響を排除した分析を行うという意味において、新規性がある。

3. 10t換算累積軸数の算出

(1) 累積軸数の定義

累積軸数とは、供用開始からの道路の使用状況を表す指標²⁾である。特に、ある路線における供用開始からある時点までに通行した全車両の軸数を、総重量20t（軸重10t）車両の軸数に換算した値は、10t換算累積軸数と称する。その換算方法は、鋼構造物の疲労損傷度とその応力範囲の3乗に比例することを考慮した式(a)により算出される。

$$10t換算累積軸数 = \sum \left(\frac{P}{10} \right)^3 \quad (P: 軸重) \text{-(a)}$$

(2) 使用するデータ

10t換算累積軸数の算出には、料金所に設置されている軸重計により計測された各通行車両の軸重データを使用する。軸重データは、車両の通過年月日・時刻・通過レーンナンバー・軸重の計測値が記録されたものである。軸重データが存在しない場合については、OD調査等の交通データから得られる各ランプ間の交通量および大型車混入率により推定することとした。

(3) 10t換算累積軸数の算出方針

既往の研究においては、重量制限違反車が疲労損傷に与える影響が大きいとして、軸重12t以上の車両のみを対象として10t換算累積軸数を算出している事例がある。本研究では、以下の方針で10t換算累積軸数を算出することとした。図-1に、首都高速道路のある路線Aにおける平成26年4月1日～平成26年4月30日に計測された軸重データより算出した軸重分布およびそれを式(a)により10t換算した分布を示す。図-2は、路線Bについて同様に整理したものである。図-1では、軸重4t～10t車両が疲労損傷に与える影響が支配的であり、軸重4t以下や10t以上の車両の影響は小さいことが読み取れる。一方、図-2は、図-1と概ね同様の傾向ではあるが、比較的軽量の車両の比率が高くなっていることが分かる。以上より、路線によって軸重分布が異なると考えられることから、本研究では、全軸重の車両を対象として10t換算累積軸数を算

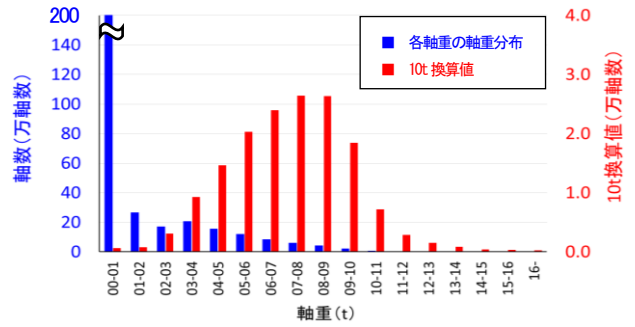


図-1 路線Aにおける軸重分布と10t換算累積軸数

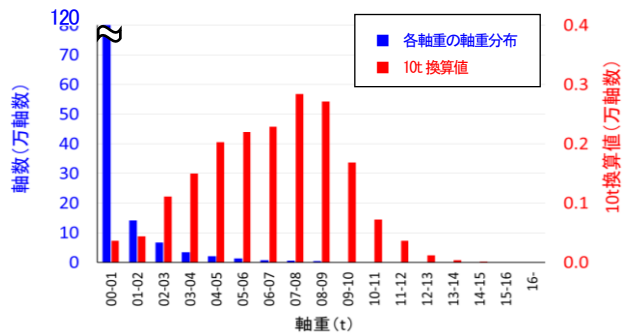


図-2 路線Bにおける軸重分布と10t換算累積軸数

出することとした。

(4) 分析対象路線の分類

全軸重データが保存されている箇所は、本線料金所やごく一部の料金所のみであるため、本線料金所がない路線では、10t換算累積軸数を算出することができない（後述する推測により算出したとしても精度が低いと考えられる）。したがって、本研究においては、本線料金所の軸重データから10t換算累積軸数の算出が可能である路線を分析対象とすることとした。

(5) 10t換算累積軸数の推測

全軸重データは数年前から保存されているが、平成25年度以前は欠落したデータが多い。また、前述のとおり、軸重データを使って10t換算累積軸数を算出できるのは、本線料金所のみであり、各ランプ間については算出できない。したがって、軸重データは平成26年度分のみを使用することとし、軸重データが存在しない区間および時代における10t換算累積軸数は、下記に示す推測を行って算出することとした。

図-3に、首都高のある路線C～Eの各本線料金所における平成26年度1年分の全軸重データから各月の10t換算累積軸数を算出したものを示す。数箇所データが欠落している月があるが、各料金所における10t換算累積軸数

の年間平均値を取ると、いずれの料金所においても11月の値に近くなっている。また、11月は物流の観点からも年間の平均的な月である。したがって、他の路線については、平成26年11月1か月分の10t換算値を算出し、それを12倍した値を平成26年度1年分の10t換算累積軸数とすることとした。この方法により、対象路線の全本線料金所における平成26年度分の10t換算累積軸数を算出した。

次に、軸重データが存在しない平成26年度における各ランプ間の10t換算累積軸数の算出方法は、ランプ部における10t換算累積軸数の変化率が大型車交通量の変化率と同等であると仮定して推定することとした。ある区間の大型車交通量は、(平成26年度における当該区間の交通量) × (OD調査による当該区間の大型車混入率) にて算出した。この方法により、平成26年度における全対象区間の10t換算累積軸数を推定した。

軸重データが存在しない平成25年度以前の各ランプ間の10t換算累積軸数は、上記と同様の考え方にに基づき、平成26年度と各年度の大型車交通量の比で算出することとした。平成25年度以前における大型車交通量は、各年度の各路線における交通量・大型車混入率の推移が、図-4に示す首都高全体の交通量・大型車混入率の推移と同一であると仮定し算出した。

以上により、各路線における供用～平成26年度における各年度の10t換算累積軸数を算出し、それを合計した値をその路線の10t換算累積軸数とした。

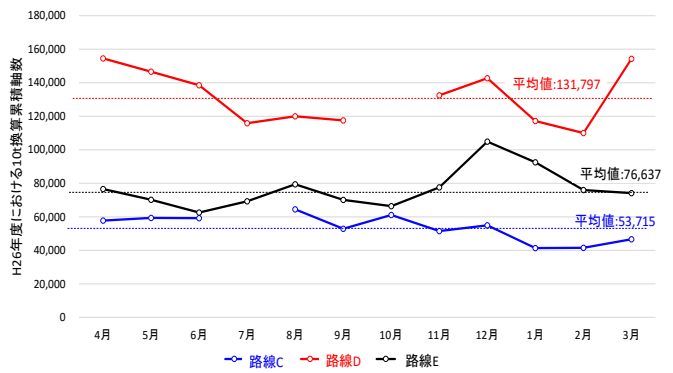


図-3 平成26年度各月における路線C, D, Eの10t換算累積軸数

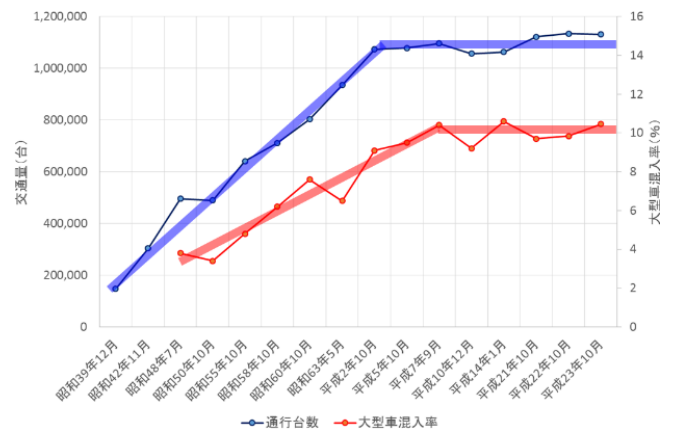


図-4 首都高全体の交通量と大型車混入率の推移

4. 分析対象とする橋梁や損傷の分類

(1) 使用するデータ

a) 点検補修台帳 (平成27年4月時点)

首都高速道路では、平成13年度より点検のデータベースとして点検補修台帳が運用された。点検補修台帳は、点検により発見された一つ一つの損傷に対し、点検年月日や損傷内容、損傷部位等の項目を記録したものである。本研究では、平成13年から平成27年4月の点検で発見された全損傷(約442,000件)のデータが保存された点検補修台帳を使用している。

b) 昭和63年～平成14年の点検データ (疲労損傷のみ)

上記の点検補修台帳が運用される前の点検データで、疲労損傷のみの点検データが記録されたものである。点検データ a)とb)を組み合わせることで、首都高におけるこれまでの点検で発見された鋼橋の疲労損傷が概ね網羅されることになる。

c) 上部工台帳 (平成27年4月時点)

上部工台帳とは、首都高速道路における全上部工について、桁の構造形式、材質、適用基準、しゅん工年月日等の項目について、径間単位でまとめたものである。

なお、a), b), c)はすべて別個のエクセルデータであるため、損傷分析に当たっては、それぞれのデータを一つに統合する作業を行っている。これにより、各損傷の情報に加え、その損傷が発生した径間の構造形式や適用基準等の情報も把握できるようにしている。

(2) 分析対象とする損傷の分類

a) 損傷の種類による分類

橋梁上部工に発生する損傷は、鋼部材の疲労損傷や腐食、鉄筋コンクリート部材のひび割れや鉄筋露出など、様々な種類がある。損傷種類別の発生件数比率は、表-1に示すとおりである。本研究では、すべての損傷のうち、損傷数が最も多く、かつ重大な損傷である疲労損傷を対象としている。

b) 損傷の程度による分類

首都高速道路では、構造物の点検で発見された損傷に対し、表-2に示す会社独自で定めた判定ランクに基づき損傷の程度を判定し、点検補修台帳に記録している。この損傷ランクのうち、Cランク以下の損傷については、補修が必要ない軽微なものであるため本研究の分析対象外とし、補修を必要とするBランク以上の損傷を分析の対象とした。

c) 損傷発生部位による分類

損傷発生部位についても、個々の損傷ごとに点検補修台帳に記録されている。疲労損傷の発生部位は、主桁間部材（横桁、対傾向、横構）の取付部における溶接部が多いが、その他にも付属物等の非構造部材でも発生している。本研究では、後者のような非構造部材に発生した疲労損傷は対象外とし、構造部材に発生した疲労損傷のみを対象とした。

(3) 分析対象とする橋梁の分類

a) 車線数による分類

首都高速道路は、基本的に片側2車線であるが、片側3車線または4車線となっている路線もある。そうした区間では、片側2車線区間と比べ、車線が多い分交通量も多く、主桁本数が多い等構造形式にも違いがあることから、疲労損傷の発生傾向も異なることが考えられる。したがって、本研究においては、片側2車線である橋梁のみを対象とすることとした。

b) 点検方法による分析対象橋梁の分類

上部工の接近目視点検には、機械足場点検、裏面吸音板内点検、工事足場内点検がある。基本的に、裏面吸音板が設置されている区間は裏面吸音板内での点検、裏面吸音板は設置されていないが補修工事等のための工事足場が設置されている場合はその足場内での点検、それ以外は機械足場による点検が実施されている。裏面吸音板内点検や工事足場内点検では共に桁下全面に足場があるため、ほとんどの部材をくまなく点検することができる。したがって両者の点検の質は同程度であると考えられる。しかしながら、機械足場点検の場合、高架下条件や桁下部材の配置状況等により、工事足場内・裏面吸音板内点検と同レベルの点検は困難である。したがって、機械足場点検しか実施されたことのない橋梁では、累積軸数や適用基準とは関係なく、機械足場点検であるが故に損傷件数が少なくなってしまうことも考えられる。以上のことから、本研究においては、これまで工事足場内又は裏面吸音板内点検が実施された橋梁のみを対象とすることとした。

表-1 首都高の上部工における損傷種類と発生比率

損傷内容	比率
疲労き裂	25%
腐食	16%
鉄筋露出	10%
漏水	5%
鳩害	4%
空洞音	4%
一方向ひび割れ	4%
漏水跡	3%
発錆	3%
塗膜劣化	2%
...	
合計	100%

表-2 首都高の点検における損傷判定ランク

判定ランク	内容
Aランク	性能回復のために緊急対応を必要とする損傷
Bランク	性能の低下があり、対応を必要とする損傷
Cランク	性能の低下がない又は軽微で、次回点検時までに対応を必要としない損傷
Dランク	性能に異常なし

表-3 首都高の鋼橋における設計基準別の径間数の比率

設計基準	比率
S31道路橋示方書	9%
S39道路橋示方書	37%
S47道路橋示方書	16%
S55道路橋示方書	25%
H2道路橋示方書	4%
H2道路橋示方書	3%
H8以降	6%
計	100%

c) 適用された設計基準による分類

各時代の道路橋示方書（以下、道示）における桁のたわみ許容値は、昭和31年道示ではL/600（L:径間長）、昭和39年道示ではL/500に緩和され³⁾、昭和47年道示ではL/(2000L)に強化されている⁴⁾。昭和47年以降、平成24年の最新の道示に至るまで、たわみ許容値は改訂されていない。また、表-3に示すとおり、首都高速道路の全鋼橋のうち、約40%が昭和39年道示または昭和47・55年道示

に準拠している。以上のことから、たわみ許容値が緩和されており径間数も多い昭和39年道示に準拠した橋梁と、たわみ許容値が強化され径間数も多い昭和47・55年道示に準拠した橋梁を、本研究の対象とした。

d) 上部工形式による分類

表-4に示すとおり、首都高速道路の鋼橋の上部工形式には様々な種類があるが、そのうち、最も一般的な形式である「鋼単純合成I桁」(床版形式：RC床版)が約半数を占めている。したがって、径間数が最も多い「鋼単純合成I桁」を分析の対象とすることとした。しかし、この1つの上部工形式だけにおいても、主桁本数や部材寸法等の様々な違いがあるため、下記に示す更なる分類を行っている。

e) 上下分離構造または上下一体構造による分類

高速道路の上り線と下り線がそれぞれ独立している構造を上下分離構造、上り線と下り線が中央分離帯を挟んで一体となっている構造を上下一体構造と称している。上下分離構造と上下一体構造では、幅員や主桁本数等が異なり橋梁全体の剛性に大きな差があるため、疲労損傷の発生傾向も異なると考えられる。また、表-5に示すとおり、それぞれの構造において主桁本数も異なり、上下分離構造の場合は主桁本数3本、上下一体構造の場合は主桁本数6本または5本が多い。以上のことから、全ての鋼単純合成I桁を、上下分離構造と上下一体構造の2種類に分類し、更にそれぞれ主桁本数3本、5本または6本に分類することとした。

f) 各部材寸法による分類

以上の分類を行ってもなお、径間長、主桁高さ、主桁間隔、床版厚等の部材寸法に違いがある。それら寸法の組み合わせはある程度パターン化されているが、イレギ

ュラーな寸法となっている場合もあるため、そうした橋梁が分析対象外となるように部材寸法の幅を設定した。

以上の全ての分類を整理すると、表-6のとおりとなる。

表-4 首都高における鋼橋の上部工形式とその比率

上部工形式	比率
鋼単純合成 I 桁	48%
鋼連続非合成多主箱桁	13%
鋼連続鋼床版箱桁	11%
鋼連続非合成 I 桁	8%
鋼連続非合成多主箱桁	3%
鋼単純合成多主箱桁	2%
...	
計	100%

表-5 鋼単純合成 I 桁の主桁本数と径間数(比率)

主桁本数	上下一体	上下分離
2	0%	7%
3	2%	40%
4	4%	20%
5	22%	21%
6	43%	7%
7	9%	4%
8	9%	1%
9	5%	0%
10以上	5%	0%
計	100%	100%

表-6 分析ケース一覧

	ケース1	ケース2
上部工形式	鋼単純合成 I 桁・RC床版	鋼単純合成 I 桁・RC床版
構造形式	上下線 一体構造 ・主桁本数 5本	上下線 一体構造 ・主桁本数 6本
イメージ		
設計基準	昭和39年基準	昭和39年基準
	ケース3	ケース4
上部工形式	鋼単純合成 I 桁・RC床版	鋼単純合成 I 桁・RC床版
構造形式	上下線 分離構造 ・主桁本数 3本	上下線 分離構造 ・主桁本数 3本
イメージ		
設計基準	昭和39年基準	昭和47・55年基準

(4) 1径間当たり損傷数の算出方法

点検補修台帳により、これまで発見されたすべての疲労損傷数を橋梁単位で算出することができる。しかし、これまでの実施された点検の回数は橋梁によって異なり、点検回数が多い橋梁ほど損傷数は多くなる。したがって、各区間における橋梁1径間当たり損傷数は、以下の式(b)で算出した。

$$\frac{\text{これまで発見された全分析対象損傷数(補修済みも含む累計)}}{\text{これまで分析対象点検が実施された全径間数(累計)}} \quad \text{—(b)}$$

5. 分析結果

(1) 主桁間部材による損傷数の違い

各分析ケースにおける各区間の累積軸数と1径間当たり損傷数の分析結果を図-5に示す。この結果より、累積軸数がほぼ同一であっても損傷数に大きな差がある区間が存在することが分かる。損傷数が多い区間と少ない区間の差について解明するため、全対象橋梁の図面を参照し、分類し切れていない構造等がないかを確認した。その結果、ケース1の損傷数上位4区間とケース3の損傷数上位2区間の全橋梁（●区間）と、それ以外の区間の全橋梁（○区間）では、構造に明らかな違いがあることが判明した。すなわち、損傷数が多い橋梁では主桁間部材が「全て横桁」、損傷数が少ない橋梁では「対傾構と分配横桁」の構造であった。一般に、横桁のウェブギャップ板は応力集中しやすく疲労損傷が頻発することが知られている。今回の分析対象橋梁について、主桁間部材別に損傷発生部位ごとの損傷数を集計すると、表-6のとおりとなり、主桁間部材が「対傾構と横桁」である場合は、各部材に損傷が分散しているが、主桁間部材が「全て横桁」の場合は、やはりウェブギャップ板に損傷が集中的に発生していることが分かる。

次に、この主桁間部材の違いによる損傷数の差が、統計学的に有意性があるか分析した。図-6は、ケース1におけるある同一路線から3区間を抽出し、主桁間部材別に損傷数の発生頻度について整理したものである。この図より、主桁間部材が「対傾構と横桁」の場合より「全て横桁」である方が平均損傷数が格段に多く、その差は有意水準5%で有意であることが分かった。なお、ケース1の別の路線における2区間についても同分析を行った結果、同様の傾向が得られている。

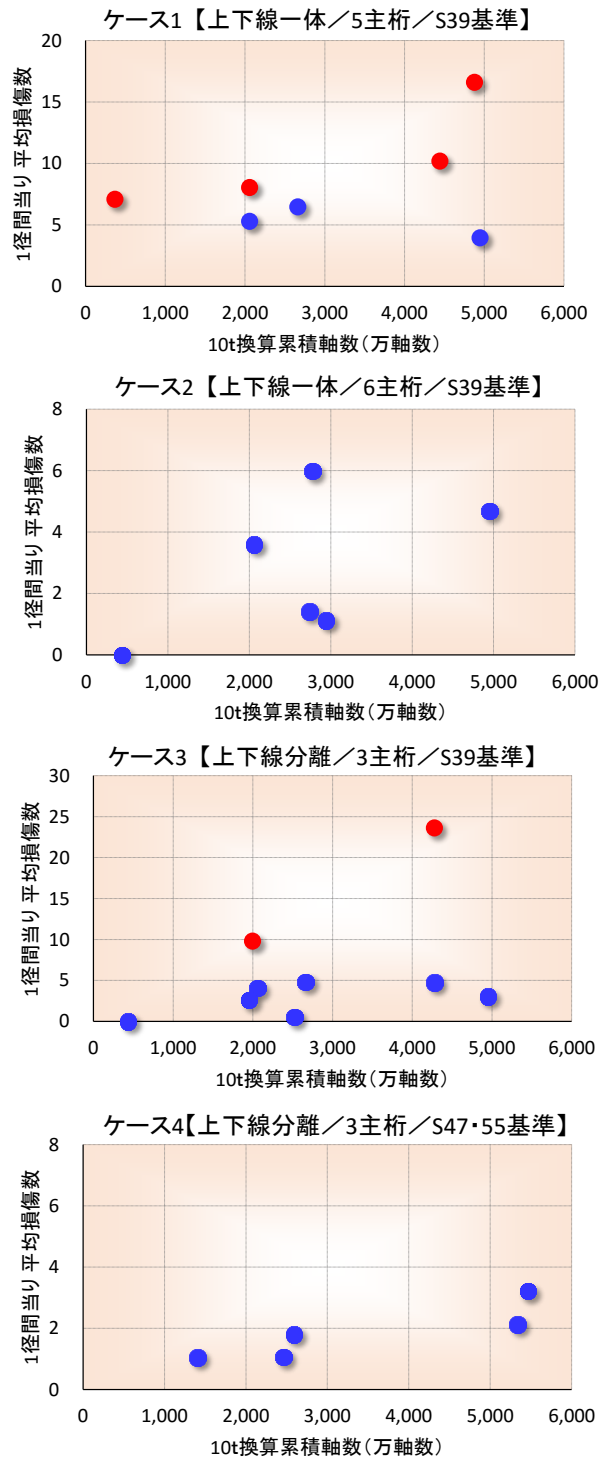


図-5 分析結果

表-6 主桁間部材別の損傷発生部位ごとの損傷数の比率

部 位	主桁間部材	
	対傾構と横桁	全て横桁
ウェブギャップ板	29%	70%
垂直補剛材	28%	4%
対傾構	11%	0%
横構	11%	6%
横桁	5%	13%
その他	16%	7%
計	100%	100%

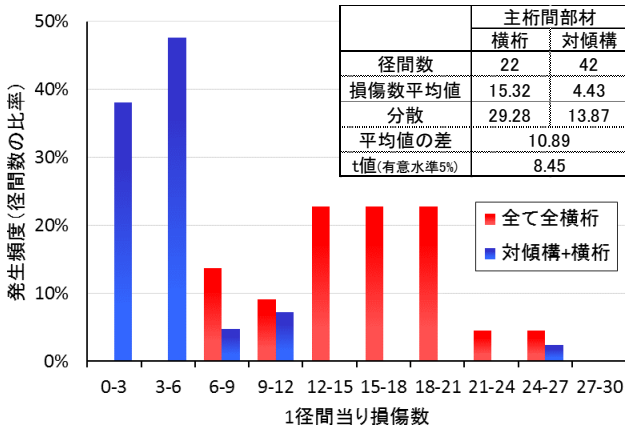


図-6 主桁間部材別の損傷発生頻度 (ケース 1)

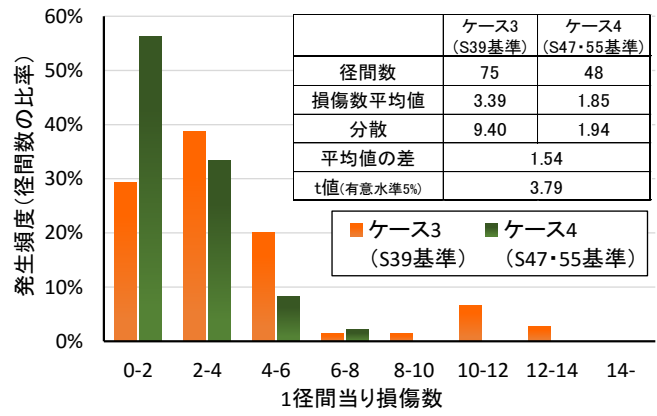


図-8 設計基準別の損傷発生頻度

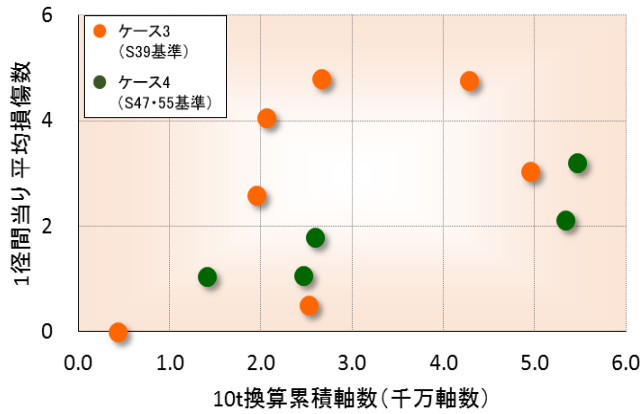
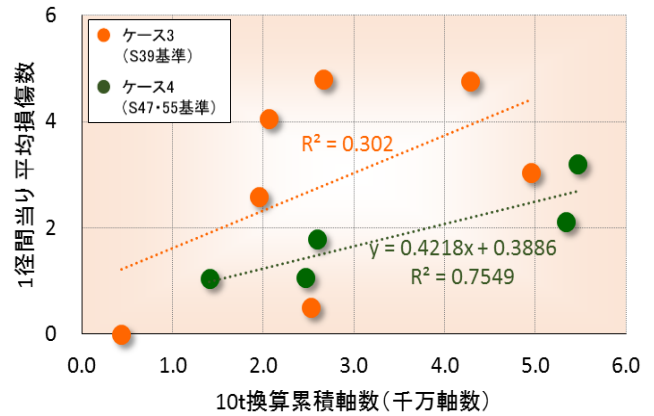


図-7 ケース 3 とケース 4 の比較



回帰統計		X 値 1 切片	
重相関 R	0.8688	係数	0.4218 0.3886
重決定 R2	0.7549	標準誤差	0.1388 0.5306
補正 R2	0.6731	t	3.0393 0.7323
標準誤差	0.5098	有意水準	5%
観測数	5		

図-9 回帰分析結果

(2) 設計基準の違いによる影響

同一構造であり設計基準だけが異なるケース3（昭和39年道示）とケース4（昭和47・55年道示）について、同一表に示して比較を行った（図-7）。なお、ケース3については、主桁間部材が「全て横桁」である区間は削除している。この図より、全体としてケース4よりケース3の方が損傷数が多いことが分かる。

これについても同様に、損傷数の差の有意性について分析すると、図-8のような結果が得られた。すなわち、昭和39年道示に準拠した橋梁の損傷数は、昭和47・55年道示に準拠した橋梁の損傷数よりも多く、その差は有意水準5%で有意であった。上記分析は、累積軸数の違いにかかわらずケース3およびケース4全体について行ったものであるが、累積軸数が3000万程度の橋梁と5000万程度の橋梁に限定した場合についても同様の分析を行っており、同様の傾向が得られている。

このような結果が得られた理由として、昭和39年道示と昭和47年以降道示における桁のたわみ許容値の違いが考えられる。前述のとおり昭和39年道示の方が桁のたわみ許容値が大きいため活荷重応力が大きくなり、その3乗に比例して疲労損傷が増大し、昭和47年道示に準拠した橋梁よりも早い段階で多くの疲労損傷が発生したものと考えられる。

次に、図-9に、ケース3およびケース4について回帰分析を行った結果を示す。ケース4では、決定係数が0.755と高い値となり、累積軸数と損傷数との関係に相関が認められた。一方、ケース3については、決定係数が0.302であり、相関は小さい結果となった。

以上のことから、昭和39年道示に準拠した橋梁は、累積軸数と疲労損傷数との関係に相関が小さいが、昭和47・55年道示に準拠した橋梁では相関が高いと言える。

(3) 相関に差が生じた原因

図-10は、ケース3における昭和39年道示準拠・累積軸数2,700万程度のある路線について、径間ごとに損傷数を整理したもので、図-11はケース4における昭和47年道示準拠・累積軸数2,700万程度のある路線について同様に整理したものである。図-11では損傷数に大きな差は見られないが、図-10では損傷数が突出して多い径間が

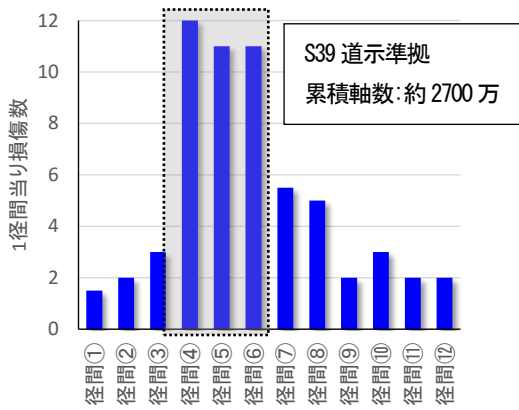


図-10 ケース3のある路線における径間ごとの損傷数

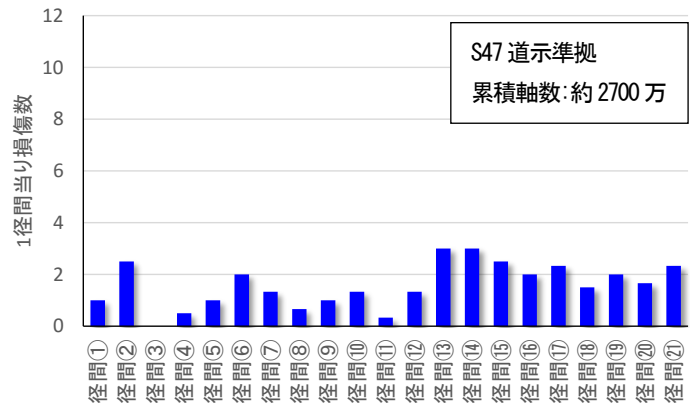


図-11 ケース4のある路線における径間ごとの損傷数

見受けられる。昭和39年道示準拠の別の路線でも、図-10と同様の傾向が得られている。これら昭和39年道示に準拠している全ての径間は、10t換算累積軸数がほぼ等しく、構造形式もほぼ同一である。したがって、疲労損傷が多い径間と少ない径間では、施工的要因に違いがあったことが疑われる。よって、昭和39年道示に準拠した一部の橋梁では、通常の疲労損傷と、品質に問題が疑われる溶接部における疲労損傷が混在して発生していたため相関が小さくなったのではないかと考えたが、本研究では、その真意を明らかにすることができなかった。

6. 結論と今後の課題

疲労損傷の主要な発生要因として考えられる累積軸数および設計基準に着目し、外的条件、設計的条件、構造的条件を統一した上で統計的分析を行った結果、以下の知見が得られた。

- ① 主桁間部材が「全て横桁」である橋梁では、主桁間部材が「対傾構と横桁」である橋梁より、疲労損傷数が著しく多い。これは、横桁上のウェブギャップ板に応力集中が発生しやすい構造となっているためである。
- ② 昭和47・55年道示に準拠した橋梁よりも昭和39年道示に準拠した橋梁の方が疲労損傷数が多い。この原因は、昭和39年道示の方が桁のたわみ許容値が大きいためであると考えられる。
- ③ 昭和47・55年道示に準拠した橋梁では、累積軸数と疲労損傷数の関係に相関が認められた。

今後の課題としては、本研究で明らかにすることができなかった、昭和39年道示に準拠した橋梁において10t換算累積軸数と疲労損傷数の相関が小さくなった理由を、

「施工的要因」等から分析する必要があると考える。

また、本研究では、鋼単純合成I桁・RC床版に限定して分析を行ったが、構造形式は他にも多岐に渡る種類があり、他の構造ではどのような傾向となるか、同様の分析を行って確認する必要があると考える。

参考文献

- 1) 時田,永井,三木:交通データをベースとした首都高速道路の疲労環境の評価,土木学会論文集 No.794/ I -72,55-65,2005.7
- 2) 首都高速道路構造物の大規模更新のあり方に関する調査研究委員会:報告書 平成 25 年 1 月 15 日,p22
- 3) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I,pp.30-31,1
- 4) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I 共通編,pp.30-31,1972