

重量超過車両が橋梁に与える影響のモニタリング

太田富夫¹・伊藤誠二²

¹中部地方整備局 北勢国道事務所 管理課 (〒519-0165 亀山市野村4-3-25)

²中部地方整備局 北勢国道事務所 上野維持出張所 (〒518-0842 伊賀市上野桑町2055)

橋梁の疲労損傷は、事前に発見することが難しい上に、発生すると急激に進行して、落橋事故や通行止めを伴う重大損傷に発展することもある。このため、橋梁の疲労損傷を未然に防ぐことが安全・安心な道路交通の確保につながると考える。本文は、橋梁に想定以上の重量を作用させて疲労寿命を縮めていると予測される重量超過車両の影響度を把握して、効果的・効率的な維持管理手法を検討したものである。

キーワード：疲労、重量超過車両、モニタリング、応力頻度計測

1. はじめに

従来、道路橋においては、鋼床版ならびに道路橋に軌道または鉄道を併用する場合などを除いて、一般的に疲労の影響を考慮しなくてもよいとされてきた。これは、道路橋では設計応力に占める活荷重応力の割合が小さく、またL荷重に相当する活荷重の載荷される頻度が小さいとの考えに基づくものである。しかし、近年の車両の大型化や交通量の増大に伴い、交通条件の厳しい橋梁において疲労損傷が報告されるようになってきた。このような背景から、平成14年3月の道路橋示方書では「鋼橋の設計にあたっては、疲労の影響を考慮するものとする」と規定され、疲労を考慮した設計を実施するようになった。しかし、それ以前に竣工された既設橋梁において疲労は依然として大きな問題の一つであり、近年では山添橋（名阪国道：奈良国道管轄）に発生した主桁ウェブの亀裂等が記憶に新しいところである。

名阪国道（一般国道25号）は、1965年に暫定2車線で開通し、1980年に全線4車線化した自動車専用道路である。本路線の特徴は以下の通りである。

- ① 一期線は建設後50年近く、経過しており、道路施設の高齢化が進んでいる。
- ② 昭和47年以前の設計示方書に基づいて設計されており、設計時に疲労が考慮されていない。
- ③ 三重県亀山市から奈良県天理市を結ぶバイパス道路であり、三重県と奈良県の主要部を経由し、中部地方と近畿地方の東西を結ぶ主要幹線の一つである。このため、非常に多くの大型車が往来している。（交通量=5～6万台/日程度、大型車混入率=50%程度）

これらが要因となり、近年では橋梁点検で鋼桁の疲労損傷が目立って確認されている。疲労損傷は落橋事故や通行止めを伴う重大損傷に発展する可能性もあり、これを未然に防ぐことが安全・安心な道路交通の確保につながると考える

往来している車両の中には重量超過車両（車両総重量が20tを超える車両）も多く存在しており、これが橋梁に想定以上の重量を作用させることにより疲労寿命を縮めていると予想される。本文は、重量超過車両が鋼桁の疲労寿命に与える影響度を把握するためのモニタリングを実施して、重量超過車両の影響および効率的な維持管理手法を検討したものである。



図-1 名阪国道およびモニタリング実施箇所

2. モニタリング対象橋梁

特殊車両の通行実態および違反実態を把握することを目的とした走行車両重量計測装置が上り線34.11kpに設置されており、当該箇所を走行した車両の重量や走行している車線等を計測している。本モニタリングはこの走行車両重量計測装置を利用して実施することとした。このため、モニタリング対象橋梁は最も走行車両重量計測装置の近くに架設されている「木津川大橋（上り）」とした。木津川大橋（上り）は、走行車両重量計測装置から75m程度奈良側に架設されている4径間連続非合成鋼桁橋であり、諸元を表-1に示す。

木津川大橋（上り）に対して橋梁の各箇所センサー（ひずみ計）を取り付けて応力頻度計測を実施した。その結果と走行車両重量計測装置の結果より、『重量超過車両の影響度』を検討した。また、各計測位置での応力頻度計測結果を比較することにより『各部材の疲労傾向』を検討した。

表-1 木津川大橋（上り）橋梁諸元

項目	内容
橋長	151.20m
支間長	36.0m+39.0m+39.0m+36.0m
上部工形式	4径間連続非合成鋼桁（4主桁）
幅員	全幅員9.8m（有効復員9.0m）
適用示方書	昭和47年 道路橋示方書
架設竣工年	昭和49年（1974年）
供用状況	交通量=53,503台/日 大型車交通量=25,194台/日 注1) H22センサスに基づく。 注2) 上下線の合計の交通量。

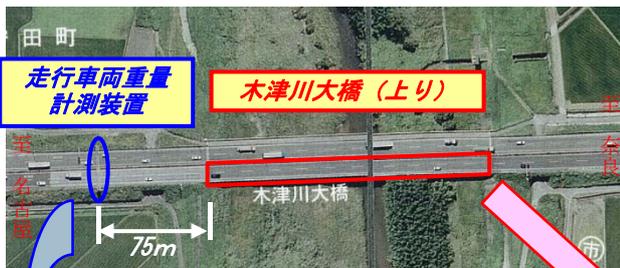


写真-1 航空写真



写真-2 走行車両重量計測装置（名古屋方面を望む）

3. 応力頻度計測箇所

計測箇所は学識経験者の指導のもと、図-2^{注1)}^{注2)}^{注3)}に示す一般的に疲労損傷が生じやすいとされている箇所とした。また、計測対象径間は走行車両重量計測装置に近いA1～P2の2径間とした。

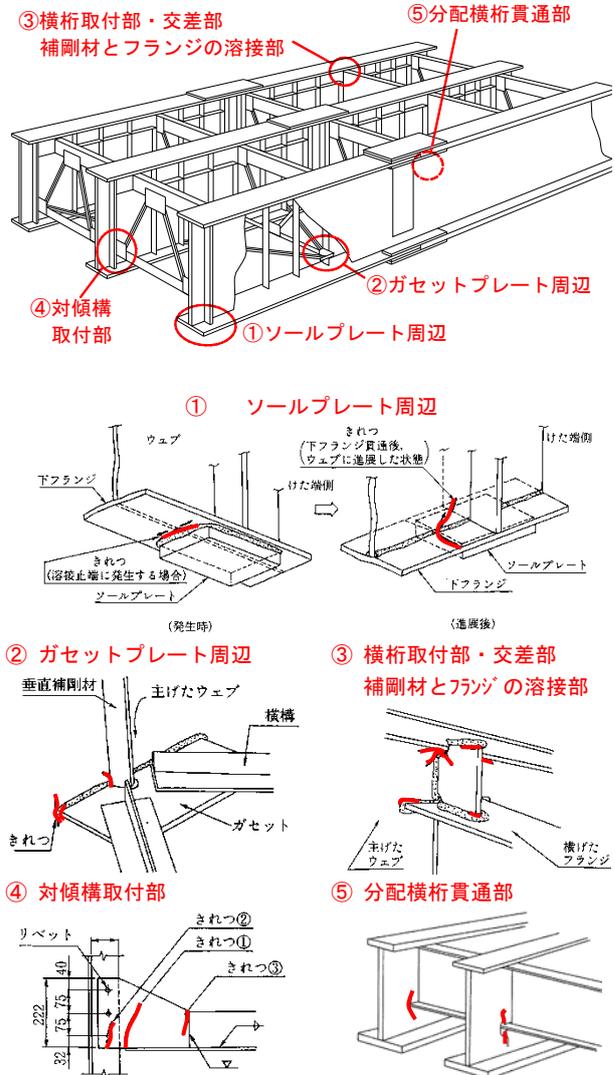


図-2 計測箇所（一般的に疲労損傷が生じやすい箇所）



写真-3 木津川大橋（上り）（大阪方面を望む）

4. 名阪国道の供用状況

平成24年7月17日から平成24年7月20日の3日間の道路利用状況を整理した。表-2に「走行車両数と車線割合」を、表-3に「車両総重量TOP5」を示す。但し、総重量10t未満の車両は走行車両重量計測装置で計測されないため、以下の表は総重量10t以上車両の道路利用状況を整理結果である。これらより、名阪国道の道路利用状況は以下の通りである。

- 重量超過車両は、一日3,000台程度走行している。ちなみにH22センサス結果では本橋が架設されている区間の交通量は約26,000台/日/方向であるため、走行している車両の1割程度が重量超過車両であると考えられる。
- 重量超過車両の7割弱が走行車線側を走行しており、追越車線側を走行する車両の2倍以上が走行車線側を走行している。
- 一般制限値である20tを3倍以上超過している車両も走行している。

5. 重量超過車両の影響検討

応力頻度計測を実施した場合、疲労に対する影響は以下の式から算定される累積疲労損傷比Dという数値で評価される。

$$D = \sum (n_i / N_i)$$

n_i : 応力範囲頻度分布に $\Delta\sigma_i$ の頻度 (回)

N_i : 疲労設計曲線より求まる $\Delta\sigma_i$ に対する疲労寿命(回)

累積疲労損傷比とは、部材に累積された疲労の程度を示す比率であり、この値が大きいくほど疲労寿命は短いことを意味する。疲労設計上ではD=1が耐久性の限界値を意味する。また、累積疲労損傷比は応力頻度計測で計測される応力振幅波形を解析して算定する数値である。

表-2 走行車線数と車線割合 (3日間合計)

重量区分	走行車線	追越車線	その他(車線変更等)	小計	合計
0t~10t	走行車両重量計測装置では計測されない				
10t~20t	10,311 (67.4%)	4,751 (31.1%)	225 (1.5%)	15,287	8,785
20t~30t	4,366 (66.8%)	2,067 (31.6%)	105 (1.6%)	6,538	
30t~40t	1,025 (73.2%)	325 (23.2%)	51 (3.6%)	1,401	
40t~50t	546 (68.9%)	200 (25.3%)	46 (5.8%)	792	
50t~60t	38 (76.0%)	6 (12.0%)	6 (12.0%)	50	
60t~70t	2 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2	
70t~80t	2 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2	
Σ	16,290 (67.7%)	7,349 (30.5%)	433 (1.8%)	24,072	

表-3 車両総重量TOP5

順位	通過日時	車線	重量
1	7月18日 02時16分47秒	走行車線	74.0t
2	7月17日 22時02分14秒	走行車線	71.2t
3	7月20日 01時35分38秒	走行車線	66.4t
4	7月19日 23時15分20秒	走行車線	62.9t
5	7月18日 12時11分30秒	走行車線	59.5t

重量超過車両の影響は、重量超過車両を削除する前の全波形から算出する「ケース1：全車両による累積疲労損傷比D1」と、重量超過車両の影響部を削除して生成した20t以下の車両のみが走行している際の結合波形から算出する「ケース2：総重量20t以下の車両のみによる累積疲労損傷比D2」の差異によって評価する。

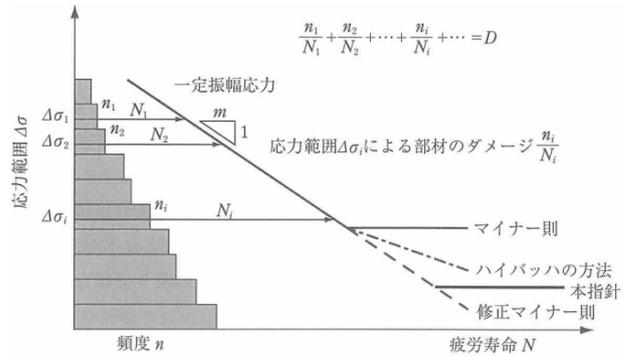
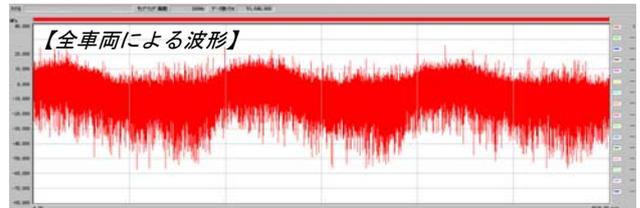


図-3 累積疲労損傷比の概念図^{注4)}



重量超過車両の影響部削除

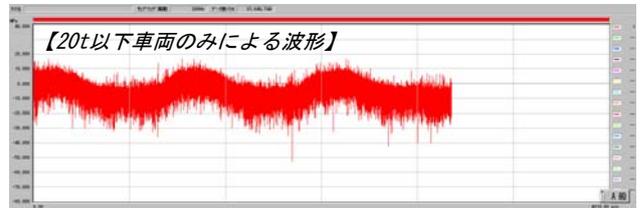


図-4 重量超過車両影響部削除後の波形 (横軸：時間、縦軸：応力振幅量)

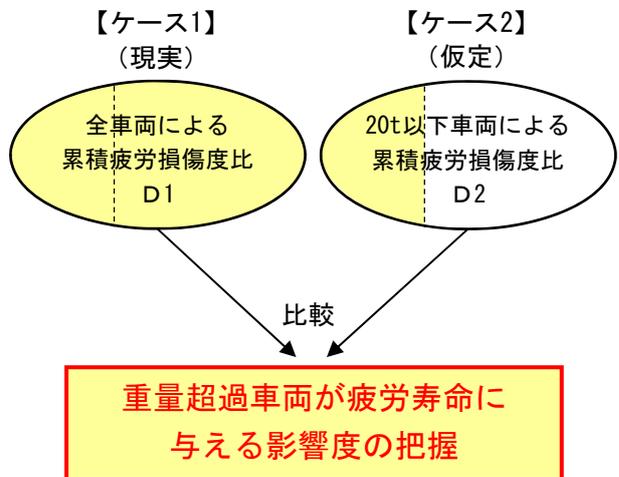


図-5 重量超過車両の影響度検討のイメージ

全車両による累積疲労損傷比D1と20t以下車両による累積疲労損傷比D2の結果を表-4に示す。表-4より、重量超過車両の影響を除いた場合、全ての箇所に対して累積疲労損傷比は低減している（疲労寿命が延びている）ことが分かる。重量超過車両の交通量は全体の1割程度であるが、その重量超過車両の影響を取り除いた場合、疲労寿命は5~10倍程度延びる傾向になる。これより、重量超過車両が鋼桁の疲労寿命に与える影響は大きく、重量超過車両の走行を抑制することが疲労対策として有効な手段だと考えられる。

6. 各部材の疲労傾向

各部材において、端径間・中央径間、走行車線側・追越車線側など平面的に多くの箇所に対して応力頻度計測を実施し、その結果より算出される累積疲労損傷比の大小関係より、各部材の疲労傾向を検討した。各部材を代表して、図-6に『ソールプレート周辺』の結果を示す。

表-4 D1とD2の累積疲労損傷比

計測箇所		累積疲労損傷比			
		全車両 D1	20t以下車両 D2	D1/D2	
ソールプレート 周辺	追越	1/920	1/6,243	6.8	
	走行	1/671	1/4,659	6.9	
ガセットプレート 周辺	追越	1/4,015	1/42,535	10.6	
	走行	1/1,943	1/20,653	10.6	
分配横桁 取付部	上側	追越	1/129	1/780	6.0
		走行	1/89	1/542	6.1
	下側	追越	1/69	1/287	4.2
		走行	1/90	1/350	3.9
対傾構取付部	追越	1/4,356	1/29,967	6.9	
	走行	1/1,006	1/5,364	5.3	
分配横桁下フランジ 主桁貫通部	追越	1/1,341	1/8,284	6.2	
	走行	1/334	1/1,766	5.3	

5~10倍程度、疲労寿命が延びる

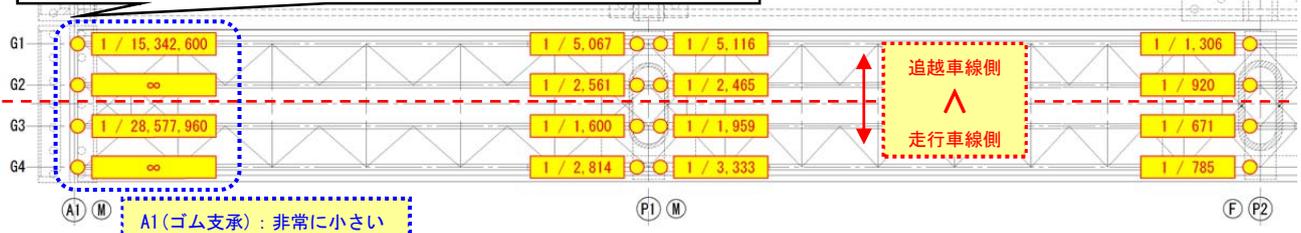


図-6 『ソールプレート周辺』累積疲労損傷比

全ての部材において、走行車線側が疲労しやすい傾向になることが確認できた。これは鋼桁の疲労に大きな影響を与える重量超過車両の多くが走行車線側を走行しているためと考える。また、部材毎の傾向としては、以下の通りである。

- 『ソールプレート周辺』は、ゴム支承部より鋼製支承部の方が疲労しやすい傾向にある。
- 『分配横桁下フランジ主桁貫通部』は、全箇所において累積疲労損傷比が大きく、疲労損傷の危険性がある。これは、本箇所が疲労に対する耐久性が低く、現行基準を満たしていない構造（疲労強度等級H'）を採用しているためである。

これより、橋梁点検時において走行車線側や鋼製支承の『ソールプレート周辺』および『分配横桁下フランジ主桁貫通部』を重点的に点検を実施することによって、効率的に維持管理が実施できると考える。

継手の種類	強度等級 ($D\sigma_f$) (N/mm ²)	備考	
面外ガセット	1.ガセットをすみ肉溶接あるいは完全溶込み開先溶接した継手のファイレット部 (ファイレット部仕上げ) ($r \leq 100$ mm)	(1)止端仕上げ E (80) (2)非仕上げ F (65)	1.3.4.
	2.ファイレットを有するガセットを完全溶込み開先溶接した継手のファイレット部 (ファイレット部仕上げ)	E (80)	
	3.ガセットをすみ肉溶接した継手 ($r > 100$ mm)	G (50)	
	4.ガセットを完全溶込み開先溶接した継手 ($r > 100$ mm)	(1)止端仕上げ F (65) (2)非仕上げ G (50)	5.
面内ガセット	5.主板上にガセットを貫通させた継手	(1)完全溶込み溶接 G (50)	6.
		(2)完全溶込み溶接にスカラップを伴う H' (30)	
	6.ファイレットを有するガセットを完全溶込み開先溶接した継手のファイレット部 (ファイレット部仕上げ)	(1)1/3 $\leq r/d$ D (100)	7.
		(2)1/5 $\leq r/d < 1/3$ E (80)	
		(3)1/10 $\leq r/d < 1/5$ F (65)	
	7.ガセットを完全溶込み開先溶接した継手	(1)止端仕上げ G (50)	8.
		(2)非仕上げ H (40)	
	8.重ねガセット継手の主板	(1)主板縁部でガセット板裏側へのまわし溶接なし H' (40)	注) 1. (1), 2., 4. (1), 6., 7. (1)の継手において、仕上げはアンダーカットが残らないように応力の方向と平行に確実に行わなければならない。 注) 1. (2), 3., 4. (2), 5. (1), 7. (2), 8. (1)の継手の強度等級は、アンダーカットが0.3 mm以下の継手を対象とする。これらの継手において、アンダーカットを0.3 mmをこえ、0.5 mm以下とした場合は、強度等級を1等級低減しなければならない。 注) 5. (2), 5. (3), 8. (2)の継手の強度等級は、アンダーカットが0.3 mm以下の継手を対象とする。
(2)主板縁部でガセット板裏側へのまわし溶接あり H' (30)			

注) ハッチングは使用しない方がよい継手を示す。

図-7 『分配横桁下フランジ貫通部』疲労強度等級^{注5)}

7. おわりに

構造物を適切に維持管理して、安心・安全な道路交通を確保することは道路管理者としての責務である。しかし、構造物の高齢化や重車両交通の増大が進む中、これを確実に確保していくことは非常に難しくなっている。このため、より効果的かつ効率的に維持管理していくことが重要である。

鋼桁の疲労に対しては本検討の結果から、「重量超過車両を抑制する」という効果的な手法と、「疲労損傷が生じやすい箇所を重点的に点検する」という効率的な手法によって維持管理していくことが重要であるとの定量的評価を得た。また、本検討の結果を活用して名阪国道の同種タイプの橋梁形式において適切な維持管理していくためにも今後は以下の取り組みが重要になってくると考える。

① 疲労損傷が生じにくい交通環境づくり

ドライバーへの啓発活動や違反車両の取締活動を実施することによって重量超過車両の走行を抑制して、疲労損傷が生じにくい交通環境をつくっていくことが重要である。また、取締活動は、重量超過車両が相対的に多く走行する火・水・木曜日の3～8時の朝方に行うことが有効的である。

② 点検施設の設置

現在、橋梁の近接目視点検は5年に1回程度のサイクルで行われている橋梁定期点検で実施されている。しかし、事前発見が困難な上に発生すると急激に進

行するといった疲労損傷の特徴を考えると、もう少し短サイクルで点検することが望ましい。だが、その度に橋梁点検車や高所作業車を使用すると、費用面や社会的影響が懸念される。このため、定期的・簡易的に点検活動を実施するために、検査路や昇降設備の点検設備の設置が重要になってくると考える。現在、名阪国道の橋梁については継続的に点検設備を設置しているところである。

また、橋梁の長寿命化としては「排水施設保全：漏水・滞水・跳水防止から腐食環境を排除」、「支承取替え：機能不全支承による他部材への悪影響を防止」、「橋梁点検カルテ：点検・補修・補強等の橋梁情報の適切な更新によって現況状況の把握」といった取り組みも重要になってくると考える。今後はこれらの取り組みを計画的に行い、適切な橋梁の維持管理に注力する次第である。

参考文献

- 1) 社団法人 日本鋼構造協会：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術，2011年度版
- 2) 社団法人 日本道路協会：鋼橋の疲労，平成9年5月
- 3) 社団法人 日本鋼構造協会 鋼橋性能向上研究委員会・耐久性向上部会：鋼橋の疲労耐久性向上・長寿命化技術，平成18年度10月
- 4) 社団法人 日本鋼構造協会編：鋼構造物の疲労設計指針・同解説一付・設計例一，2012年度改定版
- 5) 社団法人 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，平成14年3月