橋梁用支承の機能劣化と 主桁の残存性能の評価に関する考察

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 o佐藤 京 寺澤 貴裕

畠山 乃

道路橋支承は取替えが可能な部材であるが、取替えが困難な場合が多く、支承の機能保全を 進めるために客観的に支承の機能劣化を把握し評価する手法が必要である。著者らは、支承の 機能劣化が要因と考えられる橋梁の劣化損傷を明確化し、支承の回転機能劣化度を加味した桁 の疲労耐久年数に関する算定式を提案している¹⁾。算定式では、支承の回転角及び桁のたわみ 角を把握する必要があることから、測定する方法について実橋梁を用いた計測方法の実証を行 い、簡素化した計測でも支承の回転角及び桁のたわみ角が評価できることを示した。

キーワード:道路橋支承、機能劣化、耐久性評価手法、回転機能、桁たわみ角

1. はじめに

支承に機能劣化が生じると支承に期待する性能が発揮 されないだけでなく、上下部構造の損傷の要因になり得 るため、供用期間中、適切に機能を保持する必要がある。 西川ら²は、損傷事例として報告されているソールプレ ート前面に生じた亀裂は、支承が劣化により回転を拘束 された結果、局部応力の発生が亀裂発生の一つの要因で あるとの考察から、適切な維持管理が重要であると報告 している。しかし、一般に支承部は狭隘部にあることに 加え、設置方法、支承形式によっては目視点検すること が困難な場合があり、さらに定期点検において、機能を 直接確認する方法が提示されていない。

支承は取替えが可能な部材であるが、取替えが困難な 場合も多く、支承の機能保全を進めるために比較的容易 に、かつ客観的に支承の機能劣化を把握する手法とそれ を評価する手法が必要である。黒墨ら³や柴崎ら⁴は、高 精度傾斜計や変位計による機能評価のための挙動測定結 果を報告しているが機能評価にまで至っていない。

このような背景で著者らは、機能評価を目的とし検討 を進めている。その成果の一つとして、支承の回転機能 の劣化によるソールプレート近傍に生じる局部応力に対 する主桁の疲労耐久年数を評価するための定式化を試み た。ただし、提案した式による劣化度や局部の応力増分 の算定評価を高精度で得られるようにするには、実測事 例と数値計算との比較検証が必要である。そこで、支承 の回転角及び桁のたわみ角を簡易に測定する方法につい て検討を行った。

2. 支承部の劣化損傷の現状

著者らが寒地土木研究所月報第853号にて報告した技 術資料¹より支承の劣化損傷の調査結果をレビューする。

国土交通省北海道開発局が実施している橋梁定期点検 結果から支承付近の主桁下フランジの損傷に着目し、損 傷発生要因に関する整理を実施した。その結果、昭和31 年と昭和39年の鋼道路橋設計示方書を適用した線支承を 有する単純鈑桁橋で劣化損傷が確認された。しかし、そ れらの橋梁では腐食による断面減少があり、支承の機能 劣化が亀裂の主たる要因と断定できない。以降、鋼道路 橋設計示方書及び道路橋示方書については道示と称す。

また、主桁下フランジの亀裂損傷の発生の背景として 主桁剛性の影響を想定し、設計基準に関する変遷の整理 を実施した。設計基準の改訂が行われた際、一般的に耐 力や剛性が同等もしくは高くなることが想定される。し かし、昭和39年道示においては、それ以前と比べ許容た わみ量が20%程度緩和され増加した。その後、昭和48年 道示以降は、床版への影響を緩和する目的から、現行基 準と同様に活荷重たわみ制限値が厳しくなり、主桁のた わみ量は減少した。橋梁の桁端付近に損傷が多く見られ た事例と対比すると、昭和39年道示が適用された時代に 活荷重たわみの制限が一時的に緩和され、桁剛性が劣化 した時期と重なる。

以上から支承付近の主桁下フランジ部の損傷は、支承 の機能劣化が主たる要因と断定できないものの、要因と して排除できず、主桁剛性との関連も考慮した上で、支 承の回転や水平移動が確保されていない橋梁は支承付近 の主桁損傷の発生を否定できないものと考えられる。





支承回転機能を完全に喪失した際の活荷重 P により生じる

図-1 支点回転機能喪失による支点近傍のたわみ角について

3. 支承の回転機能劣化と主桁の疲労耐久性

前章のように支承付近の主桁下フランジの損傷につい て、支承機能の劣化が影響していることを否定できない。 また、西川ら²の文献では、ベアリングプレート支承 (以下、BP支承)を配置した鋼桁ソールプレート溶接 部に大きな応力が発生する要因として、回転機能が阻害 されることを挙げている。さらに、著者らも実橋梁を対 象に支承の機能劣化により橋梁に与える影響を解析によ り評価を行い、文献1)にて支承の回転機能障害が支承部 近傍の主桁下フランジ部に大きな圧縮応力を発生させる 要因であることを示した。その報告では、支間中央側の ソールプレート接続部の局部応力が増加することにより 疲労耐久年数に影響を与えると考え、簡易な計測により 得られる支承部の回転角 θ_1 、桁のたわみ角 θ_2 から機能 劣化が評価できると仮定し、疲労耐久年数を算定する方 法について示した。以下にその内容を記載する。

図-1に示す支承回転角 θ_1 と桁部のたわみ角 θ_2 を所定の 活荷重載荷条件下で鉛直変位より得られるとする。健全 である場合、 $\theta_2 - \theta_1 = 0$ となり、ソールプレートの回 転に伴って、下フランジのたわみ角が得られる。これに 対して、回転機能が完全に喪失した場合、 $\theta_2 = \theta_{fmax}$ となる。 θ_{fmax} は、両端固定梁相当における支点部近傍 のたわみ角になると考えられる。つまり、 θ_{fmax} を分母 とした回転阻害度(劣化度)iを式(1)のような評価式と おくと劣化度は0から1の評価値で表すことが出来き、0 は設計初期、1が完全に回転機能が喪失した状態を示す ことになる。

> $i = (\theta_2 - \theta_1)/\theta_{fmax} \cdots \cdots (1)$ θ_1 ; ソールプレートのたわみ角(設計初期時に) θ_0) θ; ソールプレート前面近傍の桁のたわみ角 θ_{fmax} ; 回転機能が完全に喪失した際の θ_{f}

回転機能が完全に喪失した解析結果では、ソールプレ ート前面桁部に発生する応力が最も大きくなった。これ は、回転機能の劣化に伴って、ソールプレート近傍の桁 部のたわみ角が大きくなることが原因と考えられる。桁 のたわみ角 θ_{fmax} と同様に回転機能が完全に喪失した場

SATO Takashi, TERASAWA Takahiro, HATAKEYAMA Osamu

合、支承部は固定端相当の応力増分が生じると考えられ、 これを $\Delta \sigma_{max}$ とすると劣化度iを変数とする関数f(i)で局 部に発生する応力Δσを想定することが出来るものと考 えられる。これを式(2)のような関係式とする。

$$\Delta \sigma = f(i) \cdot \Delta \sigma_{max} \cdots \cdots (2)$$

局部応力の増加分がソールプレートと下フランジの継 手部疲労の影響に与えるとし、Δσを直応力とした場合、 鋼道路橋の疲労設計指針りを参考に大型車交通量を元と する疲労耐久年数Nvearが式(3)で算定できる。

 $2 \times 10^6 \times \Delta \sigma_f^m$ (3) $N_{year} =$ $\overline{365 \times ADTT_{SLi} \times \Delta \sigma^m}$ Δσ_f; 直応力に対する2×10⁶回基本許容応力範囲 ADTT_{sli}; 一方向一車線あたりの日大型車交通量 m; 疲労設計曲線の傾きを表すための係数(ここでは, m = 3)

以上のような提案式により、ソールプレート近傍で増 加する局部応力が支承の回転角の減少から推定できれば、 支承機能の劣化が桁の疲労耐久年数に与える影響を加え た残存性能として評価することが可能となる。このため には、支承部の回転角母,、桁のたわみ角母の測定値が 必要となる。

4. 回転機能の評価のための簡易測定

(1) 現地計測

提案した式による劣化度や局部の応力増分の算定評価 を高精度で得るためには、実測事例と数値計算との比較 検証が必要である。そこで、支承の回転角及び桁のたわ み角を簡易に測定する方法について検討をおこなった。

計測対象は、図-2に示す一般国道44号温根沼大橋の4 径間連続鈑桁部P1橋脚-P2橋脚間のG4桁に設置されてい る免震支承(鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB))であ る。

対象とした支承の回転および水平移動を把握するため、 支承部の水平変位2点、鉛直変位2点、支承近傍の桁の鉛





		1010040			
チャンネル名	計測項目	方向等	対象物	位置1	位置2
DH-P2B-1	変位	水平	支承	P2	G5側
DH-P2B-2	変位	水平	支承	P2	G3側
DH-P1B-1	変位	水平	支承	P1	G5側
DH-P1B-2	変位	水平	支承	P1	G3側
DV-P2B-1	変位	鉛直	支承	P2	G5側
DV-P2B-2	変位	鉛直	支承	P2	G3側
DV-P1B-1	変位	鉛直	支承	P1	G5側
DV-P1B-2	変位	鉛直	支承	P1	G3側
DVG41	変位	鉛直	桁	G4	P2近傍
DVG42	変位	鉛直	桁	G4	P1近傍
DVG43	変位	鉛直	桁	G4	P2P1中央部
T-G4-1	温度	-	桁	G4	P2近傍
T-G4-2	温度	-	桁	G4	P1近傍
T-0-1	温度	_	外気		P2G4近傍
T-0-2	温度	-	外気		P1G4近傍
T-0-3	温度	_	外気		橋梁近傍

恚_1	計測チャンネルー	些
<u>तर-</u> ।	計測リャン ホルード	

直変位1点に加え、支間中央部の鉛直変位1点を計測し、 収録は10Hzサンプリングとした。また、桁温度や外気 温も測定している。表-1に計測チャンネル一覧表を示す。 測定機器配置は、図-3、図-4と図-5に示す通りであり、 支承を対象とした測定は、橋軸方向を軸として対称配置 となるようにG3桁側とG5桁側の2ヶ所で実施した。な お、異なる2つの支承において変位計配置が支間中央を 軸として対称配置になっていないのは、耐震対策工事に より現地に設置された変位制限装置等の影響による。

載荷重は、総重量22.82tfのダンプトラック1台を図-6に 示す位置で停止することにより載荷した。また、停止さ せた位置を通過するように40km/hの速度でダンプトラッ クを走行させて載荷した。停止させて計測したケースを 静載荷試験とし、走行載荷したケースを動載荷試験と呼ぶ。測定は、静載荷試験、動載荷試験ともに5回実施した。

(2) 計測結果

本検討では、ゴム支承に最も近いベースプレートの鉛 直変位値の時刻歴を単純平均し、その値と支承近傍の桁 の鉛直変位から角度を算定し、これを支承の回転角相当 値とした。ただし、静載荷と動載荷により、得られるデ ータに違いあるため、対象とするデータの取得を以下の 通りとした。



静載荷試験で得られたデータの一例として、支承を 対象とした鉛直変位の時刻歴を図-7に示す。横軸は、計 測を開始してからの経過時間、縦軸は、支承の回転に共 になう変位や桁のたわみを感覚と合うように、下方を正 として示す。停止位置にダンプトラックが移動すると概 ねピーク値を示す。ダンプトラックの停止により振動が 発生するため、振動が減衰し、データが安定している区 間の平均値を計測した変位の代表値とした。動載荷試験 で得られたデータを図-8に示す。静載荷試験とは異なり、 走行中による挙動を測定したため、支間中央の桁たわみ 値が最大となる前後の平均値を変位の代表値とした。

計測においてP2側のベースプレート鉛直変位計測点は、 支間中央を軸にした対称配置となっていない。そこで、 DV-P2B-1とDV-P2B-2の平均を求め、その計測点とDV-G4-1計測点間で線形に変形していると仮定し、図-4に示 した仮想計測点DV-P2B(Ave.)、に変換することで、載荷に よる変形を理解しやすくなるようにした。

なお、測定値に微小なバラツキを生じていることから、

SATO Takashi, TERASAWA Takahiro, HATAKEYAMA Osamu



図-11 簡易解析(格子解析)のモデル(計測対象支間)と載荷位置

表-2	各支承の回転角相当値
12-2	山大小小山和月旧コ旭

	静載荷(rad)	動載荷(rad)
P1 での支承の回転角	0.000269	0.000101
P2 での支承の回転角	-0.000269	-0.000172

0.6秒間の移動平均した結果を計測値とした。

(3) 静載荷試験

P1とP2のG4桁に設置された支承の回転を把握するため、測定した鉛直変位を計測回毎に整理した結果を図-9 に示す。5回の計測の内、3回目の計測においては、ダンプトラック載荷前に侵入した大型車の影響が、DV-G42に生じていたため、その測定は除外し4回の結果を示している。なお、各測定点の結果に示された同色の実

SATO Takashi, TERASAWA Takahiro, HATAKEYAMA Osamu

表-3格子解析に基づく支承の回転角

	静載荷(rad)
P1	0.000229
P2	-0.000189

線は、平均値である。

P1側とP2側の結果を比較すると前輪載荷点が近くなっているP1側の変位が大きくなっていることが確認できる。 DV-G4-2の計測に大きな違いが生じた結果があるものの、 その他の計測点における4回の計測値に大きなバラツキ は無く、安定した値が得られた。

(4) 動載荷試験

40km/hでダンプトラックを走行させて載荷した結果を

静載荷と同様に整理した結果を図-10に示す。静載荷の 結果と同様にP1側の変位がP2側の変位よりも大きく、桁 やベースプレートにおける挙動の傾向は静載荷と同様で ある。しかしながら、支承のベースプレートで測定した 鉛直変位は、静載荷と比べ大きくなっている。一方で G4桁に設置したDV-G4-1やDV-G4-2の変位が小さい。

(5) 支承回転角計測による機能評価について

図-9と図-10中に示している各測定点の平均値を用いて、各支承近傍の鉛直変位とその2点間距離から支承の回転角相当値を求めた。その結果を表-2に示す。

前章の測定結果においても記述したが、動載荷試験の 桁の鉛直変位が、静載荷試験結果と比べると小さく、ベ ースプレートの変位が大きくなっていることが影響し、 回転角相当値が静載荷試験の結果より小さい。40kmhで 走行した状態での載荷では、回転角相当値が小さくなる。

ここで、温根沼大橋の設計図を基に舗装や地覆コンク リート質量を考慮し、さらに舗装の剛性も考慮した上で、 積層ゴム支承を健全とした場合の格子解析を実施し、実 測値との比較を試みた。図-11に簡易解析のモデルと載 荷位置を示す。なお、載荷位置は、接点配置の都合で載 荷試験と概ね同様の位置となるように配置した。解析結 果の内、支承の回転角を表-3に示す。

静載荷では、実測と解析において、P1支承の回転角相 当値と概ね一致している。P2では多少誤差が生じている ものの、その差は小さい。

測定した結果の内、静載荷試験の結果は、簡易解析結 果と概ね一致した。変位を測定することで機能を評価で きる可能性があるものと考えられる。

5. まとめ

提案した式による劣化度や局部の応力増分の算定評価 の精度向上には、実測事例と数値計算との比較検証が望 まれる。そこで、実測事例を多く収集するために、たわ み角を簡易に測定する方法について検討をおこなった。

接触式変位計を用いた測定により、支承の回転角と桁 たわみ角をあらかじめ重量が把握されている大型車を用 いた静的載荷と動的載荷の結果から動的載荷は静的載荷 よりも回転角が小さく評価されるものの、静的載荷によ る変位測定により支承の回転角及び桁のたわみ角を換算 することで機能を評価できる可能性を示された。

謝辞:本検討を行うにあたり、北海道開発局より点検結 果の提供、計測フィールドの提供をいただいた。ここに 感謝の意を表する。

参考文献

- 佐藤京,寺澤貴裕,仁平陽一郎,畠山乃:橋梁用支承の機 能劣化と主桁の残存性能に関する考察,寒地土木研究所月 報 No.853, pp.18-25, 2024,
- 2) 西川和寛 村越 潤, 広瀬隆宏: 鋼桁支承ソールプレート溶接 部の疲労に関する検討, 土木技術資料 35 巻第2号, 1993.
- 3) 黒墨秀行,岩崎正二,出戸秀明:高精度傾斜計を用いた実 橋載荷試験時の傾斜計測により推定される支承付近の挙動, 土木学会東北支部技術研究発表会,I-1,2007.
- 4) 柴崎奈穂,新名 裕,宮原幸春,池田真理子,楠元崇志, 坂野昌弘:実橋計測による支承機能評価手法の確立,土木学 会第69回年次学術講演会,CS5-011,2014.
- 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, 2002.