

メンテナンスサイクルを考慮した支承の耐久性評価に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令2～令4

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：大住道生、小林巧

【要旨】

支承部の機能の低下が生じると、支承部に期待する性能が発揮されなくなるだけでなく、上下部構造にも損傷を与えることがあるため、供用期間中、適切に機能を保持する必要がある。しかし、支承部は一般に狭隘部であることに加え、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、適用可能な機能確認方法が必要である。特に、水平変位追従機能及び回転変位追従機能は、支承部を構成する部材に変状が生じていない状態であっても、機能の低下が生じている場合があり、目視での判断が困難である。本研究では、それら目視での判断が困難な2つの機能を対象に、それら機能を担う部材を治具により固定することで機能の低下を模擬し、それら機能喪失の有無が、荷重载荷や温度変化による橋の応答に与える影響を検討した。

キーワード：支承板支承、ピンローラー支承、水平変位追従機能、回転変位追従機能

1. はじめに

支承部は、上部構造から伝達される荷重を確実に下部構造に伝達すること及び上部構造と下部構造の相対的な変位に追従する機能を確保することを目的に設置される。そのため支承部には「1. 荷重伝達機能（鉛直・水平方向）」、「2. 鉛直方向の高さを保持する機能」、「3. 変位追従機能（水平方向・回転方向）」、「4. その他機能（減衰、騒音・振動等）」が要求され¹⁾、供用時にはこれらを満足する必要がある。

腐食等により、支承部の機能の低下が生じると、支承部に期待する性能が発揮されなくなるだけでなく、上下部構造にも損傷を与えることがあるため、供用期間中、適切に機能を保持する必要がある。しかし、支承部は一般に狭隘部であることに加え、設置方法や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、適用可能な機能確認方法が必要である。

支承部の機能の低下程度を管理する方法について、荷重伝達機能（鉛直・水平方向）や鉛直変位の保持機能は、部材が接続されていることや鉛直遊間量が確認できればよく、目視での機能喪失の判定が比較的容易である。一方、水平変位追従機能及び回転変位追従機能は、支承部を構成する部材に変状が生じていない状態であっても、機能の低下が生じている場合があり、目視での判断が困難である。

本研究では、腐食による支承機能低下メカニズムに関して検討すると同時に、目視での判断が困難な水平変位追従機能と回転変位追従機能を対象に、それら機

能を担う部材を治具により固定することで機能の低下を模擬し、それら機能喪失の有無が、荷重载荷や温度変化による橋の応答に与える影響を検討した²⁾。

2. 腐食が原因で変位追従機能が低下すると仮定した場合のメカニズム

- (1) ピンローラー支承の腐食が原因で変位追従機能が低下すると仮定した場合のメカニズム

図-1 にローラー部の腐食の代表的な損傷過程を示す。ローラー部の腐食メカニズムは、ローラーカバー内に水が浸入し、ローラー部周辺に腐食が発生する。その後、ローラー部または支圧板に激しい腐食が生じ、水平変位追従機能が低下し、その後、腐食の進行に伴いローラー部の摩耗が発生し、水平変位追従機能の更なる低下と、支承部の沈下が生じることがあると考察される。

- (2) 支承板支承の腐食が原因で変位追従機能が低下すると仮定した場合のメカニズム

図-2 に支承板支承の腐食の代表的な損傷過程を示す。支承板支承（以下、BP・A支承）特有の腐食メカニズムは先ず支承板を取り囲むシールリングに損傷（破断、塑性化により回転時に隙間形成等）が生じ、それに伴い密閉性が低下し、可動部に水が浸入し腐食が生じる。腐食の発生に伴い水平変位追従機能や回転変位追従機能が低下すると考察される。

これら支承機能の低下を引き起こす腐食は、ピン

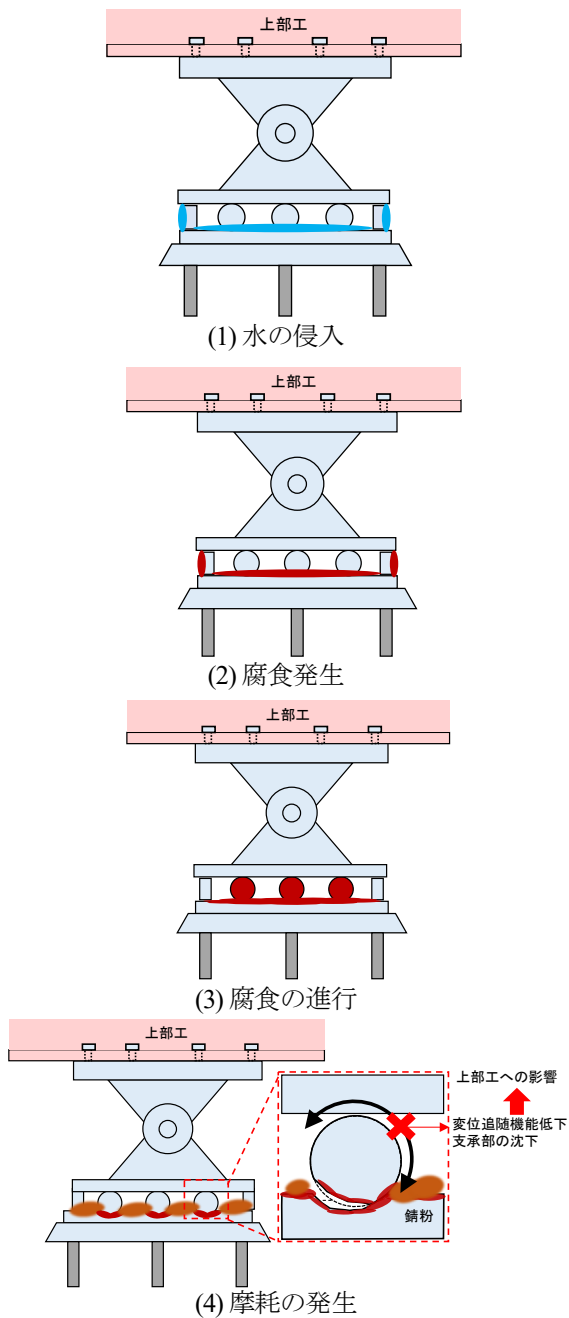


図-1 ローラー部の腐食の代表的な損傷過程

ローラー支承は支承カバーの中(図-1)、BP・A 支承はベアリングプレート周辺(図-2)であり、外観からの目視が困難な位置で生じる場合が多い。それも、腐食程度と機能の低下程度との関係は必ずしも明確となっていない。このような状況に適用可能な機能の確認方法が必要である。

上記観点から、機能を担う部材を治具により固定することで機能の低下を模擬し、それら機能喪失の有無を把握するための実験的検討を実施した。

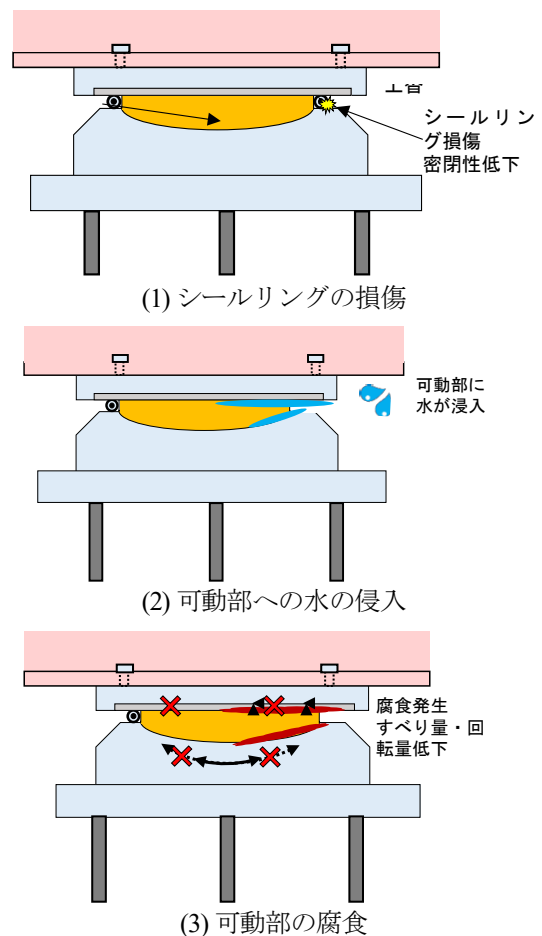


図-2 支承板支承の腐食の代表的な損傷過程

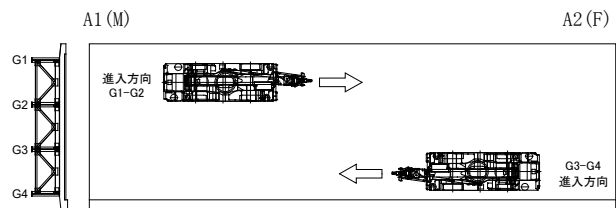


図-3 実験対象橋梁の諸元と荷重車走行位置

3. 実験概要

(1) 実験対象橋梁の諸元および変位計測位置

実験対象橋梁は、図-3 に示す土木研究所内に架設された鋼単純合成桁の試験橋梁を対象とした。橋長は30.8 m、有効幅員は8.5 m、主桁間隔は2.6 mである。なお、本橋梁の桁番号G1及びG2にはピンローラー支承、G3及びG4にはBP・A 支承が設置されている。また、その橋梁に設置された支承部の水平変位追従機能及び回転変位追従機能を計測するために、支承部及び桁の2つの機能の低下の影響が現れると推測される位置に変位計を設置した。

側線1(支承線、端対傾構)、側線2(A1 から支間1/4地点、中間対傾構)、側線3(支間1/2地点、分配横

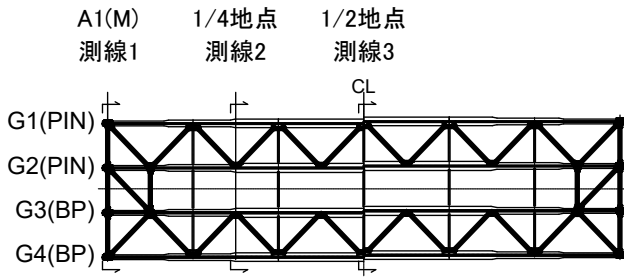


図-4 測線について

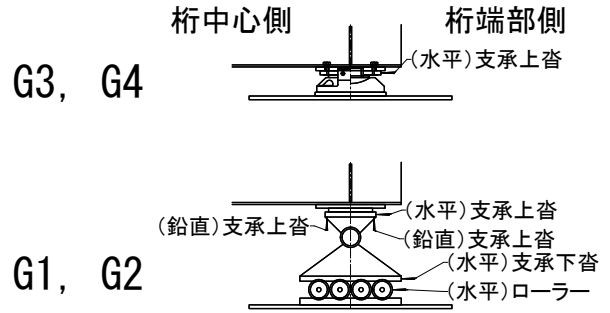


図-5 支承部の変位計設置位置

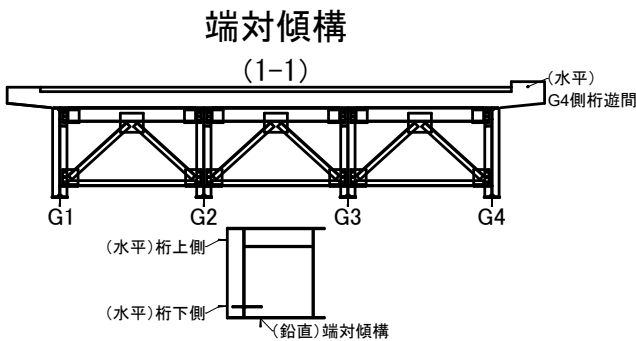


図-6 測線 1 の変位計設置位置

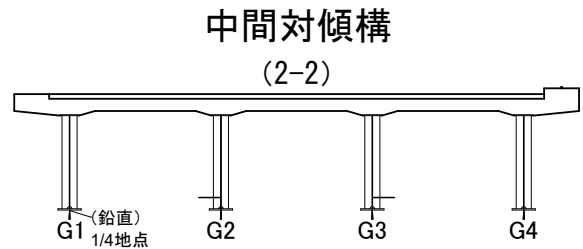


図-7 測線 2 の変位計設置位置

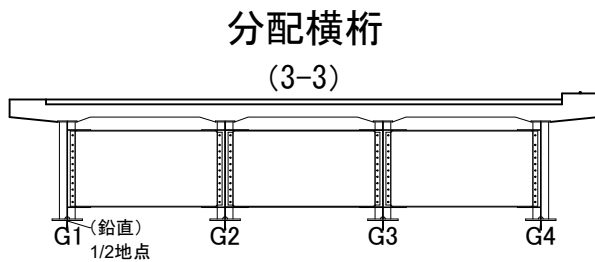
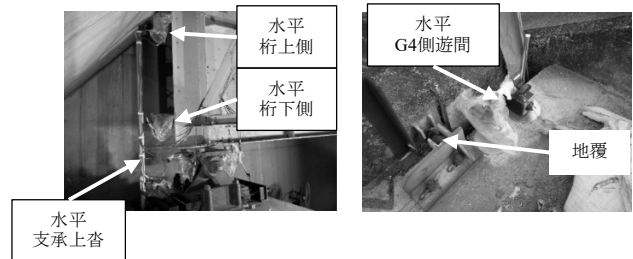


図-8 測線 3 の変位計設置位置



(a) 支承部 (b) G4 側遊間
写真-1 変位計設置状況

桁) に対して、側線箇所の支承及び桁の変位を計測した。変位計の設置はマグネットスタンド等を用い固定し、計測間隔は1~2秒間隔で設定した、図-4~8及び写真-1に変位計の設置状況を示す。

(2) 支承部の固定状況

同橋梁の可動側の支承部に取り付けられたピンローラー支承及びBP・A支承は、以下の方法で可動部を固定し、水平変位追従機能及び回転変位追従機能の喪失を模擬した。

a) ピンローラー支承の構造、固定方法

図-9 (a)にピンローラー支承の拘束方法を、写真-2に拘束状況を示す。ピンローラー支承は、ベースプレートと下沓の間に挟み込まれたローラーが転がることで水平変位追従機能を担う。この水平変位追従機能の喪失を模擬するため、支承台座部にL字型の器具を

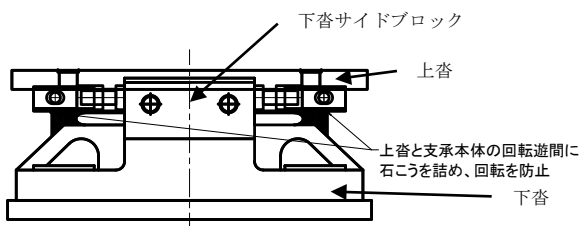
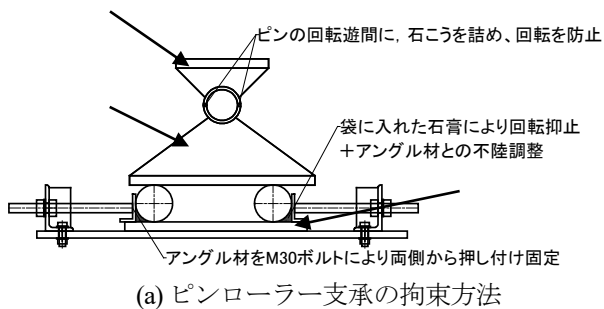
設け、アングル材を介してローラーの変位を固定した。

また、ピンローラー支承は、上沓と下沓の間に挟み込まれたピンが回転し上沓が傾くことで、回転変位追従機能を担う。この回転変位追従機能の喪失を模擬するため、上沓と下沓の鉛直遊間に石こうを挟み、上沓の回転を固定した。

b) BP・A支承の構造、固定方法

図-9 (b)にBP・A支承の拘束方法を、写真-3に拘束状況を示す。BP・A支承は、上沓と下沓の間にあるベアリングプレートに接着されたテフロン板と上沓に溶接されたステンレス板が滑ることで、水平変位追従機能を担う。水平変位追従機能の喪失を模擬するため、水平固定用ボルトを使用し、上沓と下沓サイドブロックの橋軸遊間を無くし固定した。

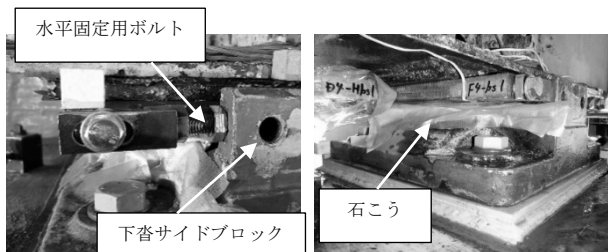
また、BP・A支承は下沓上面の曲面と同一の曲率の



(a) ピンローラー支承の拘束方法
(b) BP・B 支承の拘束方法
図-9 可動側支承の可動部の拘束方法



(a) 水平変位の拘束 (b) 回転変位の拘束
写真-2 ピンローラー支承の拘束状況



(a) 水平変位の拘束 (b) 回転変位の拘束
写真-3 BP・B 支承の拘束状況

面を有するベアリングプレートが滑り上巻が傾くことで、回転変位追従機能を担う。回転変位追従機能の喪失を模擬するため、ピンローラー支承と同様に、上巻と下巻の鉛直遊間に石こうを挟み、上巻の回転を固定した。

(3) 载荷ケースについて

表-2 に载荷ケース別の支承可動部の拘束条件を示す。CASE1 では拘束を行わず、機能低下をさせない。ただし、実際の橋梁で数十年間使用されてきた支承であるため、ベースプレート下面やローラー等が腐食していた。しかしこれら腐食は軽微であるため、機能低

表-2 载荷ケース別の支承可動部の拘束条件

桁	支承種	機能	CASE 及び拘束条件				
			1	2	3	4	5
G1	ピンローラー	水平変位	○	×	○	×	×
		回転	○	×	×	○	×
G2	ピンローラー	水平変位	○	×	○	×	×
		回転	○	×	×	○	×
G3	BP・A	水平変位	○	×	○	×	×
		回転	○	×	×	○	×
G4	BP・A	水平変位	○	×	○	×	○
		回転	○	×	×	○	○

下には影響しないと判断した。CASE2 では、固着等を想定して全ての支承の水平変位追従機能及び回転追従機能を喪失させた。CASE3 では、サンドルを用いた応急復旧や桁が橋座に直接載っている状態を想定して全ての支承の回転追従機能を喪失させた。CASE4 では、他部材が水平変位を阻害している状態を想定して全ての支承の水平変位追従機能を喪失させた。CASE5 では、地震により一部の支承のみに機能障害が生じた状態を模擬して G1-G3 支点部の水平変位追従機能及び回転追従機能を喪失させた。

(4) 活荷重の载荷方法

活荷重は、重量 20t 程度のラフタークレーン（以下、荷重車）を図-3 に示した A1(M) の G1-G2 間から進入させ、A2(F) から退出させた後、A2 の G3-G4 間から進入させ、A1 から退出させることで载荷を行った。表-2 に示す条件で支承可動部の固定条件が変化した際の、活荷重载荷によって各部位に生じる変位応答値を計測した。荷重車は片側を 35~40 秒かけて、時速 3km/h 前後で徐行させた。また、橋のなじみを考慮し、変位の計測は各拘束ケースで荷重車を 3 往復走行させた上で、3 回目の値を使用した。

(5) 温度変化による支承可動部の変位応答値の経時変化の計測

温度変化による支承及び桁の変位を計測することを目的として、3 日間に渡り 10 分間隔で活荷重载荷と同一箇所の変位も計測した。検討 CASE は、CASE1 及び CASE2 の 2 ケース実施した。桁温度は 1/2 地点の G1、G4 の桁中心に設置した熱電対から取得した。

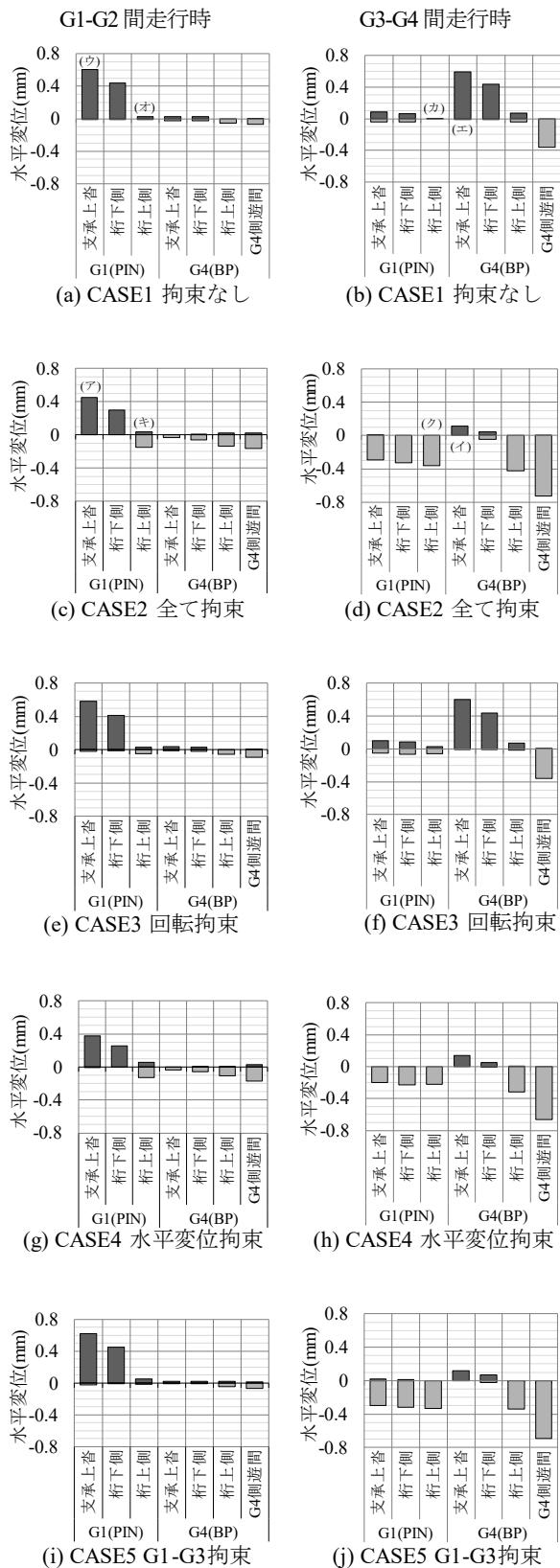


図-10 桁の水平変位

4. 実験結果

(1) 荷重車走行による桁の水平変位計測結果

図-10 に G1 と G4 の桁及び支承上脊の水平変位を示

す。値が正の場合は桁が A1 側に伸張していることを示し、負の場合は桁中心側に収縮していることを表す。なお、荷重車の走行位置によって支点部で計測された水平変位に差が生じるため、活荷重による変位応答値の最大値と最小値を示している。

支承の可動部を全て拘束した CASE2 支承上脊の変位(ア)(イ)では、拘束を行わない CASE1 の(ウ)(エ)に比べてピンローラー支承で7割程度、BP・A支承では2割程度まで支承上脊部の変位が小さくなった。支承種類で変位に差が生じた要因として、ピンローラー支承はローラーが固定されている場合でも、下脊がローラーの上を滑ることで桁の伸縮に追随していたと推測できる。

一方、支承可動部の拘束を行わない CASE1 桁上側の変位(オ)(カ)では殆ど変位が生じていなかったが、可動部を全て拘束した CASE2(キ)(ク)では桁上側が収縮していることが確認できた。このため、単純桁橋の可動支承部の追随機能喪失について、支承上脊の計測よりも、桁上側の変位を計測することで、より明確に機能喪失を把握できる可能性がある。

他方、回転追随機能の低下の影響を確認するために、回転追随機能を拘束した CASE3 と拘束を行わない CASE1 を比較すると、走行位置によらず各計測点の変位が殆ど同じ値であり、その傾向も変わらないことから、支承の回転追随機能の喪失が桁の水平変位に与える影響は比較的小さいと推測された。

水平変位追随機能を拘束した CASE4 では、可動部を全て拘束した CASE2 と傾向が類似している。そのため、先述の回転追随機能の低下が桁の変位に与える影響が小さいことを加味すると、桁の水平変位については水平変位追随機能低下の影響が支配的であると考えられる。

G1-G3 を拘束した CASE5 は G3-G4 間走行時において可動部を全て拘束した CASE2 と傾向が類似しており、桁上側の水平変位から機能喪失を把握できる可能性がある。

しかし、G1-G2 間走行時では拘束を行わない CASE1 と傾向が類似しており、桁上側の収縮も現れていない。このことは、支承の機能喪失の影響の現れ方が、車両走行位置によって変わる場合があることを示している。したがって、様々な走行位置に対する計測を行うことで、機能低下を検出できる可能性が高まると考えられる。

なお、このように支承が拘束されていても拘束なし

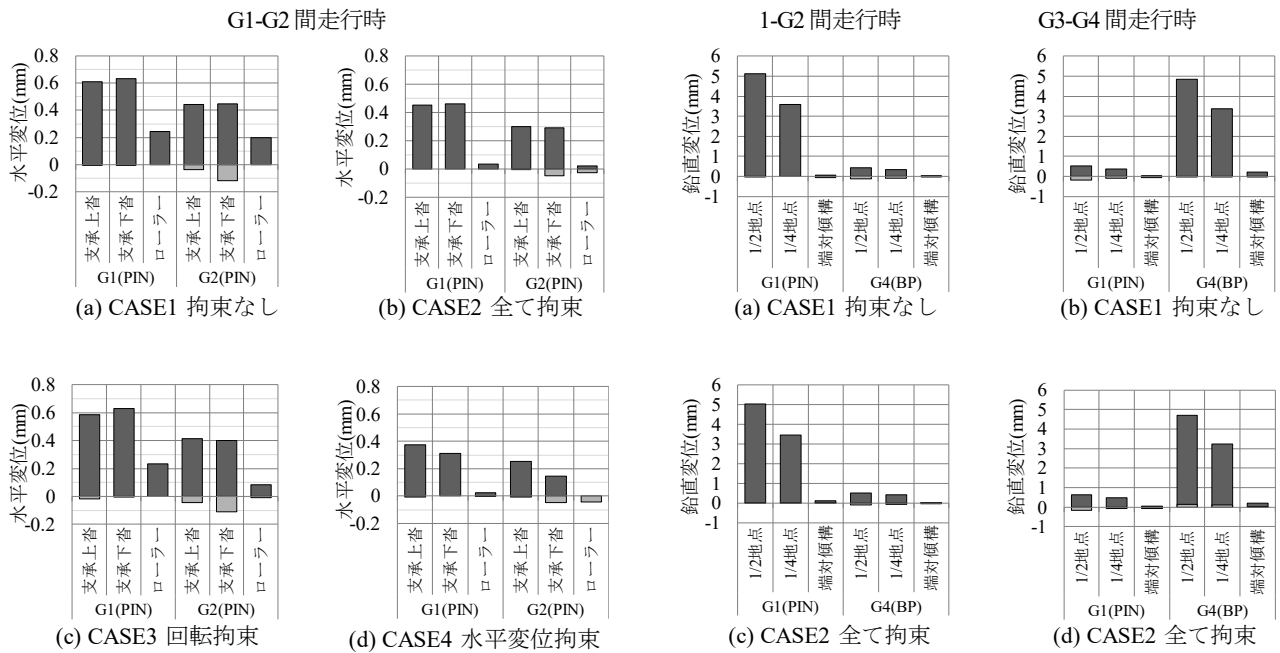


図-12 桁の鉛直変位

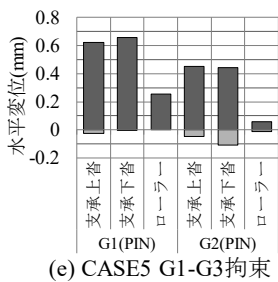


図-11 ピンローラー支承の水平変位

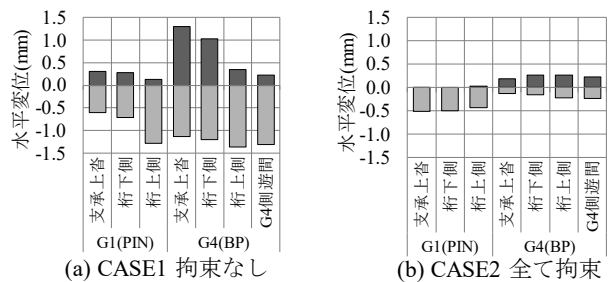


図-13 桁の水平変位

の場合と同じような計測結果が得られる場合があることの原因として、本来機能を受け持つ部分が機能を果たさなくても、他の部品が代替する可能性があることが挙げられる。

b) 荷重車走行によるピンローラー支承の水平変位計測結果

図-11 にピンローラー支承の水平変位を示す。値が正の場合は支承が A1 側に変位していることを示し、負の場合は桁中心側に変位していることを表す。また、G1-G2 間走行時の最大、最小の変位のみを示す。ピンローラー支承の水平変位は、健全であれば桁の変位と上沓の変位が同等となり、下沓は上沓の傾きの影響が考慮され、ローラーは下沓の半分になると想定される。拘束を行わない CASE1 より両支点ともにピンローラー支承の上沓及び下沓の変位はおおむね一致した。これにより、回転変位追従機能の健全性が支承の水平変位に与える影響は限定的と言える。また、支承下沓の水平変位は、ローラーの変位の倍以上であることが

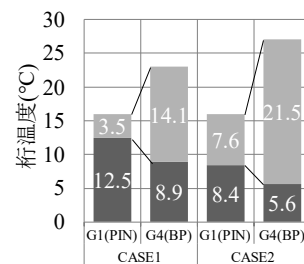


図-14 最大温度及び最低温度

表-3 設計値及び変位差

	CASE1		CASE2	
	G1	G4	G1	G4
温度変化(°C)	3.5	14.1	7.6	21.5
設計値(mm)	1.26	5.08	2.74	7.74
計測値(mm)	1.41	2.43	0.51	0.32
計測/設計(%)	112	48	19	4

確認された。

可動部を全て拘束した CASE2 や水平変位追従機能

を拘束した CASE4 では、拘束を行わない CASE1 と比べ、8 割程度、ローラー本体の変位が小さくなることが確認されたが、下沓の変位は 3~7 割程度までの制限にとどまっており、下沓がローラーの上面を滑ることによって水平変位追従機能を補完したと考えられる。

G1-G3 を拘束した CASE5 で計測された変位は拘束を行わない CASE1 と同程度であった。

これら検討により、支承が固定された場合でも、支承の変位追従機能を別の部材が代替する可能性があり、確実な固定にまで至っていないケースでは、水平変位追従機能の喪失を変位から検出することは難しいと考えられる。

(2) 荷重車走行による桁の鉛直変位計測結果

図-12 に A1 側から見た支点位置における 1/2 地点（分配横桁）、1/4 地点（中間対傾構）、端対傾構の下面の沈下方向、及び上昇方向の鉛直変位を示す。値が正の場合は桁が下向きにたわんでいることを示し、負の場合は桁が上昇していることを示す。なお、図では活荷重による最大変位、最小変位を示す。

拘束を行わない CASE1 と可動部を全て拘束した CASE2 の 1/2 地点、1/4 地点を比較すると、支承部の拘束条件がたわみ変形量に与える影響は小さく、端対傾構周辺の鉛直変位にも差が生じないと考えられる。

(3) 温度変化による桁や支承部の水平変位計測結果

図-13 に温度変化による桁や支承部の水平方向変位を示す。値が正の時は桁が A1 側に伸張していることを示し、負の時は桁中心側に収縮していることを示す。

拘束を行わない CASE1 の桁上側でも収縮が確認され、正負の方向性が定まっていない温度伸縮では活荷重に対しては有効であった桁上側の水平変位の計測による水平変位追従機能喪失の検出は困難であることが推測された。一方、温度変化の影響による支承の水平変位は G1 と G4 を比較すると、変位に大きな開きが確認された。具体には支承上沓の変位差が G1 で 0.92mm に対して G4 では 2.43mm が計測されており、これは、南側に面する G4 桁の日射が多く、桁の温度上昇幅が大きかったと考えられる。

図-14 に桁中心部で計測した 3 日間の最大温度及び最低温度を示す。また、表-3 に設計で想定する変位量及び計測された最大の水平変位差を示す。ただし、CASE1 と CASE2 は計測日が異なるため、桁の温度が異なる。拘束を行わない CASE1 では、G1 支点において設計変位を実変位が上回ったが、G4 支点は半分程度であった。温度変化における変位量の値は、直線橋であっても桁間で変位に差異が生じる。ただし、可動部

を全て拘束した CASE2 の変位差は、拘束を行わない CASE1 及び設計変位と比べて明らかに小さい。

5. まとめ

本研究では、目視での判断が困難な水平変位追従機能と回転変位追従機能を対象に、それら機能を担う部材を治具により固定することで機能の低下を模擬し、それら機能喪失の有無が、荷重載荷や温度変化による橋の応答に与える影響を検討した。得られた成果は以下の通りである。

- 1) 腐食が原因で変位追従機能が低下すると仮定した場合のメカニズムを整理した。
- 2) 支承の固定が桁に与える影響は、桁の水平方向変位において顕著であり、水平変位追従機能喪失の影響が大きいことが分かった。
- 3) 水平変位追従機能の喪失は、桁上側の水平変位を変位計で計測し、荷重載荷時に桁の収縮を確認することで、検出できることが分かった。
- 4) 桁の変位に対する回転追従機能喪失の影響は小さかったが、回転追従機能の固着はソールプレート付近の疲労亀裂等の要因と考えられているため、下フランジのひずみ等の計測を通じて、支承部の機能低下が他部材へ与える影響を調査していく必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋支承便覧，平成 30 年 12 月。
- 2) 菅原達也，大住道生，小林巧，江口康平：支承可動部に制約を受けた橋の変形挙動の実験的把握，第 25 回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集，pp.89-94，2022 年 7 月。

Study on Durability Evaluation of Bearing Considering Maintenance Cycle

Research Period: FY2019-2022

Research Team: Bridge Structure Research
Group

Author: OHSUMI Michio

KOBAYASHI Takumi

Abstract: If the function of the bearings deteriorates, not only will the expected performance of the bearings not be achieved, but the upper and lower structures may also be damaged, so they must be properly maintained during the period of service. However, in addition to the fact that bearings are generally located in narrow areas, it may be difficult to visually inspect them depending on the installation method and bearing type, so an applicable function verification method is needed. In particular, the horizontal displacement-following function and the rotational displacement-following function may deteriorate even when there is no deformation of the members that compose the bearing, and it is difficult to visually judge the deterioration of these functions. In this study, two functions that are difficult to judge visually were simulated by fixing the members that perform these functions with a jig, and the effects of the loss of these functions on the bridge response to loading and temperature changes were examined.

Keywords: Bearing plate bearing, pin roller bearing, horizontal displacement tracking function, rotational displacement tracking function