

支承可動部に制約を受けた橋の変形挙動の実験的把握

菅原 達也¹・大住 道生²・小林 巧³・江口 康平⁴

¹正会員 （国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 交流研究員
（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

²正会員 博（工） （国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員（同上）

³正会員 修（工） （国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 研究員（同上）

⁴正会員 博（工） （研究当時）（国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 元研究員
（現：竹中工務店）

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随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. 鉛直変位の保持機能」、「3. 水平変位追従機能」、「4. 回転追従機能」、「5. その他（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。

一方、支承の腐食が進行し水平変位や回転への追従機能が低下した場合やサンドル等を用いて支承の応急復旧²⁾を行い回転等の一部追従機能が喪失しているような場合には、本来支承機能の低下が他部材へ与える影響を考慮し、適切な措置を行う必要があるが、いずれの支承機能がどの程度低下することにより他部材へ影響を与えるかは不明である。それが明らかにされない理由に、支承は設計上、水平変位追従機能及び回転追従機能を担う部分やその機構が想定されているが、実際にはそれ以外の部分にある可動しるの部分が機能を代替している場合があることや、疲労が蓄積されていても顕在化するまでに時間がかかることが挙げられる。

支承機能低下の検出について、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容易である。一方、水平変位追従機能及び回転追従機能は、支承が明確に破壊していない状態でも機能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水平変

位追従機能と回転追従機能を対象に、その機能を担う部材を治具により固定することで機能低下を模擬し、それら機能喪失の有無が荷重載荷や温度変化による橋に与える影響を検討した。

2. 実験概要

(1) 変位計測

計測は、**図-1**及び**表-1**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に設置された支承部及び桁の変位を計測した。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、分配横桁）を基準として、側線箇所の変位を計測した。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-2～6**及び**写真-1**に変位計の設置状況を示す。

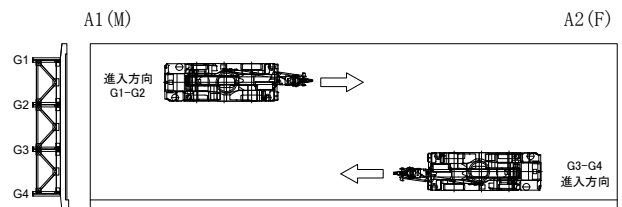


図-1 試験橋梁概要図と荷重車走行実験

表-1 試験橋梁

橋長	30.8m
支間長	30.0m
有効幅員	8.5m
主桁間隔	2.6m

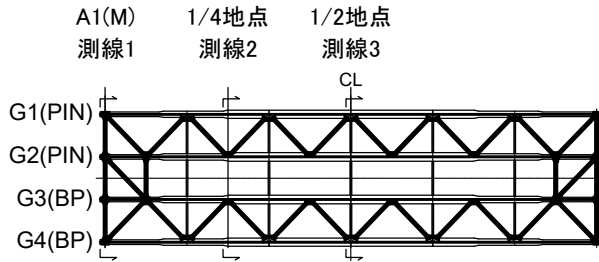


図-2 測線説明図

側面図

(橋軸方向)

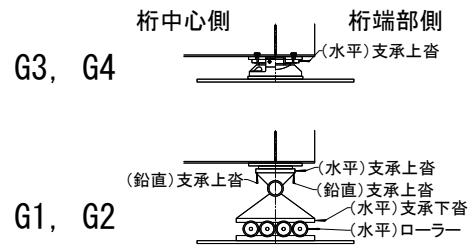


図-3 支承変位計設置位置図
(鉛直・水平)

端対傾構

(1-1)

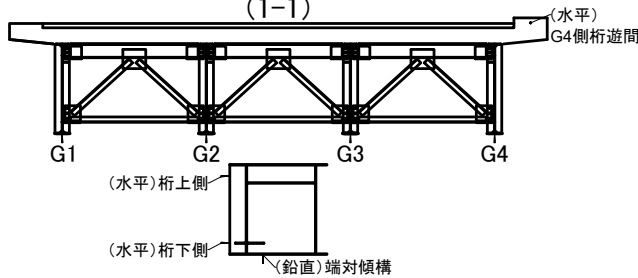


図-4 測線 1 変位計設置位置図
(鉛直・水平)

中間対傾構

(2-2)

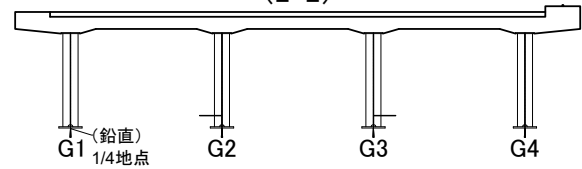


図-5 測線 2 変位計設置位置図

分配横桁

(3-3)

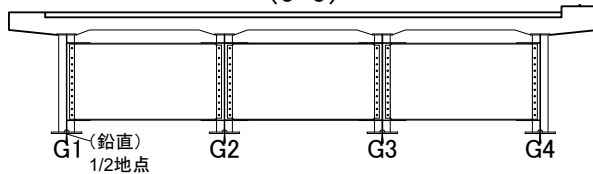


図-6 測線 3 変位計設置位置図

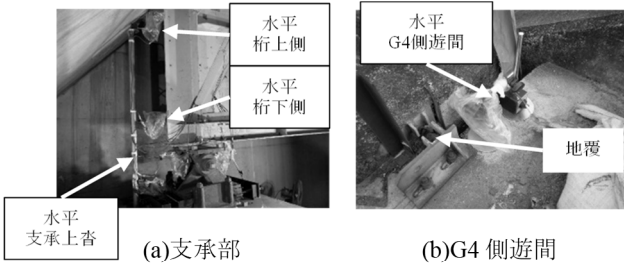


写真-1 変位計設置状況例

(2) 支承部

試験橋梁には、1基あたりの鉛直反力が750kN用のBP・A支承が使用されていたが、実際の橋梁で数十年間使用されていた鋼製支承を加工・再製作を施し、新たに取り付けた。A1(M)のG1, G2に取り付けたピンローラー支承及びG3, G4に取り付けたBP・A支承を対象とした。

両支承ともに標準図³⁾⁴⁾及び使用実績から、1基あたりの鉛直反力は1000kN以上の耐力を有する。また、どちらも鋼製可動支承であり圧縮バネを有さないことから、鉛直反力の荷重バランスに極端なばらつきは生じないと考えた。なお、図-3に示すように、上沓の水平変位の他に支承高の高いピンローラー支承のみ下沓の水平変位、ローラーの水平変位、上沓

の鉛直変位を計測した。支承は機能喪失を模擬して、検討CASEに合わせて石こう、ボルト、鋼板等を組合わせ固定した。

a) ピンローラー支承の構造、固定方法

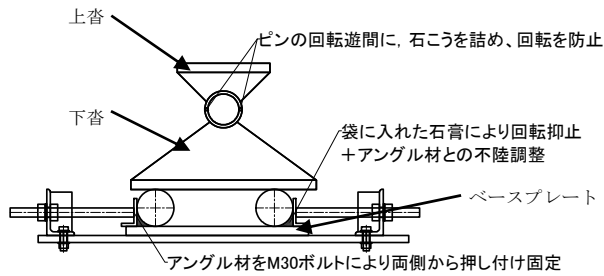
ピンローラー支承は、ベースプレートと下沓の間に挟み込まれたローラーが転がることで、水平変位追従機能を担う。水平変位追従機能の喪失を模擬するため、支承台座部にL字型の治具を設け、アンクル材を介してローラーの変位を固定した。

一方、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、回転追従機能を担う。回転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。拘束概要を図-7(a)に、拘束状況を写真-2に示す。

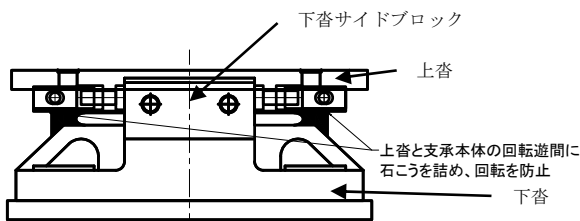
b) BP・A 支承の構造, 固定方法

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。

一方、下沓上面の曲面と同一の曲率の面を有するベアリングプレートが滑り上沓が傾くことで、回転追従機能を担う。回転追従機能の喪失を模擬するた

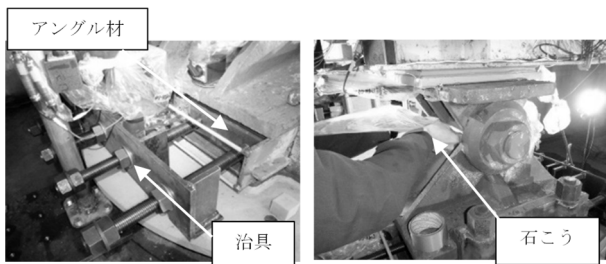


(a) ピンローラー支承拘束概要



(b) BP・A 支承拘束概要

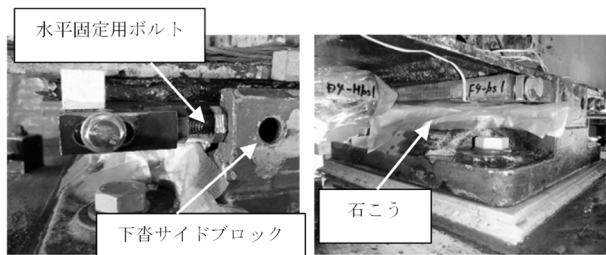
図-7 支承拘束概要



(a)水平変位拘束

(b)回転拘束

写真-2 ピンローラー支承拘束状況



(a)水平変位拘束

(b)回転拘束

写真-3 BP・A 支承拘束状況

め、ピンローラー支承と同様に、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。拘束概要を図-7(b)に、拘束状況を写真-3に示す。

(3) 支点条件

表-2に拘束条件を示す。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) 活荷重載荷による計測

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-1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載荷した。表-2に示すように支承の固定条件が変化した場合に、活荷重載荷によって各部位に生じる変位を計測した。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変位の経時変化の計測

温度変化の影響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分間隔で活荷重載荷と同一箇所の変位も計測した（以下、「定期計測」）。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（側線3）のG1、G4の桁中心に設置した熱電対から取得した。

表-2 支承部固定状況

桁	支承種	機能	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
			拘束なし	全て拘束	回転拘束	水平変位拘束	G1-G3 拘束
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	○	×	×	○	○

※○：可動，×：拘束

3. 実験結果

(1) 荷重車走行による橋の水平変位計測

a) 桁及び支承上沓の水平変位

図-8 に G1, G4 の桁及び支承上沓の伸張方向、及び収縮方向の水平変位を示す。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示す。なお、荷重車の走行位置によって支幹部で計測された水平変位に差が生じたため、活荷重による最大、最小の変位を示す。

可動部を全て拘束した CASE2 支承上沓の変位(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 割程度まで支承上沓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、下沓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。そのため、支承種類によっては支承上沓の変位から機能喪失の検出に期待できるが、計測された変位は全て 0.8mm 以下であり、健全な状態の指標がなければ機能喪失の検出は困難であると考えられる。

一方、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、支承上沓の計測よりも、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。これらによると、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判断できる。

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、前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

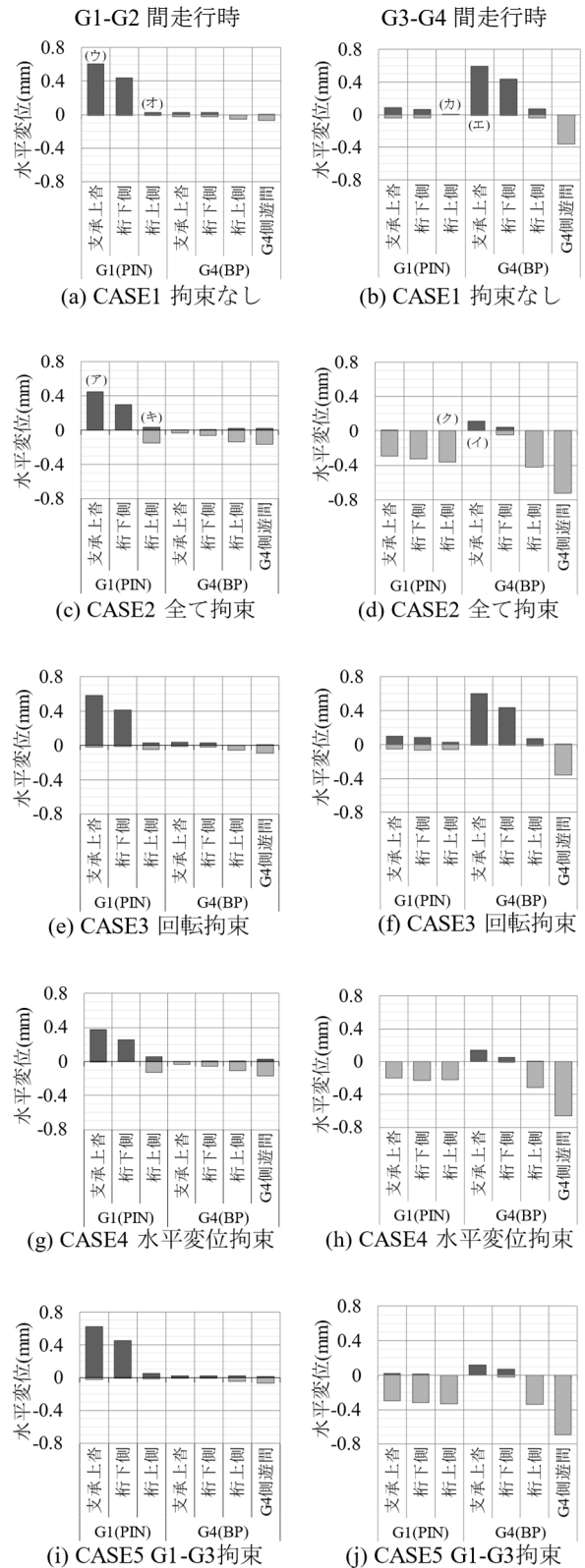


図-8 桁の水平変位

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場合があることが挙げられる。そのような可能性を考慮して計測する必要がある。

b) ピンローラー支承の水平変位

図-9にG1, G2 支承の上沓, 下沓, ローラーの水平変位を示す。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示す。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。これより、回転追従機能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確認された。これは、ベースプレートのローラー接地面が摩耗等により削れることで、ローラーに上下方向の転がりの影響が加わり、水平方向のみの変位が小さくなったと推測される。

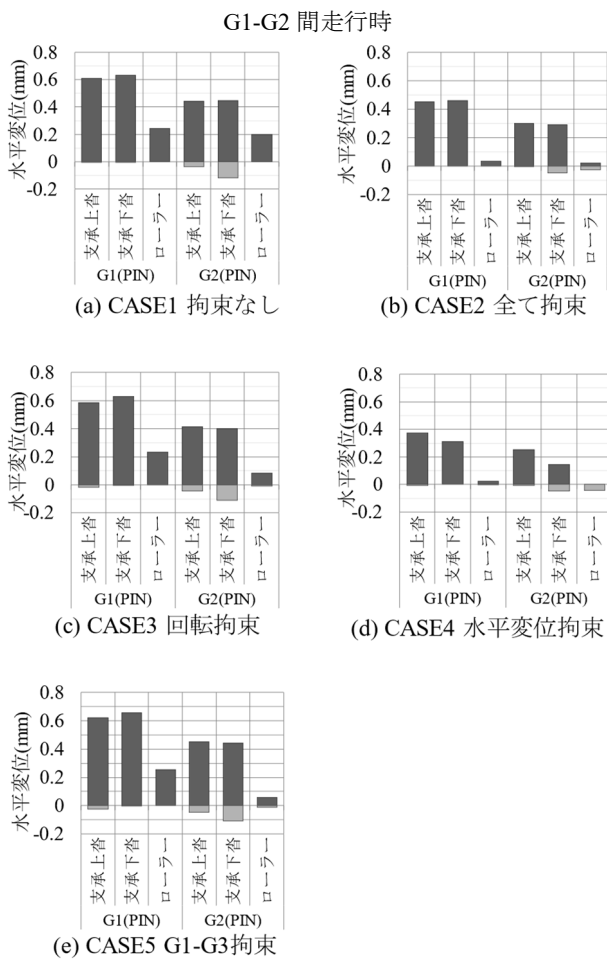


図-9 ピンローラー支承の水平変位

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 と比べて 1~2 割程度まで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、ローラーの変位に伴っていない。これら観察により、下沓がローラーの上面を滑ることで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 と同程度であったが、支承が部分的に拘束されている場合、全体としては、水平変位追従機能が喪失していない可能性がある。

これら検討により、支承が固定された場合でも、支承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

図-10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沈下していることを示し、負の場合は桁が上昇していることを示す。なお、荷重車の走行位置によって支点部の鉛直変位に差が生じたため、活荷重による最大、最小の変位を示す。

桁の鉛直変位の分布は桁のたわみ変形量を代表する指標であると考えられる。

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有意な差が生じないと考えられる。

したがって、鉛直変位計測による支承可動部の機能喪失の検出は困難であることが判明した。

(3) 定期計測による桁の水平変位計測

図-11に桁及び上沓の伸張方向、及び収縮方向の水平変位を示す。値がプラスの時は桁がA1側に伸張していることを示し、マイナスの時は桁中心側に収縮していることを示す。なお、支点によって変位に差があるが、ここではG1及びG4の最大、最小の変位を示す。

拘束を行わない CASE1 の桁上側でも収縮が確認された。これより、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。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。具体には支承上脊の変位差が G1

で 0.92mm に対して G4 では 2.43mm が計測された。これは、南側に面する G4 桁に日射熱が多く集まり、桁の温度上昇幅が大きかったと考えられる。

図-12 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。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。なお、CASE1 と CASE2 は計測日が異なるため、桁の温度も異なる。表より、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。これは、両支点間で温度伸縮による変位の影響を及ぼしあったためと考えられる。このため、直線橋であっても桁間で変位に差異が生じる可能性がある。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。したがって、日照のある日の温度変化による水平変位計測でも、可動支承部の追従機能喪失を把握できる可能性がある。

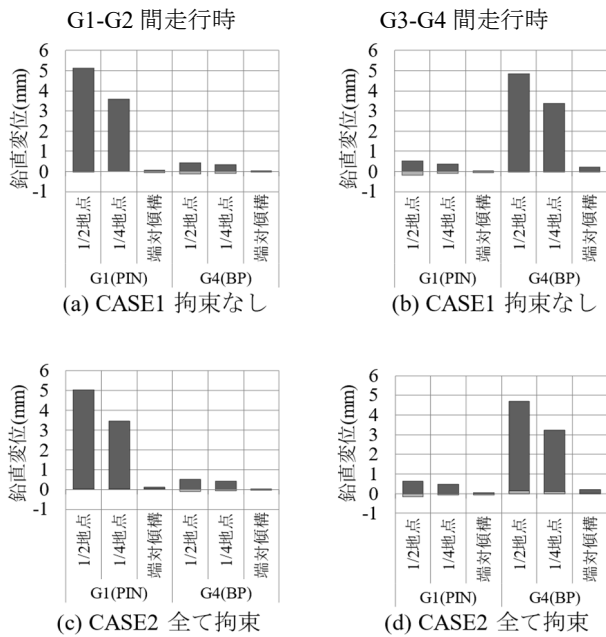


図-10 桁の鉛直変位

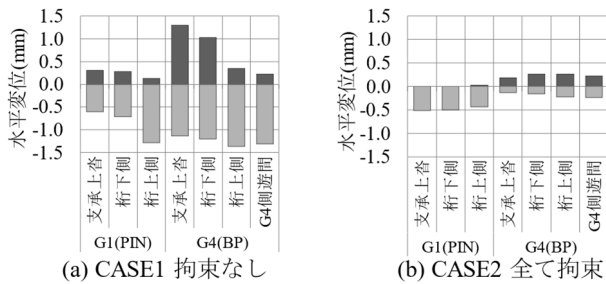


図-11 桁の水平変位

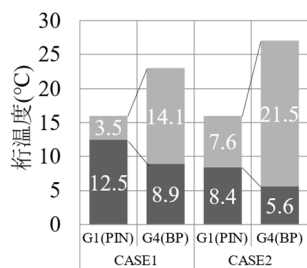


図-12 最大温度及び最低温度

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

4. まとめ

本研究では、応急復旧による支承の代替や経年による固着等によって喪失が予想される支承の機能を挙げ、機能喪失時に桁の変位に与える影響を整理した。

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。橋の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。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、発生ひずみ等の計測を通じて該当部位への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，2018
- 2) 日本道路協会：道路橋対策便覧（震災復旧編），2007
- 3) 日本道路協会：道路橋支承標準設計 ゴム支承・すべり支承編，1974
- 4) 日本道路協会：道路橋支承標準設計 ピン支承・ころがり支承編，1976
- 5) 西川和廣，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--損傷事例と補修・補強方法に関する調査結果--，土木技術資料，Vol.36-1，1994
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2017