

鋼橋の温度変化時の支承可動状況と内部応力評価

西日本旅客鉄道株式会社 構造技術室

丹羽 雄一郎

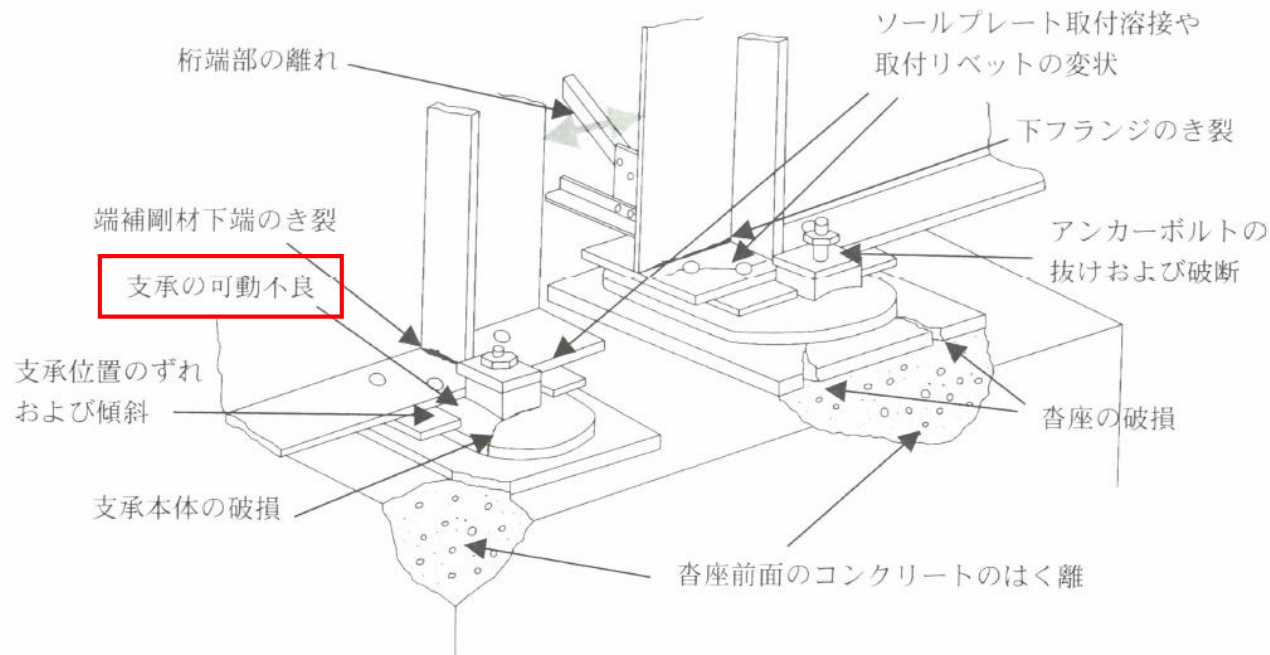
■ 発表内容

『鋼橋の温度変化時の支承可動状況と内部応力評価』

1. はじめに
2. 温度変化時の支承可動状況の計測・評価事例
3. 温度変化時の支承可動状況と内部応力評価を試行した事例
4. まとめ

1. はじめに

支承の可動不良 正しく評価できているか？



解説図 4.3.3 支承部の変状例

支承部の変状としては、①杓座コンクリートの破損や橋脚の移動による支承位置のずれ、②杓の割れや可動不良といった杓自体の変状、③杓が健全な機能を果たさないことによって桁に生じた変状等があるが、杓位置のずれが杓の可動不良を起こさせたり、杓の可動不良によって桁に過大な応力が生じ疲労き裂を発生させたりする等、支承部においては一つの変状が他の変状の誘因となるため注意が必要である。

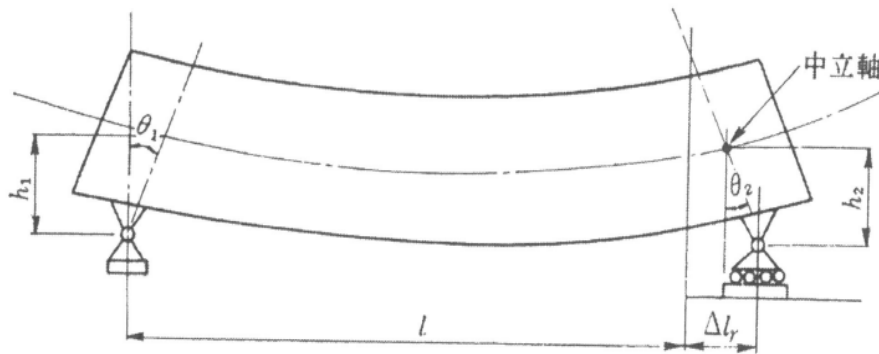
『鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編) 鋼・合成構造物-平成29年付属資料改訂版-』
より引用

1. はじめに

■ 橋梁の支承の可動量（水平変位）の評価

○ 活荷重載荷時（列車，自動車等）

$$\Delta l = 2 \times h \times \theta$$



Δl_r : 8.2に規定する活荷重を載荷したときの移動量 (mm)

θ_i : 支承上の桁の回転角 (rad)

h_i : 桁の中立軸から，支承の回転中心までの距離 (mm)

『道路橋示方書・同解説 H29.11』より引用

- 維持管理における調査・評価の場面では、
実測値と理論値（ $\Delta l = 2 \times h \times \theta$ ）を比較したりするが、
→ 値が小さいうえ、下部工の挙動が複合したりすることもあり、
可動状況を評価しにくいといったことも...

1. はじめに

■ 橋梁の支承の可動量（水平変位）の評価

○ 温度変化時

$$\Delta l = \alpha \times L \times \Delta T$$

[Δl : 水平変位, α : 線膨張係数 (鋼: 1.2×10^{-5}) , L : 支間, ΔT : 温度変化量]

- 維持管理における調査・評価の場面では、
実測値を理論値 ($\Delta l = \alpha \times L \times \Delta T$) と比較して可動状況の良否を評価？
 - その評価は妥当？何を評価することが目的なのか？
 - 支承の可動不良が生じると何がよくないのか？
 - そもそも、実測値と理論値が違っていたら悪いのか？悪さ加減を見極めるポイントは？
- 実務面では評価法が確立されていないのではないか。

■ 発表内容

『鋼橋の温度変化時の支承可動状況と内部応力評価』

1. はじめに
2. 温度変化時の支承可動状況の計測・評価事例
3. 温度変化時の支承可動状況と内部応力評価を試行した事例
4. まとめ

2. 温度変化時の支承可動状況の計測・評価事例【事例1】

橋本他：ローラー支承の可動不良状況およびその対策効果に関する検討，土木学会第71回年次学術講演会，2016.9

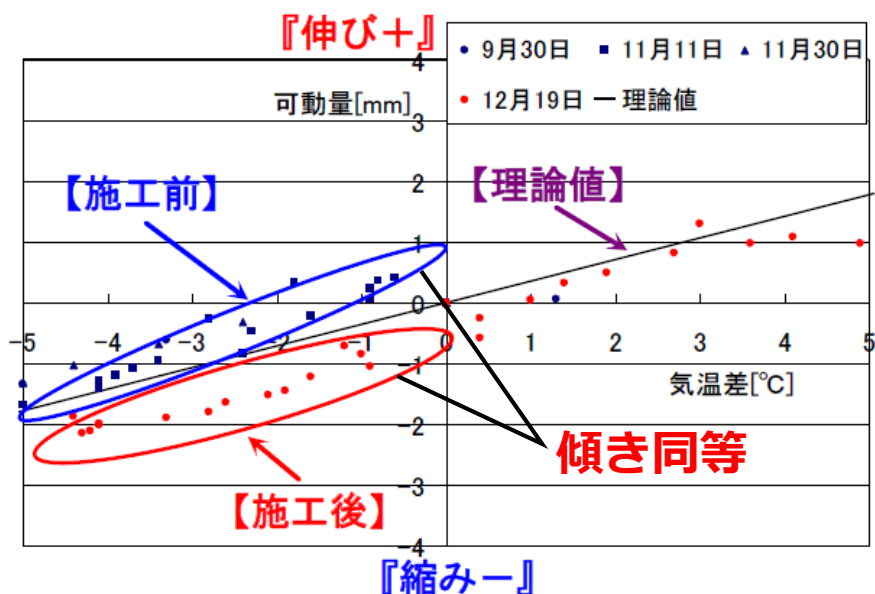


図-3 上沓の可動量測定結果(24 時間計測)
(■: 施工前 ■: 施工後)

この報告では，

- ・ 清掃 & グリスアップの実施により、
可動量が1～2mm程度増加
→ よって可動状況改善..としている

●しかし、温度変化と可動量の大観的な関係は施工前後で何も変わっていない。

※支承がすべりや転がりで可動する以上、当然、可動する時のグラフ傾きは変わらない。

2. 温度変化時の支承可動状況の計測・評価事例【事例2】

大都他：高経年の鋼鉄道トラス橋の支承部改良の効果，土木学会第63回年次学術講演会，2008.9



桁温度と桁移動量の関係

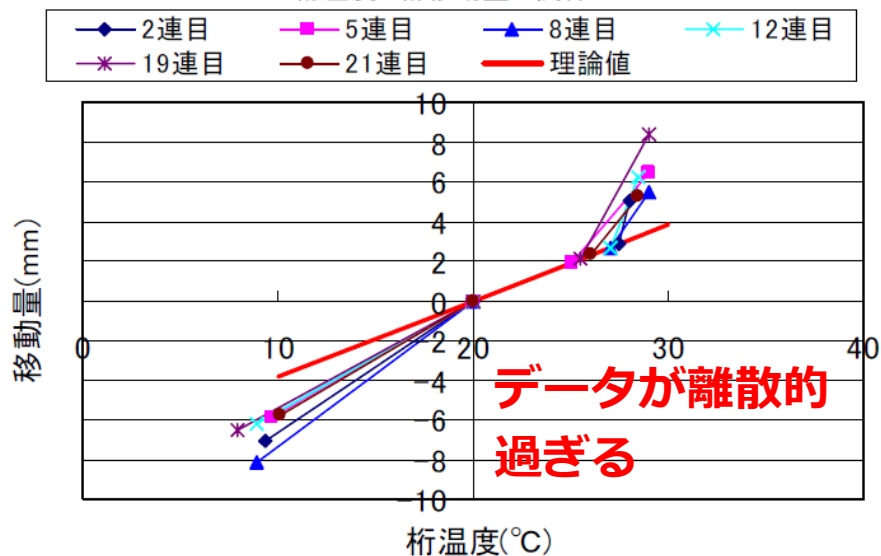


図-2 桁温度と桁移動量の関係

この報告では、

- ・ 可動量が多い
→ よって可動状況良好..としている

●しかし、

- ・ 計測データが離散し過ぎている。日内変動を捉えていないため、大観的な評価しかできない
- ・ 日内変動で発生する可動不良と内部応力が評価できていない

2. 温度変化時の支承可動状況の計測・評価事例【事例3】

河野他：道路橋支承の変位挙動評価，土木学会第71回年次学術講演会，2016.9

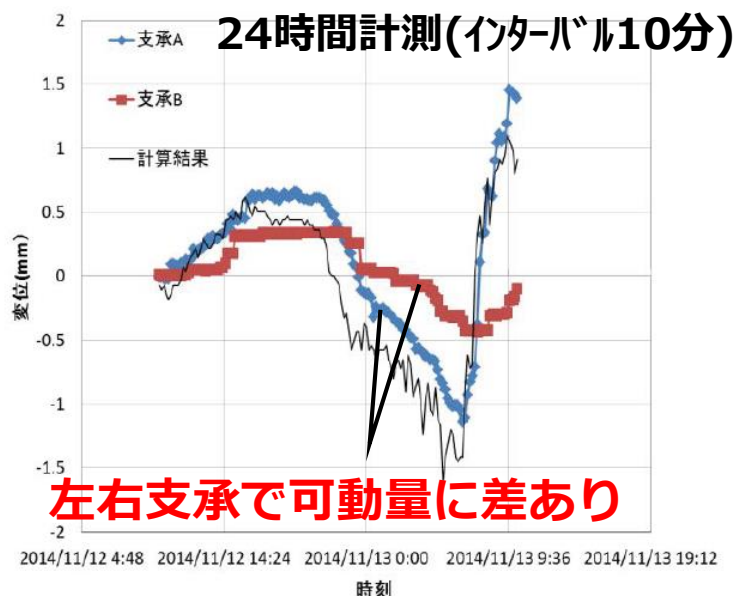
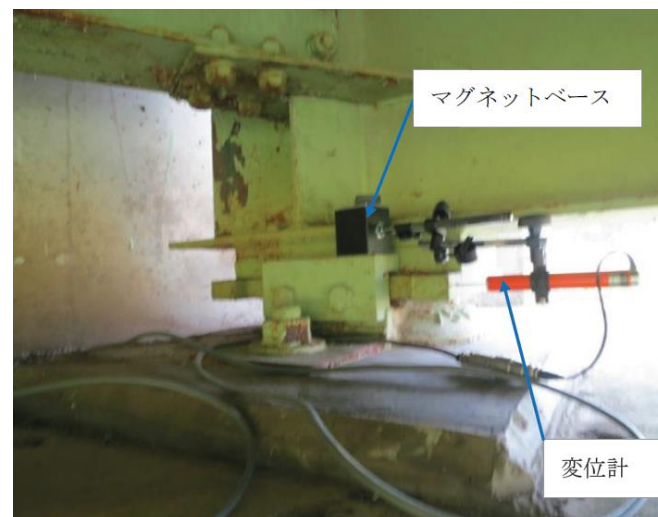
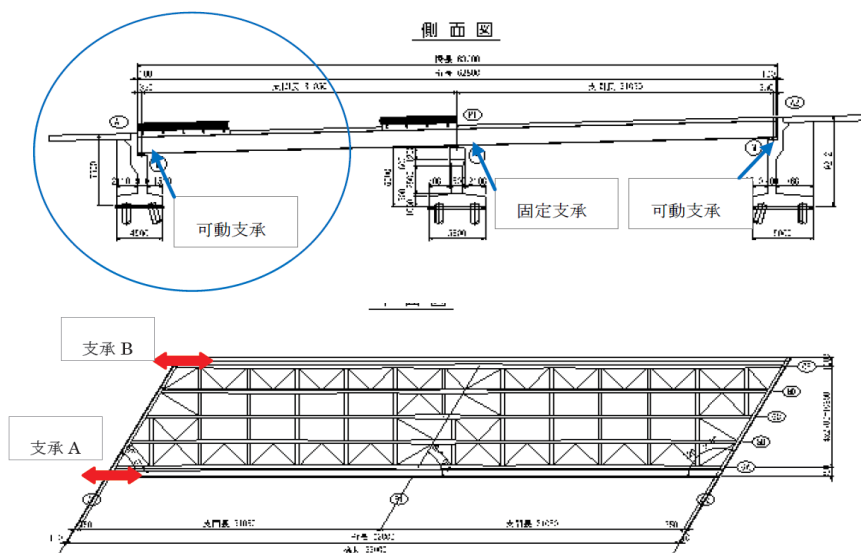


図5 支承変位計測結果

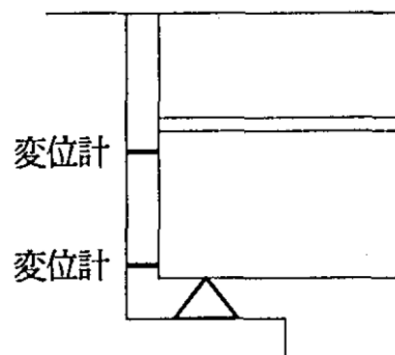
この報告では、

- ・ 左右支承で可動量が異なることから、支承により可動状況に差が出ることもある、としている。

- 可動状況に差が出ることもあることはわかったが、
 - どの程度悪いのか？
 - 評価はどのようにすべきか？

2. 温度変化時の支承可動状況の計測・評価事例【事例4】

村山他：橋梁の温度変化による伸縮量に関する調査・検討，土木学会第49回年次学術講演会，1994.9



1年間計測(インターバル1h)

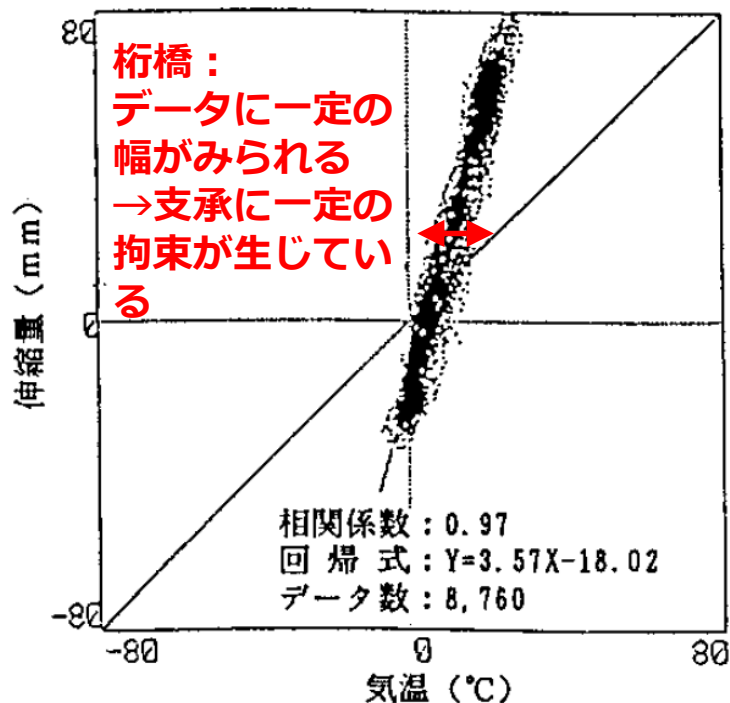


図-4 気温と伸縮量の相関図

表-3 鋼橋の線膨張係数(実測値)

気温変化 (°C)	連 続 部		ラ ー メ ン 部	
	伸縮量	線膨張係数	伸縮量	線膨張係数
33.1	55.3mm	11.9×10^{-6}	37.5mm	8.8×10^{-6}

この報告では、

- ・ 桁橋の線膨張係数は理論値と同等
- ・ ラーメン橋の線膨張係数は拘束により下がる
としている。

● 桁橋は理論通り可動しているが、内部応力を把握しない限り、支承可動の影響については評価できない

(ラーメン部は拘束され線膨張が妨げられているため、当然内部応力が生じている。)

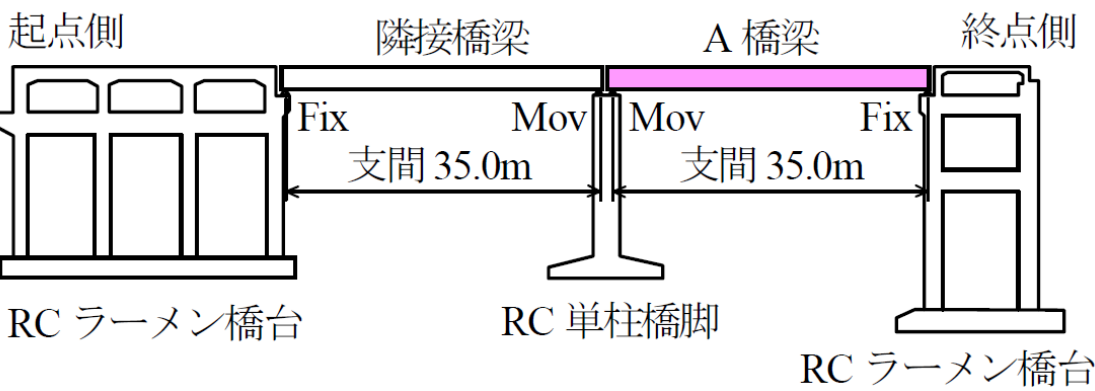
■ 発表内容

『鋼橋の温度変化時の支承可動状況と内部応力評価』

1. はじめに
2. 温度変化時の支承可動状況の計測・評価事例
3. 温度変化時の支承可動状況と内部応力評価を試行した事例
4. まとめ

3.1 計測対象橋梁

丹羽他：経年38年の鉄道合成桁のBP-A支承の挙動性状と支承部水平力の評価，構造工学論文集Vol64A，2018.3



計測対象橋梁の主要諸元

供用開始		1972年
橋梁形式		単純上路合成桁
主桁断面		箱断面1線1主桁
支間長		35.0m
線形		直線(直橋)
勾配		縦断，横断ともLevel
軌道形式		道床式
設計 支承 反力	ウェブA (右側)	死荷重 : 826.1 kN 列車荷重: 623.3 kN 衝撃荷重: 231.3 kN 計 : 1680.7 kN
	ウェブB (左側)	死荷重 : 889.8 kN 列車荷重: 628.2 kN 衝撃荷重: 228.3 kN 計 : 1746.3 kN



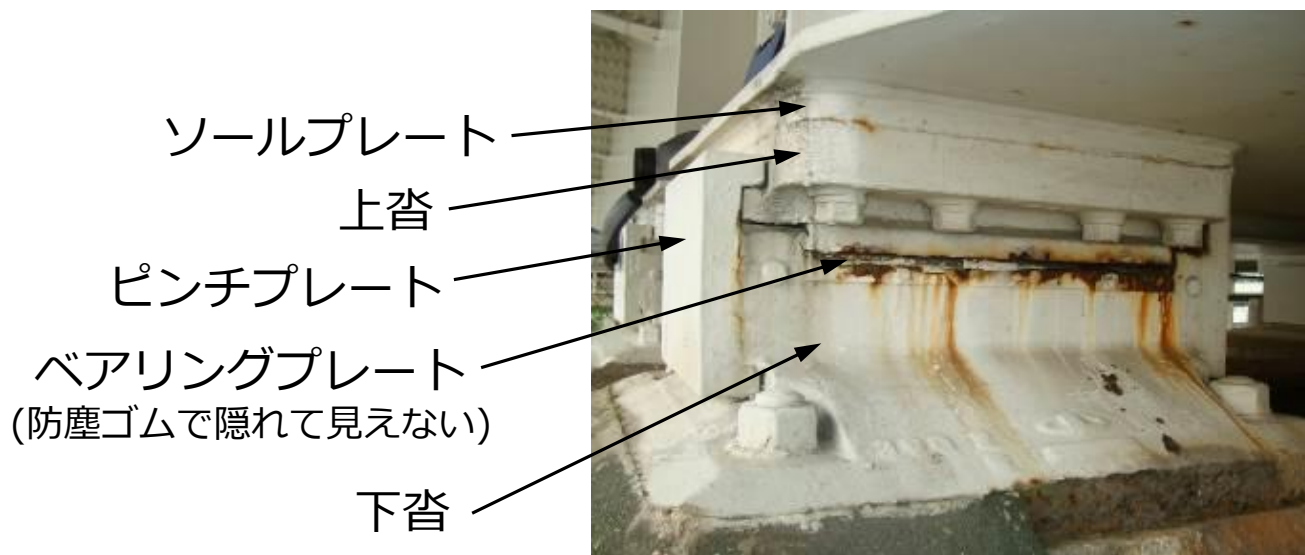
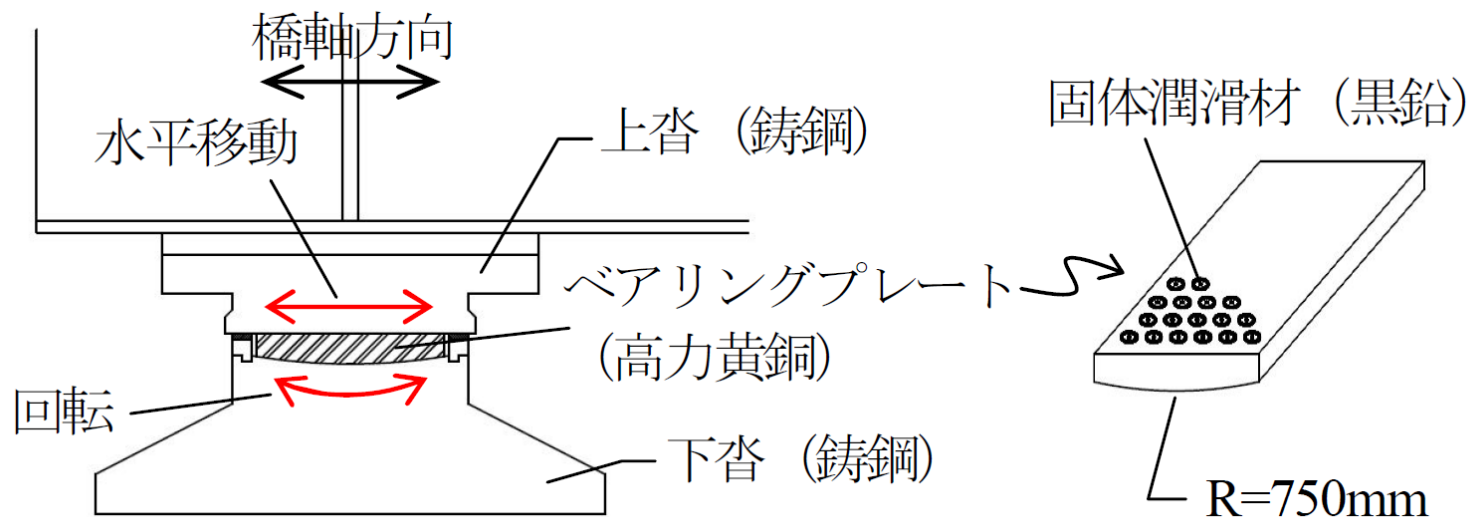
計測対象橋梁



計測対象BP-A支承

3.1 計測対象橋梁

BP-A支承の構造



3.2 計測概要

計測概要

・ インターバル計測

期間：2010.10.12～2011.2.14

インターバル：5分

・ ひずみゲージ

ゲージ長5mmの単軸ゲージ

橋軸方向

ソールプレート前端から110mmの位置

・ 熱電対

下フランジ&ウェブ：

→ 起・終桁端付近と支間中央付近

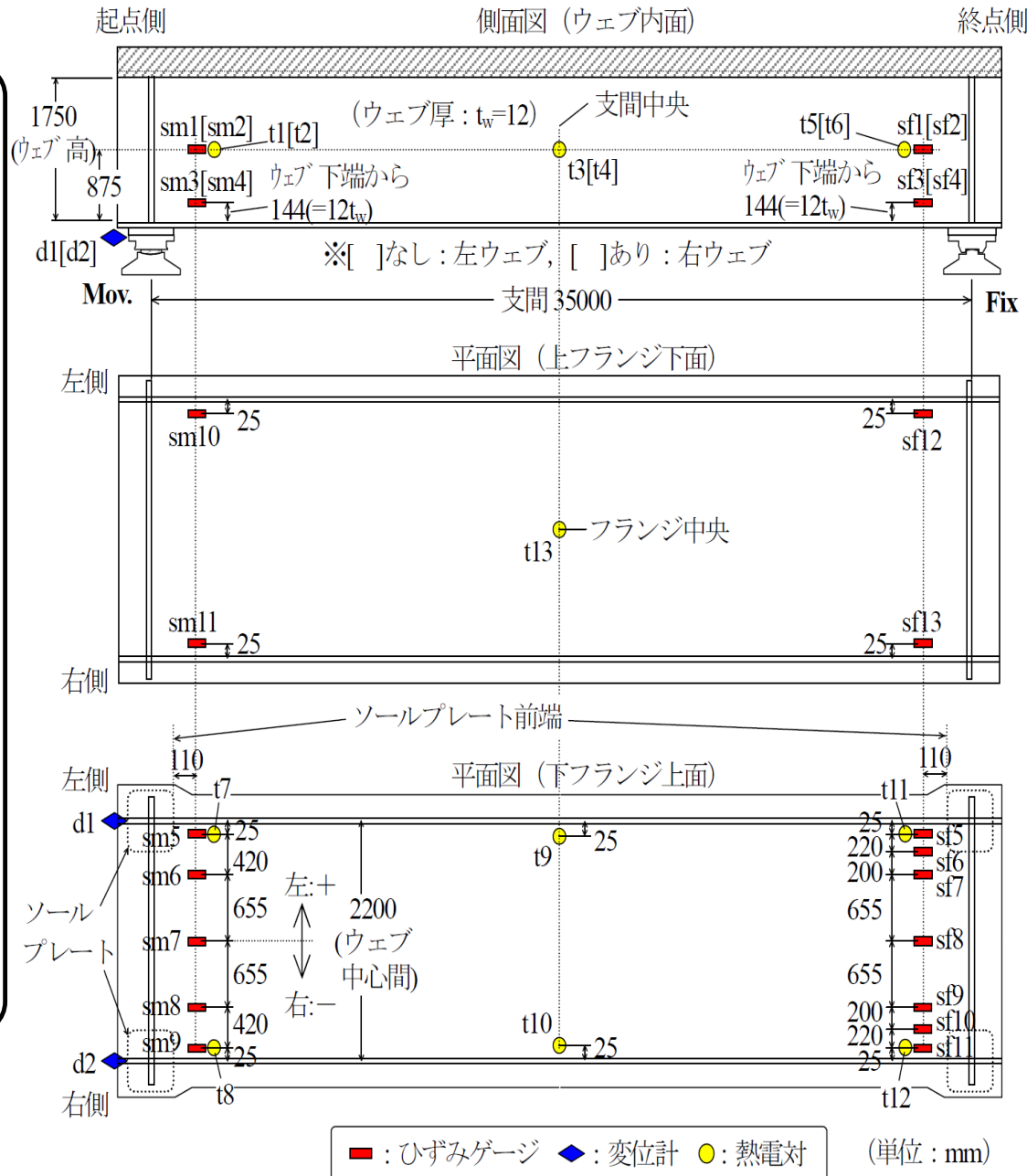
上フランジ：

→ 支間中央の主桁中心位置

・ 変位計

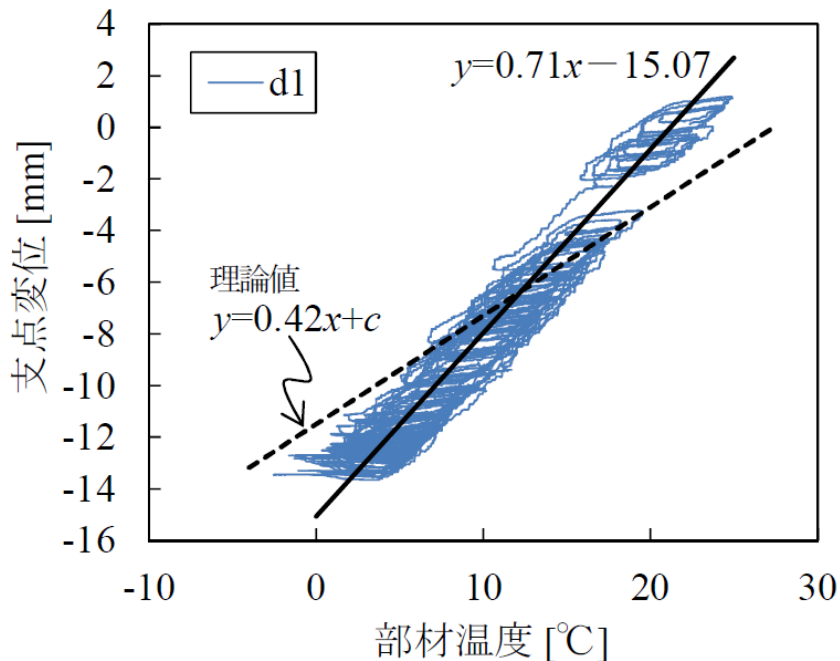
左右可動支承

橋軸方向

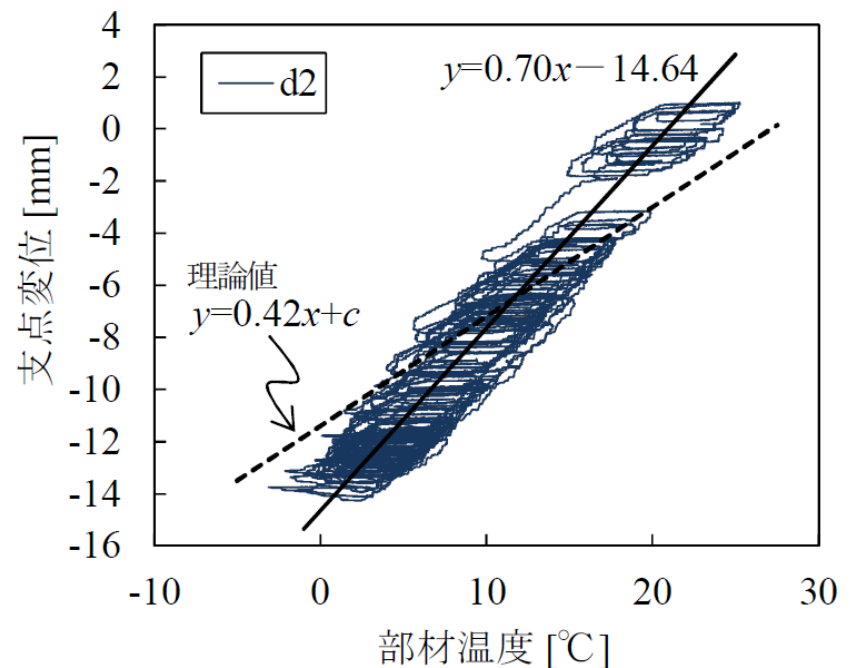


3.3 計測結果

● 部材温度と支点変位の関係（桁伸び：正，桁縮み：負）



(a) 左可動支承（測点d1）



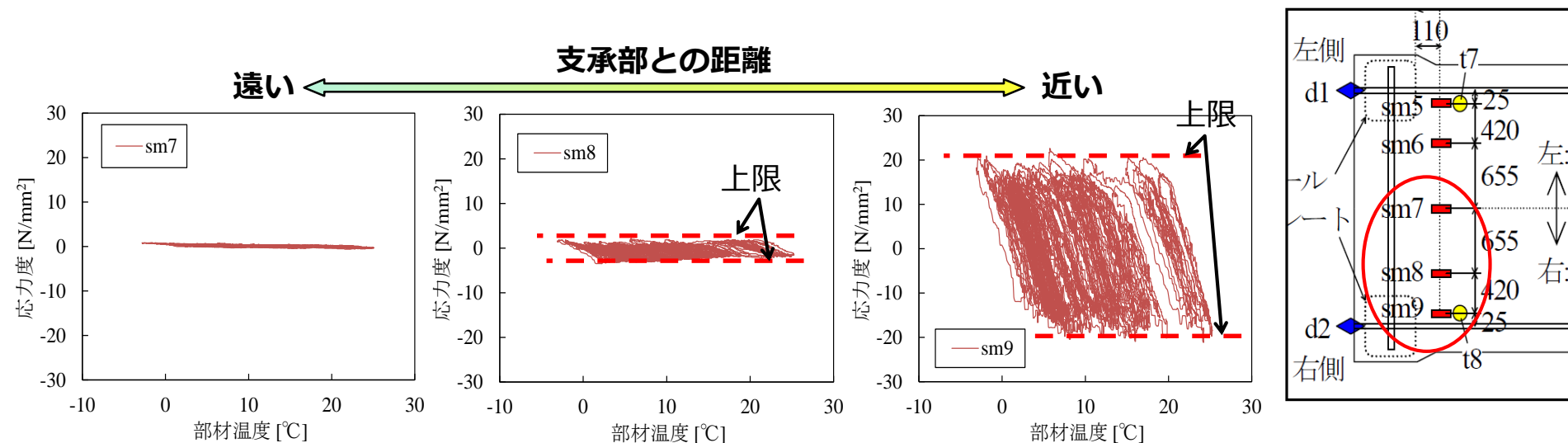
(b) 右可動支承（測点d2）

結果概要

- ・ d1,d2いずれも傾きほぼ一定
→ 季節変化による大局的な温度変化に対しては、支承は追随して可動している
- ・ 横軸方向に一定の幅有り
→ 温度変化時に支点変位の発生するケースと発生しないケースが複合している

3.3 計測結果

● 部材温度と応力度の関係 (最大値,最小値の中央値を 0N/mm^2 として整理)



結果概要

- ・ 支承部に近いほど応力が大きい。支承部から遠いとほとんど応力発生せず。
- ・ 各測点とも, **日々一定の上限までの応力が発生**。
→ 長期的な内部応力の蓄積はほぼない。

すなわち,

支承部のすべり摩擦により桁伸縮拘束 → 応力発生

※摩擦係数は一定のため, 応力に上限あり。

3.3 計測結果

● 部材温度と支点変位&応力度の関係 (応力度は代表としてsm9)

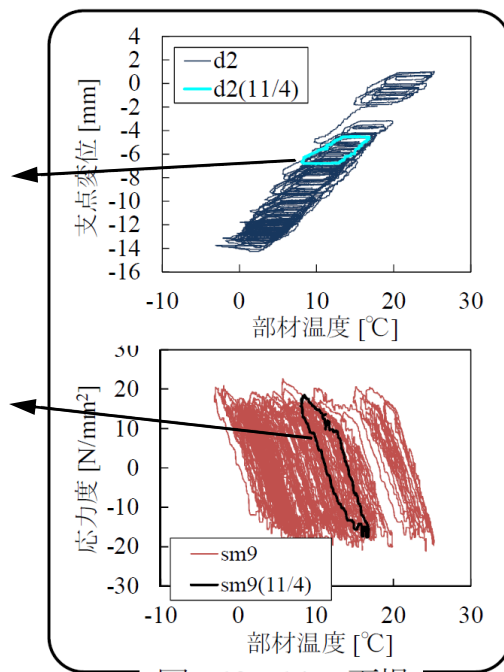
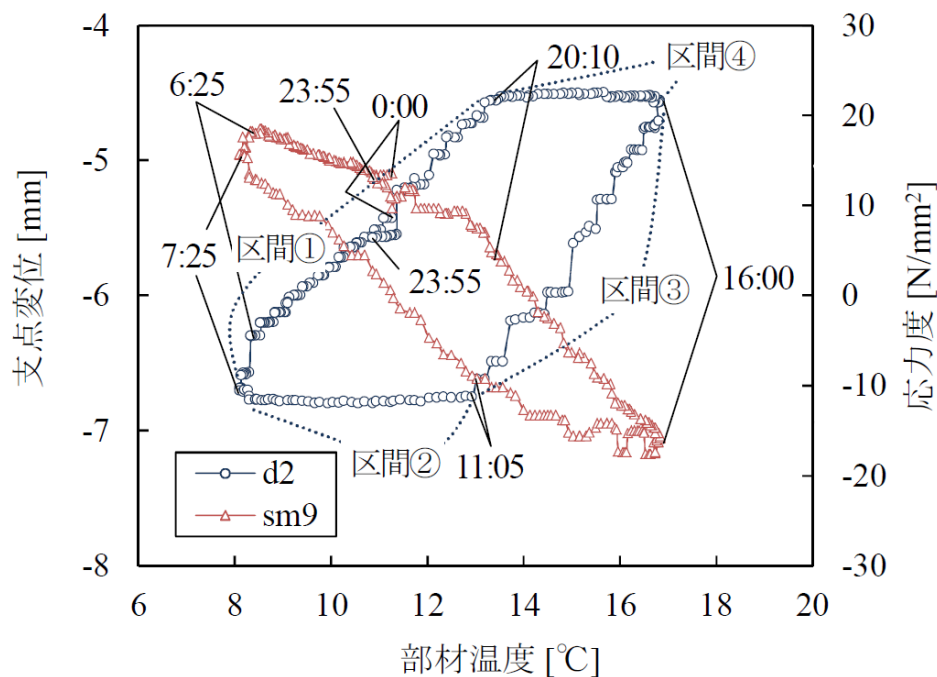
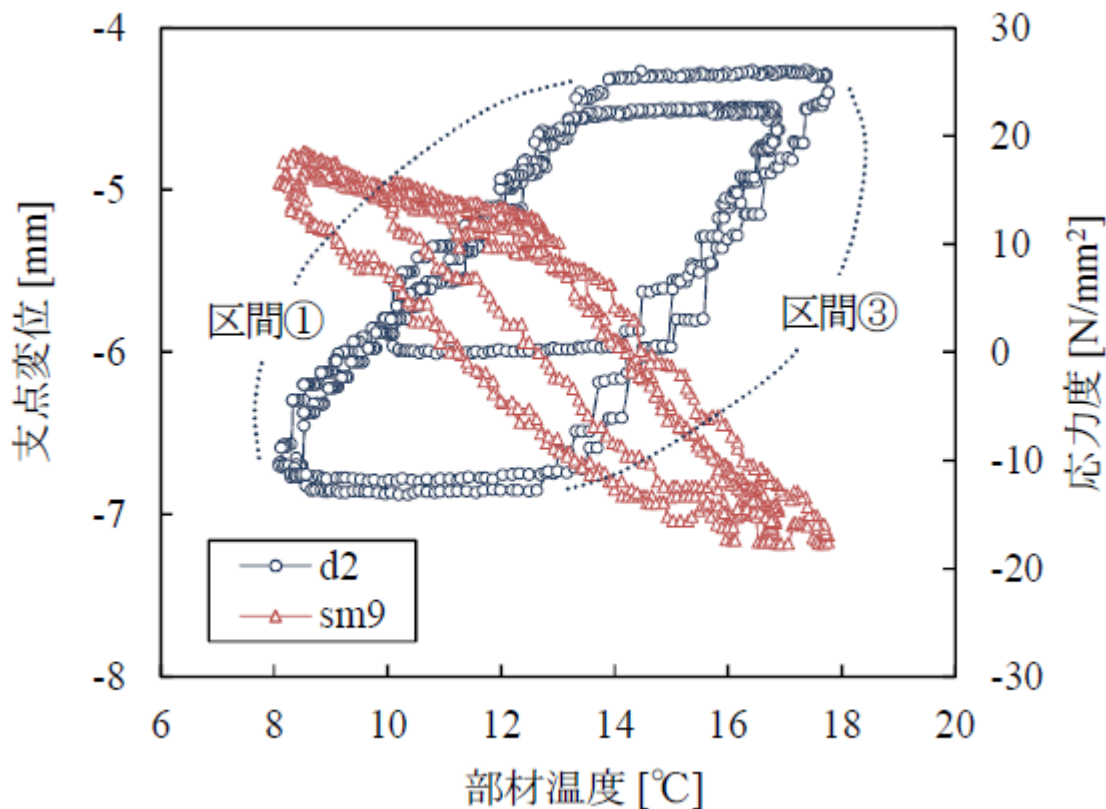


図-13, 14 の再掲

	区間① (0:00~7:25, 20:10~23:55)	区間② (7:25~11:05)	区間③ (11:05~16:00)	区間④ (16:00~20:10)
温度	下降	上昇	上昇	下降
支点変位	桁縮み	停滞	桁伸び	停滞
応力	引張	引張(桁縮み拘束) →圧縮(桁伸び拘束)	圧縮	圧縮(桁伸び拘束) →引張(桁縮み拘束)
支承部水平力と摩擦力の関係	水平力>摩擦力	水平力<摩擦力	水平力>摩擦力	水平力<摩擦力

3.3 計測結果

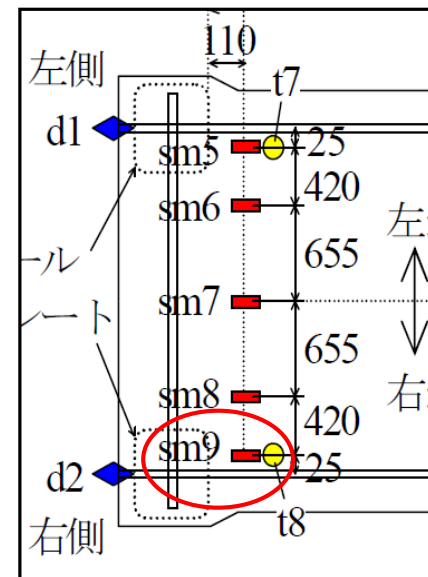
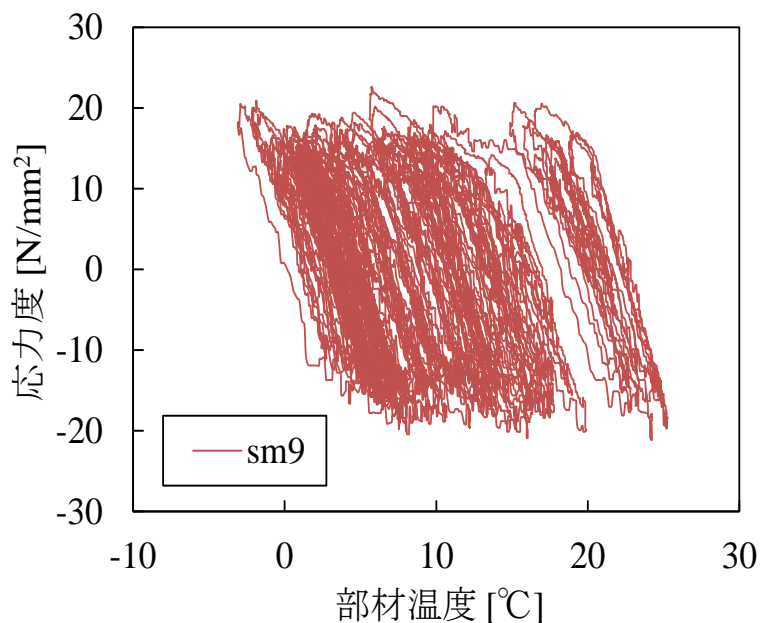
● 部材温度と支点変位&応力度の関係 (連続3日間：11月3日～11月5日)



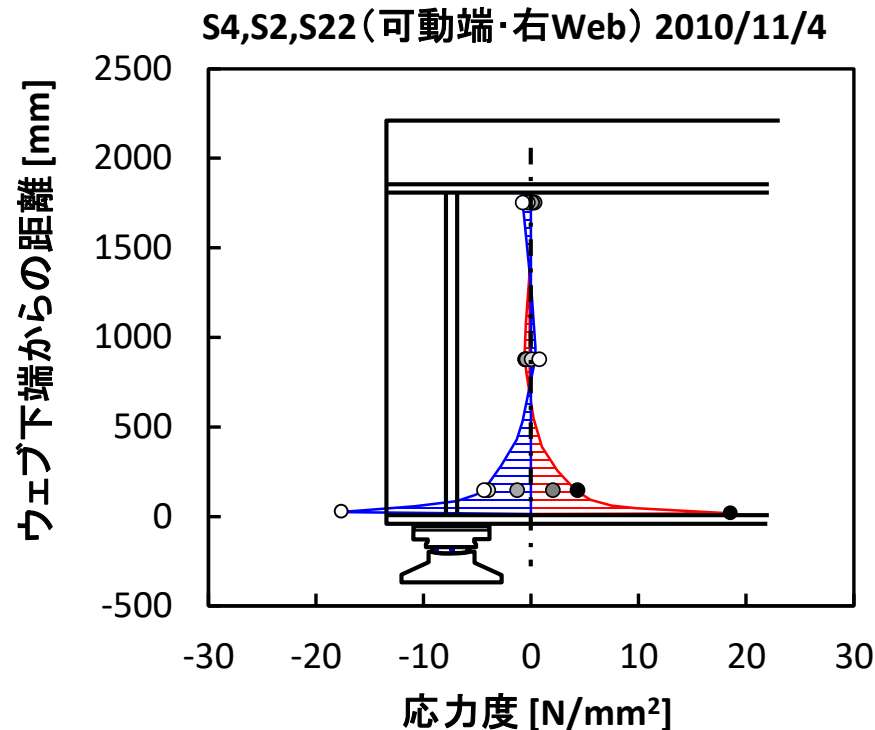
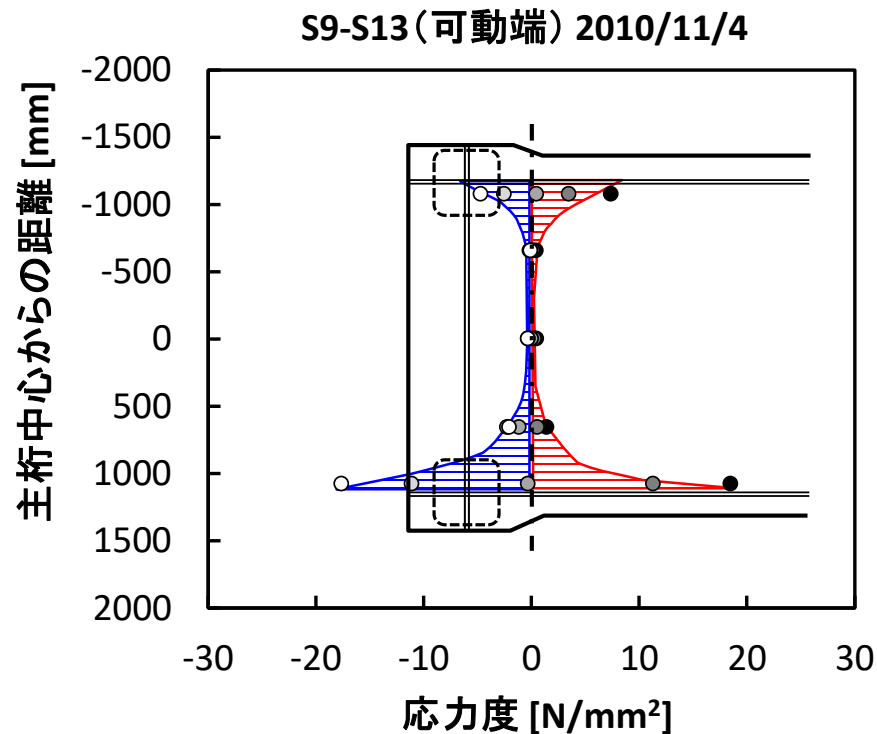
- ・ 支点変位・応力度ともに，3サイクルの履歴（1日1サイクル）
- ・ 区間① & ③の履歴→同じ経路（ある一定の摩擦力ですべりが生じている証拠）
- ・ 日々の履歴が季節温度変化につれて徐々にずれていき，全計測期間の履歴を描く

構造物への影響は？ 何を評価すべきか？

- ・ 支承部近傍で発生する応力度は $\pm 20 \text{ N/mm}^2$ 程度（応力範囲 40 N/mm^2 ）
繰返しは1日1サイクル
- 疲労上はあまり問題にならない
- 支承部に作用する水平力は？ 桁座コンクリートへの影響も出てくる？



3.4 支承部水平力および摩擦係数の評価



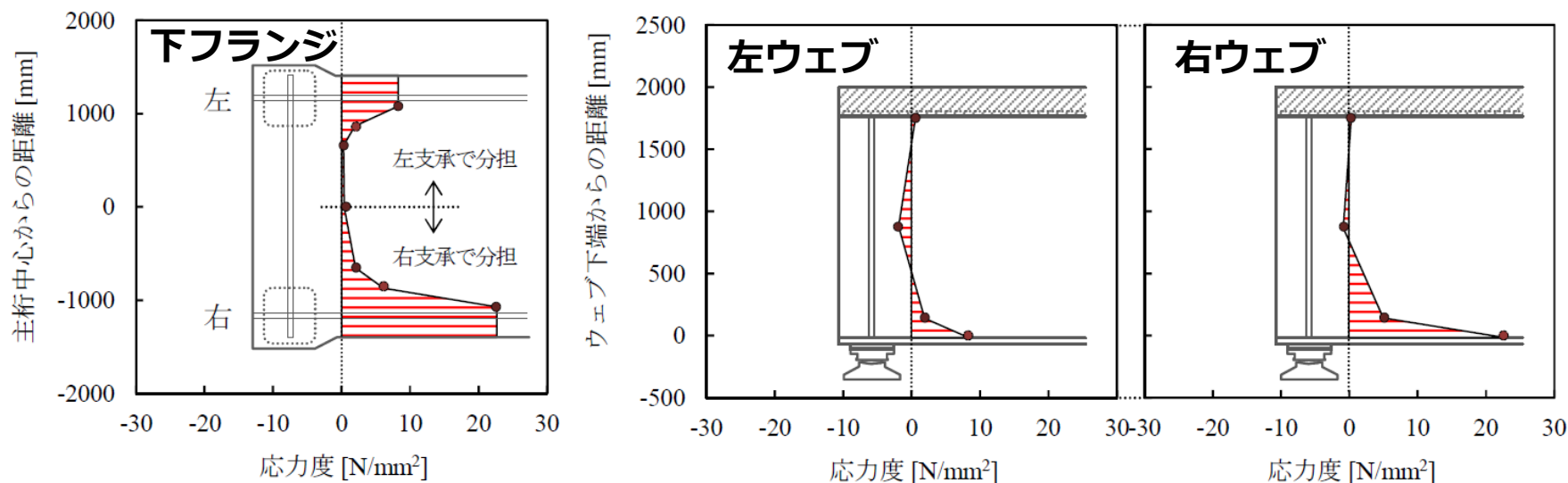
● 5:45 ● 8:30 ● 10:10 ○ 11:40 ○ 14:45

1日の応力分布の変動イメージ

・ 応力上限値変化なし ⇒ ∴ 応力上限時の応力分布から 支承部水平力の評価 が可能

3.4 支承部水平力および摩擦係数の評価

● 支承部水平力の試算（応力上限時） ※図は可動支承側の例



● 支承部水平力 = 応力(σ) × 板幅(y) × 板厚(t)

$$= \int \sigma(y) dy \times t \div \sum (\sigma_i \cdot y_i) \times t$$

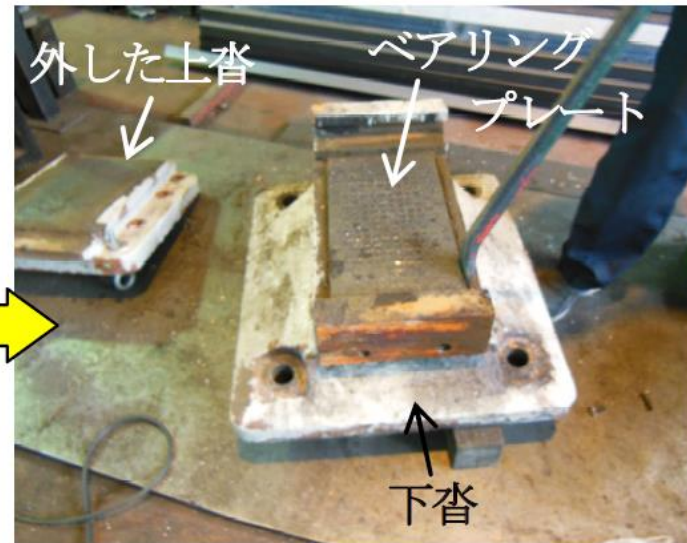
	左可動支承	右可動支承	左固定支承	右固定支承
支承部水平力	56.2kN	190.4kN	146.1kN	199.2kN

- ・ 一般に設計では、常時においては橋軸方向水平力は可動支承に作用しないものとしているが作用しているという結果
- ・ 想定していない水平力の作用は、支承本体や周辺部材（桁座コンクリート等）に悪影響
→ 支承の可動不良を適切に（≒定量的に）評価することが重要

3.5 撤去したBP-A支承の解体調査



(a) 撤去前の BP-A 支承



(b) バールでこじても動かない



(c) クサビ打撃で外す



(d) 下沓・ベアリングプレート解体

3.5 撤去したBP-A支承の解体調査

上沓の接触面の状況（水平移動すべり面）

右可動支承



左可動支承



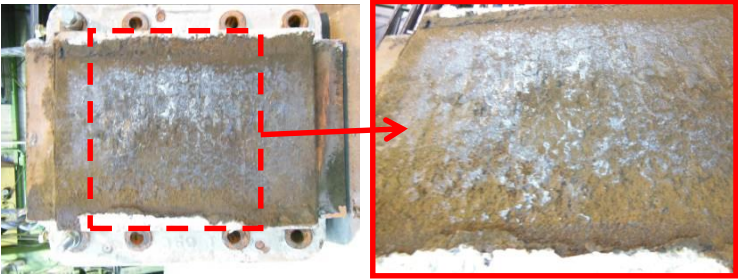

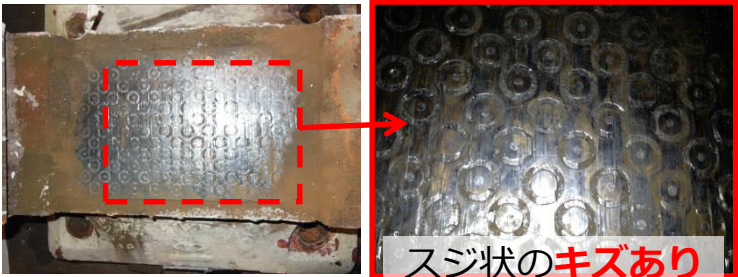
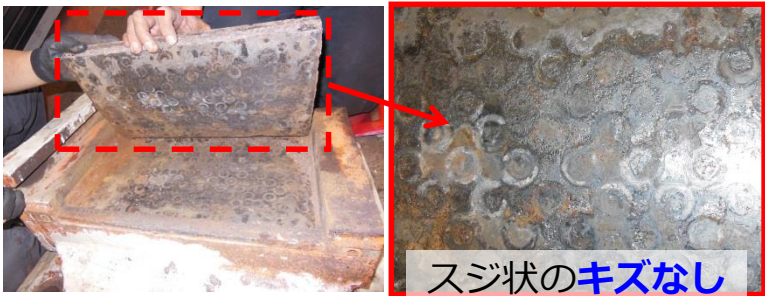
クロムめっき
の残存

- ・ 左可動支承は、上沓の接触面のクロムめっきが比較的平滑な状態である程度広範囲に残存しており、右可動支承程には劣化が進行していないように見受けられた。
- ・ すべり摩擦により水平変位が拘束されることで、支承部に水平力が作用するが、上沓の接触面（＝水平移動すべり面）の劣化状況により、水平力の大きさが変わる。

● 水平力試算値： 左可動支承 = 56.2kN, 右可動支承 = 190.4kN

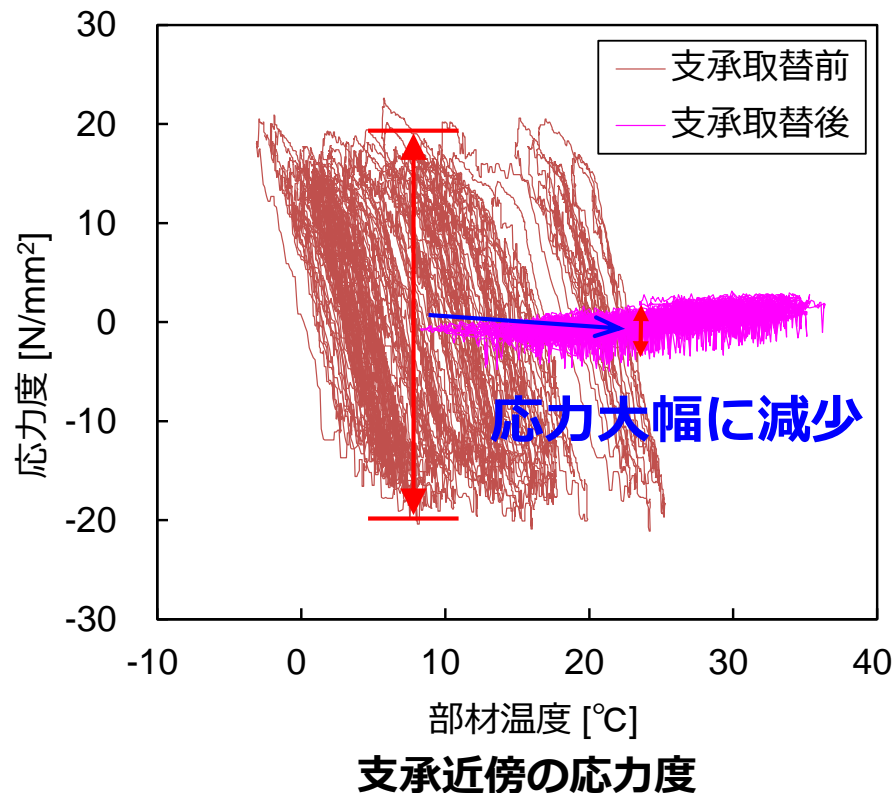
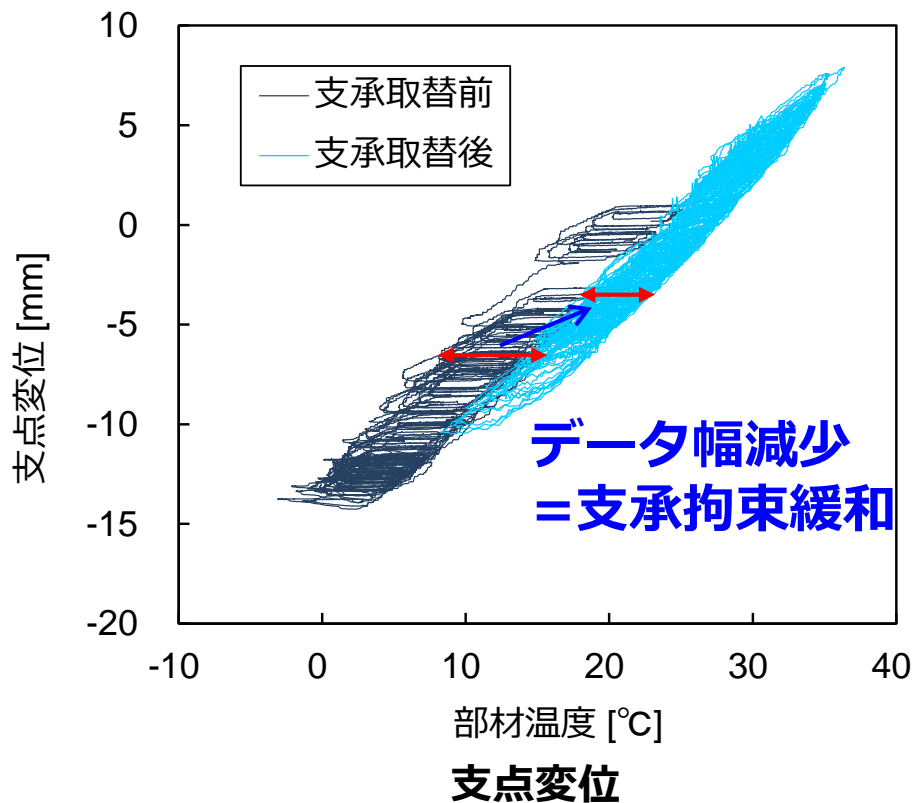
3.5 撤去したBP-A支承の解体調査

上沓・下沓・ベアリングプレートとの接触面の状況（右可動支承）

	水平すべり面	回転すべり面
接触面の状況	 <p>(a) 上沓の接触面</p>	 <p>(a) 下沓の接触面</p>
	 <p>(b) ベアリングプレート上面</p>	 <p>(b) ベアリングプレート下面</p>
固結の有無	固結なし（容易に外れた）	強固に固結
コメント	<ul style="list-style-type: none">・上沓の接触面：腐食・摩耗による凹凸・BP上面：橋軸方向にスジ状のキズ	<ul style="list-style-type: none">・下沓の接触面：固体潤滑剤の埋込み溝の痕・BP下面：目立った凹凸やスジ状のキズなし →回転すべりが生じていないことの裏付け

3.6 支承取替前後の比較

- 支承可動不良改善のため、BP-A支承からBP-B支承に取替を行い、同様の計測実施



支承取替後の評価

- ・ 支点変位のデータ幅が減少 → 支承の拘束緩和
- ∴ 応力が減少 → 支承部水平力低減

■ 発表内容

『鋼橋の温度変化時の支承可動状況と内部応力評価』

1. はじめに
2. 温度変化時の支承可動状況の計測・評価事例
3. 温度変化時の支承可動状況と内部応力評価を試行した事例
4. まとめ

4. まとめ

1) 温度変化時の鋼橋の支承可動状況を評価するには、

- ・支承可動量の計測だけでは評価できない
- ・支承可動量と併せて、橋梁部材（支承部近傍下フランジ等）の[内部応力の計測が必要](#)

2) 温度変化時の支承可動状況と内部応力

- ・多くの計測事例において、[季節温度変化に対しては、支承可動は追隨している](#).
- ・日温度変化に対しては、支承部すべり摩擦等による可動拘束と解放が繰り返される.
- ・支承可動拘束に応じて、[日々内部応力が発生する](#). この内部応力は、日温度変化が大きい程大きくなるが、季節温度変化による増加はほぼない. (日温度変化最大時が上限)

3) 温度変化時の支承可動状況の評価

- ・内部応力を計測することで、温度変化による橋梁部材の疲労影響有無や、支承部に作用する水平力を評価できる.
- ・すなわち、[内部応力を計測することで、はじめて支承可動状況の良し悪しを評価でき](#)、対策の必要性や具体的な対策内容の検討につながる.