

早期劣化橋梁に対するモニタリングの取組み

MONITORING FOR CONCRETE BRIDGES WITH EARLY-AGED DETERIORATION

深田宰史* , 宮下剛** , 鈴木啓悟*** , 浦修造****

Saiji FUKADA, Takeshi MIYASHITA, Keigo SUZUKI and Syuzo URA

ABSTRACT This study have been investigating the maintenance management for the concrete bridge with early-aged deterioration as one of the SIP (cross-ministerial Strategic Innovation Promotion program) projects. This paper presents the outline of the monitoring for the frame rigid girder concrete bridges with the Gerber hinges that have deterioration of the Alkali-Silica reaction.

KEYWORDS : PC 橋梁, モニタリング, アルカリ骨材反応
PC bridge, monitoring, Alkali-Silica reaction

1. まえがき

高度成長期に集中的に整備された道路インフラのなかには、様々な交通条件、環境条件により、経年劣化が顕在化してきており、このような道路インフラを今後どのように効率的に維持管理していくのかが問われている。この全国的な背景のもと、富山県、石川県、福井県の北陸地方では、経年劣化とは異なった下記のような早期劣化が問題となっており、経年劣化を主体としてきたマネジメントとは異なった仕組みづくりが必要な状況にある。

①冬季に散布している凍結防止剤の影響による塩害劣化、②日本海側に面した地域（福井県国道 305 号線、石川県国道 249 号線、北陸自動車道など）での飛来塩分による塩害劣化、③安山岩が主要因とされるアルカリ骨材反応（以下、ASR）による劣化、④塩害、ASR による複合劣化

このような社会問題に対して、本研究では、内閣府が推進する戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) ¹⁾のうち、インフラ維持管理・更新・マネジメント技術として研究開発を行っている「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発」(研究開発責任者 鳥居和之 金沢大学教授) ²⁾の一環として、コンクリート橋を対象とした早期劣化橋梁に対するモニタリング技術の開発を行っており、本文ではそれらの取組みについて述べる。

2. モニタリングの役割

SIP における研究では、早期劣化が生じたコンクリート橋を対象として、劣化の種類とその程度を橋梁の部位（上部構造、下部構造）ごとに階層化し、北陸地方の道路橋に対する点検・診断・モニタリング、評価・判定、対策（補強・補修・更新）への一連の流れを産学官民のトータルな支援体制の

*博士（工学）金沢大学准教授 環境デザイン学系（〒920-1192 金沢市角間町）

**博士（工学）長岡技術科学大学准教授 環境・建設系（〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1）

***博士（工学）福井大学講師 工学研究科（〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1）

****（株）国土開発センター 設計事業部（〒924-0838 白山市八束穂 3-7）

もと、メンテナンスマネジメントシステムとして確立し、同様な早期劣化を生じている地域へ展開できる研究を行っている。本研究では7つのワーキンググループ（以下WG）で活動しており、WG(1)は塩害による劣化、WG(2)はASRによる劣化、WG(3)はモニタリング、WG(4)は床版、WG(5)は補修、補強などの対策、WG(6)はマネジメント、WG(7)は全体統括となっている。それらの活動は図-1のようにまとめられる。

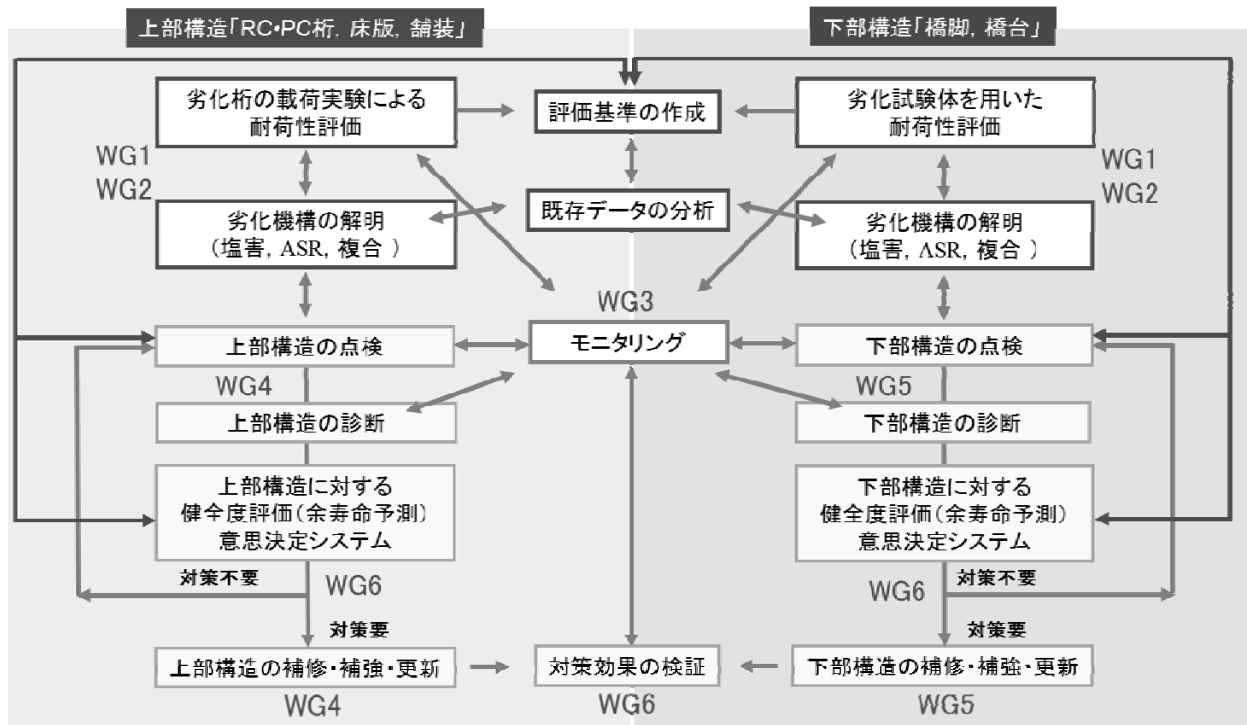


図-1 本研究におけるWGの活動

本研究では、ASR、塩害およびそれらの複合劣化における劣化機構を解明し、それらを点検にフィードバックすることにより、早期劣化が生じている橋梁の現状を正確に点検、診断し、既存の早期劣化事例から分析した評価基準を用いて健全度の評価を行うメンテナンスマネジメントシステムの構築を目指している。本研究におけるモニタリングの役割は、早期劣化が生じている橋梁を対象として、少ない測点で日々観測し続けることにより、変状が生じたときに、ある判断基準のもとで、すぐに道路管理者に伝達できる仕組みを作ることにある。その際の判断基準になるものを決定することが重要であるが、計測誤差を含め、これまでの分析事例、現場での数ヶ月間のモニタリング、さらには数値解析モデルを用いた検討により総合的に決めることが必要と考える。

2. 対象橋梁

本研究でモニタリング対象とした橋梁は、ASR³⁾⁴⁾および塩害により早期劣化が生じている有ヒンジPCラーメン橋(3橋)とした。その一つとして、4径間連続有ヒンジPCラーメン箱桁橋(77.4m+2@117.0m+77.4m)を図-2に示す。ヒンジ部はP1-P2間とP2-P3間である。

対象橋梁は、観光のみならず、地震等による大規模な災害が発生した際の救命活動や物資輸送を行うための「緊急輸送道路」として重要な路線に位置付けられている橋梁の一つである。下部構造においてASRによる劣化が見られ、その後補修が行われたが、現在も進行していると見られる。これまでの知見から、ASR劣化の特徴として、圧縮強度の大きな低下はないものの弾性係数の低下が顕著に見られることが知られている⁵⁾。本橋の場合、ゲルバーヒンジを有する特殊な橋梁であるため、局所的なひびわれだけでなく、橋梁全体としての劣化の進行状況、すなわち、弾性係数の低下に伴うゲルバーヒンジ部の垂れ下がりやヒンジ上の路面の段差状況をモニタリングにより注視する必要がある。

そこで本研究では、ASRによるひびわれの進行状況や地震時などの災害時の状況を即座に把握できるように長期遠隔モニタリングを開始した。

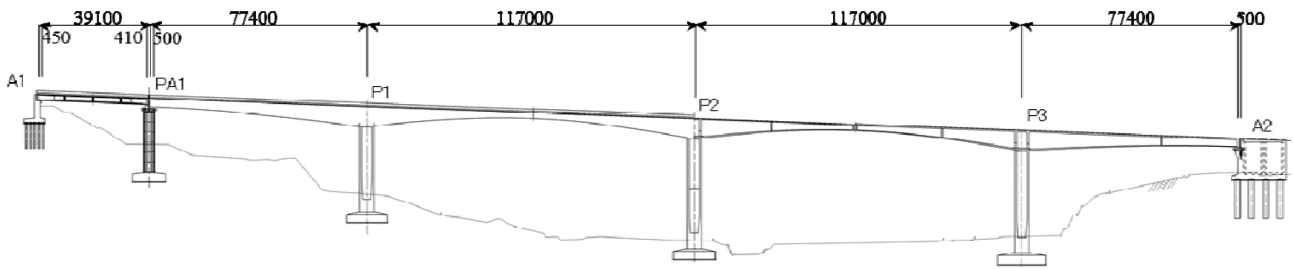


図-2 4径間連続有ヒンジPCラーメン箱桁橋

3. モニタリング概要

遠隔モニタリングは、携帯電話を用いてデータを1時間に1回メールにて配信することにより、いつでも観測データを閲覧できるものとした。モニタリング項目は、ゲルバーヒンジ部の3軸方向の変位、橋台または橋脚における弾性支承の水平変位(2軸方向に設置)(東京測器 CDP-50, 感度: 約200 μ /mm, 容量: 50mm), 桁や脚柱頭部での垂れ下がりなどによる傾斜角(東京測器 KB-1AC, 感度: 約2000 μ /度, 容量: ± 1 度, 2方向), ASRによるひび割れ部分の亀裂変位(東京測器 KG-5A, 感度: 約800 μ /mm, 容量: ± 5 mm)と熱電対(温度)とした。測点配置を図-3に示す。ゲルバーヒンジ部における変位計の設置状況を写真-1に示す。この計測により、両方から張り出されている桁の3軸方向の相対変位を計測する。ゲルバージョイント部の絶対変位としての垂れ下がりについては、レーザー変位計や導水管を用いた方法などが考えられたが、コストや長期的なメンテナンスを考慮して傾斜計(写真-2)を用いている。傾斜角と絶対変位との換算については、今後行う載荷試験により求めることにしている。

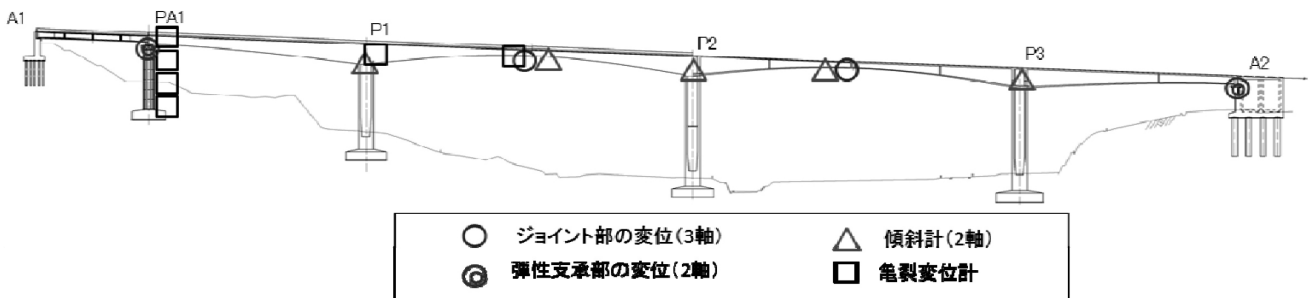


図-3 測点配置



写真-1 ゲルバーヒンジ部の変位計測



写真-2 傾斜計

P1-P2 径間におけるヒンジ部での傾斜角と温度の計測結果を図-4に示す。なお、X方向は橋軸、Y方向は橋軸直角方向を示している。日々の温度変化により垂れ下がり勾配が変化しており、温度による影響が大きい。今後、これらの変動と亀裂変位がどのように推移するのか継続的に注視していく。

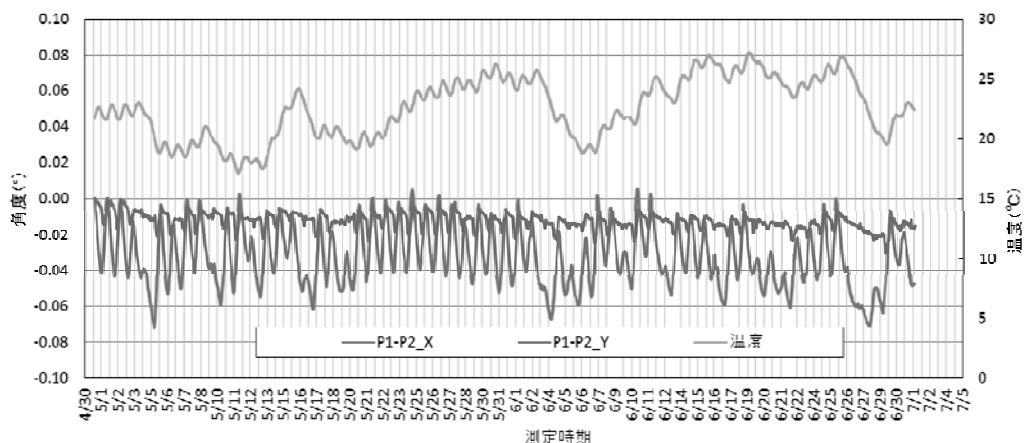


図-4 P1-P2 径間におけるヒンジ部での傾斜角

4. 今後の展開

本研究では、長期モニタリングに加えて、大型車を用いた静的載荷試験と走行試験を計画している。ASRによるひび割れが活荷重載荷によりどの程度影響を受けているのか、また、活荷重載荷による橋梁全体の変位挙動やゲルバーヒンジ部での段差の影響はどの程度なのか、さらに、地震時の振動挙動はどのような振動が想定されるのか、橋梁全体の固有振動特性（固有振動数、振動モード、モード減衰定数）を把握し、解析モデルとの整合を確認する。解析では、弾性係数をパラメータとした変形性状の確認を行い、ASRによる弾性係数の低下が橋全体としてどの程度影響しているのか調べる。

本研究では、本文で紹介した橋梁以外にも塩害劣化した橋梁において、亀裂変位や自然電位による鉄筋の腐食状況について長期モニタリングを行う予定である。また、PC桁においては、残存プレストレスの推定⁶⁾が有効との知見があり、今後、この非破壊検査を行う。さらに、桁全体剛性を確認するために、載荷試験による評価を基本としているが、それらを補間するために振動数、減衰、振動モードなどの振動特性を用いた評価も行うことにしている。

謝辞

本研究は、内閣府、(独)科学技術振興機構により推進されているSIPプログラムのうち、研究課題「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発」として採択された研究開発の一環として研究しているものである。

参考文献

- 1) <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>
- 2) <http://sip-hokuriku.com/>
- 3) 笹谷輝彦, 浦修造, 津田誠, 鳥居和之: ASRにより劣化したRC橋脚の補強とモニタリング, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1019-1024, 2011.
- 4) 北野勇一, 小西哲司, 高場啓輔, 古村崇, 有川巨章, 後藤博史: 神通川橋の補強対策とその有効性, 川田技報, Vol.23, pp.50-55, 2004.
- 5) 久保善司, 上田隆雄, 黒田保, 野村倫一: アルカリ骨材反応による膨張がコンクリートの力学的性能に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1691-1696, 2006.
- 6) 二井谷教治, 渡瀬博, 阪田憲次, 綾野克紀: コンクリート部材の有効応力の推定手法に関する研究, コンクリート工学論文集, 第20巻, 第2号, pp.27-37, 2009.

早期劣化橋梁に対する モニタリングの取組み

金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系
深田 幸史

はじめに

高度経済成長期に集中的に整備された道路橋

交通条件 ↓ 環境条件

経年劣化, 早期劣化(塩害, ASRなど)の顕在化

- ◆限られた予算のなかで予防保全型の維持管理へ
- ◆メンテナンスサイクル(点検→診断→措置→記録→次の点検へ)の構築

そのためには・・・
現状を正確に把握できるモニタリングが必要

2

戦略的イノベーション創造プログラム
(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)

インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

コンクリート橋の早期劣化機構の解明と 材料・構造性能評価に基づく トータルマネジメントシステムの開発

研究開発責任者: 鳥居和之(金沢大学 理工研究域)
 研究開発グループ : 金沢大学
 共同研究グループ(1): 金沢工業大学
 共同研究グループ(2): 石川工業高等専門学校
 共同研究グループ(3): 長岡技術科学大学
 共同研究グループ(4): 福井大学

3

研究背景(北陸地方の劣化状況)

凍結防止剤散布の散布状況

季節風による塩分の飛来

コンクリート中の安山岩砕石

凍結防止剤散布による塩害劣化

飛来塩分による塩害劣化

アルカリ骨材反応(ASR)による劣化

経年劣化とは異なった早期劣化

4

研究背景(北陸地方の複合劣化状況)

塩害とASRの複合劣化地域の区分

ASR多発地域+飛来塩分, 凍結防止剤によりASRを促進

出典: 小林一輔ら: コンクリート構造物の維持管理

コンクリート構造物の使用・環境条件は北陸地方がもっとも過酷!

ASRを含む複合劣化は、北陸だけの問題ではなく全国共通の重大な問題!

ダブル複合劣化(塩害, ASR)

橋脚(石川, のと里山海道)

トリプル複合劣化(塩害, ASR, 凍害)

橋台(白山山麓)

5

研究開発の目的

地方道路橋の抱える課題

- ・橋種・構造形式が多様多様
- ・地域特性が複雑
- ・人手, 財源, 技術力 すべてが不足

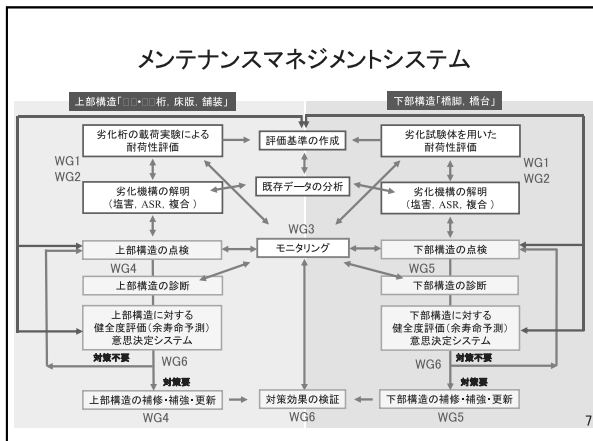
特に北陸地方では、塩害やASRによる早期劣化橋梁に対しては、緊急性と重要性の観点から、これまでの画一的なマネジメントシステムの適用が困難

産学官民の研究体制のもと、早期劣化が生じた北陸地方のコンクリート橋を対象としたトータルマネジメントシステムを確立

- ◆ WG 1～WG 7 による研究開発の実施体制
- WG 1** 塩害による劣化機構の解明と構造部材の材料・構造性能評価
- WG 2** ASRによる劣化機構の解明と構造部材の材料・構造性能評価
- WG 3** 橋梁の材料・構造性能評価とモニタリング技術の開発
- WG 4** 上部構造の健全度評価と材料・構造性能評価に基づく補修・補強技術の開発
- WG 5** 補修・補強材料の性能評価と簡易かつ経済的な新技術の開発
- WG 6** メンテナンスマネジメントシステムの確立
- WG 7** 全体統括

地方道路橋のモデルケース

6



研究開発の内容(WG 3)

WG 3 橋梁の材料・構造性能評価とモニタリング技術の開発

- ◆ 劣化橋梁における静的および動的耐荷試験による現況調査
- ◆ 劣化橋梁の変状を把握できるモニタリングシステムの開発
- ◆ モニタリングの結果に基づいた橋梁の劣化原因及び使用性・耐荷性の推定
- ◆ 早期劣化した実橋梁を対象とした長期モニタリング

塩害劣化したPCラーメン橋(ゲルバー橋)

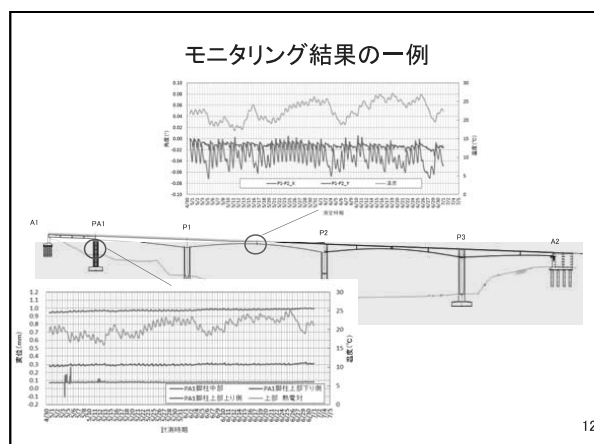
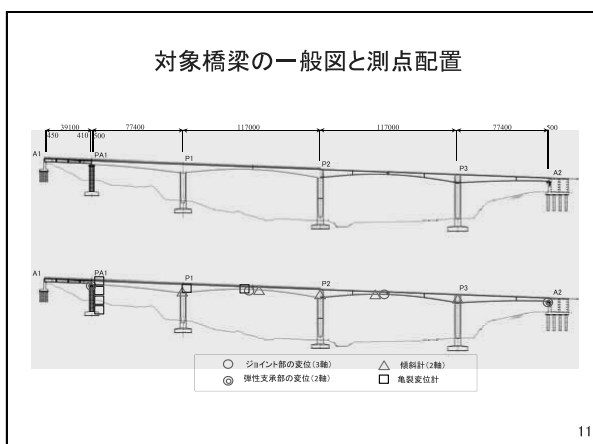
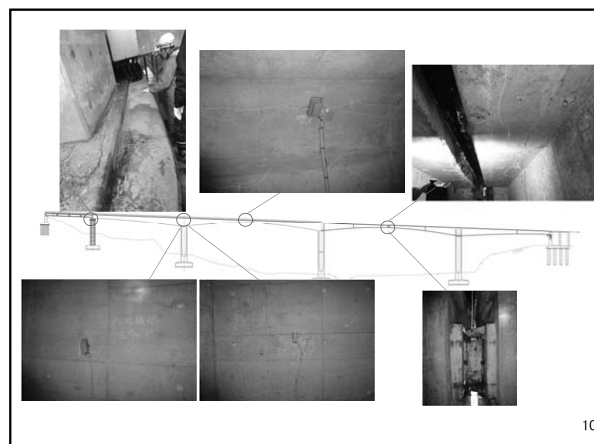
ASR劣化したPCラーメン橋(ゲルバー橋)

8

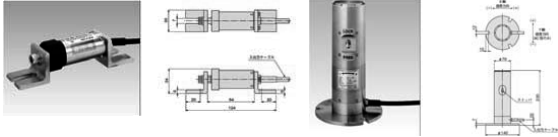
ASRIにより劣化したPC橋での長期モニタリング

ASR劣化したPC橋
4径間連続有ヒンジPCラーメン箱桁橋
(77.4m+117m+117m+77.4m)
竣工: 1978(S53)年6月

9



亀裂変位計と傾斜計



■仕様

型名	KB-2A	KB-5A
径 (mm)	φ25	φ25
定額出力	約15mV/V (3000×10 ⁻³ μV/μm)	約20mV/V (4000×10 ⁻³ μV/μm)
精度 (×10 ⁻³ μV/μm)	約1500	約800
非直線性	0.5%RD	1%RD
感度	15N (1.5kgf)	
許容温度範囲	-20~+60°C	
入力抵抗	360Ω	
許容印加電圧	2V以下	
	5V	

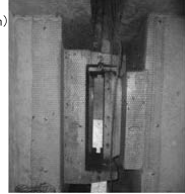
型名	KB-5AB	KB-1AC
測定軸数	±2	±1
容量	±5°	±1°
定額出力	約1mV/V (2000×10 ⁻³ μV/μm)	
非直線性	0.5%RD	
温度干渉		
許容温度範囲	-20~+60°C	
入力抵抗	360Ω	
許容印加電圧	2V以下	
	5V	

13

ASRにより劣化したPC橋での長期モニタリング



7径間連続PC有ヒンジラーメン箱桁橋 (73.2m+5@81.6m+73.2m)



14

塩害により劣化したPC橋での長期モニタリング



3径間連続PC有ヒンジラーメン箱桁橋 (35m+70m+35m)



15

今後の展開

常時モニタリング

温度によるゲルバーヒンジ部の変位挙動
 温度による桁変位挙動(2軸傾斜角として)
 温度によるひび割れ開閉を亀裂変位計で計測

異常時モニタリング(地震などの災害時)

ゲルバーヒンジ部の変位挙動
 橋台、橋脚上の支点の変位挙動
 橋脚柱頭部の傾斜計

試験車による載荷試験(静的・動的載荷)

活荷重載荷によるゲルバーヒンジ、段差部の変位挙動
 活荷重載荷によるひび割れ開閉の影響
 活荷重載荷による橋梁全体の変位挙動
 振動特性の把握(卓越振動数、減衰定数、振動モード)

解析によるアプローチ

固有振動解析による振動特性
 地震時の挙動
 弾性係数をパラメータとした
 載荷試験との整合

16