

山口県コンクリート診断士会
令和5年度11月例会

老朽化した小規模橋梁に対する 維持管理手法の高度化

2023.11.24

トキワコンサルタント（株） 池末 二郎
技術士（建設部門/フェロー/CPD認定）
コンクリート診断士
コンクリート主任技士

自己紹介

- 名前：池末 二郎（いけまつ じろう）
- 勤務先：トキワコンサルタント株式会社
- 職務：土木構造物の調査・設計
 - ✓ 橋梁などの構造物の補修・補強設計
 - ✓ 橋梁点検
 - ✓ 長寿命化修繕計画策定
- 保有資格
 - ✓ 技術士：フェロー/CPD認定/建設部門（土質及び基礎、鋼構造及びコンクリート）
 - ✓ コンクリート診断士、コンクリート主任技士、ME山口、RCCM（計9部門）
etc…
- 家族構成：5人家族（妻、子供3人）＋犬2匹
- 趣味：サーフィン、SUP、釣り
- 山口大学、徳山高専非常勤講師

本発表のキーワード

高度化

Contents

- 1) プロローグ
- 2) 実橋載荷試験事例①
～加速度センサーを用いたたわみ計測事例～
- 3) 実橋載荷試験事例②
～死荷重載荷状態のひずみ計測事例～
- 4) エピローグ

本講演会のテーマ

新技術

Contents

1) プロローグ

2) 実橋載荷試験事例①

～加速度センサーを用いたたわみ計測事例～

【性能カタログ：BR-030008-V0222】

3) 実橋載荷試験事例②

～死荷重載荷状態のひずみ計測事例～

【特許：第5095258号】

4) エピローグ

Contents

- 1) プロローグ
- 2) 実橋載荷試験事例①
～加速度センサーを用いたたわみ計測事例～
- 3) 実橋載荷試験事例②
～死荷重載荷状態のひずみ計測事例～
- 4) エピローグ

1. 橋梁点検の課題、今後の在り方

(1) 現状

- 2013年（平成25）度に法定義務化
- 2014（平成26）年度より本格運用される
- 2023（令和5）年度で10年が経過し、2巡目の点検が終了予定
- 管理橋梁の変状状況が明らかに

(2) 変遷

- 2019（平成31）年度の2巡目点検より、近接目視に限らず新技術の適用が可能となる
 - 効率化・多様化・高度化が図られてきている

(3) 橋梁点検における通常の点検手法

- 近接目視
- ハンマー打診、触診

Attention①

(4) 通常の点検手法の課題

- 変状の状態把握はできるものの、耐荷性能評価が困難
- 変状の進行が定性的であり、明確な耐久性能評価が困難

2. 低強度コンクリートの存在

(1) 現状

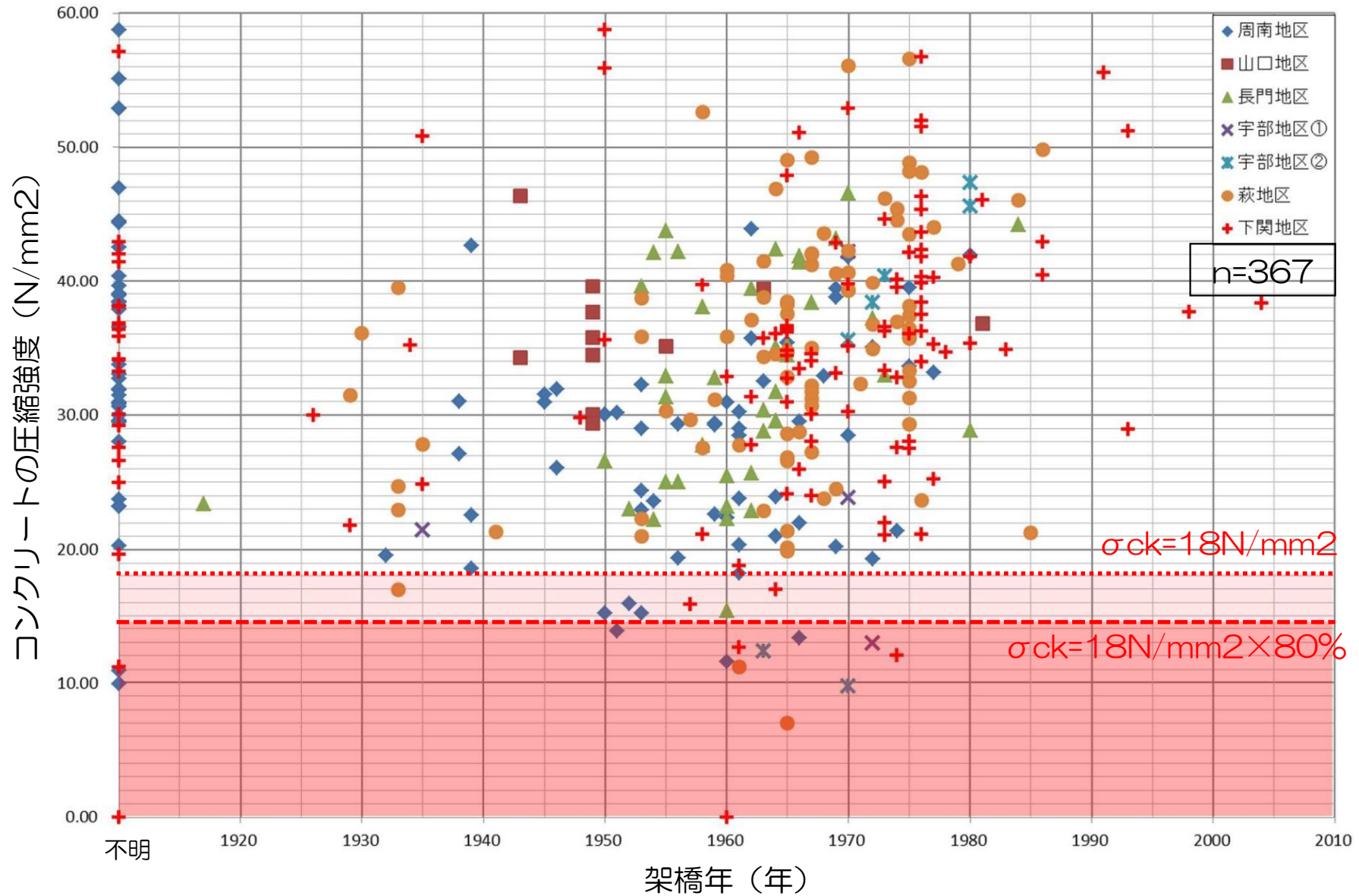
- 実構造物のコンクリート強度を調べてみると、**設計基準強度を満たさない低強度なコンクリート構造物が存在することが明らかになってきつつある**



(2) 課題

- 実強度が設計基準強度を下回っていても、その比率が80%以上であれば、一般的には特に検討は不要とされている
- ただし、**強度比率が80%をも下回る場合には検討が必要とされているが、その手法は確立されていない**

橋梁点検時に調査した「RC桁」の圧縮強度（コンクリートテスト）



Contents

- 1) プロローグ
- 2) 実橋載荷試験事例①
～加速度センサーを用いたたわみ計測事例～
- 3) 実橋載荷試験事例②
～死荷重載荷状態のひずみ計測事例～
- 4) エピローグ

1. 研究の背景

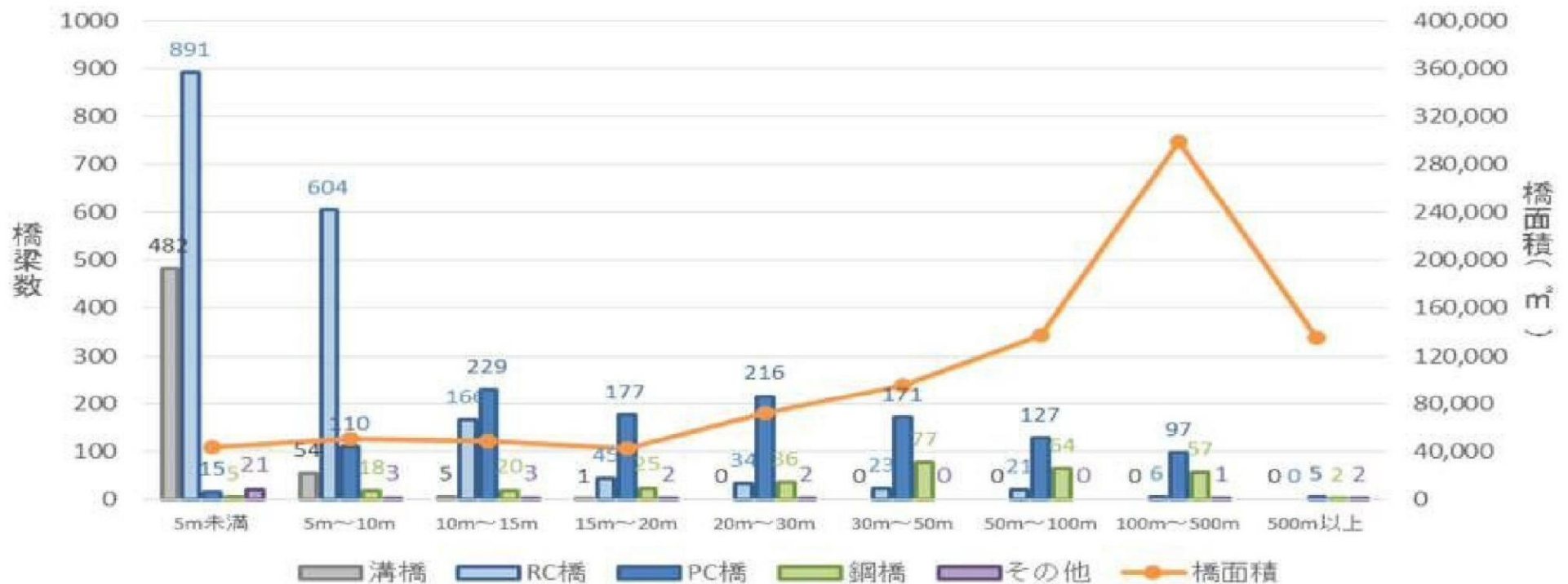
1. 道路橋の現状

①橋長

- 15m未満の小規模橋梁が全体の約7～8割を占める

Attention 1

■山口県における橋長別橋梁数



1. 研究の背景

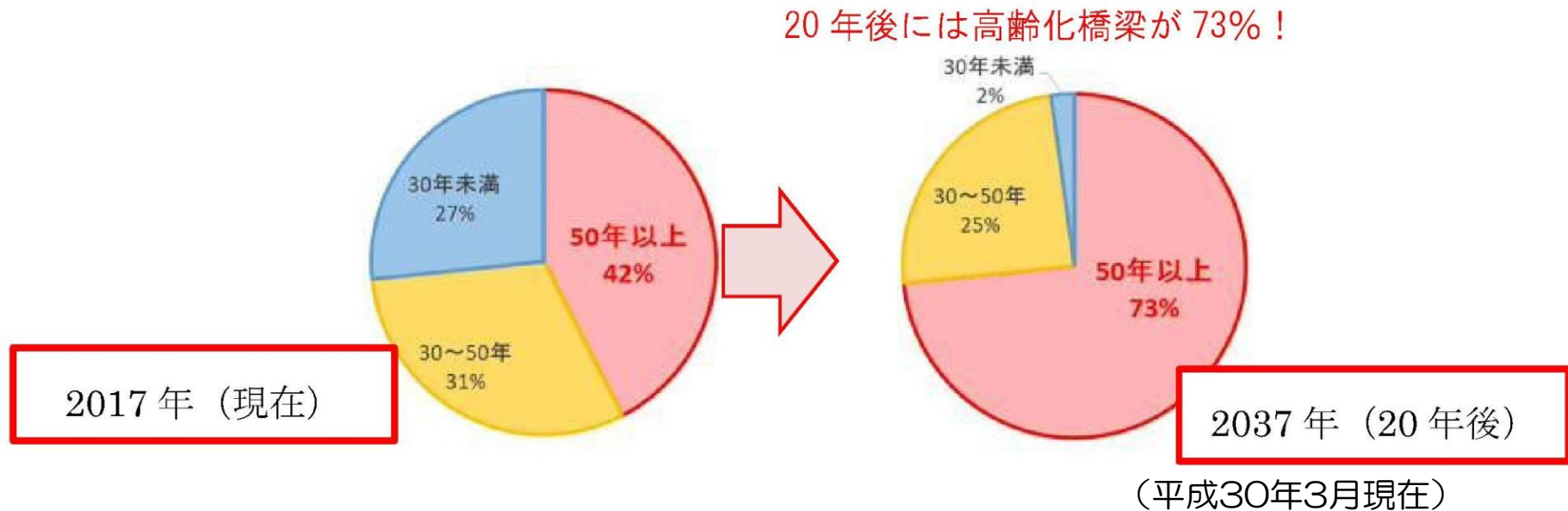
1. 道路橋の現状

②老朽化した高齢橋梁の増加

Attention 2

- 建設後50年以上を経過する橋梁が増加
- 今後も加速度的に増加

■山口県における橋梁高齢化の推移



出典：「山口県橋梁長寿命化計画」(平成30年10月)

1. 研究の背景

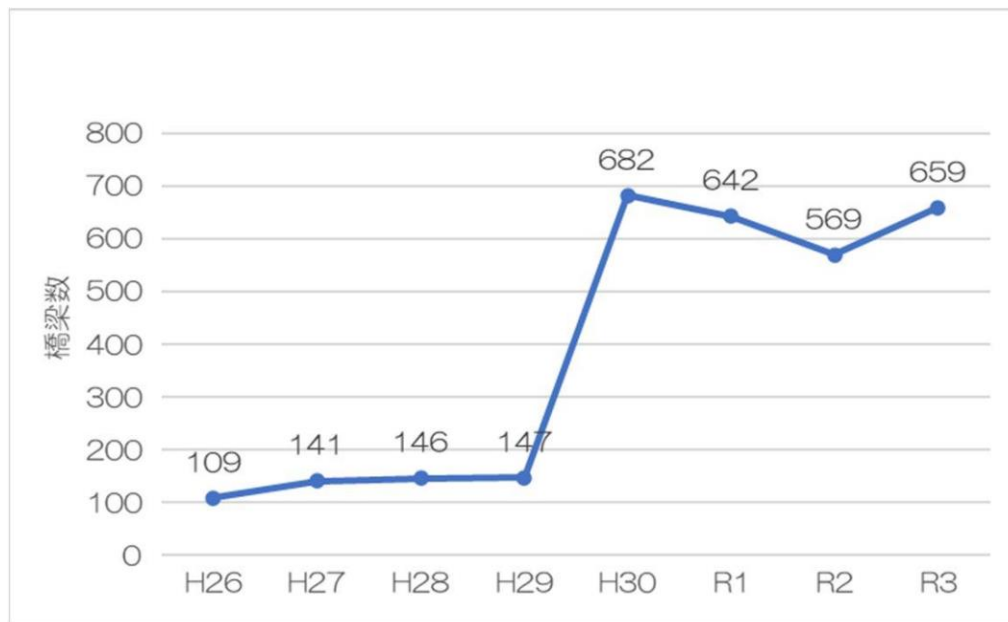
Attention 3

1. 道路橋の現状

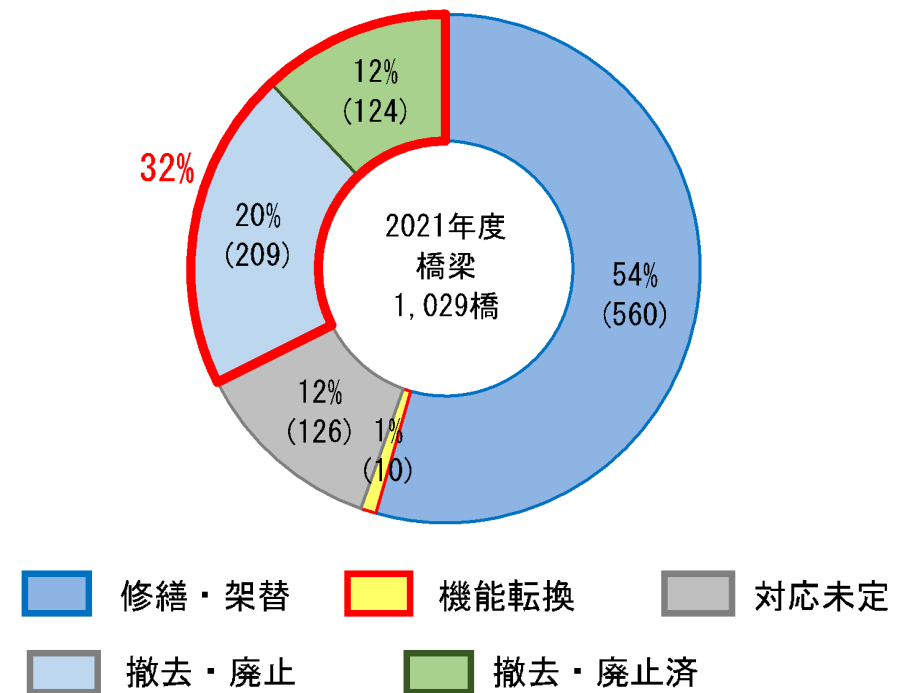
③緊急措置段階である「IV」判定橋梁の増加

- 橋梁点検において、診断結果が「IV」判定の橋梁が増加
- 通行止め規制されたまま、措置が施されない橋梁も多い

■ IV判定橋梁の推移（全管理者分）

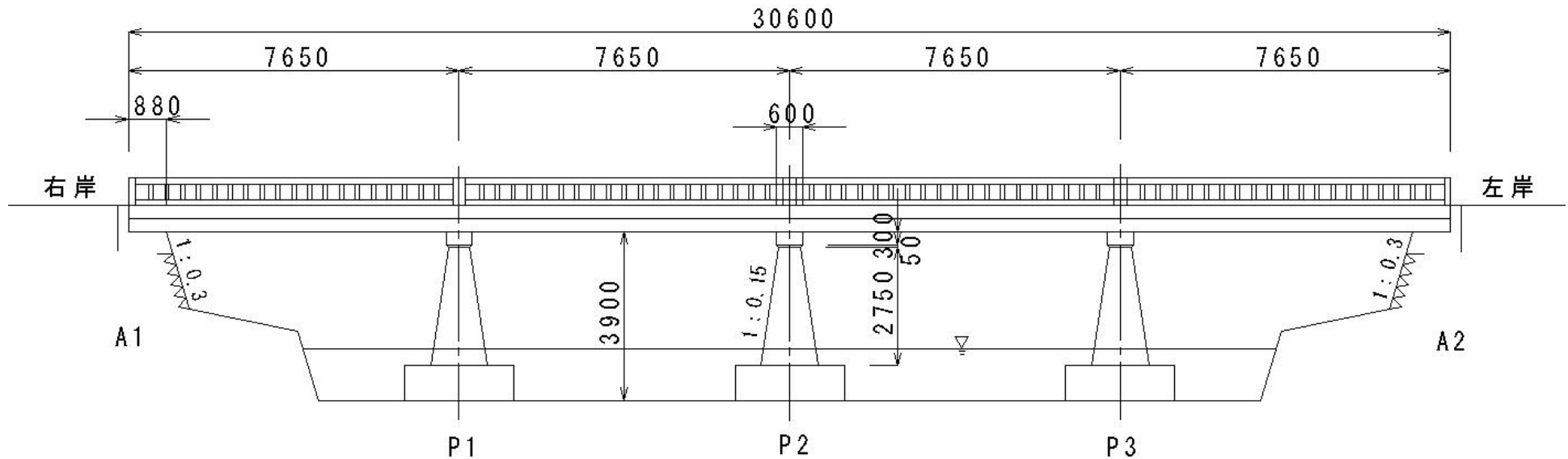


■ IV判定橋梁の措置状況（予定も含む）



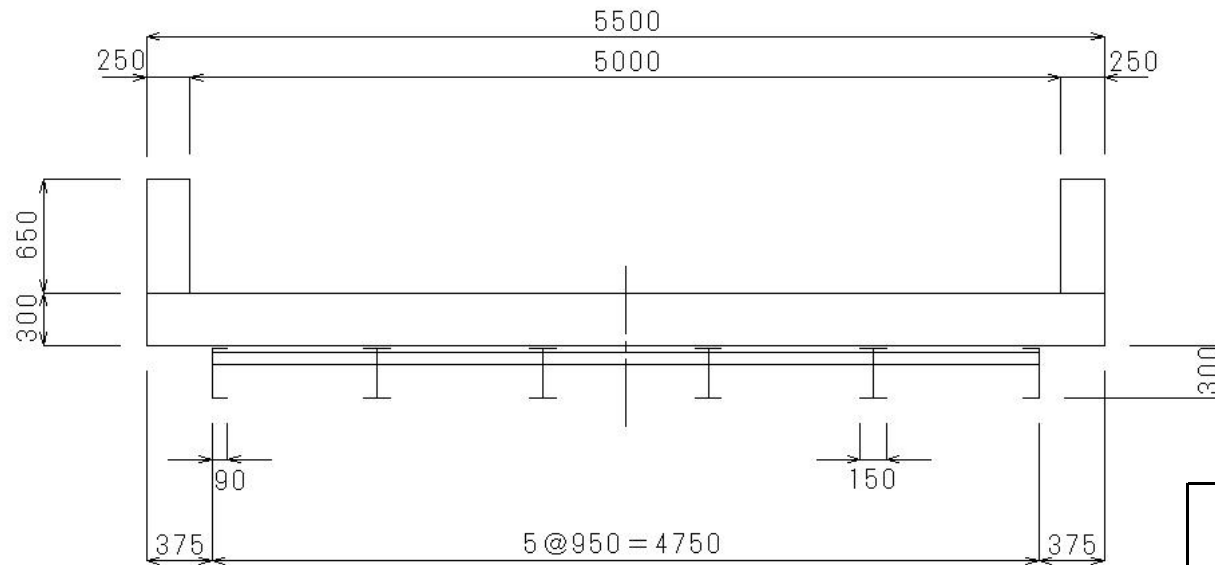
■ 修繕・架替 ■ 機能転換 ■ 対応未定 ■ 撤去・廃止 ■ 撤去・廃止済

2. 研究対象



- 橋梁名：束荷橋（つかりはし）
- 所在地：山口県光市
- 上部工形式：4径間単純鋼鈹桁橋
- 下部工形式：壁式橋脚、重力式橋台
- 基礎工形式：杭基礎（木杭）
- 橋長：30.6m (=7.65×4)

2. 研究対象



- 全幅員：5.5m
- 有効幅員：5.0m
- 防護柵：コンクリート製高欄
- 主桁形状：H形鋼（中桁）・溝形鋼（外桁）
- 備考：1巡目（平成28年）の定期点検において「IV判定」と診断され、当面の措置として車両通行止め

区分	
I	健全
II	予防保全段階
III	早期措置段階
IV	緊急措置段階

2. 研究对象



2. 研究对象



3. 目的と課題

①目的

- 橋梁点検（2巡目）

②橋梁点検における通常の点検手法

- 近接目視
- ハンマー打診、触診

③通常の点検手法の課題

- 変状の状態把握はできるものの、**耐荷性能評価が困難**
- 応急的対策として施された「当て板」の効果を踏まえた、**健全性診断が困難**

4. 課題解決に向けての取り組み

①課題解決方法

- センサーによるモニタリング

②束荷橋で採用した具体的手段

- 加速度センサーを用いた実橋載荷によるたわみ計測

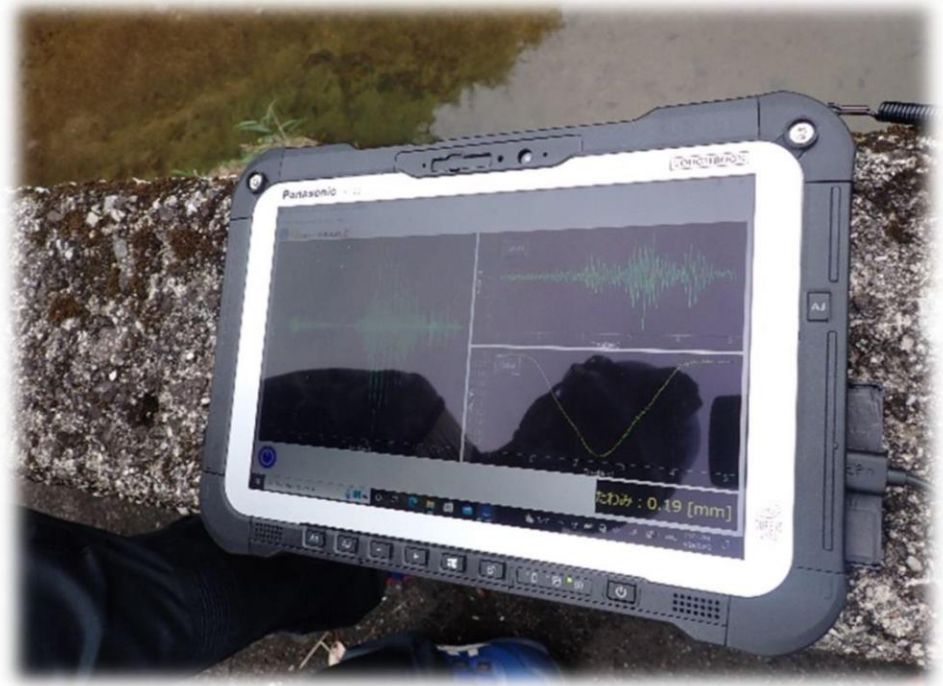
③載荷試験の諸元

- 載荷荷重：20kN・40kN・80kN
- 載荷位置：中央載荷（全径間）・偏載荷（第2径間）

【参考】たわみ計測手法

接触変位計、レーザー変位計、加速度センサー、GNSS
サンプリングモアレ法、リング式変位計、etc…

②研究の背景_束荷橋の現状とたわみ計測結果

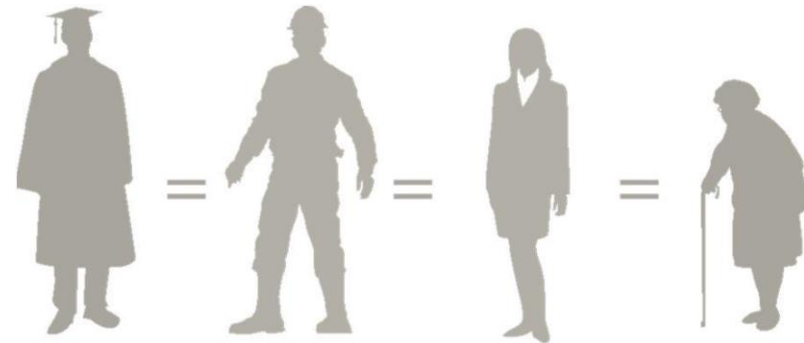


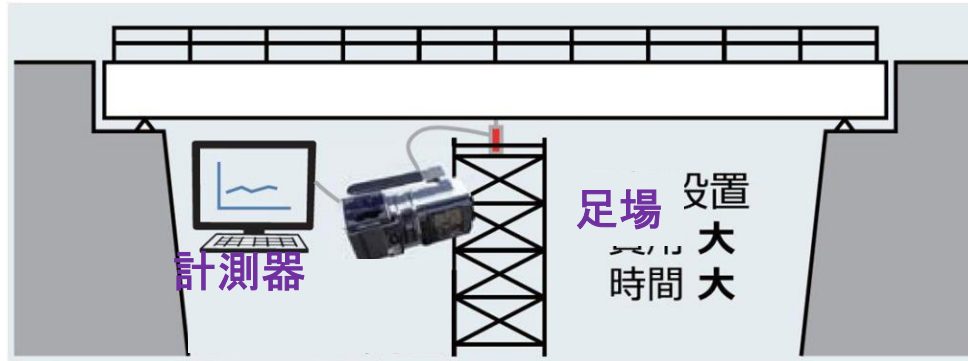


INTEGRAL PLUS

橋の「たわみ」は健全度の指標

ボタンを押すだけで橋の「たわみ」を計測する技術





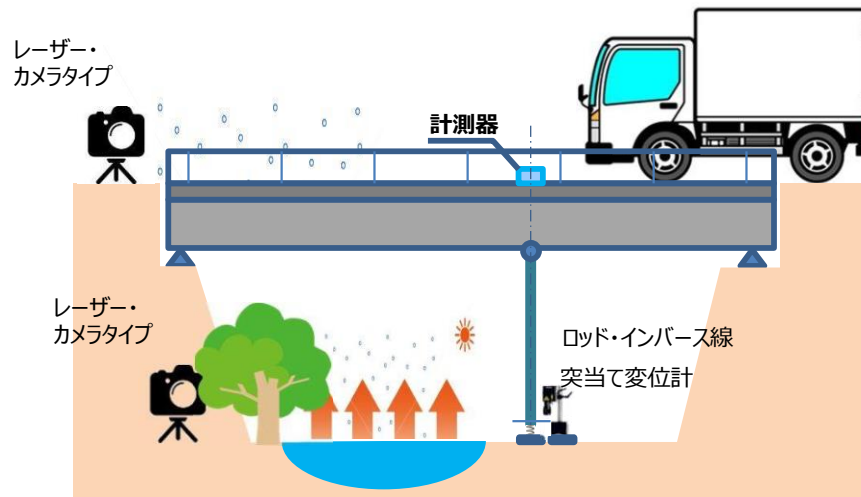
河川協議書類



橋の「たわみ」を計測することは、「時間」「費用」を要し、「危険」な作業
場合によっては計測することが困難でした。

INTEGRAL は、

加速度を2階積分して「たわみ」を**全自動**で算出します。



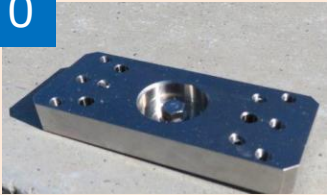
橋面に計器を設置するだけで計測

気象条件に依存しません
不動点の設置が不要です
視界が開けている必要ありません

1 橋梁あたりの作業内容

紹介ビデオ

0



【初回のみ】

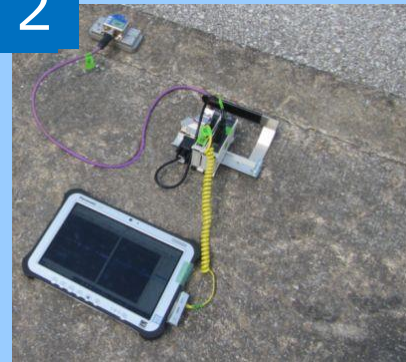
ベースPLをアンカーで
固定→次回以降も
同じ位置で計測

1



ベースPLに
センサPLを接続

2



計測開始

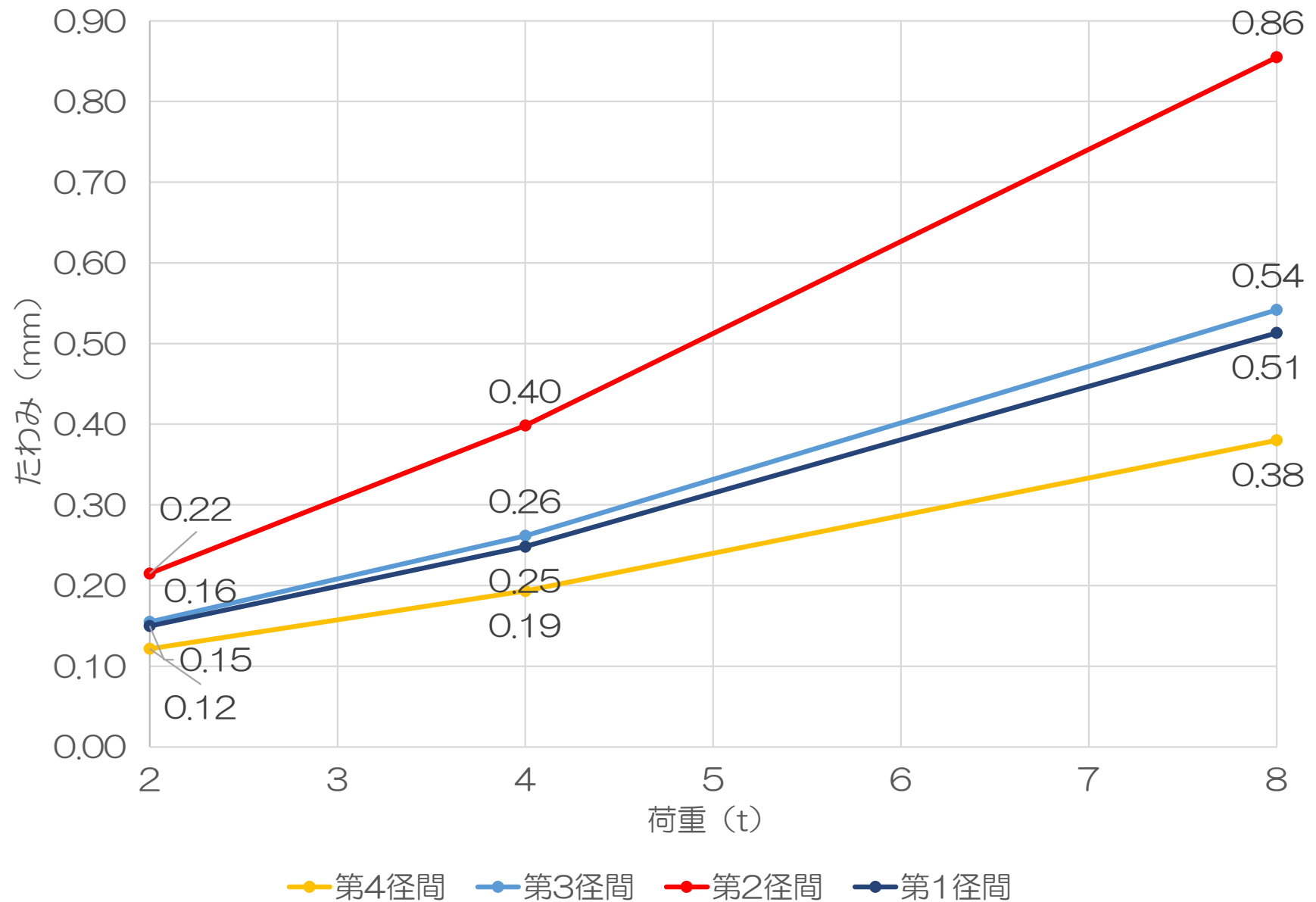
3



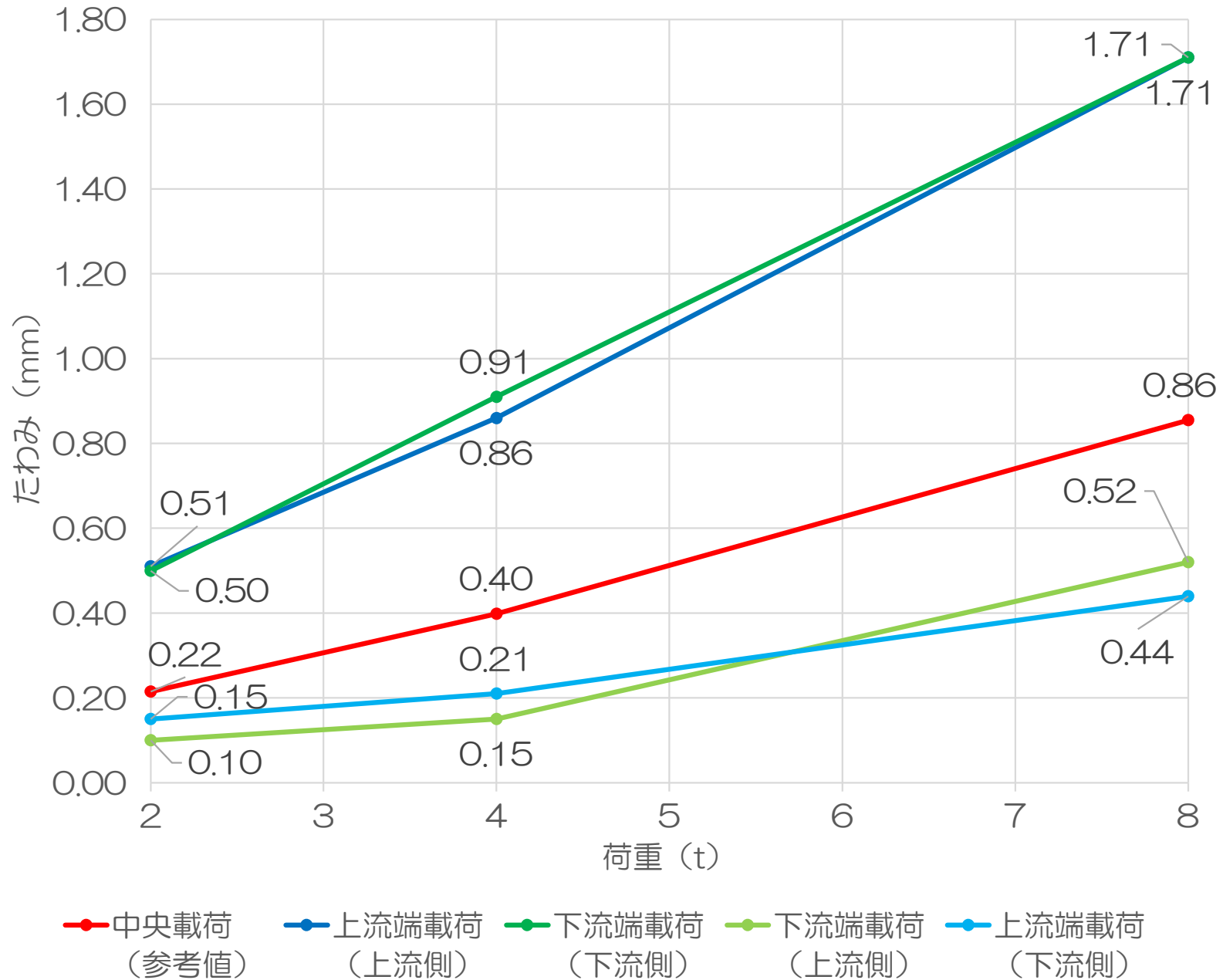
荷重車通過

PC+データロガー型の場合

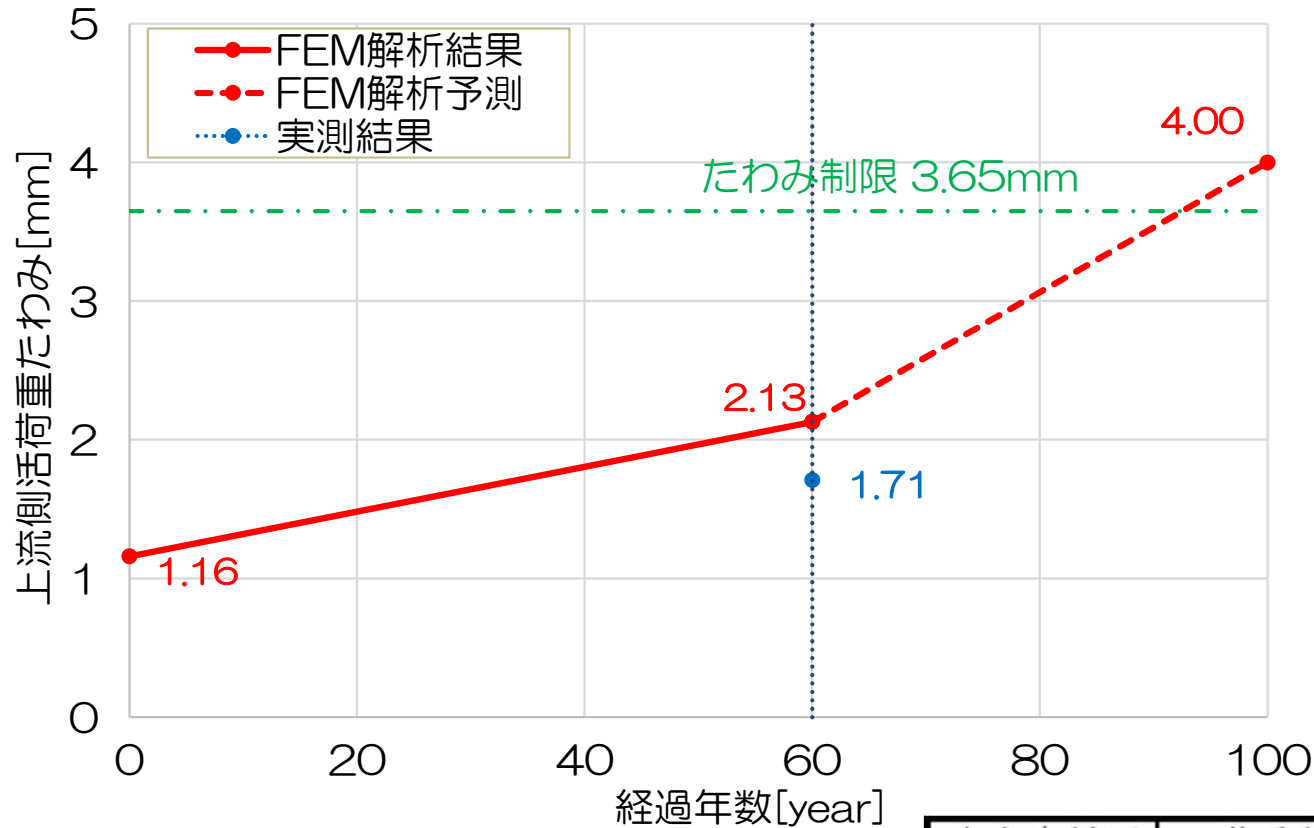
5. 結果と評価_中央載荷におけるたわみ計測結果



5. 結果と評価_偏載荷におけるたわみ計測結果（第2径間）



5. 結果と評価_偏載荷時の実測値とFEM解析値との比較



応力度種別	荷重種別	算出種別	単位	評価
たわみ	活荷重(8t)	FEM解析値	mm	2.13
		計測値		1.71
	たわみ制限値	-		3.65
	判定	FEM解析値		Okay
		計測値	Okay	
引張応力度	死荷重	FEM解析値	N/mm ²	25.62
	活荷重(8t)			22.3
	死活荷重			47.92
	許容値	-		140
	判定	-		Okay

5. 結果と評価_健全性に対する評価

①たわみ計測を踏まえた診断結果

- 条件付きではあるが、現在実施中の車両通行規制を解除し供用復活することが可能と判断

②通行止め規制解除（供用復活）の条件

- 重量規制：2t
- 通行領域規制
- 定期的なモニタリング：加速度センサーによるたわみ計測



6. まとめと将来展望

①まとめ

- 通常の点検手法である近接目視だけでは健全性診断が困難であった小規模橋梁に対して、加速度センサーによる計測とFEM解析を併用することで耐荷性能を評価することができた。
- その結果を踏まえ、ソフト対策を併用することで、現状の通行止め規制を解除することが可能と判断した。

②将来展望

- 本事例ではIV判定橋梁に対する取り組みであったが、それ以外の橋梁への適用も効果的だと考えている。
- 例えば、「IV」or「Ⅲ」もしくは「Ⅲ」or「Ⅱ」と目視評価だけでは健全性診断に悩む場合、耐荷性能評価を加味することで適切な診断に繋がることから考えられる。
- そのことによって、供用可能な橋梁の撤去や通行止め状態での放置、早期措置が必要な橋梁などが減少することで、早期に予防保全に舵を切った適切な維持管理に繋がる可能性があると考えられる。

Contents

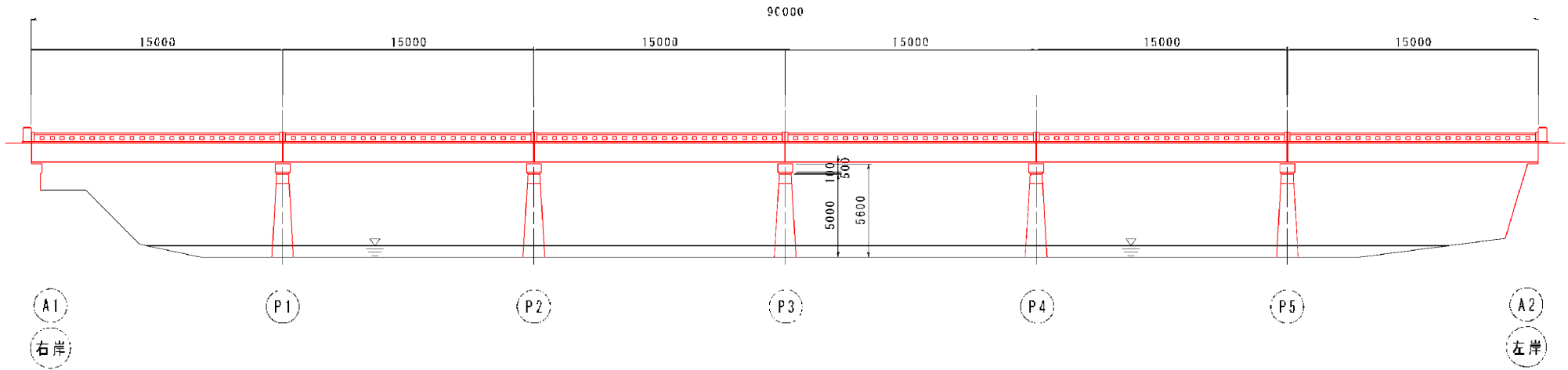
- 1) プロローグ
- 2) 実橋載荷試験事例①
～加速度センサーを用いたたわみ計測事例～
- 3) 実橋載荷試験事例②
～死荷重載荷状態のひずみ計測事例～
- 4) エピローグ

対象橋梁の特徴

- 橋長：90.1m ・ 全幅員：5.3m (0.4+4.5+0.4)
- 上部工形式：6径間RCT桁橋 (3主桁)
- 架橋年：1939 (昭和14) 年
- 橋梁規格：T-12 (1等橋)

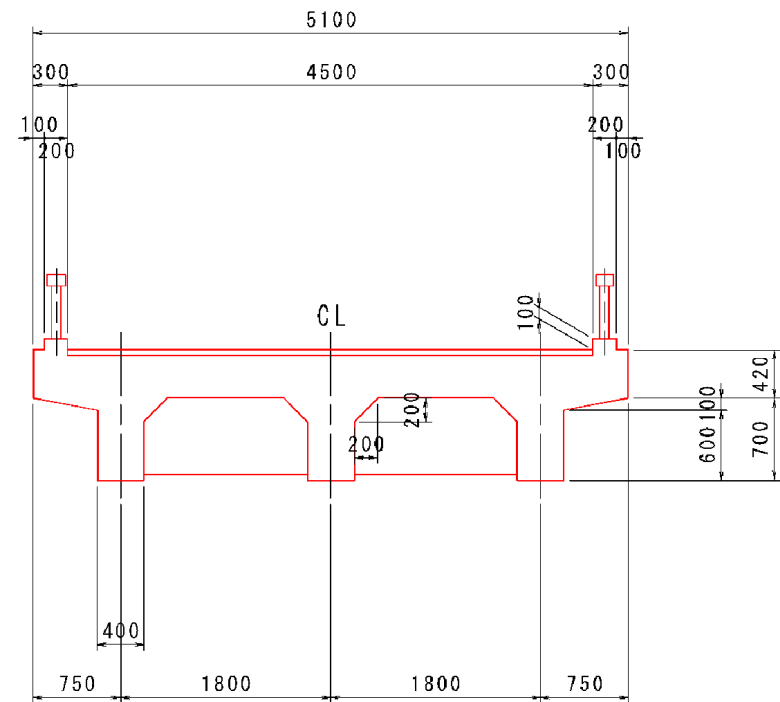


対象橋梁の特徴



■コンクリート性状の特徴

過年度において、第1径間で一軸圧縮強度試験が実施されていた。しかし、計測値は 9.1N/mm^2 と非常に低く、設計基準強度 ($\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$) の80%を下回っていた。



対象橋梁の特徴

■コンクリート強度試験結果

構造	構造種別	測定部位	測定場所	一軸圧縮強度試験 (N/mm ²)	簡易強度試験 (N/mm ²)	推定設計基準強度 (N/mm ²)	×0.8 (N/mm ²)	静弾性係数試験 (kN/mm ²)	※) 判定
RCT桁 (S1)	上部構造	G2主桁	下流側	(9.1)	-	21.0	16.8	(9.7)	構造的検討が必要である
RCT桁 (S2)		G3主桁	下流側	-	12.6			-	
RCT桁 (S3)		G1主桁	上流側	11.0	-			14.9	
RCT桁 (S4)		G1主桁	上流側	-	8.5			-	
RCT桁 (S5)		G3主桁	下流側	15.5	-			14.9	
RCT桁 (S6)		G3主桁	下流側	-	20.4			-	構造的に問題ないと判断してよい

※) 判定基準は、「非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル」に拠る

実橋載荷試験の目的

■ 変状状況

- 全6径間中、第1径間から第5径間において、主桁のコンクリート強度が設計基準強度の80%を下回っていることが判明

■ 目的

- 低強度コンクリートに対する構造的検討として実橋載荷試験を実施

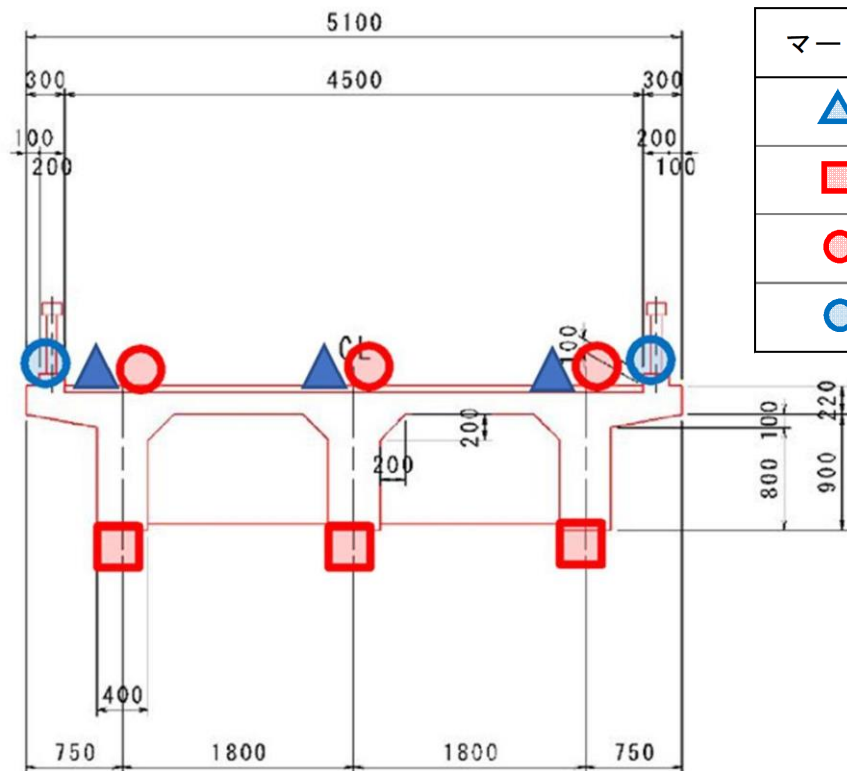
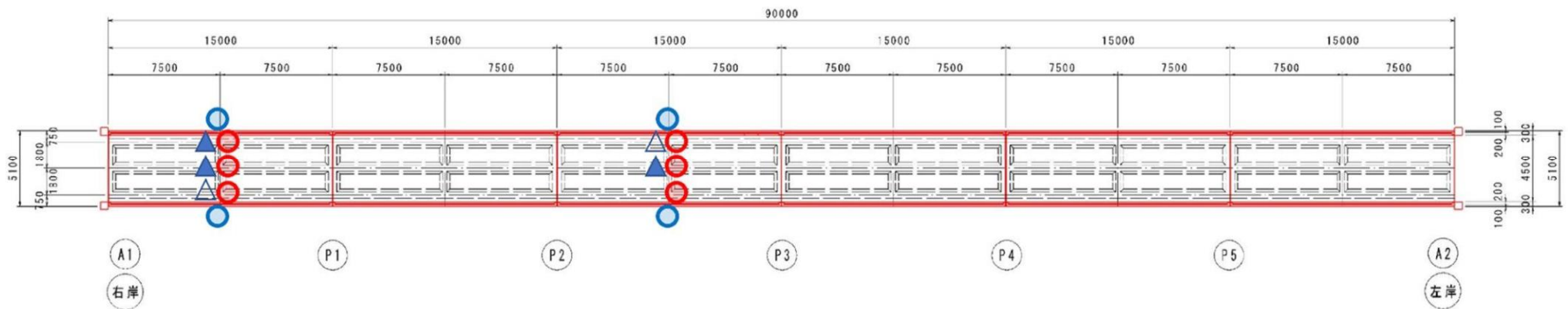
■ 構造特性

- コンクリート橋においては、全応力（死活荷重時）のうち、死荷重による発生応力が占める割合が比較的高い
- そのため、コンクリートが低強度である場合は、死荷重時の応力を把握することも重要

■ 課題

- 一般的な載荷試験では、活荷重に対するひずみを計測することはできるが、死荷重に対するひずみを計測することができない
⇒PC構造物に適用する残存プレストレスを計測する手法を応用適用することで、死荷重時の耐力も評価

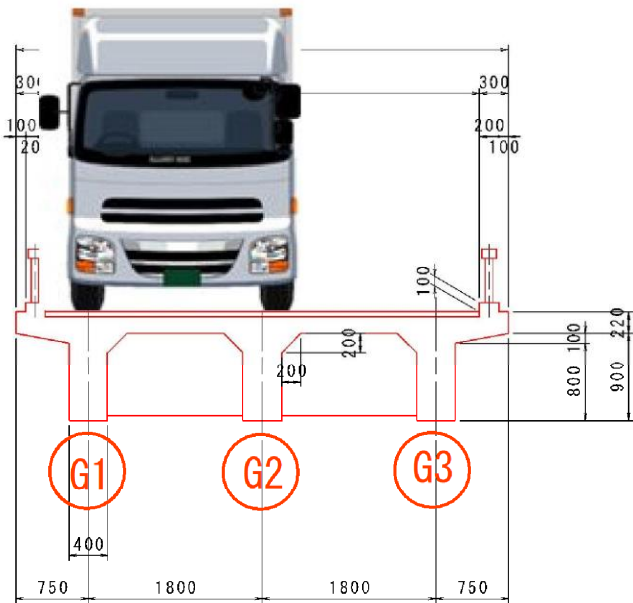
実橋載荷試験概要



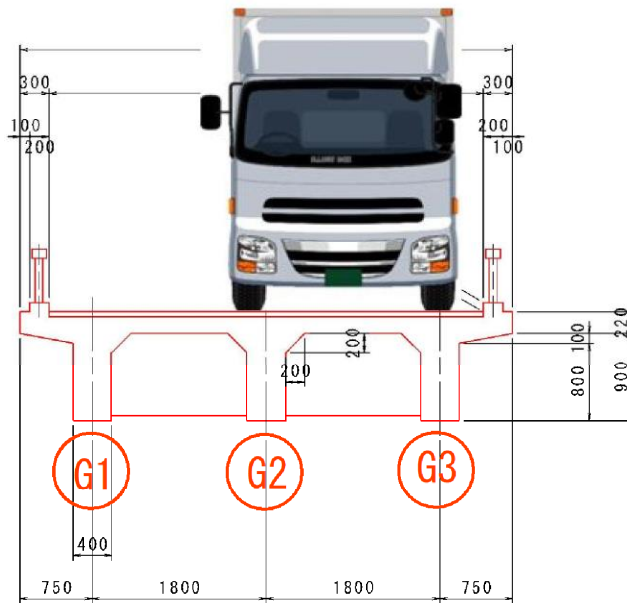
マーク	計測器	計測目的	備考
▲	コンクリートひずみ計 (コア切込み法用)	コンクリートのひずみ	白抜きは無効データ
■	コンクリートひずみ計	コンクリートのひずみ	同上
●	鉄筋ひずみ計	鉄筋のひずみ	-
○	加速度センサー	たわみ	-

実橋載荷試験概要

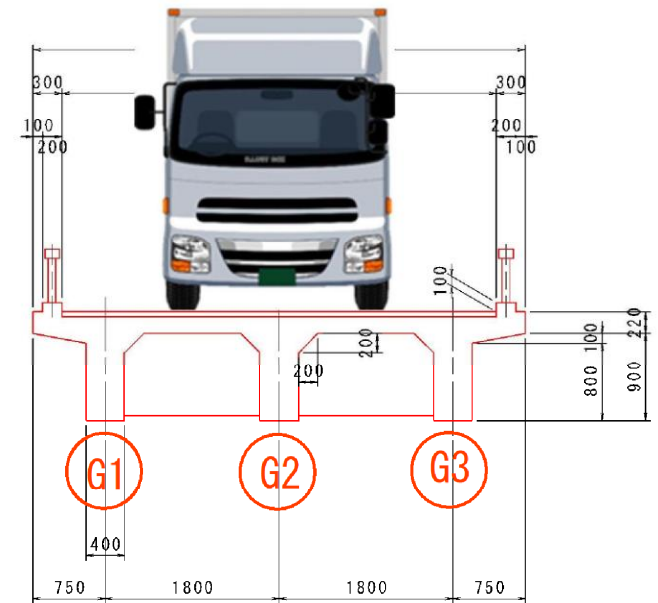
■ 荷重載荷ケース



ケース1：上流側偏載荷



ケース2：下流側偏載荷



ケース3：中央載荷

■ 載荷荷重・順番

- 1番目載荷荷重：6tf
- 2番目載荷荷重：8tf
- 3番目載荷荷重：12tf

コア切込み応力解放法の概要



実橋載荷試験実施状況



実橋載荷試験実施状況



実橋載荷試験実施状況



実橋載荷試験実施状況



実橋載荷試験実施状況

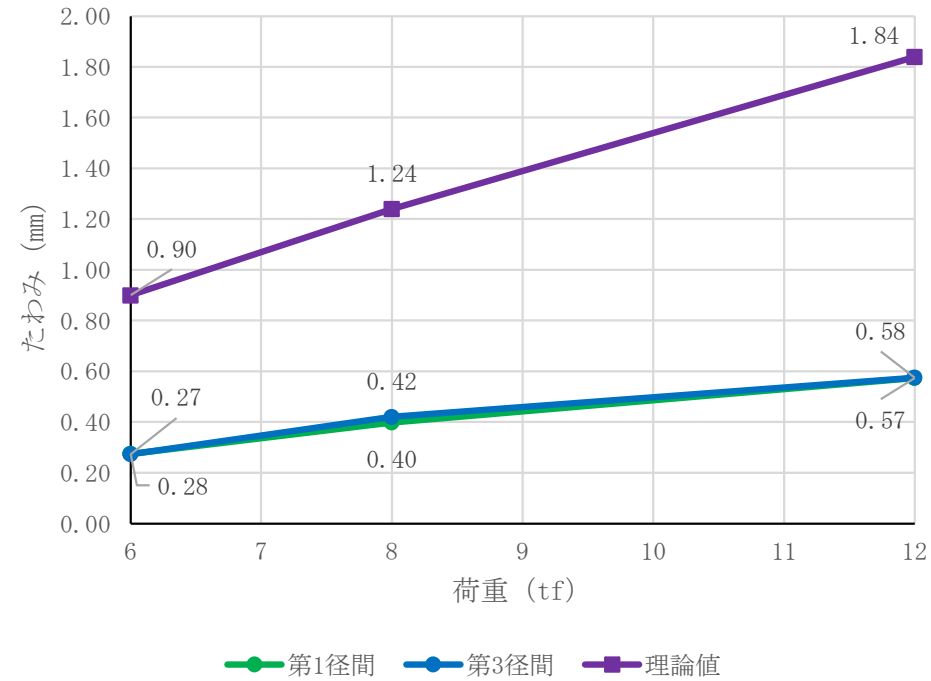


実橋載荷試験実施状況



実橋載荷試験実施状況

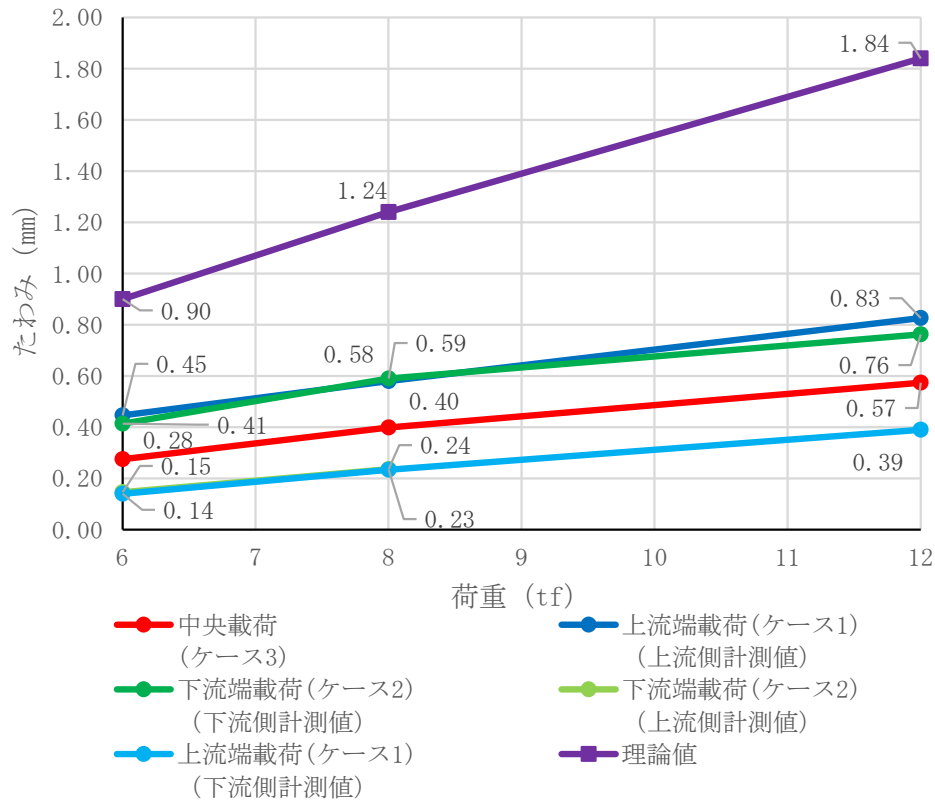
(1) たわみ



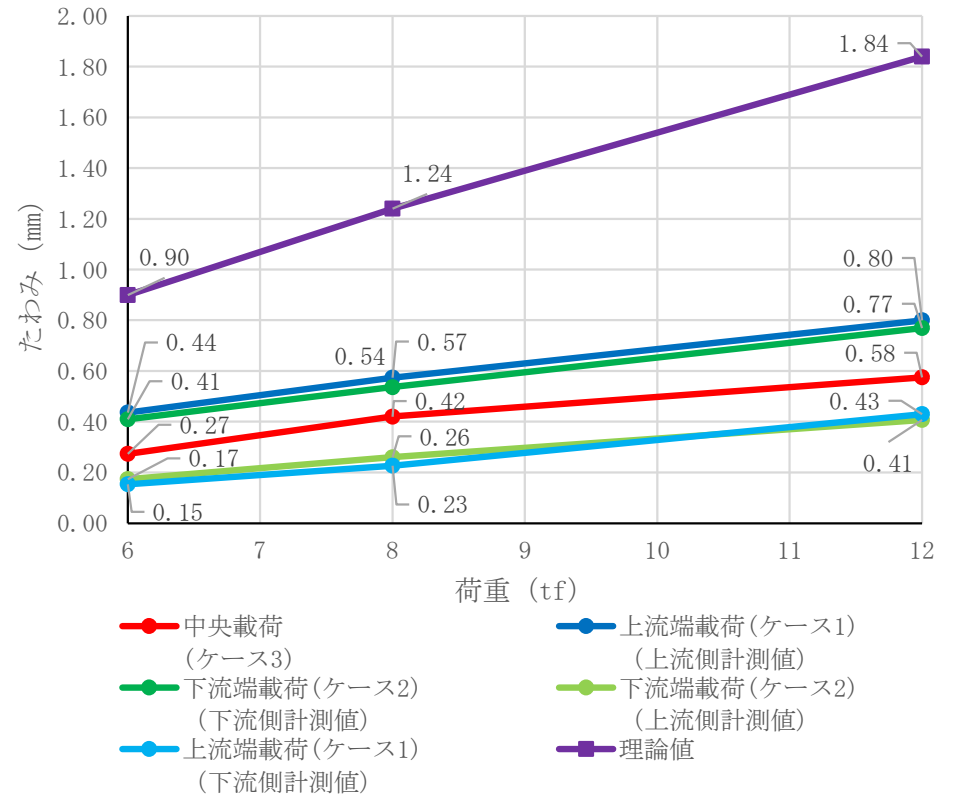
中央載荷時のたわみ

実橋载荷試験結果

(1) たわみ



第1径間における偏载荷時のたわみ



第3径間における偏载荷時のたわみ

(1) たわみ

■たわみ計測に対するまとめ

- 第1径間と第3径間のたわみは、若干の差異は認められるものの概ね同様の挙動を示した。
- 載荷荷重とたわみ量には概ね線形関係が認められ、荷重12tfにおいても弾性域で挙動した。
- 第1径間と第3径間ともに、偏載荷したケース1とケース2において、それぞれの最大値と最小値は概ね同様であったことから、各主桁に際立った変状の相違は認められないとともに、適切に荷重分配されていると考えられる。
- 第1径間および第3径間ともに、偏載荷時のケース1とケース2のたわみ量は、理論値（解析値）を下回っていた。

実橋載荷試験結果

(2) ひずみ

応力度種別	荷重種別	算出種別	単位	着目する径間および主桁					
				S1			S3		
				G1	G2	G3	G1	G2	G3
圧縮応力度	死荷重	解析値	N/mm ²	2.3	2.4	2.3	2.3	2.4	2.3
		計測値		3.7	2.5	-	-	4.0	-
	活荷重(12t)	解析値		0.7	0.5	0.7	0.8	0.5	0.8
		計測値		0.2	0.1	0.2	-	0.1	0.2
	死活荷重	解析値		3.0	2.9	3.0	3.1	2.9	3.1
		計測値		3.9	2.6	-	-	4.1	-
	許容値	基準書ベース		4.7					
		実強度ベース		3.0			3.7		
	コンクリート強度	設計基準強度(推定)		14.0					
		実強度		9.1			11.0		
	判定	基準書ベース		Okay					
実強度ベース		N.G.	Okay	-	-	N.G.	-		
実強度に対する計測値の安全率				2.35	3.47	-	-	2.25	-
引張応力度	死荷重	解析値	N/mm ²	74.9	78.2	74.9	74.8	78.3	74.8
		計測値		21.8	17.0	21.8	23.2	16.9	23.2
	活荷重(12t)	解析値		8.5	5.6	9.4	10.7	5.4	9.9
		計測値		96.7	95.2	96.7	98.0	95.2	98.0
	死活荷重	解析値		83.4	83.8	84.3	85.5	83.7	84.7
		計測値		120.0					
	許容値	基準書ベース		120.0					
	判定	基準書ベース		Okay					
実強度ベース		Okay							

(2) ひずみ

■ひずみ計測に対するまとめ

- コンクリートの圧縮応力度は、死荷重時において、実強度に基づく許容値を超過した。
- 鉄筋の引張応力度は、死活荷重時において実強度に基づく許容値を満足した。
- 活荷重による発生応力度は、圧縮および引張ともに解析値（理論値）を大きく下回った。
- 死荷重による発生圧縮応力度は、解析値を上回る結果であった。

(3) 考察

- ▶ たわみについて、主桁のコンクリートは静弾性係数が低下していたため、通常のコンクリートであった場合と比べると大きな値が計測されたと考えられる。しかしながら、理論値よりも小さな値に留まっており、**静弾性係数の低下による悪影響はないと判断**できる。これは、一般的には解析に考慮しない地覆や防護柵の剛性が寄与していることが要因のひとつとして挙げられる。
- ▶ 一方、ひずみに基づく応力度については、死荷重に対する発生応力度が大きく計測されたことに加え、**コンクリート強度の低下に伴い許容値が小さくなるため、許容値を超過することが分かった。コンクリート強度の低下が如実に悪影響を及ぼす結果**であった。

(3) 考察

- 以上のことを勘案すると、本橋に対する基本的な対策方針は補強である。しかしながら、死荷重作用状態においてコンクリートを補強する対策は、コストパフォーマンスに劣り得策ではない。
- 本橋においてコンクリートが低強度を呈している現状は、コンクリートの特性を勘案すると建設当時からのものであると考えられる。その場合、低強度コンクリートの状態で80年以上も現状を保持してきた実績がある。そのため、**重量規制を実施**することに加え、**定期的かつ継続的なモニタリング**などの**ソフト対策**を講じることで現状にて供用を**継続**することを提案する。

(4) 提案した維持管理方針

a) 重量規制

- 死荷重状態においてコンクリートの圧縮応力度が許容値を超過しているため、可能な限り死荷重以外の荷重を載荷させないことが望ましい。
- 本橋の現状の交通状況として、通常時において大型車両の通行は極めて少なく、近隣住民の乗用車の通行が主体である。このことを勘案すると通常時における規制重量を2t程度に留めるのが望ましい。
- ただし、設計活荷重を推定できる12t車両載荷時においても線形域で挙動することに加えたわみも理論値よりも小さいことが分かっていることから、緊急自動車など総重量12tまでの車両の一時的な通行は許容できる。

(4) 提案した維持管理方針

b) 定期的かつ継続的なモニタリング

①モニタリングの項目

➤ たわみ計測

➤ 鉄筋のひずみ計測

②モニタリングの実施頻度

➤ 1年に1回程度の実施を目安

③モニタリングの適用基準

➤ たわみ計測および鉄筋のひずみ計測ともに、使用制限値を定めそれを超過した場合には供用を中止する。

Contents

- 1) プロローグ
- 2) 実橋載荷試験事例①
～加速度センサーを用いたたわみ計測事例～
- 3) 実橋載荷試験事例②
～死荷重載荷状態のひずみ計測事例～
- 4) エピローグ

1. 橋梁点検の課題、今後の在り方

■通常の点検手法の課題

- 変状の状態把握はできるものの、耐荷性能評価が困難
- 変状の進行が定性的であり、明確な耐久性能評価が困難



■解決策としてのひとつの方策

加速度センサーを用いることで、安価かつ容易にたわみを計測することが可能

■計測したたわみによる評価方法

- ① 解析値との比較
- ② モニタリングによる変状進行把握
- ③ 同一橋梁における他径間との比較
- ④ 類似橋梁との比較
- ⑤ 知見に基づく評価

Attention①

2. 低強度コンクリートの存在

■課題

- 強度比率が80%をも下回る場合には検討が必要とされているが、その手法は確立されていない

Attention②



■解決策としてのひとつの方策

- 実橋載荷試験を実施することで、実挙動に対する耐荷性能を評価することが可能
- コア切込み応力解放法を用いることで、死荷重時のコンクリート圧縮応力を測定することが可能
- 載荷荷重に対する実応力を知ることによって、適切な評価・診断が可能
- 実橋載荷試験を実施する前に机上解析により耐荷力照査を実施することも考えられる
- ただし、理論解析結果と実橋載荷試験結果は乖離することもある

2. 低強度コンクリートの存在

経過観察

■経過観察に対する私見

- 診断評価がⅡの橋梁や部位などに対しては、管理基準によっては「経過観察」とすることはよくある
- 「経過観察」とは、経過を観察することでその推移を把握し、対処すべき手段を持ち合わせているときの措置
- 対処すべき手段を持ち合わせていない場合は、経過観察とは言えず、単なる「放置」なのでは・・・



■低強度コンクリートに対する載荷試験

- 低強度コンクリートおよび普通強度コンクリートにて供試体を製作
- 様々な変状を模擬した加工を施し、載荷試験を実施
- 鉄筋が健全な状態では、低強度と普通強度での耐荷性能に極めて大きな差異は認められない
- 鉄筋の減肉が大きい場合には、鉄筋が降伏した後、破断する前にコンクリートが圧壊
- 普通強度に比べ、低強度コンクリートの耐荷性能は低い





■レジリエンス社会に向けて

- 人口減少、少子高齢化が進行しつつある我が国において、**持続可能でレジリエントな社会インフラ整備を実現**していく必要があると考えられる。
- レジリエンス社会を目指すうえで、社会インフラのメンテナンスには、**さらなる高度化が必要**である。
- 高度化を図るには、**新技術の適用が不可避**であると考ええる。
- 高度化に向けては多様な方向性が考えられる。そのひとつの方向性としては、**耐荷性能評価**が挙げられる。
- 従来の橋梁点検では、現状における変状状況や断続的かつ定性的な進行把握程度に留まり、**耐荷性能評価は困難**である。
- 変状状況での判断のみならず、**耐荷性能評価も勘案した診断や使用判断が必要**になってくると考える。

■レジリエンス社会に向けて

- 安全・安心を確保したうえで、使用限界状態まで橋梁を使用する方針を掲げないと、今後供用できる橋梁がますます減少することも考えられる。
- 橋梁診断結果を点の情報としてのみ捉えるのではなく、路線単位での線の情報として評価し、リダンダンシーのある道路網としての評価が必要となると考える。
- このような方向性が、レジリエント社会を目指すひとつの在り方であると考えられる。

ご清聴ありがとうございました

Fin