金沢大学SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）

土木学会中部支部　報告会

点検・調査を進化させ効率よく維持管理するための取り組み

（劣化床版・下部構造）

報告会資料集

2016 年 6 月 3 日

金沢大学サテライトプラザ

金沢大学ＳＩＰ（戦略的イノベーション創造プログラム）・土木学会中部支部　報告会
「点検・調査を進化させ効率よく維持管理するための取り組み（劣化床版・下部構造）」

主　催：金沢大学 SIP WG4（床版）・WG5（下部工）・土木学会中部支部「積雪寒冷地における
　　コンクリート構造の劣化と健全度評価の適正化に関する調査委員会」
共　催：北陸道路研究会構造部会
日　時：2016 年 6 月 3 日（金）13:30～16:50
場　所：金沢大学サテライトプラザ 3 階　集会室
　　金沢市西町三番丁 16 番地　　金沢市西町教育研修館内

ープログラムー

13:00～　　受付開始
　　司会　金沢大学ＳＩＰ　ＷＧ４（床版）　主査　金沢大学　桝谷　浩教授
13:30～13:35　開会挨拶

（事例紹介）
13:35～14:20　東京都における床版の維持管理と重錘落下たわみ法
（45 分）　　東京都　土木技術支援・人材育成センター　関口　幹夫氏
14:20～15:05　ＦＷＤ試験における先鋭度の導入
　　～ＦＷＤによる道路橋の健全度評価の現状と課題～
（45 分）　　岩手大学　大西　弘志准教授

15:05～15:15　ー休憩ー
（10 分）

（ＷＧ４報告）
15:15～15:45　北陸地方のＡＳＲ劣化床版の現状と耐荷性評価
(30 分)　　大日本コンサルタント株式会社　横山　広氏
15:45～16:15　ＳＩＶＥの開発と実橋載荷試験
(30 分)
　　金沢大学　桝谷　浩教授
（ＷＧ５報告）
16:15～16:45　北陸地方の橋梁点検データの劣化要因に基づく検討
(30 分)　　金沢大学ＳＩＰ ＷＧ５（下部工）　主査　久保　善司准教授
16:45　閉会挨拶

東京都における床版の維持管理と重錘落下たわみ法

平成28年6月3日

東京都土木技術支援・人材育成センター
関口幹夫

1

レジメ

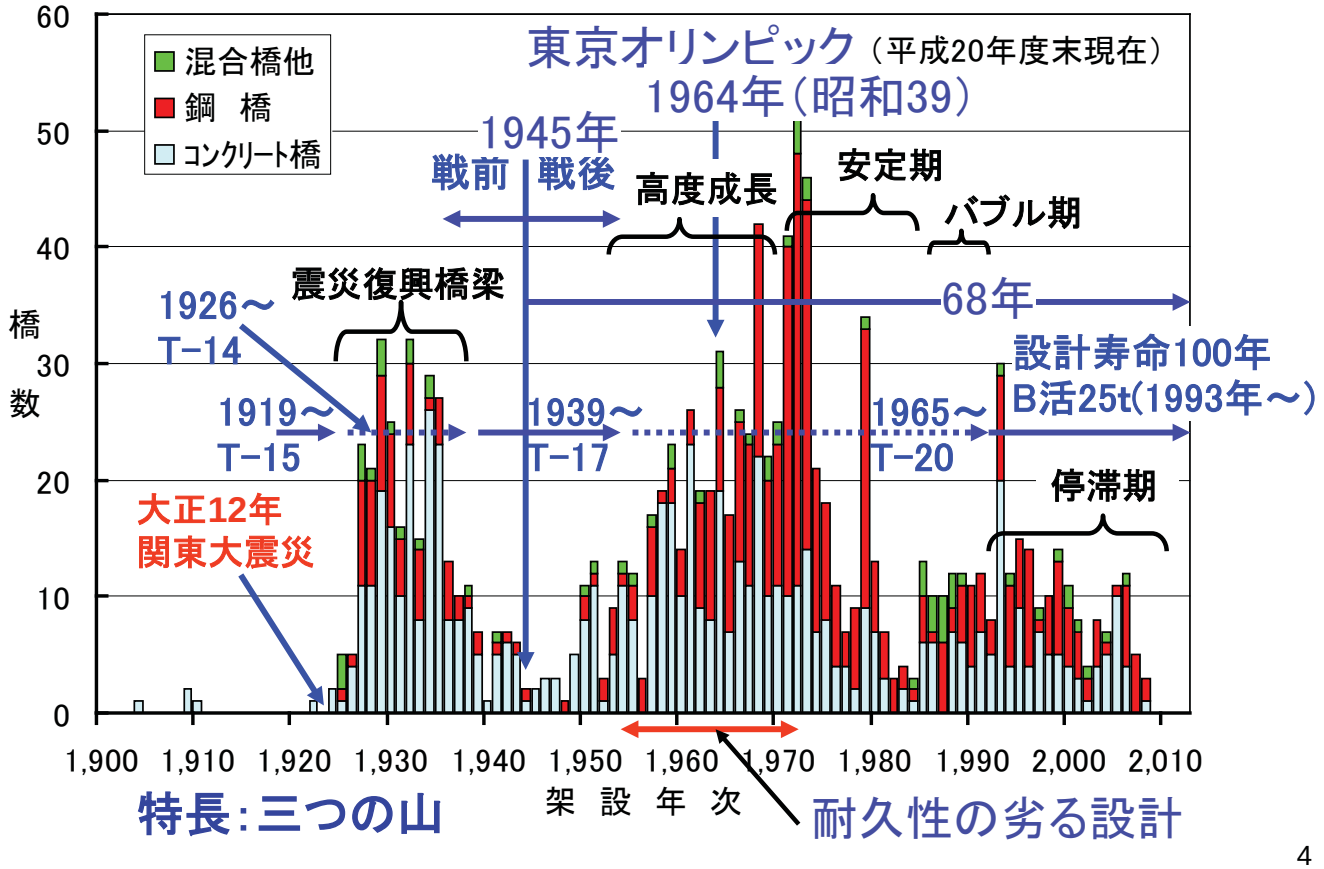
1. 管理橋の現状・・・・竣工年次・高齢化・事業費・補修実績
2. 健全度の実態・・・・点検の種類・健全度分布・橋種別・地域別・床版種類別・示方書別・交通量別
3. アセットマネジメント・・・・計画橋梁区分・対象橋梁
4. RC床版の疲労損傷・・・・主な原因・高井戸陸橋追跡調査
5. 重錘落下たわみ法・・・・FWD・IIS・測定事例

2

1. 管理橋の現況

- ✓ 竣工年次
- ✓ 高齢化
- ✓ 事業費の推移
- ✓ 補修実績
- ✓ 管理橋の特徴
- ✓ 維持・補修の要点

道路橋の竣工年次分布



高齢化する橋梁

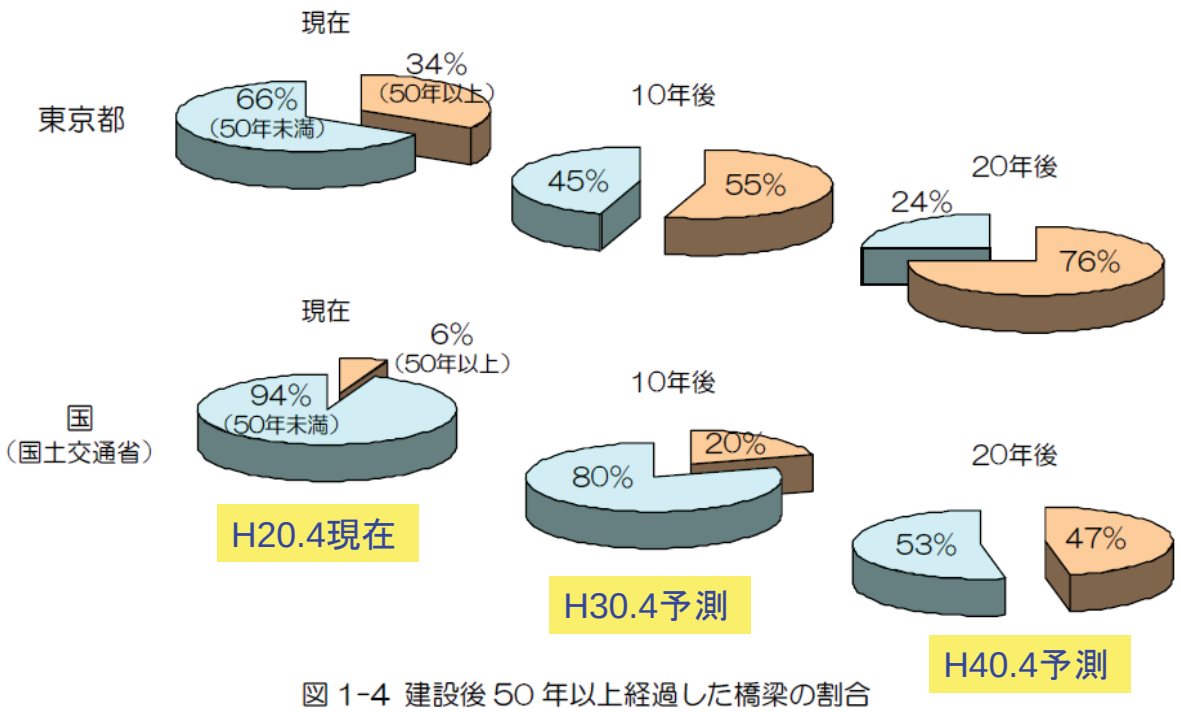
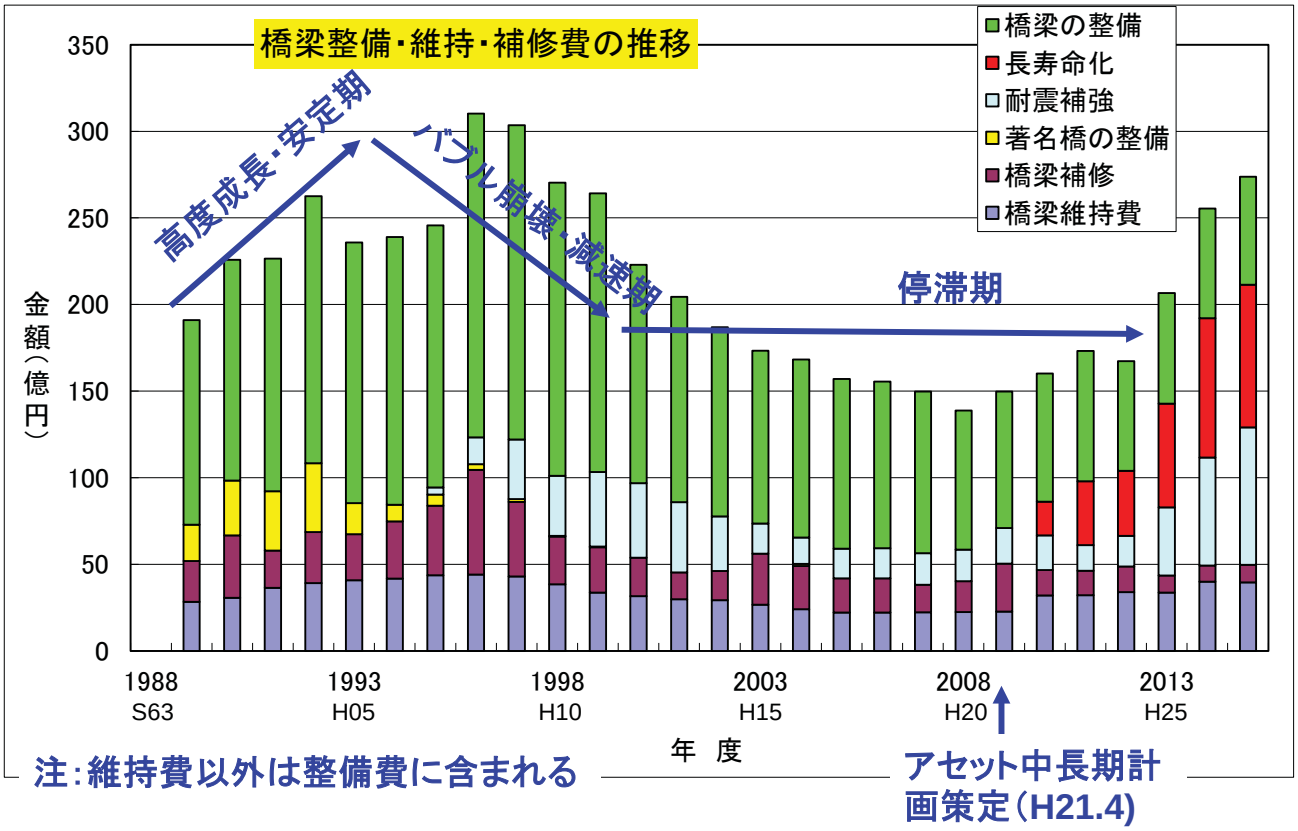


図 1-4 建設後 50 年以上経過した橋梁の割合

東京都管理橋の高齢化スピードは国内最速

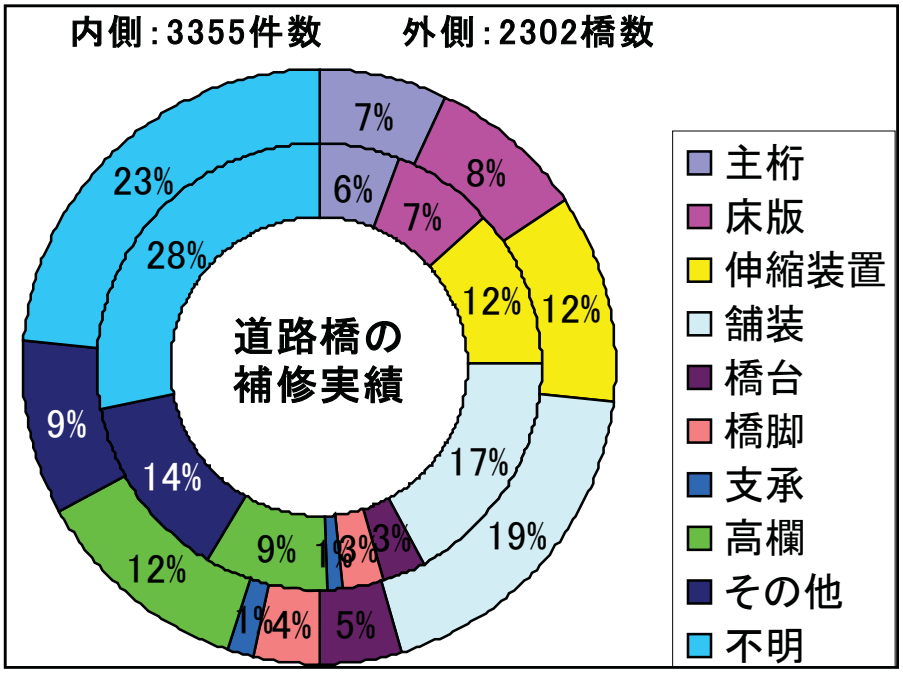
5

事業費の推移



6

道路橋の補修実績（S50～H15）



主な補修は①舗装，②伸縮装置，③床版，
今後は主桁，耐震補強で橋脚，橋台等も増加

7

都管理橋の特徴

- 古い橋のストック量が多い（明治～平成）
- 過酷な使用環境（大型車交通量・過積載）
- キメの細かい沿道環境対策（振動・騒音）
- 維持管理コストが高い（夜間工事比率大）

- 事後保全型から予防保全型維持管理への転換
- アセットマネジメントの導入（戦略的管理）
- 長く使う工夫（診断技術／補修補強技術開発）

8

床版の劣化・損傷

伸縮装置（ジョイント）近傍の変状，漏水

舗装ポットホール

床版裏面のひび割れ

床版陥没

鉄筋露出・剥離

9

維持管理の基本的考え方

- ✓ 既設橋は古い規準類で設計・・・＞維持管理は最新の規準類適用（ギャップを理解）
- ✓ 事後保全型から予防保全型への転換
- ✓ PDCAサイクルの実践

10

橋面舗装の維持・補修の要点

- 橋面舗装設計施工要領S59年制定～現行H21年版建設局による
- *事前調査の実施・・・舗装厚さ、防水層の状態を確認（重要）*

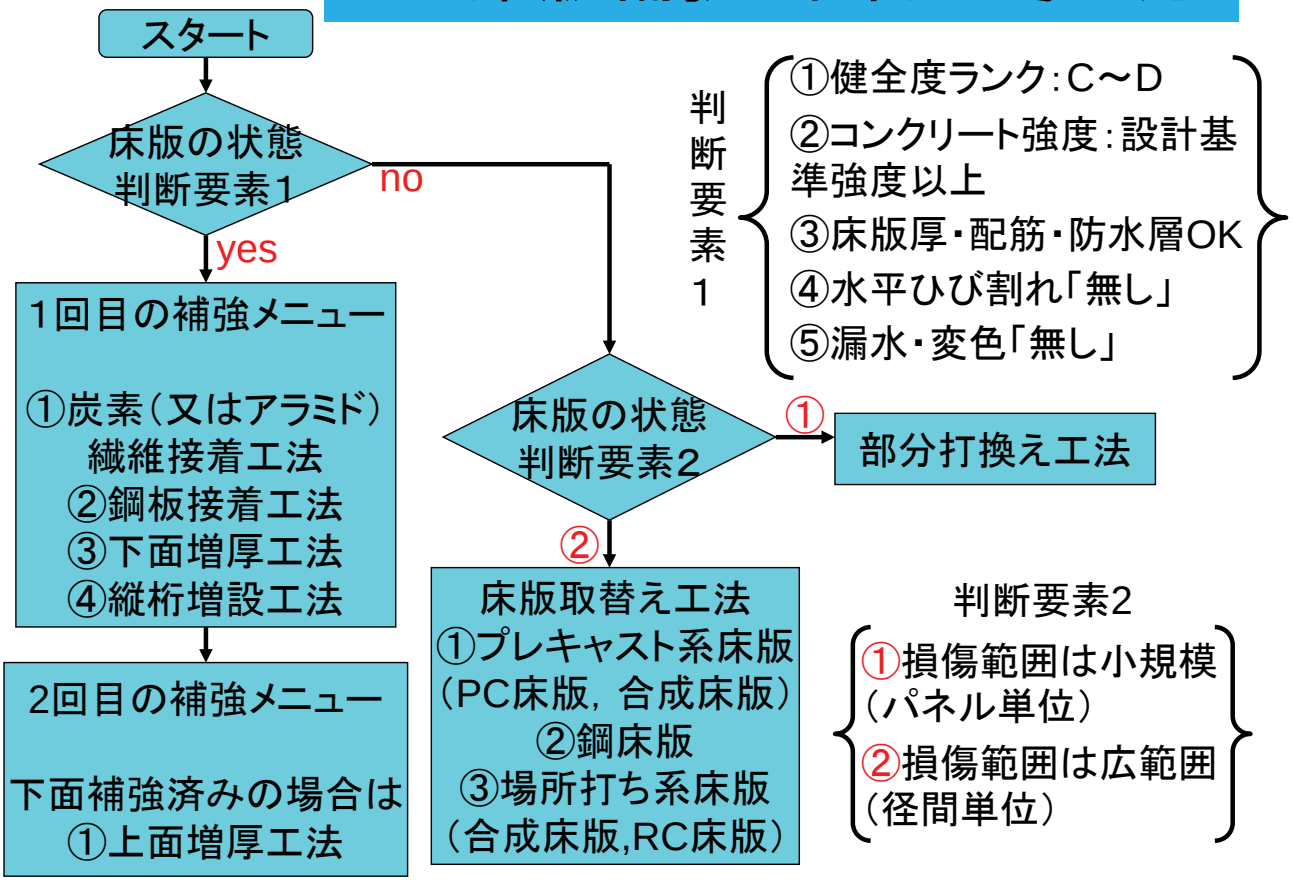
① 路面排水施設の維持（清掃）、補修（排水マスの取替え）

② 応急修理・・パッチング、表面切削、段差補修、ひび割れ注入、シール工、防水層（塗膜系）

③ 表層打換補修・・表層打換え（防水層＋レベリング層は残す）

④ 全面打換補修・・防水層＋舗装の打換え（舗装撤去時に床版を傷めない施工に留意）

RC床版補強・取替の考え方



（注）孤線橋は絶縁体のアラミド○、通電体の炭素・鋼板×

2. 健全度の実態

✓健全度の分布・・・ばらつきが大きい

✓維持管理しない場合の分布・・・鋼橋は錆びて健全度が急激に悪化

✓主桁の地域別健全度の特徴

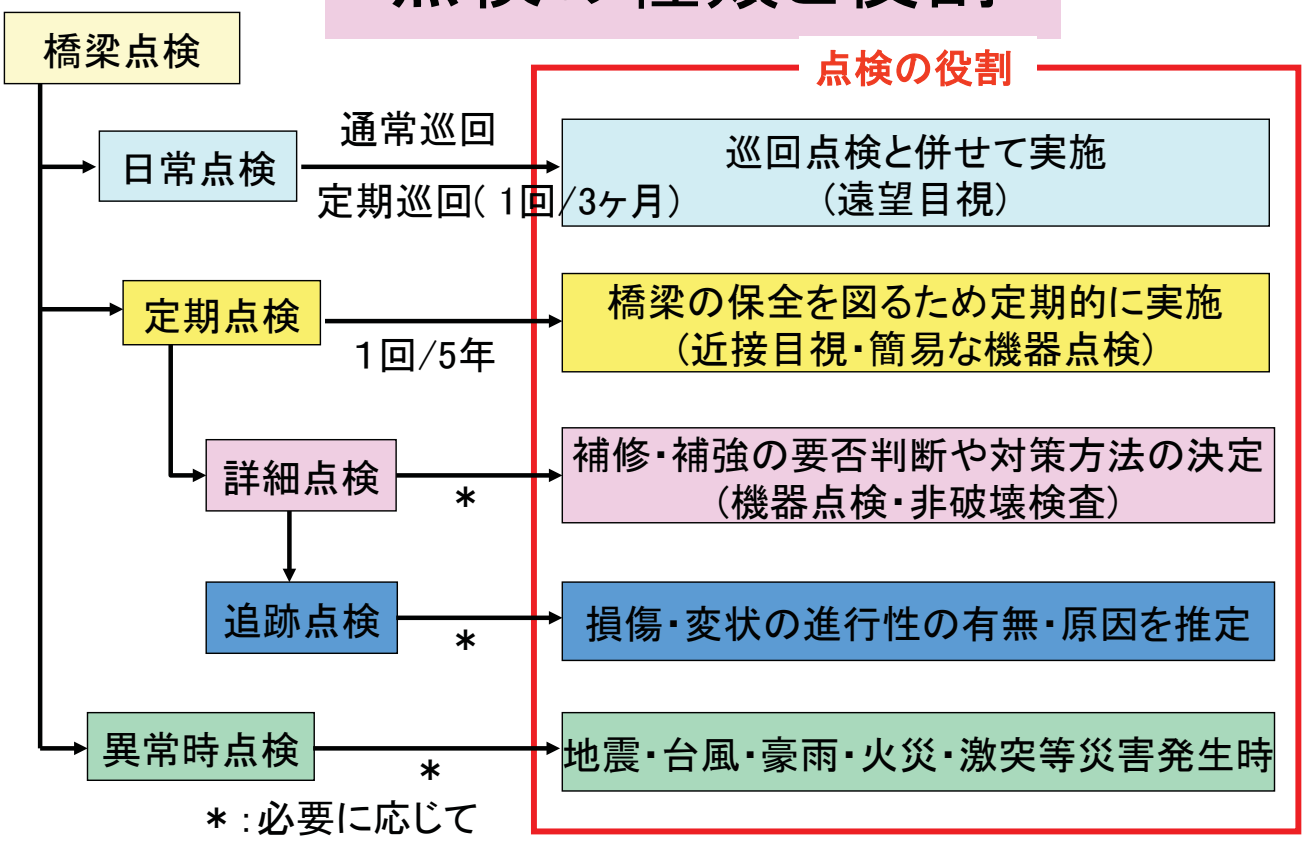
✓RC床板の健全度分布

✓ニューヨーク市と東京都の比較

✓健全度評価の課題

13

点検の種類と役割



点検は昭和46年～、定期点検の点検要領は昭和63年3月制定～

14

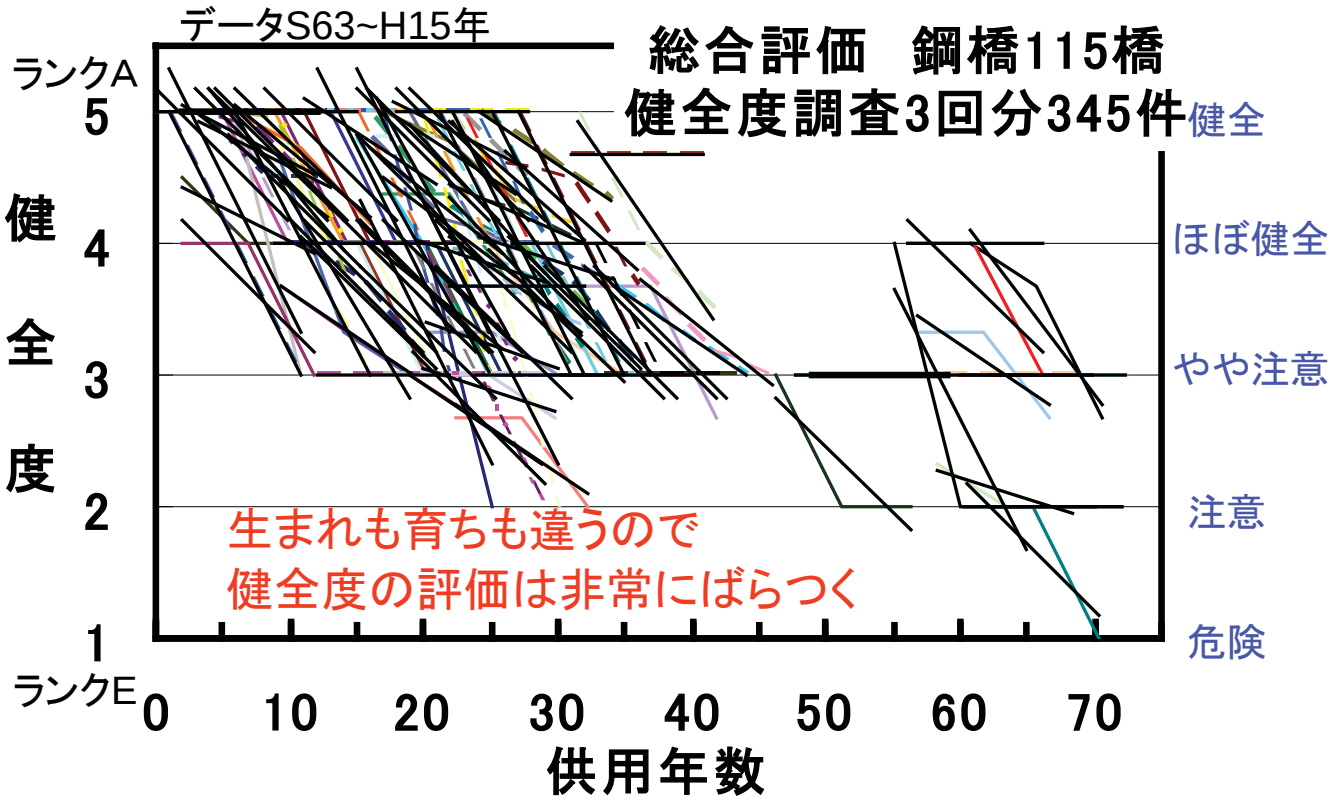
RC床版の損傷ランク（H27版）

点検（損傷）項目	損傷ランク（ □H27改定版）				
	a	b	c	d	e
剥離・鉄筋露出	なし	鉄筋露出せず（うきを含む）	鉄筋露出　小	鉄筋露出　大	鉄筋断面欠損
遊離石灰	なし	あり	—	—	—
豆板・空洞	なし	規模　小	規模　大	—	—
抜け落ち	なし	—	—	—	あり
鋼板接着部の損傷	なし	—	規模　小	—	規模　大
床版のひびわれ（一方向）	なし	あり（遊離石灰なし）	あり（遊離石灰あり）	—	—
床版のひびわれ（二方向）	なし	—	50cm以上（遊離石灰なし）	50cm未満（遊離石灰なし）/ 50cm以上（遊離石灰あり）	鉄筋の錆汁あり / 50cm未満（遊離石灰あり）
変色・劣化	なし	規模　小	—	規模　大	—
漏水・滞水	なし	あり	—		

橋梁の点検要領(案)平成27年4月　建設局

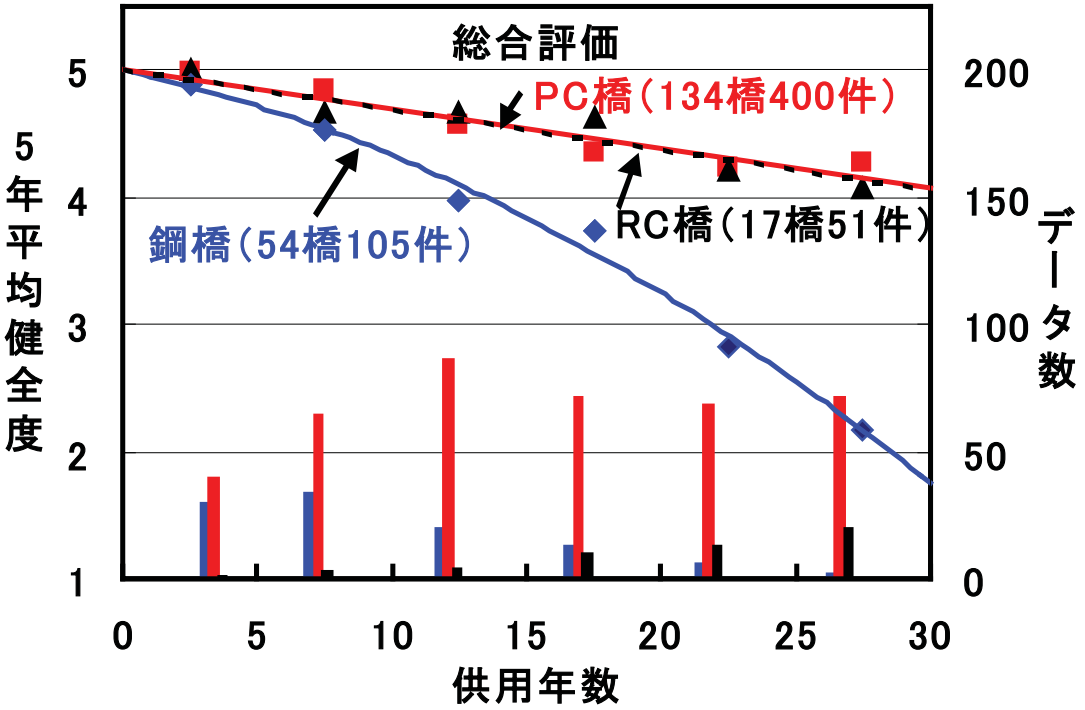
15

健全度調査3回分のデータ分布例



16

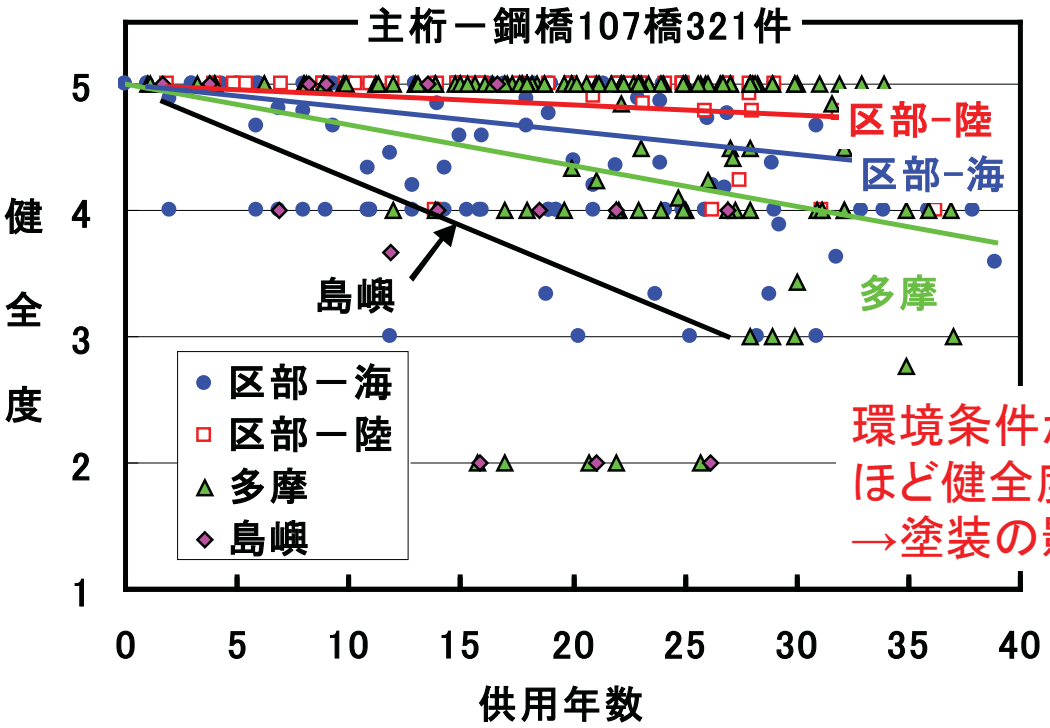
橋種別健全度総合評価（補修履歴なし）



鋼橋はメンテナンス（塗装）が大事

17

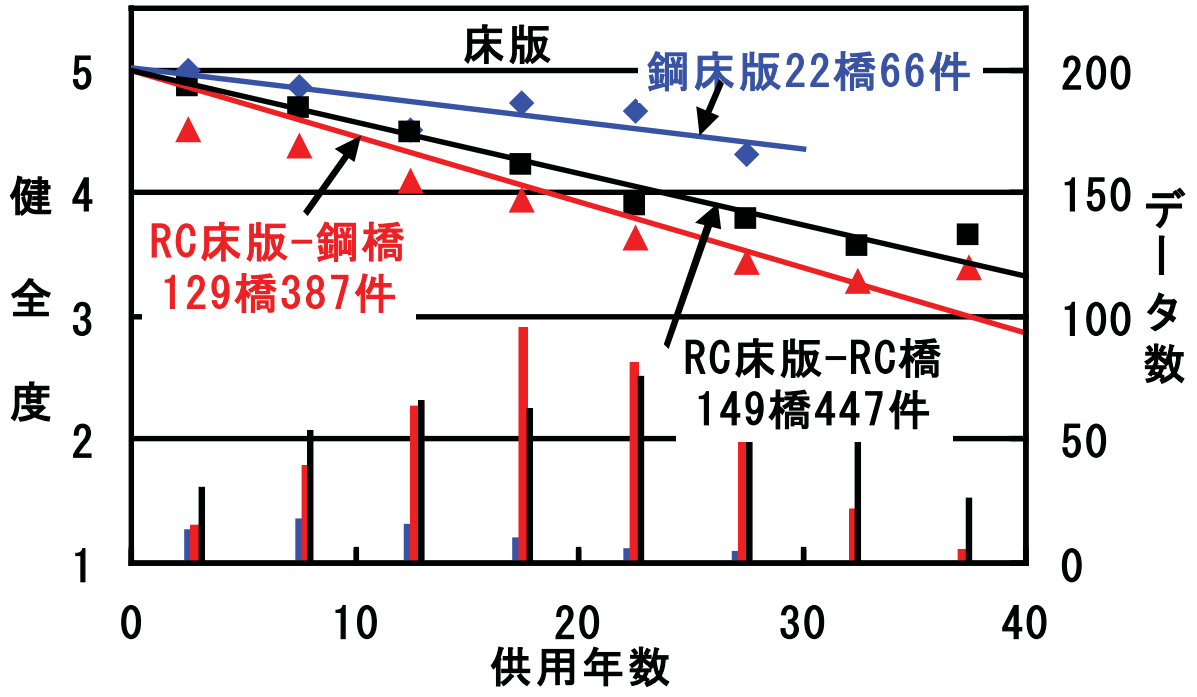
鋼橋主桁の地域別健全度



環境条件が厳しいほど健全度が悪い
→塗装の影響大

18

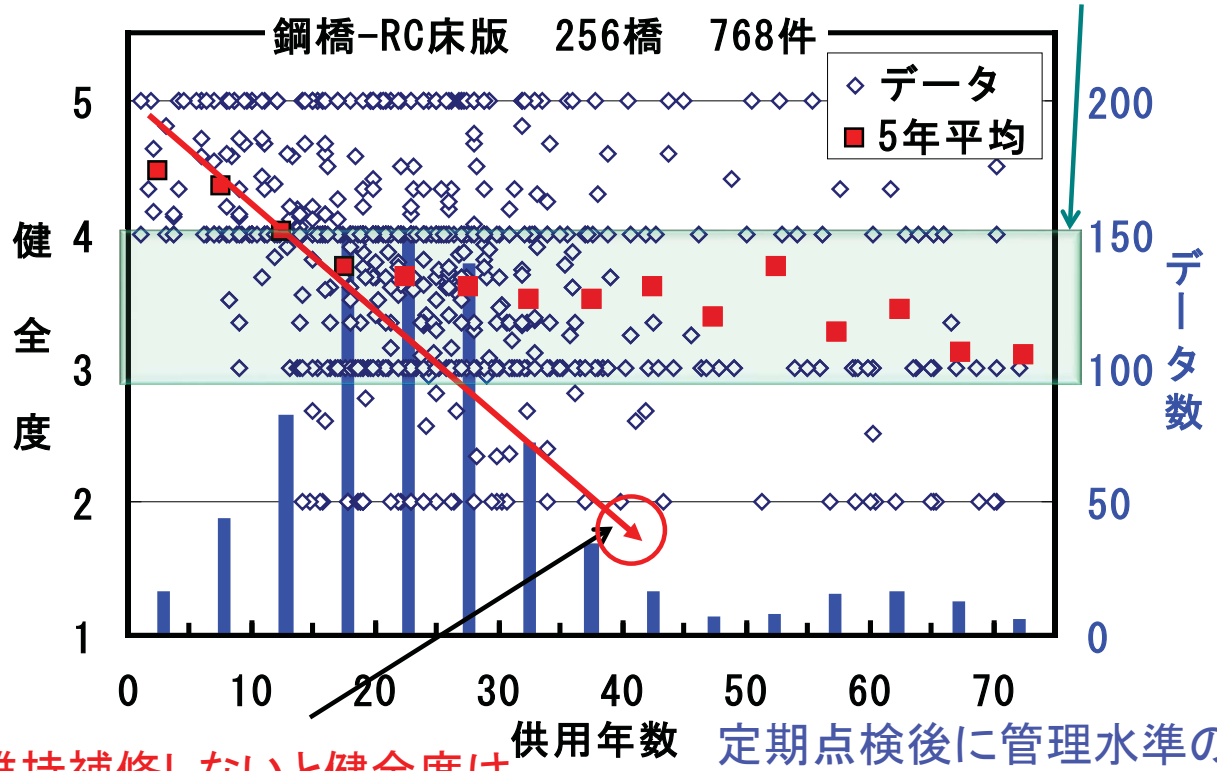
床版種類別健全度



19

鋼橋RC床版健全度

現行の管理水準は
健全度3（ランクC）

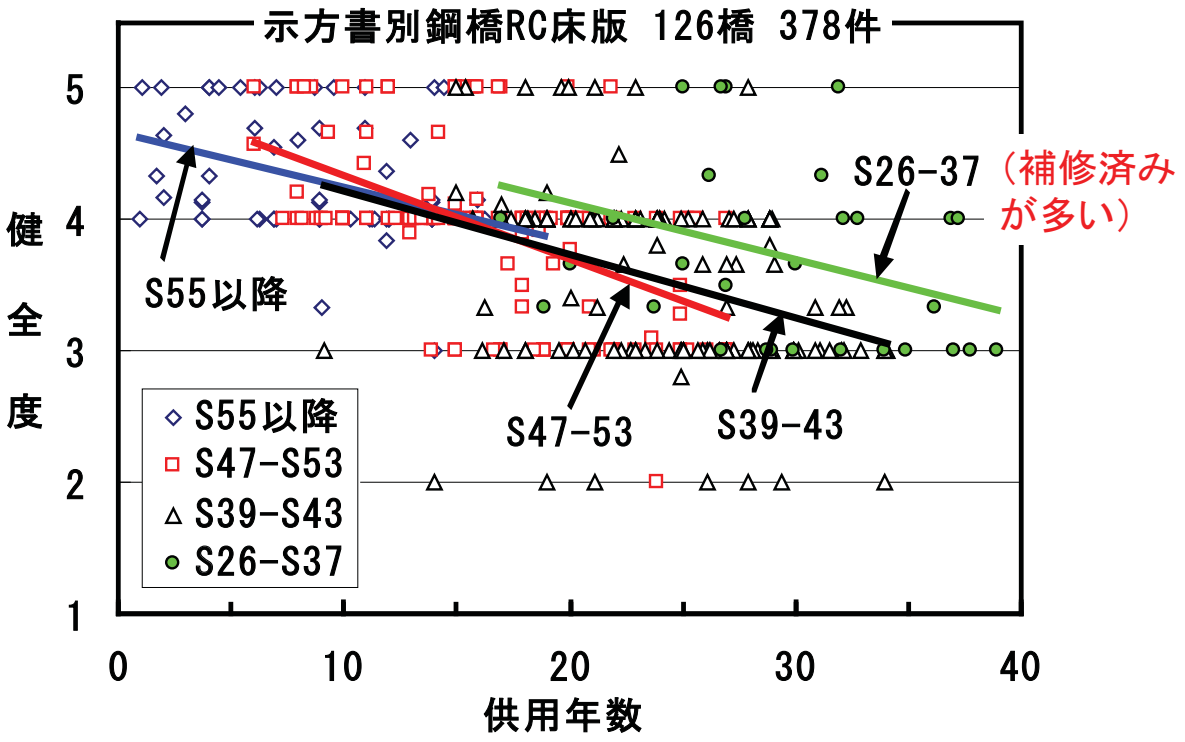


維持補修しないと健全度は
40年で大規模補修となる

定期点検後に管理水準の分析
評価が必要＞PDCAサイクル
の実践

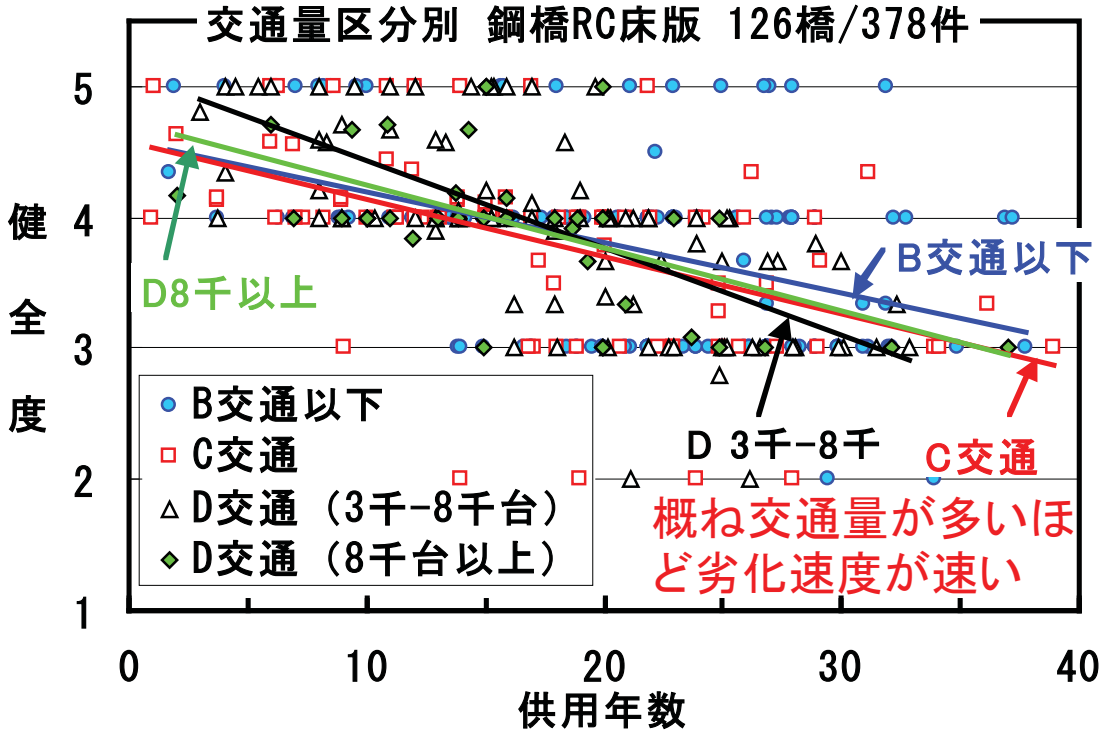
20

鋼橋RC床版示方書別健全度



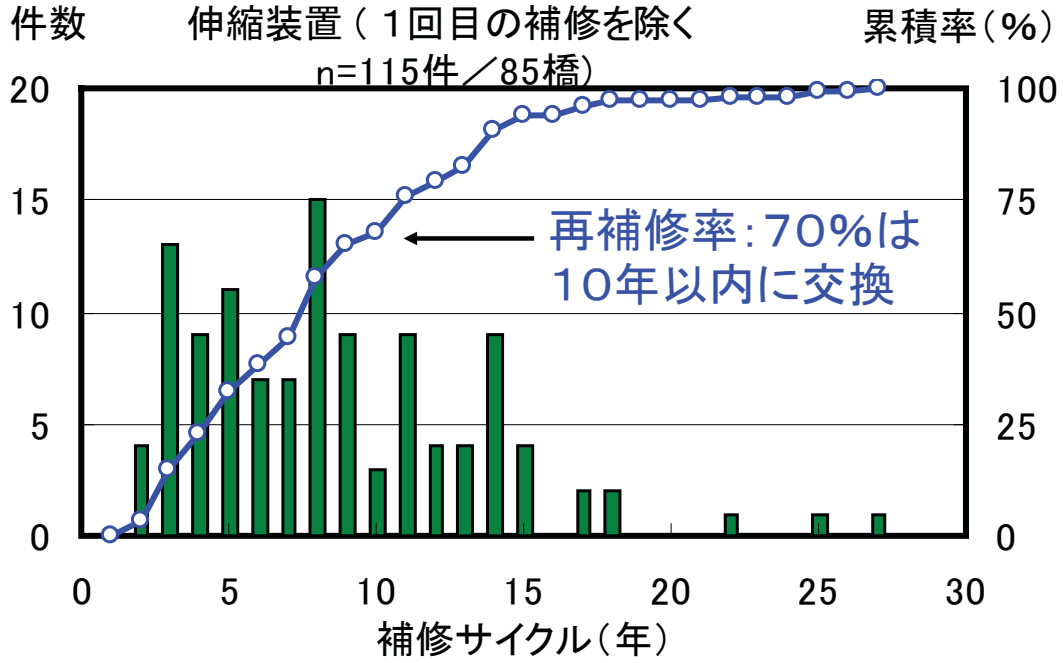
21

鋼橋RC床版交通区分別健全度



22

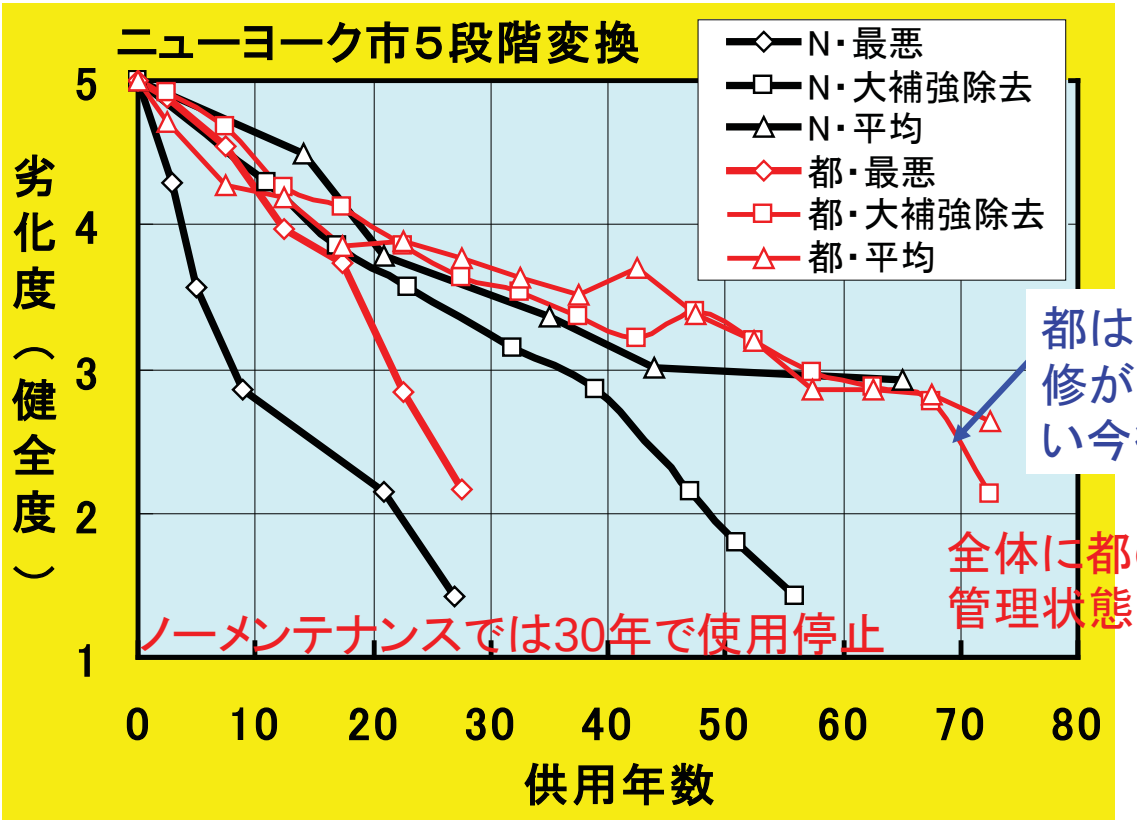
伸縮装置の補修サイクル



伸縮装置の寿命は短い・・・交換の繰返しは床版の耐久性も悪化させている可能性が高い

23

ニューヨーク市と都の比較（H16調査）



都は大規模補修がまだ少ない今後増加

全体に都の方が管理状態は良好

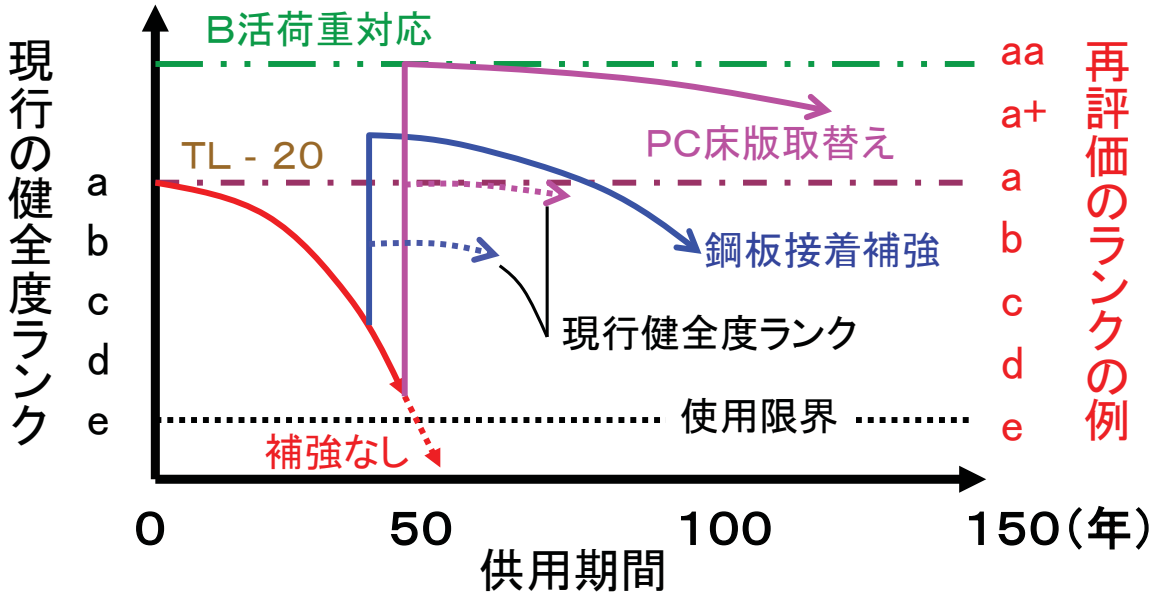
24

補修・補強・再劣化の健全度評価の課題

現行の健全度評価は補修・補強・再劣化を適切に反映できていない

現行のランク・・a;健全，b;ほぼ健全，c;やや注意，d;注意，　e;危険

再評価の例・・aa;B活対応済み（健全），a+;補強済み(健全)



25

3. アセットマネジメントによる長期戦略

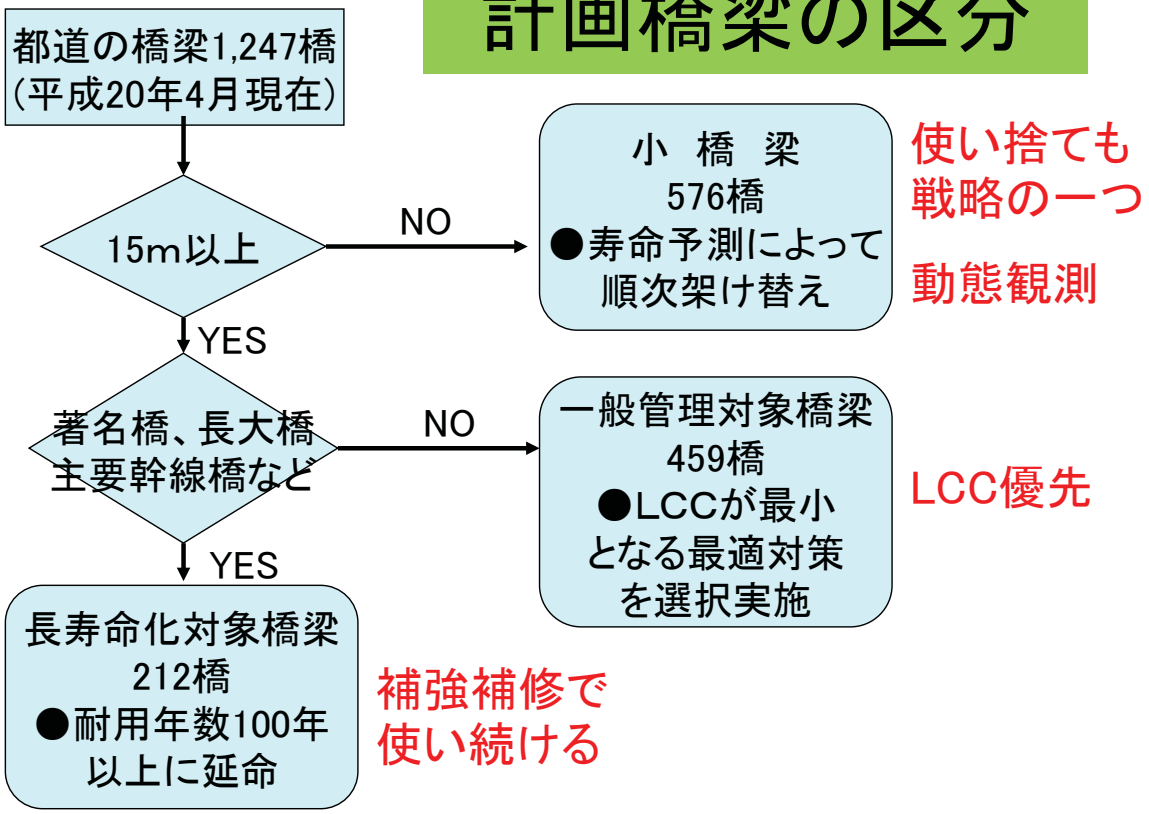
- ✓ 戦略的橋梁の管理に関する中長期計画の策定

目的：急激な高齢化・膨大な事業費発生・・・
予防保全で平準化・コスト縮減

- ✓ 計画橋梁の区分
- ✓ 長寿命化の基本的な考え方
- ✓ 長寿命化推奨工法

26

計画橋梁の区分



- 重要文化財(清洲，永代，勝鬨)は使い続ける
- 震災復興橋梁(蔵前，駒形，聖橋ほか)は耐用年数200年

27

長寿命化対象橋梁

区　分	長寿命化の目標	対　策　橋　梁
著名橋Ⅰ	長期保全・活用	国の重要文化財(清洲橋、永代橋、勝鬨橋)
著名橋Ⅱ	延命200年	関東大震災復興橋梁(蔵前橋、駒形橋、聖橋ほか)
著名橋Ⅲ	延命100年	橋長100m以上の著名橋(葛西橋、船堀橋、峰谷橋ほか)
著名橋Ⅳ	延命100年	橋長100m未満の著名橋
長大橋	延命100年	橋長100m以上の橋梁
跨線・跨道橋	延命100年	桁下が線路又は道路の橋梁
主要幹線橋	延命100年	6車線以上の主要幹線上の橋梁

28

長寿命化の基本的な考え方

1. 耐用年数は、設定目標年数以上とする。
2. 現行の道路橋示方書、指針、便覧などの基準に適合させる。（各要求性能）
3. 性能設計は、構造全体系で照査、不可能な場合は部材レベルで可とする。
4. 性能設計では、施工条件、維持管理条件、再度対策の必要性を明記する。

長寿命化対策の施工は、各橋梁の劣化予測における健全度がある一定のランクとなった時点で、適切な対策工法により実施する。

29

上部工の長寿命化推奨工法

部材	種類	工法	対策目的	内容
上部工	RC床版	RC床版打換（プレキャスト工法）	耐荷対策	プレキャストPC床版や鋼コンクリート合成床版に取替
		鋼床版化		鋼床版に取替える
		炭素繊維など接着補強		床版下面に繊維（炭素、アラミド）シートを貼付け、鋼板接着、
		床版増厚		上面増厚
	鋼床版	鋼材補強	疲労対策	リブ補強などの措置
		ゴムラテックス処理		ゴムラテックスの実績は少数、鋼繊維入り上面増厚工法が主流
	鋼桁	金属溶射工	腐食対策	鋼桁に金属を溶射する
		鋼材補強	耐荷対策	主桁の鋼材補強、増桁等
		桁連続化	耐久性向上対策	隣り合った桁を連結、ノージョイント化で、車両による衝撃を緩和

30

4. RC床版の疲労損傷
高井戸陸橋追跡調査

✓初期のポンプ施工（先送りモルタル）

✓低強度（20N/mm^{2}以下）

✓床版厚（不足・変動）

✓ひび割れ密度と角欠け密度

✓ひび割れ密度と健全度ランク

✓ひび割れ密度とたわみの感度

31

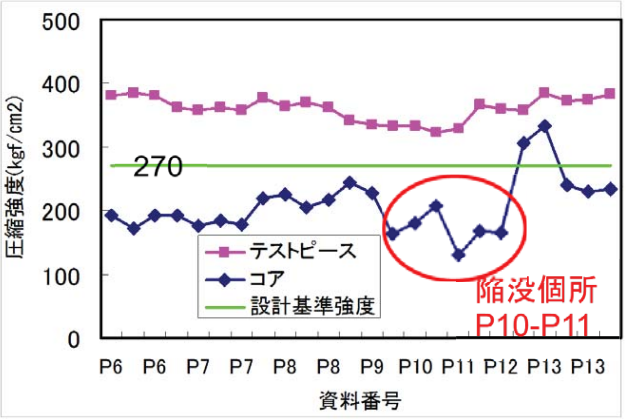
港北陸橋　RC床版抜け落ち

床版裏面

抜落ちたコンクリート破片

原因ポンプ施工（先送りモルタルの打設）

32



·橋長鋼桁部253m，床版支間2.6m，床版厚20cm，昭和48年12月供用開始

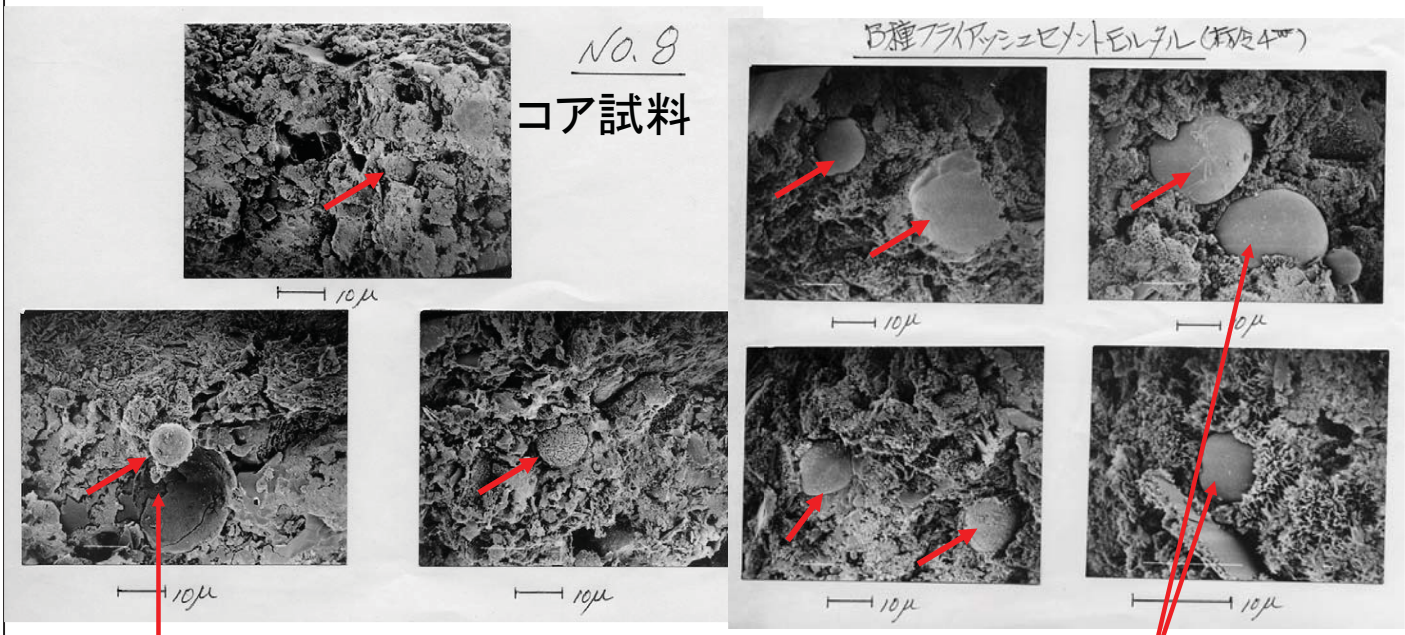
·RC床版陥没：供用3年後，ひび割れ多発

·設計上の原因：大型車交通量による設計曲げモーメント20%割増がない，不等沈下の影響TT-43で40%が考慮されていない．

·施工・材料上の原因：ポンプ施工，コールドジョイント等施工不良個所多い，フライアッシュ混入等示方配合と異なる低品質コンクリート

33

フライアッシュ混入事件



走査型顕微鏡（EPMS)2000倍でコンクリート内に球状物質（フライアッシュ）の確認，B種フライアッシュセメントの半分程度の混入量．・・・原因：ポンプ圧送性の改善．第一次オイルショック（セメント不足で代替）

34

高井戸陸橋床版の追跡調査・補修補強履歴

- 蒲田方　普通床版未補強30年 → PC床版取替

杉並方

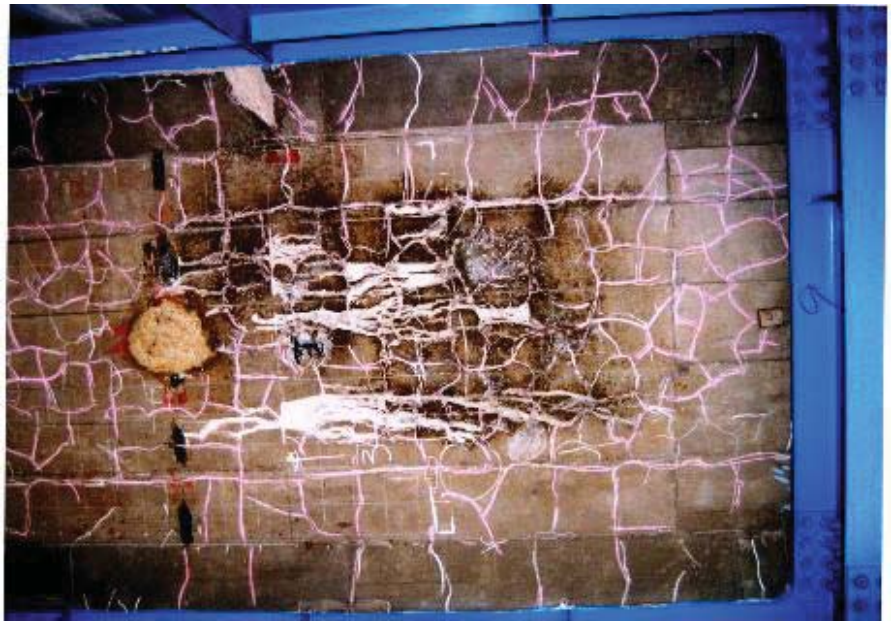
- 普通床版未補強20年 → 鋼板接着10年 → 上面増厚

主径間

- 軽量床版未補強20年 → 鋼板接着10年 → 上面増厚

35

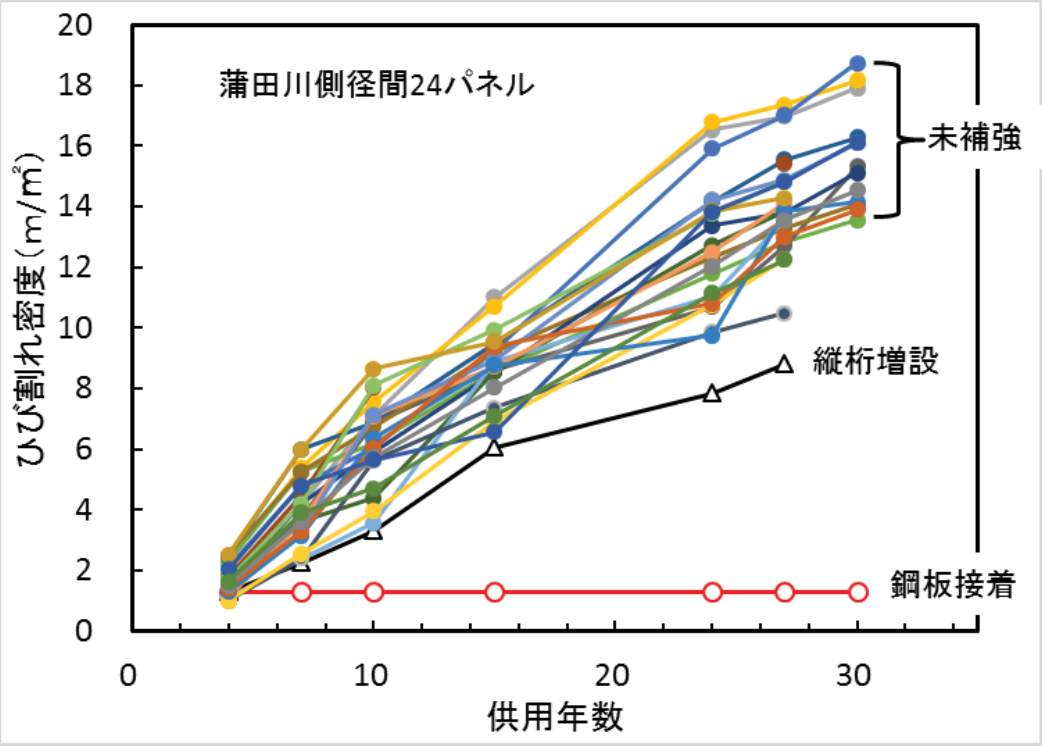
高井戸陸橋RC床版疲労損傷



コア圧縮強度は設計基準強度28N/mm^{2}以下

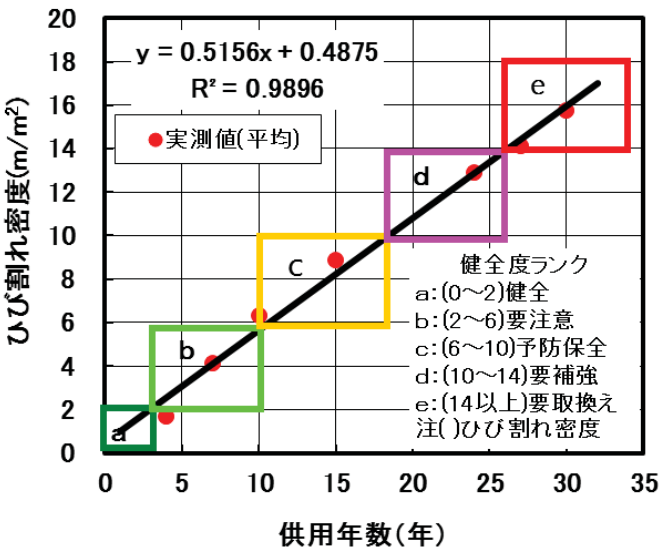
36

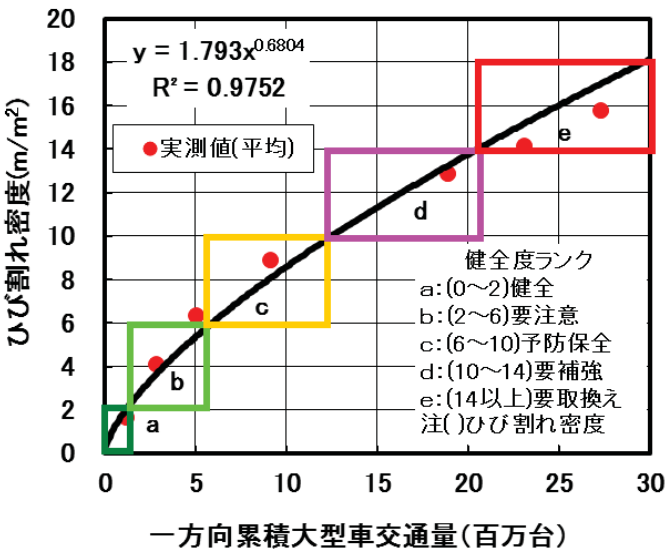
高井戸陸橋RC床版ひび割れ密度



37

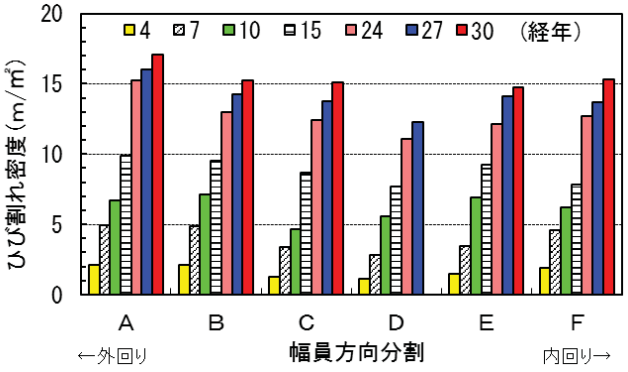
ひび割れ密度による健全度評価
（高井戸陸橋未補強）

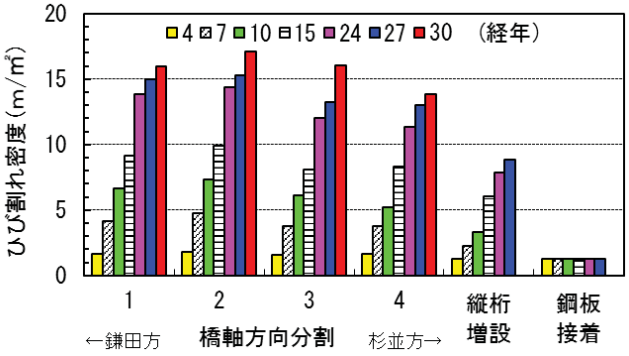


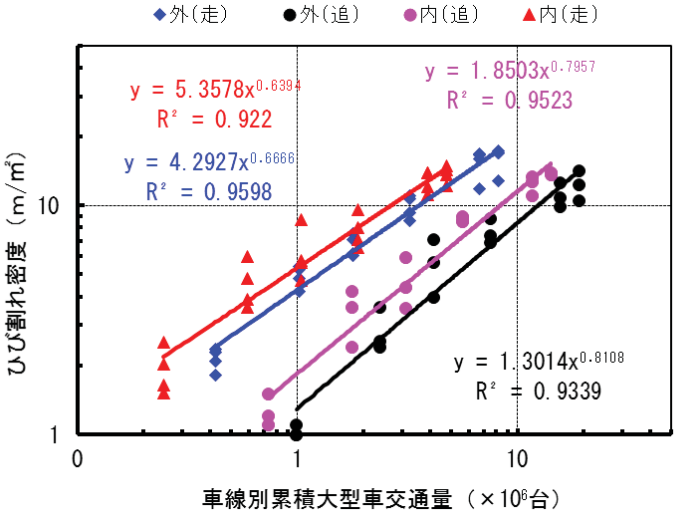


38

高井戸陸橋ひび割れ密度

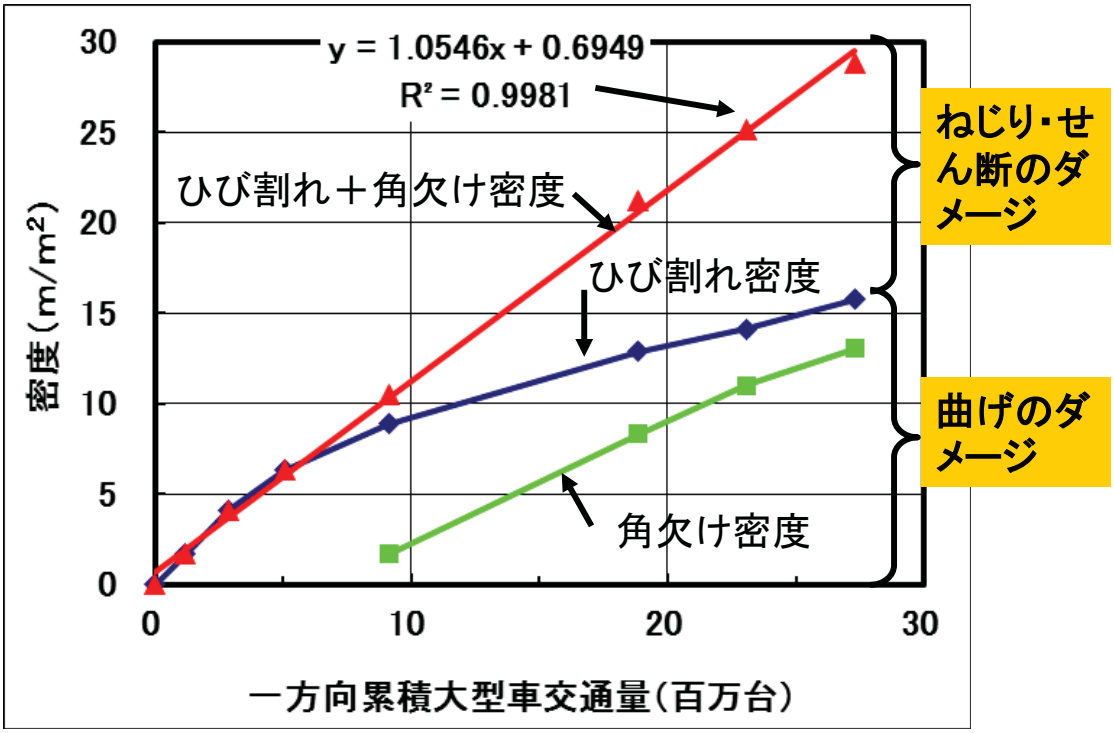






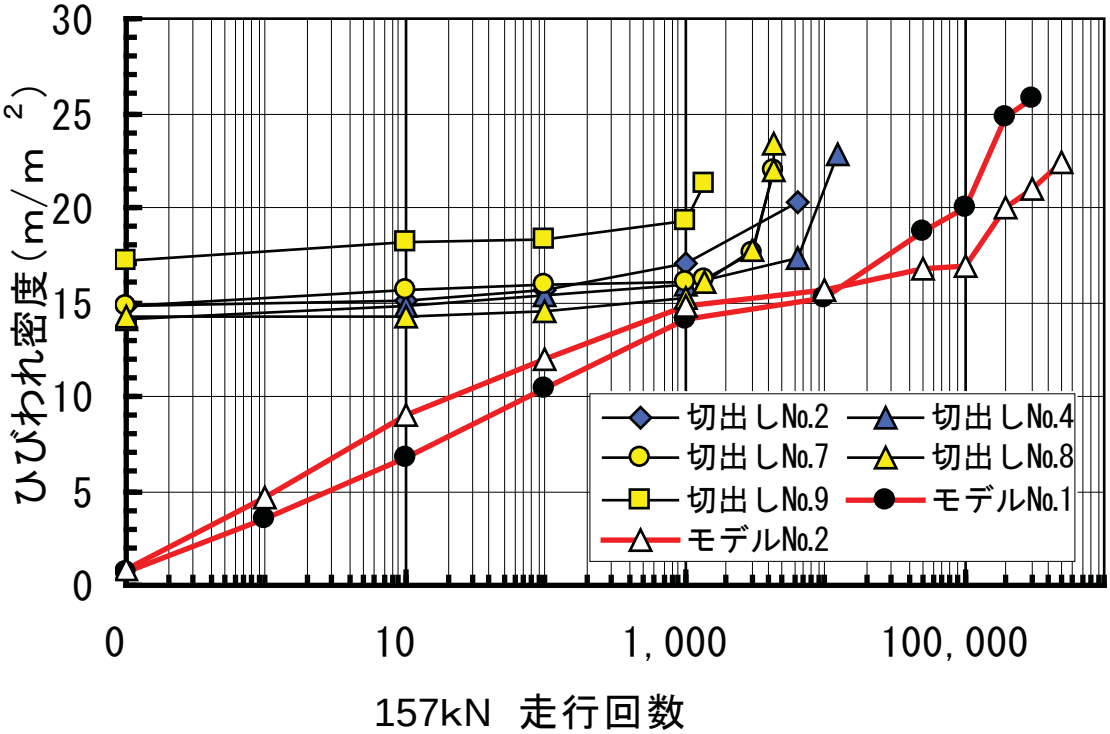
39

ひび割れ密度と角欠け密度 (高井戸陸橋　未補強床版)



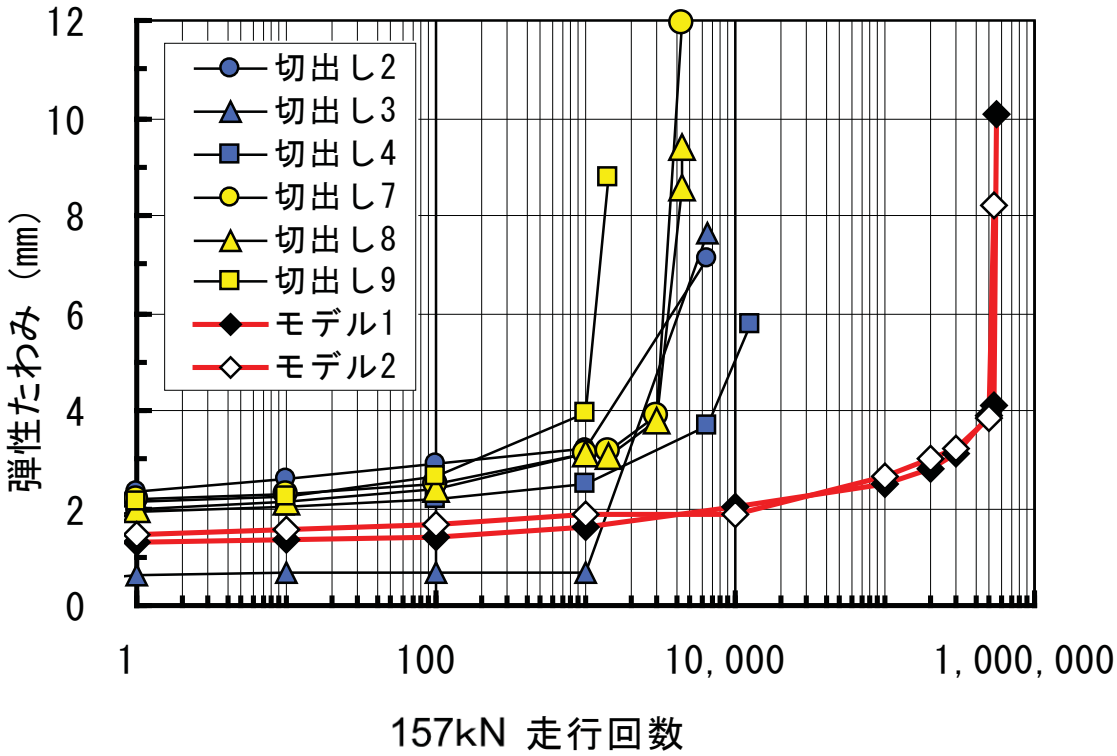
40

ひび割れ密度の比較
高井戸陸橋



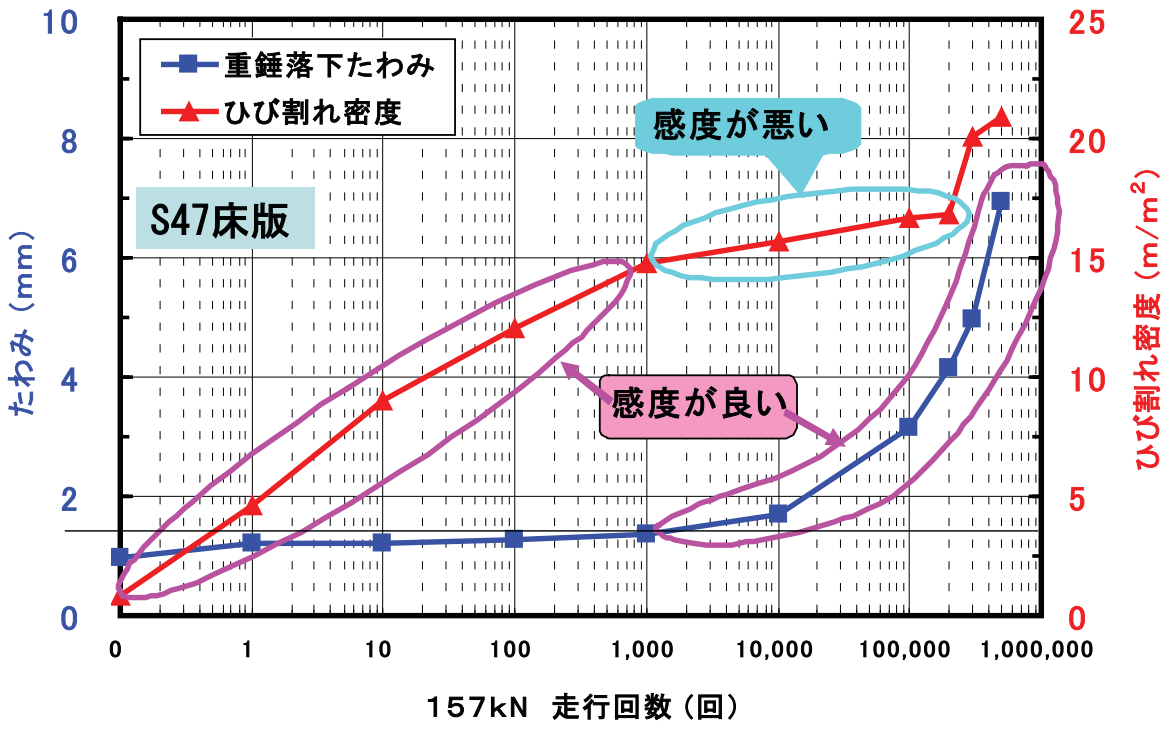
41

たわみの比較
高井戸陸橋



42

ひび割れ密度とたわみの感度



5. 重錘落下たわみ法

- ✓ FWD(Falling Weight Deflectometer)
- ✓ IIS（Impulse Input System）
- ✓ FWD測定例
- ✓ IIS測定例

舗装用重錘落下たわみ測定機
FWD (Falling Weight Deflectometer)

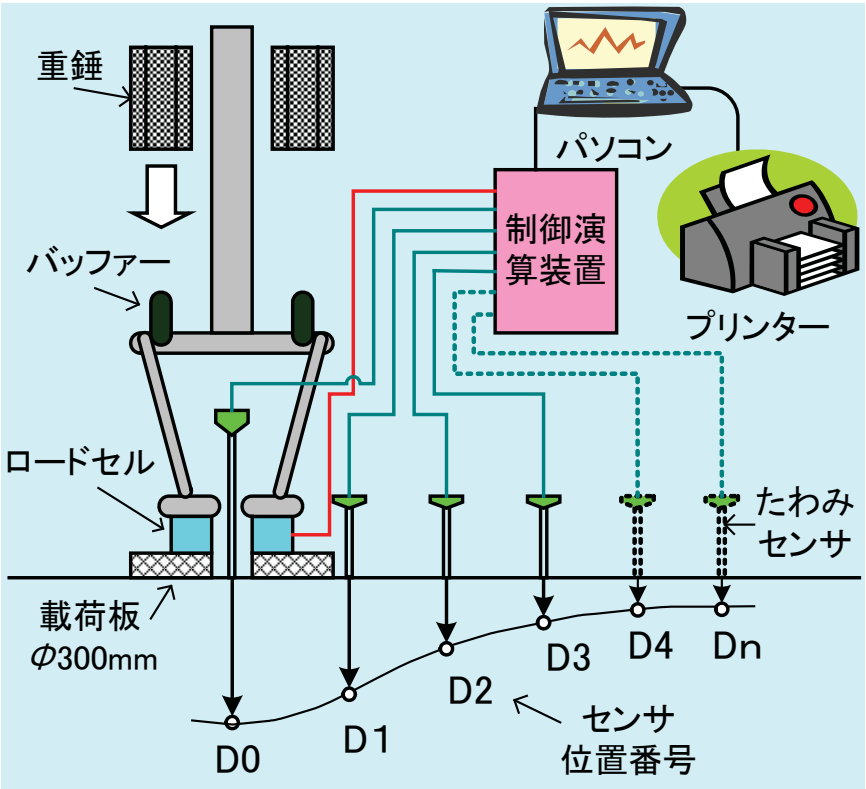
車載式FWD

牽引式FWD

表-1　FWDの仕様

FWDタイプ	質量 (kg)	計測方式	最大測定たわみ量	荷重 (kN)
フェニックス	2,700	ジオフォン	5mm	49, 78.4, 98
コマツKM150	740	リニアゲージ	2mm	29.4, 49, 68.6

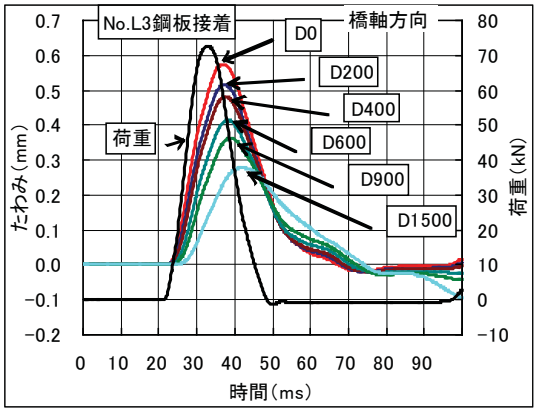
FWDの構成例

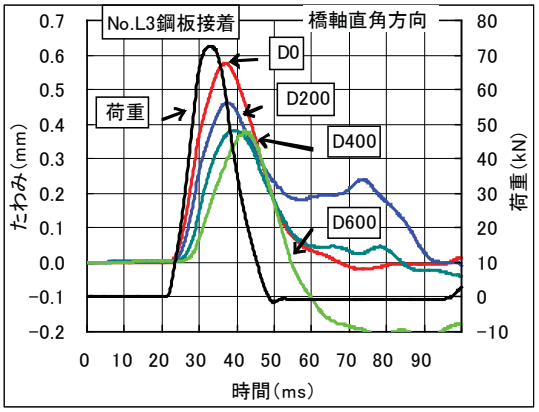


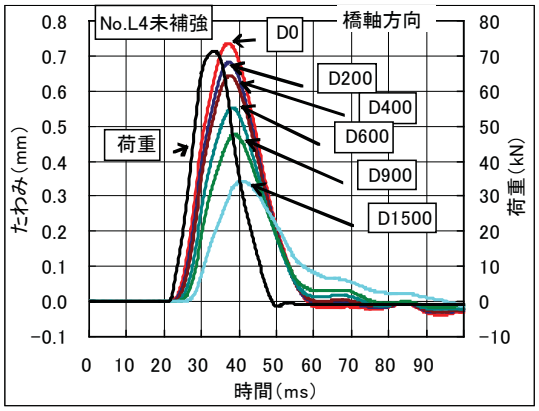
問題点:
主桁のたわみを補正する必要がある

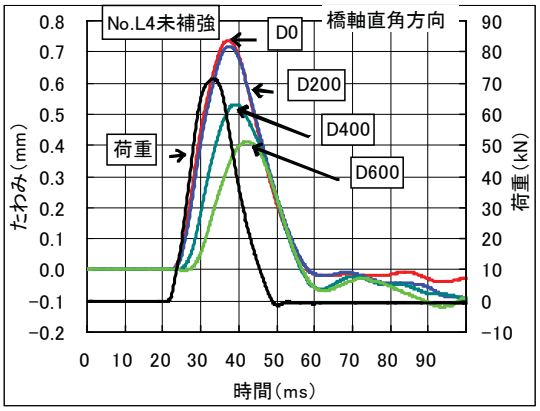
不動点明確

FWDたわみ応答曲線



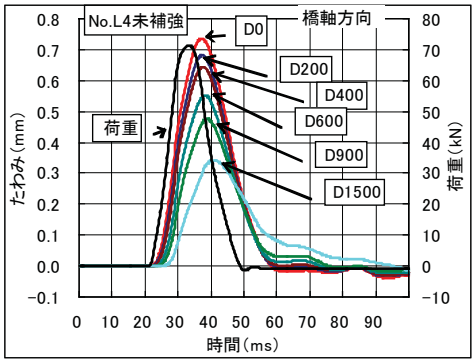


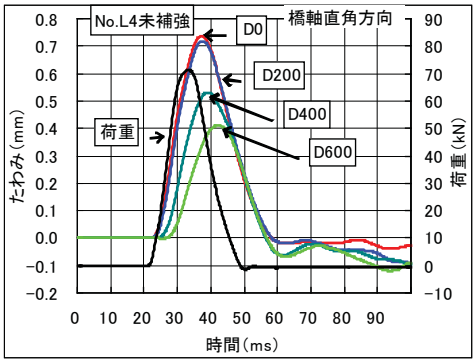


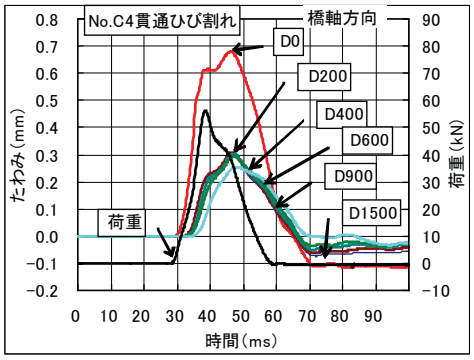


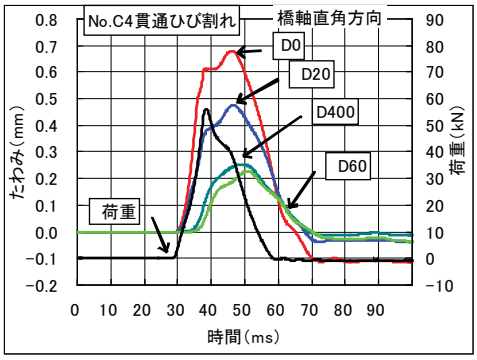
47

FWDたわみ応答曲線の比較



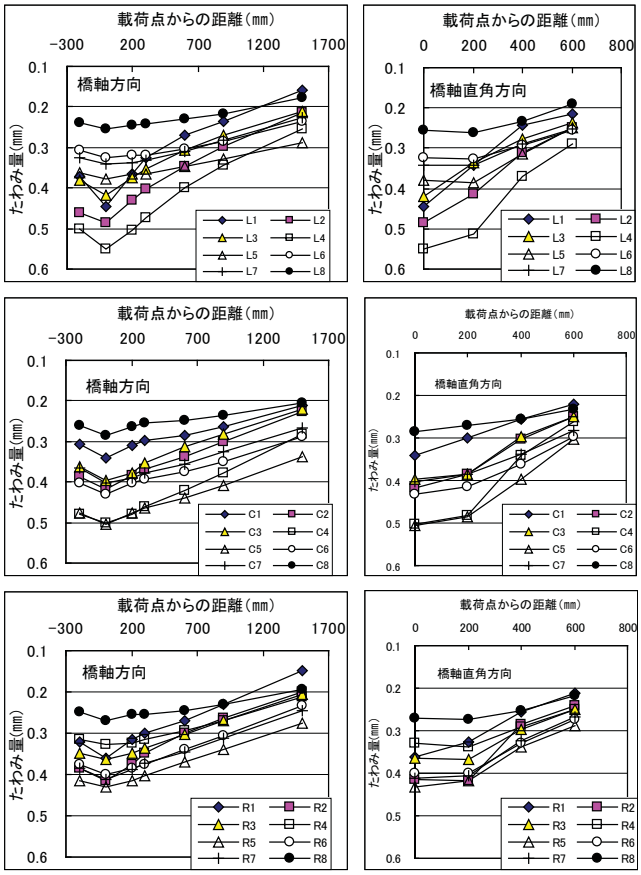




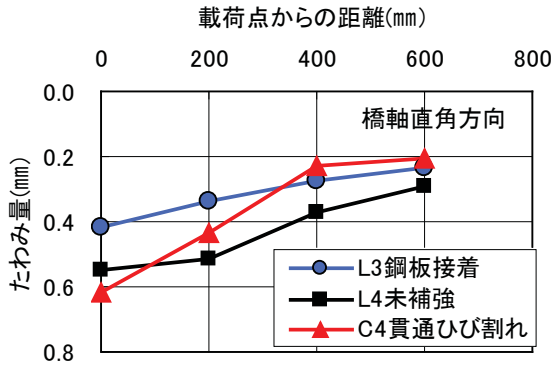


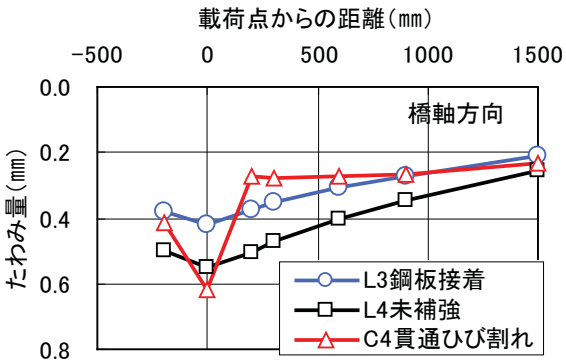
48

FWDによるたわみ曲線



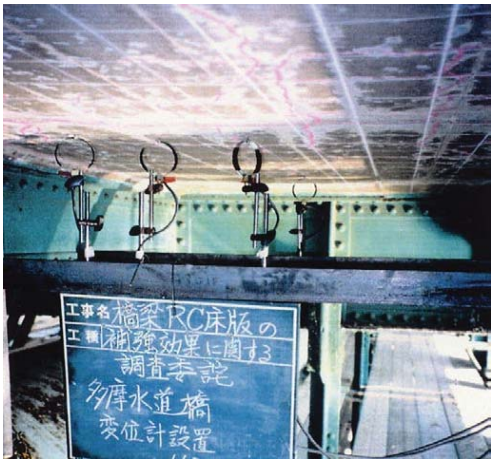
FWDたわみ形状の比較・特徴

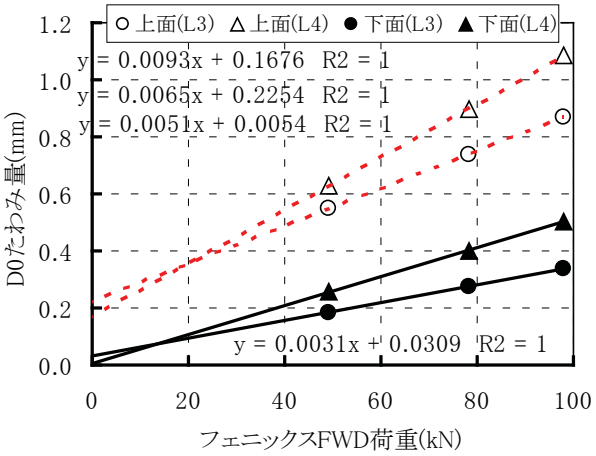


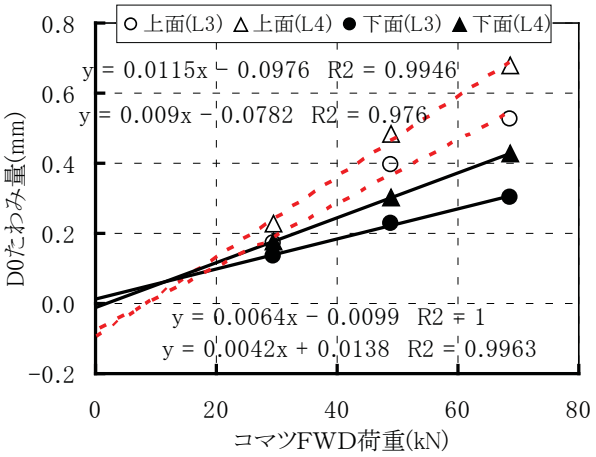


FWD上下たわみの関係

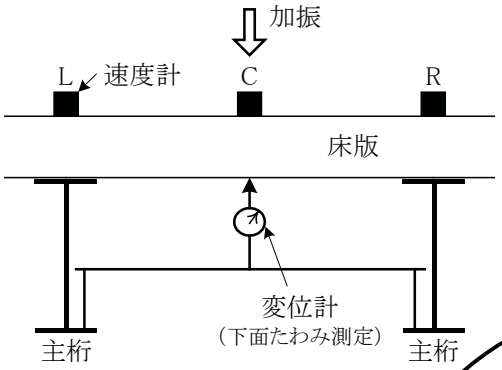
FWDたわみ（上面）と下面変位計の値は一致しない

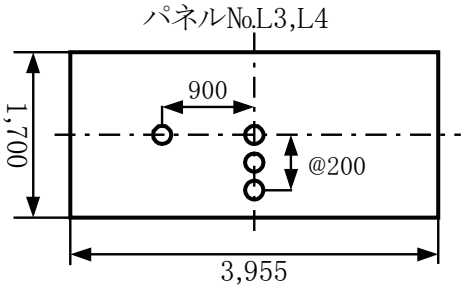


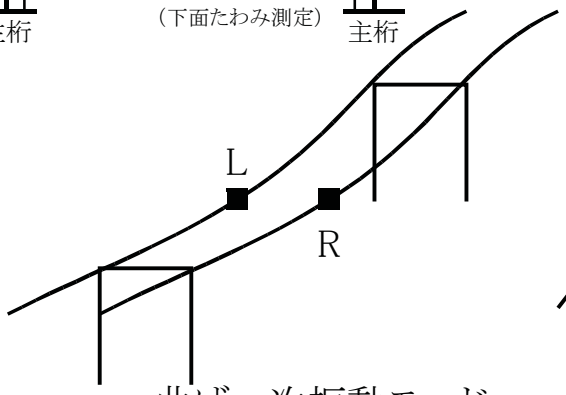




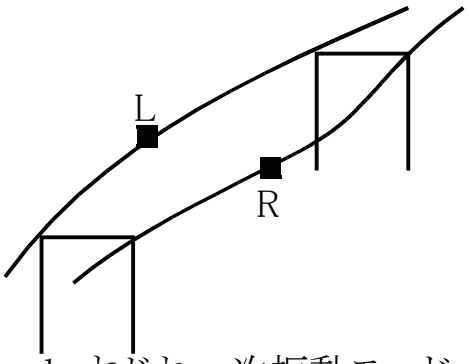
主桁の振動モードと測定位置





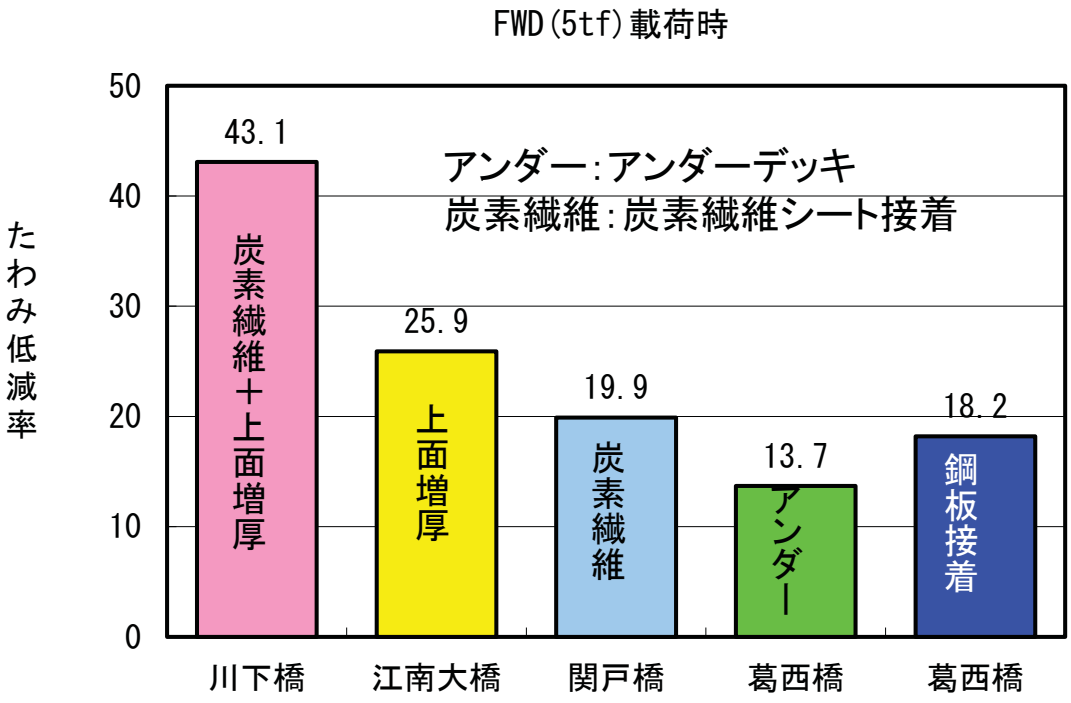


a：曲げ一次振動モード



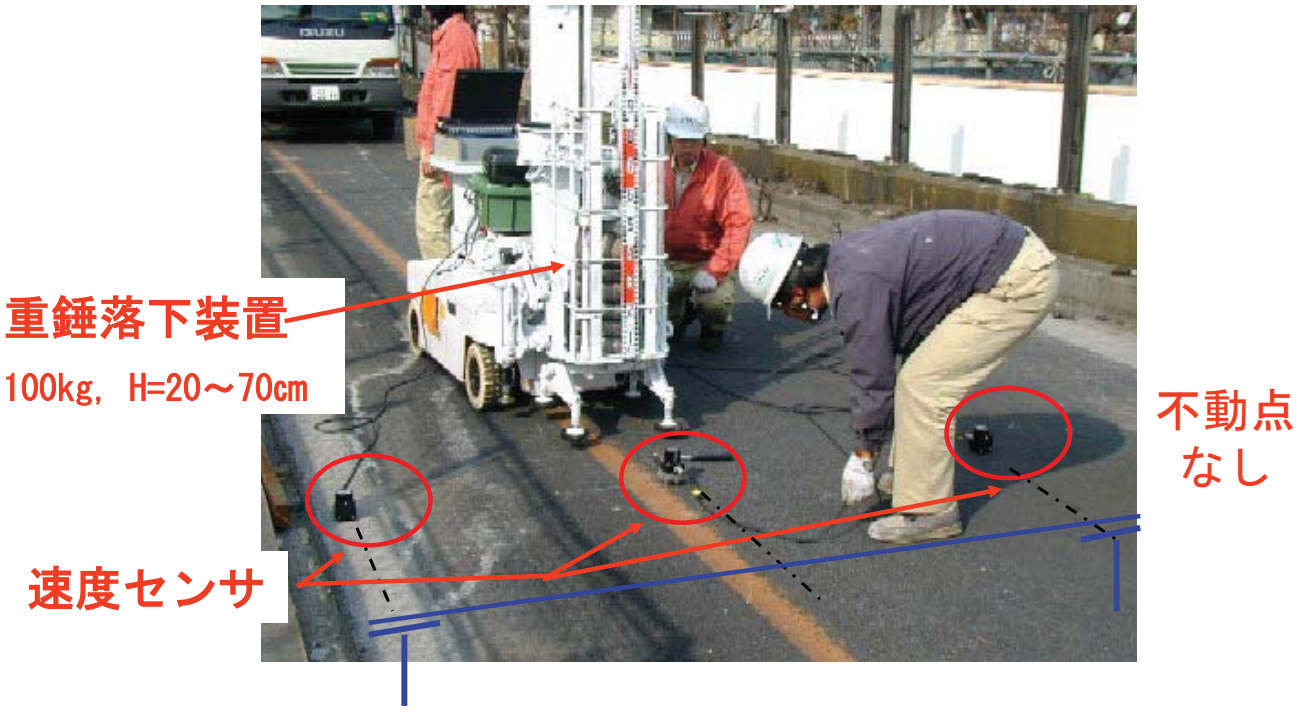
b：ねじれ一次振動モード

FWDによる補強効果測定



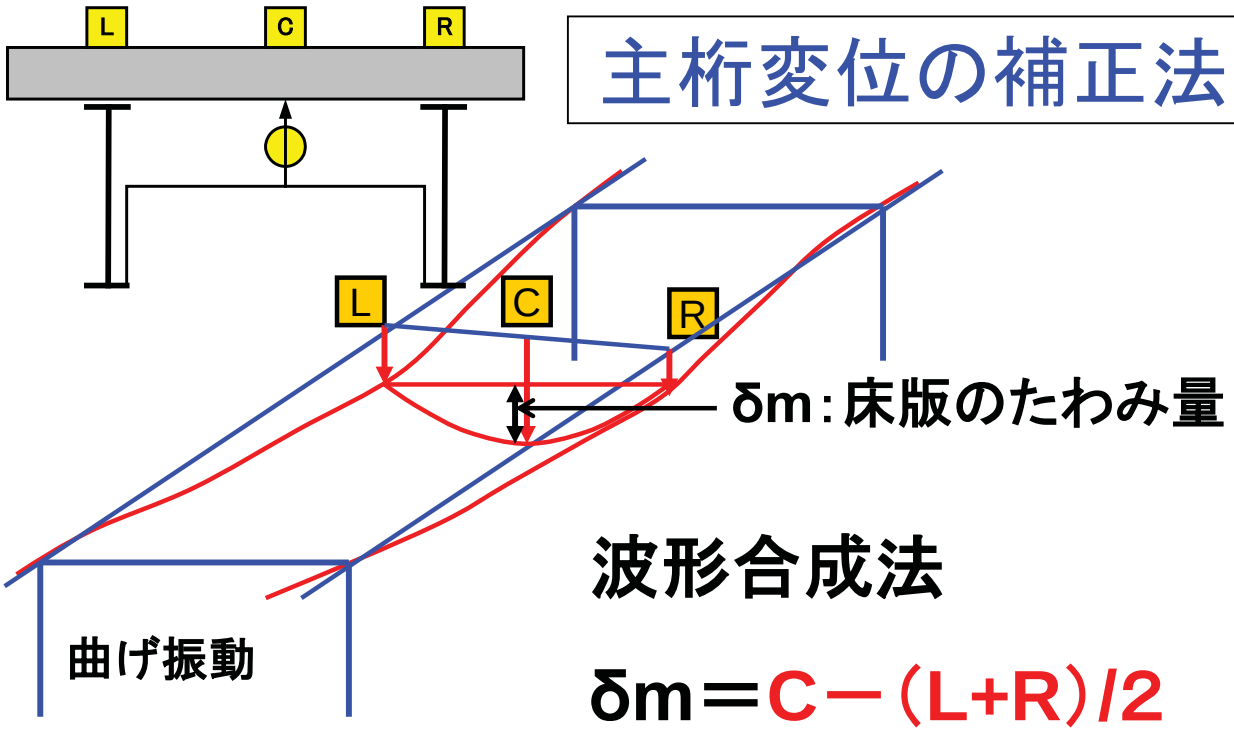
53

重錘落下たわみ測定機
(IIS:Impulse Input System)



54

主桁変位の補正法



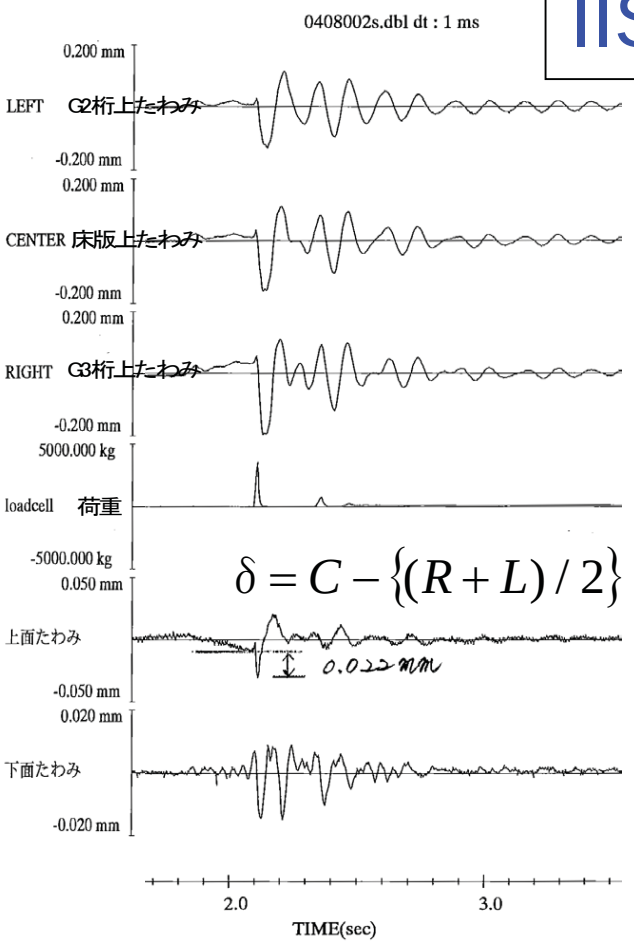
波形合成法

δm＝C－(L+R)/2

車線規制で橋が振動していても計測可能

55

IISセンサと記録波形

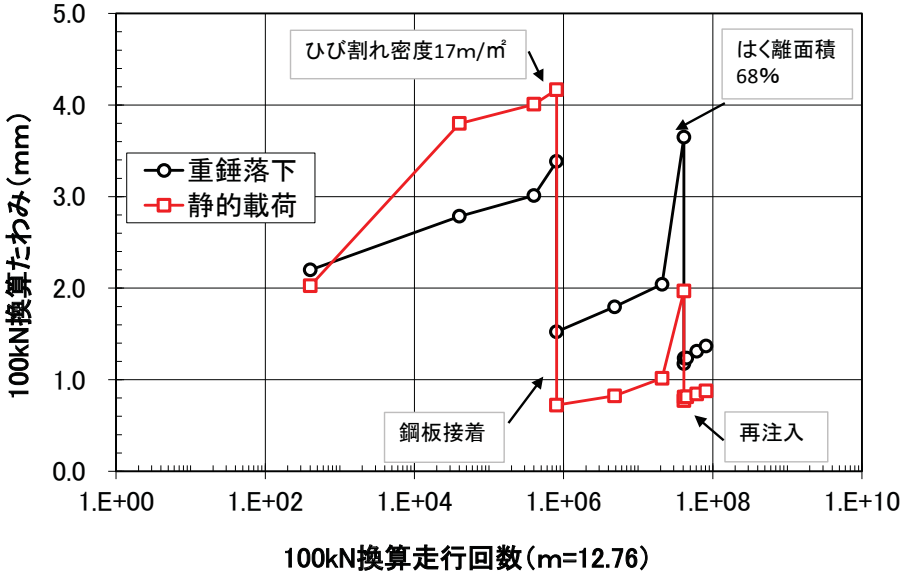


$$\delta = C - \{(R+L)/2\}$$

項　　目	仕　　様
形　　式	サーボ型速度計 アナログ積分による変位出力
測定周波数範囲	3～70Hz
最大測定範囲	±100Kine；±10mm
感　　度	0.1V/Kine；1V/mm
分　解　能	120μKine
直　線　性	0.05%以下
許容最大加速度	30G
A D 変 換 部	最大サンプリング周波数1KHz 16ビット処理
演　算　部	波形合成，周波数分析，減衰定数

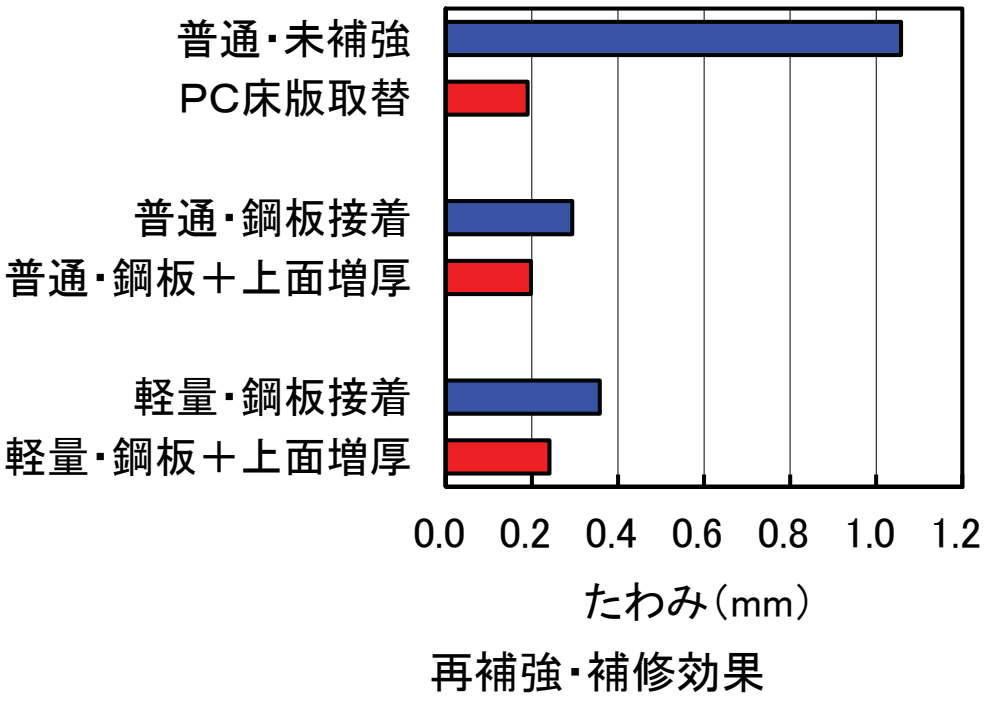
56

RC単純支持版の重錘落下たわみ



RC単純支持版の測定では、コロと床版の接触面を均一にすることが困難であり、測定値が変動しやすい。・・・桁付き床版は支持条件が変化しにくいため安定した測定ができる。

高井戸陸橋RC床版IISの評価



再補強・補修効果

丸山陸橋の劣化状況

中空床版（主桁）下面ひび割れ状況

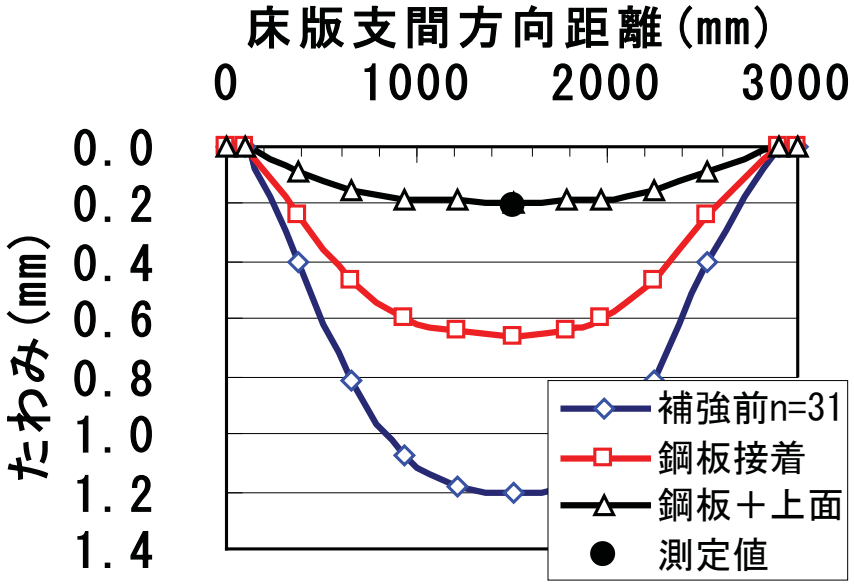
中間床版の鋼板接着補強（H10)状況
上面RC増厚

環状7号線，昭和39年竣工

形式：RC中空床版橋（2＋3＋4径間），橋長：127．51m

59

丸山陸橋　補強効果の評価



たわみの逓減効果は，鋼板接着補強で1／2に，さらに上面増厚補強で1／3に，全体では1／6に逓減する効果がある．単純に寿命に換算すると80年（40年×6倍＝240年／3）

60

堀切橋RC床版

未補強床版裏面のひび割れ状況（ひび割れ密度3m/m²程度健全度ランクB）

縦桁増設＋鋼板接着補強

昭和30年竣工

形式：鋼Ｉ桁，鋼箱桁，ゲルバー式等29径間，橋長：870m

堀切橋のIISたわみ評価

調査径間	パネルNo.	補強形式	横桁間隔(mm)	測定値 たわみ(mm)	計算値たわみ(mm) RC床版 n=15 全断面有効	RC床版 n=21 引張り無視	補強断面 n=15 全断面有効	補強断面 n=21 引張り無視	鋼板付着なし n=15 全断面有効	鋼板付着なし n=21 引張り無視
13	①	縦桁	6450	0.572	0.552	0.799	0.365	0.530	–	–
	②	縦桁	5150	0.469	0.551	0.797	0.328	0.478	–	–
	③	縦桁	5700	0.453	0.553	0.800	0.342	0.497	–	–
	④	縦桁	5700	0.483	0.553	0.800	0.342	0.497	–	–
	⑤	縦桁+鋼板	5700	0.295	0.553	0.800	0.091	0.105	0.151	0.168
	⑥	縦桁+鋼板	5150	0.317	0.551	0.797	0.073	0.098	0.143	0.155
	⑦	縦桁	6450	0.535	0.552	0.799	0.365	0.530	–	–
19	①	縦桁	6450	0.539	0.552	0.799	0.365	0.530	–	–
	②	縦桁	5150	0.483	0.551	0.797	0.328	0.478	–	–
	③	縦桁	5700	0.508	0.553	0.800	0.342	0.497	–	–
	④	縦桁	5700	0.494	0.553	0.800	0.342	0.497	–	–
	⑤	縦桁	5700	0.511	0.553	0.800	0.342	0.497	–	–
	⑥	縦桁	5150	0.517	0.551	0.797	0.328	0.478	–	–
	⑦	縦桁	6450	0.474	0.552	0.799	0.365	0.530	–	–

注：(n=15)は全断面有効と等価な換算弾性係数、,(n=21)は引張りコンクリート断面無視と等価な換算弾性係数

縦桁増設補強床版の測定値は，引張り無視補強断面の計算たわみに一致しており縦桁の補強効果ありと評価．一方，径間13の⑤，⑥パネルは縦桁の上フランジ端で鋼板が切れているため両者の完全な補強効果が発揮されていない．

平山陸橋RC床版

ひび割れはほとんど無い

昭和60年竣工

形式：活荷重合成鋼Ｉ桁，橋長：230m

63

平山陸橋IISたわみ評価

調査径間	パネルNo.	床版形式	床版支間(mm)	横桁間隔(mm)	静的50kN換算たわみ(mm)			
					測定値	n=7 竣工時	n=12 全断面有効	n=16 引張り無視
P4-P5	①	グレーティング t=190	2650	5500	0.257	0.149	0.217	0.339
	②				0.206			

調査径間	パネルNo.	床版形式	床版支間(mm)	横桁間隔(mm)	静的50kN換算たわみ(mm)			
					測定値	n=8 竣工時	n=15 全断面有効	n=28 引張り無視
P5-P6	③	RC t=210	2400	5500	0.507	0.115	0.191	0.366
	④				0.398			
	⑤				0.348			
	⑥				0.281			

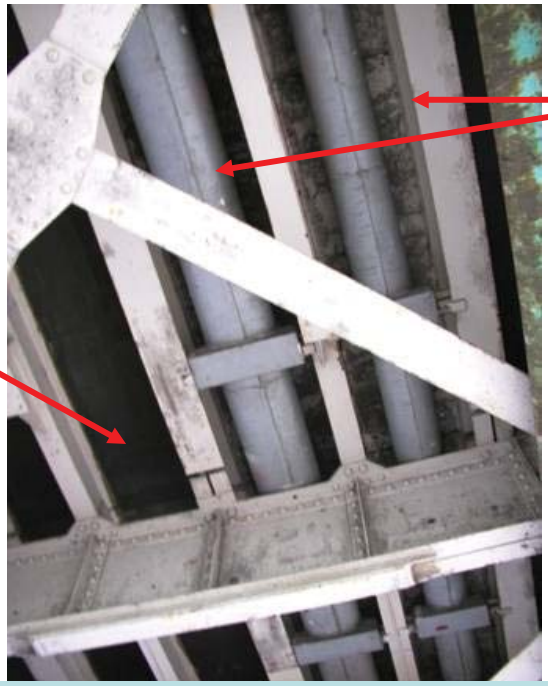
グレーティング床版のたわみは，全断面有効の計算たわみとほぼ一致しており健全，補強不要と評価判定できる．

RC床版のたわみは，パネル③は引張り無視より大きく損傷初期段階，他のパネルは引張り無視程度かやや小さく，損傷がないと評価，補強の必要性はないと判定できる．

64

日野橋

添架物なし（炭素繊維シート接着補強済み）



添架物輻輳部（炭素繊維シート接着補強施工困難部）

大正15年竣工，R20号線（甲州街道）

形式：単純鋼Ｉ桁橋（20径間），橋長：467m

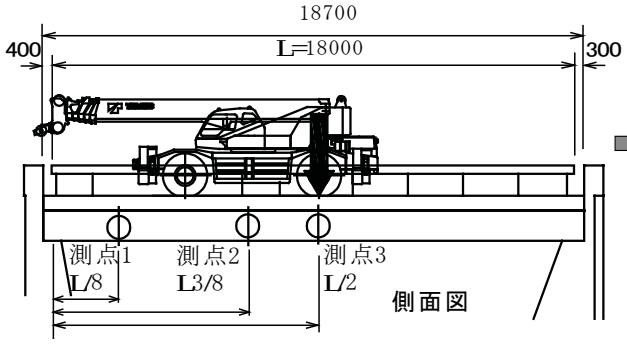
日野橋IISたわみの評価

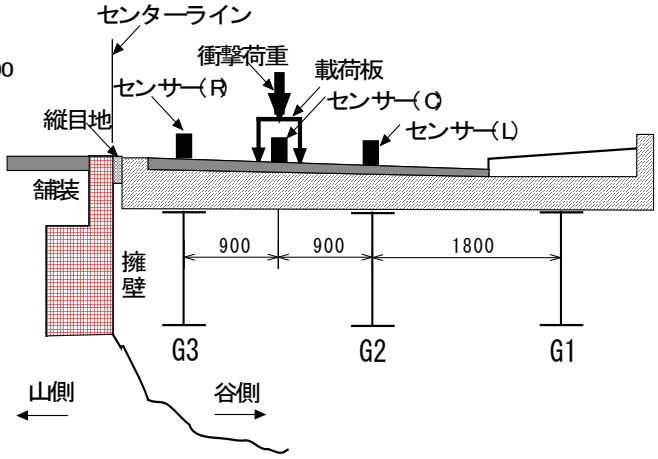
調査径間	添架物	載荷位置	センサー位置	床版支間(mm)	静的50kN換算たわみ(mm) 測定値	計算値 n=8 竣工時	計算値 n=15 全断面有効	計算値 n=31 引張り無視	測定値 添架物あり／なし
P11-P12	なし	P_1	2, 3, 4	710	0.075	0.025	0.035	0.071	0.893
		P_1	1, 3, 5	2130	0.226	—	—	—	0.929
	あり	P_2	6, 7, 8	710	0.067	0.025	0.035	0.071	—
		P_2	5, 7, 9	2130	0.210	—	—	—	—

注：（n=8）は全断面有効（竣工時）
（n=15）は全断面有効と等価な換算弾性係数
（n=31）は引張りコンクリート断面無視と等価な換算弾性係数

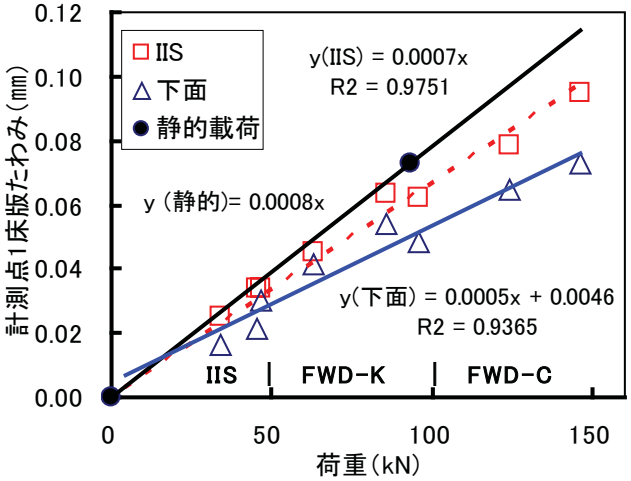
添架物が輻輳して炭素シート接着工が非常に困難な状況での施工の評価，添架物がある箇所のたわみは添架物がない箇所に比べ約7～10%小さい，同等の効果が発揮されていることを確認した．

鎧橋合成床版のたわみ測定試験

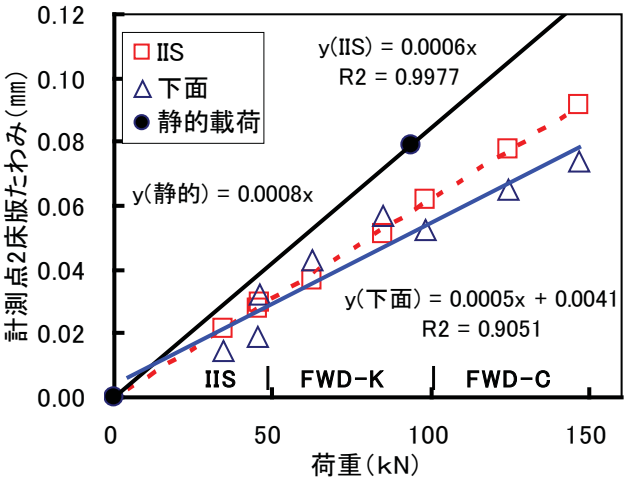




重錘落下たわみ測定結果
鎧橋(合成床版)

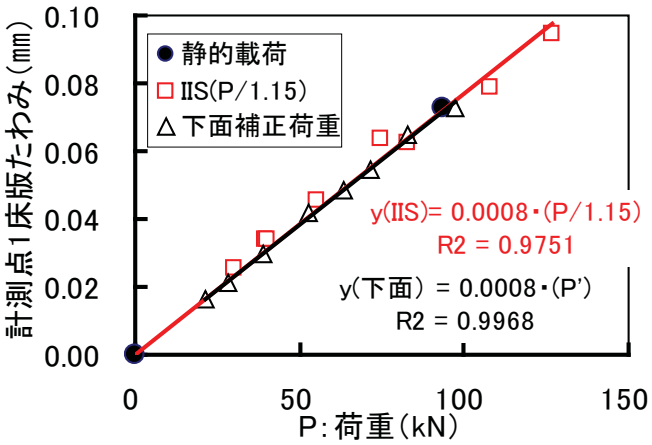


計測点1:(1/8) L

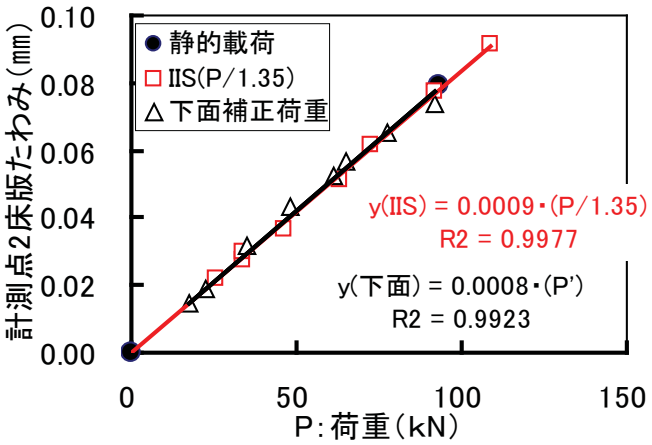


計測点2:(3/8) L

重錘落下たわみの補正
鎧橋（合成床版）



計測点1：（1/8）L



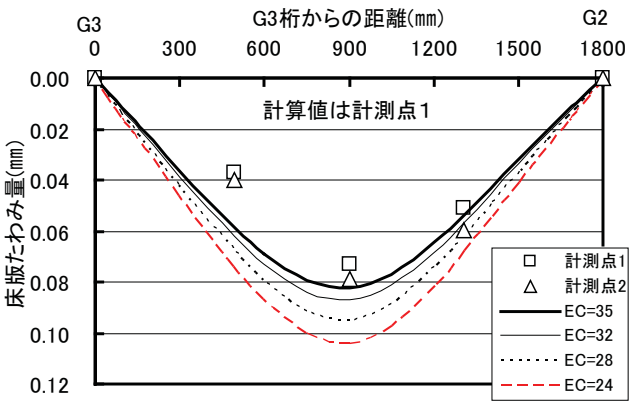
計測点2：（3/8）L

計測点1：（L/8）は支点近傍であり桁のたわみが小さく、桁のたわみによる誤差が少ない。計測点2：（3L/8）は、支間中央に近く、桁のたわみの影響が大きい。

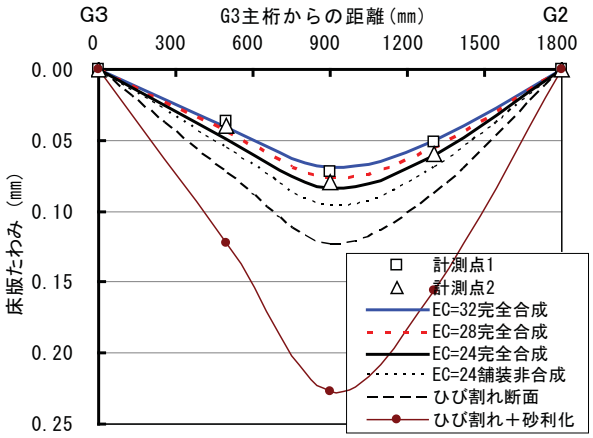
69

鎧橋合成床版たわみの比較

たわみ計測値とFEM解析値



たわみ計測値と多層板解析値

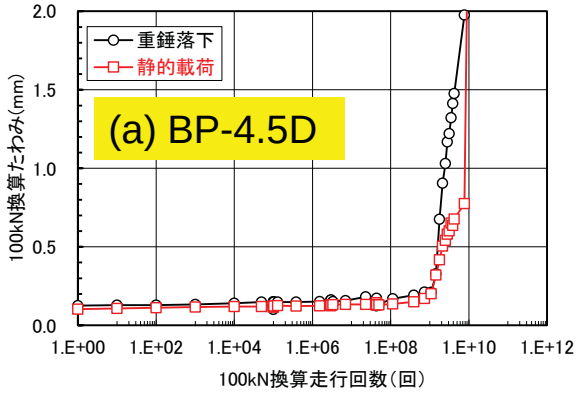


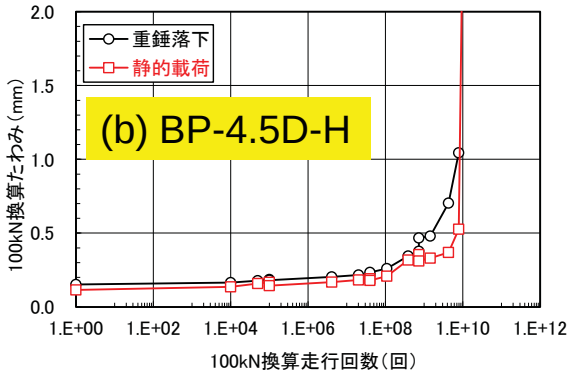
① たわみの計算法は，FEM,多層板解析いずれも評価できる

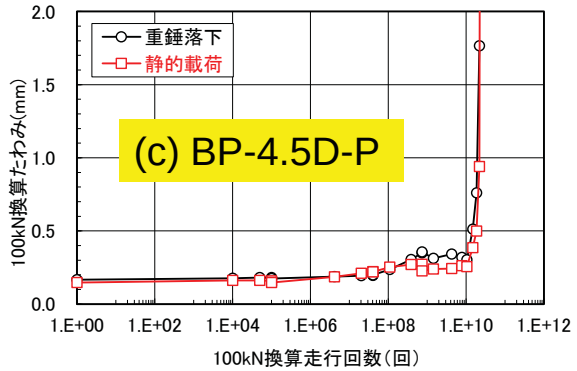
② 舗装の影響は無視できない．ひび割れ断面では70%増加，ひび割れ+砂利化では約3倍のたわみ量となる

70

バックルプレート(BP)床版 重錘落下たわみ



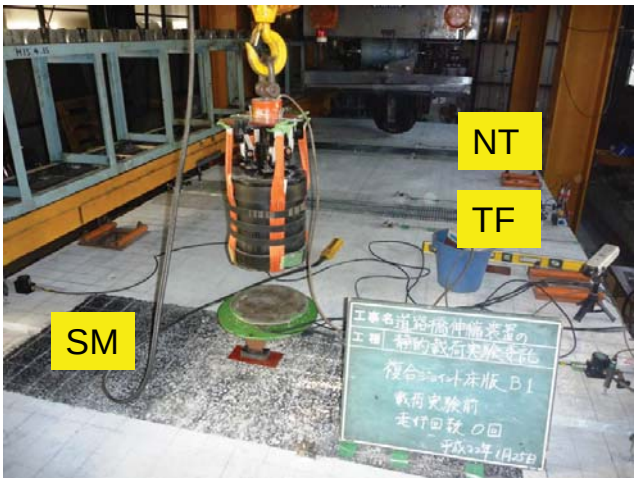


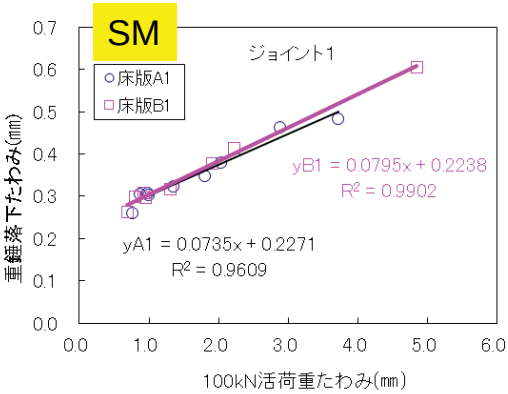


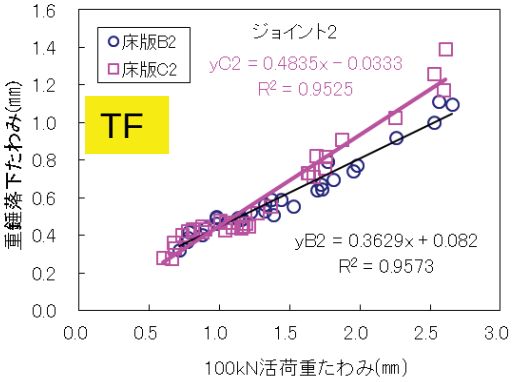
たわみ測定値は、桁付き試験体のため重錘落下と静的載荷でよく一致する

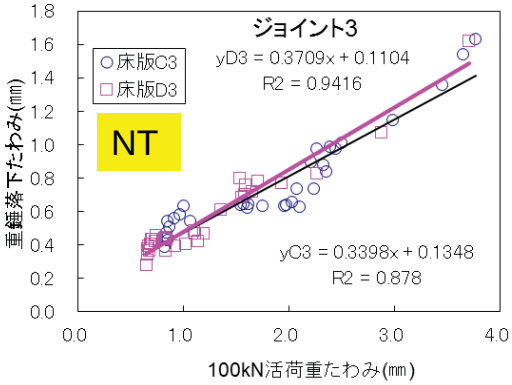
71

炭素繊維補強RC床版のジョイントIIS法









72

FWD試験における先鋭度の導入
～FWDによる道路橋の健全性評価の現状と課題～

岩手大学　理工学部
システム創成工学科　社会基盤・環境コース
（兼）地域防災研究センター
大西　弘志

Iwate Univ. RCRDM

Contents

1. 岩手大学地域防災研究センターでのFWD試験の活用研究の方針
2. 目視点検における問題点
3. 既往の道路橋床版研究における知見
4. 先鋭度の導入
5. 先鋭度の問題点

岩手大学地域防災研究センターでのFWD試験の活用研究の方針

Iwate Univ. RCRDM

「地域防災」とは？

「自然現象からみた防災」の観点での研究

地域ごとの具体的な防災計画を策定するためには「地域住民から見た防災」

地域の地形、産業構造、歴史・文化などを考慮し、

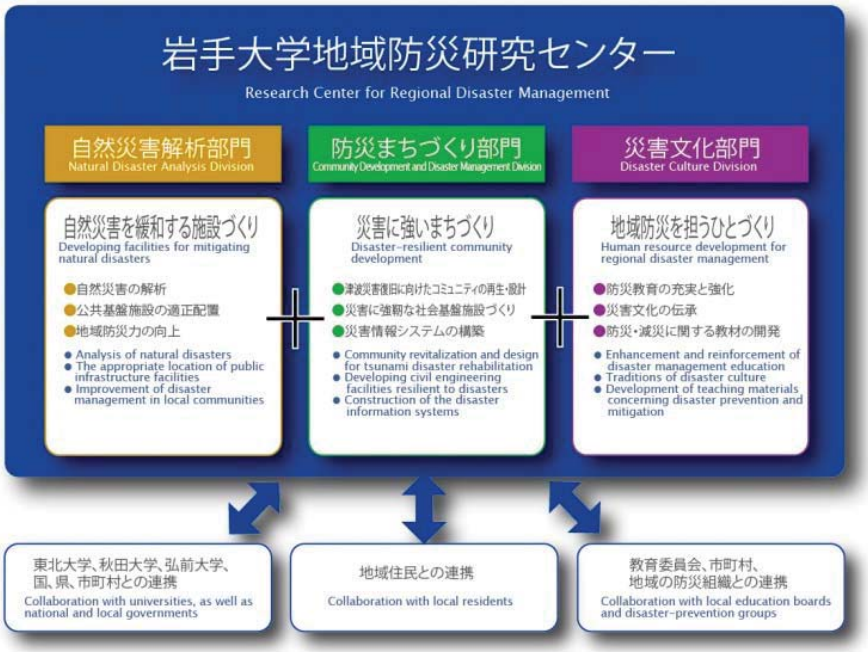
災害に強い(1)施設づくり、(2)まちづくり

地域固有の災害文化を醸成・実践・継承する

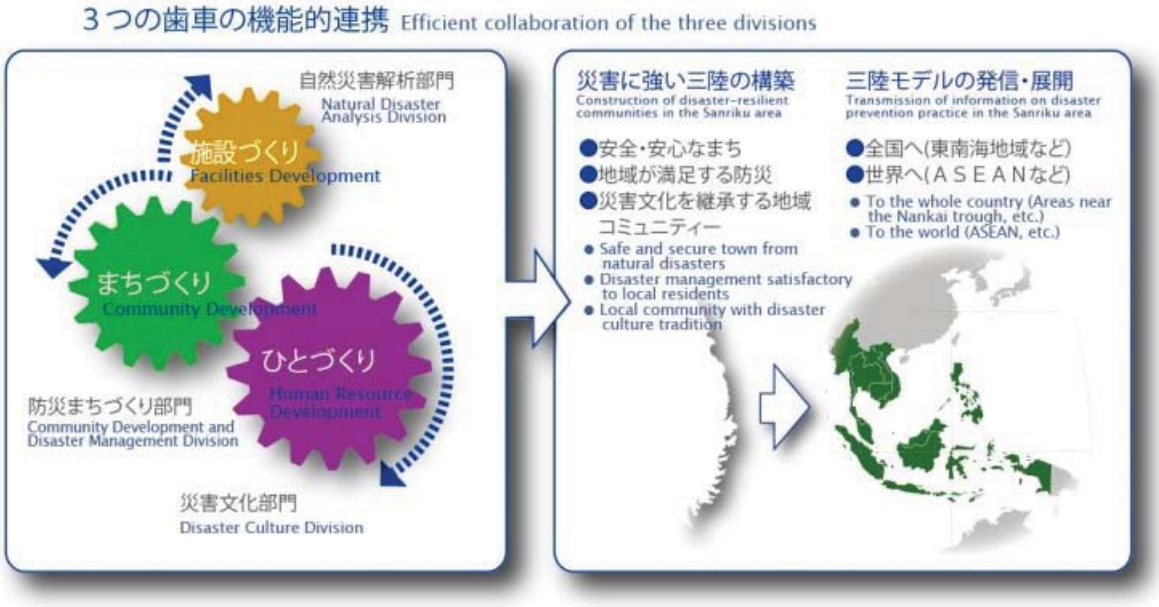
(3)ひとづくり

を機能的に連携させた防災システム

岩手大学
地域防災研究センター



岩手大学
地域防災研究センター



防災まちづくり部門

東日本大震災の教訓を踏まえた災害に強いまちづくりに関する研究、ならびに復興まちづくりに関する研究を、ソフト・ハードの両面から進める.

(1) 地域計画分野

市町村・地域コミュニティにおける防災体制

(2) 社会基盤分野

施設・構造物の構造・配置上の問題点を解明

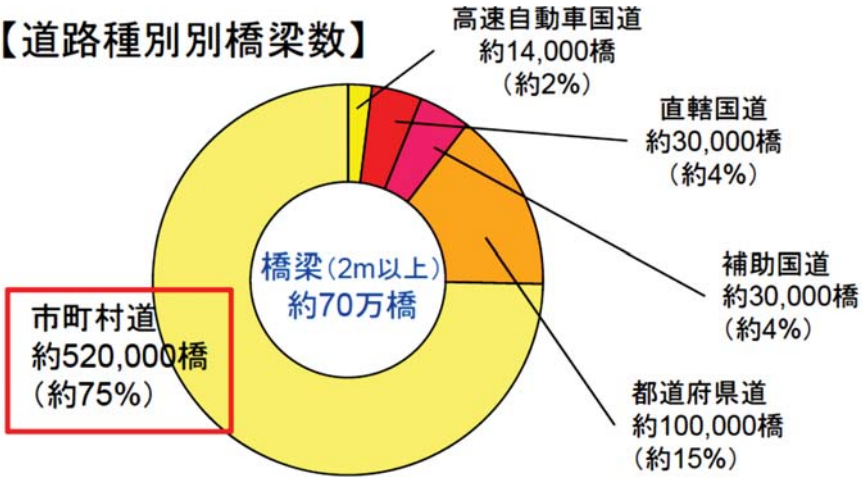
(3) 災害情報分野

災害時に真に有効な災害情報システムの構築

FWDを用いた 簡易橋梁点検システムの構築

国内における道路橋の数量　約70万橋

市町村道の橋梁数　約52万橋（全体の75%）



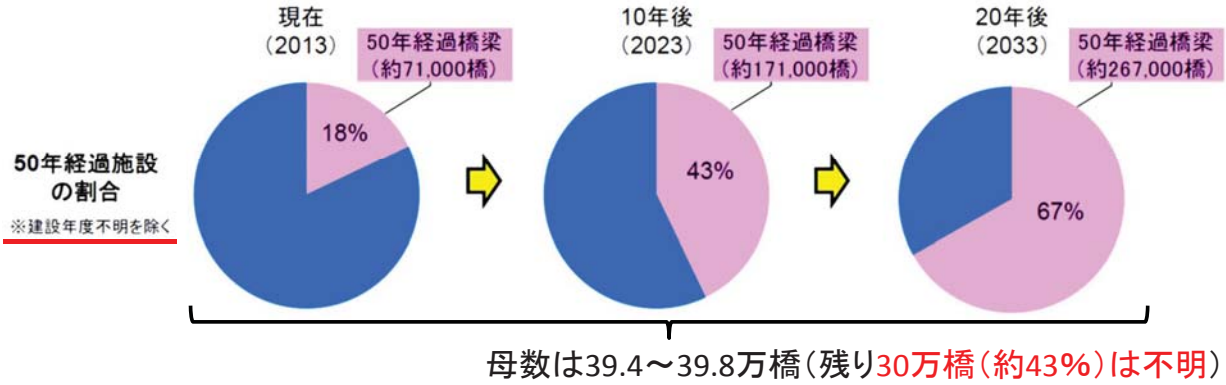
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf
http://www.mlit.go.jp/common/001035982.pdf

FWDを用いた
簡易橋梁点検システムの構築

国内における道路橋の数量（把握分） 約70万橋

橋長15m以上の道路橋 158,897橋（CAESAR）

⇒ 541,103橋（77.3%）は15m未満



母数は39.4～39.8万橋（残り30万橋（約43%）は不明）

http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf
https://www.pwri.go.jp/caesar/overview/02-01.html

FWDを用いた
簡易橋梁点検システムの構築

市町村管理 75%
都道府県管理 15%
} 合計 90% ⇦地方で見る分

⇩

少なくとも70万橋のうち63万橋は地方自治体で管理する。

履歴がわかっていそう：35.7万橋（地方の56.6%）

2033年で老朽化：23.9万橋（地方の38%）

履歴がわからないかも：27.3万橋（地方の43.4%）

2033年で老朽化疑い：18.3万橋（地方の26%）

老朽化or疑い 合計 42.2万橋 （＞26.7万橋）

FWDを用いた
簡易橋梁点検システムの構築

地方管理橋梁で老朽化or疑い　合計　42.2万橋

内、15m未満の橋梁は32.6万橋

5年（1826日）間に1回は詳しく調査しよう！

- 全体（70万橋）に対して：384橋／日
- 地方（63万橋）では：345橋／日
  - ✓危なそうな小規模橋梁は：179橋／日

丁寧に仕事をする数量か？

Iwate Univ. RCRDM

FWDを用いた
簡易橋梁点検システムの構築

多大な数量を抱えて点検する

- 技術者の質と量を確保できるのか？
  - ✓ 技術者によるばらつきをどう処理するのか
  - ✓ 点検作業のスピードアップによる効率化は
- 近接目視は万能か？

必要とされるコストが他の事業を圧迫する

- 既存の資産のために何もできなくなる？

簡易な機器計測手法で定量的＋効率的＋経済的

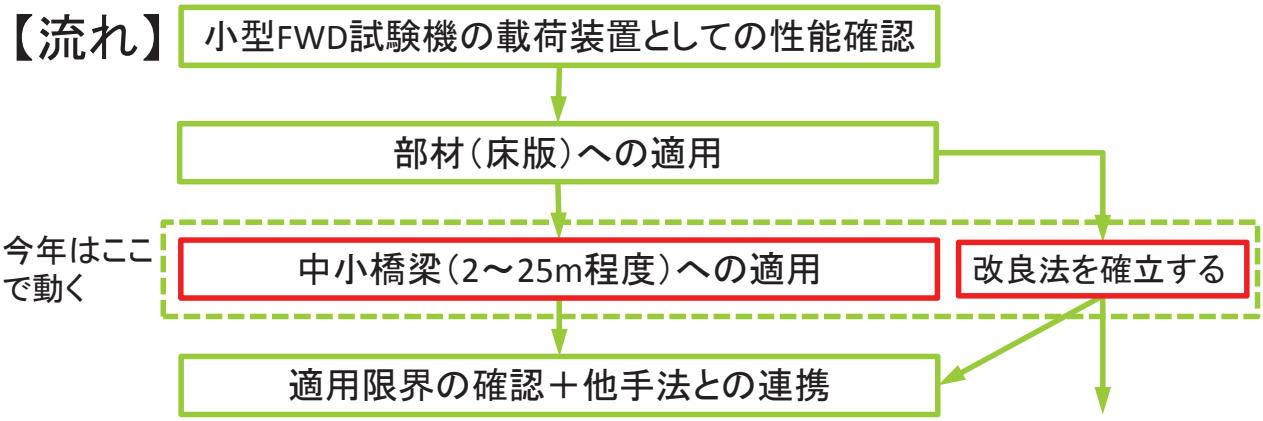
な橋梁点検システムを構築する

FWDを用いた簡易橋梁点検システムの構築

【研究プラン】

【目的】 小型FWD試験機を活用し，可搬性に富む簡易橋梁点検システムを構築する.

【流れ】



目視点検における問題点

http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf

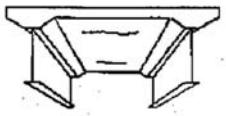
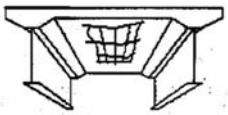
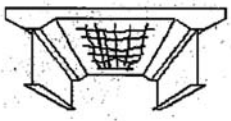
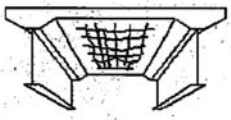
点検で使う道具

https://www.kk.jcca.or.jp/upload/oteire/02/file01.pdf

点検で見つけるものは？

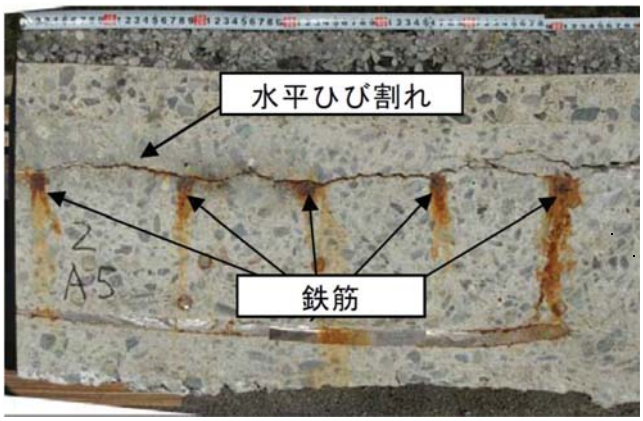
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf
https://www.road.or.jp/conference/data/29kaigi/inspection/i05.pdf

1）損傷程度の評価区分

区分	ひびわれ幅 に着目した程度	ひびわれ間隔 に着目した程度
a	〔ひびわれ間隔と性状〕 ひびわれは主として1方向のみで，最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上。 〔ひびわれ幅〕 最大ひびわれ幅が0.05mm以下。（ヘアークラック程度）	
b	〔ひびわれ間隔と性状〕 1.0m～0.5m，1方向が主で直行方向は従，かつ格子状でない。 〔ひびわれ幅〕 0.1mm以下が主であるが，一部に0.1mm以上も存在する。	
c	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.5m程度，格子状直前のもの。 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以下が主であるが，一部に0.2mm以上も存在する。	
d	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.5m～0.2m，格子状に発生。 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以上がかなり目立ち部分的な角落ちもみられる。	
e	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.2m以下，格子状に発生。 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以上が目立ち連続的な角落ちが生じている。	

https://www.road.or.jp/conference/data/29kaigi/inspection/i05.pdf

最近問題になっている損傷



床版内部に発生する水平ひび割れ：床版の曲げ剛性を1/3以上下げる

発生原因はまちまち

表面に兆候を示さないまま進行する ⇨ 目視点検では発見できない

http://www.mlit.go.jp/road/tech/jigo/h19/pdf/report19-3.pdf
https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/series/detail.php?id=9&page=3

目視点検の問題点

目で見る
テストハンマーで叩く
カメラで記録する
} 表面的なものしか確認できない

内部で進行している現象は確認できない

破壊する？ ⇨ 使い続けることを考えると×
透視する？ ⇨ そのうちできるかも？今は×
反応をみる？ ⇨ 現実的にはこれ ⇦FWD

Iwate Univ. RCRDM

既往の道路橋床版研究における知見

輪荷重走行試験

S40年代～　RC床版のひびわれ損傷メカニズムの研究

⇩

輪荷重走行試験機を用いた研究
による損傷メカニズムの解明

→ ○実際の**輪荷重の移動**を荷重の往復運動により再現

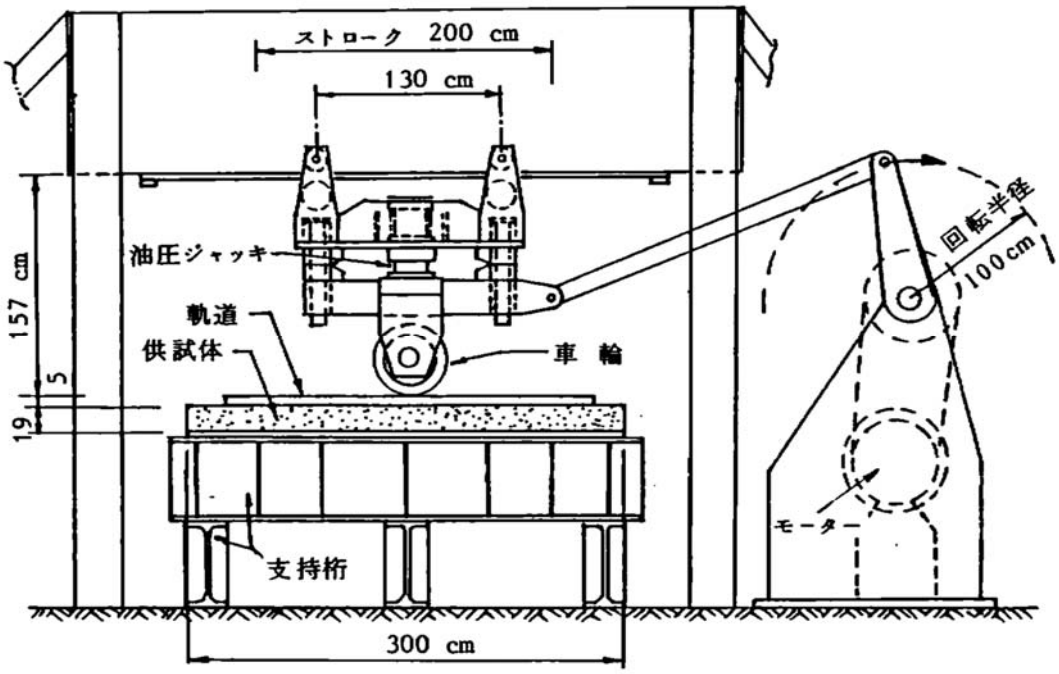
→ ○輪荷重の載荷手法により分類
①鉄輪＋載荷ブロックを用いて載荷
→**鉄輪式輪荷重走行試験機**
②ゴムタイヤにより載荷
→**ゴムタイヤ式輪荷重走行試験機**

輪荷重走行試験機

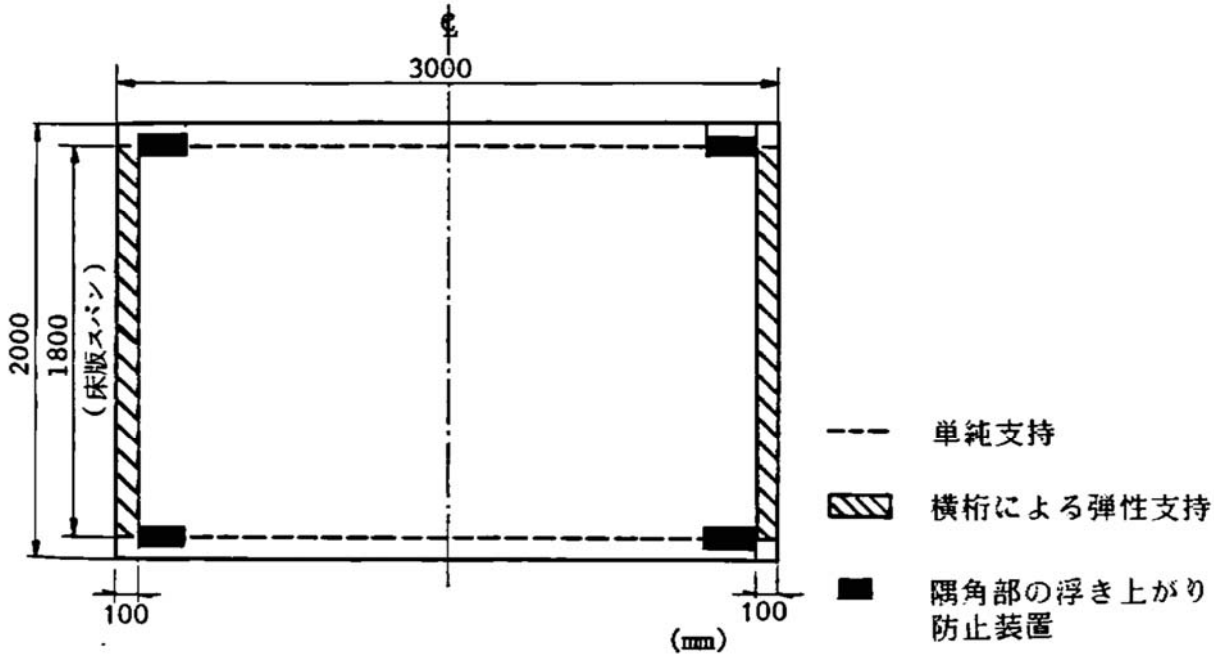
鉄輪式輪荷重走行試験機
① 比較的**大きな輪荷重**を載荷できる。
② 載荷**速度（＝走行速度）が大きい**
③ 載荷ブロックを介して荷重を載荷する。
（→荷重分布は載荷ブロックの形式に左右される）

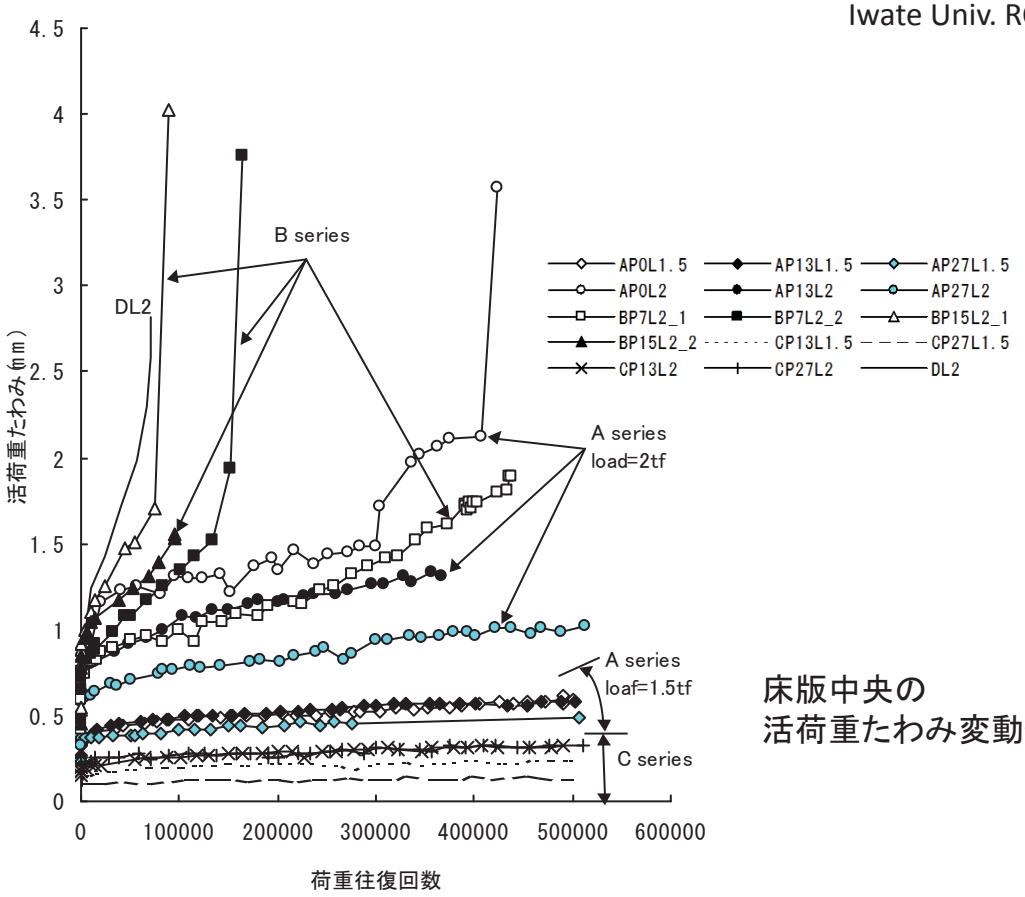
ゴムタイヤ式輪荷重走行試験機
① 200kN程度までの輪荷重を載荷できる。
② 載荷速度（＝走行速度）が鉄輪式より小さい
③ ゴムタイヤを介して荷重を載荷する。
（→**荷重分布は実際の輪荷重**と同様）

輪荷重走行試験機



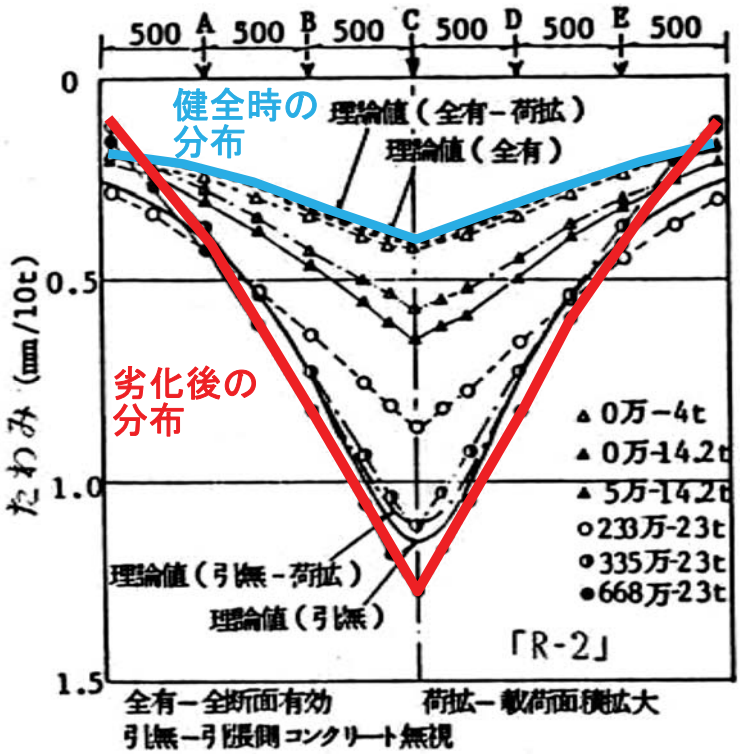
輪荷重走行試験の支持条件





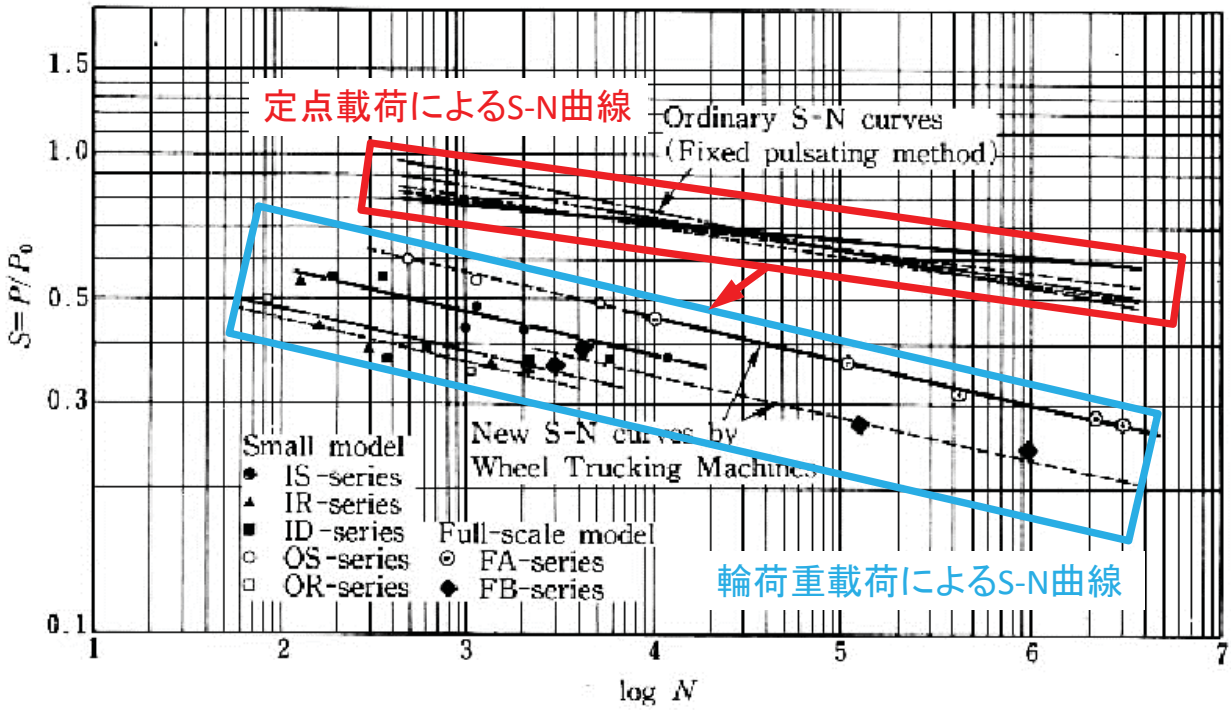
床版中央の
活荷重たわみ変動例

床版の橋軸方向たわみ分布の変化

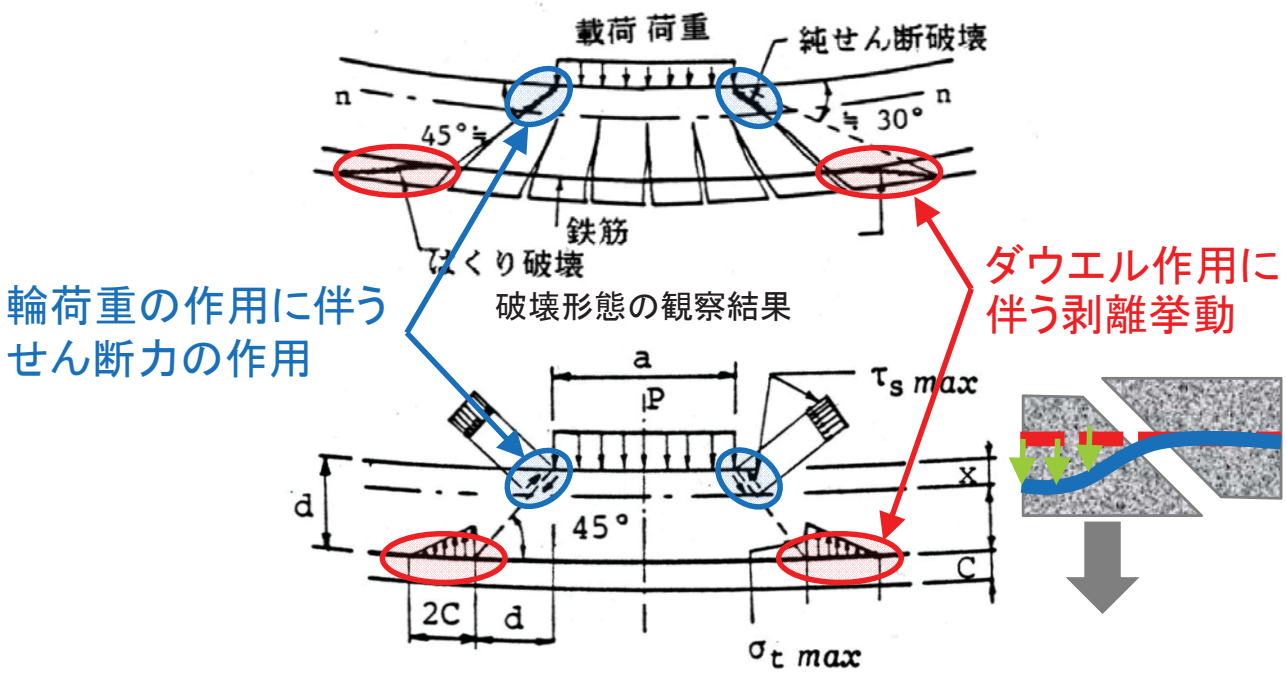


松井繁之　道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究　S59.11

道路橋RC床版のS－N曲線



道路橋RC床版の破壊モデル



破壊形態のモデル化

RC床版の押しぬきせん断耐力計算式

せん断力に対する抵抗

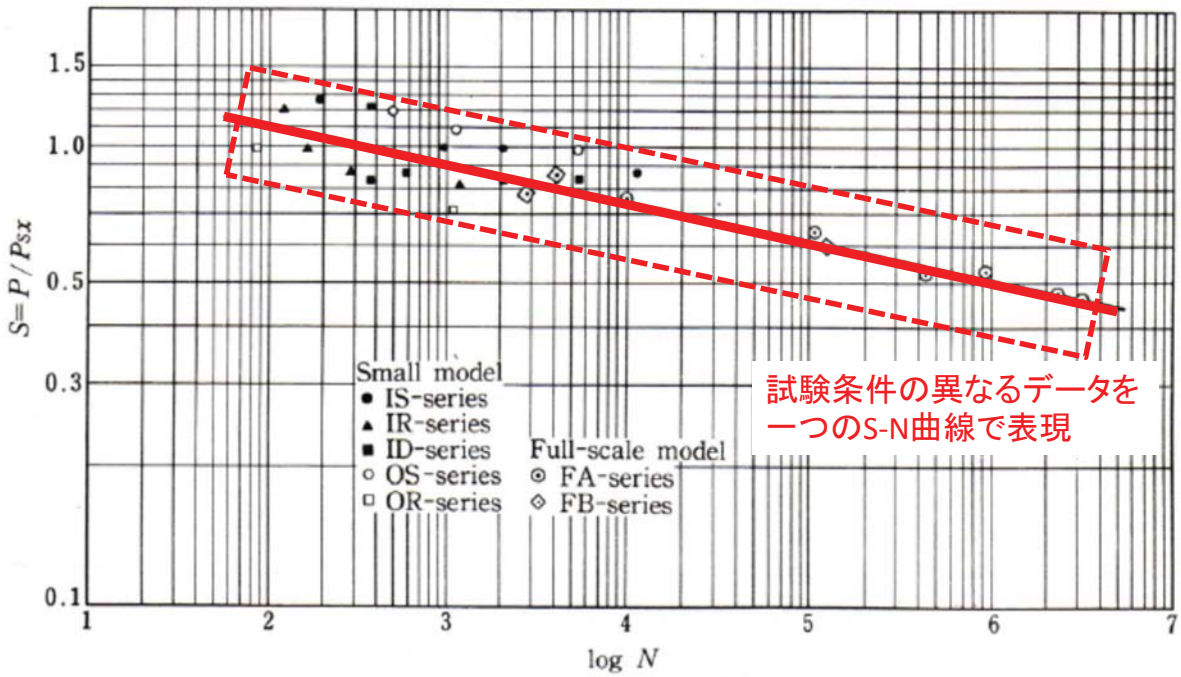
$$V_{pcd} = f_v\{2(a+2x_m)x_d + 2(b+2x_d)x_m\} + f_t\{2(a+2d_m)C_d + 2(b+2d_d+4C_d)C_m\}$$

ダウエル作用に対する抵抗

ここに，

- f'_c ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)
- f_v ：コンクリートのせん断強度 (N/mm^2)
- f_t ：コンクリートの引張強度 (N/mm^2)
- a, b ：載荷板の主鉄筋方向，配力鉄筋方向の辺長
- x_m, x_d ：主鉄筋および配力鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸距離
- d_m, d_d ：引張側主鉄筋，引張側配力鉄筋の有効高さ
- C_m, C_d ：引張側主鉄筋，引張側配力鉄筋中心からのかぶり厚さ

道路橋RC床版のS－N曲線



疲労試験結果の整理（S-N関係）

$$\log\left(\frac{P}{P_{sx}}\right) = -0.07835\log N + \log 1.52$$

ただし，P：輪荷重，N：床版破壊時荷重走行回数

P_{sx}：引張側コンクリート無視の有効幅Bの主鉄筋断面のせん断破壊荷重

$$P_{sx} = 2B(\tau_{s\max} x_m + \sigma_{t\max} C_m)$$

破壊直前の
押し抜きせん断耐力

$$B = b + 2d_d$$

b：載荷版の橋軸方向辺長，

d_d：引張側配力筋の有効高さ

τ_{smax}：コンクリートの最大せん断強度，

σ_{tmax}：コンクリートの最大引張強度

x_m：引張側コンクリートを無視したときの主鉄筋断面の中立軸高さ

C_m：引張側主鉄筋の鉄筋中心からのかぶり深さ

床版の劣化程度の評価（既存の評価指標）

1）活荷重たわみにより与えられる劣化度

$$D_\delta = \frac{W - W_o}{W_c - W_o}$$

D_δ：活荷重たわみから求まる劣化度

W：活荷重たわみの実測値(mm)

Wo：全断面有効時の理論活荷重たわみ(mm)

Wc：引張側コンクリート無視時の理論活荷重たわみ(mm)

2）ひび割れ密度により与えられる劣化度

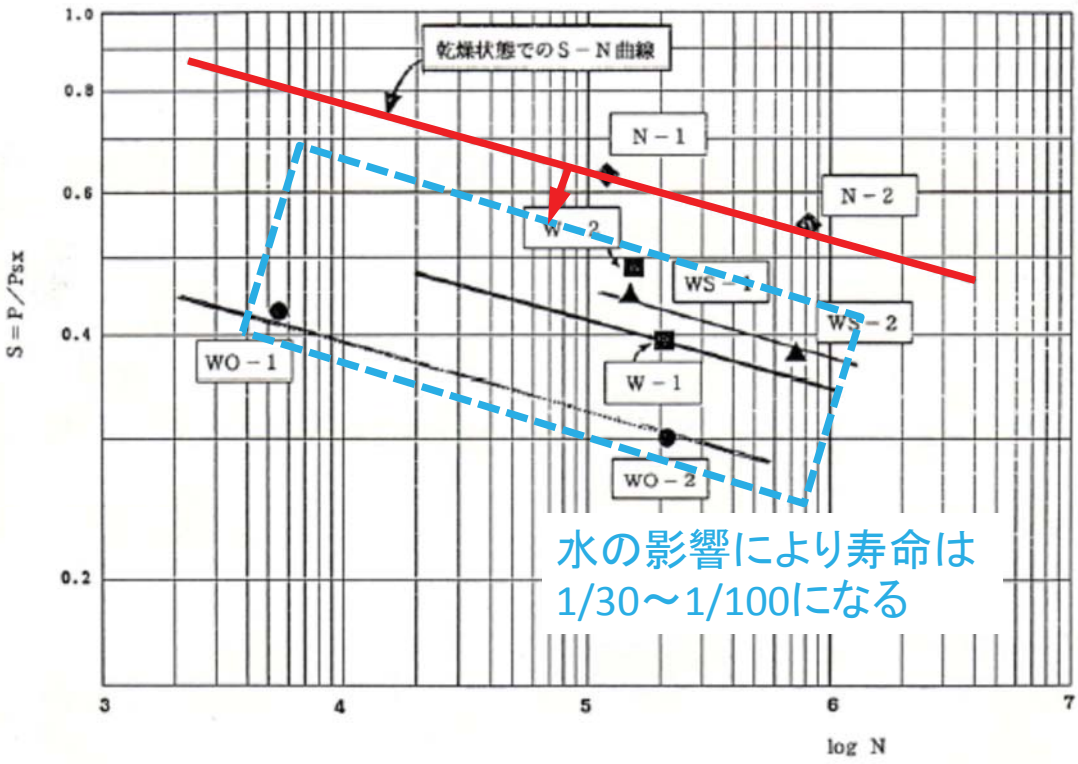
$$D_C = \frac{Cd}{10.0}$$

Dc：ひび割れ密度から求まる劣化度

Cd：ひび割れ密度（m/m²）

これらの指標が1．0になる　＝　床版が使用限界状態にある

道路橋床版の疲労耐久性評価



RC床版のS-N関係式

乾燥状態におけるS-N関係式

$$\log(V/V_{pcdx}) = -0.07835\log N + \boxed{\log 1.51965}$$

この差が寿命の差

湿潤状態におけるS-N関係式

$$\log(V/V_{pcdx}) = -0.07835\log N + \boxed{\log 1.23660}$$

先鋭度の導入

床版健全度評価の方向性

従来型の評価

①ひび割れを見る ⇨ ひび割れ密度の劣化度D_c

下面に補強でシート等を貼り付けると見えなくなる

②たわみを見る ⇨ たわみの劣化度D_δ

床版だけのたわみを測定するには手間がかかる

⇩

どのような状況でも得ることができ、

手間を省いた簡易指標はできないか？

床版健全度評価の方向性

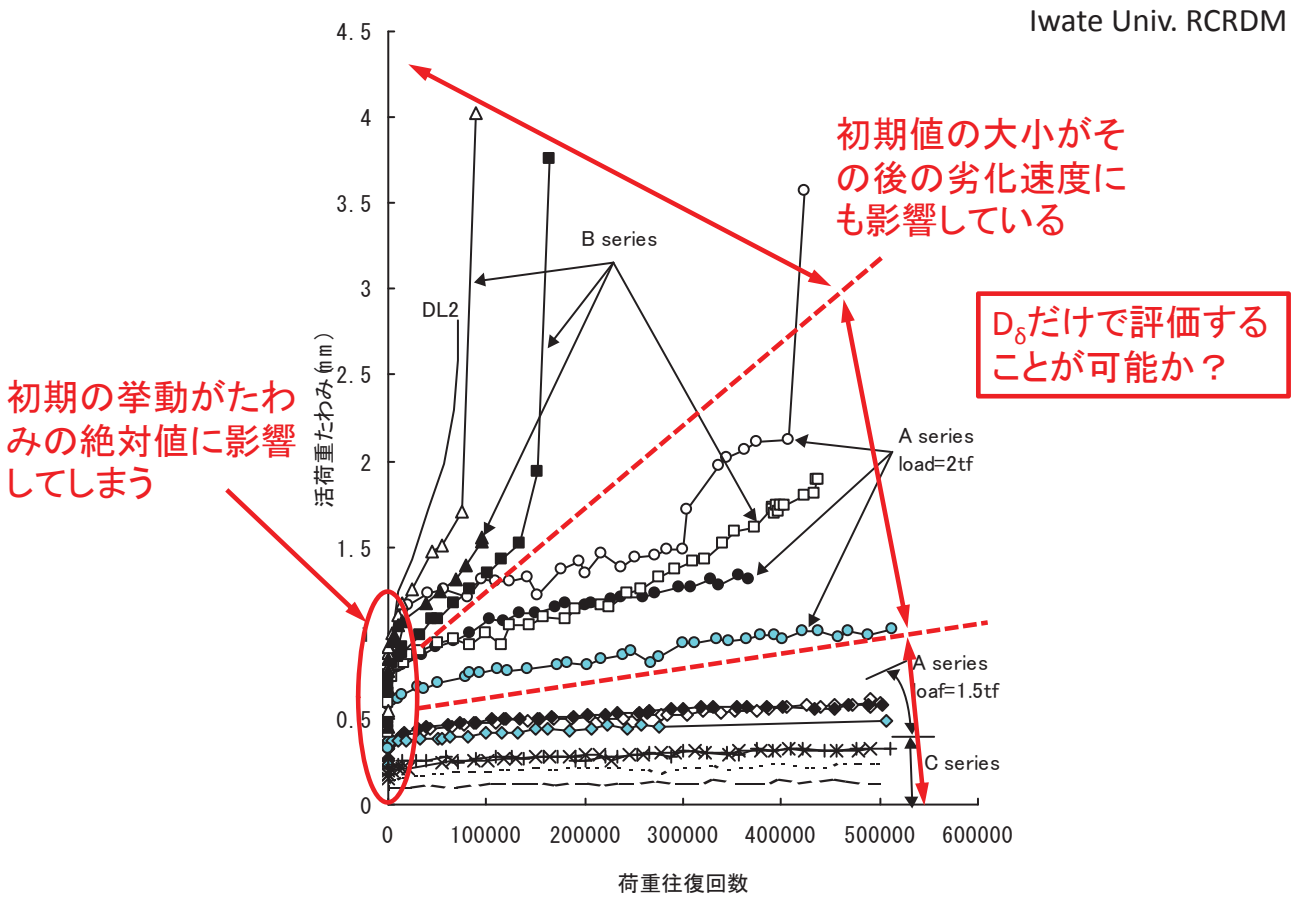
従来型の評価 ⇨ 下面からアプローチ

⇧

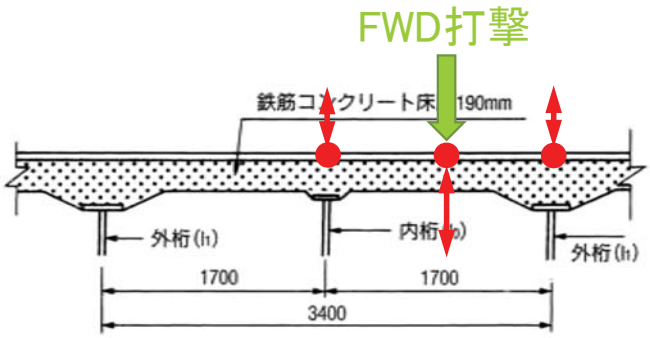
路面からのアプローチにする（作業が楽になる）

簡易に計測できるシステムに置き換えることを考えてみる

⇨ 小型FWDシステムの援用による
床版変位データの取得を目指そう！



たわみでの評価における問題点



- 打撃点における変位
- 外部センサー位置変位

⇨ システムで計測可能

（複数のデータから評価可）

- 支点部における回転拘束
- 打撃の影響範囲

⇨ 各橋梁で異なる

（一律な計測は不可か）

床版劣化の評価指標

1）活荷重たわみにより与えられる劣化度

$$D_\delta = \frac{W - W_o}{W_c - W_o}$$

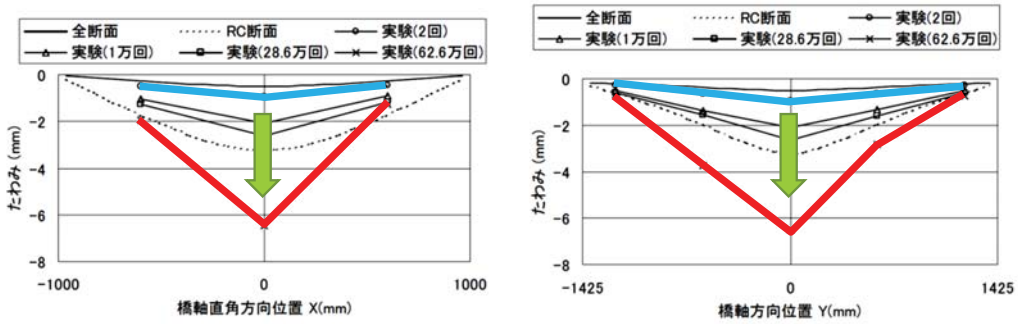
D_δ：活荷重たわみから求まる劣化度
W：活荷重たわみの実測値(mm)
Wo：全断面有効時の理論活荷重たわみ(mm)
Wc：引張側コンクリート無視時の理論活荷重たわみ(mm)

Wとして主桁位置での床版の変位を考慮した変位を採用する

$$W = W_m - \frac{W_1 + W_2}{2}$$

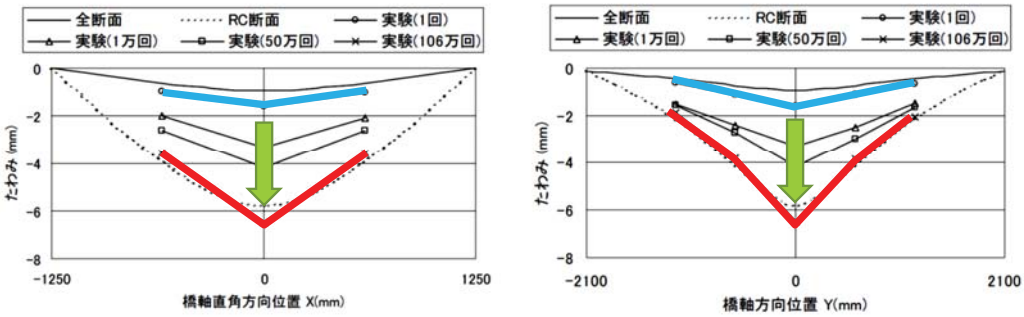
W_m：打撃位置での変位計測値
W_1、W_2：主桁位置での変位計測値

橋軸直角方向に着目することによって指標を確保できる
材料（コンクリート、鉄筋）データの確保は問題



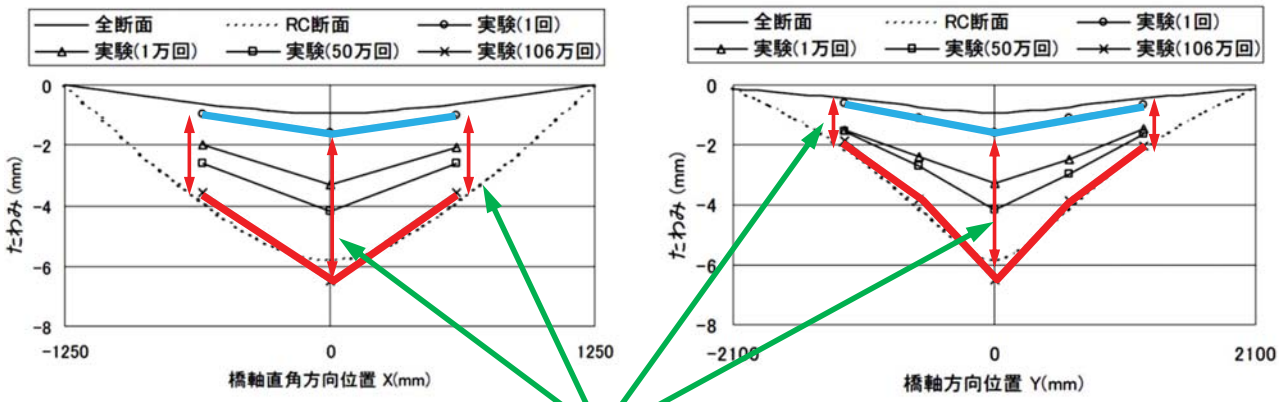
(a) 橋軸直角方向分布　　(b) 橋軸方向分布

図 5.2-6　たわみ分布（阪大２試験体）



(a) 橋軸直角方向分布　　(b) 橋軸方向分布

図 5.2-12　たわみ分布（IHI 試験体）



(a) 橋軸直角方向分布　　(b) 橋軸方向分布

床版内の位置により
劣化に伴うたわみの
増加量が異なる

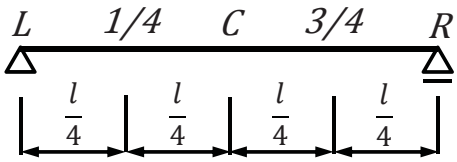
たわみ分布の形状変化をとらえる簡易な指標を
用いれば劣化の程度を表現できる

とりあえず、たわみの比から始めることにした

床版の劣化程度の評価

2）活荷重たわみの比により与えられる形状指標（＝先鋭度）

$$D_F = \frac{\delta_q}{\delta_c}$$



D_F：先鋭度

δ_c：床版中央のたわみ

$$\delta_c = \delta_{c,m} - (\delta_{r,m} + \delta_{l,m})/2$$

$\delta_{c,m}$：床版中央のたわみ実測値

$\delta_{r,m}$、$\delta_{l,m}$：主桁直上のたわみ実測値

δ_q：床版橋軸直角方向1/4、3/4点のたわみの平均

$$\delta_q = (\delta_{1/4} + \delta_{1/4})/2$$

$\delta_{1/4}$：1/4点のたわみ、$\delta_{1/4,m}$：1/4点のたわみ実測値

$$\delta_{1/4} = \delta_{1/4,m} - (0.75\delta_{l,m} + 0.25\delta_{r,m})$$

$\delta_{3/4}$：3/4点のたわみ、$\delta_{3/4,m}$：3/4点のたわみ実測値

$$\delta_{3/4} = \delta_{3/4,m} - (0.25\delta_{l,m} + 0.75\delta_{r,m})$$

たわみと先鋭度の比較例

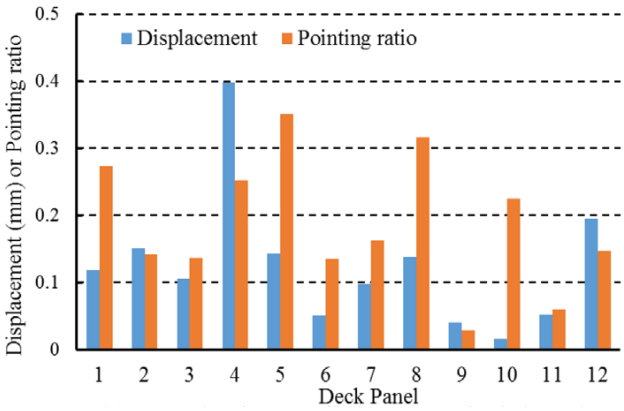
先鋭度が床版の疲労の影響のみを反映する

⇩

劣化が進行する

✓たわみ ⇨ 増加する

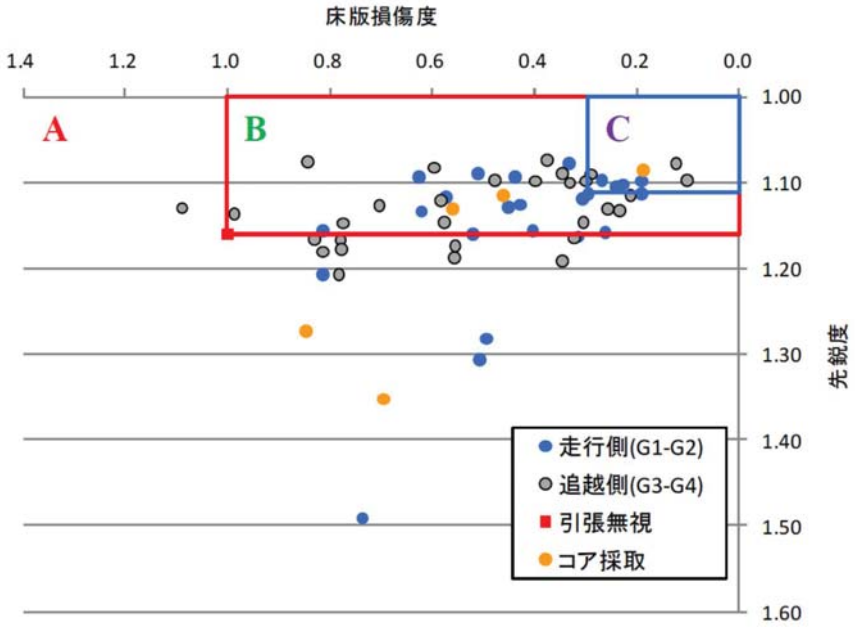
✓先鋭度 ⇨ 減少する



Panel 1,4,5,8,10　は想定通り

Panel 9,11　は想定外の現象をとらえている可能性

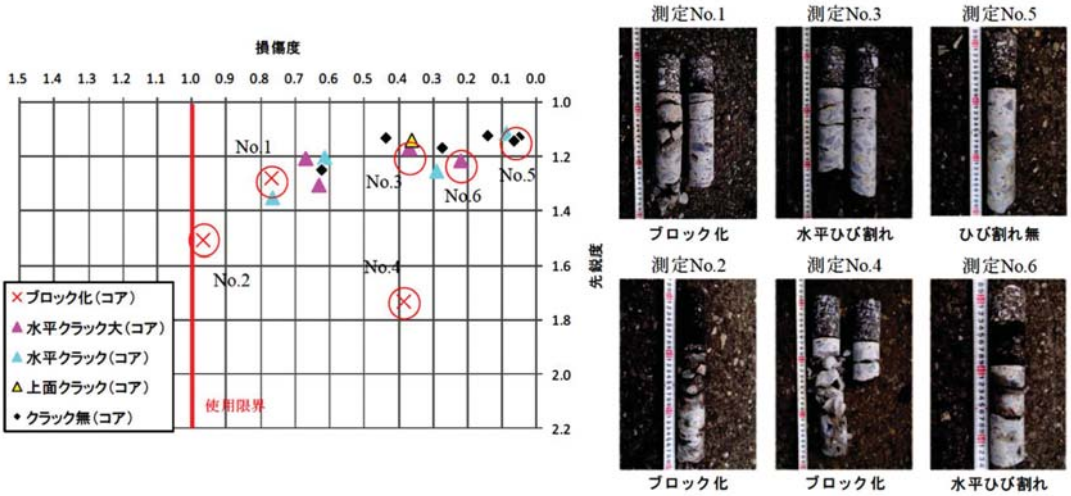
評価事例（$D_F = D_c/D_{60}$）



山口恭平，早坂洋平，曽田信雄，大西弘志:FWD を用いた既設RC 床版の健全度評価手法に関する一提案，構造工学論文集61A

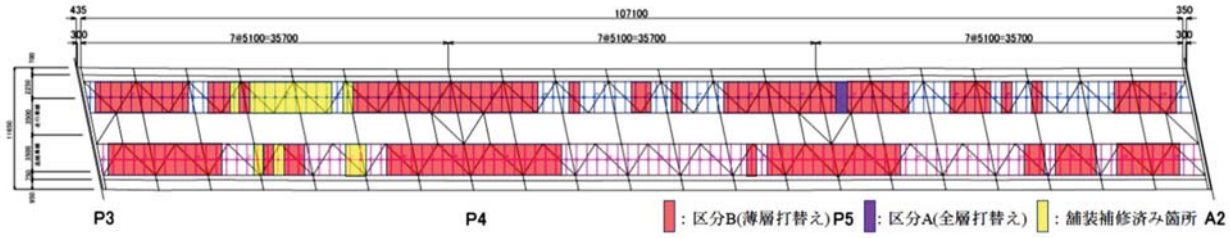
Iwate Univ. RCRDM

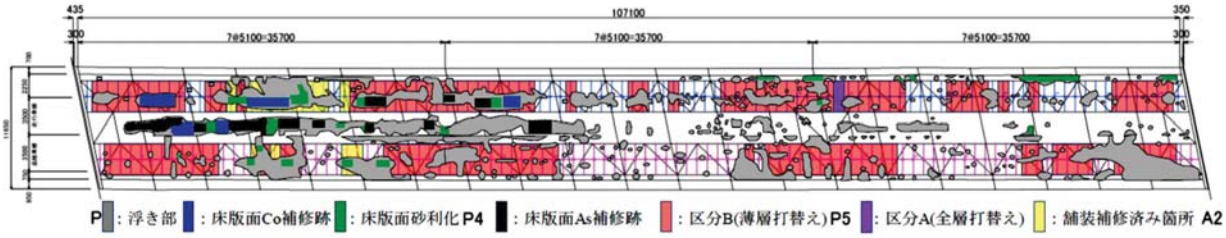
評価事例（$D_F = D_c/D_{60}$）



山口恭平，早坂洋平，曽田信雄，大西弘志:FWD を用いた既設RC 床版の健全度評価手法に関する一提案，構造工学論文集61A

評価事例（$D_F = D_c/D_{60}$）





山口恭平，早坂洋平，曽田信雄，大西弘志:FWD を用いた既設RC 床版の健全度評価手法に関する一提案，構造工学論文集61A

先鋭度の問題点

先鋭度の問題点

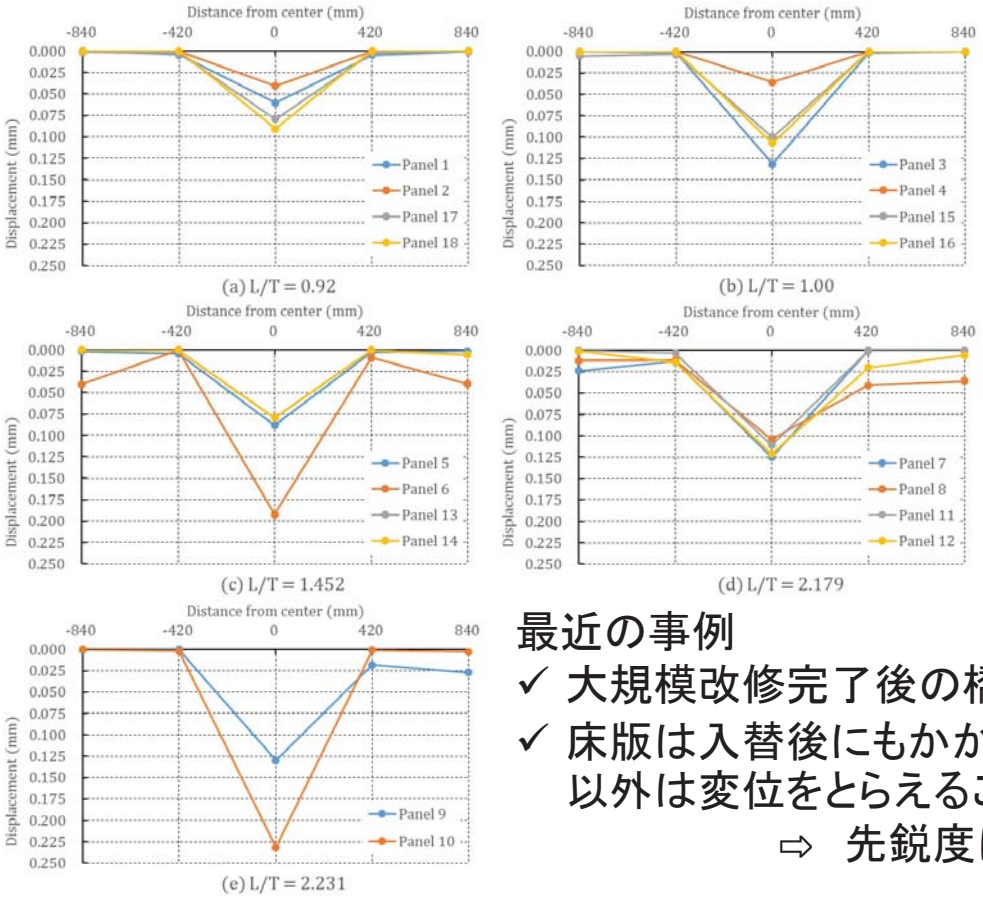
現在は**たわみの劣化度**と**先鋭度**の2つの指標から床版の劣化を把握することを考えている

- 何をとらえているのか？
  - ✓疲労劣化のみをとらえているのではない
  - ✓「何か」が起こっているのはわかる

⇨スクリーニングとしてはこれでも良い

- 常に異常を検知できているか？
  - ✓床版の種類によっては改良が必要（構造詳細の影響を受ける可能性）

Iwate Univ. RCRDM

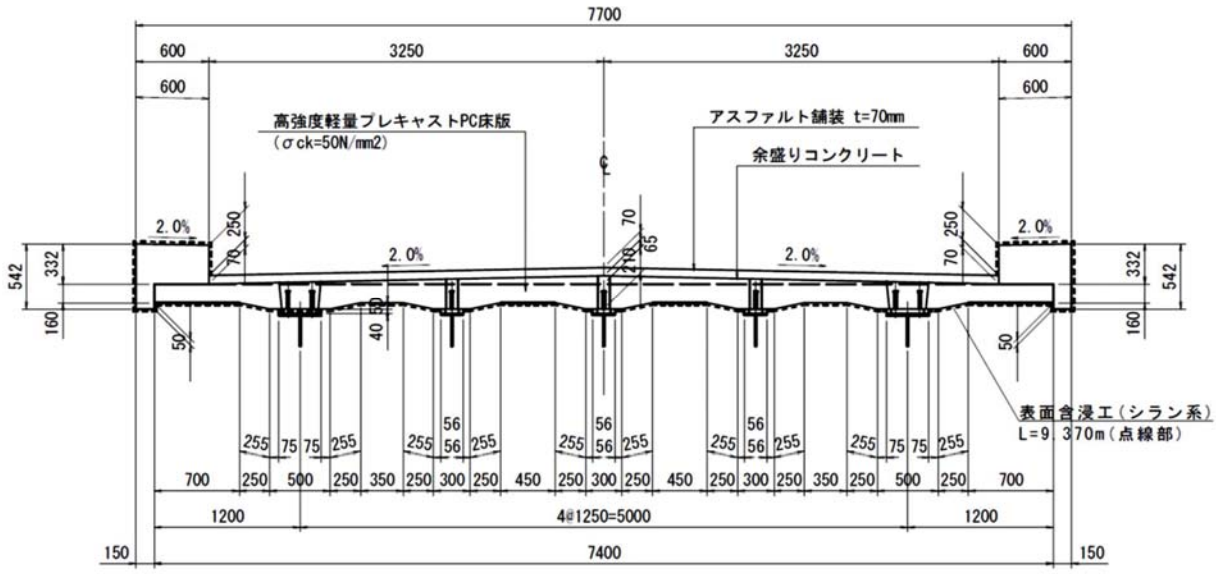


最近の事例

- ✓ 大規模改修完了後の橋梁で計測
- ✓ 床版は入替後にもかかわらず中央以外は変位をとらえることができず

⇨ 先鋭度は使えない？

調査対象橋梁の床版断面



改善の方針

- S39RC床版と比較してハンチが大きくなっている
- 床版に使用されるコンクリート強度が向上している

⇨ 小型のFWDではパワー不足？
（衝撃力を上げすぎると主桁が動きすぎる可能性）

- 変位に依存しない指標の検討が必要
- 当面は加速度に着目する方針

1

金沢大学ＳＩＰ（戦略的イノベーション創造プログラム）
土木学会中部支部
「点検・調査を進化させ効率よく維持管理するための取り組み（劣化床版・下部構造）」

北陸地方のASR劣化床版の現状と耐荷性評価

大日本コンサルタント株式会社　横山広

2

❶北陸地方のASR劣化床版の現状

- ASRとは？
- 床版にASRが生じるとどうなるか。
- 現地調査で何を（どこを）見ればいいのか。
- （試案）劣化床版の損傷度区分

❷ASR劣化床版の耐荷性評価

- 評価のための試験方法→衝撃荷重による載荷試験
- 試験方法の検討状況（輪荷重走行試験での検討）
- 衝撃荷重載荷の検討事例
- ASR劣化床版での試験事例

衝撃荷重載荷試験の位置づけ

金沢大学ＳＩＰ（戦略的イノベーション創造プログラム）
土木学会中部支部
「点検・調査を進化させ効率よく維持管理するための取り組み（劣化床版・下部構造）」

❶北陸地方のASR劣化床版の現状

ASRとは？

土木学会コンクリート標準示方書維持管理編（2013年制定）p.213

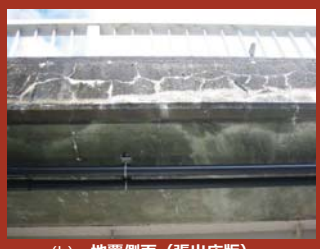
セメントに含有されるアルカリは，セメントの水和反応の過程でコンクリートの空隙内の水溶液に溶け出し，水酸化アルカリ（NaOHおよびKOH）を主成分とする強アルカリ性（pH=13～13.5）の水溶液となる．ある種のシリカ鉱物もしくはガラス質物質を含有する骨材は，コンクリート中の高いアルカリ性の水溶液と反応して，コンクリートに異常な膨張およびそれに伴うひび割れを発生させることがある．このような反応はアルカリ骨材反応と総称されている．岩石中で水酸化アルカリを含む水溶液と反応するものには，オパール，クリストバライト，トリディマイト，隠微晶質もしくは微晶質な石英といった鉱物や火山ガラス等がある．

道路橋床版の維持管理マニュアル（2012年）p.93

図-解3.1.11はASRの被災床版（RC床版）の劣化事例であり，調査の段階でASRによる劣化を判別する着目点として地覆外側の劣化状況も示している．ASRは材料劣化であるため写真に示すような位置にもひび割れや白色の析出物が確認できる．

ASRが床版に発生すると，内部鉄筋が版の構造に対して上下に層状に配置される構造であり，その他には補強材が存在しないことから主たる膨張が上下方向となる．結果としてひび割れが水平方向に卓越することとなり，版が層状化し剛性が大幅に低下することとなる．よって，適切な補修・補強を施す必要がある．

(a)　床版下面



(b)　地覆側面（張出床版）

図-解 3.1.11　ASRによる床版の劣化事例（RC床版）

床版にASRが生じるとどうなるか。

床版にASRが生じると微細ひびわれが進展し、コンクリートの空隙中に雨水が浸透する。その状態で活荷重が作用すると水圧の影響により土砂化が進展することとなり、舗装面にも噴出物などの劣化が顕著となる。

その後は舗装のポットホールなどの損傷が始まり、舗装補修（パッチング）が繰り返されるようになる。

水圧問題を検討した事例

1)平塚慶達、前川宏一：コンクリートの砂利化モデルとRC床版の疲労寿命、土木学会第70回年次学術講演会概要集、Ⅰ-120、pp.419-420、2015.9.
2)横山広、関口幹夫、桝谷浩、堀川都志雄：道路橋床版への水圧作用による劣化現象の解析的検討、コンクリー工学年次論文集、Vol.34、No.2、pp.409-414、2012.7.

舗装の異常で床版の上面を調査した例

ASR劣化床版でコア採取した際には、細骨材が原因となる場合もあるので安山岩系砕石の有無や粗骨材の反応リングを目視確認するだけでは見逃す場合があるので注意が必要

現地調査で何を（どこを）見ればいいのか。

- ①舗装面のひびわれ，噴出物
- ②中間床版下面のひびわれ，白色析出物
- ③中間床版下面の微細ひびわれによる湿潤（濡れ色）
- ④張り出し床版下面のひびわれ，白色析出物
- ⑤地覆側面の水平ひびわれ

橋梁定期点検要領（国土交通省 道路局 国道・防災課　平成26年6月）での⑪床版ひびわれでは「ひびわれの方向、間隔、幅、角落ちの有無、漏水、遊離石灰の有無」に着目しているが、それだけではASRによる劣化と区別が付かない。

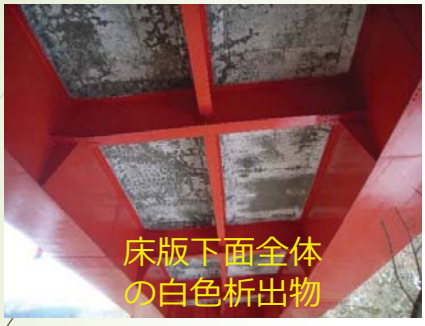
着目点として構造的なひびわれが生じにくい「張出床版下面、地覆側面」にひびわれや白色析出物が無いかを確認する。

＋

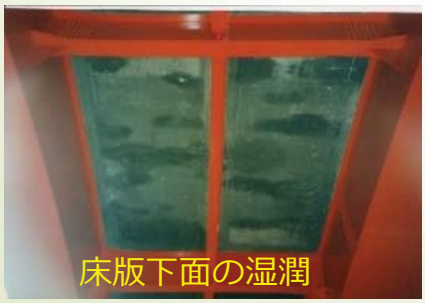
周辺の道路構造物（擁壁、シェッド、トンネル坑口）にASRが生じていないかも確認した方がよい。

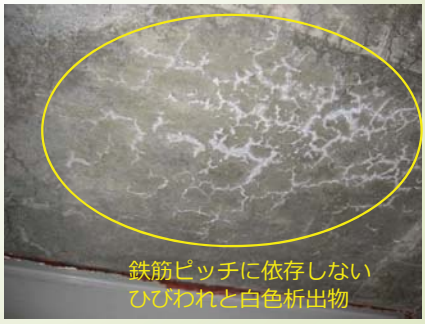
②中間床版下面のひび割れ，白色析出物

山間部で交通量の少ない橋梁



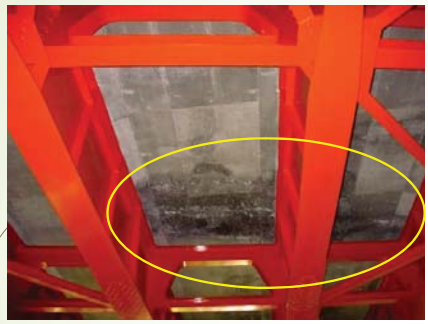
8年
経過

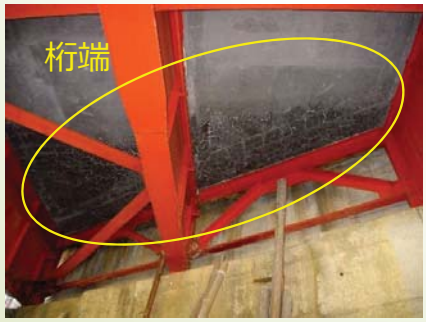




③中間床版下面の微細ひびわれによる湿潤（濡れ色）

桁端や耳桁付近の橋面勾配が低い箇所に発生





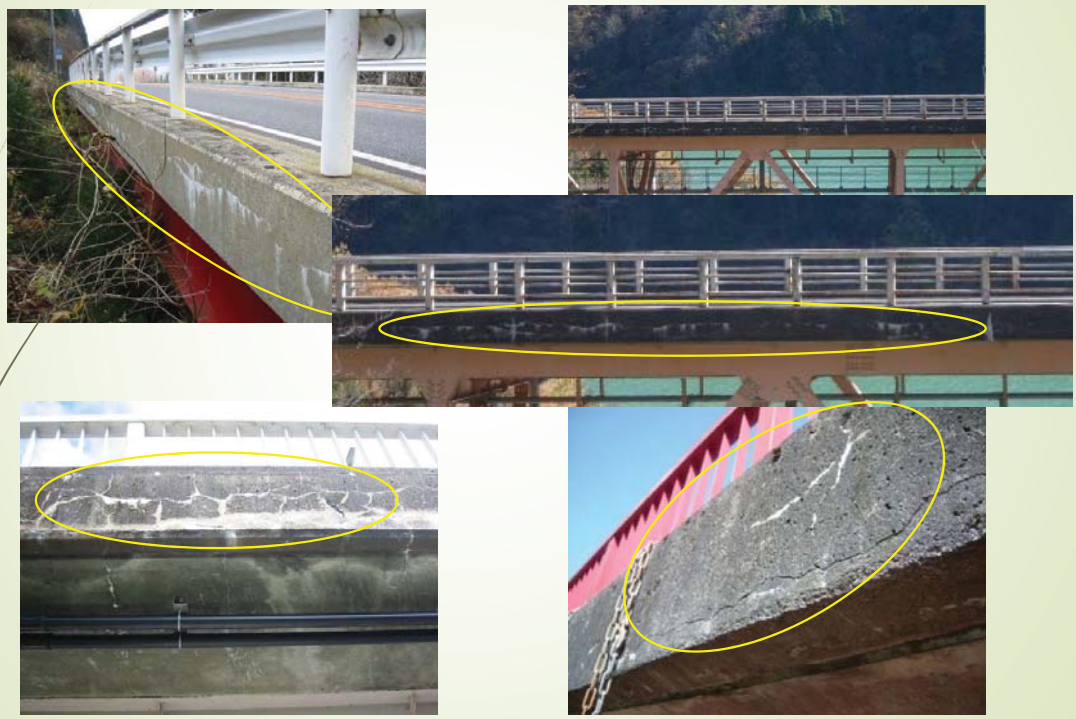
微細ひびわれの進展により水分が保持できる状態となる。→劣化の進展に応じて拡大

④張り出し床版下面のひびわれ，白色析出物

時期によっては湿潤（濡れ色）となる場合がある。

⑤地覆側面の水平ひびわれ

荷重作用により発生することがないひびわれパターン



地覆天端中央の橋軸方向に連続したひびわれが発生する場合あり

（試案）劣化床版の損傷度区分

【損傷程度の評価と記録】

(1) 損傷程度の評価区分

損傷程度の評価は，次の区分によるものとする。

24

橋梁定期点検要領
（平成26年6月）

区分	材料劣化(ASR)に着目した損傷程度（検討中）
a	（外観性状と劣化状態） 外観には変状が無く，コンクリート内部の劣化進行も殆ど無い状態
b	（外観性状と劣化状態） 初期ひび割れから，漏水，凍結防止剤が浸透し劣化が開始される状態 この状態でも外観変状は見られない．
c	（外観性状と劣化状態） 床版下面に湿潤（濡れ色）部分が出現し，一部のひびわれに白色の析出物が見られる状態 地覆部に橋軸方向ひびわれが発生する場合もある．
d	（外観性状と劣化状態） 床版下面の湿潤（濡れ色）部分が全体の30%程度となり，白色の析出物も目立つ状態．地覆にも橋軸方向にひびわれが確認できる．路面にも損傷が生じ始めポットホール等が発生する． （床版内部に水平ひびわれが形成され始める可能性が高く，コアボーリングによる状況確認が望ましい）
e	（外観性状と劣化状態） 床版下面に面状の白色析出物が目立ち，全体の50%程度以上が湿潤（濡れ色）した状態．舗装にも変状が目立ち通行に支障があるため路面補修が繰り返される． （床版内部の水平ひびわれが拡大するため，耐荷性の低下が懸念されることから載荷試験等による評価が必要）

輪荷重走行試験による耐荷性検討の結果を受けて、損傷度区分を提示

金沢大学ＳＩＰ（戦略的イノベーション創造プログラム）
土木学会中部支部
「点検・調査を進化させ効率よく維持管理するための取り組み（劣化床版・下部構造）」

❷ASR劣化床版の耐荷性評価

評価のための試験方法
→衝撃荷重による載荷試験

点検・調査によってASR劣化床版であることが判明
目視の範囲での損傷度評価も実施

↓

ASR劣化床版の耐荷性が不明
・適切な対策は？（補修補強、打ち換え）
・通行止めの必要性は？

↓

載荷試験の実施
・足場が必要で長期間の検討となる。
・費用が嵩む

↓

橋面上のみの作業で載荷試験が可能
→衝撃荷重載荷試験

載荷試験状況

試験方法の検討状況
（輪荷重走行試験での検討）

SIPで製作した床版一覧表

供試体番号	適用道示	細骨材種類	引張補強鉄筋 主筋	引張補強鉄筋 配力筋	備考
①	S47	普通	D19@125mm	D16@100mm	大工大A、N4
②	S47	普通			大工大B、N3
③	S39	普通	D16@150mm	D13@300mm	大工大C、N2
④	S39	普通			大工大D、N1
⑤	S47	反応性	D19@125mm	D16@100mm	
⑥	S47	反応性			
⑦	S47	反応性			
⑧	S47	一部反応性			
⑨	S39	反応性	D16@150mm	D13@300mm	
⑩	S39	一部反応性			

平成28年土木学会年次講演会に投稿中

国総研資料第28号　道路橋床版の疲労耐久性に関する試験（平成14年3月）に準拠

輪荷重走行試験用供試体

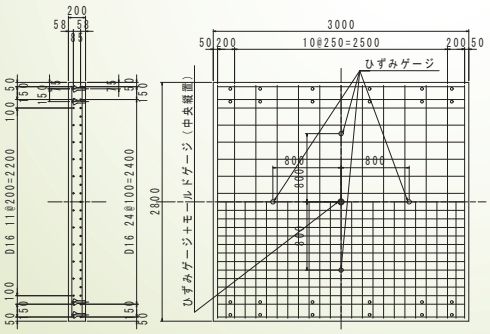
配合表

配合	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³) W	NC	C	S1	S2	SA	G15	G20	HF	AE
通常骨材配合	63.0	4.5	48.4	170	0	270	265	616	0	424	521	1.76	0.014
通常骨材+NaCl配合	63.0	4.5	48.4	170	6.17	270	263	614	0	424	519	1.76	0.135
ASR骨材+NaCl配合	63.0	4.5	48.4	170	6.17	270	0	0	877	424	519	1.76	0.135

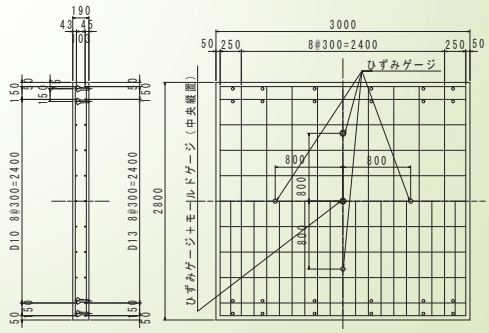
ASR骨材は細骨材で使用

供試体物性値

供試体名	圧縮強度 (N/mm²)	ヤング係数 (kN/mm²)	ポアソン比
S47-1	45.1	34.8	0.148
S47-2	21.3	7.99	0.150
S39-1	42.4	33.1	0.128
S39-2	40.4	33.5	0.146

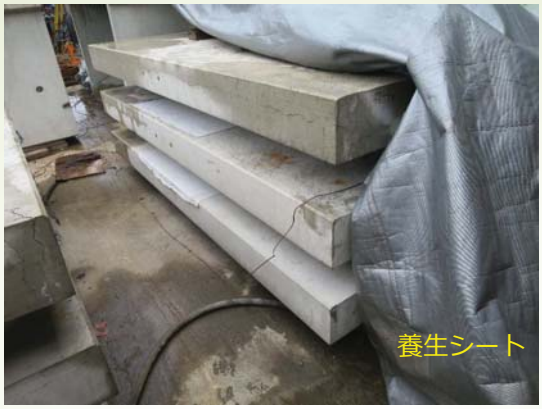


S47道準拠床版



S39道準拠床版

加温・加湿養生によるひび割れ発生状況

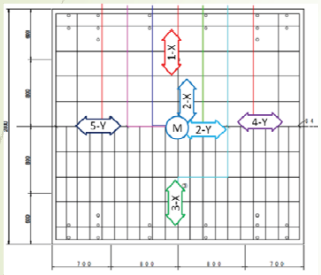


シートで養生しボイラーからの蒸気で養生

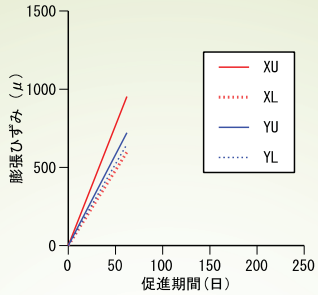
S47道準拠床版

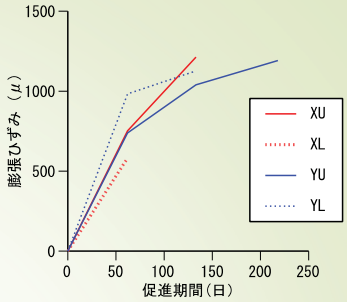
S39道準拠床版

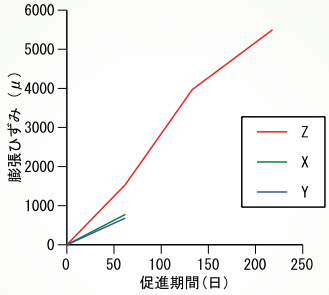
ASR供試体の膨張挙動

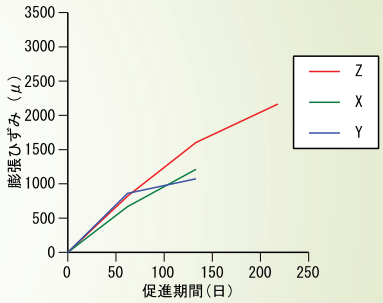


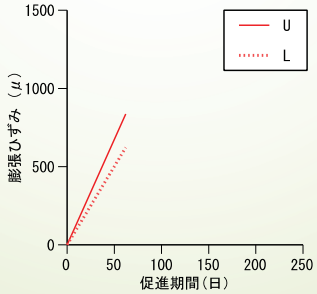
ゲージ方向



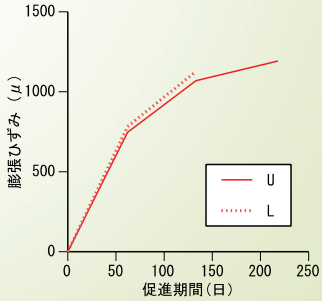








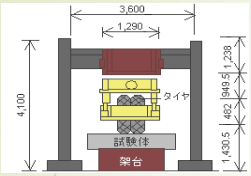
S47-4供試体



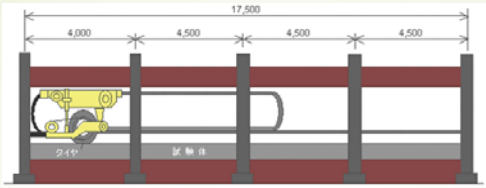
S39-3供試体

試験状況

輪荷重走行試験



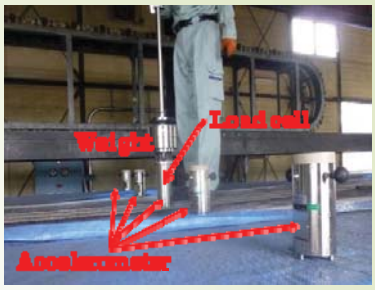
（正面）



（側面）

大阪工業大学所有の輪荷重走行試験機
（大阪工業大学ホームページより）

衝撃荷重載荷試験



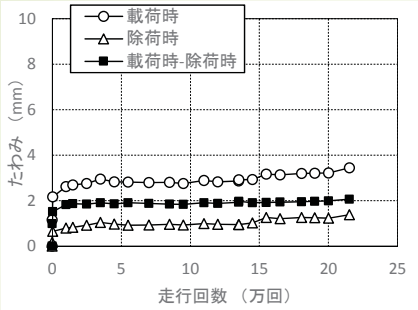
衝撃荷重載荷試験機
（FWD-Light：東京測器研究所製造）

輪荷重走行試験機（大阪工業大学所有）

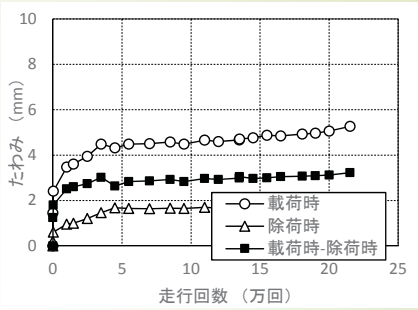
自走式　：旅客機用
　　ゴムタイヤ装着
載荷荷重：160kN一定

タイヤ接地面形状

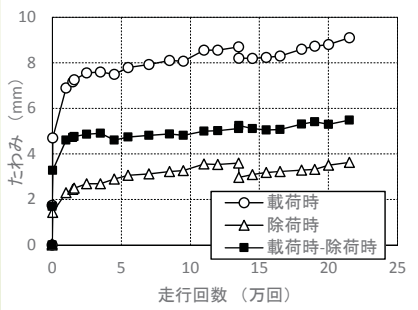
たわみの経時変化



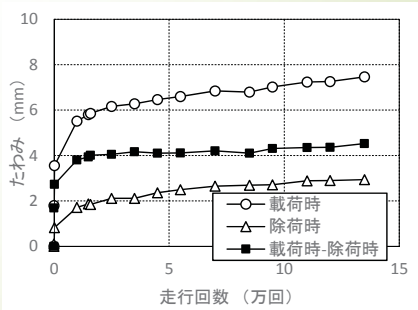
S47-1供試体



S47-2供試体



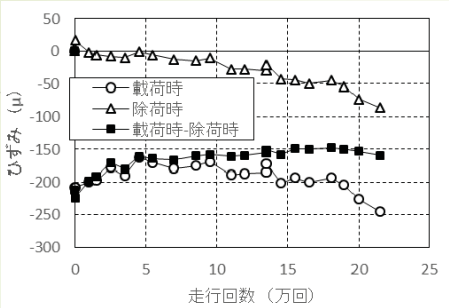
S39-1供試体



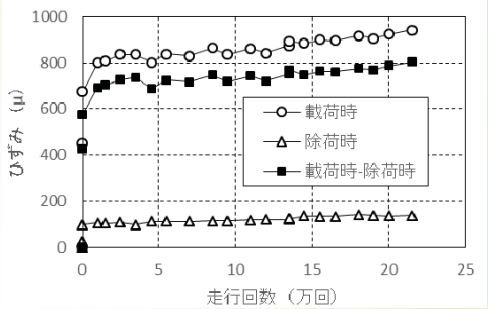
S39-2供試体

S47-2はヤング係数が小さいためたわみも大きい。S39-2は載荷時たわみが8mm程度となったため補強用として試験中断

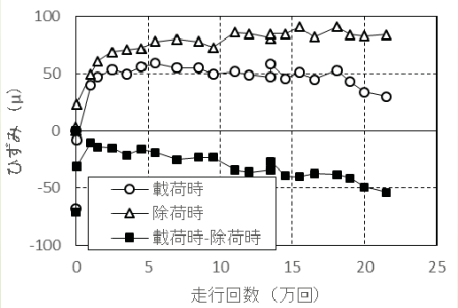
ひずみの経時変化（S47-2）



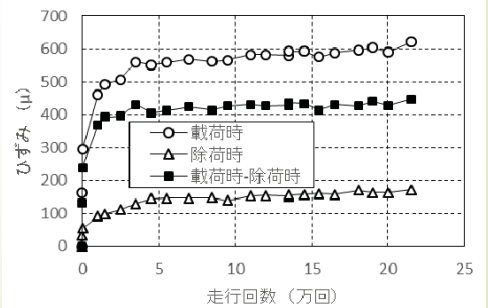
主鉄筋方向　上側



主鉄筋方向　下側



配力筋方向　上側

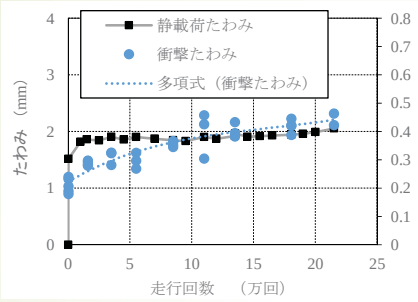


配力筋方向　下側

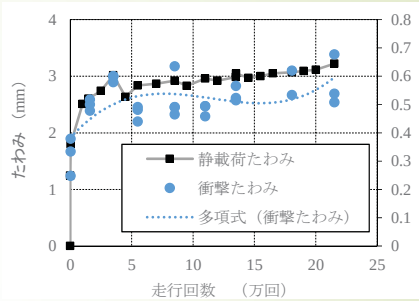
試験結果

静的載荷たわみと衝撃載荷たわみの経時変化比較

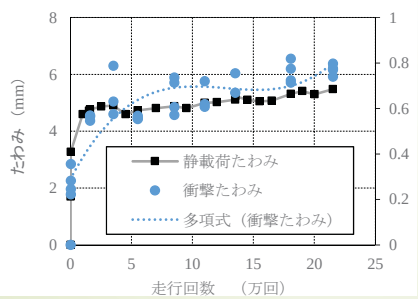
→増加傾向は衝撃荷重載荷でも把握可能



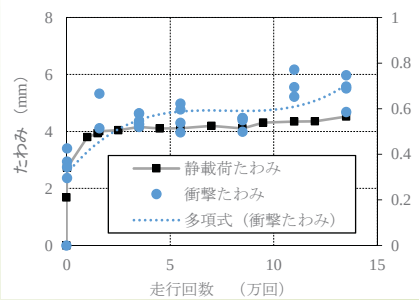
S47-1供試体



S47-2供試体



S39-1供試体



S39-2供試体

今後の予定

- ASR劣化床版の輪荷重走行試験
- 輪荷重走行による疲労劣化過程での衝撃荷重載荷試験
- 実橋載荷試験＋解析的検討
- ASR劣化床版の損傷度区分のとりまとめ
- 衝撃荷重による判定基準のとりまとめ

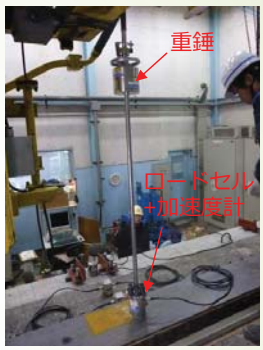
衝撃荷重載荷の検討事例

衝撃荷重によるRC床版の劣化度判定に関する実験的研究
構造工学論文集Vol.62A（2016年3月）

①輪荷重走行試験

輪荷重走行試験機（IHI所有）

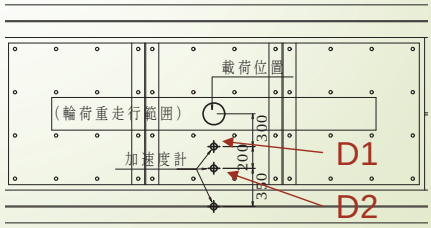
形　式　　：クランク式
載荷ブロック　：120×300mm
設定荷重　　：160kN
計測タイミング：5,000回
破壊時走行回数：250,000回



重錘質量：15kg
落下高さ：110cm

加速度計で得られた波形を積分処理して変位に変換

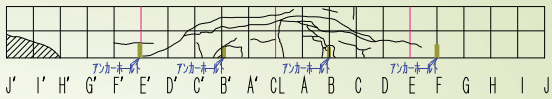
衝撃荷重載荷試験機
（FWD-Light：東京測器研究所製造）



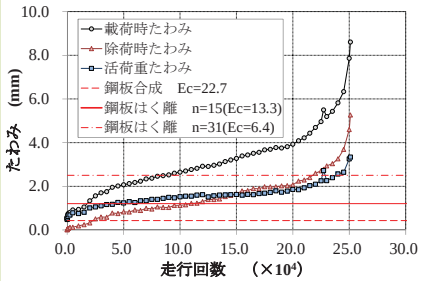
載荷・計測位置

①輪荷重走行試験

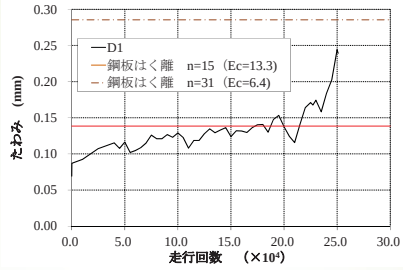
試験結果



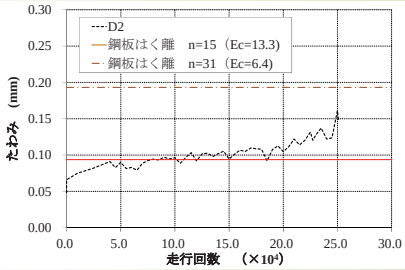
走行後供試体の切断面（押抜せん断破壊）



輪荷重走行試験でのたわみの経時変化

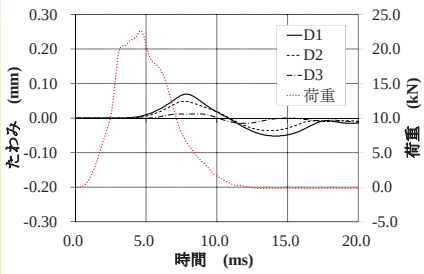


（加速度計D1）

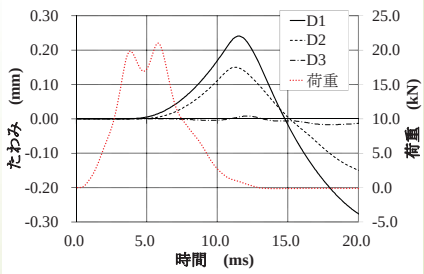


（加速度計D2）

加速度計によるたわみの経時変化



（走行前）

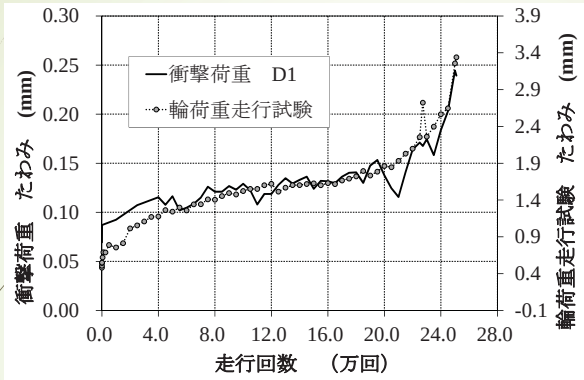


（走行試験終了時）

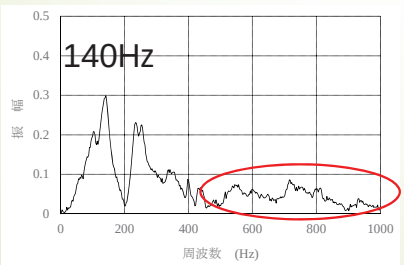
走行前後での荷重たわみ関係の変化

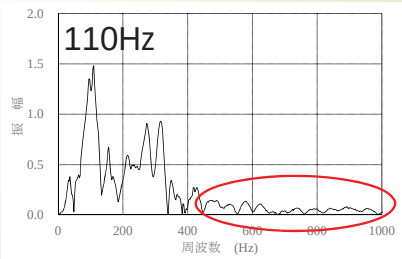
①輪荷重走行試験

衝撃荷重データの評価



たわみの増加傾向が近似
＝
衝撃荷重載荷でも静的載荷と同様なたわみ計測が可能



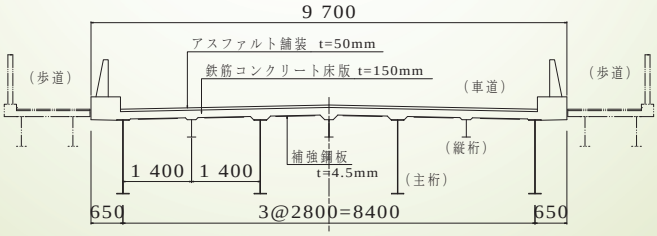


衝撃波形のFFT処理結果

②実橋での衝撃荷重載荷試験

橋梁正面写真（起点側より）

橋種・形式：単純合成I桁橋　5径間
竣　功　　：1951年（約63年経過）
交通量　　：17,955台（大型車混入率3.5%）
橋　長　　：104.49m
支間長　　：側径間18.49m、中央径間22.495m
床　版　　：鉄筋コンクリート　厚さ15cm

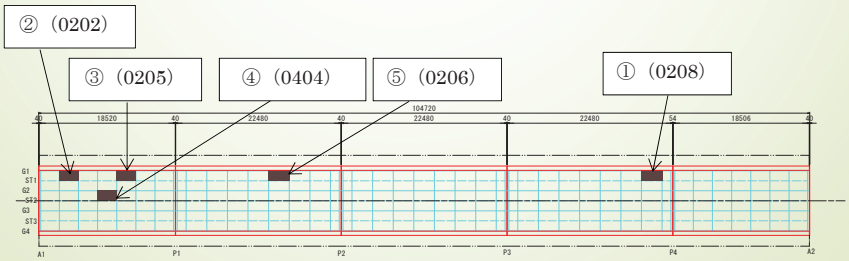


橋梁断面図

②実橋での衝撃荷重載荷試験

調査パネルの損傷状況一覧表

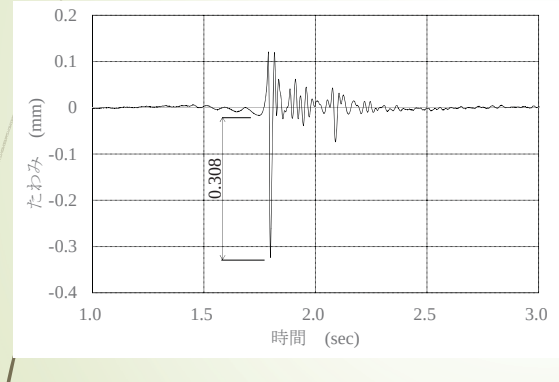
床版調査パネル	床版番号 ※番号は橋梁定期点検要領に対応	上下線の別	選定理由
①	P3-P4－0208	下り	左輪直下。路面に蜘蛛の巣状に進展する可能性のあるひび割れあり。
②	A1-P1－0202	下り	左輪直下。床版下面に橋軸方向のひび割れあり。今回補修箇所にもひび割れが発生。
③	A1-P1－0205	下り	左輪直下。比較的健全であり、下面からの変位を計測する基準パネルとする。
④	A1-P1－0404	下り	右輪直下。今回補修した箇所（モルタル材料）にひび割れが発生。
⑤	P1-P2－0206	下り	左輪直下。床板ハンチ部に、数十cm規模のコンクリート剥離箇所有り。



調査パネル位置平面図

②実橋での衝撃荷重載荷試験

試験結果



実橋での衝撃荷重載荷試験結果
（床版パネル①）

床版上面の衝撃荷重による床版たわみ

パネル番号	落下高さ	衝撃荷重によるたわみ (mm)			平均 (mm)	衝撃荷重 (kN)
		1回目	2回目	3回目		
①	700	0.309	0.308	0.308	0.309	71.2
②		0.156	0.160	0.164	0.160	71.8
③-1		0.094	0.094	0.094	0.094	70.9
③-2		0.093	0.094	0.092	0.093	71.4
③-3		0.093	0.094	0.089	0.092	—
④		0.214	0.199	0.206	0.206	70.4
⑤		0.076	0.073	0.074	0.074	71.8

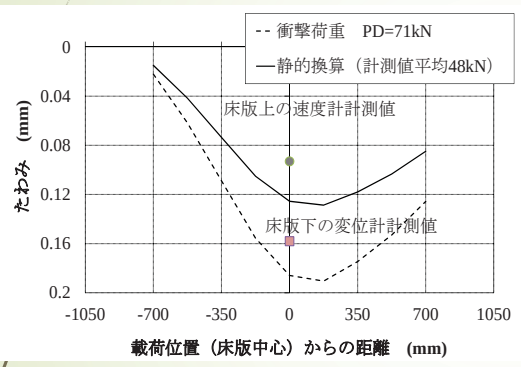
床版下面の変位計による床版たわみ

床版番号	床版下面の変位計たわみ (mm)			平均 (mm)
	1回目	2回目	3回目	
③-1	0.155	0.161	0.156	0.157
③-3	0.156	0.157	0.160	0.158

②実橋での衝撃荷重載荷試験

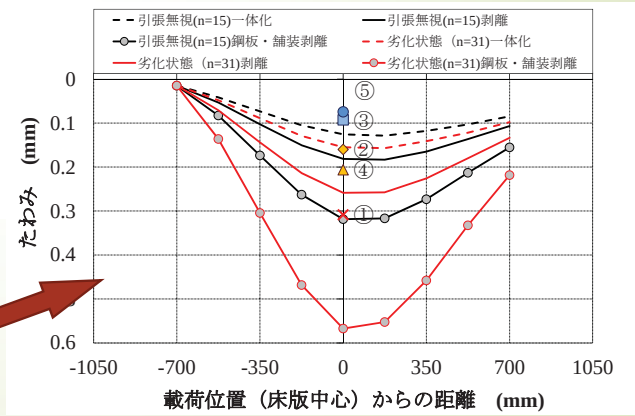
床版調査パネル	床版番号 ※番号は橋梁定期点検要領に対応	上下線の別	選定理由
①	P3-P4－0208	下り	左輪直下。路面に蜘蛛の巣状に進展する可能性のあるひび割れあり。
②	A1-P1－0202	下り	左輪直下。床版下面に橋軸方向のひび割れあり。今回補修箇所にもひび割れが発生。
③	A1-P1－0205	下り	左輪直下。比較的健全であり、下面からの変位を計測する基準パネルとする。
④	A1-P1－0404	下り	右輪直下。今回補修した箇所（モルタル材料）にひび割れが発生。
⑤	P1-P2－0206	下り	左輪直下。床板ハンチ部に、数十cm規模のコンクリート剥離箇所有り。

試験結果と計測たわみ



計測値と計算結果との対比

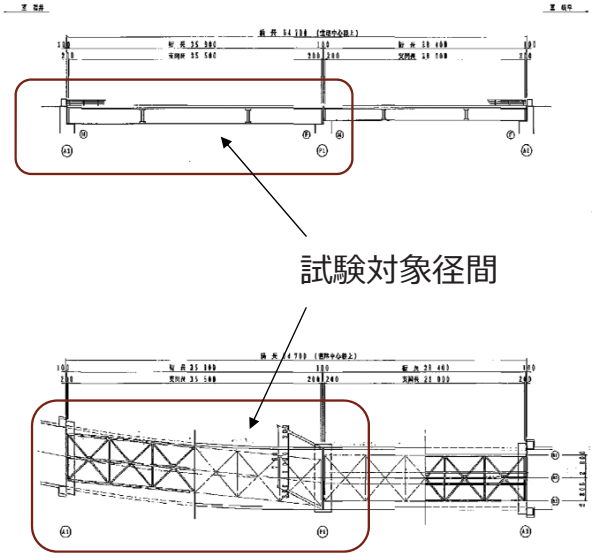
衝撃荷重静的換算値として48kNを採用

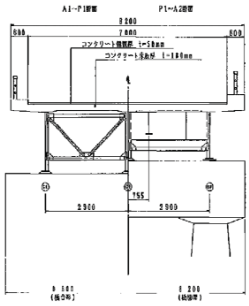


計測値と劣化状態を想定した
計算結果との対比

ASR劣化床版での試験事例

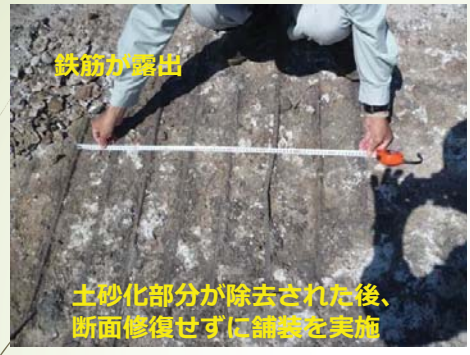
試験対象橋梁





橋　種：３主桁　合成鈑桁（２連）
支間長：３５．５０ｍ
主桁間隔：２．９０ｍ

床版の損傷状況



舗装撤去後の床版上面

下面補強鋼板の浮き

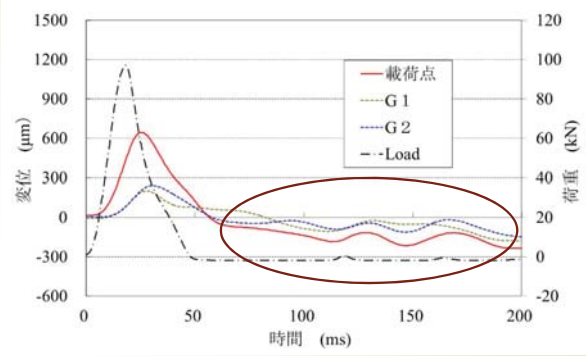
鋼板撤去後の床版下面の状況

鋼板によって浸透水が排出されなくなり劣化が進展

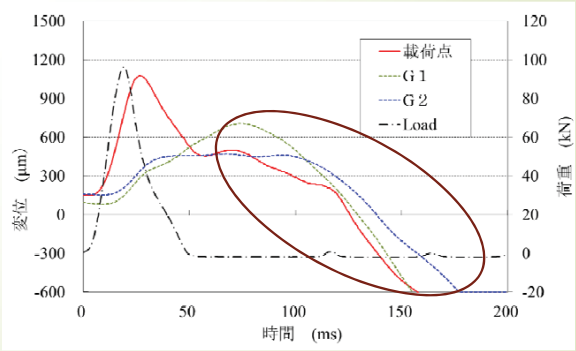
衝撃荷重載荷試験（FWD）

車載型FWD（北川ヒューテック株式会社所有）
（Falling Weight Deflect meter）

載荷荷重（衝撃）　P=100kN
載荷版　直径200mmの円形



支点側パネルの波形データ

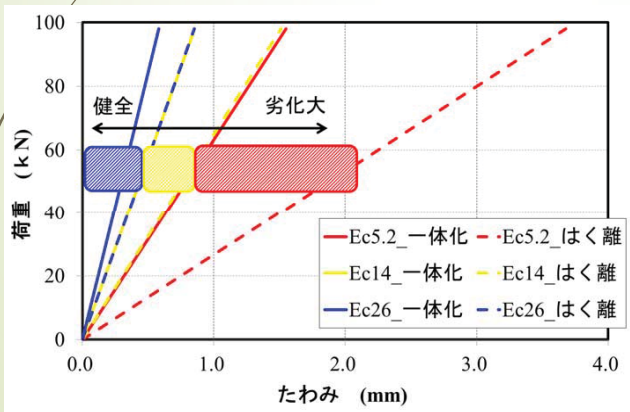


支間中央パネルの波形データ

弾性計算による健全度評価

たわみ劣化度による評価　→　弾性計算に用いるヤング係数の変化で表現

健　　全　Ec=26.0kN/mm^2　：床版から採取したコアの最大値
劣化初期　Ec=14.0kN/mm^2　：鉄筋コンクリート構造の引張無視の状態
劣化進展　Ec= 5.2kN/mm^2　：床版から採取したコアの最小値

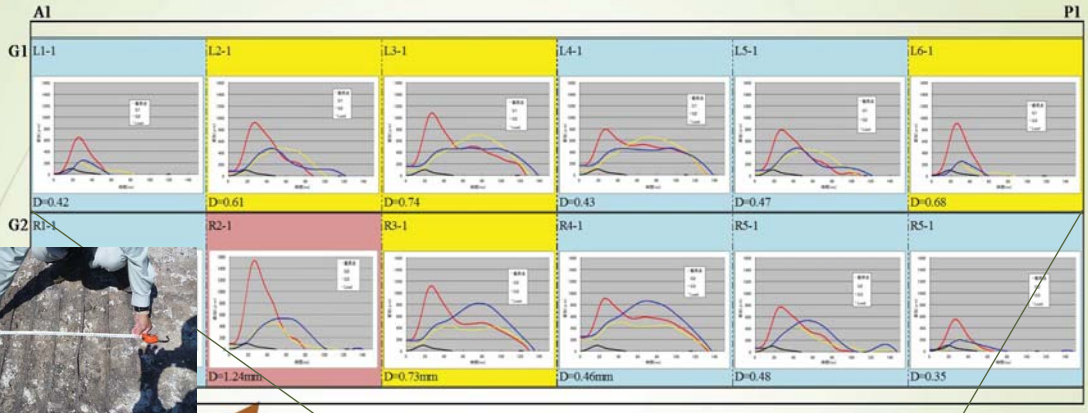


弾性計算による健全度の設定

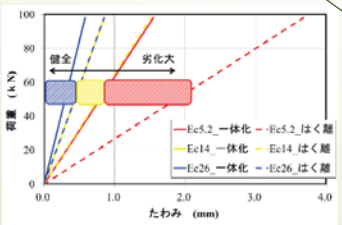
弾性計算

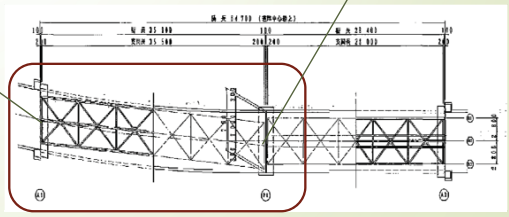
- 3次元弾性論から誘導される厚板理論
- 桁付き3層版とし、舗装、床版、鋼板を考慮
- 鋼板は一体化とはく離の2パターン

対象径間の床版パネルの健全度



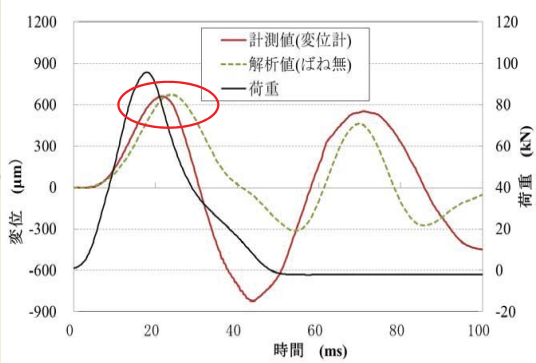
最も劣化が進展しているパネル



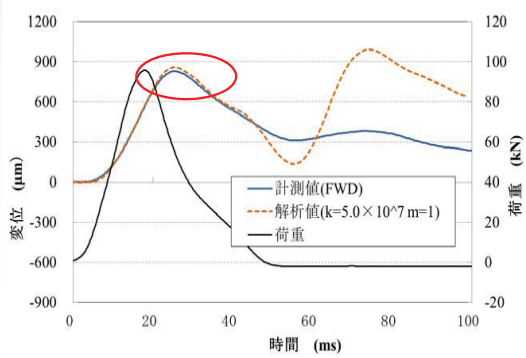


青：健全
黄：劣化初期
赤：劣化進展

有限要素法による再現性



床版下に設置した変位計



FWDの変位計

計算ソフト：LS-DYNA
モ　デ　ル：矩形版、主桁上は固定支持
要　　素：ソリッド-厚さ方向3層
荷　　重：ロードセル波形

FEM解析で再現が可能→現場試験の検証と精度の向上

衝撃荷重載荷試験の位置づけ

これまでの道路橋の維持管理では定期点検結果を受けて詳細調査、補修設計が実施されていたが、

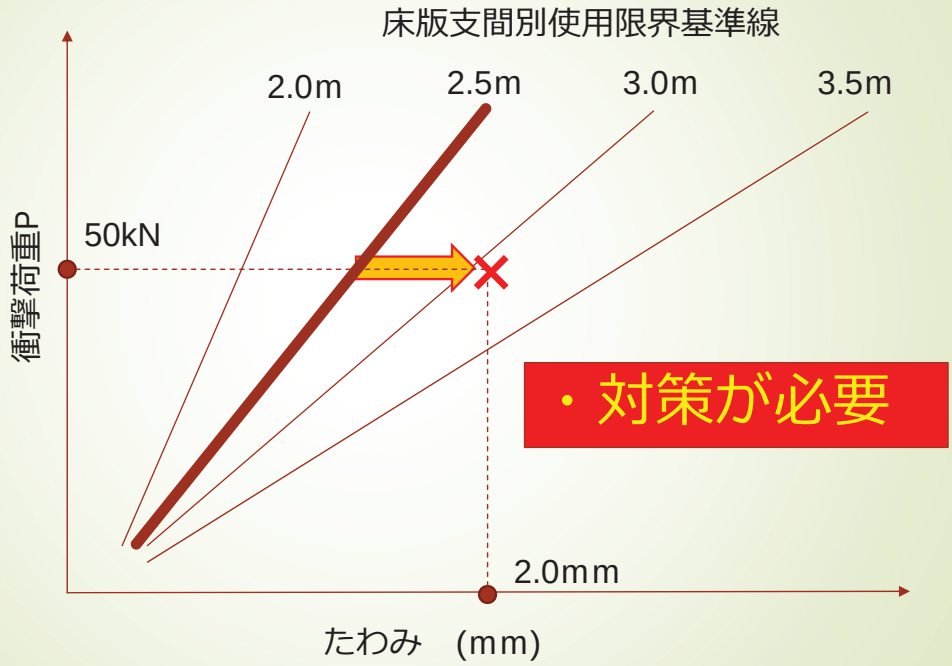
橋梁定期点検 → 詳細調査

定期点検結果を受けての詳細調査・補修設計の必要性判断に衝撃荷重載荷試験を組み込むことで、劣化度評価の精度向上と維持管理費の低減が可能

→劣化床版に対して必要な対策が適切に選択される。

橋梁定期点検 → 衝撃荷重載荷試験 → 詳細調査 補修設計

衝撃たわみ評価の簡略化イメージ（理想的な到達点）



例）床版支間2.5m→衝撃荷重50kNで2.0mmのたわみを検出

まとめ

- 北陸地方のASR劣化床版ではひびわれ、白色析出物が生じ、特徴として荷重作用と想定されないひびわれが張出床版部に生じている。
- ASR劣化床版による輪荷重走行試験を進めることで、維持管理の指標を設定する。
- ASR劣化床版の耐荷性能を評価する手法として衝撃荷重載荷試験は有効であり、評価手法の確立が望まれる。

金沢大学ＳＩＰ（戦略的イノベーション創造プログラム）
土木学会中部支部
「点検・調査を進化させ効率よく維持管理するための取り組み（劣化床版・下部構造）」

END

ご静聴ありがとうございました。

SIVEの開発と実橋載荷試験

(The development of self-propelled impact vibration equipment and application to the real bridge)

桝谷 浩 金沢大学
Hiroshi Masuya Kanazawa University

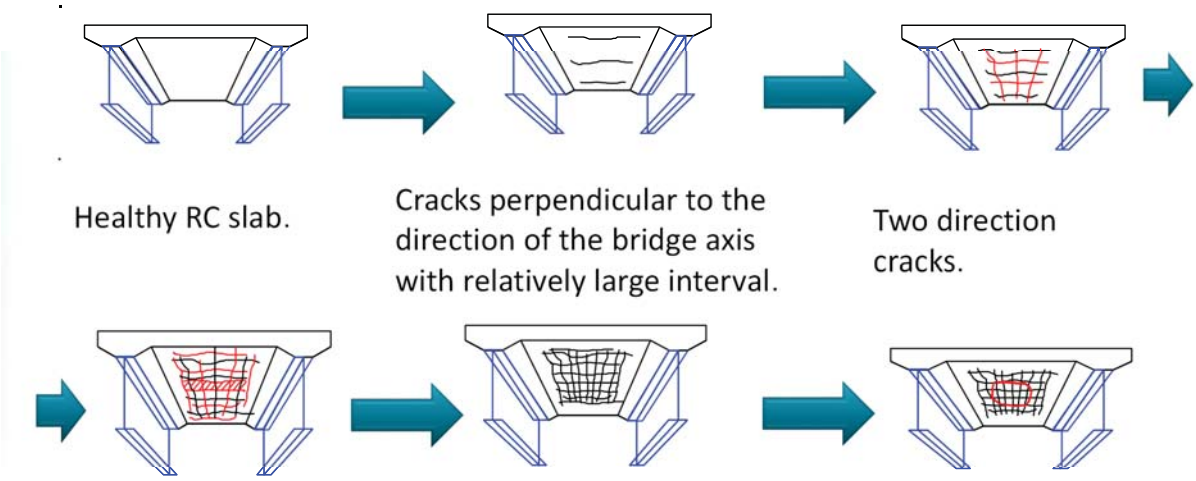
Fatigue damage of reinforced concrete slabs of highway bridges

Characteristic of damage of concrete slab

There are only serious damage in concrete, there is little damage in the rebars.

2

Typical damage process of RC slab



Healthy RC slab.

Cracks perpendicular to the direction of the bridge axis with relatively large interval.

Two direction cracks.

Cracks like a net. Connection of the upper crack and lower crack

Developed and expanded cracks. Slab has less shear registance

State to easily occur punching failure of RC slab due to wheel load

3

重錘落下式たわみ測定装置（FWD:Falling Weight Deflectometer）

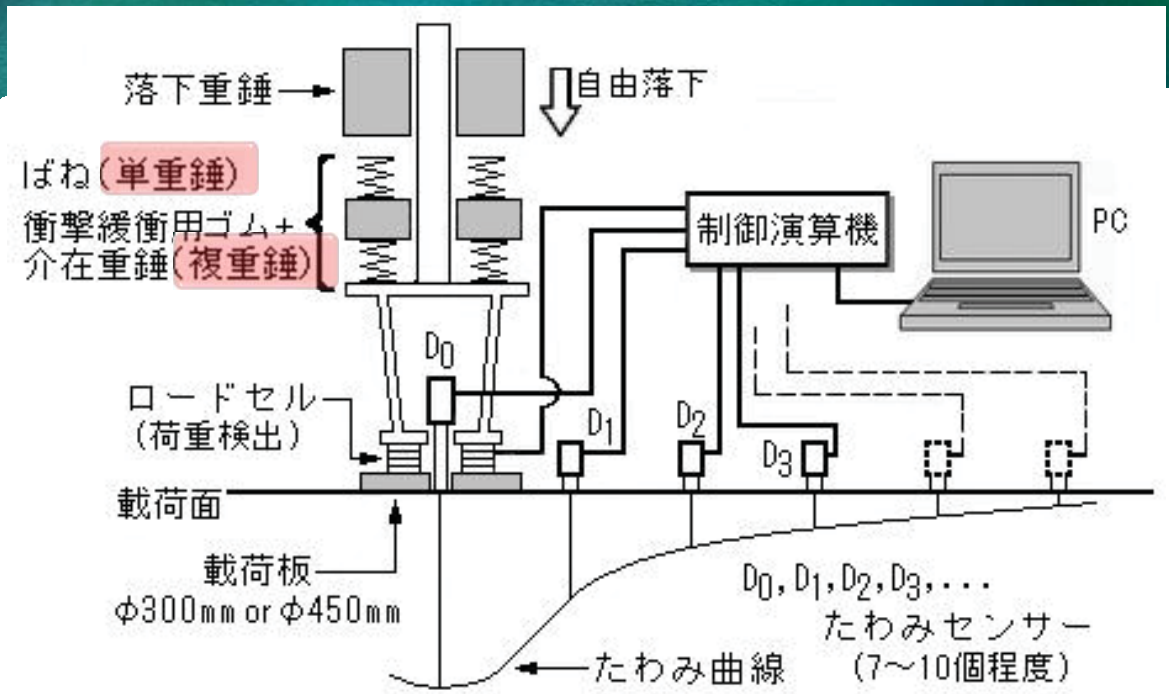
・FWDとは，おもりを落下させた衝撃荷重を載荷板を介して舗装表面に伝えたときに生じる舗装のたわみを測定する機械の一般名称

・主に舗装の支持力を測定・評価する目的で使用

・FWD（エフ・ダブリュー・ディー）という呼び名が一般的

・国内最初のFWDが導入は1983年，その後，様々な機関が少しずつ導入し，現在，延べ40台以上

FWDの概念図



FWDの分類

車載型FWD（国内では多い）

牽引型FWD

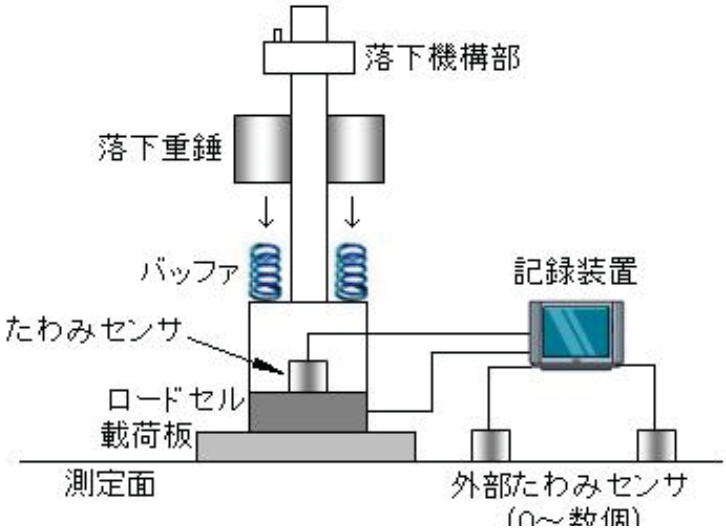
（世界では主流，日本では土研寒地研究所等）

代表的FWDの特徴

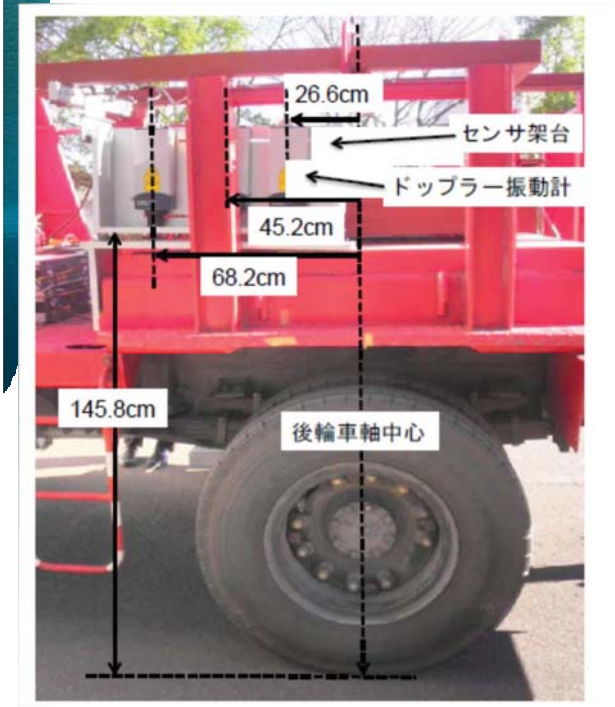
Maker	Kuab社	Grontmij 社(旧 Carl Bro Pavement社)
重錘質量(Mass,kg)	205-520	100-620
荷重 （Load,kN)	12-147	1-147
電源 (Power supply, V)	DC12 or DC24	DC24
センサー（Sensor)	LVDT（Liner Variable Differential Transformer : 差動トランス）	ジオフォン(速度計）
最大たわみ（Maximum deflection，mm)	5 or 2.5	2

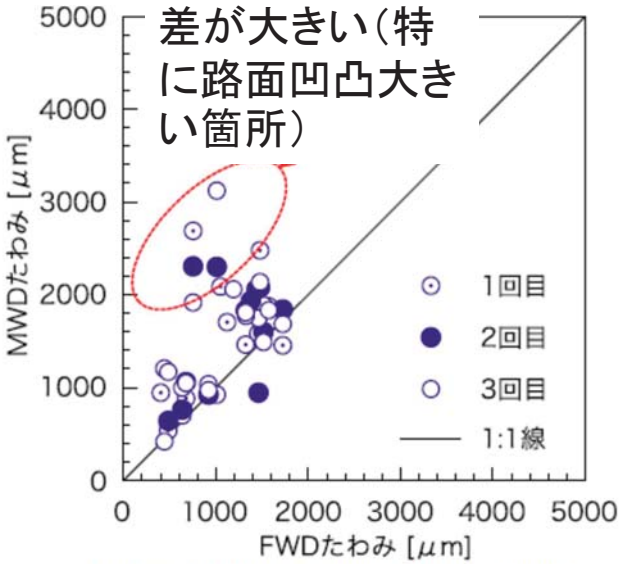
小型FWD

近年は、持ち運びできる程度の大きさの小型FWDも普及し始め，車載型や牽引型FWDが入れないところなどでのたわみ測定も可能



走行輪荷重により生じる路面たわみを連続的に測定する動的たわみ測定装置（Moving Wheel Deflectometer，MWD）





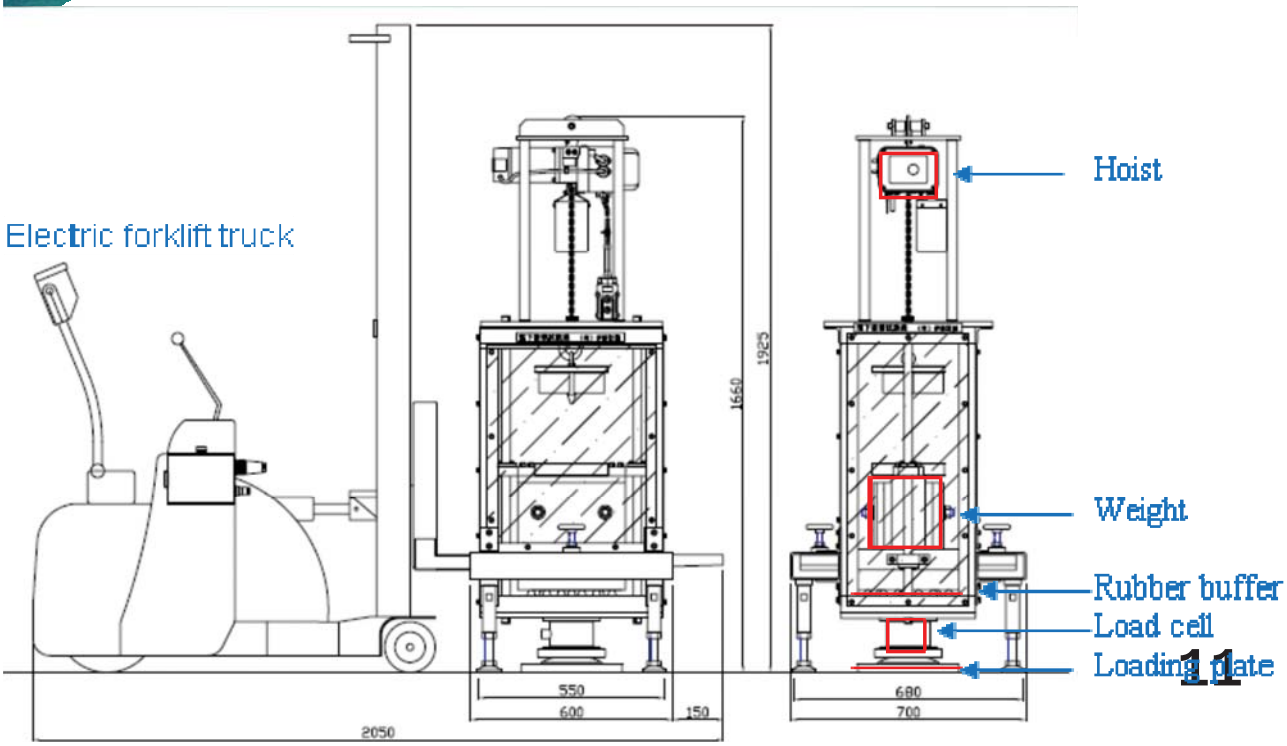
FWDとMWDの測定結果の関係

www.mlit.go.jp/road/tech/hyouka/h24/24-10gaiyo.pdfより

衝撃加振装置（IIS，Impulse Input System Apparatus，東京都土木技術支援・人材育成センター）

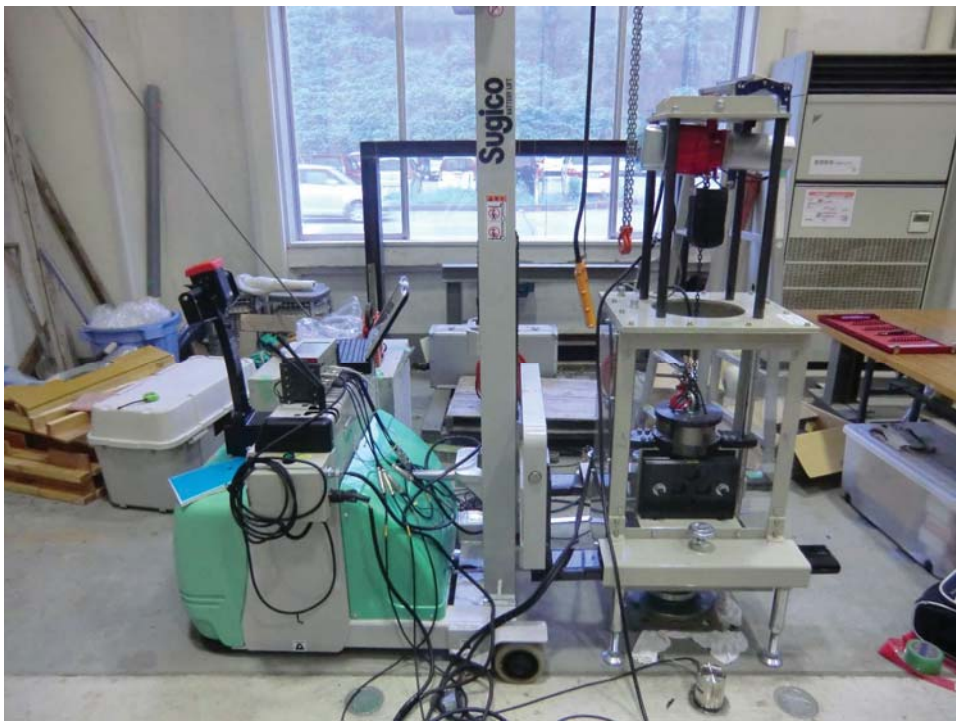
重錘（質量100kg）と承け台

Overview of SIVE (Self-propelled Impact Vibration Equipment)



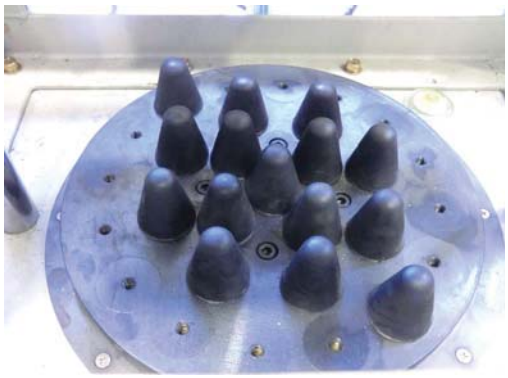
11

Self-propelled Impact Vibration Equipment



12

Arrangement of rubber cone (Type A and B)



Type A

29 rubber cones are arranged

Type B

15 rubber cones are arranged

13

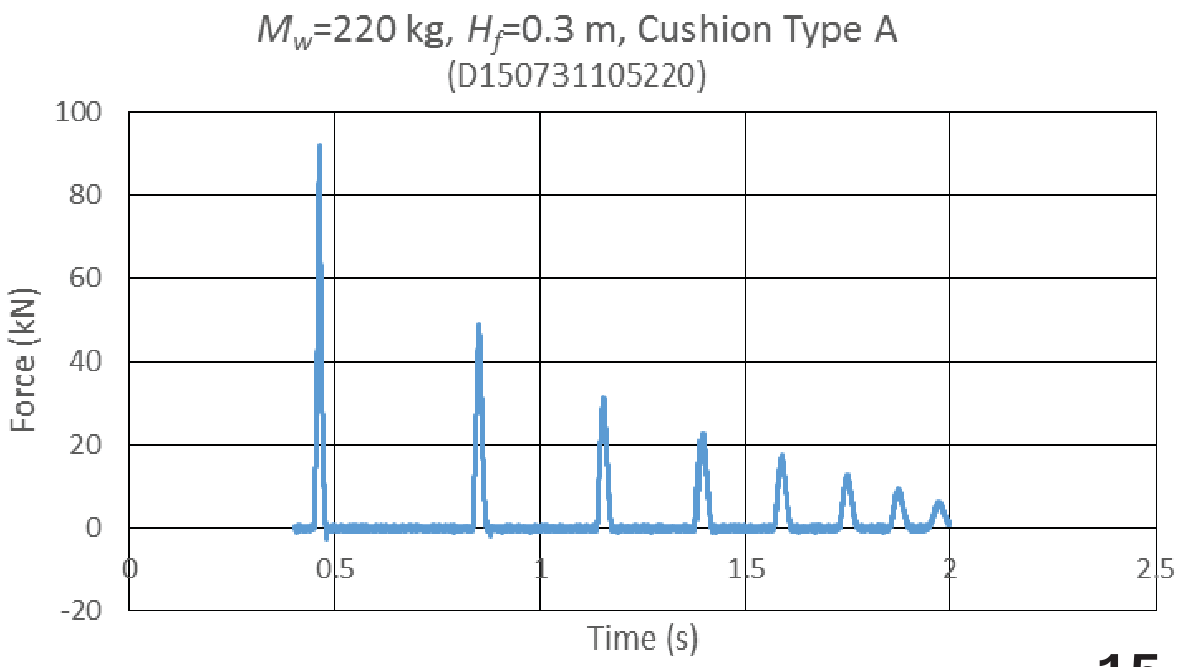
List of experiments (Type A and B)

Case	Mass of weight M_w (kg)	Falling height H_f (m)	Collision energy E_{ini} (kJ)	Momentum M_{ini} (kNs)	Cushion Type*
1	220	0.05 to 0.30	0.108 to 0.647	0.218 to 0.533	A
2	170	0.05 to 0.30	0.0834 to 0.500	0.168 to 0.412	A
3	220	0.05 to 0.30	0.108 to 0.647	0.218 to 0.533	B
4	170	0.05 to 0.30	0.0834 to 0.500	0.168 to 0.412	B

* A: 29 of rubber cone are arranged. B: 15 of rubber cone are arranged.

14

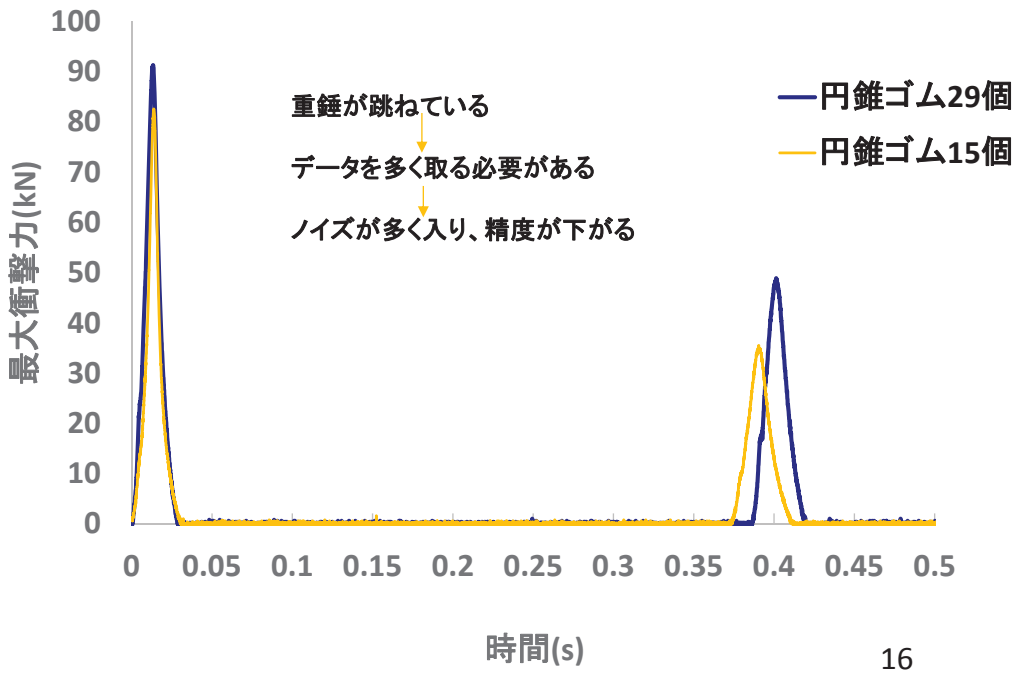
Impact force
(M_w=220 kg, H_f=0.3 m, Cushion Type A)



15

最大衝撃力と時間の関係

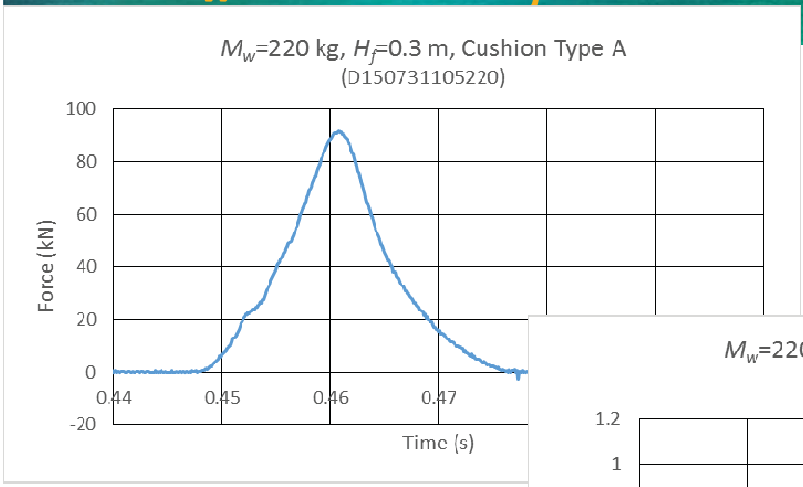
落下高さ30cm, 重錘220kg



16

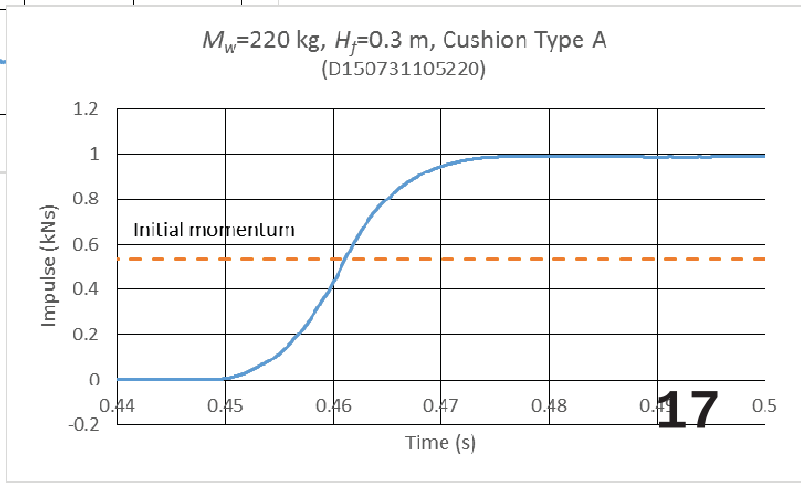
First impact force and impulse (M_w=220 kg, H_f=0.3 m, Cushion Type A)

ゴム29個



Impulse

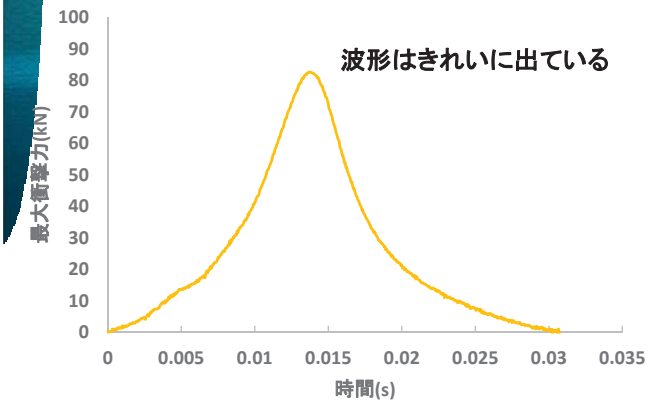
Impact force

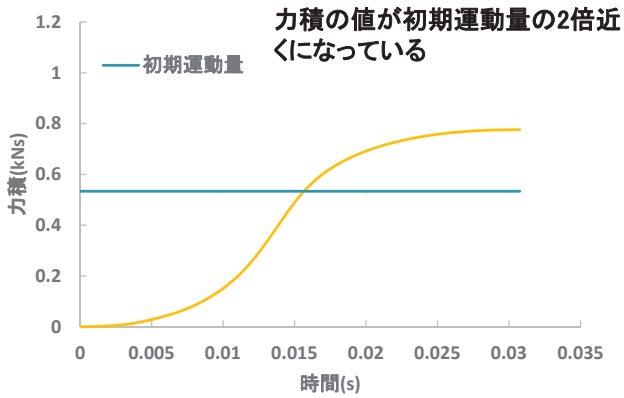


17

First impact force and impulse (M_w=220 kg, H_f=0.3 m, Cushion Type B)

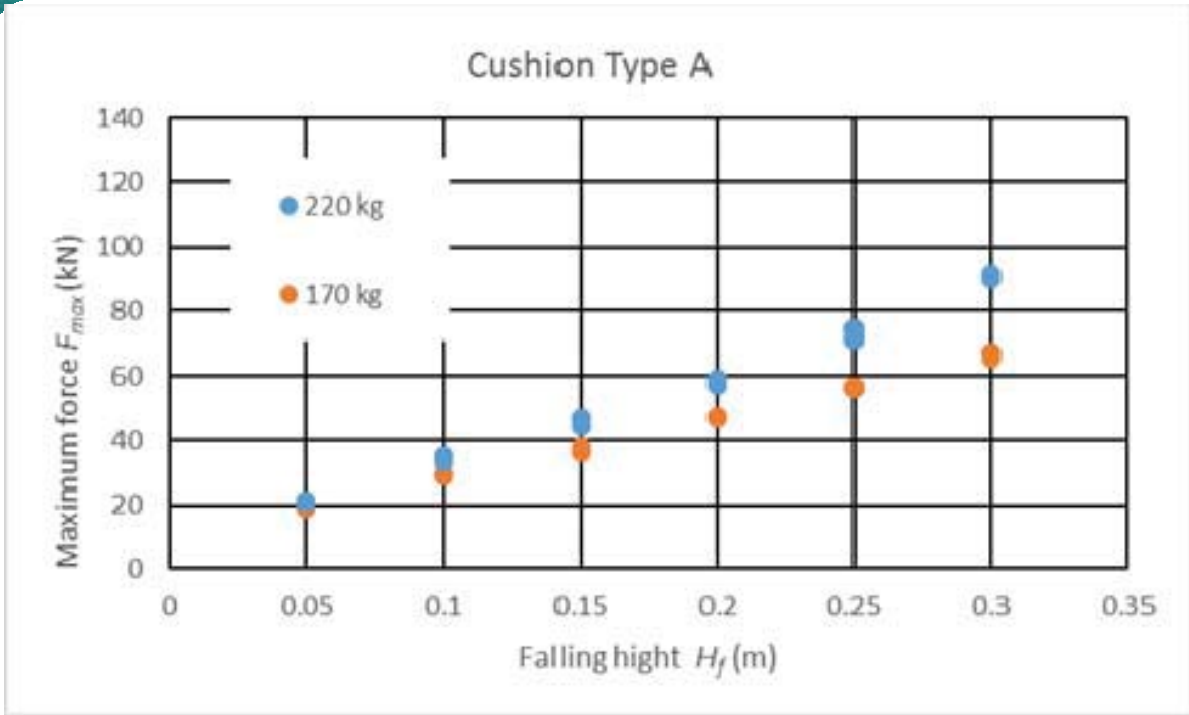
ゴム15個





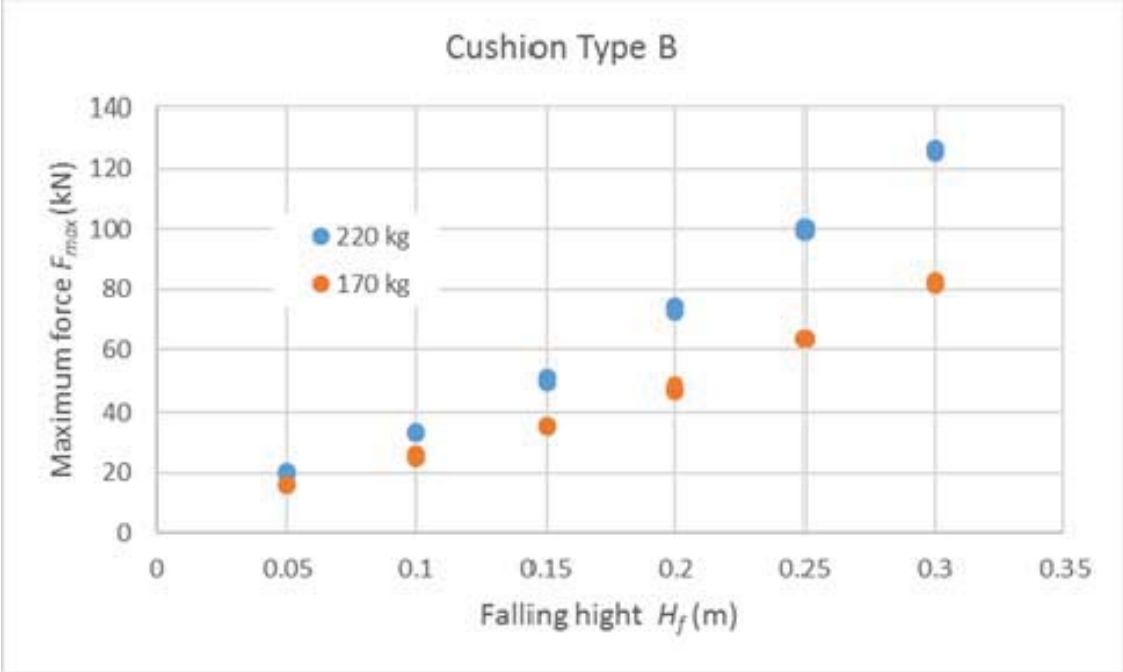
18

Relationship between falling height and maximum force(Type A)



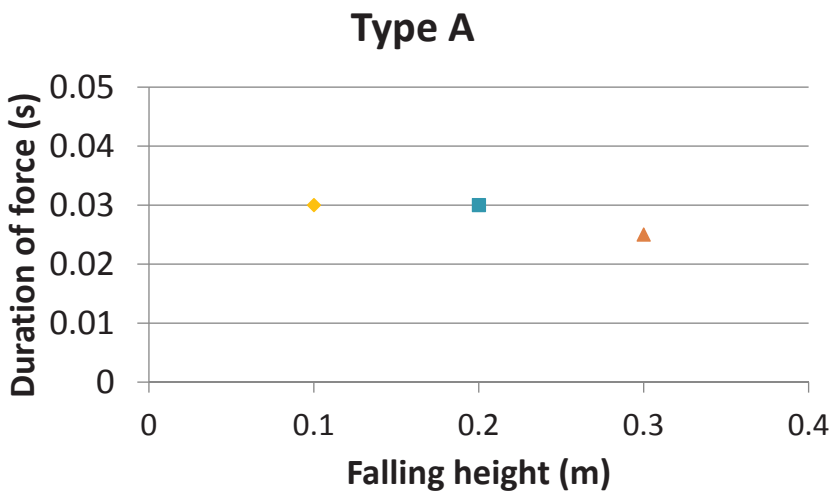
19

Relationship between falling height and maximum force(Type B)



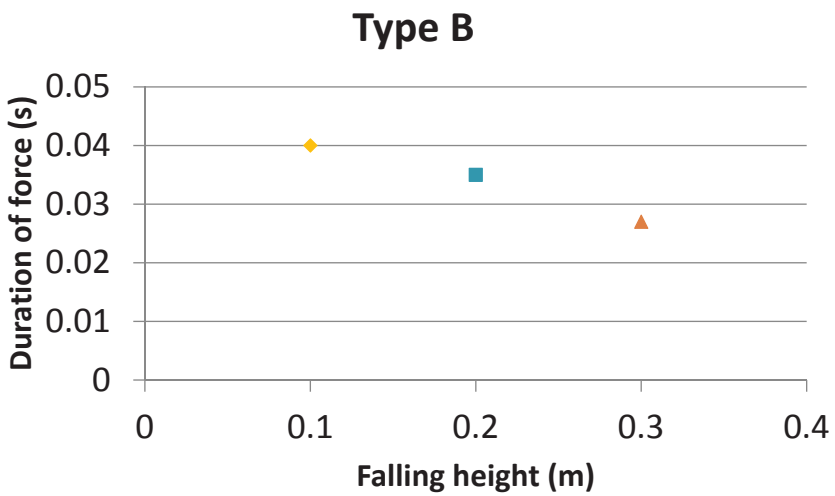
20

Relationship between falling height and duration of force (Type A)



21

Relationship between falling height and duration of force (Type B)



22

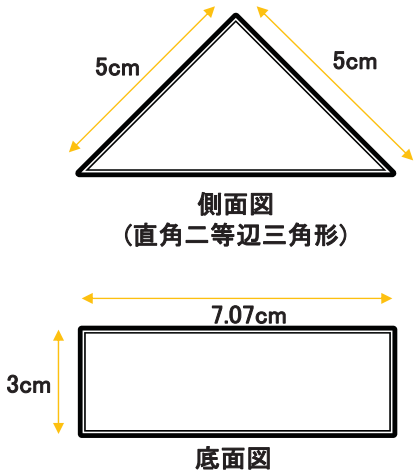
衝撃面に低反発ゴムを用いた衝撃試験

主に空調機、冷凍機用モータコイルの含浸用などに利用されている低反発ゴムを導入

⇩

最大衝撃力波形は近いものに維持し、重錘のバウンドを抑えようと考えた

Arrangement of low rebound rubber (Type C)



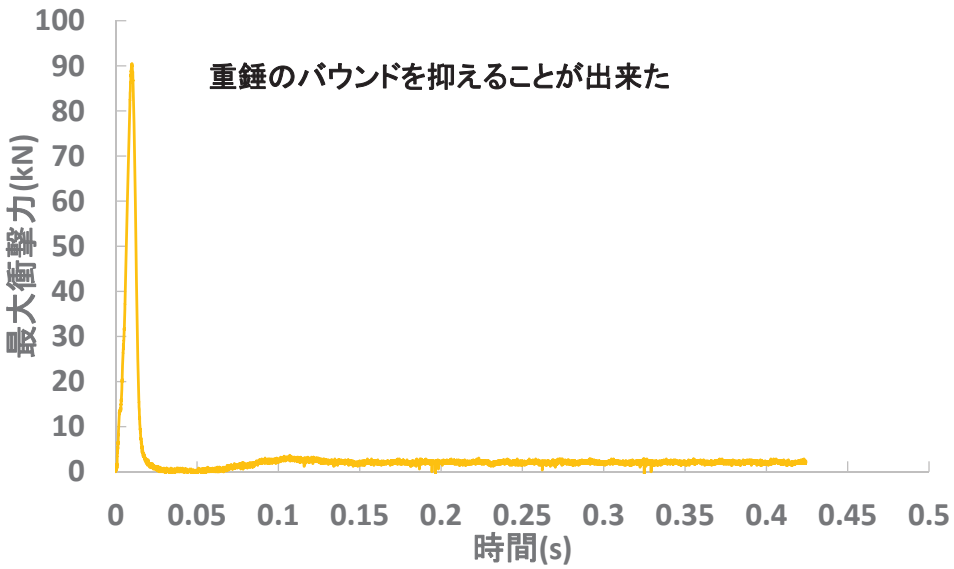
Type C

6 triangles rubbers are arranged

24

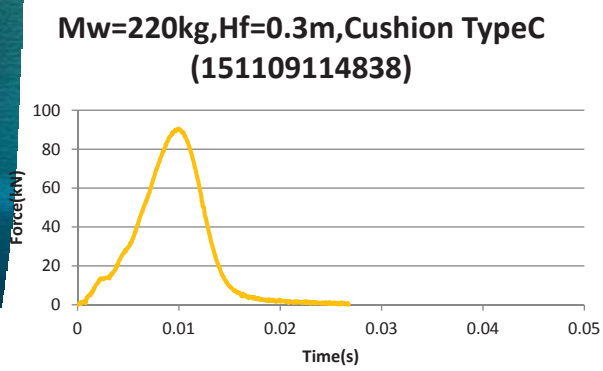
最大衝撃力と時間の関係

落下高さ30cm, 重錘220kg



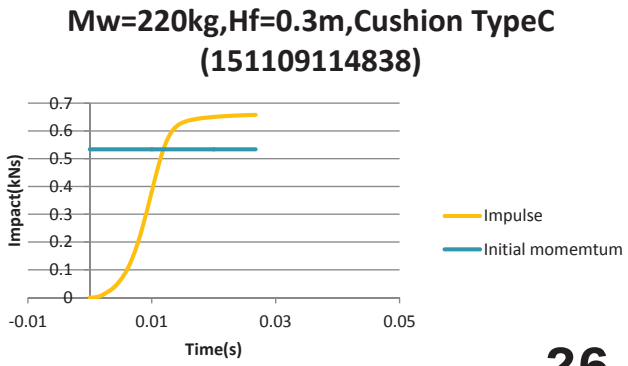
25

Impact force and impulse (M_w=220 kg, H_f=0.3 m, Cushion Type C)



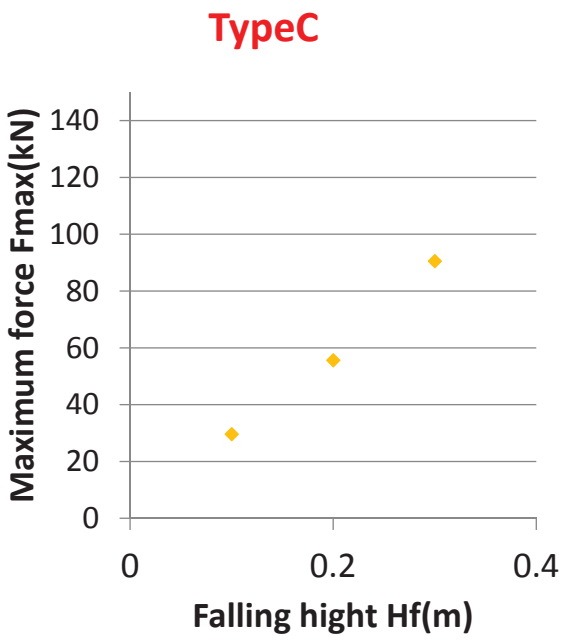
Impact force

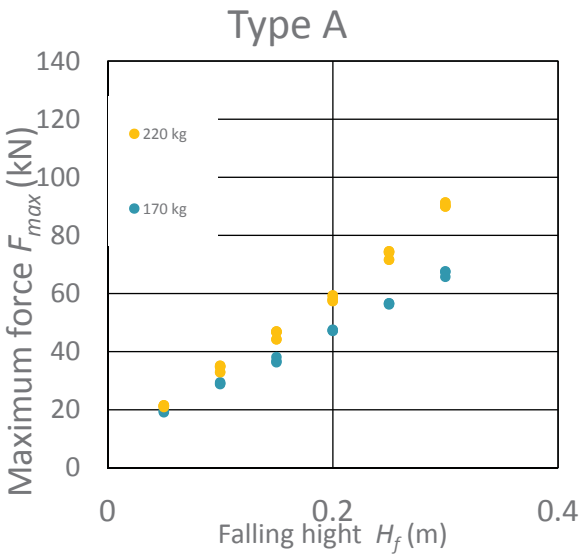
Impulse



26

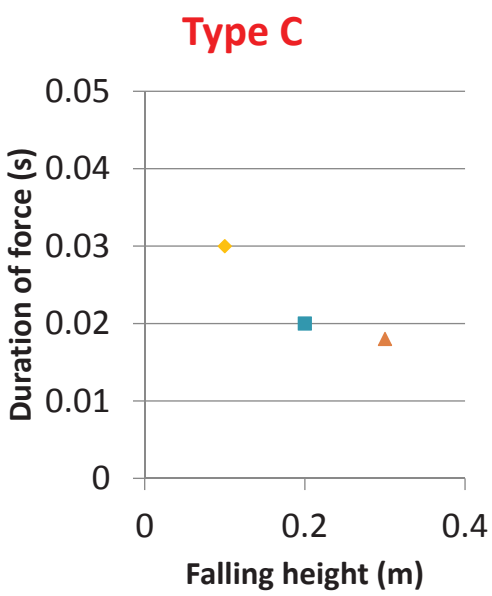
Relationship between falling height and maximum force(Type C)

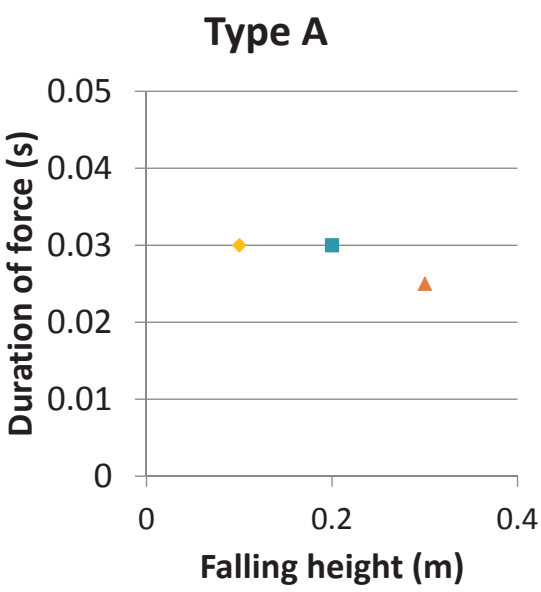




27

Relationship between falling height and duration of force (Type C)





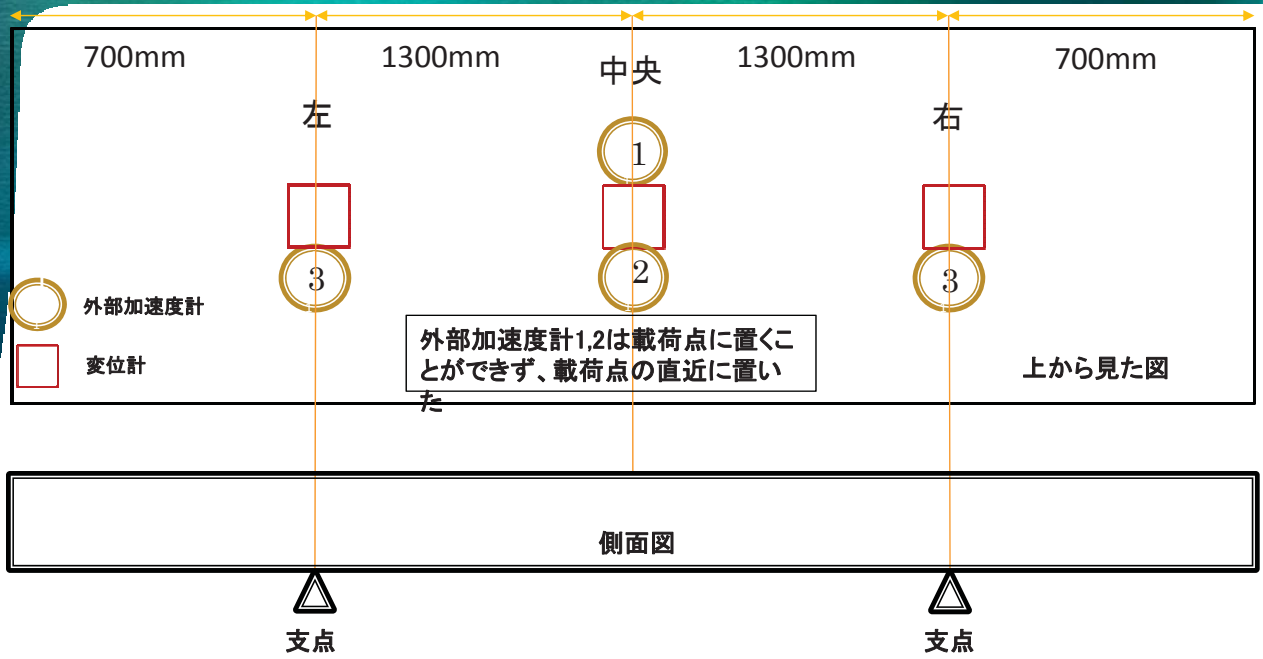
28

大型衝撃加振装置の開発のための試験(外部加速度計の精度)

衝撃面　:低反発ゴムを三角柱に加工したもの
落下高さ :20cm
重錘　　: 220kg

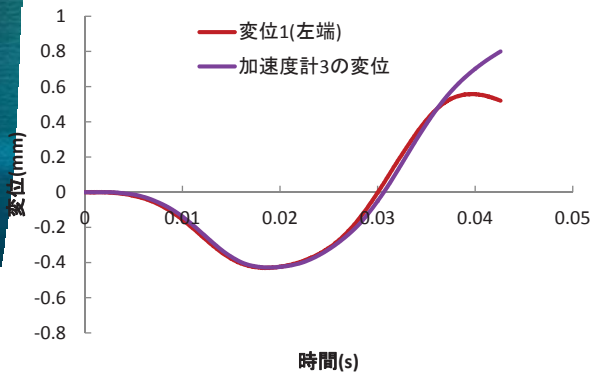
29

6.大型衝撃加振装置の開発のための試験(外部加速度計の精度)

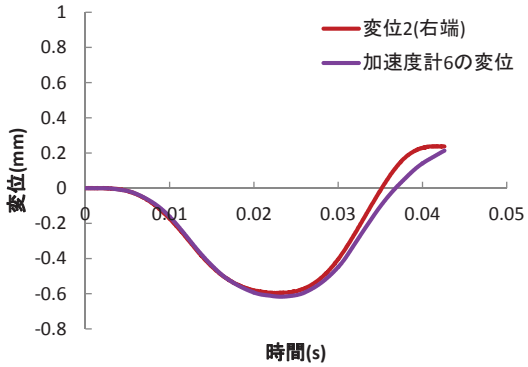


30

外部加速度計を2階微分して求めた変位と変位計で測定した変位の精度の比較



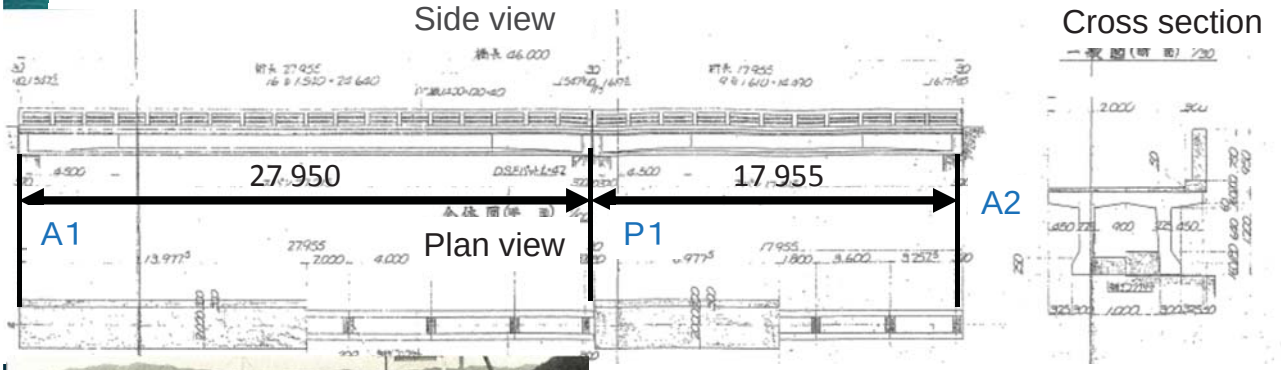
左側支点での変位と時間の関係

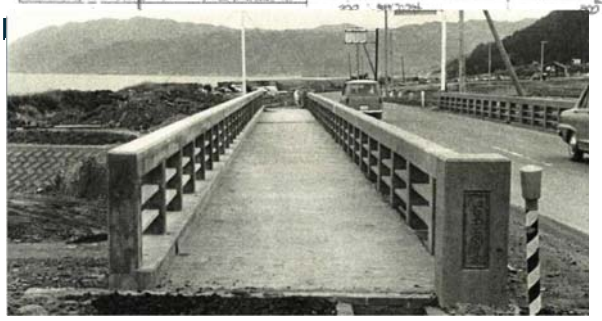


右側支点での変位と時間の関係

31

実橋載荷試験（大蔵橋）
Experiment on a pedestrian bridge





Construction 1972
2 span post-tensioning concrete bridge

32

大蔵橋の現状

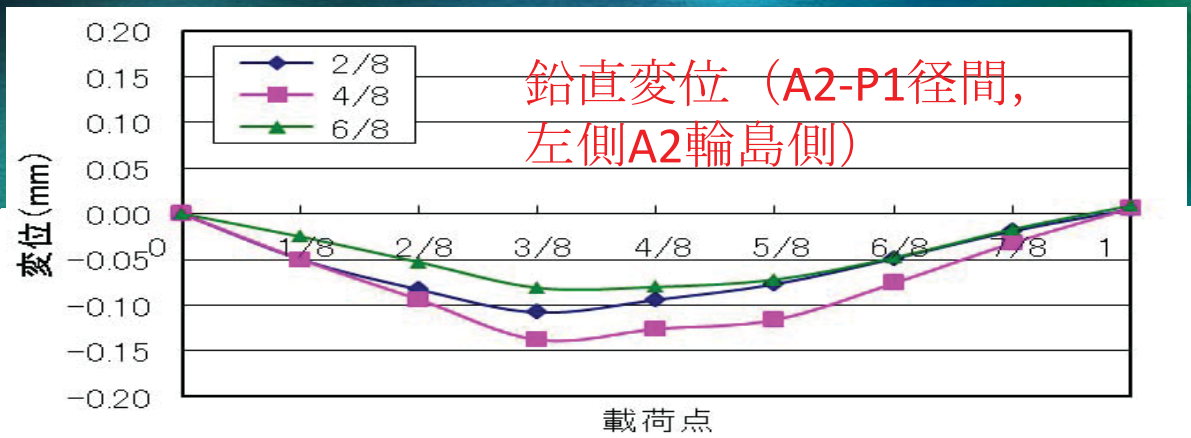
A2-P1径間

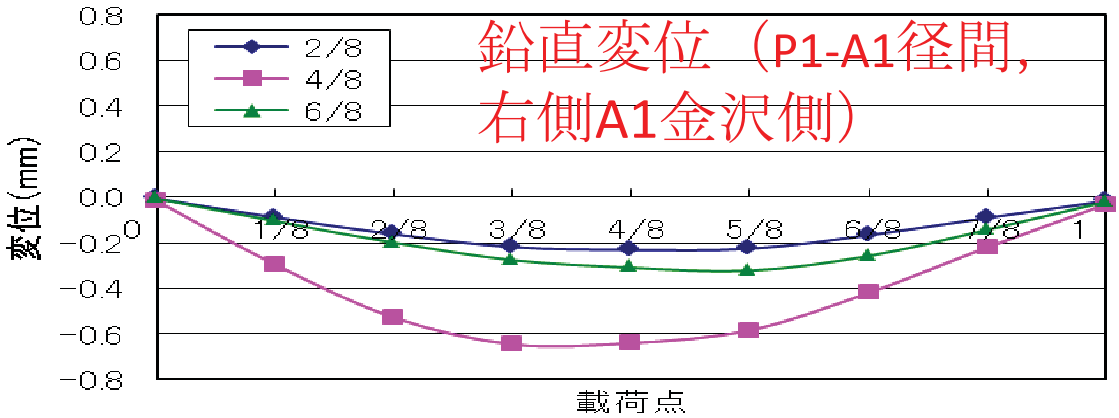
P1-A1径間

静的載荷実験（移動載荷実験）
荷重の総重量は11.32kN

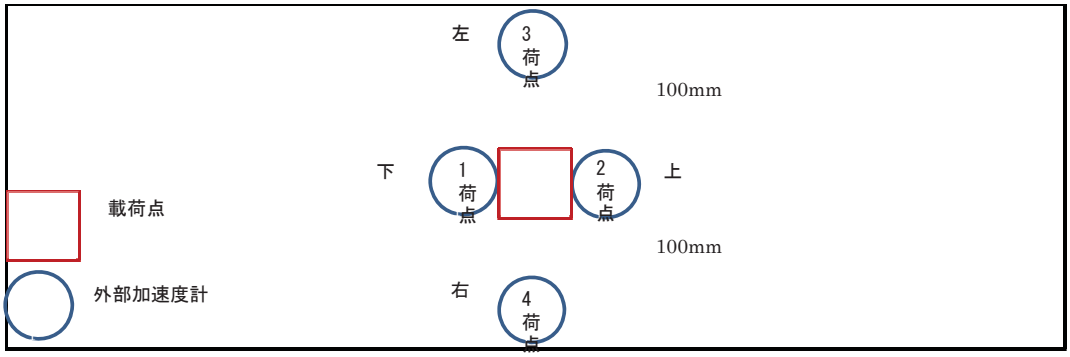
変位計の設置状況支間（1/4，1/2，3/4点に変位計を設置）

A2-P1径間　　P1-A1径間

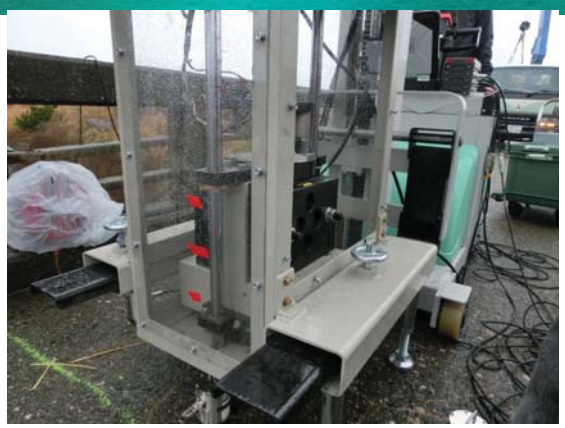




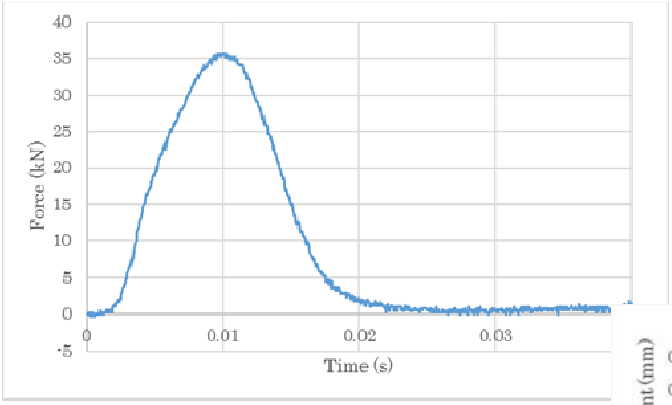
載荷点と加速度測定点



Photos of the experimental situation

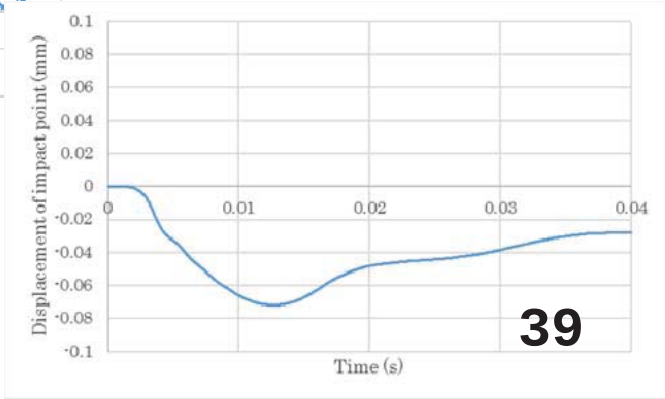


An example of experiment (M_w=220 kg, H_f=0.1 m, Point 2, Cushion Type C)



Impact force

Displacement
(It was obtained by twice integration with respect to time of the acceleration)



まとめ

・ FWD(Falling Weight Defrectometor)の現状とSIVE(自走式衝撃加振装置)開発経緯を示した.

・SIVEのパラメータ(重錘質量, 落下高さ, クッション材の種別)に関する実験結果を具体的に示した.

・低反発ゴム(Type C)が実験に適切であることを示した.

・実橋梁へのの応用例を示した.

・今後さらに実際の橋梁への応用を行っていきたい. 関係者へのご協力をお願いしたい.

北陸地方の橋梁点検データの詳細検討

劣化要因を踏まえた点検結果分析

内容
1　橋梁定期点検データの概要
2　維持管理データ，環境に基づく劣化要因の分類（推定）
3　劣化要因による分析

金沢大学　理工学域
環境デザイン学類　土木材料学研究室
久保善司

研究の背景

定期点検結果の活用

- 劣化しやすい部材の推定
- 橋梁群での劣化予測
  →予算の平準化

⟷

劣化要因・劣化速度：
環境・諸元によって異なる
→個々の橋梁の予測は難しい

今回の研究

橋梁の位置情報
（環境要因）
＋
維持管理データ

→ 劣化原因の推定・分類 → 要因別の劣化速度の推定
劣化予測の精度向上

定期点検データの概要

石川県の点検データを例に検討

分析対象とした橋梁数（上部工による分類）

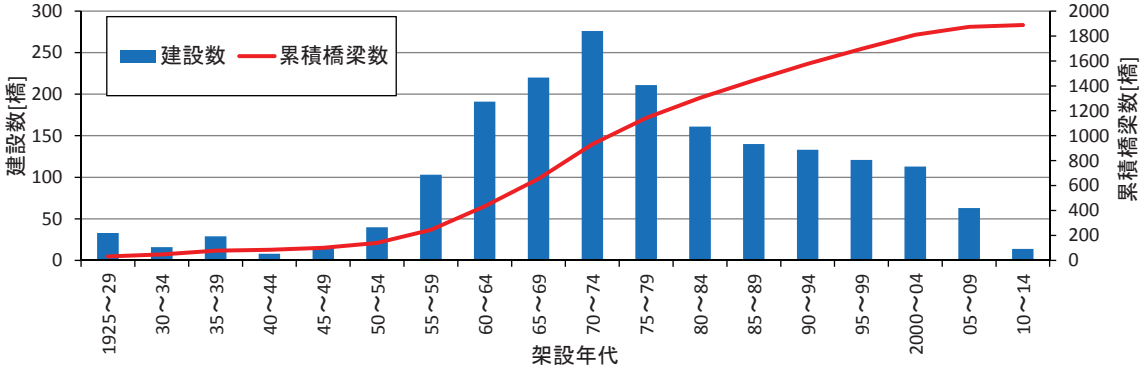
RC橋	PC橋	鋼橋	混合橋	BOX	その他	合計
726	628	278	26	172	128	1958

使用した橋梁データベース項目

橋梁基本番号 橋梁枝番 橋梁名 橋梁種別	上部工材料 緊急輸送路種別 土木事務所名 橋長	幅員 位置座標 交通量 部材別健全度

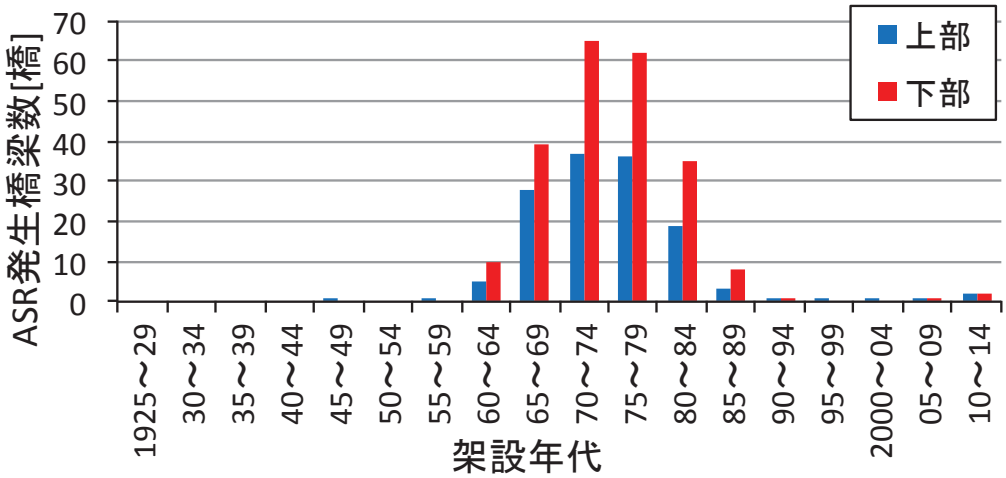
＋ ASR調査データ

＋ 凍結防止剤散布地図



定期点検データの概要

ASR発生状況



ASR発生：1960～1984年に集中

対策後：極めて少数で発生（高い反応性）
→要注意　経過観察

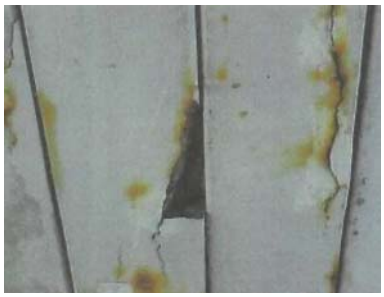
データ概要

分析対象：石川県定期点検データ

健全度	一般的な状況
5	点検の結果から，劣化損傷が認められない
4	損傷が認められ，その程度を記録する必要がある
3	損傷が認められ，追跡調査を行う必要がある
2	損傷が大きく，追跡調査を実施し補修・補強の要否の検討を行う必要がある
1	損傷が著しく，交通安全確保の支障となる恐れがある

主桁：健全度4（エフロ）

主桁：健全度3（剥離，錆汁）



主桁：健全度2（剥落）

劣化要因の推定

対象とした劣化

当該地域（北陸）の地域性 → 塩害（飛来塩分），ASR，凍結防止剤

なお，凍害については今後の予定

飛来塩分環境

橋梁位置座標データをGISに入力 → 海岸からの距離（レベル）を推定

飛来塩分影響の有無と程度を把握

凍結防止剤

凍結防止剤散布区域地図・年度別散布量からGISにレイヤー作成

→ 凍結防止剤の影響有無、程度を把握

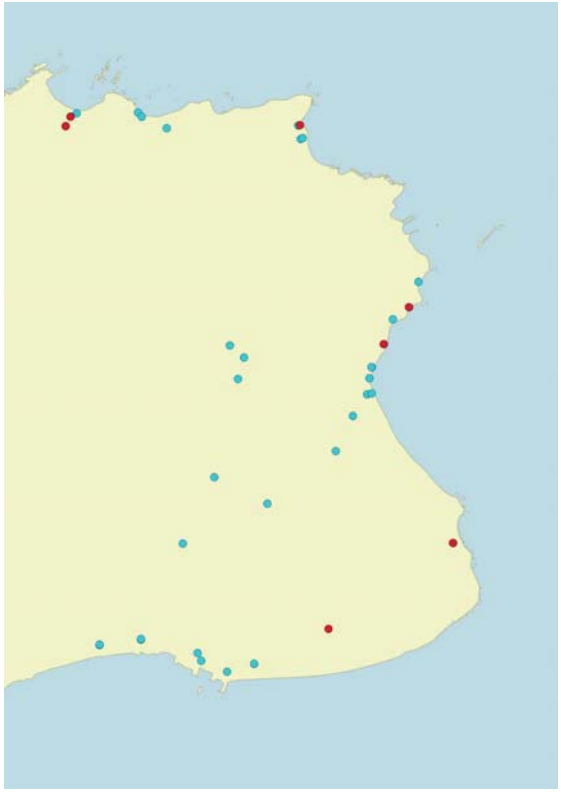
ASR

ASR調査データをデータベース，GISに入力 → 発生の有無を分類

凍害

気象データ，標高データ、凍害危険度マップ → 影響の有無、程度を分類予定

劣化要因の推定



QGISを使用

橋梁の位置情報

＋

飛来塩分の影響範囲 | 凍結防止剤散布地図 | ASR調査データ

↓

橋梁ごとの劣化要因の推定

↓

劣化要因の組合せにより橋梁を分類

塩分浸透・腐食予測に用いた諸式

示方書式

Fickの拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_C \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

見かけの拡散係数

$$\log_{10} D = 3.0(W/C) - 1.8$$

腐食発生限界濃度C_{lim}

$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4$$

海岸距離と表面Cl^-濃度（示方書より）

		飛沫帯	海岸からの距離[km]				
			汀線付近	0.1	0.25	0.5	1.0
飛来塩分が多い地域	北海道・東北・北陸・沖縄	13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5

拡散計算条件

	W/C	かぶり厚
PC主桁	40%	4cm
RC主桁	55%	4cm
RC下部工	55%	8cm

腐食ひび割れ発生限界量

$$W_{cr} = 10(C/d)$$

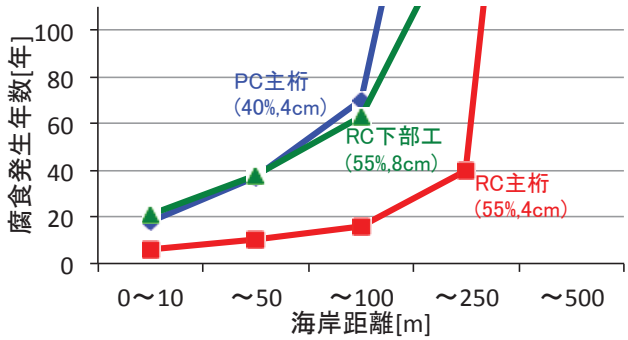
腐食速度（仮定値）

1～4mg/cm²/year

影響範囲の推定

塩害の影響範囲

腐食発生年数を計算，100年以内に腐食が発生する範囲



海岸距離[m]	0~10	~50	~100	~250	~500
C_0[kg/m^3]	13.0	6.5	4.5	3.0	2.0

PC主桁：100m以内
RC主桁：250m以内
下部工：100m以内

凍結防止剤の影響の有無

凍結防止剤散布地図から推定

ASRの影響の有無

ASR発生調査データから推定

9

飛来塩分影響の有無の分類

海岸からの距離，供用年数→腐食発生の有無、その後の経過期間（腐食年数）を把握

示方書の方法
- 海岸距離→表面塩分濃度
- W/Cによる拡散係数
- W/Cによる腐食発生限界濃度（PC,RC区別）
- かぶり（上部:4cm、下部 8cm)

→ 腐食発生時期
腐食発生期間
（ひび割れ発生時期）

海岸距離と腐食発生時期
（年）

海岸距離[m]		0~10	~50	~100	~250	~500
表面Cl⁻濃度[kg/m^3]		13.0	6.5	4.5	3.0	2.0
W/C	かぶり	腐食発生時期				
40%	4cm	18	37	70	-	-
45%	4cm	12	24	43	-	-
55%	4cm	6	10	16	10	-
	8cm	21	38	63	-	-
60%	4cm	4	7	10	22	-
	8cm	14	25	39	85	-

腐食ひび割れ発生限界量

$Wcr = 10 \cdot (C / d)$ (mg/cm^2)　C:かぶり (mm), d:鉄筋径 (mm)

JCI:コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書(III)

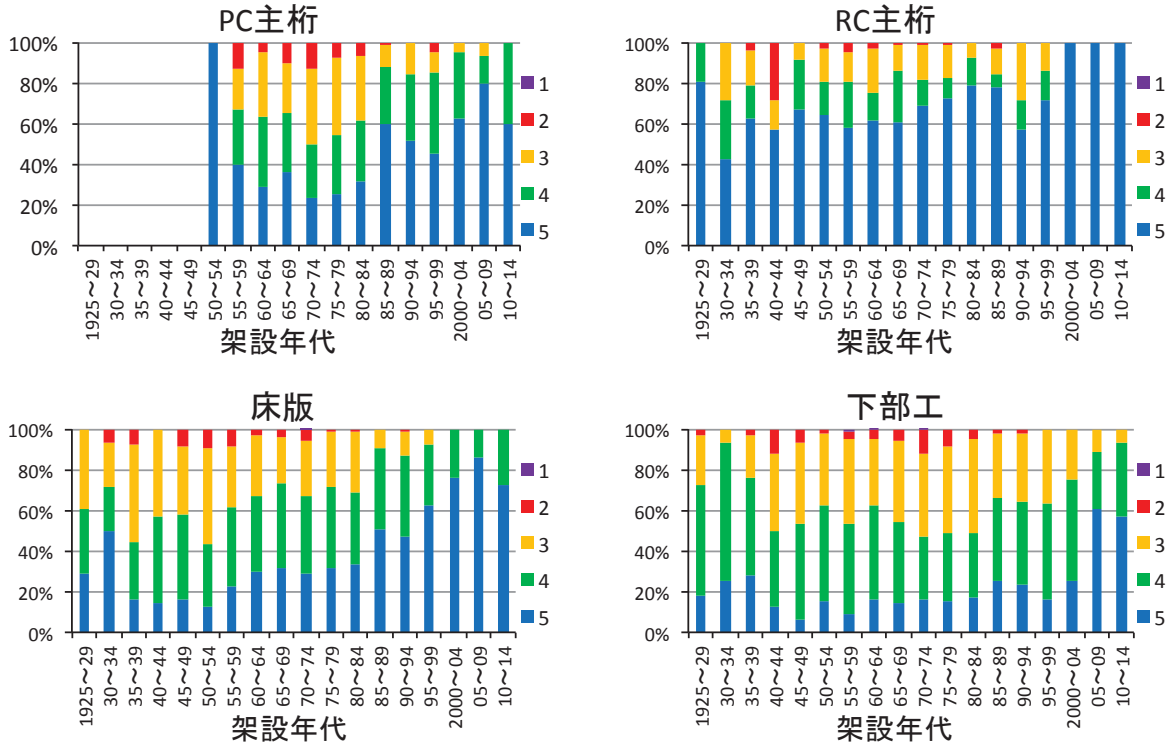
	19	22	25	29	32
10	5.26	4.55	4.00	3.45	3.13
20	10.53	9.09	8.00	6.90	6.25
30	15.79	13.64	12.00	10.34	9.38
40	21.05	18.18	16.00	13.79	12.50
50	26.32	22.73	20.00	17.24	15.63
60	31.58	27.27	24.00	20.69	18.75
70	36.84	31.82	28.00	24.14	21.88
80	42.11	36.36	32.00	27.59	25.00
90	47.37	40.91	36.00	31.03	28.13
100	52.63	45.45	40.00	34.48	31.25

リスク予測のための推定値
かぶり不足等　10mg/cm2
桁　15～20mg/cm2
下部　20～35mg/cm2

腐食速度
環境、品質、Cl量による
早期　4mg/cm^2・year と仮定
遅い　1mg/cm^2・year と仮定

早期に起こる場合
かぶり不足
発生から2年
桁　5-20年
下部　10年-35年

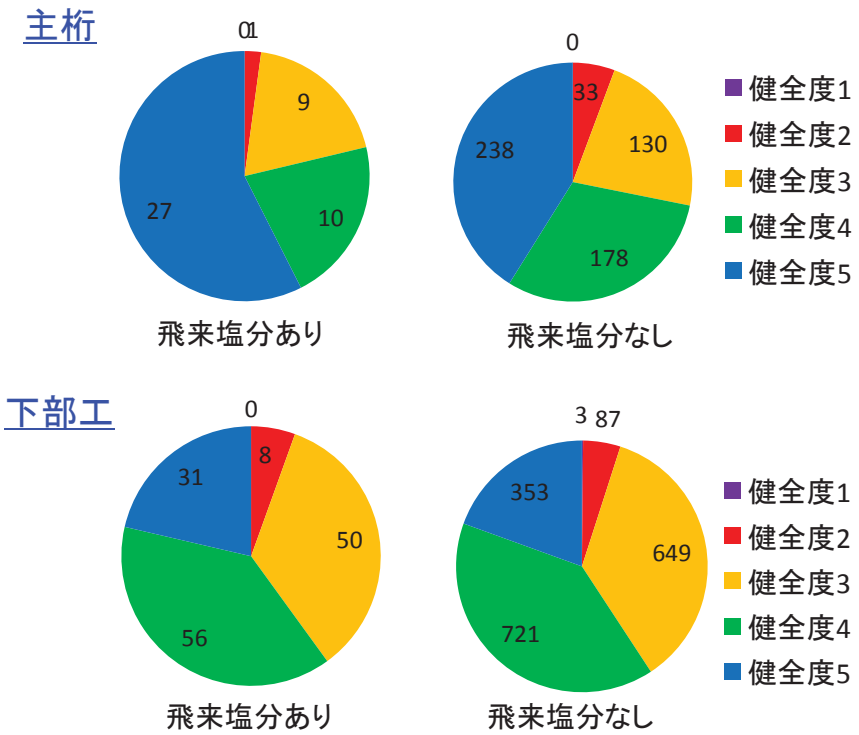
架設年代が健全度に与える影響



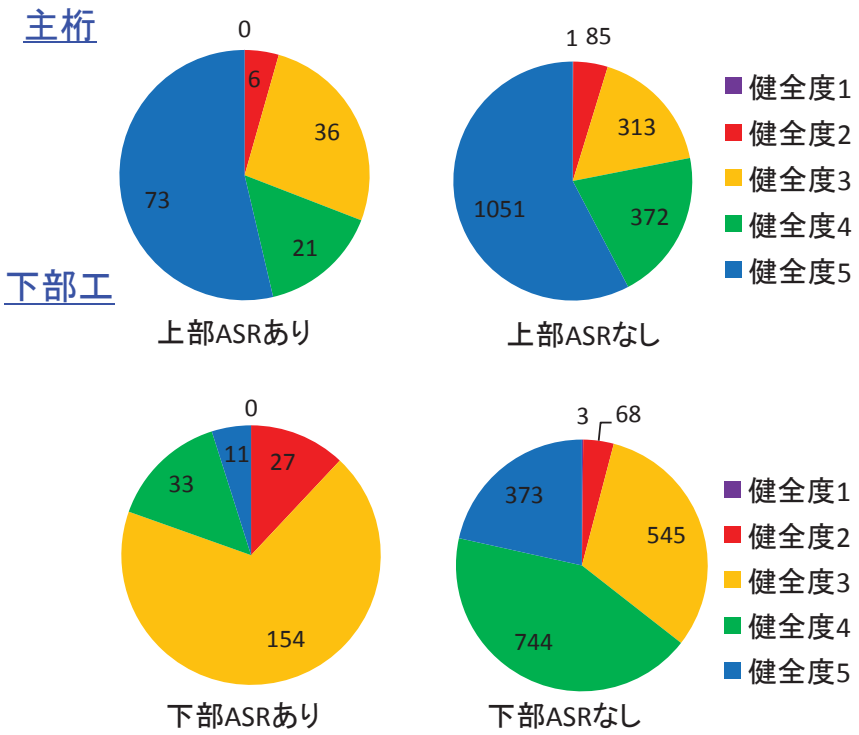
1980年以前では健全度変化が横這い　➡　補修が行われた可能性

12

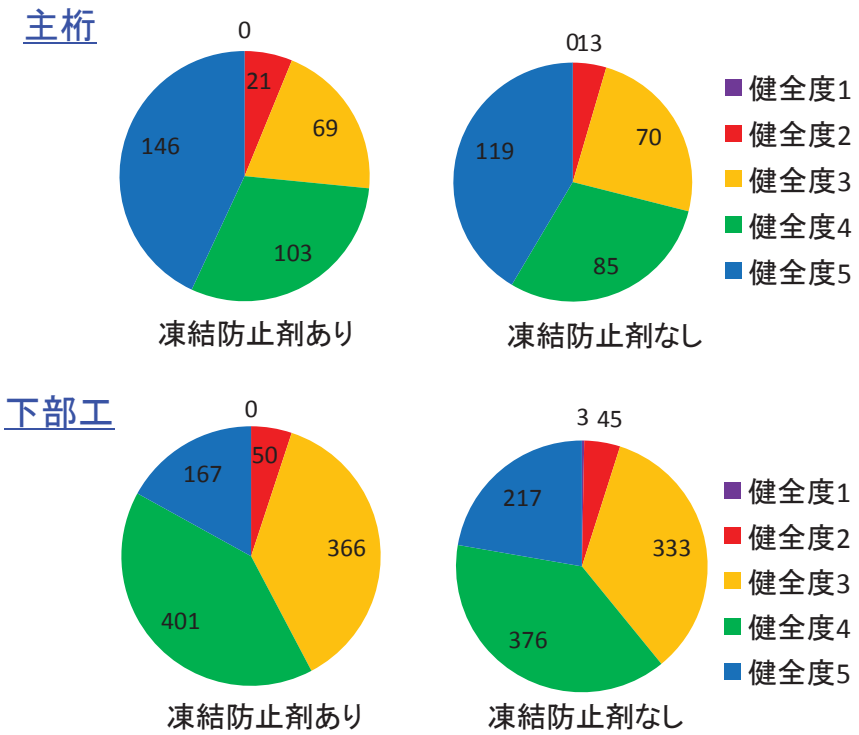
飛来塩分の有無による健全度割合の変化



ASRの有無による健全度割合の変化

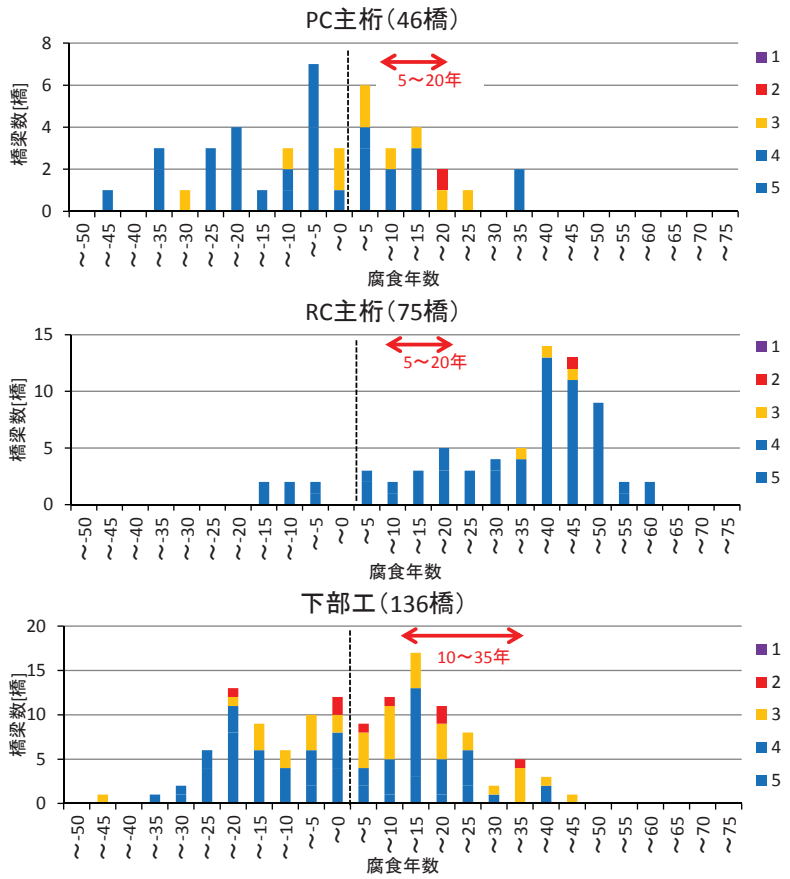


凍結防止剤の有無による健全度割合の変化



腐食年数による健全度への影響

対象：飛来塩分の影響範囲内



腐食年数
＝供用年数－腐食発生年数

主桁：5～20年
下部工：10～35年
で健全度変化と予想される

主桁：
概ね予想通りに変化

下部工：
早期劣化(複合劣化等)

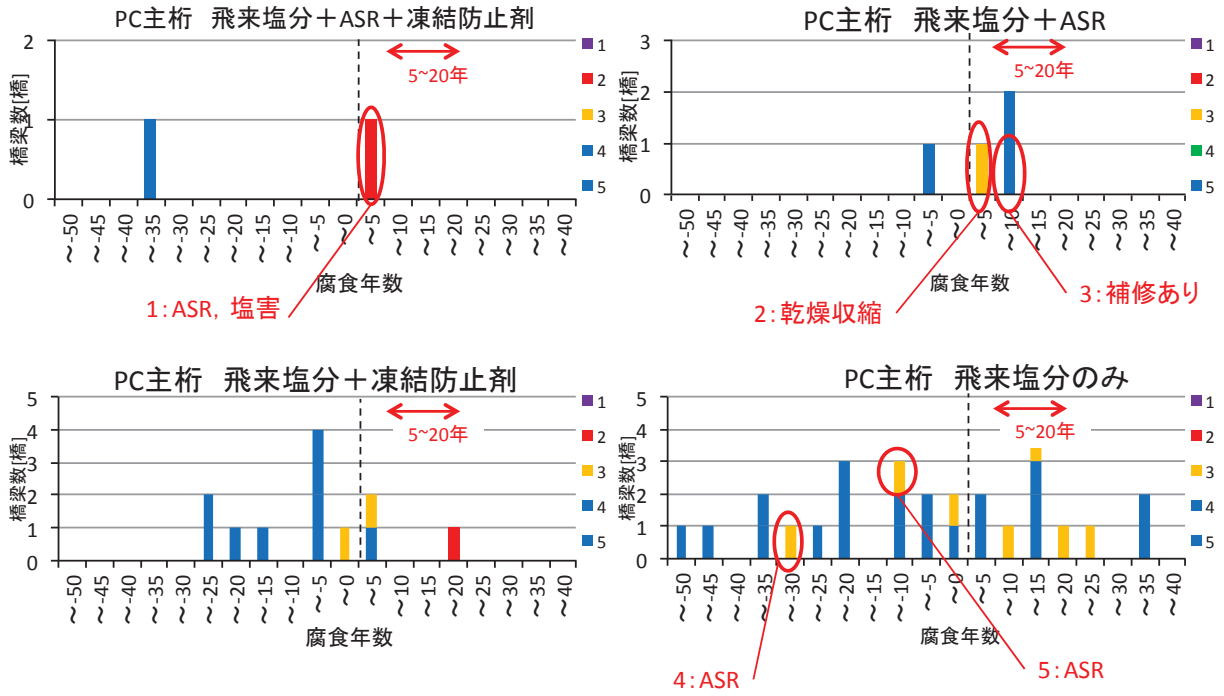
劣化要因の組合せによる分類

飛来塩分，ASR，凍結防止剤の有無により橋梁を分類

カテゴリ		S-A-D	S-A	S-D	S	A-D	A	D	N
劣化要因	飛来塩分	○	○	○	○				
	ASR	○	○			○	○		
	凍結防止剤	○		○		○		○	
橋梁数	PC主桁	2	4	12	28	18	29	307	226
	RC主桁	3	6	26	40	14	39	229	370
	床版	5	10	38	68	34	69	553	602
	下部工	9	19	37	71	76	121	862	763

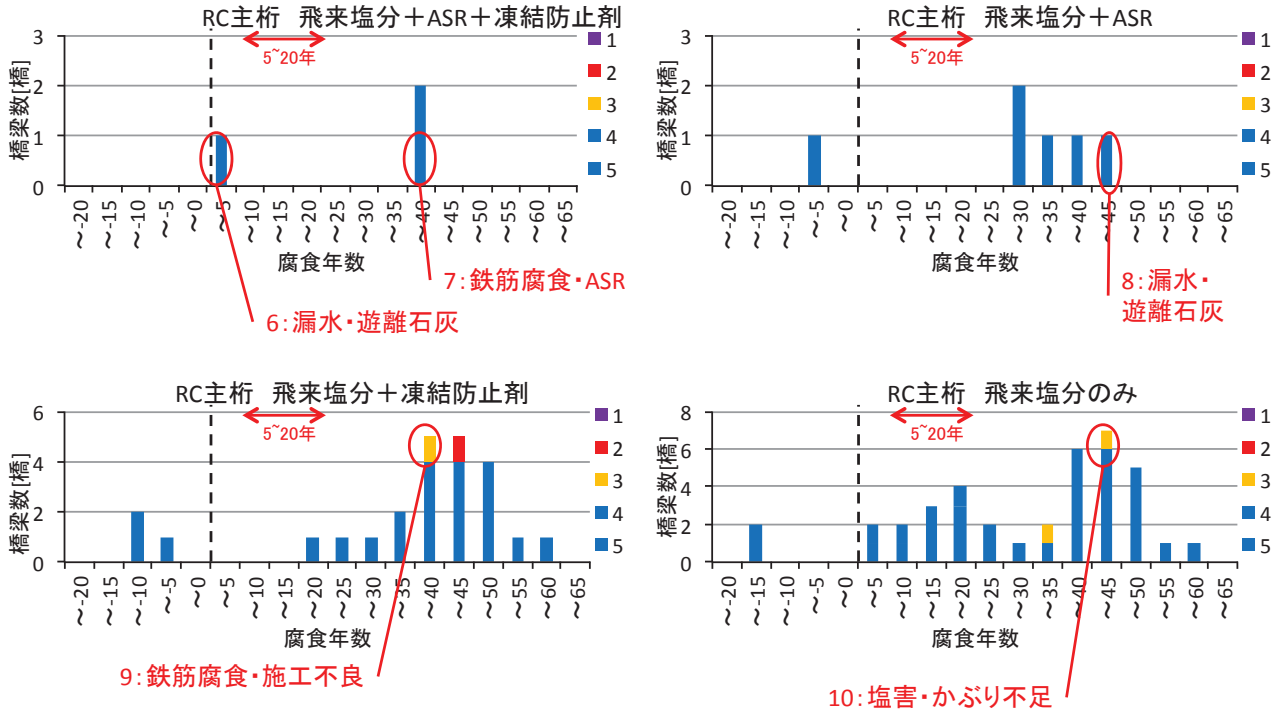
劣化要因の複合した橋梁は全体に比べ割合が少ない → 高リスクの橋梁は個別に管理が可能

腐食年数と健全度（PC主桁）



点検調書の調査 → 補修履歴・劣化要因の確認が可能

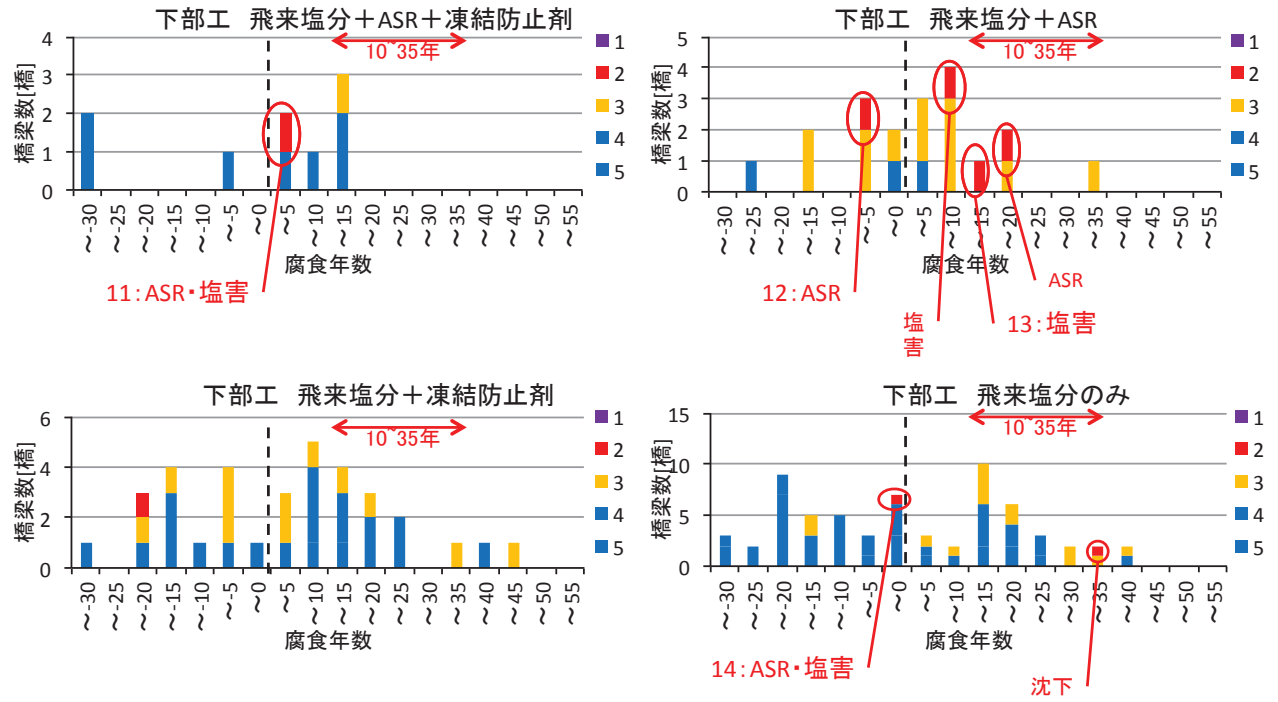
腐食年数と健全度（RC主桁）



点検調書の調査 → 補修履歴・劣化要因の確認が可能

19

腐食年数と健全度（下部工）

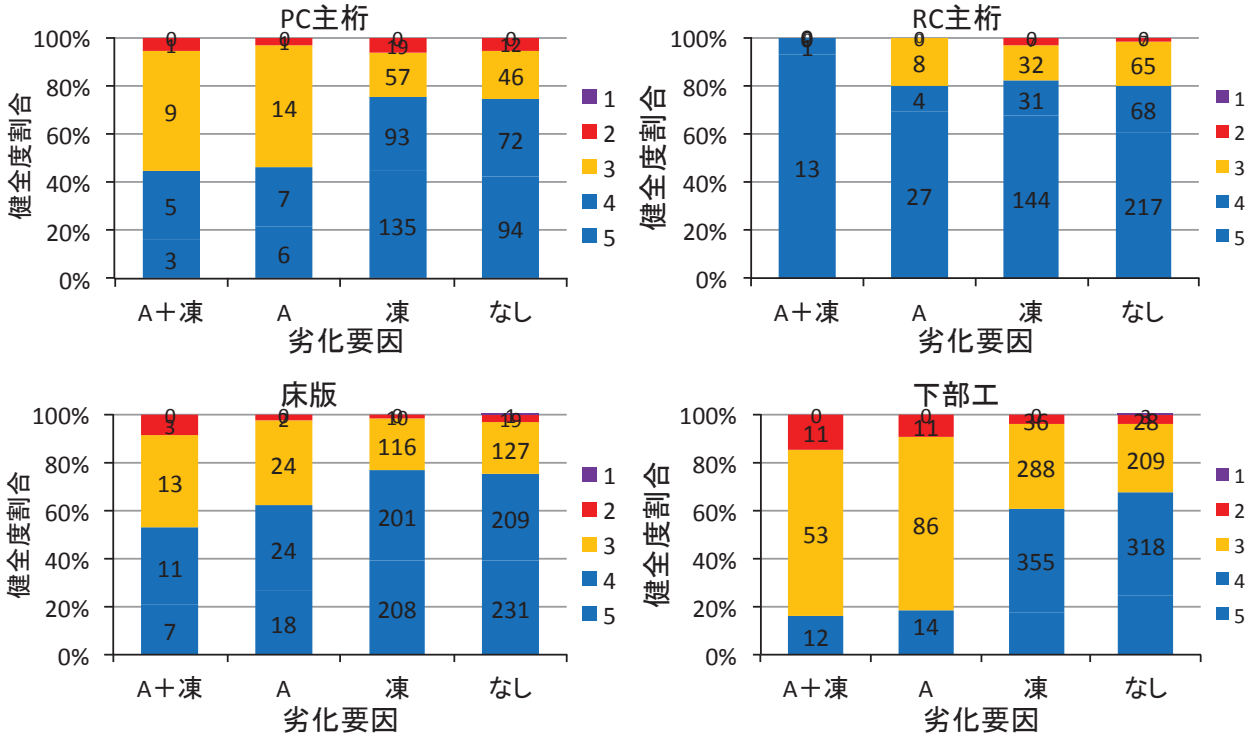


点検調書の調査 → 補修履歴・劣化要因の確認が可能

20

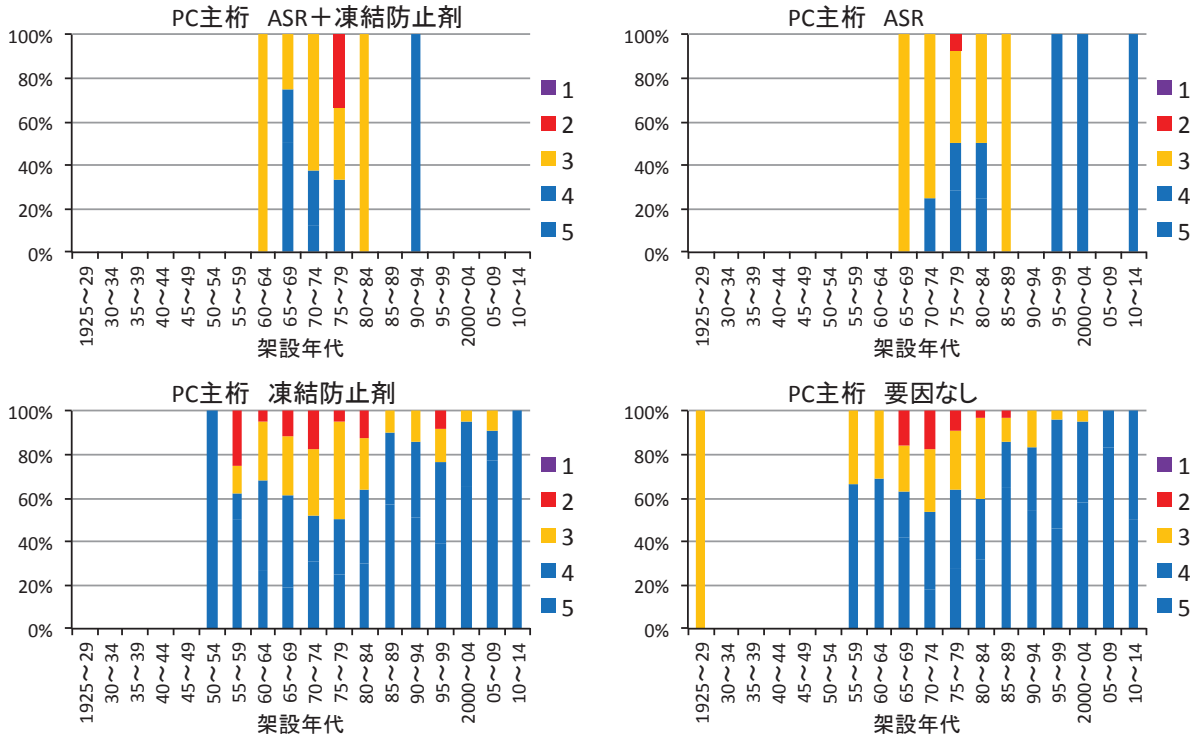
劣化要因による分類

飛来塩分影響なし



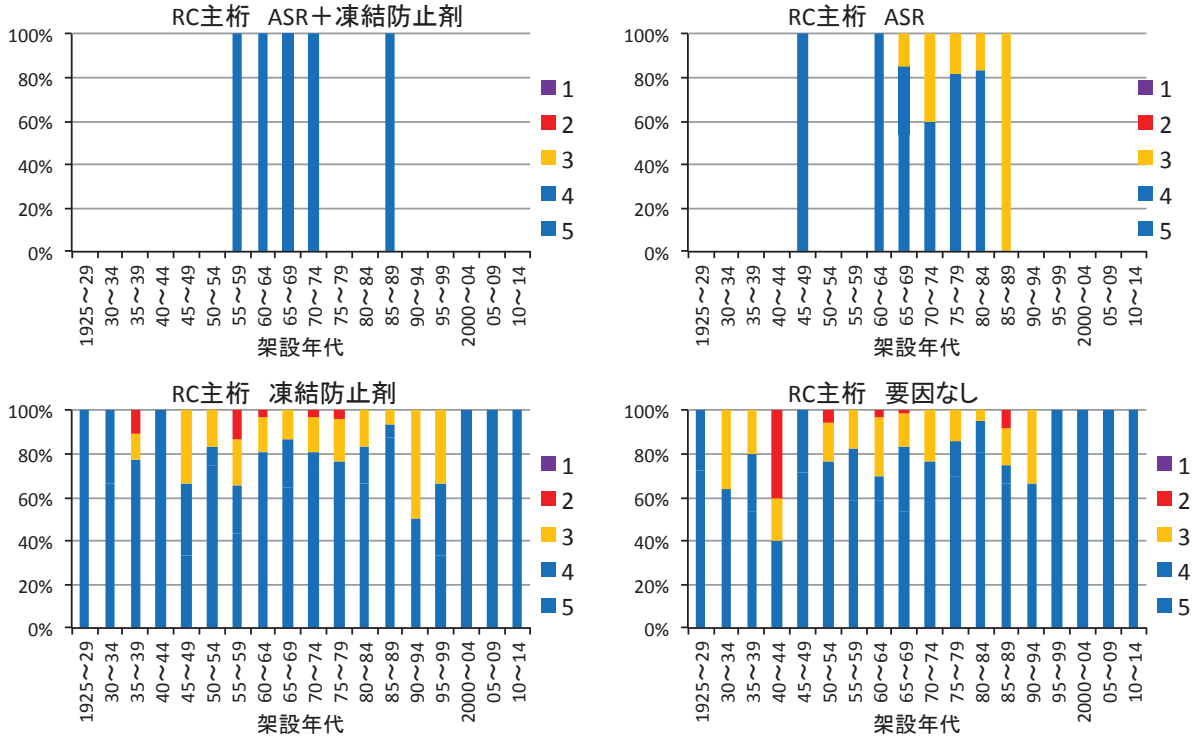
劣化要因による分類

PC主桁



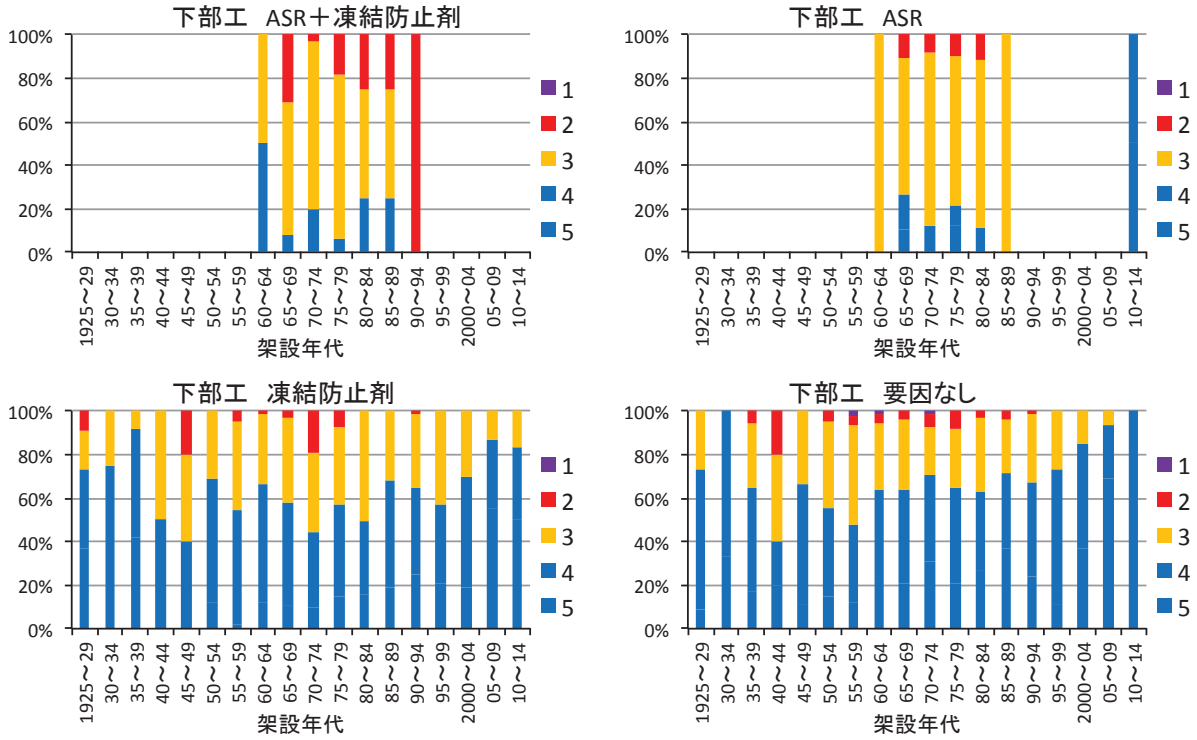
劣化要因による分類

RC主桁



劣化要因による分類

下部工



実地調査

協力：石川県診断士会

調査項目

- 補修履歴の有無
- 塩害・ASRの有無
- 現在の損傷および健全度

調査対象

1980年以降に建設　かつ　飛来塩分の影響を受けるコンクリート橋
石川県の点検から2～9年が経過

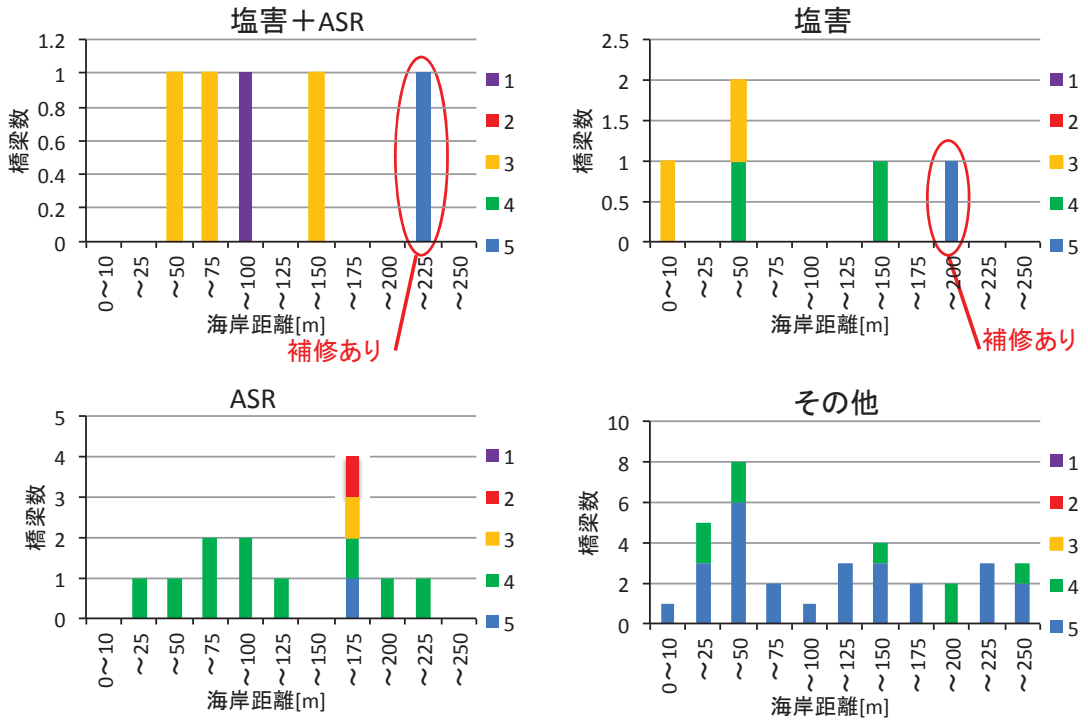
調査結果

県データとの比較	健全度が劣化	健全度変化なし	健全度が回復
上部工	18	26	23
下部工	6	22	37

健全度が回復
→補修の可能性
短期間で劣化
→劣化原因の特定

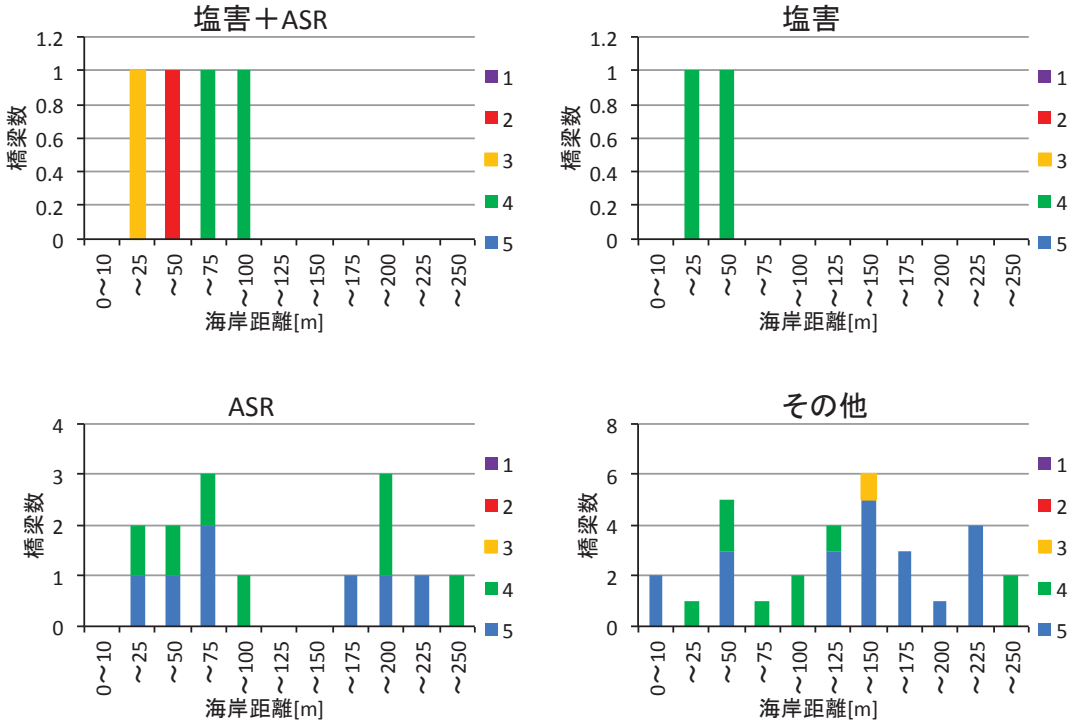
実地調査：海岸距離と健全度

上部工（主桁・地覆）



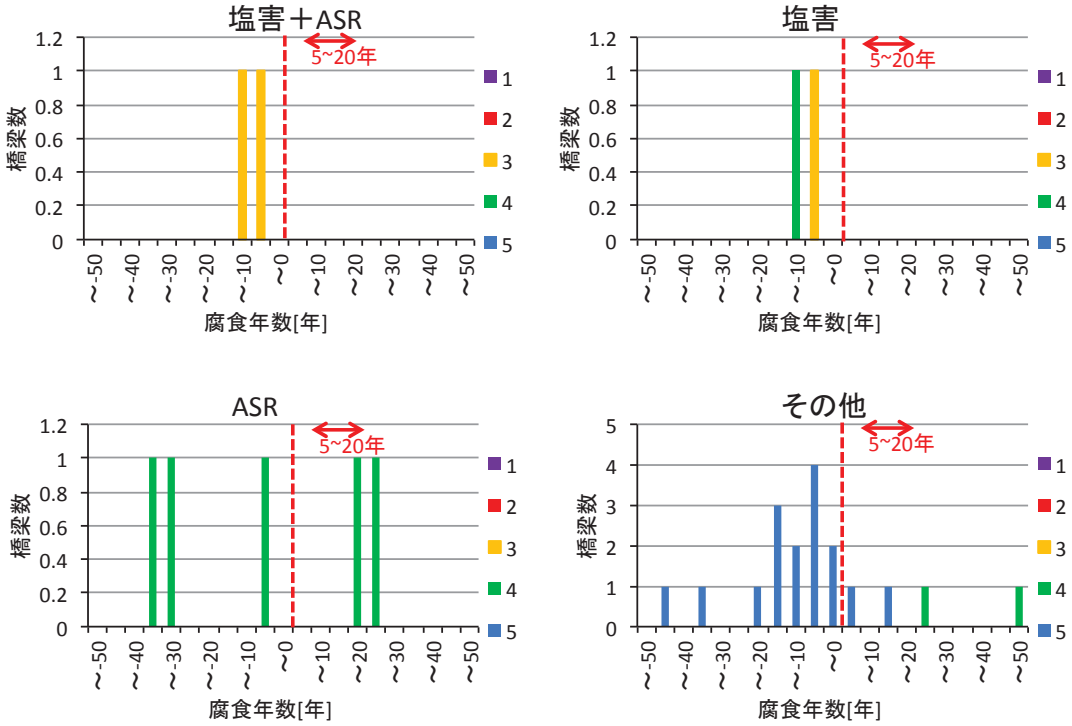
実地調査：海岸距離と健全度

下部工（橋台）



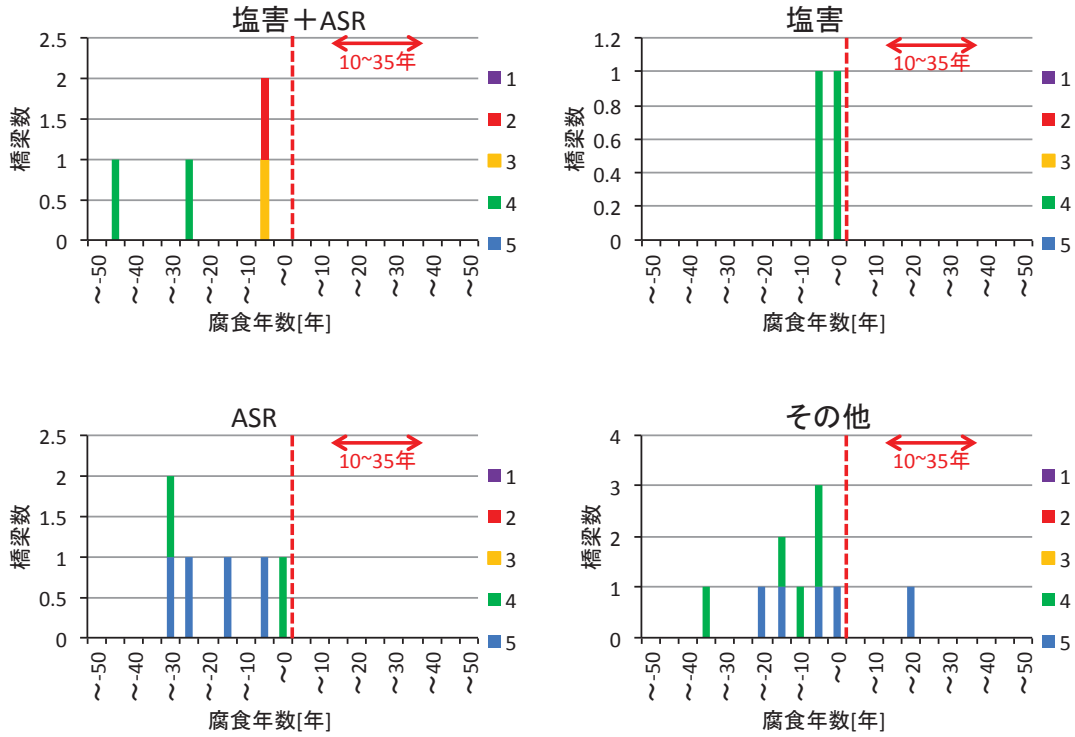
実地調査：腐食年数と健全度

上部工（主桁・地覆）



実地調査：腐食年数と健全度

下部工（橋台）



まとめ

研究結果

1. 橋梁定期点検結果に他の調査結果，データを組合せ，劣化要因ごとにカテゴリに分類
2. 劣化要因が複合し，リスクが高い橋梁は比較的少ない
3. 劣化要因が複合する場合には、健全度が低下しやすい（劣化しやすい，特にASRは顕著）

今後の課題

補修歴のデータ化；劣化速度の高精度化
（補修の有無および補修時期，補修内容のカテゴライズ）
潜在的に劣化リスクを持つ橋梁群の維持管理

ひび割れ等が生じた構造物への簡易かつ経済的な補修工法の開発

シラン系含浸材によるひび割れ簡易補修方法に関する検討

ASR，凍結防止剤，飛来塩分などの使用・材料環境

↓

経過観察措置中にも，ひび割れからの塩分浸透
早期劣化の可能性 （特に，複合劣化の場合）

↓

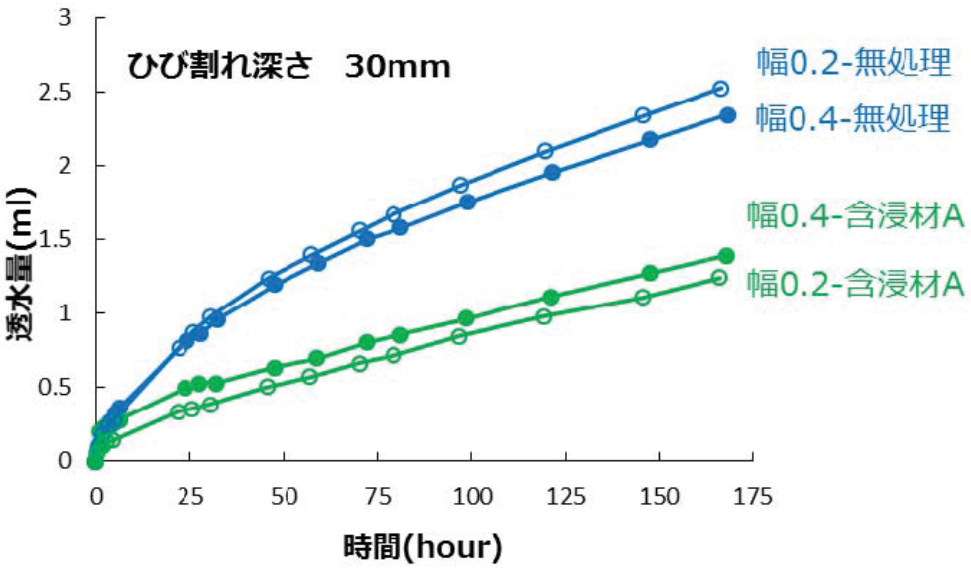
簡易かつ経済的な簡易な予防保全策
弱点部の改善

↓

シラン系含浸材による
ひび割れ部の改善

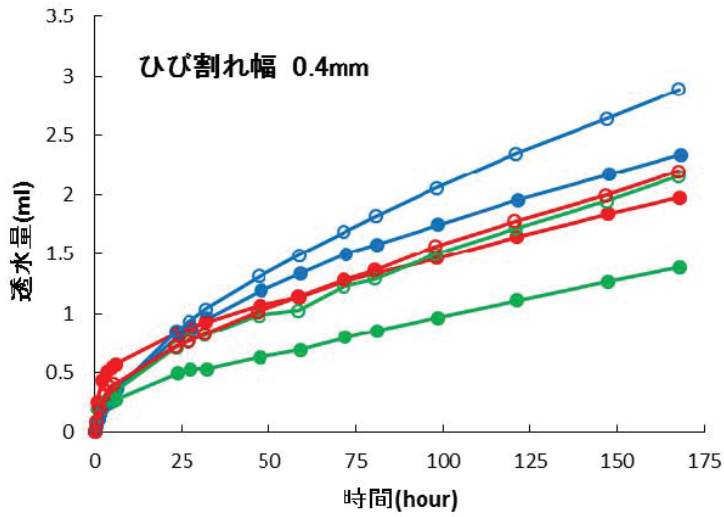
透水試験
　ひび割れ幅，深さの影響
　ひび割れ部からの浸透
吸水試験
　現実的な水分供給下の効果

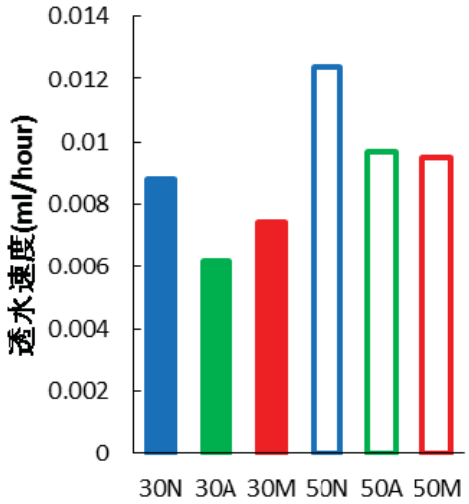
ひび割れ幅の影響



ひび割れ幅が透水に与える影響　⇒　影響小

ひび割れ深さの影響





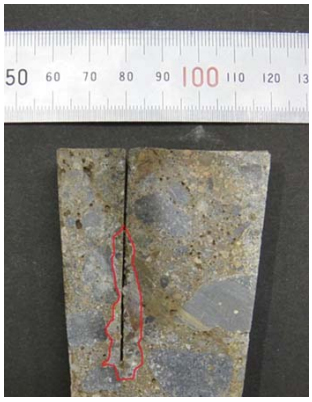
深さ30-無処理　深さ30-含浸材A　深さ30-含浸材M
深さ50-無処理　深さ50-含浸材A　深さ50-含浸材M

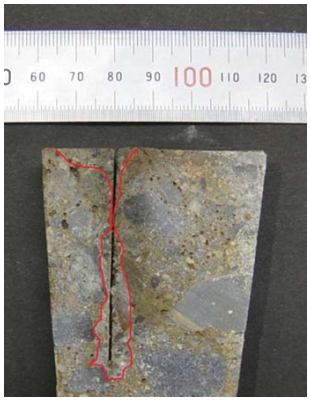
ひび割れ深さが透水に与える影響　⇒　深さ大 → 透水量，透水速度大
(透水面積の差，水圧の差から)

ひび割れからの塩分浸透

無処理　**含浸材A**　**含浸材M**

浸透深さ





含浸深さ

ひび割れ深さ
25～30mm程度
まで形成

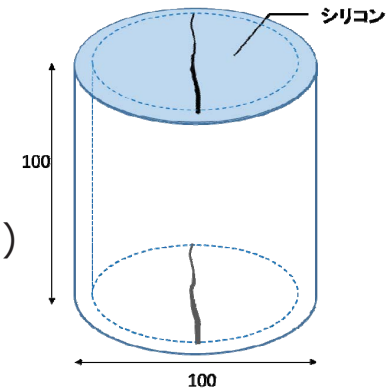
ひび割れ深さ
20～30mm程度
まで形成

含浸材を適用したひび割れからの浸透　⇒　未含浸部からが主

吸水試験

供試体作製

Φ100×100mm
養生1週間後割裂
ひび割れ導入(平均ひび割れ幅0.35mm)
含浸材塗布後1週間の乾燥



要因

無処理 ／ 含浸材A ／ 含浸材M

試験方法

水頭10mmに浸漬面を設定
1時間の浸漬試験
質量変化により吸水量を測定

	吸水した供試体数	平均吸水量(ml)
無処理	12 / 12	5.81
含浸材A	3 / 10	0.07
含浸材M	2 / 12	0.08

実環境に近い水分供給環境下
⇒ 吸水を大幅に抑制