

阪神高速の第三者災害防止および 構造物延命化の取り組み

阪神高速技術株式会社 酒井 優二

点検時応急措置

点検時の損傷へのアクセスの機会の活用

阪神高速の点検時措置

以前は・・・

時間的ロス(損傷確認後に別途補修班で対応)
経済的ロス(点検費・補修費が非効率な状態)
⇒点検と補修が切り離されて考えられていた

現在の点検時応急措置は、

接近点検という機会を最大限利用した
「効率的な維持管理手法」
として現在も適用の拡大を続けている。

接近点検の重要性

定期点検(接近)		損傷数	路下点検(遠望)		損傷数
点検時 措置前 判定	S2	864	判定 ランク	S1	0
	A	766		S2	114
	B	4,507		A	153
	C	15,459		B	22
合計		21,596	合計		289

※H25.4-H26.3 松原線にて比較

遠望目視点検

→要補修損傷を約16%しか発見できない
(梁上損傷・ひび割れは、ほぼ発見不可)

接近点検が重要!

【参考】阪神高速の損傷の判定区分

損傷の判定

判定区分	損傷状況	適用
S	S1 機能低下が著しく、 道路構造物の安全性 から緊急に対策の必要がある場合	緊急に対策を実施すべきである。それが出来ない場合は、少なくとも応急的な措置を行い当面の安全性を講ずる必要がある
	S2 第三者への影響がある と考えられ、緊急に対策の必要がある場合	
A	機能低下があり、対策の必要がある場合	日常点検:実務的に可能な限り早急に対策を講ずる必要がある 定期点検:対策区分の判定結果による
B	損傷の状態を観察する必要がある場合	原則として次回点検までに対策を実施する必要はないが、他の補修計画を考慮したうえで計画的に補修するのが良い
C	損傷が軽微である	
OK	上記以外の場合	

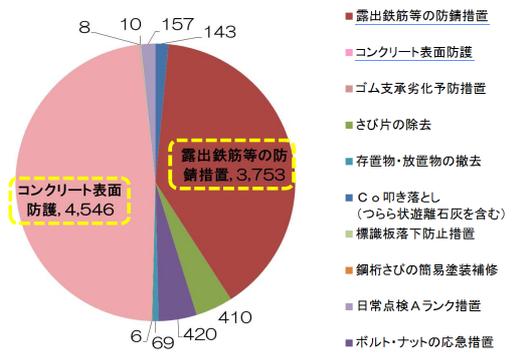
【参考】阪神高速の損傷の対策区分

対策区分	対策の名称	対策の内容
T1	個別補修	耐久性、使用性、機能性の回復や向上、第三者影響度の軽減ならびに部材や構造物の剛性などの力学的性能の回復および向上のために採られる対策。 損傷の状況から速やかな対策が望まれるもの 、また速やかな補修を行うことが経済的であるものを対象。なお、損傷の状況に応じて、永久補修、応急補修の対応を選択する。
T2	計画補修	耐久性、使用性、機能性の回復や向上、第三者影響度の軽減ならびに部材や構造物の剛性などの力学的性能の回復および向上のために採られる対策。 他の中長期的な対策計画と併せた対策 により、効率的に性能の回復が図れるものを対象。
T3	点検強化	点検項目などの追加により、損傷の進行状況を慎重に観察する対策。 非破壊検査等詳細調査を実施するもの。
T4	経過観察	軽微な損傷など補修や点検強化を実施しない場合にとられる対策であり、通常の点検体制の中で損傷の進行状況を観察していくもの。

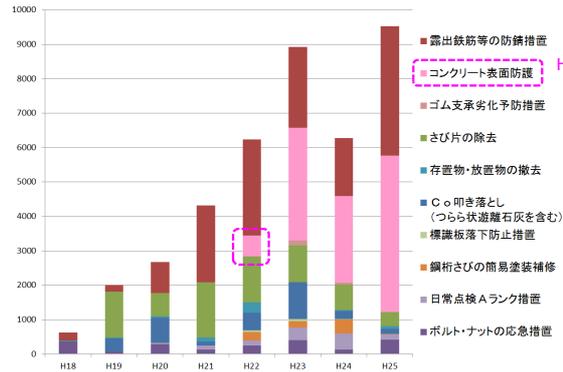
【参考】国土交通省の判定区分

橋梁定期点検要領(案)	損傷判定	良い				悪い
	国 阪神 高速	a OK	b C	c B	d A	e S
平成16年3月	判定区分	判定の内容				阪神 高速
国土交通省 国道・防災課	A	損傷が認められていないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。				OK T4
	B	状況に応じて補修を行う必要がある。				T2
	C	速やかに補修を行う必要がある。				T1
	E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。				S1
	E2	その他、緊急対応の必要がある。				S2
	M	維持工事に対応する必要がある。				T1
	S	詳細調査の必要がある。				T3

H25年度の点検時応急措置数(約9,500件)



点検時応急措置数の実績(H18~H25)



点検時応急措置グループ別の推移(1)

グループ1(損傷の劣化進行抑制)

- ①露出鉄筋等の防錆措置 ②ボルト・ナットの応急措置(増締、取替のみ)
- ③鋼桁さびの簡易塗装措置 ④コンクリート表面防護措置
- ⑤ゴム支承劣化防止措置

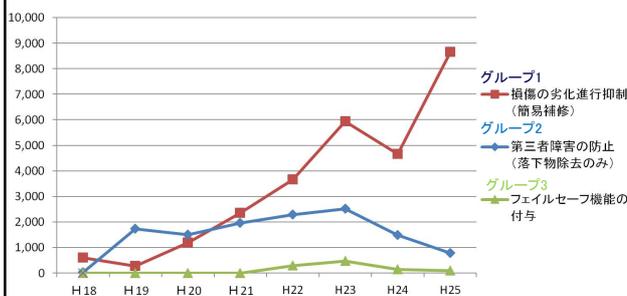
グループ2(第三者障害の防止)

- ①Co叩き落とし、さび片の除去のみ ②存置物・放置物の撤去
- ③日常点検Aランク措置

グループ3(フェイルセーフ機能の付与)

- ①標識板落下防止措置
- ②ボルト・ナットの応急措置(増締&取替+フェイルセーフ付与)

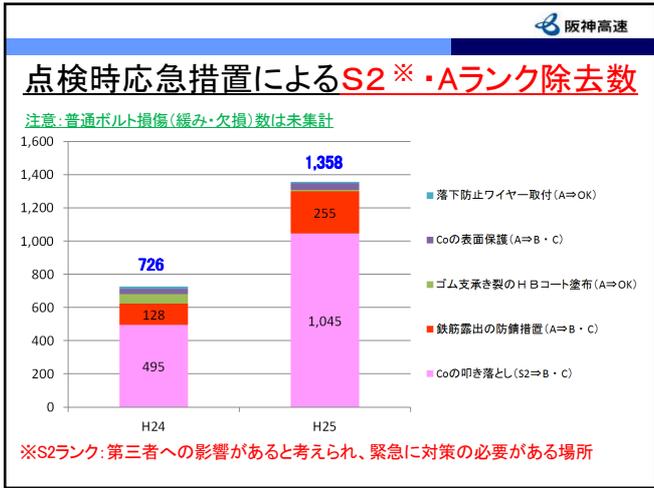
点検時応急措置グループ別の推移(2)



点検時応急措置グループ別の推移(3)

- ・H18~H20までは叩き点検等により、**第三者障害の防止**に貢献
- ・H21からは**第三者障害の防止だけでなく、損傷の劣化進行抑制(応急補修)にも重点的に取り組み**、点検時応急措置箇所数は**飛躍的に上昇**。

叩いて落とす、取り除くといった**従来の点検手法**から、**接近点検**する機会を最大限利用した**構造物を延命化させる新しい点検手法**にシフトしている。



点検時応急措置の効果

松原線を対象にした点検時応急措置の効果の試算

	点検時措置前判定				合計	
	S2	A	B	C		
発見損傷数	864	766	4,507	15,459	21,596	
点検時措置数	861	119	365	2,444	3,789	
点検時措置後判定	S2	1				1
	A	17	38			55
	B	158	78	362		598
	C	681		3	2,419	3,103
	OK	4	3		25	32

- 第三者災害予防・重大損傷を処置
- 要補修損傷を処置
- 予防保全に寄与
- 補修不要とした

14



阪神高速

代表的な点検時応急措置の事例・材料(1)

露出鉄筋等に対する防錆措置

防錆措置材

2液型エポキシ樹脂塗料

阪神高速

代表的な点検時応急措置の事例・材料(2)

コンクリートはく離に対する表面防護

表面防護材

潜在硬化型エポキシ樹脂

阪神高速

代表的な点検時応急措置の事例・材料(3)

ゴム支承き裂に対するオゾン劣化補修

ゴムき裂補修+オゾン劣化補修材

クロロブレンゴム系

阪神高速

点検時応急措置まとめ

- 補修のための再アクセス不要
⇒ 効率化(低コスト・短リードタイム)
- 第3者災害防止や構造物の延命化へ寄与

22

阪神高速

安全総点検

未点検箇所等に対する点検

23

阪神高速

経緯

平成24年12月2日
笹子トンネル天井板落下事故

↓

安全・安心に対する国民の意識の高まり

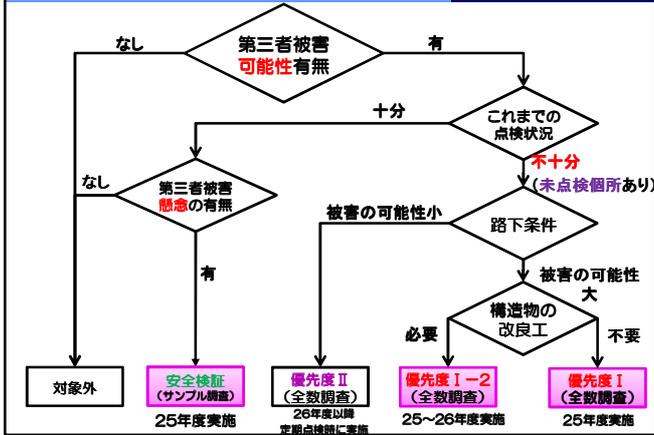
↓

平成25年4月9日
「安全・安心・快適の更なる追求・橋梁附属物の安全総点検」の方針

阪神高速道路(株)社長記者会見

未点検箇所に対する点検 ⇒ 安全総点検

安全総点検実施箇所を選定フロー



第三者被害危険箇所(高欄・水切り部)

<優先度Ⅰ、Ⅱ> 狭隘部や建物近接につき点検が不十分



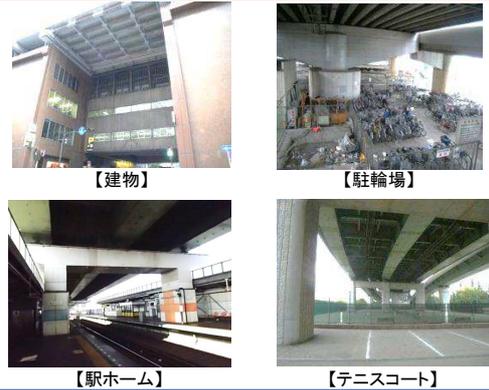
本線の上・下線の併走近接、本線と出入路の近接、建物と道路構造物の近接等。これまで打音や衝撃確認による点検が行えていない箇所

第三者被害危険箇所(高欄・水切り部)



第三者被害危険箇所(点検制約)

<優先度Ⅰ、Ⅱ> 点検制約があり、接近点検出来ない



第三者被害危険箇所(点検制約)



第三者被害危険箇所(裏面側面板)

<優先度Ⅰ> 点検時に裏面側面板内に進入出来ない



外面は接近点検しているが、一部進入口がない箇所は内部未点検

第三者被害危険箇所(裏面側面板)



【側面板一部撤去・進入状況】

【裏面板内の点検移動状況】

一部の裏面板・側面板の一時撤去あるいは開口部の設置などの構造改良をした上で、内部に進入し点検を実施

第三者被害危険箇所(電波吸収体)

<優先度 I> 土木、施設ともに接近点検を実施していない



法円坂入路

南港北出路

日常点検による遠望目視は実施しているが、接近点検未実施

第三者被害危険箇所(電波吸収体)



【高所作業車での接近点検状況】

【エキスパンドメタル上の点検状況】

高所作業車を用いて、定着部や取付部に接近し点検を実施。
躯体に乗れる場合は躯体上から点検を実施。

安全検証(遮音壁・高遮音壁)【サンプル調査】



【吸音板】

【危険防止柵】

損傷発生リスク高
池田線は
最も古い路線



【川西小花ランプ付近】

【支柱基部状況】

損傷発生リスク高
川西小花ランプ
付近は唯一
6m以上の壁高で
片持ち梁形式

池田線 大規模補修工事の機会を利用し、点検実施

安全検証(遮音壁・高遮音壁)【サンプル調査】



【支柱ボルト点検状況】

【柵取付け確認状況】



【高遮音壁の設置確認状況】

【支柱基部ボルト点検状況】

安全検証(街路情報板架台)【サンプル調査】



鳴尾浜入路(トラス片持)

信濃橋入路(片持ち梁)

損傷発生リスク高
桁付き情報板架台は
先端部付近に重量物
が設置されていること
から比較的揺れやす
い構造物となっている
ため、架台の疲労耐
久性が懸念



【加速度計、ひずみゲージ】

【測定機器設置状況】

固定部の振動や
材料にかかる応力を
測定

- **Sランクはすべて点検時応急処置済**
- 安全総点検の結果**点検時応急措置**により、**第三者被害の発生リスクは低い**
- 狭隘な高欄部などは**定期点検時に、今回の手法による点検実施**
- 今後は日常の**路下点検**時に、**要注意箇所**として監視していく

コンクリート片等の落下事例

緊急処置と落下防止対策

まとめ

点検により第3者災害を未然に防止

- **基本は目視点検** (定期点検・日常点検)
- **点検時応急処置**や**緊急処置**
⇒ 落下・第3者災害を未然に防止・長寿命化
- **点検困難(未点検)箇所の把握**
⇒ 別途特殊な点検方法も検討必要
- 同じ損傷でも路下条件により対策は異なる
- **再発防止策** ⇒ **同様箇所の点検・予防保全**
(表面保護・ネット設置)

ご清聴ありがとうございました



渦流探傷試験による疲労き裂調査の効率化

日本非破壊検査工業会 Luiza H. Ichinose

■研究期間:平成25年度~平成27年度

年 度	研 究 内 容
平成25年度	○疲労亀裂調査手法の現状把握と課題抽出:対象橋梁に対して現地調査を行い、疲労亀裂等に関して現状を把握し課題を抽出する。 ○疲労亀裂調査のスクリーニング方法の検討:荷重条件や各部位の応力状況、FCM等の部材の種類や構造詳細、材料特性等に着目し、解析や実験により調査箇所の優先順位付けを行う。
平成26年度	○疲労亀裂調査のスクリーニング方法の検証:提案する優先順位付けの妥当性を解析や実験、実橋での亀裂調査や応力計測等によって検証する。 ○疲労亀裂調査後の補修方法の検討:亀裂発見後の応急対策と恒久対策、亀裂発生が予想される部位に対する予防保全対策等を含めた補修方法を解析や実験により検討する。
平成27年度	○疲労亀裂調査後の補修方法の検証:提案する補修方法の妥当性を解析や疲労実験、実橋での応力計測等によって検証する。 ○効率的な疲労亀裂調査方法等の取りまとめ:上記の検討結果を取りまとめ、効率的で信頼性の高い疲労亀裂調査方法と予防保全も含めた補修方法を提案する。

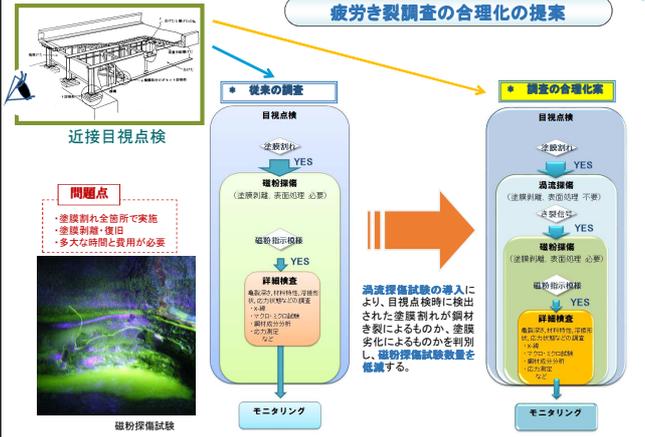
■参加予定メンバー(体制)

産: 橋梁調査会、日本非破壊検査工業会、建設コンサルタンツ協会、日本橋梁建設協会、阪神高速道路、本州四国連絡高速道路、西日本高速道路
学: 関西大学、京都大学、東京大学

(国土交通省 近畿地方整備局 新都市社会技術融合創造研究HP)

1. 概要

疲労き裂調査の合理化の提案

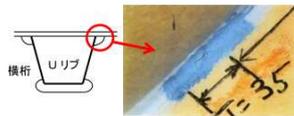


2. 調査方法

調査の流れ



携帯式渦流探傷装置



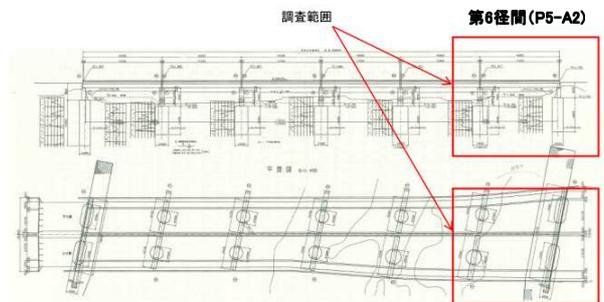
特長

- 塗膜上から高速で検査ができる。
- 装置が小型・軽量で作業性に優れている。
- さざを信号と音で判別できる。

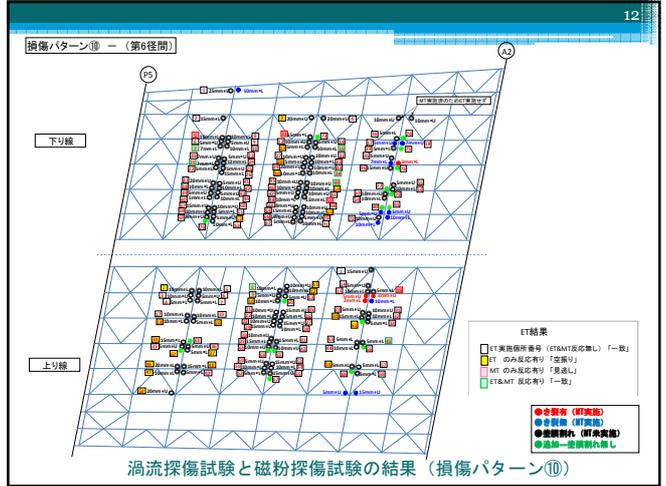
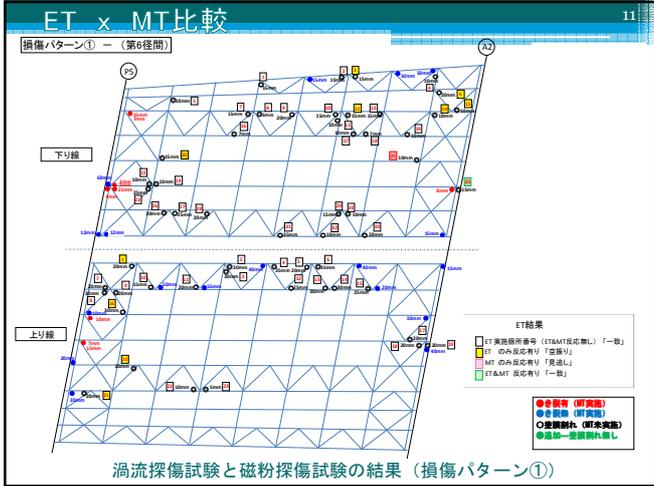
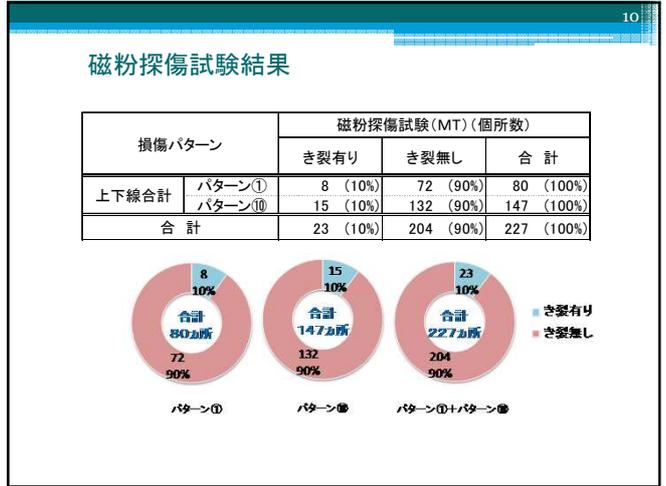
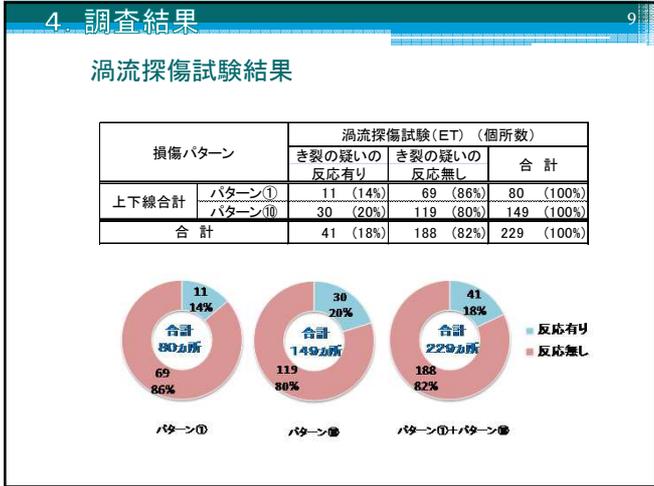
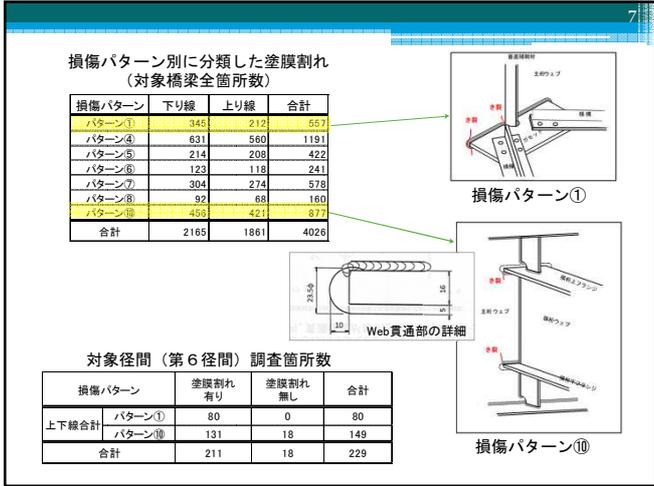


中心周波数	100~150kHz
コイル形式	自己誘導型・自己比較方式

3. 調査対象



- ▶ 単純鋼合成板桁橋 (支間: 6@41.2m, 幅員: 18.8m)
- ▶ 1972年 竣工 (42才)
- ▶ 2004年 塗装工事実施
- ▶ 交通量: 約12万台/日 (大型車両混入率=21.2%) (平成22年度センサス)



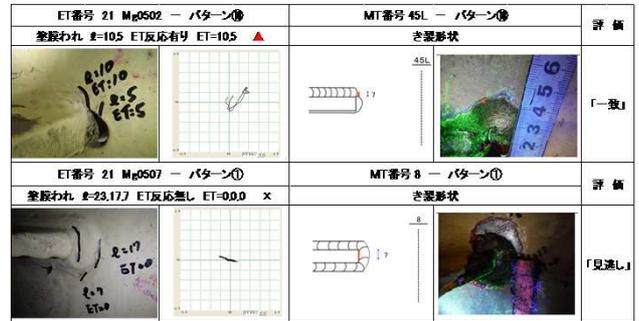
5. ET / MT 比較

13

渦流探傷試験と磁粉探傷試験の比較

		ET調査結果					
		有	(%)	無	(%)	合計	(%)
M T 調 査 結 果	有	8カ所 「一致」	ET有りの 20% MT有りの 62% 全カ所の 4%	5カ所 「見逃し」	ET無しの 3% MT有りの 38% 全カ所の 3%	13カ所	100%
	無	33カ所 「空振り」	ET有りの 80% 全カ所の 17%	143カ所 「一致」	ET無しの 97% 全カ所の 76%	176カ所	
	合計	41カ所	100%	148カ所	100%	189カ所	100%

14



渦流探傷試験x磁粉探傷試験「一致」・「見逃し」の一例

渦流探傷試験と磁粉探傷試験の作業日数

15

調査箇所： 189カ所
渦流単勝試験 延べ 6日
磁粉探傷試験 延べ11日

全箇所でもMTのみ実施の場合： 11日

渦流探傷試験によるスクリーニング
=> 磁粉探傷試験を実施した場合

	実施箇所数(箇所)	日数(日)
ET(塗膜割れ箇所全箇所数)	189	6
MT(ETで反応有箇所のみ)	41	2.4
合計(ET+MT)		8.4

→ 11日 - 8.4日 = 2.6日 (24%短縮)

6. 結論

16

- 磁粉探傷試験の前に渦流探傷試験でスクリーニングを導入した場合を想定すると、189箇所の内148箇所(78%)はき裂無なので、き裂有と判定した残りの41箇所(22%)について渦流探傷試験を行えば良いことになり、磁粉探傷試験の実施箇所数を1/5に減らすことが可能となる。ただし、その場合には148箇所の中の5箇所(3.4%)のき裂は見逃してしまう可能性がある。3%という数字は小さいように思えるが、き裂の数13箇所で見ると約4割を見逃してしまうことになるので、この数字が大きい小さいかは、き裂の危険度(発生位置や進展性)を考慮して判断すべきと考える。
- 作業日数を比較すると、き裂の数が塗膜割れの数の半分以下の場合には、磁粉探傷試験の前に渦流探傷試験を用いてスクリーニングを行うことにより作業工程の短縮化が可能となる。

鋼床版横リブの現地応力計測と疲労評価について

本州四国連絡高速道路(株)
しまなみ今治管理センター 橋梁維持課
高田大貴



瀬戸大橋の鋼床版

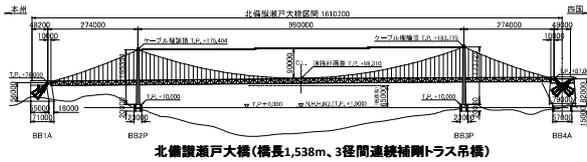


横リブ軸方向に設けられた足場用金具は面外ガセットに相当 → 疲労強度等級F等級

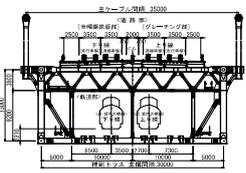
横リブ軸直角方向に設けられた足場用金具は荷重非伝達型十字継手(非仕上げ)に相当 → E等級

瀬戸大橋全体で6,752個

瀬戸大橋(1988年供用開始)



北備瀬戸大橋(橋長1,538m、3径間連続補剛トラス吊橋)

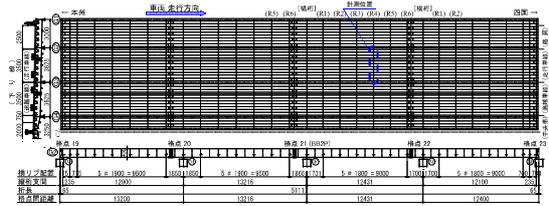


道路・鉄道併用橋(上層:道路、下層:鉄道)

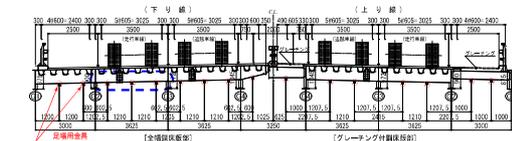


計測箇所

- 鋼桁4径間のうち、第3径間中央付近の横リブを選択



平面図(4径間連続全幅鋼床版部)



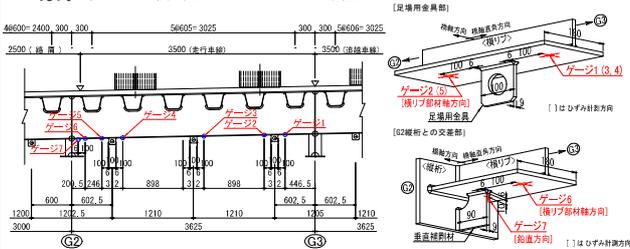
断面図(横リブ側面図)



ひずみゲージ貼付・方向

位置: 1軸ひずみゲージを足場用金具の溶接の止端から100mmの位置に添付(ゲージ7のみ止端から10mm)。100mmは局部応力の影響を避け、公称応力での評価のため(既往研究参照)

方向: 横リブの部材軸方向(ゲージ7のみ鉛直方向)



ひずみゲージの配置
(格点21-22 R4横リブ下り線走行線部)



計測

荷重車計測:

車重 20.70tfの3軸車の散水車:
下り線走行線線の中央を4回走行



使用した荷重車(散水車)

軸重計測値

車重	20.70tf	
	前軸(第1軸)	後軸(第2軸) 後(第3軸)
軸重	61.74kN (6.30tf)	70.56kN (7.20tf) 70.56kN (7.20tf)

供用下連続計測:

72時間: 2014年1月27日(月)21:00~30日(木)の21:00

計測サンプリングは200Hz

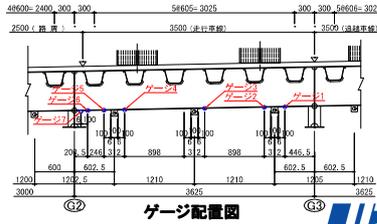


荷重車による応力

荷重車による応力の最大値 (MPa)

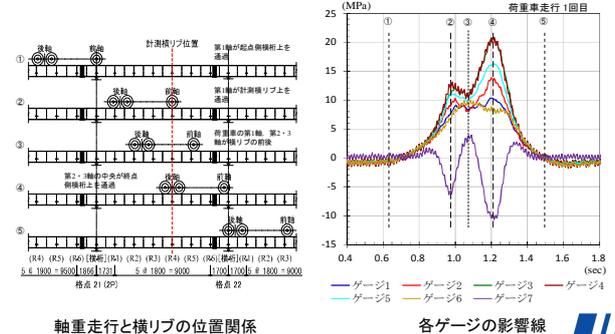
	ゲージ1	ゲージ2	ゲージ3	ゲージ4	ゲージ5	ゲージ6	ゲージ7
走行1回目	10	14	21	21	16	9	-10
走行2回目	11	15	23	21	17	9	-11
走行3回目	14	16	20	21	16	7	-12
走行4回目	13	16	19	20	15	6	-11
平均値	12	15	21	21	16	8	-11

- 荷重車 (20.7tf) により横リブ下フランジには引張応力が最大で20数Mpa発生
- 垂直補剛材上端部 (ゲージ7) は圧縮応力が10MPa程度



荷重車による応力波形

- 横リブ直上載荷による応力
- 鋼床版全体系の変形による応力



連続計測: 重量車

- 供用下連続計測: 2014年1月27日(月)21:00~30日(木)21:00 → 72時間実施
- 荷重車によるゲージ7の応力10MPaを超える応力を発生させた車両が1日700台ほど観測された。
 - 最大級の応力として、横リブ支間中央付近のゲージ3で65MPaを観測。

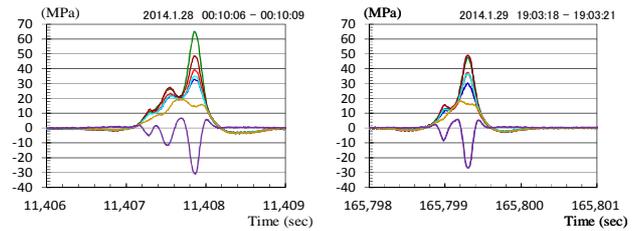
荷重車と同等以上の変動応力を発生させた車両の台数

ゲージ7の変動応力レベル (MPa)	1/27 21:00 ~ 1/28 21:00 (24hr)		1/28 21:00 ~ 1/29 21:00 (24hr)		1/29 21:00 ~ 1/30 21:00 (24hr)	
	台数	割合 (%)	台数	割合 (%)	台数	割合 (%)
$-10 \geq \sigma_{or}$	726台		706台		685台	
$-10 \geq \sigma_{or} > -12$	368台 (50.7%)		340台 (48.2%)		360台 (52.6%)	
$-12 \geq \sigma_{or} > -14$	241台 (33.2%)		259台 (36.7%)		244台 (35.6%)	
$-14 \geq \sigma_{or} > -16$	89台 (12.3%)		81台 (11.5%)		56台 (8.2%)	
$-16 \geq \sigma_{or} > -18$	18台 (2.5%)		17台 (2.4%)		15台 (2.2%)	
$-18 \geq \sigma_{or} > -20$	2台 (0.3%)		4台 (0.6%)		8台 (1.2%)	
$-20 \geq \sigma_{or}$	8台 (1.1%)		5台 (0.7%)		2台 (0.3%)	



連続計測: 代表的波形

- 荷重車と同等以上の応力を発生させた車両は、セミトレーラや、荷重車と同様な3軸だったと想定される。

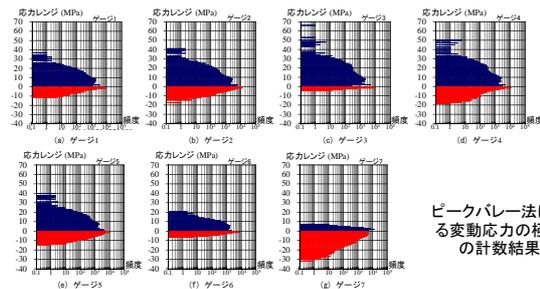


荷重車と同等以上の変動応力を発生させた車両の応力波形



連続計測: 応力の傾向

- ピークバレー法により、連続計測で得られた応力の頻度を分析。荷重車計測の時と同様な傾向が見られた。
- 横リブ下フランジは引張応力の発生する頻度が卓越
- 垂直補剛材上端部のゲージ7は圧縮応力の発生する頻度が卓越

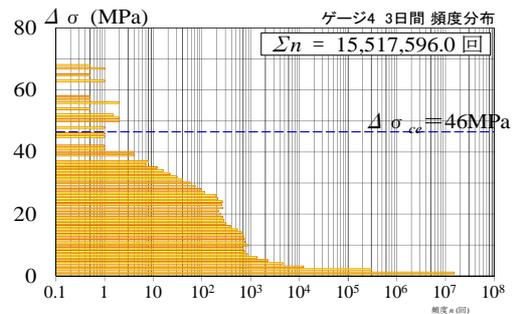


ピークバレー法による変動応力の極値の計数結果



応力範囲の頻度分析

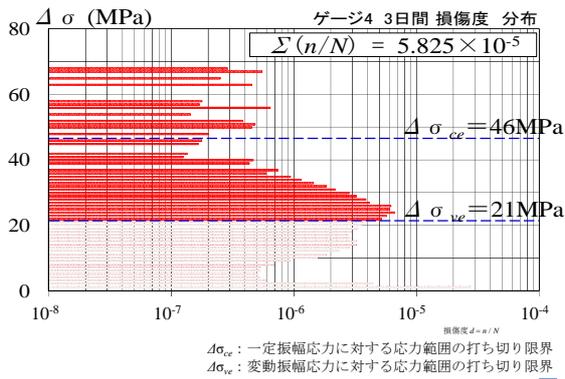
- 横リブ支間部の下フランジでは、 $\Delta\sigma_{ce}$ を超える応力範囲が観測された。 $\Delta\sigma_{ce}$: 一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界、F等級の場合46MPa



ゲージ4における72時間の応力頻度分布



疲労損傷度

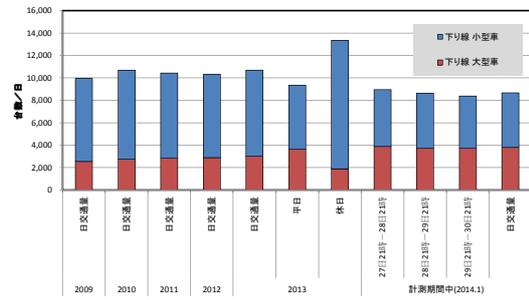


ゲージ4における72時間の疲労損傷度 (F等級仮定)



瀬戸大橋の交通量の現況

- 計測期間中の大型車交通量は平日の大型交通量の105%
- ここ数年の交通量の増加傾向はみられるものの、3日間の損傷度をもとに寿命予測。



瀬戸大橋・下り線の日交通量 (2009-2013年)



疲労寿命予測

- 3日間の疲労損傷度を算出した結果、横リブ支間部に取り付けられた足場用金具は、疲労寿命が100年ほど (仮定:F等級、今回計測期間の交通量が不変)

		ゲージ1	ゲージ2	ゲージ3	ゲージ4	ゲージ5	ゲージ6	ゲージ7
レインフロー法による計数 (計測3日間)	総カウント数	15.8 × 10 ⁶	16.0 × 10 ⁶	15.6 × 10 ⁶	15.5 × 10 ⁶	16.1 × 10 ⁶	15.6 × 10 ⁶	15.5 × 10 ⁶
	$\Delta\sigma > \Delta\sigma_{ve}$ の数	261.5	652.0	1,704.0	1,694.0	267.5	14.0	71.0
計測3日間(72h)の疲労損傷度		7.44 × 10 ⁻⁶	1.95 × 10 ⁻⁵	5.69 × 10 ⁻⁵	5.83 × 10 ⁻⁵	8.53 × 10 ⁻⁶	—	—
1日あたりの疲労損傷度		2.48 × 10 ⁻⁶	6.50 × 10 ⁻⁶	1.90 × 10 ⁻⁵	1.94 × 10 ⁻⁵	2.84 × 10 ⁻⁶	—	—
1年あたりの累積疲労損傷度		9.05 × 10 ⁻⁴	2.37 × 10 ⁻³	6.93 × 10 ⁻³	7.09 × 10 ⁻³	1.04 × 10 ⁻³	—	—
疲労寿命 (累積疲労損傷度(D)が1.00となる年数)		1,100年	400年	100年	100年	1,000年	($\Delta\sigma_{ce}$ 以下)	($\Delta\sigma_{ve}$ 以下)



まとめ

- 交通特性(台数や車種)、および溶接の品質にもよるが、今後数十年で亀裂発生する可能性もあるため、点検時に注視する等の対応が必要。
- 本四連絡橋には、疲労に配慮されていないディテイルが一部存在する。そうしたディテイルは図面に記入されていないことも多く、現場での確認が重要。
- 弊社では本社に疲労対策チームを立ち上げ、本社と管理センターとの協働により、疲労問題に対応する。



2015.7.24(金)
FCMIに着目した橋梁の維持管理に関する講習会

デッキ亀裂を防止する新型Uリブ鋼床版構造の提案

関西大学 坂野 昌弘, 西田 尚人, 楠元 崇志, 山岡 大輔
横河ブリッジホールディングス 石井 博典, 池末 和隆

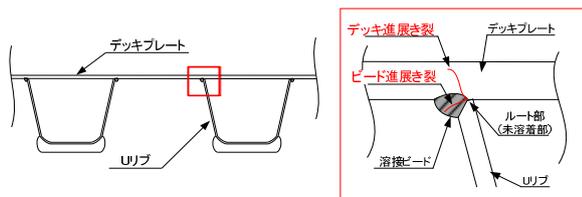
1

発表内容

1. はじめに(背景, 目的)
2. 提案構造
3. 検討ケース
4. 解析方法
5. 解析結果
6. まとめ

2

1. はじめに(背景)

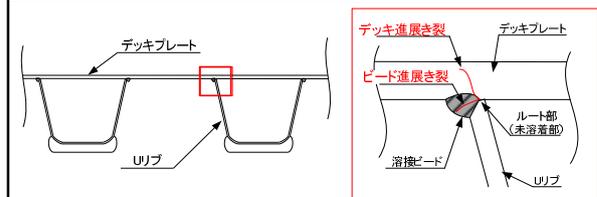


デッキ進展亀裂は路面の陥没を招く危険な損傷

これまでに様々な対策が検討されている。

3

1. はじめに(背景)



H24 道路橋示方書で
デッキ厚が12mmから16mmとすることが規定

新設鋼床版はデッキ貫通の可能性は小さくなったが、
従来鋼床版に比べ鋼重増となることは避けられない。

4

1. はじめに(目的および方法)

目的

デッキ亀裂の主要原因は
Uリブ内のデッキのたわみ変形であると考え、
その面外変形を低減するために
2種類の新型Uリブ鋼床版構造を提案する。

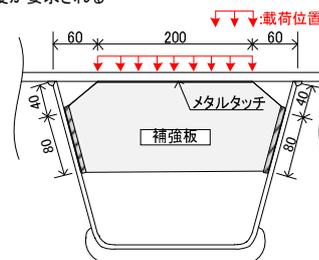
方法

FEM解析を用いて提案構造の
応力集中低減効果を検討

5

2. 提案構造その1: デッキ支持タイプ(Uモデル)

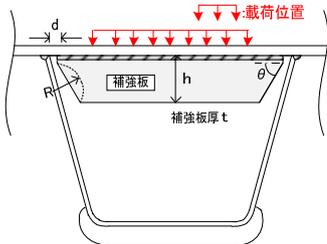
- ◆ 軽量化を狙って、デッキ厚は12mm
- ◆ デッキを支持する補強板をUリブウェブの内側に溶接で取付けて、デッキ側はメタルタッチで支持する構造
- ◆ Uリブ内で直接デッキを支持できることから、大きな応力低減効果が期待できるが、メタルタッチで支持するため、ある程度の製作精度が要求される



6

2. 提案構造その2: デッキ補剛タイプ(Dモデル)

- ◆ 軽量化を狙って、**デッキ厚は12mm**
- ◆ デッキ下面に溶接によって補剛板を取付け、**デッキのたわみを抑制する構造**
- ◆ 補剛板とUリブのギャップ部に新たな応力集中箇所が生じることが予想されるので、補剛板のサイズや形状についてパラメトリックに検討



7

3. 検討ケース

合計15ケースを設定

補強を行わない標準構造は、平成21年以前の標準的なデッキ最小板厚12mm (N12) 現状の最小板厚である16mm (N16)の2ケース

モデル名	補強方法	デッキ厚 (mm)	補強板とUリブのギャップ (mm)	補強板取付け角度 (°)	補強板R (mm)	補強板高さ (mm)	補強板厚 (mm)
N12	無補強	12					
N16	無補強	16					
U	デッキ支持					116	9
D(8.75,∞,60.9)	デッキ補剛	12	20	30	∞	60	9
D(20.75,∞,60.9)							
D(20.45,∞,60.9)							
D(20.30,∞,60.9)							
D(20.30,凹90,60.9)							
D(20.30,凹120,60.9)							
D(20.30,凸120,60.9)							
D(20.30,凸90,60.9)							
D(20.30,∞,30.9)							
D(20.30,∞,90.9)							
D(20.30,∞,60.16)							
D(20.30,∞,60.25)							

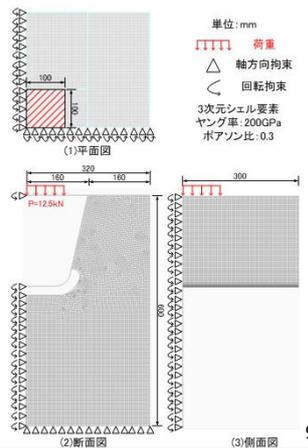
デッキ支持タイプ(U)1ケース、デッキ補剛タイプ(D)12ケース

8

4. 解析方法

出来るだけ簡易的な手法で、応力集中に関して相対的な比較評価を行うことを目的として、シェル要素を用いたFEM解析を実施

- ・対象: デッキ亀裂が発生しやすい横リブ交差部
- ・要素サイズ: 4mm四方
- ・Uリブ1本と周辺のデッキと横リブをモデル化
- ・荷重: Uリブ内にタイヤ50kN荷重 (Wタイヤ軸重200kN相当)
- ・横リブ下部の全てを鉛直方向に拘束
- ・1/4モデルであるため、対象部の対象方向の変位と回転を拘束



9

5. 解析結果

10

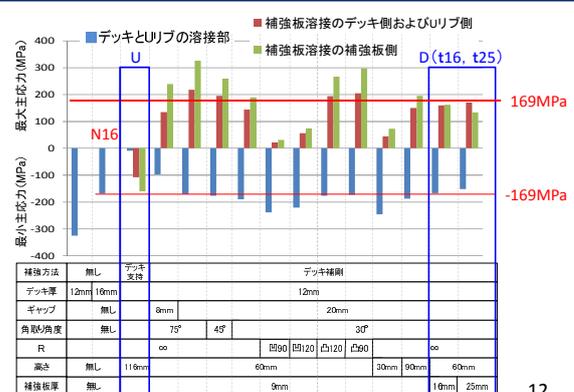
全モデルの解析結果一覧

モデル名	鉛直変位(mm)	デッキとUリブの溶接部		補強板	
		溶接部	母材部	溶接部	母材部
N12	-1.03 (100%)	-325 (100%)			
N16	-0.51 (50%)	-169 (52%)			
U	-0.24 (23%)	-9 (3%)	-160		
デッキ補剛モデル	D(8.75,∞,60.9)	-0.36 (35%)	-97 (30%)	239	
	D(20.75,∞,60.9)	-0.38 (37%)	-170 (52%)	326	
	D(20.45,∞,60.9)	-0.39 (38%)	-176 (54%)	260	
	D(20.30,∞,60.9)	-0.42 (41%)	-190 (58%)	189	200
	D(20.30,凹90,60.9)	-0.52 (50%)	-238 (73%)	31	332
	D(20.30,凹120,60.9)	-0.48 (47%)	-221 (68%)	74	288
	D(20.30,凸120,60.9)	-0.39 (38%)	-176 (54%)	266	
	D(20.30,凸90,60.9)	-0.39 (38%)	-173 (53%)	298	
	D(20.30,∞,30.9)	-0.66 (64%)	-245 (75%)	73	331
	D(20.30,∞,90.9)	-0.41 (40%)	-187 (58%)	195	205
	D(20.30,∞,60.16)	-0.37 (36%)	-167 (51%)	162	145
	D(20.30,∞,60.25)	-0.34 (33%)	-152 (47%)	170	111

赤字: N16の最小主応力<-169MPaよりも10MPa以上絶対値が大きい値

11

各モデルの最大・最小主応力の比較

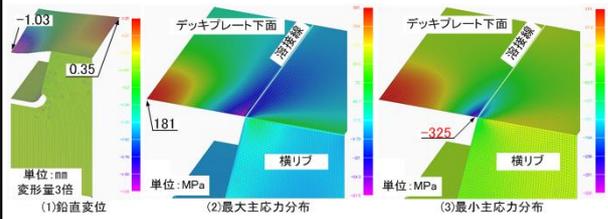


12

5.1 無補強モデル

13

N12モデル(鉛直変位および最大・最小主応力)

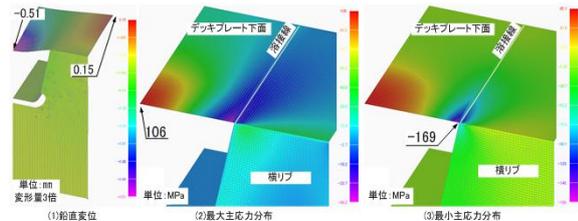


最大鉛直変位: -1.03mm
 最大主応力: 181MPa
 最小主応力: -325MPa

これ以降のケースでは、
 N12モデルとの比較して、
 どの程度まで最大鉛直変位と
 最小主応力を低減できるかが焦点！

14

N16モデル(鉛直変位および最大・最小主応力)



最大鉛直変位: -0.51mm(50%)
 最大主応力: 106MPa
 最小主応力: -169MPa(52%)

デッキ厚12mm(N12)と比べて
 半分程度まで低減！
 提案構造の疲労耐久性を評価する
 上で、N16の溶接部の最小主応力の
 絶対値169MPaが一つの指標！

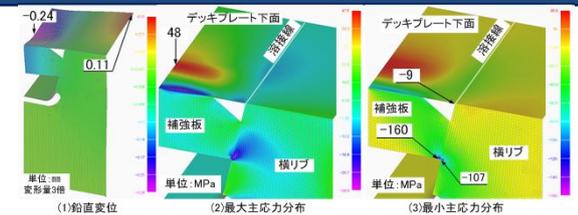
()内はN12モデルとの比較を示す

15

5.2 デッキ支持タイプ

16

Uモデル(鉛直変位および最大・最小主応力)



最大鉛直変位: -0.24mm(23%)
 最大主応力: 48MPa
 最小主応力: -160MPa
 デッキとUリブの溶接部: -9MPa(3%)[5%]

デッキとUリブの溶接部の最小主応
 力がほぼ無応力状態にまで低下
 ⇒デッキ進展き裂を完全に防止でき
 ると考えられる！

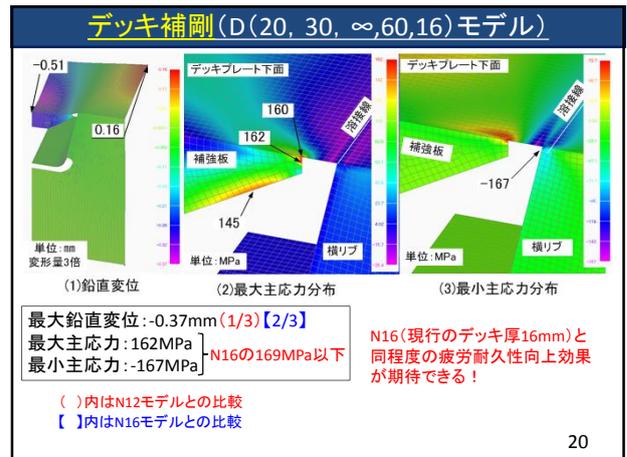
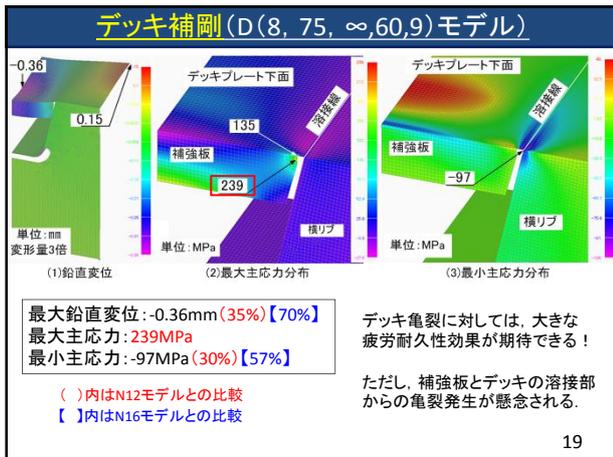
()内はN12モデルとの比較を示す
 []内はN16モデルとの比較を示す

ただし、メタルタッチ部に関して、ある程度
 の製作精度が必要！
 (隙間1mm以下)

17

5.3 デッキ補剛タイプ

18



まとめ

- デッキ支持タイプは、デッキ厚12mmの従来型と比較して、デッキとUリブの溶接部の応力を1/30程度まで大幅に低減することが可能であり、**デッキ亀裂に対する抜本的な疲労耐久性向上効果が期待できる。**
 なお、最大鉛直変位は1mm程度であるため、**メタルタッチ**に関しては、必要な製作精度を確保する製作方法と管理方法の検討が必要である。
- デッキ補剛タイプでも、デッキとUリブの溶接部の応力を半分程度まで低減することができる。デッキ厚12mmの場合でも、**ギャップ**をある程度小さくし、**補強板厚を16mmあるいは25mmとすることで、デッキ厚16mmの標準構造と同程度の疲労耐久性が得られる可能性がある。**

21

ご清聴ありがとうございました

22

超音波衝撃処理を施した面外ガセット溶接継手部の疲労耐久性



岐阜大学工学部社会基盤工学科 准教授 木下 幸治

はじめに

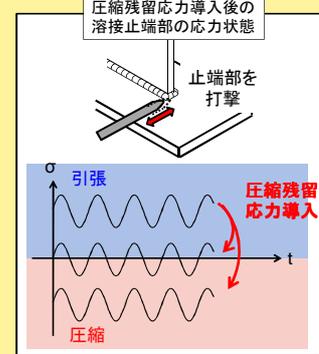
- 鋼橋の溶接部の疲労強度向上法
- ハンマーピーニング, 超音波ピーニング

ハンマーピーニング



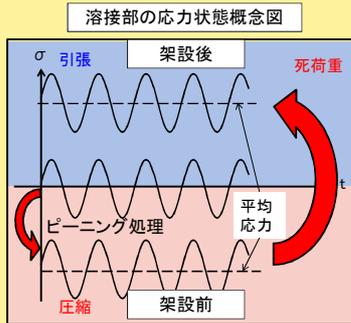
S J Maddox: Fatigue Strength of Welded Structures(Second Edition) 引用

溶接止端部を打撃し 圧縮残留応力を導入する



架設前利用の課題

架設後は効果が期待できるが、架設前は、平均応力の影響を受けるために、新設橋梁の架設前にピーニング処理を実施した場合、死荷重の影響により疲労強度の向上が殆ど得られないといった事が懸念される。



消失しないレベルまで、導入する残留応力を高める??どの程度??どのようになればよいのか?

超音波衝撃処理の種類



Fig. 9: Examples of four different tools for high frequency peening treatment. M.M. Pedersen, et al.: Comparison of Post Weld Treatment of High Strength Steel Welded Joints in Medium Cycle Fatigue, XIII-2272-09, IIW引用

- High Frequency Peening (HFP) treatment
- Ultrasonic Impact Treatment (UIT)
 - Ultrasonic peening (UP)
 - High Frequency Impact Treatment (HiFIT)
 - Ultrasonic Needle Peening (UNP)

使用する装置、打撃器具の形状や打撃方法が異なることにより、導入される圧縮残留応力が異なる。

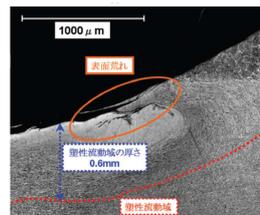
これまでの実績と本研究の試み

我が国ではUITの実績多い→(先端曲率半径3mm, 止端形状の改善も狙う)

- R=3mmの止端形状の改善効果が小さいことが示されている。(森ら, 土木学会論文集A Vol.67 No.2, 2011.)
- 巻き込みが生じる可能性も有

架設前は効果がなかなか得られない

- アイデア: 先端曲率半径を小さにする!!
- 止端形状改善を問わず直接的に大きな残留応力をき裂発生位置に導入
 - 巻き込みの可能性も減少できる?



(b) ピーニング処理器1: 処理時間 2hsec/cm 田井ら, 土木学会論文集A Vol.67 No.2, 2011. 引用

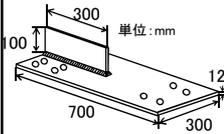
課題: ①小さい半径を用いた場合、打撃間隔が密となるために処理回数がかた不足だと打撃されない箇所が残る可能性。②高い残留応力導入?

目的

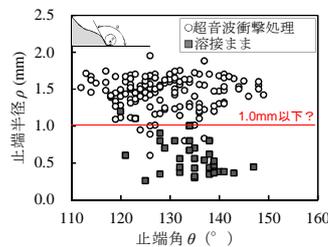
- 面外ガセット溶接継手部を対象に、ピン先端曲率半径1.5mmを用いた超音波衝撃処理 (UNP) の疲労強度向上効果、並びに平均応力の影響を板曲げ疲労試験により、確認した。

なお、本研究は東洋精鋼株式会社 (愛知県弥富市) と研究した。

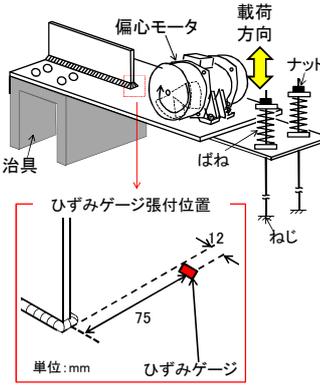
試験体



- 面外ガセット溶接継手試験体**
- 溶接のまま, UNP, グラインダ仕上げ
 - 3タイプ
 - 板厚: 12mm
 - 材料: SM490A
 - 溶接: CO₂ 半自動溶接, すみ肉溶接
 - ピーニング装置
 - 超音波ニードルピーニング装置 (SONATS社製(仏): Stress Voyager)
 - ピン形状: 直径3.0mm, 先端曲率半径1.5mm

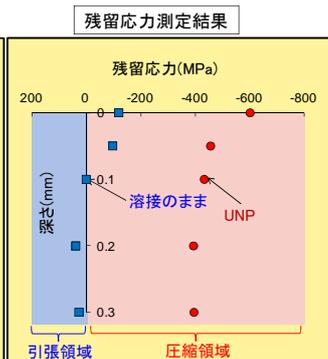
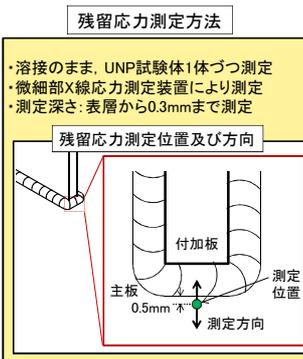


疲労試験方法



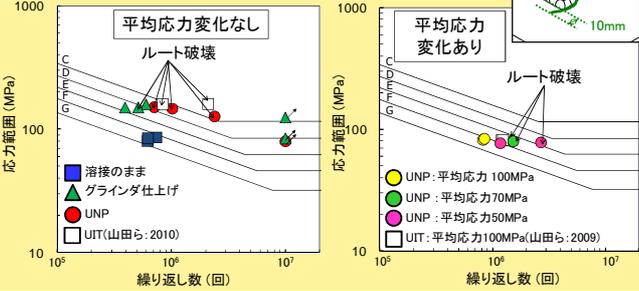
- 板曲げ疲労試験機**
- 試験体を片持ち梁式に固定
 - 自由端側の偏心モータの加振により曲げ応力を与える
- 試験方法**
- 応力範囲: 80MPa (UNP, グラインダ仕上げ)
 - 試験体は後に120~150MPa
 - 溶接のまま3体
 - UNP処理12体
 - グラインダ仕上げ3体→計18体
 - UNP試験体のうち平均応力を変化させ試験を行った試験体
 - 100MPa: 2体
 - 50MPa: 2体
 - 70MPa: 2体

残留応力測定方法及び測定結果



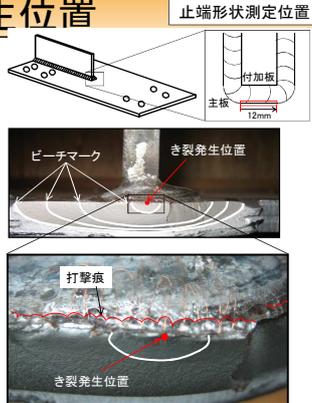
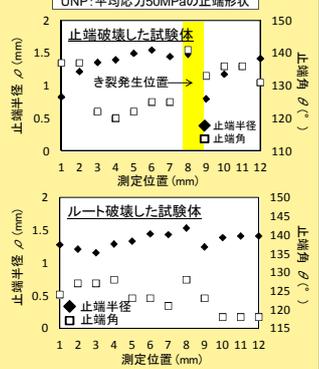
UNP処理ではある程度の深さまで圧縮残留応力が導入可能。

疲労試験結果



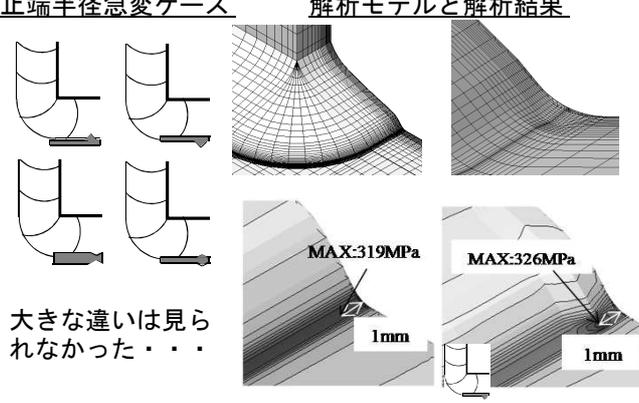
- ピーニング処理により少なくとも2等級程度の疲労強度向上が可能。
- 平均応力100MPaの場合, 圧縮残留応力の効果は完全に消失するが, 70MPa, 50MPaの場合, 圧縮残留応力が残り疲労強度向上効果が得られる場合がある。→ただし, ばらつきが認められる。
- ルート部についても平均応力の影響を受ける可能性がある。

止端形状とき裂発生位置



止端半径が小さい箇所が残っている→十分に打撃できていない可能性が高い。応力集中が大きくなりき裂の起点になる可能性が高い

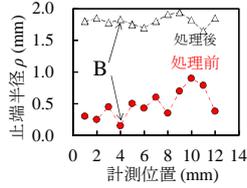
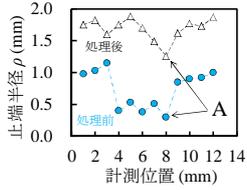
止端形状に関する解析的検討



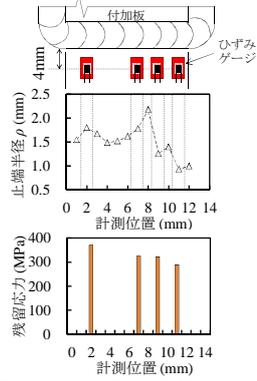
大きな違いは見られなかった・・・

止端形状と残留応力導入量に関する検討

UNP前後の止端形状

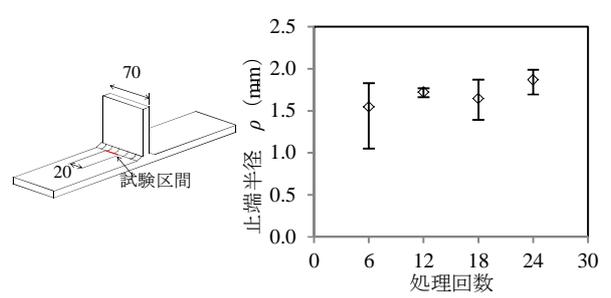


圧縮残留応力導入量



岐阜大学

止端回数と止端半径の関係



岐阜大学

結論

架設後

- 平均応力が0MPa, または超音波衝撃処理後に平均応力の変化が無い場合, 超音波衝撃処理により, 少なくとも2等級の疲労強度向上が期待できる.

架設前

- 超音波衝撃処理後に平均応力が増加する場合, 超音波衝撃処理の効果は平均応力70MPaまでは期待できるが平均応力100MPaでは全て消失する. なお, 平均応力100MPaの結果は既往の結果と同様であり, ピン先端曲率半径を1.5mmとしたことによる明確な差異は認められなかった.

施工管理について

- 疲労強度向上効果が低くなった結果の要因について止端形状に着目して検討した結果, 超音波衝撃処理により十分に打撃できなかった箇所が残ったことが原因と推察された. よって, ピン先端曲率半径が小さい場合にはこの点に注意を要する

岐阜大学

支承の機能調査について

(株)川金コアテック 柴崎 奈穂

1. 調査の目的

支承の維持管理の現状

- 各道路管理者の橋梁点検要領によると、目視点検により機能が維持されているか否かを判断
- 目視点検で機能が維持されているかを評価することは困難
- 機能が維持されていない場合には支承交換
- 支承の交換には多額の費用が発生する

機能低下の度合いを定量的に評価する方法

1. 調査の目的

今回は

- 支承の機能についての評価方法および計測項目を提案する。
- 供用中の橋梁の支承を計測し、その測定結果を用いて提案する評価方法および計測項目の妥当性を検証。

2. 方法

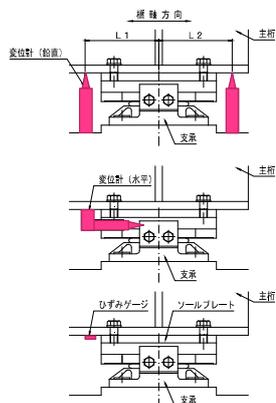
機能の評価方法

評価する機能	評価	計測項目	
支承の機能	荷重支持機能	鉛直支持機能が損なわれ 支承全体が上下動していないか	支承前後の鉛直変位
	回転機能	活荷重による桁のたわみによる回転に 追従できているか	支承前後の鉛直変位
	移動機能 (可動支承)	活荷重による桁の移動、 および温度変化による桁の伸縮に、 追従できているか	上部構造と下部構造の 水平方向の相対変位
	桁への影響	支承の機能低下により大きな応力度が 発生していないか	下フランジ下面の ひずみ

2. 方法

計測方法

- 鉛直変位：
支承中心から橋軸方向前後に
L離れた位置に生じる鉛直変位
- 水平変位：
上部構造と下部構造の相対変位
- 応力変動：
ソールプレート前面溶接部近
傍の主桁下フランジ下面の橋
軸方向の応力変動



2. 方法

計測状況

- 変位計設置状況



- ひずみゲージ設置状況



ソールプレートの溶接

2. 方法

計測条件

	着目	計測時間	周波数
短期計測	活荷重による桁の回転	20min	200Hz
長期計測	温度による桁の伸縮	1day	0.5Hz

※鉛直変位, 水平変位, 応力変動それぞれについて上記を行う.

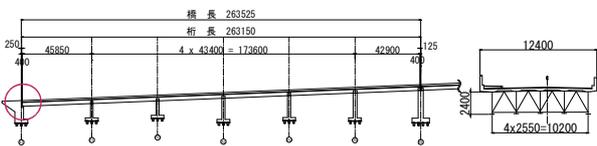
3. 計測結果

計測した支承タイプ

- ゴム支承
 - 支承板支承 (BP支承)
 - ピンローラー支承
 - ピボットローラー支承
 - 線支承
 - ピン支承
 - ピボット支承
 - 1本ローラー支承
- ← 本日はこの3例

3. 計測結果

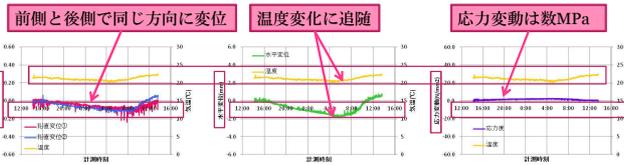
ゴム支承



3. 計測結果

ゴム支承 (長期計測)

温度変化による上部構造の変位に対して追随している

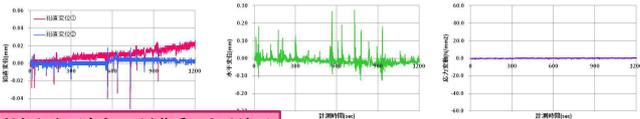


《ほぼ一日の計測結果》

3. 計測結果

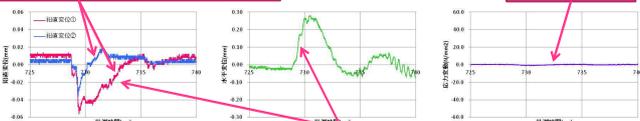
ゴム支承 (短期計測)

活荷重による上部構造の変位に対して追随している



どちらも下向き → 活荷重による沈下変位が異なる → 回転している

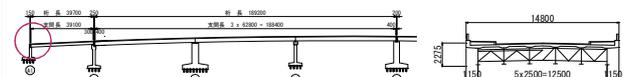
応力変動は微小

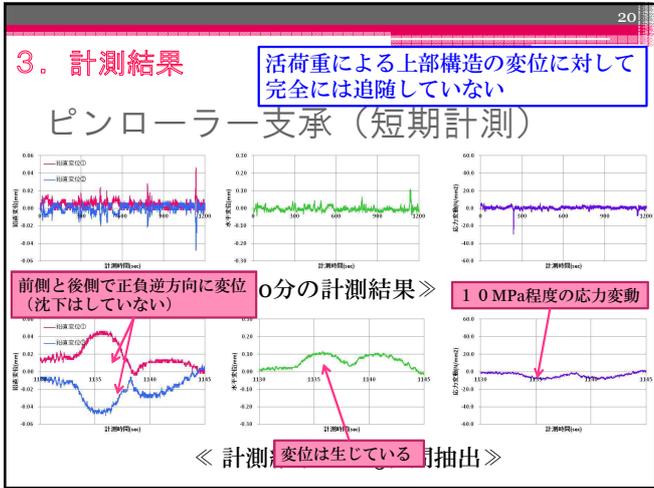
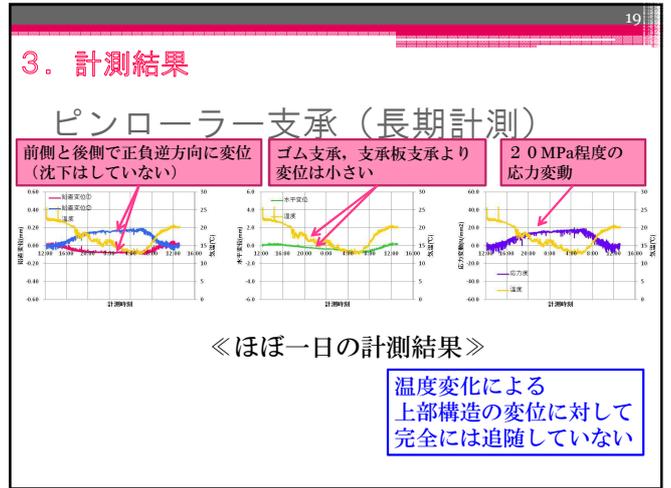
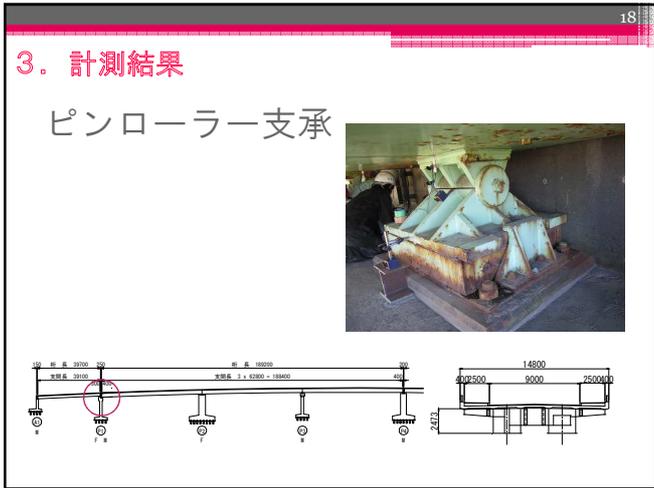
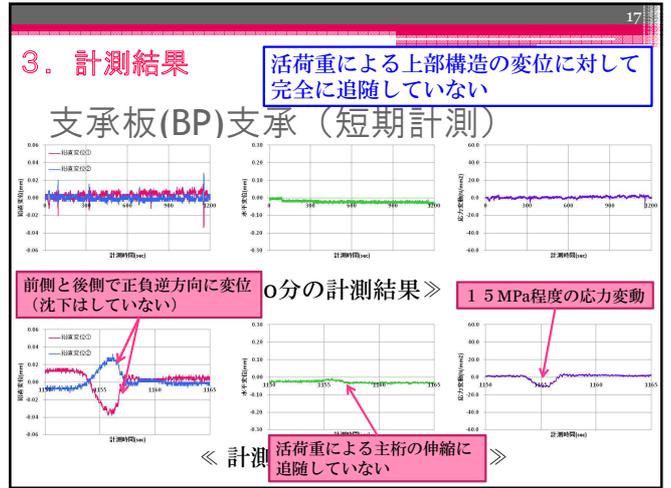
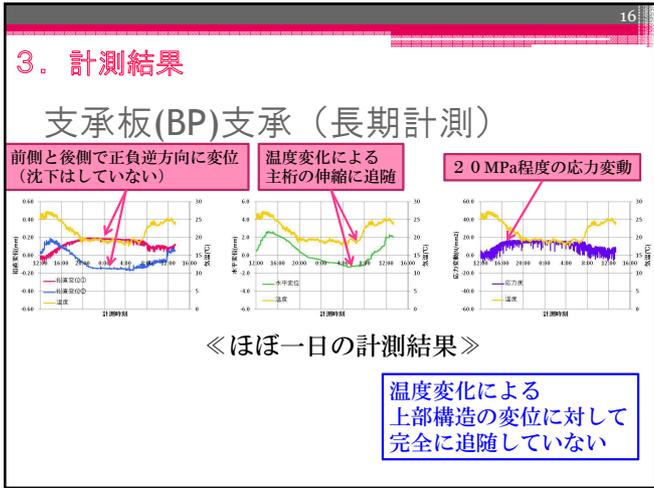


《鉛直変位発生時に水平変位も発生》

3. 計測結果

支承板(BP)支承





22

4. まとめ

まとめ①

- ゴム沓と鋼製沓では挙動が全く異なる。

	ゴム支承	鋼製支承
荷重支持機能	回転時に支承全体の鉛直たわみが発生する	支承全体の鉛直たわみは発生しない
回転機能	ゴム支承の鉛直変形とせん断変形により回転する	設計上の回転機構により回転する
移動機能 (可動支承)	せん断変形により水平移動する	水平移動しているが、移動機構の経年変化等により、移動がある程度拘束されている
桁への影響	回転時・移動時ともに下フランジ下面には応力変動はほとんど発生しない	回転時に下フランジ下面に応力変動が発生する

4. まとめ

まとめ②

- 1日程度の長期計測により、温度変化によって生じる上部工の変位に対する支承の機能を評価することができる。
- 20分程度の短期計測により、活荷重によって生じる上部工の変位に対する支承の機能を評価することができる。
- 支承の変位と同時に、支承近傍の主桁下フランジ下面の応力を計測することにより、上部工の変形に対して、支承がどの程度追隨しているか、あるいはどの程度拘束して主桁にストレスを与えているか、その度合いを評価することができる。

4. まとめ

まとめ③

- さらに供用中の橋梁の計測数を増やし、定量的で合理的な評価手法を確立していきたい。

4. まとめ

今後の課題

- 測定結果の評価に加え、疲労の影響も考慮した評価としていきたい。
- 橋梁のアセットマネジメントに活用していきたい。

阪急電鉄における 延命化を目指した鋼桁検査について

阪急電鉄株式会社
上田 宗市

阪急電鉄の沿線概要

営業キロ：140.8km

神戸線：32.3km

宝塚線：24.5km

京都線：47.7km

駅数：86駅(天神橋筋六丁目を除く)



鋼桁延命化への取り組み概要

①桁端部の清掃とタッチアップ

桁端部は枯葉やビニール袋などのゴミが多く堆積。
ゴミに水分が溜まり鉄桁の腐食を助長
そこで・・・
ゴミの除去 ⇒ 錆びの除去 ⇒ タッチアップの実施

②木製覆い板からFRPグレーチングへの更新

落下物防止用として木製の覆い板を使用
覆い板があると・・・
目視検査がしにくい。塗装工事がしにくい。
覆い板と下フランジの接触面で腐食が進む。
降雨後にいつまでも水が滴る。
そこで・・・
木製の覆い板を撤去 ⇒ FRP製のグレーチングに更新

①桁端部の清掃とタッチアップ

2001～2003年の3年間で概ね全橋梁のタッチアップを完了



取り組みに至った背景

主桁中央の塗膜はまだ使えそう。
桁端部は・・・
ゴミが溜まっている。
下フランジの塗膜が剥けてポロポロ。

①桁端部の清掃とタッチアップ

しかも・・・
部材が複雑に入り組んでいる上に、狭くて手が入らない。
塗装工事でも苦労してそう・・・
うまく塗装できていないのかも・・・



①桁端部の清掃とタッチアップ

事例紹介_1
泥の堆積 清掃前



←常に水分があるのか、橋台にコケの群生

①桁端部の清掃とタッチアップ

事例紹介_1
泥の堆積 清掃後



泥の清掃、コケの除去、桁のタッチアップ

①桁端部の清掃とタッチアップ

事例紹介_2
泥・埃・バラストの堆積 清掃前



降雨後ゴミの周囲は乾きが悪い→

①桁端部の清掃とタッチアップ

事例紹介_2
泥・埃・バラストの堆積 清掃後



ゴミの除去、桁のタッチアップ

①桁端部の清掃とタッチアップ

事例紹介_2
泥・埃・バラストの堆積 清掃後



端部補剛材下端の欠食、下フランジの腐食、リベットの痩せ

①桁端部の清掃とタッチアップ

事例紹介_3
自身の錆び 清掃前



沓が腐食→腐食によりはがれた鋼材が散乱

①桁端部の清掃とタッチアップ

事例紹介_3
自身の錆び 清掃後



鉄片の除去、桁のタッチアップ

①桁端部の清掃とタッチアップ

事例紹介_4
泥が固着して取れにくい場所も



延命化への取り組みをしてみても

桁端部へのアプローチは不可能な構造形式



桁上にはまくらぎが配置されていた。

延命化への取り組みをしてみても

自身の錆びが堆積して・・・



延命化への取り組みをしてみても

腐食物の撤去後→



延命化への取り組みをしてみても



延命化への取り組みをしてみても

桁の外側はほとんど腐食が見られない



塗装の重要性、ゴミの堆積は桁を徐々に破壊する。

②木製覆い板からFRPグレーチングへの更新

2001年～ 木製の覆い板をFRP製グレーチングに更新中
桁下制限高 3.8米

取り組みに至った背景
木製の覆い板を支えている部分で鋼材の腐食が進行。
覆い板があると桁下からの目視検査ができない。
塗装工事の時も簡単に撤去できない。

②木製覆い板からFRPグレーチングへの更新



覆い板の接触箇所は塗装されていなかった。

②木製覆い板からFRPグレーチングへの更新



軽量のFRP製のグレーチングに更新。

②木製覆い板からFRPグレーチングへの更新

他の橋梁でも同じく、下フランジの腐食が目立つ。



↑覆い板撤去後の下フランジの様子
錆びが発生している。

②木製覆い板からFRPグレーチングへの更新

グレーチングの選定



網目は150mm×25mm

鋼桁の延命化 まとめ

橋梁の設置場所別ゴミの傾向

- 駅構内 : 土、髪の毛、埃、ビニール、ペットボトル
- 高架橋区間 : 土(碎石の泥土化したもの?)
- 盛土区間 : 土、枯葉、ツタ
- 場所を問わず : 自身の腐食による鉄粉の堆積

必要なものでも桁に部材を付加すると、維持管理性が低下

- 塗装工事がしにくくなる
- 目視検査がしにくくなる
- 部材落下のリスクが増える

維持管理を考慮した材料選定が重要。

鋼桁の延命化 課題

周期の設定が必要

桁端部の清掃・タッチアップにより目視検査等の維持管理性が向上することが確認された。しかし、タッチアップ程度なので定期的に清掃・タッチアップを行う必要がある。



火災を受けた鋼軌道桁の たわみ調査について

大阪高速鉄道株式会社
森川 佳則

国道1号寝屋川バイパス



被災状況



塗膜の燃焼

ゴム被覆の焼損

大阪モノレール技術委員会からの提言

「火災による受熱温度の推定や外観調査だけで
構造物の健全性を評価するのではなく、たわみ
計測を行うなど、数値的に健全であることを確認
できる判断材料を持つ必要がある。」

対象橋梁



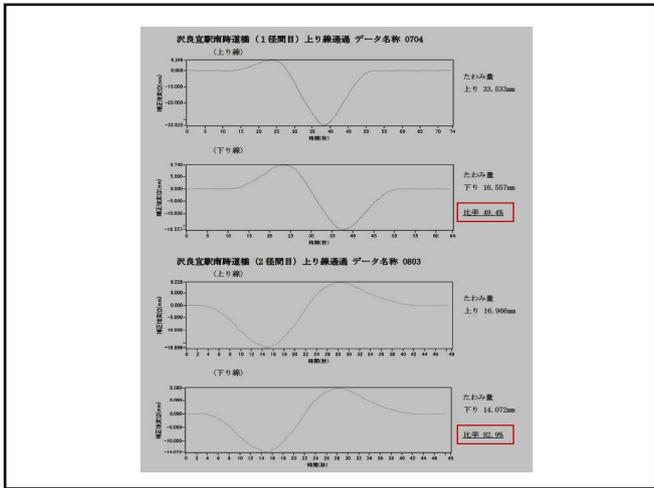
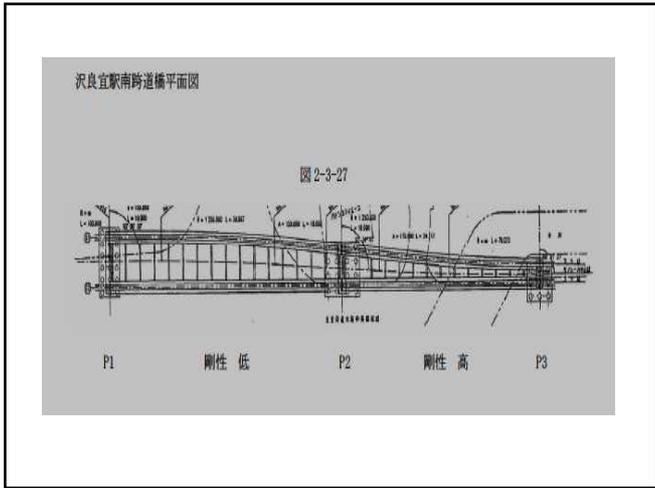
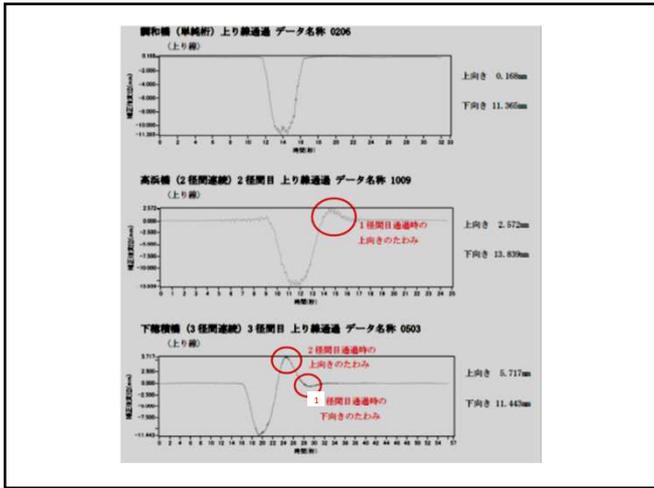
1) 鋼軌道桁及びモノレール橋の種別、単純桁や
連続桁などの構造形式別のたわみ特性

鋼軌道桁



モノレール橋

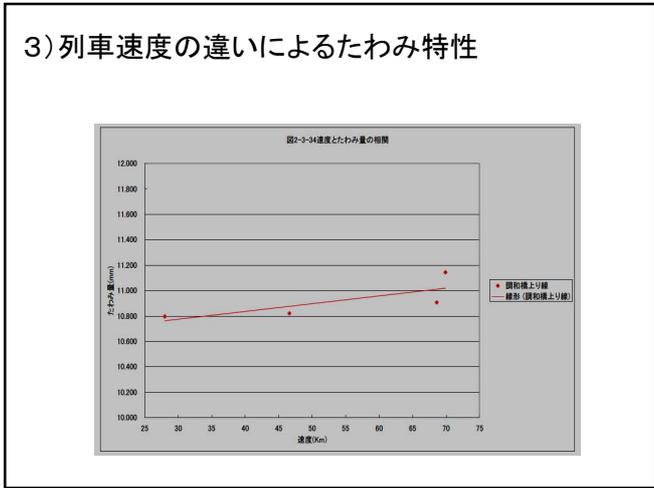




2) 同一橋梁における上り線、下り線相互のたわみ特性

データ名称	計測時刻	列車名称	上り・下り	列車速度 (km/h)	たわみ値	備考
0206	9月5日 23:55	回2306	上り	28	10.797	
0209	9月4日 0:02	2308	上り	46.6	10.822	
0210	9月4日 0:14	回2400	上り	68.6	10.907	
0211	9月5日 5:19	回501	下り	67.4	10.795	
0212	9月5日 5:22	回503	下り	70.6	10.587	
0213	9月5日 5:38	504	上り	69.9	11.144	
0214	9月5日 5:49	506	上り	69	0.000	計測不能

データ名称	計測時刻	列車名称	上り・下り	列車速度 (km/h)	山たわみ値					
					上り線			下り線		
					max	min	差	max	min	差
0206	9月5日 23:55	回2306	上り	28	0.117	-10.797	10.914	0.087	-4.637	4.724
0209	9月4日 0:02	2308	上り	46.6	0.176	-10.822	10.998	0.282	-4.407	4.689
0210	9月4日 0:14	回2400	上り	68.6	0.042	-10.907	10.949	0.080	-4.598	4.678
0211	9月5日 5:19	回501	下り	67.4	0.247	-4.328	4.573	0.058	-10.575	10.633
0212	9月5日 5:22	回503	下り	70.6	0.289	-4.451	4.729	0.107	-10.587	10.694
0213	9月5日 5:38	504	上り	69.9	0.079	-11.144	11.223	0.150	-4.850	5.000
0214	9月5日 5:49	506	上り	69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

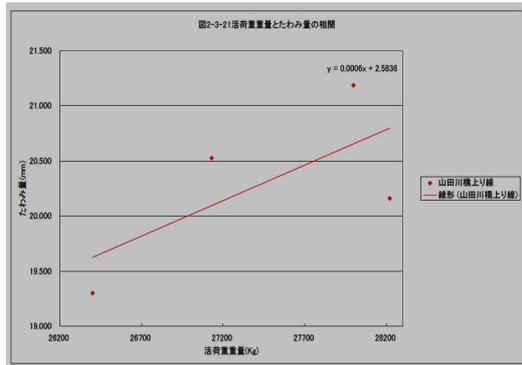


4) 乗車率(活荷重量)の違いによる特性

*計測予定データはオンライン、予備計測データでグラフ作成に使用したものをピンクで表記

データ名称	計測時刻	列車名称	上り・下り	乗車率 (%)	車両編成	たわみ値 (mm)	車両重量 (kg)	人員重量 (kg)	活荷重量 (kg)	活荷重量によるたわみ量の変化率
0101	9月7日 5:31	回500	上り	0	24	20.159	28220	0	28220	0.0006
0103	9月7日 5:49	回506	上り	0	12	19.300	26400	0	26400	
0107	9月7日 6:09	510	上り	13.9	11	20.526	26282	867	27129	
0109(2)	9月7日 6:34	602	上り	24	18	21.186	26500	1498	27998	
想定データ					100	22.228	26500	6240	32740	

データ名称	計測時刻	列車名称	上り・下り	乗車率 (%)	山たわみ値					
					上り線			下り線		
					max	min	差	max	min	差
0101	9月7日 5:31	回500	上り	0	1.011	-20.159	21.170	0.675	-20.122	20.797
0103	9月7日 5:49	回506	上り	0	0.790	-19.300	20.090	0.659	-19.128	19.787
0107	9月7日 6:09	510	上り	13.9	0.900	-20.526	21.426	0.855	-20.280	21.135
0109(2)	9月7日 6:34	602	上り	24	0.759	-21.186	21.945	0.451	-21.017	21.468



5) Uドップラーとレーザー距離計の測定差



6) 設計たわみ量との比較

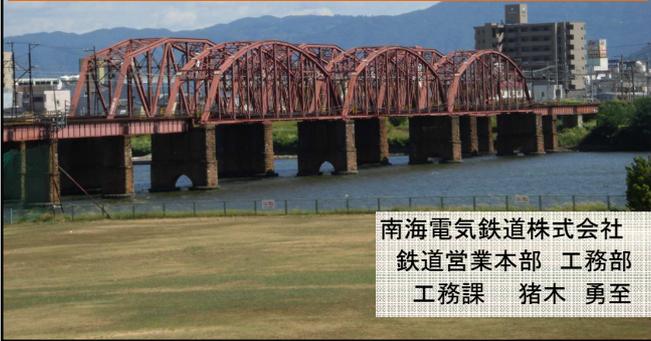
表2-3-11

橋梁名	項目	実測値				乗車率 (10%) (推定 値)	計測値
山田川橋	乗車率 (%)	0%	0%	11.9%	24.0%	10%	不明
	たわみ量 (mm)	20,119	19,300	20,530	21,184	22,925	
	列車重量 (t)	25220	25400	25262	25200	26100	
調和橋	乗車率 (%)	0.0%	0.0%	1.0%	4.8%	100.0%	10.6%
	たわみ量 (mm)	10,797	10,820	10,907	11,144		
	列車重量 (t)	26282	26400	26200	26200	26100	
下懸橋 (1径間)	乗車率 (%)	5.4%	5.4%			100%	32.3%
	たわみ量 (mm)	11,987	12,290			16,369	
	列車重量 (t)	26200	26100			26100	
下懸橋 (2径間)	乗車率 (%)	0%	0%			100%	44.5%
	たわみ量 (mm)	58,056	58,220			92,741	
	列車重量 (t)	26200	26100			26100	
下懸橋 (3径間)	乗車率 (%)	0.0%	0.0%			100%	22.8%
	たわみ量 (mm)	10,004	11,042			12,980	
	列車重量 (t)	26400	26300			26300	
茨木駅西橋	乗車率 (%)	0%	0%			100%	15.0%
	たわみ量 (mm)	16,181	15,732			18,583	
	列車重量 (t)	26800	26400			26400	
尺良宮駅南幹道橋 (1径間)	乗車率 (%)	0%	0%	5%		100%	66.0%
	たわみ量 (mm)	53,607	53,530	53,783		47,172	
	列車重量 (t)	26600	26400	26200		26200	
尺良宮駅南幹道橋 (2径間)	乗車率 (%)	0%	0%	0%		100%	56.1%
	たわみ量 (mm)	15,960	17,098	16,883		18,988	
	列車重量 (t)	26600	26300	26400		26200	
高島橋 (1径間)	乗車率 (%)	0%	0%			100%	20.3%
	たわみ量 (mm)	9,015	8,747	8,937		9,761	
	列車重量 (t)	26100	26262	26200		26100	
高島橋 (2径間)	乗車率 (%)	0%	0%	0%		100%	15.3%
	たわみ量 (mm)	13,683	13,220	13,183		15,206	
	列車重量 (t)	26212	26100	26200		26400	

【まとめ】

乗車率(活荷重量)の違いによるたわみ特性や、設計たわみ量との比較においては課題が残ったものの、大阪モノレールにおいては列車速度とたわみ量の相関は無いことがわかった。また、これまでのたわみ測定は軌道桁下面と地上に配置したゲージにピアノ線を張って、かつ予め軌道桁に最大たわみを生じさせる列車位置を明示し、そこに列車を停止させて計測を行っていたが、Uドップラーを用いたことにより、軌道桁直下にピアノ線を張る必要がなく斜方向から非接触による測定が行え、列車を停止させる必要もなく動活荷重による測定が可能であったことから、一般交通や列車運行に支障を与えることなく測定することができた。

経年100年を越えた鋼鉄道橋の性能調査について



南海電気鉄道株式会社
鉄道営業本部 工務部
工務課 猪木 勇至

発表の流れ

1. 紀ノ川橋梁の概要と本発表の目的
2. 上部工 斜材アイバーの性能照査
3. 下部工 旧式橋脚の性能照査
4. まとめ



1. 紀ノ川橋梁の概要と本発表の目的

南海本線紀ノ川橋梁
場所：和歌山県北部



1. 紀ノ川橋梁の概要と本発表の目的

	上り線 (奥側)	下り線 (手前側)
築造年	1903年	1922年
経過年数	110年	91年
橋長	約627m	
連数・橋脚数	22連・21橋脚	
上部工構造	上路PG(1~16・22連) 下路トラス・ピン結合(17~19連)	上路PG(1~16・22連) 下路トラス・剛結(17~19連)
下部工構造	レンガ積み フーチング基礎(P1~4, 21) ケーソン基礎(P5~20)	

1. 紀ノ川橋梁の概要と本発表の目的

社会では構造物の老朽化による諸問題が報告されている

落橋等に繋がる致命的な損傷を未然に防ぐことが必要

構造物の健全度に対してより一層注意を要す

紀ノ川橋梁における重要構造体である
①ピントラス部における斜材アイバー
②旧式橋脚
に対して、これまでの調査結果の深度化を図り、性能を再評価する



2. 上部工 斜材アイバーの性能照査

2.1 ピントラス概要

紀ノ川橋梁 上り線
トラス部に採用

ピントラスとは、

- ・1894年~1910年代に建設された鉄道トラス橋で数多く採用
- ・全ての格点はヒンジ構造
- ・格点に集まる各部材(斜材アイバーと水平アイバー)をピン結合



2. 上部工 斜材アイバーの性能照査

2.1 ピントラス概要

ピントラスとは、

- 各アイバーの軸力により構造体を支持
- ⇒ アイバーの腐食や弛緩などにより**維持管理が困難**
- ⇒ **アイバーの破断が橋梁そのものの破壊に繋がる**

ピントラス橋におけるアイバーの管理は非常に重要

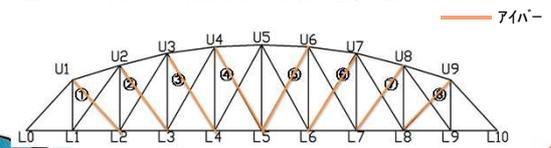
現存するピントラス橋は数少ない



2.2 弊社でのアイバー点検管理手法

① アイバーの振動数測定

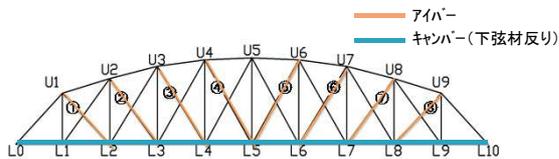
- アイバーを手で振動
- 10秒間に振動する回数を指で測定
- 2回の平均値から振動数(毎秒)を算出



2.2 弊社でのアイバー点検管理手法

② キャンバー測定

- 格点部に連結する横桁天端のレベル測量
- 下弦材の反りの変化からアイバーの変状推測



Qとともに、2年に一回の通常全般検査時実施

2.3 アイバー振動数と発生応力

アイバーは2本で一組

⇒ 1本が弛緩するともう1本に応力集中

⇒ **弛緩・緊張状態の把握が重要**

西村らの研究

アイバーの振動数と応力には相関関係

$$\sigma = 0.000025f^2l^2 - 6909000 \times (t/l)^2$$

σ : アイバーの引張応力度 f : アイバーの振動数

l : バーの長さ t : バーの厚さ

⇒ **理論応力から標準振動数を、実測振動数から発生応力を算出**



実測振動数 > 標準振動数 ⇒ 過緊張状態
実測振動数 < 標準振動数 ⇒ 弛緩状態

2.4 弛緩状態のアイバー

今回調査内容

- 過去の測定結果より弛緩していると思われる**4か所**について、再調査

- 精度を上げるべく、速度計をアイバーに取り付け、ハンマーで振動させて**振動数を測定**

※速度計:

(公財)鉄道総合技術研究所開発 IMPACT II



実測振動数 > 標準振動数 ⇒ 過緊張状態
実測振動数 < 標準振動数 ⇒ 弛緩状態

2.6 過緊張状態のアイバー

アイバーが過緊張状態になると、部材にき裂が入ったり、破断にいたる可能性がある

⇒ **過緊張状態の把握が重要**

今回の照査内容

過去の測定結果における最大振動数に対する最大発生応力 σ_{max} を算出し、**アイバーの保守限度応力度との比較**を実施

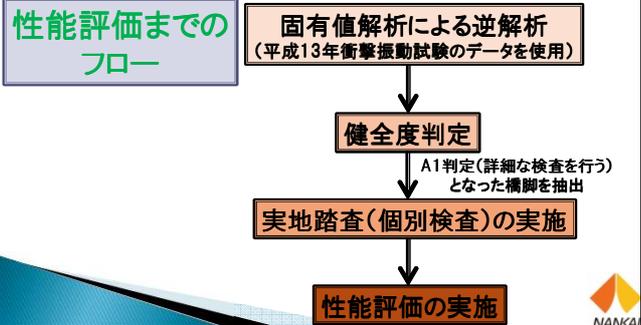
⇒ **部材の耐荷性の評価**

2.8 斜材アイバーの性能照査 まとめ

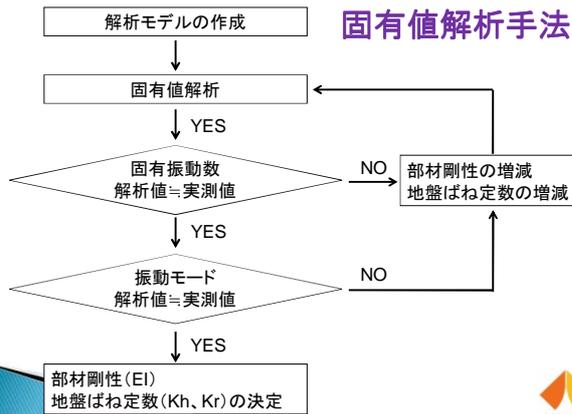
- ▶ ピントラス部のアイバー(96本)の内、**1本のみ弛緩**していたが、その対になるアイバーが**保守限応力度以下**であり、変状が出るほど過緊張状態ではなかった
- ▶ 弛緩によりアイバーにかかる応力が一様ではないため、今後腐食等によりアイバー断面が減少すれば、応力が増大し、変状が発生する可能性があることに注意を要する



3. 下部工 旧式橋脚の性能照査 3.1 性能評価すべき橋脚の抽出

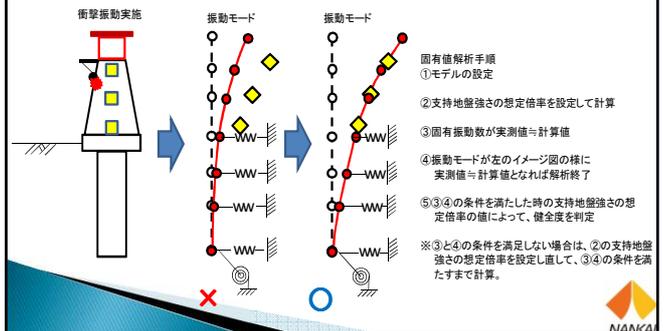


3.1 性能評価すべき橋脚の抽出



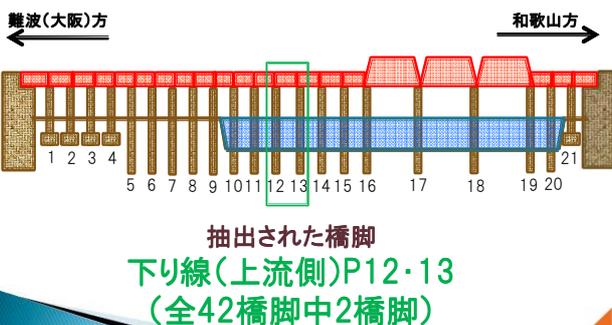
3.1 性能評価すべき橋脚の抽出

固有値解析手法



3.1 性能評価すべき橋脚の抽出

抽出された橋脚の位置



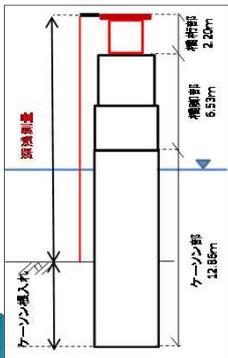
3.2 実地踏査 ～衝撃振動試験と深淺測量

衝撃振動試験



3.2 実地踏査 ～衝撃振動試験と深浅測量

深浅測量



3.2 実地踏査 ～衝撃振動試験と深浅測量

深浅測量

- ・抽出された「下り線(上流側)P12・13」について実施
- ・他の橋脚と比較するため、同構造で固有振動数の高い下り線P10についても実施

深浅測量結果(河床から桁上端までの高さ:m)

橋脚番号	測定位置	H24.3	H24.12 (本調査)
		下りP10	上流側
	起点側	12.30	12.20
	終点側	12.49	12.45
下りP12	上流側	—	14.95
	起点側	15.15	15.15
	終点側	15.30	15.20
	上流側	—	14.60
下りP13	起点側	15.48	15.05
	終点側	14.60	14.90

◎進行性は認められないが、P10と比較してP12・13の方が洗掘されている可能性がある

3.3 性能評価結果

要求性能	性能項目
安全性	安定
復旧性	外力に対する耐力

◎橋脚における地盤ばねの健全度がA2またはB
→安定性あり
◎今後変状が進行すればA1となる可能性あり

◎増水に対する耐力は、洗掘を受け河床底面が低下している橋脚ほど低い
◎P12・13は復旧性が低い

安全性は担保されているが、継続監視と定期的な深浅測量の必要性あり

4. まとめ

○上部工(アイバー)について

現状では破断状態に至るほど過緊張状態ではないが、腐食や緩み等の様々な要因により応力が過大に発生する可能性もあるため、通常全般検査に合わせて振動数の測定を行い、今後も継続的に状態把握を行いたい

○下部工について

現状における安全性は担保されているが、地盤ばねによる健全度がA2である橋脚および洗掘の恐れがある橋脚があることを勘案し、今後も継続的に進行性を把握すべく、通常全般検査時に合わせて深浅測量を行い、適宜個別検査として、衝撃振動試験を実施したい

CFRPを用いた鋼橋の補強に対する 温度変化の影響

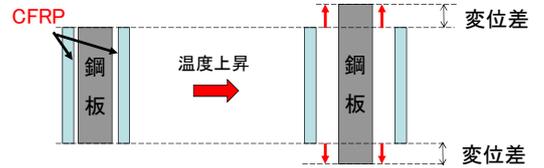
レールテック 松本 健太郎
京橋メンテック 並木 宏徳
明星大学 鈴木 博之

背景

CFRP板 (炭素繊維強化プラスチック) による 鋼橋梁の耐久性向上法

BUT 異なる熱線膨張係数

鋼材	= 12×10^{-6}
CFRP	= 1×10^{-6}

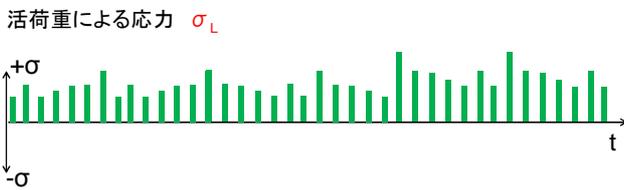
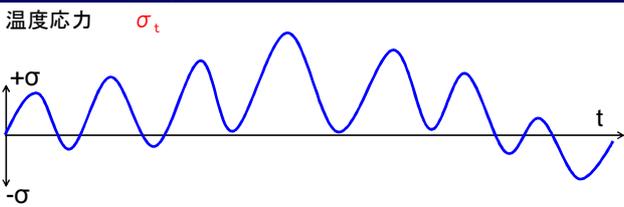


鋼部材とCFRP板を接着し温度変化が生じると、

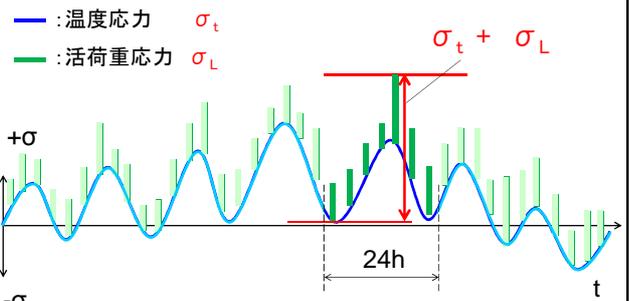
⇒温度応力により、接着剥離や補強効果低減の可能性

英国ICEのFRP補強ガイドブックにも記載あり

温度応力と活荷重応力



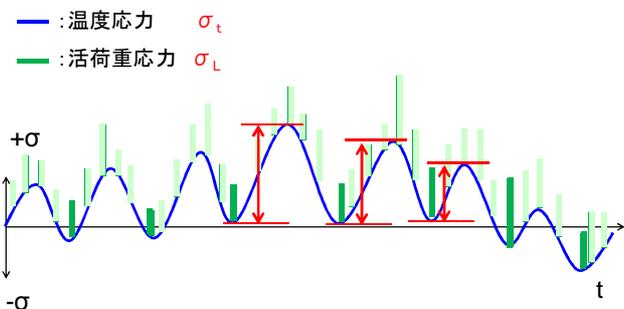
活荷重応力が大きい温度応力に重畳した時



応力波形の計数法では、

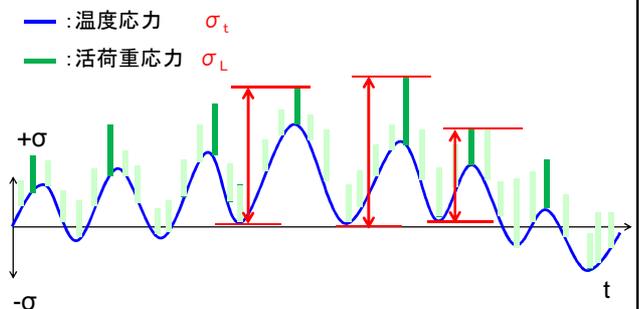
温度応力に重畳するのは一つの活荷重による応力だけ

温度応力の波と活荷重応力の波が1対1に重畳



温度応力の極小値と活荷重応力が重畳

温度応力の波と活荷重応力の波が1対1に重畳



温度応力の極大値と活荷重応力が重畳

CFRP補強時の温度応力が疲労被害に対してどの程度増大するか定量的に評価されていない

目的

CFRP補強(軸方向補強)された鋼部材
活荷重により生じる応力+気温の変化により生じる温度応力
疲労損傷度を試算

CFRP補強を実橋梁に適用した場合の
温度変化による
疲労被害への影響を検討

研究の流れ

簡易算定式の提案

- 式①: CFRP補強(軸方向補強)時の鋼部材温度応力
- 式②: 補強に必要なCFRPの断面積

疲労損傷度算出

実際の気温変化下(東京地区)

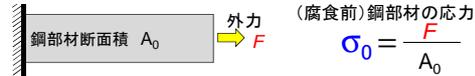
- ・活荷重
 - ・過積載荷重
- 2ケース

CFRP板による腐食鋼部材の補強計算条件

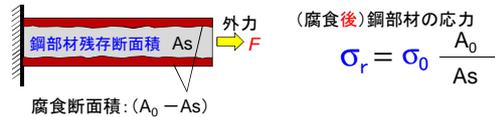
補強条件

- 補強対象: 腐食などで断面減少した引張力をうける鋼部材
- 補強方針: 鋼部材両面にCFRP板で軸方向補強。腐食前の応力の大きさまで低減する
- 腐食影響: 残存断面積を用いて計算した公称応力で評価。腐食形状による応力集中や、断面欠損による偏心は考慮しない

1) 腐食前の鋼部材



2) 腐食後の鋼部材



CFRP補強の必要断面積 簡易算定式

3) 腐食鋼部材の補強後



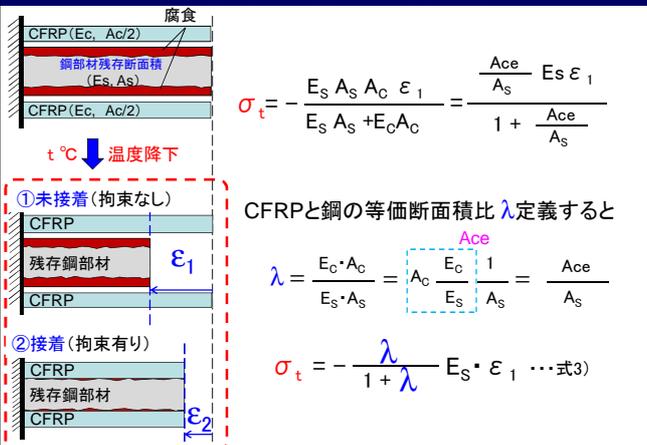
腐食前鋼部材の応力の大きさまで低減を目標
 $\sigma_{Re} = \sigma_0$ より

$$\sigma_0 \frac{Es A_0}{Es A_s + Ec Ac} + \sigma_T = \sigma_0 \Rightarrow Ac = \frac{\sigma_0 (A_0 - A_s) \sigma_0}{\sigma_0 \left(\frac{Ec}{Es} \right) + Ec \epsilon_1}$$

補強時のCFRP等価断面積

$$Ace = Ac \frac{Ec}{Es} = \sigma_0 \frac{(A_0 - A_s) \sigma_0}{\sigma_0 + Es \epsilon_1} \dots \text{式2)}$$

CFRP補強時の温度応力 簡易算定式



1年間の気温変化

温度応力を扱うので、
温度変化=応力変化と仮定し、
温度変化を整理する

気温変動量の評価条件

- 気温データ
東京 2012/1~2012/12 (気象庁HPより)
- 波形計数法: レインフロー法
- 調査項目:
日較差, 月較差, 年較差
- 気温変化: 単調変化と仮定
・最高気温 → 最低気温
・最低気温 → 最高気温

表-1: レインフロー法による

3条平均=7.95度

表-2: 日較差, 月較差, 年較差をそれぞれ累積

3条平均=8.89度 頻度累積13回増加

表-1
レインフロー法

気温差 (°C)	頻度	気温差 (°C)	[日]較差 頻度	[月]較差 頻度	[年]較差 頻度
1	2	1	1		
2	10	2	5		
3	23	3	15		
4	26	4	30		
5	42	5	36		
6	65	6	62		
7	64	7	73		
8	51	8	74		
9	30	9	32		
10	19	10	17		
11	9	11	10		
12	4	12	8	1	
13	8	13	2	1	
14	6	14			
15	3	15		2	
16	1	16	1	2	
17		17		2	
18	1	18		1	
19		19			
20		20			
21		21		1	
37	1	37			1
頻度累計	365	頻度累計	366	12	1
3乗累計	234228	3乗累計	159137	56477	50653
合計		合計		266267	

累積疲労損傷度の算出方法

1. 波形計数法:レンジペアー法

作用応力(荷重)のレベルと回数

2. 疲労寿命 (日本溶接協会の疲労強度等級による)

$$N_i = C \cdot \Delta\sigma_i^m$$

Cは定数, m=3とし, $\Delta\sigma_i$ は応力範囲

3. 疲労累積損傷度Dの算定

評価:修正マイナー則 (打ち切り限界は設けない)

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i}$$

n_i : 応力範囲 $\Delta\sigma_i$ を実際に付加した回数

N_i : 応力範囲 $\Delta\sigma_i$ に対する寿命

※ $D \geq 1.0$ で疲労破壊が生じる

計算条件①

1. 構造部材の温度

構造部材の温度と気温は一般に一致しないため、
構造部材の温度道示と実気温から仮定する

実際の気温⇒ 東京年間気温差(2012/1~2012/12): $\Delta t_{\text{tokyo}} = 37^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C} \sim 37^\circ\text{C}$)

鋼部材温度⇒ 道路標示方書: $\Delta t_{\text{JRA}} = 60^\circ\text{C}$ (基準温度 $20^\circ\text{C} \pm$ 温度変化 30°C)

$$\frac{\Delta t_{\text{JRA}}}{\Delta t_{\text{tokyo}}} = \frac{60}{37} = 1.62 \text{ 倍} \quad \text{鋼構造の温度を気温の} 1.62 \text{ 倍と仮定}$$

2. 活荷重の設定

疲労等級 G等級 (200万回基本疲労強度, $\sigma_f = 50\text{N/mm}^2$)

活荷重応力が 50N/mm^2 生じ, 構造物の疲労寿命を50年と仮定
⇒1日当たり繰返し数は 約110回 (= 200万回/(365日x50年))

計算条件②

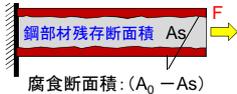
腐食前の鋼部材



3. CFRPと鋼の等価断面積比 λ

引張力Fをうける腐食鋼部材を
CFRPで軸方向補強とする

腐食後の鋼部材

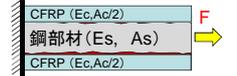


試算条件

①腐食前の鋼部材応力 $\sigma_0 = 50\text{N/mm}^2$

②腐食により断面が23%欠食 $A_s = 0.77 \times A_0$

腐食鋼部材の補強後



$$\lambda = \frac{E_c \cdot A_c}{E_s \cdot A_s} = 0.3 \text{ と仮定}$$

一定の活荷重が作用する場合

温度変動が無い一定荷重379個の波による疲労被害

気温 °C	気温 変動 °C	温度応力 σ_T (N/mm ²)	重畳応力 $\sigma_0 + \sigma_T$ (N/mm ²)	N_i ($\times 10^{-5}$)	累積 損傷度D ($\times 10^{-9}$)	頻度 (日)	D x 頻度 ($\times 10^{-9}$)	50年間の 疲労被害
0	0	0.00	50.00	2.0000	0.5000	379	190	0.00948

一定振幅の応力が作用する場合、ここでは被補強鋼部材がG等級であるから、 50N/mm^2 の一定応力範囲の活荷重を受ける場合を扱うことになる。

温度応力が重畳する波の数は378個であるから、378個の波の疲労被害を温度応力がない場合と重畳する場合について計算し、両者の差が温度応力により増える疲労被害である。

(残りの波の疲労被害と合計で1.0となる。残りの波の疲労被害については変化が無いので計算から除外しておく)

一定応力に温度変動が重畳した379個の波による疲労被害

気温 °C	気温 変動 °C	温度応力 σ_T (N/mm ²)	重畳応力 $\sigma_0 + \sigma_T$ (N/mm ²)	Nf ($\times 10^{-5}$)	累積 損傷度D ($\times 10^{-9}$)	頻度 (日)	D x 頻度 ($\times 10^{-9}$)	50年間の 疲労被害
37	59.9	33.2	83.2	0.434	2.305	1	2	
22	35.6	19.7	69.7	0.737	1.357	0	0	
21	34.0	18.9	68.9	0.766	1.305	1	1	
20	32.4	18.0	68.0	0.797	1.255	0	0	
19	30.8	17.1	67.1	0.829	1.206	1	1	
18	29.2	16.2	66.2	0.864	1.158	2	2	
17	27.5	15.3	65.3	0.900	1.112	2	2	
16	25.9	14.4	64.4	0.938	1.066	3	3	
15	24.3	13.5	63.5	0.978	1.022	2	2	
14	22.7	12.6	62.6	1.021	0.980	0	0	
13	21.1	11.7	61.7	1.066	0.938	3	3	
12	19.4	10.8	60.8	1.114	0.898	9	8	
11	17.8	9.9	59.9	1.165	0.858	10	9	
10	16.2	9.0	59.0	1.219	0.820	17	14	
9	14.6	8.1	58.1	1.276	0.784	32	25	
8	13.0	7.2	57.2	1.337	0.748	74	55	
7	11.3	6.3	56.3	1.402	0.713	73	52	
6	9.7	5.4	55.4	1.472	0.680	62	42	
5	8.1	4.5	54.5	1.546	0.647	36	23	
4	6.5	3.6	53.6	1.625	0.616	30	18	
3	4.9	2.7	52.7	1.709	0.585	15	9	
2	3.2	1.8	51.8	1.799	0.556	5	3	
1	1.6	0.9	50.9	1.896	0.527	1	1	
小計						379	275	0.01382

一定の活荷重が作用する場合の 温度応力重畳による疲労被害の増加

温度応力が一定の活荷重応力重畳した時の疲労被害の増加

疲労累積損傷度の増加

$$\Delta D = 0.01382 - 0.00948 = 0.00434$$

疲労寿命の減少

$$\Delta Y = 50 \text{年} - 50 \text{年} / (1 + 0.00434) = 0.22 \text{年}$$

一定振幅の応力範囲が生じる場合の疲労寿命
温度応力が重なっても ほとんど影響を受けない

過積載の活荷重が作用する場合

過積載荷重が載荷し、活荷重応力が 200N/mm^2 と仮定する

温度応力が過積載の活荷重応力重畳した時の疲労被害の増加

疲労累積損傷度の増加

$$\Delta D = 0.66843 - 0.60640 = 0.06203$$

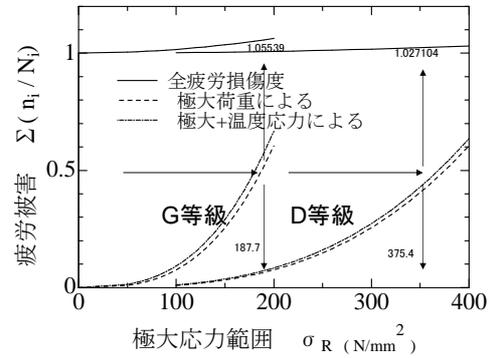
疲労寿命の減少

$$\Delta Y = 50\text{年} - 50\text{年}/(1 + 0.06203) = 2.992\text{年}$$

過積載の大きな(一定振幅)応力範囲が生じる場合に、温度応力が重なると、**疲労寿命低減への影響が大きくなる**
過積載による大きな(一定振幅)応力範囲を極大応力範囲と定義し、これをパラメータとして疲労被害の増加量を計算する

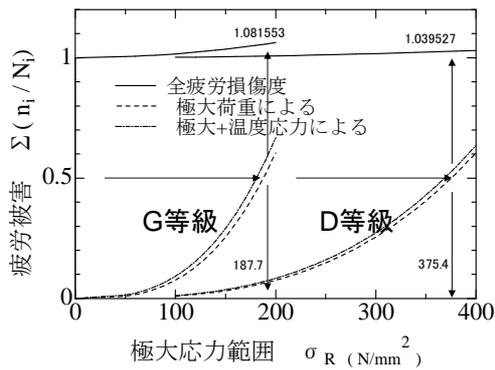
極大応力範囲のレベルと疲労被害

CFRPの断面積比 $\lambda=0.3$ の場合



極大応力範囲のレベルと疲労被害

CFRPの断面積比 $\lambda=0.5$ の場合



CFRPの断面積比($\lambda=0.5$)が大きくなると温度応力が大となり疲労被害は増大

まとめ

- ① 東京都における気温変化パターンをベースにした温度応力が重畳した場合の疲労損傷度を計算した結果、被補強部材の疲労強度等級が低いほど、CFRP補強断面積比が大きいほど疲労損傷度が増加する。
- ② 実際のCFRP補強において、最も厳しい条件と考えられるG等級の鋼桁をCFRP等価断面積比 $\lambda=0.5$ で補強した場合においても疲労損傷度の増加は8.2%以下に留まる。

軸方向にCFRP補強された鋼桁に温度応力が作用する時、作用荷重が一定の時には疲労被害は僅かである。

鋼橋の表面色の違いによる 日射温度影響について

前橋工科大学 社会環境工学科 谷口 望

研究背景

近年の橋梁

- ① 合理化設計 (合成桁・長スパン・剛性低減)
- ② ミニマムメンテナンス (耐候性鋼材)

課題 (特に鉄道橋)

- ① 予想していない変形 (日変化・季節変化)
- ② 予想していないひび割れ発生



研究目的

鋼とコンクリートの温度差が大きいと推測

耐候性鋼材 → 基本的には、こげ茶色
鋼材色による日射温度の影響を測定する



実験方法 (群馬県・前橋市)

① 様々な塗装の鋼材 (SS400) を用意

50 × 50 × 9

白・灰・空・緑・赤・茶・黒・裸 (プライマー) の8種

② コンクリート上に設置

9:00 ~ 17:00

横置き・縦置き

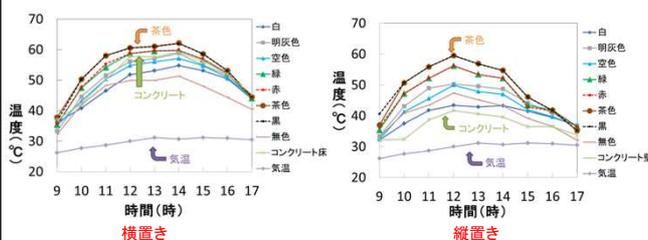
③ 1時間ごとに温度計測

非接触赤外線温度計



実験結果 (群馬県・前橋市)

快晴・夏季

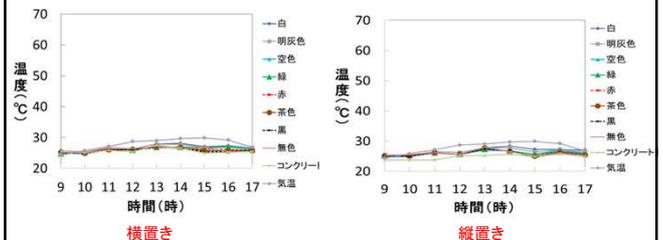


温度が高いのは横置き
温度差が大きいのは縦置き
参考: 設計上の温度差は10°C



実験結果 (群馬県・前橋市)

曇り・夏季

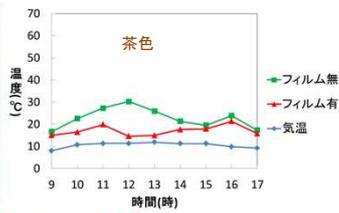


差は生じていない
日射による影響が顕著



実験結果(日射低減)

快晴・冬季



赤外線遮断フィルムを設置して実験

フィルム有の方が最大で15°C温度低減

実際の橋梁の測定

構造工学論文 Vol.61A(2015年3月)

橋本国太郎, 奥村 駿, 杉浦邦征, 谷口 望, 藤原良憲
『SRC構造を有する合成トラスローゼ橋の温度変化挙動』



まとめ

- ①鋼材の色による日射の温度差が大きい
茶色は黒色とほぼ同様
白色と比べると最大で20°C高くなる
- ②赤外線を遮断すれば温度は下げられる
- ③橋梁全体系での効果を解析により確認
設計の温度差10°Cとの比較

収縮・クリープとのバランスの考慮も必要では
軌道管理基準(40m弦)と変位制限の整合性?

謝辞

本研究の実施にあたっては、下記の方々にご協力を得ました。

横河ブリッジ・水口知樹氏
京都大学・杉浦研究室の皆様
JR東日本・八戸保線技術センターの皆様

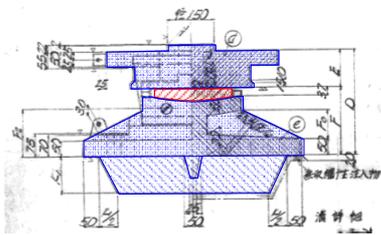
既設鉄道合成桁へのBP-B 支承の適用

西日本旅客鉄道(株)
構造技術室 鋼構造G 池頭 賢

目次

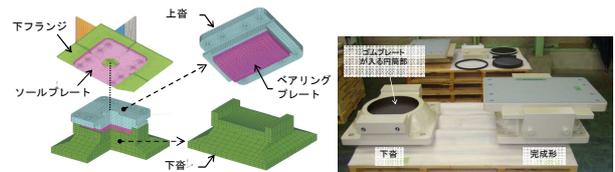
1. はじめに(BP-A支承の変状概況)
2. BP-B支承の適用検討
3. 支承取替え工事の概要
4. 可動機能改善効果
5. まとめ

BP-A支承の変状状況



3

BP支承 (BP-A, BP-B)



BP-A支承の構造概略
(銅合金支承板支承)

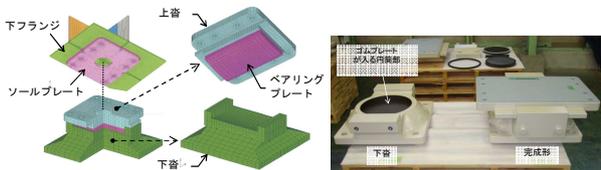
BP-B支承の構造概略
(密閉ゴム支承板支承)

解説表 9.3.1 可動支承の摩擦係数

すべり面を有する金属面	摩擦係数
鋼と鋼	0.25
BP-B支承 鋼とPTFE (四ふっ化エチレン樹脂)	0.10
BP-A支承 鋼と銅合金支承板 (高力黄銅 (固体潤滑材使用) を含む)	0.10

4

BP支承 (BP-A, BP-B)



BP-A支承の構造概略
(銅合金支承板支承)

BP-B支承の構造概略
(密閉ゴム支承板支承)

■ 鉄道橋へのBP-B支承適用にあたっての課題

- ① 耐久性 (ゴムプレート, PTFE等)
- ② 列車の乗り心地 (ゴムプレートの動的鉛直変位による影響)

5

BP-B支承の耐久性

b) 支承板支承 (BP-A支承, BP-B支承)

支承板支承は、図 1.11 に示す高力黄銅支承板支承 (BP-A支承) と密閉ゴム支承 (BP-B支承) の二種類がある。BP-A支承は、高力黄銅支承板 (ベアリングプレート) による回転に追随しており、また、BP-B支承は、PTFE板 (テフロン板) とステンレス板による追随し、円筒型ポットに挿入されたゴムプレートで回転に追随している。可動支承の場合には、図 1.12 に示すように、上蓋の切り欠き部とサイドブロックとの間に、移動量に見合った可動範囲を設ける。この支承は、小規模橋梁から大規模橋梁まで幅広く対応可能である。

ステンレス板とすべり板 (または固体潤滑材) との組合せによるすべりやベアリングプレート、ゴムプレートの回転に関して、BP-A支承とBP-B支承とを比較すると、長期の使用実績や劣化の有無、実験の結果から、BP-A支承よりBP-B支承の方が優れていると示され、現在ではBP-B支承が、多く使用されている。PTFE板は酸や薬品に強く、摩擦係数も長期的に安定した、優れたすべり材であり、一般に、設計支圧応力度を 30N/mm² としている。

6

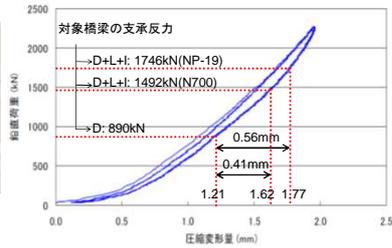
BP-B支承の列車の乗り心地への影響

・静的荷重試験を実施

→列車載荷時の鉛直変位: 0.56mm(NP-19), 0.41mm(N700)

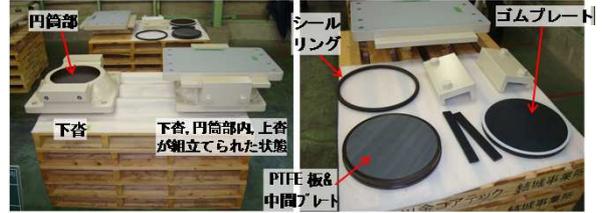
<制限値(走行安全性2.5mm, 乗り心地2.0mm)※

※鉄道構造物等設計標準・同解説-変位制限(鉄道総研)

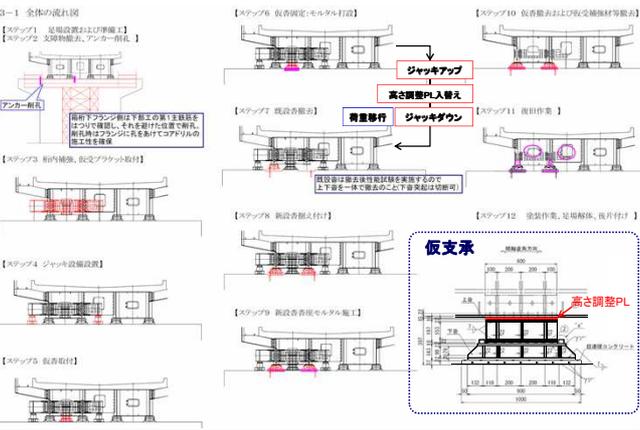


ゴムプレート静的荷重試験結果
(鉛直荷重45kN~2250kNの3回繰返し載荷曲線)

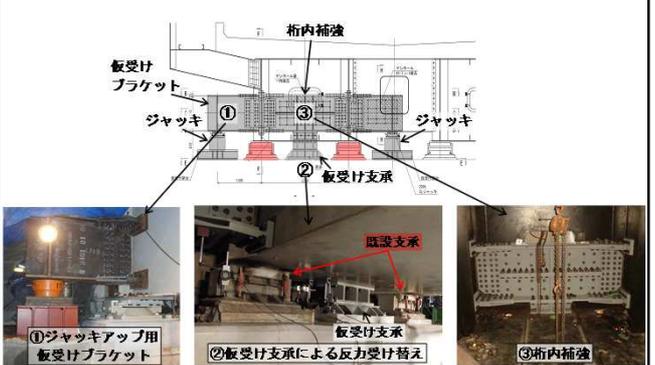
BP-B支承 取替え前の状況(工場)



支承取替え工事 施工ステップ

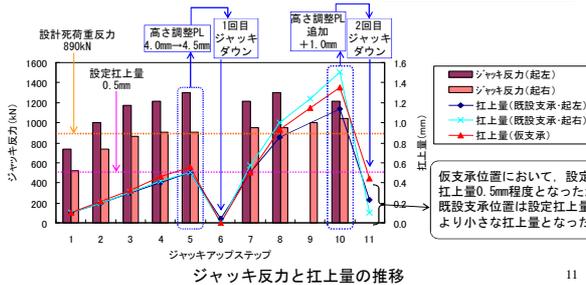
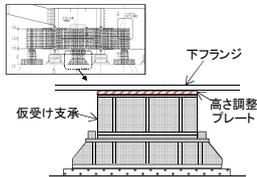


桁仮受けの状況



仮受け支承への反力移行

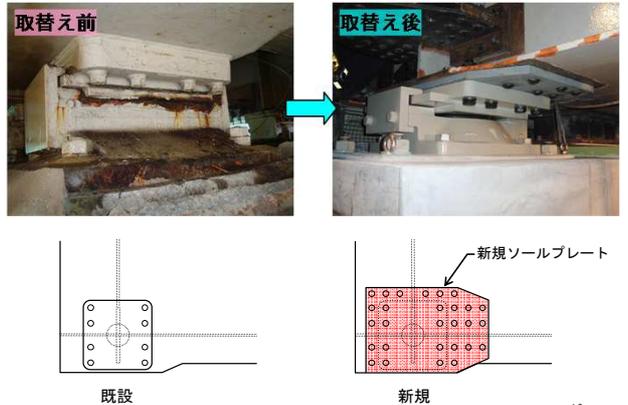
ジャッキアップ
→高さ調整プレート入替え
→ジャッキダウン
→仮受け支承への反力移行



仮支承位置において、設定扛上量0.5mm程度となったが、既設支承位置は設定扛上量より小さな扛上量となった。

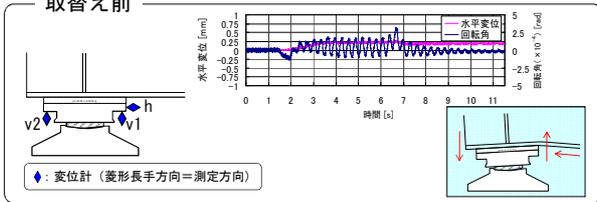
ジャッキ反力と扛上量の推移

支承取替え前後の状況

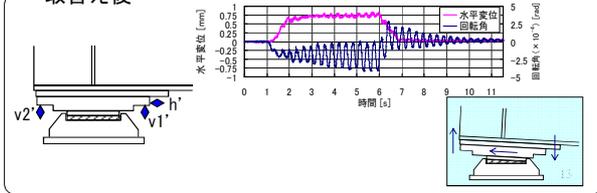


支承変位計測

取替え前



取替え後



まとめ

1. 既設鉄道合成桁の支承取替えを実施した。
2. BP-B支承の動的鉛直変位について、乗り心地の観点から、鉄道橋に用いても問題のないことを確認した。
3. 支承取替え前後において支承変位計測を実施し、水平移動、回転ともに、大幅に改善されることを確認した。
4. 従来、鉄道橋にBP-B支承が適用された事例は少ないが、今回の施工箇所の経過を追跡することで、今後の適用拡大に繋がるものと考えられる。