

関西圏の鋼 I 桁橋における 構造的特徴と疲労特性

目次

1.	NEXCO関西支社の概要	(2~13)
2.	対象橋梁の特徴	(14~15)
	・建設時期及び背景	(14)
	・使用環境	(15)
3.	対象橋梁の特徴(構造的特徴)	(16~23)
4.	構造上の課題及び対応	(24)
5.	対象とした路線及びデータ収集項目	(25)
6.	分析結果	(26~27)
7.	構造解析	(28~32)
8.	現地測定	(33~34)
9.	まとめ	(35)

【報文の概要】

関西圏の高速道路鋼橋：施工時期・荷重条件の違いにより様々なディテール

⇒ 疲労損傷の発生が懸念される路線・橋梁の抽出のため・・・

- ・構造、ディテール等の諸元分析
- ・立体格子解析による疲労損傷度の試算
- ・現地計測

等を踏まえ、分析・フィルタリングを試みたもの

1 NEXCO関西支社の概要



供用中道路の経過年数比率



NEXCO西日本の状況
平成30年4月現在 関西支社管内の営業中道路:853.5km

関西支社管内には供用50年を超過する名神高速道路があり、およそ半数の路線が供用後30年を経過。

1 NEXCO関西支社の概要

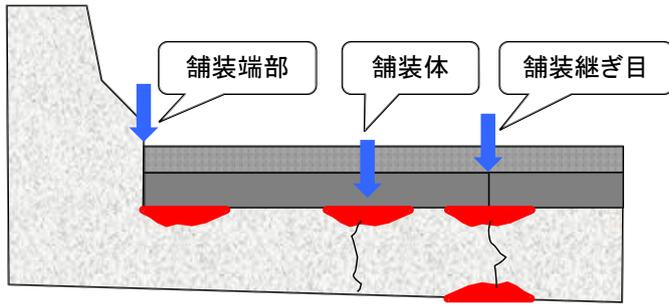
・大規模更新・修繕事業の経緯

- H24.11.7 「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」設立 (以下、「長期保全等検討委員会」)
- (○ H24.12.2 中央自動車道笹子トンネル(上り線)天井板落下事故発生)
- H25.4.25 長期保全等検討委員会「中間とりまとめ」公表
高速道路の各構造物の変状状況から、劣化要因を整理し、大規模更新・大規模修繕の必要要件について取りまとめ
- H25.4.26 国土幹線道路部会へ「中間とりまとめ(要旨)」を報告
長期保全等検討委員会の中間とりまとめを踏まえ、検討内容および大規模更新・大規模修繕の規模感について会社から報告
- H26.1.22 長期保全等検討委員会「提言」
東・中・西日本高速道路の「大規模更新・大規模修繕計画(概略)」の公表
長期保全等検討委員会提言を踏まえ、大規模更新・大規模修繕の事業規模を公表
- H26.2.7 国土幹線道路部会への報告
高速道路各社の更新計画(概略)の内容について報告
- H27.1.15 更新計画の審議
更新計画(概略)の内容について精査 ⇒ 国土幹線道路部会において審議
- H27.3.25 更新事業の事業許可
高速道路各社の更新事業について道路整備特別措置法に基づく許可

1 NEXCO関西支社の概要

・経年劣化の状況(床版) ①凍結防止剤の影響による塩害

- ・ 床版上面・舗装面の状況(代表例)



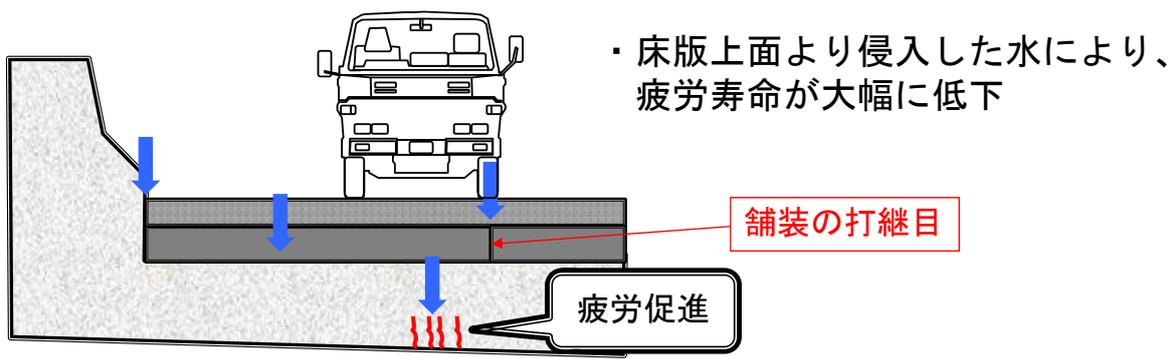
1 NEXCO関西支社の概要

・経年劣化の状況(床版) ②内在塩分の影響による塩害



1 NEXCO関西支社の概要

・経年劣化の状況(床版) ③塩害と疲労の複合劣化



1 NEXCO関西支社の概要

・経年劣化の状況(床版) ③塩害と疲労の複合劣化



1 NEXCO関西支社の概要

・経年劣化の状況(鋼桁) ①腐食



緊急仮受



部材取替+当て板補修を実施

1 NEXCO関西支社の概要

・経年劣化の状況(鋼桁) ②疲労

H26 発見
同年補修完了
(部材・支承取替)



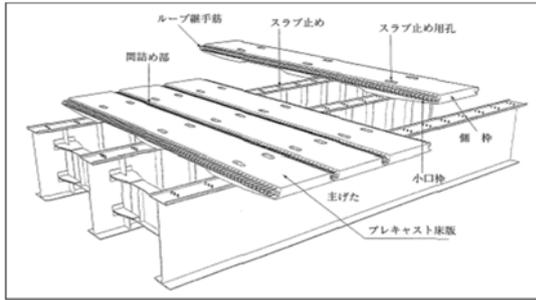
H26 発見
H27 補修完了
(部材・支承取替)



1 NEXCO関西支社の概要

・現在までの取組内容

- 対面通行規制による床版取替(プレキャストPC床版): 福崎高速道路事務所管内
⇒ 今後、他府県においても順次事業を展開予定



プレストレストコンクリート床版の構造



対面通行規制のイメージ

床版取替え工事のイメージ

1 NEXCO関西支社の概要

・現在までの取組内容

- 中国自動車道(福崎高速道路事務所管内) 床版取替工事



中国自動車道(夢前~山崎間)須賀沢橋



横梁による間接支持



※凍結防止剤による塩害の典型例

1 NEXCO関西支社の概要

・現在までの取組内容

- 中国自動車道(福崎高速道路事務所管内) 床版取替工事



夜間架設状況
(交差国道一時止)



プレキャストPC床版据付状況

1 NEXCO関西支社の概要

・これからの課題

- 現在、床版取替工事を行っているのはほぼすべて**鋼非合成鈹桁**



ジャッキによる引き剥がし作業



クレーンによる撤去作業



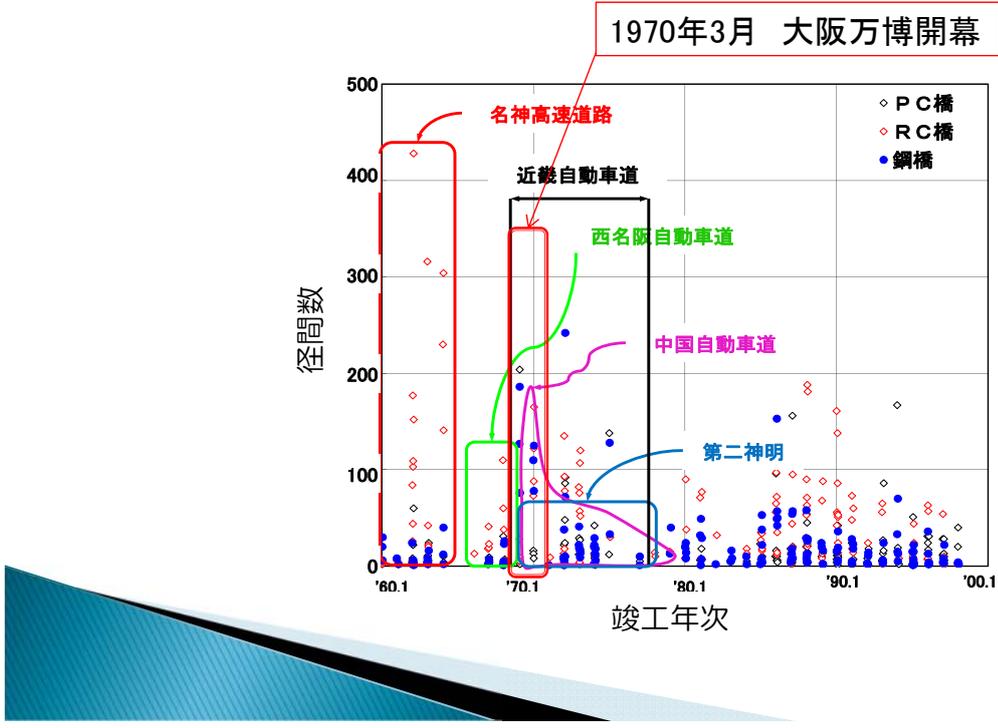
- スラブ止めであればジャッキアップにより引き剥がしが可能

- 今後、鋼合成桁の更新にあたり課題等を整理する必要がある
(社内検討会の開催)
⇒ 一環として、鋼橋の中で大きな比率を占める鋼 I 桁橋を対象とし、構造的特徴と疲労特性について整理

2 対象橋梁の特徴(建設時期及び背景)

・対象橋梁の建設時期及び背景

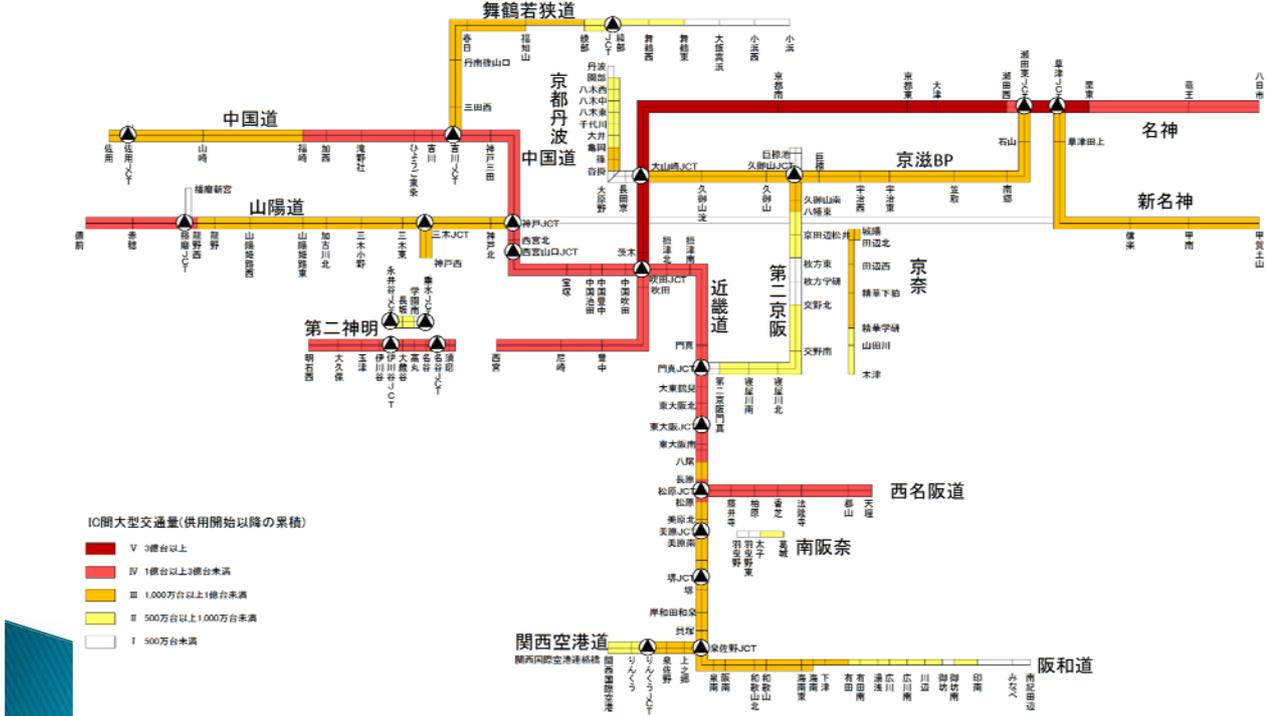
・大阪万博直前・直後に供用された中国道・近畿道は、設計～施工を約3年で完了させるため、**省力化・大量生産**等により対応。



2 対象橋梁の特徴(使用環境)

・関西圏内の累計大型車交通量(供用開始～現在)

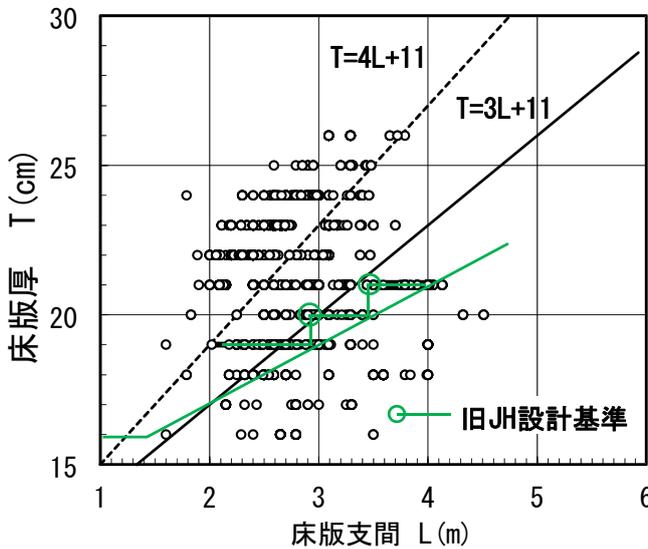
・名神・中国道・近畿道・西名阪道・第二神明道路にて累計交通量が1億台超過。



3 対象橋梁の特徴(構造的特徴)

・関西圏の鋼板桁橋の床版支間と床版厚の関係

- ・床版厚は現行道示の床版厚の約70%程度の床版厚で施工。
(上面増厚施工時の標準的厚さは30~40mmのため、増厚後も床版厚が不足)



・現行道示による床版厚計算

連続版の床版厚: $d_0 = 30 \times L(\text{m}) + 110(\text{mm})$

・ $d_0 = 30 \times 4 + 110 = 230(\text{mm})$

$$d = d_0 \times k_1 \times k_2$$

$$= 230 \times 1.25 \times 1.0$$

$$= 285 \Rightarrow 290(\text{mm})$$

$$210 \div 290 = \mathbf{0.724}$$

k_1 : 大型車交通量による係数 (2000台以上: 1.25)

k_2 : 付加曲げモーメントによる係数 (1.0)

【参考】

当時の設計に用いられた床版厚

約 $20L + 130(\text{mm})$ 、最小床版厚160mm

(※ $20.83L + 126.7$)

許容応力度 $\sigma_{sa} = 1500\text{kgf/cm}^2$

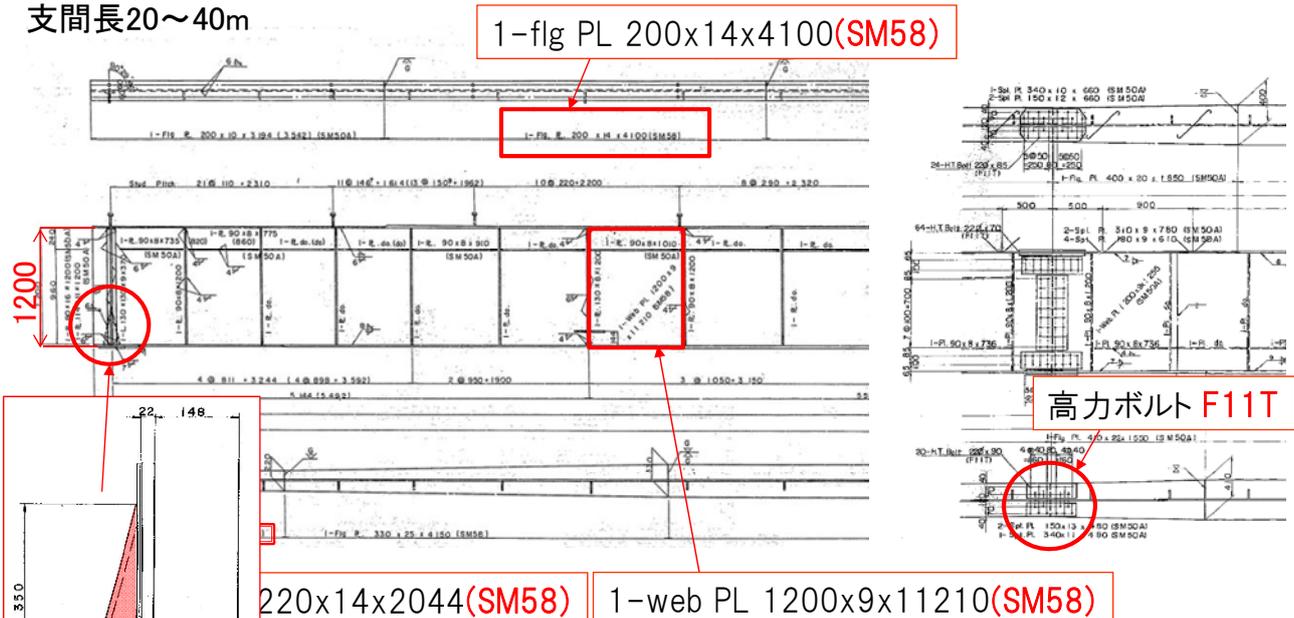
(現在: 140N/mm^2 (20N/mm^2 程度余裕))

16

3 対象橋梁の特徴(構造的特徴)

・鋼桁の特徴① 最小鋼重設計の単純合成桁

支間長20~40m



※高強度材料を使用して鋼重を最小化

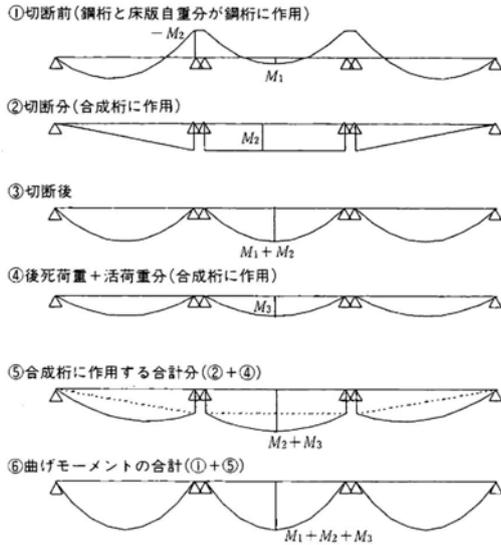
支点上垂直補剛材 (山形鋼使用)

17

3 対象橋梁の特徴(構造的特徴)

・鋼桁の特徴② 最小鋼重設計の合成桁(切断式合成桁)

切断式合成桁の設計手法



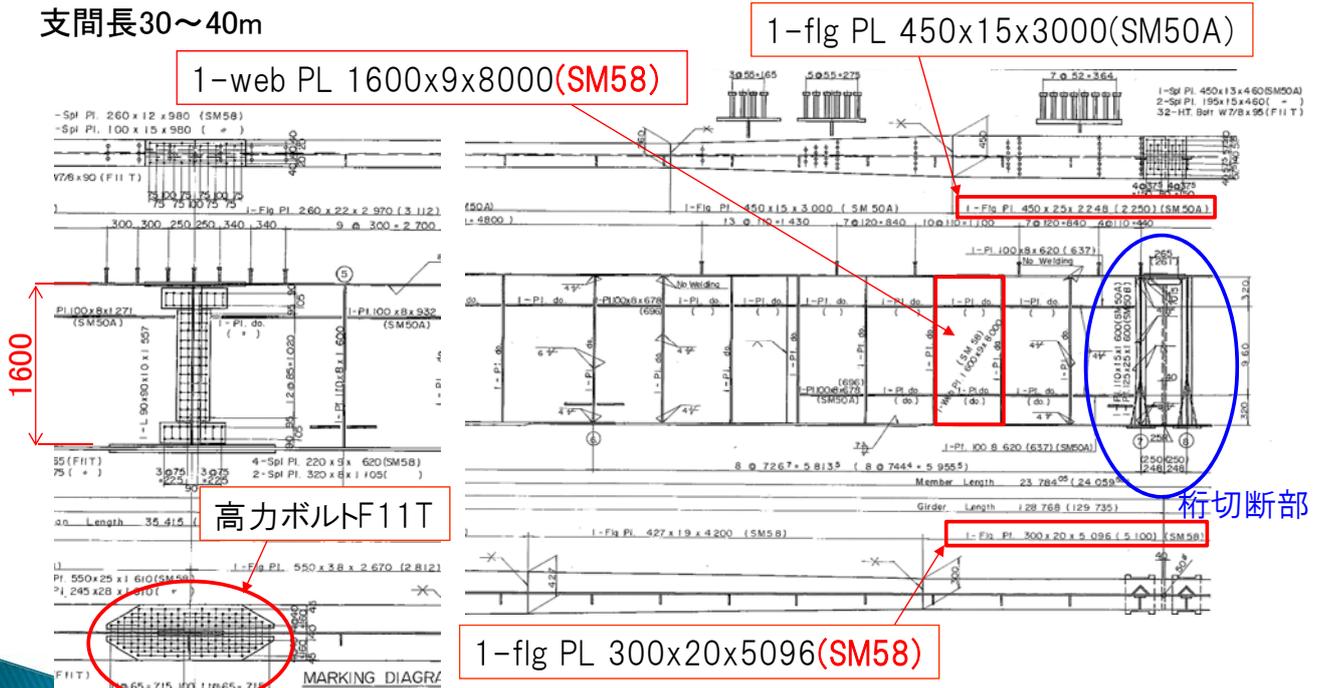
- ① 連続桁を架設し床版を打設(鋼桁断面)
- ② 床版硬化後連続桁を切断(合成断面)
→モーメントをカットして合成断面に作用
- ③ 橋面・活荷重載荷(合成断面)
※死荷重の一部も合成化して鋼断面を縮小

切断合成桁橋の損傷と補強対策—中央自動車道 相模湖高架橋—
橋梁と基礎 第37巻 第11号, 2003 より引用

3 対象橋梁の特徴(構造的特徴)

・鋼桁の特徴② 最小鋼重設計の合成桁(切断式合成桁)

支間長30~40m



3 対象橋梁の特徴(構造的特徴)

・鋼桁の特徴③ 大量生産による工程の短縮(H鋼桁)

ビルドH (B.H.B)合成桁 支間長20~30m

1-web PL 1040x9x15916(SM50YA)

1-L.Flg.T. 200x12x15916(SM50YB)

ハット鋼と鋼板を溶接し、主桁を製作

U.Flg T.(ハット鋼)

web PL(鋼板)

V-stiff.

1-L.Flg.T.350x28x15916(SM50YB)

※下フランジの端部は切欠き(鋼重最小)

20

3 対象橋梁の特徴(構造的特徴)

・鋼桁の特徴③ 大量生産による工程の短縮(H鋼桁)

ロールH合成桁 支間長15~25m

工場圧延主桁を補強して架設

補強PL

2-Pl. 70 x 10 x 2520

1-H. 912x16x34x18730 (SM50YA)

1-H. 912 300 x 16 x 34 x 18730 (SM50YA)

1-Cov.Pl. 250 x 30 x 13200 (SM58)

1-Cov. PL. 250x30x13200 (SM58)

※断面が不足する箇所は当て板を溶接し補強

21

3 対象橋梁の特徴(構造的特徴)

・当時の標準設計(単純合成桁)との対比

	当時の高架橋(切断式合成桁)	当時の標準設計(単純活荷重合成桁)
断面図		
床版厚	210 mm	180 mm
桁高	1,600 mm	2,200 mm
支間長	41m	40m
鋼材	SM58	SM50
鋼重	150 t	180 t
ずれ止め	スタッドジベル	馬蹄形ジベル

22

3 対象橋梁の特徴(構造的特徴)

・その後の標準設計との対比 (vs. 非合成桁)

	当時の高架橋(単純合成桁)	構造物標準図集Ⅱ(非合成桁)
断面図		
床版厚	210 mm	230 mm
桁高	1,200mm	2,300 mm
床版支間	4.0m	2.6m
鋼材	SM58	SM50
鋼重	150 t	210 t
ずれ止め	スタッドジベル	スラブアンカー

23

4 構造的な課題及び対応

・構造的な課題

- ① 単位橋面積当たりの鋼重が一般的な合成桁構造よりさらに少ない
⇒主桁・床版の剛性が低く、活荷重の影響を受けやすい（たわみ・疲労）
- ② 疲労設計が取り入れられる前の基準により架橋
⇒近接目視点検の開始（H26～）により疲労き裂が次々に発見

③ 重交通

- ・単純合成桁や切断式合成桁・H鋼桁では供用後比較的早期から床版の劣化が顕在化
 - ・縦桁増設、上面増厚、外ケーブル補強、桁連結などの対策
 - ・異常たわみに対して橋脚を追加して対応した個所も存在
 - 疲労亀裂については順次対策を進めているところ（応急対策・補強等）
 - ・連続合成桁は、現在のところ床版・主桁ともに健全
- ⇒PC鋼材の変状を防ぐため、早めの予防保全対策（高性能床版防水）が必要

今後の大規模更新工事にあたっては、これらの構造的な特徴を理解し、施工手順や補強方法、維持管理方法を考慮しながら計画を立てていく必要がある。

24

5 対象とした路線及びデータ収集項目

・対象とした路線：重交通により疲労損傷の発生が懸念される路線

名神高速道路、中国自動車道、近畿自動車道、西名阪自動車道、第二神明道路

・データ収集項目

支間長、主桁本数、主桁間隔、主桁高さ、床版厚、主桁形式、主桁断面、主桁材質
局部構造寸法、対傾構形式、ジベル形式

・データの整理

車線数および大型車交通量を勘案し、同一路線でも分割して整理

	名神	中国道			近畿道		西名阪	第二神明
		中国道<西> (神戸JCT-作用IC)	中国道<中> (池田IC-神戸JCT)	中国道<東> (吹田JCT-池田IC)	近畿道<北> (淀川以北)	近畿道<南> (淀川-大東鶴見IC)		
径間数 (諸元分析)	165	88	190	195	188	261	188	98
解析	5	—	19	28	7	8	8	5
現地計測	—	—	2	2	1	—	—	—

25

6 分析結果

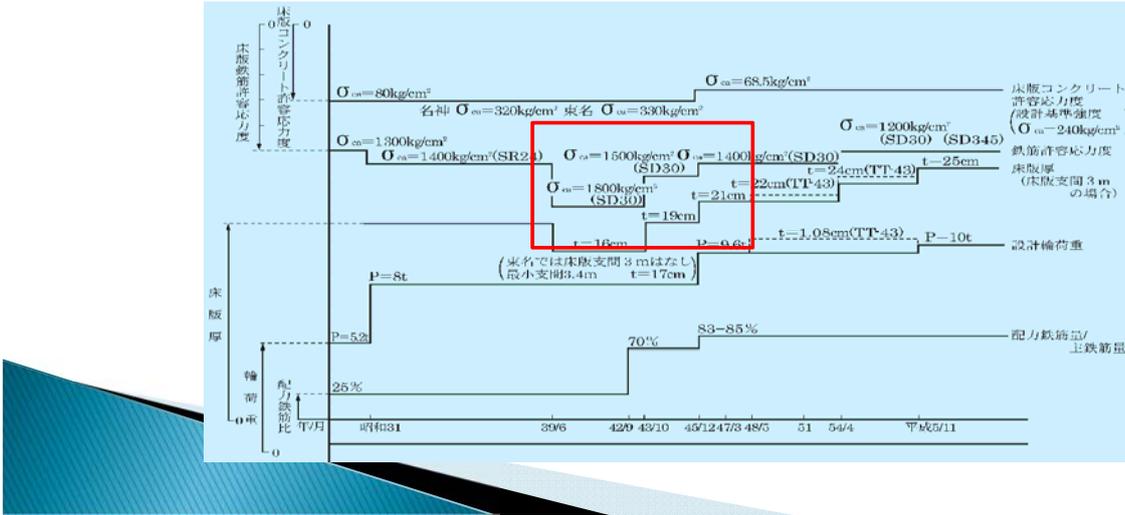
(1) 床版厚および床版支間 (分析事例の紹介)

・床版厚支間比の集計

床版厚支間比 = 床版厚 ÷ (30L + 110) で定義 (大型交通量未考慮)

	名神	中国道			近畿道		西名阪	第二神明
		中国道<西> (神戸JCT-作用IC)	中国道<中> (池田IC-神戸JCT)	中国道<東> (吹田JCT-池田IC)	近畿道<北> (淀川以北)	近畿道<南> (淀川-大東鶴見IC)		
床版厚 支間比	0.8~1.0	1.0~1.1	1.0~1.1	0.9	0.9~1.0	0.9~1.0	0.8~1.1	0.9~1.0

床版鉄筋許容応力度の高かった時期に建設された橋梁が多く、総じて床版の疲労に対するリスクが高いことがわかる



6 分析結果

(2) まとめ

路線名	単位	名神	中国道<西>	中国道<中>	中国道<東>	近畿道<北>	近畿道<南>	西名阪	第二神明
支間長	m	10~55	30~35	10~25	15~25	15~20	15~30	20~30	20~40
主桁形式		合成 : 55% 非合成 : 45%	合成 : 5% 非合成 : 95%	H形 : 39% 合成 : 24% 非合成 : 37%	T形 : 14% 合成 : 71% 非合成 : 15%	H形 : 44% T形 : 41% 合成 : 10% 非合成 : 5%	H形 : 33% T形 : 35% 合成 : 8% 非合成 : 24%	T形 : 1% 合成 : 82% 非合成 : 17%	H形 : 10% 合成 : 79% 非合成 : 11%
主桁高	m	1.5	1.4~2.3	0.9~1.0	1.1~1.2	0.8~0.9	0.9~1.0	1.5	0.9~1.9
主桁材質		SS41, SM41 SM50, SM50Y	SM50Y	SM50Y SM58	SM50Y SM58	SM50Y	SM50Y	SM50 SM50Y	SM50 SM50Y
主桁間隔	m	2.8	2.6~3.2	3.0~3.2	4.0	3.0~3.4	3.0~3.2	3.6	3.4
床版厚	mm	160~190	200~220	200	210	190~200	190~210	I期: 180 II期: 210	200~210
主桁本数	本	4	4	5	3	4	4	I期: 3 II期: 4	3~5
ジベル形式		スラブアンカー 馬蹄形ジベル スタッド	スラブアンカー	スラブアンカー スタッド	スタッド	スタッド	スラブアンカー スタッド	馬蹄形ジベル	馬蹄形ジベル スタッド
上フランジ幅 (支間中央)	mm	250~500	250~500	250~300	200	250~300	250~300	250~450	250~450
上フランジ幅 (端支点)	mm	250~500	250~500	300	200~300	250~300	250~300	200	250~500
下フランジ幅 (支間中央)	mm	400~600	300~500	300~500	300~450	300~400	300~400	450~500	300~650
下フランジ幅 (端支点)	mm	300~450	300~550	300~350	250~300	200~350	200~350	300~400	300~450
フランジ厚	mm	10~25	10~40	10~40	10~25	20~35	20~35	10~25	10~20
対傾構上縁高	mm	60~70	100	100	100	90~100	110	100~110	100
ガセット高	mm	50~350	150~350	150~250	100~200	400~450	300~350	200~250	100~250
対傾構形式		対傾構	対傾構	対傾構 横桁	対傾構	ニーブレース	対傾構 ニーブレース	対傾構	対傾構
床版厚・ 床版支間比		0.8~1.0	1.0~1.1	1.0~1.1	0.9	0.9~1.0	0.9~1.0	0.8~1.1	0.9~1.0

凡例 : 疲労に対し影響が大きいと
考えられるもの 疲労に対し影響があると
考えられるもの 疲労に対し影響が少ないと
考えられるもの

7 構造解析（疲労解析）

(1) 対象橋梁の抽出

・過年度解析橋梁(1)

路線名	橋梁名	上下区分	位置	種別	径間数(径間)	主桁本数(本)	桁高h(m)	桁長(m)	最大支間長 l (m)	床版厚(cm)	備考
中国道	T高架橋	上	P19-P22	連続非合成桁	3	3	1.2	68.7	27.0	21	多点固定
		上	P14-P19	連結合成桁	14	3	1.2	68.7	27.0	21	14径間連続主桁連結施工済
		上	P22-P26	連結合成桁	4	3	1.2	86.6	21.5	21	
	M高架橋	上	P7-P8	単純合成桁	1	3	1.2	26.0	25.5	21	
		下	P12-P16	連結合成桁	4	3	1.1	80.0	19.5	21	カバープレート 多点固定
		上	P20-P24	切断合成桁	4	3	1.6	130.0	35.5	21	多点固定
		上	P27-P30	切断合成桁	3	3	1.6	75.0	24.5	21	多点固定
		下	P37-P39	連結合成桁	2	3	1.6	83.0	40.9	21	
	M川橋	上	A2-AP1	単純合成桁	1	3	2.1	44.7	43.7	21	直交格子斜橋
		上	A2-P1	単純合成桁	1	4	1.5	40.0	38.8	21	直交格子斜橋
	K高架橋	上	P27-P28	単純合成桁	1	5	0.9	22.0	21.5	20	H形鋼・カバープレート付
		上	P6-P9	連結合成桁	3	6	0.9	60.0	20.0	19	H形鋼 カバープレート
		上	P2-PAP2	連続合成桁	2	4	2.8	141.8	70.3	21	斜交格子斜橋
	K高架橋	上	P4-P6	連続非合成桁	2	5	0.9	32.0	15.8	20	H形鋼
上		P22-P27	連結合成桁	4	5	0.9	74.9	18.3	20	H形鋼	

7 構造解析（疲労解析）

(1) 対象橋梁の抽出

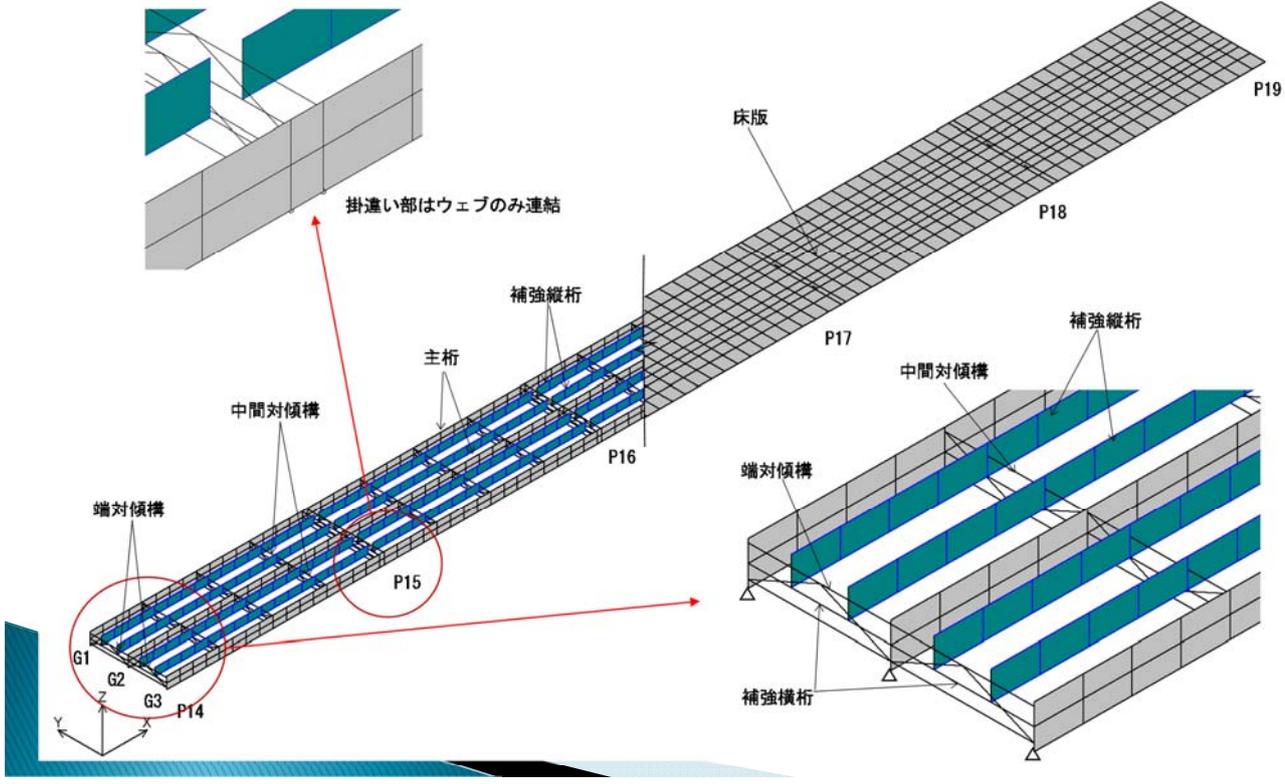
・過年度解析橋梁(2)

路線名	橋梁名	上下区分	位置	種別	径間数(径間)	主桁本数(本)	桁高h(m)	桁長(m)	最大支間長 l (m)	床版厚(cm)	備考
名神	F橋	上	A3-A2	連続非合成桁	2	4	1.28	50.0	24.7	16	カバープレート
	E高架橋	下・左	P6-P3	連続非合成桁	3	4	1.44	66.0	21.8	16	
西名阪	N橋	上	P2-P3	単純非合成桁	1	4	1.2	26.0	25.1	21	直交格子斜橋
	K高架橋	下	P4-P11	単純合成桁(連続化)	7	3	1.5	178.5	24.9	18	
近畿道	S高架橋	上	P20-AP1	単純合成桁	1	3	0.91	20.0	19.4	19	H形鋼
	S高架橋	上下	A1-P6	単純合成桁(連続化)	6	8	0.89, 0.91	118.8	24.5	18, 19	H形鋼 カバープレート
	M高架橋	上	P43-P44	単純合成桁	1	5	0.91	24.0	23.5	18	
	M高架橋	上	P65-P69	単純合成桁(連続化)	4	4	0.89, 0.90	70.0	19.5	20	H形鋼
	S高架橋	上	P34-P35	単純合成桁	1	5	0.91	26.0	25.5	18	カバープレート
中国道	A高架橋	上下	P12-A2	連続非合成桁	6	11	0.8	83.1	14.6	19	H形鋼
第二神明	H高架橋	下	A1-A2	単純合成桁(連続化)	5	4	0.91	103.0	20.4	20	

7 構造解析（疲労解析）

(2) 解析方法

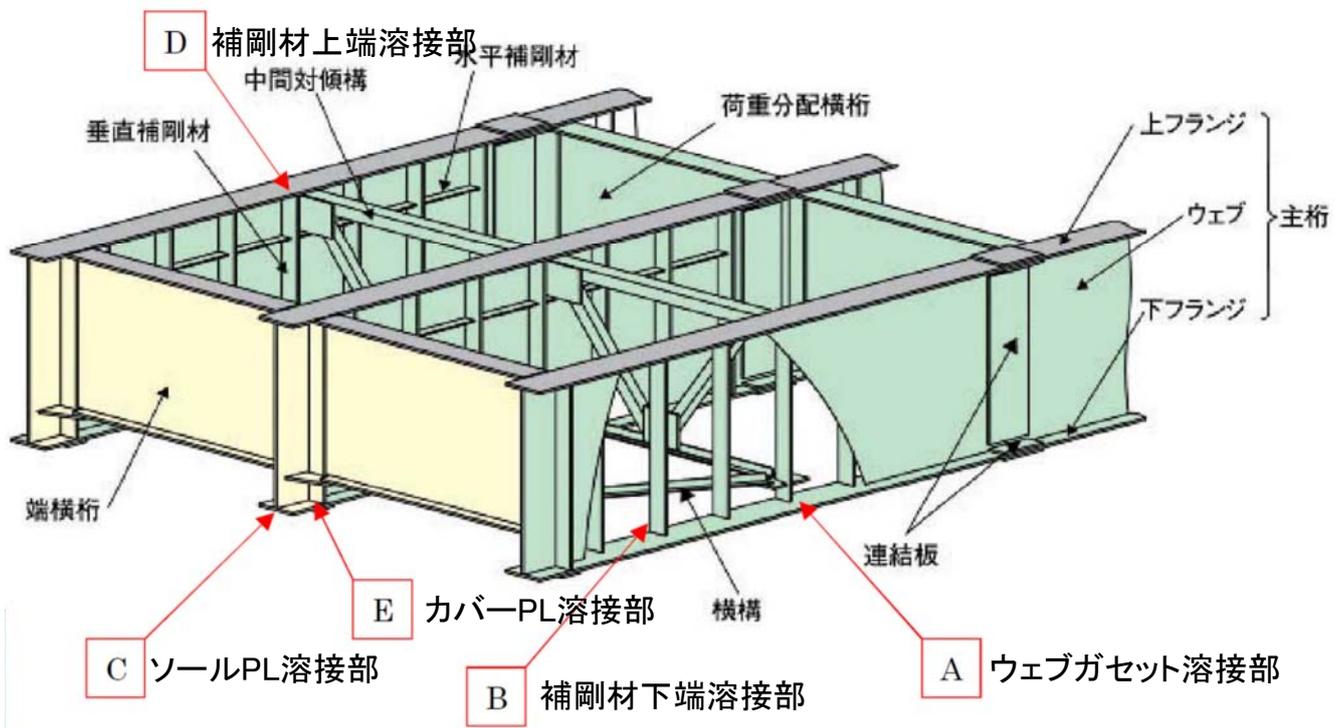
・一定せん断流パネル解析を用いて解析



7 構造解析（疲労解析）

(2) 解析方法

・照査位置



7 構造解析（疲労解析）

(3) 解析結果の傾向

A ウェブガセット溶接部

建設時と床版補強後の累積疲労損傷度を比較すると、1橋を除くすべての橋梁で疲労損傷度の低減効果があった。わずかに疲労損傷度が1を超過している橋梁は存在するが、現地で疲労亀裂は発見されていない。
残り1橋は、建設時ガセットがなかったが、補強によりガセットが取り付けられた橋梁である。

B 垂直補剛材上端部

モデル化の問題もあり(床版とU-FLGを剛結としてモデル化)、全体として累積疲労損傷度が50を超えるような解析結果となる箇所もあった。
ただし、床版補強等による疲労損傷度の低減効果も大きいことがわかった。
実橋梁でも、最も多く疲労き裂や塗膜割れが発生している部位であることから、解析としては安全側の結果になっているものと考えられる。

C ソールプレート溶接部

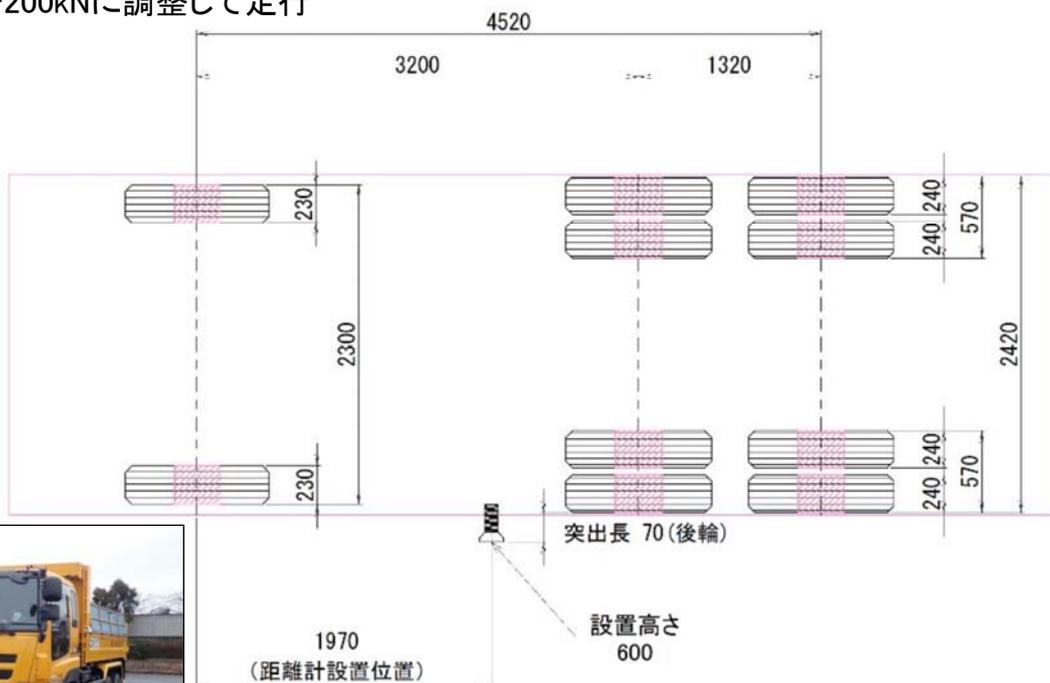
設計上の疲労等級が低いことから、累積疲労損傷度が高止まりする傾向となった。
ただし、支取替等でゴム支承に交換している箇所については疲労損傷度の低減効果を有していることがわかった。

32

8 現地測定（荷重車走行）

(1) 荷重車試験概要

・荷重を200kNに調整して走行

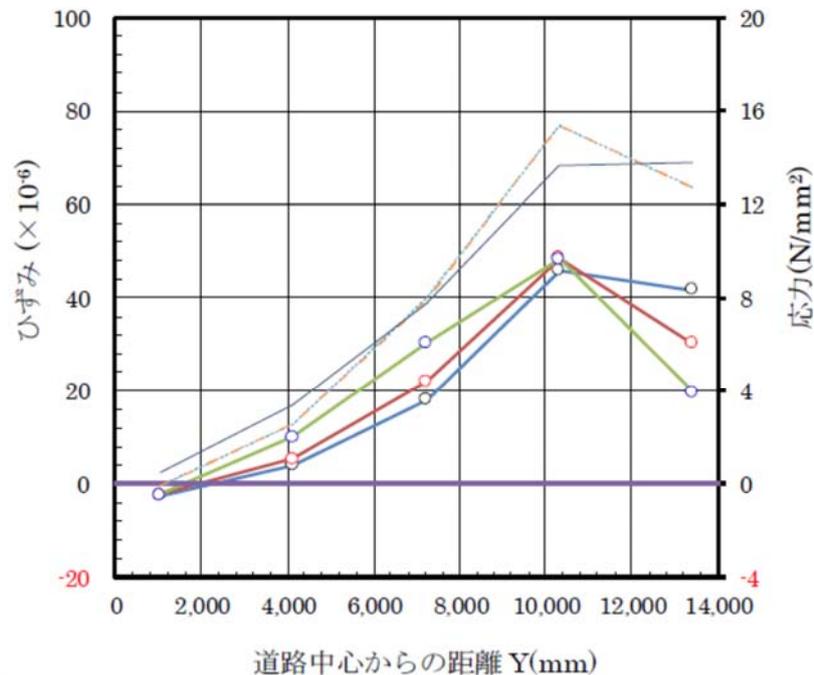


33

8 現地測定（荷重車走行）

(2) 荷重車走行試験と解析結果の比較（例）

- すべての測定箇所で実測値が解析値を下回る



第1車線路肩1 第1車線中央1 第1車線中分1
解析(合成桁) 解析(弾性合成) 解析(非合成桁)

34

9 まとめ

(1) 路線別の特徴把握

- 橋梁の建設時期や構造諸元、補修・補強履歴などによるフィルタリングにより、疲労上の弱点や着目すべき点などの特徴がある程度把握できることがわかった。

(2) 解析及び現地計測による検証

- 現在まで7橋梁(8連)において解析と現地計測の比較を行い、解析の妥当性を確認した。
- 今年度も引き続き数橋について解析・計測を行っていきたい。

(3) 今後の展望

- 今後も、一般的な鋼 I 桁橋の他に特徴的な構造ディテールを有する橋梁について解析・計測等を通して安全性の確認や補修・補強等措置判断の参考にしたい。
- 現在までに整理した内容を共有・展開することにより、点検・診断～維持管理のサイクルを若手技術者に展開していきたい。

35

ご清聴ありがとうございました。

END



だいきぼうくん