

優秀研究者賞

FWDによる道路橋RC床版の 健全度評価方法の構築

東亜道路工業株式会社

塚本 真也

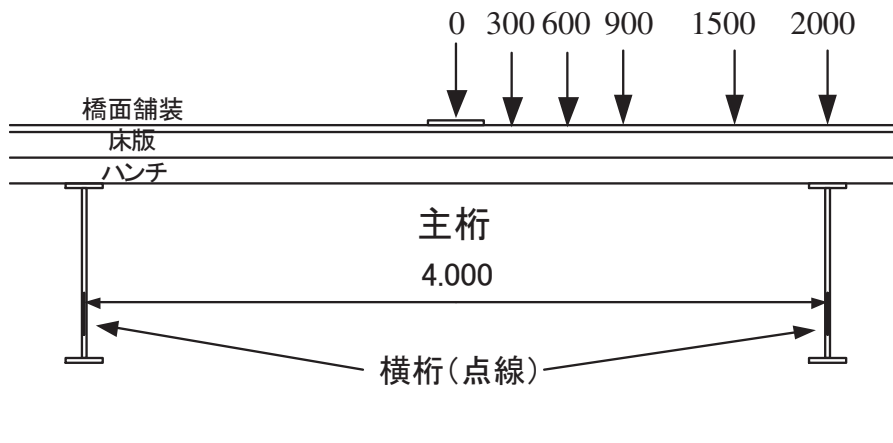
近畿大学 理工学部 社会環境工学科

東山 浩士

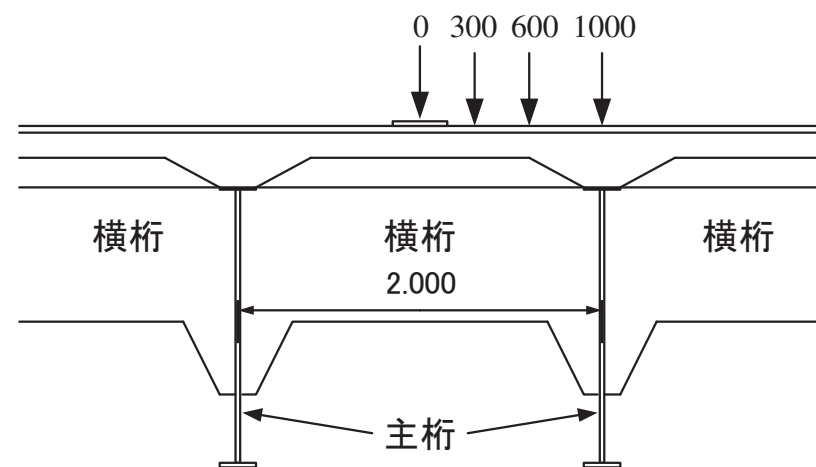


FWDによるたわみ測定

👉 FWD (Falling Weight Deflectometer)



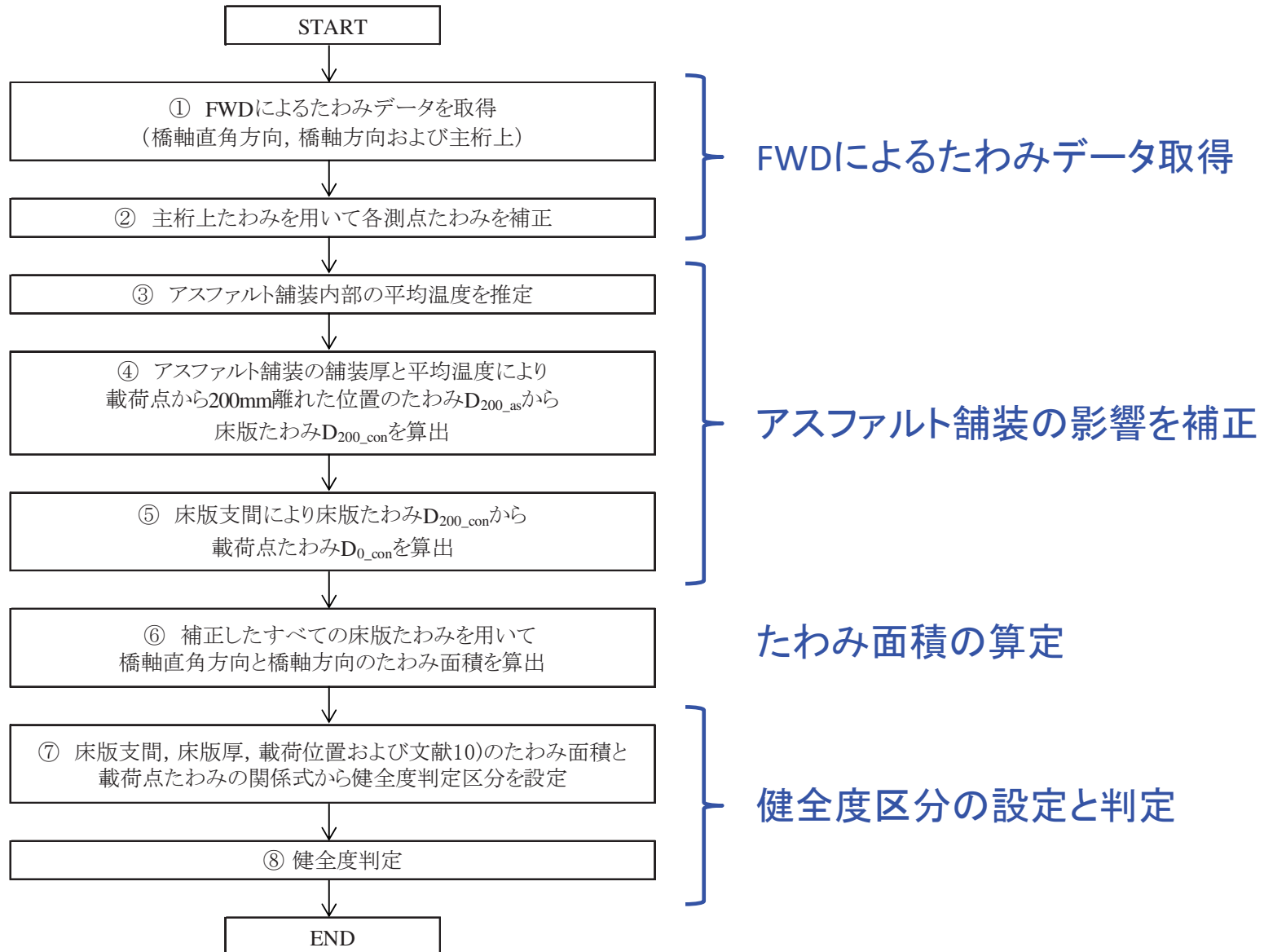
橋軸方向のたわみ



橋軸直角方向のたわみ

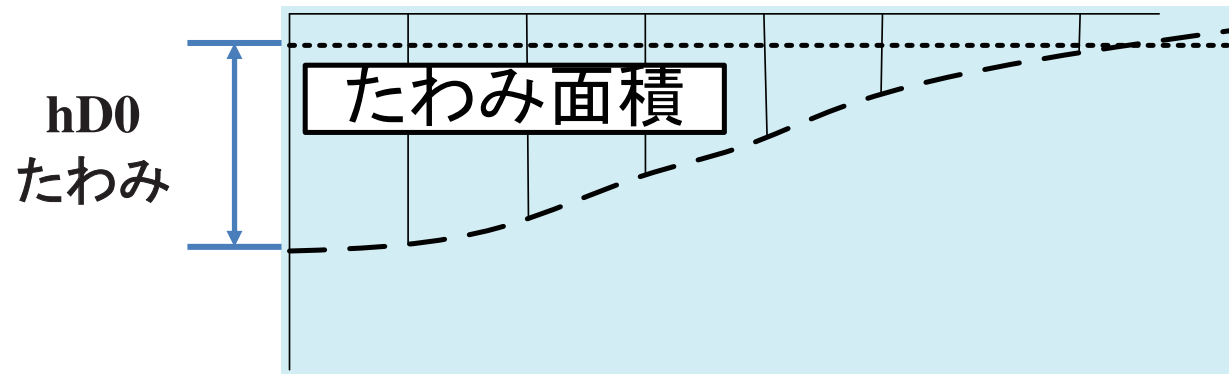
主桁のたわみをキャンセル

健全度評価方法



たわみ面積の考え方

👉 健全性評価指標の確立: たわみ面積



橋軸方向と橋軸直角方向のたわみ面積



床版の損傷過程とその平面的な挙動を考慮

解析による評価指標の検討

●解析モデル

☞ 相対2辺単純支持版(辺長比1:3)

☞ 床版支間長 $L = 2\text{m}, 3\text{m}, 4\text{m}$

☞ 床版厚 $t = 190\text{mm}, 230\text{mm}, 270\text{mm}$ (道路橋示方書による)

低減率		橋軸直角方向 I_x			
		100%	80%	60%	40%
橋軸方向 I_x	100%	○	○	○	○
	80%	○	○	○	○
	60%	○	○	○	○
	40%	○	○	○	○
	20%	○	○	○	○

断面2次モーメント100%は全断面有効

解析による評価指標の検討

解析条件

○ FWDでの載荷板(円形:直径300mm)

⇒等価な正方形板に置換

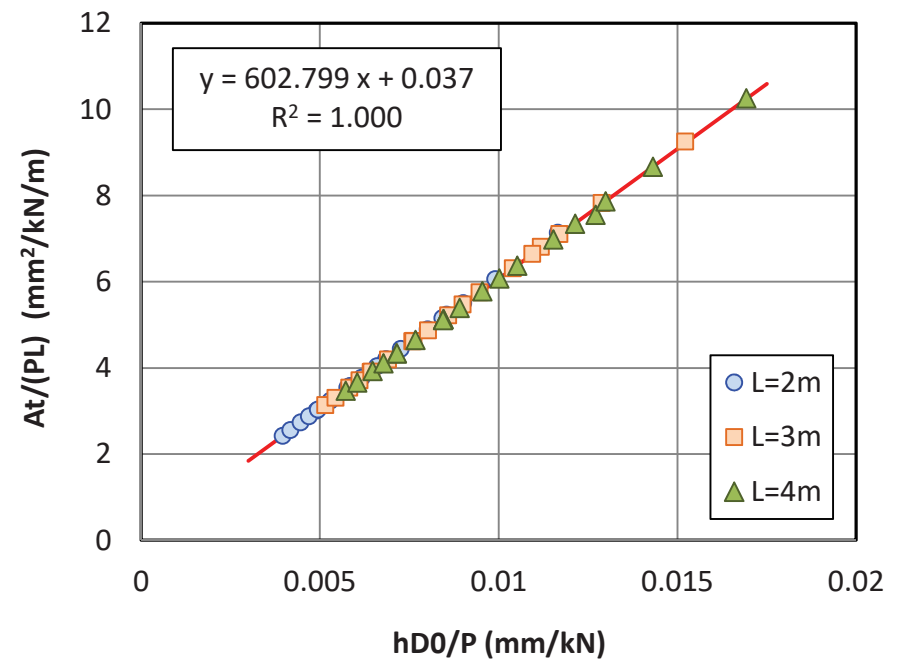
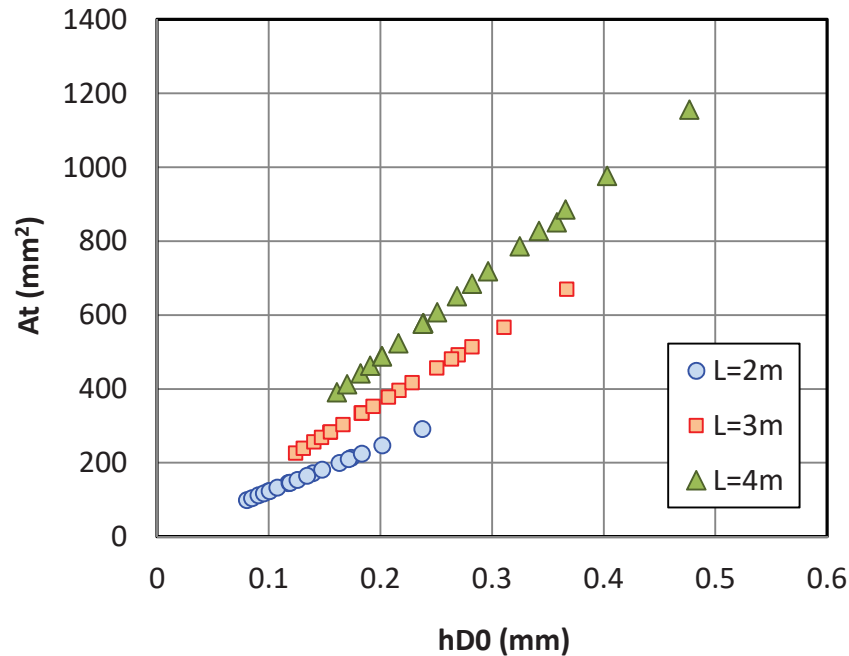
○ 載荷面積(床版厚の1/2まで45° 分布)

○ 橋面舗装や防水工などの影響は無視

○ 載荷荷重は接地圧 0.98N/mm^2

解析による評価指標の検討

● 橋軸直角方向

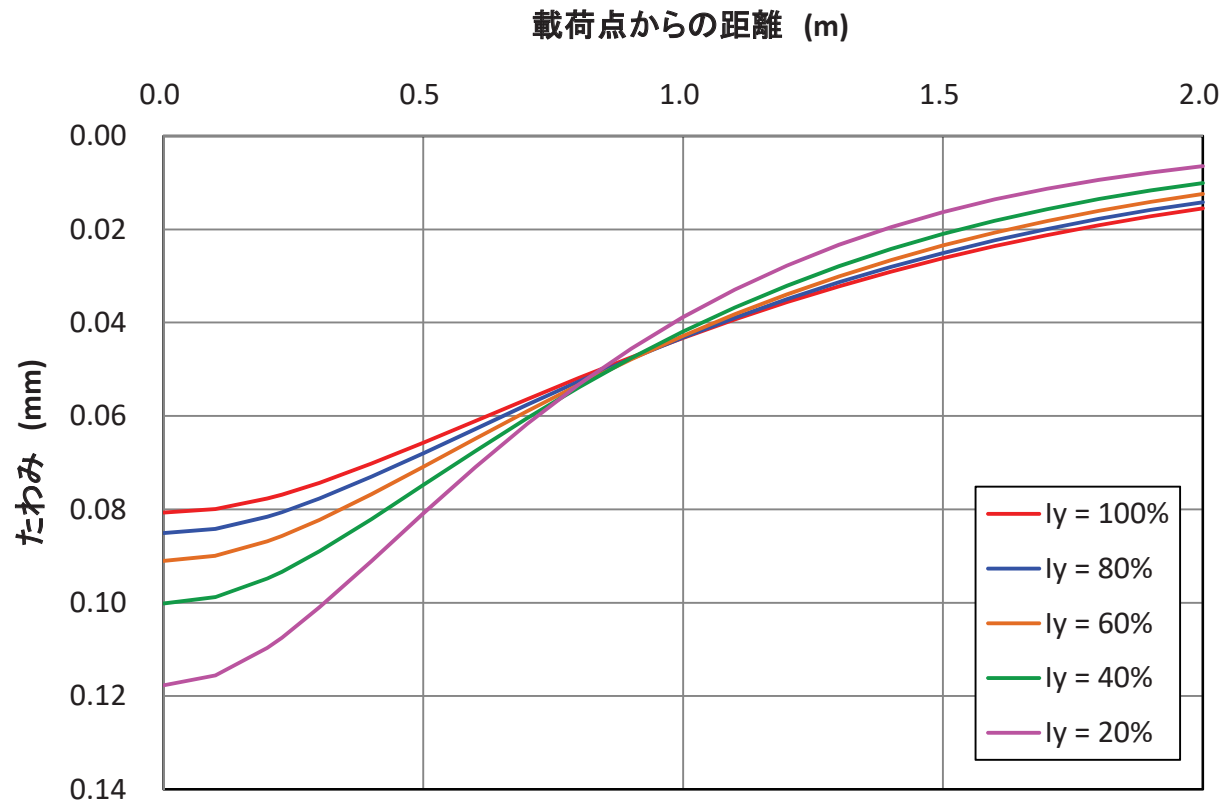


載荷荷重と床版支間長の
影響を考慮

解析による評価指標の検討

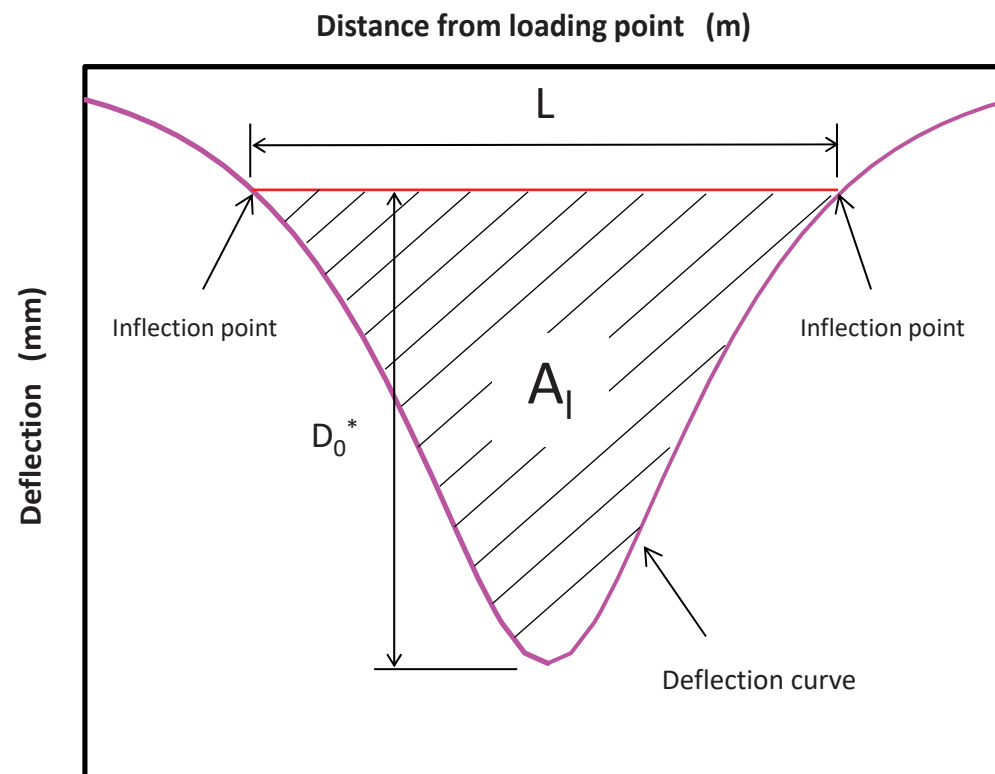
配力鉄筋断面の曲げ剛性の違いによるたわみ分布

● 橋軸方向 床版支間長 $L = 2\text{m}$, $I_x = 100\%$ (主鉄筋断面)



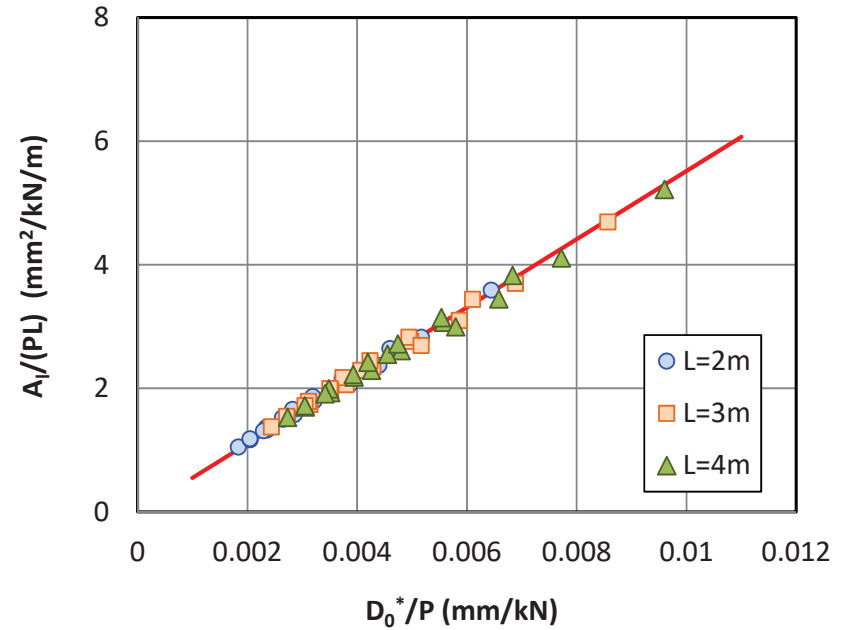
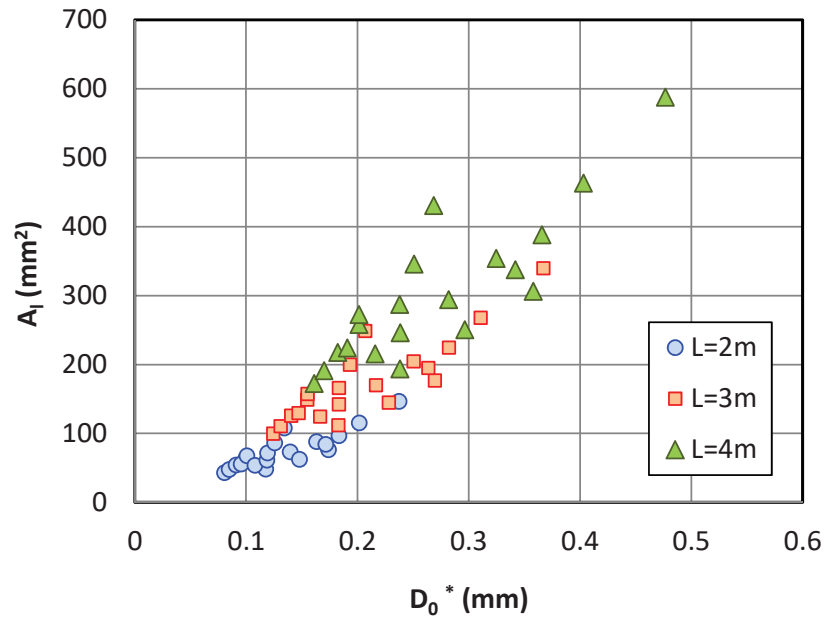
解析による評価指標の検討

橋軸方向のたわみ面積の考え方



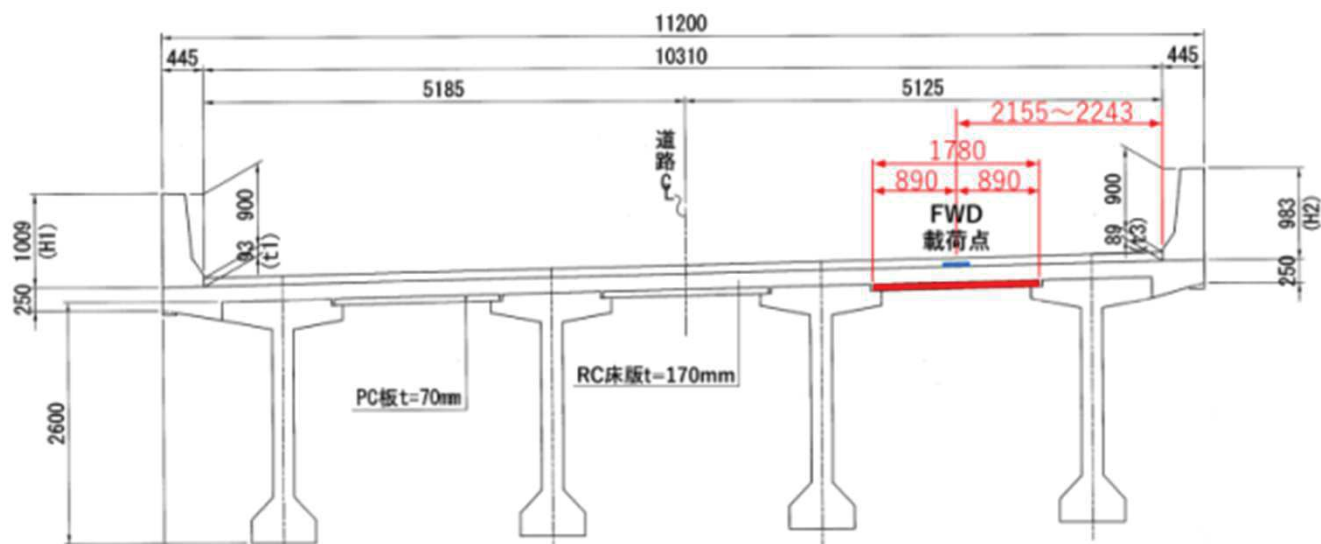
解析による評価指標の検討

● 橋軸方向

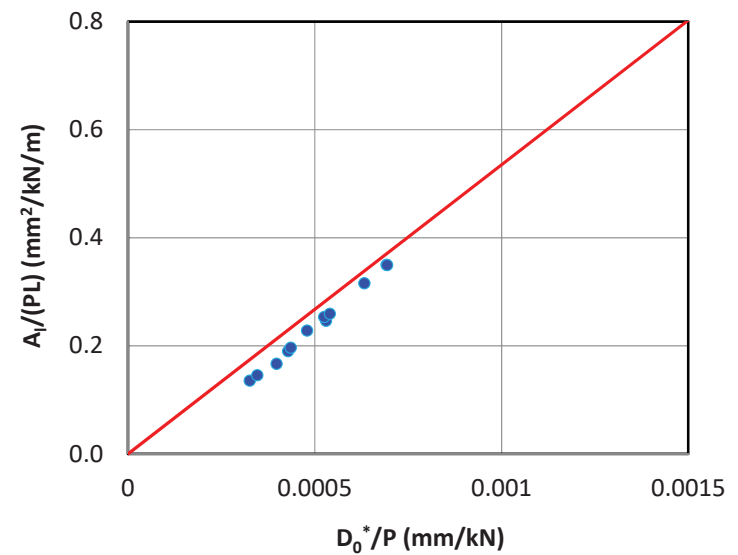
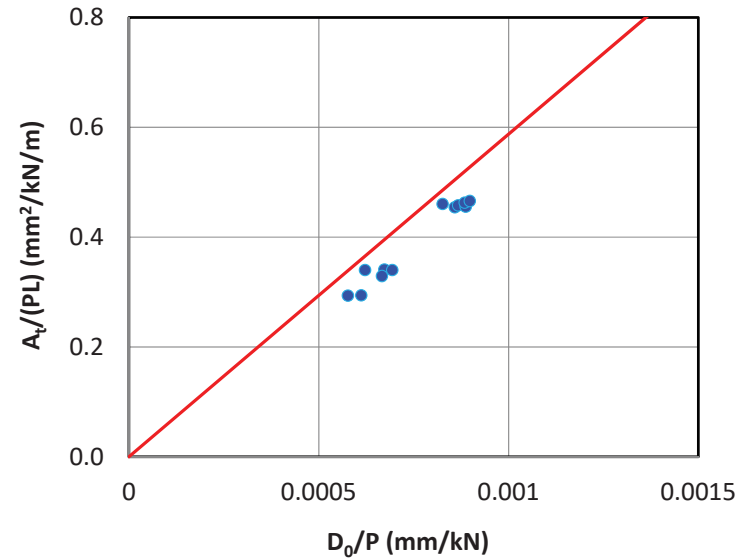
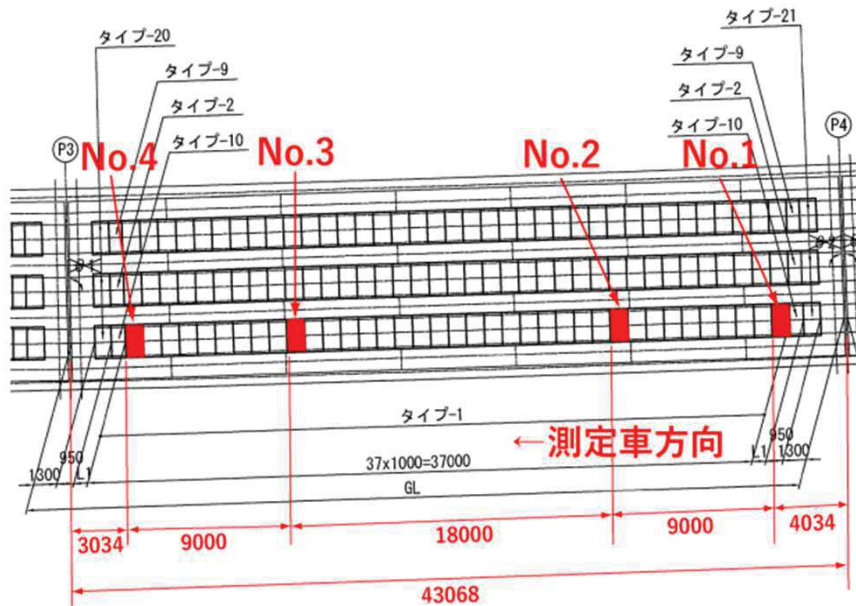


載荷荷重と床版支間長の
影響を考慮

実橋による検証



実橋による検証



解析による舗装の影響検討

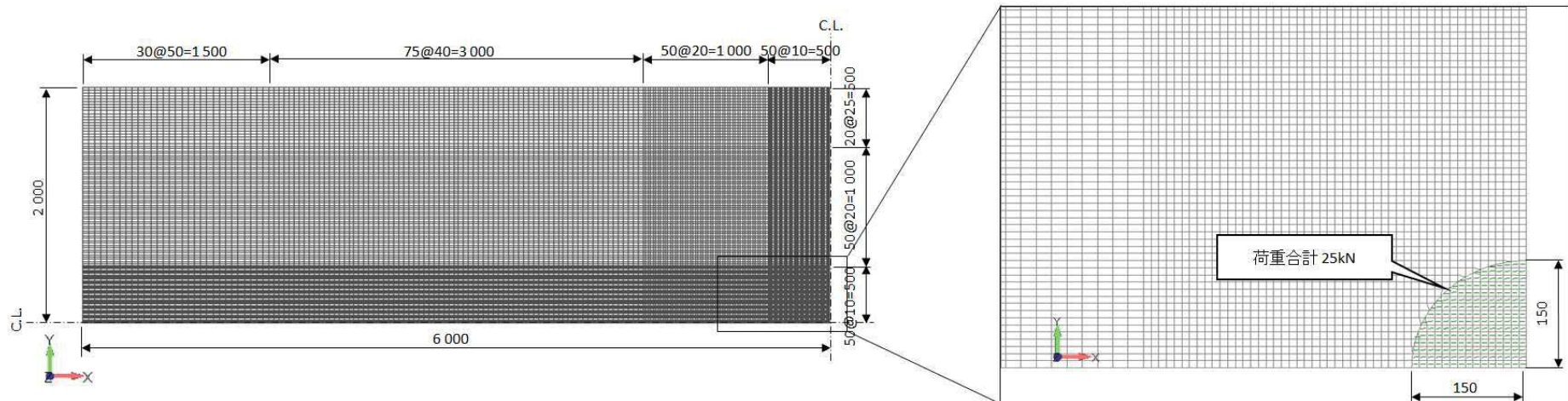
●解析モデル

床版支間長: 2m, 3m, 4m

床版厚: 190mm, 230mm, 270mm

コンクリートのヤング係数: 25kN/mm^2

支持条件: 2辺単純支持



解析による舗装の影響検討

舗装厚: 0mm, 40mm, 80mm, 120mm

橋面舗装の

平均温度: 0°C, 20°C, 40°C, 60°C

載荷板: 直径300mmの円形

載荷荷重: 100kN

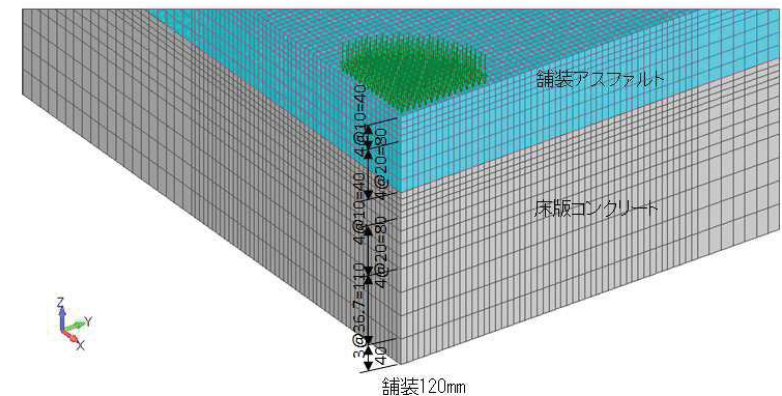
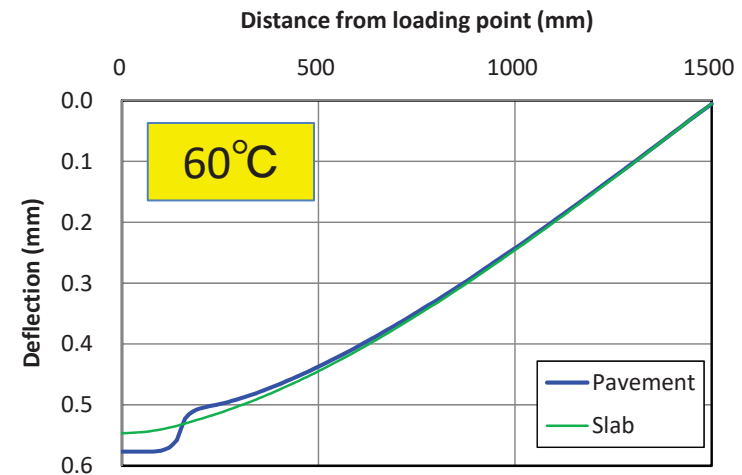
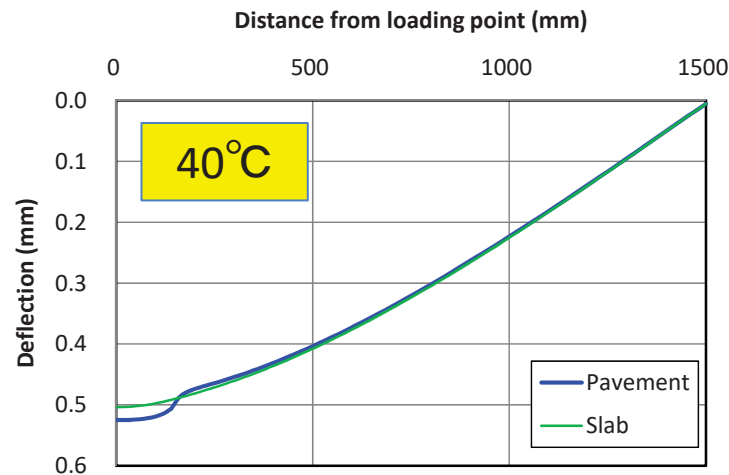
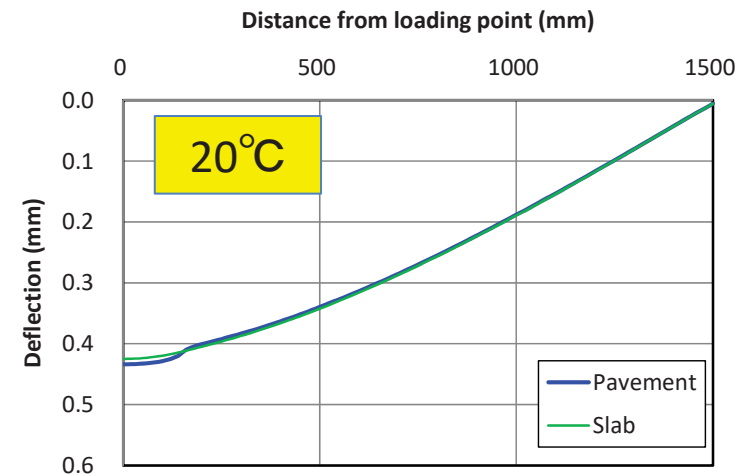
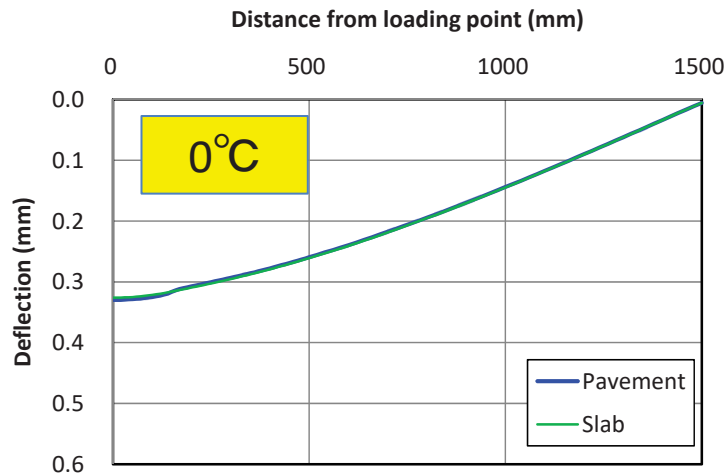


表-1 橋面舗装のヤング係数

舗装の平均温度 (°C)	0	20	40	60
ヤング係数 (N/mm ²)	14,000	6,000	2,570	1,100

解析による舗装の影響検討

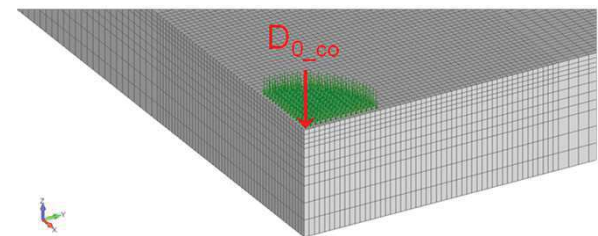
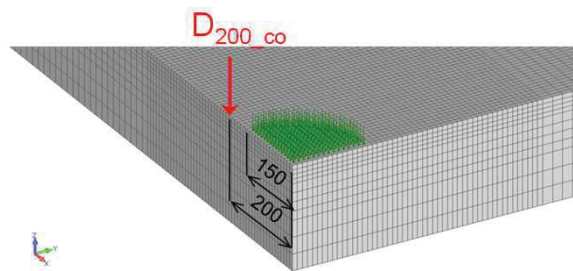
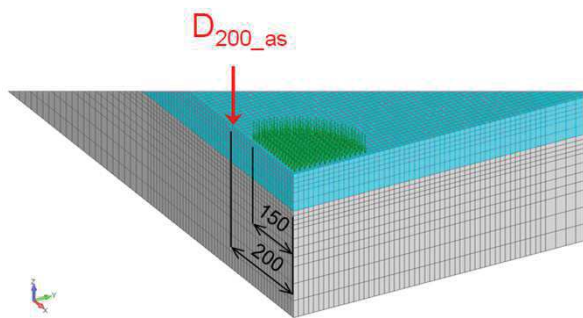
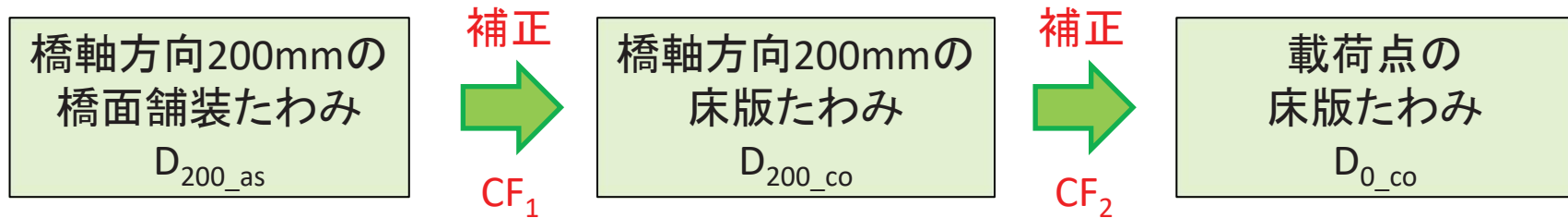
● 橋軸直角方向のたわみ分布の一例 床版支間長: 3m



載荷点周辺のたわみは橋面舗装の圧縮変形の影響を受ける。¹⁵

たわみ補正方法の提案

圧縮変形の影響が小さい，橋軸方向に200mm離れた点の橋面舗装たわみ D_{200_as} に着目して検討する.



たわみ補正方法の提案

●2次関数による重回帰分析

$$\log \left(\frac{D_{200_co}}{D_{200_as}} \right) =$$

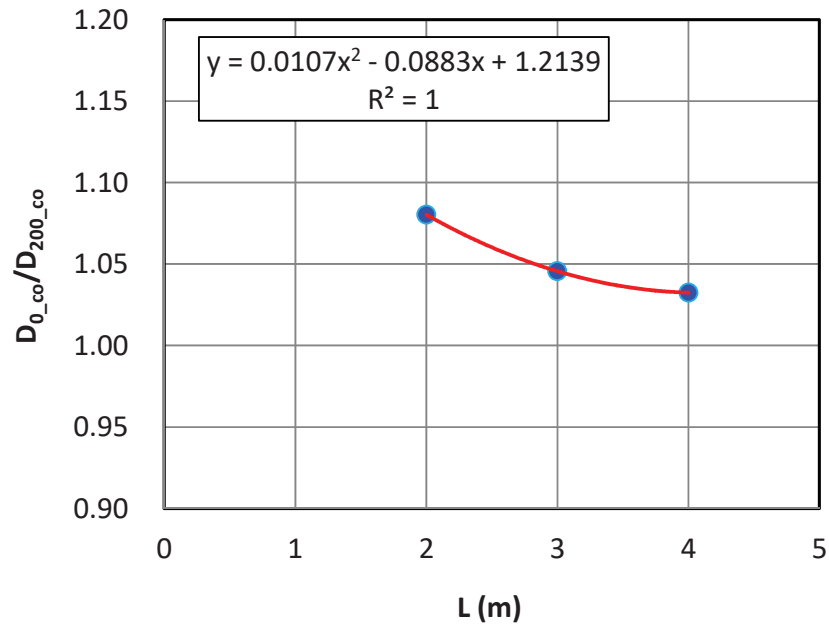
$$(aH_a^2T^2 + bH_a^2T + cH_a^2 + dH_aT^2 + eH_aT + fH_a) \times 10^{-4}$$

表-2 重回帰式における各係数

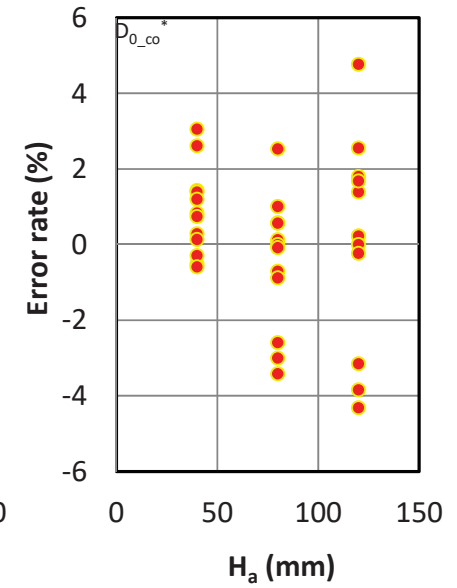
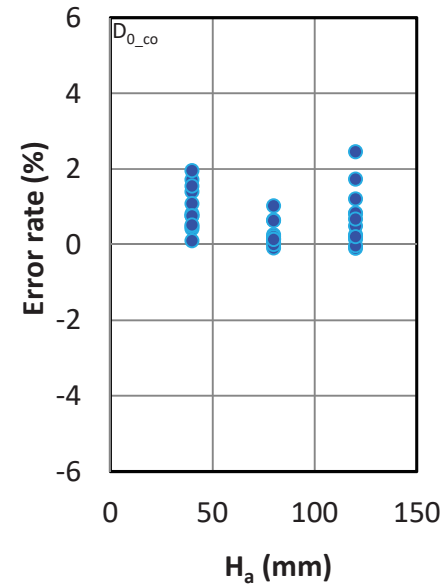
係数	L=2m	L=3m	L=4m
a	-5.455×10^{-5}	-4.041×10^{-5}	-3.028×10^{-5}
b	4.155×10^{-3}	2.850×10^{-3}	2.011×10^{-3}
c	-1.859×10^{-2}	-1.605×10^{-3}	4.940×10^{-3}
d	1.180×10^{-2}	1.000×10^{-2}	8.612×10^{-3}
e	-1.290	-1.084	-9.253×10^{-1}
f	43.23	35.07	29.44

たわみ補正方法の提案

● D_{0_co} への補正係数



● D_{0_co} の算定精度



舗装の平均温度測定と推定



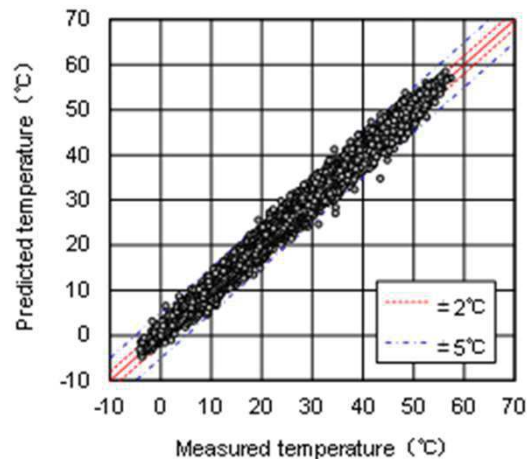
舗装の平均温度測定と推定

$$T_{ave} = (aT_{sur} + bT_{air} + c) \cdot \alpha \cdot H_a^\beta \quad (1)$$

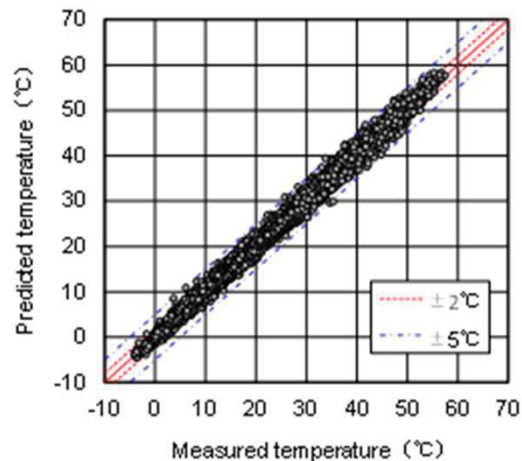
$$T_{ave} = aT_{sur} + bT_{air} + cT_{air_dif} + dH_a + e \quad (2)$$

$$T_{ave} = (aT_{sur} + bT_{air} + cT_{sur_dif} + d) \cdot \alpha \cdot H_a^\beta \quad (3)$$

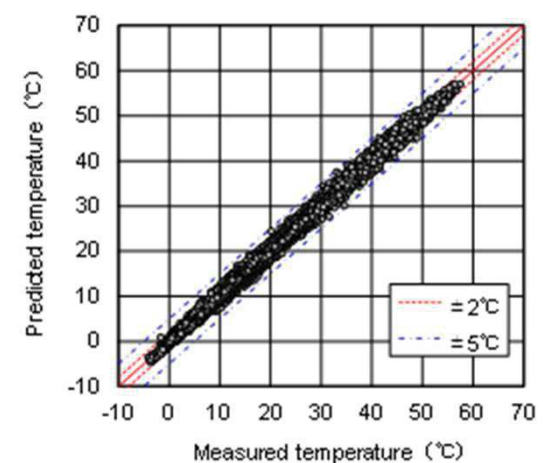
Temperature difference range	Probability (%)		
	Eq. (1)	Eq. (2)	Eq. (3)
$-1^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 1^\circ\text{C}$	72.0	78.5	81.8
$-2^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 2^\circ\text{C}$	91.6	95.7	97.6
$-5^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 5^\circ\text{C}$	99.8	100	100



式(1)による推定



式(2)による推定

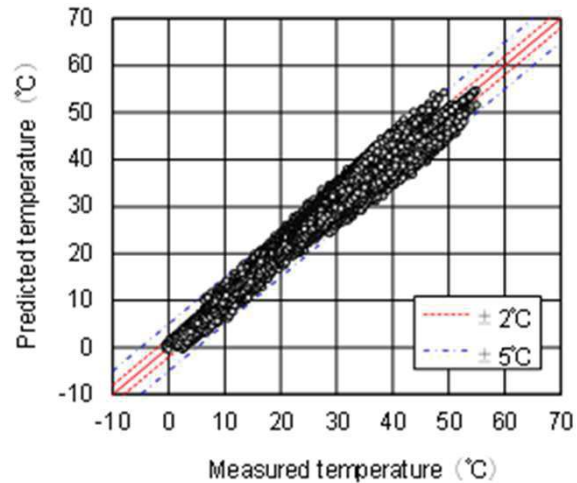


式(3)による推定

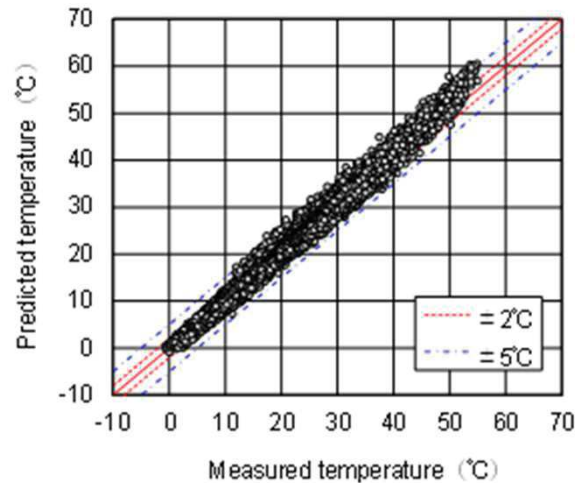
舗装の平均温度測定と推定



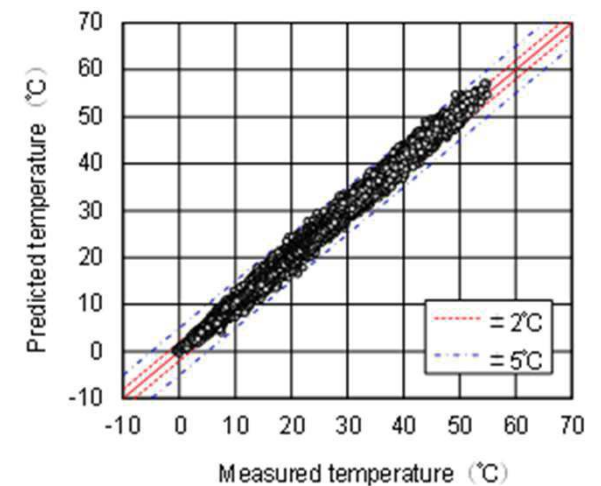
舗装の平均温度測定と推定



式(1)による推定



式(2)による推定



式(3)による推定

Temperature difference range	Probability (%)		
	Eq. (1)	Eq. (2)	Eq. (3)
$-1^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 1^{\circ}\text{C}$	41.2	53.8	64.8
$-2^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 2^{\circ}\text{C}$	69.9	87.1	92.4
$-5^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 5^{\circ}\text{C}$	98.6	99.4	100

S250-80の平均温度推定結果

実橋での検証



橋梁諸元

橋長：120m

設計床版厚：190mm

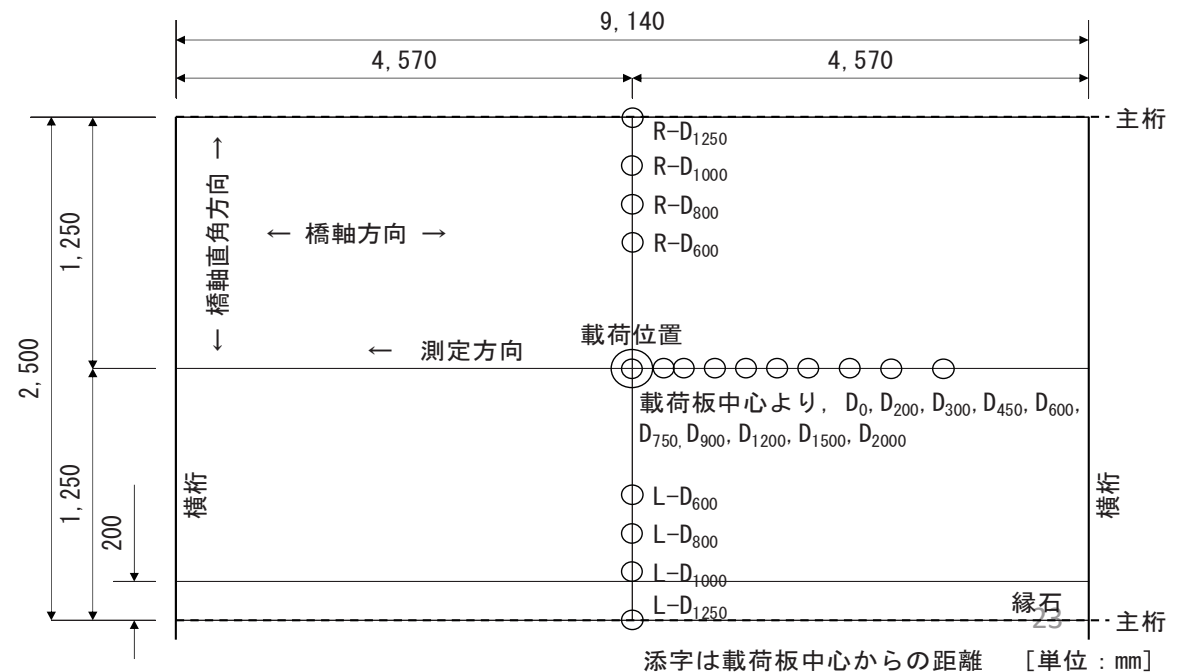
橋梁形式：単純ランガーアーチ橋

測定概要

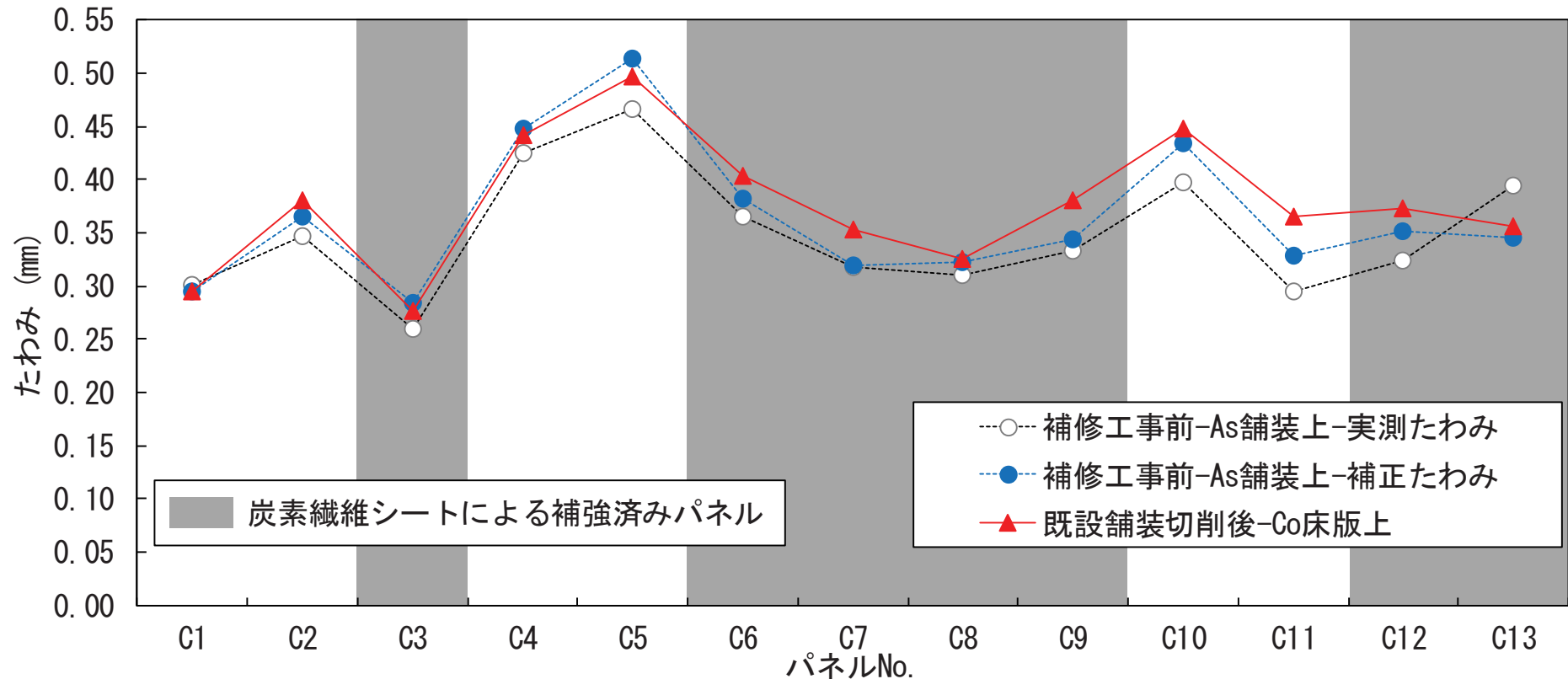
載荷（目標）荷重：49 kN

載荷回数：8回（内、3回分を採用）

測定時期：着工前，既設舗装切削後，
床版上面補修後

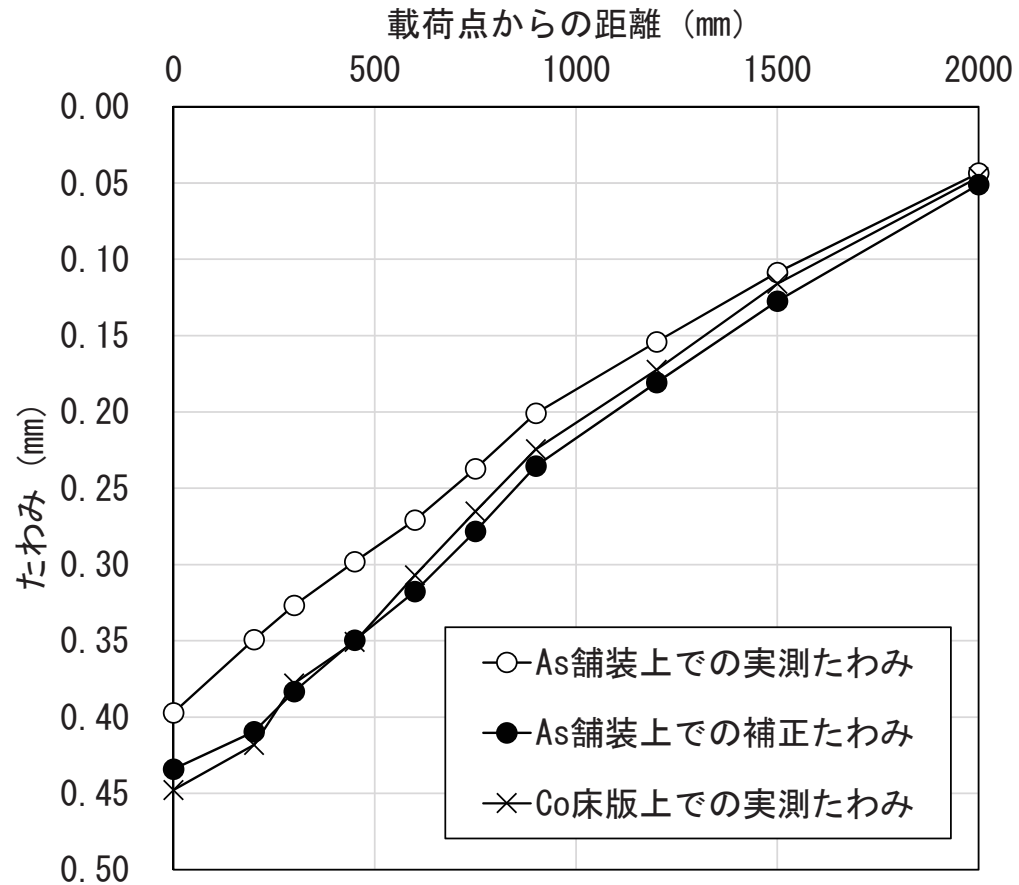


実橋での検証



既設舗装切削前後の載荷点たわみ比較

実橋での検証



既設舗装切削前後の載荷点たわみ比較 (パネル10)

健全度評価方法

◇ 既往の劣化度

松井らによるたわみの劣化

$$D_c = \frac{w - w_0}{w_c - w_0}$$

ひび割れ密度 C_d が 10 m/m^2 のときに、 $D_c = 1.0$ となる。

玉越らによるひび割れ密度による疲労に対する健全度判定区分

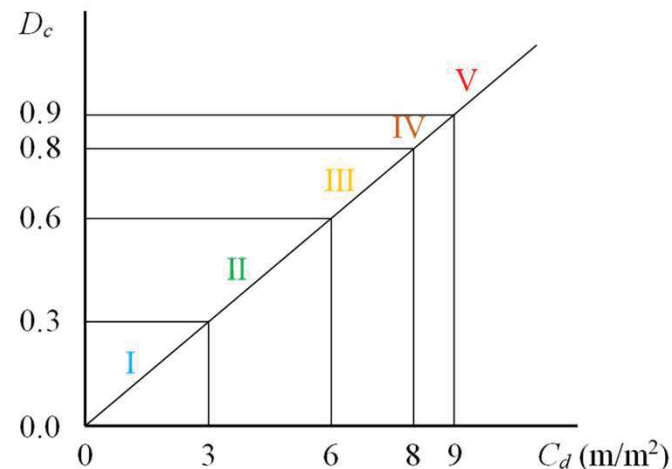
区分 I : $0 \leq C_d < 3 \text{ m/m}^2$

区分 II : $3 \leq C_d < 6 \text{ m/m}^2$

区分 III : $6 \leq C_d < 8 \text{ m/m}^2$

区分 IV : $8 \leq C_d < 9 \text{ m/m}^2$

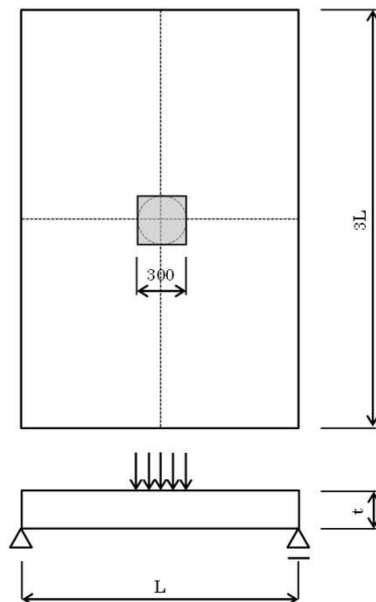
区分 V : $9 \leq C_d$



健全度評価方法

解析対象床版の断面諸元

適用道示	床版支間 (m)	床版厚 (mm)	下側主鉄筋 (mm)	下側配力鉄筋 (mm)
S39	2	170	R16@125	R13@250
	3	190	R19@125	R13@200
	4	220	R19@125	R13@200
S48	2	190	D19@150	D16@125
	3	230	D19@125	D16@125
	4	270	D19@100	D16@120
H6	2	240	D19@150	D16@100
	3	290	D19@125	D16@125
	4	340	D19@100	D16@125



床版支間: $L = 2\text{m}, 3\text{m}, 4\text{m}$

コンクリートのヤング

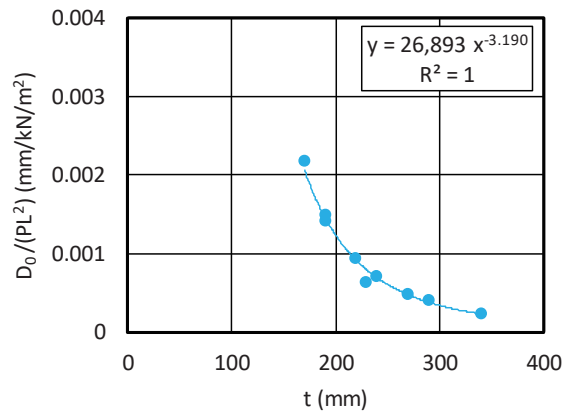
グ係数: $E_c = 25 \text{ kN/mm}^2$

ヤング係数比: $n = 8$

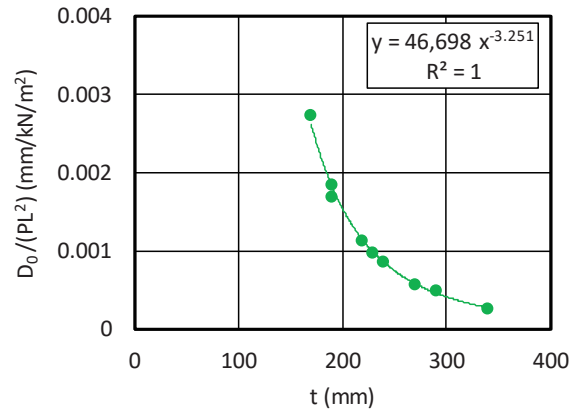
全断面有効時および引張側コンクリートを
無視した状態の2ケース

健全度評価方法

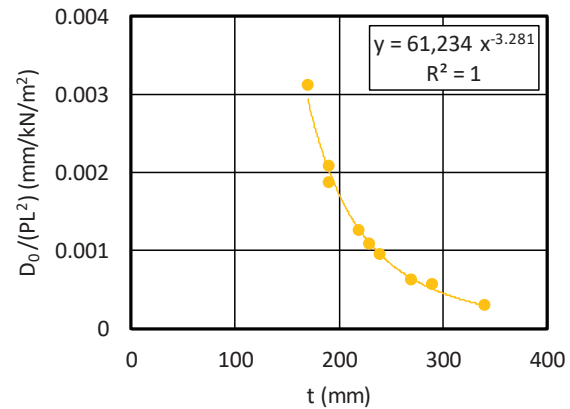
載荷点たわみと床版厚の関係(橋軸直角方向)



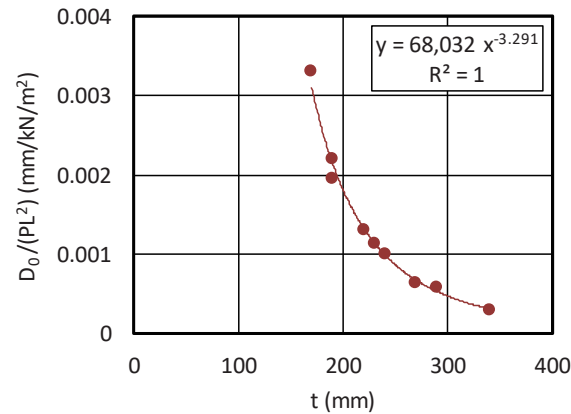
(a) 健全度判定区分I~II



(b) 健全度判定区分II~III



(c) 健全度判定区分III~IV



(d) 健全度判定区分IV~V

健全度判定区分 I ~ II

$$\frac{D_0}{PL^2} = 61,234t^{-3.281}$$

健全度判定区分 II ~ III

$$\frac{D_0}{PL^2} = 68,032t^{-3.291}$$

健全度判定区分 III ~ IV

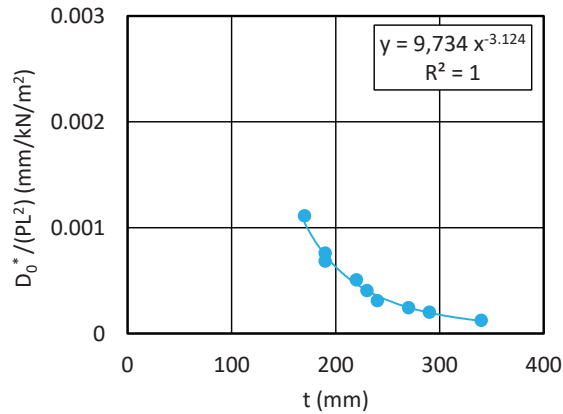
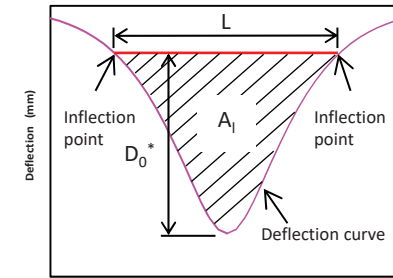
$$\frac{D_0}{PL^2} = 26,893t^{-3.190}$$

健全度判定区分 IV ~ V

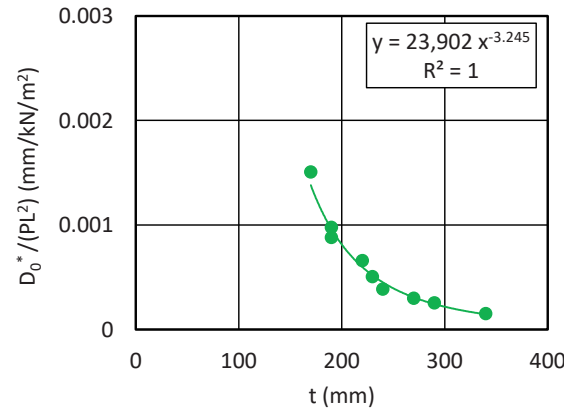
$$\frac{D_0}{PL^2} = 46,698t^{-3.251}$$

健全度評価方法

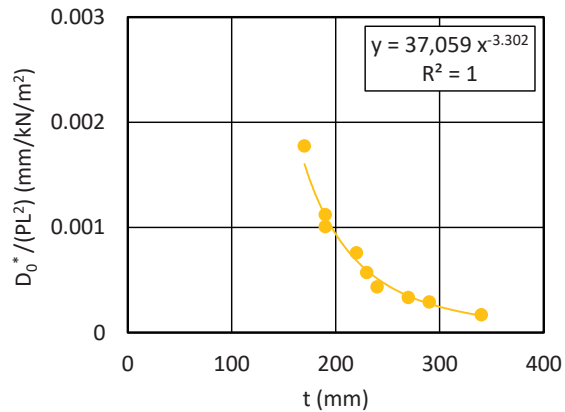
載荷点たわみと床版厚の関係(橋軸方向)



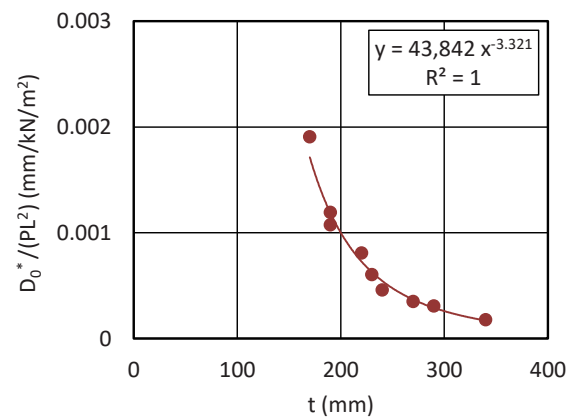
(a) 健全度判定区分I~II



(b) 健全度判定区分II~III



(c) 健全度判定区分III~IV



(d) 健全度判定区分IV~V

健全度判定区分 I ~ II

$$\frac{D_0^*}{PL^2} = 37,059t^{-3.302}$$

健全度判定区分 II ~ III

$$\frac{D_0^*}{PL^2} = 43,842t^{-3.321}$$

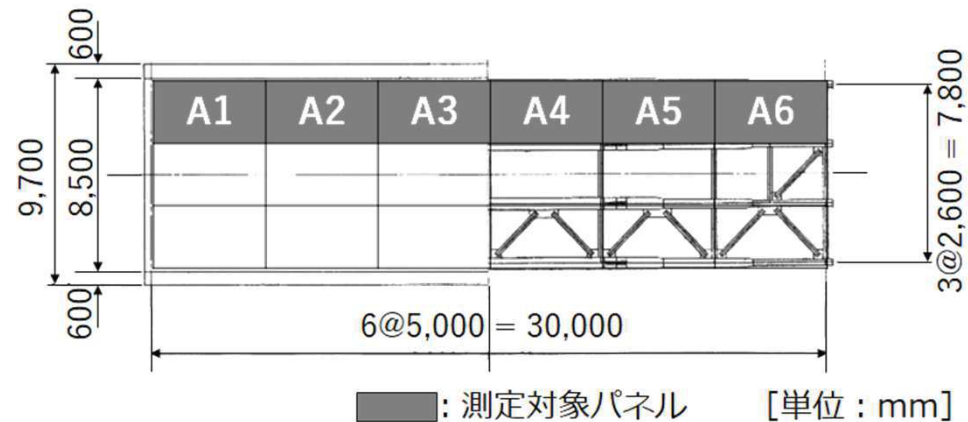
健全度判定区分 III ~ IV

$$\frac{D_0^*}{PL^2} = 9,734t^{-3.124}$$

健全度判定区分 IV ~ V

$$\frac{D_0^*}{PL^2} = 23,902t^{-3.245}$$

健全度評価方法

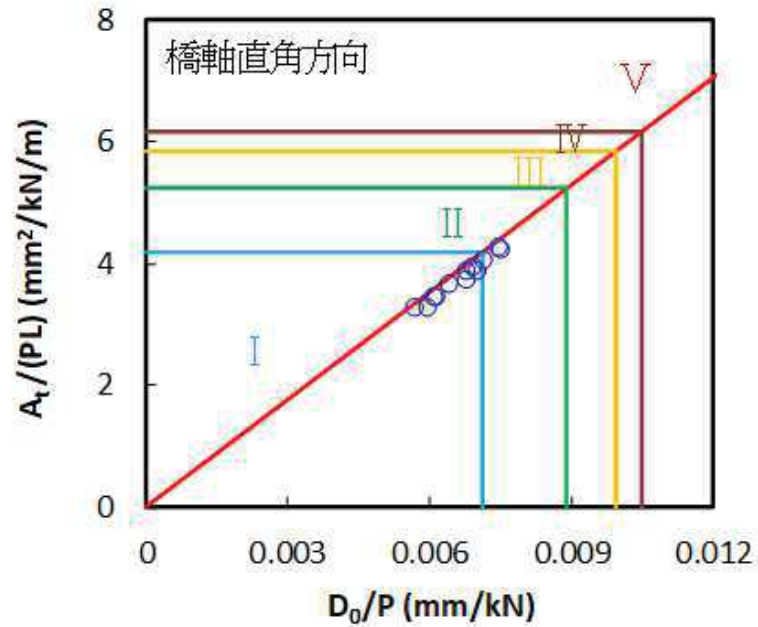


単純活荷重合成鉄桁橋
橋長: 30.6 m
主桁間隔: 2.6 m
設計床版厚: 210 mm
建設後30年(測定時)

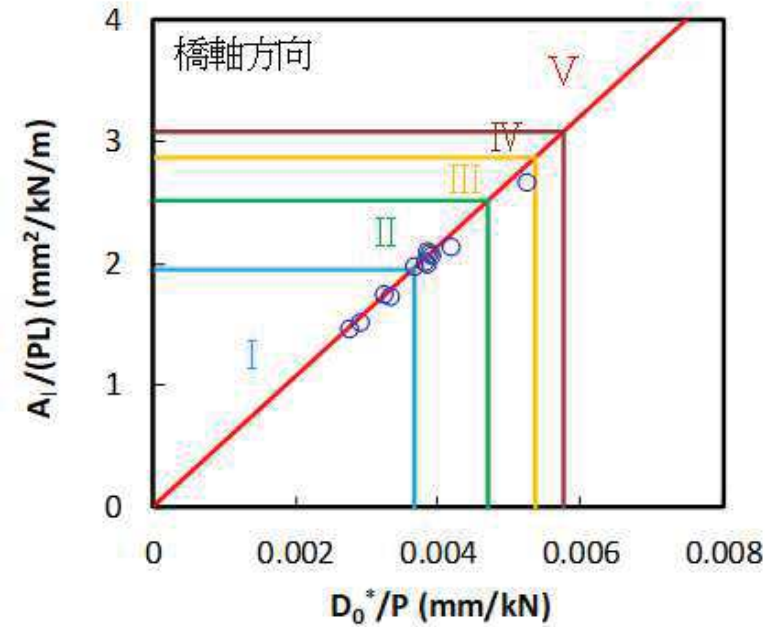
【対象橋梁の状況】

- ・ある施設内に設置された橋梁であり, 交通量はほとんどない.
- ・一部のパネルの床版下面に橋軸直角方向のひび割れが発生している.
- ・健全度判定区分は I あるいは II 判定程度であると判断できる.

健全度評価方法



(a) 橋軸直角方向



(b) 橋軸方向

健全度評価方法



単純ランガー橋

橋長: 120 m

主桁間隔: 2.5 m

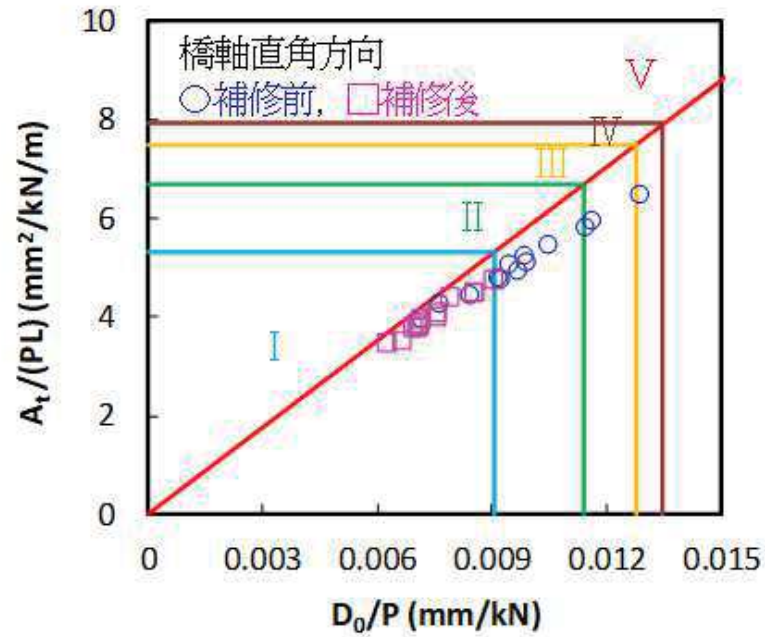
設計床版厚: 190 mm

建設後46年(測定時)

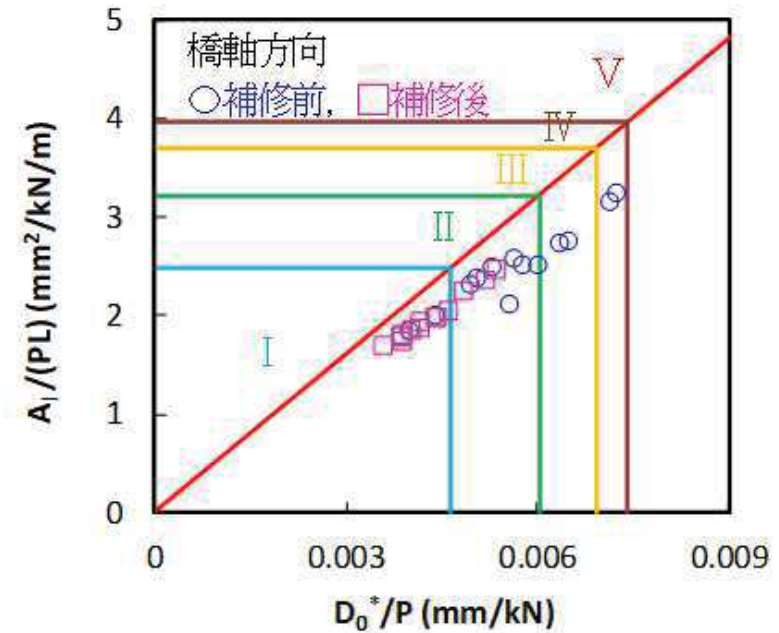
【対象橋梁の状況】

- ・比較的交通量の多い路線である.
- ・平成29年11月に一部のパネルの床版下面に炭素繊維シート接着が実施されている.
- ・このことから、健全度判定区分はⅢ判定程度であると判断できる.
- ・床版上面コンクリートの補修工事実施時に測定できたことから、アスファルト舗装撤去前後や補修前後での測定結果を取得できた.

健全度評価方法



(a) 橋軸直角方向



(b) 橋軸方向