

平成22年度 港湾空港技術講演会

光ファイバを用いた 空港アスファルト舗装の ひずみ計測手法の検討

国土技術政策総合研究所
空港研究部 主任研究官 坪川将丈

発表内容

1. 研究の背景・目的(設計法の改定等)
2. 光ファイバによるひずみ計測原理
3. 光ファイバによるひずみ計測実験結果

研究の背景・目的 (設計法の改定等)

空港舗装の構造設計法の改定

～H20年7月

仕様規定型設計法

舗装厚は経験的設計法により決定

アスファルト舗装の場合

CBRと設計反復作用回数 から決定

H20年7月～

性能規定型設計法

性能照査方法は経験的 or 理論的設計法による

アスファルト舗装の場合

舗装内ひずみ, 離着陸回数, 疲労破壊曲線
から決定

経験的設計法の一例

アスファルト舗装の基準舗装厚は
 米国陸軍工兵隊の実験式を基に
 路床の設計CBR
 設計反復作用回数
 から決定される。

メリット

- ・非常に簡便

デメリット

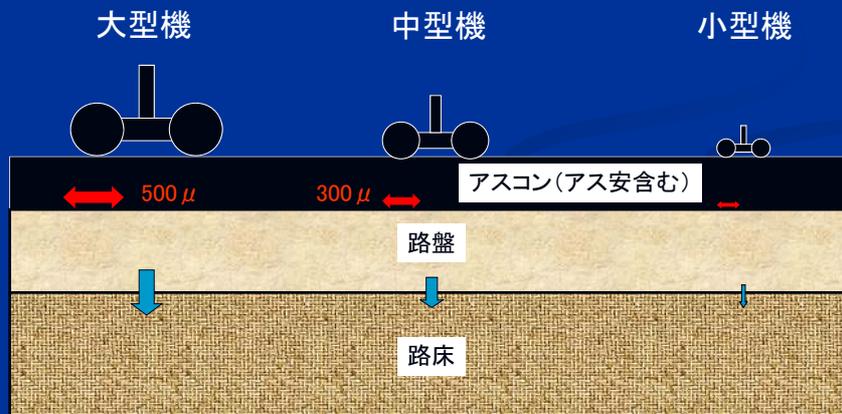
- ・空港の実情に合わせた
フレキシブルな設計が困難
- ・設計反復作用回数が多いときの
舗装厚の算定法に限界？

路床の 設計CBR	設計反復作用回数の区分				
	a 6000回	b 10000回	c 20000回	d 40000回	e 80000回
2	253	267	285	304	322
2.5	223	235	251	268	284
3	201	211	226	240	255
3.5	183	192	206	219	232
4	168	177	189	202	214
4.5	156	164	176	187	198
5	145	153	164	174	185
6	128	135	144	154	163
7	114	120	129	137	145
8	103	108	116	123	131
9	93	98	105	112	119
10	86	90	96	102	109
11	79	83	89	95	101
12	74	78	83	89	94
13	69	73	78	83	88
14	65	69	74	78	83
15	62	65	70	75	79
16	59	62	67	71	75
17	57	60	64	68	72
18	54	57	61	65	69
19	52	55	59	63	66
20以上	50	53	57	60	64

理論的設計法の一例

設計対象の各航空機の走行時に発生するひずみを計算し、
 舗装への累積ダメージを算出する。

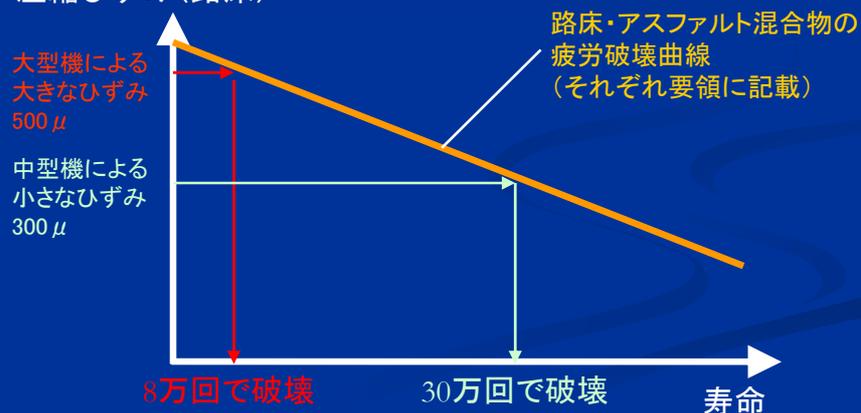
アスコン層下面のひずみ — ひび割れ
 路床上面のひずみ — わだち掘れ



理論的設計法の一例

計算ひずみと疲労破壊曲線から
 累積ダメージ(疲労度)を計算する.

引張ひずみ(アスコン)
 圧縮ひずみ(路床)



理論的設計法の一例

大型機の離陸回数を4万, 中型機の離陸回数を15万とした場合,

$$\text{累積疲労度} = \frac{\text{大型機の交通量}}{\text{大型機のひずみによる破壊回数}}$$

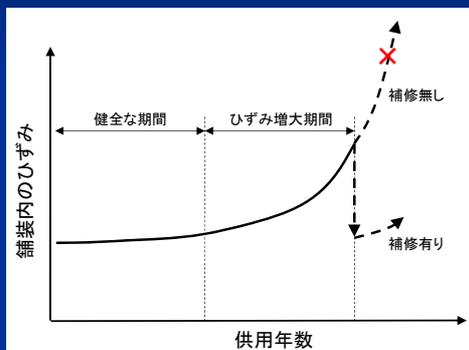
+

$$\frac{\text{中型機の交通量}}{\text{中型機のひずみによる破壊回数}}$$

$$= \frac{40000}{80000} + \frac{150000}{300000} = 0.5 + 0.5 = 1.0$$

供用後に舗装内に発生するひずみ

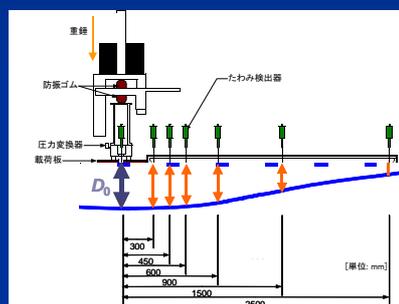
- ・ひずみは一定ではなく、繰返し载荷により変化する.
- ・混合物の劣化(酸化・紫外線等)による劣化の影響も受ける.



供用後の施設の健全度を把握し、
理論的設計法により健全度に応じた補修をするためには
舗装内に発生するひずみの推移が重要

現行の舗装健全度評価手法

- ・舗装構造 FWD調査, 解体調査
- ・路面 PRI, 目視点検



舗装表面の応答値から
内部の構造健全度を推定

- ・表面たわみの計測であり、直接的なひずみ計測ではない.
- ・航空機荷重による舗装の応答をリアルタイムに捕捉できない.

研究の目的

光ファイバによる舗装内ひずみ計測手法の実用性の検討

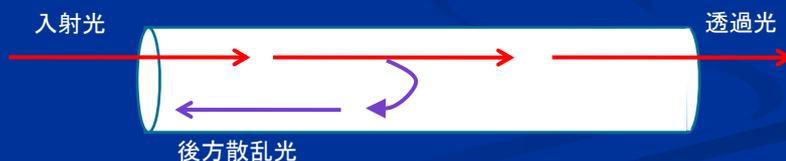
- ・光ファイバ埋設手法の検討
- ・走行載荷試験における計測実施
- ・得られたひずみの活用方策の検討

光ファイバによるひずみ計測原理

光ファイバによる計測原理(BOTDR)

BOTDR方式

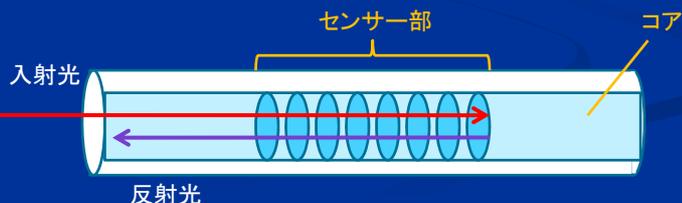
- ・入射光が光ファイバを通過すると、後方散乱光が発生
- ・光ファイバにひずみが発生した際の、後方散乱光の一つであるブリルアン散乱光の周波数の変化量からひずみを計測
- ・構造物の静的な挙動を計測



光ファイバによる計測原理(FBG)

FBG方式

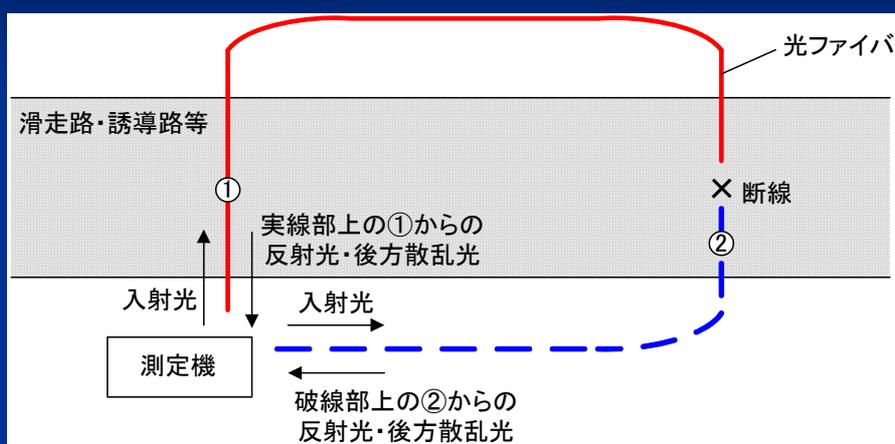
- ・光ファイバのコアに屈折率が異なる部位(センサー部)を設ける
- ・入射光がセンサー部に到達すると、ある特定の波長(Bragg波長)のみが反射されて戻ってくる
- ・Bragg波長の変化量からひずみを計測
- ・構造物の動的な挙動を計測



光ファイバの特徴

- ・細いため構造物の挙動を阻害しない
- ・光ファイバへの給電不要
- ・長距離の計測が可能
(FBG方式では光ファイバ1本当たりの測定個数制限あり)
- ・BOTDR方式では任意の位置のひずみを測定可能
- ・FBG方式では圧縮ひずみの計測が可能
- ・光ファイバが切断しても測定可能(次図)

光ファイバ切断時の計測



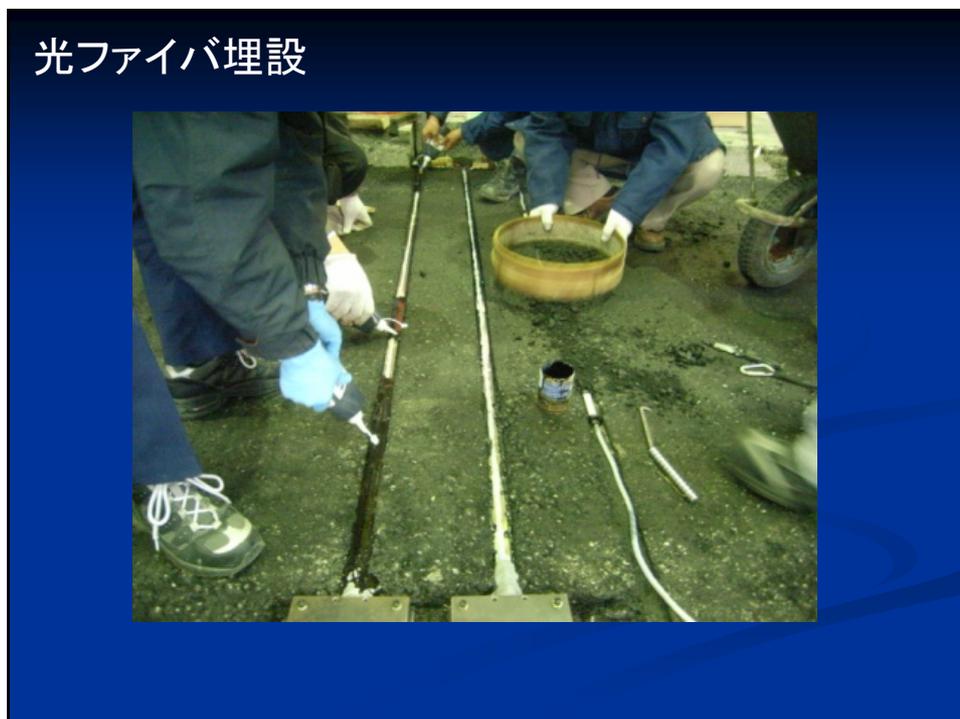
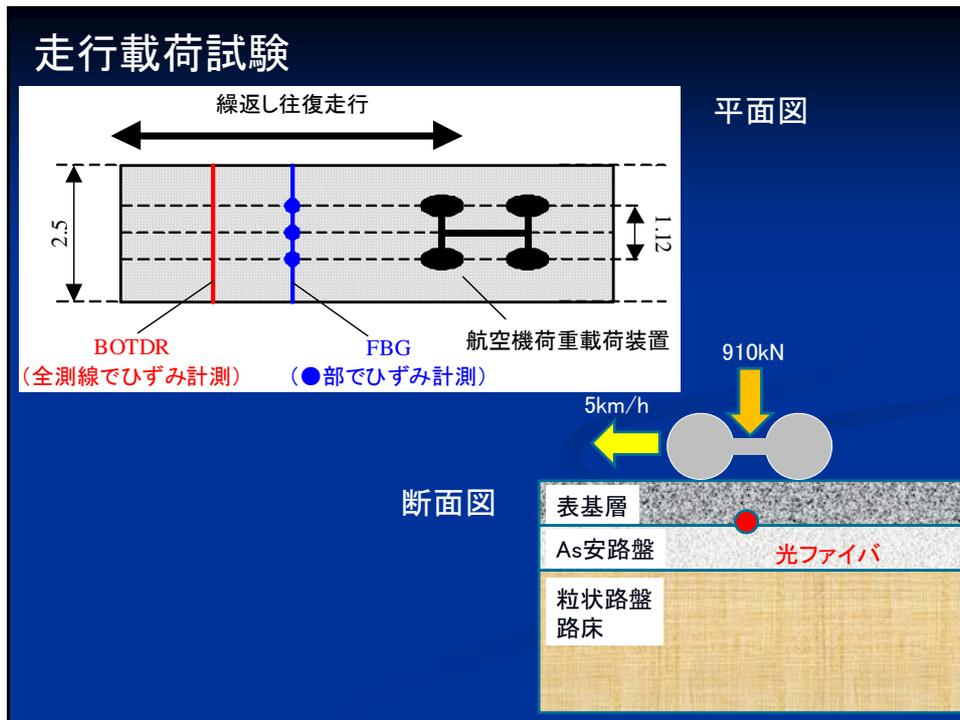
光ファイバによるひずみ計測実験結果

走行載荷試験

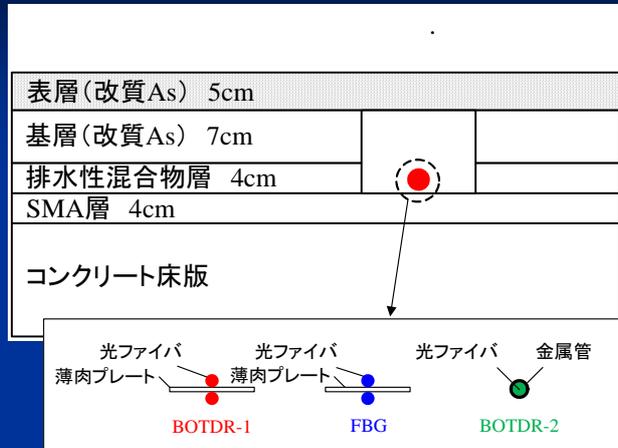
航空機荷重載荷装置による走行試験

- ・速度 : 5km/h
- ・荷重 : 910kN (B747-400相当)



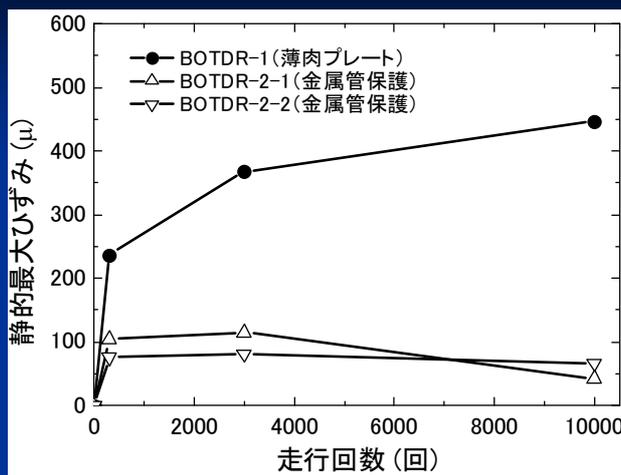


試験舗装への埋設(試験舗装A)



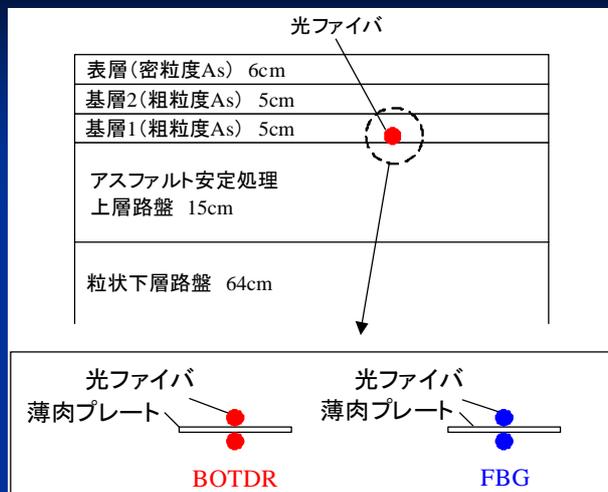
アスファルト舗装舗設時に箱抜き
 ⇒光ファイバ(非耐熱)を埋設
 ⇒薄肉ゴムで保護, 常温アスファルト混合物で埋め戻し

計測結果(試験舗装A)



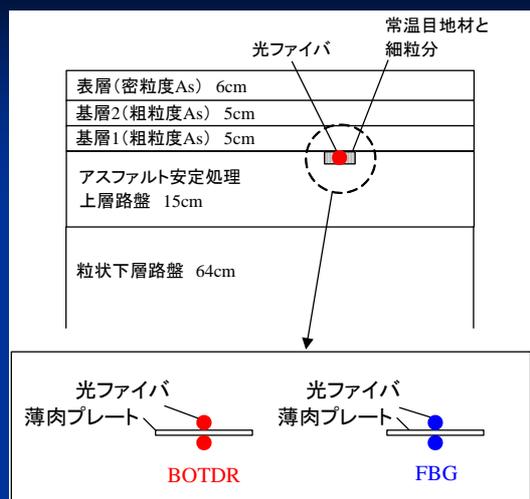
- ・金属管で保護した光ファイバは混合物の挙動を正確に捉えていない.
- ・埋め戻し常温混合物付近で大きな塑性変形が発生.
- ・BOTDR, FBGともに欠測なく10000回後まで計測可能.

試験舗装への埋設(試験舗装B)



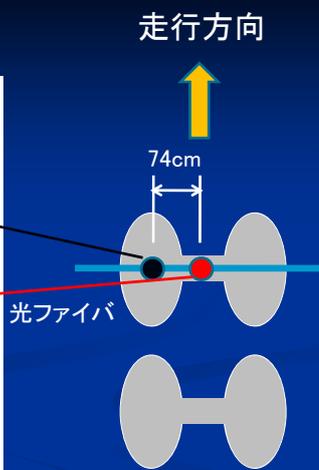
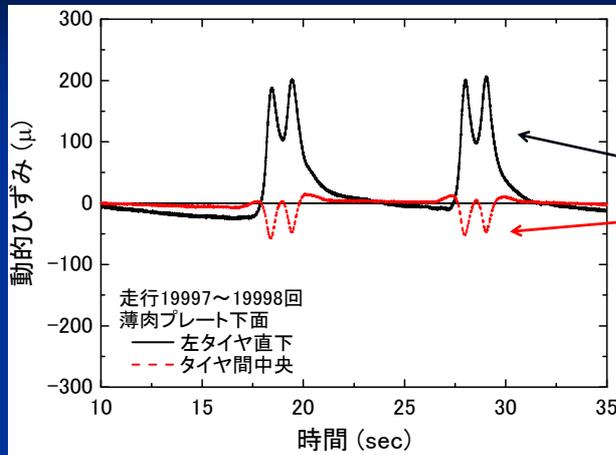
アスファルト安定処理上層路盤上に
薄肉プレートに張り付けた光ファイバ(非耐熱)を設置
⇒表基層は注意しながら通常施工⇒一部欠測

試験舗装への埋設(試験舗装C)



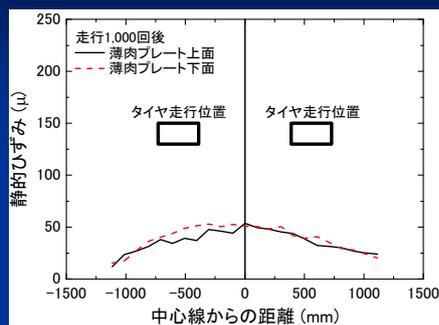
アスファルト安定処理上層路盤上を小さく箱抜きし
薄肉プレートに張り付けた光ファイバ(耐熱)を設置後,
常温目地材で埋め戻し, 表・基層を通常施工.

計測結果(試験舗装C)

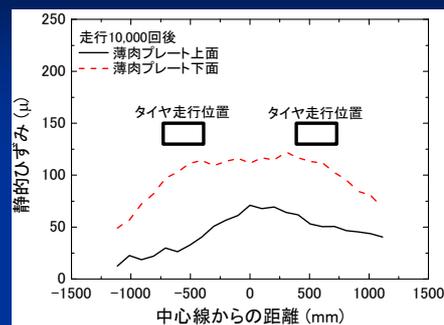


FBG光ファイバによる動的ひずみ計測結果
 タイヤ直下 引張ひずみが発生
 タイヤ間中央 圧縮ひずみが発生

計測結果(試験舗装C)



走行1000回

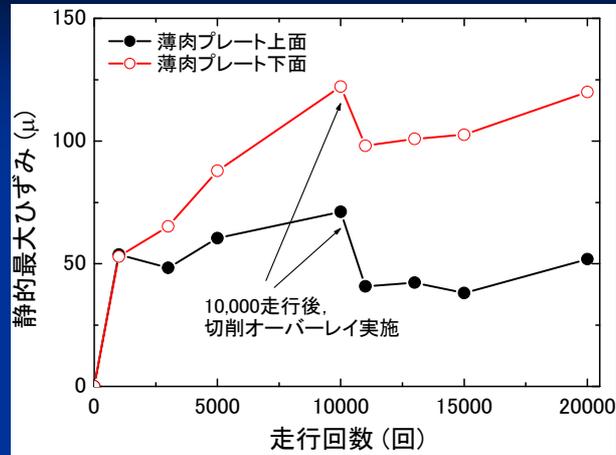


走行10000回

BOTDR光ファイバによる静的ひずみ計測結果

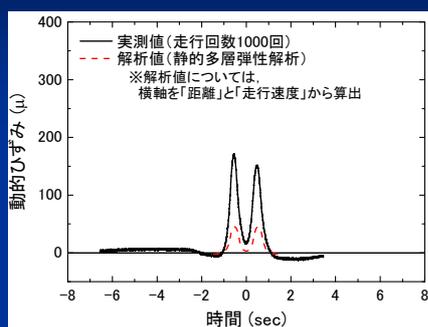
- ・タイヤ走行位置において大きな引張ひずみが発生
- ・わだち掘れ形状とおおむね一致
- ・走行回数の増加に伴い、ひずみも増加する傾向

計測結果(試験舗装C)

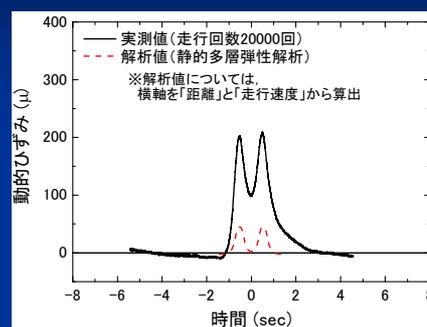


BOTDR光ファイバによる静的ひずみ計測結果
 表・基層の切削オーバーレイにより
 ひずみが一時的に減少 → その後再増加傾向

解析結果(試験舗装C)



走行回数1000回



走行回数20000回

- ・実測値 > 解析値
- ・最大動的ひずみの比率(実測 ÷ 解析)は3~4程度

まとめ

- ・施工性や計測の正確性等を考慮すると箱抜きし、常温目地材を用いることによる埋設方法が最適。箱抜き容積はなるべく小さくし、常温混合物は用いない方がよい。
- ・光ファイバにより計測したひずみは、解析値とは一致しないものの、繰返し走行によるひずみの増大、切削オーバーレイによるひずみの一時的な減少など、走行に伴うひずみの増減の傾向を確認できた。
- ・今後、FWD調査などと組み合わせた構造評価手法を検討予定。