

第 2 回 定 期 研 究 会

平成 27 年度 SGST 第 2 回定期研究会 議事録

日時：平成 27 年 6 月 18 日 16:00～17:30

場所：名城大学 天白キャンパス 研究実験棟 II 多目的室

出席者：青嶽（中部復建設）、泉野（玉野 C）、伊藤（和）、伊藤（眞）、上田、岡本（道）、加藤（正）、鎌田、日下部、坂部、櫻井、高地、所、菱川、平松、松村、村上（瀧上）、伊藤（義）、北根、館石、判治、廣畑（名大）、入山（中日本 C）、岡本（利）（パシコン）、小塙、久保（名城大）、加藤（正）、小塙、納土、山田（健）（中日本 H）、川瀬（日中 C）、川西（豊田高専）、木下（岐阜大）、坂井田（大日 C）、鷺見、永富（八千代）、園部（J I P）、土橋（横河）、長瀬（日車）、永田（コベルコ）、畠佐（興栄 C）、古市（維管工）、松野（東京測器）、萬谷（川田）、水谷（J F E）、村瀬（愛知県）、鈴木（山田塗装）

以上 47 名（敬称略）

1. 定期研究会（16:00～17:30）

講演者：株 T T E S 代表取締役 菅沼 久忠氏

講演項目：【構造物モニタリングの現状と進展】

講演内容

講演【構造物モニタリングの現状と進展】：

土木分野のみならず、センサ業界、ICT 業界を巻き込んで構造物モニタリングが注目をされている中で、その実現には、短期集中的なモニタリングの現状や、損傷シナリオのないビッグデータの取得など、ハード面・ソフト面ともに克服すべき課題は山積していることを説明された。

モニタリングのメカニズムとして、サンプナンの原理を用いたセンサリングを例に挙げ、金属疲労亀裂が発生した際のデータの変化（変異、加速度）を紹介された。モニタリング技術の中で、構造物のひずみ W.I.M. (Weigh-in-Motion) と呼ばれる技術の仕組みを、実際のノイズ除去や軸見地と通過速度など具体的な計算方法を用いて説明された。講演後の質疑の中では、失敗談などを交えて、多くの議論が行われた。

以上

構造物モニタリングの現状と進展

日時:6月18日(木)16:00~
場所:名城大学 天白校舎 研究室実験棟II 多目的室

株式会社 TTES
菅沼 久忠
法政大学講師

Tokyo Tech Engineering Solutions. Inc. 

TTESの紹介

設立: 2004年7月22日 (5月末決算)

資本金: 10,000千円 (発行株:菅沼が過半数所有、個人所有のみ)

社員: 5名(技術者のみ、新卒なし、平均年齢40歳)

鋼構造物の維持管理コンサルタント
特に鋼製橋梁の金属疲労問題や腐食(さび)問題を専門とする。

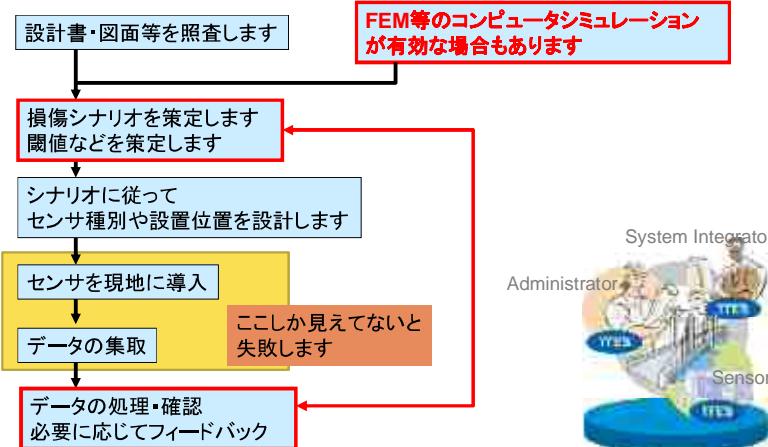
業務の流れ



Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



モニタリング業務



Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



大型橋梁・横浜ベイブリッジ下路(R357)



項目	TTESの役割	備考
シナリオ策定		
センサ選定		光ファイバ系
システム設計		現地 サーバ室
システム構築		
センサ設置		仕様変更
データ分析		6年間
システム保守		

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



大型橋梁: 東京ゲートブリッジ

No. 5



項目	TTESの役割	備考
シナリオ策定		設計書確認+FEM
センサ選定		主に光ファイバ系
システム設計		遠隔地モニタリング、警告
システム構築		
センサ設置		
データ分析		
システム保守		

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

TTES

No. 6

RC T桁橋梁

対象 : 世富慶橋(旧橋)

橋長 : 13.230m
幅員 : 9.510m(車道+歩道)
竣工年次 : 1953年(S28)
上部工 : 単純RCT桁橋(13.23m)



項目	TTESの役割	備考
シナリオ策定		現地確認+FEM
センサ選定		光ファイバ+電気(ひずみ)
システム設計		短期計測
システム構築		短期計測
センサ設置		
データ分析		WIM 構修前後比較など
システム保守		短期計測

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

TTES

海洋構造物: 洋上風力発電設備

No. 7



項目	TTESの役割	備考
シナリオ策定		設計書確認+FEM
センサ選定		主に光ファイバ系
システム設計		遠隔地モニタリング、警告
システム構築		
センサ設置		
データ分析		性能分析
システム保守		

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

TTES

No. 8

モニタリングの流行起源

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc. TTES

日本の橋梁の現状



No. 9

橋梁の現状 鋼橋

橋梁の老朽化に伴い 腐食・疲労等による損傷が多数発生



腐食による
析断面の破断



疲労き裂による
路面の陥没

*土木研究所HPより引用

- ・鋼析の腐食
析断面の減肉・破断等
- ・鋼床版の劣化
疲労き裂の発生・路面の陥没

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

TTES

橋梁の現状 コンクリート橋

橋梁の老朽化に伴い 塩害・中性化・ASRなどによる損傷が多数発生



コンクリートの剥離
鉄筋の露出



遊離石灰

- ・コンクリートの塩害劣化
コンクリートの剥離・鉄筋の露出・腐食
- ・コンクリートの床版ひび割れ・遊離石灰

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

TTES

No. 11

国交省の対応

防災・安全交付金

25年度政府案 10,460億円



Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

TTES

No. 10

No. 12

国交省 具体策

No. 13

(2)事前防災・減災のための国土強靭化の推進

①道路ストックの総点検、老朽化対策

- 老朽化が進む道路ストックの総点検により、健全性の把握を確実に実施。
- 道路ストックの予防保全による長寿命化を推進。
- 道路構造物の老朽化対策やコスト縮減のための技術開発等を推進。
- 重量制限違反者への指導を徹底し、大型車両の道路利用適正化を図る。

- ・我が国の道路橋は、高度経済成長期に集中的に整備されたことから、30年以上経過する2万以上の道路橋の耐用年数は、2012年現在1.6倍であるが、20年後には6.5倍に急増。
- ・全国道路橋の延命化率は平成24年4月1日時点
- ・橋梁等のコンクリート床版は鋼管の1半葉に劣化して補修が進行
- ・大型車両（新規量2.0トン超）の重量が積載量規制を超過して通行

国交省の対策は突然に提唱されたものなの?

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

予防保全に向けての方策

No. 15

《早期発見・早期対策の予防保全システム》

[目的]

- ・国民の安全安心の確保
- ・ネットワークの信頼性確保
- ・ライフサイクルコストの最小化
- ・構造物の長寿命化

《5つの方策》

1. 点検の制度化
2. 点検及び診断の信頼性確保
3. 技術開発の推進
4. 技術拠点の整備
5. データベースの構築と活用

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

道路橋の予防保全に向けて(H20)

No. 14

道路橋の予防保全に向けた有識者会議 ← ミネソタ落橋事故

《進行する高齢化》

- ・2010年には8万橋が総延長40年超
・鋼及びコンクリートの総年劣化
・劣化箇所が多発する傾向

《機能性能の高齢化》

- ・位置への対応
・最新基準への対応
・荷重大型化への対応

《道路橋保全の現状》

- | | | |
|---|---|-----------------------------------|
| 見ない | 見直し | 失速 |
| ・市町村道の初期割合が未古橋
・統一的で不十分な対応
・損傷を見えていない危険 | ・点検していないのに国内の道路橋で既主張材料更新
・技術力・経験不足で機能を見直している危険 | ・点検先選定・未古で至遠距離
・修理頻度が遅れがもたらす危険 |

改修する

《重大事故につながる危険な橋の増大》

- ・筋耗・剥離等による大きな損傷
・損傷や耐荷力不足による通行規制
・大規模な補修や架設元の発生
- 人命の危険
→ 社会的損失
→ 勝大な費用

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

経産省の対応

No. 16

社会課題対応センサーシステム開発プロジェクト 10.0億円(新規)

経済技術情報局 研究開発課
2014-2021-0021

概要内容

実現の背景・目的

○※エキビ（セイ立農業・無農薬・メンテナンスフリー）の組合せセンサー及びそれらを組み合わせた制御システムを実現します。

○これをクリーンエネルギー供給に活用し、電力使用量や農業などによりエネルギーを把握することで、普通のエネルギーが蓄積されると同時に、

○また、雨季挿引を応用して、小走行した植物や道路の漏水や地盤の氾濫によるインフラの維持管理、排水、灌

溉などの作業などを実現します。このようにして、社会課題に対する取り組みを実現するため、ユーザーも巻き込んで実証研究を実施します。

○さらに、研究結果を踏まえることで、田畠の位置に反映することを目指します。

実現（特徴、開拓性、競争領域）



概要イメージ

(1)西日本豪雨・無線通信・メソドセシスクリーニング小田中

・電力使用量・蓄電量・CO₂などの情報を把握できる技術

・消費電力センサの開発

・蓄電コストを実証にてき。技術も容易な無機系蓄電池を搭載したセンサーキット（ワイヤレス）

・熱力学を用いて蓄電池を把握

(2)超小型センサを開いた研究エネルギー開発システム実証・推進システム化

(3)様々な社会課題への応用範囲への実証



Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

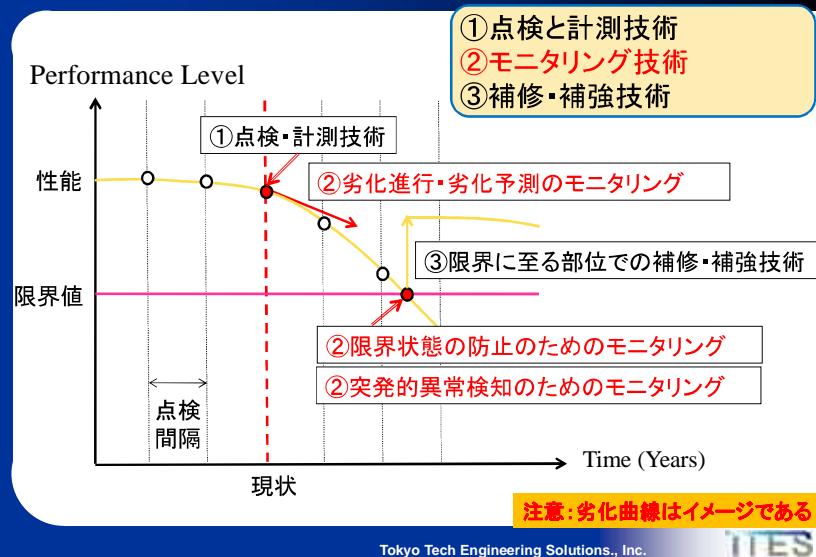
橋梁モニタリングとはなにか？

No. 17

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc. 

公共インフラの維持管理技術

No. 19



構造物のモニタリング

No. 18



モニタリングのターゲット

No. 20

- 設計条件の確認(動態観測)
- 劣化進行・劣化予測……Slow Damage
 - 劣化そのもの(き裂, 板厚減少等)を把握
 - 劣化する環境(交通環境, 腐食環境等)を把握
 - 劣化による性能の変化を把握(温度変形等)
- 限界状態防止のためのモニタリング
 - 使用に耐えうる性能を保っているか
 - 予兆, 変化を捉えられないか
- 異常検知
 - 何が, どこで, どのレベルで発生しているか

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc.



何を測定すべきだろうか？

No. 21

- 設計条件の確認 設計条件に関する情報を取得
- 劣化進行・劣化予測……Slow Damage
 温度, 湿度, 腐食環境, 変形(温度変形)
 塩分量, 交通環境 Weigh-in-Motion
- 限界状態防止のためのモニタリング
- 異常検知
 変形や挙動は問題ないか?
 ⇒ 変位(傾きを含む), 振動特性
 いつもと違うエネルギー収支が起きていないか?
 ⇒ 非線形性, 減衰

変位(傾斜)を計測.

変位計(傾斜計)

振動特性を計測.

速度計

加速度計

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

損傷したらデータは変化するのか？

No. 23

たとえば、金属疲労き裂の場合

<提案>

き裂が生じた際の周辺ひずみ変化をセンサリング

・ひずみ = 局所的 サンプナンの原理

センサの反応領域はセンサの大きさ

変位：ひずみの積分値、誤差に混じる。

加速度：誤差に混じる

き裂検知線：可能性あり

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

何がおかしなモニタリングに？

No. 22

- 短期決戦を望んでいる
 短期決戦には点検目視
- 戦略なき計測 損傷シナリオは必須！
- ビッグデータ処理を想定したデータ取得
 山ほどのセンサ
 損傷との相関が高いデータキャッチ
 (そもそも損傷でセンサ変化するのか?)
 より大きいシステムで性能が向上する

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

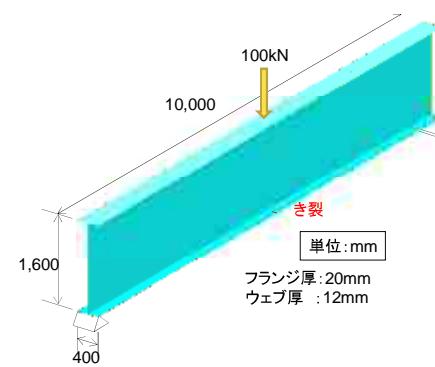
ITES

影響はどこまで？サンプナンの原理

No. 24

損傷(き裂50mm)が支間中央に発生した影響をFEMで確認してみる

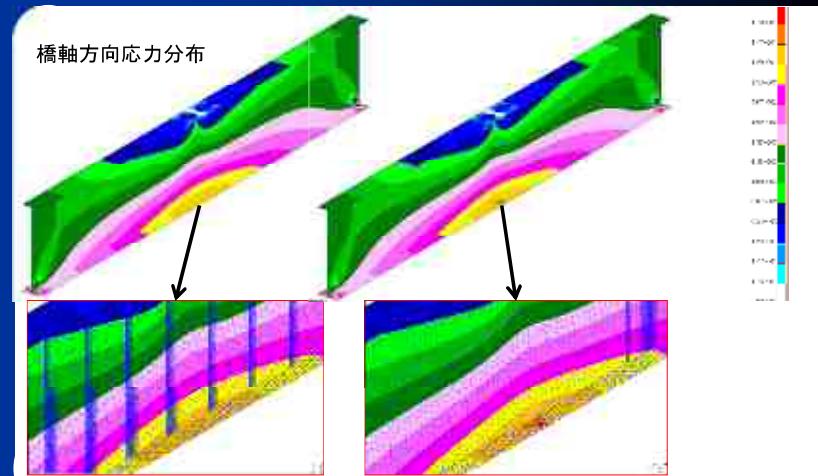
鋼析をイメージしたモデル



Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

サンブナンの原理 解析結果



No. 25

影響範囲は100mm程度 発生箇所が不確かな損傷に対してセンサリングできるのか?

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



WIMの狙い所

No. 26

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

WIMの狙い所

No. 27

Weigh-In-Motion 技術



リアルタイムで取得されているデータを紹介します。

【表示している内容】

ひずみ × 3ch

計測頻度 100 Hz

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



WIMと類似技術

No. 28

	WIMシステム	車重計 (マット)	車重計 (埋込み)
想定期間	一時的	一時的	恒久的
費用	安価	非常に安価	お高め
設置	橋梁裏面	橋面上	橋面上
利用	疲労問題 ～(過積載取締)	積載量	実に様々
静的精度	×	◎	?
動的精度	○ (疲労問題を扱うには十分)	×	◎?

WIMは衝撃を含む 橋梁のダメージを測る
ほんとは重量計ではない

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



WIMの種類

No. 29

研究者	国総研	東工大(三木ら) ※Pat実施権:TTES & NTTデータ	名大(山田ら) 名城大(小塩ら)
重量 算定	重量算出	たとえば主桁下フランジ面ひずみ	支点反力(ひずみ)
	軸検知	たとえば床版、Vstif	
	必要計測点数	3枚	1枚でも可能
	方法	影響線の重ね合わせ 一次式近似最適化	影響線の重ね合わせ 多項式近似最適化 応答変化量

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



部材式WIMの仕組み

No. 31

1. 1車線あたり **3つのひずみゲージ**が必要です。
2. ひずみゲージは**桁・床版裏面**に設置し、橋面上の作業は不要です。
3. 重量が既知の車両を通過させることが必要です。(キャリブレーション)

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

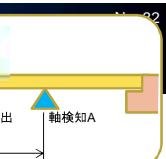


WIMの仕組み・計算

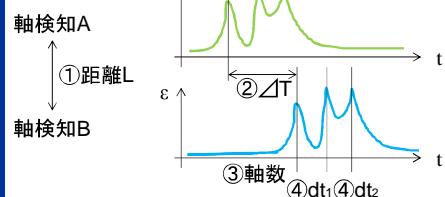
No. 30

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

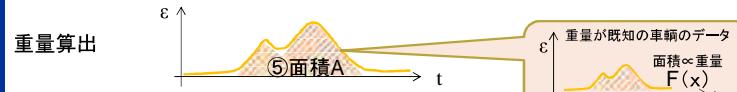
W.I.M.の技術概要



3つのひずみゲージの役割と算出原理



$$\begin{aligned} \text{速度 } V &= ①\text{距離 } L / ②\Delta T \\ \text{軸間距離} &= \text{速度 } V \times ④dt \\ \text{重さ} &= ((⑤\text{面積 } A / \text{速度 } V) \times F(x)) \end{aligned}$$



W.I.M.による出力内容
車両通過時刻、車両重量、軸重量、軸数、軸間距離、速度

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



適用条件

No. 33

橋梁条件

OK : 鋼桁橋(含む鋼床版)
要検討 : RC T桁、PC橋梁 → 剛性次第です

好適条件

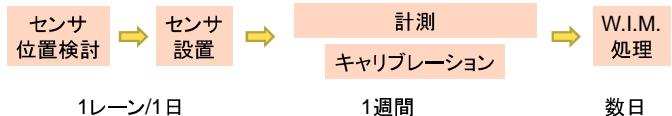
車両速度が一定であること
縦断方向の傾斜が少ないこと

適用不可

渋滞区間 (高度なカメラシステムと同期させると実装可能)

適用期間

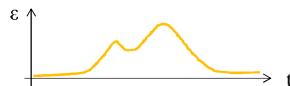
祝日やイベント事のない1週間の連続データをオススメします



Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

長い波形を取得する場所

No. 35



長い : クルマ1台程度の影響線長 = 10mぐらい

長すぎると、1台ごとの分離が難しい Ex. 主桁のLfig. 橋軸
車線毎に独立していることが望ましい

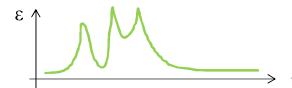
具体的な場所 :

短い波形を取得している周辺の (挟まれている必要はない)
横桁 Lflg 横断方向
OSD 横リブ 横方向
対傾構 斜材 軸方向
RC,PC 床版 橋軸方向(単純桁) ←要 現場チェック

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

短い波形を取得する場所

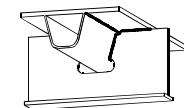
No. 34



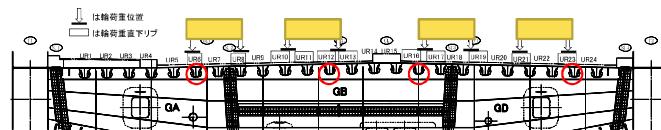
短い : 輪1つ分程度の影響線長 = 1000mmぐらい

具体的な場所 :

輪直下の
Vstif の上端 上下方向
OSD トラフリブ 橋軸方向
PC、RC 橋梁 床版 橫断方向(要CHK)



隣接するレーンの取得位置とは離れている方がよい



Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

No. 36

WIMってなにが難しいの？

WIMの理屈は簡単です。

- ★ 実際の波形はモデルほどキレイではありません。
- ★ 自動で連続して処理する必要があります。
- ★ 人間の目ほど特徴を捉えるのに優れたセンサはないのです。

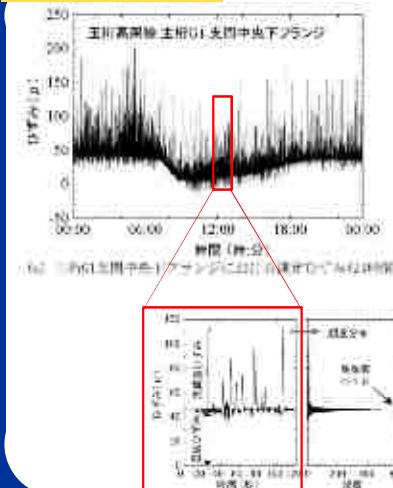
ノイズ除去と自動化するアルゴリズムがWIMの鍵になります。

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

具体的な計算方法① ノイズ除去

No. 37

① 温度ドリフトの除去



最頻値・各種移動平均などを利用する

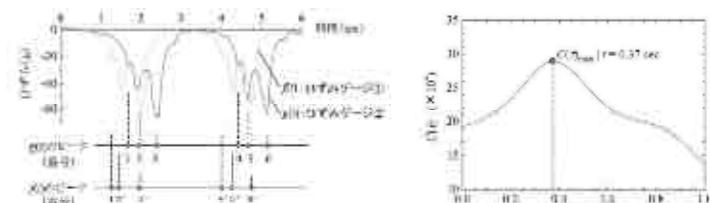
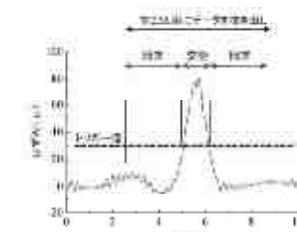
Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



具体的な計算方法② 軸検知と通過速度

No. 38

しきい値を用いて軸の通過を確認
ここから時刻を算出してもよい



面積の重なり具合がもっとも大きいΔTを算出する

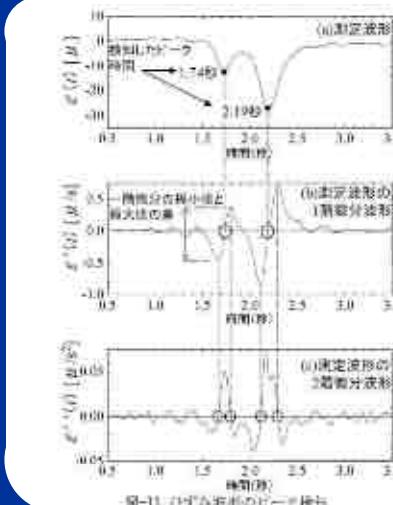
Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



具体的な計算方法③ 軸数検出

No. 39

微分してピーク位置を算出



Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



沈み込みへの対応

No. 40



想定していた波形



実際の波形
(沈み込みあり)



床版作用と析作用

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



ある橋梁のリアルタイムデータ

No. 41

とある橋梁に設置してあるWIMシステムの、リアルタイムデータをご覧ください。

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



適用イメージ:スクリーニング

No. 43



超重量車両をスクリーニングして、たとえば台貫に誘導する

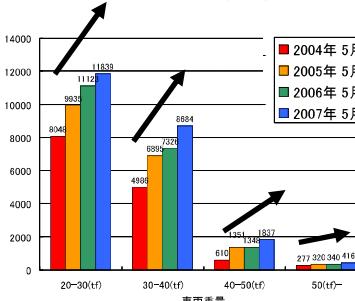
Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



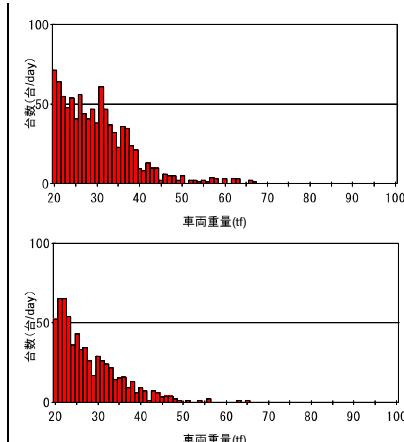
WIMの出力:参考例

No. 42

重量別車両台数の比較



→ 路線の利用目的・新設路線の影響把握



→ 溶接部毎の累積疲労損傷度の推定も可能

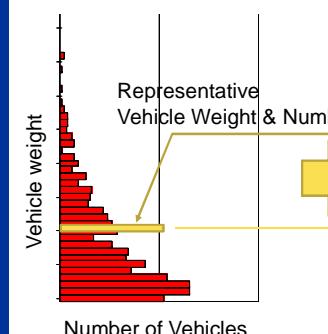
Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



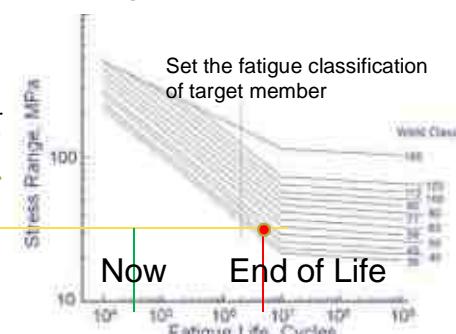
疲労損傷の指標としての利用

No. 44

Example of W.I.M. Result



Application W.I.M. to Fatigue Life



Ranking the Inspection Bridges or Members

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



長期インフラモニタリングの課題

No. 45

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc. 

ターゲットの設定

No. 47

2014年3、4月「道路の維持修繕に関する省令・告示」
5年に1度、近接目視を基本とする定期点検



5年間をフォローするために設置する？



人間の近接目視点検に置き換わる？



ターゲットは大型橋梁？中小の多数の橋梁？

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc. 

長期モニタリングで必要こと

No. 46

耐久性

過酷な環境で10年以上

データ取得

無線通信

給電

パワー・ハーベスティング

費用・データ利用

費用に見合った利用方法

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc. 

耐久性の必要性

No. 48

人間:5年に1度、近接目視

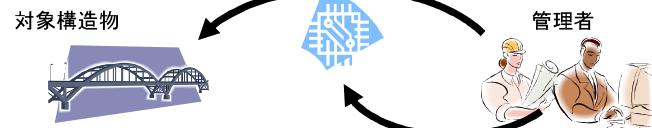


5年で人間同等 ⇒ 10年以上のメンテナンスフリーが必須

人がセンサの様子を5年以内にチェックすることはありえない！

恥ずかしい現状:『モニタリング・モニタリング』

理想:センサを活用してモニタリング



現実:センサの状況をモニタリング

なにか変状があつても、センサが疑われてしまう。

Tokyo Tech Engineering Solutions, Inc. 

センサの置かれる厳しい環境

No. 49

Example

注意

使用について

- ユニットを分解または改造して使用しないでください。火災・爆発の原因となります。
- 各ユニットの通気口をふさがないでください。

使用環境・条件

- 本機を正常にまた安全に使用していくために、次のような場所には設置しないでください。火災・爆発・故障の原因になります。
 - 屋外
 - 高度2000m以上の場所
 - 湿度の多い場所、ほこりの多い場所、空港の多い場所
 - 直射日光が当たる場所など、温度が高くなる場所
 - 高湿性ガスや可燃性ガスがある場所
 - 振動や衝撃が直接加わる場所
 - 水、油、液などしみきがかかる場所
- ケーブル類は、高圧線や動力線からできるだけ離してください。
ノイズにより誤動作や故障の原因となります。
- 本機を含む各機器は精密部品ですので、衝撃・振動を与えないでください。



動物
よ。

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

必要とされる精度（一例です）

No. 50

変位・変形

鋼の構梁 1mm
コンクリート 1cm=10mm
(ひび割れについては、0.01mmの話)

時間

瞬間の他に
24時間、1週間、1年(季節変動)
1年の変動を見るのには少なくとも3年は必要
地震などはいつ発生するか分からない=発生した時に動くか?
鋼などでは促進試験もあるけど、再現は難しい状況

加速度

風の世界を除けば、100Hzクラスで十分
むしろ長周期対応 0.1Hzクラス以上が必要

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

大量に設置するために

No. 51

センサ・メカは大量生産で単価は下がる

人件費が一番のネック

ケーブル配線に人を要する

解決
ポイント



2618m

写真はTGBではありません

ケーブル配線の利用先

データ回収 → ワイヤレス通信

給電 → パワーハーベスティング

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

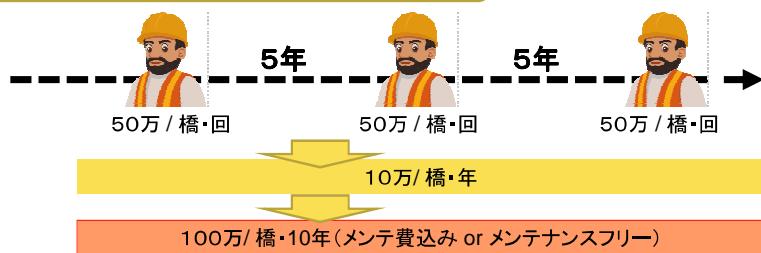
ITES

費用感

No. 52

2014年3、4月「道路の維持修繕に関する省令・告示」

5年に1度、近接目視を基本とする定期点検



人間よりどんなメリットがある？ B/C のBが難しい

今より効率的になる？

より一層 安心・安全だ

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

ITES

土木構造物の特徴

No. 53

工業製品

大量生産品



全く同じディテール

土木構造物

一品生産



橋の桁の数

構造ディテール

素材

あらゆるレベルで共通なものが無い
(鋼床版はJIS規格あり)

類似のディテールは多数存在

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



No. 54

設計と維持管理

	設計	維持管理
歴史	50年以上	ここ20年
計算精度	安全側であれば	的確な情報
計算手法	手計算(梁理論)	場合によってはFEM
設計基準	道路橋示方書	道路橋示方書??なし
時間	なし(永久構造物)	有限(時間軸を考慮)
安全率	1.7	すでに安全率を喰っている わからない

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



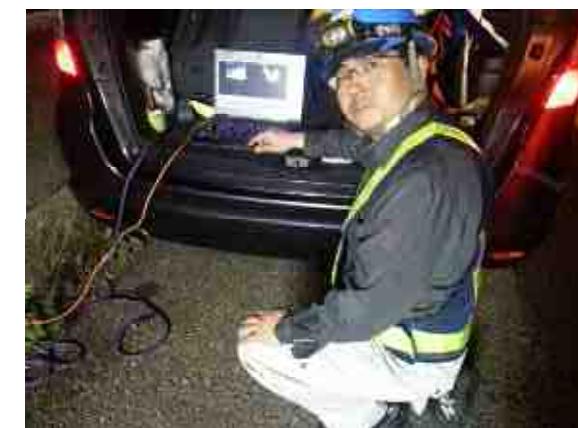
以下 事例は割愛

No. 55

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.



No. 56



ご静聴ありがとうございました

Tokyo Tech Engineering Solutions., Inc.

