

平成26年12月3日16:20-17:20

## 国総研講演会

### ストックの維持管理にどう立ち向かうか

三木千壽



## 内容

1. 社会インフラの老朽化問題
2. アメリカでは
3. 構造物の劣化: 事例に学ぶ
4. 点検と診断が重要
5. 新しい技術にも関心を



## 1. 社会インフラの老朽化問題

米国での America in Ruins 1970-1980  
現在の日本



## 日本の社会資本整備

戦後については1960年代から  
(東京オリンピック、大阪万博)

- 東海道新幹線
- 名神
- 東名
- 首都高速
- 阪神高速            など

リベット構造から溶接構造へ





首都高速道路 (45年前)

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

## 社会資本施設

需要の高い順に整備 (1960年代~1970年代)

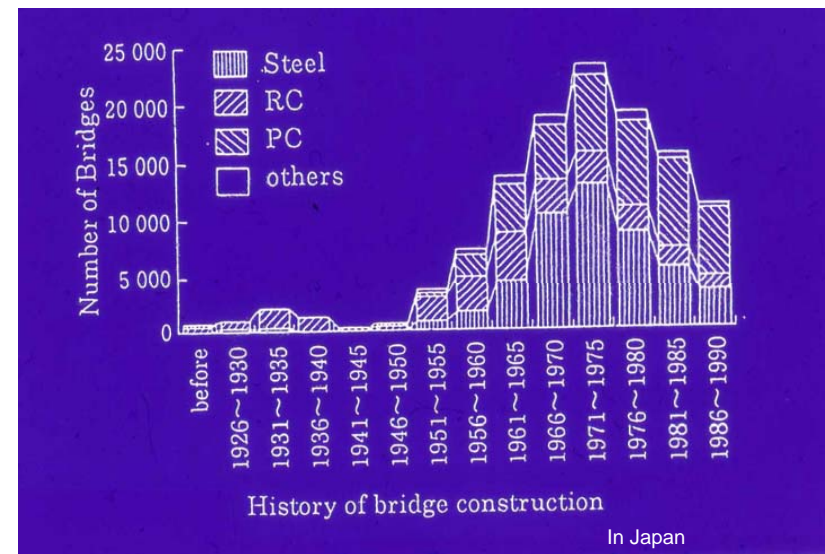
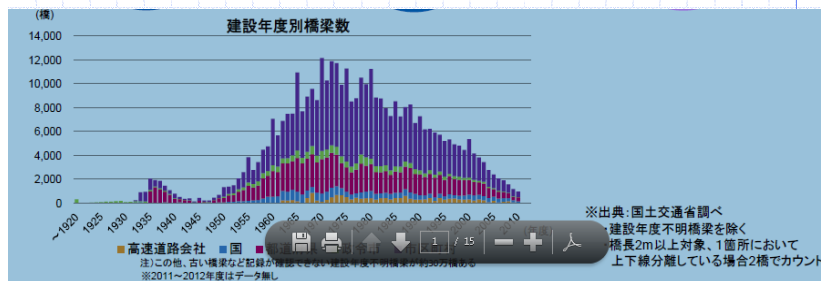


重要度は高く、使用環境は厳しい  
しかし、古い技術が用いられている



Fix it?  
or  
Scrap it?

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY



日本の道路橋の建設時期

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

## メディアの反応

**橋やダムなどの社会資本**  
建設から50年以上経過する社会資本の割合

種別	2009年度	2019年度	2029年度
河川管理施設	8	25	51
港湾岸壁	11	25	51
下水道管など	5	19	48
下水処理場	3	7	22

**老朽化で更新・維持費急増**  
7月16日に掲載される「老朽化で更新・維持費急増」は、河川管理施設や港湾岸壁、下水道管など、建設から50年以上経過する社会資本の割合が増えていることについて、国土交通省が発表した。国土交通省は、この割合が増えていることについて、国土交通省が発表した。国土交通省は、この割合が増えていることについて、国土交通省が発表した。

**国交省試算「50年で190兆円必要」**  
国土交通省は16日の政策会議分科会で、国土交通省の試算を発表した。国土交通省は、この割合が増えていることについて、国土交通省が発表した。

**37年度、新規事業の財源ゼロも**  
国土交通省は、この割合が増えていることについて、国土交通省が発表した。

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

## メディアのいうところの道路橋の寿命50年説は正しいか

出所は昭和43年大蔵省、構築物の減価償却資産、RC造、SRC造:60年、金属造:45年

— 物理的な寿命とは異なる。

• **さまざまな損傷や劣化が目につくようになってきたことは事実**

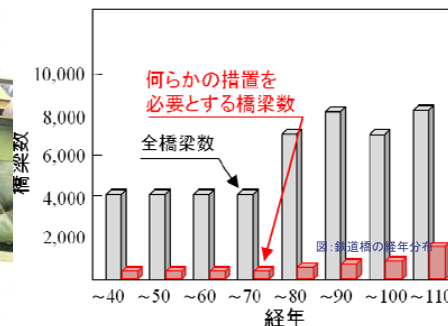
- それは老化、老朽化か？
- 世界的には設計供用期間としては100年程度。50年で老朽化は？？
- 日本はそんなにお粗末な構造物を作ってきたのか？
- **インフラの物理的な寿命を何年と考えるのか？**

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

## 鉄道橋

想定供用期間は、在来線60年、新幹線70年。(現行の設計標準では、100年)  
山手線のように明治時代から使い続けている橋、移築されて使い続けられている橋も多い。

- **東海道新幹線は比較的新しい橋。設計の基本として3S: Standard, Simple, Smart——初めての本格的溶接構造の採用。当時の疲労設計は今から見ると不十分。開通10年後から様々な疲労損傷。**



そもそも、構造物が劣化し、使えなくなることは考えていなかったのでは。

- \* コンクリート構造物は永久構造物と考えていた。
- \* 鋼構造物は防食としての塗装で十分。
- \* 道路橋に疲労など、ありえない。2002年までは設計で考慮せず。

**限界状態として考えてこなかったことから、維持管理の点検においてもそれには対応していない。技術、技術者、制度、いずれも対応していない。**

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

## 現状、さまざまな損傷や劣化(成人病)が目立ち始めた。しかし、老衰ではない!

- 設計時には考えていなかった現象。すべてに原因がある。

供用期間が長いことが原因

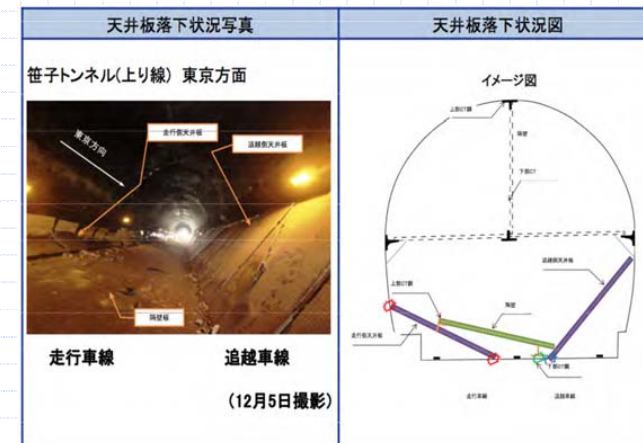
- 鋼構造物での**疲労**、遅れ破壊、
- コンクリート構造での**アル骨反応**、**中性化**、
- **地震力**: 神戸地震まで関東大震災レベル
- **過積載トラック**

早期に損傷や劣化を検出し

その原因を特定し、適切な措置を取ること

**原因を究明し、除去し、適切な措置により、構造物を生き返らせることが可能。**

## 筐子で社会の関心が一気に高まる



## 老朽化問題: 筐子からではない

疲労損傷は1980年代より顕在化

1997年: 道路協会より「鋼橋の疲労」出版

2002年: 道路橋仕方書改定での疲労設計の導入見送り

2003年 今後の維持更新の在り方委員会(岡村委員会)

2007年 有識者会議(田崎委員会)

2013年 社会資本整備審議会道路部会に  
メンテナンス技術小委員会の設置

2013年 道路法の改定

2014年 最後の警告

## 平成15年4月: 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会

- 道路を資産として捉え、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算制約の下で、いつどのような対策をどこで行うのが最適であるかを決定できる総合的なマネージメントシステムの構築が必要である。



アセットマネージメントの導入の提案

しかし、現在までに

具体的な形にはなっていない

## 道路橋の予防保全に向けた有識者会議 国レベルでの基本方針(H19・10-20・5)

1. 点検の制度化:  
全ての道路橋で点検を実施
2. 保全の制度化:  
技術基準、資格制度、人材育成を充実
3. 技術開発の推進:  
信頼性を高め、負担(労力、コスト)を軽減する技術開発を推進
4. 技術拠点の整備:  
損傷事例の集積と発信、高度な専門技術者の育成
5. データベースの構築と活用:  
効率的な維持管理とマネージメントサイクルの確立

この答申は前の答申を前提とし、**具体的なアクション**を記述したものの  
しかし、だれが、どのように実現していくのかが問題



## 国土交通省は平成25年をメンテナンス元年と宣言している。

平成25年6月5日には「道路法等の一部を改正する法律」が公布された。その内容は「道路の老朽化や大規模な災害の発生の可能性等を踏まえた道路の適正な管理を図るため、予防保全の観点も踏まえて道路の点検を行うべきことを明確化するとともに、…」とある。その背景として、高度経済成長期に集中的に整備された道路の老朽化が進行を挙げている。まさに維持管理が法的な根拠の下で義務化されたといえよう。



## 社会資本整備審議会 道路分科会 道路メンテナンス技術小委員会、 中間答申(平成25年6月)

- 道路構造物の適切な維持管理に向けて
  - － 維持管理の基本的な考え方
  - － メンテナンスサイクルの構築
  - － 基準類の在り方
- メンテナンスサイクルの充実に向けて
  - － 段階的な充実と確実な実施
  - － データベースの構築と活用
  - － 不具合情報の収集と啓発の仕組みづくり
  - － 技術開発や技術評価の推進
- 地方公共団体でのメンテナンスサイクル導入に向けた支援
  - － 体制、技術力、資金力の現状と課題
  - － 国と都道府県が連携した支援策



## 道路法の一部改正

- 背景
- 道路の老朽化や大規模な災害の発生の可能性等を踏まえた道路の適正な管理を図るため、**予防保全の観点も踏まえて道路の点検を行うべきことを明確化するとともに**、大型車両の通行経路の合理化と併せた重量制限等違反車両の取締りの強化、防災上重要な経路を構成する道路の無電柱化の促進、災害時の道路啓開の迅速化等の所要の措置を講ずる。



## 改正の概要

1. 国土交通大臣は、地方道を構成する構造物のうち、大規模かつ構造が複雑なものについて、**地方公共団体に代わって改築及び修繕を行うことができることとする。**
5. 道路管理者は、予防保全の観点で踏まえ道路の点検を行うべきことを明確化する。
7. 道路管理者は、**重量制限等違反車両を繰り返し通行させている者等に対し、報告徴収及び立入検査を行うことができることとする。**
8. **国土交通大臣による道路の維持又は修繕の実施状況に関する調査ができることを明確化する。**

## 最後の警告

### —今すぐ本格的なメンテナンスに舵を切れ:

社会資本整備審議会道路部会基本政策部会  
道路の老朽化対策の本格実施に関する提言(2014年4月14日)

- 具体的な取組
  - (1)基本的な考え方
    - 産学官のリソースをすべて投入しての総力戦
  - (2)メンテナンスサイクルを確定(道路管理者の義務の明確化)
    - 点検:5年に1度、高い技術を有する者による近接目視、
    - 診断:統一的尺度で「道路インフラの健診」
    - 措置:ライフサイクルコストを考慮、
    - 国は地方公共団体に対し適切な措置を講じるよう勧告・指示
    - 道路インフラ安全委員会の設置
    - 記録:評価と見える化

## 2. 米国では

・鋼道路橋の疲労や老朽化への関心は1967年の  
Point Pleasant Bridgeの事故から

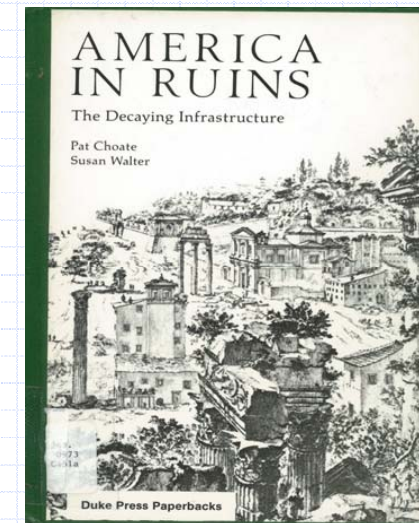
それに対する対応

- ・メンテナンスマニュアルの整備
- ・点検の制度化:2年に1度
- ・点検員の資格化:2週間程度の講習と試験、更新時にも試験

・1981年のAmerica in Ruins Report

### America in Ruins by Pat Choate & Susan Walter, 1981

日本の現状はAmerica in Ruins  
が発表された1980年の米国より  
酷いのでは。  
その理由は、管理側、国民、  
いずれも認識が無いこと。



## America in ruinsに合わせたのFHWAの動き

- 1981年FHWA: 524,966橋のうち2/5が大幅な補修あるいは架け替えが必要。98,000橋は構造上の強度不足。橋梁の寿命は50年程度、アメリカの橋梁の3/4は使用開始後45年以上、1900年以前に竣工した25,000橋がいまだに使われている。1935年までは材料、設計、製作などの標準化はされていなかった。

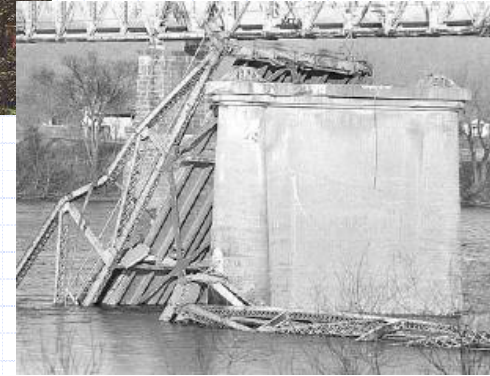
## Point-Pleasant Bridge



At 5:00 PM on December 15, 1967

Overload due to Christmas Rush

Brittle Fracture of Eye Bars



Brooklyn Bridge Open on May 24, 1883 (120 years)

## Cable breaks close Brooklyn Bridge walkway

NEW YORK, AP — Pedestrians and bicyclists were turned away from the Brooklyn Bridge yesterday when engineers tried to locate whether corrosion from pigeon droppings caused two cables to snap and fall, critically injuring one man.

“I want to make sure in my report that there is no other cable in this condition,” Harry Frank, deputy transportation commissioner, said at a news conference at the entrance to the suspension bridge.

After 84 days, it remained in critical condition yesterday with a fractured steel bolt-level, which was struck by the falling cables while walking across the 86-year-old bridge at about 8:30 p.m. Sunday.

The national landmark bridge, which connects Lower Manhattan to Brooklyn, was closed to traffic for nearly three hours after the cables broke.

Structural portions of the pedestrian handwalk were damaged, but the walkway may remain closed for several days while cables are repaired, it said.

The broken cables, 2 1/2 inches in diameter, were designed to keep the bridge from swaying in the wind and were not intended to taking up the weight.

Alto Liver, a spokesman for the transportation department, said the suspected problem, corrosion from droppings, did not turn up at a recent inspection of the bridge by a noted engineering firm.

The firm, Robinson, Grayson, Greenwald and Strickland, declined to comment on the matter after yesterday.

Police and engineers agree that pigeons roosting on the two towers of the bridge were at least a contributing factor in the accident.

“Throughout Manhattan, the droppings are mixed with garbage and discarded,” he said. “You see them gnawing everything out of the wood.”

The inspection was part of a \$100-million, 18-year rehabilitation of the bridge that began two months ago with the construction of new guards to protect the bridge’s towers against other passing boats.



Newsman checks walkway holes after two cables broke.

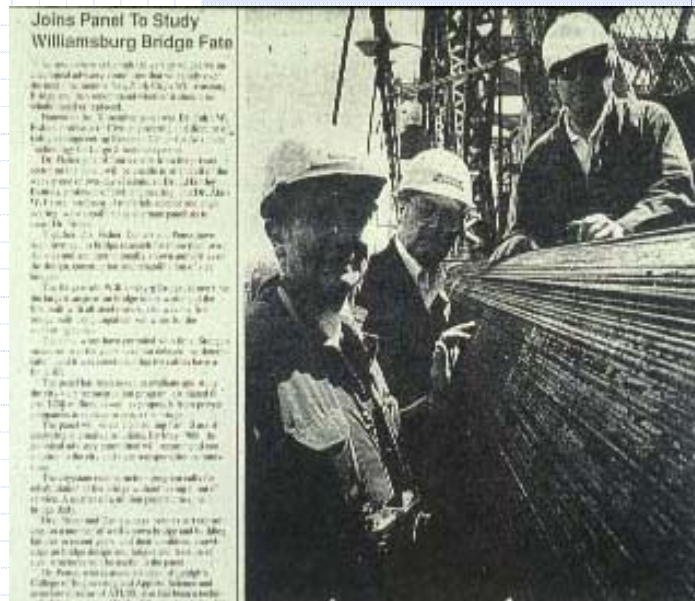
Williamsburg Bridge Open on December 19, 1903 (110 years)



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY



Williamsburg Bridge

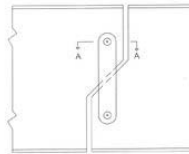
東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY





Mianus Bridge(米国)  
1983.6.28

- 伸縮装置からの漏水により、ゲルバー部の吊材のピンが腐食、疲労で破断し、落橋した
- コネチカット州の技術者が少なく、十分な点検を行えなかったことも原因と言われている
- 3名死亡



33 TOKYO CITY UNIVERSITY



写真-2 重量制限された橋<sup>1)</sup> (ペンシルベニア州)

道路1982-11、三木

東京都市大学 TOKYO CITY UNIVERSITY

I-35W over the Mississippi River  
ミネアポリス,USA、Aug. 1, 2007.  
6:00p.m.



08/03 12:39 SSMX public ScreenHunter

Open:1967  
8 lanes  
140000-  
200000/day

日米の橋梁 建設年の比較



### 3. 構造物の劣化 —事例に学ぶ

疲労を学ぶには事例研究が一番  
(奥村敏恵先生)

### 失敗、事故： 最も重要で価値のある経験

事故：リアルな事象であり、  
実物の実験ともいえる。

設計：供用期間中に生じる様々な出来事を予  
測する

そのために解析や実験を行う：

これらはシミュレーションであり、バーチャルな事象。

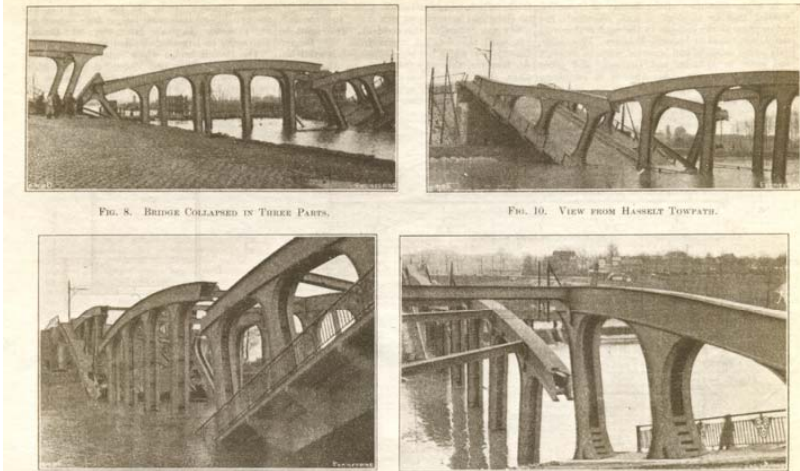
### 鋼橋に生じる疲労の原因

- 製作時に残された溶接欠陥
- 疲労強度の低いディテールの採用  
(含む：疲労設計をしていない)
- 設計では想定していない応力
- 設計では想定していない挙動

### (1). 製作時に残された欠陥

- 事故が起きるまで検出することは難しい。
- 事故後に類似の箇所について点検する。

Hasselt Bridge Mar. 14, 1938, 全溶接フィレンデル  
拘束度の高い突合せ溶接部(現場溶接)に残されていた溶接割れ  
からの脆性破壊——>溶接の品質管理



### 下フランジ板継溶接部の破断



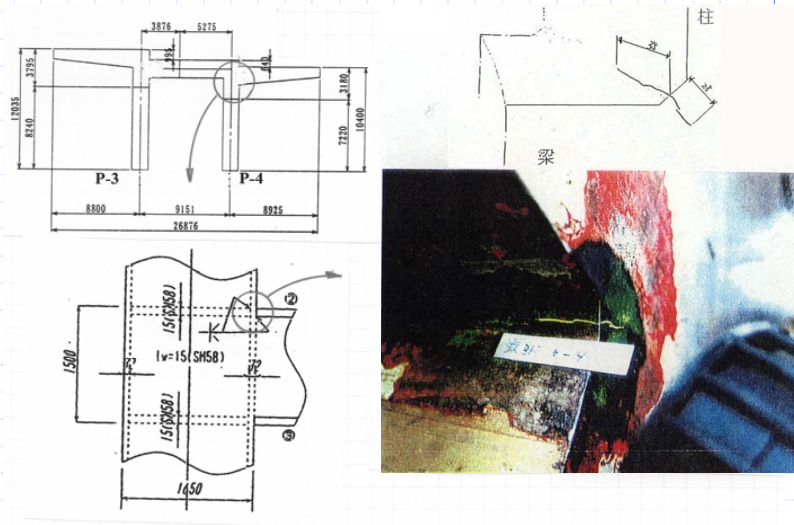
疲労破面: 未溶接部の存在(60%を超える)



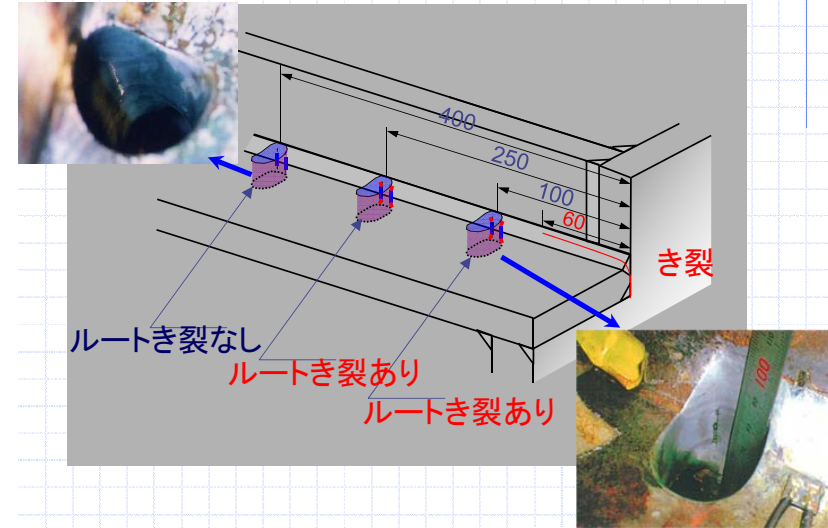
### 首都高速3号池尻ランプ



設計では完全溶け込み溶接：



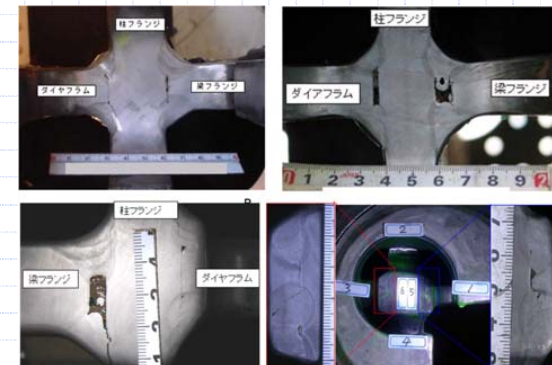
実際は未溶接部の存在：溶接ルート部からの疲労き裂



デルタゾーン(固有欠陥)の除去



首都高速には約2000基の鋼製橋脚  
そのうちの約700基に疲労亀裂  
原因は施工時の欠陥



(2). 疲労強度の低い継手ディテールの採用

- 鉄道橋: 古い設計標準での設計(例: 東海道新幹線)  
 橋梁は寿命が長いため、これは宿命ともいえる
- 道路橋: 疲労設計していないため、何があるか不明  
 これは怖い、予測できない

49

Importance of Size Effects



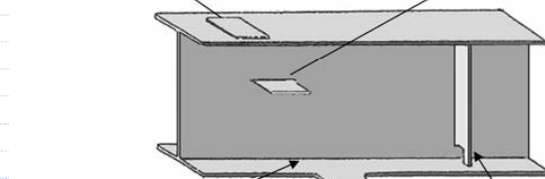
Welded joint specimen



Real scale floor beam of the Seto Bridge

鉄道橋設計標準。1960年と現在

Joint Type			Sleeper pad		
Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)	Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)
Old code '60	D	120	Old code '60	D	100
Current code '92	F	65	Current code '92	F	65



Joint Type			Out-plane gusset (t=20mm)		
Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)	Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)
Old code '60	B	150	Old code '60	D	100
Current code '92	C	125	Current code '92	F	65

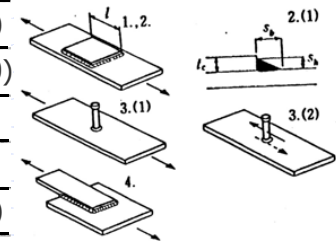
Joint Type			Longitudinal welding		
Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)	Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)
Old code '60	B	150	Old code '60	D	100
Current code '92	C	125	Current code '92	E	80

Joint Type			Cruciform weld		
Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)	Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)
Old code '60	B	150	Old code '60	D	100
Current code '92	C	125	Current code '92	E	80

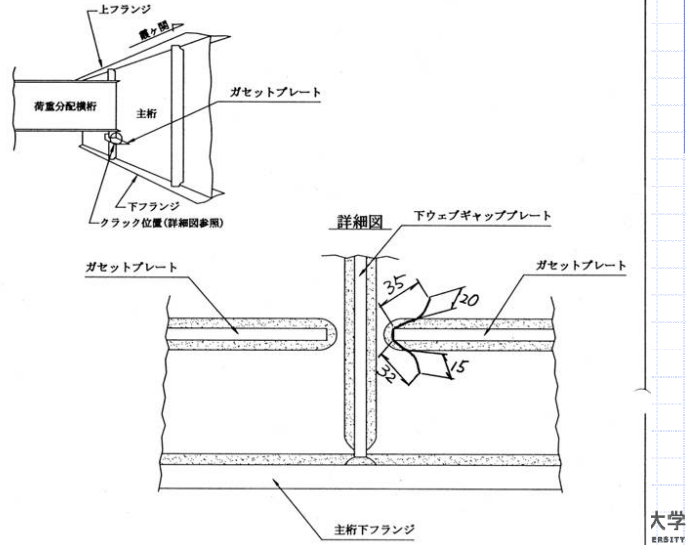
Joint Type			In-plane gusset (t=20mm)		
Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)	Code	Class	Fatigue strength at 2 million cycles (MPa)
Old code '60	C	126	Old code '60	D	100
Current code '92	F	65	Current code '92	F	65

疲労強度の低いディテール(鋼橋疲労設計指針(道路橋)では好ましくないディテールとして示している)

1. Joints with fillet welded cover plates (l<300mm)	(1)with finished weld toes	E(80)
	(2)as-welded	F(65)
2. Joints with fillet welded cover plates (l>300mm)	(1)with profiled end welds	D(100)
	(2)as-welded	G(50)
3. Welded studs	(1)at base plates	E(80)
	(2)at stud sections	S(80)
4. Lapped joints	(1)at base plates	H(40)
	(2)at splice plates	H(40)
	(3)at throat sections of end fillet welds	H(40)
	(4)at throat sections of side fillet welds	S(80)



疲労強度の低い継手の例:ガセット取り付け部



ガセット取り付け部

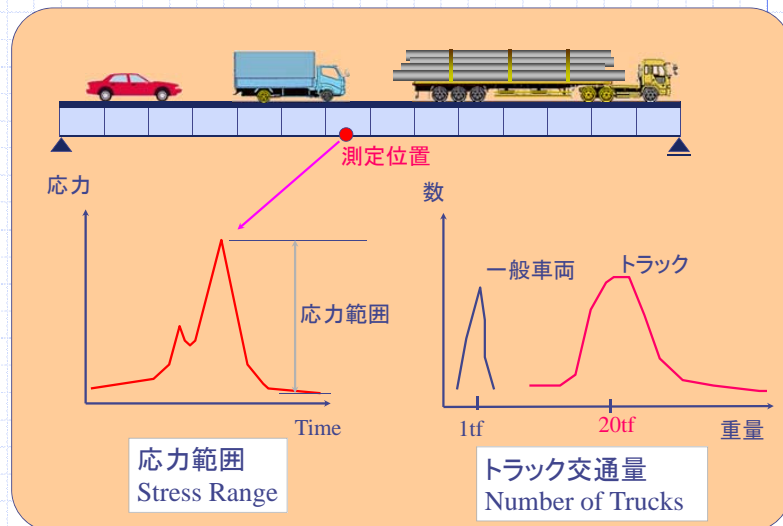


(3). 設計では想定しない応力の発生

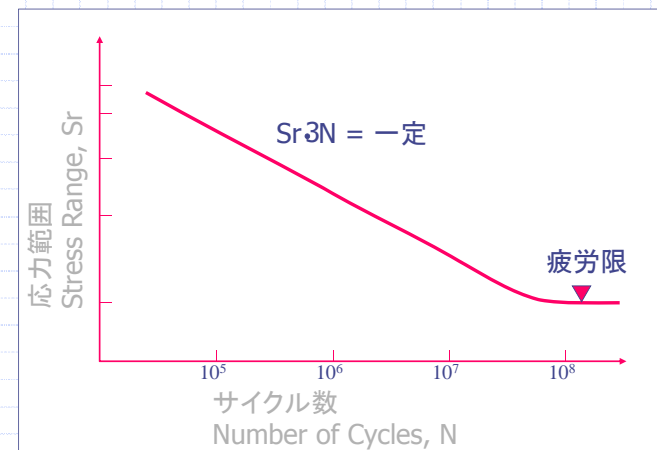
設計での構造単純化:はり理論  
設計での支持条件



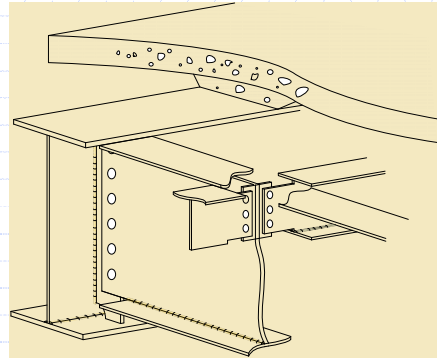
### 疲労における支配的因子



### 疲労の基礎知識 S-N線



部材間の連結部で設計での想定とは異なる変位モード: 変位誘起疲労



設計では連結部  
Main girders – floor beam  
Floor beams – stringers  
Stringers –deck

全て単純支持と仮定  
実際は  
ボルトや溶接で接合する  
→ 曲げやねじりモーメントの発生

61

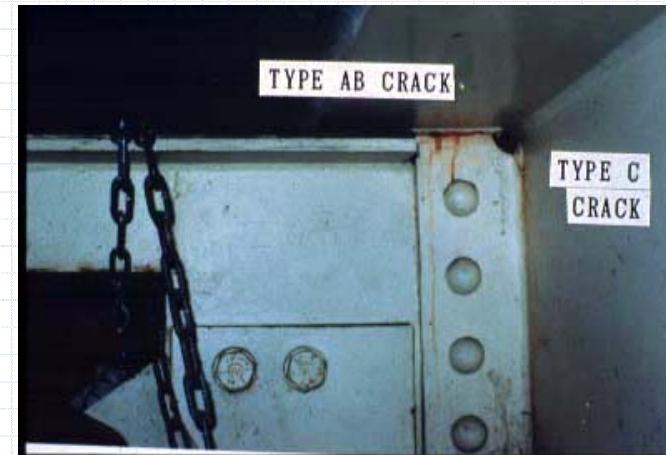


NHK 甲府提供

下路プレートガーダ、横桁-縦桁接合部(JR東, 中央線):  
亀裂面の調査より発生はかなり早いと判断される  
メンテナンス点検によってはこのような亀裂でも見落とされる



道路橋で  
最もポピュラーな  
疲労損傷







東名高速道路、上路トラス  
主構トラス上弦材と床トラスの接合部  
設計では単純支持。フランジ間をつなげた  
ディテールの橋もあり。亀裂の発生はなし。



## 鋼床版

設計計算ではいまだに帯板法？  
橋軸方向の公称応力のみ？

昔から疲労設計を行っていた

鋼床版：薄い板の組み合わせ  
直接自動車を支える部材  
一気にたくさんの疲労亀裂が発生する

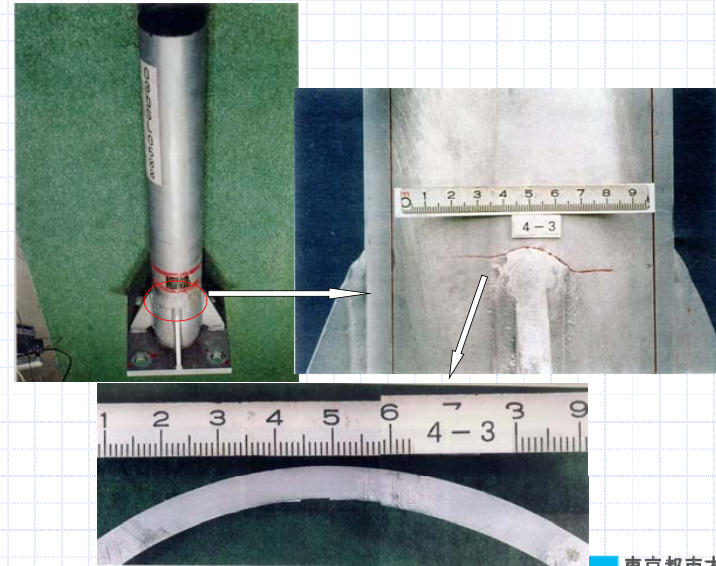


薄い板が複雑に交差する構造  
自動車による活荷重が直接作用  
板の複雑な挙動に起因する局部応力

疲労損傷  
急激に進行している



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY



標識支柱の破断



遅れ破壊

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

P.C. Girder Bridge  
with Outer Tendons

Stress corrosion cracks at the  
Anchor of tendon



Fracture of whole structure



腐食

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

### 木曾川大橋(鋼トラス橋)の斜材切断



### 腐食損傷から落橋へ至った事例

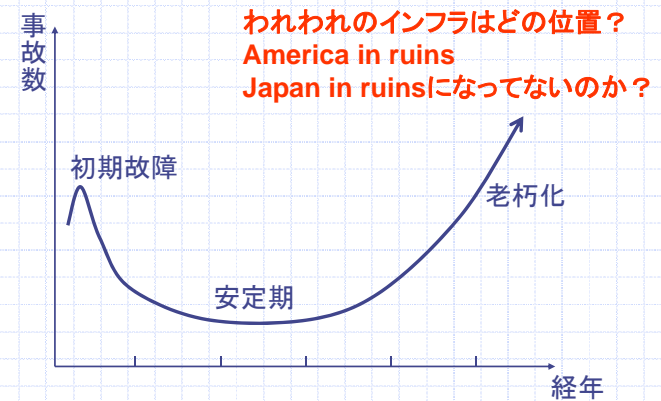


東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

## 4. 点検と診断が重要

東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

### バスタブカーブ



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

## 道路橋の点検と診断:実態はどうか

(山添橋、木曾川橋の事故がきっかけ)

国土交通省道路局国道・防災課→  
鋼橋疲労対策技術検討会

点検とそれに基づいた診断は適切に行われているか

直轄国道の事例分析などをもとに  
技術資料を作成

実務者のための鋼橋疲労対策技術資料  
平成24年3月

## 山添橋の疲労損傷

記者発表資料(平成19年12月6日)

### 疲労損傷の事例①

【資料-1】

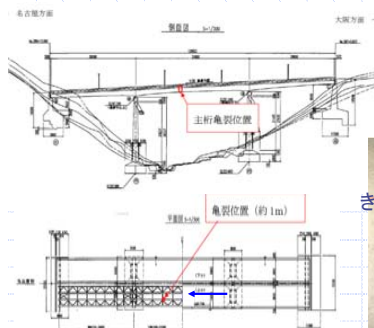
【一般国道25号(名阪国道)山添橋における損傷】



主桁ウェブと面外ガセットの継手 面外ガセットの継手

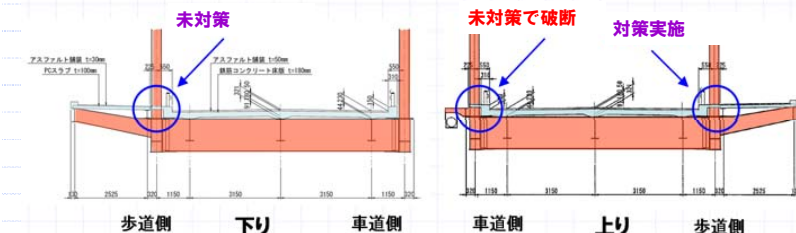
【H18.11.10 近畿地方整備局 記者発表資料より】

### 不適切な緊急応急(ストップホールのずれ)②

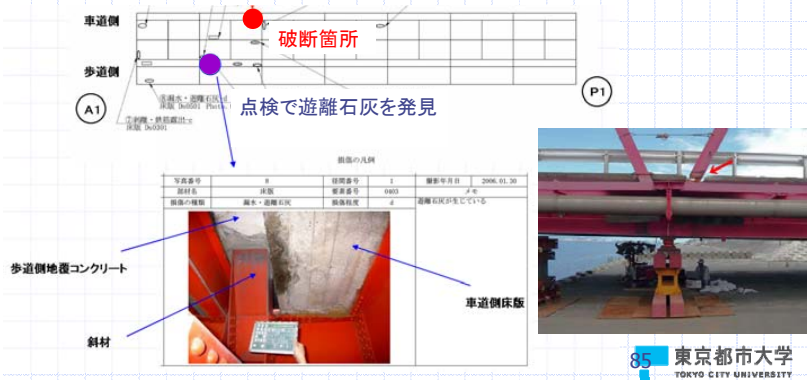


- 緊急対策として、添接板を設置し、き裂先端にストップホールが施工されているが、ストップホールがき裂先端からずれている
- ストップホールが添接板の外側に出ており、き裂先端の応力緩和効果が小さい。通常は添接板の中にき裂先端を入れる

- 破断の約8年前に他橋梁での同様な破断事例を受けて、滞水を防止するための開口対策を一部実施している
- 未対策箇所は、継続監視を行うことになっていたが、橋梁管理カルテに継続監視が記載されていなかったことなどにより、継続監視が行われていなかった



- 破断の約1年前に点検を行っており、破断箇所に近接できる状況であったが、腐食の兆候を発見できなかった
- 過去に損傷が発生し、補修を行ったことを点検員に伝達していれば、もっと入念に点検を行っていたかもしれない



## 点検、診断の現状

- 点検での見落とし
- 誤った診断
- どのようにしていくかが課題: 制度、資格、  
照査ができていないか  
医療でのセカンドオピニオン

## 点検と診断

- 点検と診断は異なる
- これまでの延長でできると思わないこと
- 実際の構造物の挙動は設計での想定とは全く異なる
- 構造、溶接、疲労、腐食などの十分な知識と現場の実績

医師での症例数と生存率

## 点検と診断技術の開発と高度化

メンテナンスサイクルすべての道路構造物を対象

1. 点検: 5年ごと、専門家による接近目視
2. 診断: 統一的尺度
3. 措置: アセットマネジメント、計画的修繕、  
修繕か更新か
4. 記録: 評価とみえる化

## 論点一:5年に一度の点検

米国などでは2年に一度、点検の有資格者による、接近目視。  
疲労の可能性が高い場合短縮。NYの大きな橋は毎年

点検周期の決め方  
疲労と破壊制御の分野では  
検知できるサイズになってから不安定破壊(脆性破壊)に至るまでの長さを基準にして  
その1/2、1/4、1/5、1/10など。構造物の重要度で決まる。見落としを想定。

東海道新幹線では8年に一度の塗装に合わせて総足場をかけ、詳細点検。その間は  
In-House E.による一般点検(毎年)

状況に合わせて周期の短縮する仕組みをつくる、  
モニタリングなどでその間をWatchするのも考えられる

## 論点一2:高い技術を有する者による点検と診断

### 点検のWho, When, Where, How。現状の反省に立って考える

- 点検技術者: 損傷に対しての知識に基づいた的確な検査。医療における検査技師
- 診断技術者: 損傷発生のメカニズムまで熟知していることー医療における総合医療。コンフェレンスが必須
- 措置の決定にはさらに詳しい専門医も必要
- いずれも現場経験が必須

いくつかの現場をこなしてきたか、その成功率は。

医療での症例数と生存率に対応

点検と診断の技術者の育成、資格制度を含め検討中  
集中が必要ではないだろうか。

## 点検技術者の養成(今年より開始)

- 管理側の技術者の養成
  - 国土交通省、地方公共団体
    - 初級 地域整備局単位で実施  
1週間
    - 中級 国土交通大学校で実施  
2週間
    - 上級 鋼構造、コンクリート構造

統一したテキストブック、試験の実施

## 5. 新しい技術に関心を持とう

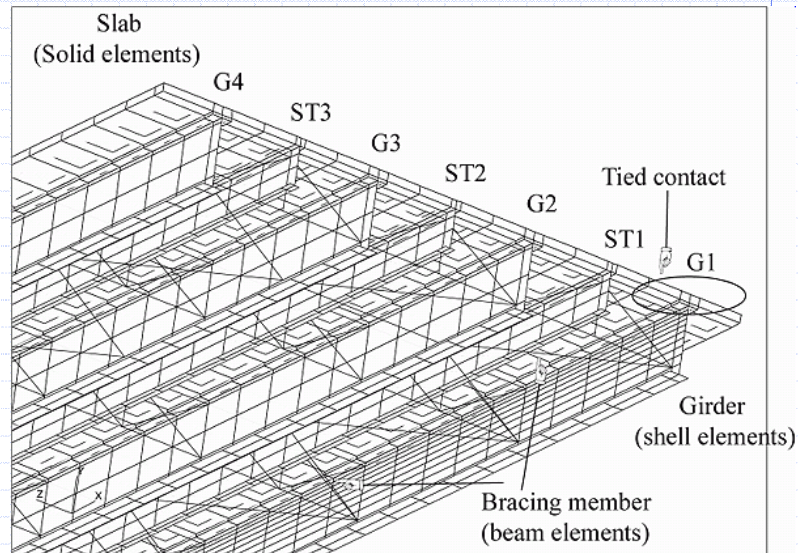
- 構造解析
  - FEM, 構造物の実挙動と合致すること
- 鋼材と溶接
- 非破壊検査
  - フェーズドアレイ超音波探傷
  - 渦電流
- センシングとモニタリング

### (1) 骨組み解析ベースの設計計算から決別しよう。

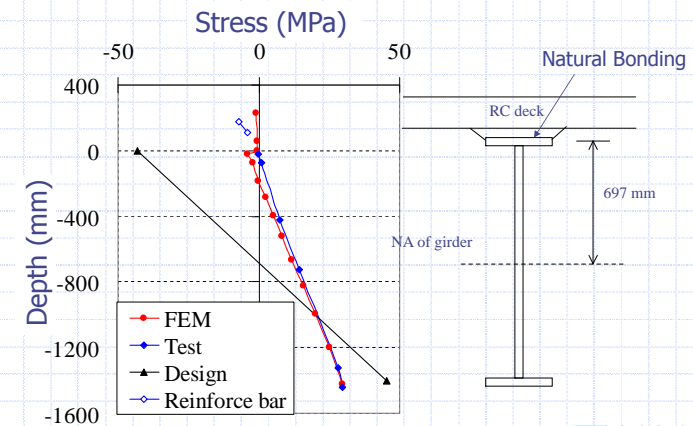
- 実応力比: 実測応力/設計計算応力(同一の荷重条件下)は0.5-
  - 残りはどこが負担しているのか? → 疲労の原因
  - 疲労を考える上では実際の応力が重要。
  - 特に疲労に対する補修・補強においては必須。
  - FEMでは容易に合うような解析が可能。
- これほど合わない計算をベースにモノを作り続けているのは橋だけでは?



もっと重い荷重(B活荷重のレベル)での試験  
土論NO. 627(2004) 東京都市大学

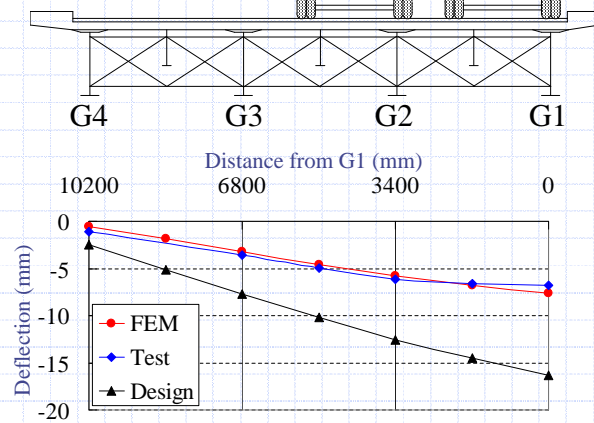


### スパン中央断面でのG1桁内の応力分布



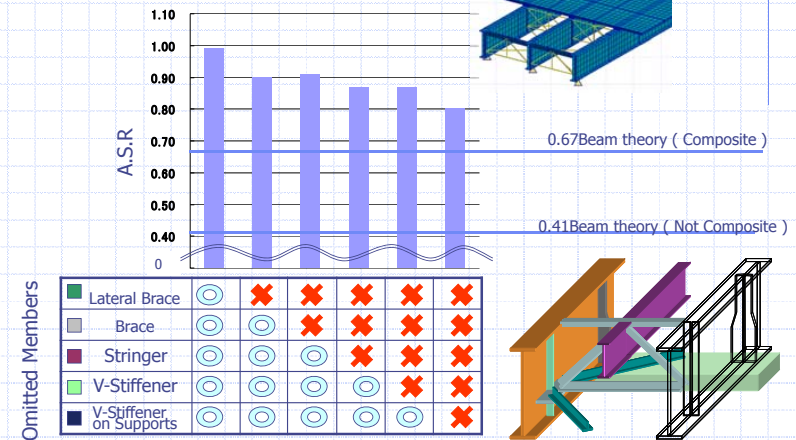


### スパン中央での各桁のたわみ



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

### 各部材の貢献度



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

### Boeing 777 Wing Test: 確証試験として実施される

安全率の上限と下限の設定が重要



### (2) 鋼材、溶接材料に関心を持つ

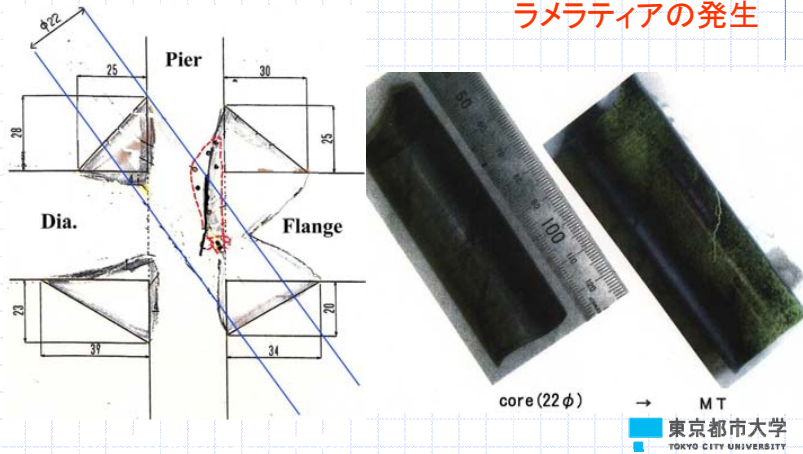
- 同じ規格の鋼材でも時代とともに変わっている。
- 強度はCVNを除いて大きな変化なし。
- 化学成分は1970年ころに大きな変化(清浄度の改善、特にS)
- 今の鋼材の感覚では溶接は出来ない。われの危険性が高い。

鋼構造論文集 (2005-9-2006) 東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

- 内側ダイヤフラムの溶接が終了した時点で溶接部に対して超音波検査。割れを発見。ただし割れは母材部。

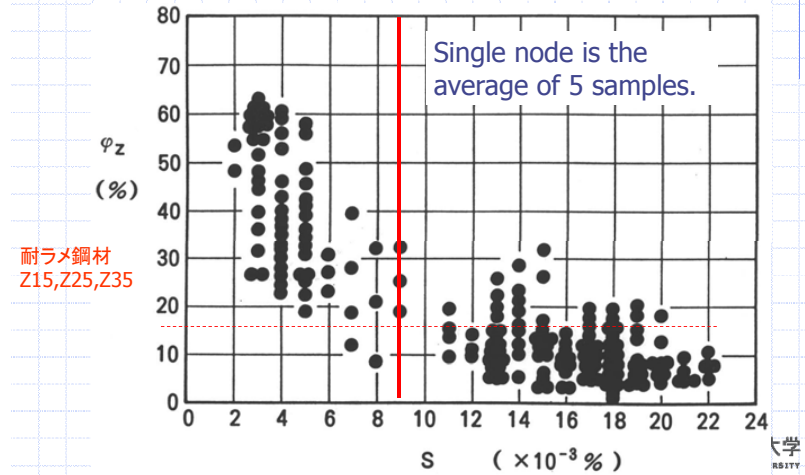
→コアの抜いての検査

ラメラティアの発生



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

Lamellar tearの発生は1960年代の重要な問題  
その発生については鋼材のz方向引張試験の絞り率RAZに強く関係し、それはSの量に関係する。



耐ラメ鋼材  
Z15,Z25,Z35

工学  
RSITY

### 鋼製橋脚から採取した鋼材の試験結果

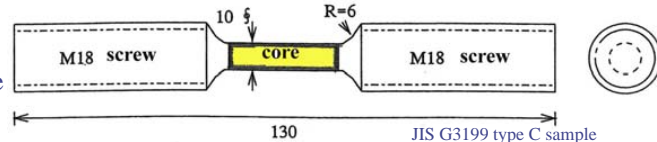
#### Chemical compositions

sample No.	chemical composition(mass %)											parameters	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Cr	Mo	V	Ceq	Pcm	
No.1	0.16	0.29	1.36	0.012	0.012	0.017	0.04	0.018	0.012	0.003	0.406	0.242	
No.2	0.17	0.29	1.36	0.012	0.01	0.017	0.04	0.018	0.012	0.003	0.416	0.252	
No.3	0.17	0.29	1.35	0.012	0.009	0.016	0.04	0.017	0.012	0.003	0.414	0.251	

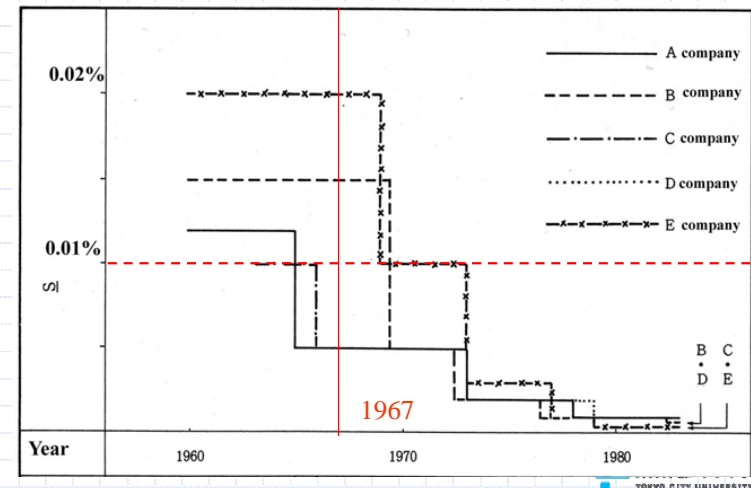
#### Z-direction tensile test result

sample No.	diameter (mm)	0.2% load		tensile stress		elongation (%)	RAZ (%)	break point
		Load(kN)	N/mm2	Load(kN)	N/mm2			
No.1a	9.99	26.81	342	27.89	356	3	0.2	connection
No.1b	9.99	28.34	362	39.78	508	12	8	A
No.1c	9.99	27.57	352	40.13	512	10	12	A
No.2a	10.00	26.49	337	39.41	502	18	20	A
No.2b	10.00	26.39	336	40.16	511	10	19	A
No.2c	9.99	24.92	318	36.84	470	6	10	A

Bolt hole core sample



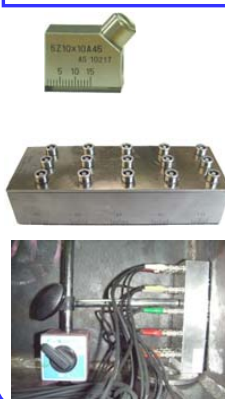

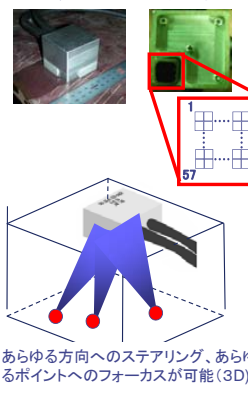

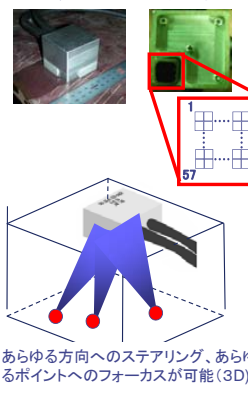

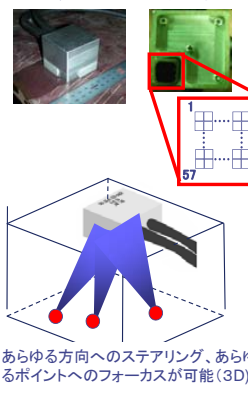
### 鋼材製造におけるS除去の能力の変遷



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY

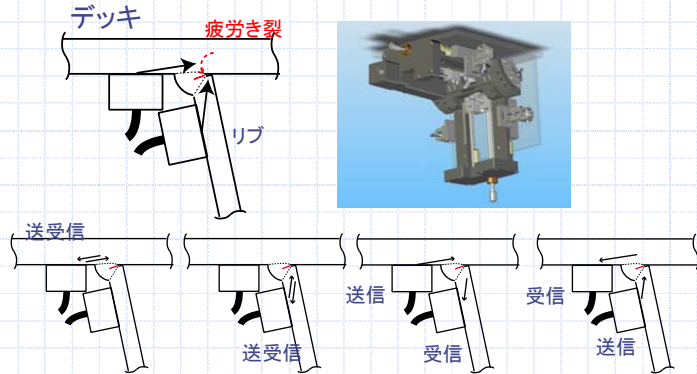
### (3) 非破壊検査

### 超音波フェーズドアレイ探傷

<p>斜角探触子と タンデムアレイ探触子</p> 	<p>フェーズドアレイ探触子</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="1456 303 1713 745"> <p>リニアフェーズドアレイ</p>  <p>平面内の任意の方向へのステアリング、任意のポイントへのフォーカスが可能(2D)</p> </td> <td data-bbox="1713 303 2004 745"> <p>プレーナーフェーズドアレイ</p>  <p>あらゆる方向へのステアリング、あらゆるポイントへのフォーカスが可能(3D)</p> </td> </tr> </table>		<p>リニアフェーズドアレイ</p>  <p>平面内の任意の方向へのステアリング、任意のポイントへのフォーカスが可能(2D)</p>	<p>プレーナーフェーズドアレイ</p>  <p>あらゆる方向へのステアリング、あらゆるポイントへのフォーカスが可能(3D)</p>
<p>リニアフェーズドアレイ</p>  <p>平面内の任意の方向へのステアリング、任意のポイントへのフォーカスが可能(2D)</p>	<p>プレーナーフェーズドアレイ</p>  <p>あらゆる方向へのステアリング、あらゆるポイントへのフォーカスが可能(3D)</p>			

### 鋼床版の疲労亀裂の検出

リブ面からの探傷  
デッキとリブ面からの探傷の組み合わせ

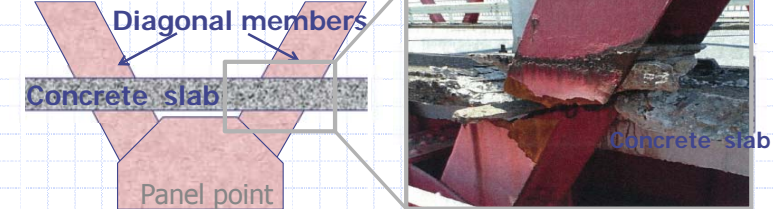


送受信, ピッチキャッチで4つの組み合わせ

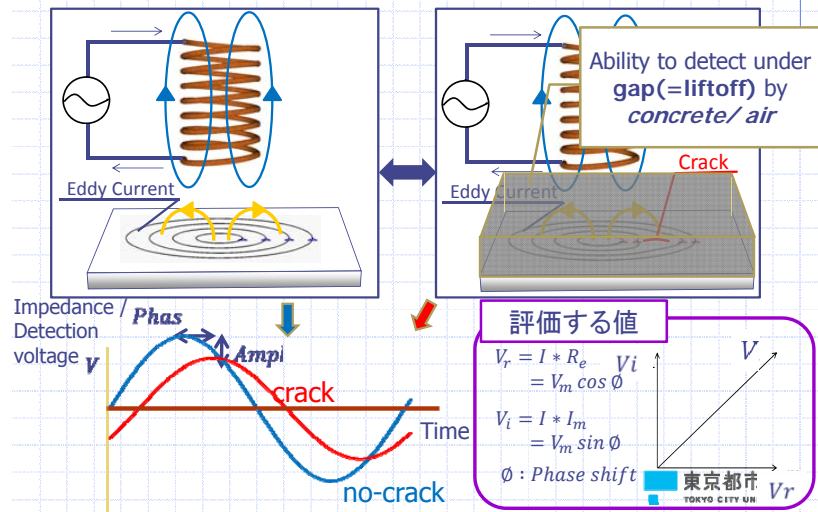
### 渦流探傷の適用: 目視困難部位

#### 例: 鋼コンクリート埋込部の非破壊検査

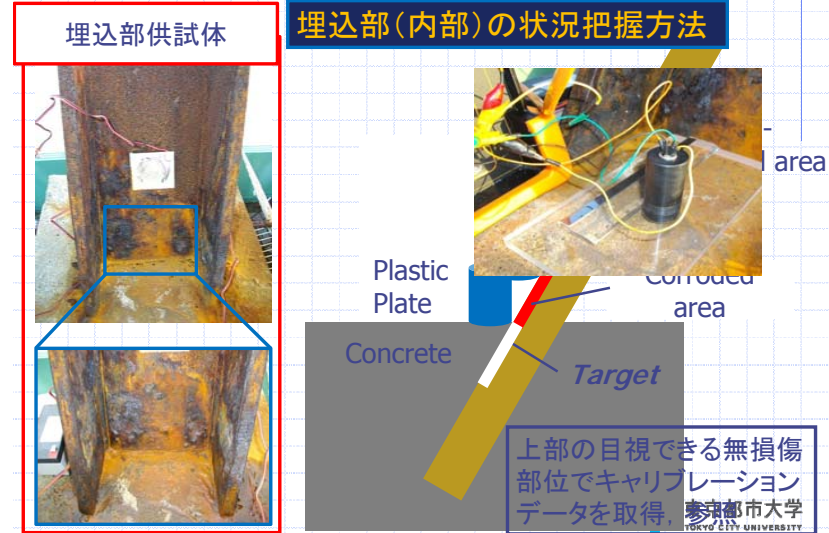
- 木曽川大橋



### 渦流探傷システム



### コンクリート埋込部の探傷



### (4) モニタリング: Smart bridge

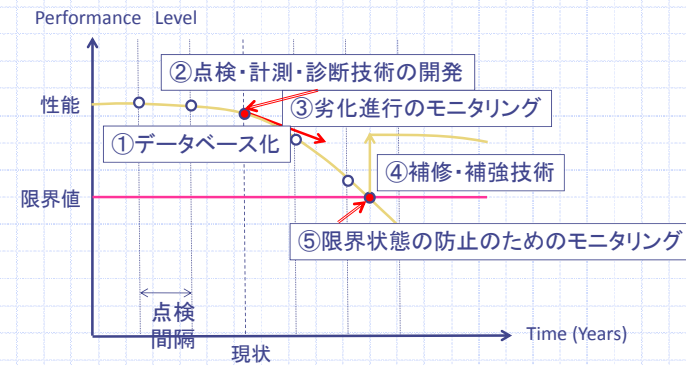
橋に神経と脳を取り付け、傷を受けたら自分で痛いという。

(中村英夫先生)

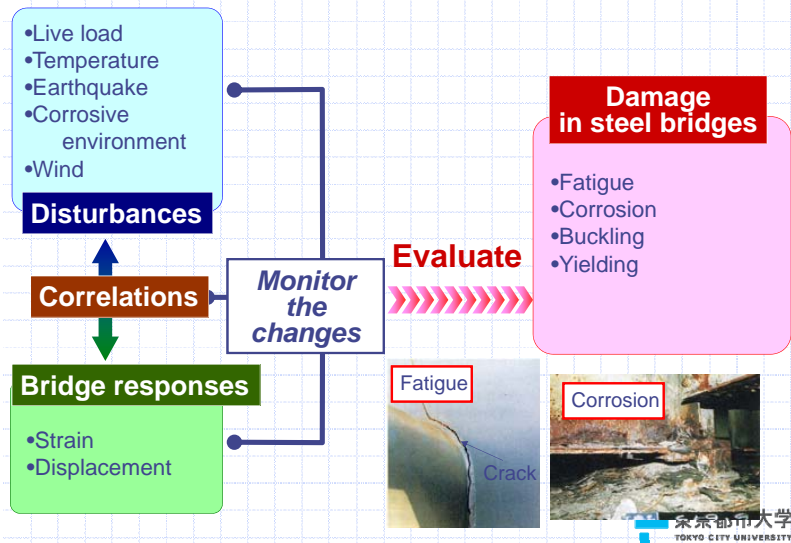
Self detection, self Diagnosis

Monitoring

### 研究、技術開発



### 橋梁モニタリングの対象



### 光通信網【情報BOX】を利用した 橋梁の健全度長期遠隔モニタリング:2001-



リアルタイム自動測定・自動転送

ひずみ, たわみ, 変位,  
温度, 腐食電流

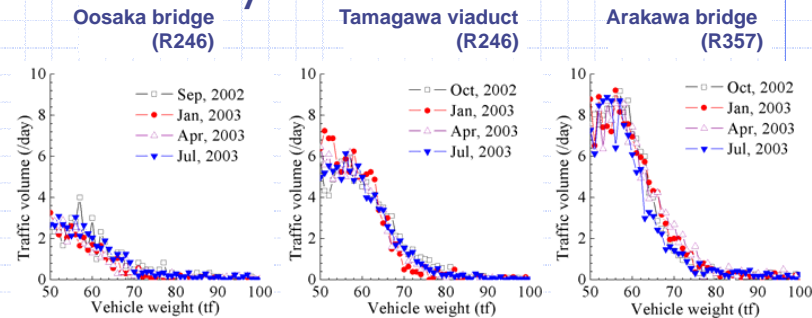
リアルタイムデータ処理

温度寄与分と  
荷重寄与分の分離

Weigh-in-Motion  
温度変形挙動など



### Extremely Heavy Trucks



Considerable number of the trucks over 50 tf  
went through the target roads



### センサー、通信のすべてを光ファイバーで構成・実証実験(2006-

橋梁の状態を瞬時・継続的にモニタリングする仕組みの開発

**共同研究の目的**

- 地震発生時における被害状況の迅速な把握の実現
- 平常時における橋梁異常の早期発見の実現
- 疲労損傷予測に必要な重量車両の継続的把握の実現

**実験システムの特徴**

- 複数種のセンサからリアルタイムでデータを集約し、被害情報を表示
- 重量車両の通行状況を常時収集し、統計情報として提供

実験橋梁(渋谷3号線)

H20年2月より  
新宿4号線(西参道)  
中央環状線(葛西)を追加

**情報センタ(大手町)**

桁監視・車重算出サーバ  
記録装置

**首都高本社(虎ノ門)**

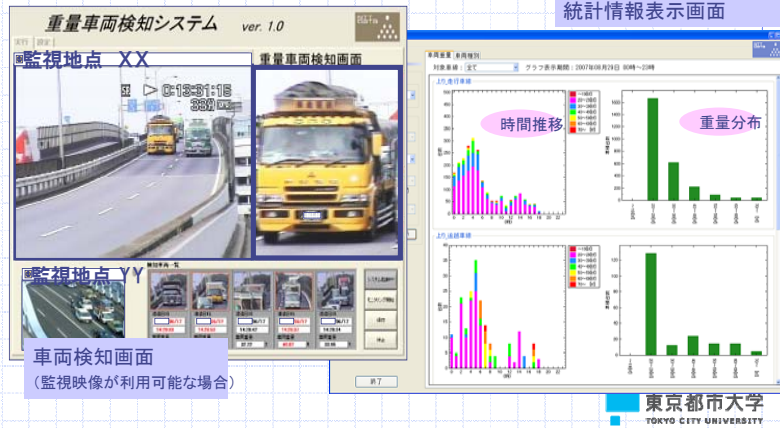
桁監視情報  
重量車両情報

道路図 (a) 首都高速道路網

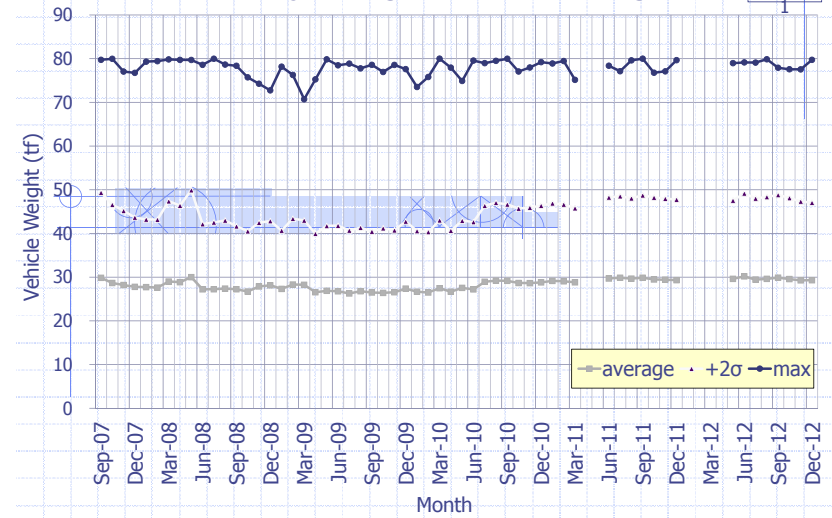
FBG変位計  
FBG傾斜計  
FBG加速度計  
BOTDR断線検知計  
FBG歪み計  
監視カメラ(既設)

### 統計情報（通過車両重量情報）

- ・ひずみデータから通過直後に車重を算出し重量車両のみをリストアップ
- ・統計情報として路線毎に長期的傾向を把握可能

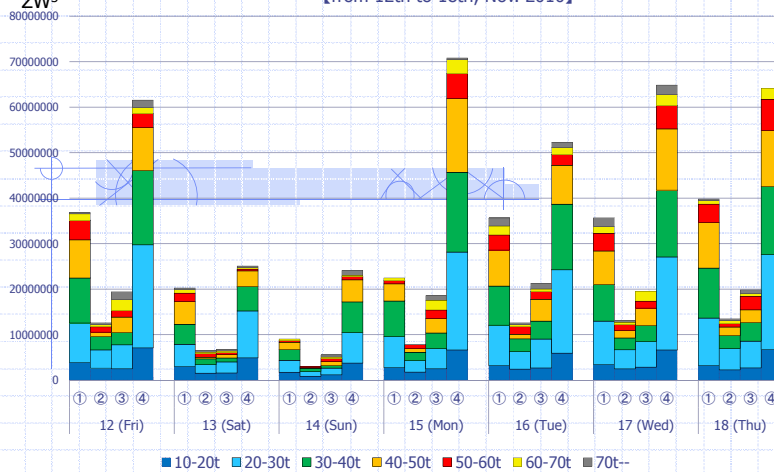


### Monthly Changes of Vehicle Weight



### Sum of Cubed Numbers of Passing Vehicles in Each Lane

[from 12th to 18th, Nov. 2010]

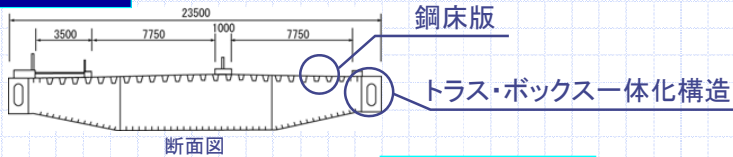


### 東京ゲートブリッジへの適用 従来の動態観測をモニタリングへ

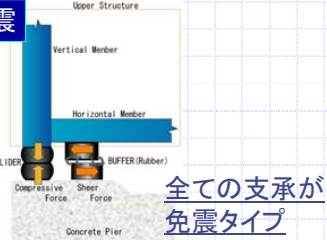


### 橋梁の特徴

重量の抑制

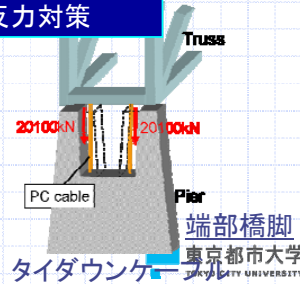


免震

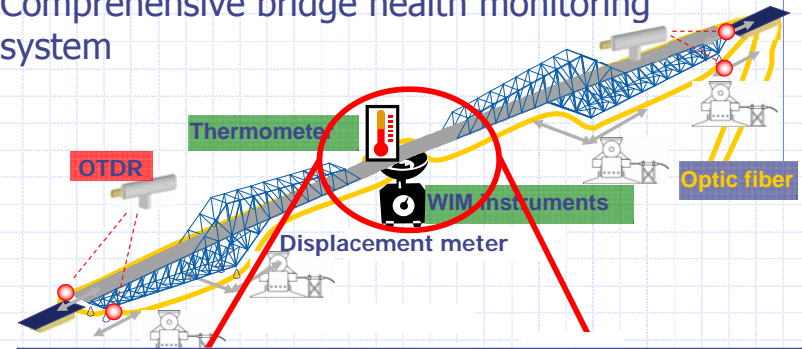


機能分離型免震支承

負反力対策



### Comprehensive bridge health monitoring system



	OTDR (8)	Displ. meter (16)	Optic fiber(whole)
Monitoring item	A side block of the bearing	Displacement of the bearing	Structural failure
Evaluation items	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bearing failure</li> <li>(Lateral bracing)</li> <li>Level difference</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bearing performance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Large deformation</li> <li>Bridge fall</li> </ul>



東京都市大学  
TOKYO CITY UNIVERSITY



図4 面パターンで異常を捉える  
NMEMS技術研究機構は、従来方法では捉えられなかった劣化情報を面パターンでセンシングすることで取得する取り組みを始めた(a)。センサーのID情報を送信することで、異常箇所を把握する(b)。(図：NMEMS技術研究機構の資料を基に本誌が作成)

これは実現可能か？

NIKKEI ELECTRONICS 2013.8.5

## おわりに

目指すメンテナンス(予防保全型)とは  
ミニマムなコストで安全・安心・快適な社会資本の確保。  
全ての橋梁をプラス100年、使えるように。  
**技術革新によりそれは可能。**

