

# 第1部 仕事は面白い？

## 第2部 橋の維持管理

神戸大学 名誉教授  
川谷 充郎



# 第1部 仕事は面白い？

研究は「面白いかどうか」の観点で進めてきたが、仕事も同様？

1. なぜ大学教員への途を選んだのか
2. 博士論文テーマの選択
3. 研究は面白いのか
4. 仕事で面白いことは何か

## 1. なぜ大学教員への途を選んだのか

大学4年(1971年)、大学院2年(1973年)当時、進路選択に際して、就職先情報は今ほど豊富では無かった。

さらに、3年次夏期の学外実習中止

←大学紛争の影響で、夏休み半分

身近な研究室の助手・博士課程の方々の日常が面白そう！



東京大学安田講堂攻防戦 3

## 2. 博士論文テーマの選択

大学教員にとって博士学位論文は免状

「斜張橋の衝撃係数だけでは学位論文としての広がりにつなげることが出来ず、模索の時間が続いた。」(「私の橋歴書」より)

恩師 小松定夫 先生から「斜張橋の衝撃係数」で博士論文をまとめるように言われた。

→「斜張橋の衝撃係数」では面白くないので、他のテーマを考えたいと応えた。

→非常連成不規則振動解析法の開発

## 衝撃係数:

自動車荷重が走行することにより、橋梁が振動し、荷重が静的に作用する場合より発生応力・変位が大きくなることを、設計で考慮するための割増係数

$$i = 20 / (50 + L)$$

L: 支間長

- ① 日本 鋼橋.....  $\frac{20}{50+L}$
- ② 日本 プレストレストコンクリート橋.....  $\frac{10}{25+L}$
- ③ 日本 鉄筋コンクリート橋.....  $\frac{7}{20+L}$
- ④ アメリカ (AASHTO) 鋼橋・コンクリート橋.....  $\frac{50}{125+3.3L}$  (ただし 0.3以下)
- ⑤ ドイツ (DIN 1072) 鋼橋・コンクリート橋.....  $0.4 - 0.09L$
- ⑥ フランス (Fascicule Special 60-17bis) 鋼橋・コンクリート橋.....  $\frac{0.4}{1+0.2L} + \frac{0.6}{1+4\frac{L}{P}}$  (ただし L: 径深比, P: 橋荷重)

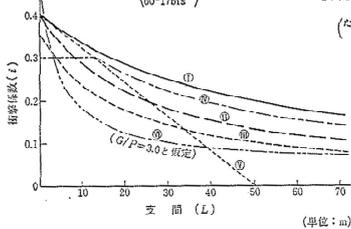


図 1.8.11 各国の衝撃係数

道路橋示方書より

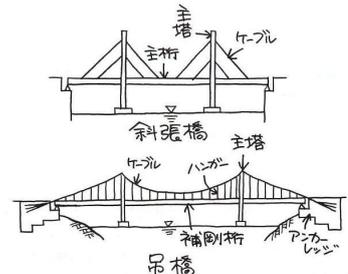
## 斜張橋の衝撃係数

道路橋示方書の規定

$$i = 20 / (50 + L)$$

L: 支間長

主桁: 連続桁に準じる  
ケーブル: 連続桁の支点に準じる  
(ケーブル定着点は弾性支持)



### “斜張橋の衝撃係数”では何が面白くないのか

- ① 斜張橋は構造パラメータが多い(ケーブルの段数・張り方、塔の形状・支持形式など)  
→それらのパラメータ解析をするだけ?
- ② 設計衝撃係数が多少変化しても、構造物の崩壊にほとんど関係しない。

### 博士論文の核: 非定常連成不規則振動解析法の開発

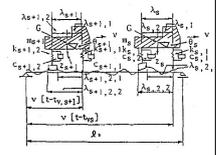
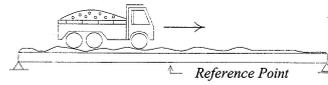
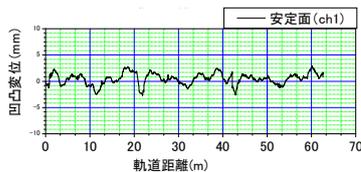


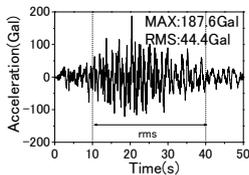
Fig. 1 Analytical models of a bridge and moving vehicles system

- 連成振動: 橋梁と車両 (振動系)
- 非定常不規則振動: 確率特性が時間と共に変動

橋梁交通振動は不規則な路面凹凸 (定常確率過程) 上を車両が移動するため、非定常振動となる。



定常確率過程の例 (路面凹凸: モノレール桁)



非定常確率過程の例 (L1 G3設計地震動)

### 1 自由度振動系の非定常不規則振動解析

確率論的手法による構造解析

¥1,500

昭和48年3月25日 第1刷発行  
昭和52年12月10日 第3刷発行

著者 星谷 勝

発行者 河相 全次郎

発行所 東京府沼津市 鹿島出版会  
Tel (582) 2251 沼津営業6-140633

方法の如何を問わず、全部もしくは一部の複製・転載を禁ず。  
著者・発行者にお断りいたします。

第一刷発行 1973年 4月20日

Printed in Japan

著者略歴

星谷 勝 (ほしや かつ)

1927年 昭和12年10月東京に生れる  
東京大学工学部を卒業、昭和38年土木工学科卒業  
昭和38年 日立造船株式会社入社  
昭和41年 米田システムエンジニアリング株式会社入社  
昭和44年 米田システムエンジニアリング株式会社入社  
昭和44年 米田システムエンジニアリング株式会社入社  
現在 武蔵工業大学工学部土木工学科助教授  
昭和46年 土木学会論文誌編集委員  
専攻 構造工学  
現住所 神奈川県厚木市八幡452

(平成20年)

理学部数学科図書館(豊中学舎)で確率過程論の論文集検索  
確率過程論はソ連で盛ん: ロシア語論文の英訳版が横に並んでいた

### 非定常連成不規則振動解析の理論

Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.5, No.2, 285s-292s, October 1988  
Japan Society of Civil Engineers (Proc. of JSCE No.388/I-10)

#### NONSTATIONARY RANDOM RESPONSE OF HIGHWAY BRIDGES UNDER A SERIES OF MOVING VEHICLES

By Mitsuo KAWATANI\* and Sadao KOMATSU\*\*

\* Member of JSCE, M. Eng., Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Osaka University (2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka 565)  
\*\* Member of JSCE, Dr. Eng., Professor, Department of Civil Engineering, Osaka Sangyo University (Emeritus Professor, Osaka University) (3-1-1, Nakagaito, Daitou, Osaka 574)

本理論は1979年に出来た→博士学位は1988年  
その間、何をしていた: 1980年度に工学部風洞が完成して風洞実験に携わる  
1985年度コロンビア大学留学: 信頼性設計論

### 3. 研究は面白いのか: 研究分野

#### (1) 橋梁交通振動

- 1) 走行荷重による動的応答特性の評価(設計衝撃係数)
  - a. シミュレーション解析: 現地実測結果と比較検証
  - b. 非定常不規則振動
- 2) 交通振動のアクティブ制御
- 3) 振動使用性の評価
- 4) 地震と車両との連成振動
- 5) 環境振動影響
  - a. 道路橋: 低周波音 (低周波空気振動)
  - b. 新幹線高架橋: 地盤振動
- 6) 振動ヘルスマニタリング
  - a. 長期モニタリング (大まかな診断)
  - b. 短期モニタリング (損傷・その程度まで)
  - c. 無線センサーノードの開発
  - d. 走行車両動的応答による橋梁固有振動数の抽出

#### (2) 風工学→本州四国連絡橋公団 耐風委員会

自然風乱流中における長大橋の耐風安定性

#### (3) 信頼性設計→ JSCE構造工学委員会 安全性連絡小委員会

限界状態確率の基づく荷重係数

#### 4. 仕事で面白いことは何か

### 黒澤 明 監督「生きる」

1952年 【出演】志村 喬、小田切みき、伊藤雄之助、金子信雄 他

余命いくばくもない男がこれまでの無意味な人生を悔い、最後に市民のための小さな公園を建てて残りの人生を完全燃焼させる姿を描いたヒューマンドラマの傑作。

市役所勤めの渡辺は、ある日自分がガンで余命いくばくもない事を知る。それまで自分が首までつかっていた**事なかれ主義**に疑問を抱き、**市役所に提出される申請書に初めて真剣に目を通して**みると、市民からの様々な陳情書が・・・責任を回避する官僚主義への批判や、人生の価値に対する哲学が表現されるとともに、主演の志村喬の鬼気迫る演技が印象的。(後略)

## 第2部 橋の維持管理

1. 橋の崩壊・損傷事例
2. 「荒廃するアメリカ」
3. 「荒廃する日本」にしないために
4. 振動ヘルスマニタリング

### 関連委員会など

- ・国土交通省近畿地方整備局 橋梁ドクター
- ・NPO法人 関西橋梁維持管理-大学コンソーシアム 副理事長  
橋梁点検実務者講習・研修の主催
- ・土木学会関西支部  
「モニタリング技術と融合した橋梁マネジメントに関する調査研究会」委員

### 1. 橋の崩壊・損傷事例



**Hoan Bridge**  
Part of the I-794 Lake Freeway in downtown Milwaukee.  
Constructed from 1970 through 1972 (though it opened to traffic in 1977)

[http://www.wisconsinhighways.org/indepth/hoan\\_bridge.html](http://www.wisconsinhighways.org/indepth/hoan_bridge.html)

December 13, 2000  
Images of the Hoan Bridge showing the cracked span (top) and the sagging segment from a distance (bottom), courtesy of the Northwestern University, Infrastructure Technology Institute.

### Overpass collapse in Canada



**1 October 2006**  
**5 people were killed and 6 people were injured in overpass collapse near Montreal, Canada.**

<http://www.msnbc.msn.com/id/13401565/>

### Interstate Highway 35W Collapse, USA



1 Aug. 2007  
13 people were killed.



Type: Steel Arch Deck Truss Bridge  
Built: Opened 1967.  
Daily traffic count: 140,000  
Location: over the Mississippi River in Minneapolis.

Length: 1,907 feet  
Longest length span: 458 feet arch  
Width: 108 feet (8 lanes)  
Height above river: 64 feet  
River width below bridge: 390 feet

Minnesota Daily: <http://www.mndaily.com/articles/2007/08/01/72163112>

### 「点検せず」7県 1567市町村

国土交通省が発表した調査結果によると、全国1567市町村のうち、橋梁の点検を怠ったと指摘されたのは7都府県に及ぶ。国土交通省は、橋梁の点検を怠った市町村に対して、改善を促している。国土交通省は、橋梁の点検を怠った市町村に対して、改善を促している。国土交通省は、橋梁の点検を怠った市町村に対して、改善を促している。

我国の事例1



http://www.weblio.jp/content/木曾川大橋

三重県内国道23号, 木曾川大橋

2007年6月

H形鋼のトラスの斜材が1カ所で破断、その後の緊急点検で、腐食している斜材がほかにもあることが判明。



同年8月に本荘大橋で同様の事故発生



我国の事例2

支間長44.3mの曲線桁橋の照明柱が激しく揺れていることから、負反力の作用する支承において上支承と下フランジを固定するセットボルト4本中2本の破断を確認。  
「毎日の車両パトロールでは発見出来ず。」



2. 「荒廃するアメリカ」 America in Ruins

～1980年代の「荒廃するアメリカ」①～

シルバー橋の落橋

1967年12月5日、米国ウェストバージニア州とオハイオ州を結ぶSilver Bridge (シルバー橋) が突然崩壊しました。シルバー橋の崩壊を契機に、米国は橋梁の維持管理に積極的に取り組むようになりました。

シルバー橋の落橋を報じる当時の新聞記事



出典: Fond du Lac Commonwealth Reporter(1967年12月)



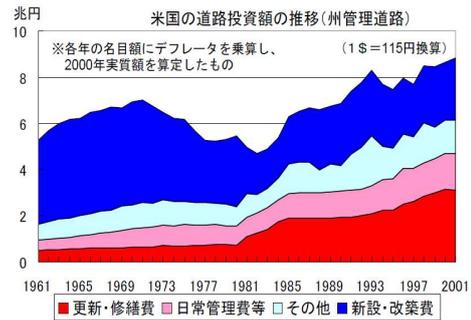
シルバー橋があるウエスト・ヴァージニア州



出典: Charleston Daily Mail

1980年代初めまで据え置かれた更新・修繕費

しかしながら、ガソリン税率は1950年代から1982年まで4¢ / ガロンに据え置かれ、道路に十分な予算が投入されず、全米各地で橋梁や舗装の劣化が問題となりました。



1980年代の「荒廃するアメリカ」

1983年には、コネチカット州にあるマイアナス橋が、鋼桁の疲労ひび割れが原因で崩壊しました。この事故により、日交通量約90,000台が通行していた州際道路は直ちに閉鎖され、米国北東部の経済が数ヶ月間、混乱しました。

マイアナス橋の落橋



マイアナス橋があるコネチカット州

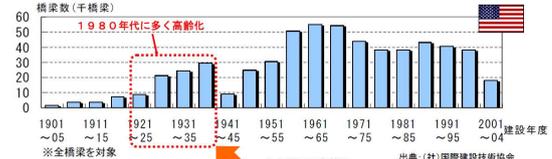


出典: Federal Highway Administration HP

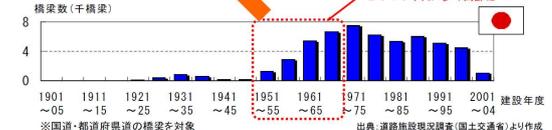
「America in Ruins (荒廃するアメリカ)」の共著者であるパット・チャート博士は、自著「BAD ROADS (悪路)」の中で、「道路の利用価値を低下させれば、アメリカ経済のパイタリテやアメリカ国民の生活水準も低下し、さらにはアメリカの国防態勢をも危うくすることになる」と道路の荒廃が及ぼす経済への悪影響を指摘しました。

アメリカと日本の比較

【米国の橋梁の建設年】



【日本の橋梁の建設年】



出典: 有識者会議

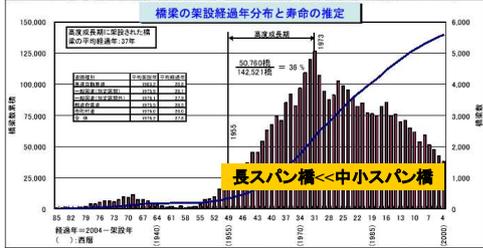
### 3. 「荒廃する日本」にしないために



#### 既設橋梁の高齢化

##### 橋梁経過年分布(今後高齢化する橋梁が増大)

- 高度成長期(1955~1973年)に架設された橋梁は、全橋梁の36%(平均経過年:37年)
- 橋梁の平均経過年は、高速自動車国道は21年、高速自動車国道以外は28~29年



### コンクリート橋における損傷



### 鋼橋における損傷



### 社会資本メンテナンス元年:平成25年(2013)

#### 笹子トンネル天井板落下事故(平成24年12月2日)

中央自動車道上り線笹子トンネルで天井板のコンクリート板が約130mの区間にわたって落下し、走行中の車複数台が巻き込まれて9名が死亡した事故

↓  
平成25年の道路法改正等を受け平成26年7月より、道路管理者は、全ての橋梁、トンネル等について、5年に1度、近接目視で点検を行い、点検結果として、健全性を4段階に診断する

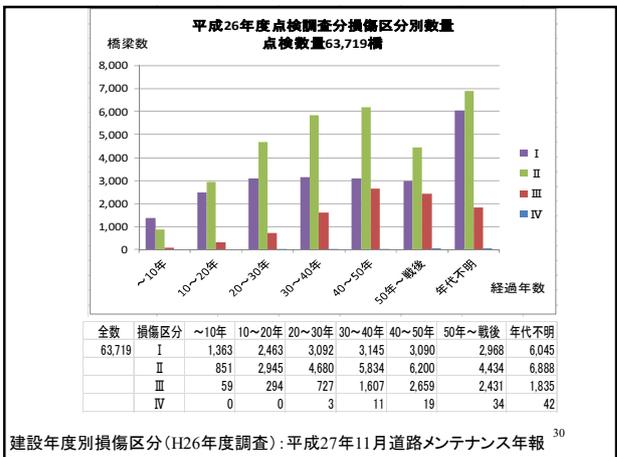
### 健全性の診断

区分

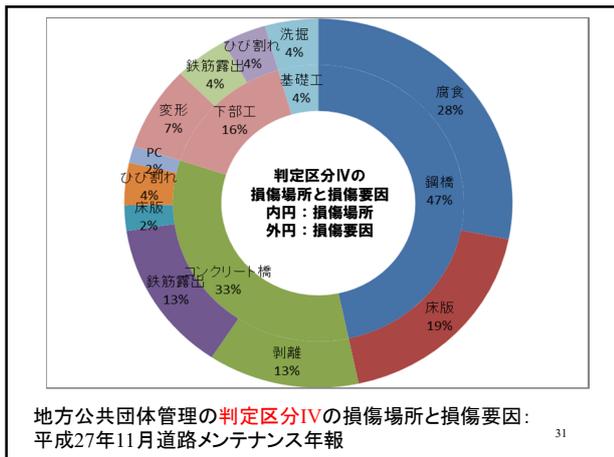
状態

- I 健全: 構造物の機能に支障が生じていない状態。
- II 予防保全段階: 構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
- III 早期措置段階: 構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
- IV 緊急措置段階: 構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

29



建設年度別損傷区分(H26年度調査):平成27年11月道路メンテナンス年報<sup>30</sup>



### 4. 振動ヘルスマモニタリング

#### 橋梁の交通振動

- 橋梁に対し抑えるべき現象
- 近年には橋梁周辺環境に対する影響も問題(環境振動)

動的応答・疲労

I can't bear it!!

### 橋梁損傷の対策

- まず損傷を探し出すのが重要(簡単ではない)
- 橋梁ヘルスマモニタリング(BHM)：  
橋梁構造物の健全度推定
- 迅速にモニタリングが可能であれば・・・

橋梁構造物の迅速な点検を可能にするため「走行しながら橋梁の損傷を推定する」

Dr. Yellow

### 橋梁の交通振動

- 橋梁維持管理の観点：  
ヘルスマモニタリングへの交通振動データの利用

Sensor for vehicle vibration

Sensor for bridge vibration

INSPECTION CAR

1. Actuating bridges
2. Data acquisition
3. Signal processing
4. Assess current bridge condition

INSPECTION CAR:  
Data Acquisition; Actuating bridges

Entrance of an observation bridge