

第2章 特別講演

社会資本ストックの維持管理にどう立ち向かうか

東京都市大学副学長・総合研究所教授

三木 千壽

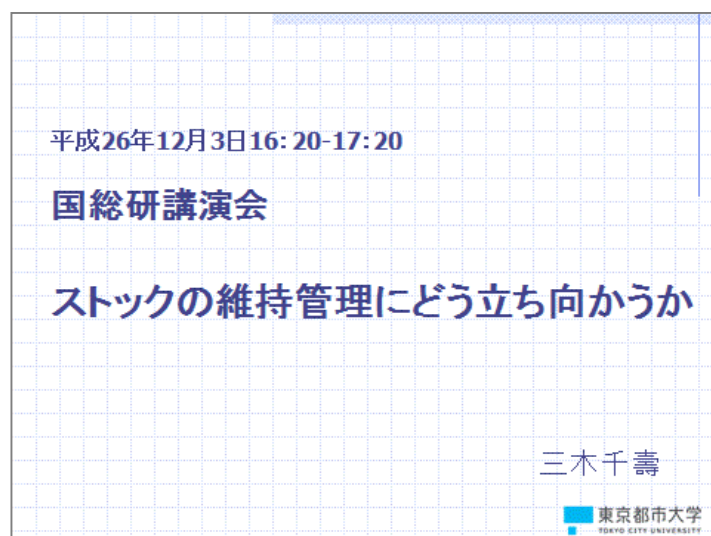
第2章 【特別講演】社会資本ストックの維持管理にどう立ち向かうか (東京都市大学副学長・総合研究所教授 三木 千壽)

《プロフィール》

- ・東京工業大学修了後、東京工業大学助手、東京大学助教授、東京工業大学教授、東京工業大学工学部長、東京工業大学副学長を務めた後、東京都市大学副学長・総合研究所教授。
(現：東京都市大学学長・総合研究所教授)
- ・橋梁の設計・製作管理、維持管理等を専門とする。
- ・社会資本整備審議会道路メンテナンス技術小委員会委員長など府省や高速道路会社等の各種委員会の要職を歴任。
- ・経済産業大臣表彰、土木学会論文賞、田中賞（論文部門）、ドイツ Ernst Gassner 賞など表彰多数。



写真-3 三木 千壽 教授



三木でございます。今日こういうことでお話をさせていただきますけれども、ちょっと内容が多すぎるかもしれませんが急いで紹介をさせていただきます。

—スライド（1. 社会インフラの老朽化問題）—

社会インフラの老朽化、1つの社会問題化と言ってもいいと思いますけれども、これ今の状況がどうかということですね。アメリカで America in Ruins、荒廃するアメリカと言われたのが 1970 年～1980 年。1990 年代に入って色々な政策がとられて、かなり状況はよくなっているわけですが、現在の日本の状況からどうなっていくのかというのを我々が考えなければいけないということです。

—スライド（日本の社会資本整備）—

社会資本整備ですが、日本については戦後 1960 年代ぐらいから始まっており、このような幹線の道路、鉄道がこの時期に集中的に整備されてきたと。そのときに構造的に見れば、実はリベット構造から溶接構造という大変な変化をしている。これは経済的にとか、急速にやろうとか、いろいろな理由があってそうしているわけでは。

—スライド（首都高速道路）—

これはできたときの首都高です。そのときのリベットから溶接に伴って生じる色々な問題が、具体的には疲労とか腐食とかの問題とかを起こしているわけです。ただ、これを見て、このときに疲労が起きると思った人はいないと思います。ですから、ある意味では仕方がないというか、こういう時代を迎えたということになります。

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY



首都高速道路（45年前）

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（社会資本施設の宿命）—

こういうことはここで話すことはないと思いますがけれども、結局は社会資本は需要が高い順に造りますから、使い方が厳しいものほど、要するに重要度が高いものほど使用環境は厳しいと。ところが使われている技術が古いというわけです。

新幹線を見れば分かりますけれども、東海道新幹線と山陽新幹線、東北と北陸を比べたら剛性が全然違うのです。ただ、使い方は東海道新幹線で言えば1日340本ぐらい走っているのです。

ですから東海道新幹線では疲労が厳しい状況。他のほうは150本、100本ぐらいしか走っていないのがありますかね。長野新幹線は100本ぐらいになりますから、そういう状況から見てこれはある意味で宿命だと私は思います。このような状況に我々は直面しているわけです。

社会資本施設の宿命

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

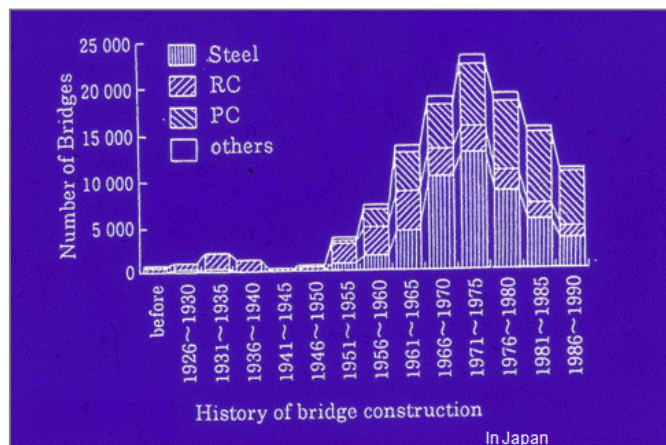


Fix it?
or
Scrap it?

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（日本の道路橋の建設時期）—

これはよく出ている絵ですからもう説明する必要もありませんけれども、橋の整備はこの辺りからスタートしてここでピークを迎えている。これが徐々にいろいろと不具合を生じ始めたというのが現状だと思います。



—スライド（メディアの反応）—

外の人というか、メディアというかですね、社会はどう見て来たかということをお話したいと思います。これは2010年の日経新聞ですが、こういうのが出ました。「橋やダムなどの社会資本、老朽化で更新・維持費急増。50年で190兆円」というようなことが出るわけですが、この時期5～6年前から、周りもこういうことを気にし始めてきており、「何かおかしいんじゃないの」ということがこの辺りから出ているわけです。

メディアの反応

日経新聞

2010.6.16

老朽化で更新・維持費急増

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（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）—

これに対して、ここで50年というのが1つのキーワードで出てくるわけですが、全部50年で寿命という計算をしているからこうなるわけですが、では50年というのはどういう理由なのだろうと考えると、特に大きな理由はないのですが、大蔵省が出したこのようなものがあります。「構造物の減価償却資産としてRC、SRCが60年で、金属が45年」というようなことが出ていますが、これは物理的な寿命とは違う。要するに財産としての管理の話で、物理的なものとこれとを混ぜてはいけないのですが、ここ辺が1つのconfusionの原因だろうと思います。

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、構造物の減価償却資産、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

ただし、いろいろな問題が起きてきたことは確かだということになってきます。それは皆さんがおっしゃる老朽化かと言いたいのですが、私は老朽化という言葉は使いたくないのです。老朽化というと老衰であって、では人間が50歳で。そのときに私は「構造物の寿命とあなたの寿命とどちらが長いと思いますか」と言うのですが、どうなのでしょう。人間と橋と比べて、やはり橋のほうが長くないといけないと思うのですが、では50年でサイクル回していったら大変なことになってしまう。

ただ、人間も35歳~40歳になると共済のほうから補助が出て人間ドックに行くようになるわけです。たぶん構造物での50歳というのが人間での成人病が出始める時期だろうと思います。こういうような状況のときに我々はどうするのかと。

それから、もう1つ私が言いたいのは、世界的には構造物の設計時の寿命設定はだいたい100年なのです。それに対して50年で老朽化というのはかっこ悪くて言えないです。これを私はこの間もある所にいったら「日本は50で全部aging problemが出て、橋を全部壊すんだって？」って言うから、「そんなことはない」と。こんな恥ずかしいことは言ってはいけないわけですよ。では、先輩たちはそんなお粗末なものを造ったかということになってしまいます。決してこういうことを言ってはいけないというのが、私がずっと言い続けていることなのです。

—スライド（鉄道橋）—

そういう中で、鉄道橋を見ると、東海道新幹線の疲労問題がしばしば話題にされますが、鉄道橋の中で東海道新幹線の橋は若いグループです。この間50年を迎えましたけれども若いグループです。鉄道橋で言えばこんな感じになります。だいたい山手線の橋梁がこの辺に入ってくるのですが、100年ですね。この赤いやつが何かしないといけないというやつが徐々に増えていることは確かなのですが、これが鉄道橋であって、鉄道橋が100年持っているときに道路橋が50年でもいいはずがない。この辺りも気を付けなければいけないと。

—スライド（道路橋）—

道路橋についてそもそも老朽化するとか、劣化するっていうのは、どこにも道路橋示方書の中に書いてないのです。あの橋梁の設計の基本理念のところに設計としての目標期限、年限がないのです。「年限を書け」と言い続けているのですが、未だに入っていない。年限がないから、これはそもそも構造物というのは永久構造物と思って造っている。

私はコンクリートは永久構造物と習いました。この間もコンクリートの東大の前川さんと議論していて、「いつからコンクリートって50年も持たないって言い始めた」って。そんなことないのです。誰もそんなこと言っていないのです。鋼はさっきの45年に少し減らしたのは、鋼は錆びるからです。鋼は錆びる、コンクリートとは永久構造物だと。

鋼構造物だからペンを塗っておけばいいではないかというのがそもそもの発想になっ

ている。道路橋は疲労などまずあり得ない。実は2002年まで道路橋は疲労設計を入れていないのです。2002年に道路橋示方書の本体に入れようとしたのですが、大変な反対にあいまして見送りました。要するに2002年の段階で道路橋の関係者は疲労設計はいらないという判断をしているわけです。これは大切なことなのです。この状況から10年経ってそんなに変わるはずがないわけです。ただし、疲労設計をしていないということは致命的な問題を抱えたまま使っていることになります。

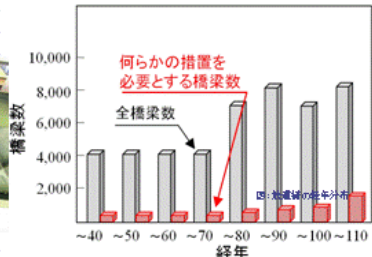
—スライド（現状、さまざまな損傷や劣化(成人病)が目立ち始めた。…）—

そういうようなことで、結局は総括してみるとこういうことで、設計のときに考えていなかった現象、何かというと疲労になるわけですが、疲労とか、コンクリートのアル骨反応、中性化、塩害、それから地震力、これも低い設計地震動でやっていたものを神戸地震以降で変えています。過積載これも変わらない。この辺りが設計では想定していなかった

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られている橋、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。



道路橋

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（道路橋示方書）。
* 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。

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

となかなか言いにくいだけでも、公式には想定していなかったことが、こういうことを起こしているというように言ったほうがいいと思います。これが今の現状であると。

したがって、今どうするかとなってくると、そういうような原因をはっきりさせて、取り除いていくということを最初にやらないといけません。実は原因究明なしに直に行く人が多いのです。蓋すればいいではないかと思ってやっている人がたくさんいるのです。そうではないのです。原因究明をしたうえで、適切に処理していくというのが、我々がこれから考えなくてはいけないことだろうと。

—スライド

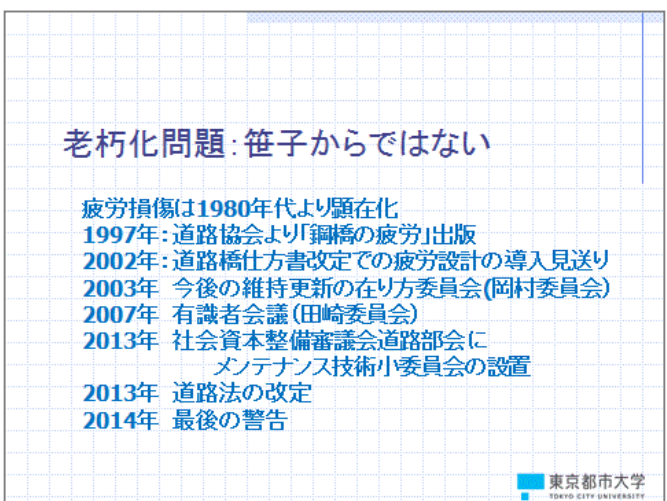
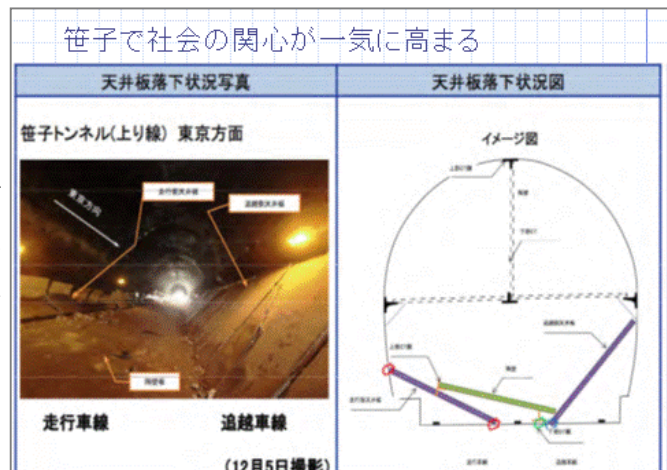
（笹子で社会の関心が一気に高まる）—

笹子でこういうことになり、一気に社会の関心が高まったわけです。私の所によくメディアの方が見えるのですが、笹子からとみんな思っているのですが、そんなことないのです。笹子の前からちゃんと我々やってきたと。

—スライド（老朽化問題：笹子からではない）—

特に疲労の問題は、こういう歴史があります。1997年に道路協会から「鋼橋の疲労」という本を出しています。主査は私です。2002年に先ほど申し上げたように、道路橋示方書に入れようとしたのですが時期尚早ということで見送られました。2003年に維持更新の在り方委員会、岡村委員会と呼んでいます、それがレポートを出し、それから2007年これはミネソタの落橋が契機ですけれども、田崎委員会をやり、有識者会議と呼んでいるのですが、そのあと2013年以降の一連のアクションになっているということになります。

ですから、私はいろいろなレポートの中で、この岡村委員会と田崎委員会の2つのレポートを全部包括した格好で今いろいろな格好で動いているのだということを常に申し上げているのですが、こういう格好で、いろいろ考えて来たのが本当のところですよ。



—スライド（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）—

岡村委員会のときにはこういうことになりました。いろいろと問題が起きて来ているから、きちんと状況を予測しなさいよということですね。予算制約のもとでどうするかということを考えて。要するにアセット的な考えを入れろというのが、この岡村委員会の趣旨になります。

—スライド（道路橋の予算保全に向けた有識者会議）—

それから、田崎委員会ではここで5項目を挙げました。これを今着々と進めていると言ったほうがいいと思います。こういうような格好で点検の制度化、保全の制度化、技術開発、拠点の整備、データベースの整備。こういうようなことに対して、これをどう具体化してくというのが問題だと。それは今具体化しつつあると言ったほうがいいと思います。

—スライド（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。—

これは笹子が契機と言えれば契機になるわけですが、平成 25 年をメンテナンス元年と宣言をして、いろいろアクションを起こし始める。ただし、我々はちゃんと準備してきたわけです。それをきちんと具体化していつているのが現在の姿といったほうがいいと思います。

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の行うのが最適であるかを決定できる総合的なマネジメントシステムの構築が必要である。

→ アセットマネ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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

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)

- 点検の制度化:
全ての道路橋で点検を実施
- 保全の制度化:
技術基準、資格制度、人材育成を充実
- 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
- 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
- データベースの構築と活用:
効率的な維持管理とマネ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
しかし、だが、どのように実現していくのか問題

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

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。

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（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）—

先ほどご紹介があったメンテナンスの技術小委員会ですが、こんなようなことで動いています。ここでいちいち説明することはないと思いますが、維持管理としてどうすればいいかと。メンテナンスサイクルというような言い方をしてきちんとやっていきましょう。一番問題は地方公共団体のメンテナンスをどうするかということも、今進めているところです。

—スライド（道路法の一部改正）—

これらを受けて、道路法の一部改正をやったということで、この辺りいろいろと大事なことが書いてあります。予防保全という考えを入れます、それから大型車の違反車両を取り締まる、防災的な防災拠点をきちんとしろなど、その辺りが全部盛り込まれています。

—スライド（改正の概要）—

この中でいくつかメンテナンス上で大切だと思うことを私なりに拾ってみたのがこの4項目です。

1つは国土交通大臣は地方公共団体に代わってできるということを言っているのですね。これは技術がないとやるべきではないと思います。やるふりをするのが一番よくないのです。ですから、技術がないならないと宣言した方がいいと思います。お互いの幸せのためです。

2番目は、道路管理者は予防保全の観点を踏まえて道路の点検を行うべきことを明確化する。これはしなければいけないのです。しないと罰則規定になります。

3つ目は、重量制限等をきちんと捕まえるということです。立ち入り検査等もやるということです。それから最後が極めて大切で、実施状況を調査できるということです。要するにチェックしましょうとっているのです。今まではどうだったかという、今までも点検してきたのです。今までもやってきたのだけど、うまくいっていないということをきちんと考えたほうがいい。

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

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。

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

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、予防保全の観点を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。

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（最後の警告）—

これをさらに分かりやすい格好で出したのが「最後の警告」で、これは家田さんの委員会から出ていますが、大臣への報告には私も立ち会いました。こういう格好で、具体的にどうするかというのがここから出てきています。ここで確認しているのは、点検は5年に1度、高い技術を有する者による近接目視。これは大変大事なことです。この辺りは診断は統一的な尺度でやりましょうということで、いろいろな格好でどんどん整備が進んでいるところです。これは後どう実施していくかということになってきます。

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（2. 米国では）—

こういうようなところが日本の動きですが、アメリカはどうしたかということを少し振り返ってみたいと思います。私はよくいろいろな委員会で申し上げるのですけれども、アメリカは実に素早く動いているのです。これは見習わないといけないです。

1967年にPoint Pleasant橋というのが落ちました。それから4～5年で全部これをやっています。メンテナンスマニュアルを整備し、これは今我々がやっているところだと、点検の制度化、2年に1度というのも制度化しました、それから点検員の資格化もやりました。これは2週間の講習と試験です。この辺りが全部Point Pleasant橋の事故後、4～5年のうちに整備されています。

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

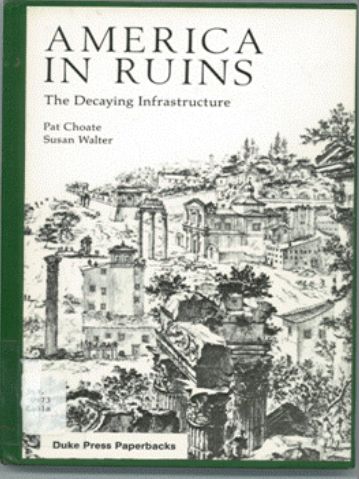
東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（America in Ruins by Pat Choate & Susan Walter, 1981）—

例えばAASHTO（米国全州道路交通運輸行政官協会）の設計指針も1974年版が現在の指針のベースともいえますが、1967年の事故から6年間でそこまで仕上げています。この辺がアメリカの素早いところなのですが、この辺のことを全部まとめたものがこの

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。



有名なレポート *America in Ruins* というレポートで、これは今でもアマゾンで買えます。日本語版も買えます。これはいろいろな形で参考になると思いますが、1981 年出版ですが当時のアメリカの状況をよく示していると思います。これは道路から港湾、上下水道のすべてを含んでのアメリカの現状と、どうしてそうなったかということ进行分析しているレポートになります。Pat Choate と Susan Walter というのはアメリカの政府機関の研究員です。

—スライド (*America in ruins* に合わせての FHWA の動き) —

この *America in Ruins* が出たときに、ちょうど私もこの時期にアメリカで仕事をしていたのですが、そのときの FHWA で出したレポートはこんなものです。ちょうど今の日本と同じなのです。約 525,000 橋のうちの 2/5 がまずいと。98,000 橋は構造上の強度不足と。橋梁の寿命は、ここで 50 年と言ってしまっているのですが、50 年で、1900 年以前に竣工した橋がまだ 25,000 もあるよというようなことを言っているのですが、今の日本の状況に極めて近いということを感じます。

—スライド (Point-Pleasant Bridge)—

これが Point-Pleasant Bridge なのですが、こういう格好で橋が落ちた。これはチェーン吊り橋のメインのチェーンが切れてしまったのです。これで 50 人ぐらいがオハイオリバーに落ちました。疲労というように言われたのですが、実際は応力腐食割れという状況です。ただ、これが起きるまでアメリカ人も道路橋に疲労が起きるなんて 1 つも思っていなかったのです。アメリカ人も疲労は鉄道だけの問題だと。疲労の研究をやっているのは物好きぐらいだったわけですが、これから一気にアメリカの疲労研究が始まったといえます。

—スライド (Brooklyn Bridge) —

Brooklyn Bridge、この頃のこれはアメリカのシンボルみたいな橋です。

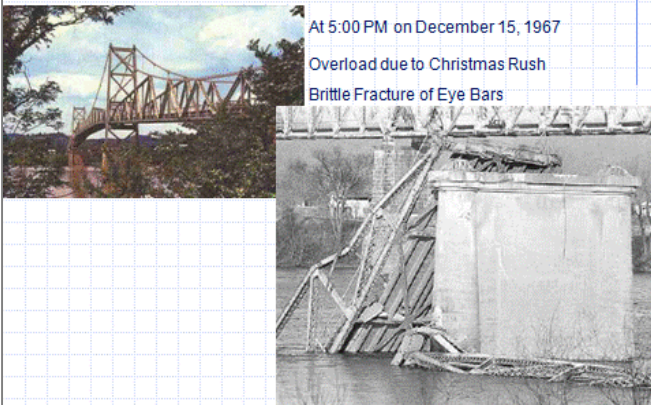
America in ruinsに合わせたのFHWAの動き

- 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。

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

Point-Pleasant Bridge

At 5:00 PM on December 15, 1967
Overload due to Christmas Rush
Brittle Fracture of Eye Bars



The image shows the Point-Pleasant Bridge in Ohio, which collapsed into the river on December 15, 1967. The bridge was a cantilever bridge, and the collapse was caused by brittle fracture of the eye bars due to overload during the Christmas rush. The image shows the bridge structure falling into the water, with the remaining structure still standing.



The image shows the Brooklyn Bridge in New York City, spanning the East River. The bridge is a suspension bridge, and the image shows the bridge structure and the city skyline in the background.

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド (Cable breaks close Brooklyn walkway) —

ちょうど私がアメリカにいたときにこういう新聞が届きました。「Cable breaks close Brooklyn Bridge walkway.」ケーブルが切れて、これ実は日本人のカメラマンの頭に当たりました。それで歩道部はクローズです。これがちょうど今の日本に近いですね。



—スライド (Williamsburg Bridge) —

横の Williamsburg Bridge、これも新聞に出
ました。

—スライド (A Bridge Dilemma : Patch It or Scarp It) —

これは New York Times ですが、「A Bridge Dilemma : Patch It or Scrap It」直そうか、捨てようかということなのですね。この頃にたくさんこれをどう架け替えるか国際設計コンペで動いていました。こういう時代。



— スライド (Joins Panel To Study
Williamsburg Bridge Fate) —

それからこれは私のアメリカでのボスの Fisher 教授ですけれども、Lehigh 大学のグループがケーブルをチェックしているところです。日本でも最近やっていますね。ウェッジテストと呼ばれ、ケーブルの中に木の楔を打込んで見ていくのですが、二層目、三層目ぐらいいまで腐食が進んでいるねという話が出てきます。こんな格好で一気に点検をし始めたと。



—スライド (Williamsburg Bridge) —

ちょっと見難いのですが、これ私が見に行ったときの写真です。アンカレッジの中でケ



ケーブルがずいぶん切れ始めています。こんな状況が 1980 年代です。

—スライド (Mianus Bridge (米国)) —

1983 年には Mianus が落ちました。これは腐食と疲労です。アメリカの場合ゲルバーの吊スパンをピンで吊っているのです。このピンの所に水が入り腐食を起こし、それで疲労につながったという事故ですが、これでもグレーハウンドバスが飛び込んだり、いろいろなことが起きています。

—スライド (重量制限された橋 (ペンシルベニア州)) —

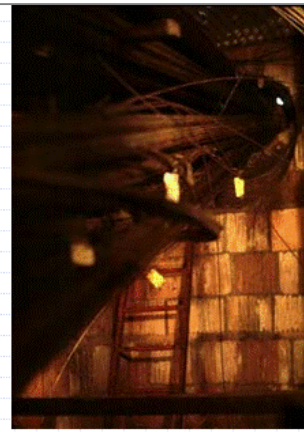
これはたまたま私の手元に届いた地方紙ですが、放っとくとういうことになりますよということなのですね。何かというと橋の手前でスクールバスが止まっているのです。子供たちを全部先に渡して、それからバスがそろりと渡って、また乗せて走っていく。ここまで行くと、もうどうもならない状況になるわけです。こういう状況が続いていた。

—スライド (I-35W over the Mississippi River ミネアポリス, USA) —

そのあと 1990 年代からいろいろな対策が取られてかなりよくなったわけですが、これで 2007 年にこういう落橋事故が起きてしまったということになります。ただ、オバマさんになってからまたお金がついて、また随分やっていますから、また変わってくると思いますけれどもこういう事故があったと。

—スライド (日米の橋梁 建設年の比較) —

これは国交省が作られた資料ですがそれでも、こういうことですね。アメリカの橋梁建



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

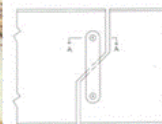


写真-2 重量制限された橋 (ペンシルベニア州)

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.



Open:1967
8 lanes
140000-
200000/day

設、ニューディール政策のときですね、この辺りで整備があったものが、この辺りでたくさん壊れたと。今日本はここら辺りでやったものが、30年ぐらいシフトした状態で少し老朽化が目立つようになったというのが現状だろうと思います。

—スライド（3. 構造物の劣化）—

疲労というのはあまり馴染みがないと思いますので、少し疲労の話をしようと思います。私は事例を学ぶのが一番いいと思います。奥村先生といっても、今ではあまり知らない名前かもしれませんが、私の先生の先生で大先生です。

奥村先生が私の所に見えて、「三木さん、疲労やるんだって。ああ、いいことだ」と。私が疲労を始めたときは、土木で誰もやっていませんでした。船の分野に行けば疲労はメインテーマだったわけですが、土木で疲労って変わり者だと思われたのですが、そのとき奥村先生が「疲労を学ぶなら事例を調べたらいい」と。要するにいろいろなジャーナル類を探しまくるとたくさん損傷事例が出てきます。それが私の疲労研究のスタートになるわけです。

—スライド（失敗、事故：最も重要で価値のある経験）—

私も時々こういうことを言います。失敗、事故、これは大切なのですが、みんな隠したがるのです。でも、失敗とか事故っていうのは実際実物でやった経験ですから、実物実験ですから。ところが残念ながら多くの方々はすぐ計算に走ります。計算は単なるシミュレーションですよ。バーチャルの世界ですから、どちらを大事にするかというと、やはり実際に起きたことであり、原因をちゃんと究明することだと。最初に申し上げたとおり、今起きていることを全部究明、原因を全部表に出したうえで対策を取らないとうまくいかないと思います。要するに事例を、事故をちゃんと見たほうがいい。



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。

—スライド（鋼橋に生じる疲労の原因）—

私は疲労の事故をこういう格好で分けています。製作の問題、それから疲労設計のしくじりになるわけですが、疲労強度の低いディテールの採用。実は日本の道路橋は疲労設計していないので、何が入っているか分からないのです。それから設計では想定していない力。あとでお話しますが、設計上のいろいろな過程をおいています。ですから設計通り応力が出るはずがないのです。最後に設計では考えてないようなことが起きる、振動みたいな問題です。

—スライド（(1). 製作時に残された欠陥）—

製作時の問題っていうのは、これは事故が起きないと分からないのです。

—スライド（Hasselt Bridge Mar. 14, 1938, 全溶接フィレンデル）—

これは先ほどの、奥村先生が私の机の上に置いていった資料です。ベルギーでこういう事故が起きたよと。1938 年、ベルギーは大したもののでこのときに全溶接で橋を造ったのです。ところが3カ月後にこうなってしまったということなのですが、こういう品質管理の問題。当時は溶接の品質管理というのはあまり気にしなかったのだと思います。

—スライド

（下フランジ板継溶接部の破断）—

これは日本です。これは環七の橋ですけども、ある日突然こんなクラックが起きました。現場に行って驚きました。

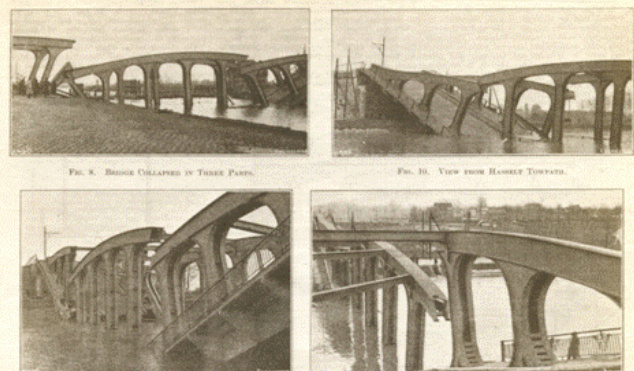
鋼橋に生じる疲労の原因

- 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



—スライド（疲労破面：未溶接部の存在）—

これをすぐ切り出してみたのです。切り出して、開いていくと、こんなになってくるのです。これ下フランジの突合溶接って、一番大切な溶接です。100% full penetration で非破壊検査の対象ですが、なんと驚いたことにここは着いていないのです。フルペネが 50% 溶け込みになっているのです。ちゃんと X 線用のフィルムがあるのです。

まずこの橋で同じ継手を全部調べたら、三十数か所こういうものが出てきました。同じ工場で同時期にやったものを見たらやはりありました。ということは、こういうことはあるのだよと。ただ、こんなのはスペック通り造っていたらあり得ないことです。

—スライド（首都高速 3 号池尻ランプ）—

これは最近の事例ですけども、最近といっても 10 年経ちましたかね、首都高の池尻のランプです。これ実は阪神の地震のときに阪神高速のある方から、クラックらしきものがあるから見てくれ言われて、多くのクラックらしきものを見て、この現象に気が付いたのです。首都高も少し見た方がいいですねということで見てもらったのです。

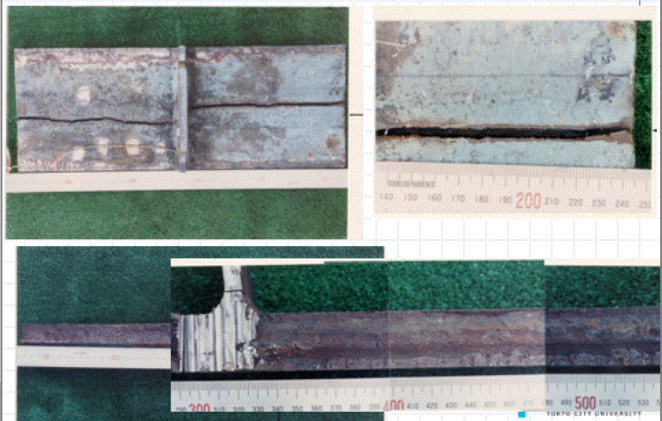
—スライド（設計では完全溶け込み溶接）—

そうするとこういう写真が出てきました。これは溶接やっている人間ならすぐ分かりますが、フルペネで綺麗に仕上げています。こんなの壊れるはずがないのです。

—スライド（実際は未溶接部の存在：溶接ルート部からの疲労き裂）—

それで「おかしいね」ということで、穴を開けていった。表面 60mm のクラックがあっ

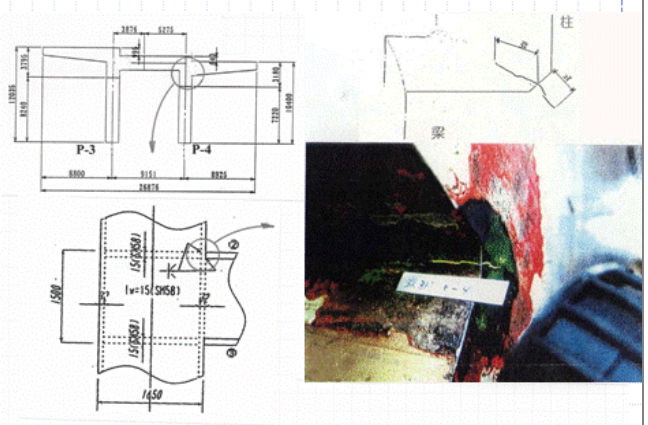
疲労破面：未溶接部の存在（60%を超える）



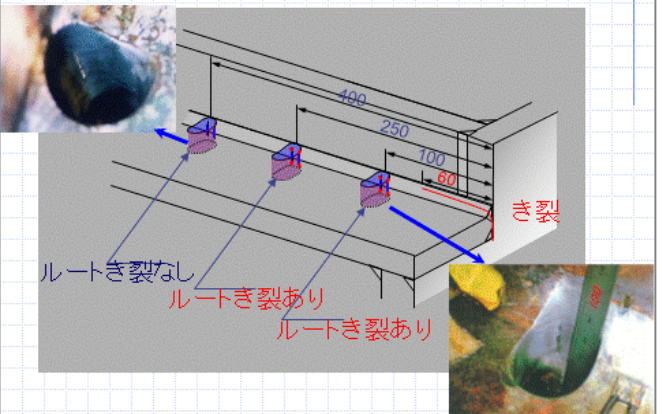
首都高速3号池尻ランプ



設計では完全溶け込み溶接：



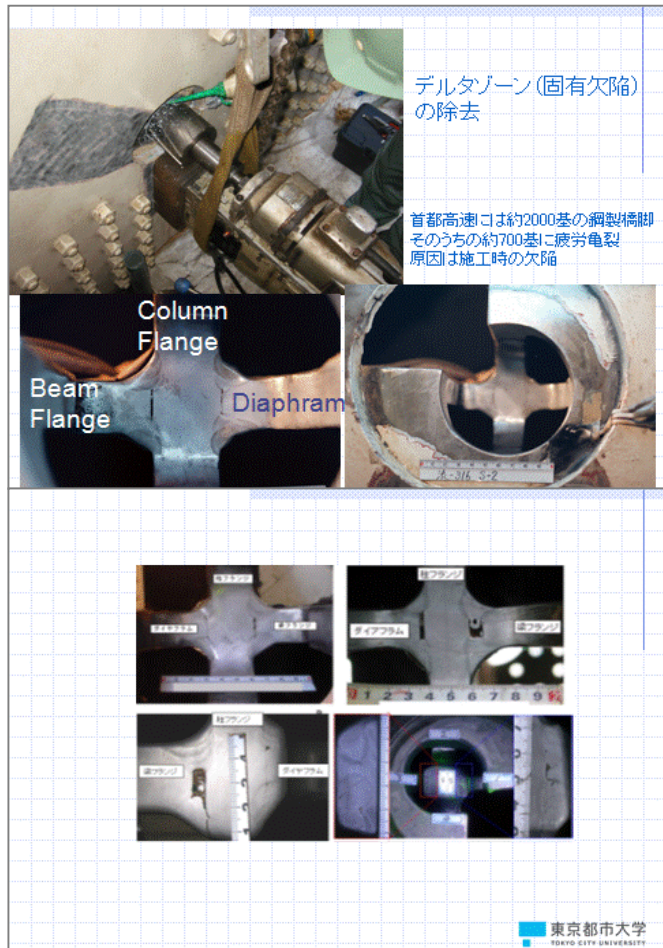
実際は未溶接部の存在：溶接ルート部からの疲労き裂



たわけですが、それから 100mm、250mm と穴を開けていったのです。穴を開けてもずっとクラックがあるのです。最後 400mm までいってはじめてクラックがなくなるのです。要するにこれは溶接ができていない。

—スライド（デルタゾーン（固有欠陥）の除去）

これもルートが見えますが、溶接の板厚の半分しか溶接がしていないのです。これフルペネです。これは非破壊検査やったかどうかよく分からない。それをどうしたかという、全部板を当ててドリルで切り取っていたのです。これ私がよくやるやつです。歯医者といっしょです。先に補強しておいて、患部を引きずり出すわけです。そうすると「おい、これフルペネだろ」と。K開先のフルペネでこんなのかと。これ全然フルペネじゃないですね、すみ肉溶接ですね。もっとひどい。



—スライド（デルタゾーン（固有欠陥）の除去

2—

これなどはすごいです。これなんか着いていないです。ここなんか割れてしまっています。こういうようなことが、実際はかなりの数あったと。実態は 2,000 基の鋼製脚橋脚のうちの 700 基にこういうものが見つかったということです。ということは、ごく普通にやられていたということです。道路橋は疲労には関係ないということから考えると、この辺りを甘く考えていたのかもしれない。

—スライドスライド（(2)．疲労強度の低い継手ディテールの採用）—

それから疲労強度の低いディテールを使ってしまった、東海道新幹線などは古い設計指針と今と強度が違うからこういうことが起きるわけです。それから道路橋については疲労設計していませんから、どんなお化けが潜んでいるか分かりません。

(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

—スライド（鉄道橋設計標準 1960 年と現在）—

これは古い設計指針の例ですが、東海道新幹線は 1960 年のスペックでやっています。1960 年のときの溶接構造の疲労の研究というのは日本にはほとんどないのです。ドイツの DIN のスペックを持ってきて、少し日本のデータを入れてやったのが実態です。

これを見ると、こういうカバープレートみたいなもの、当時は 120MPa の強度があると思ったのが今は 65 MPa にしています。ということは、今設計すると応力を半減しないといけないのです。

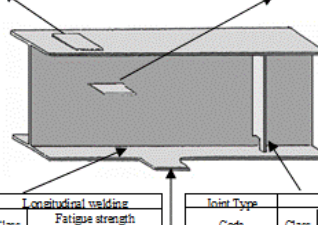
ここなんかは、これも 126 MPa と思っても 65 MPa ですね。こういうところがいっぱい出てくるわけです。こういうものをちゃんと見ないといけない。今の道路橋についていえば、こういうことをまず最初にやらないといけないのでしょうね。どれぐらい危ないのかということ。今どこがどれぐらい危ないかということを見ないままワーストと動いているような感じになるわけです。これが 1 つの例です。

鉄道橋設計標準. 1960年と現在

Sleeper road			Out-plane gusset (t=20mm)		
Joint Type	Class	Fatigue strength at 7 million cycles (N/da)	Joint Type	Class	Fatigue strength at 7 million cycles (N/da)
Code			Code		
Old code '60	U	120	Old code '60	D	100
Current code '92	F	65	Current code '92	F	65

Longitudinal welding			Convex-concave weld		
Joint Type	Class	Fatigue strength at 7 million cycles (N/da)	Joint Type	Class	Fatigue strength at 7 million cycles (N/da)
Code			Code		
Old code '60	B	150	Old code '60	D	100
Current code '92	C	125	Current code '92	E	80

In-plane gusset (t=20mm)		
Joint Type	Class	Fatigue strength at 7 million cycles (N/da)
Code		
Old code '60	C	126
Current code '92	F	65



—スライド（疲労強度の低いディテール）—

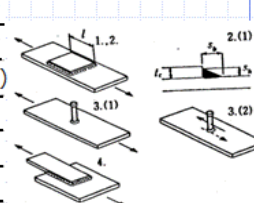
道路橋は 2002 年に疲労設計の原型を作って、設計指針として道路協会から出しました。その中には、使ってはいけないディテールというのを書いてあります。好ましくないディテールがあります。これは見れば全部分かるわけで、橋の中に入ってそのような構造ディテールに丸を付けて歩けばいいわけです。たぶん知識のある人間がやれば、最初のチェックはたぶん 1 つの橋梁 1 日もあれば終わると思います。

—スライド（疲労強度の低い継手の例）—

道路橋で最も危険なディテールは、このガセットディテールの横桁を取り付けるとか、横構を取り付けるとか、ウェブに板がついているようなものなのですが、これは疲労強度が非常に弱い。H 等級とか、G 等級があります。

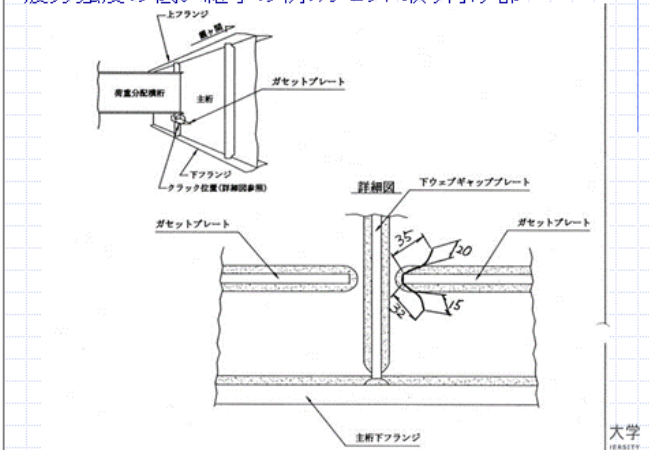
疲労強度の低いディテール（鋼橋疲労設計指針（道路橋）では好ましくないディテールとして示している）

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



東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

疲労強度の低い継手の例: ガセット取り付け部



—スライド（ガセット取り付け部）—

これクラック。こういうようなクラックをどう見つけるかなのです。これも放っとみんな見落とします。今接近目視といっています。なぜ接近目視かというと、これ接近して手で触れば分かります。触らなければ分かりません。これは、黒くなっているのは磁粉探傷をやっているから黒く見えるのであって、実際はほとんど見えないほど細いラインとして見えますが、触って手でなぞってみれば分かるわけです。それが接近目視の大事なところですよ。

—スライド（2000 Hoan Bridge）—

これはほっとくようになります。日本ではここまでひどいものはないのですが、あとでこれに近いものが出てきます。

これはアメリカの Hoan Bridge ですが、もう落橋寸前になります。

—スライド（(3). 設計では想定しない応力の発生）—

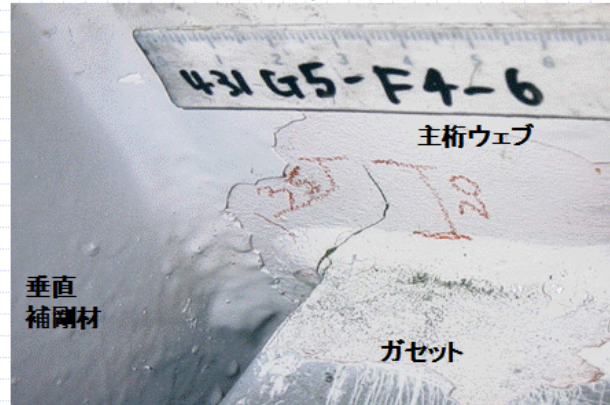
それから設計では想定していない応力。これが数的には多いのです。いろいろな仮定をおいています。

—スライド（桁端部の亀裂の例）—

例えば支点部、これは単純支持ですから、支点部モーメントによる応力はほとんどゼロになりますが、しかもこれは可動端になるのです。可動端というのは回転とスライディングが自由なはずですよ。

橋梁に入って、支承部が回転とスライディングともがちゃんと動いている橋はなかなか見つからないのではないかと思います。それが単純支持の自由端が固定端になる

ガセット取り付け部



(3). 設計では想定しない応力の発生

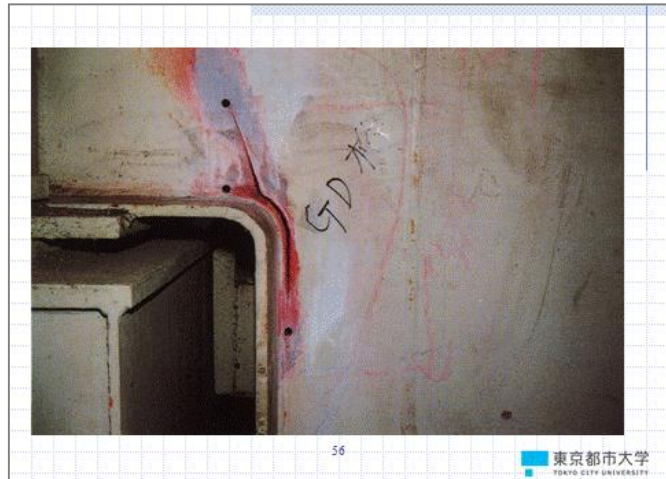
設計での構造単純化: はり理論
設計での支持条件



と固定端モーメントが出るわけです。固定端モーメントといのうは両端を Fix にすると真ん中に起きるモーメントよりも、固定端モーメントのほうが大きいのです。そうするとこういうことがソールプレート（床板）の取付部に起きてくる。これはもう危ないのです。もうすぐ脆性破壊します。

—スライド（桁端切りかけ部の例）—

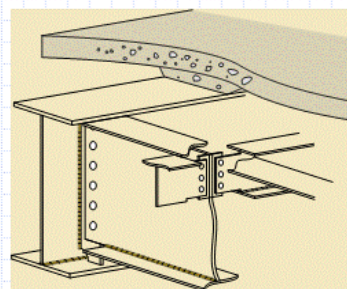
これもそうですね。こういうのよくありますね、桁端の切りかけ。これも支点の近傍ですから、曲げモーメントによる応力はほぼゼロですから、こういうことをやってしまうのですね。そうするとポコッと切れるのです。これも危ない、たくさん起きます。



—スライド（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）—

例えば主桁と横桁の連結。これは計算上単純支持なのです。単純支持なんか実際できないです。リブとかボルトで閉じてあるわけですから。閉じれば固定端モーメントが出るわけです。横桁と縦桁もそうですね。そうすると、全部このような計算。なぜ計算をこうしたかという、計算が楽だからですね。それから部材の断面を決めるにはモーメントが大きく出た方がいいから、安全になるから。でも違うのです。そういうようなものが全部いろいろなことで不具合が出てくるわけです。

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

57

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（下路プレートガーダ、横桁—縦桁接合部（JR 東，中央線））—

これは鉄道橋です。これはちょっと驚いた事故ですが、これは中央本線です。横桁、これスルーの桁で向こう側に主桁が見えますが、横桁に縦桁がとりついているのですが、実は鉄道橋全部これは直したはずだったのですが、見落としていたのです。これが残っていたのです。4カ所全部切れています。最後脆性破壊して列車が傾いて、運転手から通報があつていったのですが、最初に私の所にもってきたのはNHKの記者なのです。4～5時間遅れ



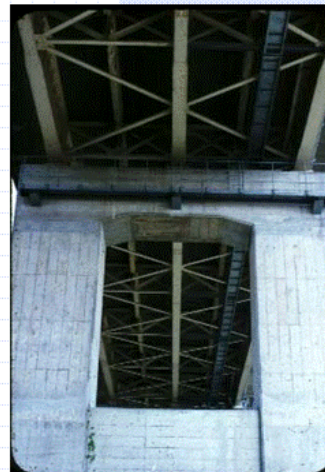
下路プレートガーダ、横桁—縦桁接合部（JR 東，中央線）：
亀裂面の調査より発生はかなり早いと判断される
メンテナンス点検によってはこのような亀裂でも見落とされる

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

てJ R東日本が飛んできましたけれども。これは実際の構造は固定されているのですから、固定端のようにしなければいけない。

—スライド（道路橋で最もポピュラーな疲労損傷）、（TYPEA~C CRACK）—

道路橋では一番数が多いクラックはこの対傾構の取り付け部。ここは道路橋に入れば必ず見つかるクラックですけれども、こんなクラックですね。

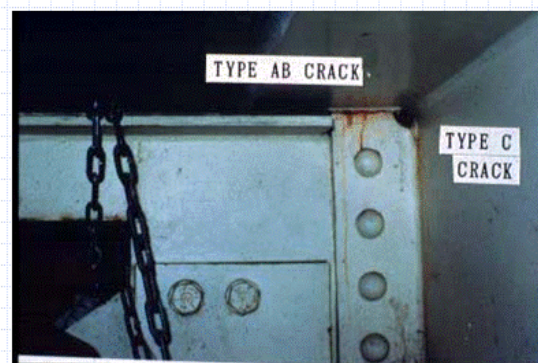


道路橋で最もポピュラーな疲労損傷

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（東名高速道路、上路トラス）—

これは東名高速ですけれども、こういうトラスの。これも横桁になるわけです。横桁は主構トラスに対して単純支持ですから、ごく単純な、簡単なコネクションでつないでいるけれども、実際には固定端モーメントが生じますからこういうクラックが出る。これは全線出ています。こんなものはほんとくとバカッと落ちるのです。こんなようなことをきちんとやらないといけません。



東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（鋼床版）—

鋼床版。これは、本当は昔から疲労設計やっているのです。昔の道路橋示方書にも鋼床版は疲労設計をやれと書いてあるのですが、その許容応力度がむちゃくちゃ高いのです。誰が作ったのか分からないのですが、めっちゃくちゃ高い。こんなのはやらないほうがいいくらいです。

鋼床版ほど応力や変位挙動が設計と合わないものはありません。たくさんクラックが出る。



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。亀裂の発生はない。



東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（鋼床版の疲労損傷の例）、（鋼床版の亀裂の例）—

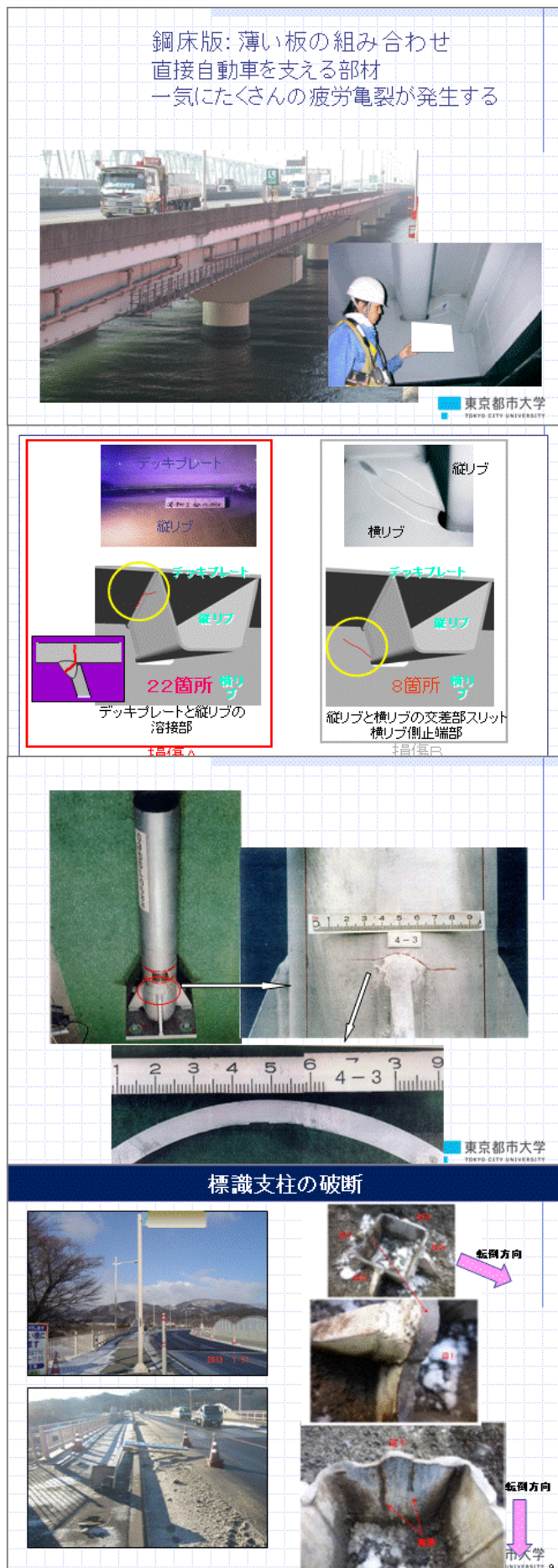
これは首都高の舞浜なのですが、あらゆるモードのクラックが出ています。これは説明しても仕方がないのですが、鋼床版ほど設計計算に合わないものはありません。ただ落橋はしないからいいかなとは思っているのですけれども、いくつかの橋梁は車が床版をゴッコと抜いてしまって通行止めにしたものがあります。

—スライド（首都高標識柱の写真）—

それからこういうものもありますということで、これは首都高に立っていた標識柱ですね。交通振動を拾って標識柱が振れてクラックが入ったと。同じようなタイプのものを同時期に100本以上導入しています。1本が下に落ちて慌てて委員会やって全数調べたらこんなものが出てきました。綺麗に疲労亀裂。これは疲労亀裂の特徴です。綺麗に真っすぐ切れます。

—スライド（標識支柱の破断）—

つい先日、東北地整に行ってこういう話をしていたら、東北地整の方が面白い写真を見せてくれたのでいただいてきました。これは何かというと照明柱ですね。これも綺麗に疲労破壊しているのです。照明柱のところの一番下側にリブが付いているのです。ここで風で揺れるのでしょね。風で揺れて応力が繰り返され、その結果として、綺麗に疲労亀裂。こんなのが日本に限らず、たくさんあるのです。これも倒れて車の上に落ちたりしたら大問題です。こういうようなものも見なければいけない。これは想定外の振動による疲労となります。



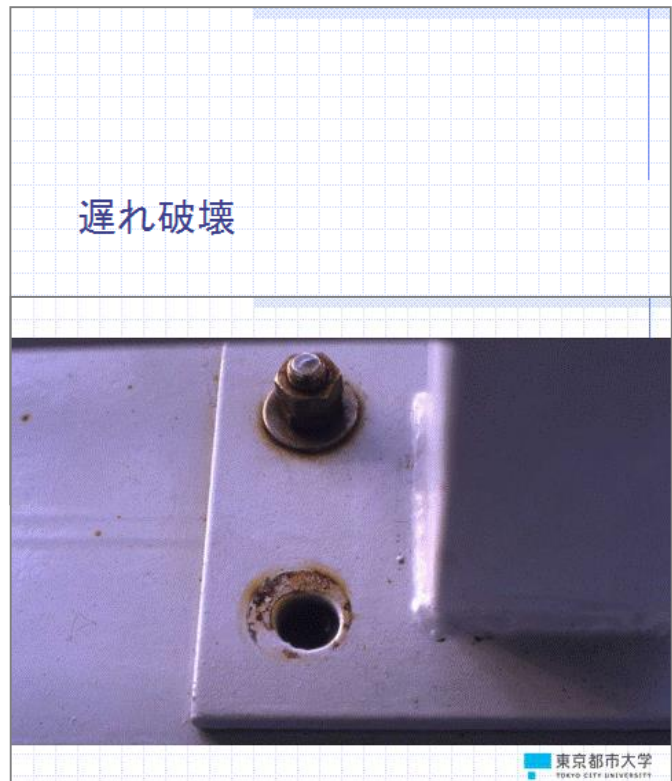
—スライド（遅れ破壊）—

もっと怖いものは遅れ破壊というものがあります。

—スライド（遅れ破壊の写真）—

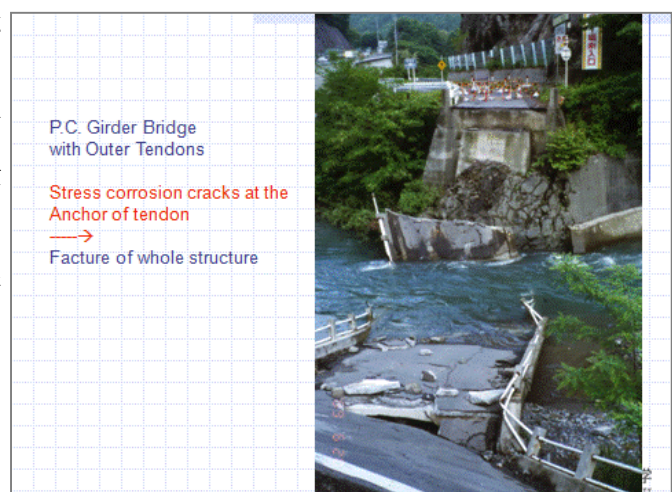
これはごく軽いものです。錆びてはいけないと思って、ステンレスのボルトを使っているのです。ところがステンレスのボルトを使って締めると、鋼材との間で異種金属間で、金属電池ができてしまうのです。そうすると母材のほうも錆びて、錆びると水素が出る。水素が出るとステンレスを遅れ破壊させている。

実は笹子トンネルのあと、あるトンネルを見てステンレスで吊っているものに同じような現象を見つけて、国交省のほうには連絡するように言っておきました。届いているはずなのですが。これは高等学校の物理や化学で習うことを忘れているのですね。ですから鋼構造物をステンレスでとめたり。防音構なんかはアルミのリベットで取付けたりするのですが、アルミが溶けて取れるとかですね。こういうようなものは大変なしくじり、事故が起きて分かるわけですが、「なんだ、土木の人はそんなことも知らないの」といわれる1つの事例ですね。



—スライド（P.C. Girder Bridge with Outer Tendons）—

それから、こういうのも起きます。藤井聡先生がよく使う写真ですけれども、彼はあまり解説せずに使っているからよくないのですが。これは木曽川、先日噴火があった山の近くのもので、これはセグメント方式のP.C.です。突っ張っているテンドン、P.C.鋼線のアンカー部分が遅れ破壊して落ちてしまったケースですね。これはちょっと施工的に問題があります。こういう遅れ破壊的なものも結構怖い。



—スライド（腐食）—

腐食はひどくなるとこうなりますが、実はなかなか腐食では落ちません。すごく錆びているように見えるのですが、腐食生成物というのは2,000倍か3,000倍に体積が膨らみますから錆びると驚くのですが、多くの場合はそんなにひどくない。

—スライド

（腐食損傷から落橋へ至った事例）—

これは沖縄の橋ですけれども、もう通行止めしているものを実験用に私がいただいた橋で、そこにいろいろなセンサーを取り付けて測っていたので非常に貴重なデータがとれました。外側から見ると綺麗なのですが、中側に行くとボロボロというケースで、結構この辺りは腐食の点検の難しいところです。

—スライド（4. 点検と診断が重要）—

点検と診断が重要という話をさせていただきます、

—スライド（バスタブカーブ）—

機械類の経年劣化現象を議論するときにはこれがよく出てきます。バスタブカーブ。私も時々使います。これは時間に対して、故障率、事故率です。

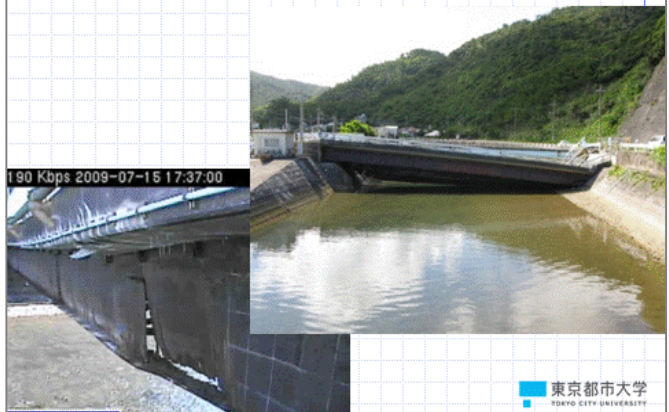
昔の車は買うと1年ぐらいはしょっちゅう点検に来いと言われたのですね。3カ月点検、半年点検とかいっていたのですが、これは初期故障の対策なのです。その後、安定期があって、老朽化になるのです。我々の構造物は、ようはどこにいるかなのです。ひょっとしたらこれかもしれない。だってローマ人の橋は

2,000年経っても平気なわけだから、今あるものはこれかもしれない。この辺だろうと思うのですが、我々の橋はどこにいるのかを特定するのが点検と診断ということになります。

腐食

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

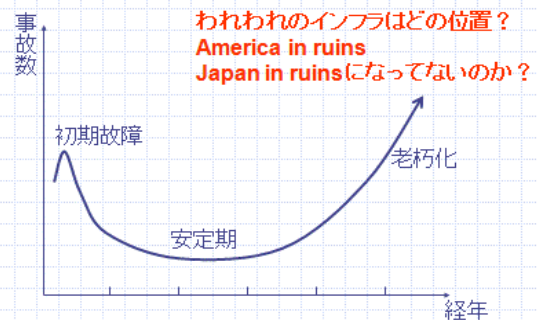
腐食損傷から落橋へ至った事例



東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

4. 点検と診断が重要

バスタブカーブ



東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

後で出てきますけれども、山添橋と木曽川橋と重大な事故が2つ連続して起きたのです。国交省の国道防災課でいろいろな話をされていて、本当にこれまでの点検と診断はきちんとできているのかなということになりました。きちんとできているのか調べようよということで、調べました。特に鋼橋に限ってなのですが、鋼橋の直轄でやった点検・診断のレポートを全部チェックしました。

道路橋の点検と診断：実態はどうか

(山添橋、木曽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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

そのきっかけになったのはこの山添橋の事故なのです。いろいろな所で紹介されます。あまり詳しくは言いませんが、点検の中でこんなクラックを見つけたと。1.1mのクラックを見つけたと。これはクラックを見つけたとは言わない、壊してしまったというのです。1.1mのクラックって、たぶんこれ少し曲がっているのですね。たぶんこの辺りまで疲労破壊で、この先は脆性破壊だと思うのですが、実はこれ原因究明していないのです。被せしめてしまったと言われてもしかたがないですね。

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】

写真1 G線

写真2 主桁ウェブと面外ガセットの継手

写真3 ガセットボレーット

写真4 主桁ウェブと面外ガセットの継手

主桁ウェブと面外ガセットの継手

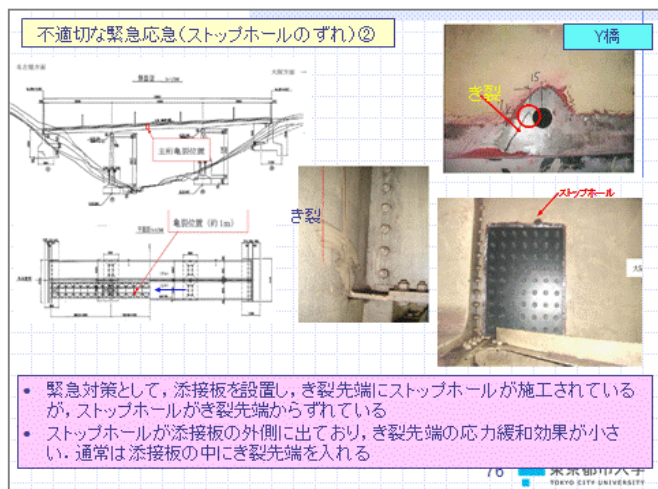
面外ガセットの継手

〔H18.11.10 近畿地方整備局 記者発表資料より〕

市大学

—スライド（不適切な緊急応急（ストップホールのずれ）②）—

そのうちにこんな書類が出てきました。これが驚いたのですが、最初にやったのがここに後ろに H 型鋼を抱かせて、「これはひどい」と私は言いました。その後すぐに外したようですが、ここにクラックがこうあるのですね。最初やらなければいけないのは原因究明なのですね。どうせ切れているのだから切り出せばいいのです。切れているものを大事にするのではなく、切り出せばすぐ分かるわけです。切り出さずに板を当ててしまっているのです。



しかも実はその疲労亀裂の先端にここにストップホールが開いているのです。「新型のストップホールですね」と私は言ったのですが、ストップホールはクラックの先端に開けなければだめですし、添接板できちんとここをカバーしないとイケないのです。これが実際に起きたことです。

どなたが委員でというのは言えと言われれば全部言いますけど、そんなことは言わない方がいいのですが、これが実態だということです。立派な会社の方が点検をされて、先生方が集まって委員会をやって、でも、これを見る限り現場に行っていないのではないですかね。現場に行けばこんなことしなないです。たぶん図面の上で孔とその位置だけ指示して開けさせたのだと思います。こういうようなものが起きている。

しかもそのとき私は「同じディテールについてはクラック出るかもしれないから見てくださいね」と言ったのですけれども、見ていない。いや、「見たのですけどありません」という答えが出たのですが、これ1年後の点検でたくさん見つかっています。ということは、この辺りのことができていない。ぜひ先ほど申し上げた分析結果を見ていただけたらと思います。

—スライド（木曽川大橋（鋼トラス橋）の斜材切断（局所的な腐食））—

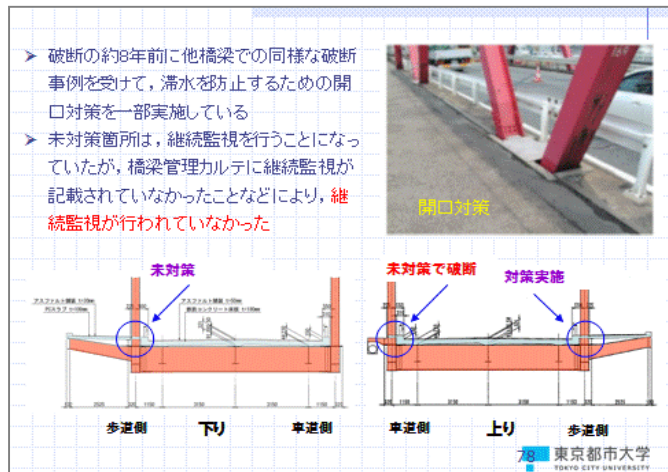
もう1つはこれです。これもよく皆さんご覧になっていると思いますが、木曽川のトラスの斜材が切れたと。ここの斜めに部材が入っている際ですね。ここで腐食が起きるわけなのですが、裏側で実は起きているのです。

これは、この顛末は名古屋大学の山田健太郎先生が土木学会誌に詳しく書いているので見ていただければと思いますが、8年前に同じような事故が起きているのです。それでこの橋も点検しているのです。それで片側は



対策をとっているのです。取りやすい方をとって、取りにくい方をとっていない。取ってなかったら起きちゃったわけです。

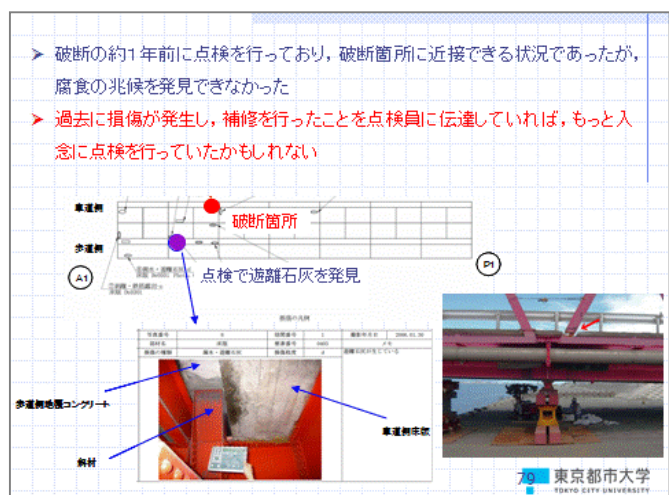
そのときに何が問題かという、継続監視をするようになっていたのです。ちゃんと継続的に見なさいよと言っていたのが、管理カルテに継続監視というのが記載されていなかったのです。要するにこれでは意味がないわけです。ですから、こういうようなことがこの原因になってくる。しかもこの橋はそのときにどうも接近目視という項目が外れていたらしく、遠方目視になっているのです。すると見えな



—スライド（木曽川大橋破断箇所の写真）—

ところが、破断したのはここなのです。木曽川といっても川の真ん中ではなくてここなのです。はしごをかければ分かるのですが、こういうこともできていなかったというのが顛末になります。

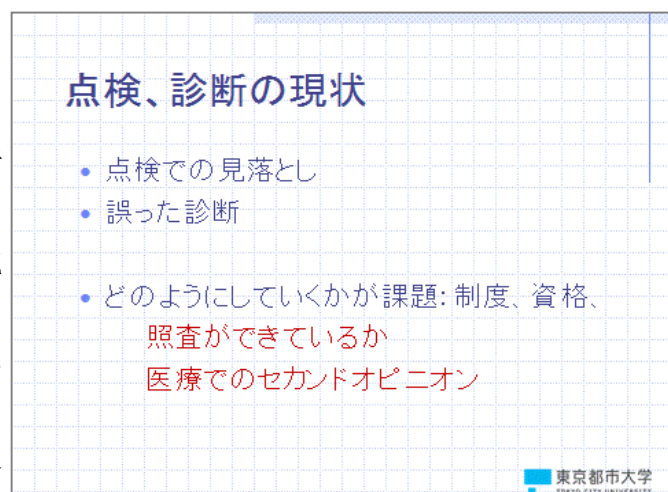
この辺を踏まえたうえで、こういうことにならないようにということで、今回のいろいろな格好での点検マニュアルだとかを作っていると。今橋梁から始まって、かなり構造物で点検マニュアルが今公表。ほぼ公表が終わっています。そういう格好で動いていますから、こういうことにならないようにしていこうということを今対策取っているところです。



—スライド（点検、診断の現状）—

点検での見落とし、誤った診断。レポートを全部調べていくと、どう見ても素人の判断なのです。対策がまたひどいのです。何でも板を当てればよいと思っているのです。単純に板を当てても対策にならないこともあります。そういうようなところをきちんとしないとイケない。

やはりどのようにしていくか、制度も資格



もきちんと考えないとまずいと。要するに我々は国民に対してきちんと安心して使ってもらえるようなものを提供しているわけで、これが不安を持ち始めるとどうにもなりませんから、この辺りはきちんとしなければいけない。

今考えているのはこのような業務において、照査ができていますかということです。皆さんの会社も ISO9000 番って照査技師という項目があるのですが、照査の意味がよく分かっていない。照査をしなければいけない。それから、それと同時に医療でのセカンドオピニオンというような格好で、誰でも見えるようにしなければいけないということになります。

—スライド（点検と診断）—

くどういようですが点検と診断は違う。医者の方のことを考えてみなさいということになるわけです。それから、実際の構造物の挙動は設計とは違うと。この辺りは事例が語っているのではないかと。単純桁といっても単純桁としては動いてないよと。非合成といっても非合成桁なんてないだろうということになるわけです。この辺りをきちんとしていけないといけないだろうということです。

医師の症例数と生存率と書いたのは、皆さんもしも心臓が調子悪くなったら、自分の心臓切るときにどうやって医者を探すかなのです。今ではすぐにインターネットでとれますね、どの病院の何とかという医者に行けば 200 切ったとか、300 切ったとか。同時に生存率も書いてあるのです。これだと思います。誰に頼めばどうするかというようなことを、全部オープンにしていけないとうまくいかないだろうと思います。

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（的確な点検と診断の重要性の例）—

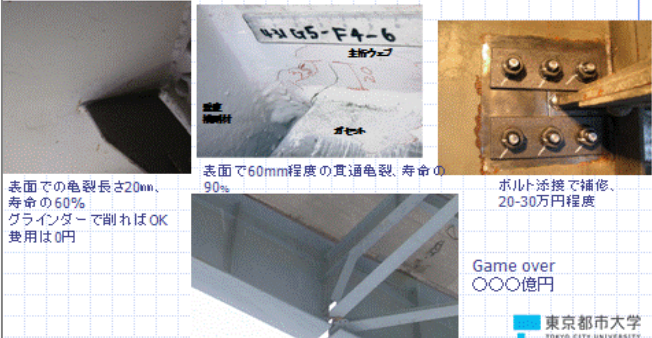
これは太田大臣に点検が大切だという話をしてくれと言われたので、持って行った写真なのですが、ここに疲労クラックがあるので。これは長さ 20mm ぐらいです。この状態で寿命の 60% ぐらいなのです。これグラインダーで削ったら OK なのです。

実は東海道新幹線のメンテナンスをやっているグループには、道具ボックスにグラインダーを入れさせているのです。「深さ 1mm を限度にして削れ」と言っています。「1mm

超えても消えなかったらすぐ報告」と言っているのですが、多くのクラックは 1mm で消えます。そ

的確な点検と診断の重要性の例

疲労などの損傷の進行は対数的、補修・補強費用も対数的。
亀裂に対する十分な知識がないと早期発見は極めて難しい。



表面での亀裂長さ20mm、寿命の60%
グラインダーで削ればOK
費用は0円

表面で60mm程度の貫通亀裂、寿命の90%

ボルト溶接で補修、20-30万円程度

Game over
〇〇〇億円

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

うするとセーフ、無料でこれで終わるのです。60mm 程度、これだと心臓ドキドキします。危ないです。これで 90% ぐらいです。ただ、これでもこうやれば終わりです。対策費が 1 カ所 20~30 万なのです。ほうっておくようになります。何億かかるか分かりません。Social loss 考えるととんでもないことになります。

ところが何が問題かという、これやってしまうとお金にならないのです。だから、今回のレポートの中に「産業界のいろいろな技術開発とか何とかを活用する」というのが入っているわけですが、これをやるためにはお金が無料だとうまくいかないから、こういうのを見つけて対策に対してこれの何がしかを考えるようなことをしないと産業界側は動かないと思います。これどんどん見つけて削っていったら無料になってしまいますよね。インハウスがやるとこれがいいわけです。東海道新幹線はインハウスで削らせているから、かなりが無料になるわけです。この辺りのメカニズムをどう考えるというのは、これから特に管理している側と議論していかなければいけない。

—スライド（点検と診断技術の開発と高度化）—

こういうようなことで、まとめていくと点検・診断・措置、こういうようになるわけです。いくつか話題になることをお話します。

—スライド（論点-1：5年に一度の点検）—

5年に1度とこれはどうかという話で。これを発表したときにメディアがたくさん来ました。「こんなのできないじゃないですかと、みんな文句言ってますよ」と言うけれども、実際は5年に1回だと危ないのです。クラックのように目で見られるようになって、ドンと行くまでの間をだいたい半分にしないといけないのです。それがアメリカとの2年に1回との1つの根拠になっています。

ですから、何かありそうな場合には 1/2 とか、1/4 とか刻んでいくようなことを考えないと危ないだろうと思います。東海道新幹線は8年に1度総足場かけます。総足場かけたときに徹底的にプロによって見るのです。その間は最低1年に1回は見るような格好でインハウスがやっているというのが東海道新幹線です。この辺りどうしていくのか。

それからあとで出しますが、今年から始まったS I Pでモニタリングの開発がずいぶん行われているわけですが、モニタリングがその間ウオッチしてくれるならモニタリングを使う価値は十分あると

TOKYO CITY UNIVERSITY

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

論点-1: 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.I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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

思います。ただ、5年間もつモニタリングのシステムは実は今のところないですね。この辺りが問題だろうと思います。

—スライド（論点－2：高い技術を有する者による点検と診断）—

それから高い技術を有する者。これが難しいのです。点検の Who、When、Where、How。これを Why を入れたほうがいいかもしれないのですが、先ほど見ていただいたような反省に基づいてこれはきちんとしなければいけない。点検技術者がきちんと分かった人間がやらなければいけない。いろいろな技術者が1人ではだめだと、カンファレンスという皆で集まって議論をするようなことをしなければだめだと。それから直すとか直さない

とかの措置については、もっと詳しい専門員もいるだろうということです。いずれも経験が必須、現場なしではできない。いくつ現場をこなしたかと、その成功例を全部データベースにすればいいのですよ。この辺りをこれから先どうしていくのかと思います。

論点－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。カンファレンスが必須
- 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。

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（点検技術者の養成(今年より開始)）—

点検技術者の話は、まず管理者側からいこうという話で動き始めています。初級、中級、上級、ということで、初級1週間ぐらいで地方整備局単位でやっている。中級が国交大学の係長研修を振り分けて2週間、テキスト統一です。テキスト統一で、できれば試験もやりたいということで、ある意味ではテキスト統一して試験をやれば車の免許と同じでどこが出してもいいわけです。これは国交省がやるとかやらないとか言わなくても、それがきちっとできるならば、そういう格好もある

かもしれない。ただ、みんながとるようなものでもないだろうと思っています。この間もあるテレビ番組で私は500人いればいいだろうと言いましたけれども、最低年間50ぐらいの橋をみないと目が肥えてこない。肥えてきたら年間10基でもいいかもしれないですよ。でも、そうもしないと代り番こに見に行ってもこんなの分かるわけない。かなり目がないとできない。

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

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド (5. 新しい技術に関心を持とう)

それからもう 1 つは少し新しいこともやった方がいいだろうと。これは新しくはないのですが、技術開発のところに入ります。ぼちぼち骨組解析やめませんかということです。未だに設計では骨組解析とか、格子解析とかやっているのですが、私はやめ。こういう議論をするときに、メンテナンスの議論をするときにはこれは全部やめた方がいいと。今パソコンで FEM とか簡単にできますから。うちの研究室の学生が持っているパソコンでも 100 万要素ぐらいの FEM すぐ動きますから、もうこういうのに変えた方がいいだろうと。

—スライド ((1) 骨組み解析ベースの設計計算からの決別。) —

土木の世界ってこれ驚きなのですが、これほど合わない計算をベースに物を造ったりメンテナンスしている世界はないです。

—スライド (実験状況写真) —

これ私がやった実験ですが東名高速です。B 活荷重の設定ときに行った実験です。これ 50 トンのトラックを 4 台並べました。

—スライド (解析モデル) —

FEM と合わせてみたのですが、そのときに言えることはこれが設計計算です。これが測定 FEM です。これが FEM では合います。

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

東京都市大学
TOYO KYU UNIVERSITY

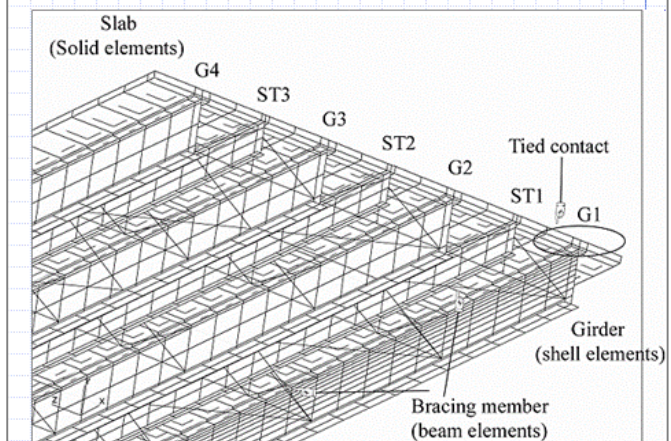
(1) 骨組み解析ベースの設計計算からの決別。

- 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?

東京都市大学
TOYO KYU UNIVERSITY



もっと重たい荷重(B活荷重のレベル)での試験
土論 6.847(2004)



—スライド

(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) —

たわみです。設計計算でやるとこんなにたわみがでできます。実際はこれだけしかたわみません。これで議論すればはるかに、ほとんど何も手を入れなくてもいいものがたくさん出てくるわけです。あとはディテールだけの問題になります。こういうことに関心を持った方がいいと。

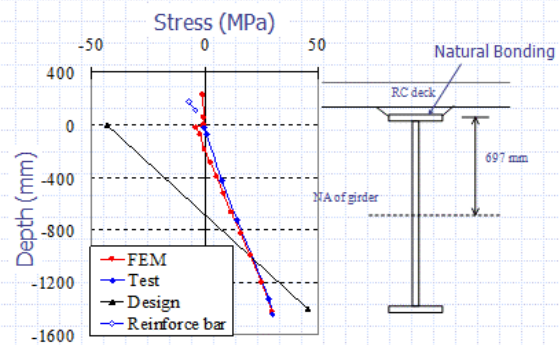
—スライド (各部材の貢献度) —

これはややこしいからもうやめますが、いろいろな部材がいろいろな貢献をしているわけです。その結果、梁理論の半分しか応力が出ないことになってしまうわけです。FEMでやると全部出ます。

—スライド (Boeing 777 Wing Test : 確証試験として実施される) —

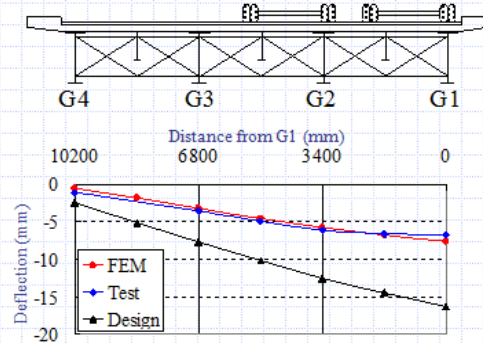
これは学生によく見せるビデオなのですが、飛行機は開発の最後に機体を壊すのです。これウェブでとれますが、安全率 1.5~1.6 の間に入っていないと失格になります。これ今手を叩いているのは設計者ですね、1.5 を超えたと喜んでいるわけです。次の心臓ドキドキは 1.6 を超えるとパーなわけです。どんどんやっていくわけです。これドキドキしているのです。あとアナウンスも入っているのですが、1.55 だと思えますがバキッと折れるのです。これぐらいできるのです今やれば。これで歓声が上がるのです。2 ケタまで合うのです。土木は倍半分でいっているのです。これはまず変えることだと思います。こういうことをやらないとうまくいかないのです。

スパン中央断面での G1 桁内の応力分布



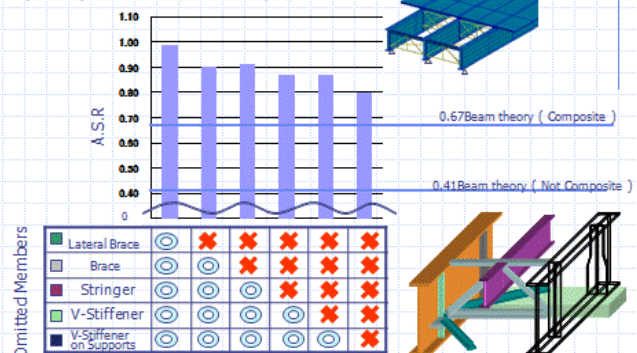
東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

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



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



—スライド (2) 鋼材、溶接材料に関心を持とう—

材料は同じSM材でも年代によって全然違います。

—スライド (内側ダイヤフラムの溶接…)—

これは注意した方がいい。

実は首都高の現場で経験したのですが、溶接で補修し、UTをやって、なんか変な割れの兆候が出て来たのです。それでコアを抜いてみました。

そうすると磨くとこんなのが出てくるのです。板の真ん中で割れているのです。ラメラティアという割れで、昔よく起きた現象です。

—スライド (Lamellar tear の発生は 1960 年代の重要な問題…)—

ラメラティアは鋼材中のサルファの量によります。

—スライド (鋼材製造における S 除去の能力の変遷)—

ここが限界になるわけですが、これと当時の A～E まで鋼材メーカー 5 社の製造能力です。この赤い線が、このラインより上はアウトです。これからいくと、1967 年この辺りまでですとみんなアウトなのです。

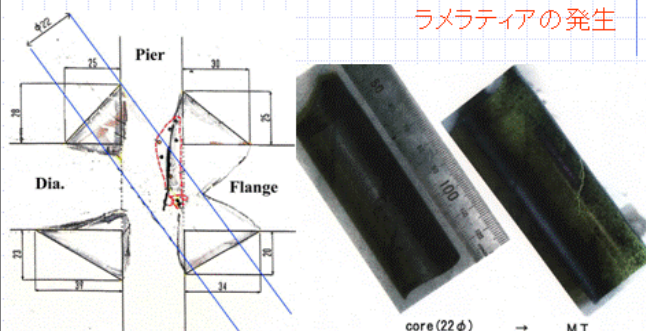
ですから 1967 年ぐらいまでの鋼材はへたに溶接すると割れますよとっているのです。なぜこうなったかという、やはり鉄鋼会社の技術開発で連続铸造などと言っていました、サルファが入っていると割れるそうです。この辺りで今は大丈夫なことでも、昔の鋼材は触ってはいけませんよということですね。

(2) 鋼材、溶接材料に関心を持とう

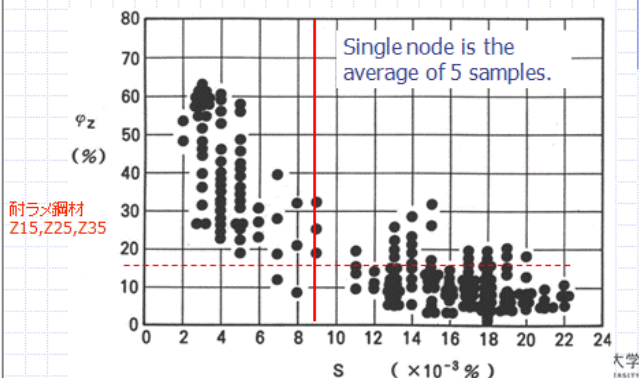
- 同じ規格の鋼材でも時代とともに変わっている。
- 強度は CVN を除いて大きな変化なし。
- 化学成分は 1970 年ころに大きな変化 (清浄度の改善、特に S)
- 今の鋼材の感覚では溶接は出来ない。われの危険性が高い。

- 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

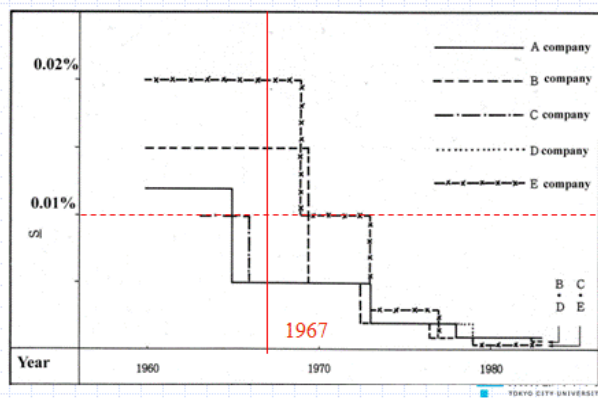
ラメラティアの発生



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。



鋼材製造における S 除去の能力の変遷



—スライド（(4) モニタリング： Smart bridge）—

それからモニタリングの話を少しします。
私のところはずっと昔からやっているのですが、この話を私の都市大の学長の中村英夫先生に話をしたら、こうかなって彼が言ったのです。それを使わせていただいているのですが、モニタリングは「橋に神経と脳を取り付け、傷を受けたら痛いという」、中村英夫先生の言葉なのですが、確かにそのとおりなのです。今すごく流行り始めています。

(4) モニタリング： Smart bridge

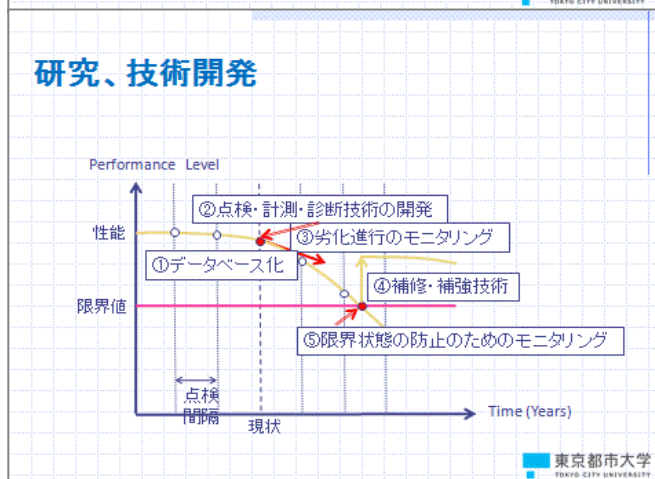
橋に神経と脳を取り付け、傷を受けたら自分で痛いという。
(中村英夫先生)

Self detection, self Diagnosis → Monitoring

東京都市大学
TOKYO CITY UNIVERSITY

—スライド（研究、技術開発）—

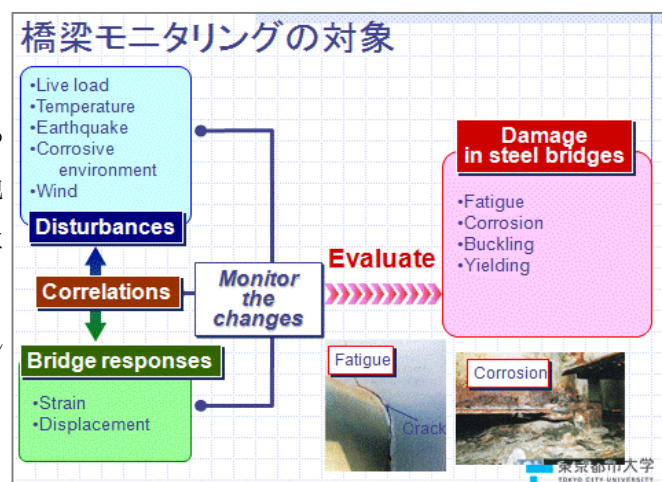
構造物というのは使い始めると徐々に劣化をし始める。それで、点検・診断というのはこういうところで、現時点でどれぐらいの体力があるか、実はできたときにどれぐらいかって分からないのです。どれぐらいの出来栄が全然分からないのです。コンサルタントによっては1回の点検で、性能曲線を描きますよといいますが、「本当かよ」って言いたいですね。できるわけないのですよ。東京都だけは同じ点検マニュアルで4回、5回やってますから、やっとこのカーブが描け始めました。このカーブが描けたら大成功なのですね。点検というのはこういう格好で、現状の耐力を見る。これがどれぐらいなのだろうということですね。



それからモニタリングというのはこれを見るのですね。どういように行くのかなと。例えば5年ピッチでやっているときに、5年間いいかなというのもモニタリングの1つの対象になると思います。それからさらに限界状態をとめるというのもモニタリングの対象になります。この辺りがモニタリングになってくるわけですが、これは使えるだろうと思っています。

—スライド（橋梁モニタリングの対象）—

我々はいろいろなことをやってきているわけですが、外部からの荷重、外乱だとか、地震力とか、台風とかをチェックする。これはいわゆる橋ができたときの動態観測という名前で呼ばれているものにほぼ等しいと。それに対して、ブリッジのレスポンスを見ると。歪みがどうかとか、変位がどうかというレス



ポンスを見る。ではこういう外乱とレスポンスと見比べると、構造物が変わっていくかなと。これが捕まえられたら勝ちですね。これが目標になるわけです。

モニタリングで Fatigue とか、Corrosion とか、Buckling とか、Yielding とか起きるのをどうにか予知したいというのが目的になってきます。

—スライド（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）—

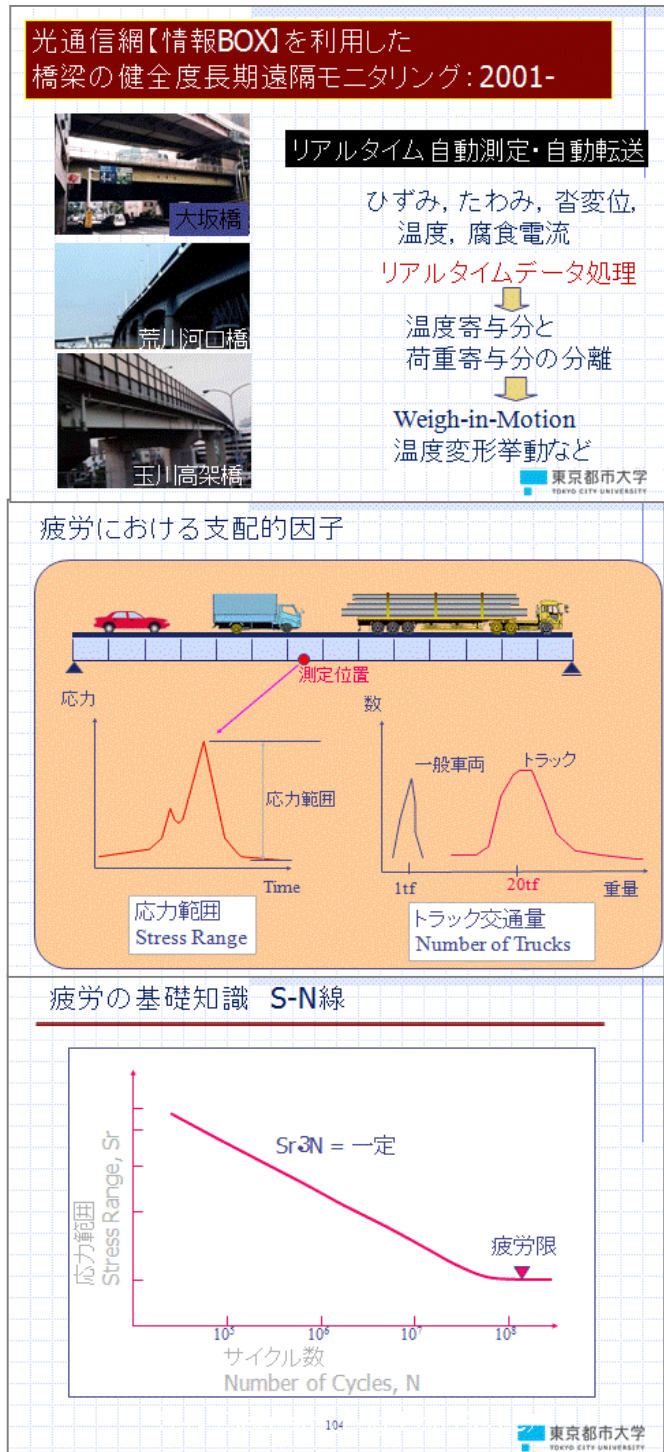
これは建設省東京国道事務所と2000年ぐらいからずっとやってきました。15年前にここまでできているということですね。全部リアルタイムで自動測定で、全部データ処理をして、活荷重から何から全部分かるようにしています。

—スライド（疲労における支配的因子）—

例えば疲労としては、活荷重の大きさが一番問題になります。ここに条件に書いてありますが、普通の車は1トンぐらいで、トラックは20～25トンですけれども、実はどれぐらいかということですね。

—スライド（疲労の基礎知識 S-N 線）—

S-N 線の勾配というのは、S-N 線というのは log-log で勾配3です。ということは、応力が倍になれば8倍ということです。1トンと10トンではダメージが1,000倍違うわけです。そうすると活荷重が一番大切なのですが、実はこれ建設省と一緒にやったモニタリングの結果ですけれども、50トン以上のプロットです。100トン車が通ります。これが、過積車両を取り締まれと言っている1つのあれになるわけです。これを現状どうするかということです。



—スライド (Extremely Heavy Trucks) —

これ 2001 年からやったときの、2002 年～2003 年のデータですが、3つの橋で随分違います。橋ごとに随分違うのです。玉川というのは246で神奈川県から入ったところですが、神奈川県で入ったときは結構大きいのがあって、環八・環七で逃げて、渋谷の傍まで来ると随分軽くなっているのですかね。こんなのが分かります。それから、荒川河口橋というのは千葉からはいったところですが、これから見ると千葉からの車は随分重たいなということになるわけです。こういうこともメンテナンスに効いてくるわけです。この辺もきちんとやらないといけないです。

—スライド (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—)

これをもう少し進んだバージョンのシステムが首都高についているのですが、もうストップしていますが、これも全部全自動です。要するに一切手を触れずに活荷重から何から全部判断するようにしているのですが、それをずっと累積していつて。

—スライド (統計情報 (通過車両重量情報)) —

このシステムの特徴は10トンを超えたトラックについては全部顔写真を残しています。実はこの写真の中には登録番号から、運転手の顔まで全部分かります。

—スライド (Monthly Changes of Vehicle Weight)

これほどやっていて異常値がでれば警告が出るようにしているのですが、少し5年間のデータをまとめてみました。10トン以上の車のアベレージが30トン、5年間変わりません。



それから月の最大値は 80 トンです。これも 5 年間変わりません。こういうものがメンテナンスの計画上、結構参考にはなるだろうと。

—スライド (Sum of Cubed Numbers of Passing Vehicles in Each Lane) —

それから交通荷重は曜日によって違います。金曜日から木曜日、少し変な切り方をしていますが、金曜日から木曜日までやっているのですが、1 番は登りの走行、それから追い越し、追い越し、下りの走行になるわけです。レーンによって大型車は走行車線に集中するということですね。こんなのも何に使うのかと言われても困るのですが、1 回取ったら使い道はあるかなというやつです。

—スライド (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) —

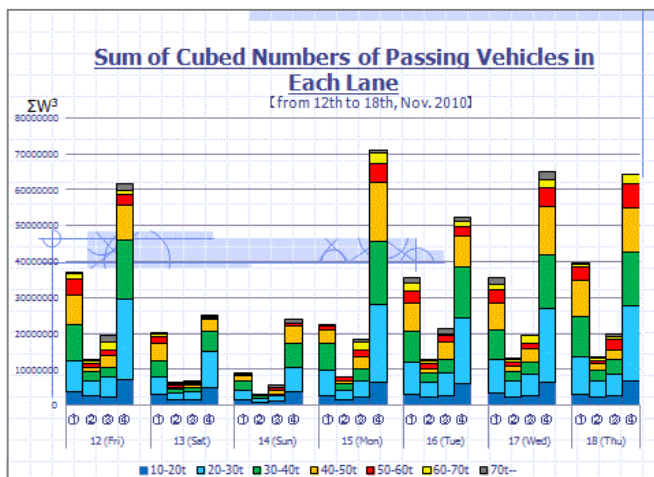
東京ゲートブリッジ、これはずっと設計のときからつきあってきたのですが、少しモニタリングを入れてあります。

—スライド (橋梁の特徴) —

これの特徴は免震支承なのです。巨大な免震支承が入っています。機能分離型です。まともに動くか心配なこともあってモニタリングを入れてあります。

—スライド (Comprehensive bridge health monitoring system) —

これはダメージシナリオ型モニタリングと私は呼んでいるのですが、地震力をずっと高めていってその結果どこが壊れるかということをシナリオを作ったうえで、いろいろなセンサーをつけていったと。こんな格好でセンサーがたくさんついていきます。まだあまりい

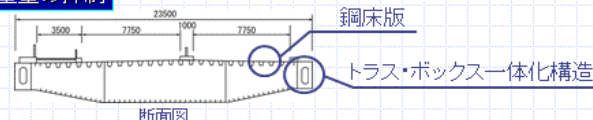


東京ゲートブリッジへの適用 従来の動態観測をモニタリングへ

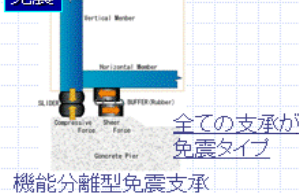


橋梁の特徴

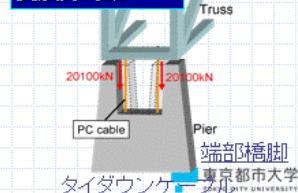
重量の抑制



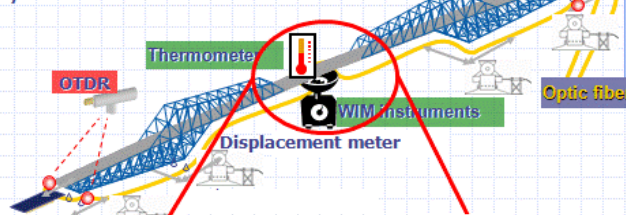
免震



負反力対策



Comprehensive bridge health monitoring system



	OTDR (8)	Displ. meter (16)	Optic fiber(whole)
Monitoring item	Aside block of the bearing	Displacement of the bearing	Structural failure
Evaluation items	- Bearing failure (Lateral bracing) - Level difference	Bearing performance	- Large deformation - Bridge fall

いデータが取れていないので、データが取れ始めたらまた公開したいと思います。

—スライド（経済産業省 METI）—

これを見てセンサー業界が動きました。去年だと思いますが、茂木大臣が見たいというので案内したのですが、茂木大臣を案内したあと、METI ジャーナルというのは経産省のオフィシャルジャーナルですかね、こんなのが出てきました。これ表紙ですけども、ここでもいろいろな話をしているのですが、センシングやモニタリングでメンテナンスのレベルアップをすることは、可能性はあると思います。



—スライド（これは実現可能か？）—

ただこれにリンクして、日経エレクトロニクスというジャーナルに出たモニタリングのイメージがこれです。これ見た瞬間「ばか」と私は思いました。全身センサーです。センサーがそういうものができればいいかもしれませんが、ただ我々はセンサーに対して夢は持っています。それは全部人力というわけではないから、ここまではいかないだろうけれども、何か考えることはできるだろうと。



—スライド（おわりに）—

これは最後ですが、目指すメンテナンス(予防保全型)。予防保全型にすると、うまくいけばお金がかからなくなります。ただ下手をすると損傷を育てる人が出てきます。これはある事故で弁護士と雑談をしていました。予防保全は私は防犯だと思っています。防犯です。警備のときに芽を摘んでしまえば大きな犯罪にならない。弁護士に「弁護士は防犯好きですか」と聞いたら、「それは難しい質

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。



問ですね。弁護士ビジネスが無くなりますね」と言いました。

ですが、我々は公共事業であり、我々はこのものを自分たちでメンテナンスしているわけだから、うまくいけば防犯になるわけです。そうすると、一気にメンテナンス費用が落ちるだろうと。ミニマムなコストで安心・安全・快適なことになるわけで、できればプラス 100 年に。どんなに壊れていても、修繕することはできると思いますが、安全性と経済性、すなわちそのときに直した方が安いかどうかですね。社会的なロスというのも考えないといけないわけで、この辺りのことも踏まえて取り替えるか、修繕するかを考えていかないといけないと思います。今までこの分野はあまり技術開発をやっていなかったわけだから、本気になって皆で技術開発すればそんなに難しくないだろうと思っています。

どうもご清聴ありがとうございました。