

( 5 ). 「メンテナンスにおける重要課題」 疲労破壊の制御をどうする？

東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻  
教授 三木 千壽

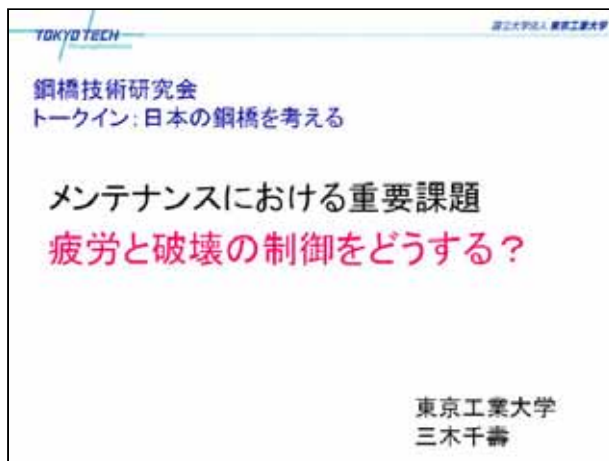
( 司会 )

それではお時間になりましたので、特別講演の後半部分に進みたいと思います。次は東京工業大学の三木先生ですが、残念ながら三木先生はご公務により海外出張ということで、今日この場におられません。先生もこの講演を楽しみにしておられたのですが、非常に残念ということで。代わりと言ってはなんですが、こういう形のビデオレターでのご出演ということになりました。

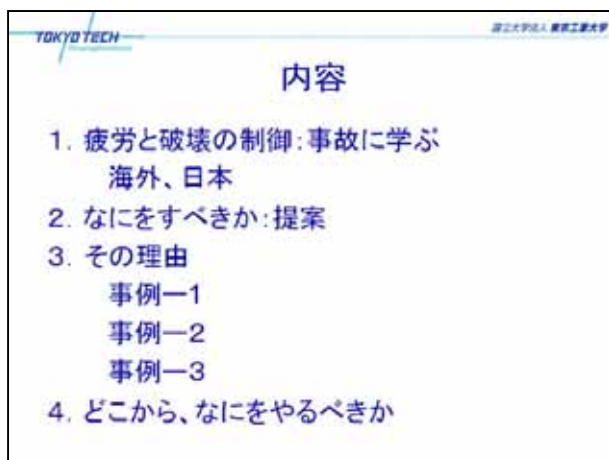
それでは、『メンテナンスにおける重要課題、疲労破壊の制御をどうする』と題しましてご講演をよろしく申し上げます。



( 三木教授 )



皆さん、こんにちは。本来ならば会場でお話するところですが、公務のためにラオスに行きますので、こういう形で失礼いたします。今日は、メンテナンスの中で特に大事だと考えられる、疲労と破壊の制御についてお話をさせていただきます。この席は鋼橋技術研究会で、橋梁関係の会社の方が多くということで、民間というか会社で橋梁に携わってる方に対するメッセージを強めにしたいと思います。



今日の話の内容ですが、まず疲労と破壊の制御について、事故に学ぶということで、海外の事例、それから日本、それからそれらを受けて何をすべきかについての私の提案をいたしたいと思います。それに至った理由について、3つほど事例を使って話したいと思います。それから最後にどこからそういう問題について取り組むかということについてお話をしたいと思います。



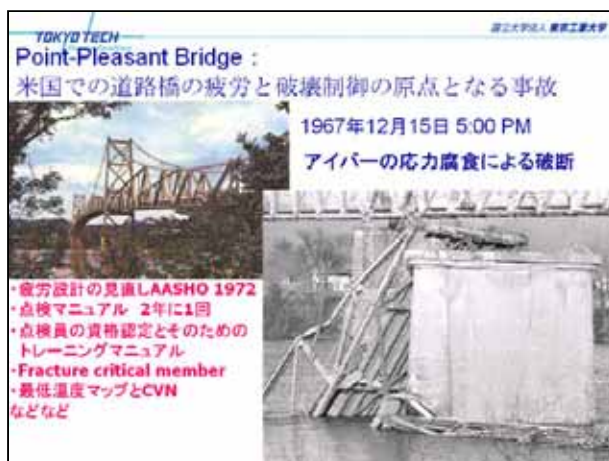
に同種の事故がヨーロッパで3例ほど記録されています。

まず海外の事例ですが、これは溶接が取り入れられてごく初期の事故です。ベルギーの橋ですが、全溶接で、フィレンデールの形式の橋です。ところがかけてすぐ壊れてしまっています。亀裂の原点となったのはこの位置ですが、溶接ワレですね。特に拘束の高いところでおきていた溶接ワレがきっかけとなって脆性破壊に至ってます。これに基づいて彼らは溶接の品質の管理が大事であるとか、材料の靱性値の重要さを認識したという事例でございます。同じ時期



そのときの値が現在使われている、27 であるとか、47 であるとか、これらの全部がこの事故の分析から出てきた結果でございます。これはある意味では、疲労と破壊、鋼構造物の疲労と破壊制御の研究のスタートといえますし、これらの研究に従事したジョージ・アーウィンがその後、フラクチャルメカニクスという学問体系を確立し、その中で応力拡大係数（K 値）を提案しています。

これは有名なアメリカの軍事用の船の事故ですが、戦争用に約 5000 杯の船を作っています。そのうち 1000 隻に問題が起きています。そのうちの 200 はきわめて深刻な事故に至っています。その中でタンカー 9 隻、それからリバティー船っていうのは貨物船ですが、そのうちの 7 隻は完全に破壊しています。このように真っ二つに折れるという状態になっています。この事故が鋼材の破壊靱性を、シャルピーの破壊靱性値で決めていくきっかけとなりました。



橋梁について、もっとも大事な事故とされていますのは、これです。1967 年のポイントプレザントの事故ですが、調査の結果、疲労ではなくて、アイバーの孔部に発生した応力腐食ワレとされていますが、こういう形で橋が完全崩壊しています。47 人だと思いますが、死亡しています。この事故の結果として、たとえばアメリカインルインズ(荒廃するアメリカ)の報告が出たり、橋梁については、橋梁疲労設計の見直し起きてます。それまではAWSの疲

劣設計そのまま使ってたんですが、それを橋梁に書き換えたものが、AASHO の 1972 年、74 年という格好で改訂されていきます。点検マニュアルが出ています。2年に1回という点検周期はこの時点で考慮されています。それから点検員の資格認定、それからそのトレーニングマニュアルもこの事故を契機で設定されています。さらに設計の中でフラクチャルコントロールメンバーという考え方、これはリダンダンシーのない部材については、より一層注意をするような格好の規定になっております。それからスペックの中に最低温度マップ、脆性破壊に対しては温度が大半強く効いてきますから、最低温度マップとそれに対するシャルピーの吸収エネルギーの規定が含まれてきています。これによって一気にアメリカの道路橋に対する疲労と破壊の制御は体系づけられたということになります。



ただ、そこまでやっても 2000 年にはこういう事故が起きています。ホーアン橋、これはミルウォーキーの近くの橋ですが、こういう格好である日突然真っ二つに切れたということです。この橋にはたくさんの疲労亀裂が発見されていますが、直接のきっかけは、ガセットと垂直スティフナーの間に残されてるギャップのところに残ってた溶接割れということになります。それが温度のドロップによって、こういう格好の脆性破壊に至ったということになります。その後、アメリカはすべての橋梁でホーアンディティールと呼んでいますが、ガセットとバーチカルスティフナーとの、ちょうど隙間のところのクラックについての集中的なチェックが行われています。それからまだはっきりして表には出てきてませんが、どうも橋梁については、破壊靱性値の見直しをした方がいいだろうと。これはクラックのアレストという観点で靱性値を見直すべきだという意見も出てます。これはまだ答えが出てないところです。



最後にこれはミネアポリスの事故ですが、12月に報告書が公表されると、それまでは一切の情報は表に出さないということが言われています。事故の直後からジョン・フィッシャー教授と連絡をとっているのですが、その中でそのようにいわれています。12月に来ないかと言われていましたが、結果、3月にのびしました。

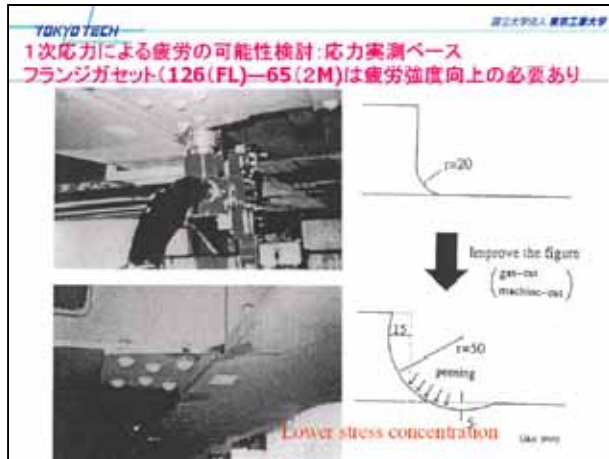


日本ですが、新幹線、これは1964年に開通しています。この新幹線の橋梁については、1960年の示方書に基づいて設計されています。開通して10年くらいのところから疲労亀裂の発生がかなりの数、報告されています。ほとんどがですね、いわゆる変位誘起の疲労という格好になります。要するに縦横にクロスする橋梁のコネクションのところの疲労ということになります。この亀裂自身はですね、新幹線の中で一番大きい、発生した一番大きい亀裂っていう

ことになります。疲労亀裂でこの様子から見ると、疲労亀裂から脆性破壊に至っているということになります。このような事故を契機に、特に主桁と横桁、それと横桁と縦桁のコネクションのところのディテールが改善されていっています。



ただそのような対策をやっていてもこういうことが起きるっていう事例ですが、これは割りと近い事故ですが、下路プレートガーダの横桁と縦桁のクロス、コネクションの4箇所すべてに非常に大きな疲労亀裂が入っています。疲労亀裂とある部分、脆性破壊になっています。鉄道橋でもそこまでケアフルにいるんな面で改善されてきても、こういうことになってしまうということになります。こういうディテールが見落とされる可能性もまだあるということになります。



新幹線については、一次応力、いわゆる計算で設計計算に乗ってくる応力のことを一次応力と呼びますが、疲労の可能性が出てまいりました。すべての橋梁について応力をチェックした結果、このフランジガセットについては、なんらかの対策が必要という格好で、こういうふうな改善工事が進められています。これ、フランジガセットにつきましては、当時、疲労限として 126 を想定してたわけですが、現在のスペックでは 200 万回強度で 65 という格好で、大変大きな差が出ております。要は疲労照査した結果、許容応力度半減、疲労限ではありませんから、半分よりさらに下げたような格好になっている。こういう格好について対策が必要になったこととなります。これについてはこのところ、R をエンドのところを丸味をつけていくという形で対応しています。



次に道路橋ですが、道路橋もですね、実はかなり早い時期から疲労亀裂たくさん出てます。これは私が大学院の学生の時にいただいた写真ですから、少なくとも 1970 年以前、60 年代の事故です。これは風によってランガーの吊材がゆれたという事故ですが、この事故がかなりの数発生しています。



1980 年代の早い時期にたくさんの橋梁に出たのがこのケースですが、いわゆる対傾構なり、分配対傾構なり、分配横桁の取り付け部に出てきたもので、これは変位誘起の疲労ということになりますが、大変多くの橋梁でこれらが見られています。



これは桁のエンドですが ,ソールプレートのところからクラックが入った事例です .これは1987年です .



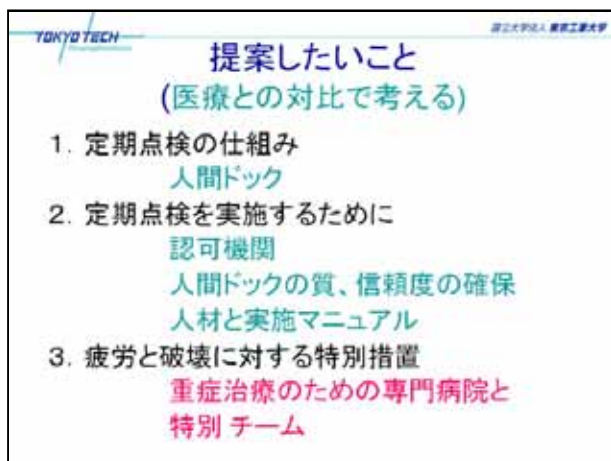
これは桁端の切欠のところですね .大きな亀裂が出てる .



これはプレートガーダーの下フランジの突合せ溶接の疲労亀裂です .このようなものをですね ,道路橋の疲労損傷事例 ,すべてをまとめた格好で ,1997年の5月に道路協会から「鋼橋の疲労」という本を出版してます .疲労については ,かなり以前から問題になっていたわけですが ,残念ながらまとまった形で対応取れていなかったといえます .



ここで日本の道路橋については大変な問題ですが、疲労設計の導入は2002年ということになります。「鋼橋の疲労」をまとめた後、設計としてまとめていったわけですが、実は全て終わったところで、上位の委員会からストップがかかりました。大変驚いたことなのですが、いろんな状況からある意味ではあきらめざるを得ないかなというところまで追い込まれたことがあります。理由は、時期尚早、ということかよくわかりません。具体的には、鋼橋の競争力の低下、コストが上がるということですね。それから最も格好悪いのは、疲労設計ができる技術者がいないということです。これが時期尚早の理由にはならないですね。そのときに疲労設計の導入に向けて私はいろんなことをやりましたが、要するにエンジニアエセックスの問題であって、この時点で疲労設計を入れないということに対する問題が生じますよということを強く申し上げたことがございます。その結果としては、示方書の本体に入れることは駄目でした。指針という形で出たのは、2002年でございます。このときにおっかけて既存の橋梁の疲労照査をやるべきであると。何故ならばどんなものが含まれているか全然わからないし、耐力もわからない状態で、これからメンテナンスできないでしょうということを申し上げたわけですが、実はまだそのあたりは、未だ現時点でも全くできていないのが現状であります。

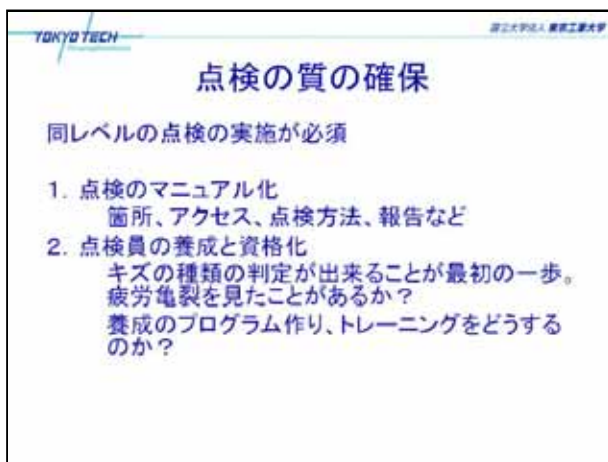


そこで、今日、ここから提案したいことに入りますが、少しわかりやすくするために、医療との対比で考えたいと思います。1つは定期点検の仕組み。これ、医療での人間ドックにあたります。それから定期点検を実施するためには何が必要か。病院だと認可があるし、人間ドックの質、信頼度の確保をするためにいろんな形でマニュアル化され続けます。それから最後に、まずここまでが普通の方の健康診断とすれば、重症患者はどうするかという格好で、疲労と破壊の問題に対する特別措置を考えたい。今日はこのあたりを中心に話をしたいと思います。医療で言えば、重症治療のための専門医院と特別チームという格好になってきます。



まず最初に定期点検の考え方ですが、これど  
ういうふうに考えるかですが、定期点検、どの  
くらいの定期がいいかということになるんで  
すが、これは人間ドックの間隔、毎年受けるの  
がいいのか、それから同じようなレベルを毎年  
受けるのか、それもと重みをつけた点検をやる  
のか、です。同一レベルの定期点検をずっと続  
けていく。これはアメリカスタイルで、これは  
2年に1回というのがアメリカのルールになっ  
ています。それに関して、重みをつけて定期点  
検をしていく。これもいい方法と思います。こ

ういう形で 少し軽い点検をやっていき、何年か先に詳細の点検をやっていく。東海新幹線の保  
守はこうなっていますが、これは8年に1度のペンキの塗り替えに合わせて詳細点検をやってい  
くというシステムです。こういう形になってきます。この辺は考え方だと思います。定期点検の  
周期の決め方、考え方は、最も大事なものは、多くの構造物とか、機械類でやってることですが、  
通常の点検です、1回の見落としがあっても安全のようにするというのが基本です。これは  
ものによっては2回というケースもありますが、多くの場合は1回見落としでも大丈夫だよとい  
うことになります。そうするとこれからいくとですね、見落とすと言うことは見えないといけな  
いわけですから、疲労亀裂なり、何なり損傷がビジュブルに（見えるように）なってくる時点か  
ら最終までの間隔がベースです。目で見える状態、表面の長さで10ミリ、20ミリとなるわけ  
ですが、その状態から脆性破壊にいたる状態の亀裂までの時間を2で割った期間よりも短くする  
ことが点検周期の基本になってきます。これが現状の道路橋の5年でいいのか、多くの橋梁で全く  
やってないという話なんです、極めて危険な状況にある。多分、5年だと無理。世界中の機関  
でほしい2年というのが標準的なものになっており、たとえばアメリカの重要な橋梁について  
は毎年やるのが、最近の例になってきます。



それから点検の質の確保ですが、同じレベ  
ルの点検ができないと、何もなりません。こ  
れは相当の数の橋梁を対象にするわけです  
から、1つは点検のマニュアルを作らないとい  
けない。これができているかどうかなんです  
が、どこを見るのか、それからどのようにア  
クセスするのか。たとえばアメリカのマニ  
ュアルですと、手でさわれる距離という規定が  
あります。手でさわってみるのは当然ですが、  
さわれない場合はどうするのかとか、点検で

どういう機器を使うのか、どういう非破壊検査をやるのかとか、一番大事なものは、レポート、報  
告をどうするのかと。このあたりを標準化していかないといくらやっても多分有効な点検になっ



ていけないと思います。

次は人の問題です。それから点検員の養成をどうしていくか、それから資格はどうするかっていうのは大変重要な問題になってきます。キズの種類の判定ができるかどうかというのが最初の問題になります。疲労亀裂を見たことがあるのっていうことですが、ある橋梁を点検したコンサルタントの主任技師に、疲労亀裂見たことありますかって、「あります」「どこで?」「私の教科書」だそうですが、あなたは胃を切ろうとしている人間に対して、初めて本で見たから切れると、それを許すかどうかという問題になるわけです。残念ながら橋梁の世界では疲労亀裂を本でしか見たことない人間に点検をさせてるのが現状だということに対して認識を持つべきだと思います。さらにそういう人材の養成のプログラムも作らないといけないし、トレーニングをどうするかというのも大きな問題です。これ、誰がやるかっていうことになってくるわけですね。誰がどういう格好でやるのか。今バラバラになっています。ここまでは医療での人間ドックやホームドクターに対応します。

TOKYO TECH 東京大学 東京工業大学

**提案: 高度専門家によるチームの構成**  
医療分野での高度治療のためのチーム

問題となる現象: 疲労、破壊、腐食、応力腐食割れ  
橋梁の成人病、老人病  
心臓、脳、癌などの難病

1. 高度の専門家チーム  
点検/診断/処置/観察の高度な知識の統合  
検査技師、医師(多くの分野)、看護師

2. 集中的な対処: レベルアップには経験の積み重ね  
専門病院と執刀数、処置数、  
委員会やWGで対応することは不可能!!

今日一番大事な問題としては、高度な専門化によるチームを作らないといけないということです。医療分野での高度治療のチームと同じになります。今テレビ番組、医龍をやってますけど、あのへんを見るとコンセプトとしては大変参考になります。要は通常の状態のメンテナンスをやるのと、疲労と破壊とは全く意味が違うということに認識を持つべきだと思います。問題となる、ここで対応しようとするものは、そんなに厳しい破壊状況につながる損傷です。

それは疲労であり、疲労に続いておきてくる脆性破壊であり、腐食、それから応力腐食割れという格好になります。人間でいう、成人病、老人病の分野ですが、今、われわれが向かい合っているのは橋梁の成人病、老人病ということがいえると思います。残念ながら橋の成人病の専門家がほとんどいないことが問題です。心臓の癌などの難病に対する治療体系を考えればよいと思います。高度な専門化チーム、なぜチームかっていうとですね、点検とか診断とか、処置とか観察というふうなことに限ってはいろんな分野の知識を統合する必要があります。検査技師だとか、医療の分野では検査技師であるとか、医師である多くの分野、内科、外科、神経科、すべての分野の人間が集まり、さらに看護師も入ってチームを作り、こういうような格好を進めていってます。もう一点はチームを作った上で、集中的な対処が大事だと思っています。レベルアップというのは、経験の積み重ねが必要になってきます。専門病院で、執刀数、処置数、いくつ処理したかっていうことが新聞にも出ます。その間違いも率も出るわけですが、初めはうまくいかないわけですが、1つの事例について百、二百って、そのうちに技術が上がってくる。橋梁も同じになってくるんであります。強くいいたいのは、委員会とかワーキングではもはや駄目だということなんですね。ワーキングをやり委員会やって、ワーワーやってみても何もならないというのが実態になります。

TOKYO TECH 東京大学 工学部 東京工業大学

## なぜチームが必要か

出現する障害、損傷

- ・設計: 疲労設計、構造ディテール、溶接設計、...
- ・製作: 組み立て、溶接施工、品質管理、...
- ・架設: 精度、キャンバー、手直し、ミス、...
- ・メンテナンス: 点検、補修、...

などのすべてに係わる。

点検、診断、補修補強設計、事後モニタリングには、広範囲の高度の専門知識の統合が必要であり、それは一同に会してのコンファレンスにより実現。

とか、それから初期不整の問題とか関係してきます。溶接施工をどうしたのか、どういう方法でやったのか、それから品質管理をどうしたのか、架設についても関係してきます。それからメンテナンスどうしたのかということですね。この辺すべて関わってきますから、これがわかる人間を1つの場に集めて、議論することが大切ということになってきます。すべての技術を統合するような形でチームを作り、そこで一堂に会してのコンファレンスによってこれを実現してくる。決してワーキングなり、委員会では実現できないことになってきます。しかもこれは点検診断なんかという、ハイアラーキ構造で持ってきてもできません。すべてがイーブンの立場で利用することで初めて実現してきます。

TOKYO TECH 東京大学 工学部 東京工業大学

## チームの実績

### 首都高速道路緊急対策室

構成 (Full time 勤務者)

- ・公団
- ・技術センター
- ・橋梁制作会社: 設計、製作、溶接、メンテナンス
- ・橋梁工事会社
- ・非破壊検査専門家

現場検査、評価などすべてセットで行動

所で議論するということが大事になってきます。

なぜチームが必要か、橋梁ではですね。そこは是非お考えいただきたいと思います。これは出現する障害、損傷、これは計画、設計、製作、架設、メンテナンスの全部に絡んでいます。設計が悪い。道路橋で言えば疲労設計してない。疲労設計が古い疲労設計に基づいていると、今から言えばミスジャッジ的なものがあります。それから構造ディテールも関係します。それから溶接設計が関係します。それから製作については組み立て、これはギャップの問題である

1つ、チームの実績、少し手前味噌っぽくなってきますけど、今まで私どもがやってきたことを1つだけお話します。これは、首都高速道路の緊急対策室です。ここにはフルタイムで働いた人間だけでいっても、公団の職員、センターの職員、橋梁製作会社の人間、設計・製作・溶接・メンテナンスに関わった人間、協力工事会社、多くの補修工事は工事会社がやっています。非破壊検査の専門家、こういう人たちを集めて、常に議論している。これが一堂に会して同じ場

TOKYO TECH 東京工業大学

### 事例-1 向192橋脚の疲労損傷調査概要

補修補強担当会社

- ・欠陥などを見つけることが出来ない。  
非破壊検査技師への丸投げ
- ・欠陥の特性や原因を把握できない。  
知識が欠如
- ・不適切な補修・補強設計とその実施の固執  
知識と協力体制の欠如

緊急対策室でのコンファレンス  
緊急対策室による現地点検と診断  
いずれも多数回

少し事例をお見せします。これは今から何を言いたいかといいますと、ここに書いてありますが、現在の体制、要するに丸投げでは結果を見つけない。ただ結果の特性や原因を把握できない。これは知識が欠如している。不適切な補修、補強設計と、その実施への固執。これは協力体制がなってないわけですね。このあたりに対して緊急対策室で対応していったということです。大変な数のコンファレンスを開いています。

TOKYO TECH 東京工業大学

### 向192橋脚 製作:昭和44年 菱形ゾーンの固有キズ

貫通梁ウェブ  
柱本体  
菱形ゾーン  
未溶着の菱形ゾーン  
菱形ゾーンの一部(メタルタッチ)  
溶接欠陥多数:スラグの巻き込み

実態ですが、これは丸ピアですが、ここにあるようないろいろな形の欠陥が結果的に出てきています。これは横梁のウェブを貫通させてるわけですが、その周りにもすごい種類の欠陥があるわけですが、残念ながらこれを請け負った会社はほとんど見つけていません。見つけない状態で行った補修補強設計というのは全く無意味になってきます。

TOKYO TECH 東京工業大学

### 損傷状況と判定(H13年5月)

- ・亀裂が円柱割れ溶接最終層に認められる。縦亀裂は溶着金属内、横方向きれつはクレータ部であり、フローを含む。
- ・亀裂は開口し内部に酸化スケールが付着していることから、溶接時の割れと思われる。
- ・先端がHAZに入り開口も少ないことから、溶接割れからの進展の可能性あり
- ・原因:予熱不足による溶接割れと、そこから進展した亀裂

こういう格好での欠陥に対してパッと見ていきますと、たとえば最初に出てきたレポートだと最終層に割れがあるとか、溶接時の割れであるとか、溶接割れの進展の可能性はあるとか、この中で見つけてる亀裂はごくわずかになります。

TOKYO TECH 東京大学法人 東京工業大学

## 平成13年6月検査報告

損傷状況の検査結果:

S側隅角部コーナーに亀裂

MT:亀裂は内面では確認されず、**非貫通の表面割れ**と判断する。(最大で表面からH3程度)

UT:開先面に沿ってエコー検出(ウェブ全線)、上FLG側に微小な欠陥

硬さ試験:Hv=220<割れの目安370である、予熱不足が原因ではない。

応力測定から**溶接施工に不具合が無ければ亀裂進展の危険はない。**

原因: Siからの亀裂発生の可能性あり(応力を確認)

ルート未溶着から進展

亀裂はルートより進展している

それではダメだといって戻すわけですが、その次には今度はこういう格好になってきます。非貫通の表面割れがある。実際はルートからの進展です。それから不具合がなければ進展はないといってるわけです。ところが亀裂はルートから出てるわけです。全部ミスジャッジになります。彼らの現場での仕事ぶりを見てますと、検査は検査会社に丸投げといった感じです。どこにどのような溶接があって、どのような欠陥が想定されるなどの情報を与えてやれば検査

の効率も信頼性も一気に上がります。

TOKYO TECH 東京大学法人 東京工業大学

## 検査結果に基づく補修案(12月)

補修補強案:補強は不要、溶接補修で復旧できる。

損傷箇所

補修箇所

表面の亀裂除去では補修不可能

附り廻り部と上flgコーナーを補修箇所と決定

H13.12報告

それからさらにいい加減な補修案が出てきます。これは修復できる、溶接で修復できる。できるはずがないわけですね、ルートから入ってるわけですから。それからさらにまだ欠陥があるだろうということで、ここで点検箇所を増やしています。

TOKYO TECH 東京大学法人 東京工業大学

## 緊急対策室からのコメント

損傷はルート部の未溶着から発生しており、表層の亀裂除去では再発する。

亀裂の発生原因が特定出来ない。(製作方法、溶接順序、姿勢)

未溶着部の徹底的な説明が第一

亀裂発生箇所の応力性状を把握、コントロールした上で溶接範囲を決定する。

ダイヤ等にも未溶着部は存在し、力は伝わっている。

どのような力、変形により亀裂が発生しているかの判定(柱上部に大きなマス)

これに対する緊急対策室のコメントとしては、ミスジャッジですよ。割れは他にいっぱいありますよ。それからまず未溶着部の徹底的な説明をすべきでしょう。原因が特定できていない、ほとんどが製作時に起きているわけですが、こういう格好でやらないと、補修工事やってみてもすぐまた次の欠陥、損傷につながっていきます。



まあこういう経緯で出てきた補修案がこういうものです。ジャケットをボルトで巻いていく格好になります。

TKYD TECH 東京大学法人 東京工業大学

### 事例-2. 横356橋脚の疲労損傷調査概要

設計図と実際の構造物のディテールが異なっていた事例

受注会社

- 亀裂の発見が出来ない。
- 点検箇所への落ち。重要な箇所の検査めけ。  
検査員への丸投げ、知識不足
- 欠陥、亀裂の特定が出来ない。  
知識、経験不足
- 不適切な補修・補強設計  
疲労に関する知識不足

多数回にわたる緊急対策室による対応  
やり直し

もう1つの事例です。これについてはですね、亀裂が発見できない。点検箇所の落ち、要するにどこに問題があるかわからないんです。これも検査会社にマル投げです。それから検査員の知識不足、欠陥亀裂の特定ができない。これ、なんだかわからない。それから受注したのに適切な補修・補強設計ができない。これ、疲労に関する知識がありません。多数回、これこそ多数回になるわけですが、何回も何回もやりとりし、対策室の人間も出し、最終的なものになっています。

要するにやり直しということですね。

TKYD TECH 東京大学法人 東京工業大学

## 平成12年12月検査報告

1次点検  
前面下フランジ溶接に亀裂発見(S2側隅角近傍)  
フィレット基部の損傷は確認せず。

隅角部亀裂

時間がなくなってきたのでパワーポイントをパッと見ていきますが、平成12年12月の検査で、少し亀裂を見つけています。対策室の会議では駄目だと、もっとあるだろうとの指摘を受けます。

TDKYD TECH 東京大学 工学部 東京工業大学

## 平成13年6月検査報告

No2隅角の検査実施、報告

前面フランジの検査結果:

内面MT: 亀裂は発見されず

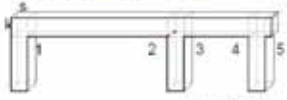
スンプ: 亀裂開口は狭く、スケール付着もない。ルート部から亀裂が発生し表面に進展した可能性大。溶接割れではない。

UT(集束型)検査: 梁フランジは隅肉溶接。亀裂は未溶着部から溶接止端に進展。溶接内に面状欠陥あり。ルート亀裂である。

応力分布、応力頻度計測: 10MPa以下(確率99.7%)。maxは34MPa。応力分布が左右非対称

フィレット部:

図面に無いフィレットを調査する(追加調査指示)



13年6月、また対策室にやってきてますが、まだ変なものが出てくる。写真の中で、どう考えても理解できない亀裂があります。見てないですね。違うじゃないか、もっと違うものがあるだろうと。

TDKYD TECH 東京大学 工学部 東京工業大学

## 平成13年8月検査報告

No2の隅角のみ検査実施、報告

前面フランジの検査結果:

S2側亀裂のグラインダーによる研削:T継ぎ手ギャップは0.6~1.2mm、未溶着率 板厚32mmの56%

フィレット部の検査結果:

マクロ、MT: 亀裂発見(図青部)、フィレット部板組み詳細判明

スンプ: 亀裂詳細調査

応力頻度計測:  $\Delta\sigma = 48\text{MPa} \times 1\text{回}/24\text{H}$ 、 $30\text{MPa} \times 30\text{回}/24\text{H}$



13年8月、まだおかしいですね。

TDKYD TECH 東京大学 工学部 東京工業大学

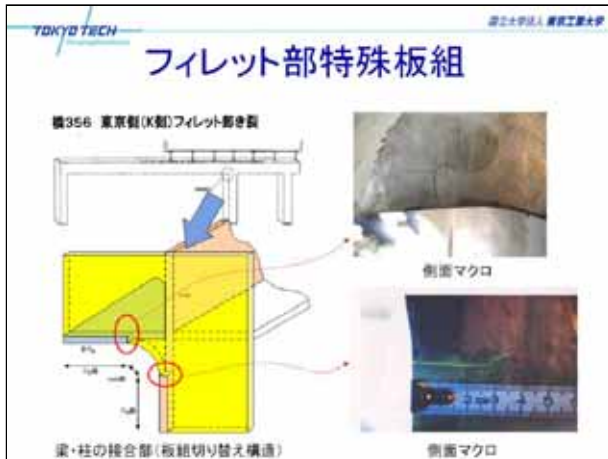
## 梁下フランジT継ぎ手溶接状況(隅肉)

S2側端面より60mm K2側端面より275mm



ルートより亀裂進展

もう時間の関係で飛ばしますが、クラックもなかなか見つけにくいところにあるんですが、極めて危険な場所にクラックが入っています。



実例としてはですね、これは設計には入って  
 いなかった溶接がされていたのですが、こうい  
 うところですね、板で突き合わせ溶接してる  
 んですね。言ってみればフランジを突き合わせ溶  
 接している。しかも、板を据えた状態で突き合  
 わせ溶接をしているという格好でやってくわ  
 けです。それはほとんど突き合わせ溶接で溶け  
 込みがない格好になります。



こういう格好で疲労亀裂を探していってる  
 わけですが。



TOKYO TECH 東京大学工学部 東京工業大学

## 平成14年2月検査報告

No2の隅角の検査報告  
(再度詳細調査を実施)

前面フランジの検査結果:  
亀裂のある溶接種全種UT

No2のその他溶接種MT:  
横梁及び横梁内部の溶接部に欠陥は認められない。  
**No2以外の隅角について調査を指示**

フィレット部の検査結果:  
UT(垂直), MT: 当初亀裂以外の有害欠陥は無い、開先形状は不明



内部の未溶着部は検出出来ていない

これがさらに検査が続いていますが、うまくいかないんですね。

TOKYO TECH 東京大学工学部 東京工業大学

## 平成14年6月検査報告

No2以外の隅角検査実施、報告

前面フランジの検査結果:  
No1内面およびNo3内面で亀裂発見(MT, UTで確認) 下図

フィレット部:  
No1,3,4,5の各所で亀裂発見(MTで確認) 下図



まだ続きます。まだ終わらない。何回も行きます。現場に緊急対策室の人間も行きます。私も行きます。検査結果を持ってきてもらいます。いくら経っても答えが出てこない。何回やったかわからないんですね。

TOKYO TECH 東京大学工学部 東京工業大学

## 緊急対策室からのコメント

現場をよく見て点検計画をたてる。図面のみで判断しない。

板組、溶接不良箇所、応力集中箇所から、亀裂の点検ポイントを考える

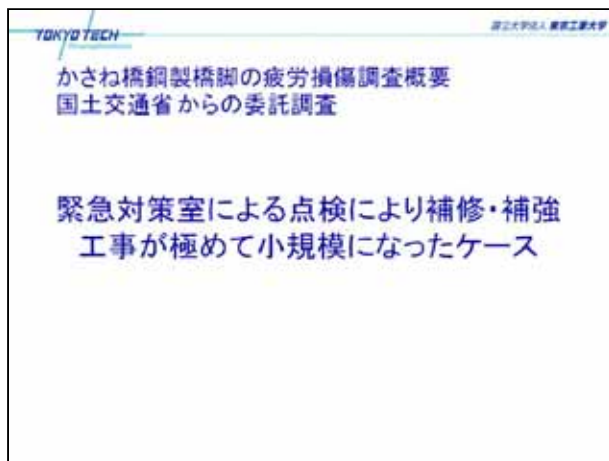
点検を細切れにせず、全体像を把握する

効率的な点検には専門的知識・経験が必要等...

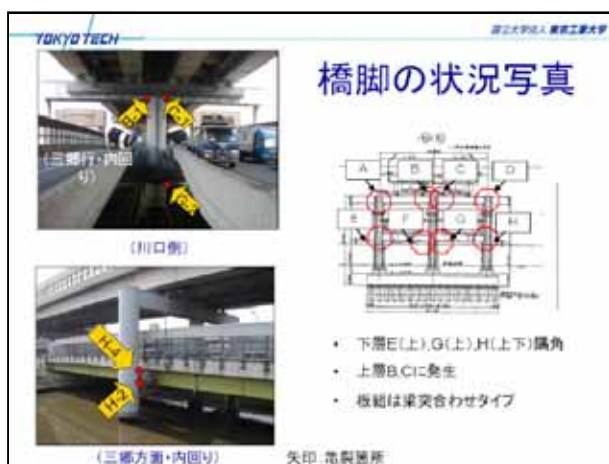
最後のコメントですが、現場をよく見て点検計画を立てなさいと。図面だけ判断するんじゃ駄目ですよ。実際できてるものが図面と違ってたわけですが、それ自身は大変問題があるんですが、点検はまだそこに戻って考えないといけない。それから床組みとか溶接不良の起こりやすい場所だとか、応力集中の場所から点検のポイントしぼりなさいと。点検は言われたら言われたとおりに見るのではなしに、もう少し全体像を見て点検をしなさい。非常に恥ずかしい

指摘ですよ。すべて一流会社の技術者の仕事です。

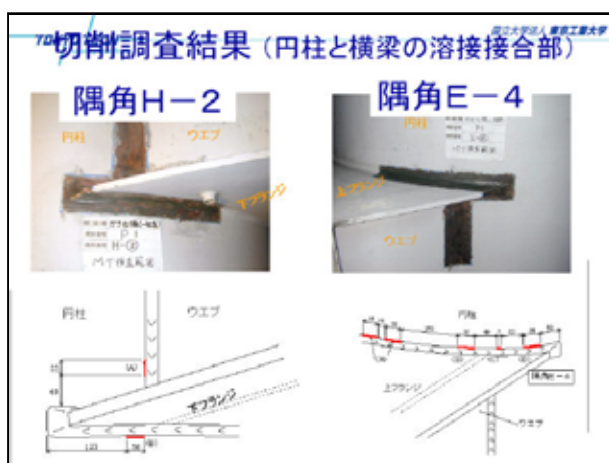




最後の例としてはですね、これは首都高の緊急対策室が国土省の関東地整からの委託を受けて点検をしています。これはですね、点検によって、補修補強工事が極めて小規模になったケース、要するにミスジャッジにより大変大きな補修補強工事をやろうとしているところをとめた例です。多分、色々な事例を見ててコンサーバティブになったためだと思います。前の事例と同じ会社です。



これ二層構造の橋脚ですが、このこのところのコーナーに欠陥が見つかってます。亀裂のような欠陥が見つかるわけです。これに対して、大規模な補修工事が計画されて、すでに足場もかけられた状態で、我々のグループに入ったということになります。



この調査については、いろいろ削り込みとかやってるわけですが、疲労亀裂というか、欠陥、いくつかの亀裂を見つけています。このような格好で出ている亀裂に対して、これは何であるかっていうことに対しての、多分ミスジャッジがあったんだろうと考えられます。疲労亀裂を見慣れてる人間にとっては、極めておかしい疲労亀裂で、こんなところにこういう格好で疲労亀裂が入ることはないですね。ここに入ってくる場合は、普通はトウからの微細な溶接割れし

がありません。

TOKYO TECH 東京大学 工学部 東京工業大学

## 初期判定

ルート亀裂と考えられる。  
 応力から判断すると、疲労亀裂が生じるようなレベルではない。  
 図面上完全溶込み溶接→ルートがあるのであれば、責任問題になる。

これに対して、初期判定って書いてありますが、出されてきたレポートはこういうことになります。ルート亀裂と考えられる。信じられないですね、何でこれがルート亀裂なのか。ルート亀裂なら出る場所が違うでしょということになってきます。それから応力を測ってるんですが、疲労亀裂の生じるようなレベルではない。それから図面上は完全溶込みで、これはルートがあるのであれば、責任問題になるということなので、大規模な工事を計画したようです。

TOKYO TECH 東京大学 工学部 東京工業大学

## 亀裂の調査状況 隅角E-4

そこで、現場に出かけて行って見てみたわけですが、これ、こういうクラックがいっぱいあります。ところがどう見てもおかしいということで、その場にいたチームの人間にバークラインダで削らせました。全部消えてしまいました。報告されている亀裂の大きなものから削っていったんですが、表面から2mm程度削ると消えてしまったということです。明らかにミスジャッジということで、これで最終的に足場を架けてしまって、補修工事をやろうとしたものが、

どういう決着になったのか、私は聞いてません。

TOKYO TECH 東京大学 工学部 東京工業大学

## 緊急対策室からのコメント

円柱と横梁の溶接線の亀裂は、溶接先端部から熱影響部に向かった亀裂であり、疲労亀裂あるいはルートからの割れではないと考えられる。  
 十分な知識を有する技術者の現地調査が原則であり、資料等のみでの判断は困難である。

まずこの亀裂は亀裂の先端部、溶接のトウのところから熱影響部へ向かった亀裂であり、疲労亀裂とかルートからの亀裂ではないということです。こういうものは極めて浅いんですね、通常、多分判定した方は、溶接の割れの知識がなかったということになります。それから大事なことはですね、十分知識を要する技術者が現場で見なくちゃ駄目だっていうことなんですね。資料を見て判定するからそういうことになるわけです。資料でたとえば磁粉探傷でやった

結果を見ると、極めてシリアスなクラックに写ります。写真を撮るときには自分の見せたいところを強調しますからそのようなことになるわけです。しかも疲労亀裂ならよく見ると、ルーペで見ると荷重に対して動いたりしますから、簡単に判定がつくわけです。決して資料だけで判定をしちやいかんということの良い例だと思います。これでかなりの金額が浮いたはずですが、その浮いた金の行く先もかなり関心のあるところです。このような調査は私にとって全くのボラン

ティアですので。

こういうふうな3つの事例ですが、2つについては、何回やらせても出来なかったという情けない話。それから今度は3つ目は過剰反応して、過剰な対策に取りかかっていたという事例でございます。

TOKYO TECH 東京大学法人 東京工業大学

これから考えなければいけないこと-1

人材養成、技術開発、組織どうするのか

産官学連携が必須：  
米国ではFHWA, AASHTO, NSBA、管理機関(州、市など)大学、コンサルタント:技術ベースの競争の世界になっている。

メンテナンスはサービス。技術は無償。  
「亀裂を削り取ることで十分」といった判断ではビジネスにならない。  
まずはここから変えましょう。

このようなことから、じゃあこれからチームを今申し上げたような格好で、メンテナンス、点検診断のアクションを起こしていくわけですが、何をやるかっていうことです。これからどうするかっていうことなんです。まず最初に考えたいのは、人材育成・技術開発・組織をどうするのかということです。これ、産学官連携が必須になってきます。アメリカだと連邦政府、FHWA、それからAASHTO、これは各州のエンジニアの集まりですね。それからNSBAってというのは日本でいう橋建にあたる団体で

す。橋梁を実際管理しているのは州なり市になるわけですが、それから大学、コンサルタント、非常にいい関係を持っています。いい関係っていうのは大変厳しい競争状態にあるってことです。先ほどのようなことを起こすと、指名停止になりますし、仕事が回ってこなくなります。この辺も競争的な環境でいい一種の緊張関係を持ち、仕事ができるってということになります。これからこのような連携を考えないといけない。今のままでは人材育成も技術開発もできません。それからもう1つはですね、他の産業分野と違って、民間の方からこういうものに対する投資の意欲が出てきません。その中で一番問題になるのはですね、「メンテナンスはサービスである」、この考えはやめなきゃだめなんです。お前のとこの橋は不具合がおきてるよということから始まり、素人の考えでどんどん持っていくと、ろくなことはありません。私どもにとって大変困った問題は、技術はタダだと思ってる訳ですね。ようするにソフトウェア、アイデアはタダだと思ってるところに間違いがあります。溶接したらなんぼかになるわけですが、技術はタダです。亀裂を削っただけで十分とかいう判断ではビジネスにならない。まずここから考え直さんといかんとおもいます。

TKYD TECH 東京工業大学 東京工業大学

## これから考えなければいけないこと-2

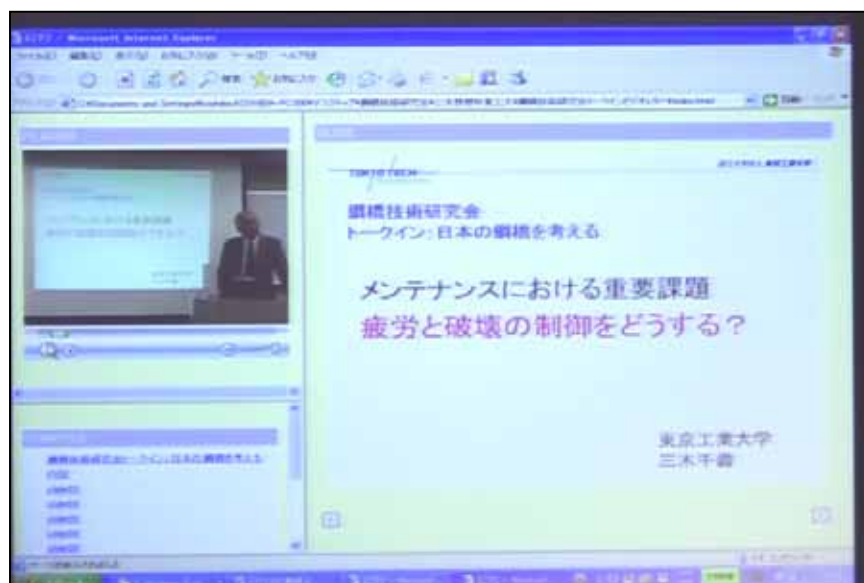
この分野のビジネスモデルを作る  
 疲労・破壊による突然の通行止め: 社会損失を考えると1000億円オーダー  
 直接の工事費は10-100億円のオーダー  
 調査・診断の費用は1000万円のオーダー  
 これをどのように説明し、ビジネス化するのか。  
 技術、ソフトにきちんとした評価と対価を。  
 責任の所在をはっきりすることが条件。

**Payが悪い分野には良い人材は残らない。**  
**ハイリスクハイリターン**

それからこれ最後ですが、この分野のビジネスモデルをどうすればいいかっていうことです。これ、いくつかのケーススタディをいままでやってきてますが、疲労とか破壊とかによって、突然の通行止めがおきると考えます。それで社会的な損失はどうなるか。多分すぐ1000億オーダーに行きます。直接の工事費は10億から100億オーダー。調査診断の費用は1000万円のオーダーになります。この辺のこういうふうな階層構造になってるわけですが、これを

どのようにビジネス化していくのか、たとえば早期に発見して的確ないい診断をすれば大きな工事がなくなるわけですが、現状のシステムではビジネスにならないというふうになります。ここに対して、1000万に対して投資ができるかどうか、このあたりのビジネスモデルができるかどうかというものが、大きな問題になってきます。実はこの調査、研究、診断等、いかに大切かっていうことをキチッと説明し、それをビジネスモデルにしていくか、それから技術ソフトに対して、ちゃんとした評価と対価を与えないと駄目だと。それからもう1つ厳しい言い方ですが、責任の所在をはっきりすることが条件ということです。これはあいまいな仕事をやった人間に対しては罰金も当然あると考えています。もう1つ大事なことはですね、人材育成の中で、ペイの悪い分野には人は残りません、全部逃げます。そういうような状態にならないようにみなで努力しないといかんと思います。ハイリスクハイリターン、これは大変エキサイティングな仕組みだと思えますが、このあたりのモデルを作ることによって、この分野がますます発展するだろうと考えています。

以上です。



(ビデオレターによるご講演)