

「見える」メンテナンス

東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授
藤野 陽三

1.映像の威力

1940年に完成したタコマ橋が、完成後半年あまりにして、風による振動で崩壊した事故は橋梁界では極めて有名であり、多くの方がご存知であろう。私の先々代の、また恩師でもある故平井敦名誉教授は戦後まもなく、東大航空学科の風洞を借りて長大橋の耐風研究を開始し、昭和30年代半ばには自ら研究費を工面して大型風洞を作り、先駆的な研究成果を残された。その成果は、本州四国連絡橋など内外の長大橋に生かされている。研究のきっかけになったのは、平井教授が第二次大戦中に映画館のニュース映画でみた、タコマ橋が崩壊する動画であったとうかがったことがある。もし、この映像が残っていなければ、また、もし平井教授がああ映像を見ることが無ければ、長大橋の耐風研究を手掛けることは無かったのかも知れない。実は、吊橋が風で崩壊する事故はタコマ橋以前にも何度も起きていたのであるが、学術研究には繋がらなかった。タコマ橋の事故以来、耐風研究が盛んになり、長大橋建設の全盛期を迎えるようになったが、映像による強烈なイメージが数多い若き俊才をこの分野に駆り立てたのではないかと私は思っている。橋が崩壊する最後のシーンは何回見ても確かに劇的で印象が強い。

1年あまり前に、米国ミネソタ州で大型トラス橋が崩壊した。わが国でも新聞やテレビでも多く報道され、「日本の橋は大丈夫か？」と社会から問われるきっかけにもなった。驚くべきことだが、監視カメラで撮っていた映像に橋が崩壊する場面が映っており、それをインターネット(URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:35wBridgecollapse.gif>)で見ることができるのである。

1960年代後半に建設されたこの橋は、軽いことはよいことだという時代の産物で、今からみれば華奢な橋梁である。前々から疲労問題が懸念され、また錆も目立つ状態にあり、2001年以来、ミネソタ大学やコンサルタント会社に調査が委託され、部材の疲労を中心にさまざまな検討が広範囲に実施され、頻度をあげた点検も行われていた。全米運輸安全委員会 (NTSB) の最



Profile

略歴

- 1949年 東京生まれ
 - 1972年 東京大学工学部土木工学科卒業 同修士課程を経て
 - 1976年 ウォータール大学工学部博士課程 修了
東京大学地震研究所、筑波大学構造工学系を経て
 - 1982年 東京大学工学部助教授 (土木工学科)
 - 1990年 東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻教授
 - 1997年 アメリカ ノートルダム大学 Melchor講座招聘教授
 - 2002年 文部科学省科学官 (併任) (2004年まで)
 - 2008年 グローバルCOE拠点リーダー：
都市持続再生センター長
- 現在、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻教授

主な役職

国際構造工学会副会長、国際構造制御モニタリング学会会長、日本風工学会会長など

終調査報告は、2008年秋に出されると言われているが、執筆時点ではまだ発表されていない。分かっていることは、トラス部材どうしをつなぐ格点のいくつかに設計ミスがあったということである。床版の改修工事用の重い資材が設計ミスのあった格点のたまたま直上にあり、それが破壊の引き金になったという見方が強い。専門家の眼中に全くなかった、「格点」という思いがけない箇所が、それも設計ミスが一次的な原因になったという点でも考えさせられるところが多い。過去の調査や点検で撮った数多くの写真の中の2003年に撮ったものには当該プレートが面外に変形したものが残っている。点検をはじめとしてブリッジマネジメントが進んでいると自他ともに認識している国でどうしてこのようなことが起こるのか？ 疑問は尽きない。

映像には、崩壊のきっかけとなったと思われる格点は残念ながら映っていないが、橋の反対側で同じように、設計ミスで板厚が規定の半分しか無かったガセットプレートのところで、トラス桁が折れ曲がるようにして崩壊する様子が見て取れる。「橋がかくも脆く崩壊するのか」を示すこの動画が与えるイメージは強烈であり、将来にわたってメンテナンスの難しさと重要性を象徴するものになるであろう。

2. メンテナンスが主役？

わが国では、インフラをどんどん建設する時代は終わり、これからはメンテナンスが主役になるといわれている。

道路の分野でも新規建設から予防保全にシフトし始めている。鉄道はそういう意味では、もっと以前から、メンテナンスが実質的な主役になっているのかと思う。

確かに、明治以来、わが国の社会資本への投資が盛んに行われ、インフラの膨大な蓄積がされてきている。鉄道建設は道路に比べると時期的にずっと早く、戦前、場合によっては明治や大正に出来た軌道や設備を使っているところもある。いまでも、新幹線ネットワークの建設が進み、新しい鉄道時代を迎えつつあるとはいえ、国内の様々な状況から、今後、新規建設が大きく

伸びるとは思えない。そういう意味ではメンテナンスが主役と言われるのも不思議はないが、果して他からもそう見えているだろうか？

メンテナンスと対をなす「建設」という言葉には本来的に明るいイメージがあり、若い人はごく自然にそちらに関心を示す。メンテナンスと聞けば、多くの人が故障や修理、あるいは点検、補修のイメージを持ち、言葉の響きは依然としてよろしいとはいえないものがある。本当にメンテナンスとはその言葉通り、ただただ悪くなったところを直すという現状維持だけが役割なのであろうか？

3. メンテナンスを決める要素

昔に作られたものは丁寧に作られたものも多いが、基本的に乏しい時代に作られたものであり、使われた技術も当然、未熟であった。1995年兵庫県南部地震のような地震の揺れも想定していない。わが国はちょっと中に入れば急峻な地形であり、線路は山間（やまあい）を曲がりくねりながら通っており、高速化が難しい。海岸線付近は概して地盤が悪い。列車や信号設備は更新が比較的容易であるが、土木設備の取替えはなかなかである。高度成長期のときに整備された多量のインフラの中には、拙速に過ぎた整備との認識も強い。

日本ではあまり報道されなかったが、2006年にカナダ、ケベック州で、1970年代に出来た跨道橋の桁が突然落ちて、5名の方が亡くなる事故が発生した。張り出し構造をもつ、当時では斬新な設計として高く評価された形式である。事故調査委員会の報告によると、メンテナンスの問題もあるが、そもそもの設計、施工が悪いとのことである。鉄道や橋梁の例ではないが、発電設備の事故による損害額の統計によると、保守の不良によるのが一位ではあるが、製作、製造の欠陥が二位で、それにほぼ匹敵するオーダーとなっている。

人間が設計し、作るものであるから、ミネソタやケベックの橋の事故の例が示すように想定どおりできていないものや不完全なものも多くあり、また、当時の基準は満たしていたとしても今から見れば というのも多いと思うべきであろう。

東京での橋梁建設には2つのピークがあり、はじめのピークは1923年の関東大震災のあとの復興橋梁群であり、もう一つは1964年の東京オリンピックの前後に建設された、高度成長期の橋である。後者の方が量的には圧倒的に多い。清洲橋や永代橋などの前者の橋は見るからにがっしりした重厚な橋であるのに対し、40年ほどの前の橋は鋼重も少なく、合理的な設計になっている。40年と80年経過した橋梁のメンテナンス費用の累積を比較すると、驚くべきことに前者のほうが、つまり古い橋の方が少ないという事実がある。

インフラのように、時間軸の長いものは、時間に耐える高い品質のものを設計、建設することが、メンテナンスの負担をいかに軽減するかを物語っている。このように建設とメンテナンスは極めて密接な関係があり、一体のものとして考えるべきなのである。両者を統合した技術体系を作り、それを表現する言葉を作るのが今望まれている。

4.尺度(スケール)がほしいメンテナンス

わが国では、地震、豪雨、強風などに見舞われる機会が多く、損失額はアメリカに次いで第二位であり、世界での損失の15%が生じている、自然災害大国になっている(図1)。このような厳しい条件の中で、またゆっくりではあるが徐々に劣化し、また中には出来がよろしくない、膨大なインフラを抱えた中で、時代とともに変わる要請に適合させつつ、安全とサービスの更なる向上が求められているのであって、メンテナンスという言葉ではとても言い表せない、もっともっと幅と奥行きが広い技術と仕事が必要されているのである。しかし、派手な新規建設とは違って、そのことは周りの人にはなかなか見えていないのではないだろうか？

地球の持続可能性という観点から、温暖化が大きなホットな話題となっている。このまま、世界的スケールでエネルギー消費が増えていけば、人口増の中で資源の枯渇にも繋がり、環境にもよくないということは誰でも想像がつく。インフラを何もしないで放っておけば大変なことになることも自明に近いことであるが、インフラのメンテナンスが社会からそれほど支

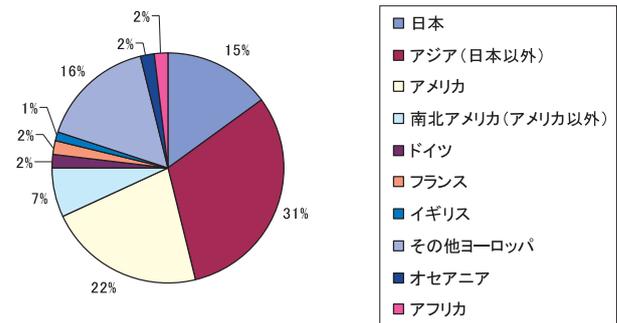
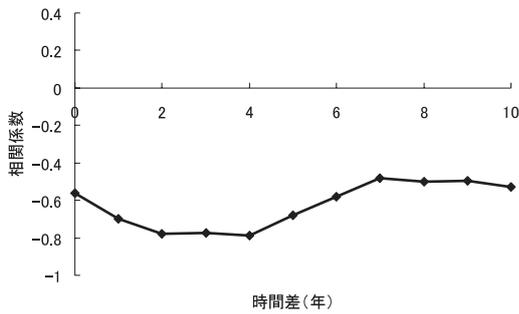


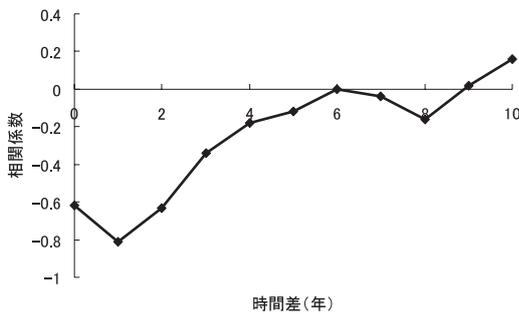
図1 自然災害被害額の地域別割合
(1970年から2004年の合計:約1.1兆米ドル)
(アメリカ22%に対し、国土は圧倒的に小さい日本が15%と高く、他国を引き離している。自然災害密度という点からは日本は段々に世界一である。)

持を受けているであろうか？ 温暖化防止キャンペーンが成功しているのは、「地球環境に気をつけよう」という抽象的なキャッチではなく、「CO₂排出量」の削減という、極めて明確な数値指標を取り入れたことのように思える。定量的目標が設定されれば、技術開発の方向も定まる。環境は明らかに今、ビジネスにも繋がり、CO₂排出を減らす技術が注目され、人もファンドもそこに流れこんでいる。

かつて国鉄時代の災害件数と防災投資の関係を調べたことがある。投資をすると事故が減るといふ、負の相関が確かにある。ただし、その効果はすぐに出ないが、投資の効果はあとあとまで影響する(図2)。一方、プラントのような機器ものでは、同じように事故と投資は負の相関があるものの、その効果はすぐに出る一方、効きは数年を待たずして消えてしまうとの結果を得た。インフラへの防災投資は抗生物質とは違い、漢方薬のようなもので、じわじわと効くので飲み続けられないといけないということである。地道に長い目で見るのが肝要であり、それだけに長期的戦略が欠かせないのであり、経営者を含むディビジョンメーカーに、災害防止を含めたメンテナンスに対ししっかりした考え方、哲学をもっていただきたいと思うし、さらにその向こうにいるユーザー、社会にも理解していただきたい。そのためには広い意味でのメンテナンスの「効果」が「見える」指標を作ることが必要と思われる。



a) 旧国鉄



b) 高压ガス

図2 災害件数と防災保全投資との相互相関係数
(ともに負の相関が見えるが、図bのプラント(高压ガス)では数年すると相関がほぼゼロになる(効果がなくなる)のに対し、鉄道では負の相関が長く続く(図a)。薬で言えば、前者が抗生物質、後者は漢方薬ということか。)

5. 「見える」メンテナンスへ

従来からの目視による点検をベースにして指標をつくるというやり方もあるのかもしれない。しかし、耐震補強の効果を目視で評価できるであろうか？ 地震の揺れが大きいと、列車は停止されるが、再開には軌道周辺の施設を一つ一つ調べる必要があり、人手と時間を要する。今後とも、すべてを人手に頼るのであるか？ 目視のよさもあるが一方、限界をこの数年の事故例が示している。

この10年著しく進歩し、そして今後とも進展するのは間違いなく計測と情報に関する技術である。インフラの性能を見えるようにする、たとえば10年、30年後のコンクリートの劣化予測や地震時の微細な振舞い、究極の振舞いも大規模計算が可能という恩恵でかなり進んできた。モデルの検証、改善に必要なのは初期条件、境界条件や内部条件、すなわち計測値である。我々の扱うインフラは言ってみれば、一つ一つの設計、施工が違い、地盤や使用条件も違う、マクロスケール

とミクロスケールの間にあるメソスケールであり、その振舞いは複雑さを極めており、測らなければ分からないところも多々あり、測るとしても何を測るのかという根源的な問題もある。が、しかし、測ること無くして予測技術が進展することはないであろう。斜面からの落石を予測するなどというはまだ先のことであり、線路構内に落ちてきたら警報を出すという測り方も一方にある。

インフラのリスクは大きく分けて、地震の揺れなどリスクの原因となるハザードとインフラそのものの脆弱性によって決まってくる。K-netに代表されるようにハザード計測はこの10年でかなり密に測られるようになってきた。ナウキャストなどの数秒前に揺れを知らせるシステムはその成果である。しかし、できていないのはインフラ自身の脆弱性計測であり、リスクそのものの計測である。メソスケールであるインフラの計測が難しいことは誰でもわかっている。しかし、それを進めていかない限り、インフラの性能が見えるようにはなりえないように思うのである。

鉄道は、軌道や土木設備だけでなく、列車とその運行、また、駅空間などの特性が異なる要素を含み、どの要素にトラブルがあっても利用者の安全を脅かすことになる複雑かつ巨大なシステムである。その現場をもち、現場に新しい技術を適用し、改善できるのが鉄道会社である。メンテナンスでは歴史と伝統がある鉄道会社が先導して「見える」メンテナンスを実現し、メンテナンスエンジニアを輩出することが、メンテナンスが主役になるということであろう。大いに期待したいし、それが鉄道利用者の安全を確保することであり、究極のサービスに繋がると信じている。