

木橋を架ける時代から架け続ける時代へ

軽部正彦

キーワード： 落橋、供用期間、多段階損傷設計

はじめに

日本には木造の橋梁が古くから数多く存在していることは言うまでも無い。日本人と木との長い歴史に木造住宅と同じ長さだけ橋との歴史があるといっても過言ではなからう。この 10 年程の間に、各地に架橋されてきた近代木橋¹⁾は、日本の伝統的な手法では無く、西洋技術、つまり今日的な合理的強度計算主体で設計されている。西洋合理主義の中にあつて日本の風土性に基づく技術は、その設計・計画の中心とは成り得てこなかったところである。

昨年、国内で架橋された近代木橋としては初めての落橋事故があつた²⁾。幸運なことに死傷者が無く、公園内の人道橋と言う話題に上り難い対象でもあり、一般的な報道は無かつたと思われる。

橋梁や近代の構造物の破壊事故と言え、その事故を教訓として技術進歩が成されてきたことであるが、今回の事故からは何を学ぶべきかを考えていきたい。

ボンゴシを用いた公園用木橋落下の状況

事故は、1999 年 9 月 7 日正午頃に起きた。平成 2 年 3 月に竣工したその橋は、愛媛県北宇和郡津島町南予レクリエーション都市津島プレーランド内の人

道橋である。ポニートラス形式(支間長 21.4m)の上



写真 1 事故直後の状況
愛媛県宇和島地方局建設部撮影

部工をアフリカ産ボンゴシ材とステンレスのドリフトピンで作製し、長期供用と維持管理の簡略化を期待していた。

落橋は 9 年 6 ヶ月で起きた。直接原因はトラス下弦材の破断であるが、その破断面と落下時に破壊した部分から、外気に触れない木材内部の腐朽が根本原因であることが判明した。

落下した橋を下側から見上げると、漆喰を塗り固めたような木材腐朽菌(主に白色腐朽菌シイサルノコシカケ)の子実体が、接合部や部材の交差部など、あちらこちらの隙間から、はみ出すように、付着し



ていた。

落下した橋を移動し、接合部を破壊調査した結果、ドリフトピンがせん断力を受け持つ形で接合された上下弦材継手、トラス接点などの添え板接合部において、部材間の界面が酷く腐朽していた。接合部以外にも、部材が接触あるいは接近し、水の表面張力によって滞水できる隙間、すべてが腐朽していたといっても過言ではない。大断面部材を添え板形式で接合する場合、必然的に接合界面が大きくなり、そこに溜め込む雨水の量は多く、また腐朽に適した湿潤状態を長く保つことになっていたと思われる。

接合部ではない部材中間部でも、一部の母材が内部腐朽していた。上方に開放した乾燥割れから木材内部に供給される雨水の助けを借りて、接合部から腐朽菌が進展したものと思われる。

落橋事故調査の詳細については、文献²⁾から文献⁶⁾を参照されたい。

鋼構造はどう進んできたか

鋼構造は溶接構造とも言える構造物であるがこの100年の間に急速に材料も技術も進歩し、その信頼性を増してきた構造である。しかし、安全で信頼できるイメージのある鋼橋や造船の分野でも、不幸にして起こった破壊事故を教訓として技術的・学術的・科学的な進歩を遂げてきたのが事実である^{7), 8)}。

例えば、第2次世界大戦中の米国が建造した戦時標準船が静かな海で破壊し沈没した事故は、破壊力学分野ではあまりにも有名な出来事である。数多くの船を失うことと引き換えに鋼の破壊靱性値や遷移温度等、破壊発生の境界条件について知見を得てきたのである。

矢島は文献⁷⁾で、「大型溶接構造物の高信頼性・高付加価値化が進んでも、壊れること、全寿命において機能を全うすることは自然現象であり、設計・建造あるいはメンテナンス担当者の能力次第で変わるものであり、財力や権力は及ばない。つまり正直であり、嘘をつかない、我慢もしない。」と表現している。事故を教訓に鋼構造物の製造制作における品質の管理、物の作り込みの技術改革と意識改革が進

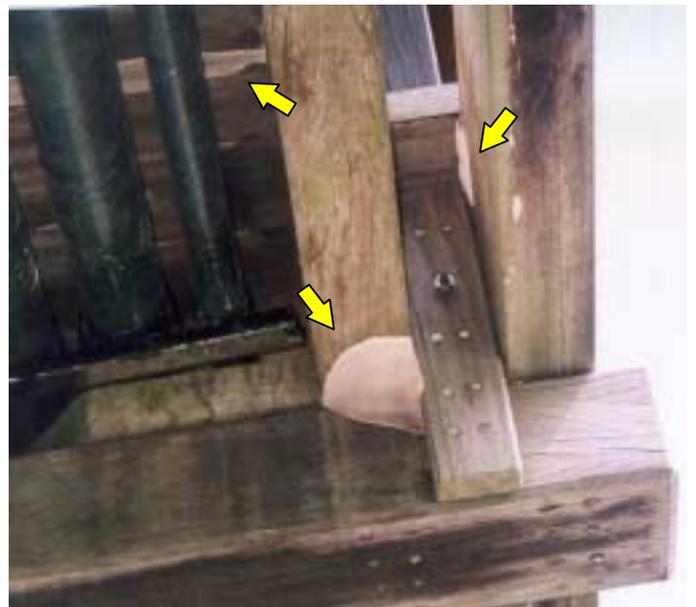


写真2 橋の下面
3箇所に子実体(きのこ)が付着している。
愛媛県宇和島地方局建設部撮影



写真3 トラス柱材の上弦材との接合部界面
添え板形式の接合界面に雨水が滞水し腐朽した、大きな接合界面は耐水時間も長くなる。宮武 敦氏撮影



写真4 トラス下弦材の母材切断面
内部のみが腐朽している。厄介なのは内部の腐り様が外観から推し量れないことである。宮武 敦氏撮影

んできたのであり、それを未来にわたって忘れてはならない。

コンクリートはどうか

コンクリートは、信頼の高い永久構造物用材料として公共建築物、構造物に選ばれてきた。それは耐火不燃材料であるコンクリートが、鉄筋と複合することで弱点とされる引張り強度を部材として獲得したこと、施工性の悪さや施工期間の不利を補って余る経済性の高さ等、構造物の設計条件と適合していたからでもある。

小林は文献⁹⁾の中で、丁寧に作られたコンクリートの耐久性の高さを賞賛する一方、日本の高度経済成長期にあたる1960から70年代に必然性をもって変化してきたコンクリートが、耐久性上の数々の問題によって、今後の20年間に一斉に壊れ出す時期を迎えると述べている。その変化は、バケット式からポンプ圧送へ変わった施工方法の変化、製造方法の転換によるアルカリの濃縮などセメントの変化、川砂から海砂へ変わった細骨材の変化、アルカリ骨材反応性岩石の混入など粗骨材の変化などである。

それぞれの問題は個々に解決されているが、問題の発生から解決までの間に施工された構造物については、問題は内在したままである。土木・建築分野ではこの事実を重く受け止め、耐久性・メンテナンスフリー神話を持つコンクリート構造物に、どのような維持管理手法を手当てすべきか検討を進めている。^{10), 11)}

では木はどうすれば良いか

木材は長い歴史の中で身近な材料として存在したために、このような事故を教訓にすると言う過程は遠い昔に通り返りすぎていると言える。その様な材料のほずなのになぜ、木橋は落下してしまったのだろうか。事故が発生した理由を正しく理解し、今後の糧としなければいけない。

堀江ら¹²⁾は、耐久性の高いボンゴシ材であったとしても耐久性向上策が不可欠であったと指摘している。土井ら¹³⁾は、木橋の補強および運用の方法について樹種別、防腐処理別、工法別の手法整備が必要

であり、劣化外力や Climate Index(局所的な気候情報)などの情報整備が必要であると述べている。

矢田¹⁴⁾は公園遊具の補修点検を通じて、効果的な診断法の確立、補修マニュアル・補修用品の整備が望まれると言及したほか、接合部の雨仕舞など設計時の配慮が必要であることと、日頃の掃除による耐久性阻害要因排除の大切さを指摘している。

科学的な原因追及はもとより、木構造に携わる者として危惧され注目すべき点は、ボンゴシの橋の落下で木橋全体のイメージが非常に悪くなることである。もし、落橋事故で人命を失った場合に、新聞では「木は腐る」「非常に耐久性の高いといわれる木でも腐る」「木橋はダメ」「木材は使えない材料である」などと烙印を押されることだろう。大熊は文献¹⁵⁾で、「木橋ブームが真の木材利用の進展にマイナスイメージを作らないで欲しい」と述べている。

また引き続いて危惧されることは、架け替える橋の選択肢として木橋が選ばれない可能性である。架け替えの検討対象となる橋は、PC桁橋、鋼橋、木橋であろう。PC桁橋や鋼橋は、材料と工法に実績が多く、積算例もしっかりして、技術的に可能な業者数も多い。それに比べ、木橋の実施例は補助金が絡んでいるモデル事業や技術開発事業がほとんどである。特に大断面集成材を一品生産し、それを利用して他の材料と同じに力づくで設計施工されたものでしかない。これは結果的に集成材業界に対して新しい分野を開拓したわけだが、そうして架けられた橋は補助金なしでは選択されないコスト高な橋となっているのが事実である。

橋は、橋桁などの上部工だけではなく、橋台や基礎の下部工が一体となって設計される。落橋後も残る下部工を生かして架け直したいところであるが、軽い上部工である木橋を支える橋台は当然ながら小さい。そのため、重い上部工であるPC桁などを使おうとすると下部工から作り直さなければいけない。

このような木橋に情報が明らかになってくると、新規に架けたい場合に、超えるべきハードルは、より一層高くなる一方である。

ではこのような状況で落下した橋の架け替えに木橋を選択してもらうにはどうしたらよいのだろうか。

望まれる構造物はどのような物が

一つの選択枝は、安く、技術力の低い施工業者でも作れる木橋技術を開発提供することである。土木構造物のメンテナンスフリー神話が崩れつつある今、技術的な要求の矛先は、安く、確実に、簡単にメンテナンス出来ることである。木橋でこの要求を解決し満足させる為には、イニシャルコストだけでなくランニングコストを非常に低いレベルに押さえることが出来るかどうか、つまり維持管理のソフト作りとそれを見越した設計ノウハウの蓄積にかかっている。例えば、木造住宅レベルの技術と材料で木橋を構成し、木造住宅を同様の手法で耐久性の付与や維持管理を行うことが出来るならば、木橋は有力な選択枝になりうると考えている。人が運搬でき、加工が容易な木材だからこそ、維持管理費用を下げる事が出来る構造とすべきである。

木材を土木構造物に用いる場合の重大な問題は、耐久性である。しかし山止工や防護柵は、人が手を入れ不安定化した山林の土塊を、植生や時間的な沈降などによって安定化するまでの間だけ機能を発揮し、その後は自然消滅することが本来望まれる姿であろう。これを意図して供用期間を設定し、使用することで木材の特性が生かせるのであり、この場合は耐久性の低さを嘆くよりも、自然消滅できる点を評価すべきである。維持管理などで交換破棄される部材は、環境負荷なく安全に処分される為にも、化学的な耐久性付与を行わずに、設計上の配慮と適切な部材供用期間の設定を行うべきである。

木材の耐久性は、他の構造材料から比べると非常に劣っていることは否めない。しかし、虫害腐朽に関しては木材の含水率を低く保つことで耐久性上の不安が抑えられる。また、メンテナンスの間隔を開けられない事を逆手にとれば、構造的な信頼性は高い水準を維持できる。材料をインテリジェントに使いこなすと言うことは、竣工の一時点を設計するのではなく、全寿命において人知の支配下に置く事

ではないだろうか。

今後検討されるべき問題点

列挙すれば以下の通りである。

- 点検手法、維持管理手法
- 健全度診断手法
- 供用期間設定、余寿命評価
- 既存不適格問題 Active/Passive
- 架け替えの問題

安く簡単に点検・管理・維持できること、各部材や接合部の診断が簡単に確実に出来ることは、今、求められていることである。供用期間を正しく設定してあげることが、非常に難しいことではあるが求められていることである。今ある橋をどのように手直しすれば良いかは、事故が起きる前に手当てしなければいけないことである。致命的破壊に至らない場合にどう補修すればよいかは破壊が生じた時に早急に対処しなければいけない問題である。同じ材料で同じ形の橋を架け替えることが出来るとすれば、木材をインテリジェントに使いこなすことができたと言えるのではないだろうか。

解決への道

以上の問題を、現在の取り組み方のままで実現できるとは思わない。矢島は文献⁹⁾で、「不静定次数が高い溶接構造物は、破壊要因たる亀裂の内在は不可避であり、亀裂発生強度のみを検討基準にすることは不可能であり不経済である。破壊の発生を許容応力の低減のみによって回避することは自ずと限界がある。」と述べ、破壊管理制御設計の概念を提示している。この設計法は、損傷過程の把握を基礎に許容応力、余寿命計算、欠陥許容値、材料選択基準など構造物の原性能を明確にし、致命的破壊を起こさずに機能を全う出来る構造方式である。

落橋までの間に多段階の破壊損傷レベルを設計の時点で設定することは、中位の損傷レベルで異常を発見し使用を中止できるようにすることである。このような設計行為により安全が確保できるだけでなく、維持管理の要点を明確にし、その後の再供用に際しての補修まで視野に入れた構造計画を盛り込

むことが望ましい。つまり、これら構造物の時間軸方向に関しての情報を整理することは、ライフサイクル全体について環境負荷を検討することに他ならないのである。

文化遺産たる構造物は、ハードだけではなく、それを生かし続けるソフトとあわせてこそ遺産である。奇しくも愛媛県には、数多くの屋根付きの木橋が現存している。これらの橋は、生活の一部に組み込まれることにより、利用者が潜在意識下で、かつ日常的に維持管理を行っているのである。一見同じように見える屋根付き人道橋であっても、木橋には PC 橋にも、鋼橋にも無い、何かがあるように思えてならない。



写真 7 愛媛県喜多郡河辺町「帯江橋」

橋長 16.5m、昭和 27 年(1952)



写真 5 愛媛県喜多郡内子町「田丸橋」

橋長 15m、昭和 19 年(1944)



写真 8 愛媛県喜多郡河辺町「ふれあい橋」

PC 橋桁、橋長 25.8m、平成 4 年(1992)



写真 6 愛媛県喜多郡河辺町「三嶋橋」

橋長 14.8m、大正 12 年(1923)



写真 9 愛媛県喜多郡河辺町「龍王橋」

鋼製橋桁、橋長 25.4m、平成 9 年(1997)

終わりに

つい先日、2000年8月27日午後にも、台湾南部の高屏大橋が落ち多数の死傷者が発生している。

損害が残してくれた教訓は貴重な実物実験結果であり、謙虚に受け止め、早急に今後の糧にしなくてはならない。

参考文献

- 1) 壁村秀水：木造林道橋の現状と今後の課題：日本木材加工技術協会，木材工業 Vol. 55 No. 5, pp. 224-227, 2000/05
- 2) 鈴木憲太郎、軽部正彦、宮武敦、加藤英雄：ボンゴシ材を使った公園用木橋の落下について：日本木材加工技術協会，木材工業 Vol.55 No.2, pp. 78-81, 2000/02
- 3) 軽部正彦、鈴木憲太郎、宮武敦、加藤英雄：事例に基づく木橋落下防止の一考察：日本木材学会，第50回大会研究発表要旨集 I3013, pp. 215, 2000/04
- 4) 鈴木憲太郎、宮武敦、軽部正彦、加藤英雄：落下したボンゴシポニ - トラス橋の調査報告：日本木材学会，第50回大会研究発表要旨集 5am26, pp. 688, 2000/04
- 5) 軽部正彦、宮武敦：ボンゴシ橋の落橋事故について：土木学会 平成12年度全国大会 第55回年次学術講演会，2000/09/21-23 開催予定
- 6) 軽部正彦、宮武敦、鈴木憲太郎、加藤英雄：ボンゴシ材を用いた公園用木橋の落下調査報告：日本建築学会，技術報告集 第12集，2001/06 発行予定
- 7) 矢島浩：溶接構造物の破損事例とその教訓(1) 破損事例からの教訓：溶接学会，溶接学会誌 第68巻 第7号，1999/10
- 8) 矢島浩：溶接構造物の破損事例とその教訓(2) 設計への応用：溶接学会，溶接学会誌 第68巻 第8号，1999/12
- 9) 小林一輔：コンクリートが危ない：岩波新書
- 10) 特集 新世紀のコンクリートを考える：土木学会，土木学会誌 Vol. 85, 2000/04
- 11) 特集 コンクリートは21世紀の材料足りうるか：日本建築学会 Vol. 115 No. 1457, 2000/07
- 12) 堀江和美、土井修一、佐々木貴信、飯島泰男：木造橋のメンテナンス(1) エッキ材の耐久性能評価について：日本木材学会，第50回大会研究発表要旨集 5am15, pp.

644, 2000/04

- 13) 土井修一、佐々木貴信、飯島泰男、堀江和美：木造橋のメンテナンス(2) 改めてメンテナンスマニュアルの提案：日本木材学会，第50回大会研究発表要旨集 5am16, pp. 645, 2000/04
- 14) 矢田茂樹：公園に設置された大型木製遊具の点検と補修(1)：日本木材学会，第50回大会研究発表要旨集 Q3017, pp. 462, 2000/04
- 15) 大熊幹章：「木橋が落ちた」：日本住宅・木材技術センター，住宅と木材 2000年7月号, pp. 30-31, 2000/07

参考 URL

- 1) 農林水産省 森林総合研究所 接合研究室
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/setugo/>
- 2) 愛媛県南予レクリエーション都市
<http://dns1.insnet.ne.jp/hp/nanreku/>
- 3) Mark Ketchum's Bridge Engineering Page
<http://www.ketchum.org/bridges.html>
- 4) Bridge Disasters
http://www.iti.nwu.edu/clear/bridge/bri_dis.html
- 5) 日本の橋
<http://www.civilnet.or.jp/culture/bridge/>
- 6) 愛媛県内子町の屋根付橋
<http://www.civilnet.or.jp/culture/bridge/yane/html/utikotyoto.htm>
- 7) 愛媛県河辺村の屋根付橋
<http://www.civilnet.or.jp/culture/bridge/yane/html/kawabemu.htm>
- 8) 日本木橋協会
<http://www.wood.co.jp/mokkyo/>