

## 巻頭言

### 橋の所要性能と寿命

東京工業大学教授 三木 千壽

最近、橋に対して性能照査設計 (Performance Based Design) がしばしば話題にされる。性能照査設計とは、具体的には構造物がその生涯において想定される様々な限界状態に対して所要の性能を明らかにし、それらに対してバランスよく設計をすることを意味するのであろう。自重、自動車や列車といった積載荷重に耐えることに加えて、地震、風、土圧、水圧、温度などの外的作用に対して安全であることや、景観、環境負荷、快適性なども想定すべき要求性能になると考えられる。しかし、いったいどの程度の寿命を考え、さまざまな限界状態、要求性能に対してどの程度の信頼度で、どの程度の安全性を確保すれば良いかが今後の課題と言えよう。当然であるが、要求性能レベルの超え方が問題である。性能照査設計といっても現行の設計と特に変わるとは思えないが、たとえば供用寿命など、性能の要求があまり明確でないことと、多くの仕様規定とがあいまって、結果的にある部分はオーバーデザインとなり、ある部分は不十分なデザインとなっているなどのアンバランスさが解消できるのではないだろうか。その前に荷重抵抗係数設計あるいは限界状態設計についての議論をつめたほうが良いと思うが、いずれにせよ、目指すところは High Performance Bridge である。

それでは、読者諸兄は“橋の寿命は何年か”と聞かれたら、橋を設計し、製作する専門家としてどのように答えるだろうか。筆者は質問者によって答え方がある程度代えるが、もっとも一般的な答え方としては、財産としては50年程度と設定されているが、疲労設計上は東海道新幹線は70年、本四の瀬戸大橋、米国の道路橋、英国の橋は100年の供用を想定して行っており、100年程度の使用に対して機能的に問題を生じないようにすることとなる。これは人間で言うところの健康寿命が100年になるように設計することに相当する。

しかし、橋の寿命を決めることはきわめて難しい問題である。船舶、自動車、産業機器、車輛、電気製品などについては、老朽化したから取り替えようということになり、それも可能であろう。しかし橋については一度建設され供用されると取り替えることは容易ではない。橋が建設されるとそれをベースに街が形成され、複雑な社会活動、経済活動の連鎖のキーマンの存在となる。このことは、たとえば隅田川を渡る橋や、東名高速、首都高速、阪神高速などが数ヶ月ストップする事態を考えれば理解できるであろう。したがって、寿命がそのまま取り替えてはならないと考えるべきであろう。

性能照査型設計などと言わなくても、寿命の概念なしでは構造物の合理的な設計をすることはできないのは明らかである。永久に持つ構造物を設計することは可能ではあるが、あまりにも不確実な因子が多く、経済的にもあわないであろう。ローマ時代の石造アーチを見ろと言う人もいるが、あれはたくさん作ったなかの一部が残ったのである。結果的には今の橋のかなりのものも半永久的に使われ続けるだろうとは考えているが設計で半永久と考えることはまた別のコンセプトである。数年前、300年橋、200年橋といったコンセプトの議論が土木研究所の西川室長の発言をきっかけに盛り上がったが、それではそれをどのように示方書に記述し、内容を合わせていくかが問題であろう。

具体的に物理的な寿命設計の対象となるのは疲労と腐食であろう。現行の道路橋示方書では疲労設計は鋼床版を除いて必要ないとされている。この疲労設計は必要なしとの判断は、設計に用いている活荷重にかなり余裕があることと、ディテールで対処するとの考えに基づいたことである。これはかなり長い寿命、半永久的に使えらる橋を目指しているとも考えられ、見方を変えれば疲労限設計を要求したきわめて厳しい設計であると筆者は考えている。ただし、ほとんどの設計者はそのように認識していないことが問題なのである。

現在、交通量の増大と多くの過積載トラックの通過によって、多くの橋梁に疲労亀裂が発生しているが、そのほとんどがいわゆる疲労設計の対象とはならない、2次応力あるいは変位誘起による疲労であり、疲労設計は必要としないといった判断はいちがいには間違いであったとは言えない。しかし、時にはL-20荷重の載荷状態をオーバーするほどの厳しい使用環境にさらされ、しかも疲労設計もしていないのにいわゆる1次応力による疲労亀裂が発生しないのだろうか。それは、実際に活荷重によって生じる応力は設計で計算されている応力よりもはるかに小さいからである。筆者はいままで多くの現場測定を行ってきたが、プレートガーダ橋の下フランジでは計算応力の60%もあれば高いほうである。

宇宙にステーションを作ろうという時代に、50%程度しか現象を把握できていない計算でもの作りをやっているのは鋼橋だけではないだろうか。性能照査設計を議論するには実際に生じる現象をきちんと把握できる解析をベースにすることが絶対条件であろう。設計計算と実際の挙動がかけ離れているのは、言うまでもなく非合成の仮定である。最近韓国の技術者からなぜ橋梁先進国の日本で非合成桁を作り続けるのですか、何か特別の理由があるのなら教えてくださいと言われたが、筆者も特別な理由を誰かに教えてもらいたいと答えておいた。非合成桁なる橋を作り続けているのはおそらく日本だけであろう。PC床版つき開断面箱桁なる、性能照査設計からはもっとも遠いところにあるような橋ができるようであるが、もういいかげんにしたほうが良いと思う。

さて、話が横道にそれたのもう一度疲労設計に戻そう。疲労設計には2レベルあると考えている。一つはディテ

ールの改善により疲労に対しての抵抗をできるだけ高める方法、もう一つは寿命を設定し、それに合わせてディテールを最適化していく方法である。いままでの道路橋示方書は前者の考え方であり、これは疲労限設計に対応し、考え方によってはこれほど厳しい疲労設計はない。しかし、設計者が示方書をそのまま読み、疲労設計は要らないと考え、疲労に対してのディテールの配慮をしなければ最悪のことになる。たとえばプレートガーダ橋の横桁取り付けのディテールであるとか、下フランジ近傍への添加物の取り付けとか、いま、多くの橋でこのようなことが起きているのが現状であろう。メンテナンスのための点検足場の取り付けが疲労に対して最悪のディテールになっているのは、最近完成した有名な橋で見かけた事実である。

一方、後者のS-N線と活荷重による応力およびその繰り返し数を用いる、いわゆる疲労設計においては設計寿命がそのまま応力繰り返し数になるため、設計寿命を長く取れば取るほどコンサーバティブな設計となる。さらに、疲労の原因となる交通荷重の変化など、設計寿命を長くするほど不確実な要因が高くなるため、疲労設計での想定寿命は100年程度が適切であろう。当然、疲労設計にもある程度の安全率、余裕を含んでおり、100年寿命で設計したら100年後には一斉に疲労亀裂が出るのではなく、想定した安全率に見合った確率で疲労被害の可能性があるということである。また、疲労設計を導入することはなにも未来永劫疲労に対してフリーにしようというのではなく、適切なメンテナンスが必要であり、それにより橋梁に対する交通などの環境変化への対応を可能にする。

疲労設計を取り入れると溶接部の品質管理目標がはっきりしてくることも大きなメリットである。たとえば今の突き合わせ溶接部の受け入れ基準は放射線検査に基づいて、引張り部材で2種、圧縮部材で3種とされているが、どのような根拠でこのように決めたのであろうか。3種に外れる継ぎ手部でもその静的な引張り強さは要求値を満たすことがあることは周知の事実である。溶接欠陥はよほど大きい場合を除いて、通常の引張りで延性破壊するような場合はその強度に対してほとんど影響しないが、疲労に対しては強く影響する。したがって、継ぎ手部に対して所要の疲労強度が決まると許容できる欠陥のレベルが決まり、どのように検査してその品質管理をすれば良いかも決まる。このようなコンセプトは国際溶接協会 (IIW) の中で非破壊検査、疲労および設計・製作の共同研究テーマ "Fitness For Purpose Study" として取り上げられている。我が国でも建設省土木研究所を中心とした共同研究として同種の研究がスタートしており、2-3年内には限界欠陥とそれに対する非破壊検査および管理基準が合理的なベースで決められ、多分ISOとして発足されるであろう。

橋の設計寿命が設定されると腐食設計も可能となる。適切な塗り替え間隔の設定により、初めて最近のはやり言葉のトータルライフコストを求めることが可能となり、そこではじめてコンクリート構造との合理的な経済比較ができる。いままで我国で腐食が原因で橋が落ちたことはないと思う。しかし、ウェブの一部が欠落しているような橋もたくさんある。腐食した橋の強度評価についてはほとんど行われていないのが現状であろう。鋼構造物といえば腐食と言われるのは当然である。しかしそれは今の技術で十分に対応できるのであり、鋼橋の良さをアピールするにはそれなりの努力が必要であろう。

耐候性鋼材の仕様についても、寿命の設定と要求性能を明確にすることによりその適用可能範囲が大きく拡大すると考えている。普通鋼材の裸使用でも可能であるような場所にしか使えないような指針を早く直すような努力をすべきであろう。また、この分野での先進国である米国で一般的になっている、桁の端部や排水設備の近傍のような安定錆の形成が難しい部分については部分的にペイントするなどの使い方の工夫も必要であろう。待っていても誰もやってくれないことに早く気が付いてほしい。

筆者は米国の橋梁関係者といろいろな議論をするチャンスが比較的多い。その際橋の寿命をどう考えるかもしばしば話題になる。それに対するなんとなくの結論は、都市部や重要路線の橋については、長期間全面的に交通止めをしての架け替えあるいは補修工事はだめだね、ということである。はたして今作りつつある橋についてはどうであろうか。新形式の橋との掛け声でいろいろなアイデア "実はフランスやドイツの模倣" が出ているがもう一度その辺について議論する必要はないであろうか。米国のプレートガーダ橋 (もちろん合成) では設計時に部分交通開放で床版の取り替えをすることが考慮されていること、ドイツではPC箱桁橋でも橋脚を中空にしてメンテナンス設備を置き、そこから桁内に入れるようにしていることなどは模倣の対象にはならないのであろうか。西川室長はミニマムメンテナンス橋というコンセプトを出しているが、メンテナンスは性能照査設計での重要なポイントである。

道路や橋がほしいときには、それが完成したときに期待されるあらゆる経済効果や社会的影響度を取り込んでF.S.を行っている。しかしメンテナンスについてはどうであろうか。架け替えや補修工法の選定の議論の際に、交通止めしたときあるいはサービスレベルを落としたときの経済的、社会的影響度は考えているだろうか。そのような検討からは、先に触れたような、全面交通止めは解としては出てこないであろう。性能照査設計の中にはこのような観点も含まれることも必要ではなかろうか。

なんとなく普段考えていることを思い付くままにならべてみた。読み直すとなんともまとまりのない文章になってしまっている。ついでにもう一言、それでは誰がこのような問題に取り組むかということである。このようなことはいろいろな先輩方が指摘されてきたこと、誰もが考えていたことがほとんどである。しかし、だれも行動を起こさなかったところに問題がある。もしもこれらは官か学かの仕事であり橋梁製作会社の技術者の役割ではないと考えて待っていたのであれば、それは間違った判断である。橋梁に関係する一人一人がきちんと考え、発言していくことがHigh Performance Bridgeに近づく唯一のルートであろう。