

第2章 ロングライフブリッジへの合理性

2.1 橋梁技術のパラダイムの変遷

近代橋梁技術の黎明は、産業革命と時を同じくする。大量・高速の輸送手段としての鉄道および自動車の発展は、橋やトンネルなど、それを支える施設の技術の充実を抜きにしては考えられない。流通・産業構造の変化という社会的要請の拡大と、材料・力学理論・計算技術などの進歩という技術的条件とが相俟って、Coalbrookdale橋以降の、ここ2世紀ほどの間の橋梁技術の急激な進歩をもたらした。

わが国の橋梁技術も、明治維新・戦後復興という2つの社会的フェーズの中で、急速な外来技術の受容から、おびただしい建設の経緯を経て、独自の技術を創出する段階に至ったわけであるが、基本的には世界の技術発展史と軌を一にした歩みである。

この歴史の中で、橋梁設計論には一定のパラダイムが形成されてきた。ひとつの要素は材料の高度化とその有効利用である。鋳鉄から鋼へ、軟鋼から高張力鋼へ、チェーンからケーブルへ、RCからPCへ、などこの流れの中で位置付けられよう。これは一面、構造の軽量化、支間の長大化にもつながる。鋼構造薄肉化、補剛構造の発展などもこの流れの一つである。軽量化の背景には、貴重な資源を節約するという側面もあった。現在の日本では強い制約にはならないが、多くの国では今もなおおこれも重要な要因である。最適性（最適化）というキーワードをあてはめてもよいだろう。

今一つの主要なパラダイムは、危険要因の発見とその克服である。上記の最適性に対して安全性というキーワードになるであろうか。風や地震などの自然現象の影響も、構造物の大型化に伴って複雑化してきたわけであるし、座屈、疲労、遅れ破壊などの現象も構造の軽量化、溶接構造の導入、新材料の導入など、技術発展に伴って生じてきた、一種の副作用的なものとみられないこともない。

さらに近年では、環境への影響、景観の問題などが要素としてつけ加えられつつある。独自の存在としての橋梁を扱う橋梁工学が、構造工学の進歩という中でシンボリックな地位を保ってきたが、この他に、交通システムの中のひとつの要素とか、部品としてとらえた橋梁という見方も重要であるし、また地域社会のシンボルとかランドマークとしても影響性にも配慮が必要となっている。

橋梁の将来像を論ずる際に、こうした橋梁設計のパラダイムが今後どのように変貌していくかへの洞察を欠くことは出来ない。

従来の考え方の延長線上に、ひとつの未来像を描くのも、選択肢のひとつとして当然ある。材料の品質向上、製作・施工精度の向上、安全管理手法の高度化、コン

ピュータ利用の進展による様々な自動化、設計計算の迅速化、種々のデータの集積等々、構造工学の発展に資する材料は数多い。こうした方向の成果は、例えば可能最大支間長の増加（ロングスパンブリッジ）などといったことに最も象徴的に実ってくるであろうし、また様々な複雑な形状、苛酷な使用条件といった、設計への要求の多様化に応えるといった側面でも発展は期待できる。

半面、わが国の橋梁工学の発展を支えてきた、ここ1世紀余の急激な社会の進歩、社会基盤整備への集中的な投資は、そろそろ成熟の段階にはいってきているのではないかという認識も一方ではある。生活関連施設など、まだまだ欧米先進国に比べ立ち遅れている面もあるが、経済活動の規模では世界の中核となっており、国を挙げて経済成長を志向していた時代とは、明らかに状況が異なる。また高齢化社会の到来は目前のものであり、社会基盤に投資しうる公の予算の総額も割合も減少していくことは確かである。

成熟社会の社会資本整備状況のなかでは、既存の構造物を維持管理により「長持ちさせる」技術が重要となろう。また、新設の構造物についても、従来以上に長期の寿命を、より少ない維持管理のもとで確保することが求められるようになろう。こうした要求は、橋梁設計のパラダイムに新しい側面を供給する。すなわちそれが本報告書のロングライフブリッジの概念である。

2.2 わが国の橋の現状¹⁾とロングライフブリッジの必然性

(1) 寿命

図-1は、それぞれの時期に建設された道路橋が、昭和61年時点でどの程度の割合で更新されたかを調査した一例である。戦時中あるいは戦後の物資の不足した時期に建設された橋が、早い時期に架け換えられた傾向が見られるが、おおよそ50年でほぼ半数の橋が架け換えられているのがわかる。従来、漠然と橋の寿命は50年程度といわれたり、人の寿命になぞらえて50年、最近では7、80年などと言われてきた。また、その橋の設計、建設に関わった人々が存命のうちに架け換えるべきでないともいわれるが、それもひとつの見識であろう。

図示された調査結果も、これらの考え方を裏付けているように思えるが、注意すべきことは、この図に含まれる橋梁の中には物理的寿命以外の理由で架け換えられたものが多いこと、また、大半が少なくとも現在よりは未熟な技術によって建設され維持されてきたことである。したがって、今後、この図の曲線は長寿命側に大幅にシフトしていくことが予想される。

こういった比較的短い有限の寿命を想定する考え方の中には、橋の寿命を人の寿命のように、抗しがたい自然に定められたことのように考えていることが根底にあるのではないだろうか。そのこと自体に反論を唱えるものではないが、何度も述べるように、橋の寿命には維持管理のあり方が非常に大きく影響し、その良し悪しで、

いわゆる物理的な寿命は2倍にも3倍にも（あるいは無限にも）延ばしうる。どんなに頑張っても150年を超えることは不可能と考えられている人の寿命とは違うのである。

橋の寿命を一種の自然現象ととらえ、経済的な観点からメンテナンスフリーを指向するのは、悪く言えば使い捨ての発想であり、この観点を取り続ける限り、文化財としての橋は永久に生まれてこないことになる。

橋の架換理由の大半が、道路改良などによる機能の陳腐化によるものであることから（図一2参照），橋の寿命は物理的に決まることは希であり、あまり長期間もつようないくつかの設計でも無駄であるという考え方がある。「どうせ架け換えるんだから説」といったほうがわかりやすいかもしれない。

昭和30年代のように社会資本が未整備な状況では、将来における道路の機能を予測することが困難であるということもあったかもしれない。事実、我国の自動車の保有台数は、昭和30年当時の100万台あまりから現在では6000万台へと、短期間に驚異的な伸びを示し、自動車の性能の向上も相俟って、多くの橋をはじめとする道路構造物が、機能的陳腐化による改良を余儀なくされている。

しかし、現在のように、かなりの程度社会資本ストックが蓄積された状況にあっては、将来の交通政策の立案に当たって、現存の資本をいかに活用するかということに影響されるはずである。また、欧米先進国における道路交通の推移について多くの知識を得ている。したがって、現在および将来において整備が行われる橋が、これまでのように短期間のうちに機能的に陳腐化することは考えられないし、もしあるとすれば、道路計画の立案者の能力が疑われることになる。少なくとも無責任ではある。

（2）必要寿命と工学的永久橋

平成5年4月1日現在、わが国の道路用の総数は支間2mを超えるもので663652橋、全長が15mを超えるものに限っても124604橋にのぼる。仮に橋の寿命を50年とすると、全長15m以上の橋だけに限ってみても年間約2500橋を更新しなければならないことになる。現在、新たに建設されている道路橋が年間約2000～2500橋であることを考えれば、将来本格的な高齢化社会を迎えるわが国にとって、単なる更新のために現在と同じペースで橋を架け換え続けることは不可能であろう。更新は新設に比べ、はるかに大きな資金とエネルギーを必要とすることはご存じの通りである。

図一3は、わが国の道路橋を架設年次に示したものである。わが国の本格的な道路整備が昭和29年の第一次道路整備五カ年計画により開始されたのを反映し、昭和30年代後半の高度経済成長期から50年代前半にその数が集中し、一種の団塊の世代を構成しているのがわかる。これらの橋が2010年から50歳を超える始めるため、そのころから急激に橋の高齢化が進むことになるのである。

わが国の道路整備の歴史は比較的浅く、橋の供用年数は欧米先進諸国に比べても比較的短く、図一4に示すように架設年次が近年に偏っていることがわかる。

人間の高齢化を示す指標として65歳以上の高齢者の割合を用いることが多いが、仮に供用年数が50年を超える橋を高齢橋として、最近の新設橋と撤去された橋の平均的な数（それぞれ2000および200橋）がそのまま推移するとして試算したところ、2001年頃までは大した変化は見られないが、2011年には10%を超え、2021年には30%，2031年には50%に達する。実際に維持管理上の問題となるのは割合ではなく橋数そのものであるが、実数の増加は高齢橋割合の増加よりも急激であり、現在およそ6000橋程度の高齢橋が2021年には50000橋へと増加する（図一5）。

以上のような状況が予想される中で、わが国の社会資本をサービスレベルを落すことなく維持してゆくには、十分に長い設計寿命を設定する必要があろうと考えられる。これらのことから、基本的には永久橋を目指すべきだと考え、現実的に対応可能な方法として工学的永久橋の概念を提案したい。

工学的永久橋とは、現時点で明らかになっている橋の耐久性を阻害するすべての要因について、設計、施工上の配慮に加え、最小限の維持管理を効果的に組み合わせることにより、ほぼ永久的な寿命を達成することのできる橋をいう。したがって、目標は永久橋であるが、未知の原因によって、寿命が短縮されることは当然あり得る。

また、疲労設計などにおいて、どうしても供用期間（ライフタイム）を設定せざるを得ない場合には、200年を設定することを提案したい。疲労設計における寿命の設定は、疲労試験における寿命を推定することと同様、疲労寿命を高い精度でおこなうことは、ばらつきが大きいためにきわめて難しい。倍半分の精度が出ればよしとしなければならないだろう。300年を目標とすれば、半分でも150年は確保できるし、倍になって600年ということになれば、ほとんど永久といつても差し支えないものと考えられる。

工学的永久といっても、人間が行うことであるから、実際には設計、施工上の不備や、維持管理上の不手際が生じることは避けられないであろう。しかしながら、高齢化社会の将来のわが国であっても、永久橋を目指したにも関わらず損傷を生じた橋の手当をすること位はできのではないかと思うし、国土を荒廃させないためにも是非ともしなければならないと思うのである。

2.3 構造物の「供用期間」と「耐用期間（寿命）」の関係

前節でロングライフブリッジの必要性が今後数十年の間に急速に高まるであろうという予測を述べた。ところで、橋を含めた土木構造物全般に対して、利用者である社会の側は、これまで半永久的に使用されるものという認識を持っていたと考え

るのがむしろ自然である。建設に携わる技術者の側も、供用期間50年といった論理に触れる機会はあっても、こと構造物の寿命に関しては漠然と半永久的であるようを感じている人が多いと思われる。50年という長さを半永久的と受けとめるのか、供用期間と寿命の関係性に、そういう理解を与える要素があるのか、いずれにしても曖昧なところがあるといえる。

橋のロングライフ化は、明確な意図のもとに寿命をコントロールしようとする思想であり、そのために多少の初期コストの増加も認めていこうとするものである。初期コストの増加が、ライフタイムコストの観点からすれば合理的であるという議論は次節で触れることになるが、現状認識との対比に説得力をもたせるためにも、上記の曖昧さに関わる部分について若干の整理を試みた。

土木学会「構造物のライフタイムリスクの評価」²⁾の中で小堀は、土木構造物の耐用年数として「経済的耐用年数」「機能的耐用年数」「物理的耐用年数」の3種の見方を示している。このうち機能的耐用年数は橋梁でいえば、建設時の幅員が交通量の増大に対応できなくなるといった状態のことを指し、長い年月の間にはあり得ることではあるが、一応ここでは除外しておくことにする。

物理的耐用年数が本WGの研究対象である。これらに対し経済的耐用年数とは、大蔵省令における減価償却資産としての法定耐用年数（橋梁で40～50年）、あるいは高速道路などの建設費の償還期間（30年程度）が対応する概念とされる。減価償却の概念は公共構造物については明確に整理されていないが、固定資産としての残存価値と直結したものであり、機能・物理的耐用年数と何らかの関係は認められるものである。小堀の記述でも維持管理や補修に関する費用の増大・経済効果の減少が経済的耐用期間の算定基準のもとになるとしている。一般に供用期間という用語で表現される概念はこれに近いと考えられる。一方借入金の償還期間の方は、終了時点で残存価値がなくなることを前提にはしていないから、減価償却期間よりは短くなると考えられるが、概念としては関連性を有している。

他方橋梁を含む道路、鉄道の路線はひとたび建設されれば半永久的な利用が前提となる。物理的（あるいは機能的）耐用限界に達すれば、個々の施設は（路線全体を放棄しない限り）更新されることになる。すなわち供用期間を利用期間と同義に解釈すれば、これは半永久ということになる。個別の構造物ということでなく、システムの一部を分担する要素機能の側面でとらえた供用期間であるともいえる。

阪神・淡路大震災後の土木学会全国大会において「構造物の破壊時コストの明確化と設計問題における意思決定」と題する研究討論会に合わせて構造物の安全性に対する技術者の意識調査のアンケートを行った。³⁾配付先は、大学・研究機関・官公庁・公団・大手建設会社・コンサルタント・メーカー（民間企業は設計部門が独立して存在するところ）等であり、一般技術者へのアンケートではなく、むしろ設計工学の指導的立場にある方々を主たる対象としたものという性格付けである。発送数570に対して回収はちょうど60%の342であった。この中で、本WGに関連の深い

設問として、

- ・「土木構造物は社会的ストックであるという考え方について」という大枠を設け、

(1)土木構造物は永久構造物であるとお考えでしょうか；

　はい—59 (21%)，いいえ—187 (67%)，わからない—11 (4%)，それ以外—22 (8%)

(2)仮に50年の供用期間を設定するとして、所定の期間が過ぎても問題がなければ使い続けた方がよいでしょうか、積極的に更新をはかるべきでしょうか；

　使い続けるべき—180 (65%)，積極的に更新をはかるべき—49 (18%)，それ以外—49 (18%)

(3)<(2)で使い続けるべきと答えた人を中心に>構造物の供用期間と耐用期間は異なる概念とお考えでしょうか；

　異なる—184 (76%)，同じ，もしくは近い53— (22%)，それ以外—6 (2%)

(4)<(2)で積極的に更新をはかるべきと答えた人を中心に>構造物の供用期間を限定するならば一定の減価償却が社会的費用として見込まれるべきでしょうか；

　はい—50 (88%)，いいえ—5 (9%)，それ以外—2 (4%)

　という問い合わせを行い、回答を得た。

先にも触れたように「供用期間」「耐用期間」という用語の使われ方に幅があり、明確な定義のない状態で求めた回答であるので、ここから余り飛躍した結論を導くことは慎まねばならない。とはいえ、土木構造物は「永久」ではないこと、漠然とした概念として初期に設定した供用期間が「 \neq 構造物寿命」ではないこと、いずれは迎えるべき社会資本の更新時期に対して然るべく予算措置を講じておくべき問題意識の存在などを、ここから推測したとしてもさほど問題はないであろう。構造物の有限な寿命と、構造物が包括される「システム」の半永久的寿命のどちらに視点の重みを置くかで、回答も異なるのであろうかと思われる。ライフタイムコストの得失判断を50年程度の期間でなく、200年あるいは300年で考えていく意義を、上記(4)の減価償却の問い合わせへの反応に見出していくこともできるのではないだろうか。

2.4 ライフタイムコストからみたロングライフブリッジの合理性

西川¹⁾は供用期間を200年間にとて橋梁（上部構造）のライフサイクル（ライフタイム）コストを試算している。

$$LCC = IC + \sum M(t) + \sum R$$

（の両辺を十分に長い供用年数Tで割ったもの）を与えており、LCCとはLife Cycle Costの略である。ICは初期投資、M (t) は毎年の維持管理費用、Rは更新費用である。Tとして200年間を考え、この間で「1：60年ごとに初期投資の3倍のコストをかけて更新、この間RC床版は20年目に部分補修・40年目に全面打換、10年ごとに再塗装」「モデル1’：1における更新を行わず、維持管理を継続」「モデル2：1’における床版をPCとし、50年ごとの部分補修のみとする」「モデル3：1’で耐候

性鋼材を使用して再塗装を不要とする」「モデル4：2と3の組合せ（メンテフリーに近い案）」の5つのモデルを比較している。モデル1のI=100として、200年後で比較してみると、順に1722, 1036, 533, 713, 156というライフタイムコストになっている。

この試算ではロングライフ化によるICの増加は見込まれていないが、ある程度の初期コストアップはあると考える方が自然であろう。本報告書の8章では防食システムの選択肢が示されているが、図8.4.1で耐候性鋼十さび安定化処理のオプションを選べば、10%弱のコストアップとなる。また9章や10章の設計例ではシンプル化の利点が強調され、コストアップは余り出でていないが、例えばこれをさらに進めて疲労に余裕をもたすために、向こう300年間における車両重量の増加に十分な余裕を見るべく、単純に設計活荷重を2倍してしまうというような少々荒っぽい考え方を探るならば、現設計で死活荷重比が1:1の桁ではこれが1:2となり、応力レベルで1.5倍になるので、断面係数も1.5倍、 $W \propto A^{1.5}$ を考えれば、断面積で1.3倍ということになる。2次部材では2倍になるものもあり、舗装等をロングライフ橋梁に相応しい品質にしようとすれば2倍近くコストアップする可能性もあるだろう。実際にはここまで極端なことをする必要はないと思われるものの下部構造やシステム全体にも、ロングライフ構造に相応しい耐震性が求められるなど、全体のバランスをとるため、本WGの提案技術以外のところでのコストアップ要因が生じてくることも考慮に入れておく必要があるであろう。それゆえ、現在の橋構造のままを踏襲すれば5割増程度の初期コストを見込まねばならないという可能性は念頭に置くべきである。（しかし、本報告書で述べているよう橋構造のシンプル化により、かなりの部分が吸収できると考えられる）西川論文では、ロングライフ化実現のための初期投資の増加分は見込まれていないが、利子率を考えなければ、この程度の初期コストの増加は、比較上大きな問題にはならないようである。

再建設費用RはICの3倍を見込んでいるが、ここには撤去費用なども含まれているはずであり、再建設までの期間、構造物が供用されないことによる外部不経済を取り込む考え方からみれば、むしろ遠慮した仮定といえるかもしれない。構造物のロングライフ化のもたらすメリットの一つは、構造物が補修、再建設される間の負の効果（外部不経済）を小さくできることである。土木構造物の経済的価値を計測するのは、極めて困難な問題である。道路の開通に伴う経済波及効果等は、ここでは考える必要はない。一定の時間がたてば波及効果は一人歩きするし、限界効用低減の法則により、後から建設されるものほど有難みは薄れてくる。

その一方で、阪神・淡路大震災のもたらした日本経済へのマイナスは10兆円規模という試算もある。これが阪神高速道路や港湾の被害による物流への影響を中心としたものであることは論を待たないであろう。2.3節で触れたアンケートでも、構造物の重要度をはかる目安の問い合わせに対する回答は、壊れた場合の社会経済的影响（288）が、壊れた場合の人命への直接的影响（287）と並んで圧倒的多数を占めており、初期建設費用（30）、再建設費用（35）をはるかに上回っている。むしろ代替性（=壊れても応急的に代わりができる構造物の有無、87）の方が多い。これら

の要素の金銭的価値への換算の問い合わせをしていないが、重要度をそういう意味に解釈することもできるであろう。もっとも震災下の状況は、補修や再建設による機能低下・停止と異なり、ある地域内の構造物が同時に被害を受けることや、あらかじめ計画的に行われるものでないこと等の要因があるために単純な比較はできないが。

首都高速道路のデータに眼を転じてみることにする。1995年現在、供用延長は275kmで利用台数は112万台／日。年ごとに7~8kmのペースで延長を伸ばしているが、キロ当たりのコストは120億円。これを地下化するとコストは3~4倍にふくれあがるようである。東京23区内での道路延長のシェアでは13%を占めるのみであるが、走行キロのシェアでは27%，貨物輸送量では38%を占めており、東京の物流の重要な基盤となっている。首都高速を利用する理由では、時間短縮が86%を占め、これに次ぐ道順容易の9%に大きな差を付けている。700円の利用料金はひとえに円滑な道路交通の運行のために支払われているといってよい。

1990年の試算では、首都高速の走行速度34km／h、一般街路17km／hとして走行便益は6900億円／年となっている。「首都高速なかりせば」という仮の議論では、23区内の主要幹線道路の交通量は1.1~1.9倍、渋滞時間は1.1~4.7倍、副都心間等主要区間の所要時間は1.9~3.4倍になるといわれ、現在都心から50~60kmに及んでいるピーク時2時間交通圏は23区内（15km圏）に留まるともいわれる。

物流を、単に量だけの観点でみると、ネットワークの縦糸（放射線）と横糸（環状線）の容量バランスがよければ、迂回路による代替性は確保される。震災時の信頼性評価等のように地点間の連結性の有無が判断材料になる場合には、システムの冗長性として有利にはたらく。しかし日常活動では上記のように所要時間の要素の重要性が高くなるので、システムの一部の機能低下によって迂回を余儀なくされる事態のマイナスは大きいといわざるを得ない。

2.2に述べたように、全ての橋をロングライフ化していくことが本来あるべき姿であり、それが可能ならそれに越したことはない。しかしそれが困難であるならば、まずLCCの表式4、間接的にRに含まれる負の効用の大きい、首都機能の生命線や全国の物流の動脈たる最重要路線に、高い耐震性と同時に付加されるべき品質として、ロングライフ性を考えるべきである。当然これらの構造物の機能低下・停止に伴う負のコストは大きいと考えられ、補修・再建設コストにこうした要素が取り入れられるなら、初期建設コストの何倍もの評価となることも自然の流れといえよう。

一方、「すべての橋のロングライフ化」を困難にさせるかも知れない財政上の問題点として、ICの増分に利子率をかけて考えねばならない点が挙げられる。

初期建設費の償還もまた後世に託す負の遺産である。昨今のような低成長ないしデフレ環境下では、当面の必然性の小さい設備投資は極力抑制し、高金利時代の債務残高の縮小に優先性をもたせるというのが、賢明な経済行動であることは論を待たない。首都高速道路の近況にみられるように、土地収用費がプロジェクト総費用の

90%以上を占めるような条件下では、プロジェクト自体の収支査定が厳密に行われねばならず、ロングライフ化のための建設費の上乗せの可否というのは、相対的に小さい問題であるかも知れない。しかしそうであったとしても、実質的な利子率（=名目利子率－インフレ率）を考慮に入れて支出の時間差効果を評価に入れ、それでもなお後年の維持管理・更新費用をカバーしうるという説得力は求められている。利子率を考えた場合、上記のライフタイムコストの表式は、

$$LCC(T) = I \cdot \exp\left[\int_0^T r(s)ds\right] + \sum M(ti) \cdot \exp\left[\int_{ti}^T r(s)ds\right] + \sum R(tj) \cdot \exp\left[\int_{ti}^T r(s)ds\right]$$

となる。ここに r は実質利子率、 R は名目利子率（財源の調達金利）、 π は名目財価格上昇率で、 $r=R-\pi$ の関係がある。⁴⁾ R は経過時間 s の関数というより、調達時期 t の関数と考えるべきである。また償還の完了後は $R=0$

初期投資と維持管理費の金利は、償還期間が違うといえる。これらを同様の扱いをするのはおかしいかもしれないが、公共的な構造物への支出と、それによる国や公団公社の負債の増加という観点からは差を付ける理由はない。

この表現には注釈が必要である。例えば第1項は () 内の T がそれほど大きくなく、調達資金の償還が終了していない時点では、形式上そこまでの金利しか反映されないが、名目利子率は本当は調達終了時間までの積分で考えねばならない。これは次のように考えるとわかりやすい。最も単純な例でいえば、一定の金利 R での調達資金 A を N 回のローンで均等償還するための返済額 a は、漸化式

$$b_k = (1+R)b_{k-1} - a$$

に従う残高数列 $\{b_k\}$ において

$$b_0 = A, \quad b_N = 0$$

とおいて得られ、

$$a/A = R(1+R)^N / \{(1+R)^N - 1\},$$

$$b_k/A = \{(1+R)^N - (1+R)^k\} / \{(1+R)^N - 1\}$$

となる。これを変形すると、

$$A(1+R)^N = a\{(1+R)^N - 1\} / R = a + a(1+R) + \cdots + a(1+R)^{N-1}$$

を得る。これは各回の返済額に返済までの利子をつけた総和が、調達資金に利息をつけたものと合致してはじめて完済になることを意味する。また b_k/A は残高率で、これを 1 から減じたものが名目上の返済率となるが、この式を変形すると、

$$a\{(1+R)^N - 1\} / R = a + a(1+R) + \cdots + a(1+R)^{N-1} = A(1+R)^N \{1 - b_k/A\}$$

を得る。つまり、 k 回目の時点まで、各回の返済額に利子をつけて和をとったものは、初期の調達金額でなく、最終段階までの金利を乗せた金額に対する返済比率になっているということである。ひとたび一定の金利で資金調達してものを作ったり買ったりすれば、有効に利用されるかどうか、あるいは途中で壊れるかどうかに關係なく、金利を含めた金額を返済しなければならないということである。

修正された LCC の表式中 $\int_0^T r(s)ds$ 等とあるのはこれにインフレ率を加味し、 $r(S)$ が

可変量であるとし、利子付加期間を無限小化して $(1+r)$ をかけるところを $\exp[r]$ で置き換えたものである。前記の理由から、 $r(s)$ の表現は R と π を分離して $\int_0^T r(s)ds = \int_0^N Rds - \int_0^T \pi(s)ds$ (N : 返済期間で、 T によらない定数) とすべきである。また式中の $M(t)$, $R(t)$ は現状での価格で評価される（実施時点の価格をインフレ率の逆算で開始時点に変換している）ことも、念のため付記する。しかし将来の技術革新によりこれらの価格レベルが低下する可能性については加味していない。この可能性が大きくあれば比較計量は「投資を先延ばしにする」ことに有利に動くが、どの程度期待できるかは明確ではない。

低成長ないしデフレ環境下では、 $-\int_0^T \pi(s)ds$ の項の寄与が余り期待できず、先行投資が不利になることは明らかであろう。

前出の均等償還モデルにもどって考えてみる。この論理から、初期投資 I_C は、 $1/(1+R)^N$ で評価されることになる。 $N=30$ 年とすると、 $(1+R)^N$ は $R=1\%$ のとき 1.35, 3% のとき 2.42, 5% のとき 4.32 である。LCC の評価の中では、これにインフレ率が加味されることになるが、この R を r と読み換えればこれらの数字はそのまま使える。長期にわたりデフレ状況が続ければ、平均した r が 5% ということもありえないではない。ロングライフル化に伴って、初期投資 I_C が αI_C ($\alpha > 1$) になったとすれば、 α はこれら 1.35 や 4.32 の数値だけ増幅されて LCC に効いてくる。

少し異なった可能性も考えてみる。 a と A は（他のパラメータを固定すると）比例関係にあり、ロングライフル化のためのコスト増はそのまま年度当たりの償還額の増加につながる。高速道路等の償還方式は決まっているので、ここに柔軟性はないのが実状ではあるが、考え方を変えてみると、低成長時に单年度当たりの公的支出（あるいは公団の料金収入）を急に伸ばすことには困難が伴う。またロングライフル化は将来的な付加費用を低減するのが目標であり、低減された費用を利払いに充てる期間が多少延びることは検討されてもいいのではないかとも考えられる。そこでロングライフル化実現のためのひとつのオプションとして、償還額 a を変えず、返済期間 N を延ばすというという手段も考えられるのではないだろうか。ただしトータルの支払額は増えることになるので、得失比較の結果如何ということもあるのだが。

先ほどと同様、ロングライフル化のためのコスト増加率を α とし、 a は変えずに償還年を N から N' に延ばすとすると、 $N'/N = 1 - \log[1 - (\alpha - 1)R]/\log[1 + R]$ となり、 R が十分小さければ（1%～5% なら十分小さい）この比は α にほぼ一致する。このとき $(1+R)^N$ も α 乗になる。

LCC の式中 $M(t)$ や $R(t)$ にも時間効果がある可能性もあるので一概にはいい難いが、 α が 2 倍近くにもなり、デフレ環境で実質金利が 5% にもなる状況が長く続ければ、ロングライフル化の先行投資は厳しくなる。 a を一定として N を延ばすプランは、もう少し適用可能な幅が狭まるが、 $\alpha = 1.5$, $r = 3\%$ ならば 債還後の LCC の第一項は 4 倍程度であり、十分フィージブルであるといえる。再建設等に伴う外部不経済が極

めて大きい場合も同様である。

[1] で述べた減価償却の議論についても触れたい。長い期間に対するライフタイムコストの比較検討で、再建設費Rを含めて考えていることで、一応減価償却に対応した考慮はなされている。一般的に減価償却というのは、固定資産の価値を更新時に一気に削減して損金参入するのではなく、所定の期間少しづつ分割してこれを行うという経理上、あるいは税務上の措置である。公共物にこうした措置はそぐわないところがあり、更新時のRをその都度加算するというのが、実情に即してもいる。ただし将来予測の観点からすると、構造物の更新には不確定要因があるわけである。毎年少しづつ均等に予算措置を行うことで対応できるのならば問題はないが、ある時期に更新の必要な構造物が一斉に出てくるような事態が発生すると、大きな問題を生じることになる。これに備えて減価償却に対応する一種の基金として予算積み立てを行うことが可能であるならば（現在の単年度予算主義から逸脱するが）、安心材料にはなりうる。この場合上記の論理と同様の意味での、「時間効果」を算定することができる。借入金の償還とは逆に、デフレ環境下では特に有効で、インフレ下では不利な措置である。こうした基金の設立が難しいとするならば、それは橋梁のロングライフ化・メンテフリー化を積極的に推進するひとつの要因となりうる。

参考文献

- 1)西川和廣：道路橋の寿命と維持管理、土木学会論文集、No. 501, pp.1 - 10, 1994. 10
- 2)土木学会構造物安全性研究小委員会：構造物のライフタイムリスクの評価、土木学会構造工学シリーズ、pp-3-8, 1988
- 3)佐藤尚次：構造物の破壊時コストの明確化と設計問題における意思決定、土木学会誌、1996.1 (別冊)
- 4)上田孝行：不均衡経済下での社会資本整備の影響に関する一考察、土木学会論文集、No. 488, pp.42-47, pp.67 - 76, 1994. 4

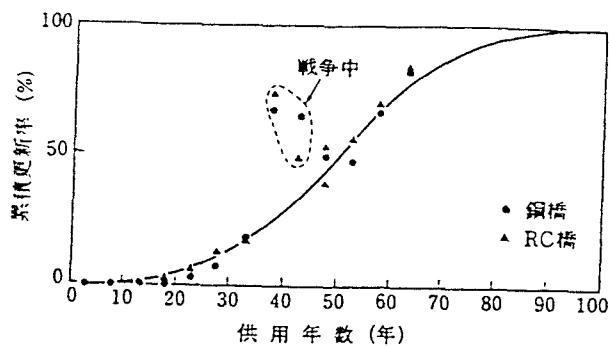


図-1 供用年数別累積更新率(建設省)

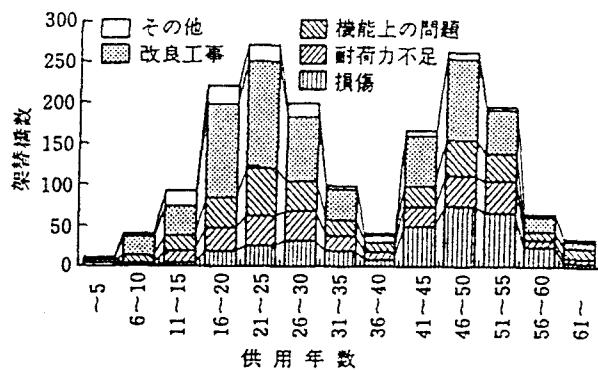


図-2 架替理由別の架替橋数と供用年数(建設省)

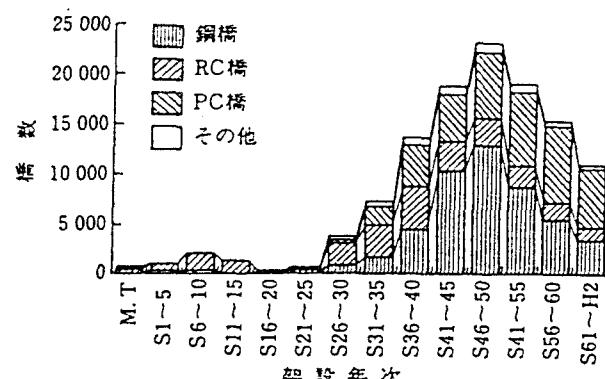
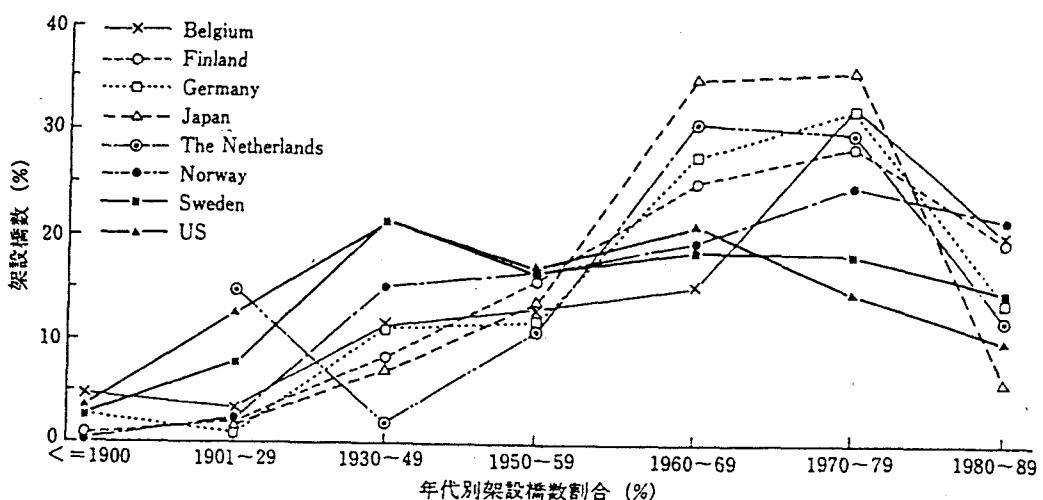


図-3 架設年次別橋数(H 3.4.1 現在)



(注) 1989年現在供用されている橋梁の架設年次別分布を示す。

図-4 架設年次別橋数の国際比較(OECD)⁵⁾

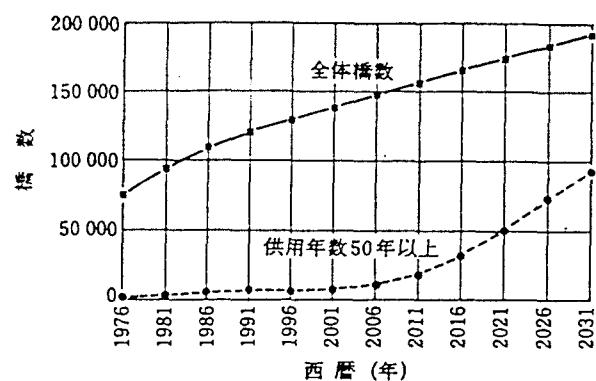


図-5 供用年数50年以上の橋数の将来予測