

# 魅力的な橋梁設計をするために

For making Bridge Design attractive



松井幹雄  
Mikio Matsui

大日本コンサルタント(株)  
執行役員経営企画部長

## Summary

Bridge design is a business that requires accountability for society. For that I work hard to balance economics and creativity. I will describe what philosophy drives my bridge design for the future. I look forward to your frank opinions.

## 1. はじめに～問われる説明責任～

橋梁はそのほとんどが公共事業によって整備されている。事業者は国、地方公共団体、あるいは高速道路会社や鉄道会社などである。整備資金は税金、あるいはそれとほぼ同等の意味での建設国債、地方債、財政投融資などで賄われている。公的資金であるが故に、使途の公平性から、ともすれば判断基準が画一化しがちで、機能と強度を満たすだけの安価なものを是とする傾向がある。

一方、橋の整備は、それが地域への愛着や親しみを呼び起こす起点になるのであれば、持続可能な未来の構築に向けて、地域経営的には大きな効果が期待できる投資対象でもある。

地域のよりよい未来に向けて、どのように考え、どの程度のコストをかけることが丁度良いのか、橋梁設計は常に経済性と創造性のはざまに、社会に向けた説明責任が問われている仕事である。

以下、本稿では私自身がどのように考えて説明責任を構

築しようとし、コストに対してどう考えているのか、私見を述べてみたい。しばしお付き合い下さい。

## 2. 「抽象的な要求性能」の抽出

### ～場所の履歴へのリスペクト～

橋を設計する上で、最も大事にしているのが場所の履歴へのリスペクトである。山とか、川とか、あるいは都市の歴史とか、橋が架かる場所に、昔から存在するその場所の文脈や個性、将来に向けた可能性は何かを徹底的に調べ、考え、そこから読み取れる「抽象的な要求性能」を定義（文章化）するところから設計を始めている。

例えば、富山大橋<sup>1)</sup>(写真1)の架け替え事業では、そこに70年近く存在し、市民から親しまれてきた旧橋の面影をどう引き継ぐか、橋を利用する際に正面に見える立山連峰の雄大な景色をより際立たせるにはどうするか、といった抽象的な設計課題を抽出し、それを工学的にどう解くかという流れで設計している。

また、築地大橋<sup>2)</sup>(写真2)の場合は、隅田川に架かる橋梁群の歴史的な重みを引き継ぎつつ新風を入れること、隣接する勝鬃橋との景観的調和に留意すること、などを抽出している。

設計コンペであった各務原大橋<sup>3)</sup>(写真3)では、事業者が用意した設計コンセプトの文章が素晴らしく、そのまま「抽象的な要求性能」と位置づけ、提案を考えるベースとした。

## 3. エンジニアリングの使い方

エンジニアリング（工学的創造力）は先に述べた「抽象的な要求性能」を解決するために使っている。

最も安価な構造と架設方法を選んだ上で「抽象的な要求性能」を満たそうとするのではなく、その逆である点に留意して欲しい。

先に紹介した富山大橋では、旧橋の面影を残す解決策として桁断面の構成、橋脚形状を工学的に考え、立山連峰への眺望のために、架線柱や照明柱の集約などを工学的に解決した。

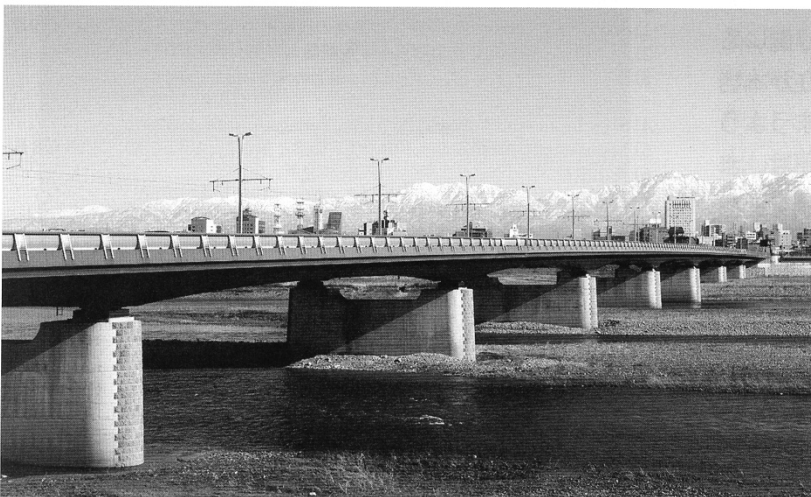


写真1 富山大橋(橋長466m、最大支間61m)  
Photo1 Toyama-Ohashi (Length=466m, MaxSpan=61m)



写真2 築地大橋(アーチ構造、橋長245m、最大支間145m)  
Photo2 Tsukiji-Ohashi (Length=245m, MaxSpan=145m)

築地大橋では、アーチ構造の選択、その規模と位置、横支材を省きアーチリブを傾ける構成の選択、特殊な鋼材の選択などに工学的検討を入念に行った。普通の利用者は気がつかないと思うが、玄人的には、縦断、平面線形共にいびつな形状(左右で路面高さも総幅員も異なる)の中で、そのいびつさを感じさせない横支材を省いた双弦アーチを選択した利点に着目して欲しい。見た目が変わった形を選んだのではなく、背景には工学的判断があり、説明責任も果たしやすい。

各務原大橋の場合は、アイデアを創出するのに苦労した。「抽象的な要求性能」が用意されていたためか、そこに潜む本質と橋梁構造のアイデアがしっかりと繋がるまで、相当数のアイデアを試すこととなった。設計者にとって「抽象的な要求性能」を定義する作業は、そのまま創造性に繋がっていることを実感した体験となった。

#### 4. 橋梁設計の一般的プロセス

ここで、日本における一般的な橋梁設計プロセスを説明しておく。プロセスは予備設計と詳細設計に分けることが出来るが、予備設計の前段に都市計画あるいは道路計画があり、そこで橋のおよその線形、つまり、架かる位置が決まっている事が多い。

それを前提として予備設計は、架設地点における地形地質や交差条件などの社会条件をクリアする建設可能な橋梁タイプを複数立案・比較し、最も合理的な案を選出するのが役割である。並行して概算工事費を明らかにし、事業者が予算を組み立てる情報を提供する。

予備設計案が固まると、財源確保のため、事業者はその案を携えて関係各所に意見を照会し事業方針を固めていく。こうして固まった方針に基づき、実際の工事費を算出するための詳細設計が開始される。

詳細設計は、予備設計で定まった方針に則り、工事に供する設計図書を作成し最終的な工事費を算出するのが役割である。

詳細設計が完了し、議会で予算案が承認されると、工事が発注され事業が進んでいく。

#### 5. 設計プロセスが抱えてきた課題

予備設計時に橋の姿がほぼ決まるので、2節で述べた「抽象的な要求性能」を解決するためには、予備設計の前段でその要求性能を定義しておくのが望ましい。橋梁設計のバイブルとも言われる道路橋示方書にもそれに対応する指針は記述されている。

一方、予備設計の作業内容や工数(コスト)は、国などが定めた標準的な設計歩掛かり(設計業務等標準積算基準書など)に定められている。が、「抽象的な要求性能」を定めるような手順は想定していない。基準をつくった時代には、それを考えるのは事業者(発注者)自身の役割と考えられていたからだと推察している。

しかしながら、社会ニーズが高度化複雑化するに従い、予備設計段階で決めるべき条件の設定作業が増え、事業者も受注者も、定められた仕事をこなすことで精一杯な実態がある。現状は「抽象的な要求性能」を定義し、それを解決する作業を実施することは、ほぼ無理な状況となっている。

示方書などの技術的な図書は社会状況の変化に応じて適宜改訂されているが、設計実務における役割分担の質的变化(増減)に対応する積算基準などの改訂は、追いついていないのが現状といえる。

#### 6. 課題回避の方法

上記課題は今も未解決であるが、事業者が特別だと認めた事業については、いくつかの課題回避方法があり、それらによって、「抽象的な要求性能」を満たす橋梁の生産は

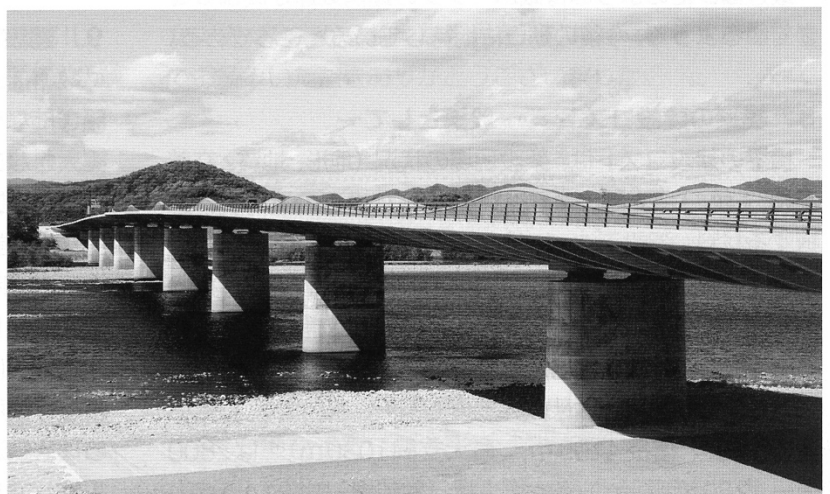


写真3 各務原大橋(橋長594m、最大支間60m)  
Photo3 Kakamigahara-Ohashi (Length=594m, MaxSpan=60m)

続いている。

1つは、〇〇橋梁検討委員会を立ち上げ、その議事となる「抽象的な要求性能」を定義する業務を立ち上げて検討コストを確保する方法である。この方法論を体系化したものとして、2003年に国から出された「美しい国づくり政策大綱」の実現施策として制度化された「国土交通省所管公共事業における景観検討の基本方針（案）」もある。

もうひとつは、設計コンペの実施<sup>4)</sup>である。この場合は、事業者がコンペ準備委員会を通して、「抽象的な要求性能」を応募者に課すことになる。事業者は応募された提案群から、市民にも公開する中で最適案を選定することとなる。コンペ開催経費を、地域経営の投資として位置づけるならば、投資対効果を最大化する良い方法論だと思う。「抽象的な要求性能」を市民参加の下で定義できれば、それは「市民目線の要求性能」<sup>5)</sup>となり、税金の使途プロセスに市民の参加を組み込むことにも繋がる。

## 7. それでも残る課題

先に紹介した富山大橋と築地大橋は委員会方式、各務原大橋はコンペ方式として、「抽象的な要求性能」を設計プロセスに取り込むことに成功しているが、これは、それぞれの事業者が特別の対応をして、通常の設計プロセスに $+\alpha$ の投資（予算措置）をしたからである。

$+\alpha$ の経費に対する費用対効果も十分なものがあつたと思うが、その効果を評価する方法やデータ、研究成果はほとんど無いのが現状である。結果として、これらの $+\alpha$ の投資が地域の価値向上へどれほど貢献したか、公的に評価されることもあまり聞かない。

そのため、設計プロセスの改善策として、これらの施策が、行政手続きの改善策として定着することも無く、志のある行政パーソンが仕掛ける一過性の出来事として、時々に行われてきたという状況が、ここ30年ほど続いているように思う。

最近では、そのような行政パーソンの連携気運が高まってきているようで、今後の動きに期待しているところである。

## 8. 橋梁の建設コスト ～一般論として～

橋梁の建設コストは、架設現場の状況（地形、地質、交差条件、etc...）、支間の大きさ、選択した構造の難易度、選択する材料、架設工法、などの諸条件に大きく影響される。

まず、橋としては桁構造が比較安価で、一般的な桁橋の $m$ 単価は、およそ20～60万円/ $m$ 程度の幅に収まる感じで、ざっくりした平均的目安は40万円/ $m$ 程度である。一方、長大な吊構造は架設難易度も高く、来島海峡大橋（3連の吊橋、橋長4105m、最大支間1030m）<sup>6)</sup>は2800億円、260万円/ $m$ 、多々羅大橋（斜張橋、橋長1480m、最大支間890m）<sup>7)</sup>は900億円、220万円/ $m$ 、最近イギ

リスに完成したクイーンズフェリー横断橋（連続斜張橋、橋長2700m、最大支間650m）<sup>8)</sup>は1900億円、250万円/ $m$ で、全て200万円/ $m$ を超えている。明石海峡大橋（吊橋、橋長3911m、最大支間1991m）<sup>9)</sup>は別格で事業費5000億円、400万円/ $m$ である。

欧米に見られる斬新な構造デザインの歩道橋も結構な $m$ 単価で、ノーマン・フォスターが手がけたロンドンミレニアムブリッジ（吊構造）<sup>10)</sup>は30億円弱、180万円/ $m$ 、サンチアゴ・カラトラバが手がけたカルガリーのピース橋（トラス構造）<sup>11)</sup>は15億円、185万円/ $m$ である。

参考として、熊本アートポリスの橋<sup>12)</sup>は、鮎の瀬大橋（斜張橋、橋長390m、最大支間200m）は55億円、170万円/ $m$ 、牛深ハイヤ大橋（桁構造、橋長883m、最大支間150m）は120億円、100万円/ $m$ 、馬見原橋（張弦梁構造、橋長38m）は1.4億円、60万円/ $m$ である。

一般に、桁構造、アーチ構造、吊構造という順番で適用最大支間長は大きくなり、 $m$ 単価も高くなる。例えば、横軸に支間長、縦軸に $m$ 単価を示すグラフに世界中の橋をプロットすれば、およそ右肩上がりに分布の雲が出来る。

このようなグラフが示す情報は、一般論として設計者が把握しておくものであるが、個別プロジェクトの説明には使えない。構造が同じでも、架橋地の地形や気候条件などによる変動が大きいからだ。また、必要と判断されれば当初コストが高くても建設し、長い年月をかけてリターンを得ていくのが公共事業投資である。

最初に紹介した長大吊橋は有料道路事業の例であるが、建設費の償還は2065年頃と想定されているように、時間軸が長いのが特徴である。公共事業として建設される橋は、100年単位でその場所に存在する。その年月に耐えられる、機能と強度、そして愛され親しまれる要素をどう沁み込ませるか、それに見合うコストはいかほどか、その価値を見極め、社会に向けて説明しきれるかどうか。それが求められている。

## 9. 建設コストは説明が難しい

数年前、国立競技場のコストが話題になり、たいへんな騒ぎになっていた。結果、コスト縮減の方向で決着し、事実大きなコスト縮減が獲得された。競技場自体の論評は避けるが、アプローチ空間を支える人工地盤の構造は、国家的記念事業としての雰囲気を感じられず、正直がっかりした。と同時に、この構築物に対する「抽象的な要求性能」の欠如を感じた。全体工費の0.5%分でもここに投下していただければ随分とよく出来るのに、とも思った。が、そのような箇所はそこかしこに沢山あり、それら全部を削ってコスト縮減を獲得したのであるから、無理な話でもある。しかし、「抽象的な要求性能」が市民の参画も踏まえて定義されていれば、それを実現するコストは事業実現のため



の必要コストとなり、少なくとも画一的な削減はなくなったであろう。事業全体で優先順位を検討し、大胆な予算配分を決定して、「持続可能な未来の構築に資する案の実現」に向かう力学が働くと考えからである。

振り返って見ると、「抽象的な要求性能」を組み込んだ予備設計では、様々な事象を含めて事業予算を算出し、事前に関係部局と折衝する時間的余裕、すなわち合意形成の時間が確保されており、これは大きなメリットであった。事例として紹介した、富山大橋は80億円、55万円/m<sup>2</sup>、各務原大橋は、60億円、55万円/m<sup>2</sup>、築地大橋は80億円、95万円/m<sup>2</sup>であった。参考までに付記しておく。

## 10. イノベーションの威力

ここまで記した情報と認識を踏まえて、1つの事例を見てみたい。フランスの高速道路のミヨー高架橋（連続斜張橋、橋長2460m、最大支間343m）<sup>13)</sup>である。そのコストは事業費500億円、85万円/m<sup>2</sup>である。

この規模・形式にしたいへんなコスト効率性を達成していることに加えて、現代的構造美を両立させている点に注目したい。橋梁を知り尽くしたプロチームのアイデアが随所にみられる施工法と構造形式を開発した成果で、イノベーション（＝前例を越える発想）の勝利と称えたい。加えて、官民連携の手法を用いて民間資金で設計・施工・運用されている点でもイノベティブな事例として認識しておきたい。

橋梁事業における現代の到達点の1つとして、構造デザインだけでなく、コスト構造についても学ぶ点が多い。

## 11. 温故知新 ～大胆な予算配分～

関東大震災後の震災復興橋梁として、隅田川にかかる6橋が著名だが、建設投資を司る復興局としては115の橋を架けている。その予算配分では、全体の3分の1をその6橋に、さらにその半分を清洲橋、永代橋の2橋にかけるといふ、メリハリの効いたことを実行している。<sup>14)</sup>

結果、その後の90年間、隅田川沿いの地域作りを牽引し、重点配分した2橋は重要文化財という賞賛と評価も得ながら地域貢献を果たし続けている。他の100数橋においても、大まかな統一方針（グランドデザイン）のもと地域別のデザインが施され地域に愛される橋として、同様の地域貢献を果たしている。

限られた予算の中、目的を定め、それを果たすために大胆な配分を実行し、成功した事例として紹介しておく。

## 12. 本当の課題は何か

橋梁設計の醍醐味に構造デザインがあるのは間違いない。しかし、何のために構造デザインを考えるのかと言えば、最近では場所の履歴と言った「抽象的な要求性能」を解

決するために行われている事例が増えている、と感じている。20～30年ほど前までは、より合理的な構造の開発、などの理由が主流であったと思うが、シフトしてきているのである。

より高い耐久性の追求、より合理的な構造は常に追求すべきであるが、そこは技術者として当然の役割であって、設計者として社会から求められている知恵は、そこからシフトしたのである。不幸な事故に遭ったジェノバの橋梁架け替え工事<sup>15)</sup>（桁構造、橋長1067m、最大支間100m、事業費（見込み）<sup>16)</sup>260億円、100万円/m<sup>2</sup>、設計：レンゾピアノ）を見ていても、その思いは強くなるばかりである。

直近20年のどこかで、橋梁建設技術の進展はあるレベルを超え、設計時における技術的制限事項は比較的小さな課題になったと捉えている。設計実務的に言えば、橋をどう設計するかに要検討事項が沢山あった時代から、どんな橋を設計すれば良いのか、様々な価値観の調整が必要な時代にシフトしたのだ。

解くべき課題の中心が詳細設計マターから予備設計マターにシフトしたともいえる。であれば、設計作業へのコスト配分も詳細設計から予備設計にシフトするのが妥当であろう。さらに2節で述べた、予備設計の前しておくべき「抽象的な要求性能」を定義する部分に課題の本質が潜んでいることへの理解が進めば、そこにこそ予算を配分すべきだと思う。

その額は、橋梁整備事業全般からすれば、本当にわずかの比率である。橋という構造物がより社会に必要とされ、地域に根付く様にするからこそ、喫緊の課題である。少しの投資シフトで大きな効果が期待できるレバレッジポイントでもある。こうした事柄について、設計者はもっと議論し発信した方が良いと思う。

以上、日頃考えている私見を書かせていただいた。しかし、これを実現するには、行政の協力を引き出すべく、人々が納得するデータの積み重ねと既存制度との調整が必要である。そのはじめの一歩の課題設定として本稿を書いてみた。様々な方から様々な意見を頂ければ幸いです。最後までお読みいただきありがとうございます。

### 参考文献

- 1) 松井幹雄：富山大橋の架け替え、EA協会Web Site: <http://www.engineer-architect.jp/serial/kaiin/%E6%9D%BE%E4%BA%95-%E5%B9%B9%E9%9B%84/3501/>
- 2) 松井幹雄、他：各務原大橋の基本設計～プロポーザルから予備設計段階まで～、橋梁と基礎、2013-6
- 3) 松井幹雄、他：隅田川橋梁（仮称）の形式検討と景観設計、橋梁と基礎、2014.04
- 4) 土木学会建設マネジメント委員会、土木設計競技ガイドライン、2019.01
- 5) 松井幹雄：デザインの可能性を土木設計に反映させる方法論について考える、高速道路と自動車、2018.03
- 6)～13)、16) m<sup>2</sup>単価は、インターネットに開示されている資料からの情報を元に算出。正確性の粗密、為替レートの影響など、不明確な数値ではあるが、概算値としてオーダーを認識するためとしてご了解下さい。
- 14) 中井祐、近代日本の橋梁デザイン思想～三人のエンジニアの生涯と仕事～、東京大学出版会、2006
- 15) <https://www.pergenova.com/en/the-new-bridges.html>