

アーチ橋における施工から構造デザインへのフィードバック

FEEDBACK FROM CONSTRUCTION TO THE STRUCTURAL DESIGN OF ARCH BRIDGES

鳴海 祐幸*, 石井 信行**, 藤野 陽三***

Hiroyuki NARUMI, Nobuyuki ISHII and Yozo FUJINO

*東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻修士課程 (〒113 東京都文京区本郷7丁目)

**東京大学助手 工学系研究科社会基盤工学専攻 (同上)

***Ph.D 東京大学教授 工学系研究科社会基盤工学専攻 (同上)

In the process of designing bridges, construction aspects such as construction/erection easiness and particular conditions of the site are put aside and is often not taken into account. However, it is clear that the construction process is an important part for the bridges, so consideration of construction issues in the design stage may change the structural form. In this paper the authors attempt to propose a new design concept to determine structural form and arrangement of members, which is beneficial both to structural aesthetics and construction efficiency. A study is focused on arch bridges, because they have many types of form and construction methods. After examining various construction methods of arch bridges, the cantilever construction methods for trussed arch bridges is selected as a case study. Arrangement of inclined members in an actual trussed arch bridge(span;190 m) is studied from three points of view, i.e. structural characteristics, construction process, and aesthetics. It is found that arrangement of inclined members greatly affects the load carrying capacity as well as the aesthetics, indicating that feedback of construction conditions may improve structural form of bridges.

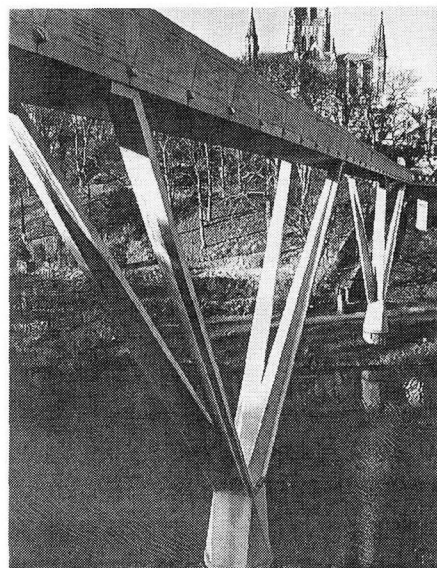
Key Words : arch bridge, structural design, construction, aesthetics

1. はじめに

橋梁の完成時の全体形態に対して「施工」はその基本となる形式、スパン割等を決定する重要な要因であると位置付けられている。しかしながら、ひとたび形式とスパン割が決定されてしまうと、構造設計では多くの段階で架設工法が考慮されながらも、ほとんどの場合にはそれが「橋梁の全体形態」の決定には繋がらない。また、景観という名の下に行われる設計においては、「施工」から構造設計へのフィードバックがより合理的な形態デザインの発展に繋がると考えられるにも拘わらず、造形を実現する単なる手段とだけ考えられている場合も多く見受けられる。

ここで海外において「施工」から「構造デザイン」へのフィードバックがなされた具体的事例として、Ove Arup の代表作とされるダラムの徒歩橋を挙げる[写真-1]。この橋は、河川の舟運を妨げる支保工を河川内に建設する事を避けるため、橋を中央で2分割したものをそれぞれ河川の両岸に平行に建設した後、両者を90度回転させて中央で連結、完成したものである。橋脚のデ

ザインには、架設時の回転の安定性をも考慮した形態が認められる。これは、架設時の制約を橋梁の形態へうまく反映させた事例と言えるものである。このような例は、特に国内においては非常に少ない、と言える。

写真-1 ダラムの徒歩橋⁻¹⁾

以上のような背景を踏まえ、本研究では、橋梁の構造デザイン決定の後に施工法を決定するという従来の考え方とは逆に、施工から構造デザインへのフィードバックの仕方を考える事で新しい橋梁のデザイン手法を提案できるのではないかと、この考え方から研究を進めた。

基本的な考え方としては、必ず存在する架橋地点、架設工法、架設に対しての種々の制約条件等の特性を生かした、構造デザインへの新しい反映のさせかたを考える、というものである。

2. 本研究について

2. 1 目的・対象

本研究においては、橋梁の「施工」というファクターのうち特に架設工法に着目し、それらの特性、特徴を踏まえたうえで、その架設中の「施工性」、また完成後の構造デザインの「必然性」の両者を増す事を念頭に置いて研究を進める。ここで言う構造デザインの「必然性」とは、橋梁の形態が状況から判断して「理にかなっていること」「それ以外になりようのないこと」を指す。

また、本研究では扱う橋梁形式を以下の理由でコンクリートアーチ橋に限定している。

- (1) コンクリートアーチ橋は、形態要素となる各部材の形状、断面、配置が相互に密接な関係にある構造物であり、構造設計がその形態に反映される可能性が高いものである。
- (2) 完成時には荷重がアーチ作用により圧縮力としてアーチリブに伝わり、橋梁全体をこの圧縮力によって支えるという安定した構造であるが、アーチリブが閉合するまではアーチ作用が得られず、完成時とは全く異なる弱い構造系となっている。
- (3) アーチリブの断面力は架設時が支配的になっていて、その断面力は採用する架設工法により大きく左右される。

このようにコンクリートアーチ橋の施工には高い技術を要し、またそれ故架設工法の種類が他の形式に比べ比較的多いことから、研究・改良の余地が十分にあると考えられる。

2. 2 論文構成

本論文は次のような構成をとっている。

まず第一に「橋梁と基礎」「土木学会論文集」等の参考文献よりアーチ橋施工の実例を数多く集め、それらを

架設工法に基づいて系統的にまとめた後、それらと形態との関係を把握する事を試みる。

第二に前述の「架設中の施工性、完成後のデザインの必然性を増す」という着眼点をもとに、架設工法の特徴を生かす方向で考えられる構造デザインを提案・吟味する。

第三に前段階で挙げられた新構造デザイン案一案（架設用斜材を転用するもの）について、斜材の挿入形式を変えたもの数モデルと斜材を挿入しないものとで構造特性、施工性、形態の3つの観点から比較し、実現化にあたってのシミュレーションをする。そしてこれら3点についての比較を総合し、その結果、構造力学的にも従来のものより望ましく、構造デザインもまた施工というファクターよりフィードバックした必然性のあるもの1モデルを抽出、新デザインモデルとする。さらにそのデザインモデルへと至る一連の過程を改めてまとめ、新たなデザイン手法の一例として提示する。

3. アーチ橋の架設法と形態との関係

3. 1 現在のアーチ橋の架設法

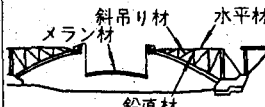
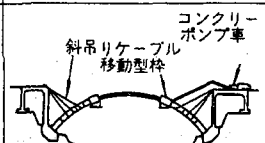
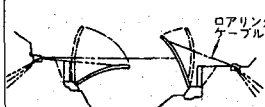
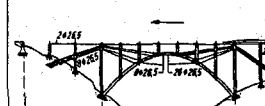
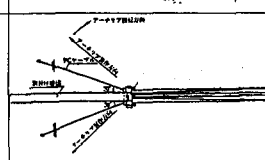
アーチ橋の架設には、前述のように架設中と完成後で構造系が全く異なるため、架設時のみに必要で、完成時には不必要になってしまうような種々の架設中の補強材を用いなければならない。施工性の面、コストの面を考えその補強材を極力減らすために、スパンおよび架設地点の状況に応じた種々の架設工法が採用、応用されている。

ここでは、現在採用されているアーチ橋の架設工法を使用架設材、架設プロセスに着目して大きく10種類に分類し、各工法についてその概要を整理し、さらにその架設工法と形態との関連性を考察する〔表-1〕。

3. 2 アーチ橋デザインの現状

前項で分類した架設工法を系統的に考察してみると、それぞれの工法自体に特徴はあるものの、完成時の橋梁形態から施工法は予測されたとしても、それらの特性までもが読みとれる例は少ないように思われる。つまり、各工法が要求する構造特性が別の構造論理に支配された形態を前提条件としてその中に取り込まれてしまい、橋梁形態の上に表現されていないといえる。

その結果、架設工法の多彩さと比較して完成後のコンクリートアーチ橋の形態における互いの差異が認めにくい状況となっている。

架設工法 (適用支間例：m)	図・概要	形態の特徴	
ピロン・メラン 張り出し工法 (150～200 前後)		エンドポストから斜吊りケーブルでアーチリブを吊りながら張り出し架設する。ある程度までアーチリブを架設した後、中央部にメラン（鋼製アーチ）を架設し、コンクリートを巻き立てる。	架設時応力に耐えるために桁に対してアーチリブが比較的厚くなる。ピロン、桁への負担軽減を考慮すると、架設時応力を低減するためアーチライズは大きくとる方がよい。
トラス張り出し 工法 (100～180 前後)		エンドポストより前方をアーチリブ、上床版、鉛直材およびPC鋼材を用いた仮設斜材でトラスを形成しながら張り出し架設をする。エンドポストより後方にPC部材を用いたアンカー構造物を設ける。	アーチリブを薄く施工できる。桁ボックス内での緊張作業等のため桁高はやや高くなり、桁自重を低減するため桁断面を逆台形とする事が多い。また橋台付近が重厚なつくりとなる。
トラス・メラン 併用工法 (200 以上)		ある程度までトラス張り出し工法によりアーチリブを架設した後に、中央部にメランを架設してアーチ構造系を完成させ、張り出し架設の支保工部材として用い、そこにコンクリートを巻き立てる。	中央部分にメランを用いる事により、架設時応力が低減でき、アーチアバット付近のアーチリング厚を薄くする事ができる。
充填メラン工法 (50～120 程度)		アーチリブの軸線上にメランと呼ばれる薄肉角形鋼管を架設した後、このメランにコンクリートを一部充填してメランの剛性を高めたのちに、簡易ワーゲンをを用いてコンクリートで巻き立てる。	メランによるアーチリングを初期に完成し、それにコンクリートを巻き立てるため、アーチリブはやや厚くなるが、アーチ軸線の自由度は大きい。
ロアリング式 架設工法 (40～140 程度)		アーチリングを支間中央で2分割したものをそれぞれのアーチアバット上ではほぼ鉛直に近い状態でコンクリート橋脚と同様に施工し、これを前方に回転降下させた後に、中央部を閉合する。	ロアリングケーブルで支えながらの回転降下時の応力に耐えるため、小スパンでもアーチリブはやや厚くなる。
セントル架設工法 (50～100 程度)		注)①～⑤は打設順序 セントルと呼ばれる鋼材（アーチ形状を有する鋼製支保工材で、一般にはアーチアバット上にピン杓を設置し2ヒンジャー構造としている）を架設し、これを支保工としてアーチリブを施工する。	最初から完成しているアーチリングの上にアーチリブを施工することになるため架設時応力を考えずに済む。セントルの架設を考慮すると、長大支間のアーチ橋には適用不可。
固定支保工 架設工法 (20～100 前後)		地表より支柱およびビティ等で支保工を組み上げ、全面支保工でアーチリブを場所打ちコンクリートで施工する工法。支保工部材は通常市販の支柱材、梁材を繰り返し転用できる。	支保工部材の組み合わせにより、高さ、長さ、荷重に容易に対応が可能であり、橋本体のデザイン、意匠にかなり自由度がある。
桁の押し出し工法 (30～150 程度)		橋台または橋脚の後方に桁製作設備を作り、アーチリブ完成後、8～20 m 程度のコンクリートブロックの桁を製作し、順次押し出す事により PC 桁を架設する。	アーチクラウン部で主桁とアーチリブとが完全に分離した形態となる。因みにこれは張り出し施工時等のワーゲンをを用いた場合では作業が煩雑になり、困難なものとなる事が多い。
水平回転工法 (200 前後)		両岸の支保工上で製作したアーチリブを、PC ケーブルアンカーしながら水平方向に回転させて閉合するものであり、まず2つの外箱桁を同時に回転させて閉合し、その後中箱を製作する。	回転重量を軽減するため、幅員の小さい橋梁、あるいはアーチリブが並列した橋梁となるのが一般的である。また、回転時応力に耐えるため、アーチリブは薄いものとはなりにくい。
プレキャスト工法 (40～60 程度)		工場あるいは架設地点付近のヤードでプレキャスト PC 桁を製作し、トレーラ等で運搬し、クレーンや架設機械を使って現場の所定の位置に架設する工法。	等断面、あるいは長支間にわたって連続性を持つものとなる。

表－1 架設工法と形態との関連性 -2) 3) 4) 5)

4. 新しいアーチ橋デザインの提示

4. 1 提示の考え方

これまで考察したとおり、現状では橋梁の架設工法と完成後のデザインとの関連性が弱い、といえる。そこで本章では、前述のように採用する工法の特徴をよく把握し、それを完成後のデザインに反映させるようにすれば、より効率的、必然的なデザイン手法が提案できるのではないか、との考え方から、まずそれぞれの工法の特徴を前章の結果と照らし合わせて考えたうえで、新デザイン案を提示する事とする。

デザインの提案としては、それが橋梁の施工面、デザイン面の両面になんらかのメリットをもたらすものであるということを前提に行う。これをまとめると要求される条件は以下の通りである。

- (1) 工期短縮・人員削減・工費低減・現場での作業の簡易化等、施工上の要因に対する寄与
- (2) 橋梁の形態と工法との関係の必然性及び形態そのものの美しさ

4. 2 新デザイン案の抽出

3. 1でも述べたとおり、アーチ橋の架設には、架設中にだけ用いられ、完成時には不要となる部材が非常に多い。そこでこのような部材を完成時にも残す事を考えた場合の、橋梁本体の構造デザインについて検討する。

ここでは、前掲の10工法のうち実際に実用できる可能性が高いかどうか（実現可能性）、架設プロセスに問題がないか（施工性）、架設法とデザインの結びつきが強い（デザインの必然性）、また適用できる状況が多い（汎用性）等の観点から吟味し、これらの点に関してより優れていると思われるトラス張り出し工法を特に抽出した。この工法においては、架設地点の両岸からトラスを形成しながら張り出し施工してゆき、中央部でアーチリングが完成した時点でトラスの斜材は不要となり撤去される。この工法に関して斜材を残した場合のデザインを考えてみる事にする。

この工法は補剛桁に比べてアーチリブの曲げ剛性がかなり小さい逆ランガー橋の架設に多く用いられているが、トラスの斜材はほとんどの場合PC鋼棒により、斜材に引っ張り方向の軸力が作用するプラットトラスを形成する形で架設されてゆく[写真-2]。

架設用斜材は橋梁の完成後に撤去されるが、この斜材を残すと、トラスアーチ橋のような形態となる[写真-3]。斜材の効果により、完成後も橋梁全体の剛性を増加させる効果が望める。

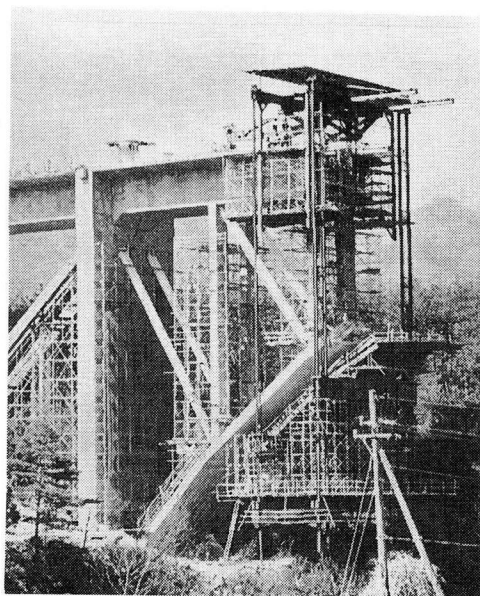


写真-2 トラス張り出し工法⁻⁶⁾

ただこの場合、残された斜材による自重の増加が欠点として挙げられる。また、アーチクラウン近辺のスパンドレルの狭くなったブロック内での斜材の施工の難しさ、乾燥収縮の拘束等の構造系への影響も考えられる。これらに関しては、別に何らかの解決策を講じる必要がある。

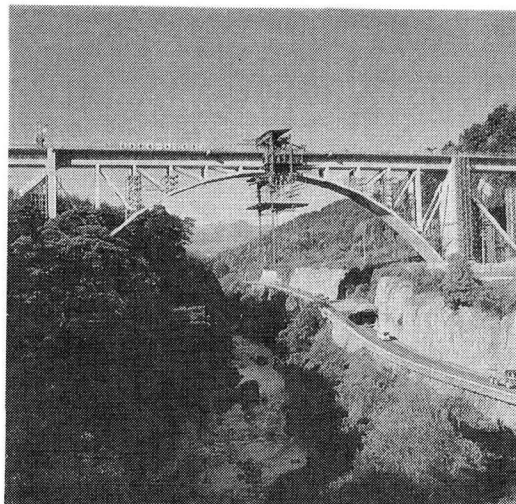


写真-3 架設用斜材撤去寸前のアーチ橋⁻⁶⁾

4. 3 架設用斜材の転用について

通常、架設が終了した時点で撤去される斜材を完成後も残すというのがこのデザイン案のポイントであるが、これについて具体的施工プロセス、形態、見込める効果等を以下に述べる。なお、トラス張り出し工法に関しては、通常両岸からプラットトラスを形成しながら張り出してゆくものであるが、ここではもう1つ、ハウトラスを用いる場合も考える。

(1) 施工プロセス

架設時にプラットトラスを用いて、完成後も斜材を残した例は世界でも数例しかなく、ハウトラスに関しては一例しか存在しない。まずその数少ないプラットトラスを用いた例であるオーストラリア・ブリスベン海峡入口に架かるRip橋〔写真-4〕を挙げ、その施工の概要を考察する。

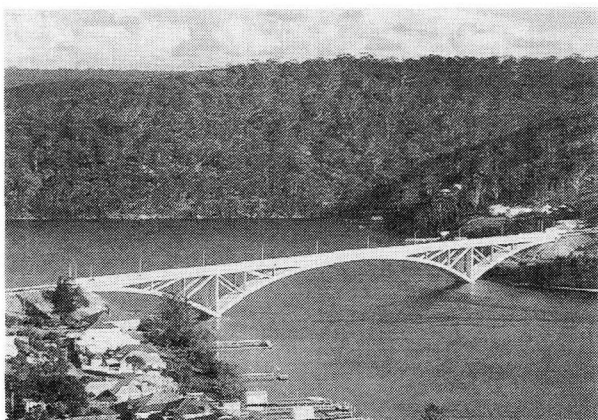


写真-4 Rip橋⁷⁾

この橋は、断面図のように、橋軸直角方向に5本のプレキャスト2室箱桁を並べた上弦材及びプレキャストI桁を横並びとした下弦材を架設地点で順次ポストテンションして架設したものである〔図-1・図-2〕。このように、この橋はプレキャスト部材を用いた、トラス状の珍しい形態を持つコンクリート橋であるが、この斜材は、当初アーチリブ部材を吊っていたPC鋼棒にコンクリートを巻き立てたものである。

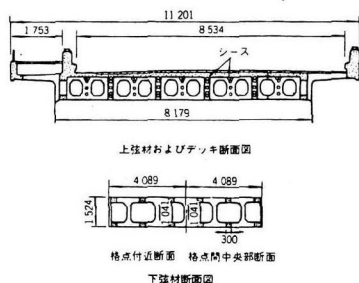


図-1 Rip橋断面図⁸⁾

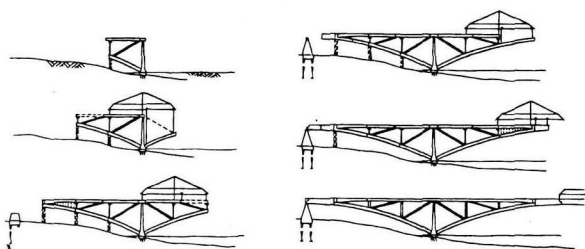
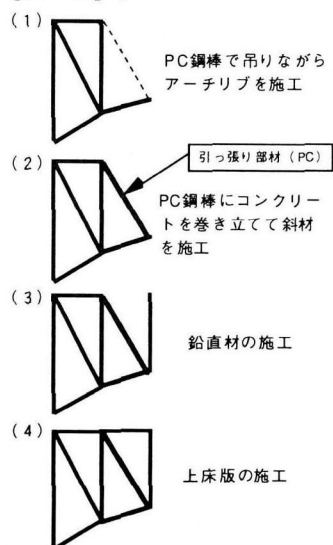
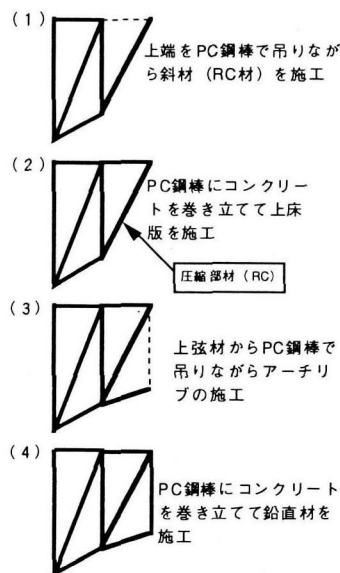


図-2 Rip橋の架設プロセス⁸⁾

これに対し、ハウトラスを用いる場合は、架設プロセスに若干の変更をくわえなければならない。この場合、各部材を移動架設ワーゲンにより下方から引き上げて施工してゆく手順（海外のワーゲンに例が多い）が有利となる。ハウトラス・プラットトラスの両者それぞれの場合の考えられる1ブロックあたりの施工プロセスの一例を挙げる〔図-3〕。



プラットトラス形式



ハウトラス形式

図-3 1ブロックあたりの施工プロセス

(2) 形態・効果

両者とも、斜材を残すことで完成後の橋梁全体の剛性を増す効果が期待できる。その分、アーチリブが受け持っていた剛性の一部を減らすことによって、アーチリブ厚を低減できることになる。斜材、鉛直材、アーチリブの

三者に剛性をうまく配分し、それぞれの厚さのバランスを調整すれば、繊細なトラスト・アーチを表現できる〔図-4〕。

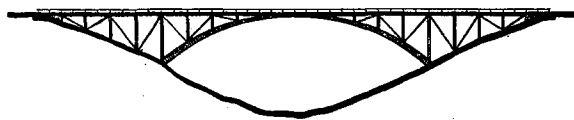


図-4 トラスト・アーチ橋

なお、前記の斜材による乾燥収縮・クリープの拘束については、各施工ブロックのコンクリート材齢を考慮した事前の解析等により対処する事が必要となる。

5. シミュレーション

一 架設用斜材の転用案について

5. 1 概要

この章では、前章で考察したトラス張り出し工法における架設用斜材の転用について取り上げ、具体的に試設計、シミュレーション（数値解析）を行うことにする。つまり、ここでは前章で述べた施工プロセス、具体的な形態及び見込める効果のみならず、それに加えて力学的・数値的データにより裏付けすることによって、実用化に向けてより現実的かつ具体的な考察を加えることにする。

5. 2 比較

ここでは、架設用斜材を積極的に生かしたアーチ橋が通常通りの鉛直材のみのアーチ橋と比べた場合に構造特性、施工法、形態の3つの項目について検討した場合どのような違いが出てくるか、そしてそれらの結果を総合的にみた場合にメリットを最大限にするにはどのような設計にするのが最適なのかを調査する。

比較、対象する形式は斜材なしの鉛直材のみのものと斜材ありのものである。斜材ありのものについては、斜材の挿入の仕方をプラットトラス形式、ハウトラス形式、その他幾つかの形式の数種類を挙げて比較することにする。

5. 2. 1 構造特性

この項では各形式の力学的特性をコンピュータによる骨組解析により解析する。手法としては、国内に実在する上路式アーチ橋をモデルに、これに橋梁の諸元、トラ

ス形式、橋梁上にかかる荷重ケースについて幾つかのバリエーションを与え、それぞれについて橋梁の挙動をシミュレートする。実橋の具体的な諸元及び基本的骨組みは以下の通りである。

型式	: RC 上路式固定アーチ橋
橋長	: 401.000m
アーチ支間長	: 188.000m
有効幅員	: 3.500m + 9.500m = 13.000m



アーチ橋におけるアーチリングを大きくクラウン近辺、中間部、アバット近辺（スプリング）に分けると、各部分の厚さ・剛性等はそれぞれ活荷重時、架設時、地震時の応力によって決定される〔図-5〕。そして各部分での最低アーチリブ厚が力学的に決定された後、景観性を考えたアーチリブ軸線の「すり合わせ」が行われる。そこでここでは架設工法は上記のように決定されているとし、造形的に非常に重要と思われる、アーチリブ厚を大きく左右するクラウン近辺、スプリング部近辺の対荷重挙動をみるため荷重ケースについては4種類を用意した。この4種類の中で地震荷重については死荷重に0.2を乗じたもの（非対称橋のため左右両方向）、設計（死+活）荷重については影響線載荷時の最大値のものをとるなど、荷重ケースに関しては実際の橋梁の設計過程で用いるものと同等のものをを用いた。

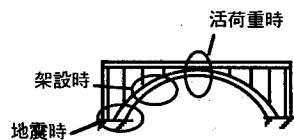


図-5 アーチリブ厚を決定する荷重

橋梁の諸元のバリエーションについては、3種類を設定した。これらバリエーションは、実在するアーチ橋（タイプ1）が数々の数値計算結果をもとに最適に設計されていることを考慮し、それをもとにライズを下げてよりトラス構造に近づけたり（タイプ2）、アーチリブの上下スラブ厚を減らして剛性をあまり変えずにリブの自重を減らしたり（タイプ3）と、斜材の効果がより生かされると思われる方向に設定した。

トラス形式に関しては、斜材を全く挿入しない現状形式、ハウトラス形式、プラットトラス形式、ワーレント

ラス形式、他2形式を設定し、上記タイプ1・タイプ2・タイプ3の諸元に対しそれぞれ6、3、5種類のトラス形式のバリエーションを与えた。以上を合計し、設定した全バリエーションを以下の通り示す。

〈橋梁の諸元〉

- ・タイプ1 (実橋の諸元通りのもの)
- ・タイプ2 (タイプ1の両アバット高を3m上げたもの)
- ・タイプ3 (タイプ1のアーチリブ上下スラブ厚を0.1mずつ減らしたもの)

〈トラス形式〉

- ・現状形式



- ・プラットトラス形式



- ・ハウトラス形式



- ・ワーレントラス形式



- ・混合トラスA形式



- ・混合トラスB形式



〈荷重ケース〉

- ・全死荷重時
- ・全死荷重+右方向地震
(地震荷重は全死荷重に0.2を乗じたもの)
- ・全死荷重+左方向地震 (地震荷重は上に同じ)
- ・設計(死+活)荷重時<最大値>
(影響線載荷の最大値をとったもの)

使用したプログラムは「アーチリブ概略設計プログラム」と呼ばれ実際に実務に使われているものであり、部材の挿入や剛性、サイズの変更等が比較的迅速にできる特徴を持っている。出力結果としては荷重に対する橋梁全体の挙動を明瞭に把握するため、全部材について曲げモーメント図及び軸力図を表示するようにした。また、異なる形式間でも構造性能の比較が可能となるよう、モーメント図、軸力図中の値を読みとり、左右スプリング部材及びクラウン部材上下端での応力 σ_o 、 σ_u を割り出した。

次にモーメント図、軸力図内の値及びスプリング、クラウン部材の断面積、有効高さ等から割り出した応力の一覧表より各橋梁モデルの特性を解析、把握する。この応力の一覧表の一部を[表-2]に示す。(単位:tf/m²)

諸元	トラス形式	応力	死荷重時				右地震荷重時				左地震荷重時				平均 何% 何%
			クラン												
			左	右	上	下	左	右	上	下	左	右	上	下	
タイプ1	ノーマル	σ_o	90	30	6	830	-259	364	439	-352	993				
		σ_u	303	375	123	618	55	-11	693	-41					
	ハウ	σ_o	176	109	1238	-156	435	508	-217	1298					
		σ_u	202	261	-283	507	-32	-104	554	-343					
	プラット	σ_o	675	-381	763	-620	-40	68	-723	888					
		σ_u	-276	771	102	984	471	367	1072	-23					
	ワーレン	σ_o	440	180	980	635	523	186	87	1078					
		σ_u	14	609	79	-305	-130	190	242	-214					
	混合トラスA	σ_o	220	216	934	-110	479	551	-165	1064					
		σ_u	159	156	38	463	-74	-145	507	-92					
	混合トラスB	σ_o	161	106	824	-154	414	475	-203	950					
		σ_u	207	256	154	494	-19	-80	530	28					
タイプ2	ノーマル	σ_o	-115	154	862	-366	420	140	-112	1013					
		σ_u	499	262	57	728	33	274	493	-96					
	ハウ	σ_o	-13	347	1293	-267	574	211	120	1422					
		σ_u	391	43	-279	664	-152	190	238	-409					
	プラット	σ_o	941	622	833	1178	432	709	813	939					
		σ_u	-545	-208	-7	-813	19	-284	-435	-115					
タイプ3	ノーマル	σ_o	84	-1	853	-244	336	412	660	899					
		σ_u	287	359	139	582	58	-9	-338	94					
	ハウ	σ_o	-12	402	1171	-256	616	232	188	1285					
		σ_u	350	-72	-301	581	-261	120	118	-418					
	プラット	σ_o	-604	-250	784	-867	-29	-340	-471	811					
		σ_u	975	630	-21	1215	441	735	819	-50					
	混合トラスA	σ_o	60	441	961	-180	656	301	226	1071					
		σ_u	281	-107	-61	508	-298	54	83	-173					
	混合トラスB	σ_o	9	325	852	-242	535	189	116	965					
		σ_u	383	15	65	573	-164	121	193	-49					

表-2 応力の一覧表

そして斜材の挿入による応力の変動の傾向をつかむため、以下のような手法を用いた。すなわち、コンクリート部材に対する圧縮応力に関しては一覧表内の全ての値がコンクリート橋示方書より算定したRC部材許容曲げ圧縮応力度約1300tf/m²を下回っているため、ここではRC部材において特に問題となる引っ張り力(一覧表内で-の値)が絡む部分に注目する。応力の+内での値の変動は無視し、+から-、あるいは-から+、さらに-の値がさらに増加したもののみにについてピックアップ

し、応力の増減を考察した。

これより明らかになった斜材を挿入したアーチ橋の特性を整理すると、次のようになる。

- (1) 左右両スプリング部の部材厚に関しては、ハウトラス形式の場合がそれを薄くすることができ、その効果はリブの重量が軽いほど増す傾向にある。
- (2) 混合トラスB形式でも、同じくリブ重量が軽い場合に効果がでる。
- (3) アーチリブ全体にわたってリブ厚を薄くする効果が望めるのは、混合トラスB形式を現状の諸元のものに採用した場合である。
- (4) 現状の諸元のものに限っては、ワーレントラスは構造的にほとんど効果を示さない。

5. 2. 2 施工プロセス

通常の鉛直材のみのものは従来の工法を採用するものとし、ここでは省略する。プラットトラス、ハウトラスの両者が大きく異なる点は、挿入する斜材が架設中はそれぞれ引っ張り部材、圧縮部材となる点である。この違いが当然架設プロセスに相違をもたらす〔前掲図-3〕。

両トラス形式ともコンクリート部材の現場打ちは可能であるが、工期短縮、人員削減、そしてアーチクラウン付近の小さなブロック内に支保工を設置するのが困難なことを考えると、プレキャスト部材を用いるのが望ましい。前掲〔図-3〕をみると、プラットトラスの場合では架設中にアーチリブ部材を吊るPC鋼棒が完成後もそのまま斜材内の鋼棒として利用されることになり、より効率的な部材利用と言えるであろう。

しかし、斜材の性格の違い（引っ張り部材か圧縮部材か）は部材内の鉄筋の種類にも相違をもたらす。プラットトラスの斜材の場合引っ張り力に耐えるため当然PC部材となるが、ハウトラスの場合圧縮のみのためRC部材で済むことになる。また本来、コンクリートという素材の持つ、圧縮強度に優れているという特徴を橋梁の構造に積極的に生かす方向へ考えるならば、斜材を圧縮部材として用いるハウトラス形式の方がより自然である、と考えられる。（但しこの場合、あらかじめRC部材厚とその座屈強度に関する解析が別に必要となる。）

5. 2. 3 形態

完成後のアーチ橋の形態は当然斜材のあるなしで大きく異なるが、その斜材の並び方でもまた見た時の印象が変化する。デザインを評価する上で連続性や秩序感に重きを置くならば、上で比較したトラス形式のうち混合トラスA形式、混合トラスB形式のような斜材の挿入の仕

方は斜材の挿入方向がランダムである、という点で拒まれるものとなることが予想される。

ハウトラス、プラットトラスの両者については、斜材がブロック間で同じ方向に向いているという点で見ると連続性からくる安定感、秩序感を与えることができる。アーチリブのなす角度と斜材のなすそれとの取り合いのバランスを考慮するならば、プラットトラスの方がリブ、斜材の両者がより大きい角度をとることになり、ハウトラス形式に比べ安定感を表現できる。逆にハウトラスの方は、アーチリブ、斜材が両者ともアーチクラウンに向かって伸びるかたちとなり、鋭角的イメージとなる。これら両形式とも、斜材のなす角度がアーチクラウン方向に向かうにつれ徐々に変化してゆく特徴はアーチ橋に新たな表情を加えるもの、と考えられる。

斜材の向きが交互に入ったワーレントラスはこれらの中間の性格を持ち、端部が繋がった斜材群が独特なリズム感を生み出す〔図-6〕。

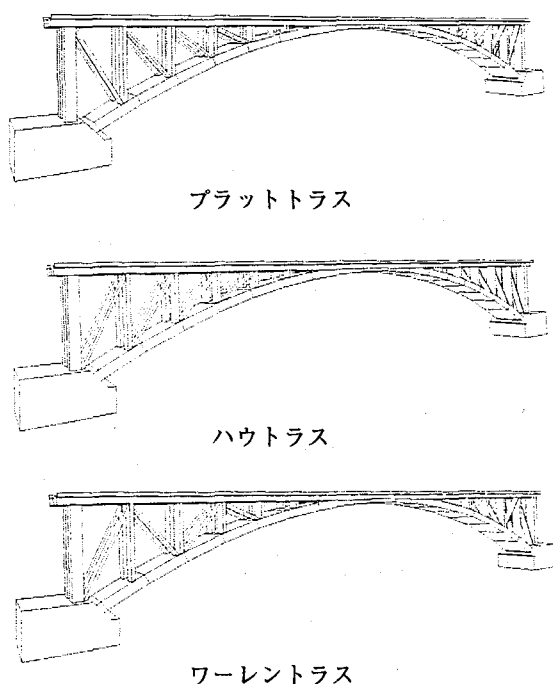


図-6 各斜材挿入形式の持つイメージ

ただこれらのどのトラス形式も、トラス橋独特のものである多数の部材が織りなす繊細さを強調するためには、ある程度のブロック数が必要となる。また景観性、経済性の面から考えると、アーチリブ、鉛直材、主桁そして斜材それぞれの部材厚のバランスは非常に重要である。またそれら部材間での剛性の配分を設計時に巧みに操作することで、完成後のアーチ橋の形態にもある程度のバリエーションを持たせることが出来る。

5. 2. 4 総合比較

以上5. 2. 1構造特性、5. 2. 2施工プロセス、5. 2. 3形態の各項目について10数個のモデルを比較・検討してきた訳であるが、これら3項目から総合的にみて判断するならば、全14バリエーション（うち斜材のあるものは11個）の中では諸元タイプ3のハウトラスの場合に最も顕著な効果が得られた、といえる。これ以外の13個の中にも、ある項目に関して非常に高い効果をあらわすものを多数みることができる。

5. 3 デザイン例

ここでは5. 2. 4で一番優れていると判断したタイプ3でのハウトラスの場合のものについてデザイン例を示す。このモデルについては、左右両スプリング部の厚さを低減できるとともに、斜材とアーチリブの角度が鋭角でシャープなイメージを生み出すことがわかっていて、この2点を景観デザインに最大限に生かすことに留意する〔図-7〕。

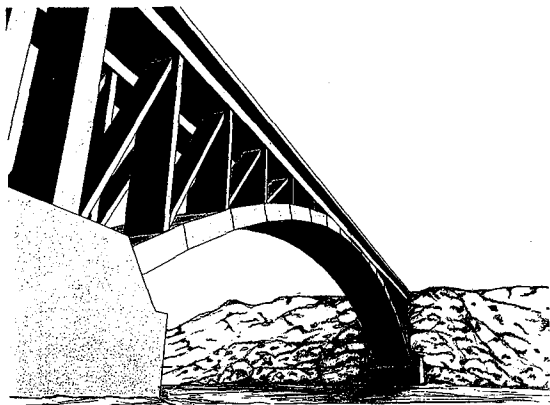


図-7 イメージ図

5. 4 まとめ

この章において判ったことは以下の通りである。

- (1) トラス張り出し工法において架設用斜材を残したものは、アーチ橋の諸元やトラス形式を限定するが、構造力学的に現状形式の斜材のないアーチ橋に比べ優れた結果を出し、且つ景観的にもアーチ橋における新構造フォルムの創出につながり得るものがある。
- (2) 景観の見地からの吟味を除き、構造力学的観点のみで現状形式のものと比較した場合、斜材が極めて顕著に効果を発揮するトラス形式のものも数例ある。

6. 結論

本研究において明らかになった点は以下の通りである。

- (1) コンクリートアーチ橋を例に取り、「施工」から要求される構造的特性を造形デザインへと生かした、より合理的な構造を決定することを目的とした構造デザインの一手法を提示した。
- (2) 完成後には不要となる架設用部材、あるいは特徴的な架設プロセスの一部等、「架設工法」という橋梁を性格づける可能性を持つファクターに着目した新しいアーチ橋のデザイン案一例を示した。

今後の課題を以下に示す。

- (1) パラメータの微細な変更により応力状態が大きく変動するアーチ橋に関し、その変動の仕方の傾向をより系統的にまとめる。
- (2) 実際の橋梁の施工における経済性比較も研究対象とする。
- (3) アーチ橋以外の形式についても架設用部材を残す等、「施工」というファクターを重要視する事で景観的、さらには構造力学的にもメリットをもつ新デザインの可能性を調査、研究する。

謝辞

本研究を進めるにあたり、構造解析を行う段階で新井英雄さんをはじめ住友建設土木設計部の多くの方々に御多忙のなか御協力していただいた。また査読者の方々に大変有益なコメントを頂いた。これらの方々に心から感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 川上：バルーンを飛ばす人アロプ，建築文化，1992。
- 2) 和田・佐野・岡本：コンクリートアーチ橋の施工，橋梁と基礎，1991。
- 3) 川上・山崎・室井・坂田：千鳥橋の設計と施工，橋梁と基礎，1987。
- 4) 社団法人プレストレストコンクリート建設業協会：PC橋の新しい構造事例に関する研究報告書，1990。
- 5) 大野：Wisconsin Avenue 高架橋，橋梁と基礎，1995。
- 6) 石川・高山・安田：赤谷川橋梁施工概要，土木施工，1979。
- 7) Fritz Leonhardt：BRIDGES，The MIT Press，Massachusetts，1984。
- 8) 碇山：海外のトラス橋・Rip 橋，橋梁と基礎，1993。

(1996年9月6日受付)