

斜張橋と視点場

VISUAL POINTS OF CABLE-STAYED BRIDGES

塩見 弘幸* 酒井克仁**

By Hiroyuki SHLOMI and Katuhito SAKAI

The visual point is one of the important factors to evaluate the harmonious relationships of geometry in aesthetic bridge designs. The aim of this paper is to clarify the visual points of the cable-stayed bridges with general form and proportion from following four conditions:

1) The angle of incidence of the cable-stayed bridges obtained from some investigations using their perspective views and photographs. 2) That of the tower on this nearer side resulting from the experience on their paper models. 3) The application of Maertens's rule to the tower. 4) The theory that the angle of visual field of human being is a cone having the vertical angle of 60 degrees.

Key Words: aesthetic bridge design, cable stayed bridge, visual point,

1. まえがき

橋梁の景観は、橋梁本体に関する狭義の意味でのデザイン論と環境との関係における景観論として論じられている。景観論では橋梁は環境に対して強調、融合、消去の3種類に分類されるのが一般的である¹⁾。本稿で扱う斜張橋は形態的に目立ち、また、長大橋梁の範疇に入るものが多いことから、環境に対して「強調」の関係にあり、積極的な橋として周囲の景観を支配する傾向にある²⁾。最近では自然景観至上主義ともいえる考え方に立ち、橋梁のような構造物も自然景観の中に埋没させようとする試みもなされている³⁾。これは消去法とは少し異なり、自然景観の中に橋梁を隠し見えなくする方法である。しかし橋梁本来の機能から考えて、特に長大橋梁ではそのような技法の適用は難しい。強調的な橋の場合にはむしろデザインに対する一層の工夫と構造美（機能美）を積極的に引き出す演出が図られるべきであろう。これは篠原が橋梁景観の評価基準⁴⁾として挙げている自然景観との調和、モニュメント（記念碑）性、スケール感、形態の内、形態によるモニュメント性の評価を得ることであるともいえる。

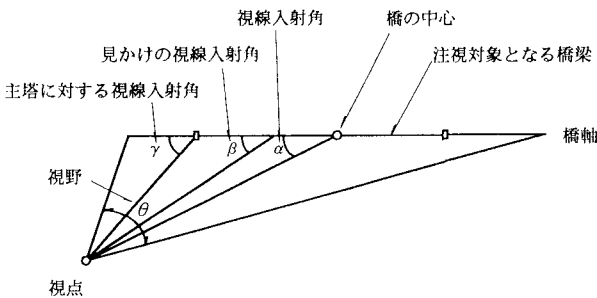
ところで、構造美に対しては対象を眺める視点によってその評価が異なるが、その構造物にとってよりよい視点場が存在するはずである。このことは橋梁のような細長い構造物においては特に顕著であるといえる。中世ヨーロッパの都市は広場を中心として町並みが形成されたため、広場に視点場をおいた建築美の表現が重要課題であったといわれている⁵⁾。橋梁についてもその構造美を論じるためにはデザインと共

* 工博 中部大学助教授 工学部土木工学科 (〒487 春日井市松本町1200)

** 中部大学大学院工学研究科建設工学専攻 (〒487 春日井市松本町1200)

に視点場が重要な因子となる。視点場の評価は眺める人によってもそれぞれ異なるであろうが、最大公約数的な処理や普遍性を探り出すことにより、ある程度は一般化できるのではないだろうか。斜張橋のデザインに関しては既にいくつかの研究がみられるが⁶⁾、三面図上の議論に終始しているきらいがあり、さらに踏み込んだデザイン論の展開が必要であると考えられる。視点場を設定することにより、視点を意識したデザインを考えることが可能となり、これがさらにモニュメント性の評価を高めることにつながろう。この観点に立ち、本研究では斜張橋のモニュメント性に主眼をおき、この構造美を眺める視点場について論じ、これを定量的に表すことを試みた。なお、本稿では環境との関係には触れていない。

研究の順序は以下のとおりである。まず、一般的に好まれる視線入射角 α （図－1 参照。定義は文献⁷⁾による）を抽出するために、1)特定の斜張橋について複数の被験者に対してパース図による調査を行い、さらに、2)公刊された複数の斜張橋の写真から、好まれるみかけの視線入射角 β を読みとり、1)で得られた α の値とを関係づけ、一般的な傾向を論じた。次に、3)特定の α の値が抽出された理由を二つの方法から考察した。一つはアイマークレコーダを装着させた被験者による注視点分析であり、他は主塔に対する好まれる視線入射角 γ の調査である。最後に、4)これらの結果と既に広く認められている生理的・心理的な法則を用い、一般的なプロポーションを有する斜張橋について視点場を明示する方法を提案した。



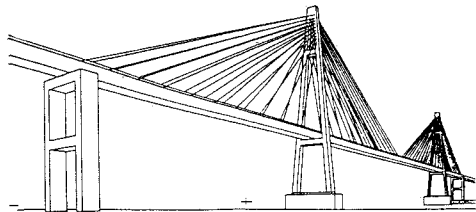
図－1 視点と橋梁との関係

2. 好まれる視線入射角の抽出

2.1 パース図を用いた調査

a) パース図について

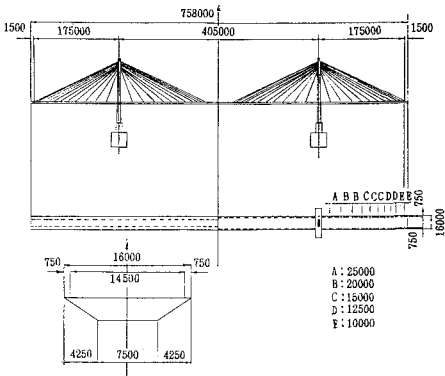
まず、特定の斜張橋について幾つかの視点から眺めた場合の好まれる視線入射角 α の抽出を試みた。方法はパース図（風景観技術センター作画）を被験者に見せ、聴き取り調査の形式で実施した。この場合、実橋の写真を用いた方がリアルさの点からは好ましいが、写真撮影のために必要な視点場が必ずしも得られないことを考え、代用としてパース図を用いた。モデルは名港西大橋タイプ（主塔形状、ケーブルの張り方および主な寸法諸元が同橋とほぼ同じ）とし、表－1に示



図－2 パース図の一例 (No.1)

表－1 パース図の作画条件

パース図のNo.	1	2	3	4	5	6	7	8
視点場の高さH(m)	7	7	7	5.0	5.0	5.0	5.0	19.0
視線入射角 $\alpha(^{\circ})$	15	30	45	15	30	45	60	30



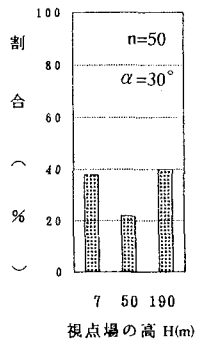
図－3 パース図のモデル橋

すように視点の高さHと α を変化させたものを組み合わせて合計8枚用意した．その一例を図－2に示す．大きさは各図ともB4サイズで桁と主塔は赤系統で薄く着色されている．図－3はパース図作画のために与えた情報を平面図形で示したものである．同橋の海面から桁までの桁下高さは約50mとして作画されているので， $H = H.W.L + 50m$ が桁のレベルと同等の視点となり，それより高い場合は俯角，逆の場合は仰角として橋を眺めることになる．なお， α が大きい範囲（ $\alpha > 75^\circ$ ）について論じることは，本研究の主旨ではないので除外した．

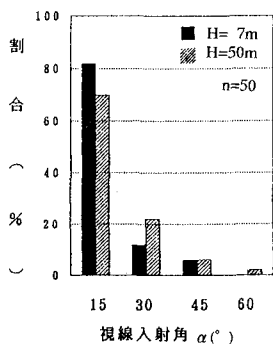
b)結果と考察

被験者は50名（男24，女26）を対象にして，次の4項目に対してそれぞれ最も良いと思うものを抽出させた．① $\alpha = 30^\circ$ （一定）にし，Hの値を3種類に変化（Nos. 2, 5, 8）．② $H = H.W.L + 7m$ （一定）とし， α を3種類に変化（Nos. 1, 2, 3）．③ $H = H.W.L + 50m$ （一定）とし， α を4種類に変化（Nos. 4, 5, 6, 7）．④8枚全部．

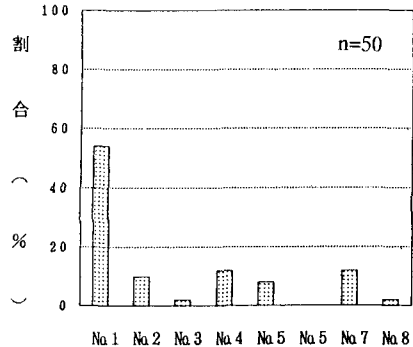
①の結果は図－4に示すように， $H = 50m$ のものが最も好まれていない．②および③の結果は図－5に示すようにHの値に関係なく $\alpha = 15^\circ$ のものが圧倒的に好まれている．④の結果は図－6に示すように，群



図－4 好まれるHの分布



図－5 好まれる α の分布



図－6 好まれる構図

を抜いてNo.1（ 15° ，7m）に好みが集まっている．なお，回答において男女および年齢に関する有意差は見られなかった．以上の結果から，視点場の高さを条件に入れず視線入射角のみで論じる場合，本モデルでは $\alpha = 15^\circ$ が最も好まれることになる．ただし， α のデータには 15° 未満のものが用意されていないので，その範囲については不明であるが， α が小さくなると，仰角の大きい構図（ $H = 7m$ ）では桁裏の見えが多くなり印象は悪くなる．また，鉛直視角が 0° （ $H = 50m$ ）の場合は， $\alpha = 10^\circ$ 程度までなら構図的には $\alpha = 15^\circ$ と大差はない．さらに α が小さくなると橋軸方向からの見えの構図となる．このことや，調査時の階級値が 15° であること，および人の感覚の曖昧さなどを勘案して， α の実用的な値を $\alpha = (15 \pm 7.5)^\circ$ とし，幅を与えて使用することにする．

2.2 橋梁写真から読みとることができるみかけの視線入射角⁸⁾

a)解析データ

橋梁が撮影される場合，撮影者は対象橋梁が最も美しく見える視点，あるいは対象橋梁を最もよく説明している視点を選ぶと考えられるので，公開された複数の斜張橋写真から視線入射角の抽出を試みた．撮影地点の環境条件によっては必ずしも撮影者の理想とする視点場が得られるとはいえないが，これらを逐一検証することは難しいので，理想的な視点場から撮影されたものと仮定することにした．撮影時のカメラの視準線はみかけの橋軸中心に向けられると仮定し，写真から得られる橋軸と視線とのなす視角を「見

かけの視線入射角 β 」と呼び、視線入射角 α と区別する(図-1参照)、また、写真情報からは視距離が不明確なため、ここで得られた β は α に対する定性的な検討に用いる。

β を抽出するための写真データは、公刊された橋梁写真^{9)~15)}から次の条件で選んだ。特殊な視点場(例えば空中)を除く、なるべく橋梁の全景が撮影されているもの、ケーブルが主塔を中心に対称に張られているもの。また、解析ツールが使用できないような写真(対象物が小さい、3次元情報が得られ難い)は除いた。結局、文献8)で用いたものより減少し15橋のデータを使用した。

b) 解析結果と考察

解析には筆者らが景観設計支援システムとして開発した3次元グラフィックソフト(LSD)¹⁶⁾の一部を利用した。本解析ソフトはコンピュータグラフィックス(CG)で一般的に取り扱われている平行移動、スケーリング(拡大、縮小)、変換、回転といった基本的変換の合成で構成されている。解析方法は、コンピュータに取り込んだ写真データを画面に表示させ、これに平行移動、回転、パース等を考慮した3次元方眼を重ねて表示し橋梁の基準部に合わせる。 β の値は3次元方眼の回転量を調べることで読みとられる。図-7に解析結果を示す。これから β のピークは $20^\circ \leq \beta \leq 40^\circ$ と表される。

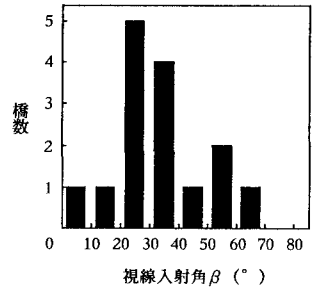


図-7 写真分析による β の分布

ここで、 β と α との理論上の関係を計算し図-8に示す。図中、Dは視野 $\theta = 60^\circ$ の距離からの視点である(Dラインと呼ぶことにする)。Dは橋長 l に依存するが、 β と α はDを介して一定の関係になる。同図において写真解析結果の $20^\circ \leq \beta \leq 40^\circ$ では α は非常に小さく、さらに α のわずかな変化に β が急変する不安定な範囲のため、この範囲に該当する写真はDラインより幾らか後退した視点からのものとも考えられる。しかし、実際に斜張橋を撮影する場合、カメラの視準線はみかけの中心よりも幾分真の中心側へ振られる傾向があり(手前に見えるはずの橋端が構図に入っていない写真が多いことで分かる)、上記で得られた β の値はいくらか大きく評価できるので、このことは一概には断定できない。いずれにしても写真情報からは視距離が不明確である。したがって写真解析結果から得られた β に対する α の整合性は明快には立証できないが、 $\alpha = (15 \pm 7.5)^\circ$ に対する β の値は、不安定な範囲を避けた最も小さな範囲であり、この範囲に写真の解析から得られた β のピーク値が存在することは、カメラマンもまた2.1の結果が示す一般の被験者に好まれる構図を選んでいるといえよう。

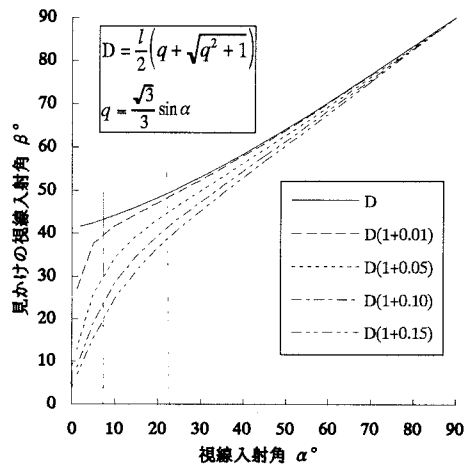


図-8 理論上の α と β の関係

3. 特定の視線入射角が好まれる理由に対する2つの実験

3.1 注視点に関する実験

2で得られた特定の視線入射角 α が好まれる理由として、全体の構図と特定の部分の見えが考えられる。まず、全体の構図を支配する主な因子は、ケーブル、塔および桁であり、これらが2つの「雪釣」状の形態を構成し、 α によってその構図の好みが異なることになる。特定の構図が好まれる理由を感覚的な言葉、例えば「躍動感」¹⁷⁾などで表現することもできるが、断定するにはデータ不足なのでこの種の感覚的な表

現は本稿では避ける．次に，特定の部分として主塔を考える．橋軸に対する視線入射角が小さくなるにしたがって，手前の主塔は大きく明瞭に映ることから，主塔自体の見えもまた前節の結果に影響していると思われる．好まれる構図や主塔に対する関心度について客観的なデータを集める必要がある．そのために対象を見るときの人目の動きの分析から，見えと人の心理との関係についておよその情報が得られると考え¹⁸⁾，注視点分析の実験を試みた．

a) 実験方法とその結果

前節で用いたパース図から5枚を選び実験に供した．これらをビデオカメラで1枚の図について5秒間撮影し，2秒の間隔をおいて次々と撮影した．この一連の映像を液晶プロジェクターにてスクリーンに映写し，アイマークレコーダを装着させた被験者に見せ注視点とその軌跡および注視時間を調べた．図-9はその一例である．○印の位置と大きさがそれぞれ注視位置と注視時間の長さを表し，それらを結んだ線分が注視の軌跡を表している．

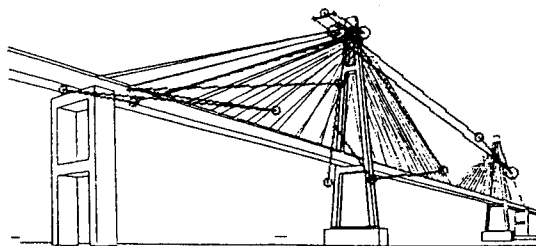


図-9 注視点実験結果の一例

この結果以下のことが明かになった．a) 視線入射角 α が変化してもほとんどの被験者は主塔を中心に注視している．b) $\alpha = 15^\circ$ の場合は横方向と共に縦方向の目の動きが活発である．c) α が大きくなると目の動きはほとんど横方向のみとなる．ただし， $\alpha = 30^\circ$ の場合でも視点の高さ190mの場合は前者と同じ目の動きが観察された．しかし，この場合は橋梁以外の余白の部分の注視点が多い．以上から特定の視線入射角が好まれる理由として，構図の好みと共に主塔の見え方が影響していることが分かる．後者ではケーブルが一種の視線誘導の役目を果たし，大きく見える手前の主塔に視線を導いているといえよう．そこで次の実験により主塔の形態と好まれる視線入射角との関係を調べた．

3.2 主塔の見えに関する実験¹⁹⁾

a) 実験方法

最初に主塔の模型を白色の厚紙を用い，A，H，逆Y型で代表される6タイプを作製した(図-10参照)．両柱が平行な形式をAタイプ，平行でない形式をBタイプと呼ぶ．塔の高さをすべて50cmとし，他の寸法は実橋のもつ寸法比を参考にして決定した．補剛桁はその存在のみを見せれば良いとの考えから，その位

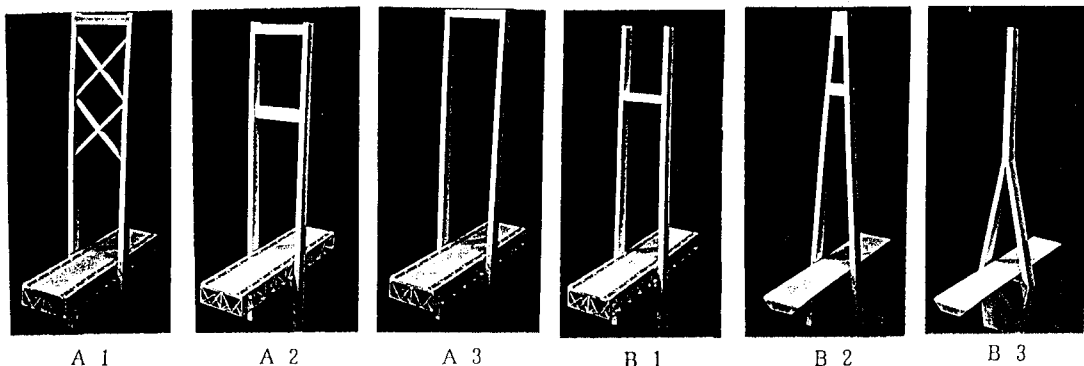


図-10 主塔模型

置（下端から10cm）を統一して長さ30cmのみを主塔に取り付けた．次にこれらの模型を写真撮影した．その際、主塔の橋軸方向に対する視線入射角 γ を $0^\circ \sim 75^\circ$ まで 15° 刻みとし、各々の γ の値について最下端を基準にした高さをそれぞれ①1cm、②25cm、③50cmとした．これらの位置から塔中央の高さを視準した場合、およその鉛直視角はそれぞれ①＝仰角 15° 、②＝ 0° 、③＝俯角 15° に相当する．各形態について同一の鉛直視角に対する γ の値

を変えたこれらのデータを鉛直視角毎に50名、延べ150名の被験者に見せ、最も好まれる図を聴き取り調査の形式で抽出した．

b) 実験結果

図-11に好まれる γ の値と被験者数との関係を示した．いずれも $\gamma=0^\circ$ （正面図）は好まれていない．仰角 15° における γ の値は、Aタイプでは $\gamma=45^\circ$ でBタイプではすべて $\gamma=30^\circ$ である．鉛直視角 $=0^\circ$ では両者ともほぼ $\gamma=30^\circ$ といっってよい．俯角 15° の場合、Aタイプでの γ 値のピークは 30° と 45° にばらつくが、Bタイプのピークはほぼ $\gamma=30^\circ$ である．

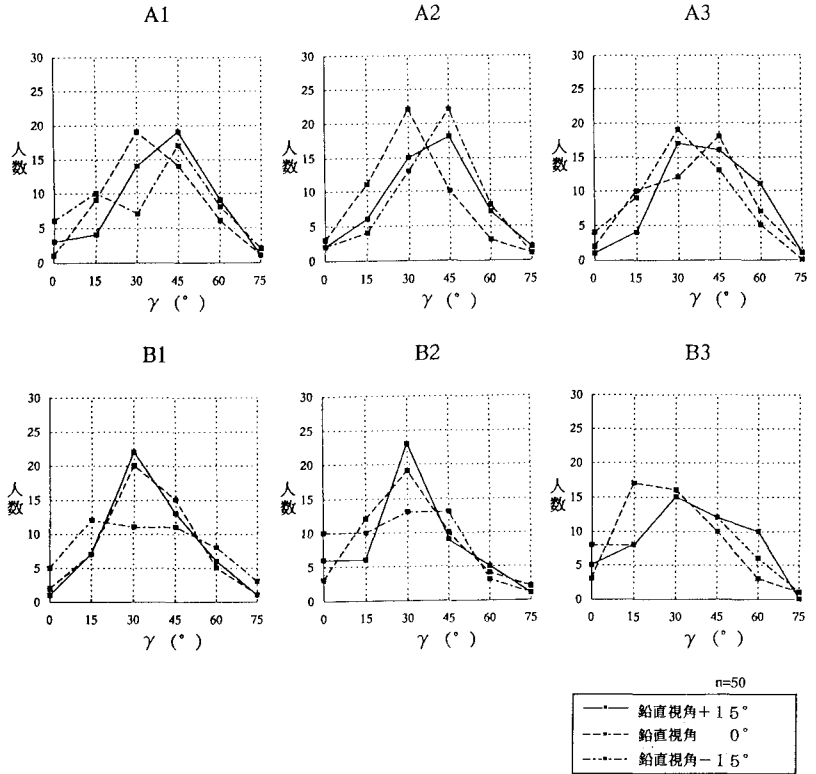


図-11 好まれる γ の分布

3.3 2つの実験結果に対する考察

a) 構図におけるみかけの縦横比

注視点実験での被験者の目の動きは、 $\alpha=15^\circ$ の場合のみ縦、横方向共に活発であった．このことは、この場合の構図が被験者に与える印象を強くしているものと推測される¹⁸⁾．好まれる構図を決定づけている要因の解釈は多様であろうが、一つの要因として雪釣状の形態で構成される構図のみかけの縦横比（みかけの塔の高さと桁の長さの比）を考えてみた．この場合のみかけの縦横比を計ると、 $\alpha=15^\circ$ においては約0.57である．文献20)によれば、比例の連続的变化に対する知覚で最も美しい図形として縦横比0.72があげられ、次いで0.52にもピークがあるとされている．後者の値は本例の値に非常に近く、このことが被験者に同構図の印象を強くさせている要因の一つとも考えられる．

b) 主塔に対する視線入射角

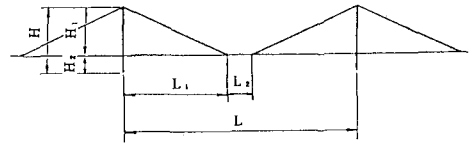
3.2において主塔のみに関する見えの実験を行い γ に関する定量的な結果が得られた．ここで γ と α との関係を考える．名港西大橋の例では、 $\gamma=30^\circ$ の場合、 $\alpha=15^\circ$ 37'では 15° となり、2節で得られた結果と一致する．すなわち、好まれる視線入射角を決定づけているもう一つの要因が主塔の見えであるといえよう．橋軸方向に2本の同形態の主塔を有し、さらに橋長の約1/4程度に主塔が位置する場合、 $\alpha \approx \gamma/2$ となるので、2節と3節の結果には整合性があるといえよう．以上から斜張橋のモニュメント性を論じる場合は主塔が大きな要因を占めるので、これを考慮した視点場を考える必要がある．

4. 視点場に関する考察²¹⁾

4.1 視線入射角からの検討

ここでは一般的なプロポーションを有する斜張橋²²⁾ (図-12参照) に関して考察を行う. $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 30^\circ$ を満足するような平面上の範囲はただ1点のみとなり視点場としては現実性がない. そこで, 2.2で述べた理由により γ の値に対しても $\pm 7.5^\circ$ の幅を与え, $\gamma = (30 \pm 7.5)^\circ$ を使用することにした. 両者から決定できる平面上の範囲を図示すると図-13となる. 着色部が条件を満足している範囲である.

次に人の水平方向の視野 θ は $\theta = 60^\circ$ であるという 60° コーン説にしたがって, 橋梁全体が視野に納まる限界の円弧を描き加えると図-14となり, 着色部が3条件を満足する範囲である. 以上により橋梁を眺める際の構図的に良好と考えられる範囲が提示できる.



	H	L	H ₁	H ₂	L ₁	L ₂	H/L	H ₂ /H
初期条件	1.69	6.00	1.27	0.42	2.70	0.60	0.28	0.25

図-12 一般的なプロポーションの斜張橋

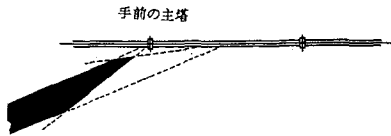


図-13 α と γ の条件のみで決まる視点場

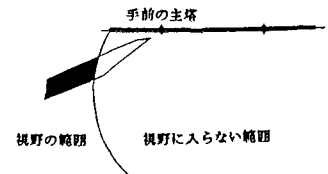


図-14 3条件で決まる視点場

4.2 主塔のみえの大きさからの検討

次に橋梁のモニュメント性を考慮に入れるためには, さらに主塔に関する見えの大きさを考える必要があろう. そこで「メルテンスの法則」⁷⁾を適用することを試みた. この法則を主塔に適用した場合, 対象に対する鉛直視角 δ と見え方, 印象の変化は以下のように表すことができよう. $14^\circ \leq \delta \leq 18^\circ$ の場合, 主塔は対象の一部として認識され(Cゾーン), さらに $\delta < 14^\circ$ の場合は背景に属していく(Dゾーン). 反対に $45^\circ \geq \delta \geq 27^\circ$ では威圧感を感じるようになり(Aゾーン), $45^\circ > \delta$ では対象物の細部を見る視角となる. このことから主塔を主対象として見る値は $18^\circ \leq \delta \leq 27^\circ$ (Bゾーン)が望ましいといえよう. これを先ほどの3条件を満たした図-14に描き加えると図-15となる. 一般的なプロポーションに対して H/L を変化させたものが図-16である. $H/L = 0.22$ では4条件を満足する範囲は存在しなくなる.

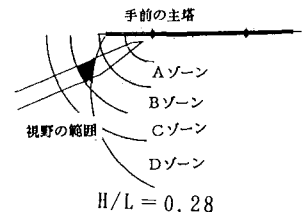


図-15 塔の見えを考慮した視点場

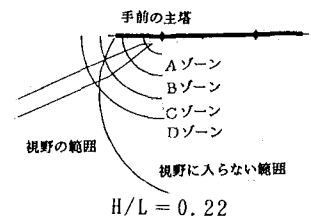
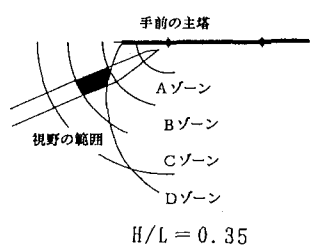
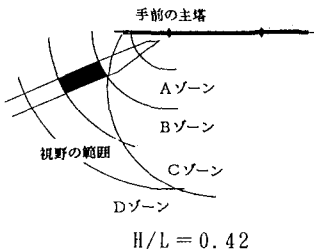


図-16 H/L の変化と視点場

5. 結論

斜張橋をモニュメントとして眺め、その構造美を評価する際の視点場について論じ、一般的な形態とプロポジションを有する斜張橋に対して、次の4条件からよりよい視点場の範囲を決定する方法を提案した。一般的に好まれる1)斜張橋全体への視線入射角 α と2)主塔への視線入射角 γ 、3)60°コーン説に基づく橋梁を眺める視野 θ 、および4)メルテンスの法則に基づく主塔に対する鉛直視角 δ 、すなわち、

①一般的な形態の斜張橋では、 $\alpha = (15 \pm 7.5)^\circ$ として眺める場合が構造的に好まれる。この場合、橋全体が視野に納まることも必要条件として $\theta \leq 60^\circ$ とした。

②この場合の好まれる構図を決定づけている要因はいくつか考えられ、今後の研究が必要であるが、桁と主塔とケーブルで構成される雪鈞状の形態は一つの重要な因子であり、この形態のみかけの縦横比も好まれる構図に関係していると思われる。

③主塔自体の見えも斜張橋の見えに大きく寄与しており、主塔に対して $\gamma = (30 \pm 7.5)^\circ$ が好まれる。一般的なプロポジションを有する斜張橋では、主塔に対する γ と①の α との間には整合性がみられる。

④主塔の見えの大きさにはメルテンスの法則を適用し、鉛直視角を $18^\circ \leq \delta \leq 27^\circ$ に設定した。

以上の結果から視点場を定量的に表すことができ、一般的な形態とプロポジションを有する斜張橋の主塔、桁、ケーブル等のデザインを考える場合、従来の漠然とした視点からの議論から一歩踏み込んだ検討が可能である。特に主塔ではその形態のみならず、柱とはりのおさまり等に対しても示唆が与えられたと考えられる。今後の課題として、視点を意識した具体的なデザインについての研究が必要である。

謝辞；中部大学教授（前京都大学教授）山田善一先生には貴重な助言を賜った。記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 加藤誠平：橋梁美学，山海堂出版部，1936。
- 2) 塩見弘幸：西ヨーロッパの都市と橋梁景観，橋梁と基礎，24/11, pp. 27-35, 1990。
- 3) 日経コンストラクション：海外の環境デザイン'93，日経BP，7/9，pp. 51-54，1993。
- 4) 篠原，田村：橋梁を主題とする休憩施設の景観計画，土木学会第27回年講IV，pp. 261-264, 1972。
- 5) カミロ・ジッテ（大石俊雄訳）：広場の造形，美術出版，1968。
- 6) 例えば，松本勝他：景観・構造・耐風特性からみた斜張橋の形態に関する研究，構造工学論文集，Vol. 39A, pp. 555-562, 1993。
- 7) 篠原修：新体系土木工学 59 土木景観計画，技報堂出版，1982。
- 8) 酒井，塩見，遠藤：橋梁写真から読み取れる視点場，土木学会第47回年講I，pp. 1250-1251, 1992。
- 9) (財)海洋架橋調査会：橋と景観，1989。
- 10) 日本橋梁建設協会：日本の橋，朝倉書店，1985。
- 11) 来島，成瀬：世界の橋，森北出版，1964。
- 12) 土木学会：橋（1974-1990），
- 13) F. Leonhardt: BRUCKEN BRIDGES, The Architectural Press, 1982。
- 14) S. Chatterjee: THE DESIGN OF MODERN STEEL BRIDGES, BSP PROFESSIONAL BOOKS, 1991。
- 15) M. Ito: CABLE-STAYED BRIDGES, ELSEVIER, 1991。
- 16) 細川，塩見：パーソナルコンピュータを利用した景観設計支援システムについて，土木学会第46回年講I，pp. 730-731, 1991。
- 17) 塩崎，松本他：造形論の橋梁景観への適用に関する研究，土木学会第47回年講I，pp. 1246-1247, 1992。
- 18) 亀沢，杉山，伊藤：橋梁の形態評価への一アプローチ，土木学会第37回年講I，pp. 219-220, 1982。
- 19) 酒井，塩見：橋梁形態と視点－主塔と視線入射角－，土木学会中部支部講，pp. 71-72, 1993。
- 20) 東大建築学科高橋研究室編：かたちのデータファイル，彰国社，1983。
- 21) 大西，塩見他：斜張橋と視点場，土木学会第48回年講I，pp. 1244-1245, 1993。
- 22) 土木学会関西支部共同研究グループ（代表 松本勝）：耐風・構造特性および景観からみた橋梁の幾何学形態に関する研究，1992。

（1993年9月16日受付）