

# 対称性を考慮した橋梁構造の力学的相関性

Mechanical relativity with consideration of structural symmetry of bridges

久保田善明\*, 岸本貴博\*\*

Yoshiaki Kubota, Takahiro Kishimoto

\* 京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1 棟)

\*\* 工修, 京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1 棟)

The form of the bridge strongly depends on the structural frame. This is a characteristic of bridges. Therefore, when the bridges are designed, it is necessary to consider about the structure and the form simultaneously. Mechanical relativity is an important concept to understand the relationship between the structure and the form of bridges. In this paper, we propose a new theory of mechanical relativity of bridges. The theory expresses the symmetrical property of the structure and the form quantitatively. Moreover, we show the mechanical relativity of not only "bridge type" but also "horizontal structural system", "structural system for the load distribution to girders", and "structural system for the load transmission from floor to main structure". We propose a way of expression of image of the mechanical relativity of bridges, which are three-dimensional structures.

*Key Words: mechanical relativity, bridge type, structural design, structure and form*

キーワード: 力学的相関性, 橋梁形式, 構造デザイン, 構造と形態

## 1. はじめに

橋梁の形態は、その構造的骨格に強く依存する。これは橋梁のもつ大きな特徴でもある。橋梁にとって、構造と形態はほとんど一体不可分の関係にあり、そのため、橋をデザインする場合には、構造と形態を同時に考えてゆく必要がある。

そこで筆者らは、橋梁形式をより柔軟性と応用性のあるものとして理解する必要があるとの認識に基づき、「力学的相関性」なる概念を提唱してきた<sup>1)</sup>。力学的相関性とは、これまで個別に扱われることの多かった橋梁形式というものを、力学的に連続したものとして統一的に理解しようとするものである。つまり、橋梁には「空間を渡る」という共通の目的が存在し、それに対して各橋梁形式は互いに力学的に無関係で不連続に存在しているわけではないということを、構造と形態の観点から新しく捉えなおすことを試みたものである。さらに、その力学的相関性を3次元のベクトル空間に置かれたベクトル群の関係性によって定量的に表すことにより、力学的相関性に関するより実際のイメージを把握することができるようにした(図-1)<sup>2)</sup>。この方法は、桁橋、トラス、アーチ、吊橋という4つの基本的な橋梁形式を構成要素に持つ任意の橋梁に対して、相互の力学的相関性を定量的に評価することが

できるという利点を有してはいるが、4つの基本的な橋梁形式をすべて対等に扱うため、吊橋とアーチ橋の間に見られる構造および形態の対称性など、構造と形態を理解する上で重要な他の視点が、必ずしも十分に表現されたものではなかった。

本論は、吊橋とアーチ橋の構造および形態の対称性が表現され、なおかつ、定量的な評価が可能な力学的相関性の表示方法について、新たに提案するものである。

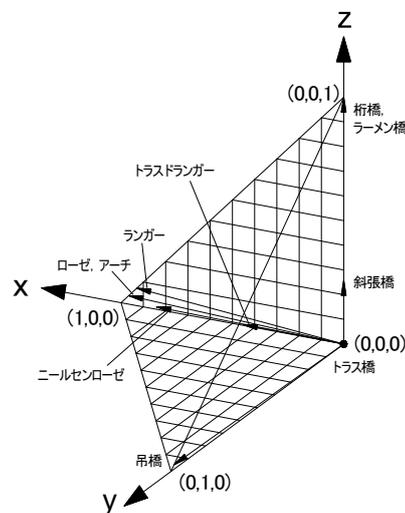


図-1 力学的相関性の3次元表示

さらに、これまで対象としてきた橋梁形式という構造システム、つまり、「スパンを渡るための構造システム」だけでなく、他の構造システム、つまり、「水平方向の構造システム」、「床組の荷重分配に関する構造システム」、「床組から主構への荷重伝達に関する構造システム」の力学的相関性についても考察することにより、橋梁という立体的構造がもつ力学的相関性のイメージを、より明確に示すことを目的としている。

## 2. 橋梁形式の力学的相関性

### 2.1 力の種類と橋梁形式

一般に、橋梁に作用する力は、①：曲げモーメント、②：せん断力、③：軸力（圧縮、引張）、④：ねじりモーメントに大別される。あるスパンに架け渡された橋梁において、①～③は橋軸方向の鉛直面内の問題であるのに対して、④は橋軸方向を軸とした回転の問題であり、①～③と同じレベルで扱うことは不要に問題を複雑にすること、および、④が橋梁形式を決定づける主要な要因となることは稀であることから、④については別途論文にて報告するものとし、今回はこれを除外して考える。

今、あるスパンに橋を架けようとする場合、その構造体には、支間長や幅員、荷重の大きさなどに応じて、“本来的に”，曲げモーメント（ $M_o$ ）とせん断力（ $S_o$ ）が作用する（図-2）。これは、当該スパンを単純梁で考えたときに、その単純梁に作用する曲げモーメントとせん断力である。この  $M_o$  と  $S_o$  に対してどのような構造システムを与えるかということが、橋梁の構造と形態を決定する重要な判断となる。図-3は、 $M_o$  と  $S_o$  に対する抵抗システムを大まかに分類したものである。ビームシステムは、曲げモーメントとせん断力を直接伝達するシステムであり、アーチシステムは、アーチの形態によって、 $M_o$  と  $S_o$  をアーチ軸線に沿った軸圧縮力に変換して伝達するシステムである。また、ケーブルシステムは、 $M_o$  と  $S_o$  を懸垂状のケーブルに作用する軸引張力に変換して伝達するシステムである。さらにまた、ビームシステムは、せん断力の伝達機構によって、フルウェブシステムとトラスシステムに分類される。図-4は、フルウェブシステムとトラスシステムの機構を模式的に表したものである。

このように分類された構造システムは、そのまま基本的な橋梁形式に対応づけて考えることができる。つまり、フルウェブシステムは桁橋に、トラスシステムはトラス橋に、アーチシステムはアーチ橋に、ケーブルシステムは吊橋に対応する。

この対応関係は、単純な力学モデルによる理想状態におけるものであり、現実の橋においては、現象はもう少し複雑である。例えば、現実のアーチ橋では、アーチ部材に軸圧縮力が卓越してはいるものの、それ以

外にも、曲げモーメントやせん断力が同時に作用している。しかし、部材内部で卓越している力が、橋梁の形態として象徴的に表れてくるということは、構造と形態の間に論理的なつながりを見出す手がかりとしては、きわめて有効な視点であると考えることができる。

なお、上記の桁橋、トラス橋、アーチ橋、吊橋の4種類以外にも、一般に「橋梁形式」と呼ばれているものは多数存在するが、これら4種類の橋梁形式には、他の橋梁形式に比べて力学性状の明確な独自性を見ることができる。本論文が対象とする「橋軸方向の鉛直

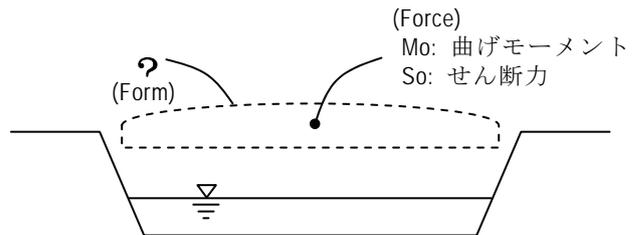


図-2 あるスパンに本来的に作用する曲げモーメントとせん断力

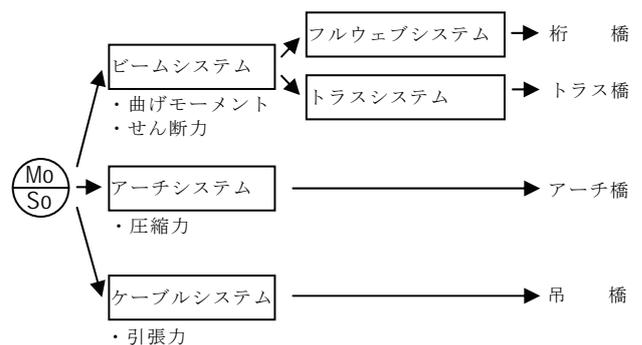


図-3  $M_o$  と  $S_o$  に対する構造システム

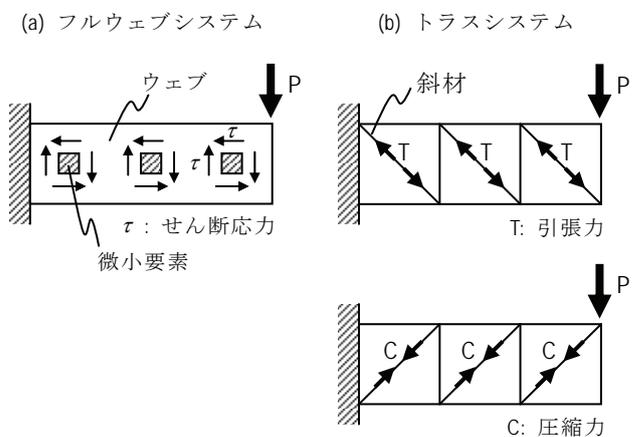


図-4 フルウェブシステムとトラスシステム

面内の問題」としてモデル化されるような橋梁の構造と形態は、基本的にこれら4種類の形式の組み合わせや応用の延長上にあるとも言える。

## 2.2 対称性を考慮した力学的相関性の表示方法

図-1に示した力学的相関性の3次元表示に対して、図-5のような2次元表示を考える。図-5では、図-1に見られる吊橋とアーチ橋の直接的な連続性は解かれてしまっているが、その代わりに、それは吊橋とアーチ橋における構造および形態の対称性として表現されている。

つまり、原点をトラス橋として、y軸の正方向に吊橋の属性を、負方向にアーチ橋の属性をとり、x軸の正負両方向に桁橋としての属性をとると、第1象限には吊系橋梁が、第3象限にはアーチ系橋梁が配置される。これによって、原点に対して対称な位置に、構造および形態が対称な橋梁形式が配置されるとなる。

また、x軸の両端には桁橋が、y軸の正方向端には吊橋が、負方向端にはアーチ橋が配置される。さらに、y軸上には吊橋、アーチ橋、トラス橋のような軸力部材で構成された橋梁形式が、x軸上には桁橋、トラス橋

のような、腹板や斜材などのせん断力伝達部材を有する橋梁形式が配置される。

なお、本論は、「橋梁構造の対称性」に着目しているため、2.3項で述べる相関係数(R)が、 $-1 < R < 1$ の範囲の値をとること、つまり、Rが負であるときに構造と形態に対称性があることを表現できるように、座標を設定したものである。そのため、橋梁をプロットする座標領域として、対角方向の象限(第1、第3象限)を選んでいる。したがって、第2、第4象限に橋梁形式がプロットされることはない。

ところで、図-5においても図-1と同様に、橋梁形式をベクトル表示することが可能である。つまり、ある任意の橋梁の座標を(a, b)とすると、その橋梁を表すベクトル $\vec{a}$ は、 $\vec{a} = (a, b)$ で表される。ただし、

$$-1 \leq a \leq 1, -1 \leq b \leq 1, 0 \leq (a \cdot b) \leq 1 \quad (1)$$

とする。ただし、 $b=0$ の場合は、aは正負両方の値をもつものとする。そして、プロットされるすべての橋梁形式が、 $\triangle OG_1S$ (第1象限)または $\triangle OG_2A$ (第3象

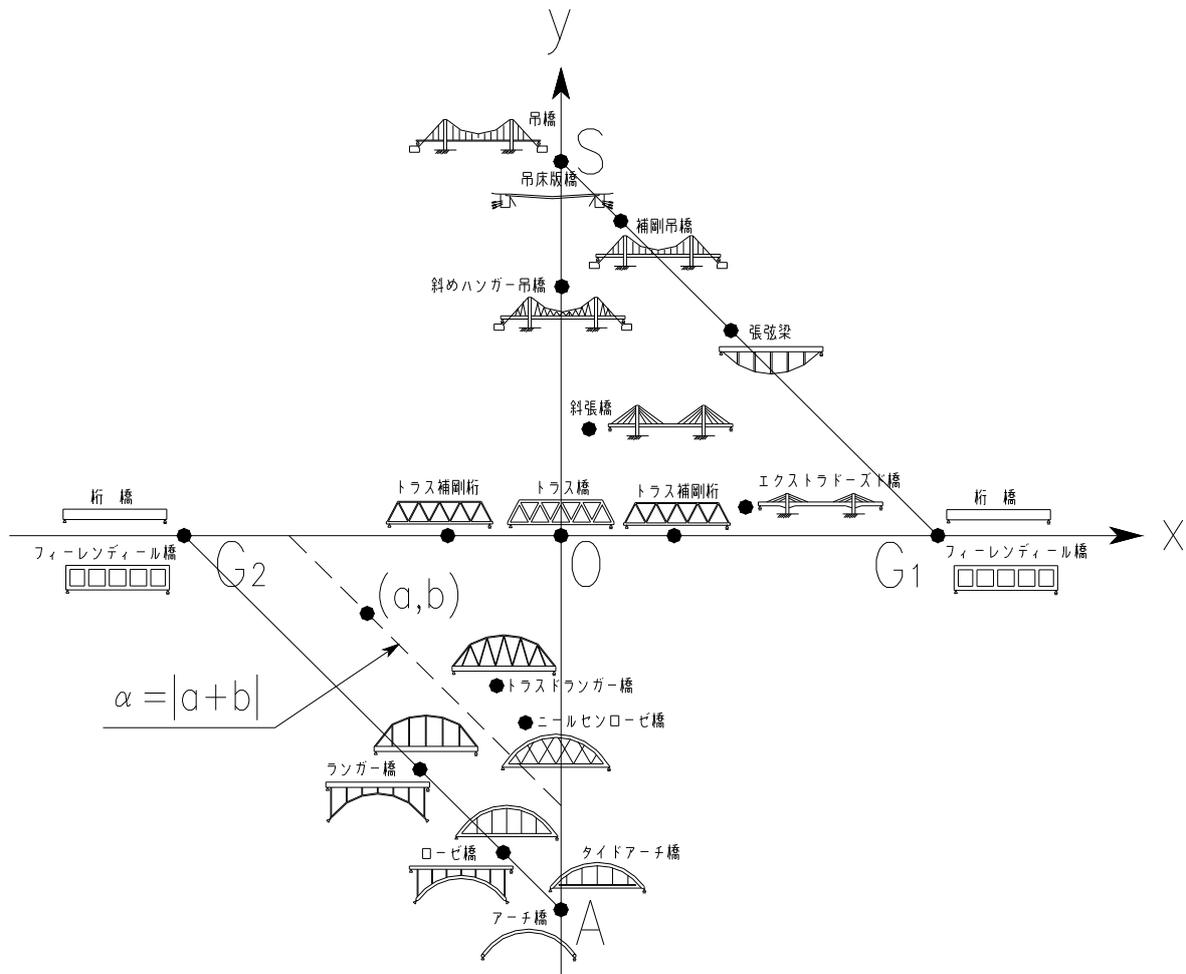


図-5 対称性を考慮した力学的相関性の表示方法

限)の内部に含まれることを考慮すると,

$$0 \leq |a + b| \leq 1 \quad (2)$$

でなければならない. ここで,  $\alpha = |a + b|$  とおくと,  $\alpha$  の値によって, 橋梁の特徴は以下のように分類される.

$\alpha = 1$  の場合: 座標は線分  $G_1S$  または  $G_2A$  上に存在  
(トラスの属性を持たず, 斜材を有さない形式)

$\alpha = 0$  の場合: 座標は原点  $O$  に存在  
(トラス橋)

$0 < \alpha < 1$  の場合: 座標は線分  $G_1S$ ,  $G_2A$ , および原点  $O$   
以外の領域に存在  
(トラスが部分的に用いられた形式)

なお,  $\alpha$  が同値である橋梁形式の場合, それらの座標はともに線分  $G_1S$  または線分  $G_2A$  と平行な線分上にあり, この線分上において, トラスの属性を含むレベルはすべて同一となっている.

ところで,  $\alpha$  および  $a, b$  の具体的な算出方法は, 次の手順による.

まず, 桁橋, トラス橋, アーチ橋, 吊橋のすべての属性を有する橋梁のプロトタイプ・モデルとして, 図-6のようなモデルを考える.

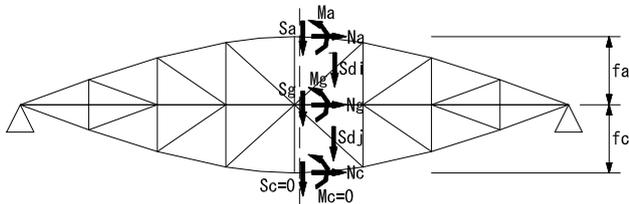


図-6 橋梁のプロトタイプ・モデル

図-6において,  $Ma$ : アーチリブの曲げモーメント,  $Mg$ : 主桁の曲げモーメント,  $Mc$ : ケーブルの曲げモーメント (=0),  $Na$ : アーチリブの軸力,  $Ng$ : 主桁の軸力,  $Nc$ : ケーブルの軸力,  $Sa$ : アーチリブのせん断力,  $Sg$ : 主桁のせん断力,  $Sc$ : ケーブルのせん断力 (=0),  $fa$ : アーチライズ,  $fc$ : ケーブルのサグ,  $Sdi, Sdj$ : 斜材軸力の鉛直成分, である.

すると,  $\alpha, a, b$  の値は次のように定式化できる.

$\alpha$ : ある断面に作用する全体系のせん断力 ( $S$ ) に占める, 当該断面での斜材軸力の負担分

$$\alpha = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Sdi)}{S} \quad (3)$$

$a$ : 全体系の曲げモーメント ( $M_0$ ) に占める, 主桁 (または補剛桁) およびアーチリブ自体の曲げモーメント負担分

$$a = \frac{M_a + M_g}{M_0} \cdot \alpha \quad (4)$$

$b$ : 全体系の曲げモーメント ( $M_0$ ) に占める, アーチ作用またはケーブル作用の負担分 (ただし,  $N$  は引張を正とする)

$$b = \frac{N_a \text{または} c \cdot f_a \text{または} c}{M_0} \cdot \alpha \quad (5)$$

ここに, 全体系のせん断力 ( $S$ ), および, 全体系の曲げモーメント ( $M_0$ ) とは, 構造全体系を単純梁に置き換えた場合に, その梁に作用するせん断力および曲げモーメントのことである.

$$M_0 = M_a + M_g + N_c \cdot f_c - N_a \cdot f_a \quad (6)$$

また,  $x, y$  軸方向の基本ベクトル  $\vec{e}_1, \vec{e}_2$  は, 互いに 1 次独立な関係にあるため, 任意の橋梁ベクトルは,  $\vec{a}$

$$\vec{a} = a\vec{e}_1 + b\vec{e}_2 \quad (7)$$

とも表される.

### 2.3 橋梁形式の分布と相関係数

橋梁形式ごとに複数のサンプルを集め, それらをベクトル表示することによって, 座標内における形式ごとの分布状況を把握することができる. つまり, ある特定の橋梁形式に対して,  $n$  橋分のサンプルが得られたとすると, そのベクトル群の平均値は次式のように表される.

$$\begin{aligned} \vec{\bar{a}} &= \sum_{i=1}^n \left( \frac{a_i}{n} \right) \vec{e}_1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{b_i}{n} \right) \vec{e}_2 \\ &= \bar{a}\vec{e}_1 + \bar{b}\vec{e}_2 \end{aligned} \quad (8)$$

ここに,

$\vec{\bar{a}}$ : ベクトル群の平均を表すベクトル

ベクトル群の分布を正規分布と仮定すれば, (8)式で表されるベクトルは, そのベクトル群を代表する最も典型的なベクトルであると考えられる. これ

をそのベクトル群が表す橋梁形式の「代表ベクトル」と呼ぶこととする。

また、ベクトル群の分散や標準偏差は次のようにして求められる。

ベクトル群の分散

$$\left. \begin{aligned} V_x &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 \\ V_y &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ベクトル群の標準偏差

$$\left. \begin{aligned} S_x &= \sqrt{V_x} \\ S_y &= \sqrt{V_y} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

(9)式、(10)式は、その橋梁形式が x、y 方向にどの程度のばらつきを有しているかを表している。

今、ある橋梁形式の代表ベクトル  $\bar{a}$  と、他の橋梁形式の代表ベクトル  $\bar{b}$  が求められたとする。このとき、 $\bar{a}$  と  $\bar{b}$  の相関性は、「 $\bar{a}$  と  $\bar{b}$  の近さ」で表現することができるため、これを、「 $\bar{a}$  と  $\bar{b}$  のなす角度  $\theta$ 」と「 $\bar{a}$  の  $\alpha$  値 ( $\alpha_a$ ) と  $\bar{b}$  の  $\alpha$  値 ( $\alpha_b$ ) の差、( $\alpha_a - \alpha_b$ )」を用いた相関係数 R として次式のように定式化することができる。

$|\bar{a}| \neq 0$  , かつ、  $|\bar{b}| \neq 0$  の場合

$$R = \cos \theta \cdot (1 - |\alpha_a - \alpha_b|)$$

$$= \frac{\bar{a} \cdot \bar{b}}{|\bar{a}| \cdot |\bar{b}|} \cdot (1 - |\alpha_a - \alpha_b|) \quad (11)$$

$\bar{a} = 0$  , または、  $\bar{b} = 0$  の場合

$$R = 1 - |\alpha_a - \alpha_b| \quad (12)$$

上式によれば、相関係数の値によって以下のような関係性を読み取ることができる。

R=1 の場合： $\bar{a}$  と  $\bar{b}$  は同一のベクトルであり、橋梁形式は完全に一致している。

R=-1 の場合： $\bar{a}$  と  $\bar{b}$  は大きさが同じで向きが反対のベクトルであり、構造と形態が完全に対称な橋梁形式である。

R=0 の場合： $\bar{a}$  と  $\bar{b}$  は直交するベクトルか、あるいは、 $\alpha_a$  と  $\alpha_b$  の片方が 1 でもう片方が 0 であることを示し、橋梁形式には全く相関性がない。

R>0 の場合： $\bar{a}$  と  $\bar{b}$  には正の相関があり、橋梁形式は同系である。つまり、構造および形態に対称性は存在しない。

R<0 の場合： $\bar{a}$  と  $\bar{b}$  には負の相関があり、橋梁形式の構造と形態には対称性が存在する。

## 2.4 実橋データによる定量化例

参考文献 2) で用いた実橋データを、以上述べてきた方法によって表す。橋梁形式の相関図を図-7 に、相関係数を表-1 に示す。図-7 のように表示することによって、図-1 では必ずしも明確ではなかった吊橋とアーチ橋における構造と形態の対称性が、より明確なものとなっている。

表-1 橋梁形式の相関係数

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1.0000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	0.0000	1.0000	—	—	—	—	—	—	—	—
C	0.0790	0.0000	1.0000	—	—	—	—	—	—	—
D	0.0230	0.5110	0.4890	1.0000	—	—	—	—	—	—
E	0.0380	0.0000	0.9990	0.4890	1.0000	—	—	—	—	—
F	0.0080	0.1500	0.8480	0.6390	0.8500	1.0000	—	—	—	—
G	0.0390	0.0000	0.9990	0.4890	1.0000	0.8500	1.0000	—	—	—
H	1.0000	0.0000	0.0790	0.0230	0.0380	0.0080	0.0390	1.0000	—	—
I	0.2610	0.7390	-0.0200	-0.0360	-0.0100	-0.0040	-0.0100	0.2610	1.0000	—
J	0.0120	0.0000	-0.9980	-0.4890	-1.0000	-0.8500	-1.0000	0.0120	0.0031	1.0000

A：桁橋，B：トラス，C：ランガー，D：トラスドランガー，E：ローゼ，F：ニールセン，G：アーチ，H：ラーメン，

I：斜張橋，J：吊橋

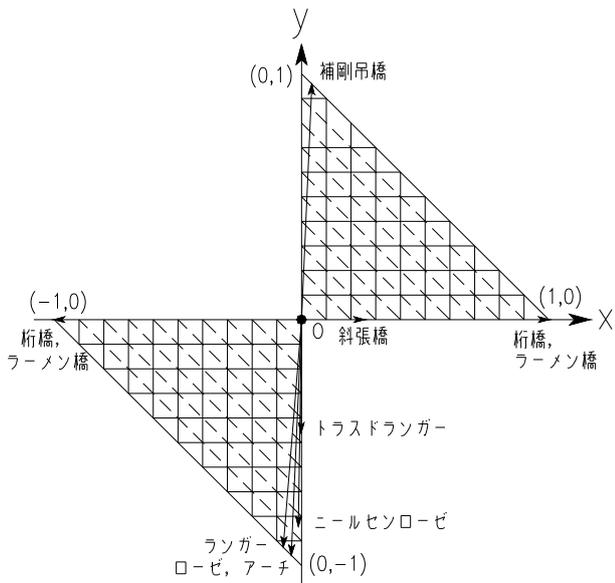


図-7 橋梁形式の相関図

### 3. 水平方向の構造システムの力学的相関性

風や地震などによって、橋梁には水平力が作用する。当然、このような水平力に対しても、橋梁は抵抗可能な構造システムを備えていなければならない。

前章では、橋梁形式（スパンを渡るための構造システム）の力学的相関性について考察したが、水平方向の構造システムについても同様の考え方を適用することができる。つまり、水平方向の構造システムとは、橋梁形式を当該スパンに水平方向に据えたのと本質的には同等であり、力学的相関性を考えるにあたっては、全く同様の考え方を適用することができる。なお、風荷重や地震荷重は分布荷重として作用し、局所的な集中荷重は通常作用しないため、構造システムとしては、

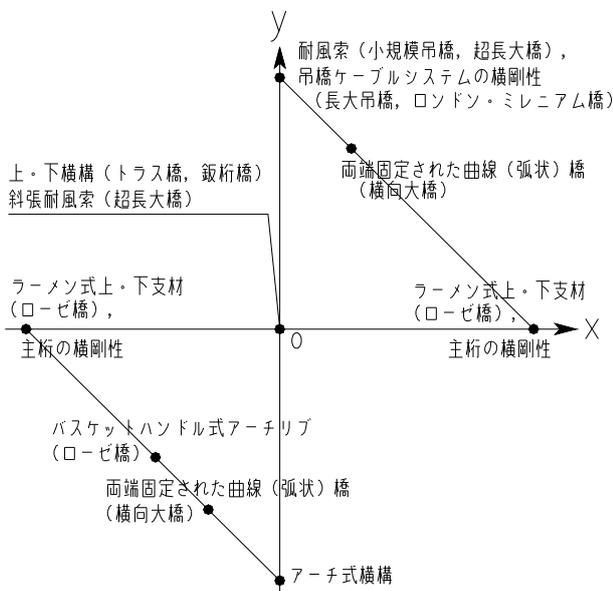


図-8 水平力抵抗システムの力学的相関性

アーチ効果や吊橋のサスペンション効果を利用したものにも高い合理性が備わっている。図-8 に、水平方向の構造システムの力学的相関性を示す。なお、水平方向の構造システムについては、橋梁の詳細な諸元の入手が困難であること、定量化することよりも、互いの位置づけや関係性を把握することに本質的な重要性があることなどから、ここでは前章のような定量化は行わない。

図-8 に示す個々の構造システムの特徴は次のとおりである。

#### (1) 耐風索

小規模の人道用吊橋など、剛性が低く、風による振動や変形が過大となる橋梁に対して、水平方向の変位を抑えるために設置されるケーブルシステム。

しかし、今後の超長大橋の計画案として、耐風索を有する構造も提案されている。図-9 は、COWI Consultant によるジブラルタル海峡の吊橋（5km）の計画案である。耐風索として、吊橋を横にしたようなサスペンション構造が提案されている。

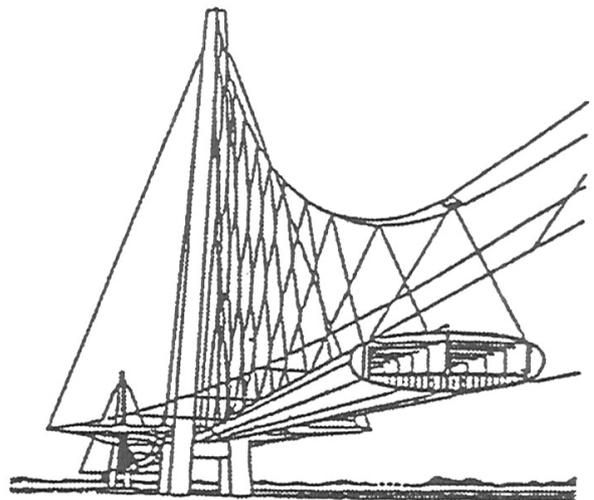


図-9 COWI Consultant の超長大橋梁案<sup>3)</sup>

#### (2) 吊橋ケーブルシステムの横剛性

一般的な長大吊橋では耐風索を設置せず、補剛桁が水平方向に変位しようとする際に主ケーブルとハンガーロープで構成されるケーブル面が傾斜することにより生じる復元力にその効果を期待している。

ロンドンのミレニアム橋（図-10）のように、最初からケーブル面が傾斜している場合には、より大きな効果を生む。



図-10 ミレニアム橋

### (3) 両端固定された曲線（弧状）橋

平面線形が弧状の曲線桁橋において、両桁端の水平変位を拘束した場合、水平力の方向により、アーチ効果またはサスペンション効果を発揮する構造システム（図-11）。

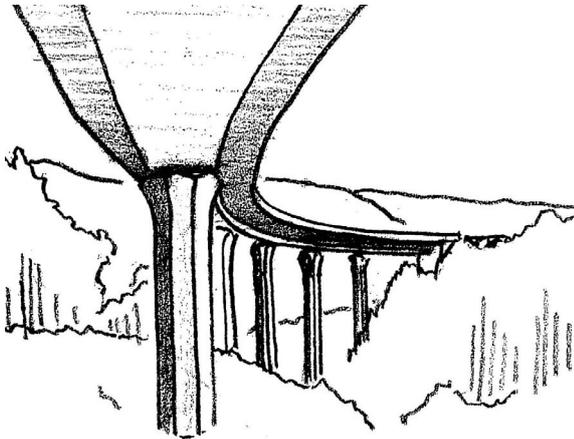


図-11 横向大橋

### (4) ラーメン式上・下支材

アーチリブに曲げ剛性を有する2主構のローゼ橋などにおいて、左右の主構を支材で連結し、水平方向にフィレンディール構造を形成するシステム。上支材、下支材のどちらにも適用可能である。

### (5) 主桁の横剛性

箱桁橋など、主桁に相当な横剛性を備えているシステム。床版が十分な剛性を有している場合、床版にその機能をもたせる場合もある。

### (6) 上・下横構

アーチリブに曲げ剛性をもたない2主構のランガー橋や2主構のトラス橋、あるいは多主I桁橋などにおいて、左右の主構または主桁間をトラスで連結し、水平方向の剛性を高めたシステム。

### (7) 斜張耐風索

通常の耐風索と同様、桁の剛性が低く、風による振動や変形が過大となるような橋梁に対して、水平方向の変位を抑えるために設置されるケーブルシステム。一般的な小規模人道用吊橋では、サスペンション系の耐風索が用いられることが多いため、斜張系の事例は多くはないが、図-12に示すように、Menn および Billingtonにより提案された吊橋と斜張橋の複合形式の計画案では、その耐風索として、斜張システムが用いられている。

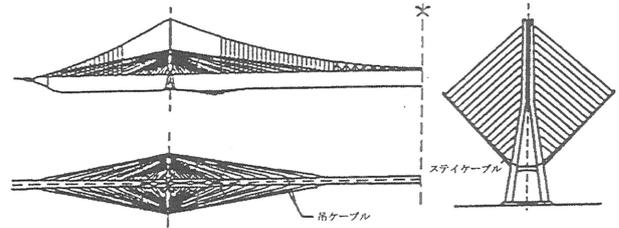


図-12 Menn, Billington の超長大橋梁案<sup>3)</sup>

### (8) バスケットハンドル式アーチリブ

傾斜したアーチリブが、水平力にも抵抗するように設計されたシステム。

### (9) アーチ式横構

横構は通常トラスで構成されるが、これを水平方向のアーチやサスペンション構造で置き換えた構造システム。

## 4. 荷重分配システムの力学的相関性

荷重分配システムとは、複数の主桁をもつ橋梁において、各主桁を剛性の高い横桁等で連結することによって、偏載された活荷重を各主桁に分配するような構造システムである。荷重分配は、集中荷重を複数の桁に分配するのが目的であるため、集中荷重に対して抵抗性能の良くないアーチ系やサスペンション系の構造は、一般に用いられない。図-13に、荷重分配システムの力学的相関性を示す。

図-13に示す個々の構造システムの特徴は次のとおりである。

### (1) 充腹式

ウェブ（腹板）に開孔のない充腹式の横桁。同じ桁高の場合、対傾構タイプよりも剛性が高く、高い荷重分配効果が期待できる。

## (2) トラス式

荷重分配機能をもたせた対傾構。形鋼が使用できることや鋼重を軽減できるというメリットはあるが、荷重分配効果は、一般に充腹タイプの方が優れている。

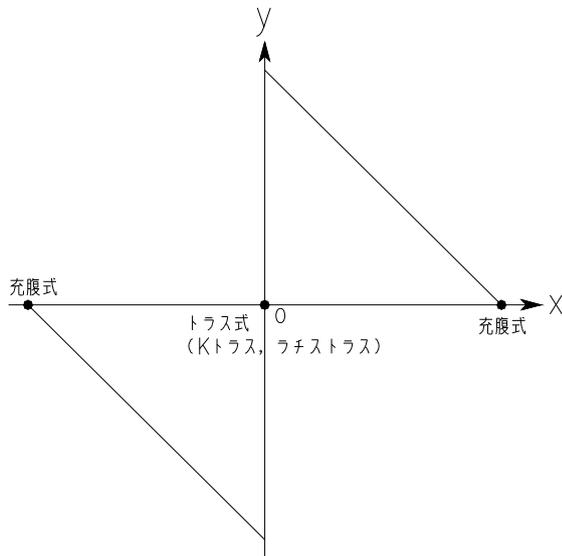


図-13 荷重分配システムの力学的相関性

## 5. 主構への荷重伝達システムの力学的相関性

主構への荷重伝達システムとは、床組と主構が異なる構造部材で構成されている橋梁(縦桁を有する桁橋、トラス橋、アーチ橋、吊橋など)において、床組の荷重を主構や主ケーブル等に伝達するための横桁の構造システムである。横桁は、荷重分配システムとしても機能する部材であるが、同一部材であっても期待する機能が異なるため、別のシステムとして扱うこととし

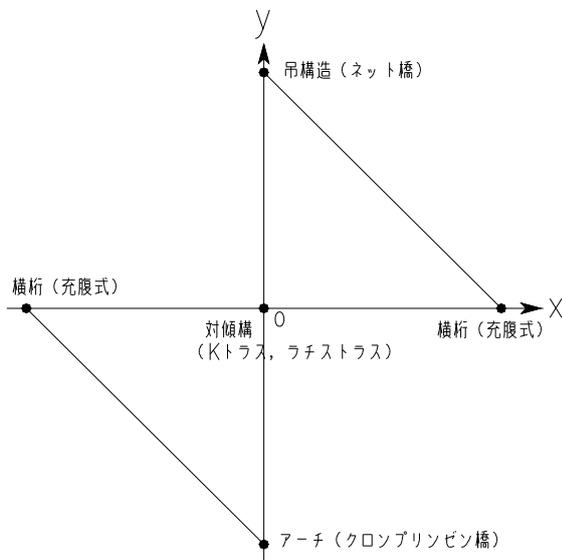


図-14 主構への荷重伝達システムの力学的相関性

た。図-14に、主構への荷重伝達システムの力学的相関性を示す。

図-14に示す個々の構造システムの特徴は次のとおりである。

### (1) 吊構造

一般的な吊橋では、主ケーブルより吊り下げられたハンガーロープに補剛桁が吊られているが、ネット橋の場合、主ケーブルはネットの縁端に位置しており、デッキの荷重は中のネットを介して縁端の主ケーブルに伝達される(図-15)。



図-15 レーヴェントール歩道橋

### (2) 横桁 (充腹式)

床組の荷重を、剛性の高い横桁で受け、その横桁から主構に荷重を伝達するシステム。

### (3) 横桁 (トラス式)

充腹式の横桁部分をトラス構造としたシステム。

### (4) アーチ

横桁に相当する部材をアーチ状の部材に置き換えて、アーチの両端に生じる水平反力を主構で受けるシステム(図-14)。



(a) 橋梁全景

図-14 クロンプリンツェン橋



(b) 桁裏

図-14 クロンプリンツェン橋

## 7. まとめ

本論では、筆者らが提唱してきた「力学的相関性」という概念について、従来の研究では表現されていなかった「定量性を保ちながら、吊橋とアーチ橋の構造と形態における対称性を表現する」手法について新たに考案し、提示したものである。

また、その手法を用いて、「橋梁形式（スパンを渡るための構造システム）」のみならず、「水平方向の構造

システム」、「床組の荷重分配に関する構造システム」、「床組から主構への荷重伝達に関する構造システム」についての力学的相関性についても、事例を交えながら整理、考察を行った。そして、橋梁という立体的構造がもつ力学的相関性のイメージをより明確に表現することを試みた。

本論で示した内容は、橋梁の構造デザインにおける基礎的理論となり得るものであると考えているが、今後の課題としては、これをより実践的な操作手法として展開してゆく必要があると考えている。

## 8. 謝辞

本研究の実施にあたっては、JIP テクノサイエンス株式会社よりご支援を賜りました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 久保田，岸本，中村：橋梁形式の力学的相関性と構造デザイン，構造工学論文集 Vol.50A，2004.3
- 2) 久保田，岸本，中村：橋梁形式の力学的相関性の定量化手法，構造工学論文集 Vol.51A，2005.3
- 3) 土木学会鋼構造委員会，『ケーブル・スペース構造の基礎と応用』，土木学会，1999

(2007年9月18日受付)