

Freedom of form finding

～ローラン・ネイの思考～

Freedom of form finding

～Laurent Ney's way of thinking～

Watanabe Ryuichi
渡邊 竜一*

Mita Daisuke
三田 大介**

はじめに

本稿は、2008年11月12日東京大学工学部にて行われた「ローラン・ネイ講演会“freedom of form finding”」の報告である。なお、この講演会は、ルネ・グレイシュ構造事務所時代からの古い友人である韓亜由美氏の紹介と、藤野陽三教授のお世話により行われたものである。

ローラン・ネイ氏は、日本ではまだほとんど紹介されていないことから、彼の経歴・事務所の紹介からはじめようと思う。彼は、1964年フランス・ティオンヴィルに生まれ、リエージュ大学で土木工学を修める。その後ベルギーの構造エンジニアであるルネ・グレイシュ氏の構造事務所に勤務、1996年ネイ&パートナーズをブリュッセルに設立、建築と土木構造物のエンジニアとして多数のプロジェクトを手がけている。プロジェクトの大半はベルギー・オランダであるが、この数年、ヨーロッパ全域・アフリカ・アジアへとプロジェクトが広がりつつある。事務所は、40名を超すスタッフのチームからなり、エンジニア、建築家、エンジニアアーキテクト、3Dモデラー、ドラフトマンなど多様な顔ぶれで構成されている。国籍も様々、事務所内ではフランス語・オランダ語・英語・ドイツ語が飛び交う多国籍な雰囲気の中多数のプロジェクトが同時進行している。ある時はベルギー国内の小さな歩道橋、またあるときはインドの長大橋の提案など、多様な国々・規模のプロジェクトが進行する刺激的な環境である。また、ネイ&パートナーズという事務所の名前の示すとおり、ローラン・ネイという個人の作家性を保ちながらも、各プロジェクトに関わるスタッフクレジットは尊重される。そのためミーティングでは、スタッフ個人個人もプロジェクトを自分のものとして捉え、真剣に議論に挑める自由な雰囲気を持っている。

ネイ&パートナーズは、橋梁を中心とした構造設計事務所である。提案は実用本位であり、建設可能であることが大前提となる。曖昧な線、単なる彫塑的な“かたち”が、デザインされる構造物の中に現れることはない。すべては構造最適解であり、様々な条件によって決定される幾何学の産物として現れる。しかし最終的なアウトプットとして現れる構造物は、非常にユニークである。

なぜこのようなことが可能となるのか。その答えとなる彼の思考が、本講演会で明らかとなった。講演では、建築的価値、直感的思考、“かたち”、エンジニアには馴染みのない言葉たちがいくつも並ぶこととなった。しかし、彼は

構造エンジニアである。エンジニアとしての力学的・合理的な思考とこれらの言葉は彼の中では密接に結びつき、斬新なアイデアを建設可能な現実的なものとする。構造と意匠、デザイン性とコストといった対立しがちな問題を克服できるのは、こういった思考を持つ構造エンジニアだからである。本稿では、講演会の内容に沿いながら、彼の思考についての解説とプロジェクトを紹介してゆくこととする。

Form finding=“かたち”の選定

Form = “かたち”に関する思考が、ローラン・ネイ氏の特徴である。彼は、「一般的な橋の設計は、橋梁形式の選定から始まり、構造解析により部材寸法を決定し、設計が完了する。そこには“かたち”に関する思考はなく、あるのは形式の選択である。」と話す。橋梁形式は、構造的な観点（スパンからの要請など）、意匠的な観点（周辺景観とのバランスといった意匠性）の両側面から決められるとはいえ、橋梁の“かたち”はすでに与えられた中での選択となる。

構造物にとっての評価基準とはなにか。彼はいくつかの観点を挙げている。

- ・ 力学的成り立ち（静的安定のための仕組み）が明解であること
- ・ 必要最小限でもっとも合理的であるための様々な与条件を統合した中から導かれた最適解であること
- ・ 誰もが直感的に構造原理を理解できるものであること
- ・ 現代の科学技術とエンジニアリングを最大限活用したものであること。すなわち、現代的構造物の在り方の探求の結果であること
- ・ 意匠と構造の首尾一貫性を備えていること
- ・ 構造的な価値（合理性、経済性）だけではないこと

この中で、現代における構造物表現であること、もっとも合理的で最適な解であることという観点に着目する。既存の橋梁形式からの選択で、これらを満たすことができるだろうか。

講演では、次のように語っていた。「予備設計段階においては、法規、機能、力学的要請、意匠性など様々な観点からの与条件が設定される。橋梁設計において、この与条件に、場所性、コンテキスト（関係性）に沿った建築的価値からの観点が含まれるべきだ。与条件の設定には、感覚的なもしくは直感的な要素も含まれる。そして与条件設定後に、これらを満たす最適な“かたち”の探求が始まる。“か

* Ney & Partners sa/nv

** 株式会社 ステューディオ ハン デザイン

キーワード：構造デザイン、構造と意匠、デザイン性と経済性、長大橋、歩道橋

たち”は、構造最適解であると同時に、意匠性、機能性、力学的合理性、経済性などを満たす幾何形状 (geometry) であることから決定される。もはや“かたち”は、橋梁形式の選定からくる所与のものではない。現代の技術、構造解析によって生み出される産物となる。」「Freedom of form finding」講演のタイトルが示すように、エンジニアが設計手法の制約から“かたち”の問題を取り戻す瞬間である。彼は、「エンジニアにとって“かたち”の問題は、構造解析と同様に重要なものである。それは、エンジニアが“かたち”を取り戻すことで、構造体は現代における合理的な最適解であると同時に、建築的価値をもったものとなる可能性が生まれるからである。どの方向を目指すのかという与条件の設定段階では、最終的なアウトプットの可能性は無数に存在する。しかし、一度条件のバランスが決定された後は、構造体の“かたち”は静的に安定な解として限られた地点に統合される」と話す。彼のこの言葉に、構造と意匠、意匠性と経済性という対立しがちな問題を乗り越えるヒントがある。

“かたち”の思考が特徴的に現れた 10 のプロジェクトを講演会で紹介してくれた。ページの都合から本稿では、彼の“かたち”の思考の起点となったキャノピーのプロジェクトと、読者を想定し橋梁のプロジェクトを紹介する。

Canopy Tachkemoni

所在地：Antwerp, Belgium
 用途：小学校校庭のためのキャノピー
 寸法：16m×21m
 発注者：VZW Tachkemoni
 期間：1999-2000 年

天蓋となる膜状シートとそれを支える 2 本の柱からなり、緩やかにそり上がった双曲放物面が美しい。表面が 263m² という大きさながら軽やかであり、開放感ある子供のための遊戯空間をつくっている。(写真-1)

柔らかく光を通す部材として膜構造を採用し、鋼製フレームが膜の引張力を受け持つ。フレームはリング形状をしており、膜の引張力によりフレーム内には圧縮力が生じる。しかし一方で、フレームには自重による曲げモーメントが生じるため、圧縮と曲げによる複雑な力が作用する問題があった。そこでこの曲げモーメントを低減し、膜構造には引張力、フレームには圧縮力のみが作用するという合理的



写真-1 Canopy Tachkemoni

な構造を目指している。曲げモーメント ≈ 0 となるようフレームの配置形状を修正、そして今度はその配置形状に対して再び作用力を修正…この反復プロセスによる非線形の検討を経て、最適な配置形状が決定された。こうして、力学的に実にシンプルかつ美しい“かたち”が見いだされた。

このプロジェクトは、構造デザインにおいて如何に“かたち”が重要であることを示しており、彼にとって“かたち”の思考に至るきっかけとなった。

Temse Bridge

所在地：Temse, Belgium
 構造形式：跳開式斜張橋
 橋長：373m
 発注者：Flemish Community
 発注形式：コンペティション
 期間：2006-2009 年

このコンペでは、最重要項目として経済性が求められた。また、新設橋の架橋箇所には、隣接してエッフェル設計の既設橋が供用されており、その一部は大型船が通過できるよう一葉跳開構造となっている。既設橋と新設橋との間隔はわずか 10m しかなく、並列する既設橋と如何に共存させるかがもう一つの課題であった。

そこで、新設橋のコンセプトを「既設橋との対比」と設定。河積阻害に配慮し既設橋との橋脚位置を合わせる一方、グレーで重量感ある工業的なデザインである既設橋とは反対に、新設橋では白く軽やかなデザインとすることとした。また、軽量の箱桁構造を用いると共に、斜張橋のつり材がピストンとしても機能する、支間 56m の二葉跳開構造を

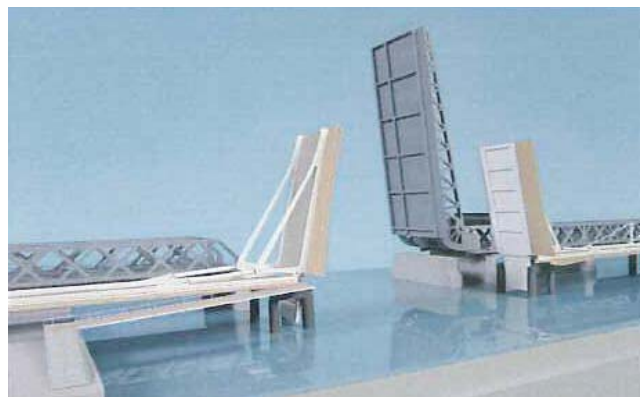


図-1 Temse Bridge (模型)



図-2 Oosterweel Connection (フォトモンタージュ)

取り入れることで、合理的な経済性を実現。「既存橋との対比」というコンセプトと同時に経済性を成立させた。(図-1)

この跳開構造を有しながら、橋梁全体としては軽快でリズムカルな連続斜張橋は、経済性と意匠性が相反しないことを証明していると言えよう。2009年予定の完成が大変楽しみである。

Oosterweel Connection

所在地：Antwerp, Belgium

橋梁形式：斜張橋

橋長：1,200m

発注者：Beheersmaatschappij Antwerpen

発注形式：コンペティション

期間：2005 -2013年

アントワープ北部では現在大規模な環状線の建設が進行中である。そのうち湾岸エリアに本橋は架けられる。元々進められていた当初設計案では、港湾エリアを曲線状に走る道路線形に対して、5基の塔からなる連続斜張橋が計画されていた。塔の形状は2本1対の直立型、日本でもよく見られるようなタイプである。この $5 \times 2 = 10$ 本の塔が立ち並ぶごく一般的な斜張橋の計画に対し、彼は力学的合理性と意匠的観点に立ち戻り、改めて“かたち”に関する思考を進めた。

対象の道路線形には2つのカーブ区間が含まれている。そこで、桁の重心はカーブの内側に位置することに着目、カーブ内側にある塔が1つのカーブ区間を支持するという形式とした。当初設計案では10本あった塔をカーブ内側の2本に集約し傾斜させるとともに、塔頂部をリング状とし、塔に曲げモーメントが全く作用せず、且つケーブルの

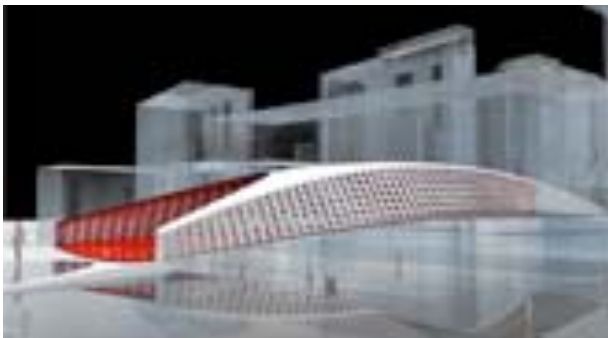


図-3 Bridge Spoor Noord (CG)

引張力を最小限とする合理的な構造を実現した。それによって、部材量を抑え経済的となっただけでなく、連なるケーブルが繊細に交差する非常に美しい橋が生まれた。(図-2) ベルギー最大級の長大橋(最大支間長 600m)となる本橋は2010年に着工が予定されている。

Bridge Spoor Noord

所在地：Antwerp, Belgium

橋梁形式：歩道橋

橋長：70m

発注者：Antwerp 市

発注形式：コンペティション

期間：2007-2009年

アントワープは古くはダイヤモンドと鉄鋼、最近では世界を代表するファッションの街である。架橋地はブティックが建ち並ぶ目抜き通りの先にあるアントワープの新しい駅前にある。高層ビルの建設に伴い、道路を隔てた旧来の建築物との間をつなぐ歩道橋として本橋は提案された。筒状の構造体が新旧の建築物の間にそっと横たわり、軽やかにアントワープ市街の周辺環境にとけ込む。(図-3) この歩道橋の“かたち”は次のような思考の過程から生み出された。

桁を支持する力として一般にまず思い浮かべられるのは、鉛直成分のみからなる力であろう。しかし彼は別の可能性として、桁を1枚の布のように両端で引張力により支持するような形式を仮定。この形式をとることで発生する水平引張力の補完として、桁の上部をアーチのような圧縮部材と一体化させ、桁の水平引張力を相殺させる、チューブ状の構造を採用した。(図-4)そして、構造と意匠を一体で検討する最適化へのスタディにより、最小限の鋼材からなるシンプルかつユニークな“かたち”が生まれた。タイドアーチに近い力学的成り立ちではあるが、いわゆる橋梁形式の選定から始まる一般的な設計プロセスからはまず生まれ得ない“かたち”と言えよう。

また、構造部材や手すり部材の区別なく、全ての部材が一体となって歩道橋のテクスチャーを構成している点は非常に興味深い。テクスチャーのデザインは、アントワープという場所性を考慮し、より洗練されたものへとスタディが現在進行中とのことである。

こうして生み出された歩道橋の“かたち”は、構造から装飾性までの統合と言えよう。つまり、すべてが構造要素であり、意匠なのである。

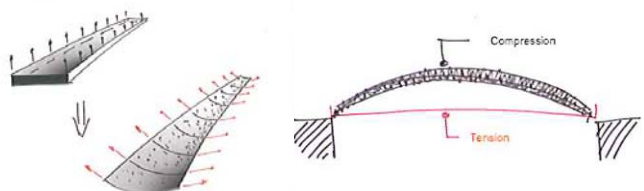


図-4 断面方向と橋軸方向の力学的成り立ち (スケッチ)



写真-2 College Bridge Kortrijk

College Bridge Kortrijk

所在地：Kortrijk, Belgium
 橋梁形式：吊橋歩道橋
 橋長：210m
 発注者：Flemish Community
 発注形式：コンペティション
 期間：2002-2008年

本橋では、運河という立地上の制約により、水面から桁下までの空間高として7m以上が要求された。しかし、歩道橋に許される縦断勾配は最大5%。この空間高を確保するには、長いアプローチ区間が必要とされた。

この橋の設計において、彼らは橋梁形式の選定から始める一般的なやり方とは異なり、まず構造物の“かたち”を見いだす上での基本となる境界条件を決定した。ここで言う境界条件とは、支持方法など単なる物理上の境界条件だけでなく、場所性や意匠性などから導かれる境界条件も含み、その全てを満たす“かたち”の可能性を探っていった。その際、経験に基づいた直観と力学的な思考は平行に進められ、模型によるスタディや構造解析を経て、“かたち”が決められていった。

このようなプロセスから、傾斜する2本の塔がS字に延びる桁をダイナミックに支える美しい斜張橋がデザインされた。長いアプローチ区間という難しい要件が巧みに昇華され、通行者のシークエンスを活かす機能から生み出された“かたち”である。(写真-2)本橋はこの講演直後の2008年末に完成。多くの人に愛される橋となることであろう。



写真-3 Footbridge Knokke-Heist



Footbridge Knokke-Heist

所在地：Knokke, Belgium
 橋梁形式：歩道橋
 橋長：102m
 発注者：Flemisch Community
 発注形式：コンペティション
 期間：2004-2008年

ベルギーの海辺の街 Knokke Heist への来街者を迎えられるシンボルとして、本橋は計画された。横断ルートや道路との位置関係などの諸条件を解いていく過程から、3径間が1:1.64:1という、黄金比に近い理想的な支間割りが可能となった。(図-5)カーブする路面に沿って波打つ白いプレートが美しいその姿は、あたかもコンクリート床版をやさしく包み込んだ“ハンモック”のようである(写真-3)。

この非常にユニークで美しい形は、3径間連続桁に発生する曲げモーメント分布から発想された。力学的に不要な支点部側面の部材部分には、大きな開口を設けることとした。ラフスケッチによる大まかな“かたち”を決めた後、構造計算により最適化がなされ、必要最小限の部材からなる最終形が決定された。

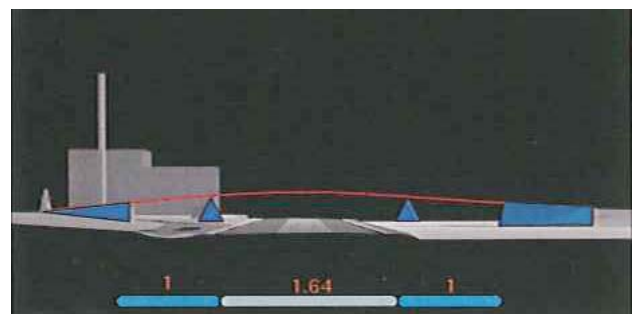


図-5 Footbridge Knokke-Heist の支間割

桁は曲げ加工された厚さ12mmの溶接鋼板1枚から構成される。(図-6)彼はプロジェクトを振り返り次のように述べていた。「これは我々にとって重要なプロジェクトとなった。なぜなら、1枚の鋼

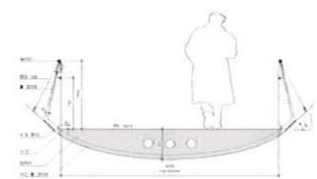


図-6 橋梁断面図

板からなる必要最小限の部材で橋を構成できることを証明したからだ。」この橋は、構造的・経済的合理性と建築的価値の統合から生まれたまさに現代を象徴する構造体と言えよう。

おわりに

紹介されたプロジェクトは、建築家との協働によるものも含まれており、意匠から構造までネイ&パートナーズ単独のものも半分ほどである。しかし、近年の主要プロジェクトのアントワープ環状線のプロジェクトでは、プロジェクトの主要メンバーとして橋梁から料金所に至るまであらゆる構造体の意匠と構造に関わり、事務所単独のFootbridge Knokke-Heist, Bridge Spoor Noord という2つのエポックメイキングな歩道橋は、現代において意匠と構造が統合される新しいアプローチを示しているのを見ると、従来の構造事務所の範疇を超え、いままさに新しい地平に向かおうとしているように思える。アントワープ環状線の斜張橋は、曲線橋の重心が円弧内部に存在するという力学特性と、最小限の主塔で橋梁を実現するということからユニークな形状が生まれ、力学的思考を伴った“かたち”の探求がこの結果を生んでいる。また2つの歩道橋の“かたち”は、構造的な説明のみでは言及しつくせない形状をしており、経験にもとづいた独自の直感的思考に起因する要素が垣間見られる。彼自身もFootbridge Knokke-Heist は、Canopy Tachkemoni に始まった“かたち”の思考のひとつの重要な節目として捉えている。彼の“かたち”の思考に触れて頭に思い浮かぶのは、ピーター・スティーヴンスの著書「自然のパターン」(白揚社)の中の次のような言葉である。

—自然的世界に見られるパターンとフォルムは、思いのほか限られているもので、自然が創造する豊かなバラエティも、形態上の、ほんの少数の主題の営みや仕立て直しから生ずることが、明らかとなっている。自然のそのような制約が、自然的世界に調和と美をもたらしているのである。

—自然のあらゆる制約条件のなかで、とりわけもっともきついのは空間によって科せられるものである。というのは、空間自体が、存在するすべての形状に影響を与える構造をもつからである。(中略)それは事物に具体的な要求をなす、ひとつの構造を持っているのである。すべてのフォルム、すべてのパターン、すべての存在物が存在を許されるのは、空間の構造的指令に違背しないことによってなのである。

重力のある世界を前提にする以上、空間によって科せられる制約からは逃れられない。彼が、“かたち”の思考をエンジニアの手に取り戻そうとするのは、このことを十二分に理解しているからである。自然世界であらゆるフォルムやパターンの多様性が、ほんの少しの自然の営みの制約から生み出されるように、彼の構造体の“かたち”も、人間の営みを前提とした制約が決定した後には、自然的世界の空間的制約(構造の静的安定)に則って生み出される。構造体は人の営みの環境を創り出すという点を考えれば、前提条件の設定には、文化・歴史的な文脈や場所性から生まれる建築的価値といった直感的思考も重要なのである。

“Telling more” than only structure. その言葉で彼が表現しているのはこのことである。景観デザインと構造デザインといったように、分裂しがちな「デザイン」という言葉は、“かたち”の思考を取り戻したエンジニアにとっては、対立せずひとつのものとなる。“かたち”の思考によって切り開かれる新しい地平は、構造エンジニアはもちろん、構造物に関わる建築家、デザイナーにとっても刺激的な現代における意匠と構造の問題を乗り越える可能性のひとつとなるのではないだろうか。

読者の中には、従来感覚からすると一見して経済的に有利とは見えないこれらのプロジェクトがいかに実現できたか、興味を持たれる方も多であろう。そのヒントは、発注者の求める条件(意匠、構造、経済性や建築限界などの様々な制約条件でそれぞれのプロジェクトで様々)に対する、非常に的確で論理的なプレゼンテーションにある。構造の知識と材料、架設方法を熟知した上で、創出される建築的価値。そして、デザイン性と経済性という相反しがちな要素を発注者が求めるバランスで解くこと、時にはその想像を超えるアウトプットで満足を与えるからこそ、こういったプロジェクトが可能となる。彼は日頃よくこう話す。「ヨーロッパであれ日本であれ、前提となる条件、発注者の要求が異なるだけで、それに対する最適な提案をあらゆる側面からアプローチし、すべてを統合する解を見つけ出すことがデザインである。」筆者自身が仕事を共にして「とにかく1から考えてみよう」という姿勢を常に感じる。ひとつひとつ丁寧にコンテキスト(関係性)を読み、条件を解いていく。そして時に直感的でジャンプする。前提条件は踏まえつつも、既存の解答に頼るのではなく、毎回新しく考える。良い発注者に会ったからではなく、この姿勢によって、Ney & Partnersのユニークな仕事は生み出されるのではないだろうか。

土木関係者のみならず、学生、建築・デザインなど他分野の方々も熱心に講演に耳を傾け、講演後の感想として、「専門性の高い内容であるにも関わらず、アニメーションやグラフィックによって構造の思考を視覚的にわかりやすく表現したプレゼンテーションであった」「元気のない土木業界によい刺激となった」「デザインという意味を考えさせられた」などの声が聞かれた。

限られた紙面のため小さな写真と図でしかプロジェクトを紹介できなかったが、Ney & PartnersのHP(www.ney.be/)で詳しく紹介されているので、ぜひご覧いただきたい。



写真-4 講演会の後、Ney氏を囲んで