

どんな計算を始めるよりも以前に、そしてどんな計算よりも重要なところに、 着想があります。 その着想は材料を抵抗力のあるひとつの形にかたどり、 機能を達成せしめるに足りるものでなければなりません。

この本はその着想のために書かれたものであります。

エドゥアルド・トロハ 『現代の構造設計』より 1957年



## FUNDACIÓN EDUARDO TORROJA

Editor and designer: Pepa Cassinello

Drawing: 'Una idea en Movimiento', Carmen Pinart

Museum logotype: 'Curva en equilibrio', Cira Ascanio Esma

Museum drawings: Enrique Ramírez

Spanish-Japanese translation: Yoshihiko Ito

Layout: Paula Giner (coordinator), David Mencias and Enrique Ramírez

© texts: the authors

© illustrations: files of CEDEX, Eduardo Torroja Institute and the authors

ISBN: 978-84-941820-9-9

Deposit record No.: M-7717-2019

Printed by: DAYTON S.A. 2019 Madrid. Spain





カルメン・ピナート 《運動のなかの思考》 2016年

# 目 次

はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
エドゥアルド・トロハ記念館プロジェクト	9
立地と活動内容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11 12 14
エリア - S1  エドゥアルド・トロハ略歴 サンクティ・ペトリ橋の基礎 大学都市 キンセ・オホス高架橋 アイレ高架橋 ラ・サルスエラ競馬場 ラ・サルスエラ競馬場の修復	15 17 20 22 24 26 28 32
エリア - S2 ··································	35 36 38 41 44 48 50 52 54 57 60

	フェダーラの給水塔 カネリャス・ダム
エリア - S3	
	エドゥアルド・トロハ研究所
	トロハ研究所の特徴的な建造物群
	IASSシェルと空間構造に関する国際会議
	《コスティーリャ・ラミナール》 コンクリートと鋼鉄の記念碑

ゥアルド・トロハの多岐に渡る活動を記録した さまざまな現存資料を保管・調査・研究し、その人物 像や業績について発信することです。現在、当財団 の本部が置かれているのが、トロハ自身がC・アルニ チェスとM・ドミンゲスというふたりの建築家とともに 設計し、20世紀前半の構造技術史上における傑作 として国際的にも名高い《ラ・サルスエラ競馬場》で す。この立地を生かすためにも、当財団はその設立 時より、専門家や研究者のために、またトロハに関 心のある一般の市民に向け、財団が保管する資料 や、これまで行ってきた調査研究の成果のうち、とく に重要な部分を展示するための適切なスペースを 設けること、つまり、エドゥアルド・トロハの名を冠した ミュージアムを設立することに並々ならぬ関心を抱 いてきました。

そして今日、多くの組織や企業による尽力と援助によって、そのミュージアムは現実のものとなりました。まず、なんといってもラ・サルスエラ競馬場運営会社に感謝いたします。同社の代表取締役であるファイナ・スリータ氏は、本プロジェクトの進行に伴って次々に現れる困難に立ち向かってくださいました。今日トロハ記念館がこうして実現したのは、スリータ氏の努力と信頼があってのことです。また、スペイン政府振興省の建築総局および公共工事研究試験センター(CEDEX)、ACS財団、ラファエル・デル・ピノ財団からも多くの支援をいただきました。マドリッドエ科学の建築学部および土木工学部、またスペイン高等科学研究院(CSIC)のエドゥアルド・トロハ建設科学研究所、フアネーロ・トゥリアーノ財団の支援にも感謝いたします。

トロハ記念館は、エドゥアルド・トロハのきわめて 多様な活動のうちでも、とくに重要な部分に関する 資料を有しています。トロハはまず、総合建設会社 で建設技術者として働き始めました。そのわずか数年後、彼は自身の構造設計事務所を設立します。トロハ事務所による構造設計は、1936年にはすでに国際的にきわめて高い評価を得ていました。トロハは研究にも注力しました。1934年から始まったトロハの研究活動を継承するのが、現在のエドゥアルド・トロハ建設科学研究所です。また、教育にも熱心だったトロハは、土木技術士特別養成学校(現マドリッド工科大学土木工学部)で2年生から4年生まで3つの学年の授業を受け持ちました。

トロハ記念館では、エドゥアルド・トロハが遺した作品のなかでもとくに優れたものを、写真、資料、模型を用いて紹介しています。作品の選定にあたっては、トロハ自身の自著 Las Estructuras de Eduardo Torroja、1958年[日本語版:『エドゥアルド・トロハの構造デザイン』 川口衛監修・解説、相模書房、2002年]と同じ基準を用いました。これは、来場者に対して、トロハが自著に示した以下のメッセージを伝えるためです。

ここに収められたのは私の作品のごく一部であるが、これらの作品は、私が求めていたもの、私が 最終的に達成した事柄を、最もよく例証している と思われる。

> エドゥアルド・トロハ 1958年

このミュージアムが、彼自身の著書と同じように、トロハの作品、トロハの考え方を皆さまに伝え、トロハの遺産がいきいきと継承される一助となりますことを、願ってやみません。

エドゥアルド・トロハ財団会長 ホセ・アントニオ・トロハ・カバニリャス



#### FUNDACION EDUARDO TORROJA

#### 協力団体

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP)

Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España (CSCAE)

Confederación Nacional de la Construcción (CNC)

Agrupación de Fabricantes de Cemento de España (OFICEMEN)

Asociación Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP)

Asociación de Miembros del Instituto Eduardo Torroja (AMIET)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc)

Fundación Caja Caminos



# エドゥアルド・トロハ記念館プロジェクト

ペパ・カシネーリョ キュレーター エドゥアルド・トロハ財団理事長



## 館長

ペパ・カシネーリョ 建築家、エドゥアルド・トロハ財団理事

### 顧問

ホセ・アントニオ・トロハエドゥアルド・トロハ財団会長

ラファエル・フェルナンデス・サンチェス エドゥアルド・トロハ財団事務局長

> ホセ・カラベーラ INTEMAC名誉会長

ラ・サルスエラ競馬場修復 および記念館エリアの整備 フンケーラ建築設計事務所

## 立地と活動内容

工 ドゥアルド・トロハ記念館は、マドリッドの《ラ・サルスエラ競馬場》北観覧席の下に設けられている。《ラ・サルスエラ競馬場》は、エドゥアルド・トロハの代表作のひとつであり、シェル構造の国際的な発展の節目となった近代建築史上の金字塔として知られている。すなわち、記念館の器も中身も、エドゥアルド・トロハという同じ作者がかかわった作品ということになり、絶好の立地が実現したと言えるだろう。



図1 《ラ・サルスエラ競馬場》マドリッド、1941年

トロハ記念館は、エドゥアルド・トロハが遺した代表的な作品を展示する大きなスペース以外に、現代スペインの建築・エンジニアリング作品や、未来を予見する革新的な最先端プロジェクトを紹介する企画展示スペースも備えている。また、1941年に開場し、2016年に75周年を迎えた《ラ・サルスエラ競馬場》での競馬の歴史を紹介するスペースも設置されている。こうした仕掛けにより、トロハ記念館の活性化が促され、ラ・サルスエラ競馬場で行われる他のさまざまな活動との相乗効果を生み出すことが見込まれる。

一方、今日、ラ・サルスエラ競馬場では多くの催しが行われており、それらの催しに参加している人びともき わめて多様である。トロハ記念館の設立は、建築や構造技術の専門家、あるいは競馬関係者や馬術愛好家だ けでなく、そういった来館者が連れてくる若者や子どもたちの関心を呼ぶことも意図されている。

記念館には展示内容を紹介したビデオを上映する小さなスペースが設けられている。上映内容は、1. エドゥアルド・トロハ、2. 変転し続ける最先端: 建築とエンジニアリングのイノベーション、3. 競馬の世界という大きく3

つのテーマで構成される。このように相互に関係をもつ複数の展示内容を包含させることで、当記念館は、多元的で変化し続ける現代社会におけるミュージアムのひとつのモデルケースとなることをめざした。

## 空間構成と展示スタイル

**ご**念館の建築空間はシンプルな直線で構成されており、見学の順路も必然的に直線的なものとなる。この 点を生かし、当館に期待されているさまざまな機能を連続的につなぐことが可能となった。ミュージアムを 単一の空間と捉えながら、その複数の機能を空間的に区別するため、分割された各エリアがいずれも開かれた形となるように計画がなされた。 横断方向に配置されたパネルが、細長いかたちの記念館の奥行き方向の 視線を部分的に遮断することで、来訪者は各エリアの特定のテーマに集中することができる。

トロハ記念館の空間は奥行き55m、幅5.50m、高さ2.80mの大きな直方体でできており、天井と入口に立つ壁は黒色、床と柱廊状になっている奥行き方向の壁は灰色で仕上げられている。記念館見学の順路に合わせて、用途や展示内容の異なる複数のエリアをつくり出す2.20m高の横断方向のパネルには、トロハ作品と同時代の近代建築運動で用いられた色彩、すなわち赤、灰、黄、青、黒が用いられる。こうして、幾何学と色彩とが相まって、モンドリアンの著名な絵画を彷彿とさせる展示空間がつくり出される。同様の美意識は、エドゥアルド・トロハ作品の模型の台座や、館内のあちこちに配置されたさまざまな色と大きさの布製立方体クッション(大人や子どもの来訪者に座ってもらうことを意図したもの)にも適用されている。



図2 入口側から見た 展示空間の構成

記念館の順路はエドゥアルド・トロハ作品に関する常設展示スペースからスタートする。この展示は\$1、\$2、\$3 という視覚的に連続する3つのエリアで分割される。続いて企画展示スペースS4があり、エドゥアルド・トロハの 作品に関する常設展示と、そのあとに続く競馬の歴史について展示したS5とをつなぐ蝶つがいの役割を果た す。最後のS6エリアは、ビデオ上映スペースとなっている。



図3 記念館の平面図



展示空間の構成

## 展示内容

常設展「エドゥアルド・トロハ」

**エ**ドゥアルド・トロハの多岐にわたる多大な功績は、記念館のかぎられた建築空間にはとても収まらない。 一方、仮に収まったとしても、すでにトロハが残した図面、文章、エッセイなどの資料の大半は、CEDEXの エドゥアルド・トロハ建設科学研究所(CSIC-IETcc)によってデジタル化されて公開されているので、膨大な資 料全体を展示することにもそれほど意味はない。

本記念館の存在意義は、エドゥアルド・トロハによって実現された、建築・土木を問わず建設の世界の進歩 に対する最も重要な貢献について、簡潔かつ明快に伝える常設展示スペースを付与することである。とくに、専 門家や学生に向けて、トロハが国境を越え、時代を超えた存在として高く評価される要因となった、トロハが述 べるところの「原理「razón」」を示すことが重要視された。

トロハの原理を、イメージによる視覚情報と簡潔な文に凝縮し、来訪者の視線をそこに集中させる。これこそ が展示計画の主旨であった。それを達成するため、竣工した作品、調査研究、出版物から、展示すべきものが 厳選されたのだが、その大半はすでにエドゥアルド・トロハ自身によって、彼の有名な自著Razón y ser de los tipos estructurales, 1957年 [日本語版:『現代の構造設計』 相模書房、1960年] とThe Structures of Eduardo Torroja (ま ず1958年にニューヨークで英語版が出版され、1999年にスペイン語版が刊行された「日本語版:『エドゥアル ド・トロハの構造デザイン』は2002年に刊行])において取り上げられたものである。それぞれのイメージの解 説文も、同じくエドゥアルド・トロハの著作からピックアップした。つまり、トロハ自身が来訪者に対し自作を説明し ていることになるわけである。

ここに収められたのは私の作品のごく一部であるが、これらの作品は私が求めていたもの、私が最終的に 達成した事柄を、最もよく例証していると思われる エドゥアルド・トロハ

1958年

選定された作品はS1、S2、S3と名付けられた連続する3つのエリアにおいて展示される。展示の順序は基本 的に年代、構造形式、用途によって決められているが、場合によっては時間と空間を飛び越えて、強調すべき 重要作品の展示に特別な演出を施すことがある。《ラ・サルスエラ競馬場》に最も大きな展示スペースが割か れているのはそのためである。

#### エリア-S1

来館者が最初に目にすることになるのは、入口正面に設置されたエドゥアルド・トロハの巨大なポートレートである。この写真はミュージアムの一辺を構成する55m長の黒い壁の高さを超えて突出する唯一の要素である。

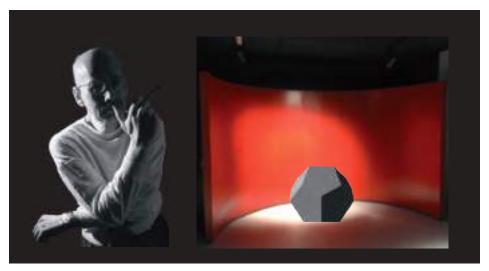


図5 入口に設置されたエドゥアルド・トロハの写真、 エントランスの曲面壁と十二面体オブジェ

この最初の空間においては、また、入口の右側に置かれた大きな幾何学的立体の存在も際立っている。これはエドゥアルド・トロハが自身の作品を定義する際に用いた純粋幾何学形態の重要性と多様性を表しているものである。赤く塗られた曲面の巨大な壁は、円筒形の一部分である。その前に置かれているのが、エドゥアルド・トロハが建設・セメント技術研究所の敷地内に建設した高さ8mの石炭サイロ(1949-1953年)で用いた純粋幾

何学形態の十二面体で、ここでは1m高の白い幾何学形として再現されている。巨大な彫刻のようなこの作品は、スペイン高等科学研究院の管轄下に入って名称を「エドゥアルド・トロハ建設科学研究所」に変更した同研究所のシンボルのひとつとなっており、エドゥアルド・トロハ財団のシンボルマークにも用いられている。

てのエリアはエドゥアルド・トロハの人物像を、その来歴や代表作品によって紹介することを目的としている。 初期作品の一部も展示されており、なかでもトロハが国際的名声を獲得する契機となった出世作であり、トロハ記念館自体の建築でもあるラ・サルスエラ競馬場に関する展示がその目玉である。

#### 展示テーマと作品

- エドゥアルド・トロハ(1899-1961年)略歴の紹介と、生涯を通じて授与された メダルや表彰状が収められたショーケースの展示
- 1923-1927年 イドロシビル社での初期作品:《サンクティ・ペトリ橋》の基礎
- 1930-1935年 大学都市: 《キンセ・オホス高架橋》、《アイレ高架橋》など
- -1934年 《ラ・サルスエラ競馬場》/2004年 修復(フンケーラ建築設計事務所、ACS)





図6 エドゥアルド・トロハ(左)と トロハ家の紋章

## エドゥアルド・トロハ略歴

エドゥアルド・トロハ・ミレット(1899-1961年)は近代土木建築技術発展史上の黄金期に国際的第一人者としての名声を獲得した人物である。20世紀前半における鉄筋コンクリートとプレストレスト・コンクリートの急速な発展の道を切り開いた科学技術革命の主役のひとりであった。さらに、建設業や構造形式の発展に寄与し、近代という新時代に呼応した新しい美学の形成にも大きな役割を果たした。トロハの国際的名声は、彼が手がけた革新的な実作だけによるのではなく、設計者・科学者・研究者・管理者・教育者といった多角的な専門的活動の賜である。

トロハは1899年8月27日マドリッドに生まれた。1923年にマドリッドの国立高等土木技術大学校を卒業後、1927年までホセ・エウヘニオ・リベーラ率いるイドロシビル社に勤務。トロハが鉄筋コンクリート技術革新の最初の一歩を踏み出したのは、同社においてであった。

1927年 自身の設計事務所を設立。マドリッド大学都市の技術局に設計技師として参加。

1930年 ICON建設研究所を設立。同社はトロハの指揮の下、構造的特性の分析手法としての模型を用いた実験に特化した企業であった。シェルの構造解析手法がいまだ確立されていない時期に、大規模なシェル構造による作品をトロハが世に問うことができたのは、このICON社での実験のおかげである。この時期に制作されたものとして、アルヘシラスの屋内市場やフロントン・レコレトス球技場の屋根模型が有名である。いずれの模型も1/10縮尺で、粗骨材も縮尺に合わせて小さくしたマイクロ・コンクリート製であった。

1934年 少人数のエンジニアと建築家とともに建設・建築技術研究所(ITCE)を設立。他のメンバーはホセ・マリア・アギーレ・ゴンサーロ、アルフォンソ・ペニャ・ブフ、モデスト・ロペス・オテーロ、マヌエル・サンチェス・アルカス、ガスパール・ブレイン・サラゴサ、ホセ・アンヘル・ペトリレーナ。ITCEは、スペイン国内で初めて民間主導で「自発的に」設立された建設工学関連の研究教育機関であった。のちの1939年に、設立されたばかりのスペイン高等科学研究院(CSIC)の機関のひとつとなった。

1939年 「構造解析」科目の担当教授に任命される。これ以降、没年までの長きにわたり大学教育に携わることとなる。担当した科目は「材料耐性と弾性」「コンクリート構造設計施工基礎」「構造解析」「構造形式」であった。

1941年 建設材料試験中央研究所(LCEM)の所長に任命される。

1944年 王立精密科学・物理学・自然科学アカデミー会員となる。

1945年 設立されたばかりの国際材料構造試験研究機関・専門家連合(RILEM)の会長に任命される。また欧州コンクリート委員会(CEB)の創設に積極的に関与した。欧州との名称にもかかわらずアメリカとロシアも参加した同委員会は、ヨーロッパにおける鉄筋コンクリート構造の技術規則の整備に決定的な影響を与えた。国際プレストレスト・コンクリート連盟(FIP)のメンバーとしても活動し、1958年には創立者のフレシネに替わり会長に就任した。以後、鉄筋コンクリートとプレストレスト・コンクリートに関する規則の統一を目的とした、FIPとCEB双方のメンバーで構成される混合委員会の設立に尽力した。

1957年 主著 Razón y Ser de los tipos estructurales [構造形式の原理とあり方]を出版。同書はのちに英語、ドイツ語、イタリア語、日本語などに翻訳された。

1959年 シェルと空間構造に関する国際会議(IASS)を共同設立、初代会長となる。アメリカで The Structures of Eduardo Torroja を出版。

1961年 6月15日、現在トロハの名前が冠された建設技術研究所の自身のオフィスで没する。死期が近いことを感じとっていたようで、協力者たちへの親愛の情に満ちた手紙が遺されていた。

エドゥアルド・トロハの輝かしい業績は、さまざまな称号や賞というかたちでも認められている。スイス連邦工科大学チューリヒ校、トゥールーズ大学、ブエノスアイレス大学、ルーヴェン大学、チリ・カトリック大学より名誉博士号を授与され、バルセロナ王立アカデミーおよびコルドバ王立アカデミーの客員会員であった。アルフォンソ10世騎士大十字勲章および市民功労騎士第十字勲章を授与され、没後にはトロハ侯爵の称号が与えられた。

キュレーター ペパ・カシネーリョ





図7 市民功労賞メダル

## サンクティ・ペトリ橋の基礎

橋梁設計:エドゥアルド・トロハ、ホセ・エウヘニオ・リベーラ・ドゥタステ

施工:イドロシビル社

所在地:カディス県サンクティ・ペトリ(スペイン)

建設年:1926年 橋の長さ:144m

基礎部の構造形状:回転双曲面

上部直径:7.00m/下部直径:7.60m 高さ:8.90m

<u></u>
「・ゥアルド・トロハの最初期作品。サンクティ・ペトリ橋基礎部のための圧縮空気の入ったケーソンである。

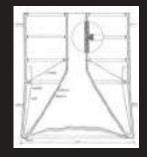
エドゥアルド・トロハは、こうした基礎部に慣習的に用いられてきた構造形状を捨て、二重の曲面で構成された軽量のシェル構造を採用した。これにより、構造性能、施工性能、労働者の安全、費用などの面が大きく改善した。鉄筋を挟んだ薄版レンガ造の二重壁による回転双曲面形状をしたシェルのケーソンの厚みはわずか7cmであった。

喫水の浅い軽量構造物とするために、回転双曲面の形状をした二重壁の構造が選定された。この形状には、明らかな長所がある。外壁の直径が下部でわずかに大きくなっているために、ケーソンを沈設するときに生じる摩擦が少なくてすむ。また、内壁の形状は、ケーソンが泥土地盤中に急激に沈むのを防止する役割を果し、その結果、地盤と天井の間の作業空間の有効高さが低くなりすぎる危険を防ぐ。従来型の水平天井をもつケーソンは、この問題に遭遇することがある。

薄肉の円形断面は、水圧に耐えるためにもっとも適切なものである。

エドゥアルド・トロハ 1958年 《サンクティ・ペトリ橋の基礎》 カディス県、1926年

建設時の様子





断面図



## 大学都市

1 927年、ホセ・エウヘニオ・リベーラの推薦を受け、トロハはマドリッド大学都市の建設プロジェクトのため に立ち上げられた技術局にエンジニアとして招き入れられた。モデスト・ロペス・オテーロを局長とするこの技術局において、トロハはアグスティン・アギーレ、パスクアル・ブラーボ、ミゲル・デ・ロス・サントス、マヌエル・サンチェス・アルカス、ルイス・ラカーサといった建築家たちと協働することになる。

本プロジェクトにおいて、トロハは単なる構造エンジニアの役目を超え、大学都市を形成する多くの建築の設計プロセスに密接に関与することとなった。これによりトロハは、近代建築運動の新しい美学に早い段階から慣れ親しみ、それを彼自身の斬新で独創的な構造デザインに取り込んでいった。大学都市プロジェクトのなかでトロハが関わった作品としては、いずれも1933年に建設された、3つの高架橋(《キンセ・オホス高架橋》、《アイレ高架橋》、《デボルテス高架橋》)、ふたつの擁壁(カンタラナス川および市電スタジアム駅)といった土木構造物のほか、1934年建設の理学部棟、医学部棟、薬学部棟、1935年建設の学生寮、発電所、大学病院の構造デザインがある。

マドリッド大学都市《理学部棟》、1934年







マドリッド大学都市、1935年

大学病院

設計:マヌエル・サンチェス・アルカス 構造設計:エドゥアルド・トロハ

テラス部分の鉄筋コンクリート造スラブ

トップライトの構造



## キンセ・オホス高架橋

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:モデスト・ロペス・オテーロ

建築主:大学都市委員会(1927-1936年)

施工:アグロマン株式会社

時期:1929-1933年

所在地:マドリッド(スペイン)

高さ:22 m

長さ:84.70 m

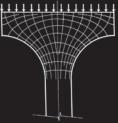
**ゴノ** 初アルフォンソ13世高架橋と呼ばれたキンセ・オホス(15の目)高架橋は、一辺1.7mの正方形断面の橋脚上に架けられた7mスパンの15の連続アーチからなる。橋の幅は35mで、長辺方向のものと似た横断アーチによって支えられている。一本の支柱とその上部の4つのブラケットによる三次元形状がこの橋の基本構造ユニットとなっており、ブラケットは下面で半円アーチ、上面で平坦な形状を持つ。こうすることで、エクスパンション・ジョイントを全体の構成のなかに見事に美しく組み込むことができた。

この構造物は長く、かつ剛性が大きいために、伸縮継手を密な間隔で、外観を損なわない場所に配置することが必要不可欠となった。したがって、(もっとも不適切でない解決策として)継手をアーチ頂部に配置することが決定された。この配置によって、アーチの形態は二重片持式に変更された。

エドゥアルド・トロハ 1958年



キンセ・オホス高架橋 マドリッド大学都市 1929-1933年



#### 主応力線図

JUNTA DE APOYO DE LAS LOSAS DEL TABLERO



## アイレ高架橋

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:モデスト・ロペス・オテーロ

施工:アグロマン株式会社

時期:1933年

所在地:マドリッド(スペイン)

アイレ高架橋は、エドゥアルド・トロハが構造エンジニアとしてマドリッド大学都市技術局に入局した直後に手がけたプロジェクトのひとつである。「アイレ」(空気)という呼称はその軽やかな構造からきている。

全体が鉄筋コンクリートで建設された36mスパンをもつアーチ橋である。ふたつの同形のアーチの上に間柱が立てられ、その上部に高架橋のデッキが設けられている。トロハは、高架橋の視覚的効果を改善するために、間柱を均等配置せず、アーチ頂部に近づくにつれてスパンを小さく配置した。

この作品は、線で構成された幾何学的な美しさの要素としての非常に細長い部材の使用が、技術的・造形的にどんな可能性を持っているかを示すわかりやすい事例である。アーチの応力計算は、慣性楕円法を図解的に応用して行われた。

エドゥアルド・トロハ 1958年



## ラ・サルスエラ競馬場

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:カルロス・アルニチェス・モルトー、マルティン・ドミンゲス・エステバン

施工:アグロマン株式会社

時期:1934年(設計)、1935年(着工)、1941年(竣工)

所在地:マドリッド(スペイン)

鉄筋コンクリート・シェル構造の屋根と観客席のデザイン:エドゥアルド・トロハ

はね出し長:12.80m 厚み:5.00-14.50cm

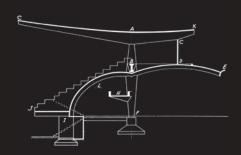
1 934年、首都圏交通郊外計画技術局の主催でラ・サルスエラ競馬場実施設計競技が行われ、建築家のカルロス・アルニチェスとマルティン・ドミンゲスおよびエンジニアのエドゥアルド・トロハのチームが一等を獲得した。同競馬場は1935年に着工したものの、スペイン内戦(1936-1939年)のために建設が中断され、1941年5月まで竣工しなかった。

ラ・サルスエラ競馬場の鉄筋コンクリート造観客席とその上にかかるシェル構造の屋根は、国際的にはエドゥアルド・トロハの最高傑作のひとつとして知られている。観客席は3つのスタンドに分かれており、両脇のものが長さ60m、中央のものが30mである。近代性を剥き出しにしたこの構造体の集合こそが、その振る舞いひとつで、下階の馬券売り場とその上にかかるスタンド席を含めた建築空間全体を決定している。それぞれのスタンド席は、長手方向に5.00m間隔に配された柱列によって構成される。下階では、この柱列の上にライズの浅い円筒形断面のヴォールトが相貫しながら連なって馬券売り場ホールの天井となり、同時に外部スタンド席の支持体となっている。上階では、同じ柱列上に12.80mのはね出しを持つ片持ちのシェル屋根がかかる。このような大胆な構造は、建物裏側に配置されたねじ込み式の鋼鉄製タイ・ロッドによってバランスをとっている。

革新的なシェル構造による軽やかな屋根は、部位によって厚みに変化が与えられており、先端部ではわずか5cm、支柱付近では14.50cmとなっている。その形状は、双曲面の幾何学形状に近似させた二重曲面シェルを連続させたものとなっている。あまりにも特殊な構造であったため、当時の構造解析システムは役に立たず、トロハは近似的な解析式を考案したうえで、建設会社のアグロマン社に実寸大のモデュール模型を作らせ、それを用いてシェルの構造的挙動を確認するための試験を行った。

私はよく、ラ・サルスエラ競馬場の設計を決定したいきさつを質問された。……ここで疑問が生ずる。特定の問題を解決するために最もふさわしい形態を考え出すということは、イマジネーションの問題であるのか、あるいは専門的訓練にもとづく論理的思考の結果であるのだろうか。私は、この二つのいずれかというよりは、むしろ両方であると考える。理論による裏づけの無いイマジネーションだけでは、このような設計に到達することはできなかったであろうし、他方、小さな改良を少しずつ積み重ねていく論理的演繹過程は、あまりに理論的、決定論的であって、それによってこのような設計が必然的に導かれるという事は、期待できなかったであろう。

エドゥアルド・トロハ 1958年



短手方向断面図



側面から見た観客席 © S. V. Kaskel

ラ・サルスエラ競馬場、 1935年

建設風景





アグロマン社によって制 作された実寸大模型を用 いた構造試験、1934年















## ラ・サルスエラ競馬場の修復

修復設計:フンケーラ建築設計事務所

- ヘロニモ・フンケーラ・ガルシア・デル・ディエストロ

技術設計:レオナルド・フェルナンデス・トロヤーノ(構造)、ウルクロ技術社(設備)

施工:ドラガドス株式会社

協力:エドゥアルド・トロハ建設科学研究所、SIKAスペイン

時期:2004-2007年(設計)、2008-2015年(施工)

所在地:マドリッド(スペイン)

2 004年、ラ・サルスエラ競馬場運営会社により「ラ・サルスエラ競馬場の修復再整備事業」設計競技が実施され、フンケーラ建築設計事務所が勝利した。

2008年、経年による劣化に加え、雨水やそれまでに行われてきたさまざまな増改築によって損傷していた観客席張り出し屋根修復工事が始まった。同時に、競馬場施設全体の予備調査が行われ、長年の増改築によって変質あるいは消失してしまっていた同作品の本来の歴史的価値や建設システムの調査と分析がなされた。この調査により確認された、構造上とくに問題の大きい損傷部分に関しては、補強と修理の工事計画が立てられた。

構造部分の修理がひととおり完了したところで、プロジェクトは1934年のアルニチェス、ドミンゲス、トロハの3人による建築プロジェクトの本質的価値を再生させることを目指し、修復再整備事業に移行した。

本修復プロジェクトの指針は、本来のラ・サルスエラ競馬場に備わっていた価値を回復させながら、未来の 競馬場の美しさを担保することであった。市民が競馬や馬術スポーツを楽しめる理想的な施設としてラ・サル スエラ競馬場を復興すると同時に、その名建築を活用し鑑賞できるようにすることが目指されたのである。



フンケーラ建築設計事務所によるラ・サルスエラ競馬場の修復、2004-2015年



#### エリア - S2

1 927年、エドゥアルド・トロハはマドリッドに自身の設計事務所を開設した。これ以降、トロハは産声を上げたばかりの近代の美学的規範に則った革新的な作品を次々と発表し、土木・建築デザインの発展に尽力していく。

エドゥアルド・トロハの多面的な知識は、彼の設計者・研究者・教育者・実業家としての多岐にわたる活動に その源を見出すことができるだろう。これに彼独特の創造的感性が組み合わさって、のちにデイヴィッド・ビリントンによって「構造芸術」と名付けられたトロハの自由な発想が可能になったのである。

エドゥアルド・トロハ常設展示の第2のエリアは、ミュージアム全体と共通の展示形式を踏襲し、1927年から 1957年の間に建設された作品から選ばれたものを取り上げている。展示順序は年代順を基本とし、構造形式

最終目標は、常にプロジェクトの機能的、構造的、および美的側面が一体となった、本質および外観において統一のとれた全体像を示すことであった。

エドゥアルド・トロハ 1958年

や建造物の用途ごとにまとめる。橋、ダム、水道橋、高架橋などの土木建造物は、柱列の並ぶ灰色の壁面に展示されており、強めの照明に照らされた横長のガラスケースもことに配置されている。一方、屋内市場、航空機格納庫、スタジアム、教会堂といった建築作品は、黒色の長い壁面に展示されている。

近代デザインの好んだ純粋幾何学形と色彩によってまとめられたミュージアム内部の空間構成に合わせ、このエリアの中央部にはさまざまなヴォリュームが組み合わせられた長い台座が配されている。これは模型(アルヘシラスの市場、トルデーラ橋、アリョースの水道橋、フロントン・レコレトス球技場、ポン・ダ・スエルトの教会堂、フェダーラの給水塔、タチラ・クラブ……)の展示台となると同時に、エリア内の鑑賞順路をつくり出す。

展示作品:テンプールの水道橋(1927年)、アルヘシラスの市場(1935年)、フロントン・レコレトス球技場(1936年)、アリョースの水道橋(1939年)、トルデーラ橋(1940年)、ペドリード橋(1940年)、マルティン・ヒル高架橋(1941年)、トレホンとクアトロ・ビエントスの航空機格納庫(1942-1945年)、ラス・コルツ(バルセロナ)のサッカー競技場(1943年)、サンクティ・スピリトの野外礼拝堂(1953年)、ポン・ダ・スエルトの教会堂(1954年)、フェダーラの給水塔(1956年)、カネリャス・ダム(1956年)

### テンプールの水道橋

構造設計:エドゥアルド・トロハ、フランシスコ・ルイス・マルティネス

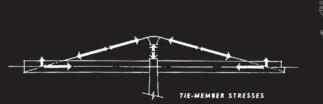
施工:イドロシビル社 時期:1925年(設計)

所在地:カディス県ヘレス・デ・ラ・フロンテーラ(スペイン)

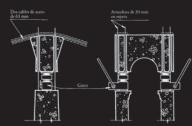
工 ドゥアルド・トロハはプレストレス技術のパイオニアであった。テンプールの水道橋は世界で最も早いプレストレスト・コンクリート構造のひとつである。

橋の両端部の20m長の鉄筋コンクリート造橋桁11スパンと、中央の57mのキャンチレバー1スパンで構成され、プレストレス技術の仕組みが巧みに用いられている。当初の設計では一連の橋脚のうち中央の2基が河床に設置される計画であったが、トロハはその基礎に問題が起こる可能性を考慮して設計を変更し、橋脚を取り除き、代わりにそのひとつ外側の河岸に立つ橋脚の上部に引っ張り材を通すことにした。この引っ張り材はそのさらにひとつ外側の橋脚付近に固定された。

タイの長さは、定着部分も含めて、全長が約50mになる予定であった。しかし、1926年には、このような 長さを扱うことができるプレストレス技術がなく、またこれほど重要な構造物を委ねられるほど十分進歩 した溶接技術もなかった。そこで私は、高張力の撚り線ケーブルを使用することに決めた。この方法を用 いると、タイを継ぎ目の無い一本のケーブルにまとめることが容易であった。載荷に際しては、ピアの本 体から切り離された頂部にサドルを載せて、その部分でケーブルを支持する手法が採用された。ケーブル の定着部分を含めた梁部分のコンクリートが硬化した段階で、これらのサドルを、油圧ジャッキで押し上 げる。高さが増すことによって、ケーブルは、適切な作用応力に達するまで引き延ばされる。



ペテンプールの水道橋》 カディス県ヘレス・デ・ラ・フロンテーラ、1925-1926年





## アルヘシラスの市場

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:マヌエル・サンチェス・アルカス

施工:リカルド・バレード社

時期:1934-1935年

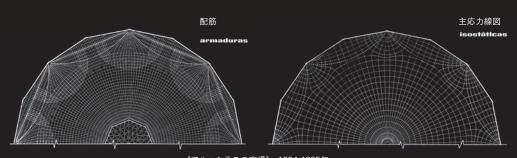
所在地:カディス県アルヘシラス市ラ・パルマ広場(スペイン)

アルヘシラスの市場の屋根は、スペインで最初に建設された大規模な鉄筋コンクリートシェル構造のドームである。同形式のドームとしては30年以上もの間、世界最大であった。「シェルをめぐる近代建築の冒険」の黎明期にエドゥアルド・トロハが寄与したさまざまな革新が詰まった稀代の傑作である。フランツ・ディッシンガーによって設計されたバーゼルの市場の屋根など、いくつかの大型のシェルドームはアルヘシラスに数年先だって建設されてはいたが、トロハによって実現された、リブがなく平滑で大スパンの新しい構造形状や、周縁部のポストテンションをかけたフープを用いた巧みな型枠撤去の方式は、まさに「近代」を完全な形で表現したものであった。

一辺18.20mの八角形平面でできた市場の屋根はシェル構造のドームで、支柱間の最大スパンは47.76mである。直径41.20mの球面状の殻の周囲に、支柱に支えられた8つの小さな円筒形ヴォールトの庇がとりつけられている。後者の円筒形状シェルのアーチ端部が屋根の荷重を支柱に伝え、シェル構造体全体の強度を高める。リブが突出せず平滑なシェルの厚みは最も薄い中心部の9cmから周縁部へ向からにつれて徐々に厚みを増し、支柱部分で50cmとなる。ドーム頂部には直径10mの八角形の天窓が穿たれ、そこに工業品の鉄筋コンクリートでできた三角形の格子が組まれてガラス板がはめられた。

シェルドームからの力の鉛直成分は支柱自体によって抵抗されるが、半径方向のスラストは、直径30mmの16本の鋼棒で構成される八角形のフープによって処理される。フープは、引張応力を生じて伸びるが、シェルは、圧縮を受けているため収縮する傾向がある。そこで、フープ・ロッドにターンバックルを設け、これを緊張することによって、シェルが、支点位置で放射状の圧縮力を受けるようにした。ドームは圧縮されると浮き上がり始め、支持していた型枠からわずかに離れた。





《アルヘシラスの市場》、1934-1935年







《アルヘシラスの市場》、1934-1935年

### フロントン・レコレトス球技場

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:セクンディーノ・スアソ・ウガルデ

建築主:ヌエバ・エンプレッサ・デ・フロントネス社

施工:ウアルテ・イ・シア社

時期:1935年

所在地:マドリッド市ビリャヌエバ通り(スペイン、現存せず)

大井 造家エドゥアルド・トロハと建築家セクンディーノ・スアソの奇跡的なコラボレーションによって誕生したハ 大井 イアライの球技場フロントン・レコレトスは、マドリッドにおけるモダニズム建築の最も傑出した作品のひと つであった。鉄筋コンクリート造シェルで作られた屋根は、トロハ作品のなかでもとくにユニークで創意にあふれたものであったが、残念ながらスペイン内戦中の空爆によって激しく損傷し、1939年に崩落してしまった。

これは水平方向の母線をもつ円筒形のシェル屋根で、同じ垂直面にあって重なり合う半径の異なる2つの円弧が描く曲線が準線となる。大きい方の円の直径は12.20m、小さい方が6.40mであった。この二葉形断面のシェル梁により、長辺55m、短辺32.50mの無柱空間が実現した。滑らかなシェルの厚みは、ふたつの円弧の接合部が16cm、残りの部分はわずか8cmであった。屋根の大小ふたつの円筒形にはそれぞれ横長のトップライトが穿たれ、一辺1.40mの正三角形で構成された網目から自然光が取り入れられた。

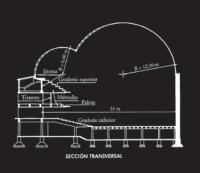
計算の複雑さ、および常に起こりうる誤差の危険を考慮して、理論解析の結果を縮尺模型を用いた実験によって補完することにした。



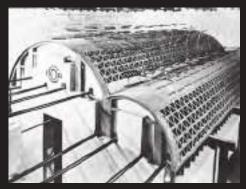


建設風景、1935-1936年

#### 1/10模型を用いた実験風景







## アリョースの水道橋

構造設計:エドゥアルド・トロハ

施工:ウアルテ・イ・シア社

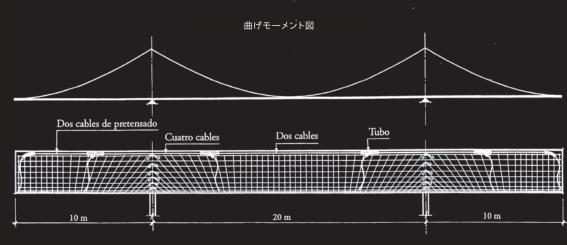
時期:1939-1942年

所在地:サンティアゴ巡礼路(スペイン、ナバーラ州シラウキ)

全長:218m 水路の高さ:2.75m 水路の幅:15cm

この水道橋の基本アイディアは、内部曲面に双方向の圧縮を作用させることによって水路壁のひびわれや水の浸透の可能性を排除することにあった。







アリョースの水道橋概略図

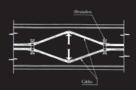


《アリョースの水道橋》、 1939-1942年

建設風景

油圧ジャッキを用いた プレストレス導入作業







# トルデーラ橋

構造設計:エドゥアルド・トロハ、セサル・ビリャルバ・グランダ、ガブリエル・アンドレウ・エリサイシン

施工:OMES社、ICON社

時期:1939年(設計)、1939-44年(施工)

所在地:バルセロナ・ジローナ間国道(スペイン)

下ゥアルド・トロハは合成構造の先駆者でもあった。鉄とコンクリートというふたつの材料の力学的特性の 差違を生かし、合成構造の橋梁の作品を複数設計しているが、その嚆矢となったのが1939年のトルデーラ橋であった。この橋は、スペイン内戦中にピアのみを残して破壊された前身の再建だが、これら既存のピア 上に、3スパンの楕円形状の鉄骨梁とその上に載る鉄筋コンクリート造のデッキが新たに建設された。デッキ下の梁のスパンは岸側がそれぞれ45.70m、中央の区画が54.70mである。デッキの鉄筋コンクリート造スラブの鉄筋と鉄骨梁の上弦材は溶接によって構造的に結合され、スラブが梁上部にかかる圧縮応力を受けることができるよう設計された。

トルデーラ橋の接合手法は国外(スウェーデン)においても高い評価を受けた。

引張弦材は、楕円弧を描く。この形は、弦材の全長に沿って、なるべく一定した荷重を保ちながら、斜材の 圧縮応力を坐屈の危険の無い値におさえるため、いくつかの方法を試行した結果、選択された。





### ペドリード橋

構造設計:エドゥアルド・トロハ、セサル・ビリャルバ・グランダ

施工:リカルド・バレード社

時期:1939年(エドゥアルド・トロハによる設計)、1939-1943年(施工)

所在地:ア・コルーニャ県リア・デ・ベタンソス(スペイン)

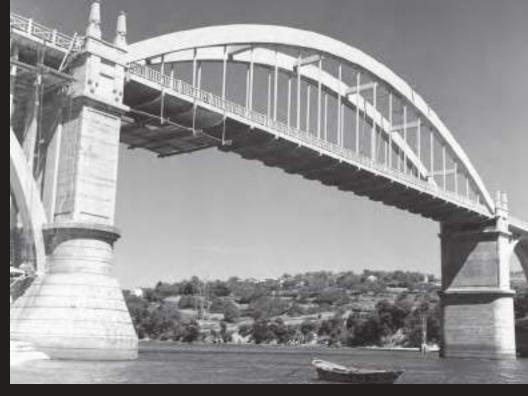
形式:アーチ橋

へ。ドリード橋はスペイン内戦の前にエンジニアのセサル・ビリャルバ・グランダによって計画された、520m長の3つの異なる区画からできた橋である。1936年に内戦が勃発し、工事は中断されたが、それまでに両岸部分の建設が進んでおり、一方では10対のダブルアーチに支えられた340mのデッキ、もう一方では3対のダブルアーチ上の102mのデッキが完成していた。

1939年、この橋を完成させるために中央区画を設計したのが、エドゥアルド・トロハであった。トロハはここで、ふたつのヒンジを持つ78.40mスパンで12.50mのライズを持つ鉄筋コンクリート造のタイドアーチ橋という 斬新な形式を用いた。ふたつのアーチリブは部位によって梁せいが変化するが、基部の幅は一定である。一連の3.65m幅のスラブでできた下部のデッキは、ハンガーによってアーチから吊られている。

平たい形状の断面を持つ大アーチの溶接された鉄筋は、橋の両端からそれぞれ半分ずつ組み上げていく ことが出来るよう設計されている。頂部で両者が接合され、ハンガーが設置されたのち、アーチのコンク リートが打設される。

> エドゥアルド・トロハ 設計仕様書より 1940年





《ペドリード橋》、 ア・コルーニャ県、1939年

建設風景

### マルティン・ヒル高架橋(エスラ川のアーチ)

構造設計:フランシスコ・マルティン・ヒル、セサル・ビリャルバ・グランダ、アントニオ・サラサール・マルティネス、 エドゥアルド・トロハ

建築主:スペイン公共事業省

施工:マックス・ヤコブソン社、リカルド・バレード社、エサブ・イベリカ社、ICON社

時期:1932年(設計案1)、1935年(設計案2)、1939年(設計案3)、1934-1943年(施工)

所在地:エスラ川、サモーラ県マンサナール・デル・バルコ(スペイン)

全長:479m 高さ:84m 中央アーチ:209m

マルティン・ヒル高架橋は、スペイン内戦の勃発により建設が中断された多くの建造物のひとつである。1939年に内戦が終結すると、エドゥアルド・トロハはこの橋の中央に209mという当時最大のスパンを持つ鉄節コンクリート造のアーチを建設した。

トロハは、施工プロセスとコストを最適化するために、アーチのコンクリート中に埋没し、そのまま配筋として組み込まれる鉄製の捨て型枠をデザインした。この型枠は横断方向に筋交いを入れた2本の平行なトラスの側桁で構成されていた。大アーチのコンクリートは長手全体を覆う層をいくつも重ね、徐々に層の厚みを増しながら打設されていった。こうすることで、下層のコンクリートが順次硬化し、型枠がより大きな荷重に耐えられるようになるからである。

コンクリート硬化後、下弦材の頂部および起拱部に油圧ジャッキが配置された。これは、これらの下弦材を圧縮し、それによって、この段階まで上弦材が完全に負担していた圧縮荷重を、下弦材にも分担させるためである。







《エスラ川の大アーチ》、 サモーラ県 マンサナール・デル・バルコ、 1934-1943年

建設風景

## 航空機格納庫

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:ラファエル・デ・ラ・ホヤ・カストロ

施工:OMES社 時期:1942年

所在地:トレホン・デ・アルドス飛行場(スペイン、マドリッド州)

建築主:スペイン航空省

施工:OMES社

時期:1946-1949年

所在地:スペイン王立飛行クラブ(スペイン、マドリッド市クアトロ・ビエントス)

ごご空省が主催した全国設計競技に勝利したエドゥアルド・トロハは、1942年から1949年にかけて、マドリッドに鉄骨造の大屋根を持つ3つの航空機格納庫を設計・施工した。そのうち最初の作品がトレホン飛行場のもので、同じモデルがバラハス飛行場の格納庫においても再利用された。柱等のない有用部分の平面上の大きさは182.88m×47.24mなくてはならず、長辺のひとつに設置された入口側の中央には、入口より内側10m以内の位置に設置された支柱を1本だけ立てることができるという条件であった。トロハは、側壁に対する風圧を可能な限り軽減するために、4辺の軒から棟に向かって13度の傾斜のついた勾配屋根を設計した。屋根は、長手方向の大梁と、横断方向の交差筋交いのトラスによって構成されている。

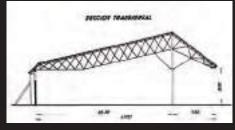
一連の作品の最後のもので、最も独特なのがクアトロ・ビエントスの格納庫である。屋根は35mスパンの鉄骨アーチが交錯するかたちでつくられており、高い剛性を持つ網状になったひとつのヴォールトを形成する。各アーチはまず地面の上で組み立てられ、その後に最終的な位置まで引き上げられた。

二分された両半分の屋根構造は、きわめて軽量で、大きな剛性を持つ一種のラチス梁となる



《トレホン・デ・アルドスの格納庫》、 マドリッド、1942年









《クアトロ・ビエントスの格納庫》、 マドリッド、1946-1949年

### ラス・コルツのサッカー競技場

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:ホセ・マリア・サグニエ・ビダル

建築主:FCバルセロナ

施工:プバーサ社

時期:1943-1945年

所在地:バルセロナ(スペイン、現存せず)

ンクリートと鉄を巧みに組み合わせた合成構造である。観客席を覆う25mの片持屋根は鉄骨で、それを 支える大支柱は鉄筋コンクリートでつくられている。空間の機能に適した構造形式だけでなく、構造にか かる費用が抑えられるような材料をそれぞれの事例ごとに柔軟に選択していくというトロハの設計手法は、こ の作品においても明らかである。

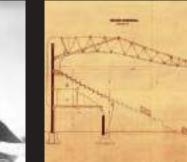
屋根の構造は、5m間隔で配された鋼鉄製の片持ラチス梁による立体的なグリッドでできており、鉄筋コンクリートの支柱の鉄筋部分と片持梁の上端部がボルトによって緊結されている。オレンジ色がかった木板による被覆の結果、屋根下面の美しい波面形状が生み出された。トロハは、観客席の8mスパンの傾斜梁を中央のハンガーによってふたつに分割するという巧みなデザインによって、屋根と観客席を支える鉄筋コンクリート構造の厚み、費用、曲げモーメントの増加を抑えている。

この大きな片持梁の屋根に使用するための構造材料および工法について、代替案を考えるのは困難であった。観客席の上に25mの片持屋根が必要であったが、重量、費用を軽減するには、材料として鉄骨を選ぶ以外に無かった。

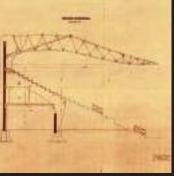




《ラス・コルツのサッカー競技場》、 バルセロナ、1943-1945年



耐荷重テスト



断面図

### サンクティ・スピリトの野外礼拝堂

構造設計:エドゥアルド・トロハ

建築主:リバゴルサーナ水力発電公社

時期:1953年

所在地:サン・ニクラウ峡谷(スペイン、リェイダ県アイグアストルタス)(現存せず)

上い山々に囲まれたサン・ニクラウ川の岸辺に、トロハが建設した近代シェル構造の珠玉の小品である。 残念ながら取り壊され、現存しない。半球形の山小屋といった感のある小さな野外礼拝堂で、足下から立ち上がり、まるで風を受けて膨らんだ帆のような形状をしたシェル構造によって、建築空間全体が決定されていた。

構造形状は半ドームのそれで、鉄筋で補強したレンガ造で建設された。これは当時のスペインで非常に経済的な工法であった。ドームの縁を構造的に強化するために、プレストレスを入れた一連の引っ張り材をふたつの固定点から放射状に配したのがとくに独創的なやり方であったといえる。

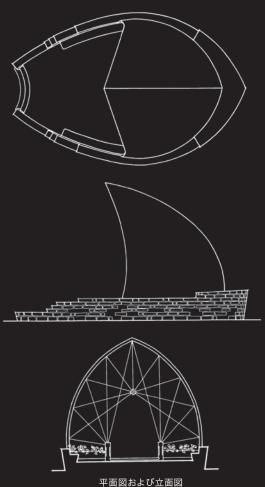
現在のところ、このようなシェルの応力計算ができるような実用的な方法はない。しかし、この欠点は、このようなシェル(この小さなシェルターよりもはるかに大きいものであっても)が建設されてはならないという理由にはならない。







《サンクティ・スピリトの礼拝堂》の側面と正面



\_\_\_\_\_\_ エドゥアルド・トロハ ポンダ・スエルトのモデュールを手に 1952年



## ポン・ダ・スエルトの教会堂

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:ホセ・ロドリゲス・ミハレス

建築主:リバゴルサーナ水力発電公社

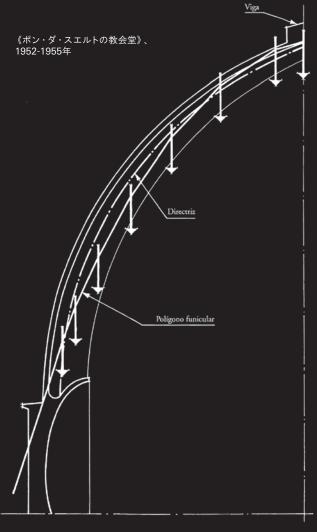
時期:1952-1955年

所在地:リェイダ県ポン・ダ・スエルト(スペイン)

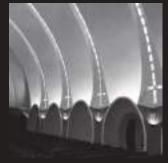
プロ間的コンセプトという点から見ると、ポン・ダ・スエルトの教区教会堂のシェル構造屋根の最大の特徴は、それが単なる屋根にとどまらず、床面から立ち上がって内部空間全体を規定しているという点にある。教会堂の構造自体が、その建築の幾何学形状を決定しているのである。この構造と形状との関係性は外観にも表出している。

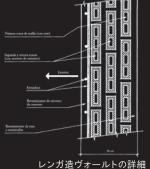
ての単廊式教会堂の構造は、シェル・ヴォールトでつくられたモデュールの連なりでできている。各モデュールは、壁と天井を形成する大きなヴォールトと、側部の祭室を形成する小さなヴォールトの主副ふたつのヴォールトの組み合わせで構成されている。ヴォールトはゴシック建築の尖頭アーチの曲線を元にしているが、横断面の曲率は一律ではなく、頂部の方がより平坦になっている。その幾何学形状は曲げモーメントを考慮したものである。身廊の頂線に沿って、全体の構造を補強し安定化する鉄筋コンクリートの梁が配置された。これらのシェル・ヴォールトは3cm厚の薄版レンガを三重に平積みしたカタロニア・ヴォールト形式で作られた。外壁は細かい金網で覆われたのち、セメント・モルタルで仕上げられた。

このようなシェルは、比較的安くつくることが出来、この教会のヴォールトのように曲率が連続的に変化する曲面であっても、望まれるあらゆる形状に適応させることができる。









# フェダーラの給水塔

構造設計:エドゥアルド・トロハ

協力:アルフレッド・パエス、フロレンシオ・デル・ポソ

施工:F・フェルナンデス、フェルナンデス社(モロッコ)

所在地:フェダーラ(モロッコ)

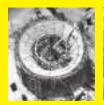
時期:1956年(設計)、1956-1957年(施工)

ロハの設計した給水塔のなかで最も革新的かつ魅力的な作品は、疑いなくフェダーラのものであろう。構造性能、機能性、そして施工プロセスを最適化するため、さまざまな部位にさまざまな構造形状や材料が用いられた。

タンクの壁体と底面は鉄筋コンクリートとプレストレスト・コンクリートで建設された。一方、荷重もタンク内の水からの応力も受けない屋根部分は、型枠を必要としない軽量なレンガ造シェルでつくられた。タンクの底は鉄筋コンクリート造の環状ヴォールトで、外側の円環はねじ込み式のタイによってポストテンションがかけられ、一方コンクリート造の壁体には回転双曲面形状が用いられ、母線と準線に沿ってポストテンションがかけられた。母線と準線に同時に圧縮力をかけることで、ひび割れのリスクを低下させているのである。要素ごとに最も適切な構造形状と材料が採用され、非常に巧妙で魅力的な解決策を示しているといえる。

この容量3500m<sup>3</sup>の貯水槽の設計における主要な問題は、満足できる防水工法を見出すことであった。その結果、最初の形状(円錐台)は、回転双曲面に変更された。そして、双曲線に特有の二つの直線群に沿ってポストテンションが導入された。それによって母線および導線に沿って二方向圧縮が達成され、ひびわれの危険を避けることができた。











《フェダーラの給水塔》、 モロッコ、1956-1957年

建設風景

### カネリャス・ダム

構造設計:カルロス・ベニート・エルナンデス、エドゥアルド・トロハ

建築主:リバゴルサーナ水力発電公社 施工:リバゴルサーナ水力発電公社

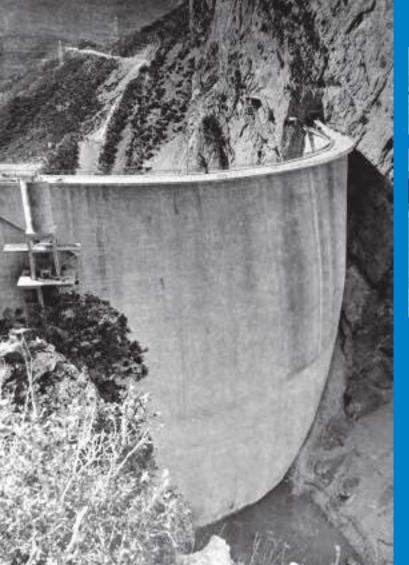
時期:1953-1964年

所在地:ノゲーラ川(スペイン、リェイダ県リバゴルサーナ)

全長:210 m 高さ:140 m

力 ネリャス・ダムは、建設当時スペインで最高の140mの高低差を誇った鉄筋コンクリート造ヴォールトによる ダムである。このダムに最適な構造形状を得るために、トロハは縮尺模型を用いて度重なる実験をし、その結果をもとに構造解析を行った。結果、水平方向、垂直方向ともに曲率を連続的に変化させる幾何学形状となった。竣工は1964年で、トロハの没後3年のことであった。

実施設計に到達する前に17種類の縮尺模型を使用した。ひとつの模型の実験結果によって、次の模型に採り入れるべき修正事項が決定され、修正された形状がさらに実験されるというプロセスが繰り返された。最大圧縮応力が50kg/cm²で、上流側における引張応力が事実上ゼロであるようなダムの形状が得られたときに、この作業は完了した。







縮尺模型を用いた実験風景

《カネリャス・ダム》、 リェイダ県、1953-1964年



#### エリア-S3

エドゥアルド・トロハ記念館の常設展示の最後にあたる第3のエリアは、スペイン高等科学研究院の管轄下にある《エドゥアルド・トロハ建設科学研究所》として現在知られている施設群にフォーカスをあてたものである。

近代土木・建築デザインの黄金時代に、その更なる発展に寄与することを目的として建設された新しい画期的な研究所(1949-1953年)は、トロハの精力的な研究・普及・教育活動の場となっていった。1959年のIASS「シェルと空間構造に関する国際会議」を始めとする無数の国内・国際組織が生み出されたのも、この研究所においてであった。

われわれの仕事の意義を真に評価できるのは私ではなく他人だろう

エドゥアルド・トロハ 協力者たちに宛てた 書置きから、1961年

展示作品:トロハが新築した研究所本部の建設経緯とその建築的特徴、出版物、1959年にトロハによって制作された実験的なシェル構造物、1969年に建設されエドゥアルド・トロハに捧げられたコンクリートと鋼鉄の記念碑《コスティーリャ・ラミナール》

## エドゥアルド・トロハ研究所

構造設計:エドゥアルド・トロハ

設計:ゴンサロ・エチェガライ・コリーバ、マヌエル・バルベーロ・レボリェード

建築主:エドゥアルド・トロハ

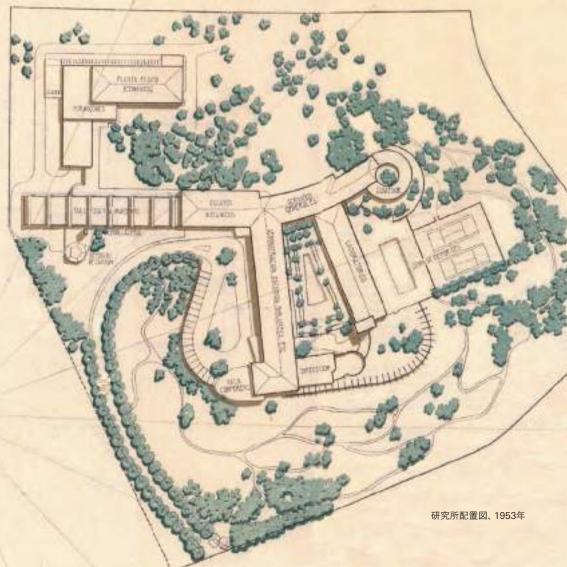
施工:アグロマン社 時期:1949-1953年

所在地:マドリッド(スペイン)

1 934年に建設・建築技術研究所(ITCE)という名称で創設された現エドゥアルド・トロハ建設科学研究所 (IETcc)は、トロハの最も重要な業績のひとつであるだけでなく、本人が最も愛着を持っていた遺産であるといっても過言ではないだろう。トロハは、そのキャリアの大半(1934-1961年)を同研究所で過ごし、他界するその日まで所長として活動し続けた。そのユニークな思想と実践モデルにより、トロハの研究所は近代土木・建築史の黄金期に国際的研究機関としての名声を確立した。

1949年、トロハは研究所本部新築プロジェクトの設計を始めた。目指されたのは、それまでのものとはまったく異なった新しい研究環境である。1層または2層の多様な形状の8つの棟が、敷地の高低差に適応しながら連なり、全体として $\Gamma_{\pi}$ 」の形状を描く。周囲には、枝分かれしたヴォリュームがつくり出す半中庭状の空隙を埋めながら建築群を包み込む5つの庭園が整備された。

物資の不足する当時のスペインにおいて、トロハは新本部の建設を、それまで研究所内で行われてきた伝統的建設システムの合理化や工業化についての検証結果を応用し、限られた資源の有効活用を検討する、絶好の機会と考えた。建設が進む間、新本部の建設現場は壮大な実験工房となり、「プレファブリケーションの学校」となった。トロハによる新本部の建築には、円形食堂、十二面体でできた石炭サイロ、工房と実験棟のラチスシェル屋根、建物外周のバーゴラといった革新的な構造と内部空間が生み出された。研究所の敷地内に建てられたこれらの建造物は、自選作品集『エドゥアルド・トロハの構造デザイン』(1958年にニューヨークのF・W・ドッジ社が初版刊行、副題は「ある工学的業績についての自叙伝」)にも掲載された。



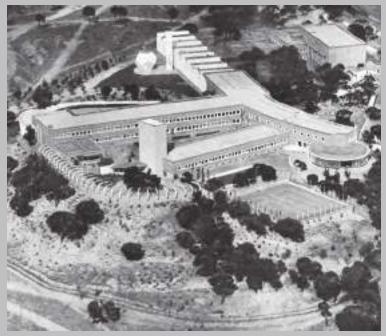






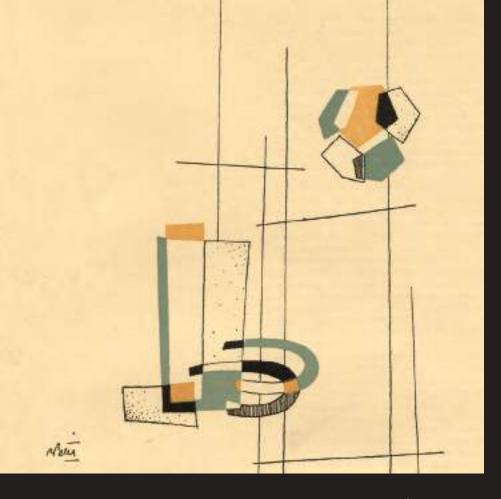








建設・セメント技術研究所の新本部、1953年



ベルナール・プティ 《研究所の十二面体》、1955年

# トロハ研究所の特徴的な建造物群

構造設計:エドゥアルド・トロハ

建築主:エドゥアルド・トロハ

施工:アグロマン社

所在地:マドリッド(スペイン)

形食堂はトロハ研究所内でひときわ人目を引く建築作品である。その空間は、カーヴしたガラスの皮膜を透過して周囲の松林の風景にまで広がっていくようだ。直径22.44mの円形平面を持ち、高さ3.50mのこの建築の外周は、鉄筋コンクリート造自然石仕上げのふたつの曲面壁と、壁の隙間に引き込んで隠すことができ、全開にすると180度の開口部となる巨大な曲面ガラス戸で構成されている。ガラス戸を開くと、閉じられた空間としての食堂は消滅し、庭園と一体化する。屋根の構造は、梁せいが0.84mから0.22mに漸減する片持の鉄骨トラスを放射状に配したもので、食堂中央に配された円形の小さな中庭を取り囲む鉄筋コンクリート造の環状円柱列がこれらを支持する。

工房・実験棟の15.00×78.70mの長方形平面を覆う屋根は、10mスパンで並べられた9つのラチスシェルでできた円筒ヴォールトでつくられている。ヴォールト同士は90度の角度で交わる。断面の小ぶりな鉄骨材(I-80)を溶接してつくられたラチスシェルのすべての格子は同じ大きさの正三角形である。9つの軽量なラチスシェルは床の上で組み立てられた後、最終的な位置(高さ7m)まで容易に引き上げることができた。

(......)この種の屋根はしばしば鉄筋コンクリート造シェルによってつくられてきた。しかし本プロジェクトでは、屋根の円筒形状に合わせた軽量のラチスを用いた構造にした方がより経済的であると考えた。

エドゥアルド・トロハ 1958年 庭園の西端に位置するパーゴラは、端部で曲率がゼロとなる「ベルヌーイのレムニスケート曲線」と呼ばれる 幾何学形状をした、鉄筋コンクリート造のリブ群で形成されている。トロハは象徴性にあふれた幾何学形状を 好んだが、ここでは研究所の外部空間の境界を規定するのに数学的に無限を象徴する形状を用いたのであ る。曲がった梁のようなそれぞれの片持リブは、庭園の土を支える擁壁の役割を果たす鉄筋コンクリート造の 壁体と一体化している。これらのリブの上を、平滑なスティール・ロッドでできた双曲放物面に近い形状の格子 網が覆っている。

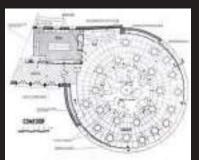
研究所正面入口のすぐ近くに、巨大なオブジェのように独立して立っている正十二面体は、石炭サイロとして設計されたもので、建設後まもなく、トロハ研究所のシンボル的存在となった。

22cm厚の鉄筋コンクリート壁でできた高さ8.60mのこのサイロは、シェルによる折板構造に近い。トロハは、体積・面積比からみて最もすぐれた幾何学形状は球体であるが、十二面体のほうが建設が容易かつ経済的であると指摘し、この構造体の幾何学的形状と大きさが与える造形的魅力を強調した。正十二面体はプラトン立体のひとつとして知られ、黄金比を内包することから宇宙の秩序を構築する要素と関連づけられてきた。建築家リチャード・バックミンスター・フラーが正二十面体と十二面体をもとにした有名な「ジオデシック・ドーム」の特許を取得したのはトロハの十二面体建設から1年後の1954年である。ジオデシック・ドームも施工の容易さが持ち味のひとつであったが、平面ではなく線材によって多面体を構築する点がトロハのものとは異なる。

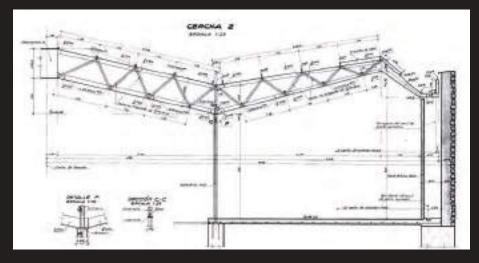
(......) これらの多面体においては、設計者によって描かれた稜線がそのまま光と影の効果に反映されるので、硬質でクリアな輪郭線が浮かび上がることになる。

エドゥアルド・トロハ 1959年







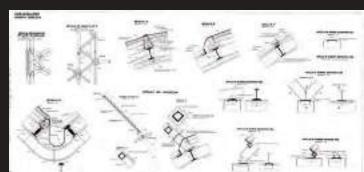


食堂の平面図、庭園側外観、トラスの詳細断面図



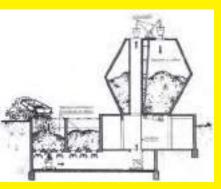


工房·実験棟、1953年



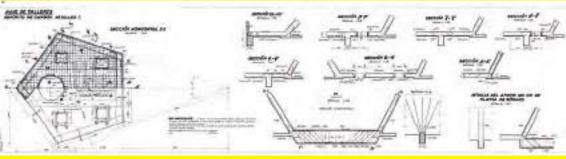












十二面体の石炭サイロ、1953年 設計図および建設風景



エドゥアルド・トロハと 建設・セメント技術研究所の 専門講座受講者一同、1955年



## シェルと空間構造に関する国際会議

# **IASS**

エドゥアルド・トロハの功績は、革新的なデザインの実作品を遺したことだけにとどまらない。新たな解析方法や縮尺模型を用いた実験方式の提案、そして鉄筋コンクリート構造やプレストレスト・コンクリート技術の発達への多大なる貢献といった土木・建築構造学への寄与も、トロハの重要な遺産である。これらの実績に加え、トロハには類まれなる才能があった。人びとを束ねて率いるリーダーシップである。生涯を通じて、トロハは国内、国際を問わず多くの機関や組織を創設した。1959年設立のIASSはその代表的事例である。これらの多くは現在でも機能しており、土木工学・建築学の発展をリードしている。

1959年9月に、トロハは自身の研究所において「シェル構造の非伝統的な施工工程に関する国際コロキウム」を主催した。この会合の場で、建設材料試験中央研究所(トロハはこの研究所の所長でもあった)からの協力を得ながら、トロハ自身の提案によって設立されたのが「シェル構造に関する国際会議」である。このコロキウムにはスペイン、スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、デンマーク、ベルギー、オランダ、イギリス、ドイツ、フランス、スイス、イタリア、ポーランド、ポルトガル、アルゼンチン、ブラジル、ウルグアイ、スリランカ、日本の各国から100人を超える専門家が集結した。研究発表やセッションの議長を担当した参加者は、いずれも第一線で活躍するコンクリートシェル構造の研究者で、とりわけ著名な構造家としてはA・パデュアール、W・ツァーナ、K・W・ヨハンセン、H・リューレ、F・ミュラー、R・S・ジェンキンス、W・ポーニツ、A・L・パルム、E・ジャングレコ、A・M・ハス、M・ハーン、N・エスキラン、坪井善勝、()・アラップ、H・イスラーの名が挙げられる。

1958年の時点で、トロハはシェル構造に特化した国際組織を設立する必要性を強く感じ、国際会議の準備を始めていた。会議の開催にあたり、トロハは参加者を出迎える実験的なシェル構造物を制作すること



を思い立ち、研究所敷地内の「アラリフェスのパティオ」と呼ばれる場所にふたつの実寸大のオブジェを構想した。これらふたつが、トロハによって建設された最後のシェル構造物となった。1959年9月16日、IASSの第1回会議にあたり、トロハはアラリフェスのパティオで参加者を迎い入れ、ふたつのシェル構造作品を披露した。うちひとつは《鯨》の名で知られる厚み3cm、長さ10.25m、幅1.85mのシェル屋根のモデュールで、ダブル・カーヴを持つ工業生産された部材10本がプレストレス技術を用いて接合されていた。このモデュールは下部のタイビームによって同形の別のモデュールと接合することができ、両端の壁に支持された傾斜屋根を形成することができた。工業的に生産された部材の幾何学形状は、横断面は正弦曲線、長手方向では相貫するふたつの楕円弧であった。最終的なモデュールの形状は荷重の分布が最適化されるように考慮されていた。

もうひとつの実験的シェル構造物は、トロハが息子のホセ・アントニオ・トロハ・カバニリャスとともに建造したもので、三角形平面上のドームのような地中貯水槽の屋根のモデュールである。厚みは4cm、六角形をベースとして配置された支持体上に置かれ、20kN/m²の土圧が想定された。地面の上に6つのモデュールが組み立てられ、目地で分割された上で同時にコンクリートが打設されたのち、引き上げられて支柱上に設置された。

キュレーター ペパ・カシネーリョ



IASSのトロハ・メダル











アラリフェスのパティオに建設された 実験的シェル構造体、1959年

## 《コスティーリャ・ラミナール》 コンクリートと鋼鉄の記念碑

設計:フェルナンド・カシネーリョ・ペレス

エンジニア:ホセ・アントニオ・トロハ(構告)、フランシスコ・モラン・カブレー(幾何学)、

ラファエル・フェルナンデス・サンチェス(施工)

建築主:エドゥアルド・トロハ研究所

時期:1969年

所在地:エドゥアルド・トロハ建設科学研究所(スペイン、マドリッド)

1 969年、マドリッドでのIASSの国際会議に際してトロハ研究所に建設されたのが、「コンクリートと鋼鉄の記念碑」である。この記念碑の立地として選ばれたのは、トロハが1959年の最初のIASS会議で実験的シェル構造体を制作して参加者を迎え入れたのと同じ、アラリフェスのパティオであった。

同年、IASSは、同組織が扱う構造の範囲を拡大して、それまでのシェル構造に加え、他の材料を用いた新しい空間構造を含めることを決定した。こうして、IASSという略称が保たれたまま、「シェルと空間構造に関する国際会議」が誕生した。世界各国でシェル構造史の掉尾を飾る世代が活躍し、いくつかの傑作が生み出され続けてはいたものの、鉄筋コンクリート造シェル構造はもはや経済的な工法ではなくなっていた。社会経済構造の変化と科学技術の進歩により、その存在意義はすでに失われていたのである。シェル構造の記念碑を立てることが決定された背景には、このような事由があった。記念碑は、ある種の礼拝堂として、またさまざまな記念行事に用いることのできるオープンスペースを覆うシェルターとして計画された。

シェルの構造形状には、トロハ自身によって研究所の西端につくられたパーゴラのかたちが参照され、肋骨の形をした三次元形状のシェルがデザインされた。片持屋根部分の厚みは6~10cmで、基礎部分で40cm厚であった。







コンクリートと鋼鉄の記念碑 アラリフェスのパティオにて 完成時の様子と建設風景、1969年





ここに収められたのは私の作品のご く一部であるが、これらの作品は、私 が求めていたもの、私が最終的に達 成した事柄を、最もよく例証している と思われる。

> エドゥアルド・トロハ 1958年

#### 企画運営

エドゥアルド・トロハ財団



#### 場所提供

ラ・サルスエラ競馬場株式会社



#### 後援•協賛

スペイン振興省建築総局/同省CEDEX



#### ACS財団

フェロビアル・アグロマン

バンコ・カミノス財団

#### 協力

マドリッド工科大学

フアネーロ・トゥリアーノ財団

SIKAスペイン









## POLITECNICA



#### 謝辞

はじめに、エドゥアルド・トロハ記念館の館長および同館の公式カタログの編集長という栄誉ある責務を任せてくださったエドゥアルド・トロハ財団に謝意を表します。エドゥアルド・トロハの作品に対する並々ならぬ国際的関心を反映し、簡易版カタログはすでに7ヵ国語に翻訳されています。

トロハ財団を代表して、このミュージアム・プロジェ クトとカタログ出版に尽力して下さったすべての組 織・機関・財団に感謝の意を表明します。とりわけ、 私たちの夢の実現に向けて、全面的に協力して下 さった以下の方々に感謝します。トロハ記念館に場 所を提供してくださったラ・サルスエラ競馬場運営 会社社長のファイナ・スリータ氏。計画当初からエド ゥアルド・トロハ記念館設立に向けて全面的に協力 してくださり、とくに資金面で多大な援助をしてくだ さったACS財団副会長のアントニオ・ガルシア・フェ レール氏。振興省の建築副総局とCEDEXは、ミュー ジアムの展示物として同部局内に保管されている 文書や模型をこころよく提供してくださっただけで たく、当初から私たちの諸々の業務から心配事や勢 意まで共有してくださいました。建築副総局からは 局長ハビエル・マルティン、広報部長エドゥアルド・ アラゴネセス、サラ・レオンの各氏にとくに感謝しま す。CEDEXからはマリアーノ・ナバス局長以下、アン ヘル・ゴンサレス、ドロレス・ロメーロ、ハビエル・プラ センシアの各氏にとくに感謝します。アーカイヴから さまざまな文書を提供してくださったエドゥアルド・ト ロハ建設科学研究所からは、とくにビルトゥデス・ア ソリン、アンヘラ・ソルリー、ロヘリオ・サンチェス、アン トニオ・ブラスケス、マリベル・サンテェス・ロハスの 各氏に感謝の意を表します。トロハの最高傑作のひとつアルヘシラスの市場の模型制作の資金援助をしてくださったフアネーロ・トゥリアーノ財団からは、ビクトリアーノ・ムニョス・カバ会長とベルナルド・レブエルタ理事長に感謝いたします。

カタログ執筆を担当してくださったミゲル・アギロ ー、カルメン・アンドラーデ、ホセ・カラベーラ、ウゴ・ コレス、ルイス・フェルナンデス・ガリアーノ、カルメ ン・ホルダー、ヘロニモ・フンケーラ、エレナ・パスクア ル、ハビエル・マンテローラ、フリオ・マルティネス・カ ルソン、フェルナンド・サンチェス・ドラゴー、レオナル ド・フェルナンデス・トロヤーノ、マイク・シュライフの 各氏に感謝します。記念館が入居しているラ・サル スエラ競馬場のシェル構造修復に携わり、さらに本 カタログの刊行助成にも協力してくださったSIKAス ペインからは、アンヘル・ゴンサレス・ルカス社長に 感謝します。最後になりますが、筆者が勤務するマド リッド工科大学に深く感謝します。歴代の、そして現 在の大学本部、そしてわれらが建築学部のルイス・ マルドナード学部長、土木工学部のフランシスコ・」・ マルティン学部長の両氏には大変お世話になりまし た。ここまでに言及させて頂いた方々の大半はこの どちらかの学部のOBか教員です。長い年月をかけ て建築学と土木工学の発展と普及に貢献してきた 両学部の、さまざまな部局や組織のすばらしいネット ワークがあったからこそ、本書をお届けすることがで きたのです。

> エドゥアルド・トロハ財団理事長 ペパ・カシネーリョ



1 kgの石と1kgの金ではどちらの方がより価値があるか? アドルフ・ロースが建設材料についての著名な文章の冒頭において読者に投げかけた質問である。答えは簡単だ。その1kgの石がエジプトのピラミッド、アブ・シンベル神殿、ローマのパンテオン、セビーリャ大聖堂のものであれば、それは間違いなく1kgの金以上の価値がある。

自身を取り囲んでいる世界に対する認識に基づいた自由を行使するならば、人間の考えを形にする物質には、計り知れない価値を与えることができる。こうした考えはどんな材料に対しても適応できるだろう。

■ 頭の質問を石ではなくコンクリートで ■ したらどうなるだろうか。土木・建築 史上、鉄筋コンクリートやプレストレスト・ コンクリートでできた最も価値の高い作品 を選定したとしたら、そこには多くのトロハ 作品が含まれることだろう。コンクリート造 ほどではないにせよ、レンガ造、鉄骨造、 合成構造の土木・建築作品について同様 の選定をした場合でも、トロハの名が挙が ることだろう。エドゥアルド・トロハは、近 代における構造芸術史の類まれなる主役 のひとりなのだ。

> エドゥアルド・トロハ財団理事長 キュレーター ペパ・カシネーリョ



