

平成 27 年度
修士論文

サンチアゴ・カラトラバの建築作品における構造デザインの形態表現とその意味に関する考察



指導教員
富岡義人 教授
田端千夏子 助教

三重大学大学院工学研究科
高畑広輝

三重大学大学院 工学研究科

A Discussion on the Formal Expressions and their Meaning observed
in the Structural Design of Santiago CALATRAVA's Architectural Works

Supervisor

Dr.TOMIOKA,Yoshito

Dr.TABATA,Chikako

TAKAHATA,Hiroki

2016

三重大学大学院 工学研究科

目次

第1章 序論

- 1-1 研究の目的
- 1-2 サンチアゴ・カラトラバの略歴
- 1-3 研究の背景
 - 1-3-1 サンチアゴ・カラトラバの創作活動の範囲
 - 1-3-2 既往研究
 - 1-3-3 研究の位置付けと意義
 - 1-3-4 力感について
 - 1-3-5 人体のモチーフ
 - 1-3-6 肉体的な共体験
- 1-4 研究の方法
 - 1-4-1 分析の対象
 - 1-4-2 分析の方法
- 1-5 研究の構成

第2章 人体像をモチーフとした作品の分析

- 2-1 作品分析
 - 2-1-1 Stadelhofen Station, Zurich, Switzerland, 1983-1990
 - 2-1-2 Montjuic Communications Tower, Barcelona, Spain, 1989-1994
 - 2-1-3 Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995
- 2-2 分析結果のまとめ

第3章 人体の一部をモチーフとした作品の分析

- 3-1 作品分析
 - 3-1-1 Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995
 - 3-1-2 Kuwait Pavilion, Seville, Spain, 1991-1992
 - 3-1-3 City of Arts and Science, Valencia, Spain, 1991-2000
 - 3-1-4 Shadow Machien, New York, USA, 1992
 - 3-1-5 Turning Torso, Malmö, Sweden, 1999-2000
- 3-2 分析結果のまとめ

第4章 考察

- 4-1 人体の表現手法の整理
- 4-2 造形的特徴からみる力感表現の整理
- 4-3 造形のヴォキャブラリーとしての展開

第5章 総括

- 5-1 結論
- 5-2 今後の展開

付録

- ・参考文献
- ・図面資料等

第1章 序論

- 1-1 研究の目的
- 1-2 サンチアゴ・カラトラバの略歴
- 1-3 研究の背景
 - 1-3-1 サンチアゴ・カラトラバの創作活動の範囲
 - 1-3-2 既往研究
 - 1-3-3 研究の位置付けと意義
 - 1-3-4 力感について
 - 1-3-5 人体のモチーフ
 - 1-3-6 肉体的な共体験
- 1-4 研究の方法
 - 1-4-1 分析の対象
 - 1-4-2 分析の方法
- 1-5 研究の構成

1-1 研究の目的

本研究の目的は、サンチアゴ・カラトラバの建築作品にみられる構造デザインの形態表現の手法を明らかにし、その形態が表現・内包する象徴的意味について整理することである。

1-2 サンチアゴ・カラトラバの略歴

サンチアゴ・カラトラバ (Santiago CALATRAVA) は、スペイン出身の建築家・構造エンジニアである。氏はバレンシアの美術学校と建築学校を卒業し、チューリッヒ工科大学 (ETH) にて土木工学や航空工学を学んだ。その後、ETH にて助手をしつつ 1981 年に博士論文「スペースフレーム (立体骨組) の折りたたみの可能性について」(図 1.2) を書き上げた後、チューリッヒにて自らの設計事務所を開設した。スイスを中心に欧州、北南米と国際的に活動をおこなっている。

カラトラバの作品は建築のみならず橋梁や彫刻、絵画にまで至り、自身の建築の仕事を「すべての芸術をひとつに組み合わせたもの」としている。これは美術・建築・土木と広く学んできた経歴が物語っている。

いかにしてカタチのアイデアを得るかという事に関して、自ら次のように語っている。

「人間の体を解剖してその構造を理解し、そこからアイデアを読み取ること、言い換えれば人間の体を鑑賞することも重要です。」(注 1.1)

カラトラバの造形のアイディアは、人体の動きが生み出すフォルム、動物の骨格や運動、木々や花といった植物などへの興味と観察から創出されている。それらの興味からカラトラバは人体や動物の運動の様子をあたかも時間を停止したように切り取ったスケッチを多く描いている。描かれた姿は、みな力強く躍動的にその一瞬一瞬を描出している。独創的な造形の発明のみならず、カラトラバは土木工学・航空工学で発見した新たな構造的解法を建築に取り込むことで、今後も新たな建築の開発が期待されている。



図 1.1: Santiago Calatrava
Philip Jodidi: Calatrava
Complete Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009, p518

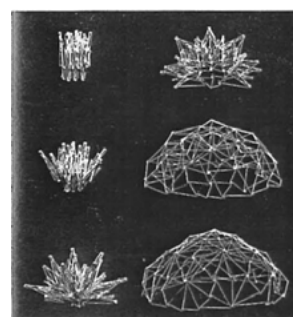


図 1.2: Concerning the
Foldability of Space Frames

注 1.1
Santiago Calatrava: 建築家の講義—サンチアゴ・カラトラバ, 金箱温春 訳, 丸善株式会社, 2008, p71

〈略歴〉

1951	スペイン、バレンシアにて生まれる
1968-1969	バレンシアの美術学校にて学ぶ
1969-1973	バレンシア建築学校にて建築を学ぶ
1975-1979	チューリッヒ工科大学にて土木工学を学ぶ
1979-1981	チューリッヒ工科大学助手
1981	チューリッヒにて事務所を設立
1989	パリ事務所を開設

1-3 研究の背景

1-3-1 サンチアゴ・カラトラバの創作活動の範囲

前述の通り、カラトラバの創作活動幅は広く、それぞれ代表的な作品を以下に示す。

■建築



図 1.3 Tenerife Concert Hall



図 1.4 Milwaukee Art Museum

■橋梁



図 1.5 Alamillo Bridge



図 1.6 Campo de Volantín Footbridge

■Drawing



図 1.7 人物デッサン

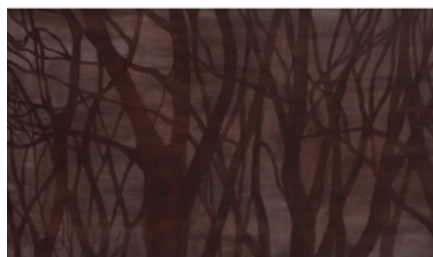


図 1.8 絵画

■彫刻



図 1.9 The Bird

■家具



図 1.10 table

1-3-2 既往研究

カラトラバに関する研究は、作品の力学的特徴を読み解くもの、スケッチの対象に関するもの、構造表現におけるカラトラバの位置付けに関するものがすでに行われている。

各研究の概要は以下の通りである。

・斎藤公男、鈴木新吾：構造表現と S.Calatrava その 1 － 構造表現における S.Calatrav の位置づけ－，日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海)，1994 年，pp.1081-1082

構造表現の美しさという点において、カラトラバを「普遍的美しさの追求」ではなく「造形的美しさの追求」を行う作家と評価し、構造表現の系譜や他の建築家からの影響の中で、カラトラバの位置付けを行った研究である。

・斎藤公男、鈴木新吾、三瓶智康：構造表現と S.Calatrava その 2 － 作品を通しての分析と評価－，日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海)，1994 年，pp.1083-1084

上記のその 1 に引き続き、カラトラバの建築作品について次の 5 つの要素を持つとし分類を行い、作品を評価した研究である。

- 1) 有機的オブジェクトの追求
- 2) 構造材料・技術のハイブリット化、
- 3) 技術は完成を翻訳する
- 4) 動きのある建築の追求
- 5) 透明感の追求

・青木信，杉本俊多：サンティアゴ・カラトラバの建築設計手法に関する研究～シュテーデルホーフエン駅のスケッチ分析～，日本建築学会中国支部研究報告集 第 2 5 巻，2002 年，pp.1045-1048

カラトラバ設計の Staedelhofen Station(Switzerland, 1983-1990) について、設計過程に描かれたであろうスケッチのモデル化を行い、それぞれについて応力分布の分析を行った研究である。カラトラバの建築は、「複雑な有機的形態を単純な構造的手法で解決している」、「応力分布に対応した部材厚とし余分なものは排除する」といった合理性がある」と評価している。

・尾上優希,土居義貯: サンティアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿と比較しながら, 日本建築学会九州支部研究報告 第49号, 2010年, pp.637-640

カラトラバの描く人体のスケッチの特徴と、レオナルド・ダ・ヴィンチの描いた人体のスケッチとの比較を行った研究である。主に「眼」に関するスケッチに着目している。

・尾上優希,土居義貯: サンティアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について 西洋の歴史の中で人体に関わった人物との比較, 日本建築学会九州支部研究報告 第50号, 2011年, pp.665-668

カラトラバの描く人体のスケッチと、歴史上の人体スケッチの諸例と比較し建築作品との関連をみた研究である。比較対象として次の4名を挙げている。

- 1) マルクス・ウィトルウィウス・ポリオ
- 2) レオナルド・ダ・ヴィンチ
- 3) アルブレヒト・デューラー
- 4) エル・グレコ

本研究は、カラトラバの人体的な構造表現と造形手法を力感という概念を用いて明らかにしてゆく、設計手法とスケッチの特徴、力学的な解釈を総合して行う。

表 1.1: 既往研究一覧

筆者	論文タイトル	所属	投稿大会名	投稿年月
斎藤公男、鈴木新吾	構造表現とS.Calatrava ーその1 構造表現におけるS.Calatravaの位置づけー	日本大学理工学部	大会(東海)	1994.9
斎藤公男、鈴木新吾、三瓶智康	構造表現とS.Calatrava ーその2 作品を通しての分析と評価ー	日本大学理工学部	大会(東海)	1994.9
青木信、杉本俊多	サンティアゴ・カラトラバの建築設計手法に関する研究 ～シュテーデルホーフェン駅のスケッチ分析～	広島大学大学院博士前期課程	中国支部	2002.3
尾上優希、土居義貯	サンティアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿と比較しながら	九州大学大学院修士課程	九州支部	2010.3
尾上優希、土居義貯	サンティアゴ・カラトラバの「人体」から建築への捉え方について 西洋の歴史の中で人体に関わった人物との比較	九州大学大学院修士課程	九州支部	2011.3

1-3-4 力感について

構造体が表現する力について、横尾義貫^{注1.2}は力感という概念について「力感論」^{注1.3}、「力感論覚え書」^{注1.4}の中で次のように論じている。

注1.2

京都大学・豊橋技術科学大学名誉教授

「私どもは橋をながめて、そこに力学的な力の働きを感じとる。あるいは1つの工芸品、絵巻、彫刻に接しても、そこに複雑な力の働きを感受する。このようにあらゆる形象は力の働きの感じ、すなわち**力感**を伴うと云えるだろう。」

注1.3

横尾義貫：力感論，建設工学，Vol.4, No.2, pp.13-15, 1953

さらに、横尾氏はこの力感を次の2つの概念に分け展開している。

注1.4

横尾義貫：力感論覚え書，カラム，No.24, pp.7-10, 1967

- （「Real な力感」：現実には作用している力の感受
「Imaginary な力感」：形象から連想によって感じる
現実には働いていない力の感受

これら2つの力感をゴシック寺院を例として、「おびただしい石が屋根から壁、扶壁をへて、均衡を保ちつつ大地へ伝わる感じ」を「Real な力感」とし、「昇天するような運動感」を「Imaginary な力感」としている。

「Real な力感」は主に重力の作用とそれに対抗する構造の作用感であるとし、これらは恒常的であり、建築の表現の基底をなすものであるとしている。つまり、「Real な力感」は物理的な力の感受であるといえる。

一方、「Imaginary な力感」は心理的作用などの抽象的なものを含む概念であるといえる。

本研究では、この力感をカラトラバの建築作品、特に人体をモチーフとした作品から読み取ることで造形表現の整理を試みる。

1-3-5 人体のモチーフ

建築の意匠に人体を表現するという試みは、古代ギリシャ神殿におけるカリアティード(図 1.11)にもみられる。カリアティードとは、エンタブラチュアを支持する女人像柱を意味する。ウィトルウィウスによると、「ギリシアの敵国カリュアの女性奴隷が永久に奴隷状態の見本として、侮辱を背負わされて国に代わって償いをしている。当時の建築家たちは、後世までカリュア人悪評高い罪の償いが記憶に伝えられるように、荷を負った恰好につくられたかの女たちの像を公共の建物に意匠した。」^(注 1.5)のだという。ここでは単に人体を柱に表現しただけでなく、背景となる故事を物語る役割を担っていた。その後カリアティードは、その男性版であるアトラスと共に装飾として数多くの建築に用いられていった。バロック期のベルヴェデーレ宮殿では、エントラスの柱にヘラクレスの姿(図 1.12)がデザインされている。このヘラクレスは、片膝を立て肩の荷に手を当て前傾している姿をしており、そこから「柱頭を必死に支える力強い姿」が表現されている。このように、人体を表現することには単に造形的な美しさの追求を超えて、その内面に在る様々な背景を象徴している。

以上のような造形には具体的な人間の姿が表現されており、その造形から観察した際には、働く力の感覚、つまり力感が感じ取れる。これは、力感がより明確に感じとれるよい例である。

一方で、人体は表現としての対象のみならず、様々な寸法体系の基礎にも持ちられた。私たちが何を作っている場合でも、物体の大きさと寸法は私たちの身体に関連している。ルネッサンス期に規律や寸法系の基礎として人体の解剖が行われ、また20世紀ではモデュロールの基礎にも人体寸法が用いられた。建築のアイデアを構想する際、人体への興味や研究は有用な本質的な理論を見出すきっかけになり得るのである。



図 1.11: The Caryatid Porch of the Erechtheion, Athens, 421-407 BC



図 1.12: ヘラクレス像, Belvedere, Viena, 1720

注 1.5

ウィトルウィウス建築書, 森田慶一訳, 東海大学出版会, 1979, p.4

1-3-6 肉体的な共同体験

前述のように、体のモチーフからは力感を感じ取れる、これに類似した考えとして、肉体的な共同体験というものがある。

ハインリッヒ・ベルフリンの建築心理学序説^(注1.6)によれば、

「私たちはしかし、重さや収縮、力などが何であるかを私達に教えこむ肉体をもった人間として、見慣れない形象の状態を、まず共に感じとる能力を与えるような経験を集める。」^(注1.7)

「私達の肉体的組織は、その下に私達がすべての物的なものを理解する形式である。建築の基本要素である素材と形式、重さと力は、私達自らの経験によって規定される。」^(注1.8)

つまり視覚対象を観察し、その意味を理解するためには肉体的な共同体験が必要であるという。これは私たちが経験し得ないことは、感じ取ることができないからだとしている。つまり、私たちが経験したことであれば視覚対象から感じとることができるといえる。

例えば、私たちが生きながらにして感じている、重力や筋肉の動きといった感覚を対象から感じとることができるのである。

肉体的な共同体験とは、観察者の身体感覚の投影といえる。投影が容易に行えるのは、私たちの身体により近いもの、つまり、視覚対象が人体的な表現をもつ時、私たちは肉体的な共同体験によってより効率的に対象を観察できるのである。

以上より、「建築の構造躯体に人体像を用いることで、観察者に肉体的な共同体験を働きかけ、より直感的に力感を感じ取ることができる」と考える。これをもとに、カラトラバの作品分析を行っていく。

注1.6

Heinrich Wölfflin: 建築心理学序説, 上松佑二 訳, 中央公論美術出版, 1988

注1.7

Heinrich Wölfflin: 建築心理学序説, 上松佑二 訳, 中央公論美術出版, 1988, p8

注1.8

Heinrich Wölfflin: 建築心理学序説, 上松佑二 訳, 中央公論美術出版, 1988, p20

1-4 研究の方法

1-4-1 分析の対象

サンチャゴ・カラトラバ設計による建築作品のうち、下記の資料より人体像または人体の一部に関するスケッチが確認できる作品を分析の対象とする。本研究では、"人体像に関するスケッチ"が確認できた3作品と、"人体の一部に関するスケッチ"が確認できた5作品の計8作品について分析を行う。作品の序列は設計年の古い順としてある。

Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station については、人体像と人体の一部の両方のスケッチが確認できたため描かれている対象となる部分ごとに分けて分析を行う。

■人体像をモチーフとした作品

1. Stadelhofen Station, Zurich, Switzerland, 1983-1990 (図 1.13)
2. Montjuic Communications Tower, Barcelona, Spain, 1989-1994 (図 1.14)
3. Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995 (図 1.15)

■人体の一部をモチーフとした作品

1. Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995 (図 1.16)
2. Kuwait Pavilion, Seville, Spain, 1991-1992 (図 1.17)
3. City of Arts and Science, Valencia, Spain, 1991-2000 (図 1.18)
4. Shadow Machien, New York, USA, 1992 (図 1.19)
5. Turning Torso, Malmö, Sweden, 1999-2000 (図 1.20)

資料一覧

- Santiago Calatrava: 建築家の講義—サンチャゴ・カラトラバ, 金箱温春 訳, 丸善株式会社, 2008
- Philip Jodidi: Calatrava Complete Works 1979-2009, TASCHEN, 2009
- Santiago Calatrava: Santiago Calatrava Secret Sketchbook, The Monacelli Press, 1996
- Werner Blaser: Santiago Calatrava Engineering Architecture, Birkhäuser, 1990
- 現代建築家ビデオ / DVD シリーズ 第3 5 巻 サンティアゴ・カラトラバ: 神はサイコロを振らない, デルフォイ研究所, 2005
- Anthony Tischhauser, Stanislaus von Moos: Calatrava public buildings, Birkhäuser, 1998
- Santiago Calatrava 1983-1993, El Croquis, El Croquis, 1994



図 1.13 シュタットデルホーフェン駅



図 1.14 モンジュイック電波塔

図 1.15 サトラス空港駅
— プラットホーム図 1.16 サトラス空港駅
— エントランス

図 1.17 クウェートパビリオン



図 1.18 レ・ミスフェリック



図 1.19 シャドーマシーン



図 1.20 ターニングトルソ

1-4-2 分析の方法

本研究は、選択した作品に対して次の手順で分析を行う。

■部分の対応

スケッチに描かれている人体と建築作品においてそのスケッチの対象となっている部分がどのように対応し建築形態に変換されているか分析を行う。

■構成

変換されたスケッチの対象が、作品の中でどのように構成されているかの分析を行う。単体か複数か、どのような配置か、スケールの操作について。変換されたスケッチの対象が、標準的な人に対してどのくらいの倍率で表現されているか分析を行う。

2) 力学的特徴

建築の図面等の資料からその造形の力学的根拠を分析する。簡易的な構造モデルから M 図を描くなどを行う。

3) 力感の読み取り

以上の分析から、造形の分析において、いかに共体験をさせているかみることで「Imaginakry な力感」を読み取り、力学的特徴から応力などの流れを見ることで「Real な力感」読み取りを行う。

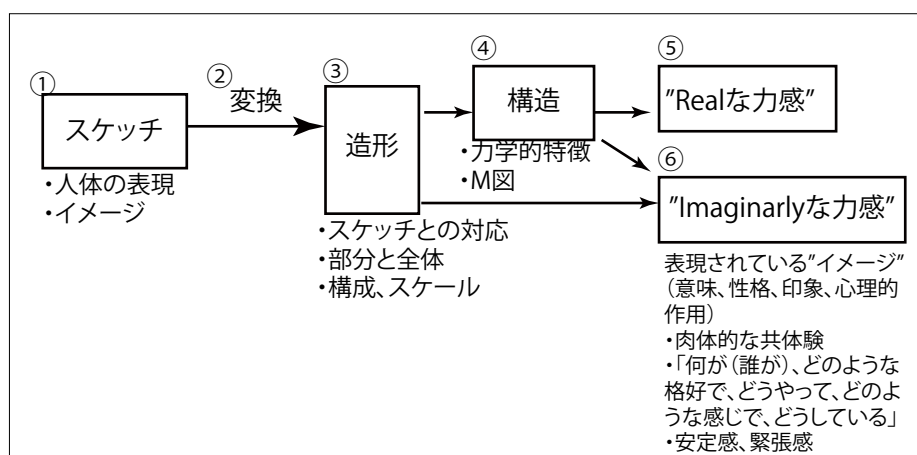


図 1.21 分析手順の概要

1-5 研究の構成

本研究は以下の構成から成る。

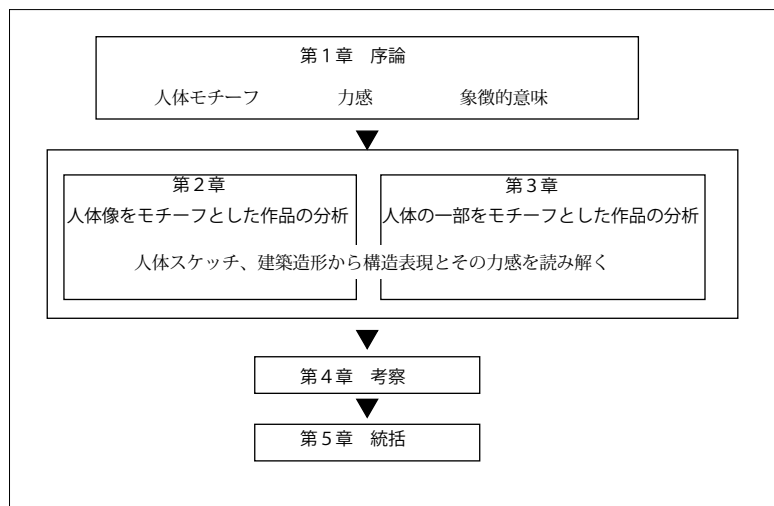


図 1.22 研究の構成

第 2 章 人体像をモチーフとした作品の分析

2-1 作品分析

2-1-1 Stadelhofen Station, Zurich, Switzerland, 1983-1990

2-1-2 Montjuic Communications Tower, Barcelona, Spain, 1989-1994

2-1-3 Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995

2-2 分析結果のまとめ

2-1 作品分析

カラトラバ氏の建築作品のなかでも人体像をモチーフとし、そのスケッチが収集できた以下の 3 作品について分析を行う。

2-1-1 Stadelhofen Station, Zurich, Switzerland, 1983-1990

2-1-2 Montjuic Communications Tower, Barcelona, Spain, 1989-1994

2-1-3 Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995

2-1-1 シュタッデルホーフェン駅



図 2.1.1 シュタッデルホーフェン駅

図 2.1.1

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
pp.78-79 より

この作品は、1983年にカラトラバがプロポーザルで勝ち取ったプロジェクトであり、住宅地と丘の境界に地下鉄の駅舎を計画するものである。地下の商業アーケード、地上のプラットフォーム、丘から突き出した遊歩道の3層から構成されており、住宅地側から見上げると丘と上手く溶け込むよう計画されている。既存の住宅地の地盤を補強しつつ計画を行う必要があったが、土木的な問題と建築的な提案がうまく解かれている。

丘の輪郭に沿うように弓状平面となったプラットフォームは約270mになる。



図 2.1.2 人体スケッチ 1

■分析対象

本作品では、図 2.1.2 にみられる人体スケッチが確認できた。よってスケッチの対象となっているプラットフォームの柱(図 2.1.3)を対象とする。



図 2.1.3 プラットホーム 柱

■作品概要

所在地：チューリッヒ（スイス）

住所：Stadelhoferstrasse 8, 8001 Zürich, Switzerland

用途：駅舎

設計期間：1983-1990 年

■受賞歴

- Brunel Award for the Zurich-Stadelhofen Railway Station (1992)
- City of Zurich Award for Good Building (1991)

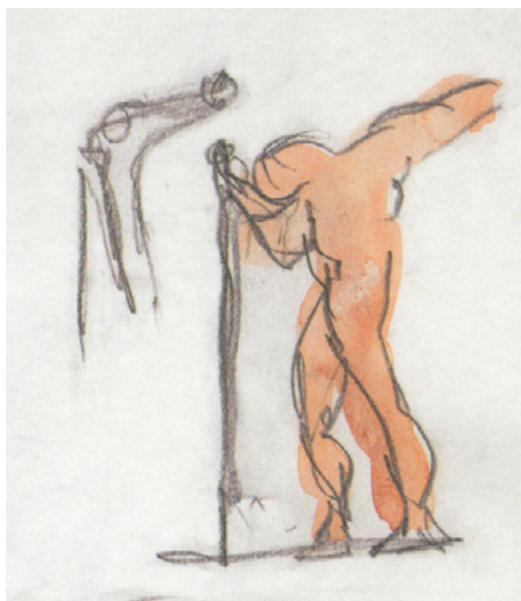


図 2.1.2 人体スケッチ 1



図 2.1.3 プラットホーム 柱

図 2.1.2

Santiago Calatrava:
Santiago Calatrava
Secret Sketchbook,
The Monacelli
Press, 1996 より

図 2.1.3

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p77 より

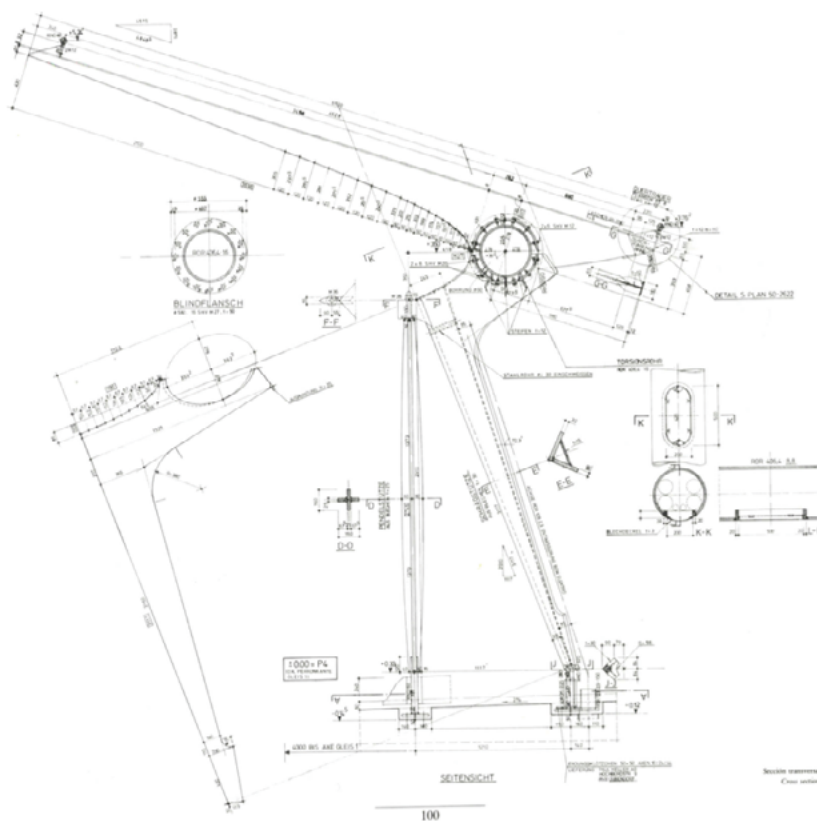


図 2.1.4 プラットホーム 屋根詳細図

図 2.1.4

Santiago Calatrava
1983-1993, El
Croquis, El Croquis,
1994, p100 より

■スケッチの概要



図 2.1.2 人体スケッチ 1

図 2.1.2 には人体のスケッチ（図中右）と柱の造形のアイデア（図中左）が描かれている。

人体のスケッチには「腕を後方へ広げた人が杖に寄りかかっている」姿が描かれている。

■部分の対応

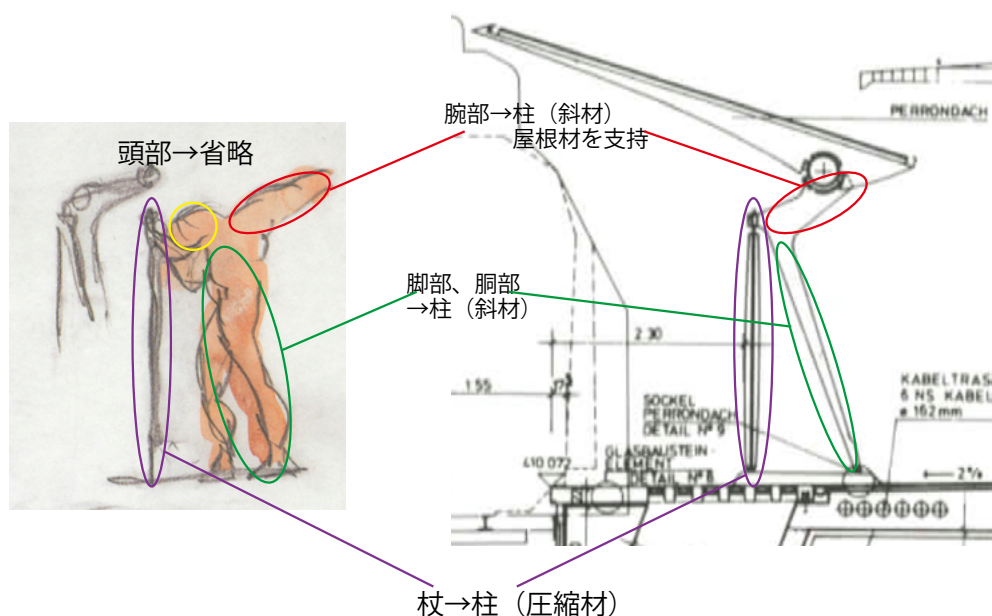


図 2.1.5 部分の対応 -Stadelhofen Station

ここではスケッチの対象となっている立面図と比較し部分ごとにみてゆく。

- 1) 頭部：スケッチに描かれている”首を前方に曲げている”ような人体の頭部は消去されている。
- 2) 腕部：屋根部材を支持する柱へと変換されている。垂直の圧縮材（後述）との接続部から上部にゆくにつれて二股に分かれており、”腕を広げた”ようである。先端部にはそれぞれの柱を接続する水平材が乗っている。
- 3) 胴部、脚部：共に斜の柱へと変換されているが、胴部と脚部には分かれてはおらず一体となっている。断面はL字状となっており、基礎へ向かって細くなっている。
- 4) 杖：このスケッチでの人体は杖状の部材に寄りかかった姿をしており、この杖部分は柱部分の垂直材として変換されている。この材は十字状の断面をしており、中心部分が太く、両端に向かって細くなってゆく造形となっている。

この作品では、スケッチ描かれている人体の姿は継承しているが、頭部の省略などによって抽象化されている。スケッチでは前方の杖に寄りかかっている姿だが、建築ではかかとを閉じ、両腕を上伸ばし杖となる垂直材に対して背から寄りかかっている姿とも見て取れる。

■構成



図 2.1.6 scale model_Stadelhofen Station

図 2.1.6

Werner Blaser:
Santiago Calatrava
Engineering
Architecture,
Birkhäuser, 1990,
p52 より

ここで人体像が表現されているのは柱単体であるが、カラトラバはこの柱を一つの単位として弓状平面に対して等間隔に連続させることでプラットフォームを構成している。弓状に連続配置することで、一度に多くの柱を視覚させることで、より集団のイメージを与えることに成功している。さらに、皆が同じように円弧の中心に向かって傾く姿も集団性を強めている。

■スケールの操作

この作品では、人体に対応する部分の高さは図面より概ね 3,500mm 程度であると読み取れる。これは標準的な人 (約 1,700mm) の約 2 倍ほどである。

■力学的特徴

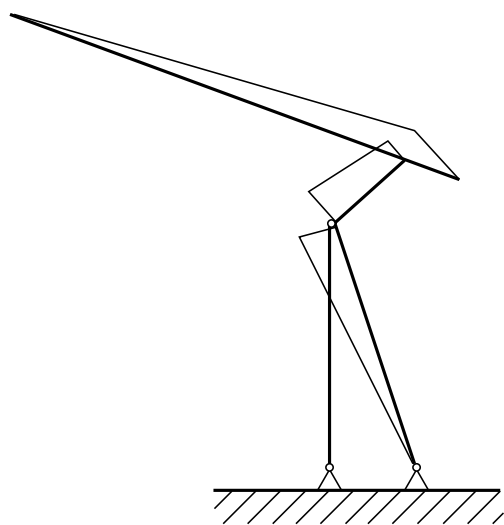


図 2.1.7 モーメント図と造形の比較 _Stadelhofen Station

図面より簡易的な構造モデルを作成しモーメント図を描いた。

屋根の荷重を受けた柱のモーメントは支点に向かって収束すると考えられる。

これを実際の作品と比較すると、屋根を受けた柱は垂直材との接続部が最も大きな断面となり、支点に向かって断面が小さくなってゆく。

このことから、モーメント荷重の分布に沿った断面形状をとっていることが分かる。

■力感

Real な力感

大きく庇の伸びた屋根の荷重を、梁で受け、“くの字状柱”二股になった柱頭部へと伝達させる。途中、二股がL字断面となり、土台へと伝達される。

“くの字状柱”のバランスを垂直の圧縮材によって保っている。

Imaginary な力感

- ・人の倍ほどの身長巨人が、両腕を後方へと大きく広げた格好で、腕にかかる屋根の荷重と自重を前方の棒にかけ、耐えている。
- ・「両腕を体の前方へと大きく伸ばし、後ろ倒れかかっている」ようにも見る事ができる。
- ・弓状に等間隔に連続配置することで多数の同じ格好の巨人らによる力強さと協同性や、弓の内側方向への中心性を表現する。
- ・駅という常に多数の人々が動き回る流動的な場において、緊張感を持ち力強く静止し立っている造形が対比的に表現されている。

2-1-2 モンジュイック電波塔



図 2.2.1 Montjuïc Tower 北側より

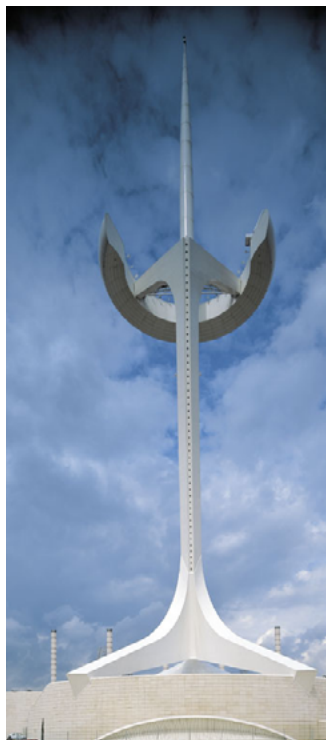


図 2.2.2 Montjuïc Tower 東側より

図 2.2.1

Alexander Tzonis:
Santiago Calatrava
the complete
works, Rizzoli,
2004, p159 より

図 2.2.2

Alexander Tzonis:
Santiago Calatrava
the complete
works, Rizzoli,
2004, p115 より

1992年のバルセロナオリンピックに合わせたテレビ放送用のために、モンジュイックの丘の上に計画された電波塔である。当時バルセロナオリンピックのテレビ放送用に計画されたものであるが、今なおモンジュイックのシンボルの一つとして佇んでいる。

塔の地下には小さなホールが設けられており、大きなアーチ状の出入り口の造形と光の取り入れ方を追求し設計されている。

■作品概要

所在地：バルセロナ（スペイン）

住所：Torre de Comunicacions de Montjuïc, 08-038, Barcelona

用途：電波塔

設計期間：1989-1994 年



図 2.2.3 Montjuic Tower_人体スケッチ 1

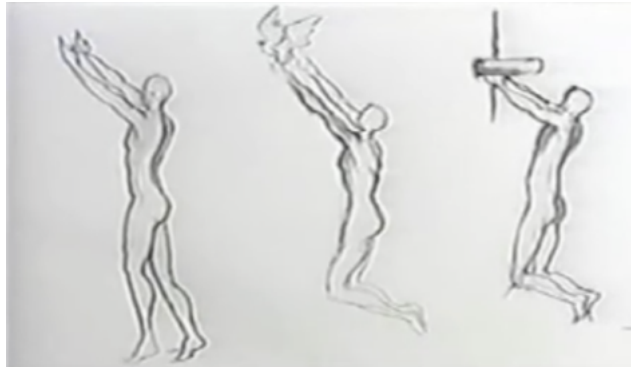


図 2.2.4 Montjuic Tower_人体スケッチ 2

図 2.2.3

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p116 より

図 2.2.4

現代建築家ビデオ /
DVD シリーズ 第
35 巻 サンティア
ゴ・カラトラバ:
神はサイコロを振
らない, デルフォ
イ研究所, 2005

図 2.2.5

antiago Calatrava
1983-1993, El
Croquis, El Croquis,
1994, p108 より

図 2.2.6

antiago Calatrava
1983-1993, El
Croquis, El Croquis,
1994, 106 より

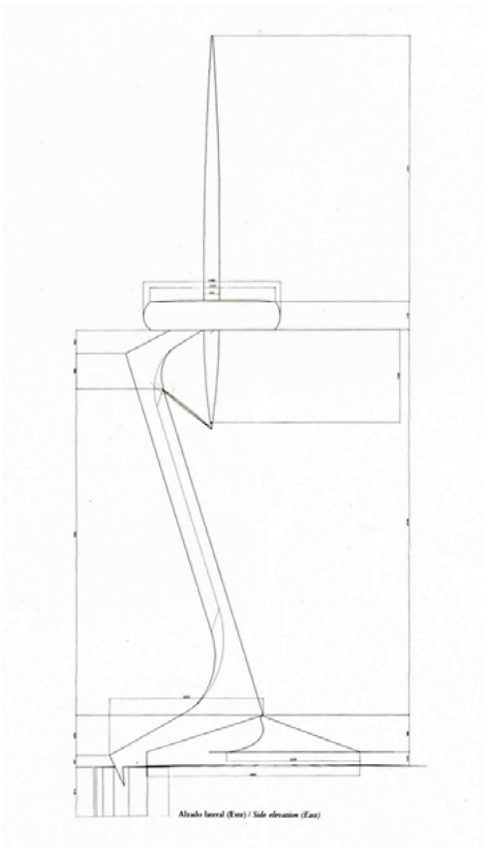


図 2.2.5 Montjuic Tower_北側立面図

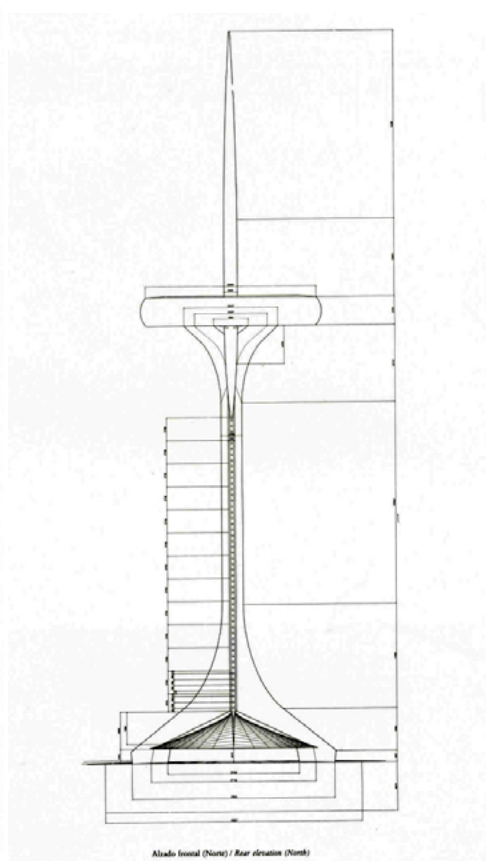


図 2.2.6 Montjuic Tower_東側立面図

■スケッチの概要

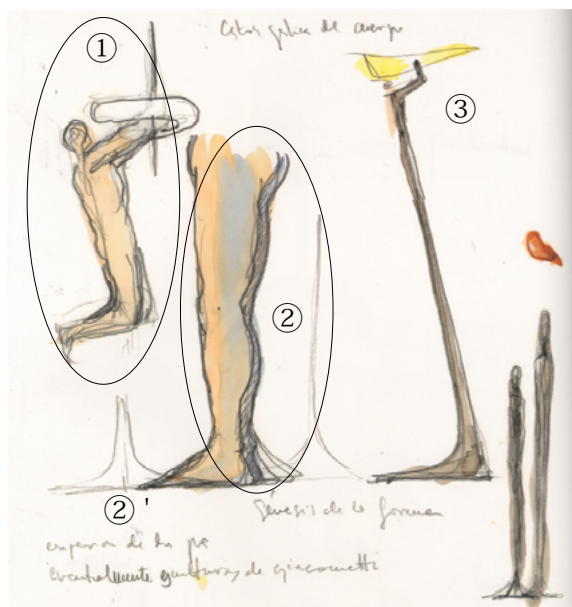


図 2.2.3 Montjuic Tower_人体スケッチ 1



図 2.2.7
Montjuic Lamp:
Santiago Calatrava
HP (<http://www.calatrava.com>) より

本作品については図 2.2.3 と図 2.2.4 の人体スケッチが確認できた。

図 2.2.3 のスケッチでは複数の人体スケッチが描かれている。(図中①, ②)

・①の人体スケッチについて

膝立ちで掲げる人の姿が描かれている。この人体像が最も作品の造形に近く描かれている為、主にこの①の人体スケッチを用いて後の部分の比較を行ってゆく。

・②の人体スケッチについて

人の臀部から下、足先までがまっすぐ伸ばした姿勢で描かれている。背面に重なるようにもうひとつの脚が確認できるので、人の両脚をイメージしているものと推測できる。また②'のスケッチは Montjuic Tower の下部と類似していることから②のスケッチでは、脛から足首そして甲にいたるまでの曲線を一つの要素として造形に取り入れようと思われたと思われる。

図 2.2.3 中の③のスケッチは、①の人体像からイメージされて制作された照明器具(図 2.2.7)のアイデアである。

図 2.2.4 の人体スケッチは、映像記録(注 2.1)でのインタビュー内で Montjuic Tower の姿に至るイメージの変化を描いた板書のキャプチャである。

注 2.1

現代建築家ビデオ /
DVD シリーズ 第
35 巻 サンティア
ゴ・カラトラバ:
神はサイコロを振
らない, デルフォ
イ研究所, 2005

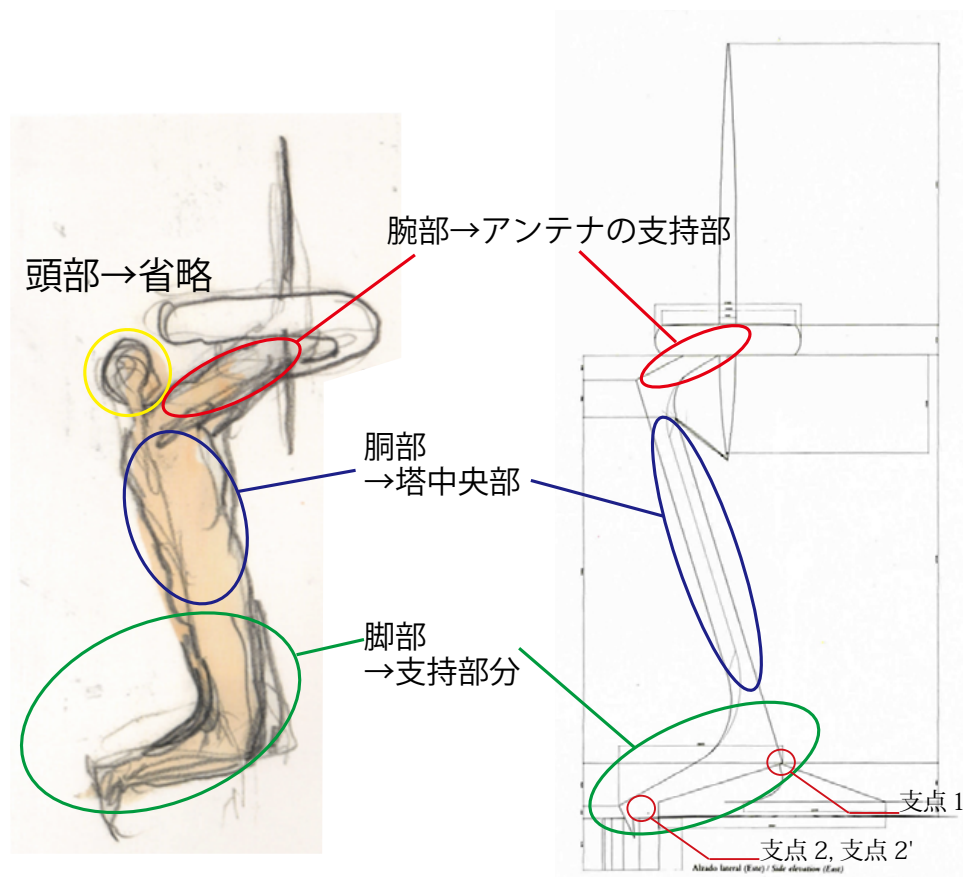


図 2.2.8
図 2.2.3. ①と
図 2.2.5 を用いて
の比較

図 2.2.8 部分の対応 -Montjuic Tower

ここでは、スケッチの対象となっている立面図と比較し部分ごとにみてゆく。

- 1) 頭部：肩より上の首から頭にかけて省略されている。
- 2) 腕部：塔の上部へと変換されており、アンテナ部分を支持するように二股に分かれている。
- 3) 胴部：塔の中央部へと変換されている。
- 4) 脚部：塔の下部、塔を支持する部分へと変換されている。スケッチにおける股下から膝にかけての部分は胴部と一体となり、膝に当たる部分（支点1）からつま先部分（支点2、支点2'）へと二股に分かれている。

この作品では、スケッチ描かれている人体の姿は継承しているが、頭部が省略されている。胴部の変換は他の部分と比較しても細く・長く造形されている。これによってアンテナ部のヴォリュームが強調されより浮遊感を与えていると共に、脚部をより大きく見せ力強さを演出している。さらに脚部の支点1では、極端に接合部を細く・小さく見せることによって、塔全体に不安定感とそれに耐える力強さを表現している。

■構成

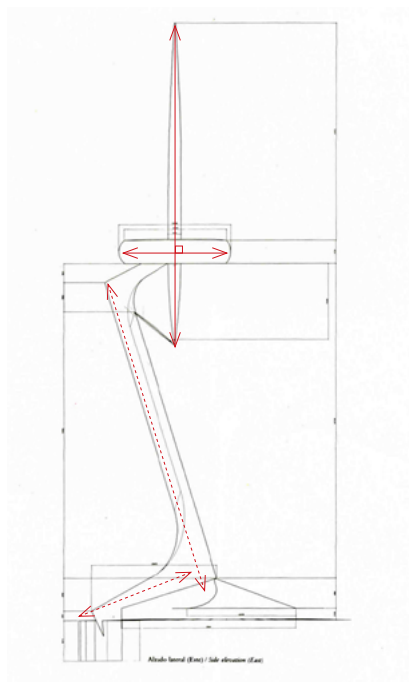


図 2.2.5 Montjuic Tower_北側立面図

Montjuic Tower は、人体が単体で表現されている塔とアンテナ部分から構成されている。単体での表現はより造形の象徴性を高めている。

また、アンテナ部分は主に水平垂直の成分から構成されているのに対して、塔に水平垂直成分は見られない。つまり、人体が表現されている部分には水平垂直成分を用いていないということである。これによって、アンテナ部分と塔が互いに ”異なる ” ということを強調する効果があるのである。

■スケールの操作

この作品では、人体に対応する部分の高さ（脚部と胴部の総延長）は図面より概ね90m程度であると読み取れる。これは標準的な人（約1,700mm）の約53倍ほどである。

■力学的特徴

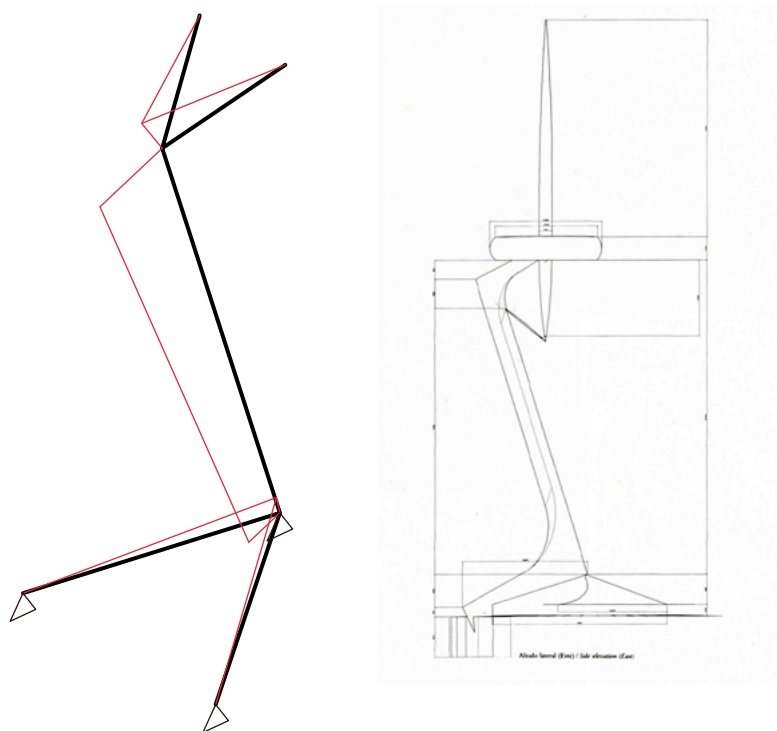


図 2.2.9 モーメント図と造形の比較_Montjuic Tower

立図面（図 2.2.5、図 2.2.6）より簡易的な構造モデルを作成しモーメント図を描いた。

これより、上部の分岐部分と下部の分岐部分に大きな曲げ荷重がかかっていることが確認できる。

本作品の造形と比較すると、共に分岐部分の断面が他の部分よりも大きくなっており、曲げ荷重に対応した造形であることがわかる。

また、人体スケッチの腕・脚に対応する部分はモーメントの分布に沿って断面が変化している。

■力感

Real な力感

- ・アンテナの荷重を受けた2本の梁が1つの柱そして土台へと伝達されている。土台では1つの柱が2又に分岐し、柱の端部と合わせ3点で支持する恰好となっている。

Imaginary な力感

- ・人の50倍近くになる巨人が膝立ちで巨大なアンテナを掲げているシンボリックな姿である。
- ・まるで聖火を天に掲げるように整然と佇んでいる英雄的な姿である。
- ・後方に体重をのせるように傾いた姿から、アンテナの荷重を必死に受けながら腕を伸ばしている力強い姿が表現されている。

2-1-3 サトラス空港駅（プラットホーム）



図 2.3.1 サトラス空港駅__外観

フランス、リヨン郊外の田園地帯にあるリヨン・サン＝テグジュペリ国際空港に隣接するように計画された高速鉄道 TGV の駅舎である。空港とは連絡橋で接続されており、建設当時は空港と高速鉄道が初めて結びついた駅であった。駅中央ホールを中心に両側へ 500m ほどのプラットホームが伸びている。

■分析対象

本作品で図 2.3.2 に示す人体像のスケッチが確認できた。よって、ここではスケッチの対象となっているプラットホームの外周部の柱（図 2.3.3）について分析を行っていく。

なお、本作品では図 2.3.4 に示す人体の一部に関するスケッチも確認できた。これについては 3 章にて別途分析を行う。

■計画概要

所在地：リヨン（フランス）

住所：Lyon-Saint Exupéry Airport, 69125, Colombier-Saugnieu, France

用途：駅舎

設計期間：1989-1995 年

図 2.3.1

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p129 より



図 2.3.2 人体スケッチ 1

図 2.3.3 サトラス空港駅
__プラットホーム

図 2.3.4 人体部分のスケッチ



図 2.3.2 サトラス空港駅_人体スケッチ 1



図 2.3.3 サトラス空港駅_プラットフォーム



図 2.3.5 プラットホーム_外周部柱



図 2.3.6 プラットホーム_外観

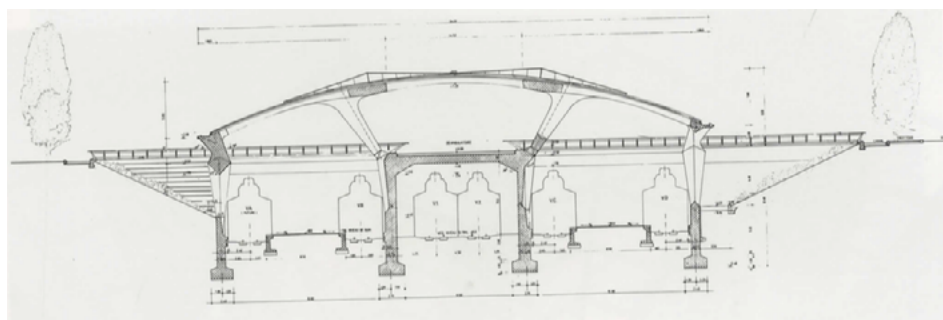


図 2.3.7 プラットホーム断面図

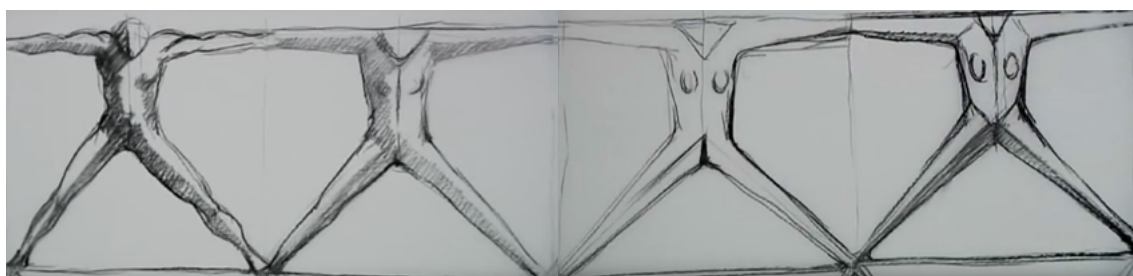


図 2.3.8 サトラス空港駅_人体スケッチ 2

図 2.3.3

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p136 より

図 2.3.5

Anthony Tischhauser,
Stanislaus von Moos:
Calatrava public
buildings, Birkhäuser,
1998, p79 より

図 2.3.6

Santiago Calatrava
1983-1993, El
Croquis, El Croquis,
1994, p157 より

図 2.3.7

Santiago Calatrava
1983-1993, El
Croquis, El Croquis,
1994, p153 より

図 2.3.8

現代建築家ビデオ /
DVD シリーズ 第
35巻 サンティアゴ・
カラトラバ: 神はサイ
コロを振らない, デル
フォイ研究所, 2005

■スケッチの概要



図 2.3.2 サトラス空港駅_人体スケッチ 1

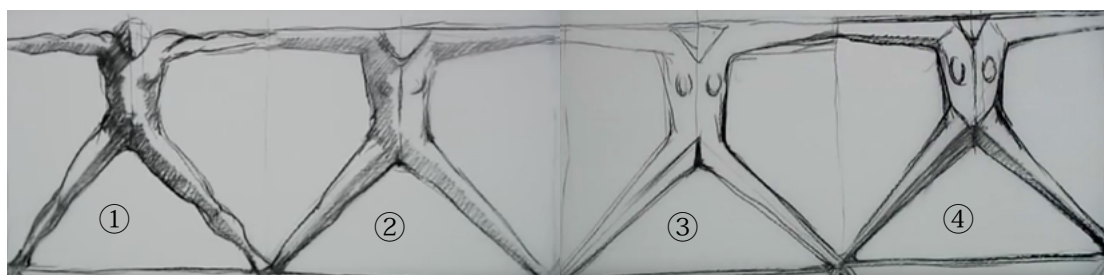


図 2.3.8 サトラス空港駅_人体スケッチ 2

本作品では、図 2.3.2 と図 2.3.8 の人体スケッチが確認できた。

図 2.3.2 では、大きく脚を開き腕を若干上に大きく開いた人物が同じ恰好で並んでいる姿が描かれている。互いの腕の先に V 字の部材がのっている様子も確認できる。さらに身体各部分の中央に線が描かれていることから、身体のコアを取ってプロポーションを思考していたと考えられる。

注 2.3.1

現代建築家ビデオ /
DVD シリーズ 第
35 巻 サンティアゴ・
カラトラバ：神はサイ
コロを振らない、デル
フォイ研究所, 2005

図 2.3.8 は映像記録 (注 2.3.1) 中のインタビューで人体のイメージ (図中①) から柱の造形 (図中④) に至る変遷を並列して描いた板書である。ここでは、大きく脚を開き腕を水平に伸ばした人物が手を取り合い並んでいる様子が描かれている。図 2.3.8 ①のスケッチは図 2.3.2 よりも人体が明瞭に描かれており、より本作品の造形に近く描かれている為、主に①の人体スケッチを用いて後の部分の比較を行ってゆく。

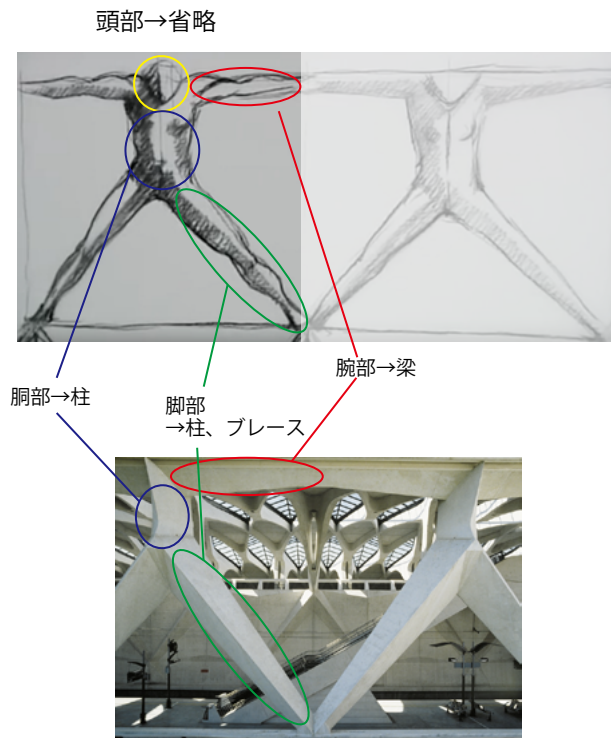


図 2.3.9
図 2.3.8, ① と 図
2.3.5 を用いての比
較

図 2.3.9 部分の対応__サトラス空港駅

ここでは、入手した図面が不明瞭であったため、スケッチの対象となっている部分の写真を用いて比較し部分の対応をみてゆく。

- 1) 頭部：首から上にあたる部分が省略されている。
- 2) 腕部：梁へと変換されている。
- 3) 胸部：柱へと変換されている。
- 4) 脚部：胸部にあたる部分から二股に分かれた柱へと変換されている。腿にあたる部分がより太く造形されている。基礎との接合部は隣接する柱のモジュールと共通となっている。

この作品では、スケッチに描かれている人体の姿は継承しているが、頭部は省略されている。胸部に比べて脚部が大きく造形されている。腕部は胸部の付け根から徐々に細くなるように造形されており、均一な断面のものより腕であることが主張されている。腕部、胸部、脚部らは人体の丸みを帯びた断面からひし形断面へと造形されている。これによって陰影が強調される効果や正対した際に細さ（特に胸部の細さ）が強調されている。

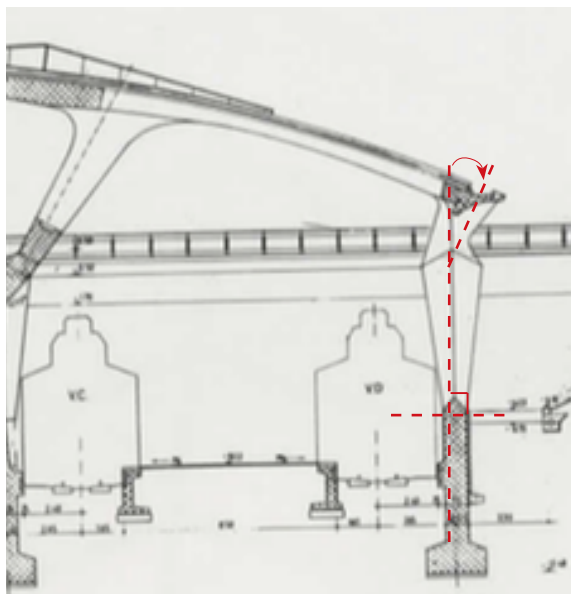


図 2.3.7 プラットホーム断面図

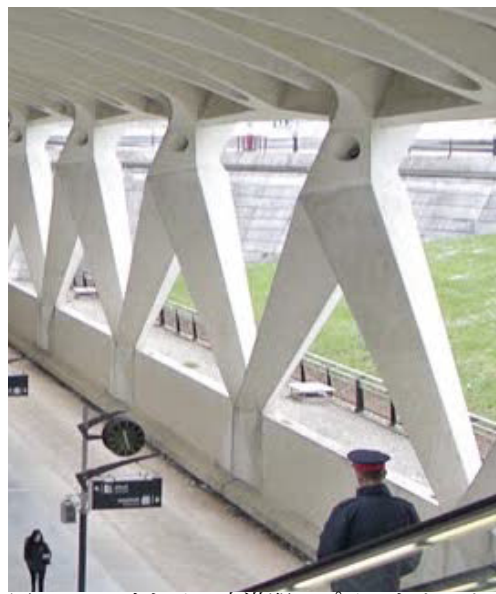


図 2.3.3 サトラス空港駅_プラットフォーム

図 2.3.8 及び立面からはまっすぐに立っているかのような姿にとれるが、断面 (図 2.3.7) から上半身に当たる部分が傾いていることが確認できる。よってこの柱に表現されている人体の姿は、「下半身は直立し上半身は若干後方へ仰け反っている姿」とであると判断できる。

■構成



図 2.3.6 プラットホーム_外観

図 2.3.2
サトラス空港駅_人体スケッチ 1

図 2.3.2 のスケッチにも表現されているように、ひとつの人体をひとつのモジュールとして並列させることでプラットフォームの屋根を支持するように外周の柱は構成されている。さらに腕部の先や脚部の先で接合させることで、ひとつのモジュールの境界を明確にすることで、集団性を表現している。

■スケールの操作

この作品では、人体に対応する部分の高さ（脚部の先から腕部の上部まで）は図面より概ね 8700mm 程度であると読み取れる。これは標準的な人（約 1,700mm）の約 5 倍ほどである。

■力学的特徴

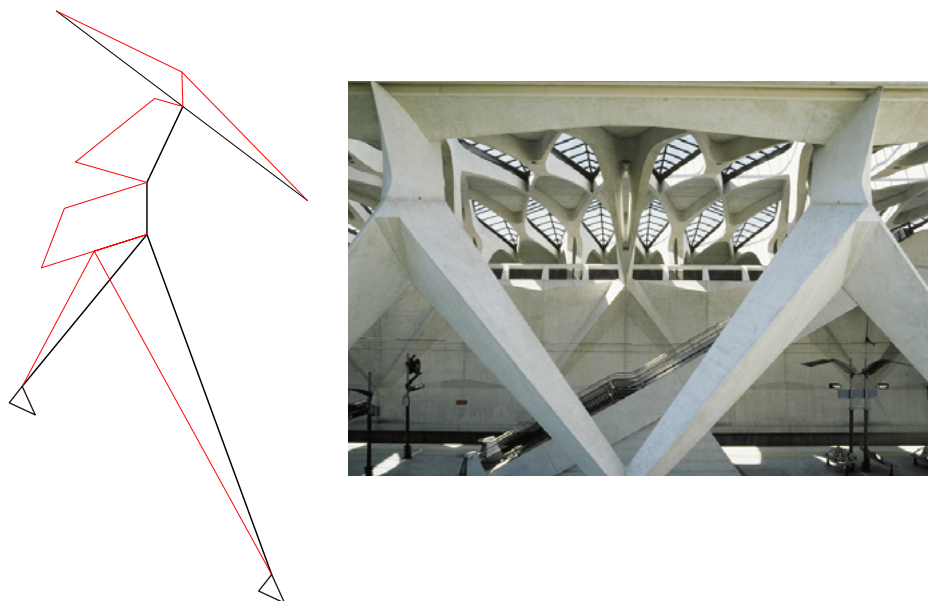


図 2.3.10 モーメント図と造形の比較_サトラス空港駅（プラットホーム）

断面図及び立面図より簡易的な構造モデルを作成しモーメント図を描いた。屋根の荷重は梁にかかるモーメントは胴部に伝達され2股の脚部へ伝わり支点へと収束する。

これを作品の造形と比較すると、腕部が表現されている梁はモーメント分布に沿って中央から胴部に向かって断面が増している。胴部は腰にあたる部分で括れるように断面が変化し、脚部もモーメント分布に沿って断面が小さくなっている。

■力感

Real な力感

・梁にかかる屋根荷重をまず柱に伝達し、そこから柱は途中二股に別れ土台へと荷重が伝達される。二股の柱は隣り合う柱と同じ支点で支持されることで、ブレースとして働くことで柱間を繋ぎ安定させている。

Imaginary な力感

- ・多くの巨人が互いに手を繋ぎ、屋根の重さを全身で受け、必死に支えている。
- ・同じ恰好の巨人らが並び同じ役割を果たしていることで、協働性が表現されている。
- ・脚部に比べて胴部が細く造形されていることで、下半身の力強さと安定感を感じることができる。

2-2 分析結果のまとめ

人体像をモチーフとした3作品における、造形の意味に関する項目（表現されている人体像、構成、主題、Imaginarly な力感からキーワードを抽出）をまとめたものを表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 人体像をモチーフとした作品

作品名	モチーフの対象	構成	主題	Imaginarly な力感
シュタッデルホーフェン駅	杖にもたれかかる巨人	等間隔に弓状に並列	杖にもたれかかりながら屋根を支える姿	集団性、協働性、忍耐、中心性、静的
モンジュイック電波塔	膝立ちでアンテナ掲げる巨人	単体	膝立ちでアンテナ掲げる巨人	シンボリック、英雄的、力強さ、静的
サトラス空港駅（プラットホーム）	大きく手足を開いた巨人	手足同士を合わせて並列	大勢で手を取りあい屋根を支える姿	集団性、協働性、安定感、力強さ、英雄的、静的、忍耐的

第3章 人体の一部をモチーフとした作品の分析

3-1 作品分析

3-1-1 Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995

3-1-2 Kuwait Pavilion, Seville, Spain, 1991-1992

3-1-3 City of Arts and Science, Valencia, Spain, 1991-2000

3-1-4 Shadow Machien, New York, USA, 1992

3-1-5 Turning Torso, Malmö, Sweden, 1999-2000

3-2 分析結果のまとめ

3-1 作品分析

カラトラバ氏の建築作品のなかでも人体の一部をモチーフとし、そのスケッチが収集できた以下の5作品について分析を行う。

3-1-1 Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995

3-1-2 Kuwait Pavilion, Seville, Spain, 1991-1992

3-1-3 L'Hemisfèric -City of Arts and Science-, Valencia, Spain, 1991-2000

3-1-4 Shadow Machien, New York, USA, 1992

3-1-5 Turning Torso, Malmö, Sweden, 1999-2000

3-1-1 サトラス空港駅（エントランスホール）



図 3.1.1 サトラス空港駅

フランス、リヨン郊外の田園地帯にあるリヨン・サン＝テグジュペリ国際空港に隣接するように計画された高速鉄道 TGV の駅舎である。空港とは連絡橋で接続されており、建設当時は空港と高速鉄道が初めて結びついた駅であった。駅中央ホールを中心に両側へ 500m ほどのプラットホームが伸びている。(同 2-1-3)

■分析対象

前述 2-1-3 では、本作品のプラットホームに表現された人体像について扱ったが、ここでは人体部分のスケッチが確認できたエントランスホールについて分析を行う。以下のようにカラトラバ自身が語っているように、人体の眼からイメージされた造形がなされている。

「リヨン駅のウイングは目のイメージの検討から発想された彫刻的な形態をしています。」(注 3.1.2)

注 3.1.2

Santiago Calatrava:
建築家の講義－サンチャゴ・カラトラバ, 金箱温春訳, 丸善株式会社, 2008, p73 より

■計画概要

所在地：リヨン（フランス）

住所：Lyon-Saint Exupéry Airport, 69125, Colombier-Saugnieu, France

用途：駅舎

設計期間：1989-1995 年

■分析資料



図 3.1.2 人体スケッチ 1

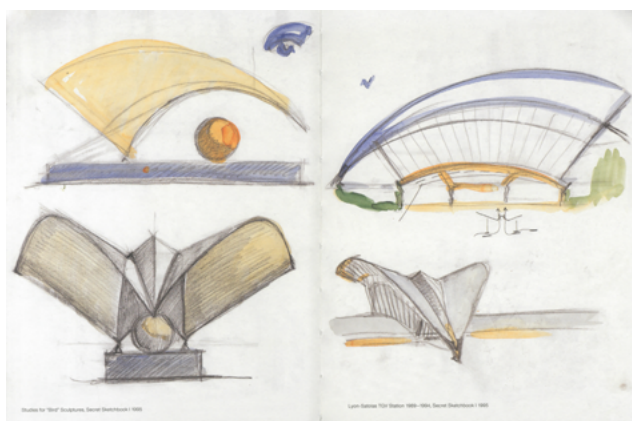


図 3.1.3 スケッチ



図 3.1.4 The Bird, 1986

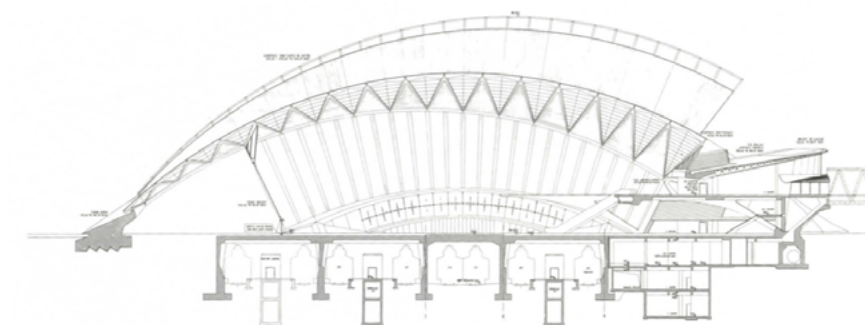


図 3.1.5 サトラス空港駅エントランスホール__断面図

図 3.1.2

Santiago Calatrava:
Santiago Calatrava
Secret Sketchbook,
The Monacelli
Press, 1996, p15 よ
り

図 3.1.3

Santiago Calatrava:
Santiago Calatrava
Secret Sketchbook,
The Monacelli
Press, 1996, pp.5-6
より

図 3.1.4

<http://www.calatrava.com/art/the-bird-010-d.html> より

図 3.1.5

Santiago Calatrava
1983-1993, El
Croquis, El Croquis,
1994, p152 より

■スケッチの概要

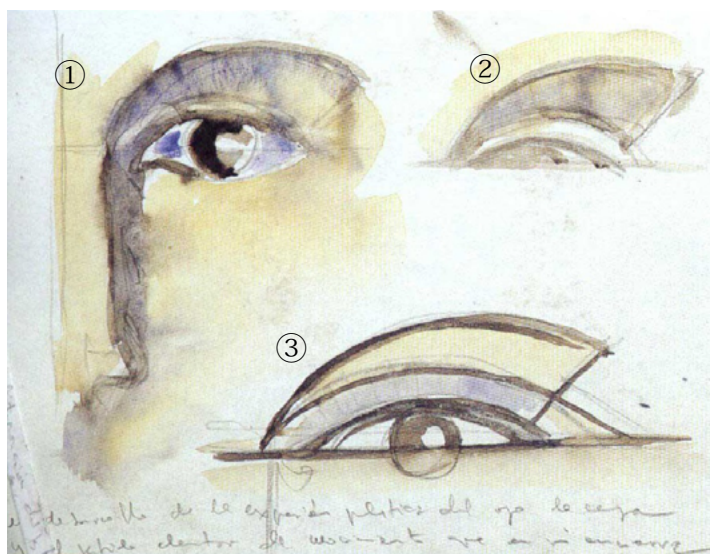


図 3.1.2 サトラス空港駅エントランスホール__人体スケッチ 1

本作品では、図 3.1.2 の人体スケッチが確認できた。

図 3.1.2 において①は人の顔の左側の鼻先から眼、眉にかけてが陰影をつけられ描かれている。また目頭から目尻にかけて水平線が描かれているのが確認できる。

②では①のスケッチにおける水平線の上部を切り抜き、眉・眼のほり・上まぶたの概形が描かれており、眼周辺の構成を単純化している。

③では②で描かれている概形の輪郭がはっきりと描かれ、瞳が追加されている。

■部分の対応

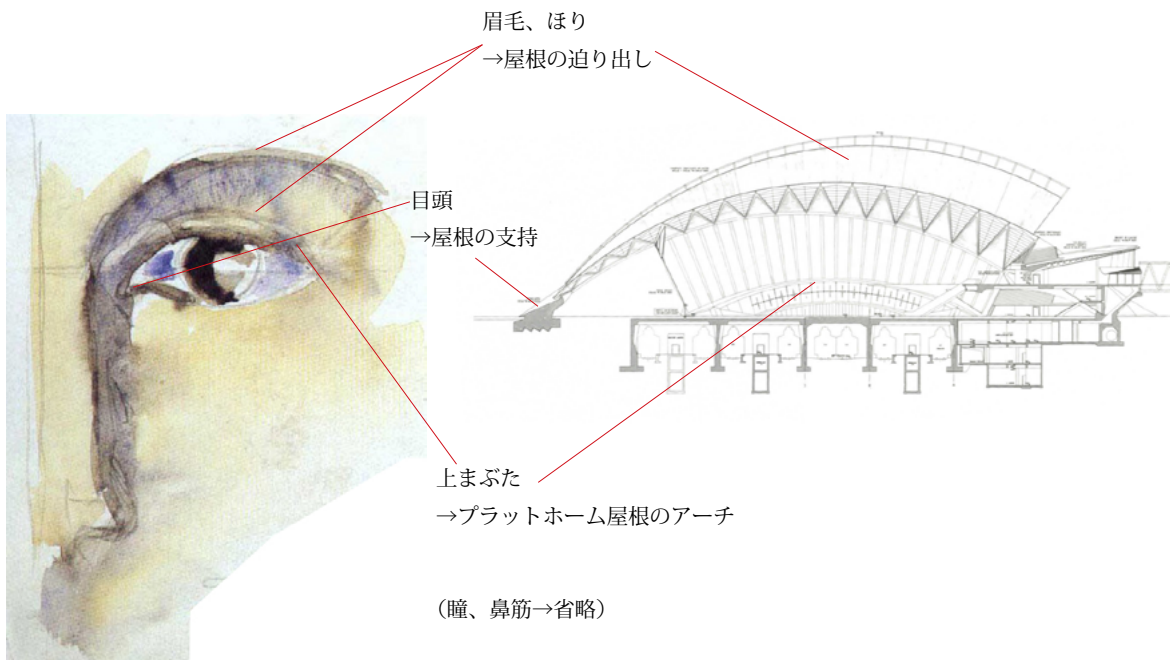


図 3.1.6 サトラス空港駅エントランスホール__部分の対応

ここでは、スケッチとその対象となる断面図を比較し部分ごとの対応をみてゆく。

- 1) 眉毛、ほり：エントラスホールのウイング状屋根の迫り出しの部分へと変換されている。
- 2) 目頭：ウイング状屋根の先端部におけるアーチの支持として変換されている。
- 3) 上まぶた：プラットホーム屋根のアーチへと変換されている。人体スケッチで描かれたものよりもライズが低く抑えられている。そのため、上まぶたとほりの線が離れることとなり、その間を開口部としている。
- 4) 瞳、鼻筋：省略されている。

人体スケッチでは描かれていないが、エントランスホールの開口部に放射状に配された黒い線材はまつ毛を表現しているとも考えられる。

本作品では、眼を模した造形ではあるが、瞳などの省略によってかなりの抽象化が行われている。

■構成



眼が表現されているのはエントランスホール横側の立面であり、これを鏡像複写し、組み合わせることでホール屋根を構成し、単体の建築として表現している。エントランス正面の立面はシンメトリーとなっており、中央部はトップライトを設けている。また屋根のはね出しの様子から翼を広げた鳥のようだと称されている。

■力学的特徴

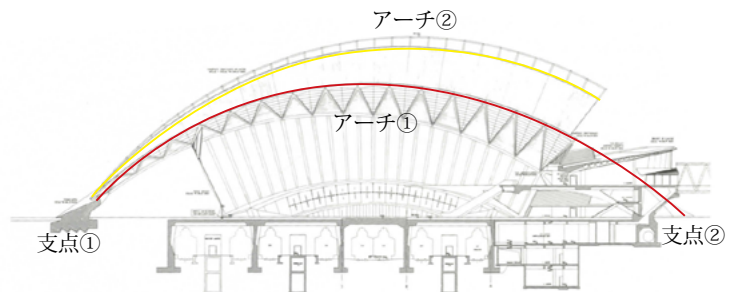
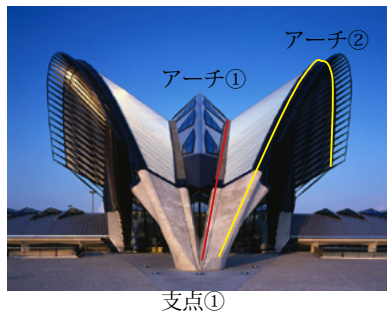


図 3.1.7 サトラス空港駅エントランスホール__アーチ架構の考察

エントランスホールの屋根には大きく2つのアーチ架構で構成されている。アーチ①は、支点①から支点②にかけて架かかっているが、若干傾いた斜めアーチとなっている。さらにアーチ②は、アーチ①よりも傾きの大きな斜めアーチであり支点①から片持ちでとばされており、端点は宙にあるが別途斜材によって引っ張りを受ける形となっている。アーチ②は、本来さらに傾く方向に荷重がかかるが端点の引張材とアーチ①との間にかかる線材によって、傾きを安定させている。これによって、屋根の大きなはね出しが可能となっている。

■力感

Real な力感

- ・ エントランスホールの大きな屋根架構は、4本のアーチの複合によって荷重を流している。

Imaginarly な力感

- ・ 大きく広げた屋根は、その巨大さに反して軽やかに、そして躍動的な印象を与えている。
- ・ 屋根のはり出した造形は、今にも閉じたり羽ばたきといったように動き出しそうな瞬間を切り取ったようである。

3-1-2 クウェートパビリオン



図 3.2.1 Kuwait Pavilion 外観



図 3.2.2 広場から屋根を見上げる

図 3.2.1
Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p188 より

図 3.2.2
Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p184 より

クウェートパビリオンは、1992 年のセビリア万国博覧会に建設された。主な展示空間は地下に設けられており、天井及び地上の床は透過性のある大理石を用いられている。地上部は、木造のハーフアーチ形状の部材を組み合わせた可動式の屋根に覆われている。屋根は 17 個に分割され、それぞれが個別にモーターによって可動することができ、開く形に様々なバリエーションをもたせており、屋根の開き方によって日光の入り方を変化させている。「屋根が動いていく様子から人間の手を思い浮かべる」(注 3.1.1) とカラトラバ自身が語っているように、人の手から着想を得た作品である。

注 3.1.1: 金箱温春
訳: 建築家の講義
ーサンチャゴ・カ
ラトラバ, 丸善,
2008, pp.80-81 よ
り

■計画概要

所在地：セビリア（スペイン）
住所：La Isla de La Cartuja , Sevilla, Spain
用途：パビリオン
設計期間：1991-1992 年

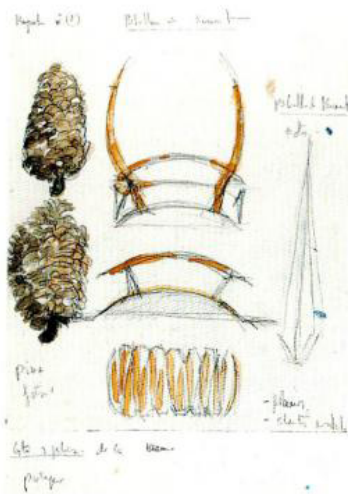


図 3.2.3 Kuwait Pavilion_スケッチ

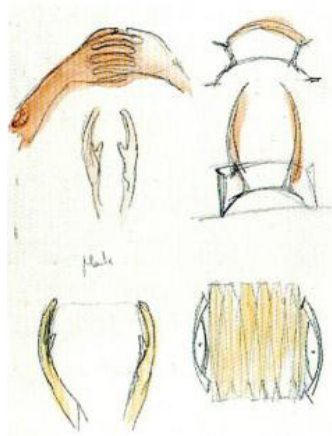


図 3.2.4 Kuwait Pavilion_人体スケッチ



図 3.2.5 屋根が全て開いた状態

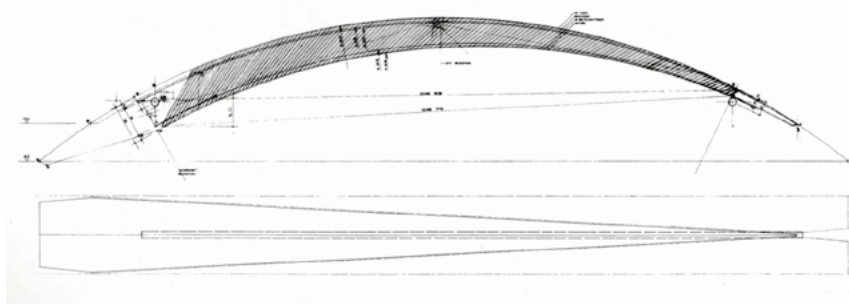


図 3.2.6 屋根_詳細図

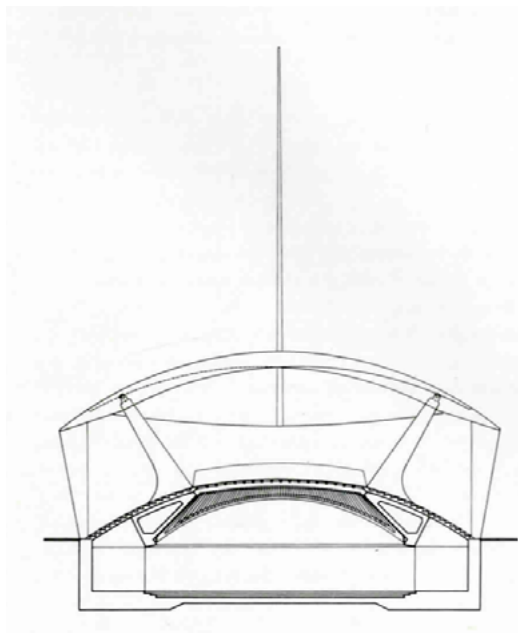


図 3.2.7 Kuwait Pavilion_断面図 1

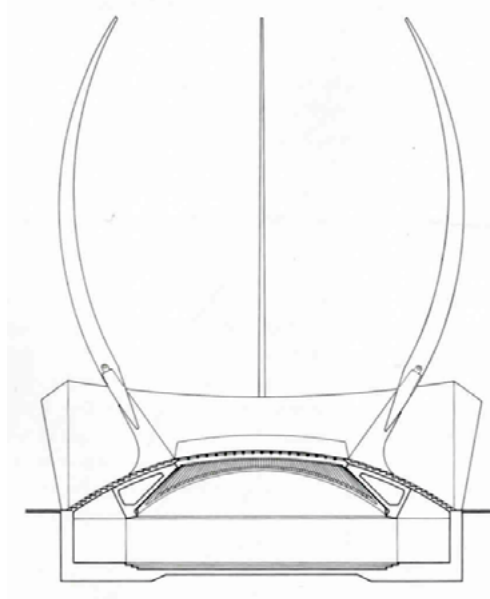


図 3.2.8 Kuwait Pavilion_断面図 2

図 3.2.3、図 3.2.4
Santiago Calatrava:
Santiago Calatrava
Secret Sketchbook,
The Monacelli
Press, 1996, P13
より

図 3.2.5
Alexander Tzonis:
Santiago Calatrava
the complete
works, Rizzoli,
2004, P212 より

図 3.2.6
Werner Blaser:
Santiago Calatrava
Engineering
Architecture,
Birkhäuser, 1990,
P194 より

図 3.2.7、図 3.2.8
Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p186 より

■スケッチの概要

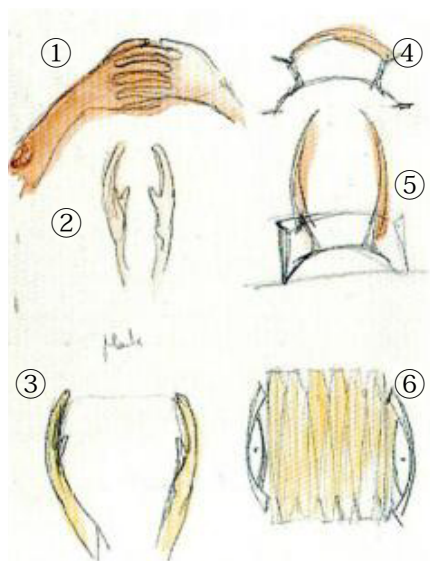


図 3.2.4 Kuwait Pavilion_人体スケッチ

本作品では、図 3.2.4 に人体スケッチが確認できた。

図中①、②、③は、人体の手に関するスケッチでありそれぞれ次のような姿が描かれている。

- ①では、両手の指を組んだ様子が描かれている。
- ②では、自然な形で開いた両手のひらを並行に並べた様子が描かれている。
- ③では、②の状態から両手を若干開くように離れた様子が描かれている。

図中④、⑤、⑥は、建築造形のスケッチと思われる。

- ④では、①の組んだ手に対応して閉じた様子が描かれている。
- ⑤では、②の並んだ両手のひらに対応して開いた様子が描かれている。
- ⑥では、④の閉じた状態の伏せ図と思われる。

■部分の対応



図 3.2.4 ②

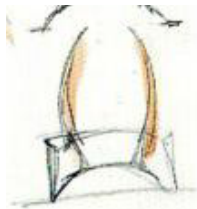


図 3.2.4 ⑤

ここでは、屋根の部材が個々に独立して可動することから、人体の指が屋根の部材に対応していると推測される。指のプロポーションに比べ屋根部材はより細長く造形されており、また、指に見られる長さの違いはなく全ての屋根部材は同じ長さとなっている。

■構成



図 3.2.1 Kuwait Pavilion __外観



図 3.2.5 屋根が全て開いた状態



図 3.2.9 閉じた屋根を見上げる

指に対応する屋根部材は、片側 8 本の計 16 本で構成されている。それらはモーターによって個別に動作し、屋根部材が互い違いに組み合わせることによって屋根が閉じられてゆく。(図 3.2.9)

本作品では指あるいは手の形そのものを模することが主題ではなく、指の動きを模した空間の変化を建築に表現しようと試みた作品といえる。

図 3.2.9
Alexander Tzonis:
Santiago Calatrava
the complete
works, Rizzoli,
2004, P213 より

■力学的特徴

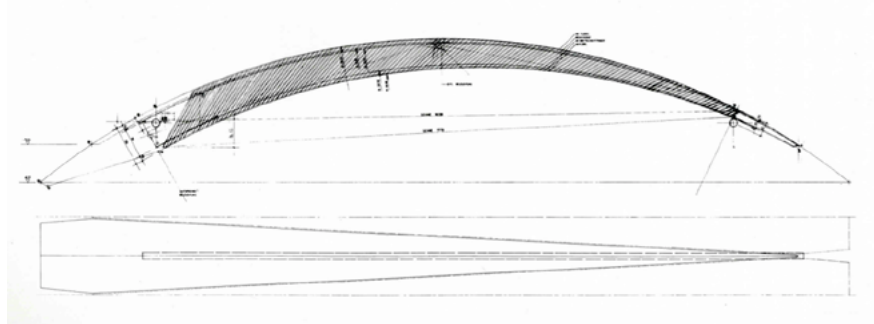


図 3.2.6 屋根__詳細図

屋根部材は、可動部のヒンジを支点に片持ちのハーフアーチ構造となっている。主な構造材は木で上弦材と下弦材が弓状に湾曲し、それらをルーバー状の細い材で繋いでいる。断面は中空となっており、軽量化が図られている。片持ちの単純梁であれば先端部から支点にかけてモーメント荷重がかかるが、ここではアーチ効果によりモーメントを減少させることで、断面の効率化を図っている。

■力感

Real な力感

- ・片持ちの屋根部材はヒンジ部分にすべての荷重がかかっているが、モーターによって機械的な処理をしている。

Imaginary な力感

- ・屋根がゆっくりと個別に開いていく様は生命的な開放感が感じられる。
- ・屋根が開ききった姿からは、天空への上昇性や開放感が感じられるが、同時に弓状の屋根の造形から包容感が感じられる。

3-1-3 レミスフェリック - 芸術科学都市 -



図 3.3.1 L'Hemisfèric_外観

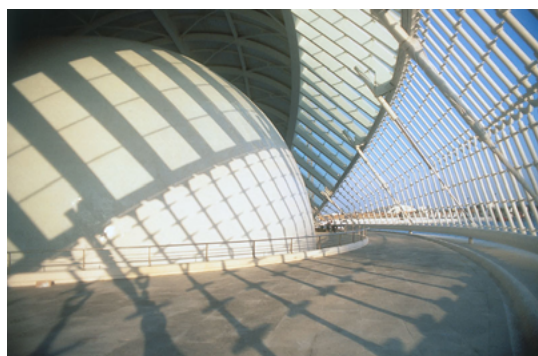


図 3.3.2 L'Hemisfèric_内観

レミスフェリック (L'Hemisfèric) は、バレンシアの芸術科学都市の1つの施設として計画されたプラネタリウムである。芸術科学都市は科学博物館 (注 3.3.1) やオペラハウス (注 3.3.2)、植物園 (注 3.3.3)、水族館 (注 3.3.4) からなる複合施設であり、カラトラバとフェリックス・キャンデラらが主となり計画された。

■計画概要

所在地：バレンシア（スペイン）

住所：Av del Profesor López Piñero 7, 46013, Valencia, Spain

用途：プラネタリウム

設計期間：1991-2000 年

図 3.3.1

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
P22 より

図 3.3.2

Alexander Tzonis:
Santiago Calatrava
the complete
works, Rizzoli,
2004, P217 より



注 3.3.1 El Museu de les Ciències Príncipe Felipe



注 3.3.2 El Palau de les Arts Reina Sofia



注 3.3.3 L'Umbracle



注 3.3.4 L'Oceanogràfic, Félix Candela

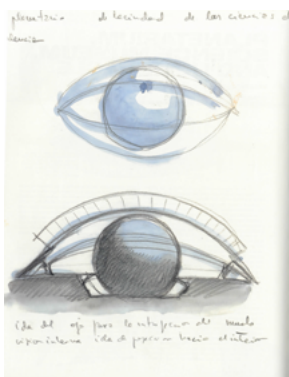


図 3.3.3 L'Hemisfèric_
スケッチ 1



図 3.3.4 L'Hemisfèric_
人体スケッチ 1

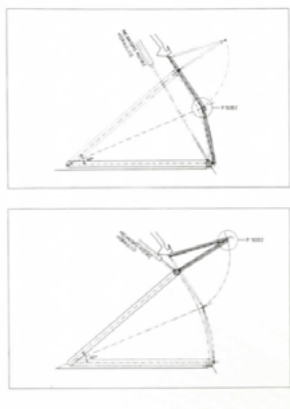


図 3.3.5 L'Hemisfèric_ 人体スケッチ 2

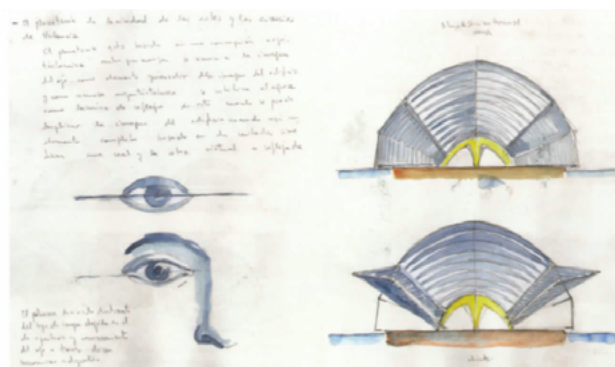


図 3.3.3
図 3.2.4
図 3.2.5
Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
PP.218-220 より

図 3.3.6
Werner Blaser:
Santiago Calatrava
Engineering
Architecture,
Birkhäuser, 1990,
P163 より

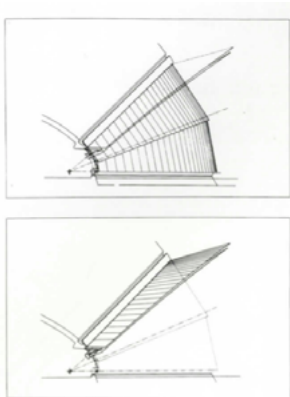


図 3.3.7 L'Hemisfèric_ 南立面図

図 3.3.7
図 3.3.8
Werner Blaser:
Santiago Calatrava
Engineering
Architecture,
Birkhäuser, 1990,
P161 より

図 3.3.6 L'Hemisfèric_ 開口部詳細図

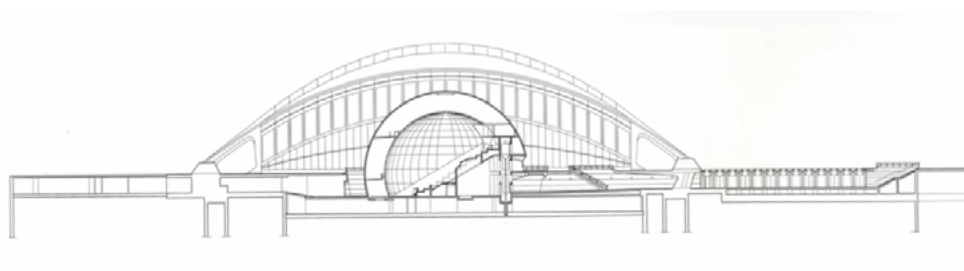


図 3.3.8 L'Hemisfèric_ 断面図

■スケッチの概要

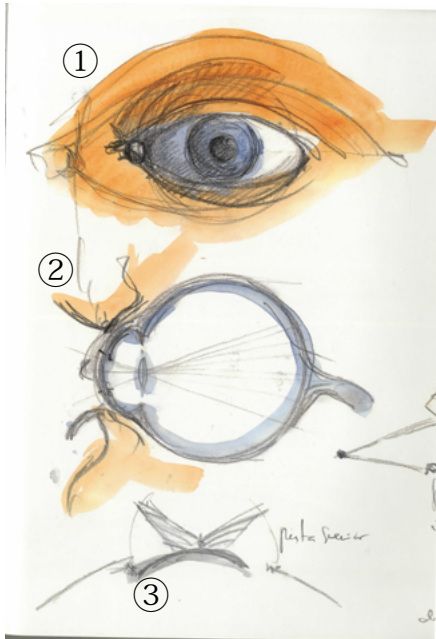


図 3.3.4 L'Hemisfèric_人体スケッチ 1

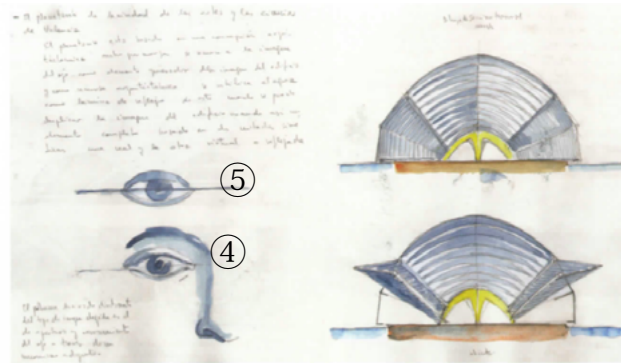


図 3.3.5 L'Hemisfèric_人体スケッチ 2

本作品では、図 3.3.4 と図 3.3.5 に見られる人体スケッチが確認できた。

図 3.3.4 中には2つの人体スケッチが描かれている。(図中①、②)

①では、人の右眼が開いた状態で描かれている。また、眼周辺のほりや眉の線も描かれている。

②では、眼の断面が描かれている。まぶた、上下のまつ毛、眼球、視神経が解剖的に描かれており、眼に入る光、及び網膜に投射されるシステムを描いている。

③では、円弧上に羽のような造形が可動するかのように描かれており、②におけるまつ毛の様子を踏襲していると思われる。

図 3.3.5 中には2つの人体スケッチが描かれている。(図中④、⑤)

④では、人の顔の右側の鼻先から眼、眉にかけてが陰影をつけられ描かれている。また目頭から目尻にかけて水平線が描かれているのが確認できる。

⑤では、④よりまぶたの線と瞳を抽出し単純化して描かれている。ここにも目頭から目尻にかけて水平線が描かれているのが確認できる。

■部分の対応

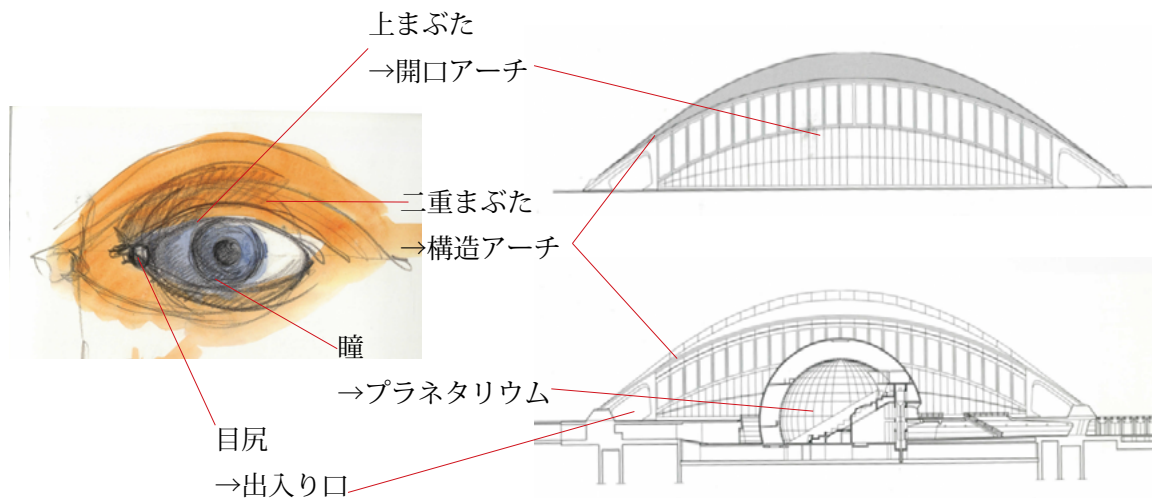


図 3.3.8 L'Hemisfèric_断面図

ここでは、スケッチとその対象となる立面図・断面図と比較し部分ごとの対応をみてゆく。

- 1) 上まぶた：可動式開口部の上部アーチへと変換されている。まぶたそのものが可動式開口部として開き方を含め模されている。(図 3.3.6)
- 2) 二重まぶた：主要構造となるアーチへと変換されている。
- 3) 瞳：プラネタリウムの球体へと変換されている。
- 4) 目尻：出入り口の開口へと変換されている。

建築には眼の上半分のみが造形されているが、周囲の水盤への反射によって1つの眼を表現している。(図 3.3.9)

本作品では、眼の造形を表現するということと、眼の開き方のシステムを表現するという2つの主題が読み取れる。

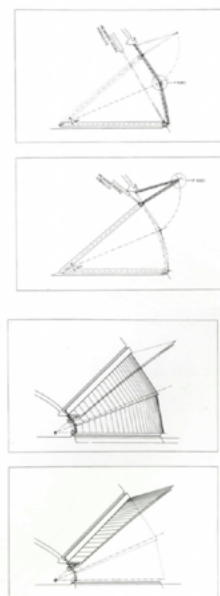


図 3.3.6 L'Hemisfèric_開口部詳細図



図 3.3.9 水盤への反射

■構成



図 3.3.10 短手方向のシンメトリー



図 3.3.11 開口の開き方

図 3.3.10

Werner Blaser:
Santiago Calatrava
Engineering
Architecture,
Birkhäuser, 1990,
P162 より

図 3.3.11

Werner Blaser:
Santiago Calatrava
Engineering
Architecture,
Birkhäuser, 1990,
P160 より

プラネタリウムの球体と、それを覆う架構を合わせて単体の眼を構成している。長手方向・短手方向どちらにおいてもシンメトリーに造形されており、長手方向のどちらからも眼の造形が表現されている。まぶたの動きの開口やシンメトリーな造形から象徴性が高く表現されている。

■力学的特徴

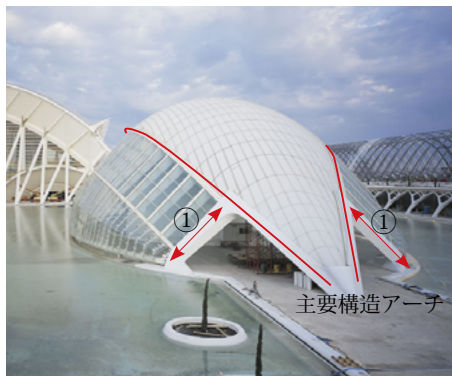
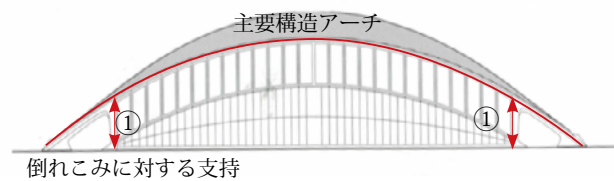


図 3.3.12 主要構造のアーチ



プラネタリウムを覆う屋根の架構は主要な構造となるアーチが2本対称に架けられている。それらは共に斜めアーチであり、傾きを柱(図 3.3.12 ①)によって支持することで安定させている。さらに、この2本のアーチの間に、細かく小さなアーチを架け屋根の天頂部を形成している。

■力感

Real な力感

- ・屋根架構は2本の斜めアーチを主要構造とし、そこからそれぞれ開口の可動部が吊り下げられる構造になっている。

Imaginary な力感

- ・眼の造形が象徴的に表現されているため、対面すると見つめられているような印象を受ける。
- ・まぶたを模し多開口部とその動きからまるで生きているかのように感じる。

3-1-4 シャドーマシーン



図 3.4.1 Shadow Machine

図 3.4.1
Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p283 より

シャドーマシーンはニューヨーク近代美術館に設置されたパーゴラ兼展示作品である。パーゴラは個々に上下にゆっくりと動きながら形を変え、その重なり合いから落とされる影を変化させていく作品である。

オリジナルは 1988 年にスイスで建設されたパヴィリオンで、シャドウマシーンはこれを小さく再構成したものである。

■計画概要

所在地：ニューヨーク（アメリカ合衆国）

住所：The Museum of Modern Art, 11 W 53rd St, New York, NY 10019, United States

用途：展示、パーゴラ

設計期間：1992 年

■分析資料

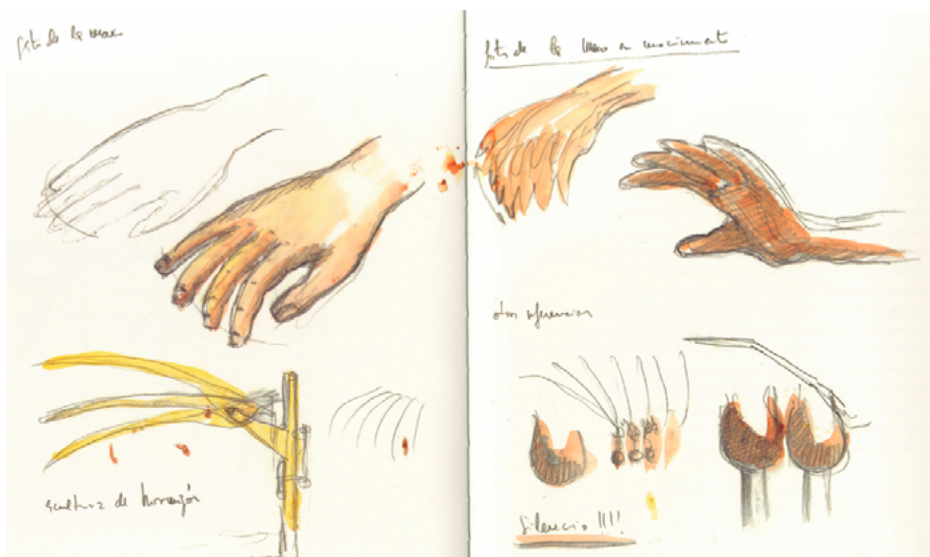


図 3.4.2 Shadow Machine __人体スケッチ

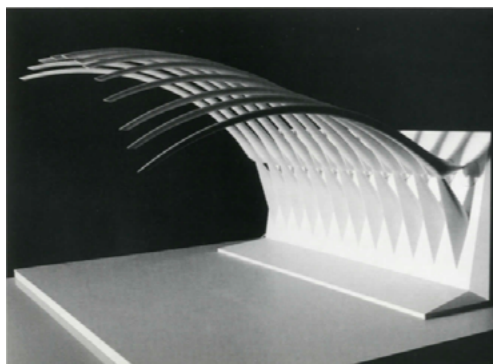


図 3.4.3 Shadow Machine __模型



図 3.4.4 Shadow Machine __模型による影の表現

図 3.4.2
Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p282 より

図 3.4.3
Anthony Tischhauser,
Stanislaus von Moos:
Calatrava public
buildings, Birkhäuser,
1998, p200 より

図 3.4.4
Alexander Tzonis:
Santiago Calatrava
the complete
works, Rizzoli,
2004, p270 より

図 3.4.5
Anthony Tischhauser,
Stanislaus von Moos:
Calatrava public
buildings, Birkhäuser,
1998, p200 より

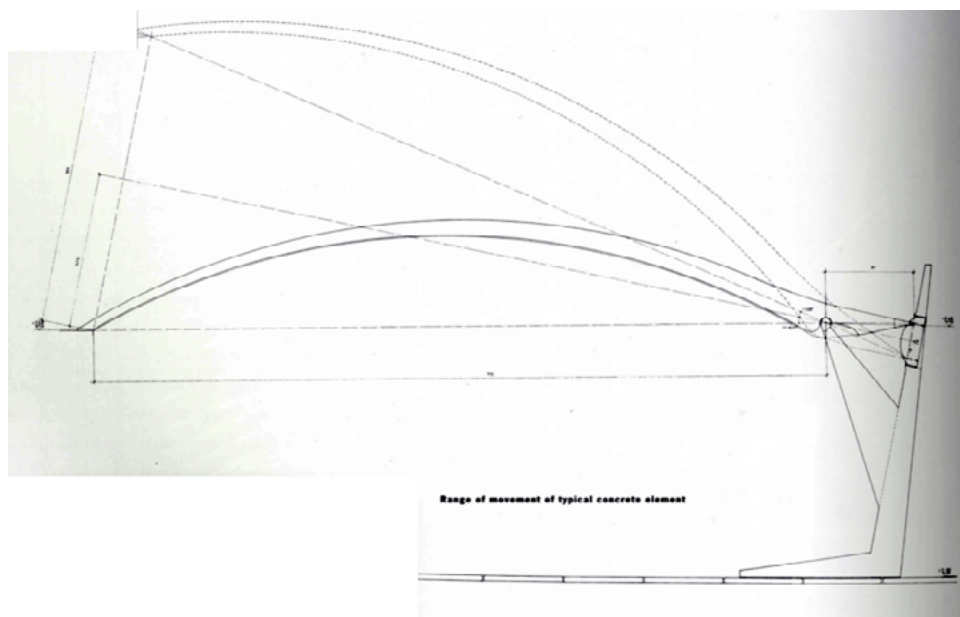


図 3.4.5 Shadow Machine __立面図

■スケッチの概要

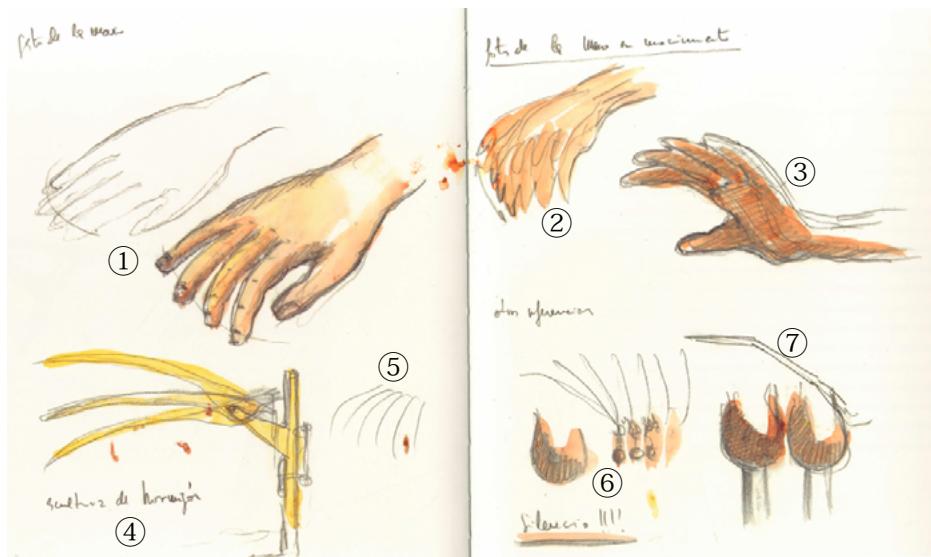


図 3.4.2 Shadow Machine __人体スケッチ

本作品では、図 3.4.2 の人体スケッチが確認できた。

図 3.4.2 では、複数の人体スケッチが描かれている。(図中①、②、③)

①では、自然な形で開いた手が描かれている。

②では、①の状態から五指を上下に動かしている様子が描かれている。

③では、手を開いた状態で手首を反らした様子が描かれている。物を掴むような恰好でもある。

図中④、⑤、⑥、⑦のスケッチは建築造形のアイデアが描かれている。

④ではパーゴラが上下に可動する様子、⑥と⑦では可動部の根元のアイデアが描かれている。

■部分の対応

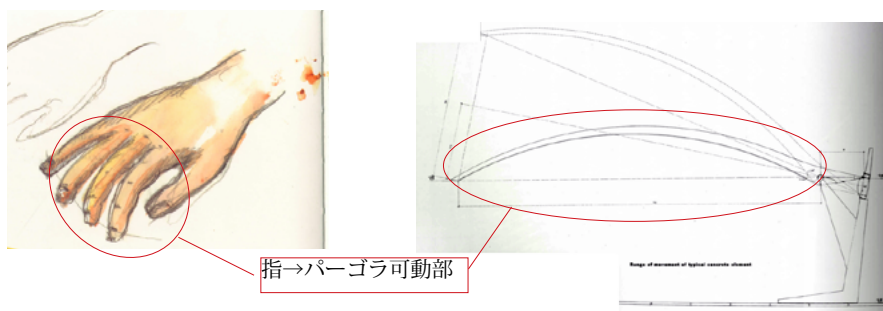


図 3.4.6 Shadow Machine __部分の対応

図 3.4.6
図 3.4.2 ①と図 3.4.5
との比較

ここでは、人体の指がパーゴラに対応している。指のプロポーションにくらべパーゴラはより細長く造形されており、また、指に見られる長さの違いはなく全てのパーゴラは同じ長さとなっている。

■構成

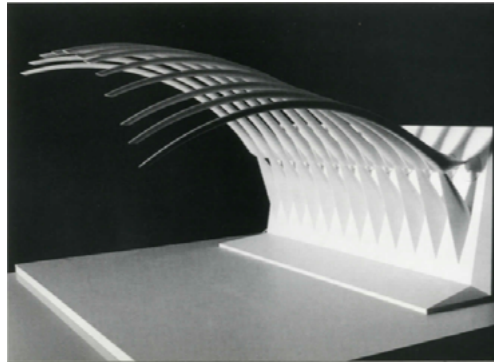


図 3.4.3 Shadow Machine __模型

パーゴラは12本の可動部材から構成されている。それらは、背後の壁に組み込まれた歯車によってそれぞれが連動し、上下に可動する。

本作品では図 3.4.2 の人体スケッチにみられるような指あるいは手の形そのものを模することが主題ではなく、指の動きを模した空間の変化を表現しようと試みた作品といえる。

■力学的特徴

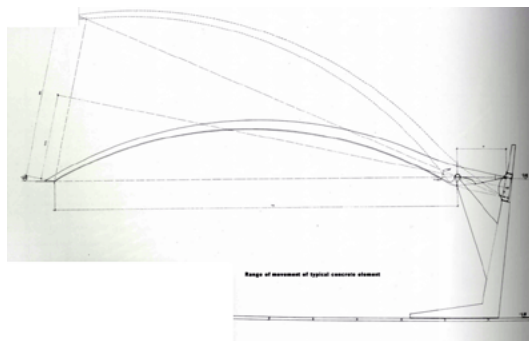


図 3.4.5 Shadow Machine __立面図

パーゴラの各部材は、支点のヒンジと可動部に繋がる2点で支持される、アーチ状の形態となっている。

片持ちの単純梁であれば先端部から支点にかけてモーメント荷重がかかるが、ここではアーチ効果によりモーメントを減少させることで、断面の効率化を図られ、比較的細い断面を実現している。

■力感

Real な力感

- ・重力によって垂れ下がったようなパーゴラは支点を軸として重力に逆らうようにゆっくりと上下に可動する。

Imaginary な力感

- ・ゆっくりと変化するパーゴラの稜線に波や風といった自然の変化が感じ取れる。
- ・アーチ状のパーゴラによって内部に包容感が感じられる。
- ・繊細な支点と大胆にのぼされたパーゴラとの対比によって、浮遊感と緊張感が感じられる。

3-1-5 ターニングトルソ



図 3.5.1 Turning Torso __外観

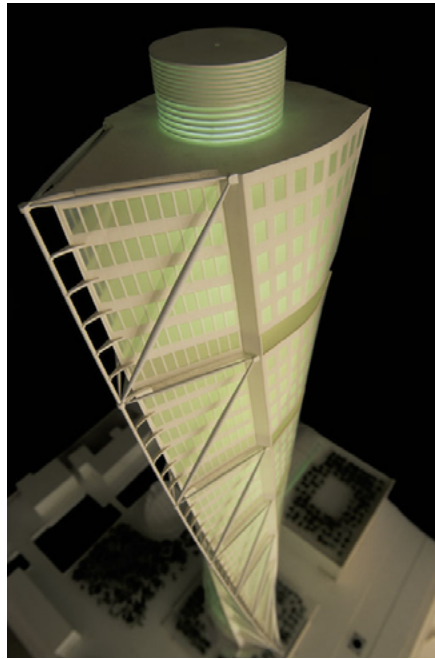


図 3.5.2 Turning Torso __模型鳥瞰

図 3.5.1

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p398 より

ターニングトルソ (Turning Torso) は、スウェーデンのマルメに建設された、54階建ての高層マンションである。高さは190mで、スカンジナビア半島でも高層な建物である。1階から10階まではオフィスとして貸し出されている。5層を1つのブロックとし全部で9つのブロックを積み上げ、上層に向かって徐々に捻れていくデザインがなされている。1階に対して最上階では90度捻れている。名前のTorsoとは「人体の胴」あるいは「頭および手足のない裸身の彫像」という意味であり、Turning Torsoは人が胴を捻っている姿から創造された。

■計画概要

所在地：マルメ（スウェーデン）

住所：Lilla Varvsgatan 14, 211-15, Malmö

用途：オフィス、集合住宅

設計期間：1999-2004年

■受賞歴

- Ten year Award from CTBUH (2015)
- fib 2006 Award for Outstanding Concrete Structures (2006)
- MIPIM Award for the Turning Torso Tower (2005)
- SBI Silver Beam Award for the Turning Torso Tower (2003)

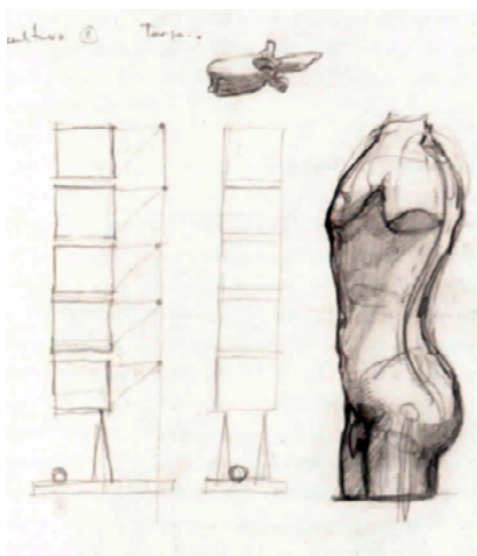


図 3.5.3 Turning Torso __人体スケッチ 1

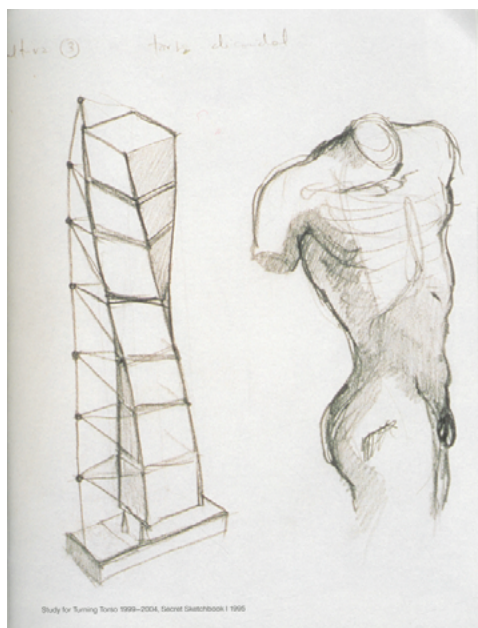


図 3.5.4 Turning Torso __人体スケッチ 2

図 3.5.3

図 3.5.5

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p396 より

図 3.5.4

Philip Jodidi:
Calatrava Complete
Works 1979-2009,
TASCHEN, 2009,
p392 より

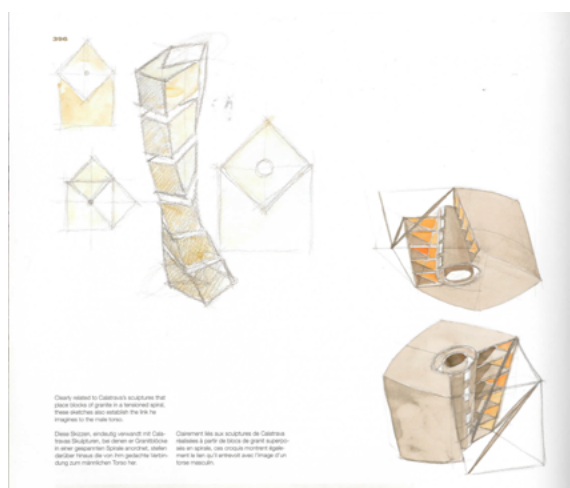


図 3.5.5 Turning Torso __構造スケッチ

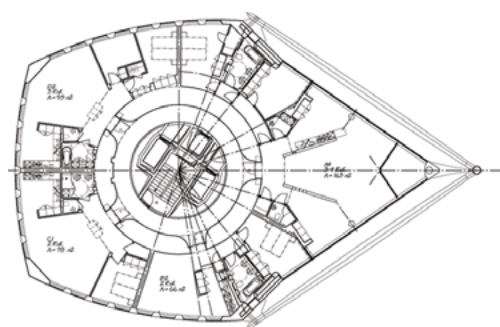


図 3.5.6 Turning Torso __ plan



図 3.5.7 Turning
Torso __立面図

■スケッチ概要

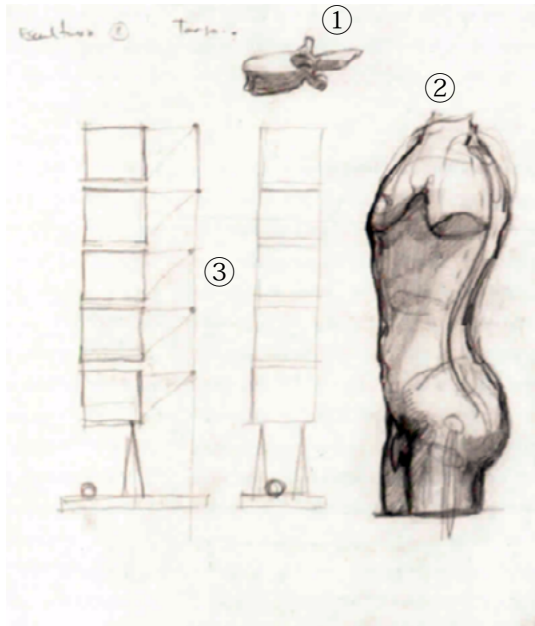


図 3.5.3 Turning Torso __人体スケッチ 1

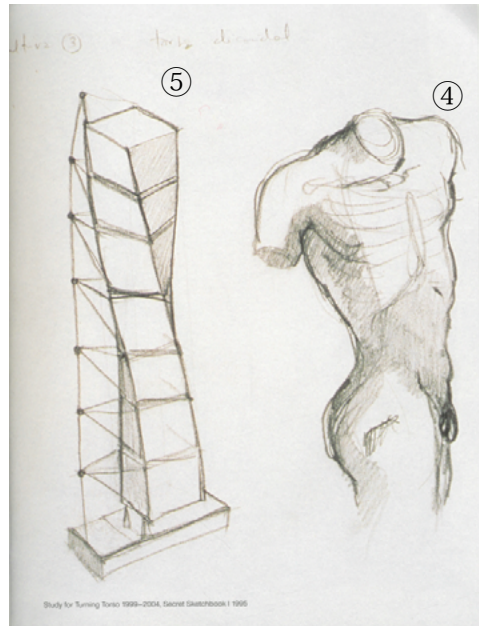


図 3.5.4 Turning Torso __人体スケッチ 2

本作品では、図 3.5.3 と図 3.5.4 に示す人体スケッチが確認できた。

図 3.5.3 には①と②に人体スケッチと③に構造モデルが描かれている。

①では、背骨を構成する椎骨が描かれている。このスケッチには椎体や椎弓と呼ばれる部分や脊柱管と呼ばれる脊髄が通る穴までもが確認できる。

②では、頭部・腕部のない人体の側面からの姿が描かれている。

③では、以下のようにカラトラバ自身が語っているように背骨の構造を読み取りそのシステムを思考している。

「背骨について考えてみると、人間の体はどのようにして立っているのかということですが、背骨は脊椎が集まってできていて、基本的な原理を模型で表現すると立方体が集まっているものとして考えることができます。」(注 3.5.1)

④では②の人体の上半身を右に捻った姿が描かれている。⑤の構造モデルは③で思考された背骨のモデルを④の人体の捻りに合わせて拗らせたモデルである。また図 3.5.8 はその構造システムを模型化しスタディしたものである。

このことから、本作品では人体の形そのものを模することが主題ではなく、その形が形成されるシステムとその可動の可能性を建築に表現しようと試みた作品といえる。

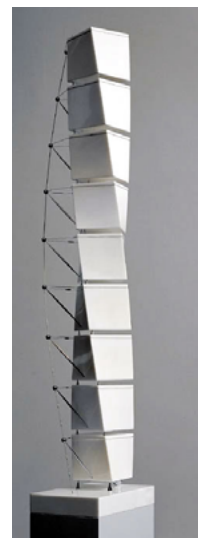


図 3.5.8 構造システム模型

注 3.5.1

Santiago Calatrava:
建築家の講義—サンチャゴ・カラトラバ, 金箱温春訳, 丸善株式会社, 2008, p75 より

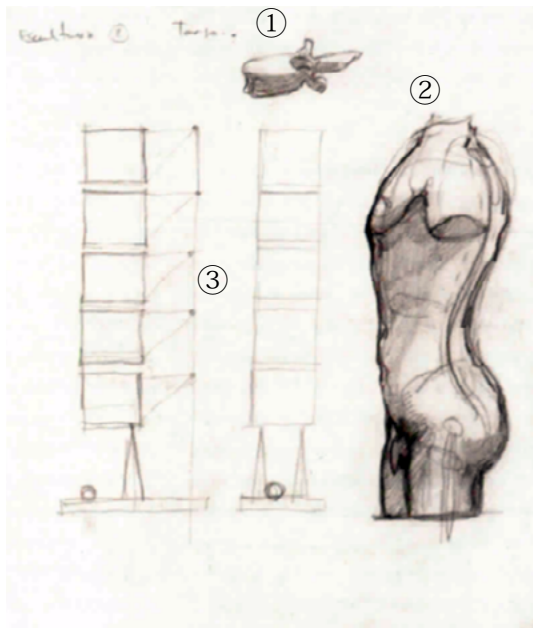


図 3.5.3 Turning Torso —人体スケッチ 1

人体スケッチと建築を比較する前に、まず人体の背骨の構造と図 3.5.3 ③の構造モデルとの比較を行う。

背骨は椎骨（図 3.5.3 ①）という小さな骨が積み重なりあってできている。それぞれの椎骨間には椎間板が緩衝材として挟まれている。椎骨は脊髄が通る脊柱管によって連なっている。さらに背骨には椎骨通しを結び姿勢を保つ多裂筋と呼ばれる筋肉が付着している。多裂筋は回旋、側屈、伸展といった連動した動きの補助をするように、椎骨の背中側から斜側上方に向かって走り椎骨同士を繋いでいる。カラトラバは、この背骨の構造を③の構造モデルに簡略化し表現している。椎骨は立方体として積み重ねられ、多裂筋にあたる機能を互いを安定させる引張材に対応させている。

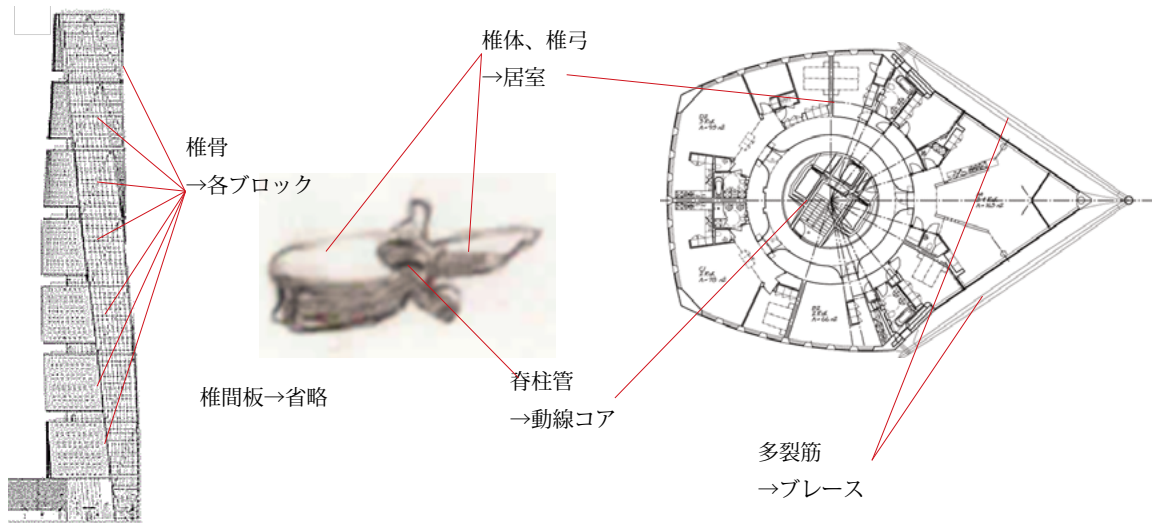


図 3.5.9 Turning Torso_ 部分の対応

次に建築との対応をみてゆく。

- 1) 椎骨：5層を1ブロックとして、積層している。
- 2) 椎間板：省略されている。
- 3) 椎体、椎弓：居室及び共用空間に変換されている。
- 4) 脊柱管：垂直動線のコアとして変換され、各ブロックを1階より貫いている。
- 5) 多裂筋：外部のブレースとして変換され、各ブロックを繋いでいる。

以上のように、背骨の構造を建築に変換されている。さらに、それぞれの部分は元々人体で有していた機能に対応している。例えば、脊柱管は人体では脊髄が通る管として働いており、これが建築の動脈とも言える動線のコアとして扱われている。

■構成

本作品では、長い背骨の一部を切りとり拡大することで要求された設計要件に適したボリュームとしている。そのため、単体での表現となり、そのシンボル性を強めている。

■力学的特徴

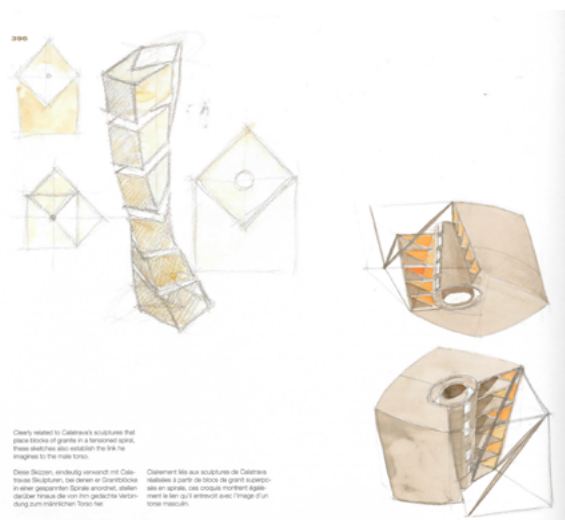


図 3.5.5 Turning Torso __構造スケッチ

5層で1つにまとめられたブロックは、コアによって連結されているが、ブロック間に通し柱がないため傾きが生じる。この傾き方向の対角の位置に引張材を配してブロック間を安定させている。

■力感

Real な力感

- ・ 5層で1つにまとめられたブロックは、コアによって連結されているが、ブロック間に通し柱がないため傾きが生じる。この傾き方向の体格の位置に引張材を配してブロック間を安定させている。

Imaginary な力感

- ・ 捻れながら積層されていく姿から天空への上昇性とシンボル性が表現されている。
- ・ 静止し安定している恰好ではあるが、さらに捻れが増したり、逆方向に捻れる可動性を感じることができる。

3-2 分析結果のまとめ

人体の一部をモチーフとした5作品における、造形の意味に関する項目（表現されている人体像、構成、主題、Imaginaryな力感からキーワードを抽出）をまとめたものを表3.2.1に示す。

表 3.2.1 人体の一部をモチーフとした作品

作品名	モチーフの対象	構成	主題	Imaginaryな力感
サトラス空港駅(エントランスホール)	眼	単体	開いた眼	シンボリック、軽快さ、躍動的、静的
クウェートパビリオン	指	複数の指の並列	指の動きによる空間の変化	開放感、包容感、生物学的な動き、動的
レミスフェリック	眼	単体	眼の形とまぶたの動き	シンボリック、生物的、被凝視的、動的
シャドーマシーン	指	複数の指	指の動きによる空間と影の変化	自然現象の知覚、包容感、浮遊感、緊張感、動的
ターニングトルソ	背骨	単体	背骨のシステムによる可動性	上昇性、シンボリック、動きの可能性、安定感、静的

第4章 考察

- 4-1 人体の表現手法の整理
- 4-2 造形的特徴からみる力感表現の整理
- 4-3 造形のヴォキャブラリーとしての展開

4. 考察

4-1 人体の表現手法の整理

分析より、カラトラバの建築デザインにおいて人体像の表現手法に共通する特徴が見受けられた。以下にその特徴をあげる。

1) 頭部の省略

人体像がモチーフとなった3作品全てにおいて、人体の頭部は人体のスケッチに描かれてはいるが、建築には表現されていない。人にとっての頭、すなわち顔とは、個人を特定するのに最も重要な要素である。さらに、顔には表情によって他者に感情であったり肉体的・心理的な状態を伝達するという機能がある。カラトラバはあえて頭部を除いた造形を行うことで、身体の姿勢やプロポーション、構成といった要素のみで観察者に表現されている人体の情報を伝達しようと試みていると考えられる。さらに、人物を特定しない表現とすることで、誰でもない”アノニマスな人体像”となり観察者の感情移入を容易にしている。

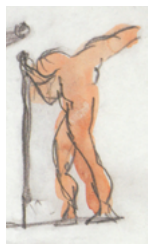


図 2.1.3 Stadelhofen Station



図 2.2.1 Montjuic Tower

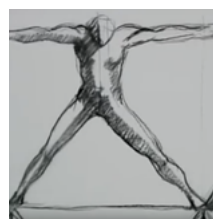


図 2.3.3 Lyon-Saint Exupéry
Airport Railway Station

2) 変断面の採用

人体像表現のみに対する特徴ではないが、カラトラバの作品には断面形状が徐々に変化してゆく、“変断面”を用いている造形を多く確認できる。これは、モーメントなどの応力の分布から構造的な合理性を追求した結果であろうが、こと人体像の表現においては、より人体的な造形とする手法として効果を発揮している。人体において脚部は、腿から足首にかけて断面が小さくなっている。これは筋肉量の違いであるが、太い腿は鍛えられた力強さと安定感を表現している。人体において断面が大きくなるということは、荷重がかかりその部位の筋肉が隆起していることを意味する。その姿は、雄々しく力強く美しい。変断面を用いた造形では、観察者に対してこういった効果も発揮し得る。



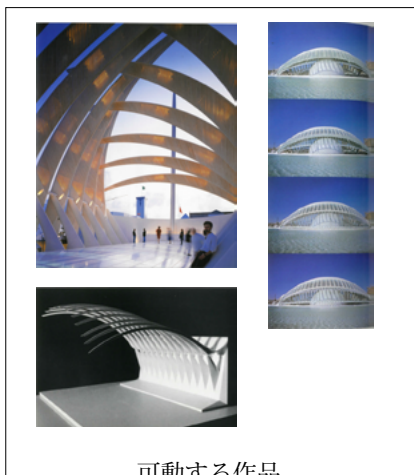
図 2.3.5 プラットホーム__外周部柱

3) 丸型断面の不使用

人体は丸型断面により構成されているといっても良いほど、人体は丸みを帯びている。しかし、カラトラバは人体像を造形する際に丸型断面から三角やひし形といった“角のある”断面に変換している。これによって、構造が容易になったり、施工性が向上するといった実利的に有意だけでなく、ソリッドな断面とすることで陰影がはっきりと表現され造形の立体感が増すといった効果も期待できる。

4) 人体のシステムの表現

カラトラバは人体がどのように構成されているか、またその可動性について解剖的なスケッチを複数描いている。これは特に人体の一部をモチーフとした作品に見られ、実際に可動する作品を作り出している。この手法はによって静止している造形においても、“動きそう”といった印象を与える効果が期待できる。



4-2 造形的な特徴からみる力感表現の整理

分析の結果より, 表 2.2.1 と表 3.2.1 をまとめたものを表 4.2.1 に示す。

この表より造形的な特徴、ここでは「モチーフの対象」と「構成」について類似するものを選び力感表現についてみてゆく。

表 4.2.1

	作品名	モチーフの対象	構成	主題	Imaginary な力感
人体像	シュタッデルホーフェン駅	杖にもたれかかる巨人	等間隔に弓状並列	杖にもたれかかりながら屋根を支える姿	集団性、協働性、中心性、静的
	モンジュイック電波塔	膝立ちでアンテナ掲げる巨人	単体	膝立ちでアンテナ掲げる姿	シンボリック、英雄的、力強さ、静的
	サトラス空港駅 (プラットホーム)	大きく手足を開いた巨人	手足同士を合わせて並列	大勢で手を取りあい屋根を支える姿	集団性、協働性、安定感、力強さ、英雄的、静的、忍耐的
人体の一部	サトラス空港駅 (エントランスホール)	眼	単体	開いた眼の形	シンボリック、軽快さ、躍動的、静的
	クウェートパビリオン	指	複数の指の並列	指の動きによる空間の変化	開放感、包容感、生物的な動き、動的
	レミスフェリック	眼	単体	眼の形とまぶたの動き	シンボリック、生物的、被凝視的、動的
	シャドーマシーン	指	複数の指	指の動きによる空間と影の変化	自然現象の知覚、包容感、浮遊感、緊張感、動的
	ターニングトルソ	背骨	単体	背骨のシステムによる可動性	上昇性、シンボリック、動きの可能性、安定感、静的

1) 眼をモチーフとするもの

【サトラス空港駅 (エントランスホール)、レミスフェリック】

両作品とも単体で構成されており、シンボリックなイメージが共通して感じられる。しかし、眼の形を主題とするサトラス空港駅は静的な印象に対して、レミスフェリックではまぶたの動きを主題としているため、動的な印象となる点で大きく異なる。



図 2.3.1 サトラス空港駅_外観



図 3.3.1 L'Hemisfèric_外観

2) 指をモチーフとするもの

【クウェートパビリオン、シャドーマシーン】

両作品とも可動する動的なものであるため、指(手)に包まれる包容感が感じられる。指に対応する部材の断面が異なるため、シャドーマシーンでは浮遊感や緊張感が感じられることに対して、クウェートパビリオンではゆっくりと大きな部材が動く生物的な動きが感じられる。



図 3.2.1 Kuwait Pavilion __外観



図 3.4.1 Shadow Machine

3) 単体で構成されているもの

【モンジュイック電波塔、サトラス空港駅(エントランスホール)、レミスフェリック、ターニングトルソ】 4 作品

4 作品とも単体での表現にはシンボリックな印象を受ける。モンジュイック電波塔のみ、人体像がモチーフとなっており、シンボリックかつ力強い印象を受ける。さらに、レミスフェリックとターニングトルソでは動的な印象となっている点で多く異なる。



図 2.3.1 サトラス空港駅__外観



図 3.3.1 L'Hemisfèric_ 外観



図 2.2.1 Montjuic Tower 北側より



図 3.5.1 Turning Torso __外観

4-3 造形のヴォキャブラリーとしての展開

カラトラバは、自身の建築の仕事を「すべての芸術をひとつに組み合わせたもの」語っているように、彫刻作品や橋梁、建築で生まれたアイデアを相互に応用し様々な作品に用いている。建築のスケッチから彫刻の作成をおこす(その逆もある)姿勢は、カラトラバの建築作品が彫刻的だと称される所以でもある。本研究で対象とした作品の多くは 1990 年代初頭のもので、カラトラバがデビューして間も無数の作品である。カラトラバは当初、人体像のスケッチから建築の造形を創造する挑戦を行ってきたが、近年ではすでに考え出された造形を変形させたり、一部を取り出し組み合わせを変えるなどといった、造形のアイデアらをヴォキャブラリーとして新たな建築作品を創造しており、カラトラバの作品が一貫して”カラトラバらしさ”を保持している一端であると考えられる。

第 5 章 総括

5-1 結論

5-2 今後の展開

5-1 結論

本研究では、以下の成果が得られた。

1. カラトラバが人体から建築デザインを造形する際、次の手法が確認できた。
 - 1) 頭部の省略
 - 2) 変断面の採用
 - 3) 丸型断面の不使用
 - 4) 人体のシステムの表現
- 2) 作品ごとに力感をもとにした造形の持つ象徴的な意味を読み取り、整理を行い、造形表現との対応をみることができた。

5-2 今後の展開

本研究では、カラトラバの建築作品のうち人体スケッチが描かれているものについて分析をおこなったが、力感を読取るという手法は建築作品全般に適応できると考える。カラトラバの建築は人体をモチーフとしていない作品においても、ダイナミックで有機的な造形表現がみられる。これらの作品について力感表現を読取ることでカラトラバの造形表現の新たな手法を整理できると考える。

■参考文献

- Heinrich Wölfflin: 建築心理学序説, 上松佑二 訳, 中央公論美術出版, 1988
- Rudolf Arnheim: 建築形態のダイナミクス (上), 乾正雄 訳, 鹿島出版会, 1980
- Rudolf Arnheim: 建築形態のダイナミクス (下), 乾正雄 訳, 鹿島出版会, 1980
- 横尾義貫, 力感論, 建設工学, Vol.4, No.2, pp.13-15, 1953
- 横尾義貫, 力感論覚え書, カラム, No.24, pp.7-10, 1967
- 斎藤公男、鈴木新吾：構造表現と S.Calatrava その 1 － 構造表現における S.Calatrava の位置づけ－, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 1994 年, pp.1081-1082
- 斎藤公男、鈴木新吾、三瓶智康：構造表現と S.Calatrava その 2 － 作品を通しての分析と評価－, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 1994 年, pp.1083-1084
- 青木信, 杉本俊多: サンティアゴ・カラトラバの建築設計手法に関する研究～シュテーデルホーフエン駅のスケッチ分析～, 日本建築学会中国支部研究報告集 第 25 巻, 2002 年, pp.1045-1048
- 尾上優希, 土居義貯: サンティアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿と比較しながら, 日本建築学会九州支部研究報告 第 49 号, 2010 年, pp.637-640
- 尾上優希, 土居義貯: サンティアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について 西洋の歴史の中で人体に関わった人物との比較, 日本建築学会九州支部研究報告 第 50 号, 2011 年, pp.665-668

■参考資料

- Santiago Calatrava: 建築家の講義－サンチャゴ・カラトラバ, 金箱温春 訳, 丸善株式会社, 2008
- Philip Jodidi: Calatrava Complete Works 1979-2009, TASCHEN, 2009
- Santiago Calatrava: Santiago Calatrava Secret Sketchbook, The Monacelli Press, 1996
- Werner Blaser: Santiago Calatrava Engineering Architecture, Birkhäuser, 1990
- 現代建築家ビデオ /DVD シリーズ 第 35 巻 サンティアゴ・カラトラバ：神はサイコロを振らない, デルフォイ研究所, 2005
- Anthony Tischhauser, Stanislaus von Moos: Calatrava public buildings, Birkhäuser, 1998
- Santiago Calatrava 1983-1993, El Croquis, El Croquis, 1994
- Alexander Tzonis: Santiago Calatrava the complete works, Rizzoli, 2004

付録

- 修士論文発表会__梗概
- 修士論文発表会__スライド
- 修士論文発表会__読み原稿
- 英文梗概

サンチアゴ・カラトラバの建築作品における構造デザインの形態表現とその意味に関する考察

A Discussion on the Formal Expressions and their Meaning observed in the Structural Design of Santiago CALATRAVA's Architectural Works

富岡・田端研究室 413M408 高畑 広輝

1.1 研究の目的

本研究の目的は、サンチアゴ・カラトラバの建築作品にみられる構造デザインの形態表現の手法を明らかにし、その形態が表現・内包する象徴的意味について整理することである。

1.2 サンチアゴ・カラトラバの略歴

サンチアゴ・カラトラバ (Santiago CALATRAVA) は、スペイン出身の建築家・構造エンジニアである。カラトラバはバレンシアの美術学校と建築学校を卒業し、チューリッヒ工科大学 (ETH) にて土木工学や航空工学を学んだ。その後、ETH にて助手をしつつ 1981 年に博士論文「スペースフレーム (立体骨組) の折りたたみの可能性について」を書き上げた後、チューリッヒにて自らの設計事務所を開設した。スイスを中心に欧州、北南米と国際的に設計活動をおこなっている。



図 1.1: Santiago Calatrava

カラトラバの作品は建築のみならず橋梁や彫刻、絵画、家具にまで至り、自身の建築の仕事に「すべての芸術をひとつに組み合わせたもの」としている。これは美術・建築・土木と広く学んできた経歴が物語っている。

いかにしてカタチのアイデアを得るかという事に関して、自ら次のように語っている。「人間の体を解剖してその構造を理解し、そこからアイデアを読み取ること、言い換えれば人間の体を鑑賞することも重要です。」(注 1)

カラトラバの造形のアイディアは、人体の動きが生み出すフォルム、動物の骨格や運動、木々や花といった植物などへの興味と観察から創出されている。それらの興味からカラトラバは人体や動物の運動の様子をあたかも時間を停止したように切り取ったスケッチを多く描いている。描かれた姿は、みな力強く躍動的にその一瞬一瞬を描出している。独創的な造形の発明のみならず、土木工学・航空工学で発見した新たな構造的解法を建築に取り込むことで、今後も新たな建築の開発が期待されている。



図 1.2 Alamillo Bridge



図 1.3 人物デッサン

1.3 既往研究

カラトラバに関する研究は、設計手法と作品の力学的特徴を読み解くもの、スケッチの対象に関するもの、構造表現におけるカラトラバの位置付けに関するものがすでに行われている。

既往研究の分類は以下の通りである。

■設計手法と建築作品の力学的特性に関する研究

・青木信, 杉本俊多: サンチアゴ・カラトラバの建築設計手法に関する研究～シュテーデルホーフエン駅のスケッチ分析～, 日本建築学会中国支部研究報告集 第 25 巻, 2002 年, pp.1045-1048

■スケッチの比較に関する研究

・尾上優希, 土居義貯: サンチアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿と比較しながら, 日本建築学会九州支部研究報告 第 49 号, 2010 年, pp.637-640

・尾上優希, 土居義貯: サンチアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について 西洋の歴史の中で人体に関わった人物との比較, 日本建築学会九州支部研究報告 第 50 号, 2011 年, pp.665-668

■構造表現に関するカラトラバの位置付けに関する研究

・斎藤公男, 鈴木新吾: 構造表現と S.Calatrava その 1 - 構造表現における S.Calatrava の位置づけ -, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 1994 年, pp.1081-1082

・斎藤公男, 鈴木新吾, 三瓶智康: 構造表現と S.Calatrava その 2 - 作品を通しての分析と評価 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 1994 年, pp.1083-1084

本研究は、カラトラバの人体的な構造表現と造形手法を力感という概念を用いて明らかにする、設計手法とスケッチの特徴に関する研究の総合である。

1.4 力感について

構造体が表現する力にいて、横尾義貫は力感という概念について次のように論じている。

「私どもは橋をながめて、そこに力学的な力の働きを感じとる。あるいは 1 つの工芸品、絵巻、彫刻に接しても、そこに複雑な力の働きを感受する。このようにあらゆる形象は力の働きの感じ、すなわち力感を伴うと云えるだろう。」

さらに、横尾氏はこの力感を次の 2 つの概念に分け比較している。

「Real な力感」: 現実には作用している力の感受

「Imaginary な力感」: 形象から連想によって感じる現実に働いていない力の感受

これら 2 つの力感をゴシック寺院を例として、「おびただしい石が屋根から壁、扶壁をへて、均衡を保ちつつ大地

へ伝わる感じ」を「Real な力感」とし、「昇天するような運動感」を「Imaginary な力感」としている。

「Real な力感」は主に重力の作用とそれに対抗する構造の作用感であるとし、これらは恒常的であり、建築の表現の基底をなすものであるとしている。それに対して「imaginary な力感」は心理的作用などの抽象的なものを含む概念であると言える。この力感をカラトラバの建築作品、特に人体をモチーフとした作品から読み取ることで造形の表現の整理を試みる。

1.5 人体のモチーフ

人体のモチーフを対象として扱う、それはなぜか。

人体を建築の構造躯体に表現するという行為は、古くから繰り返行われてきた造形の方法である。その一つは古代ギリシアのエレクティオンにおけるカリアティード(図 1.4)にみられる。カリアティードとは、エンタブラチュアを支持する女人像柱を意味する。その後カリアティードは、その男性版であるアトラスと共に装飾として数多くの建築に用いられていった。バロック期のベルヴェデーレ宮殿では、エントラスの柱にヘラクレスの姿(図 1.5)がデザインされている。このヘラクレスは、片膝を立て肩の荷に手を当て前傾している姿をしており、そこから「柱頭を必死に支える力強い姿」が表現されている。

これらの造形には具体的な人間の姿が表現されており、その造形から観察した際には、働く力の感覚、つまり力感が感じ取れる。これは、力感がより明確に感受できるよい例である。

1.6 肉体的な共体験

人体のモチーフからは力感を感じ取れる、これに類似した考えとして、肉体的な共体験というものがある。

ハインリッヒ・ベルフリンの建築心理学序説(注 2)によれば、視覚対象を観察し、その意味を理解するためには肉体的な共体験が必要であるという。これは私たちが経験し得ないことは、感じ取ることができないからだとしています。つまり、私たちが経験したことであれば視覚対象から感じとることができるといえる。

例えば、私たちが生きながらにして感じている、重力や筋肉の動きといった感覚を対象から感じとることができるのである。



図 1.4: The Caryatid Porch of the Erechtheion, Athens, 421-407 BC



図 1.5: ヘラクレス像, Belvedere, Vienna, 1720

肉体的な共体験とは、観察者の身体感覚の投影といえる。投影が容易に行えるのは、私たちの身体により近いもの、つまり、視覚対象が肉体的な表現をもつ時、私たちは肉体的な共体験によってより効率的に対象を観察できるのである。

以上を総合すると、「建築の構造躯体に人体像を用いることで、観察者に肉体的な共体験を働きかけ、より直感的に力感を感じ取ることができる」と考える。これをもとに、カラトラバの作品分析を行っていく。

1.7 分析対象

サンチアゴ・カラトラバ設計による建築作品のうち、下記の資料より人体像または人体の一部に関するスケッチが確認できる作品を分析の対象とする。

本研究では、「人体像に関するスケッチ」が確認できた3作品と、「人体の一部に関するスケッチ」が確認できた5作品の計8作品について分析を行う。作品の序列は設計年の古い順としてある。また、Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station については、人体像と人体の一部の両方のスケッチが確認できたため描かれている対象となる部分ごとに分けて分析を行う。

■人体像をモチーフとした作品

1. Stadelhofen Station, Zurich, Switzerland, 1983-1990(図 1.6)
2. Montjuic Communications Tower, Barcelona, Spain, 1989-1994 (図 1.7)
3. Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995 (図 1.8)



図 1.6 シュタットデルホーフエン駅



図 1.7 モンジュイック電波塔



図 1.8 サトラス空港駅

プラットフォーム

■人体の一部をモチーフとした作品

1. Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995(図 1.9)
2. Kuwait Pavilion, Seville, Spain, 1991-1992(図 1.10)
3. City of Arts and Science, Valencia, Spain, 1991-2000(図 1.11)
4. Shadow Machien, New York, USA, 1992(図 1.12)
5. Turning Torso, Malmö, Sweden, 1999-2000(図 1.13)



図 1.9 サトラス空港駅
エントランス



図 1.10 クウェートパビリオン



図 1.11 レ・ミスフェリック



図 1.12 シェドウマシーン



図 1.13 ターニングトルソ

1.8 分析の方法

本研究は、選択した作品に対して次の手順で分析を行う。

1) 造形に関する分析

■部分の対応

スケッチに描かれている人体と建築作品の構造形態との対応関係を見る。

■構成

変換されたスケッチの対象が、作品の中でどのように構成されているかの分析を行う。単体か複数か、どのような配置か、スケールの操作について。

2) 力学的特徴

建築の図面等の資料からその造形の力学的根拠を分析する。簡易的な構造モデルから M 図を描くなどを行う。

3) 力感の読み取り

以上の分析から、造形の分析において、いかに共体験をさせているかみることで「Imaginakry な力感」を読み取り、力学的特徴から応力などの流れを見ることで「Real な力感」読み取りを行う。

2.1 人体像のモチーフ _ 分析例 1

サトラス空港駅（プラットフォーム）

■計画概要

所在地：リヨン（フランス）

用途：駅舎

設計期間：1989-1995 年



フランス、リヨン郊外の田園地帯にあるリヨン・サン＝テグジュペリ国際空港に隣接するように計画された高速鉄道 TGV の駅舎である。空港とは連絡橋で接続されており、建設当時は空港と高速鉄道が初めて結びついた駅であった。駅中央ホールを中心に両側へ 500m ほどのプラットフォームが伸びている。

■分析対象

本作品で図 2.1 に示す人体像のスケッチが確認できた。よって、ここではスケッチの対象となっているプラットフォームの外周部の柱について分析を行っていく。なお、本作品では人体の一部に関するスケッチも確認できた。これについては別途分析を行う。

■スケッチの概要



図 2.1 サトラス空港駅_人体スケッチ 1

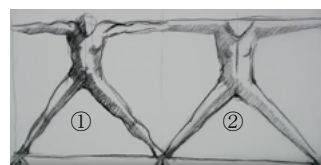
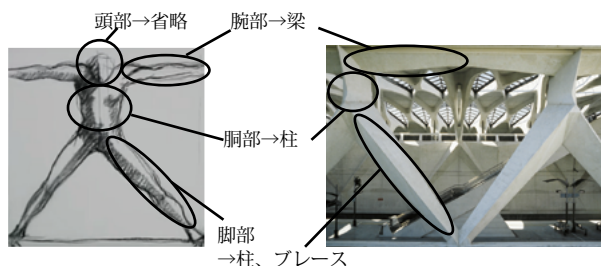


図 2.2 サトラス空港駅_人体スケッチ 2

本作品では、図 2.1 と図 2.2 の人体スケッチが確認できた。図 2.2 では、大きく脚を開き腕を若干上に大きく開いた人物が同じ恰好で並んでいる姿が描かれている。互いの腕の先に V 字の部材がのっている様子も確認できる。さらに身体各部分の中央に線が描かれていることから、身体のコアを取ってプロポーションを思考していたと考えられる。図 2.2 は映像記録（注 3）中のインタビューで人体のイメージから柱の造形に至る変遷を並列して描いた板書である。ここでは、大きく脚を開き腕を水平に伸ばした人物が手を取り合い並んでいる様子が描かれている。図 2.2 中①のスケッチは②よりも人体が明瞭に描かれており、より本作品の造形に近く描かれている為、主に①の人体スケッチを用いて後の部分の比較を行ってゆく。

■部分の対応



ここでは、入手した図面が不明瞭であったため、スケッチの対象となっている部分の写真を用いて比較し部分の対応をみてゆく。

- 1) 頭部：首から上にあたる部分が省略されている。
- 2) 腕部：梁へと変換されている。
- 3) 胴部：柱へと変換されている。
- 4) 脚部：胴部にあたる部分から二股に分かれた柱へと変換されている。腿にあたる部分がより太く造形されている。基礎との接合部は隣接する柱のモジュールと共通となっている。

この作品では、スケッチに描かれている人体の姿は継承しているが、頭部は省略されている。胴部に比べて脚部が大きく造形されている。腕部は胴部の付け根から徐々に細くなるように造形されており、均一な断面のものより腕であることが主張されている。腕部、胴部、脚部らは人体の丸みを帯びた断面からひし形断面へと造形されている。こ

れによって陰影が強調される効果や正対した際に細さ（特に胴部の細さ）が強調されている。

■構成

図 2.2 のスケッチにも表現されているように、ひとつの人体をひとつのモジュールとして並列させることでプラットホームの屋根を支持するように外周の柱は構成されている。さらに腕部の先や脚部の先で接合させることで、ひとつのモジュールの境界を明確にすることで、集団性を表現している。

■力学的特徴

断面図及び立面図より簡易的な構造モデルを作成しモーメント図を描いた。

屋根の荷重は梁にかかるモーメントは胴部に伝達され2股の脚部へ伝わり支点へと収束する。

これを作品と比較すると、腕部が表現されている梁はモーメント分布に沿って中央から胴部に向かって断面が増している。胴部は腰にあたる部分で括れるように断面が変化し、脚部もモーメント分布に沿って断面が小さくなっている。

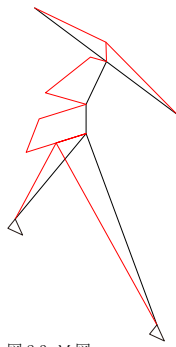


図 2.3 M 図

■力感

1) Real な力感

・梁にかかる屋根荷重をまず柱に伝達し、そこから柱は途中二股に別れ土台へと荷重が伝達される。二股の柱は隣り合う柱と同じ支点で支持されることで、ブレースとして働くことで柱間を繋ぎ安定させている。

2) Imaginary な力感

・多くの巨人が互いに手を繋ぎ、屋根の重さを全身で受け、必死に支えている。
・同じ恰好の巨人らが並び同じ役割を果たしていることで、協働性が表現されている。
・脚部に比べて胴部が細く造形されていることで、下半身の力強さと安定感を感じることが出来る。

2.2 人体像のモチーフ _ 分析例 2

モンジュイック電波塔

■作品概要

所在地：バルセロナ（スペイン）

用途：電波塔

設計期間：1989-1994 年

1992 年のバルセロナオリンピックに合わせたテレビ放送用のために、モンジュイックの丘の上に計画された電波



塔である。当時バルセロナオリンピックのテレビ放送用に計画されたものであるが、今なおモンジュイックのシンボルの一つとして佇んでいる。

塔の地下には小さなホールが設けられており、大きなアーチ状の出入り口の造形と光の取り入れ方を追求し設計されている。

■スケッチの概要

本作品については図 2.4 の人体スケッチが確認できた。

図 2.4 のスケッチでは複数の人体スケッチが描かれている。（図中①，②）

・①の人体スケッチについて

膝立ちで掲げる人の姿が描かれている。この人体像が最も作品の造形に近く描かれている為、主

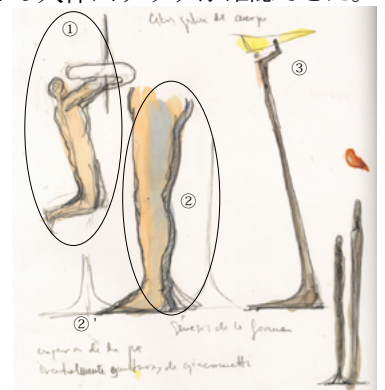


図 2.4 Montjuïc Tower_人体スケッチ 1

にこの①の人体スケッチを用いて後の部分の比較分析を行ってゆく。

・②の人体スケッチについて

人の臀部から下、足先までがまっすぐ伸ばした姿勢で描かれている。背面に重なるようにもうひとつの脚が確認できるので、人の両脚をイメージしているものと推測できる。また②'のスケッチは Montjuïc Tower の下部と類似していることから②のスケッチでは、脛から足首そして甲にいたるまでの曲線を一つの要素として造形に取り入れようと思われたと思われる。

図 2.4 中の③のスケッチは、①の人体像からイメージされて制作された照明器具（図 2.5）のアイデアである。

図 2.4 の人体スケッチは、映像記録（注 3）でのインタビュー内で Montjuïc Tower の姿に至るイメージの変化を描いた板書のキャプチャである。

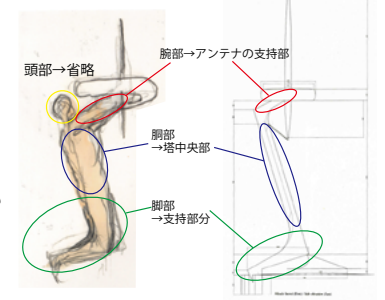


図 2.5 Montjuïc Lamp

■部分の対応

ここでは、スケッチの対象となっている立面図と比較し部分ごとにみてゆく。

1) 頭部：肩より上の首から頭にかけて省略されている。



- 2) 腕部：塔の上部へと変換されており、アンテナ部分を支持するように二股に分かれている。
- 3) 胴部：塔の中央部へと変換されている。
- 4) 脚部：塔の下部、塔を支持する部分へと変換されている。スケッチにおける股下から膝にかけての部分は胴部と一体となり、膝に当たる部分（支点1）からつま先部分（支点2、支点2'）へと二股に分かれている。

この作品では、スケッチ描かれている人体の姿は継承しているが、頭部が省略されている。胴部の変換は他の部分と比較しても細く・長く造形されている。これによってアンテナ部のヴォリュームが強調されより浮遊感を与えていると共に、脚部をより大きく見せ力強さを演出している。さらに脚部の支点1では、極端に接合部を細く・小さく見せることによって、塔全体に不安定感とそれに耐える力強さを表現している。

■構成

Montjuic Tower は、人体が単体で表現されている塔とアンテナ部分から構成されている。単体での表現はより造形の象徴性を高めている。

また、アンテナ部分は主に水平垂直の成分から構成されているのに対して、塔に水平垂直成分は見られない。つまり、人体が表現されている部分には水平垂直成分を用いていないということである。これによって、アンテナ部分と塔が互いに“異なる”ということを強調する効果があるのである。

■力学的特徴

立図面（図 2.6）より簡易的な構造モデルを作成しモーメント図（図 2.7）を描いた。これより、上部の分岐部分と下部の分岐部分に大きな曲げ荷重がかかっていることが確認できる。本作品の造形と比較すると、共に分岐部分の断面が他の部分よりも大きくなっており、曲げ荷重に対応した造形であることがわかる。

また、人体スケッチの腕・脚に対応する部分はモーメントの分布に沿って断面が変化している。

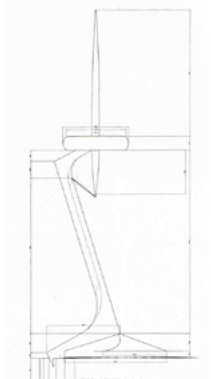


図 2.6 立面図_Montjuic Tower

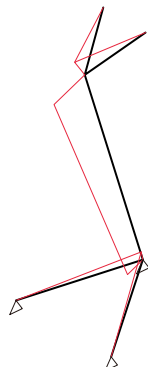


図 2.7 M 図_Montjuic Tower

■力感

1) Real な力感

・アンテナの荷重を受けた 2 本の梁が 1 つの柱そして土台へと伝達されている。土台では 1 つの柱が 2 又に分岐し、柱の端部と合わせ 3 点で支持している。

2) Imaginary な力感

- ・人の 50 倍近くになる巨人が膝立ちで巨大なアンテナを掲げているシンボリックな姿である。
- ・まるで聖火を天に掲げるように整然と佇んでいる英雄的な姿である。
- ・後方に体重をのせるように傾いた姿から、アンテナの荷重を必死に受けながら腕を伸ばしている力強い姿が表現されている。

3. 人体の一部のモチーフ _ 分析例 3 ターニングトルソ

■計画概要

所在地：マルメ（スウェーデン）

用途：オフィス、集合住宅

設計期間：1999-2004 年

この作品は、スウェーデンのマルメに建設された、54 階建ての高層マンションである。高さは 190m で、スカンジナビア半島で最も高層な建物である。1 階から 10 階まではオフィスとして貸し出されている。

5 層を 1 つのブロックとし全部で 9 つのブロックを積み上げ、上層に向かって徐々に捻れていくデザインがなされている。1 階に対して最上階では 90 度捻れている。名前の Torso とは「人体の胴」あるいは「頭および手足のない裸身の彫像」という意味であり、Turning Torso は人が胴を捻っている姿から創造された。

■スケッチの概要

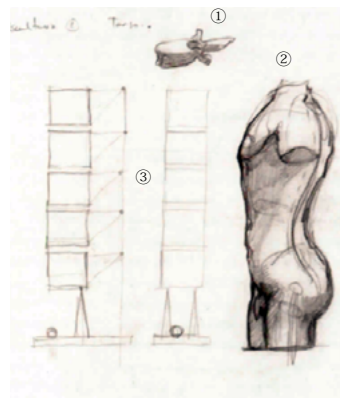


図 3.1 Turning Torso _ 人体スケッチ 1

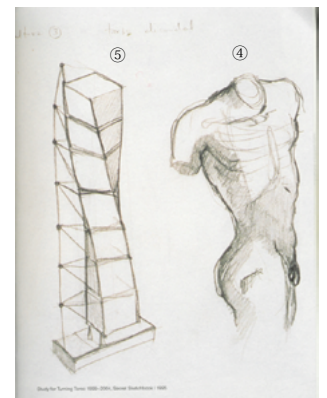


図 3.2 Turning Torso _ 人体スケッチ 2



本作品では、図 3.1 と図 3.2 に示す人体スケッチが確認できた。

図 3.1 には①と②に人体スケッチと③に構造モデルが描かれている。

①では、背骨を構成する椎骨が描かれている。このスケッチには椎体や椎弓と呼ばれる部分や脊柱管と呼ばれる脊髄が通る穴までもが確認できる。

②では、頭部・腕部のない人体の側面からの姿が描かれている。

③では、以下のようにカラトラバ自身が語っているように背骨の構造を読み取りそのシステムを思考している。

「背骨について考えてみると、人間の体はどのようにして立っているのかということですが、背骨は脊椎が集まってできていて、基本的な原理を模型で表現すると立方体が集まっているものとして考えることができます。」(注 4)

④では②の人体の上半身を右に捻った姿が描かれている。⑤の構造モデルは③で思考された背骨のモデルを④の人体の捻りに合わせて拗らせたモデルである。

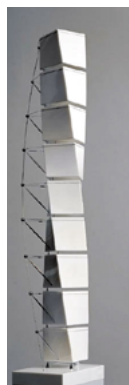


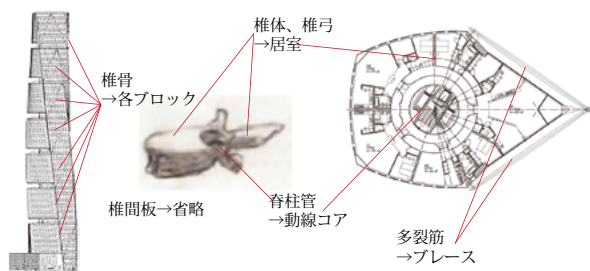
図 3.3 構造システム模型

また図 3.3 はその構造システムを模型化しスタディしたものである。

このことから、本作品では人体の形そのものを模することが主題ではなく、その形が形成されるシステムとその可動の可能性を建築に表現しようと試みた作品といえる。

人体スケッチと建築を比較する前に、まず人体の背骨の構造と図 3.1 ③の構造モデルとの比較を行う。

背骨は椎骨(図 3.1 ①)という小さな骨が積み重なりあってできている。それぞれの椎骨間には椎間板が緩衝材として挟まれている。椎骨は脊髄が通る脊柱管によって連なっている。さらに背骨には椎骨通しを結び姿勢を保つ多裂筋と呼ばれる筋肉が付着している。多裂筋は回旋、側屈、伸展といった連動した動きの補助をするように、椎骨の背中側から斜側上方に向かって走り椎骨同士を繋いでいる。カラトラバは、この背骨の構造を③の構造モデルに簡略化し表現している。椎骨は立方体として積み重ねられ、多裂筋にあたる機能を互いを安定させる引張材に対応させている。



次に建築との対応をみてゆく。

- 1) 椎骨：5層を1ブロックとして、積層している。
- 2) 椎間板：省略されている。
- 3) 椎体、椎弓：居室及び共用空間に変換されている。
- 4) 脊柱管：動線のコアとして変換され、各ブロックを1階より貫いている。
- 5) 多裂筋：外部のブレースとして変換され、各ブロックを繋いでいる。

以上のように、背骨の構造を建築に変換されている。さらに、それぞれの部分は元々人体で有していた機能に対応している。例えば、脊柱管は人体では脊髄が通る管として働いており、これが建築の動脈とも言える動線のコアとして扱われている。

■構成

本作品では、長い背骨の一部を切りとり拡大することで要求された設計要件に適したボリュームとしている。そのため、単体での表現となり、そのシンボル性を強めている。

■力学的特徴

5層で1つにまとめられたブロックは、コアによって連結されているが、ブロック間に通し柱がないため傾きが生じる。この傾き方向の体格の位置に引張材を配してブロック間を安定させている。(図 3.4)

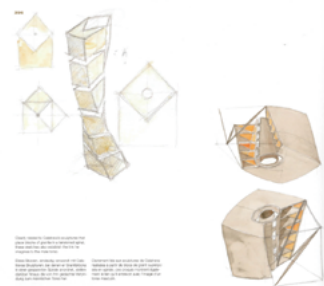


図 3.4 構造スケッチ

■力感

1)Real な力感

・5層で1つにまとめられたブロックは、コアによって連結されているが、ブロック間に通し柱がないため傾きが生じる。この傾き方向の体格の位置に引張材を配してブロック間を安定させている。

2)Imaginary な力感

・捻れながら積層されていく姿から天空への上昇性とシンボル性が表現されている。

・静止し安定している恰好ではあるが、さらに捻れが増したり、逆方向に捻れる可動性を感じることができる。

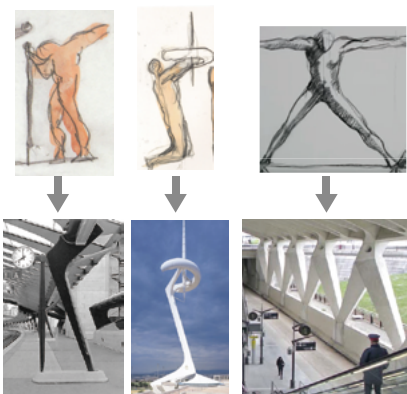
4. 考察

4.1 人体の表現手法の整理

分析より、カラトラバの建築デザインにおいて人体像の表現手法に共通する特徴が見受けられた。以下にその特徴をあげる。

1) 頭部の省略

人体像がモチーフとなった3作品全てにおいて、人体の頭部は人体のスケッチに描かれてはいるが、建築には表現されていない。人にとっての頭、すなわち顔とは、個人を特定するのに重要な



要素である。さらに、顔には表情によって他者に感情であったり肉体的・心理的な状態を伝達するという機能がある。カラトラバはあえて頭部を除いた造形を行うことで、身体の姿勢やプロポーション、構成といった要素のみで観察者に表現されている人体の情報を伝達しようと試みていと考えられる。さらに、人物を特定しない表現とすることで、誰でもない”アノニマスな人体像”となり観察者の感情移入を容易にしている。

2) 変断面の採用

人体像表現のみに対する特徴ではないが、カラトラバの作品には断面形状が徐々に変化してゆく、”変断面”を用いている造形を多く確認できる。これは、モーメントなどの応力の分布から構造的な合理性を追求した結果であろうが、こと人体像の表現においては、より人体的な造形とする手法として効果を発揮している。人体において脚部は、腿から足首にかけて断面が小さくなっている。これは筋肉量の違いであるが、太い腿は鍛えられた力強さと安定感を表現している。人体において断面が大きくなるということは、荷重がかかりその部位の筋肉が隆起していることを意味する。その姿は、雄々しく力強く美しい。変断面を用いた造形では、観察者に対してこういった効果も発揮し得る。

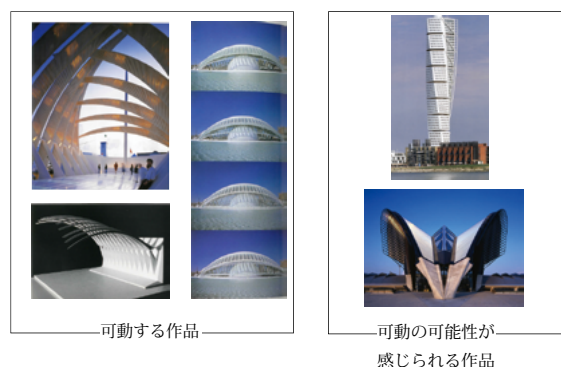
3) 丸型断面の不採用

人体は丸型断面により構成されているといっても良いほど、人体は丸みを帯ている。しかし、カラトラバは人体像を造形する際に丸型断面から三角やひし形といった”角のある”断面に変換している。これによって、構造が容易

になったり、施工性が向上するといった実利的に有意なだけでなく、ソリッドな断面とすることで陰影がはっきりと表現され造形の立体感が増すといった効果も期待できる。

4) 人体のシステムの表現

カラトラバは人体がどのように構成されているか、またその可動性について解剖的なスケッチを複数描いている。これは特に人体の一部をモチーフとした作品に見られ、実際に可動する作品を作り出している。この手法はによって静止している造形においても、”動きそう”といった印象を与える効果が期待できる。



4.2 造形的な特徴からみる力感表現の整理

分析の結果より、造形の意味に関する項目（表現されている人体像、構成、主題、Imaginaryな力感からキーワードを抽出）まとめたものを表 4.1 に示す。

表 4.1 各作品の造形モチーフと力感

	作品名	モチーフの対象	構成	主題	Imaginaryな力感
人体像	シュタッデルホーフェン駅	杖にもたれかかる巨人	等間隔に弓状に並列	杖にもたれかかりながら屋根を支える姿	集団性、協調性、忍耐、中心性、静的
	モンジュイック電波塔	膝立ちでアンテナを上げる巨人	単体	膝立ちでアンテナを上げる巨人	シンボリック、英雄的、力強さ、静的
	サトラス空港駅 (エントランスホール)	大きく手足を開いた巨人	手足同士を合わせて並列	大勢で手を取り合い屋根を支える姿	集団性、協調性、安定感、力強さ、英雄的、静的
	サトラス空港駅 (エントランスホール)	眼	単体	開いた眼の形	シンボリック、軽快さ、躍動的、静的
人体の一部	クウェートパビリオン	指	複数の指の並列	指の動きによる空間の変化	開放感、包容感、生物学的な動き、動的
	レミスフェリック	眼	単体	眼の形とまぶたの動き	シンボリック、生物学的、被覆視的、動的
	シャードマシーン	指	複数の指	指の動きによる空間と影の変化	自然現象の知覚、包容感、浮遊感、緊張感、動的
	ターニングトルソ	背骨	単体	背骨のシステムによる可動性	上昇性、シンボリック、動きの可能性、安定感、静的

この表より造形的な特徴、ここでは「モチーフの対象」と「構成」について類似するものを選び Imaginary な力感表現についてみてゆく。

1) 眼をモチーフとするもの

【サトラス空港駅 (エントランスホール)、レミスフェリック】

両作品とも単体で構成されており、シンボリックなイメージが共通して感じ取れる。しかし、眼の形を主題とするサトラス空港駅は静的な印象に対して、レミスフェリックではまぶたの動きを主題としているため、動的な印象となる点で大きく異なる。

2) 指をモチーフとするもの

【クウェートパビリオン、シャドーマシーン】

両作品とも可動する動的なものであるため、指(手)に包まれる包容感が感じられる。指に対応する部材の断面が異なるため、シャドーマシーンでは浮遊感や緊張感が感じられることに対して、クウェートパビリオンではゆっくりと大きな部材が動く生物的な動きが感じられる。

3) 単体で構成されているもの

【モンジュイック電波塔、サトラス空港駅(エントランスホール)、レミスフェリック、ターニングトルソ】

4 作品とも単体での表現にはシンボリックな印象を受ける。モンジュイック電波塔のみ、人体像がモチーフとなっており、シンボリックかつ力強い印象を受ける。

さらに、レミスフェリックとターニングトルソでは動的印象となっている点で多きく異なる。

4.3 造形のヴォキャブラリーとしての展開

カラトラバは、自身の建築の仕事で「すべての芸術をひとつに組み合わせたもの」と語っているように、彫刻作品や橋梁、建築で生まれたアイデアを相互に応用し様々な作品に用いている。建築のスケッチから彫刻の作成を行う(その逆もある)姿勢は、カラトラバの建築作品が彫刻的だと称される所以でもある。

本研究で対象とした作品の多くは 1990 年代初頭のもので、カラトラバがデビューして間も無くの作品である。カラトラバは当初、人体像のスケッチから建築の造形を創造する挑戦を行ってきたが、近年ではすでに考え出された造形を変形させたり、一部を取り出し組み合わせを変えなどといった、造形のアイデアらをヴォキャブラリーとして新たな建築作品を創造しており、カラトラバの作品が一貫して“カラトラバらしさ”を保持している一端であると考えられる。

5.1 結論

本研究では、以下の成果が得られた。

1. カラトラバが人体から建築デザインを造形する際、次の手法が確認できた。

- 1) 頭部の省略
- 2) 変断面の採用
- 3) 丸型断面の不使用
- 4) 人体のシステムの表現

2) 作品ごとに力感をもとにした造形の持つ象徴的な意味を読み取り、整理を行い、造形表現との対応をみることができた。

5.2 今後の展開

本研究では、カラトラバの建築作品のうち人体スケッチが描かれているものについて分析をおこなったが、力感を読取るという手法は建築作品全般に適応できると考える。カラトラバの建築は人体をモチーフとしていない作品においても、ダイナミックで有機的な造形表現がみられる。これらの作品について力感表現を読取ることでカラトラバの造形表現の新たな手法を整理できると考える。

■注

1. Santiago Calatrava: 建築家の講義—サンチャゴ・カラトラバ, 金箱温春 訳, 丸善株式会社, 2008, p71 より
2. Heinrich Wölfflin: 建築心理学序説, 上松佑二 訳, 中央公論美術出版, 1988 より
3. 現代建築家ビデオ /DVD シリーズ 第35巻 サンティアゴ・カラトラバ: 神はサイコロを振らない, デルフォイ研究所, 2005 より
4. Santiago Calatrava: 建築家の講義—サンチャゴ・カラトラバ, 金箱温春 訳, 丸善株式会社, 2008, p75 より

■参考文献

- ・ Heinrich Wölfflin: 建築心理学序説, 上松佑二 訳, 中央公論美術出版, 1988
- ・ Rudolf Arnheim: 建築形態のダイナミクス(上), 乾正雄 訳, 鹿島出版会, 1980
- ・ Rudolf Arnheim: 建築形態のダイナミクス(下), 乾正雄 訳, 鹿島出版会, 1980
- ・ 横尾義貫: 力感論, 建設工学, Vol.4, No.2, pp.13-15, 1953
- ・ 横尾義貫: 力感論覚え書, カラム, No.24, pp.7-10, 1967
- ・ 斎藤公男、鈴木新吾: 構造表現と S.Calatrava その1— 構造表現における S.Calatrav の位置づけ—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 1994 年, pp.1081-1082
- ・ 斎藤公男、鈴木新吾、三瓶智康: 構造表現と S.Calatrava その2— 作品を通しての分析と評価—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 1994 年, pp.1083-1084
- ・ 青木信、杉本俊多: サンティアゴ・カラトラバの建築設計手法に関する研究—シュテーデルホーフエン駅のスケッチ分析—, 日本建築学会中国支部研究報告集 第25巻, 2002 年, pp.1045-1048
- ・ 尾上優希、土居義貯: サンティアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿と比較しながら, 日本建築学会九州支部研究報告 第49号, 2010 年, pp.637-640
- ・ 尾上優希、土居義貯: サンティアゴ・カラトラバの「人体」から建築への変換について 西洋の歴史の中で人体に関わった人物との比較, 日本建築学会九州支部研究報告 第50号, 2011 年, pp.665-668

■参考資料

- ・ Santiago Calatrava: 建築家の講義—サンチャゴ・カラトラバ, 金箱温春 訳, 丸善株式会社, 2008
- ・ Philip Jodidi: Calatrava Complete Works 1979-2009, TASCHEN, 2009
- ・ Santiago Calatrava: Santiago Calatrava Secret Sketchbook, The Monacelli Press, 1996
- ・ Werner Blaser: Santiago Calatrava Engineering Architecture, Birkhäuser, 1990
- ・ 現代建築家ビデオ /DVD シリーズ 第35巻 サンティアゴ・カラトラバ: 神はサイコロを振らない, デルフォイ研究所, 2005
- ・ Anthony Tischhauser, Stanislaus von Moos: Calatrava public buildings, Birkhäuser, 1998
- ・ Santiago Calatrava 1983-1993, El Croquis, El Croquis, 1994
- ・ Alexander Tzonis: Santiago Calatrava the complete works, Rizzoli, 2004

平成27年度
修士論文

サンチアゴ・カラトラバの建築作品における 構造デザインの形態表現とその意味に関する考察

富岡・田端研究室
高畑 広輝

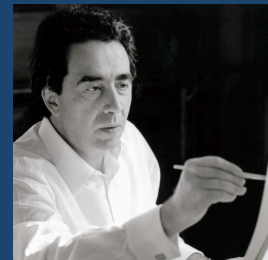
目的

サンチアゴ・カラトラバの建築作品にみられる構造デザインの形態表現の手法を明らかにし、その形態が表現・内包する意味について整理すること

サンチアゴ・カラトラバについて

Santiago CALATRAVA

1951	スペイン、バレンシアにて生まれる
1968-1969	バレンシアの美術学校にて学ぶ
1969-1973	バレンシア建築学校にて建築を学ぶ
1975-1979	チューリッヒ工科大学にて土木・航空工学を学ぶ
1979-1981	チューリッヒ工科大学助手
1981	チューリッヒにて事務所を設立



「建築の仕事はすべての芸術をひとつに組み合わせたもの」

建築



橋梁



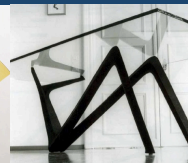
絵画



彫刻



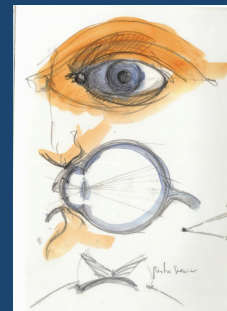
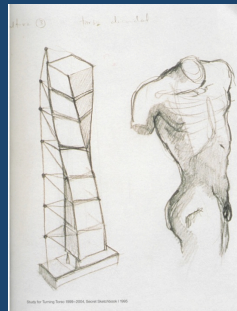
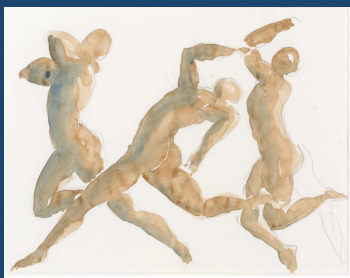
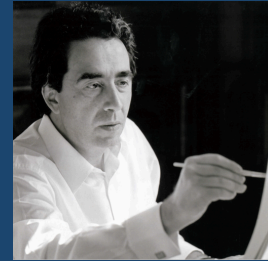
家具



サンチアゴ・カトラバについて

Santiago CALATRAVA

1951 スペイン、バレンシアにて生まれる
 1968-1969 バレンシアの美術学校にて学ぶ
 1969-1973 バレンシア建築学校にて建築を学ぶ
 1975-1979 チューリッヒ工科大学にて土木・航空工学を学ぶ
 1979-1981 チューリッヒ工科大学助手
 1981 チューリッヒにて事務所を設立



既往研究

構造表現におけるカトラバの位置付けに関する研究

・斎藤公男、鈴木新吾: 構造表現とS.Calatravaその1
 — 構造表現におけるS.Calatravの位置づけ—
 ・斎藤公男、鈴木新吾、三瓶智康: 構造表現とS.Calatravaその2— 作品を通しての分析と評価—

カトラバの設計手法と作品の力学的特徴に関する研究

・青木信、杉本俊多: サンティアゴ・カトラバの建築設計手法に関する研究 ～シュテーデルホーフ駅のスケッチ分析～

スケッチの比較に関する研究

・尾上優希、土居義貯: サンティアゴ・カトラバの「人体」から建築への変換について レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿と比較しながら
 ・尾上優希、土居義貯: サンティアゴ・カトラバの「人体」から建築への変換について 西洋の歴史の中で人体に関わった人物との比較

既往研究

構造表現におけるカトラバの
位置付けに関する研究

・斎藤公男、鈴木新吾: 構造表現とS.Calatravaその1
ー 構造表現におけるS.Calatravaの位置づけー
・斎藤公男、鈴木新吾、三瓶智康: 構造表現と
S.Calatravaその2ー 作品を通しての分析と評価ー

カトラバの設計手法と
作品の力学的特徴に関する研究

・青木信、杉本俊多: サンティアゴ・カトラバの建築
設計手法に関する研究 ～シュテーデルホーフエ
駅のスケッチ分析～

スケッチの比較に関する研究

・尾上優希、土居義貯: サンティアゴ・カトラバの「人
体」から建築への変換について レオナルド・ダ・ヴィ
ンチの手稿と比較しながら
・尾上優希、土居義貯: サンティアゴ・カトラバの「人
体」から建築への変換について 西洋の歴史の中で
人体に関わった人物との比較

本研究は



カトラバの人体的な構造表現と造形手法を力感という概念を用いて明らかにする

研究の背景__力感

力感とは...

「私どもは橋をながめて、そこに力学的な力の働きを感じとる。あるいは1つの工芸品、絵巻、彫刻に
接しても、そこに複雑な力の働きを感受する。
このようにあらゆる形象は力の働きの感じ、すなわち力感を伴うと云えるだろう。」

横尾義貫

構造設計において重要な感覚

「Realな力感」

現実に作用している
力の感受

→物理的な力の感受

「Imaginaryな力感」

形象から連想によって感じる
現実に働いていない力の感受

→精神的な力の感受

（ゴシック聖堂を例に...

「Realな力感」: おびただしい石が屋根から壁、扶壁をへて、均衡を保ちつつ大地へ伝わる感じ

「Imaginaryな力感」: 昇天するような運動感

心理的作用などの抽象的な意味を含む

研究の背景__力感

力感とは...

「私どもは橋をながめて、そこに力学的な力の働きを感じとる。あるいは1つの工芸品、絵巻、彫刻に接しても、そこに複雑な力の働きを感じる。
このようにあらゆる形象は力の働きの感じ、すなわち力感を伴うと云えるだろう。」

横尾義貫

構造設計において重要な感覚

「Realな力感」

「Imaginaryな力感」

人体をモチーフとした作品への適応



造形の内包する意味の整理を試みる

研究の背景__人体モチーフと肉体的共体験

なぜ人体のモチーフを扱うのか...

人体モチーフ



The Caryatid Porch
of the Erechtheion,
Athens, 421-407 BC



ヘラクレス像,
Belvedere, Viena,
1720

人体を建築に表現する試みは、
古来より繰り返して行われてきた表現手法である。

- カリアティード(Caryatid), 421~407B.C.
→ エンタブラチュアを支持する女人像柱
- ヘラクレス像(ベルヴェデーレ宮殿), 1720
「片膝を立て肩で柱頭を支える姿」が柱に彫刻
→ 「柱頭を必死に支える力強い姿」

具体的な人間の姿から、力感が感じ取れる

研究の背景__人体モチーフと肉体的共体験

なぜ人体のモチーフを扱うのか...

人体モチーフ



The Caryatid Porch
of the Erechtheion,
Athens, 421-407 BC



ヘラクレス像,
Belvedere, Viena,
1720

肉体的な共体験

ハインリッヒ・ヴェルフリン:「建築心理学序説」によると

肉体的な共体験を通じて
対象の意味を観察することができる

共体験 = 身体感覚の投影



建築の構造体に人体を用いることで
共体験をより容易に感じれる

研究の背景__人体モチーフと肉体的共体験

なぜ人体のモチーフを扱うのか...

人体モチーフ



The Caryatid Porch
of the Erechtheion,
Athens, 421-407 BC



ヘラクレス像,
Belvedere, Viena,
1720

肉体的な共体験

ハインリッヒ・ヴェルフリン:「建築心理学序説」によると

肉体的な共体験を通じて
対象の意味を観察することができる

共体験 = 身体感覚の投影



建築の構造体に人体を用いることで
共体験をより容易に感じれる



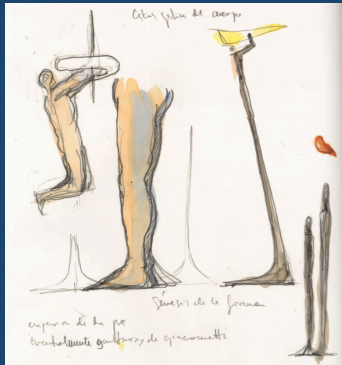
力感をより直感的に感じとることができる

分析対象作品

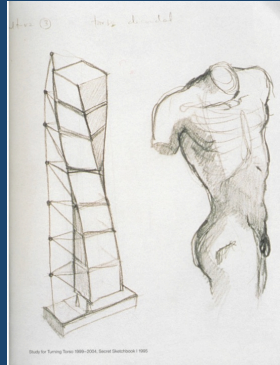
カトラバ設計による建築作品のうち、

- ・ 人体に関するスケッチが描かれている
- ・ 本人による人体をモチーフとしたという発言・記述が確認できる

人体に関するスケッチ



モンジュイック電波塔



ターニングトルソ



レミスフェリク

分析対象作品

カトラバ設計による建築作品のうち、

- ・ 人体に関するスケッチが描かれている
- ・ 本人による人体をモチーフとしたという発言・記述が確認できる

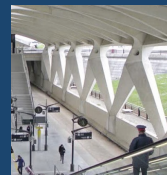
人体像をモチーフとした作品



シュタッデルホーフエン駅



モンジュイック電波塔



サトラス空港駅(プラットフォーム)

人体の一部をモチーフとした作品



サトラス空港駅
(エントランスホール)



クウェート
パビリオン



レミスフェリク



シャドーマシーン

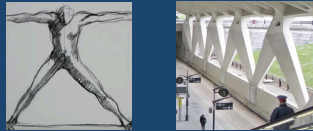


ターニング
トルソ

作品分析の方法

1)造形に関する分析

人体スケッチと構造形態の対応関係



どのような共体験をさせているか

2)力学的特徴に関する分析

構造の力学的根拠
(簡易的な構造モデルからM図を描くなど)



応力分布

3)力感の読み取り

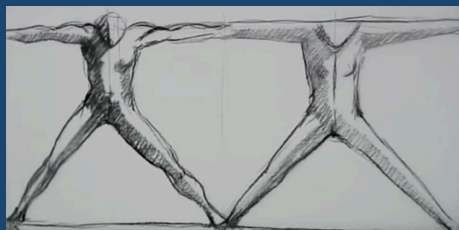
Imaginaryな力感

Realな力感

分析例1_人体像をモチーフとした作品

サトラス空港駅(プラットフォーム)

■計画概要
所在地:リヨン(フランス)
用途:駅舎
設計期間:1989-1995年



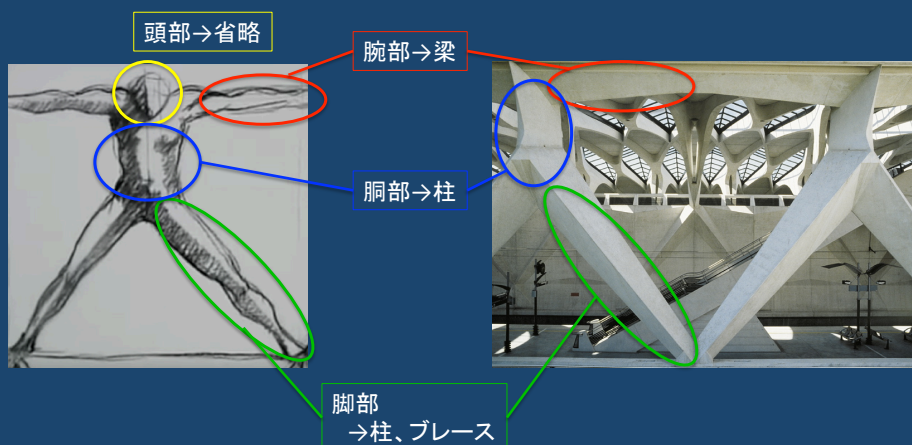
人体スケッチ



プラットフォーム部_柱

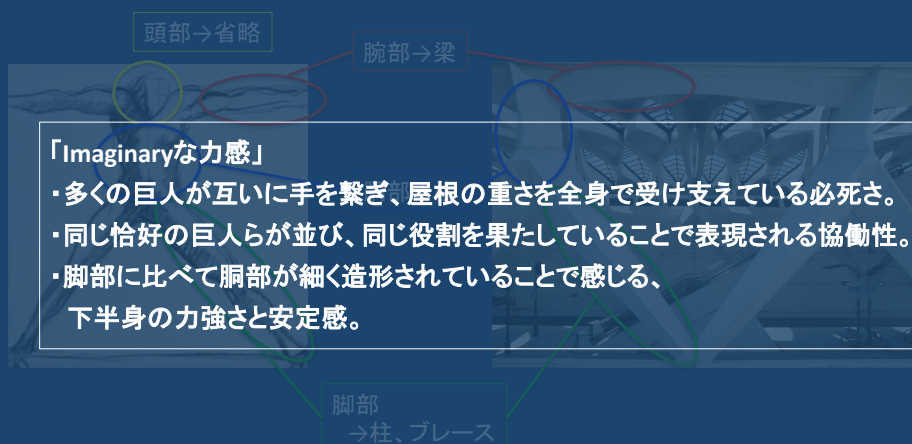
分析例1__人体像をモチーフとした作品__サトラス空港駅(プラットホーム)

1)造形に関する分析



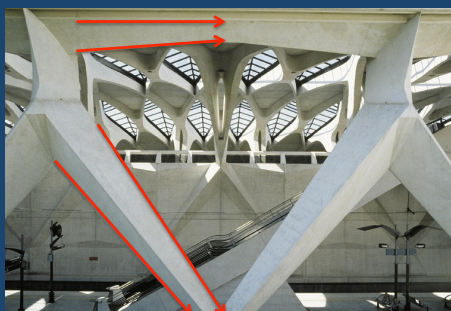
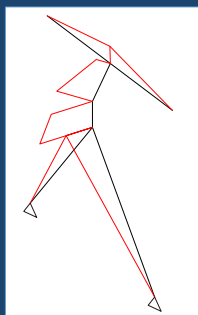
分析例1__人体像をモチーフとした作品__サトラス空港駅(プラットホーム)

1)造形に関する分析



分析例1__人体像をモチーフとした作品__サトラス空港駅(プラットフォーム)

2)力学的特徴に関する分析



モーメント図と比較すると...

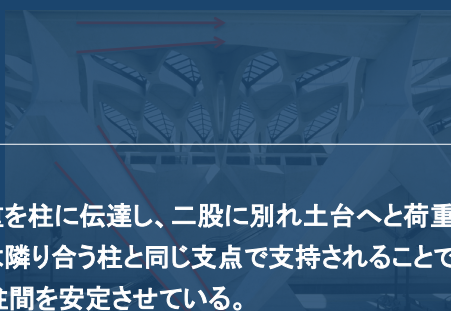
腕部: モーメント分布に沿って中央から胸部に向かって断面が大きく

胸部: 腰にあたる部分で括れるように断面が変化

脚部: モーメント分布に沿って断面が小さく

分析例1__人体像をモチーフとした作品__サトラス空港駅(プラットフォーム)

2)力学的特徴に関する分析



「Realな力感」

・梁にかかる屋根荷重を柱に伝達し、二股に別れ土台へと荷重が伝達される。二股の柱は隣り合う柱と同じ支点で支持されることで、ブレースとして働き柱間を安定させている。

モーメント図と比較すると...

腕部: モーメント分布に沿って中央から胸部に向かって断面が大きく

胸部: 腰にあたる部分で括れるように断面が変化

脚部: モーメント分布に沿って断面が小さく

分析例2 人体の一部をモチーフとした作品 ターニングトルソ

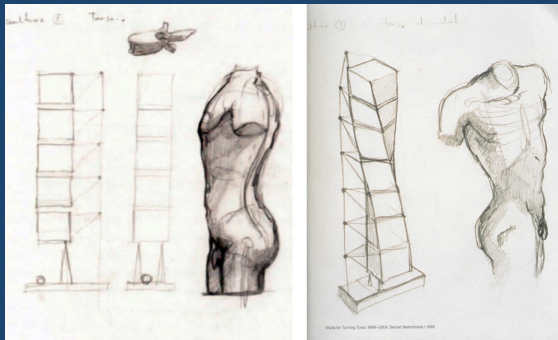
ターニングトルソ

■計画概要

所在地: マルメ(スウェーデン)

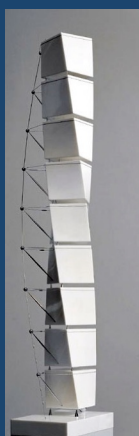
用途: オフィス、集合住宅

設計期間: 1999-2004年

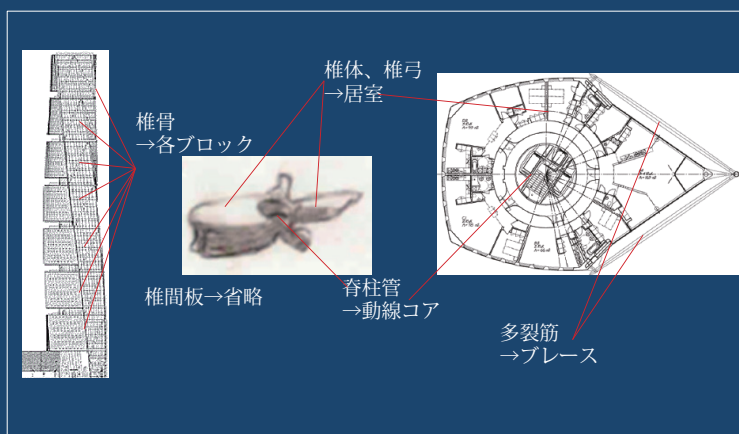


分析例 人体の一部をモチーフとした作品 ターニングトルソ

1) 造形に関する分析



構造システム模型

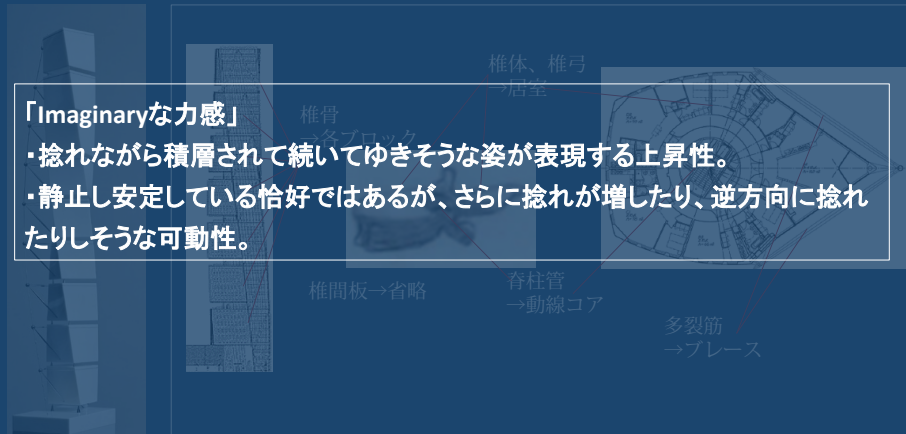


分析例__人体の一部をモチーフとした作品__ターニングトルソ

1) 造形に関する分析

「Imaginaryな力感」

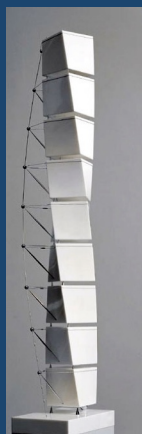
- ・捻れながら積層されて続いてゆきそうな姿が表現する上昇性。
- ・静止し安定している恰好ではあるが、さらに捻れが増したり、逆方向に捻れたりしそうな可動性。



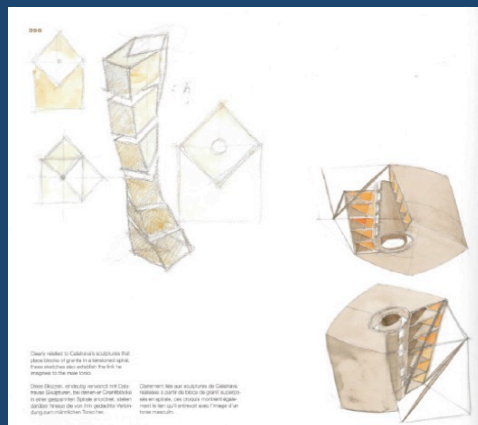
構造システム模型

分析例__人体の一部をモチーフとした作品__ターニングトルソ

2) 力学的特徴に関する分析



構造システム模型



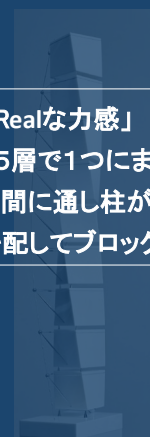
構造スケッチ

分析例__人体の一部をモチーフとした作品__ターニングトルソ

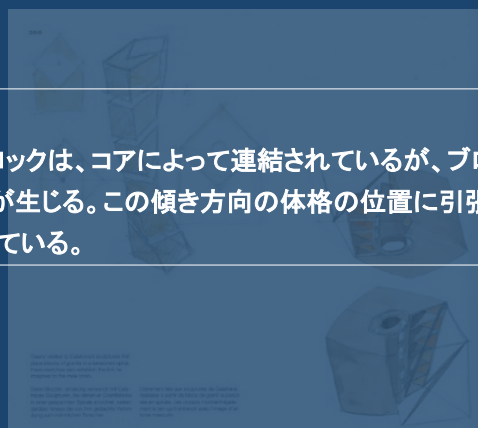
2)力学的特徴に関する分析

「Realな力感」

・5層で1つにまとめられたブロックは、コアによって連結されているが、ブロック間に通し柱がないため傾きが生じる。この傾き方向の体格の位置に引張材を配してブロック間を安定させている。



構造システム模型

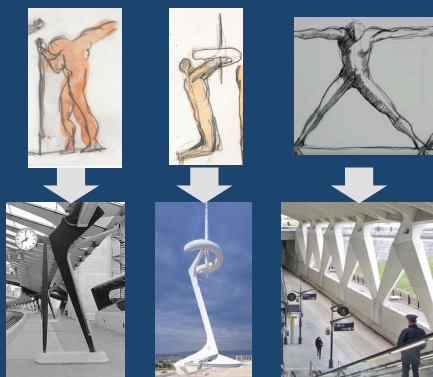


構造スケッチ

分析結果の考察__人体の表現手法の整理

1)頭部の省略

人体像を表現する3作品において、「頭部を省略する」手法が共通してみられた。



- ・身体の姿勢やプロポーション、構成といった要素のみで観察者に表現されている人体の情報を伝達を試みている
- ・人物を特定しない表現とすることで、誰でもない”アノニマスな人体像”となり観察者の感情移入をより容易にしている

分析結果の考察__人体の表現手法の整理

2)変断面を用いた造形

- ・モーメントなどの応力の分布から構造の合理性を追求した結果
- ・より人体的な造形の追求
 - 人体において断面が大きくなるということは、荷重がかかりその部位の筋肉が隆起していることを意味する。

3)丸型断面の変換

人体の“丸み”を三角やひし形といった“角のある”断面へ変換

- ・構造、施工の容易化
- ・陰影の強調

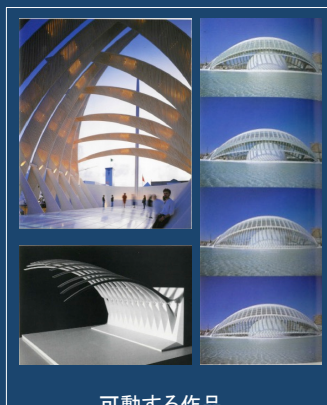


分析結果の考察__人体の表現手法の整理

4)人体システムの表現

人体が可動するシステムの建築への表現。

- ・実際に可動する動的な作品の実現
- ・静止している作品においても、可動性を感じさせる効果



分析結果の考察__力感表現の整理

各作品の造形の意味に関する項目
(表現されている人体像、構成、主題、Imaginaryな力感)

	作品名	モチーフの対象	構成	主題	Imaginaryな力感
人体像	シュタッデルホーフェン駅	杖にもたれかかる巨人	等間隔に弓状並列	杖にもたれかかりながら屋根を支える姿	集団性、協働性、中心性、静的
	モンジュイック電波塔	膝立ちでアンテナ掲げる巨人	単体	膝立ちでアンテナ掲げる姿	シンボリック、英雄的、力強さ、静的
	サトラス空港駅 (プラットホーム)	大きく手足を開いた巨人	手足同士を合わせて並列	大勢で手を取りあい屋根を支える姿	集団性、協働性、安定感、力強さ、英雄的、静的
	サトラス空港駅 (エントランスホール)	眼	単体	開いた眼の形	シンボリック、軽快さ、躍動的、静的
人体の一部	クウェートバビロン	指	複数の指の並列	指の動きによる空間の変化	開放感、包容感、生物的な動き、動的
	レミスフェリック	眼	単体	眼の形とまぶたの動き	シンボリック、生物的、被凝視的、動的
	シャドーマシーン	指	複数の指	指の動きによる空間と影の変化	自然現象の知覚、包容感、浮遊感、緊張感、動的
	ターニングトルソ	背骨	単体	背骨のシステムによる可動性	上昇性、シンボリック、動きの可能性、安定感、静的

結論

1. カラトラバが人体から建築造形をデザインするうえで、次の手法が確認できた。

- 1) 頭部の省略
- 2) 変断面の採用
- 3) 丸型断面の不使用
- 4) 人体のシステムの表現

2. 作品ごとに力感をもとにした造形の持つ象徴的な意味の整理を行った。

	作品名	モチーフの対象	構成	主題	Imaginaryな力感
人体像	シュタッデルホーフェン駅	杖にもたれかかる巨人	等間隔に弓状に並列	杖にもたれかかりながら屋根を支える姿	集団性、協働性、忍耐、中心性、静的
	モンジュイック電波塔	膝立ちでアンテナ掲げる巨人	単体	膝立ちでアンテナ掲げる姿	シンボリック、英雄的、力強さ、静的
	サトラス空港駅 (プラットホーム)	大きく手足を開いた巨人	手足同士を合わせて並列	大勢で手を取りあい屋根を支える姿	集団性、協働性、安定感、力強さ、英雄的、静的
	サトラス空港駅 (エントランスホール)	眼	単体	開いた眼の形	シンボリック、軽快さ、躍動的、静的
人体の一部	クウェートバビロン	指	複数の指の並列	指の動きによる空間の変化	開放感、包容感、生物的な動き、動的
	レミスフェリック	眼	単体	眼の形とまぶたの動き	シンボリック、生物的、被凝視的、動的
	シャドーマシーン	指	複数の指	指の動きによる空間と影の変化	自然現象の知覚、包容感、浮遊感、緊張感、動的
	ターニングトルソ	背骨	単体	背骨のシステムによる可動性	上昇性、シンボリック、動きの可能性、安定感、静的

分析例2__人体像をモチーフとした作品__モンジュイック電波塔

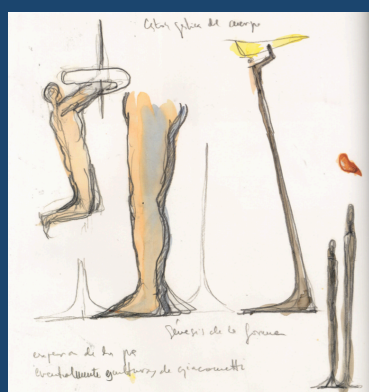
モンジュイック電波塔

■計画概要

所在地:バルセロナ(スペイン)

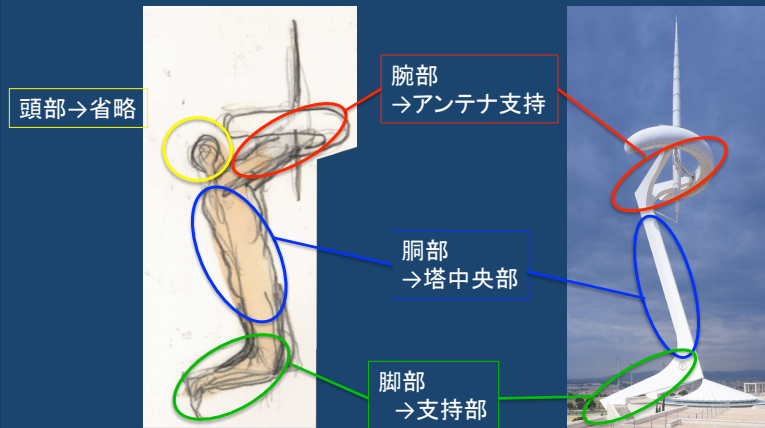
用途:電波塔

設計期間:1989-1994年



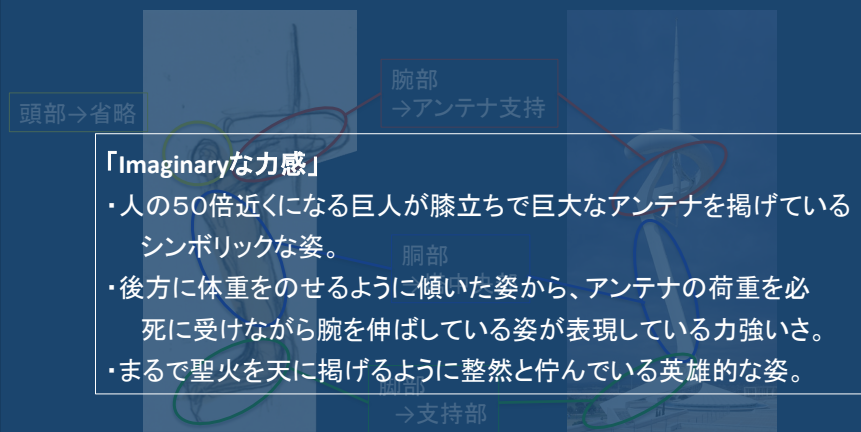
分析例2__人体像をモチーフとした作品__モンジュイック電波塔

1)造形に関する分析



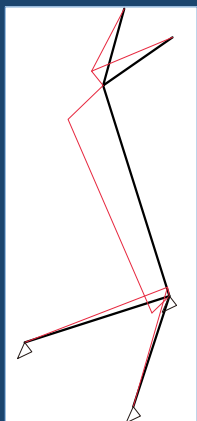
分析例2__人体像をモチーフとした作品__モンジュイック電波塔

1)造形に関する分析



分析例2__人体像をモチーフとした作品__モンジュイック電波塔

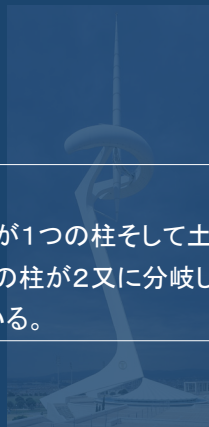
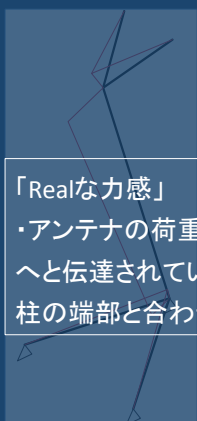
2)力学的特徴



- ・分岐部分に大きな曲げ荷重がかかっており、共に分岐部分の断面が他の部分よりも大きくなっている。
- ・腕・脚に対応する部分はモーメントの分布に沿って断面が変化。

分析例2__人体像をモチーフとした作品__モンジュイック電波塔

2)力学的特徴



「Realな力感」

- ・アンテナの荷重を受けた2本の梁が1つの柱そして土台へと伝達されている。土台では1つの柱が2又に分岐し、柱の端部と合わせ3点で支持している。

スライド1

本研究の目的は、
サンチアゴ・カラトラバの建築作品にみられる構造デザインの形態表現の手法を明らかにし、
その形態が表現・内包する意味について整理することです。

スライド2

サンチアゴ・カラトラバはスペイン出身の建築家・構造家です。カラトラバはバレンシアの美術学校と建築学校を卒業し、スイスのチューリッヒ工科大学にて土木工学や航空工学を学び同大学にて助手を経て、1981年に自身の事務所を設立しました。現在も世界的に設計活動をおこなっています。カラトラバの作品は建築のみならず橋梁や彫刻、絵画、家具にまで至り、自身の建築の仕事を「すべての芸術をひとつに組み合わせたもの」と自ら語っています。

スライド3

カラトラバの造形のアイディアは、人体の動きが生み出すフォルム、動物の骨格や運動、木々といった植物などへの興味と観察から創出されており、それらの多くのスケッチを描いています。

スライド4

カラトラバに関する既往研究は、構造表現におけるカラトラバの位置付けに関する研究、カラトラバの設計手法と作品の力学的特徴に関する研究、人体スケッチの特徴やそれらをダヴィンチらが描いたスケッチとの比較に関する研究、の3つに大きく分けられます。

スライド5

本研究は、カラトラバの人体的な構造表現と造形手法を力感という概念を用いて明らかにするという点で、この2つにまたがる研究であります。

スライド6

本研究で用いる力感という概念について説明します。

力感は、構造学者である横尾義貫により示された考えで、「あらゆる形象が伴う力の働きの感じ」とされています。横尾は、これを構造体から力を感じとる構造設計において重要な感覚であるとしています。

さらにこの力感を、現実には作用している力の感受「real な力感」と形象から連想によって感じる現実には働いていない力の感受「imaginary な力感」の2つに分けて整理しています。「real な力感」は物理的な力、「imaginary な力感」は精神的な力の感受と考えられます。横尾はゴシック聖堂から感じる「imaginary な力感」を「昇天するような運動感」としているように、「imaginary な力感」は心理的作用などの抽象的なものを含む概念であると言えます。

スライド7

この力感をカラトラバの建築作品、特に人体をモチーフとした作品から読み取ることで、造形の表現する意味を整理して行きます。

スライド8

なぜ人体のモチーフを対象として取り扱うのか、ということについて説明します。

人体を建築の構造躯体に表現する試みは、古くから繰り返し行われてきた表現手法です。

古代ギリシアのエレクトイオンにみられるカリアティードやバロック期には柱頭を支えるヘラクレスの姿を表現したものがあります。これらの彫像には具体的な人間の姿が表現されており、そこに働く力の感覚、つまり力感が感じとれるよい例であります。

スライド9

この事象に似た考えとして、肉体的な共同体験というものがあります。

ハインリッヒ・ベルフリンの建築心理学序説によると、私たちは肉体的な共同体験を通じて視覚対象の意味を観察することができるといいます。肉体的共同体験とは、観察者の身体感覚の投影であると言えます。この投影が容易に行えるのは、私たちの身体に近いもの、つまり、建築の構造体に人体のモチーフを用いることで、共同体験をより容易に感じることができ、

スライド10

その結果、力感をより直感的に感じとることができるのです。

スライド11

分析の対象とするのは、カラトラバの建築作品において、人体に関するスケッチが描かれており、本人による人体をモチーフとしたという発言・記述が確認できた作品です。

スライド12

すると、人体像をモチーフとした3作品と人体の一部をモチーフとした5作品が確認できました。

スライド13

選択した作品に対して、次の手順で分析を行います。

まず、造形に関する分析を行い、人体スケッチと構造形態の対応関係を見ます。ここでは、どのように共同体験を起こさせているかをみることで、Imaginaryな力感を読み取ります。

続いて、その構造形態の力学的根拠や特徴を分析します。応力の流れなどをみることで、Realな力感を読み取ります。

スライド14

分析例を示します。

サトラス空港駅プラットホーム

空港直結のTGVの駅舎で大屋根のエントランスと両翼に長く伸びたプラットホームが特徴の作品です。ここで確認できた人体スケッチには、大きく手足を開いた人々が手を取り合って同じ格好でならんでいる姿が描かれており、この人体像をプラットホーム部分の柱へした造形となっています。

スライド15

この人体像の建築への変換をみると、頭部は省略され、腕部は梁、胴部は、柱、脚部は柱ブレースへと変換されています。

この人体像の造形から感じとれる Imaginary な力感は、

スライド16

- ・多くの巨人が互いに手を繋ぎ、屋根の重さを全身で受け支えている必死さ。
- ・同じ恰好の巨人らが並び、同じ役割を果たしていることで表現される協働性。
- ・脚部に比べて胴部が細く造形されていることで感じる、下半身の力強さと安定感。

スライド17

次に、力学的な特徴から見ます。梁部分にかかる荷重を想定すると、モーメント荷重を生じながら支持部への力の伝達がみれ、さらにモーメント分布にそって断面が変化してゆく造形となっています。腕部と脚部は人体同士の接合部に向かって断面が小さくなり、胴部はくびれるように断面が変化しています。

ここから、感じ取れる Real な力感は、

スライド18

梁にかかる屋根荷重を柱に伝達し、二股に別れ土台へと荷重が伝達される。二股の柱は隣り合う柱と同じ支点で支持されることで、ブレースとして働き柱間を安定させている。

スライド19

次に、人体の一部をモチーフとした作品の分析例を示します。

スウェーデンに建つ、ターニングトルソという作品です。

高さ190mの高層マンションで、一部はオフィスとなっています。

5層を1つのブロックとして、徐々に虹れながら9段積み重ねるデザインとなっています。

この作品のスケッチには、上半身をねじった姿が描かれていますが、建築の造形に表現されているのは、人体の中の背骨です。

スライド 20

背骨を構成する最小単位である椎骨を各ブロックへ対応させ、脊髄が通る部分を立て動線のコアとし、積み上げています。

そして、背骨では各椎骨を引っ張るようにして繋いでいる多裂筋と呼ばれる筋肉を各ブロックを外から繋ぐブレースへと対応させています。

この造形のシステムを、立方体とテンション材で簡単に表現したものが左の模型です。

このねじれを持った造形から感じる、Imaginary な力感は、

スライド 21

- ・捻れながら積層されて続いてゆきそうな姿が表現する上昇性。
- ・静止し安定している恰好ではあるが、さらに捻れが増したり、逆方向に捻れたりしそうな可動性。

スライド 22

力学的な特徴からみると

各ブロックは、コアによって連結されていますが、コアだけではバランスが悪くブロックに傾きが生じ倒れて行きます。この傾き方向の反対の位置に引張材をももうけることでブロック間を安定させている。

スライド 23

といった Real 力感が読み取れます。

スライド 24

作品分析の結果、人体の表現にいくつかの特徴的な手法がみられました。

ひとつは、人体像を表現した3つの作品においてみられる「頭部を省略する」という手法です。

これは、体の姿勢やポロポジション、構成といった要素のみで表現されている人体の情報を観察者に伝達しようとする手法です。人物を特定しない表現とすることで、誰でもないアノニマスな人体として観察者の感情移入をより容易にする効果があると考えられます。

スライド 25

次に、変断面を用いた手法です。

これは、応力分布などからみた構造の合理性の追求の結果でもあります。より人体的な造形を表現する効果があります。

さらに、人体の丸みを三角形や菱形といった角のある断面へ変換する手法がみられました。

これは、構造施工を容易にするだけでなく、より明瞭な陰影を作り出し立体感を高める効果があり

ます。

スライド 26

次に、人体のシステムの表現です。

これは、人体の一部をモチーフとした作品に特にみられたものですが、カラトラバは人体の可動する様子やメカニズムに関するスケッチを多く描いています。そこから、実際に可動する作品を作り上げてもありますが、動かない静止した作品にたいしても、動く可能性を感じるといった効果をあたえています。

スライド 27

分析の結果より、造形の意味に関する項目の表現されている人体像、構成、主題、Imaginary な力感からキーワードを抽出したものをまとめました。

人体像をモチーフとしている作品は、何かを支え荷重を受けている姿が造形され、力強さが表現されています。

人体の一部をモチーフとした作品は、動的で生物的な躍動感が表現されています。

スライド 20

作品分析の結果、人体の表現にいくつかの特徴的な手法がみられました。

ひとつは、人体像を表現した3つの作品においてみられる「頭部を省略する」という手法です。

これは、体の姿勢やポロポジション、構成といった要素のみで表現されている人体の情報を観察者に伝達しようとする手法です。人物を特定しない表現とすることで、誰でもないアノニマスな人体として観察者の感情移入をより容易にする効果があると考えられます。

スライド 28

結論です。本研究の成果は、

カラトラバが人体のイメージから建築の造形をデザインする上で、次の4の手法を確認しました。そして、作品ごとに力感をもとにした造形のもつ象徴的な意味の整理を行いました。

A Discussion on the Formal Expressions and their Meaning observed in the Structural Design of Santiago CALATRAVA's Architectural Works

Hiroki TAKAHATA

Graduate Student, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie-Univ., B. Eng.

1. INTRODUCTION

The purpose of this paper is to clarify the methods of the Formal Expressions and to organize their Meaning observed in the Structural Design of Santiago CALATRAVA's Architectural Works.



Fig.1: Santiago Calatrava

2. BACKGROUND

Yoshitura YOKOO, architectural structuralist, presented the term "Sense of the Force" and says that it means "Feeling of the function of power that every shape". This idea has two contrastive contents:

- 1)Real Sense of the Force : Reception of the power acting practically
- 2)Imaginary Sense of the force : Reception of the power that do not act practically to feel by an association from the shape

Author considered first one is "Reception of the physical power", second one is "Reception of the inner power". By using this idea, we attempt to organize the methods of the formal expressions observed in CALATRAVA's architectural works with human figure for their motif.

So, why human figure motif? The trial to express the human body to the structure skeleton of the building is the expression technique that has been performed repeatedly for a long time. There is the thing which expressed a figure of Hercules supporting a capital for the Caryatid and the baroque period seen in Erechtheum of the ancient Greece. A concrete human figure is expressed on these statues and is the good example which a sense of the power to act there that is a feeling of power can take in.

As a thought similar to this which can take in Sense of the Force from a motif of the human body,



Fig.2 : The Caryatid
Porch of the Erechtheion,
Athens, 421-407 BC

there is what's called "Physical Coexperience". Heinrich Wölfflin says, "When we want to observe a sight object and receive its meanings, it's required Physical Coexperience." in his writings "Prolegomena zu einer Psychologie der Architektur". It means that we cannot take in what we cannot experience. In other words, it may be said that we can take in it from a sight object if what we experienced. Physical Coexperience is Projection of the physical sense of the observer. When a near thing that is a sight object has human body-like expression by our body, as for it being possible for the projection of the physical sense of the observer easily, we can observe an object by a physical coexperience more effectively.

3. ANALYSIS

In this paper, author analysed 8 works and its classified under two groups : Works in the motif of human figure, Works in the motif of parts of human body.

■ Works in the motif of human figure

1. Stadelhofen Station, Zurich, Switzerland, 1983
2. Montjuic Communications Tower, Barcelona, Spain, 1989-1994
3. Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995



Fig.3: Stadelhofen Station



Fig.4: Montjuic Tower



Fig.5: Lyon-Saint Station

■ Works in the motif of parts of human body

1. Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station, Satolas, France, 1989-1995
2. Kuwait Pavilion, Seville, Spain, 1991-1992
3. City of Arts and Science, Valencia, Spain, 2000
4. Shadow Machien, New York, USA, 1992
5. Turning Torso, Malmö, Sweden, 1999-2000

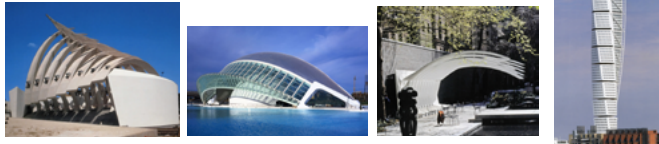


Fig.6: Kuwait Pavilion Fig.7: L'Hemisfèric Fig.8: Shadow Machine Fig.9: Turning Torso

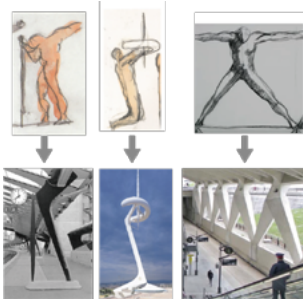
4. CONCLUSIONS

According to analysis, It was supposed a characteristic to be common to the expression technique of the human body image in a building design by CALATRAVA.

1) Leaving out the head

In none of 3 works that a human body image became the motif, the head is drawn on the sketching, but is not expressed to a building.

A face has a function to transmit the state that it is feelings and is like physical psychology to others by an expression. It is thought that CALATRAVA tries it to



transmit information of the human body who is expressed only in physical posture and proportion, an element such as the constitution by an observer by molding it except the head daringly.

2) Accepted variable cross section

This is the result that pursued structural rationality from distribution of the stress such as moments. In the expression of the human body image, it is in particular effective in expressing human body-like form more.

3) Expression of the system of the human body

CALATRAVA draws plural anatomic sketches about the mobility again how the human body is constructed. This is seen especially in Works in the motif of parts of human body. It can hope that it give so an impression as if it move in the molding standing still by this technique.

4) Organizing of the sense of force judging from formal characteristics

Table1 show the thing which settled the item (I extract a keyword from a feeling of power that is

expressed human body image, constitution, subject, Imaginary) about the meaning of the forms.

Table1

	Name	Motif	Composit	Theme	Imaginary Sense of the force
Human Figure	Stadelhofen Station	Giant lean on the stick	Stand in a bow	A figure support the roof	collectivity, cooperation, centrality, static
	Montjuic Tower	Giant hang out the antenna	Single	A figure hang out the antenna	symbolic, heroic, vigor, static
	Satras St. Platform	Giant with outstretched arms and legs	Stand in a line	Figures support the roof with cooperation	collectivity, cooperation, stabbleness, heroic, vigor, static
Parts of Human Body	Satras St. Entrance	Eye	Single	Opened eye	symbolic, lightness, dynamic, static
	Kuwait Pavilion	Finger	Parallel	Changes spaces with moval fingers	spaciousness, tolerance, bionic, dynamic
	L'Hemisfèric	Eye	Single	Shape of eye and an eyelid	symbolic, bionic, watched, dynamic
	Shadow Machien	Finger	Parallel	Changes spaces and shadow with moval fingers	natural phenomenon, tolerance, anacatesthesia, strain, dynamic
	Turning Torso	Backbone	Single	System of backbone	rising, symbolic, moval, stabbleness, static

5) Development as the vocabulary of the forms

CALATRAVA applies an idea created through a sculpture and a bridge, construction mutually and use it for various works. The attitude that makes the sculpture from the sketching of the building is the reason that it is called if a building work of CALATRAVA is like a sculpture.

REFERENCES

- [1] Heinrich Wölfflin: Prolegomena zu einer Psycholoige der Architektur, Translation by Yuji Agematsu, Chuo-Korin Bijutsu Shuppan, 1988
- [2] Rudolf Arnheim: The Dynamics of Architectural Form, Translation by Masao Inui, Kajima Institute Publishing, 1980
- [3] Yoshitura Yokoo, *Rikikann-Ronn, Kensetsu-Kougaku*, Vol.4, No.2, pp.13-15, 1953
- [4] SUZUKI Shingo and SAITOH Masao, Study on Structura Elxpression and S.Calatrava Part1 S.Calatrava and Structural Expression
- [5] Santiago Calatrava: Conversations with students, Transrattion by Yoshiharu Kanabako, Maruzen Co., 2008
- [6] Philip Jodidi: Calatrava Complete Works 1979-2009, TASCHEN, 2009
- [7] Santiago Calatrava: Santiago Calatrava Secret Skechbook, The Monacelli Press, 1996
- [8] Werner Blaser: Santiago Calatrava Engineering Architecture, Birkhäuser, 1990
- [9] Santiago Calatrava: Gods Does Not Throw Dice, Delphi Research Inc., 2005
- [10] Anthony Tischhauser, Stanislaus von Moos: Calatrava public buildings, Birkhäuser, 1998
- [11] Santiago Calatrava 1983-1993, El Croquis, El Croquis, 1994
- [12] Alexander Tzonis: Santiago Calatrava the complete works, Rizzoli, 2004