

歴史的構造物から知った建設技術

堅田 茂昌*

1. 私の好きな構造物

この業界に進むきっかけとなった好きな構造物として五重塔がある。過去を振り返り記憶をたどると子供の頃、京都にあるお墓参りをかねて、神社・仏閣を見て回る機会がたびたびあった。これらの構造物は釘を使用せず、木材同士の特異な切り組み方法によって接合されていることが、小学生の私には大きな驚きであった。たとえば、五重塔の部材接合は、堅固に結合していないため「柔構造」になる。「柔構造」の塔は、コンクリート造の一体化した「剛構造」と違い、地震が起きて各階が互い違いに振動して「揺れ」を吸収する。また塔の内部に立っている「心柱」は、こうした振動を減衰させる働きをされるといわれている。こうした歴史のある優れた技術に触発され、建設の世界に足を踏み入れた。

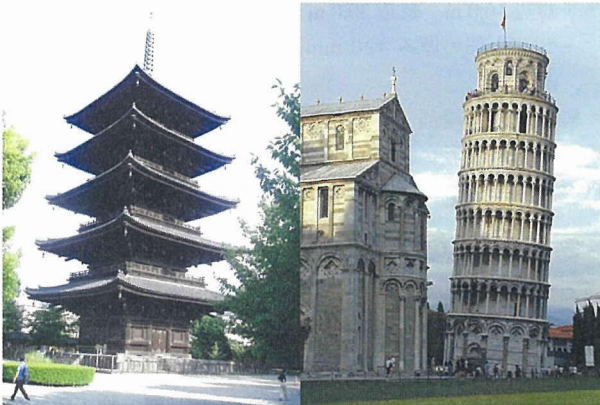


写真-1 五重塔

写真-2 ピサの斜塔

2. 思い出の構造物「ピサの斜塔」

建設の世界に憧れ大学は土木に進んだ。卒業研究で金属製タンクの振動実験を行いながら就職活動を行っていたとき、小学校6年当時に、地元の新聞に掲載された“ピサの斜塔安定化工事の国際設計コンクールに、(株)安部工業所が審査対象に正式に採り上げられる”記事を思い出した。研究室の担当教授が紹介する会社を無謀にもお断りして、独自の技術をもった(株)安部工業所に惚れ込み、自ら訪問することで入社することができた。入社後、ピサの斜塔については以下のように聞かされた。1972年にイタリア政府が、ピサの斜塔安定化工事の国際設計コンクールを行った際、当社は綿密に事前調査、検討したうえで応募に踏み切った。補強案を図-1に示す。その概要は、斜塔の基礎から10m離れた外側に幅5m、厚さ4mのリングビームを設けてピアノ線で締め付け、基礎とリングビームの間に高さ3m、最大幅2m、長さ10mのI形断面のPC桁60本を挟み、油圧ジャッキで圧縮力を与えて固定し、結果として基礎部を大幅に拡大しようとする計画であった。最終的には世界から約80社が応募したが、審査の結果、どの案も不採用となった。当社案は書類上の不備もあって、締切りに間に合わなかったが、翌1973年に、イタリア政府から当社宛に“審査対象に正式に採り上げる”との公電が届いた。創業社長安部源三郎を中心に設計した当社案が、世界中の技術者が提出した案を押し退けて、再審査されることになった。しかし、当時の政情と経済的事情などのため、1974年にはすべての案の採用が見送られてしまった。その後、1993年より粘土から水を抜き出す工法と砂質土にケーシングを挿入して砂を抜き出す工法によって、北側基礎を200mm沈下させることで目標の傾斜角5°を達成し安定化工事が完了している。斜塔は、石の空積みで崩壊に対する対策として1階と2階に円周方向5段に、軽くプレストレスを加えた鋼線で締め付けられている¹⁾。



* Shigemasa KATADA

(株)安部日鋼工業 技術本部
技術部 次長

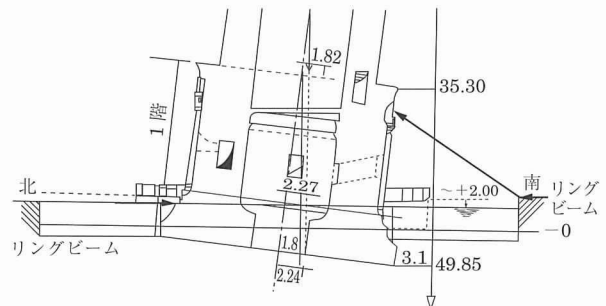


図-1 基礎幅拡幅による安定化計画 (単位 m)

3. PC タンクの設計は面白い

新入社員で配属されたのが、PC タンクを主に扱う名古屋支店の設計課であった。わずかな知識であったが、研究テーマが活かせるタンクの設計を行うことになった。私が入社した当時、16ビットのパソコンが登場し、標準的な形状のPCタンクであれば、N88BASICでプログラムされた設計ソフトを使用することで、半日程度で構造計算書を作成することができ、配属1週間後であっても構造計算書が作成できるまでの環境が整備されていた。しかし、PCタンクの杭基礎、平面形状が四角形の角形PCタンク、高架タンクの設計には、公式集と電卓を頼りに構造設計を行う必要があり、構造寸法を決定して応力照査を行うまで1週間程度の時間を必要としていた。

構造解析の興味深く面白いのは容器構造物である。示方書や細目の規定が少ないことで、技術提案等では自由な設計が行える。また、角形タンクや高架タンクの場合、要求される容量を確保して意匠を凝らした提案を行うため、ドーム部材、スラブ部材、柱および梁部材を組み合わせた設計が行える。また、構造計算にかぎれば、力の流れと変形がイメージできれば計算の半分は終わっている。後は、イメージを確認するために公式集や、部材間の剛性を評価して計算を進めるだけである。

しかし、高架タンクの下部に標準タンクが併設される複合高架タンクを従来どおり公式によって設計する場合、構造部材の数が多く部材相互の剛性評価やモデル化の妥当性を確認する必要性を強く感じていた。当時、使用していた有限要素解析システムはCalifornia大学 Berkeley校のSAP、を改良したNEC製汎用機ACOS上で動作するISAPであった。大型の汎用機といえども2000節点程度のモデルでないと処理できないが、設計の妥当性確認には有効なツールであった。今思えば、手計算で進める設計以上に有限要素解析による確認には時間を要していた。

4. 技術への思い

入社して8年間、設計実務を行った。その後、本社の電算室に配属され1年間、軸対称問題解析のプリ・ポストプログラムを開発しながら有限要素解析の基礎を学ぶ機会を与えられ、ブラックボックスの一部を理解することができた。当時、コンピュータのダウンサイジングの流れを受け、解析環境が大型汎用機からUNIXワークステーションに変わり、有限要素解析の節点数も10000節点程度まで使用できるようになった。その後、数年間はPC箱桁定着部および容器構造物の解析に従事していた。

当時の思い出深い構造としてキャノピーの設計がある。これは、当社の円筒形構造物の実績を評価され、シリンダーシェル構造の屋根設計にかかわる相談を受けたものである。デザインコンセプトは、“能舞台と客席となる部分にキャノピー(天蓋)を設け、能舞台としての利用ができるだけでなく、さまざまなスケールのイベント開催が可能であり、多くの人々の集いの空間”であり、意匠からの要望は、コンクリート構造物でありながら軽やかでスレンダーな形

状を求められた。デザイナーからの要求に柔軟に対応できるように、基本形状を定め、力の流れと変形をイメージして、梁モデルとアーチモデルで基本構造を決定し、3次元フルモデルによって各部の応力を確認する。この作業を幾度も繰り返したことで構造を成立させた。

しかし、それでも不安が残るのでシェル構造の専門である名古屋大学名誉教授 松岡 理先生のご自宅まで訪れて、基本的な考え方を確認していただいた。その折、力の流れと変形をイメージするとともに、力の釣合いを考える重要性を教えていただき、技術者として成長できた機会であった。

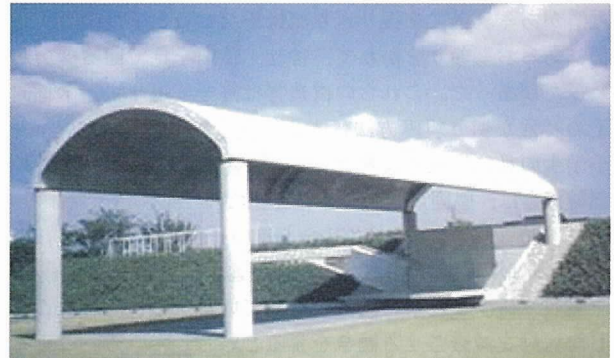


写真-3 キャノピー

本キャノピーの概要を以下に示す。

- ・短辺 10.0 m, 長辺 30.0 m
- ・シェル部の厚み 120 mm, 端部リブの最大部材厚 500 mm

短辺方向の端部アーチリブにPC鋼材を配置することで水平方向の変形を制御。長辺方向はアーチ裾部を拡幅してPC鋼材を直線配置することで曲げ引張を制御。

5. 今後への期待

今後への期待は、“後世に誇れる構造物を残す”ことの実現である。これは、PCの技術があれば可能と確信している。しかし、耐久性を左右する施工初期のひび割れをなくす技術は発展途上と考えている。そのため、材料、施工の両面から研究して開発すべき課題は多くある。当社においては、施工初期のひび割れ対策に積極的に取り組み、温度応力などに起因するひび割れ対策を定量的に評価する技術が確立されつつある。また、高炉スラグ微粉末を使用することでコンクリートの耐久性を向上させる技術など“後世に誇れる構造物を残す”ことにわずかながら近づきつつある。この世界においては、要素技術の研究・開発とともに、力の流れと変形をイメージして考えられる発想が柔軟な技術者を育成する義務があると考えている。

最後に、小職の身で構造・技術への思いを述べさせていただきましたが、今後の発展に資することができれば幸いです。

参考文献

- 1) 三木五三朗：特集 世界遺産と基礎工 ビサの斜塔，基礎工，Vol.32, No.1, 2004

【2006年9月12日受付】