

建設分野の設計・施工・研究開発を支える実験

Experiments Supporting Design, Construction and R&D in Construction Field

鈴木 紀雄
Norio Suzuki

I. はじめに

建設会社では、安全・快適・便利で高品質・低コストの構造物や都市、環境の実現のために、種々の研究開発を行っている。昨年の本誌特集では、研究開発の有力な手法である「数値シミュレーション」を取り上げたが、本特集では、もう一つの重要な手法である「実験」をテーマとする。

研究所の見学を訪れた人を除くと、建設会社でどのような実験が行われているか知る人は少ないと思われる。本特集では、当社で行っている実験を紹介することで、その一端を知っていただきたいと考えている。

II. 実験の概論

1. 実験とは何か

17世紀、ガリレオ・ガリレイは、斜面上に球を転がす実験を繰り返し行って「移動距離は時間の2乗に比例する」という仮説を検証し、さらに斜面の角度が大きくなり遂には垂直になったとしても同じことが起こると考えることで、自由落下の法則を確立した。これは近代の実験の始まりと言われている。

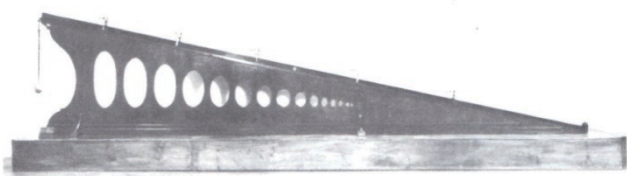


Photo 1 ガリレイの実験装置の複製とされる斜路（ガリレオ博物館蔵）

(Allegedly a Reproduction of Galilei's Experimental Apparatus Leaning Ramp, Museo Galileo Collection)

<http://kazuto-phil.under.jp/scienceandphilosophynew1.html>

この例では、「自然物や人工物に作用を与え、その結果を計測して仮説や理論を検証する」ということが行われているが、これが実験の基本的な定義とされている。ただし、明確な仮説や理論がない場合でも、まず現象を知るために行われる実験もある。

「実験」と似た言葉に「試験」、「観測・観察」がある。試験は、対象の性質や性能を測定し、設計で想定した性質や性能を持っているか、あるいは可否の基準値を満足しているか

どうかを判定するという点で実験と区別される。また、実験と試験では「力を加える」、「異なる材料を混ぜ合わせる」といった作用を人が対象に与えるのに対し、観測・観察では人は手を加えないという違いがある。

2. 信頼できる実験を行うには

実験と数値シミュレーションで同一対象の挙動を予測した場合、実験結果の方が信頼できると思う人が多いのではないだろうか。そう思うのは、「実験は実際に起こる現象を計測するので、人間が作成したコンピュータプログラムを用いる数値シミュレーションよりも客観的で信頼できる（論より証拠）」と感ずるためだと考えられる。

しかし実際には、正しい実験結果を得るには様々な注意が必要である。

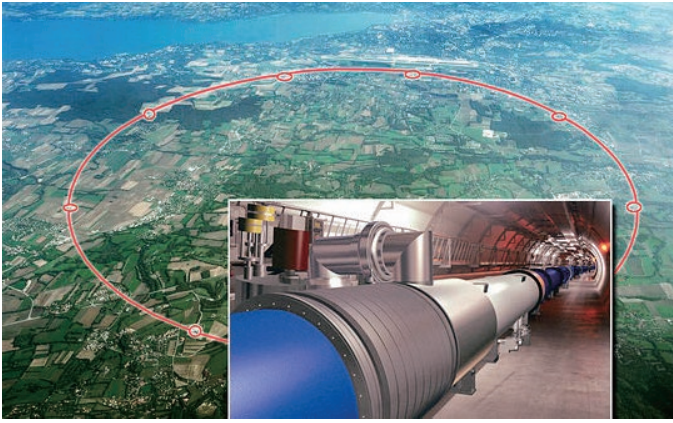
- ①実験計画：実験の目的を明確にし、必要なデータを効率的に得られるような計画が必要である。
- ②模型の作製：実験装置の制限や対象の複雑さなどから、実物を縮小したりデフォルメしたりして模型を作らなければならないことがある。本質を損なわない模型の設計が重要である。
- ③実験装置：模型が実物と同様に挙動するよう、実験装置を工夫することが重要である。また、実物に作用する力・風・波等の外力や、気流・熱・光等の条件を再現できる必要がある。
- ④計測：必要なデータを得られるよう、適切なセンサーの選択と適切な位置への設置が重要である。
- ⑤実験の制御：有効なデータを取得するためには、必要なデータを確実に取得できるように実験を進めていかなければならない。
- ⑥安全性：重量のある模型や装置を使ったり、取り扱いに注意が必要な化学薬品を使ったりすることがある。実験に携わる人の安全確保は最も重要である。

これらを満足するには知識と経験が必須なため、当社では熟練した研究者・技術者が実験を担当するとともに、次の世代への技術の継承に努めている。

III. 建設会社が行う実験

1. 実験の対象と目的

「実験」と聞くと、中学や高校の物理や化学、生物の授業で行った実験を思い浮かべる人もいよう。科学の分類によ



(a) 世界最大級の基礎科学の実験装置“LHC”
 (“LCN”, One of the World's Largest Basic Science
 Equipment)

出典 ; http://www.kouken.ricoh.science_caravan/science/gst010.html



(b) 世界最大の工学実験装置の一つ“E-ディフェンス”で
 行われた大型模型の振動台実験
 (Shaking Table Test of Large Building Model
 Using “E-Defense”, One of the World's Largest Engineering
 Test Rigs)

Photo 2 基礎科学の実験と工学の実験
 (Experiments in Basic Science and Engineering)

れば、物理学、化学、生物学は「自然科学（基礎科学）」に属する。自然科学の目的は「自然に存在するモノに働いている法則を見出すこと」なので、対象とする現象だけを再現できる実験が行われる。例えば、欧州原子核研究機構（CERN）が有する直径 27km の巨大な素粒子加速器“LHC”は、陽子などの素粒子を光速近くまで加速し衝突させるというシンプルな目的のために作られた（Photo 2(a)）。

一方、建設分野の技術の大部分は「工学」の産物である。工学の目的は「新たに価値のあるモノを創造すること」なので、実験の対象は実際の姿に近い人工物となることが多い。例えば、建物の骨組みの耐震性能を調べる実験では、柱や梁の模型をコンクリートや鉄鋼などの実物と同じ材料で製作し、地震時に実際の骨組みが受ける力を模した力を加える（特集 02）。大規模な例として、防災科学技術研究所が所有する世界最大の振動台“E-ディフェンス”で行われた、縮尺 1/3 の 18 階建て鉄骨造建物を地震動で破壊に至らしめる実験があげられる（Photo 2(b)）。

2. 実験の目的

建設分野の実験の目的は、次のように分類できる。

(1) 研究開発の見通し・成果の検証

新しい技術を発想したとき、本格的な研究開発に進む前に、簡易な実験によって実現性を調べる。あるいは、研究開発の途中や最終段階で、想定どおりの機能や効果が発揮されることを実験で確認する。

(2) 新技術、設計法・施工法の開発

実験を通じて現象をよく理解することで、適切な方法を考

案する。また、実験結果を基にして、設計や施工に必要な数値を得る計算式を作るなど、設計法・施工法の確立に役立てる。

(3) 設計や数値シミュレーションに必要なデータの取得
 特定の構造物を対象に、風力・波力などの入力や、対象の挙動を適切に表現するために解析モデルに与える数値などを実験から取得する。

(4) 数値シミュレーションの妥当性の検証
 コンピュータを使って対象の挙動を予測するとき、コンピュータプログラムが信頼できる結果を出すことを確認するため、解析結果と比較できるデータを実験で取得する。

(5) 設計結果の妥当性の検証
 竣工後の構造物や空間を使って試験を行い、意図どおりのものができていることを確認する。

3. 当社における実験の例

建設業は、建物やインフラストラクチャ、建築空間や都市空間、さらに、エネルギーや生物環境・地球環境まで幅広い分野を対象としている。このため実験の種類も多岐にわたるが、ここでは、目的別に実験の例を紹介する。各項目につけた「特集 No.」は、4 ページ以降の概要の番号を表している。

(1) 災害リスクの低減

我が国は様々な災害リスクにさらされているが、特に広範囲に甚大な被害をもたらす巨大地震に関わる実験を多く行っている。超高層建物では風の影響を設計に取り入れるため、個々の建物を計画する際には風洞実験が欠かせない。また、新型コロナウイルス感染症への対策を提案するにあたり、

実験を行って効果を検証している。

地震	津波が衝突する力の評価 (特集 01)
	建物の柱・梁・壁などの耐震性能の把握 (特集 02)
	橋脚の耐震補強技術の開発 (特集 03)
	盛土の耐震性能評価法の確認 (特集 04)
	地盤の液状化リスクの把握 (特集 05)
風	建物に作用する風の力の評価 (特集 06)
火災	耐火性能の把握、避難安全性の検証 (特集 07)
新型コロナウイルス感染症	感染対策の効果の立証 (特集 08)

(2) 耐久性の高い構造物の構築

構造物を長く使い続けることが SDGs の観点からも求められている。重車両の通行による多数回の振動で生じる道路橋の疲労、日射や気温にさらされ続ける建物の仕上げ材の劣化など、実際は長期間の作用に起因する現象を短時間で再現する実験で、耐久性の検討を行っている。

疲労	橋梁・高架橋の疲労限度の把握 (特集 09)
対候性	建物仕上げ材料の耐候性能の把握 (特集 10)

(3) 安全・快適な居住環境の構築

ウェルネス空間に期待される知的生産性向上のような効果を検証するための実験や、温度・光・音など快適な居室環境を作るための実験を行っている。高層建物を設計するときには、対象建物と周辺の模型を使った風洞実験で、風環境の変化（ビル風）を予測し、必要な対策を取っている。また、居住者の安全を守るため、土壌中の重金属を封じ込める方法の効果を実験で検証している。バイオマス（動植物由来の原料）から製造するメタンなどのバイオガスは、新たな CO₂ を生じないカーボンニュートラルな燃料である。製造技術をプラントごとにカスタマイズするための実験を行い、全国への展開を図っている。

居住空間	ウェルネス効果の把握 (特集 11)
	窓近傍の風速分布の把握 (特集 12)
	建物まわりの風環境評価 (特集 13)
土壤汚染	重金属の不溶化効果の耐久性把握 (特集 14)
カーボンニュートラル	バイオガス製造技術の展開 (特集 15)

(4) 施工の合理化

目で見えない部分の状況をリアルタイムで把握したり、考案した工法の性能を確認したりして、工事の円滑な進捗やコスト低減に役立っている。

トンネル工事	シールド工法の可視化 (特集 16)
地盤掘削掘削	開削工事の効率化 (特集 17)

(5) 施工時の安全性向上

建設業は労働災害が発生しやすい業種である。事故の発生を防ぐ技術や、万が一の事態が起こったときに労働者の安全を守る技術の開発に実験を活用している。

地盤掘削	凍土工法の安全確保 (特集 18)
トンネル工事	出水対策技術の開発 (特集 19)

(6) 設計の信頼性向上

設計した空間を可視化することは、設計者が結果を確認したり施主との合意形成を容易にしたりできる。また、新技術を適用するときに、実験によって想定どおりに機能することを確認したり、竣工後の構造物や空間を使った試験により、設計どおりのものができていることを確認したりしている。

設計のエビデンス	建築・都市空間の視環境の評価 (特集 20)
設計結果の確認	制震効果の確認 (特集 21)

IV. おわりに

当社の研究所は、日本初の民間建設業者が所有する技術研究所として 1945 年に発足した。当初はコンクリートと土の研究が行われ、コンクリート強度を調べる実験の古い映像が残されている。以来、今日に至るまで、実験は中心的な研究開発手段であった。一方、近年の解析技術の進歩は著しく、いくつかの分野では徐々に実験を数値シミュレーションで置き換えていこうとする動きもある。今後、実験の役割が変わっていくとも考えられるが、重要な研究開発手段であり続けるであろう。

実験は有意義ではあるが、実施に時間がかかり、負担が大きい。実験装置の制御や計測の自動化などのハード技術の導入と研究者自身の工夫で、実験の効率化を図っていく必要がある。また、実験結果の整理・保存が重要で、利用しやすい形でデータベース化しておけば、将来、類似の実験を回避したり新たな実験の参考にしたりできる。

今後も数値シミュレーションや機械学習に代表される AI を用いた予測手法と連携させながら、実験を有効に活用していきたいと考えている。