

設計と実験



神奈川大学

吉江 慶祐

一昨年、兵庫県三木市に実大免震試験機（E-Isolation）が完成し、すでに本格的な運用に入っている。筆者も遅ればせながら2月に公開実験の見学会に参加させて頂き、試験施設と試験機が実際に加力しているところを拝見することができた。水平方向6,500kN、±1.3m、鉛直方向36,000kNの载荷能力は、積層ゴムであれば1700φに15MPa、1200φに30MPaの鉛直力を与えて設計限界変形レベルまでの载荷が可能なので、現在実用化されている大型の免震支承の設計レベルでの性能を実大・実荷重で確認できるものである。動的载荷も大地震時の応答レベルでは実速度での载荷が可能能力を持つ（数値は筆者が算出したものであり、誤認・勘違いは筆者の責任である）。設置に関わった関係者各位に敬意を表するとともに、E-Isolationが活躍し免震構造の安全性や信頼性がさらに向上することを期待したい。

さて、筆者は2023年から大学で研究・教育に携わるようになったが、それまでは大学院修士課程修了直後から設計事務所で建築の構造設計に従事してきた。建築の構造は、既成の工業製品も利用するが、多くは現場で製造したり、工場で加工したりした部材を現場で組み立てて造られるものであり、設計段階でそれぞれの部材の性能を直接確認することはできない。もちろん制振部材や免震部材は、工業製品としてあらかじめ性能が把握できる部材であると言えるが、全ての免・制振部材が実大・実荷重・実速度で性能が把握されているとは言い難いのも事実である（故にE-Isolationが期待されるわけであるが）。そこで構造設計では、設計基規準や構造計算を駆使して建築物全体の構造性能・安全性をデザインしている。基規準や構造計算に用いるモデルの多くは材料実験や構造部材実験に基づいており、建築物全体の構造性能を直接測ることは困難であるが、実験などで確かめられている材料や部材の性能

を積み上げて、建築物全体の性能の把握や必要な安全性を有しているかの確認が行われていることになる。と、頭では理屈付けしていても、「この柱が5,000トン支えるのか…」とか、「この細柱は本当に座屈しないよな…」などなど、様々な不安が頭をよぎるものである。それでも、経験を積み、竣工した設計担当建物が増え、実際に建っているところを目の当たりにすると、重力に対する自信は徐々についてくる。不謹慎な言い方だが、重力载荷の実大実験結果が増えたということである。では、水平力に対してはどうか?となるが、竣工した実建物に水平力を加えることなど不可能であるし、幸いにも筆者の担当した建物はまだ大きな地震に遭っていないので、不安の解消には至っていない。そこで気付くのは、実験の重要性である。

設計事務所で仕事をしていると、構造部材や免震・制振部材の実験を設計段階で行うことは難しい。筆者はたぶん恵まれている方だと思うが、いくつか設計段階での調査・実験を経験させて頂いている。なかでも印象的な経験を二つほど紹介したい。一つは、入社4～5年目で担当（といってもチームの末席だが）した高面圧仕様の天然ゴム系積層ゴムの開発である。なかなかお目にかかれない、積層ゴムの破断実験¹⁾を目前で経験（正確には見学か）した。実験もさることながら、試験体の製作を通じて、メーカーさんから製造の苦労や品質上のポイントを感じさせて頂き、それらと実験の体感とは、その後の免震構造の設計にかなり役にたったのだと思う。二つ目は鉄骨造大梁と柱を互いの材芯がねじれ、4面箱型断面ブラケットを介してモーメントフレームを形成する「非交差型柱梁接合部」の開発実験²⁾である（写真1）。縦線強調のファサードデザインと構造の仕組みを一致させた合理的な設計を目指したものである。まず会社の研究開発として取り組み、その後、実プロジェクトへ適用することとなった筆者の経験の中でも珍しい

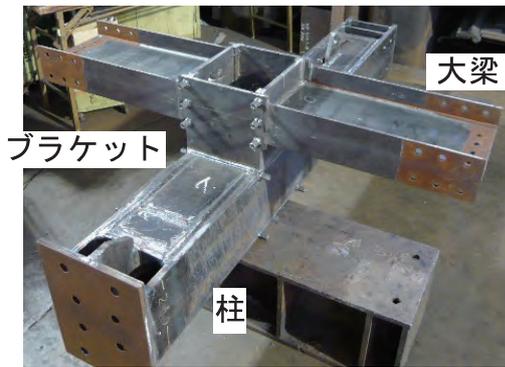


写真1 柱・大梁非交差接合部実験試験体

事例であった。材料が鋼材であるので、計算だけでも設計できたのかもしれないが、主架構を担う仕組みであり、実験で挙動や計算による予測を確認できたことは、攻めたデザインを行う上では非常に有効であったと思い出される。これら以外にも、590MPa級の構造用鋳鋼の開発実験³⁾や、施工段階での架構や制振部材の性能確認実験をいくつか経験することができ、設計段階でのモヤモヤの低減に役立った。

思い返すと、筆者は卒業研究・修士論文では鉄筋コンクリート柱の実験をテーマとしており、高さ90cm、30cm角のRC柱に軸力比0.15(≒4MPa)での動的(最大速度20cm/s) 載荷実験⁴⁾(図1)を担当した。余談であるが、この実験は神奈川大学建築学科の実験棟で実施されたもので、現在、筆者の研究室はこの実験棟にある。学生時代は、まさかこの場所で働くことになるとは夢にも思わなかった。この実験で、載荷速度がRC部材の力学特性に変化を及ぼすこと、先輩方の実施した先行実験では高速載荷時にRC柱の破壊モードの曲げ降伏型からせん断破壊への変化が見られたが、この実験の試験体では曲げ降伏先行のままであったなどを確認した。なにより、RC柱が実在の柱にありがちな軸力比0.15の軸力を保持したまま、部材角1/30程度まで安定して変形できることを目の当たりにしたのである。構造性能を、一貫プログラムを利用した構造計算をもとに考えていると、RC部材はもっと変形能力の乏しいものに感じてしまっていたのだが、この実験を思い出し、シ

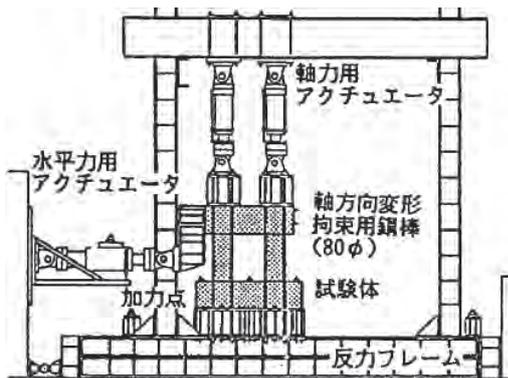


図1 RC柱高速繰返し載荷実験装置図(文献4より転載)

アスパン比1.5でもきちんとせん断補強されたRC部材はかなり変形できるのだなとちょっと安心を覚えることができた。ただし、このことを構造設計に携わる中で実感できたのは、ずいぶん後になってからであり、大変に罰当たりな学生であったと、深く恥じ入っている。ともかく、実験の経験により、基規準が示す構造部材・架構の挙動・性能が腑に落ちるといふか、設計に納得感が高まることを覚えたと思う。構造実験はコスト・時間を要するので、実験を経験する機会を得た設計者・技術者は、その経験を最大限に設計・施工に活かさねばならない。

筆者は昨年、免震支承縮小試験体の長時間繰り返し実験⁵⁾(図2)に着手した。構造設計実務者時代に、こんな実験結果が欲しいと考えていたことの一つである。すぐにあれもこれもとはいかないし、現在の研究テーマに限られてしまうかもしれないが、構造を学ぶ学生(できれば建築の全ての学生)に経験してもらえるよう、いろいろな構造実験に取り組んでいきたいと考えている。

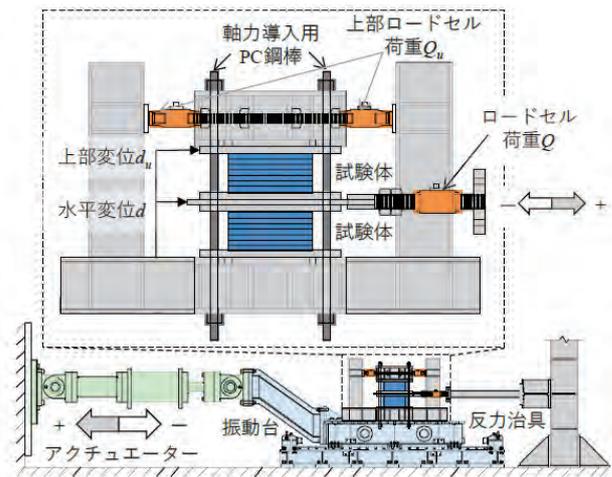


図2 免震支承小振幅加振実験載荷装置

参考文献

- 1) 瓜生、多田、高山、北村他：高面圧下における積層ゴムアイソレータの実大実験(その1~3)、日本建築学会大会学術講演梗概集・構造II、pp.597-602、1995
- 2) 山田、吉江、向野、小島：非交差型鋼構造柱梁接合部の構造性能に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第75巻656号、pp.1901-1908、2010.10
- 3) 吉江、小坂橋他：建築構造用高性能590N鋳鋼の設計と開発-新潟県総合スタジアム(仮称)の屋根構造-(その1~3)、日本建築学会大会学術講演梗概集・構造III、pp.371~376、1999
- 4) 藤本、和田他：高速荷重を受ける鉄筋コンクリート柱の実験的研究(その9)、日本建築学会大会学術講演梗概集・構造II、pp.885-88、1990
- 5) 楊、吉敷、小林、吉江他：風荷重で水平クリープ変形を生じる免震部材の性能確認実験(その1、2)、日本建築学会大会学術講演梗概集(発表予定)、2025