

H&E Letter

エイチ・イー・レター

人・住まい・環境

Vol. 77

災害に強いシェル構造の魅力

Keyword 地震、津波、災害、シェル構造、強さ、美

文・新宮 清志 日本大学名誉教授
総合資格学院特別顧問
フォーラム正会員C

1. はじめに

過日、子供向けの教育番組を制作しているという会社から1時間余りの取材を受けた。やり取りは、新型コロナウイルス感染症の影響により、先方からの提案でパソコンやスマートフォンにてセミナーや会議などをオンラインで開催するために開発されたアプリを利用して行うこととなった。幸いここ数か月、私は幾つかの団体の委員会・理事会・総会などで、この種のツールを数種類用いて会議などに参加していた。これまで上手くいっていたことから多少自信が付きつつあったので、このツールを用いることに応じた次第である。こちらはマイクとスピーカーのみでカメラ無しであったが、幸い先方にはカメラが付いていたので、モニターを通して相手が持っている紙を曲げたり引っ張ったりしてもらい、かなり意思の疎通ができたように思う。その後は、ゆっくりであるが未だ電子メールでやり取りが続いている。

話が多少それるが、日本大学大学院の講義に際しては、諸事情により対面講義ができなくて、メディア講義を命じられている。受講する大学院生側もメディア講義は苦痛で大変らしいが、講義の動画を作成せねばならない教員側の労力は誠に甚大なものである。情報技術 (IT) 使用環境がここ数か月で激変した。めったに経験することはないだろうが、丁度、時代の節目に在ることを痛感している。ひょっとしたら、有難い貴重な経験をさせて戴いているのかもしれないと前向きに捉えている。

さて、件の企画の目的であるが、「アーチ構造やシェル構造がどうして強いのかを実験などを通してその構造物の挙動を観察させることで、子供たちに楽しみながら理解してもらう」とのことである。そのために私に相談として取材を申し込んで来たということである。子供向けの番組なので、勿論前述した専門用語は使用しないのであろうが、内容はとても高度であり、すごい企画だと感心した。当の企画担当者は、ご本人が言われるには理工系出身ではないので色々勉強しているとのこと、とても研究熱心を感じた。私が子供の頃 (終戦直後) の出雲地方の多くの家庭では、あまり玩具もなかったので自分自身で作っていた。身近にある竹 (通常竹藪から切ってくる)・金属片・針金・板切れなどを工夫して、弓矢を作って矢を飛ばす、杉鉄砲や紙鉄砲を作って打ち合って遊ぶ、新聞紙を丸めて刀もどきを作り (一種の「シェル構造」を作成していたことにな

る) チャンバラごっこを行う。あるいは斐伊川の河川敷に大きな穴を掘って柳の枝や葉で屋根を作り (建築物らしいものの作成)、その洞穴のようところの内や外で、ビー玉やメンコなどで遊んだりする (剛体や弾性円板の動力学的勉強をしていた?)。その程度のことであった。当時は、テレビは勿論のことラジオも未だあまり普及していない時代であった。前述の会社で企画されようとしている内容・環境とは、まさに天と地の違いである。前置きが随分と長くなってしまった。ここらで、本題に入ろう。

2. シェル構造¹⁾について

2.1 シェルの定義

まず、タイトルの中の専門用語として解りづらいついと思われる言葉を定義あるは説明しておきたい。シェルとは、板厚が他の寸法、例えば曲率半径やスパンに比してとても小さい湾曲した板のことである (図1参照)。ここで、曲率半径が無限大 (すなわち曲率が零) になった場合は「平板」と呼ばれるものとなる。なお、曲率とは、曲率半径の逆数である。図1ではあまり滑らかな曲面となっていないが、本来は滑らかなものであると想像して戴きたい。

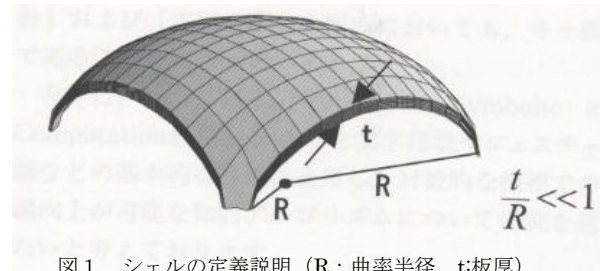


図1 シェルの定義説明 (R: 曲率半径, t: 板厚)

写真1は筆者が大学院生の時に、西村敏雄先生 (新宮の師匠、当時日本大学教授、元日本大学名誉教授、元日本建築学会副会長、故人) のお手伝いをして解析や実験に関わり、完成した思い出深いシェル構造の一例で、私の研究の原点といえるものでもある。

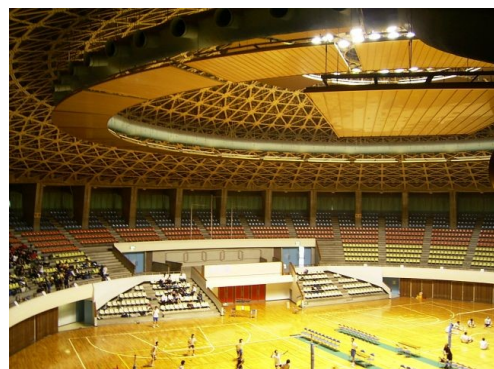


写真1 千葉県スポーツセンター、鉄骨円錐形シェル (1971年竣工、応力変形解析担当: 新宮他)

2.2 シェルの応用分野²⁾

先ほどシェルの一例を写真1で紹介したが、応用分野は、身近なものも含めて以下のとおりである。

- 1) 自然のもの、身近なもの: 鶏や鶉の卵、貝、爪、頭蓋骨、茶碗、コップ、花瓶など

- 2) 地上の構造物：建築物の屋根（稀には基礎も）、ダム、サイロ、石油タンク、ガスタンクなど
- 3) 海中・海上の構造物：海中展望塔、石油備蓄タンク、船、潜水艇、海中・海底調査船など
- 4) 空中・上空の構造物：飛行機、ロケット、宇宙船など

3. 東日本大震災の被災地視察

2011年3月11日（金）14:46頃に東北地方太平洋沖地震が発生し、大津波を生じさせたことは記憶に新しい。当時、私は日本建築学会副会長であり、6月1日から東日本大震災調査復興支援本部副本部長になることが比較的早い段階で分かっていた。そのため、後日、吉野博先生に被災地視察に関して相談をして、色々と段取りをして頂いた。4月16日には、田中礼治・東北工業大学教授（東北支部長、当時）や源栄正人・東北大学教授（当時）を始め多くの先生方に協力して戴き、東北大学構内・仙台市内・仙台空港・仙台港・名取市等々の被災状況を東北大学の特別車両で視察することができた。



写真2 宮城県女川町での被害状況(2011.4.17)



写真3 石巻市内の河川流域での被害状況(同日)

写真2と写真3は、その翌日の視察時に撮影したものである。写真2は宮城県女川町での被害状況である。転倒した鉄筋コンクリート造か鉄骨造の建物をご覧いただけるだろう。これは、大きな地震動によって被害を受けた杭が液状化現象で抜けやすい状態になり、更に津波が追い打をかけて襲ってきて杭ごと抜けて転倒してしまったようである。付近には同様の建物が数棟あった。これは誠に衝撃的な光景で、今でも忘れることができない。

写真3は、石巻市内の河川流域（北上川、石巻市中瀬）における被害状況である。この写真左上方にシェル構造と思われる建物（石ノ森萬画館）をご覧いただけるだろう。これは、地震動により多くの建物が崩壊した後に津波が押し寄せて殆どの建物が流された中で、ちゃんと立っている稀有な建物である。この建物の室内は1mくらい浸水したようであるが、建物全体としての被害はさほど大きくはなかったようである。シェル構造が災害に強い実例の一つ

といえよう。なお、東日本大震災では膨大な構造物等の被害調査³⁾の他の関連一連文献が行われている。シェル構造などの被害状況の詳細は文献³⁾をご参照いただきたい。

4. シェル構造は何故強い？—割り箸と卵の破壊実験を通して—

割り箸は、引きちぎることができないのに、曲げるとなぜ簡単に壊れてしまうのか？卵は2本の指（例えば親指と中指）では何故押しつぶすことが困難なのか？私は講演の際、このような簡易実験を通してシェル構造の強さの秘密を探り、学んでもらうようにしている。詳細は文献²⁾に譲るが、皆様も是非とも、割り箸の他に卵の破壊実験に挑戦して戴きたい。なお、その際、加力を鉛直方向にする場合、卵を縦置きにするのが強いのか、それとも横置きかを考え、更に中身が飛び散った場合を想定して台所の流しなどで行うと、思い切り実験ができるのではと思う。

5. 熊本での思い出

熊本地震（2016.4.14/4.16）発生年の翌年、熊本城、益城町などの被災地視察の後、阿蘇ファームランドというところで宿泊の機会があった（写真4、2017.7）。このシェル構造らしい建物の構造をキチンと確認したわけではないが、PCコンクリートなどで建造すれば、比較的短期間に被災者への宿泊施設として提供可能かと思う。短期間の滞在ならば、ワクワクした生活があるかもしれない。



写真4 阿蘇ファームランドの建物群（写真提供：吉野博先生）

6. おわりに

古代ローマの建築家であるマルクス・ウィトルウィウス・ポツリオ（Marcus Vitruvius Pollio）は、「建築物は用・強・美を備えなければならない」と言っている。シェル構造は、一般的に美しいうえに、前述のように強いものが多い。私がシェル構造に引き付けられたのは大学3年生の頃からであり、研究の道を志した大学院入学から勘定すると52年もの歳月が経過したことになる。この魅力的なシェル構造に、もう少々関わりを持っていきたいと考えている。

参考文献

- 1)西村敏雄・新宮清志・登坂宣好ほか：構造用教材、日本建築学会編、丸善、pp.4-5,1985.4
- 2)新宮清志：シェル構造の研究者の立場で「理解」を考える、知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）、Vol.17, No.1, pp.46-48, 2005.2
- 3)新宮清志・竹内徹・山下哲郎・川口健一ほか：東日本大震災合同調査報告 建築編3 鉄骨造建築物/シェル・空間構造、日本建築学会編、丸善出版、pp.225-352、2014.9