

世界一美しい公共トイレの構造解析

亀村 洋平¹, 杉山 麻²

¹ 須磨学園高等学校, ² 関西大倉高等学校

要旨

トラスとは、軸力のみを受ける棒部材から成り三角形を基本単位としてその集合体で構成する構造形式である。トラス構造を使用した建築物は数多くあり、東京タワーや明石海峡大橋(図1)などの大規模構造物にも用いられている。

我々は、イギリスの記事で取り上げられていた世界一美しい公共トイレである ured public toilets に興味を持った。材料として利用されるコンクリートの応力-ひずみ関係などの力学特性を理解した上で、この建築物の力学挙動を、トラス構造を用いて解明した。トラスでモデル化を行ったのは計算が簡単なうえに一定の精度を保て、力の流れが明快であるためである。

さらに本研究では、どの部材にどれくらいの応力が生じているか、また、本構造を成立させるにはどれくらいの圧縮強度をもったコンクリートが必要であるか調べた。

1. 建築物のモデル化と数値解析

建物概要

図2に対象建物を示す。この建物は、2018年にノルウェーに建てられた ured public toilets である。高さ3.4 m、幅6 m、奥行き3 mである。材料はコンクリートである。本建築物をトラスによりモデル化した上で、トラス部材に生じる応力、自重と積雪による変形を調べた。構造解析ソフトウェアには SNAP ver.6 を利用した。



図1 明石海峡大橋

設計条件

本建物の設計基準強度を以下のように設定した。

1. 荷重は建物自重と30 cmの積雪(1 m³あたり300 kg重)
2. コンクリート許容圧縮応力度は、設計基準強度の1/3、許容引張応力度は許容圧縮応力度の1/10とする。

トイレのモデル化

設計図書は入手できなかったため、まず、得られた情報に基づき、平面図と立面図を作成した。さらに、建物の形状を把握するため、建築物を立体的に表現し、それにより建築物を製作できる thinkercad を使用した。図2の建物は曲線の美しさが特徴であるが、モデル化および数値解析することが難しい。そこで、側面の曲線部分を直線に置換して解析しやすい形状に変え、簡略化した。このモデルを図3に示す。さらには、3Dプリンターを用いて実体化し、形状把握を行った。図4に3Dプリンターで作製した模型を示す。



図2 ured public toilets <https://www.awesomeinventions.com/wp-content/uploads/2019/09/norway-most-beautiful-public-toilet-ured.jpg>

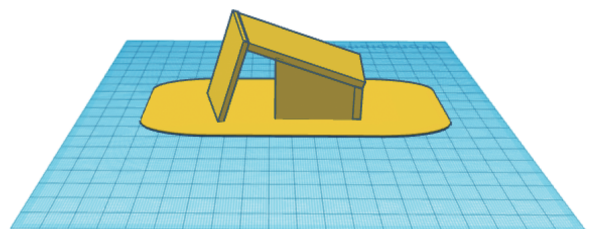


図3 thinkercad による立体モデル図

内容に関する連絡先：

西山 峰広 (京都大学大学院工学研究科)

nishiyama.minehiro.8a@kyoto-u.ac.jp

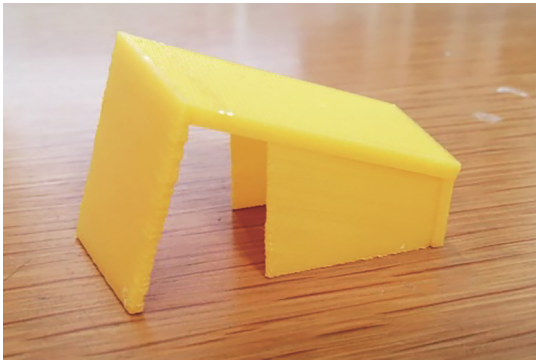


図4 3Dプリンターで作製した模型

数値解析

数値解析ソフトウェア上でトラス構造のモデルを制作した。ただし、トラスの構成で力の流れが変わるため、有限要素解析を参照し、図5の4種類のモデルを作成し比較した。図5(c)以下のモデルではそれぞれの部材に生じる応力が不均衡であり、特に屋根の右端の部材には非常に大きな応力が生じていた。最終的に一部の部材にだけ極端に大きな応力が生じなかった図5(c)のモデルについて詳細解析を行うことにした。

屋根に作用する鉛直荷重は、自重と積雪で以下のようなになる(図6)：

{体積×コンクリートの比重 (2.3 kg/m³)
+ (面積×300 kg×0.3 m)} × 9.8 m/s² = 140 kN
5 節点に分散して作用させると、1 点あたり 28.0 kN の集中荷重となる。

解析結果

解析結果を図7に示す。引張部材をピンク色、圧縮部材を水色で表している。中でも最大の引張力を受ける部材を赤色、最大圧縮力を受ける部材を青色で表している。最大軸力と対応する応力を表1に示す。

天井が右下に傾いているため荷重が作用した際、全体的に右側の部材に大きな軸力が作用していた。しかし、図8に示すように変位自体は小さく0.01～0.02 mmほどであった。図8は視覚的にわかりやすいよう実際の変位を5,000倍で表している。

本解析では部材の断面積を1.60×10⁵ mm²と設定したため最大引張の応力は0.81 N/mm²、最大圧縮の応力は1.26 N/mm²となった。

2. まとめ

条件より必要となる設計基準強度は引張応力のみを考慮した場合は24.3 N/mm²、圧縮応力のみを考慮した場合は3.77 N/mm²。よって必要とされるコンクリート設計基準強度は大きい値を採用するため24.3 N/mm²となる。したがって、この建築物は普通強度コンクリートで建設することが可能である。

表1 コンクリート応力解析値

	軸力 (kN)	応力 (N/mm ²)
最大引張	129.8	0.811
最大圧縮	201.1	1.26

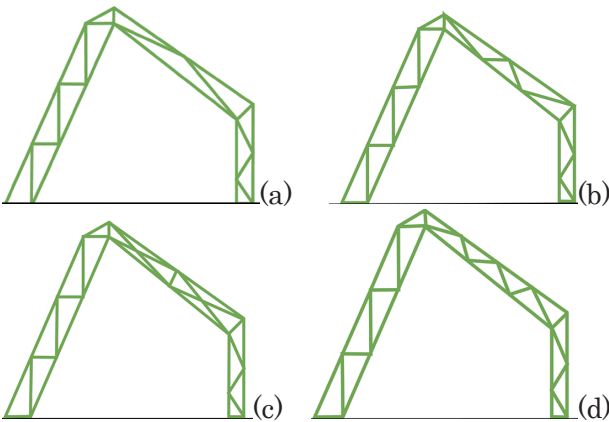


図5 検討対象となったトラスモデル

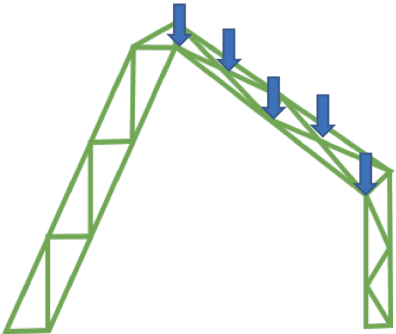


図6 载荷状況

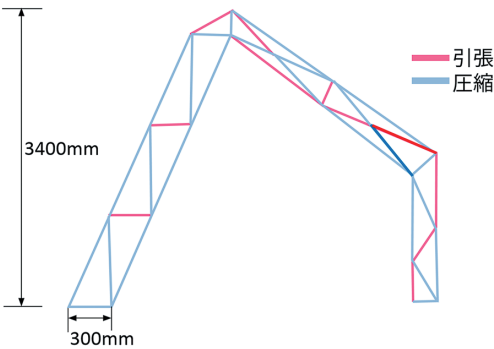


図7 圧縮および引張部材の状況

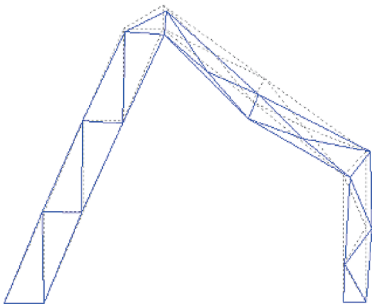


図8 トラスモデルの変形

謝辞

本研究を進めるにあたり、京都大学大学院工学研究科建築学専攻の西山峰広教授、野村昌弘技術職員、TAであった一宮弘昂さん、岩田佳歩さんには温かいご指導を賜りました。半年間ありがとうございました。

参考文献

https://www.albert-studio.com/wp-content/uploads/2018/11/DSC_1771-1079x720.jpg