

建設用 3D プリンターを用いた構造解析プロセスの検討

金沢工業大学 学生会員 眞弓碧生

金沢工業大学 正会員 田中泰司

1. はじめに

近年、建設用 3D プリンターを用いた構造物の構築技術が国内外で精力的に開発されている。

3D プリンティングは、省人化を図りつつ意匠性の高い構造物の構築が可能になる。一方で、複雑な形状、構造最適化を取り込んだ構造物の場合、従来のようには理論で単純化して構造計算をすることが出来ず、3次元 FEM 解析を取り入れた設計が前提となってくる。限界状態の把握のためには、非線形領域の考慮が不可欠である⁽¹⁾。そこで、本研究では 3D プリンターを用いた構造物解析プロセスを検討することにした。

2. 解析概要

図 1 に解析プロセスのフロー図を示す。それぞれのプロセスで別個のプログラムを使用するが、3D データがシームレスに受け渡しされる。構造解析に関しては 3D CAD (Fusion 360 を使用) により 3D モデルを作成し、FE メッシュや解析条件の設定、応答解析には汎用型解析ソフト GID-ATENA を用いた。

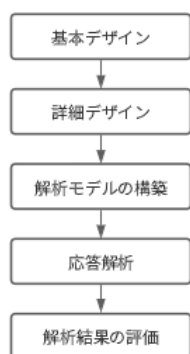


図 1 FEM 解析の手順

2-1 基本デザイン

本研究では、金沢工業大学建築学科蜂谷・下川研究室で作成されたベンチの 3D モデル⁽⁵⁾(図 2)を用いた。



図 2 基本デザイン

2-2 詳細デザイン

コンクリートの構造解析では応力集中による破壊を避けるために、点荷重・拘束を弾性支持板を介して適用しなければならない。そのため、基本デザインを 3D CAD 上で一部修正した。支点部分を面で支えるためにモデルの底面を 30mm 削除して平面を作り、100mm 厚さの弾性体を下面に貼り付けた(図 3)。



図 3 詳細デザイン

また、プログラム間の寸法の単位が整合していないため、単位換算のための修正を行って、CAD から構造解析にデータを受け渡した。

2-3 解析モデルの構築

2-3-1 材料特性値

コンクリートの圧縮強度は 25.5MPa とし、その他の材料特性値には Eurocode 2 から推定される値を適用した。ただし、引張強度は、3D プリンティングの造形の出来形のばらつきや積層の界面が存在することを考慮し、推定値から 1/3 に割り引くことにした。

表 1 材料特性値

圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (MPa)	ポアソン 比
25.5	0.772	30320	0.2

支点の支持板の弾性係数は 200,000MPa、ポアソン比は 0.3 とした。

2-3-2 境界条件

2-2 で追加した支持板に境界条件を設定して支点とした。図 4 の左側の支持板を完全固定とし、その他の支持板は高さ方向のみを固定した。

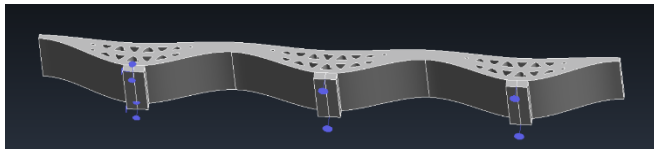


図4 拘束条件

2-3-3 自重の設定

自重は一般的なコンクリートの単位体積重量である 2.3kN/m^3 に設定した⁽³⁾。

2-3-4 設計荷重

設計荷重は、等分布荷重とし、ベンチに人が満載して腰掛ける状況を想定して定めた。1人当たりの体重の設計値は 686N とし、1人が占める面積は、電車のロングシートで設定されている幅 (430mm) を用いた⁽³⁾⁽⁴⁾。式(1)より、設計荷重を 4.48kPa の等分布荷重とした。

$$\frac{686(\text{N}) \times 32(\text{人})}{7000(\text{mm}) \times 700(\text{mm})} = 4.48(\text{kPa}) \dots (1)$$

3. 解析結果

解析の結果得られた荷重—変位曲線を(図5)示す。今回のモデルは無筋構造であるにも関わらず、ひび割れ発生荷重と破壊荷重には大きな差がみられた。

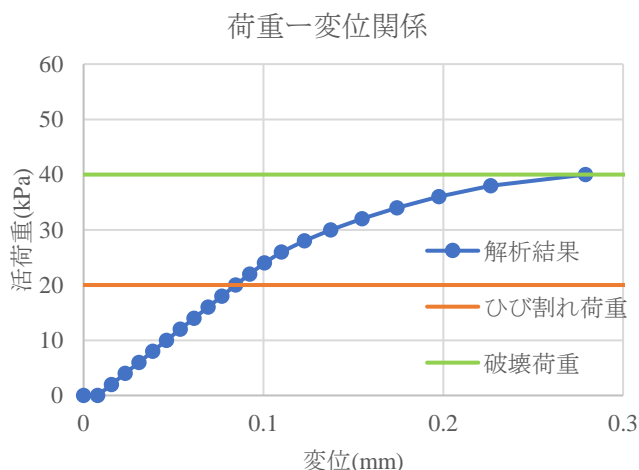


図5 荷重—変位曲線

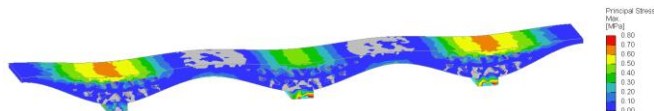


図6 ひび割れ前の引張主応力図

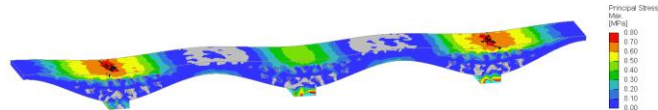


図7 ひび割れ後の引張主応力図

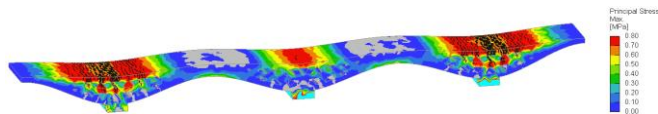


図8 破壊前の引張主応力図



図9 ひび割れ発生時のひび割れ図

ひび割れ発生前後と破壊前の主応力図を図6~8にそれぞれ示す。図6~9の黒い部分はひび割れを示している。支点上面の引張応力が引張強度に達しても破壊せず、中段部分でひび割れが貫通して破壊が生じた。このようにデザインの自由度を高めると、初期の耐荷メカニズムと最終的な耐荷メカニズムが異なる場合があるので、限界状態を把握するために非線形構造解析が必須になる。

4. まとめ

3Dモデルを用いて構造解析する際には、構造解析のための修正をモデルに加える場合があることを確認した。また、デザインの自由度を高めると初期と終局の構造メカニズムが異なる場合もあるので、限界状態の把握には非線形構造解析が必要となることがあきらかとなった。

参考文献

- (1) 石田哲也、木ノ村幸士 石関嘉一、小川洋二 斎藤賢、国枝稔 「3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に化する委員会 成果報告」セメント・コンクリート, No.904, 2022
- (2) 村田二郎、長瀧重義、菊川浩治 「コンクリート工学の基礎」 p.113, 2012
- (3) 一般社団法人 日本公園施設業協会 遊具の安全に関する規準 第二版 p.50, 2019
- (4) 南井健治 「鉄道車両のデザイン デザインは何を考え、何をするのか」 p.201~202, 2013
- (5) 疋田力斗 「環境配慮型コンクリートを用いた3Dプリンターによるベンチの形状最適化」 建築学会大会学術講演梗概 pp.392-39(2022)