

3D プリント製円柱/角柱供試体を用いた初期亀裂を有する供試体の破壊形態に関する研究

石川工業高等専門学校 正会員
石川工業高等専門学校
長岡技術科学大学 正会員

○新保 泰輝
岡 凌也
福元 豊

1. 目的

著者らはこれまでに地盤材料の耐亀裂性能や破壊形態を明らかにするために、締固めた粘性土の円柱供試体に対して、亀裂を挿入し、一軸圧縮試験を実施した。その結果、破壊形態（亀裂進展形状をいう）や破壊靱性値が含水比によって変化することを明らかにした¹⁾。ただし、岩石等の亀裂を有する実験では角柱供試体が多く用いられている。Guo et.al²⁾は角柱供試体では角部において避けられない座屈不安定や応力集中が生じると指摘している。しかし、亀裂を有する供試体において円柱角柱の両者の結果を比較した研究はほとんどみられない。他方、近年、3D（3次元）プリンタの利用が建設業界で急速に普及しており、砂を素材とした3Dプリンタを用いた角柱供試体や円盤の割裂試験等も行われている（例えば鈴木ら³⁾）。そこで本研究では、初期亀裂が精度良く形成可能かつ比較的均質な素材となる3Dプリンタを用いて、亀裂を有する円柱/角柱供試体の両形状による破壊靱性値と破壊形態の違いについて検討した。

2. 砂型供試体と圧縮試験概要

円柱供試体はφ50mm、高さ100mmとした（図-1）。また、角柱供試体は横幅50mm、高さ100mmとし、奥行は円柱供試体と同じ断面積となるように39.2mm程度とした（以後、単に円柱、角柱と記す）。初期亀裂は高さ50mm位置を中央とし、斜め45°、幅1mm、長さ20mmと22mmの2種の貫通亀裂とした。供試体は珪砂を素材とする砂型3Dプリンタ「S-Print」（株式会社JMC）にて製造した。なお、結合剤はフェノール樹脂である。また、製造した供試体（図-2、図-3）の端面を石膏キャッピングした。円柱角柱に対し、亀裂無し、初期亀裂長さ20mm、22mmの計30供試体の一軸圧縮試験を行い、破壊靱性値を求め、破壊形態を確認した。

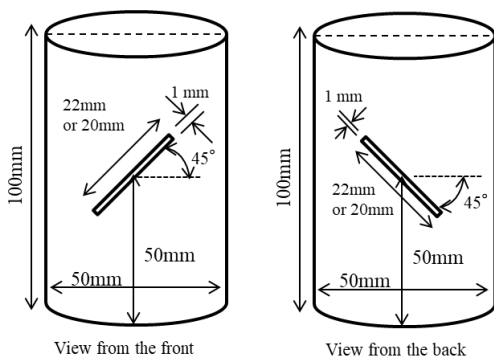


図-1 供試体概要図



図-2 角柱供試体



図-3 円柱供試体

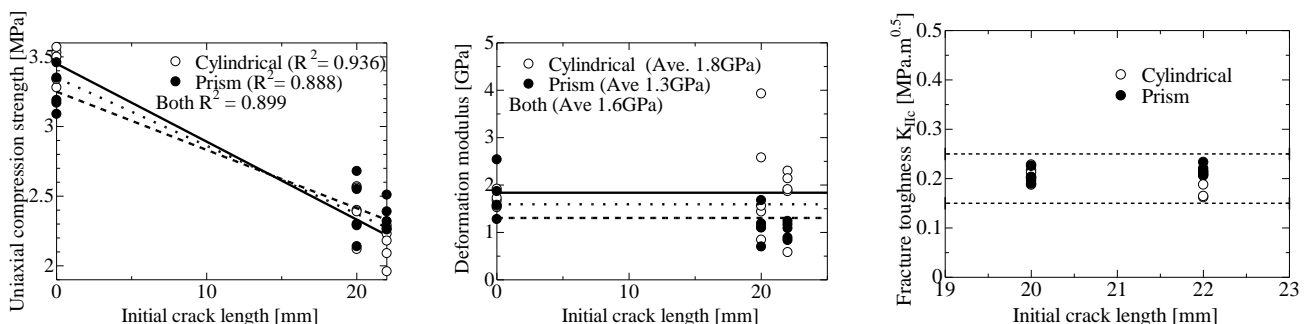


図-4 試験結果（a：初期亀裂長－圧縮強度，b：初期亀裂長－変形係数，c：初期亀裂長－破壊靱性値）

3. 試験結果と破壊形態について

図-4 に初期亀裂長さや圧縮強度、変形係数、破壊靱性値 K_{IIC} の関係を示す。なお、初期亀裂長さ 0 mm は初期亀裂がないことを意味する。図-4 (a) に示す通り、圧縮強度は角柱円柱の違いによる違いは小さく、両者とも初期亀裂長さによって低下する傾向を示している。これは初期亀裂があることによって亀裂先端に応力集中が生じ、初期亀裂から破壊したために生じたといえる。このことは締め固めた粘土でも同様であった。図-4 (b) に示す変形係数の平均値は円柱が 0.5 GPa 程度高くなる結果となった。また、図-4 (c) に示す破壊靱性値 K_{IIC} は角柱円柱によらず、亀裂長さ 20 mm と 22 mm で同程度の値を示している。図-5、図-6 に円柱、図-7、図-8 に角柱の破壊形態を示す。図-5、図-6 より、典型的なウィング亀裂や曲線を描いて荷重板に向かう破壊形態、初期亀裂から低角で進行し、側方境界面に近づく Outward ウィング亀裂が生じている。一方、図-7、図-8 に示す角柱では概ね Outward ウィング亀裂が生じている。破壊靱性値が同程度であることを考慮すれば、供試体形状効果による違いと考えられる。以上より、形状による物理量への影響は比較的小さいといえるが、破壊形態への影響は大きいといえる。なお、全体的に前面背面の破壊形状を確認すると、角柱 (20 mm, 22 mm)、円柱 (22 mm) では同様の破壊形態が得られており、奥行方向に比較的均一な亀裂進展が生じたといえる。ただし、円柱 (20 mm) ではいくつか異なる結果が得られており、再現解析等には 3 次元解析が望ましいといえる。

4. まとめ

本研究では亀裂を有する円柱/角柱供試体を用いて供試体形状による物理特性、破壊靱性値、破壊形態についてまとめた。今後は数値解析を用いたこれらの破壊形態の再現を試みる。

謝辞：本研究は科研費 22K04307、令和 4 年度高専一長岡技科大共同研究助成、砂防・地すべり技術センター研究開発助成の助成を受けて実施した。ここに記して感謝する。

参考文献：1) Taiki Shimbo, Chisato Shinzo, Ukyo Uchii, Ryota Itto, Yutaka Fukumoto, Effect of water contents and initial crack lengths on mechanical properties and failure modes of pre-cracked compacted clay under uniaxial compression, Engineering Geology, 2022. 2) Guo, J., Liu, P., Huang, S., Qian, Y., Liu, G., Cracking Processes and failure Modes of Rock-like Specimens with a Set of Non-persistent Joints. Geotech. Geol. Eng. 39, 1237–1257, 2021. 3) 鈴木健一郎・Patrick Blueness・田中達也・竹村貴人: 3D プリンタ亀裂性岩盤モデルの浸透流解析, 第 51 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 529-530, 2016.

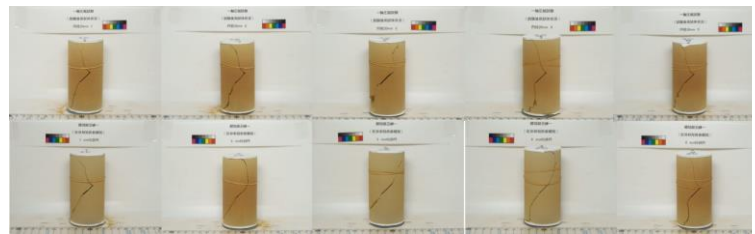


図-5 円柱破壊形態（初期亀裂長さ 20 mm,
上段：前面, 下段：背面を左右反転）

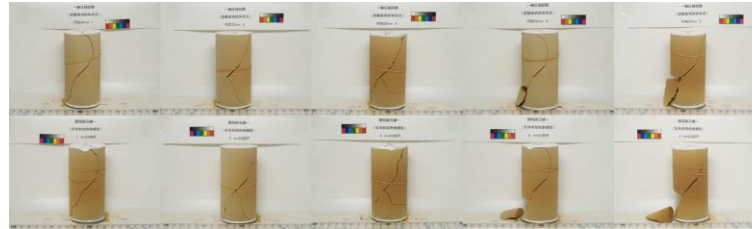


図-6 円柱破壊形態（初期亀裂長さ 22 mm,
上段：前面, 下段：背面を左右反転）



図-7 角柱破壊形態（初期亀裂長さ 20 mm,
上段：前面, 下段：背面を左右反転）

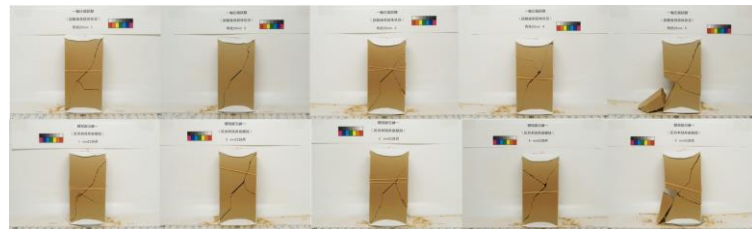


図-8 角柱破壊形態（初期亀裂長さ 22 mm,
上段：前面, 下段：背面を左右反転）