

三点曲げ試験による締固め土の破壊靱性の評価

長岡技術科学大学 ○福原 涼斗
長岡技術科学大学 堀越 晟冶
長岡技術科学大学 福元 豊
石川工業高等専門学校 新保 泰輝

1. はじめに

地盤材料は、自然現象や人為的作用により亀裂が発生し、その亀裂の進展は地盤の強度や安定性に強い影響を与える。そのため、亀裂の進展による地盤材料の強度変化を把握することは防災及び減災の観点で重要であると考えられる。本研究では、締固め土の破壊靱性値を正しく評価できる方法を検討するために、三点曲げ試験を実施した。また、先行研究により得た青粘土を用いた割裂引張試験のデータと比較を行った。

2. 初期亀裂を有した青粘土供試体の三点曲げ試験

2.1 三点曲げ試験

本研究で使用した試験機の概要を図1に示す。試験体の両端を支持し、載荷台が上に移動することによって試験体の中央に軸圧縮力を作用させている。測定するパラメーターとしては、荷重と変位であり、それぞれロードセル、変位計測機により測定をしている。

本研究で使用した試料は、Shimbo et al.(2022)¹⁾を参考に、青粘土を用意し、0.425mmのふるいを通させた試料である。そして含水比は、18%、19%、20%、22%に調製をした。また、最適含水比は19%である。試験体の寸法に関しては、Wang et al.(2007)²⁾を参考に亀裂の長さ a と試験体の高さ W が0.45~0.55、支点間距離 S と W が $S=4W$ の関係になるように寸法を決めた。これは、下記で示す破壊靱性の算出式が上述の条件でのみ適用できることからこのような条件の寸法とした。本研究では、この条件を踏まえ、図2に示すように高さ $W=37.5\text{mm}$ 、幅 180mm 、奥行き $B=20\text{mm}$ 、亀裂 $a=17\text{mm}$ の直方体をカッターで成形した。

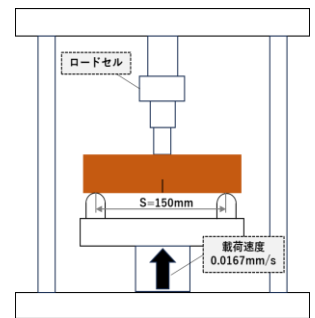


図1 三点曲げ試験機の概要図

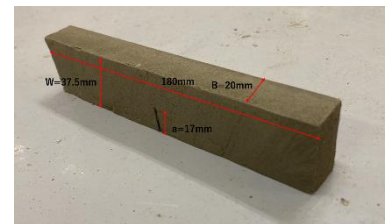


図2 試験体の寸法

2.2 破壊靱性

脆性破壊に対する抵抗を示すパラメーターとして破壊靱性があり、破壊靱性値は応力拡大係数によって定義されている。以降では、破壊が起きる際の応力拡大係数の臨界値を破壊靱性として説明する。

破壊靱性は、引張（モードⅠ）、横せん断（モードⅡ）、せん断（モードⅢ）のそれぞれの応力作用条件下によって式が定まっている。中でも、モードⅠの破壊靱性 K_I は、亀裂先端の引張の作用による抵抗を示し、三点曲げ試験によって求めることができる。本研究では、Wang et al.(2007)²⁾を参考に、地盤材料で三点曲げ試験を行った場合のモードⅠ破壊靱性を以下の式により算出した。

$$K_I = \frac{PS}{BW^{3/2}} f_1\left(\frac{a}{W}\right)$$

ここで、 P は、試験体に生じる臨界荷重、 f_1 は、 a と W の関数であり、次式によって表すことができる。

$$f_1\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{3\left(\frac{a}{W}\right)^{1/2} (1.99 - \left(\frac{a}{W}\right)(1 - \frac{a}{W})(2.15 - 3.93\frac{a}{W} + 2.7\frac{a^2}{W^2}))}{2(1 + \frac{2a}{W})(1 - \frac{a}{W})^{3/2}}$$

2.3 割裂引張試験

割裂引張試験は、亀裂の角度による地盤材料の強度への影響を調べるために実施された。試料は三点曲げ試験の試料と同一で、含水比は18%に調製した。試験体は、直径50mm、厚さ25mmの円柱になるように成形をし、試験体底面の中央部分に長さ15mm、縦軸方向を0°とした亀裂を入れた。そして、亀裂を0°,30°,45°,60°,90°の角度で入れ、亀裂の角度と試験体の強度の影響を調べた。この試験では、2.2で述べたモードIの応力作用条件に加え、モードIIの横せん断との混合モードの条件下にあり、2つの破壊靭性を算出したが、算出に用いた式や実験の様子は紙面の都合により割愛する。詳しくは堀越ら³⁾の論文を参照されたい。

3. 結果

3.1 破壊靭性と含水比の関係

3点曲げ試験によって得られた破壊靭性 K_I と含水比の関係を図3に示す。各含水比で4回ずつ実験を実施し、含水比ごとの破壊靭性値の平均を実線により表した。図3より、最適含水比で破壊靭性が最大となり、その後は含水比が高くなるにつれて減少することがわかる。これらの値や傾向は、地盤材料に対しての破壊力学に基づく理論解析や数値計算を実施する場合に必要な情報となる。

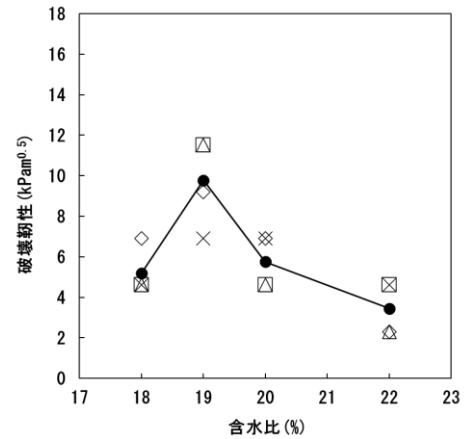


図3 破壊靭性と含水比の関係

3.2 三点曲げ試験と割裂引張試験の破壊靭性の比較

含水比18%の試料により求められた三点曲げ試験と割裂引張試験におけるモードI破壊靭性の平均値を表1に示す。表中の割裂引張試験は、モードIIの破壊靭性値がほぼ0となる亀裂角度0°の場合の値を示した。表1から、2つの実験で求められた破壊靭性は同様の結果となったことがわかる。したがって、異なる試験方法からでも、近い値の破壊靭性が得られることが分かった。

表1 各試験における破壊靭性値の比較

	3点曲げ試験	割裂引張試験
破壊靭性値 K_I (kPam ^{0.5})	5.179	5.529

4. まとめ及び今後の課題

本研究では、青粘土試験体に対して3点曲げ試験を実施し、初期亀裂が材料に与える影響を調べた。結果として、亀裂先端の引張に対する抵抗を示す破壊靭性値は、最適含水比で最大となることが分かった。加えて、割裂引張試験の結果と比較したところ、破壊靭性値は同様の値となった。

今後の課題としては、詳細に破壊靭性値の変化を把握するため、より強度の高い材料を用いて試験をしたい。また、試料作成時や試験準備時による試験体に対しての外乱を防ぐための方法に関しても今後検討する。

また、本研究では「令和5年度高専-長岡技大共同研究の推進」,「科研費22K04307」の支援を受けた。

5. 参考文献

- 1) Taiki Shimbo, Chisato Shinzo, Ukyo Uchii, Ryota Itto, Yutaka Fukumoto: Effect of different water contents and initial crack lengths on the mechanical properties and failure modes of pre-cracked compacted clay under uniaxial compression, Engineering Geology, Vol.301, 106593, 2022.
- 2) Jun-Jie Wang, Jun-Gao Zhu, C.F. Chiu, Hui Zhang: Exoerimental study on fracture toughness and tensile strength of a clay, Engineering Geology, Vol.94, 2007.
- 3) 堀越晟治, 小室昂生, 福元 豊, 新保泰輝: 様々な角度の初期亀裂を持つ粘土供試体の圧裂引張試験, 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, Vol.40, [III-318], 2022.