

締固めた土の曲げ試験の試み

大林組 正 三城健一

東京工業大学大学院 学 伊藤和也 正 日下部治

1.はじめに

軟弱地盤上に盛土構造物を建設すると盛土全体がたわむように変形し、曲げ変形により盛土下部にはクラックが発生し、盛土全体の安定性に影響を与える。この現象の解明には土の引張特性を把握する必要があるが、実際には土の引張強度は圧縮強度に比べて小さいため、設計段階では考慮されておらず試験法も確立していない¹⁾。

本研究は締固めた土から作成された梁状供試体を用いて、含水比および拘束圧を変化させた2点载荷曲げ試験を行い、曲げモーメント～曲率関係および破壊モードの変化を実験的に観察した。

2.実験システムおよび実験方法

本研究で使用した試料は青梅市にて採取された立川ロームを2mmフルイを通したものである。立川ロームはアロフェン粘土鉱物を多く含むため、初期含水比によってその物性が大きく異なる²⁾。

各種物理特性および締固め試験結果を表-1に示す。曲げ試験供試体用試料は気乾後、初期含水比 $w_0=25\%$ となるように調整した。図-1に曲げ実験装置の概要を示す。電動ジャッキを鋼製フレームに固定させ変位制御により供試体に载荷荷重を与える仕組みである。供試体は所定の含水比に調整した試料を40mm×40mm×160mmの直方体の長軸方向に対して垂直に締固めることにより作成した。供試体作成後、厚さ0.2mmのゴムスリーブで供試体を包み、供試体両端のキャップから任意の負圧をかけることにより拘束圧を与えた。その後、曲げ試験装置に供試体を設置後、载荷速度1mm/minの一定速度で载荷を行った。計測は変位を電動ジャッキに取り付けたLVDTで、荷重を载荷ロッド中に取り付けたロードセルによってそれぞれ計測した。また、供試体前面にはデジタルビデオカメラを設置し载荷の進行過程における供試体の変形状況を録画し画像解析が出来るようにした。実験ケースは表-2に示すように含水比と拘束圧を変化させた全8ケースである。

3.実験結果および考察

1)破壊モード

破壊形態は含水比の違いにより図-2に示すように3分類された。すなわち、载荷点間の領域において無数のクラックが発生するタイプA、クラックがタイプAより少ないが供試体上部まで達するタイプB、そしてクラックの発生が認められなかったタイプCである。これらは含水比領域によって分類でき、タイプAは最適含水比より低含水側、タイプBは最適含水比付近、タイプCは最適含水比より高含水側において見られた。このような破壊形態の違いは本研究の対象である締固め土が不飽和であることに起因する。すなわち、低含水比状態では土粒子と水が結合するメニスカスを供試体全面に形成することが出来ず、強度の弱い部分がランダムに分布しているため、細かいクラックが多数生じる結果となり、一方、最適含水比付近ではメニスカスが十分発達するため

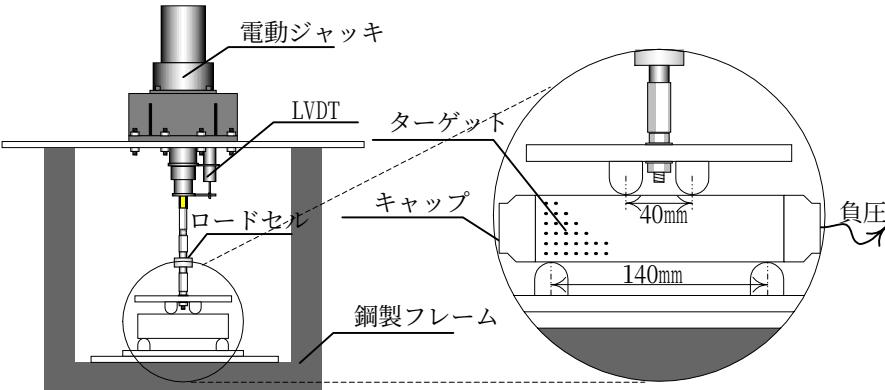


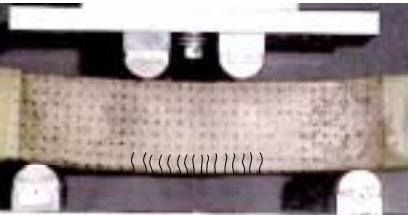
図-1 実験システム概要

表-1 各種物理特性および締固め試験結果

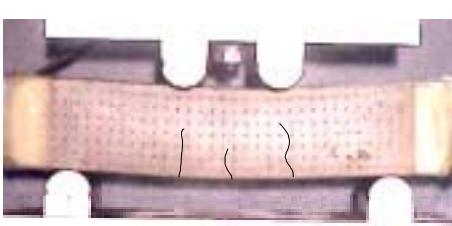
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.74
液性限界 W_L (%)	85.04
塑性限界 W_p (%)	70.65
塑性指数 IP	14.40
最適含水比 w_{opt} (%)	70.0
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	0.87

表-2 実験条件

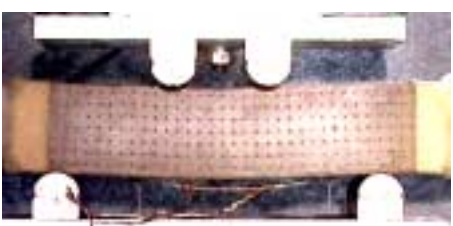
		拘束圧 σ (kPa)		
		25	50	75
含水比 w (%)	45		○	
	55	○	○	○
	65	○	○	○
	75		○	



タイプA



タイプB



タイプC

図-2 曲げ試験の破壊形態分類

Key Words: compacted soil, unsaturated, bending test, beam, tensile strain

連絡先: 東京工業大学 日下部研究室 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL 03-5734-2798 FAX 03-5734-3578

る程度まで引張力に耐えるが、ある値を超えると載荷点間の等モーメント区間のある断面でクラックが発生し、その断面に応力が集中することでクラックが進展するため、タイプBのような破壊形状になったものと考えられる。また、高含水比状態では飽和状態のためメニスカスは

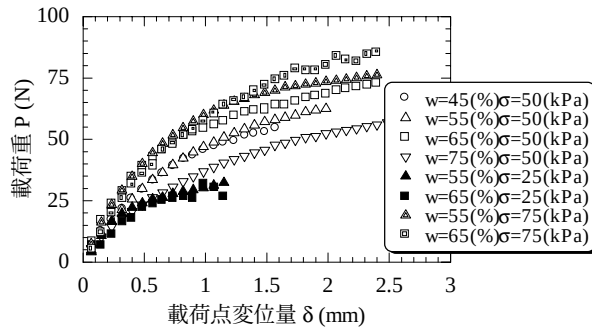


図3 載荷点における荷重～変位関係
(曲げ試験)

消滅し水は土粒子間の摩擦を軽減する働きを示し、変形が急激に塑性的になるためにクラックが発生しなかったものと考えられる。なお、破壊モードが含水比によって異なる傾向は別途実施した一軸圧縮試験でも同様であった。

2) 載荷重と載荷点変位関係

荷重～変位関係を図3に示す。全ケースとも載荷初期では線形挙動を示し、載荷の進行に伴って非線形挙動に移行している。破壊モードが含水比によって異なったにもかかわらず、荷重～変位関係では形状の大きな差は見られず、破壊モードの差は荷重～変位関係の形状には直接には反映されない。

載荷の進行に伴い、クラックが発生し進展しながら変形が進むが、供試体下部に作用する引張力に抵抗しているのはクラック発生前であるため、以下ではクラック発生前の初期剛性について論じる。図4に荷重～変位関係から得られた曲げモーメント～曲率関係の一例を示すが多少ばらつきがあるが再現性のある結果が認められる。これを双曲線近似を行い、初期剛性を求めた。このようにして求めた初期剛性を含水比と拘束圧についてまとめたものが図5である。この図より、初期剛性は含水比と拘束圧いずれにも依存していることがわかる。図中の点線はその傾向を表したものである。縮固め曲線のように含水比に対してピークを持つ曲線となり、乾燥密度の増加とともに初期曲げ剛性は増加し、最適含水比を超えると急激に軟化傾向が見られた。これは一軸圧縮試験での $q_u \sim w$ 関係においてもよく知られた実験事実と対応している。

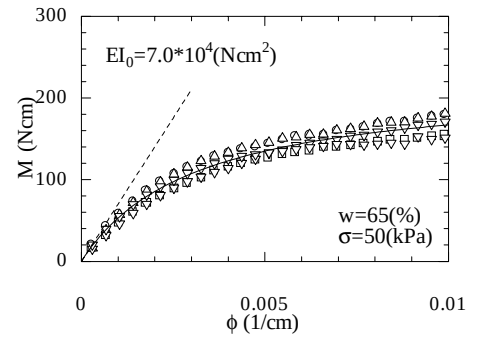


図4 曲げモーメント～曲率関係
(一例: $w=65\%$, $\sigma=50\text{kPa}$)

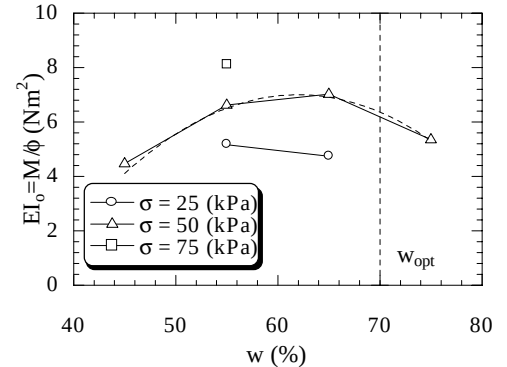


図5 初期剛性～含水比関係

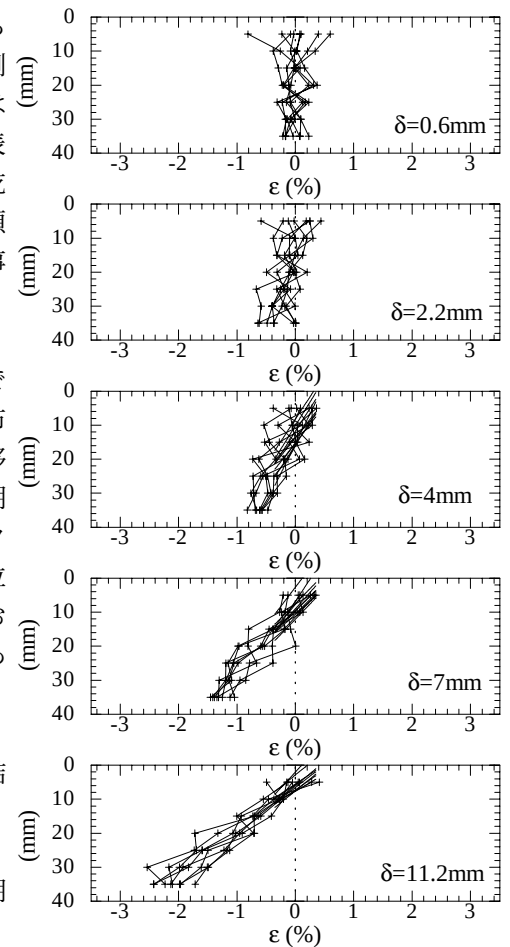


図6 梁内のひずみ分布の変化

3) ひずみ量

曲げ試験における供試体下部のひずみは、ターゲットをデジタルビデオカメラで読み込み、梁内の節点変位からひずみを算定する方法を用いた。梁内のひずみ分布の変化の一例を図6に示す。これより、クラックの進展に伴って中立軸が上方に移動していることが確認される。今回行った計測精度ではばらつきが大きく載荷初期でのひずみ量を正確に把握できていないが、中立の移動の傾向がつかめたため、クラックの発生するひずみ量のオーダーを確認することはできた。図より載荷点変位量(δ)が約2mmの点で中立軸の移動開始が確認された。このとき引張りひずみはおよそ0.1%程度であり、一軸圧縮試験から得られた破壊時圧縮軸ひずみは1～5%であったので、約1/10のオーダーの違いがあることが示された。

4. まとめ

縮固めた土から作成した梁状供試体を用いて2点載荷曲げ試験を行った。その結果、以下のことが分かった。

- 1) 曲げ試験における破壊形態は含水比に応じて3分類された。
- 2) 曲げモーメント～曲率関係は双曲形で近似することが出来、そこから求めた初期剛性は含水比と拘束圧に依存する傾向を示した。
- 3) 曲げクラックの発生に伴う中立軸の移動を定性的に確認した。ただし、定量的な判断には変位測定の際のさらなる精度向上が必要である。

<参考文献>1) Ajaz, A. and Parry, R. H. G. : Stress-strain behavior of two compacted clays in tension and compression, *Geotechnique*, 25, No.3, pp.495-512, 1975. 2) 高速道路調査会：関東ロームの土工-その土質と設計施工-, 共立出版, 1973.