

III-A 46

三軸圧縮試験による粘土混じり礫の変形特性（その1）－三軸圧縮試験結果－

日本道路公団 湯川 保之（株）白石 大石 雅彦
 東京大学生産技術研究所 古関 潤一 蔭 関魯
 基礎地盤コンサルタンツ 山口 勇

1.はじめに 設計では地盤の変形特性が地盤反力係数としてモデル化されているが、道示Ⅳの地盤反力係数は変形特性の応力レベル、ひずみレベルの影響が考慮されていない。筆者らは、地盤反力係数の寸法効果、ひずみ依存性を検討するために、徳島自動車道馬木谷橋A1の深礎杭の孔内で水平載荷試験を行った¹⁾。本論文は、水平載荷試験結果を解析するために行った三軸圧縮試験による不攪乱粘土混じり礫の強度変形特性について報告する。

2.試料採取 試験地盤は、第四紀洪積層で、平均径φ30mm程度の礫を含み、細粒分も20%程度含む粘土混じり礫であった。サンプリング方法は、試料整形時の乱れを少なくするために、試験供試体径と等しい径のブロックサンプリングを原位置載荷試験を行ったG.L.-5,-10mの2レベルで実施した。供試体径は、礫径を考慮して、φ300mm、高さ600mmとした。

3.試験方法 粘土混じり礫の変形特性とそのひずみレベル依存性を精密に計測するために、図-1に示すように、軸ひずみは供試体側面に7カ所に設置した長さの違う(50,30,18cm)局所変形計測装置(L.D.T.)²⁾、ギャップセンサ、外部変位計で、側方ひずみは供試体側面の高さ方向3カ所に均等に設置したクリップゲージで測定した。三軸圧縮試験は、背圧を大気圧と等しくした不飽和圧密排水試験とし、表-1に示すように拘束圧を変えて、採取位置G.L.-5mの試料で4ケース、G.L.-10mの試料で5ケース行った。圧密は0.5kgf/cm²毎で所定の拘束圧まで段階圧密し、せん断はひずみ速度0.06%/minで最大軸ひずみ15%まで行い、初期ひずみ部分（軸ひずみ1%程度）に20回の微小な繰返し載荷を実施した。

4.試験結果 図-2は、主応力差と軸ひずみの関係を示したものである。LDTのデータは50cmのものである。拘束

圧の小さいケース（ $\sigma_3=1.0\text{kgf/cm}^2$ 以下）では、軸ひずみ2-3%でピークに達し、ひずみ軟化現象を示す。一方、拘束圧が2kgf/cm²以上のケースでは、明確なピークは見られなかった。LDTと外部変位計での挙動には差があり、供試体上下面でのベッディングエラーの影響を受けていることが分かる。外部変位計により変形係数を求めると過小評価することが分かる。

図-3は、最大主応力差と拘束圧の関係である。図-2に

表-1 試験ケース

深度	ケース	拘束圧(kgf/cm ²)
5m	1	0.5
	2	1.0
	3	2.0
	4	5.0
10m	5	0.5
	6	1.0
	7	2.0
	8	4.0
	9	5.0

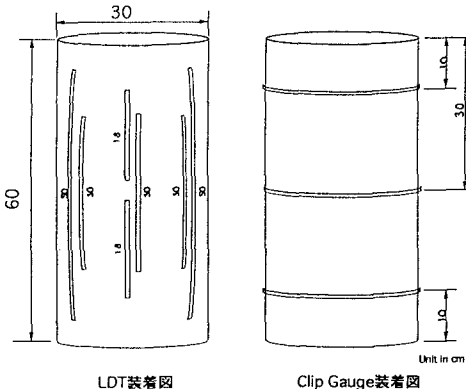


図-1 LDT,クリップゲージ装着図

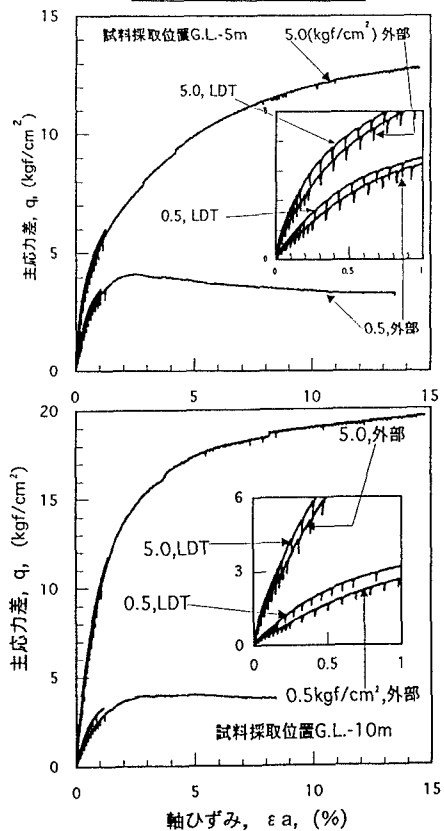


図-2 主応力差と軸ひずみの関係

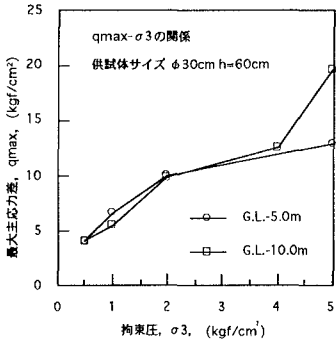


図-3 最大主応力差と拘束圧の関係

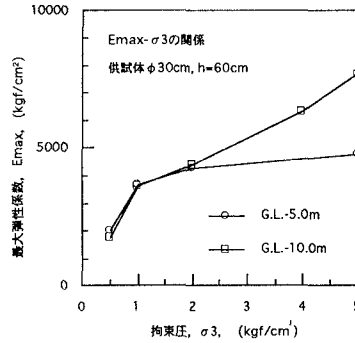


図-4 最大弾性係数と拘束圧の関係

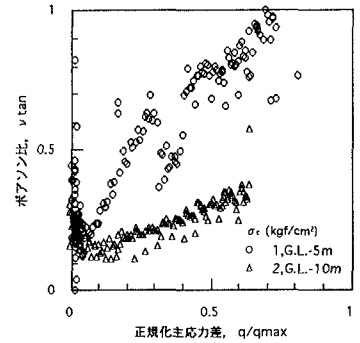


図-6 ポアソン比と正規化主応力差の関係

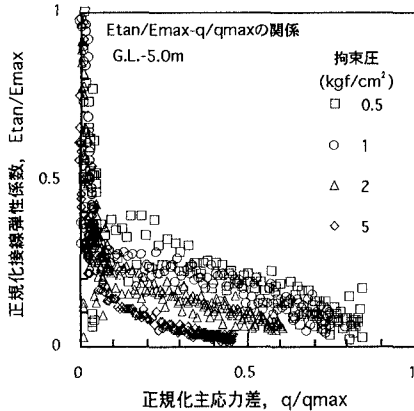


図-5a 正規化接線弾性係数と正規化主応力差の関係

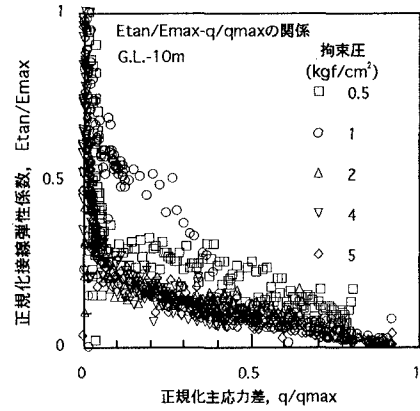


図-5b 正規化接線弾性係数と正規化主応力差の関係

も示したように q_{max} の拘束圧依存性がうかがえる。今回試験した範囲では、拘束圧と共に q_{max} が増加している。

図-4は軸ひずみ0.001%以下の主応力差と軸ひずみ関係の初期線形部分から得られる接線割線弾性係数に等しい最大弾性係数 E_{max} ³⁾と拘束圧の関係を示したものである。拘束圧の変化に伴ない E_{max} が変化する拘束圧依存性がうかがえる。G.L.-5,-10mで採取した試料の E_{max} はほぼ同様の値である。また、拘束圧1kgf/cm²を境に挙動の変化が見られる。なお、G.L.-5mの拘束圧5kgf/cm²の E_{max} はG.L.-10mの E_{max} に比べ小さくなっているが、これは、試験後行った粒度試験の結果、G.L.-5mの試料の細粒分含有量が他の試料に比べ若干多かったことが原因と考える。

図-5は、LDTで計測した軸ひずみから算出した接線弾性係数 E_{tan} を前述した E_{max} で正規化した E_{tan}/E_{max} と、主応力差 q を最大主応力差 q_{max} で正規化した q/q_{max} の関係を示したものである。 E_{tan} は主応力差の増大（ひずみの増大）とともに減少し、特に q/q_{max} が0.1までの範囲で急激に低下している。すなわち、微小なひずみの範囲で、強い非線形挙動を示していることが分かる。また、データにバラツキはあるが、拘束圧が大きいケースの方が若干ではあるが非線形性が強いようである。

図-6は、LDTの軸ひずみとクリップゲージの側方ひずみから算出した接線ポアソン比 ν_{tan} と正規化主応力差 q/q_{max}

の関係を示したものである。 E_{tan} が急激に減少する q/q_{max} が0.1までの範囲では、ポアソン比 ν_{tan} は0.2~0.4程度の範囲であり変化しないが、その後 q/q_{max} の増加とともに ν_{tan} も大きく増加する。

5.まとめ 粘土混じり礫の強度、変形特性について、次のことが分かった。

- (1)主応力差と軸ひずみ関係から拘束圧が小さい場合は、明確なピークが見られ、ひずみ軟化現象を呈し、拘束圧が大きくなると緩やかに降伏するために明確なピークは見られなかった。
- (2)最大主応力差 q_{max} と最大弾性係数 E_{max} は拘束圧に依存し、増加する。
- (3)接線弾性係数 E_{tan} は、応力レベル、ひずみレベルの小さい領域で強い非線形性を示す。また接線ポアソン比 ν_{tan} もひずみレベルに依存する。

最後に、本研究を行なうに当たり龍岡文夫東京大学教授には実験計画から実施、データ整理等試験全般にわたり御指導、御協力頂きました。末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献

1)垂水,大石,倉知(1995):深埋孔内における水平載荷試験,第30回地盤工学研究発表会,pp.1477-1478
 2)Goto,S.,Tatsuoka,F.,Shibuya,S.,Kim,Y.-S.,Sato,T.(1991):A simple gauge for local small strain measurements in the laboratory,S. & F.,Vol.31,No.1,pp.169-180.
 3)Shibuya,S.,Tatsuoka,F.,Teachavorasinskun,S.,Kong,X.J.,Abe,F.,Kim,Y.-S.,Park,C.-S.(1992):Elastic deformation properties of geomaterials,S. and F.,Vol.32,No.3,pp.26-46