

東洋大学工学部土木科 正会員 米倉 亮三
加賀 泉彦

1) はじめに

薬液固結土の変形 強度特性を調べる目的で、一連の室内実験を進めている。室内実験においても、実際の現場状況に近ずけた状態での注入実験が理想的である。しかし、実験はまだ始めたばかりなので、砂質試料に注入材を混合する方法で行なった。前回に続き、アルカリ系懸濁液による砂供試体を用い、圧裂引張り、一軸、三軸圧縮試験を行い、整理の終わった資料について報告する。まだまだ結論を下すことはできないが、今回は、足立・吉中が主に軟岩の研究に用いている破壊規準(軸差応力と平均有効応力)で、薬液固結強度を整理してみた。足立によれば、この破壊規準を用いることにより粘土も砂も岩石もまとめて一つの挙動と考えることができるとしている。また吉中によれば強度の大きく異なる試料でも同種の材料ならば一本の線に回歸できることが調べられている。この破壊規準を今回の水ガラス系固結土に適用したところ、注入率にかかわらず強度が大きく異なっても一本の線として表わすことができた。また工記規準では平均有効応力0のとき軸差応力も0となる。今回の実験結果より平均有効応力0でも軸差応力0とならなような表現方法も試みた。応力-ヒズミ曲線については、有限要素解析などに利用されている Kondner の双曲線近似 $\epsilon/(q_1 - q_3) = a + be$ で整理した。その結果 $\epsilon = K(q_1 - q_3)^n$ の関係より $K \approx 1$ であることが示された。 a は q_3 に影響されることが示された。

2) 試料および実験方法

今回用いた砂試料は、標準砂、人工砂(数種の珪砂の混合砂)の2種類である。注入材は、アルカリ懸濁液を用いた。A液は1号水ガラス、B液は小野田微粉末セメントを使用した。ゲルタイムは約7minであった。モールドは $\phi = 50\text{mm}$ $H = 100\text{mm}$ のものを用いた。標準砂および人工砂のみの密度は、それぞれ 1.5g/cc 、 2.07g/cc になるような量に注入材を混合し、モールドに詰めた。注入材の量は、標準砂については、注入率20%、30%、40%に相当する量、人工砂については、注入率10%、15%、20%に相当する量を混ぜ、それぞれ3種類の試料を作成した。これら試料に対し、圧裂引張り試験、一軸圧縮試験、圧裂非排水三軸圧縮試験を行った。荷重はヒズミ制御速度の0.1%で行った。

3) 試験結果と検討

3-1 軸差応力 $(q_1 - q_3)_f$ と平均有効応力 $\bar{\sigma}_m$ による破壊規準 文献2の足立、文献3の吉中の破壊規準において、基本的には、両式とも軸差応力と平均有効応力で整理している。なお足立は圧縮強度のみ、吉中は圧裂引張り強度も考慮している。式を参考にして圧裂引張り試験、

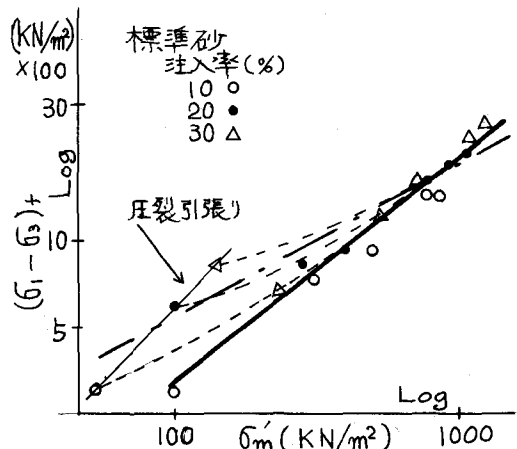


図-1 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ と $\bar{\sigma}_m$ の関係

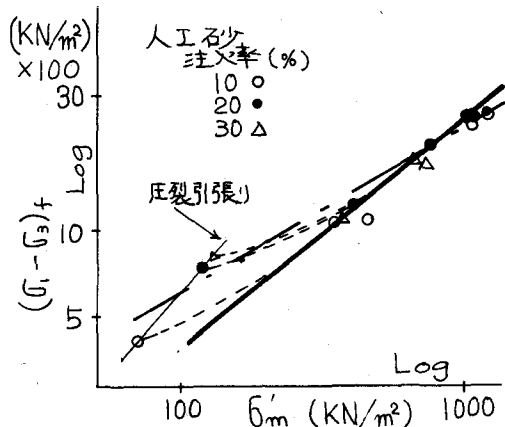


図-2 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ と $\bar{\sigma}_m$ の関係

一軸、三軸試験結果を $(\sigma_1 - \sigma_3) = a(\sigma_m)^b$ で整理した。結果を図-1、図-2に示す。図の太い実線で示されるように、圧縮強度については、注入率にかかわらず一本の線で示すことができた。これにより $(\sigma_1 - \sigma_3)$ と σ_m で整理すれば、同じ材料なら注入率(強度)にかかわらず一本の線で表わす可能性を見いだした。引張り圧裂を考慮した場合、右中の式によれば、 $a \approx 1$ の岩については、引張り、圧縮強度を同一の線で示すことができるとされている。この考えを基にして引いた一点鎖線を図-1、2に示す。また右中によれば加熱処理して人工的に風化させた花崗岩の圧縮、引張り強度は、それぞれほぼ平行な線になることも報告されている。その詳細は不明とされている。

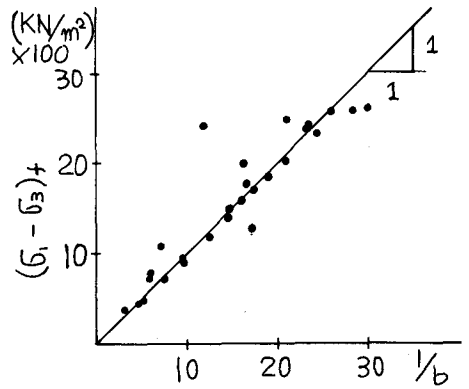


図-3 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ と σ_3 の関係

・今回行われた固結工に対し、引張り圧縮を別に考えると、同じく2本の線になることが図-1、2より明らかである。しかし、圧縮と引張り強度には図-1、2に点線で示されるような関連性があると推測してみた。右中、足立の破壊規準を数式で表わすと $y = ax^b$ の形になり $x = 0$ の時 $y = 0$ となり、引張り強度を0と仮定している。図-1、2のような関連があるとすれば $y = a(x + b)^b$ の形で整理でき、引張り強度も考慮することができる。参考までに $(\sigma_1 - \sigma_3) = a(\sigma_m + b)^b$ の a 、 b 、 β を計算し、1例を表-1に示す。図-1、2の点線は a 、 b 、 β の計算値をプロットしたものである。足立によれば、先行履歴応力以下の拘束圧のもとでは、残留強度は下限値、ピーク値は最大値を与えるもので岩盤の取り得る強度はこの範囲内であるとしている。これを基に、厳密ではないが、図-1、2の太線は残留強度、圧裂引張り強度はピーク値と考えることもできる。

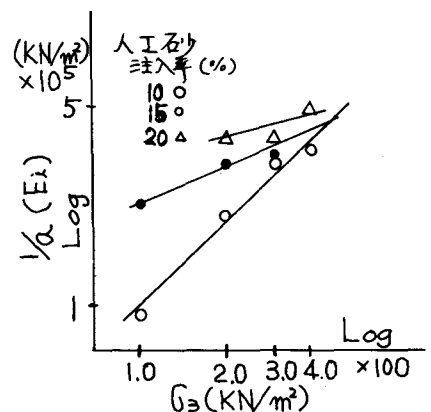


図-4 $1/a$ と σ_3 の関係

3-2 応力-ひずみ曲線

今回実験された固結供試体の応力-ひずみ曲線を Kondner が提案している $(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{E}{a + bE}$ の双曲線に近似してみた。その結果、 $1/a$ と $(\sigma_1 - \sigma_3)$ について、人工砂、標準砂、 σ_3 の区別なくプロットした。図-3に示す。Kondner⁵⁾によれば

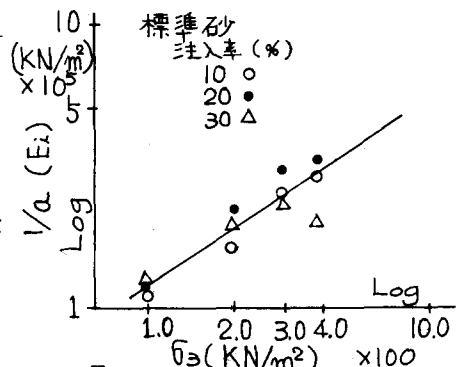


図-5 $1/a$ と σ_3 の関係

$(\sigma_1 - \sigma_3) = K$ となる関係が示されている。今回の実験結果でも同様の関連が見られ $K \approx 1$ となった。これより今回の試料については、 $1/a$ を $(\sigma_1 - \sigma_3)$ で推定できることがわかった。 a については、 $1/a$ (初期ヤング率になる) と σ_3 との関連をプロットしたのを図-4、5に示す。 $1/a$ は σ_3 に影響され、 $1/a = \alpha \sigma_3^\beta$ なる関連がみられる。人工砂においては注入材量により α および β の値が異なっている。しかし σ_3 が大きくなると一点に集約される傾向を示している。これより σ_3 を大きくした場合一本の線で表わすことができると思われる。標準砂については人工砂ほど顕著な変化はみられない。ラフな見方をすれば一本の線で表わすことができそうである。

表-1

	a	b	β
人工砂(20%)	2.668	2.0	0.884
標準砂(30%)	2.655	1.7	0.821

参考文献 1) 東京建設大学土木工学部 1970. 2) 足立、小川、土木学会論文報告集、第285号. 3) 吉中、山辺、土木学会論文報告集、第285号. 4) 仲野、田中、土木学会論文報告集、第285号. 5) Robert L. Kondner, A.S.C.E. 1963, 8M1