

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4691663号
(P4691663)

(45) 発行日 平成23年6月1日(2011.6.1)

(24) 登録日 平成23年3月4日(2011.3.4)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 3/00 (2006.01)
 GO 1 N 3/00 E
 GO 1 N 3/00 D

請求項の数 7 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-169367 (P2006-169367) (22) 出願日 平成18年6月19日 (2006.6.19) (65) 公開番号 特開2007-333707 (P2007-333707A) (43) 公開日 平成19年12月27日 (2007.12.27) 審査請求日 平成21年1月16日 (2009.1.16)</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成18年2月21日 社団法人 土木学会西部支部発行の「平成17年度 土木学会西部支部研究発表会 講演概要集」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 504258527 国立大学法人 鹿児島大学 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号</p> <p>(74) 代理人 100090273 弁理士 園分 孝悦</p> <p>(72) 発明者 三隅 浩二 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内</p> <p>審査官 ▲高▼見 重雄</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 土質材料の評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

せん断開始時点の比体積 v_0 と平均主応力 p' の異なる複数の三軸せん断試験を実施する手順と、

比体積 v (土粒子の体積を1としたときの土全体の体積)、三軸供試体がせん断中に圧縮から膨張に転ずるときまでに発生した体積ひずみ量 v_{max} とし、試験結果 B、C において $(v_{max})_B = (v_{max})_C$ ならば $(v)_B + (\ln p')_B = (v)_C + (\ln p')_C$ が成り立つとして、圧縮指数 を下式

$$= ((v)_B - (v)_C) / ((\ln p')_C - (\ln p')_B)$$

により求める手順とを有することを特徴とする土質材料の評価方法。

10

【請求項2】

前記三軸せん断試験は、平均主応力一定排水三軸せん断試験であることを特徴とする請求項1に記載の土質材料の評価方法。

【請求項3】

前記三軸せん断試験に先立って、三軸供試体に載荷と除荷を繰り返す静的載荷による攪乱を与えることを特徴とする請求項1又は2に記載の土質材料の評価方法。

【請求項4】

前記繰り返し載荷を被った三軸供試体から得られた一連の試験結果(第1グループの試験結果)より、土質材料の弾塑性パラメータとして、限界状態パラメータ M 及、ポアソン比 ν 、圧縮指数、膨潤指数、及び正規圧密線の位置を決めるパラメータ N を求め

20

ることを特徴とする請求項3に記載の土質材料の評価方法。

【請求項5】

前記第1グループの試験結果より求められた弾塑性パラメータを用いて、式(3)の降伏関数 $F = 0$ より、上負荷面と正規降伏面の大きさの比 $R^* = p_y' \text{ 正規降伏面} / p_y' \text{ 上負荷面} = R^*_0 = 1$ 、 $U^* = dR^* / d\sigma_s^p = 0$ として、式(5)、(6)を用いて上負荷面と下負荷面の大きさの比 $R = p_y' \text{ 下負荷面} / p_y' \text{ 上負荷面}$ を求める手順と、

体積ひずみ増分 $d\varepsilon_v$ 、せん断ひずみ増分 $d\varepsilon_s$ 、平均主応力増分 $d\sigma_p'$ 、軸差応力増分 $d\sigma_q$ 、 $D = (\sigma_p' - \sigma_q) / (M \sigma_v_0)$ 、 $\lambda = 1 - \nu / \lambda$ 、 $N' = 3(1 - 2\nu) / (1 + \nu)$ 、 $\sigma_p' = d\sigma_v^p / d\sigma_s^p = (M^2 - \eta'^2) / (2\lambda)$ 、平均主応力 σ_p' 、応力比 $\lambda' = q / p'$ とした弾塑性構成式(1)、(2)、(4)を前記第1グループの試験結果にあてはめることにより、もしくは式(7)を用いて、 R の変化率 $U = dR / |d\sigma_p^p| = dR / ((d\sigma_v^p)^2 + (d\sigma_s^p)^2)^{0.5}$ を決定する手順とを有することを特徴とする請求項4に記載の土質材料の評価方法。

【数1】

$$d\varepsilon_v = DM \{ (1/\lambda - 1) d\sigma_p' + m(\psi d\sigma_p' + d\sigma_q) / (\psi + \eta') \} / p' \quad (1)$$

$$d\varepsilon_s = DM \{ (2(1/\lambda - 1) d\sigma_q / (3N') + m(d\sigma_p' + d\sigma_q / \psi) / (\psi + \eta') \} / p' \quad (2)$$

$$F = DM \{ \ln(p' / p_{y0}') + \ln[(M^2 + \eta'^2) / M^2] - \ln(R / R_0) + \ln(R^* / R_0^*) \} - \varepsilon_v^p = 0 \quad (3)$$

$$1/m = 1 + DM \{ U(1 + (1/\psi^2))^{0.5} / R - U^* / \psi / R^* \} \quad (4)$$

$$p_y' \text{ 上負荷面} = \exp \{ (N - \nu - \kappa \ln p') / (\lambda - \kappa) \} \quad (5)$$

$$p_y' \text{ 下負荷面} = p'(M^2 + \eta'^2) / M^2 \quad (6)$$

$$U = \psi \cdot \{ d(1np_y' \text{ 下負荷面}) / d(1np_y' \text{ 上負荷面}) - 1 \} R / DM / (\psi^2 + 1)^{0.5} \quad (7)$$

【請求項6】

前記第1グループの試験結果より求められた弾塑性パラメータ、前記 $U \sim R$ 関係及び繰り返し載荷を伴わない三軸供試体から得られた第2グループの試験結果を用いて、式(3)の降伏関数 $F = 0$ より、上負荷面と正規降伏面の大きさの比 R^* を求める手順と、

弾塑性構成式(1)、(2)、(4)を第2グループの試験結果にあてはめることにより、 R^* の変化率 U^* を決定する手順とを有することを特徴とする請求項5に記載の土質材料の評価方法。

【請求項7】

弾塑性構成式(1)、(2)に一次元圧縮条件を導入して得られた式(8)と $\lambda = (M^2 - \eta'^2) / 2\lambda$ を同時に満たす $\lambda = \lambda_{k0}$ より、地盤の初期状態を表わす静止土圧係数 $K_0 = (3 - \lambda_{k0}) / (2\lambda_{k0} + 3)$ を決定することを特徴とする請求項6に記載の土質材料の評価方法。

【数 2】

$$\phi = 3\{(1/\Lambda - 1)(1 - n'/N')/m + 1\}^{-1/2} \quad \text{-----} \quad (8)$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、三軸せん断試験による土質材料の評価方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

圧縮指数は、粘性土の場合、標準圧密試験で求めた正規圧密線より決定することが一般的である。ところが、砂質土の場合、砂質土の正規圧密線を求めるために異常に高い圧力が必要となり（非特許文献1を参照）、このような異常な高圧に耐えられる試験装置を用いることは一般的ではない。また、このような異常な高圧が作用している現場は杭の先端ぐらいに限られ、やはり砂質土の場合、正規圧密線より圧縮指数を決定する方法は一般的でない。

【0003】

本願発明者等は、非特許文献2において、三軸せん断試験結果より砂質土の圧縮指数を決定する方法を提案している。すなわち、正規圧密線と限界状態線の式は、比体積 v 、平均主応力 p' として、それぞれ $v = N - \ln p'$ 、 $v = - \ln p'$ と表わされる。ここに N 、 $-$ は $v \sim \ln p'$ 空間における正規圧密線と限界状態線の位置を決める。 $v \sim \ln p'$ 空間では、正規圧密線と限界状態線は互いに平行で、その傾きが圧縮指数である。 $v \sim \ln p'$ 空間において、正規圧密線と限界状態線と同じ傾きを持つ平行線 $v = v - \ln p'$ を無数に引くことができる。 v はダイレイタンスー特性に関わるパラメータである。このとき $v = v + \ln p'$ は N 、同様それぞれの線の位置を決める（非特許文献1を参照）。

20

【0004】

通常の応力レベルにおける砂質土の三軸せん断試験結果では $v <$ となることが多い。そこで、せん断開始時点の比体積 v_0 と平均主応力 p' の異なる複数の三軸せん断試験を実施して、ピーク破壊時の応力比 σ_{peak}' の等しい試験結果B、Cを得ることができれば、次の考え方により圧縮指数を決定することができる。すなわち、 $(\sigma_{peak}')_B = (\sigma_{peak}')_C$ ならば $(v)_B = (v)_C$ である。 $v = v + \ln p'$ より、 $(v)_B + (\ln p')_B = (v)_C + (\ln p')_C$ が成り立つ。 v 、 $\ln p'$ はいずれも既知であるので、次式により未知パラメータを決定することができる。

30

$$= ((v)_B - (v)_C) / ((\ln p')_C - (\ln p')_B)$$

【0005】

【非特許文献1】J.H. Atkinson, P.L. Bransby, The Mechanics of Soils, McGRAW-HILL Book Company (UK) Limited, pp.235-291, 1978.

【非特許文献2】三隅浩二、秋吉智文ほか、三軸せん断試験による砂質土の圧縮指数の決定、土木学会西部支部研究発表会講演概要集III - 048、pp.463 - 464、2006.3.

40

【非特許文献3】中井健太郎、構造・過圧密・異方性の発展則に基づく土の弾塑性構成式の開発とその粘土、砂、特殊土への適用性に関する基礎的研究、名古屋大学学位論文、pp.1 - 65、2005.3

【非特許文献4】三隅浩二、木村裕樹ほか、三軸せん断試験による砂質土の静止土圧係数の決定、平成18年度土木学会全国大会第60回年次学術講演会講演概要集3 - 081、pp.161 - 162、2005.9.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 6 】

地盤の変形・破壊予測を行うためには、事前に地盤を構成する土質材料の弾塑性パラメータを決定し、過圧密解消と構造喪失のメカニズムを正しく評価しておくことが必要である。

【 0 0 0 7 】

上述したように、本願発明者等はピーク破壊時のデータより圧縮指数 を決定する方法を提案しているが、ピーク破壊は破壊の始まりであり、端面拘束の影響もあって三軸供試体はかなりの不均質な状態にあるものと考えられる。この三軸供試体の不均質性を考慮すると、ピーク破壊時の試験結果を用いる方法には精度の問題が残ってしまう。

【 0 0 0 8 】

また、体積膨張が顕著なために応力比 p_{peak} とそのときの比体積 v の値を決めにくい等の不都合も考えられる。

【 0 0 0 9 】

本発明は上記のような点に鑑みてなされたものであり、三軸供試体が比較的均質な状態であると考えられる応力レベルで、圧縮指数 をはじめとする土質材料の弾塑性パラメータを決定できるようにすることを目的とする。さらには、構造喪失や過圧密解消のメカニズムを評価できるようにすることを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

本発明による土質材料の評価方法は、せん断開始時点の比体積 v_0 と平均主応力 p の異なる複数の三軸せん断試験を実施する手順と、比体積 v (土粒子の体積を1としたときの土全体の体積)、三軸供試体がせん断中に圧縮から膨張に転ずるときまでに発生した体積ひずみ量 v_{max} とし、試験結果 B、C において $(v_{max})_B = (v_{max})_C$ ならば $(v)_B + (\ln p)_B = (v)_C + (\ln p)_C$ が成り立つとして、圧縮指数 を下式

$$= ((v)_B - (v)_C) / ((\ln p)_C - (\ln p)_B)$$

により求める手順とを有する点に特徴を有する。

また、本発明による土質材料の評価方法の他の特徴とするところは、前記三軸せん断試験は、平均主応力一定排水三軸せん断試験である点にある。

また、本発明による土質材料の評価方法の他の特徴とするところは、前記三軸せん断試験に先立って、三軸供試体に載荷と除荷を繰り返す静的載荷による攪乱を与える点にある。

また、本発明による土質材料の評価方法の他の特徴とするところは、前記繰り返し載荷を被った三軸供試体から得られた一連の試験結果(第1グループの試験結果)より、土質材料の弾塑性パラメータとして、限界状態パラメータ M 及、ポアソン比 ν 、圧縮指数、膨潤指数、及び正規圧密線の位置を決めるパラメータ N を求める点にある。

また、本発明による土質材料の評価方法の他の特徴とするところは、前記第1グループの試験結果より求められた弾塑性パラメータを用いて、式(3)の降伏関数 $F = 0$ より、上負荷面と正規降伏面の大きさの比 $R^* = p_y$ 正規降伏面 / p_y 上負荷面 = $R^*_0 = 1$ 、 $U^* = dR^* / d_s^p = 0$ として、式(5)、(6)を用いて上負荷面と下負荷面の大きさの比 $R = p_y$ 下負荷面 / p_y 上負荷面 を求める手順と、体積ひずみ増分 d_v 、せん断ひずみ増分 d_s 、平均主応力増分 d_p 、軸差応力増分 d_q 、 $D = (\quad) / (M v_0)$ 、 $= 1 - \quad / \quad$ 、 $N = 3(1 - 2 \quad) / (1 + \quad)$ 、 $= d_v^p / d_s^p = (M^2 - \quad^2) / (2 \quad)$ 、平均主応力 p 、応力比 $\nu = q / p$ とした弾塑性構成式(1)、(2)、(4)を前記第1グループの試験結果にあてはめることにより、もしくは式(7)を用いて、 R の変化率 $U = dR / ||d^p|| = dR / ((d_v^p)^2 + (d_s^p)^2)^{0.5}$ を決定する手順とを有する点に特徴を有する。

【 0 0 1 1 】

10

20

30

40

【数 1】

$$d\varepsilon_v = DM \left\{ (1/\lambda - 1) dp' + m(\psi dp' + dq) / (\psi + \eta') \right\} / p' \quad \text{----- (1)}$$

$$d\varepsilon_s = DM \left\{ (2(1/\lambda - 1) dq / (3N') + m(dp' + dq/\psi) / (\psi + \eta') \right\} / p' \quad \text{----- (2)}$$

$$F = DM \left\{ \ln(p'/p_{y0}') + \ln[(M^2 + \eta'^2)/M^2] - \ln(R/R_0) + \ln(R^*/R_0^*) \right\} - \varepsilon_v^p = 0 \quad \text{----- (3)}$$

$$1/m = 1 + DM \left\{ U(1 + (1/\psi^2))^{0.5} / R - U^* / \psi / R^* \right\} \quad \text{----- (4)} \quad 10$$

$$P_{y'}'_{\text{上負荷面}} = \exp \left\{ (N - v - \kappa \ln p') / (\lambda - \kappa) \right\} \quad \text{----- (5)}$$

$$P_{y'}'_{\text{下負荷面}} = p'(M^2 + \eta'^2) / M^2 \quad \text{----- (6)}$$

$$U = \psi \cdot \left\{ d(1 \ln p'_{\text{下負荷面}}) / d(1 \ln p'_{\text{上負荷面}}) - 1 \right\} R / DM / (\psi^2 + 1)^{0.5} \quad \text{----- (7)} \quad 20$$

【0012】

また、本発明による土質材料の評価方法の他の特徴とするところは、前記第1グループの試験結果より求められた弾塑性パラメータ、前記U～R関係及び繰り返し載荷を伴わない三軸供試体から得られた第2グループの試験結果を用いて、式(3)の降伏関数F=0より、上負荷面と正規降伏面の大きさの比R*を求める手順と、弾塑性構成式(1)、(2)、(4)を第2グループの試験結果にあてはめることにより、R*の変化率U*を決定する手順とを有する点にある。

また、本発明による土質材料の評価方法の他の特徴とするところは、弾塑性構成式(1)、(2)に一次元圧縮条件を導入して得られた式(8)と $\psi = (M^2 - \eta'^2) / 2 \eta'$ を同時に満たす $\eta' = \eta'_{k0}$ より、地盤の初期状態を表わす静止土圧係数 $K_0 = (3 - \eta'_{k0}) / (2 \eta'_{k0} + 3)$ を決定する点にある。 30

【0013】

【数 2】

$$\psi = 3 \left\{ (1/\lambda - 1) (1 - \eta' / N') / m + 1 \right\}^{-1} / 2 \quad \text{----- (8)}$$

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、三軸供試体がせん断中に圧縮から膨張に転ずるときの試験結果より土質材料の弾塑性パラメータを決定するので、三軸供試体が比較的均質な状態であると考えられる応力レベルで、圧縮指数 ψ をはじめとする土質材料の弾塑性パラメータを決定することができる。さらには、R～U関係を求めることにより過圧密解消のメカニズムを評価することができ、R*～U*関係を求めることにより構造喪失のメカニズムを評価することができる。また、地盤の初期の応力状態を表わす静止土圧係数K₀も決定することができる。 40

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態について説明する。まずはシラスの圧縮指数の決定方法について説明し、次に構造喪失と過圧密解消のメカニズムの評価方 50

法について説明する。

【0016】

<シラスの圧縮指数の決定>

以下の説明において、比体積 $v = V$ (土全体の体積) / V_s (土粒子の体積)、体積ひずみ $v_v = (v$ (せん断中の比体積) - v_0 (せん断開始時点の比体積)) / v_i (初期状態の比体積)、せん断ひずみ $s = a - v/3$ 、軸ひずみ $a = (H$ (せん断中の高さ) - H_0 (せん断開始時点の高さ)) / H_i (初期状態の高さ) である。ここで、比体積 (specific volume) とは、土粒子の体積を 1 としたときの土全体の体積のことである。土は土粒子と間隙からなるが、土全体の体積を V 、土粒子の体積を V_s 、間隙の体積を V_v とすると、上記のように比体積 $v = V/V_s$ と表わされる。間隙比 $e = V_v/V_s$ はよく知られたパラメータ 10 であるが、 $v = 1 + e$ の関係がある。なお、 v は体積比と称される場合もある。

【0017】

本発明では、三軸供試体が比較的均質な状態であると考えられる応力レベルで、圧縮指数 を決定する。すなわち、三軸供試体がせん断中に圧縮から膨張に転ずるときまでに発生した体積ひずみ量 v_{max} に着目して、 $(v_{max})_B = (v_{max})_C$ ならば $(v)_{max} = (v)_{max}$ として圧縮指数 を決定する。以下、シラスの三軸せん断試験結果より圧縮指数 を決定して、その手法の有効性を検討した。

【0018】

(平均主応力一定三軸排水せん断試験)

試料は、鹿児島県垂水市で採取された山シラスであり、 $850 \mu m$ ふるいを通し $75 \mu m$ ふるいに残留したものを使用した。土粒子の密度 $2.42 g/cm^3$ 、最大間隙比 1.76 、最小間隙比 1.00 である。三軸供試体は試料を水中落下させてモールドに体積したものを凍結して作製した。この供試体の作製に伴うシラス土粒子の構造を消失させるために、いずれの供試体も平均有効主応力 $p' = 0.5 kgf/cm^2$ において平均主応力一定条件で応力比 $\sigma' = q/p' = 1.2$ (q : 軸差応力) までの載荷と除荷を繰り返す静的載荷による攪乱を与えている。繰り返し回数はいずれも 2 回とした。

【0019】

図 1、2 は、その静的繰り返し載荷を被った三軸供試体を所定の圧力まで等方圧縮した後、平均主応力一定条件で三軸排水せん断試験した結果を示す。図 1 は $p' = 1.0 kgf/cm^2$ の場合の応力比 $\sigma' \sim$ せん断ひずみ s 関係 (図 1 (a))、並びに、体積ひずみ $v_v \sim$ せん断ひずみ関係 s (図 1 (b)) (試験 1 ~ 6) を、図 2 は $p' = 2.0 kgf/cm^2$ の場合の試験結果 (試験 7 ~ 13) を示す (図 2 (a)、2 (b))。 30

【0020】

(圧縮指数 の決定)

既述したように、 $(\sigma'_{peak})_B = (\sigma'_{peak})_C$ ではなく、三軸供試体がせん断中に圧縮から膨張に転ずるときまでに発生した体積ひずみ量 v_{max} に着目して、 $(v_{max})_B = (v_{max})_C$ ならば $(v)_{max} = (v)_{max}$ として圧縮指数 を決定する。

【0021】

図 3 は最大の応力比 σ'_{peak} とそのときの比体積 v の関係を示す。不均質が卓越したためか、平均主応力の違いに関する規則性が見取れず、今回この図より圧縮指数 を決定 40 することができなかった。

【0022】

図 4 は圧縮から膨張に転ずるときの体積ひずみ量 v_{max} とそのときの比体積 v の関係を示す。 $p' = 1.0 kgf/cm^2$ と $p' = 2.0 kgf/cm^2$ のデータのそれぞれに直線をあてはめている。これらの直線の隔たりが $(v)_B - (v)_C$ となっている。実のところこれら 2 直線は平行でない、最大の体積ひずみ量 v_{max} と最小の体積ひずみ量 v_{min} の中間の $v_{max} = 0.00383$ で $(v)_B - (v)_C$ を決定した。結局、 $\sigma' = ((v)_B - (v)_C) / ((\ln p')_C - (\ln p')_B) = 0.390$ が得られた。

【0023】

図 5 のプロットは各試験で得られた圧縮から膨張に転ずるときの d' / d_s とそのと 50

きの v の関係を示す。右下がりの直線はプロットに線形最小二乗法を適用して得たものである。この直線を用いて $d \sigma' / d v_s = 0$ のときの v の値より限界状態線の位置を決めるパラメータ $\alpha = 3.02$ を決定することができた。

【0024】

図6のプロットはせん断試験結果を $v \sim \ln p'$ 空間に示したものである。2つの実線は今回の解析で得られた限界状態線 601 ($v = \alpha - \ln p'$) と、 $v_{max} = 0.00383$ すなわち $v = 2.43$ のときの平行線 602 ($v = v_{max} - \ln p'$) を示している。

【0025】

< 構造喪失と過圧密解消のメカニズム >

平均主応力一定排水三軸せん断試験結果より、シラスの構造喪失及び過圧密解消のメカニズムを測定した。まず、繰り返し載荷を被った供試体から得られた一連の試験結果（第1グループの試験結果）を構造の消滅したシラスの試験結果とみなして、弾塑性パラメータ並びに過圧密解消のメカニズムを測定した。

【0026】

次に、この第1グループの試験結果と、繰り返し載荷を伴わない一連の試験結果（第2グループの試験結果）より、せん断開始時点の比体積 v_0 と平均主応力 p' が略一致する試験結果を探し出し、両者を比較することにより構造喪失のメカニズムを測定することを試みた。第1のグループと第2のグループとで、せん断開始時点の比体積 v_0 と平均主応力 p' が略一致するという事は、せん断開始時点において、供試体と同じ状態で、構造があるものと、構造がないものを取り出したということである。

【0027】

(三軸せん断試験の概要)

図7は、平均主応力一定排水三軸せん断試験の概要を示す。上述したと同様に、供試体の構造を消滅させるため、平均有効主応力 $p' = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ で応力比 $\sigma'/p' = q/p' = 1.20$ までの載荷と除荷を2サイクル繰り返した。その後、所定の拘束圧まで等方圧縮して平均主応力一定排水三軸せん断試験を実施することにより、計13個のシラス供試体の試験結果（第1グループの試験結果）を得ることができた。繰り返し載荷における応力比 $\sigma'/p' = 1.20$ は、供試体がせん断中圧縮から膨張に転ずるところの応力比 $M = 1.28$ （計15個のシラス供試体による第2グループの試験結果の平均値）よりも僅かに小さな値となっている。

【0028】

図8はせん断開始時点の比体積 v_0 が略一致している第1グループの試験結果（構造なし）($v_0 = 2.10$ 、 $p' = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$) と第2グループの試験結果（構造あり）($v_0 = 2.11$ 、 $p' = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$) の応力～ひずみ曲線の比較を示している。この図より、繰り返し載荷を被った試験結果は、繰り返し載荷を伴わない試験結果よりもせん断強度が小さいことやダイレイタンシー挙動に大きな相違があることが見て取れる。

【0029】

(繰り返し載荷を被ったシラスの過圧密解消のメカニズム)

下負荷面並びに上負荷面の考え方（非特許文献3）を反映させた弾塑性構成式、式(1)～式(4)を第1グループの試験結果にあてはめることにより、シラスの弾塑性パラメータと過圧密解消のメカニズムを決定する。ただし、ここでは上負荷面と正規降伏面の大きさの比 $R^* = R^*_0 = 1$ 、 R^* の変化率 $U^* = 0$ としている。

【0030】

10

20

30

40

【数3】

$$d\varepsilon_v = DM \left\{ (1/\lambda - 1) dp' + m(\psi dp' + dq) / (\psi + \eta') \right\} / p' \quad \text{----- (1)}$$

$$d\varepsilon_s = DM \left\{ (2(1/\lambda - 1) dq / (3N') + m(dp' + dq/\psi) / (\psi + \eta') \right\} / p' \quad \text{----- (2)}$$

$$F = DM \left\{ \ln(p'/p_{y0}') + \ln[(M^2 + \eta'^2)/M^2] - \ln(R/R_0) + \ln(R^*/R_0^*) \right\} - \varepsilon_v^p = 0 \quad \text{----- (3)}$$

$$1/m = 1 + DM \left\{ U(1 + (1/\psi^2))^{0.5} / R - U^* / \psi / R^* \right\} \quad \text{----- (4)}$$

10

$$P_{y'}'_{\text{上負荷面}} = \exp \left\{ (N - v - \kappa \ln p') / (\lambda - \kappa) \right\} \quad \text{----- (5)}$$

$$P_{y'}'_{\text{下負荷面}} = p' (M^2 + \eta'^2) / M^2 \quad \text{----- (6)}$$

$$U = \psi \cdot \left\{ d(1np'_{\text{下負荷面}}) / d(1np'_{\text{上負荷面}}) - 1 \right\} R / DM / (\psi^2 + 1)^{0.5} \quad \text{----- (7)}$$

20

$$\psi = 3 \left\{ (1/\lambda - 1)(1 - \eta'/N') / m + 1 \right\}^{-1} / 2 \quad \text{----- (8)}$$

【0031】

ここに、 $d\varepsilon_v$ は体積ひずみ増分、 $d\varepsilon_s$ はせん断ひずみ増分、 dp' は平均主応力増分、 dq は軸差応力増分、 $D = (1 - \lambda) / (M v_0)$ 、 $\lambda = 1 - \lambda / \lambda_0$ 、 $N' = 3(1 - 2\lambda') / (1 + \lambda')$ 、 $\kappa = d\varepsilon_v^p / d\varepsilon_s^p = (M^2 - \eta'^2) / (2\eta')$ である。mは式(4)から得られる。

30

【0032】

まず、供試体がせん断中圧縮から膨張に転ずるところ(図9中の矢印X(接線勾配 $d\varepsilon_v / d\varepsilon_s$ が0となるところ))の応力比 λ' より限界状態パラメータ $M = 1.45$ を決定した(図9を参照)。Mは限界状態線の傾きを表わすものである。

【0033】

供試体がせん断中圧縮から膨張に転ずるところの接線勾配 $d\varepsilon_v' / d\varepsilon_v$ の値より弾性挙動に関わるポアソン比 $\lambda' = 0.298$ を決定した。

【0034】

上述した圧縮指数の決定方法を用い、供試体がせん断中圧縮から膨張に転ずるところの体積ひずみ量 $\varepsilon_{v_{max}}$ (プラスで最大)を比体積 v で整理して2直線の隔たりを測ることにより、せん断時に発揮される圧縮指数 $\lambda' = ((v)_B - (v)_C) / ((\ln p')_C - (\ln p')_B) = 0.430$ を決定した。すなわち、図10に示すように、体積ひずみ量 $\varepsilon_{v_{max}}$ と比体積 v との特性図より、 $p' = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ と $p' = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ のそれぞれの近似曲線を求め、体積ひずみ量 $\varepsilon_{v_{max}}$ の最大値と最小値の中間の値と交わる2点より、比体積 v の値が2つ取れる($(v)_B = 2.4305117$ 、 $(v)_C = 2.130609$)。そして、 $(\ln 1, 2.4305117)$ 及び $(\ln 2, 2.130609)$ を通る直線を考えて、その傾きから圧縮指数 $\lambda' = 0.430$ が得られる。

40

【0035】

供試体がせん断中圧縮から膨張に転ずるところの接線勾配 $d\varepsilon_v' / d\varepsilon_s$ を $v = v +$

50

$\ln p'$ で整理することにより、接線勾配 d' / d_s が 0 に至るところの v の値、すなわち限界状態線の位置を決めるパラメータ $N = 2.99$ を決定した (図 11 を参照)。

【0036】

膨潤指数 $\mu = 0.00273$ は等方除荷して直接求めた。

【0037】

正規圧密線の位置を決めるパラメータ $N = 3.28$ は、 $N = \ln 2$ より決定した。

【0038】

一方、上負荷面と下負荷面の大きさの比 $R = p_y'$ 下負荷面 / p_y' 上負荷面の変化を式 (5)、(6) より求めた (図 12 を参照)。なお、 R は式 (3) の降伏関数 $F = 0$ から

10

も求めることができる。式 (3) は、カムクレイモデルの正規降伏面の降伏関数に、上負荷面と下負荷面の大きさの比 $R = p_y'$ 下負荷面 / p_y' 上負荷面と、上負荷面と正規降伏面の大きさの比 $R^* = p_y'$ 正規降伏面 / p_y' 上負荷面とを導入したものである。

【0039】

上負荷面と下負荷面の大きさの比 $R = p_y'$ 下負荷面 / p_y' 上負荷面は過密圧の程度 ($1/R$ は過圧密比に相当) を表わし、上負荷面と正規降伏面の大きさの比 $R^* = p_y'$ 正規降伏面 / p_y' 上負荷面は構造の程度を表わす。そして、構造が消滅された第 1 グループの試験結果を用い、式 (3) において $R^* = R_0^* = 1$ 、 $U^* = 0$ とした式より R を求めることができる。

【0040】

20

また、 R の変化率 U の変化は実験結果及び式 (7) によって決定した。得られた過圧密解消のメカニズム ($U \sim R$ 関係) を図 13 に示す。ここに、 $U = dR / ||d^p|| = dR / ((d_{v^p})^2 + (d_{s^p})^2)^{0.5}$ 、 $U^* = dR^* / d_{s^p}$ である。なお、 U は実験結果及び式 (1) (もしくは式 (2)) より求めた m を式 (4) に用いて決定することができる。

【0041】

(供試体作製時につくられた構造のせん断試験時における喪失、消滅)

図 8 に示す第 2 グループの試験結果よりシラス供試体の構造喪失のメカニズムを測定する。上で決定した弾塑性パラメータと過圧密解消のメカニズムをそのまま利用して、上記のようにして求められた R を用いて、式 (3) を使って R^* の変化を決定した (図 14 を参照)。このように構造のない場合の R と構造のある場合の R^* を同じ式で使うことから

30

【0042】

、既述したように、第 1 のグループと第 2 のグループとでせん断開始時点の比体積 v_0 と平均主応力 p' が略一致するものを取り出したものである。また、 R^* の変化率 U^* の変化は試験結果及び式 (1) (もしくは式 (2)) でもよいより求めた m を式 (4) に用いて測定した、得られた構造喪失のメカニズム ($U^* \sim R^*$ 関係) を図 15 に示す。

40

【0043】

図 16 は、以上述べた構造喪失と過圧密解消のメカニズムの測定のための処理を簡単に説明するためのフローチャートである。繰り返し載荷を被った三軸供試体から得られた一連の試験結果 (第 1 グループの試験結果) より、土質材料の弾塑性パラメータとして、限界状態パラメータ M 及び、ポアソン比 ν' 、圧縮指数 λ 、膨潤指数 μ 、正規圧密線の位置を決めるパラメータ N を求める (ステップ S101)。

【0044】

第 1 グループの試験結果より求められた弾塑性パラメータを用いて、式 (3) の降伏関数 $F = 0$ より、上負荷面と正規降伏面の大きさの比 $R^* = R_0^* = 1$ 、 $U^* = 0$ とし、上負荷面と下負荷面の大きさの比 R を求める (ステップ S102)。

【0045】

弾塑性構成式 (1)、(2)、(4) を第 1 グループの試験結果にあてはめることにより、 R の変化率 U を決定する (ステップ S103)。

【0046】

第 1 グループの試験結果より求められた弾塑性パラメータ、 $U \sim R$ 関係及び繰り返し載荷を伴わない三軸供試体から得られた第 2 グループの試験結果を用いて、式 (3) の降伏

50

関数 $F = 0$ より、上負荷面と正規降伏面の大きさの比 R^* を求める (ステップ S 1 0 4)。

【 0 0 4 6 】

弾塑性構成式 (1)、(2)、(4) を第 2 グループの試験結果にあてはめることにより、 R^* の変化率 U^* を決定する (ステップ S 1 0 5)。

【 0 0 4 7 】

(解析結果)

図 1 2 よりシラス供試体はせん断開始時に過圧密比 $1/R$ は 1.6 程度、せん断により徐々に過圧密は解消されるがピーク破壊に至っても過圧密比 3 ~ 4 を残し、過圧密解消の速度は遅い。一方、図 1 4 よりせん断開始時に構造の程度 $1/R^*$ は 1.16 程度、せん断が

10

始まってもなかなか構造は喪失しないが、圧縮から膨張に転ずるあたりより急激に喪失して、ピーク破壊時に完全に消滅している ($R^* = 1$)。このことから、試験に用いたシラスは典型的な「砂質土である」と力学的に判断することができる。

【 0 0 4 8 】

構造喪失のメカニズム ($U^* \sim R^*$ 関係) は、特殊土シラスに特有なインターロッキングを示しているものと考えられる。すなわち、過圧密解析のメカニズムと構造喪失のメカニズムを解明することは非特許文献 3 に示されるように、砂質土の詳細な力学特性を解明する道具、すなわち土を力学的に分類するための道具として使うことができる。

【 0 0 4 9 】

有限要素法プログラムで地盤の変形・破壊予測を実施するためには、最後に、地盤の初期応力状態を決定しなければならない。水平方向の有効応力状態は静止土圧係数 K_0 を鉛直有効応力に乗じることで計算できる。そこで、弾塑性構成式に一次元圧縮条件を導入することで、三軸せん断試験結果より決定した弾塑性パラメータ等に基づき、砂質土の静止土圧係数 K_0 を決定することができる (非特許文献 4) (ステップ S 1 0 6)。具体的には、弾塑性構成式 (1)、(2) に一次元圧縮条件を導入して得られた式 (8) と $\sigma' = (\sigma'_v - \sigma'_h)/2$ を同時に満たす $\sigma'_h = \sigma'_v K_0$ より、地盤の初期状態を表わす静止土圧係数 $K_0 = (3 - \sigma'_h / \sigma'_v) / (2 \sigma'_h / \sigma'_v + 3)$ を決定する。

20

【 0 0 5 0 】

土の構成式を見てもわかるように、土のせん断挙動は殆どの弾塑性パラメータが同時に寄与して起きる力学的現象である。したがって、土の状態が限界状態に到達しなくても限界状態パラメータ M を決めることができるし、正規圧密線に至らなくても三軸せん断試験結果より圧縮指数 λ を決定することもできる。もちろん同様に、一次元圧縮試験せずとも三軸せん断試験結果より地盤の初期状態を決める弾塑性パラメータ K_0 を得ることができるわけである。

30

【 0 0 5 1 】

図 1 7 は、本発明による土質材料の評価方法を実施するためのシステム構成例を示す。1 0 0 は三軸せん断試験装置である。三軸せん断試験装置 1 0 0 まわりにおいて、1 0 1 は 2 重管ピュレット、1 0 2 はストップバルブ、1 0 3 は手動レギュレータ、1 0 4 は背圧用圧力計、1 0 5、1 0 6 は電空レギュレータ、1 0 7 は B F シリンダ (下部圧力計)、1 0 8 はロードセル、1 0 9 はダイヤルゲージ、1 1 0 はレーザ変位計、1 1 1 はペロ

40

フラムシリンダである。なお、2 重管ピュレット 1 0 1 のかわりに、電子天びんを用いることも行われている。

【 0 0 5 2 】

また、2 0 0 はデータロガーであり、三軸せん断試験装置から得られるデータを収集する。

【 0 0 5 3 】

また、3 0 0 はパーソナルコンピュータ等の情報処理装置であり、三軸せん断試験装置から得られるデータを用いて、上述した圧縮指数 λ をはじめとする土質材料の弾塑性パラメータを演算し、さらには構造喪失や過圧密解消のメカニズムを演算する。

【 0 0 5 4 】

50

なお、本発明の目的は、上述した各種演算を実現するソフトウェアのプログラムコードを記録した記憶媒体を、システム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（又はCPUやMPU）が記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出し実行することによっても、達成されることは言うまでもない。

【0055】

この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が上述した実施形態の機能を実現することになり、プログラムコード自体及びそのプログラムコードを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。

【0056】

プログラムコードを供給するための記憶媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、CD-R、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROM等を用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】平均主応力一定条件で三軸排水せん断試験した結果を示す特性図である。

【図2】平均主応力一定条件で三軸排水せん断試験した結果を示す特性図である。

【図3】最大の応力比 p_{peak} とそのときの比体積 v の関係を示す特性図である。

【図4】圧縮から膨張に転ずるときの体積ひずみ量 v_{max} とそのときの比体積 v の関係を示す特性図である。

【図5】圧縮から膨張に転ずるときの d' / d_s とそのときの v の関係を示す特性図である。

【図6】せん断試験結果を $v \sim \ln p'$ 空間に示す特性図である。

【図7】平均主応力一定排水三軸せん断試験の概要を示す特性図である。

【図8】せん断開始時点の比体積が略一致している第1グループの試験結果と第2グループの試験結果（構造あり）の応力～ひずみ曲線の比較を示す特性図である。

【図9】応力～ひずみ曲線から限界状態パラメータ M を決定する様子を説明するための図である。

【図10】圧縮から膨張に転ずるときの体積ひずみ量 v_{max} とそのときの比体積 v の関係を示す特性図である。

【図11】 $V \sim d' / d_s$ 特性図より限界状態線の位置を決めるパラメータ M を決定する様子を説明するための図である。

【図12】上負荷面と下負荷面の大きさの比 $R = p_{y'} \text{下負荷面} / p_{y'} \text{上負荷面}$ の変化を示す特性図である。

【図13】過圧密解消のメカニズム（ $U \sim R$ 関係）を示す特性図である。

【図14】上負荷面と正規降伏面の大きさの比 $R^* = p_{y'} \text{正規降伏面} / p_{y'} \text{上負荷面}$ の変化を示す特性図である。

【図15】構造喪失のメカニズム（ $U^* \sim R^*$ 関係）を示す特性図である。

【図16】構造喪失と過圧密解消のメカニズムの測定のための処理を簡単に説明するためのフローチャートである。

【図17】本発明による土質材料の評価方法を実施するためのシステム構成例を示す図である。

【符号の説明】

【0058】

- 100 三軸せん断試験装置
- 200 データロガー
- 300 情報処理装置

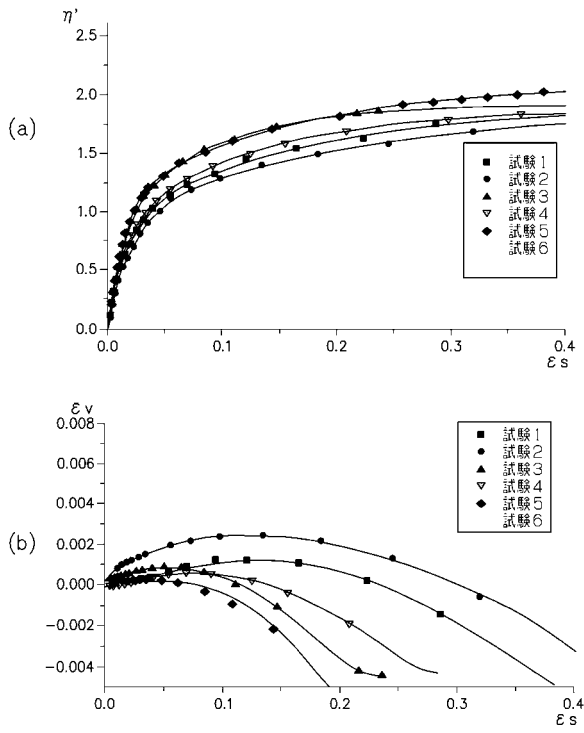
10

20

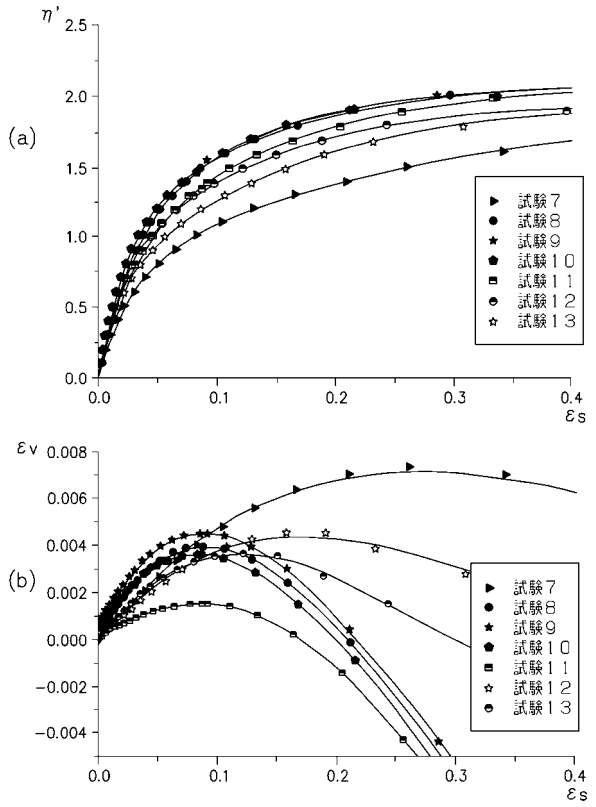
30

40

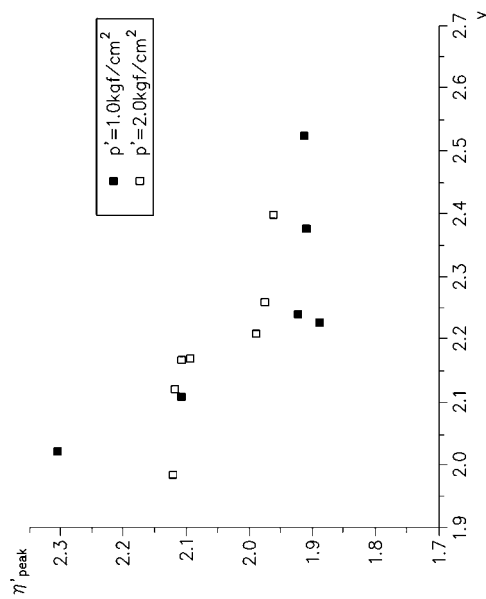
【 図 1 】



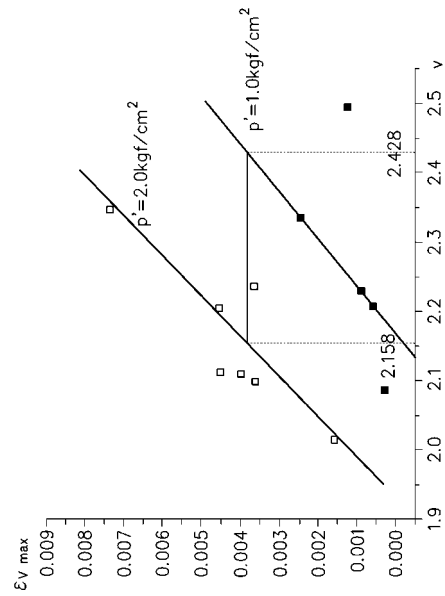
【 図 2 】



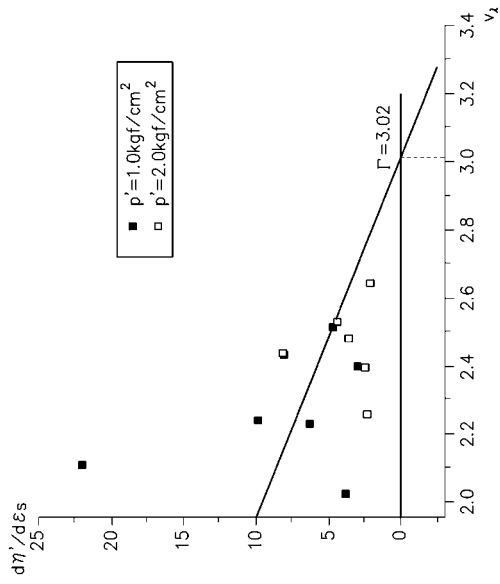
【 図 3 】



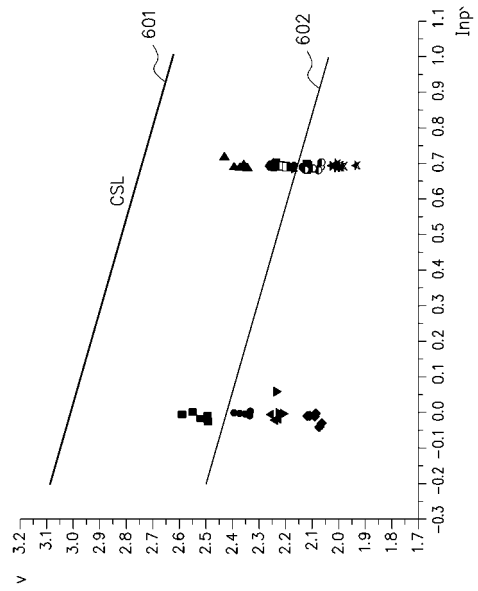
【 図 4 】



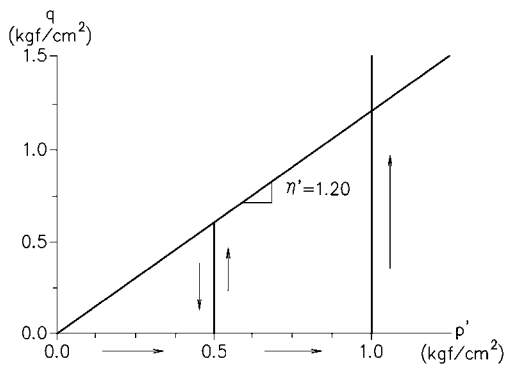
【 図 5 】



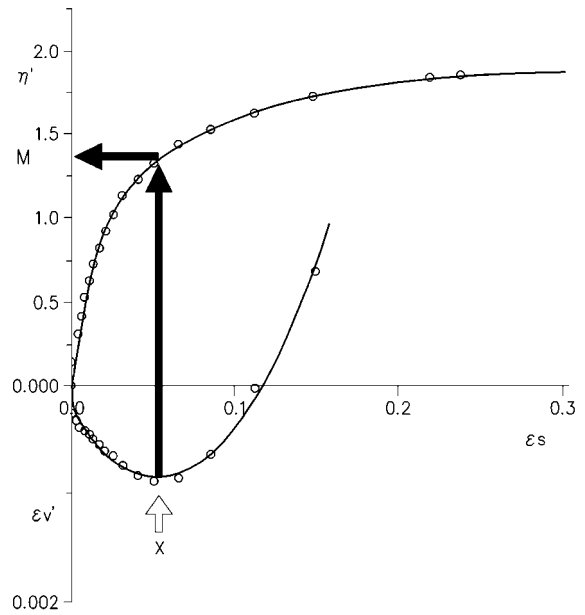
【 図 6 】



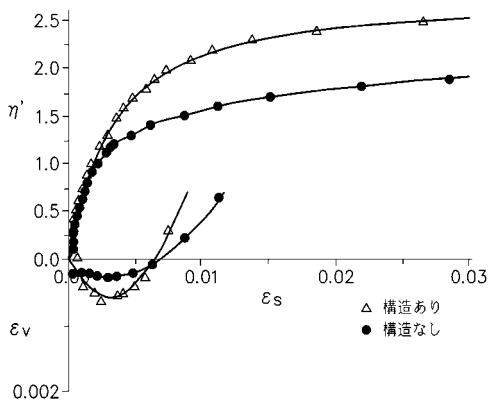
【 図 7 】



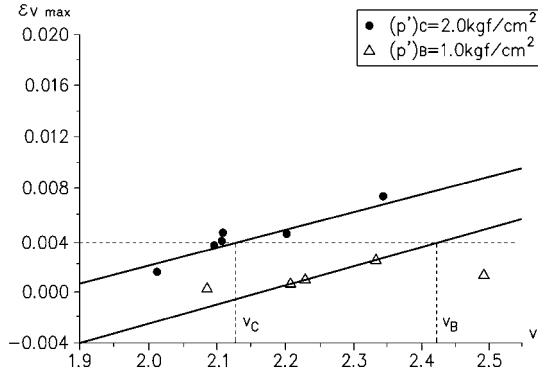
【 図 9 】



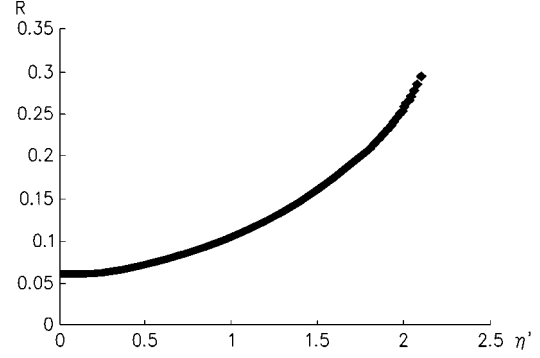
【 図 8 】



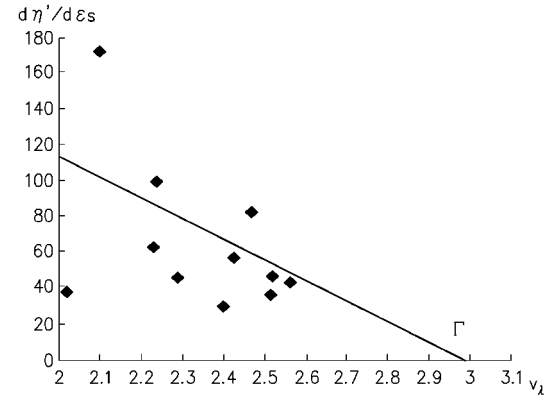
【図10】



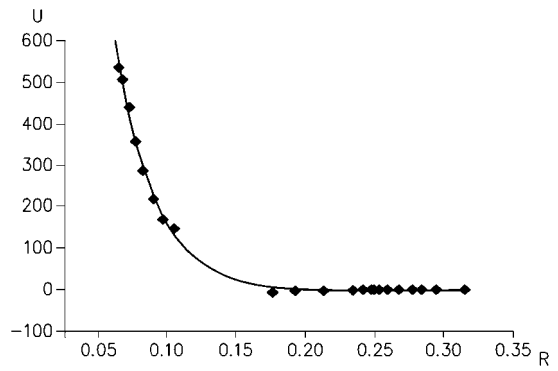
【図12】



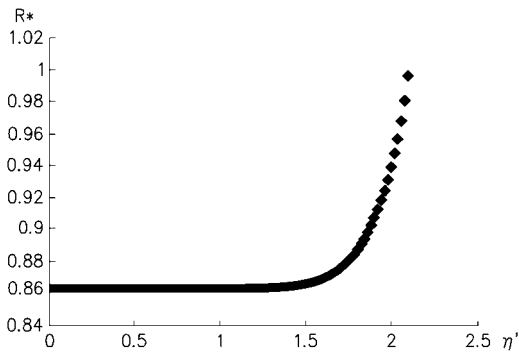
【図11】



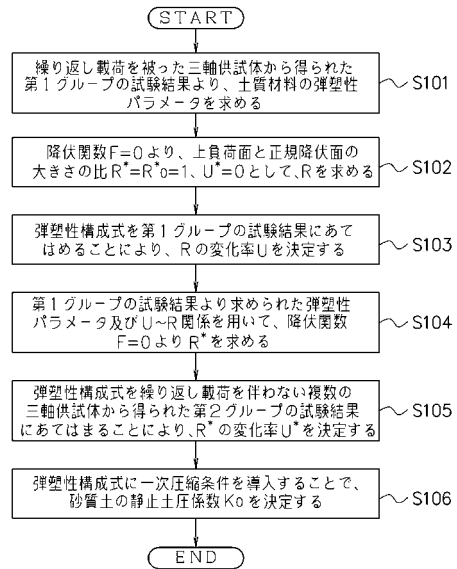
【図13】



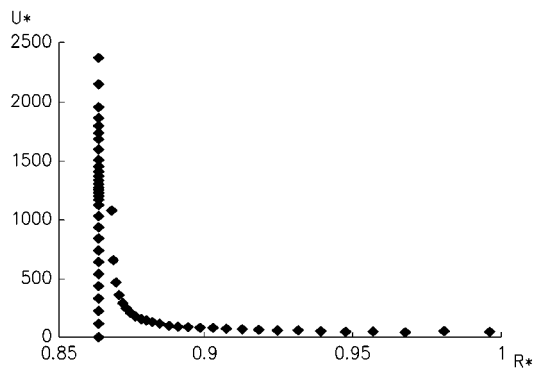
【図14】



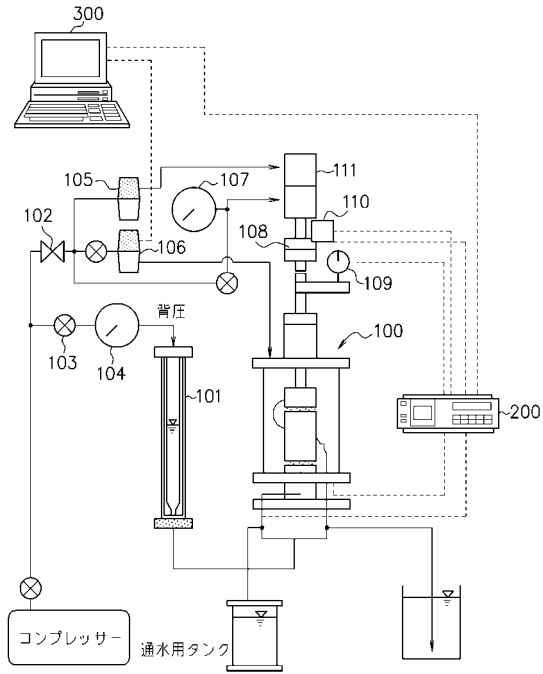
【図16】



【図15】



【図17】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平04 - 024533 (JP, A)
特開平08 - 285747 (JP, A)
特開2006 - 028755 (JP, A)
三隅浩二, 木村裕樹, 吉村公孝, 秋吉智文, 三軸せん断試験による砂質土の静止土圧係数の決定
 , 土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM) , 日本, 2005年 8月20日, Vol.60th, N
o.Disk 1, Page.ROMBUNNO.3-081

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 3/00 - 3/62