

平成22年 6月 4日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20860045

研究課題名（和文）粒子破碎による粒度分布の変化とその影響を考慮した土の構成モデルの開発と応用

研究課題名（英文） Development of a constitutive model for soils considering the changing grading due to particle crushing and its application to geotechnical problems

研究代表者 菊本 統 (KIKUMOTO MAMORU)

名古屋工業大学・工学研究科・助教

研究者番号：90508342

研究成果の概要（和文）：土粒子は打込み杭の先端や土石流など様々な状況下で破碎する。粒子破碎によって土の粒度が変化すると変形特性も影響を受けるので、その影響を土の構成モデルは適切に考慮できねばならない。粒子破碎を生じると細粒分が増えて圧縮性が増加し、間隙比と平均有効応力の関係における限界状態線の位置が下降する。本研究では、このような粒子破碎の影響を既往の限界状態モデルの拡張により記述することに成功した。

研究成果の概要（英文）：Particle breakage occurs in granular materials in various engineering applications such as driving of piles and debris flows, and its influence on mechanical behaviour of soils should be considered properly in a constitutive model for soils. The effect of particle breakage is to increase fine particles and to broaden the grading of particle sizes, and the primary effect of broadening the grading is to change the characteristics of the volumetric response. In the present study, an existing model, in which the critical state line plays a central role as a locus of asymptotic states, has been extended to include the effects of particle breakage.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,320,000	396,000	1,716,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,520,000	756,000	3,276,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤材料，構成モデル，粒子破碎，限界状態理論，粒度分布，弾塑性，間隙比

1. 研究開始当初の背景

実地盤で直面する工学的諸問題を検討するためには、実地盤の力学特性を精緻に記述

できる土の構成モデルに基づいて数値解析を行う必要がある。しかし、従来の土のモデルは、主に室内試験で確認できる力学特性を

記述できるレベルにまで開発されているものの、地盤材料が粒状性材料の集合であるという観点からの力学現象（例えば、土粒子の破碎や間隙水移動に伴う細粒分の流失）は必ずしも考慮できていない。このような粒度変化は、土の変形・破壊特性や浸透特性に大きく影響するため、粒度変化を伴う実地盤の挙動予測に用いる土のモデルはこれを適切に表現する必要がある。しかし、粒度変化とその応力ひずみ特性への影響を統一的に考慮したモデルはこれまでなかった。

2. 研究の目的

粒度変化とその影響を記述できる土のモデル開発の第一歩として特に粒子破碎に着目し、土粒子の破碎に伴う粒度変化の影響を構成モデルの中で考慮する簡単かつ新しい手法を開発する。開発にあたっては、既存の多くのモデルに適用でき、粒度の発展則を拡張すれば、細粒分の流失など他の現象を考慮できるように応用可能な方法を目指す。

3. 研究の方法

破碎性および非破碎性土の室内要素試験の結果を参考にして、土の粒度を表す指標を定義するとともに、粒子破碎に伴う粒度指標の発展則を規定し、粒度特性の違いを考慮していない従来のモデルを粒子破碎による粒度変化の影響も記述できるように拡張する。提案モデルの妥当性は要素試験の結果との比較により検証する。また、提案モデルを用いた数値パラメトリックスタディにより、粒子破碎現象が土の変形・破壊挙動に及ぼす影響について考察を行う。

4. 研究成果

石灰質砂や火山灰土は比較的低い拘束圧下で粒子破碎を生じ、石英質砂など硬質な土でも高い応力条件下では破碎する。既往の実験的検討では、このような粒子破碎を生じると土は圧縮性を増し、せん断強度が低下することが確認されている（例えば、図-1）ものの、これまで地盤材料の粒子破碎と粒度変化の影響を適切に考慮した土のモデルは開発されていなかったが、本研究では粒度の影響を考慮していない既往の限界状態モデルをベースとして、粒子破碎による粒度変化とその応力ひずみ特性への影響を簡単に記述する方法を開発した。提案手法の概要は以下の通りである。

- シンプルな限界状態モデル（Severn-Trent sand）をベースとする。同モデルでは、限界状態線（CSL, 図-2(a))を基準とする状態変数 ψ に応じてピーク強度を変化させる（密な土ほど強い, 図-2(b))ことで密度と拘束圧の影響を考慮している。
- 土の粒度分布と粒子破碎による粒度変化

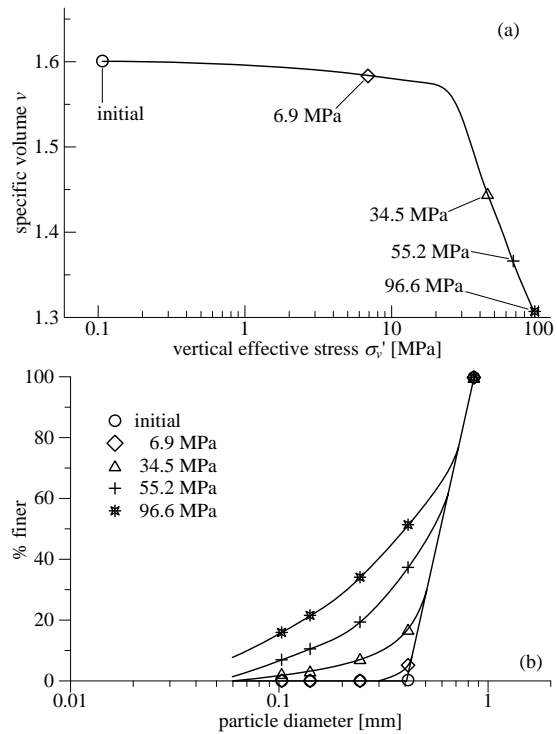


図-1 一次元高圧圧縮試験におけるオタワ砂の圧縮線と粒度変化

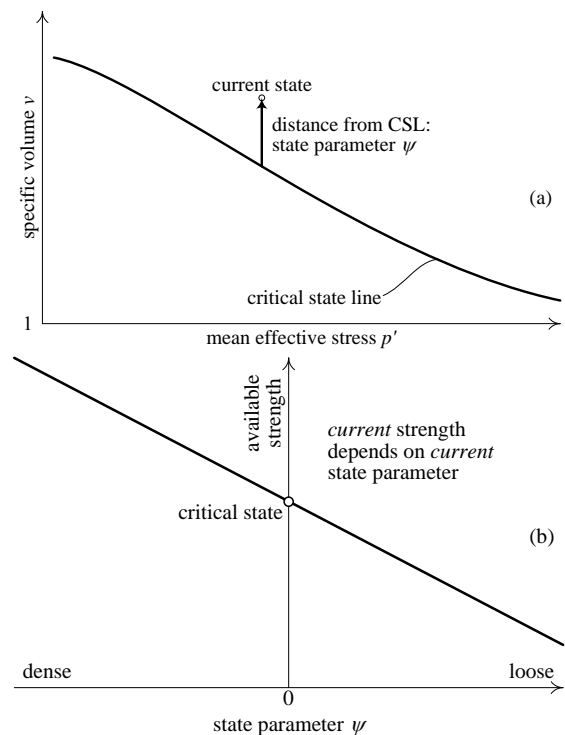


図-2 限界状態線と状態変数、強度の関係

は、図-3 のように均一粒径と限界粒度を両極とする粒度指標 I_G と、0（均一粒径）から1（限界粒度）に単調増加する I_G の発展則に単純化できる。 I_G の発展則は応力の関数として与え、圧縮とせん断の影響を統一的に考慮したCrushing surfaceの硬化と

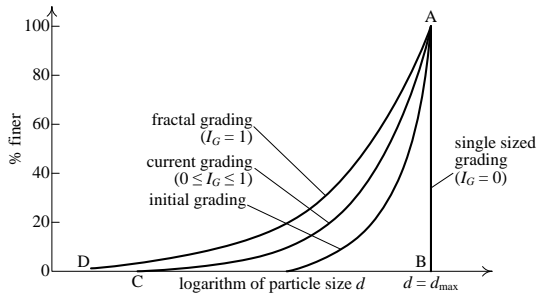


図-3 粒子破碎に伴う粒度変化と粒度指標

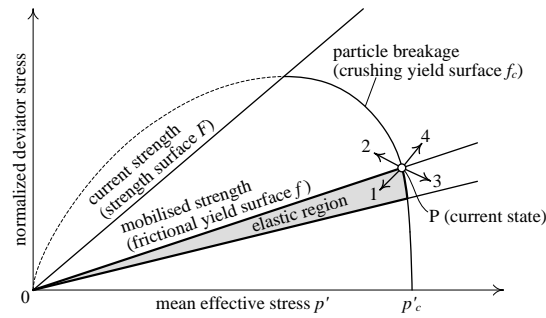


図-4 粒子破碎の発生有無を規定する Crushing surface

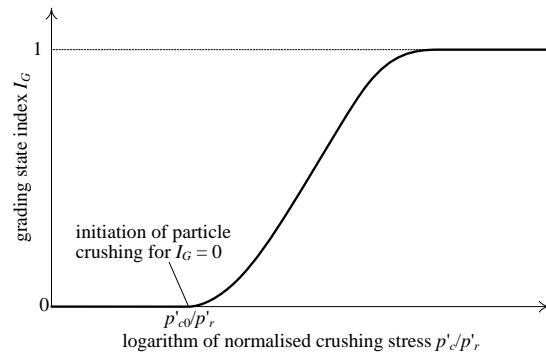


図-5 Crushing surface の拡大と粒子破碎

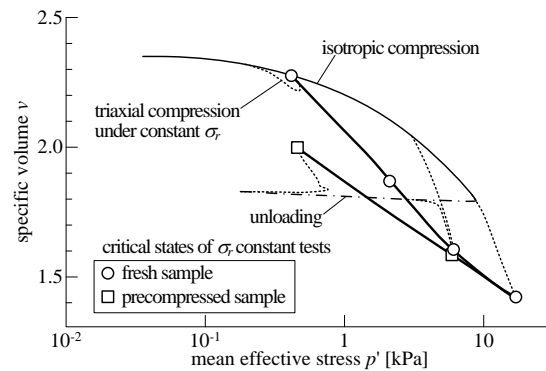


図-6 粒子破碎による限界状態の下降

破碎を関係付ける． 応力平面における Crushing surface の形状を図-4 に、硬化パラメータと単調増加する粒度変化の関係を図-5 に示す．

c) 従来、平均有効応力-比体積の関係で唯一に定まると考えられてきた限界状態線 (CSL)は、粒度変化によって細粒分が増え

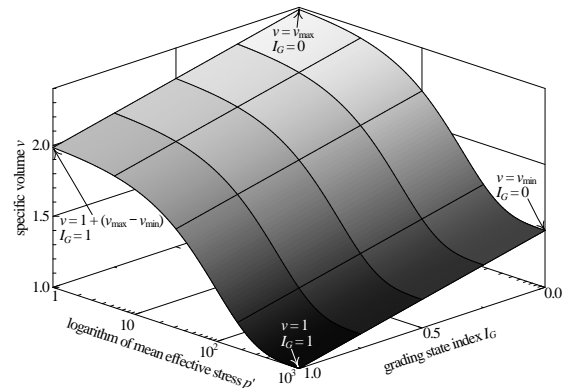


図-7 粒度について拡張した限界状態面

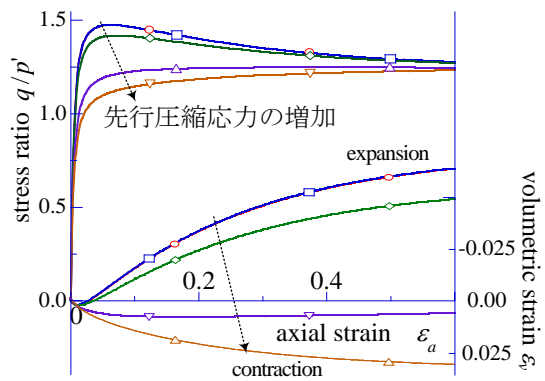


図-8 粒子破碎を考慮したモデルによる解析

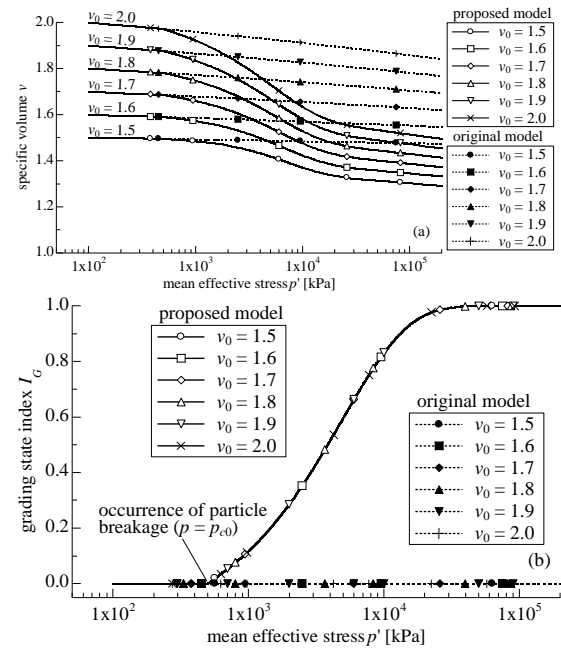


図-9 破碎性土の圧縮線と粒度変化

ると下降する (図-6) ので、粒度変化の影響を考慮して 3 次元に拡張した限界状態面 (図-7) を導入する．

d) 粒子破碎により I_G が増加して CSL が下降すると、状態変数 ψ は増加する (土は相対的に緩くなる) ので、ピーク強度の減少も自動的に表現できる (図-8)．

図-9 は提案したモデルを用いた圧縮試験のシミュレーションの一例であるが、土をある応力レベルまで圧縮すると破碎を生じ、粒子破碎の発生に伴って圧縮性を増す様子が適切に記述されている。先に示した図-8 では、先行圧縮過程に生じた粒子破碎の影響によって土のせん断強度が低下する様子が再現されており、簡単な仮定に基づく提案手法は圧密、せん断を問わず土の粒子破碎現象とその応力ひずみ特性への影響を適切に記述できることが示されている。

ところで、この方法は粒度指標 I_G を媒介として粒子破碎の影響を考慮しているので、粒度変化を伴う他の現象に I_G の発展則を拡張するだけで、内部侵食等による粒度変化の影響も簡単かつ統一的に表現できる（応力ひずみ特性への影響は状態変数 ψ を通じて自動的に表現される）。本研究課題の達成によって、土の粒度変化を引き起こす広範な物理・化学現象の影響を構成モデルが記述できる可能性が示された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① Kikumoto, M., Muir Wood, D. and Russell, A., Particle crushing and deformation behaviour, *Soils and Foundations*, 査読有, vol.50, No.4, (掲載確定), 2010.
- ② Russell, A, Muir Wood, D. and Kikumoto, M., Crushing of particles in idealized granular assemblies, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 査読有, vol.57, issue 8, pp.1293-1313, 2009.
- ③ Russell, A. R., Muir Wood, D. and Kikumoto, M., Particle crushing in granular assemblies, *Powders and Grains 2009*, 査読有, Vol. 1145, pp. 875-878, 2009.

[学会発表] (計4件)

- ① 菊本統, 粒子破碎の影響を考慮した土の応力ひずみ関係の合理的なモデル化, 第45回地盤工学研究発表会, 2010年8月18日, 愛媛市.
- ② Kikumoto, M., Particle crushing and its constitutive modeling, 国際地盤工学会 第四回若手技術者会議 (4th iYGEC2009), 査読有, 2009年10月1日, Alexandria, Egypt.
- ③ Kikumoto, M., Particle crushing and deformation behaviour, International Symposium on Prediction and Simulation Methods for Geohazard Mitigation, 2009年6月15日, Kyoto, Japan.
- ④ Kikumoto, M., Constitutive modeling of the effect of particle breakage, 4th International Workshop in New Frontiers in Computational Geotechnics, 2008年10月3

日, Pittsburgh, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊本 統 (KIKUMOTO MAMORU)
名古屋工業大学・大学院・助教
研究者番号：90508342