

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○川口 将季
 広島大学大学院工学研究科 正会員 加納 誠二

1. 背景・目的

日本の国土の大部分は山地からなっているため、土砂災害危険箇所が数多く存在している．広島県内には約 32000 箇所にも及ぶ土砂災害危険箇所が存在している．広島県内の傾斜地を含む地盤は、主にまさ土と呼ばれる花崗岩質岩石の風化物でできており、このまさ土は風化の程度によって岩石に近いものからシルト、粘土などの細粒土まで含む特殊土である¹⁾．また降雨の浸透により強度が低下するため、雨が多い時期には例年のように土砂災害が発生している．しかし、通常土砂災害危険箇所は地形条件等から評価されているが地盤条件は考慮されていない．既存の方法により全ての土砂災害危険箇所の対策を施すには時間的・金銭的に問題があるため、雨量情報と地盤データを組み合わせた評価を行い、効率的に対策が必要な箇所を絞り込む必要がある．

そこで、広島大学では地盤の強度定数の簡易な推定法として、軽量動的コーン貫入試験機を用いた方法を提案している²⁾．軽量動的コーン貫入試験機とは、地盤の締固め状況の確認や浅い地盤の層構造調査を行うコーン貫入試験機である．この試験機の特徴として、ハンマーによる打撃で貫入抵抗と貫入深度をデータロガーに自動収録が可能である、小型軽量であることから斜面や狭い作業現場での調査に適している、などが挙げられる．提案されている推定法は、軽量動的コーン貫入試験より得られる貫入抵抗値から強度定数である内部摩擦角と粘着力を推定するものである．既往の研究により高速道路盛土において、提案されている強度定数推定法の適用性が検討され、その結果、内部摩擦角については適用性が確かめられているが、粘着力についてはケースによって異なる結果が得られている³⁾．推定した粘着力が実験値と異なった要因として飽和度や細粒分含有率が考えられる．そこで本研究では、細粒分含有率に着目し、細粒分含有率と軽量動的コーン貫入試験から推定される粘着力の関係を検討し、強度定数推定法の補正法を提案することを目的とする．

2. 室内試験

室内において、図 - 1 に示す内径 29cm、高さ 40cm の土槽を作成し軽量動的コーン貫入試験(図 - 2)を実施した．土槽を作成する際の試料には、広島大学構内がら山より採取したまさ土を、粒子破碎を防ぐため炉乾燥を避けて自然乾燥させ、2mm のふるいを通過したものを使用した．自然乾燥させたまさ土はいくらかの水分を持つので、自然乾燥状態の試料の含水比を測定し間隙比、飽和度の調整に使用した．質量を量った自然乾燥試料と蒸留水を設定した含水比になるように水分量が一様になるまでよく混ぜ、水分量が一様になったら設定した間隙比、飽和度になるようにアクリル

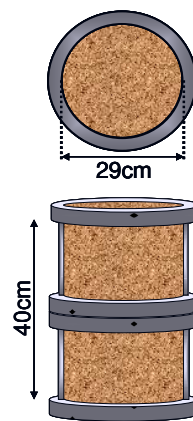


図 - 1 土槽寸法

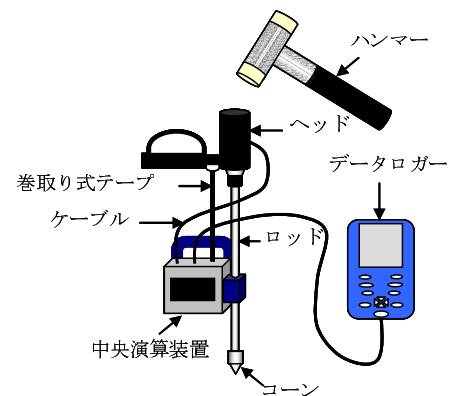


図 - 2 軽量動的コーン貫入試験機

ルカラムにまさ出し厚 5cm になるように試料を入れて、締固め用円盤を用いて締固めを行った．層と層との噛み合わせをよくするために、次の層を締固める前に締固めた表面にカッターの刃で傷をつけた．締固めを行う際の各層の高さは 5cm になるように試料を量り入れていき、カラムを 2 つ積み重ね 40cm 土層を作成した．細粒分を混ぜた土層を作成する場合は、各層に必要な試料を量り取った際に細粒分が均質に混ざり合う

ように十分に攪拌させた．細粒分には $75\mu\text{m}$ のふるいを通したまき土を用いた．本試験では飽和度 40%，間隙比 0.9 に設定し，細粒分含有率を 0，5，10，15% に変化させた 4 パターンで行った．また，せん断定数を求めるため軽量動的コーン貫入試験を行った土層からサンプリングした試料を用いて一面せん断試験を実施し，強度定数と細粒分含有率との関係について検討した．

強度定数を推定する際には，菅らが室内貫入試験より提案している強度定数推定法を用いた³⁾．

上載圧の影響を排除するため式(1)を用いて貫入抵抗値 q_d の上載圧補正を行い， q_{d5} を得た．

$$q_{d5} = q_d - \frac{d - 0.3}{10} \quad (1)$$

上載圧補正を行った貫入抵抗値を用いて，室内試験より得た飽和度の時の強度定数を以下の式より推定した³⁾． q_{d5} より間隙比 e を推定する式は，

$$e = -0.084 \ln(q_{d5}) + (-0.074Sr + 1.19) \quad (2)$$

推定した e より内部摩擦角 ϕ と粘着力 c を求める式は，

$$\phi = -19.151e + 52.075 \quad (3)$$

$$c = (0.0971Sr - 22.324)e + (-0.2116Sr + 33.722) \quad (4)$$

を使用した．

図 - 3, 4 に試験結果より得た強度定数と細粒分含有率との関係を示す．図には貫入抵抗値より推定した値と一面せん断試験より得た値を比較するため両方の値がそれぞれ示してある．また，比較に用いた推定値は深度方向に平均値をとり，さらに 1 回の模型実験につき 3 回の軽量動的コーン貫入試験を行っているため 3 回の試験のから得た値を平均したものを使用している．

図 - 3 を見ると，どの細粒分含有率においても推定値より一面せん断試験より求めた値のほうが 2 度程度大きな値を示している．図中には一面せん断試験より求めた値，推定値のそれぞれに近似線を引いている．これを見ると，2 本の近似線はほぼ平行になっていることが分かる．この結果より細粒分含有率の値にかかわらず，小村らの報告どおり推定方法が内部摩擦角については適応性があるものと考えられる．

図 - 4 を見ると，内部摩擦角と同様に推定値よりも一面せん断試験より求めた値のほうが大きな値を示している．推定値には細粒分含有率の増加に伴う変化は見られずほぼ一定値となっているのに対して，実験値は細粒分含有率が小さなきは増大量が大きく増加するにつれて増大量が小さくなっていることが読み取れ，粘着力と細粒分含有率とに比例関係が見られる．

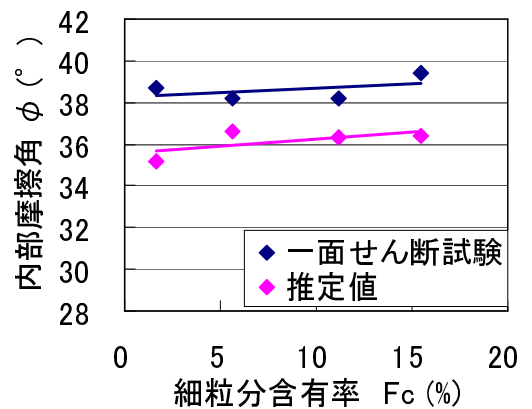


図 - 3 内部摩擦角の比較結果

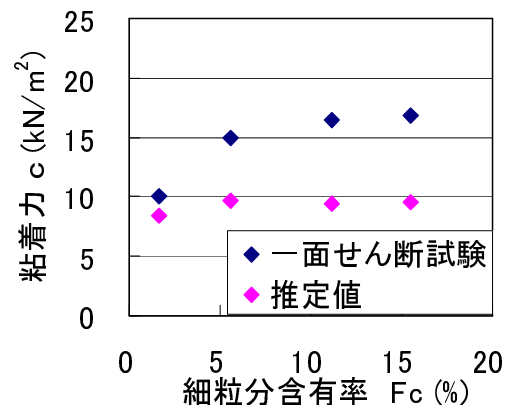


図 - 4 粘着力の比較結果

3. 現地調査

実地盤の状況を調べるため，風化の程度により地盤の細粒分含有率は異なることを考慮して，ある程度離れた距離にある 4 箇所の土石流危険渓流を選定し，現地踏査を行った．選定した箇所において軽量動的コーン貫入試験及び試験体の採取を行った．採取方法にはネイルサンプリング法を採用した．採取した供試体を

用いて室内で不飽和三軸圧縮試験を実施した。不飽和三軸圧縮試験は拘束圧 9.8 kN/m^2 , 19.6 kN/m^2 , 39.2 kN/m^2 の 3 パターンを行い、せん断速度 0.15 mm/min でせん断を行った。これらの試験結果より、強度定数と細粒分含有率との関係について検討した。

図 - 5, 6 に試験結果より得た強度定数と細粒分含有率との関係を示す。図には貫入抵抗値より推定した値と不飽和三軸圧縮試験より得た値を比較して示してある。

図 - 5 より、内部摩擦角については室内試験と同様に推定値と実験値の差は $1 \sim 3^\circ$ 程度であったが、一箇所だけ大きくずれる結果となった。両者を比較すると推定値の方が実験値より少し大きな値をとっており、これは軽量動的コーン貫入試験動的コーン貫入試験の性質上、礫や岩の多い箇所では試験が難しいため、このような結果が得られたと考えられる。また、細粒分含有率とは関連性を見出せなかった。

図 - 6 より粘着力については細粒分含有率が 5%以下の範囲では実験値と推定値が近い値を示しているのに対し、細粒分含有率が大きな値の試験箇所では実験値の方が大きな値を示している。また、内部摩擦角において推定値が実験値より非常に大きな値となった試験箇所の結果は実験値の方が小さな値となっている。

4. 試験結果に基づいた強度定数推定法の補正法の提案

室内試験および現地調査の試験結果をふまえて、推定法より求めた強度定数の細粒分含有率を考慮した補正方法について検討を行った。

内部摩擦角について縦軸に実測値と推定値の比（実測値/推定値）をとり、横軸に細粒分含有率をとったものを図 - 7 に示す。図より、細粒分含有率が増加してもその傾向に変化が見られず、値がほぼ一定値をとっているため内部摩擦角と細粒分含有率に関連性はないものと考えられる。このことから内部摩擦角については既往の研究通り適用性があると考えられる。

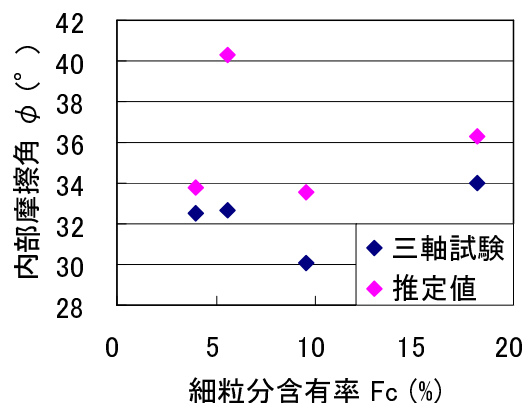


図 - 5 内部摩擦角の比較結果

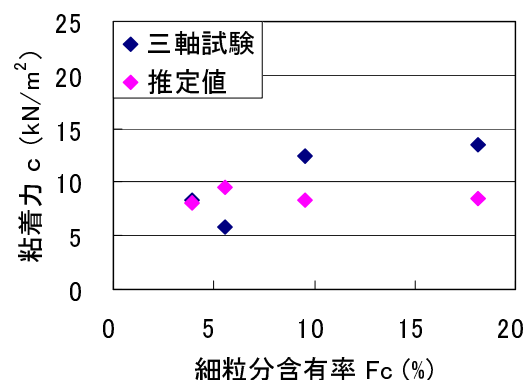


図 - 6 粘着力の比較結果

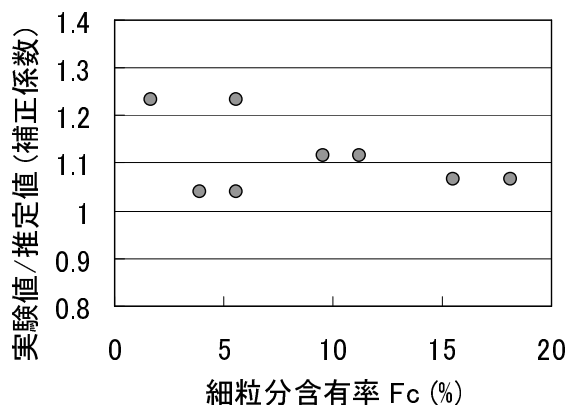


図 - 7 実験値/測定値－細粒分含有率関係
(内部摩擦角)

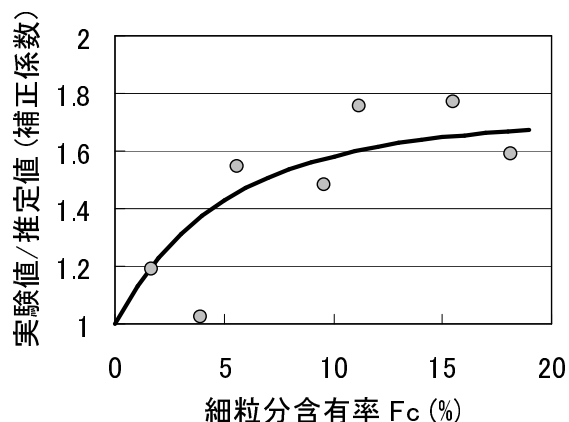


図 - 8 実験値/測定値－細粒分含有率関係
(粘着力)

粘着力についても縦軸に実測値と推定値の比（実測値/推定値）をとり，横軸に細粒分含有率をとったものを図 - 8 に示す．図中の曲線は細粒分含有率が 0% の時に補正係数が 1 になるように描いた曲線である．

各細粒分含有率における実験値/推定値（補正係数）の値を読み取り，推定式より求めた粘着力に補正係数をかけることで推定値を補正できると考えられる．

そこで，図 - 8 に示した図から各細粒分含有率における補正係数を読み取り，推定した粘着力の補正を行った．その図を図 - 9 に示す．ピンクの四角で示したものが補正前の推定値と実験値の関係で，灰色の丸で示したものが補正した推定値と実験値の関係である．補正した推定値と実験値の関係が図中に示した実験値＝推定値の線に近いほど誤差を小さくできたものと考え，補正を行うことである程度線に沿った形に近づけることができたものと考えられる．しかし，中には補正することにより実験値との差が大きくなってしまう場合もあった．細粒分含有率が 0% の時に推定値と実験値が等しくなると仮定して補正法を提案しているためにこのような結果となったと考えられる．また，今回使用した実験値は室内試験においては三軸試験用の供試体のサンプリングが困難だったため一面せん断試験の結果を，現地調査においては不飽和三軸圧縮試験の結果をそれぞれ使用している．厳密に言えば，せん断面を固定して行っている一面せん断試験の方が強度定数が大きく出ているとも考えられるため，今後は強度定数を求める試験方法もどちらか一方にそろえる必要があると考えられる．

今回提案した補正法をより正確なものとするために，模型試験のパターンを増やすとともにさらに多くの現地調査を行いより多くのデータを考慮する必要があると考えられる．

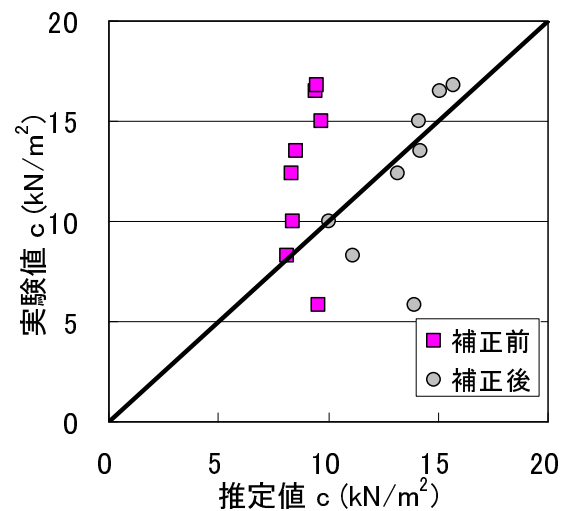


図 - 9 補正結果

6. 結論

本研究は軽量動的コーン貫入試験から地盤の強度定数を推定する際の細粒分含有率の影響について検討を行った．以上に得られた結論をのべる．

- (1) 内部摩擦角と細粒分含有率には明確な関係は見られなかった．
- (2) 粘着力は細粒分含有率に依存することが明らかになった．
- (3) 粘着力の推定法の補正法として，粘着力と細粒分含有率の関係より新たなパラメータとして細粒分含有率を考慮した補正法を提案した．
- (4) 補正された推定値は不飽和三軸圧縮試験から得られた粘着力に近い値となった．
- (5) 補正法をより正確なものとするため，さらなる検討が必要である．

参考文献

- 1) 西田一彦；風化残積土の工学的性質，pp1-20，pp38-41，1986
- 2) 管和暁・Athapaththu Rasika・土田孝・佐藤崇史；軽量動的コーン貫入試験による自然まき土斜面の強度定数の評価，降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関するシンポジウム発表論文，pp51-57，2006
- 3) 小村尚史；高速道路の盛土斜面における強度定数推定法についての検討，土木学会中国支部研究発表会発表概要集 2008