

花こう岩の風化に伴う強度低下

埼玉大学 小野寺 透
 埼玉大学 吉中龍之進
 埼玉大学 ○小田 匡寛

1. まえがき

花こう岩はおもに西南日本内帯に広く分布する。その風化残積土であるマサ土や風化花こう岩の強度的性質の究明は、防災の観点や大型構造物の安定計算などに際して近年その重要性を増している。本文は瀬戸内海の周辺に分布する花こう岩をもちいて全風化過程における強度低下を実験的に検討し、風化花こう岩やマサ土の強度特性を支配する要因を分析したものである。なお研究に際しては、本四公団および埼玉大学岩盤工学研究室の多くの方々に多大の協力を得た。

2. 試料および実験方法

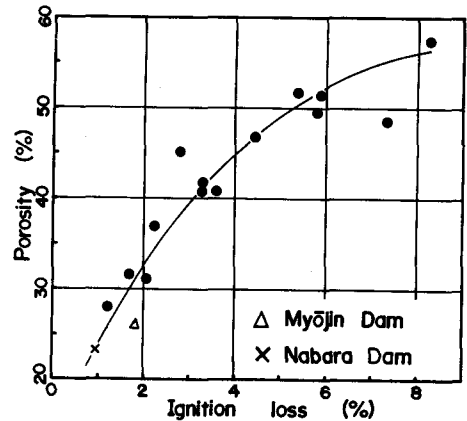
試料は本州側の広島型および四国側の頑家型花こう岩類を対象に、弱風化の岩石試料は主に因島市、児島市周辺から、またマサ状にまで強風化した試料は今治市周辺から採取した。試料には、花こう岩、花こう内緑岩、閃緑岩、閃緑岩およびそれらから由来した風化残積土を含んでいる。

岩石状の試料は露頭からブロックで採取し、室内でコア採取機で供試体を成形した。強風化したマサ土のブロックサンプリングは不可能に近いので、採取にあたってはストレート・エッジで直径7.5 cm、長さ20 cmの円筒状にいていかに切り出し、それをシンワオール・チューブに納めて搬入した。

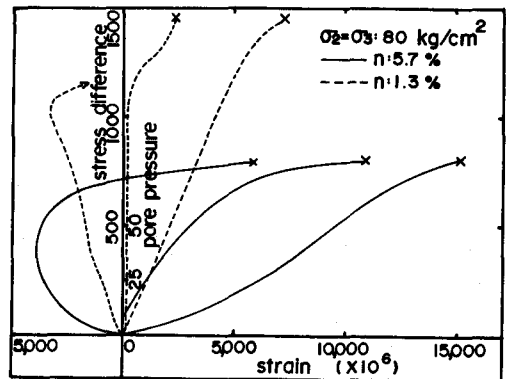
岩石試料は直径5 cm、長さ約10 cmの飽和供試体による非排水および排水三軸圧縮試験を中心としておこない、歪測定は2 cmのワイヤー・ストレーンゲージにより、また間隙水圧の測定は電気式の圧力計によった。側圧は液圧で最大100 kg/cm²まで加え、軸圧は応力制御にて載荷した。なお試験方法の詳細は文献(1)・(2)にすでに報告している。乱さないマサ土試料の強度特性は、改良一面せん断試験機による等圧および等体積せん断試験から検討した。供試体はほぼ直径6 cm、厚さ2 cmの円板状をなし、自然含水比の不飽和試料によるものである。せん断速度は0.2 mm/minである。試験方法の詳細は、文献(3)・(4)に詳述している。

各試料について一連の物理試験、力学試験を実施し、風化特性との関連において興味ある結果を得ているが、詳細は別に報告(2)・(3)・(4)しているので省略する。ここでは強度定数C、 ϕ について、その風化特性との関連において述べる。

3. 花こう岩の風化特性



図・1 間隙率と強熱減量の相関図



図・2 風化花こう岩の応力～歪関係

花こう岩の風化特性は、その工学的性質を決定し、風化花こう岩からなる岩盤の強度定数を吟味するさいにも重要なポイントとなる。しかし花こう岩の風化程度を定量的かつ簡単に表わす工学的指標は、2、3の試みにもかかわらず、確立されていない。

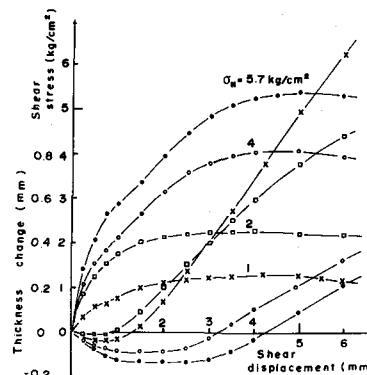
花こう岩が物理的要因によって風化を受けるとまず構成粒子相互の結合力が弛緩し（キレツを発する）間ゲキ率の増加をもたらす（写真・1）。キレツの増加は、水の循環を容易にし、結果として化学的風化を促進する。また逆に、化学的風化の産物としての粘土鉱物の増加は、水の吸水膨張などの物理的現象を助長し、相乗効果として風化作用を促進する。そこで花こう岩の風化特性を、物理的風化の目安として間隙率で、また化学的風化の目安として粘土鉱物含有量に近似的に比列する強熱減量とで、便宜的に表わすことにする。ここで強熱減量とは、試料を105℃から1,000℃までの強熱に伴う重量減の重量％である。

図・1は、間隙率を強熱減量に対してプロットしたものであるが、両者が密接に関連し合っていることが分かる。ただ相關々係の形（勾配）は、対象とする花こう岩の性質や地域の気象条件などによって左右されるものであろう。図・1の適用の妥当性については、他地域の風化花こう岩についての検討を必要としようが、測定が簡単な強熱減量から測定も面倒な間ゲキ率がある程度の精度で推定できるとすれば便利である。

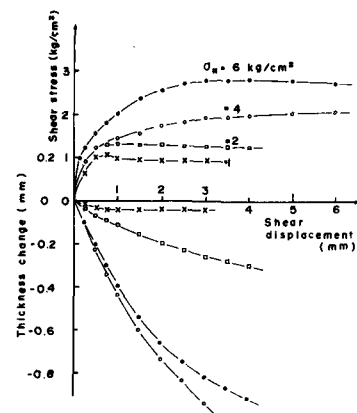
間隙率や強熱減量の風化指標としての有用性は、これらの指標と花こう岩やマサ土の外見上の特徴とが良く対応していることから指摘できる。すなわち、新鮮な花こう岩の間隙率はおよそ1％以下、であり、雲母等の風化によりかつ色を帯び、かつハンマーの強打で容易に粉砕できるものは5～10％、オニマサ程度のは15～20％、砂質マサ土は20～35％、シルト・粘土質マサ土は40～60％である。また図・1からも当然予想されるように、それぞれ外見上の特徴に対応した強熱減量値を示している。

4. 強度試験の結果

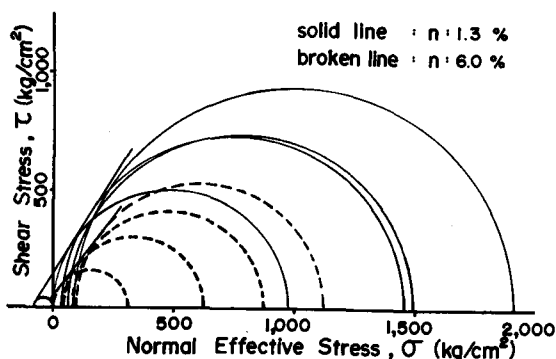
各風化段階にある風化試料の代表的な応力～歪関係を図・2～4に示した。図・2は、未風化花こう岩（間隙率・1.3％）とやや風化したもの（間ゲキ率：6％）の三軸圧縮応力下の応力～歪曲線である。未風化花こう岩におけるぜい性破壊の性質から、風化の進行で延性的な性質に変化している。図・3および図・4はそれぞれ間隙率30％程度の砂質マサ土と間隙率が50％にまで増大した粘土質マサ土の応力～歪曲線である。重直応力0.5～6 kg/cm²の範囲で、砂質マサ土の場合は著しいのダイレタンシーが、粘土質マサ土の場合は負のダイレタンシーが生じている。



図・3 砂質マサ土の応力～歪関係

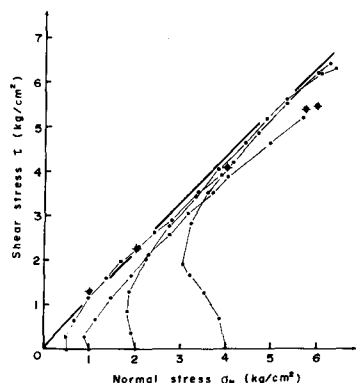


図・4 粘土質マサ土の応力～歪関係



図・5 風化花こう岩の破壊包絡線

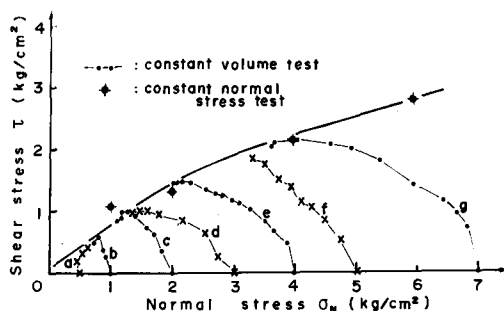
図・5-7は、破壊包絡線の例である。図・5は、図・2に示した花こう岩のモールの破壊応力円と同包絡線で、未風化花こう岩の内部まざつ角は約 60° 、やや風化した岩石では約 50° を示している。また風化による粘着力成分の著しい低下も認められる。図・6-7は、図・3-4に示した砂質および粘土質マサ土の等体積一面での応力ベクトルカーブと等圧一面せん断での破壊応力、およびこれらから推定される破壊包絡線である。砂質マサ土および粘土質マサ土の応力ベクトルカーブは、図・3-4の応力-歪関係にみられたダイレタンシーの傾向を反映した垂直応力の経路を示している。



図・6 砂質マサ土の破壊包絡線

以上述べたように各風化段階にある花こう岩は固有の破壊包絡線をもつことが分かる。そこで風化による強度特性の変化を調べるため垂直応力が相対的に低い部分での包絡線を直線近似し、内部摩擦

角 ϕ と粘着力 C を求めた。図・8は、風化の指標としての間隙率を横軸に、縦軸を粘着力と内部摩擦角にとつたものである。図・9には、20%以上の間隙率をもつマサ土の部分拡大して示した。なお図中には、広島型花こう岩に由来するマサ土の大型排水三軸圧縮試験（直径 $=30\text{ cm}$ 、高さ 70 cm 、拘束応力 $=1\sim5\text{ kg/cm}^2$ ）および $45\times30\times20\text{ cm}$ の現場せん断試験（垂直応力 $=1\sim5\text{ kg/cm}^2$ ）の結果をも示している（庄野、他、1975）。大型三軸圧縮試験と現場せん断試験から求められた C 、 ϕ が今回の小型

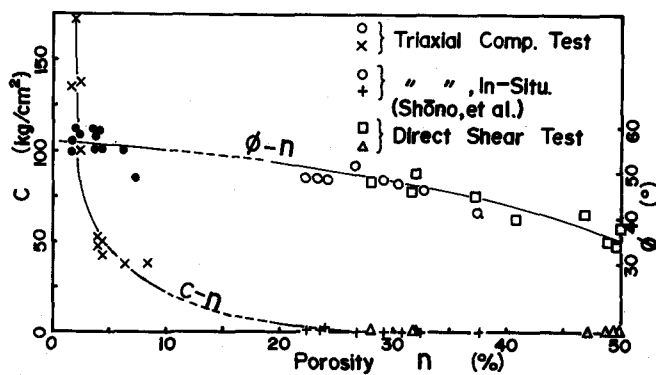


図・7 粘土質マサ土の破壊包絡線

供試体の結果と一致することは、注目してよいことである。

5. 考 察

強度定数 C 、 ϕ の拘束応力依存性……風化花こう岩からマサ土までの一連の試料の強度特性を C 、 ϕ で定義する場合、 C 、 ϕ の拘束応力依存性に注意する必要がある。試料の構成鉱物は、その風化の進行により、著しく強度を低下、せん断破壊中に顕著な粒子破砕を伴う。粒子破砕の現象は、せん断時の拘束応力の増加に比例し、またダイレタンシー硬化と呼ばれる強度成分を低下させる。間隙



図・8 強度定数 C 、 ϕ の間隙率依存性

率が30%以上の極めて軟弱な粒子からなるマサ土においては、せん断面に作用する垂直応力が $2\sim4\text{ kg/cm}^2$ で粒子破砕現象が活発となり、ダイレタンシー硬化による強度成分を失なう。ためにモールの破壊包絡線は上に凸の曲線を呈する。 $^\circ$ （図・6-7）。一方間隙率が6%以内の風化岩においては、粒子間の結合力の緩みによる物理的風化が卓越しており、化学的風化による構成粒子の脆弱化は微弱である。図・5に示されるとおり、 100 kg/cm^2 以下の拘束圧に対しほぼ直線で近似できる破壊包絡線が得られる。以上述べた関係を模式的に図・10に示した。風化による強度低下の特徴……花こう岩の風化による強度低下を、間隙率を1つの風化指数として図・

8に示した。図に示された特徴を列記すれば次のとおりである。

1) 粘着力成分Cは、花こう岩の風化段階の初期(間隙率10%以下)において急速に失われる。

この低下は粒子間の緩みによる粒子間結合力の喪失に起因している。それ故、岩盤の強度成分としての粘着力Cの推定には、精度の高い岩盤評価のみならず施工時の岩盤の緩みが施工後の岩盤の進行性風化などを考慮して、慎重に求められなければならない。

2) 風化の初期の粘着力成分の急速な喪失に対し、摩擦角 ϕ は間隙率の1%から60%までの増加で60°から35°まで漸次低下する。

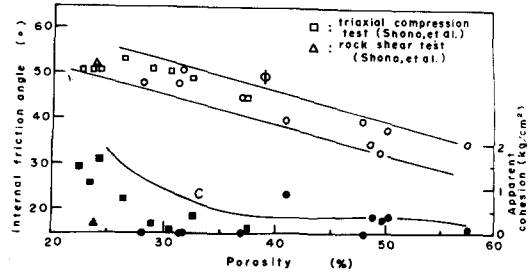
3) 図・9には、間隙率8~20%の範囲が空白となっている。この部分に相当する試料は、マサ土と風化岩とが不規則に入り組み、供試体としての成形が不可能なことになるものであろう。

6. まとめ

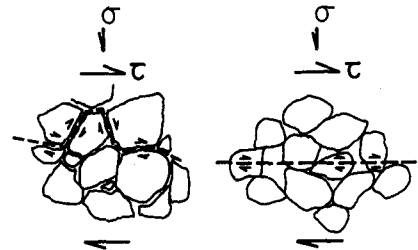
この研究は、風化花こう岩、マサ土の強度特性を支配する素因を分析し、もって岩盤の強度評価や岩盤分類の一資料に供するためのものである。結果は図・8に総括的に示されている。衆知のように、特に割れ目性岩盤においては、岩盤のC、 ϕ は小さい試料のC、 ϕ と大いに異なる。今後は、割れ目面上のC、 ϕ を実験的に求め、割れ目を含めた岩盤の強度特性を総合的観点から検討する必要がある。その場合において図・8の実験結果は、一つの基本的資料になると考えられる。

参考文献

- (1)吉中、佐々木、五十嵐(1972):花こう岩の工学的性質に関する研究(3) — 一面せん断強度特性 —、第26回土木学会年次学術講演会講演概要集。
- (2)小野寺、吉中、小田(1973):花こう岩の間隙の性質と力学的性質との関連、第4回岩の力学国内シンポジウム講演集、pp.121-126。
- (3)小田、小野寺、南(1975):乱さないマサ土の風化特性とせん断強度特性、第2回災害科学総合シンポジウム講演論文集、pp.69-72
- (4)Onodera, Oda and Minami(1976):shear strength of undisturbed sample of decomposed granite soil, Soils and Foundations (in press)。
- (5)Onodera, Yoshinaka and Oda(1975):Weathering and its relation to mechanical properties of granite, ISRM, Vol.1, pp.71-78
- (6)庄野、他(1975):乱さない風化花こう岩試料の特性について、土と基礎、Vol.23, No.2, pp.19-24。



図・9 強度定数C、 ϕ の間隙率依存性



正のダイレタンシー 負のダイレタンシー

図・10 風化花こう岩のせん断機構

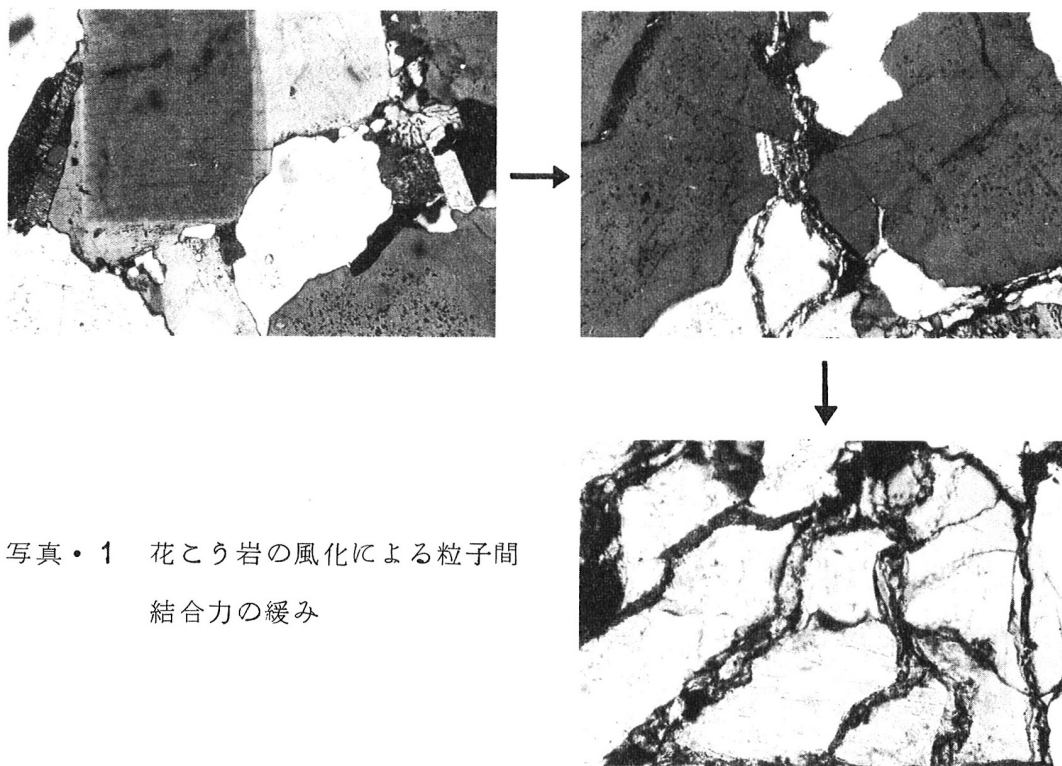
Abstract

The mode of strength lowering of granite due to weathering has been studied experimentally on the specimen sampled around the coasts of the SETO inland Sea undergone various degrees of weathering from weathered rock to MASADO soil. The following conclusions have been obtained by analyzing the factors which govern the strength characteristics of the specimens.

(1) Porosity and ignition loss show so good correspondence to the apparent features and to the strength and deformation characteristics that they are available to indices of granite weathering for engineering purposes.

(2) Cohesion component C diminishes rapidly in the earlier stage of weathering up to porosity 10 % in granite. The diminution is caused by the loss of intergranular binding power due to loosening of grain boundaries.

(3) Whereas the cohesion component diminishes rapidly in the earlier weathering stage, angle of internal friction ϕ decreases gradually as porosity increases from 1 % up to 60%.



写真・1 花こう岩の風化による粒子間
結合力の緩み