

6. 岩盤 - グラウト間の付着強度推定に関する室内試験

A laboratory shear test to presume in-situ adhesion strength between
anchore's growting and rocks

武智賢樹 須賀幸一

(株芙蓉コンサルタント)

1. はじめに

現在、設計段階で岩盤地山のアンカー極限周面摩擦力は、グラウンドアンカー設計・施工基準¹⁾に示される表によって、設定しているのが一般的である(表-1)。同表には、付着力を判定する際の目安としての地盤の種類などが示されているが、判定には判定者の主観が余地が多く、多分に曖昧さが残ることになる。

特に腐朽が進んだ岩盤におけるアンカー極限周面摩擦力の判定には軟岩～風化岩と行った大まかな岩質区分指標が示されているのみで、具体的評価を与える数値指標を持たず設定根拠説明に苦勞することがある。そこで、数値による客観的な極限周面摩擦力の評価を模索する上で、室内試験を考案し実施した。その結果を報告する。

表-1 アンカーの極限周面摩擦抵抗¹⁾

地盤の種類		周面摩擦抵抗 (MN/m ²)	
岩盤	硬岩	1.5~2.5	
	軟岩	1.0~1.5	
	風化岩	0.6~1.0	
	土丹	0.6~1.2	
砂礫	N値	10	0.1~0.2
		20	0.17~0.25
		30	0.25~0.35
		40	0.35~0.45
		50	0.45~0.7
砂	N値	10	0.1~0.14
		20	0.18~0.22
		30	0.23~0.27
		40	0.29~0.35
		50	0.3~0.4
粘性土		1.0c (cは粘着力)	

注) 本解説については、「6.6(2) ④(解説)」を十分に理解のうえ、取り扱いに注意する必要がある。

2. 試験法

今回実施した試験の概要は次の通りである

- (1)試験の目的:セメントと岩石試料の貼り合せ面の強度を見る。
- (2)せん断試験機:Protodjakonov 型一面せん断試験を用いた(図-1)。別称ダイスせん断試験機と呼ばれる試験機である。
- (3)供試体:ボーリング採取した円柱コアを縦割りにしセメントと貼り合せ、円柱供試体作成した(図-2)。供試体の仕様は以下に示すとおりである。
 - ・用いた試料:中生代白亜紀の堆積岩(変質砂岩)
 - ・直径D:47mm~49mm、高さH:46~49mm
 - ・縦割り面研磨:カーボラダム#400仕上げ
 - ・グラウト:配合比は図-2に示す。

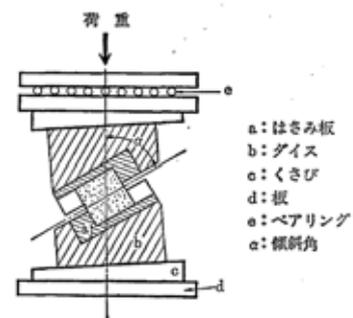
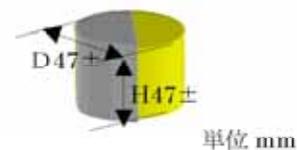


図-1 Protodjakonov 型一面せん断試験²⁾



材料	配合比率
早強セメント	2.08
混和剤	0.04
水	1

図-2 供試体寸法及びセメント配合比

(4) Protodjakonov 型一面せん断試験用の張合せ供試体作成方法

岩石試料： ボーリングコア 66mm試料を用いる。せん断ボックスの内径は50mmであるので(図-3) 出来るだけ50mmに近い径のコアが望ましい。外寸法が45mm程度以下になると供試体作成モールドに収めたときのクリアランスを調整するのが実質的に困難となる。

試料の切り出し： せん断ボックス高さ50mmに極力近い高さかつ、鉛直に周方向に切断する。切出しは内径50mmのマイスターボックスに絶縁テープなどをコアに巻き固定して行った。(66mmのコアリングビットの場合、直径が46~49mm程度となりクリアランスが生じる)

切り出した短柱コアを高さ方向に半分切断する。出来るだけ刃の厚みの薄いダイヤモンドソーを用いると寸法不足にならず後々の細工がしやすい。

研磨： 端面、縦割り面が極力直角になるように研磨する。最終仕上げ粗さはカーボラダム#400にて研磨した。#400とした根拠は特にない。研磨剤を細かくして研磨しても粒子が飛び(風化試料)これ以上滑らかに仕上がらない研磨剤荒さが#400であった。また、孔壁の切削粗さ程度は不明であり、調査するのも実質的に困難である。

なお、必ずしも円柱端面に対し高さ方向を直角に仕上げるのは容易ではなく、1~5°程度のテーパが付いたりする。その際は角度を記載しておき、データ整理の際に角度補正を行う。

モールドのクリアランス調整： せん断ボックス内径50mmに対し、岩石試料は46~49mmと寸足らずになっているので、次のような処理が必要となる。

- ・岩質良好な供試体 --- 内径50mmのモールドに収めたとき、ちょうど半分の径に固定できるように、縦割り部の外周側をテープでマスキングする。せん断箱に収納時には、岩石試料側に亜鉛版を巻いてクリアランスをなくしせん断箱に固定することが出来る。
- ・岩質不良な供試体 --- コア採取時に粒子が飛びやすく全体的に径が細っており、良質な試料に比べモールドに収めたときのクリアランスが大きい。モールドに固定できる程度に縦割り端面近くの外周面の高さ方向に幅の細いテープをつけ、ミルクにドブ付けして(セメントで外周充填)供試体を作成する(図-5)。

貼合せ部の調整： せん断される部分が岩石とセメント貼合せ部のみとなるように、張合わせ部の余剰セメントを細く削って、フリクションカットを行っておく。

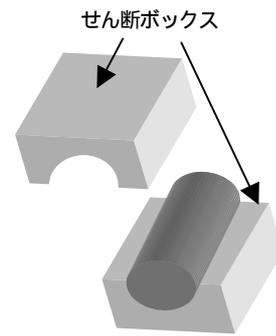


図-3 せん断ボックス
供試体をセットしたときボックス
クリアランスが僅かにある。

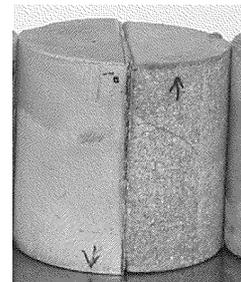


図-4 供試体の例

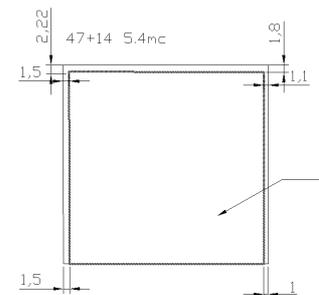


図-5 外周クリアランスをセメントで充填した供試体寸法図

(5)せん断

- せん断は図-1 示される角度 を、載荷方向に対して 5 ° , 10 ° , 15 ° .. などと幾つか変えて実施する。供試体端面に対してテーパがつく場合はこれらの角度に加減することとなる。
- 加圧される面は円柱の外周囲と、張り合せ面の対角方向のどちらか一方の端面（半円部）となる。
- 破断した荷重を記載する。

3. 試験結果および考察

(1)せん断試験結果の整理： 最大荷重Pが加わったときの、せん断面に作用する法線応力 とせん断応力 とを、せん断面の面積をAとして次式より計算する。

$$=P/A \sin$$

$$=P/A \cos$$

当初試験データは応力とせん断強度は線形関係にあると推定し MaulCoulomb の破壊条件式 $= c + \tan$ で整理を試みた。しかし、岩種によってあまり差異が生じず実地盤の付着強度特性に整合しない結果となった。その他のせん断強度 - 応力との関係式での整理も検討したが圧縮強度値が必要となり当試験には適用が不可能であった。そこで当試験における - 関係は非線形であると考え、以下に示す経験則として提案されている電力中央研究所の放物線式によって整理することとした（図-6）。

$$^2 = (1 - / t) R^2$$

- ここに、
- ：せん断強度
 - ：垂直応力
 - t：引張り強度
 - R：ゼロでの（ 0 ）

非線形表示の代表例としては次の放物線式がある²⁰⁾。

$$\tau^2 = (1 - \sigma / \sigma_t) \tau_R^2 \quad (3.8.1)$$

- ここに、
- τ ：岩盤のせん断強さ
 - τ_R ：岩盤の見かけのせん断強さ
 - σ ：垂直応力
 - σ_t ：岩盤の見かけの引張り強さ

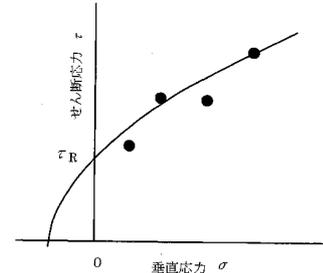
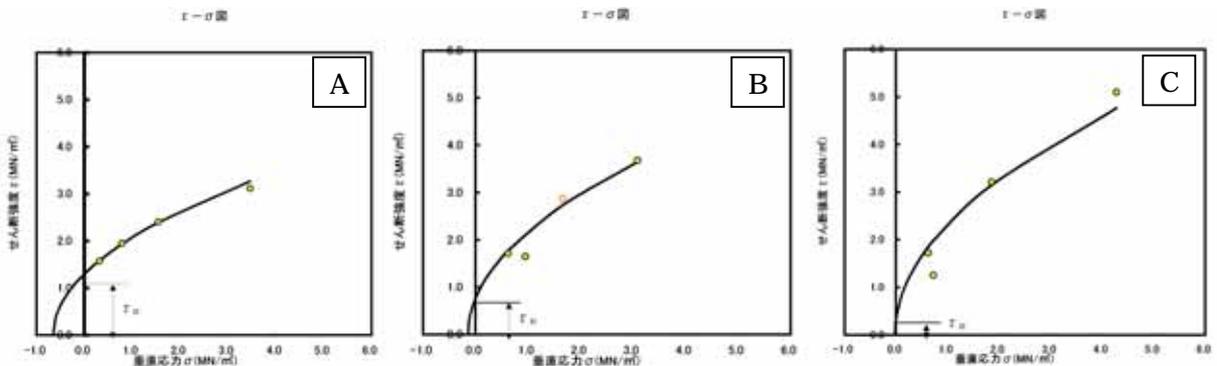


図-6 放物線式の破壊包絡線³⁾

引張り強度については、せん断試験データに曲線がフィットするように仮想引張り強度 t および R をトライアルして設定した。その結果は図-7 に示す。



A 試料：硬岩 B 試料：中硬岩～軟岩 C 試料：軟岩

図-7 岩石 - セメントミルク張合わせせん断試験結果

(2)せん断試験結果および考察

- ・全試料でせん断破壊面は貼合わせ面となった。
- ・ σ_0 は腐朽の進んでいない試料(A 試料)で大きく、腐朽の進んだ試料(C 試料)で小さい結果となった。
- ・腐朽の進んだ試料ほど高い垂直応力下では剪断強度が強いという結果となった。研磨面の仕上がり粗さが関与している可能性がある。同じ研磨剤を用いても腐朽した試料ほど粒子が飛びやすく粗い研磨面となったことが影響していると考えられる。
- ・実地盤のアンカー極限周面摩擦抵抗力は、室内試験における σ_0 のせん断強さ τ_R の約 60% 程度の値となった。実地盤のアンカー極限周面摩擦抵抗力に照らし合わせると、アンカーの極限周面摩擦抵抗に垂直応力が寄与しないケースがあるものと考えられる。

アンカー一体と定着地盤間の周面摩擦抵抗 (u) は、下記式のように考えられている。今回の室内試験結果では、下式の右辺第一項がゼロとし、その 60% の値が現地試験と整合する結果となった。

$$u = K \cdot z \cdot \tan \phi + c$$

ここに、K：土圧係数

z：有効上載圧 (kN/m²)

ϕ ：アンカー一体と地盤との摩擦角度 (°)

c：アンカー一体と地盤との粘着力 (kN/m²)

岩盤中に円柱空洞 (グラウト体) が形成された後、応力の再配分が速やかに完了し空洞が自立する、土被りが浅いなどの条件がそろった地盤では、アーチ効果などにより円柱空洞上の有効土被り圧は岩盤 - グラウト間の付着力にはほとんど寄与しない可能性がある。

4. まとめ、今後の課題

(1) まとめ

- ・岩盤のアンカー極限周面摩擦抵抗力設定に室内せん断試験が適用できる可能性が探れた。
- ・原位置の付着強度は、室内試験値 σ_0 のおよそ 60% 程度となった。
- ・地盤条件によっては、有効荷重 (垂直応力) はアンカー付着機構に関与しない可能性がある。

(2) 今後の課題

- ・せん断強さのフィッティングに用いた式は、データ数そのものが少なくその妥当性に議論の余地がある。今後データを重ね検証が必要であると考えられる。
- ・データ整理の段階で引張り強度を外挿したが、圧烈試験値を補足して再検討しておく必要がある。

～参考文献～

- 1) グラウンドアンカー設計・施工基準, p-117, (社)地盤工学会, 2000
- 2) 岩の調査と試験法, p-464, 土質工学会, 1989
- 3) 岩の試験・調査方法の基準・解説書, p-124, (社)地盤工学会, 2006