

「沖縄斜面調査研究会」での島尻層群泥岩の周面摩擦抵抗の研究の状況

(H29~30 年度結果、および今後の方針)

1. 目的

沖縄県本島中南部および宮古島等に分布する島尻層群泥岩は新第三紀鮮新世に形成された堆積岩である。地盤の周面摩擦抵抗(τ)の一般値については、「グラウンドアンカー設計施工基準、同解説」に、地盤種類との対照表が示されている。しかし、既往の研究より島尻層群泥岩については同表中適合する地盤種類に対し、かなり低い周面摩擦抵抗になることが知られている。

以上を踏まえ、設計時において島尻層群泥岩周面摩擦抵抗の適正な値を使用できるようするために、「島尻層群泥岩の周面摩擦抵抗の設定方法の立案」を目的とし研究を行っている。

2. 研究の経過状況

研究の経過状況の概要について以下に示す。

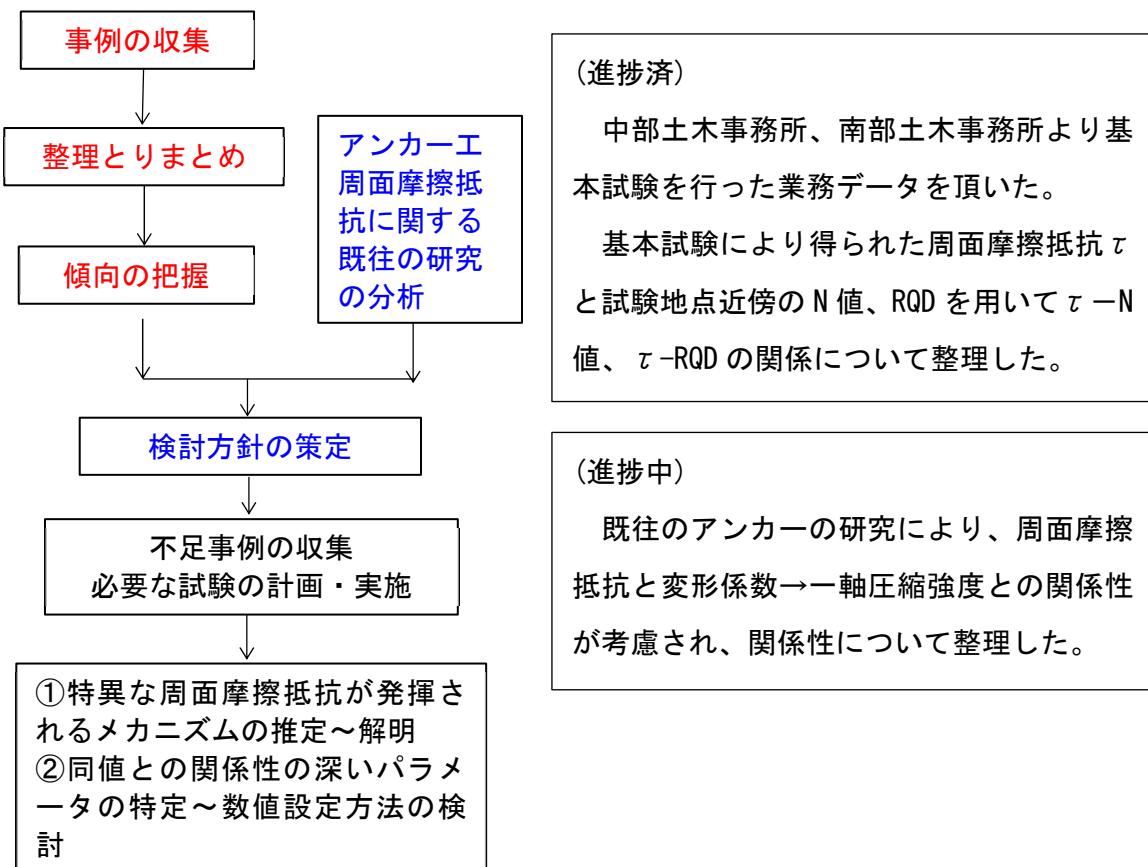


図-2.1 研究の流れ

(凡例) 赤 : 進捗済み、青 : 進捗中

3. 収集資料を用いた検討

3.1 収集資料

以下の資料を入手した。

表-3.1 収集資料一覧

事例番号	現場名	場所	調査・設計期間	基本試験実施期間	基本試験数	アンカータイプ	その他の試験
1	金城ダム	那霸市	昭和54年～平成2年	平成元年	2	摩擦型, 拡孔支圧型	一軸圧縮試験 一面せん断試験
2	安里地すべり	中城村	平成18年～平成19年	平成18年～平成23年	6	摩擦圧縮型	三軸圧縮試験 リングせん断試験
3	熱田地すべり	北中城村	平成20年～平成25年	平成23年～平成28年	7	摩擦圧縮型	—
4	森川地すべり	西原町	平成20年	平成21年	2	摩擦圧縮型	—

表-3.2 収集資料の基本試験結果およびN値、RQD

場所名	工区番号	設計 τ 値(N/mm ²)	計画最大荷重		試験値		備考1	近傍のN値	RQD	備考2
			荷重(kN/本)	対応する τ 値	荷重(kN/本)	確認 τ 値				
金城ダム	S63				0.29			53	80%	試験後30年が経過しており、情報の欠落が多い。
	H1				0.29			60	85%	
	"				0.25			60		
森川		0.35	600		445.3	0.35	(B測線),480kNで引き抜け発生	65	75%	基盤岩,部分破碎帶
		0.35	600		480	0.38	(B-1測線),600kNで塑性変位?	55	60%	基盤健全部
安里地すべり	H18-1	0.3	199	0.367	199	0.36	199kN($\tau = 0.36$)でも引き抜けず		74.93%	地すべりの滑落,更に切土整形,元地盤の深部に定着層を取っている。
	H18-2	0.3	199	0.367	199	0.36	199kN($\tau = 0.36$)でも引き抜けず 72,180.65kNで塑性変位の折れあり		84%	
	H18-3	0.3	199	0.367	199	0.36	199kN($\tau = 0.36$)でも引き抜けず	127	92%	
	H22-1	0.3	199.8	0.37	163	0.30	179kN($\tau = 0.33$)で許容変位を逸脱	82	84%	H18-1工区に接する区間,災害ブロックの外であり,定着層位置は元地山により近い
	"	"	"	"	179	0.33	196kN($\tau = 0.36$)で許容変位を逸脱	82		
	H23-1	0.35	189.6	0.35	162.5	0.30	189.6kN($\tau = 0.35$)でアンカ一体の引き抜けが発生	65	80%	
熱田地すべり	H22-2	0.3	199.8	0.35	199.8	0.35				63 90%
	"	"	"	"	"	"				
	"	"	"	"	"	"				
	H23-2	0.3	190	0.33	136	0.24	146kN($\tau = 0.25$)で引き抜け発生	59	92%	
	H24-1	0.3	187	0.33	170	0.3	187kN($\tau = 0.33$)で弾性変位が急激に上昇値を逸脱	61	91%	
	H26	0.3	282.7	0.5	113	0.2	141.3kN($\tau = 0.25$)で塑性変位量が急激に増加 し,169.6kN($\tau = 0.3$)で引き抜けが発生			52 87%
	H26	0.3	282.7	0.5	141.3	0.25	169.6($\tau = 0.3$)で塑性変位量が急激に増加,引き抜けが発生したものと考慮される。			
	H27-2	0.3	139.7	0.32	139.7	0.32	139.7kNでも引き抜けず	76	97%	
	"	0.3	196	0.36	196	0.36	196kNでも引き抜けず			実施位置が不明
	H28-2	"	195.1	0.3	195.1	0.36	195.1kNでも引き抜けず	72	81%	
	H28-3		130.8	0.3	130.8	0.36	130.8kNでも引き抜けず	72	81%	
	"		260.4	0.3	260.4	0.36	260.4kNでも引き抜けず	92	73%	
	H28-4	0.35	196	0.36	196	0.36	196kNでも引き抜けず			55 85%
	"		196	0.36	196	0.36	196kNでも引き抜けず			

3.1. 島尻層群泥岩の周面摩擦抵抗とN値との関係

(1) 各箇所別近似直線

各地区毎に、 τ とN値との関係について整理した。これより以下の傾向が得られた。

(傾 向)

1) 金城ダムと森川ではマイナス方向の正規関係となり、適合性が不明瞭。

(データ数が少ないこともある。)

2) 安里では、相関係数 $R^2=0.8$ と比較的高い相関が得られた。

3) 熱田では、相関係数 $R^2=0.2$ と低い。

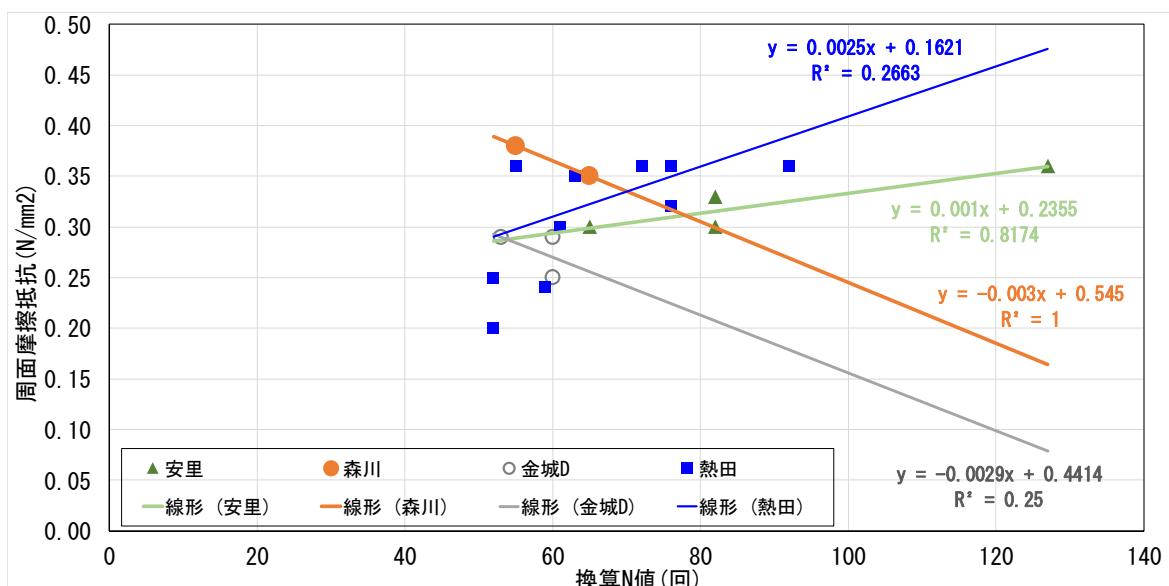


図-3.1.1 収集事例の周面摩擦抵抗－換算N値関係図(各地区)

(2) プラス側の近似直線が得られた安里、熱田の近似直線(曲線)

次にプラス側の近似直線が得られた安里、熱田について抽出し、これらのデータに対し、近似直線を描画した。これより以下の傾向が得られた。

(傾 向)

1) 近似直線の相関係数は $R^2=0.18$ と低い。

2) 本直線を利用すると N 値 50 の時、 $\tau=0.28\text{MN/m}^2$ となる。

3) 換算 N 値 100 の時、 $\tau=0.37\text{MN/m}^2$ と上限値は $\tau=0.4$ 以下となる。

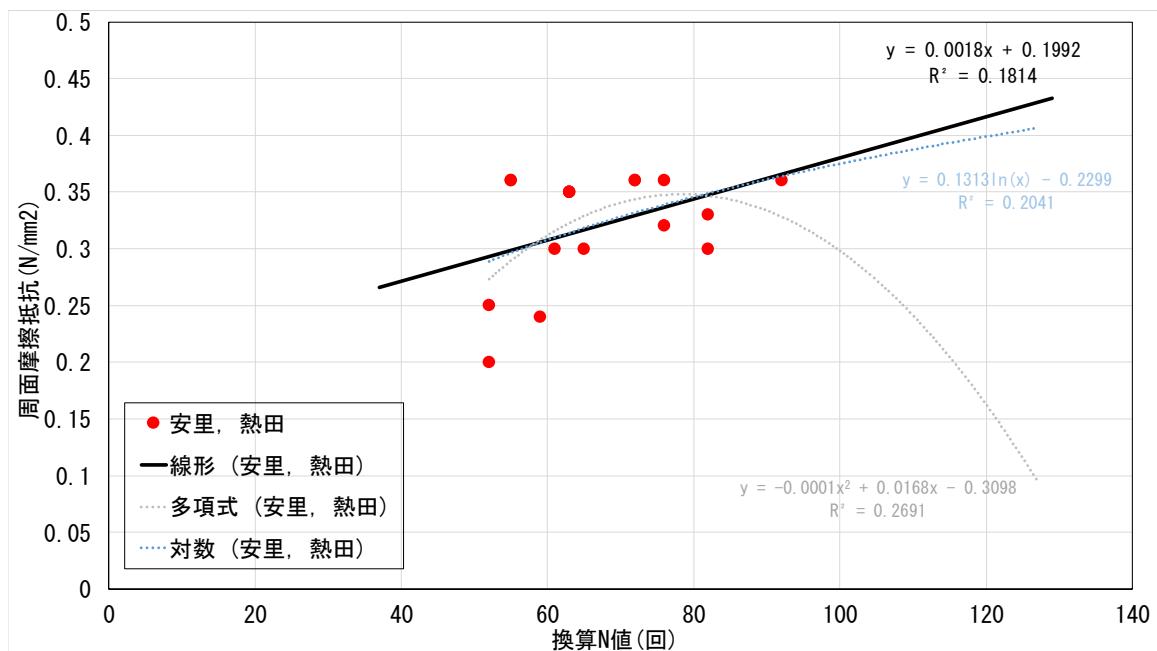


図-3.1.2 収集事例の周面摩擦抵抗－換算N値関係図(安里、熱田地区)

3.2 島尻層群泥岩の周面摩擦抵抗とRQDとの関係

次に、周面摩擦抵抗とRQDとの関係について整理した。RQDについては、金城ダムでは調査時に得られているが、他事例では算出していない。そこで、柱状図中の記事およびコア写真より亀裂を読み取り、RQDを算出した。

周面摩擦抵抗-N値と同様、各地区における関係を整理した。これより以下の傾向が把握された。

(傾 向)

- 1) 安里以外の地区ではマイナス方向の正規関係となり、適合性が不明瞭。
- 2) 安里ではプラス方向の正規関係が得られたが、傾きはかなり低い。相関係数も $R^2=0.01$ とかなり低い。

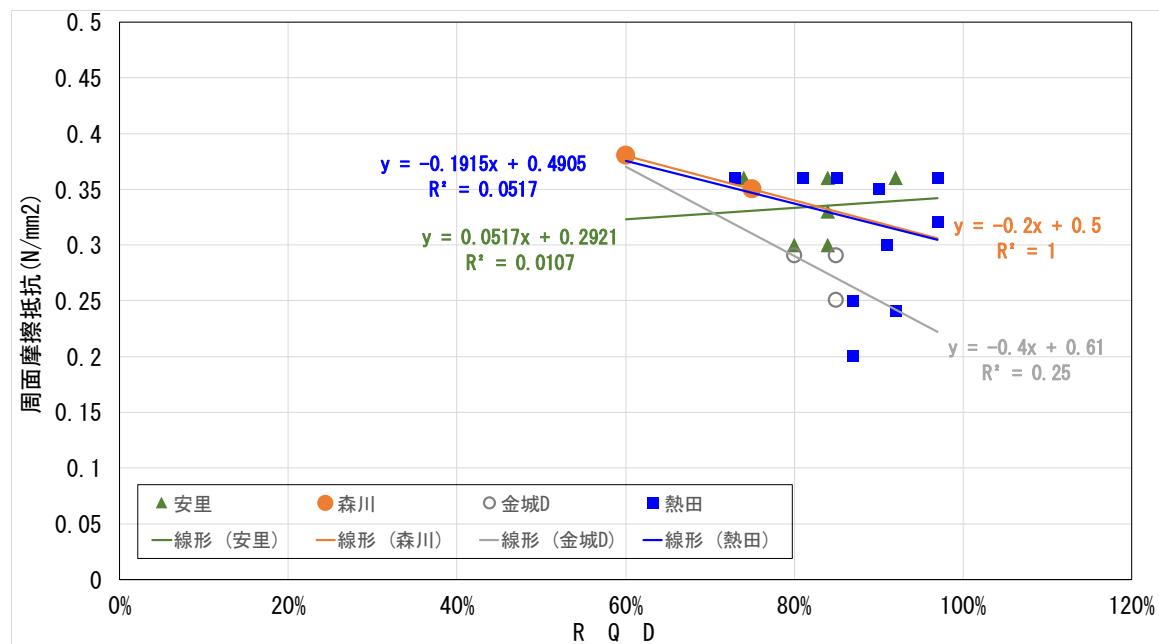


図-3.2.1 収集事例の周面摩擦抵抗-RQD関係図（各地区）

3.3 引き抜けの有無と N 値、RQD 値とのヒストグラム

引き抜けの有無別に、各事例に対応した N 値、RQD をヒストグラムでとりまとめた。とりまとめにおける条件を以下に示す。

(条件)

- 1) 事例は「安里、熱田、森川」を利用
- 2) 引き抜け有・無の基準は $\tau \leq 0.36\text{MN/mm}^2$ とする。

これにより、以下の傾向が把握された。

(傾向)

- 1) 周面摩擦抵抗 $\tau = 0.36\text{MN/m}^2$ での引き抜けの有無に関し、換算 N 値の頻度分布では、換算 N 値 50~90 の間では差異は認められなかった。
- 2) " " 、換算 N 値 91 以上の場合、引き抜けの発生は認められない。
- 3) " " 、RQD の頻度分布では、差異は認められなかった。

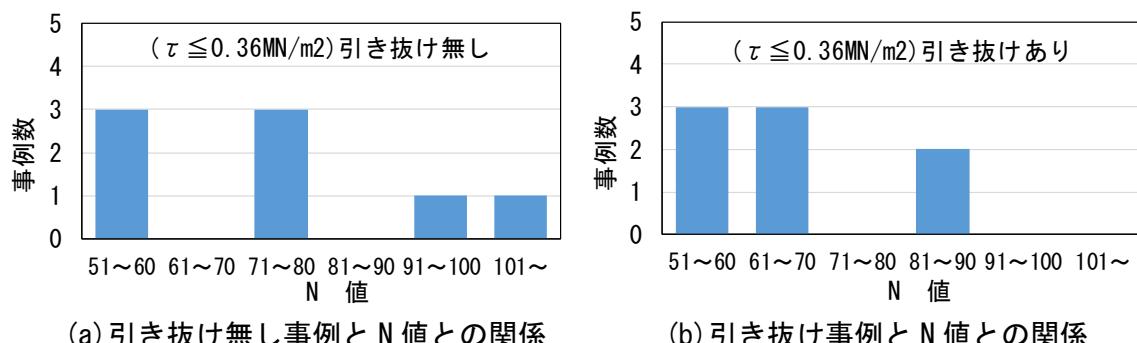


図-3.3.1 基本試験の引抜けの有無と N 値との関係

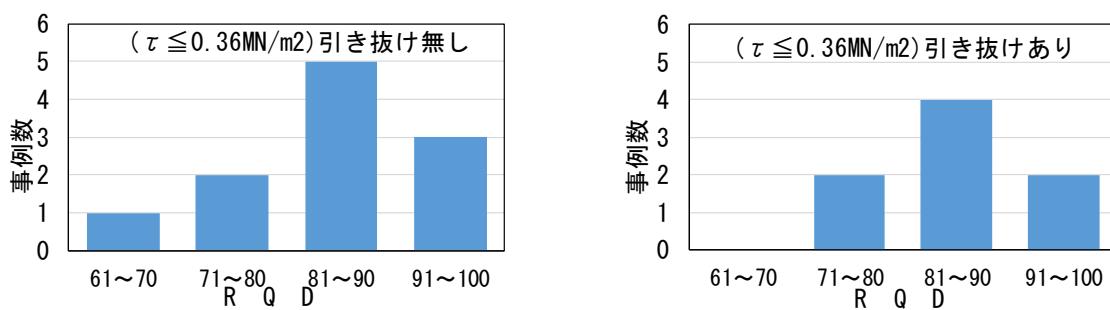


図-3.3.2 基本試験の引抜けの有無と RQD との関係

3.4 まとめ

既往資料を用いた統計処理により以下の傾向が把握された。

(傾 向)

- 1) 周面摩擦抵抗 τ と R Q Dとの間には相関的な関係は認められない傾向が得られた。
- 2) 周面摩擦抵抗 τ と N 値との間には、若干相関的な関係が認められた。ただし安里と熱田の事例の統計処理では、相関係数は $R^2=0.1$ 程度とかなり低い。
- 3) 換算 N 値 91 以上では、周面摩擦抵抗 $\tau \leq 0.36MN/m^2$ で引き抜けが“発生しない”傾向が把握された。

4. 既往文献からの把握事項

アンカーの周面摩擦抵抗に関する研究、考察が行われた既往文献として以下がある。

(文献 1) 「抑止工による地すべり防止対策：中村浩之、2005」

(文献 2) 「グラウンドアンカーの周面摩擦抵抗に関する模型実験：桑島ら、H7」

以上の文献より示されている事項について以下に示す。

4.1 文献 1 より把握された事項

4.1.1 実地試験の事例

引っ張りタイプのアンカーについて、実際のアンカーに歪ゲージを設け、地中に設置し、発生する応力を計測した事例が示されている。これにより、以下の傾向が示されている。

(把握事項)

1) 引っ張り型の場合、定着部の手前側 4~5m までで応力が発生し、これより離れるとほとんど応力が発生していない状況が把握された。

2) 1) より、定着体を長くする場合の引張り力の増加するについて、付着応力度を低減させることが望ましい旨記載されている。

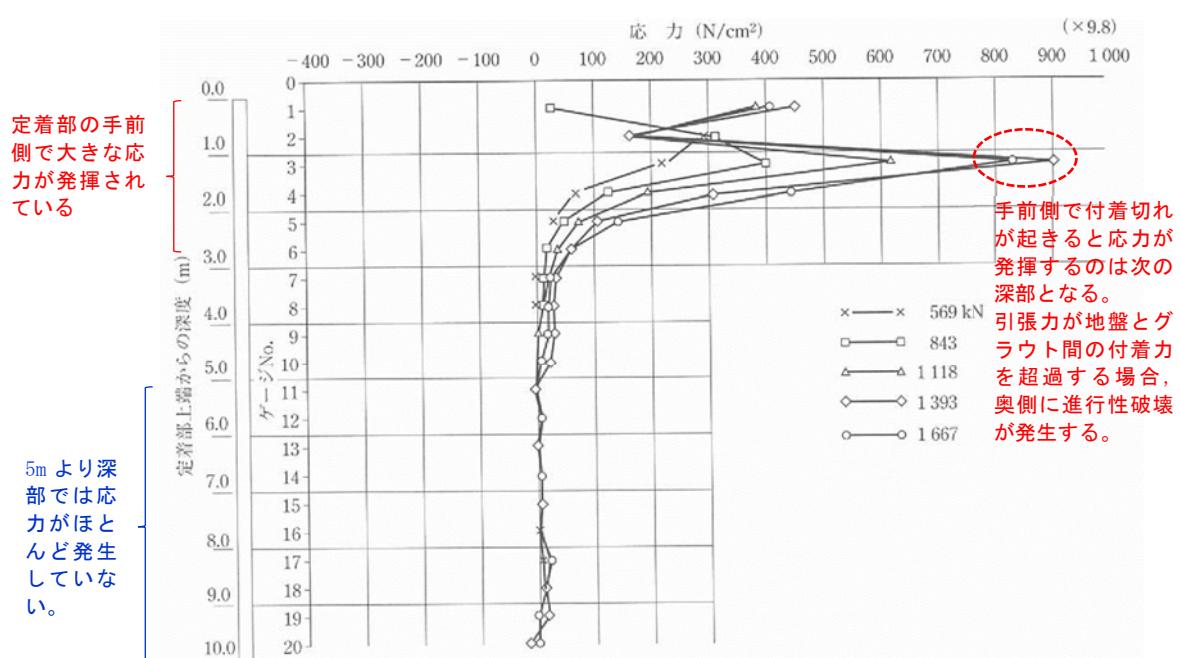


図-4.1.1 定着部における引張応力分布(実際のアンカーに歪ゲージを設け発生する応力を計測した事例) 加筆「抑止工による地すべり防止対策：中村浩之, 2005」

上記事象は重要な事項ではあるが、島尻層群泥岩の基本試験は圧縮タイプで相違している。考え方として、引っ張り力が十分働くための定着体長さ h は 4~5m である。基本試験の試験体は $L=1.5\text{m}$ 程度であり、 $L=1.5\text{m}$ 内で收れんする応力しか発揮されない可能性が考慮される。

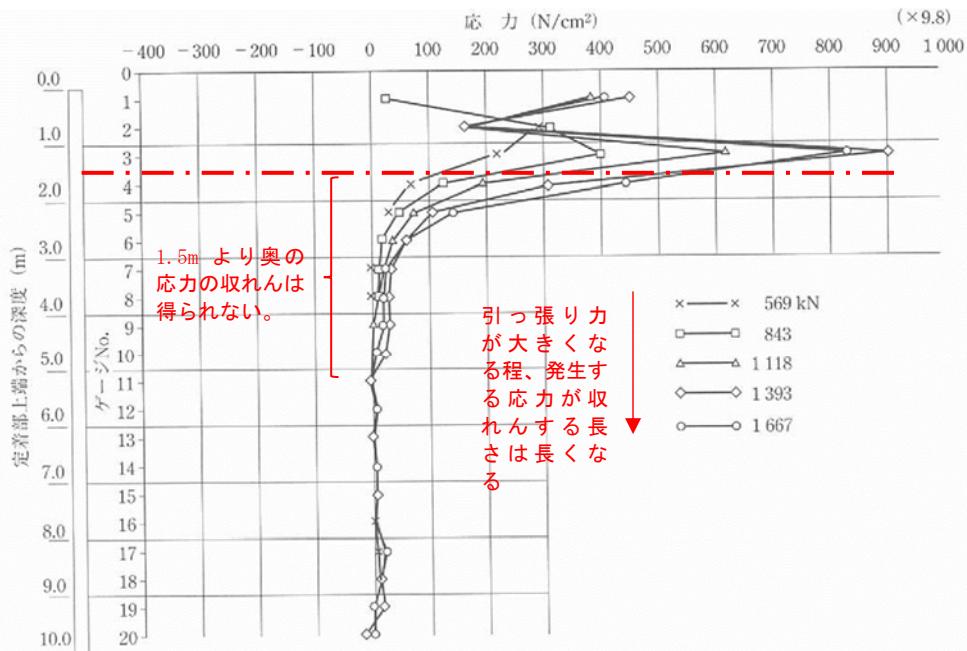


図11.25 定着部における引張応力分布（亀の瀬地すべり地における試験結果）

図-4.1.2 定着部における引張応力分布(実際のアンカーに歪ゲージを設け発生する応力を計測した事例)加筆2「抑止工による地すべり防止対策：中村浩之, 2005」

また、本文献では、一軸圧縮強度を用いた周面摩擦抵抗の推定の考え方について示されている。

4.1.2 力学試験結果を利用した周面摩擦抵抗の算定方法

文献1には、周面摩擦抵抗を算定する方法として、以下の4つが示されている。

- 1) 基本試験
- 2) せん断試験結果(c, ϕ)
- 3) 一軸圧縮強度(q_u)
- 4) N 値

このうち、2, 3)は一般的に用いられないものである。これらを適用し、周面摩擦抵抗を試算した。

(1) せん段強度を用いた周面摩擦抵抗の算出

せん断強度を用いた周面摩擦抵抗の算出式としては以下が示されている。

2) せん断試験結果の利用

地盤全体を代表できるサンプルでせん断試験を行い、せん断強度を求める。このとき地盤とグラウト境界面の最大平均付着応力は最小せん断強度を安全率（通常2以上）で除した値以下とする。この方法が適用できるのは主として一軸圧縮強度が7 MN/m²未満で回転パーカッション掘削ができるような軟い岩盤の場合である。

地盤が土である場合の設計付着応力度 (τ) の推定は式 (11.11) でもって行う。

ここに、 τ ：付着応力度 (MN/m²)

K_0 ：土質によって定まる係数 ($K_0 = 0.5 \sim 1.0$, 粘土で 0.5, 砂質土で最大 1.0)

γ ：土の単位体積重量 (MN/m³)

z : 深さ (m)

ϕ ：土の内部摩擦角（度）

c ：土の粘着力 (MN/m²)

「抑止工による地すべり防止対策：中村浩之, 2005」

(設定条件)

- 1) Ko : 粘性土 0.5、砂質土 1.0、粘性土とし 0.5 を用いた。
 - 2) γ : 新鮮な島尻層群泥岩の単位体積重量として、 20kN/m^3 を採用した。
 - 3) z : 供試体の採取深度は、10~25m と示されている。各強度を算出した供試体の深度は明記されておらず、同範囲より任意に 15m と仮定した。
 - 4) せん断強度試験が実施された、金城ダム、安里地すべりの事例を用いた。

表-4.1.1 せん断強度より算出した周面摩擦抵抗

現場	針貫入値 (kgf/mm)	c (MN/m ²)	ϕ (°)	K0	γ (MN/m ³)	z (m)	τ MN/m ²
金城 ダム	全平均	0.224	24.8	0.5	0.02	15	0.293
	0.1~0.2	0.142	29.5	0.5	0.02	15	0.227
	0.25~0.35	0.165	38.7	0.5	0.02	15	0.285
	0.4~0.5	0.369	5.8	0.5	0.02	15	0.384
安里地 すべり	—	0.0086	32	0.5	0.02	11	0.077
	—	0.0528	33	0.5	0.02	18	0.170

金城ダムで行われた基本試験では周面摩擦抵抗 $\tau = 0.29, 0.25 (\text{MN/m}^2)$ が得られている。

安里地すべりでは周面摩擦抵抗 $\tau = 0.3 \text{ (MN/m}^2\text{)}$ が得られている。

これより以下の事項が考察される。

(考 察)

- 1) 金城ダムでは基本試験で得られた周面摩擦抵抗とせん断強度からの算定した周面摩擦抵抗の値が比較的近似する。

2) 安里地すべりでは、基本試験で得られた周面摩擦抵抗とせん断強度からの算定した周面摩擦抵抗の値がかなり相違している。

(2) 一軸圧縮強度を用いた周面摩擦抵抗の算定

一軸圧縮強度を用いた周面摩擦抵抗の算出式としては以下が示されている。

3) 一軸圧縮強度による付着応力度の推定

極限付着応力度を岩盤の一軸圧縮強度の1/10にとる。ただしこの場合コア採集率100%の場合であり、セメントグラウト圧縮強度を42.0 MN/m²とし、極限付着応力度を4.2 MN/m²とするが、4.2 MN/m²に安全率を3.0をみると設計付着応力度は1.4 MN/m²が限度である。

しかしCoafes (1970) は最大作用付着応力度を2.45 MN/m²、安全率を1.75としている。これは極限付着力を4.3 MN/m²としているわけだが、粒状で風化したゆの値が比較的低いような岩盤では極限付着応力度を一軸圧縮強度の1/10にとるとせん断強度を著しく低く見積ることになるからである(図11.20)。このような場合には一軸圧縮強度の20~30%をとるのが妥当である。

「抑止工による地すべり防止対策：中村浩之, 2005」

(設定条件)

- 1) 文献に示されている一軸圧縮強度と周面摩擦抵抗の関係式、 $\tau = qu \times 1/10$ を用いる。
- 2) 1)の他、同様に示されている $\tau = qu \times 20\%$ 、 $qu \times 30\%$ 式での算出結果も並記する。
- 3) 金城ダムの報告書に示されている一軸圧縮強度結果を用いた。

表-4.1.2 一軸圧縮強度から算定した周面摩擦抵抗

一軸圧縮強度(qu) MN/m ²	$\tau = qu/10$ MN/m ²	$qu \times 20\%$ MN/m ²	$qu \times 30\%$ MN/m ²
0.9	0.09	0.18	0.27
1.7	0.17	0.34	0.51
1.7	0.17	0.34	0.51
3	0.3	0.6	0.9
3	0.3	0.6	0.9
1.4	0.14	0.28	0.42
2.2	0.22	0.44	0.66
2.8	0.28	0.56	0.84
2.5	0.25	0.5	0.75
1.9	0.19	0.38	0.57
2.2	0.22	0.44	0.66
2.4	0.24	0.48	0.72
2.4	0.24	0.48	0.72

(考 察)

- 1) 一軸圧縮強度より求めた結果と対比するとより $\tau = qu/10$ 式との適合性が認められた。

5. 島尻層群泥岩の周面摩擦抵抗を調査段階で求めるための研究方法(案)

以上を踏まえ、今後の研究方針としては、以下が挙げられる。

(1) 島尻層群泥岩の周面摩擦抵抗に関する要素を把握するための研究

1) 定着体部付近の一軸圧縮試験、三軸圧縮試験の実施

基本試験を行う現場、あるいは行われた現場で得られた試料について、一軸圧縮試験と三軸圧縮試験を行い、データを収集し、関係性の有無および関係式の算定を行う。

2) 定着体部地盤試料の鉱物分析および物理試験

強度へ影響する物性の条件として、配向性(非配向性)粘土鉱物の含有、粒度分布等が考慮される。よって、鉱物分析、粒度試験、液性塑性試験を行い、関係性の有無および関係式の算定を試みる。

(2) アンカーの構造が、周面摩擦抵抗に与える影響について

(STEP1)

摩擦型のアンカーでは引張りタイプと圧縮タイプ、圧縮分散タイプ、その他、異なった機構のアンカーが複数種類ある。各種タイプの特性、特徴の整理。破壊形式の整理を行う。その上で、アンカーのタイプで得られる周面摩擦抵抗が異なる可能性について整理する。
(ちゅらしまアンカーのメーカーよりアドバイス、講習等を頂きながら勉強中)

(STEP2)

STEP1で確認した破壊機構と、島尻層群泥岩との関係性について評価する。STEP1で示した破壊機構が合致しない場合、別途以下について検討を行う。

島尻層群泥岩においてアンカータイプで周面摩擦抵抗が異なる可能性について検討する。その上で、島尻層群泥岩においてより効果的に周面摩擦抵抗が得られるアンカータイプについて検討を行う。

(STEP3)

理論的により高い効果が得られるアンカータイプについて2つ程度選定する。選定したアンカータイプについて、同現場で基本試験を行い、理論的に推定される差と基本試験より得られた結果を対比させる。

※STEP2で理論的な差がない場合、アンカーの構造より、より高い効果が考慮されるアンカータイプを選出し試験を行う。