

(28) 結晶片岩切取斜面のアンカーの引抜耐力

九州電力(株) 天山発電所建設所 正会員 田野 襄一郎
同 上 徳留 幸 春
同 上 ○ 江藤 芳 武

1. はじめに

九州電力(株)が佐賀県の中央部に建設中の天山ダムは、天山発電所(600MW, 純揚水式)の上部調整池ダムである。ダムサイトの地質は三郡変成岩帯に属する黒色および緑色の結晶片岩とこれに貫入するアブライトで、風化が進み地表下10~30mは軟質化している。またサイトの地形が急峻で河谷が狭隘であるため、自然の状態では発電計画に必要とされる調整池容量300万 m^3 が得られず、この容量を確保するには調整池の周辺山腹の開削が必要となる。山腹の開削に伴い調整池周辺には最大長190m、面積15万 m^2 の長大な切取斜面が現れ、このうち約8万 m^2 はD級およびCL級(電研基準による)などの風化軟質岩である。この切取斜面は、湛水面より上部は主として種子吹付による緑化工で保護し、湛水面の上・下部合わせて3.8万 m^2 はコンクリートスラブとアンカー工により補強する設計で工事を進めている。

本稿はアンカー工の設計に当って実施したロックアンカーの引抜耐力試験と試験結果の設計・施工への適用に関して述べるもので、(1) 引抜耐力試験の精度向上についての試み、(2) 引抜耐力と不攪乱試料の強度特性との関係、(3) 試験結果の設計への適用、および(4) 施工時のアンカー定着部岩盤の引抜耐力の評価の手法およびそのアンカー施工管理への適用についての報告から成っている。

2. アンカーの引抜耐力試験

2.1 概 要

引抜耐力試験は予備試験と本試験とに分けて行った。予備試験はアンカー体と地山の大略の付着力の把握とアンカー体のひずみ検出法の検討を目的とするもので、CL級岩盤を対象に実施した。本試験は岩盤等級別の引抜耐力を求めるためにD級、CL級およびCM級の岩盤について行った。試験地点はコアボーリングによる地質調査ならびに密度測定の結果から決定した。試験個数と試験地点の岩盤の乾燥密度を表-1に示す。

2.2 アンカー体の造成

1) 削 孔 削孔はロータリーバーカッション方式による二重管水掘りによった。孔径(公称ビット径)は136mmである。アンカーの傾斜角度は、予備試験では実際の施工に合わせて水平から下向30°に造成したが、この角度では地層の傾斜が鉛直に近いと一様な地質の中にアンカー体を造成出来ないことが分り、本試験においてはアンカー体を鉛直方向に造成して地質条件の一様性を保つようにした。

2) 孔の容積 予備試験において試験完了後アンカー体を掘り出して定着部の形状を測定したところが平均径がA-1で163mm、A-2で192mmと削孔径136mmに対してかなり大きく削孔されていることが分った。従って削孔径を基にアンカーの付着力を求めると過大に評価することになる。このため定着部の容積、あるいは周面積を正確に測定することが必要・不可欠で、ここでは特製のビニールシートの袋(内径25cm、厚さ0.1mm)を用いて水置換法により孔の容積を測定し、平均径を求めることにした。

3) 注入工 孔の容積を測定した後、PC鋼棒またはPCストランドを挿入してセメントミルクの注入を行った。予備試験からD-1アンカーの注入までは5kg/cm²程度の圧力で加圧注入を行ったがバッカー部が破損してミルク漏れが多発したこと、無圧注入のD-2アンカーとD-1アンカーの試験結果に有意と判

表-1 引抜耐力試験数量

試験名	岩級	アンカー番号	乾燥密度(g/cm ³)
予備試験	CL級	A-1	2.08
		A-2	
本試験	D級	D-1	1.53
		D-2	
	CL級	CL-1	2.00
		CL-2	
	CM級	CM-1	2.47
		CM-2	

断される差が無く、加圧注入の効果が認められなかったのでCL級、CM級アンカーについては無圧注入とした。また、所定の定着長を確実に設定するため、予めセメントミルクのブリージングを試験して、定着部上部に余分のミルクを注入するとともに、硬化後に追切りを行った。

4) ひずみゲージ 従来、アンカー体の引抜耐力試験でPCストランドの素線に直接ひずみゲージを貼付した例は殆ど見当たらないようであるが、この試験では直接貼付を試みた。使用したひずみゲージは(株)共和電業社製のKFC-2-C型で、ストランドにはゲージ長2mm、グリッド幅2mmのものを、また鋼棒にはゲージ長5mm、グリッド幅2mmのゲージを用いた。更に、アンカー体のひずみの測定方法を検討するため長さ30cmの短尺鋼棒とアンカー体と同じ長さの長尺鋼棒(いずれも径7mm)にひずみゲージをはりつけて図-1のようにセットした。

2.3 荷重パターン

JSF規格(アースアンカーの設計・施工基準)によれば、引抜耐力試験時の処女荷重の荷重保持時間は、10分以上の一定時間とされている。この試験においても基準に準じて試験を進めたところ、D-1アンカーで引抜荷重10tonの荷重時に、収束傾向にあった変位量が約300分経過後に急増して極限状態に達するという現象があった。このためD-2アンカー以降の試験においては、当該斜面がダムと同等の重要な構造物であることから、クリープ変形を取り込んだ引抜耐力を求めるべきであるとして処女荷重段階では引抜変位量がほぼ零になるまで継続荷重した。なおD-1アンカーの降伏荷重は7ton強であった。また荷重のステップは岩級別に強度特性を考慮して定め、荷重方式は荷重→除荷、除荷→荷重の繰返しとした。引抜耐力試験のアンカーの諸元を表-2に、アンカー断面の例を図-2に示した。

2.4 試験の結果

1) アンカー体の平均径 アンカー体の容積の測定値から換算した平均直径は表-2に示すようでありD-1以下の本試験の結果は143mm～161mmであった。これは削孔径の5%～18%増しに相当し、アンカー体の引抜耐力試験ではその径(周面積)の測定精度如何で結果の評価を誤まる恐れがあることを示している。

2) ひずみの測定 この試験ではPCストランドに直接ひずみゲージを貼付して深度別のひずみ分布を測定した。自由長部のひずみは、ほぼ引抜荷重に相当する値を示し、この測定法の有効性を実証することが出来た。また予備試験で測定した短尺と長尺鋼棒によるひずみについては、当初長尺鋼棒のひずみはアンカー体の引張材と同様のひずみを示し、短尺では測定区間に対応するひずみが検出されるものと予想していたが、実際の現象は複雑であり、逐次破壊の進行経過を示すデータも得られているが試験個数が少ないこともあって、定量的な解析までには至っていない。

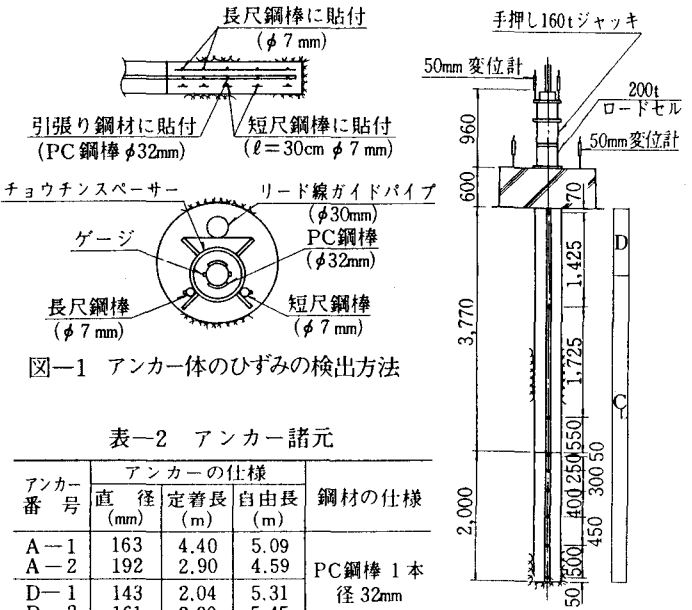


表-2 アンカー諸元

アンカー番号	アンカーの仕様			鋼材の仕様
	直径 (mm)	定着長 (m)	自由長 (m)	
A-1	163	4.40	5.09	PC鋼棒 1本 径 32mm
A-2	192	2.90	4.59	
D-1	143	2.04	5.31	
D-2	161	2.00	5.45	
C _L -1	158	2.00	5.48	PCより線 9本 径 12.7mm
C _L -2	149	2.00	5.33	
C _M -1	146	1.00	6.83	PCより線 12本 径 12.7mm
C _M -2	160	1.50	6.60	

図-2 アンカー断面 (C_L-2 アンカー)

3) 載荷時間 載荷時間と引抜変位量の関係を示す一例としてD-2アンカーの降伏荷重(22ton)の前後における引抜変位量を経過時間2分、9分、36分および最終時で整理し表-3を得た。載荷時間はアンカー工で補強する構造物の重要度、対象岩盤の強度、変形特性等、地点固有の要素を考慮して定めるべきであろうが、当地点の岩盤では降伏荷重に達するまでは処女荷重時の載荷時間は10分程度で良く、降伏荷重を越えると10分では不足するようである。

4) 降伏および極限引抜力 各アンカー体の降伏引抜力、極限引抜力および、これらに対応する付着力を表-4に示す。降伏引抜力は a) 荷重-変位量($\log P \sim \log S$)、b) 荷重-塑性変位量($\log P \sim \log S_p$)、c) 荷重-変位速度($P \sim ds/d \log t$)の三通りの方法で求めた値のうちの最小値とした。また極限引抜力はアンカー体が引抜ける直前の荷重である。

表-3 各経過時間に対する引抜変位量(mm)

荷 重 (ton)	経 過 時 間 (分)				最終時間 (分)
	2	9	36	最 終	
5	2.21	2.25	2.26	2.41	305
10	4.60	4.65	4.66	4.68	375
20	9.31	9.34	9.40	9.51	425
30	14.99	15.04	15.13	15.44	425
38	21.66	21.76	21.98	22.46	425

表-4 引抜試験結果

試験名	岩級	アンカー 番 号	降 伏 時		極 限 時	
			引抜力 (ton)	付着力 (kg/cm ²)	引抜力 (ton)	付着力 (kg/cm ²)
予備試験	CL	A-1	—	—	—	—
		A-2	—	—	—	—
本試験	D	D-1	7.4	0.8	10	1.1
		D-2	22	2.2	40	4.0
	CL	CL-1	48	4.8	65	6.5
		CL-2	65	6.9	90	9.6
	CM	CM-1	46	10.0	74	16.1
		CM-2	87	11.5	132	17.5

予備試験(A-1, A-2)では定着部の岩盤がCL級~CM級と予想より堅硬で、定着長が長いのにに対して引張材としてPC鋼棒(径32mm, 降伏強度76ton)を使用したので降伏引抜力を求めることは出来なかった。また、D-1とD-2アンカーとを比較すると付着力に3~4倍の差があるが、これは削孔時の穿孔速度およびスライムの性状からみて、D-2アンカーの定着部の下部1mがCL級の岩盤であったことによるものと考えられる。そこでD-2アンカーの定着部を上1mと下1mに分けて、夫々の区間の測定ひずみを基に付着力を計算すると、上半部のD級区間では降伏時で1.0kg/cm²、極限時で1.6kg/cm²となり、D-1アンカーの結果に照らしてみても妥当な値と言える。従ってD-2アンカーの付着力にはこの値を採用した。

5) 不攪乱試料による強度特性との比較 引抜試験箇所ならびに調整池内から採取した不攪乱試料の一軸および三軸圧縮試験の結果と引抜試験の結果とを比較した。一軸の結果については破壊時、降伏時強度の1/2をとり、三軸の結果は側圧0.5kg/cm²に対する軸差応力の1/2をとり、いずれも試料の乾燥密度で整理して図-3に掲げた。同じ図に引抜試験による付着力もプロットしてある。これによれば不攪乱試料による強度と引抜試験の結果とは高い相関性があり、不攪乱試料の強度特性からアンカー体の引抜耐力の推定が可能であることを示している。

3 試験結果の設計への適用

3.1 安全率

アンカー工の引抜耐力に関する安全率は、その取り方に定まった規程がなく設計者の判断に任されているようで、仮設構造物の場合1.3~1.5、永久構造物の場合2.0~3.0としている例が多い。当地点ではこのような例をも参考にして、更に地点固有の要素として a) 掘削による切取斜面の緩みに伴う強度低下、b) 地下水位下による定着部岩盤の強度低下、c) 風化による岩盤の強度低下、d) 岩盤強度のパラッキ等を考慮

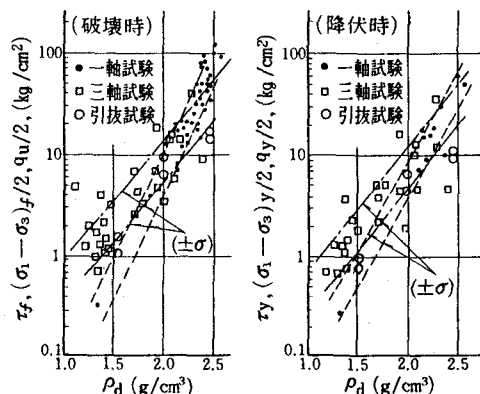


図-3 不攪乱試料の強度と付着力

し、また補強対象斜面の構造物としての重要性を考慮して、安全率は降伏引抜力に対して3、極限引抜力に対して4を採用した。

3.2 許容引抜耐力

引抜耐力試験は、各岩盤等級に対して2点しか行っていないが不攪乱試料の強度特性との対比からみて、試験の結果は各級岩盤を代表できるものと考えた。許容引抜耐力は、降伏時ならびに極限時の付着力を夫々の安全率で除した値のうちの小さいものを採り、表-5のように定めた。

4 アンカー体定着部の地質の推定とその施工への適用

アンカー体の造成を行う際、その定着部の地質・岩級をいかに正確に推定評価するかは対象岩盤が直接視察できないだけに、非常に困難な問題である。しかも、その評価如何がアンカー体の安全性と経済性を左右するために極めて重要な問題となる。

従来、この問題については二三の研究事例はあるものの実用的な推定・評価手法は確立されていない。そこで当地点では以下に述べる方法によって問題の解決を図った。まず岩盤等級が違えば削孔機械に対する切削抵抗が違い、切削抵抗の相違は削孔速度に比例すると考えて、岩級別に削孔速度を調査した。削孔機はアウターロッド(径136mm)とインナーロッド(径100mm)を装備した油圧式のロータリーパーカッションドリルを使用した。この機械には、機械全体の推力のほかにアウターロッドで回転力、インナーロッドで打撃力と回転力を発生させる機構がある。削孔速度によって岩級を推定しようとするれば、常時削孔の条件を一定にすること、すなわち機械の推力、回転力、打撃力を一定に保持しなければならない。ここで使用した機械は回転力の制御精度に若干の難点があり、二重管工法として使う場合には、入力、すなわち削孔エネルギーの一定保持が困難である。このためここでは回転力を凍結して、インナーロッドのみで掘進する方法を採った。掘進試験の結果は図-4に示すようである。これから削孔速度は岩盤等級で違い、同じ岩盤でも掘進位置が深くなると遅くなる傾向があることが認められる。図には岩級が併記してあるが、これは試験箇所の至近位置でのオールコアボーリングによる判定結果である。また、掘進試験後に試験孔を開削して、孔沿いの岩盤の乾燥密度を測定して図-5を得た。削孔速度と乾燥密度の間にも高い相関性があることが分る。アンカー体の引抜耐力は前掲の図-3に示したように岩盤の乾燥密度との関係が確認されている。従ってアンカー孔の掘進速度を知ることによって任意の箇所の岩盤等級が判定でき、アンカー体の引抜耐力を評価することが可能となる。

表-5 許容引抜抵抗力(kg/cm²)

岩級	降伏荷重より	極限荷重より	許容引抜抵抗力
D	0.27	0.28	0.3
C _L	1.6	1.6	1.6
C _M	3.3	4.0	3.3

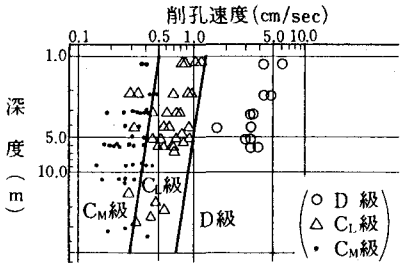


図-4 削孔速度と深度の関係

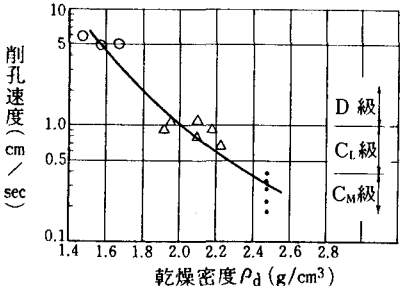


図-5 乾燥密度と削孔速度の関係

5 むすび

現在、切取斜面の補強工事は全体の90%が終わり、アースアンカー工1,164本、10,681m、ロックアンカー工1,144本、19,353mを施工した。施工に当っては掘削による切取斜面の挙動予測計算を行い、ひずみ計、岩盤変位計等による挙動観測で検証し、更にアンカー定着部の岩盤の性状を前述した方法により調査して、これらの計測・調査の結果を設計・施工にフィードバックして合理化を図った。なおロックアンカー定着部の孔径は平均140.1mm(試料数225本)に仕上がっている。

(28) ON PULLING RESISTANCE OF ROCK ANCHOR IN CUT SLOPE COMPOSED OF SCHIST

By Jyoichiro TANO, Yukiharu TOKUDOME and Yoshitake ETOH

Kyushu Electric Power Co., Inc.

Tenzan Hydroelectric Power Construction Office

This paper describes the pulling resistances of rock anchor in the cut slopes around Tenzan reservoir. Tenzan reservoir is the upper one of Tenzan Power Station of pure pumped storage type (600MW) and its effective storage capacity is 3,000,000 m³.

In this site, because of narrow valley and steep gradient of the river, it is necessary to get the greater part of effective capacity of the storage by cutting hillsides around the river.

As a result of the cuttings, extensive cut slopes consisting of weathered schists are made around the reservoir and these slopes need to be reinforced or to be protected against slide and weathering according to weathered degree. After various examinations, as measures of slope reinforcement under full reservoir level, rock anchor structure system is selected. Besides, most parts of slopes above the reservoir are mainly protected with vegetative cover in addition to an extensive surface drainage system.

Therefore, as a fundamental study for reinforcements, the in-situ tests were performed at the rocks of the weathered schists, the same ones of the cut slopes. These tests contain the pulling tests of rock anchors and the drilling tests of anchor holes.

The results of these tests have been applied to the design and the execution of the rock anchor works.

The contents of this paper are as follows ;

- (1) Some trials in order to improve accuracy of measurement on the pulling tests of the rock anchors.
- (2) The relations between the pulling resistances and the characteristics of compressive strength of the undisturbed specimens.
- (3) The application of the results of the pulling tests to the system design of the rock anchors.
- (4) Some skills of the estimation for the classification of rock grades at the fixed part of the anchors under construction and their applications to quality controls of the execution of the anchor works.