

東京都立大学 工学部 正会員 山本 稔
 岡部株式会社 研究所 倉田勝次
 ○ " " 正会員 加藤洋一郎

1. はじめに

風化が進んでいたり、亀裂が発達して脆弱化している岩盤斜面については、単に表面保護のみではなく、斜面の安定化を図る手段を構ずるのがよいと考える。このような岩盤斜面に対し、斜面安定の技術的観点から、また自然保護の観点からも有効と思われるアンカー工法について1つの考え方をのべるものである。

大斜面などの地すべりに対する工法とは異なり、比較的小規模の斜面表層の崩壊抑制を意図したもので、亀裂などで結合力の低下した岩片をロックボルト（全面接着式又は併用式）で結合して岩塊とし、これを石垣における間知石にみたとて、斜面に擬似石垣構造体を造成し、斜面の安定を図る工法である。本工法は自然斜面および切土斜面に適用することを目的とするがこれと類似の工法に盛土斜面に対するテル・アルメー工法がある。

2. 実験概要

実験にあたっては、風化の極度に進んだ場合を想定して砂を対象にした。砂は利根川河口砂であり、すべて気乾状態で用いた。砂の物理試験結果は、表-1のとおりである。

表-1 砂の諸常数

内部摩擦角 (°)	40
含水比 (%)	2.38
均等係数	1.91
比重	2.78
単位体積重量 (g/cm³)	1.58
安息角 (°)	33

実験は、①基礎実験—アンカーボルトの引抜抵抗力と、②斜面崩壊の模型実験の両者からなる。

2-1 基礎実験—アンカーボルトの引抜抵抗力

実験装置及び方法は図-1に示すとおりである。実験に用いたアンカーボルトは引抜抵抗をもたせるために、直径3mm、長さ l のピアノ線のボルトに一边 a なる方形板をアンカーヘッドとしてとりつけた。 a 及び l は経験的に定め、その値を表-2に示す。実験にあたってはこれらのアンカーボルトに対し、単一ボルト、2本群ボルト（群ボルト効果）、4本群ボルト（群ボルト効果）、装置を傾斜させた傾斜ボルト（単ボルトのみ）、斜めボルト（単ボルトのみ）の引抜抵抗力の計測を行なった。この結果から、斜面崩壊の模型実験に用いるアンカーボルトの力学的性質を示す資料として、ブロック化の条件を推定した。

表-2 アンカーヘッド及び長さ

a (mm)	10, 15, 20
l (mm)	100, 150, 200, 250, 300

アンカーボルト: 3×5=15種類

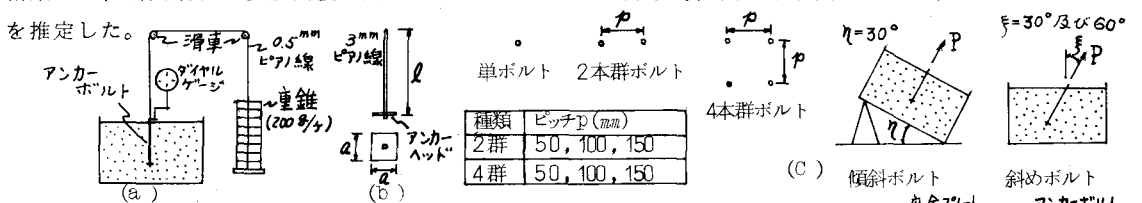


図-1 基礎実験装置

2-2 斜面崩壊模型実験

実験に用いたアンカーボルト及び実験装置を図-2に示す。アンカーボルトには砂の流出を防ぐため、その先端部に100mmの座金プレートがついている。アンカーボルトは鉛直面内で横方向に一行にしき並べたのち、座金プレートの前後に砂を座金高さまで一様にしきつめる。この作業を幾段もくり返して砂とアンカーボルトからなる鉛直斜面をつくりあげる。

そののち、アンカーボルト前面の砂を排除しながら、斜面の崩壊する高さ（限界高さ）を求め、アンカーボルトの崩壊抑制効果を調べることにした。実験条件は次のとおりである。①斜面高さ $H=1.0$ m（座金プレート10段分）。

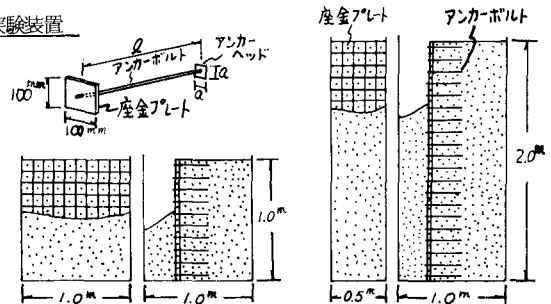


図-2 斜面崩壊実験装置

巾1.0m（座金プレート10枚分）の装置において、 $\ell=250\text{mm}$ 、 $\alpha=10^\circ, 20^\circ$ のアンカーボルトの場合

②斜面高さ $H=2.0\text{m}$ 、巾0.5mの装置において、 $\alpha=20^\circ$ 、 $\ell=150, 200, 250\text{mm}$ の場合

3. 実験結果

3-1 基礎実験：アンカーボルトの引抜抵抗力

アンカーボルトの長さ及びヘッドの寸法、設置間隔の違いによる引抜抵抗力の実験結果を表-3に示す。

単ボルトの引抜抵抗力を円錐形の砂の重量におきかえ、これをもとに群ボルトの引抜抵抗力を数値的に推定すると表-4のとおりである。計算値と実験値との誤差は10

%以内に納まっており、計算による推定は比較的妥当であると考えることが出来る。この結果を利用して、群ボルト1本当りの引抜抵抗力 R とボルトの設置間隔 p との関係を定めた結果は、図-3に示す通りである。このデータは後述する斜面崩壊の模型実験にあたり、斜面の状況に応じて使用すべきアンカーボルトと設置間隔を定める基礎資料となる。

表-3 アンカーボルトの引抜抵抗力

実験種類	α (mm)	破壊荷重 P_b (gr)				
		100	150	200	250	300
単ボルト	10	1,400	2,880	5,480	7,760	9,680
	15	1,640	3,600	7,120	12,100	15,000
	20	1,520	4,160	8,200	13,100	20,000
2群	ピッチ50mm	20				
	" 100	20		5,920	10,900	14,700
	" 150	20			12,100	
4群	" 100	20				
	傾斜傾斜角30°	20			7,400	
	傾斜傾斜角30°	20			13,200	
合計の引張	" 30°	20			10,500	
	" 60°	20			7,720	

表-4 計算による円錐形の砂重量

種類	α (mm)	p (mm)	砂の重量 (gr)	
2群	20	50	200	300
			8,250	90.9%
		100	6,350	9,800
	150		10,7%	90.0%
			11,100	91.7%
			7,300	98.6%
4群	20	100		

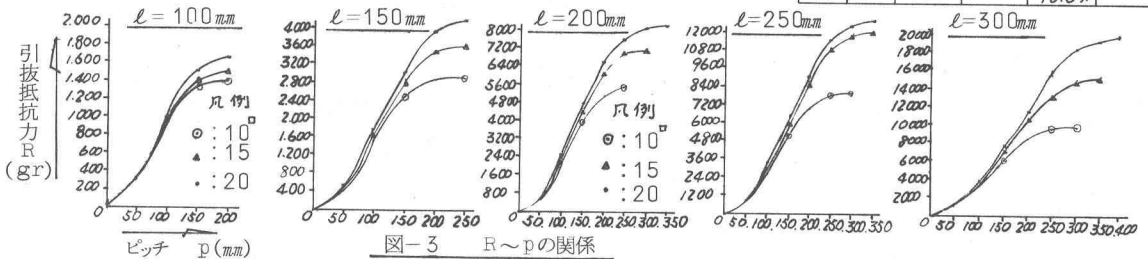


図-3 $R \sim p$ の関係

3-2 斜面崩壊模型実験

実験結果を表-5に示す。

この模型実験から、アンカーボルトによる斜面崩壊抑制効果のあることは明らかである。基礎実験結果を利用して、アンカーボルトによって形成される擬似石垣構造体の限界高さを下記計

表-5 斜面崩壊模型実験結果

No	α	ℓ	p	斜面高さ	状況
1	-	-	-	1m	アンカーボルトは設置せず、押え板（座金プレート）のみの場合 前面の砂を排除中、10cmと20cmで崩壊
2	20	150	100	2	前面の砂を排除中、2回とも90cmで崩壊
3	20	200	100	1.5	前面の砂を排除中140cmで崩壊 2回目は150cmで自立、上載荷重50kgで崩壊
4	10	250	100	1	前面の砂を全部排除しても1.0mで自立 上載荷重100kgで崩壊
5	20	250	100	1	前面の砂を全部排除しても1.0mで自立 上載荷重300kgでも崩壊せず自立
6	20	250	100	2	前面の砂を全部排除しても2.0mで自立 上載荷重50kgで崩壊

算式に従って定めると表-6のようになる。

(a) 転倒 $y_0 = 3\ell \left\{ -\frac{1}{2} \cot \theta + \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cot \theta \right)^2 + k/3} \right\} k \cdot \sin \theta$

(b) 滑動 $y_s = 2\ell (\tan \phi - \cos \theta) / k \cdot \sin \theta$

(c) 引抜抵抗 $y_b = R/K \cdot p \cdot r \cdot \sin^2 \theta + \frac{1}{2} p \cdot \sin \theta$

土圧係数 $K = \sin^2 (\phi + \theta) / \sin^2 \theta \left\{ 1 + \frac{\sin \phi \cdot \sin (\phi + \theta - \pi/2)}{\sin \theta} \right\}^2$

この結果から、限界高さは(b)の滑動で求めた値が実験値に最も近似していることがわかる。今後さらに数多くの実験を行なって自然斜面及び切土斜面に対する1つの崩壊抑制工を確立させたい意向である。写真は、アンカーボルトと砂からなる鉛直斜面が自立しているところを示す。実験にあたり、都立大生 宇佐美吉久君には多大な協力をいただき謝意をあらわす。

参考文献：ロックボルトと土工工事・山本 稔

表-6 限界高さ

ℓ mm	y_0	y_s	y_b	実験値
0	0 cm	0 cm	0 cm	10 cm
100	37.1	77.1	326	-
150	55.7	115.7	537	90
200	74.3	154.3	748	140
250	92.8	192.9	952	200
300	111.4	231.5	1185	-

