

III-16 風化花崗岩に対する注入実験

本州山口連絡橋公団

○ 村上 憲 司
岡田 凌 太

1. 実験の目的

本実験は、真砂状風化花崗岩にグラウト注入をし諸試験を行う事に依って、その改良効果を検討し本田連絡橋基礎工の工事用基礎資料を得ようとするものである。

図-1 実験地質平面図

2. 実験の位置と地質

2-1 実験の位置

愛媛県越智郡上浦町多々羅岬海岸、図-1に示す。

2-2 実験場所の地質

1) 地質概況

大三島地域は花崗岩地帯で他に石灰岩、ホルンフェルスの小規模な岩体が分布している。実験場所の多々羅岬附近は花崗岩より他に石英斑岩の岩脈が、ほぼ東西方向に走っている。全体に風化が進み所謂「真砂」状を呈しており岩としての形状は保っているが手でバラバラに壊れるものである。

2) 試験に依る地質評価

地質状況を知る為グラウト注入前に各種試験を行った。試験結果を表-1に示す。この試験結果より当地質は、ほぼ次の様に見える事が出来る。

a) 各孔共一様に風化しているが、その風化は可成り進んでいる。特に地表面から2~3mの所はその傾向が強い。

b) 各孔共深さに反比例して風化程度が減少している。

3) ピット位置の地質

実験箇所全体に風化が非常に進んでいて肉眼的にはピット内の水平、垂直方向共、殆んど同質の岩である。節理面には薄く粘土が付着している場合が多い。

3. 実験工程

本実験作業の工程表を表-2に示す。

4. 地盤調査特にピット内載荷試験

グラウト注入の前後でグラウト効果を調べる為に諸実験を実施したが、その調査内容を以下に記す。

4-1 孔内載荷試験

試験孔はφ60mm長さ5mで各孔共、孔深1, 2, 3, 4mの深度で実験を行った。実験には応用地質調査事務所のLateral Load Tester (L, L, T)を用いた。

4-2 水平載荷試験

A, B, C各ピットの山側へ壁の坑深1.5mの所に載荷板の中点として平板載荷試験を行った。荷重段階は繰返し載荷と長期載荷の2種類で行った。グラウト後フェイシングコンクリート一部を取り壊し掘削して載荷試験をした。坑深も1.5mの所に予定していたがグラウト効果への確認の為坑深2mに変更して試験した。

表-1 地質評価試験

試験項目		試験結果
物理 検査 層	電気検査層	深さ0~6m
	反射検査層	1~2回
	密度検査層	2.0~2.3 g/cm ³
	速度検査層	経路速度 1.8~2.9 km/sec
孔内速度測定		縦波速度 2.4~2.8 km/sec

表-2 実験工程表

工程	年月	46年				47年		
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
準備工								
グラウト注入								
載荷試験								

4-3 透水試験

現場透水試験は加圧注水法に依り実施した。試験孔はφ46mm長さ10mで、これを1.5, 3.5, 6.5, 10.0mの4ステージに区切って階段式に透水試験を行った。注水圧は上段ステージより順次1, 2, 4, 6 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 以下に制限した。

4-4 室内試験

室内試験試料は各ビットの深さ約1mの所から採取した。グラウト後は深度、約2mの所から水平載荷試験終了後、試験で乱した部分を取り除いた後で採取した。

6. グラウト注入実験

6-1 使用材料の性能

1) 試験材料

削孔能力φ46mm深度200m

2) グラウトポンプ

吐出量40 $\frac{\text{kg}}{\text{min}}$ 吐出圧70 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

3) グラウトミキサー

攪拌容量200ℓ×2槽

4) 薬注ポンプ

吐出量60 $\frac{\text{kg}}{\text{min}}$ 吐出圧30 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

6-2 配合材料

1) セメント：コロイドセメント（成分を表-3に示す）

2) 水：海水

3) 薬液：アクリルアミド系（日東ふさ）

6-3 配合

当初計画ではコロイドセメント、コロイドセメント+アクリルアミド系、コロイドセメント+水ガラス系の3種類の注入材を準備した。濃度は地盤強度の改良を主目的として1/1, 1/2, 1/3を予定したが透水試験の結果1/1, 1/2の濃度では注入困難と思われるを得ず1/3, 1/5の配合に変更した。コロイドセメントミルクの濃度を表-4に示す。注入効果を上げる際には浸透所要時間から30分程度必要であり水ガラス混合のミルクはゲルタイムが調整出来ず注入を断念せざるを得なかった。なおアクリルアミド混合ミルクのゲルタイムは30分とした。

6-4 予備注入試験

注入圧、注入量、ミルクの濃度をあらかじめ調査し本グラウト試験を円滑にならしめる為を実施した。予備試験孔は1mピッチに5孔削孔し表-5の如く各孔に異なった種類及び配合のミルクを注入した。注入量を表-5に合せる。この結果より当初計画を次の通り変更した。

a) 孔間隔は1mを60cmに狭め孔数を増した。

b) 注入深度は3.5mを6.5m（2ステージを3ステージ）にした。

c) 地表面へハリーフが多く十分なグラウト効果が期待出来ない事が分ったので地表面に厚さ40mmのカバーコンクリートを打設した。

化学成分 表-3 コロイドセメント成分表

強減 (%)	熱質 (%)	不溶 (%)	シリカ (%)	アルミナ (%)	酸素 (%)	化銀 (%)	化アル (%)	マグネシア (%)	無硫 (%)	水酸 (%)	合計 (%)
1.0	0.6	21.4	5.2	3.3	63.5	1.3	2.8	99.1			

水硬率	珪酸率	鉄率	活働 係数
2.06	2.5	1.6	4.1

粉末の粒度分布 一各粒径累積残分(%)一

風 篩				沈 降 法 (光透過式)							
40μ	30μ	20μ	15μ	40μ	30μ	20μ	15μ	10μ	5μ	2μ	
1.2	3.5	8.6	29.2	0.0	2.5	8.3	23.4	38.8	73.5	92.6	

表-4 コロイドセメント

ミルクの濃度($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$)

C:W	1:3	1:5
1 hour	2.0	0.8
6 h	3.1	1.2
1 日	4.3	1.6
3 日	5.4	2.0
7 日	5.6	2.6
28 日	10.2	3.0

表-5 予備注入試験のミルク配合、注入量

孔 名	試験長 (m)	配 合		Max注入量 ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$)	全注入量 (ℓ)	摘 要
		C:W	C:SS			
予備161	1.5~3.5		1:5	07	738	地表ヘリーフ
" 162	"	1:5		20	165	
" 163	"		1:5	07	46.0	地表ヘリーフ
" 164	"	1:8		20	397	
" 165	"	1:3		2.0	160	

5-5 本注入試験

予備注入試験の結果より施工方針を次に示す様に決定し管理を行った。

1) 注入材料 Aピット：コロイドセメント+アクリルアミド系
B, Cピット：コロイドセメント

2) 孔間隔及び孔長 図-2に示す様に各ピット共600mm間隔3列とし孔数は前列11孔、中列12孔、後列13孔計36孔(各ピット当り)とした。又孔長は地表面より6.5mとした。

3) ステージ数と注入圧 ステージ数と注入圧は表-6に示す通りとした。

4) 注入濃度 注入濃度は表-7に示す配合表を基準にしてC:W=1:5又は1:3.3より開始し約400ℓ注入するも注入圧の上昇の兆しがない場合や著しく注入圧の上昇が低い場合は次の濃い配合に切り換える。

5) 注入順序

ピット別の順序はB, C, Aの順序とし各ピットでの順序は図-2のボーリング孔番号で記せば
前列1, 6, 11→後列24, 28, 32, 36→中列12, 16, 20, 24→前列3, 7→後列26, 30, 34→中列14, 18, 22→前列2, 5, 7, 10→後列25, 27, 29, 31, 33, 35→中列13, 15, 17, 19, 21 前列4, 8の様に実施した。

6) Aピット注入

AピットはA, B, Cピットの中で一番民化している想定されたのでコロイドセメント+アクリルアミド系ミルクを注入した。注入濃度はNo.1, No.2ステージ共1:5とし最高注入圧力はNo.1ステージ0.7~1.2 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ No.2ステージ0.8~2.0 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ であった。又下層注入は上層が硬化した後に実施した。なお注入量と注入圧の関係を図-3に示す。

7) Bピット注入

Bピットはコロイドセメントミルクを注入した。注入濃度はNo.1, No.2, No.3ステージ共1:5とし最高注入圧はNo.1ステージ0.6~1.0 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ No.2ステージ0.7~2.0 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ No.3ステージ1.0~4.5 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ であった。

8) Cピット注入

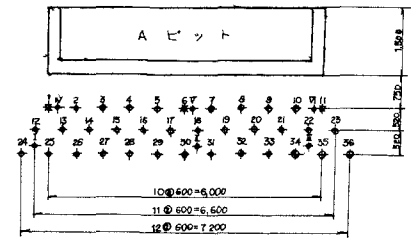
Cピットもコロイドセメントミルクを注入した。しかしA, Bピットに比べフラッグが多いと想定されたためNo.2, No.3ステージの注入濃度は1:3.3としNo.1ステージのみ1:5とした。最高注入圧はNo.1ステージ0.6~1.0 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ No.2ステージ1.0~3.0 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ No.3ステージ2.0~3.5 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ であった。

6. 注入前後の岩盤の性状

6-1 ピット内岩盤の肉眼検査

グラウト後、注入状況を観察した所グラウトは南口気味の割れ目又はクレイシーム(粘土脈)沿いに注入され

図-2 透水試験およびグラウティング孔配置



□ 透水試験孔 グラウト前

● " " 後

○ グラウティング孔

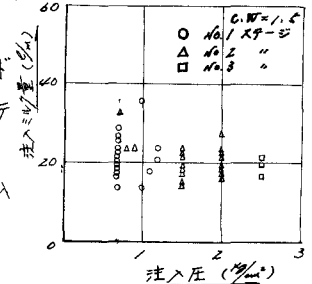
表-6 ステージ数と注入圧

ステージ	地表面からの深度(m)	注入圧 (kg/cm ²)
No.1	0~1.5	1
No.2	1.5~3.5	3
No.3	3.5~6.5	6

表-7 グラウトの配合

配合 C : W	コロイドセメント (kg)	海水又は薬液** (ℓ)	ミルク量 (ℓ)
1 : 5	20	100	103
1 : 3.3	30	100	105
1 : 2	40	100	110
1 : 1	50	100	132

図-3 Aピットの注入量と注入圧



ていた。但し真砂それ自体には、それらの薄い脈から数mm程度浸透しているが、真砂状風化花崗岩の空隙全体を満たすには至っていないが、つた。

6-2 各種載荷試験

1) 孔内載荷試験

グラウトの前後に於て差は現れておらず、むしろグラウト前に大きな値を示すものがある。但し、いずれの場合も深さ方向には大きくなる傾向を示している。(表-8参照)

2) 水平載荷試験

静弾性係数、破壊点荷重、降伏点荷重、いずれもグラウト後が前より大である。但し前後の載荷位置が異なり深度も異なる事から、もともと地質が良かった事もある。これらの結果が全てグラウト効果に依るものとは考えられない。(表-8参照)

6-3 透水試験

もともと透水性が小さかったため透水係数が小さければグラウト効果はあまり無かったと言える。しかし透水性の比較的大きい地表付近では深部に比し、可成り改良されており薬液を使った所では、その傾向が現れた。透水量が大であるが注水圧を上昇し何処かにリークしていると思われるステージがグラウト前には可成りあったが後には殆んど無くなっている。(表-8参照)

6-4 室内試験

いずれもグラウト後が良くなっている。グラウト前では採取試料にクレイシームが介在しているものは整形が不可能であったがグラウト後は、その間にグラウトが圧入され密着の度合が良くなり整形が可能となった。(表-8参照)

7 実験評価

真砂状風化花崗岩の盤にクレイシームが介在していると、その部分は真砂部より弱く、その水が地山全体へ浸透し、可成り影響を持つと一般に言われている。注入後の肉眼検査に依れば真砂部への注入剤の浸透は極めて少なかったがクレイシームへの注入は確認出来た。又注入前後の各種岩盤試験の結果から全体としての性状の向上が認められ、この程度の注入効果の確保について注入手法が見出されたと考える。

参考文献

- 1 樋口孝朗 杉山道行 石井政治 “地盤注入用グラウトについて”の研究。口鉄 鉄道技術研究報告 No 281 Apr 1962
- 2 松尾新一郎 西田一彦 福田獲 “真砂土ハセメント安定処理の効果について。土質工学会 才の国土 土質工学会研究発表講演集
- 3 三木五三郎 小野学 “最近の口内文献から見た注入工法の現況と問題点(上)、(下)。施工技術 1973年 7, 8月号

表-8 グラウト注入前後の試験結果

調査項目	単位	グラウト前	グラウト後
孔内載荷試験	静弾性係数 $\frac{kg}{cm^2}$	270 ~ 1300	280 ~ 600
水平載荷試験	"	530	1650
	破壊点荷重	52	151
	降伏点	23	52
透水試験	透水係数 $\frac{cm}{sec}$	$2 \times 10^{-4} \sim 8 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-5}$
室内試験	密度 $\frac{g}{cm^3}$	2.35	2.46
	一軸圧縮強度 $\frac{kg}{cm^2}$	1.8	8.7
	三軸試験	C "	0
		ϕ 度	37