

高強度モルタル圧送工法を併用した巨石崩落防止対策

Prevention of falling megalith with using of long distance and high position pumping technique of the high strength concrete on the slope

末吉達郎*・中野光雄**・金藤達也***・影山禎郎***・横田弘一*

Tatsuro SUEYOSHI, Mitsuo NAKANO, Tatsuya KANETO, Yoshiro KAGEYAMA and Kouichi YOKOTA

To permanently stabilize an instability rock on the slope, the ground anchor method is employed in many cases, and when considering the safety during construction, a combination of the foot protection works and the open filling method is inevitably required. However, as such on-slope instability rocks are often located in high places, selection of countermeasure work is often encountered by restriction from the viewpoint of transportation of materials. Under these circumstances, a more economical countermeasure work, than conventional methods, is realized by employing wire mesh metal forms and small-diameter, high-lift pump to enable a long-distance, high-lift execution, and by adopting a high-performance AE water reducing agent and a thickening agent to improve the pumpability and workability.

Key Words : instability rock, ground anchor, foot protection work, open filling, pumpability

1. はじめに

当該地は、兵庫県朝来郡生野町から青垣町に続く一般国道 429 号に在る、生野銀山ダム堤体直下流の右岸側に位置する。施工箇所は、平成 8 年から行われた「道路防災点検」「岩盤斜面緊急調査」の結果から「対策が必要」と判断され、詳細調査が実施された。その結果、標高 440m～470m 地点に、幅 10.0m 高さ 20.0m 程度の巨大不安定岩塊が 2 箇所存在することが判明した。

斜面上の不安定岩塊の恒久的安定化対策としてグラウンドアンカー工が採用されたが、施工中の安定性を考慮した場合、根固め工や開口部充填工の併用が必要不可欠となる。しかし、対策箇所はプラントヤードから比高差 100m 以上（水平換算距離 460m）、延べ配管長 200m 以上の圧送となり、対策工の 1 つとして考えられたモルタル吹付工法は材料の圧送性から施工が困難とされた。今回、高揚程ポンプ圧送とエアを併用した結果、長距離・高揚程においても高強度のモルタル吹付工を実施することができた。本稿では、対策工の選定から高揚程・高強度モルタルの配合、現場における試験結果を報告する。

2. 地形・地質概要

当該斜面は道路建設に伴う比高差約 10.0m の切土斜面と緩斜面部をはさんで、比高差 30.0m 以上の岩盤からなる急崖で構成されている。当該地の地質は兵庫県北中部に位置する朝来郡生野町生野銀山ダム付近を中心とする、生野層群の中部累層に分類される。この中部累層は、流紋岩・安山岩の溶岩および同質の火砕岩類から成り、一部に溶結凝灰岩を挟む特徴を有する。このような地質構成から、当該斜面は板状にほぼ垂直な節理が多く発達し、開口亀裂を生じ大きな分離岩体が形成されたと考えられる。

* ライト工業（株）技術本部法面技術部

** 兵庫県八鹿土木事務所朝来事業所

*** ライト工業（株）大阪支店

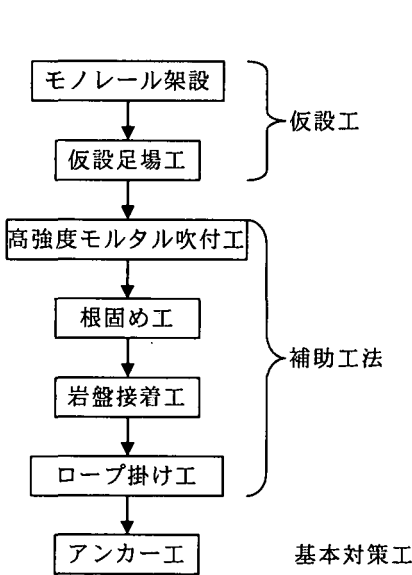
3. 工法の選定

基本対策工としてグラウンドアンカー工が採用されたが、対象岩塊は地山から大きく分離しており、その隙間は最大で 7.0m にも及ぶ。そのため、削孔時の振動による岩塊の不安定化が懸念され、補助工法の併用が必要となった。このような場合、従来は対策工としてポリマーセメントモルタルを開口亀裂部に充填する岩盤接着工が用いられたが、当該現場のように亀裂が大きく注入量が多くなる場合、経済性が問題となる。そのため亀裂部にモルタル吹付による人工岩盤を作成し、模擬岩盤と岩盤の空間のみを岩盤接着工法で充填する対策が提案された。

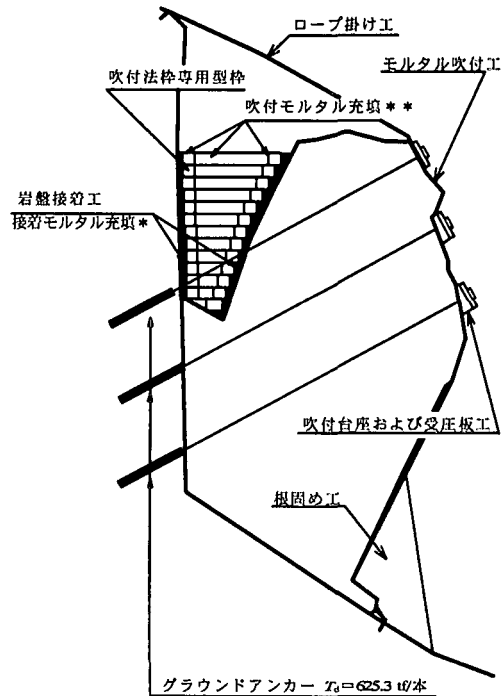
しかし、従来のモルタル吹付の場合、当該地のような比高差が大きく、配管長の長くなる現場においては材料の圧送性と品質を確保することが困難となる。そのため長距離・高揚程においても高品質なモルタルを圧送し、吹付ロスを少なくする事ができる高揚程ポンプとエアを併用した高強度モルタル吹付工法を選定した。当該工事における主要工法を表－１、施工フローを図－１、対策工概略図を図－２に示す。

表－１ 主要工法一覧

工 種	規 格	数 量
グラウンドアンカー工	φ135mm, L=15.0～17.0m	8.0 本
岩盤接着工	接着モルタル充填工*	149.0 m ³
	高強度モルタル吹付工**	277.0 m ³
根固め工	高強度モルタル吹付工	118.0 m ³
モルタル吹付工	高強度モルタル吹付工 t=10.0cm	259.0 m ²
ロープ掛け工		734.0 m
仮設工	足場・モノレール架設	1.0 式



図－１ 対策工施工フロー



図－２ 対策工概要図

4. 注入材に要求される品質

(1) 高強度モルタル

人工岩盤造成用の高強度モルタルは通常は現地で練混ぜを行うが、当該現場ではプラント用地の関係からレディーミクストモルタルをミキサー車で搬入した後に混和剤を投入する方法とした。そのため、通常の管理方法に加えて、モルタル搬入時のスランプ測定と打設時間（打設時間は2時間以内とした）の測定を車両毎に実施し、材料品質の把握を行う必要がある。

高強度モルタルの品質管理項目一覧を表-2に示す。

表-2 高強度モルタル管理項目一覧

試験番号	管理項目	試験方法	規格値	試料採取位置	試験頻度
①	細骨材の表面水含量試験	JIS A 1111	—	プラント（練混ぜ前）	1日につき2回（午前・午後）
②	細骨材のふるい分け試験	JIS A 1102	—	プラント（練混ぜ前）	1日につき1回
③	スランプ値	JIS A 1101	22.5±2.5 (cm)	現地搬入時（混和剤添加後）	
④	空気量	JIS A 1116 JIS A 1118 JIS A 1128	5±2.0 (%)	現地搬入時（混和剤添加後）	1日につき2回（午前・午後）
				先端	1日につき2回（午前・午後）
⑤	圧縮強度	JIS A 1108	21.0 N/mm ²	先端	
⑥	塩化物含有量試験	塩化物総量規制実施要領	0.3 kg/m ³ 以下	現地搬入時（混和剤添加後）	1日につき2回（午前・午後）
⑦	打設時間	—	練混ぜ開始から2時間以内	—	ミキサー車ごと
⑧	モルタル温度及び外気温	—	—	現地搬入時（混和剤添加後）	スランプ試験時に実施

(2) 岩盤接着モルタル

岩盤接着モルタルにおいても、表-2における管理方法に従い、打設日毎に物性試験を実施することが望ましいが、試験装置が特殊であることため現場での試験が難しいことから、50m³に1回の頻度で工業試験場において物性試験を行った。また当現場では人工岩盤に高揚程・高強度モルタルを使用していることから、岩盤接着モルタルと岩盤との接着強度の他に、高強度モルタルと岩盤との接着強度試験も実施した。

5. 高強度モルタルの配合

岩盤接着工における人工岩盤および根固め工、モルタル吹付工、グラウンドアンカーにおける台座に使用される高強度モルタルは次の点を考慮して配合を決定した。

- ① 施工期間が12月から3月までとなり、寒中施工に対応できる。
- ② 総配管長200m以上、比高差100m以上で材料の安定した圧送が行える。
- ③ 圧送先においても品質の劣化がなく、表-2の管理値を満足できる。

これらの問題を解決するための第一段階として、室内における配合試験を行い配合の絞り込みを行った。第二段階として第一段階で好結果が得られた配合を2つ選定し、現場における実スケールでの圧送性試験を実施し、最終的な現場配合を決定した。

(1) 室内試験

室内試験で実施した試験は、モルタルの品質確認を実施するための圧縮強度試験、空気量測定、ポンプの圧送性を確認するためのスランプ試験、加圧脱水試験の4つである。試験を行った配合を表-3、試験結果を表-4に示す。

表－３ 高強度モルタル試験配合一覧表

		試験番号	配合－１		配合－２		配合－３			
		規 格 値	配合表 (kg/m ³)	配合比	配合表 (kg/m ³)	配合比	配合表 (kg/m ³)	配合比		
試 料 名	セメント	普通ポルトランドセメント	400.0	1.00	400.0	1.00	400.0	1.00		
	水	地下水	240.0	0.60	252.0	0.63	228.0	0.57		
	細骨材	円山川産・喜多垣産 2:8混合	1,504.0	3.76	1,473.0	3.68	1535.0	3.84		
	増粘剤	RSA剤	4.0	0.01	4.0	0.01	4.0	0.01		
	減水剤	マイティー2000WH	10.0	0.03	10.0	0.03	10.0	0.03		
		試験番号	配合－４		配合－５		配合－６		配合－７	
		規 格 値	配合表 (kg/m ³)	配合比	配合表 (kg/m ³)	配合比	配合表 (kg/m ³)	配合比	配合表 (kg/m ³)	配合比
試 料 名	セメント	普通ポルトランドセメント	420.0	1.00	420.0	1.00	420.0	1.00	420.0	1.00
	水	地下水	252.0	0.60	252.0	0.60	239.0	0.57	239.0	0.57
	細骨材	円山川産・喜多垣産 2:8混合	1,460.0	3.48	1,462.0	3.76	1495.0	3.56	1,493.0	3.55
	増粘剤	RSA剤	4.2	0.01	4.2	0.01	4.2	0.01	4.2	0.01
	減水剤	マイティー2000WH	8.4	0.02	7.6	0.02	7.6	0.02	8.4	0.02

表－４ 室内試験結果一覧表

ケース	圧縮強度試験		空気量測定		スランプ値		加圧脱水試験	
	基準値	結 果	基準値	結 果	基準値	結 果	基準値	結 果
配合-1	材令 7 日 14.7N/mm ²	17.8	3.0～7.0%	7.7	20.0～25.0cm	24.5	30秒: 12.9～57.4ml	17.0
配合-2		13.9		7.8		26.0		18.0
配合-3		21.5		8.3		21.0		19.0
配合-4		20.8		6.5		24.5		34.0
配合-5		19.5		6.0		23.5		43.0
配合-6		22.5		6.6		19.5		36.0
配合-7		20.4		7.0		21.0		42.0

圧縮強度試験においては w/c が高い配合－２が基準値を下回っている以外は、１週において十分な強度発現を確認できた。空気量においては w/c が高く、減水剤の使用量が多い配合－１～３が管理値をはずれる結果となった。冬期施工を考慮すると単位セメント量が少ないのは強度低下にも影響しやすく、品質確保の点からは配合－１～３は好ましくないと考えられる。

スランプ値においては配合－２および配合－６が基準値をはずれている以外は管理値に収まっている。加圧脱水試験においては 30 秒後の試験結果は基準値をすべての配合で満足している。しかし、180 秒まで加圧脱水試験を継続した結果、管理値の上限を超える配合も一部に見られた。ポンプの圧送性に関しては、実際の現場におけるスランプロスなどの因子もポンプ圧送性を左右する事から、これらの試験結果のみでなく、現場での実スケールによる圧送試験で総合的に判定する必要がある。

これらの試験結果より、すべてを満足する配合は配合－４，５，７となる。この中で、配合－５はスランプ値および加圧脱水試験値が大きい事から、長距離・高揚程における施工性を考慮し、配合－４および配合－７で現場試験を実施した。

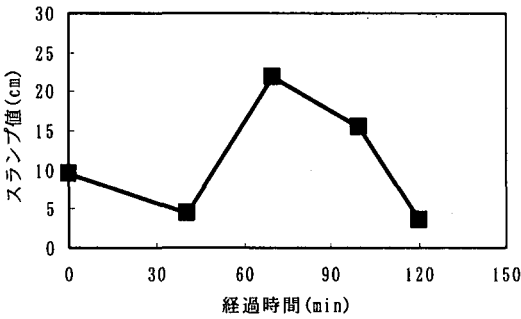
(2)現場試験

現場試験は本施工と同様にミキサー車による材料搬入、現場における混和材添加、実スケールの配管長で材料圧送という手順で行った。現場試験における試験結果を表－５に示す。配合－７においては混和材添加後のスランプ値が規格値を満足できなかったため減水剤の使用量を上げ、配合－７－１，配合－７－２で再試験を行った。試験結果、配合－７において空気量は満足する事ができたが、スランプ値については減水剤を増やしても基準を満足する事ができなかった。室内試験と現場における値が大きく異なった原因としては、ミキサーの攪拌効率の違いによる練り混ぜ効率の差異が考えられる。

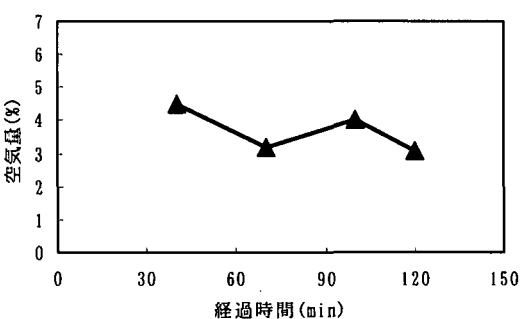
これらの結果より、配合－４のみで実スケール配管長における試験を行った。図－３に経過時間とスランプ値の変化、図－４に経過時間と空気量の関係を示す。

表－５ 現場試験における配合および試験結果

試験番号		配合-4	配合-7	配合-7-1	配合-7-2
試験項目		減水剤： 8.4 kg/m ³	減水剤： 8.4 kg/m ³	減水剤： 9.66 kg/m ³	減水剤： 10.66 kg/m ³
ス ラ ン プ 値	工場出荷時	5.0	5.0	5.0	9.5
	現場搬入時	3.6	3.6	3.6	4.5
	混和剤添加後	20.0～25.0cm	11.5	17.0	19.5
空 気 量	現場搬入時	3.0～7.0%	4.4	4.4	4.5
	混和剤添加後	3.0～7.0%	4.9	4.1	3.5

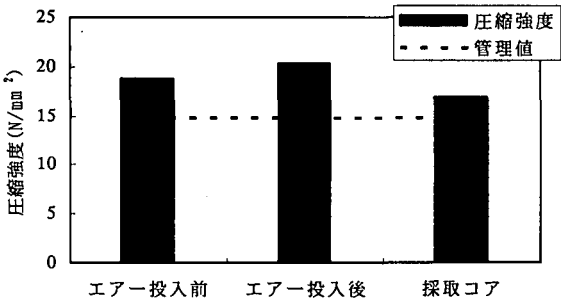


図－３ 経過時間スランプ量の関係



図－４ 経過時間と空気量の関係

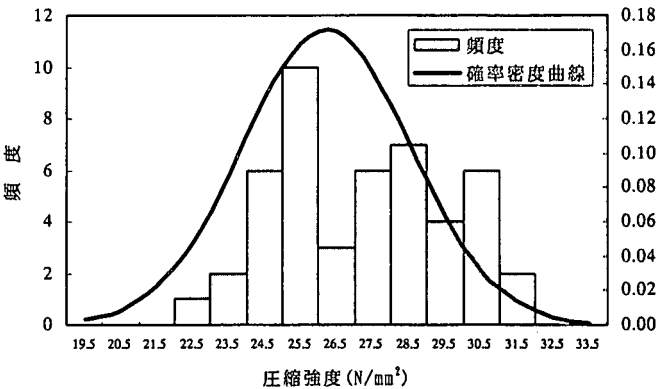
経過時間は 0 分：工場出荷時，40 分：現場搬入時，70 分：混和材添加時，100 分：先端部エア投入前，120 分：先端部を表している。配合－４では表－２で示した現場における管理値を満足する結果が得られ、圧送性、型枠への打設性状とも良好な結果が得られた。図－５に先端部のエア投入前およびエア投入後、型枠からの採取コアにおける圧縮強度試験結果を示す。いずれの値も管理値の 14.7N/mm²を十分満足している。これらの結果より、配合－４がすべての条件を満足する配合であることが確認できた。よって、当現場においては配合－４で施工を行う事に決定した。



図－５ 圧縮強度試験結果

6. 本施工における試験結果
(1) 高揚程・高強度モルタル材

本施工では岩盤接着工，根固め工，モルタル吹付工で高揚程・高強度モルタル材を使用し，表－2で示した管理を実施した。圧縮強度試験結果から得られたヒストグラムを図－6に示す。基準強度21.0N/mm²に対して，平均強度26.7N/mm²を得る事ができ，全体のばらつきも小さく良好な試験結果を得る事ができた。



図－6 高揚程・高強度モルタル圧縮強度試験結果

(2) 岩盤接着モルタル

岩盤接着モルタルにおいては圧縮強度試験以外に，曲げ強度，曲げ接着強度，岩盤接着モルタルと岩盤の引張り接着強度，岩盤接着モルタルと高強度モルタルの引張り接着強度を実施した。これらの試験結果を表－5に，圧縮強度試験結果から得られたヒストグラムを図－7に示す。すべての試験項目において管理基準値を上回っており良好な試験結果が得られた。

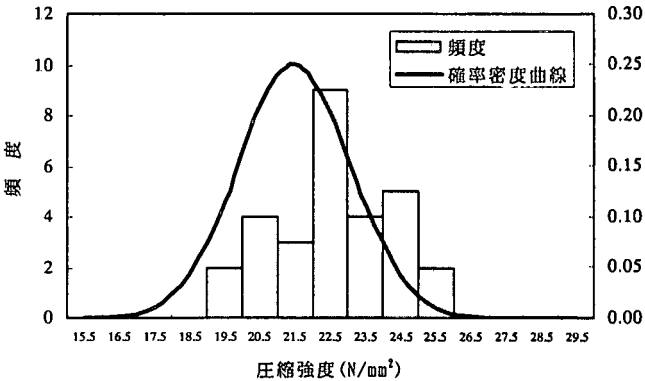
表－5 岩盤接着モルタル試験結果一覧

管理項目	管理値 (σ_{28}) N/mm ²	試験平均値 (σ_{28}) N/mm ²
圧縮強度試験	14.0	22.0
曲げ強度試験	4.0	4.7
曲げ接着強度試験	1.5	3.7
引張り接着強度試験 (接着材－岩盤)	0.25	1.80
引張り接着強度試験 (接着材－モルタル材)	0.25	2.90

7. まとめおよび今後の課題

今回実施した試験および施工により次の結論を得られた。

- ①一般に高価で経済性に問題がある岩盤接着工法であるが，注入材を部分的に安価な高強度モルタルと置換する事で経済的な施工ができる。
- ②長距離・高揚程におけるモルタル圧送工法は現地の施工条件に合わせた配合とする事で，配管内での閉塞もなく冬期においても管理基準を満足し，安定した施工・品質を確保する事ができる。



図－7 岩盤接着モルタル圧縮強度試験結果

今後の課題として，配合決定の過程が複雑であり，今回の結果をそのまま他の現場で適応する事が難しい。そのため配管長や揚程，打設時間，気温等と配合の関係をより明確にし，あらゆる現場において対応できる配合計算式を今後求めていく必要があると考えられる。

今回の試験に際し御協力をいただいた兵庫県八鹿土木事務所の方々には紙面をかりて深謝の意を表する。

8. 参考文献

- 1) 佐丸雄治，近藤巻広，木間正夫，杉山好司：法面におけるモルタルポンプ施工に関する研究，土木学会第49回年次学術講演会，1994