水平長距離削孔による大型薬液浸透注入工の施工実績

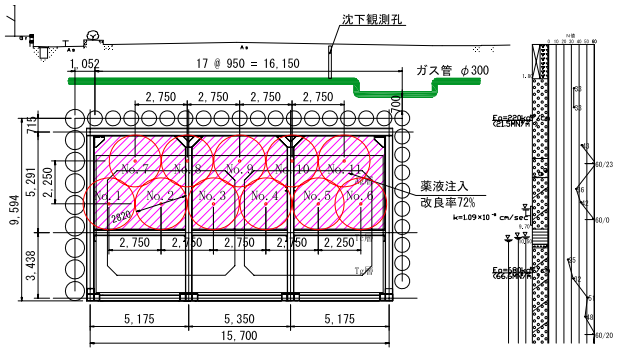
国土交通省　近畿地方整備局　島田 哲博
鹿島建設(株)　正会員 田中 啓之　○正会員 北原 秀樹
正会員 松永 光示

１．はじめに

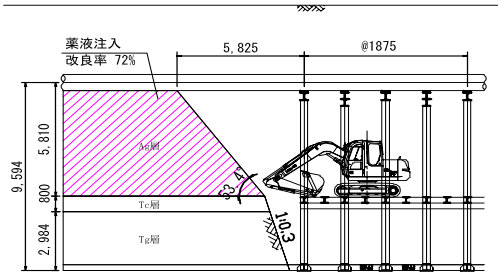
国道９号京都西立体千代原トンネル本体工事において，地上の道路交通へ影響を与えないことが施工条件として求められたため，パイプルーフによる非開削工法（Ｌ＝150m）を採用した．本工事では，掘削時の切羽法面の安定対策として，大型改良体の造成が可能な薬液注入工法であるマックスパーム工法を採用した．本工法により，無水の玉石砂礫地盤に対して水平方向に長距離削孔を行い，薬液注入による地盤改良工を行ったので，その施工実績について報告する．

２．施工条件

非開削トンネル部では，延長 150mのパイプルーフを門型に施工し（計 36 本），その内部（16.2m×9.6m）を全断面掘削工法で掘削する．以下の施工条件に対して，均質でかつ確実な改良効果を得ることができる工法を選定する必要があった．



図－１ 非開削トンネル部横断図



図－２ 非開削トンネル部縦断図

(１)地盤条件

地盤改良工の対象となる地盤は最大径 30～40cm 程度の玉石を含む透水性の高い（ｋ＝２×10^{-2}cm /sec）沖積砂礫層(以下 Ag 層)であった．Ag 層は地表面から９m程度の深さまで分布しており，非開削トンネル断面の約６割を占めた．注入範囲の上部と側部はパイプルーフで囲まれ，Ag 層下部には段丘粘土層（Tc 層）が存在していた．

(２)地下埋設物との近接

国道直下（水平部パイプルーフまでの土被りは約3.5m）での施工であり，パイプルーフ上部には地下埋設物が近接していた（最小離隔 70cm）．そのため，地盤改良の注入圧力による路面及び地下埋設物への影響を最小限に抑える必要があった．

(３)工程

法面安定対策工は全体工程においてクリティカルとなったため，できる限り工程を短縮することが求められた．そのため，水平削孔長の長距離化と大型改良体造成による削孔本数の低減を図る必要があった．

３．施工計画

(１)工法の選定

今回選定したマックスパーム工法は，大きな注入速度でかつ低い圧力で注入を行うため周辺への影響を抑えられ，大型改良体（最大直径４m）の造成が可能であり注入孔間隔が大きいため削孔本数を少なくできるため，当工事の施工条件に適合している．

(２)配置計画

注入管の配置は上段５本，下段６本の千鳥配置，注入孔はトンネル方向 2,750mm の間隔とし，改良体造成径はφ2,820mm とした．また，水平削孔長の設定については，事前に試験施工により削孔精度を確認した上，延長 150mの非開削トンネル部を３分割（削孔長 55m）することとした．

(３)薬液選定

マックスパーム工法で用いる薬液の選定にあたり，有機系・無機系，アルカリ系・非アルカリ系の計 11 ケース

キーワード：薬液注入工，水平長距離削孔，法面安定，マックスパーム工法
連　絡　先：〒615-8085　京都市西京区桂千代原町 65　鹿島･鴻池特定建設工事共同企業体　TEL075-383-4660

の薬液を対象に，室内強度試験（一軸圧縮試験）を行った．供試体はAg層の現地採取土と各種薬液を混合し作製した．今回試験を行った11ケースのうち，法面安定に必要な一軸圧縮強度(425kN/m^2)を満足するケースは，ケース④とケース⑤の２ケースであったが（表－１），経済性を考慮し，ケース④のシリカライザー高強度タイプＢを採用した．

表－１　薬液配合試験結果一覧表

薬液種類	無機・長結タイプ								有機・長結タイプ		
	非アルカリ系溶液型							アルカリ系溶液型			
材料名	① シリカライザー M	② シリカライザー H	③ シリカライザー 高強度タイプA	④ シリカライザー 高強度タイプB	⑤ シリカライザー 高強度タイプC	⑥ シリカロック NL80	⑦ シリカロック NL100	⑧ サンコーボール AS80-L3型	⑨ アロンSR-緩結	⑩ MGロックスーパーG140UL タイプA	⑪ MGロックスーパーG140UL タイプB
配合（1㎥当り）	SL水ガラス：210L SLリアクター：50～70L 水：720～740L	SL水ガラス：250L SLリアクター：60～80L 水：670～690L	SL水ガラス：280L ECリアクター：43～63L 水：677～657L	SL水ガラス：300L ECリアクター：46～66L 水：654～634L	SL水ガラス：320L ECリアクター：70L 水：610L	～A液～ シリカロック水ガラス：200L MS剤：0～2.5kg 水：295L～297.5L ～B液～ シリカロック硬化剤：24.5～31.5L L剤：15～17.5L 水：460.5～451L	～A液～ シリカロック水ガラス：250L M2剤：1.25kg 水：249.5L ～B液～ シリカロック硬化剤：40L L剤：15L 水：44.5L	～A液～ 3号水ガラス：200L 水：300L ～B液～ サンコーボール AS80-L3：27.5kg 水：488.75L	～A液～ 3号水ガラス：250L 水：250L ～B液～ アロンSR-緩結：21.25kg 水：485L	～A液～ 3号水ガラス：350L 水：150L ～B液～ スーパーG硬化剤：16L スーパーG増強剤：17.5L 水：466.5L	～A液～ 3号水ガラス：350L 水：150L ～B液～ スーパーG硬化剤：15L スーパーG増強剤：17.5L 水：467.5L
材料種類	特殊薬材（汎用型）	特殊薬材（汎用型）	特殊薬材（改良型）	特殊薬材（改良型）	特殊薬材（改良型）	特殊薬材（汎用型）	特殊薬材（改良型）	汎用品	汎用品	特殊薬材（改良型）	特殊薬材（改良型）
一軸圧縮強度 q (kN/m^2)※1	① 246 ② 266 ③ 348 平均 287	① 302 ② 385 ③ 317 平均 335	① 269 ② 274 ③ 421 平均 321	① 617 ② 505 ③ 508 平均 543	① 563 ② 548 ③ 551 平均 554	① 126 ② 206 ③ 212 平均 181	① 364 ② 406 ③ 363 平均 378	① 30 ② 32 ③ 31 平均 31	① 37 ② 36 ③ 44 平均 39	① 152 ② 123 ③ 134 平均 136	① 151 ② 153 ③ 165 平均 156
粘着力 C(kN/m^2)※2	34.2	39.9	38.3	64.8	66.1	21.6	45.0	3.7	4.7	16.3	18.6
評価（改良率）	×	×	×	◎ (72%)	○ (71%)	×	×	×	×	×	×

※2　粘着力の算出は次式を用いた。　$\sigma_1=qu$, $\sigma_3=0$として、$c=(1-\sin\phi)\cdot qu/(2\cos\phi\cdot Fs)$　　ここで、$\phi=39°$、安全率$Fs=2.0$とした。

（４）注入率

注入率は，砂礫地盤で一般的に用いられる 36%とした．１次・２次注入の各仕様は表－２に示す．

表－２　注入材料・注入率仕様

	1次注入		2次注入	
注入率	3%		33%	
注入材	セメントベントナイト		シリカライザー（溶液型無機長結タイプ）	
ゲルタイム	24時間		60分	
配合	材料名	1m^{3}当り	材料名	1m^{3}当り
	セメント	250 kg	SL珪酸ソーダ(水ガラス)	300 L
	ベントナイト	60 kg	ECリアクター(希硫酸)	58 L
	水	897 L	水	642 L

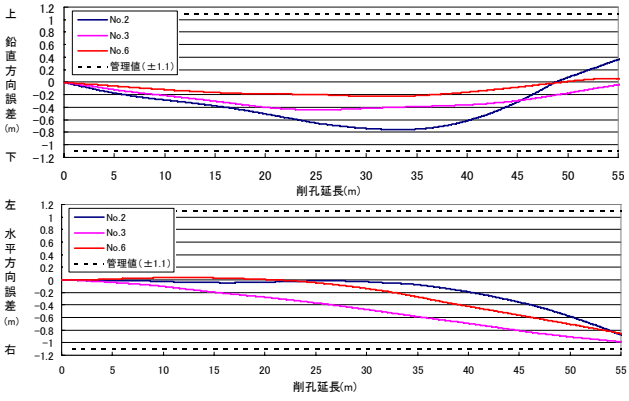
（５）改良率

本施工の目的は止水性向上ではなく，掘削時の切羽地山の粘着力の増加が目的であった．そこで，Ag 層全域に注入することは経済的でないと考え，機械式攪拌工法等で用いられる複合地盤の考え方を流用し，改良率というパラメータを用いて地山の粘着力を評価した．改良率は，Ag層全体に占める改良体の体積比であり，室内強度試験結果（q＝543kN/m^2，c＝64.8kN/m^2）から改良率を72%に定めた．

４．施工実績

（１）削孔工

高い施工精度で水平方向に長距離削孔するために，①削孔線形を考慮した削孔機据付時の角度補正 ②二重管ロッドの使用（内管径：73mm，外管径：118mm）③削孔土砂のリターンルート確保（二重管内から送水し，外管外周より削孔水を回収）④逸水防止剤を混合したベントナイト泥水（削孔水）の使用を対策として実施した．今回，管理値（施工誤差±1.1m）以内で水平方向の長距離削孔（削孔延長55m）を施工することができた．削孔中，ケーシングのジャーミング現象が見られたが，前述の対策をとることにより，削孔精度を確保することができた．



（上段：鉛直方向　下段：水平方向）

図－３　孔曲がり測定結果

（２）注入工

限界注入速度（q_{cr}）試験の結果，当該地山の注入限界速度は 18ℓ /分であった．その結果をふまえて，本工事では注入速度を 15ℓ /分とし，セット数を８セットに設定した．注入時に，路面の隆起傾向が見られた場合には，注入速度・セット数を小さく設定した．

（３）改良効果

改良部を掘削中に，法面が安定していたことから，薬液注入効果が確認された．掘削時の法面状況を確認した結果，法面全面に均一に析出した浸透注入材（シリカライザー）の分布状況から対象地盤へ所定の薬液が浸透していると判断した．

写真－１　法面状況

５．あとがき

無水・玉石混じり砂礫地盤において，水平方向の長距離削孔を管理値以内で施工することができた．また，注入工については，地下埋設物隆起など第三者への影響を与えることなく施工することができた．今回の事例を今後の類似工事の参考にして頂ければ幸いである．