

高強度ウレタン系注入材を用いた断層破碎帯の地盤改良

(株)大林組 正会員○小林 智宏、正会員 村上 正一、正会員 秋好 賢治  
 (株)カテックス 正会員 谷脇 正純、正会員 浅井 良倫

1. はじめに

断層粘土を含む破碎帯をトンネル掘削する際、地山支持力を向上させる方法として仮インバート、脚部補強ボルト・パイル、ウィングリブ支保工が一般的である。しかし、大きな断面や加背割りの多いトンネルでは、効果が不十分である。一方、地盤注入は改良範囲に限度があるものの適用可能だが、既往材料の一軸圧縮強度は、セメント系が 8MPa、ウレタン系が 5MPa 程度のため、十分な地盤改良は不可能である。最近、減水・止水を目的に開発、実用化され始めた「ウレタン系注入材：KOD-M（カテックス社製）」（以下、「KOD-M」と称す）が高強度（60MPa 程度）かつ高剛性（1,100MPa）で高压注入（10～15MPa）が可能であり、断層破碎帯の改良効果が期待できる。そこで、KOD-M による地盤改良効果の原位置での確認を目的に、施工中の天ヶ瀬ダム減勢池部工の断層破碎帯で実証実験を実施した。本報告では、実験の概要とその結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 注入材料

表-1 に KOD-M の材料特性を、図-1 に KOD-M の発泡状況を示す。KOD-M の特徴としては、1)水無しで気泡の無い高強度な固結体。水と接触した際は発泡体が形成。2)高い圧縮強度。3)優れた安全性。が挙げられる。

シリカレジン、は、高压注入すると、先に硬化した固結体を破壊して注入域を拡大する危険性がある。また、発泡するため高い止水性を期待できない。一方、KOD-M は最終的に無発泡の高強度固結体を形成するため、高压注入が可能であり高い止水性が期待できる。

なお、注入用ボルトには、機械式パッカ HIPREX ボルト（GTRP φ25mm,L=3.8m）を採用した。

2.2 実験方法

KOD-M による地盤改良効果は、注入の前後に孔内水平載荷試験（φ60mm）を行い、地盤改良効果の指標である「変形係数」の増加量を原位置で確認した。断層破碎帯を通過した坑道の側壁面で行った KOD-M の注入配置を図-2 に示す。注入前に B 孔で孔内水平載荷試験を行った後、A1 孔から A3 孔（φ51mm,L=3.8m）の 3 か所で注入した後、C 孔で孔内水平載荷試験を行った。

各孔の注入量を表-2 に示す。今回は、高压注入による既設支保工への影響を考慮して比較的低い圧力で注入を行った。注入終了の判断は、坑壁面からの薬液のリーク、または、注入圧の急上昇とした。

今回の実験では、注入箇所から 2.0m 程離れたロックボルトや支保工、吹付けコンクリートの隙間から薬液のリークが確認できたため、そのタイミングで注入を終了した。

表-1 KOD-M 材料特性

主成分		A液	B液
性状	外観	ポリオール・触媒	ポリイソシアネート
	粘度(mPa·s/25℃)	淡褐色液体	褐色液体
	比重(20℃)	300±100	200±50
		1.03±0.03	1.23±0.03
配合（体積比）		A:B = 1:1±0.1	
反応時間(s/20℃)		4.5 ± 15 (水無し) ・ 65 ± 20 (水1%)	
発泡倍率（倍/20℃）		1 (水無し) ・ 7±2 (水1%)	
圧縮強度(MPa)		60±10(無発泡)	



図-1 KOD-M 発泡状況

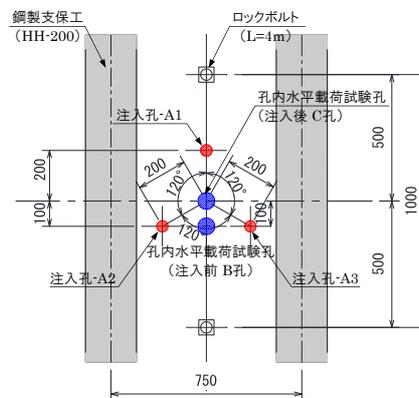


図-2 注入配置

キーワード 断層破碎帯、KOD-M、地盤改良、変形係数、高压注入

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組 TEL:03-5769-1319

表-2 注入量

注入孔	注入量 (kg)	平均注入速度 (kg/min)	平均圧力 (MPa)	最大圧力 (MPa)	終了状況
A1	77.7	7	3	10	ロックボルト孔からリーク。処理後昇圧
A2	98.9	5	5	6	クラック発生 クラックからリーク
A3	67.2	3	7.5	9	ロックボルトからリーク
B孔充填	12.5	1.5	-	-	-
合計	243.8 ※192	-	-	-	※設計注入圧=(4.0-0.8)m× 20kg/m×3本

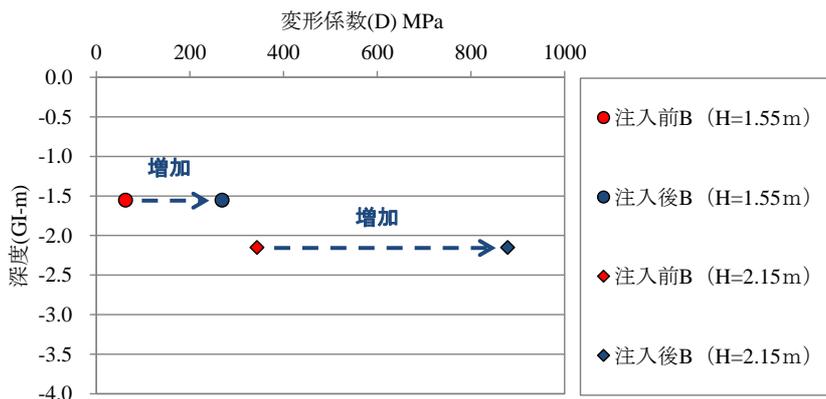


図-3 変形係数と深度分布



i) 深度 0.2m 付近



ii) 深度 1.1m 付近



iii) 深度 1.6m 付近



iv) 深度 3.9m 付近

図-5 KOD-M 注入跡



図-4 KOD-M 注入後 C 孔のボーリングコア

### 3. 実験結果と考察

実験結果を図-3に示す。坑壁深度 1.55m と深度 2.15m の注入前後では、地盤変形係数が 2.5 倍以上大きくなった。注入後にC孔をボーリングしたコアを図-4に示す。実験前の予測では、コア中に KOD-M が固化した箇所が多く点在すると思われたが、実際に固形体が確認できたのは、部分的であった。図-5に注入後のコア中に確認された固結体を示す。同図より i)~iii)の深度 0.2m~1.6m 付近の比較的坑壁に近い位置では、円状にコア貫きされた固結体が確認できた。一方、iv)の深度 3.9m 付近では、注入跡は確認できたが、僅かに亀裂に沿って脈状に残っていた。

### 4. まとめ

今回は、最大 10MPa の注入前後の孔内水平載荷試験の結果、地山変形係数は 2.5 倍以上増加したことから KOD-M の地盤改良効果を確認できた。断層粘土を含む破碎帯でも対象地山が破碎岩主体かつ改良範囲が 4m 程度かつ改良目標の地山変形係数が 300MPa 程度という施工条件の場合、KOD-M は脚部沈下抑制対策工として有用であると言える。より高い地盤改良効果を求めるには、亀裂の内部にまで薬液が入るように高压で注入する必要があると考えられる。本報文が地盤支持力向上を必要とする同種工事の参考となれば幸いである。