ウレタン系注入材料の安全管理に関するガイドラインについて

（株）高速道路総合技術研究所　正会員　　中野　清人
（株）高速道路総合技術研究所　正会員　　海瀬　　忍
（株）高速道路総合技術研究所　正会員　〇前川　和彦

１．はじめに

薬液注入工法は，昭和 40 年頃より，それまで使用されていた水ガラス系薬液に加えてより高性能な高分子系薬液が用いられるようになったが，アクリルアミドに起因する地下水の水質汚染によって人体への健康被害が発生したことから，「薬液注入工法による建設工事に関する暫定指針」（以下「暫定指針」という）が昭和 49 年 7 月に建設省から発せられ，その使用にあたっては現地での地下水の水質監視等の安全管理を義務付けている．これらを受け，平成 4 年に日本道路公団において「山岳トンネル工法におけるウレタン注入の安全管理に関するガイドライン」（以下「ガイドライン」という）を制定した．

山岳トンネル工法の補助工法の注入材料においては，従前は発泡ウレタンを用いたウレタン系注入材が使用されており，それに加え，近年では水ガラスとポリイソシアネートを主原料としたシリカレジン系注入材（以下双方を総称して「ウレタン系注入材」という）が使用されている．また，使用にあたっては，環境保全に対する社会的関心が高まっており，水質基準が時代とともに変化する中，従来にも増して水質基準に則した水質管理が重要となっている．

この様な背景から，ガイドラインの重要性がより高まっており，令和元年 5 月時点の関係法令を反映させたガイドラインの見直しを実施した．

２．ウレタン系注入材の現状

ウレタン系注入材は暫定指針において，掘削時に切羽の充分な安定が得られず，工事の安全を確保できない場合等の応急処置での使用が基本であり，土被りの低い場合や未固結地山などにおいて，先受け工などにウレタン系注入材を用いて地山の安定化を図る場合がある．

改定前のガイドラインについては平成 3 年の法令を基に作成されており，その後ガイドラインが遵守しなければいけない法令等は改正されている．ガイドラインにおいては，最新の法令等を適用することになっていたが具体的な記載とはなっていなかった．また，国民の環境保全への関心が高まっており，トンネル工事現場においては，ガイドラインが当初想定した基準より厳しい水質管理が実施されていることもあり，最新の基準等について具体的な記載が必要となっていた．

３．ガイドラインの改定概要

1)　「ウレタン注入材」を「ウレタン系注入材」に変更

現在のトンネル補助工法で注入工を実施する場合，シリカレジン注入材が主流材料となっているが，ガイドラインでは取り扱いがあいまいになっていた．シリカレジン注入材はウレタン注入材と同じポリイソシアネートを使用したウレタン結合を含む高分子化合物（**表-1**）であり，取り扱いが同様と考え 2 つを総称して「ウレタン系注入材」として新しく定義した．

なお，シリカレジン注入材と同様に珪酸ソーダを使用する水ガラス系注入材はついてはガイドラインの対象外とし，暫定指針および関係する法令に従って設計，施工および水質監視を行うものと明確に記載した．

表-1 注入材の主成分

種類	A液	B液
ウレタン	ポリオール	ポリイソシアネート
	アミン触媒	
	シリコーン系整泡剤	
	リン酸エステル系難燃剤	
シリカレジン	珪酸ソーダ	ポリイソシアネート
	アミン触媒	

キーワード　ウレタン，シリカレジン，安全管理，注入工，補助工法
連絡先　〒194-8508　東京都町田市忠生 1-4-1　（株）高速道路総合技術研究所　TEL042-791-1629

© Japan Society of Civil Engineers

2) 注入材の選定基準

改定前のガイドラインの選定基準は，注入後に地下水等の水質に悪影響を及ぼさないこと，また，注入作業に際して労働安全衛生上問題がないことを条件として記載しており，現在においてもその思想は変わらないため，改定前と基本的に同様とし「毒物及び劇物取締法」で規定する毒物・劇物を含まないこととした．

改定前のガイドラインにおいて，「毒物及び劇物取締法」で規定する毒物・劇物に相当する毒性を有する物質を含まないとしていた．毒物に相当する物質の基準は，急性毒性（経口，経皮，吸入(ガス，蒸気，ダスト・ミスト)）等の基準が存在するが，注入材が流出し，井戸水等から人体への摂取（経口）がもっとも影響が大きいと想定されることや，その他の毒性による影響は作業員への影響が大きいと想定され，保護具の着用等により防護が可能であることから，急性毒性（経口）のみと明確化した．

また，改正前の記載では水質汚濁防止法の健康項目の基準値を遵守するとしていたが，環境への意識が向上していること等から，より厳しい基準を用いることが必要と考え，水道法の水質基準を上位基準として追加し，水質汚濁防止法の健康項目双方の基準値を遵守することとした．その結果，改定前に比べ水質分析項目および水質監視項目が大幅（30→67 項目）に増加した．

3) 注入材の水溶出試験および水質監視

ガイドラインにおいて，事前に注入材の安全性の確認および注入工事による周辺への水質に対する影響を監視することを義務付けている．注入材の安全性確認は，注入材を構成する薬液単体の水溶出試験および反応後の固形物の水中溶出試験を実施することとしている．上記 2)の改定により，分析項目が大幅に増加したが「薬液単体の水溶出試験」において対象の化学物質が検出されないこと，注入材発泡時の化学反応において対象の化学物質が生成されないこと，二つを証明できる場合は，「固形物の水中溶出試験」の対象項目から削減してもよいこととし，水質監視も同様の取り扱いとした．

4．ウレタン系注入の採用

先に述べたとおり，ウレタン系注入材は応急措置として採用されるべきである．そのことから，改定後のガイドラインにおいても，他の工法との比較検討を十分に行い採用すべきである．

従来，ウレタン系注入材は無機系注入材よりも湧水の影響を受けにくいと考えられ，湧水が比較的多い切羽においても採用されてきた．改定作業にあたりウレタン系注入材の実験を実施した．試験は水を入れた型わくに，同じ発泡倍率のウレタン注入材を流し込み，固結した試験体からコアを採取し JIS K 7220「硬質発泡プラスチック－圧縮特性の求め方」にて圧縮強度と見掛け密度の関係を求めて一定の相関が確認された（**表-2**，**図-1**）．その結果，ウレタン系注入材は水分に触れると水を連行しながら発泡し強度が低下することが判明した．

そのため，切羽に湧水が存在してもウレタン系注入材は固結するが，大量湧水が存在すると注入材の流出の懸念に加えて，注入材に期待した性能が大きく阻害される恐れがあることから，大量湧水がある場合にウレタン系注入を採用する場合は，水抜きボーリング等の他の工法を併用する必要があることを記載した．

表-2 見掛け密度と圧縮強度（平均値）

水分量※	見掛け密度 g/cm^3	圧縮強度 N/mm^2
0%	0.1276	1.39
3%	0.0667	0.46
5%	0.0678	0.41
10%	0.0658	0.39
15%	0.0615	0.43

※水分量は注入材の体積に対する率

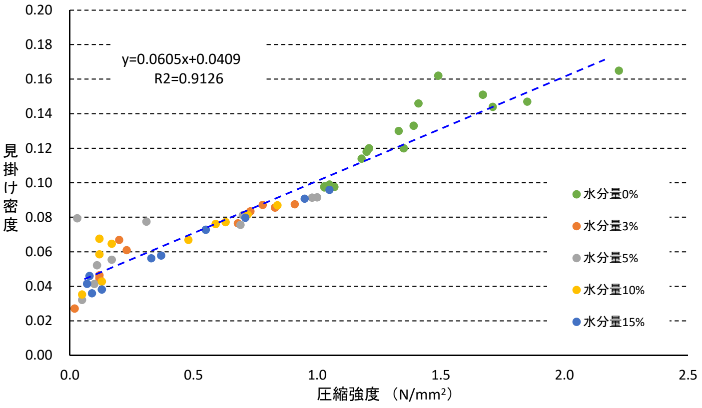

図-1 見掛け密度と圧縮強度の相関図

5．まとめ

今回見直したガイドランを令和 2 年 2 月に NEXCO3 社内に周知を行ったところである．今回の改正により，周辺環境へのリスクも大幅に削減できるほか，トンネル工事従事者の安全管理がより確実に確保されるものと考えている．今後は，関係法令の改正状況に注視し適宜対応していきたいと考えている．

© Japan Society of Civil Engineers