

最新の地盤注入工法

島田俊介 共著
兼松陽

最新の地盤注人工法

島田俊介 共著
兼松 陽

理 工 図 書

最新の地盤注入工法

昭和52年4月25日 初版1刷発行

著 作 者 島 田 俊 介
兼 松 陽

発 行 者 柴 山 當 夫

発 行 所

〒102 東京都千代田区富士見1-8-19
電 話 東京 (230) 0221(代表)
振 替 口座 東京 8-36087 ㊞

は じ め に

昭和49年2月福岡県下にて発生したアクリルアミド系グラウトによる薬液注入公害は、地盤注入工法に一連の環境規制を含めて大きな制約を加え、使用する薬剤の種類、施工管理、環境管理においてその内容を一変せしめた。

この出来事は、従来ともすれば経済性を主体にした注入工法の価値観を根底からゆさぶり、効果に対する信頼性の面からの施工技術の重視、環境面からの安全性、といった社会的影響も考慮した技術評価の質的転換をもたらし、さらには無公害型をめざした新規技術の開発といった都市土木における地盤処理技術の構造的変化を生じせしめつつある。

かえりみると、薬液注入工法ほど、建設工事において多用されているにもかかわらず、その技術内容が企業者、一般建設技術者に正しく認識されていず、また技術として本来与えられてしかるべき位置を与えられずにいた技術は数ある土木建設技術において例をみないであろう。

このことはわが国における注入工法の地位の低さを示し、かつ経済性が優先され、技術のレベルアップが阻害され、これが前述の公害問題の遠因ともなったことは否定できない。

今回あらためて、地盤注入工法の本質は何であるか、技術とはどうあらねばならないか、技術評価はどうなされるべきであるかということが、施工業者のみならず、企業者側にも問われた訳であり、むしろ地盤注入工法が、本来正当なる技術として与えられてしかるべき“市民権”を与えられる機会が来たとはいえよう。また同時に注入工法が正しく評価されるには、それが信頼性ある効果を有する技術として確立されることが必要であり、さらにこのような技術内容の実体が業界に正しく認識されなくてはならない。

筆者らは永年地盤注入工法の研究、開発、実施にたずさわってきたが、上記の

注入工法にまつわる問題を痛感し、かつ世間の正しい認識が得られないことに対する責任の一端を感じない訳にはいかなかった。

現在今後の注入工法はどうあるべきかについて業界全体の問題として摸索されており、筆者自身現在の混沌とせる注入工法の問題の渦中であって、その方向性の摸索、技術開発に努力しているものであるが、この機に当って、理工図書の御好意により本書を通して専門家の立場からみた注入工法の課題、現況、今後の方向性、そのあるべき姿について、最新のテーマを中心にして論ずる機会を得た。本書を執筆するに当って、特に筆者が力をおいた点は次の点である。

第1章に最近の地盤注入工法の課題と展望に関して、注入工法の発展の歴史の足どりの上で現在の急激な変動を把え、地盤注入工法の全般的な発展の動向について論じた。第2章に地盤注入工法に関する法規制を示し、第3章は特に注入工法の安全性、無公害化ならびに効果の信頼性の立場から、新技術の開発の展開がどのようになされつつあるかについて最新の資料をまとめた。まず安全性の高い注入工法の確立について筆者の基本的考えをまとめた。さらに注入材料として、特に現在のグラウトの中心であり、かつ従来明確に認識されていなかった水ガラスグラウトについて詳細な説明を行ない、最近出現した安全性の高いグラウトについて論及した。一方、注入技術の進歩として、施工管理技術のシステム化による総合的地盤処理技術と新しい施工原理を導入した地盤処理技術について、具体的な例を挙げて論及した。第4章は注入液の基本的特性について特に今後その適用が多くなるであろうと考えられる懸濁液型グラウトの特性と、その理解に必要なレオロジーの問題について言及した。第5章にグラウトの浸透と固結に関して理論的な面、実験的な面のみにとどまらず、実際の施工に当ってどう考えるべきかについて1.5ショット、1ショット注入の立場から論じた。また、さらに実際の設計計画に当って、最近の進歩した注入工法において、実際の注入可能限界はどこまで拡大しているかについて、従来のように外国の例ではなく実際のわが国の例について最新の資料を紹介した。第6章、第7章では注入工法の設計法と施工法、施工例について詳述し、最後に注入工法のコストと積算について第8章にまとめ

た。

以上の論点を通して、特に認識していただきたいのは次の点である。

1つは従来、注入工法はわが国においては一般建設技術者からその信頼性を疑問視されていたむきがあったうえ、高分子系注入剤が禁止されたため、さらにその効果をうんぬんされたりしている。しかるに実際には、最近の水ガラス系注入剤と注入技術は格段の進歩がなされており、その結果、注入工法の効果は一段と飛躍しつつある。

また同時に従来ともすれば注入工法の安易な適用と、それによってもたらされた不十分な結果をそのまま注入工法の限界であるかのごとく考えられてきたが、これは大きなあやまりであり、施工管理技術に裏打ちされた施工法と適正なる注入材料の適用は、注入工法の信頼性と安全性を大きく一新しうることを特に指摘したい。

さらに、今1つは、従来注入工法に対する認識が一般に不足していた上に、最近の注入工法の安全性の問題から注入工法に対する考えが混沌としていることである。注入工法が当面している現在の試練から脱皮し、正しく発展していくためには、注入工法の本質は何であるかが十分認識されることが必要であり、その上にとって環境保全条件、注入目的、地盤条件、現場条件に応じてそれに適応した注入材、施工方法を組合せた総合的な地盤処理がなされるべきである。

最後に重要なことは公害問題に対する考え方である。最近公害問題に関連して、注入工法に関する考え方が千差万別の感を呈しており誠に憂慮せざるを得ない。結局注入工法の信頼性の問題であり、この信頼性は効果に対する信頼性、環境保全に対する安全性よりなるが、現在の注入工法の問題の根源は同じところにある。すなわち、従来注入工法といえば高分子系とか、水ガラス系とかによって表現され、本来技術であるべき注入工法があたかも材料によって一義的に効果が決まるがごとき誤った認識のされ方がすべてを物語っているといえよう。

この結果、いかに工事目的に合致した地盤改良を行なったかが最も重大事であるにもかかわらず、何をどれだけ注入したかに関心がいくことになる。これでは

施工技術、施工管理の向上といった技術の本質がなおざりになりやすい。このように薬材そのものを注入工法の主体として考える観点は、公害問題が提起されると、やはり薬材そのものの毒性の有無とかゲル化時間の長短といった部分的な面で問題が論議されやすいという結果をもたらす。たとえば、酒、食塩、酢、しょう油などいずれも摂取の仕方次第で無害なものはありません。したがって、注入材そのものを主体にして論議する限り公害問題に無用な混乱を生じせしめ、解決を一層困難なものとするであろう。

もちろん、注入材そのものの安全性が重要であることは当然である。しかし、医師による治療において実際に使用する薬剤の他に診断、正しい処方による適量適正な投薬、さらに検査がいかに重要であるかを想起すべきである。さしずめ注入工法において診断は施工前の土質調査や水域の調査、それに基づく施工計画であり、医師の処方施工技術、施工管理であり検査は検査孔における水質検査といえよう。現在注入材における薬剤は劇毒物や重金属を含まない水ガラス系グラウトのみが認可され、慎重な事前調査、注入工事前・中・後における検査孔によるきびしい水質検査を義務づけられて実施されているため、検査孔の結果が異状ない限り公害の心配はないといえよう。しかるに前記の理由により、最も立ち遅れている施工技術、施工管理の面の充実があつてはじめて注入工法は安全性と効果からみた信頼性ある工法としての地位を確立することになろう。

そしてこのような考え方は当然、施工業者、施工技術者の資格認定制度の制定、責任施工へと指向することになろう。

また、公害の問題は必然的に文明社会における自然と技術の問題をあらためて考えさずにはいられない。

われわれの都市において、公害問題がさげばれてから久しい。あるときは公害の摘発はさながら社会正義の観すら呈しており、またあるときは技術がその元凶であるかのように云われる場合もある。しかし、現在われわれが文化的生活を享受できるのは高度の技術によつてもたらされたものであることは誰しも否定できないであろう。特に大都市への限りなき人口の集中は機能的な社会を構成するた

めに絶えまない輸送網，上下水道網，通信網を完備するための建設を必要とし，その安全かつ迅速な施工は近年の注入工法をはじめとする地盤処理工法なくしては不可能である。

そしてわれわれがこの都市の人口問題，過密問題を解決できない以上その過密社会において健全なる生活を営むためには，やはり技術の力に依存しなくてはならないのである。結局，技術を人間が幸福な生活を営むのに対立するものとして抱えるのはあやまりであって，技術が人間に対してどのように作用するかは，人間が技術をどのように扱うかにかかっているということを忘れてはならないであろう。

現在の地盤改良分野における技術の多様性を考慮すると，本書で取り扱った内容はすべてを平等にとりあげていないとか，あるいは筆者の主観が強いとかのそしりをまねがれないかもしれないが，このように注入工法をとりまく情勢がきびしいおり，総括的に記述するよりも，筆者の信ずるところをありのままに述べざるをえなかったものであり，御容赦願えとした。総括的な内容を望まれる方は，他の関連書籍によられたい。

なお，本書の内容は，筆者が『コンストラクション』誌上にて昭和47年1月号より2年余りにわたって連載した連載講座「現場技術者の薬液注入工法」を基本として最近の地盤注入工法の課題と，技術の進歩を大幅にとり入れてまとめたものである。

この拙書が今後の信頼性ある地盤注入工法の確立の一助になれば幸いである。ここに世の識者の正しい認識と批判を得られればこれに勝るものはない。

昭和52年3月

著 者

目 次

第1章 最近の地盤注工法の課題と展望	1
1.1 産業構造の変化と技術評価の質的転換	1
1.2 注工法の問題点	2
1.3 これからの地盤注工法の課題	5
1.4 各課題の歴史的な発展経過と最近の動向	7
1.4.1 注入材の開発	7
1.4.2 信頼性ある施工技術の確立への努力	10
1.4.3 注工法の工学化と設計法の確立	13
第2章 地盤注工法に関する法規制	19
2.1 暫定指針の概要	19
2.2 薬液注工法による 建設工事の施工に関する暫定指針（建設省）	20
（付）関係省令（厚生省令，総理府令）	28
第3章 安全性の高い地盤注工法の開発の動向と 新技術の現況	33
3.1 安全性の高い注工法の確立のための基本的考え方	33
3.2 水ガラス系グラウトの最近の進歩	40
3.2.1 水ガラスの特性とゲル化の原理	40
3.2.2 無機反応剤を用いた水ガラスグラウト	45
3.2.3 ある種の有機反応剤を用いた溶液水ガラスグラウト	48
3.2.4 pH が中性領域にある水ガラスグラウト	57
3.2.5 半懸濁液型複合グラウト	62

3.3	新しい施工管理システムの導入	64
3.4	新しい施工原理の導入	80
3.4.1	高圧噴射注入工法の出現	80
3.4.2	在来工法にかわる適用例	84
第4章	注入液の基本的特性	91
4.1	注入材の種類と基本的知識	91
4.2	懸濁液型グラウトの特性	92
4.3	注入液のレオロジー	99
第5章	グラウトの浸透と固結	109
5.1	注入試験と固結効果	110
5.1.1	室内注入試験装置	110
5.1.2	室内注入試験による注入可能限界と 強度試験および透水試験結果	112
5.1.3	固結砂の強度特性	117
5.2	ゲル化時間の短い配合を用いた1.5ショット 注入方式における浸透と固結	117
5.3	ゲル化時化の長い配合を用いた1ショット 注入方式における浸透と固結	123
5.4	グラウトの浸透と固結の形態と浸透式	127
5.4.1	グラウトの浸透の形態	127
5.4.2	グラウトの浸透式	130
5.5	グラウトの注入可能限界	134
第6章	地盤注入工法の施工計画	147
6.1	地盤注入工法の必要性	147
6.2	注入工法の手順	159

6.3	施工計画に当って考えるべきこと	162	
6.4	注入設計のための土質調査	164	
6.5	注入材の選定	167	
6.5.1	注入材の選定に当って考慮すべき事項	167	
6.5.2	使用許可されている注入材	168	
6.5.3	注入可能限界	168	
6.5.4	注入材の選定に関する具体的な方法	168	
6.6	注入改良範囲の設計	173	
6.7	注入孔の配置設計	187	
6.8	注入量の設計	189	
6.9	試験注入について	194	
第7章 地盤注入工法の施工——			
	施工法のポイントと問題点	195	
7.1	注入管の設置方法	195	
7.2	ステップ注入とパッカーの問題について	198	
7.3	薬液の合流と混合の方法について	203	
7.4	注入圧と流入量の管理について	205	
7.5	注入効果の確認方法について	213	
第8章 注入工法のコストと積算について			217
8.1	注入工事費の内容	218	
8.2	積算上の注意	220	
〔付録〕 AFTES（フランス地下工事協会）の注入工事手引書（抜粋）			227
1.	序 文	227	
2.	注入工法の適用分野	228	

3. グラウト	229
4. グラウトの注入作業	233
5. 予備調査	236
6. 管 理	241
7. 現場報告	245
8. 注入工事の支払方法, 積算	248
参考文献	251

第1章 最近の地盤注入工法の課題と展望

1.1 産業構造の変化と技術評価の質的転換

薬液注入による環境公害の発生、それに伴う国の環境規制といった一連の事態はこれを単に薬液注入の問題として捉えるのではなく、70年代の技術開発の典型的なパターンにわれわれが直接当面したものとしてとらえ、これを貴重な教訓として、現代社会における科学技術のあり方を認識してはじめて、今後の地盤注入のあり方はどうであり、どのように展開していくべきであるか、さらに広くは、今後の技術開発の方向づけをどうするか、どのような手法を用いるべきかについて知る上で役立つであろうと思われる。従来われわれは、とすれば技術というものをも機能的効果、経済的効果という立場から考えがちであった。このような立場に立った技術開発が従来のわが国の驚異的な経済成長、生活レベルの向上に重要な役割を果たして来たのであるが、技術の社会、経済に対する影響力が増大するにつれ、国土開発と環境保全の対立が生じ、その調和点をどこにおくかが重要になってきた。この社会的ひずみの最たるものは、昭和48年秋突如として起こった石油危機に伴う材料不足と価格の高騰ならびに環境問題である。このように従来われわれには対岸の火事のようにしか考えていなかった国際経済の変化、社会環境問題といった社会変化が矢つぎばやにわれわれに直接的な打撃をもたらすに至った。この一連の事態は、われわれをとりまく急激な社会情勢の変化をいち早く予測し、それに対応できる企業の体質変化の必要性、新しい立場に立った技術開発の必要性をわれわれに痛感させることになった。現代社会の発展は技術開発によって多大の影響をうけてきたが、逆に現代社会の変動、経済成長、産業構造の変化は技術開発の方向性の転換、テーマの選定、評価、実施体制に大きな変化をもたらす。この技術開発によってもたらされる人間本来の目標に相反する影響

をなくし、その効用を人間本来の目標の範囲の中で最大限に発揮せしめるためにテクノロジーアセスメント（技術の事前評価）の考えの導入が必要となった。したがって、真に良い技術ならたとえ他の技術に比して高価でも効果と安全の値段として少しも高くはないという考えに移行しつつあり、われわれ自身の観念の質的転換の必要性をせまられている。

このように環境保全を考慮して技術開発の努力はもちろん重要であるが、一方、技術を環境破壊の元凶としてそのマイナス面のみを指摘するがごとき考え方は、事態を混乱に導くのみである。なぜなら過密社会において文化的生活を享受するには、当然交通網、上下水道をはじめとする建設が必要であり、これが従来の環境を何らかの形で変動せしめるのはさけられないからである。結局、過密社会における文化的生活の享受と自然保全といった相反する要求のバランスをどこにおくかを冷静に判断し、適正な調和を求めるのがわれわれの正しいあり方であろう。

1.2 注工法の問題点

注工法の問題点は注入効果が薬の種類によって一義的に定まるという考え方とその考えと結びついた安易な施工法であり、その結果もたらされる注工法の信頼性の欠如である。以下にそれについて述べることにする。

● 薬液注工法の簡便性と安易な実施

衆知のように薬液注工法が他工法に比べて非常にすぐれた工法であることは、公害問題により一時中止した際に適当な（経済性も含めた）代替法が見当らず、公共工事の円滑な施工にかなりの影響を与えた点からも、あらためて薬液注工法の価値が再認識されたことは関係者の記憶に新しいところである。すなわち、他の工法ならば技術的にも経済的にも工期的にも不可能な条件において、薬液注工法は、わずか直径 5 cm 程度の注入パイプを挿入するだけで地中深く、いとも簡単に地盤改良をやっつけてしまうという点である。逆にこのような薬液注工法の比類のない簡便性と速効性が安易な考えを生みやすく、また一度適

用を誤った場合“工法の信頼性の欠如”という結果を招いてしまうのである。

● 注入業者の乱立

注入工法の簡便さは無数の安易な注入業者の存在を可能にする。その結果もたらされる過当競争、有能な技術者の欠如、高度な注入装備と管理機具の不足、注入工事に対する安易な考えは、注入工法の信頼性をそこなわせ、自らがよって立つ注入工法の存在そのものを危うくするものといえよう。

とりあえずは、施工業者、技術者の業界団体での認定、次には国の認定制度法の施行などが待たれるところである。

● 薬液メーカーの過当競争と薬液の乱用

同様に、薬液メーカーの乱立も好ましくあらざる結果を招く。化学業界にとって土木業界は、無限の可能性を期待させるものであることは事実であるが、少なくとも現在のところ、注入工法に限っていえばわが国における巨大化学企業が、多数進出してくるような業界であるとも思えない。欧米では薬液注入工法は、水ガラス系がほとんどで、高分子系は特殊な場合のみに実施されるにすぎないが、このように多種多量の高分子系注入材が開発され、かつ実施されたのは、アメリカのACC社のアクリル系注入材AM-9の出現が、わが国の注入工法の普及に大きな影響をもたらし、同時に商業主義的色彩の強い注入に対する考え方が流れ込んだという点と、わが国の化学工業が非常に発展しており、その製品の需要先として土木業界が着目され、非常な勢いで注入材料の開発とPRが行なわれたためと考えられる。

これは必然的に技術そのものよりも薬剤そのものへの依存度を高め、薬液の乱用と安易な施工を招くことになる。したがって、過剰原料の有効利用という、すなわち、化学の立場に立った注入材の開発よりも土木の立場に立った注入材の開発が望ましいのである。

● 注入効果が薬液の種類によって一義的に定まるという考えの誤り

このような発展経路をたどってきたわが国の注入工法は、注入というと、まずどのような薬液を使用するかということに最大の主眼がおかれ、あたかも薬の種

類によって注入効果が一義的に決まるかのように考えられてきた。たとえば、注入工法を、高分子系、水ガラス系、セメント系に分類するといった例にみられるように地盤処理技術であるべき工法を材料の種類によって分類して適用を指定するという考えや、高分子系注入材が最もすぐれており、高分子系が禁止された現在注入工法の効果は限定されたものになるといった考えが当然のように信じられてきた点などである。前述したように注入地盤の浸透性、不均質性に基づく注入処理のむずかしさに対して、主として薬の性能に頼ることにより解決しようという考え方に基づいて、多数の薬剤がわが国では精力的に開発され市場に供給された。たとえば、注入工法における問題点が注入対象範囲に逸脱しやすいという点にあるならばゲル化時間の調節しやすい注入薬剤を提供するとか、水に希釈しやすいという点が問題ならば、水で希釈されない注入薬剤を提供する、また高強度を必要とするならば高強度の注入薬剤を提供するとか、細粒土への浸透が問題になるならば、水と同じ浸透性を有する注入薬剤を提供する等々である。

このように、多様な薬液が開発されたが、薬液の種類そのものが信頼性ある注入工法を確立しえたであろうか。

注入材の性能のみに頼って地盤処理するには地盤はあまりにも複雑すぎる

地盤に注入した薬液の浸透はゲル化時間の他に、注入圧力、注入速度、注入時間、注入孔有効径、注入方式および地盤の透水係数、間隙率、空隙の発達状況、注入材の粘性などが相互に関連し、しかも実際には不均質な地盤状況、地下水の流動、注入液の経時的な粘度変化、ゲル化を伴う流動体の複雑な浸透機構などが関連している。従来水と同じ粘性を有することやゲル化時点まで、一定の低粘度を保持することや、ゲル化時間を微妙に調整しうることが、注入薬剤の優秀性を示すために金科玉条のようにいわれてきた。しかしこのような条件は果して実際の注入効果にとってわれわれが今まで考えてきたほど重要な要素なのであろうか。

浸透性のよい層へ薬液が集中的に逸脱するのを防いだり、あるいは地下水で薬液が希釈するのを防いだりする技術は薬液そのものの性質のみに頼る場合、ゲル

化時間の調節によらざるを得ないのであるが、見えない地中の出来事を圧力計と流量計を見ながら推定し、ゲル化時間の調節を行なって目的を達するということは非常に優れた技術的素養と長い経験を積んだ一流の技術者によっても事実上は不可能であろう。また、実際には、このような優秀な技術者を何人も揃えることも不可能である。このように注入効果をゲル化時間の調節に依存する限り、注入技術は個人的芸術に属するものであり、注入工法は一種の手工業的手法の域を出ないのである。したがって、注入に直接携わる技術者の個人的能力によっては、十分に固結していなかったり、あるいは注入したものが、どこへいったか分らないといった結果を生ずるのである。このように薬液そのものを厳密に問題にする前に、地盤構造の不均質性、それに伴う浸透の不均質性、注入操作上の誤差などの影響の方があまりに大きいのである。

- **施工技術と施工技術に結びついた適正なる注入材の適用こそ注入効果を一義的に定める要素である**

このように土そのものの不均質性、地質の複雑性は単一の薬液の性能のみでは処理しきれない。すなわち、注入地盤の浸透性、不均質性に基づく注入処理のむずかしさに対して薬の性能のみで解決することは無理と考えなくてはならない。すなわち、従来のわが国の注入工法の最大の問題点は、注入効果が薬の種類によって一義的に定まるという考え方とそれに結びついた安易な施工法が、掘ってみなくては固まっているか固まっていないか判らないといった“注入工法の信頼性の欠如”を招いているのである。このことは、いやでもわれわれの目を“施工技術の確立”の方向に向けさせるのである。今や、施工技術こそ、注入効果を一義的に定める要素である。

1.3 これからの地盤注入工法の課題

今日われわれが当面している注入工法にかかわる、最大の問題は、一連の環境規制に伴う薬液注入の制約であり、それによってもたらされる都市土木の地盤処理の構造的変化と、その変化に対して注入工法が生き残り、かつ発展していくに