

地盤改良を対象とした設計シミュレーションにおける図形表現手法に関する研究

東京理科大学理工学部 土木工学科 正員 大林 成行

東京理科大学理工学部 土木工学科 学生員 鈴木 伸康

日本総合防水株式会社 研究室 正員 所 武彦

1. はじめに

近年、土木工事の大規模化・多様化に伴ってその施工技術は、急速に進歩を見せており、これまではむずかしいと言われた地盤条件や複雑な周辺状況下においても、施工が推進されるようになってきた。そのため、周辺に対する影響の防止や作業の安全を目的として、軟弱地盤の処理が強く要望されるようになった。今日、地盤の安定化をはかるために、各種の工法が研究・開発され、実際の土木工事においても積極的に利用され効果をあげている。本研究は、数ある地盤改良工法でも、特に、薬液注入工法に着目して地盤改良設計に際して必要な情報の入出力あるいは加工によるシミュレーションによって、設計者の行動を支援するシステムの作成である。

薬液注入工法は、現在は一般に主体工事を安全に施工するための補助工法として、止水、湧水量軽減、切羽の自立化、崩壊防止、沈下防護、地盤強化、ボイリング防止などを目的として利用されている。昭和49年に「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」が出されてから、施工管理面で環境保全や無公害性といったことがうるさく言われるようになった。そのため、使用薬液が事実上制限されたことになり、従来の薬液重視型から工法重視型へと認識が移向してきている。このような中で、薬液注入工法の施工方法は急速に進歩し、多種多様な工法が開発・導入されてきているが、工法の選択、改良効果の確認、注入理論などの面で問題の解決が望まれているのが現状である。本研究の内容は、このような問題点に対処することのできる有効な方策の1つである。

2. 本研究の目的と範囲

薬液注入工法は、これまで経験的な判断によるところが多く、注入理論および施工面でも工学的、技術的体系化が立ち遅れている分野であった。そのため、周辺環境への影響を考慮した設計および施工法について論ずる場合でも、多くの未解決な問題が残されていた。

したがって、工事が周囲の環境に及ぼす影響を事前に計画・設計段階で把握し、十分に評価・検討を行なった上で、誰にでも簡単に理解できるような形で様々な情報が表現できるシステムが要求される。そのためには、計画・設計・施工といったそれぞれの段階で、図解的な手段を用いて情報を表現し、視覚判断や意見交換の資料とすることが大切である。

本研究では、地盤改良を対象にして、対象地盤、薬液、工法の組合せによって、薬液の浸透状況がどのように変化していくのかを計算機と対話しながらシミュレーションし、それをいろいろな形で表現できる図形表現手法の開発を行うものである。図形表現手法としては、計画・設計の対象を2次元あるいは3次元の姿としてとらえ、対象地域の周辺環境をも考慮に入れた評価を行い、専門の技術者以外の人々にも理解できるシステムを目ざしており、次の4つの条件に従って開発を進めた。

- (1)視覚性 (目で見て目的に応じた正確な評価が行なえる表現方法である。)
- (2)現実性 (迅速に、より真実に近い表現が行えること。)
- (3)操作性 (修正がしやすく、それが直ちにもの設計変量の修正にフィードバックできる。)
- (4)定量性 (図解的表現であって、しかも数量的な評価が自動的に処理できること。)

一般に地盤を対象とする工事では、不確定要素が多くその施工状況を再現することは不可能であるため、慎重にならざるを得ない。しかし、いくつかのモデルを設定して、その中で考えられるケースを自由に何度でもシミュレーションし、再現あるいは予測ができる手法が得られれば設計段階において有効に利用できるはずである。

3. 地盤改良の設計手順への電算機の導入

薬液注入による地盤改良工法は、目に見えない複雑で未知の要素の多い地盤を対象としているために、施工中に初期の設計どおり正確に注入が行われているか否かを確認することがむずかしいだけでなく、施工後の改良効果を判定する場合にも、むずかしい点が多い。これらを解決するために、いろいろな方法が開発されているが現在では、間接的な確認法では不十分な点があり、実際には掘削してみなければ正確なことはわからないのが実情である。

このように地盤改良工事には未知な部分が多いため、実際の施工では、従来から、十分に経験を積んだ技術者と熟練技能工が現場状況を逐次判断しながら、状況に応じて様々な手段を組み合わせることによって施工をする方法がとられてきた。しかし、現在のように、熟練技能工が分散し、減少している状況においては近い将来における大きな問題点となってきた。

すなわち、できるだけ技術者の個人的技術に依存する部分を少なくして、適切な地盤改良設計や地質に応じた精度のよい施工ができる手法の開発が重要な課題になっている。いいかえると、施工前の設計段階において、現場の地質状況を正確にとらえ、これまで行なってきた地盤改良設計に、過去の経験的要素をうまく加味しながら、ある程度の現場での予測ができれば、施工においても、それを一つの目安として能率的な作業を行うことができる。計算機を活用したシミュレーション手法の有効性がここにある。

図-1は現在用いられている薬液注入工法の設計手順を示したものである。図中の①～④の各段階においては、注入工法、注入材料の選択・組合せによって、期待する諸条件を決定するには、十分な検討が必要である。したがって、この段階を整理すると、必要な計算を計算機で行い、その結果をわかりやすい図表で表示し、設計者の経験や知識によって判断・評価をするといった計算機との対話形式によるシミュレーションが可能になる。

4. システムに要求される機能とハードウェア構成

薬液注入工法の設計においては、対象とする地盤、使用する工法、薬液などの選択や組合せによって、さまざまなケースが考えられる。そのため、設計者が各々の情報を有効に利用し、試行錯誤しながら現実に近い形でのシミュレーションを行うためには、計算機と対話しながら試行のできる、いわゆるマン・マシン・システムが要求される。すなわち、設計者が対話メニューの選択やパラメータを入力することによって各種のプログラムを実行し、作業を進めるとともに、視覚的に表示された画像を見ながら、判断・評価を行い、その情報がフィードバックできるシステムが必要である。

図-2に本研究において利用したハードウェア構成を示す。ハードウェアシステムは、汎用計算機を中心に各種の周辺機器によって構成されている。本研究では、シミュレーション結果の表示には直視型映像表示装置を用いており、設計者はこの表示を見て視覚的な判断ができるとともに必要に応じて設計変量を計算機にフィードバックすることができる。さらに、最終的な結果は、プロッター、カラー映像表示装置、フォトリンタ等に出力することもできる。

5. シミュレーションの流れ

薬液の浸透状況をシミュレーションする場合、対象地盤の単純化、注入機構のモデル化を考えなければならない。本研究では薬液の注入機構をその形態に応じてつぎの5つに分類整理した。①填充グラウト、②割裂・脈状注入、③浸透注入、④境界注入、⑤割裂攪拌注入。また、改良の対象となる地盤は大きく分けて、砂質地盤と粘性土地盤の2つに分類できる。それぞれの地盤について注入機構を整理すると次のようになる。

①砂質地盤 注入された薬液は土粒子間相互に化学的結合力を与え、浸透固結をする。

②粘性土地盤 注入された薬液は土粒子間の間ゲキに一樣に浸透することはむずかしく、脈状固結をする。

これまで、グラウトの浸透機構については、ダルシーの法則が利用され、これをもとにしたMaagやKarolその他の浸透式が用いられてきた。しかし、これらは理想地盤を対象にしているため、実際の複雑な地盤に

は適さないなどの指摘もあり、現在ではほとんど用いられない。このように、薬液注入の浸透状況を把握する上で有効な浸透式、理論といったものが確立していないために、工法に重点をおいた上で期待できる地盤改良の効果があげられるものを開発しようというのが現状である。

本研究では、薬液注入工法による地盤改良の原点に帰って薬液注入のメカニズムを究明するとともに、そのパターンをモデル化して、薬液注入状況を計算機を使ってシミュレーションすることを考えた。図-3にシミュレーションを導入した地盤改良設計の流れを示す。

本研究で開発したシミュレーションの方法は、大別して以下の2つの方法がある。

- ①均質で様な地盤を仮定した上で条件設定をし、既成の浸透式を用いて注入状況シミュレーションする。この場合の地質は、一般に、均質な砂地盤あるいは、単純な層を対象としているが、必要に応じて境界層や地中構造物を設けたり、ゲルタイムの比較的長い薬液だけでなく、短い薬液を用いる場合には、既成の浸透式にそれらの条件を付加してシミュレーションを行うことが可能になっている。
- ②地質の状態を3次元のメッシュデータにモデル化した上で、注入モデルに従って注入状況をシミュレーションする。すなわち、現実 に即した複雑な地層を想定したものであり、あらかじめ柱状図等から、地盤の改良の対象範囲における透水係数、間ゲキ率等の薬液注入工法に關係する要素をデータとして地質データと同じ3次元メッシュ状に作成しておき、薬液が時間とともに到達していくノードポイントでのデータを使いながら浸透するようなモデルを構築し、シミュレーションを行うものである。

6. 考察

本研究を通して作成されたシミュレーションモデルを実際に稼働することによって以下に列挙するような効果が得られるとともにモデルの改良を含めて今後の問題点が整理できた。

- (1)シミュレーション結果が時間ごとに連続的に出力できるため、注入材の浸透していく様子が動画的に見える。
- (2)シミュレーション結果が図形的にわかりやすく表示されるとともに、それに付属する情報も同時に出力されるため、出力画像からの視覚的判断が容易である。
- (3)地質状態の条件設定、および注入材の選定・組合わせが簡単に行えらるとともに、それぞれについて比較・検討が可能である。
- (4)計算機との対話形式により、設計者がメニューを選択したり、情報を入力することにより、必要とするシミュレーション結果を、所要の精度で得ることができる。
- (5)これまで比較的漠然としていた注入機構が、モデルを作成していく過程で、明らかになってきた。
- (6)今回の研究では、定位置での注入をとらえて解析をし、前提にモデルの作成を行ったが、実際には注入管の移動も考慮する必要がある、今後の問題として、深さ方向と平面的な広がり の両方向の現象をシミュレートするモデルに改良する。
- (7)現在使われている各工法により、地盤条件が同じでも、注入条件、注入機構が異なってくるため、各工法についても比較・検討する。
- (8)実際の現場を対象としてシミュレーションを行う場合は、実際の地質状態のデータの整理が必要である。すなわち、データベースシステムを前提したシミュレーションモデルの開発が必要である。

7. おわりに

薬液注入工法による地盤改良を対象として、設計シミュレーションを行うために、考えられる注入状況を可能な範囲でモデル化して解析を試みたが、まだ不十分な点が多く、より現実的なシミュレーションを行うには、さらに改良が必要である。しかし、本研究により、注入のメカニズムが図解的に判断できるようになり、設計段階における一つの評価の方法として有効であることが立証された。

図-4はシミュレーションモデルを使った薬液の注入状況を示したものである。

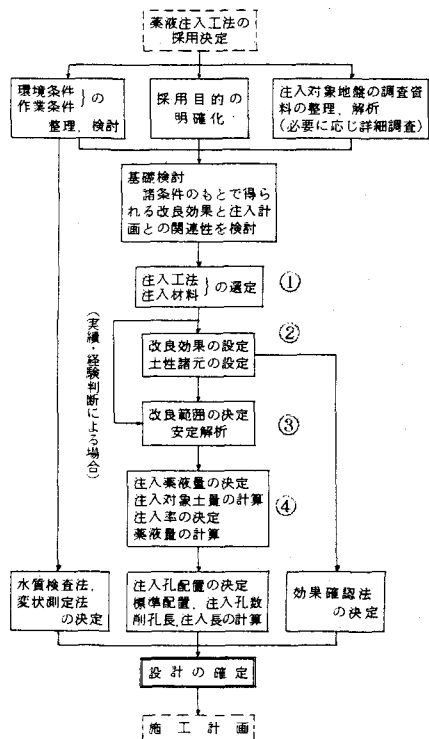


図-1 薬液注入工の設計手順 1)

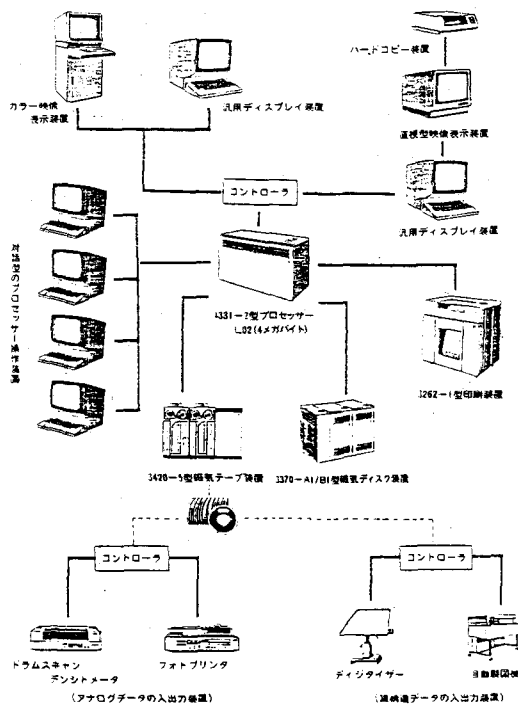


図-2 ハードウェア構成

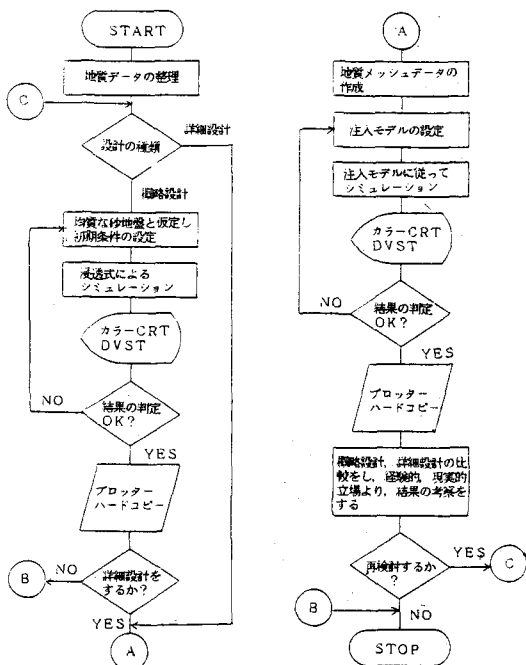


図-3 シミュレーション導入の薬液注入工の設計手順

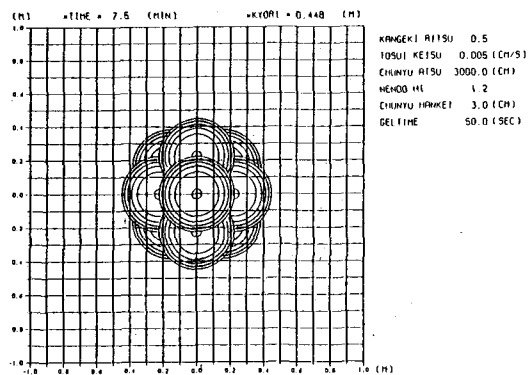


図-4 薬液の注入状況のシミュレーション

引用文献

- 1) 宮藤春夫, 『薬液注入工法の施工計画』, 最近の薬液注入工法⑦, 1982年 9月