

Ⅲ－B287

低定圧注入時の薬液の浸透現象と固結体の形状・強度特性

東北学院大学工学部 ○飛田善雄

東北学院大学大学院 桜庭 真

日本基礎技術株式会社 那須丈夫

1. まえがき：現状での薬液注入では、土骨格の破壊を伴う割裂（あるいは割裂－浸透）注入の発生は避けられない。破壊現象は、基本的には初期値鋭敏性を有する現象であるから、その制御は根本的に難しいものとなる。このため、薬液注入による信頼性の高い地盤改良を行うためには、割裂の発生を極力抑え、浸透注入が卓越する圧力（あるいは注入速度）での注入の可能性の再検討が必要となる。本報告では、低い圧力での定圧注入を行い、その固結体の形状と強度特性に関して行った基本的実験の結果を示す。また、実験条件下での浸透注入を前提とした場合の数学的モデル化を行い、その計算結果と実験結果を比較することにより、低定圧下であっても注入管近傍では局部的割裂が発生しているが、全体的には浸透注入になっていることが推定できた。また、注入間隔が短い場合を想定した近接注入を行った結果、形状的には連結した固結体が得られた。

2. 実験概要：実験に用いた試料はケイ砂7号である。その土粒子密度は $2.636(\text{g}/\text{cm}^3)$ であり、粒度分布は有効径 $D_{10}=0.10\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=1.7$ である。実験では密詰めとして乾燥密度 $\rho_d=1.56(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、緩詰め $\rho_d=1.37(\text{g}/\text{cm}^3)$ を用いた。両密度での透水係数は $k=1 \times 10^{-2}(\text{cm}/\text{s})$ であり、差は見られなかった。使用した薬液は水ガラス系のものであり、薬液のゲルタイムは60秒、600秒に設定した。図1に実験装置の概要を示す。注入槽の寸法は直径280mm、高さは300mmである。図2に後述する近接注入時の実験状況を対象として、注入槽の詳細図を示している。上載圧として、図に示すエアチュウプに98kPaの空気圧を与えている。供試体に脱気水を十分に循環させた後、49kPa、98kPaという低い注入圧で定圧試験を行った。

3. 定圧下の浸透注入の数学モデル：浸透注入時の球状浸透状態の数学モデルは、質量保存則から、土骨格、薬液、水の圧縮性を無視して、導かれる Laplace の微分方程式が基礎式となり、注入管での圧力を一定とし、さらに薬液と水との境界面における流量の連続性と初期条件($t=0$ で水頭はない)を用いて、解が得られる。解は、同条件での定量注入よりも複雑なものとなる。数学ソフトの Mathematica を用いて、注入量 q －注入時間 t 関係、時間経過に伴う水頭分布などの関係を求めた。この数学モデルによる解は、理想的な浸透注入がなされた場合の状況を再現するものと考えられ、この解と実験結果を比較することにより、実験時の注入状況に対する考察を行うことができる。

4. 注入量－時間関係の比較：図-3は、密詰め供試体にゲルタイム600秒に調整した薬液を注入したときの、注入量時間関係の代表的例を示している。この実験に対応する数学モデルの数値計算結果をみると、注入管半径を実験に合わせて0.2mmとした場合には、定性的傾向は一致するものの、絶対量は一致せず、0.47mmとした場合に、ほぼ同様の関係を示すことになる(図4参照)。このことより、49kPaという低定圧下であっても、注入管近傍では局部的な土骨格の破壊を伴

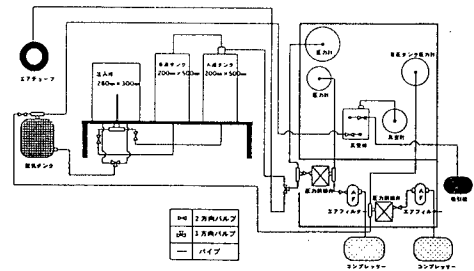


図1：実験装置概要図

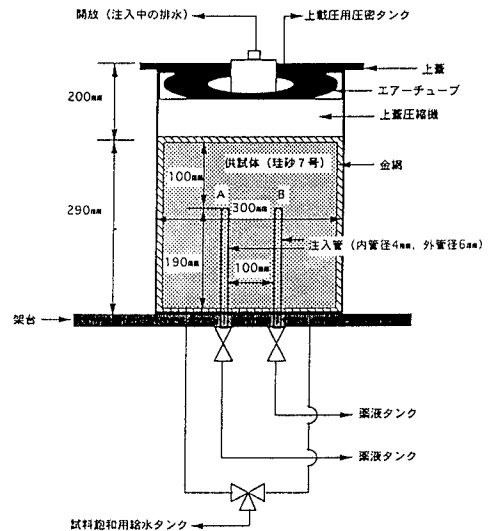


図2：注入槽概要図（近接注入時）

薬液注入、浸透注入、固結体の形状と強度、浸透数学モデル

〒985-8537 多賀城市中央 1-13-1 東北学院大学工学部土木工学科／TEL:022-368-115、FAX: 022-368-7070

う割裂注入となっていることが推察できる。しかし、実験の全体的な傾向は浸透注入モデルと一致することより、全体的には浸透注入が卓越しているものと考えられる。

5. 固結体の形状：注入後ゲルタイムの5倍以上の時間を経過した後、未固結部分の砂を水洗いして固結体を取りだした。密詰め供試体ではほぼ球状になっている。一方、緩詰め供試体では、楕円体の形状からかなり不規則な形状となるものである。通常、注入においては土骨格の本来の強さが注入の良否を考える直接的な指標とはなっていないが、本実験でのような低压状態での注入の場合には、土骨格の強さが注入形態に大きな影響を与えることが予想される。すなわち、密詰めの場合には、局部的に割裂が発生しても、その影響は土骨格の強さにより速やかに浸透注入状態に推移し、結果として球形状の固結体となるが、緩詰めの場合には、注入管近傍の割裂が不安定に進展し、結果として、不規則な形状をもたらすことが考えられる。

6. 固結体の強度特性：固結体を20°Cに調整した乾燥機に24時間放置し、一軸圧縮試験（直径35mm、高さ70mm）圧裂試験（直径35mm、長さ35mm）に利用する円柱供試体を成形した。ゲルタイム別に、横軸に一軸圧縮強度、縦軸に圧裂試験による引っ張り強度を示すグラフを図5に示す。強度特性については以下のことが言える：（1）圧縮強度は密詰めの方が若干大きめの値を与える；（2）引っ張り強度に関しては、密緩の差は見られない；（3）ゲルタイムの短い薬液の方が、圧縮引っ張り両強度とも大きめの値を与える。

7. 近接注入時の固結体の形状：低い注入圧で浸透条件を満たした注入を考える場合には、現状よりも短い間隔での注入が必要となる。その場合、注入孔同志が干渉をおこし、結果として望ましくない固結状況をもたらすことが懸念される。固結体が重なり合うような状況での固結体の形状を観察するために、近接注入に関する予備の実験も行った。同時に2管より注入した場合の固結体の形状を図6に示す。一方が完全にゲル化した状態（30分経過後）で注入を行った場合の固結体の形状もほぼ同様の形状を示している。連結した固結体が形成されており、干渉による悪影響は形状に関する限り見られない。この事に関しては、確定的な結論を得るためには、より詳細な実験と考察が必要であるが、現時点では、近接注入で良好な連結した固結体の形成が可能であることを示している。

8. まとめ：理想的な浸透注入が卓越する条件での薬液注入の可能性を探るために、低定圧注入に関する基礎的な実験と数学モデルの構築を行った。今後の研究を考える上で、重要な結果をまとめると以下の様になる：

（1）低い注入圧では、土骨格の本来の強さがその透水係数と共に固結体の形状に影響を与える。

（2）近接注入を行った場合でも、連結した固結体が形成され、良好な地盤改良が期待できる。

参考文献：島田他著(1989),最先端技術の薬液注入工法、理工図書

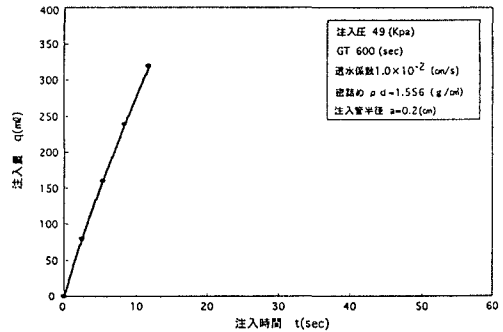


図3：注入量と経過時間の関係（実験）

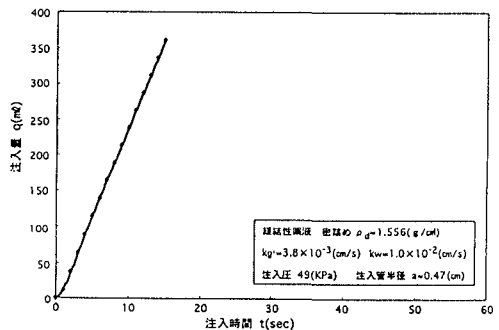


図4：注入量と経過時間の関係（解析）

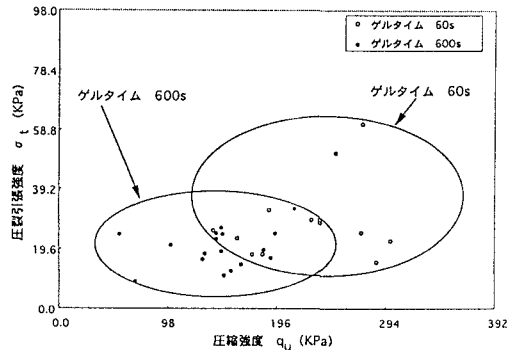


図5：圧縮強度と圧裂引っ張り強度の関係

同時注入、注入圧98KPa、注入量780ml

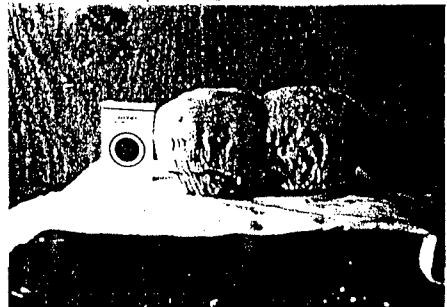


図6：近接同時注入時の固結体の形状