

III-751

薬液注入圧力と $p \sim t$ 曲線の測定位置による相違

清水建設(株)技術研究所 正会員 ○宮本武司

1. はじめに 注入圧力は注入工事の重要な管理項目として施工中には必ず測定されており、注入圧力測定記録を注入状態や注入効果推定に利用することが望まれている。しかし、現実にはほとんど利用されていないが、その理由の一つに、注入圧力が地上の圧力流量測定装置で測定されるため、注入管や注入ホースによる管内抵抗等を含み、実際の注入圧力と必ずしも対応していないことがあると推定される。

本文では、水を用いた室内注入実験において、二重管ダブルパッカー方式を対象に各部の圧力を測定した結果から、注入管による圧力損失や、測定位置による $p \sim t$ 曲線の相違等について報告する。

2. 試験装置と試験方法

図-1に試験装置の概要を示す。直径30cmのモールドに注入管を埋設し、毎分2~20ℓの間の一定吐出量で水道水を注入し、注入ポンプと注入管の間(以下、注入管口元と呼ぶ)、および注入管近傍の試料砂中で圧力を測定した。注入管埋設に用いた砂は、図-2に示す粒度の鹿島3号B珪砂である。

注入管にはスリーブ注入用の装置を使用し、注入内管のみ(ケース1)、注入外管がある場合(ケース2)、注入外管外側にシールグラウトがある場合(ケース3)の3ケースについて試験した。なお、ケース3ではシールグラウト中にも圧力変換器を埋設し、圧力を測定した(図-1参照)。

3. 注入圧力測定結果 図-3に、一定速度で送水し定常状態に達した時の圧力 p と注入速度 q の関係を示す。この図のように、 q が毎分20ℓの時、砂中の圧力は6kPaしかないが、注入管口元は71~140kPaもの値を示し、両者には1~2桁の顕著な相違がみられる。

$q \sim p$ 関係についてみると、砂中では q に比例して p が増加するのに対し、注入管口元ではいずれのケースとも q の増加に伴って p が急激に増加し、 $p \sim q$ 関係は右下に凸な曲線となっている。

このように、砂中と注入管口元での圧力測定値は明白に異なり、注入管口元での測定値には、かなりの圧力損失が含まれていることを示している。

4. 圧力損失と注入速度によるその変化 図-4は、注入管口元と砂中の圧力差として求めた圧力損失と q との関係を示したものである。この図のように、 $q \sim$ 圧力損失関係は、ケース1では直線にならないが、ケース2、3では片対数図上でほぼ直線であり、ケース1とケース2、3では、圧力損失の生じる機構が異なることを示唆している。

図-5は、図-4に示す各ケースの圧力損失の差をとり、各部位別、即ち(1)注入ホースと注入内管、(2)注入外管(スリーブパイプ)、(3)シールグラウト、の各所で生じている圧力損失を計算したものである。

なお、この図には、砂への注入圧力(注入抵抗)も参考のため示してある。この図から、各部位の圧力損失や、 q によるその変化について、以下のことがいえる。

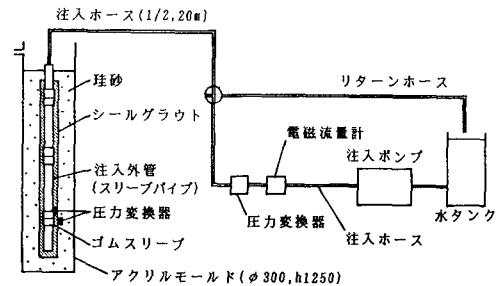


図-1 試験装置の概要(ケース3の例)

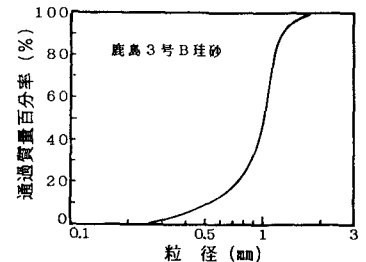


図-2 試料砂の粒度

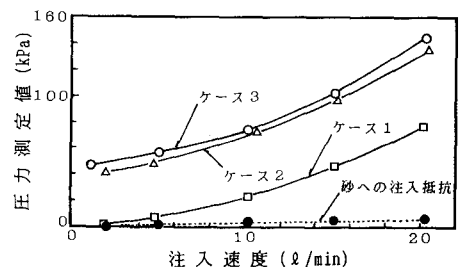


図-3 圧力測定結果

①注入ホースと注入内管による圧力損失（いわゆる管内抵抗）は、 q が毎分2ℓから20ℓに増加することにより、1kPaから71kPaへと急激に増加する。

②砂への注入抵抗と、注入外管（スリーブパイプ）による圧力損失は、ともに q の増加にほぼ比例して増加し、それぞれ0.4kPaから5.6kPa、39kPaから64kPaへと増加する。

③シールグラウトによる圧力損失は、ばらつきが大きく断定はできないが、 q によらず2kPa～10kPa程度の範囲にある。

④圧力損失を生じる主要な部位は、 q が毎分15ℓ以下では注入外管（スリーブパイプ）、 q が毎分20ℓ以上では注入ホースと注入内管の管内抵抗である。

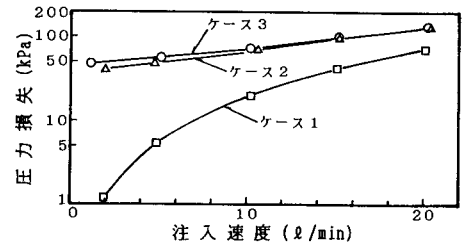


図-4 各試験ケースにおける圧力損失

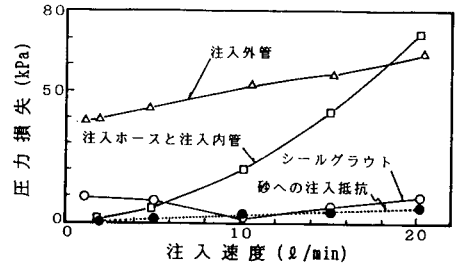


図-5 部位別の圧力損失と注入速度の関係

5. 測定位置による $p \sim t$ 曲線の相違

図-6中の実線は、無脈動定量ポンプで毎分1.2ℓを送水しシールグラウトを割る時に、注入管口元と砂中で得られた圧力 p と経過時間 t の関係曲線（以下、 $p \sim t$ 曲線と呼ぶ）である。なお、注入管口元と砂中では、 p の値がそれぞれ数10kPa、0.数kPaと2桁も異なるので、両者の縦軸の目盛りは2桁変えてある。

この図によれば、砂中と注入管口元の $p \sim t$ 曲線にはともにピークが認められるが、両者は以下の点で異なる。

- ①砂中の圧力が上昇し始めるのは、注入管口元の圧力が60kPaを越えピークに近づく頃である。
- ②砂中の圧力がピークに達するのは、注入管口元の圧力がピークを過ぎ低下し始めてからである。
- ③ピークを過ぎた後の圧力低下は、砂中では0.1kPa弱しかないが、注入管口元では20kPaを超える。

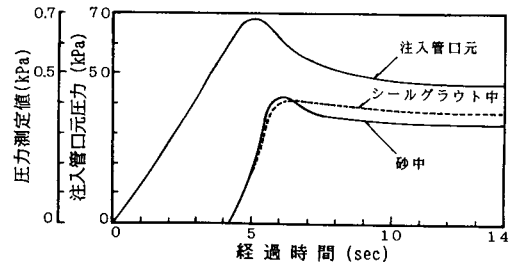


図-6 各部位における $P \sim t$ 関係

このように、注入管口元と砂中で得られる $p \sim t$ 曲線

とは対応せず、注入管口元の $p \sim t$ 曲線から砂中の $p \sim t$ 曲線を推定するのは困難であることが分かる。

図-6中の破線は、シールグラウト中で得られた $p \sim t$ 曲線である。これと砂中で得られた $p \sim t$ 曲線を比較すると、シールグラウト中では明瞭なピークがみられないという相違はあるが、圧力上昇開始時刻や最高圧力に達する時刻、および到達圧力値などがほぼ等しく、両者は概ね対応するといえる。

以上のことから、地盤に対する実際の注入圧力や $p \sim t$ 曲線を知るためには、現在のように地上で注入圧力と管内抵抗を測定し補正するのでは不十分であり、少なくともシールグラウト中で注入圧力を測定する必要があることを示すものと判断される。

6. おわりに 水を用いた室内注入実験により、二重管ダブルパッカー方式の注入管を対象に、注入管口元や注入管付近の砂中で圧力を測定した結果を比較検討し、以下のことを明らかにした。

- ①注入管口元で測定された圧力には注入管各部による圧力損失が含まれ、砂中への実際の注入圧力とは著しく異なる。このため、注入管口元と砂中で得られた $p \sim t$ 曲線は対応しない。
- ②砂中とシールグラウト中で得られた圧力、および $p \sim t$ 曲線は比較的よく対応する。

今後は、薬液を用いた注入実験により、実際の地盤に対する $p \sim t$ 曲線を測定し、 $p \sim t$ 曲線の形状と薬液注入状態の関係を検討して、 $p \sim t$ 曲線による注入状態推定や注入効果の予測に役立てて行きたい。

謝辞 日特建設（株）基礎本部の江藤部長、技術本部の西課長らにはスリーブ注入工法について多々御教示賜ったことを記し、深く感謝の意を表します。