

針貫入試験による薬液固結砂の強度評価

早稲田大学 学生会員 ○中道 馨

早稲田大学 学生会員 山崎 知

早稲田大学 国際会員 赤木寛一

ケミカルグラウト(株) 川村 淳 渡邊 陽介

針貫入試験 一軸圧縮強度 薬液注入工法

1. はじめに

液状化対策など薬液注入工法による改良体の長期耐久性を期待する工法では、施工後に改良地盤の強度確認は義務付けられている。だが施工現場においては、一軸圧縮試験を実施することが可能な十分な長さでかつ自立する供試体を得られないこともあり、強度確認試験が直接的に行えない状況も存在する。その場合、事前の室内配合試験時に得られるシリカ濃度と一軸圧縮強さの推定式から間接的に換算する方法がある。しかし、間接的な方法は一つであること、シリカ濃度を測定する試験は計測時間が必要になることから、より簡易的かつ迅速に強度の推定ができることが望ましい。そこで、針貫入試験により得られた貫入力を地盤の強度に換算変換することができれば、少量の試料でも間接的に強度を評価する新たな手法となりえると考えた。本論文では、薬液注入により作製した供試体に対して一軸圧縮試験と針貫入試験を行い、一軸圧縮強さと針貫入勾配との関係を取りまとめたものである。本研究における薬液はL2地震動に対応できるようシリカ濃度を高めた高強度発現対応の薬液であり、その強度特性および長期耐久性の検証を兼ねており、養生日数28日経過時までの結果を報告する。

2. 試験内容

2.1 試験条件

供試体作製には東北珪砂7号とアクリルパイプ

(φ5cm×10cm)を使用した。薬液はシリカ濃度11.8%で作液し、浸透注入法により薬液改良土供試体を作製した。東北珪砂7号の物理的性質を表1に、シリカ濃度は(式1)にて算出した値とする。

2.2 試験手順

液状化地盤を想定して、上述の東北珪砂7号を目標相対密度60%と設定した。供試体は浸透注入法により作製した。

・浸透注入法

浸透注入法の様子を図1に示す。φ5cm×10cmのアクリルパイプ内にいくつかの層に分けて砂を投入し、締固めながらパイプ内を満たしていく。そのパイプを浸透注入装置内に設置し、装置内を真空に近い状態にしたところで、パイプ下部から薬液を浸透させる。

・養生方法

養生中の供試体の様子を図2に示す。供試体を、密閉容器内で湿潤状態を保って気中養生を行う。容器内は気温25℃程度、湿度90%以上とした。

・針貫入試験 (JGS 3431)

携行型針貫入試験機を図3に示す。針の貫入長さが10mmに達するか、貫入荷重がその試験機の最大に(今回は100N)達した時点で針の貫入長さLと貫入荷重Pを読み取る。今回は貫入荷重が最大に達することはないと考えられたので、針の貫入長さが10mmに達したときの貫入荷重を読み取り貫入勾配を求めた。

供試体について、養生期間3, 7, 14, 28日で針貫入試験をそれぞれ行った。各材齢2本ずつ、合計8本の供試体について試験を行った。

針貫入試験を実施した箇所を図4に示す。各供試体の上部、中部、下部について、それぞれ4方向から、合計12か所で試験を行った。

・一軸圧縮試験 (JIS A 1216:2009)

供試体について、養生期間3, 7, 14, 28日で一軸圧縮試験をそれぞれ行った。各材齢3本ずつ、合計12本の供試体について試験を行った。このとき各材齢において、3本の内2本は針貫入試験を実施した後のものを使用した。

表1. 東北珪砂7号：物性値

項目	記号	単位	数値
土粒子密度		g/cm ³	2.62
最大間隙比	e _{max}	-	0.931
最小間隙比	e _{min}	-	0.613



図1.浸透注入法



図2.養生中の供試体



図3.携行型針貫入試験機

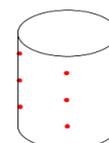


図4.針貫入試験箇所

- ・シリカ濃度=シリカ分重量(g)/薬液全重量(g)...(式1)

3. 試験結果

図5に全12本の供試体の一軸圧縮強さを示す。材齢ごとにその大きさを見てみると、針貫入試験と一軸圧縮試験を行ったものと、一軸圧縮試験のみを行ったもので、養生日数に依らず一貫した大小関係は得られない。つまり針貫入試験を実施することによる、一軸圧縮試験への影響は確認されなかった。そのため、上述の試験方法であれば、同じ供試体に針貫入試験と一軸圧縮試験を併用して行っても良いとする。また、一軸圧縮強さは養生日数を経るごとに増加し、材齢3日時点では強度は266~369kN/m²であったが、材齢28日時点では495~674kN/m²を得た。

図6に針貫入試験の結果を示す。針貫入試験は材齢ごとに2本、また1本の供試体について12か所実施したため、針貫入勾配の全体平均値というのは、その計24か所の計測結果の平均を用いている。これによると、材齢3日時点では針貫入勾配は0.94N/mmであるが、材齢7日時点で1.32N/mm、材齢14日時点で1.68N/mm、材齢28日時点では2.92N/mmを確認し、養生日数を経る毎に針貫入勾配は増加する傾向が見られた。

図7に、針貫入試験と一軸圧縮試験をどちらも実施した8本の供試体から得た、針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係を示す。針貫入勾配の増加に伴い、一軸圧縮強さも指数関数的に増加する傾向が見られた。そこで、一軸圧縮強さを針貫入勾配の指数関数と近似すると、以下の関係式が得られた。

$$y = 185x^{0.634} \dots (式2)$$

$$R^2 = 0.760 \dots (式3)$$

ここに、y：一軸圧縮強さ、x：針貫入勾配、R²：相関係数とする。

既往研究の通り、針貫入勾配と一軸圧縮強さの相関関係は確認でき、一軸圧縮強さは針貫入勾配の指数関数として表せることが得られた。今回のように関係式が得られれば、針貫入試験を実施することにより、間接的に一軸圧縮強さを推定することができる。また、針貫入試験は少量な試料に対しても行える試験であることから、強度推定の簡易化が望める。

一方で、針貫入試験はその簡易性故に、得られた針貫入勾配の値にばらつきが生じてしまった。実地に適用するためにはその精度向上が必須となる。今後は、試験機を垂直に、かつ一定の速度を保って挿入する工夫を検討する必要がある。また、この針貫入勾配と一軸圧縮強さの相関関係は、28日以上養生をしても同じような関係が得られるのかについても、今後実験をしていく必要がある。

4. まとめ

L2地震を想定した高強度対応の薬液は材齢28日時点で495~674kN/m²の強度を得た。また、薬液固結砂に対して、針貫入勾配と一軸圧縮強さの相関関係が得られることが確認できた。その関係は一軸圧縮強さを簡易的に推定するのに役立つであろう。今後は、より長期の材齢について試験を実施し、その強度推定の精度の向上やこの強度推定方法の適用範囲について検討する。

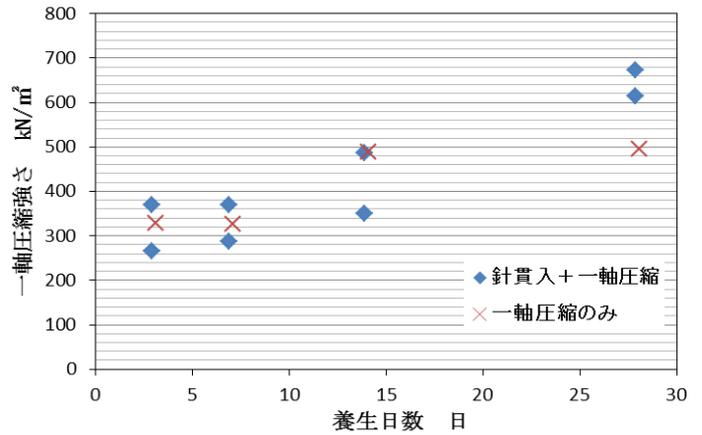


図5.養生日毎の一軸圧縮強さ

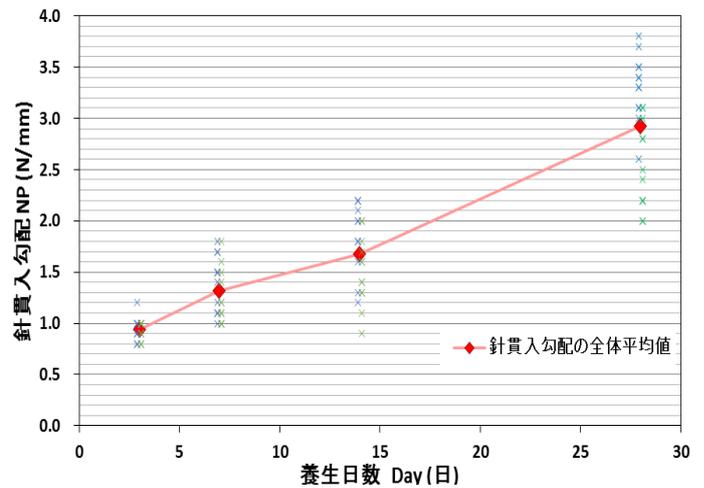


図6.養生日毎の針貫入勾配

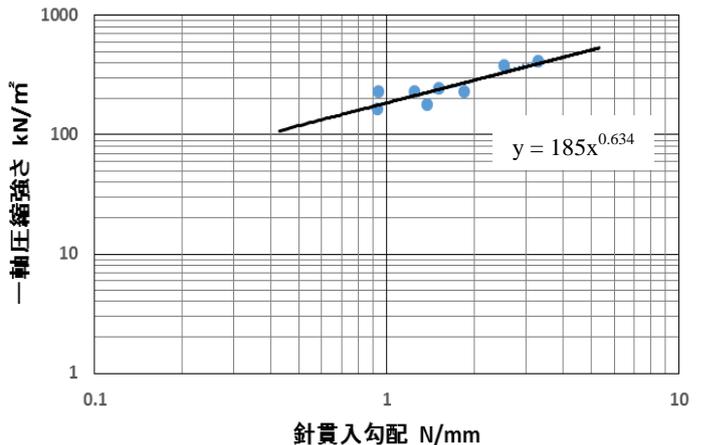


図7.針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係

<参考文献>

- 1)地盤工学会：地盤調査の方法と解説，丸善出版，2013
- 2)土木学会：軟岩の調査・試験の指針（案），1991.
- 3)山崎，赤木：薬液固結砂の高強度化について，第12回地盤工学会関東支部発表会，2015年