

溶液型薬液注入工法の浸透および強度特性に関する 大型土槽実験

林 健太郎¹・善 功企²・山崎 浩之³・林 規夫⁴

¹正会員 五洋建設株式会社技術研究所開発課長 (〒329-2712 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

²正会員 工博 九州大学大学院工学研究府教授 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 独立行政法人港湾空港技術研究所土質部動土質研究室室長 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

⁴正会員 五洋建設株式会社南九州支店土木部 (〒892-0844 鹿児島市山之口町2-1)

耐久性の高い溶液型薬液を用いて既設構造物の直下地盤を液状化対策する工法が開発され、1999年度には施工現場で採用されて無事工事が終了している。本工法で用いられる薬液の浸透性状や改良効果に関する実験結果¹⁾を基に、本論文では、溶液型薬液による地盤改良のメカニズムや浸透に伴う薬液の希釈現象についてとりまとめている。実験結果から、地盤に注入された薬液が浸透に伴い間隙水により希釈されながら間隙に充填されることが明らかにされている。この結果、注入により改良された所では室内配合試験時に比べ改良強度は低下するが、あらかじめ希釈を考慮して薬液の濃度を設定することにより、液状化等に対して十分な改良効果が得られることが明らかにされている。

Key Words : liquefaction, grouting, field test, sand, permeability

1. はじめに

我国は世界有数の地震国であり、過去の地震における港湾、空港、道路などの土木施設の被害は少なくない。これらの原因の一つが地震時の地盤の液状化現象である。最近では、液状化による施設の被害を防ぐため、施設建設前に液状化判定を行い、液状化すると判定される場合には、地盤改良等により液状化対策がなされるのが一般的である。ところが、液状化対策が実施されていない古い施設や、建設後に設計基準等が改訂された結果、新基準を満たさない施設など、新たに液状化対策の必要性に迫られている施設も少なくない。特に、既存施設直下地盤の液状化対策については実用的に有効な方法が極めて少ない現状にある。

既存施設直下地盤の液状化対策の場合、サンドコンパクションパイル工法のような従来の液状化対策工法では、一旦、既存施設を撤去して施工を行う必要がある。しかしながら、施設の供用停止による社会的影響や対策費が非常に高価になることなどから、液状化対策が事実上不可能となる場合が多い。また、従来の薬液注入工法や粉体攪拌式の地盤改良工法による改良事例などもあるが、液状化対策とし

て用いる場合、施工容積が大きくかつ施工単価も高価であるため、結果的に莫大な費用がかかるという問題がある。

このような背景から、著者らは、既存施設直下地盤にも適用できる、より経済的で大規模施工の可能な液状化対策工法の開発に取り組んでおり、1993年度から、耐久性の高い溶液型の薬液を用いた液状化対策工法の研究を実施している。その間、1996年度の新潟市での現地実験では、直径4mに達する柱状の改良体の形成が確認されるとともに、事後調査・試験の結果、液状化対策工法として有効な方法であることが確認された²⁾。また、室内における大型土槽実験による薬液の浸透特性に関する実験も実施された。これらの結果を受け、1998年には、東京国際空港の旧滑走路直下で、溶液型薬液を用いた現場実証実験が行われた³⁾。

以上の実験・研究から得られた結果のうち、本論文では、まず、2章において薬液の選定法および選定理由について述べる。3章では、大型土槽実験による薬液の浸透特性に関する結果をまとめ、必要な改良強度が与えられれば、希釈率をパラメータとして改良半径(すなわち、薬液の浸透距離)が求められることを示している。4章では、以上をまとめて結論とした。

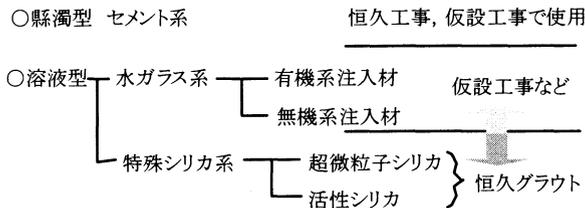


図-1 薬液注入工法で使用される薬液の分類

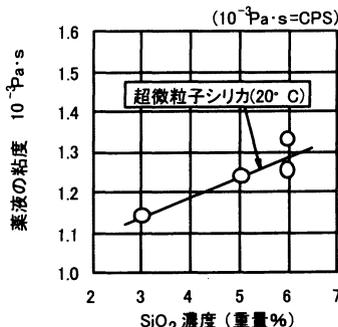


図-2 シリカ含有率と粘性の関係

2. 薬液の選定

(1) 薬液の分類と一般的な特徴

通常の土木工事で使用される薬液を材料別に分類したものを図-1に示す。薬液注入工法に用いられる薬液は、大別すると懸濁型と溶液型に分類される。それぞれの薬液には長所・短所があり、現場の特徴等にあわせて薬液が選定される。本研究では、液状化対策を主目的としており、その意味では、従来の仮設工事における場合とは選定の基準が異なっている。選定にあたって重視した項目をあげると、1) 浸透注入、2) 低改良強度、3) 耐久性、4) 経済性の4点である。1)については、均質な改良地盤を得ようとすれば割裂注入ではなく浸透注入が望ましいこと、2)については、液状化対策が必要な砂地盤では、一軸圧縮強さが50~100kN/m²程度で良いことが報告⁴⁾されていること、3)については、仮設工事とは異なり恒久工事を対象としていること、4)については、1章で述べたように、実用に供するにはコストダウンが不可欠であることなどによる。

懸濁型薬液を用いた研究は、善・渡辺⁵⁾、松尾ら⁶⁾によって行われている。これらは、粒径が非常に小さい超微粒子セメントを地盤内に注入することにより薬液の浸透性状を改善しようと試みたものである。しかしながら、懸濁型の薬液は、超微粒子とはいえセメント粒子が土粒子間隙に留まることにより強度増加が期待されるものであるから、注入時間の経過によって浸透性が著しく低下し、浸透距離がのびない難点がある。また、加圧力が過大になると割裂注入になる可能性もある。このようなことから、薬液としては溶液型を採用することとした。

本研究で使用した薬液は、後で述べる耐久性の観点から、水ガラス系ではなく超微粒子シリカ系の薬液である。この薬液は、水ガラスから劣化の原因となるアルカリ分をイオン交換樹脂法により除去して生成される⁷⁾。この様にして抽出された純粋なシリカだけではすぐにゲル化してしまうため、弱アルカリのコロイド溶液に安定化している。このコロイド

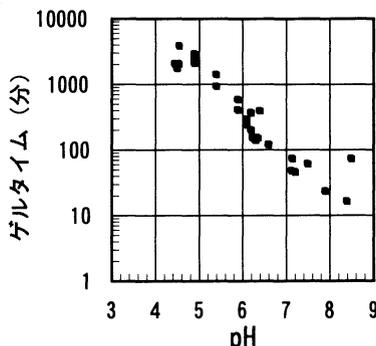


図-3 薬液のpHと固化時間
(超微粒子シリカシリカ)

溶液に弱酸性の反応剤を加えることでゲル化が始まり、反応剤の量を増減することでゲル化時間を調整することが可能である。

(2) 薬液の粘性と固化時間

図-2は超微粒子シリカ薬液中のシリカ分SiO₂濃度と溶液状態の粘性を示している。使用する薬液はSiO₂濃度が大きくなると粘性が高くなる傾向を示している。ただし、SiO₂含有率が2~6%程度であれば20°Cの水の粘性、1.0×10⁻³Pa·sと比べ、粘性は1.1~1.3倍程度となっている。地盤の透水係数は粘性の逆数に比例するため、薬液を注入した場合、見かけの透水係数は、現地盤の透水係数の75~90%程度になると考えられる。

溶液の粘性は、一定時間が過ぎると急激に増加し、ゼリー状に固結するが、固結に要する時間は薬液のpHによって変化させることができる。薬液のpHと固結時間（ゲルタイム）の関係を図-3に示す。ゲルタイムが短いと割裂注入が支配的になるため、最初に注入した薬液が所定の改良半径の外縁部に到達する時に薬液が固結するようにゲルタイムの調整が可能である。

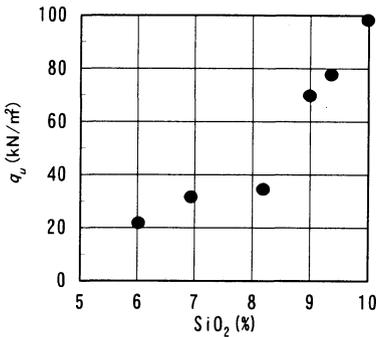


図-4 SiO₂濃度と q_u の関係
(新潟砂DR=80%, 超微粒子シリカ)

表-1 新潟砂の諸元

比重	Gs	2.644
最大乾燥密度(g/cm ³)		1.545
最小乾燥密度(g/cm ³)		1.184
平均粒径	D ₅₀ (mm)	0.31
均等係数	Uc	2.33
細粒分含有率	Fc(%)	1.5

(3) 耐久性

溶液型の薬液の耐久性に関しては、米倉・島田の研究⁸⁾がある。この研究では、水ガラスを主成分とした溶液型薬液による固結体の劣化は、水ガラス中のアルカリ分が原因であるとしている。また、劣化の原因である水ガラス中のアルカリ分を除去した溶液型薬液では、長期にわたる耐久性があることが室内実験により明らかにされている。著者らは、1997年にアルカリ分を除去した薬液を用いて改良された土（採取場所：鹿児島市，材齢：16年10ヶ月）の長期強度について調べた⁹⁾。調査の結果、施工当初と比べて強度低下が見られなかったことから、少なくともこの間における改良による固化強度の長期耐久性が確認できたものと思われる。

(4) 配合試験による改良土の基本的強度特性

薬液を注入した土の強度は、薬液に含まれるシリカ分(SiO₂)の濃度や対象土の密度、細粒分含有率によって影響を受ける。室内配合試験による薬液中のSiO₂濃度と改良土の一軸圧縮強さ(q_u)の関係を図-4に示す。試料砂には、相対密度(Dr)を80%に調整した新潟砂を用いた。また、各供試体は、モールド内に所定の濃度、量の薬液を注いだ後、一定量の乾燥砂を3回に分けて空中落下させ、所定の密度になるまで回数打撃を加えて作成した。地盤内に注入した場合、間隙水と薬液が接触するため希釈の影響を受けるが、配合試験では、乾燥砂を使用するため、

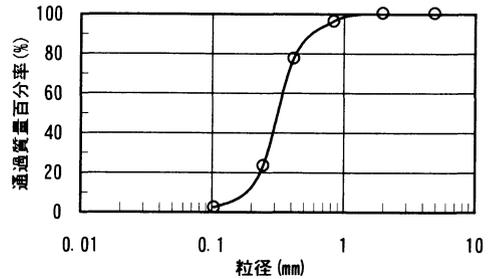


図-5 新潟砂の粒度分布

砂の間隙は希釈を受けていない薬液で100%充填されたいわゆる理想状態にある。

図-4より分かるように、いずれの砂においても薬液中のSiO₂濃度が高くなるに従い、改良土の q_u も大きくなり、シリカ分(SiO₂)濃度10%で q_u は100kN/m²となっている。

なお、今回の一連の実験では新潟砂を使用している。新潟砂の諸元と粒度分布を表-1および図-5に示す。

(5) 改良土の液状化強度特性

未改良のきれいな砂（新潟砂）と溶液型薬液による改良土について繰返し三軸試験を行った場合の過剰間隙水圧比と軸歪みの挙動を図-6に示す。供試体は前項の配合試験と同様の手順で作成した。拘束圧は100kN/m²、繰返しせん断応力比は、未改良土、改良土でそれぞれ0.15、0.30である。また、改良土の一軸圧縮強さは80kN/m²である。どちらも両振幅軸歪みDA=5%のときを液状化と定義すれば20回の載荷で液状化に達していることになる。

未改良の砂では、繰返し荷重が載荷されると過剰間隙水圧が上昇し、過剰間隙水圧比が0.70以上になると軸歪みが急激に大きくなり、液状化に至っている。これに対して改良土では、過剰間隙水圧は発生するものの、軸歪みの増加は過剰間隙水圧の挙動によらず一定勾配となっており、急激な軸歪みの増加は発生していない。また、軸歪みが伸張方向に卓越して累積し、伸張破壊の傾向が見られるなど、改良後の動的な挙動は粘性土の繰返し三軸試験結果とよく似た傾向を示した。この理由として、溶液型の薬液を注入することにより、改良された砂の間隙水はゼリー状の固結体と置き換えられ、粘着力が付加されて粘性土のような液状化しにくい材料に変化したものと考えられる。

上記のように、間隙をゼリー状の固結体で置き換えられた改良土では、いわゆる液状化現象は発生しなくなるが、比較のために両振幅軸歪みが5%に達し

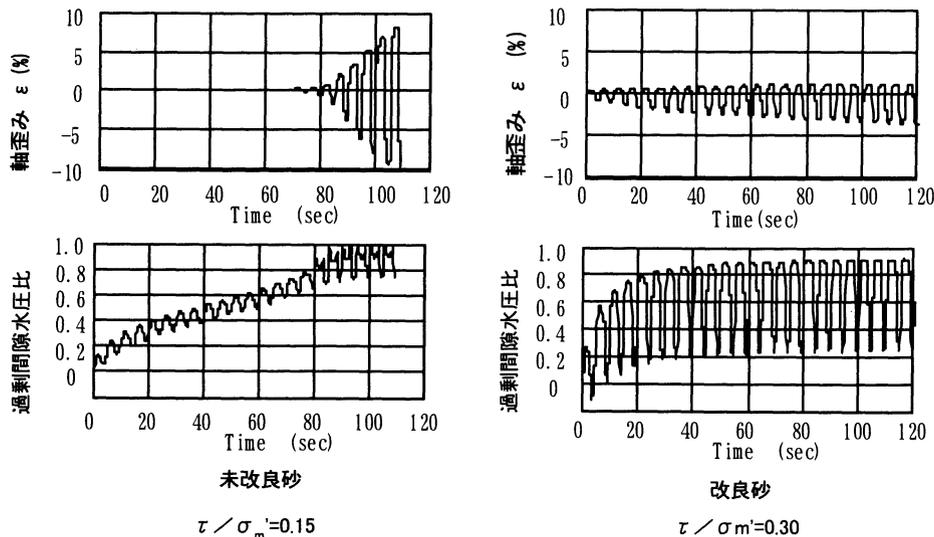


図-6 未改良砂と溶液型薬液改良土の繰返し三軸試験挙動 (拘束圧 $\sigma'_m = 100\text{kN/m}^2$)

た時点を液状化と定義して、未改良土および改良土の液状化強度比 ($R_{l_{20}}$) と繰返し回数 N_c の関係を描いたものを図-7に示す。繰返し回数20回の場合でみると、未改良土の液状化強度比が0.12であったものが、改良土では0.30まで大きくなり、改良後には明らかに液状化に対する改良効果が認められる。一般的に使用される従来の薬液注入工法による改良土の目標改良強度 (q_u) は300~1,000kN/m²であるのに対して、今回の実験で用いた改良土の一軸圧縮強さは80kN/m²と低強度ではあるが、液状化防止効果は十分期待できると考えられる。

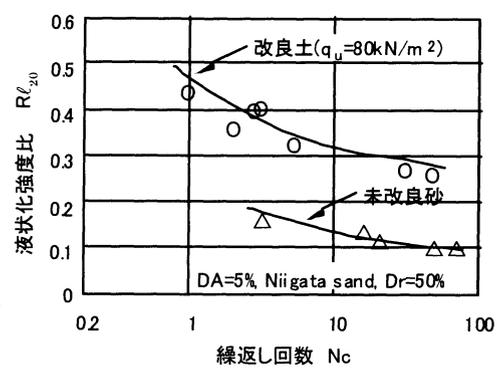


図-7 改良土の繰返し載荷試験結果例

以上、液状化対策に用いる薬液に求められるいくつかの重要な項目について検討した。ここで選定した特殊シリカ系の薬液は、経済性に関する課題が残ってはいるものの、注入による液状化対策のための改良材として施工性と改良強度の点で十分な適用性があることが明らかになったと思われる。なお、経済性の検討については、現場の状況によって費用がかなり異なると思われるので、ここでは省略した。

3. 大型土槽実験による薬液の浸透特性に関する実験

(1) 実験概要

三次元地盤への溶液型薬液の浸透特性を検討するために、超微粒子シリカを用いた大型土槽による注入実験を行った。注入実験に使用した土槽を図-8に示す。土槽の大きさは幅B × 奥行きL × 高さH =

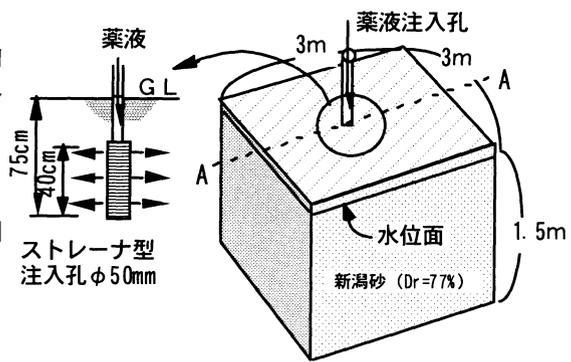


図-8 大型土槽注入装置

表-2 注入実験の諸元

項目	仕様
シリカ濃度	10%
ゲルタイム	7日
配合 q_u	100kN/m ²
注入圧力	75kN/m ²
注入速度	3~10 ℓ/min
総注入量	3,152 ℓ

3.0m×3.0m×1.5mであり、地盤の容積は13.5m³である。模型地盤は、新潟砂を0.5m³毎に水中落下により堆積させた後、振動棒により締め固めて作成した。試料の使用重量より計算した地盤の平均相対密度 D_r は77%であった。室内透水試験による新潟砂($D_r=75%$)の透水係数は 3.3×10^{-2} cm/sである。

(2) 実験結果

a) 注入状況

模型地盤への薬液の注入は、図-8に示すように直径5cm、長さ40cmの円筒状のストレーナー管を使用して模型地盤中央より行った。注入を行った薬液および注入時の諸元を表-2に示す。注入時には、地盤上部に厚さ25cmのコンクリート板を均等に設置し、上載圧5kPa、注入上限圧75kPa、注入速度10ℓ/minで実施した。当初は一定速度で注入する予定であったが、注入開始より約3時間後から地表面で薬液の漏出が認められたため、注入速度を3~5ℓ/minまで絞って注入を行った。注入開始より11時間後に予定注入量の3,152ℓを注入し実験を終了した。このため、平均的な注入速度は、4.5ℓ/minであった。

b) 改良後の一軸圧縮強さの分布

実験終了後、28日間養生した後、実験土槽の解体を行った。土槽解体後、地盤に水を噴射して改良体の形状を明らかにしたところ、直径2.6m高さ1.4mの円筒状であることがわかった。改良後に土槽を解体して確認した改良土の形状を写真-1に、ブロックサンプリングの状況を写真-2に示す。

改良体の中心を通る2断面について61点のブロックサンプリングを行い、一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮強さ分布の測定例を図-9に示す。改良土内の q_u の分布を見ると、注入孔の近傍では q_u は80kN/m²程度であり、注入孔から離れるに従い、次第に低下する傾向が窺える。事前に行った配合試験結果では、 $D_r=75%$ 時の一軸圧縮強さは100kN/m²であり、今回得られた試料は数点を除き、ほとんどが配合試験時に

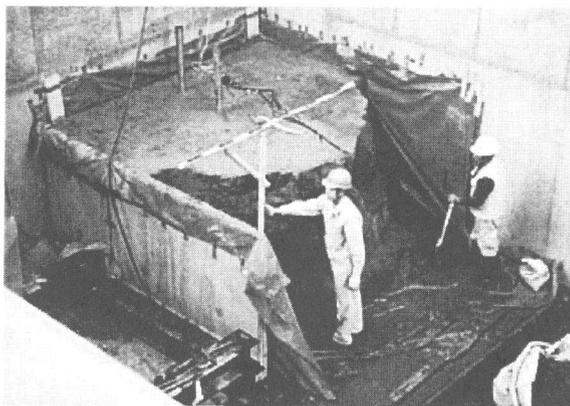


写真-1 土槽解体時の固化体出来形
(改良直径：2.6m、改良高さ1.4m)



写真-2 ブロックサンプリング状況

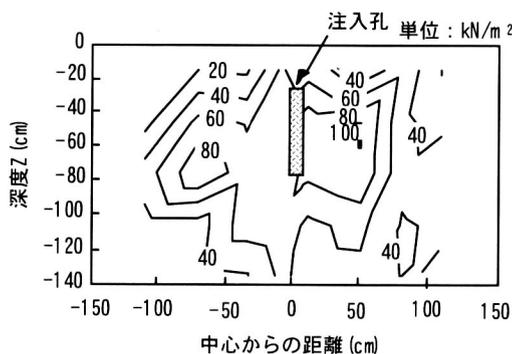


図-9 土槽内の q_u の分布(28日後)

得られた強度よりも小さい値となっている。なお、薬液の浸透が認められた部分では全採取試料の q_u の平均値は49.5kN/m²であった。

図-10に注入孔中心からの距離と一軸圧縮強さの関係を示す。 q_u には、若干のばらつきがあるが、注入孔の近傍では80~90kN/m²と配合試験の一軸圧縮強さ100kN/m²に近く、端部付近では固結しているが

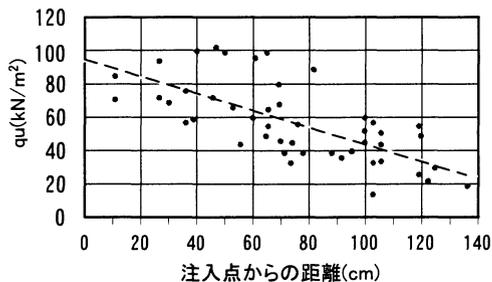


図-10 注入センターからの距離と q_u の関係

一軸圧縮強さは20~40kN/m²と配合強度に比べて非常に小さい値となっている。すなわち、注入口の近傍では配合試験と同程度の強度であり、薬液の浸透距離が大きくなるに従い強度が低下する傾向が窺える。

これらことから、強度低下の原因は浸透の際に溶液型の薬液と間隙水とが接触して拡散現象が生じ、薬液が希釈されたもの、すなわち間隙への薬液の充填率が低下したものと推測される。また、注入口近傍においても配合強度を上回る強度が得られておらず薬液が濃縮する現象は認められなかった。

c) 強度低下に関する浸透距離と希釈率の関係

上記の拡散現象による強度低下の影響を明らかにするために、実験に使用した薬液を加水希釈した薬液を用いて配合試験を行った。試験結果を図-11に示す。図中の希釈率(η)は式(1)で算定した値である。この式において希釈率 $\eta=100\%$ は、SiO₂濃度が原液の濃度の約1/2となる。図-11より、当然のことながら希釈率 η が大きくなるに従い、改良土の一軸圧縮強さは小さくなっているのが分かる。

$$\text{希釈率}(\eta) = (\text{加水重量} / \text{原液重量}) \times 100\% \quad (1)$$

図-10に示す大型土槽注入実験の注入孔からの距離(浸透距離)と q_u の関係と、図-11に示す希釈率(η)と配合強度(q_u)の関係から求めた浸透距離と希釈率(η)の関係を図-12に示す。溶液中のSiO₂濃度が同程度であれば、図-12を用いることにより、施工時の浸透距離(=改良半径)から、その改良半径での η を予測することが可能である。

従来の薬液注入工事では、改良半径は50~60cm程度である。この場合、図-11より希釈率 η は12%程度であると考えられるため、強度の低下の影響は比較的小さいと考えられる。反対に、浸透距離が1mを越えると η は40%以上となるため、改良土の強度低下が大きくなることがわかる。すなわち、溶液型の薬液を使用して注入時の改良半径を1m以上にする場

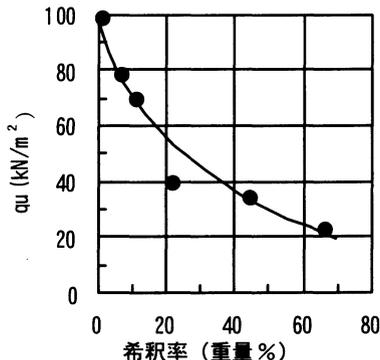


図-11 薬液の希釈率と q_u の関係

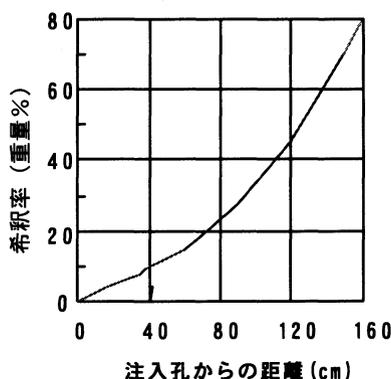


図-12 注入センターからの距離と薬液の希釈率の関係

合は、薬液の希釈率をあらかじめ考慮して濃度の高い薬液を始めに注入し、徐々に濃度を低下させていくことにより、比較的均一な地盤強度の改良が可能となると考えられる。

実際の施工では、注入速度は3~15l/min程度の値が適用される。図-12はこれらの範囲に収まる注入速度(4.5l/min)で注入した場合の希釈率と距離の関係である。希釈の大きさ(拡散係数)は流速に比例するため、注入速度が大きくなると図-12の関係が変わってくる可能性がある。これらについては今後、移流拡散問題として取り扱う必要がある。

(3) 強度発現に関する考察

大型土槽実験では、浸透に伴い薬液が希釈されたため、すなわち、浸透距離が大きくなるに従い間隙への充填率が小さくなり、これに伴い改良土の一軸圧縮強さ(q_u)も減少している。配合試験では乾燥砂を使用するため、希釈されていない薬液で砂の間

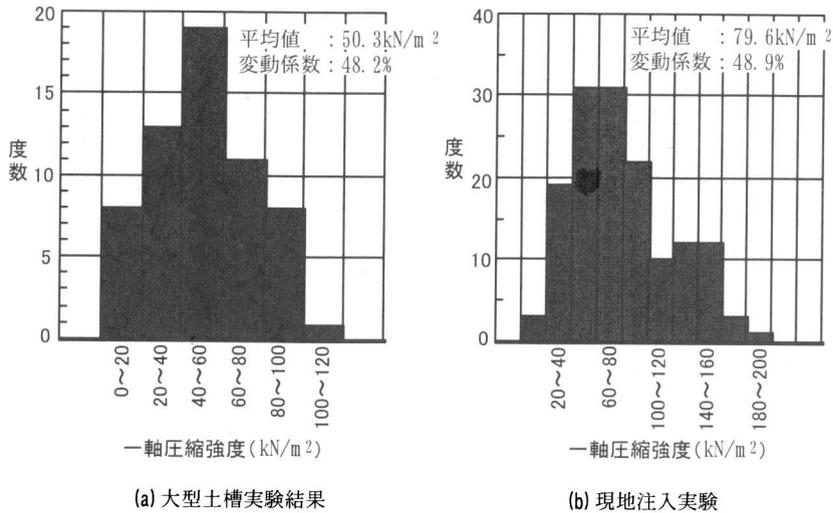


図-1.3 大型土槽実験と現場注入実験における q_u のヒストグラムの比較

隙は充填され（理想状態）、希釈の影響は受けないが、地盤内に浸透させた場合には希釈の影響を受け、注入時の濃度より薄い濃度の薬液で空隙が充填されている。

理想状態の室内配合試験と土槽内で採取された試料との q_u の比を強度発現率（ κ ）と定義し、土槽実験においてこの κ を求める。大型土槽実験の場合、配合試験の強度は 100 kN/m^2 、固化部分の平均 q_u は 49.5 kN/m^2 であるため、 $\kappa=0.49$ 程度となった。この結果から、注入時の改良半径を 1m 以上にして、かつ一定の強度を得るためには、室内配合試験結果と強度発現率 κ を考慮して設計する必要があると考える。

(4) 一軸圧縮強さのばらつきに関する考察

図-13に、今回の実験で得られた改良土の q_u のヒストグラムを示す。比較のために、東京の埋立地において溶液型の薬液を注入施工した場合の改良強度のヒストグラムを掲載している³⁾。このヒストグラムは、 $F_c=15\%$ の砂地盤に対して、シリカ分濃度 5% の活性シリカを $1.5 \ell/\text{分}$ の注入速度で注入し、直径 2.5m の改良体を 54 体、造成した時の計測値である。総薬液注入量は 217 m^3 、総改良体積は 540 m^3 であった。

土槽実験、現位置施工実験ともに変動係数（ V_{qu} ）は 49% 程度となっている。セメント攪拌系の地盤改良工法である深層混合処理工法の改良強度の変動係数（ V_{qu} ）が $30\sim 40\%$ 程度である¹⁰⁾ことと比較すると若干大きめの値となっている。溶液型薬液注入工法では、浸透距離が伸びるほど希釈の影響を受けるこ

と、および、改良強度に与える現地盤の密度の影響が大きく、セメント攪拌系の地盤改良に比べてばらついた結果となったものと考えられる。今回の実験から強度分布が正規分布であると考え、全体の 83% 以上の個体が含まれる q_u の期待値は平均強度の約 50% 程度の値であることになる。

4. おわりに

今回の一連の実験より、以下の結論が得られた。

- (1) 耐久性の高い溶液型薬液を砂地盤内に浸透注入することにより、砂の間隙水はゲル状物質で置き換わるため、砂地盤を液状化しにくい地盤に改良することができる。
- (2) 溶液型の薬液を浸透注入した改良土では、一軸圧縮強さが 80 kN/m^2 程度であれば、液状化強度比（ $R_{l_{20}}$ ）は $0.3\sim 0.4$ 程度に改善される。
- (3) 溶液型薬液を地盤に注入すると、薬液の浸透に伴い薬液が地盤内の間隙水により希釈される。希釈の程度は浸透させる距離が伸びるほど大きくなる。このため、溶液型の薬液を使用して注入時の改良半径 1m 以上の改良を行う場合、本論文で示した希釈率と浸透距離の関係を用いることにより比較的均一な強度の改良が可能になると考えられる。
- (4) 理想状態の室内配合試験と土槽内で採取された試料との q_u の比を強度発現率（ κ ）と定義すると、溶液型の薬液を使用する場合、浸透距離（改良半径）を $1.0\sim 1.5\text{m}$ 程度にするためには $\kappa=0.49$ 程度を考慮して設計する必要がある。

(5) 溶液型薬液注入工法の場合、薬液の希釈の影響と現地盤密度のばらつきの影響をうけるため、一般的な深層混合処理工法に比べて強度発現のばらつきが若干大きくなる。大型土槽実験や埋立地の施工における改良強度の事後調査では改良土の q_u の変動係数は50%程度となった。この結果、全体の83%以上の個体が含まれる q_u の期待値は平均強度の約50%程度の値となった。

参考文献

- 1) 林健太郎, 藤原敏光: 薬液注入による液状化防止工法に関する研究, 第29回土質工学会研究発表講演集, pp. 2169-2170, 1994. 6.
- 2) 山崎浩之, 前田健一, 高橋邦夫, 善功企, 林健太郎: 溶液型注入固化材による液状化対策工法の開発, 港湾技研資料, No. 905, pp. 1-29, 1998.
- 3) 林健太郎, 林規夫, 佐々木広輝, 神原昌彦, 川口民雄, 野谷齋: 溶液型薬液注入工法による既設滑走路直下の液状化対策, 五洋建設技術年報, Vol. 30, pp. 7-16, 2000.
- 4) 財団法人沿岸開発技術センター, 埋め立て地の液状化対策ハンドブック(改訂版), pp. 203-205, 1997.
- 5) 善功企, 渡辺篤: 液状化対策を目的とした室内注入実験について, 土木学会第41回年次学術講演会論文集, pp. 203-204, 1986. 11.
- 6) 松尾修, 島津多賀夫, 佐野昌明, 市川公彦, 淵上憲児: 超微粒子セメント懸濁液を用いた注入工法による砂地盤での現場施工実験, 土木研究所資料, 第3529号, 1997. 11.
- 7) 米倉亮三, 島田俊介: 恒久グラウトの恒久性のメカニズム, 土木施工, 40巻7号, pp. 99-106, 1999.
- 8) 米倉亮三, 島田俊介: 薬液注入における長期耐久性の研究, 土と基礎, 40-12(49), pp. 17-22, 1992.
- 9) 林健太郎, 吉川立一, 島田俊介, 藤澤伸行, 飯尾正俊: 非アルカリシリカによる改良地盤の耐久性に関する現地調査, 土木学会第53回年次学術講演会論文集, pp. 582-583, 1998. 10.
- 10) 例えば, 財団法人沿岸開発技術センター, 海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル, p. 137, 1999. 4.

(2001. 1. 29 受付)

A LARGE SOIL STRATUM TEST ON THE PERMEABILITY AND THE IMPROVED STRENGTH OF NEW SOLUTION TYPE CHEMICAL GROUT

Kentaro HAYASHI, Kouki ZEN, Hiroyuki YAMAZAKI
and Norio HAYASHI

Recently, the solution type permanent grout for the countermeasure against liquefaction beneath the existing structures was developed and was adopted in several sites. In this paper, permeability of chemical grout material and strength property of improved soil by injecting the new chemical grout are studied. These tests show this new chemical grout material has high permeability and ability to increase strength against liquefaction. Because this chemical grout material is diluted by pore water during injection, expected strength is decreased by this dilution. In order to improve the strength of soil using this solution type chemical grout, consideration of dilution rate by pore water is appeared to be very important.