

注入工法「エキスパッカー工法」による液状化対策技術



(社)日本土木工業協会
日特建設(株)
大矢 勉

1. はじめに

近年、阪神大震災以来、液状化対策として浸透性の優れた恒久グラウト(活性シリカグラウト)の適用が進みつつあるが、経済性や工期短縮から大容量土の急速施工注入技術の開発が焦眉となっていた。従来の仮設的な補助工法にすぎなかった薬液注入とは異なり、液状化対策では、注入された地盤の強度あるいは止水性の永続を意味するものであるから、注入材そのものの物理・化学的安定性のみならず施工方法も重要となる。特に、広い範囲を急速施工で効率よく注入材を浸透させ、経済的に注入できることが重要と考える。

そこで、柱状浸透注入工法^{1) 2) 3)}に改良を加え、改良体の拡大径化を図ることで、施工能率の向上を可能とする急速施工注入技術(エキスパッカー工法)の開発を進めている。本報告では、エキスパッカー工法による薬液の浸透状況および改良効果を確認するための実験結果、および対策例について紹介する。

2. 実験概要

2.1 注入工法の概要

実験に用いたエキスパッカー工法の注入管を、写真-1に示す。作業手順は、次のとおりである。

ケーシング削孔で注入外管(写真右)を設置する。
注入外管に間隔をあけて取り付けられた袋体をグラウトで膨らませ、パッカを形成する。
注入内管(写真左)を挿入して、袋体(パッカ)間の空間から恒久グラウトを注入する。

今回、開発した注入工法は、袋体(パッカ)間の空間から注入を行う際、この浸透源の孔壁の崩壊防止、および浸透源からの均一な浸透注入を実施するために、透水性材料(ジオフィルタ N)で保護している。



写真-1 開発した注入工法

2.2 地盤概要

実験場所は、千葉県南西部に位置する低地部である。ボーリング調査から、上部 GL-2.0m まで埋め戻し土、下部は砂質土が分布している。注入対象とした砂質土の土質特性を表-1 に示す。地下水位は GL-2.0m、細粒分含有率 $F_c=6\%$ 、透水係数 $k=4.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ であった。

表-1 注入対象地盤の土質特性

土粒子の密度	砂分	細粒分	含水比
2.684g/cm ³	94%	6%	18.7%

2.3 注入計画

注入試験の基本設計を表-2 に示す。目標とする改良径は 2.5m と 3.0m とし、注入孔の配置間隔は 2.5m の正方形とした。注入材は活性シリカ（パーマロック ASF）で、シリカ濃度は 6% である。

表-2 注入計画

区分	注入率	改良径	改良高さ	注入量
A	40%	3.0m	3.0m	8,480
B	40%	2.5m	2.5m	4,910

3. 実験結果

3.1 掘削による形状確認

所定の注入完了後、二週間の養生期間を待って現地を掘削し、注入材の浸透状況および固結体の形状確認を実施した（図-1 及び写真-2 参照）。改良体頭部の改良径の目視調査結果を表-3 に示す。注入状況はほぼ計画量を注入でき、有効注入圧力は最大 0.7Mpa で注入を完了している。このときの注入速度は 25 l/分であった。

掘削の結果、注入材が土粒子間にくまなく浸透していることが確認され、割裂脈は認められなかった。本実験の注入計画にあたっては、各注入孔の浸透注入状況を把握するために、ある程度独立した固結体が形成できるような配置としたが、2.5～3.0m の連続的な改良ができていたことが確認された。液状化対策では、地盤の相対密度が比較的低く、また注入材についてもゲルタイムを十数時間以上に設定することができることから、本技術において、さらに大容量の対象土を浸透固結させることも可能であると考えられる。

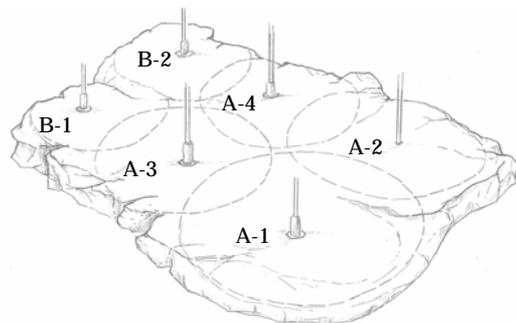


図-1 固結体の形状（スケッチ）



写真-2 固結体

表-3 改良径の目視調査結果

区 分	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2
改良体実測 最大径 (cm)	315	320	300	300	250	280

3.2 一軸圧縮強さ

改良体のチェックボーリングとブロックサンプリングによる、一軸圧縮強さの試験結果を表-4に示す。事前に現地砂を用いた室内注入試験により作成したシリカ濃度6%の供試体の一軸圧縮強さは、材令28日において平均160kN/m²である。改良体からボーリングサンプリングした試料では、材令28日で平均122kN/m²であり、液状化対策の一般的な適用を考えれば液状化に十分耐え得る強度であった。

表-4 一軸圧縮強さの試験結果

	現場コア	ブロック
一軸圧縮強さ (平均) qu	122kN/m ²	288 kN/m ²
標準偏差	48.4kN/m ²	78.8 kN/m ²
変動係数 c	39.7%	27.4%
データ数 n	30	20

4 . 開発した工法の特徴

透水性材料 (ジオフィルタ N) で、パッカー間の空間の注入浸透源を保護したエキスパッカー工法の特徴を以下に示す。

緩い砂地盤や、斜めや水平方向の注入でも、注入浸透源を確保できるので均一に行うことができる。

注入浸透源が大きく確実に確保されているので、直径約3mの大きな改良体を、大きな注入速度で施工できる。

注入浸透源が大きいため、単位浸透面積当たりの注入速度は小さく、既存施設の直下・周辺でも構造物に影響を与えることなく施工できる。

5 . 実 施 例

エキスパッカー工法による液状化対策例を以下に示す。

5.1 既設タンクの液状化対策例 (1)

耐震対策が必要な旧法タンクは全国で約8000基程度といわれるが、施工例はまだ少ないのが現状である。対策例(1)の改良範囲の平面と断面を図-2に示す。このタンクでは、タンク底盤の交換時期のタイミングに合わせて、タンク内にボーリングマシンを入れて鉛直削孔した。タンク外周部については、仮設足場上から配管類を避けるように鉛直削孔し、注入を実施した。改良深度はGL-0.75~-7.15mである。改良径は、改良率70%と90%にあわせて、それぞれ2.5m、2.6mを三段配置した。

改良が必要な箇所の細粒分含有率 F_c は平均値で約 10% であるが、一部で 40% 前後となる箇所もあった。注入材のシリカ濃度は 6% である。

事後調査として、トリプルサンプラーを用いて $D/4$ の位置で試料採取を行い (D : 直径) 材令 28 日目に一軸圧縮試験を行った。試験結果は、平均強度が 177 kN/m^2 であった。

5.2 既設タンクの液状化対策例(2)

タンク周囲に防油堤や配管類があり、改良する深さが 1.5~4.5m と比較的浅いため、防油堤に面する構内道路を掘り下げて、斜め削孔によりタンク直下を注入した。タンク外周部については、一部鉛直削孔を併用し注入を実施した。改良体の一つ一つは改良径 3.0m として、タンク中心部付近が改良率 70%、外周部付近が改良率 90% になるように一段配置した。施工断面の概要を図-3 に示す。斜め削孔の角度は 10° および 15° である。

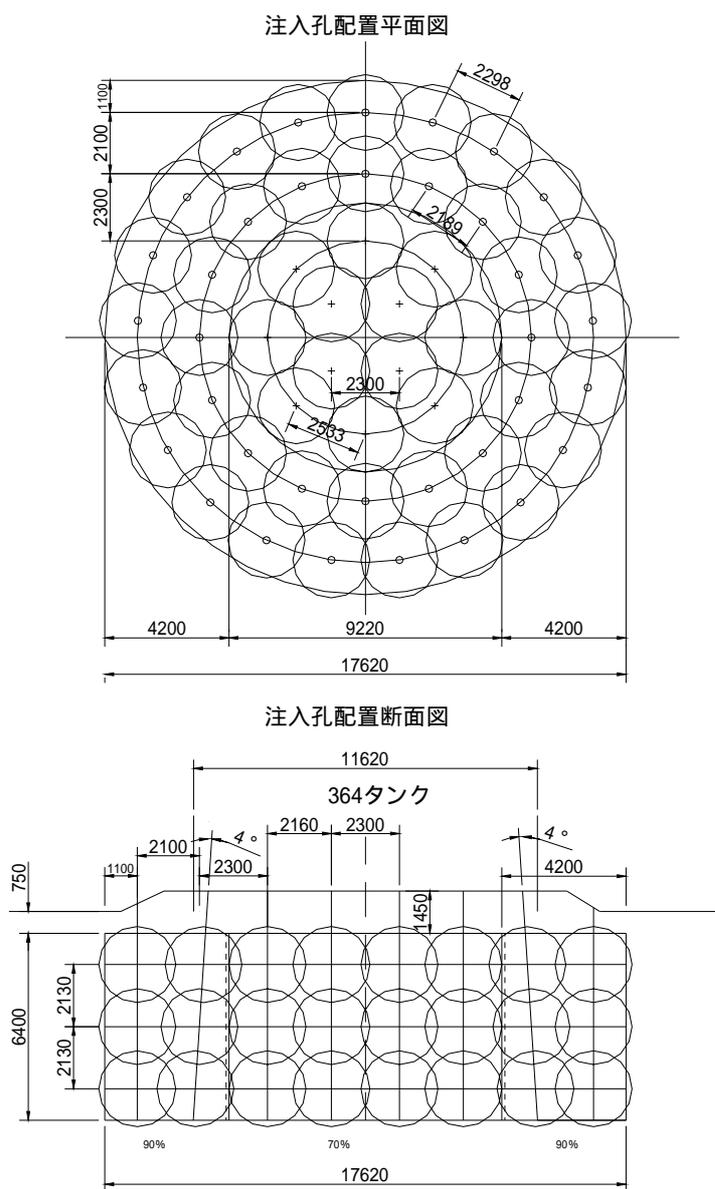


図-2 改良平面および断面

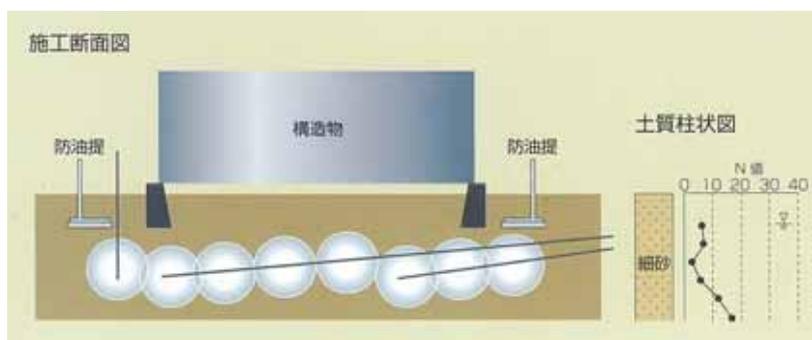


図-3 施工断面

5.3 既設変電所の液状化対策例

この対策例では、供用中の設備のため改良範囲を二分割し、施工箇所の設備は稼動を休止して施工した。注入管は周囲の施設との関係上、作業幅約 2m の範囲内から設備や電線を避けるように、ロータリーボーリングマシンで斜め削孔や鉛直削孔を併用して設置した。改良範囲を図-4 に示す。改良径は 3.0m で、改良率が 100% になるように二段配置した。なお、改良体の配置は、砂質土と粘性土の互層地盤のため、砂質土を対象に配置した。砂質土の細粒分は、上部は数%前後と少ないが、下部は 30%前後と多い。注入材のシリカ濃度は 6% である。

改良体からトリプルサンプラーでサンプリングした試料の一軸圧縮強さは、材令 28 日で平均 112kN/m² であった。

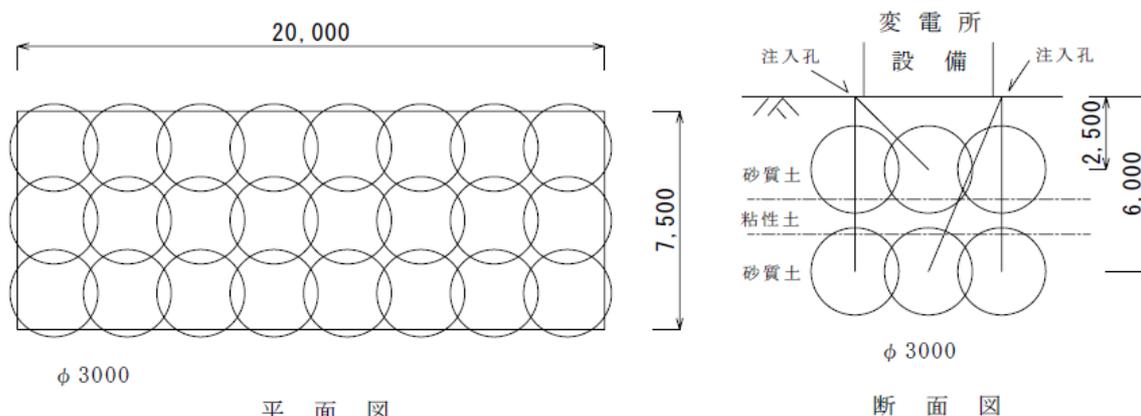


図-4 改良範囲

6 . まとめ

注入浸透源を透水性の材料で保護した、新しいエキスパッカー工法により注入実験を実施した。その結果、大きな注入速度で注入しても低圧力の施工が可能で、改良地盤は注入材がくまなく計画範囲に浸透しているのが確認された。また、各対策例においても、既存構造物に影響を与えることなく施工でき、一軸圧縮試験の結果からも本工法が液状化対策工法として有効であることが確認された。

< 参考文献 >

- 1) 米倉、盛、高橋：活性シリカを用いた柱状浸透積層工法の野外注入試験（その 1）、第 35 回地盤工学研究発表会、2000.7
- 2) 米倉、盛、名越、島田：柱状浸透積層注入工法による超微粒子複合シリカと活性シリカの経年サンプリング試料の強度特性（その 3）、第 36 回地盤工学研究発表会、2001.6
- 3) 後藤、島田、小山、米倉：柱状浸透注入工法におけるソイルパッカの研究、第 39 回地盤工学研究発表会、2004.6