

薬液注入工法『エキスパッカ-N 工法』による 液状化対策技術

佐藤 潤

日特建設株式会社 技術本部 技術営業グループ



平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災を受け、昨今構造物、護岸および道路等の液状化対策工事が数多く検討され施工されている。対策方法には、対象となる砂地盤の粘着力および強度を増加させることにより液状化を防止すべく、薬液注入工法が数多く用いられている。

本報文は、薬液注入工法の中でも液状化防止を目的として用いられる工法である“エキスパッカ-N 工法”について述べるものである。

薬液注入，液状化，耐震補強

1. 工法概要

地盤改良工法を原理により分類すると、図-1.1のように示される。エキスパッカ-N工法は、固結工法のうち薬液注入工法に分類される地盤改良工法である。恒久性を有する注入材（恒久グラウト）を使用することで、液状化対策や基礎補強などの本設を目的とした地盤改良への適用が可能である。

注入工法は設備が小型で浸透注入により地盤変位は生じにくい、ため、狭隘な場所や供用中の施設近傍での施工ができる。また、注入工法は斜め・水平施工による既設構造物直下の地盤改良が可能であることに特徴がある。当工法は注入工法の特徴を生かし、従来の注入工法よりも広範囲の改良が可能であり経済的な液状化対策として、さらに従来の対策工法では施工が困難であった条件での液状化対策として採用されている。

この工法の特徴は以下のとおりである。①注入管と地山との間隙をシールをしないでパッカを直接地山に機能させ、薬液の浸透空間を確保している。②地山パッカの間隙を1mとすることで注入薬液と地山との接触面積を大きく確保している。③その確保された浸透空間の地山が崩壊することがないよう孔壁保護用フィルター材を装備している。④地山

との接触面積が大きい、ため、注入速度を大きくすることができ、それでもなおかつ浸透注入が可能である。⑤注入速度を大きくすることで、注入の効率化を図ることができ、広範囲に大規模な改良が必要な液状化対策工事でも工期を短縮することができる。

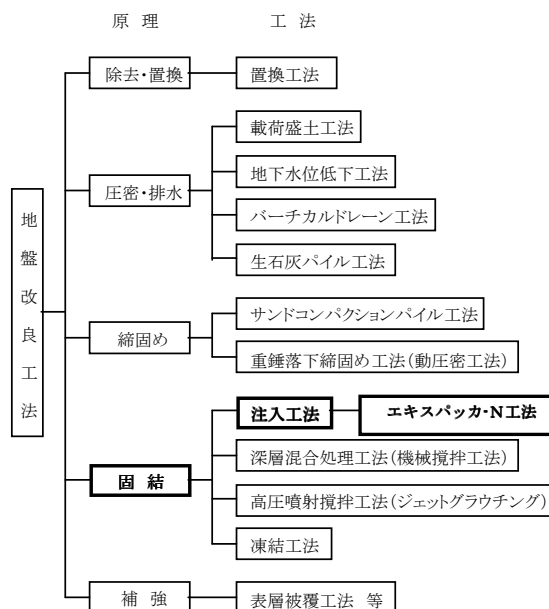


図-1.1 地盤改良工法の分類

2. 工法の原理

エキスパッカ-N工法は、注入浸透源の浸透面積を大きくすることで砂地盤への浸透注入において割裂注入が生じないように、より浸透性を向上させた注入工法である。

当工法は、注入外管に間隔をあけて取り付けられたジオパッカ(袋体)を膨張させ地盤に定着してソイルパッカを形成し、上下のソイルパッカ間のジオフィルター-N(孔壁崩壊防止マット)で保護された大きな空間から注入を行うことにより、浸透注入による広い範囲の改良と大容量土の急速改良が可能な注入工法である。したがって、浸透面積を大きくした一つの注入口から広い範囲に浸透注入を行うことを原理としている。エキスパッカ-N工法の工法原理概念図を図-2.1 に示す。

この工法の施工手順を図-2.2 に示す。施工の手順は従来からある二重管ダブルパッカ工法とほぼ同様の施工方法である。

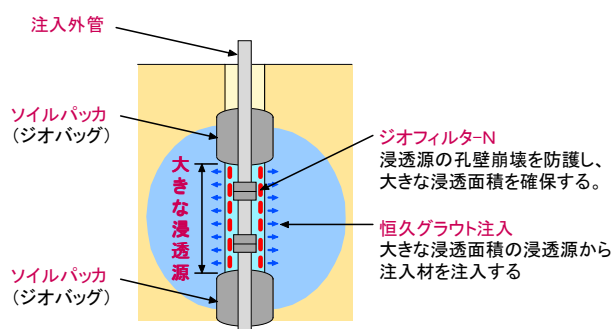


図-2.1 エキスパッカ-N工法原理概念図

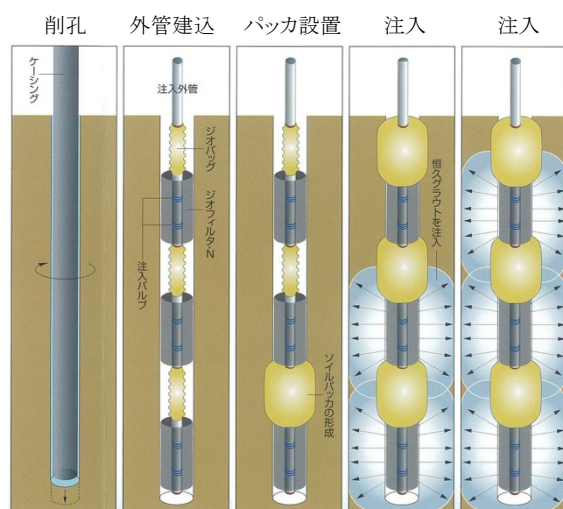


図-2.2 エキスパッカ-N工法施工手順

3. 施工に伴う確認試験

薬液注入工法の注入効果は土質、粒度組成、N値、薬液の種類、注入手法等の諸条件に左右される。特に液状化対策の場合は、薬液が地盤に均等に注入されることが必須条件である。そのため、液状化対策工事の場合は従来の仮設工事とは異なり、事前に諸々の試験を行って、設計を見直すことも必要である。

(1) 室内配合試験

液状化対策に薬液注入工法を採用する場合、一般に改良効果を固結強度で評価している。液状化対策に使用される薬液は、浸透性に優れ長期耐久性に優れた溶液型薬液のコロイダルシリカ系が使用されている。この薬液の固結強度は、薬液に含まれるシリカの濃度に影響されるので、室内配合試験によりシリカ濃度を決定している。配合試験に用いられるシリカ濃度は、過去の実績より6%を中心とした4%、6%、8%の3点で行われることが多い。

(2) 限界注入速度試験

薬液の注入速度は注入効果に大きな影響を及ぼす。すなわち速度が大きいと割裂注入されることになり、速度が小さいと浸透性がよく注入効果はいいものが得られるが、注入作業に時間を要し工期や工費に大きな影響を及ぼす。

限界注入速度試験は実際の注入と同じ条件とし、実際に使用する注入管、設備で行う。その結果の例を図-3.1 に示す。一般に注入速度と注入圧力

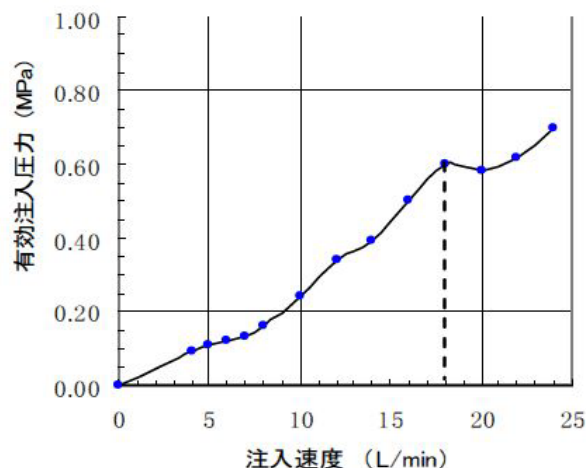


図-3.1 限界注入速度試験

は比例関係にあるが、ここでは注入速度が18L/minを超えると注入圧力が低下している。これは地盤に割裂が生じたことを示し、割裂注入段階に入ることを意味する。よって、この場合の最大注入速度は18L/minが上限であると判断される。

(3) 改良効果の確認

前述のように、液状化対策における薬液注入工法の改良効果は一般的に固結強度で評価される。すなわち、改良土から採取された不攪乱試料の一軸圧縮試験にて行う。しかし、改良対象土に礫もしくは貝殻が含まれていたり、構造物直下のため不攪乱試料の採取が非常に困難な場合がある。その場合には、採取した試料のシリカ含有量を測定し、室内配合試験にて求められたシリカ濃度と圧縮強度との関係より改良体の固結強度を求めることができる。

4. 施工事例

(1) 津波対策としての陸閘直下の液状化対策工事

a) 施工仕様

使用薬液：パーマロック ASF-II（シリカ濃度6%），注入速度：12L/min，設計強度：102kN/m²，対象土質：礫混じり砂質土。注入速度は限界注入速度試験より設定した。限界注入速度試験結果を表-4.1に示す。

表-4.1 限界注入速度試験結果

施工箇所	実測値		
	細粒分含有率 (%)	限界注入速度 (ℓ/min)	設定注入速度 (ℓ/min)
4号陸閘	19.7	18	12
5号陸閘	19.0	19	12
7号陸閘	35.1	19	12
8号陸閘	37.6	19	12

b) 現場施工

改良範囲は既設構造物（陸閘）直下であり鉛直での施工は不可能だったため、斜めにて施工を行った。改良標準断面図を図-4.1に示す。構造物である陸閘はレール上を動くスライド式扉であり注入による地盤の変状が生じた場合扉の開閉に支障をきたすこととなる。そのため実施工の注

入速度は、限界注入速度試験より求めらる限界速度値の6割程度とした。注入工は、地盤の変状のないよう限界注入速度試験により求められた注入速度を厳守するとともに注入圧力および地盤の変位の監視を行った。その結果、既設構造物を変位させることなく施工を終えることができた。

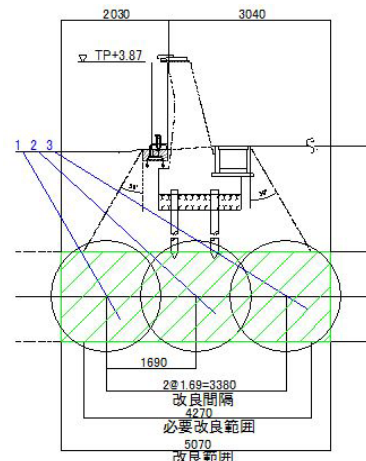


図-4.1 標準断面図



写真-4.1 施工状況写真

c) 注入効果の確認

改良対象土質は礫混じり砂質土であり、不攪乱試料の採取は困難なため一軸圧縮強度による固結強度の測定は不可能であった。よって、事後調査時に採取した試料よりシリカ含有量を求め、室内配合試験時のシリカ含有量と固結強度の関係より改良土の固結強度を推定し、改良効果の確認とした。シリカ含有量試験結果を表-4.2

表-4.2 シリカ含有量試験結果

シリカ濃度 (%)	シリカ含有量 (%)		
	試験箇所	各結果	平均
6	上部	2.04	2.31
	下部	2.57	

に示す。図-4.2 に表わされるシリカ含有量と固結強度の関係から、事後調査結果にて求められたシリカ含有量 2.31%より改良体の固結強度は 146.2kN/m^2 となった。

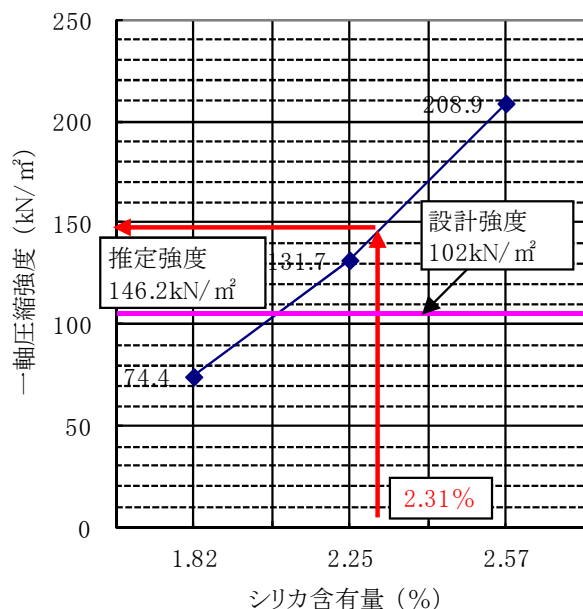


図-4.2 シリカ含有量-固結強度

(2) 稼働中の埠頭栈橋耐震補強工事

a) 施工仕様

使用薬液：パーマロック ASF-II (シリカ濃度 6%), 注入速度: 14L/min , 設計強度: 130kN/m^2 , 対象土質: 礫混じり砂質土。

b) 現場施工

改良範囲は既設の栈橋の下部であり海底である。そのため、注入外管を海底から海中を通り栈橋まで立ち上げて注入を行った。施工場所は現在稼働中の埠頭であるため、埠頭の営業を止めることなく施工を行うことが最低限の条件であった。クレーンによる荷降ろしが行われる中、使用機械が小型である特徴を十分に活かし作業工程の調整を密に行うことにより埠頭の営業を止めることなく施工を終えることができた。

5. まとめ

液状化対策が必要な個所とは、構造物や道路および鉄道の下部地盤といったように改良対象上部にこれから何かしらを新設する、もしくは建設物が既に存在する場所である。新設の場合であっても、周辺に構造物が存在する場合が大多

数である。薬液注入工法を行うに当たり、地盤の変状による構造物への影響は管理する項目の重要な一つである。

従来の薬液注入工法のシステムの多くは、注入ポンプにて一定の速度で所定量の薬液を送るものであり、注入圧力の上昇に伴い周辺地盤の変状が起きることが懸念された。地盤の変状は薬液が対象地盤へ浸透注入ではなく割裂注入になることにより起こる。これは、改良対象地盤内に含まれる地下水や間隙が全て薬液に入れ替わった後、さらに、そこへ薬液を注入した場合に見受けられる。この時に地上では上記のような状態となった場合、注入圧力の上昇として管理することができる。

それらを踏まえ、現在注入圧力の管理と注入ポンプの吐出を連動させたシステムを開発中である。これは、ダムグラウト等の岩盤グラウトで用いられている、注入圧力が定められたある一定の値に達した場合に自動で吐出量を低下させることによりそれ以上の圧力の上昇を抑え地盤の変状を抑制する技術である。

現在までの施工実績を活かし、今後予測されている震災への液状化対策の工法として、エキスパッカ-N工法をよりよい工法に開発していく所存である。