

# 注入効率の高い薬液注入工法「ハイグリップグラウト工法」の開発

施工時の注入ロスを低減した薬液注入技術に関する研究

Development of high injection efficiency chemical grouting method "High Grip Grouting method"

Study on chemical grouting technique to reduce the loss of stuff during injection

下坂 賢二\*<sup>1</sup>, 赤塚 光洋\*<sup>2</sup>

Kenji SHIMOSAKA, Mitsuhiro AKATSUKA

The authors developed a new method that secures injection penetration source of chemical grout and reduces the loss during injection, in the chemical grouting method used for ground improvement to prevent liquefaction and to reinforcement of foundation ground. We can solve the problems involved in chemical grouting with ground packer by the new method. We can restrain the leakage of chemical grout from the outer circumference of the ground pucker and suppress inhibiting of percolation due to collapse of the hole wall surface which is the penetration source of chemical. It is possible to build up an improved soil body with a diameter of 2.5 m. The method is a high injection efficiency chemical grouting method, therefore it can cut down the number of boreholes, and reduce the pressure of injection.

In this paper, we report results of component test to overcome the above problems, and consequence of field test to verify the availability of this method.

**Keywords :** Ground improvement, Chemical grouting, Liquefaction countermeasure, Disaster prevention  
地盤改良, 薬液注入, 液状化対策, 防災

## 1. はじめに

近年は都市部を中心に供用中の既設構造物直下の地盤強化や液状化対策(図-1)のニーズが増えており、このような困難な条件下での地盤改良工事には、通常、注入工法の原理である浸透注入を基本とした恒久型薬液を用いた薬液注入工法が多く適用されている。薬液注入工法には、注入方法としてシールグラウト方式と地山パッカ方式があるが、液状化対策等に用いる多くの浸透注入では、地山パッカ方式を採用している。これは、同方式がシールグラウト方式と比較して地山との接触面(薬液の浸透源)が大きく限界注入速度を上げることが可能で、結果としてシールグラウト方式と比較して注入効率が高いためである。

従来用いられている地山パッカ方式の薬液注入工法は、ボーリングマシンによる地山の削孔後に袋体パッカを挿入して膨らませ、袋体パッカを地山と密着させた状態で薬液注入する。削孔と薬液の注入作業を別工程で行うため、薬液を所定の位置に確実に注入することが可能であり、また、近接構造物への影響が少ない工法としてこれまでに多くの実績を有している。<sup>1)</sup>

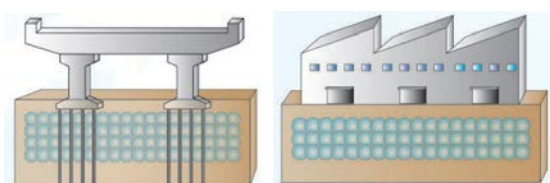


図-1 供用中の既設構造物の液状化対策

しかしながら、ボーリング削孔後のケーシング引抜き時に掘削安定液などの孔壁保護材が無いため、土質種別によっては、薬液吐出口付近の孔壁面の崩壊や地山と袋体パッカの密着性不足による薬液の漏れ出し、薬液浸透源での局所的な注入圧力の増大による地盤割裂などの課題が残されていた。(図-2)

著者らは、これらの課題に対し、薬液の浸透源を確保し、施工時の注入ロスを低減する新たな薬液注入工法「ハイグリップグラウト工法」(以下、本工法)を開発した。本報告では、課題を克服する本工法の各要素技術の特徴と有効性の検証およびこれを用いたフィールド実証試験についてとりまとめる。

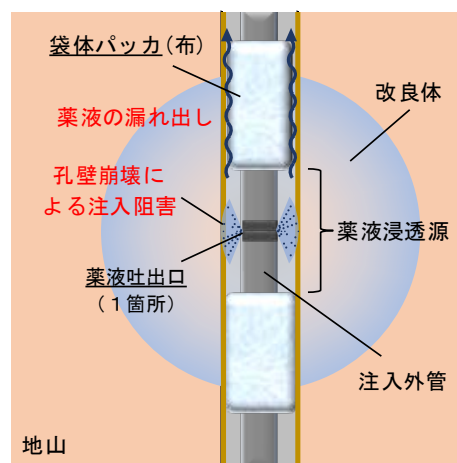


図-2 従来の地山パッカ方式の課題

\*1 戸田建設備技術開発センター 主管

\*2 戸田建設備大阪支店土木技術営業部 部長

Section chief, Research and Development Center, TODA CORPORATION

Manager, Civil Engineering Sales Dept, Osaka Branch, TODA

CORPORATION

## 2. 工法の概要

本工法は、液状化対策工法として用いられている地山パッカ方式を対象とし、従来の課題である「薬液の浸透源である孔壁面崩壊による注入阻害」および「地山パッカ外周からの薬液の漏れ出し」に対し、パッカ拡大後の収縮が少なく地山との密着性の高い地山パッカと、削孔時には孔壁崩壊を防護し薬液注入時には流動化する特殊シール材を用いることで、薬液の浸透面積を確保し施工時の注入ロスを低減するとともに、多点同時注入方式の採用により注入効率を高めた新たな工法である。工法概要図を図-3に示す。

本工法の技術的特長は、以下のとおりである。

- 1) 新しい地山パッカ (ハイグリップパッカ) による削孔穴からの薬液漏洩防止機能の強化
- 2) 特殊シール材による孔壁の安定性と大きな薬液浸透源の確保
- 3) 薬液注入の集中管理システムによる注入管理の効率化

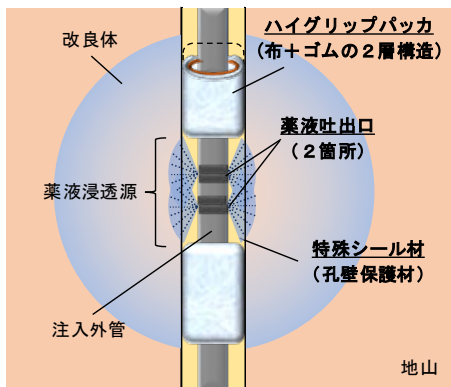


図-3 ハイグリップグラウト工法概要図

## 3. 地山パッカの開発

### 3.1 従来の課題

地山パッカ方式の浸透注入は、注入外管に間隔をあけて取り付けられた地山パッカ（袋体）内に充填材（セメントベントナイト、以下CBと略す）を圧入して袋体を膨らませ、削孔径よりも大きな袋パッカを形成し、上下の袋体パッカ間に形成された薬液浸透源から薬液を浸透注入して地盤を固結させる。従来の袋パッカは、充填材の一部が透過する布製の透水性袋体で、袋体パッカから透過した一部の充填材がパッカ周辺に浸透固結し薬液の漏れ出しを防止するコンセプトであるが、透水性袋体のため、袋体の圧力保持ができず、時間経過とともに地山との密着性不足が生じる。また、充填材の漏れ出しがなく乱れた孔壁面に対し追随性の良いゴム製のパッカも開発されているが、耐圧性能が低く、また乱れた孔壁面との接触により破れる危険性があるため、パッカ内の圧力を上げられない実状がある。

### 3.2 薬液の逸走を防止する地山パッカ

本技術の地山パッカは、耐圧性能の高い布製、不透水性と追随性の高いゴム製パッカのそれぞれの長所を生かし、布製パッカの内側に伸縮性の高いゴム製

パッカを装着した二層構造となっており、充填材の漏洩による地山パッカの収縮を抑制し、削孔後の孔壁と地山パッカの密着性の向上を図っている。

また、地山パッカの注入管の止め金具には、2種類の鋼製リングを用いることで充填時の耐圧性能を向上し、地中での地山パッカの拡大を確実に行うことができる。本工法の地山パッカ構造を写真-1に示す。



写真-1 本工法のパッカ（ハイグリップパッカ）構造

### 3.3 地山パッカ性能確認試験<sup>2)</sup>

#### (1) 地山パッカ拡大試験

開発した地山パッカの拡大径および拡大後の収縮量を確認する目的で、地山パッカ拡大試験を実施した。試験は、気中にて地山パッカ内へ所定量のCBを充填し、拡大した地山パッカの直径を測定した。測定は、充填直後と充填後7日の2回測定した。また、従来使用されている布製パッカについても比較のため実施した。表-1に試験条件、写真-2に充填直後の地山パッカの拡大状況を示す。

表-1 試験条件

実験ケース	膨らみ径目安 (mm)	パッカ長 (m)	充填量(CB) (ℓ)	地山パッカの構造
本パッカ	φ120	1.0	11	布(ナイロン)+ゴムの二重構造
従来パッカ	φ165	1.0	21	布(ポリエステル, ナイロン)



写真-2 拡大状況（左：本パッカ，右：従来パッカ）

充填直後の地山パッカの直径は、本パッカにて135mm程度、従来パッカでは、布製パッカから充填材（主に水）が漏洩したため、所定径までの拡大が確認できなかった。また、本パッカの充填後7日における充填直後と変わらず直径は135mmであり、拡大後の収縮はほとんどないことが確認された。なお、本パッカの拡大径は布パッカの寸法により調整可能である。

#### (2) 地山パッカ耐圧試験

本試験は、充填時の地山パッカ耐圧性能（限界充填圧）を確認する目的で実施した。試験は、気中にて地山パッカ内にCBを毎分5ℓで地山パッカ止め金具の

鋼製リングが注入管（塩ビ管）から外れるまで充填し、充填時間と充填圧力の関係を計測した。試験に使用した地山パッカ止め金具の種類は、本工法で採用した鋼製リング（2種類）と従来の鋼製リングの2ケースとした。地山パッカ止め金具の構造を、図-4に示す。

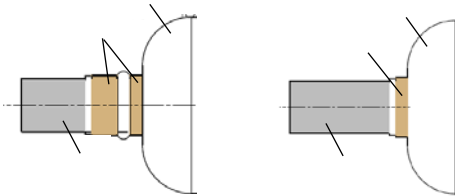


図-4 地山パッカ止め金具リング構造  
(左：本工法 右：従来)

本試験より得られた充填時間と充填圧力・速度の経時変化を図-5、図-6に示す。止め金具の鋼製リングが注入管より外れる限界充填圧は、本工法で1.09MPa、従来で0.46MPaとなり、本工法の地山パッカは、従来と比較し約2.3倍の耐圧性能を有する。

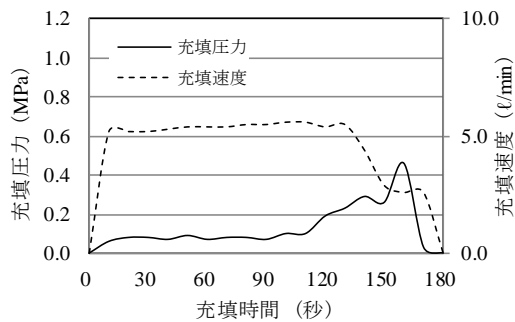


図-5 充填時間と充填圧力の関係（従来）

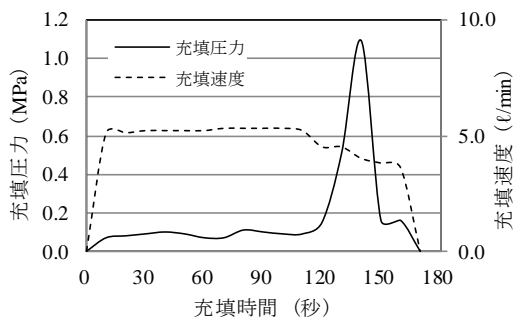


図-6 充填時間と充填圧力の関係（本工法）

(3) 地山パッカ引抜き試験

本工法の地山パッカを土中において拡大させ、逸走防止効果の検証として、地山パッカの引抜き試験を実施した。

試験方法は、対象地盤まで削孔後、地山パッカ付の注入外管を所定の位置にセットし、地山パッカにCBを充填し拡大させ、所定の養生期間（7日）後、引抜き試験を実施した。注入外管（塩ビ管 VE36）は地上より1.5m程度出しておき、削孔穴は埋戻ししない。試験は、地上に出ている塩ビ管を中心に反力架台と

してH-200を両脇にセットし、架台上にセンターホール油圧ジャッキを設置する。荷重治具として塩ビ管頭部中空部にφ36mm程度の芯金を挿入し、分割製作したφ42mm孔の鋼板をボルトナットで締結固定し、この荷重治具を油圧ジャッキで荷重し引抜く。

なお、荷重時はロードセルを介し荷重重と塩ビ管頭部の変位を計測した。ジャッキストロークが足りない場合は、都度、荷重治具を盛替えセットしなおすが、荷重重に変化がなく10cm程度引抜かれた時点で計測を終了する。

試験ケースは、地山パッカ拡大対象地盤、地山パッカ長をパラメータとした。なお、パッカを拡大させる充填材（CB）、充填材養生期間はすべて同じとした。試験箇所の土質柱状図および地山パッカ設置位置図を図-7、試験ケースを表-2、引抜き試験状況を写真-3に示す。

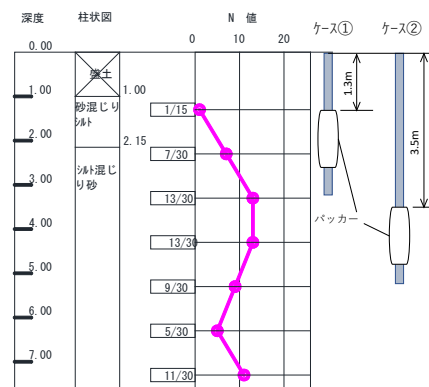


図-7 土質柱状図および地山パッカ設置位置図

表-2 試験ケース

試験ケース	パッカ長 L	パッカ天端	対象地盤	充填材	養生期間	備考
①	-1	0.5 m	砂混りシルト層	CB	7日	
	-2	1.0 m				
	-3	1.4 m				
②	-1	0.5 m	シルト混り細砂層	CB	7日	
	-2	1.0 m				
	-3	1.4 m				



写真-3 地山パッカ引抜き試験状況

各ケース引抜き試験の荷重-変位曲線を、図-8に示す。試験結果より、地山パッカ長が長いほど引抜抵抗力は増加していることがわかる。また、パッカ設置位置の地盤種別により引抜荷重は異なり、ケース①-1と②-1を比較すると、シルト混り細砂層であるケース②-1は、砂混りシルト層であるケース①-1の約1.5



倍であった。なお、ケース①-3、②-2および②-3は、試験中に注入管同士を接続した継手ソケットより注入管が抜け出したため、最大荷重を確認できず試験を終了した。最大引抜荷重  $P_{max}$  を削孔断面積  $A$  で除した孔内圧力抵抗  $P_{max}/A$  は、最も地山パッカ長の短いケース①-1 および②-1 においても、 $448\text{kN/m}^2$  および  $668\text{kN/m}^2$  となり、薬液注入時の注入圧力 ( $400\text{kN/m}^2$ 程度) に対して十分な抵抗力を有する結果であった。

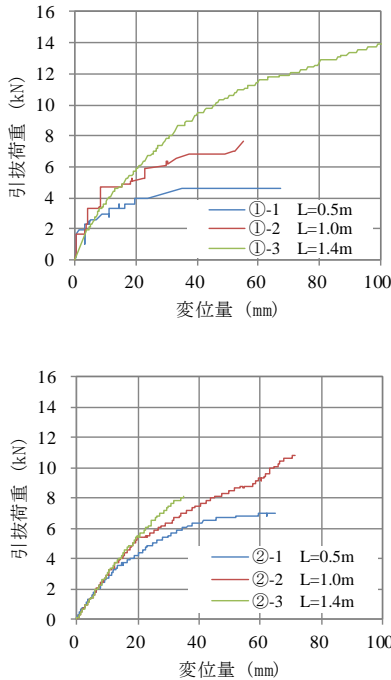


図-8 引抜荷重—変位曲線  
(上：ケース①，下：ケース②)

## 4. 特殊シール材の開発

### 4.1 従来の課題

地山パッカ方式の薬液注入工法は、削孔と注入作業を別工程で行うため確実な注入を行うことができる一方、削孔ケーシング引抜き後に、注入浸透源となる孔壁面積を確保するため、二重管ダブルパッカ工法に代表されるシールグラウト方式のようなシール材 (CB) が無く、土質種別によっては注入内管を挿入し薬液を注入するまでの間に薬液浸透源の孔壁面が崩壊し、再削孔が必要になるなど注入阻害の課題があった。

### 4.2 孔壁保護と浸透面確保を両立する特殊シール材

本工法では、ケーシング引抜き後の孔壁崩壊を防止するため、削孔時は孔壁崩壊を防止しつつ、本注入時に薬液 (特殊シリカ液) と反応し流動化する特殊シール材を開発した。

特殊シール材は、場所打ち杭工法の孔壁安定液として用いられるポリマー系安定液を応用したもので、透水性の高い砂質地盤においてもベントナイト系安定液に比べて優れた孔壁安定性を有する。また、コンクリートや薬液の電解質成分の混入によりゲル化しやすいベントナイトを用いていないため、薬液の注

入浸透源となる孔壁面に厚い泥膜 (マッドケーキ) を形成しにくく、電解質成分の混入により、溶解し流動化する特徴を有する。

次項で孔壁防護として使用する特殊シール材と特殊シリカ液 (薬液) との反応による溶解および溶解後の土中への薬液浸透性能を確認するために実施した試験結果について報告する。

### 4.3 特殊シール材浸透性能試験<sup>3)</sup>

#### (1) 試験方法

試験装置は、図-9 に示す一次元モールドを用いる。モールドは、薬液注入口上部にフィルター材、特殊シール材、試料砂 (珪砂 7号) が下から配置され、薬液 (蛍光塗料を混入) はシール材を介して試料砂に浸透する構造となっている。試験は、時間毎のモールド下端からの薬液注入量およびモールド上端からの飽和水排出量および排出水の pH 変化を測定する。薬液注入完了後、各ケースとも所定の期間養生した後、モールドから改良試料砂を取り出し、注入位置より 9cm 毎に切断した改良試料砂の固化状態を観察する。また、特殊シール材については一軸圧縮強度試験を実施し、浸透長を確認する。

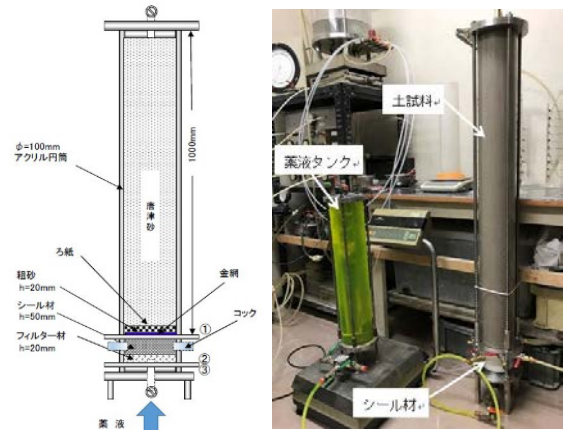


図-9 一次元モールド浸透試験装置

#### (2) 試験ケース

試験は、シール材に二重管ダブルパッカ (シールグラウト方式) で使用される低強度グラウト材と、新工法で用いる特殊シール材の 2 種類を用いて、同条件で試験を実施し浸透性能を比較した。試験ケースを、表-3 に、試料砂 (珪砂 7号) の物理特性を表-4 に、各ケースのシール材の仕様を表-5 に示す。

表-3 試験ケース

試験ケース	シール材	土槽条件		薬液		養生後調査
		使用砂	相対密度 $D_r$ (%)	間隙水	使用薬液	
Case 1	従来品 (グラウト材)	珪砂7号	65	水道水 (脱気水)	特殊シリカ液 (シリカ濃度5%)	改良試料の切り出し観察
Case 2	特殊シール材	珪砂7号	65	水道水 (脱気水)	特殊シリカ液 (シリカ濃度5%)	改良試料の切り出し観察、一軸圧縮試験

表-4 試料砂の物理特性

試料	土粒子の密度 $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ )	相対密度 $D_r$ (%)	間隙比 $e$	間隙率 $n$ (%)
珪砂7号	2.652	65	0.896	47.3

表-5 各ケースのシール材の仕様

試験ケース	シール材	材質	外観	真比重	ゲルタイム	材料使用量	備考
Case 1	従来品 低強度グラウト材	セメント系	白色粉末	2.8	50~90分	100~150 kg/m <sup>3</sup>	二重管ダブルバツカー等で使用
Case 2	特殊シール材	ポリマー系	白色粉末	1.3	非硬化	1.0~2.0 kg/m <sup>3</sup>	場所打ち杭等の掘削安定液で使用

(3) 試験結果

①Case1 従来品 (低強度グラウト材)

薬液浸透開始後 10 秒程度でシール材に亀裂が発生した。薬液浸透開始後 150 分程度で薬液注入量は珪砂 7 号の間隙率の 100%となった。後述の特殊シール材の注入時間と比べて 30 分程度薬液浸透時間が長く掛かっていることから、亀裂部分のみで薬液浸透していると想定される。脱型後の珪砂 7 号の状態は、薬液浸透面から上板の薬液排出口まで固化していた。

②Case2 特殊シール材

薬液浸透開始後 3 分程度でシール材が溶解し始め、最終的にシール材は薬液に置き換わった状態となる。薬液浸透開始後 120 分程度で薬液注入量は珪砂 7 号の間隙率の 100%となった。脱型後の珪砂 7 号の状態は、薬液浸透面から上板の薬液排出口まで固化していた。各ケースの浸透試験状況を写真-4 に示す。

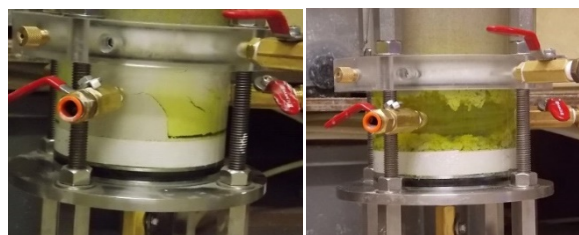


写真-4 浸透試験状況

(左: Case1 従来品、右: Case2 特殊シール材)

③計測結果

各ケースの薬液注入量と浸透圧力の経時変化を図-10 に示す。特殊シール材(Case2)は、従来品(Case1)と比べて、同じ注入量で 20%の注入速度の向上 (150 分→120 分), 4%程度の注入圧低減効果 (9.2kPa→8.8kPa) が確認された。

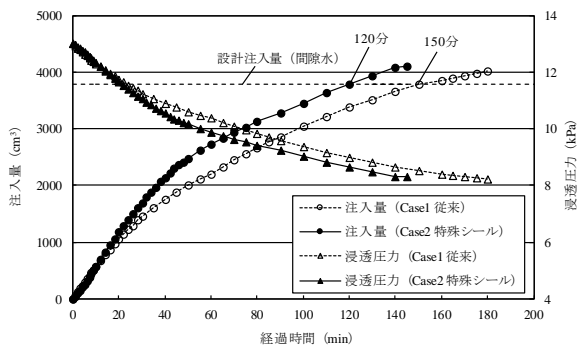


図-10 薬液注入量・注入圧力の経時変化

④一軸圧縮強度試験結果

Case2 特殊シール材について、シール材が浸透した試料砂について、所定の期間 (28 日) 養生した後、モールドから改良試料砂を取り出し、注入位置より 9cm 毎に切断し、一軸圧縮強度試験を実施し、浸透長を確認した。試験結果を図-11 に示す。

試験結果より、一部で目標改良強度 (100kN/m<sup>2</sup>) に満たさない部分はあるものの、強度のパラツキは小さく、概ね均一に注入されたものと推測される。

本試験を通じて特殊シール材は、薬液の注入を阻害することなく、薬液の大きな浸透面積を確保し、従来よりも高い浸透性能を有していることが確認された。

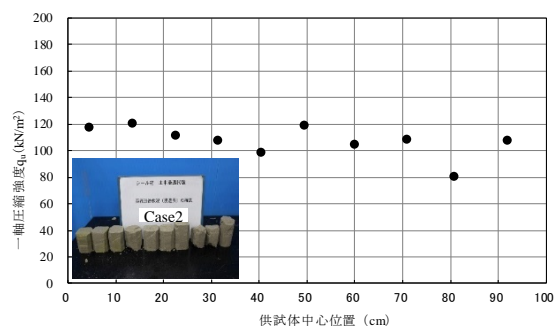


図-11 一軸圧縮強度試験結果 (Case2 特殊シール材)

6. 現場実証試験

6.1 津島フィールド試験<sup>4)</sup>

(1) 試験概要

試験サイトは愛知県津島市莪原町内で、地盤は地表面から盛土、砂混りシルト、シルト混り砂層が堆積する。地下水位は GL-1.1m である。改良対象とするシルト混り砂層は、GL-2m~4m に有機土を含み、GL-5m 以深ではシルトを層状に含む。図-12 に土質柱状図、図-13 にシルト混り砂の粒径加積曲線を示し、表-6 に物理特性を示す。

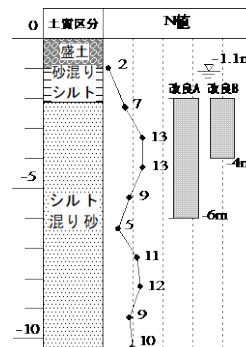


図-12 土質柱状図

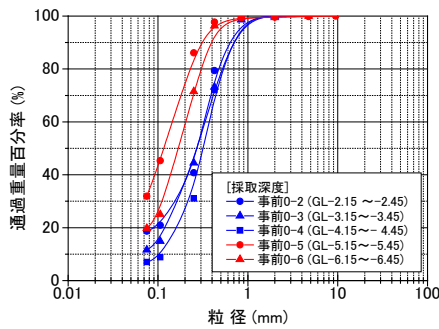


図-13 粒径加積曲線（シルト混り砂）

表-6 改良対象地盤の物理特性

採取深度 (G.L. -m)	$D_{50}$ (mm)	$F_c$ (%)	$U_c$	$w_n$ (%)
2.15 - 2.45	0.29	18.7	—	27.2
3.15 - 3.45	0.28	11.6	—	25.3
4.15 - 4.45	0.32	7.0	2.9	25.6
5.15 - 5.45	0.14	31.9	—	30.3
6.15 - 6.45	0.18	19.8	—	33.2

(2) 試験方法

試験は本工法にて削孔注入角度を変えた改良A(鉛直), 改良B(斜め)の二種類仕様で改良体を造成し, 比較のため二重管ダブルパッカ工法による改良体も造成した。

本試験の改良平面・断面図を図-14に示す。

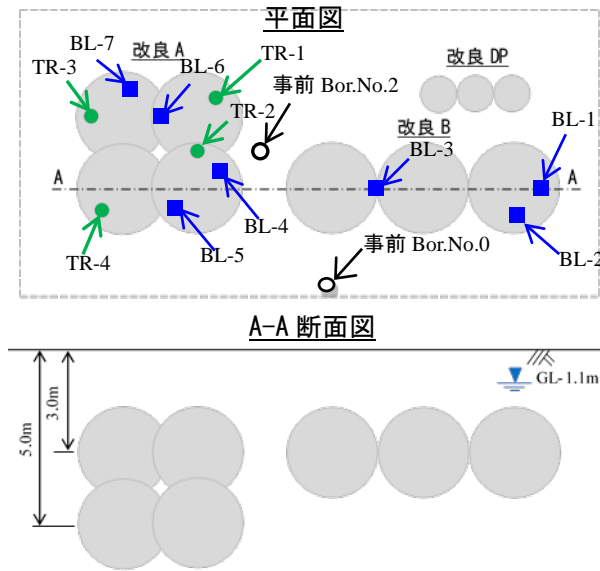


図-14 試験平面図・断面図

表-7に改良仕様を示す。本工法の注入速度は、現地注水試験結果より、注入速度に比例して注入圧力が増加する浸透形態にて設定し、毎分7ℓとした。一方、二重管ダブルパッカ工法では試験ポイントの一部に毎分3ℓを超えた注入速度にて注入圧力の低下が確認されたため、毎分3~5ℓとした。注入率は事前調査結果に基づき40.5%とした。注入完了後、材令28日にてGL-3mまで発掘し、改良体の出来形を確認す

るとともに改良体の乱さない試料を採取し、種々の力学試験を実施した。なお、改良体試料の採取は、発掘改良体はブロックサンプリング、発掘以深の改良体はロータリー式三重管サンプラーにて行った。

表-7 改良仕様一覧表

改良ケース	改良計画深度	削孔角度	改良率 (%)	改良直径 (m)	使用薬液	
					薬液名	シリカ濃度
改良A	GL-2m~GL-6m	鉛直	100	2.5	特殊シリカ液	8%
改良B	GL-2m~GL-4m	斜め(60°)	70	2.5		5%
改良DP	GL-2m~GL-6m	鉛直	70	1.0		5%

(3) 試験結果

写真-5に改良体の発掘写真を示す。造成した改良体は、改良A,Bとも計画改良直径2.5mを満足し、改良体表面には未固結部は見られない。また、改良Bにおける改良体接円部に欠損は見られない。



写真-5 改良体発掘写真(左:改良A, 右:改良B)

図-15に改良体の一軸圧縮強さの深度分布を示す。GL-3~4mおよびGL-5m~6mの改良供試体では、有機土およびシルトが多く混入していたことから一軸圧縮強さのバラツキが大きい。一軸圧縮強さの平均は、改良Aで104kPa, 改良Bで56kPaであった。

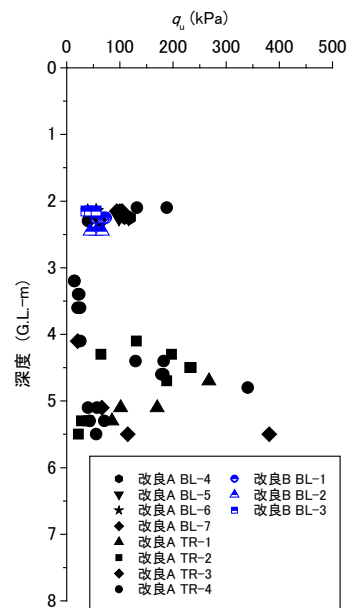


図-15 一軸圧縮強さの深度分布図

図-16に繰返し三軸圧縮試験より得られた繰返し応力振幅比と繰返し回数の関係を示す。同図には、



ロータリー式三重管サンプラーにて採取した未改良砂の結果も示している。試験時の有効拘束圧は改良 A で 50kPa, 改良 B で 30kPa である。液状化強度比  $R_{L20}$  (20 回の繰返しせん断によって軸ひずみ両振幅が 5% に達するようなせん断応力振幅比) は, 改良 A にて改良体が 1.15, 未改良砂が 0.38, 改良 B にて改良体が 1.05, 未改良砂が 0.34 となっており, 改良体の液状化強度比は未改良砂の約 3 倍となっている。

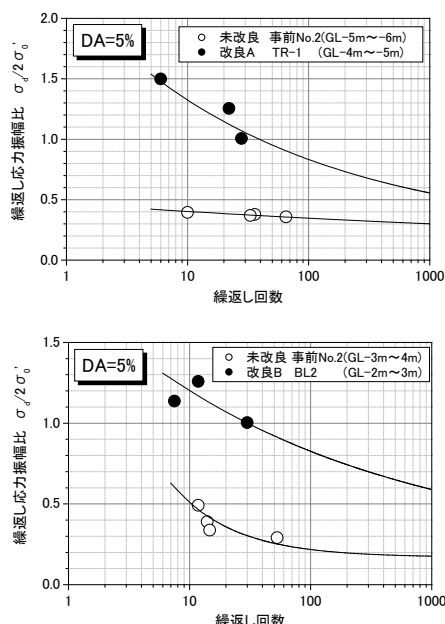


図-16 繰返し応力振幅比と繰返し回数  
(上: 改良 A, 下: 改良 B)

#### (4) 現場実証試験まとめ

##### ①地山パッカの性能確認

薬液注入時において, 削孔穴からの薬液の逸走は確認されず, 薬液逸走の防止効果が確認できた。また, 地山パッカは削孔穴と同径の 120mm まで膨張し, 孔壁と密着していることを発掘により確認した。発掘時の地山パッカを写真-6 に示す。



写真-6 地山パッカ発掘状況

##### ②特殊シール材の孔壁防護性能確認

特殊シール材は, 注入薬剤(特殊シリカ液)と反応して流動化するため, 注入圧の低減が図れる。本試験では比較のために行った二重管ダブルパッカ工法の一部に注入圧力の低下が確認されたため, 注入速度を

同一にして比較できなかったが, 別途実施したフィールド実証試験では, 従来の二重管ダブルパッカ工法と比較して約 20~30% 程度の圧力で注入が可能であることを確認した。低圧注入のため地山への浸透性が高く, 試験改良体は目標改良径 2.5m 以上を確保することができた。

##### ③液状化対策としての有効性確認

一軸圧縮強さは有機質土およびシルトの介在によりバラツキはあるものの, 平均改良強度は目標強度を上回った。改良体の液状化強度比は未改良砂の 3 倍程度となり, 液状化対策等の地盤改良に有効であることが確認された。

##### ④周辺環境への影響

本試験では, 周辺環境への影響調査として施工時の地下水 pH 計測と地表面変位計測(鉛直変位)を実施した。使用した特殊シリカ液の pH は, 配合直後で 3 程度, 土中にてゲル化後は 7 程度となる特性を有しているが, 注入中および注入後においても, 環境省の水質基準 (5.8~8.6) の範囲を満足した。また, 施工中における施工ヤードの地表面変位量は  $\pm 5\text{mm}$  以内であり, 大きな隆起や沈下は認められなかった。

#### 5. おわりに

本工法では, 前項の開発技術に加え, 1 セットあたり 16 ポイントの注入口の集中管理が可能な薬液注入集中管理システムを用いて, 薬液注入圧力, 薬液注入量をリアルタイムで管理する。多くの注入ポイントを集中制御することにより, 従来の二重管ダブルパッカ工法と比較して注入効率を向上させている。これらの技術により, 直径 2.5m の改良体の造成が可能となり, 削孔本数の低減や施工時の注入圧力の低減が図れ, 削孔穴からの薬液漏洩による施工中断が少なく, 多数の注入ポイントの制御により工期短縮を図ることができる。

また, 本工法の開発では, 改良効果の見える化を目的として原位置試験, 非破壊探査等による評価手法<sup>9)</sup>についても検討しており, 今後, 調査・設計・施工管理手法を含めた施工技術の確立を目指す。

なお, 本工法は太洋基礎工業(株), 富士化学(株)との共同開発であり, 開発にあたっては岐阜大学に監修, 技術指導をいただいた。

#### 参考文献

- 1) 米倉, 島田「薬液注入の長期耐久性と恒久グラウト本設注入工法の設計施工」, (株)近代科学社, p.123-141, 2016.10
- 2) 水島, 赤塚, 下坂, 大野「施工時の注入ロス低減した薬液注入技術—地山パッカ性能」, 土木学会第 73 回年次学術講演会 第 6 部門, 2018.9
- 3) 下坂, 赤塚, 伊藤, 大野「施工時の注入ロス低減した薬液注入技術—特殊シール材特性」, 土木学会第 73 回年次学術講演会 第 6 部門, 2018.9
- 4) 大野, 伊藤, 下坂, 八嶋, 村田「施工時の注入ロス低減した薬液注入技術—津島現地実証試験」, 土木学会第 73 回年次学術講演会 第 6 部門, 2018.9
- 5) 村田, 荻谷, 八嶋, 大野, 下坂「施工時の注入ロス低減した薬液注入技術—改良効果評価手法の検討」, 土木学会第 73 回年次学術講演会 第 6 部門, 2018.9