

# 地盤注入開発機構 — 40年以上の産学協同研究による要素技術を — 一体化した統合地盤改良工法を目指す —

## 耐久グラウト研究会<sup>®</sup> シリカゾルグラウト会

## 恒久グラウト・本設注入協会 / 液状化防止注入協会

# シリカゾルグラウト<sup>®</sup>とシリカゾル注入工法

# 恒久グラウト<sup>®</sup>・本設<sup>®</sup>注入工法

1973年以降掘削工事 耐久仮設注入工事 施工実績 50,000 件以上 海外(台湾,韓国)100 件以上

護岸と基礎の高強度恒久補強、液状化防止、無収縮性恒久止水 パーマロック ハイブリッドシリカ 施工実績 1,700 件以上 8億リットル以上

シリカゾルグラウトシリーズNETIS:KT-200081-A

パーマロック・ASFシリーズNETIS:KT-190051-A



地盤注入開発機構 名誉会長 島田 俊介 地盤工学会名誉会員(農博)

恒久グラウト/耐久グラウトの開発と長期耐久性実証研究  
本機構の恒久グラウト・本設注入協会並びに耐久グラウト研究会では業界に先駆け、米倉教授(現、東洋大学名誉教授)の指導のもとに1999年に注入材と急速浸透注入工法を組み合わせた大規模野外注入試験を行い(写真1)その改良効果を実証しています。野外試験後、数年おきに試料を採取し、2018年には19年経過後の長期耐久性が確認されています(写真2~4)。また、東京都市大学末政研究室ではシリカグラウトによる強度発現のメカニズムの解明が進められ



地盤注入開発機構 最高顧問 米倉 亮三 東洋大学名誉教授(工博)

ております。これらの技術は液状化対策工等の耐震補強基礎の高強度補強が市場で多く採用され、恒久グラウトの施工実績は1,700件を超えるに至っております。近年では頻発する地震災害に備えた耐震補強工事に需要が増え、東日本大震災でも実証され「護岸の液状化対策工」、旧法タンク等「既設構造物の基礎補強工」としての実績を伸ばしております。また、シリカゾルグラウトは上越新幹線高山トンネル工事以来、施工実績は5万件以上に達しています。2018~19年にかけては、大規模野外注入試験の19年後(2018年)の経年固結性を確認し(写真1,4)、

また38年前の施工現場の、掘削調査において耐久性が確認されています。また強化土研究所に設立した「本設注入試験センター」では、同、土木化学研究室と共に、種々の現場において、所定の液状化強度を得るための現場採取土を用いた配合設計を行い、データの提供やコンサルティングを行い、また改良後地盤の改良効果を確認するシリカ量分析法による地盤珪化評価法を開発しております(写真6)。また強化土研究所内の土木化学研究室では化学的地盤改良工法やバイオ技術の研究によって新規技術の研究開発を進めております。



恒久グラウト・本設注入協会 会長 末政 直晃 東京都市大学教授(工博)

### 東日本大震災後 施工地盤追跡調査

恒久グラウトを用いた急速浸透注入工法により液状化対策工事を行った8現場において、東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日)後の追跡調査を行った結果、全く被害を受けなかったことが確認されている。

注入工法: (A) 超多点注入工法 (B) エキスパッカ工法 (C) パーマロック・ASF-II



仙塩釜港改良地盤: (A)(C) 地震後被害なし (施工:平成19年・撮影:平成23年4月)



仙塩釜港未改良地盤: 地盤改良が未実施であり、地震後陥没が確認された。(撮影:平成23年4月)



千葉県野田国道157号液状化対策改良地盤: (B)(C) 地震後被害なし (施工:2004年10~12月・撮影:2011年4月)

### 耐久・恒久地盤要素技術

- ①耐久グラウトと恒久グラウト
- ②非アルカリシリカと複合シリカ<sup>®</sup>
- ③長期耐久性の実証: 室内試験、大規模野外試験、施工現場確認試験
- ④現場採取土配合設計法
- ⑤耐久期間に対応した地盤改良工法
- ⑥供試体作製装置と供試体作製法
- ⑦促進試験法
- ⑧土中ゲル化時間と配合設定法
- ⑨マグマアクション法と広範囲限定固結法
- ⑩シリカ量分析による地盤ケイ化評価法
- ⑪異なる化学的環境・土質の影響
- ⑫複合注入
- ⑬一次注入材と二次注入材の相性
- ⑭マスキングシリカ法とマスキングセパレート法
- ⑮海水処方と高強度処方
- ⑯微細隙の止水と岩盤止水
- ⑰恒久性・耐震性実証試験
- ⑱水質保全・環境保全・地中構造物の保護
- ⑲東日本大震災での液状化防止効果確認
- ⑳施工データ・注入効果データの集積
- ㉑地盤強化と液状化対策
- ㉒材料管理と安全施工

平成14年度(公社)地盤工学会 技術開発賞受賞技術 「恒久グラウトと注入技術(米倉亮三・島田俊介)」

薬液注入の耐久性の研究目的は多様な地盤において注入地盤が所定の耐久性を得られる耐久地盤の構築にある



### 統合地盤注入工法のコンセプト

地盤注入開発機構では、この50年来「薬液注入の長期耐久性」の実証研究と多数の現場で直面した課題に対する要素技術の開発を進めてきました。その結果、薬液注入の耐久性の研究目的は多様な地盤において、注入地盤が所定の耐久性を得られる耐久地盤の構築にあり、そのための薬液注入工法は薬液注入材と耐久地盤要素技術が一体化した統合地盤注入工法であるというコンセプトにいたっております。この永年の産学協同研究と機構会員共同開発によって蓄積された要素技術、並びに耐久地盤要素技術導入注入材を含め、恒久グラウト・耐久グラウト(シリカゾルグラウト)の多数の工業所有権(特許、商標、著作権)を、並びにノウハウは当機構にプールし、契約会社に提供され、上記コンセプトに基づき時代の要請に応えるべく薬液注入技術のさらなる向上と安全施工と品質の確保に努めております。

## 大規模野外注入試験(1999年)による長期耐久性の実証・2018年に19年目の追跡調査を実施

1999年大規模野外注入試験による恒久グラウト(活性複合シリカコロイド)を用いた急速浸透注入工法における浸透固結性と経年固結性の実証試験を行い(写真1)、1、3、6、10年後の追跡調査による長期耐久性の実証試験を行い、さらに2018年8月に19年経過後の確認調査を実施しました(写真2,3)。改良強度はいずれのシリカ濃度においても養生初期より増加していることを確認し、経年固結性が実証されました。また同試験において、シリカゾルグラウトについても2018年8月に19年経過後の確認試験を行い、経年固結性が実証されました(写真4)。



写真1 1999年産学協同研究による大規模野外注入試験(株)ADEKA鹿島工場敷地(神宮)

- 参考著書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, 近代科学社, 2016.10  
 2) 東畑・米倉・島田・社本: 「地震と地盤の液状化・恒久・本設注入によるその対策」, インデックス出版, 2010.10  
 3) 恒久グラウト・本設注入協会: 恒久グラウト注入工法技術マニュアル, 2017改訂版  
 4) 「恒久グラウトと注入技術」平成14年度(公社)地盤工学会技術開発賞関連技術-付東北地方太平洋沖地震における施工地盤の追跡調査報告書, 2014.10改訂版  
 5) その他: 学会論文、報文多数

## 本設注入試験センター

現場採取土を用いた液状化対策配合設計 シリカ量分析による地盤珪化評価法

試験研究機能 データ集積機能

本設注入試験センターでは多数の施工実績によるデータを蓄積し、所定の液状化強度を得るための現場採取土を用いた配合設計を行い、データの提供やコンサルティングを行っています。また改良地盤から可溶性 SiO<sub>2</sub>含有量を測定し、改良効果を推定する地盤珪化評価法が実用化されています。



写真5 現場採取土を用いた本設注入試験センターにおける供試体注入試験(本設注入試験センター/強化土研究所内) 撮影:2015年9月



写真6 ICP分析による地盤珪化評価法(強化土エンジニアリング株式会社/共同開発)

# 地盤注入開発機構

【事務局】〒113-0033 東京都文京区本郷2-3-9 ツインビュー御茶の水1F ジャテック(株)内 TEL 03(3815)2162・FAX 03(3815)2102 E-mail:info@jckk.jp  
【工務事務局】強化土エンジニアリング(株) TEL 03(3815)1687・FAX 03(3818)0670 E-mail:info@kyokado-eng.com

## シリカゾルグラウト シリカゾル注入工法

施工実績 50,000 件以上  
ハードライザー・ハードライザーセブン  
シリカライザー クリーンロックIV  
ジオシリカ

### シリカゾルグラウト会

- 【正会員】三信建設工業(株) ライト工業(株) 日特建設(株) 日本基礎技術(株) 大阪防衛建設社 日本綜合防水(株) セキソ(株) 小野田ケミコ(株) 東亜ジオテック(株) 東亜グラウト工業(株) 株ニチボー
- 三和土質基礎(株) 芝田土質(株) 太平洋基礎工業(株) 株ニッソ 株牛福久 地下防水工業(株) 新日本グラウト工業(株) 株ティシーエー 東亜基礎工業(株) 株地巧社 株山野建設

【特別会員】強化土エンジニアリング(株) 【賛助会員】強化土グループ参照

耐久グラウトによる本格仮設注入 耐久グラウト研究会 43社加盟  
シリカゾルグラウトは水ガラス中のアルカリを酸で除去した非アルカリ性シリカ溶液の総称であって、上記名称の商品を対象としています。「シリカゾル」、「シリカゾルグラウト」は登録商標です。

## 二重管複合注入工法

ユニパッカ工法 マルチライザー工法  
施工実績 7,000 件以上

### 複合注入工法研究会

- 【正会員】三信建設工業(株) ライト工業(株) 日特建設(株) 日本基礎技術(株) 大阪防衛建設社 日本綜合防水(株) セキソ(株) 小野田ケミコ(株) 東亜ジオテック(株) 株ニチボー 三和土質基礎(株) 芝田土質(株) 太平洋基礎工業(株)
- 株牛福久 地下防水工業(株) 株エムテック 日本綜合防水(株) 新日本グラウト工業(株) 株ティシーエー 東亜基礎工業(株) 株ニッソ 株地巧社

【特別会員】強化土エンジニアリング(株) 【賛助会員】強化土グループ参照

## 恒久グラウト・本設注入工法

施工実績 1,700 件以上 注入実績 8億リットル以上  
活性シリカコロイド・活性複合シリカ パーマロック  
高強度超微粒子複合シリカ ハイブリッドシリカ

### 恒久グラウト・本設注入協会

- 【正会員】三信建設工業(株) ライト工業(株) 日特建設(株) 日本基礎技術(株) 大阪防衛建設社 日本綜合防水(株) セキソ(株) 小野田ケミコ(株) 東亜ジオテック(株) 株ニチボー 三和土質基礎(株)
- 芝田土質(株) 株ニチボー 株ニッソ 株エムテック 地下防水工業(株) 新日本グラウト工業(株) 日本綜合防水(株) 株ティシーエー 株山野建設 株地巧社

【特別会員】強化土エンジニアリング(株) 【賛助会員】強化土グループ参照

関連組織  
本設注入試験センター (強化土研究所内) 16社加盟  
急速浸透注入協会 13社加盟  
液状化防止注入協会 13社加盟

## 自在複合注入工法 マルチパッカ工法

マルチパイプによる 隣結・長結単独注入 複合注入、複段同時注入

### マルチパッカ工法協会

- 【正会員】三信建設工業(株) ライト工業(株) 日特建設(株) 日本基礎技術(株) 大阪防衛建設社 小野田ケミコ(株) 株エムテック 株ニッソ 株ティシーエー
- 芝田土質(株) 日本綜合防水(株) 株ニッソ 株牛福久 地下防水工業(株) 東亜グラウト工業(株) セキソ(株) 株ニチボー 三和土質基礎(株)

【特別会員】強化土エンジニアリング(株) 【賛助会員】強化土グループ参照

## 産学協同・異業種共同による 新規技術研究開発組織

〈強化土研究所〉  
本設注入試験センター・土木化学研究室  
バイオ技術 バイオグラウト  
生分解性注入管 バイオチューブ・パイプ  
可塑状ゲル圧入工法(TGC工法)  
エキスパイルコンパクション(EPC工法)  
シリカパブル注入工法

### 強化土グループ

- 【正会員】左記正会員参照 【賛助会員】株ADEKA 東亜産業(株) 日本化学工業(株) 日建商事(株) 原工業(株) 鉦研工業(株) ADEKAケミカルサプライ(株) 株島田商會 株立花マテリアル 株薬材開発センター
- カセイ商事(株) 林六(株) 東陽商事(株) 東和産業(株) カツラギ商事(株) 株服部商店 四国通建(株) ソダニカ(株) 新湯ケミカル(株) ジャテック(株)

【特別会員】強化土エンジニアリング(株)  
強化土グループは左記契約正会員と上記賛助会員、特別会員で構成されます



# 下水道事業に貢献する諸団体

## 液状化防止、護岸と基礎の高強度恒久補強に優れた「恒久グラウト・本設注入工法」の普及発展を図り 防災技術に貢献する

地盤注入開発機構 会長 屋宮 康信



地盤注入開発機構は、薬液注入分野の5協会「複合注入工法研究会」「シリカゾルグラウト会」「マルチパッカ工法協会」「恒久グラウト・本設注入協会」「強化土グループ」を統括する組織として2003年設立以来17年にわたり常に時代の要望・変化に対応すべく、従来技術の改良や新規技術の開発を進めてまいりました。

東日本大震災発生以来、北海道・大阪府など各地で地震が多発するようになるにつれ建設業界を取り巻く環境は大きく変動し、防災への対策を強化していく事が大きなテーマとなっております。このことは従来にも増して技術重視型に変革したということで、専門工事業者にとっては自社の技術をどのように活用して社会に貢献していくかを問われていく事と思われます。

東日本大震災以前に当機構の技術による改良地盤は、震災後現地調査で液状化被害皆無という大きな成果が確認されました。このことは従来提案・推奨して参りました理論・技術の正しさが実地で確認・証明できた事例となりました。これを纏めた報告書(「東北地方太平洋沖地震と恒久グラウト改良地盤」)は既に発表させて頂いております。又、1999年に恒久グラウトと急速施工法を組み合わせた大規模野外試験を茨城県鹿島郡神栖町(現・茨城県神栖市)で行いましたが、今般19年間の固結地盤の経年固結性の実証試験を実施し、その観察結果を報告書としてまとめた他、各種資料を取りそろえておりますので是非当機構迄お問い合わせ頂きますようお願い申し上げます。

これらの事例から当機構の技術を活用した地盤改良工事は増加傾向にあり、恒久グラウト施工実績は1,700件以上、液状化対策注入工法実績は8億ℓ以上に上っております。

以下にて当機構の各協会の活動をご紹介します。

### 「複合注入工法研究会」

当研究会が推進する二重管ロッド複合注入工法は長い歴史を持つ工法ですが、現在なお薬液注入工法の主力として群を抜く実績をあげております。その施工件数は7,000件以上におよび、本工法の高い技術を証明しております。

### 「シリカゾルグラウト会」

協会内における耐久グラウト研究会を中心に産学協同による長期耐久性の研究を行い、シリカゾルグラウトの耐久性のメカニズムを解明しホモゲルおよびサンドゲルの長期耐久性について確認・実証して参りました。

た。耐久グラウトとしてその施工実績は5万件以上に上り、海外(台湾・韓国)でも技術導入されております。また、長期耐久性を持つシリカゾルグラウトには環境対策も重要な項目となっておりますのでコンクリート構造物に対する保護機能をもつマスキングシリカを開発し、10年以上の研究によりそれを実証したマスキングシリカゾル「ハードライザーシリーズ」を使用しております。

今般恒久グラウトと同様19年間の固結地盤の経年固結性の実証試験を実施し、その観察結果を報告書として纏めさせて頂きました。

### 「マルチパッカ工法協会」

本工法は特殊な注入管(内管、外管)を用いることにより、従来の二重管ダブルパッカ工法の改良効果の信頼性を保持しながらさまざまなバリエーションを備えた画期的な注入工法です。2ステージ同時注入や一次・二次同時注入が可能ですので工期短縮に大きく貢献できる工法と言えます。

「恒久グラウト・本設注入協会」(11面をご覧ください。)

### 「強化土グループ」(11面をご覧ください。)

このような現状を踏まえ、地盤工学会、土木学会の特別会員であります当機構は、毎年全国各地におきまして「最近の薬液注入工法技術研究発表会」(CPD認定プログラム)を開催し、耐震補強、恒久グラウトによる本設地盤改良・液状化対策工に加えまして、東日本大震災における改良効果の実証確認を題材に発注者・コンサルタント・建設会社の皆様にご聴講頂いております。各会場では当機構の保有する技術に対する高い期待を感じました。

引き続き全国各地での技術研究発表会に加え、会員(専門工事業者)と賛助会員向けの会員講習会、個別の公共機関・団体様向けの技術研修会も随時開催致します。

地盤注入開発機構は今後も薬液注入分野における最大の業界団体の一つとして、絶え間ない研究開発とそれにより実用化された新規技術の情報を皆様に発信し続ける組織であり、工法コンプライアンスを重視しながら材料のみならず、注入工法を含む統合技術として耐震補強、液状化対策工を中心に皆様にご提案し、社会貢献へ努めて参りたいと希望しております。

今後とも皆様方のご指導・ご鞭撻をお願い申し上げます。

## 耐久地盤要素技術導入注入材 統合地盤注入工法を推進

地盤注入開発機構 事務局長 強化土グループ 会長

島田 励介



地盤注入開発機構は創立以来、「産学協同研究」を基本とした「施工会社、材料メーカー、機械メーカー」からなる組織です。本機構はシリカを素材とした「環境・耐久・浸透」をテーマとして開発した要素技術を一体化した統合地盤注入工法を目指して参りました。

■薬液注入の長期耐久性の研究：1974年、高分子系の公害問題により、暫定指針で水ガラスグラウトのみが使用許可になって以来、高分子系に代わる浸透性に優れたシリカ系グラウトが東洋大学、米倉教授(現・名誉教授)の指導のもとに島田(現・当機構名誉会長)らの研究開発グループによって新しく有機系水ガラス、シリカゾル系、活性シリカコロイド系、超微粒子複合シリカ系の注入材が開発されました。その後、1981年にスタートした東洋大学工業技術研究所米倉研究室の「薬液注入の長期耐久性の研究」以来、40年以上の長期耐久性の実証研究の発表がなされ、注入材の耐久性のメカニズムの解明と耐久性からみた注入材の体系化が行われました。また近年では東京都市大学、末政研究室のご指導のもとに固結地盤の強度発現のメカニズムの解明が進められております。更に多数の施工実績と東日本大震災を経て恒久・耐久地盤改良の要素技術が開発され、それらを統合した地盤改良工法へと進化しております。

■シリカゾルグラウトと耐久地盤要素技術：1974年に酸性液中に水ガラスを加えるという逆転の発想によって開発された非アルカリ性シリカゾルグラウトは現場で水ガラスの劣化要因であるアルカリを全自動製造装置中で中和除去して、1nm程度にゾル化することにより、耐久性と長結性を付与して土粒子間浸透と地下水面下の固結性を可能にしたグラウトです。

このグラウトはその後、改良技術を加えることにより、高分子系に代わって現在国内5万件以上、海外100件以上の施工実績をもち、山岳トンネル工事、都市工事等の耐久仮設工事の主力となっております。1999年の野外耐久性注入試験の19年後の耐久性が2018年度に実証され、施工現場では施工後38年の長期耐久性が確認されました。近年の注入後掘削工事まで長年月かかる大深度地下掘削工事、シールド発進工事、都市部のトンネル工事、大規模底盤工事や開削に伴う山留め工事等、厳しい条件下での重要工事が多くなる事を予想して、産学協同で本設注入と共に開発した耐久地盤要素技術と一体化したシリカゾルグラウトとの一連の特許が成立し、NETIS:KT-200081-Aが登録されております。

■恒久グラウトと本設注入工法：1981年にはシリカゾルグラウトの知見と実績を背景に脱アルカリとコロイド化を導入することによりシリカゾルよりも更に耐久性を向上した無機溶液型活性シリカコロイドと活性複合シリカである「パーマロックシリーズ」(NETIS登録番号KT-190051-A)と、水和結合による高強度とゲル化機能を付与した高強度超微粒子複合シリカ「ハイブリッドシリカシリーズ」等の恒久グラウトが開発され、その後、改良技術が加えられながら発展しました。恒久グラウトの40年以上の長期耐久性実証研究や液状化強度の研究と急速浸透注入工法による大規模野外実証研究が1997年、1999年に行われました。その経年固結性の実証が施工後1、3、6、10年目に加えて、2018年度に、施工後19年目のコアサンプリングによる固結強度の持続性が実証されております。今日、本設注入の施工件数は液状化対策工をはじめ1,700件以上

であり、注入量は8億ℓ以上となっております。またハイブリッドシリカは超微粒子複合シリカの水和結合とゲル化特性によって得られる高強度恒久性、浸透固結性が認められ、山留工、トンネルや開削工事の本格仮設工事や護岸工事の高強度恒久地盤改良工等、その施工実績は800件以上に達しております。以上の成果は2002年度地盤工学会技術開発賞「恒久グラウトと注入技術」(米倉亮三、島田俊介)として評価されました。

■急速浸透注入工法：1978年に開発された、二重管ロッド瞬結・緩結複合法(マルチライザー工法、ユニパック工法)とダブルパッカー工法におけるシリカゾルグラウトによる土粒子間浸透注入工法の実績を背景に、さらに1997年には本機構の開発グループにより、経済性と施工能率を上げた「急速浸透注入工法」が開発されました。それが三次元同時注入工法「超多点注入工法」、や柱状浸透注入工法「エキスパッカ工法」、「マルチストレーナ工法」「マルチパッカ工法」等で恒久グラウトの発展に寄与するとともにシリカゾルグラウトにも適用されるようになりました。

■東日本大震災における改良効果の有効性：2011年3月11日の東日本大震災では広範囲にわたって液状化が生じましたが、恒久グラウト・本設注入工法により液状化対策工を実施した地盤(8現場)を確認した限りでは、液状化被害が皆無であることを追跡調査によって確認しました。また改良地盤は地震後も液状化強度の劣化がないことも確認しています。このように本設注入は多様な地盤条件下での化学的地盤改良工法であるが故に、室内試験のみでは確認しきれない実際の地震動に対する改良効果をこれらの追跡調査で確認することができました。

■本設注入試験センターと土木化学研究室：薬液注入の耐久性は注入地盤そのものの耐久性を意味するものであり注入材そのもののみで定まるものではなく、注入材と互いに関連する要素技術が一体化して初めて可能であるというコンセプトから、2007年に強化土研究所内に「本設注入試験センター」を設立し、同研究所内の土木化学研究室と共に現場採取土注入設計法や地盤珪化評価法の開発等を進め、工事毎に現場採取土を用いて所定の強度を得るための配合試験を実施してユーザーに提供しております。

■統合地盤注入工法と耐久地盤要素技術導入注入材：当機構はこの40年来、上記コンセプトに基づき多くの現場経験において直面した課題ごとに産学協同研究で耐久地盤改良に必要な要素技術と要素技術と一体化した耐久地盤要素技術導入注入材の研究開発を行ってまいりました。その結果、開発された「非アルカリシリカ注入材」、「浸透注入工法」、「環境保全技術」、の三大要件を構成する要素技術である「広範囲土中ゲル化浸透法(マグマアクション浸透固結法)」、「マスキングシリカ法・マスキングセパレート法」、「現場土配合設計法」、「シリカ量分析による改良効果の確認法」、「供試体作製装置と試験法」、「促進試験法」ならびに「耐久地盤要素技術導入注入材」等の耐久地盤要素技術を含む恒久グラウト、シリカゾルグラウトに共通の工業所有権(特許・商標・著作)を多数蓄積して、機構にプールし、契約会社が統合地盤注入技術として活用することにより、薬液注入工法の技術の向上と品質の確保と安全施工に寄与すべく努めております。今後とも、関係各位の御指導と御鞭撻を心よりお願い申し上げます。