臨海部産業施設の強靭化工法ガイドライン

２０１６年　３月

産業施設の強靭化工法に関する研究会

早 稲 田 大 学 東 京 安 全 研 究 所

一般財団法人　産業施設防災技術調査会

はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード９クラスというその規模の巨大性もさることながら、かつてない広い範囲に甚大な人的・物的被害をもたらした。その中でも注目すべき事象としては、臨海部の産業施設の脆弱性であり、ガソリンなど災害からの復旧・復興に欠かせない物資の供給が停滞したことは記憶に新しい。

この東日本大震災を受けて設置された中央防災会議の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」の中間報告（平成23年）では、やはりマグニチュード９クラスの南海トラフ連動型の地震・津波の想定がなされており、特に中・西日本では東日本大震災の教訓を最大限に生かした対応が望まれている。このような甚大な災害に対して具体的に実施すべき対策の中でも、「事前対策」は最も重要かつ効果的な対策である。被災地域のみならず国内外の経済活動に及ぼす計り知れない影響を最小限に留めるためには、この事前対策に力点を置いた対応を考えなければならない。

発生確率が高いとされている南海トラフの巨大地震や首都直下地震では、人的被害や建物被害は言うに及ばず、ライフラインや各種インフラ被害、土砂災害や液状化に起因する被害など、広範かつ甚大な被害が予想されるため、その減災対策は喫緊の課題である。特に、臨海部に立地する産業施設は、我が国の産業の根幹を支える重要施設であり、東京湾や大阪湾、中京臨海部や瀬戸内海沿岸部には石油や鉄鋼・化学プラント、各種素材産業、電力やエネルギー施設が高度に集積している。その安定供給を確保し、競争力を維持・発展させ、その強靭化を推進させるためには、事前の「ハード対策」が重要な鍵となる。この「産業施設の強靭化工法に関する研究会」発足の狙いはまさにここにある。

本研究会では、具体的には、地震動の揺れやそれに伴う地盤の液状化や側方流動の危険に晒されている多くの産業施設が立地する臨海部を中心に、地盤や構造物基礎、護岸や桟橋の強靭化を図る上で、その対策を検討する技術者が様々な観点から工法を選ぶ際の判断材料になるガイドラインを作成することを目的としている。

本ガイドラインがその目的通り、事前減災対策や被災後の早期回復策における強靭化工法を考える上での現場の技術者の一助となることを願ってやまない。

本ガイドラインは、特定非営利活動法人「国境なき技師団」からの資料の提供を受け、早稲田大学東京安全研究所が組織した「産業施設の強靭化工法に関する研究会」がとりまとめたものである。本ガイドラインをまとめるに当たり、その必要性と全体計画を練っていただいた濱田政則早稲田大学名誉教授、ガイドラインの方向性と具体案の提示および各種資料の取りまとめを行っていただいた本研究会幹事である産業施設防災技術調査会の勝沢勝栄氏、各種資料を快くご提供くださるとともに、取りまとめのための議論を通して貴重なご意見をいただいた研究会委員各位にこの場を借りて厚く御礼申し上げる次第である。

「産業施設の強靭化工法に関する研究会」研究会委員長
京都大学大学院地球環境学堂
清野　純史

「臨海部産業施設の強靭化工法ガイドライン」の発行にあたって

1995 年兵庫県南部地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震など国内外の既往地震により臨海部の産業施設は液状化・津波・長周期地震動によって度々被害を受けてきている。

平成 24 年に成立した「国土強靭化基本法」の基本方針の一つに「国家及び社会の重要な機能が致命的な障害を受けないこと」が挙げられている。臨海部の産業施設群は、わが国の経済と社会を支える社会基盤の一つとして位置づけられ、産業施設の強靭化にはこの基本法の基本方針に直接関係するものである。基本法の成立を受け、経済産業省は平成 25 年度より「産業・エネルギー基盤強靭性確保調査事業」を、平成 26 年度からは「石油インフラ強靭化事業」を施行している。

本ガイドラインは、産業施設の強靭化にあたって適切な工法を選定し、効果的な強靭化事業を推進するための手法と知見および情報を提供するものである。このための基礎資料の収集と分析は、公益財団法人「セコム科学技術振興財団」の支援を受け、特定非営利活動法人「国境なき技師団」が実施した。早稲田大学東京安全研究所はこれら基礎資料の提供を受け、関連分野の有識者による「産業施設の強靭化工法に関する研究会」を組織し、本ガイドラインの策定を行った。

ここに、セコム科学技術振興財団の支援に対して深甚なる謝意を表する次第である。

特定非営利活動法人　国境なき技師団　理事長
早稲田大学名誉教授　　濱田　政則

「産業施設の強靭化工法に関する研究会」 委員名簿

一般財団法人　産業施設防災技術調査会

区　分	氏　名	所　属　先
委員長	清野　純史	京都大学大学院　工学研究科　教授
委 員	井出　修	応用地質（株）　社会システム事業部
	稲冨　芳寿	極東興和（株）　営業本部補修部補修営業課
	今酒　誠	大成建設（株）　環境本部
	上原　精治	一般社団法人　気泡工法研究会
	宇梶　伸	ライト工業（株）　技術営業本部
	内山不二男	（株）構造計画研究所　防災・環境部
	大野　卓志	高圧ガス保安協会　高圧ガス部　保安業務課
	岡田　充弘	（株）技研製作所　工法事業部　エンジニアリング課
	奥村　貴史	旭化成建材(株)　東京基礎第２営業部　土木課
	小山田賢治	高圧ガス保安協会　高圧ガス部　保安業務課
	加々美修一	ブイ・エス・エル・ジャパン株式会社
	金舛　能史	日特建設（株）　技術本部技術営業部
	鬼頭　弘宗	東燃ゼネラル石油（株）　製造技術本部設備監理統括部
	木全　宏之	高圧ガス保安協会　高圧ガス部　保安業務課
	桐山　和幸	コスモ石油（株）　製造技術部
	坂井マスミ	水源環境保全・再生かながわ県民会議
	佐藤　靖彦	西松建設(株) 技術研究所
	志田　一宏	（株）ミヤマ工業
	庄司　正弘	（株）構造計画研究所　社会基盤営業部
	竹内　良太	玉野総合コンサルタント（株）　東京支店
	竹澤　芳典	コスモ石油（株）　製造技術部
	多田　英文	中電技術コンサルタント（株）　臨海・都市部　都市施設グループ
	堤内　隆広	（株）大林組　技術研究所　構造技術研究部
	鷲見　明俊	JFE 建材（株）　土木技術部
	唱　　伸吾	ケミカルグラウト（株）　技術営業本部
	奈良　吉倫	玉野総合コンサルタント（株）　東京支店
	西　寿三男	ケミカルグラウト（株）　技術営業本部
	西嶋　岳郎	（株）安藤・間　土木事業本部技術第二部
	根本　佳明	鹿島建設（株）　土木営業本部
	原　正典	出光興産（株）生産技術センター　エンジニアリング室　土建技術グループ
	原田　健二	（株）不動テトラ　地盤事業本部技術部
	樋口　俊一	（株）大林組　技術研究所　構造技術研究部

区　分	氏　名	所　属　先
委　員	藤井　亮	高圧ガス保安協会　高圧ガス部　保安業務課
	藤田　宗久	清水建設（株）　土木技術本部
	藤原　斉郁	大成建設（株）　技術センター　土木技術研究所　地盤・岩盤研究室
	星野　幸弘	若築建設（株）　東京本社　建設事業部門　営業部
	松岡　大介	小野田ケミコ（株）　営業本部　技術設計部
	宮越　一市	ＪＸ日鉱日石エネルギー(株)　技術部　設計グループ
	三輪　滋	飛島建設（株）
	森田　浩二	前田建設工業（株）　土木事業本部営業部
	安岡　博之	（株）技研製作所　工法事業部　エンジニアリング課
	山田　岳峰	鹿島建設（株）　土木管理本部　土木技術部
	結城　則行	川崎地質（株）　戦略企画本部　技術企画部
	横田　善弘	前田工繊株式会社　インフラ事業部
	吉原　健郎	新日鐵住金（株）　本社・建材開発技術部
幹　事	勝沢　勝栄	一般財団法人　産業施設防災技術調査会
事務局	志毛　宏次	一般財団法人　産業施設防災技術調査会

「産業施設の強靭化工法に関する研究会」の活動経緯

第１回	平成２７年　４月２３日（木）	研究会活動方針の確認
第２回	平成２７年　７月　８日（水）	強靭化工法の選定、技術紹介
第３回	平成２７年　９月２９日（火）	強靭化工法の検討、技術紹介
第４回	平成２７年１２月　９日（水）	ガイドライン(案)の検討、技術紹介
第５回	平成２８年　２月　３日（水）	ガイドライン(案)の検討
第６回	平成２８年　３月２３日（水）	まとめ

ご案内

「臨海部産業施設の強靭化工法ガイドライン」は、一般財団法人 産業施設防災技術調査会のホームページに掲載しております。

http://idmc.or.jp/

目　次

１．強靭化対象構造物・地盤と補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　１
　１．１　強靭化の対象構造物・地盤　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　１
　１．２　補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　２
　　１．２．１　地盤補強　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　２
　　１．２．２　構造物基礎補強　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　３
　　１．２．３　護岸・桟橋補強　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　４
　　１．２．４　その他（敷地内道路等）・・・・・・・・・・・・・・・・・・　４

　１．３　補強工法の特徴（適用性・工事費・施工実績等）　・・・・・・・・・　４
　　１．３．１　地盤補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　４
　　１．３．２　基礎補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　６
　　１．３．３　護岸補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　６
　　１．３．４　桟橋補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　６
　　１．３．５　その他工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　６

表―１．１　地盤改良工法（密度増大工法）　・・・・・・・・・・・・・　７
表―１．２　地盤改良工法（機械撹拌工法）　・・・・・・・・・・・・・１１
表―１．３　地盤改良工法（高圧噴射併用機械撹拌工法）　・・・・・・１６
表―１．４　地盤改良工法（高圧噴射撹拌工法）　・・・・・・・・・・１７
表―１．５　地盤改良工法（薬液注入工法）　・・・・・・・・・・・・２３
表―１．６　地盤改良工法（間隙水圧消散工法）　・・・・・・・・・・２６
表―１．７　地盤改良工法（地下水位低下工法）　・・・・・・・・・・２７
表―２．１　せん断変形抑制工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・２８
表―３．１　基礎補強工法（直接基礎補強）　・・・・・・・・・・・・３０
表―３．２　基礎補強工法（増し杭補強）　・・・・・・・・・・・・・３１
表―３．３　基礎補強工法（杭補強）　・・・・・・・・・・・・・・・３３
表―３．４　基礎補強工法（躯体補強他）　・・・・・・・・・・・・・３４
表―４．１　護岸補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３５
表―５．１　桟橋補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３７
表―６．１　その他工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３９

２．強靭化工法の選定と施工　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４２
　２．１　地盤補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４２
　　２．１．１　地盤補強の目的と範囲　・・・・・・・・・・・・・・・・・４２
　　２．１．２　周辺環境への影響確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・４２
　　２．１．３　地盤条件の確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４２
　　２．１．４　陸上施工または海上施工の選択　・・・・・・・・・・・・４３
　　２．１．５　施工可能な機械の選定　・・・・・・・・・・・・・・・・４３
　　２．１．６　環境に与える影響　・・・・・・・・・・・・・・・・・・４３
　　２．１．７　工法の比較検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４４
　　２．１．８　地盤補強工法の選定　・・・・・・・・・・・・・・・・・４４
　　２．１．９　詳細設計　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４４
　　２．１．１０　施工管理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４４
　　２．１．１１　効果の確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４４

　２．２　構造物基礎補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４５
　　２．２．１　補強の目的と範囲　・・・・・・・・・・・・・・・・・・４５
　　２．２．２　周辺環境への影響確認　・・・・・・・・・・・・・・・・４５
　　２．２．３　補強工法の選定　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４５
　　２．２．４　詳細設計　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４６
　　２．２．５　施工管理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４６

２．３　護岸および桟橋補強工法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４６
　　２．３．１　補強の目的と範囲　・・・・・・・・・・・・・・・・・・４６
　　２．３．２　周辺環境への影響確認　・・・・・・・・・・・・・・・・４６
　　２．３．３　検討条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４７
　　２．３．４　検討方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４７
　　２．３．５　補強工法の比較検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・４８
　　２．３．６　補強工法の選定　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４８
　　２．３．７　詳細設計　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４８
　　２．３．８　施工管理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４８

１．強靭化対象構造物・地盤と補強工法

１．１　強靭化対象構造物・地盤

我が国の重要な産業施設の多くは臨海部埋立地に立地しており、発生が逼迫しているとされる南海トラフ沿いの巨大海溝地震や首都直下地震などの大規模地震により、地震の揺れ、液状化、側方流動、津波などの脅威を受けている。

これらの産業施設が災害によって被害を受け、その機能が大きく失われた場合、極めて深刻な影響を社会・経済および国民生活に与えることになる。　なかでも、臨海部の石油・電力・ガス等エネルギー産業の被災はわが国の国力の盛衰にも重大な影響を及ぼすことになり、臨海部の強靭化はまさに国家的な課題である。

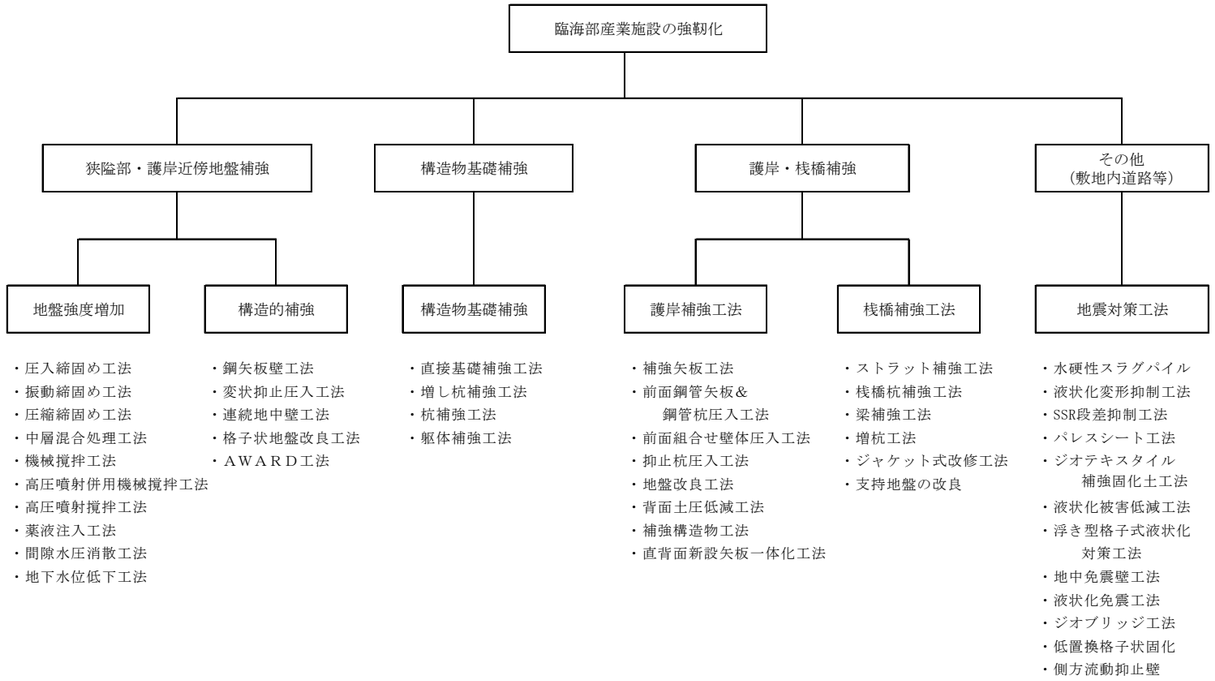
このため、産業施設のうちＢＣＰに係わる重要な入出荷設備に対しては事前に大地震に対する対策を考慮しておくことが強く求められている。

多くの既往地震において、臨海部産業施設では、噴砂・噴水・地割れなどの液状化現象、護岸の倒壊や大変位による側方流動とそれによる構造物・施設の被害、液状化による構造物基礎や防油堤の破壊、桟橋の破壊等が発生している。これらの構造物、施設の強靭化によって、想定される大地震に対しても国家と社会の機能の損失を防ぐことが可能となる。

本ガイドラインでは、主に、①地盤補強、②構造物基礎補強、③護岸補強、④桟橋補強、⑤その他の地震対策工法の５項目について既存構造物に対する対策工法を検討する。

臨海部産業施設の強靭化の分類と工法を表－１に示す。

表－１　　臨海部産業施設の強靭化



１．２　補強工法

１．２．１　地盤補強

地盤の地震時の被害状況によれば、液状化に対する対策と側方流動に対する対策を考慮する必要がある。また、地盤の支持力不足に対しては地盤の強度増加を図れる改良工法が必要である。

液状化対策工法を対策の原理から分類すれば以下のようになる。

① 密度の増大
② 固結
③ 間隙水圧消散
④ 飽和度低下
⑤ 構造的対策

液状化対策工法を含め地盤補強工法の代表的な工法と研究会で選定した工法は以下のとおりである。

ただし、このほかにも各種の地盤補強工法が提案されている。

（１） 密度増大工法

ａ）圧入締固め工法

・サンドコンパクションパイル工法
・ＳＡＶＥコンポーザ工法
・ＳＤＰ－Ｎ工法
・ＳＡＶＥ－ＳＰ工法
・コンパクショングラウチング工法
・丸太打設液状化対策＆カーボンストック工法（LP-LiC 工法）

ｂ）圧縮締固め工法

・バイブロタンパー工法

ｃ）振動締固め工法

・ＳＶＳ工法
・バイブロロッド工法
・ディープバイブロ工法
・ＳＩＭＡＲ（シマール）工法

（２） 固結工法

ａ）中層混合処理工法

・パワーブレンダー工法
・ＷＩＬＬ工法
・ＳＣＭ工法
・ＷｉｎＢＬＡＤＥ工法

ｂ）深層混合処理工法

ｉ）機械撹拌工法

・Ｍｉｎｙコラム工法
・エポコラム工法
・ＤＪＭ工法
・ＲＡＳコラム工法
・ＲＭＰ－ＭＳＴ工法
・ＣＤＭ工法
・ＣＩ－ＣＭＣ工法
・ＣＤＭ－ＬＯＤＩＣ工法
・ＤＣＳ工法
・ＡＷＡＲＤ－Ｄｅｍｉ工法

ⅱ）高圧噴射併用機械撹拌工法

・ＲＡＳ－ＪＥＴ工法
・ＳＤＭ－Ｄｙ工法
・ＪＡＣＳＭＡＮ工法

ⅲ）高圧噴射撹拌工法

・ＳＪＭＭ－Ｄｙ工法
・ＬＤｉＳ―Ｄｙ工法
・ＮＪＰ－Ｄｙ工法
・ＣＣＰ工法
・ＯＰＴジェット工法
・ＲＪＰ工法
・ＪＥＰ工法
・ファイバージェット工法
・Ｖ－ＪＥＴ工法
・ＪＳＧ工法
・コラムジェットグラウト工法
・Ｘ－ｊｅｔ工法
・ＳＵＰＥＲＪＥＴ工法
・ＪＥＴＣＲＥＴＥ工法
・エフツインジェット工法
・ＦＴＪ－ＦＡＮ工法
・マルチジェット工法
・Ｍｉｎｙマルチ工法

ⅳ）薬液注入工法

・スリーブ注入工法
・エキスパッカー工法
・超多点注入工法
・ＭＡＧＡＲ（マガール）工法
・グランドフレックスモール工法
・マルチライザー工法
・ソレタンシュ工法
・浸透固化処理工法
・ニューマックス工法
・カーベックス工法
・ジオフレックスドリル工法
・ＦＤＣグラウチング工法

（３） 間隙水圧消散

ａ）間隙水圧消散工法

・グラベルドレーン工法
・スパイラルドレーン工法
・アーチモール工法
・排水機能付き鋼材工法

（４） 飽和度低下

ａ）地下水位低下工法

・壁状改良体工法
・鋼矢板壁圧入工法

（５） 構造的対策

ａ）せん断変形抑制工法

・連続地中壁工法（ＴＲＤ工法）
・連続地中壁工法（鋼矢板等工法）
・変形抑止壁圧入工法
・変形抑止杭圧入工法
・格子状地盤改良工法（ＴＯＦＴ工法）
・ＡＷＡＲＤ－Ｔｒｅｎｄ工法
・ＡＷＡＲＤ－Ｃｃｗ工法
・ＡＷＡＲＤ－Ｈｓｍ工法

１．２．２　構造物基礎補強

構造物基礎に対する補強は狭隘部での施工が多くなることが予想される。 補強方法としては、既存基礎に新たな基礎を付け加えることが多く、工法としては、基礎の拡幅、増し杭、杭補強等がある。

既存の対策事例の代表的な工法と研究会で選定した工法は以下のとおりである。

（１）直接基礎補強工法

・フーチング拡幅
・基礎梁の拡幅
・基礎梁の追加
・ペデスタル拡幅
・柱脚部の根巻き

（２）増し杭補強工法

・現場造成杭工法
・ＥＡＺＥＴ工法
・ＡＴＴコラム工法
・高耐力マイクロパイル工法
・ＮＳエコパイル工法
・ＡＷＡＲＤ－Ｓａｐｌｉ工法

（３）杭補強工法

・杭基礎補強（鋼矢板基礎）
・杭基礎補強（ＣＰＲ工法）
・水平荷重低減工法
・地盤改良

（４）躯体補強工法

・躯体補強（ポストヘッドバー）
・躯体補強（セラミックキャップバー（ＣＣｂ））
・津波漂流物防護柱（タンク周辺）

１．２．３　護岸・桟橋補強

護岸の補強法には、護岸前面からの方法、護岸背面からの方法、及び既設の構造部材と一体化して補強する方法等がある。

一方、桟橋の補強の多くは、構造部材の補強である。施工実績事例から選定した代表的な工法および研究会で選定した工法は以下のとおりである。

（１）護岸補強工法

・補強矢板工法
・前面鋼管矢板・鋼管杭圧入工法
・前面組合せ壁体圧入工法
・抑止杭圧入工法（抑止壁圧入工法）
・地盤改良工法
・背面土圧低減工法
・補強構造物工法
・直背面新設矢板一体化工法

（２）桟橋補強工法

・ストラット補強工法
・桟橋杭補強工法
・ジャケット式改修工法
・増杭工法
・支持地盤の改良
・梁補強工法
① ＦＰＲＣＡストランドシート工法、　②水中グリッド工法

１．２．４　その他（敷地内道路等）

研究会委員から推薦のあった工法は以下のとおりである。

・水硬性スラグコンパクションパイル
・段差抑制工法
・ジオテキスタイル・セメント改良土による道路段差対策工法
・ジオブリッジ工法
・液状化変形抑制工法
・パレスシート工法（液状化影響抑制対策）
・低置換格子状固化
・側方流動抑止壁
・液状化被害低減工法
・浮き型格子式液状化対策工法
・地中免震工法
・液状化免震工法

１．３　補強工法の特徴（適用性・工事費・施工実績等）

上記で選択された各種工法について、工法の概要、特徴、長所、留意点、施工機械、工法適用性（特に狭隘部での施工の適否）、施行実績、概略工事費等の比較を表－１．１　～　表－６．１　に示す。

表－１．１　地盤改良工法（密度増大工法）
表－１．２　地盤改良工法（機械撹拌工法）
表－１．３　地盤改良工法（高圧噴射併用機械撹拌工法）
表－１．４　地盤改良工法（高圧噴射撹拌工法）
表－１．５　地盤改良工法（薬液注入工法）
表－１．６　地盤改良工法（間隙水圧消散工法）
表－１．７　地盤改良工法（地下水位低下工法）
表－２．１　地盤改良工法（せん断変形抑制工法）
表－３．１　基礎補強工法（直接基礎補強）
表－３．２　基礎補強工法（増し杭補強）
表－３．３　基礎補強工法（杭補強）
表－３．４　基礎補強工法（躯体補強他）
表－４．１　護岸補強工法
表－５．１　桟橋補強工法
表－６．１　その他工法

１．３．１　地盤補強工法

（１）狭隘部施工

地盤の液状化対策、側方流動対策等のための地盤改良工法は、数多く提案されているが、既存の産業施設強靭化では特に狭隘部での施工が要求される場合が多い。

比較表では、”狭隘部”を「施工時の最小幅（ｍ）」と「空頭制限（ｍ）」として表示している。

（２）工事費

工事費は施工条件によって大きく異なってくるので、ここでは次の２段階で表記することとした。

① 一般的な概算施工単価

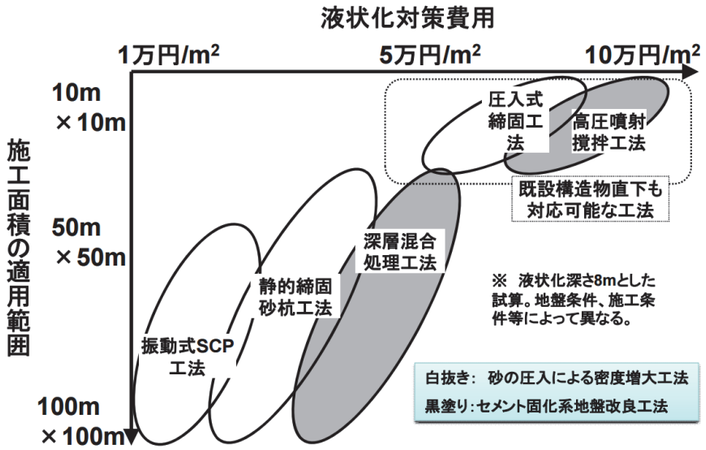
各地盤改良工法の説明のために用いられているパンフレット等で示されている施工単価をもとに表記する。一般には、施工条件を考慮して、○○～○○と幅をもたせて表記されている場合が多い。

② 地盤改良モデルケースを設定した工事費の算定

地盤改良モデルケース（下記■積算モデル参照）を設定し、これに要する概算工事費を算定する。

なお、モデルケースは固結工法のモデルを示しているが、締固め工法についてもこれに準じて算定している。また、締固め工法の工事費は、設計に基づいた仕様によって算出している。

一般には、液状化対策費用と施工面積の関係は図―１のように示されている（出典：「浦安市液状化対策技術検討調査委員会」資料）。　これによれば、費用については高圧噴射撹拌工法系が高く、締固め工法系が低いという工法別の傾向が判り、施工数量が大きいほど費用が低くなるという施工面積別の傾向が判る。



図―1　液状化対策費用と施工面積

■積算モデル

工事積算の条件は以下のとおりである。

改良工法による適用深さの違いから、中層混合処理工法とそれ以外とでモデルの深さを分ける。

施工深さは、中層混合処理工法は１０ｍ、それ以外の工法は１５ｍとする。

非改良深度となる土被りは２ｍとする。

【積算の条件】

・図―２（改良対象範囲と地盤条件）に示す改良対象範囲に対する直接工事費とする。

（中層改良工法の場合）：Ｈ１＝８ｍ，Ｈ２＝１０ｍ，

対象範囲＝長さ 100m×幅 10m×高さ 8m＝8,000m³

（中層改良以外の場合）：Ｈ１＝１３ｍ，Ｈ２＝１５ｍ，

対象範囲＝長さ 100m×幅 10m×高さ 13m＝13,000m³

・改良率は 100％とする。100％が困難な工法は、できるだけ 100％に近い改良率とする。

・工法の特性からＧＬ以下を全深度改良するものは、全深度改良での金額とする。

・作業は昼間施工とし、定時（朝８時～夕方５時）とする。

・作業床は平坦かつ良好で、表層改良等の必要の無い状態とする。

・架空線、地下埋設物、近接構造物などの支障の無い条件とする。

・施工台数、セット数について制限は無いが、適切なものとする。

・運搬費や分解組立費などの仮設費は含まない金額とする。

・使用水は支給とするが、電力は発動発電機によるものとして燃料費などの金額を計上する。

・労務費、材料費、燃料費などの単価で「建設物価」によるものは平成 27 年８月東京の単価。

・排泥発生量または盛上り土量についてはその発生量を明記し、工事費には計上しない。

・固化材添加量や配合などの仕様は、下記の強度を満足するように設定する。

・機械撹拌工法については、砂質土の設計強度(quck) を.300kN/m²以上とする。

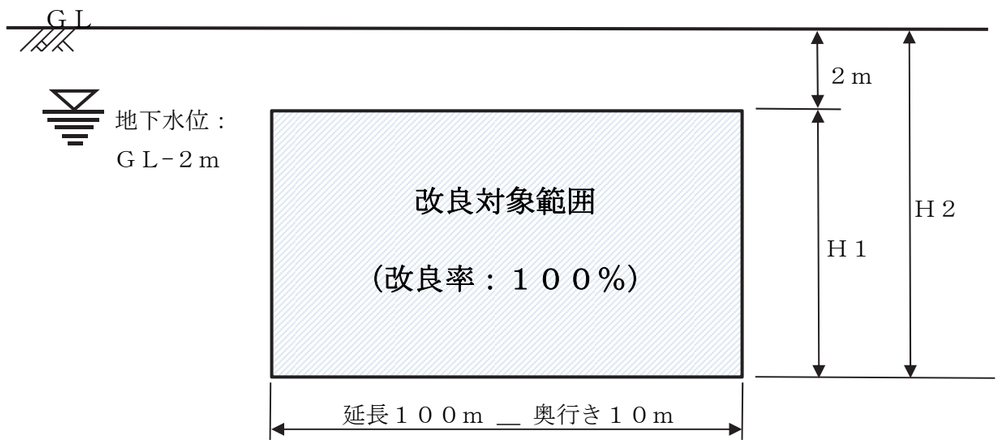
・高圧噴射併用機械撹拌工法は、砂質土の設計強度(quck) を 500kN/m²以上とする。

・高圧噴射撹拌工法については、砂質土の設計強度(quck) を 1,000kN/m²以上とする。

・薬液注入工法の場合には、砂質土の設計強度(quck) を 100kN/m²以上とする。

・自在ボーリング等の曲り削孔については、改良対象範囲直上の使用不可を制約条件とする。

・改良範囲の外へ余掘りが必要な工法については、余掘り可能な条件とする。



一様な砂地盤とする
地盤の平均Ｎ値：Ｎ＝５
粒度特性　：細粒分含有率Ｆｃ=１０％
礫分以上は含まれない

図―２　積算モデルの改良対象範囲と地盤条件

（３）施工実績

各工法の施工実績は工法を選定する上で参考となるので、比較表の中に記述した。施工実績の少ない新規工法も今後の活用性を考慮して記載している。

なお、施工実績は個別に表記している場合を除いて、２０１５年７月現在の数値である。

（４）備考欄

各補強工法が協会や研究会で公表されている場合は、それぞれの協会名や研究会名を記載しているが、さらに詳しい情報を問い合わせたい場合として資料を提供した委員の所属団体（会社、協会、研究会等）名を記載した。

なお、各工法のリンク先も記載しているが、リンク先が協会や研究会にある場合は、そちらを優先して記入している。

１．３．２　基礎補強工法

構造物基礎に対する補強には、基礎自体を補強する方法、増し杭による方法、杭自体の補強等がある。

基礎自体を補強する場合には、狭隘部での施工が多くなることが予想されるため、狭隘部での施工の可能性について記述した。また、躯体を部分的に補強する場合に使用される定着部分を工夫した鉄筋が最近多く利用されるようになってきている。

それぞれの工法の概要と特徴等を比較表に記述した。なお、工事費については、表記できる工法についてのみ記入した。

また、備考欄は、資料を提供した委員の所属団体（会社、協会、研究会等）名を記載した。なお、各工法のリンク先も記載しているが、リンク先が協会や研究会にある場合は、それらを優先して記入している。

１．３．３　護岸補強工法

護岸の補強方法には、現護岸を補強する形で補強部材を増設する工法、護岸に作用する荷重を低減する工法、地盤の抵抗力を増す工法等がある。各工法の概要と特徴を比較表に記述した。なお、工事費については、表記できる工法のみとした。

護岸(岸壁)補強工法については、「港湾空港技術研究所資料Ｎｏ．１１４５」に多くの工法が記載されている。これら工法も含めて選定するのが望ましい。

また、備考欄は、資料を提供した委員の所属団体（会社、協会、研究会等）名を記載した。なお、各工法のリンク先も記載しているが、リンク先が協会や研究会にある場合は、それらを優先して記入している。

１．３．４　桟橋補強工法

桟橋の補強工法には、基礎杭を補強部材で結合して桟橋の剛性を高める工法、基礎杭を増す工法、部材自体を補強する工法、地盤の抵抗力を増す工法等がある。

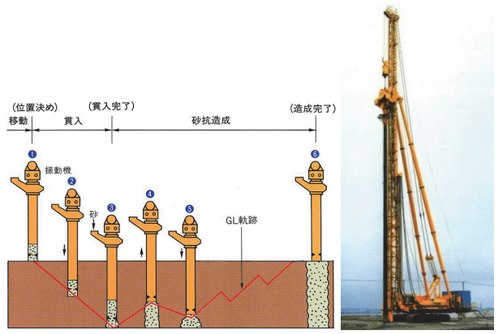
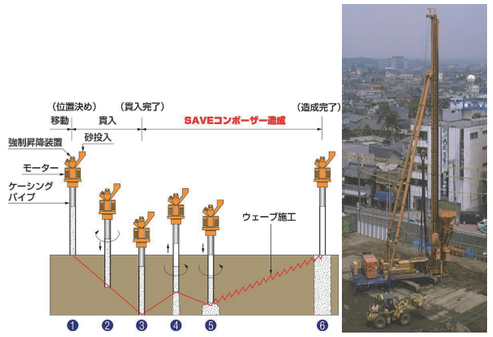
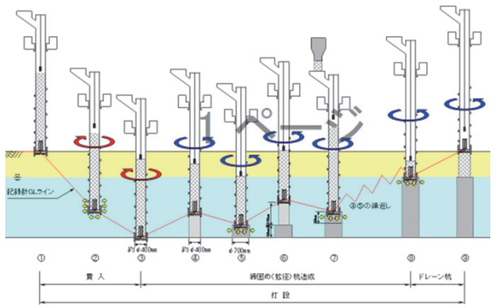
桟橋に対する補強工法選定では、海底の状況、桟橋の稼働状況、船舶の航行条件等が大きな要素となる場合も多い。各工法の概要と特徴を比較表に記述した。なお、概算工事費については、表記できる工法のみとした。

また、備考欄は、資料を提供した委員の所属団体（会社、協会、研究会等）名を記載した。なお、各工法のリンク先も記載しているが、リンク先が協会や研究会にある場合は、そちらを優先して記入している。

１．３．５　その他工法

その他の工法として、敷地内道路の段差抑制や段差対策工法、現在実績は殆どないが液状化対策の新工法として提案されている工法を表記した。

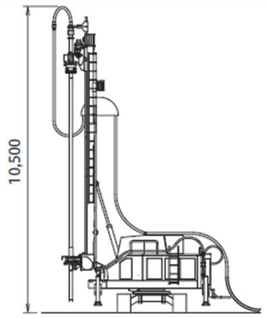
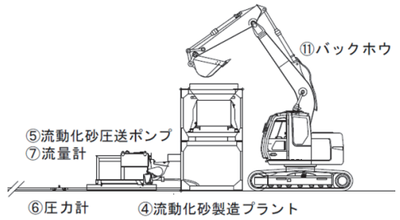
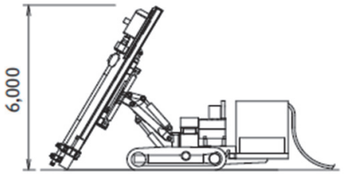
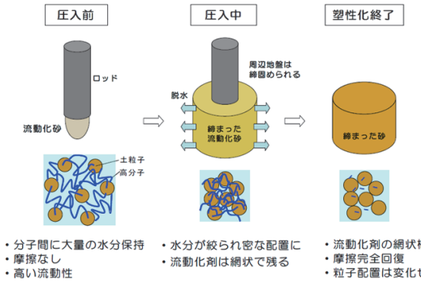
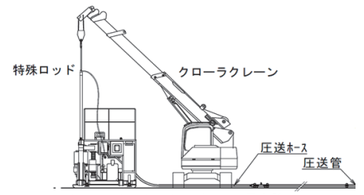
表－1．1　地盤改良工法（密度増大工法）（1）

工　法		サンドコンパクションパイル工法	SAVEコンポーザー工法	SDP-N工法
協会 / 研究会			SAVEコンポーザー工法研究会	SDP工法研究会
工法の概要		 地盤中に振動機（バイブロハンマー）を用いてケーシングを貫入させ、所定の深度よりこれを引き抜き、材料である砂などを排出し、更にこれを打ち戻すことにより良く締め固めた砂杭を造成する。緩い砂地盤に対しては密度の増加により地盤全体を締固め、粘性土地盤に対しては粘性土と砂杭の複合地盤を形成し地盤を強化する。陸上および海上など幅広く様々な環境に置いて適用されている。	 地盤中に油圧式の強制昇降装置と回転駆動装置を用いた回転圧入施工によりケーシングを貫入させ、材料砂の排出打ち戻しを細かく行う「ウェーブ施工」により締め固めた砂杭を造成する静的なサンドコンパクションパイル工法（静的締固め砂杭工法）。 ※NETIS登録：CB-980039-V「平成22年度推奨技術（新技術活用システム検討会議〈国土交通省〉）」	  回転駆動装置と強制貫入装置を組み合わせた回転貫入装置により、軟弱地盤にケーシングパイプを静的に貫入させ、改良杭造成時においても改良材の排出・打戻しを静的に行い、拡径された締固め杭を造成する環境に配慮した低振動低騒音式の静的締固め地盤改良工法である。砂質地盤としては液状化対策として、粘性土地盤においては支持力の増加などの地盤の安定性を向上させる工法として使用することが可能である。 NETIS登録：KTK-100012-V 建設技術審査証明（一般土木工法）第34号
特　徴		◆長所 ・粘性土、砂質土など殆ど全ての地盤に対して効果を有する。 ・締固めによる密度の増加、地盤の水平抵抗の増加、複合地盤によるせん断抵抗の増加および沈下量の低減、ドレーンとしての圧密促進など様々な改良効果を併せ持つ。 ◆留意点 ・騒音、振動および周辺構造物の変位などの周辺環境への配慮が必要となる。 ・粘性土に対しては打設直後に乱れの影響がある（1～3ヶ月程度で強度を回復する）。	◆長所 ・施工される砂杭強度及び改良効果はサンドコンパクションパイルと同等である。 ・バイブロを用いず強制昇降装置を用いて静的に締固めることから、振動・騒音を発生させない。 ・バイブロを用いないため打設による乱れの影響が少ない。 ◆留意点 ・バイブロ式のコンポーザーと比較すると施工能率が落ちるためやや割高になる。	◆長所 ・施工される砂杭強度及び改良効果はサンドコンパクションパイルと同等である。 ・バイブロを用いず強制貫入装置を用いて静的に締固めることから、打設による乱れの影響が少ない。 ◆留意点 ・バイブロ式のコンポーザーと比較すると施工能率が落ちるためやや割高になる。
使用機械		クローラー式サンドパイル打機（リーダー式120kW），発動発電機（350kVA），空気槽（7kg/cm^2，3m^3），空気圧縮機（10.6m^3/min），トラクタショベル（0.8m^3）	SAVEコンポーザー施工機（リーダー式120kW），発動発電機（400kVA），空気圧縮機（0.7MPa，18～19m^3/min），ホイールローダ（1.2m^3），施工管理計	SPD-N施工機（リーダー式120kW），発動発電機（400kVA），空気圧縮機（0.7MPa，18～19m^3/min），ホイールローダ（1.2m^3），施工管理計
狭隘部での施工	施工時の最小幅	12m程度	12m程度	12m程度
	空頭制限	標準機の場合　打設長＋15m程度	標準施工　打設長＋10m程度 小型施工機11m程度（継足施工）	標準機の場合打設長＋15m程度
標準施工ヤード		20m×50m程度（組立・解体ヤード含む）	20m×50m程度（組立・解体ヤード含む）	30m×50m程度（組立・解体ヤード含む）
適用土質		砂質土　：　N値20以下（20以上の場合は貫入補助） 粘性土　：　N値10程度以下	砂質土　：　N値20以下（20以上の場合は貫入補助） 粘性土　：　N値10程度以下	砂質土：N値20以下（20以上の場合は貫入補助）
適用深度		45m程度	45m程度	20m程度
施工角度		鉛直	鉛直	鉛直
有効径（mm）		ケーシングパイプ径：φ400mm（標準） 出来上がり径　　：φ700mm（標準）	ケーシングパイプ径　：　φ400mm 出来上がり径　　：　φ700mm	ケーシングパイプ径：φ400mm 出来上がり径：φ700mm
標準施工能力		150m/日～160m/日　※1	110m/日～140m/日　※1	110m/日～140m/日　※1
概算施工単価（直工、材料込み）		6,000円/m～7,000円/m　※1　※2	8,000円/m～9,000円/m　※1　※2	8,000円/m～9,000円/m　※1　※2
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		21,000千円　※2　※3 （φ700,□1.9m×1.9m：279本）	30,000千円　※2　※3 （φ700,□1.9m×1.9m：279本）	30,000千円　※2　※3 （φ700,□1.9m×1.9m：279本）
施工実績（2015年7月現在）		一般工法として広く適用されている	1000件以上 （2015年4月現在）	40件
備　考	（資料提供者所属名）	（株）不動テトラ	（株）不動テトラ	SDP工法研究会
	（参考リンク先）	http://www.fudotetra.co.jp	http://www.fudotetra.co.jp	http://www.aomi.co.jp/

※1）改良長5～20mの範囲で幅を持たせて記入した。　※2）中詰め材は砂4500円/m3を想定

※3）改良率（打設ピッチ）は建築基礎構造設計指針によるFL判定において，350gal　で　全深度　FL＞1を満足する仕様とした。（ただし，SCPと同様の圧入式施工法ではC=1.2を見込んだ。）

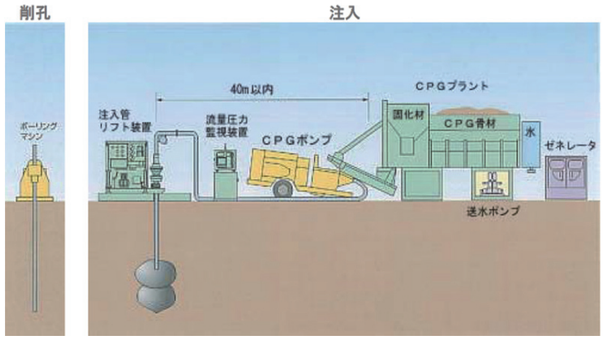
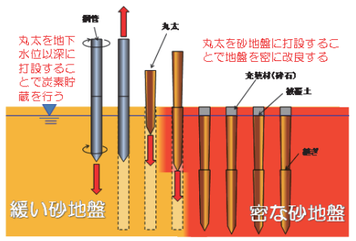
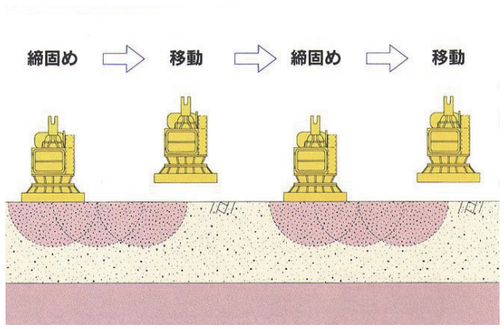
表－1．1　地盤改良工法（密度増大工法）（2）

工　法		SAVE－SP工法		
		超小型クローラータイプ機	ロータリーパーカッションタイプ機	ボーリングマシンタイプ機
協会／研究会		SAVE-SP工法研究会		
工法の概要		     圧送可能にした砂を小型施工機のロッドを通じて地盤内に圧入することにより、緩い砂地盤の締固めをおこなう工法である。圧入材料はSCP工法などに用いられる砂を、専用プラントにて流動化剤と混連し、ポンプ圧送可能な状態にして使用する。所定の深度まで貫入されたロッドを通じて地中に圧入され周辺の地盤を締め固める。圧入された砂は、排出時の脱水および添加された遅効性塑性化剤の作用で流動性が消失し、よく締まった状態で地中に存置される。 ※NETIS登録：SKK-090002-VE（平成26年度活用促進技術）		
特　徴		◆長所 ・小型施工機の使用により狭隘地や桟橋上からの施工も可能。 ・斜め施工（0～60°）や硬質地盤層等の貫入にも対応できるため、既設構造物直下の施工も可能。 ・自然材料（砂）を使用することで環境に優しく、原地盤とのなじみも良い。 ◆留意点 ・既設構造物近傍での施工に際しては、施工時の変位影響に注意する必要がある。		
使用機械		SAVE-SP施工機（超小型クローラタイプ機）×2台，施工管理装置，流動化砂製造プラント（12m³/h），流動化砂圧送ポンプ（7.0m³/h，10.7MPa），発動発電機（300kvVA），バックホウ・クレーン機能付き（0.45m³），バックホウクレーン機能付き（0.28m³）	SAVE-SP施工機（ロータリーパーカッションドリルタイプ機）×2台，施工管理装置，流動化砂製造プラント（12m³/h），流動化砂圧送ポンプ（7.0m³/h，10.7MPa），発動発電機（300kVA），バックホウ・クレーン機能付き（0.45m³），バックホウクレーン機能付き（0.28m³）	SAVE-SP施工機（ボーリングマシンタイプ機）×2台，補助クレーン4.9t吊り×2台，施工管理装置，流動化砂製造プラント（12m³/h），流動化砂圧送ポンプ（7.0m³/h，10.7MPa），発動発電機（300kvVA,65/75kVA），バックホウクレーン機能付き（0.45m³）
狭隘部での施工	施工時の最小幅	5m程度	5m程度	5m程度
	空頭制限	20m程度	6m程度	4m程度（補助クレーン不使用時）
標準施工ヤード		施工ヤード　：　5m×10m程度 プラントヤード　：　12m×12m程度	施工ヤード　：　10m×10m程度 プラントヤード　：　12m×12m程度	施工ヤード　：　10m×10m程度 プラントヤード　：　12m×12m程度
適用土質		砂質土N値20程度以下	砂質土N値20程度以下（貫入はN>50も可）	砂質土N値20程度以下（貫入はN>50も可）
適用深度		20m程度	40m程度	25m程度
施工角度		鉛直	鉛直、斜め	鉛直、斜め
有効径（mm）		ロッド径　　：　φ130mm 換算改良径　：　φ700mm程度	ロッド径　　：　φ96mm 換算改良径　：　φ700mm程度	ロッド径　　：　φ90mm 換算改良径　：　φ700mm程度
標準施工能力 ※1		50m/日～60m/日（1プラント2マシン）	40m/日～60m/日（1プラント2マシン）	40m/日～60m/日　（1プラント2マシン）
概算施工単価 ※1 ※2 （直工、材料込み）		28,000円/m～30,000円/m	31,000円/m～38,000円/m	29,000円/m～35,000円/m
◆モデルケース（P.5参照）での 概算直接工事費 ※2 ※3		94,000千円　（1プラント2マシン） （φ700,□1.9m×1.9m：279本）	117,000千円　（1プラント2マシン） （φ700,□1.9m×1.9m：279本）	108,000千円　（1プラント2マシン） （φ700,□1.9m×1.9m：279本）
施工実績 （2015年7月現在）		93件 （2015年5月研究会実績）		
備　考	（資料提供者所属名）	（株）不動テトラ		
	（参考リンク先）	http://www.fudotetra.co.jp		

※1)改良長5～20mの範囲で幅を持たせて記入した。　※2)中詰め材は砂4500円/m3を想定

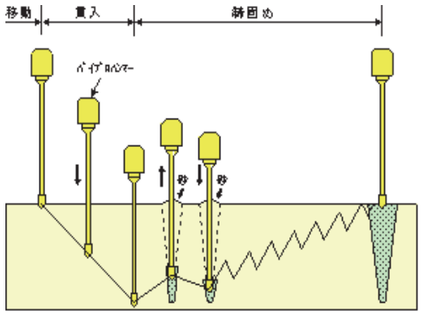
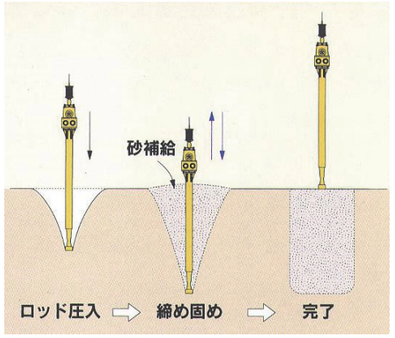
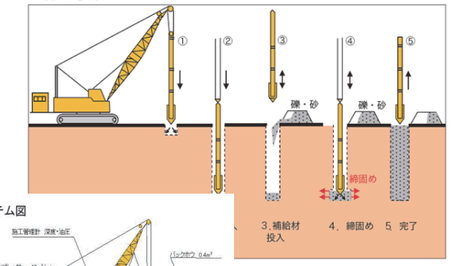
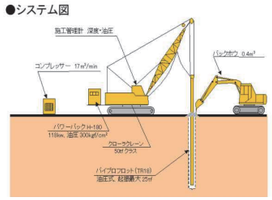
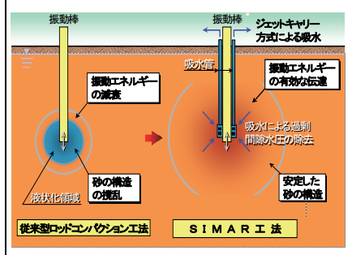
※3)改良率（打設ピッチ）は建築基礎構造設計指針によるFL判定において，350gal　で　全深度　FL＞1を満足する仕様とした。（ただし，SCPと同様の圧入式施工法ではC=1.2を見込んだ。）

表ー1．1　地盤改良工法（密度増大工法）（3）

工　法		コンパクショングラウチング工法	丸太打設液状化対策＆カーボンストック工法(LPーLiC工法)	バイブロタンパー工法
協会 / 研究会		静的圧入締固め工法（CPG工法）研究会	木材活用地盤対策研究会	ー
工 法 の 概 要		 極めて流動性の低いモルタルなどの注入材を地盤に注入し、地盤を押し広げることで締固め、密度を増大させ地震時の液状化を防止する工法。 ※NETIS登録：KTK-140005-A	 狭隘地における小型重機による施工状況  LP-LiC工法の液状化対策原理 ・鋼管で先行圧入後，丸太を圧入し，地盤を密実化する． ・丸太は地下水位以下では，生物劣化しない． ・地下水位以浅の丸太頭部は被覆土などで，生物劣化対策を施すので，長期耐久性を確保できる． 丸太を地盤中に圧入することで、地盤の密度を増大させ液状化抵抗を増強すると同時に、丸太で地中に森をつくり、CO_2を貯蔵し地球温暖化抑制も実現する工法	 砂質地盤の支持力の増大を図る表層締固め工法の一種で、強力な振動機と大型のタンパーとの組み合わせた密度増大工法であり、表層地盤を締め固めを対象としたものである。クローラークレーンにバイブロハンマーを直結したダンパーを吊りながら地表面を締固める。
特　徴		◆長所 ・特殊ポンプを用いた静的圧入により、無振動、低騒音で地盤を締固める。 ・地盤／構造物変位が小さく、既設構造物にも適用可能。 ・小型ボーリングマシンが設置できる程度の作業空間で施工可能。 ・対象地盤の上部に硬い地盤が存在しても適用可能。 ◆留意点 ・砂杭による締固めに比べ、工費・工期ともに大きい。 ・改良域に固化体（異物）を造成することになるため、後の土地利用で障害となる場合がある。	◆長所 【液状化対策効果】信頼性の高い密度増大を原理とし，確実な液状化対策ができる． 【炭素貯蔵効果】炭素を地中に長期間貯蔵できる． 【省エネルギー効果】セメントや鉄などに比べ製造加工のエネルギが小さく省エネルギーな工法である． 【周辺環境に対する効果】低振動・低騒音かつ周辺変位の影響がほとんどなく狭隘地での施工が可能である．建設残土も発生しない． 【間接的効果】国産木材の未利用材を積極的に利用でき，森林再生，林業活性化，地域の活性化に貢献する． ◆［留意点］ ・丸太が、埋設物施工時の支障になる場合がある．	◆ 長所 ・機動性に優れ、施工能率もよいため安価である。 ・コンポーザーやバイブロロッドなどと併用することにより深層から表層に至る締固めを確実に行うことができる。 ◆留意点 ・振動、騒音の影響が大きく市街地などでの施工は困難である。 ・対象深度の深い改良には不適。
使 用 機 械		削孔機：ボーリングマシン（油圧式11kW），送水ポンプ，水中ポンプ，発電機，クレーン装置付きトラック 注入機：CPGプラント，CPGポンプ×2，注入管リフト装置×2，発電機，クレーン装置付きトラック	小型のリーダー式杭打機で施工可能 BA100−2（もっとも小さい機種；最大圧力60kN，幅約2.3m，奥行き約4m，高さ約2.8m，施工時高さ約10m，重量11.5t）など	マンモスバイブロタンパー施工機（リーダー式4㎡タイプ120kW），発動発電機（350kVA），トラクタショベル（1.2m³）
狭隘部での施工	施工時の最小幅	5m程度	5m程度	12m程度
	空頭制限	4m程度（補助クレーン不使用時）	10m	25m程度
標 準 施 工 ヤ ー ド		施工ヤード　：　5m×10m程度 プラントヤード　：　12m×12m程度	10m×10m程度（機械の施工と丸太置き場） 戸建住宅の敷地など狭隘地で十分に施工可能	20m×50m程度（組立・解体ヤード含む）
適 用 土 質		砂質土N値20程度以下（貫入はN>50も可）	液状化対策の対象層：N値≦20，砂質土・細粒分含有率FC≦50%， 打設対象層：礫混じり土より細粒な地盤，N値≦40	砂質土
適 用 深 度		20m程度	深度12mまで	3m～（5m）（改良効果が及ぶ深度） タンパーサイズにより変動
施 工 角 度		鉛直、斜め	鉛直	鉛直
有 効 径 （mm）		φ700mm相当	0.13m～0.17m（丸太末口呼び径）	□2.0×2.0m （□3.0×3.0m）
標 準 施 工 能 力		30m/日～40m/日 （1プラント2マシン，削孔注入ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞﾏｼﾝ）	1日当り丸太打設箇所 20～60箇所（改良深度，土質による）	タンパーサイズ，転圧時間，転圧回数により変動 300m²/日（タンパーサイズ2.0×2.0m，30秒2回転圧）
概 算 施 工 単 価 （直工、材料込み）		29,000円/m～35,000円/m	6,000円/m³～13,000円/m³	1,400円/m²（タンパーサイズ2.0×2.0m，30秒2回転圧）
◆モデルケース（P.5参照）での 概 算 直 接 工 事 費		108,000千円 （1プラント2マシン） （φ700,□1.9m×1.9m：279本）	107,200千円 ※3 （丸太2本継、下丸太φ160、上丸太φ150、0．4m間隔、6250箇所）	1,400千円/m²（タンパーサイズ2.0×2.0m，30秒2回転圧）
施 工 実 績 （2015年7月現在）		143件 （2015年3月研究会実績）	15件 （2016年2月現在）	20件程度
備　考	（資料提供者所属名）	（株）不動テトラ	飛島建設（株）	（株）不動テトラ
	（参考リンク先）	http://www.cpg-kouhou.jp/g_system.html	http://www.tobi-tech.com/tech/carbon_stock.htm	http://www.fudotetra.co.jp

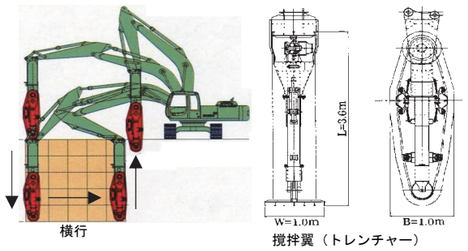
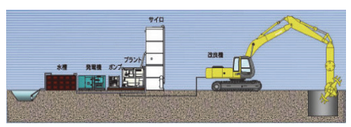
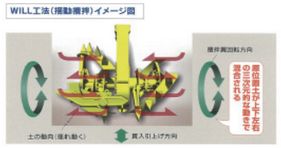
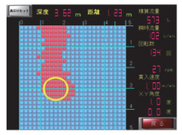
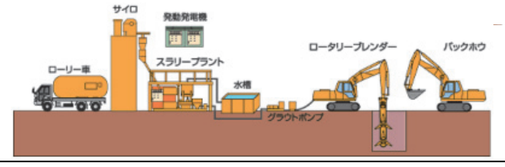
※1)改良長5～20mの範囲で幅を持たせて記入した。　　※2)中詰め材は砂4500円/m3を想定

表－1．1　地盤改良工法（密度増大工法）（4）

工　法	SVS工法	バイブロロッド工法（ロッドコンパクション工法）	ディープバイブロ工法	SIMAR（シマール）工法
協会 / 研究会		―	バウアー工法研究会　ディープ・バイブロ委員会	―
工 法 の 概 要	 緩い砂質地盤内に地表面から砂等を補給しながら、バイブロハンマーと先端振動体（バイブロフロット）を装備した圧入ロッドを、地盤中で貫入・引き抜きを繰り返すことで振動を与え地盤全体を締固める工法である。砂質地盤の相対密度を高め、せん断抵抗を増し液状化防止を行う。	 バイブロハンマーに接続した各種の特殊圧入ロッドを振動圧入することによって、緩い砂質地盤を締め固める工法で、ロッドの先端および側面形状によりNFコンパクション工法、KFコンパクション工法の2つのタイプがある。	●施工手順  ●システム図  高周波大容量バイブロフロットを用いて周辺地盤や補給材を締め固め、地盤の密度を高める。	  既存の振動棒締固め工法（ロッドコンパクション）に吸水機構を付加した工法であり、吸水しながら締固めることでロッド加振時に発生する過剰間隙水圧の消散が図られ、ロッドの振動エネルギーを確実に地盤に伝達させることが可能となり、締固め改良効果が飛躍的に向上する。従来技術と比較して施工ピッチが拡大できるので、工期短縮とコストダウンが可能である。また、吸水機構にジェットキャリー方式を用いることで、真空ポンプでは成し得ない高揚程での安定吸水が可能である。 ＊NETIS登録：TH-990039
特　　徴	◆長所 ・補給材に現地発生土が利用できる。 ・陸上SCPと比較して施工能力が高くなるため、経済的である。 ・液状化防止に効果的である。 ◆留意点 ・振動・騒音の影響が大きい。 ・改良地盤に粘性土層が存在する場合は、下層部へ補給材の供給を妨げられる恐れがある。	◆長所 ・液状化防止に効果的である。 ・施工機械が機動性に富み、施工能率が高い経済的な工法である。 ・使用材料に現地土が利用できる。 ◆留意点 ・細粒分が多いと改良効果が低下する。 ・改良対象土層上に粘性土層が挟んでいる場合は材料の供給ができない場合がある。 ・材料の使用量の管理が難しい（試験施工等で確認）。	◆長所 ・低騒音、低振動 ・周辺地盤の変状が小さいため、既設構造物や山留め近傍での施工が可能。 ・ベースマシンがクローラークレーンであるため、比較的機動性に優れている。 ◆留意点 ・細粒分が多い地盤では、改良後のN値が上昇しにくい。 ・低拘束圧条件では、密度があがりにくい。	◆長所 ・振動締固め時にロッド周辺で発生する過剰間隙水圧を吸水により消散させ、高品質な締固めが可能。 ・締固め有効範囲の拡大により施工ピッチが拡大され、工費削減と工期短縮が可能。 ・砂杭を地中に造成する工法ではないため、良質の購入砂が不要。 ・ジェットキャリー式吸水システムの採用により、吸水部の目詰まり解消と高揚程の吸水が可能である。 ◆留意点 ・騒音、振動及び周辺構造物の変位等、周辺環境への配慮を要する。 ・細粒分含有率Fcが30%以下の地盤の場合には、適用が困難である。
使 用 機 械	クローラー式サンドパイル打機（リーダー式120kW），発動発電機（350kVA），トラクタショベル（0．8m³）	クローラー式サンドパイル打機（リーダー式120kW），発動発電機（350kVA），トラクタショベル（0.8m³）	クローラークレーン（標準50tクラス）*深度が浅ければラフタークレーンも使用可能。バイブロフロット（最大起振力25t）、コンプレッサー（17m³/min）、バックホウ（0.4m³）	クローラ式SIMAR施工機（リーダー式120kW）、バイブロ（150kW）、発動発電機（600kVA）、ホイールローダ（1.0m³）、グラウトポンプ（110kW）、発動発電機（220kVA）、水槽、施工管理計
狭隘部での施工 施工時の最小幅	12m程度	12m程度	8m程度(50t吊クラス使用)	12m程度
狭隘部での施工 空頭制限	標準機の場合打設長＋15m程度	標準機の場合　打設長＋15m程度	打設長＋5m程度	打設長＋15m程度
標 準 施 工 ヤード	20m×50m程度（組立・解体ヤード含む）	20m×50m程度（組立・解体ヤード含む）	20m×20m	20m×50m程度（組立・解体ヤード含む）
適 用 土 質	砂質土：N値20以下	砂質土 ： N値20以下	砂質土	砂質土：N値20以下 （細粒分含有率Fc30%以下）
適 用 深 度	20m程度	20m程度	最大20m	45m程度
施 工 角 度	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直
有 効 径 （mm）	出来上がり径：600mm程度	出来上がり径 ： 600mm程度	650mm	出来上がり径：φ600mm
標 準 施 工 能 力	230m/日～250m/日 ※1	260m/日～330m/日 ※1	130m/日 ※1	250m/日程度 ※1
概 算 施 工 単 価 （直工、材料込み）	3,800円/m ※1 ※2	5,000円/m ※1 ※2	4,800円/m ※1 ※2	5,000円/m ※1 ※2
◆モデルケース（P.5参照）での 概 算 直 接 工 事 費	22,200千円 ※2 （φ600，□1.5m×1.5m：449本）	30,000千円 ※2 （φ600,□1.5m×1.5m：449本）	22,000千円 ※2	18,000千円 ※2 （□2.4m×2.4m：179本）
施 工 実 績 （2015年7月現在）	56件	50件程度	69件	13件
備　考 （資料提供者所属名）	日本海工(株)	(株)不動テトラ	(株)安藤・間	前田建設工業(株)、(株)ミヤマ工業
備　考 （参考リンク先）	http://www.nipponkaiko.co.jp/	http://www.fudotetra.co.jp	http://www.bauer-kouhou.com/dv.html	https://www.maeda.co.jp/tech/all/td0031.html

※1)改良長5～20mの範囲で幅を持たせて記入した。　※2)中詰め材は砂4500円/m3を想定

表ー1．2　地盤改良工法（機械撹拌工法・中層混合処理工法）（1）

工　法		パワーブレンダー工法	WILL工法（スラリー撹動撹拌工法）	SCM工法
協会／研究会		パワーブレンダー工法協会	WILL工法協会	SCM工法協会
工法の概要		 横行　　撹拌翼（トレンチャー） スラリー或いは粉体の固化材を先端から噴射するトレンチャー撹拌装置により、軟弱地盤と固化材を垂直連続撹拌混合して、所定の強度のソイルセメントを造成する工法。 ※NETIS登録：CB-980012-V（平成23年度推奨技術）（設計比較対象技術）	    本工法は、バックホウタイプベースマシンの先端に取り付けた特殊な撹拌翼より、スラリー状の固化材や改良材を注入しながら、固化材と原位置土を強制的に撹動撹拌混合し、安定した改良体を形成する工法。 2タイプの撹拌翼を使い分けることで、軟弱な粘性土地盤はもとより、N値30を超える締まった砂質土地盤・砂礫地盤にも対応可能である。	 
特　徴		◆長所 ・鉛直方向に撹拌するため、互層地盤であっても強度のばらつきが少ない。 ・バックホウタイプのため、狭隘地や傾斜地盤でも施工可能。 ・帯状、杭式等の改良形式も可能。	◆長所 ・撹動撹拌機構により、改良体に縦方向の回転に加え横方向のエネルギーを与えることで均質な改良体の構築が可能となる。 ・専用管理装置には、深度・回転・吐出量・鉛直性に加え、2次元ナビゲーションシステム型の管理装置を搭載しているため、施工の確実性に優れる。 ・適用土質の幅が他案と比較し広く、対象層に多少礫が含まれる場合でも確実な施工が可能であり、土質によるトラブルの工程遅延等のリスクが少ない。 ・施工機本体はバックホウ型ベースマシンであるため、機動性に優れる（狭隘部の施工、傾斜地での施工が可能）。 ・深度13m程度までの改良が可能。 ・撹拌翼が先端部にのみ装着されているため、斜め施工や障害物を避けての施工が可能。	◆長所 ・バックホウをベースとしているため、機動性に優れている。 ・近接構造物や狭隘地にても効率良く作業が可能である。 ・上下方向に撹拌し、均一な品質の改良体を造成する。 ・専用の管理システムにより、施工の信頼性を向上する。 ・セメント系や石灰系等のあらゆる改良材を使用でき、改良強度を自由に設定することができる。
使用機械		ベースマシン（0.8～1.9m3クラス改造型バックホウ），トレンチャー，施工管理装置，スラリープラント（20m³/h），発動発電機（150kVA），コンプレッサー（2.5m³/min），バックホウ（0.8m³クレーン仕様）	ベースマシン（0.5～1.4m³クラスバックホウ）、撹拌機、サイロ、ミキシングプラント、グラウトポンプ、発動発電機、水槽　他	バックホウ、ロータリーブレンダー、施工監理装置、ミキシングプラント、グラウトポンプ、モルタル流量計、サイロ、水槽
狭隘部での施工	施工時の最小幅	5m程度（斜め配置パラレル施工時）	4m程度	5m程度
	空頭制限	打設長程度	5m～14m （改良深度が5mを超える場合は深度+1m、斜め施工が可能な場合は緩和できるが、施工条件による。）	10m程度
標準施工ヤード		施工ヤード　：20m×20m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：8m×12m程度	プラントヤード：6m×16m程度	幅6m × 長10m 以上 （プラント用地は別途に設けることとする）
適用土質		砂質土：N値≦20程度 粘性土：N値≦10程度	砂質土・砂礫：N値＜40 粘性土：N値＜15 礫径はφ100㎜程度	砂質土：N≦15，　粘性土：N≦5
適用深度		最大13m（1.9m³クラス(ツーピースブーム)改造型）	最大13m	10m以下
施工角度		鉛直（水平・斜め施工の実績もある）	鉛直、斜め施工も可	鉛直のみの適用
有効径（mm）		（有効径の概念はない）	（有効径の概念はない）	1,300mm×1,000mmの長方形
設計強度		quck＝200～1,000kN/m²	設計基準強度100～1,000kN/㎡が多い。 最大2,000kN/㎡程度。	一軸圧縮強さにて1．5MN/m2以下
標準施工能力		200m³/日～350m³/日 ※1 ※2	改良体造成 265m³/日台 程度	200～300m³ ／ 日・台
概算施工単価（直工、材料込）		3,600 ～ 4,100円/m³ ※1 ※2	3,894円/m³（高炉B種 70kg/m³） （材抜き改良費3,101円/m³）	3,000円/m³～7,000円/m³
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り土量		1,000m³（盛上り土量）	≒1,280m³（盛上り土量） 対象土質の性状により変化	1,320m³（盛上り土量）
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		41,000千円 ※2 （4,100円/m³）	32,600千円	42,100千円
施工実績（2015年7月現在）		6,143件 （2015年度末協会実績）	535件 （2014年3月末協会実績）	860件
備　考	（資料提供者所属名）	（株）不動テトラ	（株）ミヤマ工業	ライト工業（株）
	（参考リンク先）	http://www.power-blender.com/	http://www.will-koho.com/	http://www.raito.co.jp/

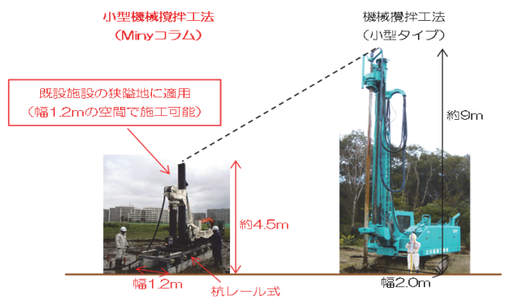
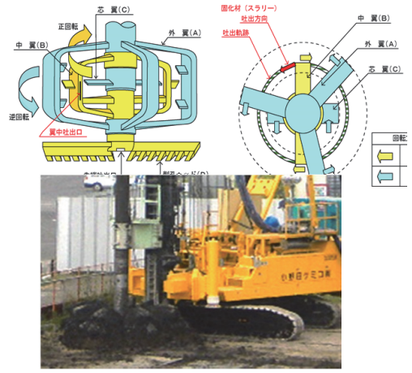
※1）改良長5～20mの範囲で幅を持たせて記入した。 ※2）設計強度quck＝300kN/㎡に対して，高炉セメント100kg/m3を想定した。

表－1．2　地盤改良工法（機械撹拌工法・中層混合処理工法）（2）

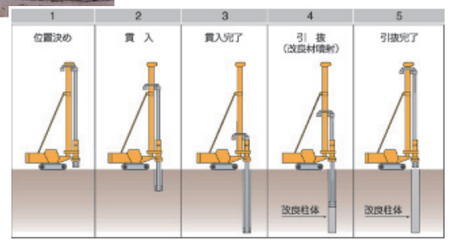
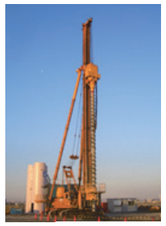
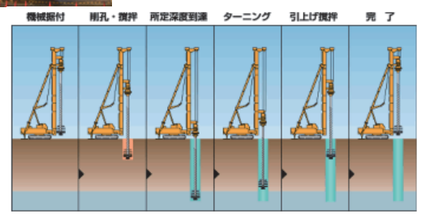
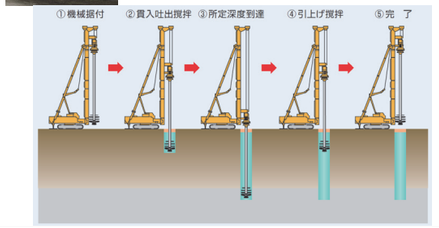
工　法		WinBLADE工法
協会／研究会		―
工法の概要		 地中で開閉可能な小型の撹拌翼により，原位置土とセメントスラリーを撹拌混合し，ソイルセメントコラムを造成する機械撹拌工法。施工の確実性や施工時における周辺への影響が少ないなど，機械撹拌工法の特徴を有しながら，鉛直方向だけでなく斜め方向の施工が可能。また，撹拌翼の開閉により，表層舗装や地中障害物を回避した施工も可能。
特　徴		◆長所　・**地中で開閉可能な小型撹拌翼**による機械撹拌工法。 ・**鉛直，斜め方向，水平方向**の改良体造成が可能。 ・**表層舗装や地中障害物を回避**した施工が可能。 ・独自の監視制御システムにより安定した施工が可能。 ・小型施工機による狭隘部施工対応も可能。 ・施工時の地盤変位など周辺への影響が少ない。 ・施工時の振動はほとんどなし（機械移動時が最大）。 ◆留意点　・騒音は施工機のエンジン音が最大。
使用機械		・施工機械（標準機：RPD-150CLF） ・グラウトミキサー，グラウトポンプ ・セメントサイロ ・バックホウ（整地用）
狭隘部での施工	施工時の最小幅	4m程度（標準機）
	空頭制限	7.5m以上（標準機，鉛直施工時）
標準施工ヤード		施工ヤード（標準機）：4.0m×8.0m以上 プラントヤード　：5.0m×18.0m以上
適用土質		標準適用範囲：砂質土N≦20、粘性土N≦3 礫層での改良は不可（土被り範囲での礫対応は可）
適用深度		10m以下を標準とする ※それ以上の場合は要検討
施工角度		鉛直，斜め（0～90°）
有効径（mm）		φ1,200mm以下 （標準径：1,200mm，800mm）
設計強度		設計基準強度　1.0MN/m^{2}以下を標準とする
標準施工能力 ※1		12m^3/日・台
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		52,000円/m^3 （モデルケース）
◆モデルケース（P.5参照）での 排泥発生量または盛上り土量		盛上り土量359m^3，排泥量606m^3
◆モデルケース（P.5参照）での 概算直接工事費		362,000千円 （中層改良，改良率78.5%，設計強度390kN/m^2）
施工実績 （2015年7月現在）		1件（斜め施工）
備　考	（資料提供者所属名）	大成建設(株)，日特建設(株)の共同開発
	（参考リンク先）	http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/1010/446/DR0G003.pdf

※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表－1．2　地盤改良工法（機械撹拌工法）（3）

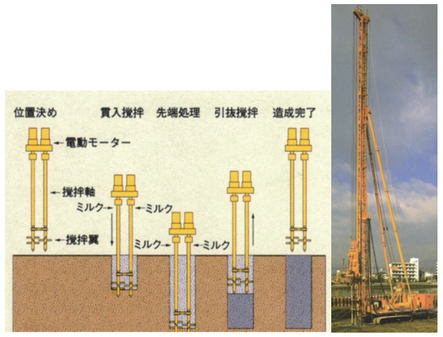
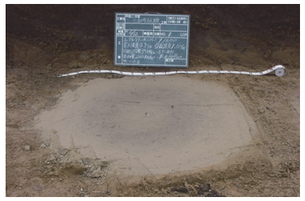
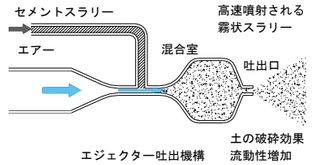
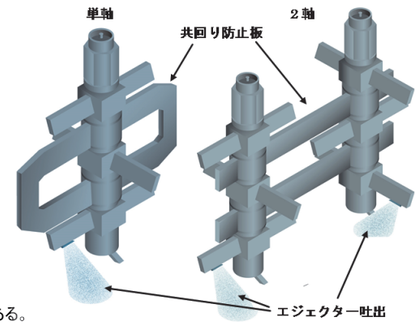
Minyコラム工法	エポコラム工法
―	エポコラム協会
 Minyコラム工法は、施工機の移動方法に**杭レール方式を採用**することで従来工法の**キャタピラが不要**となり、施工機の幅および高さが従来工法と比べ非常に**コンパクト**となり、工場等の既設施設内などの**狭隘地での施工が可能**な工法である。	 低速回転・高トルクの特徴を生かし，篭型の撹拌翼により，大口径の改良が造成される。 複合相対撹拌方式により，改良品質に優れた改良体が造成される。
◆長所 ・**既設施設内の狭隘地**での施工が可能 ・施工機の移動に杭レール方式を採用しており、**幅1．2m**の空間で施工可能 ・専用の管理装置システムにより**信頼性の高い施工**が可能 ・施工条件によって、**改良径および様々な撹拌形式が選定可能** ・動力に電動機を採用しているため、**低振動・低騒音**の施工が可能	◆長所 ・**硬質地盤に適用が可能**（砂質土N≦40、粘性土N≦20、砂礫土N≦40） ・複合相対撹拌のため、改良品質に優れる。 ・**礫質土ので施工が可能である。（礫径300mm以下）** ・**既設杭（RC杭・PC杭・PHC杭：φ450mm程度）の破砕施工が可能**である。 ・排土式施工仕様もある。 ・低振動・低騒音である。
・Minyマルチ専用マシン（W100×L450×H450cm） ・スラリープラント ・グラウトポンプ ・バックホウ他	・三点支持式杭打機（135tクラス） ・スラリープラント ・バックホウ（0.7m^{3}クラス）
1．2m程度	12m以上
4．5m程度（継足施工）	25m以上
施工ヤード　：　2m×8m プラントヤード　：　10m×10m	施工ヤード　：　幅20m×延長50m プラントヤード　：10m×20m（200m^2）
砂質土　：　N＜20 粘性土　：　N＜10	砂質土　：　N≦40 粘性土　：　N≦20 砂礫土　：　N≦40（礫径φ300mm以下）
最大20m	40m程度（継ぎ施工）
鉛直、斜め±45度以内	鉛直のみ
Φ0．6～1．2m×1軸	φ1.5m～2.5m（単軸施工）
砂質土：qu＝2．0MN/m^{2}以下 粘性土：qu＝1．0MN/m^{2}以下	qu≦1,000kN/m^2（qu = 1,500kN/m^{2}の実績あり）
100～240m^3/日・2セット	200～250m^3/日 （1プラント1マシン施工）
10，000円/m^3～12，000円/m^3	5,200円/m^3～18,000円/m^3
3，062m^3（盛上り土量）	1,200m^3（盛上り土量）
118，000千円（接円改良） （φ1．0m：1000本）	55,000千円（φ2.0m：接円配置78.5%） □2.0m×2.0m：250本）
2件	1,497件　（2015年5月現在）
前田建設工業(株)、　(株)ミヤマエ工業	小野田ケミコ（株）
―	http://www.chemico.co.jp/02improvement/category03/epocol.html

表－1．2　地盤改良工法（機械撹拌工法）（4）

工　法		DJM工法	RASコラム工法	RMP－MST工法
協会 / 研究会		DJM工法研究会	RASコラム工法研究会	－
工法の概要		 	  	  
特　徴		◆長所 ・土質と必要強度に応じた改良材を選ぶことができる。 ・粉粒体と土を撹拌混合するのでスラリーに比べ経済的。 ・撹拌効率がよく、品質のばらつきが少ない。 ・管理システムにより施工のコントロールが容易。 ・粉体施工により水を使用せず、排泥処理の必要がない。 ・粉塵の発生が無く、騒音、振動の少ない工法である。	◆長所 ・最大2500mmの大口径改良が可能である。 ・高能力の撹拌ヘッドにより硬質地盤にも対応できる。 ・正逆回転機構にて共回りを解消し高性能の撹拌を行う。 ・ロッドの剛性が大きく垂直精度が向上する。 ・正逆回転機構により、高強度で均質な改良が可能である。 ・施工管理システムにてリアルタイムの管理が可能である。 ・排泥排出がスムーズで、周辺構造物への影響が少ない。	◆長所 ・φ1,600mmの二軸施工であるため一度に大断面の地盤改良が可能で、工期とコストの縮減ができる。 ・新開発の撹拌機構（トルネードウイング）により高い撹拌効率が得られ、より均一で高品質な施工。 ・施工による周辺の変位は、地表面において最大で5mm程度であり、地中部においては地表面の変位より少なく、近接部においても適用が可能。
使用機械		粉体噴射撹拌機、改良材供給機、改良材貯蔵槽、空気圧縮機、圧縮空気除湿機、空気槽、サイロ、水槽	RASコラム改良機、スラリープラント、グラウトポンプ、施工管理装置、サイロ、水槽	RMP－MST改良機、スラリープラント、グラウトポンプ、 施工管理装置、サイロ、水槽
狭隘部での施工	施工時の最小幅	10m以上	12m以上	12m以上
	空頭制限	一般に 30m程度 必要 ※DJM1070機の場合は約10m	25m以上	25m以上
標準施工ヤード		施工ヤード：単軸型は150m^{2}以上，二軸型は500m^{2}以上 プランヤード：単軸型は100m^{2}以上，二軸型は150m^{2}以上	施工ヤード　：15m×50m 以上 プラントヤード　：13m×20m 以上	施工ヤード　：15m×50m 以上 プラントヤード　：13m×20m 以上
適用土質		砂質土：N≦23，粘性土：N≦7	砂質土・礫質土：N≦50，粘性土：N≦20	砂質土：N≦20，粘性土：N≦6
適用深度		33m以下	50m以下	26m以下 （ロッドジョイント施工では40m以下）
施工角度		鉛直のみの適用	鉛直のみの適用	鉛直のみの適用
有効径（mm）		φ1，000mm×二軸 又は 一軸	φ1，600～2，500mm	φ1，600mm×二軸
設計強度		一軸圧縮強さ 0．1～0．6MN/m2程度	一軸圧縮強さ 0．1～2．0MN/m2以下	一軸圧縮強さ 1．5MN/m2以下
標準施工能力 ※1		150m^3 ／ 日・台	200～250m^3 ／ 日・台	300m^3 ／ 日・台
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		6,000円/m^3～10,000円/m^3	5,000円/m^3～10,000円/m^3	4,000円/m^3～9,000円/m^3
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り土量		624m^{3}以下（盛上り土量）	1,565m^3（盛上り土量）	1,565m^3（盛上り土量）
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		63,760千円	41,800千円	53,100千円
施工実績 （2015年7月現在）		5200件	300件	10件
備　考	（資料提供者所属名）	ライト工業（株）	ライト工業（株）	ライト工業（株）
	（参考リンク先）	http://www.djm.gr.jp/	http://www.raito.co.jp/	http://www.raito.co.jp/

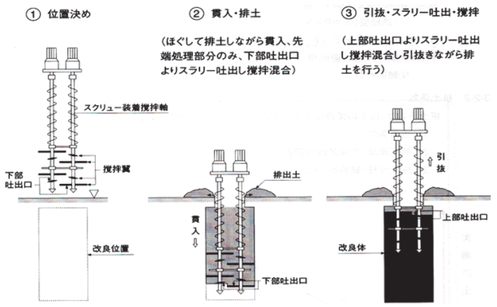
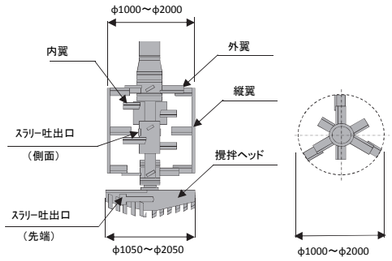
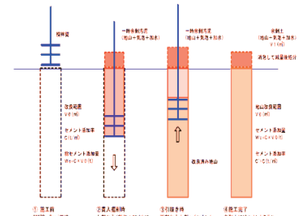
※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表－1．2　地盤改良工法（機械撹拌工法）（5）

工　法		CDM工法	CI－CMC工法	
			（単軸小型施工機）	（2軸施工機）
協会／研究会		CDM研究会	CI－CMC工法研究会	
工法の概要		 安定材をミキシングプラントでスラリー状にし、スラリーポンプで撹拌翼先端まで圧送し、改良範囲の軟弱土を地盤中の原位置で撹拌混合し、所定の強度のパイルを造成する地盤改良工法である。	   エアーを用いてスラリーを霧状に吐出するエジェクター吐出方式を採用する機械撹拌式深層混合処理工法である。 エジェクターによりスラリーの広範囲への均一な散布、撹拌翼の回転負荷の低減を実現し、 大径の改良体を確実かつ効率的に造成することが可能。 ※NETIS登録：QS-980018-V（平成22年度活用促進技術）（設計比較対象技術）	
特　徴		◆長所 ・改良目的に応じて適切な仕様（改良形式・改良強度・施工機械）の選定ができる。 ・短期間で所要強度が得られるので、工期短縮が可能。 ◆留意点 ・機械撹拌のため、構造物に密着した施工は不可能。	◆長所 ・撹拌効率が向上し、ばらつきの極めて小さい大径の改良体を造成可能。 ・貫入能力が向上し、貫入抵抗の大きい地盤においても撹拌混合が可能。 ・エアリフト効果により、周辺の変位を大幅に低減できる。 ◆留意点 ・機械撹拌のため、構造物に密着した施工は不可能。	
使用機械		深層混合処理機（45～90kw2軸），スラリープラント（10～20m³/h），発動発電機（300～600kVA），発動発電機（125～150kVA，バックホウ（0.6m³）	CI-CMC施工機（小型クローラ），スラリープラント（20m³/h），発動発電機（150kVA），空気圧縮機（10.5～11m³/分），バックホウ（0.45m³）	CI-CMC施工機（90kw×2軸），スラリープラント（40m³/h），発動発電機（600kVA），発動発電機（200kVA），空気圧縮機（10.5～11m³/分），バックホウ（0.8m³×2台）
狭隘部での施工	施工時の最小幅	12m程度	6m程度	12m程度
	空頭制限	標準施工　打設長＋10m程度 小型施工機　11m程度（継足施工）	10m程度（継打施工） 6.5m程度（継打施工特殊短尺ロッド）	標準施工　打設長＋10m程度
標準施工ヤード		施工ヤード　：20m×50m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：10m×20m程度	施工ヤード　：12m×15m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：10m×15m程度	施工ヤード　：20m×50m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：10m×20m程度
適用土質		砂質土　：N値≦15程度(最大30) 粘性土　：N値≦8程度（最大10）	砂質土　：N値≦17程度 粘性土　：N値≦　4程度	砂質土　：N値≦25程度(最大35) 粘性土　：N値≦　8程度（最大10）
適用深度		最大45m	最大17m	最大45m
施工角度		鉛直	鉛直	鉛直
有効径（mm）		φ1，000mm×2軸（1.5㎡）	φ1，300mm×単軸	φ1，600mm×2軸
設計強度		quck＝200～1,000kN/㎡程度	quck＝200～1,000kN/㎡	quck＝200～1,000kN/㎡
標準施工能力 ※1 ※2		90m³/日～160m³/日（φ1,000×2軸）	80m³/日～100m³/日 （φ1300×単軸，L≦17m）	200m³/日～300m³/日 （φ1600×2軸）
概算施工単価 ※1 ※2 （直工、材料込）		5,000円/m³～7,000円/m³	6,000円/m³～7,000円/m³ （φ1300×単軸，L≦17m）	4,000円/m³～5,000円/m³ （φ1600×2軸）
◆モデルケース（P.5参照）での 排泥発生量または盛上り土量		1,000m³（盛上り土量）	1,000m³（盛上り土量）	1,000m³（盛上り土量）
◆モデルケース（P.5参照）での 概算直接工事費 ※2		64,000千円（接円83%改良） （□1.8m×1.0m：560本）	60,000千円（接円78.5%改良） （□1.3m×1.3m，φ1300×単軸：593本）	46,000千円（接円78.5%改良） （□1.6m×1.6m，φ1600×2軸：397本）
施工実績 （2015年7月現在）		5,002件 （2015年3月研究会実績）	358件 （2012年3月研究会実績）	
備　考	（資料提供者所属名）	（株）不動テトラ	（株）不動テトラ	
	（参考リンク先）	http://www.cdm-gr.com/	http://www.fudotetra.co.jp	

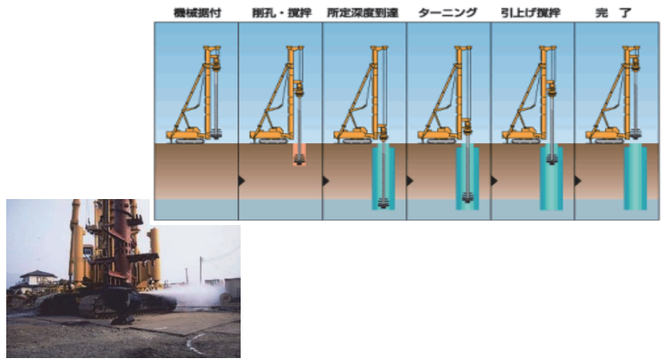
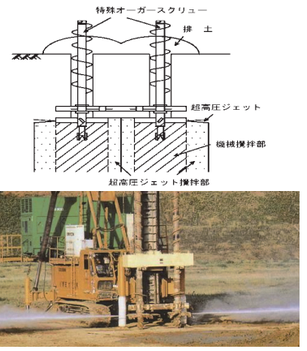
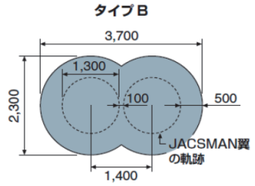
※1）改良長5～20mの範囲で幅を持たせて記入した。　※2）設計強度quck＝300kN/㎡に対して，高炉セメント100kg/m3を想定した。

表－1．2　地盤改良工法（機械撹拌工法）比較表（6）

工　法		CDM－LODIC工法	DCS工法（セメント系深層混合処理）	AWARD-Demi工法
協会 / 研究会		CDM研究会	DCS工法研究会	（一社）気泡工法研究会
工法の概要		 撹拌軸にスパイラルが付いており、貫入時に投入セメント量に相当する土を排土することにより、周辺地盤、構造物に影響を与えることなく施工が可能である。既設構造物、鉄道、主要道路等に隣接した変位の許容値が極端に低いケースで適用。	  DCS工法はスラリー状に混練したセメントあるいはセメント系固化材を原位置地盤に注入しながら、原位置土とスラリーを複合相対撹拌翼により強制的に混合・撹拌を行うことにより、均質な改良体を造成する深層混合処理工法である。	  気泡掘削による深層地盤改良工法 気泡を吐出しながら貫入掘削を行い，気泡のベアリング効果により撹拌混合性が向上した気泡混合土を造成 引抜時に消泡剤を添加したセメントスラリーを添加・撹拌し，気泡を消泡しながら改良体を造成
特　徴		◆長所 ・改良目的に応じて適切な仕様（改良形式・改良強度・施工機械）の選定ができる。 ・短期間で所要強度が得られるので、工期短縮が可能。 ・低変位施工が可能。 ◆留意点 ・機械撹拌のため、構造物に密着した施工は不可能。 ・排土が発生する。	◆長所 ・大口径改良体の造成が可能（φ2000mm） ・優れた撹拌能力により均質性の高い改良体の造成が可能 ・外翼と内翼の逆回転構造により地盤の共回り現象を防止 ・N＞30の硬質地盤へ適用可能（転石maxφ300mm） ◆留意点 ・ベースマシンやプラント設備が比較的規模が大きいため、狭隘部での施工は困難	◆長所 ・気泡の添加により**加水量を低減**できるため，**排泥土量を抑制** ・添加したセメントスラリーが余剰汚泥の一部として流出しないので，**セメント量を削減** ・**施工効率の向上** ・**改良体品質**の向上 ・**周辺環境への負荷低減** することができる**環境配慮型**のコストパフォーマンスに優れた工法
使用機械		深層混合処理機（45～90kw2軸），スラリープラント（10～20m³/h）， 発動発電機（300～600kVA），発動発電機（125～150kVA，バックホウ（0.6m³）	（施工ヤード）　：　ベーマシン（ｸﾛｰﾗｰ式 85t～135tｸﾗｽ）、バックホウ （プラントヤード）：スラリープラント、固化材サイロ、圧送、水槽、 発動発電機、DCS工法専用管理装置	深層地盤改良工法機械一式，気泡プラント，消泡剤プラント， グラウトポンプ，流量計
狭隘部での施工	施工時の最小幅	12m程度	12m程度	深層地盤改良工法機械に準じる
	空頭制限	標準施工　打設長＋10m程度	打設長＋10m程度	深層地盤改良工法機械に準じる
標準施工ヤード		施工ヤード　：　20m×50m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード　：　10m×20m程度	ﾌﾟﾗﾝﾄﾔｰﾄﾞ　：　150㎡～200㎡ 施工ヤード　：　30m×30m以上	プラント　：　２０m×８m程度
適用土質		砂質土　：　N値≦15程度(最大30) 粘性土　：　N値≦　8程度(最大10)	砂質土　N≦40（施工径により変動する） 粘性土　N≦15（施工径により変動する）	概ね，粘性土：N値≦２０，砂質土：N値≦５０ （使用する深層地盤改良工法の施工機械によって決まる）
適用深度		40m程度（継足施工45m程度）	最大深度36m（伸縮施工）	４０m
施工角度		鉛直	鉛直	鉛直
有効径（mm）		φ１，000mm×２軸，φ１，200mm×２軸，φ１，300mm×２軸	φ１，000mm～２，000mm	φ５００～２，５００（多軸機にも対応）
設計強度		quck＝200～1,000kN/㎡	特に制限はない（実績：最大設計強度Fc=2,000KN/㎡）	砂質土　：　５００～２，０００kN/m² 粘性土　：　３００～１，５００kN/m²
標準施工能力 ※1		80m³/日～140m³/日（φ1,000×２軸）　※2	60m³～210m³/日（施工径により変動する）	掘削速度　：　１．０m/min以下 引上速度　：　１．０m/min以下
概算施工単価（直工、材料込） ※1		6,000円/m³～8,000円/m³　※2	11,000円/m³	排泥処理費を含まない施工単価は従来工法と概ね同程度以下， **排泥処理費が低減（◿40～60%）**
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り土量		1,400m³（盛上り土量）	5,350m³	５５４m³（盛上り土量）
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		78,000千円（接円83%改良） （□1.8m×1.0m：560本）　※2	144,000千円 （φ2000mm、427本、改良率100%、排泥処理含まず）	６４，０００千円（接円８３%改良） （□1．8m×1．0m：560本）
施工実績（2015年7月現在）		780万m³以上（2015年度末研究会実績）	148件	２ 件
備　考	（資料提供者所属名）	(株)不動テトラ	(株)安藤・間/青山機工(株)	（一社）気泡工法研究会
	（参考リンク先）	http://www.cdm-gr.com/	http://www.dcs-koho.jp/index.htm	http://exaward.com/index.php?AWARD-Demi

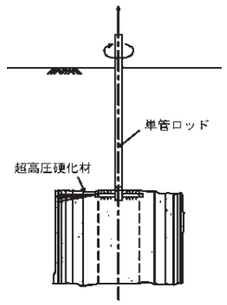
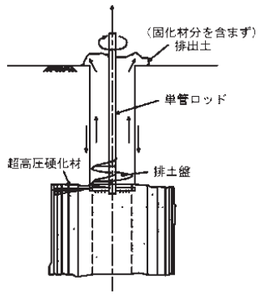
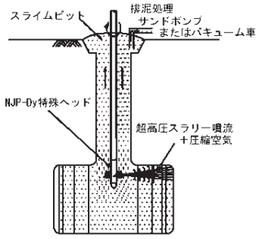
※1）改良長5m～20mの範囲を想定　　※2)設計強度quck＝300kN/㎡に対して，高炉セメント100kg/m3を想定した。

表－1．3　地盤改良工法（高圧噴射併用機械撹拌工法）

工　法		RAS－JET工法	SDM-Dy工法	JACSMAN工法
協会 / 研究会		RAS-JET研究会	ダイナミックジェット工法研究会	JACSMAN研究会
工法の概要			 特殊撹拌ﾍｯﾄﾞから改良材ｽﾗﾘｰを高圧で噴射するとともに，ｵｰｶﾞｰｽｸﾘｭｰにより改良と同時に排土を行うことによって、大量処理施工と低変位施工を同時に行うことができる。	  改良面積：Ap=7.2m² （造成速度：1.0m/分以下） 機械式撹拌(中央部)と噴射式撹拌(外周部)を複合した工法で、噴射方式は上下2段のノズルから噴射されたジェット(スラリー)が交差する『超高圧交差噴流』式により、高い撹拌性能を確保し高能率施工で高い品質の改良体が造成可能である。
特　徴		◆長所 ・土砂の「共回り現象」が解消され、高性能の撹拌可能。 ・超高圧硬化材スラリーにて地山を切削破壊させながら、均等なコラム体の造成が可能。 ・大口径の機械撹拌部から超高圧硬化材スラリーを噴射させることにより、さらに大口径の 改良が可能。 ・近接物の形状に沿った付着改良ができ、造成パイルブラスト効果により、密着性に富んだ施工が可能。	◆長所 ・**機械撹拌工法に比べ大口径の改良体が得られるため，経済的で大幅な工期の短縮**が可能である。 ・**排土方式なので，施工時の変位を抑制**できる。 ・**水中施工が可能**である。 ・幅広い土質に適用できる。 ・目的に応じた改良強度を設定できる。 ・**高圧噴射を併用しているため、山留工や既設構造物への密着施工が可能**である。 ・低振動・低騒音である。	◆長所 ・高圧噴射を併用しているため、ラップ施工により100%改良が可能。 ・噴射部により、地下構造物（例：既設矢板）と密着した改良体の造成が可能。 ・噴射部は超高圧交差噴流のため、地盤に影響されず改良体の径を制御可能。 ・従来工法（CDM、DJM等）に比べ、大断面（約4倍）の杭が造成可能。 ◆留意点 ・施工に伴う排泥処理が必要。
使用機械 （積算条件での仕様）		RAS－JET改良機、スラリープラント、超高圧ポンプ、施工管理装置、空気圧縮機、サイロ、水槽	・三点支持式杭打機（135tクラス） ・スラリープラント ・バックホウ（0.7m³クラス）	JACSMAN施工機（90kw×2軸），スラリープラント（60m³/h），発動発電機（600kVA），発動発電機（250kVA），空気圧縮機（1.0MPa，15m³/分），超高圧ポンプ（30MPa，0.6m³/分），バックホウ（0.6m³×2台）
狭隘部での施工	施工時の最小幅	12m以上	12m以上	12m程度
	空頭制限	25m以上	25m以上	打設長＋10m程度
標準施工ヤード		施工ヤード　：　15m×50m 以上 プラントヤード　：　13m×20m 以上	施工ヤード　：　幅20m×延長50m プラントヤード　：　10m×20m	施工ヤード　：　20m×50m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード　：　10m×20m程度
適用土質		砂質土：N≦50 、 粘性土：c≦70 （礫質土は別途検討が必要）	粘性土：C≦150kN/m² 砂質土：N≦20	砂質土：標準N≦20（最大），ﾌﾟﾚｼﾞｪｯﾄN≦50（最大） 粘性土：標準N≦　5（最大），ﾌﾟﾚｼﾞｪｯﾄN≦10（最大）
適用深度		40m以下	40m程度（継ぎ施工）	最大45m
施工角度		鉛直のみの適用	鉛直のみ	鉛直
有効径（mm）		φ2，200～3，600mm	Φ1，600～3，100mm（2軸施工）	Φ2，300mm×2軸（7.2m²）
設計強度		一軸圧縮強さにて0．1～2．0MN/m²以下	qu≦1,000kN/m²	quck＝200～1,000kN/m²程度
標準施工能力 ※1		250～350m³ ／ 日・台	250～350m³/日 （1プラント1マシン施工）	250m³/日～500m³/日（7.2m²タイプ）
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		15,000円/m³～20,000円/m³	6,200円/m³～10,000円/m³	7,500円/m³～10,000円/m³（7.2m²イプ）
◆モデルケース（P.5参照）での 排泥発生量または盛上り土量		3,000m³（排泥発生量）	1,950m³（排土量）	4,100m³（排泥発生量）
◆モデルケース（P.5参照）での 概算直接工事費		114,200千円	70,000千円（φ2.1m×2軸：接円78.5%改良） （口4m×2.1m：125本）	127,000千円（100%改良） （3.2m×1.855m：166本）
施工実績 （2015年7月現在）		10件	117件　（2014年度現在）	70件以上 （2010年研究会実績）
備　考	（資料提供者所属名）	ライト工業（株）	小野田ケミコ（株）	（株）不動テトラ
	（参考リンク先）	http://www.raito.co.jp/	http://www.chemico.co.jp/02improvement/category03/sdm-dy.html	http://www.fudotetra.co.jp

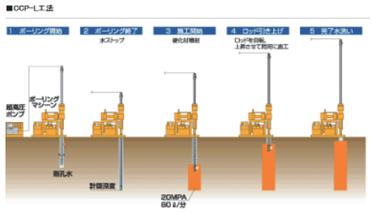
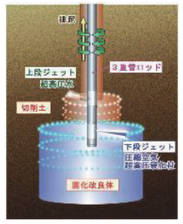
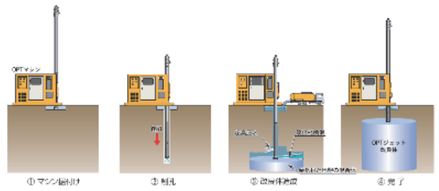
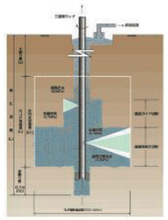
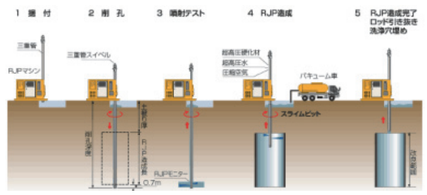
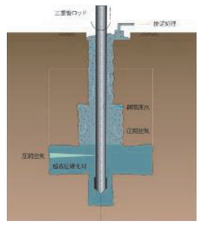
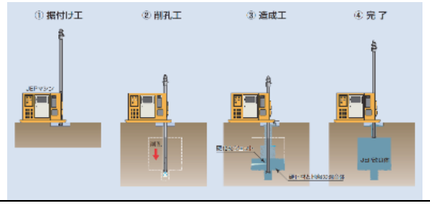
※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表－1．4　地盤改良工法（高圧噴射撹拌工法）（1）

工　法		SJMM-Dy工法	LDis-Dy工法	NJP-Dy工法
協会 / 研究会		ダイナミックジェット工法研究会	ダイナミックジェット工法研究会	ダイナミックジェット工法研究会
工法の概要		  改良深度まで単管ﾛｯﾄﾞを貫入後特殊ﾛｯﾄﾞﾍｯﾄﾞ先端より改良材ｽﾗﾘｰを高圧噴射しながら回転引上げして切削と撹拌混合を同時に行い，円柱状の改良体を造成する。	  改良深度まで排土撹拌盤を取付けた特殊ﾛｯﾄﾞﾍｯﾄﾞを貫入し，改良材ｽﾗﾘｰを高圧で噴射しながら引上げて，排土を行うとともに円柱状の改良体を造成する。	  多重管ロッドに装着したNJP-Dy特殊ヘッドの先端部から，圧縮空気を連行させ，同時に固化材スラリーを超高圧噴射によって噴射し，原土と撹拌混合させることにより均一な改良体を造成する。（液状化対策用高圧噴射工法）
特　徴		◆長所 ・**特殊撹拌翼による改良を行うため、単管工法の中では、大口径の改良体が造成**される。 ・**スライドベースを用いるため，機動性に優れる。** ・スライドベースを使用した場合、施工時にラフタークレーンを必要としない。 （設置・撤去時のみ使用あり） ・**単管工法であるため、環境に優しく、水中施工が可能**である。 ・低振動・低騒音である。 ◆留意点 ・施工時に地盤隆起が生じ、施工時変位が発生する。	◆長所 ・**特殊撹拌翼による改良を行うため、単管工法の中では、大口径の改良体が造成**される。 ・**スライドベースを用いるため，機動性に優れる。** ・スライドベースを使用した場合、施工時にラフタークレーンを必要としない。 （設置・撤去時のみ使用あり） ・**単管工法であるため、環境に優しく、水中施工が可能**である。 ・**施工時に排土を伴うため、低変位施工が可能であり、近接施工に適用可能。** ・低振動・低騒音である。	◆長所 ・**液状化防止に特化した地盤改良工**である。 ・**スライドベースを用いるため，機動性に優れる。** ・スライドベースを使用した場合、施工時にラフタークレーンを必要としない。 （設置・撤去時のみ使用あり） ・**任意の改良径の造成が可能。** ・ボーリングマシンタイプでの施工も可能。 ・**施工時に排泥を伴うため、低変位施工が可能であり、近接施工に適用可能。** ・低振動・低騒音である。
使用機械		・SJMM-Dyマシン ・スライドベース ・スラリープラント	・LDis-Dyマシン ・スライドベース ・スラリープラント	・NJP-Dyマシン ・スライドベース ・スラリープラント
狭隘部での施工	施工時の最小幅	８m程度	８m程度	８m程度
	空頭制限	６m以上	６m以上	６m以上
標準施工ヤード		施工ヤード　：　幅８m×延長５０m プラントヤード　：　１０m×２０m	施工ヤード　：　幅８m×延長５０m プラントヤード　：　１０m×２０m	施工ヤード　：　幅８m×延長５０m プラントヤード　：　１０m×２０m
適用土質		粘性土　：　C≦７０kN/m^2 砂質土　：　N≦２０ 腐植土　：　W≦５００%	粘性土　：　C≦７０kN/m^2 砂質土　：　N≦２０ 腐植土　：　W≦５００%	粘性土　：　C≦５０kN/m^2 砂質土　：　N≦５０
適用深度		標準２０m以下（２０m以上の実績有り）	標準２０m以下（２０m以上の実績有り）	標準３０m以下（３０m以上の実績有り）
施工角度		鉛直施工のみ	鉛直施工のみ	鉛直施工のみ
有効径（mm）		φ１，２００～１，９００mm	φ１，２００～１，９００mm	φ１，８００～４，５００mm
設計強度		qu≦１，０００kN/m^2	qu≦１，０００kN/m^2	砂質土：qu≦３，０００kN/m^2 粘性土：qu≦１，０００kN/m^2
標準施工能力 ※1		１００～１５０m^3/日 （1プラント2マシン施工）	８０～１２０m^3/日 （1プラント2マシン施工）	１００～１５０m^3/日 （1プラント1マシン施工）
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		１０，０００円/m^3～２０，０００円/m^3	１５，０００円/m^3～２５，０００円/m^3	１４，０００円/m^3～２０，０００円/m^3
◆モデルケース(P.5参照)での排泥発生量または盛上り土量		１，９４０m^3（盛上り土量）	２，９００m^3（排土量）	７，９６０m^3（排泥量）
◆モデルケース(P.5参照)での概算直接工事費		１７１，０００千円（φ１．７m：全面改良） （□1.25m×1.45m千鳥配置：552本）	２７０，０００千円（φ１．７m：全面改良） （□1.25m×1.45m千鳥配置：552本）	２１９，０００千円（φ３．９m：全面改良） （□3.3m×2.9m千鳥配置：105本）
施工実績 （2015年7月現在）		１２８件（2014年度現在）	１９３件（2014年度現在）	１９件（2014年度現在）
備　考	（資料提供者所属名）	小野田ケミコ（株）	小野田ケミコ（株）	小野田ケミコ（株）
	（参考リンク先）	http://www.chemico.co.jp/02improvement/category03/sjmm-dy.html	http://www.chemico.co.jp/02improvement/category03/ldis-dy.html	http://www.chemico.co.jp/02improvement/category03/njp-dy.html

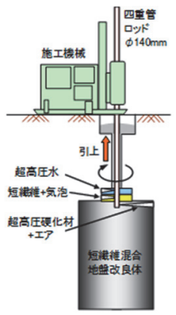
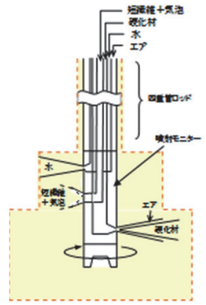
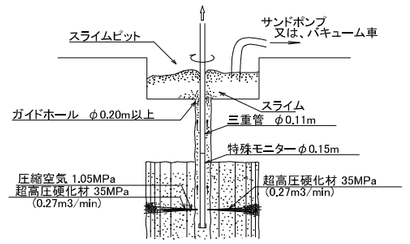
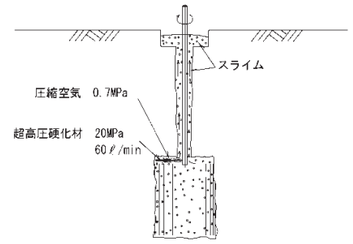
※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表－1．４　地盤改良工法（高圧噴射撹拌工法）（2）

工　法		CCP工法	OPTジェット工法	RJP工法	JEP工法
協会／研究会		CCP協会	OPTジェット研究会	RJP工法協会	JEP工法協会
工法の概要		 	 	 	 
特　徴		◆長所 ・確実性の高い改良体が得られること。 ・強度特性、遮水性に優れた改良体が得られること。 ・改良体杭相互および土留壁などへの密着性が高いこと。 ・改良目的に沿った適切な改良強度の調整ができること。 ・複数の施工仕様により、条件に応じた施工を行う。 ・鉛直施工のみで無く、水平を含む施工が可能であること。	◆長所 ・極小摩擦抵抗の噴射ヘッド、独自の噴射撹拌理論、上段下段の噴射部設置により高速施工を可能とし、コスト工期の縮減が可能である。 ・高速施工の採用により、総噴射量を改良体積の２０～３０％とし、低排泥かつ低変位の施工を行う。 ・地盤条件に対し多くの施工仕様を設けることで、揺動含め合理的な改良体配置が可能である。	◆長所 ・三重管ロッド先端のモニターにて、上段ノズルより造成のガイド切削を行い、下段ノズルから硬化材を空気噴流体とともに噴射し、均一な大口径改良体を造成する。 ・９０～２７０度の範囲での揺動方式による扇柱状造成体を築造することができる。 ・改良材の選定により、標準強度と低強度を造成できる。 ・３種類の施工仕様による造成径の選択が可能である。	◆長所 ・大容量で高エネルギーの硬化材を噴射するため、従来の標準的な高圧噴射撹拌工法に比べて大口径の改良体が造成できる。 ・大容量吐出による造成工程を行うため、施工効率が良く、施工時間の短縮が図られる。 ・引上速度の選択により造成径の調整が可能である。 ・硬化材の配合にて、標準的な強度と低強度とが可能。
使用機械		ボーリンクマシン、超高圧ポンプ、グラウトミキサー、流量計、サイロ、水槽	ボーリンクマシン、超高圧ポンプ、スラリープラント、流量計、空気圧縮機、サイロ、水槽	ボーリンクマシン、超高圧ポンプ、スラリープラント、流量計、空気圧縮機、サイロ、水槽	ボーリンクマシン、超高圧ポンプ、スラリープラント、流量計、空気圧縮機、サイロ、水槽
狭隘部での施工	施工時の最小幅	２m程度	３m 程度	３m 程度	3m 程度
	空頭制限	３m程度	４m 程度	４m 程度	4m 程度
標準施工ヤード		施工ヤード　：　幅２m × 長２m　以上 プラントヤード　：　１０m ×１０m 程度	施工ヤード　　：　幅５m × 長５m程度 プラントヤード　：　１０m ×　２０m 程度	施工ヤード　　：　幅５m × 長５m程度 プラントヤード　：　１０m ×　２０m 程度	施工ヤード　：幅5m × 長5m程度 プラントヤード：10m × 20m 程度
適用土質		【ＣＣＰ－Ｐ】　　砂質土：Ｎ＜１５，粘性土：Ｃ≦５０ 【ＣＣＰ－Ｌ，ＬＥ】　砂質土：Ｎ＜３０，粘性土：Ｃ≦５０ 【ＣＣＰ－Ｓ，ＳＥ】 砂質土：Ｎ＜１５，粘性土：Ｃ≦５０	砂質土・砂礫土　：　Ｎ≦２００ 粘性土　　：　Ｃ≦１５０	【Ｓ－ＲＪＰ】 砂質土：Ｎ≦１００，粘性土：Ｎ≦５，砂礫：Ｎ≦５０ 【Ｄ－ＲＪＰ】 砂質土・砂礫：Ｎ≦５０，　粘性土：Ｎ≦５	砂質土・砂礫土　：　N≦100 粘性土　　：　C≦70
適用深度		２０m以下　（２０m以深は検討が必要）	３０m以下は通常の有効径 （３０mを超えるものは有効径を減じる）	３０m以下は通常の有効径 （３０mを超えるものは有効径を減じる）	30m以下は通常の有効径 （30mを超えるものは有効径を減じる）
施工角度		鉛直下方（０°）～水平（９０°） 上向きは要検討	鉛直下方（０°）を標準とし、斜めは１０°以下	【Ｓ－ＲＪＰ】　鉛直下方（０°）を標準、斜めは１０°以下 【Ｄ－ＲＪＰ】　鉛直下方（０°）を標準、斜めは５°以下	鉛直下方(0°)を標準とし、斜めは10°以下
有効径（mm）		【ＣＣＰ－Ｐ】　　φ３００～５００mm 【ＣＣＰ－Ｌ，ＬＥ】　φ５００～１，０００mm 【ＣＣＰ－Ｓ，ＳＥ】 φ800～１，５００mm	Φ１，５００～３，５００mm	【Ｓ－ＲＪＰ】　Φ２，０００～３，０００mm 【Ｄ－ＲＪＰ】　Φ３，１００～３，５００mm	φ3，000～4，000mm
設計強度		砂質土：一軸圧縮強さにて３．０MN/m^{2}以下 粘性土：一軸圧縮強さにて１．０MN/m^{2}以下	砂質土　：　一軸圧縮強さにて２．０MN/m^2 以下 粘性土　：　一軸圧縮強さにて１．０MN/m^2 以下	砂質土　：　一軸圧縮強さにて３．０MN/m^{2}以下 粘性土　：　一軸圧縮強さにて１．０MN/m^{2}以下	砂質土　：一軸圧縮強さにて3．0MN/m2以下 粘性土　：一軸圧縮強さにて1．0MN/m2以下
標準施工能力 ※1		１０～２０m^3／日・台	２００～２５０m^3／日・台	８０～１００m^3／日・台	180～230m^3／日・台
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		２８，０００円/m^3～５０，０００円/m^3 （ＣＣＰ－Ｌ工法）	２６，０００円/m^3 ～ ３７，０００円/m^3	３１，０００円/m^3 ～ ４５，０００円/m^3	33,000円/m^3 ～ 44,000円/m^3
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り土量		１０，４００m^3（排泥発生量） （ＣＣＰ－Ｌ工法）	１０，１００m^3（排泥発生量）	１６，８００m^3（排泥発生量） （Ｓ－ＲＪＰ工法の場合）	11,000m^3
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		５０１，８００千円 （ＣＣＰ－Ｌ工法）	３２４，０００千円	４０４，１００千円 （Ｓ－ＲＪＰ工法の場合）	345,000千円
施工実績 （2015年7月現在）		７，７６０件	１５０件	９４０件	180件
備　考	（資料提供者所属名）	ライト工業（株）	ライト工業（株）	ライト工業（株）	ライト工業（株）
	（参考リンク先）	http://www.nitjet.com/	http://www.raito.co.jp/	http://www.nitjet.com/	http://www.raito.co.jp/

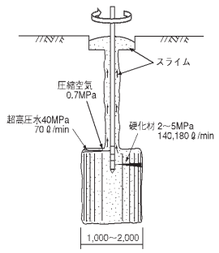
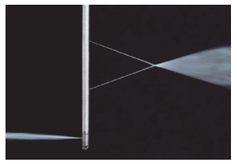
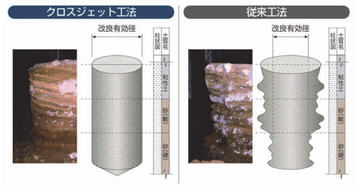
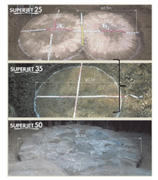
※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表－1．4　地盤改良工法（高圧噴射撹拌工法）（3）

工　法		ファイバージェット工法	V－JET工法	JSG工法
協会 / 研究会		－	V－JET協会	日本ジェットグラウト協会
工法の概要		  ファイバージェット工法(短繊維ジェット地盤改良工法)は、気泡に混合した短繊維を土中に充填させ、セメント系硬化材の超高圧噴射により土を切削し地盤中に円柱状のセメント改良体を造成するジェットグラウト工法である。	 V-JET工法は、特殊モニターノズルより高圧（P≒35MPa）のセメント系固化材のスラリー（560ℓ/分）とそれに沿わせた圧縮空気(P≒1.05MPa)を段差水平対向2方向のノズルからジェット噴射をして造成径拡大切削、周囲の土砂を削り込みながら混合撹拌して、大口径円柱状のセメント改良体を造成するジェットグラウト工法である。 機械設備や改良径などによりV1,V2,V3の3タイプがある。	 羽根ビット(φ65mm以上)をつけた二重管(φ60mm)を用いて削孔し、削孔完了後、エアを沿わせた超高圧の硬化材（20MPa,60ℓ/分）を回転しつつ噴射させ地盤を切削すると同時に、そのスライムをエアリフト効果で地上に排出させながら円柱状の固結体を造成する工法。
特　徴		◆長所 ・圧縮強度は最大30%程度向上し、引張強度は2倍程度、曲げ強度は2倍程度となり、ねばり強さ(靭性)も向上。 ・強度増加に伴い、最大30%程度改良範囲を縮小できるため排泥量、施工コストを削減できる。 ・低振動、低騒音 ◆留意点 ・通常の工法とは異なり、排泥に短繊維（ビニロン）が含まれるため、処理方法を事前に確認することが望ましい。	◆長所 ・大口径杭の造成が可能 ・工期の短縮によるコストの削減 ・排泥量の低減による環境負荷の低減 ・低騒音、低振動 ◆留意点 ・大口径タイプの場合、プラントヤードが大きくなる（大型ポンプ使用）	◆長所 ・高圧硬化材による掘削・造成となるためコンパクトな設備で施工可能。 ◆留意点 ・実績は多いが、適用範囲は限定される。 ・粘性土の改良はスライムの閉塞が懸念されるため、地盤隆起の恐れがある。 ・砂礫層は基本的に適用対象外
使用機械		（施工ヤード）高圧噴射マシン、排泥タンク、20tクレーン、排泥処理車 （プラントヤード）全自動プラント、セメントサイロ、超高圧ポンプ、高圧ポンプ、 ｴｱｰｺﾝﾌﾟﾚｯｻｰ、水槽、ｻﾝﾄﾞﾎﾟﾝﾌﾟ、水中ﾎﾟﾝﾌﾟ、高圧洗浄機、発動発電機 【一般的な高圧噴射撹拌工法の設備に短繊維供給システムが追加されるのみ】	（施工ヤード）高圧噴射マシン、排泥タンク、20tクレーン　、排泥処理車 （プラントヤード）全自動プラント、セメントサイロ、超高圧ポンプ、 高圧ポンプ、ｴｱｰｺﾝﾌﾟﾚｯｻｰ、水槽、ｻﾝﾄﾞﾎﾟﾝﾌﾟ、水中ﾎﾟﾝﾌﾟ、 高圧洗浄機、発動発電機	・JSGマシン（11kw）　・超高圧ポンプ（19.6MPa,20～100L/分） ・セメントサイロ（30t移動型）　・固化材ｽﾗﾘｰﾌﾟﾗﾝﾄ（12m^3/h） ・発電機（150kVA）　・エアコンプレッサー（5Nm^3/分） ・ラフテレーンクレーン（20t吊り）
狭隘部での施工	施工時の最小幅	2．5m	2．5m	3　m
	空頭制限	4　m	4　m	4　m
標準施工ヤード		施工ヤード　：10m×10m プラントヤード　：10m×20m	施工ヤード　：10m×10m プラントヤード　：10m×20m	施工ヤード　：5m^2（＋補助クレーン） プラントヤード　：7m×15m＝105m2
適用土質		砂質土　：N＜50 粘性土　：C＜50kN/m^2	砂質土：N≦50、　粘性土：N≦3（有効径φ5000） 砂質土：100＜N≦150、　粘性土：5＜N≦7（有効径φ4000）	砂質土　：N≦50 粘性土　：N≦　4
適用深度		30m以下を標準 （30mを超える場合は有効径の低減等を考慮）	30m以下を標準（最大50mの実績あり） （30mを超える場合は有効径の低減等を考慮）	最大　25m
施工角度		鉛直	鉛直角　0°～ 5°	鉛直、斜め10°以内
有効径（mm）		Φ2,800mm（砂質土N<15）	V1：φ2,000～2,500mm V2：φ3,500～4,000mm V3：φ5,000～5,500mm	砂質土　：φ1,000～φ2,000mm 粘性土　：φ1,200～φ2,000mm ※礫質土は適用対象外
設計強度		砂質土　：3．5MPa 粘性土　：1．5MPa	砂質土　：3．0MPa 粘性土　：1．0MPa	砂質土　：qu＝3MN/m^2（強度抑制タイプ1,2MN/m^{2}有り） 粘性土　：qu=1MN/m^2 腐植土　：qu=0.3MN/m^2
標準施工能力 ※1		60m^3/日	120m^3/日（造成長15m程度）	改良土量：30m^3/日・台
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		50,000円/m^3 （φ2800mm、排泥処理含まず）	25,000円/m^3 （φ5000mm、排泥処理含まず）	60,000～100,000円/m^3
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り土量		15,000m^3	9,400m^3	16,800m^3
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		655,000千円 （φ2800mm、235本、改良率100%、排泥処理含まず）	318,000千円 （φ5000mm、70本、改良率100%、排泥処理含まず）	487,000千円
施工実績 （2015年7月現在）		1件（試験施工）	93件	昭和63年協会設立以来多数 （国交省土木工事積算基準“高圧噴射撹拌工法：二重管工法”）
備　考	（資料提供者所属名）	（株）安藤・間、東興ジオテック（株）	（株）安藤・間/青山機工（株）	主な問合せ先：ケミカルグラウト(株)
	（参考リンク先）	http://www.ad-hzm.co.jp/info/2013/hazama/130313.html	http://www.nitjet.com/v-jet/	－

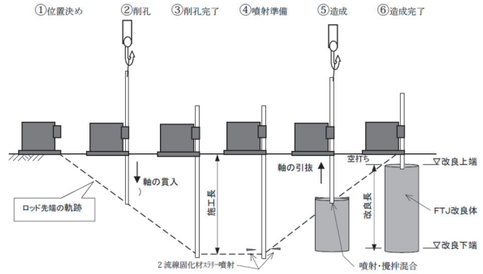
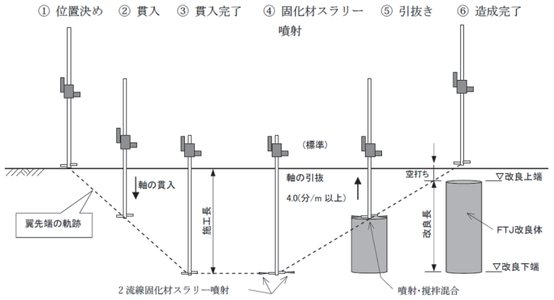
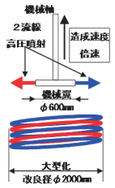
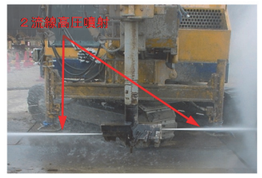
※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表－1．4　地盤改良工法（高圧噴射撹拌工法）（4）

工　法		コラムジェットグラウト工法	X－jet工法	SUPERJET工法 （SUPERJET25,35,50）	JETCRETE工法 （JETCRETE-S,L,N,G）
協会 / 研究会		日本ジェットグラウト協会	クロスジェット協会	SUPERJET研究会	JETCRETE研究会
工法の概要		 ボーリングマシンを用いてφ142mmのガイドホールを先行して設置した後、この孔に三重管(φ90mm)を挿入し、ノズルよりエアを沿わせた超高圧水を地中に40MPaの圧力で水平方向に噴射しつつ回転させ地盤を切削し、そのスライムをエアリフト効果で地上に排出すると同時に、下端より硬化材を充填し円柱状の固結体(φ2.0m～φ1.0m)を造成する工法。	 削孔径：Φ142mm 噴射ロッド径：Φ90mm 切削方向：上下交差 切削圧力：40Mpa 	  削孔径：Φ150～250mm 噴射ロッド径：Φ90mm 切削方向：水平2方向 切削圧力：34.5Mpa 削孔径：Φ200～250mm 噴射ロッド径：Φ140mm 切削方向：水平2方向 切削圧力：34.5Mpa	  削孔径：Φ100～250mm 噴射ロッド径：Φ45～140mm 切削方向：1ないし複数方向 切削圧力：20～40Mpa ※狭隘施工機では、最大φ5.0mまで対応できる。
特　徴		◆長所 ・高圧水による掘削となるため、排土率が　最も高く、周辺への影響が少ない。 ・実績が多く、適用範囲が非常に広い。 ◆留意点 ・排出スライムが多い。	◆長所 ・地盤N値に拘らず**改良径が一定**である。 (φ1.5m, φ2.0m, φ2.5m) ・高速施工のため、工期が短縮する。 ・上下からの交差噴流により地山が網目状に掘削され、**均質な改良体**ができる。 ・スライムをエアリフト効果で地上に排出させながら造成する工法なので周辺への影響は少ない。	◆長所 ・**高速施工でかつ改良径が大きい**ため、 工期の短縮がはかれる。 ・最近では、標準的な工法となっている。 ・スライムをエアリフト効果で地上に排出させながら造成する工法なので周辺への影響は少ない。 ◆留意点 ・土質条件によってはプレジェットが必要になる場合がある。	◆長所 ・自在な改良径設定が可能(**φ500～φ8500**) ・改良断面形状は，円形，**矩形**，**扇形**が可能. ・自在な強度設定が可能 （地盤により異なるが**qu=0.1～10.0MN/m²**） ・施工機械の選定により狭隘部での施工も可能。(maxφ5000) ・スライムをエアリフト効果で地上に排出させながら造成する工法なので周辺への影響は少ない。
使用機械		・ボーリングマシン（11kW）　・コラムマシン（11kw） ・超高圧ポンプ（40MPa,70L/分）　・セメントサイロ（30t移動型） ・固化材ｽﾗﾘｰﾌﾟﾗﾝﾄ（12m³/h）　・発電機（45，200kVA） ・エアコンプレッサー（5Nm³/分）　・ラフテレーンクレーン（20t吊り）	・ボーリングマシン（11kW）　・クロスジェットマシン（11kw） ・超高圧ポンプ（40MPa,180L/分）　・セメントサイロ（30t移動型） ・固化材ｽﾗﾘｰﾌﾟﾗﾝﾄ（12m³/h）　・発電機（45，100，200kVA） ・エアコンプレッサー（11Nm³/分）　・ラフテレーンクレーン（25t吊り）	・ボーリングマシン（11kW）　・SUPERJET50施工機（29.5kw） ・超高圧ポンプ（35MPa,400L/分×２台）　・セメントサイロ（30t移動型） ・固化材ｽﾗﾘｰﾌﾟﾗﾝﾄ（36m³/h）　・発電機（100，125，150，600kVA） ・エアコンプレッサー（18Nm³/分）　・ラフテレーンクレーン（50t吊り） ※SUPERJET 50の使用機械を掲載	・JETCRETE-S施工機（狭隘型，112kg/台）　・超高圧ポンプ（40MPa,200L/分） ・セメントサイロ（30t移動型）　・固化材ｽﾗﾘｰﾌﾟﾗﾝﾄ（24m³/h） ・発電機（75×2，100，300kVA）　・エアコンプレッサー（11Nm³/分） ・（ラフテレーンクレーン（4.9t吊り）） ※JETCRETE-S（狭隘型）の使用機械を掲載
狭隘部での施工	施工時の最小幅	３ m	３ m	３ m	１ m
	空頭制限	４ m	５ m	５ m	２ m
標準施工ヤード		施工ヤード　：5m²（＋補助クレーン） プラントヤード　：10m×15m＝150m²	施工ヤード　：5m²（＋補助クレーン） プラントヤード　：10m×15m＝150m²	施工ヤード　：5m²（＋補助クレーン） プラントヤード　：SJ25,35　8m×22m≒180m² SJ50　10m×20m＝200m²	施工ヤード　：JC-S 2m², JC-L 3m², JC-N,G 5m²（＋補助クレーン） プラントヤード　：JC-S 5m×20m＝100m²，JC-L,N 8m×22m≒180m²， JC-G　10m×20m＝200m²
適用土質		砂質土　：N≦200 粘性土　：N≦ 9	砂質土　：N≦150 粘性土　：N≦ 5	砂質土　：N≦200 粘性土　：N≦ 9	砂質土　：N≦150 粘性土　：N≦ 7
適用深度		標準　40m（最大　60m）	標準　30m（最大60m）	標準　30m（最大　70m）	JC-S　：標準　20m（最大　25m） JC-L　：標準　30m（最大　40m） JC-N,G　：標準　50m（最大　70m(N)，80m(G)）
施工角度		鉛直、斜め10°以内	鉛直、斜め10°以内	鉛直、斜め10°以内	鉛直、斜め10°以内
有効径（mm）		砂質土　：Φ1,000～2,000mm 粘性土　：Φ1,000～2,000mm ※礫質土は試験施工を原則とするが，砂質土有効径の10%減	Φ1,500mm、Φ2,000mm、Φ2,500mm ※礫質土は試験施工を原則とするが，配列ピッチで有効径の10%を補正	SUPERJET 25　：Φ1,300～2,500mm ①SUPERJET 35　：Φ2,100～3,500mm ②SUPERJET 50　：Φ3,200～5,000mm ※礫質土は試験施工を原則とするが，砂質土有効径の10%減	JC-S　：Φ500～5,000mm　，　JC-L,N　：　Φ500～7,000mm JC-G　：Φ500～8,500mm ※最大改良径以下であれば，任意の径に対応可能 ※礫質土は砂質土有効径の10%減を基本とする.
設計強度		砂質土　：qu = 3MN/m²（強度抑制タイプ1.2MN/m²有り） 粘性土　：qu=1MN/m² 腐植土　：qu=0.3MN/m²	砂質土　：qu = 3MN/m²（低強度型 2MN/m²有り） 粘性土　：qu=1MN/m² 腐植土　：qu=0.3MN/m²	砂質土　：qu = 3MN/m²（低強度型 2MN/m²有り） 粘性土　：qu=1MN/m² 腐植土　：qu=0.3MN/m²	下記の強度を標準とし，任意に強度を設定 砂質土　：qu = 3MN/m² 粘性土　：qu = 1MN/m²
標準施工能力 ※1		改良土量　：80m³/日・台	工法　：XJ15～XJ20～XJ25 改良土量　：140～160～250m³/日・台	工法　：SJ25～SJ35～SJ50 改良土量　：250～430～610m³/日	工法　：JC-S～JC-N～JC-N,G 改良土量　：250～730～960m³/日・台
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		70,000～110,000円/m³	40,000～80,000円/m³	35,000～60,000円/m³	30,000～100,000円/m³
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り土量		27,200m³	12,900m³	①7,700m³ ②8,400m³	5,000m³
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		462,000千円	398,000千円	①314,000千円 ②343,000千円	250,000千円（qu=1MN/m²対応）
施工実績 （2015年7月現在）		昭和63年協会設立以来多数 （国交省土木工事積算基準"高圧噴射撹拌工法：三重管工法"）	230件あまり（～2013）	1,000件あまり（～2014.3）	160件あまり（～2015）
備　考	（資料提供者所属名）	主な問合せ先：ケミカルグラウト(株)	主な問合せ先：ケミカルグラウト(株)	主な問合せ先：ケミカルグラウト(株)	主な問合せ先：ケミカルグラウト(株)
	（参考リンク先）	―	―	―	http://www.chemicalgrout.co.jp/

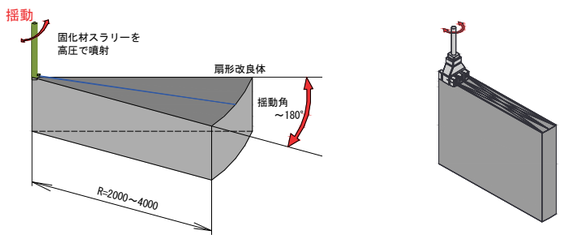
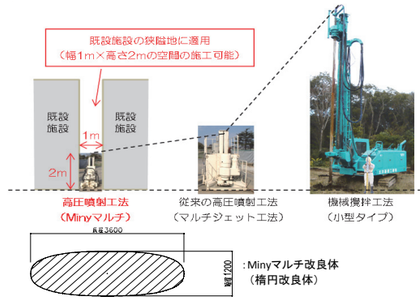
※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表－1．4　地盤改良工法（高圧噴射撹拌工法）（5）

工　法	エフツインジェット(FTJ)工法			
	FTJ-S（ボーリングタイプ－エアなし）	FTJ-SA(ボーリングタイプ－エアあり)	FTJ-N（小型クローラータイプ－エアなし）	FTJ-NA（小型クローラータイプ－エアあり）
協会 / 研究会	FTJ工法研究会			
工法の概要	    2流線を噴射する単管式高圧噴射撹拌工法。 従来の単管式工法はロッドからの1流線施工で、改良断面が小さく、施工能率が小さい。 当工法では機械式翼の先端からセメントスラリーを噴射することで、大断面を造成し、2流線のセメントスラリー噴射により、造成速度を大幅に向上した。工期の短縮、コストの縮減が可能である。 ※NETIS登録：QS-040034-VE（平成26年度活用促進技術）			
特　徴	◆長所 ・自走式超小型・小型施工機、ボーリングマシンなど施工条件に応じた施工機を選べる。 ・2流線で高圧噴射を行うことで、従来の高圧噴射工法より高速な施工が可能。 ・撹拌翼先端からスラリー噴射し、軸からの到達距離を伸ばすことで大径化が可能。 ・管理装置にて深度と噴射流量を管理することで、確実な改良の造成が可能。 ・エア無し施工では、泥土の排出が少なく、水中施工も可能。 ・エア併用施工では、周辺地盤、構造物への変位影響が小さい。 ◆留意点 ・エア併用施工の場合、施工に伴う排泥処理が必要。   			
使用機械	FTJ-S施工機（11kw），スラリープラント（10m³/h），発動発電機（200kVA），発動発電機（125kVA），超高圧ポンプ（30MPa，0.15m³/分），補助クレーン，バックホウ（0.5m³）	FTJ-S施工機（11kw），スラリープラント（20m³/h），発動発電機（150kVA），発動発電機（125kVA），空気圧縮機（0.7MPa，　10.5m³/分），超高圧ポンプ（35MPa，0.4m³/分），補助クレーン，バックホウ（0.5m³）	FTJ-N施工機（92kw），スラリープラント（20m³/h），発動発電機（600kVA），発動発電機（150kVA），超高圧ポンプ（35MPa，0.40m³/分），バックホウ（0.5m³）	FTJ-N施工機（92kw），スラリープラント（20m³/h），発動発電機（600kVA），発動発電機（150kVA），空気圧縮機（0.7MPa，10.5m³/分），超高圧ポンプ（35MPa，0.40m³/分），バックホウ（0.5m³）
狭隘部での施工 施工時の最小幅	2．5m（補助クレーン不使用時）	2．5m（補助クレーン不使用時）	6m程度	6m程度
狭隘部での施工 空頭制限	5．5m（補助クレーン不使用時）	5．5m（補助クレーン不使用時）	標準9．6m（低空頭仕様6．5m）	標準9．6m（低空頭仕様6．5m）
標準施工ヤード	施工ヤード　：12m×15m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：10m×20m程度	施工ヤード　：12m×15m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：10m×20m程度	施工ヤード　：12m×15m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：10m×20m程度	施工ヤード　：12m×15m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：10m×20m程度
適用土質	砂質土　：N値≦20（最大） 粘性土　：C≦50kN/㎡（最大）	砂質土　：N値≦30（最大） 粘性土　：N≦　3（最大）	砂質土　：N値≦20（最大） 粘性土　：C≦50kN/㎡（最大）	砂質土　：N値≦30（最大） 粘性土　：N値≦　3（最大） ﾌﾟﾚｼﾞｪｯﾄ施工により上記以上も対応可能な場合がある
適用深度	標準20m（最大35m）	標準20m（最大35m）	標準17m（継足施工21m）	標準施工17m，　継打施工24m
施工角度	鉛直	鉛直	鉛直	鉛直
有効径（mm）	Φ900～1,400mm　（砂質土N≦5：Φ1200mm）	Φ2,000mm	Φ1,500～1,600mm　（砂質土N≦20：φ1,600mm）	標準Φ2,000mm （地盤性状や造成速度による変更可）
設計強度	quck＝200～1000kN/㎡	quck＝200～1000kN/㎡	quck＝200～1,000kN/㎡	quck＝200～1,000kN/㎡程度
標準施工能力 ※1	50m³/日～70m³/日（Φ1200mm）	50m³/日～60m³/日（Φ2000mm）	70m³/日～80m³/日（Φ1600mm）	90m³/日～110m³/日（Φ2000mm）
概算施工単価（直工、材料込） ※1	27,000円/m³～35,000円/m³（Φ1200mm）	21,000円/m³～25,000円/m³（Φ2000mm）	24,000円/m³～27,000円/m³（Φ1600mm）	17,000円/m³～18,000円/m³（Φ200mm）
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り土量	6,800m3（盛上り土量）	9,400m3（排泥発生量）	7,700m³（盛上り土量）	8,200m³（排泥発生量）
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費	417,000千円（ラップ100%改良） （φ1200,△1.03：1077本）	338,000千円（ラップ100%改良） （φ2000,△1.73m：385本）	384,000千円（ラップ100%改良） （φ1600,△1.38m：606本）	277,000千円（ラップ100%改良） （φ2000,△1.73m：389本）
施工実績（2015年7月現在）	15件 （2015年研究会実績）	18件 （2015年研究会実績）	9件 （2015年研究会実績）	43件 （2015年研究会実績）
備考 （資料提供者所属名）	（株）不動テトラ			
備考 （参考リンク先）	http://www.fudotetra.co.jp			

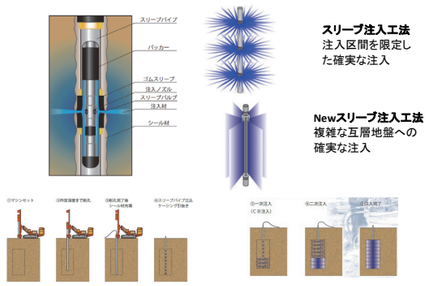
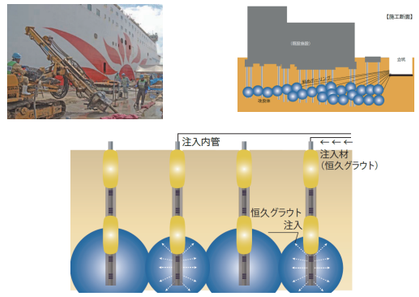
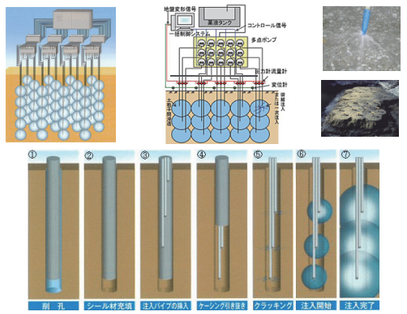
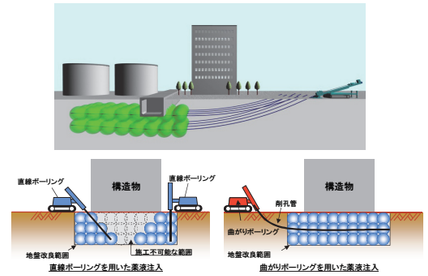
※1）改良長5～20mの範囲で幅を持たせて記入した。

表－1．4　地盤改良工法（高圧噴射撹拌工法）（6）

工　法		FTJ－FAN工法	マルチジェット工法	Minyマルチ工法
協会 / 研究会		エフツインジェット工法研究会	マルチジェット工法協会	
工法の概要		 既設構造物の耐震補強や沈下対策等で、構造物の直下を改良する場合に、扇形あるいは矩形（長方形）断面の改良体を造成する工法である。 撹拌翼の正面に取り付けた複数の噴射ノズルから高圧かつ大流量の固化材スラリーを揺動噴射させることにより、扇型あるいは矩形断面の改良体を造成する工法である。噴射ノズルは、所定距離で交差させることで、切削範囲を限定すると共に、噴射ノズルの水平距離と揺動角を適宜設定することにより、自由な形状の改良体を造成できる。 ※NETIS登録：HR-140015-A	 従来の高圧噴射撹拌工法は、円柱状の改良が主流であるため、設定された改良範囲に対して無駄な改良が発生していた。また、最大到達距離が短いため、削孔本数が多くなり段取り替えが頻繁に発生していた。 マルチジェット工法は、造成用ロッドの動きを**揺動方式**にし、専用多孔管による複数方向の同時噴射方式を用いることによる上記課題を解決し、**低コスト・工期短縮**を実現した工法である。	 Minyマルチ工法は、高圧噴射撹拌工法の一種であるマルチジェット工法をベースに、施工マシンを**超小型化した工法**である。 **工場等の既設施設内などの狭隘地での施工が可能**で、幅1m×高さ2mの空間で適用できる。 独自開発のロッド回転制御による**楕円状改良体が可能**となり、液状化対策工法の1つのある**格子状地中壁工法**の合理的な築造が可能な工法である。
特　徴		◆長所 ・扇型あるいは矩形（長方形）の自由な形状の改良体の造成が可能である。 ・周辺の地盤や構造物への変位影響を小さくしての施工が可能である。 ・効率的な改良断面の配置が可能である。 ・施工条件に応じた最適な施工機を選択できる。 ◆留意点 ・排泥処理が必要である。	◆長所 ・**自由形状の造成が可能** ・**最大直径８ｍ（砂質土）の大口径改良**が可能 ・リアルタイム施工管理による高精度な施工管理が可能 ・専用ツールスによる造成直後の改良径確認および改良径予測が可能 ・**専用小型マシン**により、**自走移動やクレーン不要の施工**が可能 ・噴射方向を任意に設定できるため、**護岸背面等の改良**ではセメントスラリーを海側に噴射することがないため、**漏洩リスクが小さい**。	◆長所 ・Ｍｉｎｙマルチ専用マシンより、既設施設内の狭隘地の施工が可能 （**幅１ｍ×高さ２ｍの空間で施工可能**） ・専用ロッドの回転を制御することで**楕円状改良体が可能**となり、経済的かつ効果的な格子状地中壁の築造が可能 ・リアルタイム管理装置による管理圧力、流量、回転速度、引上速度の管理および独自開発のリアルタイム品質確認方法により、設計基準強度以上の**安定した品質**の供給が可能
使用機械		FTJ-FAN施工機（92kw），スラリープラント（40m³/h），発動発電機（600kVA），発動発電機（200kVA），空気圧縮機（1.05MPa，15m³/分），超高圧ポンプ（35MPa，0.40m³/分），バックホウ（0.5m³）	・標準タイプ（W170×L235×H240cm、4.0t） ・低空頭タイプ（W130×L200×H200cm、2.1ｔ） ・超小型タイプ（W60×L75×H163cm、0.7t） ・超高圧ポンプ、高圧コンプレッサー、スラリープラント ・ラフタークレーン ・その他プラント機材一式	・Ｍｉｎｙマルチ専用マシン（W60×L75×H163cm、0.7t） ・超高圧ポンプ、高圧コンプレッサー、スラリープラント ・クレーンは施工条件による ・その他プラント機材一式
狭隘部での施工	施工時の最小幅	6m程度（N型施工機） 2．5m（S型施工機）	１m程度	１m程度
	空頭制限	標準9．6m（低空頭仕様6．5m）：（N型施工機） 5．5m（補助クレーン不使用時）：（S型施工機）	２m程度	２m程度
標準施工ヤード		施工ヤード　：　12m×15m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード　：　10m×20m程度	施工ヤード　：　５m×５m プラントヤード　：　１５m×１０m	施工ヤード　：　５m×５m プラントヤード　：　１０m×１０m
適用土質		砂質土　：　N≦30 粘性土　：　N≦　3	砂質土　：　Ｎ＜１５０ 粘性土　：　Ｎ＜7	砂質土　：　Ｎ＜１５０ 粘性土　：　Ｎ＜7
適用深度		ボーリングマシンタイプ（S型施工機）：10m 自走式超小型施工機（N型施工機）：10m 自走式小型施工機（N型施工機）：17m（継ぎ施工の場合は最大20m）	最大８０m	最大１５m
施工角度		鉛直	鉛直、斜め±１０度以内	鉛直、斜め±１０度以内
有効径（mm）		扇形タイプ　噴射距離：砂質土R=3500mm、粘性土R=3000mm（※Rは半径。砂質土に対しては噴射距離R=4,000mmの実績がある。），揺動角：～180°迄 矩形タイプ　砂質土、粘性土の別なく　幅500m、噴射距離4000mm	Φ２，０００～８，０００mm	長径　：　３，０００～４，０００mm 短径　：　１，０００～１，５００mm
設計強度		砂質土　：　quck＝3,000kN/㎡ 粘性土　：　quck＝1,000kN/㎡	砂質土　：　ｑｕ＝１．０～４．５MN/m² 粘性土　：　ｑｕ＝０．５～１．５MN/m² 腐植土　：　ｑｕ＝０．３MN/m²	砂質土　：　ｑｕ＝２．５MN/m² 粘性土　：　ｑｕ＝１．０MN/m²
標準施工能力 ※1		60m³/日～70m³/日（N型施工機R3500mm θ120°）	１５０～３００m³ /日・１セット	１００～２００m³ /日・２セット
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		43,000円/m³～44,000円/m³（N型施工機R3500mm θ120°）	１５，０００円/m³ ～ ４０，０００円/m³	１５，０００円/m³ ～ ２５，０００円/m³
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り土量		23,200m³（排泥発生量）	１０，８００m³ （排泥発生量）	１１，１００m³ （排泥発生量）
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		696,000千円（ラップ100%改良） （R3500 θ120°）	４００，０００千円（１００%改良） （φ５．０m，α３６０度：５４本、φ５．０m，α１８０度：２７本）	３６０，０００千円（１００%改良） （３．６m×１．２m：３７２本）
施工実績 （2015年7月現在）		13件　（2015年研究会実績）	４１件	７件
備　考	（資料提供者所属名）	（株）不動テトラ	前田建設工業（株）・（株）ミヤマ工業	前田建設工業（株）・（株）ミヤマ工業
	（参考リンク先）	―	https://multi-jet.jp/ （マルチジェット工法協会）	https://www.maeda.co.jp/tech/all/td00075.html

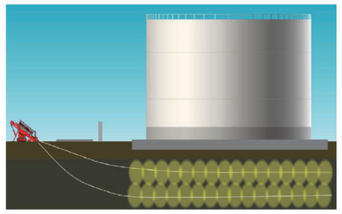
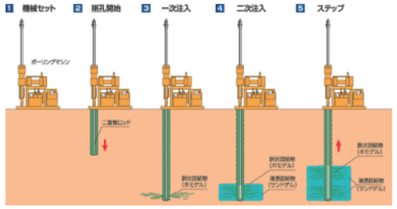
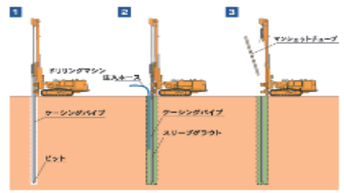
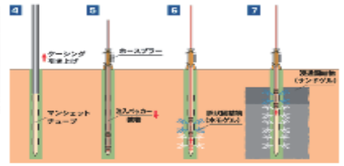
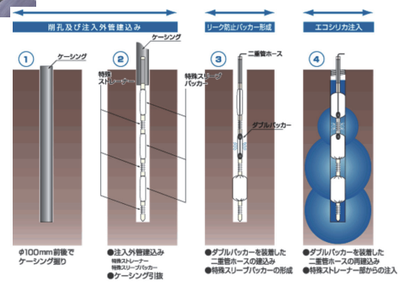
※1)改良長5～20mの範囲で幅を持たせて記入した。

表ー1．5　地盤改良工法（薬液注入工法）（1）

工　法		スリーブ注入工法	エキスパッカ-N工法	超多点注入工法	MAGAR（マガール）工法
協会 / 研究会		スリーブ注入工法協会	―	恒久グラウト本設注入協会	―
工法の概要		 **スリーブ注入工法** 注入区間を限定した確実な注入 **Newスリーブ注入工法** 複雑な互層地盤への確実な注入 スリーブ注入工法は砂礫層や崩壊性の高い未固結層・破砕帯・風化帯等、わが国で多く見られる**複雑な複合地盤を改良する**工法である。”必要な箇所”に”最適な材料”を”必要な量だけ”注入できる、省資源・無公害のマルチグラウト工法である。	 エキスパッカ-N工法は、高速・広範囲に注入材を吐出できる特殊注入管によって、**既設構造物に影響を与えることなく、スピーディに地盤を改良する液状化対策工法**である。大容量の効率的な浸透注入による急速改良を実現している。	 地盤中に埋め込んだ注入ノズルから、同時に多数の個所において低吐出で且つ三次元同時に急速浸透施工が行えるように、脈動のない多連ポンプ（超多点専用ポンプ32連1ユニット）を用いた注入工法で、省力化を図り合理的に注入を行う工法。	 MAGAR工法は、高精度の位置検知システムにより削孔軌跡の計測を行いながら、特殊な専用ロッドと先端モニターを使用する**自在ボーリング技術**を用いた薬液注入工法である。 そのため、**コンパクトな施工設備**で既設構造物直下の地盤改良ができるため、施設運用の影響を最小限にとどめて**低コストで施工可能**である。
特　徴		◆長所 ・スリーブ注入工法で用いるダブルパッカ-は任意の流量と圧力を、スリーブバルブは所定の方向性を与えることが出来る。 ・削孔工程とグラウト注入工程が完全に分離していることで作業の合理化と的確な注入管理が可能。 ・複合注入は異なる複数の地層に対して、それぞれに適した注入材と仕様で段階的に注入し、均質な地盤に改良出来る。 ・【1次注入】：大きな空隙を懸濁型グラウトで充填し、地盤を均質にする。 【2次注入】：均質にした地盤の小間隙に対して溶液グラウト等を浸透させて密実にする。	◆長所 ・注入内管（トリプルパッカ）からの低圧力注入により、直径約3mの大型改良体を高速で造成出来る。 ・ソイルパッカと**孔壁崩壊防止マット（ジオフィルターN）の効果**によって柱状空間を確保し、均一に注入できる。 ・浸透性の高い恒久グラウトを注入することにより、既設施設の直下・周辺でも変位などの影響を与えず施工が出来る。 ・小型ボーリングマシンを使用するため、狭隘な作業スペースでも対応出来る。	◆長所 ・各ポイント1～5L/minの薬液をそれぞれの注入ポイントの地盤性状にあわせて注入し、脈動のない低吐出で静かに注入できる。 ・各注入ポイントの注入圧力・流量を監視する監視装置と、このデータをリアルタイムに表示・記録する管理装置を利用し、注入圧力・流量とも厳密に制御することができる。 ・多数の吐出口から同時に低吐出量で長時間連続注入することにより、広範囲な土粒子間浸透をすることができる。	◆長所 ・**最大延長150m**までの削孔が可能 ・**最小曲率R30m**までの曲線削孔が可能 ・**削孔精度±30cm以内**の削孔が可能 ・コンパクトが施工機械で**9m程度の施工ヤード**で適用可能 ・**硬質地盤**などが中間層に存在する場合でも施工が可能 ・地山に直接パッカーを行う注入方式で**注入管の残置が不要** ・**様々な薬剤の適用**が可能
使用機械		・ロータリーパーカッションドリル ・グラウトポンプ ・グラウトミキサー ・流量計 ・発電機	・ロータリーパーカッションドリル ・グラウトポンプ ・グラウトミキサー ・流量計 ・発電機	・ロータリーパーカッションドリル ・専用ポンプ（32ポイント/ユニット） ・グラウトミキサー ・流量計 ・発電機	・専用マシン（W180×L670×H400cm） ・泥水ポンプ ・薬液製造プラント ・注入ポンプ ・その他プラント機材一式
狭隘部での施工	施工時の最小幅	4　m程度	4　m程度	4　m程度	2　m程度
	空頭制限	7．5m以上（標準機、鉛直施工時）	7．5m以上（標準機、鉛直施工時）	7．5m以上（標準機、鉛直施工時）	4　m程度
標準施工ヤード		施工幅　：　4．0m以上（削孔機外寸：7．2m×2．4m） 10m×10m=100m^{2}程度（プラントヤード）	施工幅　：　4．0m以上（削孔機外寸：7．2m×2．4m） 10m×10m=100m^{2}程度（プラントヤード）	施工幅　：　4．0m以上（削孔機外寸：7．2m×2．4m） 10m×10m=100m^{2}程度（プラントヤード）	施工ヤード　：　2m×9m プラントヤード　：　10m×10m
適用土質		砂質土・砂礫・粘性土	砂質土	砂質土	砂質土：Fc＜30% ※粘性土が互層に存在する地盤や地下水の流れが速い地盤は特に注意
適用深度		概ねGL-40m程度	概ね　GL－25m程度	概ねGL－25m程度	最大20m
施工角度		鉛直、斜め、水平	鉛直、斜め、水平	鉛直、斜め、水平	鉛直、斜め±35度以内
有効径（mm）		削孔ピッチ：0.8m～1.2m	削孔ピッチ　：　1．6m～2．0m （改良球径：Φ2.0m～Φ2.5m）	削孔ピッチ：1.0m～2.0m	Φ1,000～2,500mm
設計強度		【粘着力　C】 最大100kN/m^2	【一軸圧縮強度　qu】 砂質土　100 kN/m^2 ～300kN/m^2 ※室内配合試験により材料種（シリカ濃度を設定）	【一軸圧縮強度　qu】 砂質土　100 kN/m^2 ～300kN/m^2 ※室内配合試験により材料種（シリカ濃度を設定）	砂質土　：　qu＝50～200kN/m^2
標準施工能力 ※1		V=14,200L/4セット・日 ※但し、注入量（注入率：λ=40.5%）	Q=20,000ℓ/4セット・日 ※但し、注入量（注入率：λ=40.5%）	Q=40,000ℓ/1ユニット・日 ※但し、注入量（注入率：λ=40.5%）	削孔工：約50m/日 注入工：20～30m^3/日（注入率40．5%）
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		38,500円/m^3（対象土量） （95円/ℓ）	30,000円/m3（対象土量） （74円/ℓ）	30,000円/m^3（対象土量） （74円/ℓ）	30，000円/m^3～50，000円/m^3
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り量		排泥発生・盛上り無し	排泥発生・盛上り無し	排泥発生・盛上り無し	排泥発生量：240m^3（削孔泥水、プラント洗浄液等） ※盛上り等は発生しない。
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		308,400千円	256,400千円	236,800千円	450,000千円 （L＝3675m、Q＝5265m^3（40．5%））
施工実績 （2015年7月現在）		多数	42件	130件	2件
備　考	（資料提供者所属名）	日特建設（株）	日特建設（株）	恒久グラウト本設注入協会　/　液状化防止注入協会 （日特建設（株）　/　若築建設（株））	前田建設工業(株)、（株)ミヤマエ業
	（参考リンク先）	http://www.nittoc.co.jp/technology/0580.html	http://www.nittoc.co.jp/technology/0496.html	http://www.nittoc.co.jp/	https://www.maeda.co.jp/tech/all/td0062.html

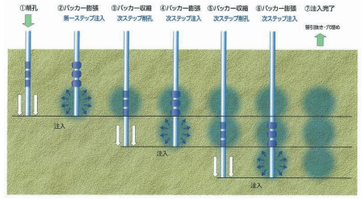
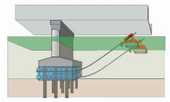
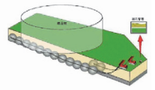
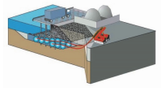
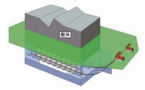
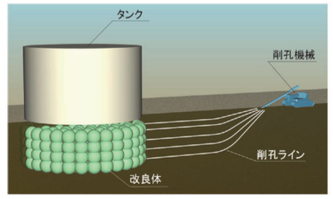
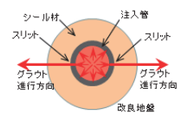
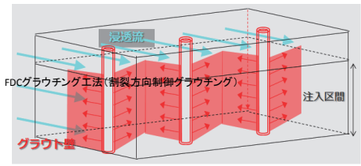
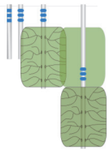
※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表ー1．5　地盤改良工法（薬液注入工法）（2）

工　法		グランドフレックスモールド工法	マルチライザー工法	ソレタンシュ工法	浸透固化処理工法
協会／研究会		ー	ー	ソレタンシュ注入協会	浸透固化処理工法研究会
工法の概要		 「斜め」「曲り」「水平」を合わせた位置制御可能な自在ボーリング技術と，薬液注入による地盤改良技術を組み合わせた工法。大掛かりな仮設工事を行うことなく，既存構造物直下の地盤改良施工を確実に行うことができる。	 	   	 
特　徴		◆長所 ・自在ボーリング技術により曲線状の制御削孔が可能で，既設構造物直下地盤の改良も効果的に施工できる。 ・打撃貫入機能により，硬い地盤や障害物に対する削孔性能が高い。 ・施工中の振動，騒音等は小さく，地盤隆起等の心配もほとんどない。 ◆留意点 ・深い地盤改良箇所へはアプローチ削孔が長くなる。 ・改良対象土層厚が厚いと，施工本数が多くなり，工費・工期が増大する。 ・注入外管が残置される。	◆工法の概要 ・二重管ロッドにて注入予定深度まで削孔完了後、内管と外管に送液し先端部分で合流させることにより瞬結性注入材とロッド周囲のシール及び層境等の１次処理をした後、ゲルタイムの長い浸透性グラウトを注入し、地盤の浸透注入を図る工法である。 ◆長所 ・瞬結材でロッド周囲をシールするため、逸出は少ない。 ・砂質土に浸透注入を行い、比較的均質な改良が得られ、地盤変状が少なく、構造物に対する影響が少ない。	◆工法の概要 ・予定深度までφ100mm程度にて削孔完了後、注入用外管を挿入し、注入用外管と地山との間をセメントペーストイトで充填しシールを行う。 注入は注入用外管の内に注入用パイプ（ダブルパッカー付）を挿入し行なう。 ◆長所 ・異種の注入材を同一注入箇所から繰り返し注入でき、地盤性状に応じた確実な効果が得られる。 ・砂質土に浸透注入を行い、比較的均質な改良が得られ、地盤変状が少なく、構造物に対する影響が少ない。	◆長所 ・浸透性の良い恒久薬液を注入することで、従来工法では不可能であった既設構造物直下への施工できる。 ・低圧で浸透注入することにより、上部構造物に与える隆起などの影響がほとんどない。 ・従来の水ガラスからアルカリ成分を除去した恒久薬液を使用するため、長期的に劣化しない。 ・改良に伴う建設発生土などの建設副産物が発生しない。 ・騒音や振動が小さいため、市街地でも適用できる。
使用機械		・ボーリングマシーン（自在ボーリング施工機） ・油圧ユニット ・グラウトミキサー・削孔ポンプ・発電機等 ・注入ポンプ ・流量圧力管理装置他	ボーリングマシン、グラウトポンプ、ミキシングプラント、 流量計、材料タンク、水槽	ドリリングマシン、グラウトポンプ、インジェクションポンプ、ミキシングプラント、 流量計、材料タンク、水槽	ドリリングマシン、グラウトポンプ、インジェクションポンプ、 ミキシングプラント、流量計、集中管理装置、材料タンク、水槽
狭隘部での施工	施工時の最小幅	3m程度（機械幅2．5m）	1m程度（機械幅0．6m）	3m程度（機械幅2．5m）	3m程度（機械幅2．5m）
	空頭制限	クローラータイプ削孔角度25°程度 ： 標準4m	5．5kW級ボーリングマシン＿0．5mロッド使用 ： 2m	クローラ型ドリリングマシン ： 5m スキッド型ドリリングマシン ： 3m	クローラ型ドリリングマシン ： 5m スキッド型ドリリングマシン ： 3m
標準施工ヤード		削孔作業ヤード ： 3m×10m程度 削孔プラントヤード ： 7．5m×10m程度 注入工プラントヤード ： 5m×20m程度	施工作業ヤード ： 幅3m × 長3m 程度以上 プラントヤード ： 5m×20m 程度	施工作業ヤード ： 幅5m × 長5m 程度以上 プラントヤード ： 10m×20m 程度	施工作業ヤード ： 幅5m × 長5m 程度以上 プラントヤード ： 10m×20m 程度
適用土質		1≦N≦20程度， 細粒分含有率Fc＜40	砂質土・粘性土に適用する	砂質土・粘性土ならびに砂礫や風化岩等に適用する	砂質土に適用する（Fc≦40%）
適用深度		削孔深度 ： GL－25m程度まで （曲率半径R＝50m以上，削孔長150m程度まで）	25m以下 （25m以深は検討が必要）	50m以下 （実績では100m）	20m以下 （液状化対策深度を対象としている）
施工角度		斜め，曲り，水平 （削孔アプローチ角度：10～25°）	360度可能	360度可能	鉛直下方（0°）～水平（90°） 上向きは要検討
有効径（mm）		@2．0m正方形配置以下が基本 改良体径 2．5m以下	注入孔間隔で1．0m程度 ※有効径の考え方はしない	注入孔間隔で1．0m～1．5m程度 ※有効径の考え方はしない	注入孔間隔で2．0mを標準とする ※有効径の考え方はしない
設計強度		qu＝50～150kN/m^{2}程度 （特殊シリカ系薬液）	砂質土 ： 粘着力にて60～80kN/m^2 粘性土 ： 粘着力にて原地盤＋10kN/m^2 ただし40kN/m^{2}を上限とする	砂質土：粘着力にて60～100kN/m^2 粘性土：粘着力にて原地盤＋10kN/m^2 ただし40kN/m^{2}を上限とする	一軸圧縮強さにて60～200kN/m2程度
標準施工能力 ※1		平均削孔長≒50m／日／set 平均注入量≒6,000L／日／set	対象土量にて10～15m^3 ／ 日・台	対象土量にて 5～10m^3 ／ 日・台	対象土量にて 20～30m^3 ／ 日・台
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		アプローチ削孔長40%程度の場合 35,000～50,000円/改良対象土量	35,000～40,000円/対象土量m^3	40,000～45,000円/対象土量m^3	20,000～40,000円/対象土量m^3
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り量		排泥処理量 ： 244m^3	排泥発生量 ： 90m^3（プラント洗浄等）	排泥発生量 ： 320m^3（プラント洗浄等）	排泥発生量 ： 100m^3（プラント洗浄等）
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		658,000千円 （注入対象14,000m^3）	384,400千円 （対象土量：13,000m^3）	508,200千円 （対象土量：13,000m^3）	315,200千円 （対象土量：13,000m3）
施工実績 （2015年7月現在）		13件	約5，000件 （昭和53年より施工） 一般名称は二重管ストレーナー工法	約3，000件 （昭和47年より施工） 一般名称は二重管ダブルパッカー工法	260件 （平成10年より施工） 「浸透固化処理工法技術マニュアル」沿岸技術開発センターに準拠
備　考	（資料提供者所属名）	大成建設（株），成和リニューアルワークス（株），（株）キャプティ， 三信建設工業（株），強化土エンジニアリング（株）の共同開発	ライト工業（株）	ライト工業（株）	ライト工業（株）
	（参考リンク先）	http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/528/365/K00X98.pdf	http://www.raito.co.jp/	http://www.raito.co.jp/	https://www.pgm-koho.jp/

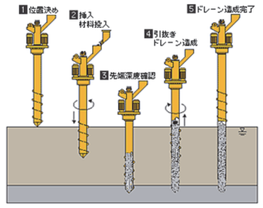
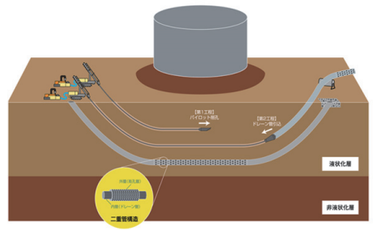
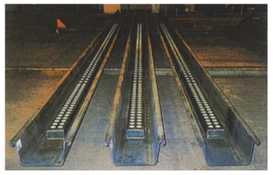
※1）改良長5m～20mの範囲を想定

表—1．5　地盤改良工法（薬液注入工法）（3）

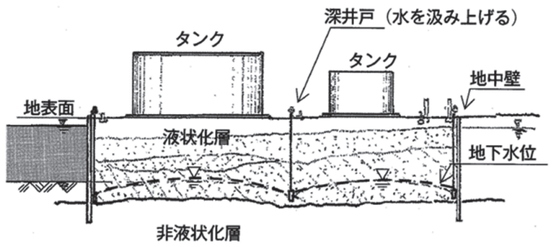
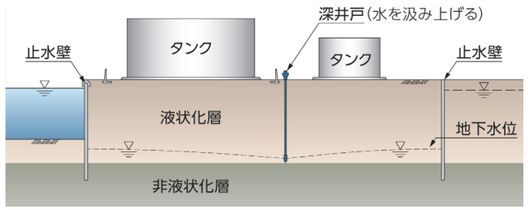
工　法		ニューマックス工法	カーベックス工法	ジオフレックスドリル工法	FDCグラウチング工法 （**F**racture **D**irection **C**ontrolled **G**routing）
協会／研究会		ニューマックス工法研究会	CurveX工法研究会	―	
工法の概要		 	    	 【工法の概要】 建築構造物・港湾構造物・LNGタンクなど既設構造物の周辺から制御ボーリング（斜めや曲線の削孔が可能）によって構造物の直下を削孔することにより、立坑を構築することなく地表面から構造物直下の地盤を補強する工法	   FDCグラウチング工法は、未固結層や軟弱地盤において、浸透流に直行する方向に、鉛直の割裂グラウト脈を発生させることで、地盤変位を抑え、効率テクに止水膜を形成させる工法である。地盤内に存在するさまざまな方向性を有する割れ目や弱部も、形成された鉛直割裂割れ目からグラウトが供給され確実に止水させる。
特　徴		◆長所 ・膨張式パッカーで注入ステップ区間のシールを行うため所定の範囲内に限定して均等な注入ができる。 ・削孔と注入を同じ作業工程で交互に行うため施工能率と改良品質が高い。 ・ダブルパッカー注入方式より安価である。 ・施工設備が簡単である。 	◆長所 ・ドリルヘッドに削孔位置検知装置を内蔵し、正確な掘進・削孔により3次元的な注入ライン削孔が可能。 ・薬液注入は、長期耐久性薬液を使用し、液状化対策を行う。 ・隣接した小さな作業スペースで供用中の構造物直下の施工が可能で、低吐出量・低圧力での薬液注入により構造物への影響は少ない。 ・注入外管を残置しない施工が可能。	◆長所 ・位置測定システムを用いて削孔軌道を連続的に計測することで、曲線削孔を精度良く行うことが可能 ・打撃（パーカッション）での削孔が可能なため、路盤等の硬質地盤や、礫混じり地盤にも対応可能 ・専用のロッドや特殊パイプの使用により、土壌や地下水の採取が可能 ・汚染物質を分解、吸着する薬剤を用いての原位置土壌汚染対策にも適用可能	◆長所 ・注入による割裂脈の方向を人為的に制御出来る。 ・スリーブ注入工法で用いるダブルパッカーは任意の流量と圧力を、そして鉛直スリットを有した注入管により、人為的に方向性を与えることが出来る。 ・削孔工程とグラウト注入工程が完全に分離していることで作業の合理化と的確な注入管理が可能。 ・注入材料は、目的に応じて選択出来る。
使用機械		ボーリングマシン　：　油圧式　5.5kW 薬液注入ポンプ　：（5～20)L/min.×2　3.7kW 薬液ミキサー　：　200L×2　0.4kW グラウトミキサ　：200L×2　2.2kW 流量圧記録装置　：　印字式　0.15kW 水ガラス流量積算計　：　使用水ガラス量の計測	・カーベックスマシン　：　125HP（計測器一式含む） ・薬液注入ポンプ　：（5～20)L/min.×2　3.7kW ・薬液ミキサー　：　200L×2　0.4kW ・グラウトミキサ　：200L×2　2.2kW ・流量圧記録装置　：　印字式　0.15kW ・水ガラス流量積算計　：　使用水ガラス量の計測	・専用の削孔機械 ・ミキシングプラント ・送水ポンプ、注入ポンプ ・集中管理装置	・ロータリーパーカッションドリル ・グラウトポンプ ・グラウトミキサー ・流量計 ・発電機
狭隘部での施工	施工時の最小幅	1．5m	2．0m	標準機械　：　5．0m 小型機械　：　2．5m	施工幅　：　4　m程度
	空頭制限	2．0m	4．5m	標準機械　：　3．0m 小型機械　：　2．0m	7．5m以上（標準機、鉛直施工時）
標準施工ヤード		プラント（定置）2～4ｾｯﾄ　：　50～100m^2 施工ヤード1ｾｯﾄ　：　1．5m　×　4．0m	プラント（定置）2～4ｾｯﾄ　：　50～100m^2 カーベックスマシン専有面積　：　2．0m　×　10．0m	標準機械スペース：5m　×　10m 小型機械スペース：2．5m　×　5m プラント：50～100m^2	施工幅　：　4．0m以上（削孔機外寸：7．2m×2．4m） 10m×10m=100m^2程度（プラントヤード）
適用土質		粘性土：割裂注入 砂・砂礫：浸透注入 ※崩壊性地盤，砂礫地盤では先行削孔φ100㎜が必要	粘性土：割裂注入 砂・砂礫：浸透注入 ※砂礫層の削孔には検討が必要	砂質土　：　N値25～30以下 礫質土　：　N値40～50以下　礫率40%以下	砂質土・砂礫・粘性土
適用深度		L≦25m ※砂礫・玉石層では25m未満においても先行削孔を検討	曲率最小半径　30m 最大削孔延長　200m	適用深度：30m 最大削孔延長：200m	概ね　GL－40m程度
施工角度		360°　全方位	・削孔入射角30°　以下 （三次元削孔可能，曲がり回数に制限なし）	30度（曲線部の最大展開角）	鉛直、斜め、水平
有効径（mm）		一般注入（仮設，止水）：1本/m^2 液状化対策　：　球形maxφ2．5m	一般注入（仮設，止水）：1本/m^2 液状化対策　：　球形maxφ2．5m	max　φ3．0m	削孔ピッチ　：　0．8m～1．4m
設計強度		一般注入（仮設，止水）　：　砂質土 maxC=70kN/m^2 粘性土　C＝現地盤のC＋10kN/m^2(max40kN/m^2) 液状化対策　：　qu=　40～100kN/m^2	一般注入（仮設，止水）　：　砂質土 maxC=70kN/m^2 粘性土　C＝現地盤のC＋10kN/m^2(max40kN/m^2) 液状化対策　：　qu=　40～100kN/m^2	50kN/m^2～3,000kN/m^2(施工条件による)	【一軸圧縮強度　qu】 砂質土　　100 kN/m^2　～1,500kN/m^2 ※室内配合試験により材料の種類を設定
標準施工能力 ※1		注入　：　2．5～3．5m^3/日・台	削孔　：　15～30m/日・台 注入　：　2．5～3．5m^3/日・台	自在ボーリング　施工能力　20m～40m/日 注入：3000～5000L/日/台	V=14,200L/4セット・日 ※但し、注入量（注入率：λ=40．5%）
概算施工単価 ※1 （直工、材料込）		30,000～40,000円/（改良土量：m^3）	30,000～40,000円/（改良土量：m^3）	30,000円／m^3～50,000円／m^3	48,600円/m3（対象土量） （120円/ℓ）※注入材料：65円/ℓ相当品
◆モデルケース（P.5参照）での排泥発生量または盛上り量		排泥発生・盛上り無し	排泥発生・盛上り無し	排泥発生・盛上り無し	排泥発生・盛上り無し
◆モデルケース（P.5参照）での概算直接工事費		274,300千円	310,000千円	460,000千円　（ただし、注入率40．5%で算定）	95,000千円 注入長：13m、延長：100m、注入幅：1．5m（隔壁として）
施工実績 （2015年7月現在）		57件（～2013年8月）	30　件	4　件　（総延長2．0km）	3　件
備　考	（資料提供者所属名）	ケミカルグラウト（株）	ケミカルグラウト（株）	（株）大林組・（株）大阪防水建設社	土木研究所（日特建設株式会社）
	（参考リンク先）	www.chemicalgrout.co.jp/	www.chemicalgrout.co.jp/	https://www.obayashi.co.jp/technology/shoho/pdf/2015 079 41.pdf	http://www.nittoc.co.jp/

※1）改良長5m～20mの範囲を想定

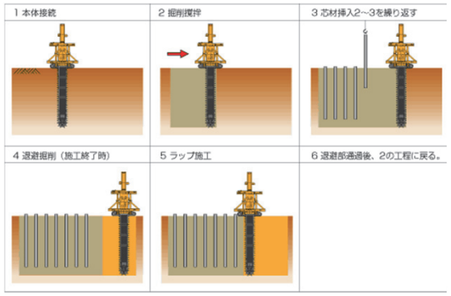
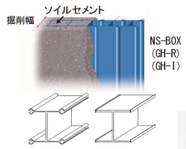
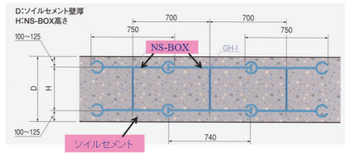
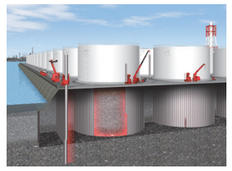
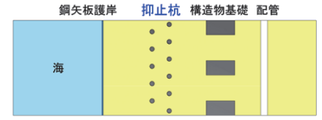
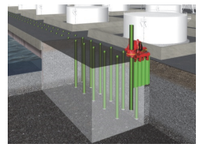
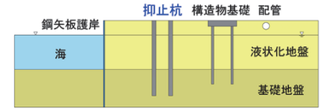
表ー1．6　地盤改良工法（間隙水圧消散工法）

工　法		グラベルドレーン工法	スパイラルドレーン工法	アーチモール工法	排水機能付き鋼材工法
協会 / 研究会		グラベルドレーン工法研究会	DEEP工法研究会	―	―
工法の概要		  ・ドレーンによって地盤の排水性を高め、地震時の過剰間隙水圧の上昇を抑えることで液状化を防止する。 ・オーガーにより、ケーシングを回転させながら地盤に貫入し、地盤中に透水性のよいグラベルドレーン（φ500mm）を残置する。	 スパイラルドレーン小型打設機  スパイラルドレーン直打・斜打兼用機 ・砂地盤中に、ポリエチレン製の円筒型ドレーンであるスパイラルドレーンを鉛直または斜めに打設し、地震時に発生する過剰間隙水をドレーン内に早期に流入・排水させ、過剰間隙水圧の上昇を抑制する工法	 アーチ・モール工法は、誘導式水平ボーリングマシンにより、構造物直下地盤に高い透水性を有する水平ドレーンを設置することで、過剰間隙水圧を速やかに消散させ、液状化を抑制する工法である。 パイロット削孔とドレーン引き込みの2工程により、非開削で、ドレーン管を水平に敷設する工法である。	  ・地盤に打設された排水機能付き鋼材の有する剛性・強度により液状化層の変形を抑制する効果が期待できる。 ・更に，鋼材に設けられた排水部材により、鋼材周辺の過剰間隙水圧の上昇を抑制し、より高い対策効果が期待できる。 ・地震後，地盤に残留する過剰間隙水圧の早期消散にも寄与し、余震等の変形抑制に効果的である。
特　徴		◆長所 ・ケーシングのスパイラルにより排土しながら貫入するので、周辺の変位影響はほとんどない。 ・地盤の透水性が低い場合、設計が成り立たない場合がある。 ・振動・騒音はSCP等の耐震工法に比べかなり低い。 ・排土量を制御することで、施工位置直近の変位もほとんどゼロにすることができる。 ◆留意点 ・地盤の透水性が低い場合、設計が成り立たない場合がある。 ・間隙水を排水することで液状化を抑える工法なので、大地震時に沈下の可能性がある。	◆長所 ・斜め打設が可能。 ・振動や騒音がほとんど発生しないので、施工時に周辺に与える影響が少ない。 ・ポリエチレン製のドレーン材は軽量なので、運搬や打設作業が容易かつ迅速に行える。 ・ドレーン材は目詰まりしにくく、またドレーン材も劣化しないため、排水能力を永く保持できる。 ◆留意点 ・地震後に水圧消散に伴う沈下が発生する可能性がある。	◆長所 ・施設や構造物を供用したまま直下地盤の対策が可能。 ・施工機が小型で限られたスペースでの施工が可能。 ・ドレーン打設間隔を地層ごとに設定可能なため、鉛直ドレーンより合理的である。 ・低振動・低騒音、かつ薬液等による地下水の汚染の心配もないため、環境に優しい。 ◆留意点 ・間隙水を排水することで液状化を抑える工法なので、大地震時に沈下を生じる可能性がある。	◆長所 ・施設や構造物を供用したまま対策が可能 ・仮設土留めを兼用することで工費削減に寄与できる ・通常の施工機で対応が可能であり、圧入工法を適用すれば無排土 ・低騒音・振動の環境に優しい施工が可能である。 ・圧入機はコンパクトであり狭隘地施工が可能である
使用機械		・打設機ベースマシーン、 リーダー、 付属部品、	・打設機ベースマシーン、 リーダー、 付属部品、 マンドレル及び管理計器	誘導式水平ボーリングマシン、 20tクレーン、0.4m3バックホウ	・油圧圧入施工 ・バイブロハンマ（電動，油圧）施工
狭隘部での施工	施工時の最小幅	3m程度	2．5m	2．5m	・必要幅1.5mで施工可能（ノンステージングシステム） ・施工起点には鋼矢板の保管・吊り込み作業ができるヤードが必要
	空頭制限	6m程度	6．0m	5．0m	5．0m
施工ヤード		10m×20m 程度	10m×20m 程度	10m×20m	・通常の鋼矢板施工と同じ （鋼矢板材料長さ，クレーンが作業できれば施工可能）
適用土質		砂質土	砂質土	砂質土	・通常の鋼矢板施工と同じで，砂質土・粘性土ともにN値50程度まで （WJ併用可能），硬質地盤は先行削孔で対応可能
適用深度		25m 程度	35 m	15m	・液状化層下の非液状化層に根入れする構造のため，液状化判定での層厚（最大20m）＋根入れ長さで対応可能
施工角度		鉛直	鉛直、 斜め	水平面に対して45度以下	鉛直施工
有効径（mm）		標準杭径　φ500	有効径 95mm（外径100mm） 透水係数 980 cm/sec	200mm(特殊二重管ドレーン；外管外径280mm）	・必要に応じて鋼材の型式選定が可能
標準施工能力		50～190m/日	30～100m/日	60m/日	・通常の鋼矢板と同等程度
概算施工単価 （直工、材料込）		3,000～6,000円/m	2,000円/m程度 （ドレーン1mあたり）	20,000円～30,000円/m^3	材料費：鋼矢板費（建設物価誌）＋排水部材費 施工費：排水機能付鋼矢板打設費 ＊型式，部材長さに応じて変動
施工実績 （2015年7月現在）		多数	100件以上	1件（試験施工）	100件以上 ＊液状化対策設計・施工マニュアル（H11），地盤工学会書籍にも掲載の一般工法
備　考	（資料提供者所属名）	公開資料より	公開資料より	（株）安藤・間、三井金属エンジニアリング(株)、（株）関根工業	新日鐵住金（株）、 JFEスチール（株）
	（参考リンク先）	―	http://www.depp-koho.jp/	http://www.ad-hzm.co.jp/tr/doboku/quake/quake_04.html	http://www.nssmc.com/product/fukkou/

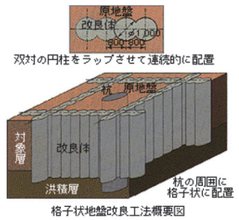
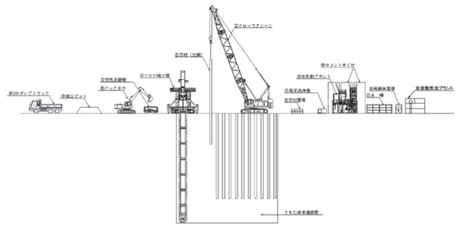
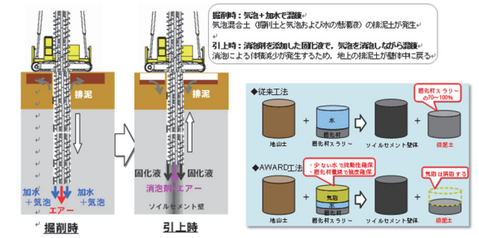
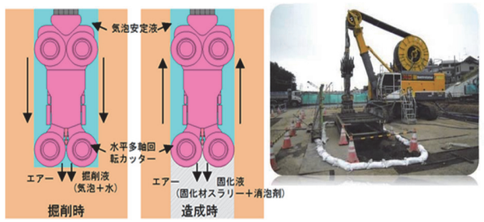
表－1．7　地盤改良工法（地下水位低下工法）

工　法		地下水位低下工法 （壁状改良体（マルチジェット工法による）工法）	地下水位低下工法 （鋼矢板壁（サイレントパイラーによる）圧入工法）	
協会 / 研究会		マルチジェット工法協会	JPA全国圧入協会	
工法の概要		 ・構造物の周囲を止水壁で囲い、その中の地下水位をディープウエル等で低下させる工法 ・マルチジェット工法では、標準タイプ・低空頭タイプ・超小型タイプと施工空間に応じて、施工機械を選定できるため、既設施設内のパイプラック直下等の**上空制限がある箇所でも対応が可能**。 また、改良直径をΦ2．0～8．0mまで対応できるため、**埋設物が多数存在する箇所でも施工が可能**である。	 ・構造物の周囲を油圧圧入機により圧入した鋼矢板の止水壁で囲い、その中の地下水位をディープウエル等で低下させ、飽和度を低下し、有効応力を増大することで液状化の発生を防止する工法 **・機械規模が小さく、狭隘地での施工が可能。矢板圧入による工法であるので、周辺地盤への影響が僅少**。	
特　徴		◆長所 ・マルチジェット工法による壁状改良体の施工は、狭隘部でも可能 ・施工空間に応じた施工機械（標準タイプ、低空頭タイプ、超小型タイプ）を選定可能 ・小口径から大口径まで対応できるため、**埋設物が多数存在する箇所でも施工可能** ・噴射方向を限定できることから、護岸背面では海側への**スラリー漏洩リスクが小さい** ・リアルタイム施工管理より高精度な施工管理が可能 ◆留意点 ・地盤沈下に注意を要する ・液状化層以深に不透水層が必要	◆長所 ・止水壁の施工を油圧圧入機（サイレントパイラー）を用いて行う ・低騒音工法であるため、近隣に民家がある場合でも施工可能 ・振動が殆んど発生しないため、既存施設への影響が少ない ・矢板を圧入により地中に貫入するため、現状**地盤の変状が僅少** ・施工ﾔｰﾄﾞが狭隘な場所での施工も可能 **・圧入管理システムによりリアルタイムに施工状態の把握が可能で高精度な施工が可能** **◆留意点** ・地下水位の低下による地盤沈下に注意を要する ・液状化層以深に不透水層が必要	
使用機械		・標準タイプ（W170×L235×H240cm、4.0t） ・低空頭タイプ（W130×L200×H200cm、2.1t） ・超小型タイプ（W60×L75×H163cm、0.7t） ・超高圧ポンプ、高圧コンプレッサー、スラリープラント ・ラフタークレーン、その他プラント機材一式	＜通常の場合＞ ・鋼矢板圧入機（サイレントパイラー） ・エンジンユニット ・クレーン ＜狭隘地施工の場合＞ 上記に加え、杭上を自走可能な下記機械の利用が可能 ・吊り込み機械（クランプクレーン） ・部材運搬装置（パイルランナー）	
狭隘部での施工	施工時の最小幅	1．0m程度	必要幅1.5mで施工可能（ノンステージングシステム） 施工起点には鋼矢板の保管・吊り込み作業ができるヤードが必要	
	空頭制限	2．0m程度	U形鋼矢板Ⅳw型（特殊継手仕様）：1．0m U形鋼矢板Ⅱ型～Ⅳ型　：1．6m U形鋼矢板V_L型～VI_L型　：1．9m	
施工ヤード		施工プラント：15m×10m	施工起点部に　幅10m×長さ21m　のヤードが必要	
適用土質		砂質土：N＜150 粘性土：N＜7	全ての土質に対応可能 ・併用工法を用いない圧入工法　N値≦25 ・ウォータージェット併用圧入工法　N値≦50 ・オーガー併用圧入工法　N値≦600　（換算N値）	
適用深度		80m程度	最大施工実績　鋼矢板L＝40．0m	
標準施工能力		150～300m^3/日・1セット	最大N値=10の地盤へ鋼矢板Ⅲ型、鋼矢板長L=11．0m（圧入長ℓ=10．5m）を圧入施工する場合 ・日進量　：　22 枚/日（施工延長 8．8m/日）	
概算施工単価（参考） （直工、材料込）		270，000千円（94，000円/壁m^2） （平面：10m×100m、φ5．0m,α20度：48本、揚水費は別途）	壁面積1m^2あたり　20,000 円 （上記、標準施工能力欄に記した条件で積算。条件によって施工費は変動するため、積算時は要相談）	
施工実績 （2015年7月現在）		2件	止水壁の実績　：　多数 （地下水位低下工法実績　：　20件）	
備　考	（資料提供者所属名）	前田建設工業(株)	（株）技研製作所	
	（参考リンク先）	https://multi-jet.jp/ （マルチジェット工法協会）	https://www.giken.com/ja/	

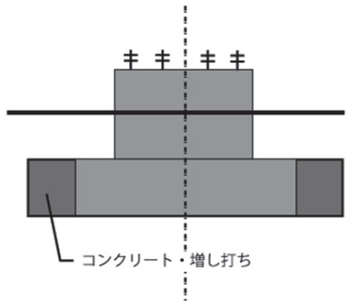
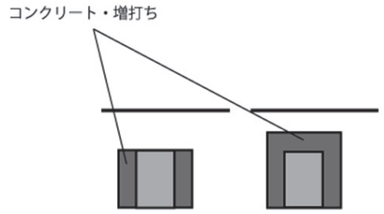
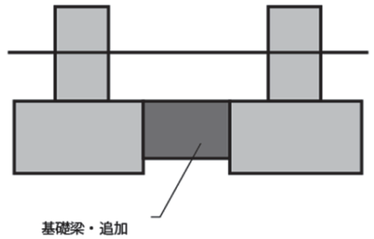
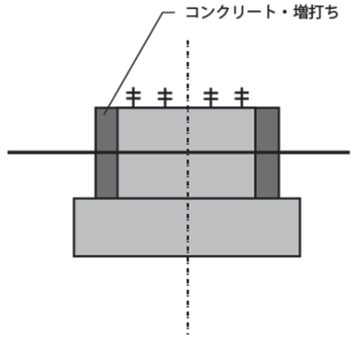
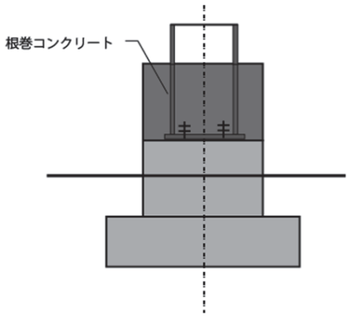
表－2．1　せん断変形抑制工法（1）

工　法	連続地中壁工法（TRD工法）	連続地中壁工法（鋼矢板等工法）	変形抑止壁圧入工法	変形抑止杭圧入工法
協会／研究会	TRD工法協会	鋼製地中連続壁協会	JPA 全国圧入協会	JPA 全国圧入協会
工法の概要	 ・地中に建て込んだカッターポストを横方向に移動させ、カッターチェーンに取り付けられたカッタービットで地盤を掘削しながら、鉛直方向に固化液と原位置土とを混合撹拌し、壁状の改良体を地中に造成する工法	 図　鋼製地中連続壁工法－Ⅱの構成図  図　鋼製地中連続壁工法－Ⅱの断面 鋼製地中連壁工法は、嵌合継手を有する鋼製連壁部材「NS-BOX」を相互に連結しながら地中に建込み、高性能で信頼性の高い壁体を構築する工法 施工法は、安定液掘削工法（工法－Ⅰ）と原位置土混合撹拌工法（工法－Ⅱ）の2種類の工法がある	 ①タンク部：せん断変形を抑制するために、構造物周囲を油圧圧入機により圧入した鋼矢板壁で囲い、液状化の発生および液状化によるタンクの被害を防ぐ工法 ②護岸部：護岸背後の地盤に油圧圧入機により圧入した鋼管杭を連続的に配置して、液状化による流動圧を受け持ち、地盤変状を抑制する工法	平面図   側面図  護岸背後の地盤に油圧圧入機により圧入した杭を千鳥状に間隔を設けながら配置して、液状化による流動圧を受け持ち、地盤変状を抑制する工法。 「抑止杭工法」は、（株）大林組と濱田政則早稲田大学名誉教授が開発した工法である。
特　徴	◆長所 ・低重心の施工機を使用するため、施工時の安全性に優れている。 ・直進性、鉛直性に優れた高精度施工が可能である。 ・壁形状が等厚となるため、任意の間隔で土留め応力材の建込みが出来る。	◆長所 ・高い断面性能を有することから土留め壁の薄壁化が可能 ・現場の省スペース化や省力化を図ることが可能 ・本体利用が可能なこと、また支保工の軽減による工期短縮が可能 ・止水性に優れる高品質の壁体が構築可能	◆長所 ・壁体の施工を油圧圧入機（サイレントパイラー）を用いて行う ・低騒音工法であるため、近隣に民家がある場合でも施工可能 ・振動が殆んど発生しないため、既存施設への影響が少ない ・鋼管杭や矢板を圧入により地中に貫入するため、現状地盤の変状が少ない ・施工ヤードが狭隘な場所での施工も可能 ・地下水位低下工法等との併用による多重防御も検討できる ・護岸部の補強は、護岸から離れた敷地内に施工することもできる。 ・硬質な地盤や既存コンクリート構造物も貫通可能	◆長所 ・壁体の施工を油圧圧入機（サイレントパイラー）を用いて行う ・低騒音工法であるため、近隣に民家がある場合でも施工可能 ・振動が殆んど発生しないため、既存施設への影響が少ない ・鋼管杭を圧入により地中に貫入するため、現状地盤の変状が少ない ・施工ヤードが取れない狭隘な場所での施工が可能 ・連続的な設置を必要としないため、既設設備を避けて施工することが可能 ・施工本数が少なく経済性が高い ・護岸から離れた敷地内に施工することもできる ・硬質な地盤や既存コンクリート構造物も貫通可能
工法名（参考）	他の連続地中壁工法 ・SMW工法 ・ESウォール工法　　等	・鋼製地中連続壁工法	①タンク部　：　鋼矢板リング部 ②護岸部　：　前面鋼管矢板・鋼管杭圧入工法 （ジャイロプレス工法　NETIS登録番号：KT-060020-VE）	・抑止杭（鋼管杭）圧入工法 （ジャイロプレス工法　NETIS登録番号：KT-060020-VE）
使用機械	・TRD機、 バックホウ、 クローラクレーン、スラリープラント、 コンプレッサー　　等	・CSM工法機あるいはTRD工法機 ・久ローラクレーン　，　バックホウ ・セメントサイロ　，　鋼製水槽 ・発電機　他	＜通常の場合＞ ・タンク部：直線形鋼矢板圧入機 ・護岸部：鋼管杭回転切削圧入機（ジャイロパイラー） ・エンジンユニット ・クレーン ＜狭隘地施工の場合＞ 上記に加え、杭上を自走可能な下記機械の利用が可能 ・吊り込み機械（クランプクレーン） ・部材運搬装置（パイルランナー）	＜通常の場合＞ ・鋼管杭回転切削圧入機（ジャイロパイラー） ・エンジンユニット ・クレーン ＜狭隘地施工の場合＞ 上記に加え、杭上を自走可能な下記機械の利用が可能 ・吊り込み機械（クランプクレーン） ・部材運搬装置（パイルランナー）
狭隘部での施工 施工時最小幅	7．0m （TRD－Ⅰ型機）	（事例から）　工法－Ⅰ：　13m 工法－Ⅱ：　9.0m（TRD－Ⅲ型機）、 9.5m（CSM）	幅1．2m～2．5mで施工可能（ノンステージングシステム） 施工起点には杭／矢板の保管・吊り込み作業ができるヤードが必要	幅2．5mで施工可能（ノンステージングシステム） 施工起点には鋼管杭の保管・吊り込み作業ができるヤードが必要
狭隘部での施工 空頭制限	6．0m （TRD－Ⅰ型機）	工法－Ⅰ　5．0m （回転式水平多軸） 工法－Ⅱ　6．0m （TRD－Ⅰ型機）、 6．7m （CSM 低空頭型）	直線形鋼矢板　：2．0m 鋼　管　杭　：4．7m	鋼管杭　：　4．7m
標準施工ヤード	16m×16m程度（プラント設備）	（事例から） 工法－Ⅰ　2600m^2（22件、実績平均） 工法－Ⅱ　2500m^2（TRD－Ⅲ型機事例）、 1600m^2（CSM 事例）	下記のヤードが施工起点部のみに必要 鋼矢板圧入の場合　：　幅10m×長さ20m 鋼管杭圧入の場合　：　幅12m×長さ24m	下記のヤードが施工起点部のみに必要 鋼管杭圧入の場合　：　幅12m×長さ24m
適用土質	N≦100以下の砂質土、粘性土、礫質土 礫径≦Φ100mm	（工法－Ⅰ）　砂・粘土・岩・玉石・礫 （工法－Ⅱ）TRD　：　N≦100以下の砂質土、粘性土、礫質土、礫径≦φ100mm CSM　：　N≦200以下の砂質土、粘性土、礫質土、 軟岩Ⅰ級、礫径≦φ100mm	全ての土質に対応可能 ・併用工法を用いない圧入工法　　N値≦25 ・ウォータージェット併用圧入工法　　N値≦50 ・オーガー併用圧入工法　　N値≦600（換算N値） ・回転切削圧入工法　　N値≦600（換算N値）	全ての土質に対応可能（コンクリート構造物含） ・回転切削圧入工法　N値 ≦ 600（換算N値）
適用深度	TRDⅡ型　→　35m TRDⅢ型　→　60m	工法－Ⅰ　深さ　：　～180 m 工法－Ⅱ　深さ　：　～ 65 m	最大施工実績 ①タンク部：直線形鋼矢板　　L ≒ ２０m ②護岸部　：鋼管杭（鋼管矢板）　　L ≒ ６０m	最大施工実績 鋼管杭　L ≒ 60m
有効径（mm）	壁厚　TRDⅡ型　550 ～ 700mm TRDⅢ型　550 ～ 850mm	壁厚　：　600 ～ 2400mm	①タンク部：直線形鋼矢板 FX型、FXL型(5000mm幅) ②護岸部：鋼管矢板φ500～φ1500、 鋼管径φ500～φ1500，φ2000，φ2500まで対応可能	鋼管径φ500～φ1500
設計基準強度	500kN/m^2（標準値）	最大抵抗モーメント： 工法－Ⅰ　：　～10000 kN/m/m 工法－Ⅱ　：　～8500 kN/m/m	―	―
標準施工能力（参考）	参考：　2．5m程度／日　（造成水平距離） ・排泥量　　砂質土　：　対象土量の60～70% 粘性土　：　対象土量の80～90%	（別途、お問い合わせください）	①タンク部：最大N値＝25の地盤で直線形鋼矢板長L＝9．5m（圧入長l=9．0m）を施工する場合 ・日進量　：　8 枚/日（施工延長 4．0m/日） ②護岸部：最大N値＝50の地盤で鋼管杭φ1000-t10（杭間180mm）、 杭長L＝20．0m（圧入長l=19．0m）を施工する場合 ・日進量　：　3 本/日（施工延長 3．36m/日）	最大N値＝50の地盤で鋼管杭φ1000-t10（杭ピッチ2．5D）、 杭長L＝20．0m（圧入長l=19．0m）を回転切削圧入で施工する場合 ・日進量　：　2 本/日（施工延長3．5m/日）
概算施工単価（参考）	20,000円/m^2　程度	10～20万円/m^2	①タンク部　：　壁面積1m^2あたり 50,000 円（材・工一式） ②護岸部　：　延長1mあたり 1,100,000 円（材・工一式） （上記、標準施工能力欄に記した条件で積算。条件によって施工費は変動するため、積算時は要相談）	延長1mあたり 720,000 円（材・工一式） （上記、標準施工能力欄に記した条件で積算。条件によって施工費は変動するため、積算時は要相談）
施工実績（2015年7月現在）	630件	71件	①タンク部　：　15件 ②護岸部　：　1件	2件
備考 （資料提供者所属名）	公開資料より	鋼製地中連続壁協会、　新日鐵住金（株）	（株）技研製作所 ※「ジャイロプレス工法」は（株）技研製作所と新日鐵住金（株）の日本国内における登録商標である。	（株）技研製作所 ※「ジャイロプレス工法」は（株）技研製作所と新日鐵住金（株）の日本国内における登録商標である。
備考 （参考リンク先）	http://www.trd.gr.jp	http://www1a.biglobe.ne.jp/ns-box/	https://www.giken.com/ja/	https://www.giken.com/ja/

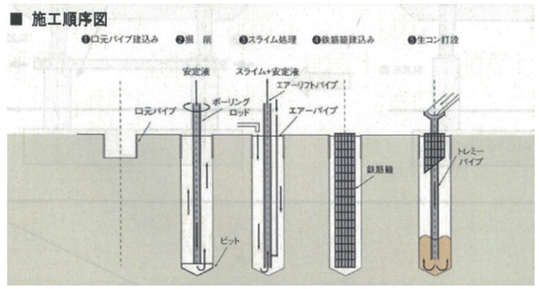
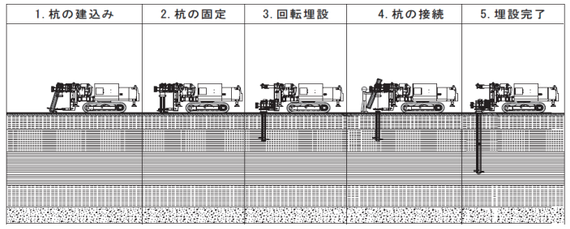
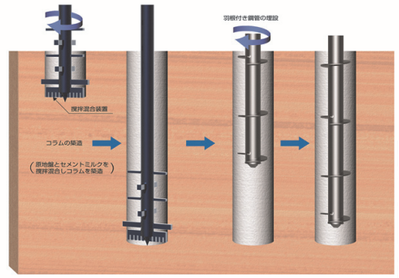
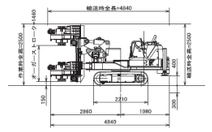
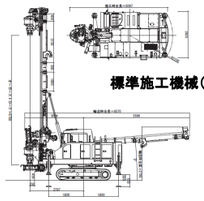
表ー2．1　せん断変形抑制工法（2）

工　法		格子状地盤改良工法（TOFT工法） （深層混合処理工法）	AWARD-Trend工法	AWARD-Ccw工法	AWARD-Hsm工法
協会／研究会		ー	（一社）気泡工法研究会	（一社）気泡工法研究会	（一社）気泡工法研究会
工法の概要		 格子状地盤改良工法概要図 主に機械撹拌式の深層混合処理工法により格子状の地盤改良壁を造成し、地震時のせん断変形を抑制して液状化を防止する工法	 <u>気泡掘削による等厚式ソイルセメント地中連続壁工法</u> 気泡を吐出しながら貫入掘削を行い，気泡のベアリング効果により流動性のある均質な気泡安定液を造成 引抜時に消泡剤を添加したセメントスラリーを添加・撹拌し，気泡を消泡しながらソイルセメント壁を造成	 <u>気泡掘削による柱列式ソイルセメント地中連続壁工法</u> 気泡を吐出しながら貫入掘削を行い，気泡のベアリング効果により流動性のある均質な気泡安定液を造成 引抜時に消泡剤を添加したセメントスラリーを添加・撹拌し，気泡を消泡しながらソイルセメント壁を造成	 <u>気泡掘削による等厚式ソイルセメント地中連続壁工法</u> 水平多軸型回転カッターで気泡を吐出しながら地山の貫入掘削を行い，気泡のベアリング効果により流動性のある均質な気泡安定液を造成 引抜時に消泡剤を添加したセメントスラリーを添加・撹拌し，気泡を消泡しながらソイルセメント壁を造成
特　徴		◆長所 ・振動・騒音が少なく、他の構造物と近接する場所でも施工できる ・地盤全体を改良する工法よりも、工期短縮とコストダウンが可能となる ・砂質土、粘性土に適用可能 ◆留意点 ・埋設管や地中障害物がある場合は、補助的に高圧噴射式工法を用いることがある	◆長所 ・気泡の添加により**セメントスラリーのW/C比が低減**できるため，**排泥土量を抑制** ・目標強度に対して**単位水量を減少**できるので，**セメント添加量を削減**（従来工法の20～40%程度低減） **・孔壁安定性が高い** **・壁体品質の均質性が向上** **・周辺環境への負荷が低減** することができる**環境配慮型**のコストパフォーマンスに優れた地中連続壁工法	◆長所 ・気泡の添加により**セメントスラリーのW/C比が低減**できるため，**排泥土量を抑制** ・目標強度に対して**単位水量を減少**できるので，**セメント添加量を削減**（従来工法の20～40%程度低減） **・孔壁安定性が高い** **・壁体品質の均質性が向上** **・周辺環境への負荷が低減** することができる**環境配慮型**のコストパフォーマンスに優れた地中連続壁工法	◆長所 ・気泡の添加により**セメントスラリーのW/C比が低減**できるため，**排泥土量を抑制** ・目標強度に対して**単位水量を減少**できるので，**セメント添加量を削減**（従来工法の20～40%程度低減） **・孔壁安定性が高い** **・壁体品質の均質性が向上** **・周辺環境への負荷が低減** することができる**環境配慮型**のコストパフォーマンスに優れた地中連続壁工法
工法名（参考）		・TOFT工法	・AWARD-Trend工法	・AWARD-Ccw工法	・AWARD-Hsm工法
使用機械		処理機（3点式クローラーベースマシン）、 サイロ、セメントミキシングプラント グラウトポンプ、発電機、その他プラント部材	TRD施工機械一式，気泡プラント，消泡剤プラント， グラウトポンプ，流量計	柱列式ソイルセメント地中連続壁工法機械一式， 気泡プラント，消泡剤プラント，グラウトポンプ，流量計	CSM施工機械一式，気泡プラント，消泡剤プラント， グラウトポンプ，流量計
狭隘部での施工	施工時最小幅	1．9 ～ 2．5m（小型機械使用時）	Ⅰ型　：　5．5ｍ Ⅲ型　：　7．7ｍ	１０ｍ	６ｍ程度
	空頭制限	8 ～ 10m（小型機械使用時）	Ⅰ型　：　5．3ｍ Ⅲ型　：　6．5ｍ	３５ｍ	９ｍ程度
標準施工ヤード		施工ヤード：20m×50m程度（組立・解体ヤード含む） プラントヤード：10m×20m程度	プラント　：　１１ｍ×６ｍ　程度	プラント　：　２０ｍ×８ｍ程度	プラント　：　２０ｍ×８ｍ程度
適用土質		砂質土、粘性土	Ⅰ型機：N値≧５０以上または径の砂礫径≧φ５０を含む地盤の場合は要検討 Ⅱ・Ⅲ型機：≧軟岩Ⅰ級（qu≦５N/mm^2），換算N値≧１００の土質， 砂礫径≧φ１００mmの地盤がある場合は要検討	概ね，N値≦２０の粘性土，N値≦２０の砂質土	N値≦２００の粘性土・砂質土・礫質土および軟岩Ⅰ級
適用深度		小型施工機 20m、 大型施工機 標準45m	Ⅰ型　　：　～２０ｍ程度 Ⅱ・Ⅲ型　：　～５５ｍ程度	４０～５０ｍ	ケリーバータイプ　：　３５ｍ クアトロタイプ　：　６５ｍ
有効径（mm）		単軸：φ800～1,600mm、 2軸：φ800～1,000mm	壁厚：４５０～８５０mm	平均壁厚　：　φ４８０～１，０２０mm	ケリーバータイプ　壁厚　：　５００～９００mm クアトロタイプ　壁厚　：　５００～１，２００mm
設計基準強度		一般に 600～1,000kN/m^2	５００～１，０００kN/m^2	５００～１，０００kN/m^2	５００～１，０００kN/m^2
標準施工能力		・通常　直径1m×2軸で施工 ・貫入、引抜き速度1．0m/分を標準 ・羽切り回数350回/m以上	施工深度・土質によって異なる	１５０～２００m^2/日（５軸）	４０m^2/日程度
概算施工単価（参考）		6,000円/m^3～8,000円/m^{3}程度	排泥処理費を含まない施工単価は従来工法と概ね同程度以下， **排泥処理費が低減（⊿40～60%）**	排泥処理費を含まない施工単価は従来工法と概ね同程度以下， **排泥処理費が低減（⊿40～60%）**	排泥処理費を含まない施工単価は従来工法と概ね同程度以下， **排泥処理費が低減（⊿40～60%）**
施工実績 （2015年7月現在）		400件以上	２０件	３件	１件
備　考	（資料提供者所属名）	開発者：土木研究所、竹中工務店、大林組、不動テトラ、竹中土木 （本資料記入：　西松建設（株））	（一社）気泡工法研究会	（一社）気泡工法研究会	（一社）気泡工法研究会
	（参考リンク先）	ー	http://exaward.com/index.php?AWARD-Trend	http://exaward.com/index.php?AWARD-Ccw	http://exaward.com/index.php?AWARD-Hsm

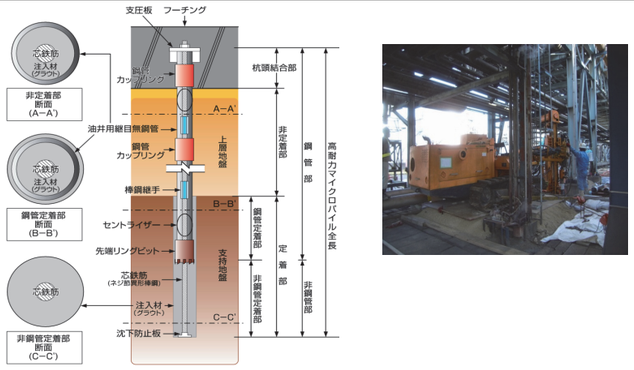
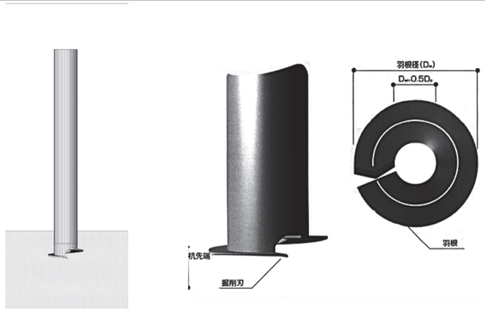
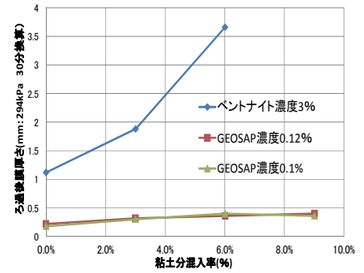
表－3．1　基礎補強工法（直接基礎補強）

工　法	フーチング拡幅	基礎梁の拡幅	基礎梁の追加	ペデスタル拡幅	柱脚部の根巻き
協会／研究会	―	―	―	―	―
工法の概要	 コンクリートを増し打ちすることで基礎フーチングを拡幅し、荷重を分散させる工法。	 基礎梁の強度不足に対し、コンクリートを増し打ちして梁を拡幅し、強度を増す工法。	 独立しているフーチング基礎を梁で繋ぐことで一体化し、構造物としての剛性を上げる工法。	 基礎ペデスタル部の強度不足に対し、コンクリートを増し打ちすることでペデスタル部を拡幅し、強度を増す工法。	 柱脚部の強度不足に対して、根巻きコンクリートを増し打ちすることで、柱脚部の強度を増す工法。
特　徴	・フーチングを拡幅する余地があること及び拡幅部が基礎底版と一体となる必要がある。	・強度を増すためには、既存の梁と後打ちコンクリートが一体となるような計画及び施工管理が重要である。	・独立している基礎をそれぞれのフーチング部に鉄筋を挿し込みコンクリートを打設して梁を構築する。 ・梁で繋ぐことによって一体化し、基礎構造物全体で荷重を受け持つ。 ・梁を設ける場所に支障物がある場合には、別途配慮が必要である。	・ペデスタル部を拡幅して強度増加を期待する場合には、底版部への影響を考慮する必要がある。	・柱脚部のみが弱点となる場合に採用される工法であり、根巻きコンクリートと柱脚で作用荷重を受け持つ。 ・一般に、ペデスタル部に鉄筋を挿し込み構造物基礎と一体化する。
使用機械	・土工 ・鉄筋コンクリート工	・土工 ・鉄筋コンクリート工	・土工 ・鉄筋コンクリート工	・土工 ・鉄筋コンクリート工	・土工 ・鉄筋コンクリート工
狭隘部での施工	○	○	○	○	○
適用土質	砂質土、　粘性土	砂質土、　粘性土	砂質土、　粘性土	砂質土、　粘性土	砂質土、　粘性土
適用深度	GL－3m　程度	GL－3m　程度	GL－3m　程度	GL－3m　程度	GL－3m　程度
標準施工能力	記入なし	記入なし	記入なし	記入なし	記入なし
概算施工単価（参考）	記入なし	記入なし	記入なし	記入なし	記入なし
施工実績 （2015年7月現在）	多数	多数	多数	多数	多数
備　考	―	―	―	―	―

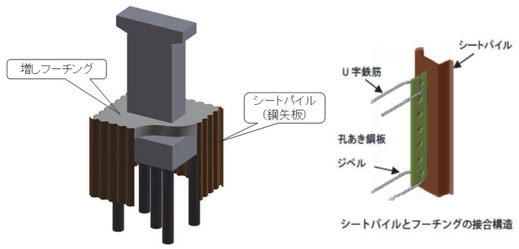
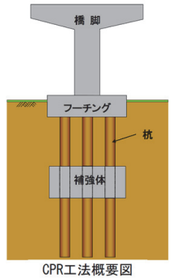
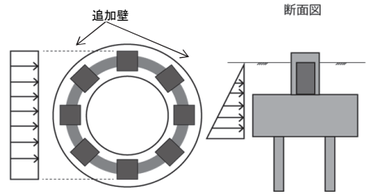
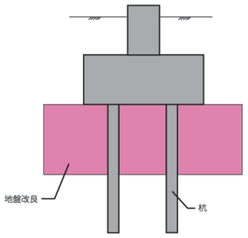
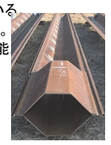
表ー3．2　基礎補強工法(増し杭補強）（1）

工　法		現場造成杭工法	EAZET工法	ATTコラム工法
協会／研究会			―	―
工法の概要		 （BH杭） ・ロッドパイプの先端に取り付けたビットを回転させ、同時に安定液を排出させて所定深さまで孔壁を保護しながら掘削する。支持層を確認後、鉄筋を孔内に建込み、トレミー管を使用してコンクリートを打設して杭を造成する工法。	   ・EAZET工法は、先端部に鋼管径に比べて1．87～3．00倍に拡大したらせん状の羽根材を設けた鋼管杭を直接地面に回転貫入させて支持杭とする、小口径の鋼管を用いた回転杭工法です。	  ・ATTコラム工法は、コラム体（スラリー状にしたセメント系固化材を地盤に注入し、原地盤と機械的に撹拌混合することによって築造される柱状改良体）中にらせん状鋼製羽根を多段に取り付けた羽根付鋼管を挿入し、コラム体と羽根付鋼管が一体化することで大きな支持力を発現する鋼管ソイルセメント杭工法です。
特　徴		◆長所 ・機械設備が軽くて小型のため搬入が容易で、狭い敷地や作業空間が低い場合でも施工が可能である。 ・低振動、低騒音工法である。 ◆留意点 ・孔底の処理が必要である。 ・掘削土砂や廃棄泥水の処理が必要である。	◆長所 ・プラント設備が不要で、狭隘な施工条件への対応が容易である。 ・らせん状の羽根を有した杭先端部効果により、杭体積分の土が側面地盤に押し付けられるため、施工時の排土は発生しない。 ・低騒音、低振動工法である。 ・杭施工時のトルクを常に観測するため、高い施工管理と品質管理を実現できる。 ・斜杭の施工も可能である。	◆長所 ・周辺地盤を緩めることなく築造されたコラムと一体化された羽根付き鋼管が荷重を効果的に伝達し、大きな支持力が得られる。 ・振動・騒音の発生が少ない工法である。 ・施工機械は環境に合わせて選択できるので、狭隘地でも施工が可能である。 ・くい頭レベルを容易に管理でき、精度の高い施工が可能。 ・原地盤を利用して築造されるため、残土は比較的少量になる。
使用機械		・ボーリングマシーン ・安定液供給設備 ・グラウトポンプ ・サンドポンプ　　等	**超小型施工機械（SSタイプ）** 施工高さ 2,200mm～  **標準施工機械（Lタイプ）**  施工高さ 9,000mm～	 **標準施工機械 DHJ-12、小型プラント＋バックホー** 
狭隘部での施工	施工時の最小幅	1．5m 程度	2．0m程度から対応可能（最少施工機械の場合）	5m～（旋回可能のとき）
	空頭制限	2．0m 程度	上空制限 2mから対応	5．8m
標準施工ヤード		10m×20m 程度	5m×10m＝50m^2	5m×16m＝80m^2～
適用土質		砂質土、　粘性土	砂　　層 ： 30 ≦ N ≦ 50 粘性土層 ： 20 ≦ N ≦ 50	先　端　部 砂層・粘性土層 ： 0 ＜ N ≦ 50 周面摩擦部 砂層 ： 0 ＜ N ≦ 20 粘性土層 ： 0 ＜ N ≦ 16
適用深度		50m 程度	鋼管径の130倍以下	くい長（L） ： 3m ≦ L ≦ 30m
有効径		φ200 ～ 1500mm	鋼管径： φ114．3 ～ Φ406．4 mm 羽根径： φ250 ～ Φ880 mm	コラム径（Dc） Φ500 ≦ Dc ≦ Φ1000mm 羽根径（Dw） Φ300 ≦ Dw ≦ φ700mm 鋼管径（Do） Φ114．3 ≦ Do ≦ φ406．4mm
標準施工能力		（工法、施工条件による）	砂、砂礫、粘性土（N≦50） 礫・玉石は要検討	砂、砂礫（N≦25）、粘性土（N≦10） 礫・玉石は要検討
概算施工単価（参考）		50,000円～90,000円／m	杭径Φ267．4 工事費26,000円/m以上、継手材料費35,700円/個以上 作業制約の有無により異なる	杭径Φ267．4 コラム径700 工事費35,300円/m以上、 継手材料費35,700円/個以上 作業制約の有無により異なる
施工実績（2015年7月現在）		多数	約20，000件	約6，200件
備　考	（資料提供者所属名）	場所打ち杭工法で検索	旭化成建材（株）、 千代田工営（株）	旭化成建材（株）、（株）テノックス
	（参考リンク先）	―	http://www.eazet.com	http://www.attc.jp

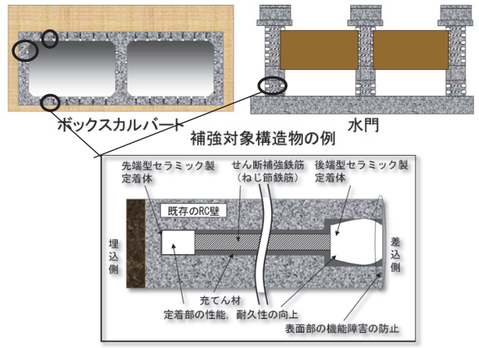
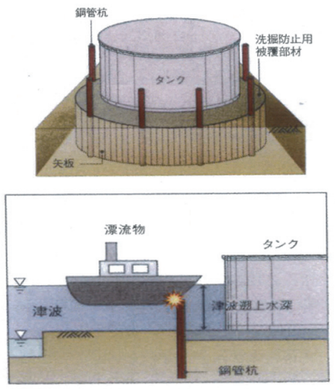
表ー3．2　基礎補強工法(増し杭補強）（2）

工　　法		高耐力マイクロパイル工法	NSエコパイル工法	AWARD-Sapli工法
協会 / 研究会		高耐力マイクロパイル研究会	NSエコパイル工法協会	（一社）気泡工法研究会
工法の概要				
		・グラウンドアンカー工法で用いられている削孔技術や注入材の加圧注入技術を取り入れ、補強材として高強度の鋼管と異形棒鋼を組み合せた小口径鋼管杭工法。 ・支持層内に築造した加圧グラウト体と地盤の摩擦抵抗により支持力を発揮する。	鋼管の先端に螺旋状の羽根を溶接した鋼管杭であり、高トルク油圧ｵｰｶﾞｰを装備した小型杭打機により鋼管を回転させ、先端の羽根の推進力により杭を地中に貫入する工法である。	特殊高吸水性ポリマー安定液による地盤掘削置換工法 特殊ポリマー剤（GEOSAP）を500～2000倍に吸水膨張させた低比重・高粘性の安定液（サプリ安定液）を用いた掘削安定液を従来のベントナイト系安定液の施工法-場所打杭工法やRC地中連続壁工法などに適用
特　　徴		◆長所 ・小口径であるが比較的高い支持力が得られる。 ・押込みおよび引抜きに有効に抵抗できる。 ・ボーリングマシンによる施工であり、礫・玉石・岩盤層の施工が可能である。 ・回転削孔主体の施工時において騒音・振動が少ない。 ・地中埋設物や既設構造物への影響が少ない。 ・掘削土量が少ない。 ・斜杭の施工も可能である。	◆長所 ・コンパクトな小型杭打機で施工するうえにプラント設備が不要なため狭隘な施工条件への対応が可能 ・先端解放型羽根で貫入性に優れ、地盤適用性が高い ・施工時の排土が発生しない ・セメント、泥水等を使用しないため地下水を汚染しない ・低騒音、低振動で施工できる ・逆回転することで容易に撤去可能（期限付き構造物にも適用可能） ・施工時のトルク管理による高い施工管理が行える ・斜杭施工も可能（変位抑制で効果的）	◆長所 ・GEOSAPの使用による**低比重・高粘性**が実現 ・透水性の高い地盤においても**孔壁安定性を確保** ・形成される**泥膜が薄く，コンクリートの出来形不足の解消，鉄筋の付着性能の確保** ・使用済み安定液の**産廃処分量の減容化** ・材料使用量が少なく**作液時の省力化**など，従来の**ベントナイト系安定液の諸問題を解決**することができる**環境配慮型**のコストパフォーマンスに優れた工法
使用機械		・クローラタイプ（自走式） 重　　量：10t～12t 施工時寸法：B×L×H＝2.4×6.5×（3.8～7.0）(m) ・スキッドタイプ（定置式） 重　　量：2.5t～3.5t 施工時寸法：B×L×H＝2.1×4.0×（4.6～5.5）(m)	小型杭打機（日本車両製） DHJ－06　：杭径～φ165．2 DHJ－08　：杭径～φ165．2 DHJ－12　：杭径～φ267．4 DHJ－15　：杭径～φ318．5 DHJ－25　：杭径～φ400	地中連続壁工法・場所打杭工法機械一式
狭隘部での施工	施工時の最小幅	3．5m（施工条件により3．0m程度も可）	5m（旋回可能な場合）	場所打ち杭工法（機械掘削工法）に準じる
	空頭制限	4．0m（施工条件により3．5m程度も可）	1．98～3．9m（杭サイズによる）	場所打ち杭工法（機械掘削工法）に準じる
標準施工ヤード		5m×10m＝50m^2	5m×10m＝50m^2	場所打ち杭工法（機械掘削工法）に準じる 特殊プラントは不要
適用土質		砂質土・粘性土 砂礫・玉石 岩盤	砂・砂礫層　：15 ≦ N 粘性土層　：20 ≦ N	場所打ちコンクリート杭工法（機械掘削工法）に準じる 一般的な土-砂質土：N値≦30，粘性土：N値≦10程度
適用深度		実績最大杭長　：　50m	杭径の130倍以下	リバース工法で60mの施工実績
有効径		鋼管径（グラウト体径）：①φ177．8mm（195mm） ②φ219．1mm（235mm）	鋼管杭径　：φ101．6～φ700mm 羽根径　：φ254～φ1,400mm	φ0．8～3．0m （場所打ちコンクリート杭（機械掘削工法）に準じる）
標準施工能力		10m～30m／日	杭仕様、地盤条件により異なります （別途、お問い合わせください）	特殊ポリマー剤添加量　：　0．5～1．5kg/m^3
概算施工単価（参考）		70,000円～200,000円／m	杭仕様、地盤条件により異なります （別途、お問い合わせください）	安定液材料費は従来工法と概ね同等 **廃棄安定液処理費が低減（⊿30～50%）**
施工実績 （2015年7月現在）		約　250件	約　200件	16件
備　　考	（資料提供者所属名）	高耐力マイクロパイル研究会、　極東興和（株）	新日鐵住金（株）	（一社）気泡工法研究会
	（参考リンク先）	http://jamp-hmp.jp/	http://www.nssmc.com/product/fukkou/	http://exaward.com/index.php?AWARD-Sapli

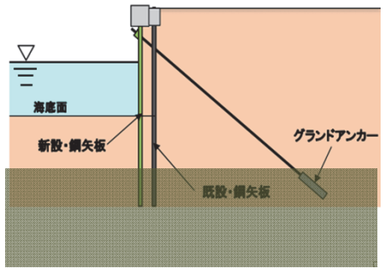
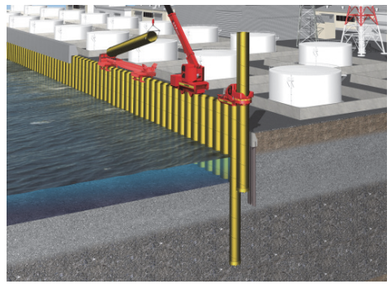
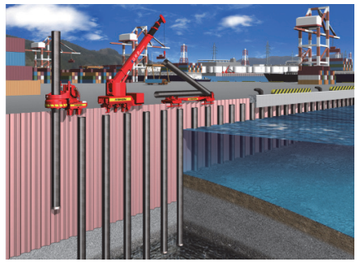
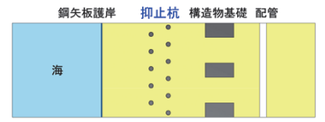
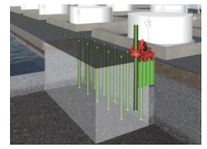
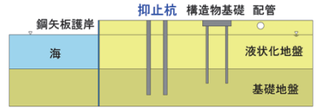
表—3．3　基礎補強工法（杭補強）

工　法		杭基礎補強（鋼矢板基礎）	杭基礎補強（CPR工法）	水平荷重低減工法	地盤改良
協会 / 研究会		（公財）鉄道総合技術研究所、（株）大林組、新日鐵住金（株）	CPR工法研究会	—	—
工法の概要		 シートパイルとフーチングの接合構造 ・フーチングを取り囲むように鋼矢板を打設し、増しフーチングを介して既設フーチングと一体化させる補強工法。 ・フーチングを取り囲んだ鋼矢板の鉛直及び水平抵抗を活かすことで、既設基礎を補強する。（新設も可能） ・フーチング及び鋼矢板に鉛直支持を、主として閉合された鋼矢板に水平支持を期待する。	 CPR工法概要図  東京都水道局綾瀬川水管橋耐震補強工事 ・CPR工法は、複数の杭を補強体により一体化して二層のラーメン構造とすることで、地震による水平荷重に強い基礎構造体を構築する工法である。 ・補強体は、ブロック式と壁式の2タイプがあり、構造物を供用しながら、高圧噴射撹拌工法による改良体を複数組み合わせて造成される。	 ・受働土圧を考慮することで、杭に作用する地震時水平力の低減を計る工法。	 ・基礎下の地盤を改良することで地盤強度を増加させて杭の横抵抗を増やし、水平荷重を受け持たせる工法。
特　徴		◆長所 ・仮土留めに用いる鋼矢板とフーチングを組み合わせる複合基礎であり、工費削減に寄与する。 ・補強によるフーチングの拡幅幅が小さく、狭隘な箇所に適している。 ・直接基礎が構築不可能なN値20～30未満の地盤でも適用可能。 ・通常の鋼矢板よりも支持力の大きな先端加工鋼矢板も使用可能  ◆留意点 ・液状化地盤での適用について、模型実験で効果を確認済み。2016年度に設計マニュアル（改訂版）を発行予定。	◆長所 ・低コスト，短工期　： 増し杭工法等に比べて工期短縮、コスト縮減が期待できる。 ・限られたスペースでの施工が可能　： 小型施工機（ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞﾏｼﾝ程度）で施工が可能。また、増し杭工法と異なり、フーチングの拡幅等を伴わないため、敷地制限を懸念する必要がない。 ・振動抑制効果　： 耐震補強効果に加え，交通振動等の生活振動を抑制し，周囲への影響を低減します。 ◆留意点 ・地域性により、排泥処理にコストがかかることがある。	◆長所 ・杭が受け持っていた水平力を地盤が受けることで、杭に作用する水平荷重が低減できる。 ・リング基礎の上にペデスタルを持つような基礎の場合は、ペデスタル相互を梁でつなぐように壁を設ければ、さらに杭に作用する水平力を低減できる。 ・基礎底面までの土被りが多いほど有効である。	（　地盤改良工法の項を参照）
使用機械		・油圧圧入施工 ・バイブロハンマ（電動，油圧）施工 先端加工鋼矢板の打設には、ウォータージェットを併用。	（施工箇所設備）　高圧噴射マシン、コンプレッサー、排泥タンク、発電機 （プラント設備）　スラリープラント（20m×10m）	・一般土工 ・一般躯体工	（　地盤改良工法の項を参照）
狭隘部での施工	施工時の最小幅	通常の鋼矢板打設機械（サイレントパイラー等）と同等	2．5m	土工の制限のみ	（　地盤改良工法の項を参照）
	空頭制限	通常の鋼矢板打設機械（サイレントパイラー等）と同等	3．0m	土工の制限のみ	（　地盤改良工法の項を参照）
適用土質		通常の鋼矢板と同等	砂質土（N＜30）、　粘性土（C＜50kN/m^2）	砂質土、 粘性土	（　地盤改良工法の項を参照）
有効径		通常の鋼矢板と同等 （必要に応じて型式選定）	・補強体形状に応じてφ1000mm～5500mm　のセメント改良体を適用する。	該当しない	（　地盤改良工法の項を参照）
適用深度		通常の鋼矢板と同等	30m	5m　程度	（　地盤改良工法の項を参照）
標準施工能力		通常の鋼矢板打設と同等	50m^3/日	記入なし	（　地盤改良工法の項を参照）
概算施工単価（参考）		鋼矢板打設は国交省標準積算歩掛参照 鋼矢板価格は建設物価誌参照	50,000円/m^3	記入なし	（　地盤改良工法の項を参照）
施工実績 （2015年7月現在）		10件程度	6件	記入なし	（　地盤改良工法の項を参照）
備　考	（資料提供者所属名）	（公財）鉄道総合技術研究所，（株）大林組，新日鐵住金（株）にて設計・施工マニュアル発刊	（株）安藤・間	—	（　地盤改良工法の項を参照）
	（参考リンク先）	http://www.nssmc.com/product/catalog_download/pdf/K127.pdf	http://www.cpr-m.jp/	—	—

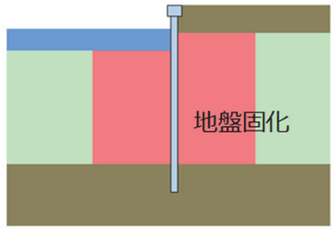
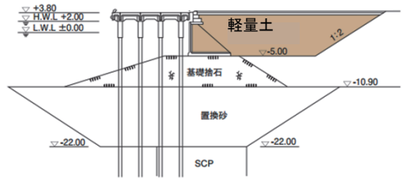
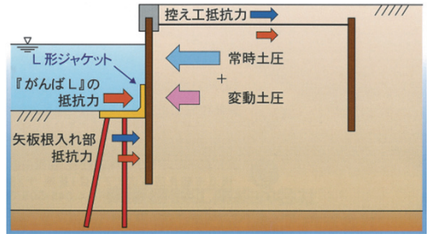
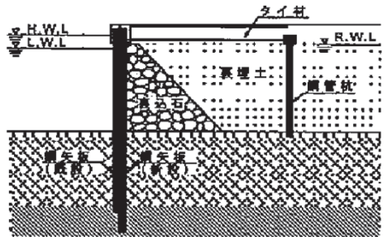
表－3．4　基礎補強工法（躯体補強他）比較表

工　法	躯体補強（ポストヘッドバー）	躯体補強（セラミックキャップバー（CCb））	津波漂流物防護柱（タンク周辺）
協会 / 研究会	ポストヘッドバー工法研究会	セラミックキャップバー(CCb)工法研究会	―
工法の概要	 水門基礎施工事例 ・既設鉄筋コンクリート構造物にせん断補強を行うための後施工タイプ のプレート定着型せん断補強鉄筋である。 ・既設鉄筋コンクリート構造物の表面から削孔し、その孔内に充てん材を充てんし、ポストヘッドバーを差し込み固定することにより、構造躯体と一体化を図り、部材のせん断耐力を向上させる。	 ・供用中の鉄筋コンクリート構造物にせん断補強を行うための後施工タイプのセラミック定着型せん断補強鉄筋（D13,16，19，22，25，29，32）である。 ・地下構造物など，構造物の内側からしか補強できない構造物に対して，表面からの削孔後，両端にセラミック製の定着体を取付けたせん断補強鉄筋を挿入し，セメント系充填材で一体化させることで，せん断耐力やじん性を向上させる。	 ・構造物を囲むように矢板を地盤に打設し、かつリング状に矢板を連結して、その一部の矢板もしくは鋼管杭を地上に露出することによる地震、津波対策構造。
特　徴	◆長所 ・既設の躯体コンクリート構造物においても、内空側からの施工によるせん断補強を実現。 ・摩擦圧接したプレートの突起により補強筋先端の定着性能を向上。 ・定着性能を向上したことにより、ポストヘッドバーが構造物と一体で挙動する。その結果、せん断破壊に対する安全性が向上 。 ・狭い空間や夜間作業など、制約の大きい補強工事にも容易に適用可能。 ・施工面がモルタルによる仕上げになるため、水流の阻害などがなく、水門などへの適用性が高い。	◆長所 ・耐食性に優れるセラミック製定着体をコンクリート部材の表面付近に配置するため、耐久性とせん断補強効率に優れる。 ・定着体とねじ節鉄筋の取付を，現場で行うことができるので、ハンチ部等の鉄筋長の現場調整が必要な場合に，迅速かつ確実が対応が可能である。 ・横向き施工の場合においては，グラウト貯留槽を用いることで、通常のグラウトでも確実な充填が可能。上向き施工にも、可塑性グラウトを用いる工法を開発済み。 ・施工条件に応じ、定着体の配置に各種のバリエーションを用意。 （両端先端型・両端後端型）	◆長所 ・（鋼管）矢板をリング状に連結して地盤に設置することにより、地盤の液状化防止と同時に構造物内の液体のスロッシング緩和を図る。 ・地上に鋼管矢板若しくは鋼管を露出して設置することにより、漂流物に対する衝突防止、また他の構造物に対して衝突防止を実現できる。 ・地上に露出させた鋼管矢板若しくは鋼管に漂流防止桁を連結することにより、衝突防止機能をさらに確実にすることが可能。 ・特許取得
狭隘部での施工	○	機械式継手を使用することで、長い鉄筋も分割して挿入できるので、狭隘箇所の施工も可能である。	△（狭隘部用の施工機械を選定する必要あるため条件による）
使用機械	○削孔機械 ・鉄筋を切断させない改良削岩機（PHbドリル）を標準的に使用。 ・既設鉄筋が輻輳することが多いはり・壁付柱・ハンチ部、施工スペースが十分取れない場合、および、削孔長が長くなる場合などは、鉄筋を切断させないコンピュータ制御によるコアドリルを使用。 ○その他の機械 ・削孔機以外は、鉄筋探査機、モルタルポンプなど、一般的な機械を使用。	・削岩機（レッグハンマ） ・コアドリル，コアビット ・送風機（集塵パック付） ・ハンドミキサ ・グラウトポンプ ・コンプレッサ ・真空ポンプ ・掃除機 ・グラウトポンプ ・オータビルサンダー	・バイブロハンマ、　油圧ハンマ等
適用土質	―――――	―――――	杭打ち工に準ずる
適用深度	―――――	―――――	杭打ち工に準ずる
標準施工能力	お問い合わせに対応いたします	工事毎に見積もりいたします。	杭打ち工に準ずる
概算施工単価（参考）	お問い合わせに対応いたします	工事毎に見積もりいたします。	杭打ち工に準ずる
施工実績（2015年7月現在）	469件、約800,000本	約　70件，約　210,000本	無し
備考（資料提供者所属）	VSL　JAPAN（株）、 成和リニューアルワークス（株）	鹿島建設（株）	鹿島建設（株）
備考（参考リンク先）	info@phb-koho.jp	http://www.kajima.co.jp/tech/c_renewal/resistant/index.html#!body_01	http://www.kajima.co.jp/tech/c_liquefaction/others/index.html#!body_02

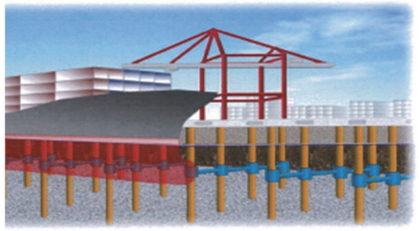
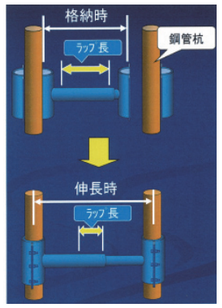
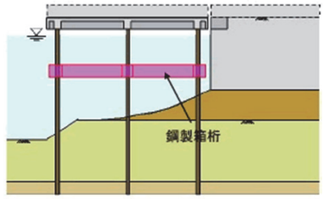
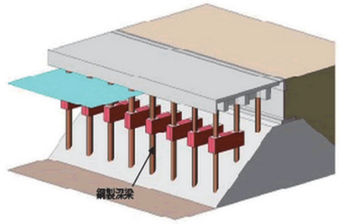
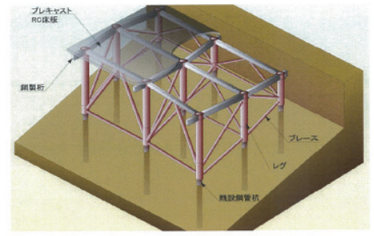
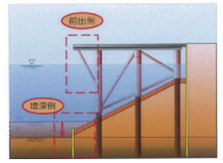
表—4．1　護岸補強工法 （1）

工　法	補強矢板工法	前面鋼管矢板・鋼管杭圧入工法	前面組合せ壁体圧入工法	抑止杭圧入工法（抑止壁圧入工法）
協会 / 研究会	VSL協会	JPA 全国圧入協会	JPA 全国圧入協会	JPA 全国圧入協会
工法の概要	 既設護岸と並行に鋼矢板を連続打設し、頭部をグランドアンカーで支持する工法	 既設護岸の前面に鋼管杭を油圧圧入機により圧入する工法	 既設護岸の前面にハット形鋼矢板と鋼管杭の組合せ壁体を油圧圧入機により圧入する工法	平面図   側面図  護岸背面の地盤に杭を油圧圧入機により千鳥状（あるいは壁状）に配置して、液状化による流動圧を受け持ち、地盤変状を抑制し、護岸を補強する工法。 「抑止杭工法」は、（株）大林組と濱田政則早稲田大学名誉教授が開発した工法である。
特　徴	◆長所 ・護岸前面地盤に液状化の心配がない場合に適用。 ・圧入工法の場合は施工ヤードが狭隘な場所での施工も可能。 ・アンカー工法の場合は単管足場での施工が可能。 ・仮設のアンカーで除去式を採用すれば頭部部材PC鋼より線など撤去可能。 ・アンカー工法の残置式であれば現場組立も可能であり削孔後地山にあった長さにて施工可能。 ◆留意点 ・護岸背面が施工ヤードとして取れない場合は海側からの 施工となる。 ・施工機械が大型のため、一般には狭隘な場所では不適。 ・護岸法線に注意が必要。	◆長所 ・壁体の施工を油圧圧入機（サイレントパイラー）を用いて行う。 ・低騒音工法であるため、近隣に民家がある場合でも施工可能。 ・振動が殆んど発生しないため、既存施設への影響が少ない。 ・鋼管杭・鋼管矢板を圧入により地中に貫入するため、現状地盤の変状が少ない。 ・護岸背面や海側に施工ヤードが取れない狭隘な場所でも、施工が可能（施工起点にはヤードが必要）。 ・鋼管矢板は最大径φ1500、鋼管杭は最大径φ2500まで対応可能。 ・硬質な地盤や既存コンクリート構造物も貫通可能。 ◆留意点 ・護岸法線に注意が必要。 ・護岸前面地盤に液状化の心配がない場合に適用。	◆長所 ・壁体の施工を油圧圧入機（サイレントパイラー）を用いて行う。 ・低騒音工法であるため、近隣に民家がある場合でも施工可能。 ・振動が殆んど発生しないため、既存施設への影響が少ない。 ・鋼管杭と矢板を圧入により地中に貫入するため、現状地盤の変状が少ない。 ・護岸背面や海側に施工ヤードが取れない狭隘な場所でも、施工が可能（施工起点にはヤードが必要）。 ・ハット形鋼矢板10H～50H、鋼管杭φ600、φ800、φ1000に対応している。 ・硬質な地盤や既存コンクリート構造物も貫通可能。 ◆留意点 ・護岸法線に注意が必要。 ・護岸前面地盤に液状化の心配がない場合に適用。	◆長所 ・壁体の施工を油圧圧入機（サイレントパイラー）を用いて行う。 ・低騒音工法であるため、近隣に民家がある場合でも施工可能。 ・振動が殆んど発生しないため、既存施設への影響が少ない。 ・鋼管杭を圧入により地中に貫入するため、現状地盤の変状が少ない。 ・施工ヤードが取れない狭隘な場所での施工が可能。 ・連続的な設置を必要としないため、既設設備を避けて施工することが可能（千鳥配置の場合）。 ・施工本数が少なく経済性に優れる（千鳥配置の場合）。 ・護岸から離れた敷地内に施工することもできる。 ・硬質な地盤や既存コンクリート構造物も貫通可能。 ・鋼管杭φ500～φ1500まで対応可能。
工法名（参考）	・鋼矢板＋グランドアンカー工法 ※アンカー工法の選定は土木工事、湾岸工事で評定・審査機関が異なりアンカータイプも異なるため注意が必要	・前面鋼管矢板・鋼管杭圧入工法 （ジャイロプレス工法　NETIS登録番号：KT-060020-VE）	・前面組合せ壁体圧入工法 （コンビジャイロ工法　NETIS登録番号：CB-130005-A）	・抑止杭（鋼管杭）圧入工法 ・抑止壁（鋼管杭）圧入工法
使 用 機 械	・鋼矢板工法　サイレントパイラー　アロードリル　他 ・アンカー工法　ロータリーパーカッション式ボーリングマシーン	＜通常の場合＞ ・鋼管杭回転切削圧入機（ジャイロパイラー） ・クレーン ＜狭隘地施工の場合＞ 上記に加え、杭上を自走可能な下記機械の利用が可能 ・吊り込み機械（クランプクレーン） ・部材運搬装置（パイルランナー）	＜通常の場合＞ ・鋼管杭・ハット形鋼矢板圧入機 ・クレーン ＜狭隘地施工の場合＞ 上記に加え、杭上を自走可能な下記機械の利用が可能 ・吊り込み機械（クランプクレーン） ・部材運搬装置（パイルランナー）	＜通常の場合＞ ・鋼管杭回転切削圧入機（ジャイロパイラー） ・クレーン ＜狭隘地施工の場合＞ 上記に加え、杭上を自走可能な下記機械の利用が可能 ・吊り込み機械（クランプクレーン） ・部材運搬装置（パイルランナー）
標準施工能力	・鋼矢板工法 ・アンカー工法　削孔能力削孔径φ110mm　軟岩（1.31日/10m）	最大N値=50の地盤で鋼管杭φ1000-t10（杭間180mm）、 杭長L=20.0m（圧入長l=19.0m）を回転切削圧入で施工する場合 ・日進量　：　3 本/日（施工延長　3.36m/日）	最大N値=50の地盤で鋼管杭φ800-t9（杭ピッチ1.8m）、 杭長L=15.0m（圧入長l=14.0m）と、ハット形鋼矢板SP-10H、 矢板長L=10m（圧入長l=8.0m）を施工する場合 ・日進量：鋼管杭　4 本/日（施工延長 6.2m/日） ・日進量：ハット形鋼矢板　16 枚/日（施工延長 14.4m/日）	最大N値=50の地盤で鋼管杭φ1000-t10（杭ピッチ2.5D）、 杭長L=20.0m（圧入長l=19.0m）を回転切削圧入で施工する場合 ・日進量　：　2 本/日（施工延長　3.5m/日）
概算施工単価（参考）	お問い合わせに対応いたします	延長1mあたり 1,100千 円（材・工一式） （上記、標準施工能力欄に記した条件で積算。条件によって施工費は変動するため、積算時は要相談）	延長1mあたり 750 千円（材・工一式） （上記、標準施工能力欄に記した条件で積算。条件によって施工費は変動するため、積算時は要相談）	延長1mあたり 720 千円（材・工一式） （上記、標準施工能力欄に記した条件で積算。条件によって施工費は変動するため、積算時は要相談）
施 工 実 績 （2015年7月現在）	約　200件	170件	3件（実証試験）	2件
備　考 （資料提供者所属）	VSL　JAPAN（株）	（株）技研製作所 ※「ジャイロプレス工法」は（株）技研製作所と新日鐵住金（株）の日本国内における登録商標である。	（株）技研製作所 ※「コンビジャイロ工法」は（株）技研製作所と新日鐵住金（株）が開発した工法である。	（株）技研製作所 ※「ジャイロプレス工法」は（株）技研製作所と新日鐵住金（株）の日本国内における登録商標である。
（参考リンク先）	www.vsl-japan.co.jp	https://www.giken.com/ja/	https://www.giken.com/ja/	https://www.giken.com/ja/

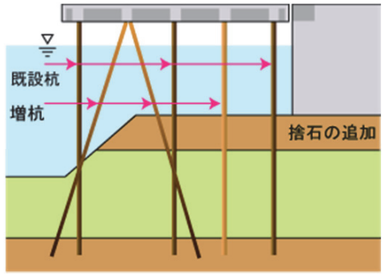
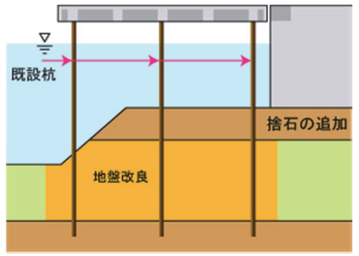
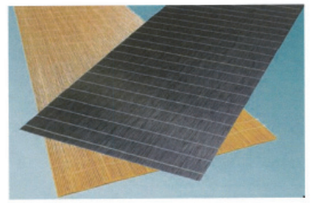
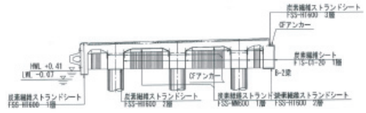
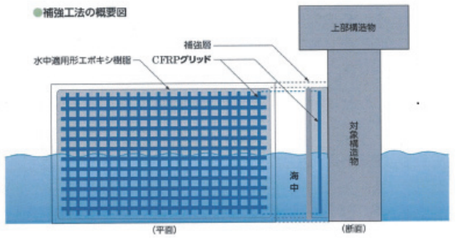
表―4．1　護岸補強工法（2）

工　法	地盤改良工法	背面土圧低減工法	補強構造物工法	直背面新設矢板一体化工法
協会／研究会	―	SGM軽量土工法協会	―	―
工法の概要	 地盤改良により、地盤強度の増加と土圧の低減を図ることで護岸の強度を増加させる工法	 護岸背面の地盤を気泡混合土や発泡スチロール等で置換することにより、背面主動土圧の軽減を図る工法	 既設護岸前面に設置するL形ジャケットと鋼管杭で補強する工法	 既設矢板の直背面に矢板を設置し、既設と一体化して耐力を増強する工法
特　徴	◆長所 ・地盤強度の増加により作用荷重の低減や抵抗荷重の増加が図れる。 ◆留意点 ・護岸背面、護岸前面または護岸両面を改良する方法がある。 ・海側を改良する場合は施工機械が大型となる。 ・特に、護岸背面を改良する場合は護岸へ影響を与えないよう注意が必要。	◆長所 ・軽量であることから、盛り土や埋戻しに用いた場合に、地盤や構造物への荷重や土圧を軽減できる。 ◆留意点 ・護岸背面の掘削が可能な場合に適用できる。 ・施工機械が大型のため、狭隘な場所では不適。	◆長所 ・護岸法線を変えない補強工法である。 ・護岸前面からの施工により、護岸を供用しながらの補強も可能である。 ・補強部材となるL形ジャケットや鋼管杭は地震力等の作用による土圧の増分の一部を負担し、既設構造の負担を軽減することができる。	◆長所 ・護岸法線を変えない補強工法である。 ・鋼矢板を既設護岸背面に打設して、上部工を接合し一体化する。 ◆留意点 ・既設矢板との接合など既設構造物との取り合いを十分に検討する必要がある。
工法名（参考）	地盤改良工法の項を参照	・SGM軽量土工法	・がんばL工法®（がんばるこうほう）	・新設矢板一体化工法（直背面）
使用機械	地盤改良工法の項を参照	・バックホウ ・軽量土調泥機 ・軽量土混練機 ・混練ミキサー ・圧送ポンプ 等	海上起重機船、海上杭打ち船 （陸上施工の場合はクローラークレーン、杭打機）	・杭打ち機 ・土工、コンクリート工
標準施工能力	地盤改良工法の項を参照	――	現場施工条件による	――
概算施工単価（参考）	地盤改良工法の項を参照	2～3万円/対象土量m^3	現場施工条件による	約　50万円/m（護岸延長m）
施工実績 （2015年7月現在）	地盤改良工法の項を参照	約　200万m^3	0件	有
備考（資料提供者所属）	地盤改良工法の項を参照	公開資料より	東亜建設工業（株） JFEエンジニアリング（株） JFEスチール（株）	港湾空港技術研究所資料NO．1145より抜粋
備考（参考リンク先）	―	―	―	―

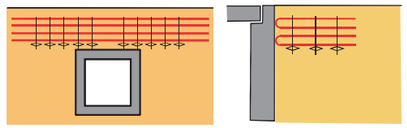
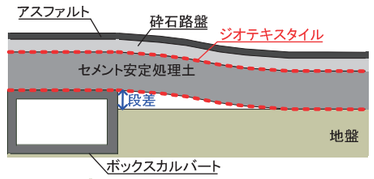
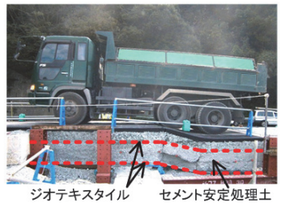
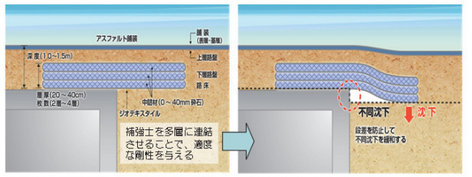
表―5．1　　桟橋補強工法 （1）

工　　法	ストラット補強工法	桟橋杭補強工法	ジャケット式改修工法
協会 / 研究会	―	―	―
工 法 の 概 要	  海底面から上部工の間で杭同士をストラット部材で連結することで桟橋の水平剛性を高める工法	  海底面から上部工の間で杭同士を梁部材で連結することで桟橋の水平剛性を高める工法	  直杭式横桟橋を鋼製の床版受け桁と鋼管杭の補強鞘管からなるジャケット構造にて改修する工法
特　　徴	◆長所 ・既設杭との取り合いの自由度が大きいため、斜めに補強部材を配置したい場合、あるいは斜杭を補強する場合に有効 ・設置作業は潜水士の人力で行うことができるので、部材設置のための起重機船等は必要ない ・船舶の着桟位置を調整しつつ、桟橋を供用しながら施工可能 ・部材設置に伴う水中作業を少なくする工夫により、現地作業にかかる工程を短縮できる	◆長所 ・梁部材としているため、部材あたりの補強効果が高い。 ・部材数が少なくなるため、施工工期を短くすることができる。 ・大型重機が不要のため、船舶の接岸・離岸時以外であれば供用中の桟橋でも施工が可能。 ・施工時に振動や騒音が生じないため、周辺環境に対する影響を小さくすることが可能。 ◆留意点 ・既設杭の腐食減厚が大きい場合には適用できない ・ダイバーによる水中作業となる	◆長所 ・現地工期が短く、岸壁供用停止期間を短縮出来る。 ・防食品質、構造硬度の向上が可能。 ・周辺環境に与える影響は、従来工法と同等。
工 法 名 （参考）	・Re－Pier工法（伸縮式ストラット工法）	・深梁工法	・ジャケット式桟橋改修工法
使 用 機 械	・ラフター（25t吊）程度 ・部材設置用フローター（現場ごとの製作品）	・ユニッククレーン ・ラフタークレーン（50t吊り） ・エアーコンプレッサー ・水中溶接機　　他	起重機船
標準施工能力	2日～4日／基（現場条件によって異なる）	3日～4日／基（現場条件によって異なる）	現場条件により異なる （別途、お問い合わせください）
概算施工単価（参考）	部材重量あたり、150万円／t～	施工単価は案件ごとに異なる	従来形式と比較して約20%削減
施 工 実 績 （2015年7月現在）	4件	2件	3 件
備　考　（資料提供者所属）	新日鐵住金(株)、 あおみ建設（株）	JFEエンジニアリング（株）	新日鉄住金エンジニアリング（株）
備　考　（参考リンク先）	http://www.aomi.co.jp/tech/disaster/index.html	深梁工法で検索	https://www.eng.nssmc.com/business/marine/m_06

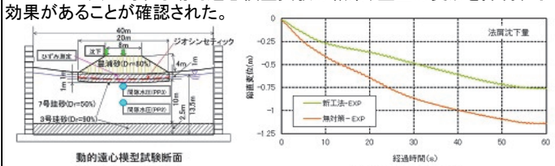
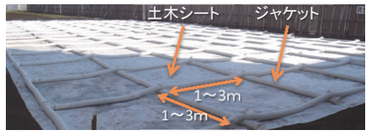
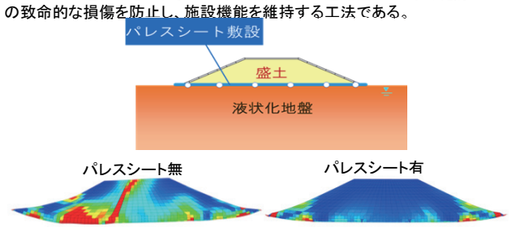
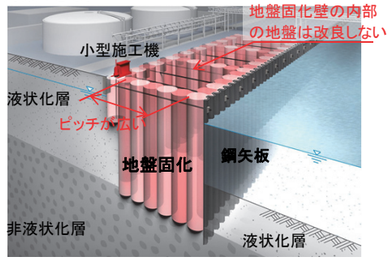
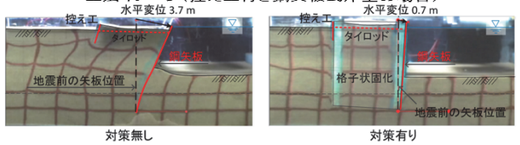
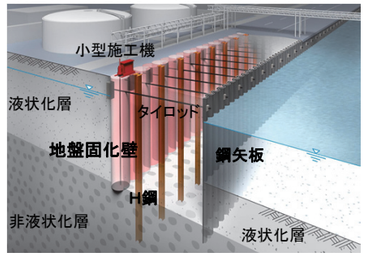
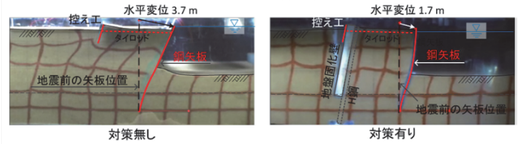
表―5．1　　桟橋補強工法 （2）

工　　法	増杭工法	支持地盤の改良	梁補強工法 ①	梁補強工法 ②
協会 / 研究会	―	―	―	―
工 法 の 概 要	 杭式桟橋の杭本数を増して、桟橋の強度を高める工法	 既設杭の支持地盤を改良することにより地盤強度を高め、杭の抵抗力を高める工法	  工場制作型のFRP化された高強度、高弾性炭素繊維ストランドシートを専用樹脂で躯体と一体化し、耐力、剛性を高める工法	 水中に有る橋脚等の鉄筋コンクリート構造物において、経年劣化や耐震強度不足を安価に解決する工法です。補強する構造物の表面に、樹脂を含浸させた炭素繊維の格子状繊維束（CFRPグリッド）を、水中硬化形の樹脂層により接着し、構造物を補強します。水中硬化形の樹脂層を形成する手段として、水中適用形エポキシ樹脂を潜水士が手作業（ウエットハンド法）にて形成す方法と、永久型枠を用い高流動性の水中適用形エポキシ樹脂を注入する工法があります。主に型枠工法で対応します。（KT-100101-A）
特　　徴	◆長所 ・基礎杭を増すことで桟橋の抵抗力が増す。 ◆留意点 ・海側からの杭打ち施工となり、大規模工事となる。 ・航行や桟橋供用に対しての検討が必要となる。 ・小規模の桟橋では、撤去新設が有利な場合がある。	◆長所 ・地盤の強度を高めることで杭の抵抗力が増す。 ◆留意点 ・構台を作るか海側からの施工となるため設備が大規模となる。 ・航行や桟橋供用に対しての検討が必要となる。	◆長所 ・ストランドシートでRC梁を補強することで、 曲げ耐力の向上と既設鉄筋応力の低減が図れる。 ・使用材料の化学的安定性が高く腐食等の懸念が無い。 ・ストランドシート性能： 引張強度3400N/mm²、 弾性率　640kN/mm²で補強効果が高い	◆長所 ・CFRPグリッドにて部材を補強することで、 曲げ耐力の向上と既設鉄筋応力の低減が図れる。 ・水中のコンクリート構造物を、排水せずに安価に補強できる。 ・CFRPグリッドと水中硬化形樹脂は、長期の耐久性が期待できる。 ・炭素繊維は高強度であり、少ない厚さで補強出来る。 （鉄筋の約5倍の引張強度）
工 法 名（参考）	・増杭工法	・高圧噴射撹拌工法等の地盤改良	・FPRCAストランドシート工法	・水中グリッド工法 （CFRPグリッド補強工法）
使 用 機 械	杭打ち船又は杭圧入機とｸﾚｰﾝ	地盤改良工法の項を参照	サンダーケレン、ハンドミキサー等軽微な機器のみ （重機等必要なし）	潜水機器 素地調整工具 樹脂ポンプ等
標準施工能力	鋼管杭φ800～1000 （現場条件により異なるが2日/1本程度）	地盤改良工法の項を参照	64～80㎡/日/チーム チーム編成　:世話役1、特殊作業員4、普通作業員2	事例　60日 （70㎡、設計・加工は含まず）
概算施工単価（参考）	撤去新設費に比べて半額程度	地盤改良工法の項を参照	25,000～80,000円/m²（ストランドシート1層あたり）	試算例　20,145千円／70m²
施 工 実 績 （2015年7月現在）	同様の補強実績事例は10件程度	地盤改良工法の項を参照	橋梁等中心に　約500件	10件（施工中を含む）
備　考 （資料提供者所属）	吉川海事興業（株）	地盤改良工法の項を参照	新日鉄住金マテリアルズ、　㈱コンポジッカンパニー	日鉄住金防蝕（株）
備　考 （参考リンク先）	―	―	http://www.nck.nsmat.co.jp/	http://acc.nssmc.com/

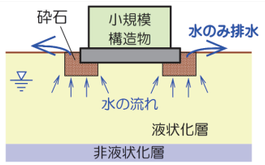
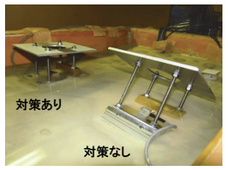
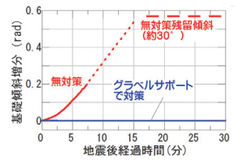
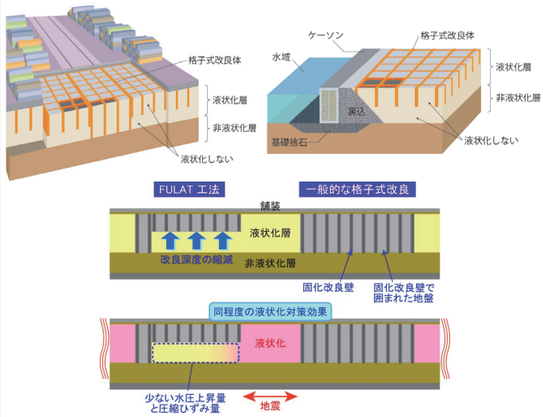
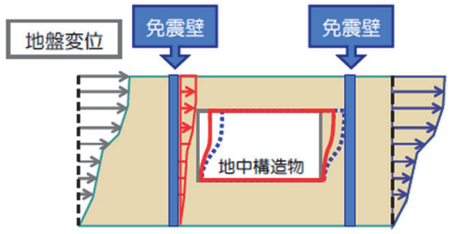
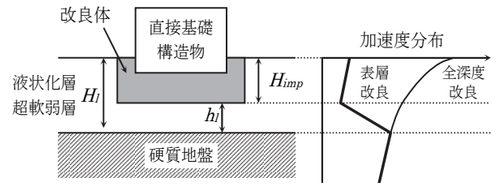
表－6．1　その他工法 （1）

工　　法	水硬性スラグコンパクションパイル	段差抑制工法	ジオテキスタイル・セメント改良土による道路段差対策工法	ジオブリッジ工法
	―	―	―	―
工法の概要	 ・サンドコンパクションパイルの砂代替材料として、鉄鋼スラグを用いた地盤改良工法。 ①砂地盤の液状化対策用（摩擦タイプ） ②粘性土地盤改良用（固結タイプ）	①概要図  ボックスカルバートの段差対策　　橋台の段差対策 ②現場実験 路面に、強制的に段差を生じさせる実物大現場実験の結果、60cm程度の不同沈下に対して、路面の走行性を確保できることを確認。  ③工法概要 地震対策型段差抑制工は、粒状材料（粒度調整砕石）による層厚60cmの粒状層に、ジオグリッドを20cm間隔で4層敷設して、先端部拡大式拘束アンカーで拘束した構造で、ボックスカルバート等の構造物上部の路床や、橋台等の構造物の側面に設置することにより、大規模な地震発生時の地盤の不同沈下に伴う路面の段差の発生を抑制する工法である。	 セメント安定処理土(砕石にセメントを添加)の上下にジオテキスタイルを敷設することで、地盤に段差が発生した際の曲げモーメントに対し、ジオテキスタイルが引張抵抗を発揮し路面段差を緩和する工法である。  ジオテキスタイル　　セメント安定処理土 ・実大走行実験により段差発生後に車両走行が可能であることを確認	 事前に段差発生が予想される盛土道路の横断構造物境界を補強　　大規模地震で不同沈下が発生しても、路面に段差を発生させない 一般的な路盤材である粒度調整砕石を、ジオテキスタイルにより布団状にし、多層に連結することで適度な剛性を持たせた補強土により、不同沈下を緩和し道路段差を防止する工法  実証実験により、対策効果の検証と高精度な設計が可能
特　　徴	◆長所 ①摩擦タイプ ・砂材と同等の締固め特性と施工性を有している。 ・天然資材が不足した地域で有効。 ②固結タイプ ・せん断抵抗角φ≧42°（砂＝35°）期待でき、地盤改良幅の低減による建設費縮減、地震時変形の抑制が可能。 ◆留意点 ・石灰分を含むため、溶出水がアルカリ。近くに井戸、田畑がある場合や、地下水の流れが速い場合は適用に際し留意必要。 ・製鉄所からの輸送距離が長いと材料費高い。	◆工法の特徴 ・最大60cm程度の不同沈下に対して、路面に発生する段差を抑制し、車両の走行性を確保する。 ・大規模地震動により、コンクリート構造物と土工部の間に不同沈下が生じたとしても車両の通行が阻害されず、人命救助活動や物資運搬等を迅速に行うことができる。 ・施工は、 ①ジオグリッドの敷設→②粒状材料をまき出し・転圧（1層あたりの層厚：20cm） → ③①～②を繰り返して、層厚60cmのジオグリッドを敷設した補強層を構築する→ ④拘束部材を打設して軸力を与えて補強層を拘束するの順序で行われ、アスファルト舗装の補修工事とあわせて適用が可能である。 ◆留意点 ・空洞の発生が確認された場合はグラウティング等の対策が必要となる。	◆長所 ・施工に特殊な機械は必要としない。 ・ジオテキスタイルの敷設・連結以外に一般の舗装工事と異なるような特殊作業が無い。 ・本工法で用いるジオテキスタイルは接着剤を用いてジオテキスタイル同士を連結することが可能である。 ・ジオテキスタイル同士を連結し、補強部を一体化できるため分割施工も可能であり、通行規制区間や期間を短くすることができる。 ・事後の埋設工事などでジオテキスタイルを切断した場合にも復旧が容易である。 ・施工中の振動、騒音、粉じんなど周辺環境に及ぼす影響は小さい。 ・車種の想定段差量に応じた最適構造の設計法を有する。	◆長所 ・55cmまでの段差対策（実証実験による検証） ・路盤材と同じ材料を使用することにより、路盤として補強土を兼用でき、対策深度を浅くできる。 ・路盤と強度が同じであり、施工後の不同沈下が発生しない。 ・独自の設計方法の確立により、走行性を踏まえた設計が可能。
工法名（参考）	・エコガイアストン	・SSR段差抑制工法	・ジオテキスタイル補強固化土工法	・ジオブリッジ工法
使用機械	・クローラー式サンドパイル打機（振動式） ・SAVEコンポーザー施工機（静的）	小型バックホウ 振動ローラ（搭乗式・コンバインド型3～4t） ブレーカ（94kg）	一般的な舗装の撤去・設置工に必要な機械のみ （バックホウ、振動ローラ等）	小型バックホウ、振動ローラ、タンパ （舗装復旧が含まれる場合は舗装用一般機材）
標準施工能力	振動式　：150～160m/日 静的　　：110～140m^2/日	幅員3．5mの橋台側面に接続する場合 ： 約1週間	20～40m^2/日(既設舗装の撤去工含む)	15m^2/日程度 （段差20～30cm程度の対策仕様として）
概算施工単価（参考）	振動式：　6,000～7,000円/m 静的　：　8,000～9,000円/m （エコガイアストン材料費を4,500円/m^3想定）	幅員3．5mの橋台側面に接続する場合 ： 約210万円	15,000～25,000円/m^2	20,000～30,000円/m^2 （段差20～30cm程度の対策仕様として）
施工実績 （2015年7月現在）	30件以上（50万m^3以上）	5 件	3 件	2 件
備考 （資料提供者所属）	新日鐵住金(株)、（株）不動テトラ	前田工繊（株）	鹿島建設（株）	前田建設工業(株)、前田工繊（株）
（参考リンク先）	http://www.nssmc.com/product/fukkou/jibantaisaku/index.html	http://www.maedakosen.jp/mdk	http://www.kajima.co.jp/tech/c_soil_improvement/outer/index.html#!body_02	https://www.maeda.co.jp/tech/all/td0064.html

表－6．1　その他工法 （2）

工　　法	液状化変形抑制工法	パレスシート工法（液状化影響抑制対策）	低置換格子状固化	側方流動抑止壁
協会 / 研究会	一般社団法人ジオシンセティックス変形抑制工法研究会	―	―	―
工法の概要	①概要図  ②模型実験 SECURE工法に対する動的遠心模型実験の結果、盛土の変形を抑制する効果があることが確認された。  動的遠心模型試験断面 （NETIS登録資料より引 ③工法概要 盛土直下の基盤に、高強度繊維からなるジオテキスタイルを挟み込んだ砕石層を設け、ジオテキスタイル及び砕石層の剛性により盛土底部の変形を抑制し、砕石層の排水効果により液状化を抑制して、盛土の沈下量の低減及び特に側方変位低減を可能とする液状化対策工法である。	 φ100mmの筒状繊維（ジャケット）にモルタルを注入して形成する高剛性の格子状補強枠を備えたシート材によって、液状化に伴う基礎地盤の不同沈下を低減させ、その上部に建設された道路盛土や河川堤防の致命的な損傷を防止し、施設機能を維持する工法である。  盛土内にすべり面が形成 盛土内に発生する変形は軽 パレスシートによって基礎地盤の不動沈下を低減し、盛土の損傷を軽減	岸壁や護岸の液状化・側方流動対策として、背面地盤に格子状固化を造成する。サイトの特性を考慮した対策後の変形性能を評価することによって、従来の格子状固化よりも置換率を抑え（安価）、要求性能に応じた改良仕様で対策できる。  工法イメージ（控え工付き鋼矢板式岸壁の場合）  動的遠心模型実験結果　実験後の変形 ［控え工付き鋼矢板式岸壁、入力波：南海トラフ波（最大326 gal）］	岸壁や護岸の背面地盤に施設の側方流動対策として、背面地盤に地盤固化壁とH鋼を組み合わせた側方流動抑制壁を設置する。背面地盤の水平変位の発生を抑制することができる。施工の際に、障害物が有る場合には、側方抑制壁の一部を間引いて施工しても対策効果は低減しない。  工法イメージ（控え工付き鋼矢板式岸壁の場合）  動的遠心模型実験結果　実験後の変形 ［控え工付き鋼矢板式岸壁、入力波：南海トラフ波（最大326 gal）］
特　　徴	◆長所 ・従来工法のように固化工法で地盤を改良するのではなく、砕石でジオテキスタイルを挟み込んだ単純な構造体を盛土直下に築造することにより、液状化時の盛土変形を抑制する。 ・動的遠心模型実験では、盛土側方変位量を無対策に比べ30%、盛土の沈下量が無対策時に比べ70%に抑制されることが確認されている。 ◆留意点 ・変形を許容する設計のため、許容変形値を確認する必要がある。	◆長所 ・盛土直下の液状化地盤を全て地盤改良※する場合と比べ、費用は30%、工期は20%程度まで削減できる。 （※サンドコンパクションパイル工法を想定。） ・施工に特殊な機械は必要としない。 ・施工中の振動、騒音、粉塵等など周辺環境に及ぼす影響は小さい。 ・家屋が密集する市街地や圃場（借地）で施工した実績も有る。 ・注入するモルタルは市中の生コン工場から調達できる。 （専用プレミックスモルタルもある） ・格子間隔は1～3mが標準で、要求性能に応じて設定する。 ◆留意点 ・対策効果の評価には、FEMによる液状化解析（FLIP）が、必要。 ・液状化被害（不同沈下）を安価に抑制することを目的とする。	◆長所 ・実サイトを模した遠心模型実験を実施して、対策効果を検証している。例えば、控え工付き 鋼矢板式岸壁を対象とした実験では、レベル2地震時に約4m変位する岸壁や護岸の変位を、低置換率格子状固化で1m以内、側方流動抑制壁で2m以内に抑制できることを確認している。 ・実サイトを対象としたコストスタディ（液状化層厚10 m）の結果、従来工法（置換率50%の格子状固化を想定）より、低置換率格子状固化の場合、約3割のコスト低減、側方流動抑制壁の場合、約7割のコスト低減を期待できる。 ・遠心模型実験を対象としたシミュレーション解析で、FEMによる液状化解析（FLIP）による評価法（対策工のモデル化技術他）の妥当性を確認している。従って、科学的な根拠と手法に基づき、対象構造物の要求性能（使用性／修復性／安全性等を勘案した許容変形量）に応じ、最も低コストな改良仕様を提案できる。 ・狭隘な箇所、空頭制限がある箇所、地中障害物がある箇所、既設構造物に近接する箇所等、施工条件が著しく制約される箇所でも、ジェットクリート工法等の高圧噴射撹拌工法を用いることで、安全かつ確実に施工できる。 ◆留意点 ・設計は、FEM液状化解析（FLIP）による性能設計を前提とする。 【参考文献】 石井健嗣他：岸壁・護岸を対象とした地盤固化による低コスト液状化対策技術の遠心模型実験、土木学会第70回年次学術講演会、Ⅰ－464、pp.927-928、2015年9月 京川裕之他：岸壁・護岸を対象とした地盤固化による低コスト液状化対策技術の解析的評価、土木学会第70回年次学術講演会、Ⅰ－465、pp.929-930、2015年9月	
工法名（参考）	・SECURE工法	・パレスシート工法	低置換率格子状固化	側方流動抑制壁
使用機械	バックホウ　0．8m^3 振動ローラ	・スクイーズポンプ（モルタル注入ポンプ） ・アジテーター車（モルタル運搬用）	地盤固化工法（高圧噴射撹拌工法／機械撹拌工法等）から施工条件に応じて最良な工法を選択 ※例えば、ジェットクリート工法等を参照	地盤固化工法（高圧噴射撹拌工法／機械撹拌工法等）から施工条件に応じて最良な工法を選択 ※例えば、ジェットクリート工法等を参照 その他に、H鋼建込み用の小型クレーン等
標準施工能力	設置幅25m×深さ2mの場合（延長100mあたり）：31日	300～500m^2/日（シート敷設・モルタル注入のみ）	採用工法に準じる	採用工法に準じる
概算施工単価（参考）	設置幅25m×深さ2mの場合：190,000円/m	8,000～14,000円/m^2	従来工法（置換率50%の格子状固化を想定）のコストの2／3	従来工法（置換率50%の格子状固化を想定）のコストの1／3
施工実績（2015年7月現在）	1 件	路床改良、工事仮設などで 10 件	なし	なし
備考（資料提供者所属）	前田工繊（株）	鹿島建設（株）、芦森工業（株）	鹿島建設（株）、ケミカルグラウト（株）	鹿島建設（株）、ケミカルグラウト（株）
備考（参考リンク先）	http://secure21.com/	http://www.kajima.co.jp/tech/c_liquefaction/others/index.html#!body_01 http://www.kajima.co.jp/news/press/201503/5c1-j.htm	http://www.kajima.co.jp/tech/c_liquefaction/index.html http://www.chemicalgrout.co.jp/technical/jetgrout/jetcrete.html	http://www.kajima.co.jp/tech/c_liquefaction/index.html http://www.chemicalgrout.co.jp/technical/jetgrout/jetcrete.html

表―6．1　その他工法 （3）

工　法	液状化被害低減工法	浮き型格子式液状化対策工法	地中免震壁工法	液状化免震工法
協会 / 研究会	―	独立行政法人港湾空港技術研究所 一般財団法人沿岸技術研究センター CDM研究会	―	―
工法の概要	①概要図  ②模型実験 グラベルサポート工法に対する動的遠心模型実験の結果、液状化による構造物の傾斜を大幅に抑制する効果があることが確認された。   ③工法概要 小規模構造物（重量50kN/m^{2}以下、短辺幅15m以下）基礎の外周部直下およびその周囲に、幅1m、厚さ30cm以上（構造物や地盤の条件による）で粒径の小さい砕石を敷き、締め固めた上に基礎を構築する。砕石層から地表への排水経路を一定面積毎に排水枡などにより確保する。	 液状化地盤の上層のみを深層混合処理工法によって格子式に改良し、下層は未改良とする、浮き型を特徴とした液状化対策工法である。浮き型格子式改良体により下部の未改良部に発生するせん断ひずみを低減し、間隙水圧の上昇や体積ひずみの増加を抑えることで、液状化による沈下や変形の低減を図る。また、液状化しやすい上層部の過剰間隙水圧が下部に伝播することを防止する。	 ①地中構造物と周辺地盤との間に吸水膨潤性を有する粘土系材料（ベントナイト混合土）からなる連続した壁状の地中免震壁を設置する工法 ②地中免震壁により、地震時に地中構造物に作用する地盤変位を吸収し、構造物に発生する応力低減を目的とした工法	 液状化層を改良するにあたり、未改良層を一部残し、その層を地盤免震層として活用する工法
特　徴	◆長所 ・従来工法のように地盤の液状化を防止するのではなく、液状化しても構造物の傾斜を大幅に抑止できる工法。液状化層厚にかかわらず地表面付近の対策のみですむので大幅なコスト削減がはかれる。 ・基礎が傾斜する際の地盤の変形の起点となる構造物外周直下を径の小さい砕石で置換し、地表面への排水経路を確保することで、構造物外周直下を液状化しないようにして、この部分の地盤強度を確保することで、液状化による傾斜被害を大幅に軽減する。 ・荷重偏心の大きい構造物を用いて行った動的遠心模型実験では、無対策のものが最大約30度傾斜したのに対し、対策を行ったものはいずれも1/200以下の傾斜に収まった。 ・必ずしも基礎周囲全周を対策する必要がないため、他の構造物に近接する既存構造物の対策にも適用が可能	◆長所 ・優れた経済性 改良深度の縮減によって、材料費等のコスト低減および施工期間の短縮が可能となる。 ・液状化対策効果 過剰間隙水圧の発生を抑制し、沈下量を低減することができる。浮き型改良と着底型改良を組み合わせることを基本とし、対策効果の向上を図る。 ・着底型に近い対策効果 着底型と同程度の沈下抑制効果を発揮できる。 ◆留意点 ・要求性能に応じた合理的な設計の実現 要求性能を確保しつつ、対象地盤や構造物の特性を考慮して、合理的な改良仕様を設定することができる。下層部において水圧が多少上昇する可能性があるため、当面は動的数値解析の併用を原則とする。	◆長所 ①新設の地中構造物への適用は勿論のこと、既設の地中構造物の耐震補強に適用できる。一般に既設の地中構造物の内部からの耐震補強は施工上困難であるが、本工法は施工上の制約が少ない。 ②以下の条件下で、地中構造物に発生する応力を最大40%程度低減できる。 ・周辺地盤と地中免震壁のせん断波速度比：0．6以下 ・地中免震壁の壁厚：0．2～2．5m ・ベントナイト有効乾燥密度：300～1200kg/m^3 ③地中免震壁にポリマー材を用いた柱列の断続配置による既存工法があるが、本工法ではベントナイト混合土を用い壁式の連続配置にすることにより、以下の優位性を有する。 ・高い地盤変位吸収機能 ・常時自立性（常時土圧抵抗性） ・長期安定性（自己修復性） ・低コスト	◆工法の特徴 ・地盤改良工法としては、締固め工法、セメント系固化工法、薬液注入工法などがある。 ・未改良地盤が液状化（強非線形化）することにより、波動が伝わらなくなり、免震効果が発揮される。
工法名（参考）	・グラベルサポート工法	・フューラット工法 （FULAT, Floationg and Upper LATice-shaped improvement）	・既存工法：ポリマー材を用いた柱列の断続配置による地中免震壁工法	・液状化免震工法
適用土質	液状化する砂質土	液状化する砂質土	すべての土質	液状化する砂質土（場合により軟弱粘土）
使用機械	小型バックホウ 転圧機械（ランマやプレートコンパクタなど）	【CDM工法での施工を想定】 ・深層混合処理機（45～90kw　2軸） ・スラリープラント（10～20m^3/h） ・発動発電機（300～600kVA）　・発動発電機（125～150kVA） ・バックホウ（0．6m^3）	―	地盤改良工法により異なる ・締固め改良工法 ・セメント系固化工法 ・薬液注入工法
標準施工能力	―	【CDM工法での施工を想定】 117m^3/日（φ1000×2軸）	―	―
概算施工単価（参考）	従来工法の1/3～1/10（液状化層厚10mの場合）	―	―	―
施工実績 （2015年7月現在）	24　件	なし	なし	3　件
備考 （資料提供者所属）	清水建設（株）	清水建設（株）	清水建設（株）	清水建設（株）
備考 （参考リンク先）	http://www.shimztechnonews.com/topics/t140423.html	―	―	―

２．強靭化工法の選定と施工

２．１　地盤補強工法

多くの産業施設が臨海部埋立地に立地しており、施設の強靭化の中でも、地盤の液状化や側方流動等に対する対策が重要となる場合が多い。 それらの対策の一つとして地盤の強度を増す地盤補強対策工法がある。

地盤補強対策工法の選定では、周辺施設への影響、施工場所、周辺環境、地盤補強の目的等を考慮して、いくつかの工法を比較して適切な工法を選択する。

地盤補強工法の選定から施工までのフローを表－２に示す。

２．１．１　地盤補強の目的と範囲

地盤補強の目的が、液状化対策か地盤強度増加か、あるいは施工規模によって工法が異なってくるので、まず地盤補強の目的を明確にすることが重要である。同時に、陸上からの施工が可能か、あるいは海上からの施工となるかの判断も必要である。

２．１．２　周辺環境への影響確認

周辺環境が工法の選定に大きく影響するので、以下の事項を確認する必要がある。

・既存設備の近傍か
・配管等が敷設されていないか
・埋設物はないか
・施工空間は確保できるか
・施工場所へのアクセスは確保されるか
・護岸の近傍か
・振動、騒音が問題となるか
・操業に影響はないか
・産業廃棄物や汚染土が埋もれていないか

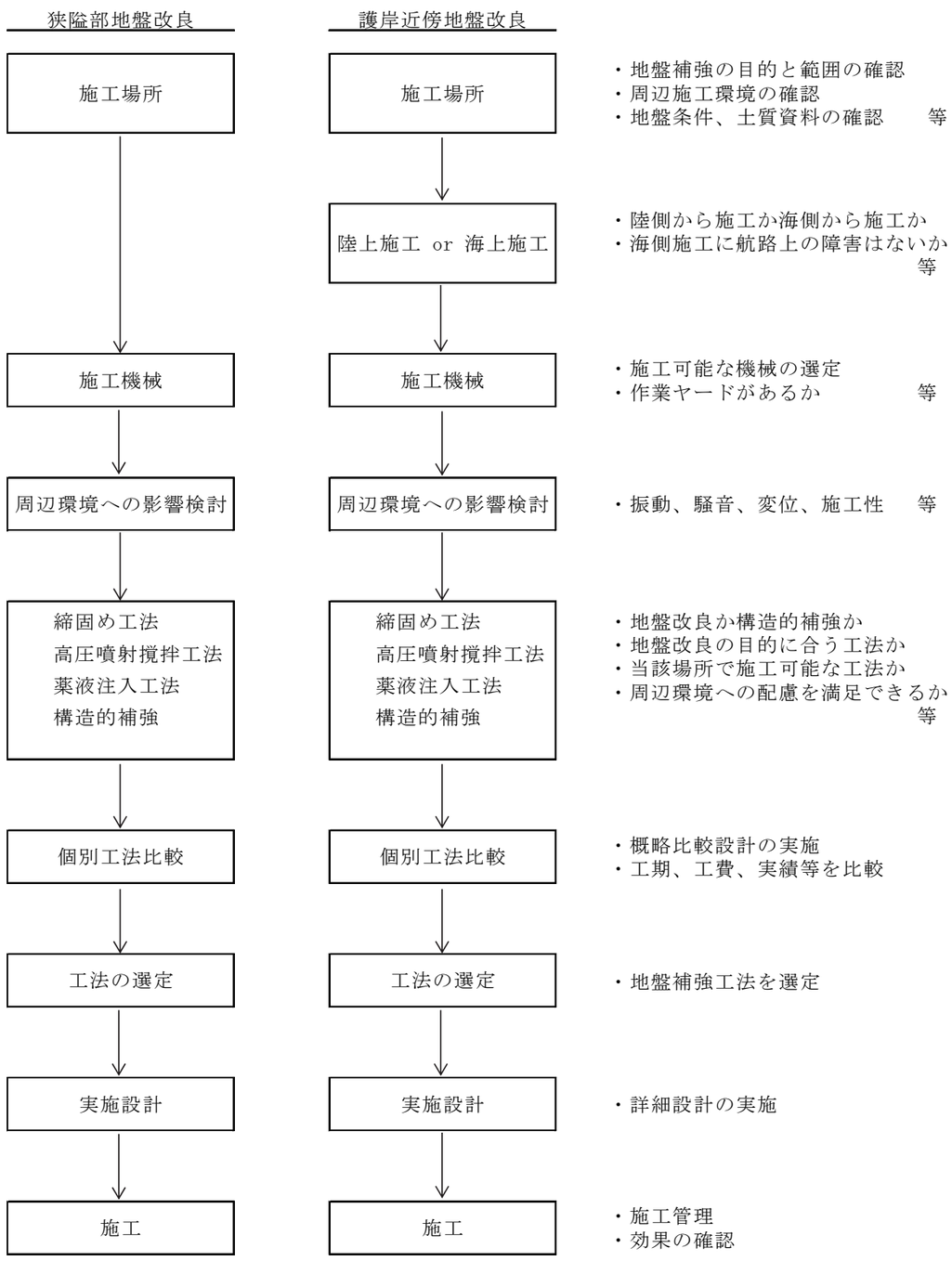
２．１．３　地盤条件の確認

（１）既存資料の確認

強靭化検討を進めるためには地盤条件の確認が不可欠である。既設構造物・施設の強靭化であることから建設当時の設計図書や施工報告書が存在していると思われるので、まず当該施設に関する地盤条件、構造条件に関する資料を集めることが肝要である。

検討を行うのに資料が不足している場合や既設構造物の補強ではなく新設となる場合には追加土質調査が必要となる場合もある。

表－２　　地盤補強工法の選定から施工まで



（２）必要な土質資料

対策工法検討と設計に必要な一般的な土質定数は以下のとおりである。

ｉ）原位置試験、孔内試験

Ｎ値、粘着力ｃ、内部摩擦角Φ、
横方向地盤反力係数Ｋ、変形係数Ｅ、
ＰＳ検層（Ｖｐ、Ｖｓ）

ii）物理的特性

粒度分布、土粒子の密度、土の含水量、液性限界・塑性限界、湿潤密度

iii）化学的特性

有機物含有量、塩化物含有量、pH 値

iv）力学特性

一軸圧縮試験　・・・・・・・・・・q_u
非圧密非排水（ＵＵ）三軸試験・・・c_u、Φ_u
圧密非排水（ＣＵ）三軸試験・・・・強度増加率　c_u/p
圧密排水（ＣＤ）三軸試験　・・・・c_d、Φ_d
繰返し非排水三軸試験　・・・・・・液状化特性
動的変形特性試験　・・・・・・・・動的変形特性（Ｇ～γ等）
圧密特性　・・・・・・・・・・・・Ｃc、Ｐc、Ｃv 等

（３）調査方法

上記の土質定数を得るための試料の採取に関しては、以下に注意する必要がある。

・乱した試料採取
一般には標準貫入試験時のサンプラーにより採取するものを指す。
物理的特性は確認できるが、力学試験に供することはできない。

・乱れの少ない試料採取
掘削時に堆積構造への攪乱の影響をなるべく排除して採取した試料で
各種の力学試験に供せられる。

２．１．４　陸上施工または海上施工の選択

護岸近傍の地盤改良を行う際には、計画する地盤改良範囲が、陸上からの施工となるか海上からの施工となるかの検討が必要となる。海上施工の場合は、航路上の障害がないか、工場の入出荷機能に影響がないか等の検討が必要である。

２．１．５　施工可能な機械の選定

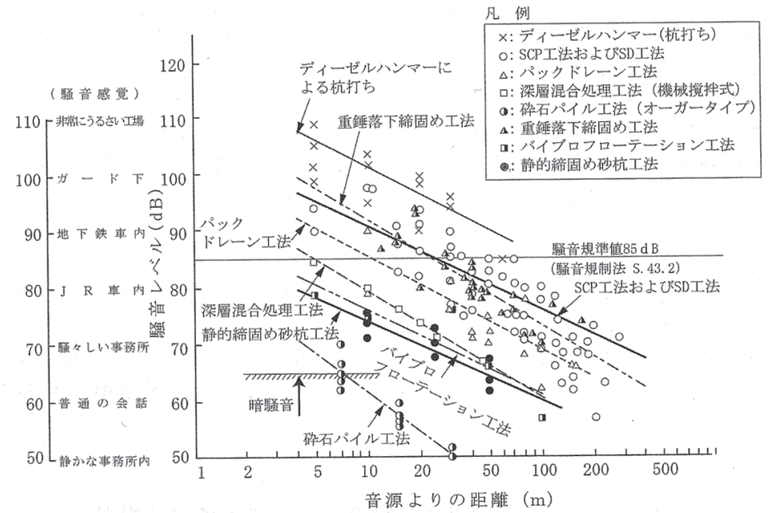
機械の選定には、まず実際に施工する現場を調査することが肝要である。狭隘部で施工可能と言われている工法でも、狭隘部のとらえ方は担当技術者により差が出る可能性があるので、機械選定では経験豊富な技術者の助言や支援を受けるのもよい。

２．１．６　環境に与える影響

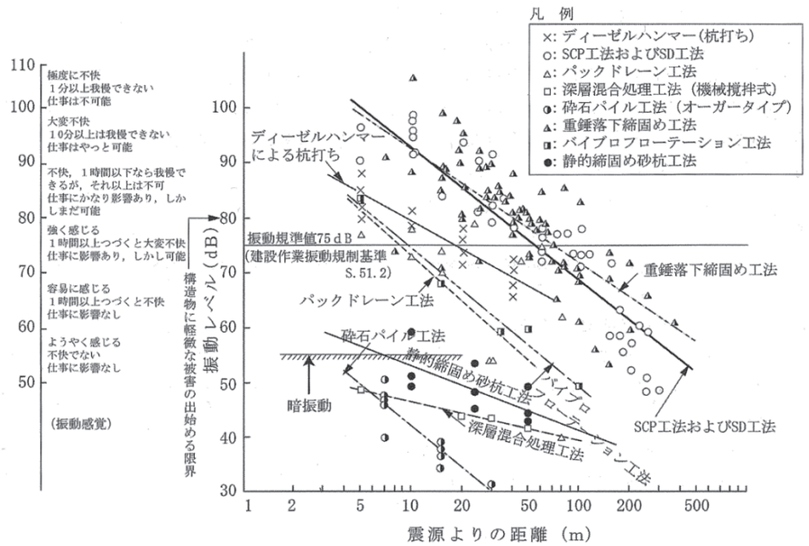
環境面への配慮は対策工法を選定する上で大きな要因となる。一般に稼動中の工場の中での施工となるので、既存の構造物に悪影響を与えないよう配慮する必要がある。

護岸近傍では、護岸に変位を与えない工法、海に改良材を浸透させない工法を選択しなければならない。

全般的に、振動、騒音、変位、汚染等に対する検討が必要となる。騒音や振動に関する資料としては、図－３、図－４に示したものがある（出典：「地盤改良の調査・設計と施工」：地盤工学会）。



図－３　各工法の騒音レベルと距離の関係



図－４　各工法の振動レベルと距離の関係

２．１．７　工法の比較検討

地盤の補強目標および施工場所等の制約条件の検討をもとに、地盤補強工法を選定する。地盤改良か構造的補強かの意思決定も行われる。

地盤改良が選択された場合には、密度増大工法、固結工法、間隙水圧低下工法等の概略の工法選択を行い、それぞれの工法についてさらに詳細に検討を行う。絞り込まれた改良工法の中から数種類の工法について概略の検討を行って改良仕様を決定し、工期、工費を算定する。

工法の比較では、これまでの実績がある工法の他に新技術や新工法も積極的に考慮することが望ましい。特に、施工機械の小型化については、工場地帯だけでなく市街地でも需要が高まり、近年、技術の開発が盛んである。

２．１．８　地盤補強工法の選定

比較した数種類の工法の中から地盤補強工法を選択するが、稼動中の工場内での施工では、工費だけでなく工期が工法選定に大きな影響を与えることもある。

目的、施工性、工期、工事費を慎重に判断して最終決定することが求められる。

２．１．９　詳細設計

選定された工法について詳細設計を行う。詳細設計にあたって資料が不足する場合には、追加調査の実施が必要である。

また、担当者は再度現地を調査し、調査結果を設計及び施工計画に反映させることが重要である。

２．１．１０　施工管理

（１）施工管理の必要性

地盤改良の施工では、対策工法の原理、設計内容や留意事項の確認、現地条件の把握が必要となる。事前に得られる地盤調査の情報にはバラツキや不確定要素があり、設計時には地盤のモデル化を行うことで計算値と実際の挙動には相違が見られることがある。このため、施工中において、計画どおりの施工がなされているか、品質や形状が要求どおりのものとなっているか等を調査し、場合によっては計画の変更を検討することもある。

地盤改良の施工では施工管理が重要である。このため、工事着工前に入念な施工管理計画を立てる必要がある。

（２）施工管理の項目

施工管理では、想定通りの施工になっているか、構造物が問題なく構築される状況になっているか、周辺構造物へ悪影響を及ぼしていないか等が重要な管理項目になる。地盤改良工法によって管理項目は異なるが、施工中の計測管理としては以下のものがある。

- 騒音や振動の程度
- 地盤の沈下量や側方変位量
- 材料の投入量や注入量
- 施工機械の安定性
- 地下水の環境
- 改良地盤の品質
- 設計時想定値との比較

２．１．１１　効果の確認

設計で前提とした施工がなされたかどうか、あるいは設計で予測したとおりに進行しているかを検討することで対策工法の効果が判定される。

改良効果が予測を下回った場合には改良仕様の変更が必要となる。このため、計測管理が重要となる。

また、地盤改良工法は理論より施工性優先で開発されているのもあることから、計測管理で効果を確認することが必要な要件となっている。

２．２　構造物基礎補強工法

２．２．１　補強の目的と範囲

直接基礎では滑動・転倒・支持力等の安定性不足、杭基礎では杭の耐力不足等の場合補強が必要となる。また、基礎が安定であってもペデスタル等の強度不足も補強の対象となる。これらを補う対策が必要となり、狭隘部で対応可能な工法を選択し、補強の効果を検討する。

構造物基礎補強工法の選定から施工までのフローを表－３に示す。

２．２．２　周辺環境への影響確認

既設の構造物基礎の補強では狭隘部での施工が可能であるか否かが重要な要素となる。このため、施工環境を事前に十分調査することが必要となる。

調査にあたって注意すべき項目として以下のようなものが挙げられる。

・既設設備の近傍か
・配管等が敷設されていないか
・埋設物はないか
・配管や設備の移設・移動は工事中可能か
・施工空間は確保できるか
・施工場所へのアクセスは確保されるか
・狭隘部での基礎補強で、事前に盤下げを行えば施工が可能か。
・火気の使用は可能か
・振動、騒音が問題となるか
・工場の稼働に影響はないか
・産業廃棄物や汚染土が埋もれていないか
・補強検討を行うための地盤条件や構造物荷重の資料が揃っているか
・既設構造物の健全性（劣化の程度）はどの程度か　　等

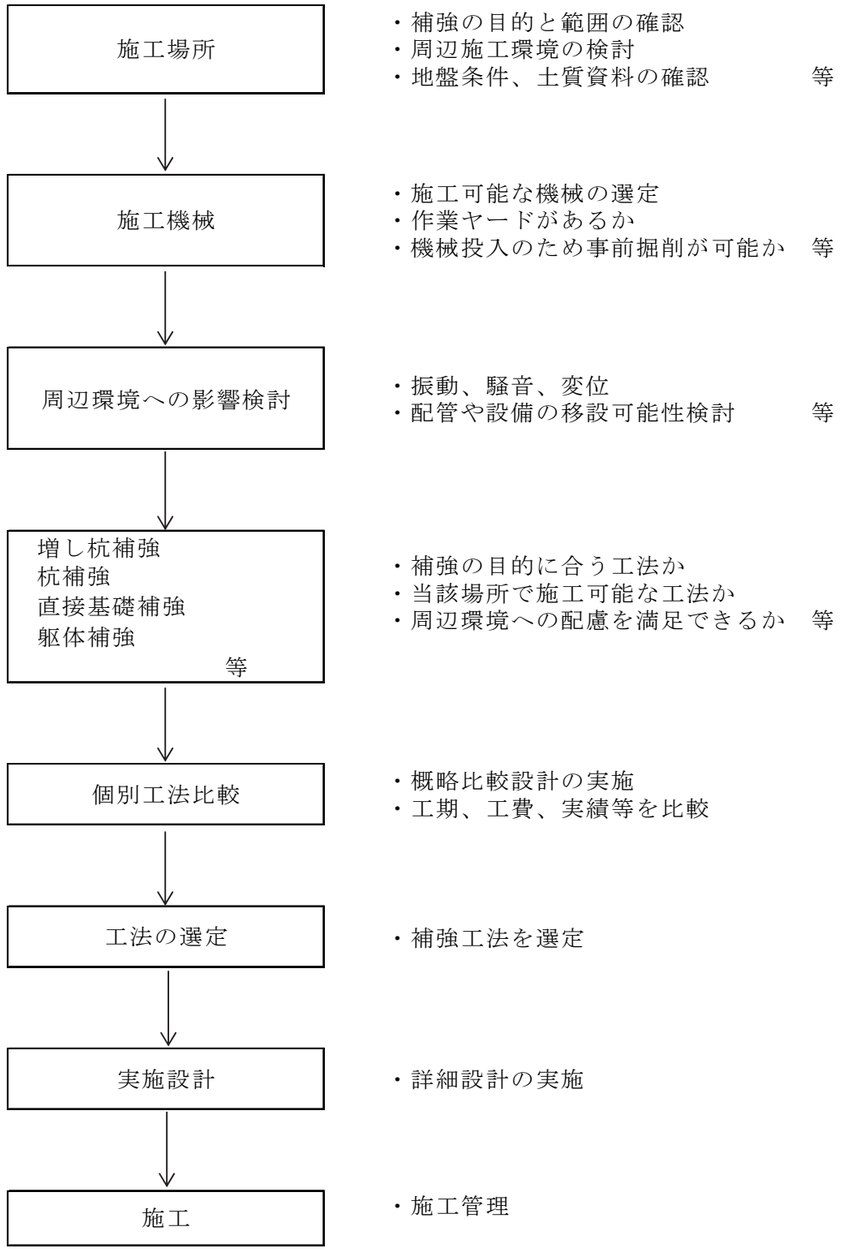
２．２．３　補強工法の選定

施工条件、補強の規模等を考慮する。複数の基礎補強案を作成し、概略検討を行って補強仕様を決め、工費や工期を比較する。

補強案のうち、コンクリート基礎を拡幅する場合や基礎梁を追加する場合には、新旧コンクリートの一体化についても十分な留意が必要である。

対策工法を比較選定する場合には、今までの実績にとらわれることなく、新規工法も積極的に取り上げることが望ましい。

表－３　　構造物基礎補強工法の選定から施工まで



２．２．４　詳細設計

選定された補強案の詳細設計で、特に考慮すべき荷重はレベル２地震動に対する荷重である。

また、検討にあたっては既存の基礎の健全性の確認も重要である。検討のための資料に不足がある場合には追加調査を行い、技術者が再度現地を確認することも重要である。

２．２．５　施工管理

構造物基礎の補強は既存構造物の近傍での施工となるため、既存構造物や配管類への接触、工事振動の影響、火気使用制限など工事中も注意を払う必要がある。また、施工管理者は、事前に施工計画書の確認を行うとともに、工事中は計画どおりに施工されているかどうか確認する必要がある。

２．３　護岸および桟橋補強工法

護岸および桟橋補強工法の選定から施工までのフローを表－４に示す。

２．３．１　補強の目的と範囲

（１）目　的

対象とする護岸・岸壁・桟橋の現在での耐震性の検討が必要である。耐震性を有していない場合は、補強で対処するか或いは新設した方が良いかの判断が行われる。

そのため、工場の操業上の観点からの検討も必要である。どの設備をどの程度補強するか補強目標を明確にする必要がある。このため、「臨海部コンビナート施設の地震リスクマネジメント　ガイドライン」（(一財）産業施設防災技術調査会）を活用するのもよい。

（２）補強計画

地震時に構造物には慣性力が作用する。地震時慣性力の他に液状化の可能性の高い地盤では地盤が側方に動く“側方流動”に対する検討も必要である。また、地盤側方流動の許容範囲の検討も重要である。

２．３．２　周辺環境への影響確認

（１）基準高・計画高

臨海部の施設設備および構造物の表示高は、それぞれの立地場所により基準面が異なっているので、基準面表示には注意を要する。

基準面には下記のようなものがある。

Ａ．Ｐ　　荒川工事基準面
Ｔ．Ｐ　　東京湾平均海面
Ｋ．Ｐ　　川崎港工事基準面
Ｏ．Ｐ　　淀川工事基準面　　等

表－４　護岸および桟橋補強工法の選定から施工まで



（２）潮位

構造物の検討では、潮位が波浪および水圧の作用の程度に影響を与えることを適切に考慮しなければならない。

（３）護岸法線

護岸や岸壁を補強する場合には、補強工法の種類により法線の変更が必要な場合がある。一般的には護岸法線変更は好ましいとはされていないが、有効な補強工法である場合には護岸法線変更の可否について所轄官庁と相談する必要がある。

（４）周辺環境

対策を施す場所の周辺環境を確認することが工法の選定に大きく影響する。確認すべき事項は以下のとおりである。

・実際に計画、設計、施工に携わる技術者が現地を確認する
・工事予定場所の周辺既設設備の状況
・配管等が敷設されていないか
・埋設物はないか
・産業廃棄物や汚染土が埋もれてないか
・施工ヤードは確保できるか
・施工場所へのアクセスは確保されるか
・海側からの施工も可能か
・護岸形式の確認
・護岸前海底面の状況、捨石や被覆石が存在するか
・護岸部での配管橋や渡り桟橋の支承構造
・同上支承部の沓は護岸変位に追従できる構造となっているか
・工事が工場の入出荷の妨げにならないか
・工事が周辺航路に影響を与えないか
・振動騒音に対する制限があるか
・火気の使用に制限があるか
・一日の作業時間はどのくらい確保できるか
・既設構造物の健全性はどうか、別途腐食調査が必要か
・海上作業が予想される場合には、波浪や潮流等の自然条件の調査も必要
・漁業関係者や海運関係者との調整も考慮しておく

上記の項目について、実際に計画・設計・施工に携わる技術者が現地で確認する必要がある。また、調査結果に基づいて施工の可否等について見解を記録に残すことも必要である。

２．３．３　検討条件

（１）作用および設計状態

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（社団法人：日本港湾協会）には、作用および設計状態については次のように記述されている。

作用は、主としてその大きさの時間的変動および社会的に対応すべきリスクに応じて、永続作用、変動作用および偶発作用に区分され、港湾の施設の性能照査において考慮する作用について以下のように示されている。

①　永続作用・・・自重、土圧、温度応力・腐食等の環境作用　　等
②　変動作用・・・波浪、風、水位（潮位）、載荷重、接岸・牽引による作用、
　　レベル１地震動　　等
③　　偶発作用・・・船舶の衝突、火災、津波、レベル２地震動　等

また、設計状態は、照査において考慮する作用の組合せのことで、以下のような状態が設定されている。

①　永続状態・・・１つまたは複数の永続作用の組合せおよび永続作用と変動作用を組み合わせる状態で、主たる作用が永続作用の状態
②　変動状態・・・１つまたは複数の変動作用、永続作用と変動作用を組み合わせる状態で、主たる作用が変動作用の状態
③　偶発状態・・・偶発作用および偶発作用と永続作用を組み合わせる状態

施設の強靭化では、レベル２地震動を考慮した偶発状態の検討を行うこととなる。

（２）地盤条件

構造物の検討では現地の地盤条件の把握が重要であり、「２．１．３　地盤条件の確認」で記述している。

２．３．４　検討方法

港湾に関する構造物については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（社団法人：日本港湾協会）に則って検討・設計を行うこととなるが、 ここでは、レベル２地震動に対して既設構造物の強靭化を図る観点から検討方法の例を紹介する。

（１）許容変位量

レベル２地震動を対象として構造物の強靭化検討を行う。レベル２地震動を用いてＦＬＩＰ等で護岸を含めた解析を行う場合、護岸変位が大きく出る場合がある。

レベル２地震動に対して変位量をどこまで許容するかの判断は対策工を考える上で重要な条件となる。

許容値は護岸の変位量だけでなく、護岸近傍に配置されている施設や配管および接続する配管橋や桟橋強度から決まる場合もあるので、十分な検討が必要である。

（２）対策方法の考え方

護岸に大きな変位量が発生した場合には、地盤改良や構造物等での補強により変位量を減少させる方法と、配管や施設が変位を吸収できる構造を採用する方法がある。それぞれの構造物の立地条件や配管等の上部工との関係から対策方法を考えるのがよい。

（３）観測地震波での照査

過去の中小地震の観測記録と被害状況の記録（護岸変状、噴砂、地割れ等）が入手可能な場合がある。このような場合には、既設構造物の設計計算書や竣工図面から解析モデルを作成し、観測された地震波を用いたＦＬＩＰ等による解析結果と実現象との整合性を検討する。解析結果が実現象と整合性がとれない場合には、地盤条件を見直すことも必要である。

（４）想定地震波での検討

前項（３）により修正された解析モデルでレベル２地震動を用いた解析を行い、対策工を検討する。

２．３．５　補強工法の比較検討

補強の目的に合った対策案をいくつか採り上げて検討することになるが、大きく分けて、構造物の補強か地盤の強化となる。各対策案について概略の検討を行い、仕様を決定する。また、近年は新工法の開発も盛んであり、実績にとらわれることなく、検討の対象にすることが必要である。

検討にあたっては、工費・工期・施工性・周辺環境に与える影響等を比較することになる。

２．３．６　補強工法の選定

比較した工法の中から護岸や桟橋の補強工法を選択する。一般に稼動中の工場内での施工のため、工費だけでなく施工性や工期が工法選定の大きな要素となる。これらを考慮して最適な補強工法を選定することが求められる。

２．３．７　詳細設計

選定された工法について詳細設計を行う。詳細設計のための資料が不足する場合には、追加調査も必要である。また、担当技術者は再度現地を確認し、設計や施工計画に反映させることが重要である。同時に申請等の手続きも落ち度がないよう注意しなければならない。

２．３．８　施工管理

（１）施工管理

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（社団法人：日本港湾協会）では、技術基準が性能規定化されたことで、設計者の独自の発想による設計法が認められている。補強設計でも同様であり、設計者の要求する性能を満たしていることを確認する必要があるとともに、要求性能を満足する適切な施工が行われていることも確認する必要がある。

施工管理は、測定したデータから、要求性能を満足する適切な施工が行われていることを確認する行為であり、管理するための方法は事前に定めておく必要がある。

（２）海上作業で考慮すべき事項

海上作業を行う場合には、法的な手続きや海域利用の関係者との協議等を十分に行うことが必要であるが、これらについては、関係する基準に沿って行うことが求められる。また、陸上作業とは異なり自然現象に作用されやすい作業であるので、工事の安全面から“作業中止基準”を明確に決めておく必要がある。

臨海部産業施設の強靭化工法ガイドライン

平成２８年３月　　発行

編集・発行　一般財団法人　産業施設防災技術調査会
〒231-0014
神奈川県横浜市中区常盤町３丁目２４番地　サンビル１０Ｆ
TEL　045-663-4031
FAX　045-212-1721