

【資料 8】 耐震性改善工法

8.1 地盤液状化対策工法

1 液状化対策工法の分類

液状化対策工法は、改良原理、改良方法に着目すると、表 R8.1 のような液状化の発生そのものを防止する対策工法、液状化の発生は許すが構造的に抵抗する対策工法に分類される。

表 R8.1 液状化対策工法の分類

参考文献(1)から引用・編集

		原理	方法	工法	
液状化の発生そのものを防止する対策	土の性質の改良	密度の増大	密度増大工法	縮固め工法 特殊石灰パイル工法 コンパクショングラウチング工法	
		固結	固結工法	深層混合処理工法 グラウト工法 事前混合処理工法	
		粒度の改良	置換工法	置換工法	
		飽和度の低下	地下水低下工法	ウェルポイント工法	
	条件・心隙力・変形に関する改良	有効応力増大			
		過剰間隙水圧抑制・消散	過剰間隙水圧消散工法	ドレーン工法	
		過剰間隙水圧遮断			
		せん断変形抑制	せん断変形抑制工法	連続地中壁による工法 鋼材を用いた工法	
許す液状化の発生は構造的に抵抗	堅固な地盤による支持		杭基礎など		
	基礎の強化		杭基礎、布基礎、護岸の強化		
	浮き上がり量の低減		鋼材を用いた工法、重量増		
	地盤変位への追従		可撓性継手		
	液状化後の変位の抑制		ジオテキスタイル工法、鋼材を用いた工法 こま形基礎		

本章では、上に示す液状化対策工法のうち、設計する上での取扱いに着眼して以下の 11 工法を紹介する。

(1) 地盤系設計法を用いる対策工法

液状化判定された領域に対策を実施するが、その対象範囲を地盤として取り扱い、液状化対策を設計するものである。

a) 振動締め固め工法

- ① サンドコンパクションパイル工法
- ② 振動棒工法
- ③ バイブロフローテーション工法
- ④ 重錘落下締め固め工法（動圧密工法）

b) 特殊石灰パイル工法

- c) コンパクショングラウチング工法
  - d) ドレーン工法
- (2) 構造系設計法を用いる対策工法

液状化判定された領域に実施した対策工そのものを構造物として取り扱い、液状化対策工を設計するものである。

- a) 深層混合処理工法
- b) 薬液注入工法
- c) 鋼材を用いた対策工法
- d) ジオテキスタイル工法

## 2 地盤系設計法を用いる対策工法

### 2-1 振動締固め工法

#### (1) サンドコンパクションパイル工法 (SCP 工法)

SCP 工法は、大径のよく締め固めた砂杭を地中に造成し、地盤を改良する工法である。

施工は、上下に振動する振動機を上端に備えたケーシングパイプを地中に貫入し、下端より中詰め材を供給しながら、地盤に振動を加えることにより地盤を締め固めるものである。

SCP 工法の中には、①ケーシングパイプの引抜き打戻しを繰り返して砂杭を作る打戻し締固め工法、②ケーシングパイプ先端に装備した拡径締固め装置で砂杭をつくる工法、③先端振動により締め固める工法の 3 種類に分類される。各工法の工法イメージ図及び施工状況を以下に示す。

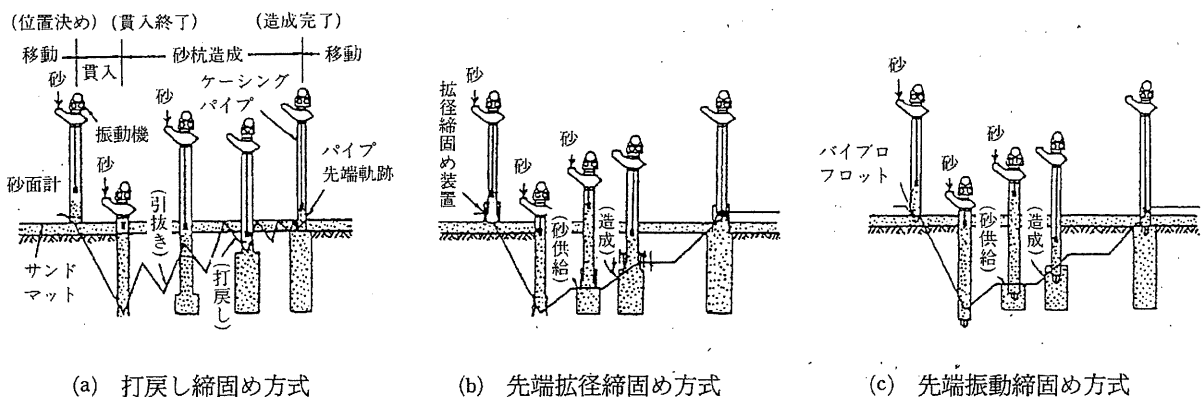


図 R8.1 サンドコンパクションパイル工法の施工方法

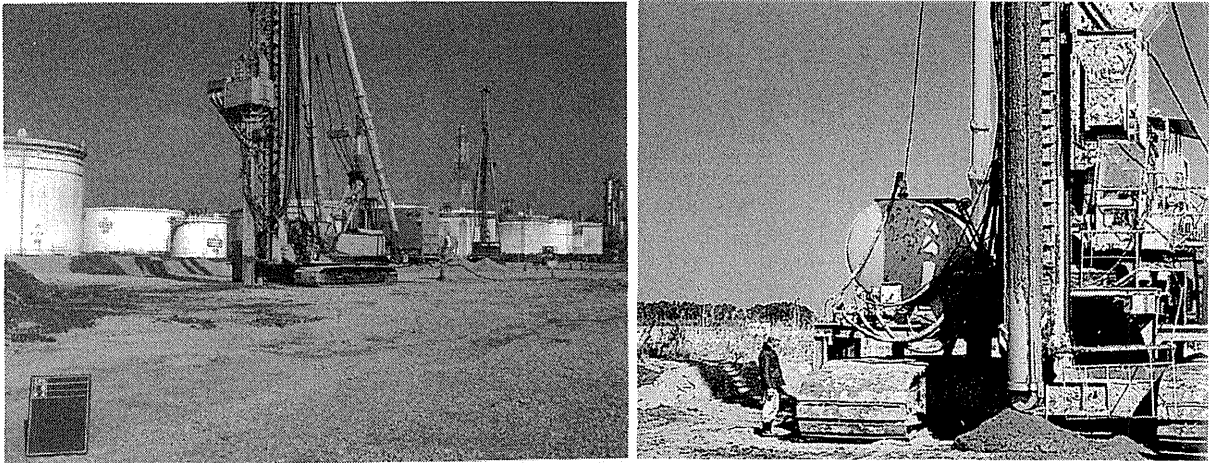


図 R8.2 サンドコンパクションパイル工法の施工状況

(2) 振動棒工法

上下振動する起振機を上端に備えたロッドを地中に貫入し、地表より中詰め材を供給しながら地盤に振動を加えることにより地盤を締め固める工法である。以下に施工手順図を示す。

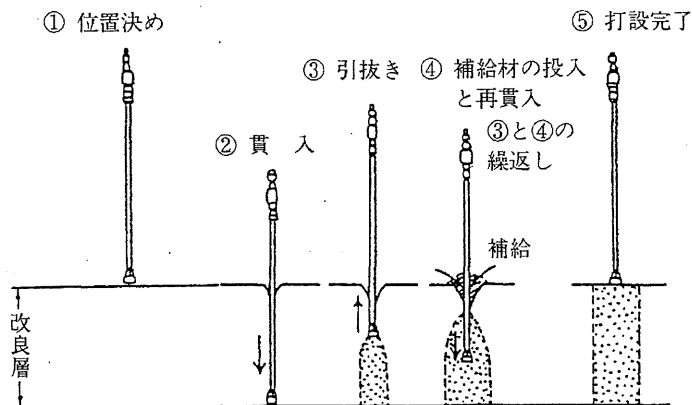


図 R8.3 振動棒工法の施工方法

(3) バイブロフローテーション工法

水平振動するバイブロフロットの先端から水を噴出させながら所定の深度まで貫入させた後、地表より補給材を介して地盤に振動を加えることにより地盤を締め固める工法である。バイブロフローテーション工法は先端から噴出する材料による工法種類があるが、以下に代表的な施工手順図を示す。

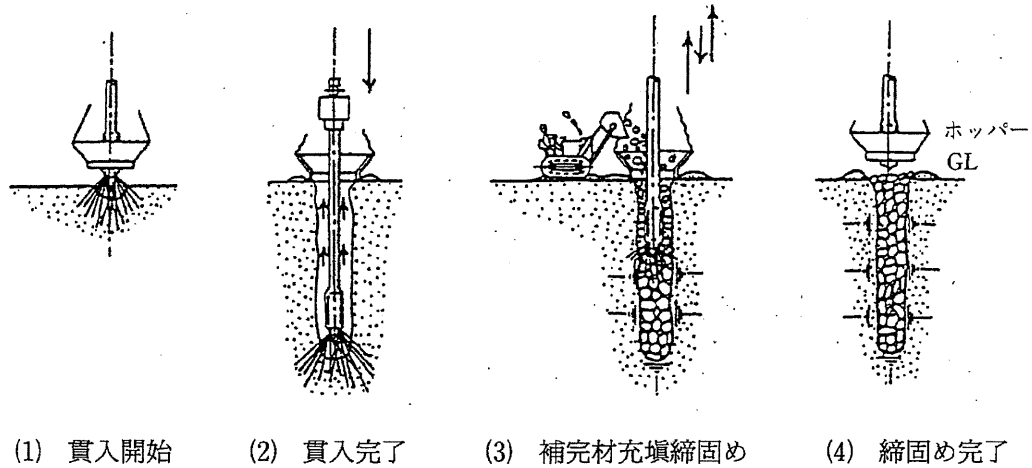


図 R8.4 バイブロフローテーション工法の施工方法

(4) 重錘落下締固め工法(動圧密工法)

鋼製又は(鋼+コンクリート)製の重錘をクレーン又は特別の装置を用いて高所から地盤に繰返し落下させ、地盤表面に衝撃力を加えることによって、地盤を深部まで締め固め・強化する工法である。以下に標準的な施工姿図と状況写真を示す。

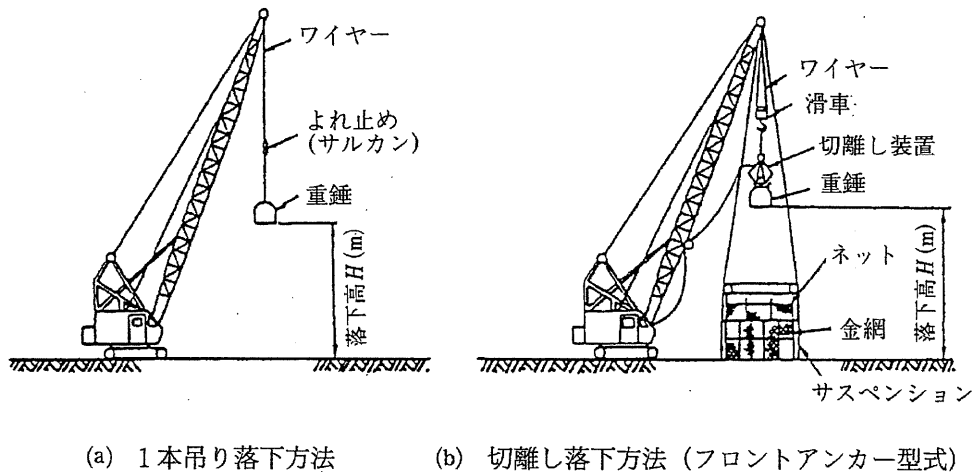


図 R8.5 重錘落下工法の施工姿図

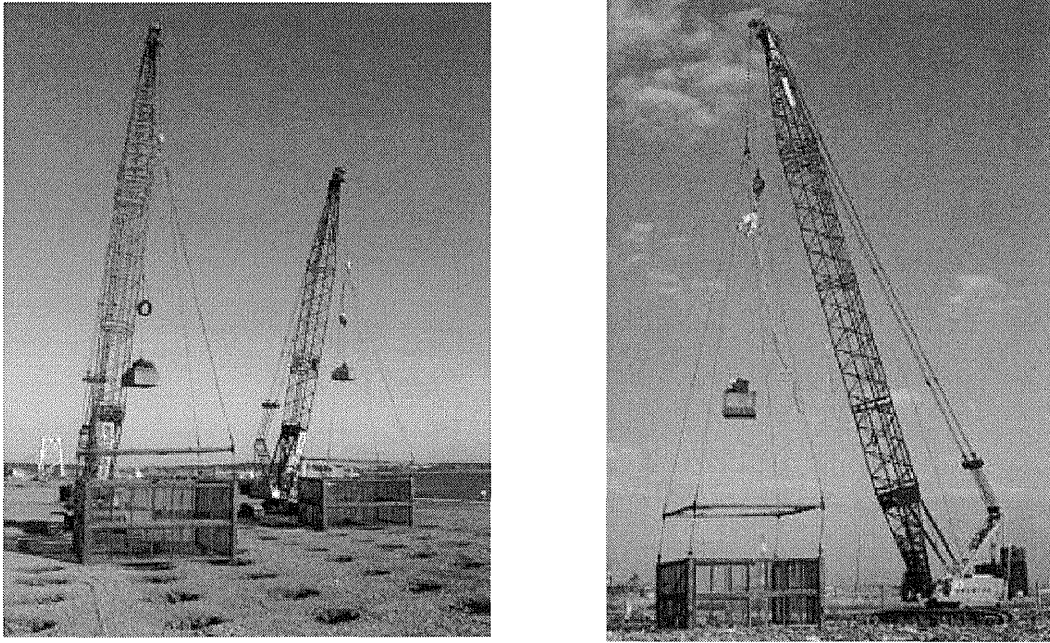


図 R8.6 重錘落下工法の施工状況 参考文献(2)から引用

## 2-2 特殊石灰パイル工法

特殊石灰パイル工法は、特殊石灰と水滓又はセメント、石膏並びに砂の混合材料を地盤中にパイル状に造成する。その時の材料の水和反応による膨張圧とケーシングの貫入圧によって、地盤を静的に締め固め、密度の増大、地盤の側方拘束の増加を図り、硬化するパイル体との複合地盤を形成せしめて液状化を防止する工法である。

打設はケーシングオーガー方式にて、ケーシングパイプを所定の深度まで貫入し、パイプ内に材料を入れたのち、内部を圧気調整しながらケーシングを回転させて引き抜き、地盤中に直径 50cm の石灰パイルを造成する手順となる。以下にパイルの打設手順図を示す。

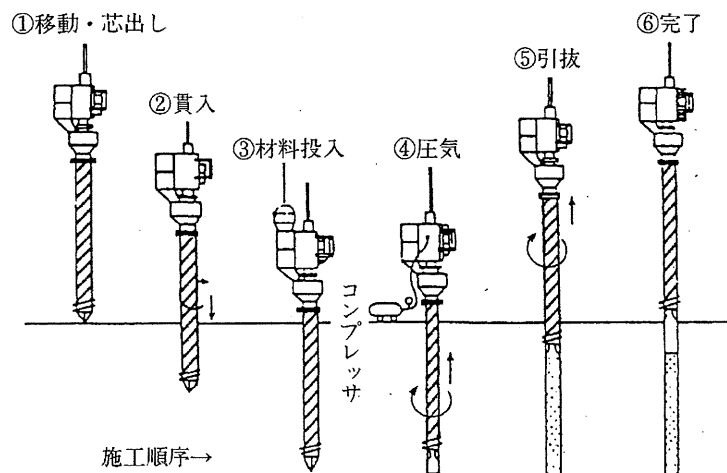


図 R8.7 特殊石灰パイル工法の施工手順図

### 2-3 コンパクショングラウチング工法

コンパクショングラウチング工法は、流動性の極めて小さいソイルモルタルを地盤中に圧入し球根状の固結体を連続的(串団子状)に造成する工法で、この固結体による締固め効果で周辺の地盤を圧縮強化する工法である。

コンパクショングラウチング工法の施工法には、改良していく順序が異なる①ボトムアップ方式、②トップダウン方式の2とおりがある。

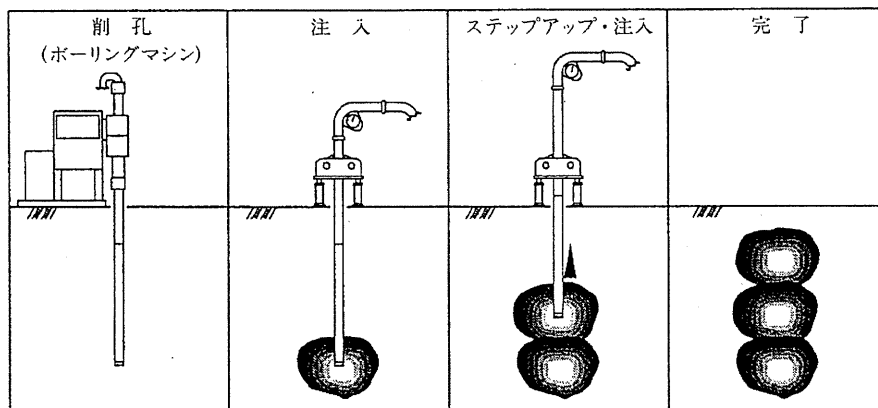


図 R8. 8a 標準的な施工手順図 (ボトムアップ方式)

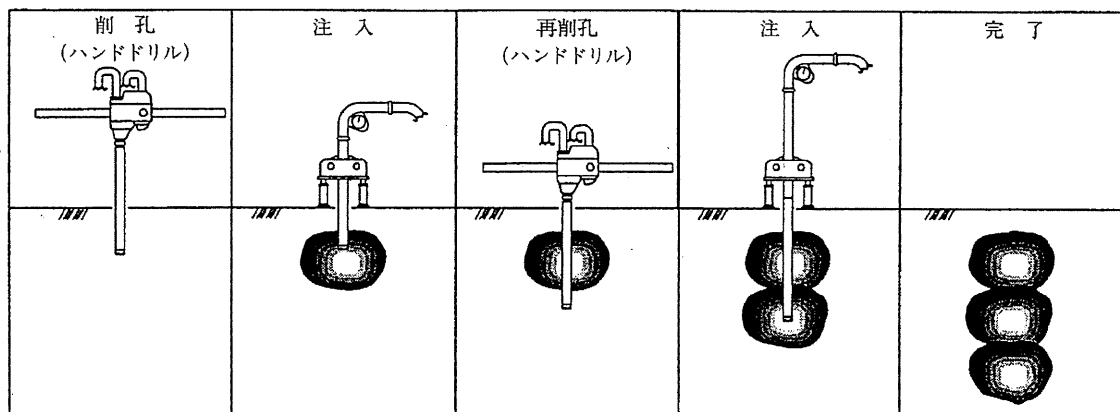
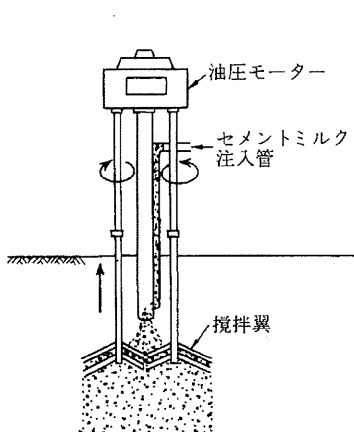
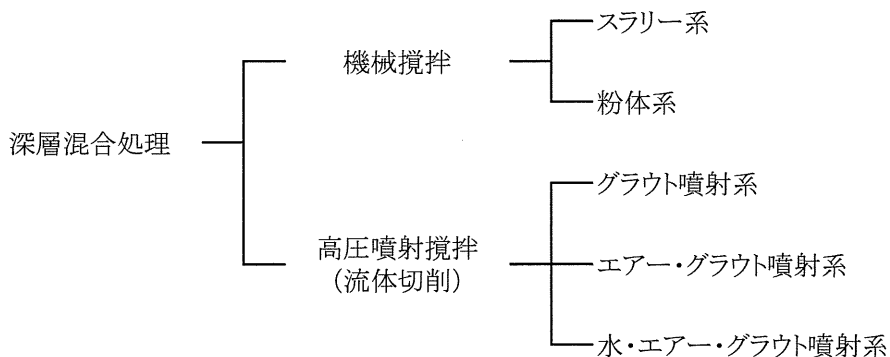


図 R8. 8b 標準的な施工手順図 (トップダウン方式)

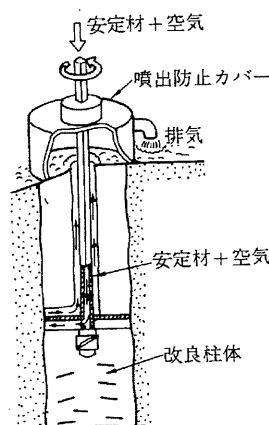
## 2-4 深層混合処理工法

### (1) 工法種類

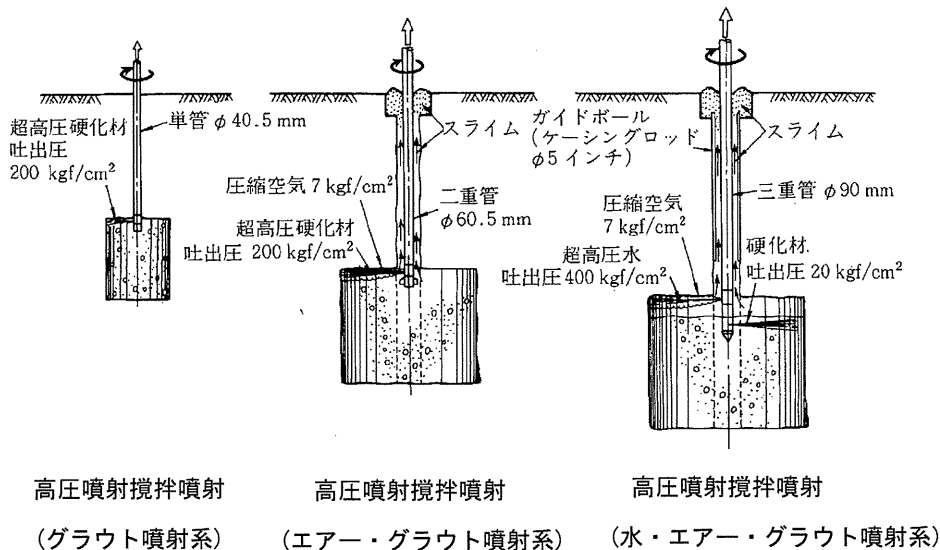
深層混合処理工法は、セメント系又は石炭系安定材を用いて地盤を化学的に改良する工法である。深層混合処理工法は、その施工方法から機械攪拌工法と高圧噴射攪拌(流体切削)工法に大別され、さらに地盤を固化する材料によって以下のように細分される。



機械攪拌(スラリー系)



機械攪拌(粉体系)



高圧噴射攪拌噴射

(グラウト噴射系)

高圧噴射攪拌噴射

(エアール・グラウト噴射系)

高圧噴射攪拌噴射

(水・エアール・グラウト噴射系)

図 R8.9 深層混合処理工法 工法概念図

(2) 機械攪拌工法

機械攪拌工法は、攪拌軸を回転させながら改良深度まで下げ、所定の深度に達した後に引き抜きと改良材の噴射攪拌を並行して行うものである。

噴射攪拌を行う改良材には、改良材をプラントでスラリー状にし、対象土と改良材スラリーを攪拌翼で均一混合させるスラリー系と、改良材をスラリー化せず、粉体のまま空気輸送し、攪拌翼で掘削した空間へ填充し、土と混合させる粉体系がある。

以下に機械混合攪拌工法の標準的な施工手順及び施工状況を示す。

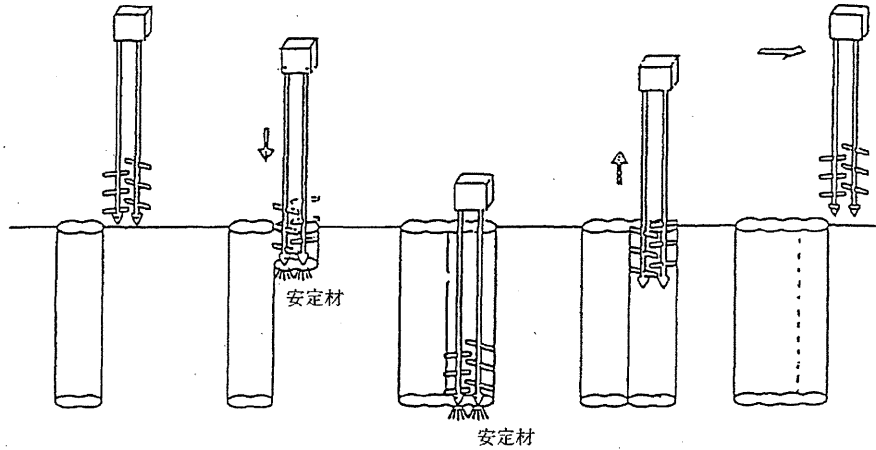


図 R8.10 機械攪拌工法 施工手順図

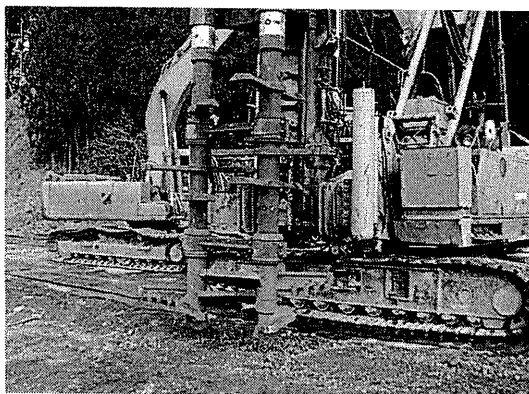
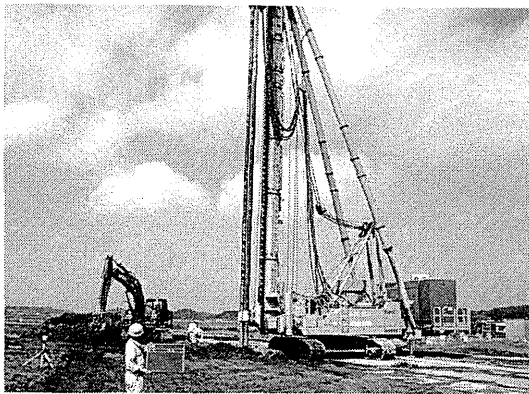


図 R8.11 機械攪拌工法 施工状況 参考文献(2)から引用



### (3) 高圧噴射攪拌工法

ロッドと称する鋼管を使用して、所定の深度まで削孔した後にロッドを引き上げながら回転させることで、掘削孔周辺の地山を切削攪拌して改良地盤を造成する工法である。

ロッド種類と切削攪拌方法の違いにより以下の3種類に分類される。

以下に工法概要及び各工法における施工状況を示す。

#### ① 単管工法（グラウト噴射系）

単管を使用して、切削攪拌を硬化材で行う。

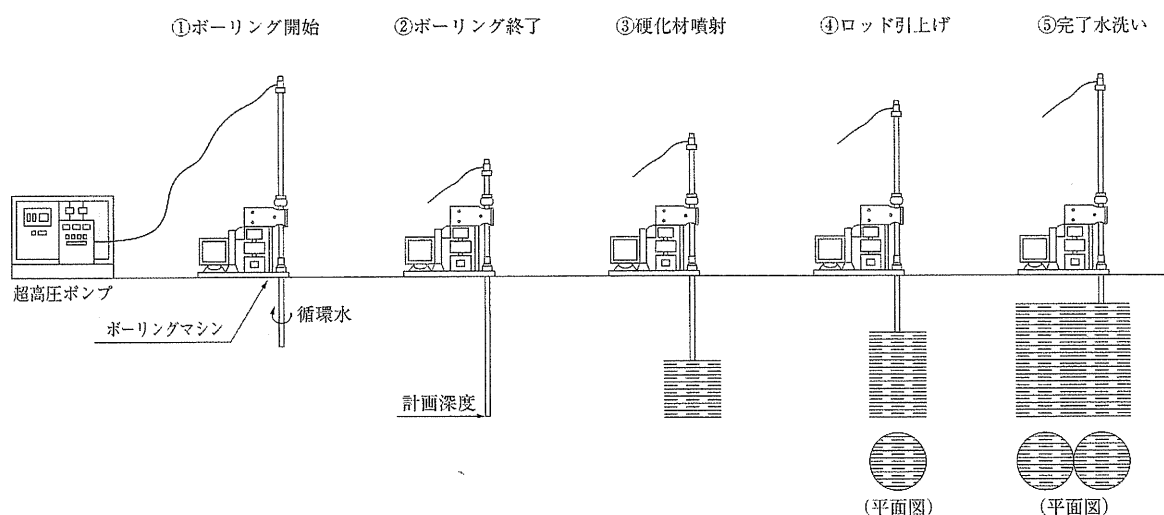


図 R8.12 単管工法 施工手順図 参考文献(2)から引用

#### ② 二重管工法（エア－グラウト噴射系）

二重管を使用して、切削攪拌を硬化材とエア－で行う。

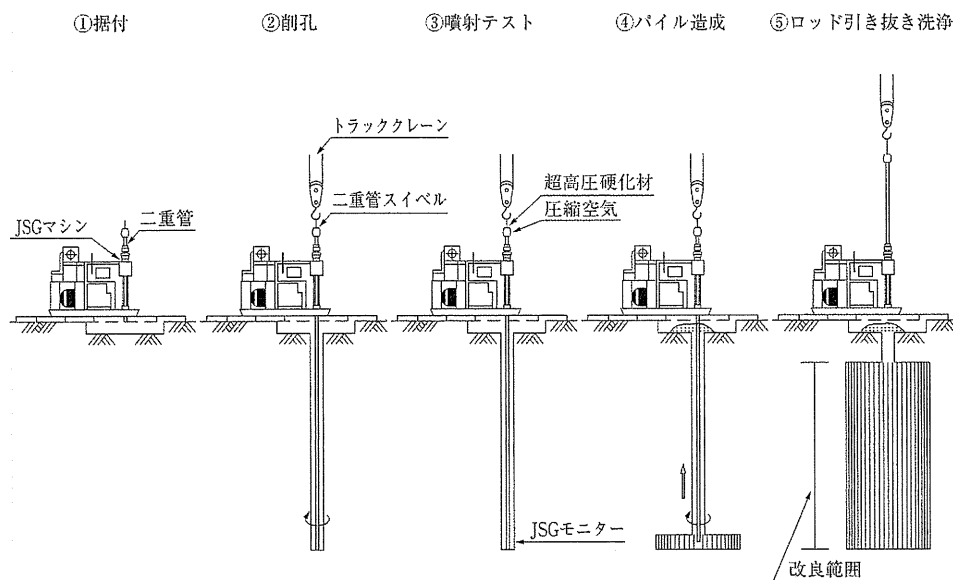


図 R8.13 二重管工法 施工手順図 参考文献(2)から引用

③ 三重管工法（水・エア－・グラウト噴射系）

三重管を使用して、切削を水とエア－を噴射・回転しながらで行い、ロッド下端から硬化材を充填する。

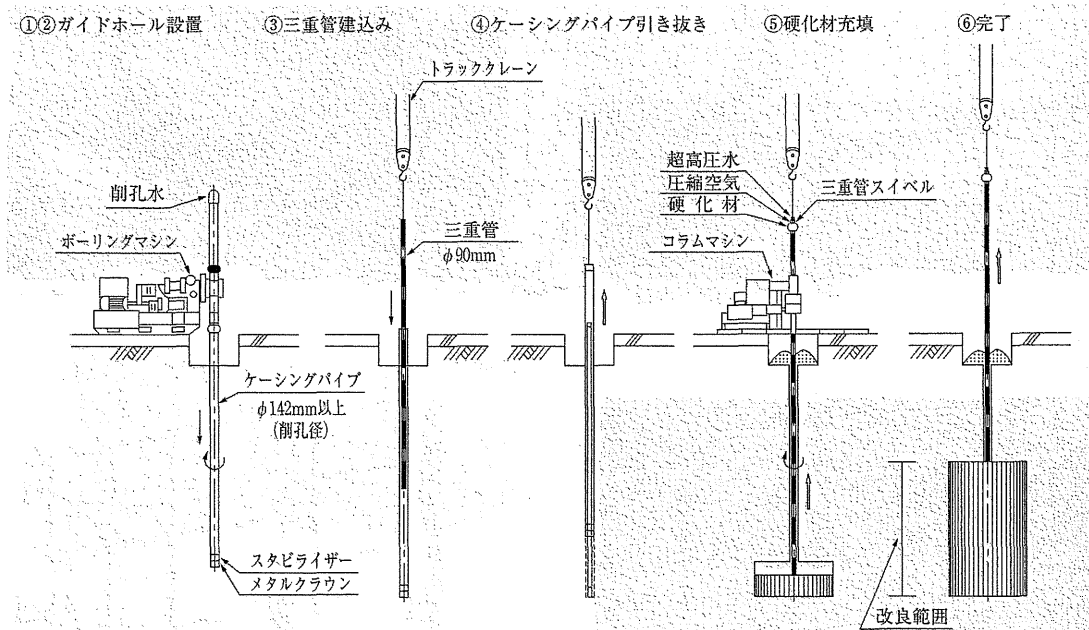


図 R8. 14 三重管工法 施工手順図 参考文献(2)から引用

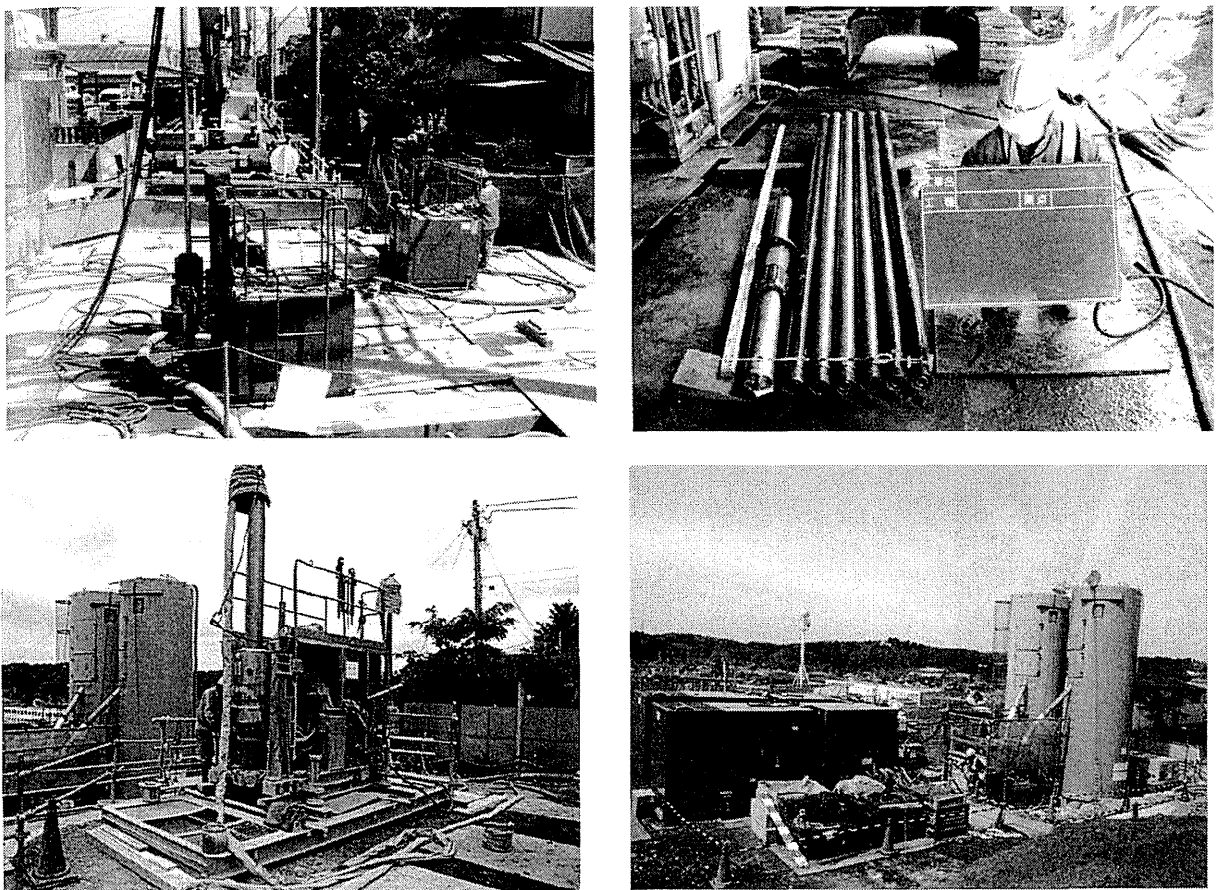


図 R8. 15 高圧噴射攪拌工法 施工状況 参考文献(2)から引用

## 2-5 薬液注入工法

薬液注入工法は地盤改良の一種で、薬液等を地盤に注入し、地盤の透水性を減少させたり、地盤の強度を増加させる工法である。ここでいう薬液とは、任意で固化時間を調整できる材料であり、現在は水ガラス系薬液を主体として 2～3 の硬化剤、助剤を添加するものに限定して使用している。薬液注入の代表的な工法として、以下の 3 工法が挙げられる。

### ① 二重管ストレーナ工法（単相方式）

二重管注入ロッドと称する管材を所定の深度まで削孔した後、所定の注入範囲外への拡散を防止し、限定された部分に薬液をとどめるよう短いゲルタイム（薬液が凝固する時間）で注入する方式である。

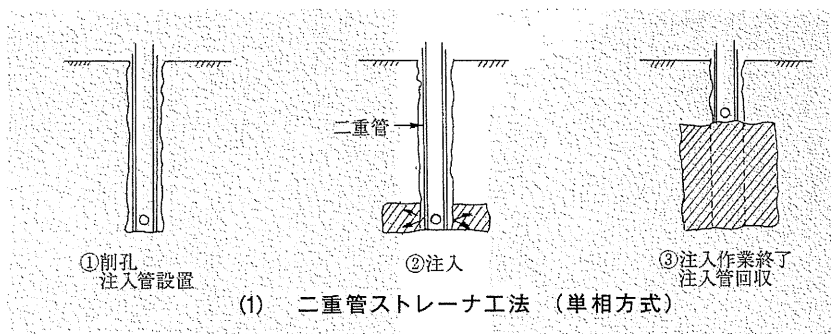


図 R8.15 二重管ストレーナ工法(単相方式)の施工手順 参考文献(2)から引用

### ② 二重管ストレーナ工法（複相方式）

二重管注入ロッドで所定の深度まで削孔した後、短いゲルタイムで一次注入して、土中の空隙の大きい部分に粗詰注入してから、長いゲルタイム薬液で二次注入して地盤のより小さい間隙に浸透させることを目的とした工法である。

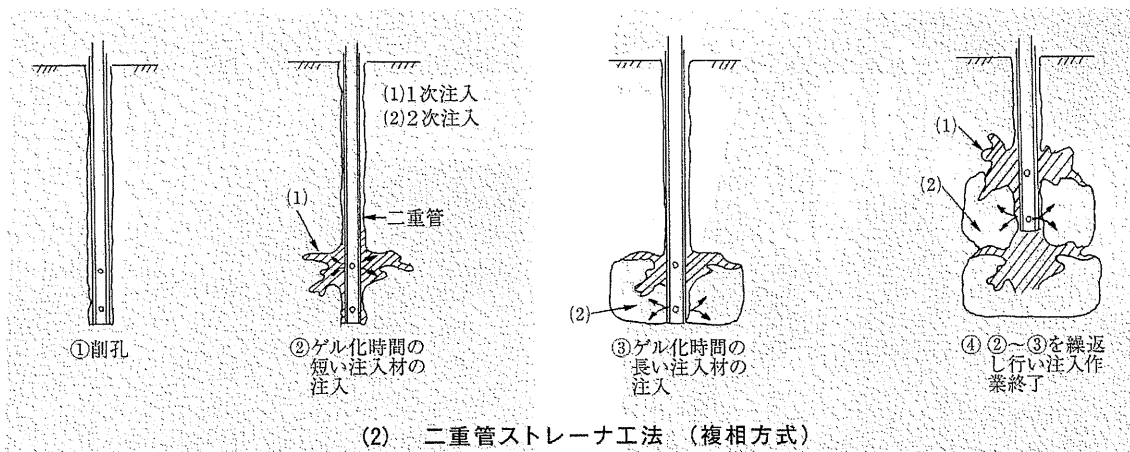


図 R8.16 二重管ストレーナ工法(複相方式)の施工手順 参考文献(2)から引用

③ 二重管ダブルパッカー工法

ケーシングで所定の深度まで削孔し、スリーブ付の注入管(外管)を建て込み、ケーシングと外管の間にシール材を充填してケーシングを引き抜き、ダブルパッカーを装着した注入内管を挿入して、長いゲルタイムの薬液を小さな注入速度でゆっくり注入することにより、均質な改良を行う工法である。

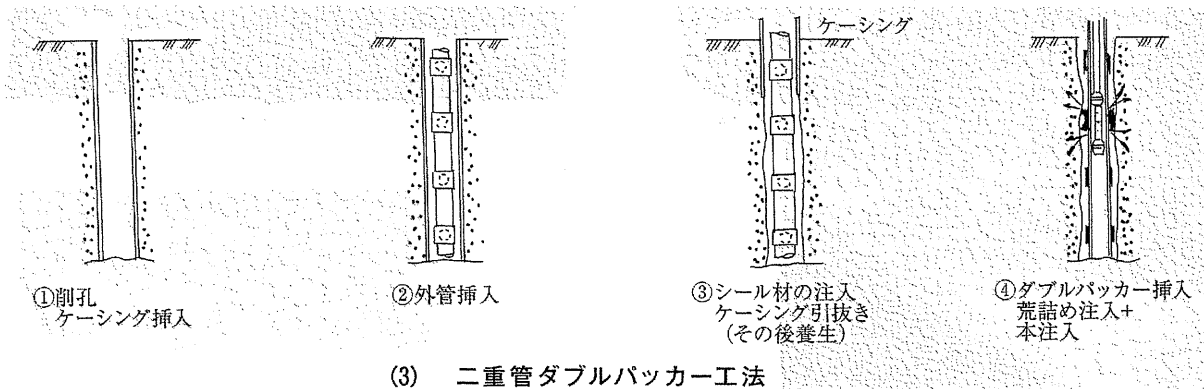


図 R8.17 二重管ダブルパッカー工法の施工手順 引用文献(2) から引用

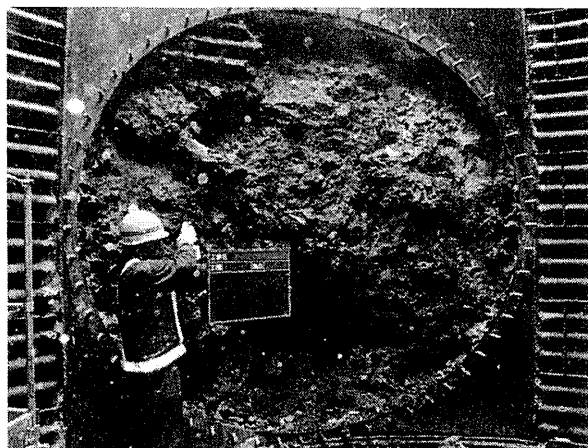
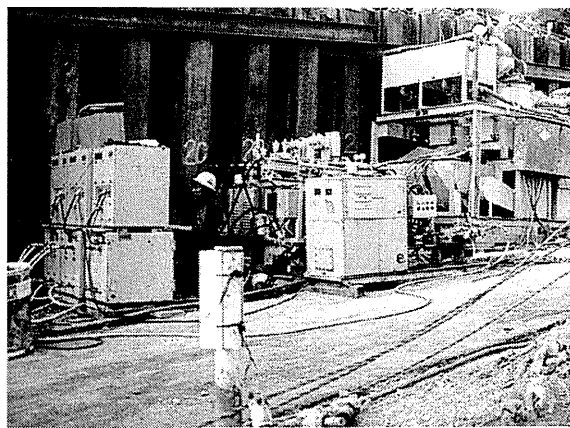


図 R8.18 薬液注入 施工状況 参考文献(2) から引用

## 2-6 ドレーン工法

ドレーン工法は、砕石や人工材料を地盤中に設置することにより地盤の透水性を高め、地震時に砂層内で生じる過剰間隙水圧を速やかに消散させることにより液状化を防止しようとする工法である。使用するドレーン材の種類によって自然材料を用いる工法と人工材料を用いる工法の2つに大別される。

自然材料を用いる工法は、地盤中に透水性の高い砕石をドレーン材として設置し、地震時に発生する過剰間隙水圧を速やかに消散させることにより、地盤の液状化やそれに伴う構造物の被害を防止する工法で、通常グラベルドレーン工法と呼ばれる。

人工材料を用いる工法は、ドレーン材として合成樹脂製の細径有孔長尺材を使用する。この方法ではドレーン径がグラベルドレーン工法の1/5～1/10となるので、打設間隔は狭くなり、打設本数は増加する。しかし、小さい貫入力でドレーン材を打設できるので、施工機械を小型化できる。以下にグラベルドレーン工法の施工手順及び施工状況を示す。

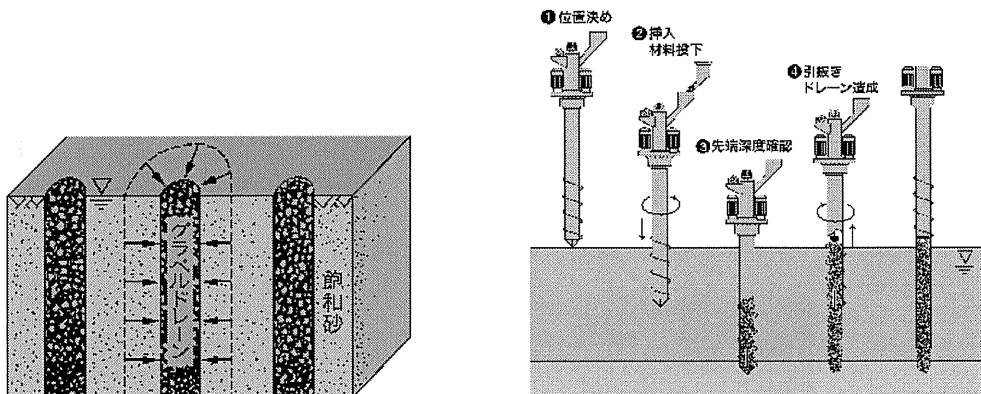


図 R8.19 グラベルドレーンの改良イメージ・施工手順

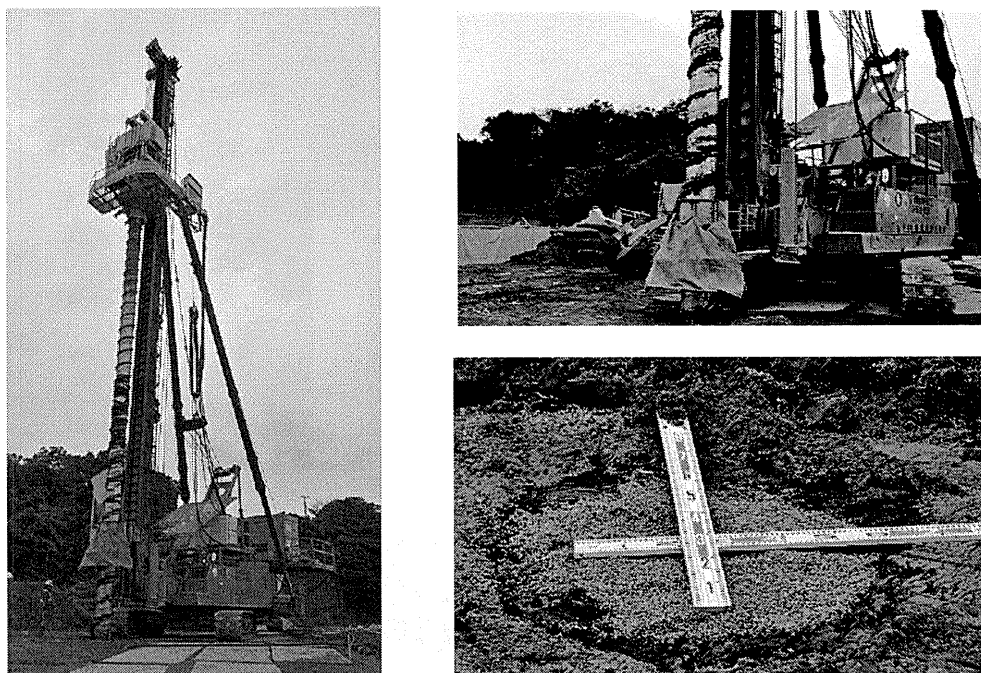


図 R8.20 グラベルドレーンの施工状況

## 2-7 鋼材を用いた対策工法

鋼材を用いた対策工法は、非液状化層で支持された鋼材によって地震時の地盤変形に抵抗し、地盤の側方変形の抑制、盛土構造物の沈下・破壊等を抑制する工法である。

液状化対策として設置する鋼材には、鋼矢板、鋼管矢板、あるいはこれらの鋼材に排水部材を取り付けた排水機能付き鋼材がある。このうち、鋼矢板の施工に用いられる工法には以下のようなものがある。

- ① ハンマによる打撃工法
- ② バイブロハンマによる振動工法
- ③ 圧入機による圧入工法
- ④ オーガー併用工法

ここでは、一般的に使用頻度が高いバイブロハンマによる振動工法、圧入機による圧入工法の工法概要を記述する。

### (1) バイブロハンマによる振動工法

バイブロハンマによって発生する鉛直方向の振動を鋼矢板などの鋼材に伝え、鋼材周面及び先端の土の抵抗を減少させ、バイブロハンマと鋼材の自重を利用して鋼材を打ち込む工法である。バイブロハンマには電動モータで2軸偏心の振り子を回転させ振動を発生させる「電動式」と油圧シリンダの往復運動等による「油圧式」がある。

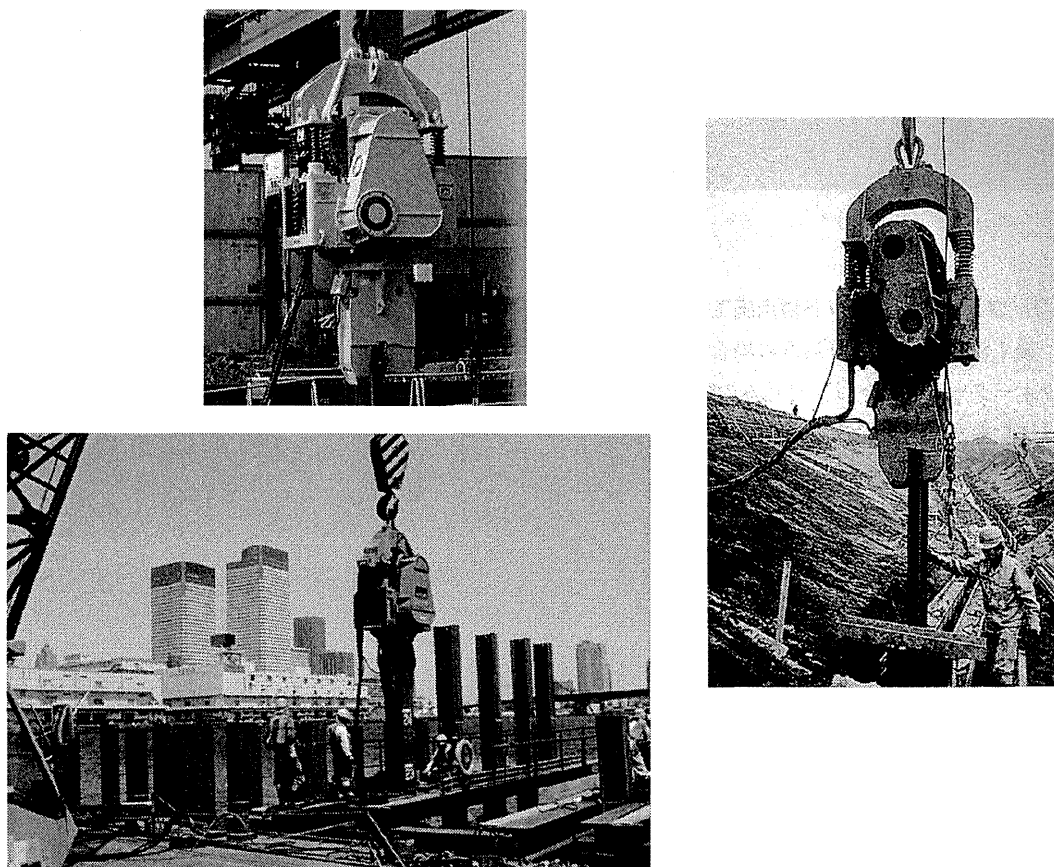


図 R8.21 バイブロハンマによる振動工法 参考文献(2)から引用

(2) 圧入機による圧入工法

圧入引抜機をすでに打ち込んだ鋼矢板、鋼管矢板に自立させた後にこれらで反力を取り、油圧シリンダの伸縮により鋼矢板、鋼管矢板を圧入又は引き抜く工法である。

機械本体がコンパクトで狭い場所での施工に適し、騒音・振動の心配も少ないため、都市部での施工など、近年適用が増加している工法である。

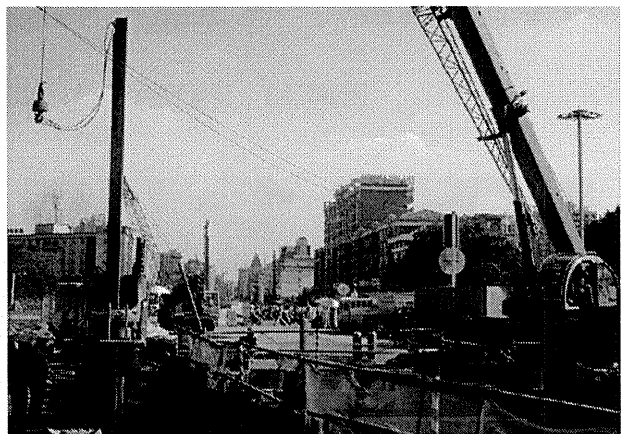
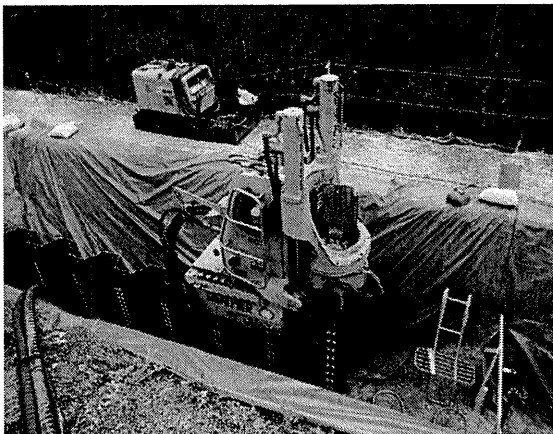
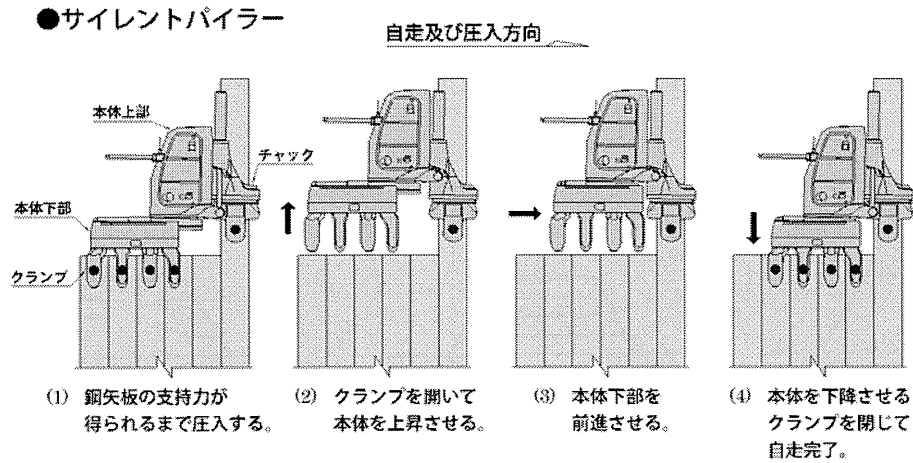


図 R8. 22 圧入機による圧入工法 全国圧入協会HPから引用

## 2-8 ジオテキスタイル工法

液状化対策としてのジオテキスタイル工法は、盛土底面及び盛土内にジオテキスタイル(引張り補強材)を敷設して、軟弱地盤が液状化を生じた際に盛土の機能障害を最小限に留めることを目的とするものである。したがって、一般の液状化対策工が積極的に液状化の発生を抑制することを目的とするため、基本的な考え方が異なる。

以下に示す図 R8. 23 は、ジオテキスタイル工法を単独に使用する方法と他の工法と組み合わせる方法について模式的に示したものである。後者の場合は、基本的に盛土を補強することによって、特に地震時の耐久性を確保することが目的である。敷設様式としては、盛土の底面に 1 層敷設する方法及び盛土の底面と法面部の安定のために短いジオテキスタイルを多層敷設する方法に分類される。

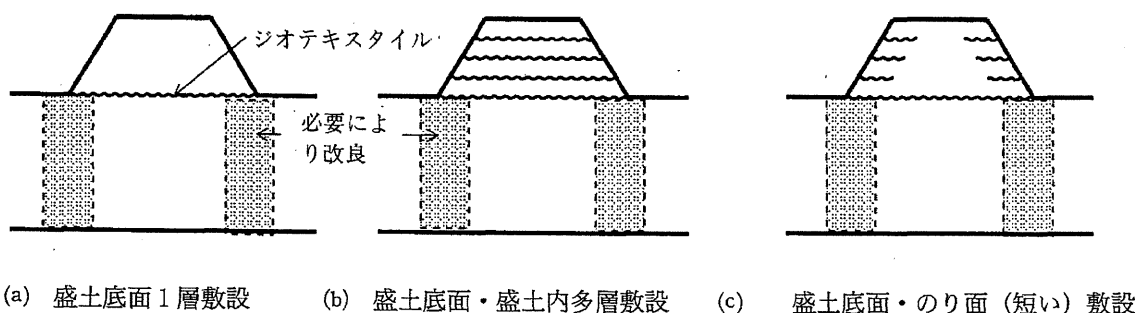


図 R8. 23 ジオテキスタイル工法の敷設様式 参考文献(1)から引用

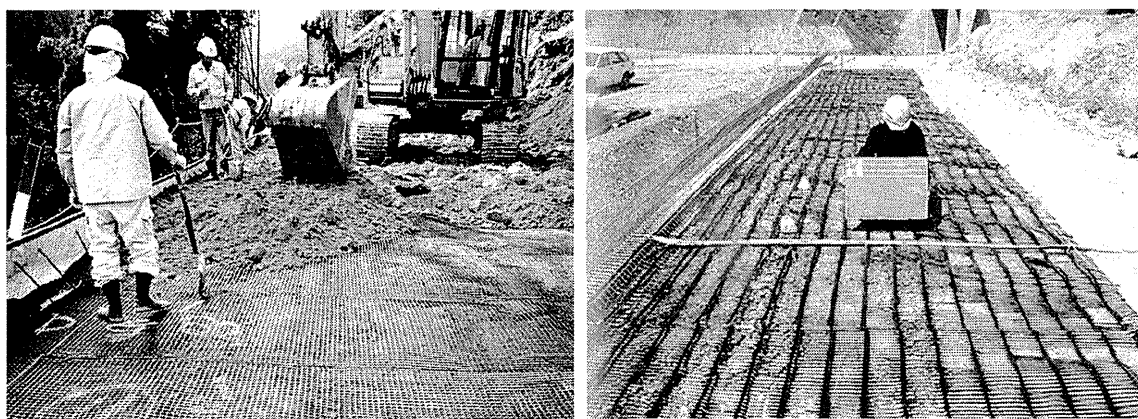


図 R8. 24 ジオテキスタイル施工状況 参考文献(1)より引用

### 参考文献

- (1) 液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)、平成 11 年 3 月、建設省土木研究所耐震技術研究センター動土質研究室 他
- (2) 改訂 5 版 土木施工の実際と解説、2012 年 7 月、一般財団法人建設物価調査会
- (3) 軟弱地盤対策工法 一調査・設計から施工まで一、平成 9 年 6 月、社団法人地盤工学会
- (4) 全国圧入協会ホームページ <http://www.atsunyu.gr.jp/>



## 8.2 耐震補強工法

構造物の耐震性向上のために行う補強工法として、

- ・ 構造部材補強工法
- ・ 伸縮目地補強工法

の2例を以下に紹介する。

なお、これらのほか、耐震補強工法とは異なるものであるが、地震動により構造物に働く力を低減して耐震性の向上方策とする場合がある。例えば、配水池等の有蓋池状構造物における「頂版の上置土の撤去」によって、配水池の耐震性の向上を図った事例がある。

### 1 構造部材補強工法

主な構造部材の補強工法としては以下の工法が考えられる。

これらの補強工法のうち、代表的なものとして(1)～(3)の工法の概要をエラー! 参照元が見つかりません。に示す。これらの工法のうち、(4) 鋼板補強工法は、コンクリート部材に鋼板を張って(又は棒鋼等を巻きつけて)補強するもので主に柱などの補強に用いられる。(5) 鉄骨ブレース工法は、構造物の開口部などを鉄骨の補剛材により補強するもので、主に建築構造物の耐震補強に用いられる。

- (1) 鉄筋コンクリート増打ち工法
- (2) 炭素繊維シート接着工法
- (3) 後(あと)施工せん断補強筋工法
- (4) 鋼板補強工法
- (5) 鉄骨ブレース工法

#### (1) 鉄筋コンクリート増打ち工法 (曲げ及びせん断に対して有効)

鉄筋コンクリート部材を増打ちすることにより、曲げ耐力とせん断耐力を向上させる補強工法である。補強工法としては一般的な工法であるが、施設の有効容量が減少すること及び部材の形状変更を生ずるため、補強後の運用面に留意が必要である。

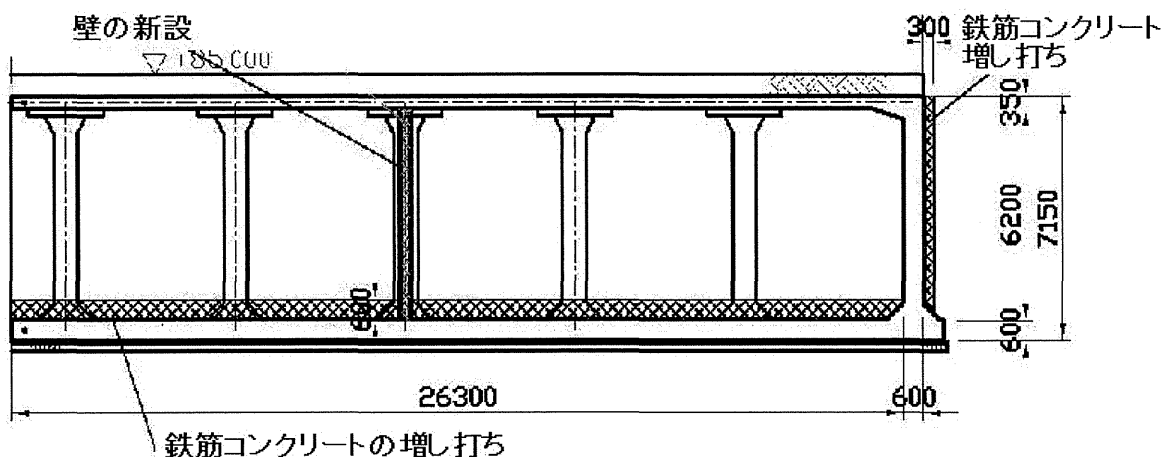


図 R8.25 鉄筋コンクリート増打ち工法の施工例

【表 R8.2 補強工法一覧】

工法	鉄筋コンクリート増打ち工法	炭素繊維シート接着工法	後施工せん断補強筋工法
効果	曲げ耐力・せん断耐力向上	曲げ耐力・せん断耐力向上	せん断耐力向上
対象部材	柱・梁・底版・壁	柱・梁・底版・壁	柱・梁・底版・壁
工法概要図	<p>樹脂アンカー 既設部 増打ち部</p>		<p>補強なし 補強あり 地山側 内空側</p>
実績及び特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的な工法として施工実績は多い。</li> <li>重量の増加が、他の補強工法に比べて大きい。</li> <li>耐久性は高い。</li> <li>断面が増加するため、構造物の機能に支障をきたすことがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋脚等の施工実績は多い。</li> <li>コンクリート面との接着作業の良否が補強効果に大きく影響を及ぼす。</li> <li>腐食がなく、長期的な耐久性に優れている。</li> <li>水中施工での実績はない。</li> <li>重量の増加はほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋脚等の施工実績は多い。</li> <li>重量の増加はほとんどない。</li> <li>補強鉄筋を既設断面内に納めれば、断面増加はない。</li> <li>既設鉄筋に干渉しないよう考慮する必要がある。</li> </ul>
施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設部のコンクリート面のはつりや、新設部分のコンクリート打設が必要となる。</li> <li>狭い箇所での作業性は悪い。</li> <li>コンクリートの養生に時間がかかるため、工期が長くなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>手作業であるため、施工場所を選ばない。</li> <li>対象面の形状や障害物の有無による制約がない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補強鉄筋を挿入するため、施工スペースの確保が必要となる。</li> <li>狭い箇所での作業性は悪い。</li> <li>気中施工が通常である。</li> </ul>
補強要領	<ul style="list-style-type: none"> <li>引張側の曲げ耐力の向上を図る場合は、有効であるが、圧縮側の曲げ耐力の向上を図る場合は、補強厚さが大きくなる。</li> <li>せん断耐力の向上を図る場合は、新設部分にせん断補強筋を挿入することで、せん断耐力が大きく向上する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>梁、柱については、四周に炭素繊維シートを貼り付けることにより、曲げ、せん断耐力の向上が見込まれる。</li> <li>底版、壁については、引張側に貼り付けることにより、曲げ耐力の向上が見込まれる。(せん断耐力の向上は図られない。)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋径を大きくすれば、せん断耐力を大きく向上させることができる。</li> </ul>
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>補強に関する基準がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補強に関する基準がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(財) 土木研究センターにおいて、建設技術審査証明 (発技審証 第 0522 号) を取得している。</li> </ul>

## (2) 炭素繊維シートによる補強工法

(壁部材に対しては曲げ引張り、柱・梁部材に対しては曲げ、せん断に有効)

炭素繊維シートによる補強工法は、炭素繊維シートと呼ばれる軽量かつ高強度で耐久性に優れた繊維を補強材料とし、これを構造物の表面に接着して補強層を形成し構造体を補強する工法である。

水中での施工、特に水道施設における池内の施工事例がないので、池内の柱などの補強工法として採用する場合には、貯留水水質に与える影響（素材及び接着剤等からの浸出液の性状）に十分な配慮が必要である。

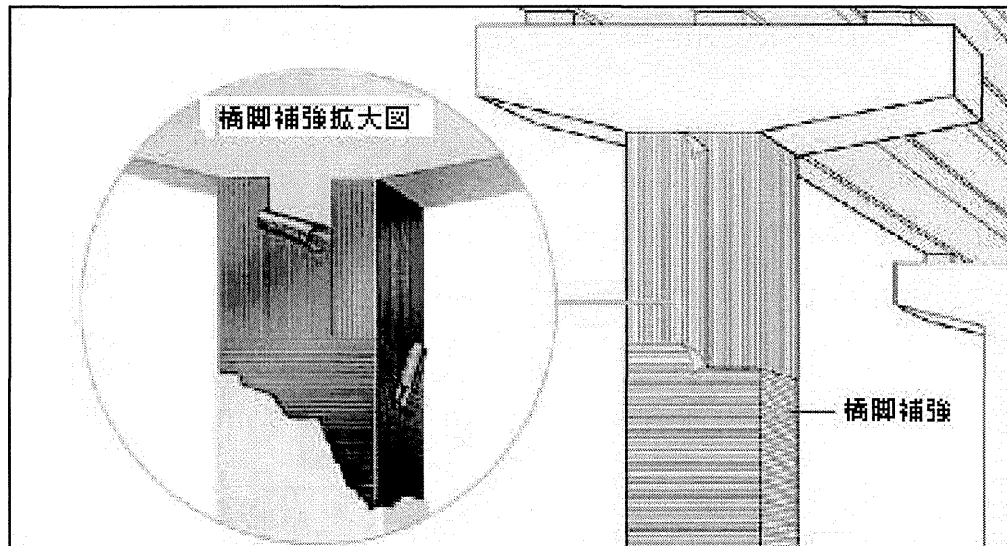


図 R8.26 炭素繊維シートによる補強概要図

## (3) 後施工せん断補強筋による補強工法（せん断に対して有効）

後施工せん断補強鉄筋工法とは、既設コンクリート壁を背面側鉄筋の位置まで削孔し、グラウト充填後、鉄筋を挿入して固着する工法である。既設構造物の内側からせん断補強を行うことが可能であり、既設躯体と一体化するため、耐久性に優れている。

ただし、曲げ耐力への補強効果はないため、曲げ耐力が不足する箇所については、部材の増打ちを併用して用いる必要がある。

後施工せん断補強鉄筋工法には、幾つかの種類がありその例を以下に示す。各工法は、適用条件や、せん断耐力の補強効果（有効率）、経済性など、その特徴が異なるため、補強工事で実際に採用する場合には、詳細設計の段階でその適用性について十分な比較検討が必要である。

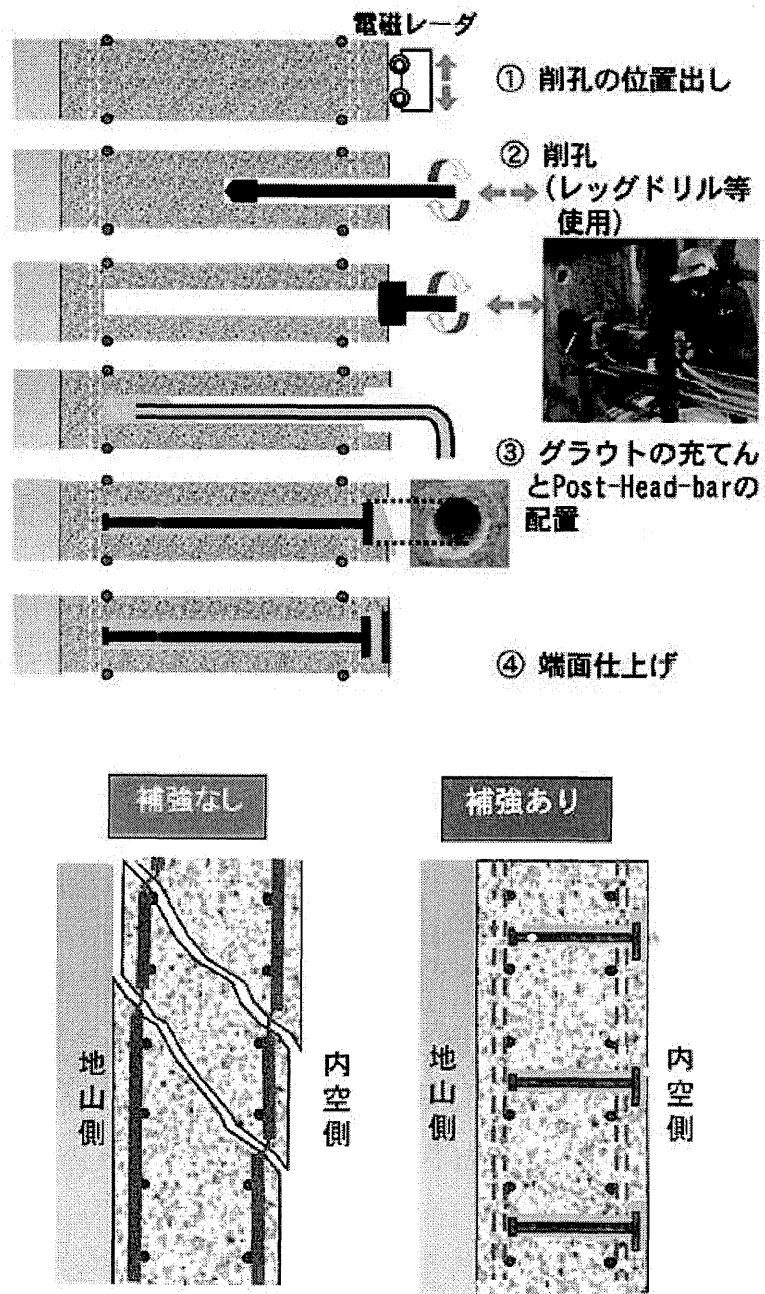


図 R8.27 後施工鉄筋補強筋工法による補強概要図