

平成12年(2000年)鳥取県西部地震  
節杭を用いた建物の調査報告書

平成12年12月

株式会社 **ジオトップ**

平成12年(2000年)鳥取県西部地震  
節杭を用いた建物の調査報告書

平成12年12月

株式会社 **ジオトップ**

## 目 次

第1章	まえがき	1
第2章	地震と被害の概要	2
2.1	地震の概要	2
2.2	被害の概要	3
第3章	調査概要	4
3.1	調査地域	4
3.2	節杭とその施工法	4
第4章	境港市竹内工業団地	13
4.1	全体の状況	13
4.2	節杭を用いた建物の状況	17
4.3	節杭以外の建物の状況	39
第5章	境港市昭和町	41
5.1	全体の状況	41
5.2	節杭を用いた建物の状況	43
5.3	節杭以外の建物の状況	50
第6章	境港市（竹内工業団地、昭和町を除く）	51
6.1	全体の状況	51
6.2	節杭を用いた建物の状況	51
第7章	米子市	58
7.1	全体の状況	58
7.2	節杭を用いた建物の状況	59
7.3	節杭以外の建物の状況	70
第8章	調査結果のまとめ	72
第9章	あとがき	74
	参考文献	75

## 第1章 まえがき

平成12年10月6日午後1時30分ごろ、山陰地方を中心とする「鳥取県西部地震」が発生した。マグニチュードは7.3と阪神大震災よりも大きく、鳥取県の西北端、境港市にある境測候所の地震計は観測された加速度が750galを超え、震度は「6強」と発表された。

(株)ジオトップでは、地震直後から節杭（HC-TOPパイル）やTAIP工法で施工した杭を用いた構造物の被災状況の調査を行った。特に、大規模な液状化が発生した境港市の埋立地では、HC-TOPパイルが摩擦杭として数多く使われている。そこで、この地域のHC-TOPパイルを用いた建物を重点的に調べた。

新潟地震以来、摩擦杭は液状化に対して弱いとされてきた。しかし、6年前の阪神・淡路大震災の時には、広範囲に激しい液状化が発生した埋立地でも、摩擦杭を用いた建物の被害は皆無だった。支持杭による多くの建物が、上部構造には損傷を受けていないにもかかわらず杭の破損などにより取り壊されたり、直接基礎による一部の建物が傾斜沈下を生じていたのに対して、摩擦杭による建物には、杭の破損はもちろん不同沈下や傾斜沈下によって使えなくなったものは全くなかった。それだけでなく、支持杭による建物に見られた建物と地盤面との段差（液状化時の地盤沈下による杭の抜け上がり現象）も、摩擦杭による建物には全く見られなかった。

そこで、調査に当たっては、液状化後の建物の様子が、阪神・淡路大震災のときとどう違うか、違っていれば設計条件に違いはあるのか、等を中心に調べた。その結果、埋立土がシルト層ということで設計時には液状化は考慮されていなかったにもかかわらず、この地震でも阪神・淡路大震災の時と同様、HC-TOPパイルを用いた建物に重大な構造的被害は発生していなかった。そして、大半の建物は、地震直後もそのまま業務を継続できていた。

ただ、阪神・淡路大震災との違いは、杭先端が旧海底面下の地盤（非液状化層）に根入れされていたため、支持杭による建物と同じように、建物と地盤面との間に段差が生じていたことである。それによって、一部の工場など床荷重の大きい建物では、土間床（地盤面に直接支持させる形式の床）が破損した。これらは、液状化地盤では杭を非液状化層に十分根入れさせて支持力を確保する、という現行設計法の妥当性を問う現象といえる。今後の建築物の設計に対する貴重な教訓になるであろう。

本書は、埋立地を中心に境港市と米子市地域でHC-TOPパイルを用いた建物の地震後の状況を調査したものの報告である。本書を、今後、建築物の基礎を設計する時の資料として活用していただければ幸いである。

## 第2章 地震と被害の概要

### 2.1 地震の概要

平成12年(2000年)10月6日午後1時30分、マグニチュード7.3と兵庫県南部地震をしのぐ地震が、山陰地方で発生した。気象庁は、この地震を「平成12年(2000年)の鳥取県西部地震」と命名した。地震の諸元は以下のとおりである。

- 1) 発生日時 : 平成12年(2000年)10月6日午後1時30分ごろ
- 2) 震源 : 鳥取県西伯郡西伯町  
(北緯35.3度、東経133.3度)
- 3) 震源深さ : 約10km
- 4) 地震規模 : マグニチュード7.3(暫定)

各地の震度は、図2.1のとおりである。鳥取県西部の境港では震度6強となっているが、これは、気象庁境測候所(境港市東本町)で761galの最大加速度(EW成分)が観測されたことが主な根拠である。図2.2に、その加速度記録<sup>2.1)</sup>を示す。なお、NS成分とUD成分の最大加速度は、それぞれ約300galと200galとなっており、EW成分が卓越しているのが分かる。また、米子測候所(米子市博労町)ので観測された最大加速度は、280gal(NS)、約210gal(EW)、150gal(UD)である。



図2.1 各地の震度分布

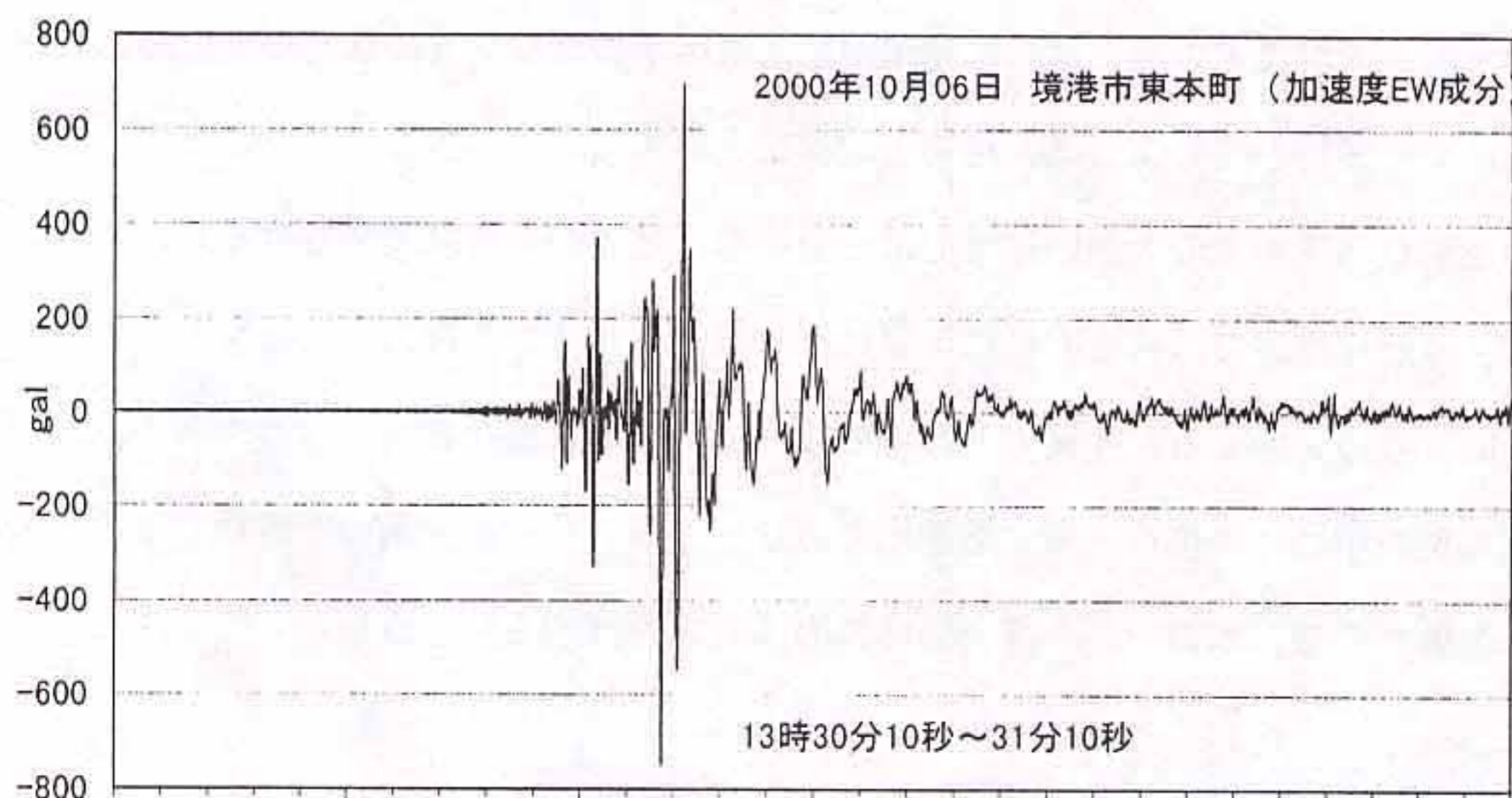


図2.2 気象庁境測候所での加速度記録(EW成分)

一方、防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET<sup>2.2)</sup> で観測された加速度の分布を図 2.3 に示す。最大加速度は、米子では 314gal(NS)、384gal(EW)、308gal(UD)、境港に最も近い観測点の島根県美保関では 230gal(NS)、247gal(EW)、83gal(UD)となっている<sup>2.2)</sup>。境測候所のEW成分の観測値が非常に高いが、地形の影響や観測施設自体の影響を受けた<sup>2.3)</sup> のかも分からない。

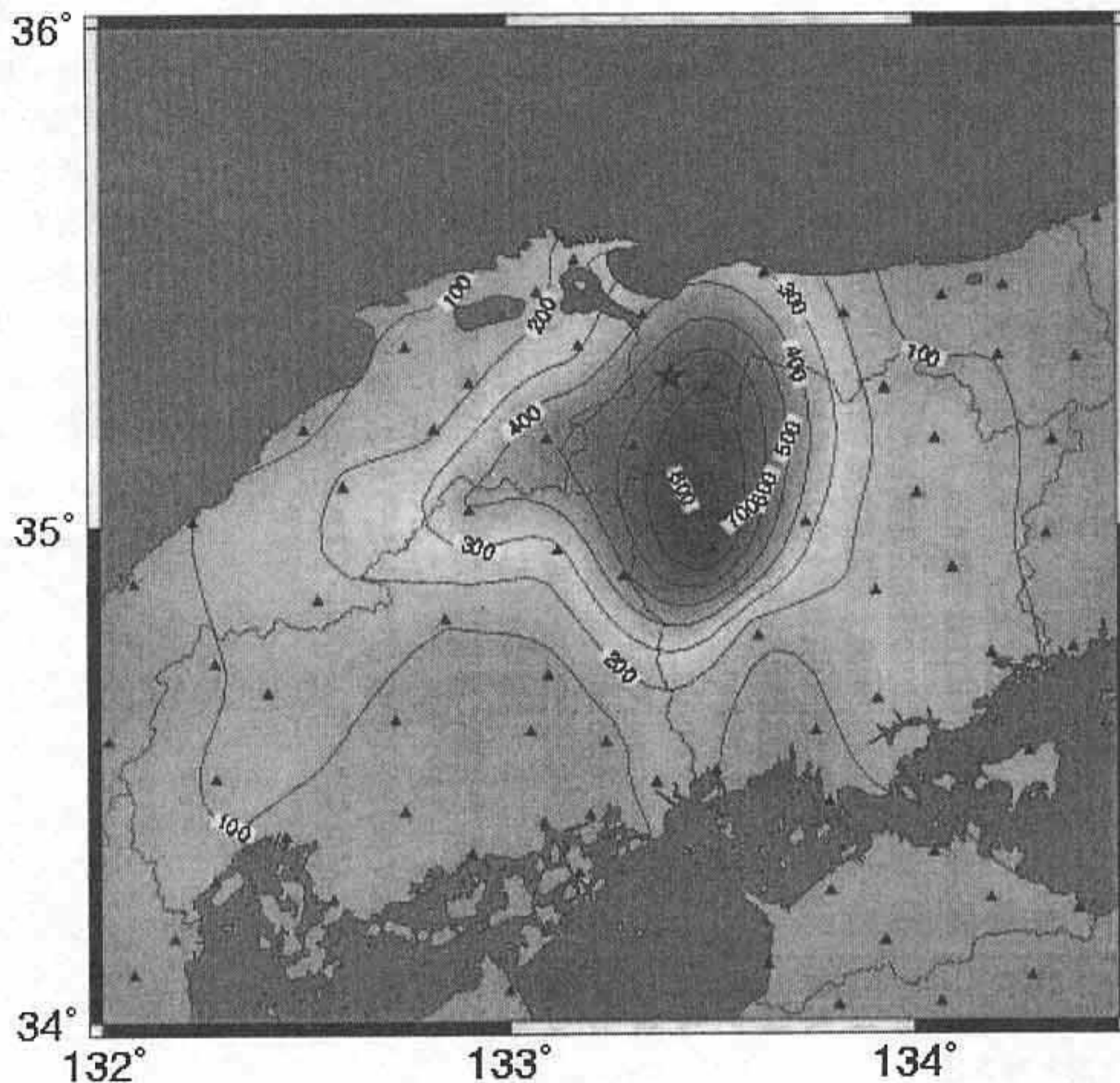


図 2.3 K-NETによる加速度の分布<sup>2.2)</sup>

## 2.2 被害の概要

今回の地震では、幸いにも死者は出ていない。日本建築学会の資料<sup>2.4)</sup>でも、地震動の割りには建物の被害は軽微であったとしている。震源に近い山間部では溝口町役場などRC造の建物が中破した例があるが、建物被害の多くは土蔵や木造住宅である。一方、地盤災害については、地盤工学会の報告書<sup>2.5)</sup>では、主に山間部の斜面崩壊と沿岸部の液状化であった。米子市や境港市では古くから中海や美保湾の埋め立てが行われている<sup>2.6)</sup>が、液状化はこの埋立地を中心に発生している。

節杭を用いた建物は山間部にはほとんどないことから、本報告書では、液状化現象が見られた米子市や境港市の状況について述べることにする。

## 第3章 調査概要

### 3.1 調査地域

今回の地震の被災地域である鳥取県西部、島根県東部、岡山県北西部のうち、鳥取県の境港市と米子市に限ると、PHC節杭（HC-TOPパイル）を用いた建物は160件ある。これを地図上にプロットしたのが、図3.1である。特に、境港市の昭和町と竹内（たけのうち）工業団地の埋立地では、大半の建物に節杭が使われている。

この図には、液状化が確認された地域を黄色で示しているが、当社ではそれらの埋立地に液状化が発生したとの情報を得ると、すぐに米子営業所と代理店の数名を現地に派遣して建物の状況の調査を開始した。さらに、2日後の8日からは、広島支店と技術開発本部（東京）のスタッフも加わって調査を行った。これらの調査は、主に建物外側からの目視調査であったが、その後、建物の所有者、設計者、建設担当者、および地盤工学会等の調査団、大学や建設会社の研究者・技術者との情報交換も積極的に行い、詳しい情報の収集につとめた。その結果、外観だけでなく、内部の状況、側方流動の状況、構造概要、被害への対応策などの情報を得ることができた。これらの情報をもとに、12月2日には技術開発本部と米子営業所のスタッフが2次調査を行った。本報告書は、これらの調査結果や情報をまとめたものである。

本報告書では、調査地域を表3.1の4つの地域に分ける。この表には、当社の施工経歴書から拾った地域別の施工物件数を示す。

表3.1 地域別の施工物件数

	地域	物件数
①	境港市竹内工業団地	31
②	境港市昭和町地区	34
③	①、②以外の境港市	35
④	鳥取県米子市	60
	合計	160

### 3.2 節杭の概要と施工法

表3.1に示す施工物件数は、昭和56年に節杭がHC-TOPパイル（ハイシートップパイル：遠心力成形PHC節杭）になってからのものであって、それ以前の武智三角杭（断面形状が三角形のRC節杭）によるものは含まれていない。HC-TOPパイルの杭径（節部径－軸部径）は、φ440-300、φ500-400、φ600-450、φ650-500の4種類である。ただし、φ600-450とφ650-500は平成10年に製造が開始されたものであるため、対象とする地域での施工実績の大半はφ440-300とφ500-400である。これらの杭の諸元を資料3.1、3.2に示す。

HC-TOPパイルの施工法には、周囲に砂利を充填しながら節杭を打ち込むシーリング工法（ST工法、資料3.3）、予め地盤を掘削し固化材を含んだセメントミルクを充填したあと節杭を建て込むMT工法（資料3.4）、掘削時にセメントミルクと地盤とを混合攪拌するソイルセメント工法（資料3.5）、掘削時に特殊オーガーを用いて掘削土量を減らしたET工法（資料3.6）がある。なお、現在ではソイルセメント工法を改良したGM-TOP工法が主流になっている。

HC-TOPパイルの鉛直支持力は、この地域では平成7年以前は111号告示式によって算定されていた。このとき、杭先端面積と杭周長の計算には節部径を用いていた。平成7年以降は、MT工法とET工法については主に建設大臣認定式によっているが、111号告示式に比べて先端支持力は小さい反面、周面摩擦力は大幅に大きくなっている。なお、建設大臣認定式は、平成9年に現行の式に改訂された。

以下の第4章～第7章では、本章で分けた地域ごとに、地震後の状況や節杭を用いた建物の状況などについて報告する。



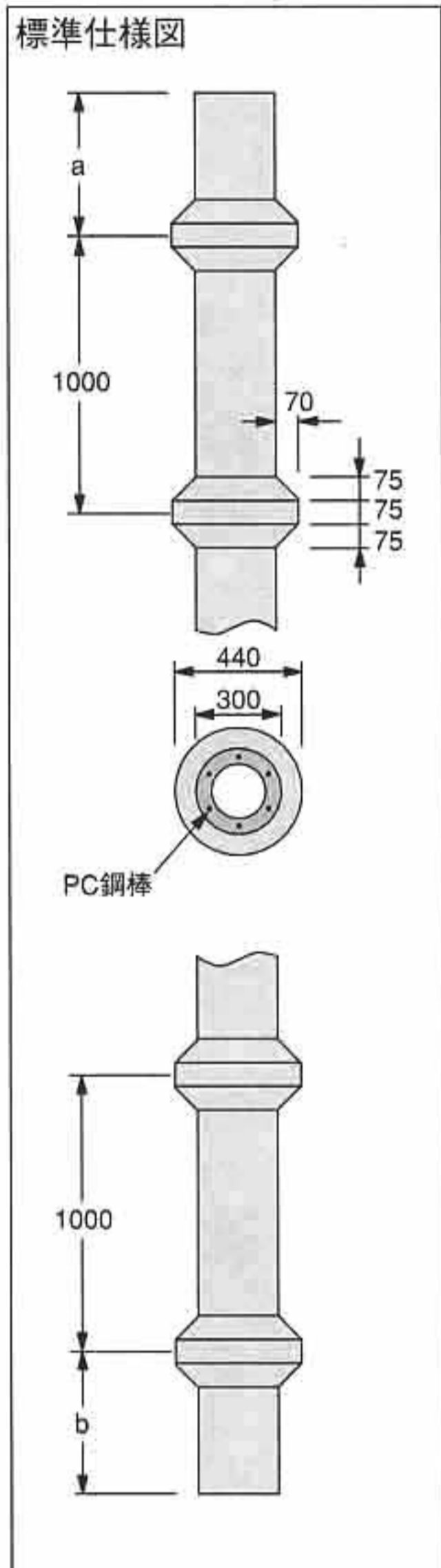
図3.1 HC-TOPパイルを用いた建物の位置（鳥取県境港市、米子市北西部）



# HC-TOPパイルφ440-300

遠心力高強度プレストレストコンクリート節杭  
(節部径440mm 軸部径300mm)

HC-TOPパイルφ440-300



φ440-300杭の設計用諸元表 (SI単位)

種類		A 種	B 種	C 種
外径 [mm]	節部	440		
	軸部	300		
肉厚 [mm]		60		
軸部断面積 [cm <sup>2</sup> ]		452.4		
杭端から節部までの寸法 [mm]	a (頭部)	500 <sup>*1</sup>		600
	b (先端部)	500 <sup>*1</sup>		400
杭長 <sup>*2</sup> (評価完了) [m]		4~13 (1m毎)	4~15 (1m毎)	
コンクリートの設計基準強度 [N/cm <sup>2</sup> ]		7845	8336	
有効プレストレス量 [N/cm <sup>2</sup> ]		392	785	981
P C 鋼棒	公称径 [mm]	7.1	10.0 <sup>*3</sup>	10.0
	本数	6	6 <sup>*3</sup>	8
	断面積 [cm <sup>2</sup> ]	2.40	4.71 <sup>*3</sup>	6.28
設計曲げモーメント [KN・m]	ひびわれ	26.7	36.8	42.2
	破壊	38.1	70.6	91.2
杭の体積 (中空部を含む) [m <sup>3</sup> /m]		0.0825		
杭材の長期許容軸力 [KN]		729 <sup>*4</sup>	747 <sup>*4</sup>	664 <sup>*4</sup>

- \*1 a=600mm, b=400mmのものもあります。
- \*2 継杭で使うことも認められています。
- \*3 公称径9.0mmのP C鋼棒を8本(断面積5.12cm<sup>2</sup>)のものもあります。
- \*4 継杭にすると、継手1ヶ所につき軸力は5%低減されます。

水平支持力の計算に用いる定数表 (SI単位)

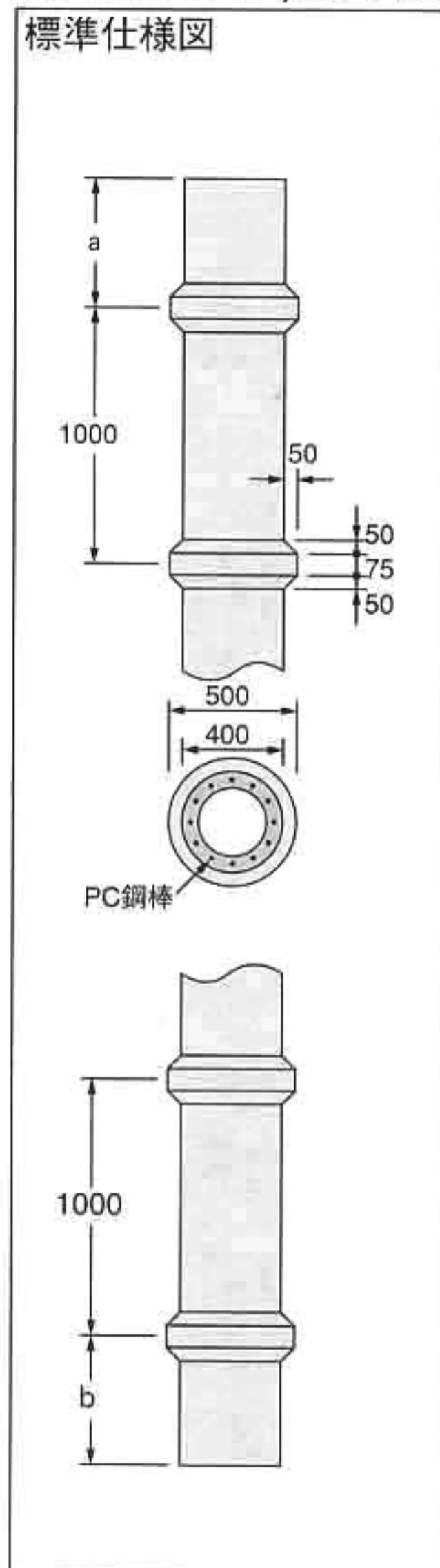
種類		A 種	B 種	C 種	
杭の直径 (軸部径) D [cm]		30.0			
杭の半径 y [cm]		15.0			
杭の肉厚 t [cm]		6.0			
換算断面積 A <sub>e</sub> [cm <sup>2</sup> ]		464.4	475.9	483.8	
断面1次モーメント S <sub>0</sub> [cm <sup>3</sup> ]		1,764			
断面2次モーメント I [cm <sup>4</sup> ]		34,600			
換算断面2次モーメント I <sub>e</sub> [cm <sup>4</sup> ]		35,470	36,300	36,870	
杭のヤング率 E <sub>c</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]		3.92×10 <sup>6</sup>			
有効プレストレス量 σ <sub>e</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]		392	785	981	
許容応力度	長期	圧縮 f <sub>c</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	1961	2354	
		曲げ引張り f <sub>b</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	98	196	245
		斜張 f <sub>d</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	118		
	短期	圧縮 f <sub>c</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	3923	4168	
		曲げ引張り f <sub>b</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	196	392	490
		斜張 f <sub>d</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	177		

## HC-TOPパイラφ500-400

遠心力高強度プレストレストコンクリート節杭  
(節部径500mm 軸部径400mm)

HC-TOPパイラφ500-400

標準仕様図



φ500-400杭の設計用諸元表 (SI単位)

種類		A種	B種	C種
外径 [mm]	節部	500		
	軸部	400		
肉厚 [mm]		65		
軸部断面積 [cm <sup>2</sup> ]		684.1		
杭端から節部までの寸法 [mm]	a (頭部)	500 <sup>*1</sup>	600	
	b (先端部)	500 <sup>*1</sup>	400	
杭長 <sup>*2</sup> (評価完了) [m]		4~15 (1m毎)		
コンクリートの設計基準強度 [N/cm <sup>2</sup> ]		7845	8336	
有効プレストレス量 [N/cm <sup>2</sup> ]		392	785	981
P C 鋼棒	公称径 [mm]	9.0 <sup>*3</sup>	9.0	10.0
	本数	6 <sup>*3</sup>	12	
	断面積 [cm <sup>2</sup> ]	3.84 <sup>*3</sup>	7.68	9.40
設計曲げモーメント [KN・m]	ひびわれ	57.6	79.6	90.9
	破壊	81.7	156.4	187.7
杭の体積 (中空部を含む) [m <sup>3</sup> /m]		0.1344		
杭材の長期許容軸力 [KN]		1103 <sup>*4</sup>	1134 <sup>*4</sup>	1004 <sup>*4</sup>

\*1 a=600mm, b=400mmのものもあります。

\*2 継杭で使うことも認められています。

\*3 公称径7.1mmのPC鋼棒を10本(断面積4.00cm<sup>2</sup>)のものもあります。

\*4 継杭にすると、継手1ヶ所につき軸力は5%低減されます。

水平支持力の計算に用いる定数表 (SI単位)

種類		A種	B種	C種	
杭の直径(軸部径) D [cm]		40.0			
杭の半径 y [cm]		20.0			
杭の肉厚 t [cm]		6.5			
換算断面積 A <sub>e</sub> [cm <sup>2</sup> ]		703.3	722.5	731.1	
断面1次モーメント S <sub>0</sub> [cm <sup>3</sup> ]		3,693			
断面2次モーメント I [cm <sup>4</sup> ]		99,580			
換算断面2次モーメント I <sub>e</sub> [cm <sup>4</sup> ]		102,190	104,800	105,990	
杭のヤング率 E <sub>c</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]		3.92×10 <sup>6</sup>			
有効プレストレス量 σ <sub>e</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]		392	785	981	
許 容 力 度	長期	圧縮 f <sub>c</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	1961	2354	
		曲げ引張り f <sub>b</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	98	196	245
		斜張 f <sub>a</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	118		
	短期	圧縮 f <sub>c</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	3923	4168	
		曲げ引張り f <sub>b</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	196	392	490
		斜張 f <sub>a</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	177		

## 工法概要

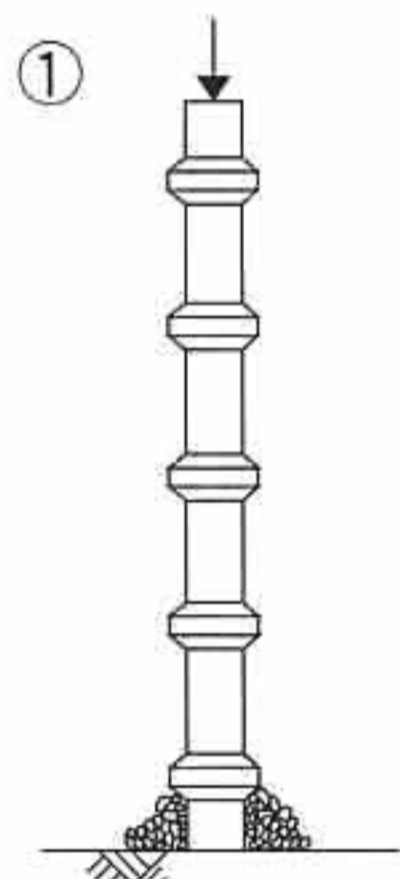
この施工法は、HC-TOPパイルを、碎石、鉋さいなどを充填しながら打ち込む工法です。

振動・騒音を低減するために、プレオーガーを併用する場合があります。

## 特長

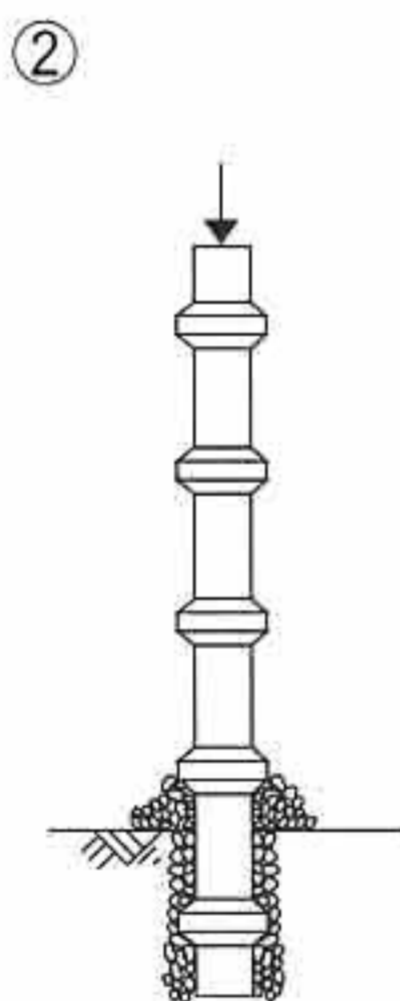
- 節部下面が先端面と同じような作用をするため、杭周部の摩擦抵抗が増大します。
- 碎石などを充填しながら打ち込むため、杭の周辺地盤を締め固めます。
- 充填した碎石などがドレーン材の役割を果たし、砂中の間隙水圧の上昇を押さえるため、地震時に砂地盤の液状化現象を防止する効果があります。

## 施工順序



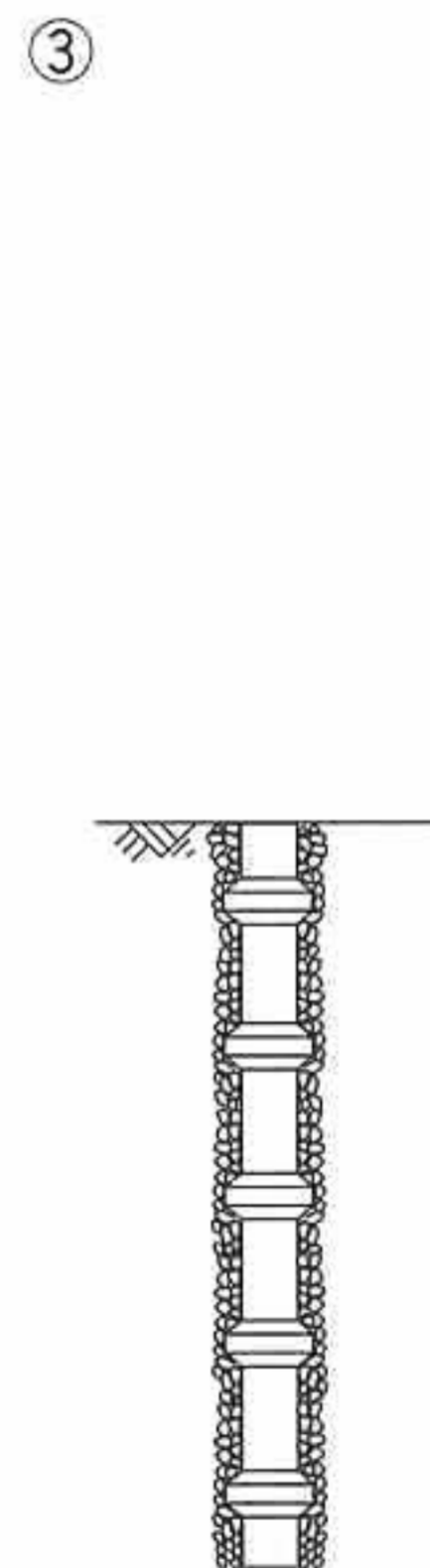
①杭の建て込み

- ・杭を杭芯にセット。その周辺に碎石や鉋さいなどの充填物を置く。



②杭の打設

- ・油圧ハンマーやディーゼルハンマーで杭を打ち込む。
- ・節によってできた空隙に引き込まれた充填物は、その上部にある節に押されて、締め固められる。



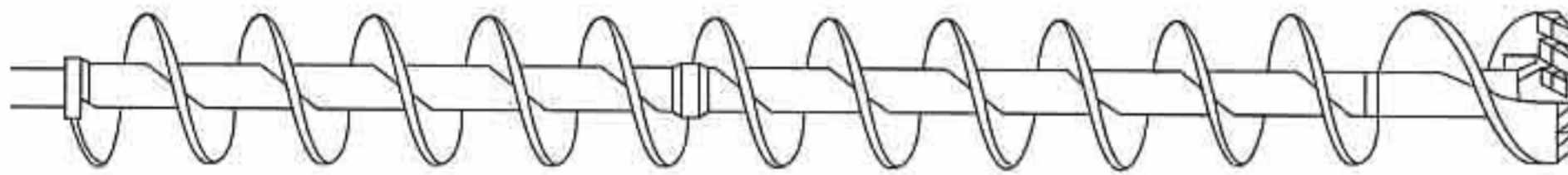
③打設完了

- ・杭頭深度をレベルで確認しながら、所定の深さまで杭を打ち込む。

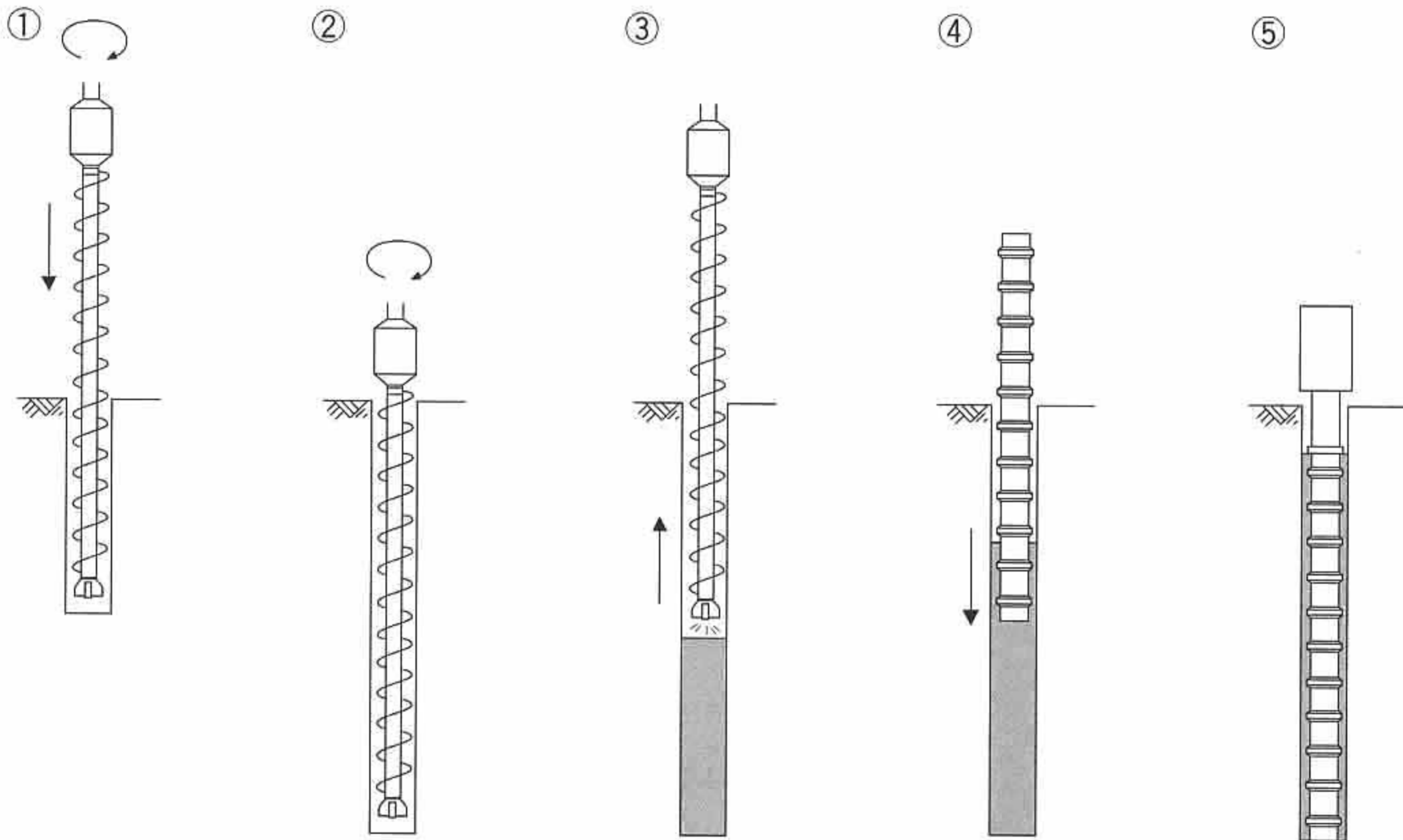
### MT工法の概要

この施工法は、従来より実施してきたHC-TOPパイル（遠心力高強度プレストレストコンクリート節杭）の埋込み杭工法を、より信頼度の高いものに改良するため、セメントミルク注入液の配合や施工要領を見直した工法です。

### オーガースクリュー



### MT工法の施工法



#### ①掘削開始～掘進

- ・オーガーヘッド中心を杭芯にセット、オーガースクリューの鉛直性を確認。
- ・地盤に適した速度で掘進。

#### ②掘削完了

- ・レベルで所定の掘削深度を確認。

#### ③注入～オーガー引き上げ

- ・（必要に応じて根固め液を、続いて）杭周充填液を注入しながらオーガースクリューを正転で引き上げる。

#### ④杭の建て込み

- ・孔壁を崩壊させないように杭を建て込み、鉛直性を確認しながら掘削孔に挿入する。

#### ⑤杭の定着

- ・モンケン等により軽打するか圧入することにより所定深度まで杭を押し込み定着する。

### 資料 3.4 MT工法

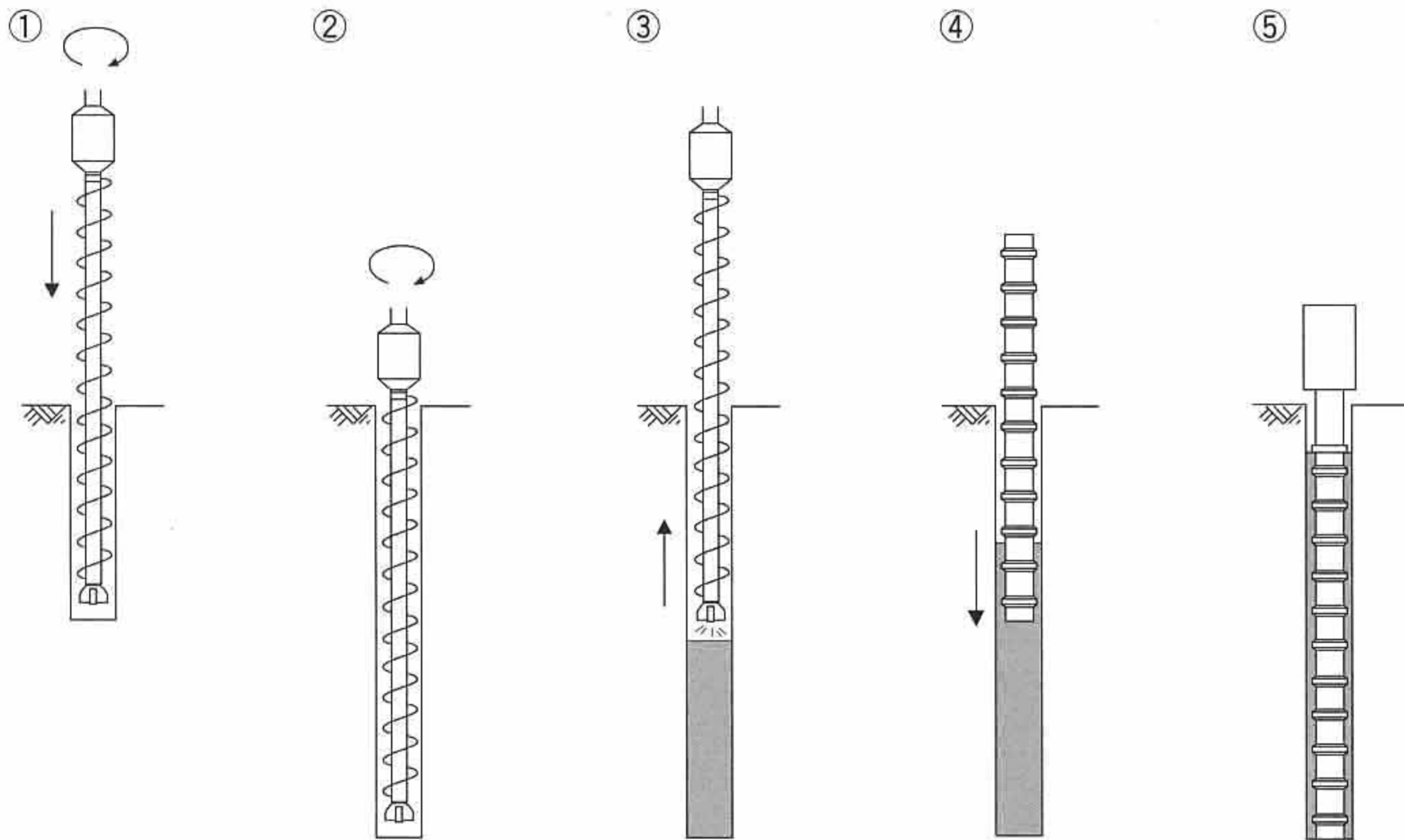
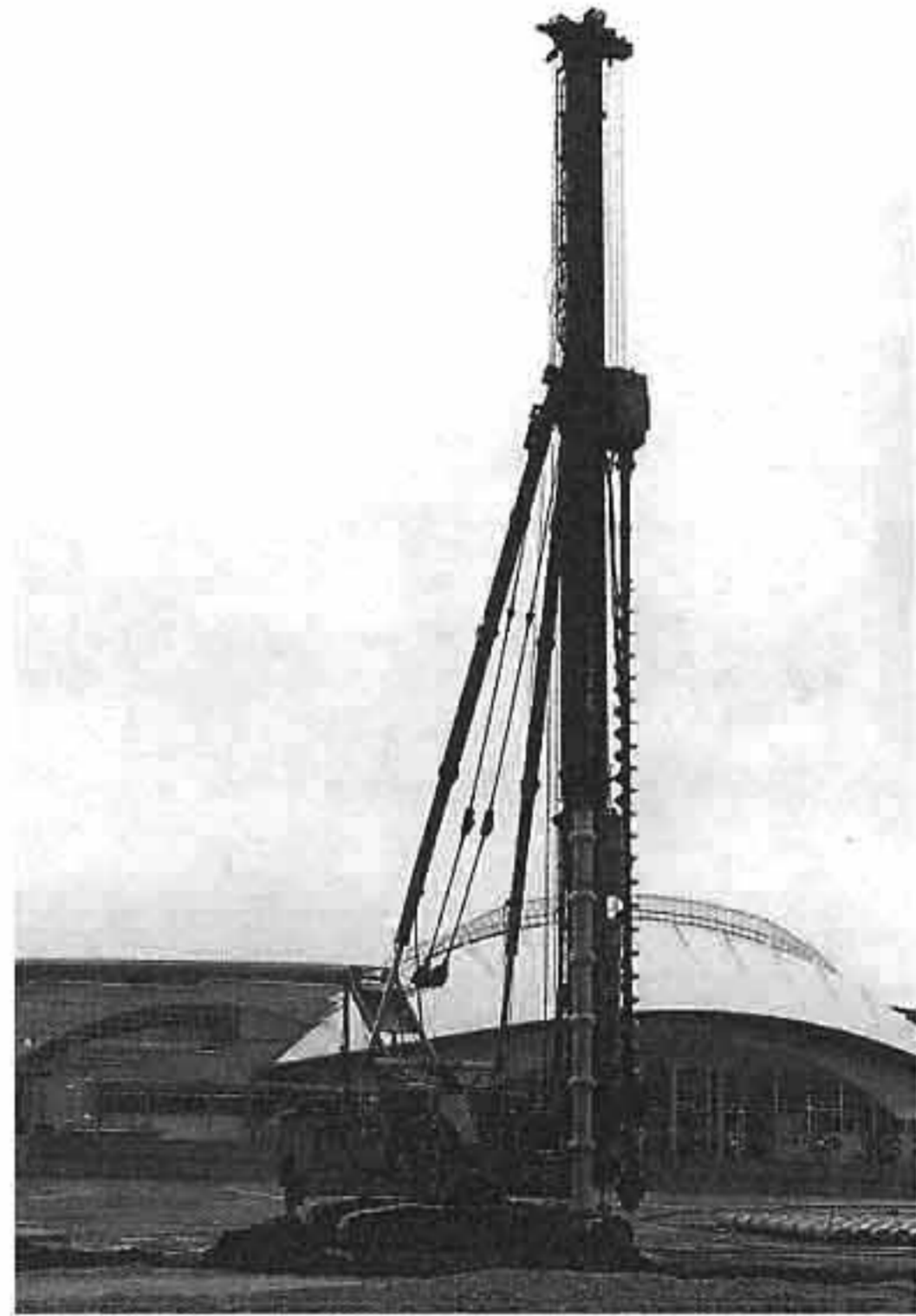
## 工法概要

これらの施工法は、従来より実施してきたHC-TOPパイルの埋込み杭工法であり、掘削土砂と充填液を置換するセメントミルク工法と、掘削土砂と充填液を攪拌混合するソイルセメント工法があります。

## 特長

- アースオーガーを使用する低振動・低騒音の施工法です。
- 掘削孔に注入する充填液によって杭と周辺地盤を一体化させます。

## 施工順序



### ①掘削開始～掘進

- ・オーガーヘッド中心を杭芯にセット、オーガースクリューの鉛直性を確認。
- ・地盤に適した速度で掘進。

### ②掘削完了

- ・レベルで所定の掘削深度を確認。
- ・ソイルセメント工法の場合は所定深度の1～2 m手前から充填液を注入し、掘削土砂と練り混ぜながら掘削する。

### ③注入～オーガー引き上げ

- ・オーガースクリューを正転しながら引き上げる。
- ・セメントミルク工法の場合は、(必要に応じて根固め液、続いて)杭周充填液を注入しながら引き上げを行う。

### ④杭の建て込み

- ・孔壁を崩壊させないように杭を建て込み、鉛直性を確認しながら掘削孔に挿入する。

### ⑤杭の定着

- ・モンケン等により軽打するか圧入することにより所定深度まで杭を押し込み定着する。

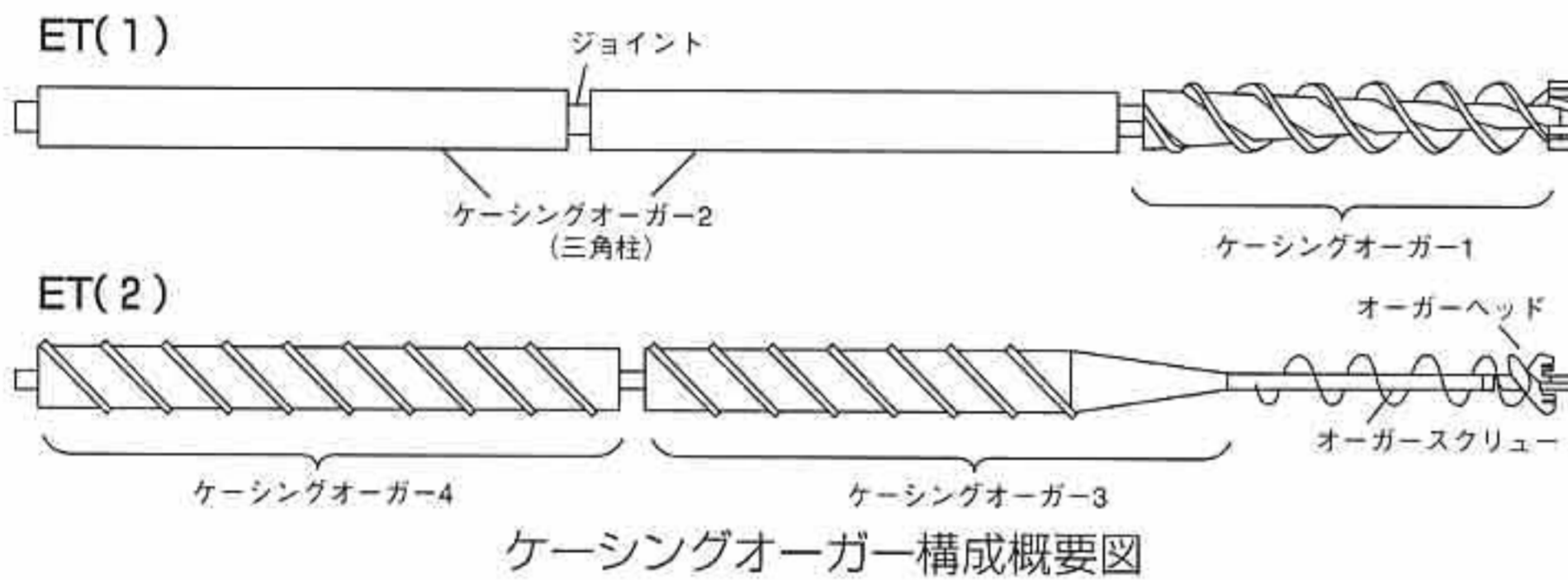
## 資料 3.5 ソイルセメント工法

## ET工法の概要

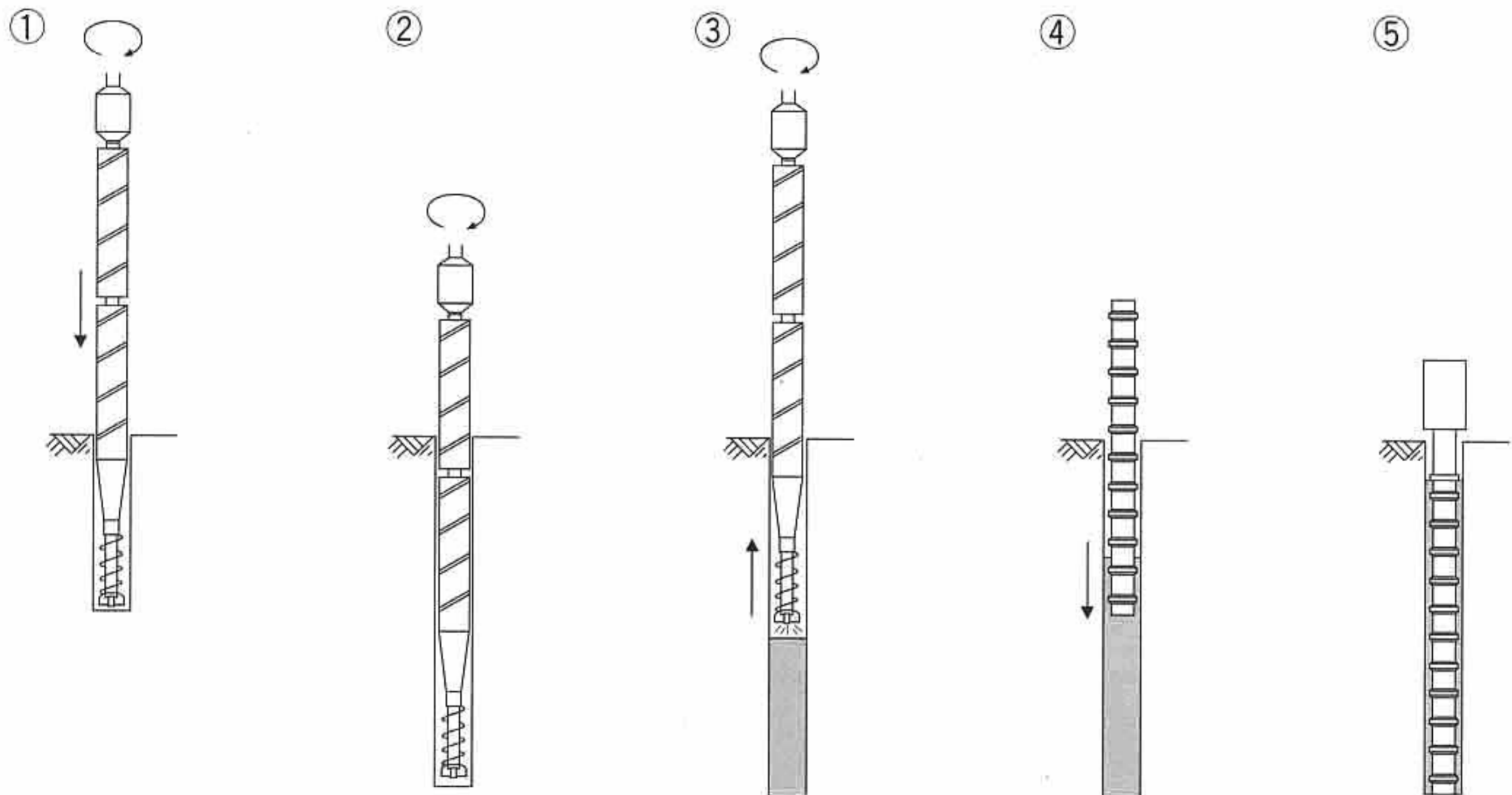
この施工法は、従来より実施してきたHC-TOPパイル（遠心力高強度プレストレストコンクリート節杭）の埋込み杭工法を、掘削土量の低減を図ることを目的に改良した工法です。

## ケーシングオーガー

ケーシングオーガーは排土量に応じて2種類のものを用意しています。



## ET工法の施工順序



### ①掘削開始～掘進

- ・オーガーヘッド中心を杭芯にセット、ケーシングオーガーの鉛直性を確認。
- ・地盤に適した速度で掘進。

### ②掘削完了

- ・レベルで所定の掘削深度を確認。

### ③注入～オーガー引き上げ

- ・（必要に応じて根固め液を、続いて）杭周充填液を注入しながらケーシングオーガーを正転で引き上げる。

### ④杭の建て込み

- ・孔壁を崩壊させないように杭を建て込み、鉛直性を確認しながら掘削孔に挿入する。

### ⑤杭の定着

- ・モンケン等により軽打するか圧入することにより所定深度まで杭を押し込み定着する。