

# プレボーリング工法の拡大根固め部築造過程に関する基礎的研究

浅井 陽一\*<sup>1</sup>・藤井 衛\*<sup>2</sup>・武智 耕太郎\*<sup>3</sup>

## Fundamental Study about the Construction Process of the Enlarged Pile-Tip Protection in Pre-boring Pile Method

by

Yoichi ASAI\*<sup>1</sup>, Mamoru FUJII\*<sup>2</sup> and Kotaro TAKECHI\*<sup>3</sup>

(Received on Mar. 30, 2009 and accepted on May. 25, 2009 )

### Abstract

Recently, the pre-boring enlarged tip protected pile method is the mainstream of pile installation method. The elucidation of the construction process of the pile tip protection contributes to quality improvement, because the quality of pile tip protection enhances the support performance of bearing capacity efficiently. In this study, to elucidate the construction process of pile tip protection, model execution experiments were conducted. In these experiments, a technique to observe a marker installed all over the artificial ground was used for the visualization of behavior of the digging soil. This suggests that the use of this technique helps understand the behavior of digging soil. The behavior of digging soil differs according to the rotational direction of an auger equipment.

**Keywords:** Pile, Enlarged Pile-Tip Protection, Construction Process, Visualization, Digging soil

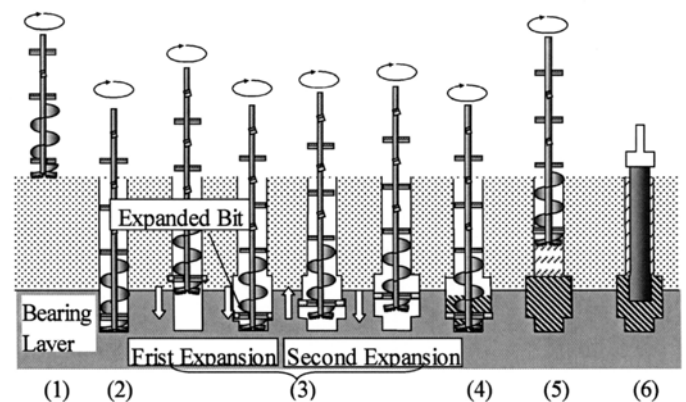
### 1. はじめに

既製コンクリート杭の施工方法は、打撃工法から杭先端部に根固め部を築造するプレボーリング根固め工法（セメントミルク工法）に移行し、さらに近年では、杭先端支持力を向上させるために根固め部径を杭先端径の1.5倍程度に拡大するプレボーリング拡大根固め工法が主流になっている。根固め部は、築造方法によって圧縮強度や土砂混入割合などが異なると予想される。しかし根固め部は、地中深くに築造されるために、築造過程が明らかになっていない。根固め部の築造過程の解明は、品質向上に寄与すると考えられる。一方、施工状況を可視化する研究は、回転鋼管杭<sup>1,2)</sup>および場所打ちコンクリート杭<sup>3)</sup>などで進められているが、既製コンクリート杭工法の根固め部を対象とした研究<sup>4)</sup>は少ない。

本研究では根固め部の掘削工程を明らかにするために、模型施工実験を実施した。実験においては、掘削土挙動を可視化するために、人工地盤中にマーカーを設置し、施工実験後そのマーカーの分布状況を観察した。

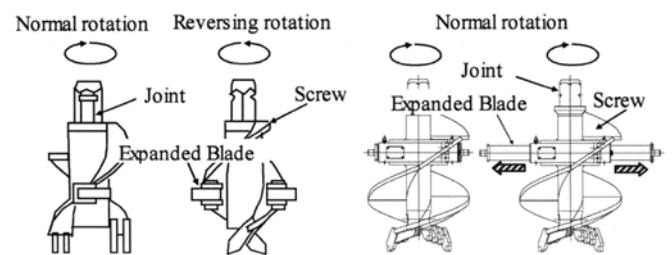
### 2. プレボーリング拡大根固め工法の根固め部築造方法

Fig.1 にプレボーリング拡大根固め杭工法の根固



- (1) Adjust the earth auger tip to the center of the pile location
- (2) Excavate with jetting water, (3) Enlarge bore hole by expanded bit
- (4) Inject a tip protection slurry (Cement Milk)
- (5) Inject a shaft protection slurry (Cement Milk), (6) Insert a pile

Fig.1 Example of installation sequence of Pre boring method



(a)Excavation (b)Expansion (a)Excavation (b)Expansion  
Fig.2 Example of expanded bit Fig.3 Example of expanded bit  
by the reversing rotation by the normal rotation

\* 1 総合理工学研究科総合理工学専攻  
\* 2 建築学科 教授  
\* 3 工学研究科建築学専攻

め部の築造例を示す。根固め部築造過程は、支持地盤の拡大掘削工程(Fig.1(3))と根固め液と掘削土の攪拌混合工程(Fig.1(4))に分けられる。拡大掘削は、逆回転で機械的に拡大する方法(Fig.2<sup>5)</sup>)や油圧を用いて正回転で拡大する方法(Fig.3<sup>5)</sup>)など工法によって異なる。

### 3.実験方法

Fig.4は、回転貫入装置および掘削治具図を示す。回転貫入装置は、正回転(右回り)および逆回転(左回り)しながら、上下昇降できる機構で、トルク計による回転トルクの計測も可能である。

実施工で用いられる掘削治具は、掘削ヘッドの上部にスパイラルロッドを接続する場合と、スパイラルがない攪拌ロッドを接続する場合がある。本実験では、スパイラルロッドを接続した場合を対象とした。掘削治具は、掘削ヘッドとスパイラルロッドが一体化した仕様で、杭径φ900mm用の約1/10スケールとした。ただし、ロッド径はφ48.6mmである。スパイラル径はφ98.6mmで、70mm間隔でロッドに7巻取り付けた。掘削治具全長は550mmである。拡大掘削時には、直径φ20mmの拡大翼を取り付ける。拡大掘削径は、φ125mm(90mm×1.4倍)である。なお、拡大翼の下端部から掘削治具先端までの距離は70mmである。そのため、拡大掘削時にはその区間の掘削径は、スパイラル径(φ98.6mm)と同径になる。

Table1に掘削治具の上下動を示した実験条件を示す。表中の細線はストレート掘削、太線は正回転拡大掘削、点線は逆回転拡大掘削を示す。Case1-1~4は、正回転ストレート掘削+正回転拡大掘削の各掘削段階である。回転方向(Case2)、掘削速度(Case3)、およびストレート掘削の有無(Case4)の影響を比較するための実験も行った。

Case1-1はストレート掘削のみ、Case1-2~4はストレート掘削+拡大掘削である。Case2-1はCase1-2と同一工程であるが、逆回転で拡大掘削した。Case2-2は逆回転で掘削治具を引き上げた。また、Case3の掘削速度はCase1-3の4倍とした。

全ての実験において回転数(40回/分)は一定にした。また、掘削速度(掘削距離/回転)は、Case3の場合は400mm/分(10mm/回)、それ以外の場合は、100mm/分(2.5mm/回)とした。また、掘削深度はCase1-2、2-2の場合はGL-220mm、それ以外の場合は380mm(拡大部長は310mm=90×約3.5倍+70mm)とした。

人工地盤は、鋼製土槽(内径φ260mm、高さ500mm)に5層に分けて試料土を投入し、各層毎に重量10kgの木製ハンマーを用いて均等に突き固めて作製し

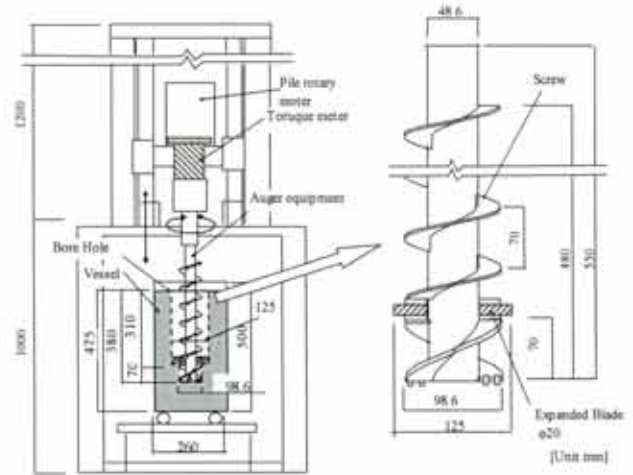


Fig.4 Penetration equipment and the detail of auger equipment

Table 1 Outline of tests

| Case No.      | 1-1           | 1-2            | 1-3           | 1-4           |
|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Speed(mm/min) | 100           | 100            | 100           | 100           |
| Process       | S-N           | S-N→E-N        | S-N→E-N       | S-N→E-N       |
|               | Depth<br>Time | Depth<br>Time  | Depth<br>Time | Depth<br>Time |
| Case No.      | 2-1           | 2-2            | 3             | 4             |
| Speed(mm/min) | 100           | 100            | 400           | 400           |
| Process       | S-N→E-RS-N    | S-N→E-N→E-RS-N | E-N           | E-N           |
|               | Depth<br>Time | Depth<br>Time  | Depth<br>Time | Depth<br>Time |

S-N: Straight excavation (Thin line)  
E-N: Expansion excavation process by a normal rotation (Heavy line)  
E-R: Expansion excavation process by a reversing rotation (Dashed line)

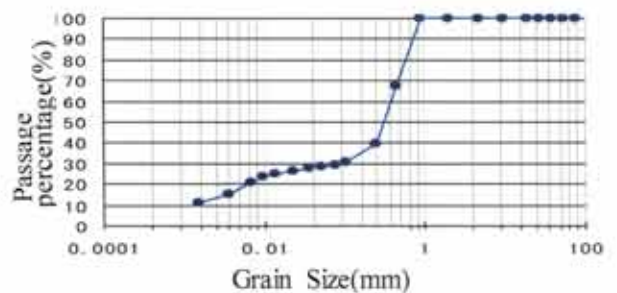


Fig.5 Grain distribution curve of 7:3(sand:clay) ratio

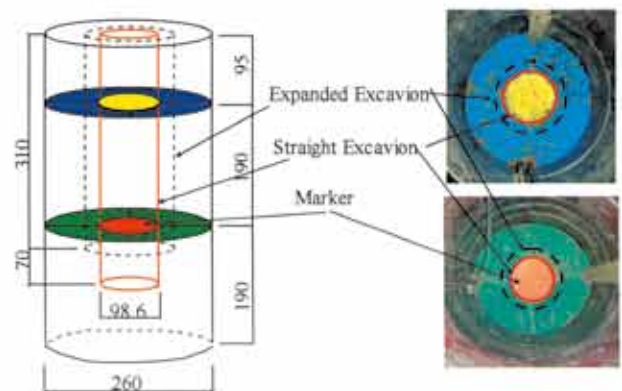


Fig.6 Initial setting position of markers

た。なお、人工地盤高さは475mmである。試料土は、珪砂5号と笠岡粘土の比率を7:3とし、含水比を7%としたもので、湿潤密度は1.3g/cm<sup>3</sup>である。なお、この配合はマーカの観察をしやすいように、地盤が自立するように設定したものである。Fig.5に粒径加積曲線を示す。なお、鋼製土槽は縦方向に2分割が可能である。

掘削土の挙動を観察するために、Fig.6に示す2断面(GL-95mm, 285mm)にマーカを設置した。ただし、Case1-2および2-1の場合は、GL-95mmにのみ設置した。各断面のマーカは、スパイラル径とほぼ同径の中央部とその外周部の2色とした。なお、マーカは、直径6mmのプラスチック製を用いた。施工実験後に、鋼製土槽の片側を外し、人工地盤を手前から削りながら、マーカ位置を記録した。マーカ位置の記録結果を重ね合わせることでFig.7に示すマーカ分布図を作成した。また、掘削時に排出された掘削土および掘削孔に残った掘削土中のマーカ数を調査した。なお、施工実験時には、掘削深度と回転トルクも計測した。

#### 4. 実験結果と考察

##### 4.1 マーカ分布図

Fig.7(a)~(h)はマーカ分布図を示す。図の上部には、掘削治具の回転方向および上下動方向も併記している。また、図中の太破線は掘削土の上端位置、丸印は施工に伴い移動したマーカを示している。

Fig.7(a)~(d)は、正回転ストレート掘削+拡大掘削の各掘削段階を示す。掘削治具にスパイラルが設置されているため、正回転ストレート掘削で上下反復(Fig.7(a))することにより、ほぼ中央部のマーカは地表面上に押し上げられる。地表面から下方に拡大掘削した場合(Fig.7(b))では、GL-95mmに設置したマーカは、マーカ設置面から掘削治具先端の下部から上部まで分布している。これは、拡大翼による掘削土が、スパイラルの隙間を通過し、治具先端部より下方に移動後、スパイラルによって上方に押し上げたためと考えられる。次に、GL-285mmに設置した緑色マーカは、GL-380mmまで拡大掘削した場合(Fig.7(c))では、GL-200~300mmに多く分布している。しかし、掘削治具を上方に引き上げた場合(Fig.7(d))では、掘削土の下部を中心に全体的に分布している。これは、中央部の掘削土は、掘削治具のスパイラルによって上方に移動するが、拡大部の掘削土は下方に移動したためと考えられる。

Fig.7(e)は下方に逆回転拡大掘削した場合を示している。掘削土の上端位置はGL-150mm程度で、拡大翼位置とほぼ等しく、正回転拡大掘削した場合(Fig.7(b))の上端位置(GL-100mm)より深い。マー

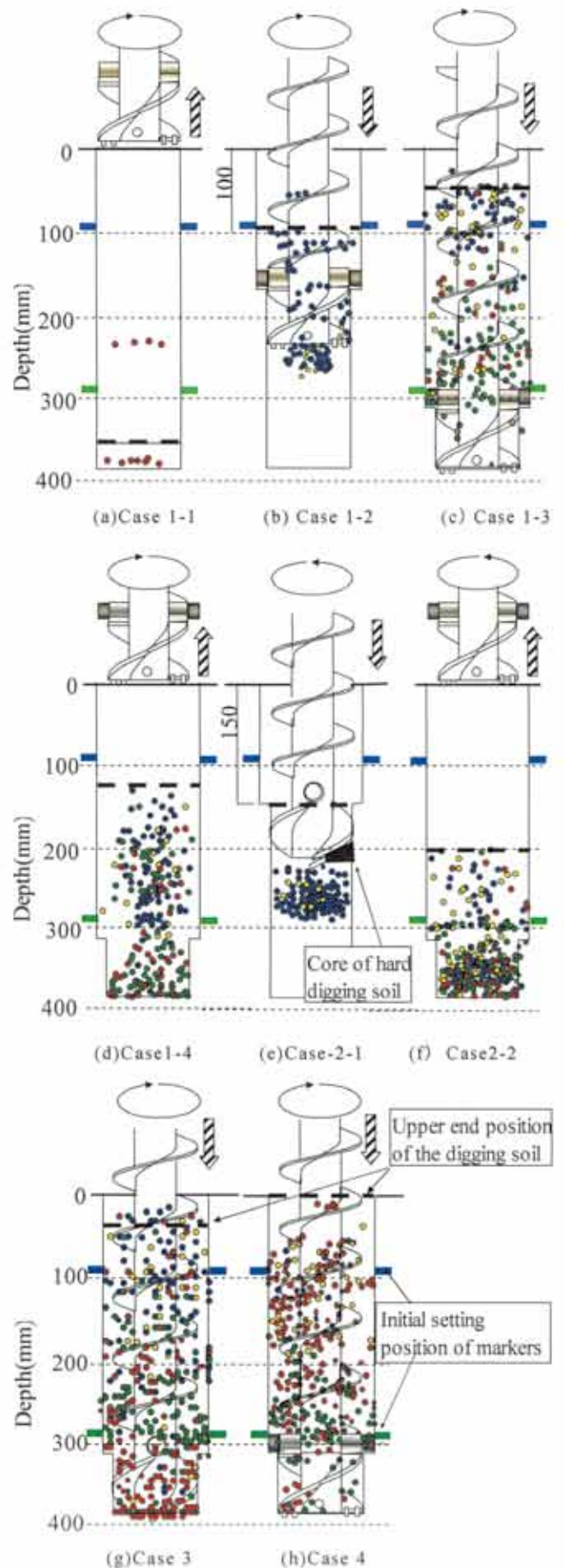


Fig. 7 Marker distribution



カーは、掘削治具先端より下方に集中していた。また、掘削治具先端部のスパイラルには硬い掘削土のコアが付着していた。これは、回転方向が逆回転のため、掘削土は掘削孔下方にのみ移動し、掘削治具先端部で押しつけられたためと考えられる。

逆回転で拡大装置を引き上げた場合(Fig.7(f))では、掘削土が下方に移動するため、正転で引き上げた場合(Fig.7(d))と比較すると、マーカーは掘削孔下部に多く分布している。Fig.7(g)では、掘削孔下部にGL-285mmに設置した赤色マーカーが多く分布している。これは、掘削速度が速いために、ストレート掘削時に赤色マーカーが掘削孔に多く残留していたためである。

Fig.7(h)では、GL-95mmに設置した青色マーカーは、他ケースと比較して少ない。これは、掘削時に地表面上に排出されるためと考えられる。また、GL-285mmに設置した赤色マーカーは、スパイラルに沿って上方に移動している。なお、Fig.(b)~(g)でGL-95mmの中央部に設置した黄色マーカーが若干観察される。これはマーカーの設置位置または掘削位置がずれた影響と考えられる。

Fig.8は、色別のマーカー数を示している。横軸のA1~4は、対象となるマーカーが含まれる掘削土の範囲を示している。A1は地表面上に排出された掘削土、A2はGL-0~80mm、A3はGL-80~270mm、A4はGL-270~380mmの掘削孔中の掘削土を示している。

はじめに、地表面上に排出された掘削土(A1)に含まれるマーカーに注目する。Fig.8(a)~(c)では、ストレート掘削によって、GL-95mmと285mmの中央部に設置した黄および赤色マーカーがほとんど排出される。しかし掘削速度が速い場合(Fig.8(d))、掘削孔に残留する掘削土が多くなり、GL-285mm中央部の赤色マーカーの排出量が減少する。また、ストレート掘削を実施しない場合(Fig.8(e))、掘削孔上部の拡大掘削土は、排土されるため、GL-95mm外周部の青色マーカーが増加する。また、掘削孔下部の掘削土は、掘削孔に多く残留するため、GL-285mm中央部の赤色マーカーが減少している。従って、Fig.8(d)、(e)のA3およびA4には、赤色マーカーが多く含まれる結果になった。

正回転しながら掘削治具を引き上げた場合(Fig.8(b)、A4)、引き上げ前(Fig.8(a)、A4)と比較すると、マーカー数が増加している。また、逆回転しながら掘削治具を引き上げた場合(Fig.8(c)、A4)は、さらにマーカー数が増加している。これは、正回転した場合でも掘削治具の引き上げに伴い、マーカーが掘削孔下部に移動した。また、逆回転した場合、掘削土が下方に移動するため、マーカーが増加したと考えられる。

Fig.8(b)および(c)のA2には、マーカーが存在し

ていない。これは、それぞれの掘削土上端位置(Fig.7(d)(f))が、A2の対象範囲(GL-0~80mm)以下であったためである。

以上のことからマーカー分布図と掘削土中に含まれるマーカー数の調査から、掘削土の挙動を概ね定性的に把握できるものと思われる。

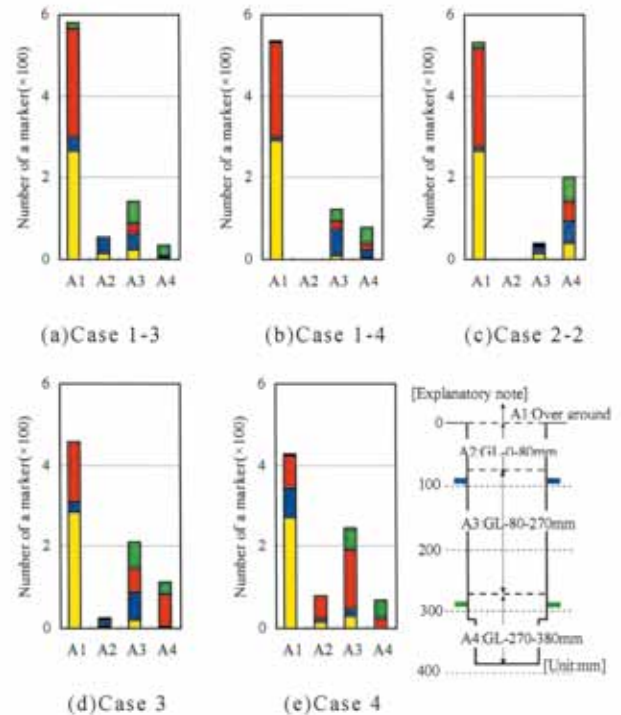


Fig. 8 Marker distribution in each area

#### 4.2 回転トルクの計測結果

Fig.9は、Case1-2および4における掘削治具先端深度と回転トルクの関係図を示している。図中には、施工工程図も併記した。Fig.9(a)では、下方にストレート掘削する場合の回転トルクは、GL-100mm以深で増大するが、掘削装置を引き上げる場合の回転トルクは、掘削時のトルクと比較して小さい。一方、下方に拡大掘削する場合の回転トルクは、GL-70mm程度までは非常に小さい。これは、拡大翼下端位置は、掘削治具先端から70mm上方であるため、拡大翼が地盤に接触しないためである。また、GL-70mm以深の回転トルクは深度増加と共に増加する。Fig.7(b)のマーカーの分布図から、拡大掘削時の回転トルクは、GL-150mm付近までは、拡大掘削の回転トルクのみであるが、それ以深になると拡大掘削の回転トルクに加えて、掘削治具下部に堆積した掘削土を掘削する回転トルクが負荷されるためと考えられる。

上方に掘削治具を引き上げる場合の回転トルクは、ストレート掘削後の引き上げ時の回転トルクより小さい値となった。これは、スパイラルが周辺地盤に接触し、かつ排土しながら引き上げるのに対し、

拡大翼のみが周面地盤に接触し、Fig.7(f)の分布図から深度がGL-200mmより浅くなると、掘削治具先端深度が掘削土上端深度以上になるためである。Fig.9(a)には、逆回転で引き上げたCase2-2の回転トルクも併記した。Case2-2の回転トルク値は、Case1-4より大きな値を示した。これは、Fig.7(f)の分布図では、マーカーが掘削孔下部に分布しており、逆回転することにより掘削土が下方に押しつけられながら、引き上げられたためと考えられる。Fig.9(b)は、上方から拡大掘削したCase1-2の回転トルクを示している。Fig.9(b)中には、逆回転拡大掘削したCase2-1の回転トルクも示す。Case2-1の回転トルクは、深度がGL-200mm以深になると、急激に増加した。これは、Fig.7(e)の分布図から、逆回転掘削の場合は、掘削治具先端に堆積した掘削土を下方に押しつけたためと考えられる。

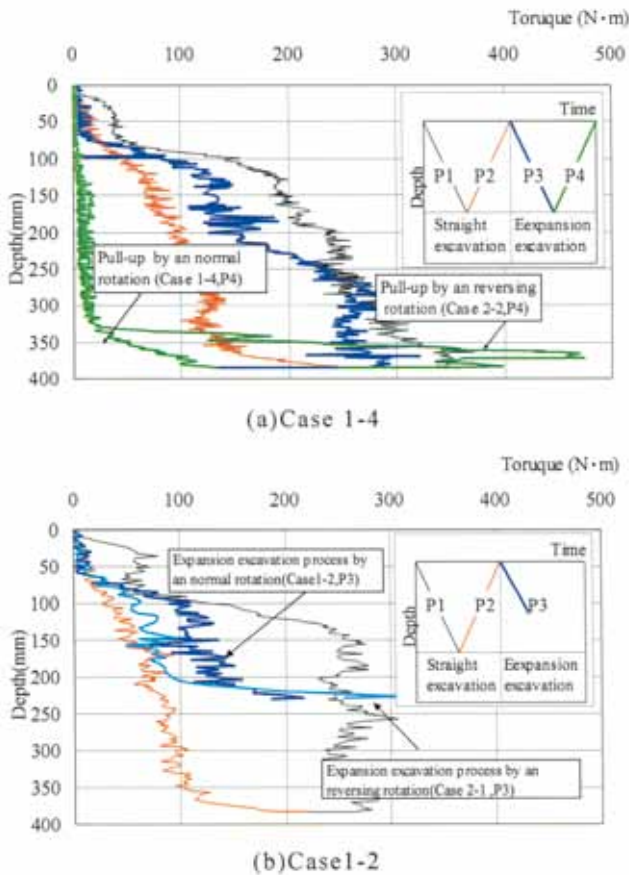


Fig.9 Depth- torque relationship

### 4.3 掘削土の挙動

Fig.10(a)～(f)にストレート掘削+正回転拡大掘削を行う場合の推定された掘削土の挙動を示す。図上方には、掘削治具の回転方向と上下動方向を、赤線は掘削土の移動方向を示す。掘削治具にはスパイラルが取り付けられているため、ストレート掘削することにより、掘削孔の掘削土はほぼ、排土される(b)。次に拡大掘削による掘削土は、掘削孔の下部

(掘削治具の先端より下方)に堆積する(c)。堆積した掘削土は、正回転で再度掘削されることにより上方に移動する(d)。掘削治具を引き抜く際に、中央部の掘削土は、スパイラルにそって上方に移動するが、拡大部の掘削土は、下方に移動する(f)。

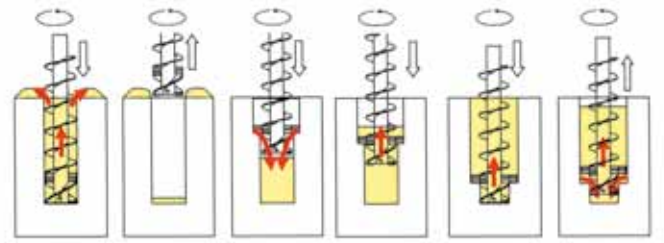


Fig.10 Behavior of digging soil

## 5. まとめ

根固め築造過程のうち、拡大掘削工程に着目して模型施工実験を実施した。実験においては、掘削土挙動を可視化するために、人工地盤中にマーカーを設置し、施工実験後そのマーカーの分布状況を観察した。以下に、本実験で得られた結論を示す。

- 1) 施工実験後のマーカー分布および掘削土中のマーカー数調査によって施工時の掘削土挙動を有る程度把握できる。
- 2) 拡大掘削した掘削土は、正回転時には掘削孔上方に、逆回転時には掘削孔下方に移動する。
- 3) 回転トルクの挙動は、マーカーの観察結果から概ね説明可能である。

本実験では、掘削水を使用しない施工実験を実施したが、実施工では掘削水を用いることが多い。今後、掘削水を使用した実験や根固め液を用いた根固め液の攪拌混合工程実験を実施する予定である。

### 参考文献

- 1) 新井, 藤井, 永田, 小松: 「サーモグラフィを用いた回転貫入杭周囲の土の乱れに関する研究」, 東海大学紀要工学部, Vo.45, No.2, 2005, pp.47-51
- 2) 土屋, 中沢, 島田, 「回転貫入杭の羽近傍地盤の観察に基づく貫入メカニズムの検討」, 日本建築学会技術報告書, 第13巻, 第25号, 2007.6, pp.73-76
- 3) 藤井, 田村, 大山: 「可視化を利用した場所打ちコンクリート杭のできれば評価に関する基礎実験」, 第33回地盤工学研究発表会, 1998.7, pp.1545-1546
- 4) 小松, 加藤, 酒井, 藤井, 田村, 阿部: 「埋込み杭根固め部の出来ばえ評価方法」, 第34回地盤工学研究発表会, 1999.7, 325-326
- 5) 埋込み工法施工便覧, コンクリートパイル建設技術協会, 2006