

## 施工技術の動向 ②

# 鋼管・既製コンクリート杭打工 (中掘工)

国土交通省総合政策局建設施工企画課

### 1. はじめに

本工法は、先端開放の既成杭内部のスパイラルオーガやバケット等を通して地盤を掘削しながら、杭体を所定の深さまで沈設したのち、所定の支持力が得られるように先端処理を行う工法である。支持力発現のために、最終的には杭を打撃して固定する方法（打撃方式）と、根固め液をオーガ先端より噴射して拡大球根を形成することにより固定させる方法（グラウト注入方式）があり、中空部を有するコンクリート杭や鋼管杭に適用されている。本工法は支持力が大きく、低振動・低騒音のうえ、排土も比較的少ない。そのため建設



写真—1 施工全景

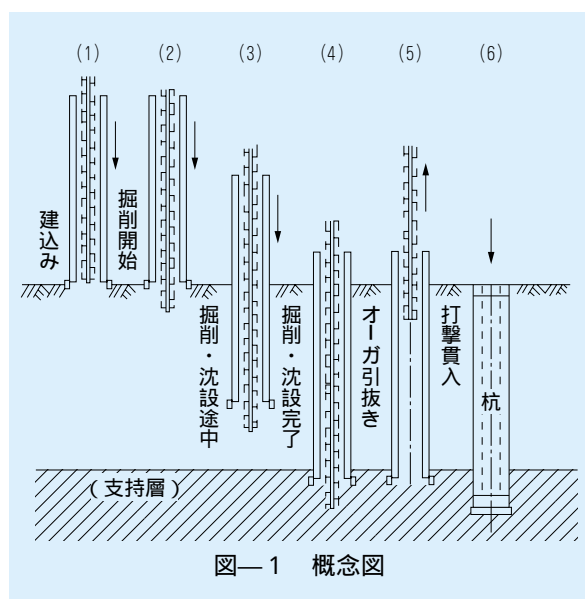
公害を必要最低限にとどめることができ、掘削安定液を使用せずに施工能率が上がるため、経済性にも優れているといった特徴を有している。

中掘工の一般的な概念図を図—1に示す。

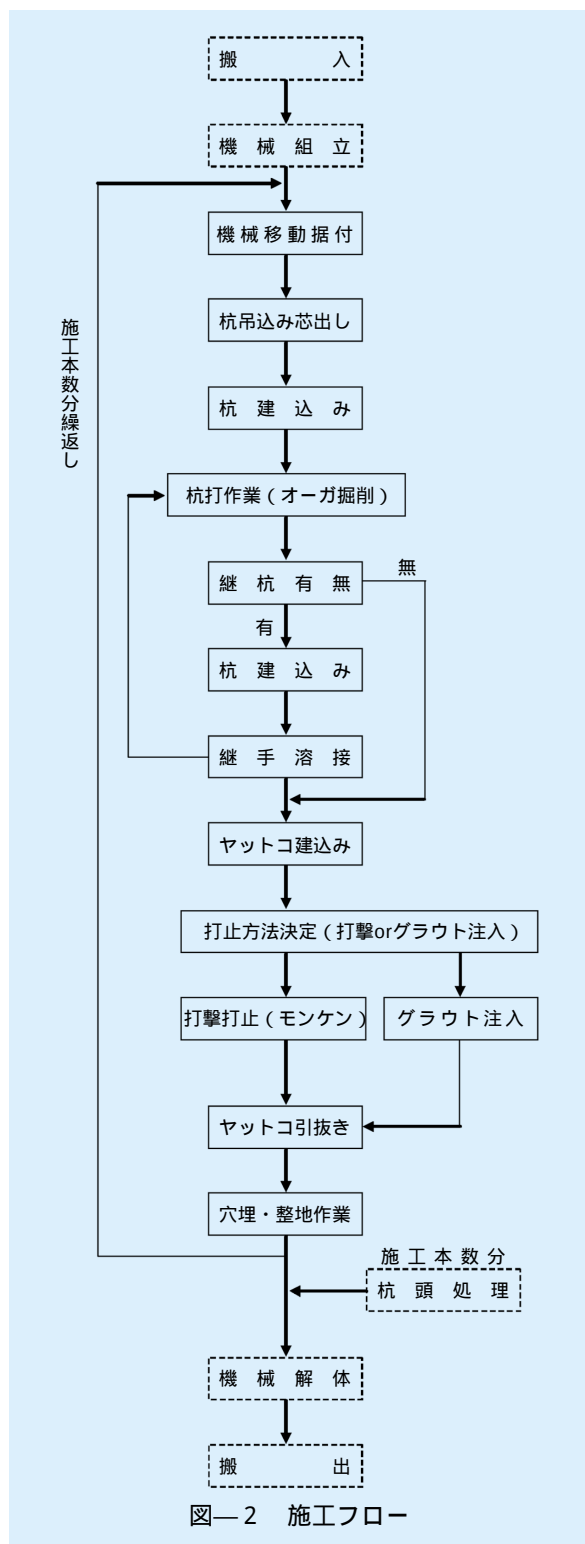
本稿は、平成19年度に実施した「鋼管・既製コンクリート杭打工（中掘工）」の調査結果について、その概要を紹介するものである。

### 2. 調査概要

今回の「鋼管・既製コンクリート杭打工（中掘工）」の調査は、国土交通省の直轄工事と、都道府県および政令指定都市が施工した補助工事を対象に、国土交通省にて施工フロー（図—2）の各工程に沿った作業内容、使用機械等について詳細に実施したものである。前回の調査は平成10年度に実施している。

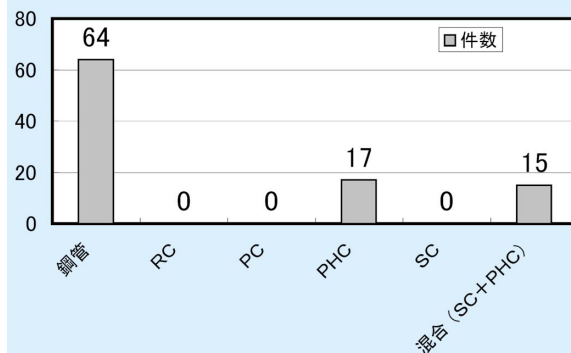


図—1 概念図

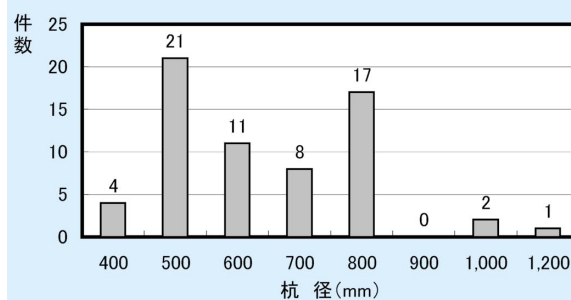


同工法は、前述したとおり主に打撃またはグラウト注入（拡大根固め工法を含む）による打止めの鋼管杭および既製コンクリート杭の施工となり、杭の施工実績は図—3のとおりとなっている。

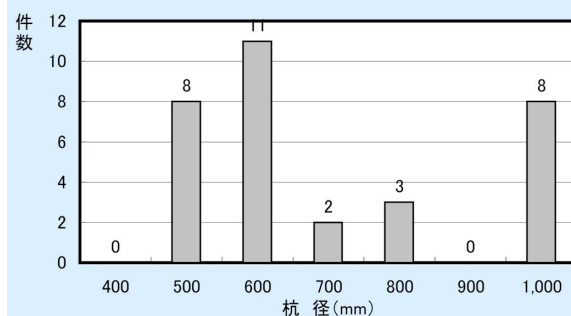
実績としては、鋼管杭とPHC杭およびSC+PHC杭の混合杭に大別され、今回の調査ではRC杭の



図—3 杭の施工実績



図—4 鋼管杭の施工実績



図—5 既製コンクリート杭の施工実績

実績が見られなかった。

既製コンクリート杭においては、曲げ耐力とせん断耐力が大きく、杭頭変位量が小さいことから、杭の本数を減らすことが可能となり、フーチングも小さくすることができて経済的にも優位となる混合杭の実績が近年多く見られている。

なお、強度が確保できないという理由で従来のRC杭は最近、使用実績が減少しつつあるが、高強度のRC杭を開発しているメーカーもあることから、今後採用されるケースが増えていく可能性もある。

また、それぞれの施工杭径と施工実績は図—4、5にあるとおりで、いずれも杭径1,000mmまでの施工実績が見られた。

### 3. 施工形態

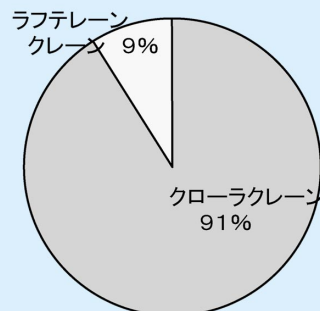
#### (1) 中掘杭工法の分類

先端処理方式としては、先端支持力が確保されることと、騒音・振動が防止できることなどからグラウト注入の実績が比較的多い。鋼管杭、コンクリート杭それぞれでいくつかの工法に分かれる（表—1，2）

いずれの工法においても杭の建込みや引抜き、ヤットコの建込み、引抜き等の作業にはクローラ

クレーンを主に使用している（図—6）。

そのクローラクレーンについても、鋼管杭およ



図—6 クレーン形式

表—1 中掘杭工法【セメントミルク噴出攪拌方式（鋼管杭）】

| 工法      |           | TAIP工法                                                                                               | TN工法                                                                               | TBS工法                                                                                    |                                                                        | FB 9 工法                                                                                                              | KING工法                                                                                                   |
|---------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |           |                                                                                                      |                                                                                    | RPタイプ                                                                                    | RBタイプ                                                                  |                                                                                                                      |                                                                                                          |
| 工法の概要   |           | 杭先端部に仮固定した先端刃シャフトにより杭本体とともに回転しながら中掘を行い、杭を所定深度まで沈設する。その後、杭先端部を掘削し、連続してセメントミルクを低圧噴出することにより根固め球根を築造する工法 | 杭内径よりも小さいヘッドを付けたスパイラルオーガを用いて中掘を行い、杭を沈設した後、先端根固め部にセメントミルクを高圧噴出することにより拡大根固め球根を築造する工法 | 特殊広大機構をもつビットを取り付けたスパイラルオーガにより中掘で杭を支持層まで沈設した後、支持層を拡大掘削しセメントミルクを低圧噴出し、攪拌混合して拡大根固め球根を築造する工法 |                                                                        | 管内付着泥土を除去するクリーニング装置と拡翼機構をもつ拡大ヘッドを取り付けたスパイラルオーガにより中掘で杭を所定深度まで沈設した後、支持層を拡大掘削して、先端部よりセメントミルクを低圧噴出し、攪拌混合して拡大根固め球根を築造する工法 | 特殊拡翼機構をもつビットを取り付けたスパイラルオーガを用いて中掘を行い、杭を所定深度まで沈設した後、杭先端部を拡大掘削し、連続してセメントミルクを低圧噴出し、攪拌混合することにより拡大根固め球根を築造する工法 |
| 施工方法    | 掘削方法      | 先端刃付きシャフト＋水                                                                                          | スパイラルオーガ＋エア                                                                        | スパイラルオーガ＋エア                                                                              |                                                                        | スパイラルオーガ＋エア                                                                                                          | スパイラルオーガ＋エア                                                                                              |
|         | 沈設方法      | 回転圧入                                                                                                 | 圧入                                                                                 | 圧入                                                                                       |                                                                        | 圧入                                                                                                                   | 圧入                                                                                                       |
|         | 杭先端処理方法   | 根固め用セメントミルクを先端より噴出。土砂と攪拌混合。土砂を水で流動化し鋼管内面に付着することを防ぐ                                                   | 根固めロッドを取替え、高圧水を水平噴出して予備掘削。セメントミルクを20MP。以上の圧力で噴出し土砂と攪拌混合                            | 杭先端で掘削ビットを拡翼し、拡大掘削。セメントミルクを噴出し、土砂と攪拌混合                                                   |                                                                        | 杭先端部で拡大ヘッドを拡翼し、拡大掘削。セメントミルクを噴出し、土砂と攪拌混合                                                                              | 杭先端部で掘削ビットを拡翼し、拡大掘削する。セメントミルクを低圧噴出し、土砂と攪拌混合                                                              |
|         | 排土量       | 少                                                                                                    | 少                                                                                  | 少                                                                                        |                                                                        | 少                                                                                                                    | 少                                                                                                        |
| 設備      | 重機        | 3 点支持式杭打機（全装備重量85～120t）+ 補助クレーン                                                                      |                                                                                    |                                                                                          |                                                                        |                                                                                                                      |                                                                                                          |
|         | 駆動装置      | オーガモータ<br>45～110kW× 1 台                                                                              | オーガモータ<br>45～110kW× 1 台                                                            | オーガモータ<br>45～110kW× 1 台                                                                  | オーガモータ<br>45～110kW× 1 台                                                | オーガモータ<br>45～110kW× 1 台                                                                                              | オーガモータ<br>45～110kW× 1 台                                                                                  |
|         | 根固め機械     | オーガ併用機                                                                                               | 根固め専用機<br>オーガ併用機                                                                   | オーガ併用機                                                                                   |                                                                        | オーガ併用機                                                                                                               | オーガ併用機                                                                                                   |
|         | 圧入力       | 100～200kN<br>（駆動装置重量等）                                                                               | 1,000kN<br>（油圧装置）                                                                  | 1,000kN<br>（油圧装置）                                                                        |                                                                        | 1,000kN<br>（油圧装置）                                                                                                    | 1,000kN<br>（油圧装置）                                                                                        |
|         | スパイラルオーガ径 | オーガシャフト<br>130mmまたは170mm掘削<br>刃の突出長は鋼管杭表面から杭径が800mm未満が9mm、800mm以上が12mm以下                             | スパイラルオーガ径<br>杭内径 - 70mm程度                                                          | スパイラルオーガ径<br>杭内径 - 70mm程度<br>先端ビット径<br>掘削時：D - 50～ - 60mm<br>拡大時：D + 200mm               | スパイラルオーガ径<br>杭内径 - 20mm程度<br>先端ヘッド径<br>掘削時：D - 50mm程度<br>拡大時：D + 200mm | スパイラルオーガ径<br>杭内径 - 70mm程度<br>先端ヘッド径<br>掘削時：D - 70mm～ - 130mm程度<br>拡大時：D + 100～200mm                                  |                                                                                                          |
| 支持層管理方法 |           | 掘進速度を一定とし、支持層付近掘削時のオーガモータの電流値を計測し、その変化や大きさから支持層深度を確認する                                               |                                                                                    |                                                                                          |                                                                        |                                                                                                                      |                                                                                                          |

表—2 中掘杭工法【セメントミルク噴出攪拌方式（コンクリート杭）】

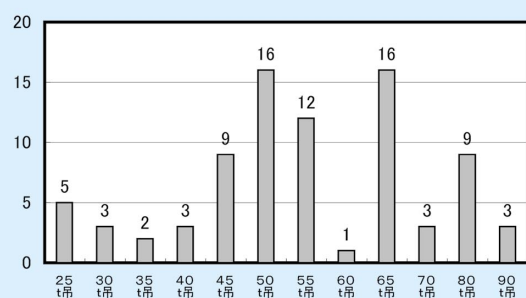
| 工法      | CMJ工法                                                                                | NAKS工法                                                                                               | STJ工法                                                                            | BBB工法                                                                                     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工法の概要   | 杭内径よりも小さいヘッドを取り付けたスパイラルオーガを用いて中掘を行い、杭を沈設した後、先端根固め部にセメントミルクを高圧噴出することにより拡大根固め球根を築造する工法 | 杭内径よりも小さい状態にしたヘッドを取り付けたスパイラルオーガを用いて支持層付近まで中掘沈設し、その後ヘッドを拡大し、支持層中にセメントミルクを注入しながら掘削攪拌混合して拡大根固め球根を築造する工法 | 杭内径よりも小さいヘッドを取り付けたスパイラルオーガを用いて中掘沈設し、同一ロッドビットにて支持層の土砂を高圧セメントミルクで混合、拡大根固め球根を築造する工法 | 杭内径より小さいヘッドを取り付けたスパイラルオーガを用いて中掘を行い、杭を沈設した後、拡大ヘッドを取り付けたオーガを挿入し、セメントミルクを注入して、拡大根固め球根を築造する工法 |
| 施工方法    | 掘削方法                                                                                 | スパイラルオーガ+エア                                                                                          | スパイラルオーガ+エア                                                                      | スパイラルオーガ+エア                                                                               |
|         | 沈設方法                                                                                 | 圧入                                                                                                   | 圧入                                                                               | 圧入                                                                                        |
|         | 杭先端処理方法                                                                              | 高圧水を噴出し、拡大根固め球根部の予備掘削完了後、セメントミルクを高圧噴出して攪拌混合                                                          | 高圧水を噴出し、拡大根固め球根部の予備掘削完了後、セメントミルクを高圧噴出して攪拌混合                                      | 拡大ビットを挿入し、水を噴出して予備掘削完了後、セメントミルクを低圧噴出して攪拌混合                                                |
|         | 排土量                                                                                  | 少                                                                                                    | 少                                                                                | 少                                                                                         |
| 設備      | 重機                                                                                   | 3点支持式杭打機（全装備重量85～120tf）+ 補助クレーン                                                                      |                                                                                  |                                                                                           |
|         | 駆動装置                                                                                 | オーガモータ<br>55～115kW×1台                                                                                | オーガモータ<br>55～115kW×1台                                                            | オーガモータ<br>55～115kW×1台                                                                     |
|         | 根固め機械                                                                                | 根固め専用機（2工程）                                                                                          | オーガ併用機（1工程）                                                                      | オーガ併用機（1工程）                                                                               |
|         | 圧入力                                                                                  | 1,000kN（油圧）                                                                                          | 1,000kN（油圧）                                                                      | 1,000kN（油圧）                                                                               |
|         | スパイラルオーガ径                                                                            | スパイラルオーガ径<br>杭内径 - 40mm程度                                                                            | スパイラルオーガ径<br>杭内径 - 40mm程度                                                        | スパイラルオーガ径<br>杭内径 - 40mm程度                                                                 |
| 支持層管理方法 |                                                                                      | 土質柱状図とオーガ掘削時の電流値との比較および拡大ビットに付着した土砂の確認                                                               |                                                                                  |                                                                                           |

びコンクリート杭の杭径1,000mm未満ではクローラクレーン50～55t吊が主流であるが、杭径が1,000mmを超えるケースでは65～80t吊のクレーンを使用しているのが実態である（図—7）。

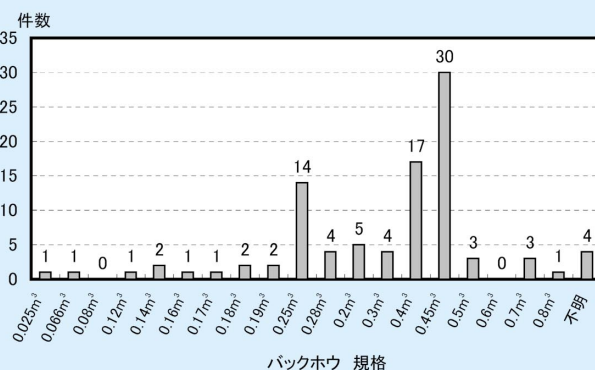
また、掘削土の穴埋作業および簡易な整正を含む処理作業については、バックホウ0.45m<sup>3</sup>の実績が全体の約1/3を占めている（図—8）。

次に、施工時間について調査を行った。まずは掘削時間について、表—3のとおり整理すると、杭径と掘削時間に相関（杭径の大きさにつれて掘削時間が増えるなど）は特に見られなかったが、N値が高くなると掘削時間が増える傾向がうかがえた。

表—4は杭径別にオーガの引抜時間を整理した



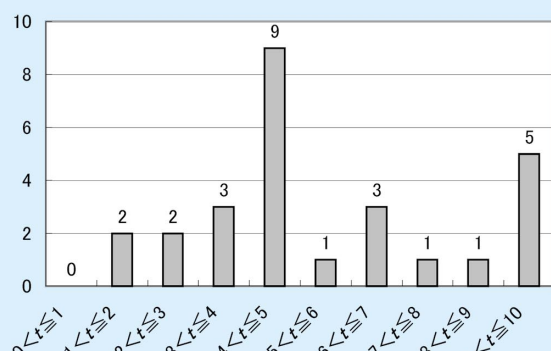
図—7 クローラクレーンの施工実績



図—8 掘削土の処理作業実績

表—3 杭径とN値別平均掘削時間

|       | 掘削時間 (min/m) |             |        |       |
|-------|--------------|-------------|--------|-------|
|       | N値20未満       | 20 ≤ N < 40 | 40 ≤ N | Sump. |
| φ400  | 1.77         | 2.59        | 4.62   | 2.36  |
| φ500  | 3.63         | 3.38        | 6.66   | 3.91  |
| φ600  | 2.05         | 2.43        | 4.05   | 2.30  |
| φ700  | 1.99         | 3.56        | 3.45   | 2.62  |
| φ800  | 1.96         | 3.00        | 2.82   | 2.30  |
| φ1000 | 1.96         | 2.23        | 2.27   | 2.07  |
| φ1200 | 2.23         | 2.90        | 3.19   | 2.58  |
| Sump. | 2.37         | 2.95        | 3.93   | —     |



図—9 中掘機運転日当たり運転時間

ものである。結果を見ると、杭径と引抜時間にはバラツキがあり、相関はほとんど見られなかった。また、55kWと90kWの規格別オーガの引抜時間についても、ほぼ同時間となった。

表—4 杭径別オーガ引抜時間

| 杭径 (mm)           | 引抜時間 (min/m) |
|-------------------|--------------|
| φ400              | 0.58         |
| φ500              | 0.60         |
| φ600              | 0.62         |
| φ700              | 0.64         |
| φ800              | 0.68         |
| φ1000             | 0.69         |
| Sump.             | 0.64         |
| 規格別平均引抜時間 (min/m) |              |
| 55kW              | 0.64         |
| 90kW              | 0.64         |

次に、打撃工法とグラウト注入工法の各作業工程別に施工時間を調査した。杭1本当たりの施工時間は表—5のとおりである（穴埋・整地作業は、次の杭施工中に作業を行うため、時間計上しない）。

表中1～8を通じた杭1本当たりの施工時間の算定は、杭の継数との相関から次の計算式となる（ただし、打撃打止めについては打撃工法の場合のみ加算）。

$$\text{施工時間 (min/本)} = 40 + 11n_w$$

（注） $n_w$ ：杭の継数

表—5 杭1本当たりの施工時間

| 作業内容 |          |       | 打撃工法 | グラウト工法 | 平均   |
|------|----------|-------|------|--------|------|
| 1    | 機械移動据付   | min/本 | 15.8 | 18.2   | 17.0 |
| 2    | 足場整備時間   | min/本 |      |        |      |
| 3    | 杭吊込み・芯出し | min/本 |      |        |      |
| 4    | 杭建込み     | min/本 | 10.7 |        | 10.7 |
| 5    | ヤットコ建込み  | min/本 | 4.4  | 9.2    | 6.8  |
| 6    | 打撃打ち止め   | min/本 | 7.6  | —      | —    |
| 7    | ヤットコ引抜き  | min/本 | 4.5  | 5.7    | 5.1  |
| 8    | 穴埋・整地作業  | min/本 | —    | —      | —    |

表—6 鋼管杭10本、板厚9mm、グラウト方式

| 掘削長 (m)  | 杭径 (mm)        |                |                |                |                |                 |        |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------|
|          | 400以上<br>500未満 | 500以上<br>600未満 | 600以上<br>700未満 | 700以上<br>800未満 | 800以上<br>900未満 | 900以上<br>1000未満 | 1000以上 |
| 16以下     | 1.65           | 1.72           | 1.77           | 1.83           | 1.93           | 2.05            | 2.19   |
| 16超え32以下 | 3.07           | 3.30           | 3.48           | 3.69           | 3.91           | 4.16            | 4.45   |
| 32超え48以下 | 4.49           | 4.89           | 5.19           | 5.55           | 5.90           | 6.27            | 6.71   |
| 48超え64以下 | 5.91           | 6.48           | 6.90           | 7.41           | 7.88           | 8.37            | 8.97   |

表—7 鋼管杭10本，板厚 9 mm，打撃方式

| 掘削長 (m)  | 杭径 (mm)        |                |                |                |                |                 |        |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------|
|          | 400以上<br>500未満 | 500以上<br>600未満 | 600以上<br>700未満 | 700以上<br>800未満 | 800以上<br>900未満 | 900以上<br>1000未満 | 1000以上 |
| 16以下     | 1.72           | 1.76           | 1.78           | 1.80           | 1.83           | 1.85            | 1.87   |
| 16超え32以下 | 3.14           | 3.35           | 3.49           | 3.66           | 3.81           | 3.95            | 4.13   |
| 32超え48以下 | 4.56           | 4.93           | 5.20           | 5.52           | 5.79           | 6.06            | 6.38   |
| 48超え64以下 | 5.98           | 6.52           | 6.91           | 7.38           | 7.78           | 8.17            | 8.64   |

表—8 既製コンクリート杭10本，グラウト方式

| 掘削長 (m)  | 杭径 (mm)        |                |                |                |                |                 |        |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------|
|          | 400以上<br>500未満 | 500以上<br>600未満 | 600以上<br>700未満 | 700以上<br>800未満 | 800以上<br>900未満 | 900以上<br>1000未満 | 1000以上 |
| 16以下     | 1.63           | 1.73           | 1.78           | 1.84           | 1.93           | 2.05            | 2.19   |
| 16超え32以下 | 3.22           | 3.45           | 3.62           | 3.81           | 4.00           | 4.24            | 4.56   |
| 32超え48以下 | 4.80           | 5.17           | 5.47           | 5.78           | 6.06           | 6.43            | 6.92   |
| 48超え64以下 | 6.38           | 6.89           | 7.31           | 7.75           | 8.13           | 8.62            | 9.29   |

表—9 既製コンクリート杭10本，打撃方式

| 掘削長 (m)  | 杭径 (mm)        |                |                |                |                |                 |        |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------|
|          | 400以上<br>500未満 | 500以上<br>600未満 | 600以上<br>700未満 | 700以上<br>800未満 | 800以上<br>900未満 | 900以上<br>1000未満 | 1000以上 |
| 16以下     | 1.72           | 1.76           | 1.78           | 1.80           | 1.83           | 1.85            | 1.87   |
| 16超え32以下 | 3.30           | 3.48           | 3.63           | 3.77           | 3.89           | 4.03            | 4.23   |
| 32超え48以下 | 4.88           | 5.20           | 5.47           | 5.74           | 5.95           | 6.22            | 6.60   |
| 48超え64以下 | 6.46           | 6.92           | 7.31           | 7.71           | 8.02           | 8.41            | 8.97   |

中掘機のアースオーガ運転日当たりの運転時間は、平均5.4hとなり（図—9），前回の調査結果よりも22%の減少が見られた。

以上により，表—6～9にN値20未満の場合の鋼管杭，既製コンクリート杭10本当たり施工日数をまとめる。

#### 4. 技術動向

平成10年度に行った前回の調査と今回の調査結果を比較すると，既製杭には鋼管とコンクリート杭の混合杭であるSC+PHC杭の施工実績が増えていることが分かった。また，杭の建込みや引抜きに用いるクローラークレーンは排出ガス未対策のものから対策型が主流となっている。

今回の調査によってアースオーガの中掘機の日当たり運転時間が減少していることが分かったが，背景としては前回の調査・改正後の平成12年度には建設リサイクル法が制定され，現場におけ

る土砂（汚泥）の管理が厳しくなったために排土を区分（廃棄物カリサイクルか）する作業が増えたことが原因として考えられる。

#### 5. おわりに

今回の調査結果では，従前の基準と比較して施工杭径の大口径化とそれに伴うクレーンの大型化が見られた。

今後も構造物の大型化が進み，施工杭径についてはさらなる拡大傾向が予想される。

また，杭種，施工方法別の施工日数についても打撃方式とグラウト注入方式の工法分けによらず，鋼管杭，既製コンクリート杭でともに約1.1～1.2倍の施工日数増が見られた。

今後も引き続き，継続的な調査を実施することで，常に変動し続ける施工の実態を迅速かつ的確に把握していきたい。