

H 型 PC 杭とアンダーパス工法(SUT 工法)の開発

土木本部	土木統括部基礎部	福島 敦
土木本部	土木統括部基礎部	別所辰保
技術本部	土木技術第二部	荒井信章
技術本部	土木技術第二部	中井将博

概要: H 型 PC 杭はアンダーパス工法(SUT 工法)に用いる擁壁工として開発され, その用途はアンダーパスのみならず, 擁壁工のほか, 地下駐車場, 調整池等に及ぶ。開発に当たり, 過去に 3 回の試験施工と, 2 度の公開見学会(関東, 関西で実施), 水平載荷試験, 継杭試験, 止水性試験, 底版との接合構造確認試験等が行われてきた。本稿はこれまでの 2 年余りに及ぶ H 型 PC 杭の開発の経緯を報告するものである。

Key Words: 工期短縮, プレキャスト, 止水性, 都市内施工

1. はじめに

少子高齢化社会の到来に備えた施策の一つとして, 都市再生への取り組みが進行している。その一環として都市内での交通渋滞を解消するための都市内立体交差化事業が推進され, 具体的にはオーバースパスおよびアンダーパスに関する新規開発が実施されている。

本稿は, 断面が H 型のプレテンション方式プレストレストコンクリート杭(以下 H 型 PC 杭と称す)と, それを側壁に使用した新しいアンダーパス工法(以下 SUT 工法<Speedy Underpass Traffic method>と称する)の技術開発について述べるものである。

2. 概要

H 型 PC 杭は全国的なネットワークを持つ JIS 認定工場で製造し, 二軸の三点式杭打ち機を使用して連続中掘り圧入することでプレキャスト連続地中壁(以下 PCa 連壁と称す)を構築する。製品としては下記の特長を有する。

(1) 高強度・高耐久性

設計基準強度は 70N/mm^2 を標準とし, 部分的に超高強度コンクリートを使用することができる。

(2) 施工誤差を吸収する目地方式

相互の H 型 PC 杭の目地部突起が重なり合うスライド方式であり, 杭間に隙間が生じない。

(3) 高い止水性

H 型 PC 杭間(以下間詰め部と称す)にコンクリートを打設することで高い止水性が確保できる。

図-1 に H 型 PC 杭の形状および全景を示す。

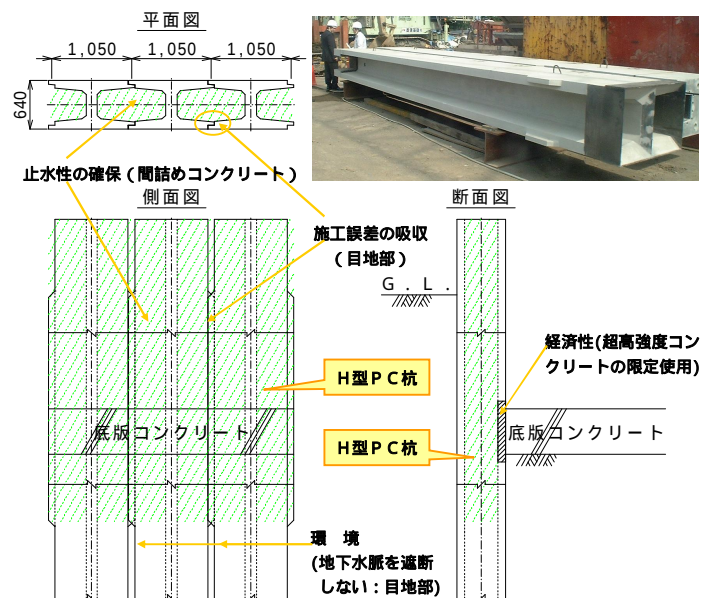


図-1 H型PC杭の形状および全景



福島 敦



別所辰保



荒井信章



中井将博

施工においては下記の特長を有する。

(4) 低騷音・低振動

都市内での施工に最適であり、近接工事にも有効である。

(5) 工期短縮・コスト縮減

本設工である PCa 連壁が仮設土留め工を兼用するため、施工ヤードの縮小・工期の短縮が可能であり、工費を削減できる。

写真-1 に H 型 PC 杭の施工状況を示す。

SUT 工法は急速施工を旨とし、側壁に使用する H 型 PC 杭の特長を兼ね備えるものである。図-2 に SUT 工法によるアンダーパスの概念図を示す。



写真-1 試験施工状況

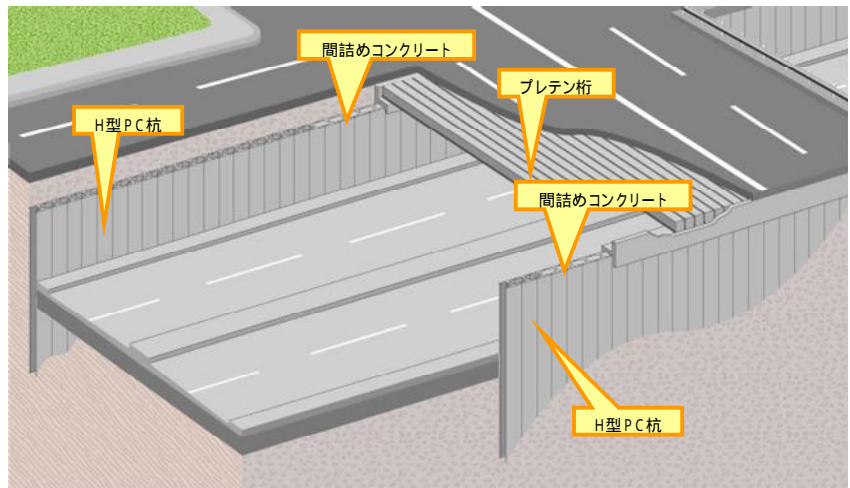


図-2 H型PC杭を用いたアンダーパス工法(SUT工法)概要図

3. 開発の経緯

開発の開始にあたっては、従来工法である場所打ち U 型擁壁との工期・工費の比較によるフィージビリティスタディ(以下 FS と称す)を行った。また、試験により上記特長の確認および H 型 PC 杭と底版コンクリートとの結合構造の検証を行った。表-1 に比較表を示す。

表-1 従来工法との比較

(幅員 20m, 延長 10m 当たり)

項 目	H 型 PC 杭を用いた擁壁構造	場所打ち U 型擁壁による従来工法
概要図	概要図は、H型PC杭を用いた擁壁の断面を示しています。主要な寸法として、杭の高さが9100mm、総幅が8900mmと記載されています。また、C-250の横梁や、H-640-B1の杭本体、およびH-350@500の鉄筋配置も明示されています。	概要図は、従来の場所打ちU型擁壁の断面を示しています。主要な寸法として、全幅が24300mm、内部幅が18900mm、高さが9100mmと記載されています。また、H-350、H-400、およびH-350@5000の鉄筋配置も明示されています。
施工方法	・工場製作の H 型 PC 杭を現場に搬入し、2 軸オーガーにより中掘り圧入。 ・側壁は H 型 PC 杭を本体利用し、底板は場所打ちコンクリート	・従来工法 ・土留め、掘削、鉄筋、型枠、コンクリート打設、養生により構築する。
工 期	0.71	1.00
直接工事費	1.16	1.00
直接工事費 + 経済損失	0.82	1.00
評 価	工費は 2 割増だが、工期は 2 割短縮。 外部コストを考慮すると経済的である。	工費は経済的であるが工期が長いため、 外部コストを考慮すると不経済となる。

上記経済比較には、渋滞による経済損失、用地買収費を含む

図-3 に開発フローを示す。なお、4. 試験結果に各項目の実施内容を報告する。

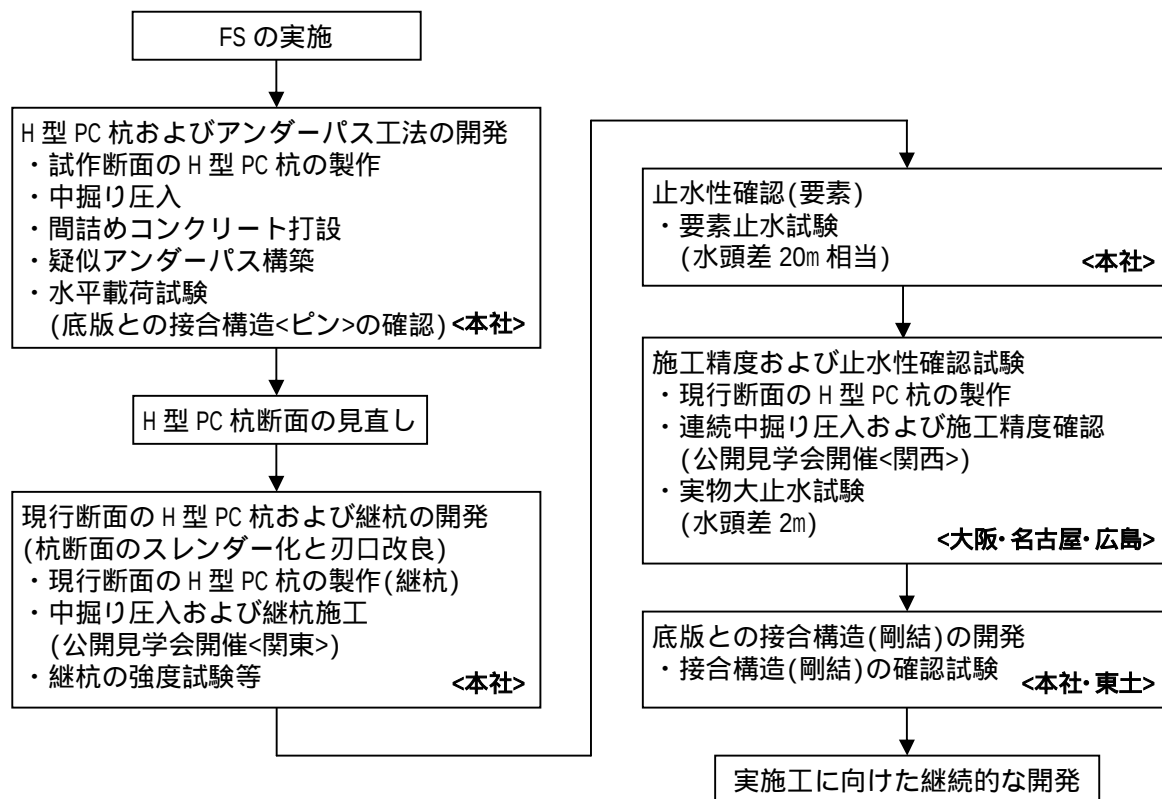


図-3 開発フロー

4. 試験結果

4-1. H型PC杭およびアンダーパス工法(SUT工法)の開発¹⁾

(1) 試験の目的

H型PC杭の施工法を確立することと、水平載荷試験により設計手法の妥当性を確認することを目的とした。

(2) 試作断面のH型PC杭の製作

表-2 に試作断面のH型PC杭の製作数量を示す。当時の断面はオーガスクリーによる影響が未知であり、ウェブ厚、フランジ厚が現行断面より大きい。また、連続して圧入する際に既設の杭に新設の杭が強制的に沿うよう、杭先端部にテーパをつけた杭も製作した。写真-2、3、図-4 に形状を示す。

表-2 試作断面H型PC杭の製作数量

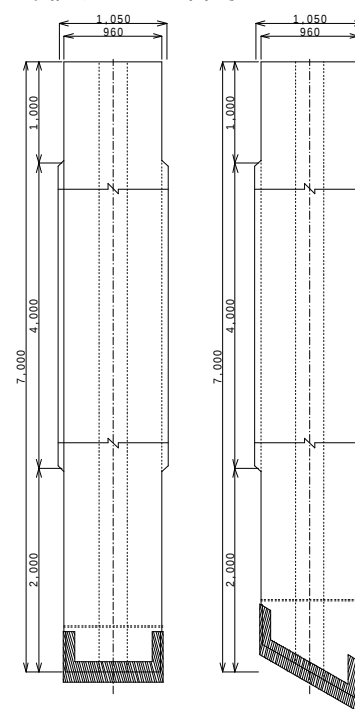
種 類		製作数量
テーパ無し	L=7m	3本
テーパ有り	L=7m	2本
	L=15m	1本
合 計		6本



写真-2 試作断面のH型PC杭



写真-3 刃口(テーパ有り)



テーパ無し テーパ有り
図-4 試作断面H型PC杭

(3) 試験施工

試験施工は H 型 PC 杭の圧入から疑似アンダーパスの構築(図-5, 写真-13)まで行った。また, 三点式杭打ち機に取り付ける専用中掘り圧入装置は自社製作した。

1) 導柁工

導棒工は通常の導棒(一段導棒)と二段導棒の 2 種類とした。二段導棒は地下に掘り込む方式としたので、施工に時間を要した(写真-4.5)。

2) 中掘り圧入

写真-6.7 に中掘り圧入の状況を示す。

3) 中掘り圧入速度の確認

試験施工現場の土質は、地表から 3m は関東ローム層、3~12m は一部 $N>50$ である砂とシルトの互層、以深は $N>50$ の砂層である。掘削速度は概ね 3 分/m 程度であった。

4) 施工精度の確認

疑似アンダーパスの構築終了後に施工精度を測定し、概ね良好な結果が得られた(表-3)。二段導棒で施工した方が施工精度が良い傾向が見られた。また、テーパ有りの方が鉛直精度が悪く、また中掘り圧入時に不具合が生じたので、以降はテーパ無しを標準とした。

表-3 施工精度

項 目	実測値	一般的な管理値
鉛直精度	1/150 以上	1/100 以上
打止め高さ	40mm 以内	50mm 以内
目地の開き	0 ~ 20mm	30mm 以内



写真-4 通常の導枠



写真-5 二段導柁



写真-6.7 中掘り圧入状況

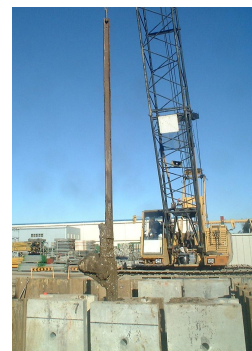


写真-8.9 間詰め部掘削状況

5) 排土状況および杭体の損傷有無の確認

閉塞することなく掘削した。また、スクリーによる杭体の損傷は見られなかった。(写真-10)

6) 間詰部掘削施工性の確認および間詰めコンクリート施工性および充填性の確認

孔内を掘削清掃しても粘性土が残留し、間詰めコンクリートと H 型 PC 杭の一体化に影響をおよぼすことが懸念されたが、間詰部は掘削とハイウォッシャーによる清掃により土砂を排除することができた。コンクリートはホッパー打設とし、トレミーを用いて打設した(写真-8～11)。



写真-10,11 間詰めコンクリート打設前後の状況

7)掘削後の杭表面状況の確認

ハイウォッシャーによる洗浄で容易に汚れを落とすことができる(写真-12).

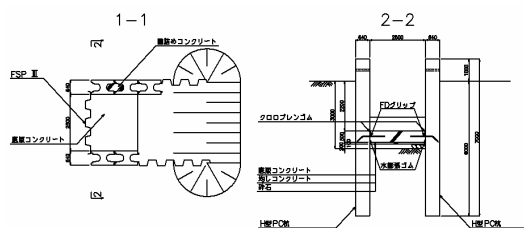


図-5 疑似アンダーパス



写真-12 壁面清掃状況

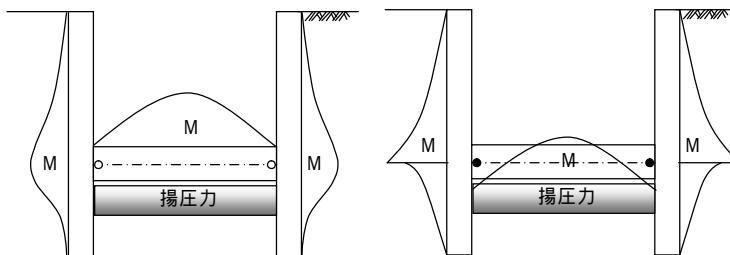


写真-13 試験施工完了
(疑似アンダーパス構築)

(4) 水平載荷試験および底版との接合構造(ピン)の開発^{5) 6)}

1) 目的

H 型 PC 杭を用いた擁壁構造の断面力を計算すると、曲げモーメントは図-6 に示すように底版との接合構造がピン結合の場合は底版が最大となり、剛結合の場合は H 型 PC 杭が最大となる。底版の断面は概ね浮力で決定し、強度には余裕があることが多いので、曲げモーメントが底版で最大となり H 型 PC 杭の負担が小さくなるピン結合を採用することは合理的であるが、類似構造物での施工事例がほとんど無い。そこで、H 型 PC 杭と底版との接合構造をピン結合とした場合の設計手法の妥当性を確認することを目的として、水平載荷試験を行った。本試験では、杭と底版との接合部の評価および水平方向地盤反力係数の評価を行った。



ピン結合
剛結合
図-6 H型PC杭と底版との接合方法イメージ

2) 試験方法

杭の上部に設置されたゲビンデ鋼棒を緊張することにより、土圧に相当する水平力を載荷し、杭体の変位、傾斜角、ひずみの測定を行った。載荷状況を図-7 に示す。図に示すように 列と 列では背面埋戻し部形状が異なるが、これは中掘り圧入を行った際に導棒の設置方法を変えたためである。

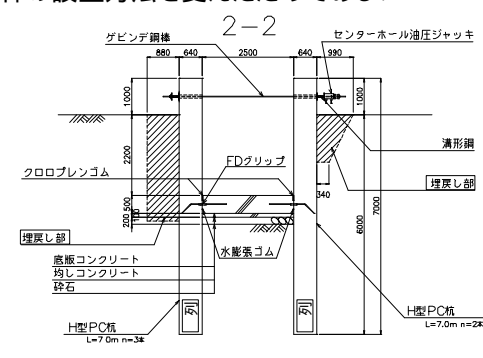
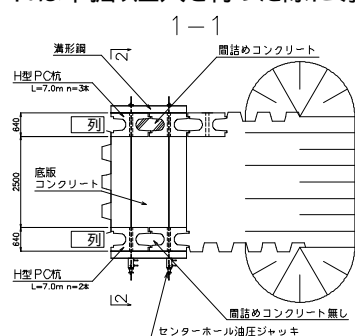


図-7 水平載荷試験状況

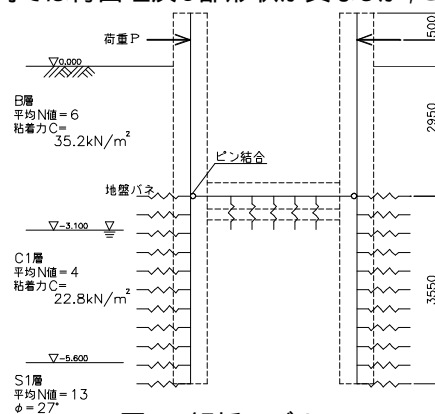


図-8 解析モデル

解析モデルを図-8 に示す。杭と底版はピン結合とし、底版を境として、地上部は片持ち梁、地中部は弾性支承上の梁部材として設定した。なお、水平方向地盤反力係数は道示 IV に準じて算出した。

3) 試験結果

i) 杭と底版との接合部の評価

今回杭と底版の接合部は、FD グリップで連結された鉄筋を介して接合されるピン結合である。図-9、10 に底版表面のコンクリートひずみと荷重の関係、接合部をピン結合および剛結合とした解析結果を示す。実測値はピン結合の計算値に近いことから、底版と H 型 PC 杭の接合は、ピン結合としての挙動に近くなっていることがわかる。

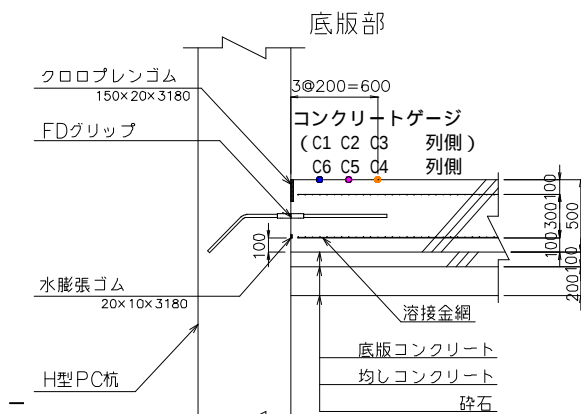


図-9 ひずみゲージ取り付け位置

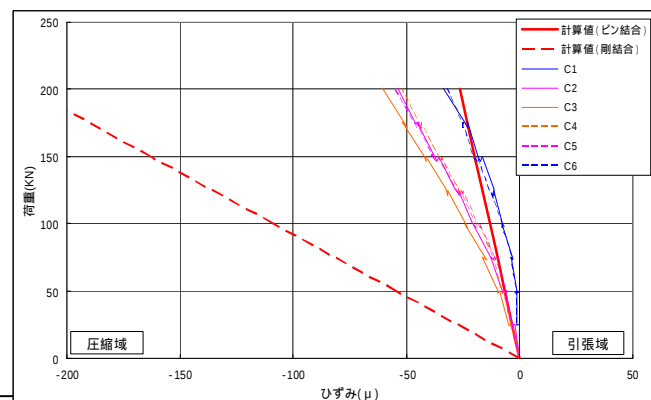


図-10 荷重 - 底版ひずみ図

ii) 水平方向地盤反力係数 k_H の評価

図-11, 12 に高さ - 変位図を示す。列(図-7 参照)の実測値におけるばらつきが大きい。これは背面埋戻し部形状が異なるので地盤と杭との相関が異なることにより差が出ていると考えられる。また、全体的に変位の実測値が計算値より小さいことより、実際の水平方向地盤反力係数 k_H が計算値より大きいことが推察される。本試験で得られた結果より k_H を推定してみると、列は係数を10倍した場合の計算値と、列は係数を2倍した場合の計算値と実測値に近い値を示すことがわかる。

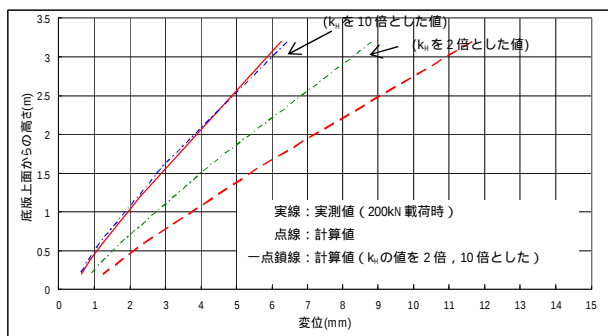


図-11 高さ-変位(列)

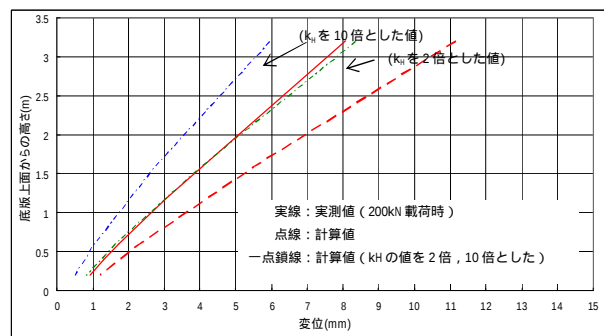


図-12 高さ-変位(列)

4) まとめ

- ・底版とH型PC杭の接合は、ピン結合としての挙動に近い。
- ・水平方向地盤反力係数 k_H はバラツキが大きい、計算値より大きい。

4-2. 現行断面のH型PC杭および継杭の開発(杭断面のスレンダー化と刃口改良)²⁾

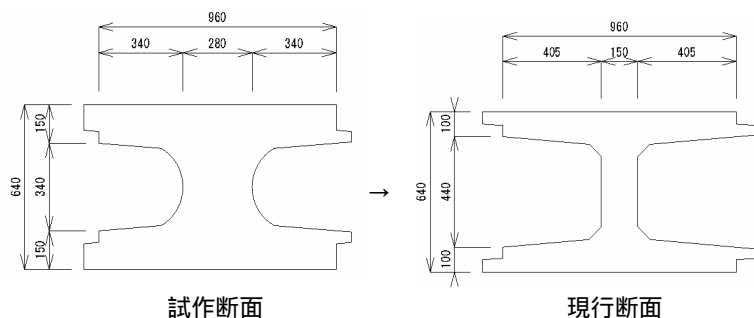
4-1.に示すように、試作断面でH型PC杭の開発を行い、その施工性は試験施工で確認したが、その開発終了後にFSを行ったところ、コストダウンの必要性が見いだされ、従来工法に対して優位性を持たせる手段の一つとして杭部材断面をスレンダー化して材料コストを低減することとした。本試験ではスレンダー化した現行断面で、新たに開発した継杭構造として杭を製作して試験施工を行い、施工性を確認するとともに、継手の強度確認を行った。継杭は継手部において端部までプレストレスが導入される構造とし、継手方法は溶接とした。

(1) 試験の目的

スレンダー化した現行断面で、継杭構造として杭を製作して試験施工を行い、その施工性を確認するとともに、継手の強度確認を行うことを目的とした。

(2) 現行断面のH型PC杭の製作(継杭)

試作断面の杭を試験施工した際に、4-1.(3) 4)で述べたように杭内部でのオーガスクリューによる大きな損傷は見られなかった。そこで、部材幅、高さを確保のうえフランジ幅、ウェブ幅を極力薄くした。図-13 のとおり改めることで、約25%の軽量化を行い、材料のコストダウンを図った。



試作断面

現行断面

図-13 現行断面の継杭

継手 くさび形
写真-14 現行断面の継杭



写真-15 二段導棒

杭は 16m(8m×2 本)を 2 組製作した。また、刃口の形状は 4-1.(3) 4)で述べたようにテーパ無しとし、また土砂の流入がスムーズになるよう内部をくさび形に改めた(写真-14)。

(3) 試験施工

1) 導棒工

導棒工は地上に突出させる方式の二段導棒とした。4-1.(3) 1)で実施した地下に掘り込む方式と比較して、導棒の施工時間が短縮した(写真-15)。

2) 中掘り圧入

4-1.(3)と同じ場所・施工機械で施工した。中掘り圧入状況を写真-16 に示す。また、模擬レキ地盤における排土状況を写真-17,18 に示す。圧入した杭を引き抜き、削孔部に $\phi 200\text{mm}$ のグリ石を混入した土砂を投入し埋め戻すことで模擬レキ地盤を造成し、杭を再圧入してレキの排土状況を確認した。11m 付近まで打ち込んだときに、レキの排土を確認した。



写真-16 中掘り圧入状況

写真-17,18 $\phi 200\text{mm}$ レキの排土状況

3) 継杭の施工

継手の施工状況を写真-19 に示す。溶接工 1 人で作業を行ったため、作業時間は 2 時間を超えたが、増員および作業に習熟することで所要時間は大幅に減少することが見込まれる。

(4) 継手部の強度確認試験

1) 目的

H 型 PC 杭の本体強度と同等以上となるよう計画した継手構造のひび割れ性状および変位を確認することを目的とした。

2) 試験方法

溶接継手は供試体の継手部分に鉄板を取付け、全周現場溶接により接合する(図-14)。載荷は二点集中載荷とする。載荷状況図を図-15 および写真-20 に示す。



写真-19 継手溶接施工状況

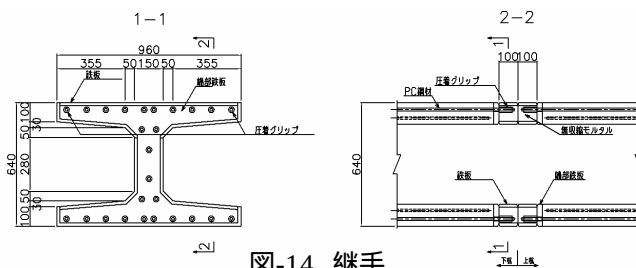


図-14 継手



写真-20 載荷状況

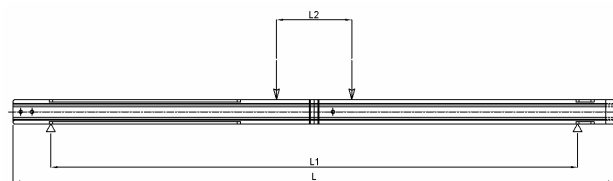


図-15 載荷状況

3) 試験結果

試験結果を表-4 に示す。ひび割れモーメントの実測値が計算値を上回り、また継手の強度が H 型 PC 杭本体のひび割れモーメント以上で、本体強度と同等以上となることを確認した。

写真-21 に載荷試験におけるひび割れ発生状況を示す。

表-4 試験結果

ひび割れモーメント Mcr(kN・m)			計算 Mcr 時の たわみ量(mm)		
計算値	実測値	実測値 計算値	計算値	実測値	実測値 計算値
639	688	1.08	21.3	18.9	0.89



写真-21 試験結果(ひび割れ発生状況)

4-3. 止水性確認(要素)²⁾

(1) 目的

H 型 PC 杭間詰めコンクリート部の止水性を要素試験により確認した。適用壁高に近い、水頭差 10m(0.1MPa)で試験を行った。

(2) 止水性確認要素試験

1) 試験方法

供試体は、コンクリート二次製品である U 型側溝に間詰めコンクリートを打設したものとする。供試体両端部・上部目地からの漏水を考慮してエポキシ樹脂パテ工法により被覆養生を行う。水頭差 10m(0.1 MPa)で注水・加圧し、下部目地部からの漏水の有無を確認する。試験期間は 30 日間とする(図-16、写真-22～24)。

2) 試験結果

- ・供試体下側からの漏水が確認できなかった。
- ・水量減少は、コンクリートの吸水、塩ビ管継手部の逸水、蒸散等によるものとも考えられる。(減少水量は 3.5/)

(3) 圧気試験

水頭差 10m 相当では供試体下部目地部から漏水が確認できなかったため、水頭差が倍に当たる 20m 相当(0.2 MPa)になるよう圧気をかけ、漏水の有無を確認することとした。

1) 試験方法

供試体上部孔に水封入型圧気装置を取付け、窒素ガスにて 0.2 MPa の圧力を掛け、供試体下部の継手部からの漏水の有無を確認する。

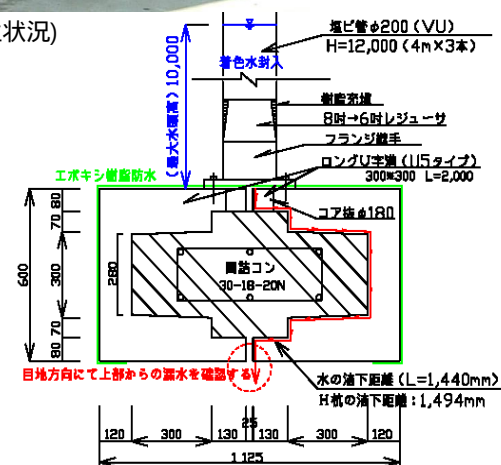


図-16 止水性確認要素試験概要



写真-22 試験体 写真-23 水柱上端(赤インク着色) 写真-24 試験体下面(目地部)

試験は、圧気に伴う漏水の有無、圧力計の観察・管理、および圧気終了後に供試体を4分割し、間詰め部への着色水の浸透状況についても確認する。

試験期間は5日間とする(図-17、写真-25、26)。

2) 試験結果

- ・供試体下側から漏水は確認されなかった。
- ・供試体切断面の状況を確認したが、間詰めコンクリートとH型PC杭の界面には着色水の浸透は確認されなかった。

(4) まとめ

止水性確認要素試験では、自然水頭差10mをはじめとし、倍の20m相当の水頭差でも漏水が見られなかった。十分な止水性を確認した。



写真-25 供試体

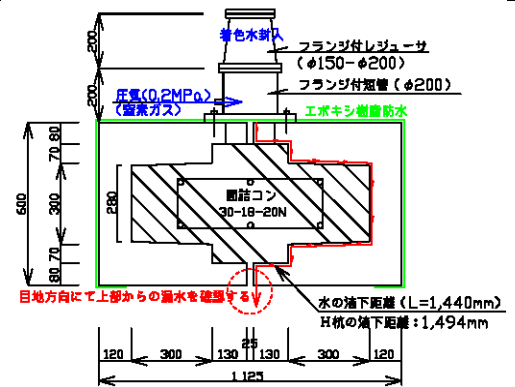


図-17 圧気試験概要



写真-26 供試体切断(浸透状況確認)

4-4. 施工精度および止水性確認試験⁴⁾

(1) 目的

H型PC杭を7本連続して打設したときの施工精度を確認すること(これまでは最大3本)および実物大止水性試験を実施することを目的とした。

(2) 現行断面のH型PC杭の製作

L=8mのH型PC杭を8本製作し、刃口は1本はフラット形、他はクサビ形とした。また、杭頭部には欠け防止鋼板を取り付けた(写真-27、28、30)。



写真-27 H型PC杭 L=8m×8本



クサビ形
写真-28 H型PC杭刃口形状

(3) 試験施工

1) 導枠工

導枠工は通常の導枠(一段導枠)とした(写真-29)。

2) 連続中掘り圧入

試験施工現場の土質は、N値10～20の粘土質砂レキである。杭頭部欠け防止鋼板を埋め込んだ杭で中掘り圧入を行ったところ、施工中に生ずる杭頭部でのコンクリートのかけがほとんど無く、その効果が確認された(写真-30、31)。



写真-29 導枠



写真-30 杭頭部欠け防止鋼板



写真-31 連続中掘り圧入状況

3) 施工精度の確認

中掘り圧入終了後に施工精度を測定し、概ね良好な結果が得られた(表-5)。二段導棒を併用した4-1.の試験施工と比べて施工精度は向上している。

表-5 施工精度

項 目	実測値	一般的な管理値
鉛直精度	1/500 以上	1/100 以上
打止め高さ	15mm 以内	50mm 以内
通り芯	5mm 以内	5mm 以内
目地の開き	20～45mm	50mm 以内

(4) 実物大止水性試験

深さ 2m の水槽を設置して漏水が見られないか半年に亘り継続的に確認したが、水槽の水と見られる漏水は見られなかった。4-3.でも止水性は良好であり、現時点で間詰めコンクリートの止水性は良好である。



写真-32 間詰めコンクリート打設

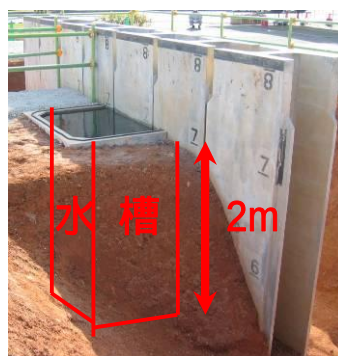


写真-33 水槽設置



写真-34 試験施工完了

4-5. 底版との接合構造(剛結)の開発³⁾

H 型 PC 杭と底版との接合構造を剛結合として開発するにあたり、地下構造物の普遍的な問題である止水性の向上をそのコンセプトとした(図-18)。

接合構造(剛結)部に PC 鋼棒によりプレストレスを与えて PRC 構造とすることで、止水性の向上と RC 構造にはない地震時の変形に対する復元性を付加することとした(図-19)。また、底版の曲げモーメントを H 型 PC 杭に伝達する埋込金具を考案し、導入した(図-20)。

なお、耐震性能はレベル 2 地震動時に発生する塑性ヒンジを修復が容易な底版コンクリートにする設計としているので、接合構造はレベル 1 地震動に対応するものとする。

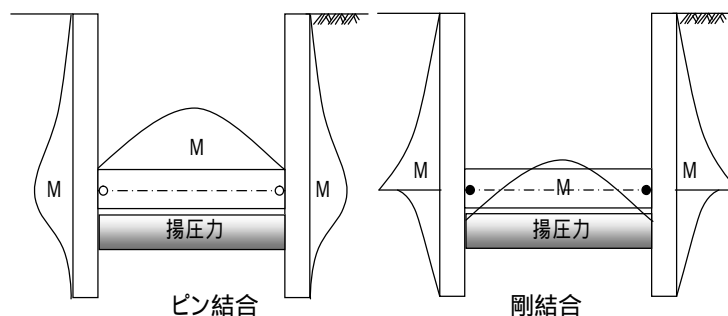


図-18 H型PC杭と底版との接合方法イメージ

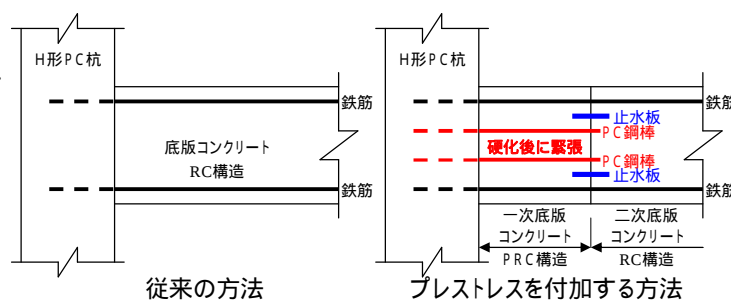


図-19 剛結合イメージ

(1) 目的

H 型 PC 杭と底版との接合構造(剛結)を確認した。

(2) 試験方法

実物大の供試体を製作し、H 型 PC 杭に载荷し、ひずみ、変位、ひび割れを測定した(写真-35)。

(3) 試験の結果

1) 杭と底版との接合部の評価

H 型 PC 杭と底版コンクリートの接合部曲げモーメントが地震時(レベル 1)相当($M=1080\text{kN}\cdot\text{m}$)となるよう载荷したときの、底版コンクリートの応力度を表-6 に示す。H 型 PC 杭に生じた曲げモーメントが底版に伝達することから、その構造を確認した。

表-6 地震時(レベル1)相当载荷時($M=1080\text{kN}\cdot\text{m}$)の
底版の応力度($\sigma_c, \sigma_s < \text{N/mm}^2$)

項目	σ_c	σ_s
実測値	13.3	-41
計算値	8.9	-156

2) 復元性の評価

接合部に設けた π ゲージの測定値から、除荷時に接合部がプレストレスによりほぼ完全に閉じ、高い復元性を有することがわかる(図-21)。

3) 止水性の評価

接合部の応力度分布を図-22 に示す。圧縮域の幅が計算値より広く、また、2)に示すように復元性も高く、止水性が高いものと考えられる。

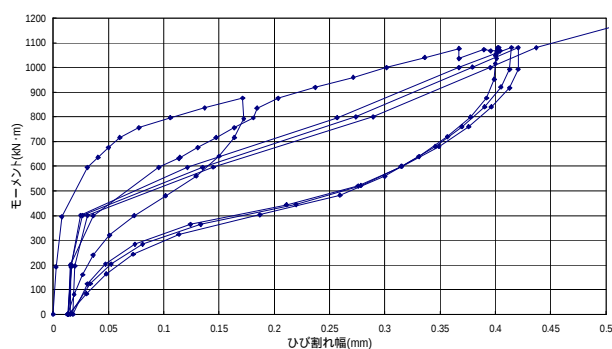
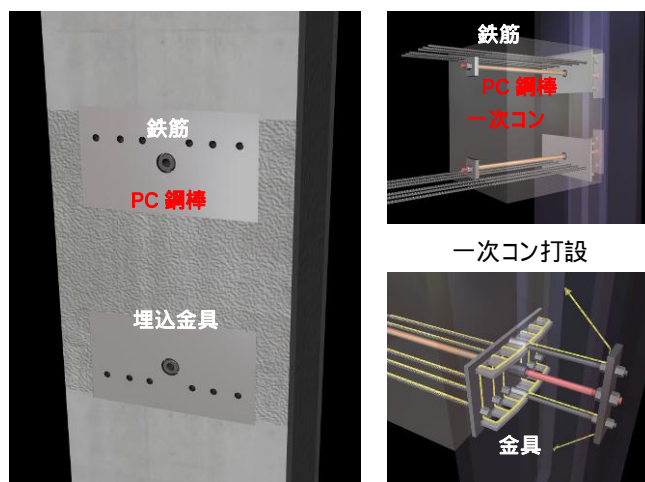


図-21 接合部ひび割れ幅



H型PC杭への埋込金具取付状況 曲げと圧縮力の伝達状況
図-20 埋込金具

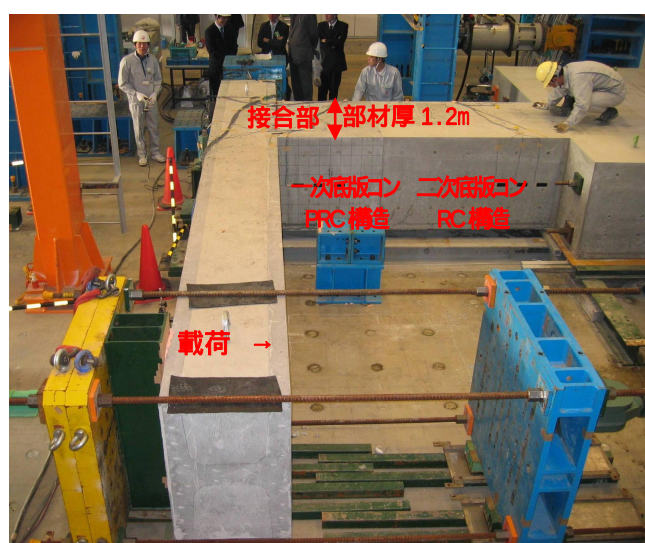


写真-35 試験状況

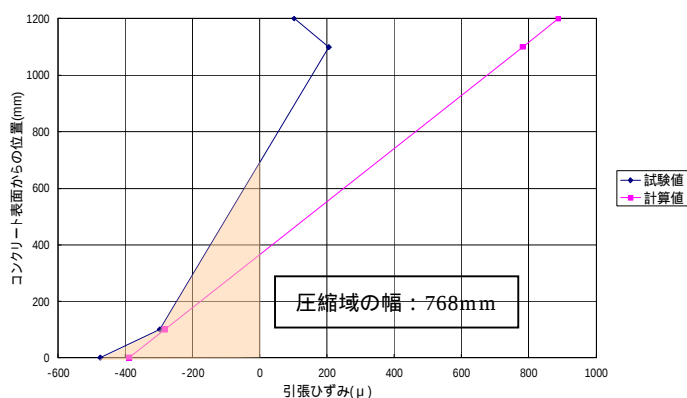


図-22 接合部(底版一次コンクリート)の応力度分布

(4) まとめ

接合部は許容応力度法の適用が可能である。また、接合部が高い復元性を有すること、接合部における圧縮域の幅が広いことより、接合部の止水性が高いものといえる。

4-6. 実施工に向けた継続的な開発

- ・継杭の継手性能の向上(終局モーメント)

4-2.(4)の試験では、ひび割れモーメントに対して継手の強度が H 型 PC 杭の本体強度と同等以上であることを確認した。今後、終局モーメントに対しても対応するよう継手の改良が必要である。

- ・間詰めコンクリートを本体構造物の一部と評価する手法の確立

間詰めコンクリートは現在は止水性のみで、構造として期待していない。構造としての評価は可能と考えられるので、計算手法の確立が必要である。

- ・アンダーパス工法で頂版を PC 桁に替わり場所打ちコンクリートとしたときの標準断面の開発

土被りが大きいとき、頂版の桁高は大きくなり、PC 桁ではコストが高くなる。対処として、頂版を場所打ちコンクリートとした断面をも施工を含めて標準化する必要がある。

- ・推進工法による非開削路下(トンネル)構造の開発

H 型 PC 杭を水平方向に推進し、馬蹄形、円形、箱形などに配置する。その内部を掘削し、非開削で路下(トンネル)構造を構築する工法の開発が、アンダーパス工法の交差点部施工法のひとつとして必要である。

- ・三点式杭打ち機以外の施工機械の開発

大型な三点式杭打ち機と比較して、施工性の良い施工機械による施工法を確立し、施工条件の厳しい現場に適應させる。

5. まとめ

以上示したように、H 型 PC 杭は杭部材の開発、継杭の開発、止水性の確認(間詰め部および底版剛結部)、底版との結合(ピンおよび剛結)、施工性の確認を済ませている。今後の展開に当たっては、4-6.に挙げた課題の解決のほか、実施工をフィードバックし、設計・施工・積算各マニュアル類を充実させる必要がある。

また、H 型 PC 杭として NETIS 登録が完了しており(KT-040028)、ほか茨城県・千葉県・東京都の新情報システムにも登録申請中である。また、準備が整い次第、建設技術審査証明を取得する予定である。

謝辞

試験施工に当たり、ご指導を頂いた八戸工業大学異分野融合科学研究所教授塩井幸武先生に深謝の意を表します。また、多大なご協力を頂いた(株)ケーエムエフ様、菱建基礎(株)様の関係各位、社内ではありますが、同じく多大なご協力を頂いた茨城・滋賀・兵庫工場、技術研究所、ほか関連本支店の関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木本部:平成 15 年度 H 型 PC 杭の施工実証試験および水平載荷試験報告書, 2004.3
- 2) 土木本部:平成 16 年度 H 型 PC 杭を用いたアンダーパス工法開発報告書, 2004.9
- 3) 技術本部・東京土木支店:H 型 PC 杭と底版との接合構造(剛結)確認試験 試験結果報告書, 2005.3
- 4) 大阪支店・名古屋支店・広島支店:H 型 PC 杭施工確認試験報告書, 2005.3
- 5) 別所辰保・荒井信章・福島敦・中井将博:H 型 PC 杭を用いた水平載荷試験, 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集, 3-358, pp.715-716, 2004.9
- 6) 荒井信章・別所辰保・福島敦・中井将博:H 型 PC 杭を用いたアンダーパス工法の基礎試験, プレストレストコンクリート技術協会第 13 回シンポジウム論文集, pp.521-524, 2004.10