

H型PC杭を用いたアンダーパス工法の基礎実験

(株)ピーエス三菱 正会員 ○荒井 信章
 (株)ピーエス三菱 正会員 別所 辰保
 (株)ピーエス三菱 正会員 福島 敦
 (株)ピーエス三菱 正会員 工修 中井 将博

1. はじめに

現在、少子高齢化社会に向けて都市内の生活環境を改善し、快適な居住空間の創出が行われている。その一環として、都市内での交通渋滞を解消する施策の一つとして都市内立体交差事業が挙げられ、オーバーパスおよびアンダーパス化の新規開発が世界のニーズに対応すべく検討されている。交差点部の立体交差化工事における最優先条件としては、人・物の移動・運搬にできるだけ負荷をかけずに、いかに工期を短縮するかである。このニーズに対応する工法の一つとして部材のプレキャスト化、本体を施工時土留壁として利用することによる仮設工の低減を検討している。

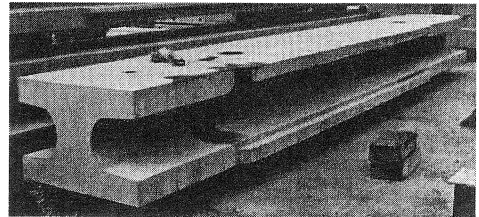


写真-1 H型PC杭

本稿は、現在開発中のH型PC杭(写真-1)を用いたアンダーパス工法の開発を目的とし、構造形式を確認するために行った基礎実験について報告するものである。

2. 実験の概要

本実験は、H型PC杭の構造形式を確認するために実物大の模型を用いて水平載荷試験を行い、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検証した。

2. 1 H型PC杭の諸元

図-1にH型PC杭の断面寸法を、表-1に仕様を示す。H型PC杭はプレテンション方式のモーメント杭で、フランジ面を壁体として利用する。U型擁壁のような片持ち梁で底版接合部に大きなモーメントが作用する構造物には経済的となると考えている。

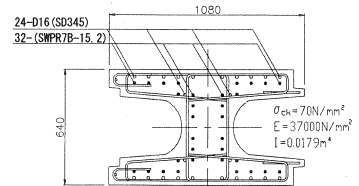


図-1 断面形状図

表-1 H型PC杭仕様

	設計基準強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	断面係数 (m ⁴)	断面2次モーメント (m ⁴)	使用PC鋼材	圧縮強度の 限界値 (N/mm ²)	ひび割れ抵抗 モーメント (kN・m)	終局抵抗 モーメント (kN・m)
設計値	70	37000	0.058	0.0194	SWPR7B T15.2 32本	31.5	1100	2006
計測値	84.6	34600						

2. 2 設計手法の検討

従来のU型擁壁の設計手法は、壁体と底版を剛結合とし一体化した構造で解析を行っていた。H型PC杭を用いた設計手法は、根入れ部の効果を利用して壁(杭)と底版の結合をピン結合と簡素化した構造としている。杭は底版部でピン結合とすることにより、底版を中心とし回転する構造となる。底版より上部に作用する土圧等を根入れ部の水平方向の地盤バネで反力を受ける構造である。次頁に設計手法の特徴を示す。

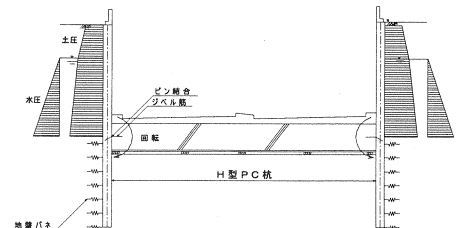


図-2 アンダーパス工法構造図 (U型擁壁)

(1) 設計手法の特徴 (施工時)

従来の施工は、親杭や鋼矢板を打設し開削を行うが、H型PC杭は本体を施工時土留壁として利用することから、親杭や鋼矢板の施工を省略できる。また施工時として検討できるため、本設時より杭長を短くすることができる。施工時根入れ長の決定方法は、以下の①~④のうち最も長い根入れ長とする。

- ① 根入れ部の土圧および水圧に対する安定から必要となる根入れ長 (支保工設置時)
- ② Chang の式から求められる半無限長とみなせる根入れ長 (自立時 $l_0=2.5/\beta$)
- ③ 掘削底面の安定から決定される根入れ長 (ボーリング・ヒービング等)
- ④ 最小根入れ長 ($L=3.0m$)

②のChangの式では本設時の杭の根入れ長の決定 ($l_0=3.0/\beta$) より短くなるものの、杭の特性値 β により根入れが決定されるため、周辺地盤の影響が大きく、根入れが長くなる傾向にある。施工時に支保工を用いることにより、根入れ長は①の土圧・水圧によるつり合い深さから決定することができ、根入れ長をやや低減することが可能である。(③の検討は除く。)

(2) 設計手法の特徴 (本設時)

H型PC杭と底版をジベル筋で連結することにより、杭と底版をピン結合とする。ピン結合により杭は底版を中心とし、回転する構造となる。底版より上部は土圧等が作用し、根入れ部は水平方向の地盤バネで反力を受ける構造となる。解析はフレーム解析や弾塑性解析を行い、地盤バネが塑性化し変位が大きくならなければ安定しているといえる。

2.3 解析モデル・実験内容

杭と底版はピン結合とし、底版より下には地盤バネ (水平方向地盤反力係数) を設定した。水平方向地盤反力係数は、本構造物に適用すべき換算載荷幅が明確でないため、直接基礎、杭基礎、地中連続壁基礎の換算載荷幅を使用し、各々において解析し予測を行った。実験は土圧に相当する水平力 (計画最大荷重は200kN/1体 (杭体の突出長6m時の土圧相当)) を載荷した。載荷方法は、一方向載荷・1サイクル方式としている。変位計・ひずみゲージを設置し杭体の変位・傾斜角・ひずみの測定を行った。また、施工条件として、I列側は杭周面を乱さない溝掘り程度の1段導棒、II列側を杭打ち込み精度向上のために2段導棒を設置し杭周面を乱した状態としている。H型PC杭の中にコンクリートを充填し、間詰め効果の確認も行った。(間詰め無: I列, 間詰め有: II列) 図-3に解析モデル、表-2に水平方向地盤反力係数の値、図-4に実験模型詳細図を示す。

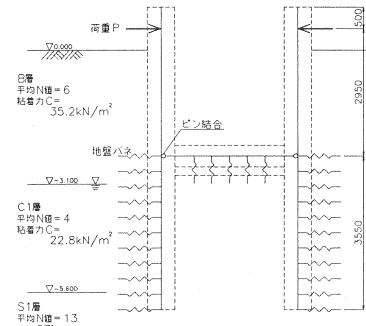


図-3 モデル図

表-2 水平方向地盤反力係数

層No	層厚 (m)	N (平均)	水平方向地盤反力係数 k_H (kN/m ³)		
			直接基礎	杭基礎	地中連続壁基礎
B	3.100	6	11400	13900	21900
C1	2.500	4	7600	9200	14600
S1	0.400	13	24700	30000	47400

$$k_{BH} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

$$k_H = k_{BH} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{3/4}$$

表-3 基礎の換算載荷幅¹⁾

基礎形式	BH	備考
直接基礎	$\sqrt{A_H}$	A_H : 基礎の載荷面積
杭基礎	$\sqrt{D/\beta}$	D: 載荷幅 β : 特性値
地中連続壁基礎	$Be (\leq \sqrt{BeLe})$	Be : 基礎の有効載荷幅

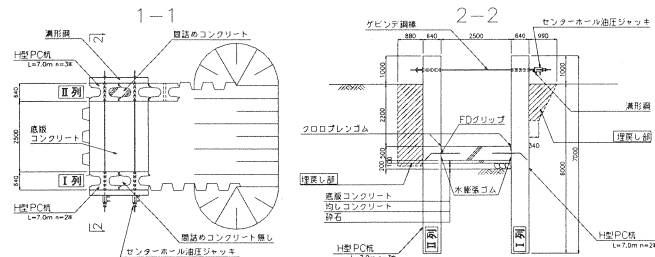
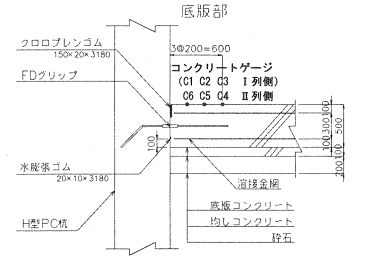


図-4 実験模型詳細図



3. 実験結果

3. 1 杭と底版との接合部の評価

図-5にH型PC杭と底版の接合部をピン結合・剛結合とした場合のフレーム解析値(表-4)と水平載荷試験の実験値をプロットした。フレーム解析は、地中連続壁のバネ値を用いて解析を行った。ピン結合とした場合は、H型PC杭からの曲げモーメントは伝わらず軸力のみ伝達となり、ひずみは -26μ (荷重200kN時)である。一方剛結合は曲げモーメント、軸力どちらも底版に伝達され、ひずみは -217μ (荷重200kN時)とピン結合と比較し大きな値を示している。水平載荷試験の実験値より、底版コンクリートおよびFDグリップに取り付けた鉄筋のひずみをみると、おおよそ $30\sim 60\mu$ 程度(荷重200kN時)であり、フレーム解析のピン構造の計算値より大きくなってはいるが、剛結合の計算値と比較するとかなり小さい。図-5のグラフより実験値はピン結合のラインに近似していることから、底版と杭の結合をピン結合としてみなすことができる。参考としてFEM解析を行って見たところ、底版コンクリートのひずみは -45μ となり実験値に近似していることから実験値は有効と思われる。

表-4 ピン結合と剛結合の時のひずみ(フレーム解析)

	荷重 kN	軸力 kN	曲げM kN・m	断面積 mm ²	断面係数 mm ³	σ_c N/mm ²	ϵ μ
ピン結合	200.0	428.586	0.000	525,000	43,750,000	0.816	-26
剛結合	200.0	322.731	267.129	525,000	43,750,000	6.721	-217

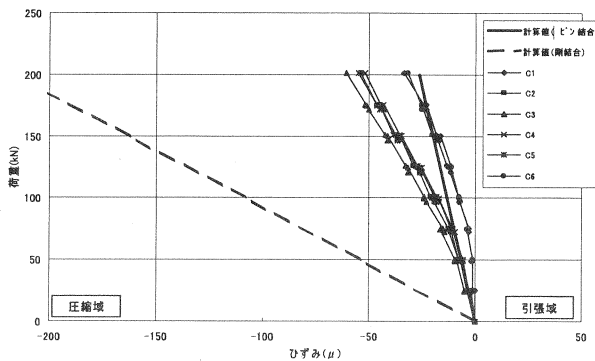


図-5 荷重-底版ひずみ図(フレーム解析値・実験値)

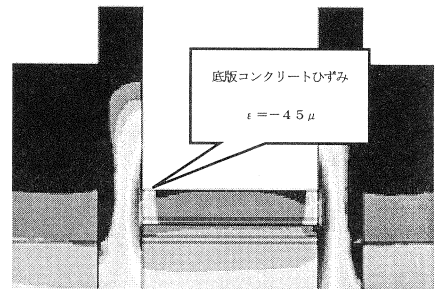


図-6 FEM解析値

3. 2 水平方向地盤反力係数の評価

図-7~9の荷重-傾斜角のグラフでは、傾斜計による変位は「部材の弾性変形による変位+地盤の変形によって生じた変位」であり、全体の傾斜角から部材の弾性変形による傾斜角(変形ひずみゲージ測定結果より算出)を引くことで地盤の変形による傾斜角を算出している。結果、地盤の変形による変位はII列が大きく発生している。一方、部材の弾性変形による変位はI列が大きく生じていた。これは間詰めコンクリートの効果によるものと考えられる。地盤の変形によって生じた変位はII列が大きく発生し、水平方向地盤反力係数はI列よりII列が低い値を示すことを意味している。I列とII列の異なる点は施工形態の違い(導枠の設置1・2段)で、背面地盤に掘削範囲の差があることがわかる。(図-4実験模型詳細図より)施工時に、導枠の設置等で背面地盤をあまり乱してしまうと地盤バネに影響があり、変位を増大させてしまうことが推測される。

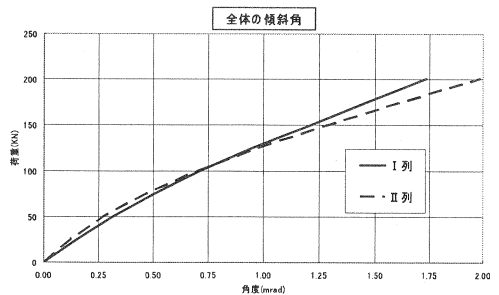


図-7 荷重-傾斜角(傾斜計より:θ)

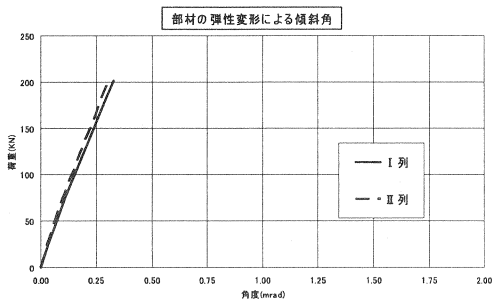


図-8 荷重—傾斜角 (鉄筋ひずみより: θ_c)

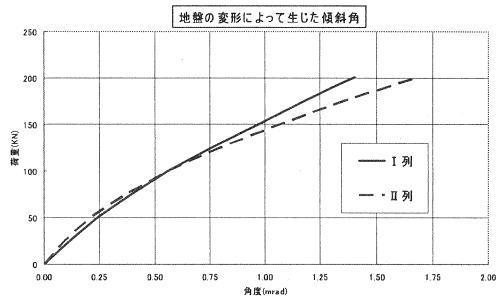


図-9 荷重—傾斜角 ($\theta-\theta_c$)

また、地中連続壁基礎としての k_H を用いてフレーム解析した計算値 (直接基礎・杭基礎は地中連続壁基礎より k_H の値が小さいため、変位が大きくなる。実験値は地中連続壁基礎より変位が小さいため比較対象から除外した。)と実験値との比較を行った。全体的に実測値の変位が計算値より小さいことから、実際の水平方向地盤反力係数が計算による仮定より大きいことが推察される。

k_H について杭基礎設計便覧では、 k_H の実測値は計算値の±50%の範囲に分布している。これが k_H 値推定精度の実態であるので、これらの実情を設計上十分に考慮する必要がある、との記述がある。(図-12は参考文献3)より抜粋)

地盤バネ値の実測値と計算値は広く分布しており、本試験で得られた結果より地盤バネを推定してみると、I列は $A[\text{実測値}] = 10B[\text{計算値(一点鎖線)}]$ 程度、II列は $A = 2B$ 程度で実測値と近い値を示すことがわかる(図-10, 11)

6. まとめ

基礎実験の結果より、下記の知見が得られた。

- (1) 杭と底版との接合部は、ピン結合として作用することから、底版を中心として回転する構造である。
- (2) 底版以深の地盤バネは、計算値より大きく働くことから、底版より上部に作用する土圧等を底版以深の水平方向の地盤バネで反力を受ける構造である。

よって、H型PC杭を用いたアンダーパス工法の構造の妥当性が確認された。しかし、水平方向地盤反力係数はばらつきが大きいため、実際の設計時には設計地盤を十分に調査し、水平方向地盤反力係数を考慮する必要があるといえる。今後、水平方向地盤反力係数およびその他細部事項を引き続き検討する予定である。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成14年3月 (社)日本道路協会
- 2) 道路土工 仮設構造物工指針 平成11年3月 (社)日本道路協会
- 3) 杭基礎設計便覧 平成4年10月 (社)日本道路協会

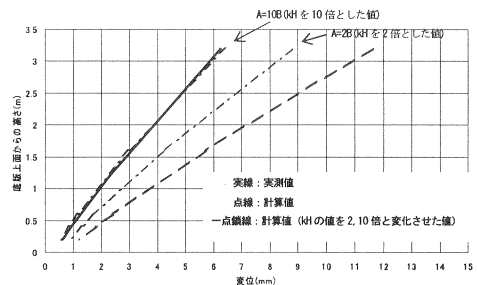


図-10 高さ—変位 (I列)

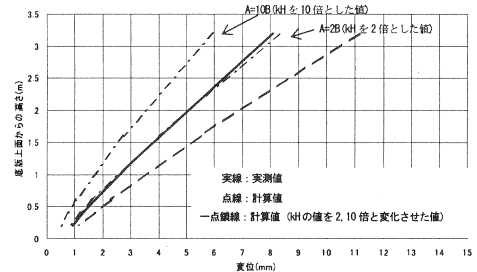
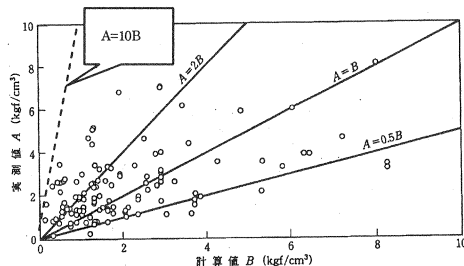


図-11 高さ—変位 (II列)



※ A=10Bのラインは加筆したものです。

図-12 水平方向地盤反力係数 k_H の推定精度³⁾