

複合地盤杭の実用的現場設計法の検討

北海道開発土木研究所 正会員○富澤幸一
正会員 西川純一

1. はじめに

軟弱地盤では、所要の地盤強度を確保するために深層混合処理工法（DJM、CDM等）およびサンドコンパクション工法等の地盤改良工法が実施される。その際の土構造物の設計法は、地盤せん断強度を原地盤と改良柱体を改良率に従い合成したいわゆる複合地盤として評価する。同様の考え方により、基礎杭施工箇所についても地盤改良工を実施し複合地盤を造成するつまり複合地盤杭（以下 仮称としてこの名称を用いる）の実施が、杭諸元が水平抵抗で決まるケースの現場条件では、今後の建設コスト削減につながる合理的設計法として有用と考えられる。

本報では、現場試験および一連の解析により、杭の水平抵抗の影響範囲を含めた複合地盤杭の設計法の考え方を整理検討し、現場における実施事例について報告する。

2. 基本的設計法

杭の水平抵抗は、地盤変形係数 E から算定される水平地盤反力係数 K 値により決定する。そのため、複合地盤杭の設計では、地盤改良後の地盤せん断強度を変形係数の増加として捉える必要がある。ここでは、深層混合処理工法での複合地盤杭の基本的な設計法の考え方を整理検討した。

深層混合処理の改良柱が施工された複合地盤の地盤変形係数 E の増加を、地盤せん断強度 C の増加と同様に、改良率 a_p により合成した以下の式により算定可能¹⁾とする。

$$\text{複合地盤変形係数 } E = E_p \cdot a_p + \quad \cdot E_o (1 - a_p)$$

E_p : 改良柱体変形係数 (N/m^2)

E_o : 原地盤変形係数 (N/m^2)

a_p : 地盤改良率 50%標準

: 破壊ひずみ低減率 (1/2 ~ 1/3)

この際、改良柱体変形係数 E_p については、改良柱体の一軸圧縮強度 q_u より、原地盤が粘性土系地盤であれば $E_p = 100q_u$ ¹⁾として算定する。その結果、求められた複合地盤変形係数 E より現行設計法²⁾に則り複合地盤杭の静的水平地盤反力係数 K 値が決定されることになる。

3. 現場検証

現場試験として、橋台基礎杭に隣接して施工された深層混合処理工の改良柱（DJM）が、杭の地盤反力に及ぼす影響について水平載荷試験により検証した結果を示す。

現場水平載荷試験を実施した試験杭は 1200mm・L=12.5mの場所打ちコンクリート杭であり、改良率50%で施工されたDJM改良柱から試験杭端までの距離は3.0mである。基礎杭の設計K値については、地表面からの水平抵抗に関与するとされる概ね1/深度までの土質試験結果により、常時設計K値=6.87MN/m³としている。それに対し、改良柱側に水平載荷した試験結果によると、荷重～変位量の関係から得られた弾性地盤反力法による逆算K値=12.45MN/m³が得られた。そのため、単純比較では、地盤水平バネは設計値に対し載荷試験による実測値は約1.8倍(12.45/6.87)の地盤反力を有していることになり、橋台背面に存在するDJM改良柱が地盤反力に影響したものと考えられた。

DJM改良柱体の存在つまり複合地盤の影響を図-1に示すように、基礎杭の影響範囲とされる1/位置から受動土圧の作用勾配 $= (45 + \quad / 2)$ で立ち上げた影響面積をK値の関与範囲と仮定して解析を試みた。その

杭、水平抵抗、地盤改良、地盤反力係数、受動土圧

062-8602 北海道札幌市平岸1条3丁目1番34号 TEL 011-841-1709(365) FAX 011-841-7333

結果、地盤水平抵抗を原地盤 K 値と改良地盤部 K 値の 2 次元面積で合成することにより、複合地盤の設計理論 K 値 = 15.01MN/m³ が確保可能という結果を得た。これは水平載荷試験から得られた実測 K 値 = 12.45MN/m³ に概ね一致する。

さらに、現場水平載荷試験結果に基づく地盤条件により、2 次元平面ひずみの FEM 解析を試みた。解析ケースは、全体を無処理地盤（原地盤）としたケース - 1 と現場条件と同様に杭から一定の離れた位置に地盤改良領域を設定したケース - 2 である。水平載荷試験を想定して杭頭に単位水平荷重を作用されるシュミレーションを実施した結果、ケース - 1 の杭地表面変位量はケース - 2 の約 2 倍という結果が得られた。つまり、弾性地盤反力法に従い求めるべき地盤反力 P が杭変位量 y に比例関係にあると考えれば、FEM 解析の結果は水平バネの影響範囲を 1/2 区間の受動土圧 = (45 + 1/2) 領域とした理論と概ね一致したことになる³⁾。

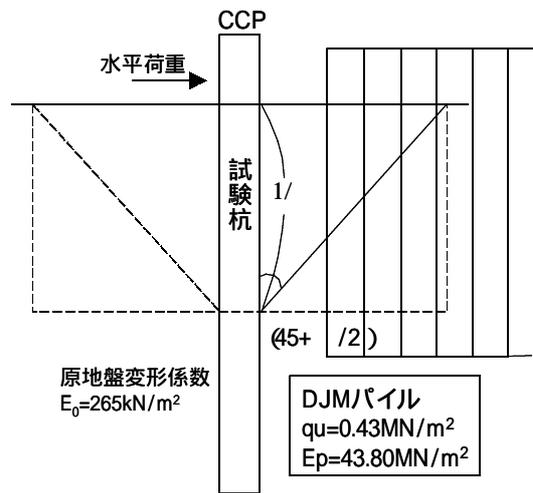


図 - 1 複合地盤設計法

4. 実用設計事例

北海道 苫小牧市の高規格道路において実施した 1 径間橋梁の橋台基礎における複合地盤杭の設計事例を示す。この複合地盤は、改良率 ap=78.5%・改良強度 qu=400kN/m² の深層混合処理工（DJM）がなされたものである。改良範囲については、上述の設計法に従い基礎杭の 1/2 深さ位置から受動土圧の作用勾配 = (45 + 1/2) としている。図 - 2 に、橋台設計で従来形式と複合地盤杭方式として設計した基礎形式比較結果を示す。その結果、複合地盤杭として橋台断面・杭本数をかなり減らすことが可能となり、概算工事費で、建設コストが 4 割減の大きな削減効果が得られた。

5. まとめ

複合地盤杭は、改良地盤と杭をその剛性の違いから一体構造物たとえば脚付きケーソンなどの考えるのではなく、あくまで改良体を地盤として評価した設計法である。今後、建設コスト削減の意味からも現場条件に応じた複合地盤杭の設計活用が望まれるところである。ただし、本手法は他機関を含め多くの施工実績を持たないこと、また地震時の実挙動が不明瞭である理由から、当面は以下の留意点を考慮する必要があると考える。

地盤改良後の複合地盤変形係数 E を孔内水平載荷試験により再確認する。

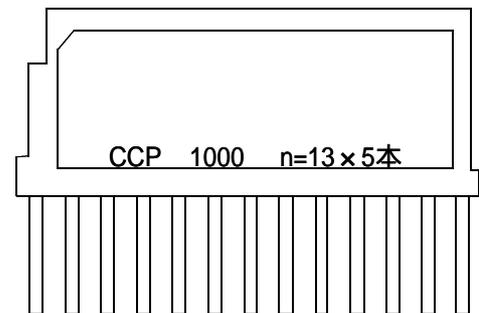
複合地盤杭の設計設定した水平地盤反力係数 K 値を現場杭水平載荷試験により検証する。

耐震設計上高次の動的モード変形が想定される橋脚基礎での採用は避け、当面は地震時の影響が少ないと考えられる擁壁基礎杭あるいは 1 スパン橋梁橋台で活用し動的挙動実績を検証していく必要がある。

参考文献

- 1). 深層混合処理工法 設計・施工マニュアル：土木研究センター 1999.6
- 2). 道路橋示方書・同解説 下部構造編 日本道路協会 1996.12
- 3). 富澤・西川：複合地盤中の基礎杭の水平抵抗評価 第 35 回地盤工学会研究発表会論文集

従来形式



複合地盤杭形式

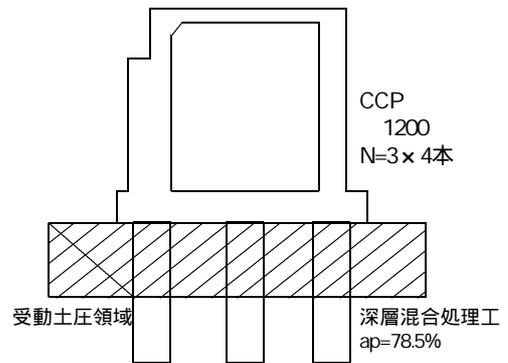


図 - 2 基礎形式比較