

# 薬液注入による液状化対策の変形照査型設計の提案

鹿島建設株式会社 土木設計本部 正会員 牛垣 勝 浜田 友康

## 1. はじめに

従来の地盤改良による液状化対策では、 $F_L$  値が1以上となるように設計を行ってきた。しかし、液状化しても変形の程度を推定できれば、地盤や構造物の許容変位量に応じた変形照査型の設計を行うことが可能となる。変形照査型の設計では、従来の設計と比較すると薬液濃度と改良範囲を許容変位量に応じて調整できるので、合理的な設計が可能となると考えられる。本稿は、これまでに確認された薬液注入による改良土の変形抑制効果<sup>1),2)</sup>を取り入れた、杭基礎及び直接基礎に対する液状化対策の簡易設計法について検討したものである。

## 2. 杭基礎に対する設計法

杭周辺の改良範囲と杭頭変位量の関係を把握するため、図1に示す各種の設計パラメータを反映した杭頭載荷による静的な全応力軸対称 FEM モデルにより一連の解析を実施し、改良範囲の設計チャートをまとめた。液状化時の改良土の変形性能は等価剛性で各想定ひずみに対して表す。なお、改良地盤の加水率は標準配合の薬液に対して加水する水の量の割合で、想定ひずみとは等価剛性設定用として想定する改良地盤のひずみである。表1に地盤の等価剛性<sup>3)</sup>を示す。

図2,3に解析結果から作成した設計チャートの一例（杭剛性:40,000kN・m<sup>2</sup>,加水率:110%,液状化層厚:10m）を示す。図2より杭頭設計荷重1kN当たりの杭頭許容変位量に対応する改良範囲がわかる。ただし、想定ひずみにより改良範囲は変化するため、杭頭設計荷重により発生するひずみと対応した想定ひずみを選定する必要がある。

図3は「想定ひずみ」と「改良地盤要素のひずみをひずみエネルギーで加重平均した発生ひずみ」の比を改良深さに対して整理したものである。「1kN×想定ひずみ/発生ひずみ」を杭頭設計荷重とすれば、想定ひずみと発生ひずみは一致する。すなわち、図3の縦軸は杭頭設計荷重を表している。

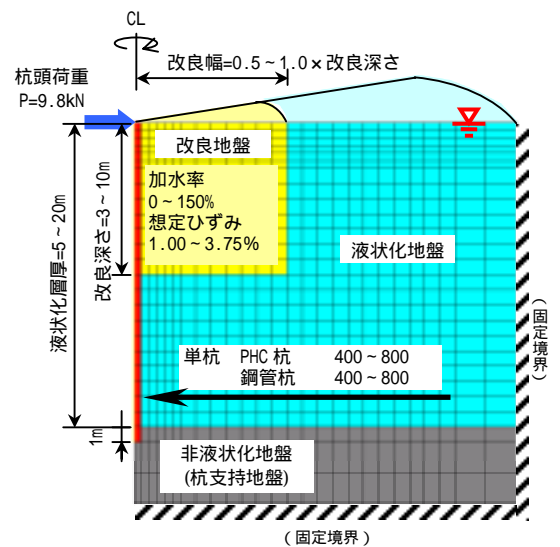


図1 軸対称 FEM モデル

表1 地盤の等価剛性

想定ひずみ (%)	等価剛性 (kN/m <sup>2</sup> )				
	非液状化地盤	液状化地盤	改良地盤		
			加水率 0%	加水率 110%	加水率 150%
1.00	46667	34	3372	1850	1379
2.00			1964	1112	853
3.75			1135	655	511

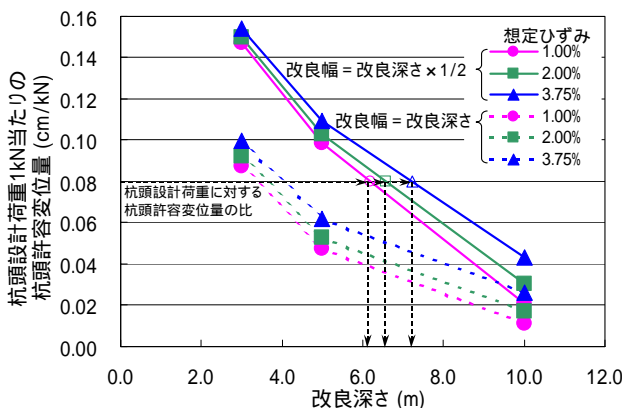


図2 杭頭許容変位量と改良範囲の関係

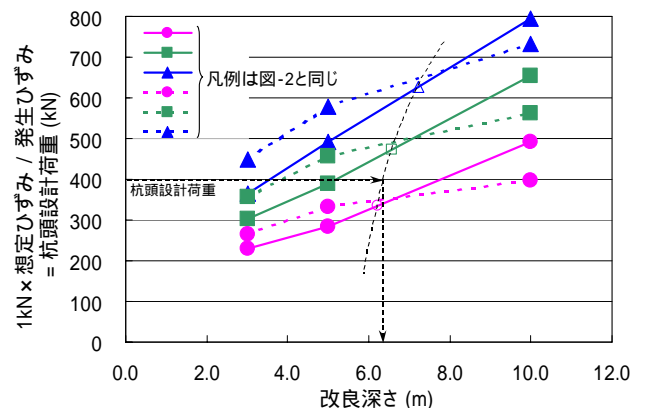


図3 想定ひずみ/発生ひずみと改良範囲の関係

キーワード 薬液注入, 液状化対策, 変形照査型設計, 杭基礎, 直接基礎

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂6丁目5番-30 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL 03-5561-2172

以上のことより図 2,3 は杭基礎の杭頭許容変位量に応じた改良範囲の設計チャートとして利用できる。すなわち,図 2 の縦軸に杭頭設計荷重に対する杭頭許容変位量の比を取り,想定ひずみごとに改良深さを読み取って,図 3 上で対応する点を連ねた曲線を引き,縦軸が杭頭設計荷重となる横軸を読み取れば求める改良深さが得られる。なお,杭耐力の照査は別途必要である。

**3. 直接基礎に対する設計法**

液状化に伴う地盤沈下特性を把握することは,液状化時の直接基礎の設計を行う上で重要である。既往の研究<sup>4)</sup>では,繰返し非排水三軸試験を実施し,繰返しせん断を受けた改良土の沈下特性について検討している。

図 4 に繰返し応力振幅比 SR と試験中の最大せん断ひずみ  $\max$  の関係を示す。図 5 に繰返しせん断後に排水を行った際の体積ひずみ  $v$  と  $\max$  の関係を示す。図 4,5 より,無改良地盤は SR 0.1 を超えると  $\max$  が急激に大きくなるが,改良地盤では同一の SR に対して加水率が小さいほど  $\max$  が小さくなるのがわかる。また,  $\max$  が小さいほど  $v$  は小さくなり,その関係は改良の有無により概ね変化しないことがわかる。このことから,加水率が小さい改良地盤ほど  $v$ ,すなわち沈下量を抑制できると考えられる。

図 6 に図 4,5 の関係から  $\max=3.5\%$ となる SR を液状化強度として算出した  $F_L$  値と  $v$  の関係を示す。なお,同図中には参考にした石原らの研究<sup>5)</sup>についても併記している。改良土は薬液濃度に関係なく,同じような  $F_L$  値と  $v$  の相関を示しており,石原らの研究と比較すると,概ね相対密度  $Dr=70\sim 80\%$ 相当の値を示していることがわかる。改良地盤でも図 6 に示すような沈下量を予測するための設計チャートを作成できる。

**4. あとがき**

薬液注入による杭基礎及び直接基礎の液状化対策を,許容変位量に応じて合理的に設計する手法について提案した。今後,杭基礎については構造物の慣性力と地盤変位を組み合わせた設計方法についてまとめ,直接基礎については様々な条件下の地盤改良に対しての試験結果を整理し,より汎用的な設計方法とする必要がある。

**参考文献**

- 1) 山田,吉迫:液状化対策のための薬液改良砂の基本特性,第35回地盤工学研究発表会,pp.1199~1200,2000.6
- 2) 高原,浜田,後藤,大澤:液状化地盤の薬液改良による変形特性(その1),第36回地盤工学研究発表会,pp.2269~2270,2001.6
- 3) 後藤,浜田,高原,大澤:液状化地盤の薬液改良による変形特性(その2),第36回地盤工学研究発表会,pp.2271~2272,2001.6
- 4) 山田,鈴木,大村,大澤,吉迫:繰返しせん断を受けた薬液固結砂の沈下特性,第36回地盤工学研究発表会,pp.2273~2274,2001.6
- 5) 石原,吉嶺:地震時の液状化に伴う砂地盤の沈下予測,第26回土質工学研究発表会,pp.767~770,1991.7

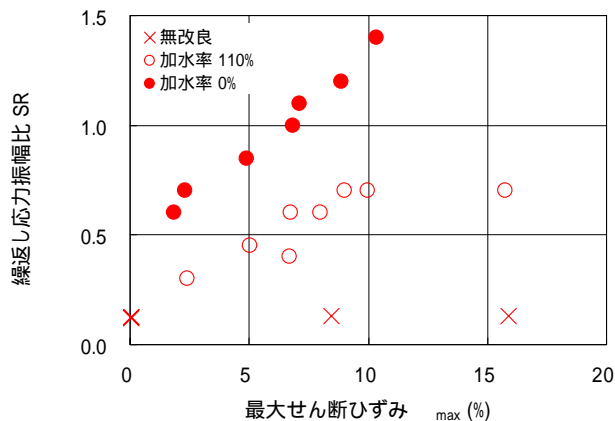


図 4 繰返し応力振幅比 SR と最大せん断ひずみ  $\max$  の関係

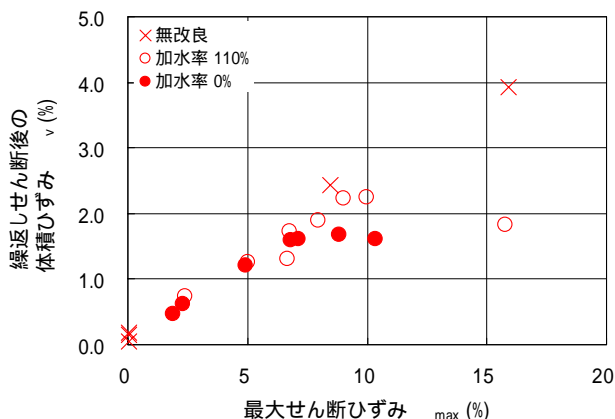


図 5 繰返しせん断後の体積ひずみ  $v$  と最大せん断ひずみ  $\max$  の関係

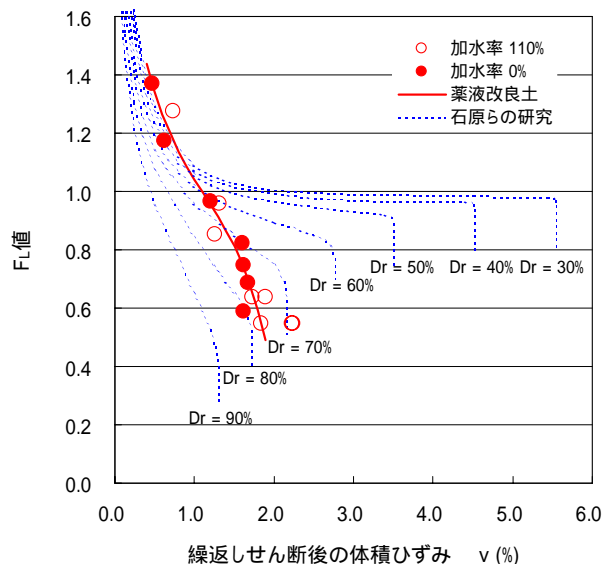


図 6  $F_L$  値と繰返しせん断後の体積ひずみ  $v$  の関係