

高知工事事務所 正会員 ○前中良啓
高知工事事務所 森本修三
高知工事事務所 長尾貴史
高知工事事務所 山崎元司

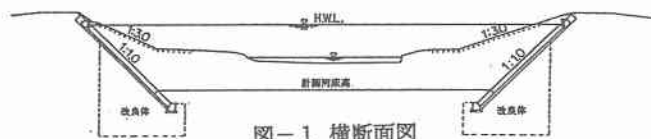
1. はじめに

宇治川上流部の河道改修されている周辺の地盤は、非常に軟弱なため地盤改良（CCP工法）を実施し、原地盤の強度を増加させた後に掘削し護岸を施工している。

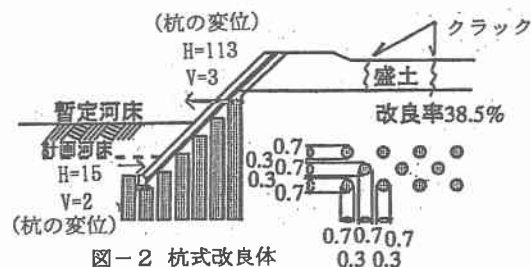
本報告は、地盤改良をするにあたり試験施工を繰り返しながら地盤特性の究明を行い設計手法を確立した経緯について論究したものである。

2. 杭タイプによる施工

当初、改良体の形状を杭タイプ（改良率38.5%）とし地盤変動の観測をしながら施工を行った。施工中、堤内側2箇所でクラックが発生したため、坑内傾斜計設置及び地表面観測を行い原因の究明を行った。その結果、円弧滑りを示す様な改良体の変調は確認できず、原因としては地盤改良時の改良体間の未改良部の一時的な強度低下により杭が傾きクリープ変形が生じたと推測された。



図－1 横断面図



図－2 杭式改良体

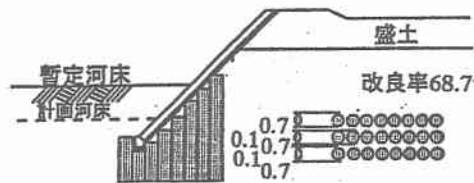
3. ブロックタイプによる現場試験施工

地盤及び改良杭の変位の履歴から解析により粘着力と円弧滑りの安全率を算定した。

$$\text{粘着力 } Cu = 1.0 + 0.1Z(\text{tf}/\text{lm}^2)$$

$$\text{安全率 } \text{クリープ変形を考慮} : Fs = 1.3$$

$$\text{円弧すべり } Fs = 1.2$$

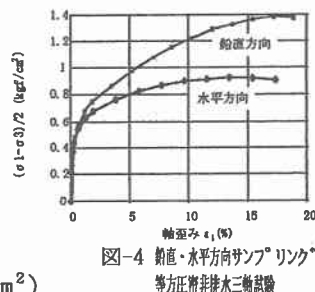


図－3 ブロック式改良体

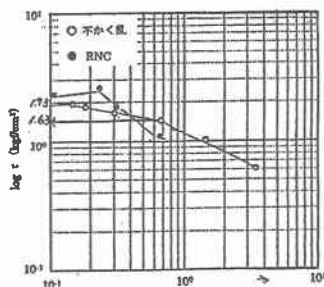
これを基に、改良体形状をブロックタイプ（改良率68.7%）に変更し、土質試験・地盤変動の観測を行いながら現場試験施工をした。

○土質試験結果

- ・低塑性の粘土である
- ・三軸試験から得た剪断強度（主応力差の1/2）は $\tau = 0.22 + 0.015Z(\text{kgf}/\text{cm}^2)$
- ・一軸圧縮強度 q_u は三軸試験結果から得た主応力差 $\sigma_1 - \sigma_3 = 0.44 + 0.03Z(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ とほぼ一致する。
- ・圧密降伏強度は $q_c = 0.5 + 0.1Z(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ で $0.5(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ の過圧密地盤である。
- ・三軸 Cu 試験の結果、鉛直剪断強度 $1.3\text{kgf}/\text{cm}^2$ に対し水平剪断強度 $0.92\text{kgf}/\text{cm}^2$ （鉛直方向の約69%）であり、強度異方性がみられる。（図-4参照）
- ・クリープ試験の結果、上限降伏点は静的破壊強度の約80%である。（図-5参照）



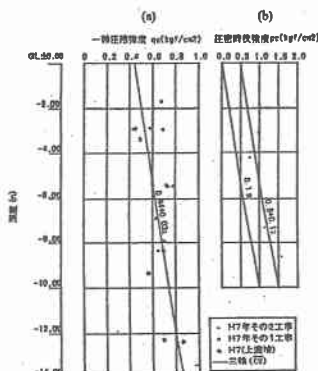
図－4 鉛直・水平方向サンプリング・等方圧密排水三軸試験



図－5 クリープ試験結果

4. 地盤変形解析による検証

ブロックタイプの地盤改良について、土質試験結果及び地盤変動観測データを用いて検証を行った。



図－6 土質試験結果

(1) 弾性FEM解析（地盤の変形解析）

ブロックタイプにした場合の地盤の変形は、観測された実現象と良く整合する。しかし、杭タイプの解析結果はブロックタイプと差が無く、これは未改良部が解析に反映されていないためであり言い換えれば円弧すべりは起きないということで、杭タイプの変位は局所的な現象であると推測される。

(2) 弾・完全塑性FEM解析（地盤の変形解析と地盤の安定解析）

ブロックタイプによる地盤改良は、Fs=1.2で改良体周辺の地盤が降伏するが、破壊に至るのはFs=1.7の段階である。杭タイプによる地盤改良は、まず未改良部が降伏し、続いて杭の側面で降伏し、降伏域が後方へ拡大していきFs=1.1で破壊が起こる。

これらのことから、ブロックタイプでの地盤改良効果は極めて大きいと判断される。杭タイプの場合には未改良部の降伏が地盤の変位を引き起こすため、地盤の安定が確保できないものと判断できる。

(3) 弾性FEMによる改良体の局所解析（地盤と改良体の変形解析）

(1) で確認できなかった改良体の形状及び構造的特性と地盤変形の関係を評価するために、改良体のみを取り出した局所解析を行った。

杭タイプ地盤改良は、未改良部の強度低下を考慮すると実変位が非常に良く整合する。強度低下がない場合は変位が1/2程度となり、杭タイプによる施工時の地盤変動は、未改良部の強度低下が原因であると推定できる。

ブロックタイプ地盤改良は、改良体頭部の変位が実変位と非常に良く整合し変位量も小さく非常に安定した構造体であるといえる。

以上の試験施工及び解析結果により、ブロックタイプが、当該箇所の地質条件に整合したものであると判断される。

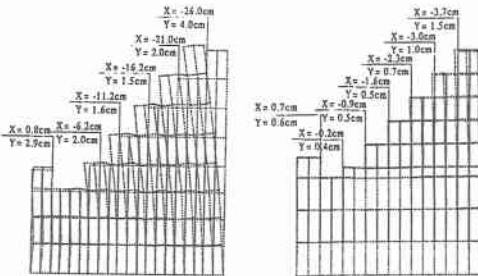


図-7 変位図(杭タイプ) 図-8 変位図(ブロックタイプ)

5. 地盤の安定解析手法の検討

クリープ等の地質特性を適切に評価した解析法は確立されておらず、一般的に安全率の割り増し等で対応している。今回は地質特性を十分に把握でき、FEM解析で原地盤の挙動を再現できる土質定数を検証し変位を相対的に予測することができた。このため、地盤変動の原因を踏まえ、地質調査結果による地質特性を加味した土質定数を使用し、安全率は一般的な値で円弧すべり計算及び改良体の剛体的安定性の検討を行い地盤改良体の寸法を検討した。

(1) 解析に用いる地盤定数（剪断強度）

- ・ 基底数 $C_u = 2.2 + 0.15Z \text{ (tf/m}^2\text{)}$
- ・ 載荷重を考慮した場合（異方性のみ考慮80%）
 $C_u = 1.7 + 0.12Z \text{ (tf/m}^2\text{)}$
- ・ 載荷重を考慮しない場合（異方性(80%)とクリープ変位(80%)を考慮し64%）
 $C_u = 1.41 + 0.10Z \text{ (tf/m}^2\text{)}$

(2) 安全率 $F_s = 1.2$

(3) 安定解析結果

①円弧すべりによる検討結果を表-1に示す

②改良体の剛体的安定性の検討結果を図-8に示す

※完成河道の円弧すべり・滑動に対する安全率が下回ることは、抑止鋼矢板にて対応する。

表-1 円弧すべり安全率		改良地盤(118年型)	地盤改良なし
掘削前(未改良)		2.057 (1.00)	
掘削完了後	全体	1.271 (0.62)	0.814 (0.40)
	切土法面	1.214 (0.59)	
暫定河道	全体	1.691 (0.82)	0.504 (0.25)
完成河道	全体	1.137 (0.55)	0.405 (0.20)

()内は掘削前の安全率に対する比率

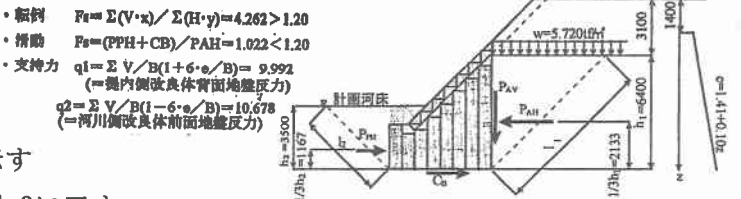


図-9 改良体に作用する外力(計画河道完成時)

6. おわりに

本検討より、地盤改良の工法・形状等を決定することができたが、宇治川の地盤は非常に特異な地盤であるため地盤変動が起こる可能性もある。このため、今後の施工においても地盤変動の観測を行いながら慎重に進める必要がある。