パイピング発生に伴う地盤破壊の進展およびその後の沈下に関する考察

沼津河川国道事務所　伊豆長岡出張所長　　船橋　準幸
株式会社富士和　沼津支店　　正会員　○池田　曜
株式会社富士和　沼津支店　　正会員　　川瀬　泰裕

１．はじめに

低水位護岸施工中において，砂質土層に打ち込んだ鋼矢板の引き抜きによってパイピングが発生し，護岸の法留基礎が沈下･偏位した．生じた変状は修復され，護岸が完成した．しかし，沈下は完成後も継続し，下流側と上流側で沈下差を生じたため，地盤調査を行い，その原因について解析，考察を行ったので，その結果を報告する．

２．地盤条件

当該地は，現在平野地形を呈しているが，元々は溺れ谷沈降地域で，内湾性～河成の軟弱層が厚く堆積している．軟弱層は深いところで約 50m あり，軟弱層を大別すると，上位からシルト層，軽石質砂層，貝殻混じりシルト層，基底礫層に分類される．

軽石質砂層は，被圧地下水を帯水しており，当該地付近の既存調査では，被圧地下水位は河川水位より，約 1.0～1.2m 高い傾向が確認されている．

３．パイピング発生の経緯

当該箇所の地盤状況とパイピング発生に至った経緯を，図-1 に示す．

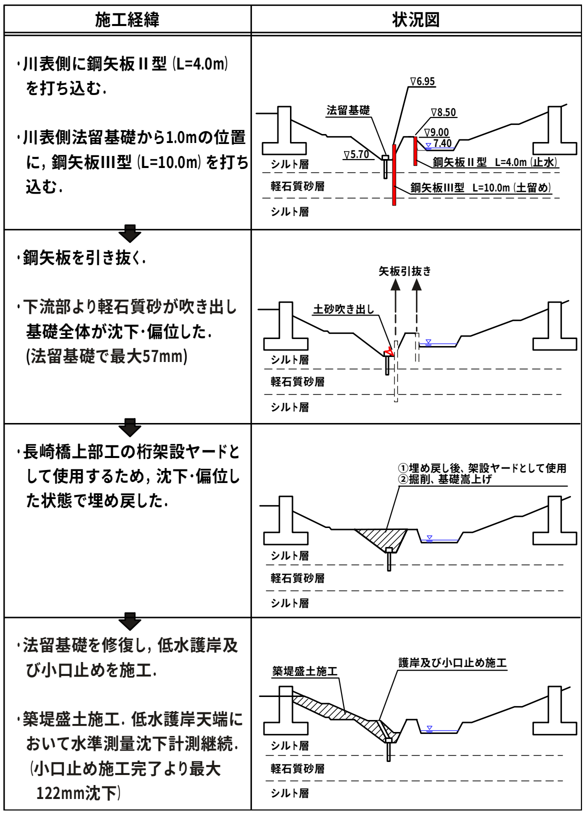
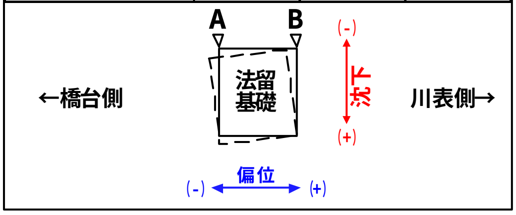


図-1　護岸工事の施工経緯

低水位護岸工事は，止水工，土留め工として鋼矢板Ⅱ型，Ⅲ型を施工後，法留基礎が施工された．法留基礎完成後，鋼矢板Ⅲ型を下流側より引き抜いたところ，引き抜き跡から軽石質砂層が噴出し，表-1 に示す基礎の沈下･水平変位が生じた．

表-1　沈下･偏位状況

測点	A（橋台側）	B（川表側）	
	沈下（mm）	沈下（mm）	偏位（mm）
法留基礎1（下流側）	57	40	1
法留基礎2（上流側）	7	1	-35



原因は，被圧地下水をもつ軽石質砂層に貫入した矢板を，地下水圧のバランスを考慮せずに引き抜いたため，引き抜き部に上向きの浸透流が発生し，クイックサンド現象により流動化した土砂が引き抜き跡から噴出したためである．

上流側に比べて下流側の基礎の変位が大きいのは，引き抜きが下流部より行われたためと考えられる．

４．事後調査結果および地盤破壊状況の推定

ボーリング調査は，下流側の法留基礎とパイピングを生じさせた鋼矢板の中間位置で実施した．調査結果を，事前のボーリング調査結果と併記して，図-2 に示す．パイピング発生前後における地盤状況の変化として，以下のことが明らかになった．

① 軽石質砂層上部のシルト層は，強度変化を生じていない．クイックサンドの影響はシルト層に及ばなかった．

② 軽石質砂層上部（TP+1.0～+2.0m 付近）の N 値は，変化を生じていない．

③ 軽石質砂層の中間から下部にかけて N 値が低下した．N 値は下部ほど大きく低下している．

キーワード　パイピング，クイックサンド，即時沈下，圧密沈下
連絡先　　〒410-0022　静岡県沼津市大岡 2785 番地　（社）富士和　沼津支店　ＴＥＬ055-922-5575

以上の状況変化により，パイピング発生に伴う地盤の破壊現象は，以下のように考察される．

① 鋼矢板引き抜き時に，打設跡の先端部から，地盤の流動化が始まった．

② 土砂の流出に伴い，流動化が上方に向かって進展し，周辺地盤の軽石質砂が鋼矢板打設跡に向かって流れ込んだ（上部ほどN値の低下量が少ないのは，土粒子の移動量が少なかったためと思われる）．

上記の調査結果と考察から，パイピングによる地盤破壊は下部から上方に向かって進展し，軽石質砂層は，図-3 のような「ゆるみ領域」，「遷移領域」，「アーチ領域」が形成された状態にあると想定した．

写真-1 は，ボーリング調査時の標準貫入試験用サンプラー内の状況である．水平堆積層の軽石質砂層中に，約 40 度傾斜した葉理が認められ，軽石質砂層が鋼矢板打設跡に向かって流動した状況が確認できた．

５．完成後の沈下状況

法留基礎のパイピングによって生じた変状を修復し，護岸は嵩上げされ完成した．完成後における法留基礎の沈下状況を図-4 に示す．

上流側護岸と下流側護岸の沈下を比べると，経過時間 30 日以降は沈下差 41～44mm を保って，ほぼ平行に沈下が進んでいる．そこで，沈下速度の異なる 30 日までの沈下は，シルト層の圧密沈下の他に，パイピングによる地盤のゆるみの違いに起因する即時沈下も受けていると仮定して解析を行った．

軽石質砂層の即時沈下量は，De Beer の式を用いて，パイピングを生じた場合と生じていない場合で行った．その結果，即時沈下量の差は 32mm と求められ，上記の沈下差とほぼ一致していた（表-2）．

したがって，上流側と下流側の沈下差は，パイピングに伴う軽石質砂層のゆるみに起因し，今後の両者の沈下は，現状の差を保って平行に推移すると考えられる．

６．まとめ

事後調査結果から，パイピングによる地盤破壊および沈下について，以下のことが明かとなった．

① 地盤破壊は，鋼矢板引き抜き時に，被圧地下水の上昇と共に深部から始まり，上方に向かって進展した．このとき，軽石質砂層の下～中部は，クイックサンド現象により流動化し N 値が低下したが，上部ではアーチ作用により地盤が均衡し，N 値の低下がみられなかった．地盤破壊の範囲は，軽石質砂層の下～中部と評価できた．

② 上流側と下流側の沈下量に差異が生じた原因は，上記のゆるみ領域範囲の違いによる即時沈下量の差と結論付けられる．

表-2　パイピングの有無と即時沈下量

De Beerの式	$S=0.004\times\frac{\sigma' v}{N}\times\log_{10}\frac{\sigma' v+q}{\sigma' v}\times H$	
パイピングの有無	無	有
N値（ゆるみ領域中心付近の値）	30	5
施工前土被り圧$\sigma' v$（kN/m^2）	29.6	
増加鉛直荷重q（kN/m^2）	57.5	
ゆるみ領域+遷移領域の層厚H(m)	3.55	
即時沈下量S（mm）	7	39

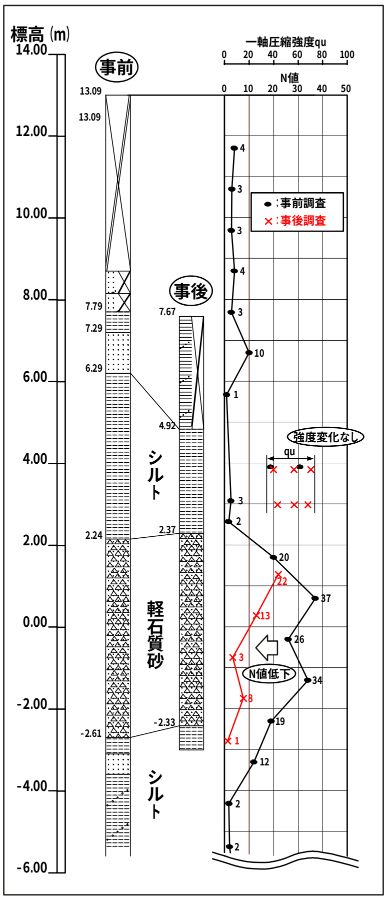


図-2　事後調査結果

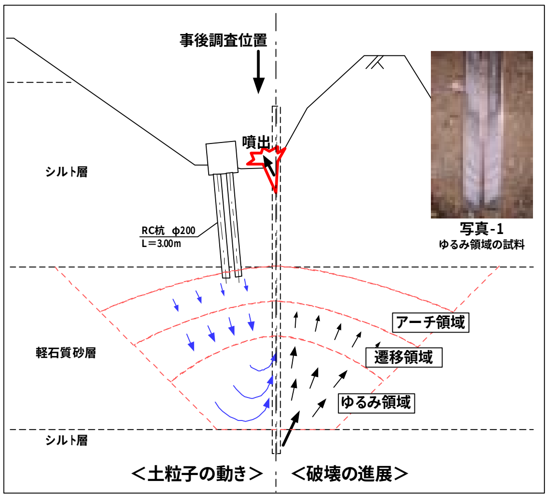


図-3　土粒子の動きと破壊の進展の概要

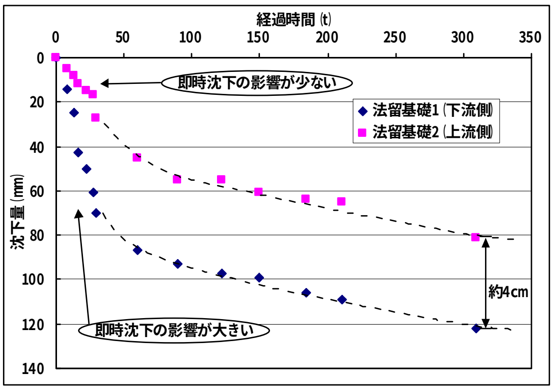


図-4　法留基礎の沈下状況