

地震による構造物基礎地盤の沈下に及ぼす杭の打設効果に関する検討

環境防災研究室 修士 2 年 田村 拓也
指導教員 大塚 悟 磯部 公一

1. はじめに

新潟県長岡市にある大河津分水旧可動堰は施設の老朽化により、新可動堰の建設と伴に撤去工事が実施された。この際に行われたボーリング調査で、**図-1**に示すような旧可動堰底部に連続した空洞が発生していることが確認された。この空洞は可動堰のほぼ全域にわたって存在しており、最大で 16 cm の空洞が確認されている。この空洞が生じた原因として、河川の水頭差による水流による浸食と液状化による周辺地盤の沈下の 2 つが挙げられている。液状化によって地盤が沈下すると、たとえば杭基礎が健全であったとしても、周辺地盤の沈下により堰直下に空洞が生じ、杭が突出した状態となる可能性がある。そうなれば、杭の水平耐力を損なう可能性があり、構造物は安定性を失う危険性にさらされることとなる。本研究では液状化による堰直下の空洞化の可能性に着目し、堰・杭が打設された現地地盤を想定した振動台実験を行い、堰・杭の有無、杭本数による周辺地盤の挙動への影響を比較し、検討する。

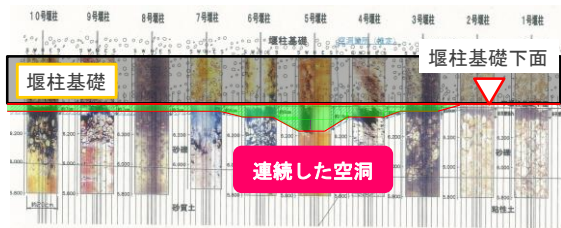


図-1 旧可動堰基礎下地盤のボーリングコア写真

2. 振動台模型実験

(1) 振動台模型実験概要

模型実験では、大河津分水旧可動堰直下地盤で生じたような空洞化が液状化によって生じるのか検証する。また、杭の有無や本数が周辺地盤の挙動に及ぼす影響について検討する。

(2) 実験装置

模型実験では**図-2**に示すような実験装置を用いて地盤内の過剰間隙水圧、応答加速度を測定した。また、堰上面での応答加速度と沈下量についても測定した。実験ケースは**表-1**に示すように現地の状況を考慮した CaseA と杭のみの影響を評価するための CaseB を設定した。

表-1 実験ケース一覧

ケース名	相対密度 [%]	堰の有無	杭本数 [本]	地下水位 [mm]	最大入力加速度 [gal]
CaseA-1	40	有り	0	±0	60 / 150 / 250
CaseA-2			26	±0	60 / 150 / 250
CaseA-3			52	±0	60 / 150 / 250
CaseB-1	40	無し	0	±0	60 / 150 / 250
CaseB-2			26	±0	60 / 150 / 250
CaseB-3			52	±0	60 / 150 / 250

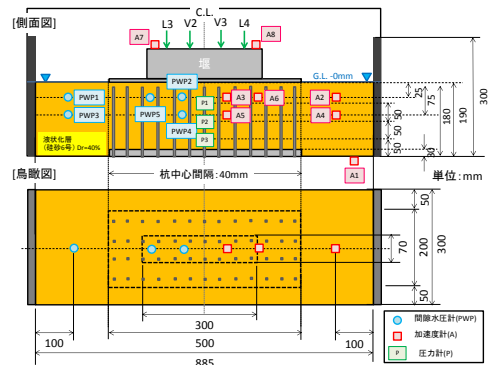


図-2 実験装置概略図

3. 実験結果および考察 (模型実験)

(1) 過剰間隙水圧 (CaseA)

図-3に示す杭間で測定した過剰間隙水圧の結果から、杭打設本数が多いほど過剰間隙水圧の上昇を抑制しているといえる。

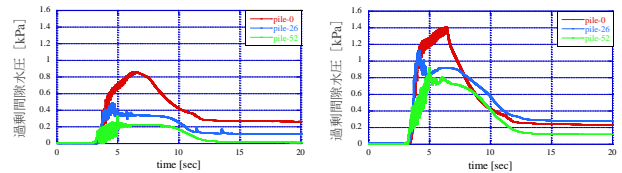


図-3 実験装置概略図

(2) 繰り返される地震による影響

図-4と**図-5**から、応答加速度の減衰量と沈下量には相関があることがわかる。また、応答加速度について杭打設本数ごとに比較すると、0、26本では地震動が大きくなるにしたがって減衰するが、杭が52本打設された CaseA-3 では他のケースで減衰が見られた 150Gal 加振時でも減衰していない。このことより、52本打設されたケースでは入力した地震動の最大加速度まで入力できたと言え、杭打設本数が多ければ加振時にも地盤の剛性が保持されることがわかる。

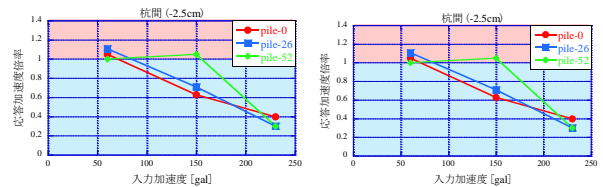


図-4 応答加速度倍率と入力地震動の関係

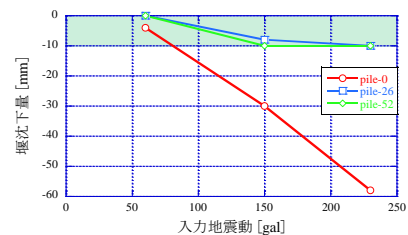
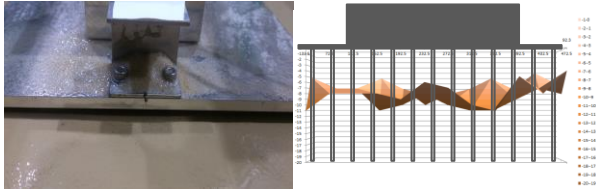


図-5 堰沈下量と入力地震動の関係

(3)液状化による空洞化発生の可能性

実験では、3 波目の 250Gal 加振時に基礎下に空洞が生じた (図-6(a))。また、600Gal 加振後、堰模型を取った後に地表面高さの測定をした結果から図-6(b)のようなグラフを描いたところ、空洞化が堰と地表面の間に差が生じたことを示せたことから、液状化で空洞化が発生する可能性があることが示された。



(a)基礎下の空洞化 (b)地表面沈下量

図-6 実験で発生した空洞化の様子

4. 数値解析

数値解析は、実構造物への適用で重要となり、本研究で対象とする旧可動堰での空洞化を評価する上でも重要である。また、空間的な分布を把握することもできるという利点を持つ。まずは解析で実験結果をどこまで再現できるか確認した。結果、概ね再現できることが確認できたため、より実地盤に近い条件で解析を行った。数値解析は図-7に示すようなメッシュおよび境界条件を設定し、実験モデルの対称性を考慮して半断面で計算した。地盤のパラメータについては、三軸試験の結果に対して三軸要素シミュレーションでフィッティングすることで決定した。

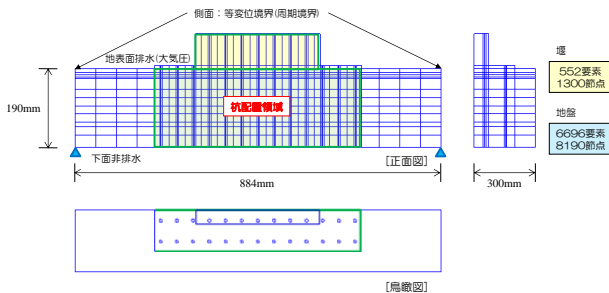


図-7 解析メッシュ (3D-FEM)

(1) 地盤パラメータ

地盤のパラメータについては、三軸試験の結果に対して三軸要素シミュレーションでフィッティングすることで決定した (表-2)。

表-2 解析で用いた地盤パラメータ

【弾塑性パラメータ】		
圧縮指数	λ	0.400
膨潤指数	κ	0.0060
破壊時の主応力比	R_f	1.39
ポアソン比	ν	0.33
【発展則パラメータ】		
過圧密劣化指数	m	3.0
構造劣化指数	a	0.0
異方性発展指数	br	1.5
【初期値】		
間隙比 ($p' = 98kPa$ on N.C.L.)	R_0^*	1.0
初期構造	$1/R_0$	2.90
初期異方性	ξ_0	0.0

(2) 数値解析の精度検証

数値解析で実験結果をどの程度再現できているか検証した結果、図-8に示すように過剰間隙水圧および応答加速度で実験結果を概ね再現できていることがわかる。また、沈下量についても堰ありの場合では精度良く実験結果を再現している。しかし、地盤のみのケースでは、地震動が大きくなると解析で沈下が過大評価されている。

また、実験と同様に杭打設本数が多いほど過剰間隙水圧の発生が抑制され、沈下量も小さくなるという結果が得られた。図-9に示すコンター図を見ると、杭間および杭周辺地盤では杭によって過剰間隙水圧および沈下量が抑制されていることがわかる。

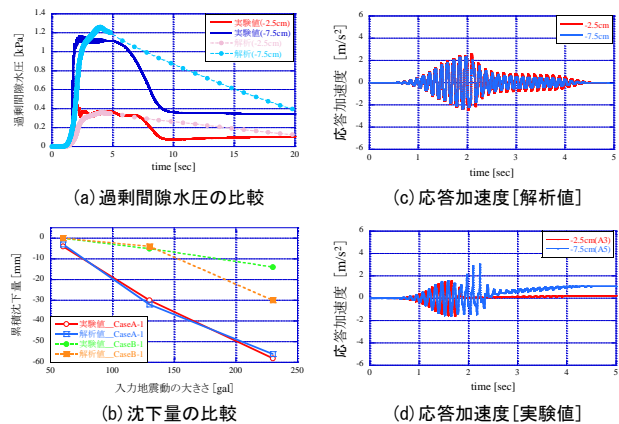


図-8 数値解析の精度検証

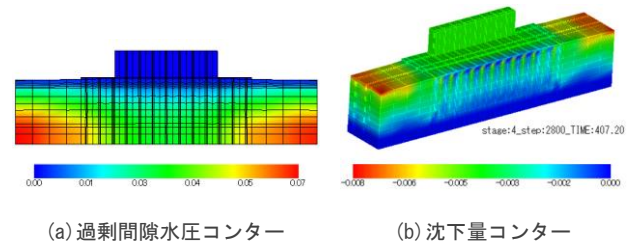


図-9 解析結果コンター

(3) 現地地盤条件を考慮した解析

現地地盤を考慮した解析を行い、130Gal 加振では液状化しにくいことがわかった。しかし、その後の大きな加振で大きく減衰し、空洞化を生じることが実験で示されていることから、繰返される地震による計算をできるようにすることが今後の課題である。

5. 結論

(1) 液状化による空洞化の可能性に関する検討

現地地盤を考慮した条件では 130Gal では液状化しにくいのが、その後の大きな加振で液状化の可能性があるのでそれを計算できるようにすることが今後の課題。

(2) 杭の打設効果に関する検討

杭の打設本数が多いほど、地盤の剛性が保持されるため液状化しにくくなる。それによって周辺地盤の沈下が抑制される。