

FEM 浸透流解析による頭首工下流エプロン裏に拡がる空洞の影響評価

FEM Seepage Flow Analysis to Evaluate the Impact of a Cavity Spreading Behind the Apron Downstream of a Headworks

○吉田 楓*, 岡島 賢治*

YOSHIDA Kaede, OKAJIMA Kenji

1. はじめに

2022年5月、愛知県の明治用水頭首工で取水ができなくなる事故が発生した際、下流エプロン裏の透水性地盤に空洞が見つかった。現在、下流エプロン裏の空洞の有無は目視での点検が多いため空洞の早期発見が困難である。そこで本研究では、フローティングタイプの頭首工を対象に、有限要素法(FEM)による浸透流解析で下流エプロン裏の透水性地盤の過剰間隙水圧を計測することで、透水性地盤表面にできた空洞の影響を定量的に評価することを試みた。

2. 有限要素法による浸透流解析

解析の範囲は、図1の赤枠に示したように、実際の頭首工の下流エプロンの上下流端間の長さを35mと想定し、FEMによる浸透流解析では実際の70分の1の500mmとした。地盤領域は、幅方向について、下流エプロン下流端から下流側に100mmまでを対象領域とした。また、深さ方向については、245mm以深に不透水性地盤があると仮定し、深さ245mmまで均一地盤が上下流方向600mm区間に存在すると仮定した。作成したメッシュは、4節点四角形要素を用い、横5mm×縦5mm四方の正方形メッシュとした。

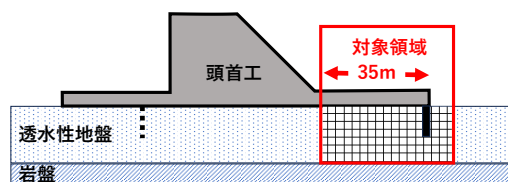


図1 対象領域

Target area

解析のパターンについては、下流エプロンの下流端に設置した止水矢板の影響を図るため、止水矢板を設置していない場合と設置した場合を用意した。さらに、それぞれの場合について、透水性地盤に空洞が無い場合と空洞がある場合19通りの計20通りの浸透流解析を行った。また空洞の位置は、矢板が無い場合は下流エプロン下流端から250mm、矢板がある場合は矢板の幅10mmを考慮して下流エプロン下流端から240mmを空洞の中心とした。さらに、空洞の中心を基準に、空洞の大きさを4要素ずつ両側水平方向に拡大していった。

透水性地盤の要素の透水係数は、垂直方向の透水係数と水平方向の透水係数の比が3.00になるように垂直方向が0.22cm/s、水平方向が0.66cm/sと設定した。一方で、空洞と仮定した要素の透水係数は、垂直方向100cm/s、水平方向100cm/sと設定した。境界条件は、上流側の断面に200mmを与え、下流側の水面および断面に0mmを与えた。また、有限要素メッシュは、止水矢板ありの場合が要素数5800、節点数5990、止水矢板なしの場合が要素数5880、節点数6050となった。

3. 結果と考察

図2と図3に、矢板が無い場合と有る場合それぞれについて、空洞が無い場合の過

*三重大学大学院, Mie University キーワード:頭首工, 水利構造物, エプロン, 数値解析

剰間隙水圧の分布を黒線， 空洞がある場合の過剰間隙水圧の分布を赤線で示した。 図 2, 3 とともに， 下流エプロンとの境界面に近づくほど赤線の歪みが大きくなっていくことから， 深さ方向について空洞に近いほど影響を受けやすいといえる。 また， 上流方向の過剰間隙水圧は下流方向に比べて， 空洞の影響を受けにくいことも確認できた。 これについてさらに， 図 4 では透水性地盤の表層から一行目の節点にのみ着目をし， 横軸に空洞の断面積の大きさ， 縦軸に上下流方向の影響範囲について示した。 空洞が無い場合の過剰間隙水圧を基準に， それぞれのパターンにおける過剰間隙水圧の増減率を求め， その絶対値が 5%以上の節点を空洞の影響があったとした。 ただし， 下流側については， 矢板無しの場合では 1 パターン目(空洞の断面積 200mm^2)は影響が 5%未満で， 5 パターン目の空洞でエプロン下流端に 5%以上の影響が達したため， 2~5 パターン目 ($n=4$) まで図示した。 これより， 矢板無しの場合， 上流側は空洞上流端から最大で 80mm の範囲まで影響を受けるのに対し， 下流側は 5 パターン目の空洞断面積 1000mm^2 の時点で下流エプロン下流端にまで影響が達した。 矢板有りの場合も同様に， 上流側は空洞上流端から最大で 45mm の範囲まで影響を受けるのに対し， 下流側は 7 パターン目の空洞断面積 1400mm^2 時点で下流エプロン下流端にまで影響が達した。 また， 空洞の上流側では， 過剰間隙水圧は矢板が無い場合の方が有る場合に比べて影響を受ける範囲が約 2 倍広がった。 これは本来， 下流エプロン下流端に設ける矢板は， 河床の洗堀から堰体を守るものであるため， その機能を果たしているからであると考えられる。

4. まとめ

FEM による浸透流解析により， 上流方向は下流方向に比べて空洞の影響が小さいことが明らかになった。 上流方向について， 空洞の影響が， 矢板無しの場合で空洞上流端から最大 80mm， 矢板有りの場合で最大 45mm であった。 一方， 下流方向については矢板の有無に関係なく下流エプロン下流端にまで影響が及んだ。

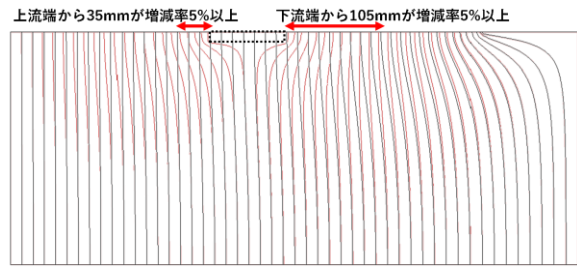


図 2 矢板無しの過剰間隙水圧分布
(空洞無しと空洞 800mm^2 の比較)

Distribution of excess pore water pressure
without watertight sheet piles

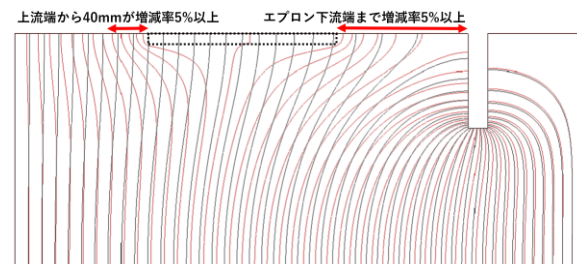


図 3 矢板有りの過剰間隙水圧分布
(空洞無しと空洞 2000mm^2 の比較)

Distribution of excess pore water pressure with
watertight sheet piles

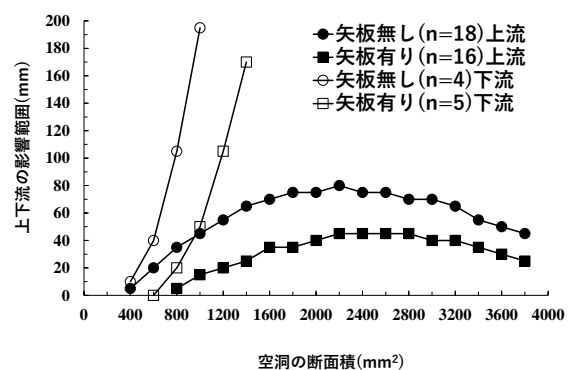


図 2 空洞が地盤表面に影響を及ぼす範囲

Extent to which the cavity affects the ground surface