

# 粘性土系遮水壁による盤ぶくれ対策について

中西 裕紀<sup>1</sup>・川部 正司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県 県土整備部 土木局 河川整備課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

<sup>2</sup>兵庫県 阪神南県民センター 尼崎港管理事務所 (〒660-0083尼崎市道意町7-21)

西宮市南部を流れる二級河川新川の河口部に位置する新川水門は、高潮・津波による浸水被害軽減を目的に既設水門の下流移設を進めている。当該工事では水門基礎杭の施工中に生じた想定外の湧水から支持層付近の被圧水を考慮した盤ぶくれ対策が必要となった。

本論文では、盤ぶくれ対策として県下初となる粘性土系遮水壁工法を採用することとなった経緯や検討過程及び工法概要について報告するものである。

キーワード 被圧帯水層, 盤ぶくれ, 粘性土系遮水壁

## 1. 概要

### (1) 工事概要

新たに建設する新川水門は、径間長25.0m、扉体高8.7mの構造物である。今津港沖の港湾区域内施工となるため、工事に先立ち、仮航路浚渫や二重締切矢板による施工ヤード確保を行った。その後、水門本体の基礎工事では、中掘り工法により鋼管杭(φ1000)を打設する計画であった。また、工事箇所は酒造用地下水で有名な「宮水」地帯に近接し、周辺に観測井を設置する等、事前に宮水保存調査会と協議のうえ、工事を進めていた。(図-1)

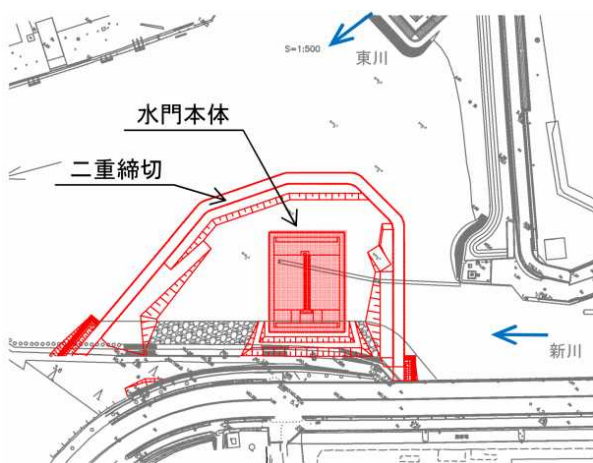


図-1 平面図

### (2) 地質概要

水門計画位置の地質構成は、表層に河床堆積物(へドロ), 表層下位に緩い砂質土(As層)が分布し、更に

下位には4~9m程度の層厚を有する軟質な粘性土(Ac層)が分布する。なお、工事着手前の現場透水試験や礫質土(Asg層)の平衡水位結果から当初は、Ac層を「透水層」と判断し、その下位にあるAsg層と連動して海水が浸透するものと判断していた。さらに下位層には鋼管杭の支持層となる砂礫層(Dsg層), 砂質土層(Dc層)がそれぞれ分布していた。(図-2)

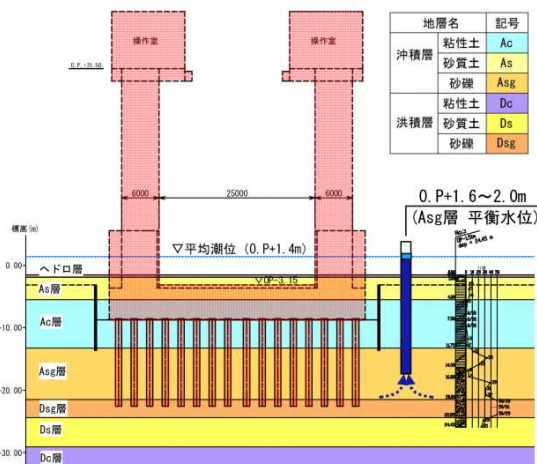


図-2 水門一般図

### (3) 想定外の湧水発生

基礎杭打設の際に想定外の湧水が発生し、周辺観測井の水位が最大70cm程度低下する事態が生じた。同時期に観測井の水位等に影響を与える工事が無かったことから、杭打設の際に地下水が杭周を伝って地表に湧出し、観測井の水位に影響を与えた可能性が高いと判断し、Ac層の透水試験やAc層下部の被圧測定、湧水の水質試験を行った。その結果、湧水が海水で

はなく淡水であったこと、Ac層が透水層ではなく難透水層( $k=1.0 \times 10^{-7}$ (m/sec))であったこと等を踏まえ検討したところ、Ac層下部に水深16m相当の水圧(被圧水頭0.P.+2.13m)が作用する被圧帯水層の存在が判明した。以上から、鋼管基礎杭が難透水層(Ac層)を貫通したことにより、被圧地下水が地上に噴出し、観測井の水位が低下したと結論付けた。(写真-1)(図-3)



写真-1 鋼管基礎杭の施工(湧水噴出)

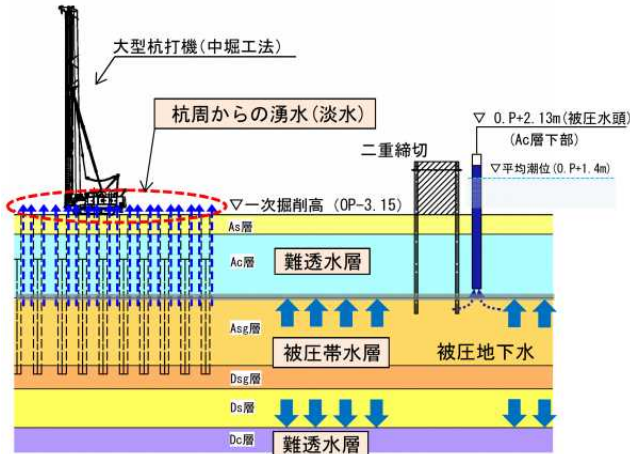


図-3 湧水発生時の施工断面図

## 2. 対策工の検討

### (1) 盤ぶくれの発生

前述したAc層とDc層に挟まれた被圧帯水層が存在するため、所定高さ(0.P.-8.75m)まで掘削した場合、土被り荷重(W)と被圧水圧(U)との比( $W/U$ )が安全率( $F_s=1.1$ )以下となることで揚圧力が抵抗力を上回り、「盤ぶくれ」の発生が懸念された。(図-4)

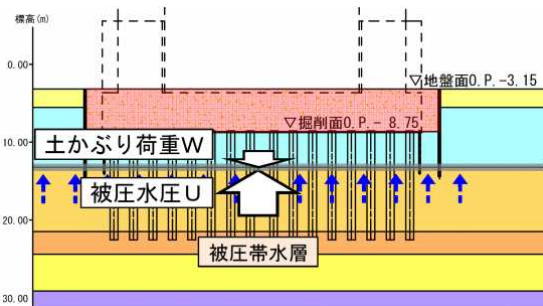


図-4 盤ぶくれ発生の概念

### (2) 対策工選定の考え方

盤ぶくれ対策としては、揚圧力の低減や抵抗力の増加対策が考えられる。そこで、①宮水への影響からアルカリ水が発生するセメント系地盤改良や、ディープウェルによる地下水位の低下が難しいこと、②被圧帯水層の下部(0.P.-29.1m)に不透水層(Dc層)が存在すること、③Asg層のN値が50以上のため遮水矢板の打設工法に限られることを踏まえ、対策工の比較検討を行った。その結果、コスト面や環境面で有利な粘性土系遮水壁(ECウォールII工法1))による盤ぶくれ対策を行うこととした。(表-1)

表-1 盤ぶくれ対策 比較表

工法	揚圧力の低減		抵抗力の増加
	粘性土系遮水壁	ディープウェル(地下水位低下)	遮水壁延伸+地盤改良
概要			
コスト	○	◎	△
周辺環境への影響	○	×	○

### (3) 工法概要

NETIS登録されている当該工法は、天然の粘土鉱物で遮水壁を地中に造成するものであり、河川堤防の漏水対策や調整池や最終処分場の遮水壁や汚染土壌の封じ込めなどに採用されている。対象地盤の全層を大型等厚式施工機械等により、粉体の粘土鉱物と混合攪拌し、地中に人工的な粘性土系遮水壁を連続して造成するものである。特徴として、従来のセメントを用いた工法と比べ、地下水等への影響も少なく、施工時の排泥を発生させない工法とされており、民間や他公共団体で施工事例はあるものの、県下では初めて採用する工法である。(図-5)

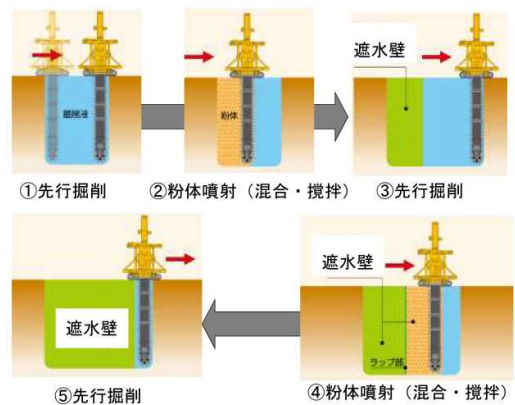


図-5 ECウォールII工法の施工フロー

### (4) 遮水機能のメカニズム

使用する粘土鉱物の主成分であるモンモリロナイトは、水を吸収すると元の体積の何倍にも膨らむ特徴(膨潤性)を持っている。この原理は、水と接触すると層間陽イオン(単位層間に存在する陽イオン)

と水分子が水和し、単位層間の距離が増加していくことによって起こるものであり、遮水機能はこの膨張性によるものである。(図-6)

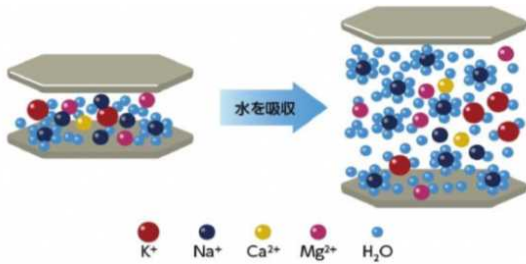


図-6 モンモリロナイトの膨潤模式図

(5) 粘性土系遮水壁による対策工

今回の工事では、当該工法により難透水層(Dc層)に遮水壁を貫入し、施工面の全側面を遮水構造とした後、掘削底面の被圧低減を図ることとした。ただし、遮水壁自体の強度が小さいため、土留め壁(鋼矢板IV型)併用の対策工とした。また、地盤高(0.P.-3.15m)から遮水壁を設置した場合、遮水壁を伝って被圧地下水が噴出するため、被圧地下水が噴出しない高さ(0.P.+2.50m)まで盛土を行った。(図-7)(図-8)

なお、同工法はコスト面や環境面で優れたものであったが、当該現場においては、遮水壁設置後に掘削作業を行う際に、遮水壁が周辺地盤と一体となった挙動となることが予想されたため、施工前に安全性評価を行った。

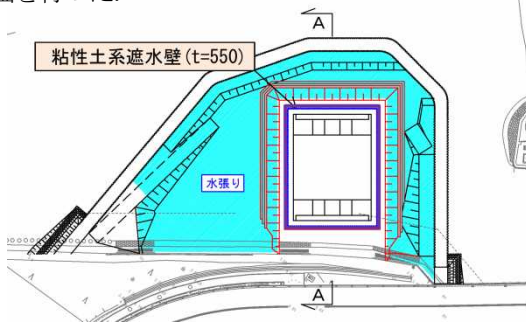


図-7 対策工平面図

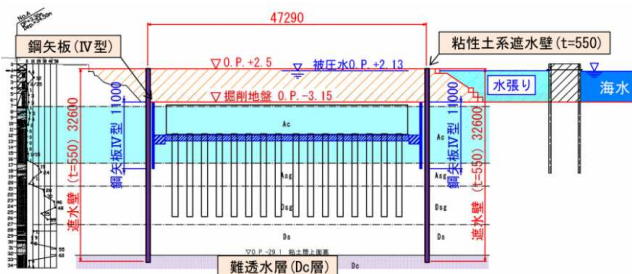


図-8 対策工横断面図(A-A断面)

3. 被圧水作用による安全性評価

(1) 評価の考え方

今回設置した遮水壁は、鋼矢板等を用いた遮水工法と比較して剛性が低いため、掘削時の被圧作用を

受けた場合には、遮水壁が周辺地盤の変形に追随するため、施工済の鋼管杭も影響を受けて変位することが予想された。このため、有限要素法(FEM変形解析)を用いることにより、遮水壁の曲率半径、せん断ひずみ及びび杭の変位を算定した。

(2) 許容値の設定

遮水壁の変形許容値については、遮水壁の変形挙動と遮水性に関する検討に基づき設定した。被圧作用により遮水壁が屈曲する際には、曲線に近い挙動や折れ曲がり挙動を示し、曲線の半径が小さい場合には、遮水壁にクラック等が生じ、水密性が確保されないことから曲率半径の許容値を10m以上とした。また、折れ曲がり大きい場合は、遮水壁にクラック等が生じ、水密性が確保できないことから、せん断ひずみの許容値を15%以下とした。なお、基礎杭の許容変位値は、県の管理基準に基づき杭長の1%(14cm)以下とした。

(3) 解析結果

最も変形が大きい右岸遮水壁(0.P.-13.0m付近)の曲率半径は30m、せん断ひずみは2.5%となった。また、杭の最大変位は1.5cm程度であり、全て許容値を満足ものであることを確認した。その結果、今回の被圧作用により遮水壁や杭の安全性、また遮水機能が損なわれないことを確認することが出来た。(図-9)(図-10)

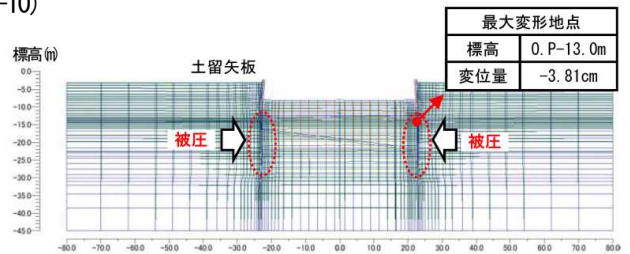


図-9 掘削時の変形図

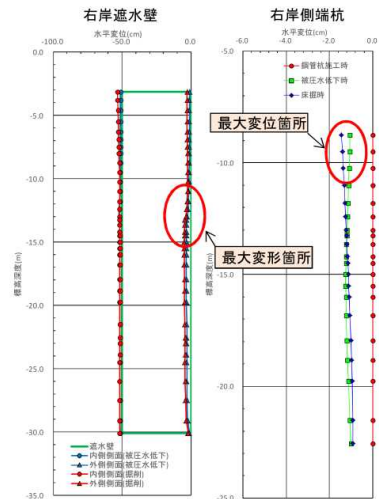


図-10 遮水壁・杭の水平変位

#### 4. 掘削時の地下水排水計画

##### (1) 排水ポンプの設定

ポンプによる排水は、排水孔を設置して行う必要があるため、排水孔径を極力小さくする。なお、排水揚程は排水当初は被圧水頭が高いため揚程が小さいが、掘削が進むにつれて揚程が大きくなる。ただし、上部盛土の掘削も進めるため、今回の実揚程は掘削面 (O.P-3.15m) ~掘削面 (T.P-8.75m) までとし、さらに配管ロス等を考慮して全揚程は6mとし、排水孔設置部の盛土を先行撤去のうえ、O.P-3.15mから排水孔を設置した。その際、被圧水が湧水するが、その湧水を釜場排水しながら排水孔を設置することとした。(図-11)

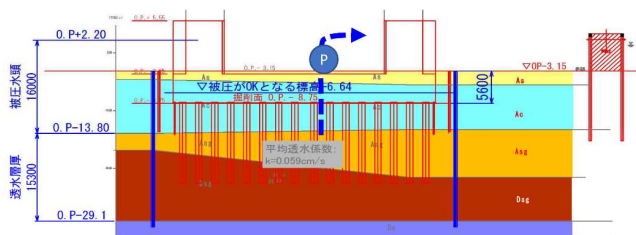


図-11 排水孔の設置位置

##### (2) 掘削方法

O.P-3.15mからの掘削は掘削深1m毎で行い、掘削地盤低下に伴い湧水する遮水壁からの浸透水は水替えポンプにより排水する。なお、掘削深1mで掘削し、湧水が終了した時点で、次の1mの掘削を行うサイクルとする。この場合、掘削時に被圧する被圧力は、掘削高+1mとなる。(図-12)

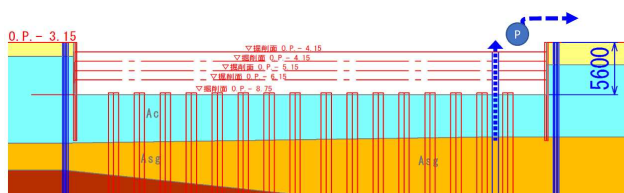


図-12 掘削方法(1m毎)

##### (3) 各掘深における被圧に対する安全率

各掘削深における被圧に対する安全率を算定した場合、全ての掘削深で安全率を満足する結果となった。(表-2) (写真-2) (写真-3)

表-2 掘削深と安全率

①掘削深 -3.15から1m毎	②地盤厚 被圧層からの厚さ	③地盤重量 ②×15.6KN	④被圧水深 ②+1m	⑤被圧水圧 ④×10KN	⑥安全率 ③/⑤	判定 ⑥>1.1
O.P-4.15	9.65	150.54	10.65	106.5	1.41	OK
O.P-5.15	8.65	134.94	9.65	96.5	1.40	OK
O.P-6.15	7.65	119.34	8.65	86.5	1.38	OK
O.P-7.15	6.65	103.74	7.65	76.5	1.36	OK
O.P-8.15	5.65	88.14	6.65	66.5	1.33	OK
O.P-8.75	5.05	78.78	6.05	60.5	1.30	OK



写真-2 粘性土系遮水壁の施工状況



写真-3 遮水対策後の掘削状況

#### 5. おわりに

本工事では設計段階で被圧帯水層の確認が困難であり、施工段階においてこのような盤ぶくれ対策が必要となったものである。盤ぶくれ対策に同工法を用いた事例が無かったが、当該現場においては遮水対策と周辺環境対策の両立を図ることの出来る最適案であったと考える。2019年6月時点で対策工事は完了し、遮水壁からの浸透水はほとんど無かったことから、遮水効果が十分確認できた。今後、被圧帯水層の影響を受ける工事において、工法選定の経緯や事前検証方法が参考となれば幸いである。

#### 参考文献

- エコクレイウォールⅡ工法[大型等厚式施工機]技術・積算資料 (E C(エコクレイ)ウォール工法協会)
- 国土交通省新技術情報提供システム: NETIS登録番・KT-160027-A, エコクレイウォールⅡ工法(ECウォールⅡ工法)
- 田村成仁・高井敦史・乾 徹・栗原太志・勝見武・荒木 進・嘉門雅史: ソイルベントナイト鉛直遮水壁の変形挙動と遮水性に関する検討, 第48回地盤工学研究発表会講演集, pp2187-2188, 2013.
- 小川泰弘・嘉門雅史・勝見 武・乾 徹・松橋大作・荒木 進: ソイルベントナイト地中連続遮水壁の遮水性能とその耐久性の実験的検討, 第40回地盤工学研究発表会発表講演集, pp2593-2594, 2005.