

# 高アルカリ湧水の発生原因検討及び対策工の提案

応用地質株式会社中部支社 ○山口明代

## 1. はじめに

A 建設現場において、ボックスカルバート排水路の底部に多量の白色沈殿物が確認された。水路水の pH を測定したところ、pH12 を示す高アルカリ性で、水路水の起源は、「建設現場付近の沢水」、「建設現場内の表面排水」、「水路底の水抜孔からの湧水」であった。

水路水は建設現場付近の民家が農業用水として利用しており、流末は二級河川に合流していることから、近隣民家の営農や河川環境への影響が懸念された。このため、早期の原因解明と対策工法の提案を求められた。原因調査および対策工検討の結果について紹介する。

## 2. 調査地の現状把握

まず、現地状況を把握する目的で、高アルカリ性の流水が確認された水路周辺の地表水および地下水と、水路周辺の表層地質に対して pH を測定した。

水路水の起源のうち、「沢水」は pH7.3、「建設現場内の表面排水」は pH7.5、「水路底の水抜孔からの湧水」は pH12.0 となり、水抜き孔の湧水が水路水の pH を高めていると考えた。

一方、水路周辺に分布する地質の pH を見ると、「地山\_粘性土」、「建設現場内の盛土材」、「基盤岩」はいずれも中性～弱アルカリ性であり、水路脇で採取した「埋戻し材」のみ pH11.8 の高アルカリ性を示した。

次に、水路、調整池の工事記録を確認した。工事記録によれば、水路は隣接する調整池と同時に施工された。建設箇所は谷地形であり、地質は地表面から谷底堆積物である軟弱な粘性土、砂礫、基盤岩の順に分布する。調整池の重力式擁壁の支持層である粘性土は、施工時に支持力不足が確認されたため、重力式擁壁および水路の底面に分布する粘性土を除去し、置換え基礎としていた。置換え基礎には路盤材に使用される再生砕石 (RC-40) が使用された。

## 3. 高アルカリ湧水の原因推定

現地調査および工事記録より、高アルカリ湧水の発生原因を推定し、図-1 および以下に整理した。

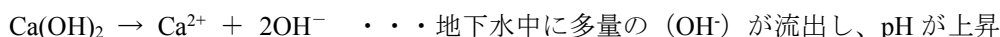
### 【再生砕石による置換え工施工直後】

水路、調整池の重力式擁壁の置換え基礎には再生砕石が使用された。再生砕石は使用済みコンクリート塊を 40mm 以下に破碎したものであり、モルタルが付着した骨材やモルタル分からなり、セメントの主成分の水酸化カルシウム (Ca(OH)<sub>2</sub>) が多く含まれる。



### 【かんがい期の地下水位上昇期】

再生砕石は、かんがい期の水位上昇により水浸した。水酸化カルシウム (Ca(OH)<sub>2</sub>) は水中で電離してカルシウムイオン (Ca<sup>2+</sup>) と水酸化物イオン (OH<sup>-</sup>) となる。



### 【水路に白色沈殿物が付着】

電離したカルシウムイオン (Ca<sup>2+</sup>) と水酸化物イオン (OH<sup>-</sup>) は、空気中または水中の二酸化炭素と反応 (中和) し、炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>) および水 (H<sub>2</sub>O) となる。



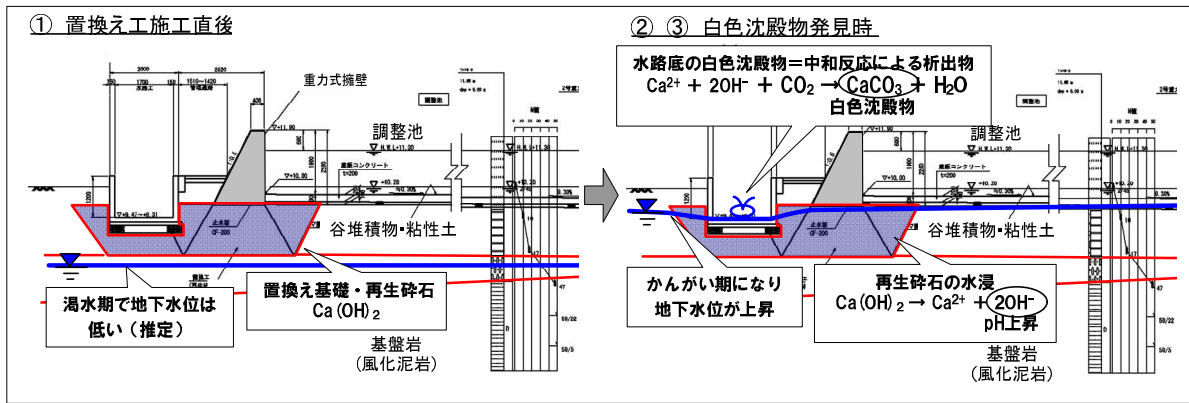


図-1 高アルカリ湧水の発生原因推定図

#### 4. 化学分析による推定原因の検証

水路に流入する水の化学分析を行い、前述の推定原因を検証した。分析結果を整理し、表-1 に主要溶存イオンの当量を示した。これより「①水抜き孔湧水」と「③試掘孔」ではカルシウムイオンが約 9meq/L と陽イオンの約 8 割を占めているのに対し、pH 値から推定する水酸化物イオン（陰イオン）の当量は、約 8meq/L となる。これより陽イオンと陰イオンの合計当量は同程度になり、水試料中に存在するイオンは、陽イオンとしてカルシウムイオン、陰イオンとして水酸化物イオンが大部分を占めることを確認した。

以上より、白色沈殿物および高アルカリ湧水の原因が再生碎石の水酸化カルシウム中和反応によるものであることを検証した。

表-1 主要溶存イオンの当量一覧表

項目	単位	区分	①水抜き孔湧水	②現場表面排水	③試掘孔水	④沢水
pH	-	-	12.0	7.5	11.9	7.3
ナトリウムイオン : Na <sup>+</sup>	(meq/L)	陽	0.83	0.33	1.26	0.25
カリウムイオン : K <sup>+</sup>	(meq/L)	陽	0.36	0.05	0.41	0.02
カルシウムイオン : Ca <sup>2+</sup>	(meq/L)	陽	8.98	2.05	8.63	0.51
マグネシウムイオン : Mg <sup>2+</sup>	(meq/L)	陽	0.00	0.59	0.35	0.35
塩化物イオン : Cl <sup>-</sup>	(meq/L)	陰	0.40	0.18	0.56	0.17
硝酸イオン : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(meq/L)	陰	0.01	0.03	0.01	0.02
炭酸水素イオン : HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(meq/L)	陰	0.00	1.64	0.00	0.75
炭酸イオン : CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	(meq/L)	陰	0.67	0.00	0.77	0.00
硫酸イオン : SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	(meq/L)	陰	0.52	0.93	0.32	0.08
水酸化物イオン ※pHより換算 : OH <sup>-</sup>	(meq/L)	陰	7.9	0.0	7.9	0.0
陽イオン合計	(meq/L)		10.2	3.0	10.7	1.1
陰イオン合計	(meq/L)		9.5	2.8	9.6	1.0

#### 5. 再生碎石の注水実験による pH の予測

化学分析による検証と並行して、現地の状況を再現、予測するための「再生碎石の注水実験」を実施した。

実験は、図-2 に示すように 2 段階で実施した。第 1 段階は生産場所や保管状態により pH に差が生じるかを確認するためのものであり、3 種類の再生碎石（試料 A~C）を水浸し、pH を測定した。試料は異なる製造会社とし、試料 A は約 1 年間暴露、試料 B は製造直後、試料 C は製造後 1 箇月経過したものを使用した。第 2 段階は後述する応急対策状態における pH の低下を予測するためのものであり、第 1 段階の試験で pH が最も高い試料 B と最も低い試料 A の 2 種類を抽出し、試料に連続注水して、通過した水の pH を測定した。

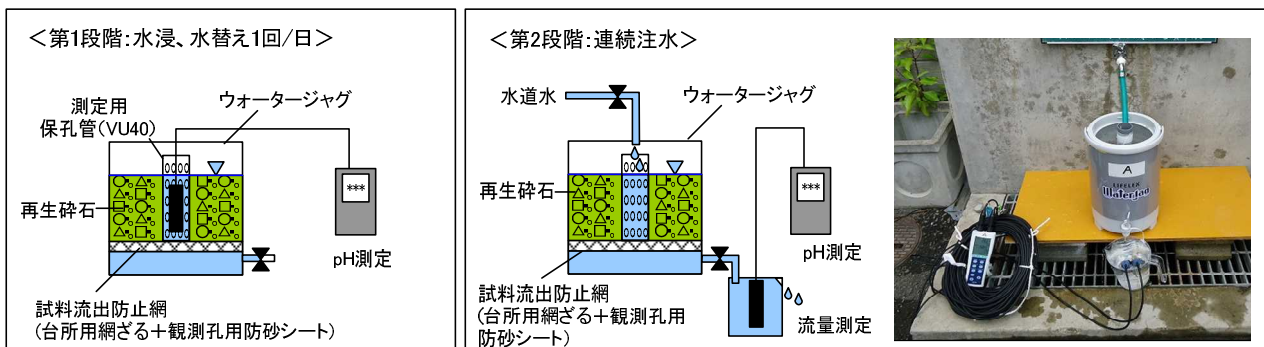


図-2 再生碎石注水実験の概要図

第1段階は試料により多少差があるが、3種類ともpH11以上を示した。第2段階は、試料A、Bとも注水直後にはpHが低下するが、86時間(3.6日)後頃から低下速度が遅くなり、168時間(7日)後に試料AでpH9.4、試料BでpH9.8を示した。第2段階の実験結果から、発注者が目標とするpH8.5(環境基準)を満たすまでに要する時間を試算した。

ここで、中和の効率は「通水時間」によるところが大きいのか、「通水量」によるところが大きいのかは不明である。このため、「通水時間」と「通水量」の両方でpHの変化を整理し、図-3、図-4に示した。「通水時間」に着目した推定では200日~500日であり、「通水量」に着目した推定では、22年~54年であった。これより、pH8.5(環境基準)を満たすまでに要する時間は、長期に及ぶ場合50年以上要する可能性があるとして推定した。

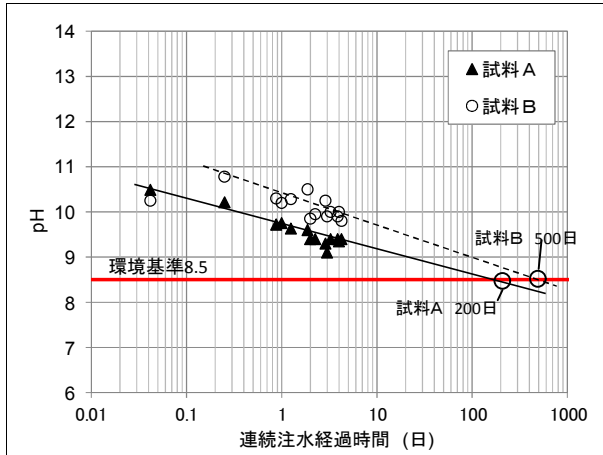


図-3 通水時間と pH の関係図

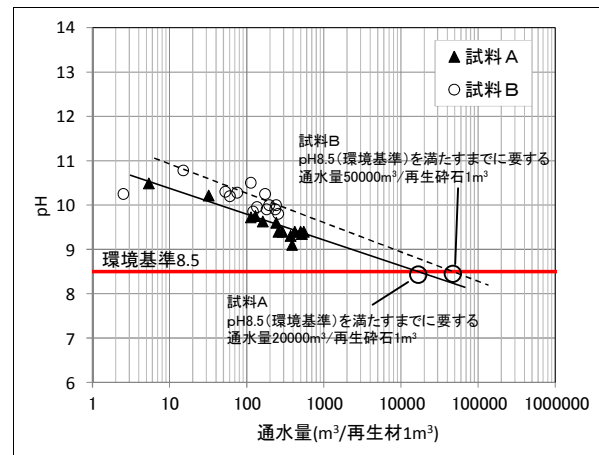


図-4 通水量と pH の関係図

## 6. 対策工の検討

高アルカリ湧水の原因調査中も水路底からは湧水が継続しており、下流域に高アルカリ水を流下させない応急対策を必要とした。このため高アルカリ湧水が確認される水路区間を締め切るとともに水路横に井戸を設置し、両方で揚水した高アルカリ水に対して、二酸化炭素中和装置を使用して、中和処理を行った。

一方、恒久対策として、今回の問題は「土壌汚染対策法」に示される土壌汚染問題には該当しないが、工法の信頼性の面で土壌汚染対策の基本的な工法を踏まえて比較検討を行った。恒久対策工の比較検討結果を表-2に示す。恒久対策工は図-5に示す「地中壁による封じ込め」案を基本とするが、段階的に施工を実施し、モニタリングにより効果が現れた時点で対策終了とすることに決定した。

表-2 恒久対策工の比較表

対策方針	封じ込め		浄化		除去
対策工法	矢板	地中壁	揚水+二酸化炭素による浄化	揚水+中和剤による浄化	除去+再構築
措置	・矢板および遮水シートで置換え範囲を囲み、強アルカリ水を封じ込める ・水抜き孔、目地の閉塞	・地中壁で置換え範囲を囲み、強アルカリ水を封じ込める ・水抜き孔、目地の閉塞	・揚水に対して炭酸ガスを注入し、中和させる	・揚水に対して中和剤を添加し、中和させる	・既設構造物および再生砕石を除去 ・再構築時には新材を使用する
効果	・内部に高アルカリ水は残置されるが、外部に流出させない効果はある	・内部に高アルカリ水は残置されるが、外部に流出させない効果はある	・装置の性能はメーカーが補償	・装置の性能はメーカーが補償	・完全な効果は得られる
補助工法など	・内部の再生砕石のアルカリ成分が不溶化する措置をとることで効果が高まる ・既設構造物との位置関係において一部既設構造物撤去の必要あり	・内部のアルカリ成分を不溶化する措置をとることで効果が高まる ・土工主体であり、既設構造物撤去の必要性がない	・揚水、貯水、排水システムの確保 ・揚水量を確保するために揚水孔の増設または暗渠排水工が必要	・揚水、貯水、排水システムの確保	・再生砕石および既設構造物の廃棄物扱い
時間	・施工期間は4~5箇月程度	・施工期間は4箇月程度	・実験結果より数十年の対策期間が必要となる可能性がある	・実験結果より数十年の対策期間が必要となる可能性がある	・再構築期間は4箇月必要
周辺環境への影響	・効果を確認するために、モニタリングが必要	・効果を確認するために、モニタリングが必要	・薬品を使用しないためリスクが少ない ・浄化設備にpH測定機能有り	・中和剤(pH以下)や沈殿物への外部流出を防止する必要あり ・浄化設備にpH測定機能有り	・住民に理解を得る事が難しい
コスト	比較的安価	比較的安価	・長期間の場合、ランニングコストが高価となる	・長期間の場合、ランニングコストが高価となる	・建設費に加え、廃棄物処分費が必要であり高価である
評価	△	○	×	×	×

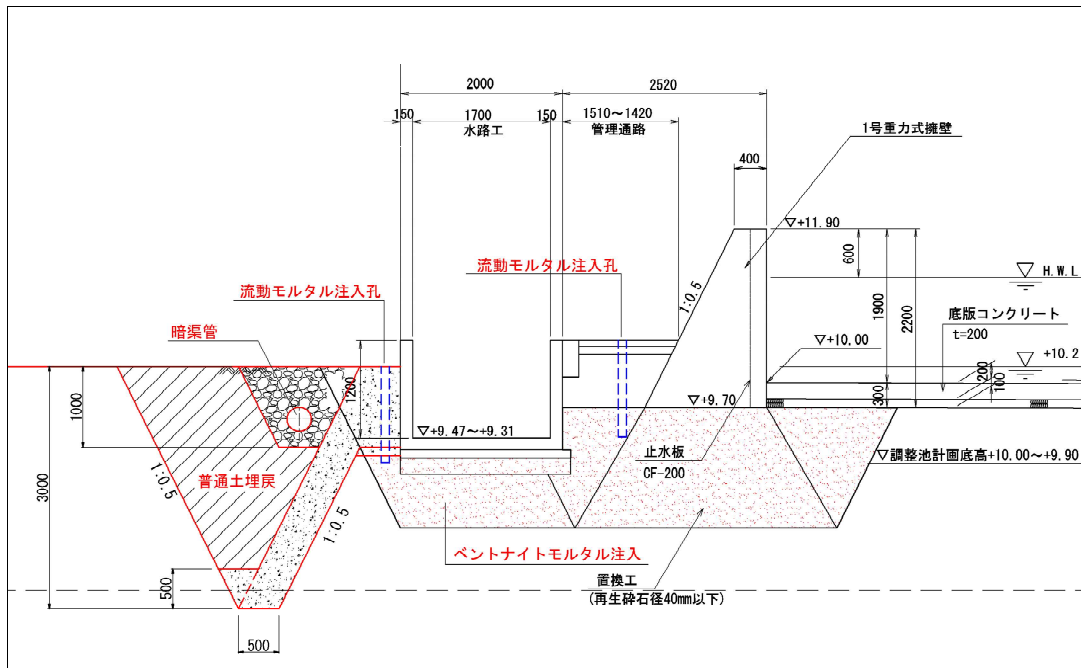


図-5 恒久対策工（最終案）概要図

## 7. まとめ

本事例では再生砕石を建設工事において有効活用できた反面、再生砕石からの高アルカリ湧水という現象が生じ、周辺の水利用に対する問題が発生した。幸い、早急に処置を行ったことと、再生砕石の使用量が比較的少なく、地盤の中和作用が発揮されたことから、周辺の水利用や、河川環境への影響、また周辺地下水の汚染には及んでいない。

しかしながら、近年、多くの建設工事において再生砕石は利用されており、類似の事例は発生している可能性がある。

アルカリ成分やその他の汚濁物質の地盤中での挙動は、地盤材料、汚濁物質さらに負荷量や負荷濃度の組み合わせにより様々であり、それぞれの現場条件に応じた対応方法が求められている。

このため本事例で示したように、想定される問題を室内実験より再現することで、今後の経過が予測されるとともに、現場に適した解決方法を検討する際の基礎資料が得られると考える。

また、土壌のアルカリ化の問題の他、砒素等の重金属の溶出など、汚染問題においてより詳細な汚濁物質の検討が必要な場合は、図-6に示すようなカラム試験が有効であると考えられる。

最後に、今回の事例を通じて、再生砕石にも思わぬリスクがあること、またこのような問題に対しては、化学、廃棄物、地質・土質、設計分野の技術者による多面的な検討が不可欠であることを改めて認識した。この経験を生かし、今後も建設現場における様々な課題に取り組みたいと考える。

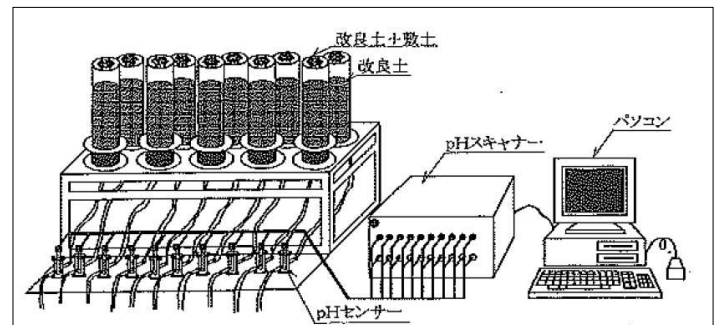


図-6 カラム試験例<sup>1)</sup>

## 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所(2008)；建設汚泥再生利用マニュアル pp.232～243.
- 2) 建設省技調発第 88 号(1994)：コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）
- 3) 国官技第 181 号(2007)：公共建設工事における再生コンクリート砂の使用に係る留意事項
- 4) 土木学会建設技術研究委員会（2007）：土壌汚染の調査・対策に関する Q&A