

某製鋼所における赤橙色のディープウェル排水の処理

炭田 光輝 喜田 大三 辻 博和
(本社 土木技術本部 技術第2部)
岡庭 保 松井 哲夫
(名古屋支店) (名古屋支店)

Treatment of Reddish-Brown Deep-Well Drainage at a Certain Steelworks

Mitsuteru Sumida Daizo Kita Hirokazu Tsuji
Yasushi Okaniwa Tetsuo Matsui

Abstract

During construction at a certain steelworks, ground water containing 300 to 400 ppm of Fe^{2+} was pumped out at a rate of about 250 m³/h in a period of three months. The Fe^{2+} in this water was oxidized by air to become ferric hydrate, and the color of the water became too reddish-brown to be drained directly into the sea. The treatment process of (① aeration in alkaline environment → ② flocculation → ③ dewatering) was adopted at a project site to remove Fe^{2+} from a large quantity of deep-well water. The ground water treated by this process could then be drained into the sea. The ferric hydrate sludge removed from sedimentation tanks was treated by filter press and the volume of dewatered cakes was about 0.25% of the total drained water and the properties were suitable for embankment.

概要

某製鋼所の建設工事において、第一鉄イオンを 300~400 ppm 含む地下水をディープウェルによって約 250 m³/h で約 3 か月にわたって排水した。排水中の第一鉄イオンは無色であるが、空気にふれると赤橙色の水酸化第二鉄に酸化され、排水が着色するので、水質汚濁防止上この排水を直接海に放流できなかった。そこで、当該工事では、限られた敷地で多量のディープウェルの赤水排水を確実に処理できる方法として、＜アルカリ酸化→凝集沈殿→脱水＞の処理方法を採用した。設置面積が約 600 m² のコンパクトな処理プラントで、ディープウェル排水を処理した結果、残留第一鉄イオン 1 ppm 以下・SS 濃度 10 ppm 以下の清澄な処理水を放流することができた。凝集沈殿で除去した水酸化第二鉄のスラッジをフィルタープレスで処理した結果、脱水ケーキの量は総ディープウェル排水量の約 0.25% と少なく、さらにその性状は良好で、当該工場内に盛土処分できた。

1. まえがき

某製鋼所において、地下 34 m に及ぶ連続鋳造炉の構築工事の内部掘削に際し、被圧水対策として地下水低下工法の一つであるディープウェル工法が採用された。

ディープウェル排水は当初、側溝・沈砂池などをへて海に放流することを計画していた。ところが、予備調査の結果、この排水中には還元状態の鉄イオン（第一鉄 Fe^{2+} ）を多量に含んでいることが判明した。したがって、そのまま排水すると、側溝・沈砂池などで水中の第一鉄が徐々に酸化されて水酸化第二鉄になり、排水が赤橙色を呈し、放流に支障をきたすことが予想された。

そこで、当該工事では、限られた敷地で多量のディープウェル排水を確実に処理できる方法として、＜酸化→凝集沈殿→脱水＞の処理方法を採用した。その結果、ディープウェルの排水を全て処理し、清澄な処理水を放流することができ、排水による二次公害を引き起こすことなく、当該工事を無事終了することができた。

この報告では、水酸化第二鉄で赤橙色を呈する水（以

下、赤水と呼ぶ）の処理方法を概説するとともに、当該工事における赤水処理の実績を報告する。

2. 排水の発生状況と処理基準

2.1 排水の発生状況

2.1.1 工事概要 連続鋳造工場の地下外壁を地中連続壁工法（工事規模；円形で外壁の直径 29 m，壁厚 1.0 m，掘削深さ 55.0 m）で施工した後、根切り深さ GL-34 m の内部掘削工事においてディープウェルで地下水を約 3 か月間排水した。

2.1.2 排水量 内部掘削の進行に伴って、地下水位を順次低下させるために、ディープウェルの排水量は、掘削当初の約 140 m³/h から最深部掘削時の約 280 m³/h まで変化した。工事期間中の平均排水量は約 250 m³/h であつた。

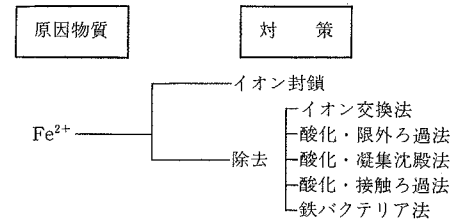
2.1.3 水質 工事に先立って採水した地下水の水質を表-1 に示すように、地下水には第一鉄イオン (Fe^{2+}) を 73 mg/l 含有しており、設計に当たっては、約 100 mg/l 程度と予想した。しかし、実際の工事におけるディ

表一 計画時の地下水の水質

項目\深度	GL-16m	GL-70m
pH	7.8	6.4
Fe ²⁺ (mg/ℓ)	0.1>	73
T-Fe (mg/ℓ)	3.4	80
Cl ⁻ (mg/ℓ)	3,200	2,400
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	520	31
COD (mg/ℓ)	4.2	12

表二 赤水処理の処理基準

処理項目	放流基準
pH	6.5~8.6
溶解鉄 (mg/ℓ)	10以下
SS (mg/ℓ)	25以下(max 30以下)
COD (mg/ℓ)	14以下(max 20以下)



図一 Fe²⁺ による赤橙色化の防止方法

ープウェル排水中の第一鉄イオンの濃度は予想外に大きく 300~400 mg/ℓ 程度であった。

2.2 排水の処理基準

当地区の海域への放流基準のうち、今回の赤水処理において考慮すべき項目は pH・溶解鉄・SS・COD であり、この処理基準を表二に示す。

3. 赤水の処理方法

3.1 一般的な処理方法

還元状態の第一鉄イオン (Fe²⁺) を含有し、それが酸化されて赤橙色を呈する排水 (赤水) の処理は、赤橙色化の原因物質が Fe²⁺ であるので、この Fe²⁺ の処理方法を考えればよい。

図一に代表的な処理方法を示すように、処理方法は ①イオン封鎖し、Fe²⁺ が酸化されにくい形に処理する方法と、②原因となる Fe²⁺ あるいは酸化後の Fe(OH)₃ を除去する方法とに大別される。

①の方法は、一般にキレート剤を加え、鉄イオンを安定な錯イオン (化合物) にする方法である。しかし、キレート剤は鉄イオンだけでなく他のイオンとも反応するので、他の塩類濃度が高い場合には効果的でない。さらに、キレート剤は有機物であり、放流に際して有機汚染の問題も考慮しなければならない。

②の方法には、①イオン交換法、②酸化・限外ろ過法、③酸化・凝集沈殿法、④酸化・接触ろ過法、⑤鉄バクテリア法などがある。

①の方法は、イオンの状態で含まれている鉄をイオン交換樹脂などで除去する方法である。②の方法は、鉄イオンを強制酸化して水酸化第二鉄のコロイド粒子としたのち、このコロイド粒子を限外ろ過膜でろ過して除去する方法であり、③の方法は、同じく鉄イオンを酸化して水酸化鉄をシクナーで凝集沈殿させて除去する方法である。④の方法は、鉄イオンを酸化後、マンガゼオライトなどの層でろ過して除去する方法であり、⑤の方法は、水中で鉄を酸化することによってエネルギーを得て生育する細菌を用いて、鉄の酸化物を菌体表面に形成させて、鉄を除去する方法である。

一般に、①、②、④および⑤の方法は特殊な処理設備を必要とするので、Fe²⁺ 濃度・塩類濃度が高くしかも水量が多い場合には、設備費が膨大となる。しかも、使用期間が短く、あくまで仮設の設備の場合には適切な方法とは言い難い。

一方、③の酸化・凝集沈殿法は、処理設備に特殊なものを必要としないことから、従来土工事で発生する濁水の処理に用いている設備を使用することが可能である。

したがって、当該工事のように高濃度の Fe²⁺ を含有し、水量が多くしかも短期間の処理では、上述の処理方法のうち酸化・凝集沈殿法が最適であると判断し、工事に採用した。

3.2 当該工事の処理方法

当現場で採用した赤水処理のフローシステムを図二に示す。

排水中の Fe²⁺ を酸化する方法としてはエアレーションを採用した。エアレーションによる Fe²⁺ の酸化の場合、排水の pH はアルカリ性の方が酸化されやすいので、あらかじめ排水の pH をアルカリに調整した。その際、当該工事では、後続のスラッジの脱水に使用するフィルタープレスの能力を向上させることも考慮して、アルカリ剤として消石灰を使用した。

酸化された水酸化第二鉄の凝集沈殿処理では、無機および高分子凝集剤を添加して、微細な水酸化第二鉄を大きなフロックに凝集させ、このフロックをシクナーで沈降分離し、清澄な上澄水を放流した。一方、沈降した水酸化第二鉄のスラッジはフィルタープレスで加圧脱水処理し、場内に盛土処分した。

4. 当該工事における赤水処理の実績

4.1 処理実績の概要

使用した主な機械あるいは槽などの規模・数量は前掲の図二に併記した通りである。処理プラント全体の設置面積は約 600 m² であり、写真一にその全景を示す。

先の 2 章で述べたように、ディープウェルの排水量は 140~280 m³/h であり、工事時の平均排水量は約 250 m³/h であった。さて、排水中の Fe²⁺ 濃度は、工事前の調査結果に基づいて、約 100 mg/ℓ と予想したが、実際には予想外に大きく、約 300~400 mg/ℓ であった。

上述のように、ディープウェル排水中の Fe²⁺ 濃度は計画当初の予想値以上に大きかったが、後述するように、適切なアルカリ曝気処理さらには凝集沈殿処理を行なうことによって、表三に処理結果の一例を示すように、水質を当該工事の放流流基準値内に処理ができ、清澄な処理水を放流することができた。

4.2 アルカリ・曝気処理

排水中の Fe²⁺ イオンの酸化処理に際して、曝気効果

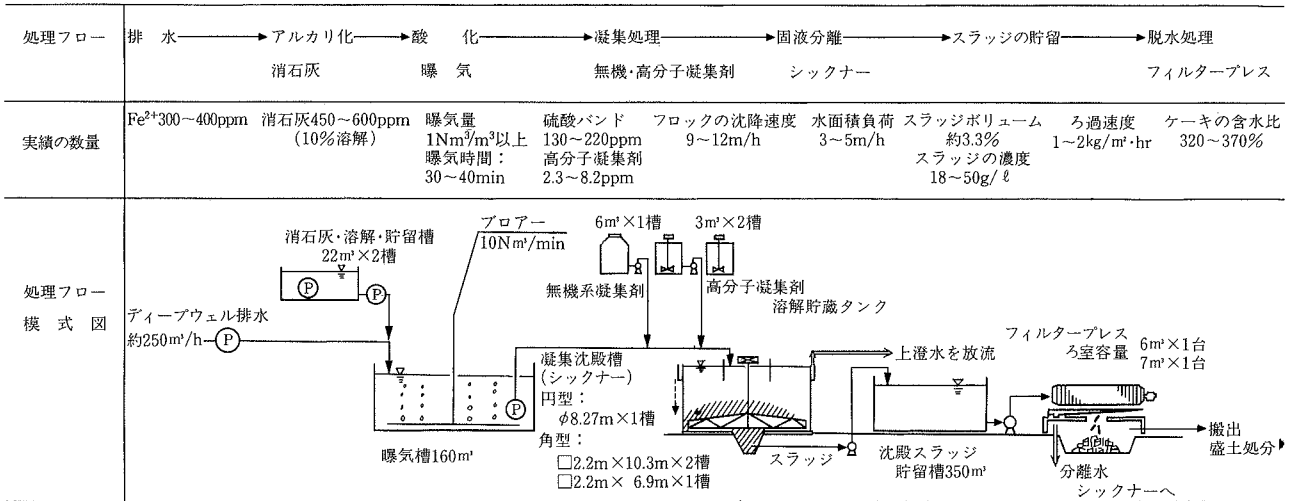


図-2 赤水処理のフローシステム



写真-1 処理プラントの全景

を速めるため、今回は消石灰を添加してアルカリ条件を保つことにした。ここでは、特に表示しないが、室内試験の結果、 $1Nm^3/min/m^3$ 排水の曝気量で30分以内に完全に酸化するためには、pHを7以上にすればよいことが明らかになった。そこで、現場では、放流水のpHを考慮して、おおむね7~9を維持するように管理した。そのためには、消石灰は約450~600ppm添加する必要がある。

以上のアルカリ曝気処理によって、曝気槽のオーバーフロー水中の Fe^{2+} イオン濃度を常時0.5ppm以下に維持することができた。

なお、当該工事の放流水のpHに関する放流基準は6.5~8.6であった。曝気槽のオーバーフロー水のpHが8.6を越えることがあったが、後続の凝集沈殿処理に際して硫酸バンドを添加したので、図-3に示すように、放流水のpHは上述の基準を維持することができた。

4.3 凝集沈殿処理

先のアルカリ曝気処理で生成した水酸化第二鉄のコロイドは微細なため沈降性が悪かった。そこで、このコロイドをシックナーで確実に沈殿除去するために、無機凝集剤として硫酸バンドを、高分子凝集剤としてアニオン系のポリアクリルアミドの両凝集剤を使用した。

適切な凝集フロックを生成させるためには、硫酸バン

表-3 処理結果の一例

種類	水量	SS	pH	S-Fe	S-Mn	COD
項目	m ³ /h	mg/ℓ		mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ
ディープウェル排水	140~280	1~13 (6.8)	6.3~6.8 (6.7)	319~418 (394)	9.1~9.6 (9.5)	8.4~14.9 (10.0)
処理後の放流水	(250)	3~8 (4.9)	6.5~8.6 (8.2)	0~0.3 (0.1)	0.1~6.6 (3.9)	0.9~3.8 (2.6)

S-Fe; 溶解性鉄, S-Mn; 溶解性マンガン, () は平均値

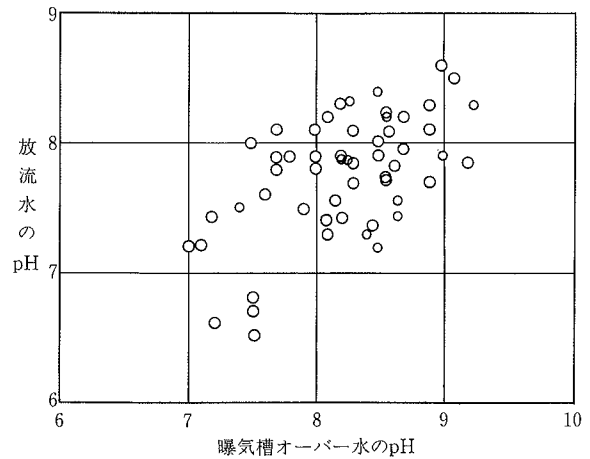


図-3 曝気槽オーバー水と放流水のpH

ドの添加量は130~221ppmの範囲で、その平均添加量は150ppm、また、高分子凝集剤の添加量は2.3~8.2ppmの範囲で、その平均添加量は4.3ppmであった。

上記の添加量の凝集剤処理によって、写真-2に示すように、フロック径でD-5 (1.5~2.5mm)程度程度の凝集フロックが生成でき、その沈降速度として、9~12m/h程度を確保することができた。また、その凝集フロックの沈降過程は、写真でも明らかなように、界面沈降を呈し、その結果としてピンフロックの発生は少なかった。

フロックの沈降速度として、9~12m/h程度を確保で

きたことから、シックナーの水面積負荷として $Q/A=3\sim 5$ m/h 程度で運転することができ、残留第一鉄イオン 1 ppm 以下・SS 濃度 10 ppm という当該工場の放流基準値を十分満足する処理水を放流できた。

ところで、沈降分離したスラッジはスラリーポンプで引き抜いたが、この引き抜きスラッジの性状は、SS 濃度で大略 18~50 g/l で、平均的な濃度は約 20 g/l 程度であった。なお、当該工事では、円型シックナーと角型シックナーを使用したか、両者を比較すると、円型シックナーの方がより濃度の濃い濃縮された沈殿スラッジを引き抜くことができた。

4.4 フィルタープレスによる加圧脱水

シックナーからの引き抜きスラッジは、一度スラリー槽に貯留した後、2台のフィルタープレスに高圧スラリーポンプで加圧送泥し、脱水した。

図-4 は引き抜きスラッジを室内の加圧脱水試験機で脱水試験した結果を示すものである。図から明らかなように、SS 濃度 20 g/l のスラッジでは約4時間で、また SS 濃度 47 g/l のスラッジでは約2時間で、それぞれケーキ厚さ約 14~15 mm 弱で含水比約300~350%の脱水ケーキにまで脱水できることが明らかになった。この結果から、現場管理として、平均的な濃度のスラリーについては脱水時間として約4時間をかけ、比較的高濃度のスラリーについては脱水時間として約2時間をかけた。その結果、含水比320~370%、湿潤密度1.17~1.16、SS 濃度約 260 g/l (真比重: 2.76~2.77) の脱水ケーキを得ることができた。なお、処理時のフィルタープレスの能力を単位ろ過面積当たり換算すると、0.95~2.0 kg-ds/m²・h であった。

この脱水ケーキのフォールコン貫入量は 0.5~1.0 mm 程度であり、一軸圧縮強度に換算すると 1 kgf/cm² 以上を確保できており、取り扱うに当たっては良好な性状であった。現場では、そのままダンプで運搬して、工場内の土砂処分場に盛土処分することができた。

5. まとめ

某製鋼所の建設工事において、還元状態の第一鉄イオンを 300~400 ppm 含む地下水がディープウェルによって約 250 m³/h で約 3 か月間排水された。第一鉄イオンは空気に触れると徐々に酸化され赤橙色の水酸化第二鉄になるので、そのまま放流できなかった。

そこで、この排水をくエアレーションによる酸化→酸化物の凝集沈殿→沈殿スラッジの加圧脱水の方法で処理した結果、清澄な処理水を放流することができ、排水による二次公害を引き起こすことなく、当該工事を無事終了することができた。以下に、主な処理実績を示す。

① 第一鉄をエアレーションによって30分以内に酸化させるためには、排水の pH を7以上にすることが必要であり、そのための消石灰添加量は 450~600 ppm であった。

② 生成した水酸化第二鉄を D-5 程度のフロックにするために、硫酸バンドを 130~221 ppm、高分子凝集剤を

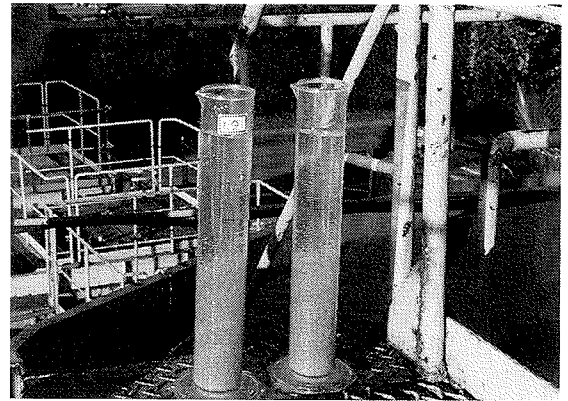


写真-2 凝集フロックの沈降状況 (1分後)

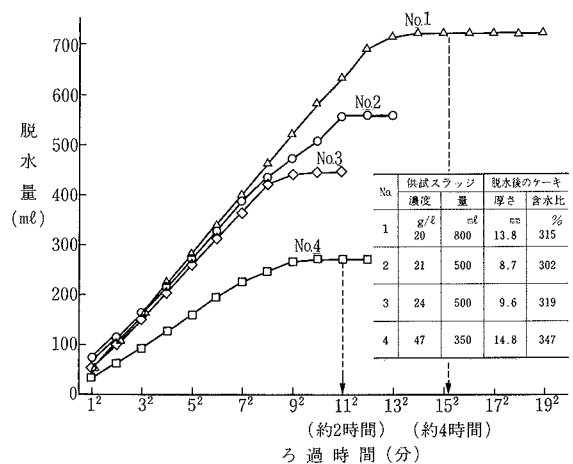


図-4 沈降スラッジの加圧脱水試験結果

2.3~8.2 ppm 添加した。このフロックの沈降速度は 9~12 m/h であった。

③ シックナーでは、水面積負荷を 3~5 m/h で処理した結果、処理水の水质は残留第一鉄イオン 1 ppm 以下・SS 濃度 10 ppm 以下を確保できた。

④ 沈降したスラッジはフィルタープレスで 2~4 時間加圧脱水して処理した。その処理能力は 0.95~2.0 kg-ds/m²・h であった。排出した脱水ケーキの量は総ディープウェル排水量の約0.25%と少なく、さらにその性状は良好で、当該工場内に盛土処分できた。

6. あとがき

ここで紹介した赤水の処理方法は、プラントの設置面積が小さく、しかも汎用性の高い装置を使用しており、今後、この種の赤水の処理に広く採用できるものと考えられる。その際、この報告が参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 喜田, 辻: 土工における濁水処理に関する研究 (第4報), 大林組技術研究所報, No. 12, p. 107~111, (1976)
- 2) 喜田, 辻, 漆原: 土工における濁水処理に関する研究 (第10報), 大林組技術研究所報, No. 20, p. 85~88, (1980)