

土工事における濁水処理に関する研究 (第4報)

—某製鉄所におけるディープウェルの赤橙色排水の処理例—

喜 田 大 三
辻 博 和

Studies of Muddy Water Treatment in Earthwork (Part 4) —Treatment of Reddish-Brown Deep-Well Drainage at a Certain Ironworks—

Daizo Kita
Hirokazu Tsuji

Abstract

In earthwork at a certain ironworks underground water containing 80 to 90 ppm of Fe^{++} was pumped out at a rate of 36,000 t/day. The Fe^{++} in this water was oxidized by air to become ferric hydrates, and consequently, this water could not be drained directly into the sea. This report concerns treatment of Fe^{++} in the water. The treatment process was as follows. (1) Fe^{++} is oxidized by blending drainage water and sea water, and about half of the ferric hydrates produced is precipitated in a first settling pond. (2) 0.2% of Hedoru and 2 ppm of organic flocculant are added to overflow water containing ferric hydrates coming from the first settling pond and the remaining part of the ferric hydrates is completely precipitated in a second settling pond.

The underground water treated by this process could then be drained into the sea.

概 要

某製鉄所における工場新設工事において、第1鉄イオンを80~90ppm含む地下水をディープウェルで日量36,000m³排水した。この第1鉄イオンは空気にふれると赤橙色の水酸化鉄に変化するので、この排水をそのまま公共水域に放流することができなかった。そこでまず室内実験によって排水中の第1鉄イオンの処理原理を確立し、この原理にもとづいて、現場に適用できる処理システムを作成し、処理を行った。すなわち、排水にほぼ同量の海水を混合し第1鉄イオンを気曝酸化させ生成した水酸化第2鉄コロイドを第1沈殿池で半分以上沈殿させた。さらに、残留水酸化第2鉄を含むこの沈殿池からの余水にヘドロを0.2%、および高分子凝集剤を2ppm添加混合し、第2沈殿池でこの残留水酸化第2鉄を凝集沈殿させた。その結果、浄化された処理水を海域に放流することができた。

1. まえがき

某製鉄所において、鑄造工場用の大型堅坑を鋼管矢板工法によって施工したのち、その内部掘削のため、36,000m³/dayの水をディープウェルで排水した。

この排水中には80~90ppmの第1鉄イオンが含まれており、この第1鉄イオンは空気にふれると容易に赤橙色の水酸化第2鉄のコロイドに変化するので、空気にふれる前に無色透明であった排水は空気にふれる

と赤橙色を帯びる。このように水酸化第2鉄コロイドによって排水自体が汚濁するばかりでなく、この赤橙色化した排水を公共水域に放流すると、視覚的に水質を汚染させ、かつ水産生物(特にのり)に悪影響を与えるので、そのまま海域に放流することができなかった。

そこで、この排水を汚濁させている水酸化第2鉄コロイドの発生元である第1鉄イオンを除去せねばならなかった。さて、第1鉄イオンの除去方法としては、

一般に(i)酸化→沈殿法 (ii)接触ろ過法 (iii)鉄バクテリア法 (iv) イオン交換法などがある。ディープウェルで排出される莫大な量の水を処理するためには、これらの方法のうちで、(i)の方法、すなわち、第1鉄イオンを気曝酸化し、生成した水酸化第2鉄のコロイドを凝集沈殿除去する方法を採用せざるをえなかった。

そこで、室内実験において、気曝酸化・凝集沈殿によって第1鉄イオンを除去するための原理を確立し、この原理にもとづいて現場に適用できる処理システムを作成した。そして、この処理システムによって、ディープウェル排水中の第1鉄イオンを完全に除去することができ、その結果、排水を海域に放流することに成功した。

ここに、上述の処理に関する室内実験および現場における処理工事の結果をとりまとめて報告する。

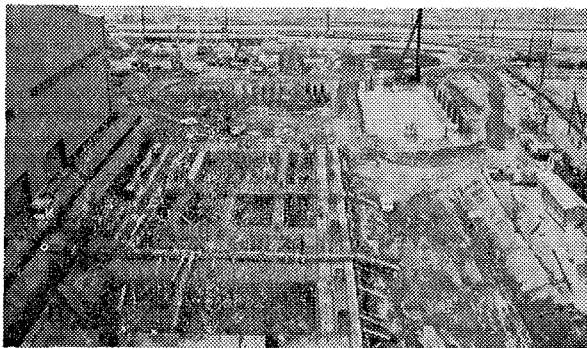
2. 排水の発生状況と処理基準

2.1. 排水の発生状況

(1) 工事概要：連続鋳造工場の本体ピット用大型堅坑を鋼管矢板工法(使用鋼管：φ1371.6×12.7×124本、φ812.8×16.0×8本)によって施工したのち、約3ヶ月にわたって、ディープウェルで地下水を排水しながら、その内部堀削(堀削土量：35,000m³)を行った。工事現場の全景を写真一1に示す。

(2) 発水量：ディープウェルは6インチの水中ポンプを22台使用し、平均36,000m³/day (25m³/M)の排水が発生した。

(3) 水質：排水を分析した結果、以下のことが判明した。pHは6.3で弱酸性である。含有諸成分の濃度は海水のそれよりやや低かった。これは、工事現場が海岸の埋立地であるため、海水が幾分薄まって地下水となっているためと考えられる。さらに、この排水には予想外に鉄が含まれており、その濃度は80~90ppmであった。排水が空気にふれる前には、この鉄は第1鉄イオンとして存在し排水は無色透明である。しかし、



写真一1 連続鋳造工場の工事現場全景

空気にふれると、水酸化第2鉄のコロイドを生成し、排水は赤橙色を帯びてくる。

2.2. 排水の処理基準

このディープウェル排水を処理したのち、海域に放流する際の水質汚濁防止法施行令による排水基準としては、pH・SS・COD・油類・フェノール類・銅・亜鉛・鉄・マンガン・フッ素・大腸菌群数の各項目について基準値が定められている。ところで今回対象とする排水では、これら項目のうち、特にpH・SS・鉄の3つの項目が基準値をはずれる恐れがあるので、以下に示す各管理基準にもとづいて厳重に管理した。

(i) pH：5.0~9.0(薬品添加でpHが変動するため) (ii)SS濃度(浮遊懸濁物質濃度)：40ppm以下(当地区の上乗せ基準による。特に水酸化第2鉄コロイド除去にヘドロを添加するため) (iii) 溶存鉄濃度：5ppm以下(排水基準では10ppmであるが、特に海水を溶存鉄で赤橙色に着色させない濃度)

3. 室内実験

まえがきで説明したように、ディープウェルで排出される莫大な水量を処理するためには、気曝酸化→凝集沈殿法を適用せざるを得なかった。この方法によって能率よく排水を処理するため、気曝酸化および凝集沈殿について室内実験を行い、排水中の第1鉄イオンを除去するための原理を確立した。

3.1. 第1鉄イオンの気曝酸化

第1鉄イオンは一般にアルカリ側で酸化され易くなるので、本実験を行う前に、排水に石灰を添加しpH調整したのち気曝酸化する実験を行った。そして、その効果を大いに認めることができた。しかし、この方法を実際に適用する場合、必要設備の規模が大きくなる。そこで、この方法に代わるものとして、海水による酸化促進の方法を検討した。

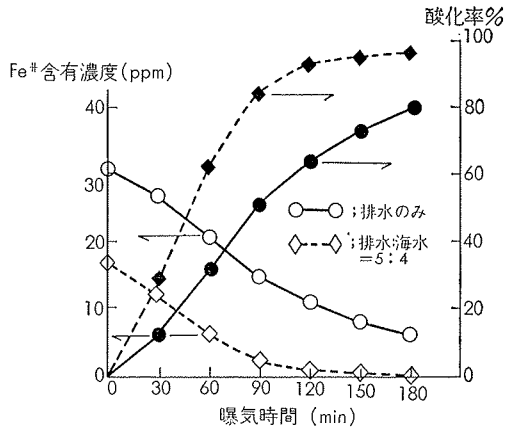
(1) 供試排水と実験方法

供試排水としては、採取・運搬のためやむを得ず、一部酸化され汚濁している排水の上澄液を供試した。そのため第1鉄イオン濃度は31ppmであった、上記の排水と海水とを5：4の比率で混合し、エアポンプで曝気(約4l・空気/l・水/min)する、そして一定時間経過後排水中の残存第1鉄イオンを定量する。なお、排水と海水との混合比率は現場における設置可能なポンプの容量を想定して決定した。

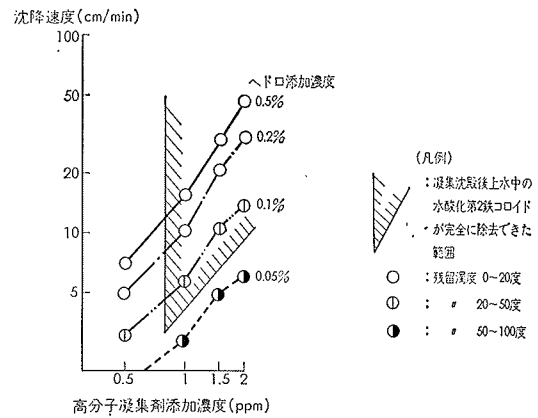
(2) 実験結果と考察

実験結果を図一1に示す。

60分曝気で排水単独では第1鉄イオンの酸化率が33%であるのに対し、海水混合によって62%に向上し、



図一 第1鉄イオンの気曝酸化



図二 水酸化水第2鉄コロイドの凝集沈殿

また120分曝気で排水単独では酸化率が64%であるのに対し、海水混合によって92%にも達している。以上のように、排水中の第1鉄イオンの気曝酸化にとって海水の混合(5:4)は非常に有用であることが判明した。なお、このような海水の酸化促進効果は、海水によるアルカリ効果(海水のpHは7.9で、混合後の排水のpHは7.2であった)と海水中の溶存酸素(海水で5~7ppm含む)によるものと考えられる。

3.2. 水酸化第2鉄コロイドの凝集沈殿

先に検討した海水による第1鉄イオンの酸化促進の方法を実際に採用した場合、つぎに問題となるのは、酸化された結果生成した水酸化第2鉄コロイドの除去方法である。特に、今回のように排水中の水酸化第2鉄コロイドの濃度がうすい場合、その沈殿除去が非常にむずかしい。そこで、排水中の濃度の低い水酸化第2鉄コロイドを沈殿除去するために、有機系高分子凝集剤を凝集剤として用いるばかりでなく、現地発生へのドロを吸着および沈殿助剤として使用する方法を検討した。

(1) 供試排水と実験方法

現地で採取した排水を完全に気曝酸化後、水酸化第2鉄濃度35ppmの排水を作成し実験に供試した。この排水を沈降管にとり、へのドロを所定濃度添加したのち十分混合する。さらに高分子凝集剤を所定濃度添加し、一定速度で回転倒したのち静置する。静置後沈降して行くフロックの沈降速度を測定し、さらに静置5分後における上水の水酸化第2鉄コロイドすなわち赤味の残存状況・濁度・および沈殿スラッジのボリュームを測定する。

なお、へのドロの添加濃度としては、現場における供給能力を考えて、0.05~0.5%の範囲を設定した。

(2) 実験結果と考察

まず、吸着剤としてのへのドロの効果について述べる。へのドロを赤水に添加し、へのドロを自然沈降させると、

上水中に残存する赤味は減少するが完全には除去できなかった。すなわち、へのドロは水酸化第2鉄の吸着除去剤としては働くが、添加濃度0.05~0.5%ではその働きは不十分であることが判明した。

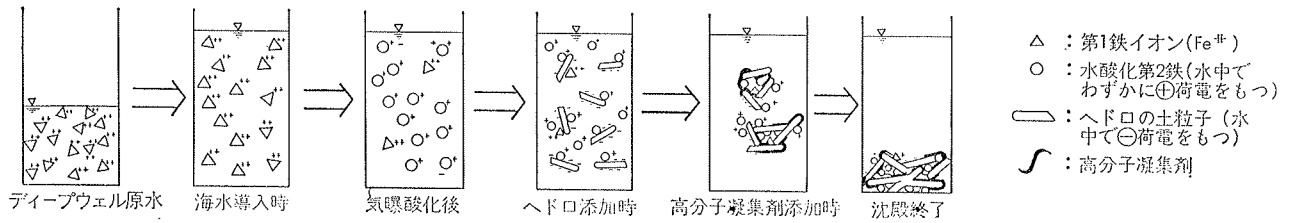
しかし、図一2中にも示されるように、へのドロを0.1~0.5%添加後、高分子凝集剤を1~2ppm添加すると、排水中の水酸化第2鉄はへのドロとともに凝集沈殿し、赤味のまったくない上水が得られた。すなわち、へのドロは排水中の水酸化第2鉄を凝集沈殿除去する際の沈殿助剤として、0.1%以上の濃度で、働くことが判明した。

つぎに、高分子凝集剤について述べる。本実験には高分子凝集剤として強アニオン系・弱アニオン系・ノニオン系の3種のポリアクリルアミド系の凝集剤を使用した。強アニオン系のものがその沈降促進効果において最も優れていた。強アニオン系の凝集剤(ダイアクリヤーMA3000H)を添加した際の結果を先の図一2には示した。今回の処理のように、広域の沈殿池においてフロックを沈殿させる場合、一般にフロックの沈降速度が10m/H以上であれば、水流による攪拌やその他のエネルギーによってフロックが破壊せずに沈殿可能とされている。これにもとづけば図一2から、高分子凝集剤の必要添加濃度はへのドロ0.2%添加時で約1.2ppmへのドロ0.5%添加時で約1.0ppmとなる。

凝集沈殿後のスラッジボリュームは、図に示さないが、今回のへのドロおよび高分子凝集剤の添加濃度の範囲内で、へのドロの添加濃度に大きく影響されていた。すなわち、へのドロの添加濃度が0.1・0.2・0.5%の場合、スラッジボリュームはそれぞれ0.8・2.0・3.0%であった。

3.3. 第1鉄イオンの処理原理

上述の室内実験にもとづいて、排水に海水を混合し、排水中の第1鉄イオンの気曝酸化を促進させたのち、



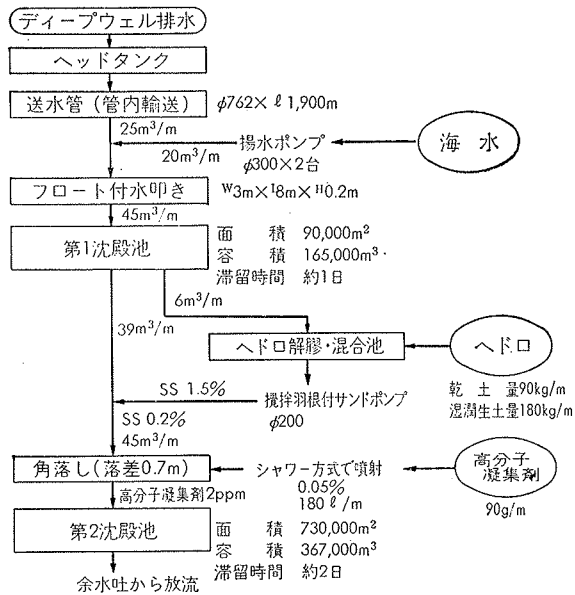
図一3 排水処理における第1鉄イオンの除去原理模式図

生成した赤橙色の水酸化第2鉄コロイドをへドロと高分子凝集剤で完全に沈殿除去することによって、排水中の第1鉄イオンを完全に処理できることが判明した。このような処理原理を図一3に模式的に示す。

4. 現場における排水処理

4.1. 処理システムと処理結果

上述の室内実験の結果にもとづいて、処理原理を確立し、図一4に示すような当該工事現場に適用しうるフローシステムを作成し、排水処理を行った。その処理結果の一例を表一1に示す。また、処理現場の写真を写真一2・3・4に示す。

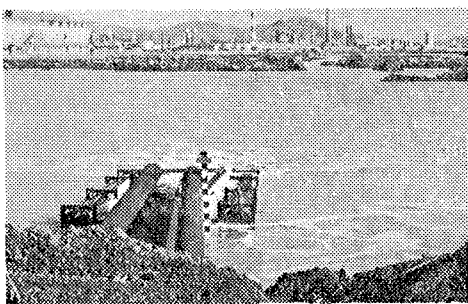


図一4 排水処理のフローシステム

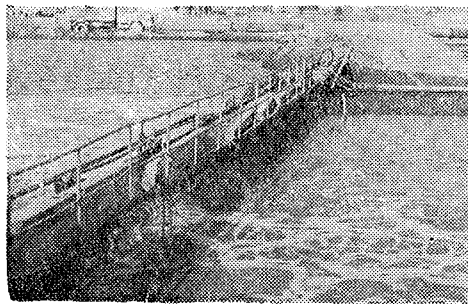
さて、以下に処理システムと処理結果を概説する。80~90ppmの第1鉄イオンを含んだ排水が毎分25m³ディープウェルから揚水され、この排水が第1沈殿池にはいる直前に海水を毎分20m³混合したのちフロート付水叩き上で曝気した。その結果、第1鉄イオンは水酸化第2鉄に酸化され、第1沈殿池(容積:165,000m³)で自然沈降せしめた。しかし、表一1中の第1沈殿池角落し部の鉄イオン濃度に示されるように、水酸化第2鉄は第1沈殿池で完全には沈殿除去できなかった。そこで、この残留水酸化第2鉄を凝集沈殿させるために、第1沈殿池からの余水にへドロを約0.2%濃度添加し、さらに高分子凝集剤を約2ppm濃度添加した。なお、へドロおよび高分子凝集剤の添加処理に関しては4.2および4.3で詳述する。さて、上記の方法によって、残留水酸化第2鉄は第2沈殿池(容量:367,000m³)で凝集沈殿し、表一1に示すように、第2沈殿池からの余水には鉄イオンはまったく検出されず、そしてSS濃度も最大で20ppm 40ppmの当地区の上乗せ排水基準以下であった。その結果、この清澄化した排水を余水吐から無事海域に放流することができた。

4.2. へドロの添加・混合

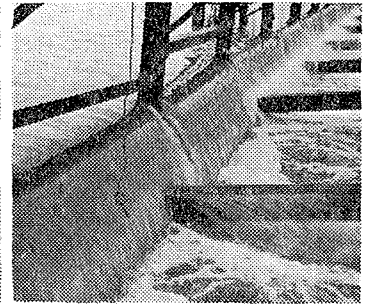
へドロの添加・混合は図一5に示すようなシステムで行った。すなわち、当該工事区の低地に堆積していたへドロを別に設置した池に運搬し、第1沈殿池の排水の一部を利用し、角落し部の落差流および水中ポンプのジェット流とによってへドロを解膠し、へドロの濁水を作成した。この濁水を第1沈殿池の角落し部の



写真一2 第1沈殿池への送水



写真一3 第1沈殿池(左)から第2沈殿池へ



写真一4 第2沈殿池からの放流

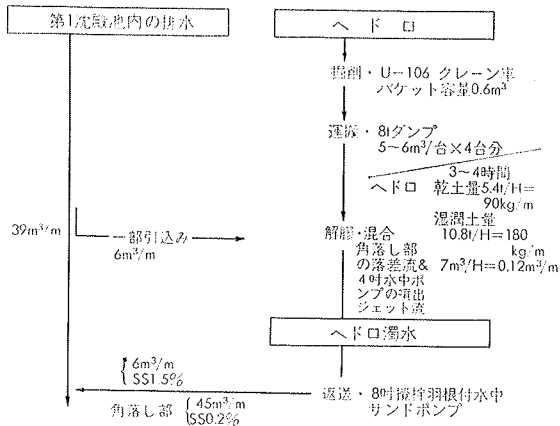
測定日	測定地点						測定日	測定地点					
	測定項目	速水出口	第1沈殿池の角落し部	第1沈殿池の中央部	第2沈殿池の中央部	第2沈殿池の水吐		測定項目	速水出口	第1沈殿池の角落し部	第1沈殿池の中央部	第2沈殿池の中央部	第2沈殿池の水吐
2/13	Fe*(ppm)	80	5	0	0	0	2/22	Fe*(ppm)	80	7	0	0	
	Fe**(ppm)	4	12	0	0	0	Fe**(ppm)	5	26	0	0		
	SS(ppm)	-	-	12.0	25	20	SS(ppm)	-	-	10.0	1.4	15>	
	V _f (cm/min)	-	-	2.0	-	-	V _f (cm/min)	-	-	10.0	1.4	15>	
	SV(%)	-	-	2.0	-	-	SV(%)	-	-	10.0	1.4	15>	
2/14	Fe*	80	5	0	0	0	2/23	Fe*	80	7	0	0	
	Fe**	4	12	0	0	0	Fe**	5	26	0	0		
	SS	-	-	18.5	37	17	SS	-	-	15.0	2.2	15>	
	V _f	-	-	2.4	-	-	V _f	-	-	15.0	2.2	15>	
	SV	-	-	2.4	-	-	SV	-	-	15.0	2.2	15>	
2/15	Fe*	80	5	0	0	0	2/24	Fe*	80	7	0	0	
	Fe**	4	12	0	0	0	Fe**	4	26	0	0		
	SS	5	-	15.0	31	15>	SS	-	-	10.0	1.8	15>	
	V _f	-	-	1.8	-	-	V _f	-	-	10.0	1.8	15>	
	SV	-	-	1.8	-	-	SV	-	-	10.0	1.8	15>	
2/18	Fe*	80	7	0	0	0	2/26	Fe*	80	7	0	0	
	Fe**	4	16	0	0	0	Fe**	4	12	0	0		
	SS	-	-	15.0	37	15>	SS	-	-	18.0	1.9	15>	
	V _f	-	-	2.4	-	-	V _f	-	-	13.0	1.6	15>	
	SV	-	-	2.4	-	-	SV	-	-	13.0	1.6	15>	
2/19	Fe*	80	7	0	0	0	2/27	Fe*	80	10	0	0	
	Fe**	4	12	0	0	0	Fe**	4	12	0	0		
	SS	-	-	23.0	34	15>	SS	-	-	13.0	1.6	15>	
	V _f	-	-	2.4	-	-	V _f	-	-	13.0	1.6	15>	
	SV	-	-	2.4	-	-	SV	-	-	13.0	1.6	15>	

V_f: フロックの沈降速度, S.V.: 沈殿スラッジのスラッジボリューム

表一 処理結果一覧表 (一部)

排水に添加・混合した。

なお、上記の方式によってヘドロを1時間当り約7m³添加することができた。このヘドロ量から計算すると、排水にヘドロを0.2%添加したことになる。表一の凝集剤添加時の処理水のS・V(スラッジボリューム)に示すように、そのS・Vはほぼ2%を示していたことから、先の室内実験の結果と考え合わせると、上記の方式によって、ほぼヘドロを0.2%濃度で排水に添加・混合できたと考えられる。

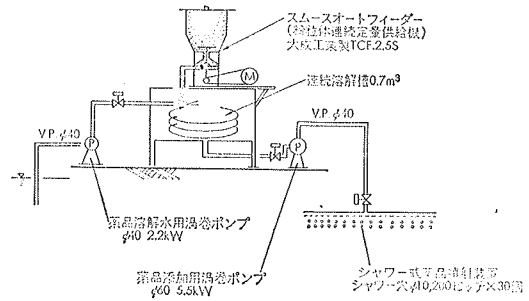


図一 5 ヘドロ混合プラントのプロセスシステム

4.3. 高分子凝集剤の溶解・添加・混合

高分子凝集剤の溶解・添加にあたっては連続方式を採用し、図一6に示す装置を用いた。

高分子凝集剤(ダイアクリヤーMA3000H)をスムーズオートフィーダーから一定速度で溶解槽に供給し、これをポンプで圧送されてくる水の吐出エネルギーで溶解した。そしてこの溶解液(約0.05%)をポンプで、第1沈殿池の角落し部でシャワー装置から排水に噴射し添加した。そして、角落し部の約0.7mの落差流によって攪拌混合を行った。



図一 6 高分子凝集剤溶解添加プラントの装置図

先の室内実験によれば高分子凝集剤の必要添加濃度は、ヘドロ0.2%添加時で、約1.2ppmであったが、今回の高分子凝集剤の溶解・添加・混合方式においては、高分子凝集剤を約2ppm添加する必要がある。すなわち、高分子凝集剤を2ppm添加してはじめて、表一に示すように、フロックの沈降速度として10~20cm/minが得られ、上水中には赤味が残存しなかった。そこで、実際の処理においては高分子凝集剤の添加濃度を2ppmとした。

5. むすび

某製鉄所における工場新設工事において、第1鉄イオンを80~90ppm含む地下水がディープウェルによって36,000m³/dayに及ぶ莫大量排出された。この第1鉄イオンは空気とふれると赤橙色の水酸化第2鉄に変化するのので、この排水は赤橙色を帯びる。この赤橙色の排水は視覚的に水質を汚染させ、また水産生物に悪影響を与えるので、排水を、海域に放流するためには、排水中の第1鉄イオンを除去せねばならなかった。

そこで、室内実験によって、排水に海水を混合することにより第1鉄イオンの酸化を促進できること、また、高分子凝集剤に現地発生へのドロを併用することにより、水酸化第2鉄を完全に凝集沈殿除去できることを究明し、排水中の第1鉄イオンの処理原理を確立することができた。

上述の原理にもとづいて、現場に適用できる処理システムを作成し、処理を行った。すなわち、排水にほぼ同量の海水を混合し第1鉄イオンを気曝酸化させ、生成した水酸化第2鉄コロイドを第1沈殿池で半分以上沈殿させた。さらに、残留水酸化第2鉄を含むこの沈殿池からの余水にヘドロを0.2%、および高分子凝集剤を2ppm添加混合し、第2沈殿池で残留水酸化第2鉄を凝集沈殿することができた。その結果、排水を水質汚濁防止法の排水基準より極しく設定した処理基準の範囲内に浄化することができ、処理水を海域に放流することができた。