

地中連続壁工法における地下水汚染の防止

——砂礫地盤における高粘度安定液による逸泥防止——

川 地 武 喜 田 大 三

Prevention of Ground Water Pollution in Diaphragm Wall Construction

——Case of Fluid Loss Control by High Viscosity Slurry——

Takeshi Kawachi Daizo Kita

Abstract

The most serious problems of diaphragm wall construction at gravelly ground are collapse of trench and ground water pollution caused by fluid loss. Especially, in an area using ground water for drinking and domestic purposes, prevention of the latter problem is absolutely necessary. On one project at gravelly ground a cut-off wall was planned with a diaphragm wall near a well gathering ground water for drinking. A field experiment was then carried out to verify the effect of high viscosity slurry to prevent fluid loss. In this experiment, slurry excavation was carried out near the pumping well and ground water quality was observed at numerous observation wells. The result was that fluid loss could be prevented by using this slurry, and ground water pollution did not occur. On the basis of this field experiment, the diaphragm wall construction using high viscosity slurry was successfully carried out with no pollution of ground water for domestic use found on checking of water quality.

概 要

砂礫地盤に地中連続壁を施工する際の最大の問題点は逸泥の発生による溝壁の崩壊と地下水の汚染である。特に、地下水を生活用水とする地域では後者の課題の解決が不可欠である。ある遊水池の建設工事では市民の飲用水源井戸のすぐ近くで地中連続壁工法による遮水壁の施工が計画された。そこで、敷地内に揚水井戸を設け1t/minの揚水を行ないつつ、安定液による掘削を行なう試験工事を行ない、逸泥防止用ポリマー安定液(OP-7)の逸泥防止効果を確認するとともに、多数の観測井戸によって地下水の水質を監視した。その結果、この安定液を用いることにより逸泥は防止することが可能であり、水質汚染の生じる範囲もごく限られた範囲であり、かつ一時的なものであることが判明した。この結果にもとづき本工事を行ない、水源井戸の水質を全く悪化させないで終了することができた。

1. はじめに

我が国には地下水を上水道の水源として利用している地域が全国で15%におよび、特に関東・東海地方の内陸部では30%をこえる。このような地域での地下工事では地下水汚染の防止が不可欠であり、このため施工法の選択の範囲が限られる。特に、安定液による掘削を行なう地中連続壁工法は逸泥による地下水汚染の懸念から、その適用は困難であるとされてきた。ところで、飲用水源が近く、砂礫地盤で構成される地点で遊水池建設のための遮水壁工事が計画された。そこで砂礫地盤の逸泥防止

用に開発し、施工実績¹⁾もあるポリマー安定液(OP-7)による地中連続壁工法の施工の可能性と、その際の地下水の汚染状況を検討するため試験工事を行なった。さらに、この結果を踏まえて地下水水質を監視しつつ本工事を行ない良好な結果を得た。以下に、試験工事の経過および結果について紹介する。なお、逸泥防止用ポリマー安定液の基本的性質についてはすでに報告している¹⁾。

2. 工事概要

2.1. 現場周辺の状況

工事は神奈川県座間市を流れる一級河川の降雨期の氾

氾濫防止を図るための遊水池の建設に関するものである。この河川は毎年のように梅雨期や台風時期の大雨によって氾濫するので、これを防止するため洪水時の流水を一時的に貯留し、流量のピークを過ぎてから徐々に放水するように遊水池が計画された。ところが、遊水池の計画地点のすぐ近くに座間市の上水道の主要水源のひとつである揚水井戸があり、その揚水量は日量 5,000 t 前後である。この井戸に洪水時の汚水が流入しないように遊水池の地下部分には深さ 23 m の遮水壁が構築される。この遮水壁は地中連続壁工法によって築造されるが、図-1 に示すように遮水壁予定位置と揚水井戸との最近接距離は約 20 m と極めて近く、さらにこの井戸の構造は放射状にストレーナーが伸びた満州井戸といわれるものでありストレーナーの先端との距離はさらに近くなる。

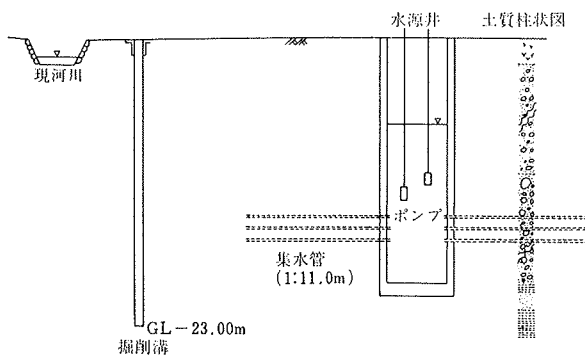


図-1 地中壁と水源井の位置関係と土質 1/200

2.2. 地盤条件と土質

地盤は現在流れている河川の氾濫原であり地下水は河川の流れと同じ流向で流れている。土質柱状図を図-1 に併示するように、土質は表土を除いて掘削対象の大部分が砂れきで構成される。この砂れき層の透水係数は上部が 2.2×10^{-1} cm/sec、下部で 8.0×10^{-2} cm/sec であり、通常の安定液では大規模な逸泥が発生することが予想された。

2.3. 地中壁工事の内容

地中壁の規模は表-1 に示すように大規模なものである。このため工事は昭和59年から3年をかけて行なわれ、最初の年には安定液による掘削の際の周辺地下水の水質への影響を調査するための試験工事が行なわれた。掘削

掘削深さ	23m
壁厚	0.6m
壁面積	23,000m ²

表-1 地中壁の規模

は逸泥防止用ポリマー安定液 (OP-7) を用いてバケット式の掘削機 (KELLY-40M) によって行なわれた。

3. 試験工事

3.1. 試験工事の方法

(1) 試験条件の設定

試験は掘削溝の近くで揚水しつつ掘削を行ない、その際の地下水水質を観測井で監視するという方法によって行なった。すなわち、地下水の流速が本工事の揚水井戸に最も近い掘削溝の流速と近似するように試験工事の揚水量を 1 t/min と設定し、図-2 のような揚水井戸、観測井戸、掘削溝の配置とした。掘削に用いた安定液、掘削機は本工事で予定したものと同様とした。掘削の規模は深さと壁厚は本工事と同じとし、掘削パネルの数は5個とした。

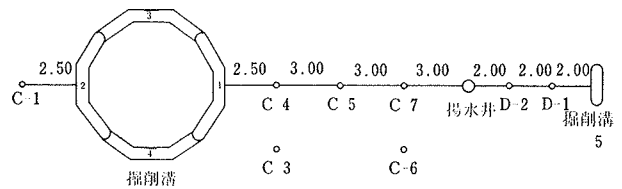


図-2 掘削溝と観測井の配置

(2) 地下水水質の監視

水質は掘削期間中および掘削終了後3箇月以上にわたり、観測井戸および揚水井戸について測定した。測定項目と方法は、主に上水試験方法 (1978) に準じた。なお、水質試験用の試料は観測井戸から真空ポンプによって吸引して採取したが、一部の水質項目 (濁度, pH, 電気伝導度) については観測井戸内にセットしたセンサーによって連続自記記録させた。

(3) 掘削およびコンクリート打設

掘削は図-2 に記入した順序で行ない、5番目のパネルは別の時期に行なった。安定液の品質管理はB型粘度計 (東京計器製) によって行ない、未使用液の粘度は 20,000~40,000 cp の範囲にあった。コンクリートの調合および打設方法は通常地中連続壁工法の場合と同様とし、スランプは18~20 cm の範囲であった。

3.2. 試験工事の結果

(1) 逸泥の状況

顕著な逸泥はほとんど見られず大半が 0.2 m³/Hr 以下であり、最大で 1.3 m³/Hr であった。逸泥量は安定液の粘度と関係があり、図-3 に示すように掘削溝内の粘度が 2,000 cp 以下になると極端に多くなる。このため、掘削溝内の粘度は安全を見て 10,000 cp 以上になるように管理した。

(2) 掘削溝内の安定液の性状

図-4 に安定液の粘度, 比重, pH を示す。粘度は大半が 10,000 cp 以上であったが時々 5,000 cp 前後にな

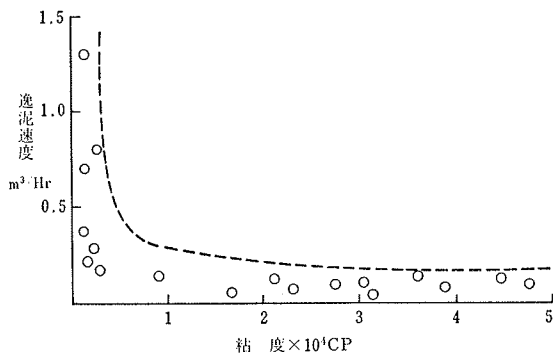


図-3 安定液の粘度と逸泥量の関係

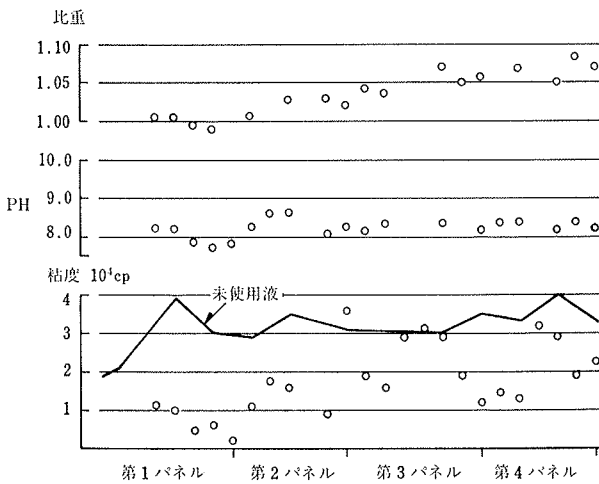


図-4 試験工事における安定液の性状（掘削溝内液）

ることがあった。この場合、pHが8.0以下になっており、OP-7のゲルがpH低下によって解ゲルすなわち粘度低下を生じる現象があらわれている。なお、未使用液のpHは9.0～9.5の範囲にあった。比重は未使用液では0.97～1.00の範囲にあるが、掘削溝内では1.02～1.08の範囲にあり、この値から計算により求められる掘削土砂の混入量は3～12%（W/V）である。

(3) コンクリート打設時に回収される安定液の性状

コンクリート打設時に回収された安定液の粘度、pH、比重を試験した。この安定液はミキサー車から打設されるコンクリートによって置換されて押し上げられる安定液を採取したものである。試験結果によれば、当初に回収される安定液は比重が小さく、粘度は25,000 cp～30,000 cp、pHは9.0前後である。コンクリート打設が進むにつれpH、比重ともに徐々に増大する。そして、最終コンクリートの段階では掘削溝の底部にあった安定液が回収されるが、この安定液は比重が1.06、pHが12近くになるとともに、粘度が5,000 cp前後に低下する。

3.3. 地下水水質への影響

(1) 施工中の地下水水質

揚水井および掘削溝に近接した観測井の水質の変化を

図-5に示す。pHおよび電気伝導度（EC）にはほとんど変化が見られないが、濁度には明瞭な変化が見られる。すなわち、濁度は掘削の際に増大し、とくに掘削溝に近接した観測井では目視でも明らかな濁りが発生する。しかし、この濁りもコンクリート打設の際にはほとんど認められなくなる。このような傾向から考えて、地下水の濁りは地盤掘削やスライム処理の際のバケットの上下運

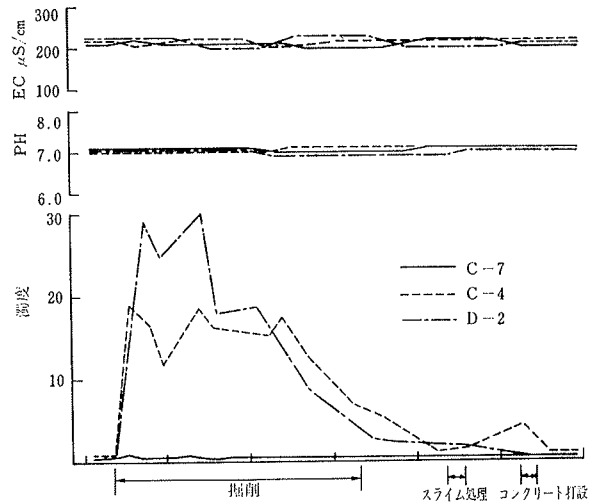


図-5 施工中の観測井の水質変化

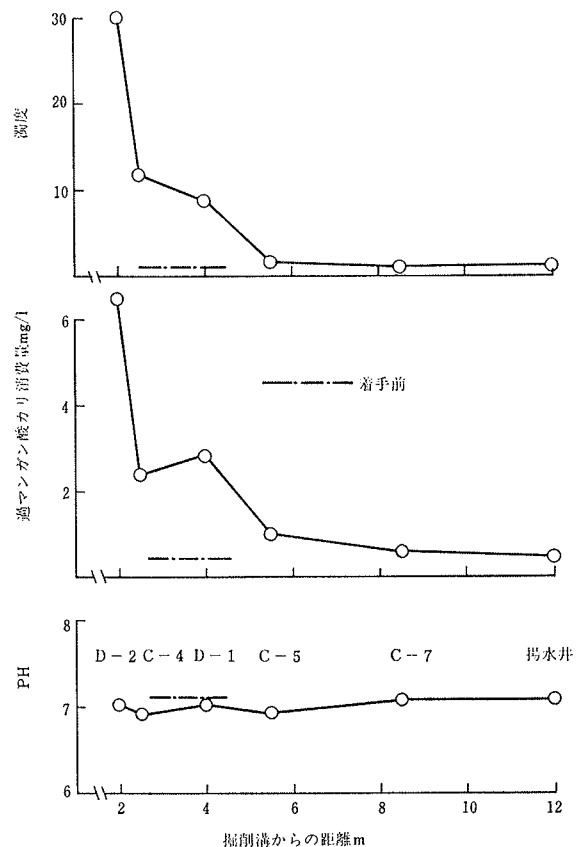


図-6 水質と距離の関係

動による衝撃あるいは水圧の増大によって一時的に安定液が浸透したために生じたものと理解できよう。なお、当初コンクリート打設の際には周辺地下水の pH が上昇してアルカリ性になることが懸念されたが、測定値にはこの影響はまったく現れていない。これは、僅かに周辺地盤に浸透した安定液が溝壁の回りを止水化していることを示している。

つぎに、水質と掘削溝からの距離との関係を図-6に示す。掘削は5パネルについて行なっているが、いずれも類似した傾向を示しており濁度および過マンガン酸カリ消費量は掘削溝から6~8mまでに影響が見られる。図示しないが電気伝導度は2パネルで掘削溝に最も近い観測井に若干の影響があらわれている。

各観測井にあらわれた水質影響をまとめると、水質影響が顕著なのは掘削溝から2.5m以内のD-1、C-3、C-4の観測井であり、水質項目としては濁度、過マンガン酸

カリ消費量、CODである。これらの観測井では水道水基準をうまわる汚染状態となる。

(2) 長期的な水質影響

若干の逸泥とはいえ地中に安定液が浸透したので、この安定液が地中で移動あるいは分解して長期的な水質汚染を招くことが懸念される。そこで、試験工事終了後4箇月間にわたって水質を監視した。その結果を図-7に例示する。掘削時に汚染が顕著であったC-4の観測井においても試験工事の終了とともに濁度、過マンガン酸カリ消費量などは速やかに低下し、工事終了後約1箇月ではほぼ工事前のレベルに回復する。

一方、掘削時の水質変化の少なかったC-7の観測井については、工事終了後も特に水質が悪化することなく当初懸念した長期的な水質影響はあらわれていない。

(3) 水質影響のまとめ

工事中および工事終了後の観測井の水質監視の結果をまとめ模式的に示したものが図-8である。揚水中の地下水の平均流速は揚水井から4m以内では0.24m/minである。図のように、水質影響は揚水井の側でやや大きく、掘削溝から3.5mまでの範囲で濁度、過マンガン酸カリ消費量などが水道水基準をこえる。軽微であるが影響を受けるのは掘削溝から8.5mまでの範囲である。揚水井の反対側では、掘削溝から3mまでの範囲が軽微な影響を受ける。以上の試験工事の結果により、本工事でも安定液の品質を十分に管理することにより、揚水井戸の水質を悪化させることなく近くに地中連続壁を構築しようと判断した。

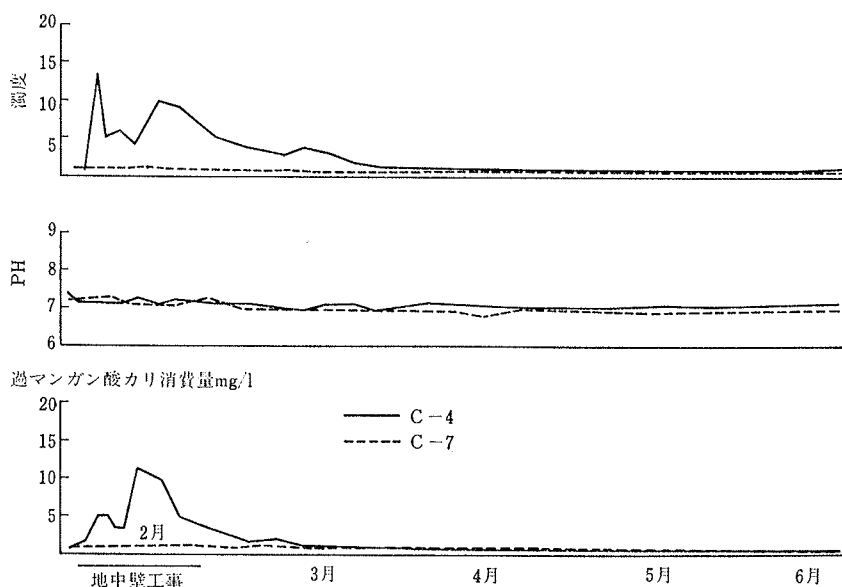


図-7 長期水質変化の例 (C-4, C-7)

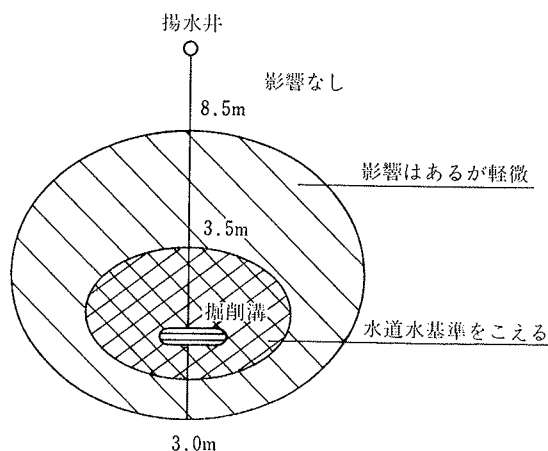


図-8 地下水汚染範囲の模式図

4. 本工事における逸泥防止と地下水水質の監視

4.1. 地中壁の施工状況

(1) 掘削およびコンクリート打設

掘削は KELLY-40M 2台を用いて行なわれ、安定液はポリマー (OP-7) 0.6%のものを使用した。この安定液は図-9のようにくり返し使用した。

掘削の際の溝壁の崩壊はほとんど見られず、コンクリート打設量の設計量に対する割増し率も14~20%の範囲にあり良好な地中壁が築造されていることが示唆された。なお、掘削の際には座間市の水源井は平常通りに揚水を行なったが、最近接部の約25mの区間を掘削する時は

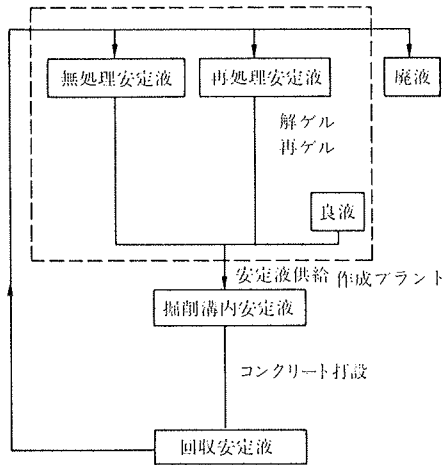


図-9 安定液の循環フロー図

万全を期して揚水を停止した。

(2) 安定液の性状

粘度は溝底を除いて 15,000~40,000 cp の範囲にあり、湿式燃焼法により測定したポリマー濃度は 0.33~0.4% であり、未使用液の 80% 前後である。混入土砂量は下部ほど多くなり、逆に pH は上部では 9.2 前後のものが下部では 8.2 まで低下する。溝底では粘度も低いが、これは多量の掘削土砂の混入による pH の低下とポリマー濃度の減少によるものと思われる。

4.2. 逸泥の状況

逸泥量は掘削を中断して掘削溝の安定液の液面低下量を測定して求めた。このような測定は何回か行なったが、大半が逸泥量として表示すると 0.2 m³/Hr 以下であった。

また、工事期間中の安定液の使用量から推定される逸泥量は作業時間当りに平均すると約 0.1 m³/Hr となり、逸泥はほぼ完全に防止できたといえる。

4.3. 地下水水質への影響

(1) 水質の監視体制

水源井への影響を監視するため、水源井と掘削位置の間に 2 本の観測井を、また地中連続壁の近くに観測井 (BW-1) を新たに設けるとともに、試験工事に用いた観測井 (E1, E2)、揚水井についても定期的に水質を監視した。水質監視項目としては濁度、過マンガン酸カリ消費量を中心に適宜選択した。

(2) 一般部施工時の水質

工事着手前および施工中の水源井、揚水井、観測井の水質を表-2 に示す。当然のことながら、工事着手前にはいずれの項目も飲用水水質基準を満足している。一方、工事時の水質については BW-1 を除く観測井では安定液の影響があらわれやすい濁度、過マンガン酸カリ消費量に変化は見られないが、BW-1 では色度、濁度、過

試験項目	工事着手前		工事中				飲用水水質基準
	水源井	揚水井	揚水井	観測井			
				E-1	E-2	BW-1	
PH	6.7	7.2	6.3	6.7	7.1	6.7	5.8-8.6
過マンガン酸カリ消費量mg/l	1.2	1.2	1.3	2.4	6.4	5.8	10
濁度	0	0.5	0	1.7	1.5	4.0	2
色度	0	1	0	0	3	6	5
カルシウムmg/l	26.7	29.5	29.7	32.0	30.0	38.8	—
塩素イオンmg/l	16.4	14.7	16.0	12.4	13.7	7.6	200
全蒸発残留物mg/l	273	190	195	198	177	195	500
EC μS/cm	270	215	230	259	198	250	—

表-2 工事着手前後の地下水の水質

マンガン酸カリ消費量が増大しており、特に色度、濁度は水道水基準をやや上回る。この原因は不明であるが、BW-1 の設置された場所がやや低く、雨水が溜まりやすかったため地表の汚水が流入あるいは浸透したことも考えられた。

(3) 水源井近接部に施工した際の水質

水源井に最も近接した部分の約 25 m の区間を施工した際には、万全を期して揚水を停止し、掘削溝と水源井の間の二本の観測井によって水質を監視した。この区間の施工には約 2 箇月を要したが、この間観測井の水質には何の変化も見られなかった。また、施工終了後の揚水再開の際には、当初若干の濁度の上昇が見られたものの、他の水質項目には特に変化は見られず濁度も急速に低下し、揚水が定常状態に入ると揚水停止前の水質に回復した。

5. おわりに

飲用を含む生活用水として地下水が利用されている地域の日量約 5,000 t を揚水する水源井の極く近くで施工された地中連続壁工法における地下水水質の汚染防止の事例を紹介した。ここでは次のような手法を用いて地下水汚染を防止した。すなわち、①逸泥防止能力の高いポリマーゲル (OP-7) を採用した。②現場の条件と近似する条件下での試験工事をを行った。③多数の観測井を設けて水質変化を監視した。④施工の際には、安定液の品質とくに粘度を入念に管理した。その結果、水源井の水質を全く汚染することなく工事を終えることができた。この事例は今後も予想される地下水の豊富な地域における地中連続壁工事の設計・施工に大いに参考になるものと思われる。

参考文献

1) 喜田, 川地: 逸泥防止用ポリマー泥水の開発, 大林組技術研究所報, No. 12, (1976), p. 93~100