37. ふっ素汚染土の不溶化処理施工

東亜建設工業(株)：○宮下　広樹、福本　茂、玉上　和範

1．はじめに

土壌が有害物質により汚染されると、その汚染された土壌を直接摂取、もしくは、汚染された土壌から有害物質が溶け出すことによって汚染された地下水の飲用により人の健康に影響を及ぼすおそれがある。こうした土壌汚染は、企業の工場跡地等の再開発等に伴い社会問題化してきている。

このような背景から、健康被害の拡大を防止する目的で、土壌汚染対策法が制定・施行された。土壌汚染対策法では、重金属・揮発性有機化合物に対して、環境基準値が定められており、ふっ素においてはその溶出量が 0.8mg/L 以下と定められている。

ふっ素は、自然界では蛍石や海水に比較的豊富に含まれる物質であり、ふっ素による汚染土の処理には一定のニーズが見込まれている。

本論文では、今回新たに開発したふっ素汚染土の不溶化処理工法の概要ならびに本工法を用いた処理事例について報告する。

2．不溶化処理工法の概要

2-1 工法開発の背景

某産業廃棄物処分場跡地（以下「処分場跡地」という。）においてふっ素溶出量が土壌溶出量基準(0.8mg/L)を超過することが確認された。当現場では、当該処分場跡地の土砂（約30,000m³)を掘削して盛土材料としてリサイクルする必要があり、リサイクルの条件としては、①ふっ素の土壌溶出量基準（0.8mg/L）を満足する、②盛土材として利用できる強度を確保する、の２点であった。また、施工条件としては約 30,000m³ という土の処理を短期間で行うこととされた。以上より、上記を満足するふっ素汚染土の不溶化処理工法の開発が必要であった。

2-2 ふっ素不溶化材

今回不溶化処理に使用したふっ素不溶化材は、トリータビリティ（適用性）試験により選定したアルミニウム系不溶化材（ランドライム-QS-F、村樫石灰工業製）である。

本不溶化材は、主に石灰系固化材（固化材成分；ランドライム QS-F(A)）とアルミ系固化助剤（固化助剤成分；ランドライム QS-F(B)）の2材で構成されており、ふっ素汚染土に2材を混合することにより不溶化と強度増進の効果を同時に発揮させる。室内試験で実施した不溶化材の配合試験結果の一例を図1に示す。本例では、土壌溶出量基準の約2倍程度の汚染であれば総添加量が 50～100kg/m³ で基準以下になることを示している。

また、本不溶化材を使用する際には2材ともに粉末状であることによりセメント設備の転用が可能であり、2材の混合割合を変化させることにより様々な土質の適用が可能であるといった特徴を有する材料である。

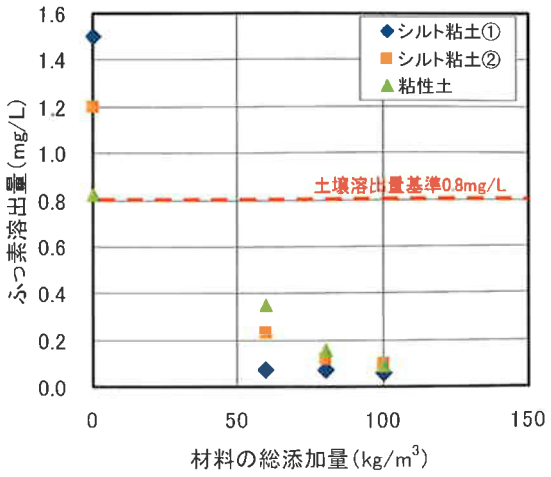

図1　不溶化材の室内配合試験結果（材齢7日）

2-3 ふっ素不溶化材の混合方法

不溶化材の混合方法の選定に当たっては、①処理土量が約 30,000m³ と大容量であり効率よく処理する必要がある。②不溶化処理を行う上で不溶化材を出来る限り均一に混合攪拌する必要がある。③粉塵の発生を抑制する必要がある。④不溶化材が 2 材混合タイプであり、両者を規定の配合量で正確に添加する必要がある。等を考慮し、セメント安定処理等で用いる土質改良機を用いて不溶化材を混合攪拌する方法とした。具体的には、土質改良機を直列に 2 台配置して最初の改良機で石灰系固化材を混合攪拌した後、次の改良機でアルミ系固化助剤を混合攪拌する方法とした。

土質改良機による混合攪拌状況を写真 1、写真 2 に示す。

写真 1　石灰系固化材の混合攪拌状況

写真 2　アルミ系固化助材の混合攪拌状況

3．不溶化処理事例

3-1 現場概要

当現場は、昭和 61～62 年にかけて埋め立てられた処分場跡地である。主な埋立て材は浚渫土、建設汚泥、焼却灰で、現在は茶畑として跡地利用されている．掘削範囲は、処分場跡地の一部であり、面積約 7,000m²（最大深さ約 12m）、容積約 30,000m³ である。

3-2 処理対象土について

(1) 物性

全体的に土質性状はシルト分を中心とする黒褐色状のものが多く（写真 3）、自然含水比が 64～97%程度である。また、浚渫土と建設汚泥のコーン指数はそれぞれ qc＝95kN/m²，125kN/m² 程度と推定された。

(2) ふっ素溶出量

着工前に処分場跡地の土壌調査を実施した結果、ふっ素溶出量は土壌溶出量基準（0.8mg/L 以下）を超過することが確認された。そこで、処分場跡地におけるふっ素汚染土の分布・範囲を把握するために平面的に 6 地点、深さ方向に 2～3 地点の試料を採取し、環境庁告示第 46 号溶出試験を実施した。溶出試験の結果、全ての試料でふっ素の土壌溶出量基準を超過したが、その値は 1.0～2.8mg/L（環境基準値の 1.25～3.5 倍）と比較的低濃度のレベルであった。

写真 3　処理対象土の外覧

3-3 処理概要

不溶化処理は、約 30,000m³の処理を約 3 ヶ月の期間で行った。

ふっ素汚染土の掘削から不溶化処理、運搬までの施工フローを図 2 に示す。施工は、不溶化処理の前処理として振動ふるい機を用いて掘削土の岩とゴミを取り除いた後に、不溶化処理を行った。

不溶化処理は、アルミニウム系不溶化材（石灰系固化材、アルミ系固化助剤）を土質改良機にて連続して混合攪拌することにより行った（写真 4)。なお、アルミニウム系不溶化材の総添加量は事前の配合試験により 80kg/m³とした。また、処理後の土壌はダンプトラックに積込み、盛土個所に運搬した。

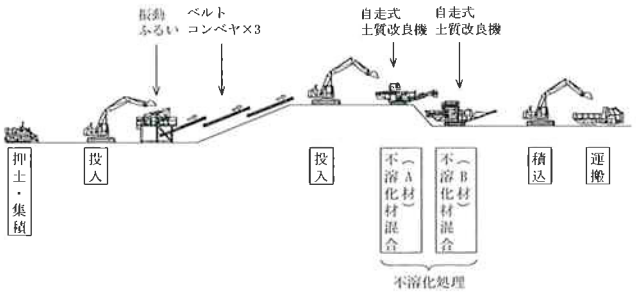

図 2 施工フロー図

写真 4　不溶化処理状況

3-4 処理結果

処理土の試料は、ふっ素溶出量については盛土個所にて 1 日 1 回 5 点混合法により採取し、また強度を確認するために実施したコーン指数については 200m³に 1 回採取し、試験を実施した。

施工日ごとのふっ素溶出量の結果を図 3 に示す。ふっ素溶出量は、処理前で 0.38～2.19mg/ L（平均 1.23mg/ L）であったが、処理後には材齢 7 日で 0.03～0.70mg/ L（平均 0.23 mg/ L）まで低下し、全ての処理土で土壌溶出量基準（0.8mg/L）を満足した。また、コーン指数も全ての試験で盛土材料として利用できる品質基準（qc＝400kN/m²以上）を満足した。

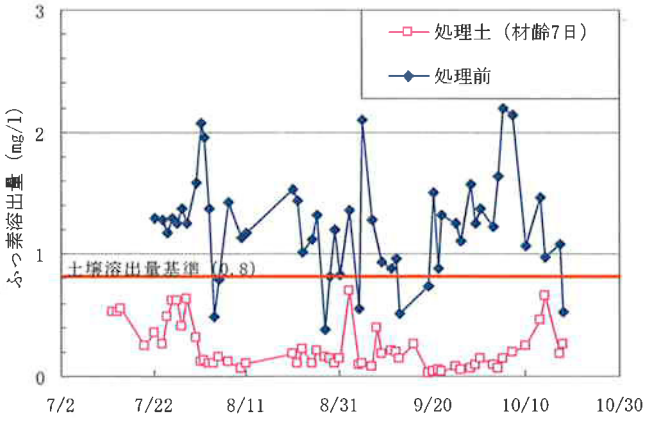

図 3　施工日ごとのふっ素溶出試験結果

次に、処理土（材齢 7 日）のふっ素溶出量の度数分布を図 4 に示す。処理土の約 80%が環境基準値の 1/2 以下の値となり、本不溶化材を用いた不溶化処理は、高い不溶化効果を発揮していることが確認できた。

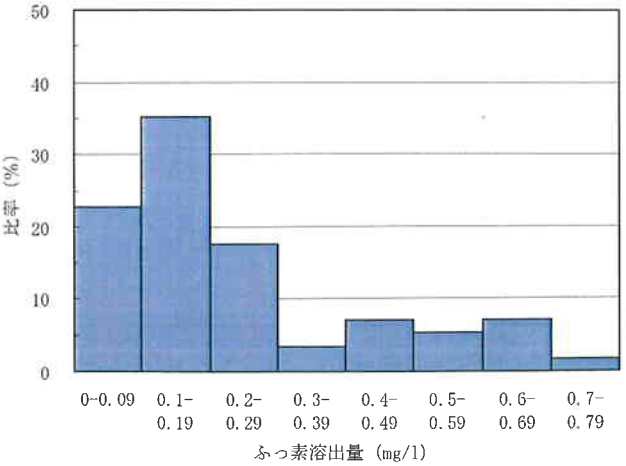

図 4　ふっ素溶出量（処理土）の度数分布

3-5 処理施工に関する問題点・解決方法

不溶化処理の施工は，転石や固形ゴミ等を含んだ掘削土をそのまま改良機に投入して行うこととしていたが，それにより以下の問題が生じた．

1) 転石や固形ゴミが改良機の攪拌翼に絡まり（**写真 4**），攪拌性能が低下する．（処理効率の低下）

2) 転石や固形ゴミが改良機の攪拌翼に絡まることにより攪拌出来なくなり，故障する．（稼働率の低下）

これらの問題は工程の遅れだけでなく，処理土の品質（強度，不溶化効果）に大きな影響を及ぼすため早急に解決する必要があった．検討した結果，掘削土を改良機に投入する前処理として振動ふるい機を設置し，転石や固形ゴミを取り除くこととした．

振動ふるい機を設置する前後のふっ素溶出量を図 5 に示す．設置前のふっ素溶出量は，平均で 0.56 mg/l であるのに対し設置後は平均で 0.17 mg/l であり，設置後にふっ素溶出量が低下することが確認された．また，改良機の稼働率を（改良機の処理時間）／（改良機の稼働時間）として算出したところ，稼働率は設置前後で0.69から0.75と向上し，振動ふるい機を設置することにより問題が解決したことが確認された．

写真 4　改良機の攪拌翼に絡まった夾雑物

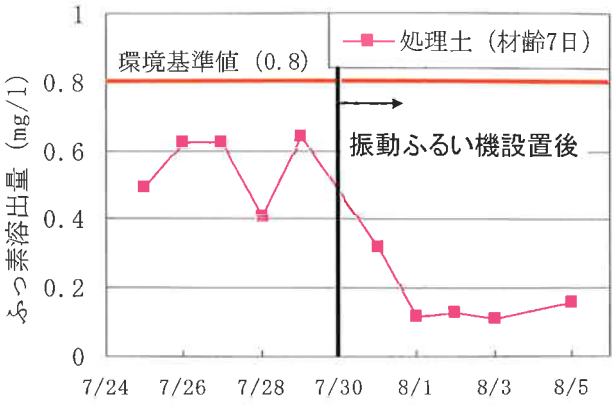

図 5　ふるい機設置前後のふっ素溶出量

4．おわりに

4-1 まとめ

本論文では、今回新たに開発したふっ素汚染土の不溶化処理工法の概要ならびに本工法を用いた処理事例について報告した。以下にまとめを示す。

①今回報告したふっ素汚染土の不溶化処理工法は、土質改良機 2 台を用いてアルミニウム系不溶化材（石灰系固化材、アルミ系固化助剤）を混合攪拌することにより不溶化処理を行うものである。

②今回の処理事例における不溶化処理土は、ふっ素溶出量の土壌溶出量基準（0.8mg/L 以下）および盛土材料として利用できる品質基準（qc＝400kN/m² 以上）を全て満足した。

③今回の処理事例における不溶化処理は、高い不溶化効果を発揮していることが確認できた。

④転石や固形ごみ等の夾雑物が見られる場合、振動篩等で前処理を行うことで処理効率の低下や稼働率の低下を防ぐことができ、処理土の品質の向上に繋がった。

最後にこの論文の執筆にあたり、ご協力いただいた皆様には末筆ながら感謝の意を申し上げる。