水平多軸式攪拌混合機による砒素汚染土壌の大容量不溶化実証実験について

株式会社大林組　○正会員　福武健一、正会員　日笠山徹巳、
正会員　木村勉、上田尚輝、井出一貴

１．はじめに

我が国では、シールドトンネル工事等の建設工事において、砒素等の重金属等が自然的原因により、土壌溶出量基準に適合しない土壌に遭遇する場合がある。改正土壌汚染対策法の適用を受けた工事では、このような基準不適合土壌を掘削し場外にて処理・処分する場合、同法の対象となることが施行通知 [1]に明記された。そこで著者らは、自然的原因により土壌溶出量基準に適合しない建設発生土の適正な処理方法の技術開発を目的とし、砒素の自然的原因による基準不適合土壌を対象とした不溶化システムの開発を行っている。その成果の一つとして、1 回の混合で不溶化（土壌溶出量基準適合）、強度改良（含水低下）、pH 調整（中性化）の 3 つの性能を有する不溶化剤 [2]を開発した。そして、この不溶化剤を現場に展開するために、実際の現場より入手した自然的原因による砒素の基準不適合土壌を対象に、水平多軸式攪拌混合機による不溶化実証実験を行い、不溶化処理土の品質の均一性や安定性 [3]、当該混合機の施工性等を確認した。本稿では、これらのうち品質の均一性と施工性について報告する。

２．実験に用いた材料

2.1 試料土　実証実験では、砒素が土壌溶出量基準に適合していない固結シルト（泥岩）約 150m^3 を原料土として用いた。原料土の性状を表-1 に示すが、当初搬入された原料土は人頭大の塊状であった。今回の実証実験では、固結シルト地帯における気泡シールドトンネル工事から発生する建設発生土を模擬するために、原料土をバックホウや定置式解砕機を用いて粒径 50mm あるいは 100mm 以下としたものに、気泡剤（試料重量比 1.5%）と水道水を混合し、含水比が 40%になるように調整したものを試料土とした。

2.2 不溶化剤　実証実験で用いた不溶化剤は、不溶化効果を有する A 剤、pH 調整機能を有する B 剤、強度改良効果を有する C 剤の 3 種類の薬剤から成り立ち、上記試料土を用いた室内配合試験にて最適配合を確認した [2]。

３．水平多軸式攪拌混合機

実証実験で用いた水平多軸式攪拌混合機のシステム概要を図-1 に、その仕様を表-2 に示す。今回採用した混合機の特徴は、ベルトコンベア上部に水平設置された 4 連の攪拌機構（縦型ミキサー、攪拌羽根）を用いた混合にあり、この攪拌羽根が覆いを有するベルトコンベア上で高速回転することで、試料土と不溶化剤を攪拌混合する。

４．実証実験の方法

4.1 実験ケース　A 剤、B 剤及び C 剤の添加量をパラメーターに 30 ケース行った（薬剤を添加しないケースも含む、表-3 参照）。なお、1 ケースあたり、試料土 3m^3 を用いた。

表-1　原料土の基本物性

試験項目		測定値	試験方法
土粒子密度	ρ_s (g/cm^3)	2.63	JIS A 1202
自然含水比	w_n (%)	31.3	JIS A 1203
液性限界	w_L (%)	49.8	JIS A 1205
塑性限界	w_p (%)	31.6	〃
土壌溶出量（砒素）	(mg/L)	0.038	環境省告示第18号

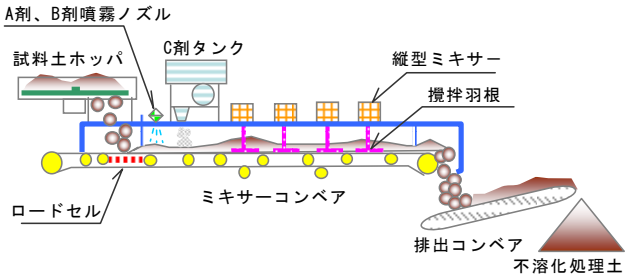

図-1　水平多軸式攪拌混合機のシステム概要

表-2　水平多軸式攪拌混合機の運転仕様

項目	緒元
寸法	長さ10m×幅2.5m×高さ3.1m
混合方法	縦型ミキサー＋攪拌羽根
ミキサー軸動力	14.8kw（3.7kw×4台）
ミキサー回転数	240rpm
ミキサー部	長さ2.8m
コンベア速度	14.2m/min、25.3m/min
ミキサーコンベア	幅0.9m

表-3　実証実験ケース

パラメータ		設定値
薬剤	A剤	0～30kg/m^3
	B剤	0～20kg/m^3
	C剤	0～100kg/m^3
試料土の含水比（調整結果）		40%程度（39.5～44.5%）
試料土の最大粒径		50mm、100mm

キーワード：自然的原因、土壌汚染、砒素、不溶化、建設発生土有効利用、施工機械
連絡先：〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟　TEL 03-5769-1054　FAX 03-5769-1905

4.2 試験項目と評価方法

4.2.1 不溶化処理土の品質の均一性　処理土の品質に係る試験項目と試験方法を表-4 に示す。また、A 剤の pH は酸性であり、B 剤はアルカリ性であるため、混合攪拌過程で不具合がある場合、処理土の pH が中性域を示さず酸あるいはアルカリに偏る。したがって、混合機による攪拌混合効果は、処理土（3m^3）から 20 試料（各試料 1kg）をランダムに採取し pH を測定することで評価した。

4.2.2 原料土の解砕効果　混合機において高速回転する攪拌羽根の解砕効果を、試料土と処理土の粒度試験を実施し、両者の粒径加積曲線を比較することで評価した。

4.2.3 水平多軸式攪拌混合機の施工性能　混合機の施工性能については、縦型ミキサー稼動時の電流抵抗値を測定し、攪拌機構の負荷状況で評価した。

5．実証実験結果

5.1 品質の均一性　今回の実証実験における A 剤と B 剤の添加量と砒素溶出量の関係を図-2 に示す。この図より、不溶化剤を添加したいずれのケースでも砒素の土壌溶出量基準適合を達成したことがわかる。

次に混合機による攪拌混合効果の確認結果として、図-3 に A 剤と B 剤の添加量として 25kg/m^3 のケースにおける pH 測定値の統計処理結果を示す。この図によれば、正規分布の 3σ は 7.80～8.01 の中性域にあり、標準偏差及び変動係数から考察すると、それぞれの薬剤は混合機により均等に攪拌混合されている。

5.2 解砕効果　混合機による解砕効果として、図-4 に試料土と処理土の粒径加積曲線の比較を示す。この図によれば、試料土に比較して処理土の粒径加積曲線が左方に移動していることから、最大粒径が大きく変化するような解砕ではなく、細粒分（2mm 以下）が 20%程度増加するなどの解砕効果が見られた。

5.3 施工性能　コンベア速度 14.2m/min（処理能力 56m^3/h）のケースでは、定格 17A（3.7kw）に対し、実測電流値 15～17A であった。また、コンベア速度 25.3m/min（処理能力 76m^3/min）のケースでは、定格 17A（3.7kw）に対し、実測電流値 22～24A であった。今回想定した建設発生土を対象とし、更なる大容量化するためには、ミキサーへの負担が予想され、最大処理量に合わせた機械の設計・開発が必要である。

表-4　処理土の品質確認方法

試験項目		試験方法
土壌溶出量（砒素）	(mg/L)	環境省告示第18号
土懸濁液のpH		JGS 0211-2000
土懸濁液の電気伝導率 EC	(mS/m)	JGS 0212-2000
土の粒度試験（ふるい）		JGS 0131-2000
土の含水比 w	(%)	JIS A 1203

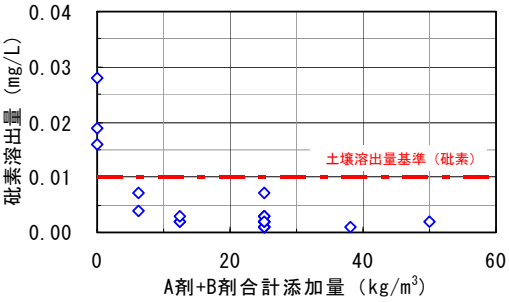

図-2　A 剤+B 剤添加量と砒素溶出量の関係

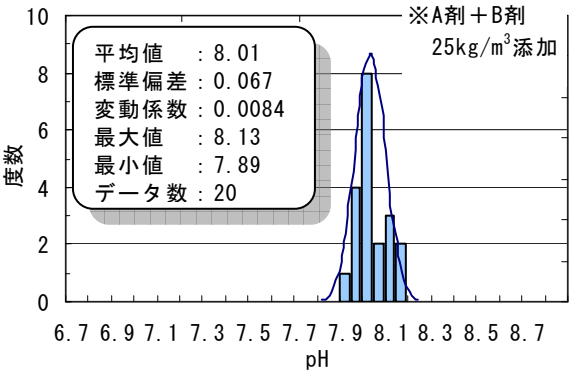

図-3　pH 測定値の統計処理結果（例）

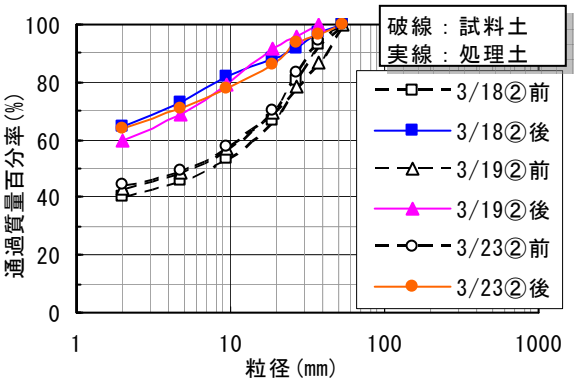

図-4　処理前後の粒径加積曲線（例）

6．おわりに（まとめ）

1)シールドトンネル工事から搬出されることを想定した気泡剤を含む高含水比泥岩材料について、水平多軸式攪拌混合機を用いて不溶化処理を実証した結果、連続して均一な品質（不溶化、pH）が確保できることがわかった。

2)泥岩試料を対象とした今回の実験では、最大粒径が小さくなるような大きな効果はなかったが、当該混合機の攪拌混合により、細粒分（2mm 以下）が 20%程度増加するなどの解砕効果が見られた。

3)使用した混合機について更なる大容量化するためには、最大処理量に合わせた機械の設計・開発が必要である。

【参考文献】1)環境省、「土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について」、2010.3
2)井出ら、「埋立処分等の条件を考慮した砒素不溶化剤の検討」、第 44 回地盤工学研究発表会、2009.8
3)井出ら、「砒素不溶化処理土の溶出特性試験」、第 45 回地盤工学研究発表会、2010.8