

**第 9 回 中央卸売市場移転予定地における土壌汚染対策等に関する専門家会議
議事概要**

日 時 : 平成 29 年 3 月 24 日 (金) 14:00~17:00
場 所 : 姫路市防災センター 3 階 第 1 会議室
参加者 : 委 員 平田健正 (座長)、中島 誠、保高徹生、藤森一男
事務局 産業局中央卸売市場
関係局 産業局、環境局
調査実施機関 国際航業株式会社

本会議の議事概要は次のとおりである。

1. 第 9 回専門家会議の概要

今回 (第 9 回) の専門家会議は、姫路市白浜町内の中央卸売市場移転予定地 (以下「対象地」という。) における土壌・地下水汚染調査の結果 (Step. 1、Step. 2-1 調査、Step. 2-2 調査) を踏まえて実施された Step. 2-3 調査の結果を確認し、対象地において実施すべき土壌汚染対策等の内容について審議することを目的として開催した。

2. Step. 2-3 調査 (一部 Step. 2-2 調査) の実施状況

平成 29 年 3 月 2 日より Step. 2-3 調査を開始し、終了した。また Step. 2-2 調査のうち、試験途中であった生物処理 (スティミュレーション) におけるトリータビリティ試験を継続し、終了した。Step. 2-3 調査で実施した項目は次のとおりである。

- ・土壌汚染の深さの把握調査 (その 2)
- ・帯水層地下水調査及び全域一斉地下水質調査

3. Step. 2-2 から Step. 2-3 調査までの結果の概要

Step. 2-3 調査の結果ならびに Step. 2-2 のトリータビリティ試験の最終結果を確認した。前回 (第 8 回) の専門家会議での審議の結果概要に、今回の専門家会議での審議結果を加え、修正した「調査及び審議の結果」は、表 1 に示すとおりである。

今回の専門家会議での審議結果は以下のとおりである。

① 土壌汚染の深さの把握調査 (その 2)

- ・Step. 2-3 調査により、汚染の深さが把握されていなかった計 6 箇所いずれも連続する 2 以上の深度での基準適合が確認され、土壌汚染の深さが把握された。これにより、全ての土壌溶出量基準超過地点の土壌汚染の深さが確定した。ベンゼンの汚染土量は前回 (第 8 回) の専門家会議での報告のとおり、盛土の汚染土量は計 50m³、埋土の汚染土量は計 9,344.8m³ である。

②帯水層地下水調査及び全域一斉地下水質調査

- ・地下水位の高まりが確認される地域のうち、帯水層（埋土）上部の透水係数は $1.20 \times 10^{-3} \sim 4.59 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 、帯水層（埋土）下部の透水係数は $4.17 \times 10^{-6} \sim 1.53 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ を示し、粘性土が卓越する埋土下部は埋土上部に比べて明らかに低い値を示した。
- ・Step. 2-3 調査のうち帯水層上部対象井戸と下部対象井戸の自然水位では、上部での地下水位が下部よりも高く、約 1.2~1.7m 程度の水位差があることが確認された。また、上部対象井戸で揚水したときに下部対象井戸で地下水位の低下はみられなかった。
- ・これらのことから、帯水層上部、下部の間に明確な難透水層は確認されないものの、地下水位の高まり付近では両者の透水性の違いにより帯水層が上部と下部に分かれていると考えられる。対象地全域を流れる大局的な帯水層下部の地下水とは別に、一部の範囲の帯水層上部に地下水が存在していると推察される。
- ・帯水層下部の地下水の流動状況が確認された。敷地の西側部分では水位勾配がほとんどみられず、東側の敷地境界にかけて比較的急な水位勾配がみられる。
- ・下部帯水層の地下水位と埋土上部（Lf2 層）におけるベンゼンの土壌溶出量分布とが概ね一致している。

③トリータビリティ試験

試験途中であった生物処理（スティミュレーション）のトリータビリティ試験の最終結果は以下のとおりである。

- ・開放系については、ベンゼンの土壌溶出量は、試験前後で濃度の低減傾向を示した（攪拌による気化促進と同様の浄化効果が得られた）。
- ・油臭は判定値「3」（らくに感知できるにおい）又は「4」（強いにおい）が、「1」（やっと感知できるにおい）又は「2」（何のにおいであるかわかる弱いにおい）まで低減した。
- ・鉛及び砒素の土壌溶出量は試験後も基準値以下を示し、溶出量の増加がないことが確認された。

これまでのトリータビリティ試験結果の総合的な評価は以下のとおりである。

- ・掘削しての浄化を考える場合、場外搬出処理するのが最も確実で工期や費用を確定できるが、コストはかなり高額となる。
- ・トリータビリティ試験では、ベンゼンや油臭に対して、抽出処理（石灰混合）や生物処理（スティミュレーション）の結果より、揮散による低減効果が大きく、オンサイトにおける抽出処理や生物処理がコスト的にも適していると考えられる。
- ・生物処理（スティミュレーション）の結果より、高濃度のベンゼン汚染土壌が 4 週間で基準値以下を示し、鉛、ふっ素、砒素の溶出量への影響がないことが確認されたことから、ランドファーミングが有効な選択肢の一つと考えられる。
- ・石灰混合による抽出処理を行った場合は、pH や鉛溶出量の増加（溶出量基準値をわずかに超過）に留意が必要である。

- ・ 原位置浄化については、土質や浄化期間の観点からフェントン法による酸化分解（化学処理）の適用が考えられるが、pHの低下による砒素溶出量の増加促進に留意が必要である。
- ・ 今回の試験結果より、揮散の効果が大きいことが確認されたため、対象となる範囲の土質や濃度によっては、エアースパーキングによる浄化も可能と考えられる。
- ・ これらの結果を踏まえると、対象地での対策方法を考える場合、①ベンゼンの低減効果、②処理方法による他物質の状況への影響、③処理に要する期間、④汚染の濃度、⑤建物の有無、などを総合的に判断し、費用対効果の観点も踏まえた検討が必要である。

4. 対策について

前回（第8回）の専門家会議で決定した実施すべき土壤汚染対策等の内容に、今回の審議結果を踏まえ、加筆修正した「実施すべき土壤汚染対策等の内容」は、表2に示すとおりである。

以上

表 1 (1) 第 9 回専門家会議における審議事項及びその結果概要 (※第 8 回審議結果に一部加筆修正；太字・下線部分)

種別	審議事項	結果概要
Step2-2 調査結果 及び Step2-3 調査結果	土壌対策範囲の絞込み調査	<ul style="list-style-type: none"> 盛土は、調査対象とした J7 格子内の全ての単位区画（計 4 箇所）で土壌溶出量基準に適合した。 埋土以深は、調査対象とした計 13 格子内の単位区画（計 93 箇所）中 19 箇所ですり出量基準不適合が確認され、この内 9 箇所では第二すり出量基準不適合が確認された。なお、6 箇所は連続する 2 以上の深度での基準適合が確認されなかった。
	土壌汚染の深さの把握調査	<ul style="list-style-type: none"> Step2-3 調査により、汚染の深さが把握されていなかった計 6 箇所いずれも、連続する 2 以上の深度での基準適合が確認され、土壌汚染の深さが把握された。これにより、全ての土壌溶出量基準超過地点の土壌汚染の深さが確定した。
	追加地下水調査	<ul style="list-style-type: none"> Step2-2 調査までの地下水位一斉測定の結果、大局的な地下水流動方向に他時期との大きな変化は認められなかった。また地下水位の高まりは季節変動を通じて維持されており、一定範囲に分布することが確認された。 Step2-3 調査のうち現場透水試験の結果、地下水位の高まりが確認されない地域の帯水層（埋土）の透水係数は $7.99 \times 10^{-5} \sim 7.76 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ であった。 一方、地下水位の高まりが確認される地域のうち、帯水層（埋土）上部の透水係数は $1.20 \times 10^{-3} \sim 4.59 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$、帯水層（埋土）下部の透水係数は $4.17 \times 10^{-6} \sim 1.53 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ を示し、粘性土が卓越する埋土下部は埋土上部に比べて明らかに低い値を示した。 Step2-3 調査のうち帯水層上部対象井戸と下部対象井戸の自然水位とでは、上部での地下水位が下部よりも相対的に高く、約 1.2~1.7m 程度の水位差があることが確認された。また、上部対象井戸での揚水による下部対象井戸の地下水位の低下はみられなかった。 これらのことから、上部、深部の両者間に明確な難透水層は確認されなかったものの、地下水位の高まり付近では相対的な透水性の違いにより帯水層が上部と下部に分かれていると考えられ、帯水層上部と下部間の地下水の連続性は低く、対象地全域を流れる大局的な地下水とは別の流動系の地下水が一部の範囲の帯水層上部に存在していると推察される。 帯水層下部における地下水の流動状況が確認された。敷地の西側部分では水位勾配がほとんどみられず、東側の敷地境界にかけて比較的急な水位勾配がみられ、水位勾配が場所により大きく異なっていた。
		<ul style="list-style-type: none"> Step2-1 までで土壌溶出量基準を超過した計 21 地点（J12-5 除く）の内、18 地点で地下水基準の超過が確認された（最大濃度は地下水基準の 670 倍）。一方、土壌溶出量基準適合地点を対象とした計 28 地点の内、2 地点で地下水基準の超過が確認された（最大濃度は地下水基準の 15 倍）。また、地下水位の高まりに設置した上部対象井戸、下部対象井戸、10m 観測井戸では、10m 井戸、上部対象井戸、下部対象井戸の順に地下水中のベンゼン濃度が高かった。10m 井戸で高濃度のベンゼンが検出された要因としては、帯水層上部から下部にかけて設置されたスクリーンからの地下水の採取による影響が考えられる。 自然地盤（粘性土）で土壌汚染が確認されている L2-5 地点では、周辺の地下水環境への影響はないことが確認された。 地下水の酸化還元電位（ORP）及び溶存酸素（DO）は、共に嫌気状態の特徴を示した。また、下部対象井戸では電気伝導度が高く、上部対象井戸では低い傾向がみられた。この他、上部対象井戸では溶存酸素が若干観測され、水温も低く、上部帯水層と下部帯水層とで水質特性に差があることが確認された。 地下水位の高まり地点では地下水中のベンゼン濃度が比較的高いものの、土壌中のベンゼン溶出量は比較的低いことから、この周辺に高濃度のベンゼンの土壌汚染が存在している可能性も考えられる。 下部帯水層の地下水位と埋土上部（Lf2 層）におけるベンゼンの土壌溶出量分布とが概ね一致した。

表 1 (2) 第 9 回専門家会議における審議事項及びその結果概要 (※第 8 回審議結果に一部加筆修正；**太字・下線部分**)

種 別		審 議 事 項	結 果 概 要
Step2-2 調査結果	油臭	埋土における追加土壌調査	調査対象とした計 24 格子内の単位区画 (計 192 箇所) 中 64 箇所で判定値が最大「1」(やっと感知できるにおい) を、23 箇所で最大「2」(何のにおいであるかわかる弱いにおい) を、3 箇所で最大「3」(らくに感知できるにおい) を、4 箇所で最大「4」(強いにおい) を検出した。なお、20 箇所は調査深度の最下端で「1」(やっと感知できるにおい) を、1 箇所は「2」(何のにおいであるかわかる弱いにおい) を検出した。
土壌・地下水 汚染状況 (全体総括)	ベンゼン	土壌・地下水 汚染状況	<ul style="list-style-type: none"> 盛土のベンゼンの土壌汚染は、盛土 (油処理土) 中に元々人為的原因により存在していたものであり、油含有土壌のバイオ処理後もベンゼンが残存した状態で盛土として使用されたものと考えられる。ただし、盛土の土壌汚染が地下水位の変動域に存在していることから、当該箇所では、埋土部分に土壌汚染が広がった可能性が考えられる。 埋土 (水面埋立て用材料) のベンゼンの土壌汚染は、盛土が行われる以前に、何らかの人為的原因によりベンゼンや油類が埋土表面より浸透した可能性が考えられる。また、地下水面付近まで浸透したベンゼンや油類が、地下水位の変動及び地下水の流れにより、深度方向及び水平方向に拡散・移動した可能性が考えられる。 これまでの調査結果から、場所ごとに異なる土壌・地下水汚染の発生メカニズムが想定された。
		土壌対策範囲・ 汚染土量	<ul style="list-style-type: none"> 盛土では、土壌溶出量基準不適合かつ第二溶出量基準適合が計 1 区画確認された。汚染土量は計 50.0m³ 算出された。 埋土では、土壌溶出量基準不適合かつ第二溶出量基準適合が計 25 区画、第二溶出基準不適合が計 15 区画 (L2 格子除く) 確認された。汚染土量は、前者が計 6,514.8m³、後者が計 2,830.0m³ 算出された (前述のとおり、汚染の深さが確定)。
	油臭	土壌分布状況	<ul style="list-style-type: none"> 埋土の油臭について、新市場の建屋計画範囲ならびに民間事業者の施設予定地の範囲における調査結果から、判定値が最大「1」(やっと感知できるにおい) を示す地点は計 115 箇所であった。

表 1 (3) 第 9 回専門家会議における審議事項及びその結果概要 (※第 8 回審議結果に一部加筆修正；太字・下線部分)

種別	審議事項	結果概要	
トリータビリティ試験結果	化学処理 (フェントン)	化学処理の適用性評価	<ul style="list-style-type: none"> ベンゼンの土壌溶出量は、試験前後で濃度に低減傾向を示した。 油臭は判定値「3」(らくに感知できるにおい)又は「4」(強いにおい)が、「0」(無臭)又は「1」(やっと感知できるにおい)まで減少した。 鉛及び砒素の土壌溶出量に増加が確認された。
	生物処理 (スティミュレーション)	生物処理の適用性評価 (Step2-3 調査)	<ul style="list-style-type: none"> <u>開放系については、ベンゼンの土壌溶出量は、試験前後で濃度に低減傾向を示した(攪拌による気化促進と同様の浄化効果が得られた)。</u> <u>油臭は判定値「3」(らくに感知できるにおい)又は「4」(強いにおい)が、「1」(やっと感知できるにおい)又は「2」(何のにおいであるかわかる弱いにおい)まで減少した。</u> <u>鉛及び砒素の土壌溶出量は基準値以下を示し、溶出量の増加がないことが確認された。</u>
	抽出処理 (石灰混合)	抽出処理の適用性評価	<ul style="list-style-type: none"> ベンゼンの土壌溶出量は、試験前後で濃度に低減傾向を示した。 油臭は判定値「3」(らくに感知できるにおい)又は「4」(強いにおい)が、「1」(やっと感知できるにおい)又は「2」(何のにおいであるかわかる弱いにおい)まで減少した。 鉛及び砒素の土壌溶出量に増加が確認された。
	総合評価・留意事項		<ul style="list-style-type: none"> 掘削での浄化を考える場合、場外搬出処理するのが最も確実に工期や費用を確定できるが、コストはかなり高額となる。 トリータビリティ試験における抽出処理(石灰混合)や生物処理(スティミュレーション)の結果より、ベンゼンや油臭に対しては揮散による低減効果が大きく、オンサイトにおける抽出処理や生物処理がコスト的にも適していると考えられる。 生物処理(スティミュレーション)の結果より、高濃度のベンゼン汚染土壌が4週間で基準値以下を示し、鉛、ふっ素、砒素溶出量への影響がないことが確認されたことから、ランドファーマーミングが有効な選択肢の一つと考えられる。 石灰混合による抽出処理を行った場合は、pHや鉛溶出量の上昇(溶出量基準値をわずかに超過)に留意が必要である。原位置浄化については、土質や浄化期間の観点からフェントン法による酸化分解(化学処理)の適用が考えられるが、pHの低下による砒素溶出量の増加促進に留意が必要である。 今回の試験結果より揮散の効果が大きいことが確認されたため、対象となる範囲の土質や濃度によっては、スパージングによる浄化も可能と考えられる。 これらの結果を踏まえると、対象地での対策方法を考える場合、①ベンゼンの低減効果、②処理方法による他物質への影響、③処理に要する期間、④汚染の濃度、⑤建物の有無、などを総合的に判断し、費用対効果の観点も踏まえた検討が必要である。
今後必要となる追加調査	油臭について	<ul style="list-style-type: none"> 施設計画が確定した時点で、施設計画範囲における油臭を対象とした深度別土壌調査を実施し、施設計画範囲の地下における油臭の検出状況及び検出範囲を把握する。その際に、油臭の検出される深度の特定方法や判定基準について検討するとともに、必要に応じて油臭が検出される深度範囲を特定する。 	

表2 第8回専門家会議で示された実施すべき土壤汚染対策等の内容、
ならびに対策に向けて必要な調査内容

種別	内容
<p>ベンゼンの 土壤汚染 対策方針</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ベンゼンについては、盛土、埋土（元々干拓地であった場所の深度の10mの自然地層に存在するベンゼンを除く）とともに土壤汚染の除去等を行う。 ・土壤汚染の除去等にあたっては、ベンゼン濃度を土壤溶出量基準に適合させるとともに、鉛、砒素、ふっ素の濃度について、現状、土壤溶出量基準を超過していない物質については土壤溶出量基準を超過することがないように、または、自然的要因により現状で基準を超過している物質については浄化前よりも土壤溶出特性が悪化しない方法により浄化する必要がある。 ・上記の対策によりベンゼンによる汚染のなくなった土壤は、鉛、砒素、ふっ素による土壤汚染が残っている場合、区域指定を受けた土地の中で利用等する、又は、これらの重金属等の処理が可能な汚染土壤処理施設に処理を委託する。 ・土壤汚染対策を計画するに当たっては、土壤汚染対策法の形質変更時要届出区域における一般管理区域と埋立地特例区域の分類、区域の種類ごとの土地の形質の変更における施工方法の制限等を考慮し、経済的かつ効率的な対策となるよう配慮することが望ましい。 ・対象地で汚染土壤や油含有土壤を移動させて管理する場合には、それらの土壤の移動の記録を残し、将来にわたりトレーサビリティを確保することが重要である。
<p>ベンゼンの 地下水汚染 対策方針</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・残存するベンゼンによる地下水汚染に対しては、ベンゼンによる土壤汚染を除去した後、揚水処理等の対策を実施して中長期的に浄化していくことを目指すべきである。 ・ベンゼンによる土壤汚染の除去等において、汚染土壤を掘削除去する場合には、掘削深度以深に地下水位を低下させるための揚水により土壤汚染範囲およびその周辺に存在する汚染地下水をできるだけ除去するべきである。 ・ベンゼンの土壤汚染対策工事後は、ベンゼンによる地下水汚染の存在が確認されている地下水流向下流側において、敷地外へのベンゼンの汚染地下水の流出防止と、人の立ち入る施設の地下への汚染地下水の流入を防止するべきである。
<p>油臭に関する 対策方針</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・盛土、埋土における油臭については、人の立ち入る施設の安全管理を行う上で必要な対策を講ずる必要がある。一方、人の立ち入りが無い施設、あるいは施設の建設がない場所（駐車場や通路等）については、地表付近での油臭の発生を防止するための措置をとる。

以上