

平成 29 年 2 月 24 日

**第 8 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 2 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 8 回専門家会議の概要

今回 (第 8 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 及び Step. 2-1 調査) を踏まえて実施された Step. 2-2 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. 2-2 調査の実施状況

平成 29 年 1 月 20 日より Step. 2-2 調査を開始し、トリータビリティ試験を除く調査は終了した。Step. 2-2 調査で実施した項目は次のとおりである。

- ① ベンゼンを対象とした追加土壌・地下水調査
 - ・土壌対策範囲の絞込み調査
 - ・土壌汚染の深さの把握調査
 - ・追加地下水調査、地下水位一斉及び連続測定 (継続中)
- ② 埋土の油臭を対象とした追加土壌調査
 - ・土壌対策範囲の確認調査
- ③ ベンゼン及び油臭を対象としたトリータビリティ試験
 - ・フェントン法による化学処理
 - ・スティミュレーション法による生物処理
 - ・石灰混合法による抽出処理

3. Step. 2-2 調査結果の概要**3. 1. ベンゼンを対象とした追加土壌・地下水調査結果****(1) 土壌汚染対策範囲の絞込み調査**

・Step. 2-1 調査までの深度別土壌調査でベンゼンの土壌溶出量基準又は第二溶出量基準に不適合と評価された 30m 格子を対象に、単位区画毎の追加土壌調査を実施し、

土壌汚染対策範囲（平面範囲）の絞込みを行った。

なお、汚染要因が他の地点とは異なると推察された、新市場の計画範囲外に相当する L2 格子（自然地盤の粘性土のみで第二溶出量基準を超過）については、調査対象外とした。

- ① Step. 1 調査の深度別土壌調査でベンゼンの土壌溶出量基準不適合が確認された盛土を対象に単位区画毎の深度別土壌調査を実施した結果、調査対象とした J7 格子内の全ての単位区画（4 箇所）、調査対象深度でベンゼンが土壌溶出量基準に適合していた。
- ② Step. 2-1 調査までの深度別土壌調査でベンゼンの土壌溶出量基準の不適合が確認された埋土以深を対象に単位区画毎の深度別土壌調査を実施した結果、調査対象とした計 13 格子内の単位区画（93 箇所）中 19 箇所（20.4%）でベンゼンの土壌溶出量基準不適合が確認され、この内 9 箇所（9.7%）でベンゼンの第二溶出量基準不適合が確認された。それ以外の 74 箇所（79.6%）では全ての調査対象深度でベンゼンが土壌溶出量基準に適合していた。
- ③ 埋土以深でベンゼンの土壌溶出量基準不適合が確認された地点の内、6 箇所において連続する 2 以上の深度での土壌溶出量基準適合が確認できなかった（3 箇所は調査深度の最下端で基準不適合、3 箇所は最下端から 1m 浅い深度で基準不適合）。

（2）土壌汚染の深さの把握調査

・ Step. 2-1 調査までの結果、ベンゼンの土壌汚染の深さ（連続する 2 以上の深度での基準適合）が把握できなかった地点について、追加土壌調査を実施して当該深さを把握した。なお、汚染要因が他の地点とは異なると推察された、新市場の計画範囲外に相当する L2 格子（自然地盤の粘性土のみで第二溶出量基準を超過）については調査対象外とした。

- ① 調査深度 10m までの土壌調査で汚染の深さが把握できなかった H4-5 地点（深度 9m で基準不適合、深度 10m で基準適合）について、深度 11m の土壌試料を対象とした分析を実施した結果、ベンゼンの土壌溶出量基準の適合が確認され、連続する 2 深度での土壌溶出量基準適合を確認した。
- ② Step. 1 調査で地下水面付近のみを対象とし、当該深度においてベンゼンの第二溶出量基準不適合が確認された H10-4 地点について、地下水面付近を除く深度 10m までの調査対象深度の土壌試料を分析した結果、これらの調査対象深度ではベンゼンが土壌溶出量基準に適合していることを確認した。

（3）追加地下水調査

・ ベンゼンの土壌溶出量基準不適合が確認された地点を対象にベンゼンの追加地下水調査を実施し、地下水汚染の現況を把握した。また、Step. 1 調査においてベンゼンが土壌溶出量基準に適合しているが地下水基準に不適合であった地点について、Step. 1 調査で設置済みの地下水観測井を用いて再度地下水採取・分析を実施した。

・さらに、本調査で新設した観測井戸（19箇所）および Step. 1 調査の地質・地下水調査で既に設置済みの地下水観測井（38箇所）計 57 箇所です地下水位の一斉測定を行うとともに（平成 29 年 2 月 1 日測定）、継続実施中の地下水連続観測データを回収し整理した。

- ① Step. 2-1 調査まででベンゼンの土壌溶出量基準不適合が確認された（Step. 1 調査でベンゼンの地下水基準適合が確認された J12-5 地点を除く）計 21 箇所を対象に地下水試料の採取・分析を行なった結果、18 箇所（85.7%）でベンゼンの地下水基準不適合を確認した。最大濃度は H4-5 地点の 5.7mg/L（地下水基準の 570 倍）であった。
- ② 上記の内、ベンゼンによる土壌汚染が確認されている自然地盤（粘性土）より上位に井戸のスクリーンを設けた L2-5 地点において、ベンゼンの地下水基準適合を確認した。この結果から、周辺の地下水環境への影響がないことが確認された。
- ③ ベンゼンが土壌溶出量基準適合であった地点であり、Step. 1 調査でベンゼンの地下水基準不適合が確認されていた G4-5 及び G8-5 地点では、今回の調査でも地下水基準不適合が確認された。これらの地点では、Step. 1 調査時と比較して地下水濃度の明らかな上昇や低減はみられなかった。
- ④ 地下水の酸化還元電位（ORP）及び溶存酸素（DO）濃度は、共に嫌気状態の特徴を示した。
- ⑤ 平成 29 年 2 月 1 日午前の地下水位一斉測定結果は渇水期にあたるため、対象地の地下水位が全体的に低下していたが（平成 26 年 9 月 21 日に対して平均 -1.22m、平成 26 年 12 月 7 日に対して平均 -0.22m）。敷地内の地下水は、大局的に、水面埋立て以前の旧河道から現漁港側への河川流下方向に向かって流れており、他の時期との地下水流動方向の大きな変化は認められなかった。
- ⑥ 今回（平成 29 年 2 月 1 日午前）の地下水位一斉測定結果より、地下水位の高まりはその状況が維持されていることが確認され、局所的にではなく、一定の範囲（締切護岸より東側、敷地中央部の東寄り）に分布していることが確認された。
- ⑦ これまでの地下水連続観測結果からは、季節変動（降水量）や日変動（潮位）による明らかな地下水の流動方向の逆転現象等は認められなかった。また、特に降水量の多い時期においては、地下水位の高まりを示す地点が（見かけ上）消失し、旧河道から現漁港方向へ向かう地下水の流れがより顕著に現れることが確認された（平成 26 年 9 月 21 日測定結果を参照）。

地下水位の高まりの周辺では、豊水期・渇水期ともに地下水位の高い状況が維持されていることが確認された。この付近の浅部では周辺一帯に宙水を形成するような難透水層は確認されていない。地下水位の高まりがこれらの周囲よりも浅い深度で宙水のように留まっていると仮定し、地下水位の高まりの水位データを除外して対象地内の地下水位分布図を求めてみた場合には、豊水期において地下水位の高まりが消失して、旧河道から現漁港方向への大局的な地下水の流れが確認され、渇水期においては

対象地の北西側部分の地下水位が広範囲にわたり T.P+1.0m 付近にそこから現漁港方向への地下水の流れが確認される。

3. 2. 埋土の油臭を対象とした追加土壌調査結果

・埋土において油臭が判定値 1（やっと感知できるにおい）以上検出された 30m 格子の内、新市場の建屋計画範囲ならびに民間事業者施設予定地にかかる 30m 格子において、埋土の油臭を対象とした単位区画毎の追加土壌調査を実施し、新市場の施設の安全管理を行う上で対策が必要となる範囲を検討した。Step2-2 調査における埋土の油臭を対象とした追加土壌調査の結果は次のとおりである。

- ① 調査対象とした計 24 格子内の計 192 箇所中、64 箇所（33.3%）で油臭の判定値が最大 1（やっと感知できるにおい）を、23 箇所（12.0%）で最大 2（何のにおいであるか弱いにおい）を、3 箇所（1.7%）で最大 3（らくに感知できるにおい）を、4 箇所（2.1%）で最大 4（強いにおい）をそれぞれ示した。
- ② 油臭が判定値 1 以上検出された地点の内、20 地点では調査深度の最下端でも判定値 1 で、1 地点では調査深度の最下端でも判定値 2 で油臭が検出された。

4. これまでの調査結果において把握された土壌・地下水汚染状況（全体総括）

これまでの調査（既往調査、Step. 1 調査、Step. 2-1 調査、Step. 2-2）結果を整理・総括すると、以下のとおりとなる。

（1）ベンゼンによる土壌汚染状況

1) 盛土の土壌汚染

・J7-5 区画：ベンゼンによる盛土の土壌汚染は、盛土（油処理土）中に元々人為的原因により存在していたベンゼンによるものであり、油含有土壌に対して過去に行われたバイオ処理後もベンゼンが残存した状態で土壌が盛土に使用されたものであると考えられる。ただし、この地点の盛土の土壌汚染は、地下水面付近およびその変動域に存在しており、盛土から溶出したベンゼンが地下水面の上まで浸透し、地下水位の変動に伴って地下水位の変動域である埋土部分に土壌汚染が広がった可能性が考えられる。

2) 埋土の土壌汚染

・ベンゼンによる埋土（水面埋立て用材料）の土壌汚染は、上位の盛土にベンゼンの土壌汚染が確認されず、概ね浚渫土以外の材料（公共残土、購入残土と推察される）による層（Lf1 層）の上部で確認された。盛土が行なわれる前の状態における地表（埋土表面）から何らかの人為的な原因によりベンゼンや油類が埋土中に浸透した可能性が考えられる。また、埋土中におけるベンゼンや油類の水平方向の広がりについては、埋土上部から何らかの人為的な原因によりベンゼンや油類が地下水面付近まで浸透し、地下水位の変動に伴って深度方向に広がるとともに、地下水の流れに乗って地下水面付近を横方向に移動したことにより生じた可能性が考えられる。

(2) ベンゼンによる地下水汚染状況

- ・対象地の地下水は、大局的に旧河道から現漁港方向へ流動していると推察されるが、豊水期・渇水期によらず地下水位の高まりが確認されている。なお、この付近の浅部に宙水が形成されるような難透水層は確認されていない。
- ・このように、場所によって季節変動（降雨）により地下水位の変動域と地下水の流動域及び流向が異なるため、埋土上部から浸透したベンゼンの深部あるいは横方向の広がり方や、地下水中のベンゼン濃度分布が異なっていると推察される。場所ごとの土壤汚染と地下水汚染の想定されるメカニズムは次のとおりである。
 - ① H4-5 区画については、盛土から溶出したベンゼンが地下に浸透し、地下水位の変動に伴って地下水位の変動域の埋土部分で上下土壤汚染が広がり、それらが原因となって高濃度の地下水汚染を生じた可能性が考えられる。
 - ② J9-1 や J9-7 区画では、埋土上部ではなく、地下水位よりも数 m 低い深度より深部でベンゼンによる土壤汚染が確認されている。この付近では地下水位の高まりが存在しているが、地下水位の高まりの周囲の地下水位とほぼ同じ深度でベンゼンによる土壤汚染が横方向に広がっているようにも見る事ができる。
 - ③ H7-5 区画、H9-5 区画では、地下水面付近の土壤中のベンゼン濃度に比べて地下水中のベンゼン濃度が比較的高い。このうち、H9-5 区画では地下水位の変動域に土壤汚染が存在し、かつ近傍の H10-4 区画に比較的高濃度のベンゼンによる土壤汚染が地下水位の変動域に存在していることから、ここで確認されたベンゼンによる地下水汚染の発生要因はこれらの地点の土壤汚染に由来するものと考えられる。
 - ④ F6-5 区画及び F11-5 区画では、ベンゼンによる高濃度の土壤汚染が地下水面より上位に分布している。これらの地点では土壤中のベンゼンが地下には浸透しにくく、地下水汚染が生じていないと考えられる。
 - ⑤ G5-5 区画、L10-5 区画、L11-5 区画では、地下水面付近の土壤中のベンゼン濃度と地下水中のベンゼン濃度が同程度である。このうち、G5-5 区画では地下水位の変動域に土壤汚染が存在していることから、ここで確認されたベンゼンによる地下水汚染の発生要因はこの地点の土壤汚染に由来するものと考えられる。
- ・土壤汚染が確認されている自然地盤（粘性土）より上位の区間に井戸のスクリーン（有孔管）を設けた L2-5 において、地下水中のベンゼン濃度が地下水基準に適合していたことから、周辺の地下水環境への影響はないことが確認された。この結果を受けて、L2-5 における自然地盤（粘性土）を土壤汚染対策に含める必要はないと判断する。

(3) ベンゼンの土壤対策範囲及び汚染土量の算出結果

Step. 2-2 調査の結果、対象地全体におけるベンゼンの土壤溶出量基準不適合地点を含む単位区画は、以下のとおりである。

- ① 盛土については、ベンゼンが土壤溶出量基準不適合かつ第二溶出量基準適合の

地点を含む単位区画が1箇所確認された。

- ② 埋土以深については、ベンゼンが土壤溶出量基準不適合かつ第二溶出量基準適合の地点を含む単位区画が計25箇所、第二溶出量基準不適合の地点を含む単位区画が計15箇所確認された（L2格子は除く）。

対象地全体におけるベンゼンの汚染土量の算出結果は、以下のとおりである。

- ① 盛土におけるベンゼンの土壤溶出量基準不適合土壌は計50.0m³と算出された。
- ② 埋土以深におけるベンゼンの土壤溶出量基準不適合かつ第二溶出量基準適合土壌は計6,514.8m³、ベンゼンの第二溶出量基準不適合土壌は計2,830.0m³と算出された。

なお、これらの基準不適合土壌と現況地表面との間に存在するベンゼンの非汚染土壌は、盛土部分に4,218.3m³、埋土以深に3,273.3m³であると算出された（土壤汚染の深度範囲が把握されていない地点を含む計6区画については、最大の基準不適合深度より1m深い深度までを土壤汚染深度範囲と仮定し算出）。

（4）油臭の土壤分布状況

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を対象に実施した216箇所のStep2-2調査までの結果からみた油臭の土壤分布状況は次のとおりである。

- ・油臭の判定値が最大1以上を示す地点は115箇所であった。
- ・油臭の判定値が最大1（やっと感知できるにおい）を示す地点（70箇所）のうち、1箇所は比較的浅い深度（深度0.15m）で検出されたものである。
- ・油臭の判定値が最大2（何のにおいであるか弱いにおい）を示す地点（34箇所）のうち、1箇所は比較的浅い深度（深度0.5m）で検出されたものである。
- ・油臭の判定値が最大3（らくに感知できるにおい）を示す地点（3箇所）は、比較的浅い深度（深度1m以浅）で確認されたものではない。最大3（らくに感知できるにおい）を示す地点で、最も浅い深度でそれが検出されたのは深度2.0mであった。
- ・油臭の判定値が最大4（強いにおい）を示す地点（8箇所）は、いずれも比較的浅い深度（深度1m以浅）で確認されたものではない。最大4（強いにおい）を示す地点で最も浅い深度でそれが検出されたものは深度2.0mであった。

3. 3. トリータビリティ試験結果

今後の浄化対策の設計等を円滑に進めることを目的として、ベンゼン及び油臭の対策方法の検討に事前検証が必要となる工法について、トリータビリティ試験を実施した。

トリータビリティ試験では、フェントン法（化学処理）、スティミュレーション法（生物処理）、石灰混合法（抽出処理）を対象に、ベンゼンの土壤溶出量濃度が高く油臭の程度が高い土壤試料を用いてベンゼン及び油臭に対する評価を、ベンゼンは土壤溶出量基準以下であるが油臭の程度が高い土壤試料を用いて油臭に対する評価を行った。

(1) フェントン法 (化学処理)

過酸化水素と鉄塩により発生するヒドロキシルラジカルによる化学分解により、ベンゼン又は鉱油類が問題ない程度となるかどうか、ならびに過酸化水素の添加量について評価を行った。さらに、処理の過程で土壌が酸性化し、重金属類が溶出しやすくなる可能性があるため、鉛、砒素、ふっ素の土壌溶出量の変化を評価した。

- ① 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。
- ② 油臭 3~4 が 0~1 まで減少した。
- ③ 鉛及び砒素の土壌溶出量の増加が確認された。

(2) スティミュレーション法 (生物処理) ※ 試験途中

栄養塩や空気の供給により現地に生息する微生物の活性を高めることによる生物分解について、ベンゼン又は鉱油類が問題ない程度となるかどうか、ならびにその期間について評価を行った。さらに、処理の過程における微生物量の変化を評価し、また、土壌性状への影響は小さいが鉛、砒素、ふっ素の土壌溶出量に変化しないか確認した。

- ① 試験途中であり、次回の専門家会議において試験結果を確認し、評価を行なう予定である。

(3) 石灰混合 (抽出処理)

生石灰の水和熱によって土壌温度を上げ、ベンゼン又は油臭成分の揮発・分離によりベンゼン又は油臭が問題ない程度となるかどうか、及びそのための生石灰の添加量について評価を行った。さらに、処理の過程で土壌がアルカリ性となるために重金属類が溶出しやすくなる可能性があるため、鉛、砒素、ふっ素の土壌溶出量の変化を評価した。

- ① 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。
- ② 油臭 3~4 が 1~2 まで減少した (ただし、石灰臭が残存した)。
- ③ 鉛及び砒素の土壌溶出量の増加が確認された。

5. 必要となる追加調査

必要となる追加調査内容は、以下に示すとおりとする。

① ベンゼン

- ・ 土壌汚染対策範囲の絞込み調査において、連続する 2 以上の深度でのベンゼンの土壌溶出量基準適合が確認できていない地点 (6 箇所) を対象に、汚染の深さを特定するための追加調査を実施する。

② 油臭

- ・ 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。

③ 帯水層地下水調査の実施

- ・将来的な地下水汚染対策を検討するにあたり、帯水層地下水調査を実施して、対象地の一部の地域（地下水位の高まりが確認されている地域）に宙水が存在しているのか、対象地全体を流れる地下水と連続しているのか確認し、地下水汚染のメカニズムを把握する。

6. 対策について

(1) ベンゼン土壌汚染対策

- ・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 10m の自然地層に存在するベンゼンを除く）とともに土壌汚染の除去等を行う。
- ・土壌汚染の除去等にあたっては、ベンゼン濃度を土壌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、土壌溶出量基準を超過していない物質については土壌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壌の溶出特性が悪化しない方法により浄化する必要がある。

(2) ベンゼン地下水汚染対策

- ・残存するベンゼンによる地下水汚染に対しては、ベンゼンによる土壌汚染を除去した後、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。
- ・なお、ベンゼンによる土壌汚染の除去等において、汚染土壌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壌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。

(3) 油臭に関する土壌対策

- ・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無い場所（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。

(4) その他

- ・上記（1）の対策によりベンゼンによる汚染のなくなった土壌は、鉛、砒素、ふっ素による土壌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壌処理施設に処理を委託する。
- ・土壌汚染対策を計画するにあたっては、土壌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行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。
- ・対象地で汚染土壌や油含有土壌を移動させて管理する場合には、それらの土壌の移

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。

7. 対策に向けて必要な調査内容

- ・帯水層の透水性は対策を設計するために必要な情報であるので、地下水の透水性を確認するための現場透水試験を実施する必要がある。
- ・対象地全域を対象とした地下水質（ベンゼン）の調査を実施する。
- ・地下水汚染の浄化に向けて地下水汚染源の把握が重要であることから、地下水汚染機構について整理を行う。

以上