

## 土壤汚染等の対策について

### 1. 詳細調査結果による東京都が当初予定していた対策の評価

東京都が当初予定していた土壤汚染等の対策の内容について、詳細調査までに得られた情報をもとに、汚染物質の曝露による人の健康への影響、および市場用地としての食の安全・安心の観点から有効性を評価した。

#### 1.1 汚染土壤の直接曝露による影響についての評価

今回行われた詳細調査において10mメッシュで行った表層土壌調査では、東京ガス豊洲工場の操業当時の地表面(旧地盤面、A.P.+4m)より50cm下の土壌の一部で処理基準(含有量基準)を超過する濃度(含有量)の鉛、シアン化合物が検出されており、旧地盤面より下のA.P.+2m~+4mの範囲の一部には含有量基準を超過する濃度でこれらの物質を含む汚染土壌がまだ残存していることが把握された。

東京都が当初予定していた土壤汚染等の対策では、市場用地の全ての場所で旧地盤面(A.P.+4m)の上に2.5mの盛土が計画されていることから、汚染土壌の直接曝露によるリスクは生じない。

また、さらに、A.P.+2m~+4mの範囲についても、絞込調査で処理基準(含有量)を超過する濃度(含有量)が検出されたシアン化合物、鉛による汚染土壌は全て処理基準(含有量基準)以下に処理されるため、これらの場所ではと合わせて4.5m覆土されていることとなる。

#### 1.2 汚染地下水等の曝露による影響についての評価

今回行われた詳細調査において10mメッシュで行った表層土壌調査では、旧地盤面より50cm下の土壌の一部で処理基準(溶出量基準)を超過する濃度(溶出量)のベンゼン、シアン化合物、ヒ素、鉛、水銀、六価クロム、カドミウムが検出されており、ベンゼン、シアン化合物が局所的に処理基準を100~1000倍以上超過する高濃度を示す等、A.P.+2m~+4mの範囲の一部には溶出量基準を超過する濃度でこれらの物質を含む汚染土壌がまだ残存していることが把握された。

各街区外周への遮水壁設置により地下水の可動範囲が限定されるため、各街区内の地下水中の汚染物質がその街区外に拡散する可能性はないと考えられる。

計画地内において地下水の飲用利用は予定されておらず、地下水の飲用によるリスクはないと考えられる。

地下水管理として各街区外周への遮水壁の設置、砕石層の設置、観測井の設置を行い、地下水面の上昇および地下水の毛管上昇を防止することが計画されており、汚染地下水が地上に露出することにより人の健康リスクおよび生鮮食料品への影響が生じる可能性はないと考えられる。

### 1.3 汚染空気の曝露による影響についての評価

今回行われた詳細調査において 10m メッシュで行った表層土壌調査において、旧地盤面より 50cm 下の土壌の一部から揮発性物質であるベンゼンが高濃度に検出されたが、高濃度に検出された G10-4 (溶出量 430mg/L) C10-5 (溶出量 95mg/L) とそれらの周辺区画で行った大気中のベンゼン濃度測定において表層土壌中のベンゼンが周辺大気に影響を与えていないことが確認されており、表層土壌中のベンゼンが地上の空気に影響を与える可能性は小さいと考えられる。

しかし、表層土壌から揮発したベンゼンおよびシアン化合物等がガスとして隙間や亀裂から建物内に侵入していくことによる人の健康リスクおよび生鮮食料品への影響が懸念されており、地下水から揮発したベンゼンおよびシアン化合物等がガスとして隙間や亀裂から建物内に侵入していくことによる人の健康リスクおよび生鮮食料品への影響も懸念されている。

建物建設地以外では、旧地盤面 (A.P.+4m) から A.P.+2m までの範囲の土壌が全て掘削・入れ換えされ、旧地盤面の上に 2.5m の盛土が施されるため、地下水管理により維持される地下水位 (A.P.+2m 程度) より上部の不飽和帯に汚染土壌が残存する可能性はなく、地下水から揮発したベンゼンおよびシアンガス等の揮発による影響のみが懸念される。

建物建設地では、詳細調査および引き続き行われる絞込調査によって旧地盤面 (A.P.+4m) から A.P.+2m までの範囲で確認された汚染土壌が掘削・入れ換えされ、全域にわたって旧地盤面の上に 2.5m の盛土が施されるため、地下水管理により維持される地下水位 (A.P.+2m 程度) より上部の不飽和帯に汚染土壌が残存する可能性は小さく、地下水から揮発したベンゼンおよびシアンガス等の揮発による影響が懸念される。

地下水管理が行われた際に A.P.+2m 以深の地下水から揮発したベンゼンがガスとして隙間や亀裂から建物内に侵入していくことの懸念に対して、リスク評価のための計算方法および詳細調査で把握された地下水中ベンゼン最高濃度 100mg/L を用いてこれより高くなることはないと考えられる安全側に見た地上空気のベンゼン濃度および人の空気吸入によるベンゼン曝露量 (吸入量) を試算した結果、地上空気濃度 (0.041 ~ 0.28mg/m<sup>3</sup>、平均的な土壌特性下で 0.12mg/m<sup>3</sup>) が大気汚染に係る環境基準 (年平均値で 0.003mg/m<sup>3</sup> 以下) を上回り、人の健康リスク (発がんリスク) も目標リスク ( $1 \times 10^{-5}$ ) を上回るという結果が得られた。

地下水管理が行われた際に A.P.+2m 以深の地下水から揮発したシアン化合物がガスとして隙間や亀裂から建物内に侵入していくことの懸念に対して、地下水中のシアン化合物が全てシアン化水素として存在し、シアン化水素ガスが揮発する状態を想定して上記と同様の試算を行った結果、地下水中シアン化合物濃度 13mg/L に対し

て地上空気濃度 0.0044 ~ 0.024mg/m<sup>3</sup>( 平均的な土壌特性下で 0.010mg/m<sup>3</sup>)となり、人の健康リスク(ハザード比)が多くのケースで目標ハザード比(1)を上回るという結果が得られた。

代表的な 7 地点の地下水試料を用いてシアン化合物の地下水からの揮発について室内試験を行った結果、酸性条件の下での室内試験結果から求められたヘンリー定数の値がリスク評価のための計算方法による曝露量評価に用いたヘンリー定数の値の 1/90 と小さかったことから、上記 の評価結果はシアン化水素ガスが発生しやすい酸性条件に地下水がなった場合を考慮しても十分な安全率を確保した評価になっていると判断される。

水銀、ベンゾ(a)ピレン、多環芳香族炭化水素画分について上記 と同様の試算を行った結果、いずれのケースにおいても人の健康リスクは許容されるレベルになるという結果が得られた。

## 2. 今後東京都がとるべき対策のあり方

### 2.1 対策に必要な要件

市場予定地で行われる土壌汚染等の対策は、以下の要件を満たしている必要があると考えられる。

生涯曝露による人の健康被害を防止する観点から、汚染土壌を直接曝露、汚染地下水等を曝露、または汚染空気を曝露することによる人の健康被害が生じるおそれが続いて防止されること。

食の安全・安心という観点を考慮し、揮発ガス成分（ベンゼン、シアン化合物）が隙間や亀裂から建物内に侵入することによる生鮮食料品への影響を防止する観点から、さらに上乘せ的安全策が行われること。

### 2.2 対策のための要件を満たすために必要な調査（絞込調査）

上記 2.1 の要件を満たすため、詳細調査の結果に基づき、対策に必要な調査として、以下の絞込調査を行う必要がある。

#### （1）調査の目的

絞込調査は、詳細調査において表層土壌で処理基準（溶出量、含有量）を超過する濃度の有害物質が検出された地点、および地下水で排水基準（地下水環境基準の 10 倍）を超過する濃度の有害物質が検出された地点について、対策を行うために必要な情報として、処理基準を超過する土壌汚染の深度範囲を絞り込むことを目的として実施する。

#### （2）調査の内容

絞込調査実施の判定基準を図 5.1 に示し、絞込調査の内容を表 5.1 に示す。

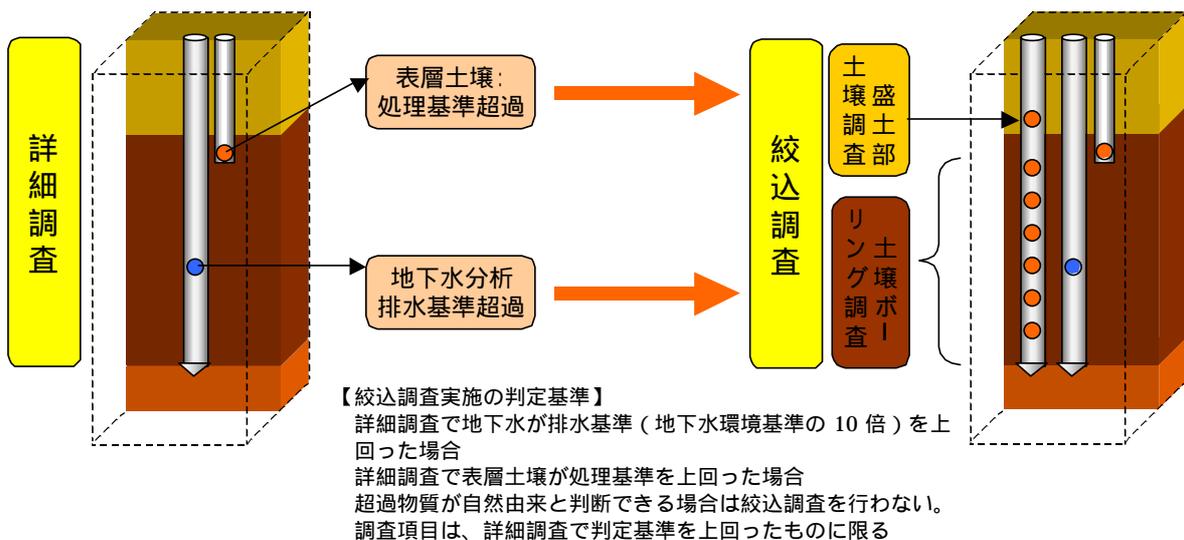


図 5.1 絞込調査実施の判定基準

表 5.1 絞込調査の概要

項目	内容
調査項目	詳細調査で判定基準を上回る濃度で検出された有害物質 ・表層土壌から処理基準を上回る濃度で検出された有害物質および地下水から排水基準（地下水環境基準の10倍）を上回る濃度で検出された有害物質 ベンゼン、シアン化合物、ヒ素、鉛、水銀、六価クロム、カドミウム 試験項目は当該地点において詳細調査で判定基準を上回る濃度で検出されたものに限る。
調査方法	ボーリングによる土壌調査（溶出量、含有量）
調査地点	441 地点（詳細調査で表層土壌から処理基準を上回る濃度で有害物質が検出された地点および地下水から排水基準（地下水環境基準の10倍）を上回る濃度で有害物質が検出された地点）
試験方法	土壌溶出量試験（平成15年3月6日 環境省告示第18号） 土壌含有量試験（平成15年3月6日 環境省告示第19号）
土壌採取深度	当該地点の盛土から1検体（旧地盤面から上位50cm付近） 当該地点の旧地盤面（A.P.+4m付近）から不透水層までの深度別土壌（A.P.+4m付近から-1.0m、-2.0m、-3.0m、…）

## 2.3 対策の基本方針

土壌汚染等の対策のあり方について、詳細調査までの結果をもとに専門家会議にて検討し、以下の基本方針で計画すべきであるとの結論に至った。

### 【土壌汚染等の対策の基本方針】

1. 各街区とその周囲、各街区内の建物建設地とその周囲をそれぞれ止水矢板等で区切り、それらの間での地下水を介した汚染物質の移動を防止し、建物建設地とそれ以外の部分を分けたかたちでそれぞれ対策方法を検討する。

2. 地下水管理により A.P.+2m 程度に地下水位が維持されることを踏まえ、A.P.+2m よりも上部の不飽和帯となるところと A.P.+2m 以深の地下水面下の飽和帯（帯水層）となるところに分けたかたちで対策方法を検討する。

3. 建物建設地の対策は、以下の方針で行う。

建物建設後にあらためて土壌汚染等の対策を行うことが困難であることから、詳細調査および引き続き行われる絞込調査で操業由来および自然的原因により処理基準を超過していることが確認された A.P.+2m より上部の汚染土壌、およびこれらの調査により操業由来で処理基準を超過していることが確認された A.P.+2m 以深の汚染土壌は、全て処理基準に適合するレベルまで処理する。

タール混じり土が旧地盤面の下に残存している可能性があることから、A.P.+2m より上部の土壌は汚染土壌・非汚染土壌に関わらずすべて掘削し、入れ換えることが望ましい。

地下水から揮発したベンゼン、シアン化合物がガスとして上昇し、隙間や亀裂から建物内に侵入していくことによる人の健康および生鮮食料品等への影響が懸念されていることから、食の安全・安心という観点を考慮し、建物建設地については上記、の土壌汚染対策に加え、地下水中のベンゼン濃度、シアン化合物濃度が地下水環境基準に適合することを目指した地下水処理も行う。

上記 ~ の対策を行った後、その上部に 2.5m の盛土および堅固なコンクリート床（厚さ 25～40cm）による被覆を施すことが計画されており、汚染土壌の直接曝露による人の健康リスクはより確実に防止される。

上記 ~ の対策を行っても残存する汚染地下水については、地下水管理を行い、地下水の上昇によって人の健康被害が生じるおそれのない状態を維持していく。

4. 建物建設地以外の部分の対策は、以下の方針で行う。

残置構造物撤去、地盤改良を実施するため、旧地盤面（A.P.+4m）から A.P.+2m までの範囲の土壌を全て掘削し、入れ換えることが計画されている。

A.P.+2m より深部について、詳細調査および引き続き行われる絞込調査で操業由来により処理基準を超過していることが確認された汚染土壌は、地下水管理で揚水される地下水中の有害物質の供給源をなくすという観点から、処理基準に適合する状態まで処理する。

上記、の対策を行った後、その上部に 2.5m の盛土を施すことが計画されており、汚染土壌の直接曝露による人の健康リスクはより確実に防止される。

上記～の対策を行っても残存する地下水汚染については、揚水した際に処理を行うことなく下水に放流できる濃度レベル（排水基準に適合する濃度）で地下水管理を行っていくとともに、将来的には地下水環境基準達成を目指す。

地震時の液状化対策として地盤改良工事を行うことが計画されていることから、この工事の際に合わせて残存する地下水中のベンゼンおよびシアン化合物の濃度の低下を図ることが望ましい。

建物建設地以外については、将来的に上乘せした土壌汚染対策を追加して行うことを検討することも可能である。

5. 地下水管理は、建物建設地、建物建設地以外の部分ともに以下の方針で行う。

地下水面の上昇を防止し、概ね A.P.+2m の状態を維持するよう、地下水位のモニタリング、および地下水位上昇時の揚水処理を行っていく。

揚水した地下水は、排水基準を超過している場合には必要な浄化を行い、排水基準に適合する状態で下水に放流していく。

地下水位のモニタリングおよび地下水位上昇時の揚水処理の際には、合わせて地下水中のベンゼン、シアン化合物等の濃度も継続して測定し、上記対策による地下水汚染濃度低減に対する効果を把握していくことが望ましい。

## 2.4 対策の考え方

### 2.4.1 実施すべき土壌汚染対策の内容

上記基本方針の下、実施すべき土壌汚染対策として、表 5.2 に示す内容を提案する。この対策内容は、表 5.3 に示す地下水管理が行われることを前提に検討した。

提案する対策を行った場合の土壌処理を行う範囲の概念図は図 5.2 に示すとおりである。

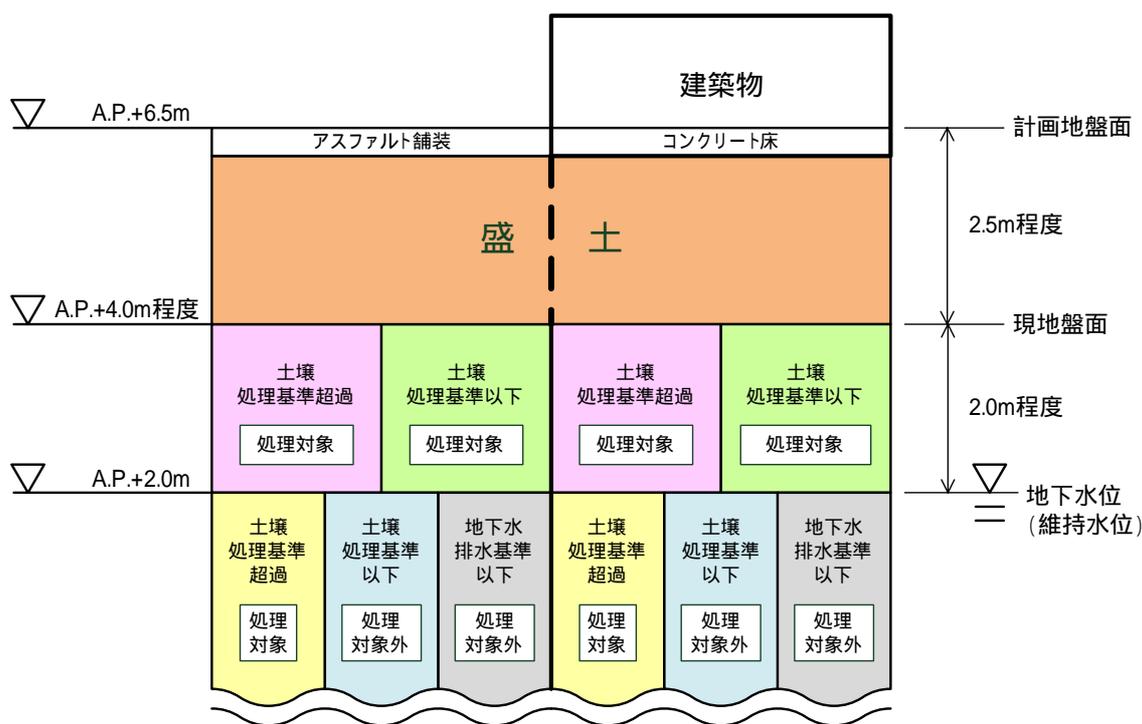
表 5.2 土壌汚染対策の内容

		面積	
全体			各街区の周縁部を止水矢板でそれぞれ囲むことにより、市場予定地と外部との間での汚染物質の移動を防止。 各街区とも、建物の周囲を止水矢板等で囲むことにより、建物建設地とそれ以外の部分の間での汚染物質の移動を防止。
建物建設地	土壌	A.P.+2.0mより上部	旧地盤面（A.P.+4.0m）から 2m（A.P.+2.0m）までの土壌を掘削し、入れ換え。 さらに上部に 2.5m の盛土。
		A.P.+2.0mより下部	操業由来により処理基準を超過した土壌を処理基準以下に処理。
	地下水	地下水中のベンゼン、シアン化合物の濃度が地下水環境基準に適合することを目指した地下水浄化を行う。 地下水管理を行い、地下水位の上昇を防止。	
建物建設地以外	土壌	A.P.+2.0mより上部	残地構造物撤去、地盤改良を実施することから、旧地盤面（A.P.+4.0m）から 2m（A.P.+2.0m）までの土壌を掘削し、入れ換え。 さらに上部に 2.5m の盛土。
		A.P.+2.0mより下部	操業由来により処理基準を超過した土壌を処理基準以下に処理。
	地下水	地下水管理を行い、地下水位の上昇を防止する。 揚水した際に処理を行うことなく下水に放流できる濃度レベル（排水基準に適合する濃度）で地下水管理を実施し、将来的にベンゼン、シアン化合物の濃度が地下水環境基準に達成することを目指す。 液状化対策として地盤改良工事を行う際に、合わせて地下水中のベンゼン、シアン化合物の濃度の低下を図る。	

新市場予定地は、その大部分が建物建設および道路・駐車場用地であり、厚さ 25～40cm のコンクリート床または厚さ 30～40cm のアスファルトで覆われる計画である。

表 5.3 地下水管理の方法と内容

番号	管理方法	内容
	遮水壁の設置	遮水壁を各街区外周および各街区内の建物建設部の周囲に不透水層の深さまで設置し、地下水の可動範囲を限定する。
	砕石層の設置	地下水面より上に砕石層を設置し、毛細管現象による地下水の上昇を防止する。
	舗装等による被覆	コンクリート床もしくはアスファルト舗装で被覆し、雨水の浸透に伴う地下水位の上昇を防止する。
	観測井の設置	観測井の設置により地下水位・水質を継続的に監視し、雨水の浸透に伴う地下水位の上昇が確認された場合、地下水を揚水し、処理施設での処理後、公共下水道に放流する。



A.P.+2m 以深について、自然由来の処理基準超過土壌は対策の対象外とする。

図 5.2 土壌処理を行う対策範囲

#### 2.4.2 対策実施後の土壌の状況

上記 2.4.1 の対策を行った場合、詳細調査および引き続き行われる絞込調査で把握された汚染土壌、すなわち有害物質の濃度が表層土壌で処理基準を超過または地下水で排水基準（地下水環境基準の 10 倍）を超過した区画の汚染土壌は全て処理基準以下に処理される。ここで、排水基準（地下水環境基準の 10 倍）を超過する濃度の地下水汚染が存在しない区画の A.P.+2m 以深に汚染土壌が残存する可能性は小さく、残存したとしても地下水管理の過程で最終的には濃度が低下していく可能性があると思われる。

## 2.5 対策実施後の状況の評価

上記 2.4 の内容で土壌汚染対策を実施した後の状況について、汚染物質の曝露による人の健康への影響、および市場用地としての食の安全・安心の観点から評価した。

### 2.5.1 汚染土壌の直接曝露による影響についての評価

市場用地の全ての場所で旧地盤面（A.P.+4m）から A.P.+2m の範囲の土壌が全て掘削・入れ換えされ、さらにその上に 2.5m の盛土がなされることから、汚染土壌の直接曝露による人の健康リスクおよび生鮮食料品への影響は生じない。

さらに、A.P.+2m 以深についても、詳細調査および引き続き行われる絞込調査で操業由来により処理基準を超過していることが確認された汚染土壌は処理基準に適合する状態まで処理されるため、これらの場所では土壌汚染が存在しなくなる。

### 2.5.2 汚染地下水等への暴露による影響についての評価

市場用地内において地下水の飲用利用は予定されておらず、地下水の飲用によるリスクはないと考えられる。

地下水管理として、各街区外周への遮水壁の設置、砕石層の設置、観測井の設置を行い、地下水面の上昇および地下水の毛管上昇を防止することが計画されており、汚染地下水が地上に露出することにより人の健康リスクおよび生鮮食料品への影響が生じる可能性はないと考えられる。

### 2.5.3 汚染空気の曝露による影響についての評価

市場用地の全ての場所で旧地盤面（A.P.+4m）から A.P.+2m の範囲の土壌が全て掘削・入れ換えされ、さらにその上に 2.5m の盛土がなされることから、地下水管理が行われた際に不飽和帯となる A.P.+2m より上部に汚染土壌が残存する可能性はない。地下水管理が行われた際に地下水面下となる A.P.+2m 以深については、地下水から揮発したベンゼン、シアン化合物等がガスとして隙間や亀裂から建物内に侵入していくことが懸念されている。

この懸念に対して、追加調査および詳細調査で把握された地下水中のベンゼンの濃度をもとに、リスク評価のための計算方法を用いてこれより高くなることはないと考えられる安全側に見た地上空気の濃度および人の空気吸入によるベンゼン曝露量（吸入量）を試算した結果、地下水中のベンゼン濃度を 0.45～3.1mg/L（平均的な土壌特性下で 1.1mg/L）以下にすることにより、ベンゼンの大気汚染に係る環境基準（年平均値で 0.003mg/m<sup>3</sup> 以下）を上回ることがなく、人の健康リスク上も問題のないレベルで地上空気環境の維持が可能であるという結果が得られた。

同様に、追加調査および詳細調査で把握された地下水中のシアン化合物の濃度をもとに、地下水中に存在するシアン化合物のすべてがシアン化水素である状態を仮定

し、リスク評価のための計算方法を用いてこれより高くなることはないと考えられる安全側に見た地上空気の濃度および人の空気吸入によるシアン化合物（シアン化水素）曝露量（吸入量）を試算した結果、地下水中のシアン化合物濃度を 2.7～15mg/L（平均的な土壌特性下で 6.2mg/L）以下にすることにより、人の健康リスク上も問題のないレベルで地上空気環境の維持が可能であるという結果が得られた。

地下水から揮発したベンゼンおよびシアン化合物がガスとして隙間や亀裂から建物内に侵入していくことによる生鮮食料品への影響について、生鮮食料品に付着した水分中の濃度と空気中の濃度が平衡になった状態を想定し、上記で求められる安全側に見た地上空気のベンゼン濃度（0.0013mg/L）およびシアン化合物濃度（0.005mg/L）の下で生鮮食料品に付着した水分中のベンゼン濃度およびシアン化合物濃度を求めてみた結果、付着水分中のベンゼン濃度は飲料水の水質基準（0.01mg/L 以下）の 1/1000 未満、シアン化合物濃度は飲料水の水質基準（検出されないこと）における定量下限値（0.1mg/L）の 1/100 未満と非常にわずかであり、食の安全・安心の観点から見ても悪影響が及ぼされる可能性は小さいと考えられる。

代表的な 7 地点の地下水試料を用いてシアン化合物の地下水からの揮発について室内試験を行った結果、酸性条件の下での室内試験結果から求められたヘンリー定数の値がリスク評価のための計算方法による曝露量評価に用いたヘンリー定数の値の 1/90 と小さかったことから、上記の評価結果はシアン化水素ガスが発生しやすい酸性条件に地下水がなった場合を考慮しても十分な安全率を確保した評価になっていると判断される。

建物建設地では地下水中のベンゼン、シアン化合物の濃度が地下水環境基準に適合することを旨とした地下水浄化が行われ、建物建設地以外では揚水した際に処理を行うことなく下水に放流できるレベル（排水基準に適合する濃度）で地下水管理が実施されるため、地下水中のベンゼンおよびシアン化合物の濃度が排水基準以下の濃度で維持され、上記の濃度を上回ることがなく、人の健康リスク上問題のない状態で地上空気環境が維持される

## 2.6 建物建設時の注意事項

土壌汚染等の対策では、表層土壌で処理基準を超過した地点、および地下水で排水基準（地下水環境基準の 10 倍）を超過し、引き続き行われる絞込調査で処理基準を超過した地点について、土壌汚染を除去し、残存する地下水汚染を補助的な対策の実施により低減させる方法を考えている。したがって、地下水汚染の原因となっていない、あるいは可能性は低い地下水環境基準の 10 倍以下の濃度の地下水汚染の原因となっている土壌汚染が A.P.+2m 以深に残存していることも考えられることから、建物建設時に掘削工事等を行う場合には、掘削された搬出土が適切に取り扱われるよう管理をするとともに、合わせて可能な対策を行うことが望ましい。

## 2.7 管理のあり方

上記 2.5 の対策では、新市場予定地内に残存する汚染土壌・地下水に起因して人の健康被害および生鮮食料品への影響が生じるおそれがない状態が維持されていることを日常的な点検やモニタリング等により管理していくとともに、異常発生時の対応を検討しておくことが望ましい。