

再開発地区における自然由来砒素汚染の起源推定

門倉伸行* 内藤 敏** 徳永昭則*** 石賀裕明****

益田再開発地区において、建設地周辺で確認されたものと同様な自然由来の砒素汚染の可能性が指摘された。そこで、地層抜き取り調査法の1つであるジオスライサー調査を用いて砒素の起源についての推定・検討を行った。ジオスライサー調査法は、立体的な観察が可能なことから多種多様な地質情報を得ることができ、自然的原因による汚染かどうかの判定の一手法として期待できる調査技術である。調査の結果、周辺地区で確認された海成粘土由来ではなく、陸成粘土由来のとくに超微細粒子に吸着した砒素の溶出が原因と推定された。本報告では、調査方法ならびに調査結果の解析等について詳細を報告する。

キーワード：土壤汚染，砒素，自然由来汚染，地質調査

1. はじめに

益田駅前地区第1種市街地再開発事業施設建築物（A・C棟）建設工事では、事前調査ならびに詳細土壤調査において広い範囲で土壤溶出量基準を超える砒素の汚染が確認された。詳細調査結果では、汚染濃度は土壤溶出量基準の10倍以下がほとんどで、含有量も数地点を除いては10mg/l以下であった。過去において、当建設地の周辺でも同様の砒素汚染が確認されており、汚染原因は海成粘土由来による自然的原因によるものと判断されている。そこで、島根大学との共同研究のもと、地層抜き取り調査法（以下ジオスライサー調査法と呼ぶ）により砒素汚染の起源の推定を行った。

砒素は土壤中の鉄成分に吸着されやすく、自然由来として日本国内の広範囲で存在が確認されている。現在、土壤に含まれる有害物質が自然的原因によるものかどうかについては、「土壤中の特定有害物質が自然的原因によるものかどうかの判定方法」（「土壤汚染対策法の施行について」（環水土第20号、平成15年2月4日））を参考しているものの、客観的な判定が難しい。今回使用したジオスライサー調査法は、立体的な観察が可能なことから多種多様な地質情報を得ることができる。

2. 土壤汚染調査

対象地は、過去の履歴として商店街や住宅等の市街地跡地であり、使用履歴等から土壤汚染対策法の対象施設には該当していないものの、調査に際しては「土壤汚染対策法」ならびに「土壤汚染対策法施行規則」に準拠して調査・分析を行った。調査・分析は、事前調査におい

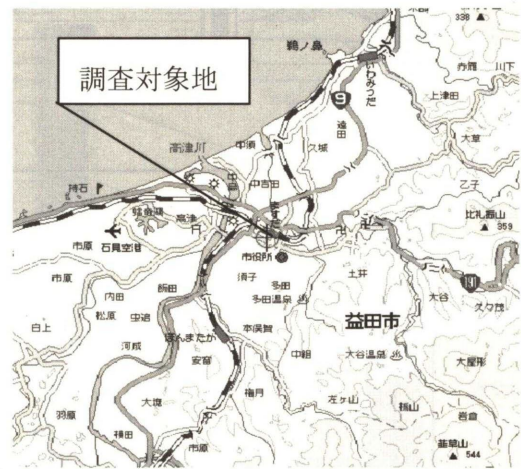


Fig.1 調査対象地位置図

て汚染が判明した砒素を対象に行った。

調査対象地の位置図を Fig.1、調査平面図を Fig.2 に示す。本調査では対象地の全域を「土壤汚染が存在するおそれがあると認められる土地」に区分し、10m×10mの単位区画にて調査した。調査点数は51地点(1～51)および掘削工事で最深部となる浄化槽設置予定部の3地点(52～54)について、土壤ボーリング調査を行った。調査および分析の仕様を Table1 に示す。なお、ボーリング調査の深度は、施工時の最大掘削深さまでとした。

調査結果の一例として、断面方向の砒素の溶出量調査結果を Fig.3 に示す。基準を超過した区画をハッチで示しているが、敷地内の広い範囲で汚染が確認されている。Fig.4 に全地点での溶出量と含有量の関係を示す。含有量分析において基準値(150mg/kg)超過は認められなかったが、含有量が定量下限値以下でも溶出量が基準超過している区画があった。以上のように、砒素の汚染濃度は概ね土壤溶出量基準の10倍以下の低濃度で、含有量はほとんどが定量下限値未満あるいは10mg/kg以下であった。

- * 技術研究所 環境技術研究グループ
- ** プロジェクトエンジニアリング室 環境グループ
- *** 広島支店 建築事業部(当時 益田駅前再開発作業所)
- **** 島根大学総合理工学部

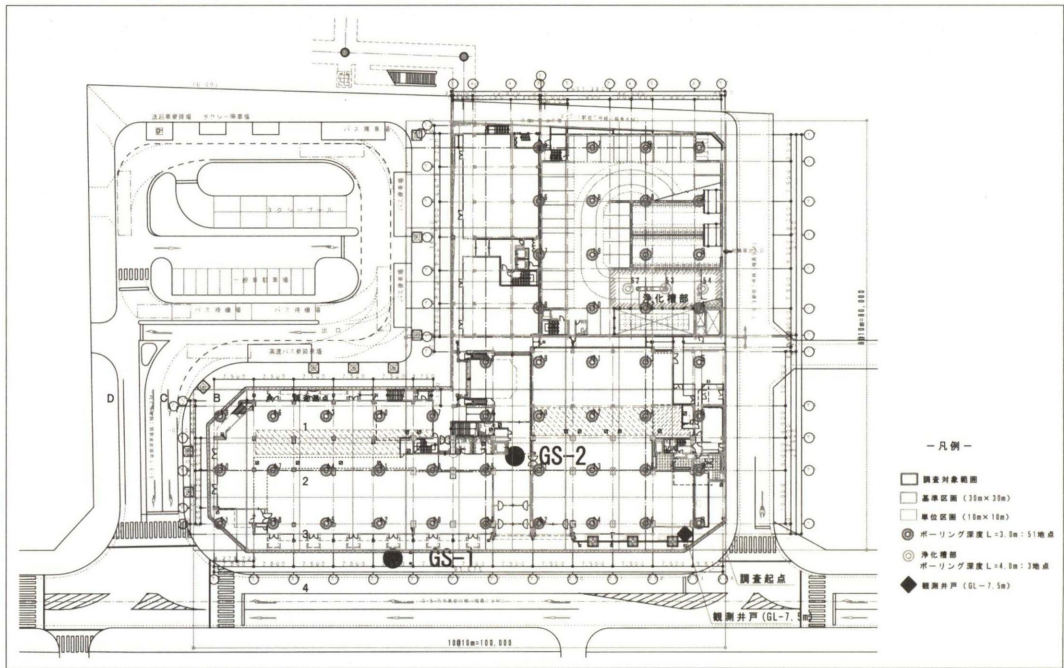


Fig. 2 調査平面図

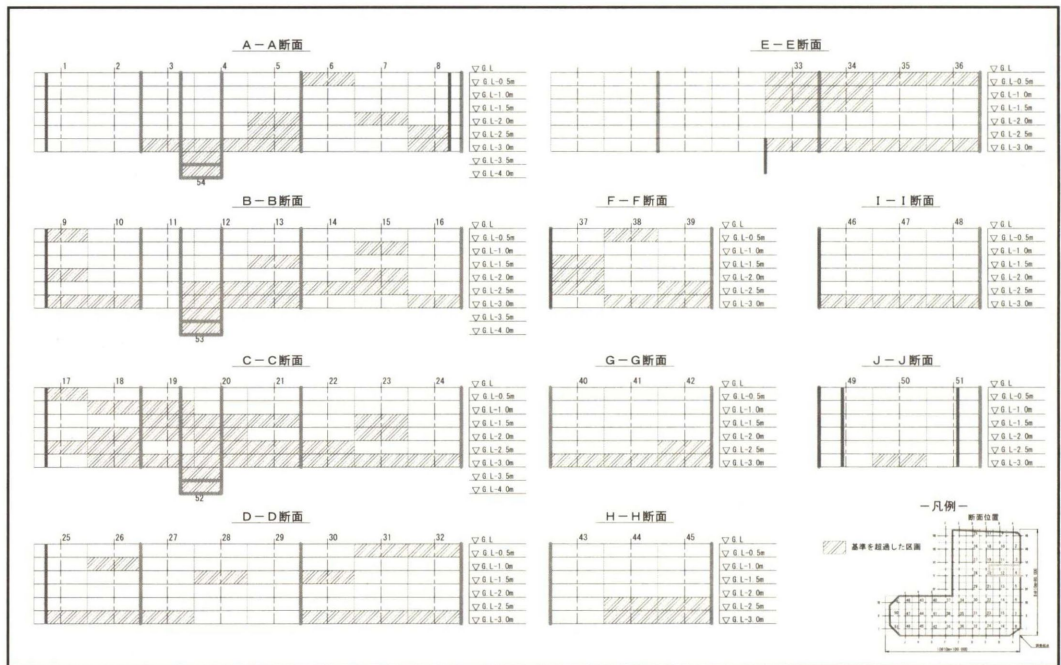


Fig. 3 断面方向の砒素の溶出量調査結果

Table1 調査・分析仕様

- ・ 調査地点 : 単位区画 51 地点、浄化槽設置部 3 地点
- ・ 掘削深度 : 単位区画 GL-3m、浄化槽設置部 GL-4m
- ・ 試料採取数 : 単位区画 1 地点当り 6 深度
浄化槽設置部 1 地点当り 8 深度
- ・ 掘削口径 : φ66mm
- ・ 掘削方法 : オールコアボーリング
- ・ 試料採取 : 土壌サンプラー使用
- ・ 分析項目 : 砒素 (溶出量、含有量)
- ・ 試料分析 : 溶出量試験 (環境省告示第 18 号)
含有量試験 (環境省告示第 19 号)

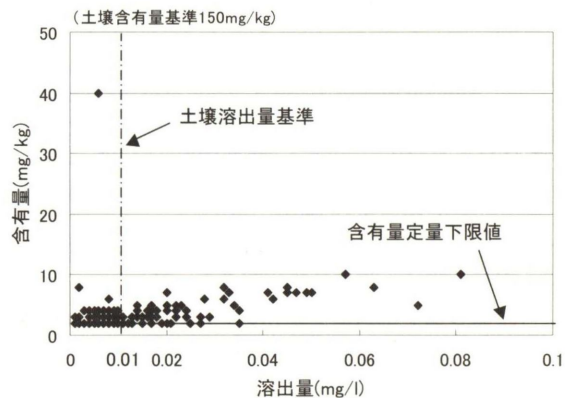


Fig. 4 溶出量と含有量の関係

ただ、溶出量の調査結果から、広い範囲で深度方向への汚染の広がりが確認されており、これらが降雨による汚染拡散か自然的原因によるものかどうか判断ができない。そこで、次のステップとして、ジオスライサー調査により砒素汚染の起源の推定を行った。

3. 地層抜き取り調査 (ジオスライサー調査)

まず調査に先立ち、建設地近辺において過去に確認された自然的原因による砒素汚染の情報は次のとおりである。本情報をもとに、ジオスライサー調査法により砒素の起源の推定を行った。

- ・ 中部層：有機質粘土およびシルト質砂からなる層（深度約 16m～5m）で、とくに有機質粘土は砒素含有量が高く、また溶出しやすい状態にある。これらは海成粘土で還元的環境下で有機物が分解されずに堆積したものと考えられ、将来的に有機物の分解により砒素の溶出が進むことが推測される。
- ・ 上部層：砂、礫およびシルト質砂～シルト等の堆積物（深度 4～6m から地表まで）である。これらは河川堆積物と考えられ、砒素含有量は有機質粘土と同じであっても、溶出量は少なくなる特徴を持っている。

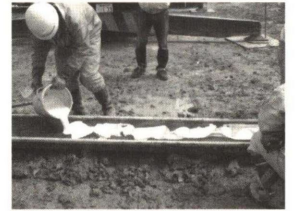
3. 1 ジオスライサー調査による 3D 地質ボーリング調査

ジオスライサー調査^{3),4)}は、剛性の高い鋼製矢板とその蓋をサンプラーとして用いる。それに振動をかけて地層中に挿入後、地層を抜き取る方法である。これにより 1 本の試料として幅約 40cm、厚さ約 10cm、長さ約 5m の柱状試料が採取できる。したがって、大口径で立体的に地層の観察が可能である。また、試料は定方位に連続して採取され、地層の積み重なり、言い換えれば歴史をたどって順に様々な記録を読み取ることができる。土壤汚染の調査として以下のような情報の入手が可能となる。

- ① 連続する地質情報の解明ができる。5m 前後の試料では沖積層の数千年前までの地層が採取され、当時から現在までの地層の層序が高精度に検討でき、その形成過程が地質学的に解読される。
- ② 連続した地層を構成する土壤試料は、微量元素の含有量や溶出量の測定を行い、その結果により環境への種々の元素の影響評価を行える。
- ③ 地層試料は、堆積学的検討を進めることにより当時の堆積環境を解析できる。また、地層を構成する粘土層など、軟弱地盤の土質力学的検討が可能である。
- ④ 地層は環境地質学試料として活用され、土壤としての物理学的性質を検討できる。元素組成の分析を行い、地層をもたらした後背地の組成、堆積作用、風化作用の程度、続生作用による元素の移動などを検討できる。



鋼製矢板打込み状況



接着剤流し込み



剥ぎ取り資料の保存

Photo. 1 ジオスライサー施工・調査時写真

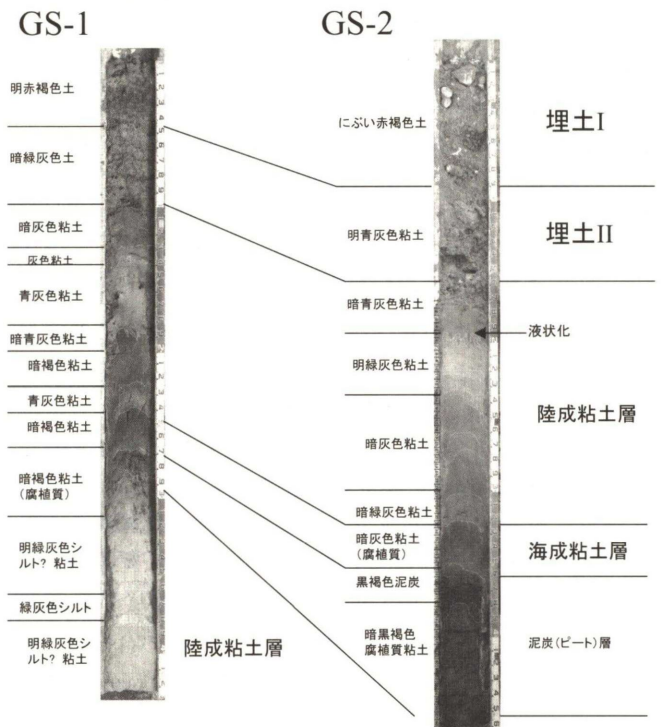


Fig. 5 地質柱状図

さらに、イオウ濃度の測定から当時の堆積環境（淡水、汽水、海成）の推定も可能である。

- ⑤ アーカイブとして地層記録を保存することが可能である。採取した地層は布と接着剤を用いて薄く引き剥がすことが可能で、地層記録をそのまま保存でき、また試料は元試料より詳細な堆積構造、地質構造を浮き立たせるので良好な柱状試料

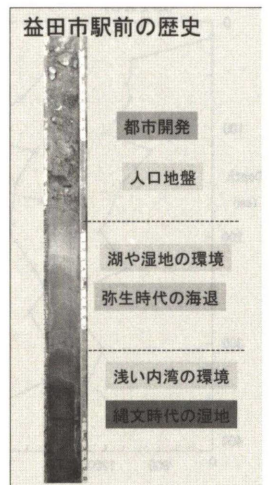


Fig. 6 地質学的歴史

として保存できる。

当建設地においては、Fig.2 に示す敷地西南部の GS-1 およびほぼ中央部の GS-2 の 2 地点において、平成 17 年 3 月 7 日にジオスライサー調査による地層試料を採取した。Photo.1 に調査時の写真を示す。

3. 2 調査結果

調査結果として地質柱状図を Fig.5 に示す。地質柱状図にもとづき、2 地点の比較を行うと、GS-1 地点では最下部層に白色の陸成粘土層が伴われるのに対し、GS-2 地点では泥炭層が厚く発達している。

また、海成粘土層は GS-1 地点が 2.5~2.7m、GS-2 地点が 3.2~3.6m と両地点とも 50cm 以下の厚みでしか存在していない。

海成粘土は、前述したように一般的には有機物が多く暗色を呈し、砒素を溶出しやすい環境にある。海成層は、山陰地域の地層に一般的に見られ、とくに海成粘土層は今から 1 万年前頃から海水準が上昇して平野に海が侵入してできた内湾に堆積したもので、6400 年前頃が最も海面が上昇したとされており、下部層の粘土層はこのときに形成されたと判断される。しかし、本建設地では海成粘土層の層厚は薄く、海成粘土由来の砒素の溶出の可能性はそれほど大きくないことがわかる。なお、同一敷地内で最下部の層序が異なっているのは、堆積時の地形の違いによるものと考えられる。すなわち、GS-1 地点では高まりをなして、明色の粘土が堆積したものと推測される。以上の検討をもとにした当建設地の地質学的な形成の歴史は Fig.6 に示すように考えられる。

次に、試料をもとにした溶出試験・含有量試験の結果を Fig.7 に示す。砒素は土壤中において主に有機物や鉄分への吸着のほか、粘土粒子のような微細粒子に吸着して存在する。したがって、粘土粒子が多いと公定法の溶出試験に規定された $0.45\mu\text{m}$ のメンブランフィルターに

よるろ過直後では、フィルターを通過する粒子、SSS(super suspended solid)が存在し高い値を示す。これらの超微細粒子 SSS は、2 日以上経過するとコロイドを作り沈殿するため、濃度は低下する。そこで、本試験では通常の溶出試験のほか、SSS を除去した溶出試験もあわせて実施した。なお、溶出試験における試料と溶媒(水)との混合比は、pH や電気伝導度(EC)の測定を行うため 1:5 としている。溶出試験の結果、SSS を含む試料では SSS を除去した試料と比較して 10 倍以上の高濃度を示した。

砒素の含有量は、GS-1,GS-2 の両地点ともおおよそ 10~30mg/kg の範囲にある。これは非海成層における平均的な砒素含有量(5~20mg/kg)とほぼ同じである。砒素含有量の高いのは GS-2 地点の 70~80cm の試料で 195mg/kg である。海成層であるかどうかを評価する方法としてイオウの含有量を用いて判断することが多い。硫酸イオンを含む地層が還元状態でイオウに変化したものと考えられており、一般には 0.3wt%以上のイオウ含有量をもつものは海成層ないしは汽水環境で堆積したと判断される。イオウ含有量が 1wt%以上の高濃度試料が GS-1,GS-2 の両地点とも認められ、GS-1 地点では 2.55~2.75m の試料、GS-2 では 3.75~4.20m がこれにあたり海成層であるといえる。通常、これらの海成層は泥炭がともなわれることが多く、砒素濃度が高い(50mg/kg以上)ことが知られているが、今回の試料では認められなかった。以上のことから、本建設地における砒素の溶出は、過去において確認された建設地近辺の海成粘土由来の砒素が主体ではなく、陸成粘土由来のとくに超微細粒子に吸着した砒素の溶出が原因と推定される。

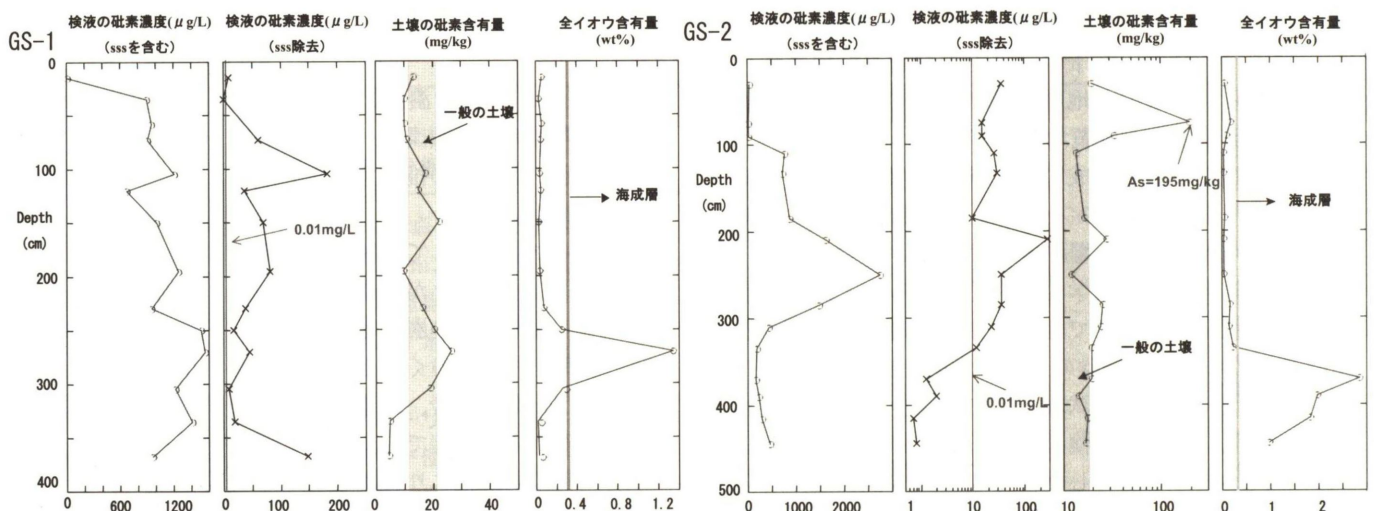


Fig.7 深度別の砒素溶出量・含有量およびイオウ含有量分析結果

4. まとめ

益田駅前再開発地区において、自然的原因による砒素汚染の可能性を探るため、ジオスライサー調査ならびに同調査から採取した試料の溶出試験・含有量試験の結果に基づき汚染の起源推定を行った結果、つぎのことが判明した。

- ① 海成粘土層はGS-1地点では2.5~2.7m、GS-2地点では3.2~3.6mと、ともに50cm以下の薄い層厚であり、建設地近辺の海成粘土由来の地質とは異なり、陸成粘土層の発達が顕著であった。
- ② 砒素の起源は、陸成粘土で、とくに超微細粒子に吸着した砒素の溶出によるものと推定された。

謝辞

調査および対策の実施に当たっては、益田市ならびに再開発事業特定事業参加者共同体（㈱石見開発商事、太成産業㈱、㈱森本建設）、ジオスライサー調査の施工を

担当した復建調査設計㈱、現場の方々各位にご協力いただきました。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 門倉伸行、石賀裕明、徳永昭則、友広健、大山喜一郎、内藤敏(2006)：再開発地区における自然由来砒素汚染(その1)地質調査による砒素起源の推定、第12回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集、pp.451~454.
- 2) 内藤敏、徳永昭則、友広健、大山喜一郎、門倉伸行、石賀裕明(2006)：再開発地区における自然由来砒素汚染(その2)不溶化処理工事、第12回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集、pp.784~788.
- 3) 高田圭太、中田高、原口強(2000)：Geoslicerを用いた調査—その現状と課題—、月刊地球、号外No.28、16-21.
- 4) 石賀裕明、道前香緒里、横田修一郎、原口強、下川浩一、(2001)：ジオスライサーによる弓ヶ浜砂州の定方位 試料の採取、鳥取県西部地震災害調査報告書、31-33.

Arsenic-contamination by natural cause in the redevelopment district Estimate of the arsenic origin by geological survey

Nobuyuki KADOKURA, Satoshi NAITOU, Akinori TOKUNAGA and Hiroaki ISHIGA

Abstract

In the redevelopment district, possibility of arsenic soil-contamination of a similar natural cause was pointed out when confirmed around reconstruction place. Therefore we performed the estimate about the cause of arsenic with the geological survey "geo-slicer investigation" that was one of the stratum extraction investigation methods. Because three-dimensional observation is possible, geo-slicer investigation method can get various geological information, and it is the investigation technology that it can expect as exclusive law of the judgment that is natural cause contamination. As a result of investigation, solution of the arsenic which adsorbed it was estimated with a cause not the clay generated by sea confirmed in neighboring districts by a super suspended solid(sss) of the clay generated by land.

Keywords: Soil -contamination, Arsenic, Natural cause contamination, Geological survey
