1.地盤改良に係るトラブル事例と地下水汚染

高橋　千明[1*]・大場　敦史[1]・蔡　飛[2]

[1]一般財団法人国土技術研究センター　技術・調達政策グループ（〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1）

[2]群馬大学大学院　理工学府　環境創生部門（〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1）

＊ E-mail: *chi.takahashi@jice.or.jp*

地盤改良工法は，地盤・地下水などの各種の環境汚染を防止するために採用することや，廃棄物の処理・処分や有効活用など環境問題を解決するために応用することが多い．しかしながら，地盤改良自体が地下水等の環境汚染を引き起こすこともある．

本文では，1970年代に発生した事故から最近の事案まで，地盤改良に係る地下水汚染事案を調査し，原因と結果，その後の状況についてとりまとめた．民事訴訟に発展した事例では，地盤改良と地下水汚染の因果関係が立証できない場合は原則として損害賠償が請求できないこと，また，環境汚染等の事案の多くは法令や基準に従わないことから発生することを改めて把握した．

Key Words : *ground improvement, groundwater pollution, chemical grouting method, cement-base soil improver, environmental standards*

1. はじめに

我が国の地形・地質に起因して，沖積の低平地が多く，N値が4以下，含水比が50%以上の粘性土や有機質土からなる軟弱地盤が全国の各地に存在する。そのため、他国と比較して軟弱な地盤が多く、それは首都圏や大阪圏を中心に都市部にも拡がっている。

我が国では，複雑な地形・地質に対応するために，様々な地盤改良工法が開発されてきた．その中には，1960年代後半より社会問題となっている地盤・地下水などの各種公害を防止する工法や，廃棄物の処理・処分や有効活用などの環境問題の解決に応用可能な工法が多いが，一方で，地盤改良工自体が地下水等の環境を汚染し，訴訟にまで発展した例もある．

そこで，本文では，地盤改良工法による地下水汚染に着目して，訴訟事例等を調査し，その原因と結果をとりまとめたのでここに報告する．

2.　薬液注入工法による地下水汚染事案の事例

薬液注入工法に起因した地下水汚染による公害が，1974年に福岡県新宮町で初めて報告された．この地下水汚染事案発生以前は，高分子系の薬液が，水ガラス系の材料よりも止水性が高く，より地盤の強度を高めるものとして多数開発されていた．しかし，この事案以降，国の直轄工事において使用できる薬液は，毒物及び劇物に該当しない水ガラス系に限定されることとなった．

1974年の福岡県新宮町の事案以降，水ガラス系と尿素系の材料を用いた成田空港暫定パイプライン敷設工事訴訟及び霞ヶ浦常南流域下水道工事における凝固剤訴訟，水ガラス系の薬液のみを用いた仙川分水路工事差止仮処分申請訴訟といった地下水汚染に係るトラブルが発生し，このうち，成田空港，霞ヶ浦常南流域下水道と仙川小金井分水路の事案では民事訴訟に発展している．（表-1）

表-1　薬液注入工法による被害発生及び訴訟等の事例

使用材料	事案発生年月	被害，訴訟等の事例
アクリルアミドモノマー	1974. 3	福岡県新宮町アクリルアミド中毒事案
水ガラス系＋尿素系	1974. 4	成田空港暫定パイプライン敷設工事訴訟
水ガラス系＋尿素系	1977. 3	霞ヶ浦常南流域下水道工事における凝固剤訴訟
水ガラス系	1977. 5	仙川小金井分水路工事差止仮処分申請訴訟

(1) 福岡県新宮町アクリルアミド中毒事案[1)]

薬液注入工法による被害発生事例として，「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」（1974年7月，建設事務次官通達）（以下，暫定指針という）策定のきっかけとなったアクリルアミドモノマーによる地下水汚染事案である．

a) 被害の経緯

被害者の家族構成は，夫，妻，夫の母と小学生と中学生の子供2名の5人家族で，このうち夫，妻，夫の母の3名に，食欲不振，倦怠感，眠気等の風邪のような症状が現れ発病した．その後，神経障害や幻覚症状，運動失調，言語障害，味覚異常，四肢の麻痺等が認められた．子供2名にも倦怠感や頭重感等の症状が見られたが，軽傷であった．

発病時は，症状から食中毒や薬物中毒が疑われたが，実証がなく，その後，福岡県衛生公害センターのプロジェクトチームによる井戸水の分析調査などから，アクリルアミドモノマーの摂取による中毒と断定された．

この被害者宅に隣接する道路で行われたシールド工法による下水道工事で，劇物に指定されているアクリルアミドモノマーを含む薬液が使用され，中毒の原因は，それが混入した井戸水が被害者宅で飲用されていたことと判明している．（図-1）

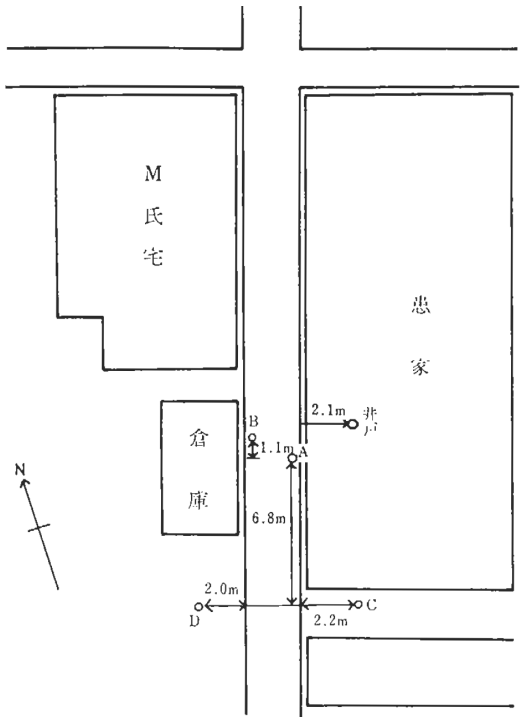


図-1 被害発生民家（患家）とボーリング調査地点（A～D）[1)]

b) 事件後の状況

井戸水の分析調査により，早期に地下水汚染と薬液注入工法との因果関係が立証できたため，訴訟には至らなかった．

本件事案後，暫定指針が策定され，緊急の場合を除いて，薬液注入工法におけるアクリルアミドモノマーの使用は禁止されている．

(2) 成田空港暫定パイプライン敷設工事訴訟

福岡県新宮市アクリルアミド中毒事案と同時期に発生した訴訟である．

推進工法の補助工法として薬液注入工法を適用して，航空機の燃料輸送用の暫定パイプラインを敷設する工事であり，薬液に水ガラス系と尿素系の材料（尿素系は，高分子系材料で現在は暫定指針で使用が禁止されている）が使用された．本件では被害は発生していないため，裁判において原告側住民の請求は棄却されている．

a) 被害の経緯

パイプライン敷設工事期間中に根木名川発進立坑から出水，国道295号横断部到達立坑からも出水し，更に付近の井戸が枯水したため，同年4月，新東京国際空港公団が一旦推進工事を中止したこと，井戸の枯水が本件の推進工事が原因であると考えられることが認められた．

本工法を行なった土地付近の地下には，成田市住民が飲料水用として使用する井戸あるいは成田市営水道の水源としての浅層地下水，深層地下水が存在する．不透水性ないし難透水性の砂質粘土層や粘土層が存在するが，その上下の砂礫層に比べて薄く，連続性に乏しいため浅層地下水から深層地下水に浸透する．

本件推進工事に際して適用した薬液注入工法の使用薬液は，国道295号線横断部のみならず他にも５か所で地下水と接触していることが考えられ，薬液の性質によっては，これが飲料水の水源としての地下水に溶出して付近住民の健康に悪い影響を与えることが考えられたが，実際の被害は発生していない．

b) 訴訟内容

原告は，飲料水として井戸あるいは成田市営の上水道を利用している成田市民442名であり，被告は新東京国際空港公団である．

原告側は，健康被害を訴え，薬液注入工法が適用された土壌の撤去と工事差し止めを請求したが，尿素系凝固剤中のゲル化ホルムアルデヒドが地下水と接触して再溶出し住民の健康に被害を及ぼす可能性を全くは否定できないものの，以下のことから健康被害発生相当程度の蓋然性は認められないとして，原告側の請求が棄却される結果となった．

・薬注工法施行後6月以上経過しても債権者らに健康被害が生じていないこと，水質検査の結果，アルカリ性または珪酸濃度が高い井戸があったが，工事前からの値と同様であった

・ホルムアルデヒドの許容量（0.5ppm）以下（検出下限以下）であった．
・ホルムアルデヒド慢性中毒は現在学界でも確立したものではなく，研究が進められている段階である．
・ゲル化したホルムアルデヒドの再溶出量は定量界値限以下であったこと，溶出しても多量の地下水によって希釈されることが十分考えられる．
・1963年から尿素系凝固剤が多量に使用されているが，被害は未だ知られていない．
・債務者は14本の観測井によって水質検査を続けており，汚染により水質基準に達しないときには，付近一帯の井戸水飲用を禁止する措置をとりうる．
・水道は成田市水道局において常時検査を行っており，対策がとられるであろう．
・水が空気にさらされるとホルムアルデヒドの幾分かは蒸発，減少する．

c) 事件後の状況

空港へ航空機燃料を輸送するために計画された暫定パイプライン建設工事は，その後再開し，1975年に竣工した．

(3) 霞ヶ浦常南流域下水道工事における凝固剤訴訟[2)]

福岡県新宮市アクリルアミド中毒事案を契機として，本件の工事区域でも「牛久・竜ケ崎地区霞ヶ浦常南下水道工事公害対策協議会」が発足した．

水ガラス系と尿素系が使用された工事であり，近隣住民に健康被害が生じたとして民事訴訟に発展したが，薬液注入工法との因果関係はないとして原告側の請求は棄却されている．

a) 被害の経緯

原告側の主張では，霞ヶ浦常南流域下水道工事に使用した薬液注入工法の薬液が十分に固結せずに地中に流出もしくは一旦固結したものが溶出して，地下水を汚染し，原告らの井戸に混入，それを飲用した原告らに健康被害が生じた．また，不透水層をシールド工事によって破壊したので，浅帯水層から深帯水層へ地下水が降水し，深帯水層地下水も汚染した．地下水が薬液で汚染されたことにより，周辺住民で3名の死者が出たとしている．

b) 訴訟内容

原告は，茨城県牛久市の住民9名，被告は茨城県及び施工業者8者である．

裁判では，使用された凝固剤の成分と住民の健康障害との因果関係，地下水及び井戸水の水質分析結果，注入箇所から井戸までの成分の移動速度と健康被害発生時期との関係，地下水の水質の判断に関する衛生化学的な知見等に着目して行われたが，以下の理由により，薬液と健康被害との因果関係は認められず，被告から原告7名に解決金（訴訟費用が主）を支払うことで和解が成立した．

・深井戸地下水槽は水質が安定しており，工事の影響は認められない．また，工事前と工事期間中の水質は，危険率1％でpHと鉄成分が工事期間中で大きくなったが，凝固剤の使用と関連付けて考えることができない．
・凝固剤で汚染された地下水が，原告の発病時期までに井戸に到達することはできない．つまり，凝固剤使用時期と発病時期に時間的な矛盾がある．
・シールド坑内の圧気が切羽付近の地下水を連行して短時間で井戸を汚染した可能性については，透気係数が透水係数の約70倍あるため，空気だけが移動して水を連行することはあり得ないことが明らかになった．

c) 事件後の状況

3名の死者発生が報道されたことにより，茨城県は真偽が確認できるまで1ヶ月以上の期間，工事を中止せざるを得なかったが，その後，工事が再開した．

(4) 仙川小金井分水路工事差止仮処分申請事件

暫定指針で使用が認められている水ガラス系の薬液に起因した地下水汚染のトラブルである．

水ガラス系の薬液の一部またはそのゲル化した生成物が地下水に溶出したとして，民事訴訟に発展したが，薬液注入工法と地下水汚染の因果関係が立証できないとして，原告側の住民の請求は棄却されている．

a) 被害の経緯

分水路は，シールド工法により施工し，補助工法として薬液注入工法を適用して整備する計画であり，1974年に着工した．1977年に薬注工事開始直後，注入した凝固剤が反応せずに付近民家の庭先に噴出したこと，暫定指針及び取扱指針に従って設置された観測井の一つに凝固剤が直接流入する事故が発生したことが事件の発端である．

事故後，周辺住民より，かゆみや発疹症状（数名），溶血性貧血に起因する脳症により死亡（1名），右手前腕神経麻痺（1名）の訴えがあったが，いずれの症状も薬液注入との因果関係を判断する根拠は明確ではなく，推測の域を出ないとされた．

b) 訴訟内容

原告は，飲料水その他の生活用水として，小金井市営の上水道または自家用の井戸水を利用している小金井市民（193名＋61名），被告は国（代表者として法務大臣），大手ゼネコン2社である．

裁判は，地下水のpH値，地下水の流速から計算される汚染地下水が到達するまでの日数と症状が現れた日の比較，無機質の薬剤による症例等に着目して行われたが，以下の理由から，本件工事で地盤注入された凝固剤のゲ

ル化しない珪酸ナトリウム，生成された苛性ソーダの一部が地下水に溶出する可能性を全く否定はできないが，その影響は極めて限られたものであり，付近住民の健康に被害を及ぼす程度の地下水汚染を生ずる蓋然性は認められないとして，原告側住民の請求が却下される結果となった．

・継続的な地下水のpH値測定で異常がなかった．
・地下水流速から計算される汚染地下水到達日よりも症状が現れた日の方が早かった．
・無機質の薬剤による溶血性貧血の症例がない．
・凝固剤注入による未反応物質（珪酸ナトリウム）又は生成したゲル化物質（苛性ソーダ）が多少地下水に溶出しても，多量の地下水によって希釈される．
・債務者らは観測井で水質検査を続けており，水質基準に未達の時は，原因究明まで付近井戸水の使用を禁じ，上水道補完工事等の措置を講ずる用意をしている．
・小金井市では定期的に上水道の水質検査を実施して水質保全に万全を期している．
・水質，土木の学識経験者，住民代表及び関係自治体等から構成される工事監視委員会が設けられ，地下水の水質，水位，工事方法等について常時監視を行なっている．



図-2　仙川小金井分水路平面図[3]

c) 事件後の状況

原告側の請求が棄却され，薬液注入工法と地下水汚染の因果関係が認められなかったことから，分水路整備工事は1977年に無事竣工している．

3.　富士川水系の汚泥投棄

上述した薬液注入工法に起因した地下水汚染の訴訟等の事例は，50年ほど前の暫定指針施行前後の事案であるが，現在新たに地盤凝集剤によりトラブルが発生している．

(1) 被害の経緯

2009年頃から，山梨県と静岡県の富士川水系の駿河湾で，水に接触したヒトの皮膚がただれる，サクラエビが壊滅するなど，健康や産業など多岐にわたる被害が確認され，現在も改善されていない状況にある．調査の結果，富士川で採取した泥土から高濃度のアクリルアミドが検出され，原因は，上流の雨畑ダムで砂利を採取していた業者が凝集剤として使用していたアミン系凝集剤とみられている．業者は，アミン系凝集剤が含まれる汚泥を雨畑川に不法投棄しており，そこからアクリルアミドポリマーが流出し，紫外線で分解して発がん性のあるアクリルアミドモノマーに変化した可能性が指摘されている．



写真-1　富士川の不法投棄現場の下流の汚泥[4]

(2) 近年の状況

駿河湾でのサクラエビの不漁は現在も続いており，このまま対策を講じない場合，汚染の影響が100年近く残るとされ，市議会が国に早急な対策を求める事態へと発展している．現在，国土交通省，山梨県，静岡県で対応を検討している．

a) 2021年度調査のまとめ

2021年度に3回（2021年7月28日，10月27日，2022年1月27日）調査を実施し，水量などの季節的な変動も考慮する中で，山梨県内の調査地点においては，モノマーが定

量下限値程度で安定しており，人や魚などへの影響を考慮して設定された各種指標を十分下回っていることが確認された.

このため，国交省や静岡県と調整したうえで，県内においては，濃度変化もほとんど無いことから，調査を一旦終了とした.

一方，静岡県内においては，最後の調査（令和4年1月27日）で，それまでの調査に比べて濃度が高くなる変動が確認されたため調査継続としたが，山梨県はその調査結果を共有し，適切に対応していくこととした.

b) 現在の状況

静岡県と山梨県で連携し，ポリマーの分析方法の開発に努めることとし，引き続き，堆積物の調査に向けた取り組みを進めている.

4. セメント系の地盤改良による地下水汚染事例

セメント系の地盤改良では，現場の土の特性とセメント系固化材の相性によって発がん性のある六価クロムが溶出するリスクがあり，事前に溶出試験を行い六価クロムが環境基準値以下であることを確認することが義務付けられている.

そのため，セメント系地盤改良に起因した六価クロムによる地下水汚染はほとんど起こっていないが，溶出試験確認前に施工することにより土壌が汚染される事案が発生したことがある.

(1) 汚染の経緯[5)]

2022年徳島県小松島市の市道舗装工事の改良土壌から，環境基準の2倍となる六価クロムが検出された．市が経緯を調査したところ，工事業者が，溶出試験結果が判明する前に工事を進めたことが分かった.

市都市整備課によると，現場は延長約25mの区間で，アスファルト舗装に加え，セメントの粉体を土壌に混ぜて地盤を改良する計画であった．セメント系固化材を用いることから，現場の土の特性によっては六価クロムが発生することが懸念されるため，事前に溶出試験を実施し検査する必要があった.

工事業者は検査を依頼していたものの，結果が出る前に舗装工事をしていた．六価クロムは改良した土壌1ℓあたり0.1mgが検出されており，基準値を上回っている．なお，六価クロムの環境基準値は，以下の経緯より，現在はより厳しい基準値に改正されている．（表-2）

・六価クロムの一日耐容摂取量（TDI）を1.1μグラム/kg体重/日と評価．（2018年）
・水道法水質基準の六価クロムの基準値が0.05mg/ℓから0.02mg/ℓ 以下に改正．（2020年）
・公共用水域の水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準及び地下水の水質汚濁に係る環境基準の六価クロムの基準値が，0.05mg/ℓ 以下から0.02mg/ℓ 以下に改正．（2021年）

表-2 六価クロムの人の健康の保護に関する環境基準値の改正

物質	改正後の環境基準値	改正前の環境基準値
六価クロム	0.02mg/ℓ 以下	0.05mg/ℓ 以下

(2) その後の対応

舗装の表面が撤去され，汚染土壌の処理がなされた.

5. おわりに

地盤改良に関連する地下水汚染による被害は，当時特に規制のなかった薬液注入工法によるものを中心として，1974～1977年に報告された．その後，薬液注入工法については暫定指針が施行されたこと，セメント系の地盤改良工法については六価クロム溶出試験を義務づけること等により，現在は訴訟がほとんど発生していない．地下水汚染に影響を及ぼすことが懸念される工法であっても，関係法令や指針を遵守することにより，基本的には多くのトラブルを未然に防止できると思われる.

一方で，富士川水系の汚泥投棄による事案では，使用されたアクリルアミドポリマーの毒性はもともと比較的低いが、紫外線により分解されて劇物のアクリルアミドモノマーに変化した可能性が報告されており，化学物質を用いる場合には，環境によるその性質の変化についても十分留意しなければならないことが分かった.

我が国では，現在も地盤改良工法の研究開発が進んでいるが，引き続き，地下水汚染をはじめとする環境汚染に注視していく必要がある.

参考文献

1) 森彬：全国公害研会誌 1 巻 1 号，pp. 59-65，全国公害研会誌事務局，1976.
2) 澤村良二：衛生化学 37(2)，pp. 143-147，公益社団法人日本薬学会，1991.
3) 仙川小金井分水路（仙川），東京都ホームページ：https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/content/000047324.pdf，（参照 2023-7-26）.
4) 富士川の中下流域 凝集剤，生態系破壊か 山梨で業者が不法投棄，静岡新聞ホームページ：https://www.at-s.com/news/article/topics/shizuoka/846486.html，2020.
5) 小松島市道工事現場から基準超す六価クロム 舗装撤去し汚染土処理へ，朝日新聞デジタル：https://www.asahi.com/articles/ASQ3H71KVQ3HPTLC01H.html，2022.