

負の遺産としての亜炭採掘跡空洞

Cavities in Abandoned Lignite Mines as Negative Heritage

川 本 朧 万 (かわもと としかず)
名古屋大学 名誉教授Ömer Aydan (アイダシ オメル)
東海大学教授 海洋学部

1. はじめに

かつて、濃尾平野では急速な地下水くみ上げによる地盤沈下が問題になったことがある。一方、昭和40年代当時、東海地方では亜炭採掘跡が陥没事故を誘発し大きな社会問題となっていたが、それらは鉱害（鉱業法では、地盤沈下による農地、宅地などの地表物件の効用阻害を鉱害と言っている）として処理され、現在のように地盤環境に対する公害問題として大きくは取り上げられていなかった。

石炭や亜炭の採掘跡空洞、石材や磨き砂の採取跡空洞、戦時中に造られた地下壕（防空壕）、戦災復興時に埋められないままに放置されている地下室や管路など、現在放置されている地下空間は負の遺産として多く存在する。最近これら既存空洞の劣化による空洞崩壊や地盤の変状、すなわち浅所陥没や地表沈下が発生し、水田の冠水、溜め池の漏水、住宅の倒壊のみならず道路陥没による死亡事故まで起こしている。また、豪雨時や地震時における地下空洞を有する地盤の不安定化に対しても検討を迫られている。

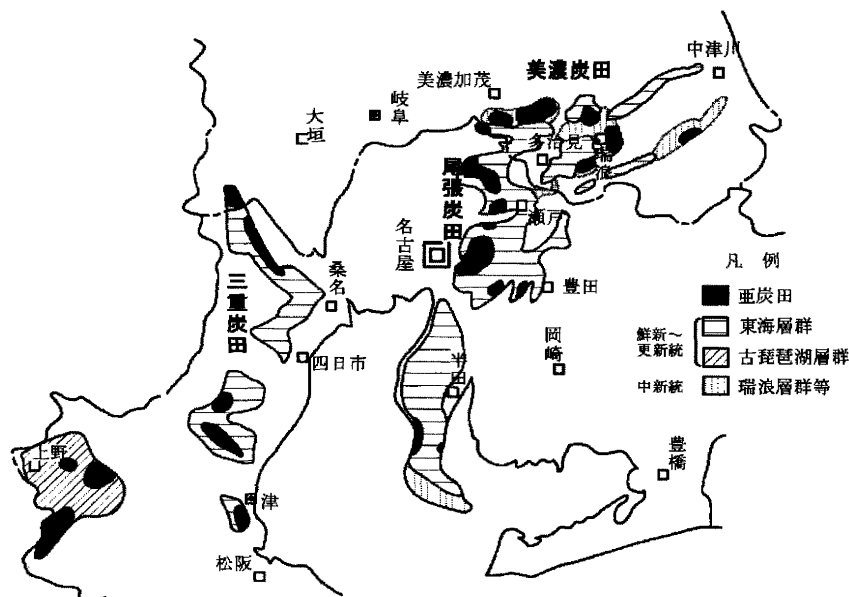
ここでは、東海地方に多く存在する亜炭採掘跡空洞による地盤環境への影響等について述べ、今まであまり問題視されてこなかった負の遺産としての廃棄空洞に対する関心を喚起したい。

2. 東海地方の亜炭採掘分布と地盤陥没災害

亜炭は褐炭（lignite, brown coal）とも言われ、腐植土の一種で、石炭化度の最も低い石炭である。口絵写真一7に示すように普通、黒色ないし帯褐黒色を呈し、暗炭が多く不粘結である。瀝青炭と比較して水分・腐植酸・酸素が多く、炭素が少ない。一般用炭として使用されてきた。

東北地方とともに東海地方においても亜炭の掘削が盛んに行われてきた。明治2年に岐阜県御嵩町を中心に日本で初めて亜炭が本格的に採掘・利用され、明治時代中期以降、この地方で発達した繊維産業や陶磁器産業を支える重要なエネルギー資源となっていた。亜炭採掘最盛期は第2次世界大戦中および戦後の燃料不足時代の約15年間におけるもので、年間約120～130万tも出炭されていた。東海地方における亜炭産業は、1960年代に始まった重油へのエネルギー転換によって急速に衰退し、70年代には終焉を迎えているが、亜炭鉱が閉山した跡には廃棄空洞という負の遺産が残された¹⁾。

図一1に示すように、終戦前後に東海地方の各所で多くの亜炭炭田（主に、尾張炭田、美濃炭田、三重炭田）が開削されてきたが、美濃・尾張炭田で日本の亜炭生産の40%以上を産出していた。東海地方の亜炭田は中新世前期の瑞浪層群、鮮新-更新世の東海層群および古琵琶湖層群



図一1 東海地域における亜炭田の分布図

琵琶湖層群の中に発達しており、堆積時代によっても炭質が異なり、地層の物理的性質も軟岩から土質まで顕著な違いがある²⁾。現在でも空洞のままのもの、天盤崩落などにより空洞が自然に閉塞されたもの、充填工法が実施されたものなどいろいろな形で多くの亜炭廃坑が存在する。

尾張炭田における主要な亜炭生産地は春日井・小牧、名古屋東部から尾張旭市、長久手町、日進市にかけての一带にある。美濃炭田に比べて地層自体が軟弱であり、しかも大部分の採掘跡地が地表から30 m程度の浅所にあるため陥没しやすい状態にあった。高度成長期を経て昭和40年代に入ると、名古屋市周辺（高蔵寺地区、志段味地区、日進市等）において宅地開発が進んだが、各所で地表沈下や浅所陥没、湧水・漏水さらには家屋の傾斜（写真—1）等が多く発生するようになり、東海地方鉱害復旧事業団（昭和34年設立）によって復旧工事が行われてきた。最近では、愛知万国博覧会会場へのアクセス交通として進められた名古屋東部丘陵線の工事のための充填工事が行われた。

美濃炭田の中で最も盛んに採掘が行われていたのは可児炭田の御嵩地区で、地盤が比較的しっかりしていたこともあって、5層の亜炭層が稼行対象とされ、大規模な採炭を行っていたところが多く、亜炭の採掘・利用は戦後まで続いてきたが、その間、地表沈下や浅所陥没が多く発生している（口絵写真—8）。最近では東海環状自動車道がこの地区を通過することとなり、可児・御嵩インターチェンジ付近の盛土および橋梁基礎部における地盤の安定化のための空洞充填工事が行われた。

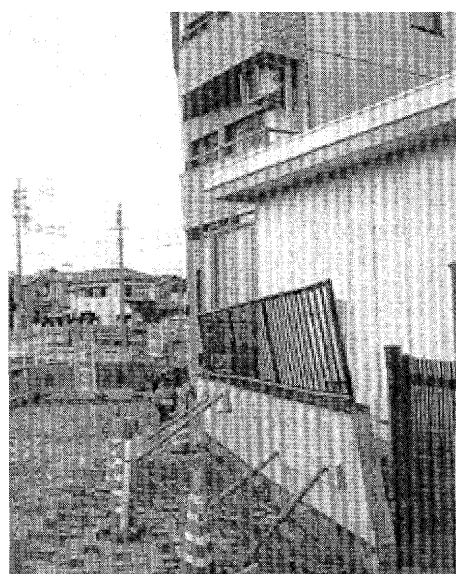
上記のような亜炭廃坑の存在による地盤災害の頻発に対して、当時の名古屋通商産業局においては住民の安全と民政の安定上鉱害を未然に防止する対策を推進する必要性に迫られていた。そこで公害対策の実施方法等の審議を行うため、1974年12月に古洞関連総合施策委員会を設けて、空洞充填工事の検討が始められ、実際に実験お

よび多量の充填材を用いた実用化試験を重ね、空洞充填工法の開発を推進してきた。1977年に空洞充填実施の推進母体として日本充てん協会が設立され、それ以来今日まで亜炭廃坑の陥没防止・地盤の安定化の開発・啓蒙を行ってきた³⁾。

また、国においては、亜炭廃坑に起因する陥没について、臨時石炭鉱害復旧法および石炭鉱害賠償等臨時措置法によって復旧が行われてきたが、2002年3月末をもって上記2法が廃止されるに伴い、法廃止後においても発生の可能性のある浅所陥没を復旧するため、とうてい鉱害復旧等事業基金が造成され、公害が発生している箇所の復旧事業が実施されている。しかしながら、この基金で鉱害（地表沈下や陥没など）防止のための空洞調査や空洞充填事業を行うことはできず、亜炭採掘跡が放置された造成地や田畑のある自治体および個人の不安を残したままの状態にある⁴⁾。

平成20年4月24日には、三重炭田における津市の住宅地の陥没による自家用車の転落事故が報じられ、また、美濃炭田の御嵩地区における陥没事故の多発を受けて、御嵩町が地下に沈む町としてテレビ（NHK名古屋放送局ナビゲーション：町が地に沈む～どうする亜炭廃坑～、平成20年11月7日）で紹介され、さらに戦時中に掘削された特殊地下壕（軍事施設や防空壕等）による災害が全国的に発生するに及んで、従来より、洪水や地震による地盤災害に比べて微々たる現象と捉えられ、世間の関心を呼んでこなかった亜炭廃坑の陥没による危険性が徐々に社会的な問題として認識されるようになってきた。

美濃地方の亜炭層は一般に残柱式（図—2および写真—3）で掘削されており、口絵写真—8に示すように空洞周囲の岩盤はいくぶん風化・変質しているものの、初期的には大きな変形を起こさず安定している。しかし、風化や変質が進んで、クラックが多く発生してくるにし



写真—1 亜炭廃坑による家屋の傾斜（愛知県長久手町、平成14年2月17日、中日新聞より）



写真—2 亜炭採掘跡空洞による地表沈下（岐阜県御嵩町比地区、平成19年9月19日、中日新聞による）

報告

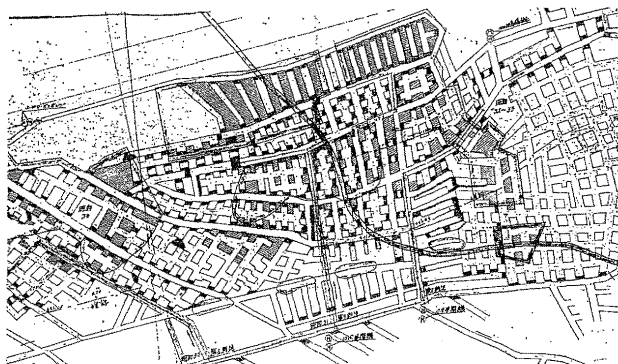


図-2 御嵩地区の残柱式および柱房式で掘削された亜炭採掘空洞図(白抜きと黒網掛けは掘削時期の違い)



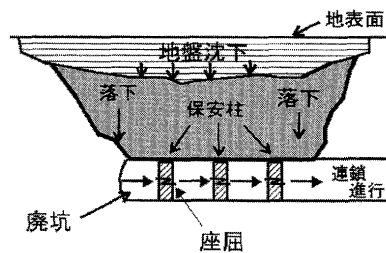
写真-3 残柱式で掘削された空洞跡地(美濃炭田可児地区)(地表面をはがした状態)

たがって岩盤はブロック化し、上部岩盤の劣化に伴う天盤の崩落、残柱の劣化による支保断面の減少あるいは残柱破壊による空洞幅の拡大による空洞崩壊などが起こる。このような現象の一部を模式的に示すと図-3のようである。

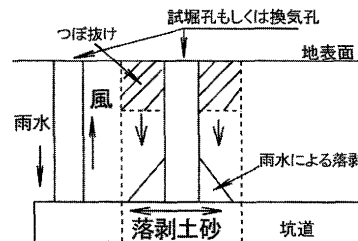
これらの現象は空洞周辺地山の経年変化による材料劣化と、それを促す雨水の浸透、地下水の変動、地震動などに関係するが、基本的には空洞を含む地山の地質構造や水理特性が大きく影響してくる。掘削時の空洞の安定性や地盤の変状現象と、既設の空洞の安定性や地山の経時的な劣化による崩落ないし陥没現象の考え方には異なるところもあり、地盤工学的手法や地質調査手法の適用に関連して考えるべき課題は多い^{5),6)}。御嵩町における亜炭空洞内部の岩盤を永年にわたって観察してきて得られた天端・坑壁・残柱の風化変質の様子を示すと図9～10のようである^{7),8)}。

3. 地盤安定化対策

亜炭が採掘されていた地域での地盤の変動を予測するためには、まず地下空洞の探査が必要になる。東海地方では初期には弾性波探査や重力探査などの物理探査が利用されていたが、その精度は必ずしも十分でなく、結局ボーリング調査に頼ることが多かった。その後、連続波レーダ探査や地震探査法(高分解能反射法や高精度表面探査法)などの物理探査法が種々開発され、それらの適



地震時における地盤沈下想定図



つぼ抜けによる浅所陥没現象想定図

図-3 浅所陥没および地盤沈下の模式図

用が試みられている⁹⁾。

一般に、亜炭層の厚さが薄いために掘削後の空洞の安定性確保は残柱によることが多い。しかし、掘削後の空洞の天盤や残柱は岩盤の風化・変質により徐々に劣化し、天盤の崩落とそれに続く地表沈下や浅所陥没を生じる恐れがある。そのため掘削後の空洞の安定性確保、すなわち浅所陥没等に対する対策としては専ら充填工法が用いられている。

亜炭廃坑のように比較的浅く、丈の低い空洞に対しては地上からの充填に制約されるが、用いられる充填材の適用性や施工の経済性からキラ充填工法、流動化処理工法、エアモルタル工法などが考えられる。掘削跡の空洞は不規則に広く分布し、また地下水で満たされている箇所も多い。これを充填するには水中で注入時にスラリー状で流動性があり、しかもある程度の時間の経過とともに固化するという特殊な充填材が必要であった。前述の旧名古屋通産局における古洞関連総合施策委員会の発足当初には、瀬戸周辺の粘土や珪砂の水篩選別時に大量に発生し、河川汚染の原因とされていた粘土混じりの微砂(通称キラ)を主要な充填材として取り上げ、小規模な実験工事を通じてキラ充填工法の適用性が確認された。その後引き続き本格的な充填工事が実施されてきたが、その間、亜炭採掘跡地の地盤・地質の調査の開発、充填材料の改良や新材料の開発、充填プラントや充填工法の合理化が行われてきた。

1970年代に入って都市開発に伴って発生する建設発生土の処理が大きな社会問題となってきた。この建設発生土を廃棄物として処理することの環境への悪影響を少しでも解消するために、建設発生土の資源化すなわち再利用が検討されてきた。主材料としては、現在までの実績ではキラを主材料として施工した事例が多く、粘土かすが一部で使われた。この他に室内試験段階では、(1)上水汚泥、(2)羊毛スラッジ、(3)採石工場等の排水スラッジ、

(4)集塵ダスト, (5)石炭灰, (6)粉体スラグなどの材料についても検討し, 主材料として利用できることが確認されている¹⁰⁾。しかしながら, 現在まで試験的には採用されているものの本格的には採用されたことはない。従来より, 中部経済産業局主導のもとで行われてきた亜炭空洞の充填事業は, 道路建設や都市交通建設に伴って充填工法の適用性が拡大し, 東海環状自動車道の建設に際して国交省中部整備局の主導で充填材料や充填工法(特に限定充填工法)についても再検討されるようになった。それと同時に, 今後の充填事業の拡大を考え, フライアッシュや溶融スラグなどの粒状副産物の充填材への適用性についても検討されてきている。

4. 地震時災害に対する検討

最近, 地震に伴う液状化に対する地盤の危険度の評価や, 木造構造物に対する耐震強度の評価, 地震時の火災や豪雨時の道路斜面崩壊などに対する防災基準など, 種々の災害に対する危険度の評価基準が考えられている。それらを実際に地域に適用して危険度評価マップが作られているが, 危険を評価する要因や危険度を判定するための基準が問題になる。

亜炭空洞の存在によって生じるであろう地表沈下や浅所陥没に対する危険度の評価は, 空洞掘削による周辺岩盤の応力変形状態に及ぼす影響因子や, 地表面の構造物(例えば, 住居建物, 公共構造物, 道路, ライフラインなど)の重要性などとの関連で考えらねばならない。一般に, 陥没の危険性があると思われる地域では, (1)土被りの厚さ, (2)空洞幅, (3)空洞採掘形式(残柱式, 長壁式, 坑道式), (4)古洞上部の地層状態, (5)地山の強度などが, 浅所陥没の要因, すなわち危険度評価の対象になる。

東海地方の亜炭採掘現場においては, 地域的な浅所陥没に対する危険度評価として, わずかに御嵩町地区における地震時の亜炭鉱廃坑に対する安全性の調査が行われているだけである。予備段階の調査として, ボーリングおよび地形・地質資料, 浅所陥没位置図や空洞位置図などの既存資料の収集・分析および地理情報システム(GIS)を用いたデータベース化による空洞の有無と深さの推定を行っている。空洞の有無および深さの探査法として常時微動観測, 音響透水トモグラフィーおよび微重力探査法が用いられ, それらの精度の検証が行われている。また, 東海地震の震源モデルを設定して, 有限要素法により深度と空洞の安定性(亜炭空洞残柱の安全性)に関する検討が行われている。さらに重要構造物・施設, ライフラインのデータベース化を行い, それらの被害推定と危険度のランク分けおよび対策順位の決定を行うこととしている。今までの研究結果によると, 地下に空洞を残している地盤では, 地震時に通常の地盤に比べて地震加速度が増加し, 建物の振動の増大や破壊を生じるだけでなく, 掘削跡の残柱の破壊による地盤沈下や浅所陥没による人的・物的被害を生じる恐れがあることが明らかにされている^{11),12)}。

5. おわりに

東海地方の亜炭採掘跡空洞が地盤環境に対していかに負の遺産として残されているか, また地盤防災の点から充填工事がいかに必要であるかを述べた。廃棄空洞は亜炭空洞にとどまらず, 磨き砂・石材掘削跡, 廃棄ライフライン, 特殊地下壕など, 全国的に放置されている。国土交通省, 農林省および林野庁は, 平成17年4月に鹿児島で発生した地下壕内での中学生死亡事故を受けて, 防災上の見地から地下壕の危険解消を計画的に推進するため, 全国に現存する地下壕の実態調査を行った。それによると, 残存地下壕の総数は10280箇所であり, 現在危険またはその可能性があるものは1210箇所あることを報告している。

現在, 岐阜県御嵩町の亜炭鉱廃坑調査会(平成14年度設立, 会長:濱田政則早稲田大学教授)に設けられた御嵩町亜炭廃坑地震対策専門委員会で, 地震時の亜炭廃坑による地盤災害の危険度予測および防止対策が検討されてきている。その成果は, 他の地下空洞(全国的に散在している亜炭空洞, 特殊地下壕, 地下採石・採砂跡空洞など)の安定性や浅所陥没に対する危険度の評価につながるものと期待している。

地下空洞の充填では, 充填材料としてリサイクル材を活用することが研究されており, 空洞充填工法は地盤災害の防止のためだけではなく, 産業副産物の再利用による環境面や省エネルギー面でも有効な方法として, 今後とも研究開発が望まれる分野であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) ひろた みを著:御嵩の亜炭鉱—この負の遺産をどうするか, リヨン社, 2002.
- 2) 藤井紀之・小松幹雄・杉浦乾郎:東海地方の亜炭採掘跡の調査と対策例, 基礎工, Vol. 32, No. 10, pp. 66~71, 2004.
- 3) 川本眺万:日本充てん協会創立30周年を迎えるにあたって, 充てん, 第50号, pp.1~5, 2006.
- 4) 林 良総:最近の亜炭鉱害について, 充てん, 第11号, pp.1~6, 1985.
- 5) 岩田 淳:宅地造成開発に伴う亜炭採掘跡地の陥没危険度評価, 充てん, 第34号, pp.10~20, 1998.
- 6) 川本眺万:地盤陥没災害と地下空洞調査について, 物理探査, Vol. 58, No. 6, pp.589~597, 2005.
- 7) アイダン・オメルほか:亜炭廃坑における不安定現象および劣化とクリープを考慮した長期安定性評価, 第17回中部地盤工学シンポジウム, pp.57~66, 2005.
- 8) 太田良美ほか:亜炭廃坑の地震時における安定性と破壊形態, 第17回中部地盤工学シンポジウム, pp.67~76, 2005.
- 9) 稲崎富士:総合物理探査による亜炭採掘空洞の把握, 充てん, 第46号, pp.9~19, 2004.
- 10) 坂本昭夫ほか:リサイクル材料の空洞充填材への適応性, 材料, Vol. 54, No. 11, pp.1123~1128, 2005.
- 11) 濱田政則ほか:東海地震に対する御嵩町亜炭廃坑の危険度に関する調査, 充てん, 第44号, pp.1~7, 2003.
- 12) 濱田政則:平成17年度御嵩町亜炭廃坑地震対策専門委員会の概要, 2006.

(原稿受理 2009.1.19)