御嵩町亜炭廃坑内における劣化および陥没現象に対する10年以上の観察と多重パラメータ 計測結果について

藍檀 オメル1*・坂本昭夫2・杉浦乾郎2・山田紀利2・田野 久貴3

¹琉球大学 工学部環境建設工学科(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1) ²飛島建設名古屋支店(〒460-0017愛知県名古屋市中区松原3-2-8) ³元日本大学 工学部土木工学科(〒963-1165 福島県郡山市田村町徳定中河原1) *E-mail: aydan@scc.u-tokai.ac.jp

東日本大震災で見られたように、三連動地震で大規模な陥没の恐れが高い、著者らは御嵩町における2つの亜炭廃坑において10年以上定期的な観察と多重パラメータ計測を行ってきている。この期間中に大きな2つの地震が発生し、廃坑内に地震によって落盤や残柱のせん断破壊などが発生した。また、亜炭廃坑周辺岩盤が堆積岩であり、水分量の変化によって乾湿繰り返しを受け徐々に劣化している。本論文で著者らは亜炭廃坑内における劣化、落盤および陥没現象に対して今まで行ってきた定期的な観察と多重パラメータ計測結果を紹介し、その意味合いについて論じる。

Key Words: abandoned lignite mine, collapse, degradation, multi-parameter monitoring

1. はじめに

日本の各地には、廃鉱、防空壕、採石場、鍾乳洞など、多くの人工・自然地下空洞が存在し、地震や岩盤の風化などにより空洞の陥没事故が相次いで発生し、社会生活に大きな被害を与えている。今後予想される巨大地震によるさらなる陥没の発生が危惧される。

東日本大震災で見られたように数多くの亜炭廃坑に陥没が発生し、その数は 320 箇所を越している $^{1)}$ $^{2)}$ 。 また、亜炭廃坑周辺岩盤が堆積岩であり、水分量の変化によって乾湿繰り返しを受け徐々に劣化している.

愛知県や岐阜県御嵩町に数多く亜炭採掘跡が存在し、 採掘終了より約40年経過している. 亜炭地域を構成する岩盤は堆積岩であり、重力、地震、上載荷重の変化と クリープの影響とは別に、これらの岩盤は含水の変化に よって劣化する特徴を有している. 筆者らは、御嵩町亜 炭廃坑内に多重パラメータ計測システムを設置し、2004年の初めから今日まで計測および観測を行ってきている. 本論文では、2地点の亜炭廃坑内における周辺岩盤の劣化、発生した落盤および陥没現象に対して行ってきた定期的な観察と多重パラメータ計測結果を紹介し、その意 味合いについて論じる. さらに 2010 年 10 月 20 日に発生した大規模な陥没についても紹介し、地盤沈下と調査結果について報告する.

2. 観察およ計測対象亜炭廃坑

愛知県や岐阜県御嵩町に数多く亜炭採掘跡が存在し、廃坑内に天端の落盤と残柱の逐次破壊と亀裂の進展している様子が確認されている。著者らは御嵩町にある亜炭廃坑の内二つの亜炭廃坑において2004年以降、観測および計測を行っている $^{4)5}$. 二つの亜炭廃坑のうち木曽川に近接している伏見地区の廃坑をA廃坑と名づけている(図-1). この廃坑の亜炭層の厚みは約2mで、土かぶりは約10-12mである。残柱は平均的に2 x 2 mで掘削率は60-80%である。また、御嵩町比衣地区における亜炭廃坑をB廃坑と名づけている。この亜炭廃坑は現在御嵩町によって見学できるように整備されている。この廃坑の亜炭層の厚みは約3-6mで、土かぶりは約2-12mである。



図-1 廃坑の位置とその坑口

3. A廃坑における観察および計測結果

御嵩亜炭 A 廃坑における岩盤の経時的劣化や地震に伴う破壊および亀裂進展状況を数値的に把握するために、廃坑内の温度・湿度環境の長期間に渡る連続計測や残柱および天端における岩盤の破壊に関して変位・AE・電位計測を 2004 年以来行ってきた(図ー2). 図-2 に廃坑内とその坑口周辺に発生した大きな落盤や残柱の破壊が見られた時期も記載した. 図-3 は廃坑内外の温度の変化を示す.

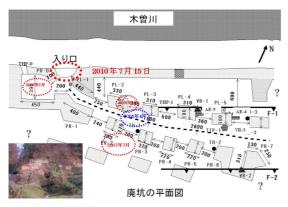


図-2 廃坑内の平面図と落盤や残柱の破壊箇所

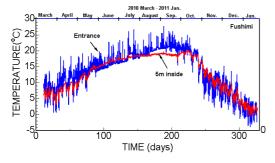


図-3 廃坑内外の温度の度変化

計測開始直後に PL3-PL4-PR3-PR4 の残柱で囲まれた 廃坑の天井から落盤した残骸の様子を図―4に示す.こ の落盤は 2004 年 3 月 21 日と 2004 年 5 月 14 日の間に発 生したと思われ、計測結果より 2004 年 4 月中に発生し たと判断された². 2004 年 9 月 5 日に、東海道沖地震 と呼ばれた M6.8 と M7.3 の逆断層型の地震によって残柱 PL5-PL6 の間で天井から落盤が発生した(図―5).そ の震源は御嵩町より約 236 k m離れている.御嵩町にお ける最大加速度の値は 22-25Gal の間であると推測され た².



図-4 PL3-PL4-PR3-PR4 の残柱で囲まれた天井から落盤



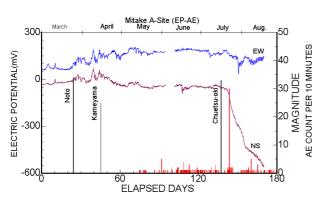
図-5 残柱 PL5-PL6 の間とその近くで天井から落盤

2007 年 7 月に、坑内で多数の落盤が発生しているのを見つけた(図-6). 入り口付近を中心に残柱も崩壊し、機材を入れた箱が、落ちた岩石の下敷きになってメチャメチャに壊れていた. この崩壊は、7 月の中越沖地震の影響で発生した. その根拠は図-7に示す AE と EP1 電

位計測装置の応答に見られている. 今までの室内試験結果から明らかになったように電位の変化は AE に比べ、早めに現れる. しかし、その差は大きくないため、ほぼ同じ時刻に変化し始める. 両方の計測結果から廃坑内の不安定性現象を顕著に把握することが可能であることと同時に、その破壊時期を推定することの可能性もかなり高いといえる. また、2004年の東海道沖地震と 2007年の中越沖地震で廃坑内で不安定性現象が発生していることから、遠方地震の与える影響もかなり大きいことがわかる.



図-6:2007年7月中に発生した落盤および残柱の破壊



図一7 AE および電位応答と大地震の関係

図-8は2010年3月から2011年1月までの自然電位の変化を示す。図からからわかるように2010年5月から再度自然電位に大きな変化が見られていた。特にその変化が7月15日に500mVの値を越えている。この日に坑口と近くの崖が3箇所で大きな崩壊が発生した(図-9)。廃坑の入口より南に20mおよび100mの地点

で崖の崩壊が観察された。図-7 に示した自然電位応答を水平面内に射影したものを図-10に示す。7月15日の自然電位の射影から破壊の位置情報に対する明確な信号が現れ、この結果から破壊現象の磁極およびその位置情報が明確に見られたと判断できる。空洞内で発生した崩落の体積に比べ、斜面崩壊の場合、かなり大きいため、破壊に伴う信号の振幅も大きく現れたといえる。

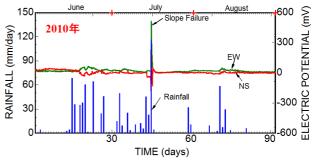


図-8 自然電位応答と雨量



(a) 坑口付近の崩壊



(b) 廃坑の入口より南に 20m および 100m の地点で崖の崩壊.

廃坑入口付近と近接した斜面の崩壊

300

W
-600 -300 300 5600 Q

Slope Failure (2010 July 15)
-300

-300 5000 Greening Consulting

図-10 水平面内に射影した自然電位の応答

図-11 でこの廃坑の坑口より南に 150m の位置にある 別の廃坑内の残柱の崩壊などで破壊領域は地表面に伸び ていく様子が見受けられる. 破壊過程を断面的に観察で きる例としては大変ユニークなものである.



図-11 計測廃坑の入口より南に 150m 付近で廃坑の破壊領域は 地表面に進行している様子

4 B廃坑における観察およ計測結果

現在御嵩町により見学できるように整備された比 衣地区の亜炭廃坑において 2005 年 12 月より計測と観察 を行ってきている. 廃坑内で計測地点の周辺と調査可能 な他の箇所で定期的に主に写真撮影を行い観察を行ってきている. この節で,代表的な例を取り上げることとする. 規模的に最も大きな陥没は坑口から 100m 地点で観察された. 図-12 は陥没の状況を示す. 最初小さな陥没穴が次第に拡大し,最終的に外の光が見えるようになってきた. この陥没は地表面で直径が 7-8m,深さ 5m 程度の大きな陥没穴として現れている. 陥没の規模からかなり長年にわたって徐々に陥没が進行していったと推測される. この陥没位置は廃坑内に見られる正断層に沿って発生している. その断層にそって,何箇所かで陥没現象が進行していることが見受けられる(図-13).



図-12 地表面に現れている陥没の状況

B 廃坑における計測地点の周辺にも様々な不安定性現象が見受けられる(図-14).一部の不安定性現象は過去に発生したものであるが、現在進行中のものが存在している。図-15 は B 廃坑の坑口付近で発生した落盤と層の進行中の曲げ破壊を示す。これらの不安定性現象が地表面に現れるのには長時間が必要であるが、廃坑内でこのような不安定性現象は確実に発生している。



図-13 正断層を沿う他のの陥没の状況 (2014年9月26日)

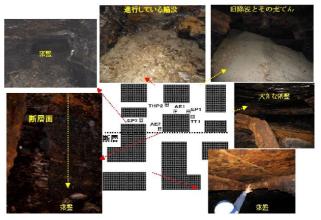


図-14 計測地点周辺に見られる様々な不安定性現象



図-15 B廃坑の坑口付近の落盤および進行中の曲げ破壊

5. 御嵩町に発生した大規模な陥没とその特徴

図-16に示すように御嵩町において、数多くの陥没が発生し、毎年5-10箇所小規模な陥没が報告されている⁶⁾.しかし、近年その規模は大きくなってきている.2007年9月、2009年6月および2010年10月の陥没は大規模なもので、2007年9月と2010年10月の陥没では、家屋の被害をもたらした(図-17、18、19).

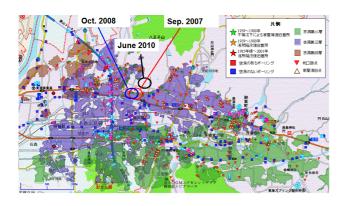


図-16 陥没箇所と近年の大規模な陥没位置(6)に加筆)



図-17 2007年9月に発生した大規模陥没



図-18 2009年6月に発生した大規模陥没







図-19 2010年10月に発生した大規模陥没

比衣地域での陥没現場は、2007年9月19日ころ大音響とともに高台が約1.5メートル陥没して、隣接す

る住宅などに被害が生じた、陥没の規模は東西40メートル、南北30メートルであった。この陥没が発生した地点は、御嵩町内の国道21号の北側、東海環状道の東側に位置している(図一16、図一17)。この陥没では、町のボーリング調査で深さ約8mの廃坑の存在が確認された。一般的に亜炭廃坑の陥没は浅い場合浅所陥没、深い場合は沈下として現れる。しかし、この陥没についてはもっと深い第二層、第三層における亜炭廃坑の残柱の崩壊に関連していると推測された。著者らは当時、2007年9月の陥没の影響の拡大を指摘し、ドミノ的に崩壊が進む可能性を示した(図一20)。

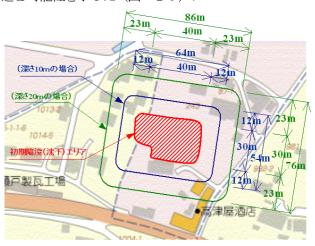


図-20 2007年9月陥没に伴う影響範囲

2009年6月に発生した陥没は畑内に発生したため、周辺の住宅に関して影響がなかった.しかし、影響範囲は30x40mであった(図―18).陥没によって畑は1m以上沈下し、2箇所に大きな穴が現れた.町は現状復帰対策として陥没が発生した位置において上部層をはがして空洞上部にRCコンクリートスラブを建設した.

2010年10月20日午前9時ごろ発生した陥没は、住宅地で東西約65メートル、南北約75メートルにわたって地面が最大で深さ約3メートル陥没し、住宅6棟が傾くなどの被害を与えた(図-19).この陥没地点は2007年9月19日に発生した地点のすぐ西側に位置している。2007年の陥没で応力集中が発生したと思われる領域に3年遅れて2010年に陥没が発生したのである。地質調査から亜炭層の深さは5-10mの間に変化し、亜炭層は東側に傾斜していることが判明した。亜炭層の厚みは約2mであった。

6. 結論

今まで著者らは御嵩町における亜炭廃坑について 10年以上行った室内実験,現場観察,解析および多重 パラメータ計測結果より,亜炭採掘は50年前まで行わ れていたことを考慮すると残柱や天端がクリープ破壊する可能性が高まっているといえる. 2007 年から発生してきている陥没と長期的安定性結果から陥没の可能性が高まってきたと判断できる.

多重パラメータ計測システムより坑内周辺岩盤が 劣化や地震に伴い、岩盤内に、新たに発生した亀裂やそ の進展は自然電位と AE 発生に関連していることが明確 である.

2007年7月に、坑内で多数の落盤が発生した. 入り口付近を中心に残柱も崩壊し、機材を入れた箱が、落盤で完全に破壊された. その崩壊は、7月の中越沖地震の影響であることが明確になった. また、開発した現場計測システムにより、2010年7月15日に発生した坑口付近の崩壊と3箇所の大規模斜面崩壊の位置および時局を把握することができた.

今後発生する可能性が高い M9 クラスの南海・東南海・東海 3 連動地震や M6 以上の内陸地震で御嵩町にかなり強い揺れが発生する可能性が高い。 亜炭廃坑が深くなると、地震で陥没や沈下する可能性が高くなることが判断できる.

参考文献

- Aydan, Ö., Tano, H.: The damage to abandoned quarries and mines by the M9.0 east Japan Mega Earthquake on March 11, 2011. The 41st Rock Mechanics Symposium of Japan, Paper No. 410011, Tokyo, 129-134, 2012
- Aydan, Ö., Tano, H.: The damage to abandoned mines and quarries by the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011. Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan, 981-992, 2012.
- Aydan, Ö., Tano, H.: The observations on abandoned mines and quaries by the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011 and their implications. *Journal of Japan Association on Earthquake Engineering*, Vol.12, No.4, 229-248, 2012.
- Aydan, Ö., Sakamoto, A., Yamada, N., Sugiura, K. and Kawamoto, T.: The characteristics of soft rocks and their effects on the long-term stability of abandoned room and pillar lignite mines. *Post Mining* 2005, Nancy, 2005.
- Aydan, Ö., Tano, H., Sakamoto, A., Yamada, N., Sugiura, K. A real-time monitoring system for the assessment of stability and performance of an abandoned room and pillar lignite mines. *International Symposium* on *Post Mining*, PostMining 2005, Nancy, 2005.
- 6) 坂本昭夫: 残存地下空洞による地盤の変状とその対策 に関する研究. 早稲田大学大学院理工学研究科, 博士 論文, 2006.

OBSERVATIONS ON CREEP AND DEGRADATION PHENOMENA IN ABANDONED LIGNITE MINES IN MITAKE TOWN AND THE RESULTS BY A MULTI-PARAMETER MONITORING SYSTEM FOR A DECADE

Ömer AYDAN, Akio SAKAMOTO, Kenrou SUGIURA, Noritoshi YAMADA and Hisataka TANO

The mining activies ceased about 50 years in Mitake town resulting in many abandoned lignite mines. In this study, the authors described the results of multi-parameter monitoring system on the creep failure and degradation phenomenon of surrounding rocks of abandoned lignite mines in Mitake town for a decade. Furthermore, it is found that the earthquakes occurring from time to time may also induce failures within the lignite mines, although they may not be reaching to the ground surface. It is also found that the earthquake or heavy railfal induces partial failure of already degraded rocks, which can also be distinguished clearly through the monitoring system developed by the authors.