

(1) A E 測定結果から見た地下発電所空洞掘削時岩盤挙動の特徴について

ROCK MASS BEHAVIOR WITH PROGRESSIVE EXCAVATION OF AN UNDERGROUND POWERHOUSE
DEDUCED FROM ACOUSTIC EMISSION MONITORING

○石田 毅*・金川 忠**・前島俊雄***・伊東雅幸***

Tsuyoshi ISHIDA, Tadashi KANAGAWA, Toshio MAEJIMA and Masayuki ITOH

We monitored acoustic emissions induced by progressive excavations of an underground powerhouse, measuring 29 m wide, 51 m high and 165 m long. We found a tendency that a portion where acoustic emissions were induced moves near to far from a chamber wall. By comparing the tendency to distribution of strains measured with borehole strain gauges and that of displacement with a multi-extensometer, we could conclude that stress redistribution with progressive excavation caused the tendency.

1. はじめに

地下発電所をはじめとする地下深部の大空洞の掘削に際しては、周辺岩盤の挙動を把握し空洞の安定性を評価しながら施工を進めることが重要である。岩盤のAE(Acoustic Emission, 岩盤の微小な破壊に伴って発生する弾性波)の測定は岩盤挙動の把握に有効であると考えられ、すでにいくつかの地下空洞で掘削にともなうAEが測定され、その結果が報告されている¹⁻⁵⁾。今回、筆者らは東京電力(株)塩原発電所の地下発電所空洞で、空洞の掘削に伴うAEの発生を空洞側壁部の岩盤中で観測したところ、空洞掘削の進展にともない、AEの発生位置が掘削線に近い岩盤中から掘削線から離れた深い岩盤中に移動する傾向がみられたので報告する。

2. 測定現場と測定方法の概要

(1) 測定現場の概要

測定を行ったのは、東京電力(株)が栃木県北部に建設した、塩原発電所の地下発電所空洞である。この空洞は地表下約200mに位置し、図1に示す長さ165m、高さ51m、幅29mの規模を有する^{6) 7)}。周辺岩盤は、電中研式岩盤分類でCH級に分類される概ね堅硬な流紋岩である。岩盤は節理が発達しており、岩石は堅硬であるが衝撃に対してはもろく、大部分の空洞掘削は発破を行うことなく、リッパとブレーカによる機械掘削で進められた。この空洞の中央部のD断面付近、特に放水路側側壁部には図1に示したF-W、F-T、F-I、F-Vの4本の破碎帯が集中し、脆弱な岩盤が多く分布するため、この部分の空洞の安定性が懸念された。そこで、AEセンサーと埋設ひずみ計⁸⁾を、この部分に設置し、これらの測定結果をこの断面に設置した多段式岩盤変位計の測定結果と比較しながら、施工管理に反映することとした。

(2) 測定計器の設置位置とその特徴

図2は、空洞の断面図上に盤下げ掘削ベンチとAEセンサー、埋設ひずみ計及び多段式岩盤変位計のアンカー設

* 正会員 工博 山口大学助教授 地域共同研究開発センター

** 正会員 (財)電力中央研究所 我孫子研究所地質地盤部

*** 正会員 工修 東京電力(株) 神流川水力建設準備事務所

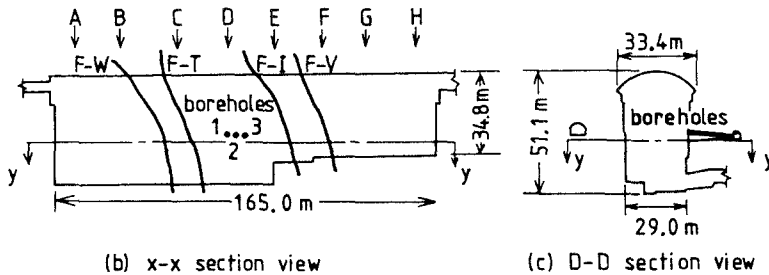
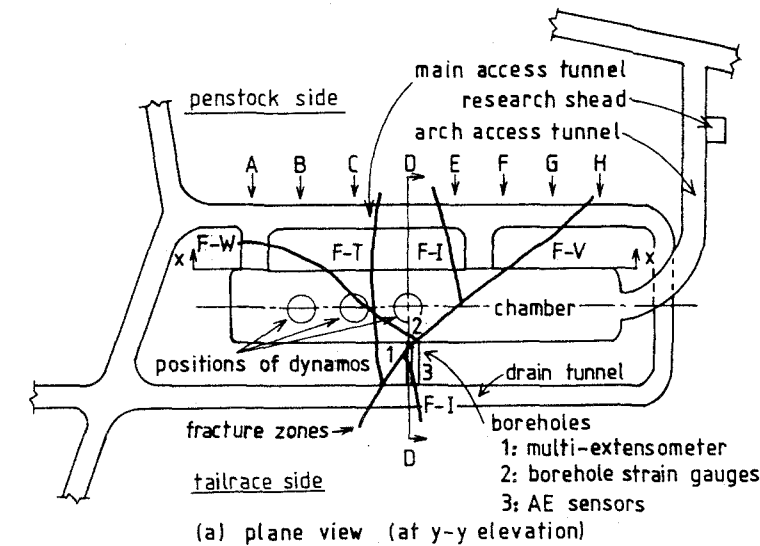


図1. 塩原発電所地下発電所空洞における破砕帯と測定用ボアホール的位置

波数のAEを測定の対象とした。

埋設ひずみ計^{*)}は、電中研式地圧測定ゲージの素子として実績のある測定長52mmの微小ひずみ計(株共和電業製BS-5B型)を、測定成分を鉛直方向に向けてボアホール内の所定の位置に設置し、セメントペーストで埋設したものである。このひずみ計は、標点間距離52mmの間の平均ひずみを内蔵したダイアフラムの変形としてひずみゲージで検出する。ひずみにして数 μ ストレイン、変位にして 10^{-4} mm程度の精度を有する。埋設したボアホールの直径は66mmであり、このボアホールの鉛直方向の直径変化を測定していることになる。

多段式岩盤変位計は、アンカーに固定したロッドを孔口まで伸ばし、アンカー位置と基準位置との相対変位を、孔口に設置した変位計で測定するものである。地下発電所等の大規模な空洞の挙動監視に広く用いられており、1/10mm程度の測定精度がある。

3. 測定結果と考察

(1) AEの測定結果

図3は、横軸に空洞掘削線からの距離をとり、AE発生数を棒グラフで、ひずみ量の変化を折れ線グラフで示したものである。観測されたAEは、1個または2個のセンサーで受振されるものが大半であった。そこで、1個のセンサーだけで受振されたAEの場合は、受振したセンサーの位置でそのAEが発生したと考え、2個以上のセンサーで受振されたAEは最初に波動が到達したセンサーの位置で発生したものとみなした。そして、どのセンサーの位置で何個AEが発生したかを各ベンチ掘削毎に算出して、AE発生数を示した。測定時間は各ベンチ毎に異なるため、図3ではAE発生数を1日当りの発生数に換算して棒グラフで示している。掘削工事にとまら

位置を示したものである。空洞掘削は、まず空洞頂部を掘削した後、下部を厚さ2.5mのベンチに分割し、順に掘下がる方法が取られた。1ベンチの掘削が始まる直前にドレーン坑側から測定用のボアホールを削孔し、この孔内にAEセンサー、埋設ひずみ計及び多段式岩盤変位計を設置して、1ベンチから最終の14ベンチまでの掘削に伴う岩盤挙動を測定した。なお、測定計器の設置レベルでは、壁面から7~8mの位置にF-V破砕帯が交差している。

AEセンサーはD断面に設置したため、この近傍のC断面からE断面の掘削時にAEの測定を行った。また、AEセンサーから2~3mの範囲で発生する微小なAEを感度よく収録するため、20~100kHz程度の周

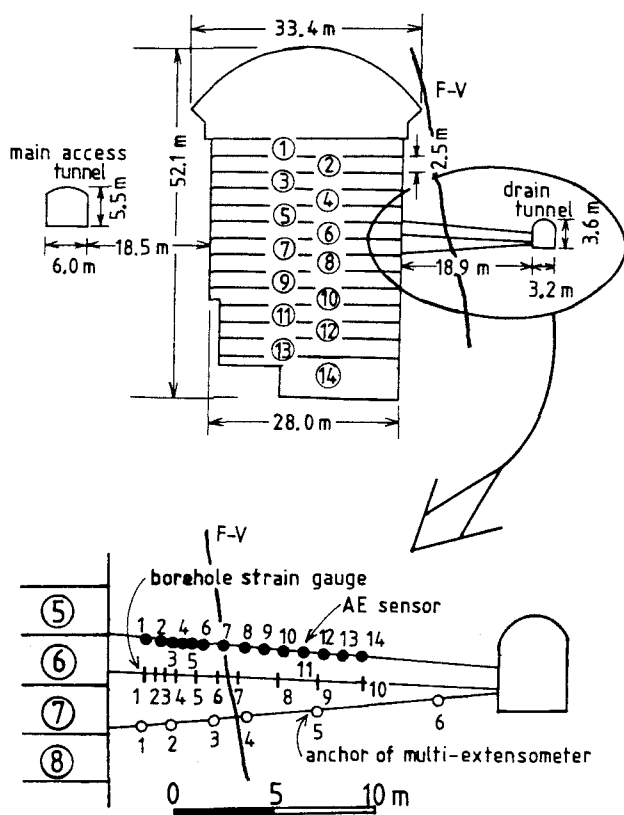


図2. 盤下げ掘削ベンチと測定計器の位置

の岩盤に埋設したため、測定値が基準線よりも上にプロットされた場合は測定期間中に圧縮ひずみが増大したことを示すが、基準線よりも下にプロットされた場合は、絶対量としての引張ひずみではなく、圧縮ひずみの解放が生じたことを意味する。埋設ひずみ計も、9ベンチ以降はNo.4及び5ゲージが、11ベンチ以降はこれに加えNo.1ゲージが、さらに14ベンチではNo.3ゲージも測定不能となった。これらの測定不能となったゲージは、各ベンチの図の上の横軸上のゲージ位置に▲印で示した。

ひずみ量の変化を見ると、1~4ベンチの間は顕著な変化がなく、5,6ベンチに入ると掘削線から2~4mの比較的掘削線に近い部分で圧縮ひずみの増大の集中が見られ、7ベンチに入ると掘削線から6~8mの部分にひずみの増大箇所が移動し、この箇所のひずみの増大は10ベンチまで継続したといえる。その後、12ベンチから14ベンチの間は、10m付近に位置するNo.9ゲージに圧縮ひずみの解放が見られる以外、特に顕著な変化はなかったといえる。

(3) 岩盤変位計の測定結果

図4は、AEセンサーとひずみ計を埋設したD断面放水路側に設置した岩盤変位計の測定結果である。この岩盤変位計はひずみ計と同様、1ベンチの掘削が始まる直前に設置されたものであり、測定結果は、各ベンチの掘削がE断面に到達した時点の値である。測定結果を見ると、1ベンチの掘削では全体に伸び変位を示したが、2ベンチ以降では、アンカーNo.4, No.5で圧縮変位を、No.3, No.2, No.1で伸び変位を示している。3ベンチまでは変位量はあまり大きくないが、4ベンチ以降ではアンカーNo.4, No.5に比べ、F-V破砕帯より空洞壁面(掘削線)に近い側のNo.1, No.2, No.3が顕著な伸び変位を示している。特に変位計先端位置前方の7ベンチを掘削した後10ベンチの掘削まではこの傾向が著しく、掘削線からF-V破砕帯までの間に大きな水平変位が生じていることがわかる。

うリード線の損傷が危惧されたため、AEセンサー埋設孔の約2m横に平行にボーリング孔を掘削し、数ベンチ毎に合計6回、この孔内で雷管を発破させ、各センサーが正常に作動しているかどうかを確認した。この結果、8ベンチ以降では、No.2, 8, 12のセンサーが、12ベンチ以降では、さらにNo.7センサーが作動していないことがわかった。図3では、各ベンチの図の下の横軸上に▽印でこれらの受振しなくなったセンサーの位置を示した。

図3で掘削に伴うAE発生位置の変化を見ると、1ベンチから5ベンチまでは、掘削線から7~8mまでの比較的掘削線に近い岩盤中でAEが発生し、6ベンチ以降最終の14ベンチまでは、掘削線から7~8m以上離れた深い岩盤中でAEが発生したことがわかる。

(2) 埋設ひずみ計の測定結果

図3の折れ線グラフは、各ベンチのAE測定期間中に埋設ひずみ計で測定されたひずみ量の変化を示す。図3で、ひずみ量の変化は、図の中央に基準線を引き、上向きに圧縮を、下向きに引張をとり測定値を●印で示した。ひずみゲージはすでに地圧が作用した状態

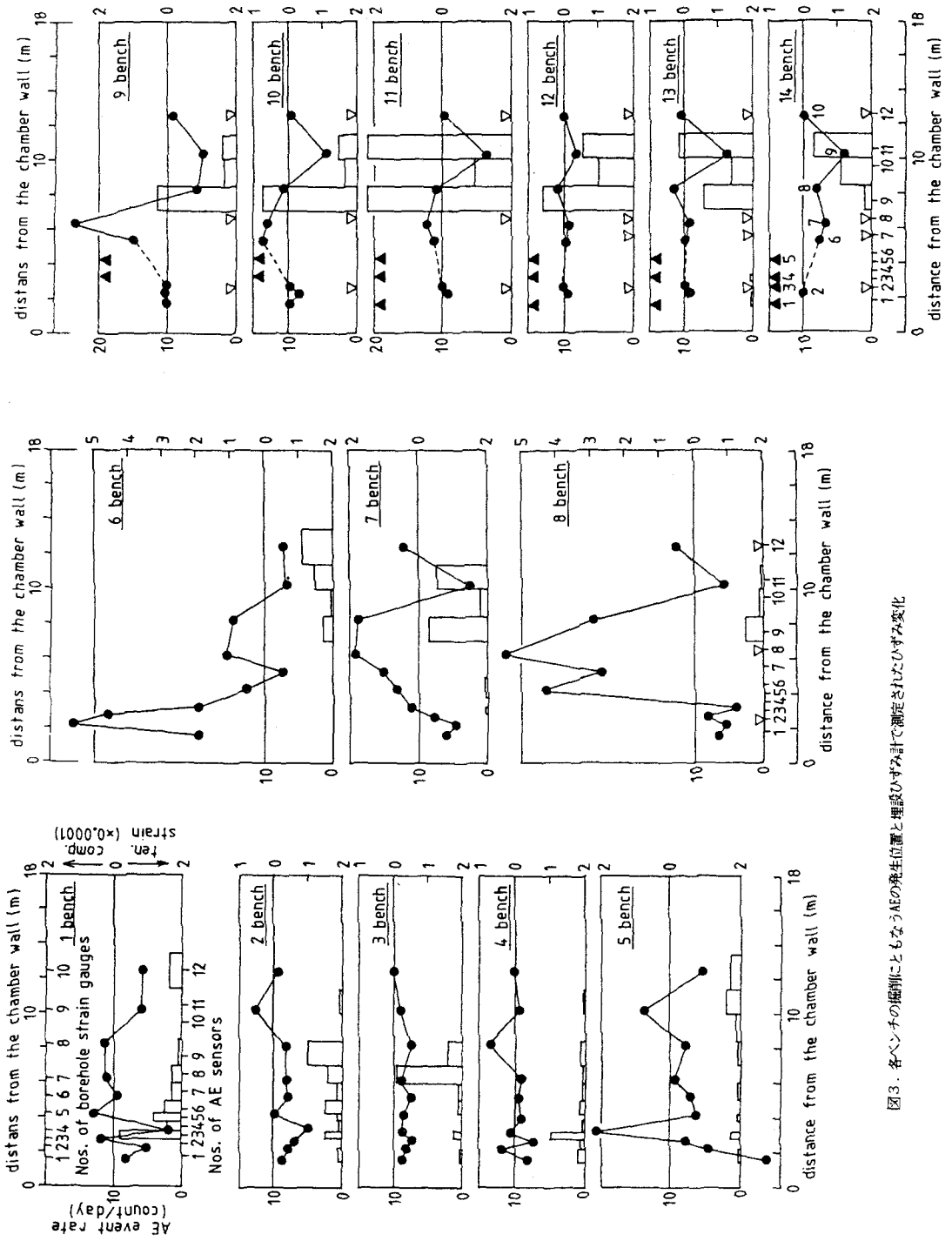


図3. 各ベンチの掘削ともなうAEの発生位置と埋設ひずみ計で測定されたひずみ変化

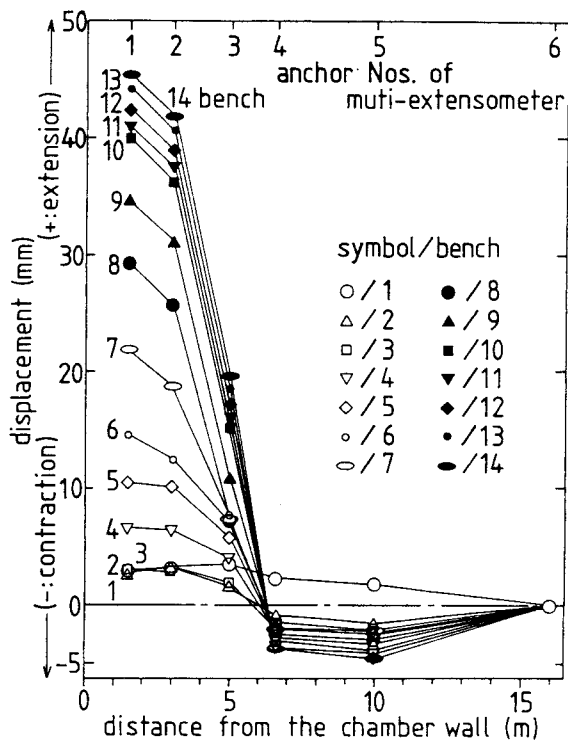


図4. 多段式岩盤変位計による各アンカー位置と深度16.0m位置の相対変位

に近い状態に入り、空洞方向に変位を生じ、それ以降の掘削に伴う応力の再配分によって、これより深い岩盤中で応力の増大が生じたのではないかと推測された。

(4) 上述の測定計器設置レベルより上部の掘削時には掘削線に近い岩盤中でAEが発生し、掘削がセンサー設置レベルより下部に移ると掘削線から離れた深い岩盤中にAEの発生位置が移動する傾向は、関西電力(株)大河内地点や中部電力(株)奥美濃地点の同様の測定結果においても見られている⁹⁾。今後、このようなAE発生位置の変化が本当に空洞掘削による応力再配分に伴う一般的な傾向なのかどうか、また、これが空洞の安定性にどのような影響を与えるのかについて、さらに検討を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) Majer, E. L. and McEvelly, T. V., Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 22, No. 4, pp. 215-226, 1985.
- 2) 青木謙次・戸井田克・腰塚憲一, 資源・素材学会誌, 第107巻, pp. 489~494, 1991.
- 3) 石田毅・金川忠・土山茂希・百瀬洋一, 第24回岩盤力学シンポジウム講演論文集, pp. 311-315, 1992.
- 4) Carlson, S. R. and Young, R. P., Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 30, No. 7, pp. 901-907, 1993.
- 5) 石田毅・金川忠・打田靖夫・浦山克, 土木学会論文集, 第529号/Ⅲ-33, 1995.
- 6) 前島俊雄・富田敦紀, 第24回岩盤力学シンポジウム講演論文集, pp. 326-330, 1992.
- 7) Ito, M., Maejima, T. and Aoki, K., Proc. of 8th Int. Cong. on Rock Mech., pp. 889-892, 1995.
- 8) 石田毅・金川忠・矢田篤・田仲正弘, 土木学会論文集, 第475号/Ⅲ-21, pp. 41-50, 1992.
- 9) 金川忠・石田毅・打田靖夫, 電力土木, No. 257, pp. 72-78, 1995.

4. まとめ

東京電力(株)塩原発電所の地下発電所空洞の掘削に際し、空洞中央の側壁部でAE測定を行った。その結果を、埋設ひずみ計や多段式岩盤変位計の測定結果と比較したところ、次のことがわかった。

(1) AEの測定結果は、AEが1ベンチから5ベンチまでは掘削線から7~8mまでの比較的掘削線に近い岩盤中で、6ベンチ以降最終ベンチの14ベンチまでは逆に掘削線から7~8m以上離れた深い岩盤中で発生したことを示した。この結果を埋設ひずみ計の測定結果と比較したところ、どちらも掘削線から7~8m程度の位置を境として、掘削線に近いところから遠いところへ、概ね5~7ベンチの掘削時に移動する共通した傾向が認められた。

(2) 多段式変位計の測定結果は、7~10ベンチの掘削によって、掘削線から7~8mより浅い部分に大きな水平変位が生じていることを示した。

(3) したがって、掘削線から7~8m付近までの岩盤が、概ね5~7ベンチ前後の掘削によって耐荷力を失い、いわゆるゆるみ域、もしくはそれ