

磁歪法を用いたグラウンドアンカーの軸力計測と地下空洞安定性評価に関する研究

神戸大学	正会員	芥川 真一	NTT 西日本	非会員	有村 有紀
(財)建設工学研究所	名誉会員	櫻井 春輔	生和建設株式会社	非会員	中森 絵美
関西電力株式会社	非会員	中島 洋	JFE エンジニアリング株式会社	非会員	森本紘太郎
株式会社ニュージェック	正会員	森 聡	神戸大学 ○学生会員		南 裕輔

1. はじめに

現在日本には、地下空洞を利用した発電施設が多く存在するが、古いもので建設後 40 年以上を経過しているものもあり、定期的な健全性評価、あるいはメンテナンスが必要となりつつある。ここでは、岩盤空洞の施工に用いられているナット式の PS アンカーを取り上げ、磁歪法を用いた軸力推定の可能性を探るために行った基礎試験、及び現場計測の結果¹⁾を報告し、空洞全体の維持管理への適応について言及する。

2. 磁歪法の概要と本研究での適応方法

鉄などの強磁性体は作用している応力・歪み状態によって透磁率が変化する性質がある。磁歪法は、この性質(磁気異方性)を利用し、直径 2cm の磁歪センサにより鋼材を励磁し、その磁位差に起因する電磁誘導により発生する電圧を検出することができる。本研究では、基礎試験において、実際と同様の形式で PS アンカーを設置して、発生荷重と電圧の関係を求め、現場計測にて得られた電圧を先ほどの関係と照らし合わせることで応力を算出する手法をとる。

3. ナット表面残留応力 の確認

磁歪法では、鋼材に現在作用している応力とともに、残留応力に相当する電圧も検出されるため、ナット表面の電圧から PS アンカー軸力を推定するには、初期残留応力の確認が必要である。そこで 6 角形ナット 17 個を用意し、それぞれ 6 側面の中央について磁歪計測を実施した。全 17 個のナット側面中央の 6 面平均電圧は 0.11V、標準偏差±0.041V となった。ナットごとの電圧のばらつきは非常に小さく、PS アンカー軸力推定のための測定対象として適しているといえる。

4. ナット側面中央の電圧計測に基づく軸力推定

現場と同様の部材を用い、最大荷重 980kN とした引張試験を行い、設定荷重ごとにナット 6 側面の中央にて磁歪計測を行った。ナットは 6 個用意し、代表例としてナット K についての計測結果を図 1 に示す。载荷とともに 0V 付近から電圧が低下し、最大荷重到達後は除荷とともに電圧が徐々に増加しており、同様の結果が他のナットについても確認できる。

キーワード アンカー、ナット、軸力、磁歪法

ここで PS アンカー定着後の軸力増加を想定して、これら試験結果のうち载荷時の結果をもとに校正曲線(図 2)を作成した。

次に A 発電所にて、室内試験と同様の工程で供用中の PS アンカーのナット側面について磁歪計測を行い、校正曲線を用いて約 60 本の PS アンカーについて軸力を推定するとともに、そのうちの 5 本についてリフトオフ試験を行い、推定軸力の検証を行った(表 1)。その結果、ナット側面から磁歪法にて検出できる電圧と PS アンカー軸力は明瞭な関係にあり、また設計荷重が 588kN であることから、約 5% の誤差内で PS アンカーの軸力推定が可能であることが判明した。

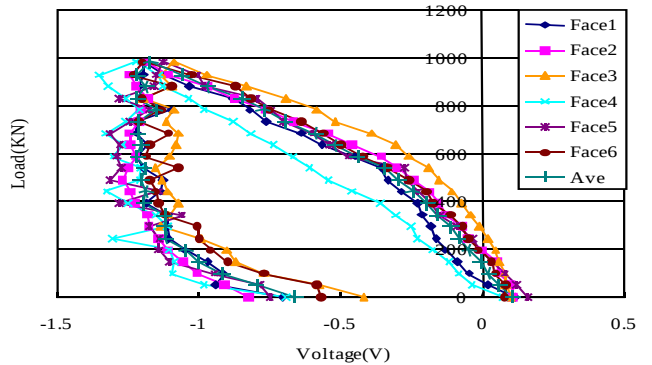


図 1 荷重-電圧関係(ナット K)

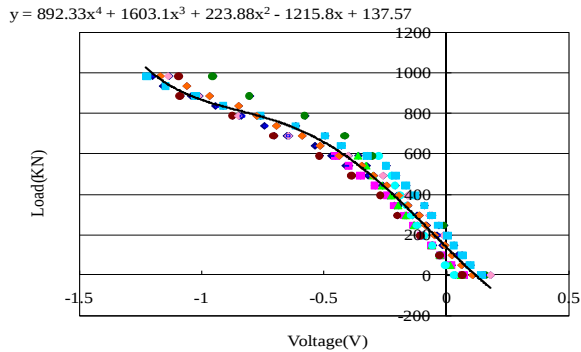


図 2 校正曲線

表 1 推定軸力とリフトオフ荷重の比較(単位:kN)

Anchor number	6	9	14	15	37	Standard deviation
推定軸力	567.2	667.2	573	532	269.6	
リフトオフ荷重	568.4	666.4	514.5	536.1	250.9	27

5. ナット側面軸方向の電圧分布計測に基づく軸力推定

先述の校正曲線は、軸力が増加したケースを想定し、試験結果のうち載荷時のものをもとに作成されているため、実際に軸力が低下した場合には、正確な軸力推定が困難であることが分かってきた。そこでナット側面の軸方向における電圧分布に着目し、軸力についての情報を抽出できるか検討した。

4.と同様に、実験室にて最大荷重 980kN とした試験を行い、設定荷重ごとに、ナットの 6 側面について図 3 に示す箇所にて磁歪計測を行った。ナットは 6 個用意し、1~5 それぞれの位置で 6 面平均した電圧が、各荷重において軸方向にどのように分布しているかを確認するものとする。代表例としてナット O についての磁歪計測結果を図 4 に示す。294kN までの載荷では、1~5(ナットを軸方向に見て上から下)にかけて電圧が小さくなっている。588kN までの載荷では、4~5 にかけて電圧がやや横ばいになっている。これは、鋼材が塑性化したとき、磁歪計測で検出される電圧は増加する性質に起因する。つまり、ナットの下部から局所的な塑性化が始まっていることを示している。686kN 以降の載荷では、荷重の増加とともにグラフの極値(最小電圧)が左に移行し、またその右側では電圧が増加しており、ナットの下部から上部に向けて塑性化が進行していることがわかる。除荷後は、塑性化が進行していると考えられる箇所の電圧が更に増加している。他のナットについても同様の傾向が確認できる。

4.と同じ現場にて、室内試験と同様の工程で PS アンカーナット側面の軸方向 5 点について磁歪計測を行い、その傾向を確認した(図 5)。4.で求めた推定軸力が設計荷重よりも大きいアンカー No.3, No.4 及び No.5 については、計測位置 4~5 にかけて電圧の増加が見られ、これは室内試験での 784kN までの載荷のグラフとの類似が確認できる。同様に、No.6 については 588kN までの載荷のグラフ, No.9 については 686kN までの載荷のグラフとの類似が確認できる。No.34 については、全体的な電圧は低いが 4~5 にかけて増加の傾向が見られる。推定軸力、リフトオフ荷重ともに設計荷重よりも非常に小さい No.37 では、全体的な電圧が非常に低い傾向が見られる。

これらの結果より、ナット側面の軸方向における電圧分布を求め、その分布形状、ピークの位置、全体的な電圧の大きさなどの特徴を確認することにより、PS アンカーに現在生じている軸力、及び過去に受けた軸力に関する情報を抽出できることが判明した。これらの手法を利用することで、実際に軸力が低下している PS アンカーについても詳細な検討が可能であり、今後、地下空洞の安全管理に資することが期待される。

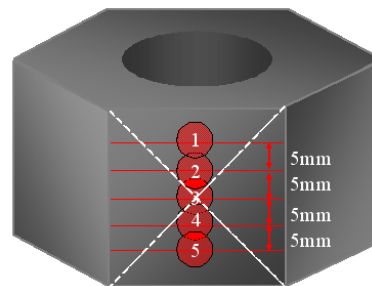


図3 ナット側面計測箇所

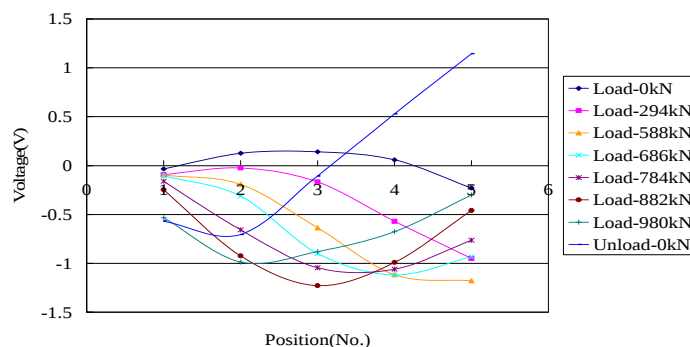


図4 各荷重におけるナット軸方向の電圧分布(ナット O)

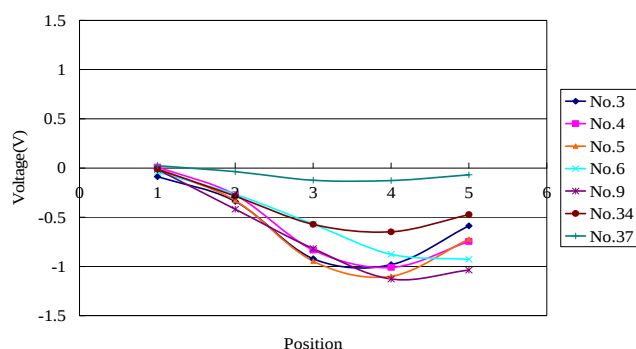


図5 供用中 PS アンカーの電圧分布

表2 対象アンカーの推定軸力とリフトオフ荷重(単位:kN)

Anchor number	3	4	5	6	9	34	37
推定軸力	855.5	818.3	843.8	567.2	666.4	719.3	268.6
リフトオフ荷重				568.4	666.4		250.9

6. まとめ

本研究にて、磁歪法を用いたナット式 PS アンカーの軸力推定手法を構築し、大規模地下空洞の安定性を評価する手法の一つとして提案することができた。

参考文献

- 1) 芥川真一, 有村有紀, 中森絵美, 櫻井春輔, 馬場修二, 森聡: 磁歪法を用いた PS アンカー軸力推定手法の提案と大規模地下空洞における検証例, 土木学会論文集, 部門 F, Vol. 64, No. 4, pp. 413-430, 2008. 12.