

氏 名	井 上 徹 いの うえ とおる
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 121 号
学位授与の日付	昭 和 41 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	送気沈下井筒に作用する地圧ならびに沈下現象に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 平 松 良 雄 教 授 伊 藤 一 郎 教 授 瀧 本 清

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、三池炭田の開発のため有明海底の第四紀層を貫いて送気式井筒沈下法によって立坑を開削する際の、立坑井筒に作用する地圧および送気による井筒沈下現象について研究した結果をまとめたもので、11章からなっている。

第1章は緒論で、まず、わが国の石炭産業における三池炭田の重要性を指摘し、この炭田の開発に必要な立坑の開削法としては、送気式井筒沈下法が有利であることを示し、つぎに本工法の設計や施工に当って考慮すべき地圧についての従来の学説を紹介し、井筒に作用する地圧および井筒の沈下の機構については研究すべき問題が多く残されていることを述べ、この研究の目的と内容とを明らかにしている。

第2章では、軟弱地層中に立坑を開削する種々の工法を概説し、それらのうち有力な工法として凍結法と送気式井筒沈下法とを取り上げ、両者の利害得失を比較している。

第3章では、地圧によって井筒に生ずる応力を解析した結果を述べている。まず井筒が均質な材料で構築されているものと仮定し、これに一樣な地圧が作用したときの井筒に生ずる応力を解析し、井筒の縦断面に作用する軸力とモーメントとを求め、これらをもってあらためて井筒内の応力を与える近似式を誘導している。つぎに、鉄筋コンクリート井筒に均等地圧が作用する場合の応力を解析し、同一地圧が作用するとしても、無筋のコンクリート井筒の場合と比べモーメントはいくぶん異なることを示し、この点を考慮して井筒内の応力を与える近似式を導いている。

さらに、地圧が井筒の外壁面にだ円状に分布して作用する場合、無筋のコンクリート井筒に生ずる応力を解析し、半径に沿う応力分布はほぼ直線的であることを明らかにしている。

第4章は、井筒内に生ずるひずみの測定値から井筒に作用する地圧を推定する計算法を論じたものである。まず、ひずみの測定値に種々の補正を行なって応力を決定する方法を述べ、つぎに、井筒内の同一円周上の数個所における円周方向の応力の測定値から地圧を求める計算法として、つぎの方法を提案している。すなわち、鉄筋コンクリート井筒において実測した応力から、無筋のコンクリート井筒の場合に生

ずる応力を求める近似式を誘導し、これを利用して測定値を一たん無筋のコンクリート井筒の場合の応力に換算しておき、その分布をフーリエ級数で表わし、第3章に述べた応力解析結果を利用して均等地圧および不均等地圧を決定する方法である。

第5章では、日鉄有明炭鉱第1立坑の井筒沈下工事の際に行なった応力の測定について述べている。使用した計器は鉄筋応力計と光弾性応力計とであって、まず、計器の構造、埋設方法および測定方法を述べ、つぎに測定値に必要な補正を行なって求めた応力の値を記載している。

第6章では、上に述べた応力をもとにして、第4章に述べた計算方法によって井筒の外壁面に作用する地圧分布を計算している。その結果から、井筒内の同一円周上の応力分布は大きいばらつきを示すが、井筒の外壁面に作用する地圧の分布はかなり均一で、その最大値と最小値との差は平均値の10%弱であることを見出している。さらに、平均地圧はその断面の深さに等しい高さの水柱の圧力の1.1~1.2倍であることを見出している。

また、第四紀層から採取した試料について行なった内部摩擦角の試験結果と試錐孔中の水位測定結果とを考慮して地圧の範囲を推定し、その範囲内に上記の応力測定値から求めた値は存在することを確認している。

第7章では、井筒の送気による沈下の際の動的応力の測定について述べている。内側の環状鉄筋と縦鉄筋に挿入した6個の鉄筋応力計ゲージと電磁オシログラフを用いて、第1立坑井筒に起こった主な沈下現象21例について応力変化を記録し、これを刃先付近の地質状況および沈下状況と対比している。

第8章は、井筒の自重や沈下衝撃などの、地圧以外の要素に基づく応力について論じたものである。まず、井筒の縦方向の応力は、刃先の下を掘削するときを除けば、深さ90m付近までは井筒の全重量が刃先の地層で支えられると仮定して求めた値に近く、深さが90m以上になると漸次この値より小さい値となることを見出し、この関係から井筒の外壁面の摩擦抵抗の送気による減少率は5~30%程度と見積っている。

またこの縦方向の応力は、刃先付近の地層を掘削すると減少し、沈下が始まると増加し、沈下終了時に最大値に達するが、その値は心配されるほど大きくないことを確かめ、衝撃応力推定の資料を提供している。

つぎに、井筒が沈下する際の円周方向の応力の変化を調査し、各時期の井筒の長さ、沈下量および刃先付近の地質状況により種々の場合があるが、送気が始まると井筒の外壁面に作用する圧縮空気の影響で応力は増加し、沈下終了時には急激に減少する傾向があることを見出している。さらに、この応力の減少の原因となりうると想像される三つの要素を挙げて検討し、毎回の沈下量や沈下の際上昇する土砂の量と応力減少との関連性から考えて、応力減少の原因は刃先が地層中に食い込んで外側に捻げられることにあるとし、水の衝撃圧によるとする従来の考えは誤りであると述べている。

第9章では、以上の研究によって生じた問題点を解決するために、有明炭鉱第3立坑井筒において、沈下時の加速度、水圧および井筒内の応力を測定し、検討を加えた結果を述べている。

まず、多くの沈下現象について測定した縦方向の応力変化を吟味し、送気による摩擦抵抗の減少は平均 0.3 t/m^2 程度であり、井筒の運動による減少は平均 0.8 t/m^2 程度であることを見出している。つぎに、

沈下時の加速度を電磁オシログラフを用いて記録した結果を検討し、沈下時の最大加速度、停止時の最大減速度および最大速度はいずれも沈下量にほぼ比例して増加するが、沈下量がある限度以上になるとその後はあまり増加しないことを認め、最大加速度は 1.5 m/s^2 程度、最大減速度は 2.4 m/s^2 程度で、一般に加速度に対して減速度は絶対値において1.5倍以上であり、最大速度は 2.3 m/s 程度であることを明らかにしている。

さらに、井筒の運動方程式を立て、これに加速度や摩擦抵抗の減少の測定値を代入して井筒の刃先の抵抗力を推定し、刃先の抵抗力が減少して $400 \sim 1000 \text{ t}$ に達すると沈下が始まり、 $2000 \sim 4000 \text{ t}$ まで増加すると停止することを見出している。

このほか、井筒が沈下するとき井筒の内壁面および外壁面に作用する水圧の変化を測定し、内外の水圧はいくぶん変化するが、これらの圧力差は小さくてあまり変動しないことを確かめ、沈下終了時に起こる円周方向の応力の減少は刃先が外側に拡張されることによるとの推論は正しいことを認めている。

第10章では、井筒の構築に用いたコンクリートの瞬間弾性係数、自己成長ひずみおよびクリープひずみの測定ならびに光弾性応力計の補正実験の結果を述べ、測定結果から応力を求める基礎資料を示している。

第11章は結論であって、以上の研究結果を総括して述べている。

論文審査の結果の要旨

海底の厚い第四紀沖積層を貫いて立坑を開削するのは難しい工事の一つであるが、過去において三池炭鉱で送気式井筒沈下法によって開削に成功した経験がある。この工法はわが国で発達したもので、凍結法に比べ工事の期間が短く、経済的である長所があるが、井筒に作用する地圧や井筒が沈下する際の動的応力など、研究すべき問題が多く残されている。とくに未開発地域に立坑を開削する場合においてそうである。本論文は、送気式井筒沈下法による立坑開削において、井筒の設計および沈下工事に関する技術上の諸問題について研究した結果を述べたものである。

著者は、三池炭田の新しい地域に開削された最初の立坑である有明炭鉱第1立坑の井筒沈下工事に際して、井筒に作用する地圧をつぎのようにして求めた。まず鉄筋のひずみを測定し、この値から必要な補正を行なって種々の深度における井筒内の応力を求め、これと別に光弾性応力計により応力を直接測定し、結果の信頼性を確かめた。つぎにコンクリート井筒と鉄筋コンクリート井筒とに、地圧が種々の分布をなして作用した場合のおおのについて、これらの井筒に生ずる応力を解析し、この結果を考慮して鉄筋コンクリート井筒において測定した応力から同一断面寸法のコンクリート井筒に同一地圧が作用したとき生ずる応力を求める近似式を誘導し、これを利用して測定値を一たん無筋のコンクリート井筒の場合の応力に換算しておき、その値から弾性理論により井筒に作用する地圧の分布を求めた。その結果、井筒に作用する地圧はだ円状に分布するが、不均等度は小さく、最大値と最小値との差は平均地圧の10%弱であり、平均地圧はその断面の深さに等しい高さの水柱の圧力の $1.1 \sim 1.2$ 倍であることを見出した。またこの値を地質調査の結果から検討し、妥当であることを認めた。

つぎに、刃先の掘削、送気および沈下の各時期に起こる井筒内の応力変化を測定し、これらの変化の生

ずる原因を、刃先付近の地質状況、掘削状況および沈下状況などを考慮に入れて追求し、さらにつづいて開削された有明炭鉱第3立坑の井筒沈下工事において、井筒内の応力のほか加速度および水圧を測定し、さきに得られた推論を確かめた。その結果、井筒が静止しているとき、その重量のうち刃先にかかる力の割合、各時期における井筒の軸方向や円周方向の応力の変化、各時期の摩擦抵抗、沈下の開始および終了時の刃先の抵抗力などを明らかにした。

たとえば、最も大きい応力変化は沈下の末期に起こる円周方向の応力の減少で、その原因は刃先が地層中に食い込み外側に拗げられることによるものであり、減少量の最大値は 35 kg/cm^2 に達することを明らかにした。つぎに大きい応力変化は沈下の終了時に起こる井筒の軸方向の応力の増加で、これは井筒が減速されることによって起こるもので、増加量の最大値は 14 kg/cm^2 程度であることを明らかにした。また送気による摩擦抵抗の減少は 0.03 kg/cm^2 程度であるが、井筒の沈下中はさらに 0.08 kg/cm^2 程度減少することや、刃先の抵抗力が $400 \text{ t} \sim 1000 \text{ t}$ になると沈下が始まり、 $2000 \text{ t} \sim 4000 \text{ t}$ になると沈下が終ることなどを明らかにした。

これを要するに、本論文は軟弱地盤中の立坑開削法の一つである送気式井筒沈下法を対象として詳細な研究を行ない、井筒に作用する地圧、井筒の沈下条件ならびに沈下にもなう諸現象を明らかにし、合理的な井筒の設計や沈下工事の施工に有用な資料を与え、海底資源の開発に貢献したものであって、学術上、工業上寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。