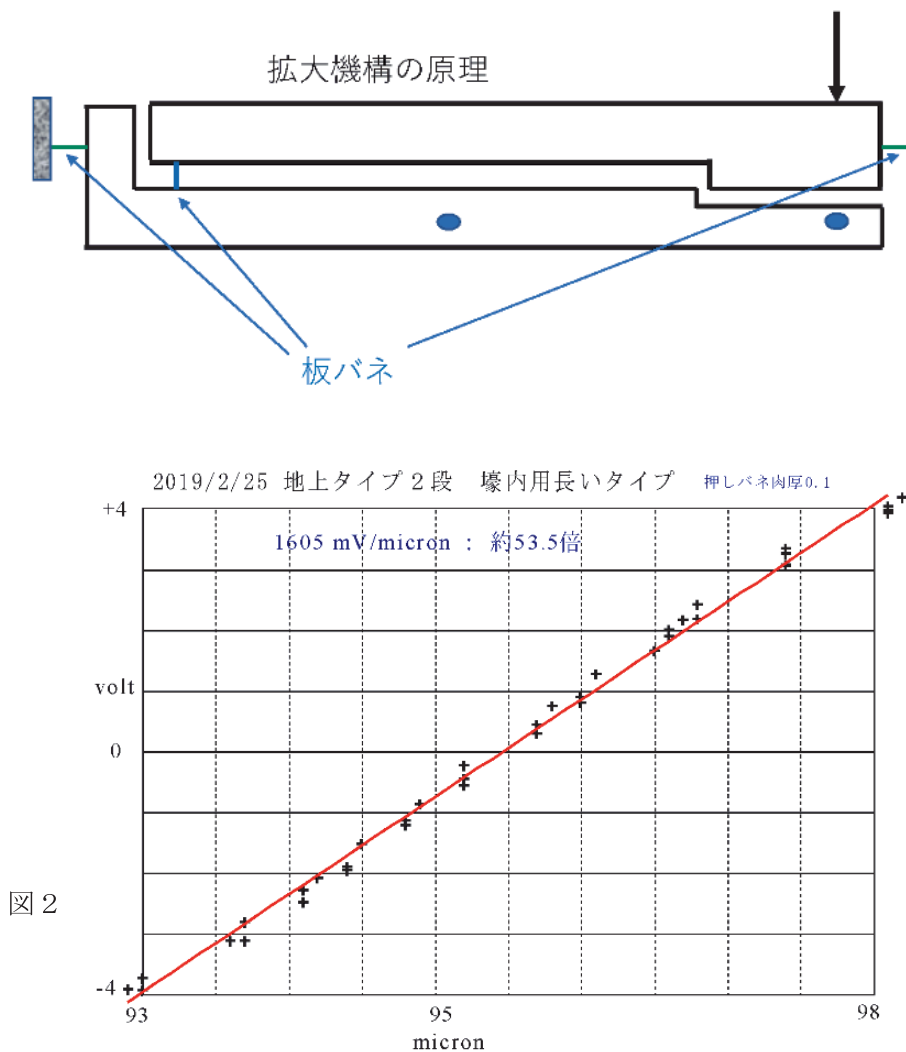


1.4 汎用応力計の開発

1.4.1 変位拡大システムの開発と適用例ー小型歪地震計の開発ー

変位を拡大するシステムが開発できれば地球物理学の観測に各種適用できると考えられる。そこでテコの原理を適用した変位拡大システムの開発を試みた。図1は拡大機構の原理を示した図である。テコの原理を利用している。2段の拡大で支柱の長さは10cm程度で板バネにより支えている。板バネは恒弾性材質のハイテリンバーを使用した。図2は製作した拡大機構の検定結果である。センサーはマコメ研究所製のマグネセンサーを使用した。センサー出力は1 μ が30 mv程度である。拡大システムにセンサーを設置し、検定した結果は1 μ の変位が1.6voltの出力となり約53倍変位が拡大された結果を得た（図2）。この拡大装置を伸縮計に取り付けてデータを記録した。伸縮計は30mの長さで記録しているが図3に示しているように石英ガラスを支えている支持台と固定端に拡大機構を取り付けて変動を観測した。



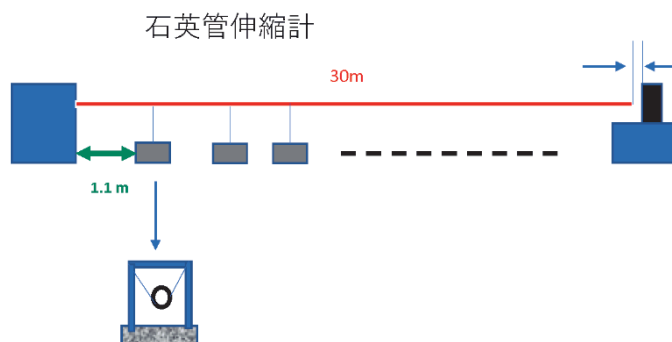


図 3

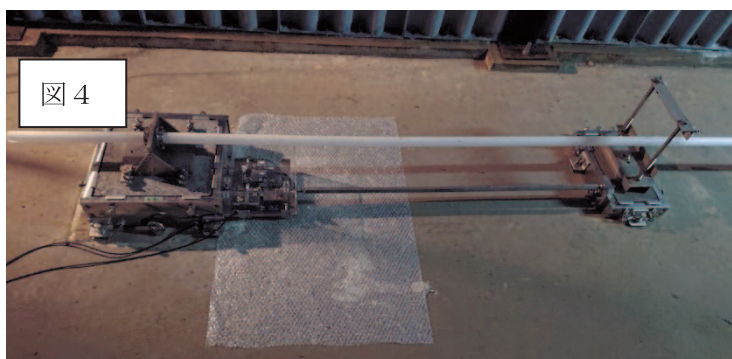


図 4 は拡大システムを伸縮計の固定端と最初の支持台に設置した写真である。

図 5 は観測した記録の例である。三重県南東沖地震を 30m の伸縮計の記

録（赤線）と 1.1m の長さの変化を拡大装置により記録した結果（黒線）の比較である。両方の記録はほとんど同じ波形を示している。この記録を比較するために相関関数を計算した。その結果が緑色の線で示している。左の縦軸に係数値を示しているそれによると値はほとんど 1 であり両者の波形はほとんど同じであることが明らかである。この結果、短い長さでも拡大システムを適用すれば 30m の長さの伸縮計と同等の歪地震記録を得ることが可能であることが明らかになった。今後はこの拡大システムの他への適用を検討する。

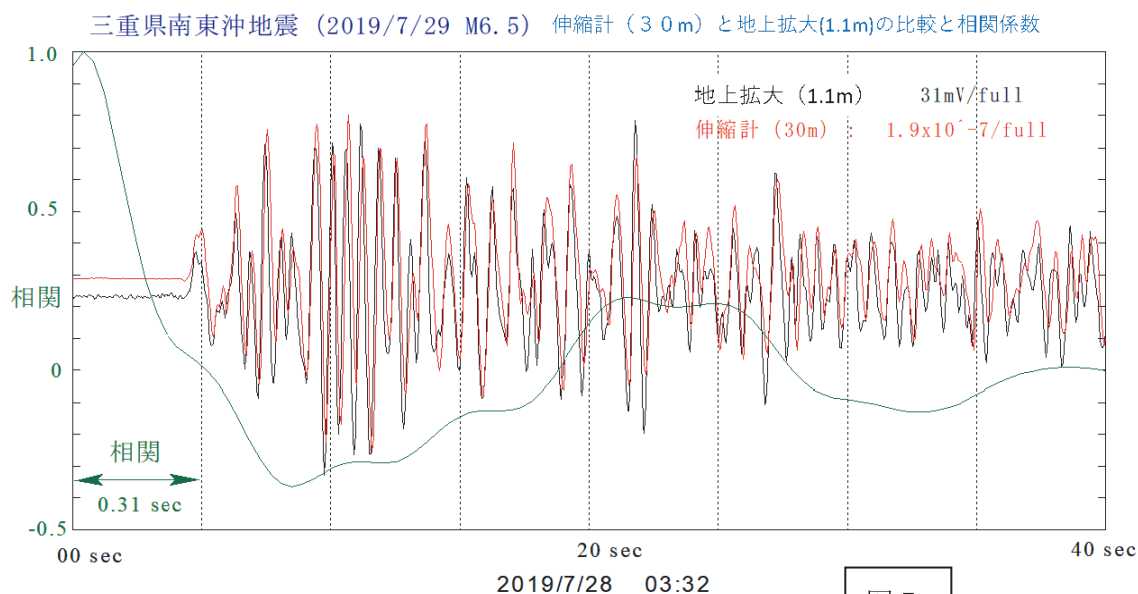


図 5

1.4.2 ボーリングコアの弾性変形に基づく岩盤応力測定

地下深部に大空洞を掘削する際、その設計、施工に資するため、掘削に先立ち岩盤応力の測定を実施すると、測定位置上部の岩盤自重と地形では説明できない大きな水平方向応力が測定されることがある。このような大きな水平応力の作用方向は、プレート運動に起因する広域応力の方向と一致する場合もあるが、必ずしも一致しない場合もある。これは地殻が、剛性の異なる種々の岩盤からなり、さらに断層や地質境界の不連続面を有する不均質な媒体であるためと考えられるが、その不均質性が地殻応力の伝搬にどのような影響を与えているかをデータに基づいて検討した例はあまりみられない。

図1は、中部電力が奥美濃揚水発電所の地下発電所の建設に先立ち、京大式8素子ゲージを用いた応力解放法により測定した3次元的な岩盤応力の測定結果(石田他, 1982)を、地形の最大傾斜方向の鉛直断面に投影して示したものである。測定は岐阜県本巣郡根尾村字上大須地内の斜面直下の地下約300mで行われた。岩盤自重だけが作用しているのであれば、最大主応力方向は斜面に平行に近い方向になるはずであるが、測定結果の最大主応力はほぼ水平方向である。図2は、同じ測定結果を地形図上にプロットしたものである。測定地点は川沿いの斜面の地下であるが、斜面に直交する方向に大きな水平応力が作用していることがわかる。

この測定の結果、建設予定地点の岩盤には大きな水平応力が作用していることがわかった。地下発電所空洞は、図3に示すように空洞の側面に大きな地圧が作用すると破壊しやすいが、長軸方向に大きな地圧が作用しても破壊しにくい。しかし当初の空洞設計では、図3a)のような最も不安定な状態になっていることがわかった。図4は、地下発電所空洞の長軸を当初の設計軸から東回りに回転した場合の、側圧比(側方圧/鉛直圧)の変化を示したものである。この図より空洞の長軸方向を90°回転すると側圧比が最小となり、岩盤応力から見る限り空洞の安定上最も望ましいことがわかった。しかし、水力発電所であるから上流からの水路(鉄管路)もあれば、下流側の水路(放水路)もあり、発電所軸を回転する場合にはこれらもいっしょに回転する必要がある。管路が曲がれば水が流れるときにエネルギーロスが生じるため、長期にわたる発電では不利になる。また、空洞の安定性自体も、地圧以外に岩盤内の既存節理の方向を考慮する必要がある。このようなもろもろの要因を総合的に勘案して、最終的には当初設計から空洞軸を約45°回転して空洞の建設が行われた。

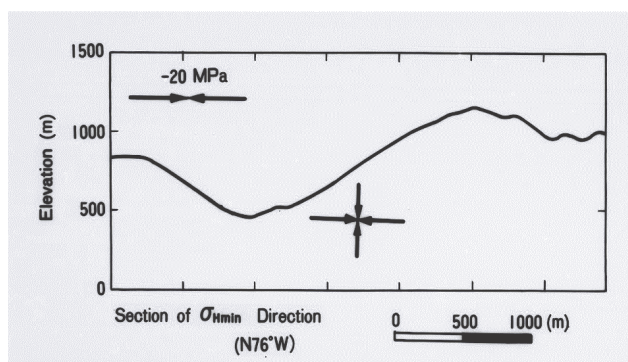


図1: 地形の最大傾斜方向の鉛直断面に投影した岩盤応力測定結果の主応力方向

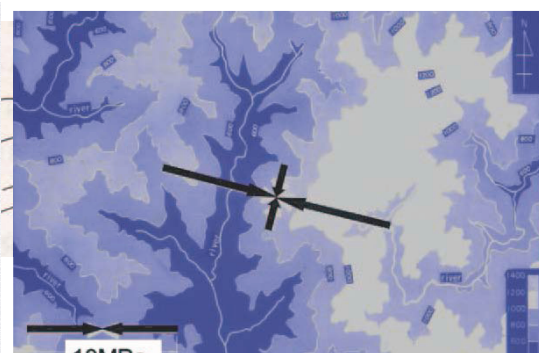


図2: 地形図上にプロットした、岩盤応力測定結果の水平主応力の方向と大きさ

図5は、日本各地で測定した応

力解放法による岩盤応力測定結果の水平方向最大主応力の方向と大きさを日本列島周辺のプレート境界とともに示したものであり、奥美濃地点はE点に対応する。伊豆半島がフィリピン海プレートに乗って約100万年前に日本列島に衝突し、現在も南から北に日本列島が押し

a) 不安定

b) 安定

あげられていることをと考える

図3: 岩盤応力と地下発電所空洞の安定性. a) 不安定. 側面に大きな地圧が作用すると空洞は破壊しやすい. b) 安定. 空洞の長軸方向に大きな地圧が作用しても空洞は破壊しにくい.

と、伊豆半島付け根の北の南北圧縮傾向は理解しやすい。一方、奥美濃地点を含む中部地方から

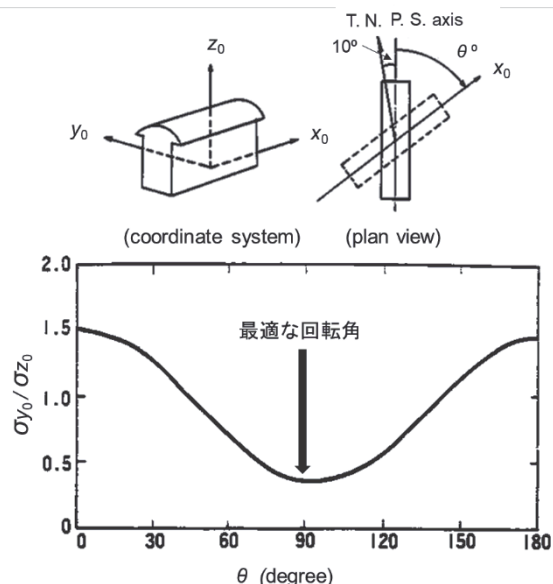


図4: 地下発電所の空洞軸方向を回転した場合の側圧比の変化

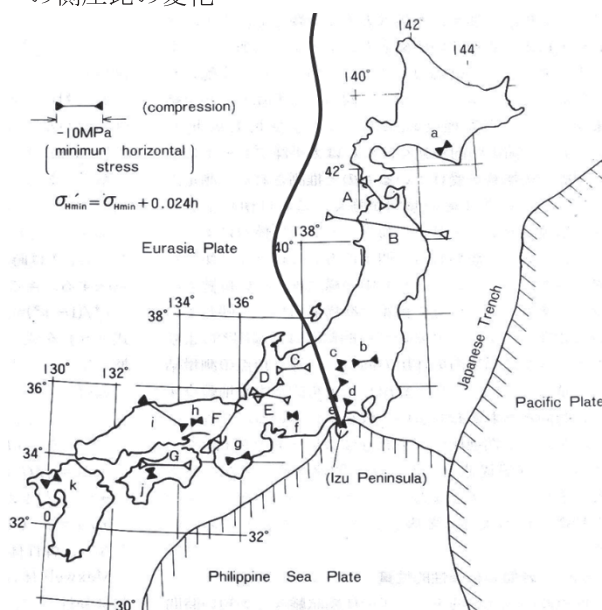


図5: 京大式8素子ゲージ(▽印のA, B, C...)と電中研式ゲージ(▼印のa, b, c...)による日本各地における地圧測定結果と日本列島周辺のプレート境界

西日本にかけては、1年に約10cmの速度で日本列島にぶつかってくる太平洋プレートの影響で東西に圧縮されているとされ、その傾向は活断層や活褶曲などの分析でも指摘されている。これらのことから、奥美濃地点で測定された大きな東西圧縮応力は、太平洋プレートによる水平圧が原因と推測された。しかし、この図を見ればわかるように、最大圧縮方向は測定地点ごとにばらついているが、その原因のひとつに地殻の不均質性があると思われる。

一方、Ishii and Asai (2015, 2016)や川崎他(2014)は、東濃地震科学研究所の陶史の森観測点の深度512mに設置した石井式応力計により東北地方太平洋沖地震のひずみ波形を測定し、GPSデータと比較している。そこでこれらの先行研究を参考に、この地震時の石井式応力計のひずみ波形の主ひずみ方向の経時的な変化を、この測定点周辺の電子基準点で囲まれるいくつかの3角形の主ひずみ方向の経時的な変化と比較することを考えている。また、地震後の定常的な変化も両方で比較し、広域的な地殻応力と局所的な岩盤応力の関係、さらには断層などの地質構造が岩盤応力の分布に与える影響の検討を進めたいと考えている。