

1. まえがき

最近、大容量揚水発電所の建設や原子力発電所の地下立地などが計画されるようになるとともに発電所や水路トンネルなどの大型の構造物が地下深部に設けられる例が多くなってきている。

それにしたがって地質調査も地下深部の地質構造を明らかにすることが要求されるが、従来のような地表踏査や短い横坑、ボーリングなどの資料から地下深部の詳細な地質構造を解明することは困難であり、現在では数100mの長さの横坑やボーリングが掘削されるようになってきている。

これらの調査工事には多大の費用と期間を要する場合が多いので、これらの調査坑(孔)の測定精度や効率を高めるため、ボア、ホールテレビジョン装置の導入や、断層の走向、傾斜の計算手法の開発など地質調査法に新しい技術や計算手法を応用するようになってきている。

今回報告する断層の走向、傾斜の推定に関する計算手法は同一断層の露頭が3箇所以上で確認された場合、従来の測定された断層面の走向、傾斜よりその分布や位置を求める方法ではなく、確認点の座標を用いて計算により、断層面の走向、傾斜を求め、それより断層の分布や位置を決定しようとする方法である。

この方法による利点は断層の確認点が離れている場合でも、その推定範囲が従来の方法より狭く、またその位置が確率的に計算し得る点にある。

2. 計算の考え方

断層は応力を受けた岩盤の剪断破壊面であり、一般に平面を形成しているものと考えられている。その断層面の表示方法の一つとして地質学においては図-1に示すように、その断層面と水平面との交線の方位を北より、東または西に測って走向とし、断層面の水平面からの最大傾斜角度とその方位を傾斜として、たとえば $N30^{\circ}W / 60^{\circ}SW$ などと表示している。

断層は巨視的に見れば平面を形成しているが、局所的には波を打ったり、湾曲したりしているため、地表調査の際に同一断層についてクリノメーターで測定した走向、傾斜の値は、その各々について $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 程度のばらつきが認められるのが普通である。このような場合、一般には図-2に示すようにシュミット網(またはウルフ網)に全測定面を点として投影し、その最頻値を真の値と考え、それより断層分布位置を求めるとともにそれより $\pm 10^{\circ}$ 範囲程度を断層の存在する可能性のある箇所とする場合が多い。

しかし最近のように地下数100m~1000mの深部に地下発電所や水路トンネルなどの大型の構造物が計画される場合には、従来の方法で存在する可能性のある範囲を求めると、走向、傾斜の各々の角度の測定値のばらつきが距離に比例して拡大されるため非常に広い範囲になることが多い。

今回開発した手法は断層面が巨視的には平面をなすことを利用しており、3箇所以上で同一断層の露頭が存在した場合、その確認位置の座

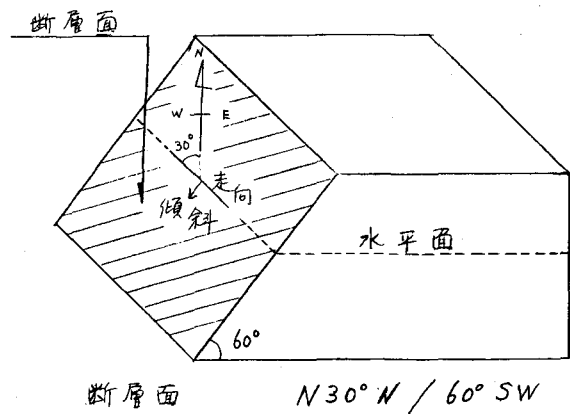


図-1 断層面の表示方法

標(X, Y, Z)より最小自乗法を用いて、各確認点との差の自乗の和が最小となるような平面方程式を求めて断層面としている。

計算式は次の通りである。

確認点 $(X_i, Y_i, Z_i, i \equiv 3)$ があり、求める平面方程式を

$$Ax + By + Cz + 1 = 0 \quad \text{---- (1)}$$

とする。

最小自乗法により、

$$S = \sum_{i=1}^n (Ax_i + By_i + Cz_i + 1)^2 \quad \text{---- (2)}$$

となる。

(2)式においてSを最小にするA, B, Cは(2)式をA, B, Cで微分し、その各々を0とするA, B, Cを求めればよい。

したがって

$$\sum x_i^2 A + \sum x_i y_i B + \sum x_i z_i C + \sum x_i = 0 \quad \text{---- (3)}$$

$$\sum x_i y_i A + \sum y_i^2 B + \sum y_i z_i C + \sum y_i = 0 \quad \text{---- (4)}$$

$$\sum x_i z_i A + \sum y_i z_i B + \sum z_i^2 C + \sum z_i = 0 \quad \text{---- (5)}$$

となり、この(3)、(4)、(5)式の3連立方程式よりA, B, Cを求めることができる。

断層面が平面であるか否かの判定には、求めた平面と各確認点との垂直距離の分布、すなわち標準偏差がばらつき程度の示すものと考えられる。

したがって実際の断層に適用する場合、断層の推定位置より標準偏差の2倍、すなわち95%信頼範囲を存在する可能性のある範囲と見なしている。

また、平面性を示すものとして平面係数(K_p)を計算している。平面係数は断層の確認された広がり(水平距離×垂直距離)に対して断層の95%信頼範囲がどの程度であるかを百分率で示したものと定義した。

平面係数(K_p)の計算式は次のとおりである。

$$K_p = (2\sigma / \sqrt{A}) \times 100 \quad \text{---- (6)}$$

$$A = L \times H \quad \text{---- (7)}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} K_p = \text{平面係数} & (\%) \\ \sigma = \text{標準偏差} & (m) \\ A = \text{断層分布面積} & (m^2) \\ L = \text{断層の水平分布距離} & (m) \\ H = \text{断層の垂直分布距離} & (m) \end{array} \right.$$

平面係数は断層面を $1m^2$ の板と見なした場合、板の凹凸の程度が何cmであるかを示すものとも考えられ、断層の平面性の検討に用いられるとともに分布面積の異なる断層の平面性の比較にも利用できる。

また95%信頼範囲は確認点との距離と関係なく一定であるので、地下深部における断層位置を求める場合、従来の方法より推定範囲が狭くなる利点を有している。

上記の計算は煩雑であり、調査の進展にともなって確認点が増すので電子計算機を利用している。電子計算機のプログラムは入力として断層の確認点の座標X(北を正、南を負)、Y(東を正、西を負)、Z(上を正、下を負)を同一断層について3点以上50点(幅の厚い断層については上盤、下盤の区別が必要)を与えると、

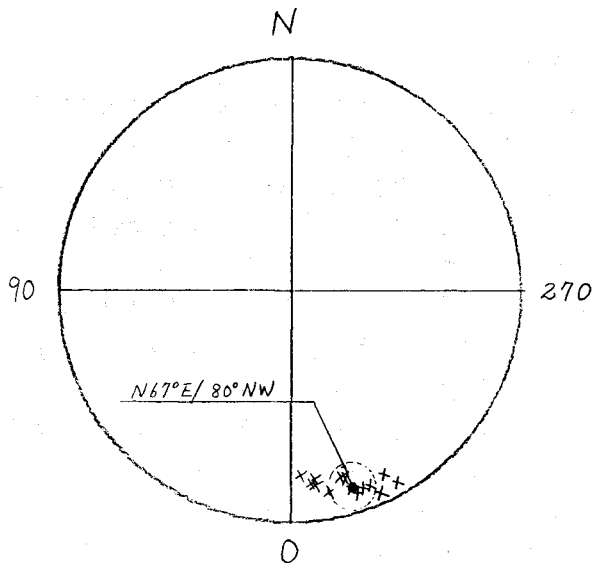


図-2 S断層の走向、傾斜(シュミット相)

求める断層面の走向、傾斜、求めた断層面と各確認点の垂直距離および距離の標準偏差、平面係数などが求められるようになっている。

また別に構造物位置の座標を与えれば構造物と断層面との距離なども計算可能である。なお、計算時間は確認点50点で約1分程度である。

3. 適用例

3.1 T水路トンネル

T調査地帯において延長約3kmの水路トンネルが地表下100m~600mの箇所に計画されたが、地表調査の結果、図-3に示すように水路ルートと約200m離れてほぼ平行に走る谷に沿って幅約30mの断層が延長1.5kmにわたって露頭することが確認された。

同断層の上盤、下盤、14箇所における断層面の走向、傾斜の測定結果は図-2に示すようにN55°~81°E / 72°~86°NWの間に分布しており、最頻値はN67°E / 80°NW(1%以内に9点、集中度64.4%)であった。

この結果を用いれば水路は断層と低角度で斜交しているため、水路の(ほぼ)中間地帯で断層と交差し、その後約130m程度断層中を通ることが予想された。

しかし、この付近は水路トンネルの覆りが600mと厚く、確認が困難なこと、また断層の走向、傾斜の決め方により推定位置が大きく変ることなどより、水路ルート選定が難行した。

同地帯において地表露頭の6点の位置測量を実施するとともに、横坑確認点の計7点を用いて、同手法による計算を行なった。

その結果によれば走向、傾斜はN62°15'E / 78°41'NWとなり、標準偏差10.7m、もっとも推定断層より離れた点で15.3mであり、交叉箇所は上口より600~800m間となった。

その後、推定位置に横坑を2坑掘削し、調査した所±6mで断層が確認され、これらの確認データを含め11点

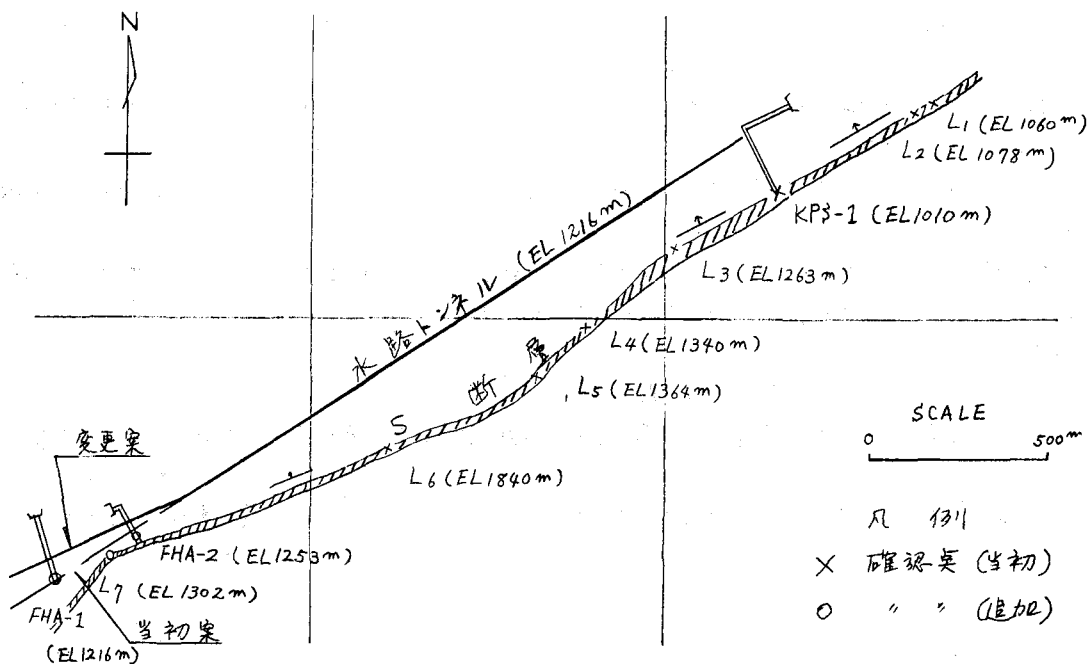


図-3

T水路トンネルとS断層確認点

で再度計算した結果ではN62°14'E / 78°51'NW、標準偏差13.1m、最大距離33.8m、平面係数1.45(%)となった。

これらの計算結果にもとづき、水路トンネルを推定断層位置から最近箇所所で43m離れた位置に水路レートを変更し、現在S断層と交差することなく工事が終了している。

3.2 断層の平面性の検討

S断層を含め、各地裏で確認された

表-1 断層の計算例

幅や分布距離が異なる断層について計算を行なった。	名称	幅 (m)	分布距離		走向、傾斜	標準偏差	平面係数 (%)	確認点 (点)
			水平(km)	垂直(m)				
その結果は表-1に示すとおり、各断層の平面性を示す平面係数はF断層を除き、1.5~5.7(%)と小さな値を示している。	S	30	4	760	N62°E/79°NW	13.1	1.5	11
	T	200	20	110	N1°E/56°SE	124.1	5.3	7
	N	30	2	90	N72°E/80°NE	12.1	5.7	6
	H	10	1	60	N87°E/84°NE	5.0	4.0	6
	F	3	0.2	60	N44°E/49°SE	7.8	13.8	7

この値は断層を1mの板と仮定すれば、その凹凸は1.5cm~5.7cm程度であることを示しており、断層面はその分布距離や中と関係なく、ほぼ平面とみなして大きなまちがいはないと思われる。

S断層はこれらの断層のうちでも平面性のよい断層であり、水平距離で4kmの分布を有しているにもかかわらず平面係数は1.5%である。

T、N、H断層は断層破砕帯や水平分布距離が20倍程度異なるのに平面性はほぼ4~6%とほぼ同じような値であり、これらより考えると断層は平面ではあるが、発生状況などにより各々固有の平面係数を有するものと思われる。

F断層はこれらの内でもっとも平面性の悪い断層であるが、その後の調査によれば2本の小さな断層がつながっているため、1本の断層と疑って計算されたものであり、各々の断層はそれぞれ5%程度の平面係数を有していることが判明した。

4. おさひ

断層の走向、傾斜の推定方法として計算による手法の考え方とその適用例について述べた。数断層の計算結果によれば断層面はほぼ平面と見なしてよく、平面係数はほぼ4~6%程度と考えられる。

この手法を用いて、地下深部に予定された水路トンネルとS断層との関係を検討し、この手法の適用性が確認された。

今後、地下発電所や水路トンネルなどがますます地下深部に計画される傾向にあるので、この手法を用い調査に役立てるとともに、断層の平面性に関しても検討したいと考えている。

参考文献

- (1) 堀 義直 電子計算機による断層の走向、傾斜の計算とその適用例 応用地質 14巻 12号
1973年 6月
- (2) 堀 義直 下地奥水路経過地の地質について 電研報告 72593
1973年 5月