

(Ⅲ-51) 高精度傾斜変動測定によるゆるみ岩盤の変形性推定法の開発

独立行政法人土木研究所 正会員 佐々木靖人、阿南修司、片山弘憲、柴田光博

1. はじめに

最近のダムサイトにはゆるみ岩盤の個所がしばしば見受けられる。このような個所では、斜面安定や透水性のほか、変形性が問題になることも多い。そこで著者らは、ゆるみ領域とその変形性を迅速に把握することを目的に、高精度傾斜変動測定による変形性推定法を考案した。これまでダム基礎では一般に原位置平板載荷試験により変形性を測定しているが、高価で手間もかかる上に、試験個所の代表性も問題になりやすい。それに対して本手法は変形性を多地点で迅速に把握することができ、ダム基礎だけでなく土質地盤の変形性の把握、盛土の施工の確認などにも活用できる可能性がある。

2. 考案した手法

考案した手法は、ダム基礎の調査横坑底面や地表面で測定することを想定したもので、測線上の1点に高精度傾斜計を設置し、傾斜計より遠方から一定重量の錘（著者らは錘として「人間」を用いている）を段階的に近づけ、錘の荷重による傾斜変動を観測し、その後有限要素法などで測点付近の変形性を推定するものである。傾斜計を順次ずらして繰り返し測定することで、測線沿いの変形性の分布を短時間に測定できる。傾斜計は、通常の土木分野で使用されるもの（傾斜分解能1〜10秒）より高精度のものを用いる。著者らは、傾斜分解能1ナノラジアン（約 2×10^{-4} 秒）のもの（米国 Pinnacle 社製 5500 シリーズ）¹⁾を用いている。本機器は $\pm 10^\circ$ の大変動までを一連で測定でき、機器内部でA/D変換と大量のデータ記録ができる。

3. 調査地

今回、ダムサイトの原石山調査横坑に傾斜計を設置して予備実験を行った。調査地は岩手県に計画中の I ダムの原石山調査横坑（全長 173m）である。地質は新第三紀中新世～鮮新世の石英安山岩からなる。原石山の岩石は堤体材料として問題ないが、横坑の坑口付近から 80m 付近までの岩盤は柱状節理沿いに開口亀裂が発達したゆるみ岩盤の様相を呈する。この横坑でゆるみの著しい坑口から 45m の枝坑、およびゆるみの乏しい 150m の 2 個所に傾斜計が埋まる程度に埋設して傾斜変動を測定した。試験時の傾斜計は地球潮汐による地盤変動が十分観測できるほど安定していた。ここでは主に 45m の傾斜計の変動について述べる。

4. 試驗方法

試験方法は、図－１のように短い枝坑の切羽付近に設置された傾斜計に、5.5mの距離から３人の人間（計約 200kg）が約 1m 毎に２分間隔で近づき、最小 0.7m まで近づいて３分経過した後に、再び２分間隔で遠ざかるというものである。

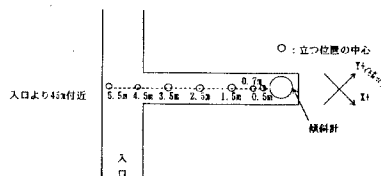


図-1 調査個所と測線の位置関係

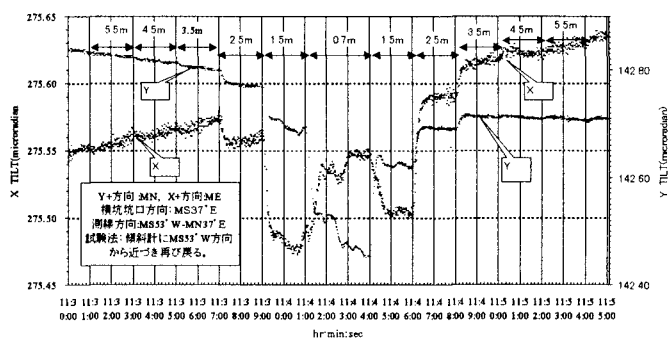
5. 試驗結果

試験結果を図-2に示す。試験以外の変動としては地球潮汐等によるなだらかな変動（図中においては X 軸方向はプラス方向、Y 軸方向はマイナス方向への全体的な変動）とノイズ状の微小変動（常時微動？）が認められる。同図によると、載荷位置 5.5m 付近のデータは 0.005 マイクロラジアン程度のごくわずかな変動があるが不明瞭である。しかし 4.5m～3.5m 付近からは明らかに変動が認められ、4.5m と 3.5m 間の移動で X,Y 方向ともに約 0.01 マイクロラジアン、3.5m と 2.5m 間の移動で X,Y 方向ともに約 0.03 マイクロラジアン、2.5m と 1.5m 間の移動で X 方向は 0.09 マイクロラジアン、Y 方向は 0.075 マイクロラジアン程度

載荷点側に傾いている。ただし 1.5m と 0.7m 間の移動では Y 方向が順調に約 0.19 マイクロラジアン載荷点側に傾斜したの比べ、X 方向は 0.06 マイクロラジアンほど反対側に傾斜している。これは載荷点が傾斜計の埋設穴に近い複雑な変形挙動となったものと思われる。また、載荷点が 1.5m 以内のときは人間が移動していない間にもクリープ的な累積変動が認められる。

試験の結果、200kg 程度の荷重でも、4.5～3.5m 程度の距離から傾斜変動が

認められ、変動量は Y 方向のみでも総計 0.25 マイクロラジアン程度あることがわかった。なお、横坑深度 150m で類似の試験を行った結果では、Y 方向総計 0.04 マイクロラジアン程度であったので、ゆるみ部とそれ以外で 1 桁異なる傾斜変動が観測されたことになる。横坑掘削による岩盤表面付近のゆるみの影響もあると考えられるが、4.5～3.5m 程度の距離から傾斜変動が認められること、また二つの傾斜計で 1 桁近い変形量の差異があることから、掘削によるゆるみ以上に岩盤本来の変形性の差異が測定されていると考えられる。



図－2 試験による傾斜変動の結果

5. 考察

試験値からの変形性の推定方法としては理論式による数値計算や有限要素法による解析などいくつかの方法がある。例えば荷重 P が地表の 1 点に作用する場合に荷重点から r 離れた地表面の深度方向の変位量 Z は、ポアソン比 ν 、弾性係数 E として、Boussinesq により次式のように与えられている²⁾。

$$Z = P(1 - \nu^2) / (\pi E r) \quad (1)$$

(1)式を r について微分すると傾斜量となり、傾斜量は r の 2 乗に反比例する。ポアソン比 ν を仮定すれば傾斜量から弾性係数 E が求まる。調査地の E は、荷重点の位置にもよるが、ポアソン比 ν を平均的な 0.2 としたとき 2～3 GPa 程度で、軟岩レベルの静弾性係数に相当する。この絶対値の信頼性には検討の余地があるが、相対的には、同じ r で比較すれば傾斜量と E は反比例するので、同一条件下で傾斜量が 1 桁違う時は E も 1 桁異なる、すなわち調査横坑の 45m 付近と 150m 付近では E も 1 桁異なる、と判断できる。

本試験法の利点は、原位置平板載荷試験が掘削による岩盤表層の人工的なゆるみの影響を強く受けるのに対し、本試験法は載荷点と測定点が最大数 m 離れているため、表層のゆるみの影響は比較的小さいことである。一方、欠点は、試験時の変形量が小さいため微小ひずみ状態での変形係数しか得られないことが挙げられる。これについては今後、本試験での変形係数と原位置平板載荷試験による変形係数や弾性係数との比較を行う必要がある。また、実用上の課題としては、作業効率上、傾斜計は埋設せず地表面または横坑底面上に設置して観測する必要があるため、その際の安定性確保の方法も検討課題である。

6. 結論

ゆるみ岩盤の変形性の新しい試験法を開発した。この試験は多地点で簡易かつ迅速に変形性を測定することができる。今後は解析方法や試験値の解釈の方法、測定の安定性などについて検討していく必要がある。

引用文献：

- 1) 地熱エンジニアリング(株)(2001):ピナクル社製高精度傾斜計取扱説明書。
- 2) 土木学会(2000):原位置岩盤試験法の指針,p.160。