

アイソスタティック基礎の理論的考証

佐賀大学

岩尾 雄四郎

菰方 弘 樹

1. はじめに

軟弱地盤上の堤防等は沈下のためにかさ上げが必要となり、さらに沈下が進行する悪循環に陥る¹⁾。これを克服するためにアイソスタティック基礎工法を考案し、室内配合実験や盛り土実験をおこなっている。本報告ではこの工法の理論的考証を行うものである。

2. アイソスタティック基礎

地球の表面部では密度の小さな地殻が密度の大きなマントルに浮いて安定している事が地震探査で明らかになった。しかも、ヒマラヤのように高い山脈の下ではマントルに比較して密度の小さな地殻が厚く、海の部分では薄いことも判明した。このようにして地下に圧力の均衡面が存在することにより安定が保たれているという考えが”アイソスタシー (Isostasy) 理論”としてまとめられたのである²⁾。

アイソスタティック基礎はこの理論を基礎としており、構造物を含む基礎を静圧力のバランスを取りながら軟弱な粘土地盤に浮かせようとする工法である。軟弱地盤が流動性を持ち、堤防や建物を含む基礎が軟弱地盤より軽量である事が必要である。

3. 地球と地盤の物性

3. 1 弾性係数

地殻を構成する岩石や地盤はフック弾性体ではないが、比較的小さな変形速度における応力状態では図-1に示す弾性係数が知られている。鋼や銅、アルミ等の金属は $10^4 - 10^5$ GPa、火成岩は $10^3 - 10^5$ GPa、コンクリートは $10^4 - 10^5$ GPa程度である。変成岩はコンクリートと同等であり、堆積岩は火成岩より小さな値を示すものもある。粘土は含水比によって大きく変化するが、 10^0 GPaを中心としているが、佐賀平野の軟弱粘土は発泡スチロールビーズやゴムと同程度であり、 $3 - 2 \times 10^{-1}$ GPa程度である。しかし、生石灰と発泡スチロールビーズで改良された有明粘土は $3 - 9 \times 10^2$ GPa程度となる。

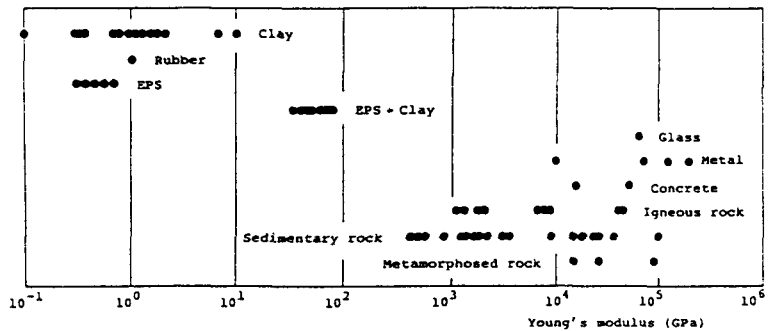


図-1 各種物質のヤング率

3. 2 粘性係数

地殻が示す粘性は、北欧のスカンジナビア地方が氷河の消失によって隆起している現象等から知られている。しかし、粘性係数の推定は物質に加えられる外力と時間的な変形を表現するレオロジーモデルの構成によって異なった値が得られ、弾性係数に比較して粘性係数は物質によって大きく異なっている。図-

2に示すように資料によれば水や水銀が $10^{-3} \sim 10^{-1}$ poise程度であり、地殻を構成する岩石やマントルは $10^{28} \sim 10^{24}$ poise、モデルによっては 10^{17} poiseともいわれている。氷や融けたガラスが $10^{13} \sim 10^{14}$ poise、造山作用における山脈は 10^{17} poise程度ともいわれている。

粘土については $10^4 \sim 10^6$ poiseとの考えもあるが、沈下現象や圧密過程を非線形スプリングを持つV o i g h tモデルとしての推定からは $10^4 \sim 10^7$ poise、含水比の低い粘土では $10^8 \sim 10^{10}$ poiseとなる。

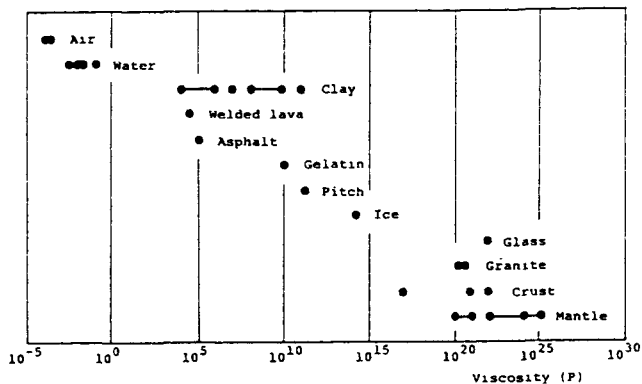


図-2 各種物質の粘性係数

4. 堤防と山岳の相似

アイソスタティック基礎はヒマラヤのような山岳における静的平衡を理論的基礎にしている。両者は構成物質が根本的に異なるし、規模、時間的長さにおいても異なっている。そこで、山脈と堤防を例にとって両者を相似則で検討する³⁾⁻⁴⁾。

ヒマラヤの断面が2000kmの広がりを持ち、堤防が20mであるとする。両者の構成材料の密度比は $d \approx 1$ 、長さの比は $l = 20\text{m} / 2000\text{km} = 10^{-5}$ 、両者に作用する重力加速度は同じで $a = 1$ であるから、応力比は $s = d a l = 10^{-5}$ となり、弾性係数や破壊強度を支配する比率である。岩石の弾性係数を $10^3 \sim 10^5 \text{GPa}$ 、軟弱な粘土を $10^{-1} \sim 10^0 \text{GPa}$ とすると、その比は $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 、中心値としては 10^{-4} 程度であり、応力比とはほぼ合致しており、弾性に関しては相似則が成立している。岩石の粘性係数を $10^{18} \sim 10^{22} \text{poise}$ 、粘土のそれを $10^5 \sim 10^7$ とすると、その比は $\eta = 10^7 / 10^{22} = 10^{-15}$ 、 $10^5 / 10^{18} = 10^{-13}$ となり、時間比は $t = \eta / s = 10^{-13} \sim 10^{-15} / 10^{-5} = 10^{-8} \sim 10^{-10}$ となる。

自然界においてヒマラヤ等の山脈が形成され、氷河の消滅によって生じる地殻の隆起現象は億年単位の間の現象である。地殻現象と堤防の盛り土を比較する場合、時間比を 10^{-8} として1億年は約1年、 10^{-10} として3日の出来事と相似になる。中心値をとれば、アイソスタティック基礎は数ヶ月の間は沈下するがそれによって静的に安定し、それ以降の沈下は生じないものと考えられる。初期段階で静的バランスが保たれていた場合には、沈下は全く生じないものと思われる。

5. おわりに

相似則で検証した結果、軟弱地盤上の堤防は億年単位で形成されるマントルに浮かぶ山脈のスケールモデルであり、基礎作成後数ヶ月程度で平衡状態が得られ、沈下が停止することが予測された。

主要参考文献 1) 岩尾雄四郎・樋渡正美、軟弱地盤上の盛土と地盤沈下、佐賀大学理工学部集報、No. 9, p. 87-95, 1981 2) A・ホーランド、一般地質学、東京大学出版会、1983 3) 江守一郎・Dieterich J. Schuring、模型実験の理論と応用、技報堂出版、1981 4) 島津康男、地球内部物理学、裳華房、1972