

1. はじめに

現在浸透流の解析には、有限要素法及び有限差分法等が広く用いられており、その解析結果が数多く発表されている。しかし多くのものは解析方法のみに終始して、解析結果の信頼性等にはふれていない。

こゝでは定常浸透流について基礎的な実験を行い、その実験結果と有限要素法及び有限差分法の二解析法による結果とを比較検討して、二解析法の有効性を調べるものである。

2. 実験方法

砂で矩形及び台形型の二種類の堤体模型を作製して実験を行い、自由水面形状、浸透水量及び堤体内部水頭値を求めた。矩形堤体の断面寸法を図-1に示す。この堤体の実験砂は平均粒径 $d_m = 0.45\text{mm}$ 、空隙率 $\lambda = 42.6\%$ 、透水係数 $k = 8.36 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ である。水深は上流側を 20cm に固定し、下流側水深を種々変化させて、動水勾配を $0.1 \sim 0.9$ の範囲にとり実験を行った。一方台形堤体は図-3に示す形状寸法を有し、この堤体に使用した砂は、 $d_m = 0.35\text{mm}$ 、 $\lambda = 41.7\%$ 、 $k = 5.95 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ である。水深は下流側を 0cm とし、上流側水深を 20cm から 50cm まで 5cm 刻みに与えた。自由水面形を求めるには、フローレスセントリウムを注射針により一定圧のもとで堤体内に注入し軌跡を記録した。浸透水量はメスシリンダーにより一定時間採取して求めた。

3. 解析方法

解析を行う浸透の場の支配方程式は水頭に関するラプラス方程式である。

有限差分法 (F.D.M) : 本解析では四角網分割法を使用し、ラプラス方程式を差分化し、逐次加速緩和法 (SOR) を用いて水頭値、流量を求めた。加速係数は 1.3 とした。

有限要素法 (F.E.M) : 本解析では適応性が高い三角形要素を使用して浸透の場を分割し、また自由水面近傍の要素群は座標を可動にして電算機内で自動分割が行えるようにした。マトリックス解析はこゝでは最大 120 元であるの \therefore SOR法を用いて水頭値を求めた。

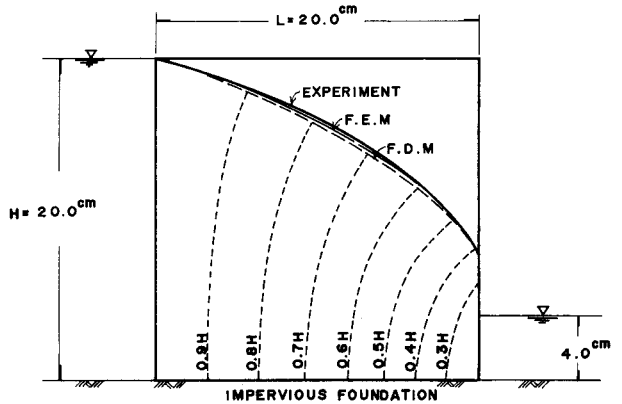


図-1 矩形堤体における浸透流

4. 実験結果と解析結果との比較検討

矩形堤体: 図-1は上流水深 20cm 、下流水深 4cm の場合の実験結果及び解析結果を示したものである。自由水面は実験値と F.D.M とでは堤体中央部で 5mm 程度の差はあるが、浸出量を含めると全体的には妥当な結果を示している。次に浸透水量は、水量 Q と透水係数 k との比 Q/k で表わすと、

実験: $Q/k = 10.2\text{cm}$, F.D.M: $Q/k = 9.7\text{cm}$, F.E.M: $Q/k = 9.7\text{cm}$

が得られ、実験値に対する両解析値の誤差は約 5% である。

内部水頭値は実験において 43 箇所測定した。この結果 F.D.M で求めた数値と 1mm 程度の誤差で合致する。

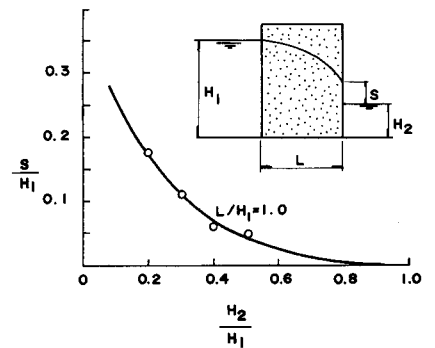


図-2 自由水面の浸出量位置

(実演算時間 F.D.M 17 秒, F.E.M 93 秒).

図-2 は自由水面の浸出点の位置と上下流水深との比の関係図で白丸は実験値, 実線は F.D.M により求めたものであり, 浸出点の位置は H_2/H_1 の増加につれて指数関数的に逸滅する傾向を示す。

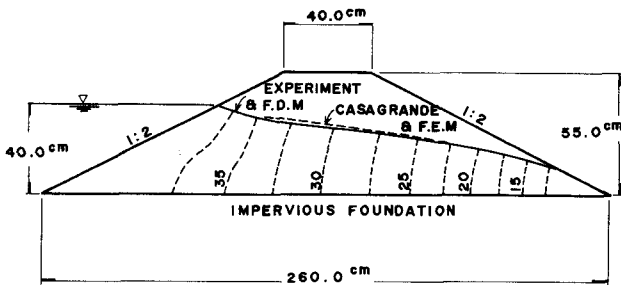


図-3 台形堤体における浸透流

台形堤体: 図-3 は上流水深 40 cm の場合の自由水面形を示す。この場合動水勾配が小さいので, 準一様流と見ることができ, 近似

解法の Casagrande の解法も併せて考える。同図から F.D.M は実験値と一致し, F.E.M の自由水面は, これより高く Casagrande のものと一致する。次に浸透水量については, 実験: $g/\# = 3.90 \text{ cm}$, F.D.M: $g/\# = 3.76 \text{ cm}$, F.E.M: $g/\# = 4.21 \text{ cm}$, Casagrande: $g/\# = 4.04 \text{ cm}$ とする。F.D.M による水量は実験値に対して 4% の誤差を有する。内部水頭値は堤体内 48 点で測定し, F.D.M と比較すると 1 mm 以内の誤差で良好一致を見る。

(実演算時間 F.D.M 10 秒, F.E.M 230 秒)。以上矩形堤体, 台形堤体について実験結果と解析結果とを比較してきたが, 二解析法は等方性堤体内の定常浸透流に関して有効であることが確かめられた。

次に堤体に水平排水層及びコアが付設された場合の浸透流の解析を F.E.M で行った結果を示す。図-4 は水平排水層が付設され, かつ裏法の勾配が異なる堤体の自由水面形を示してある。同図の実験値は Uginchus⁽¹⁾ によるものである。F.E.M で求めた自由水面の位置は実験値より 3% 程高くなっている。浸透水量は実験値では, $g/\# = 2.280 \text{ m}$, F.E.M: $g/\# = 2.325 \text{ m}$ である。(実演算時間 30 秒)。次に中央部にコアを付設し, 同様に排水工を裏法先に付設した場合の自由水面形を図-5 に示す。カツコ内の数値は Uginchus の実験式によるものである。浸透水量は, Uginchus: $g/\# = 0.820 \text{ m}$, F.E.M: $g/\# = 0.825 \text{ m}$ である。但しコア部分の透水係数を 0.05 cm/s , フォル部分の透水係数を 1.0 cm/s とした。(実演算時間 108 秒)。

5. むすび

有限要素法及び有限差分法は浸透流解析には非常に有効であり, 特に有限要素法は汎用性から優れた解析法であることが確認された。

本解析には北大大型計算センターの FACOM 230

-60 を使用した。

終りにこの研究の一部には室蘭工業大学土木工学科 48 年度卒業生 谷村秀樹君の協力を得たことを記して感謝致します。

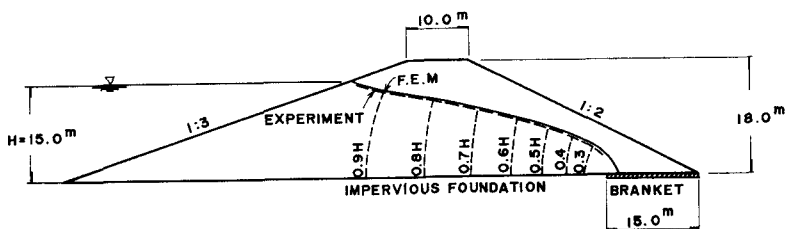


図-4 排水層付設台形堤体における浸透流

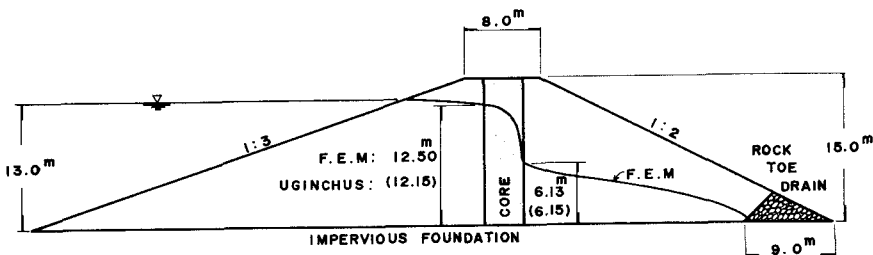


図-5 コア及び排水工付設台形堤体における自由水面

参考文献

(1) Uginchus, A. A. : "Seepage through earth dams" Israel Program for Scientific Translation