

地震時の河川堤防の沈下過程に関する検討

岐阜大学工学部 正会員 藤田 裕一郎
 岐阜大学工学部 榊原 康博

1. はじめに

地震発生に伴う液状化現象によって構造物が沈下し、亀裂や崩壊等の被害が起こることはよく知られている。河川堤防の場合、多くが軟弱な沖積地に存在しているため、基礎地盤は液状化しやすく、それに大きな堤体の自重が働くので、大規模な沈下が生じて堤体の破壊に至ることが知られている。しかし、この場合に、上部の堤体の時間的沈下過程については、ほとんど取り扱われていない。すなわち、これまでの研究では、液状化した基礎地盤によって河川堤防の被害についての災害資料の調査・検討と最終形状の解析がなされている程度であって、最近になって、液状化地盤の大変形に対して流体解析の手法の導入する試みが始められたところである。

本研究では、堤体自重を液状化した基礎地盤に作用する外的圧力と単純化し、その圧力境界の変形に関する解析を試みて、堤体沈下過程について時間的な現象のシミュレーションを図ろうとするものであって、初めに単純なモデルによってこの過程を検討した結果について述べ、ついで、より詳細な解析手法に触れる。

2. 沈下過程の単純解析

液状化した基礎地盤は、堤体のような大きな質量をもつ構造物の自重によってその下部に当たる部分が沈下し、あるいは振動する。この現象を考えるために、まず液状化した基礎地盤を流体、堤体を長方形の浮体と見なすことによって、堤体の挙動を解析することを考えた。

以上から図-1を参照して、堤体の高さを H 、幅を B 、沈下量を h としてその単位長について考えると、はじめに慣性項として、堤体の質量力と基礎地盤へ入った体積の仮想質量力があり、外力として、重力、浮力及び抗力が堤体に作用することになる。上の全ての項に含まれる B で割って運動方程式で表すと次式となる。

$$(\sigma H + C_M \rho h) \ddot{h} = \sigma g H - \rho g h - \frac{1}{2} C_D \rho \left(\dot{h} \right)^2$$

ここに、 σ と ρ は堤体と地盤の密度、 C_M と C_D は仮想質量係数と抗力係数である。 $\rho = 0.8 \sigma$ 、 $\sigma = 2000 \text{ kg/m}^3$ を与え、 $C_M = 5$ とした場合について、表のような組み合わせについて計算した結果を示せば、図-2のようであり、図-3は $C_M = 50$ とした場合について計算したものである。

堤体の高さが高いすなわち、堤防の高さが高いほど、荷重が大きくなって沈下量、振幅がともに増加し、浮力と重力がバランスする堤体高の約8割の高さを中心にして

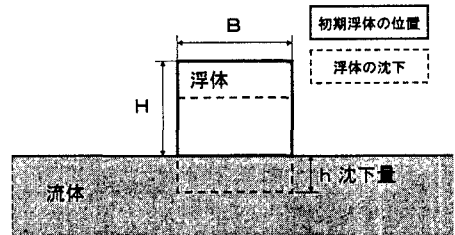


図-1 沈下のモデル化

表-1 堤体高と抗力係数の組合せ

	$C_D = 20$	$C_D = 200$
$H = 5 \text{ m}$	①	②
$H = 15 \text{ m}$	③	④

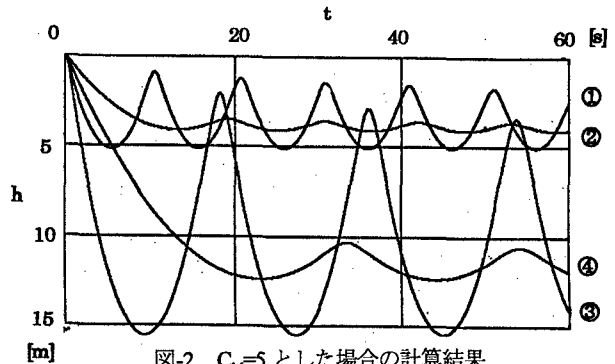


図-2 $C_M = 5$ とした場合の計算結果

振動する。粘性が高いほど、この振幅が小さくなるが、振動の周期はあまり変わらない。しかし、仮想質量力が大きくなると振幅、周期も増大する結果となる。実際現象では、おそらく C_D が非常に大きく、かつ、液状化の継続時間が場所によって異なるために様々な状況で沈下が停止するものと思われる。いずれにしても流体の排除と加速に関する C_M と内部のエネルギー逸散に関する C_D の推定については次に述べるようなより詳細な解析が必要である。

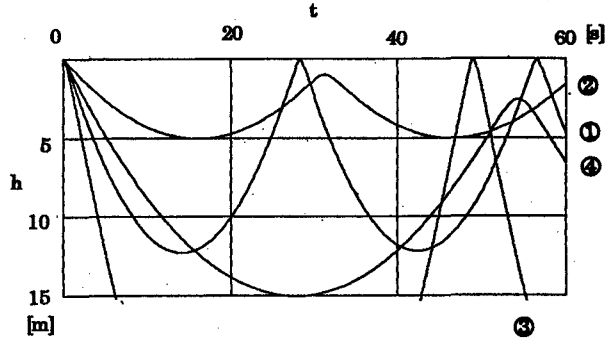


図-3 $C_M=5$ とした場合の計算結果

3. 沈下過程への SOLA-VOF 法の適用

堤体の沈下は同時に液状化した地盤の側方流動を引き起こすと考えられるので、ここでも液状化した基礎地盤を流体と見なし、堤体自重を基礎地盤に作用する外的圧力とすると、このような場合の流体解析には、液面境界の大きな変化を追跡できる SOLA-VOF 法が向いており、それを適用して、堤体沈下と地盤の流動を解析する方法について述べる。

周知のように、SOLA-VOF 法は、次のような構成である。

①SOLA 法： これは、初期条件から代数的に求められた推測値を代入することにより、圧力を収束させるように反復計算し、次の時間ステップにおける有効な流速値を算出する方法である。

②VOF 法： これは、求められた流速値を用いて、移流流量 F を算出する。すべてのセルに関して F を算出することで、各セルがある時間において液体部分か気体部分か、あるいは境界セルかを判別し、自由表面形状を確認・追跡する方法である。

具体的には、図-4のように、堤体と基礎地盤の断面形状をモデル化し、初期の堤体天端までの全領域ともに 0.5m 間隔で水平 (X) 方向を 75、鉛直 (Y) 方向 30 分割する。この中央の堤体下部の地盤面に荷重を圧力として課し、堤体及び基礎地盤の密度、粘性係数を適当に与えて、時間をステップを CFL 条件を満足させるようにして、上述の計算を繰り返し行うことにより、各時間における堤体と地盤の状態を表現する。

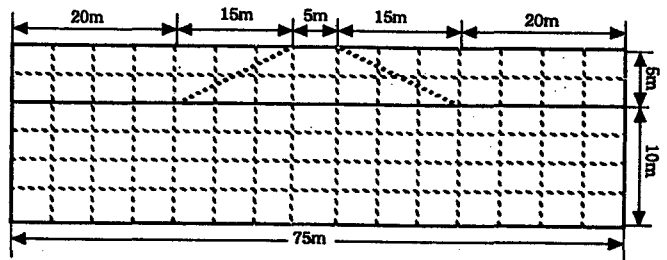


図-4 堤体と基礎地盤のモデル

しかしながら、原論文では圧力を任意に付加することは考慮されておらず、その位置の設定は十分かんぜんなものとはなっていない。また、粘性係数を水の分子粘性係数の 1 万倍及び 100 万倍変化させて試算したが、プログラムにバグも存在するようであって、粘性係数の変化に見合った妥当地盤変形を生じるには至っていない。現在、これらの点について詳細の検討を加えているところである。

4. おわりに

今後、プログラムの改良を進め、外力を受けながら変形していく境界条件の合理的な設定と粘性係数などの内部パラメータの値の推定方法を工夫し、かつ、エネルギー散逸過程に考察を加えて、沈下過程に適切な表現式で基礎式を置き換えて検討を行っていくつもりである。