

日本建設コンサルタント(株) 正会員 橋場 明
同上 金成 浩司

1. はじめに

粘性土地盤上にある高規格堤防の地震時の動的挙動については、今のところ明確に把握されていない。安定度を調べ地盤安定対策を行うための手段として現在使われている方法は、震度法による円弧すべり解析である。この方法は地盤に一定の水平震度を与え、これにより水平力が働いている地盤に仮定すべり円弧を設定し、その安定を確かめる。丁度、全体が傾斜した地盤の地すべり安定問題と似た扱いとなる。その結果、堤防高の大小にかかわらず、すべり円弧は堅固な基盤上面に達する大円弧として求められる。これは地震時に実際に起きるであろう現象を想像した場合、受け入れ難いものである。そこで、地震時の地盤の挙動を本来の運動問題として把握することが必要であると考え、地盤の動的解析を行った。

2. 調査方針

調査の項目を抽出するに当たって、次の点に着目した。いま、平坦な基盤(地震動ベースとなる堅固な地盤)の上に厚い粘性土層が地表まで載った平坦な地盤モデルを考えて見る。地震時には一様な水平せん断変形応答をするであろう。もし、地表が全域に渡って平坦ではなく堤防の法面段差による形の変化がある場合、段差から離れた平坦部と段差部では異なった動きになることは明らかである。その観点から、まず、解析モデルと解析ケースを用意するに当たって、次の要素で整理した。

- ①段差高 H 、②基盤までの層厚 D 、③堤防天端幅 B 、④法面勾配、⑤地盤のせん断剛性 G
⑥地震最大加速度および波形、⑦左右方向せん断ひずみ最大の時刻

また、物性値などは建設省業務「荒川下流宮城地区高規格堤防の動的解析」での値を参考にした。動的解析には構造物地盤連成2次元有限要素法動的解析プログラム「superFLUSH」を用いた。

3. 解析モデル

解析モデルの基本諸元は次の通りである。

- 1) 形状：全長350mで堤防高、天端幅、原地盤厚、法勾配で外形を決めたモデルである。(図-1)

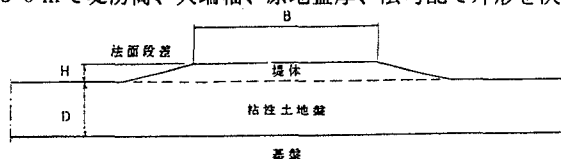


図-1 解析モデル

- 2) 地盤剛性：地盤のせん断剛性の基本値は $G = 2500 \text{ t f / m}^2$ (宮城地区参考)とした。また、ひずみによる動的非線形特性曲線は宮城地区で使ったものを準用した。
- 3) 減衰定数：地盤の減衰定数は宮城地区で使ったものを準用した。
- 4) 境界条件：FEMモデルの両側縁は粘性減衰境界とし、実際は広がりを持つ半無限地盤に解析上の相似を行った。
- 5) 地震動入力：入力地震動は基盤に加速度波形として入力するが、波形は十勝沖地震八戸波とした。
- 6) 調査時刻：今回は着目している堤体のすべりが起きそうな時刻に絞って調べた。一般的に、地震時の大きな波は、まず基盤が動いて、その上に載り、かつ静止している地盤に第一撃を与え、次に動き出した地盤を今度は反対方向に基盤が動いてブレーキをかける形で振動状態に入る。この初動と反動を調査時刻とした。

4. 解析結果の考察

1) 段差部(法面)の動的影響範囲

最もすべりを起こしやすい初動と反動のピーク時刻での応力やひずみの状態を見ることにより、地震時における段差の影響がどのような範囲にあるか調べた。これを調べるために水平方向直応力(水平土圧)の等高線分布を見ることにした。圧縮の水平方向直応力で集まった土は土塊と言える。解析結果を等高線表示すると法面を中心に扇状の土塊が現れた。(図-2)この土塊が段差による動的影響範囲と言える。

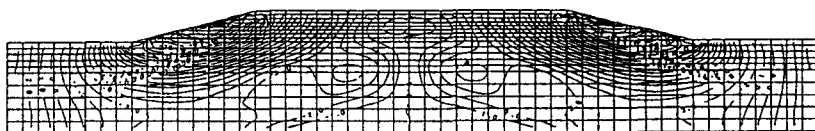


図-2 段差部の動的影響範囲

2) すべり深さと崩壊の予測

すべり崩壊はせん断ひずみの大きさが判断基準になる。従って、すべりは前述の土塊内(段差影響範囲)で起きるとは限らず、せん断ひずみの大きくなる線で起きるであろう。せん断ひずみを等高線表示した場合、せん断線は等高線の尾根となって見られる。このせん断尾根は、初動と反動では次の様に異なった様相を呈す。

①初動では、静止している堤体部の下にある原地盤層が基盤の水平移動によって動かされ、堤体下面で平らなせん断尾根を造る。

②反動では、動き出した堤体部が堤体のない区間の動きと同調したところへ基盤が逆方向に動き、それに伴って下層の地盤も逆方向に動く。この時、上層と下層の間にせん断尾根を生む。このせん断尾根は平らではなく、堤体区間では堤体から若干原地盤に入った深さに、また堤体のない区間ではその区間なりの深さに走っており、区間境界の法部では法面に沿った深さで遷移している。(図-3)

せん断尾根



図-3 せん断尾根(反動)

以上の考えから、すべり深さは堤体直下に生ずるせん断等高線尾根の位置となるであろう。原地表面からせん断尾根までの深さをすべり深さ H_s とすると、地盤厚さ $3H$ 、天端幅 $1.5H$ 、法面勾配 $1:4$ 、全体せん断 剛性 $G = 2500 \text{ tf/m}^2$ とした場合、すべり深さ $H_s = 0.6H$ (反動時) となった。

ここですべり崩壊形を想像すると、まず一次的に堤体直下のすべりが生じ法尻に達するすべり崩壊線が走る。次に二次的に最前部にある圧縮土塊が背後の堤体から離れ前方に飛び出す姿である。

3) 加速度分布

反動の場合は、丁度、動き出した上層部が下層部によってブレーキを掛けられたような加速度分布を示す。その中であって堤体部、段差法面部はさらにブレーキの影響が大きく現れる。ここで注意しなければならないことは、生じている加速度の方向である。堤体に働く加速度は堤体部がすべり出ようとする方向とは逆方向に作用している。

5. おわりに

以上のように地震時の堤体およびその周辺の地盤の動的挙動は静的円弧すべり法で考えているものと全く無縁である。比較的浅い部分でのすべり崩壊に注意する必要がある、今後実験を含む研究が待たれる。

6. 参考文献

・土木学会：動的解析と耐震設計 第1～4巻 技報堂