

粘性土地盤上の高規格堤防の地震時安定性評価手法について

Methods for Evaluating Earthquake Stability of Super Levees Built on Soft Clay

研究第一部 次 長 中 村 敏 一
研究第二部 主任研究員 大 矢 通 弘

In cases where a super levee is built on a thick layer of clay, stability calculations using the traditional seismic coefficient method often result in a large critical circle of unreal base failure, which requires large-scale countermeasures. The analysis of river-bank failures during previous earthquakes, and the results of centrifuge model tests conducted by the Public Works Research Institute, and stress analysis by two-dimensional earthquake response analysis has shown that it is rational to limit the range of slip surface in the stability analysis of super levees on soft clay.

Keywords: super levee, clay soil, stability analysis based on circular slip surface, seismic coefficient method, limitation of slip surface zone

1. はじめに

高規格堤防では、地震時のすべりに対する安定性の検討を行う場合、震度法による円弧すべり安定計算を行うこととなっている。この検討において、高規格堤防の基礎地盤に厚い粘性土地盤が分布する場合、単純に設計震度を用いた従来の円弧すべり面法で安定計算を行うと、最小安全率を示す円弧が粘性土地盤の基底を通る深い大円弧になることが多い¹⁾。

高規格堤防の安定性に関しては、最小安全率 $F_s \geq 1.2$ を確保することが河川管理施設等構造令施行規則で義務づけられており²⁾、最小安全率 (F_s) が 1.2 未満の場合には、大規模な対策工を要する。しかしながら、これまで過去の地震において厚い粘性土地盤上の堤防が、このような大円弧ですべり破壊を生じたという報告はなく、より実態に即した適切な安定計算手法を考えていく必要がある。

以上の背景を踏まえ、今回以下の 3 つの事項について検討し、安定計算に用いる円弧の制限の可能性を考察した。

① 被災事例

② 動的遠心力模型実験結果

③ 二次元地震応答解析による応力解析結果
その結果、安定計算の円弧範囲を制限することが合理的であるとの知見を得た。さらに、当面の実務上の扱いとして、粘性土地盤上の地震時安定性評価の検討において、震度法による円弧すべり安定計算で用いる円弧は、常時の最小安全率を示す円弧とすることが妥当であるとの結論を得た。

2. 被災事例による検討

粘性土地盤上の高規格堤防において、法尻からの円弧すべり範囲がどの程度であるかを検討するために、河川堤防における地震時の粘性土地盤上の被災事例の収集整理を行った。検討の結果、以下のことが明らかになった。

① 粘性土地盤における地震時の被災事例を収集した結果、すべり範囲の大きかった事例は、濃尾地震、新潟地震などにおける被害であり、すべり範囲は法尻から最大で約 8 m 弱の範囲であった。

② 一般堤防における被害を高規格堤防に適用するために、すべり範囲と堤防高との比を求め、無次元化を行った。その結果、堤防高と

すべり範囲との比は図-1に示すように、最大でも堤防高の2倍弱であった。

3. 動的遠心力模型実験結果の検討

粘性土地盤上にある高規格堤防の破壊形態を把握することを目的として、動的遠心力模型実験が建設省土木研究所動土質研究室によって実施された³⁾。この実験結果から以下のことが確認された。

- ① モデル実験の結果から変状を検討した結果、図-2に示すように、沈下量としては盛土中央部の沈下は小さく、法肩付近での沈下が大きかった。沈下の形状としては盛土中央を境界としてほぼ二分されている。振動による変形は、盛土荷重による変形形状を維持しつつ、変形量が増大していく破壊過程をたどる様子が確認された。このことからすべる範囲は、自重による不安定領域と大きく異なるものと考えられる。
- ② 加振加速度の50gal、100gal、150galは、正弦波を20波入力しており、等価な地震波形として考えると、その1.5~2.0倍の加速度に相当する。

4. 二次元地震応答解析による応力解析結果の検討

粘性土地盤上の高規格堤防の安定性について、2地区の断面で二次元地震応答解析および静的な初期応力解析を実施し、要素ごとに静的と動的の応力を足し合わせた。この各要素の応力から点安全率を算出し、点安全率が最小となる時刻の各要素の応力ベクトルを検討した。その結果次の結論を得た。

- ① 応力ベクトルの分布を求めた結果、図-3に示すように、堤防の表法肩から川裏側へ40m程度の地点を境として、応力ベクトルの向きが川表側を向いている範囲と川裏側を向いている範囲に二分された。
- ② この範囲は、常時の最小安全率を示す円弧の範囲を包含している。

被災事例による検討および動的遠心力模型実験結果の検討から、従来の震度法による安定計算において出現する粘性土層の基底を通る深い大円弧によるすべりは、実際には発生しないと推定される。このため、安定計算において検討する円弧の範囲を直接限定することが考えられる。限定方法としては、川裏側については応力ベクトルの方向が川表側と川裏側に向く境界域を限定範囲とし、川表側については被災事例から得られた法尻から堤防高の2倍を限定範囲として制限することが可能であるが、この方法は二次元地震応答解析をそれぞれの検討断面で実行し、静的初期応力解析と重ね合わせた結果から円弧範囲を限定するというような、複雑な過程を伴うことになる。

一方、常時（設計震度： $K_h=0$ ）の最小安全率を示す円弧と上記の限定範囲を定めて求めた地震時すべり円弧とを比較すると図-4に示すようにほぼ同程度の円弧規模となり、安全率も常時の円弧に限定して地震力を作用させた場合と同程度のものになる。よって、実務上の扱いを考慮すると、粘性土地盤上の地震時安定性評価の検討においては、震度法による円弧すべり安定計算で用いる円弧を、常時の最小安全率を示す円弧とすることが合理的かつ妥当であると判断できる。

5. おわりに

今回の検討の結果、当面の実務的な扱いとして、粘性土地盤上の高規格堤防の地震時安定性評価において、震度法による円弧すべり安定計算で用いる円弧は、常時の最小安全率を与える円弧とすることとした。これにより、対策工としての地盤改良工の範囲はより限定され、従来と比べてより効率的な設計が可能となった。ただし、対策工の深度については、現在のところ基盤に到達するまで改良することを原則としており、深さ方向の改良範囲の検討が今後の課題の一つに挙げられる。さらに、粘性土地盤上の

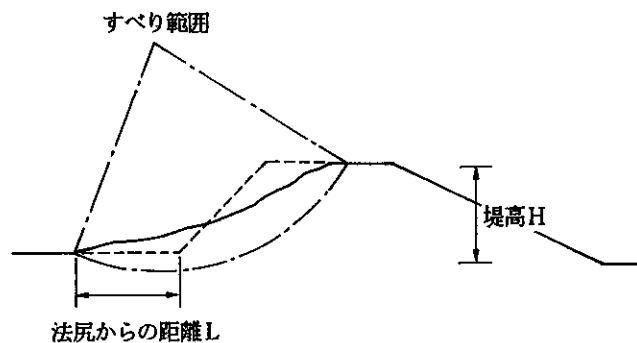
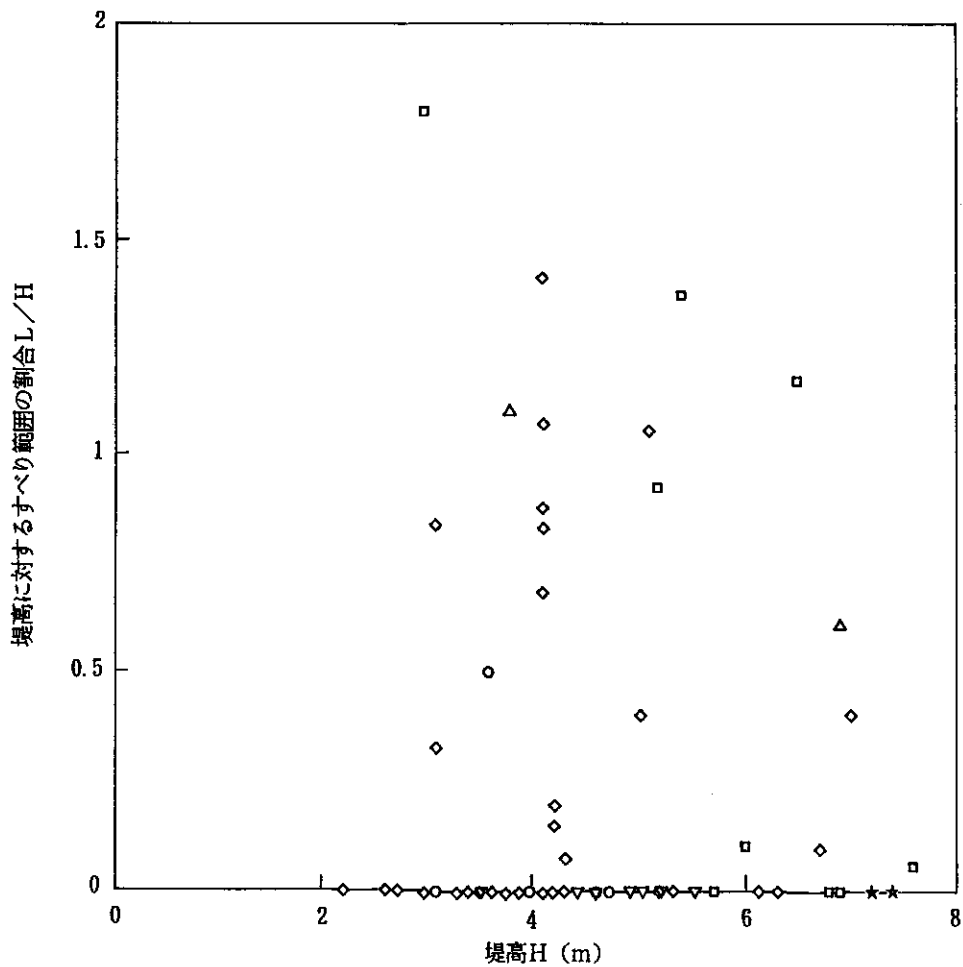
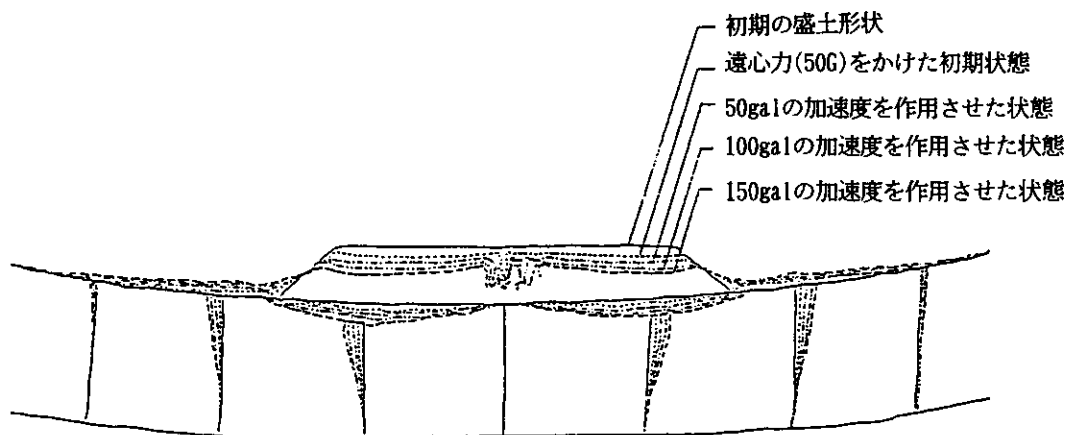


図-1 堤高と堤高に対するすべり範囲の割合との関係

Figure 1 Relationship Between Levee Height and Percentage of Slide Range as Related to Levee Height



(土木研究所の実験結果による)

図-2 遠心力模型実験結果

Figure 2 Results of Centrifugal Force Model Tests

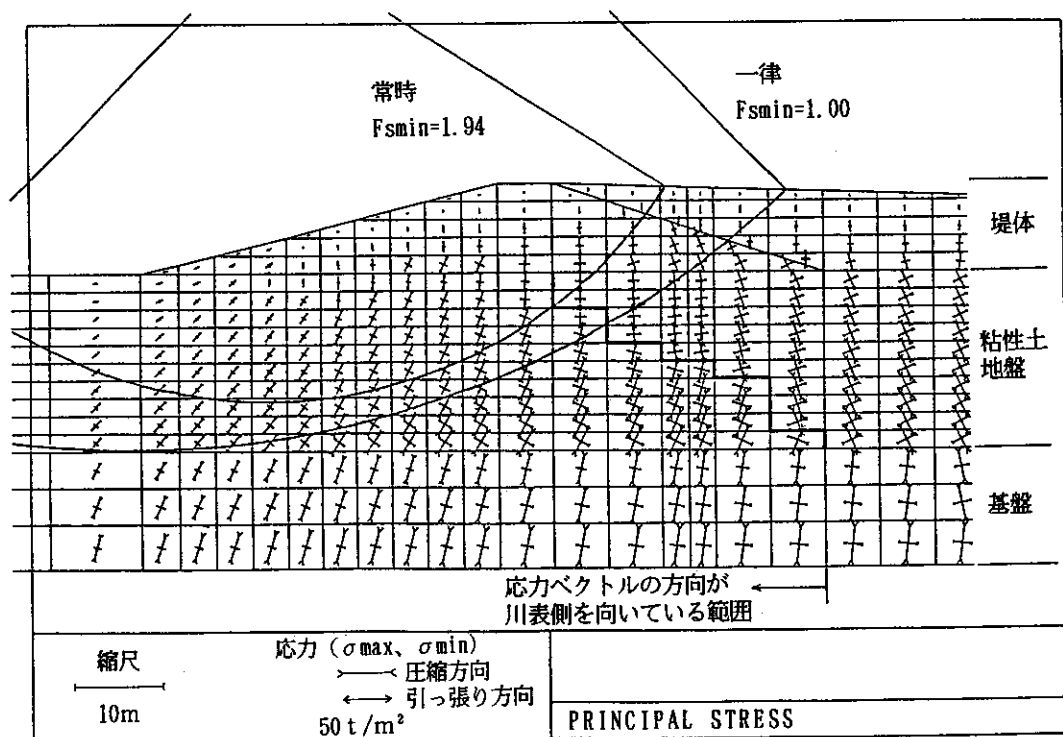


図-3 応力ベクトルの分布

Figure 3 Distribution of Stress Vectors

地点名：標準モデル地区
地震力（スライス重心に作用）
水平震度 $kh=0.15$ （一律）

土質定数

層No.	γ (gf/cm^3)	c (tf/cm^2)	ϕ ($^\circ$)	k ($c=kz$)	$\Delta u/\sigma'c$
1	1.65	5.00	0.0	0.00	0.00
2	1.80	1.00	30.0	0.00	0.00
3	1.45	1.00	0.0	0.15	0.00
4	1.45	3.00	0.0	0.15	0.00
5	1.45	7.00	0.0	0.15	0.00
6	1.45	8.00	0.0	0.15	0.00
7	1.45	7.00	0.0	0.15	0.00
8	1.45	5.00	0.0	0.15	0.00
9	1.45	3.00	0.0	0.15	0.00
10	1.45	1.00	0.0	0.15	0.00
11	2.00	0.00	40.0	0.00	0.00
12	2.00	0.00	0.0	0.00	0.00

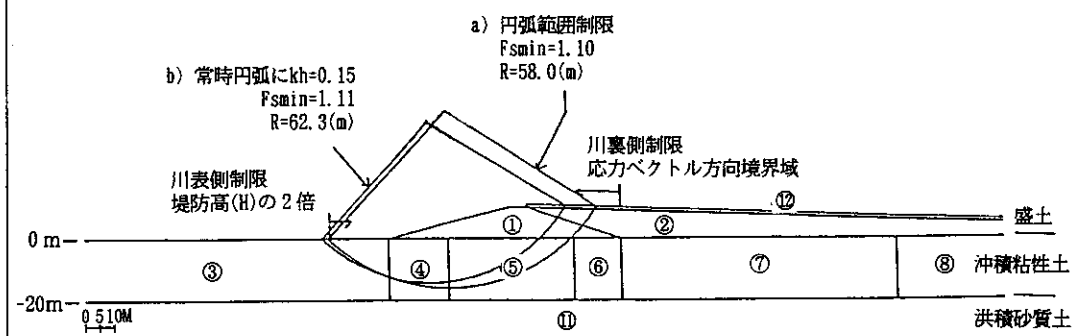


図-4 安定計算実施例 a) 堤防高の2倍及び応力ベクトルの方向で制限
Figure 4 Example of Utilization of Safety Ratio b) 常時円弧に $kh=0.15$ を作用

高規格堤防の地震時安定評価手法そのものに関しても、設計地震動の検討、永久変形解析法の適用性検討等が今後の課題として残されている。

なお、本検討は、「高規格堤防施工法検討委員会」において議論された課題の一つであり、最後になりましたが、山村和也委員長をはじめ関係各位の皆様のご指導、ご助言に深く感謝致します。

(参考文献)

- 1) 石原 吉雄：軟弱粘性土地盤上の盛土における地震時の安定性評価手法に関する研究，リバーフロント研究所報告第6号，1995.
- 2) リバーフロント整備センター：高規格堤防盛土設計・施工指針（案），1995.
- 3) 島津多賀夫・松尾修・田本修一：粘土地盤上の盛土の動的遠心力模型実験，土木学会第

51回年次学術講演会，III，1996，（投稿中）.