

II-146

侵食に対する堤体と河岸の安定に関する解析

建設省中部地方建設局沼津工事事務所

正員 ○ 八尋 裕

京都大学防災研究所 正員 藤田裕一郎

正員 村本嘉雄

1. はしがき: 堤体や河岸の安定は内・外部双方の水による侵食で損われ、洪水時の河道の安全は脅される。このような堤体・河岸の主な侵食形態には、①土中水によるパイピング等の発生、②降雨・浸出水による侵食、③流水による脚部侵食がある。本文では、①の基礎実験を¹⁾対象として行った堤体の安定解析とその結果を述べ、ついで、同様の解析を③の宇治川低水路の河岸斜面に適用してその安定について考察する。

2. パイプ状空洞の進行と堤体の安定解析: 1) 解析対象と方法

堤体の脆弱部が高水圧に接して亀裂となり、内部侵食によってパイプ状空洞として進行したような状況を想定し、高水圧側からパイプ状空洞を堤敷に設置して行った堤体の決壊過程の基礎実験¹⁾の2種の模型堤体について、表-1の条件で空洞の進行が堤体の安定に及ぼす影響を解析した。先端・全面漏水の空洞の先端位置を堤敷9箇所²⁾の10等分点にとり、高水圧側から浸出側法尻に向かって順に1～9までの番号を付け、比較のための無空洞の健全な堤体を先端位置0番とした。まず、四角形要素を用いた有限要素法による堤体内の等方性定常飽和浸透解析を行い、堤体内の流速・ピエゾ水頭分布と浸出流速、浸出流量、浸出点高さを求めた。ついで、簡易Janbu法をDPで定式化したYamagami・Ueta²⁾の方法を適用するために、得られた浸潤面を水頭既知の不透過水面とし、スライス分割線上の探索点を節点として再度浸透解析を行い、間隙水圧を求めて安定解析を実施した。堤体材料が砂であることから、模型堤体の土質定数を、表-1のように、粘着力 c は毛管サクシオンや空気閉塞等による発現のみを考慮して小さな値の範囲で、内部摩擦角 ϕ は通常考えられる比較的広い範囲で与えた。

表-1 堤体安定解析の計算条件

堤体高	0.3 m	0.5 m
天端幅	堤体高に同じ	
法面勾配	2 割	
空洞性状	先端浸透型(0.05m開口) 全面浸透型	
空洞先端位置	堤敷の10等分点 (堤敷上9点及び無空洞)	
外水位	堤体高の90及び95%	
分割要素	四角形要素	
要素分割	341節点 300要素	561節点 500要素
基礎地盤	堤体底部	
スライス分割数	15, 30	25
探索点間隔	スライス分割線上0.025m	
粘着力 c (tf/m ²)	0, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1	
内部摩擦角 ϕ	25, 30, 35, 40°	
単位体積重量 γ	1.8 tf/m ³	

2) 解析結果 透水係数 k と河道水深 H_0 で無次元化した浸透流量 q/kH_0 及び浸出高さ Z_0/H_0 のパイプ位置に対する変化を例示した図-1によって、浸透性状が高い相似性を有し、堤体高、空洞性状、若干の水位の相違が及ぼす影響の小さいことが明らかである。既報¹⁾と同様に、パイプ先端が0～4番の間では、 q/kH_0 や Z_0/H_0 にほとんど変化がないが、6番から増え始め、8番に達すると浸出点高さは大きく上昇し、浸出流量は極度に増加する。

つぎに、最小安全率 F_s の同様の変化を図-2に例示する。 F_s の値は、浸透流解析結果と同じく空洞性状や水位の若干の相違にはあまり影響されず、先端位置に応じて系統的に変化しており、6番を越えると F_s が急激に低下する点

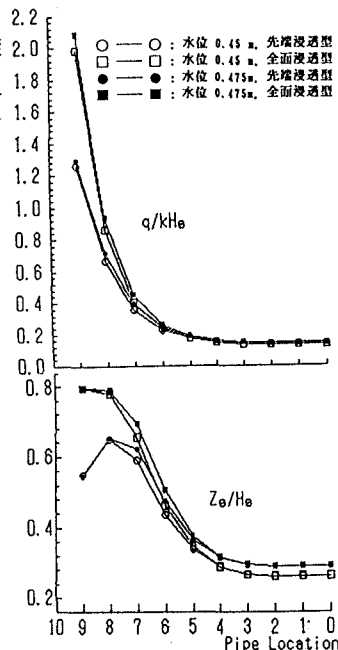


図-1 無次元の浸透流量と浸出高さ

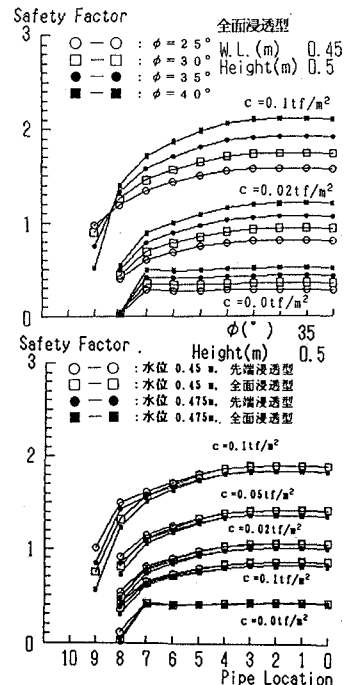


図-2 最小安全率の変化例

も、浸出流量の増加状況とよく対応している。また、 c の僅かの増加に対して著しく堤体は安定となり、小スケールの模型堤体の安定には毛管サクション等による粘着力の発現が大きく影響することが判る。一方、 ϕ の変化に F_s はそれほど影響されず、パイプ先端が8番を越えると、 ϕ の増加が F_s の減少をもたらす場合もある。これらの結果を既実験結果¹⁾と比較すると、 $c = 0$ の場合の臨界すべり面は、図-3のように、先端が0～6番では裏法先付近のみに現れ、8番では先端上部の表層破壊を示すが、 F_s の値が極めて低い後者は噴砂現象に対応し、これは土砂が容易に移動した粗砂の実験に相当すると考えられる。一方、 $c = 0.02 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi = 40^\circ$ の結果は、図-4のように、先端が6番では安定であり、8番では $F_s = 0.7471$ の臨界すべり面が噴砂直後の堤体形状を表しているようであって、これには、先端が裏法肩の位置では若干の侵食のみだが、裏法面中央に達すると急激に不安定となって、速やかに噴砂現象の生じた細砂の実験が対応していよう。

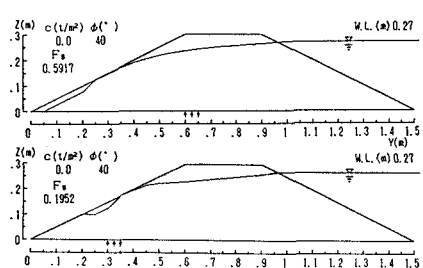


図-3 粘着力のない場合の臨界すべり面

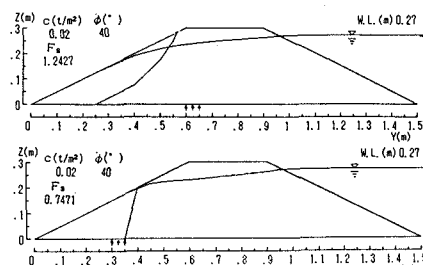


図-4 弱い粘着力の場合の臨界すべり面

3. 宇治川低水路の脚部侵食と河岸安定: 1970年以降側岸侵食が明確になり、その原因として、河岸近傍の河床洗掘が指摘されている³⁾ 淀川水系宇治川43km地点付近の低水路左岸について、侵食の顕著な43.00 Km地点と緩慢な43.25Km地点の1984～1988年の形状を対象として河岸安定を検討した。すなわち、表-2の条件で土質定数を10通りの組合せで変化させ、表-3のa)～c)の設定水位から静水圧を仮定した間隙水圧分布を用いて2.と同様の解析を試みた。その結果、全ての場合で43.00km地点の方が43.25km地点よりも F_s の値が小さく、43.00km地点の左岸近傍の河床洗掘による河岸高の増加が不安定の原因と判断され、それらの値からすべり破壊が生じるのは、c)の洪水直後であると予想される。また、84年の43.00km地点の解析結果から $F_s < 1$ の組合せのうちで臨界すべり面形状が翌年の横断測量形状と最も近いものを探せば、 $c = 1.5 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi = 30^\circ$ であって、そのときの形状は図-5のようである。この組合せに対する臨界すべり面形状はa)の平水時の場合が最も測量結果に近く、結局、a)～c)の間の水位条件ですべりが生じた可能性が高い。一方、43.25km地点では、これと同等の条件では河岸は安定であり、変化の小さい実測結果と一致する。さらに、崩落土塊が残存していない84年のような形状では、臨界すべり面は次年度の斜面形状に良く合うが、河岸脚部に残っていた87年の斜面に対する臨界すべり面は、88年の形状とは大きく異なっており、水流による土砂流送も侵食過程の重要な現象であることが改めて認識される。

表-2 河岸安定解析の計算条件

横断形状	建設省横断測量成果
スライス分割	建設省横断測量測点及び内挿点 分割数17～18
探索点間隔	スライス分割線上 0.5 m
基礎地盤高	OP 0～1 m
γ (tf/m ³)	1.8
c (tf/m ²)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5
ϕ (°)	30, 35

表-3 解析水位の設定条件

河床水位	河岸地下水位	年平均水位	河岸高に同じ
年平均水位	a) 平水時	c) 洪水直後	
河岸高に同じ		b) 洪水時	

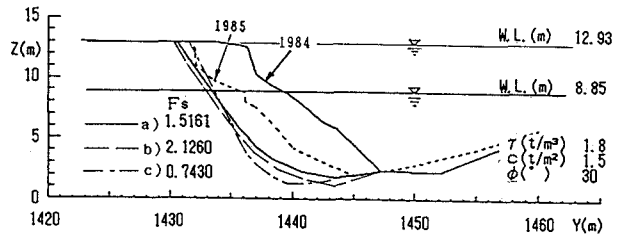


図-5 宇治川43km低水路左岸の臨界すべり面

4. あとがき: ①～③の問題はいずれも徐々に進行していた侵食が洪水時に急激で重大な事態を招く点で共通した側面を有している。今後は、②の問題を含めて同一の観点から考察を加えていく必要がある。

【参考文献】1)藤田・村本・八尋：京大防災研年報,第31号 B-2,1988. 2)Yamagami・Ueta：Journal of Japan Landslide Society, Vol.23, No.4, 1986, pp.8～16. 3)Fujita・Muramoto・Miyasaka：6th APD-IAHR, 1988.