

II-52 急変流に対するk-εモデルの適用性

東北大学大学院 学生員○西田勝幸
東北大学工学部 正員 首藤伸夫

1. はじめに

堤体破壊の原因としては主に、越流、浸透水及び水衝部洗掘等が挙げられるが、なかでも越流を伴った堤防が破堤に至り易い。越流水により堤体には剪断力、圧力等の力が作用する。これらの評価するためには、水理実験及び数値解析を行なう必要がある。しかし、数値解析に関しては現在まで研究例は少ない。堤防を越える流れは自由水面を有し、その水面形状は裏法肩と裏法尻で急変する。そのため急変部では底面剪断力が不連続で、かつ場所的に異なる値を持つため、数値解析上重要な壁面境界条件が不安定となるなど問題が多く残されている。そこで本論文は、このような流れに対して高Reynolds数k-εモデルを用いた場合、このモデルがどの程度の適用性があるかを、水理実験及び層流計算との比較によって考察を行なうものである。計算にはGrid Generation Methodを応用し、境界形状の近似を向上させ、さらに、壁面付近で格子間隔幅を細かく設定する方法を採用した。また、対象とした堤防は裏法勾配1:2、堤防高20cmである。水面形状は実験（越流量 7000 cm^3/s ）から与えた。

2. 計算結果と実験値の比較

(1) 平均流速分布；図-1は堤防上10ヶ所で実験値（丸印）と比較を行なった。断面6までは天端、6から27までは裏法面、27から30までは裏法尻を示す。縦軸には水深（cm）、横軸には壁面に平行な流速 $U(\text{cm/s})$ をとる。法尻付近で実験値の方がやや大きめの値を示しているが、全体的にかなり適合していると言える。壁面近傍の特徴についてみるため、図-2に境界層厚さ（太線）と排除厚さ（細線）に関し、乱流計算（実線）、層流計算（破線）及び実験（○、□）結果の比較を示した。明らかに乱流計算の方が実験値に適合している。境界層厚さは法肩から裏法面中央部まで流下するにしたがって、約0.8cmから1.3cmまで発達するが、その後、法尻にかけて減衰していくことが乱流計算で再現されている。

(2) 渦動粘性係数の分布；乱流計算と層流計算 図-4 Reynolds応力（-：計算値）と摩擦速度（☆：計算値）

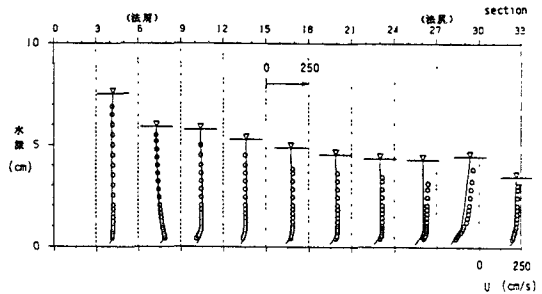


図-1 流速分布（-：計算値，○：実験値）

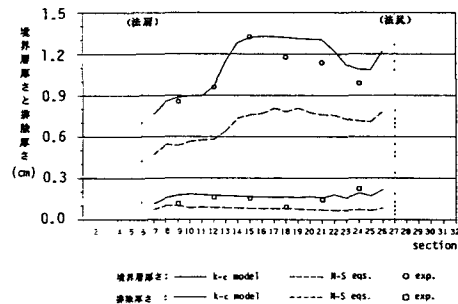


図-2 境界層厚さと排除厚さ

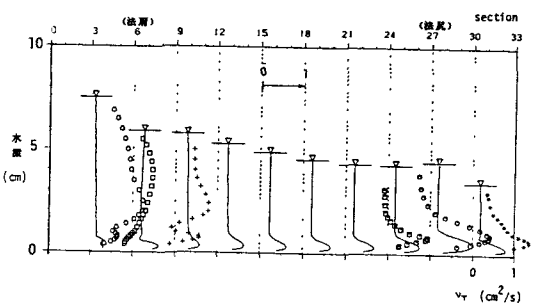
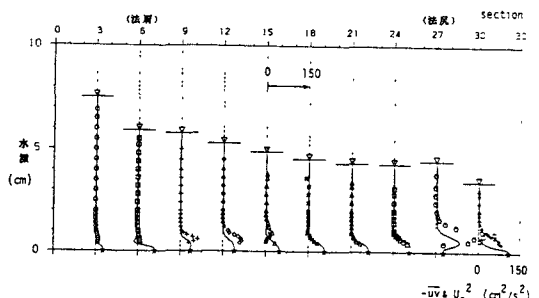


図-3 渦動粘性係数（-：計算値）



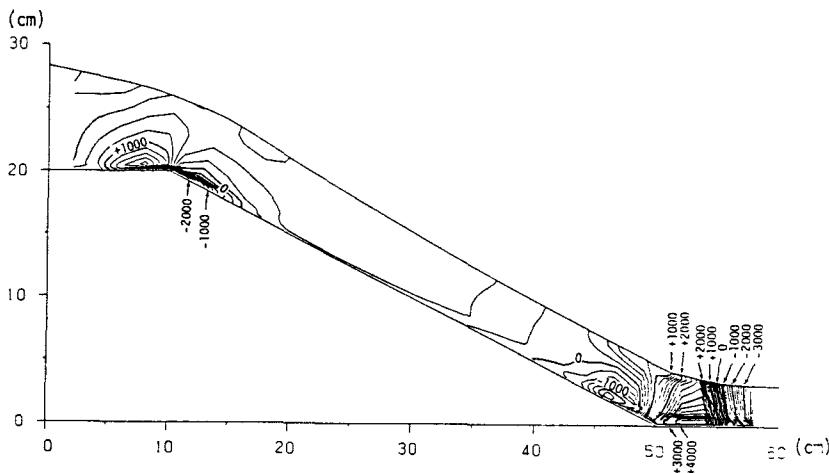


図-5 移流項($\Delta U^2/\Delta x$)の分布

の相違は、渦動粘性係数によることは明らかである。図-3に実線(計算値)で示されるように、渦動粘性係数が $0.3\sim 1.0\text{cm}^2/\text{s}$ と、分子粘性の30-100倍の値が壁面近傍では生じている。これによって生ずる剪断力によって、乱流計算では境界層厚さが大きくなり、実験値と一致する流速分布が得られると考えられる。また、 $-\bar{u}v/(\partial U/\partial y)$ から算出した実験値は法肩付近(断面3-9)で計算値とかなり分布形状が異なり、水深の中間部付近で最大値を持つと言える。

(3) Reynolds応力分布; 図-4に堤防上10ヶ所での実験結果と計算結果(実線)の

Reynolds応力分布の比較を示した。また、底面には摩擦速度(計算値)の2乗($\star$)を示す。 $-\bar{u}v=U_*^2$ となる一様剪断層が形成されていることが分かる。裏法面中間部から下流部(断面18-24)においてReynolds応力が実験値と非常によく一致している。しかし、曲がりの影響を大きく受ける法肩下流(断面9-12)と法尻部下流(27-30)付近では壁面近傍で実験値の方が大きい値を示す。

3. 考察

以上より、法肩や法尻では実験値との一致が見られず、裏法面下流部では一致していると言える。ここで、堤防を越える流れの移流現象の特徴をとらえるために、図-5に移流項($\Delta U^2/\Delta x$)の分布を示した。この図より、法肩では加速流から減速流へ、法尻では減速流から加速流へ遷移する流れであると言える。上述のような問題点が生じる法肩と法尻壁面近傍は、このように急激に変化する場所に一致しており、また、実験値との一致がみられた裏法面では、移流項の変化は小さい場所と言える。また、図-6に、平均流速($+$)とReynolds応力($\square$)の相対誤差を水深方向に平均した平均誤差を示す。前者に関しては誤差は最大でも25%程度であるが、後者は断面18-24を除けば大きな誤差が生じる。すなわち、裏法面下流部(断面18-24)における $\Delta U^2/\Delta x$ が、+400から-1000へと緩やかに減速する場所では、 $k-\epsilon$ モデルは適用性があると考えられる。今後さらに多種の流れについて計算を行ない、実験値と比較する必要があるだろう。

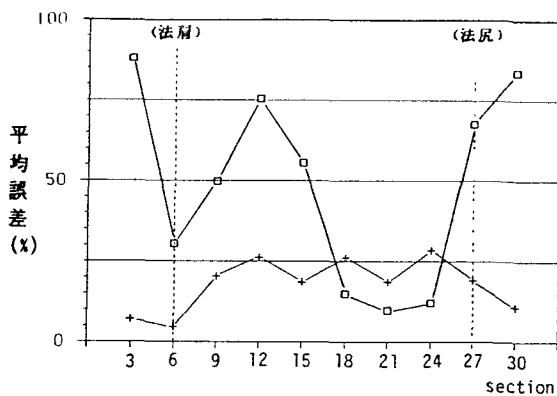


図-6 平均誤差(+:平均流速, $\square$:Reynolds応力)