

II-302

捨石洗掘防止工を設置した橋脚周辺の流れ構造に関する実験的研究

大成建設(株)技術研究所 正会員 大谷英夫 石野和男 勝井秀博

1. はじめに 橋脚周辺の流れは、橋脚前面をとりまく馬蹄型渦、橋脚前方付近に生ずる下降流、橋脚後流域の剥離渦に特徴付けられる。橋脚のまわりに捨石洗掘防止工のように比較的疎な浸透層が施工される場合、主流の浸透層への潜り込みの効果などによってこれらの主流の流れが変化することが予想される。また、捨石洗掘防止工の安定性、橋脚の健全性を検討するうえでは主流によって誘起される浸透流速を見積もることが必要となる。本研究では、捨石洗掘防止工を設置した橋脚周辺の主流と浸透流の流れ構造を実験によって把握した。

2. 実験装置および方法 実験は長さ12m、幅1mの可変勾配型鋼製水路に直径 $D=16.5$ cmの透明アクリル製円柱を設置し、水路上流端より8mにわたり浸透層として砂利を敷き詰めて行った。流速は円柱内側からプローブ型レーザー流速計をもちいて測定した。同時にサーボ式水位計を円柱のまわりに設置し水位変動を測定した。各ケースとも等流をつくり主流の水深 h_0 、流量 Q_0 、断面平均流速 U_0 、摩擦速度 u_*0 を設定した。用いた砂利は中央粒径 $d_m=1.7$ cm、非線形抵抗係数 $c=0.442$ 、透水係数 $K=1.0267 \times 10^{-3}$ cm²、空隙率 $\lambda=0.39$ である。実験条件を表-1に示す。なお、座標系は円柱の上流端を原点として下流に向かって接線方向に θ 、捨石頂部を原点として鉛直上向きに z 軸とした。また、浸透流には沿え字 s をつけた。

3. 平均流速分布 図-1は U_0 で無次元化した円柱側壁の平均流速 u_θ 、 u_z の鉛直分布である。 h は水深、 d_p は1層厚($=d_m$)である。円柱前面 $\theta=0^\circ$: u_z はどのケースも0.2 h 付近に $-0.6U_0$ 程度の最大値をもつ分布となっている。これは渦の外縁流速とみなされる。層厚が増大すると、円柱前面で浸透層に潜り込む流量が増大し主流の圧力勾配が緩和され、渦強度が低減することが予想されるが、本実験ではこのような渦強度の低減は確認されず、層厚が増大しても u_z はほぼ同様な分布形を示している。浸透層内の下降流 u_{zs} は1層を通過してもなお0.2~0.4 U_0 程度の流速が測定された。 $\theta=45^\circ$: u_z の分布形には、河床付近に馬蹄型渦の存在を示す最大値をもつ分布が見られる。その馬蹄型渦の浸透層への潜り込みのために、

表-1 実験条件表

case	Q_0 (l/s)	h (cm)	U_0 (cm/s)	h_0 (cm)	Fr	Re	D/h_0	layer	u_*0
1-1	55.00	1/1400	33.43	16.45	0.263	55167	1.003	1	3.23
1-2	55.67	1/1400	33.62	16.56	0.264	55468	0.996	2	3.25
1-3	59.17	1/1400	35.86	16.50	0.282	59170	1.000	3	3.23
2-3	132.50	1/1400	49.39	26.83	0.305	81485	0.815	3	3.97
3-3	19.67	1/1400	23.73	8.29	0.263	39150	1.990	3	2.34
4-3	92.08	1/600	55.74	16.52	0.438	91969	0.992	3	4.92

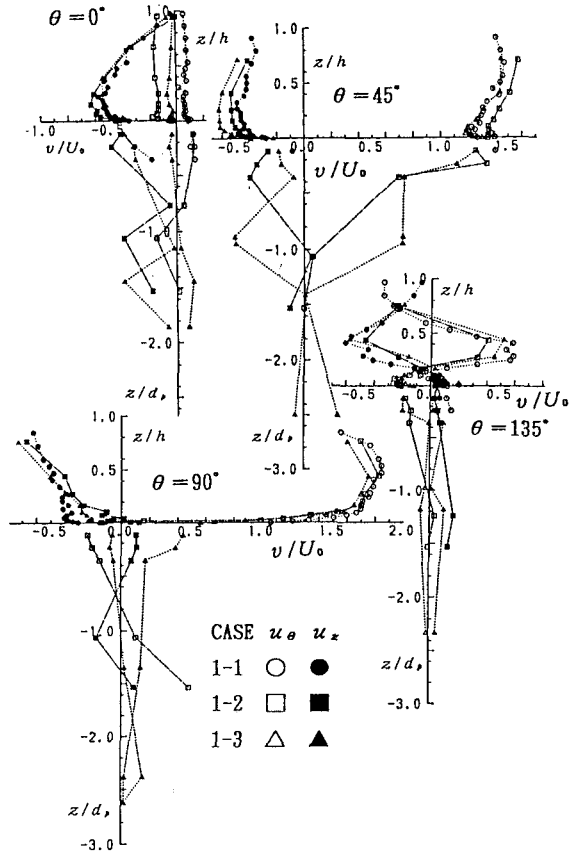


図-1 平均流速分布

u_θ の分布形は一様化されている。そして捨石頂部の u_θ (以下 u_{slip} と呼ぶ)は $1 \sim 1.3U_0$ に達している。浸透層内の流速 u_{es} は, case1-3では $z/d_p=-1$ において $0.7U_0$ 程度の値を示すものの他のケースでは $z/d_p=-1$ より下層で $0.2U_0$ 程度に低減されている。円柱側面 $\theta=90^\circ$: u_θ は $z/h=0.5$ 付近で $1.7 \sim 1.9U_0$ に達し円柱まわりで最も大きな値となっている。 u_z は水面付近から単調に減衰し, $z=0$ ではほぼ0となる。 u_{es} は, $z/d_p=-1$ より下層ではほぼ一様化され, u_{zs} は $z/d_p=-1.5$ より下層では正に変わる。円柱背面 $\theta=135^\circ$: u_θ は捨石頂部付近、水面付近で逆流域を示す。 u_z には $z=0$ で $0.1U_0$ 程度の湧き出しがみられ、浸透流は上昇流となっている。 $\theta=90^\circ$ の流速分布では捨石頂部と水面付近で u_θ が急激に減衰しており、さらにこの $\theta=135^\circ$ の流速分布を考慮すると、円柱側面における主流の剥離は捨石頂部付近と水面付近から発生し始めることが示唆される。

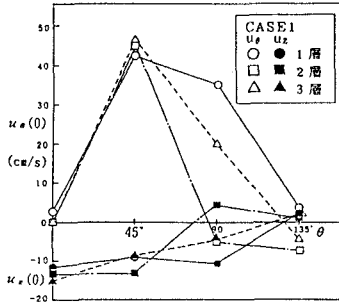


図-2 slip速度と流出入流速の変化

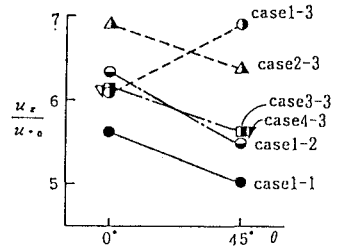


図-3 馬蹄型渦の外縁流速の変化

4. slip速度及び流出入流速 図-2に u_{slip} と $z=0$ での u_z の θ 方向への変化を示す。 u_{slip} は $\theta=45^\circ$ で最も大きくなる。 u_z が橋脚前面で大きな値を示し、また図-1より主流の u_θ の最大値が $\theta=45^\circ$ で現れないことを考慮すると浸透層内に潜り込む下降流 u_z は u_{slip} の値に大きな影響を及ぼしているといえる。

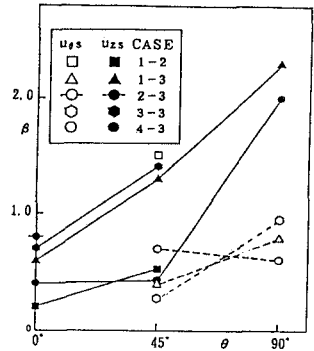


図-4 減衰定数βの変化

5. 馬蹄型渦の潜り込みと浸透流速分布の変化 図-3は渦の外縁流速と見なされる $z/h=0.2$ における u_z/u_0 の θ 方向の変化を示す。層厚が大きくなるにしたがいその値は大きくなり、 θ が大きくなるとその値は低下している。また、浸透層内の流速分布を $u_s(z)/u(0) = \exp(\beta z)$ で近似して、その減衰定数 β の θ 方向の変化を図-4に示した。 θ が大きくなるにしたがい β は増加している。以上から渦による下降流と浸透層内の流速分布には相関がみられ、このような3次元の流れ場では、主流の u_θ によるクエット流的な流れよりも、主流の下降流 u_z が潜り込んで浸透流場が形成されていることが示唆される。

6. 流速変動特性 流速変動特性は、円柱背後の剥離渦に起因する水面変動に相関があるものと考え、同時に測定された水面変動と共にそのスペクトルを比較した。図-5によれば円柱前面の水面変動のピークは 0.7Hz 付近に見られ、流速変動のピークと主流では一致する。しかし、浸透層内下層ではそのピークはばやけてくる。

7. まとめ 浸透層厚の増大は、馬蹄型渦の円柱側壁の下降流強度を強める。また、浸透流場は下降流の影響を大きく受けることがわかった。今後は透水係数等の防止工材料特性が浸透流場へ与える影響について検討して行きたい。

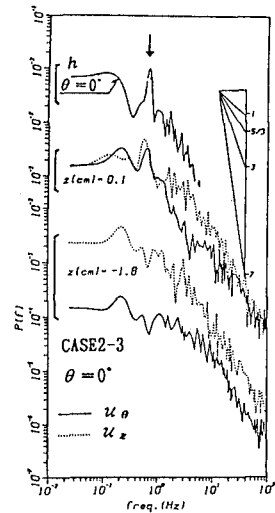


図-5 スペクトル