

II-198

杭による2段円柱周辺流の変化と洗掘軽減効果

パシフィックC 正会員○松井 弘
 株式会社白石 " 藤田 宏一
 " " 小田 章治
 宇都宮大学工学部 " 須賀 堯三

1. はじめに 本報は、2段円柱を研究対象として既研究の結果を参考にしつつ実験を基に次に示す項目を中心に考察を行なったものである。①橋脚周辺流の内、橋脚前面の洗掘の主要因と言われている馬蹄型渦に着目して、トレーサーを用いた固定床実験により2段円柱の馬蹄型渦を形成する接近流の範囲及び渦の構成に寄与する率を一樣断面円柱の場合との比較により検討を行なう。また、フーチング前面に局所洗掘の軽減を目的とする杭（洗掘軽減杭）を設置したときのこれらの変化を調べる。②移動床実験により2段円柱の洗掘特性を一樣円柱の場合との比較を行なう。また、洗掘軽減杭を設置したときの洗掘軽減効果を調べ、その理由を固定床実験結果を基に考察を行なう。

2. 実験概要 (1)固定床実験 トレーサーは、ベンゼンとヘキサンを比重1となるように混合・着色したものをを用いる。この混合液は、水に不溶性の為に水中では粒状となる。この液を円柱上流より細管を通して流し、馬蹄型渦に巻き込まれる様子をビデオ撮影を行なう。(2)移動床実験 平均粒径 $d_m = 1.2\text{mm}$ の一樣砂を用い、clear-water 状態で洗掘実験を行なった。通水時間は、最終洗掘深の約70%程度の洗掘が現われ洗掘速度が比較的小さくなる30分とする。このときの橋脚前面の洗掘深を測定し各ケースの比較を行なう。

3. 杭による2段円柱周辺流の変化 2段円柱に発生する馬蹄型渦は、図1-a に示すようにフーチング前面に発生するもの(V_F)と上部円柱前面でフーチングの天端に発生するもの(V_p)の2つである。 V_F , V_p に巻き込まれる水深方向の流れの頻度を渦

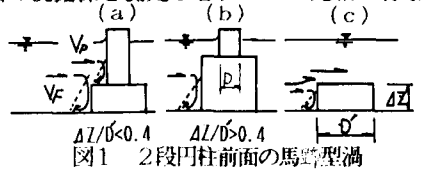


図1 2段円柱前面の馬蹄型渦

の形成に最も関係する流れの対称軸上で調べると図2となる。これより、 V_F に巻き込まれる流れの頻度、つまり V_F を構成する流れは、水路底面付近($Z_t/\Delta Z \approx 0$ ここに Z_t :トレーサーを流す水路底面からの高さ)が最も多く水面に向うに従って減少する。また、 V_p に巻き込まれる流れの頻度は、フーチング天端付近($Z_t/\Delta Z \approx 1$)の流れが最も多く水面に近くなるに従って減少している。一方フーチング前面に杭を設置すると V_F , V_p に巻き込まれる

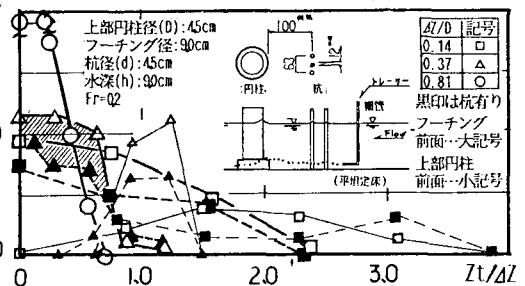


図2 馬蹄型渦に巻き込まれる流れの変化

流れの頻度が小さく、馬蹄型渦が弱くなるのがわかる。この理由は、橋脚前面に発生する馬蹄型渦は、接近流の流速分布に起因する流れの渦度が橋脚前面で集積したものといわれているが、橋脚前面に杭を設置すると、図3に示すように、杭の後流による ①流速分布の一樣化 ②平均流速の低減が図られるために主に①の効果により水路底面に近い所ほど V_F に巻き込まれる流れの頻度が大きく減少しており(図2 中斜線部分)また、 V_p に巻き込まれる流れの頻度は、杭による

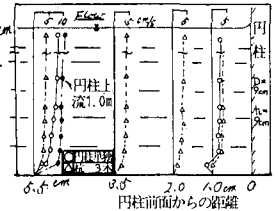


図3 杭による流速分布の変化

主に②の効果により水深方向に一樣に減少していることがわかる。2段円柱周辺の洗掘に直接関係すると考えられる V_F のフーチング前面での高さを渦に巻き込まれる流れの範囲より調べると図4となる。これによると水路底面からのフーチング高さ(ΔZ)とその直径(D')の比が $\Delta Z/D' < 0.4$ では、 V_F の高さは ΔZ より大きく ΔZ より上の流れが V_F に巻き込まれておりました、 $\Delta Z/D' > 0.4$ では、 V_F の高さは ΔZ より小さい事がわかる。この様子を模式的に示すと図1-a, bとなる。つまり、

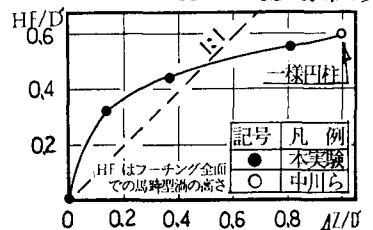


図4 フーチング前面での V_F の高さ

①上部円柱があり $\Delta Z/D' < 0.4$ の場合には、 V_p の逆流域が壁と同様の働きをしフーチング前面には、 ΔZ より高さの大きな馬蹄型渦 V_F が発生する。②上部円柱があり $\Delta Z/D' > 0.4$ の場合には、上部円柱及びフーチングの上部の位置では、接近流がほぼ一様な為に V_p の規模は小さい。

4. 杭による2段円柱周辺の洗掘軽減効果 2段円柱の洗掘特性は、① $\Delta Z < 0$: フーチング天端が河床下にある状態では、通水直後は一様円柱と同じ状態にあるので V_p により上部円柱周辺が洗掘を受け、それがフーチング天端に達すると最大洗掘深はフーチング天端で止まった状態で V_p と円柱周辺の掃流力により洗掘孔が拡大される。フーチング天端の先端にまで洗掘孔が拡大しフーチングの一部が流れにさらされると V_F が発生しさらに洗掘が進行していく。② $Z > 0$: 洗掘開始においてフーチングが河床より突出している状態では、一様円柱と同様な洗掘特性を示す。いずれの場合においても局所洗掘は、橋脚の前面から側面にかけて生ずるが最大洗掘深は一様円柱と同様に円柱前面に生じる。本報では、この最大洗掘深に着目してフーチングの高さの変化と洗掘深の関係の特性把握を行なう。図5に ΔZ と30分最大洗掘深関係を示す。これによると、 ΔZ が大きくなると V_F の規模が大きくなる為に洗掘深もそれに従い大きくなるが、グラフの勾配を見ると $\Delta Z/D' < 0.4$ までが他に比べ洗掘深の増加率が大きいことがわかる。この理由は図4より $\Delta Z/D' < 0.4$ までは、 ΔZ より V_F の規模が大きくなると考えられる。次に、上部円柱を設けずフーチングのみを対象にして洗掘実験を行なった結果

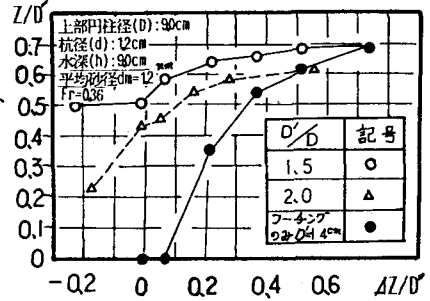


図5 フーチングの高さと洗掘深

と2段円柱の洗掘深との比較を行なう。同一 $\Delta Z/D'$ で比べるとフーチングのみの洗掘深は、2段円柱のそれより小さく、また $\Delta Z/D'$ が大きくなるに従って洗掘に与える上部円柱の影響が小さくなる為に洗掘深の差は縮まる。フーチングの有無による V_F の発生状況を模式図(図1-c)に示すと、上部円柱がないフーチングのみの場合の流れは、フーチング上面の早い流れに引っ張られフーチング前面での渦度の集積が小さく、従って V_F が弱く2段円柱に比べ洗掘深も減少すると考えられる。従って2段円柱の洗掘には、渦度の集積に係わる D/D' の比が影響する事がわかる。2段円柱のフーチング前面に洗掘軽減杭を設置した場合の洗掘軽減効果を図6に示す。杭を設置しても、 $\Delta Z/D'$ 及び杭長(l)により洗掘軽減効果は異なるが、 $l = h$ (水深)の場合には、約20%の洗掘軽減効果が現われる。また、各 ΔZ により最も効果的な杭長をグラフの変曲点として求めると $l \approx 2 \cdot \Delta Z$ となる。この l は、図2より V_F 形成する流れが水路床より $2 \cdot \Delta Z$ 以下ということと一致している。

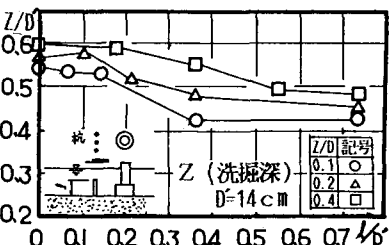


図6 杭による2段円柱の洗掘軽減効果

5. まとめ ①2段円柱には、2つの馬蹄型渦が発生し、その内 V_F のフーチング前面での規模は、 $\Delta Z/D' < 0.4$ ではフーチング高さ ΔZ より大きく、 $\Delta Z/D' > 0.4$ では ΔZ より小さい。② V_F の形成には、水路底面付近の流れが最も寄与し、また杭を設置すると流速分布の変形により V_F が低減する。③局所洗掘深は ΔZ が多くなると漸増する。また、杭を設置すると局所洗掘は軽減し、 $l = 2 \cdot \Delta Z$ が最適である。④フーチング回りの洗掘には上部円柱も影響を与える。従って、解析的に洗掘深を予測する場合には、上部円柱に当る流れと下部円柱に当る流れを別々にはあつかえない。

今後は、洗掘の進行に伴ない刻々変化する橋脚周辺の流れ及び杭とコンクリートブロックを組合せた洗掘軽減工法に関する研究を課題としたい。

参考文献 1)今本, 大年: 2段円柱橋脚周辺の水理特性に関する研究, 第29回水理講演会論文集, PP 585~578 2)宇民: 橋脚周辺の流れの機構と洗掘防止工法に関する研究, 学位論文, 1975年5月 3)須賀, 松井: 円柱周辺流の大規模乱れに与える杭の効果, 第30回水理講演会論文集, PP 679~684 4)中川, 鈴木: 橋脚による局所洗掘深の予測に関する研究, 京大防災研究所年報第17号B, PP 1~27