

# 越流に伴うジェット流による防波堤背後地盤の洗掘に関する基礎的研究

越流 洗掘 過剰間隙水圧

名古屋工業大学

学○今瀬達也 国 前田健一

学 伊藤嘉 学 久泉友二

東洋建設(株) 技術研究所

国 三宅達夫 国 鶴ヶ崎和博

国 宮本順司 正 角田紘子

## 1. はじめに

東日本大震災における防波堤の津波被害に着目すると、その被害規模が岸壁等の係留施設や防潮堤の被害規模および背後地域への浸水に大いに影響していることがわかる。そのため、津波による外郭施設（例えば、防波堤）の破壊メカニズムを解明することが急務である。東日本大震災における防波堤の津波被害状況は、越流洗掘型・津波波力型・堤頭部洗掘型・引波水位差型に大きく分類され、特に支持地盤の洗掘に伴う被害が大きくクローズアップされている。特に、新たな課題である越流洗掘型に着目すると、八戸港八太郎防波堤では、防波堤を越流した津波に伴い、防波堤背後等では約 10m の深さに渡り洗掘が発生した。このような洗掘現象については、現在のところ、地盤表面を移動する流体速度と土粒子の重量、浮力等のつり合いから判定する掃流力による検討が一般的である。しかし、近年の著者らの研究<sup>2)</sup>によると、地盤表面に流体力が載荷した際、地盤内部に過剰間隙水圧が発生し、地盤表層に液状化（流動化）層が発生することがわかってきている。ただし、これまでの検討では小型の移動床水路実験を用いており、応力レベルが非常に小さく、計測精度に関する問題があった。

そこで本研究では、越流に伴う比較的速い流れ（本稿では、ジェット流）による地盤洗掘について、新たな実験装置を開発し、応力レベルを大きくした上で、これまで河川・海岸工学分野で検討されてきた掃流力の概念と、それに加えた地盤内部の間隙水圧の変化に着目し、洗掘形状と地盤強度の観点からみた洗掘メカニズムの解明を試みた。

## 2. ジェット流による地盤洗掘実験

### 2.1 実験の概要

実験装置の概略図を図-1 に示す。また、同図内に地盤内に設置した間隙水圧計の設置位置を示している。本実験では、半円筒の実験土槽を用いて地盤を作製し、土槽上面に設置した半円筒のノズル管より水をポンプアップしてジェット流（流入速度  $V = 2.06 \text{ m/s}$ ）を発生させ、地盤洗掘を観察する。地盤材料は豊浦砂を用い、水中落下法により相対密度  $D_r = 40\%$  で堆積させた。間隙水圧計は SSK 製（径 8mm）を用い、洗掘現象を可視化するため、高速度

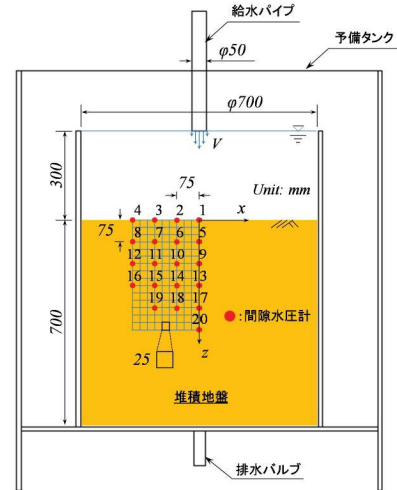


図-1 実験装置の概略図と間隙水圧計の設置位置

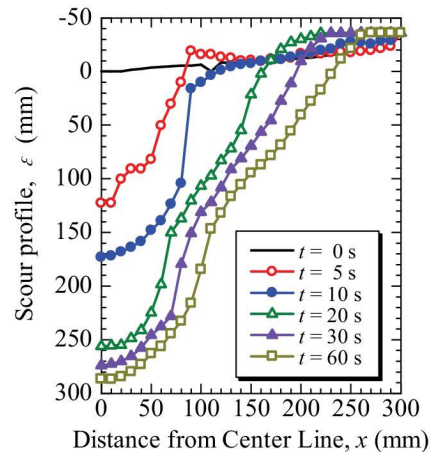


図-2 洗掘形状の変化

カメラとビデオカメラを用いて撮影した。

### 2.2 実験結果と考察

#### a) 洗掘形状

図-2 に装置中央から半断面の洗掘形状の時刻変化を示す。時刻  $t = 20 \text{ s}$  までは、 $x = 0$  から  $x = 50 \text{ mm}$  を中心として比較的速い速度で洗掘することがわかる。その後は、ジェット流の流入速度が一定であることから、最大洗掘深は

ほぼ変化せず、洗掘幅が少しずつ拡大する。この変化は60 s以降、収束する傾向を示した。この洗掘形状について、Yeh et al.<sup>3)</sup>が提案している洗掘形状の算定式をもとに、算定式と実測値を比較した(図-3)。グラフに示す記号は図-3右に記載している。本実験結果は、洗掘形状に大凡収束が見られた時刻  $t = 60$  s の形状を用いている。比較した結果、最大洗掘形状については、提案されている式から大凡想定できることがわかった。

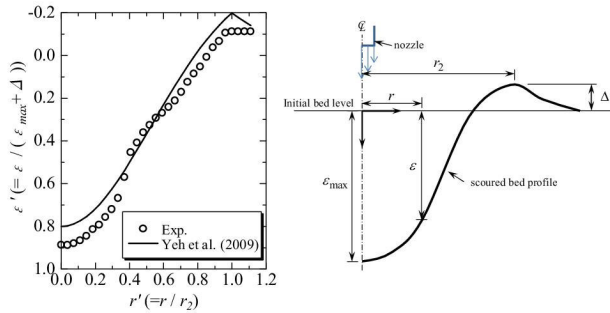


図-3 最大洗掘形状における算定式と実測値の比較

b) ジェット流作用時の地盤内間隙水圧の変化

地盤内部の間隙水圧変化について考察する。紙面の都合上、図-4には断面中央に設置した間隙水圧計(CH1, CH9, CH17)の計測値より求めた過剰間隙水圧を示す。同図の各グラフ内の赤色点線は洗掘の進行に伴い、間隙水圧計が地盤内から露出した時刻を示している。まず、観測された水圧の妥当性を確認するため、石川<sup>4)</sup>による動水圧の理論式を用いて、CH9の間隙水圧計が露出した時刻に計測された水圧と比較した(図-4(b)内に図示)。その結果、理論値と実測値はほぼ同等(≒1200Pa)であることが確認することができた。この結果を踏まえると、計測器が露出する以前では、石川らの理論式で求められる動水圧以上の水圧が地盤内部に発生していることがわかる。さらには、地盤が深くなるにつれて過剰間隙水圧の値が大きくなる傾向を捉えた。そこで、次に地盤内部の過剰間隙水圧の影響を考察するため、1次元の土被り圧を求め、計測した間隙水圧と、その差し引きより求めた有効土被り圧の経時変化を考えた(図-5)。その結果、間隙水圧計が露出する時刻以前に有効土被り圧がゼロとなり、液化化層：約土粒子375個分(=土被り深さ/平均粒径  $D_{50}=0.17$ mm)が発生していることがわかった。

3. 結言

越流による洗掘を模擬したジェット流による洗掘について、豊浦砂を用いた実験を実施した。その結果、最大洗掘形状は従来の知見を用いて示すことができることがわかった。しかしながら、地盤内部には過剰間隙水圧が発生し、洗掘面下では剛性を失い、形状があるにもかかわらず液化化状態となることがわかった。

謝辞：本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)23360203 および特別研究員奨励費(24・9200)の助

成を受けたものであり、ここに記して謝意を表す。

参考文献：1) 第3回東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会：資料-3。2) 今瀬他(2012)：土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.836-840。3) Yeh, P.-H et al. (2009): *Ocean Eng.*, 36, pp. 248-255。4) 石川(1982)：土木学会論文報告集, 第327号, pp. 99-105。

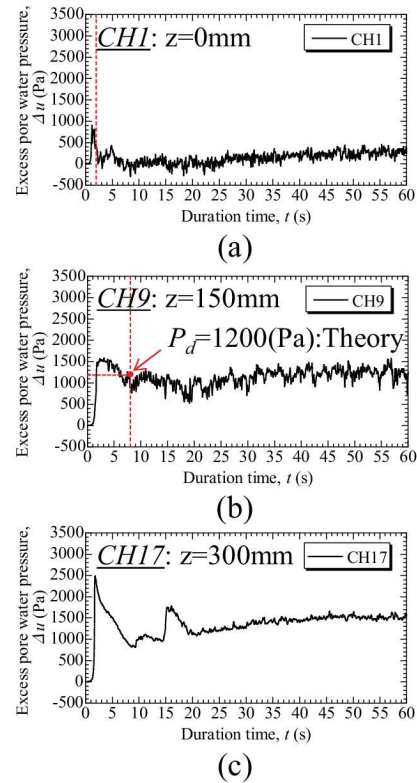


図-4 ジェット流作用時の地盤内部の過剰間隙水圧変化：(a), CH1; (b), CH9; (c), CH17

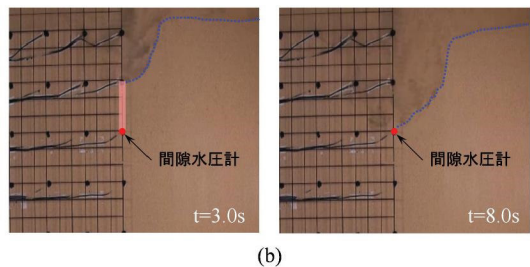
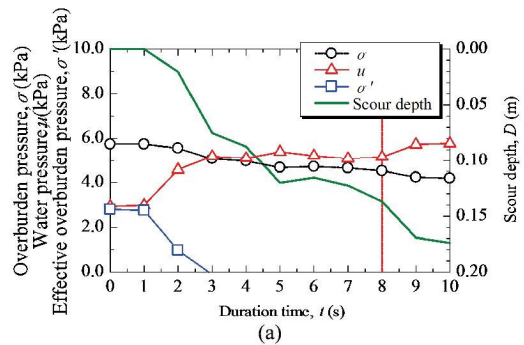


図-5 (a): 土被り圧・有効土被り圧・間隙水圧の時刻歴と(b): 有効土被り圧がゼロとなった際  $t = 3$  s の洗掘状態(左)と間隙水圧計が露出した際  $t = 8$  s の洗掘状態