

九州大学 正員 小坪 清真
 同 同 松尾 弘道
 同 同 〇島野 清

1. はじめ

運輸省才4港湾建設局博多港工事事務所では、博多港を内外貿易センターとすべく填海埠頭を計画して、昭和38年用地造成を完了し、岸壁の建設を9年より着工した。この工事の初期に於いて、10m岸壁で55cmの掘管杭を基礎として打込んだ時、護岸背後に長さ10mに亘ってクラックが生じた。そこで筆者等は、この原因を2つ仮定してみた。一つは、杭打ら時に於ける振動が付近の工砂の内部摩擦角を減少させ、抵抗力が減り円弧逸りを生じたのではないか。他の一つは、同様に内部摩擦角の減少のために主動土圧が増大した事と護岸下の支持力低下のために、護岸が傾いたのではないかという事である。そこでこの仮定に沿って2つの実験を行い、その結果から、10m岸壁の安定計算(円弧逸り、支持力)をやって、このクラックが生じた原因、及び今後の対策について考察しようとしたのである。

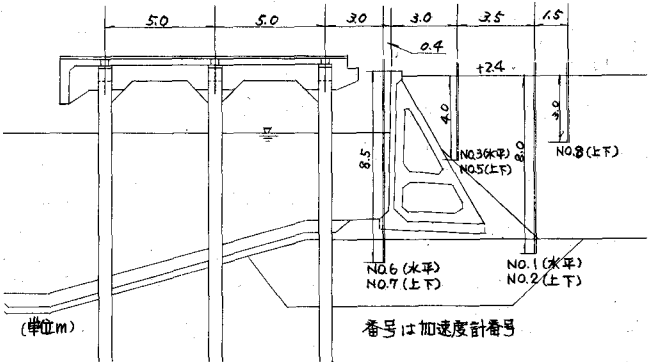
須崎7.5m岸壁 杭と加速度計の位置 図-1

2. 現場に於ける杭打ら時の

加速度測定実験

(1) 概要

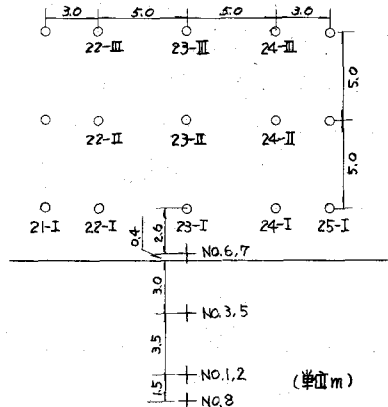
この実験は杭打ら時に護岸の背後の土砂中に、どの程度の加速度があるか調べたものである。但しすでに10m岸壁の工事は終わっていたために、ここを地形的に類似している7.5m岸壁で実験を行い、この結果を10m岸壁に当てはめた。まず現場の(図-1)の位置に塩化ビニール管の中にドージ式加速度計を据えこんだものを置き、杭先深度(岸壁の頂端から杭先までの距離)約13m 28.5mまで、杭先深度1m増すごとに3回づつ記録し、この平均を使用した。



(2) 結果と考察

ストコーダの記録には、最初に平均周期 $T_1 = 0.0028 \text{ sec}$ 次に $T_2 = 0.028 \text{ sec}$ なる2種類の加速度が現われている。前者が水の衝撃、後者が土の振動によるものと思われる。整理の仕方としては、杭23の方向に加速度計が向いているので他の杭に現われる加速度には角度の補正を行い、又杭と加速度計の距離は異なるが、バウツキがあるため距離の補正は行っていない。

杭と加速度計の位置 図-2



(表-1) は
各杭の現われ
た最大加速度
の大きさを、
種類、方向別
に表わしたも
のである。

各杭ごとの最大加速度 (gal)

表-1

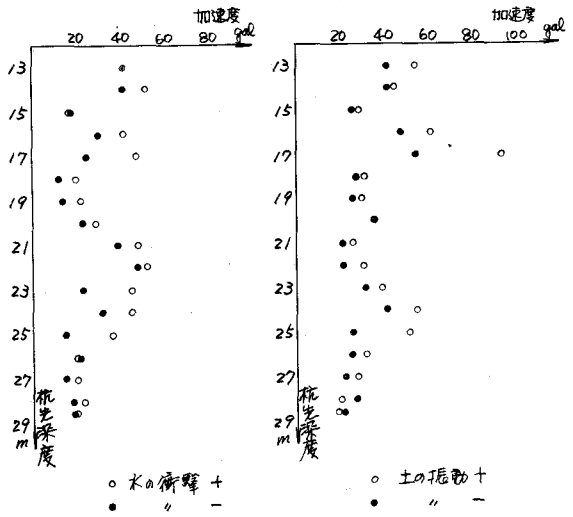
方向	水の衝撃						土の振動					
	水平			上下			水平			上下		
	杭番号	加速度	加減距離	水平距離	加速度	加減距離	水平距離	加速度	加減距離	水平距離	加速度	加減距離
21-I	60.7	6	8.1	128.4	7	8.1	24.3	6	8.1	30.6	7	8.1
22-II	36.6	3	12.1	83.6	7	9.1	20.4	6	9.1	24.2	7	9.1
23-I	124.2	3	6.0	324.0	7	2.6	49.0	3	6.0	133.0	7	2.6
23-II	39.2	3	11.0	84.6	7	2.6	30.7	6	2.6	29.4	7	2.6
24-I	69.8	6	5.6	130.0	7	5.6	24.7	6	5.6	55.2	7	5.6
25-I	48.3	6	8.1	93.0	7	8.1	93.8	6	8.1	29.0	7	8.1

図-3 は、1例

として、水平方向最大加速度(土の振動の中での)の現われた杭25-Iの杭先深度と加速度の関係を示したグラフである。

杭番号 25-I 杭先深度と加速度の関係

図-3



3. 振動による乾燥土の内部摩擦角変化に関する実験

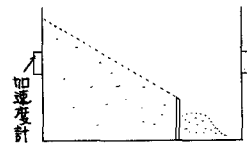
(1) 概要

正弦波振動による加速度によって、土の内部摩擦角がどのように変化するかを調べるため、周波数、振幅を自由に変える事の出来る振動台に図-4のような鋼鉄製の箱をのせ、一定の加速度を加えた時にその斜面が安定時の角度を測る事により求めた。

試料の土として、粒径による相違を調べるため次の3種を行った。

- (i) 粒径 0.59mm, 1.19mm の砂
 - (ii) 粒径 0.075mm, 0.59mm の砂
 - (iii) 現場の土
- 現場の土の粒度分布は表-2の通りである。含水比は3種とも0.5%以下で乾燥土とみられてよい。又、(i)(ii)は砂であるから粘着力 $c=0$ であり、現場の土も表-2のように粘土成分が少ない。そこでこの実験を求めた。安息角は内部摩擦角に等しいとみられたのである。

図-4



次に加速度を斜面方向に加えた場合は、土粒子に慣性力の影響を及ぼすと考えられるので、次の3方向別に実験を行った。

- (a) 水平方向 (i) 斜面傾斜方向 (ii) 上下方向
- (b) 斜面傾斜直角方向

現場の土の粒度分布 表-2

フィル (mm)	平均残留率 (%)	加積残留率 (%)
2.000	23.6	26.4
0.840	30.8	45.6
0.420	23.5	22.1
0.250	9.0	13.1
0.105	8.6	4.5
0.075	1.2	3.3
通過	3.3	

均等係数 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}} = 8.1$

回転数は 300, 600, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 rpm 加速度の大きさは、約 0~600 gal の範囲で行った。

(2) 本実験と現場実験の状況の違い

(i) 実験上の制約から、本来飽和土でやるべきところを、乾燥土で実験を行ったため、粘着力、間隙水圧の影響が無視された。

(ii) 土の空隙比の相違

この実験は、現場の土に比べて空隙比が大きい。

(iii) 土粒子に加わる外力の相違

杭打ち時に於ける加速度が衝撃的なのであるのに対して、この実験では正弦波外力を用いた。

(iv) この実験は地表面に於ける現象で自由面を有する事から、現場の内部の土粒子の状況と一致するとは限らない。

以上の不備な点は、今後一つ一つ克服せねばならない問題がある。

(3) 結果と考察

50gal以上になると流動化して、確率性に又けと同じ加速度でも回転数が大きくなる程、安息角の減少が大きく、特に上下方向の場合が著しい。

これは周壁の摩擦による影響が大きいものと思われる。斜面方向、斜面直前方向とも安息角の変化はほぼ一致し、又材料の(a)(b)による違いも、あまり認められなかった。(図-5)は現場の土の3000rpmの場合の安息角と加速度の関係である。

4. 護岸の安定計算

(1) 円弧切り計算

円弧切りの計算は分割法に於て(但し、空隙水圧、粘着力を無視した場合で行った)護岸下の砂、背後の捨てる等の内部摩擦角が、分りぬため、僅に問題はあると思われるが、博多港工事事務所で使用した値を静的な状態に於ける内部摩擦角として用いた。(図-6参照) 単位中当りのフーチン上部の重量は浮力を考え26.28%、土の単位体積重量は18%を計算した結果が図-6である。安全率最小の臨界円は大体半径11.14m程度であった。

円弧切りを生じるとすれば、測点(5)を中心に半径13mの円弧を描いて起す事が分る。

$$\text{測点(5)の安全率は } F_s = \frac{\sum N \tan \phi}{\sum T} = \frac{59.81}{57.79} = 1.034$$

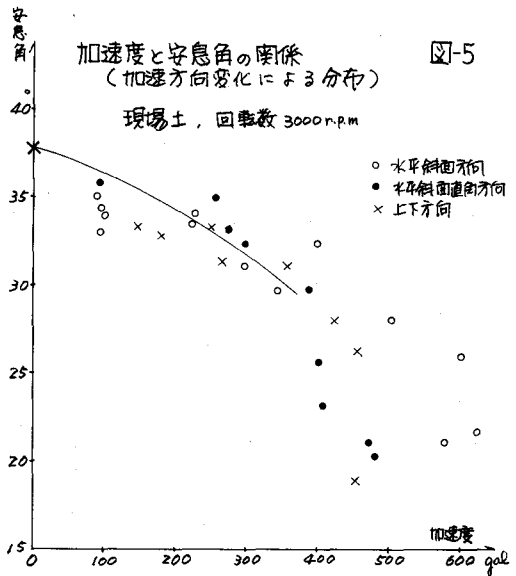
(但し、 ϕ :内部摩擦角 $N:W \cos \theta$ $T:W \sin \theta$ W :分割重量)

次に、1の実験から得た最大加速度は表-1より

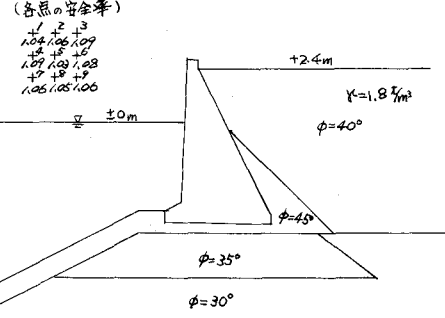
水平方向 杭25-I 93.8 gal 上下方向 杭23-I 133gal

ここで、水の衝撃の事で、杭23-Iに、374.0galが観測されているが、実際に空隙水圧に影響を及ぼしていても、 $T=0.0028 \text{ sec}$ の高サイクルであるという理由から、海水が飽和されている土砂層を素通りするものとして土の振動の時の最大加速度を安定計算に使用する事にした。

土の振動の平均周期は $T=0.028 \text{ sec}$ を大体2000~3000rpm.に相当する。そこで、2の実験を求めた



静的な時の円弧切り計算結果 図-6



加速度と安息角の束縛のつらつ(例として図-5)から、100~130gal に対応する安息角の変化を求めると、2度程度である。そこで、前の静的な場合の計算に内部摩擦角が一律に2度づつ減じたものとして、別表(5)を計算すると安全率 $F' = \frac{\sum N \tan \phi'}{\sum T} = \frac{55.13}{57.79} = 0.954$ となる。

(2) 杭打ち時の回転運動方程式

杭打ち時の回転運動方程式を別表(5)に記す。

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = I \frac{d\theta}{dt} = M = R \cdot T \quad \text{--- ①}$$

I: 慣性モーメント ($400 \text{ t} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sec}^2$) T: 回転運動を起す力 (2.66t) R: 回転半径 (13m)

①を解くと $\theta = 0.043225 t^2$

ここで1回の打撃おきの振動が継続時間をみると、大体平均 $t = 0.1 \text{ sec}$ である。

よ、回転による変位は $y = R\theta$ だから $t = 0.1 \text{ sec}$, $\theta = 0.043225 t^2$ $R = 13 \text{ m}$ を代入

$$y = 0.043225 \times (0.1)^2 \times 13 = 0.0056 \text{ m} = 0.56 \text{ cm}$$

(3) 地盤の支持力計算

地盤に加わる最大応力は静的な場合 $\sigma_{max} = 7.79 \text{ t/m}^2$

一方、地盤の支持力計算は Meyerhof の式から求めると $q = 28.8 \text{ t/m}^2$

$$q = CN_q + \beta B N_q / 2 \quad \text{但し } q: \text{地盤の極限支持力 } N_q, N_q: \text{土の支持力係数}$$

β : 土の単位体積重量 C: 粘着力 B: 基礎の底面幅

$$\therefore \text{安全率は } F = \frac{q}{\sigma_{max}} = \frac{28.8}{7.79} = 3.69$$

杭打ち時に内部摩擦角が2度減少したものととして求めると、

地盤に加わる最大応力 $\sigma'_{max} = 8.27 \text{ t/m}^2$ 又、地盤支持力は $q' = 16.8 \text{ t/m}^2$ となる

$$\text{安全率 } F' = \frac{q'}{\sigma'_{max}} = \frac{16.8}{8.27} = 2.03 \quad \text{で安全である。}$$

(4) つまみ

円弧切り、支持力の安全率を比べたとき、博多港10m岸壁は円弧切りでクラックが生じたとみることが多いであろう。これ、この10m岸壁は、内部摩擦角に問題があるとしても、静的な状態に於いて安全率が1.03~1.09程度危険な状態にあり、このためクラックが生じたのであろう。

一方、地盤の支持力の方は、内部摩擦角のわずかな変化に許して、極端に安全率が低下するので、構造物の安定については注意を要する。又、1回の杭打ちによる0.56cmの変位が起す計算値が出ているが、これだけだと、最大加速度の現われに時で、ほとんどの場合は、これより小さいものであろう。今後、杭打ち時に於ける円弧切り、支持力の安全確認は、現場の土の振動加速度を測り、この岸壁のづらつから安息角の変化を讀んでチェック出来ようである。しかし、天体に於いて杭打ち時の土の振動の加速度は200gal程度であるから、内部摩擦角を2~5°減少させた値でチェック、及び設計すれば良いと思われる。

以上の岸壁は、あとで乾燥土について行ったものであるから、土中の飽和氷による間隙水圧の影響など、今後解決されるばかりである問題を含んでいる。