

砕波による傾斜底泥面の洗掘

九州大学工学部 学生員 ○東 修 正 員 山西博幸
同 上 フェロー 楠田哲也 学生員 渡辺亮一

1.はじめに 砕波により傾斜底泥面から底泥が洗掘・巻き上げられる原因として、①砕波した水塊の突っ込みに伴う衝撃圧、②流れによる剪断力、が考えられる。本研究では、その主要因として①の衝撃砕波圧の底泥面への作用に着目し、これと底泥洗掘量との関係について検討を行った。

2. 傾斜面に作用する衝撃砕波圧の算定 波が砕波する際、波頂部での水粒子速度が波の位相速度に等しくなるとき砕波し始めるものとする。このとき、水平方向に砕波速度 C_b を持った水粒子が砕波波高 H_b から放物落水し、静水面に対して入射角 θ で入水する(図-1)。このとき、傾斜面に作用する衝撃砕波圧を次式にて定義する。

$$P/\rho g = \alpha (V^2/2g) \cdot \sin(\theta + \beta) \quad \cdots(1)$$

ここで、 P :衝撃砕波圧、 ρ :水の密度、 g :重力加速度、 V :水塊が放物落下する際の速度、 θ :静水面への入射角、 β :傾斜角、 α :実験により定められる係数、である。(1)式から衝撃砕波圧 P を算定するには、砕波した水塊が静水面へ入射する角度 θ が別途必要となる。また、従来の研究のほとんどが傾斜の緩やかな砂浜海浜を対象としたものであり、今回対象とする比較的急な斜面勾配(1/6~1/4勾配)の場合には検討されていない。そこで今回、砕波した水塊が静水面へ入射する角度 θ を含め種々の量を求めるために、1/5勾配の斜面上に規則波を作用させ、水路側面からのビデオ撮影より砕波帯内の観測を行った。

既存の研究成果を踏まえ、砕波波高 H_b 、砕波水深 h_b および砕波波長 L_b に関する実験式をまとめた(表-1参照)。実験式の算定には、砕波波高 H_b にはLe Mehaute・Koh(1967)の式、砕波水深 h_b にはSunamura(1983)の式、砕波波長 L_b にはOstendorf・Madsen(1979)の式を用いた。いずれの式も実験結果との相関は良好であった(図-2,3,4参照)。

砕波した水塊が静水面へ入射する角度 θ を次式にて定義する。

$$\theta = \tan^{-1}(v/C_b) \quad \cdots(5)$$

ここで、 $v = (2gH_b)^{1/2} \quad \cdots(6)$ 、 $C_b = \{(gL_b/2\pi) \tanh(2\pi h_b/L_b)\}^{1/2} \quad \cdots(7)$ である。

図-5は沖波波形勾配 H/L_0 と入射角 θ との関係を示したものである。なお、(5)式より入射角 θ を求める際、(6)、(7)式中に、未知の H_b 、 h_b 、 L_b が含まれている。そこで、(6)式の算出には(2)式を、(7)式の算出には(3)、(4)式を援用している。(5)式による計算値付近に実測データがばらついてはいるものの、両者の差はそれほど大きくない。これより比較的簡単な定義に基づいた(5)式でも、入射角 θ の算定には十分有効であることが分かる。

次に(1)式について検討する。図-6は固定斜面上、第1突っ込み点での最大衝撃圧 P_{max} を圧力センサーにて測定し、これを(1)式から算出される衝撃砕波圧 $P_{cal} (= (V^2/2g) \cdot \sin(\theta + \beta))$ と比較したものである。図より、データにばらつきはあるものの $\alpha \approx 0.75$ となる。これをもと

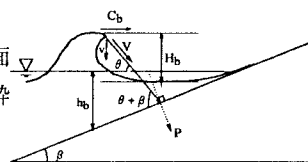


図-1 衝撃砕波圧算定のための模式図

表-1 計算に用いた実験式

$H_b/H_i = 0.76 (\tan \beta)^{1/7} (H_i/L_0)^{1/4} \quad \cdots(2)$ (H_b : 砕波波高 H_i : 沖波波高 L_0 : 沖波波長)
$H_b/h_b = 1.09 (\tan \beta)^{0.17} (h_b/L_0)^{0.1} \quad \cdots(3)$ (h_b : 砕波水深)
$H_b/L_b = 0.14 \tanh\{(1.3) \frac{2\pi h_b}{L_b}\} \quad \cdots(4)$ (L_b : 砕波波長)

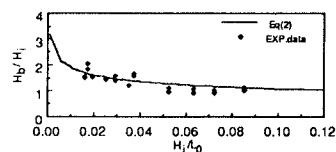


図-2 H_b/L_0 と H_i/H_i との関係

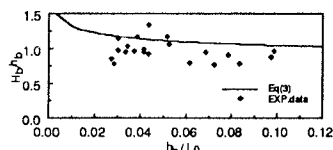


図-3 h_b/L_0 と H_b/h_b との関係

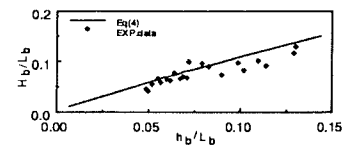


図-4 h_b/L_b と H_b/L_b との関係

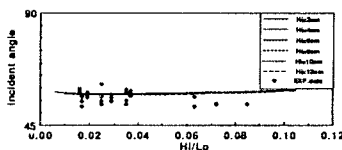


図-5 H/L_0 と θ との関係

に、入射波形勾配 H/L_0 と衝撃碎波圧 P との関係をは図-7のようになる。図-7より、入射波高が一定であれば、 H/L_0 の増加とともに P は減少することがわかる。

3. 現地底泥による洗掘実験 実験に用いた現地底泥は、佐賀県六角川の河道側面に堆積した底泥（ガタ土）を用いた。図-8は現地にて採取した底泥の鉛直含水比分布である。上層部でやや含水比が高いものの、下層部へいくにしたがい含水比=160%程度になっている。この底泥を不攪乱の状態で実験室まで持ち帰り、造波水路内（全長14m、幅0.5m）に斜面勾配が1/5となるように厚さ0.1mで敷き詰めた。その後、水路内に水道水を注し水深0.3mに設定した。実験条件は、周期 T を3通り（=1.0, 1.5, 2.0秒）、入射波高 H_i をほぼ一定（ ≈ 0.08 m）とした。対象とした碎波形式は巻き波型碎波であり、水路側面からの観察からも巻き波型碎波を確認することができた。

図-9は傾斜底泥面の経時変化の一例である（周期 $T=1.0$ 秒の場合）。図中の↓は、水路側面からのビデオ撮影により得られた、実験開始初期における碎波点（B.P.）および第1、2の水塊が水面に突っ込む地点（P.P.1、P.P.2）を表している。図より第1突っ込み点と第2突っ込み点での洗掘量が著しい。また、実験観察より、第1突っ込み点では戻り流れの影響を受けて底泥面ではなく水面をたたく一方で、第2突っ込み点では直接水塊が底泥面へ衝撃力を与えていた。さらに、底泥は泥塊として剥ぎ取られるようにして洗掘が進んでいた。実験終了後（5時間後）の洗掘状況を観察したところ、汀線より沖側 $X=100\sim 150$ cm付近に多数の小泥塊（直径2~3cm）が存在していた。これは砂浜の洗掘状況では見られず、泥土特有の現象と思われる。

図-10は作用させた波の数 n と底泥洗掘量 W との関係を示したものである。洗掘量は水路幅中央部での横断測定から得られる洗掘深をもとに、水路幅一様に同じ地形変化が生じたものとして底泥洗掘量 W を算出した。図より、波の数 n の増加とともに洗掘量 W が増加する。また、実験開始初期においてはすべての周期において洗掘速度が速く、周期2秒を除いては、ある程度の時間を経た後、再び洗掘速度が増加する傾向が見られた。この洗掘速度の変化は、繰り返し碎波が作用したことによる底泥強度の脆弱化によるものと考えられる。さらに図-8より本実験での衝撃碎波圧 P はどの条件においてもほぼ等しく1.0~1.1kPa程度であったが、波形勾配 H/L_0 の増加とともに洗掘量に差違があらわれた。

4. おわりに 碎波による底泥の洗掘では、水が繰り返し底泥面上を通過することで含水比上昇、碎波の繰り返し回数による底泥の強度変化、波の突っ込み地点の多点化に伴う効果や本結果を導くために使用した多くのパラメータ値についての詳細な検討が今後必要となる。本研究は建設省武雄工事事務所での「六角川ガタ土対策現地実験」を契機として行われたものである。また、本研究の一部は平成8年度ウエスコ土木技術振興基金より援助を受けた。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】 Le Mehauet B. and R. C. Y. Koh(1967): *J. Hydraul. Res.*, Vol. 5, No. 1, pp. 67-88. Ostendolf, D. W. and O. S. Madsen(1979): *MIT Rep., Sea Grant*, pp. 79-13. Sunamura, T.(1983): *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, No. 8, pp. 53-54.

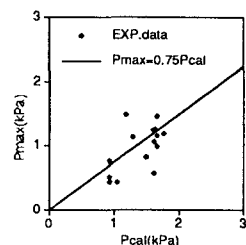


図-6 計算値 P_{cal} と実測値 P_{max} との関係

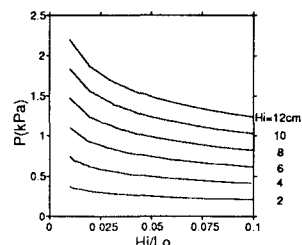


図-7 H_i/L_0 と P との関係

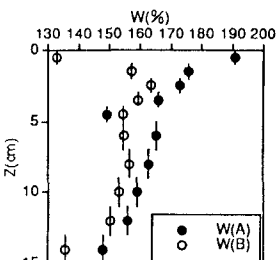


図-8 現地底泥の鉛直含水比分布

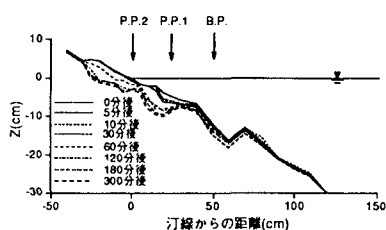


図-9 底泥の洗掘状況($T=1$ sec)

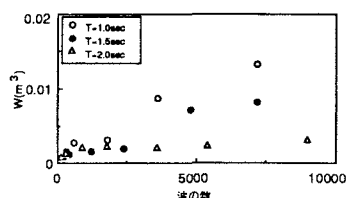


図-10 波の数 n と最終洗掘量 W との関係