

斜面上に設置されたブロックの動揺について

日本建設コンサルタント 〇正員 荒木 秀樹， 鳥取大学工学部 正員 木村 晃， 瀬山 明

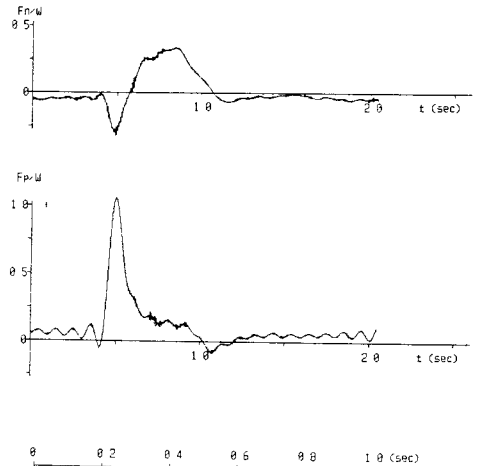
1. はじめに：ブロックの安定性評価，特に複雑な断面上に設置されるブロックの安定性は通常実験を通じて行われ，被災率が所定の基準値以下の場合に安全と判定される．このように被災率は消波ブロックの動揺や移動転落を一部認めた概念である．一方，ブロックの安定重量の計算法であるハドソン公式は，消波ブロックの重量と摩擦力および波力についての静的な釣合から導かれたものであり，ブロックが運動しないことが前提になっている．したがって，明確な区別なしに用いられることの多いハドソン式と被災率の考え方は基本的には相異なるものである．しかし被災率に対する詳細な力学的検討は過去に例がなく，前述した実験結果の有効性は必ずしも明確でない．この研究はブロックの運動を前提とした検討を行い，ブロックの配置に対する確率モデルと併せて被災率の評価を試みたものである．

2. 作用波力：ブロックの動的な挙動を論議する場合波力の瞬間最大値のみでなく時間波形が必要となる．そこでここでは，単体のブロックに作用する実験波形を用いて検討を行った．実験に用いた波は堤前面でcollapsingないしはplunging型砕波をするものを中心として用いた．従来の筆者らの研究でこのタイプの波が作用したとき静水面より若干下のブロックに最大の砕波衝撃力が作用することがわかっている．実験結果の波力波形の一例を示したものが図-1で，上図が斜面に直角方向に作用する力 F_n ，中央が斜面に並行方向の力 F_p ，下図が波力ベクトルで（この部分だけ時間軸が2倍に伸はしてある），それぞれの経時変化を示したものである．

3. ブロックの運動モデル：実験時におけるブロックの動揺の観察では，静水面の少し下にあるブロックは図-2に示す様な運動をする．以下図中の番号と対応させて運動を説明する．（1）．打ち上げ波によりまず斜面上方に向けて運動を開始，上側のブロックに接触する．（2）．上側のブロックの接点を中心に時計回りに回転する．角運動量がさらに大きい場合はブロック層から上方に抜け出しそのまま打ち上げられるか，引き波とともに下方に転落する．そうでない場合は引き波の開始とともに逆のコースをたどって（3）．初期状態の接点を中心とする運動にもどり，下側のブロックに接触して運動が修了する．この際にも運動量が大きければ（4）．下側のブロックとの接点を中心として反時計回りに回転する．角運動量がさらに大きい場合にはそのままブロック層から下方に抜け出す．ブロックの転落は多くの場合（4）で発生する．

ブロックの回転に関する運動方程式は次式の様に与えられる．

$$I \frac{d^2 \Psi}{dt^2} = a \{ W' \sin(\theta - \Psi) + F(t) \} \quad (1)$$



上式の $F(t)$ が図-1の波力ベクトルである．ここでは

図-1 波力の時間波形

$F(t)$ として実測値を用いているので（3）式はオイラー法を用いて数値的に解いた．

4. ブロックの被災率：堤体の安定重量をハドソン式で評価した場合、隣接ブロックとの間に隙間がないかぎり対象ブロックは運動せず安定であった。しかし、隙間がある程度以上であると図-2で説明したプロセスを経てブロックが転落するケースが生じてくる。したがってブロックの運動はブロック間の隙間とブロックの初期設置状態が支配的な要因となる。

ブロック間の隙間に関する情報がないのでここでは次の仮定を置いて論議を進める。すなわち、対象とするブロックを囲む隣接ブロックの作る空間は頂角を 2β 、この角の2等分線と斜面のなす角を α とする3角形のくぼみで近似できる。 α 、 β はそれぞれ独立な確率特性を持ち、ともに正規分布で近似できる。

以上の仮定からブロックの被災率は次式で計算できる。

$$\int_{\alpha} \int_{\beta} F(\alpha, \beta) P(\alpha) P(\beta) d\alpha d\beta \quad (2)$$

ここに、 α および β の確率分布 $P(\alpha)$ 、 $P(\beta)$ の平均値および標準偏差はそれぞれ 90° 、 30° および $\sigma(\alpha)$ 、 $\sigma(\beta)$ とする。 $F(\alpha, \beta)$ はブロックの転落の判定関数である。実験結果よりこの判定関数の一例（のり面勾配：4/3、使用ブロック：2tテトラポッド1/25模型）が次の様に与えられる。

$$\begin{aligned} F(\alpha, \beta) &= 1 \text{ (転落する場合)} & \alpha > -4\beta + 260^\circ \\ & & \alpha < -4\beta - 100^\circ \\ &= 0 \text{ (転落しない場合)} & \text{その他の範囲} \end{aligned} \quad (3)$$

$F(\alpha, \beta)$ は(1)式から計算する。ただし計算に用いた波の波高は使用した模型ブロックの重量からハドソン式を逆に解いて計算した値、周期はこの波高を持つ波で堤前面でcollapsing型砕波をするものつまりハドソン式の範囲の中で最大の波力を与える波を用いた。図-3は被災率と α 、 β の標準偏差との関係を示したものである。ただし、 $\sigma(\alpha) = \sigma(\beta)$ として計算した。

5. おわりに：以上、消波ブロックの耐波安定性について基礎的な検討を行った。本研究の結果を要約するとつきのようである。隣接するブロックとの間に隙間がある場合、ブロックの動揺、転落の可能性が生じる。例えば、ハドソン式による安

定評価では安全な場合でも施工誤差あるいは波浪の繰り返し作用によるゆるみで、相互のブロックの間に所期の設置状態より標準偏差が 5° 程度になるような隙間が生じると約1%の被災率が予測される。

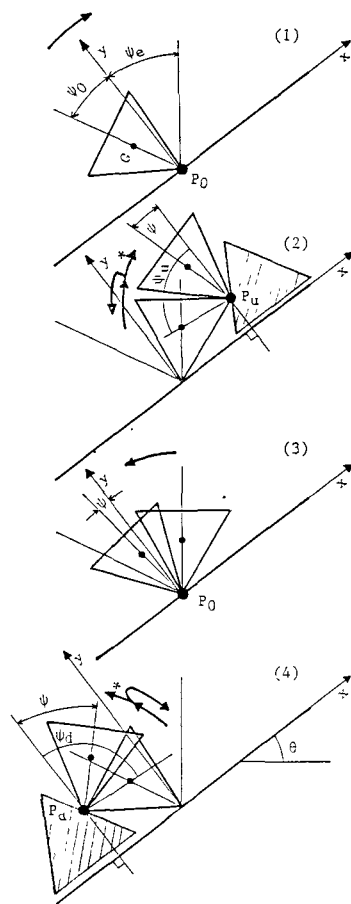


図-2 ブロックの動揺、転落

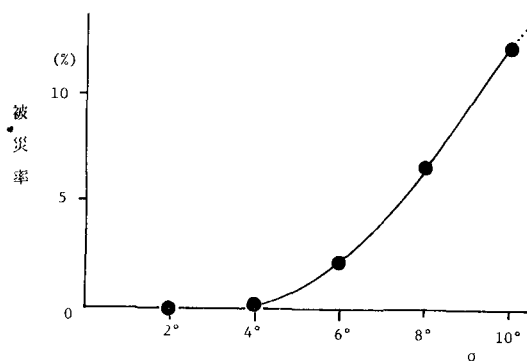


図-3 ブロックの隙間と被災率