

河床洗掘による根固め工の滑り限界の力学的検討

広島大学大学院 学生会員 ○土井亘政廣
 広島大学大学院 学生会員 盧庚範
 中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡捷二

広島大学大学院 正会員 内田龍彦
 広島大学大学院 正会員 渡邊明英

1. 序論

根固め工は、河道湾曲部などの河床洗掘が著しい箇所において護岸基礎工を保護するために設置される。特に、根固め工上流端では、大きな河床洗掘を受けるため被災を受けやすい。根固め工の破壊は法覆工の被災原因となるため、根固め工の設計法を確立することは重要な検討事項であり、河床洗掘を受けても根固め工の滑り破壊が生じない必要敷設幅の算定法を確立する必要がある¹⁾。本研究では、根固め工の変形から破壊に至るプロセスを力学的に検討するための滑り力の測定方法の開発と、敷設幅算定のための基礎資料を得ることを目的としている。

2. ブロックが砂面から受ける力の算出方法

図-1に示す、長さ2.0m、幅3.0m、高さ2.0mの大型水槽内に平均粒径0.8mmの一樣砂を河床材として高さ1.0mになるように敷き詰めている。図-1のX,Y方向をそれぞれ河川に対する縦断、横断とする。根固めブロックは幅 $b=0.15\text{m}$ 、高さ $d=0.10\text{m}$ のコンクリートブロックを用い、ブロック1個当たりが占める幅 $b_0=0.24\text{m}$ で設置し、根固め工下部には吸出し防止マットを敷く。根固め工底部にある砂の流出による破壊を再現するため、静水状態において根固め工先端で強制的に洗掘を生じさせる。図-2に示すように、初期河床高から先端ブロック下部の最深高までの河床の低下量を Z_s 、根固め工敷設幅を B_c 、根固め工平坦河床部の幅を L_n 、ブロック一個の水中重量を W_0 とし、本実験は横断方向にブロック4個を連結した $B_c=0.86\text{m}$ で行う。内田ら²⁾は河岸とブロックの連結力 F (以下、滑り力と呼ぶ)を測定し、根固め工に滑り破壊が生じない敷設幅 B_d の検討を行っている。図-2に示すように、滑り力 F は根固め工に滑り破壊が生じないための摩擦抵抗の不足分であるため、摩擦力の不足分を平坦幅で表せば、根固め工が滑らない必要敷設幅 B_d を求めることができる(式(1))。

しかし、洗掘深 Z_s と滑り力 F の関係は明らかになっておらず、 Z_s に対する敷設幅の算定には至っていない。本実験では、個々の根固めブロックに作用している力について明らかにするため、以下に示すようにブロック連結部の力を直接測定する。図-3に示すように、根固めブロックが自由に変形できるよう連結材を接続し、防水型の歪みゲージ(KFW-5-120)を添付して応力を測定する。歪みゲージは連結材の表裏面に添付し、曲げと温度影響を除去し引張応力成分のみを検出可能としている。また、連結材には応力変化を明確に検出するため弾性係数の小さいアクリル樹脂を選定し、引張試験で精度の検証を行い測定可能であることを確認している(表-1)。図-4に諸量の定義を示す。測定を行った連結力を最先端ブロックから河岸方向へ T_n 、ブロック角度を ϕ_n とする($n=1\sim 4$)。ブロックの重力成分と測定された連結力との力の釣り合いから、ブロックが砂面から受ける力の接線、法線成分 R_n, N_n は式(2),(3)で求められる。また、水中

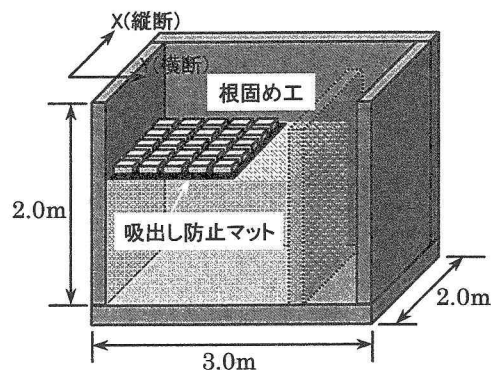


図-1 実験施設

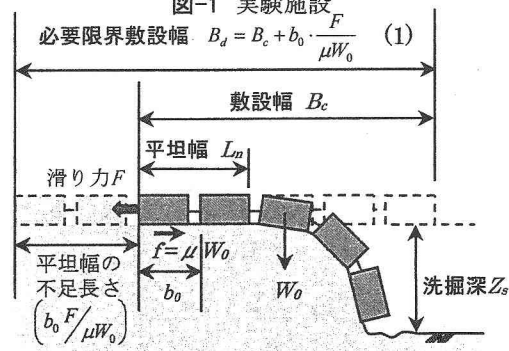


図-2 根固め工に滑りが生じない幅の考え



図-3 連結力の測定

$$R_n = W_0 \sin \phi_n - T_n \cos \left(\frac{\phi_n - \phi_{n+1}}{2} \right) + T_{n-1} \cos \left(\frac{\phi_{n-1} - \phi_n}{2} \right) \quad (2)$$

$$N_n = W_0 \cos \phi_n + T_n \sin \left(\frac{\phi_n - \phi_{n+1}}{2} \right) + T_{n-1} \sin \left(\frac{\phi_{n-1} - \phi_n}{2} \right) \quad (3)$$

n: ブロック番号

表-1 連結材諸元

	JIS 規格	本実験
弾性係数(N/m ²)	3.50 × 10 ³	3.27 × 10 ³
ポアソン比	0.23	0.23
標準偏差σ(N)	0	3.25

安息角 θ の砂面を A-A' とし、河岸から点 A までの距離を Δb とする。

3. 実験結果及び考察

図-5 は河床洗掘による 根固めブロック勾配 $\tan \phi_n$ を砂の安定勾配である水中安息角 θ で無次元化したものである。同図には A-A' の砂面(A 点)が最先端から何個目のブロックまで到達しているのかを表すため、 $s=(B_c-\Delta b)/b_0$ についても示している。図-6 は連結力 T_n の測定結果を示す。根固め工は洗掘深 Z_s の増加に伴い、ブロック連結点を支点として砂面方向に回転する成分のモーメントが発生し、最先端ブロックから角度を増加させながら変形する。その角度は水中安息角よりも大きく、ブロック下部からの土砂流出を抑制する変形状をとる。この下部土砂は一時的に流出を抑制される不安定なものであり、ここでは S_f と定義する。図-6 に示すように、 $Z_s < 0.1\text{m}$ の洗掘初期段階では最先端ブロックの連結力 T_1 が増加し、河床洗掘の進行に伴い河岸方向へと連結力の伝達が生じ $Z_s = 0.3\text{m}$ では T_3 が最大となっている。滑り力 $F(T_4)$ は $Z_s = 0.15\text{m}$ 付近から発生しており、これが $n=4$ の根固め工の滑り限界である。図-7,8 は洗掘深 Z_s と根固めブロックが砂面から受ける垂直力 N_n 、せん断力 R_n を示しており、 N_n はブロック重量の砂面に対する法線成分で無次元化し、 R_n は図-4 の矢印方向を正とし垂直力 N_n で除して摩擦係数として表している。図-8 には砂の限界勾配として $\tan \theta$ も示している。図-7 を見ると、洗掘が進行し根固め工が変形するにつれていずれのブロックに関してもブロック重量に対する垂直抗力以上の垂直力が作用しているのがわかる。図-8 に示すように、この垂直力の増加に伴うせん断特性を見ると、根固め工下部からの土砂流出点である最先端ブロックでは土砂流出抑制のため底面にせん断抵抗を有しているが、2,3 番目のブロックに関しては洗掘が進行する過程において、図-8 中の○印で示すように R/N が正から負へと転換し、摩擦抵抗が減少する点が存在する。これは図-5 に示すように安息角 θ の砂面 A-A' が 2,3 番目のブロックに到達する点($s \geq 1$ 及び $s \geq 2$)とほぼ一致していることから、不安定土砂の領域では、変形のない平坦部のブロックにおいても摩擦抵抗の減少が生じる。そこで、不安定土砂領域のブロックによる滑りの駆動力について考察する。ここでは A-A' の砂面が 3 番目のブロックに達したときの T_3 を対象とする。図-4 に示すように安息角の砂面より角度 $\delta \theta$ 大きい平行滑りを仮定し、力の釣り合いから T_3 が最大となる $\delta \theta$ の砂面を滑り面とする。この方法により求まる T_3 は 7.7N であり、図-6 に示した $s=2$ の点での測定値 $T_3=16\text{N}$ に比べると小さい。このため滑り力は S_f の体積増加による滑り面上の荷重増加の他に付加的な外力の作用により発生していると推測される。

4. 結論

根固めブロックの連結部の力の直接測定を可能とし、河床洗掘による根固め工の変形に伴う下部土砂の構成と根固め工に作用する力の特性を調べた。不安定土砂領域のブロックはたとえ変形が伝わっていなくても滑りに対する有効な摩擦抵抗が期待できないため、不安定土砂領域で生じる滑りの駆動力に対して、安息角の斜面が到達していない領域の摩擦で根固め工の滑りに抵抗するように必要限界敷設幅 B_d を算定する必要がある。

参考文献

- 1) 内田龍彦・福岡捷二・盧庚範・土井豆政廣・山形勝巳：根固め工の滑り破壊に関する研究，河川技術論文集，第 10 巻，2004

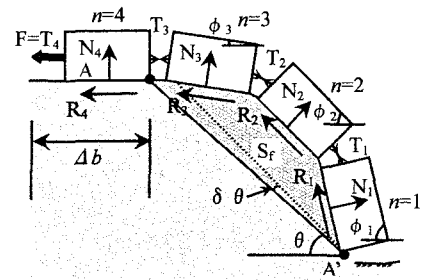


図-4 諸量の定義

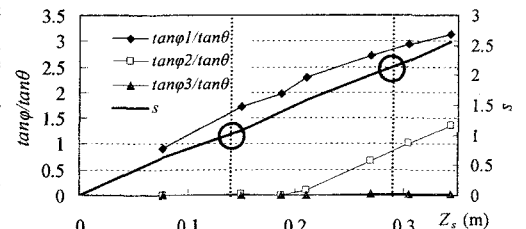


図-5 洗掘深 Z_s とブロック勾配 $\tan \phi_n$

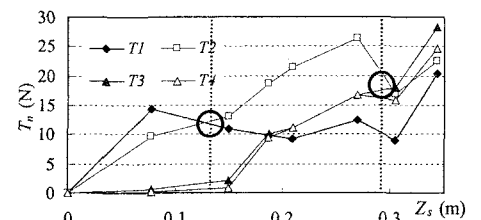


図-6 洗掘深 Z_s と連結力 T_n

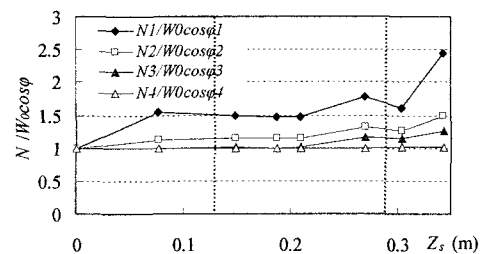


図-7 洗掘深 Z_s と垂直力 N_n

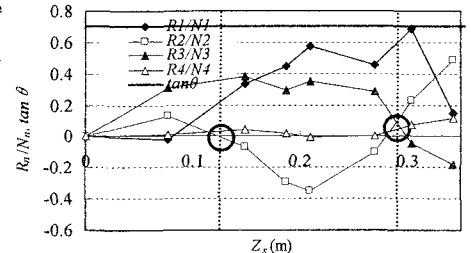


図-8 洗掘深 Z_s と R_n / N_n