直線水路と湾曲水路の土砂流下による損傷特性

○ 独立行政法人土木研究所　正員　井上 清敬
独立行政法人土木研究所　正員　柏井 条介

１．はじめに

ダム貯水池の堆砂対策や、流域一貫した土砂管理の観点から、流入土砂を下流に供給する施設への期待が高まっている。特に、土砂バイパス施設は、土砂輸送エネルギーとして流水を利用する点、既存のダムに設置可能な点で今後有効な施設となりうる。このような土砂輸送施設を設計・維持管理するために、流下土砂による磨耗・損傷量を予測することは重要な課題の一つである。

流下砂礫による施設の損傷量推定方法は、石橋[1]による研究があるが、損傷量の検証については十分でなく、また湾曲部等に生じる局所洗掘に対しては、ほとんど情報が無いといってよい。そこで、本研究では損傷する材料で製作した模型を用いて水理模型実験を行い、主に土砂輸送トンネルを対象とした直線および湾曲水路の損傷特性に関する基礎的検討を行った。

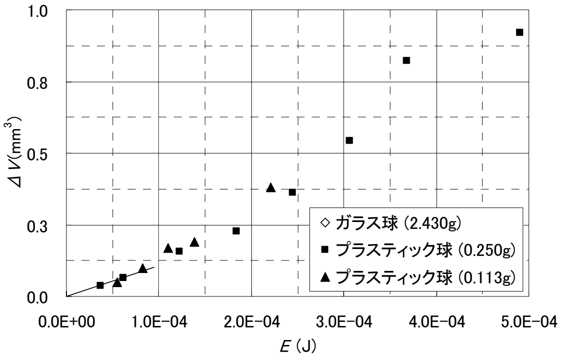

図-1　損傷材料の損傷特性

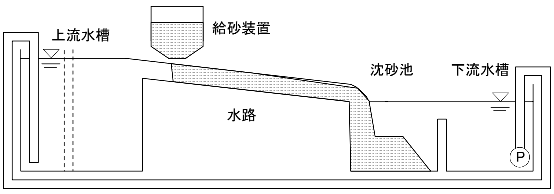

図-2　実験装置概要図

２．損傷材料特性

本研究で採用した損傷材料は発泡フェノール樹脂で、プラスティックとガラス製の球を用いて空中自由落下により求めた衝突エネルギーと損傷量の関係（図-1）から、あるエネルギーの範囲を考えると概ね線形性があると考えられる。特に今回の実験のような小さいエネルギー範囲ではほぼ比例すると考えてよい。比例定数は用いる衝突材料の材質・形状により変化するものと思われ、実験で用いた砂粒子による値については未調査なので、以下では定性的な評価を行うこととする。

表 1　実験ケース

Case	水路模型	流量 Q_w (m^3/s)	給砂量 Q_s $\times 10^{-6}$(m^3/s)	給砂時間 (min)
1-1	直線水路	0.010	20.2	300
1-2			38.2	270
1-3		0.020	9.3	390
1-4			39.5	150
1-5			58.1	120
1-6			75.3	90
1-7			89.1	120
1-8		0.030	37.9	120
1-9			59.7	90
2-1	湾曲水路	0.020	30.0	100
2-2			100.0	150

３．実験概要・模型

実験装置の概要を図-2 に示す。実験水路は、勾配 1/50、長さ 30m、幅 0.15m の直線水路(Case1)と、その末端に水路中心の曲率半径 1.5m、中心角度 90° の湾曲水路を付けた(Case2)、2 ケースについて行った。断面は長方形とし、水路底面を損傷材料により作成した。側壁は木製を基本とし、直線水路の片側のみアクリル製とした。損傷材料設置箇所は直線水路が水路下流端から 25m までの区間、湾曲水路が湾曲部始端から下流直線水路部(3m)末端までである。流下土砂は平均粒径 1.2mm のほぼ均一粒径の珪砂とした。実験ケースを表-1 に示す。損傷量は、レーザー変位計を用いて各横断面の損傷深さを 1mm ピッチで 1/10mm 程度の精度で計測した。計測線は、Case1 については、等流状態である範囲の内の 5 測線、Case2 については、湾曲部を 15° 間隔、下流直線部を 0.5m 間隔の 11 測線とした。

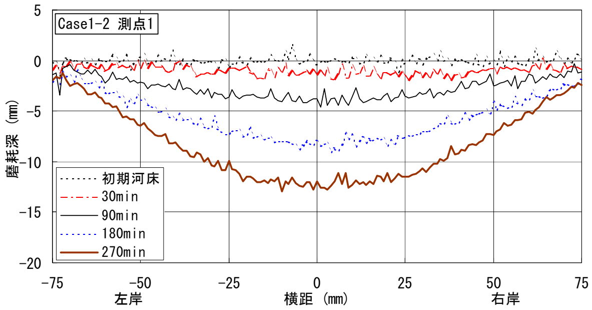

図-3　直線水路の損傷状況

４．直線水路の損傷特性

計測した損傷状況の一例を図-3 に示す。損傷断面は図-3 のような 1 瘤のお椀型の場合と、2 瘤の場合があったが、共に時間的に深掘れ箇所の損傷が進行する傾向を示した。流下土砂は、損傷と共に深掘れ箇所に集中して流

キーワード：堆砂、土砂輸送施設、磨耗、損傷量、局所洗掘
〒305-8516　茨城県つくば市南原 1-6　TEL:029-879-6783　Fax: 029-879-6737

下しており、深掘れが進行する傾向と直感的に一致する。次に、損傷深さ$\Delta h_{ave}(i,j)$（$= h_{ave}(i,j)$－初期河床高）（ここに、$h_{ave}(i,j)$：i 回目に計測した測線 j の平均河床高）と給砂時間の関係の一例を図-4 に示す。図の実線は全 5 側線に関する平均である。給砂時間と損傷の進行は極めてよい相関を示しており、本実験の最終損傷量程度であれば給砂した土砂量と累積損傷量は線形関係にあるといえる。

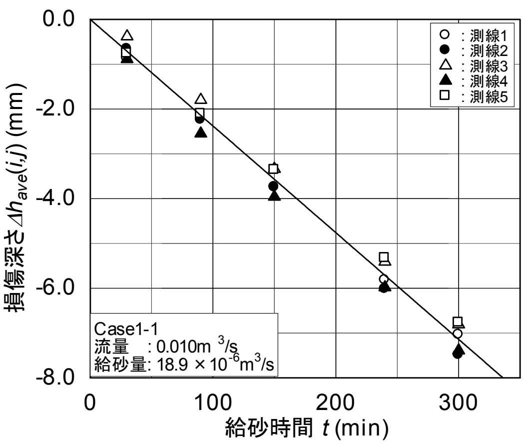

図-4　給砂時間 t と損傷深さ$\Delta h_{ave}(i,j)$の関係

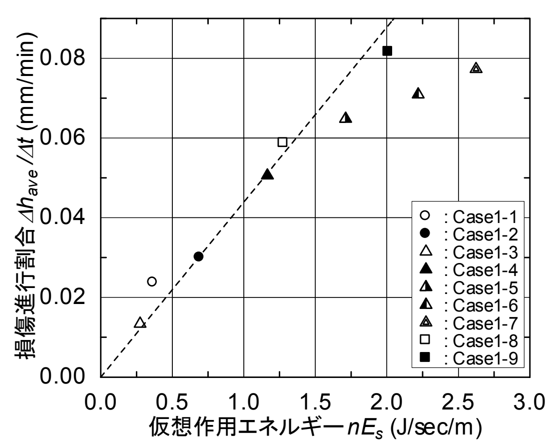

図-5　損傷進行割合$\Delta h_{ave}/\Delta t$ と仮想作用エネルギーnE_sの関係

実験条件として単位時間あたりの給砂量Q_sを変化させたケースを実施したが、ケース毎に損傷進行割合$\Delta h_{ave}/\Delta t =(\Delta h_{ave}(i) - \Delta h_{ave}(i\text{-}1))/\Delta t_i$（ここに、$\Delta t_i$ ：i 回目と i-1 回目の間の給砂時間、損傷深さは 5 測線の平均値を取った）の平均値を求め、作用エネルギーの基準として、土砂粒子が流速と同じ速度で流下すると仮定した場合の、単位時間あたりに単位幅を通過する土砂がもつ運動エネルギー $nE_s = 0.5\rho_s Q_s v^2/B$（ここに、$n$：通過土砂粒数、$\rho_s$：土粒子密度、$v$：損傷前の無給砂時平均流速、$B$：水路幅）との関係を図-5 に示す。この図から、損傷進行割合は仮想作用エネルギーnE_s に対し線形性を持って増加するが、ある値から損傷進行割合の増加率が低下する傾向があることが分かる。この原因として、土粒子同士の衝突による運動エネルギーの低減、底面付近の流速の低下等が考えられる。

５．湾曲水路の局所洗掘特性

各断面の損傷状況の一例を図-6 に示す。図より、湾曲部では水路線形に沿った深掘れが生じている。

一般に、湾曲部では粒径の大きい土砂ほど内湾を流下することが知られており、実験では内湾沿いに土砂の停止層が生じ、その外側を土砂が移動していた。流況観察より、湾曲部の深掘れはこの土砂移動層沿いに生じていると推察され、給砂量の多い Case2-2 の方が停止層の幅は広く、それに対応して、深掘れの位置も水路の外湾に近い。また、下流直線部では深掘れが徐々に水路全体に拡幅し、損傷量自体は湾曲部より大きくなっている。これは、湾曲部内湾沿いに生じた土砂停止層がセルフライニングの効果を発揮するためと考えられる。

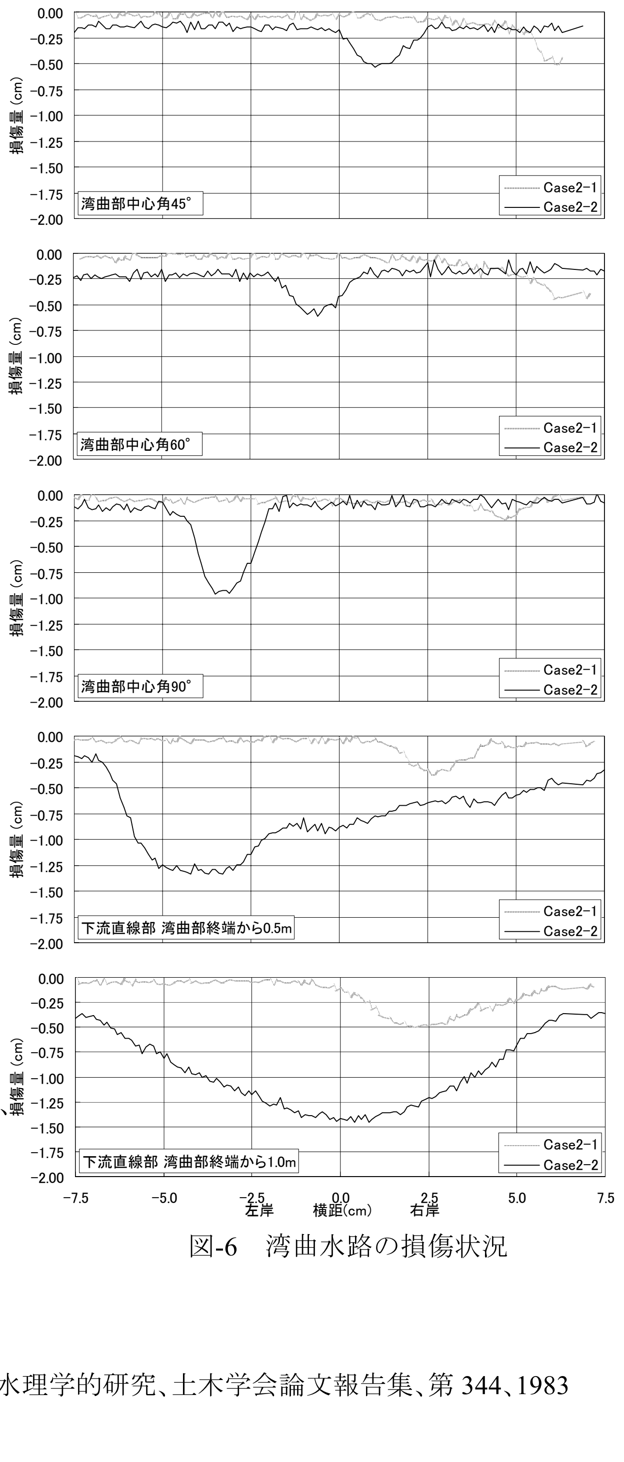

図-6　湾曲水路の損傷状況

参考文献

1) 石橋毅:ダム排砂設備の流下砂礫による磨耗･損傷に関する水理学的研究、土木学会論文報告集、第 344、1983