



象、すなわち、土塊部分が先頭となり、土石流が遅れて進むことにより、土塊が停止した後は土石流が停止土塊を乗り越えて進むという現象が説明できることを示している。

集川土石流の場合、崩壊および土石流は降雨の最盛期に生じている。豪雨時に多発する表層崩壊は、大抵、豪雨の最盛時に同期して起こることが知られており、多くは崩壊の発生とほとんど同時に土石流化し、河床堆積物を巻き込んで発達・流下する。集川の崩壊は深さ（最大15m程度か？）が針原川の場合（最大30m程度）より浅く、また、細粒土分が少ないことにより、地下水の降雨に対する応答が速く、崩壊発生時に土塊はほとんど水で飽和していた可能性がある。もしもそうであれば、表層崩壊の場合と同様に、崩壊発生と同時に土石流化した可能性も否めないし、降雨最盛期には河川流量も相当大きかったであろうから、その水と崩壊土砂との急激な混合によって土石流が発生した可能性も高い。私たちは針原川土石流についても、崩壊当初から土石流化していたとして解析したことがある<sup>2)</sup>。この場合には、土塊部分の運動が砂防ダムで止められ、土石流部分のみが砂防ダムより下流へ流されて災害を引き起こしたこともあって、このような取り扱いで災害現象が復元できている。集川土石流についても、針原川の場合よりも流動化に要する時間が短かったと推定されることから、そのような取り扱いも可能であると思われる。

しかし、針原川の場合も、集川の場合も共に深層崩壊に起因しているものとすれば、土石流化過程に要する時間の大小はあっても、むしろ当初は土塊の運動として始まり、次第に土石流化していくものとした解析で統一するのが現象の本質に近いモデル化であろうと思われる。私たちは、現在、集川の土石流について、このような立場に立って、モデルに含まれている諸パラメータの値が土石流の特性にどのように影響するのかの検討を進め、どのように考えると実際の現象がよりよく再現できるか検討している。

以上は、崩壊から土石流への転化過程のモデル化に関する課題であるが、そのモデルによって発生土石流を予測するためには、どの斜面が、どのような規模で、いつ崩れるか、そのとき、どのような材料構成で、どのように水分が含まれているかといったことが前提条件として与えられなければならない。このようなことがらの予測は崩壊から土石流への転化過程の予測以上に難しい課題であるといっても過言ではなく、冒頭に述べた最近の土石流災害の状況に鑑みて、研究を重点的に進める必要があると考える。

### 災害復旧計画の課題

水保土石流災害の現地調査のついでに、久しぶりに針原川を訪ねた。崩壊跡地の安定化のために施工



針原川崩壊跡地



された法枠工には草・灌木が根付き、間もなく一瞥しただけでは崩壊跡地であることに気づかなくなるものと思われた。

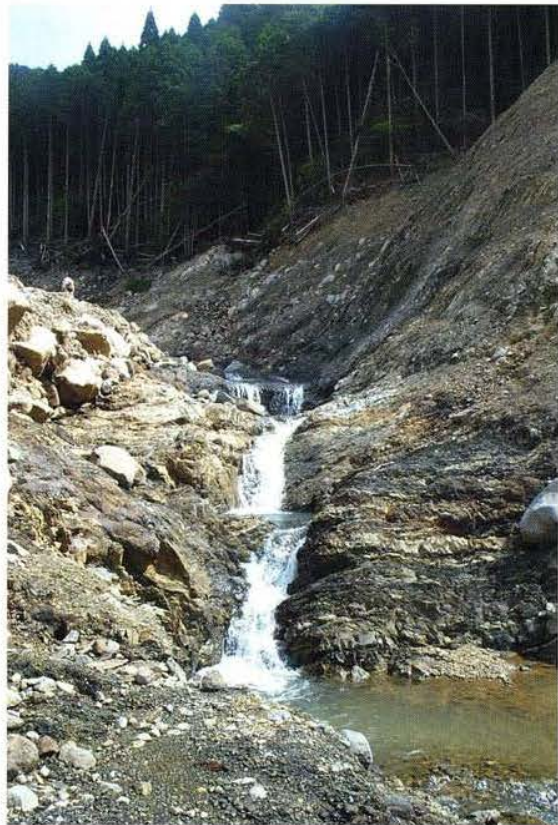
本災害の復旧は、砂防施設による復旧として、上記山腹工の他に、崩壊直下の新設砂防ダム、災害時にはほぼ完成して崩壊土のうち土塊状態で運動している部分を阻止する役割を果たした既設砂防ダムの修復と貯砂容量の回復、および、その下流のスリットダム付遊砂地によってなされており、砂防ダム・遊砂地の堆砂容量合計は56,600m<sup>3</sup>として計画されている<sup>3)</sup>。完成した砂防ダムには、土石流による衝撃を吸収するために古タイヤによる緩衝材を設置するなど、新しい工夫もなされていて、興味深いものがある。

針原川災害における崩壊・土石流の土砂収支は、崩壊土量16万m<sup>3</sup>、崩壊地内および脚部残土量3万m<sup>3</sup>、既設砂防ダム堆砂量5万m<sup>3</sup>、針原地区氾濫堆積量8万m<sup>3</sup>と見積もられている。このような土砂量は、針原川の流域面積(1.55km<sup>2</sup>)に対して河川砂防技術基準(案)に示されている地すべり型大崩壊の発生が予測されない場合の参考値と対比しても驚くべきものではなく、まして地すべり性崩壊が生じているのであるから、当然の土量であったと評価されるのかも知れない。

針原川は災害前から土石流危険渓流に指定され、計画堆砂量22,000m<sup>3</sup>の砂防ダムが、災害発生時には、まさに竣工直前であった。私は災害前の本流域の計画土砂量についても不案内であるが、災害復旧事業で採用された土量はどのような考えで決められたのかに関心がある。新たな同様規模の崩壊の発生が考慮されているのであろうか、もし考慮されているとすれば、計画土量はこれでよいのか。本流域内全体にわたる新たな崩壊可能性に関する調査は(概略にならざるを得ないが)行われたのだろうか。土砂災害防止法に関連する基礎調査の手引書には、土石流によって流下する土石等の量は、想定土石流流出区間長と侵食可能断面積の積で求めるとされている。そして、斜面の深層崩壊等に起因する想定をはるかに超える規模の土石流については予測が困難であるから、技術的に可能な表層崩壊等によるものを対象とするとしている。針原川の場合、土石流流出区間は1km程度であるから、このような土量のみを考慮したとすれば56,600m<sup>3</sup>は過大ではないのだろうか。災害復旧事業が実績流出土砂量に対応できるような

計画規模(針原川ではそれより少ない土量になっているようであるが)を対象としていて、他の災害が発生しなかった流域の状況と対比して、過大であると思われるような例がよく見受けられる。針原川のように、実際に深層崩壊が起こった流域に対しては、同一斜面の再度崩壊、拡大崩壊を防止する手当ては当然であるが、災害復旧事業に対する想定土量をどのように考えるのか、実績土量を重視するのか、土砂災害防止法の基礎調査が対象としているような土量とするのか、考え方を整理し、見積もりに相当の曖昧さがあることも含めて住民への説明責任を果たせるようにしなければならないと考える。そうでなければ、復旧事業完成の後に、当該地区が以前より安全になったのか、まだ危害の恐れが多分に残されているのか判断ができず、住民の自主性に重点を置く避難システムを実効あるものにすることが困難になるとと思われるからである。

やがて集川に対しても本格的な復旧事業が進められるであろうが、流域内に深層崩壊を起こす可能性のある斜面は、今回起こった斜面の他にいいのか、無いのか、あるとすればどの程度の規模を想定する



岩盤まで侵食されている溪床の状況(集川)



のが妥当か、今回の崩壊斜面付近から下流の急勾配河道では溪床堆積物の侵食による土石流発生可能性があるが、今は岩盤まで侵食されていて、土石流になる材料がほとんど存在していない。今後どのような速度で溪床堆積物が貯まっていくと考えるのか、そのような溪床堆積物を安定化させる方法としてどのような対策を考え、その効果をどう見積もるかといった問題への明確な考え方の下に、土石流シミュレーション等も駆使しながら復旧計画が立てられることを期待したい。

### 平常時流出土砂量と 計画土石流時流出土砂量への対処

前述のように、針原川の計画土石流による流出土砂量は $56,600\text{m}^3$ と定められているようである。そして、最下流の遊砂地を除いた2基の砂防ダムによる計画貯砂量は $32,100\text{m}^3$ である。仮に針原川の平常年における比流出土砂量を $500\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{year})$ とすると、この貯砂容量が満杯になるのは約41年後と計算される。その間に土石流が発生しなれば、それまでは遊砂地へほとんど土砂が流入しないことになる。2基の砂防ダムが満杯になってからは、遊砂地へも土砂が流入するが、スリットダムであるから、土砂はそのまま下流へ運ばれ遊砂地の貯砂容量 $24,500\text{m}^3$ は確保される。ここで、私の疑問は、最下流にスリットダムを持った遊砂地を設けたことの意義についてである。

上流の2基の砂防ダムが満杯状態のところへ計画規模の土石流が発生したものとすれば、砂防ダムの土石流調節量(満杯ダムの一時貯留量)を無視すれば、遊砂地の貯砂容量だけでは明らかに不足である(不足であるから上流に砂防ダムが設けられているのであろう)。したがって、いつ起こるか分からない計画土石流に対処するためには、2基の砂防ダムの堆砂容量は常に確保されている必要があるので、平常時に貯留された土砂は頻繁に掘削・排除されなければならない。もしそのような人工的排土が持続的に行われるなら、計画規模の土石流が発生しなかり、遊砂地には永久的に土砂は流入しないことになり、スリットダムにしたことの意味がなくなる。もしかしたら、排土を遊砂地に積み上げ、洪水によって自然に排出するという手段が想定されているのであろうか。

一般的に言えば、掘削手段を計画に取り入れるとすれば、掘削地点はアプローチの易しい下流にあるのが望ましい場合が多いであろうから、上流の砂防ダムを透過型とし、下流ダムあるいは遊砂地に土砂を貯めてそこで掘削し、搬出することにすべきであろう。もし、人工掘削の手段は一切加えないという方針であれば、すべての砂防施設を透過型にすることも考えられる。この場合、平常年に流出する土砂と土石流時に流出する土砂の性質の違いを知って、平常年の土砂は確実に流下させ、土石流の土砂は確実に止めることができるよう、現地条件を十分に勘案したスリット幅等を採用しなければならない。

ここで、土石流の土砂は確実に止めると言ったことの意味は重要である。石礫型土石流を透過型砂防ダムで確実に止めた場合、私の経験の限りでは、貯留土砂が時間を置いて自然に流下して貯砂容量が回復されるということは、まずあり得ない。それだからこそ、災害防止の効果が発揮されるのである。土石流の後半のまだ流量の多い段階で、いったん止めた土石流を流下させてしまうような大きい透過部を持つ構造では、流下土砂が下流に危害を与える可能性が高く、折角多額の投資をして作った構造物が無駄になってしまう。土石流は確実に止め、その後の貯砂容量の回復は人工的手段によらなければならない。そのためには、そのような工事がたやすくできるような場所に施設が設置される必要がある。最近、「流す砂防」の標語の下に、既設のコンクリートダムをスリットダム化する事例が増えている。このこと自体は悪いことではないと思うが、そのダムが水系の砂防ダム群のどこに位置しているか、スリットダム化の効果や影響がどのように現れるのか、スリット幅や深さの検討とともに、十分な検討の下に実行して頂きたいものである。

#### 【参考文献】

- 1) Takahashi, T., Satofuka, Y. and Kashimoto, S.: Motion of landslide-induced debris flow, Rickenmann & Chen (eds), Debris-Flow Hazards Mitigation, Millpress, Rotterdam, 2003, pp.399-410.
- 2) Nakagawa, H., Takahashi, T. and Satofuka, Y.: An analysis of the debris flow disaster in the Harihara River basin, Spec. Publis. Int. Ass. Sediment., 31, 2001, pp.45-64.
- 3) 針原川土石流災害記録誌編集委員会: 針原川土石流災害記録誌, 2001, 225p.