

砂防工事現場における土石流発生時を想定した最適避難経路探索アルゴリズム

○筑波大学生命環境科学研究科 林真一郎

筑波大学農林工学系 宮本邦明

1. はじめに

平成8年12月6日の姫川水系蒲原沢で発生した土石流災害以降、土石流の到達の恐れがある砂防工事現場では労働安全衛生規則に基づく安全対策を行うことが義務付けられている。これに基づき各砂防工事現場では雨量計の設置と基準雨量の設定、土石流センサーの設置サイレンなどの警報発令装置の設置、避難路・避難所の確保、防災訓練の実施等の警戒避難体制の確立が行われている。しかしながら、これらの警戒避難体制の確立は現状では安全対策として施工管理とは別に行われている。これに対し、事前に土石流発生時を想定した最適避難経路を検討しておくことによって、最適避難経路に応じた労務者の配置、機材の配置を考慮することが可能であり、労務者のさらなる安全を確保することが可能であると考えられる。本研究では、GIS上において土石流氾濫シミュレーションと避難シミュレーションを組み合わることによる最適避難経路探索アルゴリズムの開発を行った。さらに、このアルゴリズムを実際の工事現場に適用し妥当性を確認した。

2. 解析の条件

解析にはGISソフトGRASS5.0.2を用いた。GISへの入力データを図-1に示す。入力データはDEM5m正方形メッシュ、30秒ステップの土石流氾濫シミュレーション結果¹⁾、労務者作業位置(避難開始メッシュ)1地点である。また、計算の開始時刻は土石流が蒲原沢砂防ダムを通過した時刻を0sec.としている。本研究における最適避難経路は余裕時間(最遅避難開始時間)最大の経路と定義する。

3. 最適避難経路探索アルゴリズム

1) 移動可能領域

DEM上の労務者の移動可能領域はコストを用いて計算を行う。コストは以下の式で定義する。

$$C(x, y) = 10 \tan^2 \theta(x, y) + 1 \quad (1)$$

$C(x, y)$: 任意のメッシュでのコスト,

$\theta(x, y)$: 任意のメッシュの傾斜角である。

移動可能領域は任意のメッシュからの移動経路に沿ったメッシュのコストの総和(総コスト)が一定値(C_{max})以下の領域のことである。本研究では C_{max} を8としている。 C_{max} を8とすることにより、避難者は解析計算1ステップ(30秒)の間に最大8メッシュの距離40mを移動可能なので避難速度は最大約1.3m/sec.に設定することが可能である。(徒歩に相当)

2) 順ルート解析・逆ルート解析

最適避難経路探索アルゴリズムは避難開始メッシュからクリティカルポイント(必須経路領域)を探索する順ルート解析とクリティカルポイントから避難開始メッシュに向けて最適避難経路を探索する逆ルート解析の2つ解析から決定される。

a) 順ルート解析

図-3に順ルート解析のフローを示す。順ルート解析は避難開始メッシュから移動可能領域の計算を行う。

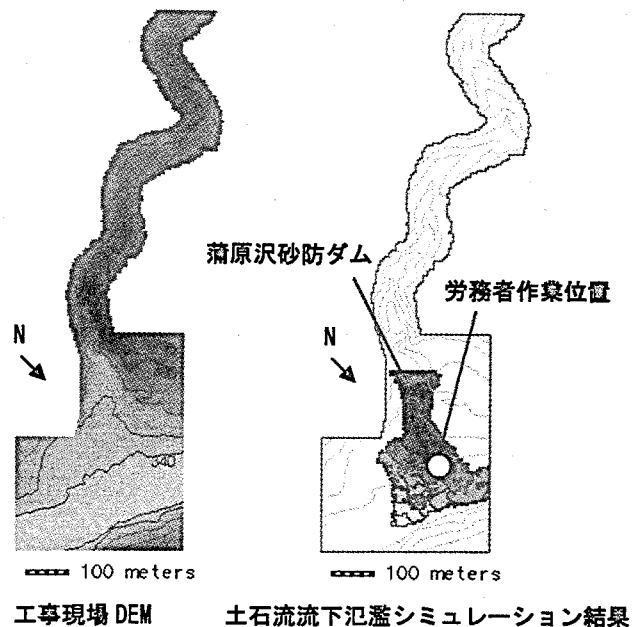


図1-GISへの入力

避難開始時刻は土石流発生から一定時間経過後とする。まず、土石流氾濫シミュレーション結果から土石流未到達領域の計算を行う。次に移動可能領域と土石流未到達領域の論理積をとり避難可能領域を求める。この演算を避難可能領域がなくなるまで計算を繰り返す。避難可能領域がなくなるケースを避難の失敗のケースとし、避難が失敗する n 回目とすると、 $n-1$ 回目の順ルート解析における n 回目の解析で避難が失敗したエリアをクリティカルポイント（必須経由領域）とする。

b) 逆ルート解析

図-4 に逆ルート解析のフローを示す。逆ルート解析は順ルート解析で求めたクリティカルポイントを避難開始メッシュとし、そこから移動可能領域の計算を行う。最適避難経路は求めた移動可能領域と順ルート解析時の $n-1$ 番目の解析で求めた避難可能領域との論理積である。この演算を最適避難経路と労務者の作業位置が一致するまで繰り返す。この演算で得られたメッシュが最適避難経路となる。

4. 実際の工事現場へのアルゴリズムの適用

3. で開発したアルゴリズムを蒲原沢において適用した。解析の結果を図-5 に示す。順ルート解析により求められたクリティカルポイントが①の部分である。クリティカルポイント①から避難開始場所まで逆ルート解析を行った結果の結果各ステップが②③④のそれぞれのメッシュに相当する。避難開始メッシュから④→③→②→①の経路を最適避難経路として抽出した。

5. おわりに

本研究では余裕時間最大となる避難経路を最適避難経路とし、GIS 上での最適避難経路探索アルゴリズムの開発を行った。最適避難経路は避難開始場所からスタートする順ルート解析と逆ルート解析によって求められたクリティカルポイント（必須経由点）からスタートする逆ルート解析で構成される。さらに、蒲原沢に最適避難経路探索アルゴリズムを適用し、その妥当性を確認した。

参考文献

- 1) 土木学会（蒲原沢土石流災害調査特別委員会 委員長 江頭進治）：姫川支川蒲原沢土石流災害と危機管理に関する調査と研究。1998.

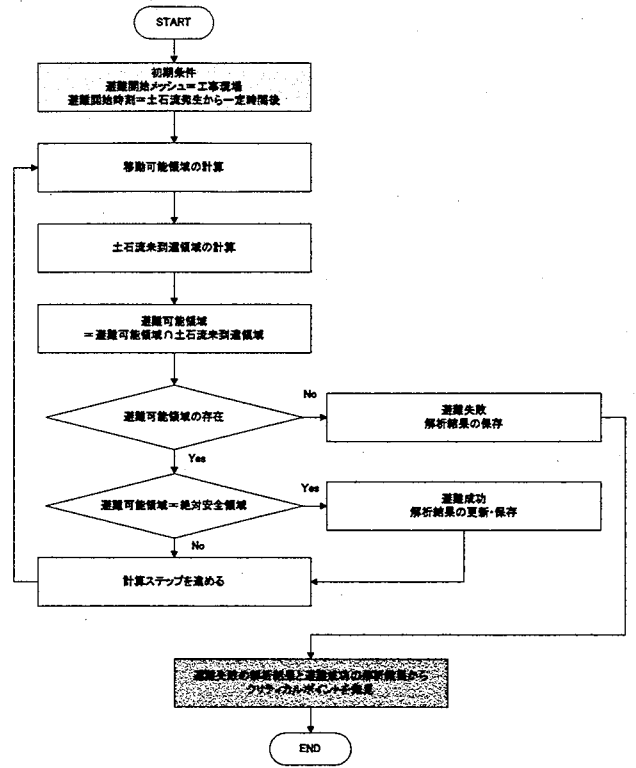


図-3 順ルート解析

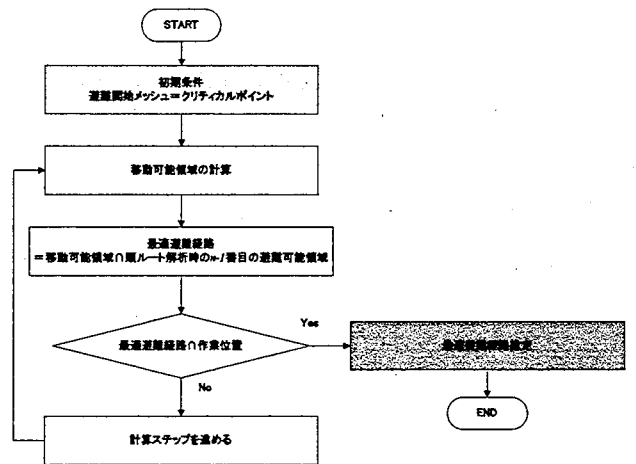


図-4 逆ルート解析

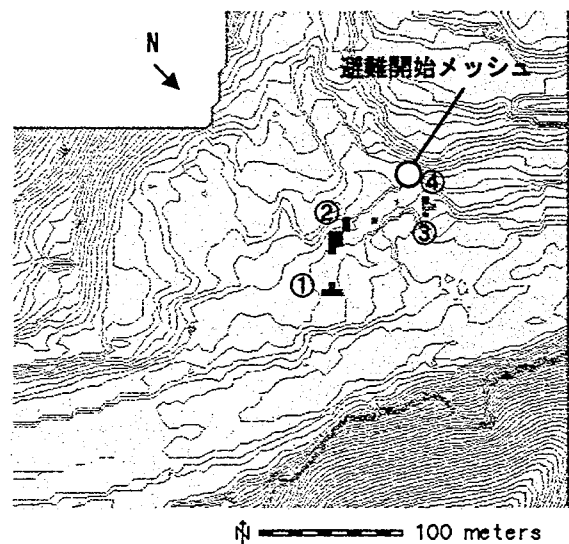


図-5 最適避難経路