

DEA を用いたがけ崩れ発生限界雨量線の設定手法

山口大学工学部
甲南大学理学部
山口大学工学部

正会員○佐藤丈晴
非会員 中山弘隆
正会員 古川浩平

香川大学工学部
山口県土木建築部砂防課

正会員 荒川雅生
非会員 鉄賀博己

1. はじめに

近年ますます道路整備，宅地造成が山間部に進出している．その開発の裏側では，急傾斜地危険箇所が急速に増加しており，毎年のように発生する豪雨災害などのがけ崩れを従来のハード対策のみではサポートできない状況に至っている．そこで，警戒避難を視野に入れたソフト面からの防災対策が必要とされている．特に警報の発令と避難指示のため CL（がけ崩れ発生限界雨量線）と時間雨量，実効雨量によるスネーク曲線とを用いて基準雨量を設定する試みが行われ，一部で供用するに至っているがいくつかの問題も指摘されている．

本研究では，事業体の効率性を測定することに使用されている DEA を用いて発生，非発生データからそれぞれ包絡線を設定し，3 領域からなるがけ崩れ発生限界雨量線を構築する．

2. DEA の概要

包絡分析法（DEA）は，事業体が行う活動の効率性を，投資（入力）を効果（出力）に変換する過程とし，その変換過程の効率性を測定するための手法である．そのときの比（効果／投資）を比率尺度と言う．比率尺度が大きくなるほど効率性が高まっていることを示している．この比が最大（＝1）になるような事業体を効率的であるといい，それらを結んだ線を効率的フロンティアという．

DEA には様々なモデルがあり，本研究で用いる DEA は CCR モデルと GDEA モデルである．図-1 に DEA モデルを示す．CCR モデルの効率的フロンティアの形状は CDGH であり，凸状を示す．A の比率尺度は OA/OP であり，効率的ではないが，A が P に移動すると効率的となる．このとき，比率尺度は 1 である．これに対し GDEA は DEA を一般化したモデルであり，図中 CDEGH のような非凸である効率的フロンティアを求めることが出来る．

3. 斜面崩壊への適応

図-2 に本研究で提案するがけ崩れ発生限界雨量線の概要図を示す．図中白抜きの点は非発生降雨，黒塗りの点は発生降雨を指す．短期降雨指標として時間雨量，長期降雨指標として実効雨量（半減期 72hr）を用いる．発生降雨と非発生降雨で 2 本の包絡線を設定し，3 領域からなるがけ崩れ発生予測を行うことが出来る．システム構築フローを図-3 に示す．崩壊が発生した一連降雨を発生降雨とし，その他の降雨を非発生降雨とする．発生降雨は崩壊が発生した時刻における雨量をプロットし，非発生降雨は発生一連降雨以外のすべての雨量についてプロットする．また，一連降雨とは降雨の前後に 24 時間以上の無降雨期間がある降雨のひとかたまりを指す．

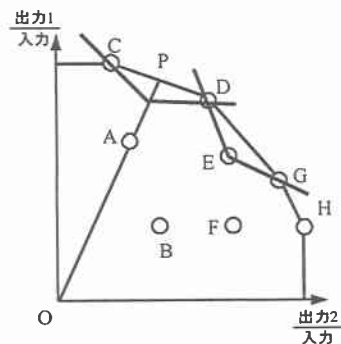


図-1 DEA モデル

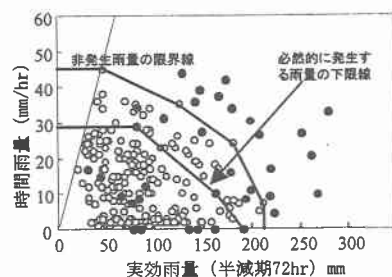


図-2 がけ崩れ発生限界雨量線の概要



図-3 システム構築フロー

1) 非発生降雨から包絡線の設定

非発生降雨は基本的に 1 時間ごとにデータが増加するので、発生データと比較して膨大な数になる。これをすべて分析するのは効率的ではないので、無駄なデータを削除する。包絡線を構築するデータは雨量の多い降雨となることから、各時間雨量で最大となる実効雨量を持つ非発生降雨のみを残し、残りの非発生降雨はすべて削除する。抽出された非発生降雨から CCR で包絡線を求める。この包絡線より右上の領域には、非発生降雨が 1 件もないことから、この領域を発生領域とする。またこの包絡線は非発生降雨の上限であることより、非発生限界線と定義した。

2) 発生降雨から包絡線の設定

発生降雨から構築される包絡線は、最も少ない降雨で発生した雨量の限界線である。しかしながら、がけ崩れの発生は、極めて少ない降雨でも発生していることを考慮すると、精度の良い発生予測が出来なくなる恐れがある。この発生降雨は散発的降雨と定義されている。このように予測不可能な少ない降雨で発生するがけ崩れは散発的に発生するがけ崩れと定義されており、それ以外を集中的に発生するがけ崩れと言う。散発的に発生するがけ崩れと集中的に発生するがけ崩れを分離するための明確な雨量の基準は示されていない。本研究では発生一連降雨のうち、崩壊時以前に時間雨量 20 mm/hr 未満かつ累積雨量 80 mm 未満の発生降雨を抽出した。そのうち、比率尺度が最大である発生降雨の比率尺度を K とする。そして、原点を不動点として非発生限界線を K 倍に縮小した包絡線に内包される発生降雨を散発的降雨として削除した。図-4 では散発的に発生するがけ崩れとして削除する領域を鎖線で示している。鎖線で示されている包絡線は原点を不動点として非発生限界線を比率尺度の最も大きい発生降雨 $AMAX$ の比率尺度 ($0AMAX/0CMAX$) 倍縮小した包絡線である。散発的に発生するがけ崩れを削除した発生降雨から、少ない降雨で発生する限界線を求めるため図の右上隅を原点とし CCR モデルで限界線を求めると、図-5 の破線で示される。図中の白点、黒点は図-2 と同様である。図-5 の例では内側の包絡線上の 3 点

の内 1 点が抽出されない。これは CCR モデルが凸包のモデルであるためである。そのため、非凸状の形状をとることが出来る GDEA を採用して、包絡線を構築するために必要と思われる発生降雨を抽出する。抽出した発生降雨を図の左下を原点とし、CCR モデルで包絡線を求めると、図-6 の A のように包絡線に内包される発生降雨が数点存在する場合がある。図-6 の例の場合、A にとって B あるいは C が存在しなければ効率が 1 となり包絡線上に位置する。そこで、A により近接している C を除く。このようにしてすべての点で効率が 1 となるまで繰り返すと、発生降雨の包絡線が構築できる。この包絡線より原点側には、集中的に発生するがけ崩れが存在しないことから、この領域を安定領域と定義し、この包絡線は発生降雨の下限であることから発生下限線と定義した。

3) 警戒領域の設定

2 本の包絡線を設定し、安定領域と発生領域を定義した。その間の領域は発生降雨と非発生降雨が混在している。この領域で崩壊が発生する発生降雨は少ないものの、崩壊が発生していることから警戒領域と定義した。システムの概要を図-7 に示す。

4. おわりに

本研究では DEA を用いて警戒避難基準雨量の設定を試みた。今後は構築したシステムを実際の降雨に適用できるか、あるいは実用化されている CL 等と比較してその有用性について検討する必要がある。

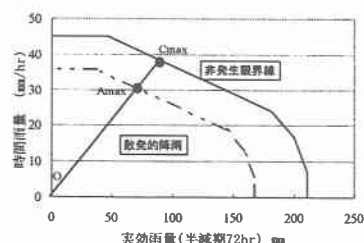


図-4 散発的降雨の削除法

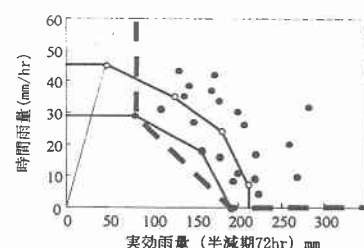


図-5 非凸の問題

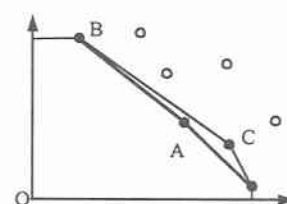


図-6 発生降雨の調整



図-7 提案システムの概要