

効率的な地下水流動予測に基づく傾斜地カンキツ園の防災管理マップ

Disaster Prevention Mapping for Sloping Citrus Orchards

Based on Efficient Finite Element Seepage Analyses

○川本 治、島崎昌彦、吉迫 宏

Osamu Kawamoto, Masahiko Shimazaki, Hiroshi Yoshisako

1. はじめに:近年、高品質果実生産のための傾斜地カンキツ園におけるマルチ栽培が急増している。また、傾斜地における軽労化を目的として高密度の園内道設置が行われている。これらの新しい生産システムの団地化、大面積化に伴い、排水対策等周辺環境への影響に配慮した園地整備・保全技術が求められている。ここでは傾斜地の複雑地形に即応し、カンキツ園地における豪雨時の地下水流動を効率的に予測して防災管理マップを作成する手法を示し、傾斜地カンキツ園に適用した結果を示す。

2. 地下水流動の効果的予測法:三次元有限要素解析を効率的に実行するため、動的緩和法¹⁾を地下水浸透解析に適用する。次式の動的応答問題の定常解として浸透ポテンシャル $\{\phi\}$ を求める。

$$[M]\{\ddot{\phi}\} + [C]\{\dot{\phi}\} + \{P\} = \{Q\}$$

ここに、 $[M]$ 、 $[C]$ はそれぞれ構造問題に等価の質量、減衰マトリックスである。また、 $\{P\}$ 、 $\{Q\}$ はそれぞれ内部流量、外部流量ベクトルである。中央時間差分公式(時間増分 Δt)を導入し、対角質量を用いると節点ポテンシャルは次式で容易に求まる。

$$\{\phi\}^{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2}\alpha\Delta t} [M]^{-1} [(\Delta t)^2 \{Q - P\} + 2[M]\{\phi\}^t - (1 - \frac{1}{2}\alpha\Delta t)[M]\{\phi\}^{t-\Delta t}]$$

ここに、 α は減衰係数である。最適の収束効率を得るためには2つの条件を満たす必要があり、第一の条件(安定条件)より仮想密度 ρ は次式で得られる。

$$\rho = \frac{k}{\beta^2 l^2}$$

ここに、 k 、 l 、 β はそれぞれ透水係数、節点間最小距離、1以下の係数である。第二の条件(臨界減衰係数の採用)より、減衰係数は次式で得られる。

$$\alpha = 2 \sqrt{\frac{\{\phi\}^T [K] \{\phi\}}{\{\phi\}^T [M] \{\phi\}}}$$

ここに $[K]$ は対角化された接線浸透性マトリックスである。用いた有限要素は三次元8節点要素(一点積分要素)である。この手法は、大規模マトリックス演算が不要であるとともに収束性が良好であり、パソコンを用いて数万~十万点規模の三次元問題を容易に解くことができる。

3. 傾斜地カンキツ園の防災管理マップ：香川県西部（大野原町）、和泉砂岩質土壌の丘陵地に位置する傾斜地カンキツ園の2つのブロック（A, B）で防災管理マップを作成した。ブロックAにおける有限要素モデルを図1に、浸透解析結果として地表面直下の地下水流速ベクトルを図2に、この地下水流速から評価した地下水流出指標（（地表面直下における地下水の上昇流速）／（領域内における地下水上昇流速最大値））を図3に示す。このブロックでは流出指標0.8以上の要対策域にカンキツ栽培作業の軽労化・利水機能の向上と併せて地下水排水が可能な高機能園内防災道を設置し、豪雨時の地下水上昇を抑制できる事が実証されている²⁾。

ブロックBにおける有限要素モデルを図4に、浸透解析結果として地表面直下の地下水流速ベクトルを図5に、この地下水流速から評価した地下水指標を図6に示す。図中には地下水流出指標と併せて地下水流入指標（（地表面直下における地下水の下降流速）／（領域内における地下水下降流速最大値））を図6に示している。防災対策が必要と判断される地下水流出指標の大きな領域では、集水桝や排水路が設置されている。また、地表からの下降流を遮断するマルチ設置がカンキツの高品質化だけでなく、防災上からも有効と考えられる地下水流出指標の大きな領域では、平成13年度の園地整備により周年マルチとドリップ灌水同時施肥を併せて行う新しい生産システム³⁾が導入されており、指標と現地の管理状況は対応している²⁾。

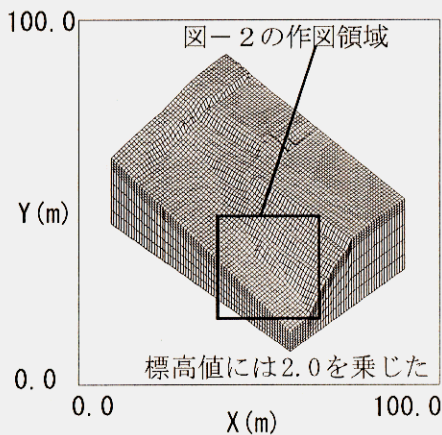


図-1 有限要素メッシュ
(ブロックA)

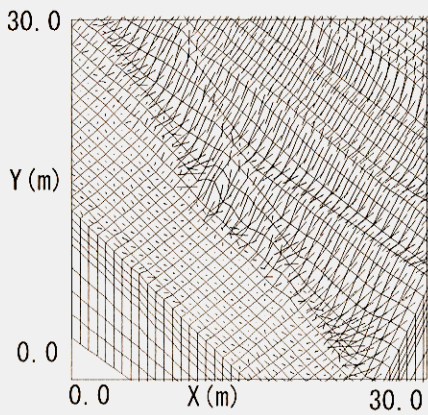


図-2 地表面直下における
地下水流速ベクトル (ブロックA)

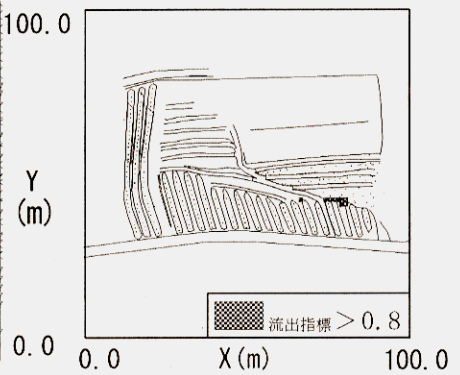


図-3 流出指標
(ブロックA)

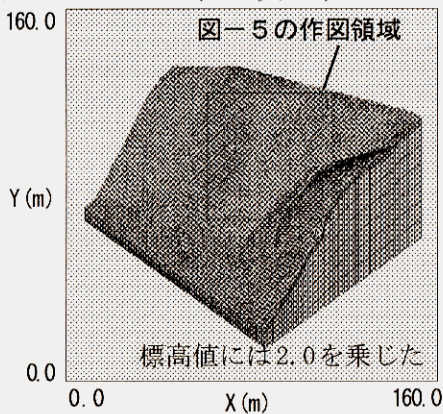


図-4 有限要素メッシュ
(ブロックB)

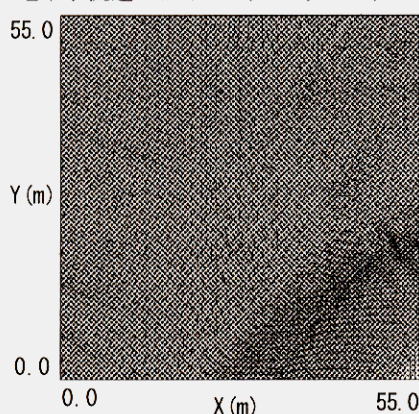


図-5 地表面直下における
地下水流速ベクトル (ブロックB)

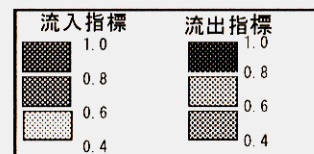
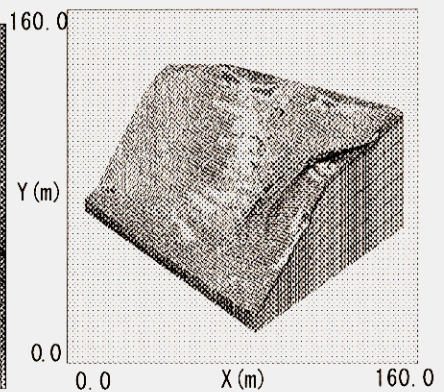


図-6 防災管理マップ
(ブロックB)

参考文献：1) Tanaka and Kawamoto: Proc. Int. Conf. Num. Meth. Geotech. pp. 1213-1218 (1988)、2) 川本、島崎、吉迫：近畿中国四国地域問題別研究会（土壌肥料・土木）、pp. 109-118 (2003)、3) Yoshikawa, Nakao and Hasegawa: 9th ISC Conference Abstracts 141 (2000)