

京都における文化財を含む地域の 土砂災害危険領域に関する一考察

PREDICTION OF SEDIMENT HAZARDS ZONE IN THE RESIDENTIAL AREA
WITH CULTURAL HERITAGE IN KYOTO CITY

伊藤隆郭¹・江頭進治²・コーシャル・ラジェ・シャーマ³

Takahiro ITOH, Shinji EGASHIRA and Kaushal Raj SHARMA

¹正会員 博士(工学) 立命館大学理工学部都市システム工学科 講師(〒525-8577 草津市野路東1-1-1)

²フェロー会員 工博 立命館大学理工学部都市システム工学科 教授(〒525-8577 草津市野路東1-1-1)

³学生員 工修 立命館大学理工学研究科総合理工学専攻(〒525-8577 草津市野路東1-1-1)

A preliminary study is conducted to propose countermeasures for residential areas with cultural heritage as well as for residential area against sediment hazards such as landslide and debris flow, focusing on part of Kyoto City. Firstly, the spreading of residential area in Kyoto City is discussed using both a latest topographic map and an old map published before about 90 years. Secondary, in order to obtain the simple and physically reasonable methods for evaluating the sediment hazards, the validities of predictions obtained using the governing equations of mass point system for soil block's dynamics is confirmed in terms of the calculated results using 1 D. governing equations of debris flow and the data obtained by field investigations.

A critical line of sediment hazards zone predicted using momentum conservation equations of mass point system suggests that occurrences of sediment disaster are inevitable in present residential regions and, additionally, several cultural architectures are located in sediment hazards zone.

Key Words : flood disaster, landslide, debris flow, hazards map, cultural heritage, Kyoto city

1. 緒言

1950年以後,日本において50人以上の死者・行方不明者を出した豪雨災害の発生頻度をみると,1950年代には35回,1960年代には18回,1970年代には8回,1980年代には5回および1990年代には1回のように減少している¹⁾.一方,1982年の長崎豪雨災害,1983年の山陰豪雨災害,1990年代の鹿児島豪雨災害,広島豪雨災害,さらには,2004年7月の新潟・福島豪雨,福井豪雨,台風10号,9月の台風21号,10月の台風23号と続いた豪雨災害に見られるように,中小河川の氾濫や土砂災害に伴う災害が頻発しており,局地性,地域性の強い災害が顕在化している.このような災害を防止・軽減するためには,災害を引き起こす物理現象の解像度を1ランク引き上げた現象の評価が必要である.さらに,文化遺産を有する歴史都市においては,現象の解像度と共に,災害外力の設定法を再評価する必要があると思われる.

本研究においては,国宝・重要文化財が密集する京都を対象として,降雨や地震などを契機として発生する崩壊・土石流による土砂災害の対策指針を得ることを目的とし,次のような解析を行う.まず,文化財を含む地域の土砂災害ポテンシャルを検討するため,市内における文化財の分布と市街地の拡大状況を調べる.次に,簡

便で,かつ,合理的な土砂災害危険領域に関する解析法を検討するために,崩土・土石流の質点系および1次元支配方程式を用いて得られる計算結果を比較検討し,それらの支配方程式の特性を明らかにする.さらに,質点系の支配方程式を用いて土砂災害データを解析し,その適用性について議論する.最後に,京都市域の一部を抽出して,質点系の支配方程式に基づいて土砂災害危険領域に関する解析結果を示す.

2. 京都における市街地の拡大と文化財の分布

著者らの以前の研究^{2), 3)}によれば,洪水・土砂災害を対象として,次のような結果が得られている.まず,総雨量が約100 mmを越えると,府下のどこかで家屋が流失・全壊するような災害が発生し,降雨量が約120 mm程度になると,人命が失われる災害が発生する可能性がある.次いで,死者・行方不明者数と全壊・流失家屋数の間には明瞭な相関があり,それらは死者・行方不明者数の上限値と下限値を示す2本の包絡線に挟まれた領域で表現される.なお,上限を示す包絡線に近い程,土砂災害の特性を表し,下限に近い程,洪水氾濫を主体とした災害特性を表している.これらの結果を踏まえた上で,京都市域の市街地の変遷についてみる.

図-1は、京都市域における土地利用の在り方を概観するため、現在の市街地に1909年（明治42年）⁴⁾ および1930～1932年（昭和5～7年）の市街地を重ねたものである。同図には、国宝・重要文化財に指定されている絵画・彫刻や建造物などの分布も示している。

まず、市街地についてみると、1909年当時には北部、西部および南部には集落が島状に点在しているが、現在では、島状の集落群が消滅して都市化が進展していることが分かる。これは、土砂災害を受けやすい急傾斜地への市街地化とともに、桂川、鴨川および宇治川の氾濫域への都市化が進展していることを示している。

次いで、文化財の分布についてみる。文化財の多くは、1909年当時の市街地の領域内に分布していることが分かる。更に、文化的建造物に着目してみると、これらは1909年当時の市街地の中心部には殆どなく、周辺の北部と東部に集中しているのが分かる。これは、応仁の乱などの戦火や天明の大火（1788年）等が原因で消失したようである⁵⁾。

文化的建造物が特に集中している東山一帯に着目すると、この一帯においては、急傾斜地が多く、土砂災害ポテンシャルが高いものと推察される。そこで、この地域の文化財を含む市街地の土砂災害危険度について検討する。なお、ここでは、位置が比較的移動しない文化財として建造物を対象とする。

3. 土砂災害危険領域の解析

(1) 崩土の支配方程式とその特性

崩壊・土石流の発生、場所およびその規模を予測することは、極めて困難な状況にある。しかしながら、それらが発生した後の土塊の移動開始から停止するまでの過程はある程度評価できる段階にある⁶⁾⁻¹⁰⁾。これには、質点系、1次元および2次元の連続体の支配方程式と構成則を用いて崩土の移動過程を評価する方法がある。なお、微地形の影響が顕著でない場合、崩土の移動距離を1次元的に追跡する計算結果と2次元的に追跡するものを比べると、崩土の面的な拡がりや考慮しない分だけ、1次元的に追跡される崩土の移動距離の方が大きく見積もられる。ここでは、計算方法が簡便である質点系の運動方程式を用いる。この理由については、後述する。なお、ここでは、崩土の運動と土石流を区別せずに取り扱い、渓床を移動する土塊を土石流とみなす。

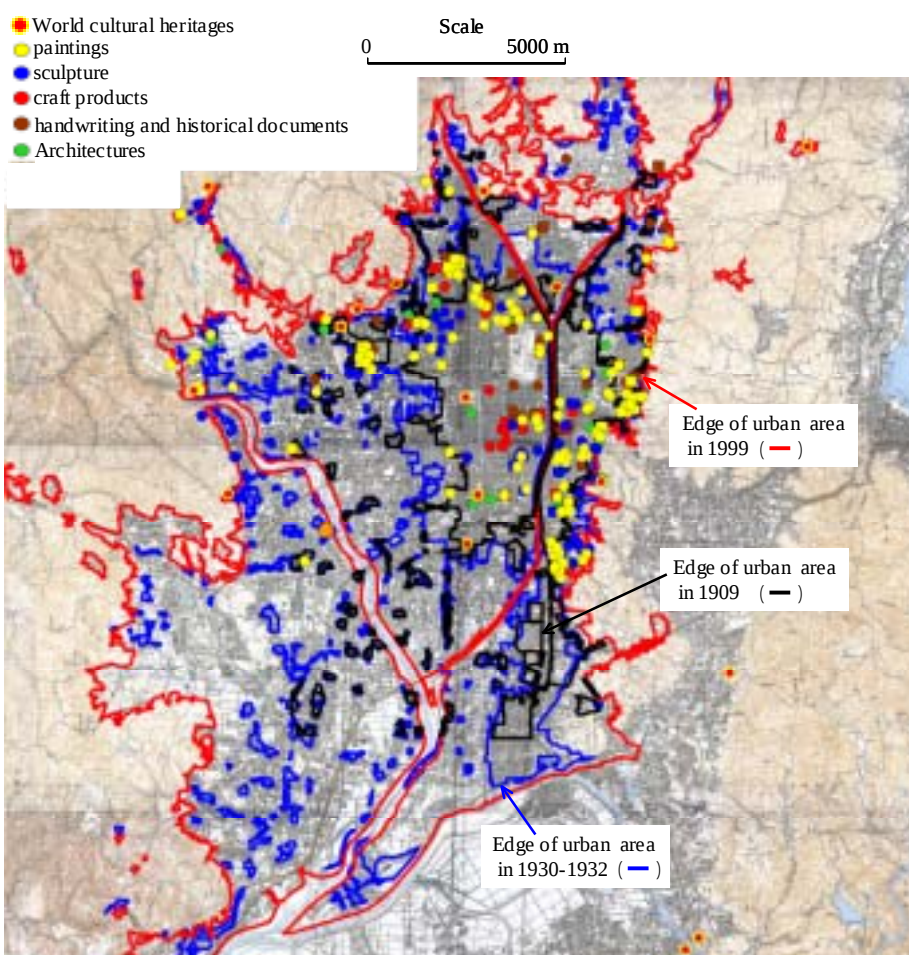


図-1 京都における約90年間の市街地の拡大と文化財の分布状況（国土地理院発行の1/25,000地形図と古地図⁴⁾を用いている）

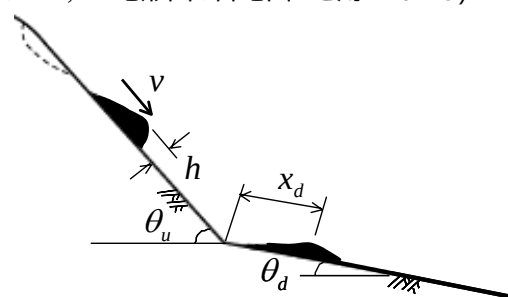


図-2 崩土の移動・停止に関する模式図

図-2は、斜面上を運動する崩土の運動に関する模式図である。崩壊は勾配 θ_u の斜面で発生し、崩土が勾配 θ_d の領域で停止する状況を示している。崩土が水で飽和し、崩土の形状の相似性が保たれるものとして、運動方程式が得られている¹⁰⁾。これに対し、侵食・堆積に伴う質量および運動量輸送を考慮すれば、崩土の支配方程式は次のように与えられる²⁾。（質量保存則）

$$\text{土粒子と水の混合物: } \frac{dh}{dx} = \frac{1}{2k} \frac{E}{c_* v} \quad (1)$$

$$\text{土粒子: } h \frac{dc}{dx} = \frac{1}{k} \left(1 - \frac{c}{c_*} \right) \frac{E}{v} \quad (2)$$

(土粒子と水の運動量保存則)

$$v \frac{dv}{dx} = g \sin \theta - \frac{(\sigma - \rho)c}{\rho_m} g \cos \theta \tan \phi_s - \frac{\rho f_b v^2}{\rho_m kh} - \frac{vE}{kh} \left\{ \frac{\sigma - \rho}{\rho_m} \left(1 - \frac{c}{c_*} \right) + \frac{1}{c_*} \right\} \quad (3)$$

ここに、 h は崩土の厚さ、 c は土粒子の体積濃度、 v は移動速度、 c_* は崩土の静止堆積濃度、 σ は土粒子の質量密度、 ρ は水の質量密度、 ρ_m は崩土を構成する土粒子と水の混合物の密度で、 $\rho_m = c\sigma + (1-c)\rho$ のように定義される。 ϕ_s は土粒子の内部摩擦角、 f_b は崩土の流動抵抗係数、 k は形状係数で、崩土の長さを l 、崩土の面積を A とすると、 $A/(lh)$ のように定義され、崩土が三角形のときには、 $k = 0.5$ 、 g は重力の加速度、 θ は斜面勾配、 x は流れ方向に沿った座標、 E は侵食率(侵食速度)である。なお、式(1)～(3)においては、時間 t 、距離 x および速度 v を用いて、 $d/dt = v d/dx$ のような変換が施されている。

式(1)～式(3)において、 E および f_b が与えられれば式系が閉じる。そこで、江頭らの土石流に関する侵食率の表示式と抵抗則^{8), 9), 11)}を適用すると次式のようなようである。

$$\frac{E}{v} = c_* \tan(\theta - \theta_e) \quad (4)$$

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma - \rho)c}{(\sigma - \rho)c + 1} \tan \phi_s$$

$$f_b = \frac{25}{4} \left\{ k_d \frac{\sigma}{\rho} (1 - e^2) c^{1/3} + k_f \frac{(1 - c)^{5/3}}{c^{2/3}} \right\} \left(\frac{h}{d} \right)^{-2} \quad (5)$$

ここに、 e は土粒子間の反発係数、 d は崩土の土粒子の代表粒径、 $k_d = 0.0828$ 、 $k_f = 0.16$ である。

式(1)～式(3)の支配方程式は、質点系のものであるため、崩土の重心の運動を追跡することになる。ここで、崩土の流動過程において、侵食・堆積の影響が顕著ではないものと仮定すると、式形は単純化されて、運動方程式は次式のように表される^{10), 12)}。

$$v \frac{dv}{dx} = g \sin \theta - \frac{(\sigma - \rho)c}{\rho_m} g \cos \theta \tan \phi_s - \frac{\rho f_b v^2}{\rho_m kh} \quad (6)$$

式(6)は無次元速度 v' および無次元距離 x' を用いて整理すると、次式のように変換される。

$$v' \frac{dv'}{dx'} = \cos \theta \left\{ \tan \theta - \frac{(\sigma - \rho)c}{(\sigma - \rho)c + \rho} \tan \phi_s \right\}$$

$$- \frac{1}{k} \frac{\rho f_b v'^2}{(\sigma - \rho)c + \rho} \quad (7)$$

ここに、 $v' = v / \sqrt{gh}$ 、 $x' = x / h$ である。

式(7)から明らかなように、崩土は斜面あるいは溪床の勾配がある限界値よりも緩くなると停止する。その勾配の限界値は、式(7)の右辺第1項が負になる条件、すなわち、次式で与えられる。

$$\tan \theta < \frac{(\sigma - \rho)c}{(\sigma - \rho)c + 1} \tan \phi_s \quad (8)$$

式(8)において、崩土を構成する土粒子の濃度を代入すると、崩土が停止する斜面の限界勾配(上限値)が求められる。

以上のように、崩土の運動に関する質点系の支配方程式とその特性について紹介した。ここで、今後検討すべき幾つかの課題について示すと次のようである。

まず、崩土の移動過程における侵食や堆積の影響を考慮した場合には、土石流の1次元および2次元解析と同様であるが、計算に際して不確定なパラメータである溪床や斜面を構成する表土層の厚さの分布を取り込む必要がある。この設定は、現地を十分に調査した上で行われる必要がある。

次に、斜面を構成する土砂の物理特性に関する事項である。上述の支配方程式を適用する際には、土砂は非粘着性の材料として取り扱っている。しかしながら、崩土の移動開始点近傍の溪床・斜面勾配は、通常、非粘着性の土砂の安息角以上であることが多いことから、粘着力をもつ材料の侵食抵抗は非粘着性材料のものよりも大きくなると推察される。これは、斜面や溪床の材料で擾乱をあまり受けていない材料の侵食に対しても同様であると考えられる。江頭ら¹³⁾は、広島土石流災害の解析において、まさ土に対して上述の考え方を適用し解析を試みている。すなわち、式(4)に示す移動床の平衡勾配 θ_e の評価において粘着性力を加え、式(4)よりも平衡勾配を大きくすることによって、侵食抵抗を増加させている。

(2) 質点系の支配方程式の適用性

式(6)および式(7)の支配方程式は、崩土の重心の運動を追跡するものであり、その規模が大きくなると、到達

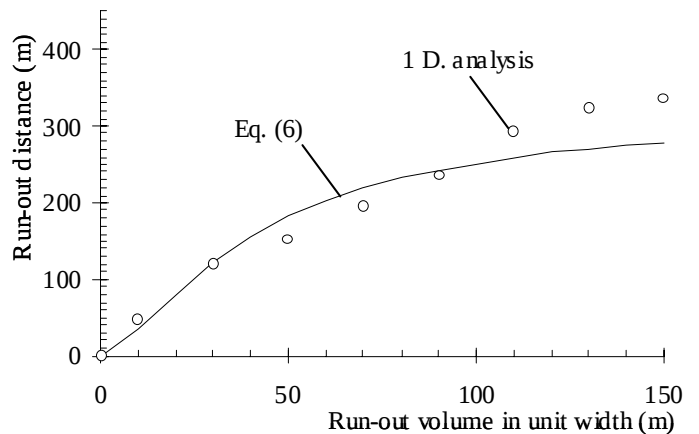


図 - 3 単位幅あたりの崩土体積と崩土の移動距離の関係

距離の評価に際して先端部と重心の位置の違いは無視できなくなる。ここでは、まず、それらの影響について検討する。次いで、質点系の運動方程式を現地の土砂災害事例に適用し、その適用性について検討する。

図-3は、崩土の到達距離に着目し、崩土の運動を移動方向に連続する流れとして扱う1次元解析法^{10), 14)}による結果と式(6)による結果を比較したものである。計算においては、 $\theta_u = 30^\circ$ 、 $\theta_d = 5^\circ$ 、 $k = 0.5$ 、 $\phi = 34^\circ$ 、 $\sigma = 2.65 \text{ g/cm}^3$ 、 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$ 、 $c_* = 0.52$ 、 $c = 0.4$ 、 $e = 0.85$ 、 $d = 20 \text{ cm}$ としている。いずれの計算においても、傾斜角 θ_u をもつ斜面の長さは、移動速度の定常値が形成されるよう十分に長くとられている。さらに、1次元解析法による計算において、土石流先端部と土砂堆積前面の位置の平均値を到達距離としている。同図によれば、崩土の到達距離の計算値は、単位幅当たりの崩壊土量が 10^2 m^2 を越えるような規模の大きい崩壊を対象としない限り、質点系と1次元解析の結果はほぼ一致している。

次に、豪雨を契機として発生した崩壊や土石流に伴う土砂災害に対して、質点系の支配方程式を適用し、崩土の停止距離に着目した解析を行う。ここでは、2004年9月29日に台風21号に伴う豪雨によって発生した三重県宮川村の土砂災害を対象とする。

同村の災害の詳細は、文献¹⁵⁾に譲ることにするが、概要は次のようである。台風21号の影響により日本海側に停滞していた前線が活発化し、三重県南部で発生・発達した活発な雷雲が県内を南から北へ進行することにより、宮川村周辺に豪雨をもたらされた。宮川雨量観測所では、29日の午前9時～10時の間に時間雨量が約120 mm、連続雨量が760 mm程度の雨量が観測されている。この豪雨を契機として、同村を流れる宮川の両岸の小滝、滝谷、唐櫃地区などで崩壊・土石流が発生した。これにより、裏山に近接した斜面下部近傍の家屋が被災し、死者・行方不明者が7人となる土砂災害となった。

図-4は、土砂災害が発生した斜面や支溪のうち4つを抽出して、5000分の1の地形図を用いて得られた河床標高の縦断分布である。図中における矢印の位置は、崩土の移動開始点であり、これらは、空中写真および現地調査によって特定している。なお、各支溪および斜面の最下流端は宮川河岸であり、滝谷地区の宮川右岸側の支溪をTakiya (R)、小滝地区の宮川右岸の支溪をKotaki (R)、小滝地区の宮川左岸の斜面をKotaki (L)、雲母谷の支溪をKirara creekのように表記している。なお、いずれの支溪・斜面においても、

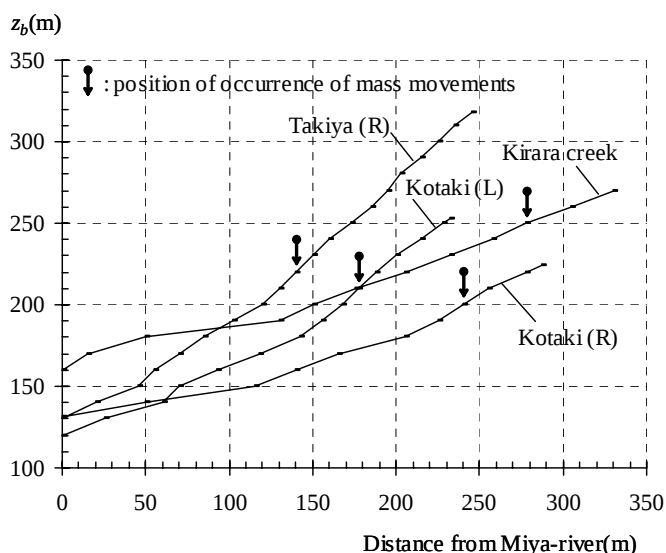


図-4 宮川に接続する支溪の縦断図(三重県宮川村)

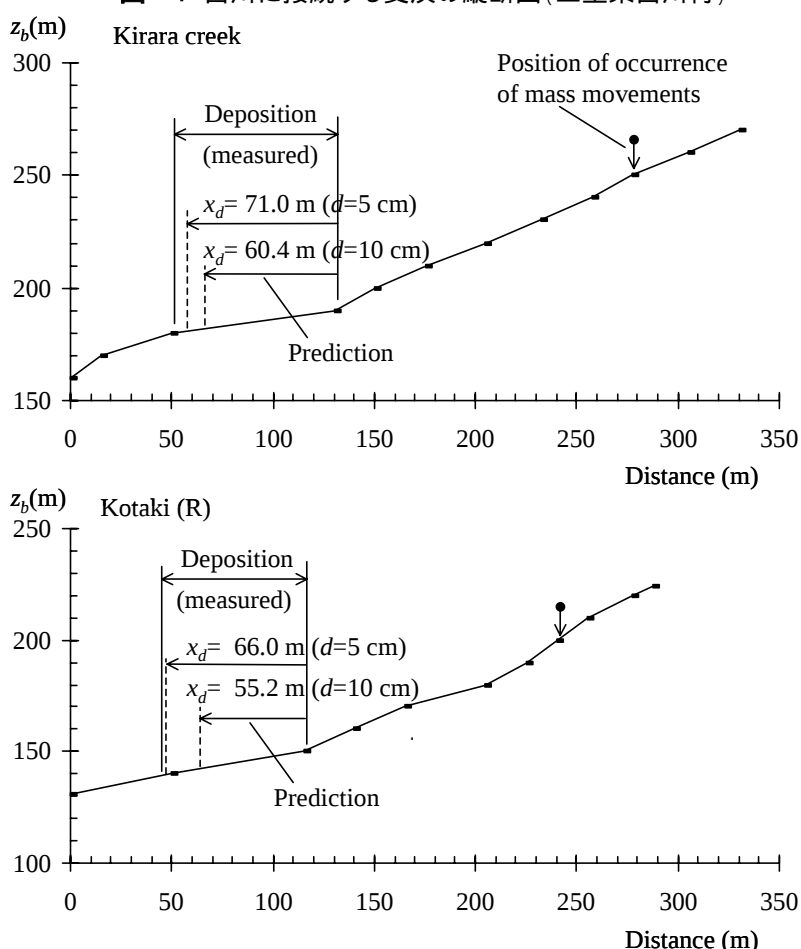


図-5 崩土の停止距離に関する現地データと計算値の比較

崩土の移動過程で溪床の侵食・堆積が顕著でなかったことを確認している。ここでは、雲母谷の支溪および小滝地区の宮川右岸の支溪に関する結果を示す。

図-5は、崩土が停止可能斜面に到達してから停止するまでの到達距離(図-2の x_d)について、式(6)を用いた計算値と現地データを比較したものである。なお、現地データは、空中写真および現地調査により、崩土が停止し始めたと判読される地点と停止位置に存在する崩

土の先端近傍の区間を土砂停止範囲とすることによって求められている。同図には、その範囲を'Deposition'として示している。一方、計算において、河床勾配は、図-4の河床縦断図を用いて求め、現地調査の結果を基にして、 $h = 2 \text{ m}$ 、 $d = 10 \text{ cm}$ 、 $c = 0.52$ のように設定している。その他のパラメーターは図-3の計算に用いたものと同じである。同図には、比較のために、 $d = 5 \text{ cm}$ の結果も示している。また、矢印で示す崩土の移動開始点は、溪床の最急勾配程度の位置で、かつ、空中写真によって特定された位置としている。崩土の停止開始点は、河床勾配が式(8)を満たす最上流の地点とし、そこからの崩土の到達距離 x_d の計算値を図中に示している。

同図によると、式(6)による崩土の停止距離の計算結果は、現地データよりも若干小さい。式(6)は崩土の重心位置を表すものであり、崩土の長さ、崩土の堆積変形および若干の溪床侵食の影響を考慮すると妥当な結果が得られている。例えば、崩土厚 $h = 2 \text{ m}$ で、崩土の長さ $l = 20 \text{ m}$ とすると、重心の停止位置から10m下流側が崩土の到達先端となる。この結果を図-5に適用すると、崩土の先端部の到達位置はほぼ一致している。

図-3と図-5の結果を総合すると、単位幅当たりの崩壊土量が 10^2 m^2 程度までの規模で、侵食・堆積の影響が顕著ではない崩土の運動については、式(6)あるいは

式(7)の質点系の支配方程式を用いた解析によって、崩土の到達範囲を評価可能であることが示された。次節においては、式(6)を用いて、崩土の到達範囲の解析を行うことによって、土砂災害危険領域の解析を行う。

(3) 京都を対象とした災害危険領域の解析

表層崩壊は、一般に 30° 以上の斜面で発生することが知られており^{10), 16)}、このような斜面を崩壊可能斜面として抽出する。崩壊可能斜面から等高線に直角に交わるように落水線を引き、その縦断図を作成し、最急勾配の地点で崩壊が発生するものとして、式(6)を適用すれば、個々の落水線上において崩土の移動速度およびその停止点が求められる。これらの停止点を連ねた線の山側の領域が土砂災害危険領域に相当する。式(5)～式(7)から明らかなように、停止点の位置は、崩土の厚さ h が大きい程、または、崩土の粒径 d が小さい程、到達距離は大きくなる。

図-6は、東山地域の一部について災害危険領域の解析を行った結果である。図には、1909年および現在の市街地の外縁を示すとともに、比較的小さい崩壊を想定して、 $h = 1 \text{ m}$ としたもの、表層崩壊の中でかなり規模の大きいものを想定して、 $h = 3 \text{ m}$ とした崩土の到達線に関する計算値が示されている。これらの線よりも山側の領域が危険領域であると見なされる。なお、計算に用

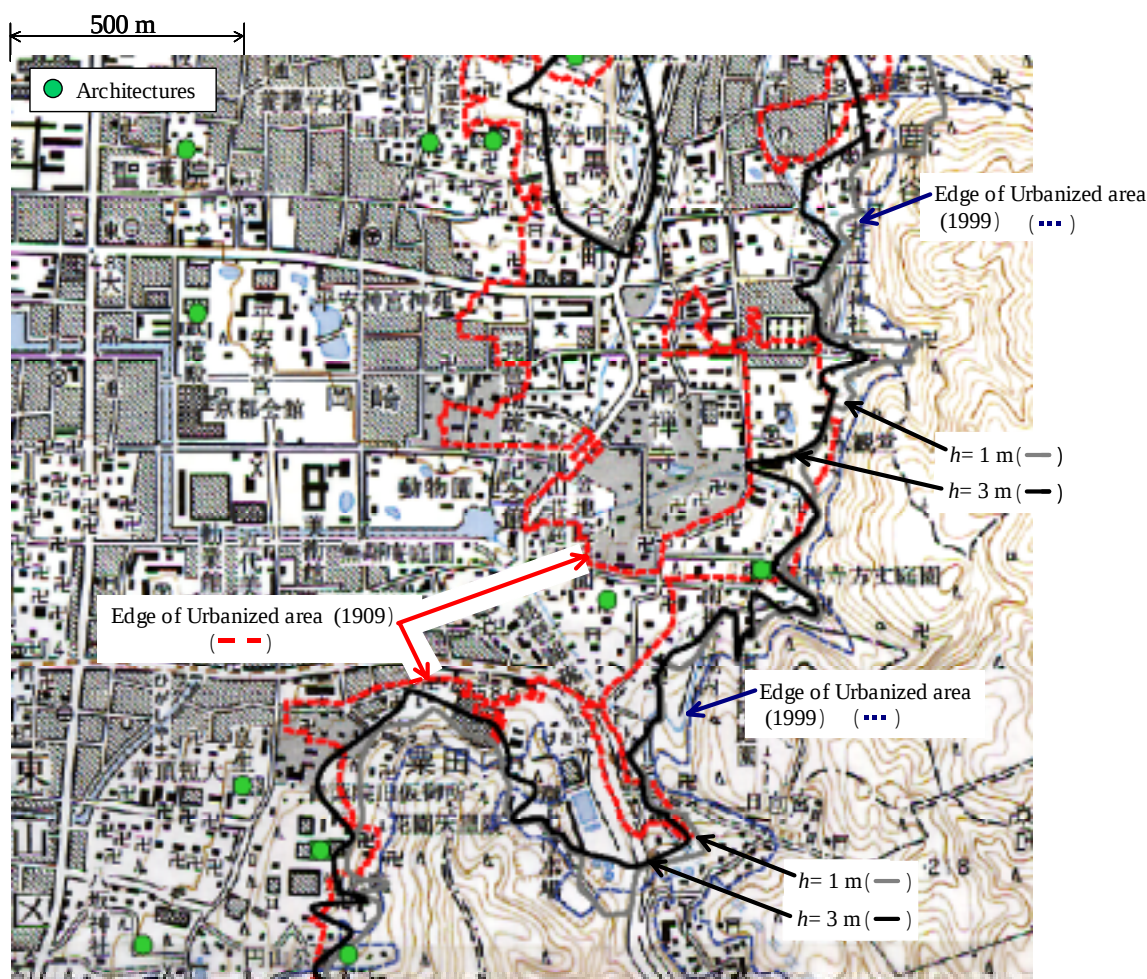


図-6 質点系の運動方程式を用いた土砂災害危険領域の解析例(京都市東山地区の一部)
(国土地理院発行の1/25,000地形図と古地図⁴⁾を用いている)

いた勾配以外のパラメーターは、図-3に用いたものと
同じである。同図によれば、1909年当時の市街地は危
険領域まで伸びていなかったものの、現在では2つの限
界線よりも山側まで伸びており、いくつかの文化的建造
物も危険領域に存在している。事実、これまでの東山一
帯における災害被災事例をみると、土砂移動に伴う建造
物の被災例が報告されており、それらが危険領域に存
在しているものもある。

なお、上述の算定法からも分かるように、危険領域が
一様に危険性をもっている訳ではなく、災害危険度は落
水線上に存在する崩壊可能斜面における崩壊の起こり
やすさや落水線の密度等に依存する^{10), 17)}。危険領域に
立地する文化財や市街地の災害対策を詳細に行うため
には、更なる調査が必要と思われる。しかしながら、図-
6に示したような解析に基づいて、文化財やその周辺市
街地の景観を損なわない程度の災害対策、例えば、家
屋移転などを行うことによって緩衝領域のような空間を
設けること等の必要性は議論できるものと推察される。同
図における解析法およびその解析例は、今後の土地利
用の在り方を議論する上での重要なものと思われる。

4. 結語

本研究においては、文化的建造物を含む地域の土砂
災害防止・軽減対策を検討するための端緒として、デー
タ解析および数値解析を行った。本研究によって得られ
た成果を列挙すると次のようである。

- (1) 江頭らの質点系の支配方程式に基づき、山腹の表
層崩壊に伴う土砂災害の危険領域を設定する方法を提
示すると共に、それを土砂災害データと比較することに
よって、その適用性を確認した。
- (2) 京都市内の一部を抽出して、危険領域の解析を行
い、文化的建造物を含む市街地の災害危険性を示した。
これによれば、1909年当時には危険領域には市街地は
なかったものの、今日では危険領域の内部へ伸びてき
ているとともに、そこには文化的建造物も存在している
ことが明らかにされた。

以上のような成果が得られたものの、災害の防止・軽
減対策をきめ細かく行い、今後の土地利用の在り方に
対して議論をするには、危険領域における危険度階級
などの解析が必要と思われるが、今後の課題としたい。

謝辞：本研究を推進するに当たり、文化財の分布調査
等においては、立命館大学理工学部4回生 古田 大君
(現 京都市)、鈴木俊雄君(現 国土交通省中部地方整
備局天竜川上流河川事務所)に協力頂いた。現地およ
び現地データの整理においては、立命館大学理工学
研究科博士前期課程1回生の太井正史君、立命館大学理
工学部4回生 鶴田直也君、西窪久弥君に協力頂いて
いる。さらに、三重県環境森林部、県土整備部河川室
および砂防室の諸兄には、三重県宮川村の土砂災害関
連データを御提供頂いている。最後に、本研究の一部
は、文部科学省21世紀COEプログラム(文化遺産を核と
した歴史都市の防災研究拠点：研究代表者 村橋正

武)の研究拠点形成費補助金によって推進されている。
ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 国立天文台：理科年表、丸善、2005。
- 2) Egashira, S., T. Itoh and Kaushal Raj Sharma: Distribution of cultural heritages and residential region in sediment hazard zone, Proceedings of the International Conference on Monitoring, Prediction and Mitigation of Water-Related Disasters (MPMD), January 12-15, Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University, pp. 667-672.
- 3) 江頭進治・伊藤隆郭・コーシャル・ラジェ・シャーマ：京都における文化財を含む地域の土砂災害危険領域の解析、日本水文科学会誌、35巻、3号、pp. 119-127、2005。
- 4) 柏書房：正式二万分一地形図集成(関西)、2001。
- 5) 土岐憲三：自然災害から文化遺産を守る - 見過ごされてきた視点 -、国連防災世界会議パブリックフォーラム シンポジウム講演集「文化遺産を災害から守るために」、文化遺産防災連絡会議、pp. 12-17、2005。
- 6) 高橋 保・里深好文：石礫型及び乱流型土石流の一般理論とその実用化モデル、砂防学会誌、Vol. 55, No. 3, pp. 33-42、2002。
- 7) 椿 東一郎・橋本晴行・末次忠司：土石流における粒子間力と流動特性、土木学会論文報告集、317, pp. 79-81、1982。
- 8) Egashira, S., K. Miyamoto and T. Itoh: Constitutive equations of debris flow and their applicability, Proceedings of the 1st International Conference on Debris Flow Hazards Mitigation, ASCE, pp. 340-349, 1997.
- 9) 江頭進治・宮本邦明・伊藤隆郭：掃流砂量に関する力学的解釈、水工学論文集、41巻、pp. 789-794、1997。
- 10) 土木学会編：水理公式集、pp. 144-145、1999。
- 11) Egashira, S., N. Honda, T. Itoh: Experimental study on the entrainment of bed material into debris flow, Physics and Chemistry of the Earth (C), EGS, Vol. 26 (9), pp. 645-650, 2001.
- 12) Egashira, S. and K. Ashida: The dynamic behavior of a soil block on slope, Proc. Int. Symp. on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, Sept., Tsukuba, Japan, pp. 249-254, 1985.
- 13) 江頭進治・本田尚正・高濱淳一郎・伊藤隆郭・有村真一：土石流の再現および構造物による土石流調節について、1999年6月西日本の梅雨前線豪雨による災害に関する調査研究(研究代表者 福岡捷二)、文部省科学研究費特別研究促進費(1)成果報告書、pp. 83-102、2000。
- 14) Itoh, T., K. Miyamoto and S. Egashira: Numerical simulation of debris flow over erodible bed, Proceedings of the 3rd International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, pp. 457-468, 2003.
- 15) 林 拙郎ら：2004年9月29日、台風21号に伴って発生した三重県宮川村の土砂災害(速報)、砂防学会誌、Vol. 57, No. 4, pp. 48-55、2004。
- 16) 例えば、江頭進治：昭和57年7月豪雨による土砂災害について、京都大学防災研究所年報、第26号、A, pp. 1-17、1983。
- 17) 例えば、江頭進治・中 庸充・内田 修：斜面崩壊に伴う災害危険度の評価法に関する研究、砂防学会誌(新砂防)、Vol. 49, No.3, pp.11-19、1996。

(2005.9.30 受付)