

デジタル標高データを用いた大規模造成地の 広域ゾーニング手法に関する検討

石田栄介¹・磯山龍二²・塚本博之³・末富岩雄⁴

¹日本技術開発株式会社 パブリックマネジメント事業部 ライフライン耐震保全部
(〒164- 8601東京都中野区本町5-33-11)

E-mail:isidae@jecc.co.jp

²日本技術開発株式会社 執行役員 (〒164- 8601東京都中野区本町5-33-11)

E-mail:isoyama@jecc.co.jp

³日本技術開発株式会社 パブリックマネジメント事業部 ライフライン耐震保全部
(〒164- 8601東京都中野区本町5-33-11)

E-mail:tsukamotohi@jecc.co.jp

⁴地震防災フロンティア研究センター 川崎ラボラトリー

(〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1-2)

E-mail:suetomi@kedm.bosai.go.jp

斜面情報、大規模盛土地盤情報、人工改変地盤情報等、地震災害への影響が大きいと考えられるがこれまであまり整備されてこなかったデータについて、効率的かつ一定の精度で整備していく手法を開発する。都市については土地条件図等の地形分類情報が整備されているが、郊外や地方ではこれらの情報に乏しい場合が多く、新たに整備する必要がある。盛土位置を大まかに把握しようとした場合、旧地形との比較が必要となるが、旧地形を全面的にデジタル整備することは容易でなく、絞り込みが必要である。本論では、市販DEM等、全国的に安価に入手可能なデジタル情報を用いて大まかな人工改変地盤情報の整備必要領域を絞り込む手法、および、斜面危険度を面的に整備する手法について検討を行う。

Key Words : Digital elevation model (DEM), Improved land, Landfill, Inclination, Zoning

1. はじめに

全国の主な都市では、都市の規模拡大に伴い、新たな土地を求めて郊外の丘陵地帯や山際の方まで宅地開発の拡張や大規模造成等が展開されている。近年の地震では、郊外の丘陵地帯における宅地造成地の崩壊等、地盤変状被害が少なくない。これらの被害経験を今後の地震被害予測や対策検討につなげていくためには、現存する造成地の位置や被害要因につながる属性が整備されている必要がある。しかし、これらの情報整備は必ずしも満足できる状況になく、盛土、切土等の改変位置や改変の度合いを的確に把握すること自体が容易でない場合が多い。

一方、2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、宅地被害の他、自然斜面の崩壊も注目された。斜面災害については、急傾斜地崩壊危険箇所や土石流危険渓流に関する調査が全国的に行われており、最新の調査結果は平成15年3月に国土交通省河川局砂防部から発表されている¹⁾。平成15年度の発表に

よれば、急傾斜地崩壊危険箇所は全国で113,557箇所と膨大な量を占めるが、国土交通省からの発表は統計数(箇所数)のみである。位置情報などの詳細な情報については、各都道府県から個別に入手する必要があるが、自治体によっては、公表していなかったり、被害推定に利用しやすい形式のデジタルデータになっていないケースも多い。

本研究では、このように地震災害(宅地被害、道路被害、埋設管被害等)への影響が大きいと考えられるがこれまであまり整備・活用が進んでいない斜面情報、大規模盛土情報、人工改変地盤情報等について、把握、整備していく手法を検討する。大都市においては土地条件図等の地形分類情報が比較的潤沢に整備されているが、郊外や地方の都市ではこれらの情報に乏しい場合が多く、新たに整備する必要がある。盛土位置を大まかに把握しようとした場合、旧地形との比較が必要となるが、旧地形を全面的にデジタル整備することは容易でなく、絞り込みが必要である。本論では、DEM(Digital Elevation Model:

デジタル標高データ)等，全国的に安価に入手可能なデジタル情報を用いて，人工改変地盤情報の整備が必要な領域を大まかに絞り込む手法，および，斜面危険度を面的に整備する手法について検討を行う。

2．DEMを活用した人工造成地の領域把握

(1) 検討対象領域および使用データ

本研究の一環として，文献2)により図-1に示す川崎北西部の領域について，米軍空中写真画像に基づく旧地形DEM(昭和20～40年前後)を2.5mピッチで整備している．また，現在地形については，「川崎市デジタル地形2500」に基づき旧地形DEMと同間隔の2.5mピッチでDEMを作成している．各地点で両者の差分をとることにより，理論上「切盛厚さ」を得ることになるが，実際には，水平方向，鉛直方向ともある程度の誤差を含んだデータ同士の差分であることを認識した上で利用する必要がある(例えば，擁壁や急斜面が水平方向に1mずれている場合，その1m分を深い盛土と誤認識してしまうことがある)．何より，旧地形DEMを整備するには膨大な時間とコストがかかるため，全範囲整備した後で差分結果により抽出した一部エリアしか使わないといった手続きでは効率が悪すぎる．

人工造成の目的の多くは宅地開発であるため，平坦化やこれに伴う擁壁設置等が工事の主体と考えられる．この工事により傾斜量が大きく変化するので，傾斜量の分布に着目すれば地形が人工的なものかどうか分かる可能性が高いと考えられる．本論では，新旧地形DEMから傾斜量を計算し両者を比較することによって，人工造成による傾斜量の変化の傾向について検討を行う．

一方，他地域への展開を考えた場合，文献2)のよ

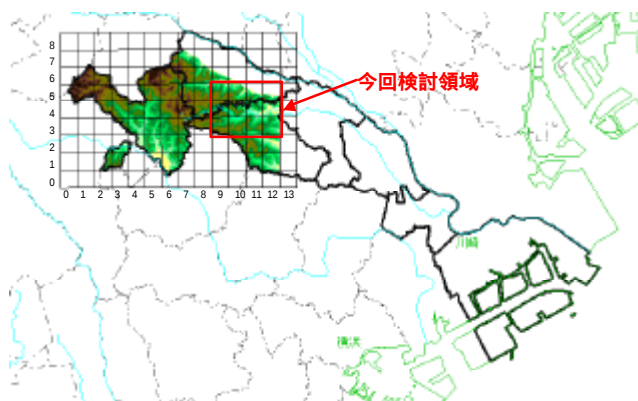


図-1 検討対象地域

うな方法は，大変高価な処理を要するとともに，1/2,500～1/3,000の詳細地図や改変前の米軍空中写真といった精緻な資料が必要であるため，地域によっては，資料不足から適用できないケースも少なくないと考えられる．国土地理院が整備しているレーザープロファイラ測量による5mメッシュ(標高)³⁾についても，現状では一部地域しか販売されていない．全国的に整備されている標高情報としては，国土地理院の50mメッシュ(標高)⁴⁾や北海道地図(株)の10mメッシュ標高⁵⁾等の利用が考えられる．両データとも，1/25,000地形図の等高線に基づき補間処理によってメッシュ化されたデータである．50mメッシュ(標高)より10mメッシュ標高の方が整備単位が細かい分だけ高価ではあるが，自前で作成する場合と比べれば，かなり廉価に利用できると言える．参考のため，各種メッシュデータの比較を図-2に示す．

本研究では，文献2)で整備した新旧地形標高データを目標と位置付け，これらを用いて自然地形，造成地形の特徴を検討した上で，文献2)の現在標高データを市販データに差替えた場合に，どのような影響が出るか検討を行う．市販データとしては，北海

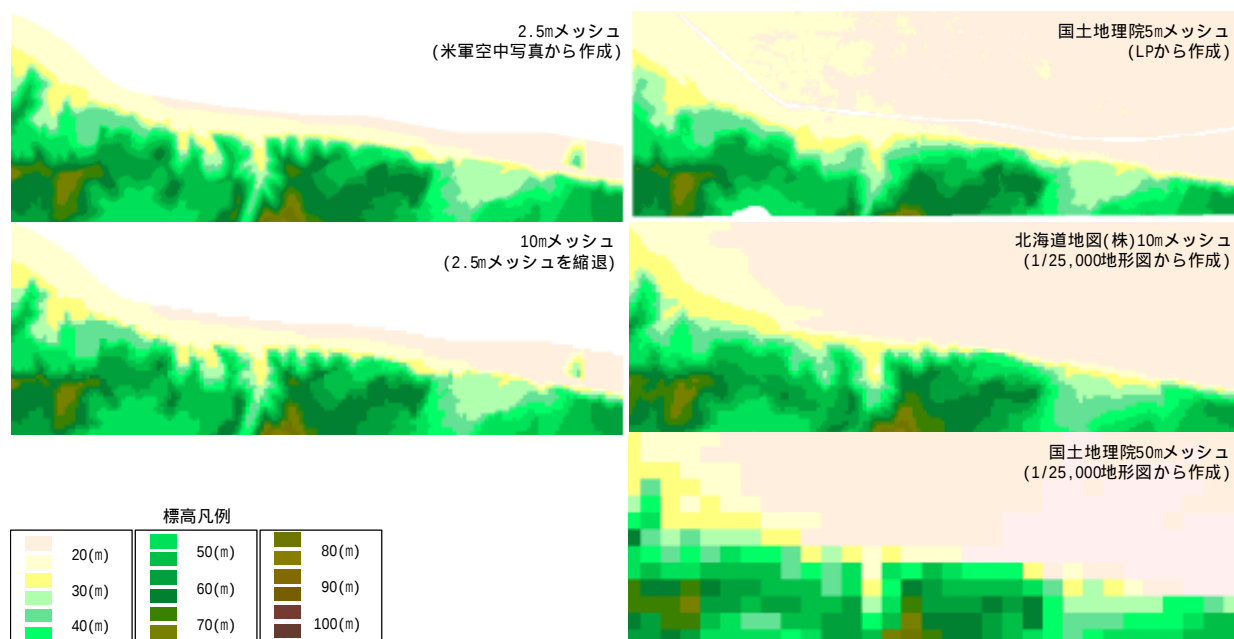
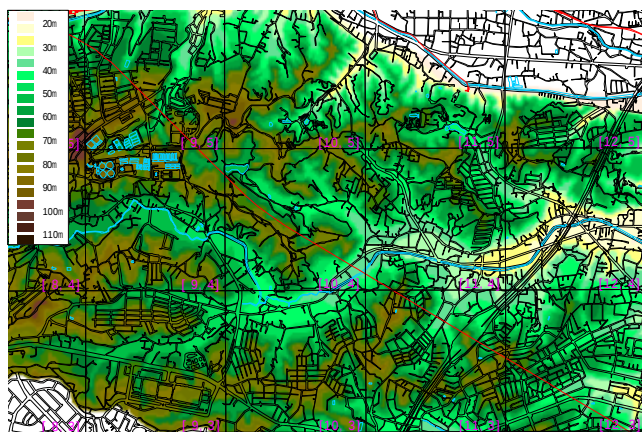
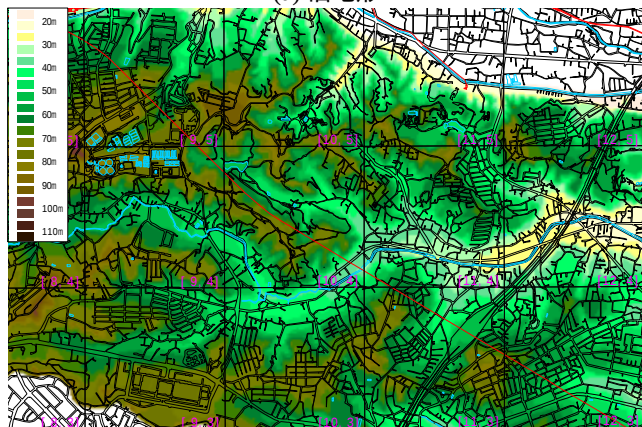


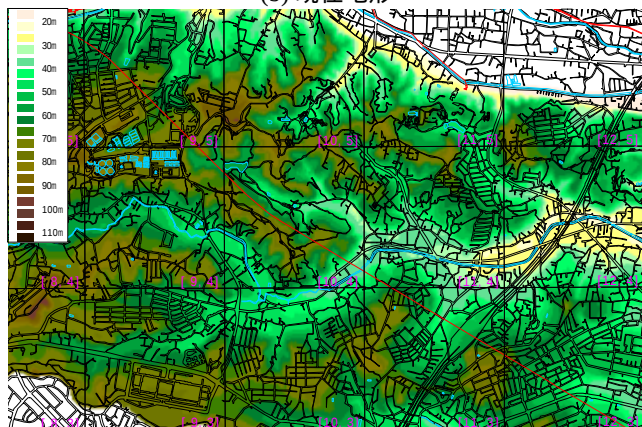
図-2 各種メッシュ標高データの比較



(a) 旧地形

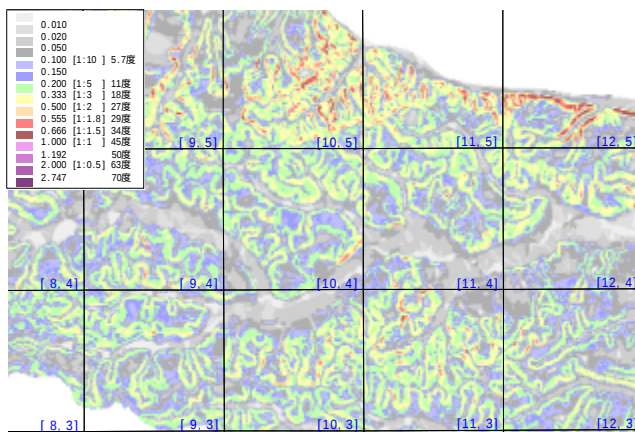


(b) 現在地形

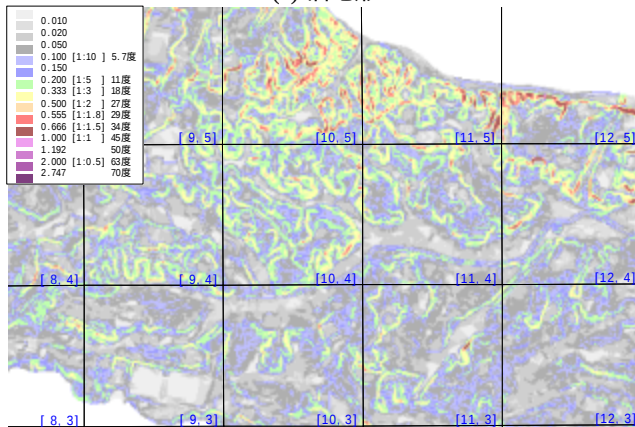


(c) 現在地形(市販データ)

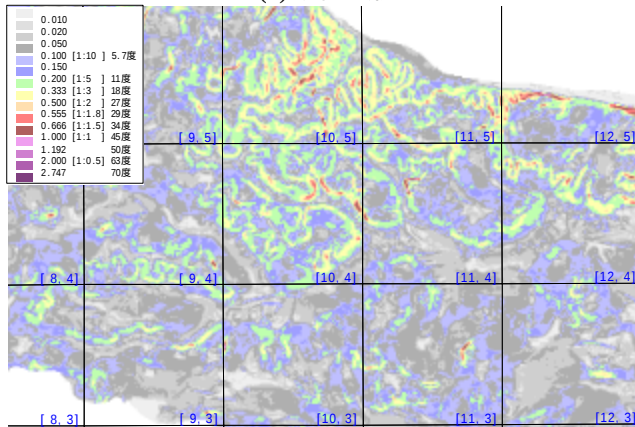
図-3 標高分布図



(a) 旧地形



(b) 現在地形



(c) 現在地形(市販データ)

図-4 傾斜量分布図

道地図(株)の10mメッシュ標高を用いることとし、これと分解能を合わせ文献2)の新旧データも10mメッシュに縮退したデータを用いることとする。

本論で用いるデータを以下にまとめる。

- ・旧地形標高：1/4万 米軍空中写真画像から空中写真測量技術により2.5mピッチで整備したデータ²⁾を10mメッシュに縮退
- ・現在地形標高：「川崎市デジタル地形2500」の等高線情報などにに基づき2.5mピッチで整備したデータ²⁾を10mメッシュに縮退
- ・現在地形標高(市販データ)：(株)北海道地図の10mメッシュ標高

また、次節以降で示す対象領域は、図-1の赤い矩形部分とする。

(2) 標高及び傾斜量分布

対象領域の標高分布図を図-3に示す。上から、(a) 旧地形標高分布、(b) 現在地形標高分布、(c) 市販データ標高分布であり、各々10mメッシュデータに統一している。対象領域(図-1の赤矩形)は、多摩川中流域の南側に位置する丘陵地が主要な地形である。細かく見れば、旧地形の方が等高線が入り組んでいるのが確認できるが、明瞭な差として表現されているとは読み取りにくい。

次に、同領域の傾斜量分布図を図-4に示す。傾斜

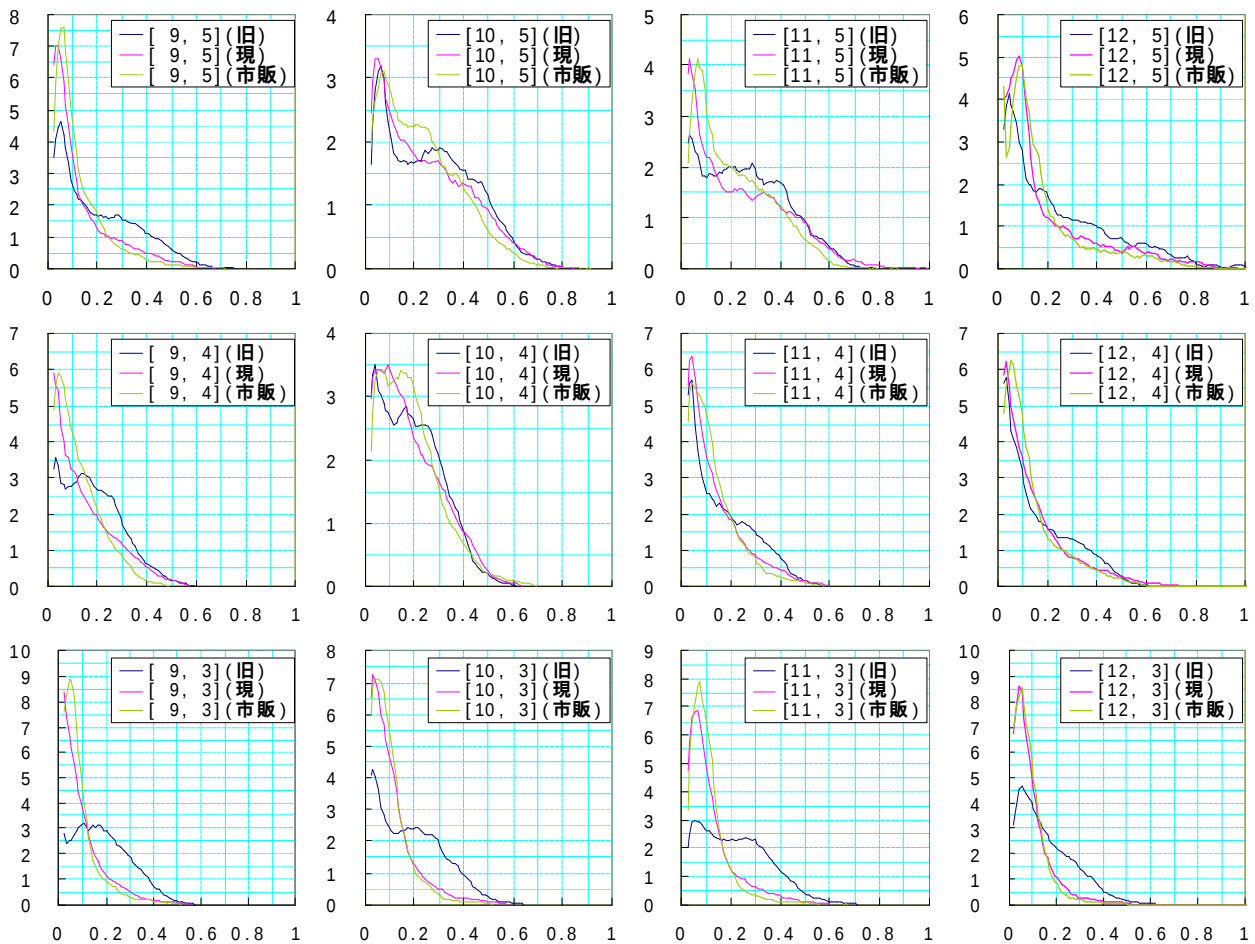


図-5 傾斜量頻度の確認(1km四方毎, X軸は傾斜量, Y軸は相対頻度)

量の計算は、文献6)の方法を用いている。図-3と同様、上から、(a) 旧地形傾斜量分布、(b) 現在地形傾斜量分布、(c) 市販データ傾斜量分布であり、各々10mメッシュデータに統一している。図-4の(a)と(b)を比較すると、旧地形より現在地形の方が、勾配0.2以上の急傾斜地域の幅が狭くなっており、勾配0.2以下の領域がある程度の面積を持った塊として認識できる。これは宅地造成を目的とした平坦化を行った結果と考えられる。一方、現在地形の平坦化領域周辺で傾斜量0.2以上で残っている箇所は、旧地形と比べて勾配がきつくなっている場合があり、これらは擁壁や盛土のり面となっている可能性が考えられる。

一方、(b)と(c)を比較すると、市販データ(c)の方が急傾斜箇所の勾配が緩くなっている代わりに幅が太くなっているのが分かる。これは、(c)が1/25,000地形図の等高線(高さ10m間隔)を補間して作成されたデータであり、元々の根拠資料に擁壁等の細かい勾配の変化が表現されていないためである。

(3) 対象地域の傾斜量の頻度分布の検討

傾斜量分布の変化をより明確に表現するため、傾斜量の相対頻度の比較を行った。図-5は、集計単位を1km四方のユニットに分け、ユニット毎に新旧の傾斜量の相対頻度(頻度分布の面積が1.0になるよう

正規化)を比較している。図中の各プロットの凡例に[X,Y]の形式でユニット名を表記しているが、このユニット名は、図-3、図-4の中の各グリッドの右下隅に表記している各ユニット名と対応する。また、図-5の凡例略称の意味は各々、(旧) = 旧地形、(現) = 現在地形、(市販) = 現在地形(市販データ)である。今回対象とした川崎市北西部は大部分が丘陵地であるが、自然地形であったと考えられる旧地形と比較して、勾配0.2～0.4(11度～20度くらい)の傾斜地の割合が全体的に大きく減少し、傾斜量0.2以下の割合が大きくなっている。一方、ユニット[10,5]は新旧変化が少ないが、このユニットは、生田緑地が多く、自然公園として旧地形がそのまま残されていると考えられる。

現在地形について詳細データ(赤線)と市販データ(緑線)を比較すると、平坦化地の領域(勾配0～0.1)では、市販データの方が若干勾配が大きくなっており、逆に急傾斜の領域(勾配0.2以上)では、市販データの勾配の方が若干緩くなっている。これらは補間に用いた基資料の詳細度の差がそのまま反映された結果であり、市販データの方が詳細データに比べてメリハリが少なくなっている。しかし、大規模改変領域における旧地形(青線)の分布形状からの変化に比べれば両者の差は小さいと言える。

(4) 自然地形と人工造成地の見極め

川崎北西部固有の特性かも知れないが、丘陵地の自然地形では勾配0.2～0.4程度の斜面が多く残っており、人工造成領域では勾配0.2～0.4程度の斜面が極端に少なくなる。従って、この勾配範囲の斜面が多く残っている場合は、人工改変が少ないと言える可能性がある。ただし、河川流域は元々傾斜量が小さくなる傾向があり、例えば平瀬川が通っているユニット[11,4]、[12,4]等では、相対的に勾配0.2以下の領域が大きく人工造成地特性と区別が付きにくい。河川流域や低地は予め別の手段⁷⁾で区別して取り除いておいた方が良くと考えられる。河川流域や低地を大まかに取り除き、丘陵地や山地等の地形分類に属する地域のみを対象とした上で、図-5のユニット[9,3]の赤線のような頻度分布形状をしていれば、人工造成の多い地域と考えられる。逆に、図-5のユニット[10,4]、[10,5]、[11,5]の赤線のように、勾配0.2～0.4の割合が多い形状を示していれば、自然斜面が多く残っている地域であることが予想できる。これらのことは、市販データ(緑線)を用いてもある程度同様のことが言えると考えられる。ただし、川崎北西部固有の特性である可能性も残っているので、別地域でも同様の検討を行い、経験を蓄積する必要がある。

3. 斜面災害危険箇所の面的推定

次に、斜面災害危険箇所の面的な抽出方法について検討を行う。実際には地盤状況に合わせて適切な地盤モデルを用いて検討を行う必要があるが、地盤状況については前章までの方法等を用いて大まかに分類できることを前提とし、今回はすべり安定計算を前提とした盛土地盤モデルを考える。

(1) 解析モデルとパラメータ

下記の3項目をパラメータ(以後、「盛土パラメータ」と呼ぶ)とするすべり安定計算を行い、盛土がすべり破壊に至る条件を整理する。

盛土高さ
のり面勾配
水平震度(等価震度)

図-6に解析モデルの概念図、与えた条件、盛土パラメータの値を示す。ここで、水平震度は等価震度 K_s としており、 $K_s=1/3 \cdot (A_{max}/g)$ と考える(A_{max} は地表面最大加速度[cm/s^2]、 g は重力加速度[cm/s^2])。また、盛土の土質は関東ローム相当と仮定し、JH設計要領第1集⁸⁾に基づき土質定数を設定した。排水管理により不飽和状態であると仮定している。基礎地盤は十分堅固で破壊しないと仮定、すべり線は盛土天端を通るものと仮定し、のり面内すべりは対象外とした。

各項目について3ケース、合計27ケースの解析を行った。解析結果の一覧を表-1に示す。表-1におい

盛土高さ : 5m、10m、15m
のり面勾配 : 1:2、1:1、1:0.5
水平震度 : 0.1、0.2、0.3
【水平震度は等価震度とし、 $K_s=1/3 \cdot (A_{max}/g)$ と考える】

- 盛土材は、関東ローム相当と仮定
- 【土質定数はJH設計要領第1集にもとづき設定】
- 基礎地盤は十分堅固で破壊しないと仮定
- すべり線は盛土天端を通るものと仮定(のり面内すべりは対象外)

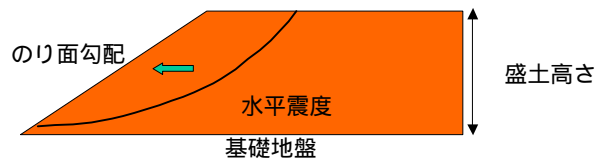


図-6 盛土のすべり安定計算用解析モデル

表-1 円弧すべり計算結果の一覧

	のり面勾配	盛土高さ (m)	水平震度毎の安全率		
			0.1	0.2	0.3
パターン1	1:2	5	2.32	1.77	1.43
パターン2		10	1.42	1.17	0.96
パターン3		15	1.14	0.92	0.78
パターン4	1:1	5	1.66	1.38	1.17
パターン5		10	1.05	0.89	0.76
パターン6		15	0.82	0.71	0.60
パターン7	1:0.5	5	1.21	1.05	0.92
パターン8		10	0.76	0.67	0.59
パターン9		15	0.60	0.52	0.45

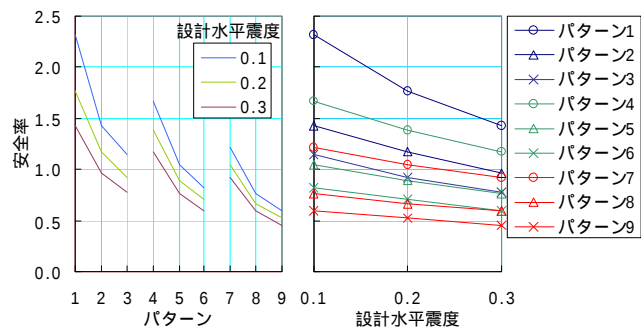


図-7 水平震度・パターンと安全率の関係

て、「盛土高さ」と「のり面勾配」を組み合わせたものをパターンと呼び、計9パターンについて、地震動毎の安全率の関係を調べた。結果を図-7にプロットする。図-7左は各水平震度毎にパターンが変わった場合の安全率の変化を示している。一方、図-7右はパターン毎に水平震度が変化した場合の安全率の変化を示している。

(2) 簡易式の作成

表-1の円弧すべり計算結果に基づき、盛土高さ、のり面勾配、水平震度(等価震度)を説明変数とし、安全率を目的変数として、下式を仮定し回帰分析を行うことにより、簡易式を作成するとともに、各項の影響の程度の把握を試みた。

$$\log(R) = A_1 + A_2 \log(h) + A_3 \log(\theta) + A_4 \log(K_s) \quad (1)$$

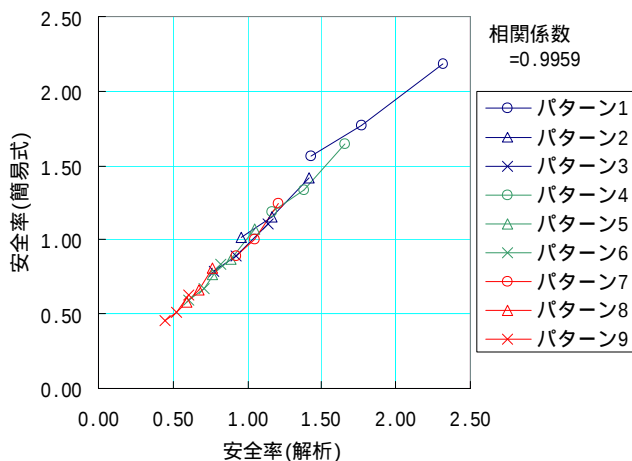


図-8 円弧すべりの解析計算結果と簡易式の関係

ここで、 R は安全率、 h は盛土高さ(m)、 θ はのり面勾配(高さ/幅)、 K_s は等価震度、 $A_1 \sim A_4$ は回帰係数である。回帰結果の式を下式に示す。

$$\log(R) = 0.349 - 0.622 \log(h) - 0.404 \log(\theta) - 0.303 \log(K_s) \quad (2)$$

重相関は0.9959となり、かなり高い相関が得られた。簡易式(式(2))による推定結果と解析結果との比較を相関図として図-8に示す。

(3) 傾斜地盤の抽出

土砂災害防止対策のための法制度としては、「砂防法」、「地すべり等防止法」、「急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律(急傾斜地法)」がある。一方、土砂災害の危険のある場所で開発行為や建築行為を規制する法制度としては「都市計画法」、「建築基準法」、「宅地造成等規制法」があり、災害発生時の対応について定める法制度としては「災害対策基本法」がある⁹⁾。この中で、急傾斜地法に関する急斜面の適用条件を図-9に示す。この適用条件は、基本的には自然斜面を対象としているが、阪神・淡路大震災では特例措置として人工の崖、すなわち宅地造成地の斜面にも適用された。自然斜面は、図-5の旧地形傾斜量頻度分布からも分かるように、各種勾配が存在し、規模も大きいので、図-6で設定した盛土のパラメータ(高さ h 、のり面勾配 θ)で抽出を行うと、多くの自然斜面と一緒に抽出されてしまう。自然斜面と盛土の区別は、別途行う必要があるが、盛土の層構成の詳細を知るには旧地形整備が必要であり大きな費用が必要となるため、ここではまず、現在地形情報のみを使って図-6の条件に適合する斜面の抽出を行う。

実際にDEMから取り出される地形断面の例を図-10に示すが、実際の地形は、図-6のような「ここから斜面、ここから平地」といった明確な区切りがなく、境界が曖昧である。そこで、図-11に示すような手法で傾斜抽出を行った。すなわち、計算起点から各方向、各距離までの高さと勾配を求め、盛土安

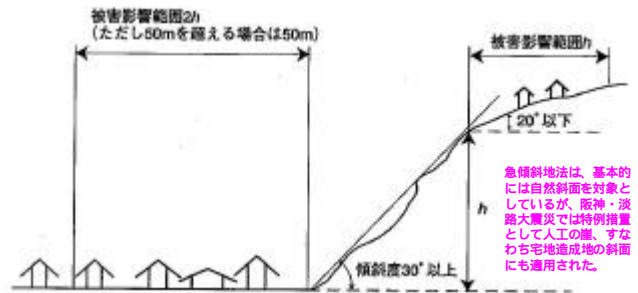


図-9 急傾斜地法の適用条件⁹⁾

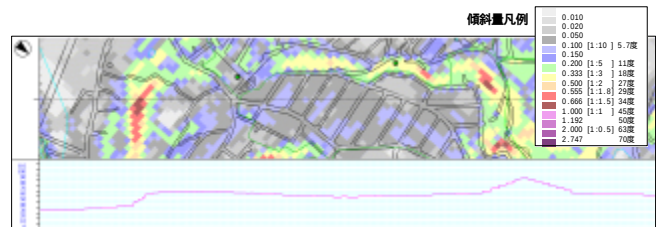


図-10 DEMから抽出される実際の断面例(10mメッシュ)

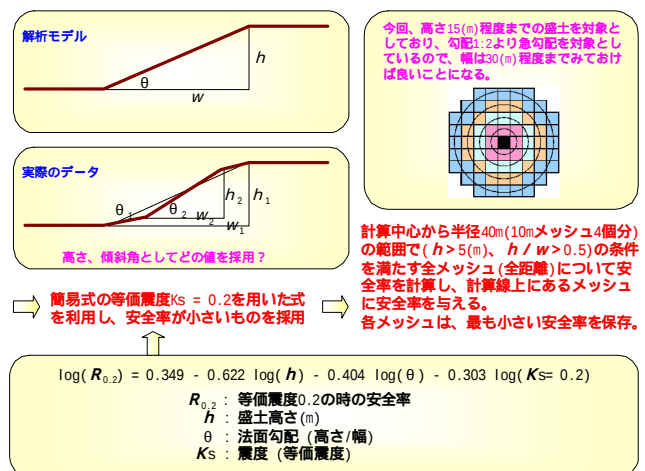


図-11 高さ・傾斜角の認知方法

全率の簡易式(式(2))に入れたときに最も安全率が小さくなったケースを各メッシュに覚えさせておくという手法である。この手法における基準となる等価震度として $K_s=0.2$ (地表面加速度で $600(\text{cm/s}^2)$ 相当)を採用し、基準安全率 $R_{0.2}$ として表すこととした。

計算起点からの計算範囲としては、今回、中規模程度の盛土を対象としているので、勾配0.5(1:2)以下の斜面や高さ5(m)以下の小規模な斜面は除外することとした。また、勾配0.5(1:2)以上かつ幅が40(m)以上となるような斜面は、高さが20(m)を超えることになるが、このような条件で抽出されるのは、かなりの大規模な盛土が自然斜面である。自然斜面の場合は元々今回の検討の対象外であり、大規模盛土の場合も設計・施工が厳しく管理されていると考えられるため敢えてここで検討対象とする必要はないと判断し、計算対象平面距離は40(m)までとした。

(4) 影響範囲の考え方

斜面が崩壊した場合の影響範囲としては、図-9を参考に3パターンを考えた。すなわち、斜面のみ



(a) 詳細標高データより作成



(b) 市販標高データより作成

図-12 10mメッシュ傾斜危険度判定結果
(上部影響範囲のみ考慮:埋設管用)

を考える場合， 斜面と天端(被害影響範囲 h)を考える場合， 斜面と天端(被害影響範囲 h)と斜面底部の平野(被害影響範囲 $2h$)を考える場合，の3パターンである． は埋設管を想定しており，斜面底部の平野の地中に埋設されているのであれば，土砂が崩れてきても直接被害にはならないと考えたため設けた影響範囲パターンである．一方，地上施設は，土砂崩壊の影響を受けるので の影響範囲パターンで考える必要がある．実際の盛土で擁壁がある場合等は，自然崖のように派手に崩壊土砂が飛散することは考えにくい，安全側の配慮として適用している．

(5) 計算結果の例

影響範囲パターン で計算した場合の抽出結果を図-12に示す．本来は，前章の結果と組み合わせた上で人工造成地のみに適用すべきであるが，ここでは，人工造成地か自然斜面かの区別をせずに全体に適用している．

図-12(b)は市販標高データを用いた場合の結果であるが，図-12(a)と比べると，取りこぼしや過小評価が若干目に付く．地盤モデルの高さの想定が5～15(m)であるのに対し，(b)の根拠資料は1/25,000地形図(等高線高さ間隔10m)であるため，元々の根拠



図-13 急傾斜地崩壊危険箇所¹⁰⁾



図-14 斜面崩壊に対する埋設管網の基準安全率の例

資料に想定地盤モデルを検討できるだけの詳細表現がなされていないことが原因と考えられる．大まかな領域の検出では(b)も十分利用できるが，細かい盛土の安全率を精度良く検出したい場合は，(a)のような大縮尺の資料に基づく必要がある．

図-13には，参考として神奈川県土砂災害危険箇所マップホームページ¹⁰⁾から川崎市の急傾斜地崩壊危険箇所(506箇所)を抽出した図を示すが，図-12(a)とよく対応しており，図-12(b)についても，若干取りこぼしはあるものの，ある程度表現できていると評価できる．これは，急傾斜地崩壊危険箇所のデジタルデータが取得できない地域においても，全国整備されている市販DEMを用いれば，かなりの確度で対象箇所を自動抽出できる可能性を示唆している．

(6) 施設被害推定への応用例

斜面災害に伴う施設被害推定への応用の可能性として，埋設管の被害推定手法の例を挙げる．図-12に示す基準安全率 $R_{0.2}$ の分布図と埋設管網データを重ね合わせることで，管網線形毎に基準安全率 $R_{0.2}$ を貼り付けることが出来る．埋設管網の斜面崩壊に対する基準安全率の例を図-14に示す．この基準安全率 $R_{0.2}$ は，等価震度 $K_s=0.2$ (地表面加速度で600 (cm/s²)相当)に対する安全率であるため，想定地震や観測地震等，実際の地震動強さが判った時点で，式(2)の K_s を0.2から適切な等価震度に補正すること

により、その地震動強さに対する安全率 R を計算することができる。

4. おわりに

本研究では、新旧標高データの傾斜量を比較することにより、人工造成によって傾斜量がどのように変化する傾向にあるか調査を行った。今後も分析を進め、現在地形のDEMだけから人工造成地の特徴をより的確に見極める手段について検討を行う。これにより、旧地形DEMを整備しなければならない地域を絞り込み、切盛厚さ分布等、人工造成地情報の整備を効率的に行う枠組みへと進展させていきたい。

今回の検討では、1/2,500レベルの詳細地図に基づいたDEMの他、1/25,000地形図に基づいた市販DEMについても合わせて検討を行った。これにより、人工造成地の領域絞り込みに関しては、市販DEMで実現できる可能性が高いことが判った。

一方、人工造成地における盛土の円弧すべりを想定した解析モデルに対して、パラメータスタディを行うことにより、安全率計算の簡易式を作成し、斜面崩壊に対する面的な安全率分布の把握方法を構築した。想定した解析モデルは盛土地盤であるものの、急傾斜地崩壊危険箇所とかなり良い対応関係にあることが確認された。盛土地盤の安全率計算に対する市販DEMの適用については、大まかな分布を見るには良いが、精度劣化や取りこぼしが若干懸念されるため、高い精度が要求される地域については、大縮尺資料に基づくDEMを整備することが推奨される。

今後は、上述の人工造成地領域絞り込み手法と人工造成地における斜面安全率計算手法を組み合わせるとともに、さらに自然斜面についても安全率計算式を構築し、地盤条件に応じた斜面モデルによる安全率分布の計算把握手法へと改善していく予定である。

謝辞：本研究は、文部科学省が推進している大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一環として行ったものである。

なお、本論をまとめるにあたり、(株)八州・安田岩夫氏、日本技術開発株式会社(株)・濱野雅裕氏に技術的な協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局砂防部: (記者発表)土石流危険渓流及び急傾斜地崩壊危険箇所に関する調査結果の公表について, 2003.3.28,
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/kisya/200301_06/030328/030328_ref1.html
- 2) 末富岩雄, 安田岩夫, 石田栄介, 磯山龍二, 後藤洋三: 造成盛土抽出手法の精度に関する一検討, 第3回日本地震工学研究発表・検討会, pp.476-478, 2005.1.13
- 3) 国土地理院: 数値地図5mメッシュ(標高)について,
<http://www.gsi.go.jp/MAP/CD-ROM/dem5m/index.htm>
- 4) 国土地理院: 数値地図50mメッシュ(標高)について,
<http://www.gsi.go.jp/MAP/CD-ROM/dem50m/index.html>
- 5) 北海道地図(株): GISMAP-Terrain, http://www.hcc.co.jp/style2_4.html
- 6) 神谷泉, 長谷川裕之, 黒木貴一, 早田靖博, 小田切聡子, 政春尋志, 田中耕平: 傾斜量図の作成とその応用, 情報地質, Vol.10, No.2, pp.76-79,
<http://gisstar.gsi.go.jp/SlopeMap/>
- 7) 例えば, ベゼギユ, 中井正一, 石田理永, 大岩乃亜, 石田栄介: 土地利用変化に基づく微地形区分および地盤概要の推定 - 衛星データに基づく関東平野中央部の解析 -, 第38回地盤工学研究発表会, pp.69-70, 2003.7
- 8) 日本道路公団: 設計要領 第1集 土工、舗装、排水、造園, 道路厚生会, 1999.7
- 9) 釜井 俊孝, 森随 治雄: 斜面防災都市【都市における斜面災害の予測と対策】, 理工図書, p.22, 2002.10
- 10) 神奈川県: 神奈川県土砂災害危険箇所マップ,
<http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/sabo/bousai/dosha/dosha.html>

(2005. 6.16 受付)