

大規模地震による宅地造成斜面の崩壊範囲の評価 — かけ条例による建築禁止距離の改良に向けて —

秦 吉弥¹・駒井 尚子²

¹ 大阪大学 大学院工学研究科 地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

² 大阪大学 大学院工学研究科 地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

近年、大規模地震により宅地造成斜面が崩壊し、住家が転落・転落寸前となるなどの深刻な被害が報告されている。一般的に、斜面上に住家などの建物を築造する際、かけ条例によって、ある一定の高さを有する斜面には、建築禁止距離の規制が適用される。しかしながら、かけ条例による規制の適用内外に関わらず、宅地造成斜面の深刻な被害が発生しており、建築禁止距離の規制式に関する新たな提案が必要である。そこで本稿では、造成宅地の被災斜面を対象にした崩壊範囲に関する再現解析を行い、再現解析で得られた知見に基づくパラメトリックスタディを実施することで、建築禁止距離の規制式に関する新提案を行った結果について報告する。

キーワード 地震、斜面崩壊、造成宅地、かけ条例

1. はじめに

近年、我が国では、2011年東北地方太平洋沖地震をはじめとした大規模地震による強震動の作用により、盛土構造物の被災や自然斜面の崩壊などの地盤災害が顕在化しており、その対策が急務となっている。

盛土構造物に対しては、これまで、安全率による地震時に盛土がすべり破壊を起こすか否かの判定、および Newmark 法¹⁾などを用いた地震後における盛土の残留変形量(滑動変位量や沈下量など：図-1参照)に主眼をおいた検討はなされているが、斜面崩壊範囲については、これまで十分な検討がなされていない。しかしながら、既存斜面の耐震診断等を考えると、被災の可能性についての評価だけでなく、斜面崩壊による住家の地震後の機能持続性を踏まえた斜面崩壊範囲の評価²⁾も必要となる。

一方、自然斜面等に対しては、耐震設計の対象とはなっていないが、各都道府県の建築基準法に関する条例中のかけに関する条文(以後、かけ条例³⁾と呼ぶ)に基づく建築禁止距離に関する規定が存在するものの、1969年～1982年の我が国における地震や降雨などによる斜面崩壊実績に基づいており⁴⁾、近年の被災実績が十分に取入れられていないのが現状である。

上記の背景を踏まえ本稿では、まず、既往の大規模地震による強震動の作用によって、住家の基礎部分にまで崩壊の範囲が進行した宅地造成斜面(以後、対象斜面と呼ぶ)に着目し、大規模地震時における斜面崩壊範囲の評価に関する再現解析を行った結果について報告する。

次に、再現解析(以後、ケーススタディと呼ぶ)により得られた知見を踏まえて、数多くのモデル斜面を設定することで、斜面崩壊範囲に関するパラメトリックスタディを実施した。最後に、得られた結果に基づき、現行のかけ条例による建築禁止距離の問題点を明らかにするとともに、建築禁止距離の規制式に関する新提案を行った。

2. かけ条例による建築禁止距離

住家を含む建築物の敷地については、かけ条例による規定が存在する。平出・田村³⁾は、かけ条例における具体的な制限の規定の概略について取り纏めを行い、報告している。本稿では、平出・田村の報告³⁾を参考に、かけ条例中の建物を築造する場合の天端における法尻からの水平距離の規定に着目した整理を行った。なお、長野県・大阪府については、建築基準に関する条例中に該当する条文が存在しないため、対象から除外している。

図-2および図-3は、45都道府県のがけ条例の内容を整理した結果である。具体的には、かけ条例中の建築物を

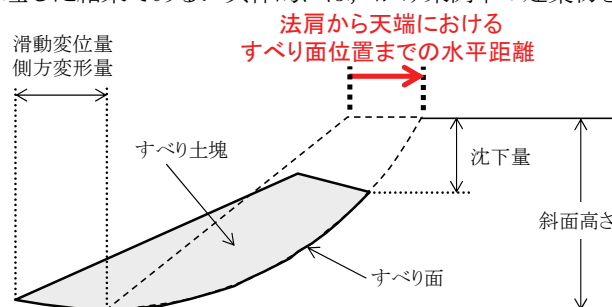


図-1 斜面崩壊範囲の評価の重要性に関する模式図

表-1 ケーススタディによる斜面崩壊範囲の評価結果^{6),13)}の一覧

検討ケース	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7
被災地震名	2011年東北地方太平洋沖地震	2011年東北地方太平洋沖地震	2011年東北地方太平洋沖地震	2011年東北地方太平洋沖地震	2004年新潟県中越地震	2001年芸予地震	1993年釧路沖地震
被災地点	福島市伏拝あさひ台団地	仙台市西花苑	山元町 太陽ニュータウン	一関市 館ニュータウン	長岡市 高町団地	呉市両城	釧路市 緑ヶ岡団地
斜面高さ H [m]	30	44	15.8	9.4	8.2	3.8	12.6
斜面勾配 1:s	1:1.7, 1:2.0	1:2.1	1:4.3, 1:3.2	1:2.1	1:3.2	1:0.68	1:1.62
がけ条例の規制の有無	なし	なし	なし	なし	なし	あり	あり
建築禁止距離 [m]	—	—	—	—	—	3.86	4.79
(実績)崩壊範囲 R [m]	(85.9)	7.3	8.8	7.7	26.7	5.2	9.8
推定範囲(一次) E_1 [m]	79.7	3.9	3.6	1.5	16.4	3.4	6.5
推定精度(一次)E_1/R	0.93	0.53	0.41	0.19	0.61	0.65	0.66
推定範囲(二次) E_2 [m]	85.6	7.1	8.8	8.0	22.9, 29.8	5.7	9.8
推定精度(二次)E_2/R	1.00	0.97	1.00	1.04	0.86, 1.12	1.10	1.00

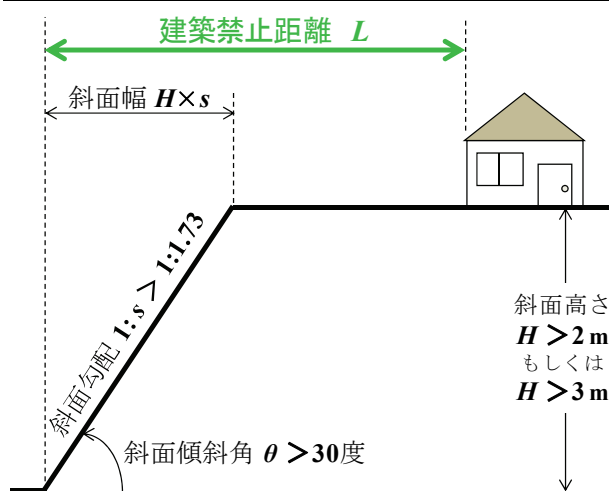


図-2 がけ条例による建築禁止距離の規制に関する現状

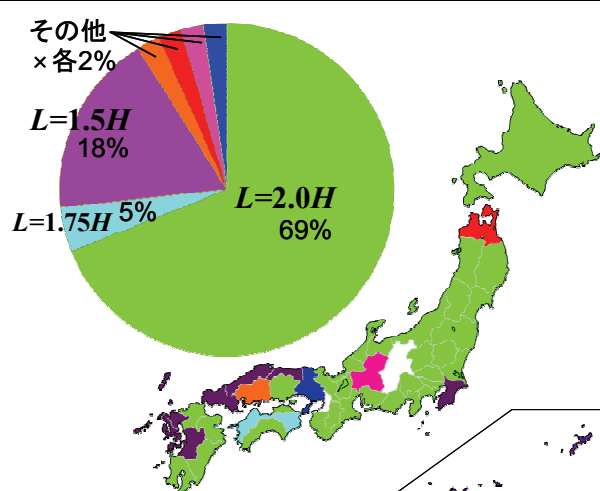


図-3 建築禁止距離の規制に着目した分類

建築する場合の水平距離 L (以後、建築禁止距離 L と呼ぶ：図-2参照)に着目して7タイプに分類した。ここに、斜面高さ H は2mまたは3mを超える場合を、斜面傾斜角 θ は30度を超える場合を規定対象としているものが多い。

図-3に示すとおり、建築禁止距離 L に関しては、斜面高さ H の2倍とする規制(タイプ1)が最も多く、全体の69%(31/45)を占めている。しかしながら、がけ条例が適用される斜面だけでなく、適用されない斜面においても、住家の基礎部分にまで斜面崩壊が進行しているケースが報告されており⁹⁾、建築禁止距離 L に関する新たな提案の必要性が示唆される。

3. 斜面崩壊範囲の評価

(1) ケーススタディ

本研究では、7つの対象斜面において斜面崩壊範囲に着目したケーススタディを行った。表-1は、斜面崩壊範囲の実績値に対して、ケーススタディにより得られた推定値を用いて比較を行うことで、一覧表に取り纏めたものの⁹⁾である。本章では、紙面の都合上、7つのケーススタディの中から福島市伏拝あさひ台団地での評価事例

(Case_1：表-1参照)⁷⁾を紹介する。

福島市あさひ台の団地内における対象斜面では、2011年東北地方太平洋沖地震の強震動の作用により、写真-1に示すような大規模な斜面崩壊が発生⁹⁾した。

図-4は、対象斜面の平面図に対して、旧地形の等高線(点線表示)およびすべり土塊の主要滑動方向(N100°W)についても同時に示している。さらに、図-5には、主要滑動方向における対象斜面の2次元モデル⁹⁾を示す。図-5に示すように、対象斜面は、斜面高さが30m、法勾配が1:1.7および1:2.0となっており、2で述べた福島県におけるがけ条例が適用されない斜面である。しかしながら、図-4および図-5に示すように、斜面崩壊範囲は、法尻付近から約70.2m(西側すべり面痕跡)ならびに約85.9m(東側すべり面痕跡)のところまで及んでいる。その結果、写真-1に示すように、斜面崩壊範囲が住家の基礎部分にまで及び、住家が転落する深刻な被災となっている。

図-6に対象斜面における安定解析の結果(臨界すべり円の探索結果)を示す。斜面安定解析は修正フェレニウス法⁹⁾に基づく円弧すべり解析であり、臨界すべり円の抽出を行った。まず、水平震度は、本震時における対象

斜面での推定地震動⁹⁾に基づいて、野田ほかの経験式¹⁰⁾に基づき水平震度 k_H を0.292と概算¹¹⁾した。次に、造成盛土の単位体積重量 γ およびせん断強度定数(粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ)は、土質試験結果⁹⁾に基づき、 $\gamma=16.87\text{kN/m}^3$ 、 $c=29\text{kPa}$ 、 $\phi=14.8^\circ$ と設定した。最後に、地下水位⁹⁾は、ボーリング調査結果により地表面下3mの位置にとした。

図-6に示すように、法尻から天端における臨界すべり面位置(一次すべり位置)までの水平距離に着目すると、79.7mと推定され、この推定距離は、崩壊範囲の実績値である85.9mとは整合性がとれていないように見受けられる。しかしながら、対象斜面の被災平面図(図-4参照)に示すように、地表部におけるすべり面の痕跡は西側と東側でそれぞれ確認できること、本震直後には住家の基礎部分にまで崩壊が進行していなかったという住民からのヒアリング結果に基づけば、上記の結果は一定の信憑性を有しているものと考えられる。

また、地表部におけるすべり面の痕跡状況(図-4参照)を踏まえると、本震後に斜面崩壊がさらに進行した可能性が高いため、本研究では二次すべり¹²⁾を考慮した斜面安定解析を連続的に実施した。具体的には、図-6で示した本震時における臨界すべり円による斜面崩壊(一次すべり)に起因したすべり土塊を全て除去した状態で、修正フェレニウス法⁹⁾に基づく円弧すべり解析を実施することで、臨界すべり円の抽出を行った。地盤特性は本震時の解析と同様であり、水平震度 k_H は考慮していない。

図-6には、法尻から天端における臨界すべり面位置(二次すべり位置)までの水平距離を算定した結果についても同時に示している。図-6に示すとおり、一次すべりならびに二次すべりに基づく崩壊範囲の推定距離は85.6m(79.7m+5.9m)となり、若干過小に評価しているものの、崩壊実績である85.9mと比較的良好な一致を示している。

(2) 崩壊範囲の推定に向けた分析・知見

3.(1)と同様のアプローチを、他の6つの宅地造成斜面にも適用¹³⁾し、斜面崩壊範囲の評価結果をまとめたものが表-1である。対象斜面の崩壊実績に対して、一次すべりのみを考慮した解析では崩壊範囲を十分に評価できておらず、その精度も低く、ばらつきが大きくなっている。しかしながら、一次すべりだけでなく二次すべりを同時に考慮することで、崩壊範囲をいずれも1割程度の誤差で再現できているのが読み取れる。

すなわちこれらの知見は、二次すべりに相当する臨界すべり円に達するまで斜面崩壊が進行する可能性が高く、大規模地震時における斜面崩壊範囲の評価では、一次すべりだけでなく二次すべりについても同時に考慮する必要性が高いことを示唆するものである。

4. 建築禁止距離の規制に関する新たな提案

(1) 感度分析

まず、3.で述べたケーススタディにより得られた知見

に基づき、斜面崩壊範囲に影響を及ぼすことが予想されるパラメータとして、図-7に示すように、①斜面高さ H 、②表層地盤の層厚 H_1 (標高:高)、③表層地盤の層厚 H_2 (標高:低)、④法面と基盤面の水平方向の最短距離 D 、⑤法面勾配 $1:s_1$ (標高:高)、⑥法面勾配 $1:s_2$ (標高:低)、⑦傾斜基盤勾配 $1:k_1$ (標高:高)、⑧傾斜基盤勾配 $1:k_2$ (標高:低)、⑨単位体積重量 γ 、⑩内部摩擦角 ϕ 、⑪粘着力 c 、⑫水平震度 k_H (本震(一次すべり))、⑬水平震度 k_H (余震等(二次



写真-1 あさひ台団地(Case_1)の被災状況(2011年5月5日撮影)

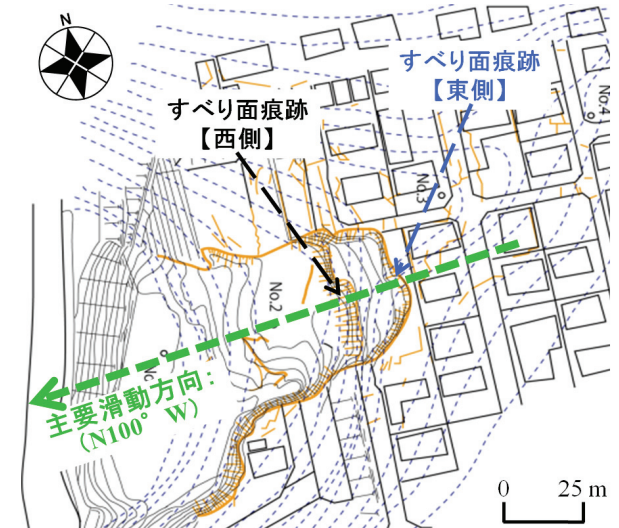


図-4 旧地形の等高線を重ねた対象斜面(Case_1)の平面図⁹⁾

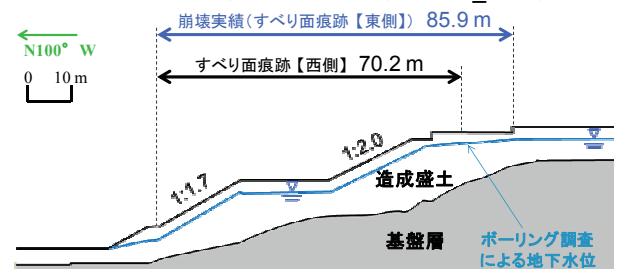


図-5 対象斜面(Case_1)における2次元モデル⁵⁾

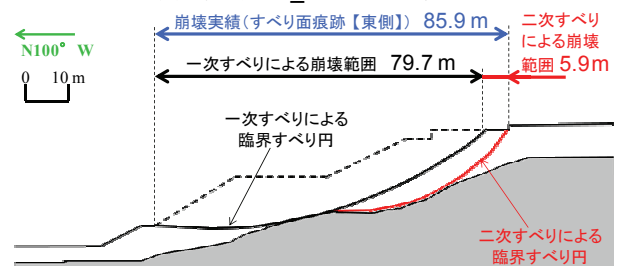


図-6 対象斜面(Case_1)における斜面崩壊範囲の評価⁷⁾

すべり))の計13種類のパラメータを選定した。そして、選定した13種類のパラメータのうち、斜面崩壊範囲に対して特に大きな影響を及ぼすことが予想されるパラメータを抽出するための感度分析を行った。

次に、感度分析に使用したパラメータの値とその変動範囲を表-2に示す。変動範囲については、7つのケーススタディの実績^{6,13)}に基づいて設定した。具体的には、各パラメータが中央値(表-2において灰色でハッチングされた値)により構築される斜面モデルを基本ケース(以後、基本斜面モデルと呼ぶ)として、基本斜面モデルに対して1種類のパラメータを1段階毎に変化させ、パラメータの変化が斜面崩壊範囲に及ぼす影響を、全11種類のパラメータについて検討を行った。例えば、斜面高さ H を変化させたケースでは、表-2に示すように、24mを中央値として3mから45mまで7つの検討ケースを設けた(その際、斜面高さ H 以外のパラメータはいずれも中央値を採用した)。なお、斜面勾配 $1:s$ と傾斜基盤勾配 $1:k$ の感度分析のケースについては、斜面内における勾配変化の影響を無視(すなわち、 $s_1=s_2$ ならびに $k_1=k_2$ としている)。また、二次すべりによる斜面崩壊範囲の計算するにあたり、余震の影響を考慮しないケース($k_{H2}=0.00$)と余震を考慮するケース($k_{H1}=k_{H2}$)の2パターンを検討内容に加えた。

最後に、斜面崩壊範囲の推定方法については、7つのケーススタディにおいて採用した方法(3参照)と同様に、修正フェレニウス法⁸⁾を用いた円弧すべり解析を実施し、一次すべりならびに二次すべりによる斜面崩壊範囲を計48ケースについて推定した。図-8は、斜面高さ H の2倍で表される $2H$ (最も採用実績が多いタイプ1による規制式)に基づくがけ条例による建築禁止距離：図-2および図-3参照)に対して、計48ケースによる斜面崩壊範囲の推定値をプロットしたものである。

図-8に示すように、斜面高さ H を変化させたケースおよび法面勾配 $1:s$ を変化させたケースでは、斜面崩壊範囲の推定値は非常に大きく変動しているのに対し、斜面高さ H と法面勾配 $1:s$ 以外のパラメータを変化させたケースでは、斜面崩壊範囲の推定値の変化は僅かであることが読み取れる。すなわちこれは、斜面崩壊範囲に比較的大きな影響を及ぼすパラメータは、斜面高さ H ならびに法面勾配 $1:s$ であることを示唆するものである。よって、後述するパラメトリックスタディの実施にあたっては、斜面高さ H 、法面勾配 $1:s$ 、傾斜基盤勾配 $1:k$ (斜面勾配 $1:s$ と傾斜基盤勾配 $1:k$ の相関性を勘案して採用)の3つのパラメータに着目した検討を行うこととした。

(2) パラメトリックスタディの条件

4.(1)で得られた結果を踏まえ、パラメトリックスタディを実施するにあたり、斜面モデルの形状に関して再度詳細な検討を行った。7つのケーススタディにおいても、斜面勾配 $1:s$ や傾斜基盤勾配 $1:k$ が、法面の途中で変化している斜面モデルと、法面の途中で変化せず勾配一定の

斜面モデルが見受けられることから、本節では、法面の途中で勾配が変化するケース($s_1 \neq s_2$, $k_1 \neq k_2$)と、法面の途中で変化せず勾配一定のケース($s_1 = s_2$, $k_1 = k_2$)の2パターンを採用した(図-7参照)。具体的には、勾配一定のケース($s_1 = s_2$, $k_1 = k_2$)では、感度分析(4.(1)参照)と同様に、7つのケーススタディの実績に基づいて3つのパラメータ(斜面高さ H 、斜面勾配 $1:s$ 、傾斜基盤勾配 $1:k$)の変動範囲を設定し、表-2に示す全ての組合せについて検討を行った。一方で、勾配を変化させるケース($s_1 \neq s_2$, $k_1 \neq k_2$)では、 s_1 および s_2 の値は1.1, 2.0, 3.3の3ケース、 k_1 および k_2 の値は3.4, 5.5, 6.5の3ケースについてそれぞれ検討を行った。

表-2 感度分析に使用するパラメータの値とその変動範囲

① 斜面高さ H [m]	3	10	17	24	31	38	45
② 層厚(高) H_1 [m]	0	2	4	6	8		
③ 層厚(低) H_2 [m]	0	2	4	6	8		
④ 水平最短距離 D [m]	-4.0	-2.6	-1.3	0.0	4.0	8.0	12.0
⑤ 斜面勾配(高) $1:s_1$	0.7	1.1	1.6	2.0	2.7	3.3	4.0
⑥ 斜面勾配(低) $1:s_2$	0.7	1.1	1.6	2.0	2.7	3.3	4.0
⑦ 斜面勾配(高) $1:k_1$	0.0	1.7	3.4	5.0	5.5	6.0	6.5
⑧ 斜面勾配(低) $1:k_2$	0.0	1.7	3.4	5.0	5.5	6.0	6.5
⑨ 単位体積重量 γ [kN/m^3]	15	16	17	18	19		
⑩ 内部摩擦角 ϕ [度]	14.0	20.5	27.0	33.5	40.0		
⑪ 粘着力 c [kPa]	0.0	7.5	15.0	22.5	30.0		
⑫ 水平震度 (一次すべり) k_{H1}	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34		
(二次・余震なし) k_{H2}			0.00				
⑬ 水平震度 (二次・余震考慮) k_{H2}	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34		

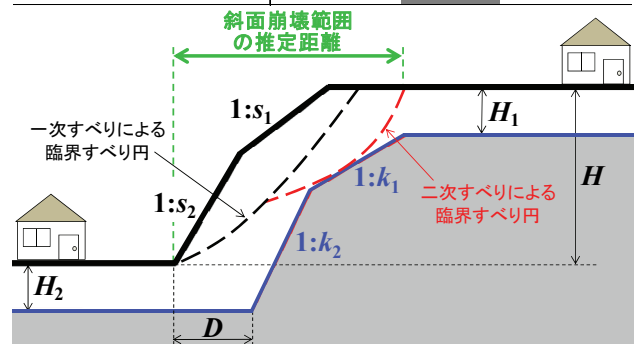


図-7 パラメトリックスタディにおいて考慮した斜面形状

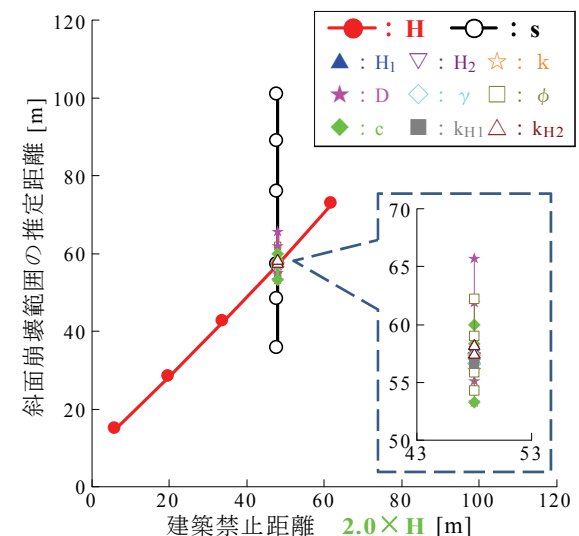


図-8 斜面崩壊範囲に大きな影響を及ぼすパラメータの抽出

斜面崩壊範囲の推定方法は、上述した7つのケーススタディや感度分析と同様である。その結果、勾配を変化させるケース($s_1 \neq s_2$, $k_1 \neq k_2$)では206ケース、勾配一定のケース($s_1 = s_2$, $k_1 = k_2$)では256ケースについて検討を行い、感度分析の48ケース(4.(1)参照)を合わせると、全510ケースについて斜面崩壊範囲の推定値を得ることができた。

(3) パラメトリックスタディの結果

図-9(a), (b), (c), (d)は、がけ条例による建築禁止距離(タイプ1：図-9(a)参照，タイプ2：図-9(b)参照，タイプ3：図-9(c)参照，タイプ4：図-9(d)参照)に対して、全510ケースによる斜面崩壊範囲の推定値をプロットしたものである。図-9の図中には、45度の角度を有する基準直線(以後、45度線と呼ぶ)も同時に示しており、45度線よりも下側にプロットされているケースについては安全側(すなわち、斜面崩壊範囲の推定値が建築禁止距離を下回っている)、一方で、45度線よりも上側にプロットされているケースについては危険側(すなわち、斜面崩壊範囲の推定値が建築禁止距離を上回っている)であることを意味している。図-9に示すように、がけ条例による建築禁止距離の規制式において法勾配の影響が考慮されていないタイプ1～4では、45度線よりも上側にプロットされる傾向、すなわち危険側に斜面崩壊範囲を評価する傾向があることが読み取れる。

図-9(e), (f), (g)は、がけ条例による建築禁止距離(タイプ5：図-9(e)参照，タイプ6：図-9(f)参照，タイプ7：図-9(g)参照)に対して、全510ケースによる斜面崩壊範囲の推定値をプロットしたものである。その際、現行のがけ条例による規制式を用いて建築禁止距離を計算する際、勾配を変化させた206ケースについては、 s_1 と s_2 の平均値を法面勾配 $1:s$ の値として採用している。

図-9(e), (f), (g)と図-9(a), (b), (c), (d)を比較すると、図-9(e),

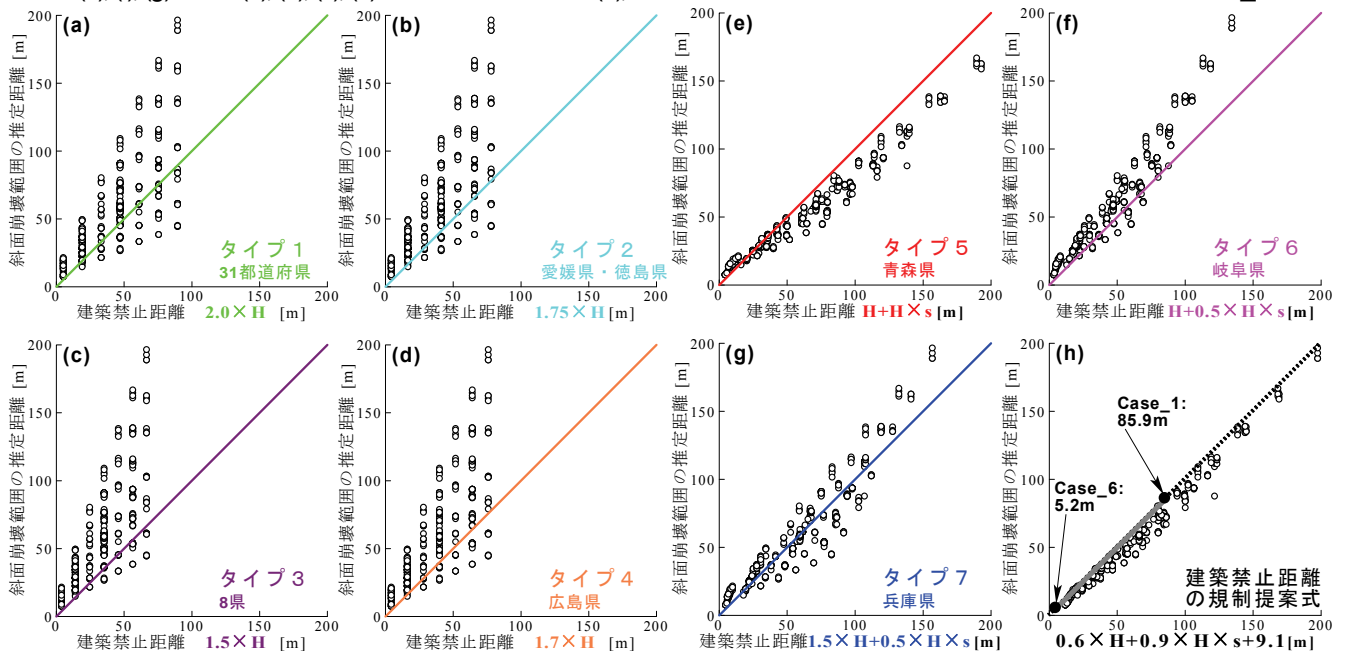


図-9 現行のがけ条例による建築禁止距離(図-3参照)の問題点(同図(a)～(g))と、本研究における規制に関する新提案式(同図(h))

(f), (g)のほうが斜面崩壊範囲の推定値が45度線付近に分布する傾向が強いことが読み取れる。これは、がけ条例による建築禁止距離の規制式において斜面勾配 $1:s$ の影響(斜面幅 $H \times s$ の影響)を考慮することで、斜面崩壊範囲の推定精度が向上することを示唆するものである。しかしながら、タイプ5の規制式では安全側に崩壊範囲を評価する傾向が強く(図-9(e)参照)，タイプ6の規制式では危険側に崩壊範囲を評価する傾向が強く(図-9(f)参照)，タイプ7の規制式では安全側だけでなく危険側にも評価する傾向があり(図-9(g)参照)，いずれにしても、現行のがけ条例による建築禁止距離の規制式(タイプ1～7)の適用では、斜面崩壊範囲を十分な精度でかつ安全側に評価することができないことが、ケーススタディによる分析結果(3.(2)参照)だけでなく、本節におけるパラメトリックスタディによる分析結果においても確認できる。

(4) 規制式に関する新提案

上述した現行のがけ条例による建築禁止距離の規制式に関する現状と問題点を踏まえ、本節では、建築禁止距離の規制式に関する新たな提案を行う。図-9(h)は、本研究において提案する建築禁止距離の規制式に対して、全510ケースによる斜面崩壊範囲の推定値をプロットしたものである。具体的には、建築禁止距離[m]の規制に関する新提案式は、次式で表される。

$$L [m] = 0.6 \times H + 0.9 \times H \times s + 9.1 \quad (1)$$

(1)式は、全510ケースによる斜面崩壊範囲の推定値を包絡し、なおかつ(1)式と推定値の差異が最小になるように、試行錯誤の結果、定式化したものであり、現行のがけ条例による建築禁止距離の規制式と同様に、斜面高さ H が3m以上の宅地造成斜面が対象となる。

図-9(h)には、7つのケーススタディのうち、斜面崩壊範囲が最大であった福島市伏拝あさひ台団地(Case_1：

3.(1)参照)と最小であった呉市両城(Case_6)での崩壊範囲の実績値(85.9mおよび5.2m：表-1参照)についても同時にプロットしており、被災実績を有する範囲の45度線については実線、被災実績が有していない(いわゆる外挿による)範囲の45度線については破線でそれぞれ記載することで、設計・実務に対する適用性について配慮した。

なお、全てのケースにおいて本研究における提案式の適用が必ずしも最適というわけではなく、施工資料等により対象とする宅地造成斜面の概要(斜面形状や土質特性など)が既知である場合には、3.で述べたケーススタディと同様に、一次すべりと二次すべりの影響を考慮した斜面安定計算を行い、大規模地震による斜面崩壊範囲を直接推定することが望ましい。

5. まとめ

本稿では、既往の大規模地震による造成宅地の被災斜面を対象にした斜面崩壊範囲に関する再現解析から得られた知見に基づいてパラメトリックスタディを実施し、建築禁止距離の規制式について新たな定式化を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) がけ条例が適用され建築禁止距離の規定を満足している斜面、ならびに法勾配1:1.73よりも緩勾配であるためがけ条例が適用されていない斜面においても、大規模地震の強震動の作用による斜面崩壊範囲は、住家の基礎部分にまで及び、住家は転落寸前もしくは転落に至る結果となっている。
- 2) 一次すべりのみの検討では、対象斜面の崩壊実績を十分に再現することができず、二次すべりの影響を考慮することによって、崩壊実績を1割程度の誤差で再現できていることから、大規模地震における斜面崩壊範囲の評価では、一次すべりだけでなく二次すべりの影響についても同時に考慮する必要がある。
- 3) 斜面崩壊範囲に比較的大きな影響を及ぼすパラメータは斜面高さおよび法面勾配であり、現行のがけ条例による建築禁止距離の規制式において、斜面勾配の影響(斜面幅の影響)を考慮することで、斜面崩壊範囲の推定精度が向上する傾向はあるものの、斜面崩壊範囲を十分な精度でかつ安全側に評価することはできない。
- 4) 建築禁止距離の規制に関する新たな提案式は、

$$L[m]=0.6 \times H+0.9 \times H \times s+9.1$$

で表すことができ、現行の規制式と比較して斜面崩壊範囲を精度良く推定することが可能である。ただし、この提案式は、現行式と同様に斜面高さ3m以上の宅地造成斜面が対象となり、特に、被災実績(斜面崩壊範囲：5.2～85.9m)の中に含まれない宅地造成斜面を対象とする場合には、適用に留意する必要がある。なお、施工資料等により宅地造成斜面の詳細が既知である場合には、一次すべりと二次すべりの影響を同時に考慮した斜面安定計算を行い、斜

面崩壊範囲を直接評価するのが望ましい。

今後は、本稿で示した建築禁止距離の規制に関する提案式を地方自治体等に周知していきたいと考えている。

謝辞：平出務主任研究員((独)建築研究所)には、がけ条例による建築禁止距離の規定に関する背景・現状について情報提供していただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 館山勝，龍岡文夫，古関潤一，堀井克己：盛土の耐震設計法に関する研究，鉄道総研報告，Vol.12，No.4，pp.7-12，1998.
- 2) 秦吉弥，一井康二，常田賢一：モンテカルロシミュレーションを用いた地震時における斜面崩壊範囲の評価，第13回日本地震工学シンポジウム論文集，日本地震工学会，pp.3410-3417，2010.
- 3) 平出務，田村昌仁：建築物の敷地に関する技術基準類の現状—その2がけ条例—，第41回地盤工学研究発表会講演概要集，No.5，pp.9-10，2006.
- 4) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課，建設省土木研究所急傾斜地崩壊研究室：がけ崩れ災害実態について(昭和53年～57年)[資料編]，土木研究所資料，第2016号，pp.1-19，1983.
- 5) 中村晋，仙頭紀明，阿部慶太，秦吉弥，野津厚：2011年東北地方太平洋沖地震による造成盛土の崩壊挙動解析，強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性評価シンポジウム論文集，土木学会，pp.39-42，2012.
- 6) 駒井尚子，秦吉弥，常田賢一：ケーススタディに基づく大規模地震による宅地造成斜面の崩壊範囲の評価に関する基礎的検討，土木学会論文集 A1，Vol.70，No.4，2014.
- 7) 駒井尚子，秦吉弥，常田賢一：2011年東北地方太平洋沖地震における福島市伏拝あさひ台団地での斜面崩壊範囲の評価，第10回地盤工学会関東支部発表会(Geo-Kanto 2013)発表講演集，Paper No.A0004，2013.
- 8) 例えば，常田賢一，小田和広，佐野郁雄，澁谷啓，新納格：土質力学，理工図書(株)，pp.231-247，2010.
- 9) 秦吉弥，中村晋，野津厚：地盤非線形応答時のサイト増幅特性の評価—2011年東北地方太平洋沖地震による福島市の造成盛土崩壊地点での地震動の推定—，地盤工学ジャーナル，Vol.7，No.1，pp.139-149，2012.
- 10) 野田節男，上部達生，千葉忠樹：重力式岸壁の震度と地盤加速度，港湾技術研究所報告，Vol.14，No.4，pp.67-111，1975.
- 11) 例えば，Hyodo, M., Orense, R.P., Noda, S., Furukawa, S. and Furui, T.: Slope failures in residential land on valley fills in Yamamoto town, *Soils and Foundations*, Vol.52, No.5, pp.975-986, 2012.
- 12) 常田賢一，須山翔太，寺西弘一：道路盛土の二次すべりを考慮した耐震安定性の評価法に関する考察，第55回地盤工学シンポジウム平成22年度論文集，地盤工学会，pp.161-166，2010.
- 13) 駒井尚子，秦吉弥，常田賢一，魚谷真基：大規模地震時による宅地造成斜面の崩壊範囲の評価に関する基礎的検討，第33回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，Paper No.2-455，2013.