

土砂災害履歴に基づいた等危険度線による 通行規制基準の設定に関する事例研究

A CASE STUDY ON RAINFALL CRITERION FOR ROAD TRAFFIC CONTROL
BASED BOTH ON RAINSTORM AND SLOPE FAILURE DATA

佐藤 丈晴¹

Takeharu SATO

¹株式会社 エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山市北区津島京町3丁目1-21)

E-mail: satou-take@ej-hds.co.jp

Key Words: regulation of road traffic, landslide hazards, Tottori prefecture

1. はじめに

昭和42年の飛騨川バス転落事故を契機として、事前通行規制の運用が始まった。事前通行規制は地域の交通を遮断することであり、人流、物流の両面から大きな影響を及ぼすため、実施には慎重にならざるを得ない。

道路防災点検で要対策箇所と判定された危険箇所は、徐々に防災対策が進捗しており、年々斜面崩壊等の危険性が低下している。設定年度の古い規制基準は、このような防災対策の効果を反映できていない。また、設定根拠が明確でなく、その効果が明確になっていないものもある。適切な事前通行規制体制は、防災対策等の影響を反映し、かつ自然現象及び社会状況を総合的に勘案して規制基準を設定、運用し、地域に対して十分な説明責任を果たすことが必要である。

現在、直轄国道区間を中心に事前通行規制区間の基準について検討されており、多くの区間で緩和、解除されている。防災対策の実施により、斜面災害の危険度の低下を確認した上で、基準値以上の豪雨を経験しても災害が発生しなければ、規制緩和・解除の候補区間となり、検討委員会によって判定されるのが、一般的なフローとなっている。

本報告は、鳥取県における道路災害について分析した結果を紹介する。既往の道路災害の特徴分析か

ら、短期降雨基準の有効性、現行基準の偏りがあることを確認した。この結果に基づき、自然現象の側面からは、災害の危険度に基づいた基準の構築を挙げた検討事例を報告する。

2. 課題抽出と問題設定

鳥取県では、昭和57年から事前通行規制区間が設定され、平成21年現在で85箇所指定されている(図-1)。規制基準の大半が時間雨量40mm以上、または連続雨量200mm以上の基準となっており、その設定根拠が不明となっていた。また、近年の降雨状況に対する分析も実施できていないため、どのくらいの精度で予測できているかも把握していなかった。そのため、事前通行規制の発表は、災害発生後に実施した事例がほとんどであった。これらのことから、鳥取県では、現行基準を基とした解除及び緩和の措置ではなく、新たに基準を構築するという視点で検討を実施した。本プロジェクトの課題は、適切な事前通行規制体制の整備である。

事前通行規制の開始基準は、適切かつ明確である必要がある。この基準は、自然現象、社会状況などを総合的に検討しなければならない。そこで、まず自然状況に合致した事前通行規制基準の候補案を作成し、社会状況他を勘案して基準設定を行う方針とした。

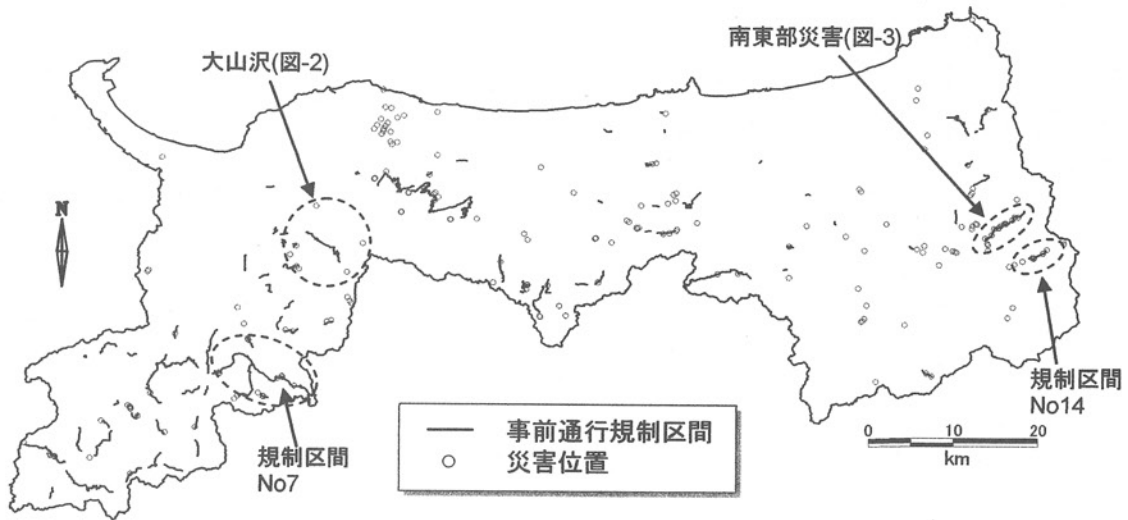


図-1 鳥取県内における事前通行規制区間と既往災害の分布



図-2 大山沢の災害事例



図-3 鳥取県南東部の災害事例(矢印は災害位置)

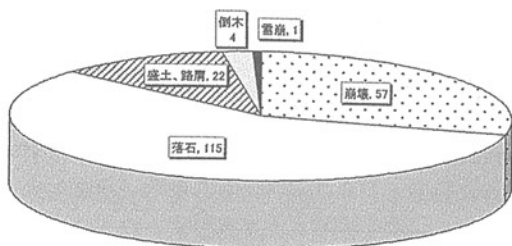


図-4 全災害の災害種別

3. 道路災害の現状

既往の道路災害の状況及び降雨データの整理を行った。鳥取県内の災害の分布状況を図-1に、代表的な災害事例を図-2及び図-3に示した。今回収集整理した災害は、平成19年以降であり、災害数は199箇所である¹⁾。

図-2は大山南西部における事例である。2005年8月15日に、突発的に時間雨量74mmを記録した。大山沢(図中の一の沢、二の沢、三の沢)は、土砂流出し、道路が遮断され車が孤立した。後に車両の乗員及び孤立車両ともに無事救出された。

図-3は、鳥取県南東部における事例である。2008年9月21日に、時間雨量86mmを記録した。図中の矢印付近で同時多発的に土砂流出が確認され、通行不能となった。本災害では孤立した車両はなかったが、大山と同様の事例となっていた可能性がある。

これらの災害は、いずれも事前通行規制区間内で発生したものである。このような現状を踏まえて、自治体は早急な対応をとる必要があったと考えられる。

災害の種別について整理した(図-4)。崩壊と落石で全災害の86%を占めており、斜面上部の対策が必要であることを示唆している。一部の倒木事例や雪崩事例も含めて斜面上部からの落下による災害事例が大多数であった。崩壊の57事例のうち、崩壊土量が把握できている40事例の平均値は27.5(m³)であった。落石の115事例の災害規模(落石の大きさ)の平均は、0.13(m³)であった。大きいものでは3t以上の落石もあり、全面通行止めとなる事例もあった。

続いて、災害が発生した降雨(以下発生降雨と記す)の状況を整理した(図-5)。

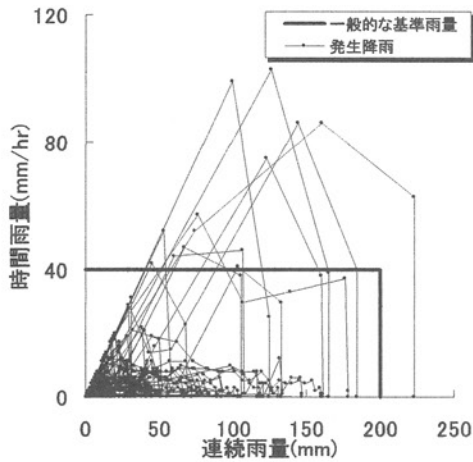


図-5 発生降雨の雨量データ分布図

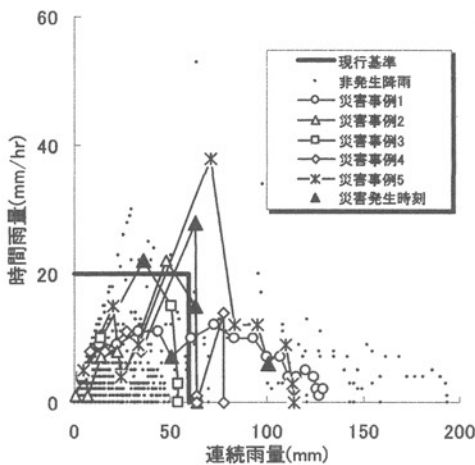


図-6 発生降雨の特徴分析

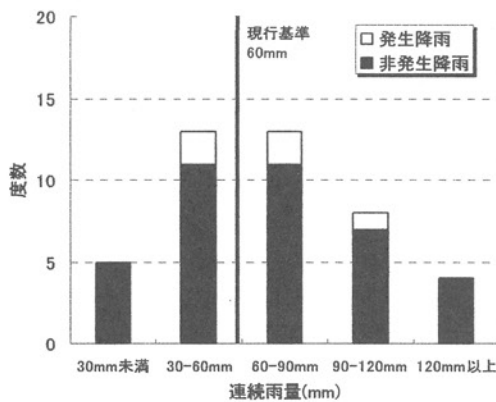


図-7 大山沢における発生降雨と非発生降雨の分布
(発生降雨は災害発生時刻の連続雨量)

発生降雨は、各災害が発生した箇所における最も近い雨量観測所のデータを用いている。図-5に、時間雨量10mm以上あるいは連続雨量40mm以上の降雨²⁾で発生した災害(計62ケース)について、各々の降雨の一時間ごとの時間雨量と累積雨量のデータセット

を、スネーク曲線を用いてすべてプロットした。

県内の一般的な事前通行規制基準(時間雨量40mm以上、または連続雨量200mm以上)は、図中の基準線で示され、この基準線よりも右上の領域にプロットされた降雨データは基準を超過したことを意味している。基準雨量と発生降雨の分布と重ねると従来基準の課題が明確となる。それは、時間雨量40mmと連続雨量200mmという二つの基準の危険度が一致していないことである。従来基準を超過したすべての発生降雨(10事例)は、時間雨量基準を超過しており、連続雨量基準を超過した発生降雨はない(1件あるが、時間雨量基準を超えた後に連続雨量基準を超えた事例である)。

さらに、発生降雨34降雨(災害数:62箇所)のうち、10降雨(34箇所)の災害しか予測できていない。従来の実績から、適切な基準の必要性が高いことを示唆している。

4. 既往事例に基づいた基準設定の方針

発生降雨に併せて、非発生降雨の分布も確認した(計38降雨)。図-6は大山沢を含む事前通行規制区間の事例を示した。大山沢は県内で最も災害が多く発生し、かつ災害発生時刻が把握されている特殊な地域である。基準値も時間雨量20mm、連続雨量60mmと最も厳しい基準が設定されている。

発生降雨の経緯を確認すると、連続雨量は大きくない。これは連続雨量のみで、発生降雨と非発生降雨を精度よく分離することは困難であることを示唆している。図-7に、連続雨量を用いて発生降雨と非発生降雨の度数分布を示した。非発生降雨と発生降雨の分布の状況はほぼ同じであり、連続雨量のみで分離することは困難であることが確認できた。

この傾向について確認するため、鳥取県全域で同様の分析を行った。鳥取県内における国土交通省テレメータ及び鳥取県テレメータは、計123箇所分布する。すべての雨量観測所で、2007年1月～2009年9月末まで(2.75年)の期間の降雨(時間雨量10mm以上または連続雨量40mm以上)を整理した。この期間については、文献¹⁾の収集期間と対応している。検討対象となる非発生降雨数は、4077降雨であった。災害が発生した62件について、時間雨量、連続雨量それぞれで累積度数を整理し、非発生降雨との割合を示した(図-8)。時間雨量80mm以上の降雨を経験すると、災害の発生確率は96.4%であり、連続雨量が60mm以上のケースでは、災害発生確率は、7.3%であることを示している。降雨時の災害発生確率は1.5%(0mm以上のとき)である。

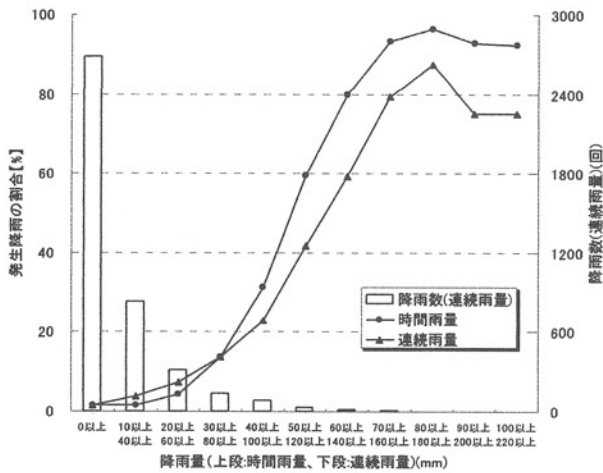


図-8 大山沢における発生降雨と非発生降雨の分布
(発生降雨は災害発生時刻の連続雨量)

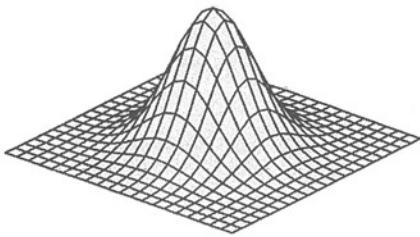


図-9 ガウス関数

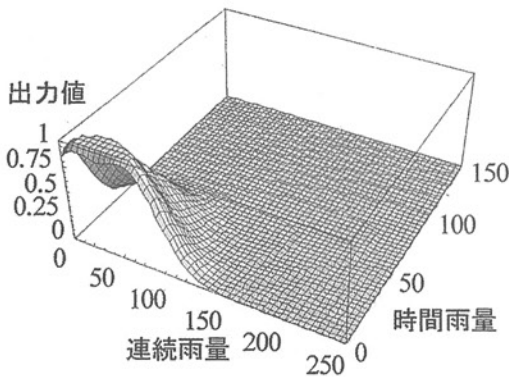


図-10 判別境界面

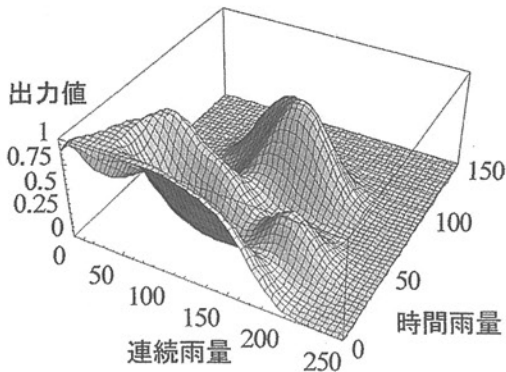


図-11 発生降雨を1000回経験し、災害が発生しなかったと仮定したときの判別境界面

時間雨量、連続雨量の比較における最大の相違は、時間雨量30mm未満、連続雨量80mm未満の降雨における災害の割合である。全降雨の90%以上が含まれる領域において、連続雨量が時間雨量と比較して3%も災害発生確率が高くなっている。すなわち、連続雨量の少ない区間でも災害の発生事例が多いことを示している。逆に時間雨量は、30mm～60mmまで急激に上昇している。この急激な変化は、災害発生の閾値がこの区間にあることを示唆している。

前出の大山沢の発生降雨は、連続雨量が小さくても時間雨量の大きなピークを経験していた。この事例は、図-8に示した連続雨量の小さい区間での災害発生事例に該当する。これらの発生降雨は、時間雨量のピークがあることから、時間雨量基準によって予測できる可能性がある。この結果より、大山沢の傾向は、鳥取県全域においても同様であることが示された。そして、新たに設定する事前通行規制基準には、従来基準と同様に時間雨量基準が必要であることが確認できた。

また、図-5で示した発生降雨は、県内全域の災害発生を用いた分布であり、個々の事前通行規制区間において多数の発生履歴があるわけではない。大半の事前通行規制区間では、災害が発生していない。つまり、災害が発生していない区間についても妥当な基準の設定が求められる。

この問題に対して、本検討では、豊富にデータのある非発生降雨に着目した。非発生降雨の回数を多く経験することによって、その降雨量は安全と評価する方針とした。この方針は、図-6の非発生降雨のデータ分布に適応した安全領域の設定と同意となる。非発生降雨のデータ分布という自然現象から、データの密度を安全率として表現し、その密度分布を等高線表示とすることで、等危険度線を定義する。客観的かつ自然現象を的確に表現した等危険度線は、道路災害に対する安全性を合理的に評価できる。

等危険度線の算定は、気象予報で採用されているRBFN^{(3),(4),(5)}を適用することで実現できる。RBFNは、土砂災害警戒情報の発表基準を設定している手法であり、上記考え方を基にした領域設定を可能にする手法である。

5. RBFN

RBFNについては、国土交通省河川局他による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)に詳細に説明されており、ここでは概略のみ説明する。RBFNは、脳や神経回路網をモデルとした3層構造(入力層、中間層、出力層)のニューラルネットワークの一種であり、中間層の出力関数にガウス関数を用いたモデル

表-1 解析に使用したパラメータ

| パラメータ名 | 数値 |
|-----------------|-----|
| 格子間隔 Δx | 3 |
| 格子間隔 Δy | 1.5 |
| 半径 r_x | 30 |
| 半径 r_y | 15 |
| λ_{max} | 100 |
| λ_{min} | 1 |

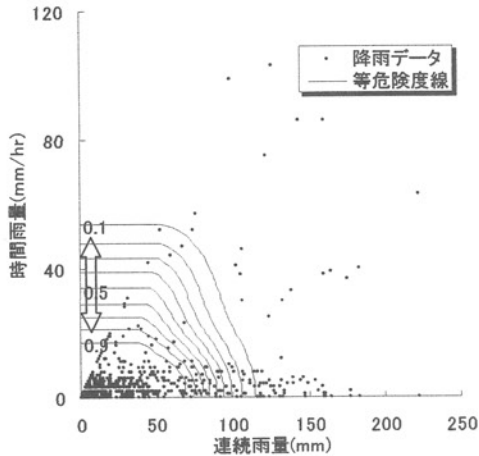


図-12 等危険度線と降雨データの分布【No7】

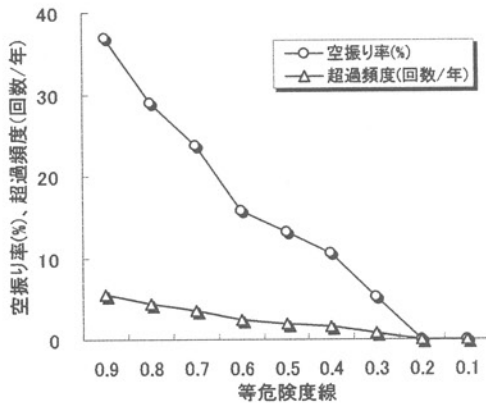


図-13 等危険度線と空振り率、超過頻度の関係【No7】

である (図-9)。

$$h_j(x) = \exp(-\|x - c_j\|^2 / r^2) \cdots (1)$$

出力層 $O(x)$ の出力は、中間層素子 h_j と結合係数 w_j (以下、重み) との積の総和

$$O(x) = \sum_{j=1}^m w_j h_j(x) \cdots (2)$$

として表され、結果として図-10 に示す判別境界面が構築される。

この出力値の高さが、非発生降雨の密度の高さを表現しており、出力値が高いほど安全性が高いと評価できる。本事例は、判別境界面を 0.1 ごとの出力値で切断した断面を等危険度線として表示した。

この判別境界面がデータの密度で評価されていることを具体的事例で説明する。図-10 は非発生降雨のみで設定した判別境界面である。図-11 は発生降雨事例をすべて 1000 回経験したときの判別境界面である。豪雨時でも災害が発生しないことを多数経験したため、判別境界面の出力値が高くなっている。

このように、RBFN は過去の経験回数を、客観的に出力値として表現することができる。この特徴は、既往の災害及び降雨の実績に基づいた等危険度線の構築を可能とする。

本検討では、表-1 に示すパラメータを採用した。本事例では、降雨分布の地域特性を考慮するため、抑制項の影響を小さくし、地域の局地的な気象条件に合致した解析条件とした。

6. 中山間地及び県境部で検証

鳥取県における全 85 区間の内、No7 及び No14 について、RBFN で等危険度線を設定し、検証を行った。この二区間の位置は、図-1 に示した。

(1) No7 の事例

事前通行規制区間 No7 は、県南西部の日野町にあり、国道 181 号線に位置する。本地域では主要路線であり、迂回にはかなりの時間を要する。

事前通行規制区間では、豪雨で発生した災害はなく、非発生降雨のみの解析となった。結果を図-12 に示した。降雨量の分布に応じた等危険度線が設定されている。図では、計 9 本の等危険度線を設定しており、図中の数値が等危険度線の高さを示している。どの等危険度線を採用するかは、精度の検証によって最適な値を決める。本区間は発生降雨の事例がないため、以下に示す評価指標を算定した。

【非発生降雨の空振り率】

基準を超過した非発生降雨。規制を行ったにもかかわらず災害が発生しないケースの割合を示す指標。数値が大きいほど、精度が悪い。

$$\text{空振り率} = \text{基準超過降雨数} / \text{全非発生降雨数}$$

【基準超過頻度】

一年間に何回規制を実施するかの指標。数値が大きいほど、規制回数が多いことを示す。数値が小さいほど運用しやすい。

$$\text{超過頻度} = \text{基準超過降雨数} / \text{データ収集年} (2.75)$$

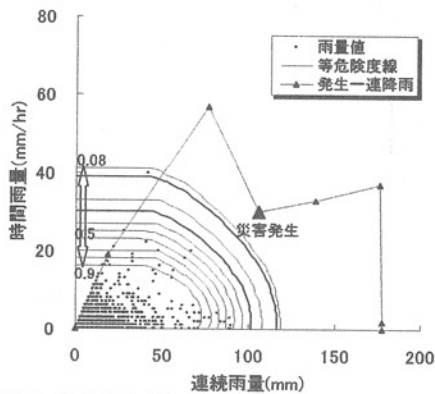


図-14 等危険度線と降雨データの分布【No14】

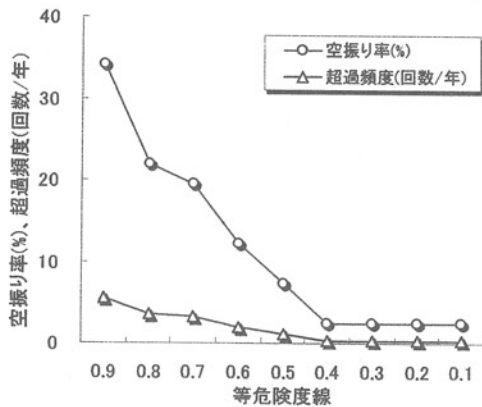


図-15 等危険度線と空振り率、超過頻度の関係【No14】

上記 2 指標を算定した結果を図-13 に示した。等危険度線 0.2 を超過している降雨はない。したがって、0.2 を採用すると、過去 2.75 年間の空振り率は 0% ということとなる。道路災害からの視点で言えば、事前通行規制区間 No7 は等危険度線 0.2 以下の案が妥当と考える。

(2) No14 の事例

事前通行規制区間 No14 は、県南東部の若桜町にあり、国道 482 号線に位置する。本地域では主要路線であり、No7 と同様迂回にはかなりの時間を要する。

本区間では、災害を 3 件経験している。このうち 2 件は、降雨以外の原因に起因して災害が発生したものと考えられたため、豪雨時の災害として取り上げなかった。1 件の災害事例のみで評価を行った。

算定された等危険度線を現行基準と重ねて表示した(図-14)。非発生降雨の分布に類似した等危険度線が設定されている。区間内で発生した発生降雨をスネーク曲線で示した。災害事例は、すべての等危険度線を超過しており、等危険度線の選定には使用できない。

図-15 に No7 と同様非発生降雨の空振り率と基準超過頻度の算定結果を示した。一降雨で時間雨量 40mm を記録しており、いずれの等危険度線でも空振

りとなった。この降雨を的中させるには、等危険度線 0.08 が必要となる。土砂災害警戒情報では、等危険度線を 0.1 刻みとして設定されているが、本区間においては、非発生降雨を全体的に中させるために、0.08 の等危険度線を算定して、基準候補値とする案が第 1 案として提案する。

7. まとめ

本報告では、事前通行規制基準の設定において、自然災害に対する等危険度線を既往の災害履歴と降雨データから客観的に分析し、基準候補値を算定する方法について検討した。もちろん運用するに当たっては、斜面の状況、道路ネットワークや孤立集落、防災機関の分布、防災対策の状況などを勘案して総合評価した基準を用いることとなる。

今回は二事例のみ評価したが、他区間についても検討し、課題を整理する必要がある。

また、本検討で用いた RBFN に関しては、土砂災害警戒情報(参考文献 1)) で使用したものではないことを著作権者に確認を頂いて検討に使用した。

謝辞：本検討を行うにあたって鳥取県県土整備部道路企画課岸田啓氏には、多数の資料をご提供頂き、また内容についてご指導頂いた。ここに記して感謝いたします。

参考文献：

- 1) 鳥取県県土整備部道路企画課：被災履歴記録表
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法、国土技術政策総合研究所資料、平成 13 年 9 月
- 3) 国土交通省河川局砂防部、気象庁予報部、国土交通省国土技術政策総合研究所：国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)、平成 17 年 6 月
- 4) 倉本和正、鉄賀博己、東寛和、荒川雅生、中山弘隆、古川浩平：RBF ネットワークを用いた非線形がけ崩れ発生限界雨量線の設定に関する研究、土木学会論文集、第 672 号/VI-50, pp. 117-132, 2001 年 3 月。
- 5) 倉本和正、守川 倫、鉄賀博己、荒川雅生、中山弘隆、古川浩平：斜面要因を考慮した斜面毎の非線形がけ崩れ発生限界雨量線の設定手法とその崩壊予測精度、土木学会論文集、第 707 号/VI-55, pp. 67-81, 2002 年 6 月。

(2010. 5. 14 受付)