

道路防災点検における定量的な危険度評価システムの高度化に関する提案

原田 紹臣¹

¹正会員 博（工）京都大学大学院農学研究課（〒606-8502 京都市左京区北白川追分町）

E-mail:harada3@kais.kyoto-u.ac.jp

我が国においては、昭和43年に発生した飛騨川バス転落事故を契機に道路防災点検が開始され、これまで多くの技術知見等が蓄積されてきた。今後、これらの技術を発展途上国等に転移していくことが望まれる。その際、我が国における危険度評価システムの一部は、専門技術者による定性的な総合的判断に基づく評価が必要である。そこで、専門的な技術を要さない海外での適用拡大や近年の説明責任における意思決定経緯の明確化を目的に、これまで蓄積されてきた既往の危険度評価結果を活用して、現行の手法に対して補完させる定量的な評価システムを提案した。なお、既往点検結果に対する分析の結果、現行の危険度評価システムにおいて着眼されている傾向が実際の点検における傾向と異なる可能性が示唆された。

Key Words : disaster prevention, manegent system, priority of repair, quantitative evaluation, road manegment

1. はじめに

昭和43年8月に発生した一般国道41号の飛騨川バス転落事故（土砂災害；104名死亡）¹⁾を受けて、我が国では同年9月以降に道路防災点検（第1回目）が実施された。その後、道路において多発する災害とそれに対応した定期的な点検の実施が繰り返されており、平成8年2月に発生した一般国道229号における豊浜トンネル崩落事故（20名死亡）²⁾を契機に、同年8月において、現在でも運用されている点検要領³⁾の危険度評価システムが提案された。そして、その後に第9回目となる道路防災点検（総点検）が実施された。さらに、平成18年9月において、それまでの点検要領の一部が改訂（ただし、軽微な点検項目の追加のみ）され、現在もなお変更されずに運用されている。これまで、この改定された点検要領³⁾に準拠して、多くの箇所において点検（安定度調査；危険度評価）が実施されてきた。

一方、近年において、道路管理施設（例えば、擁壁や吹き付けモルタル等）の老朽化に伴う変状や劣化等によって多くの災害が報告されており、適切な防災対策工事の実施が課題となっている。特に、緊急避難路に指定されている幹線道路や高規格のバイパス道路等の重要幹線等において発生した災害によって通行に問題が発生した場合、社会的な問題（例えば、高速道路において発生し

た盛土崩壊⁴⁾）となることが多く、更なる点検精度の向上や危険度評価（安定度調査）結果の決定までにおける経緯の透明化が重要であると考えられる。また、海外の発展途上国においても、我が国と同様の地形や土地利用、気象条件を保有する国も多く存在しており、我が国における道路防災技術（例えば、事前の点検による危険度評価手法）の適切な技術移転が望まれている⁵⁾。

我が国での道路防災点検における危険度評価システムは、点検要領³⁾において現象毎（表-1）に対してそれぞれ示されている安定度調査表（例えば、図-1や図-2）を用いて、対象箇所毎の現地状況に応じた対応方針（表-2）がそれぞれ決定されている。その際、これまで我が

表-1 道路防災点検で対応する主な災害現象と対象要件¹⁾

現象	対象要件(抜粋)
盛土	・高さ5m以上の盛土で集水地形の箇所等
落石・崩壊	・高さ15m以上の法面、自然斜面または勾配45度以上の自然斜面等
地すべり	・地すべり危険箇所または地すべり防止区域等
擁壁	・変状した場合に周囲に影響を及ぼす擁壁等
土石流	・道路を横断して流下する流域面積1ha以上で最急渓床勾配10度以上の溪流等
橋梁基礎洗掘	・河川区域内に設けられた橋梁のうち、洗掘の可能性のある橋梁等
雪崩	・「積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法」に基づく「積雪地域」で発生区の斜面勾配が25度以上の箇所等

様式-12 安定度調査表(盛土)

要因	評点区分	盛土区分毎の配点				各要因の内の最高評点
		片切・片盛部	両盛土部 深流横過部	傾斜地部	平坦地部	
変状	構造的なクラック・開口亀裂あり	2	2	2	2	2
	のり面下部の洗掘あり	3	3	3	3	3
	補修箇所多数あり	2	2	2	2	2
基礎地盤	地すべり・クリープ	2	2	2	2	2
	軟弱地盤	1	1	1	1	1
	崖壁 安定地盤	0	0	0	0	0

図-1 道路防災点検の危険度評価時に運用されている安定度調査表様式の例(盛土)³⁾

【要因】(A)

要因	評点区分	盛土区分毎の配点				各要因の内の最高評点
		片切・片盛部	両盛土部 深流横過部	傾斜地部	平坦地部	
変状	構造的なクラック・開口亀裂あり	2	2	2	2	2
	のり面下部の洗掘あり	3	3	3	3	3
	補修箇所多数あり	2	2	2	2	2
基礎地盤	地すべり・クリープ	2	2	2	2	2
	軟弱地盤	1	1	1	1	1
	崖壁 安定地盤	0	0	0	0	0

図-2 安定度調査表における各要因と評価配点(重み)の例⁴⁾

表-2 危険度評価(安定度調査)における対応方針とそれらに対応した本稿における表記

対応方針	本稿における表記
・対策が必要と判断される。	要対策
・防災カルテを作成し対応する。	経過観察
・特に新たな対応を必要としない。	対策不要

国において蓄積されてきた多くの技術知見に基づいて提案された災害に直接的に影響を与えると考えられる各評価項目(例えば、素因、誘因等)や現地確認された変状と、これらに対応した危険度に関する定量的な評価配点が安定度調査表内において示されている(図-2)。ただし、これらの評価配点は初期において試行的に設定されて以来、これまで一度も見直しがされていない。そして、点検者や管理者はこれらの評価システムに基づいた現地状況の把握により、各評価配点に基づいて点検箇所毎にそれぞれ最終評点を算出し、この評点が高い箇所から、防災対策工が必要な箇所等(表-1)を決定している。ただし、この評価システムは全国において一律的

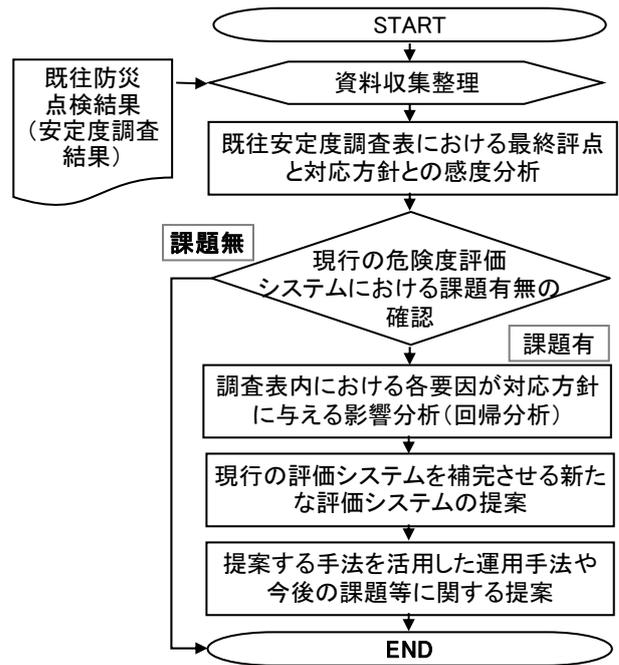


図-3 本研究の流れ

に運用されているため、地域の特性等の違いが考慮されておらず、最終的な対応方針(表-1)の意思決定は最終評点(図-2)以外の「その他の要因」も含めた技術者による「定性的な総合的判断に基づいた決定」とされている。このため、対応方針の意思決定までにおける経緯が不明瞭であると考えられる。また、定性的な総合的判断によるため、これまでの本評価システムを用いた点検結果において、同じ箇所に対して複数の点検者がそれぞれ評価した場合に、点検者毎にそれぞれ異って評価する可能性が考えられる。これより、企業間や点検技術者間における危険度に対する評価水準の相違や、人事異動や年次毎の契約変更による対応方針に関する意思決定者の交代等に対応するため、管理管内における評価水準に関する整合を確保する新たなシステムが望まれる。さらに、本危険度評価システム³⁾に関して、平成8年度の運用が開始されてからこれまでの間において、筆者らが知る限り、適用の妥当性等に関して精査された既往研究は殆ど存在しない⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

そこで、図-3に示されるとおり、本研究では防災点検においてこれまで蓄積されてきた危険度評価(安定度調査)結果の一部を用いて、対応方針(表-2)と最終評点(図-1)との関係について、感度分析により、現行における評価システムの妥当性について考察する。次に、点検技術者間における危険度に関する評価水準の整合を確保する一つ的手段として、欧州における橋梁アセットマ

ネジメント手法を基にした筆者らの先行研究¹⁾を参考に、現行の安定度調査表の補完として、既往の安定度調査結果を対象にした統計解析により、対応方針の意思決定経緯を明確にした定量的な危険度評価システムを提案する。最後に、これらの提案する手法を活用した今後の道路防災点検における運用方法や防災対策工事の対策優先度に関する検討手法を提案するとともに、今後の課題等について示す。

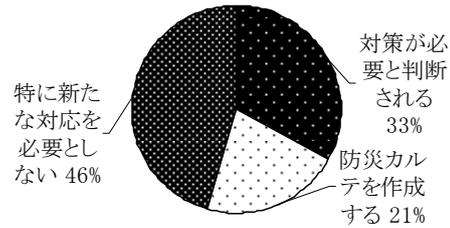


図4 分析に用いる既往点検結果における各対応方針の割合

2. 現行の危険度評価システム運用に関する検証

これまで道路防災点検時に運用されてきた現行の危険度評価システム（安定度調査表）の適用性や妥当性について考察するため、比較的多くの災害が報告されているある管内における全道路（幹線道路）を対象に、これまで実施されてきた安定度調査結果（主に、平成8年や平成18年に実施された結果；有効調査表数 404）を用いて分析し、検証する。なお、現行の評価システムに関して、対応方針（表-1）と最終評点との関係性について明確ではないため、各対応方針についてそれぞれ一般的と考えられる配点（要対策：100，経過観察：50，対策不要：0）を設定し、安定度調査表で算出された最終評点との相関分析（単回帰分析）により、妥当性について検証する。なお、解析対象である既往の安定度調査結果は、複数の点検団体（民間企業等の9団体）における主点検専門技術者（計21名；計21班）により実施された結果である。また、対象とする現象については、一般的な災害現象（8種類³⁾；表-1）としている。ここで、解析対象である既往の安定度調査結果における対応方針の割合を図-4に示す。図-4に示されるとおり、「対策不要」箇所についても解析の対象としており、安定度調査表における各評価配点（例えば、図-2）の安全側への評価に関する妥当性（過剰な重みの有無）についても考慮している。

点検箇所の危険度評価（安定度調査）における最終評点（図-1）と対応方針（表-1）との関係に関して、現象毎に分析した結果を図-5に示す。図-5に示されるとおり、一部の現象（地すべり）を除いて、全体として関係性が低い結果であることが確認された（一般的に、相関係数は0.7以上で相関が高いとされている）。これは、本稿では詳細には示さないが、前述にも示すとおり、各点検者間や点検団体間において危険度評価水準の傾向が異なっていることに影響を受けていることによるものと考えられる。なお、「地すべり」の相関が高い要因として、対象となる箇所に関して、今回の道路防災点検において新たに抽出された箇所ではなく、殆どの対象箇所におい

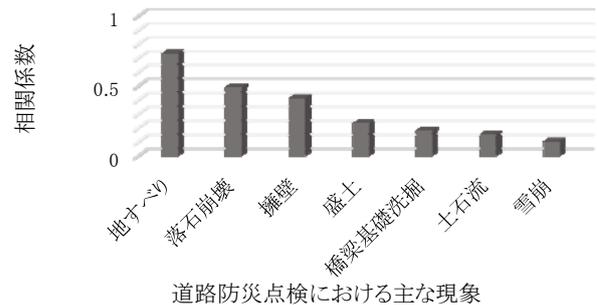


図5 各現象における最終評点（安定度調査表）と対応方針（意思決定結果）との関係

て既に対処方針等が検討されている危険箇所（地すべり危険箇所または地すべり防止区域）であり、道路防災点検での意思決定において、これらの既知の情報が点検や対応方針の意思決定に強く影響を与えたことに伴って、点検者間や最終評点と対応方針との間において、あまり差が発生しなかったことによるものと推測される。さらに、「地すべり」の点検については、工学的な技術知見だけでなく、応用理学（地質）的な技術知見も必要となることより、各企業内において地質専門技術者等による限られた点検員で構成されている一般的な傾向が、点検結果内に記載されている点検員の名前等より確認された。ただし、他の現象においては、この様な現象毎に応じた点検者の固定化等の傾向について殆ど確認されなかった。

これらの結果より、今回対象としている管内において運用されている安定度調査表に関して、対応方針と最終評点との関係性を高めるための更なる高度化（工夫）が必要であることが確認された。

3. 現行評価システムの高度化に関する提案

現行の安定度調査表（ただし、「地すべり」以外）の更なる高度化に関して、前述で用いた同様の既往安定度

調査結果を活用して、新たに提案するものとする。なお、本稿では、前述に示すとおり、我が国の重要な幹線道路の一つである高速道路等においても多くの対象箇所となっている「盛土」に関して、詳細に示す。

図-1に示される安定度調査表において記載されている現地での点検結果（変状）や、災害や変状に対して直接的に影響を与えると考えられる主な各要因（説明変数）を表-3に示す。表-3に示されるこれらの要因は、これまで、我が国において蓄積されてきた技術知見³⁾に基づくものであるため、これらの要因の選定に関する妥当性については特に問題が無いと考えられる。ただし、前述にも示すとおり、各要因に対応した評価配点の妥当性についてはこれまで殆ど議論されていない。そこで、安定度調査表において設定されている各要因（表-3）における各評価配点（例えば、図-2）の重みに関して、前述と同様の対応方針に対して設定した定量価値（要対策：100, 経過観察：50, 対策不要：0）への影響度について、重回帰分析により検討する。

既往の各要因が対応方針に与える影響（重み）の違いと現行の安定度調査表における各評価配点の重みの割合との対比を図-6に示す。図-6に示されるとおり、現行における危険度評価システム（安定度調査表）では、対応方針の意思決定に関して、盛土変状の要因（素因や誘因：表-3に示される地下水等に関する横断排水状況等³⁾）に対して最も着眼されている。しかしながら、実際に運用されている点検や危険度評価においては一部異なっており、現地で把握された盛土の変状が最も対応方針に影響を与えていることが新たに分かった。一方、近年に発生した盛土崩壊の機構において、重要な要因の一つとして報告⁴⁾されている「盛土材料」は、実際の道路防災点検時の危険度評価に際して、あまり重要視されてい

ないことが分かった。ただし、「盛土材料」に関しては、一般的に過去における施工の履歴や情報が管理されていないことも多く、現地での点検だけでは盛土材料の特定が困難であり、今後における課題であると考えられる。なお、本重回帰分析の有意度は 1.0×10^{-7} （一般的に、 1.0×10^{-2} 未満で有意である）で、相関係数は0.75（>0.7）であった（表-4）。

次に、本重回帰分析より得られた対応方針（表-2）に対して影響を与えると考えられる説明変数（表-3）に関して変数減少法により精査し、説明変数（各要因）と目的変数（対応方針）との関係に対応した新たな定量的な評価システム（重回帰式）を式（1）に提案する。

$$y_1 = 16a + 8.4b + 36c - 3.3d + 4.0e + 6.1f - 48 \quad (1)$$

ここに、 y_1 は目的変数（対応方針）の評価値（0～100：評点が高くなるに伴って危険度が高い）、 a は「盛土変状（表-3）」の有無（現行における安定度調査表における各評価配点を使用、以降同じ）、 b は「溪流の状況」の「横断排水（施設の現状）」、 c は「基礎地盤」、 d は対策効果（対策工の評価）、 e は「地下水（地下水や表面水の盛土への影響）」、 f は「溪流の状況」の「溪流現況」である。

さらに、これらの各要因（表-3）以外の要因に関して、対応方針に影響を与える「その他の要因」の有無について把握するものとする。なお、近年の限られた財政の中

表-4 分析条件及び結果

項目	分析条件及び結果
分析手法	重回帰分析
目的変数	既往の安定度調査結果における対応方針
説明変数	表-3
相関係数	0.75

表-3 安定度調査表（盛土）における主な要因（説明変数）³⁾

説明変数	概要
横断排水	・盛土を横断する排水施設の異常が盛土崩壊等に影響を与えることが多いため、排水機能等により評価
地下水	・地下水や表面水の浸透による盛土法肩部のすべり等が多いため、排水施設や地山の湿潤状況等により評価
基礎地盤	・盛土基礎が軟弱地盤や移動土塊等の場合、降雨時に変形等が生じるため、安定地盤の有無等により評価
溪流状況	・溪流横過部での土石流による被害が最も多いため、横過する溪流内の土砂堆積状況等により評価
河川水	・盛土のり尻において、河川の流水による影響を受けて浸食するため、河川と盛土との位置関係等により評価
盛土材	・盛土材はその性質により雨水の侵食を受けやすいもの等があるため、その材料の種類により評価
盛土変状	・現地にて確認された法面のほらみだしや擁壁の亀裂、盛土天端の路面におけるクラックや陥没等により評価
対策効果	・災害要因に応じた対策状況により評価

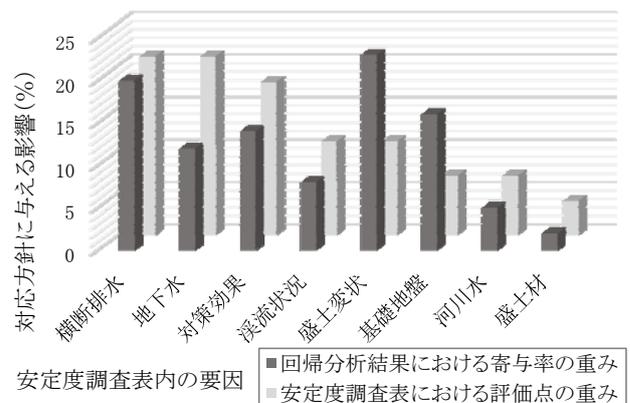


図-6 安定度調査表における各要因の重みと分析により得られた実際の対応方針決定時に考慮されている重みの違い

で、社会的要因や位置付けの高い防災対策箇所から段階的に防災対策工事を推進していく傾向に配慮して、式

(1) で得られた評価システムで算出される評点 (y_1) の補正として、安定度調査表内において整理されている社会的要因 (例えば、対象箇所における迂回路の有無、バス路線の該当有無) や規模 (対象区間の距離) 等について着眼するものとする (表-5)。

表-5に示される社会的要因も考慮した各要因の違いが対応方針の意思決定に与える影響度の割合を図-7に示す。図-7に示されるとおり、式 (1) で考慮している要素が対応方針に対して強く影響 (約6割程度) を与えているが、「その他の要因」である「規模 (延長)」や「社会的要因 (DID区間、バス路線等)」についても、対応方針に約4割程度の影響を与えていることが分かった。これより、式 (1) の更なる高度化を目的に、同様に変数減少法を用いて、社会的要因等も考慮した重回帰式を式 (2) に提案する。

$$y = 1.1A + 17B + 7.0C + 8.8D + 5.7E - 0.02F - 19 \quad (2)$$

ここに、 y は社会的要因等も考慮した最終評点、 A は式 (1) で得られる y_1 (補正後の要素)、 B はDID区間の該当有無 (該当 : 2.0, 非該当 : 1.0)、 C はバス路線区間の該当有無 (該当 : 2.0, 非該当 : 1.0)、 D は迂回路の

表-5 「その他の要因」に関する主な説明変数

説明変数	概説
補正後要素	式(1)で算出される評点(y_1)
延長	対象区間における路線延長(m)
DID区間	人口集中地区(DID)区間の該当有無
バス路線	バス路線区間の該当有無
迂回路	当該箇所における迂回路の有無
事前雨量規制区間指定	当該箇所における事前雨量規制区間指定の該当有無

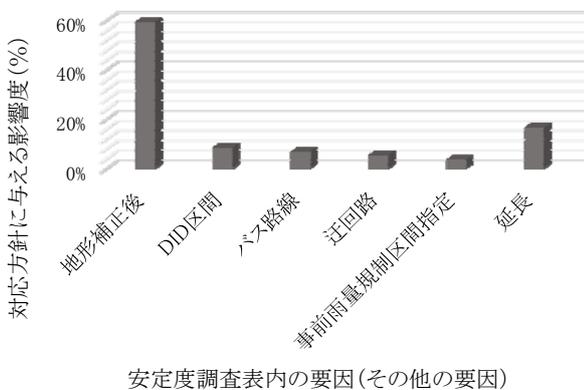


図-7 防災対策箇所の規模や社会的要因等の違いが対応方針に与える影響度の割合

有無 (該当 : 2.0, 非該当 : 1.0)、 E は事前雨量規制区間の該当有無 (該当 : 2.0, 非該当 : 1.0) および F は規模 (対象路線延長 : m) である。ここで、式 (2) で得られた最終評点と対応方針との関係を明確にするため、試算により各対応方針に対応した最終評点の閾値を表-6に示す。

上記までの既往安定度調査結果を用いた分析によって得られた社会的要因等も考慮した新たな評価システム (式 (1)、式 (2) および表-6) の妥当性 (適合性) に関して、その他の現象 (表-1; ただし、地すべりを除く) についても検討した結果を図-8に示す。図-8に示されるとおり、各現象とも概ね8割程度以上の適合率が確保されていることが分かった。なお、適合しなかった主な要因として、点検や安定度調査表の作成時における人為的エラー (例えば、対応方針決定に関する補足説明記事と評価配点加算との不整合) が確認された。これより、今回提案する評価システムは、安定度調査結果の精査においても有効な手段であると考えられる。

また、適合しなかったその他の要因として、対策効果に対する点検技術者間における評価水準の違いや、安定度調査表において考慮されていない新たな変状種類 (例えば、斜面吹付モルタルの劣化) への対応に関して適合していないことが確認された。今後、これらの課題について、現行の安定度調査表様式 (図-1) の見直しが望まれる。さらに、前述にも示すとおり、式 (2) で得られた評点は社会的要因等の違いについても考慮されるとともに、点検技術者や管理者等の意思決定に関する傾向が定量的に反映されているため、防災対策工事の対策優先

表-6 社会的要因等も考慮した最終評点と対応方針 (意志決定) との関係

式(2)による最終評点	対応方針
$y \leq 39$	特に新たな対応を必要としない
$39 < y \leq 70$	防災カルテを作成する
$70 < y$	対策が必要と判断される

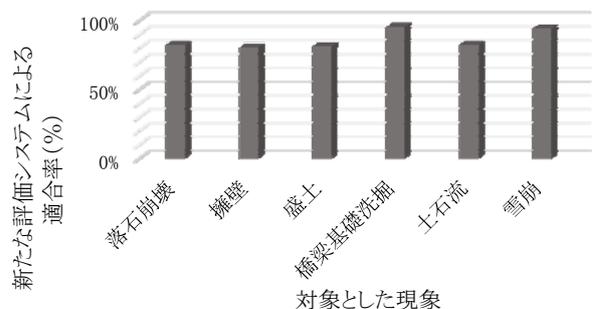


図-8 新たな評価システムによる各現象における対応方針との適合率

度評価の検討においても有効な手段であると考えられる。

そこで、これまで提案してきた新たな危険度評価システムの運用方法を図-8に提案する。図-8に示されるとおり、先ず、現行における安定度調査表に準拠した現地での状況把握および安定度調査表の作成により、今回提案する評価システム（式（1）や式（2））を用いて初期に決定された危険度（安定度）について精査し、点検時等における人為的エラー等の抽出を行う。そして、特に問題が確認されなかった場合においては、得られた最終評価点により、対応方針および防災対策工事の対策優先順位について決定することが有効であると考えられる。

これまでの検討よって、現在も全国的に運用されている現行の安定度調査表を有効に活用するための新たな工夫（補完的な評価システム）が提案された。しかしながら、本研究は限られた条件での検討であり、今回得られた評価システムの汎用化までは至っていないため、今後、更なる高度化および検証が必要であると考ええる。

5. おわりに

本研究では、これまで運用されてきた道路防災点検の危険度評価（防災対策箇所における安定度調査）システムにおける運用に関して、これまで蓄積されてきた既往の点検結果を用いて分析し、その適用性について考察した。さらに、これらの結果を用いた確率統計分析等により、現行の危険度評価システムの補完的な手法を提案した。本研究により得られた成果を以降に要約する。

- 1) 対象管内における既往安定度調査結果の分析によると、道路防災点検で対象とされている主な現象（盛土、落石・崩壊、擁壁、土石流および橋梁基礎洗

掘）において、現行の安定度調査表により算出された最終評価点と対応方針（対策必要性の有無等）との間の関係性について、更なる高度化が望まれることが分かった。

- 2) 盛土の道路防災点検において最も重要視（重みが高い）されている要因に関して、今回の対象管内における安定度調査表内の傾向は、実際に運用されている危険度評価（安定度調査）結果の傾向と異なることが確認された。
- 3) 既往の危険度評価（安定度調査）結果を対象に、確率統計分析（重回帰分析）および変数減少法を用いて、新たな危険度評価システムおよび対策優先度検討手法を提案した。

参考文献

- 1) 西畑勇夫：飛騨川バス転落事故判決と公共施設の安全性，土木学会誌，vol.60 (5), pp.58-62, 1975.
- 2) 北海道北後志消防組合消防本部：豊浜トンネル崩落事故における消防活動--巨大岩盤との闘いの記録，月刊消防，vol.18 (6), pp.1-12, 1996.
- 3) 国土交通省：点検要領，道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等），財団法人 道路保全技術センター，2009.
- 4) 高木宗男：東名牧之原地区における盛土のり面災害の実態，地盤工学シンポジウム論文集，vol.55, pp.193-196, 2010.
- 5) 国際協力機構：ネパール国ナラヤンガート～ムグリン道路。防災管理計画調査，2009.
- 6) 日下部毅明、谷屋秀一、吉澤勇一郎：道路施設に対する地震の防災投資効果に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，vol. 160, 1996.
- 7) 鶴田 舞・日下部毅明：実用的な道路防災事業効果評価手法の開発，土木技術資料，vol.48(12), pp.36-41, 2006.
- 8) 南 正昭：防災点検データを用いた道路整備計画の一評価技法，土木計画学研究・論文集，vol.17, pp.811-818, 2000.
- 9) 瀬戸伸昌・坂口和明・木村定雄：地域道路防災の社会的受容の分析，第 63 回年次学術講演会，pp.4-253-4-254,2008.
- 10) 宮下祐介・村中和也・木村定雄：地域道路リスクマネジメントのためのデータベース構築，第 63 回年次学術講演会，pp.4-249-4-250,2008.
- 11) 原田紹臣・小杉賢一朗・里深好文・水山高久：老朽化した砂防関係施設の健全度及び対策優先度に関する定量的な評価手法の提案，河川技術論文集，vol.21, pp.183-188, 2015.

(2017.7.31 受付)

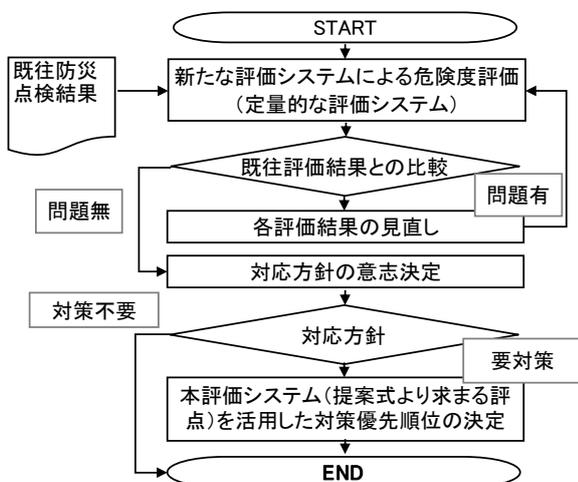


図-8 今回提案する新たな危険度評価システムの運用方法