

# 2008年岩手・宮城内陸地震時の斜面崩壊に関わる道路構造物の損傷モード

庄司 学<sup>1</sup>, 櫻井 俊彰<sup>2</sup>

Gaku SHOJI<sup>1</sup> and Toshiaki SAKURAI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 准教授

<sup>2</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科

2008年に発生した四川大地震や岩手・宮城内陸地震においては、震源域が山間部に位置したために、斜面災害並びに斜面崩壊に関わる道路構造物の被災が特徴的であった。斜面崩壊そのものに着目した検討に関しては膨大な研究知見が得られているが、斜面崩壊に関わる道路構造物の損傷モードについては必ずしも類型化されているとは言えず、被害を表すモデルも明確には示されていない。本研究では、土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本地すべり学会合同調査団により示された平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書を基に、斜面に関わる道路構造物の損傷モードを類型化し、地形、地質の観点からそれらの被災の特徴や損傷モードの分布を分析するとともに、道路被災率の定量化を試みた。

キーワード：岩手・宮城内陸地震, 斜面崩壊, 地すべり, 道路構造物, 損傷モード

## 1. はじめに

2008年に発生した四川大地震(M7.9)<sup>1)</sup>や岩手・宮城内陸地震(M<sub>JM</sub>7.2)<sup>2)</sup>においては、震源域が山間部に位置したために、斜面崩壊による巨大地すべりや土石流災害が数多く発生した。その際、道路構造物には地すべりや落石などの地山の変状に伴う損傷が生じ、道路閉塞による甚大な機能不全が発生した<sup>3),4)</sup>。

斜面崩壊に関しては、斜面の安定解析に関する検討や斜面のすべり破壊に関する検討とともに、既往の斜面災害の要因分析<sup>例えば、5)-11)</sup>などが数多くなされている。このように、斜面崩壊そのものに着目した検討に関しては、国内外のいずれも膨大な研究知見が得られているが、斜面崩壊に関わる道路構造物の損傷モードについては必ずしも類型化されているとは言えない。斜面崩壊に関わる道路構造物の損傷形態としては、路盤に関わる損傷や斜面の崩壊土砂の作用による損傷が挙げられる。以上を踏まえ、本研究では、土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本地すべり学会合同調査団により示された平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書<sup>12)</sup>を基に、斜面に関わる道路構造物の損傷モードを類型化し、地形、地質の観点からそれらの被災の特徴や損傷モードの分布を分析するとともに、道路被災率の定量化を試みた。

## 2. 分析対象データ

本研究では、土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本地すべり学会合同調査団による平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書の中に示されたデータを分析対象とする。この報告書の中には、震央、余震分布などの地震情報や、地震動に伴う地表変状、地すべり及び土石流などの斜面変状に関する情報が示されている。加えて、道路、橋、ダム、トンネルなどの土木構造物の被災状況やそれらの被災写真がまとめられている。

本研究では、その中の961箇所及び道路構造物の被災箇所から、斜面に関わる全211データに及び被災データを抽出した。データとしては、測定場所の地名、緯度、経度、路線名、管理者、復旧事業費、被災延長、復旧工法、被災状況、被災写真に関する情報である。本研究では、それらの中で、測定場所の地名、緯度、経度、路線名、被災状況及び被災写真の情報を活用した。

## 3. 斜面崩壊に関わる道路構造物の損傷モード

### (1) 損傷モードの定義

斜面崩壊に関わる道路構造物の損傷形態を図1のように分類した。図1には、損傷モードごとに分類されたデータ数を括弧内に示す。まず、大分類(分類I)としては、路面に関わる損傷と斜面に関わる損傷の2つに分類した。前者を路面損傷、後者を斜面損傷と定義する。路面損傷では

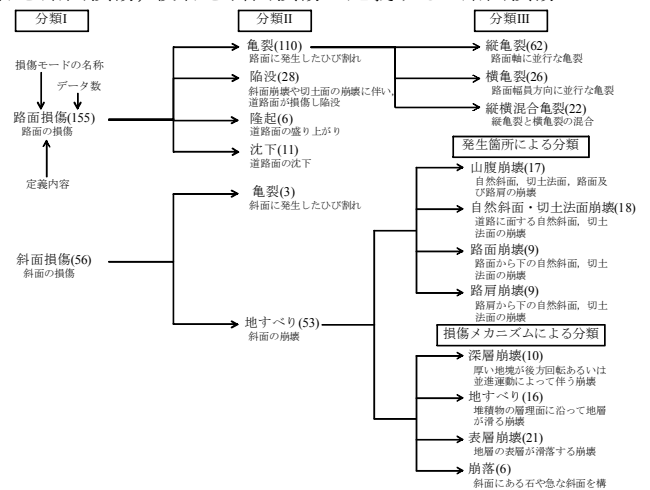


図1 損傷モードの定義

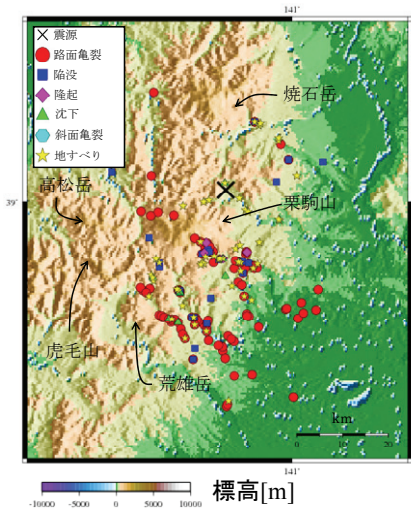


図2 被災地点と標高<sup>15)</sup>の関係

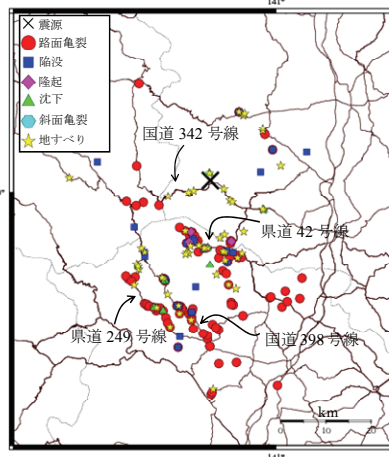


図3 被災地点と道路網<sup>15)</sup>の関係

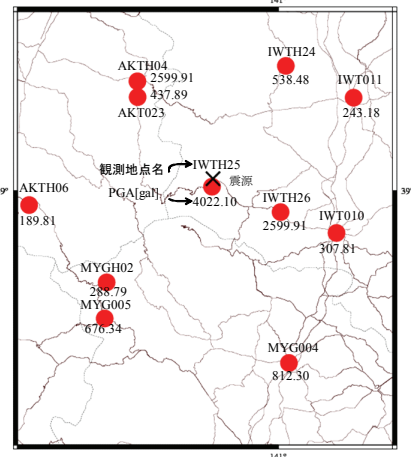


図4 被災地点と地震動強さ<sup>16)</sup>の関係

斜面には損傷が生じていないが、道路構造物が斜面に隣接しており、地震時における斜面の震動による作用を受けうる状況を考慮して、斜面に関わる損傷として取り上げる。斜面損傷では、斜面そのものの崩壊に加え、道路構造物の崩壊を加味したものを考慮する。さらに、路面損傷は亀裂、陥没、隆起、沈下の4つに分類し、斜面損傷は亀裂、地すべりの2つに分類する(分類II)。以上、本研究においては、路面損傷は斜面に関わる道路構造物の被害と位置付け、斜面損傷は斜面崩壊に伴う道路構造物の被害と位置付ける。

本研究における路面損傷の亀裂とは、道路面に発生したひび割れのことである。路面損傷における亀裂は、路面軸に平行な縦亀裂と、路面幅員方向に平行な横亀裂、及び縦亀裂と横亀裂の混合の縦横混合亀裂の3つに分類する(分類III)。陥没とは斜面崩壊や切土面の崩壊に伴い、道路面が損傷し陥没が生じているものである。なお、陥没には、亀裂と陥没が複合して発生しているものが含まれており、陥没の被害が特に卓越しているものを対象としている。隆起とは道路面の盛り上がりのことであり、沈下とは道路面の沈下のことである。

斜面損傷の亀裂とは斜面に発生したひび割れのことであり、地すべりとは斜面の崩壊のことである。地すべりは、発生箇所による分類と損傷メカニズムによる分類の2通りの方法で分類する(分類III)。発生箇所による分類では、山腹崩壊、自然斜面・切土法面崩壊、路面崩壊、路肩崩壊の4つに分類する。山腹崩壊とは、自然斜面、切土法面、路面及び路肩の崩壊のことであり、自然斜面・切土法面崩壊とは、道路に面する自然斜面・切土法面の崩壊のことである。路面崩壊とは、路面から下の自然斜面・切土法面の崩壊のことであり、路肩崩壊とは、路肩から下の自然斜面・切土法面の崩壊のことである。損傷メカニズムによる分類では、千木良<sup>13)</sup>、芥川ら<sup>14)</sup>の研究知見を参考にして、火砕堆積物のような厚い地塊が後方回転あるいは並進運動によって伴う深層崩壊を起こす場合と、堆積物の層界面に沿って地層が滑り地すべりが生じる場合、地層の表層が滑落または崩壊する表層崩壊が生じる場合、及び斜面の石

損傷モード			パラメータ	被災度I	被災度II	被災度III	被災度IV	被災度V
分類I	分類II	分類III						
路面損傷	亀裂	縦亀裂	被災範囲R	一部	一部~半城	半城	半城~全城	全城
		横亀裂	幅B	5cm未満	5~10cm	10~20cm	20~50cm	50cm以上
		縦横混合亀裂	長さL	5m未満	5~20m	20~50m	50~100m	100m以上
	陥没		被災範囲R	一部	一部~半城	半城	半城~全城	全城
			幅B	0.5m未満	0.5~1m	1~3m	3~5m	5m以上
	隆起		長さL	1m未満	1~5m	5~10m	10~30m	30m以上
			幅B	10cm未満	10~25cm	25~50cm	50~100cm	100cm以上
			長さL	2m未満	2~3m	3~4m	4~5m	5m以上
	沈下		高さH	5cm未満	5~10cm	10~25cm	25~50cm	50cm以上
			幅B	1m未満	1~3m	3~5m	5~7m	7m以上
斜面損傷	亀裂		長さL	5m未満	5~10m	10~20m	20~40m	40m以上
			長さD	10cm未満	10~20cm	20~30cm	30~40cm	40cm以上
	地すべり	山腹崩壊	被災範囲R	一部	一部~半面	半面	半面~全面	全面
		自然斜面・切土法面崩壊	幅B	5m未満	5~20m	20~50m	50~100m	100m以上
	路面崩壊	幅B	5m未満	5~20m	20~50m	50~100m	100m以上	
	路肩崩壊	長さL	5m未満	5~20m	20~50m	50~100m	100m以上	

や急な斜面を構成する岩石が落下する崩落が生じる場合の4つに分類した。

(2) 損傷モードに関わるパラメータ及びその被災度の定義

図1で定義した損傷モードに対して、表1に示すようにIからVの被災度を評価した。路面損傷の亀裂、陥没及び斜面損傷の亀裂、地すべりでは、被災範囲R、幅B、長さLの3つのパラメータで被災度を評価する。被災箇所は数箇所にとびつため、最も被害の卓越した被災箇所に対して幅B、長さLを定義する。路面全体のなかの被災の割合を示す指標として範囲Rを定義する。また、路面損傷の隆起は幅B、長さL、高さHの3つに分類し、沈下は幅B、長さL、深さDの3つに分類する。隆起及び沈下は、対象データでは、数箇所にとび被災データがないため、被災範囲Rは定義せず、被災範囲Rの代わりに上述の高さH、及び深さDを定義する。

4. 路面損傷と斜面損傷の全般的な傾向

(1) 路面損傷の傾向

図2には、被災地点と標高<sup>15)</sup>の関係を示す。また、被災地点と道路網<sup>15)</sup>、地震動強さ<sup>16)</sup>、及び地質<sup>17)</sup>との関係を図3から図5にそれぞれ示す。図5の地質の凡例は表2(a)に示す。さらに、それらを再分類し、まとめたものを表2(b)に示す。路面損傷は図1に示すように全155データであり、それらの中で宮城県栗原市が128データ(全体の

82%)に及び、宮城県大崎市に 10 データ、岩手県奥州市に 7 データが分布している。震源付近は奥羽山脈地帯であり、被災地点は標高 20~1080m の範囲において、標高 20~200m で 41 データ、標高 200~400m で 64 データ、及び標高 400~600m で 36 データが分布している。道路網との関係においては、国道 398 号線に 33 データ、県道 42 号線に 23 データ、及び県道 249 号線に 14 データが分布している。損傷モードごとに見ると、亀裂では国道 398 号線に 20 データ、県道 42 号線に 17 データ、及び県道 249 号線に 14 データが分布している。それらの道路網の被害の起点と終点間の距離はそれぞれ 40.6km, 17.1km, 及び 17.4km である。平均被災距離を求めると、国道 398 号線上において 2.03km, 県道 42 号線上において 1.01km, 及び県道 249 号線上において 1.24km である。陥没は国道 398 号線に 10 データ分布しており、陥没の被害の起点と終点間の距離は 21.9km であるため、その平均被災距離は 2.19km となる。隆起は県道 42 号線に 3 データ分布しており、隆起の被害の起点と終点間の距離は 4.89km であるため、その平均被災距離は 1.63km となる。沈下は国道 398 号線に 3 データ

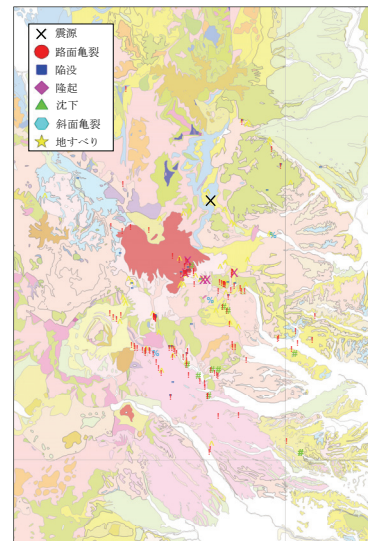


図 5 被災地点と地質<sup>17)</sup>の関係

表 2 地質の凡例

(a) 詳細な区分

地質コード	地質
Ha	完新世の珪長質溶岩および火山砕屑物
Qdb	更新世の岩層
Q3td	後期更新世の段丘堆積物
Q3s	中～後期更新世の砂
Q3pf	中～後期更新世のデイサイト質火砕流堆積物
Q3bv	中～後期更新世の苦鉄質溶岩および火山砕屑物
Q2m	中期更新世の泥
Q2pf	中期更新世のデイサイト質火砕流堆積物
Q2av	中期更新世の珪長質溶岩および火山砕屑物
Q2bv	中期更新世の苦鉄質溶岩および火山砕屑物
Q1c	前期更新世の礫岩
Q1pf	前期更新世のデイサイト質火砕流堆積物
N3Bt	鮮新世の凝灰岩
N3Ac	後期中新世～前期鮮新世の礫岩
N3Am	後期中新世～前期鮮新世の泥岩
N3At	後期中新世～前期鮮新世の凝灰岩
N3As	後期中新世～前期鮮新世の砂
N3Aai	後期中新世～前期鮮新世の珪長質貫入岩
N3Aav	後期中新世～前期鮮新世の珪長質溶岩および火山砕屑物
N3Abi	後期中新世～前期鮮新世の苦鉄質貫入岩
N3Abv	後期中新世～前期鮮新世の苦鉄質溶岩および火山砕屑物
N2c	中～後期中新世の礫岩
N2s	中～後期中新世の砂岩
N2m	中～後期中新世の泥岩
N2t	中～後期中新世の凝灰岩
N2ai	中～後期中新世の珪長質貫入岩
N2bi	中～後期中新世の苦鉄質貫入岩
N2bv	中～後期中新世の苦鉄質溶岩および火山砕屑物
N2gr	中～後期中新世の珪長質深成岩
N1m	前～中期中新世の泥岩
N1t	前～中期中新世の凝灰岩
N1av	前～中期中新世の珪長質溶岩および火山砕屑物
N1bi	前～中期中新世の苦鉄質貫入岩
N1bv	前～中期中新世の苦鉄質溶岩および火山砕屑物
PG4bv	後期漸進世～前期中新世の苦鉄質溶岩および火山砕屑物
Kigr	前期白亜紀の珪長質深成岩
Pm	ペルム紀の泥岩
Pl	ペルム紀の石灰岩
w	水面

分布しており、沈下の被害の起点と終点間の距離は 6.79km であるため、その平均被災距離は 2.26km となる。

地震動強さとの関係については、県道 42 号線は PGA=4022gal を示した IWTH25 の南に位置し、強い地震動に晒されたと考えられる。その結果、県道 42 号線上の亀裂に関する被害データ数は先述したように 17 データと多く、平均被災距離は亀裂と隆起のそれぞれの損傷モード

(b) (a)の区分に基づいて統合した区分

統合された地質コード	(a)の地質コード	地質
Ha	Ha	完新世の珪長質溶岩および火山砕屑物
Qdb	Qdb	更新世の岩層
Qtd	Q3td	更新世の段丘堆積物
Qs	Q3s	更新世の砂
Qpf	Q3pf+ Q2pf+Q1pf	更新世のデイサイト質火砕流堆積物
Qbv	Q3bv+Q2bv	更新世の苦鉄質溶岩および火山砕屑物
Qc	Q1c	更新世の礫岩
Nc	N3Ac+N2c	中新世～鮮新世の礫岩
Nm	N3Am+ N2m+N1m	中新世～鮮新世の泥岩
Nt	N3At+ N2t+N1t	中新世～鮮新世の凝灰岩
Ns	N3As+N2s	中新世～鮮新世の砂岩
Nbv	N3Abv+ N2bv+N1bv	中新世～鮮新世の苦鉄質溶岩および火山砕屑物
w	w	水面

において 1.01km, 1.63km と短い。国道 398 号線は PGA=4022gal の IWTH25 と PGA=288gal の MYGH02 の中間に位置する。その亀裂に関するデータ数は 20 データと最も多いが、平均被災距離は亀裂と沈下のそれぞれの損傷モードにおいて 2.03km, 2.26km と長い。

(2) 斜面損傷の傾向

斜面損傷の被災地点と標高、道路網、地震動強さ及び地質との関係は図 2 から図 5 に合わせて示している。被災地点は、全 56 データの中で宮城県栗原市に 33 データ(全体の 60%)に及び、宮城県一関市に 11 データ、岩手県奥州市に 6 データ及び宮城県大崎市に 5 データが分布している。被災地点は標高 20m~840m の範囲において、標高 20m~200m で 7 データ、標高 200m~400m で 24 データ、標高 400m~600m で 19 データが分布している。道路網との関係においては、国道 342 号線に 9 データ、県道 42 号線に 8 データ及び国道 398 号線に 7 データが分布している。それらの道路網の被害の起点と終点間の距離はそれぞれ 25.9km, 10.1km 及び 20.8km である。平均被災距離を求めると、国道 342 号線上において 2.88km, 県道 42 号線上において 1.26km, 及び国道 398 号線上において 2.97km である。

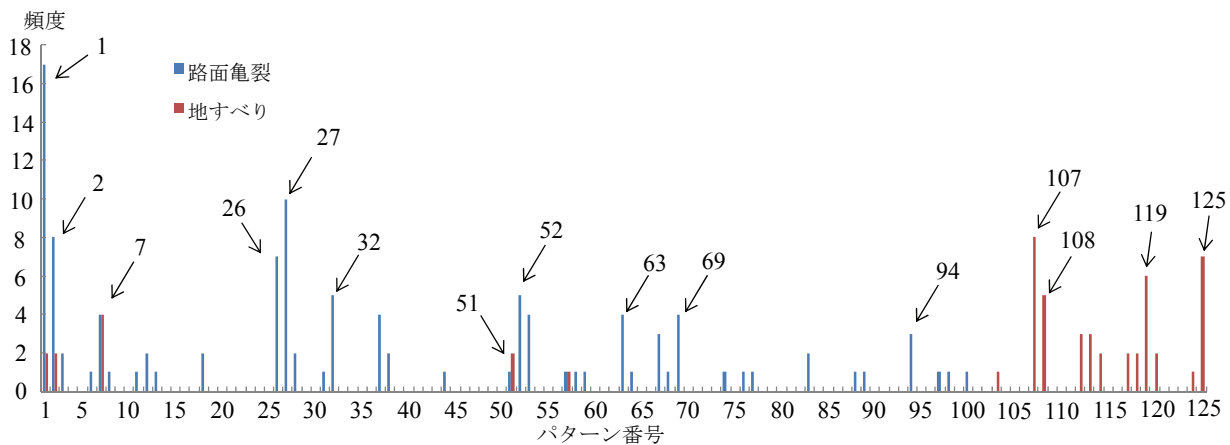


図 6 路面亀裂及び地すべりの被災度

地震動強さとの関係については、IWTH25 に最も近い国道 342 号線は平均被災距離が 2.88km と長いが、その損傷モードは全 11 データ中 8 データが地すべりによる被害となっている。県道 42 号線は IWTH25 の南に位置し、強い地震動に晒されたと考えられ、斜面損傷においても平均被災距離は 1.26km と短い。

## 5. 路面亀裂と地すべりの損傷の特徴

### (1) 被災度、標高及び地質に関する分布

路面亀裂と地すべりの損傷モードの被災度の分布を図 6 に示す。路面亀裂では、幅及び長さの微小な亀裂が一部から半域にかけて生じる損傷モードの頻度が高く、全 110 データの中で 48 データとなっている。それらのパターン番号としては、パターン番号 1(被災範囲 R:被災度 I, 幅 B:被災度 I, 長さ L:被災度 I, 以下、同様の表記)、パターン番号 2(R:I, B:I, L:II), パターン番号 26(R:II, B:I, L:I), パターン番号 27(R:II, B:I, L:II), パターン番号 51(R:III, B:I, L:I), 及びパターン番号 52(R:III, B:I, L:II)である。地すべりに関しては、全 53 データの中で被災範囲 R の被災度が V の損傷モードが 44 データ生じている。それらの中で幅及び長さが小規模な被災(パターン番号 107(R:V, B:II, L:II))は 8 データ生じており、それらの中で自然斜面・切土法面崩壊が 4 データ生じている。幅及び長さが大規模な被災(パターン番号 119(R:V, B:IV, L:IV), パターン番号 125(R:V, B:V, L:V))は 13 データ生じており、それらの中で山腹崩壊が 7 データ、路面崩壊が 6 データ生じている。

路面亀裂と地すべりの標高分布を図 7 に示す。路面亀裂では、全 110 データの中で標高 200m~400m に 44 データ、次に標高 0m~200m に 30 データが分布している。また、標高 800m 以上の標高が高いものも 5 データが分布している。地すべりでは、標高 200m~400m に 22 データが分布しており、その中で自然斜面・切土法面崩壊が 10 データと最も多く分布している。また、次に標高 400m~600m に 19 データが分布しており、その中で山腹崩壊が 9 データと最も多く分布している。

路面亀裂と地すべりの地質分布を図 8 に示す。路面亀裂では、Qpf が最も多く 29 データが分布しており、Nbv が 22 データ、Nt が 17 データ、及び Qbv が 15 データと分布している。地層の年代は中新世から鮮新世が最も多く 54 データが分布しており、次に更新世が多く 50 データが分布している。岩質は苦鉄質溶岩および火山砕屑物において 37 データと最も多く被害が発生しており、デイサイト質

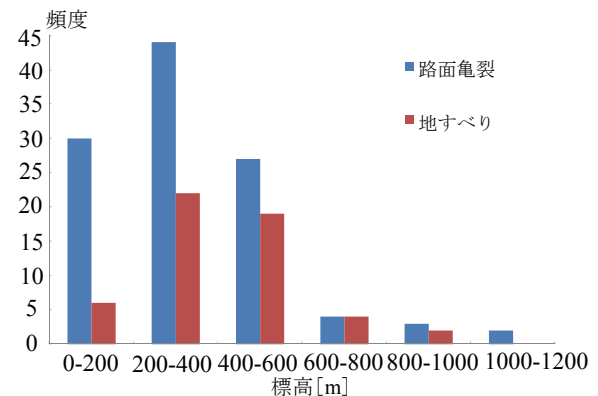


図 7 路面亀裂及び地すべりの標高分布

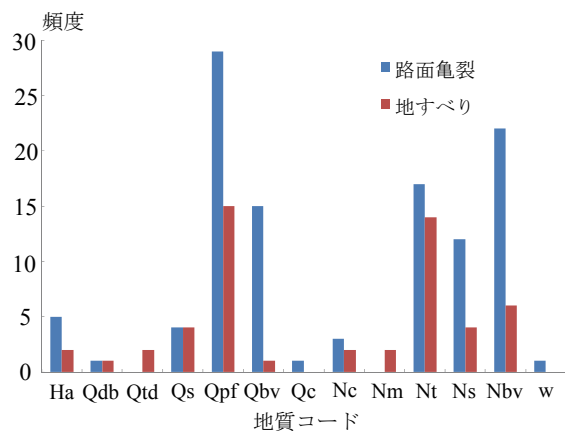


図 8 路面亀裂及び地すべりの地質分布

火砕流堆積物に 29 データ及び凝灰岩に 17 データが分布している。地すべりでは、Qpf に最も多く 15 データが分布している。また、Nt に 14 データ、Nbv に 6 データが分布している。地層の年代は、路面亀裂と同様に中新世から鮮新世が最も多く 28 データが分布しており、次に更新世が多く 23 データが分布している。岩質はデイサイト質火砕流堆積物において 15 データと最も多く被害が発生しており、次に凝灰岩が多く 14 データとなっている。

### (2) 震央距離に対する標高及び地質分布

路面亀裂と地すべりの震央距離に対する標高分布を図 9 に示す。路面亀裂では、震央距離 10-15km, 震央距離 15-20km, 震央距離 20-25km, 及び震央距離 25-30km で被災の頻度が高く、これら 4 つの震央距離の区分に対応し、それぞれ標高 200m~400m, 標高 400m~600m, 及び標高 0m~200m において 17 データ, 8 データ, 14 データ, 及び

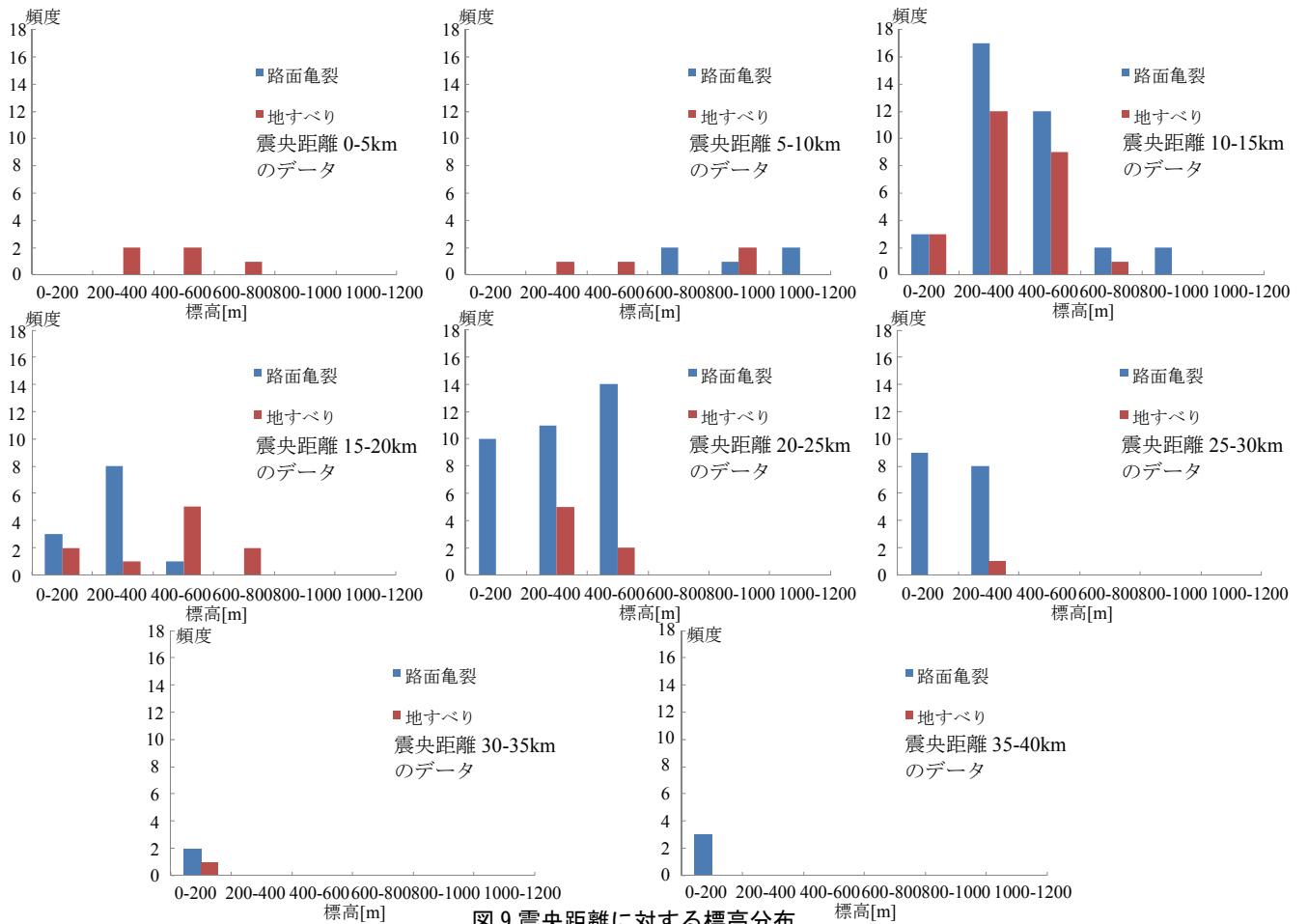


図9 震央距離に対する標高分布

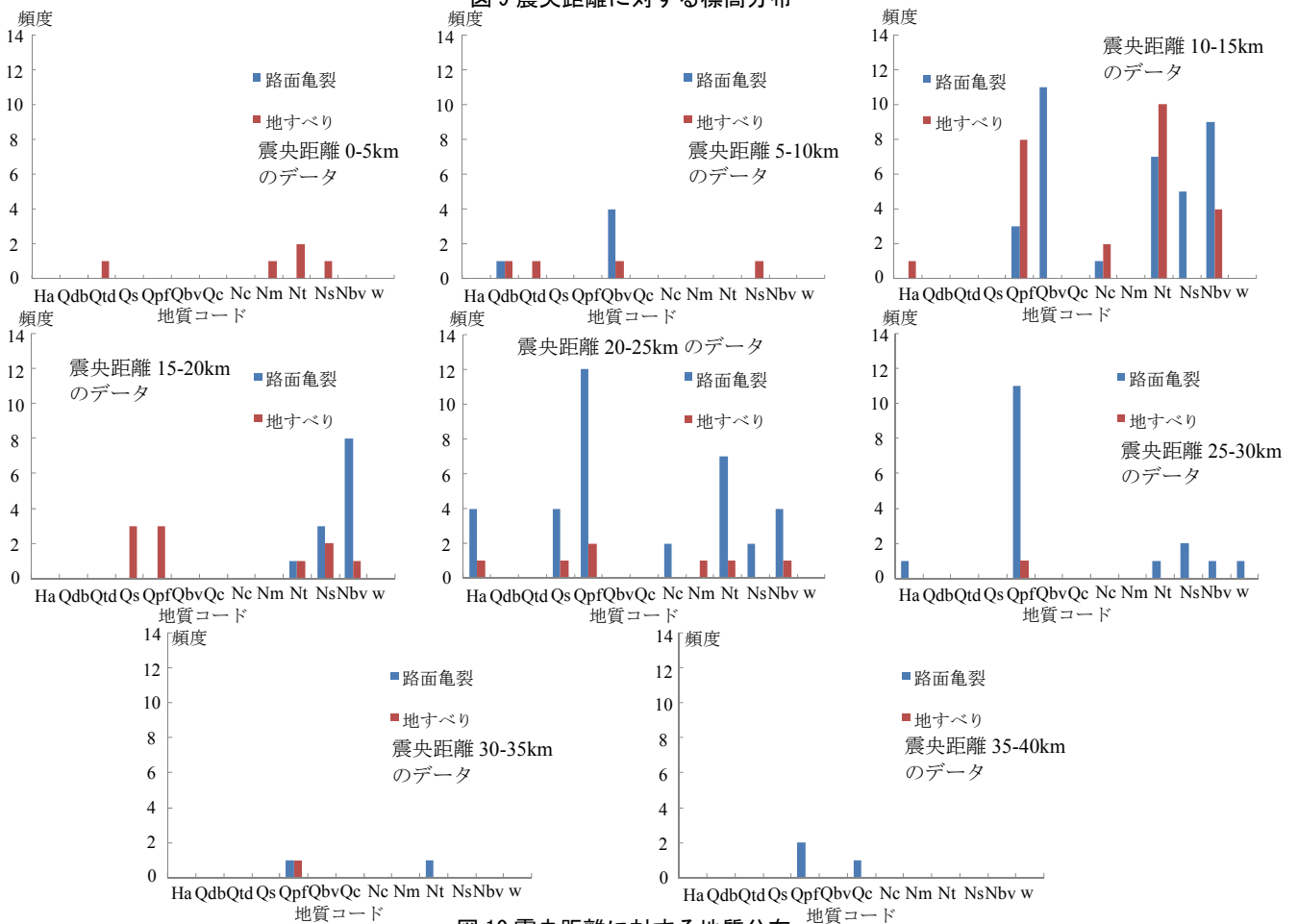


図10 震央距離に対する地質分布

9データと最も多く分布している。また、震央距離 0-5km では、全 5 データ中標高 800m 以上が 3 データ分布しており、震央近傍は被災箇所の標高が高いことを意味している。地すべりでは、震央距離 10-15km、震央距離 15-20km、及び震央距離 20-25km で被災の頻度が高く、これら 3 つの震央距離の区分に対応し、それぞれ標高 200m-400m、及び標高 400m-600m において 12 データ、5 データ、及び 5 データと最も多く分布している。また、震央距離 0-5km 及び震央距離 5-10km においてもそれぞれ 5 データ及び 4 データと分布が見られ、地すべりは震央近傍でも被災が発生していることが分かる。

路面亀裂と地すべりの震央距離に対する地質分布を図 10 に示す。路面亀裂では、震央距離 10-15km、震央距離 15-20km、震央距離 20-25km、及び震央距離 25-30km で被災の頻度が高く、それぞれ Qbv、Nbv、及び Qpf が 11 データ、8 データ、12 データ、及び 11 データと最も多く分布している。地層の年代に関しては、上記の震央距離の区分に応じ、それぞれ中新世から鮮新世に 22 データ、12 データ、更新世に 16 データ、及び 11 データと最も多く分布している。岩質は震央距離 10-15km 及び震央距離 15-20km において、それぞれ苦鉄質溶岩および火山砕屑物に 20 データ及び 8 データが分布している。また、震央距離 20-25km 及び震央距離 25-30km において、デイサイト質火砕流堆積物に 12 データ及び 11 データと最も多く分布している。地すべりでは、震央距離 10-15km に全 53 データ中 25 データが分布しており、その中で Nt が 10 データ、次に Qpf が 8 データと分布している。地層の年代に関しては中新世から鮮新世に最も多く 16 データが分布しており、岩質は凝灰岩が最も多く 10 データが分布している。また、震央距離 15-20km では Qs、Qpf に最も多く 3 データが分布している。

### (3) 震央距離と道路被災率の関係

震央距離と被災度分布、道路延長の関係を図 11 に示す。路面亀裂では、震央距離 10-15km が 36 データと最も多く分布しており、次に震央距離 20-25km に 35 データ、震央距離 25-30km に 17 データが分布している。地すべりでは、震央距離 10-15km が 25 データと最も多く分布しており、次に震央距離 15-20km に 10 データ、震央距離 20-25km に 7 データが分布している。これらの情報を図 3 と絡めて分析すると、震央距離 10-20km に位置する県道 42 号線に 23 データと最も多くの被害が発生し、震央距離 20-30km に位置する国道 398 号線にも 20 データと被害が数多く発生していることが分かる。また、地すべりは震央近くの震央距離 0-10km の範囲に 9 データが分布しており、震央に近い国道 342 号線は地すべりによる被害が多いことが分かる。

次に、路面亀裂及び地すべりの頻度を道路延長で除し、道路被災率を算定した。なお、道路延長は図 11 に示すように、震央距離 25-30km において 156km と最も距離が長く、震央距離 30-35km において 145km と次に距離が長い。以上、震央距離と道路被災率の関係を図 12 に示す。路面亀裂、地すべりともに震央距離 10-15km での道路被災率が高く、それぞれ 0.412、0.286 となり、1km 当たりおよそ 0.3~0.4 の数値を示した。路面亀裂は震央距離 20-25km で 0.371 と 2 番目に高い道路被災率となり、地すべりは震央距離 0-5km で 0.412 と最も高い道路被災率となった。路面亀裂と地すべりの頻度を合計して道路被災率を求めると、震央距離 10-15km で 0.698 と最も高い道路被災率となり、震央距離 20-25km で 0.445 と次に高い道路被災率となった。

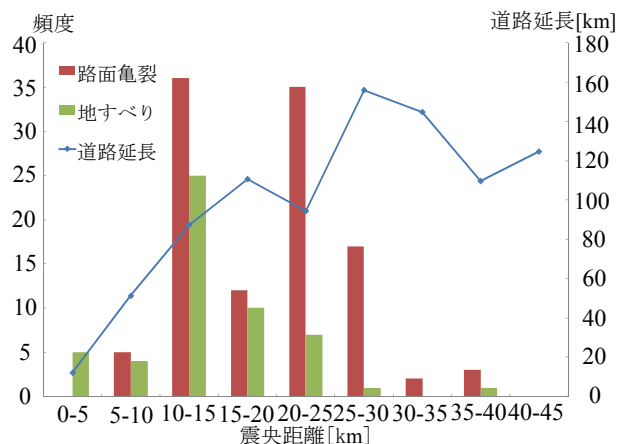


図 11 震央距離と被災度分布、道路延長の関係

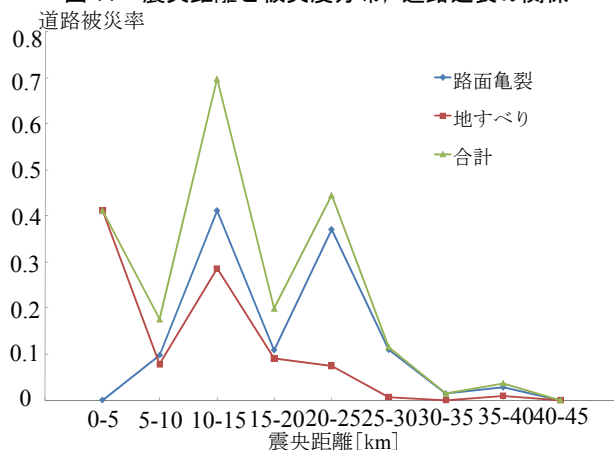


図 12 震央距離と道路被災率の関係

## 6. まとめ

2008年に発生した四川大地震や岩手・宮城内陸地震では、震源域が山間部に位置したために、斜面災害並びに斜面崩壊に関わる道路構造物の被災が特徴的であった。本研究では、土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本地すべり学会合同調査団により示された平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書を基に、斜面崩壊に関わる道路構造物の損傷モードを類型化し、地形、地質の観点からのそれらの被災の特徴や損傷モードの分布を分析した上で、道路被災率の定量化を試みた。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 斜面崩壊に関わる道路構造物の損傷を、路面損傷における亀裂、陥没、隆起、沈下の 4 つのモードと、斜面損傷における亀裂、地すべりの合計 6 つの損傷モードに分類した。各損傷モードに対する被災度を 3 つのパラメータを指標として、被災度 I から V の 5 段階に定義した。3 つのパラメータは、路面損傷における亀裂、陥没及び斜面損傷における亀裂、地すべりは被災範囲  $R$ 、幅  $B$ 、長さ  $L$  と定義し、隆起は幅  $B$ 、長さ  $L$ 、高さ  $H$ 、沈下は幅  $B$ 、長さ  $L$ 、深さ  $D$  と定義した。その結果、路面損傷における亀裂は 110 データ、陥没は 28 データ、隆起は 6 データ及び沈下は 11 データとなり、斜面損傷における亀裂は 3 データ、地すべりは 53 データの合計 211 のデータとなった。
- 2) 被災地点と道路網の関係に関しては、路面損傷の亀裂は国道 398 号線に 20 データ、県道 42 号線に 17 データ及び県道 249 号線に 14 データが分布し、それらの平均被災距離はそれぞれ 2.03km、1.01km、及び 1.24km であった。陥没は国道 398 号線に 10 データ、隆起は県道 42 号線に 3 データ、及び沈下は国道 398 号線に 3 データが分布してお

り、それらの平均被災距離はそれぞれ 2.19km, 1.63km, 及び 2.26km であった。斜面損傷は、国道 342 号線に 9 データ、県道 42 号線に 8 データ及び国道 398 号線に 7 データが分布し、それらの平均被災距離はそれぞれ 2.88km, 1.26km 及び 2.97km であった。

3) 路面亀裂は、幅  $B$  及び長さ  $L$  の微小な亀裂が一部から半域にかけて生じる損傷モードの頻度が高く、全 110 データの中で 48 データとなった。震央距離に対する標高分布の観点から道路被災を分析すると、震央距離 10-30km における被災の頻度が高く、標高 200m~400m で 44 データと最も多く分布していた。また、震央距離に対する地質分布の観点からは、震央距離 10-30km における被災の頻度が高く、地層の年代に関しては、中新世から鮮新世が最も多く 53 データが分布しており、岩質は苦鉄質溶岩および火山砕屑物において 33 データと最も多く被害が発生した。

4) 地すべりは、全 53 のデータの中で、被災範囲  $R$  の被災度が  $V$  の大きな被災のパターンが 44 データとなった。震央距離に対する標高分布の観点から道路被災を分析すると、震央距離 10-25km における被災の頻度が高く、標高 200m~400m で 18 データと最も多く分布していた。また、震央距離に対する地質分布の観点からは、震央距離 10-25km における被災の頻度が高く、地層の年代に関しては、中新世から鮮新世が最も多く 23 データが分布しており、岩質は苦鉄質溶岩および火山砕屑物において 12 データと最も多く被害が発生した。

5) 路面亀裂及び地すべりの頻度を道路延長で除し、道路被災率を算定した。路面亀裂、地すべりともに震央距離 10-15km での道路被災率が高く、それぞれ 0.412, 0.286 となり、1km 当たりおよそ 0.3~0.4 の数値を示した。路面亀裂と地すべりの頻度を合計して道路被災率を求めると、震央距離 10-15km で 0.698 と最も高い道路被災率となり、震央距離 20-25km で 0.445 と次に高い道路被災率となった。

## 謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(A)「豪雨・地震による斜面災害の高精度予測システムの開発」(研究代表者：山田恭央・筑波大学教授)の助成を得て、実施されました。松島亘志・筑波大学准教授をはじめとする上記研究グループの皆様方からは貴重なご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) United States Geological Survey(USGS) : <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2008/us2008ryan/>, 2010.8.12 参照.
- 2) 土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本地すべり学会合同調査団：岩手・宮城内陸地震速報会 報告, <http://www.jsce.or.jp/report/50/news3.shtml>, 2008 年.
- 3) 玉越隆史：平成 20 年岩手・宮城内陸地震調査報告(道路橋)：国土技術政策総合研究所, <http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/jishin/2008iwate/houkokusho/20080904-1/07.pdf>, 2008 年.
- 4) Konagai, K., eds : Investigation Report on the May 12th 2008, Wenchuan Earthquake, China, Final Report of the Investigation Project Grant-in-Aid for Special Purposes of 2008, Ministry of Education, Culture, Sport, Science and Technology(MEXT), Japan, 2009, No.20900002.
- 5) 定村友史, 西岡壮志, 黄永男, 阪上最一：兵庫県南部地震における土砂崩壊の各種要因の分析, 第 42 回地盤工学研究発表会, No.1020/C-09, 2007 年, pp.2033-2034.
- 6) 西田京助, 國生剛治, 石澤友浩, 原忠：新潟県中越地震にお

ける斜面災害の要因分析, 土木学会地震工学論文集, 2007 年, pp.1117-1122.

7) 千木良雅弘：2004 年新潟県中越地震による斜面災害の地質・地形的特徴, 応用地質, Vol.46, 2005 年, pp.115-124.

8) 藤原寅士良, 竹谷勉, 今井勉, 水野光一郎：新潟県中越沖地震における青海川斜面崩壊の発生過程についての一考察, 第 43 回地盤工学研究発表会, No.859/H-06, 2008 年, pp.1717-1718.

9) 西木佑輔, 池村太伸, 下南貴史, 松本樹典, 河合勇人：2007 年能登半島地震における能登有料道路盛土挙動の解析(その 2:安定解析), 第 44 回地盤工学研究発表会, No.766/E-06, 2009 年, pp.1531-1532.

10) Zhang, J., Zhuang, W., Feng, J., Xiao, S., Ma, H., and Xiang, B.: Discussions on two Technical Problems for Aseismic Design of Retaining Structures based on Investigation of the Wenchuan Earthquake, Proceedings of International Conference on Earthquake Engineering - The First Anniversary of Wenchuan Earthquake, 2009, pp.82-86.

11) 國生剛治, 石澤友浩, 長谷祐樹, 山本祐美加：2008 年岩手・宮城内陸地震における斜面崩壊の要因分析, 第 44 回地盤工学研究発表会, No.717/No.C-09, 2009 年, pp.1433-1434.

12) 平成 20 年岩手・宮城内陸地震 4 学協会東北合同調査委員会：平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書(CD-ROM), 2009 年.

13) 千木良雅弘：地すべり・崩壊の発生場所予測—地質と地形からみた技術の現状と今後の展開, 土木学会論文集 C, Vol.62, No.4, 2006 年, pp.722-735.

14) 芥川真知, 吉中龍之進, 安江朝光：地震災害と地形・地質, 土と基礎, Vol.28, 1980 年, pp.95-102.

15) 国土交通省国土計画局：国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>

16) 防災科学技術研究所 強震ネットワーク K-NET, KIK-NET: <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>, <http://wwwold.k-net.bosai.go.jp/k-net/>

17) 社団法人東北建設協会：東北地方デジタル地質図 GIS 版(2006), 2006 年.