

1978年伊豆大島近海地震における道路斜面の 被害に関する二・三の検討

国井 隆弘* 佐本 孝久**

要 約

この地震による道路斜面の被害箇所数は約 800 におよび、伊豆半島中部において南北約 23km、東西約 30km に分布している。この報告は被害箇所の分布状況に着目することから、震源線を定義しこの線からの距離と被害発生頻度との関係を求めている。さらに特に被害が集中した梨本地区およびその東側地区に対し、無被害斜面を含む全斜面調査をおこない、その資料を用いて斜面の地震被害にかかわる要因の数量的解析を試みている。そしてこれらの検討結果から、地震被害の調査が都市の地震防災の有効な手段になり得ることを論及している。

1 序 論

都市における地形が傾斜地からなる地域は少なくないが、この場合、傾斜した地面は切り取られたり盛られたりして、段々畑の様な形で水平な宅地と斜面とに分離されている。あるいは、鉄道、道路などがより平坦な線形を得るために路線に沿った斜面を作り出している。またこのような人工斜面とは異なるが、河川などによって形成されたやや大規模な自然斜面が残されている地域も都市部に少なくない。

1978年6月に発生した宮城県沖地震では、仙台市および隣接する泉市において斜面が各所で崩壊した。このため斜面の上の住家が転落の危険にさらされたり、道路に沿った斜面の盛土部分の移動などのため、路面下に埋設されたガス管および水道管が各所で切断された。

このように、都市に存在する斜面の地震被害は、斜面の上および下にある施設に直接の災害をもたらすのみならず、斜面の崩落土石が交通路を封鎖するなど、地震後の避難、消防活動に大きな影響を与える場合も予想される。また、石積み斜面では、仙台におけるブロック塀による死者の如く、斜面下に落下する土石に対する危険性も考えられる。

東京都防災会議は23区内の斜面の実態調査を実施し

(中野・他, 1971), これらの地震時崩壊予測をおこなっている(田治米・他, 1973)。対象とした斜面は高さが3m以上でかつ傾斜角が30度以上の崖と擁壁で、建築物に隣接したものに限定されている。斜面の種類、構造を配慮して、斜面の幅(面の水平長さ)を数m以上30m以下のものを1件とすることにより、調査・崩壊予測は約2万2千余件の斜面におよんでいる。この後、同様な実態調査および地震時崩壊予測が東京三多摩地区(田治米・他, 1977), および東京に近接した市(川名・他, 1976; 1978)でおこなわれている。これらの地震時崩壊予測は、関東大地震における数%の推定崩壊率(田治米他, 1973)を背景にして、過去の崩壊歴を用いた数量理論による予測手法、および危険度要因項目ごとの重み点の重ね合わせ手法によっておこなわれている。前者の手法は自然あるいは切土斜面にはよく用いられるが(南部他, 1975), 崩壊が雨に起因する 경우가大多数であり地震に対して行われた例はない。後者の手法では、崩壊予測に主観が入り込むことが避け得ず、また量的な危険度が得にくいと考えられる。

本報告は、このような観点に立ち、都市の地震防災にかかわる斜面の崩壊のより適確な予測手法を得る目的で、伊豆大島近海地震(1978年)における道路斜面の被害を調査した結果であり、これに対して以下に述べる着目点に関し二・三の検討を行ったものである。

* 東京都立大学都市研究センター・工学部

** 神奈川大学工学部

斜面の被害箇所は約800におよび、これらが梨本地区を中心に南北約23km、東西両海岸(約30km)の範囲に分布している。そしてほぼWNW-ESEの線状地域に高い被害密度で分布し、その両側に距離とともに被害密度が減少していく傾向を示している。これは、地震動の強さの分布を暗示するものと考えられ、また地震動の強さの分布と被害の発生頻度の関係を提供すると思われる。

梨本を中心とした地区およびその東側地区(これをA地区と後述する)において、無被害斜面を含めた全斜面の実態調査をおこなった。これから被災地の斜面の特徴を知るとともに、斜面の地震被害にかかわる要因に関して数量的解析が可能となるであろう。

2 調査の内容

2-1 調査地域と調査対象道路

調査は伊豆半島の中部で、北は土肥、月ヶ瀬、八幡野を結ぶ線、南は雲見、蓮台寺、縄地を結ぶ線、および東西両海岸で囲まれたほぼ長方形の地域でおこなわれた。この地域は図1で示したAおよびB地区である。調査地域は道路の斜面被害が発生した地域をほぼ完全に含むと考えられ、この地域外における斜面被害発生箇所は、有るとしてもその件数は極めて少ないと考えられる。調査地域の道路は、国道、主要地方道、市町村道、有料道路およびその他の道路からなるが、調査対象道路は国土地理院発行の2万5千分の1の地図における、幅員2.5m~11mの道路とした。これらは国道、主要地方道の全てを、および市町村道の大半を含んでいる。また私道と思われる林道および営林署内道路もほとんど対象道路となり得るが、これらは調査可能だった道路に限られた。この結果、調査対象道路のうちほぼ95%に対して調査がおこなわれた。

調査対象道路を幅員によって限定したのは以下の理由による。道路斜面の被害状況は地震直後の被害調査により報告した(国井・荻本, 1978)が、これによると、道路斜面の被害は山側斜面の路面に接した最下部の斜面、および谷側斜面の路面に接した最上部の斜面の被害が大多数である。いまこれらの斜面を山側斜面、谷側斜面と名付ければ、道路斜面の被害は調査対象道路の山側、谷側斜面に最も多く、これらの斜面の構造・規模がほぼ同類で、かつ都市における斜面の構造・規模に近い。これに対し、調査対象道路の幅員よりも大きな幅員を持つ有料道路では都市部にはあまりみられない大規模な斜面を有している。また調査対象道路の幅員より小さな幅員を持つ道路においては、自動車を用いた今回の調査は不可能であり省略している。

2-2 被害箇所に関する調査

斜面の被害箇所(山側および谷側斜面)の2万5千分の1の地図へのプロットは、全調査対象道路を自動車および徒歩で通行することによりおこなわれた。同時に斜面の有無を地区の道路区間に記録している。

図1は被害箇所を示すものだが、ここで1箇所の定義を以下の如くとりきめている。

- ① 道路の山側斜面の1部が道路上に崩落して、崩落土石が道路交通の障害となり除去作業中であるか、除去作業がおこなわれたと考えられる所
- ② 道路の谷側斜面の損傷により、路肩が1部沈下、落下したり、あるいは道路面にきれつが発生して、今後何らかの修復作業が必要と考えられる所
- ③ 被害の程度あるいは崩壊の規模に関係なく1箇所とするが、道路に沿って連続して被害が生じている場合には、斜面構造を勘案しつつ10~20mの間隔で区切ってその間を1箇所とみなす。

この様にして調査した結果、斜面の総被害箇所は約800であり、このうち約77%は山側斜面の被害である。なお、高さ約1m以上の斜面を有する道路の総延長は、約400kmである。

2-3 道路斜面の実態調査(A地区)

道路斜面の地震被害を都市の地震防災のための有効な資料とするためには、被害地域の道路斜面が持つ特徴を明らかにしておく必要がある。また、被害を受けた斜面が他の斜面と比較して、どの様な弱点を有しているか、を明らかにする事はどの様な斜面が地震被害を受け易いか、が課題となる被害予測のために有意義な資料を提供するはずである。このため、被害を受けた斜面のみならず、無被害の斜面を含めた全ての道路斜面に対し実態調査を行った。

この調査の対象とした地域は図1に示すA地区である。できれば調査地域の全域において実態調査を進めたいが、実態調査はかなりの労力を必要とするため、以下の理由からA地区に限定した。その1つはこの地区に被害が集中していることであり、またこの地区だけで周辺地域にみられる全ての種類の斜面の資料が十分得られたからである。A地区をとり囲むA-B両地区の境界は、北から、奈良本、浅間山、鉢山、梨本、沼ノ川、大鍋、須原、縄地の各地である。東海岸沿いを除けば、A地区からB地区へ通じる道路は多くなく、須原地区の道路以外ではB地区へ通じる道路は全て山越えとなる。このため、道路は舗装路から砂利路となり住家がとぎれる。したがってA地区は、山と海に囲まれた、100%に近い舗装率の道路を有する、比較的住家密度の高い地区であると言える。

IZU-OOSHIMA KINKAI EQ.
1978.1.14 (M = 7.0)

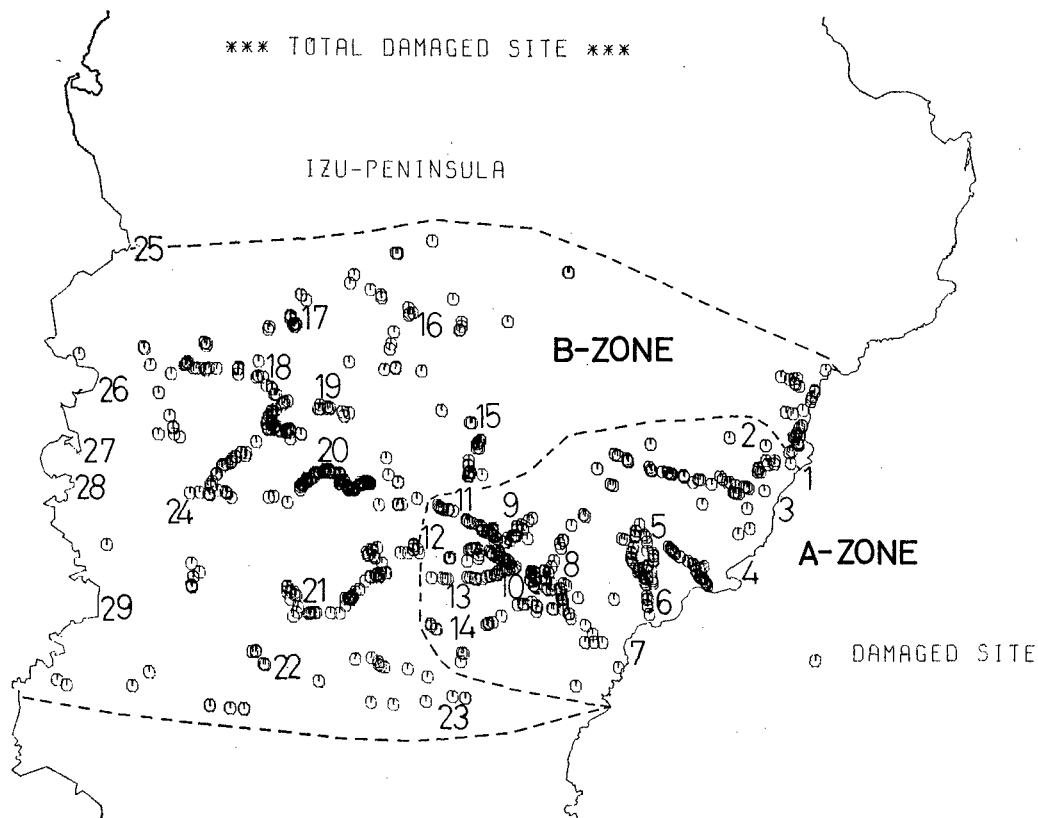


表 1 道路斜面実態調査項目

項 目	内 容
位 置	谷側，山側
被害の有無	有，無
構 造	自然斜面，切土，盛土，雑石空積，雑石練積，間知石空積，間知石練積，間知ブロック空積，間知ブロック練積，コンクリート・鉄筋コンクリート (RC)
最高の高さ(m)	道路面に接する斜面，続く斜面
傾 斜 角 (度)	同上
斜面が向く方向	N, NE, E, ES, S, SW, W, NW
被 害 内 容	崩壊幅，移動部分の幅，きれつ，はらみ出し長さ
幅	道路に沿った長さ

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1. ATAGAWA | 16. YUGASHIMA |
| 2. NARAMOTO | 17. MOCHIKOSHI |
| 3. SHIRATA | 18. NISHINA PASS |
| 4. INATORI | 19. NEKKO PASS |
| 5. NEGINOTA | 20. SHOTTUBO PASS |
| 6. MITAKA | 21. IKESHIRO |
| 7. KAWAZU | 22. BASARA PASS |
| 8. SAGANO | 23. MINOSAKU |
| 9. IZUMIOKUHARA | 24. MIYAGAHARA |
| 10. YUGANO | 25. TOI |
| 11. NASHIMOTO | 26. UGUSU |
| 12. OONABE | 27. ARARI |
| 13. KONABE | 28. TAGO |
| 14. SAKASAGAWA | 29. MATUZAKI |
| 15. AMAGI PASS | |

図 1 道路斜面の被害分布

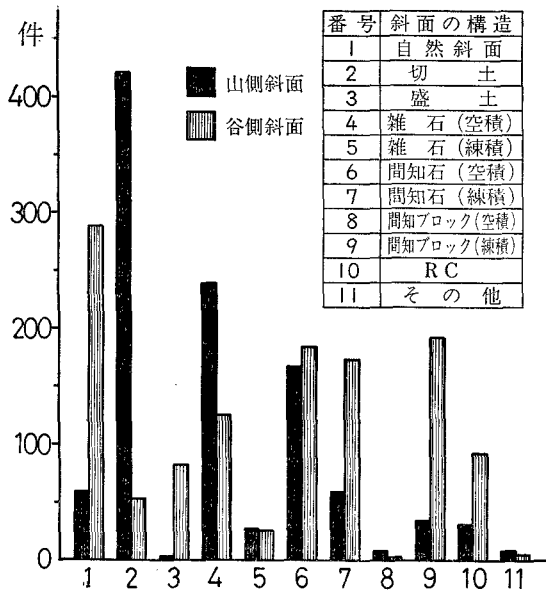


図2 斜面の構造別件数

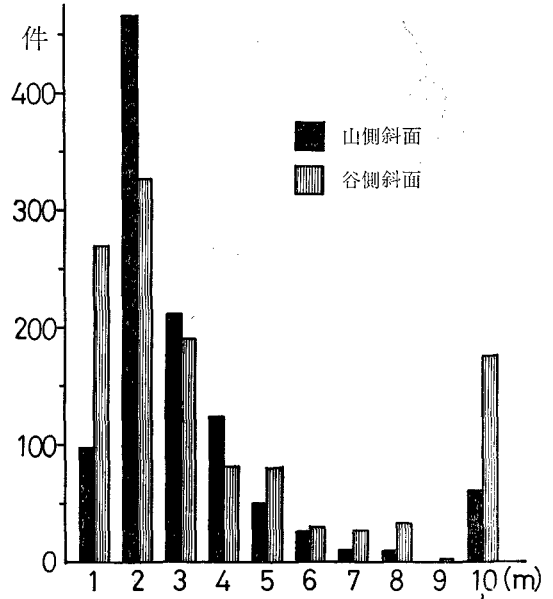


図3 斜面の高さ別件数

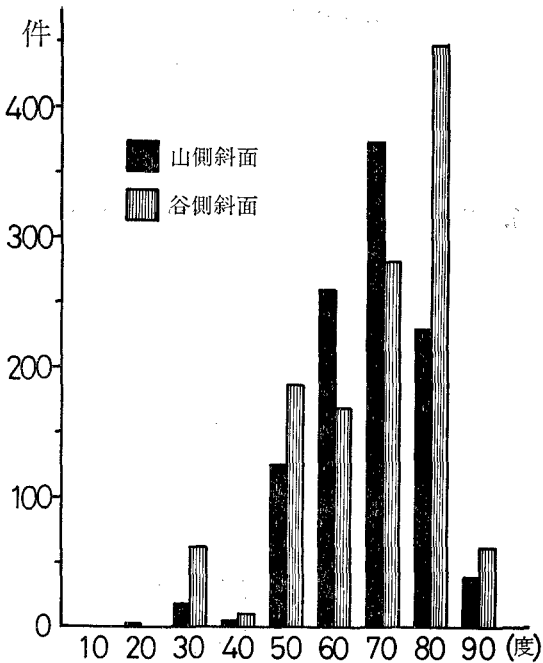


図4 斜面の高さ別件数

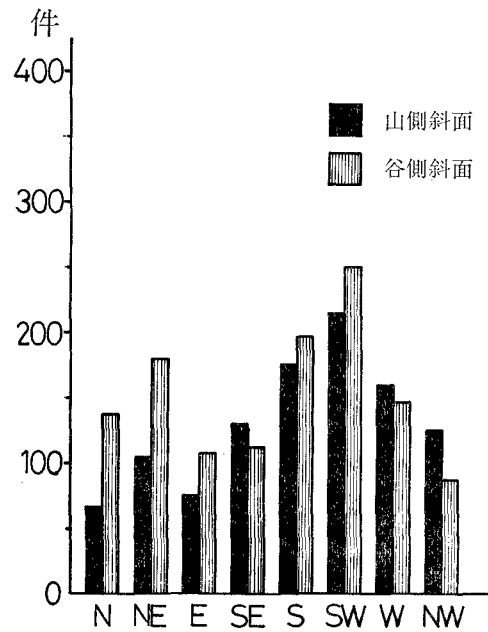


図5 斜面が向く方向別件数

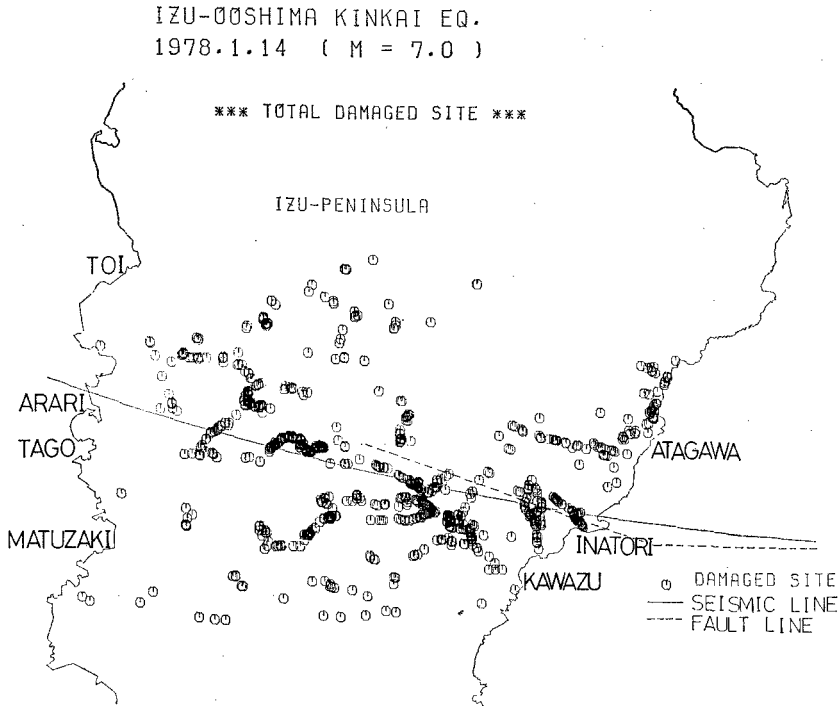


図6 斜面の被害分布と震源線および主断層の位置

表1は実態調査の項目および内容を示している。調査は調査員が斜面に直接対面する形でおこなわれた。連続する斜面においては、代表値を定めるために斜面を区切って考える必要がある。このため表1における構造が異なる所、高さ傾斜角が急変する所、で区切り、区切った間の斜面を1件として調査を進めた。同じ規模・内容の斜面が連続する場合、50mを斜面の最大幅になる様に区切っている。この調査方法は、東京23区でおこなわれた実態調査方法(中野・他, 1971)とほぼ類似したものである。A地区におけるこれらの実態調査に要した日数は、前述した被害個所の調査を含めて、数人によるのべ約40日である。

3. 被災地域の道路斜面の特性

本節では、調査が詳細に実施されたA地区での調査道路延長上の全斜面について、調査項目に従って斜面の有する特性格の分布状況について検討を行い、被災地域の道路斜面の特性を考察する。

図2～5図に全斜面について山側斜面と谷側斜面に区分し、斜面の有する構造・高さ・傾斜角および方向についての頻度分布を示す。

調査件数は、山側斜面が1,056件、谷側斜面が1,221件

で合計2,277件であった。

当然のことながら本調査に基づく道路斜面の分布が、伊豆地方という地域的な特異性も包含された結果であると考えられるが、概略次のようなことが図より指摘できる。まず、構造別では山側の道路斜面では切土が非常に多く分布し、続いて雑石空積および間知石空積の斜面が多く分布している。一方、谷側の道路斜面では自然斜面が多く分布し、続いて間知ブロック練積および間知石空積・練積が多く分布している。従って自然斜面、切土、盛土を除く擁壁構造を有する人工的な斜面においては全体的には山側斜面よりも谷側斜面に強固な構造が多く分布しているといえる。

斜面の高さ別の分布では、山側・谷側斜面ともに2～3m程度の斜面が多く分布している。更に谷側斜面においては10m以上の高い斜面でも比較的多く分布している。

また、斜面の傾斜角別の分布では、山側斜面では60°～70°の斜面が多く、谷側斜面では70°～80°の斜面が多く分布し、谷側斜面の方に傾斜が急な斜面が多く分布していると言える。一方、斜面の方向別では、それほど顕著な分布傾向は見られないが、道路延長方向の関係で山側・谷側斜面ともにSW方向の斜面が多少多く分布している程度である。

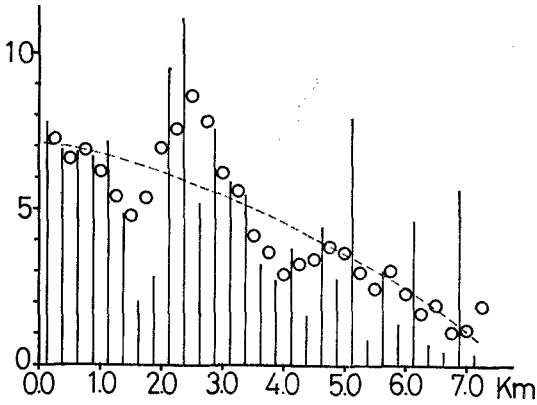


図7 主断層からの距離と被害発生頻度との関係
(縦軸：斜面延長 1km あたりの被害発生個所数)

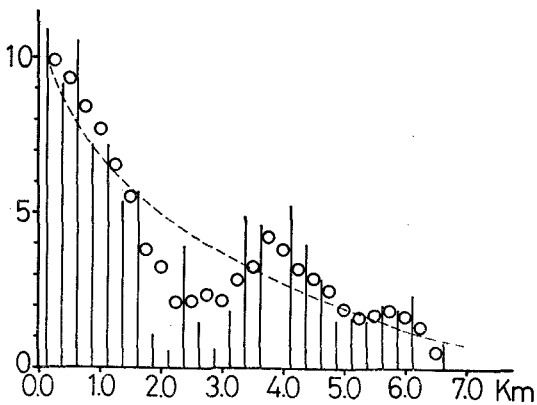


図8 震源線からの距離と被害発生頻度との関係
(縦軸：斜面延長 1km あたりの被害発生個所数)

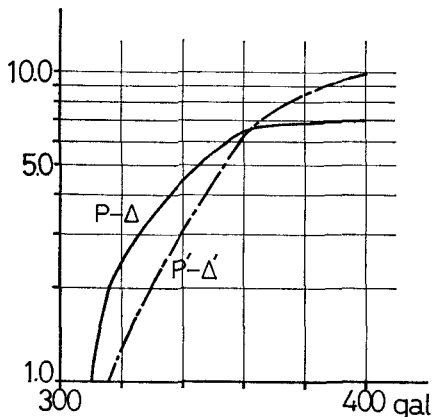


図9 最大加速度と被害発生頻度との関係
(縦軸：斜面延長 1km あたりの被害発生個所数)

以上のことから、被災地域の道路斜面の特性では、一般に、自然斜面・切土の構造で、高さ2～3mで傾斜が70°程度の斜面が多く分布している。また山側斜面に比較して、谷側斜面に大規模で強固な構造を有した斜面が多く分布している傾向が見られる。

4. 震源線の定義と位置

本地震においては、地震の直接的な原因となった地震断層が被災地域の東伊豆町稲取地区から梨本地区に至る带状地帯に、いくつかの線状に出現した。望月ら（望月他、1979）によれば、木造ならびにRC造建物の被害は、これらの断層上に顕著に発生していると報告されている。一方、筆者らが実施した、道路斜面の被害も同様に上記地震断層を中心に多数発生しているかのように分布している。

地震断層に関しては、松田・田村らの現地調査（望月他、1979）により、各地の地表に露頭した地点での走向・長さおよびズレ量等が報告され、それらの位置を結べば地震断層の地表におけるトレースの概要が理解される。一方、津村らによる地震観測（津村、1958）に基づく余震分布から地震学的な断層モデルが提案されている。望月ら（1978）は、上記余震分布より、地下に伏在すると考えられる主なる地震断層を設定し、各地の墓石調査および強震記録から得られた最大加速度と主断層からの距離との関係を示している。

筆者らは、道路斜面の被害調査により明らかにされた被害斜面の平面的な分布状況に対して、任意に座標軸を設定して、各被害斜面に座標値を与え、最小乗法による回帰2次曲線を求めた。そして、この2次曲線を道路斜面の被害分布からみた震源線とした。

このように設定した震源線は、前述の地震学的な地震断層と調和的であり、大きな差異は認められない。そのうえ、道路斜面の被害発生状況を説明するためには、後述するように本震源線の方がよりよい傾向を示していると考えられる。

以上のように求められた震源線の位置を、望月らが示した主断層とともに図6に示す。

5. 道路斜面の被害発生頻度と震源線から距離との関係

本節では、前節で述べられた主断層および震源線とを用いて道路斜面の被害発生頻度と主断層あるいは震源線からの距離との関係について比較検討する。これらの検討結果は、今後発生が予想される本地震と同程度の地震において、斜面被害がどの程度発生するかという予測検討する上で有用な資料を与えるものと考えられる。

まず、道路斜面の被害発生頻度を算定するにあたって、2万5千分の1地図上において、主断層ならびに震源線に平行する0.25km間隔の線を作図し、各0.25km幅の帯状地域に対して、その各地域に含まれる斜面の被害発生件数 N_i ならびに、道路斜面が存在する道路延長距離 L_i (km) を地図上より算出する。以上の結果より、次式で主断層ならびに震源線から $(0.25i-0.125)$ kmの距離に位置する0.25km巾の地域の被害発生頻度を定義する。

$$P_i = \frac{N_i}{L_i} \quad (1)$$

P_i : 道路斜面の被害発生頻度 (件/1km)

i : 1, 2, 3, ……

このように (1) 式で算定された P_i に対して、最終的に1km巾に対して平滑化し、道路斜面の被害発生頻度 P と主断層ならびに震源線からの距離 Δ との関係を図7と図8に示す。

図より、主断層からの距離 Δ と被害発生頻度 P との関係においては、 Δ が2.0~3.0kmと5.0km付近に、大きな P の値を示す地域が認められ、全対的な $P-\Delta$ 関係に不合理な傾向が見られる。

一方、震源線からの距離 Δ' と被害発生頻度 P' との関係においては、 Δ' が4.0km付近に大きな P' の値を示す

地域が認められるが、全体的な $P'-\Delta'$ 関係には無理のない傾向を示しているものと思われる。

図8より、 $P'-\Delta'$ 関係においては、震源線至近傍では1kmあたり10件程度の被害発生頻度が見られ7.0km以上遠では、ほぼ道路斜面の被害の発生が見られない。

6. 地震動の最大加速度と道路斜面の被害発生頻度との関係

本地震における被災地域においては、地震発生直後に墓石転倒調査が実施され、地震断層近傍の各地の地表での推定最大加速度が算定されている。その結果、主断層の至近傍では400gal以上の最大加振度値を示し、主断層より遠ざかるにつれて減少する傾向が見られ、主断層からの距離 Δ と最大加速度 A_{max} との連続的な $\Delta-A_{max}$ 関係が示されている。

本節では、上記の $\Delta-A_{max}$ 関係と前節で示した $\Delta-P$ および $\Delta'-P'$ 関係より、道路斜面の被害発生頻度と最大加速度との関係を求めた。結果を図9に示す。

図より、 $P-\Delta$ 関係より求められた $P-A_{max}$ 関係では最大加速度が310gal程度以上から道路斜面被害の発生頻度が1kmあたり1件程度発生する。そして、370gal程度で1kmあたり約7件の被害が見られ、それ以上の

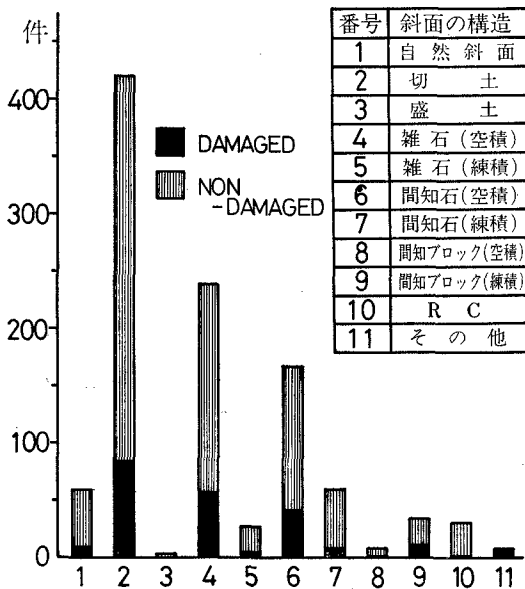


図10 (a) 斜面の構造別の被害分布 (山側)
[(a) ~ (f) の縦軸: 件数]

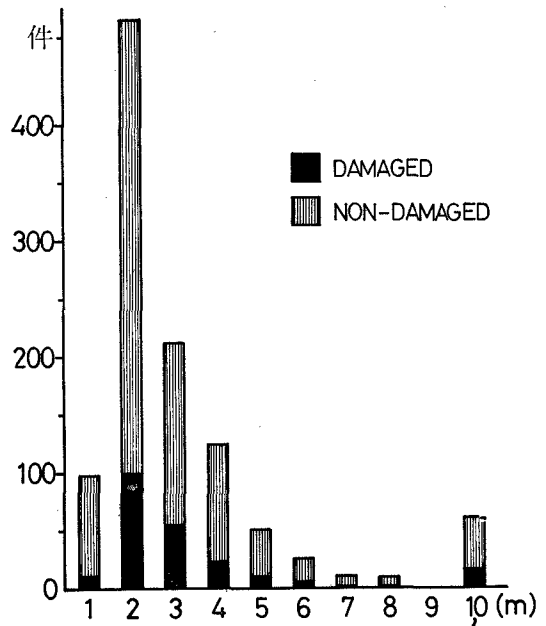


図10 (b) 斜面の高さ別被害分布 (山側)

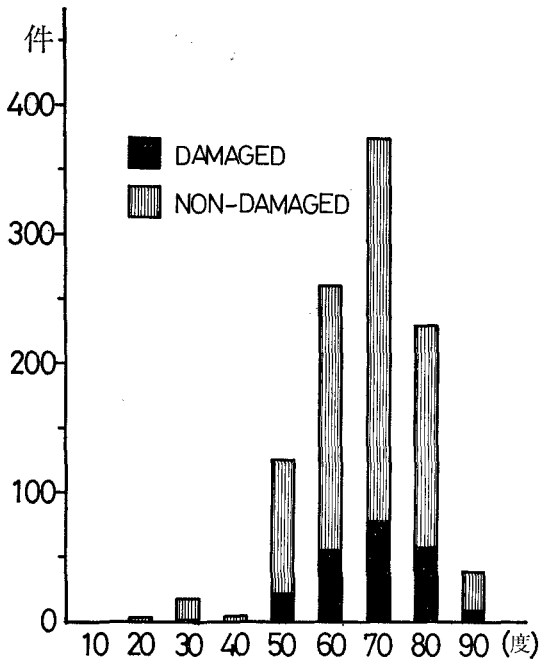


図10 (c) 斜面の傾斜角別の被害分布 (山側)

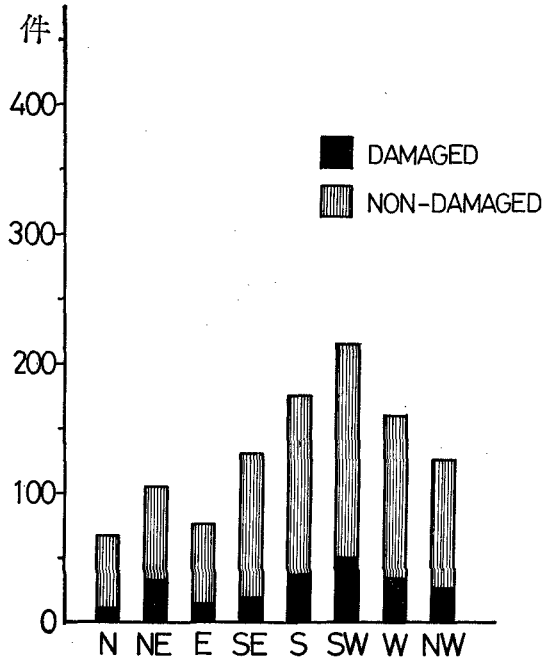


図10 (d) 斜面の方向別の被害分布 (山側)

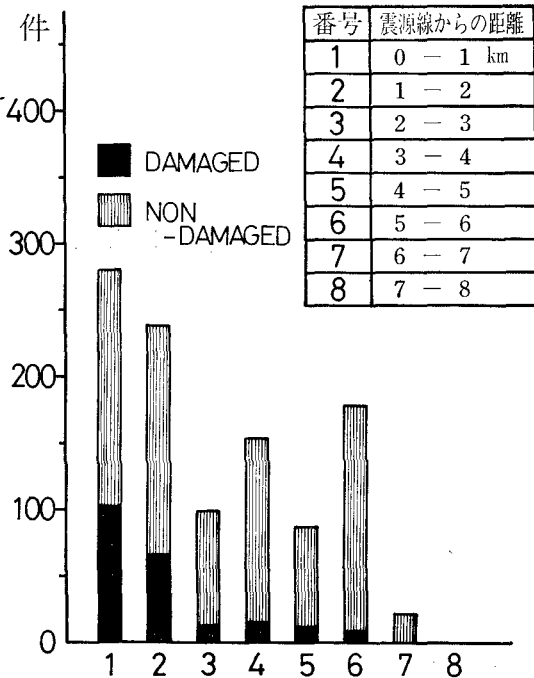


図10 (e) 震源線からの距離別の被害分布 (山側)

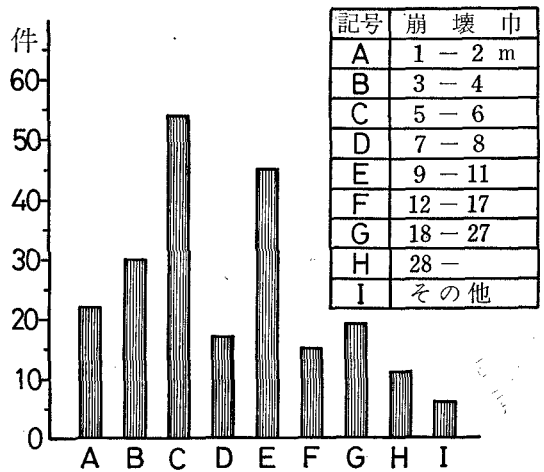


図10 (f) 被害斜面の崩壊幅の分布 (山側)

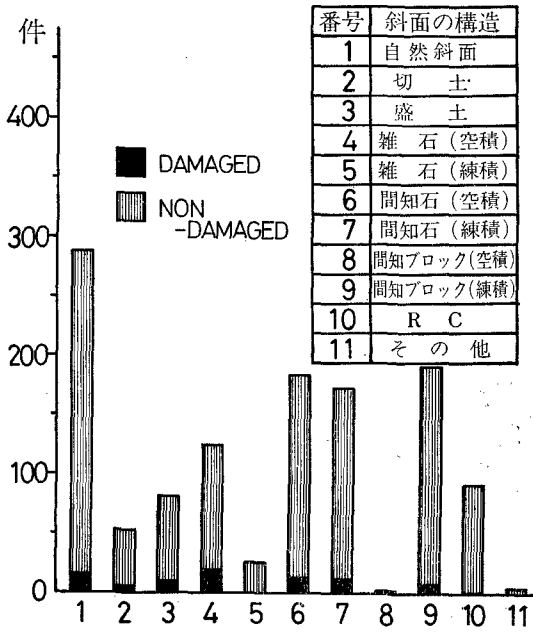


図11 (a) 斜面の構造別の被害分布 (谷側)
〔(a) ~ (f)の縦軸: 件数〕

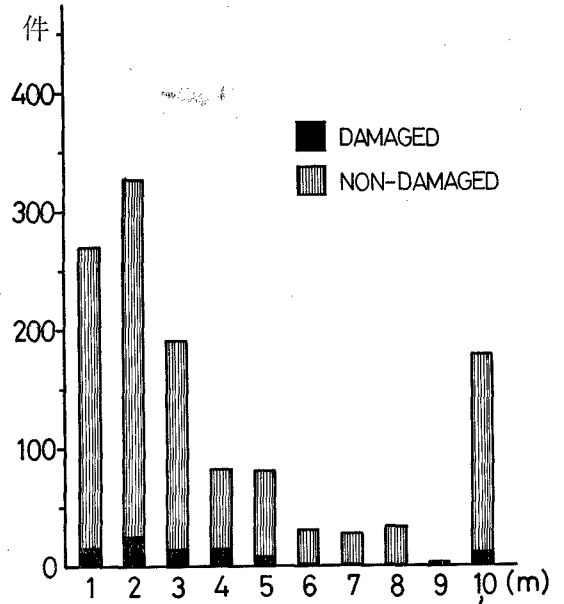


図11 (b) 斜面の高さ別の被害分布 (谷側)

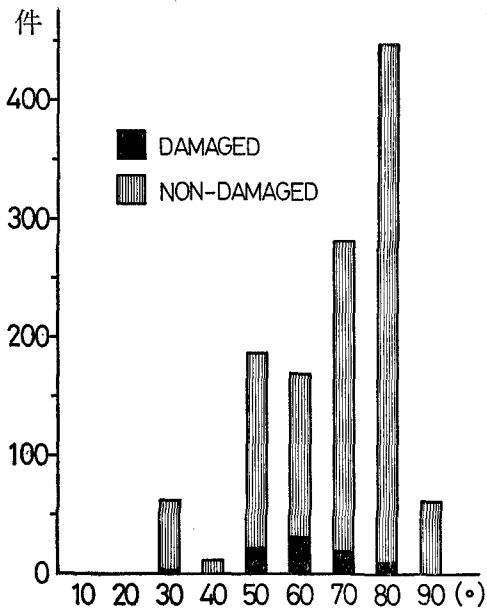


図11 (c) 斜面の傾斜角別の被害分布 (谷側)

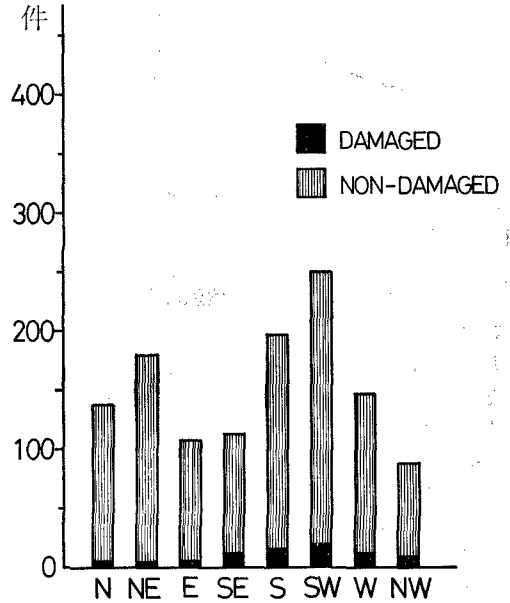


図11 (d) 斜面の方向別の被害分布 (谷側)

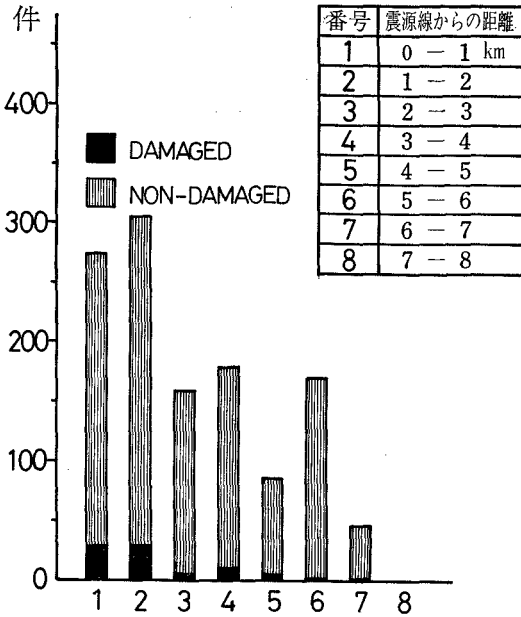


図11 (e) 震源線からの距離別の被害分布 (谷側)

加速度値でも、ほぼ一定の被害発生頻度を示す傾向が見られる。

一方、 $P-A'$ 関係から求められた $P-A_{max}$ 関係では、最大加速度値の増加に伴って、被害の発生頻度も増加し、両者の関係に無理のない傾向が見られる。そして、約 400gal 程度で、道路延長 1km あたり10件の被害発生が見られる。

7. 被災地域の道路斜面の被害の特性と被害分布

前節までにおいて、主にA地区からなる被災地域における道路斜面の全体的な特性について、斜面の有している各特性別の頻度分布を示し、かつまた震源線からの距離と被害発生頻度と関係を示した。本節においては、上記の被害の発生状況について、更に詳細に検討を加え、次節の数量化理論による被害発生要因を検討するアプローチのためのデータ構造を検討することとする。

まず、A地区の道路斜面の被害の特性に関して、各斜面の調査項目に基づく構造別・高さ別・傾斜角別・方向別および震源線からの距離別に被害の発生頻度分布を求め、その結果を図10および図11に示す。ここでは、被害率を検討するために前掲の全斜面に対する頻度分布 (図

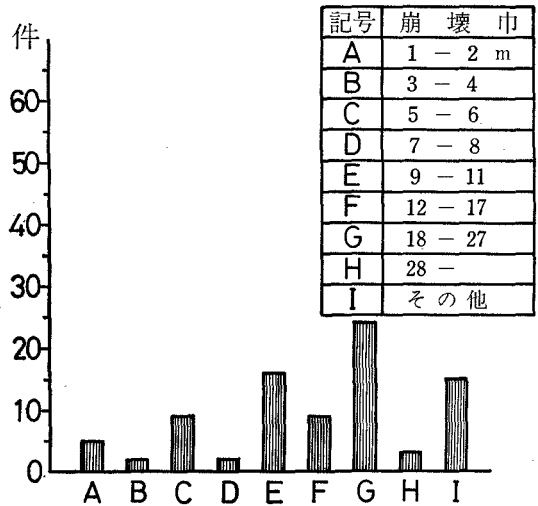


図11 (f) 被害斜面の崩壊幅の分布 (谷側)

2~5図) も同図上に示してある。

先に示したごとく、A地区での道路斜面の調査全件数は、山側斜面 1,056件、谷側斜面 1,221件で、そのうち被害件数は、山側斜面 225件 (崩壊斜面 219件) で被害率 21.3%、谷側斜面 85件で被害率 7.0% であり、比較的強固な構造が多く分布している谷側斜面の被害率が低い。

構造別の被害率では、山側斜面の間知ブロック練積斜面を除けば、雑石および間知石の空積斜面に被害率が高く、斜面の高さ・角度別では、山側斜面においては相対的に斜面が高くかつ急傾斜になるほど被害率が高くなる傾向を示すが、谷側斜面では高さ 4~5m で角度 50°~60° の比較的中間的な特性を示す斜面に被害率が高くなる傾向を示している。また、斜面の方向別の被害率では、どの方向に対しても著しい差異は認められないが、山側斜面では NE・SW 方向、谷側斜面では SE・NW 方向の斜面にやや被害率が高くなる。震源線からの距離別の被害率では、山側・谷側斜面ともに震源線に近づくほど被害率が高くなる傾向を示し、特に山側斜面に顕著である。

一方、被害斜面の崩壊巾の分布では、山側斜面では 5~10m 程度の崩壊巾が多いのに比して谷側斜面では 10m 以上で規模の大きな被害が発生している。

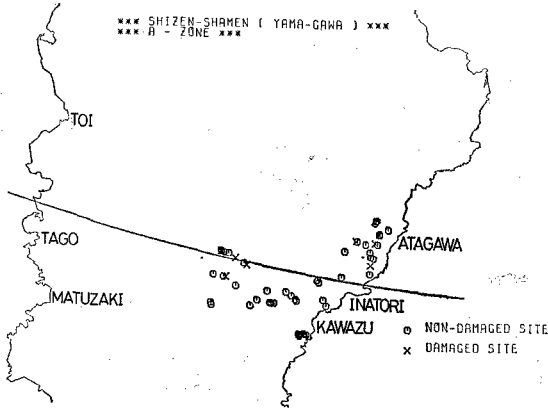


図12 (a) 自然斜面の分布 (山側)

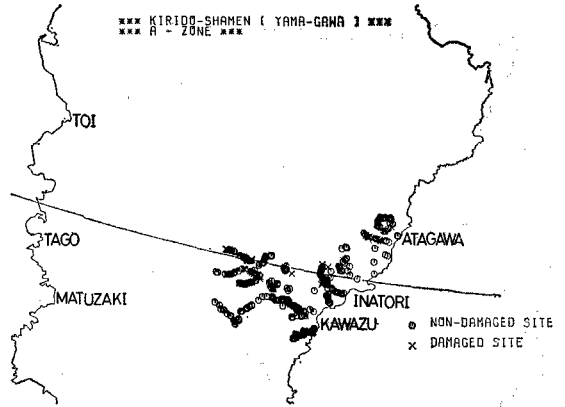


図12 (b) 切土斜面の分布 (山側)

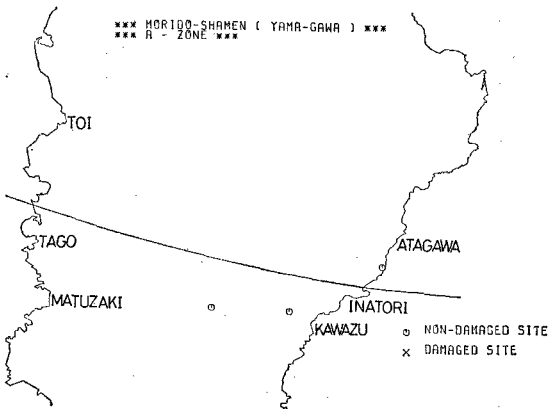


図12 (c) 盛土斜面の分布 (山側)

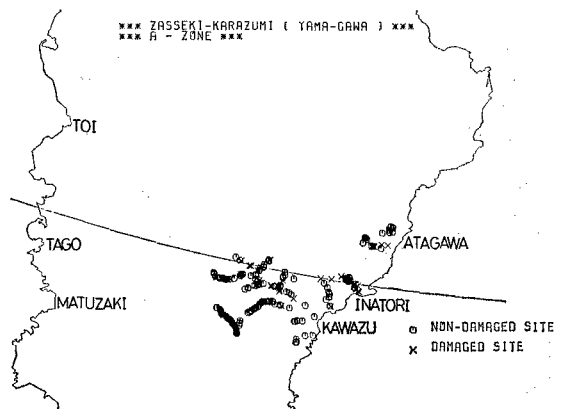


図12 (d) 雑石 (空積) 斜面の分布 (山側)

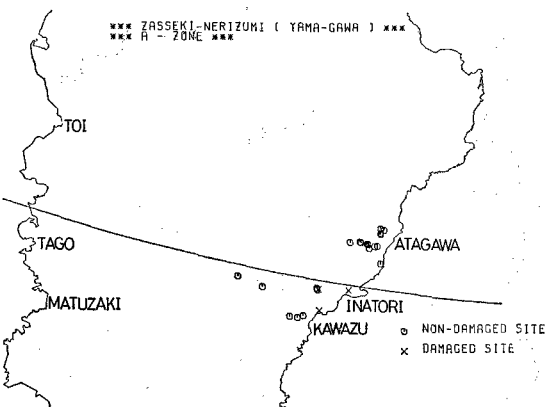


図12 (e) 雑石 (練積) 斜面の分布 (山側)

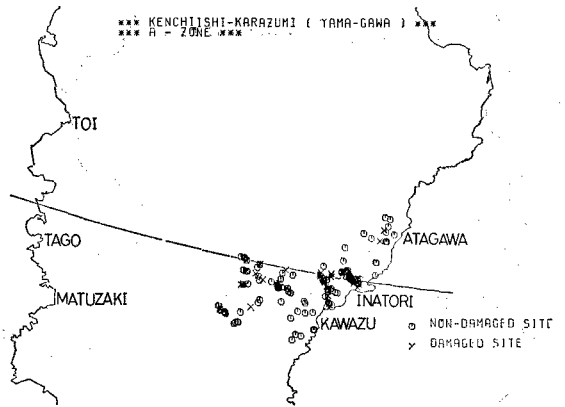


図12 (f) 間知石 (空積) 斜面の分布 (山側)

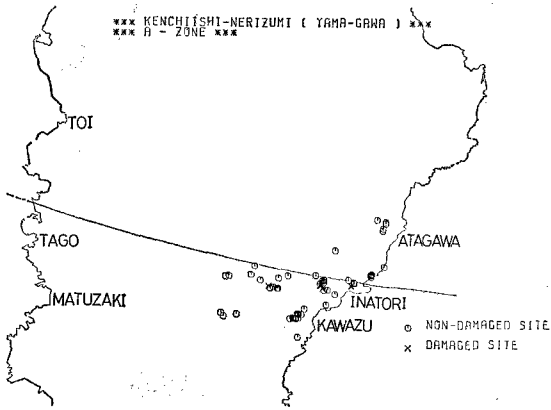


図12 (g) 間知石 (練積) 斜面の分布 (山側)

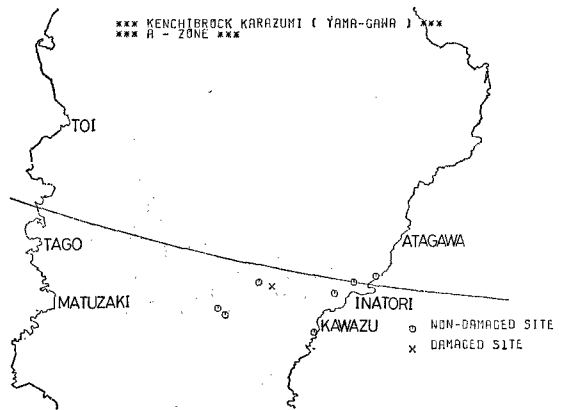


図12 (h) 間知ブロック (空積) 斜面の分布 (山側)

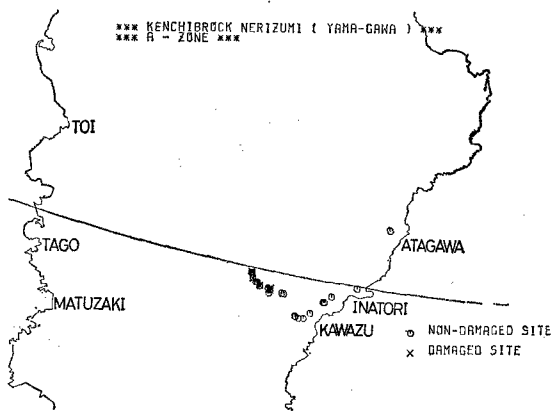


図12 (i) 間知ブロック (練積) 斜面の分布 (山側)

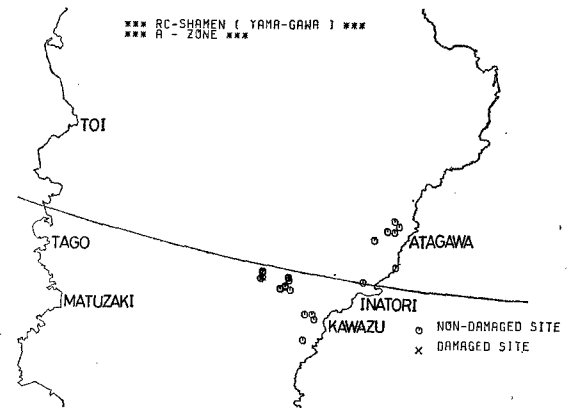


図12 (j) RC斜面の分布 (山側)

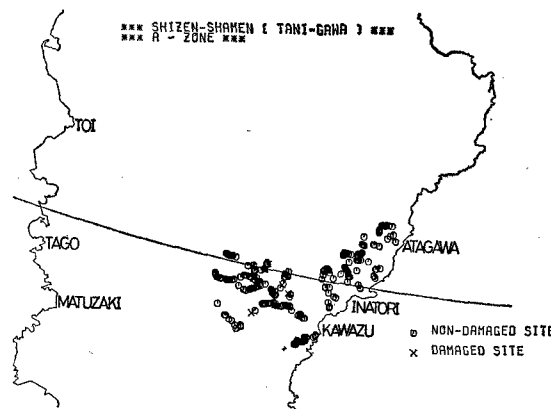


図13 (a) 自然斜面の分布 (谷側)

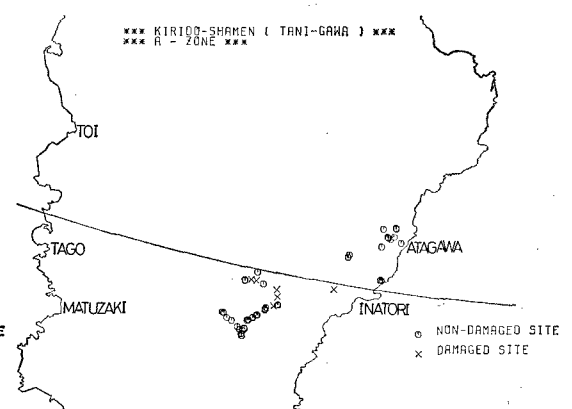


図13 (b) 切土斜面の分布 (谷側)

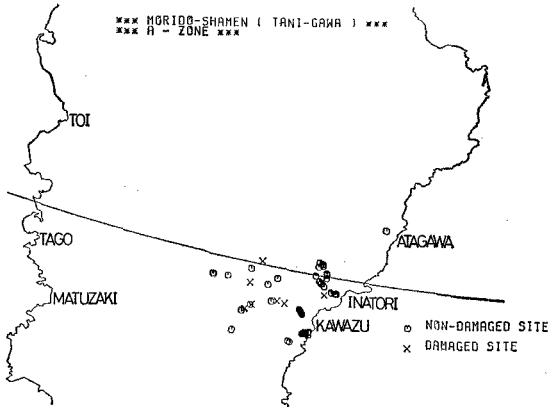


図13 (c) 盛土斜面の分布 (谷側)

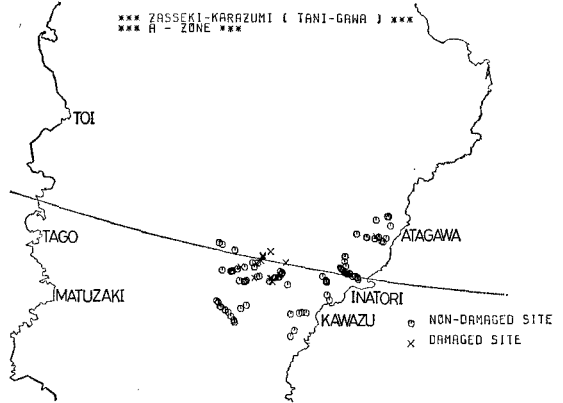


図13 (d) 雑石 (空積) 斜面の分布 (谷側)

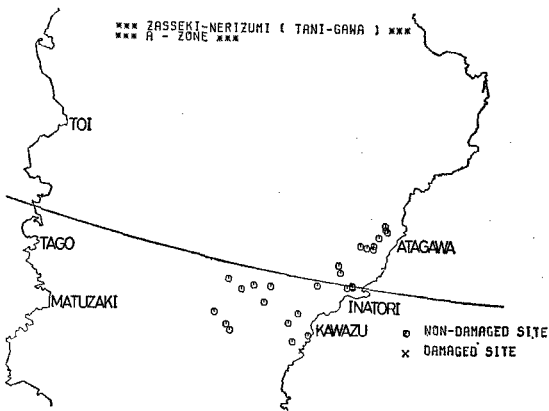


図13 (e) 雑石 (練積) 斜面の分布量 (谷側)

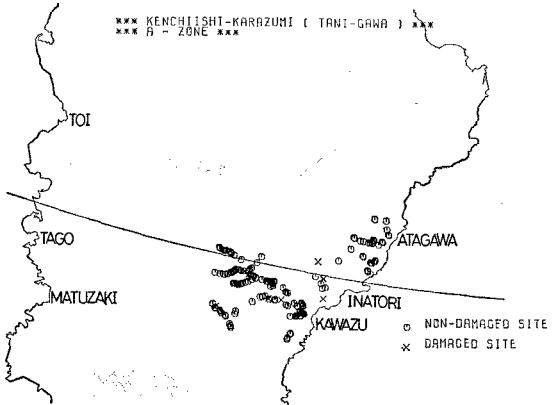


図13 (f) 間知石 (空積) 斜面の分布 (谷側)

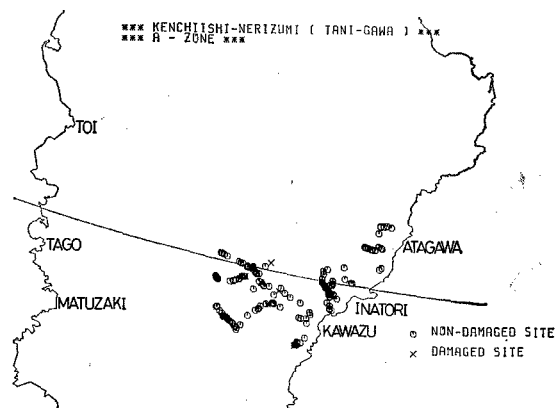


図13 (g) 間知石 (練積) 斜面の分布 (谷側)

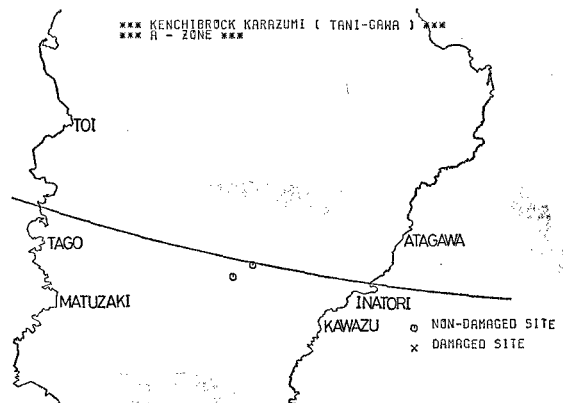


図13 (h) 間知ブロック (空積) 斜面の分布 (谷側)

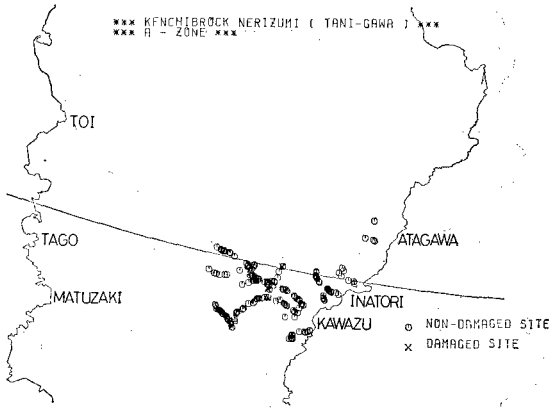


図13 (i) 間知ブロック (練積) 斜面の分布 (谷側)

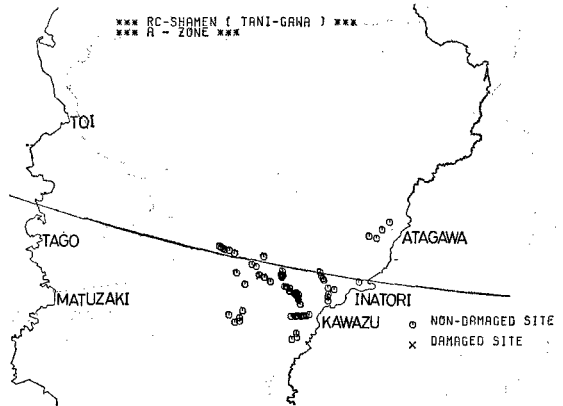


図13 (j) RC斜面の分布 (谷側)

以上の被害の発生状況から考察される一般的な特徴としては、山側斜面では比較的脆弱で小規模な構造の斜面が多く分布しているために、そのような斜面に多くの被害が発生し、従って被害率が高くなる。そして斜面の高さが高くかつ傾斜が急な斜面ほど被害を受けやすい傾向が見られる。一方、谷側斜面では比較的強固で大規模な構造が多いため被害率は山側に比べて低くなるが、被害が発生するとその規模が大きくなる傾向が見られる。

次に、道路斜面の各構造別の被害斜面の平面的な分布と震源線の位置関係を図12および図13に示す。図より、山側・谷側斜面ともに各構造別の被害斜面は、一般に、いずれも震源線の近傍に多く分布し、震源線から遠ざかるにつれて、被害は減少していく傾向が見られる。

また、先に問題となった、斜面の構造別で被害率が高く発生した山側の間知ブロック練積の斜面の分布では、上記構造の斜面が全体としての分布数が少なく、かつ河津・湯ヶ野付近の比較的震源線の近傍に多く分布し、その他の地区には分布件数が少ないために、たまたま被害率を高くせしめたものと考えられる。

8. 数量化理論による道路斜面の被害発生要因の検討

前節に示したごとく、調査が詳細に実施されたA地区における山側・谷側の道路斜面において、斜面の有する特性によって被害の発生状況に差異が生じていることが示された。一方、前節までの調査資料の整理では、各々の斜面の被害発生という物理現象を十分に説明することは不可能である。これは、地震時の斜面被害の有無あるいは崩壊規模といった物理的な現象に関係していると考えられる斜面の複数の特性が、各々独立して被害に対する影響度を決定するためではなく、各特性が互いに複合

表 2 アイテム・カテゴリー区分と外的基準

ITEM	CATEGORY	CONTENTS	
1	斜面の構造	1 雑石	——
		2 間知石	——
		3 間知ブロック	——
		4 R C	——
2	施工	5 弱	空 積
		6 強	練積・R C
3	斜面の高さ	7 低	1 m
		8 中	2 m
		9 高	3 m 以上
4	斜面の傾斜角	10 緩	70° 以下
		11 中	80°
		12 急	90°
5	複合構造	13 有	——
		14 無	——
6	震源距離	15 近	0 - 1.4km
		16 中	1.4 - 3.6km
		17 遠	3.6km 以上
7	斜面の方向	18 平行	震源線に対して平行
		19 垂直	＃ 垂直
外的基準		被害規模 崩壊幅 (m)	

して影響度を決定しているためである。すなわち、被害の状況を説明する要因の多面性によるものである。

筆者らは、このような道路斜面の調査データから得られる斜面の特性と地震時の斜面被害との関係に関する多次元的な構造に対して統計解析手法としての予測手法である数量化1類を応用して、任意に被害発生要因となるアイテム・カテゴリーを設定し、道路斜面の被害規模(崩壊巾)を外的基準とした場合の各アイテム・カテゴリーの影響度を検討することとした。

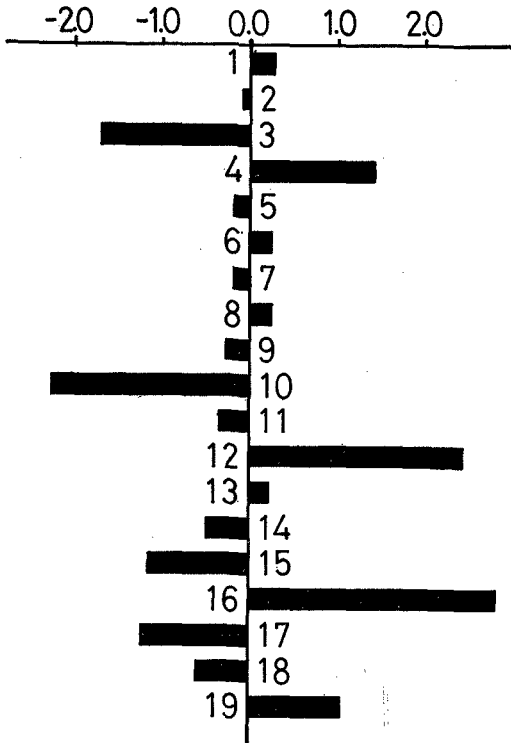


図14 カテゴリー数量 (山側)
(番号：表2参照)

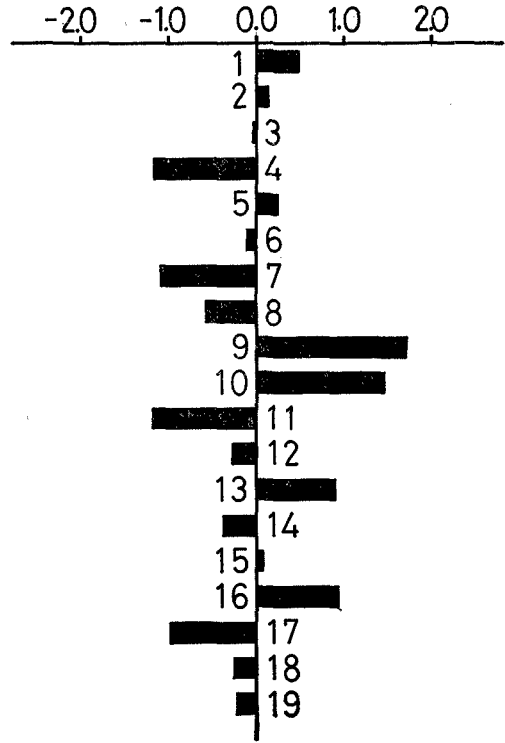


図15 カテゴリー数量 (谷側)
(番号：表2参照)

ただし、斜面の構造において、自然斜面・切土および盛土斜面と擁壁構造を有する人工的な道路斜面の構造とでは、明らかに構造上の差異があることを考慮して、本研究では前者の斜面を除外し、後者の斜面についての検討を実施した。また山側斜面と谷側斜面についても区別して検討した。

設定したアイテム・カテゴリー区分を表2に示す。表中の第3・4および7アイテムの高さ・角度および震源線からの距離（震源距離）に関しては、各アイテムに関する被害斜面の頻度分布を等分することによってカテゴリー区分を設定している。

数量化理論1類は、ある事象に関する、 n 個のサンプルで観測された外的基準といわれるある統計的な被説明変数が量的変数で与えられ、その外的基準を説明する要因（アイテム・カテゴリー）が質的変数である場合に、この説明変数に最適な量的変数（カテゴリー数量）を与え、新たなサンプルに対する外的基準の値を予測する手法である。

本研究の場合には、外的基準が道路斜面の崩壊巾であり、その外的基準に影響を及ぼす質的変数の要因であるアイテム・カテゴリーについては表2に示されている。

そして、調査が実施された各斜面（サンプル）は、そ

の斜面が有している特性において必ず各アイテムのどれか1つのカテゴリーに属している。従って、 n 個の各々のサンプルに対してアイテム・カテゴリーの属性を調べることによりアイテム・カテゴリー反応表を求められ、数量化1類の解析手法によれば、サンプル全体にわたっての外的基準の観測値と上記アイテム・カテゴリー反応表をもとに算定される再現値との相関係数ができるだけ1に近づくようにカテゴリー数量が算定される。

このような条件のもとでは、カテゴリー数量の算定式は全カテゴリー数に対応する多元連立一次方程式に還元される。

すなわち、ここで、 n 個のサンプルについて

A_i : サンプル i の外的基準の観測値

α_i : サンプル i の再現値（サンプル数量）

C_{jk} : j アイテム k カテゴリーを表わす変数

x_{jk} : j アイテム k カテゴリーのカテゴリー数量

j : 1, 2, 3, ..., R アイテム

k : 1, 2, 3, ..., K_j j アイテムのカテゴリー

とすると、カテゴリー C_{jk} の最適なカテゴリー数量 x_{jk} を求めるための条件となる外的基準の観測値 A_i とサンプル数量 α_j との相関係数は

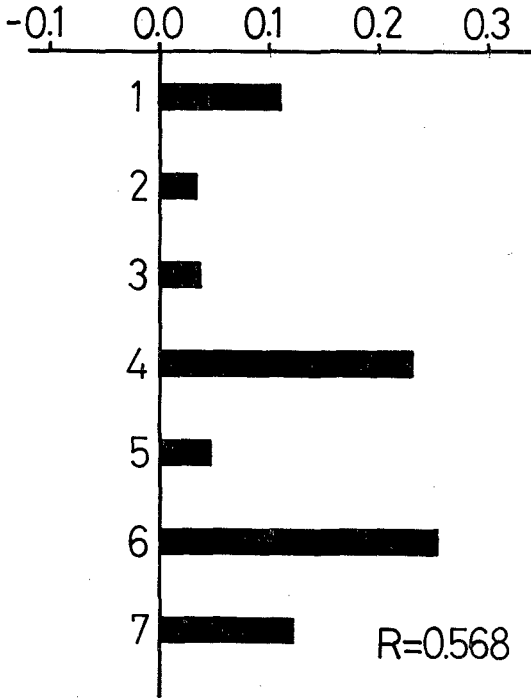


図16 偏相関係数と重相関係数 (山側)
(番号:表2参照)

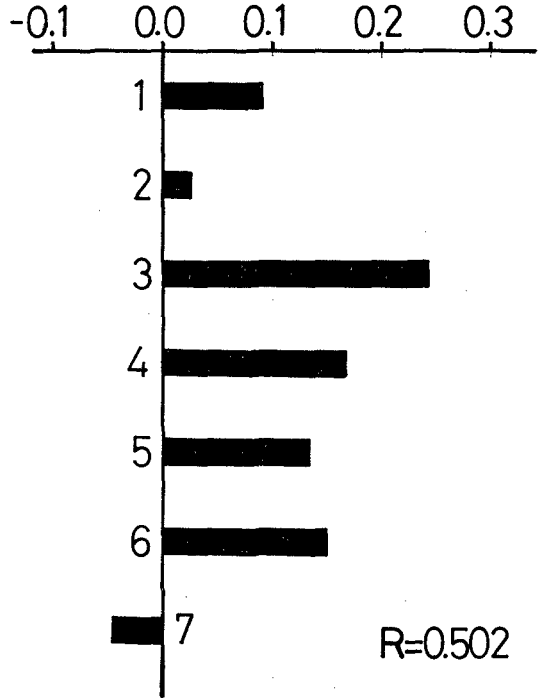


図17 偏相関係数と重相関係数 (谷側)
(番号:表2参照)

$$r_{A\alpha} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})(\alpha_i - \bar{\alpha})}{\sigma_A \cdot \sigma_\alpha} \quad (2)$$

ただし

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$$

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2$$

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2$$

で定義される。

また、 $\sum_{j=1}^R K_j$ 個のカテゴリー数量 x_{jk} に対応する多元連立一次方程式をマトリックス表示すれば

$$[F] \{X_{jk}\} = [A] \quad (3)$$

となる。ここで $[F]$ はアイテム・カテゴリー反応表から求められる係数マトリックスで、 $[A]$ は外的基準の観測値から求められる定数マトリックスであり、 $\{x_{jk}\}$ は、カテゴリー数量を示す。

(3) 式により算定されたカテゴリー数量に対して、

サンプルの再現値であるサンプル数量は、

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^R x_j^{(i)} \quad (4)$$

$x_j^{(i)}$: サンプル i で j アイテムのなかで反応したカテゴリー数量

で求められ、外的基準の観測値 A_i とサンプル数量 α_i の相関の程度を示す重相関係数は次式で算定される。

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}} \quad (5)$$

また、各アイテムが単独に外的基準の観測値に与える影響の強さを表わす尺度としては、各アイテムと外的基準との偏相関係数が与えられる。

各アイテムおよび外的基準相互の変動を S_{je} とすれば

$$S_{je} = \sum_{i=1}^n (x_j^{(i)} - \bar{x}_j) \cdot (x_e^{(i)} - \bar{x}_e) \quad (6)$$

ただし

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_j^{(i)}$$

となり、各アイテムと外的基準相互の単相関係数 r_{je}

は

$$\gamma_{je} = \frac{S_{je}}{\sqrt{S_{jj} \cdot S_{ee}}} \quad (7)$$

となる。この γ_{je} を用いて単相関行列 R_0 を表わせば

$$R_0 = \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{2A} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2A} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{A1} & \gamma_{A2} & \cdots & \gamma_{AA} \end{pmatrix} \quad (8)$$

γ_{jA} : j アイテムと外的基準との単相関係数

となる。更に、偏相関係数 ρ_{je} を求めるためには、単相関行列 R_0 の逆行列 R_0^{-1} を求め、その要素を γ'_{je} とすれば、

$$R_0^{-1} = \begin{pmatrix} \gamma'_{11} & \gamma'_{12} & \cdots & \gamma'_{1A} \\ \gamma'_{21} & \gamma'_{22} & \cdots & \gamma'_{2A} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma'_{A1} & \gamma'_{A2} & \cdots & \gamma'_{AA} \end{pmatrix} \quad (9)$$

となり、この行列の要素 γ'_{je} を用いれば偏相関係数 ρ_{je} は一般に次式で求められる。

$$\rho_{je} = \frac{-\gamma'_{je}}{\sqrt{\gamma'_{jj} \cdot \gamma'_{ee}}} \quad (10)$$

従って、各アイテムが単独に外的基準に及ぼす影響の強さを示す偏相関係数 ρ_{jA} は、同様に、

$$\rho_{jA} = \frac{-\gamma'_{jA}}{\sqrt{\gamma'_{AA} \cdot \gamma'_{jj}}} \quad (11)$$

ρ_{jA} : j アイテムと外的基準との間の偏相関係数となる。

また、算定されたカテゴリー数量の信頼性については重相関係数により判断される。

本研究では、上記の数量化理論1類の解析手法に基づいて算定された各アイテムのカテゴリーに対するカテゴリー数量 x_{jk} の相対的な数値の大小関係より、地震時の道路斜面の被害に及ぼす各カテゴリーの影響度を検討する。また、同様に算定される各アイテムと外的基準との間の偏相関係数の値から、各アイテムの斜面被害に対する影響度についても検討を加えることとした。

ここで、任意に抽出されたサンプル数200のデータに対して、(3)および(11)式から算定されたカテゴリー数量と偏相関係数の計算結果を図14~図17に示し、同図中に(5)式から算定される重相関係数も示しておく。

山側および谷側斜面ともに重相関係数が0.5~0.6程度と比較的低い値を示しているため、本解析に採用したアイテム・カテゴリーの区分では、被害の発生要因を十分に説明するためには、まだ不十分な点があり、個々の算定された数値の精度について、今後試行錯誤的な改良を積み重ねていく必要があるが、全体的には地震時の道路斜面の被害発生要因に対する概略的な傾向が示されている

と思われる。

図より、いくつかの考察を加えると、まず山側の道路斜面では、地震時における道路斜面の被害規模に影響を与えるであろうと考えられるアイテム・カテゴリーの中で、震源距離(中)と斜面の傾斜角(急)のカテゴリー数量が相対的に高い値を示し、各アイテムと外的基準との間の影響度を示す偏相関係数においても震源距離と斜面の傾斜角のアイテムが高い数値を示し、外的基準に強く影響を及ぼしていることが示される。一方、谷側の道路斜面では、斜面の高さ(高)と傾斜角(緩)のカテゴリー数量が高い数値を示し、偏相関係数では、斜面の高さのアイテムが高く、次いで斜面の傾斜角・震源距離および複合構造の有無のアイテムが比較的高い数値を示して、山側の道路斜面に対する計算結果とは異った傾向を示している。また、上記の解析結果は前節の道路斜面の被害の特性に関する頻度分布と調和的な結果を示している。すなわち、擁壁構造を有する山側の道路斜面においては、先に指摘されたように比較的脆弱で小規模な斜面が多く分布しているため、外的基準である斜面被害の崩壊巾に影響を与える要因も比較的簡単で震源距離および斜面の傾斜角といった少数の要因が明瞭に高い影響度を示している傾向があるのに対して、谷側斜面では比較的強固で大規模な斜面も多く分布しているため、斜面の被害に影響を与える要因は、それほど明確な相違がなく、複数の要因が複合して被害に影響を及ぼしている傾向が見られる。

9. 今後の課題

斜面の可能なかぎりの調査はほぼ終了したと考えられるが、その資料に対する検討には幾つかの課題が残されている。ここではこれらの課題をとり上げその問題点を述べる。

① 被害率に関する課題

本報告はA地区に関して斜面延長1kmあたりの被害発生頻度を、および被害率を検討している。A地区の被害個所数は全被害個所数の約40%であり、約300におよぶことから、被害斜面を十分に代表し、統計的な取り扱いに不十分な数であるとは思えない。しかしながら、B地区をも含めた全調査地域の資料を用いた検討もおこないたい。被害率を得るためには、B地区に対しても全斜面実態調査をおこなう必要があるが、広大なB地区ではこの調査が不可能に近いことがA地区の経験から知られている。

これに対して、被害発生頻度を全調査地域において求めることは比較的容易であると思われる。しかしながら、この場合には震源線あるいは主断層の調査地域西部での有用性が問題となる。すなわち、伊豆西部において

は明らかに被害率が低下するため、震源線あるいは主断層をこの地域まで延長して考えることは、被害発生頻度を適確にとらえる障害となる。このため、震源線の定義あるいは主断層の適用範囲に関して何らかの検討が必要となろう。

② 被害の要因分析に関する課題

A地区における全斜面的実態調査の資料を用いると、前述した数量化理論による要因分析が可能となる。本報告での解析は1つの例であり、今後より高い偏相関係数、重相関係数を得るべくアイテムの選択、カテゴリー区分の方法等が試行錯誤されていく必要がある。このためには類似した研究を進めている報告（日本道路協会、1979）の結果を参考にすることがあろう。

実態調査において、斜面を形成する地質・土質の調査の実施が望まれたが、時間等の物理的条件により不可能であった。また地形を表わす尺度として道路を含むより広範囲な斜面の傾斜角等を測定したかったが、これも同様の理由から不可能であった。今後何らかの方法で資料を得る努力をしたい。

被災地域は伊豆であり、山間部である。したがって斜面の被害はこれらの固有の特性を含んだものであり、被害資料を用いた解析結果をそのまま都市部の斜面に適用できるとは考えられない。しかしながら、自然斜面を除く人工斜面においては、たとえば歴史のそれ程古くない東京三多摩地区の斜面の調査地域の斜面と類似した構造・規模を有している（国井、1979）。このため、解析結果を適当に修正する方法を今後検討することにより、解析の成果が適用できる範囲等が得られる可能性があると考えられる。同様なことが、都市部と山間部との間に考えられる地震動特性の差異、および今回の地震動特性と今後発生する地震動特性との間の差異、に関して考えられる。

10. むすび

過去に幾度となく発生した地震被害に対して、その時代レベルでの調査がおこなわれ報告書等の形で残されている。現在の耐震設計の手法がこれらの貴重な経験を経て確立されていることは明らかであるが、震災予防の目的でたとえば被害予測の手法を確立するために、これらの報告書等が利用される場合も多い。しかしながら、都市施設の特長、施設の構造の変遷、あるいは生活様式の変化等により、過去における地震被害の資料だけでは、特に震災予防の目的のためには、十分な検討が進められない場合も多い。その1つに解析の手法にかかわる問題がある。本報告で用いた数量化理論のような統計的な方法で検討を進めようとする、被害に関する特異な形態あるいは概略的な特性を知るだけでは検討が進め

られず、いわゆる統計における母数を得る必要がある。

したがって、地震被害を解析的に取り扱い、都市の施設の震災予防に反映させるためには、その目的および解析手法に適合した調査の種類、方法が必要となる場合が生じ得る。この場合、地震直後における被害の総体把握が調査対象施設の選定のために必要となり、調査の実施と調査方法の選定との間に試行がくり返される。

本報告は、このような最近の地震の被害から情報をできるだけ有効に得ようとする試みを示したものである。木造住家およびRC造建物は一般に面的に存在するため、有効な情報を地震被害から得ることが比較的早くからおこなわれている。ライフラインと称される土木構造物においても線的なあるいは網状での広がりに着目して、地震被害を検討することが今後望まれる。

末筆ながら、調査に参加してご意見をいただくとともに、資料の整理等にご助力をいただいた、都立大学工学部助手塩野計司氏、元神奈川大学工学部学生後藤銀三、藤井健至の両氏、および元都立大学工学部学生近藤安統氏、酒見卓也氏（現都立大学大学院）、に心から感謝いたします。また地震直後の調査にご協力いただいた福井留男氏（元都立大学工学部助手）に心から感謝いたします。

文献一覽

川名吉衛門・他

1976 『松戸市都市防災（地震）に関する調査報告書』松戸市

川名吉衛門・他

1978 『市川市総合防災基礎調査報告書』市川市。

国井隆弘

1979 「人工斜面の地震被害」『スチールデザイン』No. 190, pp. 20~22。

国井隆弘・荻本孝久

1978 「1978年伊豆大島近海地震における道路の斜面被害」『総合都市研究』第5号, pp. 3~7。

田治米辰雄・他

1973 『地震時の崖・擁壁の崩壊予測に関する調査』東京都防災会議。

田治米辰雄・他

1977 『地震時の崖・擁壁の崩壊予測に関する調査（三多摩地区）』東京都防災会議。

津村建四朗

1978 「関東および伊豆半島の微小地震観測網による1978年伊豆大島近海地震の前震・余震の観測」『文部省、自然災害科学特別研究, 202039』,

- pp. 1~2。
中野尊正・他
1971 『建築物に関する特別区内のがけ及び擁壁実態調査報告書』東京都首都整備局。
- 日本道路協会
1979 『道路の震災対策に関する調査報告（I）——1978年伊豆大島近海地震災害——』道路震災対策委員会。
- 南部光広・他
1975 「統計的手法による道路用盛土のり面の安定度解析」『土木学会論文報告書』第241号。
- 望月利男・田村俊和・松田磐余・宮野道雄
1978 「1978年伊豆大島近海地震に伴う地震断層，加速度分布と被害」『総合都市研究』第5号，pp. 9~37。

ANALYSIS ON THE DAMAGE OF SLOPE OF THE ROAD AT
THE 1978 IZU-OHSHIMA KINKAI EARTHQUAKE

Takahiro Kunii* and Takahisa Enomoto**

Comprehensive Urban Studies, No. 11, 1980, pp. 47—65

The damaged point of slope up to 800 are distributed over the middle part of the Izu Peninsula, stretching 23km from east to west and about 30km from north to south. This report defines a seismic line that is the most suitable for the distribution of damaged points, and treats the frequency of damage according to the distance from this line. Next, quantification analysis is made to the data which is obtained in a investigation of all slopes, a damaged as well as those undamaged. The purpose of finding a method to estimate dangerous slopes will be achieved by discussing these analysis.

* Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

** Faculty of Engineering, Kanagawa University