

道路事業調査費

道路施設の防災事業の優先度評価手法に関する試験調査

Study on Prioritization of Road Components for Disaster Prevention Countermeasures

(研究期間 平成 14～15 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室
Research Center for Disaster Risk Management
Earthquake Disaster Prevention Division

室長
Head
研究官
Researcher

日下部 毅明
Takaaki KUSAKABE
中尾 吉宏
Yoshihiro Nakao

Loss of certain road components will have a greater impact on the system performance (e.g., post-earthquake traffic flow) than will other components. The present study develops a measurement for prioritizing road components for disaster prevention countermeasures based on their importance and vulnerability.

〔研究目的及び経緯〕

兵庫県南部地震以降、防災総点検結果に基づいて要対策箇所に対する防災対策が進められており、一定の進捗が見られるが、依然として要対策箇所は残されている。また、公共事業の効果を分かりやすいアウトカム指標で説明することが求められており、防災対策事業についても、厳選された要対策箇所に対して合理的な基準で優先順位を付けることにより、アウトカム指標の効率的な向上を図ることが必要とされる。そこで、本研究では、地震災害及び斜面災害の発生可能性や、個々の道路施設の防災上の重要性を考慮し、防災ニーズに関する地域特性も踏まえて防災対策事業の優先度を合理的に評価する手法を開発することを目的とする。

15年度は、道路被災がネットワーク機能に及ぼす影響度に関してのネットワーク解析を多数実施し、ネットワーク機能の観点から道路の防災上の重要性を簡便に評価する方法を提案した。更に、震災対策に関して整理された教訓等に基づいて、道路の重要性評価でネットワーク機能以外に考慮すべき観点について検討を加え、道路の防災上の重要性を様々な観点から総合評価する方法を提案した。

〔研究内容〕

本研究では、被災した場合に道路ネットワーク機能に及ぼす影響が大きい道路区間の特性について検討し、その結果に基づいて、ネットワーク機能の観点から道路の重要性を評価する際に考慮すべき評価項目や項目毎の評価を総合化して重要性を評価する方法を提案した。次に、兵庫県南部地震等で得られた震災対策の教訓や公共事業の進め方等に関する知見に基づき、道路

の防災上の重要性評価にあたって更に考慮すべき評価項目について検討を加え、様々な観点から総合的に道路の防災上の重要性を評価する方法を提案した。

〔研究成果〕

1. ネットワーク機能に着目した重要性評価

被災した場合に道路ネットワーク機能に及ぼす影響が大きい道路区間の特性について検討するため、道路ネットワーク上で交通量や迂回距離等が異なる区間を切断した場合のネットワーク解析を多数実施し、総走行費用の増加と総走行時間の延長に伴って生じる損失額を被災影響度として評価した。解析対象としたのは我が国の特定の県内における主要県道以上の道路ネットワークであり、解析においては平常時の交通（輸送機能）を想定した。ネットワーク解析の結果から、被災影響度と比較的高い相関が認められたのは、切断区間の交通量、第一迂回路の長さ（切断区間長に対する比）、第一迂回路の混雑度（迂回路の交通容量に対する交通量の比）である（以下、これらをまとめて「3諸量」とする）。また、本研究では、ネットワーク形状が異なる場合の被災影響度についても検討するため、上述の実ネットワークモデルに加え、図-1のような典型的なネットワークモデルも対象とした検討を行った。ここで、実モデルと典型モデルでは全体で発生・集中する交通量が異なることにより損失額が大小する影響や、上述の3諸量の大きさがネットワーク毎に異なる影響を取り除くため、損失額及び3諸量のそれぞれについて、ネットワーク毎の最大値で規準化して検討をすることとした。損失額と3諸量の関係を回帰分析した結果を図-2に示す。同図の縦軸は、回帰分析の結果

に基づいて3諸量から区間閉塞の被災影響度を評価した結果（総合評価値）を示している。図-2には、検討対象とした3種類のネットワークの解析結果をまとめて示しているが、規準化した損失額と3諸量には一定の相関が認められる。以上の検討から、切断区間の交通量、第一迂回路の長さ及び混雑度をそれぞれ評価し、回帰分析結果に基づく重み掛けで総合化を施せば、平常時の輸送機能の観点からの道路の防災上の重要性を概ね評価できることが確認された。また、第一迂回路の長さや混雑度については、道路の代替性（リダンダンシー性）を表す評価項目であることから、階層図への反映にあたっては、これらを代替性として1つにまとめ、代替性の評価項目を評価する指標として、第一迂回路の長さや混雑度を位置付けることとした。

更に、本研究では、図-1に示した典型的なネットワークモデルに防災拠点（仮定）を仮定し、閉塞区間を種々の位置に仮定したネットワーク解析を施すことにより、道路の区間閉塞が地震時の輸送機能（緊急活動に係る交通）に及ぼす影響度を評価した。その結果、地震時の輸送機能には、防災拠点へ向かう交通が区間閉塞に伴って迂回する距離（防災拠点へのアクセス性）が大きな影響を及ぼすことが認められた。そこで、地震時の輸送機能の観点から道路の防災上の重要性を評価する場合に考慮する評価項目として、防災拠点へのアクセス性を抽出した。

2. 道路の防災上の重要性評価

ここでは、兵庫県南部地震等によって得られた震災対策に関する教訓等に基づき、道路の防災上の重要性評価にあたってネットワーク機能の観点から更に考慮する必要がある評価項目の有無や、ネットワーク機能以外の観点から考慮すべき評価項目について検討した。検討では、評価項目毎の評価に必要なデータの入手容易性や評価の簡便性に配慮するとともに、重複する評価項目が抽出されないようにした。ただし、定量評価がしにくい評価項目であっても、道路の重要性評価に考慮することが不可欠な場合が想定される評価項目もあり、防災担当者が状況に応じた評価を設定することもできるため、そのような評価項目についても、道路の防災上の重要性評価に考慮すべき項目として階層図に整理した。

3. 重要性評価の階層図と評価項目

1. 及び2. の検討により提案した階層図と評価項目を図-3に示す。道路は、日常生活及び経済活動を支える重要な社会基盤であると同時に、災害時の緊急活動・復旧活動を支援する役割があり、階層図では「平常時の輸送機能」と「地震時の輸送機能」を取り入れている。地震時は平常時に比べ防災拠点とその他の地

域を結ぶ交通の確保が重要であり、ネットワーク解析の結果も参考にして、防災拠点へのアクセス性を評価項目として取り入れた。また、緊急活動が速やかに行えない場合には時間経過とともに効果が減少することにも配慮し、階層図には早期啓開への影響度が取り入れている。更に、公共事業は限られた予算の中で効率的・効果的に実施していくことが求められているため、事業の効率性を大項目に位置付け、他事業との関連で震災対策が優先的に実施される場合があること等を反映した。公共施設には、歴史的価値、ランドマーク的な存在等、多種多様な価値観が求められることがあり、階層図には橋固有の価値も取り入れた。図-3の階層図を構成する評価項目について、アンケート調査により一対比較（AHP）すれば、評価項目毎の重みを算定でき、それぞれの項目の評価を重み掛け総合化して防災上の重要性を種々の観点から総合的に評価できる。

【施工性】や【他事業との関連性】については特に画一的な評価の方法が提案できるものではないが、防災担当者が状況に応じて評価の方法を適切に設定すれば、これらの項目も考慮した道路の重要性の評価をすることができる。

【成果の活用】

本研究により開発された道路施設の防災上の重要性評価手法は、震災対策事業の効率化を支援する事業優先度の評価に活用されることが期待される。

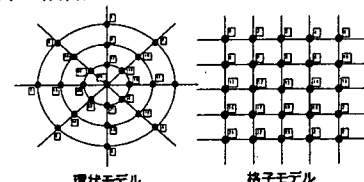


図-1 典型モデル

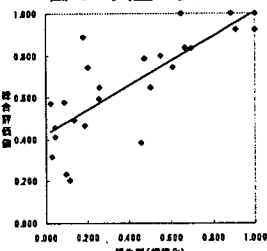


図-2 損失額と3諸量の相関

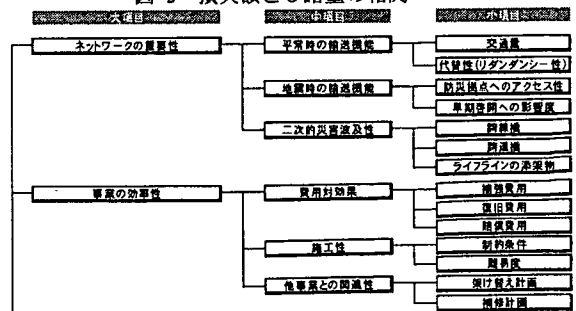


図-3 提案する階層図・評価項目

地域別の地震ハザードを考慮した設計地震動に関する研究

Study on Earthquake Design Motion Based on Regional Seismic Hazard

(研究期間 平成 15～18 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室
Research Center for Disaster Risk Management
Earthquake Disaster Prevention Division

室長
Head
研究官
Researcher

日下部 毅明
Takaaki KUSAKABE
中尾 吉宏
Yoshihiro Nakao

National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM) has developed probabilistic seismic hazard map based on past earthquake records, active faults and inter-plate earthquakes. In the present study we develop a procedure for setting up earthquake design motion based on the seismic hazard map.

〔研究目的及び経緯〕

過去の地震記録に基づく地震ハザードマップが、従来、種々提案されており、地域性を考慮した設計地震動の設定に活用されている。しかしながら、過去の地震記録に基づいて評価される地震ハザードは、活断層やプレート境界で繰り返し発生する大規模地震の発生位置や切迫性等の情報が十分に反映されたものではない。そこで、活断層やプレート境界地震に関して近年蓄積されつつある最新の知見を活用して評価される地震ハザードに基づいて地域毎の設計地震動を適正化する必要がある。地域毎の設計地震動が適正化されることにより、必要な耐震安全性の確保と耐震対策コストの合理化を期待することができる。

本研究は、活断層やプレート境界地震等に関する最新の知見を考慮して評価される地震ハザードに基づき、地域毎の設計地震動を合理的に設定する手法を開発することを目的とするものであり、研究成果により、各種構造物の耐震設計で考慮される地域毎の設計地震動が適正化される。

15年度は、活断層などに起因する内陸地震の震源近傍において評価される地震ハザードが設計地震動の設定に及ぼす影響が大きいことから、震源近傍に適用可能な地震動の距離減衰式を導出した。

〔研究内容〕

本研究では、過去に発生した比較的規模の大きな内陸地震及び海溝性地震（プレート境界地震及びスラブ内地震）について、地盤種別¹⁾毎の地震動の距離減衰特性を検討し、その結果に基づいて、地震動の最大振幅、加速度応答スペクトル及びS I値の距離減衰式を

提案した。距離減衰式の提案にあたっては、地震のタイプ別に確認された地震動の距離減衰特性を考慮した。内陸地震については、近年、震源近傍において非常に強い地震動の実測記録が蓄積されつつあり、震源近傍においても適用可能な距離減衰式が提案された。

〔研究成果〕

1. データセット

強震記録としては、観測地点の地盤種別が分類可能な以下の機関により観測された記録を解析対象とした。

土木研究所/北海道開発局/防災科学技術研究所 (K-NET、KiK-net) /電力中央防災研究所/東京電力電力共通研究/横浜市/建築研究所 (仙台高密度地震観測) /建築学会 (千葉県東方沖地震記録集) /建築学会 (兵庫県南部地震記録集)

上記のうち、距離減衰式の導出に反映したのは、我が国周辺の北緯 30～45° の地域において深さ 120km 以浅で発生し、且つ、地震モーメント等が特定されている地震によって地表面で観測された加速度波形の水平成分記録である。海溝性地震による地震動については、火山フロント通過前後で距離減衰特性が異なることが指摘されており、火山フロント通過前後の地震動の強震記録を同一のデータセットに含めて距離減衰特性を検討することはできない。そこで、本検討では、火山フロント通過前の強い地震動の強震記録を解析対象とするため、強震記録を以下の3種類のデータセットに分類し、それぞれのデータセットを用いた場合の距離減衰式を導出した。

- ・東日本データセット (太平洋プレート)
- ・西日本データセット (フィリピン海プレート)

・北日本データセット（日本海東縁）

ここで、() は地震の発生位置を示している。また、それぞれのデータセットの観測点を図-1 に示す。距離減衰式の導出では、上記3種類のデータセットとともに、内陸地震による地震動の強震記録のデータセットを考慮した。東日本及び西日本データセットにはMw5.5以上の地震の強震記録を整理しており、内陸地震データセットと北日本データセットについては、地震記録が少ないことに配慮して、Mw5以上の地震の強震記録を整理している。それぞれのデータセットに含まれる地震数は表-1 に示す通りであり、解析対象とした地震総数は186個、観測点総数は1,263点、波形総数は10,626波である。

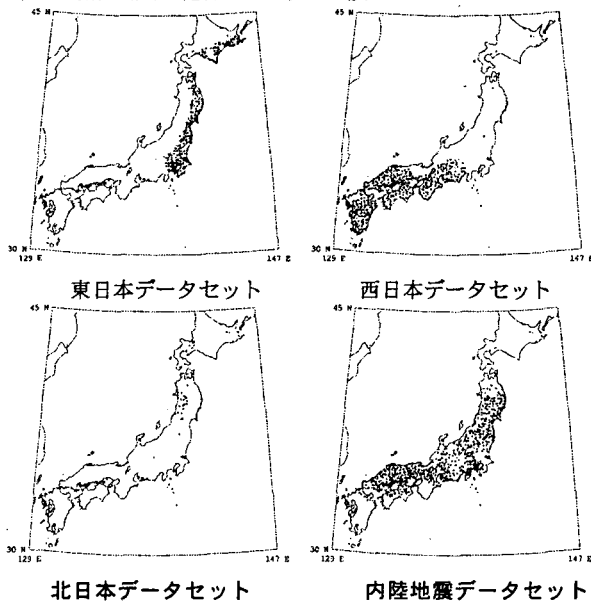


図-1 データセット毎の観測点
表-1 データセット

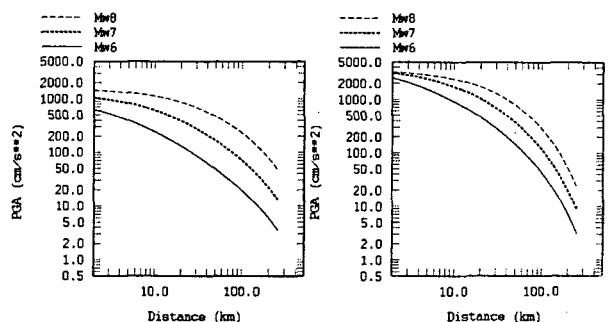
地震のタイプ	海溝性地震			内陸地震	合計
	東日本	西日本	日本海東縁		
地震数	122	14	8	42	186
観測点数	510	456	46	835	1,263
波形数	4,124	1,710	130	4,662	10,626

2. 地震動の距離減衰式

1. に示した合計4種類のデータセットを用いて地震動の最大振幅、減衰定数5%の加速度応答スペクトル及びS I値の距離減衰式を導出した。地震動の最大振幅としては、水平2成分の時刻歴波形を合成した波形の最大値として定義される最大加速度及び最大速度を用いた。加速度応答スペクトルとしては、水平2成分それぞれの時刻歴波形に対して減衰定数5%の加速度応答波形を計算し、その結果を水平面内で合成した波形の最大値を用いている。また、S I値は、水平2成分の時刻歴波形に対する減衰定数20%の速度応答波形を水平面内で合成した波形を作成し、その最大値

を使って描かれた速度応答スペクトルから算定されるものである。距離減衰式は、ダミー変数を用いた二段階回帰分析で導出した。

距離減衰式の導出例として、内陸地震データセットと西日本データセット（海溝性地震）を用いて導出したI種地盤の最大加速度の距離減衰式を図-2 に示す。同図(a)から、導出した内陸地震による地震動の距離減衰式では、Mw7に対して震源近傍で1,000cm²/sec程度の最大加速度が得られている。これは、概ね同程度の規模の内陸地震として、鳥取県西部地震により震源近傍（日野）で観測された1,109gal（水平2成分合成の最大値）と同レベルの地震動強度を与えるものである。震源近傍において実測された非常に強い地震動の強震記録の数は依然として限定されているが、導出された地震動の距離減衰式は、震源近傍における実測の地震動レベルを概ね捉えたものである。また、同図から、海溝性地震と比べて内陸地震の地震動の最大加速度は、距離減衰が小さいことが認められる。このような傾向は内陸地震とその他の海溝性地震（北日本及び東日本データセット）との比較においても認められた。従来、地震動の距離減衰特性の評価にあたっては、内陸地震と海溝性地震が区別されることはなかったが、本検討より、内陸地震による地震動は海溝性地震と異なる減衰特性を有することが認められ、距離減衰式の導出に反映された。



(a) 内陸地震 (b) 海溝性地震（西日本）
図-2 距離減衰式

【成果の発表】

①中尾、日下部、村越、田村、確率論的な地震ハザードマップの作成手法、国土技術政策総合研究所研究報告、2003/②中尾、日下部：地震活動域の設定が地震危険度解析に及ぼす影響に関する検討、第27回地震工学研究発表会、2003

【成果の活用】

本研究により提案された地震動の距離減衰式は、地域毎の地震ハザードの評価にあたって重要となる断層近傍の地震動評価や、土木構造物の被害想定に不可欠な想定地震による地震動予測に活用することができる。

【参考文献】1)日本道路協会、道路橋示方書・同解説V耐震設計編、H14

道路に係る地震被害想定手法に関する研究

Study on a Procedure for Evaluation of Earthquake Damage to Road Facilities

(研究期間 平成 15～17 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室
Research Center for Disaster Risk Management
Earthquake Disaster Prevention Division

室長	日下部 毅明
Head	Takaaki KUSAKABE
主任研究官	片岡 正次郎
Senior Researcher	Shojiro KATAOKA
研究官	長屋 和宏
Researcher	Kazuhiro NAGAYA
研究官	松本 俊輔
Researcher	Shunsuke MATSUMOTO

Damage evaluation of scenario earthquakes is essential to take effective disaster mitigation measures. In this study, fundamental researches on vulnerability function of road facilities and amplification of ground motion are carried out to propose a procedure for evaluation of earthquake damage to road facilities.

〔研究目的及び経緯〕

東海地震等の切迫性が指摘される中、限られた予算の中での効率的・効果的な地震対策の推進が課題となっている。地震による地域の災害危険度を踏まえた計画的な災害予防と、災害直後での現場における迅速かつ効果的な対処のためには、発生が予想される地震による被害の様相を予め把握しておくことが必要不可欠である。本研究では、表層地盤の増幅特性を考慮した地震動の推定手法および地震力に対する道路施設毎の被害程度を評価する手法を開発し、道路施設の被害想定手法を開発することを目的としている。15年度は、道路施設の被害関数の作成に必要となる既往の地震による被害事例を調査・整理するとともに、表層地盤の地震動増幅特性の評価手法について基礎的な検討を行った。

〔研究内容〕

1. 道路施設の被災事例調査

本項目では、過去の地震によって生じた道路施設の被害とその程度を調査・整理するとともに、被災地点で生じたと考えられる地震動の強さを推定した。具体的には以下の通りである。

① 既往の地震被害調査報告書からの被災事例抽出

地震による土木施設の被害の抽出については、既往地震の被害報告書を参考とした整理とりまとめにより実施した。本研究での調査対象施設は、橋梁、斜面、盛土とした。調査対象の地震としては、関東地震以降

に発生した、土木施設被害が報告された地震とした。なお、文献調査の後に行った被害の類型化については、文献からの被災状況判断が難しく被害関数の策定に用いることが困難な情報もあったが、ここでは過去の地震による土木施設被害の網羅的な資料作成も目的の一つとして、関東地震以後の地震を対象とした。

② 抽出した被災事例の被災程度・形態の類型化

文献から抽出した被災施設については、各施設の被災程度、被災形態により類型化を実施した。被災程度の類型化に当たっては、道路震災対策便覧の分類を基本とした。

③ 被災地点における地震動の推定

被災事例の抽出結果をふまえ、被災地点における当該地震での地震動強さの推定を行った。地震動強さの指標は、震度(計測震度)、最大加速度、SI値とし、距離減衰式及び微地形分類による表層地盤の増幅率を組み合わせて地表面における地震動強さを推定した。

2. 表層地盤の地震動増幅特性

本項目では、被害想定でよく用いられている、地下30mの平均S波速度(AVS30)による地盤の増幅率推定式について、1987年千葉県東方沖地震と1995年兵庫県南部地震の強震記録の分析結果を比較することにより検証を行った。まずそれぞれの地震で得られた強震記録から距離減衰式を作成し、観測値と距離減衰式による推定値との比をとることにより、その観測点における地盤増幅率を算定した。次に、観測点での地盤

構造から得られる AVS30 と得られた地盤増幅率との関係を調べた。

【研究成果】

1. 道路施設の被災事例調査

例として、過去に被災した道路施設の数とその地点での最大加速度の推定値との関係を図-1に示す。図の(a)は道路盛土、(b)は道路斜面の関係であり、被災度を A (大被害)、B (中被害)、C (小被害) として、ある被災度以上に被災した施設の数を示している。これらの図によれば、地震動強さがあまり大きくないと推定される箇所でも A ランク以上の被害が生じている事例があることが分かる。したがって、より精度のよい被害想定のためには、個々の道路施設の特性を考慮した上で被災度判定を行う必要がある。また、大半の被害は 300gal 以下の最大加速度で発生しており、より強い地震動が推定された場合についてはデータが豊富でないため、実験や数値解析の結果等もふまえて被害関数を作成する必要がある。

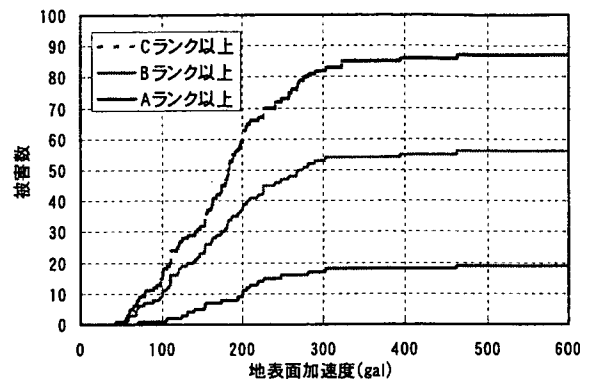
2. 表層地盤の地震動増幅特性

地盤増幅率と AVS30 との関係を図-2に示す。図の(a)と(b)はそれぞれ千葉県東方沖地震と兵庫県南部地震についての関係を示したものであり、増幅率と AVS30 の関係を表す回帰式も示した。この図より、両者とも AVS30 が大きい、すなわち地盤が堅いほど増幅率が小さいという既往の研究と一致する傾向が見られることが分かる。しかし、2つの地震について調べた結果は異なっており、図(b)の方が回帰式の傾きがやや大きく、また回帰式からのばらつきが非常に大きくなっている。このことから、従来よく用いられている AVS30 のみをパラメータとした地盤増幅率の推定式は適用範囲が限定されるものと考えられる。今後精度を向上させるためには、他の地震の事例も含め、地形や地質、地震規模、震源距離等のパラメータを加えた

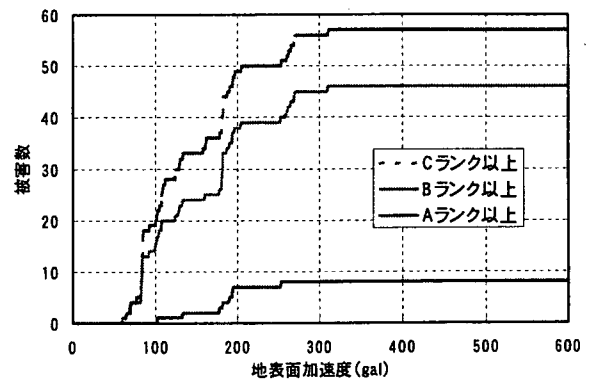
場合についても調査する必要がある。

【成果の活用】

本研究で調査した被災事例は、今後、各施設(橋梁、盛土、斜面)について被災確率と地震動強さの関係として取りまとめ、被害関数を作成する。この被害関数は被害想定手法及び即時震害予測システムに反映させ実用化する予定である。

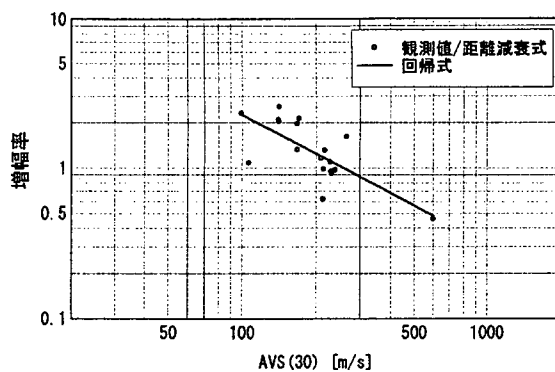


(a) 道路盛土

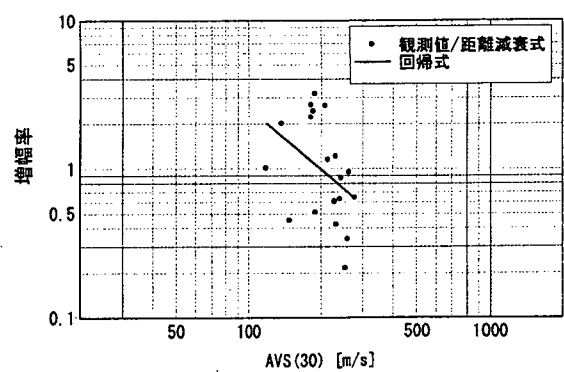


(b) 道路斜面

図-1 道路施設の被害数と地面加速度の関係



(a) 1987年千葉県東方沖地震



(b) 1995年兵庫県南部地震

図-2 AVS30による最大速度の増幅率の評価

設計用断層変位の設定手法に関する研究

Study on Formulation of Design Fault Displacement

(研究期間 平成 15～17 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室
Research Center for Disaster Risk Management
Earthquake Disaster Prevention Division

室長 日下部 毅明
Head Takaaki KUSAKABE
主任研究官 片岡 正次郎
Senior Researcher Shojiro KATAOKA

Surface fault rupture has caused severe damage to public works such as road bridges. In this study, surface fault rupture due to the past inland earthquakes in Japan is investigated. The relation between the percentage of identifying the surface fault and earthquake magnitude, and the relation between the fault displacement and distance from active faults are demonstrated.

【研究目的及び経緯】

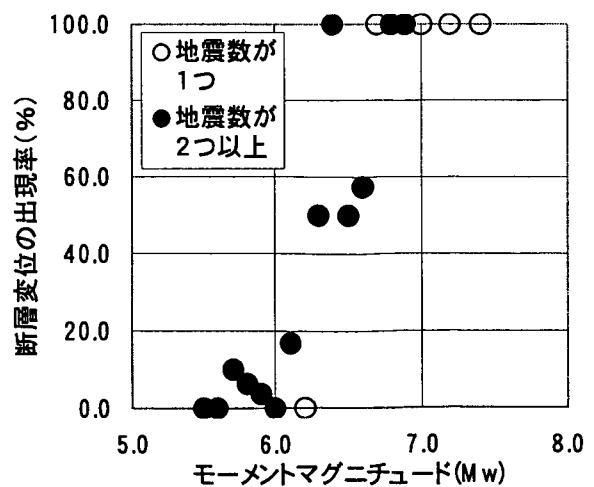
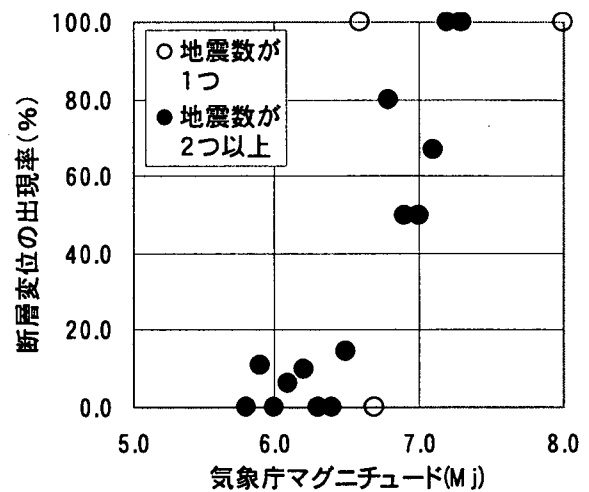
近年トルコ、台湾で発生した地震では、地震断層が出現し、地表面に断層変位が生じたことによる道路橋等の被害が顕著であった。このような断層変位に対する合理的な設計法及び対策について検討を行うことが重要であるが、その際、将来発生する地震の地表面における断層変位の予測を行い、その予測結果に基づいて設計用断層変位を設定する必要がある。本研究は、従来設計法が明確に規定されていない断層変位に対する耐震安全性の確保に資するために、設計用断層変位の設定手法を開発することを目的としている。15年度は、過去の地震の際に発生した断層変位に関する既存の調査結果等を収集・整理することにより、地表に断層変位が出現する地震規模ならびに断層変位が出現する可能性の高い範囲を明らかにした。

【研究内容】

まず、地表に断層変位が出現する地震の規模を調査した。このとき、地震の規模を表す指標として、従来用いられている気象庁マグニチュード(Mj)に加え、モーメントマグニチュード(Mw)についても調べた。

また、地表に断層変位が出現した地震について、その規模と最大変位量の関係を調べることにより、特に注意が必要な地震規模を明らかにした。

位置が明らかな断層変位の調査地点については、その地点から最も近い活断層までの距離と変位量との関係を整理することにより、活断層からどの程度離れた位置まで断層変位の出現する可能性があるかを明らかにするとともに、活断層から離れた位置に断層変位が出現させる地震の特徴を示した。



図－1 地震規模別の地表地震断層出現率

【研究成果】

図-1に地震規模別の断層変位の出現率を示すが、地震規模が大きくなるほど出現率が高くなる傾向が明らかである。その傾向は地震規模の指標としてMwを用いた場合の方がより明瞭であり、特にMwが6.7以上の9地震では全て断層変位が出現している。また、Mwが6.3以上の地震については断層変位の出現率が高いことが読み取れる。

図-2は断層変位が出現した地震のMwと最大の断層変位量Dmaxの関係を示したものである。Mwが大きいくほどDmaxも大きくなる傾向がある。横ずれ断層のMwとDmaxの回帰式は

$$\log D_{max} = 1.07M_w - 5.14 \quad (R^2=0.82)$$

となる。逆断層の地震についてはこの回帰式からやや外れているが、事例が少ないため今後さらに検討が必要である。また、過去にはMwが6.6以上の地震で100cm以上の断層変位が出現していることが分かる。

図-3は、位置が明らかな断層変位の調査地点について、その地点から最も近い活断層までの距離と変位量との関係を示したものである。活断層から150m以上離れて200cmを超える変位量を示した地震は、最も規模が大きな濃尾地震(Mj=8.0、Mw=7.4)のみである。また、200m以上離れて100cmを超える変位量を示したのは、濃尾、北伊豆、北丹後、三河の各地震であるが、このうち三河地震は断層面が低角(傾斜角30度)であり、北伊豆地震と北丹後地震では活断層の末端近

くで活断層から枝分かれするように地震断層が出現している。以上から、濃尾地震のように特別に規模が大きい地震、断層面が低角の地震、または活断層の末端近くでは、事前に把握されている活断層の位置から離れた位置でもやや大きな断層変位が出現する可能性がある。ただし、その他の場合には、大きな断層変位が出現する範囲は活断層から150m程度以内である可能性が高いと考えられる。

【成果の活用】

本研究の成果は、土木施設の計画・設計にあたり、断層変位の影響に特に注意すべき地点を把握するための基礎的な資料とすることができる。

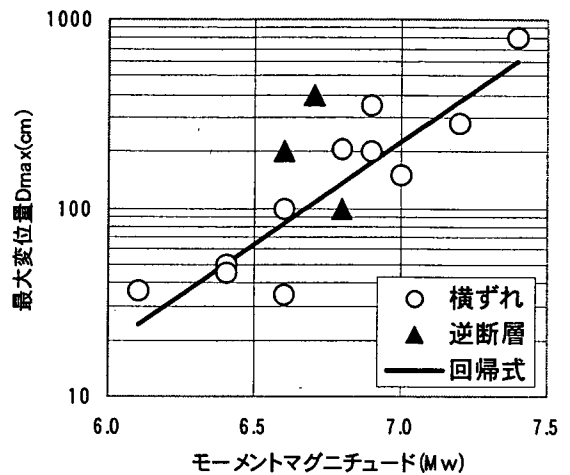


図-2 地震規模と地表の最大変位量との関係

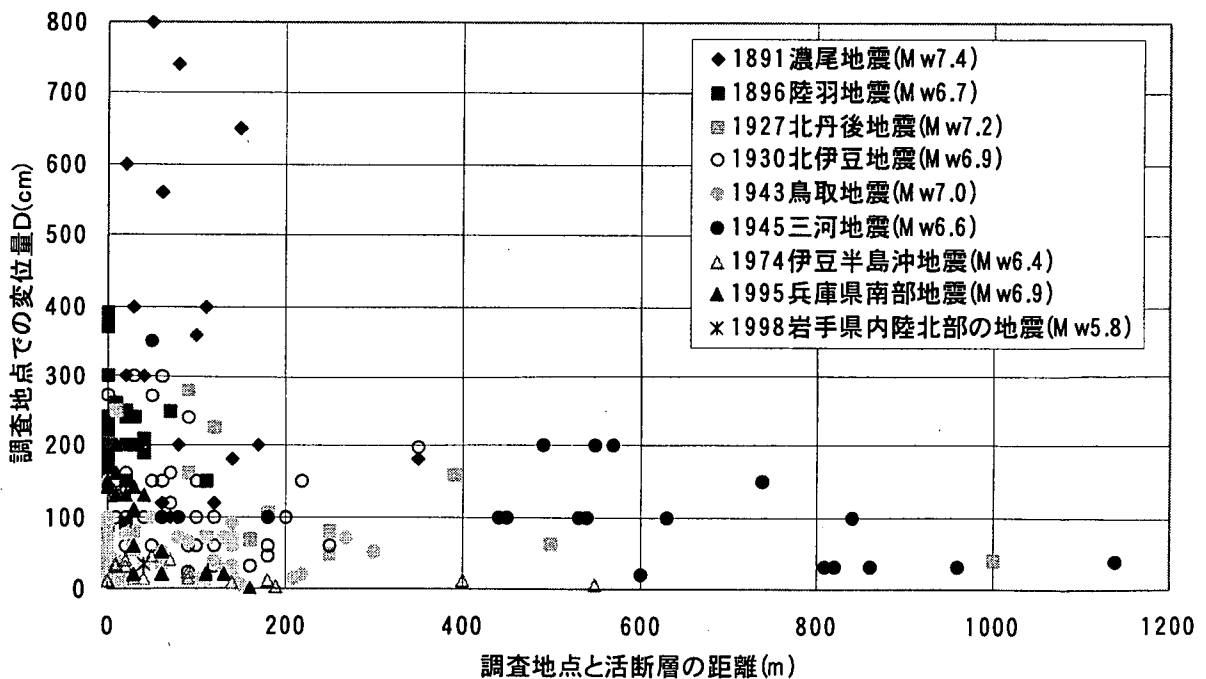


図-3 調査地点における断層変位量と活断層からの距離との関係