

道路事業調査費

大規模地震を考慮した地中構造物の耐震設計法に関する試験調査

Study on Seismic Design Method for Underground Structures Against Large-scale Earthquakes

(研究期間 平成 10～13 年度)

研究官 (Researcher) 中尾 吉宏 (Yoshihiro Nakao)
研究員 (Research Associate) 松本 俊輔 (Shunsuke Matsumoto)

There are many unresolved points in ground motion amplification within soil deposits exposed to extremely strong ground motions. In the present study, based on ground motion amplification in the 1995 Kobe Earthquake, seismic design ground motions for underground structures are proposed.

[研究目的及び経緯]

地中地震動の分布特性は、従来、観測記録が限定されていたこともあり、十分に明らかにされておらず、特に、兵庫県南部地震で生じたような非常に強い地震動が生じた場合の地震動の分布特性については未解明の部分が多い。また、立地条件の制約、施工技術の進歩等により、従来に比べ深い位置に地中構造物が設置されるようになってきており、工学的基盤以深の地震動特性についても把握することが必要となってきている。本研究では、地中構造物の耐震設計の高度化・合理化を図るために、非常に強い地震動が生じた場合の地中地震動の分布特性及び工学的基盤以深の地震動特性について検討することを目的とする。13年度は、平成7年兵庫県南部地震により生じた地中地震動の特性を考慮して、工学的な基盤面における設計用の速度応答スペクトルを暫定提案するとともに、その速度応答スペクトルに合致した設計用の動的解析用波形を作成した。

[研究内容]

1. 工学的な基盤面における暫定的な設計用の速度応答スペクトルの算定

平成7年兵庫県南部地震により観測された加速度強震記録に基づいて工学的な基盤面における地震動の速度応答スペクトルを算出し、それらに基づいて設計用の速度応答スペクトルを暫定的に提案した。工学的な基盤としては、せん断波速度 $V_s=300$ (m/s) 程度以上の地層を用いた。対象とした強震記録は、神戸海洋気象台、猪名川、JR鷹取駅、葺合の計4地点で観測された地表面記録及び東神戸大橋の地中記録である。地表

面で得られた4記録については、一次元重複反射理論による地震応答解析によりそれぞれの地点における工学的な基盤面まで地震動を引き戻した。その際には、地盤のせん断ひずみレベルが地震応答解析手法の適用範囲内であることを確認した。東神戸大橋における地中記録は、GL-33mの $V_s=280$ (m/s) の土層中で得られたものであるため、工学的な基盤における記録と見なすこととした。工学的な基盤面まで引き戻した地震動及び工学的基盤において観測された強震記録の速度応答スペクトルはばらつきを有するため、工学的に速度応答スペクトル値が一定と見なすことが可能な $0.8\sim 5$ (sec) の固有周期帯における速度応答スペクトル値について確率分布への当てはめを行った。確率分布としては速度応答スペクトル値の分布がよく当てはまる対数正規分布を用いることとし、暫定的に非超過確率が70%となる速度応答スペクトル値を $0.8\sim 5$ (sec) の固有周期帯における設計用の速度応答スペクトル値として算定した。

2. 動的解析用波形の作成

工学的な基盤面において1.の方法により算定した設計用の速度応答スペクトルに近い特性を有するように、JR鷹取記録のNS成分及びEW成分を工学的な基盤面まで引き戻して算出した地震動及び東神戸大橋における地中記録N78E成分を振動数領域で振幅調整した。ここで、1.の方法により算定した速度応答スペクトルに近い特性を有するようにしたのは、 $0.05\sim 10$ (sec) の固有周期帯である。

[研究成果]

工学的な基盤面における設計用の速度応答スペクトル

ルは、工学的な基盤以浅の表層地盤を固有周期 T 及び減衰定数 h の 1 質点系にモデル化し、地震時に当該 1 質点系に生じる最大速度応答として設定されるものである。兵庫県南部地震で地盤に生じたせん断ひずみの深さ方向分布は、地震応答解析により図-1 のように得られており、同図のせん断ひずみレベルに対する地盤の減衰定数は 15%程度であるため、設計用の速度応答スペクトルの減衰定数 h は $h=15\%$ とすることとした。図-2 に、兵庫県南部地震による強震記録に基づいて算出した工学的な基盤面における減衰定数 $h=15\%$ の速度応答スペクトルと、それらに基づいて暫定的に設定した設計用の速度応答スペクトルを示す。

また、JR 鷹取記録の NS 成分及び EW 成分を工学的な基盤面まで引き戻して算出した地震動及び東神戸大橋における地中記録 N78E 成分を、図-2 に示した暫定的な設計用の速度応答スペクトルに近い特性を有するよう振動数領域で振幅調整した動的解析用波形を図-3 に示す。ここで作成した動的解析用波形は、工学的な基盤における上昇波と下降波の和に相当するものである。

【成果の発表】

工学的基盤面における設計地震動の暫定提案、東京外環自動車道（掘割構造）耐震設計基準検討委員会

【成果の活用】

本研究により暫定提案された速度応答スペクトル及び動的解析用波形は、共同溝設計指針等の地中構造物の耐震設計基準に反映されることが期待される。

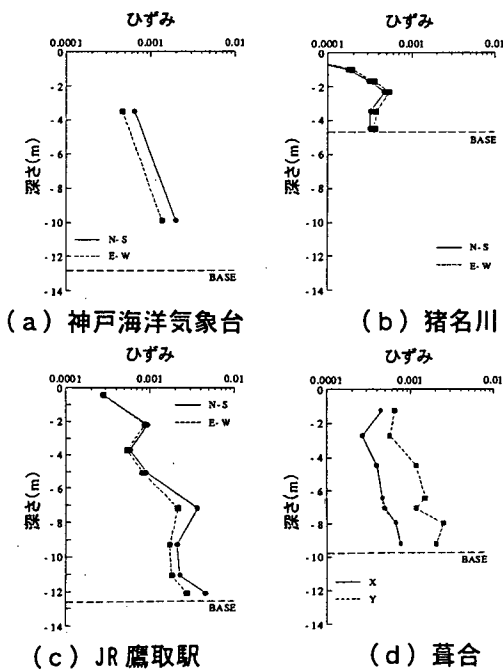


図-1 地盤のひずみ分布

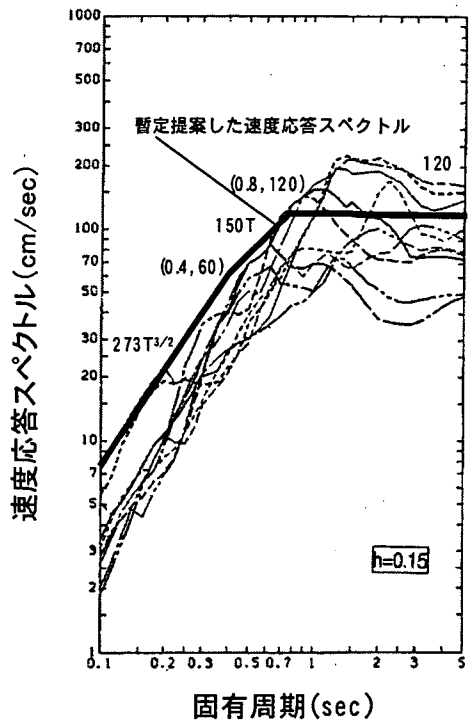


図-2 設定した速度応答スペクトル

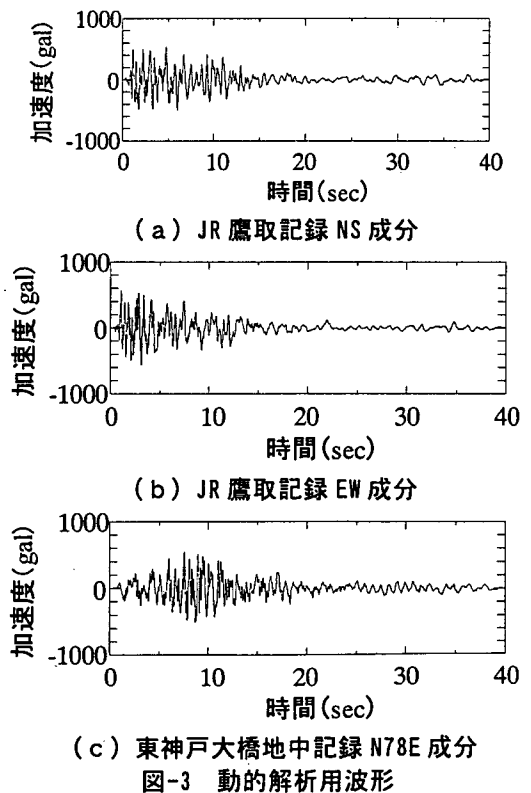


図-3 動的解析用波形

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

地震ハザードマップの作成手法の開発に関する調査

Study on Probabilistic Seismic Hazard Analyses Based on Historical Earthquake Records, Active Faults and Inter-plate Earthquakes

(研究期間 平成 10～14 年度)

研究官 中尾 吉宏
Researcher Yoshihiro Nakao

Probabilistic seismic hazard maps are applied to incorporate regional seismicity into seismic design for various civil infrastructures. In the present study a procedure for probabilistic seismic hazard analyses based on historical earthquake records, active faults and inter-plate earthquakes is developed.

〔研究目的及び経緯〕

我が国では、過去千数百年程度の地震記録が整理されており、それらの記録に基づいて作成された地震ハザードマップが、耐震設計基準における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、活断層に起因する地震の発生間隔が数百年から数千年以上であることを考慮すれば、十分に長い期間の地震記録が地震ハザードマップの作成に用いられてきたとは言えない。また、過去の地震記録を考慮した地震危険度解析では、様々なマグニチュードの地震がランダムな位置及び時間に発生することが想定されるが、活断層やプレート境界では、固有のマグニチュードの地震が固有の場所及び発生間隔で発生するとされている。

本研究は、このような過去の地震の記録期間に関する実状や、活断層及びプレート境界における地震の発生特性を踏まえ、過去の地震記録とともに、近年、蓄積されつつある活断層及びプレート境界地震の情報を考慮した合理的なハザードマップ作成手法を開発することを目的としている。

13年度は、過去の地震記録とともに、活断層やプレート境界で発生する地震の発生履歴やマグニチュードを考慮できる地震危険度解析手法を開発し、全国を対象とした地震ハザードマップの試算を行った。

〔研究内容〕

本研究では、活断層において、固有の発生間隔及び固有のマグニチュードで繰り返し発生する地震については、活断層を考慮した地震危険度解析で危険度評価を行い、プレート境界の特定の位置において、固有の

発生間隔及び固有のマグニチュードで繰り返し発生する地震については、プレート境界地震を考慮した地震危険度解析で危険度評価を行う。また、地震の発生位置、マグニチュード、発生間隔を特定できない地震については、過去の地震記録を考慮した地震危険度解析において危険度評価を行う。地震危険度の評価では、はじめに、過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震のそれぞれを考慮した解析を行う。次に、過去の地震記録を用いた解析において考慮するランダムな位置で発生する地震と、活断層及びプレート境界で発生する地震は、それぞれが独立に発生するものとして、過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を考慮した解析結果を組み合わせることにより、それらを同時に考慮した地震ハザードマップの試算を行う。

1. 過去の地震記録を考慮した地震危険度解析

我が国周辺の地震地体構造等に基づき、地震の発生状況が一様とみなすことが可能な地域ごとにバックグラウンドゾーンを設定し、過去の地震記録を用いてバックグラウンドゾーン内の年平均地震発生確率やマグニチュードの分布特性を評価した。地震動強度の推定には、地震の規模、距離等から最大加速度を推定する距離減衰式を用い、平均値回りのばらつき ($\pm 2\sigma$ 、 σ は標準偏差) を考慮した。

2. 活断層を考慮した地震危険度解析

地震危険度解析では、長さ10km以上の活断層を考慮することとした。活断層の平均活動間隔やマグニチュードは、活断層に関する最近の調査結果を参考に設定したが、調査結果のない活断層については、活断層の

長さ等のパラメータを用いて平均活動間隔やマグニチュードを推定した。活断層の地震発生確率の算定では、最新活動時期が特定されている場合は活動間隔がBrownian Passage Time 分布に従うものとし、最新活動時期が未特定の場合は地震の発生がポアソン過程に従うものとした。また、地震動強度は1. と同じ距離減衰式により推定し、平均値回りに $\pm 2\sigma$ のばらつきを考慮した。距離減衰式の距離の指標としては、活断層と試算地点の最短距離を用いた。

3. プレート境界地震を考慮した地震危険度解析

プレート境界地震としては、図-1に示す地震を考慮した。詳細は、[成果の発表]に示した①の検討会資料に譲るが、プレート境界地震の平均発生間隔、最新発生時期及びマグニチュードは、過去の地震を参考に仮定した。地震の発生確率は、仮定した地震の発生間隔及び最新発生時期を用いて、地震の発生間隔がBrownian Passage Time 分布に従うものとして評価した。また、プレート境界地震の断層の幾何的な条件は、過去の地震を参考に、図-1のように仮定した。関東地震及び十勝沖南地震の断層の幾何的な条件及びマグニチュードについては、過去の地震の発生パターンを想定し、いずれのパターンが発生するかという確率は均等として地震危険度の評価を行った。地震動強度は1. と同じ距離減衰式により推定し、平均値回りに $\pm 2\sigma$ のばらつきを考慮した。距離減衰式の距離の指標には断層面と試算地点の最短距離を用い、プレート境界地震の断層面が複数ある場合には、複数の断層面と試算地点の最短距離の中で最も小さい最短距離を距離の指標として用いることとした。

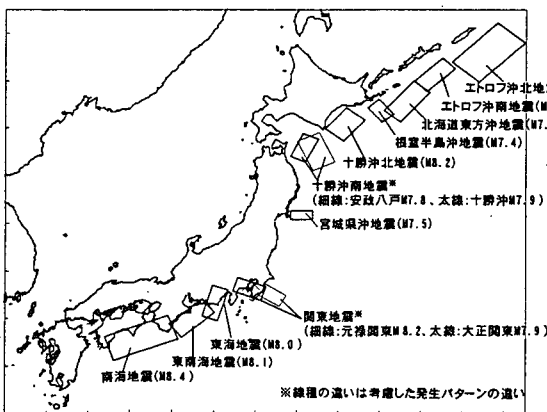
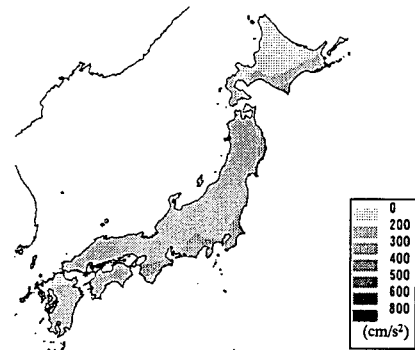


図-1 断層の幾何的な条件

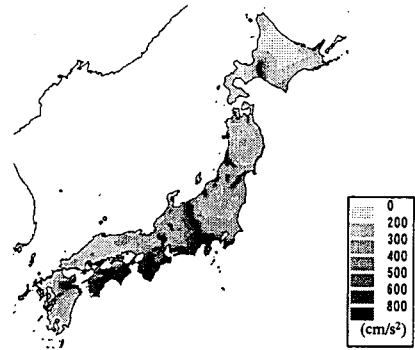
[研究成果]

過去の地震記録のみを考慮した場合と、過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を同時に考慮した場合について、2002年1月1日より100年間の超過確率が5%となる最大加速度の試算結果を、それぞれ、図-2(a)及び(b)に示す。これらの図の比較から、活断層

を別途考慮した地震危険度解析を行うことにより、糸魚川-静岡構造線活断層系等の地震の発生確率が比較的高い活断層が支配的な影響を及ぼす結果が得られている。また、活断層の分布密度が高い中部地方や近畿地方においては、地震発生確率が高い活断層を中心に比較的広い範囲で活断層の影響が認められる。さらに、プレート境界地震を考慮した地震危険度解析を行うことにより、北海道東部、四国地方、紀伊半島南部及び中部地方南部において、プレート境界地震の支配的な影響が認められるようになっている。上記以外の地域では、過去の地震記録を考慮した解析結果が支配的となっている。



(a)過去の地震記録のみ考慮



(b)過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を考慮

図-2 最大加速度の地震ハザードマップの試算結果

[成果の発表]

①レベル2地震動の設定手法に関する技術検討会(第6回、7回) ②中尾、村越、田村: 全国を対象とした地震ハザードマップの試算、第11回日本地震工学シンポジウム(投稿中)、2002、③Tamura and Nakao: Seismic Hazard Map Based on Active Faults and Past Earthquakes, Thirty-third Joint Meeting U.S.-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, 2001

[成果の活用]

本研究により開発される地震ハザードマップ作成手法は、耐震設計や防災計画における地域性の考慮に活用されることが期待される。

マルチヒンジ構造物の設計地震動の設定手法に関する試験調査

Study on Seismic Design Ground Motions for Highway Bridges with Multi Plastic Hinges

(研究期間 平成13～17年度)

研究官/ Researcher 中尾 吉宏/ Yoshihiro Nakao
研究員/ Research Engineer 松本 俊輔/ Shunsuke Matsumoto

It is rational to allow predetermined allowable ductility for highway bridges against extremely strong ground motions. The present study explores the effects of ground motion characteristics on nonlinear behavior of highway bridges with multi plastic hinges in order to develop a procedure for setting up seismic design ground motions for ductile structures.

【研究目的及び経緯】

兵庫県南部地震において生じたような非常に強い地震動に対しても、道路橋等の構造物の安全性を確保するためには、構造物の塑性化を考慮した耐震設計を行う必要がある。本研究は、免震支承を採用した橋など、複数箇所に塑性化が生じる可能性のあるマルチヒンジ構造物の非線形応答に影響を及ぼす地震動特性を明らかにし、そのような地震動特性を考慮した設計地震動の設定手法を開発することにより、マルチヒンジ構造物の耐震設計の合理化に資することを目的とするものである。13年度は、プレート境界型地震及び内陸直下型地震による地震動の工学的特性を考慮して作成した種々の模擬地震動を用いて免震支承を採用した橋を対象とする非線形動的解析を行い、地震動の工学的特性がマルチヒンジ構造物の塑性化に及ぼす影響について検討した。

【研究内容】

本研究では、はじめに、地震動の振幅特性及び位相特性を種々変更し、プレート境界型地震及び内陸直下型地震による地震動の工学的特性を反映した模擬地震動を作成した。次に、橋脚のみが塑性化する橋と、免震支承を採用することにより支承と橋脚の双方が塑性化することを許容した免震橋とを対象に、作成した模擬地震動を入力地震動とする非線形動的解析を行った。非線形動的解析の結果に基づき、プレート境界型地震及び内陸直下型地震の地震動特性が、免震支承の採用による地震力の低減効果に及ぼす影響について検討した。免震支承を採用することによる地震力の低減効果は、橋脚のみが塑性化する橋と免震橋の橋脚が同一の

応答塑性率で非線形応答する場合について、2つの橋の橋脚の所要降伏水平震度を比較することにより評価することとした。

1. 模擬地震動の作成

プレート境界型地震及び内陸直下型地震により得られた既往の強震記録の位相特性の統計的な性質に基づき、位相特性を変化させた地震動を種々作成した上で、振幅特性を振動数領域で調整し、道路橋示方書に規定されるタイプⅠ及びタイプⅡの地震動の標準加速度応答スペクトルに適合した模擬地震動を作成した。模擬地震動は、プレート境界型地震及び内陸直下型地震のそれぞれについて、地盤種別ごとに9波形を作成した。

2. 非線形動的解析

免震橋は、支承及び橋脚を、それぞれ、上バネ及び下バネとする2質点系弾塑性型せん断バネモデルによってモデル化した。橋脚のみが塑性化する橋については、橋脚をせん断バネとする1質点系弾塑性型せん断バネモデルによってモデル化した。非線形動的解析では、2質点系及び1質点系の双方について、橋脚の降伏耐力を変更した解析を繰り返し行うことにより、橋脚の応答塑性率 μ が $\mu=2$ 又は 4 となる場合の橋脚の所要降伏水平震度を算定した。免震支承を採用することによる地震力の低減効果は、初期固有周期が等しい1質点系と2質点系の橋脚の所要降伏水平震度を比較することにより評価した。2質点系の初期固有周期は、上バネの下バネに対する剛性比を 0.2 又は 0.4 に固定したそれぞれのケースについて、上バネと下バネの剛性の組み合わせを変更することにより、1次モードの初期固有周期が1質点系の初期固有周期と同一となる

ように調整して設定した。橋脚の非線形履歴モデルとしては、1質点系及び2質点系の双方について、修正武田モデルを仮定し、免震支承についてはパイリニアモデルを仮定した。また、2質点系の減衰には、初期剛性比例型のレーリー減衰を用いることとし、2質点系の1次モードの減衰定数と1質点系の減衰定数は共に5%とした。

【研究成果】

プレート境界型地震及び内陸直下型地震の地震動特性を考慮して種々作成した模擬地震動を入力地震動とする非線形動的解析の結果として、入力地震動としては1種地盤の模擬地震動9波形を用い、2質点系としては上バネと下バネの剛性比が0.2となる系を用いた場合の例を図-1に示す。同図は、2質点系と1質点系の橋脚が同一の応答塑性率 $\mu=2$ 又は4で非線形応答する場合における、橋脚の所要降伏水平震度の比 $r(=1$ 質点系の所要降伏水平震度/2質点系の所要降伏水平震度)を、模擬地震動9波形を用いて算定した結果の平均値を示している。ここで、2質点系の橋脚の応答塑性率 μ_{2p} と、式(1)により算定される2質点系の全体系としての応答塑性率 μ_{2s} との関係を表-1に示す。

$$\mu_{2s} = \delta_u^{\max} / \delta_u^{Py} = \delta_u^{\max} / (\delta_p^{Py} + \delta_b^{Py}) \quad (1)$$

ここに、 μ_{2s} : 2質点系の全体系の応答塑性率、 δ_u^{\max} : 2質点系の上部質点の最大応答変位、 δ_u^{Py} : 下バネが降伏したときに桁に生じる変位、 δ_p^{Py} : 下バネの降伏変位、 δ_b^{Py} : 下バネの降伏耐力に相当する力が上部質点に作用したときに上部質点に生じる変位

μ_{2p} 及び μ_{2s} は作成した模擬地震動ごとに算定することができるが、同表には、上バネと下バネの剛性比が0.2となる2質点系を対象に、 μ_{2p} 及び μ_{2s} を1種地盤の模擬地震動9波形を用いて算定した結果の平均値を表している。表-1から、 μ_{2s} は μ_{2p} に比べて小さいため、1質点系と所要降伏水平震度の比較を行った2質点系は、全体系としては、1質点系よりも小さい応答塑性率を持つことが認められる。応答塑性率が小さくなると、一般に、履歴エネルギー吸収も小さくなるため、所要降伏水平震度は大きくなるが、図-1では、免震支承の採用による地震力の低減効果により、固有周期1秒程度を中心とする周期帯においては2質点系の所要降伏水平震度が1質点系に比べて小さくなっていることが認められる。図-1から、固有周期1秒程度を中心とする固有周期帯の橋に免震支承を採用することによる地震力の低減効果は、プレート境界型地震に比べ、内陸直下型地震による地震動に対してより大きくなることが認められる。また、図-2に示し

たように、固有周期1秒程度よりも長い周期帯の免震橋については、内陸直下型地震及びプレート境界型地震の双方に対して、免震支承の履歴エネルギー吸収の分担率が減少しており、そのような傾向はプレート境界型地震に比べて内陸直下型地震で強い。このため、図-1では、免震支承の採用による地震力の低減効果は、固有周期1秒程度以上の周期帯で内陸直下型地震及びプレート境界型地震の双方に対して小さくなること、更に、そのような傾向は内陸直下型地震に対してより強いことが認められた。

【成果の発表】

- ①中尾、村越、田村、吉田：構造物の塑性化を考慮した設計地震動の設定、第1回日本地震工学研究発表会・討論会、2001年11月、②吉田、田村、中尾：地震動特性を考慮した非線形応答の推定とその応用、第5回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム、2002年1月、③中尾、田村、吉田：構造物の塑性化を考慮した設計地震動、土木技術資料、2001年12月

【成果の活用】

本研究により開発されるマルチヒンジ構造物の設計地震動の設定手法は、道路橋示方書における設計地震動の設定に反映されることが期待される。

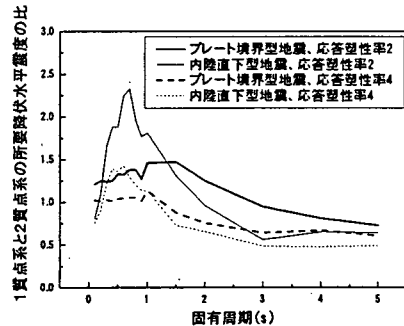


図-1 2質点系と1質点系の橋脚の所要降伏水平震度 (1種地盤における地震動入力の場合)

表-1 2質点系の橋脚と全体系の応答塑性率

橋脚の応答塑性率 μ_{2p}	全体系の応答塑性率 μ_{2s}
2	0.93
4	1.22

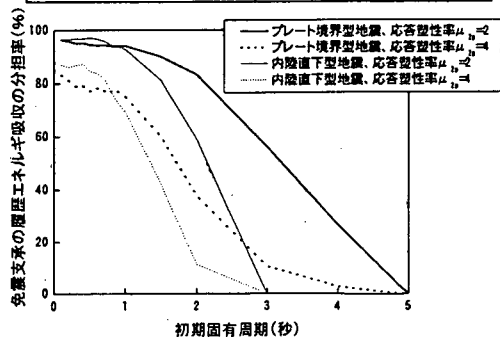


図-2 免震支承の履歴エネルギー吸収の分担率 (免震支承の履歴エネルギー吸収/免震支承と橋脚の履歴エネルギー吸収)

道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発

Development of A Risk Assessment Tool for Road Network at an Earthquake

(研究期間 平成 12～14 年度)

主任研究官 真田 晃宏

Senior Researcher Akihiro SANADA

It is effective to estimate the damage situation on infrastructure for executing pre-earthquake countermeasure and the suitable and rapid management after an earthquake. This is the reason why it is necessary to develop the relationship among seismic ground motion, damage level and probability of its occurrence. Therefore, It is executed to develop fragility curves for each seismic design code version.

[研究目的及び経緯]

震前の防災計画の立案や、地震直後における適切かつ迅速な対応を図る上で、想定又は実地震動に対する構造物・施設等の被害状況の推定を行うことは施設管理者に有用な情報を与えるが、推定に当たっては、地震動に対する構造物の被害程度やその発生の危険性を評価しておくことが必要となる。

被害程度やその発生確率は、地震動の大きさだけでなく、構造物の形式、寸法、設計に適用した基準など様々な要因によって異なる。例えば、道路橋の場合、その耐震基準である道路橋示方書は逐次改訂されており、適用道示により、地震動に対する耐震性能は異なってくる。本研究は、過去の地震において道路通行障害を引き起こす要因となった道路施設、占用施設、沿道施設を対象として、地震動と被害程度及びその発生確率の関係（被害関数）を調査するものである。今回は、動的解析により、RC 橋脚を対象として適用基準別の耐震性の違いを分析した。

[研究内容]

RC 橋脚を対象として、動的解析により適用基準別に耐震性能の相互比較を行った。

(1) 橋脚の選定

まず、適用基準別（5 分類：昭和 55 年以前、昭和 55 年、平成 2 年、平成 7 年復旧仕様、平成 8 年）に、RC 橋脚の試設計データ（昭和 55 年以降の道示）、又は実橋脚データ（昭和 55 年以前の道示）を収集し、その耐震性能を比較した。ここで、昭和 55 年以前の

道示適用のデータについては、浦河沖地震、釧路沖地震、北海道東方沖地震及び兵庫県南部地震の際に被災した橋脚データを、また、昭和 55 年以降の道示適用のデータについては、各基準毎に橋脚高さ、設計水平震度、柱形状等をパラメトリックに変化させて試設計したものを用いた。

これらのデータを、適用基準別、固有周期帯別（4 区分：0.3 秒～0.4 秒以降 0.1 秒ピッチで 0.6～0.7 秒まで）の計 20 分類し、それぞれの区分の中で、終局塑性率及び降伏水平震度が平均的な橋脚を動的解析の対象として選定することとした。図-1 に、例として、固有周期 0.6～0.7 秒で昭和 55 年道示に基づく橋脚の降伏水平震度及び終局塑性率と選定した橋脚を示す。

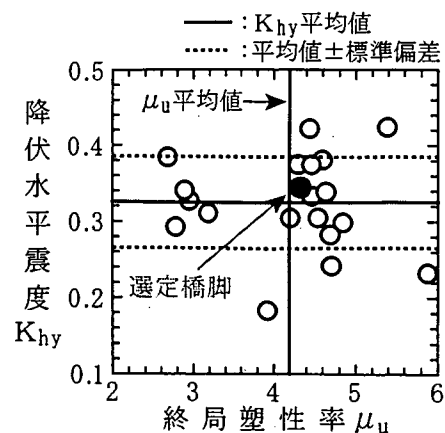


図-1 解析対象橋脚の選定例
(固有周期 0.6～0.7 秒)

(2)動的解析モデル

動的解析に当たっては RC 橋脚を 1 自由度非線形せん断バネ振動系に置き換えた。非線形履歴復元力モデルには、ひび割れの影響を無視し、剛性低下についてはこれを考慮できる武田モデルを用いた。

(3)入力地震動

動的解析に用いる入力地震動としては、我が国の地盤上で得られた 197 組 394 成分の水平成分強震記録²⁾にその後発生した最大加速度 300gal 以上の地震から得られた強震記録を、地震動タイプ(プレート境界型、内陸直下型)、及び地盤種別により 6 分類し、各区分において SI 値の大きい波形で、加速度応答スペクトルの特性の異なる波形(各ケースにつき 2 波形を基本)を選定した。今回の解析に用いた波形を表-1 に示す。これら 11 波の SI 値が 50、90、120、150 及び 180cm/sec となるように振幅調整を行い入力地震動とした。

【研究成果】

以下、固有周期 0.6~0.7 秒の RC 橋脚に対する動的解析結果について述べる。

図-2 は、基準別に SI 値と μ_{max}/μ_u (ここで、 μ_u : 終局塑性率、 μ_{max} : 最大応答塑性率) の関係を示したものである。SI 値が大きくなるに従い全体的に μ_{max}/μ_u の値が大きくなる傾向にある。図-3 は、各 SI 値に対して、 $\mu_{max}/\mu_u > 1.0$ となる確率を基準別に示したものである。適用基準の年代が古くなるに従い μ_{max}/μ_u が 1.0 を超える確率が高くなる傾向がわかる。また、平成 8 年道示適用の橋脚については 1.0 を超えるケースは見られなかった。

【成果の発表】

土木学会平成 14 年度全国大会第 57 回年次学術講演会(投稿中)

【成果の活用】

今後、本研究成果を適用道路橋示方書別等の被害関数の検討に活用する予定であり、さらに、被害関数については、被害想定やリスクマネジメント計画策定に用いられる予定である。

表-1 解析で使用了観測地震波

地盤種別	タイプ	地震名・観測所名	SI値 (cm/sec)	地表面最大加速度 (gal)
I	プレート境界型	釧路沖地震・釧路気象台	76.21	922
II	プレート境界型	北海道東方沖地震・温根沼大橋	53.52	392
III	プレート境界型	日本海中部地震・津軽大橋	43.69	275
I	プレート境界型	標準加速度波形 I - I - 2	61.98	324
II	プレート境界型	標準加速度波形 II - II - 2	90.03	382
III	プレート境界型	標準加速度波形 III - III - 1	109.21	431
I	内陸直下型	兵庫県南部地震・神戸海洋気象台	112.65	814
I	内陸直下型	鳥取県西部地震・江府	47.81	726
II	内陸直下型	兵庫県南部地震・大阪ガス葛合供給所	148.19	804
II	内陸直下型	芸予地震・大野	38.56	441
III	内陸直下型	兵庫県南部地震・東神戸大橋	75.80	324

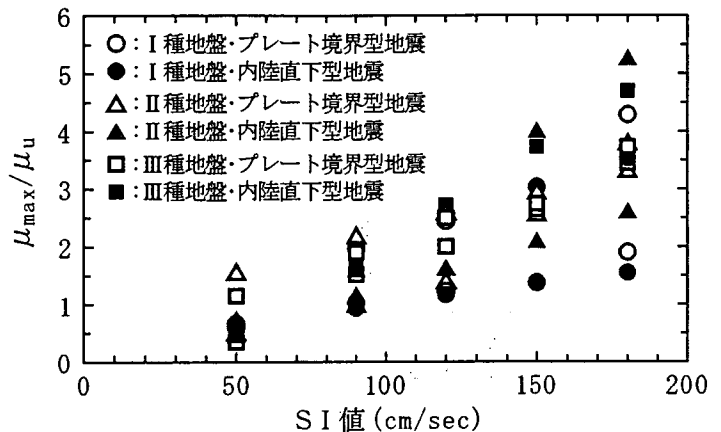


図-2 基準別 SI 値 - μ_{max}/μ_u

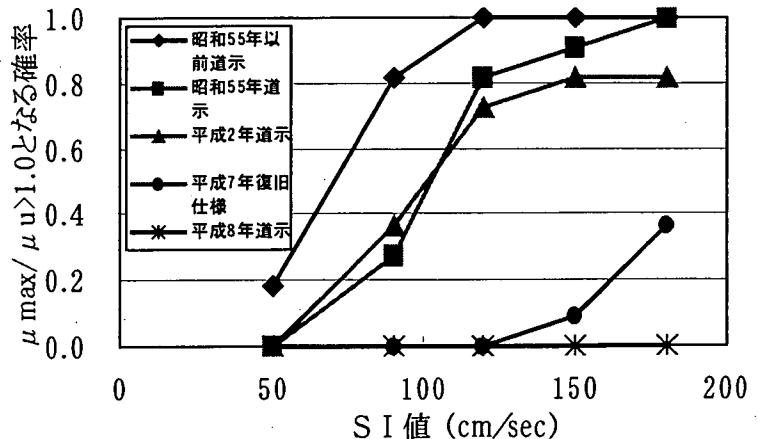


図-3 $\mu_{max}/\mu_u > 1.0$ となる確率

【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, 2002.3
- 2) 川島, 相沢, 高橋：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式, 土木研究所報告第 166 号, 1985

大規模地震を想定した長大橋梁の耐震設計法の合理化に関する試験調査

Study on Seismic Design Method for Long-span Bridges against Major Earthquakes

(研究期間 平成 10～14 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室

研究官 片岡 正次郎

研究員 松本 俊輔

Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management

Shojiro Kataoka, Researcher

Shunsuke Matsumoto, Research Engineer

A procedure for formulating design earthquake motions for long-span bridges has been studied utilizing strong motion simulation methods. A stochastic Green's function method is developed and applied to the simulation. Design earthquake motions for the strait-crossing bridges are proposed based on the simulated earthquake motion.

〔研究目的及び経緯〕

東京湾口、伊勢湾口等において超長大橋の建設が計画されているが、これらの地域は過去の大地震の震源近傍に位置し、極めて厳しい地震環境下にあるため、大規模地震を想定して設計地震動を設定する必要がある。一方、震源断層の破壊過程をモデル化して強震動を合成する、断層モデルを用いた地震動推定手法が提案されてきており、大規模地震の震源近傍で発生する強震動についてもその有効性が認識されつつある。本課題は、断層モデルを用いた地震動推定手法の実用性を高め、その推定地震動に基づく設計地震動の設定手法を提案することを目的としている。13年度は、提案している断層モデルを用いた地震動推定手法をさらに高度化し、将来発生する地震を想定した断層モデルの設定手法とともに、その具体的な手順をとりまとめた。また、この提案手法によって推定した地震動に基づいて、東京湾口、伊勢湾口、紀淡海峡において計画されている超長大橋の試設計のための動的応答解析用入力地震動を提案した。

〔研究内容〕

内陸活断層による地震(内陸地震とよぶ)と海溝などのプレート境界で発生する地震(海溝型地震とよぶ)では、例えば断層面積と地震モーメントの関係など、各断層パラメータ間関係が異なる。そこで、内陸地震と海溝型地震に分けて、それぞれの地震が将来に発生する場合を想定した断層モデルの設定手法を提案した。

地震動の推定には、比較的必要なデータが少なく任意の地点に適用できる、統計的グリーン関数法を用いる。この手法は、地震記録の統計解析を行うことにより、中小規模の地震による地震動(統計的グリーン関数)を地震規模と震源距離等から推定し、それらを大規模地震の断層モデルに従って重ね合わせることによって大規模地震の地震動を合成するものである。

内陸地震と海溝型地震では、例えば、同じ規模の地震でも地震動の特性が異なることから、本研究ではこれら2種類の地震に分けて統計解析を行うことにより、中小規模の地震による工学的基盤(S波速度700m/s相当)における地震動の推定式を地震の種類別に新たに作成した。それらの推定式から作成した小地震による地震動を合成し、大規模地震による地震動を推定する手法を開発した。

1923年関東地震の再来を対象として、提案手法を用いて断層モデルを設定した。ただし、破壊開始点とアスペリティ(断層面の中でも特にくい違い量が大きい領域)の位置については事前に想定することが困難なため、断層面内で系統的に設定した。また、設定した断層モデルに基づき、観音崎地点における地震動の試算を行った。1923年関東地震に対して推定されている断層モデルと観音崎地点の位置を図-1に示す。

〔研究成果〕

断層の走向、傾斜角、断層長さ、断層幅は図-1に示した1923年関東地震の断層モデルと同一にしているが、その他のパラメータについては海溝型地震につい

ての平均的な関係式に基づいて設定した。また、図-3に示す5ケースの破壊開始点位置、9ケースのアスペリティ位置、3ケースの破壊伝播速度を用い、計135ケースの断層モデルを設定した。

これらの断層モデルを用いて地震動の試算を行った結果、得られた地震動の加速度応答スペクトルを図-3に示す。この図には、10年度に1923年関東地震の際の観音崎地点における地震動を経験的グリーン関数法で試算した結果も示してある。図によると、同じ固有周期で比較すれば、統計的グリーン関数法で試算した結果は5倍程度変動しており、断層モデルの設定が推定地震動に大きな影響を及ぼすことが分かる。また、経験的グリーン関数法で試算した結果は、統計的グリーン関数法で試算した結果の変動幅にはほぼ含まれている。

これら2つの手法により試算した結果をもとに、図-3に示すような3つの直線からなる設計用加速度応答スペクトルを暫定案として仮設定した。これは、工学的基盤(S波速度700m/s相当)において定義されたものであり、周期0.1[s]~1.2[s]では2000[cm/s²]の応答加速度をもっている。

統計的グリーン関数法で試算した地震動から、加速度応答スペクトルが全固有周期においてある程度大きいもの一つを選択し、仮設定した加速度応答スペクトルにフィッティングすることで、動的応答解析用入力地震動の暫定案を提示した。この入力地震動の加速度波形と速度波形を図-4に示すが、最大加速度1100[cm/s²]、最大速度150[cm/s]の非常に大きな振幅をもっており、継続時間が長く、海溝型巨大地震による地震動の特徴を示していることが分かる。

ここでは東京湾口の例を示したが、伊勢湾口、紀淡海峡についても同様の検討を行い、動的応答解析用入力地震動の暫定案を提示した。

[成果の発表]

K-net 強震記録を用いた加速度応答スペクトルと経時特性の推定式の検討, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.397-400, 2001.

想定地震に基づくレベル2地震動の試算, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.401-404, 2001.

想定地震に基づくレベル2地震動の設定手法について, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.405-408, 2001.

[成果の活用]

本研究で暫定案として提示した動的応答解析用入力地震動は、現在、東京湾口、伊勢湾口、紀淡海峡横断道路等の試設計のための耐震安全性検討に用いられている。

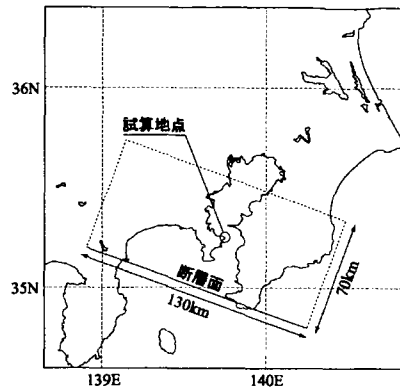


図-1 対象地震の断層面と観音崎の位置

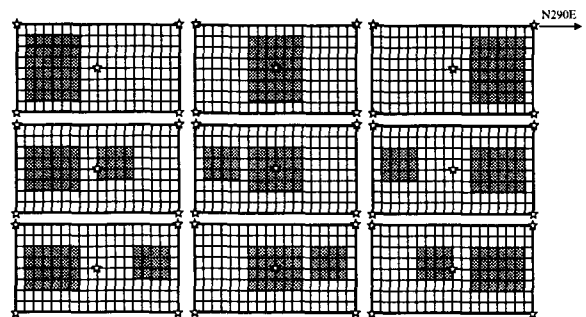


図-2 アスペリティ位置を変更した断層モデル (☆:破壊開始点)

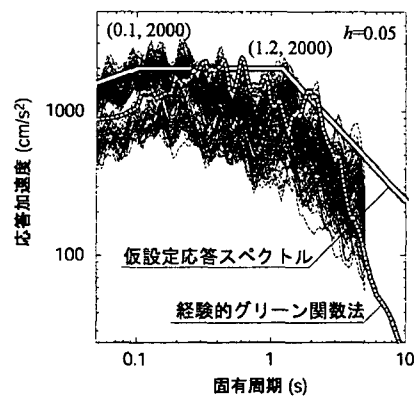


図-3 試算結果とそれをもとに仮設定した動的解析用入力地震動の加速度応答スペクトル

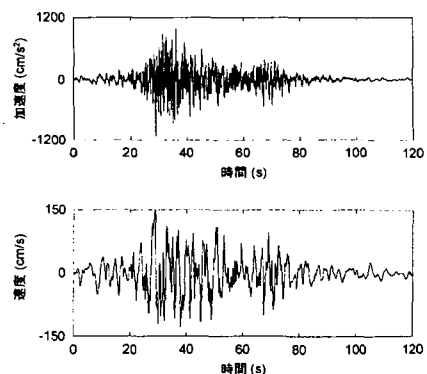


図-4 動的応答解析用入力地震動の暫定案