

3. 耐震性能を基盤とした多様な構造物の機能確保に関する研究

研究期間：平成23年度～27年度

プロジェクトリーダー：耐震研究監 運上茂樹

研究担当グループ：地質・地盤研究グループ（土質・振動、特命事項担当、地質）、水工研究グループ（水工構造物）、道路技術研究グループ（トンネル）、寒地基礎技術研究グループ（寒地構造、寒地地盤）、橋梁構造研究グループ

1. 研究の必要性

東海・東南海・南海地震、首都直下地震等、人口および資産が集中する地域で大規模地震発生の切迫性が指摘され、これらの地震による被害の防除・軽減は喫緊の課題とされている。また、今後、多くの社会資本ストックが維持更新の時期を迎えるに当たり、耐震対策についても構造物の重要性や管理水準に応じて適切かつ合理的に実施することが求められている。このためには、耐震性能を共通の基盤とし、種々の構造物の耐震設計法・耐震補強法の開発を図ることが必要である。

2. 研究の範囲と達成目標

本プロジェクト研究では、耐震性能を基盤とした耐震設計法・耐震補強法の実用化および近年の地震被害の特徴を踏まえた耐震対策や震災経験を有しない新形式の構造物の耐震設計法の実用化を研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 構造物の地震時挙動の解明
- (2) 多様な耐震性能に基づく限界状態の提示
- (3) 耐震性能の検証法と耐震設計法の実用化

3. 個別課題の構成

本プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 性能目標に応じた橋の地震時限界状態の設定法に関する研究（平成23～26年度）
- (2) 山岳トンネルの耐震対策の選定手法に関する研究（平成23～27年度）
- (3) 地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究（平成23～27年度）
- (4) 降雨の影響を考慮した道路土工構造物の耐震設計・耐震補強技術に関する研究（平成23～27年度）
- (5) ロックフィルダム設計・耐震性能照査の合理化・高度化に関する研究（平成23～27年度）
- (6) 再開発重力式コンクリートダムの耐震性能照査技術に関する研究（平成23～27年度）
- (7) 台形CSGダムの耐震性能照査に関する研究（平成23～27年度）
- (8) 液状化判定法の高精度化に関する研究（平成24～27年度）
- (9) 津波の影響を受ける橋の挙動と抵抗特性に関する研究（平成24～27年度）
- (10) 道路橋基礎の耐震性能評価手法の高度化に関する研究（平成26～27年度）

4. 研究の成果

本プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成26年度に実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下のとおりである。

(1) 構造物の地震時挙動の解明

1) 道路橋については、耐震補強技術の開発の一環として、丸鋼を用いたRC橋脚の保有性能を活かした耐震補強

に関する実験的検討を行い、アンボンド補強鉄筋を用いた耐震補強設計法の提案を行った。

- 2) 台形 CSG ダムに関しては、CSG の引張強度や引張軟化特性を考慮した非線形動的解析により、大規模地震による地震動が作用した場合の台形 CSG ダムの損傷過程を推定した。また、堤体の滑動に対する安全性への影響についても検討した。これらの検討結果を踏まえ、大規模地震に対する台形 CSG ダムの耐震性能照査の基本的考え方について整理した。
- 3) 地盤の液状化について、年代効果の一つとして考えられる地震履歴の影響に着目し、地震履歴が砂の液状化強度に及ぼす影響を動的遠心模型実験により評価するとともに、砂の年代効果を評価するための指標について検討を行った。地震時の実地盤における地中せん断応力の評価式の改善に資することを目的として、地表加速度の時刻歴波形から地中せん断応力の低減係数 r_d を評価する方法を新たに提案した。また、特殊土でありながら既往の液状化判定法では特別な取り扱いがされていない火山灰質土の液状化判定法を検討することを目的として、火山灰質土の液状化履歴および液状化特性に関する事例分析ならびに液状化特性を調べるための原位置調査および室内土質試験を実施した。平成 27 年度には、地中のせん断応力分布の評価手法を検証し、液状化に及ぼす各種影響要因の影響、新たな調査方法を踏まえた高精度な液状化判定法のとりまとめを行う。

(2) 多様な耐震性能に基づく限界状態の提示

- 1) トンネルについては、地震時の山岳トンネルの被害で覆工構造全体の耐力に影響を及ぼすと考えられる覆工の天端部や側壁部の圧縮破壊を再現する手法、および覆工の破壊が発生する場合の外力の大きさについて数値解析により検討を行った。

(3) 耐震性能の検証法と耐震設計法の開発

- 1) 道路橋については、破壊特性を踏まえた応急復旧工法に関する研究の一環として、壁式 RC 橋脚の橋座部のせん断破壊に対する H 形鋼を補強部材とした応急復旧工法の検証実験に対する復旧効果の力学的メカニズムについて、FEM 解析による検討を行った。また、桁橋を対象として、津波に対する橋の抵抗特性の評価手法の提案および津波による上部構造への作用力の軽減対策の開発を目的として、津波による橋の破壊モードを確実化させる支承の提案、線支承の破壊形態の検討、および上部構造への作用力を軽減させるフェアリングの取り付け方法の検討を行った。平成 27 年度には、津波による橋の最終的な破壊モードを確実化する損傷制御式支承とその設計思想の提案、津波に対して影響軽減効果のある構造的対策手法（フェアリング形状とその取り付け方法）のとりまとめを行う。
- 2) 道路橋基礎に関しては、橋梁の地震時挙動の推定手法に基づく基礎の限界状態と設計法を開発することを目的として、撤去橋梁から抜き取った基礎杭を用いた載荷実験および既製 RC 杭基礎模型を用いた載荷実験により、その耐荷特性、塑性変形能を把握し、既設橋基礎の部材としての限界状態について検討した。平成 27 年度には、性能目標に応じた道路橋基礎の限界状態の設定法、動的解析を用いた杭基礎により支持された橋梁の耐震性能評価手法について検討する。
- 3) トンネルについては、覆工背面の空洞への対策として裏込め注入を行う場合の注入材の剛性がトンネル構造の耐力に及ぼす影響について数値解析により検討した。平成 27 年度には、山岳トンネルに要求される耐震性能に応じた耐震対策の選定手法について検討する。
- 4) 地盤変状の影響を受ける道路橋については、地すべり等の要因に伴い地盤変状を生じる可能性がある斜面上に設置された道路橋の組杭基礎に対して、地盤変状の規模と組杭基礎の諸元の違いが基礎の安定性に及ぼす影響を明らかにするために遠心力載荷実験を行った。また、最終年度にとりまとめる「地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策ガイドライン（案）（仮称）」の共通編および調査編の素案を作成した。平成 27 年度には、地震時に地盤変状を起こしやすい斜面地盤条件の判定手法と基礎の安定性評価手法と併せ、「地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策ガイドライン（案）」のとりまとめを行う。
- 5) 道路土工構造物については、細粒分含有率の高い盛土を対象に、動的特性に及ぼす空気間隙率の影響について室内土質試験および遠心力載荷模型試験を行い、適切な締固めと空気間隙率管理により耐震性が向上することを確認した。平成 27 年度には、事前降雨等の影響を定量的に考慮した道路盛土の耐震設計法・耐震補強手法の

とりまとめを行う。

- 6) ロックフィルダムについては、動的解析にもとづく簡易耐震性能照査方法の検討として、モデルロックフィルダムにおいて、ロック材のせん断強度と入力地震動の最大加速度を変数としたすべり変形量をもとに耐震性能を簡易的に判定する方法を提案した。また、堤体内の物性のばらつきが地震時変形に与える影響の検討として、コア材料の動的強度にばらつきを与えた累積損傷解析による地震時沈下量の検討を行った。平成 27 年度には、大規模地震時におけるフィルダムの簡易耐震性能照査方法のとりまとめを行う。
- 7) 再開発重力式ダムについては、既設堤体上での嵩上げおよび削孔による放流管増設ブロックを対象に、嵩上げダムの新旧堤体基礎岩盤の物性の違いによる影響、嵩上げダムの初期応力として温度応力を考慮した場合の影響、下流側に新設堤体を設ける場合の新旧堤体間の貯水の振動による影響等の検討を行った。また、ダムコンクリートの引張強度や破壊エネルギーについて、動的（急速）载荷や繰返し载荷を含む引張強度試験を行うとともに、破壊エネルギーについても実験的検討を行った。さらに、大規模地震に対する再開発ダムの耐震性能照査の基本的考え方について整理した。平成 27 年度には、再開発ダムおよび台形CSGダムの挙動の推定法およびこれを踏まえた耐震性能照査方法のとりまとめを行う。
- 8) 地盤の液状化については、液状化判定のための地盤の調査・評価方法として、同一地点で行った通常の標準貫入試験ボーリングによる液状化判定とオールコアボーリングの詳細な観察による液状化層の認定を行い、両者の比較を行うことで液状化判定の精度について検証を行った。また、原位置での液状化特性を把握する試験方法を検討するため、振動コーンの試作を行った。平成 27 年度には、液状化判定のための地質構造推定における留意点のまとめ、液状化特性把握手法として振動コーンの適用性の検証を行う。

RESEARCH TO ENSURE FUNCTIONS OF VARIOUS STRUCTURES DURING EARTHQUAKES BASED ON SEISMIC PERFORMANCE

Research Period : FY2011-2015

Project Leader : Research Coordinator for Earthquake Engineering
UNJOH Shigeki

Research Group : Geology and Geotechnical Engineering Research Group (Soil Mechanics and Dynamics, Geology), Hydraulic Engineering Research Group (Dam and Appurtenant Structure), Road Technology Research Group (Tunnel), Cold-Region Construction Engineering Research Group (Structures, Geotechnical), Bridge and Structural Engineering Research Group

Abstract: Large earthquakes are expected to strike the areas where population and properties are highly accumulated in Japan, and reducing damage from these earthquakes is a crucial issue. Many infrastructures will soon need repair or renewal, and it is necessary to implement seismic countermeasures properly according to the importance or maintenance level of structures. For this, it is indispensable to develop seismic design and retrofit techniques of various structures by employing seismic performance as the common base. Scope of the research project extends to development of seismic design and retrofit techniques based on seismic performance, seismic countermeasures reflecting damage features in the recent earthquakes and seismic design techniques for the new structures without damage experience in the past earthquakes.

Key words: earthquake, structure, seismic design, seismic retrofit, seismic performance