

### 3. 大地震に備えるための道路・河川施設の耐震技術

研究期間：平成 18 年度～22 年度

プロジェクトリーダー：耐震研究グループ長 松尾修

研究担当グループ：耐震研究グループ（振動、耐震）、構造物研究グループ（基礎）、  
水工研究グループ（ダム構造物）

#### 1. 研究の必要性

最近大きな地震が頻発し、再び活動期に入ったとも言われている。今後、東海・東南海・南海地震、首都圏直下地震、宮城県沖地震など、人口・資産の集積する地域で大地震が発生する可能性が高く、それぞれの地震による想定被害額は数10兆円から110兆円などと推定されている。政府は、これらの地震に対して、今後10年間で人的被害・経済被害を半減させる「地震防災戦略」を決定している（中央防災会議、平成17年3月）。

これを実現するためには、道路をはじめとするライフライン施設、ゼロメートル地帯等を津波浸水から守る河川施設などを対象に、既設構造物の耐震診断・補強技術、および震災後に迅速に機能回復する技術を優先的に開発・改良することが必要である。

#### 2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、道路・河川の主要構造物を対象に、既設構造物の耐震診断・補強技術、および震災後に迅速に機能回復する技術を開発・改良することを研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 既設道路橋の耐震診断・補強技術の開発
- (2) 山岳盛土の耐震診断・補強技術の開発
- (3) 道路橋の震後早期機能復旧技術の開発
- (4) 既設ダムの耐震診断・補修・補強技術の開発
- (5) 河川構造物の耐震診断・補強技術の開発

#### 3. 個別課題の構成

本重点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) 補強対策が困難な既設道路橋に対する耐震補強法の開発（平成 18～21 年度）
- (2) 既設道路橋基礎の耐震性能評価手法に関する研究（平成18～20年度）
- (3) 液状化地盤上の橋台の耐震補強技術に関する試験調査（平成18～22年度）
- (4) 山岳道路盛土の耐震補強技術に関する試験調査（平成18～22年度）
- (5) 震災を受けた道路橋の応急復旧技術の開発に関する試験調査（平成18～22年度）
- (6) 記憶型検知センサーを用いた地震被災度の推定手法（平成15～19年度）
- (7) ダムの健全性評価に関する研究（平成16～19年度）
- (8) コンクリートダムの補修・補強に関する研究（平成17～19年度）
- (9) コンクリートダムの地震時終局耐力評価に関する研究（平成18～22年度）
- (10) 強震時の変形性能を考慮した河川構造物の耐震補強技術に関する調査（平成18～22年度）

平成 19 年度は上記 10 課題を実施している。

#### 4. 研究の成果

本重点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 19 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) 既設道路橋の耐震診断・補強技術の開発

- ・ 段落し部の耐震補強が実施された鉄筋コンクリート橋脚を対象に、現行（平成 8 年道路橋示方書以降）耐震

水準にグレードアップさせる段階的な耐震補強工法を提案し、その補強効果を実験的に検証した。

- ・ 補強対策が困難となる既設特殊橋梁・長大橋梁を対象に、現況の耐震性能の評価方法、耐震対策の必要性の評価方法、対策が必要とされる橋に対してエネルギー吸収機構による耐震補強法の効果、耐震対策の選定方法を検討し、検討結果を参考資料としてとりまとめた。
- ・ 平成 18 年度は、被災事例の分析、設計基準及び施工技術の変遷を調査し、相対的に耐震余裕度の小さいと考えられる基礎の条件を示した。19 年度は、既設道路橋基礎の耐震性能の評価を行い、その結果に基づき、基礎の建設年代、基礎形式、地盤条件等のパラメーターと基礎の脆弱度の関係を整理した、そして、以上の結果より、基礎の脆弱度判定(耐震補強の優先度の振り分け)フローを提案した。
- ・ 残留変位が橋全体系に与える影響を評価し、橋台の補強の有無を判定するために、液状化地盤上の橋台の地震時挙動を模型実験および数値解析により調べた結果に基づき橋台の移動量推定式を提案した。

## (2) 山岳盛土の耐震診断・補強技術の開発

- ・ 山岳道路盛土の合理的かつ経済的な耐震診断法及び対策工法を提案することを目的として、2007 年能登半島地震で被災した盛土について綿密な地盤調査及び被害事例分析を行った。
- ・ 上記分析の結果、大規模崩壊に至った盛土の周辺部には沢や湿地等が存在しており、これらの水源から盛土内部に浸透した水が盛土の耐震性を低下させた事が明らかになった。また、これらの他に切盛り境界部や、橋台、カルバートなどの異種構造物との境界部における被害も顕著であることを明らかにした。
- ・ 上記の知見に基づいて、耐震診断手法として盛土の(能登半島地震による)崩壊・未崩落事例を約 80%程度の割合で判別できる経験式を数量化理論によって構築した。
- ・ 山岳盛土の動的遠心模型実験により、盛土のり尻部の水位を下げることによって被害を低減できることを明らかにした。

## (3) 道路橋の震後早期機能復旧技術の開発

- ・ 柱基部で曲げ破壊する RC 柱 12 体を対象とした合計 64 ケースの振動台加震実験の結果の分析から、この特性に基づき応答じん性率を推定し、地震による被害を判定する手法を高精度化した。
- ・ 振動台加震実験から得られた損傷の観察から、適用された設計基準や構造形式ごとに応答じん性率と損傷の関係を明らかにし、これをもとに本手法により RC 柱の被災度を推定する手法を提案した。
- ・ 即効性のある復旧工法として、速乾性の材料を用いた炭素繊維シートによる修復と機械式定着によるポリエステル繊維バンドによる修復を提案した。
- ・ 提案した復旧工法の効果を、鉄筋コンクリート橋脚に対する正負くり返し載荷実験と振動台加震実験から評価した結果、損傷による剛性の低下はあるが、修復後の曲げ耐力は修復前と同程度は確保されていること、変形性能も修復前と同等またはそれ以上確保されていることを明らかにした。

## (4) 既設ダムの耐震診断・補修・補強技術の開発

- ・ 新形式ダムである CFRD の重要計測箇所を選定と表面変形計測器による変形分布の評価、堤体コンクリートの長期間暴露試験による耐久性評価、GPS 変位計測システムを取り入れた大規模地震によるフィルダムの計測・評価方法について検討し、最終的に新形式ダムである CFRD の安全管理のための計測方法、GPS 変位計測システムと大変形挙動計測システム(官民共同研究)を組み合わせた、ロックフィルダムの大規模地震による損傷形態を考慮した変形挙動システムなどを開発、提案した。
- ・ コンクリートダムの補修事例および一般のコンクリート構造物の補修・補強工法の調査・整理を行い、コンクリートダムで想定される耐震補修・補強工法を整理し、コンクリートダムに有効な補修・補強工法として、断面増厚工とアンカー工を選定した。コンクリートダム堤体の地震前補強ならびに地震後補修(クラックが発生したダム堤体の補修)として、両工法を用いた補修・補強対策の効果に関する数値解析を実施し、対策の度合いとダム堤体の強度といった力学性能の回復・向上効果の関係を定量評価できた。実際のダムで補修補強対策を検討する際に有効な工法選択ができる手法を提案した。

- 地震動によるコンクリートダム堤体の亀裂貫通後の堤体頂部モデルや堤体要素分断ブロックモデルによる模型振動実験によって地震動による堤体分離ブロックの動的挙動の把握を行った。また、振動実験結果による堤体分離ブロックの変位挙動の再現を可能とする個別要素解析モデルを作成し、パラメータ設定法などの詳細について検討した。

#### (5) 河川構造物の耐震診断・補強技術の開発

- 地震時の液状化による河川堤防の大変形を抑制するための耐震補強工法として、格子状のセメント改良によるのり尻部の固化処理工法に着目した実験的な検討を実施した。その結果、レベル2地震動に対する耐震設計に必要な改良体のせん断応力-せん断ひずみの関係は、改良率と一軸圧縮強度の関係を用いて正規化できることを明らかにした。上記の成果に基づいて、次年度以降にセメント改良による耐震補強の効果を考慮した河川堤防の合理的な耐震設計法の構築に向けた検討を行う。
- 平成18年度に実施した河川堤防の地震被害事例の収集・分析に加えて、堤防以外の河川構造物の地震被害事例について取りまとめ、被災部位や被災パターンなどの分類を行うと共に、各被災パターンに対する補強工法を提案し、設計・施工に当たっての考え方や留意点について取りまとめた。
- 水門・樋門及び堰のレベル2地震動に対する耐震設計法について、従来は不明確であった慣性力の作用位置や各部材の限界状態の組み合わせ、耐震性能照査の判定方法などについて取りまとめ、標準的な耐震設計法として整理した。
- 上記の耐震設計法について、樋門については構築した設計法を用いて、2003年の十勝沖地震で被災した大津市街樋門についての検証解析を実施し、被害事例と解析結果を比較することによって設計法の妥当性を確認した。この成果を基にして、次年度以降は樋門の耐震補強とその設計法構築に関する検討を実施する予定である。

## DEVELOPMENT OF SEISMIC RESISTANT TECHNOLOGIES FOR ROAD AND RIVER FACILITIES TO PREPARE FOR THE ANTICIPATED BIG EARTHQUAKES

**Abstract** : Big earthquakes are expected to occur in Japan in the coming few decades. They are likely to hit the major areas where population and properties are highly accumulated, and the expected damage loss by the individual earthquake amounts to as large as some tens- to a hundred- trillion yen. In order to reduce the damage loss, seismic retrofitting of existing structures is one of the most crucial tasks. The research project aims to develop/improve technologies to seismically assess and strengthen existing engineering structures, including bridges, embankments, dams and river facilities.

The typical outputs from the research are as follows:

- 1) It was found from a series of experiments that proposed aseismic countermeasures to the existing RC piers against high seismic loading showed good seismic performance.
- 2) A procedure to evaluate seismic performances of existing long span and special structural bridges are summarized so as to properly select proper aseismic countermeasures.
- 3) Based on detailed investigations on sites of damaged embankment, effects of penetrations of water from surrounding grounds on seismic performance of the embankments were highlighted. The same tendencies were observed in a series of centrifuge model tests.
- 4) A procedure to evaluated degree of damages caused by an earthquake by using computed response

ductility was improved based on a series of shaking table model tests.

5) New system to evaluate displacement of rock fill dams under high seismic loading was proposed by combining the GPS system with large scale displacement evaluation systems.

6) Effects of enlarging cross sectional area and anchoring as aseismic countermeasures and retrofitting measures for concrete dams were quantitatively evaluated based on numerical analysis.

7) Design guidelines of river structures (e.g. river dykes, water gate, sluice pipes and barrage) for performance based design considering an effect of level 2 earthquake are published.

8) The newly developed seismic design procedure for sluice pipes reinforced with RC piles was verified based on results from analysis by comparing the evaluated displacements and damages with the observed ones at the actually damaged site in the 2003 Hokkaido Tokachi-oki earthquake.

**Key words** : seismic resistant technologies, assessment, retrofit, road, bridge, dam, river