

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：耐震総括研究監 田村敬一

研究担当グループ：橋梁構造研究グループ、材料地盤研究グループ（土質・振動）、
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) 橋梁基礎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18～21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）
- (11) 大規模地震時におけるフィルダムの沈下量の評価方法に関する研究（平成20～22年度）

このうち、平成 21 年度は、(1)、(3)～(5)、(9)～(11)の 7 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 21 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

- ・ 補強対策が困難な既設道路橋に対する耐震補強工法の開発として、3 箇年プログラムより段落し部の耐震補強が実施された RC 橋脚を現行耐震水準にグレードアップさせるための耐震補強において、従来の RC 巻立て工法を用いる場合の補強効果の検証を行ったとともに、連続繊維シート (FRP) と鋼板を併用する耐震補強工法を提案し、設計手法を確立するための要素実験および補強効果の検証実験を行った。また、基本的な考え方や設計計算方法等をまとめ、提案の補強工法の設計マニュアルの案も作成した。
- ・ 橋梁基礎の耐震補強技術に関しては、(1) 増し杭等により部材の増設を行う場合については既設基礎と増設部材による荷重分担、(2) 矢板や固化体等によって仮想ケーソンを構築し、基礎形式そのものを変更しようとする場合については仮想ケーソンの破壊形態、(3) 地盤の液状化を抑制する場合については液状化対策範囲の設定方法等を課題として抽出し、これらを検証するために必要な載荷実験方法等を整理した。次年度はそれらの検証実験を行う予定である。また、フーチングの耐震補強について、曲げおよびせん断に対する補強法の検証を行うための載荷実験を次年度行う予定であり、本年度は載荷実験に用いる供試体を作製した。

(2) 山岳盛土の耐震診断・補強技術の開発

- ・ 盛土のり尻付近の排水、押え盛土等のり尻強化工法に着目し、これらの耐震補強工を施した山岳部の既設道路盛土の耐震性について動的遠心模型実験を実施した。その結果、盛土のり尻部を押さえることで、大規模な崩壊を防止しうることが分かった。また、横ボーリング等で水抜きを行い、浸透水位を下げることにより、既設盛土の耐震性を向上させられることを明らかにした。
- ・ 上記の山岳道路盛土の動的遠心模型実験を対象として地震時残留変形解析手法 (ニューマーク法) の適用性を検討し、実験における浸透水位の違い及び耐震補強工の効果による地震時残留変位の違いを定性的に表現できることを示した。

(3) 道路橋の震後早期機能復旧技術の開発

- ・ 地震を受けた鉄筋コンクリート橋脚の機能を 1 日以内に復旧するための復旧工法として、これまでに開発、提案している機械式定着繊維バンドによる応急復旧工法の設計法を確立するとともに、実用化に向けて施工性を高めることを目的として、今年度は、バンドによる補強量及びバンドへの初期緊張力の影響に着目して、せん断破壊タイプの鉄筋コンクリート橋脚模型 2 体に対する正負くり返し載荷実験を行った。実験より、初期緊張力がなくても所要の補強効果が得られるため、施工に熟練の技術を要しないことを示すとともに、必要補強量の評価方法を提案した。

(4) 既設ダム耐震診断・補修・補強技術の開発

- ・ 大地震動によるコンクリートダム堤体の亀裂分断後における終局的な堤体の耐震安定性の評価手法を開発するため、堤体分断ブロックの地震時における変位挙動・メカニズムを解明することを目的として、ダム形状の分断堤体模型を作製し、貯水による亀裂内揚圧力、動水圧の影響等を考慮できる形で振動実験を実施した。実験では、亀裂分断面内揚圧力、分断面摩擦特性、加振特性の分断ブロックの変位挙動に与える影響を分析した。さらに、個別要素解析により模型振動試験の再現解析を実施した。
- ・ 大地震動によるフィルダムの沈下量の評価手法を開発するため、動的強度試験により平均有効応力や飽和・不飽和条件が動的強度特性に与える影響を評価した。また、試験結果から得られた動的強度特性を用いて地震動によるフィルダムの揺すり込み沈下量を算出し、各条件が揺すり込み沈下量に与える影響について考察した。さらに、密度のばらつきは強度や変形性のばらつきに影響を与えることから、まずは実ダムの密度のばらつきを把握するため、現在建設中の中央コア型ロックフィルダムにおいて締固め層内の上層と下層の原位置密度試験を行い、密度のばらつきについての検討を行った。

(5) 河川構造物の耐震診断・補強技術の開発

- ・ 河川堤防の液状化対策として用いられる締固め工法について、未改良域からの過剰間隙水圧の伝播の影響を明らかにすることを目的とし、水圧伝播の影響を考慮した密な砂の繰返し三軸試験を行った。その結果、水圧伝播の影響を受けた密な砂は、ひずみ増加が始まるタイミングが早くなるものの急増することはなく、概ねサイクリックモビリティの状態にとどまることが明らかとなった。また、水圧伝播の影響を特に強く受ける場合にはひずみ増加が著しくなるケースもあることに鑑み、設計上の有効改良幅を小さめに設定することを提案した。
- ・ 河川堤防の液状化対策として用いられる固結工法について、動的遠心模型実験に基づき、大地震時の破壊形態を明らかにするとともに、偏荷重の繰返し作用によって蓄積する改良体の残留水平変位と改良体の外的安定に一定の相関が認められること、改良体の外的安定の度合いを限界水平震度という指標によって代表させることができることを示し、限界水平震度を求めるための安定計算モデルを提案した。改良体に一定以上の限界水平震度を与えることで繰返し累積変位を小さなものにとどめ、静的照査法をベースとした固結工法の設計を行うことが可能となる。
- ・ これらの検討結果に基づき、堤防のり尻部に適用される液状化対策工法である締固め工法、固結工法、ドレーン工法、鋼材を用いた工法について、レベル2地震動に対する設計法の原案をとりまとめた。

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. To develop such technologies, the following research projects were conducted:

- 1) Seismic retrofit strategy for existing highway bridges
- 2) Seismic performance assessment of existing highway bridge foundations
- 3) Research on the seismic retrofit of highway bridge foundations
- 4) Seismic retrofits for road embankments on mountain side
- 5) Development of rapid repair method for seismic damage of bridge structures
- 6) Development of detection/estimation method for seismic damage using advanced sensor
- 7) Research on Integrity Evaluation of Dams
- 8) Research on Rehabilitation and Reinforcement of Concrete Dams
- 9) Evaluation of ultimate limit resistance of concrete gravity dams against large earthquakes
- 10) Seismic retrofits for river facilities considering structure ductility under strong earthquake motions
- 11) Evaluation method of earthquake induced settlement of rockfill dams due to large earthquake motions

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