

土木構造物の経済的な 耐震補強技術に関する研究

独立行政法人土木研究所
まつ お おさむ
耐震研究グループ長 松尾 修

1. 研究の必要性

我が国は1995年の兵庫県南部地震のような大規模地震に見舞われる可能性が高い。中央防災会議からも東海・東南海・南海地震が今後30年の間に発生する可能性が約50%あることが発表されている。土木構造物の耐震性を向上させるためには、新設構造物においては十分な耐震設計を施すことであり、既設構造物に対しては、耐震診断を行い、必要に応じて耐震補強を施すことである。

本研究プロジェクトは、既設構造物の耐震補強技術をテーマに掲げたものである。耐震補強はこれまでも橋梁や河川堤防などで行われてきている。しかしながら、耐震補強事業は未だ道半ばであり、来るべき大地震に対する備えを進めなければならない。このためには、従来技術に比べてより合理的かつ経済的な耐震補強技術を開発する必要がある。具体的には、施工の困難な条件下にある構造物をいかに補強するか、従来の補強技術よりも経済的な補強工の設計施工法の開発などである。

2. 研究内容と達成目標

本研究プロジェクトでは、対象構造物として、橋梁，土工構造物（河川堤防および道路盛土）および下水道管路をとりあげた。それぞれについての達成目標は次のとおりである。

- ・橋梁：①構造全体系を考慮した既設橋梁の耐震性能の評価法および耐震補強法の開発
- ・河川堤防：②簡易変形予測手法に基づく堤防の液状化対策としての地盤改良工法の設計技術の開発
- ・道路盛土，下水道施設：③地震時変形性能を考慮した経済的な耐震補強技術の開発

ここでは狭い意味での耐震補強技術だけではなく、広く耐震診断法，補強工法の設計法までも研究対象に含めている。また、共通するキーワードは、変形および変形性能である。

以下に、上記達成目標に対応して掲げた研究課題別にその概要を述べる。

3. 全体構造系の耐震性能を評価した既設道路橋の耐震補強技術に関する研究

河川橋のような施工条件の厳しい橋や、中・長

大橋を従来技術で耐震補強すると多額の費用を必要とするため、補強対策がさほど進んでいない状況にある。言い換えれば、補強の難しい橋梁がとり残されている。このため、橋梁を構成する部分に着目して耐震診断・補強を考えるのではなく、橋全体系として耐震性能を評価することにより、無駄の少ない合理的な耐震補強を目指そうとするものである。

具体的な例として、図 1 に示すような連続桁橋梁を考える。この橋梁で橋脚 P1～P4 が河川水の範囲に位置している場合、橋脚を巻き立て補強するためには、締切工などの仮設工に多大な費用を要する。この橋梁が橋軸方向の地震力を受けると橋桁が変位するが、変位がある大きさに達すると橋桁が橋台 (A1, A2) に衝突し、それ以上変位しても橋台およびその背面の取り付け盛土

が共同して抵抗し、橋桁の変位を抑制することが期待される。また、この効果により、橋脚に作用する水平力も低減されることになる。従来の耐震診断法では、このような効果が正当に評価されていなかった。

そこで、本研究では、このような効果を評価する手法を開発しようとしており、これにより橋脚の耐震診断の見直しに反映させようともくろんでいる。試算結果の一つとして図 2 を示す。同図は、橋脚、橋桁、橋台、背面土の全体をモデル化して、地震応答解析を実施して得られた結果である。図 2(a) は、橋台の耐力を補強することにより、橋脚の塑性変形が低減されることを示している。また、図 2(b) は、橋桁と橋台との隙間 (遊間) を狭くしていくことによっても、橋脚の塑性変形が低減されることを示している。

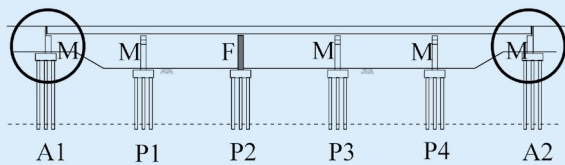


図 1 両端に橋台を有する連続桁橋梁

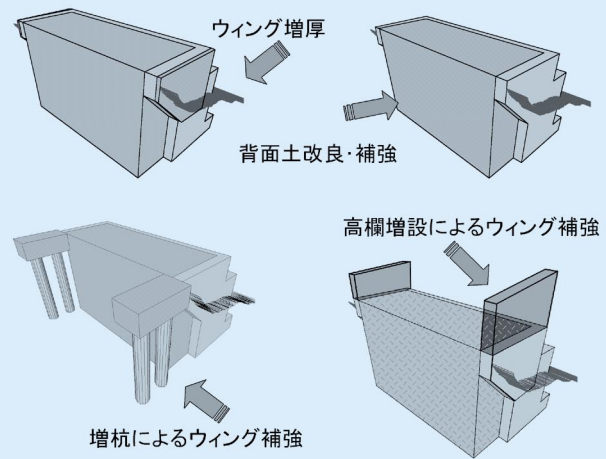
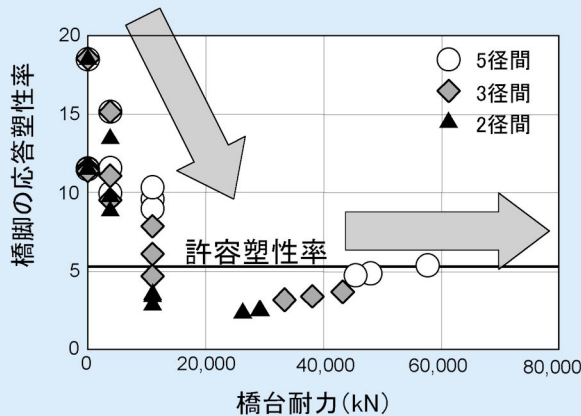
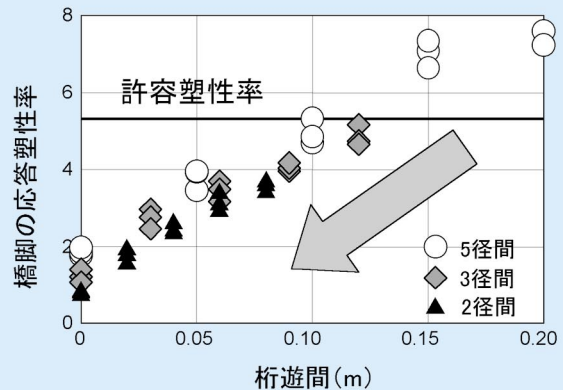


図 3 橋台の耐震補強工法の例



(a) 橋台の耐力補強による効果



(b) 遊間を狭くすることによる効果

図 2 橋台の存在による橋脚の地震時変位を抑制する効果の試算例

これらのことにより、橋桁の変位が橋台により抑制されることを適切に評価すれば、河川内に位置する橋脚の耐震補強をしなくてもよいという評価が導かれる可能性があることがわかる。また、さらには必要に応じて橋台を補強すれば、橋桁変位を抑制することができる可能性があることになり、河川内の橋脚を耐震補強するよりも橋台の補強の方がはるかに経済的であり、合理的である。図 3 は橋台の耐震補強工法の試案を示したものである。

本研究課題では、この他に、河川橋などによく見られる壁式橋脚などの橋軸直角方向のせん断力の評価法の開発、中・長大橋の耐震補強技術の検討などを行っているところである。

4. 堤防の耐震対策合理化に関する調査

堤防の地震対策は兵庫県南部地震以後に始められ、現在に至っているが、レベル2地震動対応と

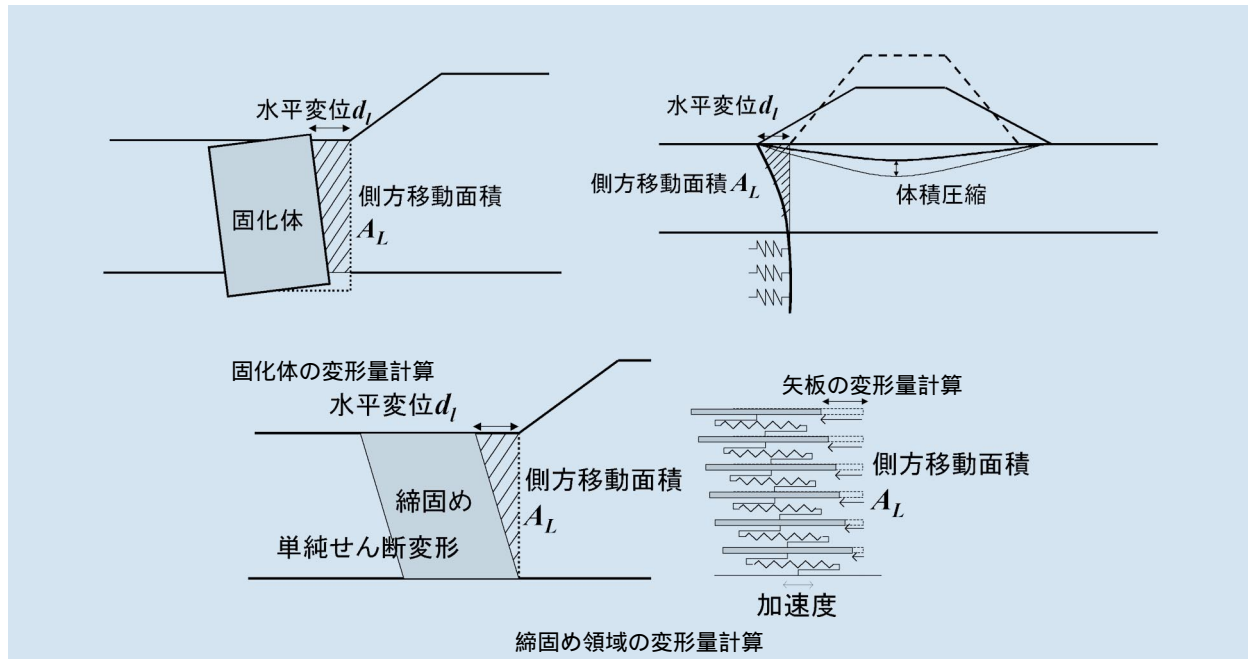


図 4 既設堤防の耐震補強工法

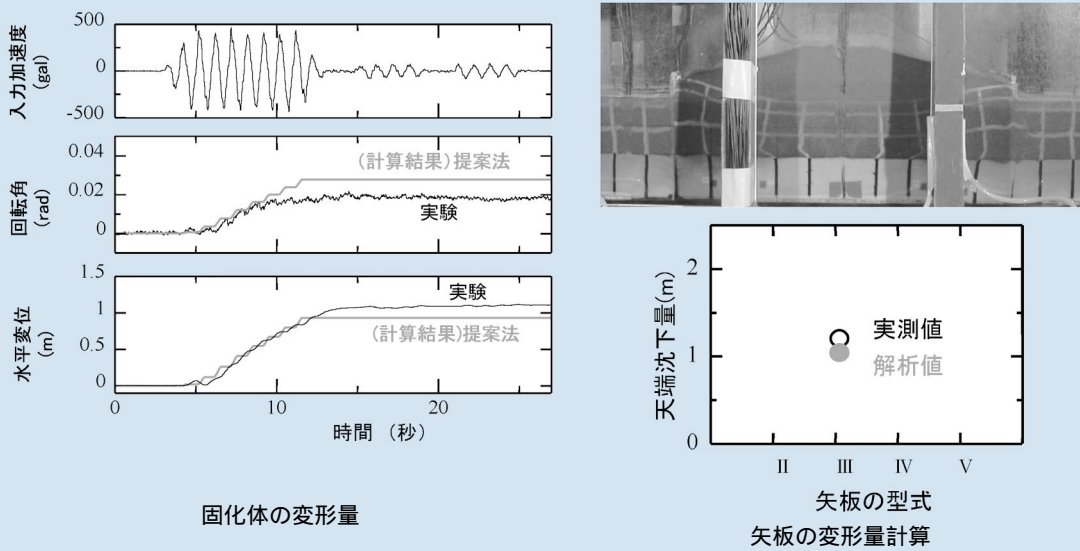


図 5 耐震対策工法の地震時変形量計算手法の計算例

なっていない、耐震性の評価は直接に変形量を照査するようにはなっていない、耐震対策工の設計も同様に変形量に基づくものとなっていない、等の技術課題がある。

そこで本研究では、耐震対策工の設計合理化に焦点を絞り、変形量を合理的に評価でき、かつレベル2地震動にも対応できる設計法を提案することを目標としている。

既設堤防の耐震補強は、図4に示すように、堤防のり先地盤を地盤改良したり、矢板を打設することなどが行われる。このとき、これら対策工の効果は、同図に示すように対策工自体が側方へ変位ないしは変形するのに抵抗することにより堤防の沈下変形を抑制する、というように発揮される。研究の対象とする対策工は固化改良、締固め、矢板であり、いずれも地盤の液状化による堤防の被害を抑制しようとするものである。

途中成果の一例を示す。図4に示す改良体や矢板は、基礎地盤の液状化および地震動により、動的な土圧や慣性力の作用を繰り返し受けることにより変位や変形が進行する。これらの現象を実務的に扱いやすいモデルで表現し、計算した結果が図5である。同図には、固化体の変形が地震動の継続により進行するデータを示しているが、実験結果をよく再現していることがわかる。また、矢板についても同様の結果である。

堤防のような土構造物の地震時変形予測法には、高度な弾塑性動的有限要素解析手法や現象を単純化した静的変形解析手法などが存在するが、実務レベルでの適用性が十分に検証できていないなどの理由で普及していない。本研究はこのような状況を補完する意図を持っており、できるだけ早く実用に供されるべく進めているところである。

5. 液状化地盤上の道路盛土の耐震対策技術に関する研究

道路盛土の地震被害には平地部盛土と山岳部盛土の被害があり、被害メカニズムは異なってい

る。平地部盛土の地震時被害は、河川堤防と同様に、基礎地盤の液状化が主因である。本研究でも合理的かつ経済的な耐震対策技術の開発を目指している。研究内容は上記河川堤防と相互補完的であるが、盛土本体にジオテキスタイルを敷設し、補強対策とする工法などの研究を行っている。

6. 下水道施設の変形量を考慮した液状化対策工の設計法に関する試験調査

下水道施設の地震被害には多くの場合、液状化が関与している。特に、下水道マンホールの浮き上がり被害は2004年新潟中越地震でも頻発したが、本研究課題では下水道管路施設の液状化被害簡易予測手法および安価な対策工法、下水処理場池構造物の液状化対策工の設計法の提案を目指している。

下水道管路施設の液状化簡易被害予測手法については、既往の震害事例に基づき、地盤条件や構造物条件などの因子から簡易に予測評価する手法の構築を目指している。また、下水道管路施設に対する安価な対策工法については、埋戻し土に対する締固め、安定処理、砕石埋戻しを提案している。この成果は2003年十勝沖地震、2004年新潟中越地震の後の災害復旧において活用されている。下水処理場池構造物の液状化対策としては、矢板締切工法を対象として、その設計法を構築しようとしているところである。

7. おわりに

冒頭に述べたように、東海・東南海・南海地震などの海洋性大規模地震が近い将来に発生する可能性が高いことが公式に認められている。昨年には新潟中越地震が発生し、内陸性地震もどこでも起こり得ることを再認識させられた。今後発生する大きな地震に対する備えを続けていくことが必要であり、少しでも早く進捗させるためにも耐震補強技術の改良・改善を進めなければならない。