

## 論文の内容の要旨

論文題目 構造系転換による耐震補強工法の開発  
～地表面にスラブコンクリートを設置する杭基礎の簡易な耐震補強工法～  
氏 名 藤原 寅士良

本論文は、地表面にスラブコンクリート（以下、基礎スラブと称す.）を設置し、それを小径の杭（以下、基礎スラブ杭と称す.）により固定することにより、地震時における地盤と構造物の相互作用を積極的に利用する耐震補強工法の開発に関する研究について述べたものである。

従来の耐震補強工法の多くは、地震による作用に対して所要の性能を満たさない部材（Element）を直接的に補強する方法である。

また、所要の性能を満たさない項目が地震による作用のうち水平力であり、鉛直力に関して性能を満たしている場合に、既設部材を考慮しない補強設計を行う場合が多い。

一方、本論文にて、開発・研究を行った耐震補強工法は、地盤と構造物の相互作用を積極的に利用し、構造系全体（System）を転換することにより、所要の性能を満たさない部材に直接補強を行わず、既存部材の能力を最大限活用する耐震補強工法である。

換言すれば、本工法は、構造物全体系を転換（Structural System Transformation）し、既設構造物が有する冗長性（Structural Redundancy）を活用する耐震補強工法である。

本工法は、平成 16 年 10 月に発生した新潟県中越地震により、柱中間部を埋戻し土や基礎スラブにより拘束された鉄道高架橋が、地上部の柱でせん断破壊し地中部の柱には殆ど損傷を受けなかった被災例を分析し、埋戻し土や基礎スラブが地震時の構造物に作用する水平力を負担した点に着想を得ている。

結果として、杭部材の耐震補強が、仮土留め・掘削工事等を伴う直接的な杭部材の補強を行うことなく、地上部からの簡易な補強工事により実現する。

1995 年に発生した兵庫県南部地震以来、その後約 10 年の間に、三陸南地震、福岡県西方沖地震、新潟県中越地震、能登半島沖地震、新潟県中越沖地震等のマグニチュード 6.5 を超える大きな地震が頻発しており、社会資本を構成する構造物の耐震性に対する社会の要求が高まっている。

兵庫県南部地震以降、土木構造物の供用期間中に、非常に少ない確率ではあるが発生し得る強い地震動として、最大で約 2000gal となるスペクトルⅡレベル 2 地震動が設計地震動として設定された。旧運輸省は、兵庫県南部地震による大きな被害状況を鑑み、各鉄道事業者にせん断先行破壊すると考えられる高架橋および橋脚の柱部の耐震補強を進めるよう通達を出しており、各鉄道事業者は、新たに開発された技術を利用する等して、鋭意、柱部の耐震補強工事を進めてきている。

また、大地震時に鉄道・道路等のネットワーク機能を構成する構造物の一部が損傷した場合、そのネットワーク機能が停止、もしくは著しく低下し、地震後の早期復旧が困難となり社会に大きな影響を与える点が、新潟県中越地震を契機として指摘されている。仮に高架橋や橋脚の基礎部が損傷した場合、構造物全体に大きな塑性変形を生じさせ、復旧に多大な時間を要し、構造物が構成するネットワーク機能を著しく低下させることとなる。しかし、基礎部の損傷は、柱部の損傷と比較して構造物全体の崩壊に与える影響が小さい点、また、基礎部の耐震補強は掘削や薬液注入・地盤改良を伴うため高コストとなる傾向にある点から、構造物の大規模改修時にのみ検討される傾向にある。

そこで著者は、冒頭で述べたようなメカニズムに基づき、高架橋下等の限られた空間で大規模な設備を必要とせず、簡易に施工できる新しい既設基礎杭の耐震補強工法を開発、実用化するための研究を行った。本論文で対象とした既設杭基礎の耐震補強工法は、高架橋下に基礎スラブを設置し、基礎スラブを基礎スラブ杭で固定する方法であり、掘削作業を必要とせず、低空頭の高架橋下にも施工が可能な点を念頭においたものである。

本工法（以下、基礎スラブ工法と称す。）は、基礎スラブを地表面に設置し表層地盤の水平抵抗効果を高め、フーチング前面および基礎スラブ杭に構造物に作用する地震時水平力を負担させ、土中の杭基礎に伝達される地震時水平力を低減するメカニズムを有する、既設構造物の杭基礎を対象とした耐震補強工法である。

著者は、本工法の耐震補強効果について、遠心力載荷試験装置を用いた模型実験を行い検証した。具体的には、実在する RC 鉄道高架橋の 1/50 縮小模型を遠心場にて水平載荷し、フーチング前面に存在する地盤の水平抵抗効果、基礎スラブ設置による水平抵抗効果、基礎スラブ杭設置による水平抵抗効果について実物大実験を模擬して定量的に把握した。本実験により、基礎スラブを設置することにより、フーチング前面の水平抵抗力が増加する点や基礎スラブ杭により基礎スラブを固定した場合、杭の耐震補強効果が向上する点が確認された。

次に、著者は、本工法における、地盤、基礎スラブ杭の水平抵抗力負担割合、また、基礎スラブ設置による地盤、基礎スラブ杭の水平抵抗力増加割合について、遠心力載荷試験装置を用いた模型実験を行い検証した。具体的には、フーチング模型のみを遠心場にて水平載荷し、実物大実験を模擬して、地盤、基礎スラブ杭の水平抵抗力負担割合、また基礎スラブ設置の効果を定量的に把握した。本実験により、基礎スラブ設置によるフーチング前面地盤の水平抵抗の設定方法、および、基礎スラブ杭設置によるフーチング前面地盤の水平抵抗の設定方法について、既往の研究成果と比較して提案した。

次に、著者は、本工法の一般的な鉄道高架橋の耐震補強設計方法について提案を行った。具体的には、耐震補強効果を検証した実験結果と骨組解析結果を比較することにより、耐震補強設計を行うモデル化の方法を提案した。提案した方法は、基礎スラブ構造のみの静的非線形解析結果による荷重－変位関係から模した地盤バネを基礎スラブバネとして設定し、全体の構造フレームに挿入し解析する簡便な方法である。なお、提案した設計方法の

妥当性は、実験結果と設計計算結果を比較することにより検証した。更に、実在する RC 鉄道高架橋の杭基礎に対して、本工法を用いた場合の耐震補強計算を実施し補強方法を示した。

現在、東京－上野駅間において東海道線と東北線を相互直通運転化するために、神田駅付近において新幹線高架橋の直上および旧 RC 鉄道高架橋の直上に新たな高架橋を建設するプロジェクト（東北縦貫線プロジェクト）が推進されている。

このプロジェクトにおいて、本工法は、既設高架橋の杭基礎の耐震補強工法として用いられることが計画されており、鉄道高架橋の耐震安全性の向上に、本研究が少なからず寄与できた。今後とも、本工法の採用、あるいは、より効果的な補強工法を開発・採用することで、可能な限り耐震補強を進め、鉄道構造物全体の耐震安全性を向上させていく必要がある。