

地盤改良を併用した杭基礎の耐震補強に関する研究

木村 亮^{*1}

1. はじめに

日本に現存する既設橋梁約 70 万のほぼ半数は築後 40～50 年の高度経済成長期に架橋されたものであり、その中には老朽化が著しく進行し耐震性が過小なものも多く認められている。今後切迫が懸念される東海・東南海・南海および人口集中首都直下などの大規模地震に対する橋梁防災・被災軽減は、喫緊の課題である。このため 1995 年兵庫県南部地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震などの教訓を踏まえ、2013 年に国土強靱化基本法が制定され既設橋梁などの公共構造物の防災対応は国策となった。加えて、2014 年 6 月 21 日に国土交通省よりインフラ長寿命化計画が示され次世代インフラ構築・地方創生が掲げられた。すなわち、所要の耐震性能を確保させるための既設橋梁の補強・補修対応は、今後の社会資本整備として必須と考えられる。

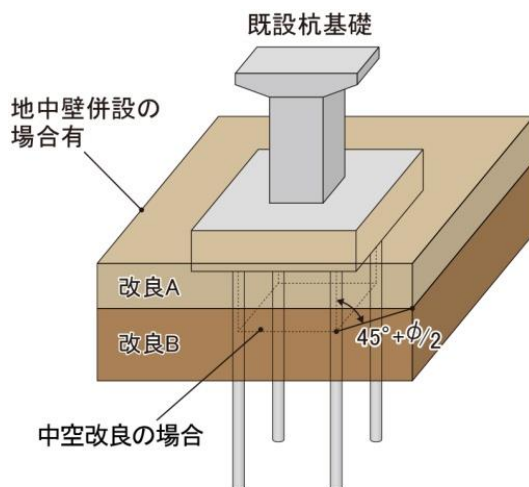
現在、既設橋梁の耐震補強・補修は上下部工対策や落橋防止設置を国策として先行実施されている。この際に 損傷や劣化が著しい場合には橋梁の架替えに至る事例もある。ただし、既設杭基礎に適正な健全性の調査法・診断法や求める耐震性が不明瞭なことなどの事由より補強対策がほとんど施されていない実態にある。杭基礎は下部工に対して一般に先行破壊をするケースは少なく、地震時再診断の結果ダンパー設置や受働土圧を考慮することで耐震補強が不要とできる場合が多くあるからでもある。ただし、橋梁はトップヘビーであるため超軟弱地盤や液化状地盤では上下部工の補強のみでは根本的な橋梁全体の耐震補強対策とはならず、逆に躯体荷重増加で既設杭基礎に負荷を与え地震時に橋梁全体系の機能を損ねる懸念もある。特に既設のパイルベント杭基礎・木杭基礎などでは耐震性が劣るものがあることを関係機関が指摘している。

2. 地盤改良を併用した杭基礎の耐震補強工法の開発

既設杭基礎の既往の耐震補強技術には、①フーチング補強、②増杭、③地中連続壁増設、④鋼管矢板基礎増設、⑤ケーソン基礎増設などがある。ただしこれらの耐震補強は既設基礎が複合構造体となるため、明瞭な異種基礎としての設計照査法が体系化されているとは言いがたい。

増杭は従来からの代表工法であるが、土工の埋め戻しなどが当然伴うため交通を供用しながらの施工は非常に困難となる。そこでせん断強度が過小な超軟弱地盤や液化化地盤中の既設杭基礎の耐震補強技術として、杭周辺に地盤改良体を併設する新しい耐震補強工法（以下、コンボジットパイル工法）を研究開発した。本工法は増杭などのように補強材と既設基礎を一体化させる従来手法とは異なり、既設杭基礎の周辺地盤を改善し地盤反力の増強を図ることで大規模地震時の杭応答つまり地震時の橋梁変状を抑制する手法である。

コンポジットパイル工法の概要図を図-1 に



1. 改良A—フーチング基礎部
改良B—深さ $1/\beta$ かつ軟弱層・液状化層
2. 全改良または中空改良(点線表示)
3. 全改良または地中壁併設(鋼矢板Ⅱ型)

図1 地盤改良を併用した杭基礎の耐震補強工法
(コンポジットパイル工法)

示す。既設杭基礎の近接部地盤改良は低変位型工法で実施するため、サンドコンパクションパイル工法などと異なり既設杭基礎を施工時に変状させる懸念はない。コンボジットパイル工法の地盤改良体の改良範囲は、図示したように杭特性長 $1/\beta$ かつ軟弱層および液状化の深さから受働土圧 $45^\circ + \phi/2$ （内部摩擦角 ϕ は一般に無視）の勾配で立ち上げた三次元範囲とする。地盤改良は地中部（改良 B）およびフーチング基礎から上部（改良 A）を一体化施工できるのが特徴である。フーチング基礎部で地盤改良により受働土圧も期待できる。この際に、フーチング基礎直下の地盤改良が困難な現場条件では一部不施工の中空改良とする。中空改良としても地震時のせん断変形が抑制され、液状化時の過剰間隙水圧は拘束できる。

改良範囲を狭くする必要がある現場条件や仮締切りを必要する場合には、改良体側面に地中壁（鋼矢板 II 型）を併設する。本工法の超軟弱地盤や液状化地盤中の杭耐震補強効果は実験・数値解析で検証済みである¹⁾。改良体は地震後に自然地盤と同様の抵抗特性継続が必須であるが、変動係数・剛性変化・塑性率を検証し、変形性能に応じた改良強度設定および施工前後の剛性確認による保有耐力照査を義務化している。

本工法は増杭に対して、土工・フーチング施工が不要なため約 4 割のコスト縮減ができる。さらに最大の利点は、従来工法は市街地・立体交差などの橋梁では補強施工は不可能な場合が多いが、本工法は桁下低空頭（2m 以上）などの厳しい施工制約を受ける現場環境・地形・地質での実施が可能であり、工期の短縮化が図れると伴に現況交通への影響を最小限に抑えることが可能となる。既設杭基礎の耐震補強は実施の有無も含め、性能目標である限界状態などの設定で異なる。杭基礎は地震時に損傷を限定的なものに留めることが望ましいとすれば、液状化などを考慮することなく震度法のみで設計された旧橋杭基礎の補強・補修方法の確立を図ることにより、今後も更なる社会インフラ整備の防災対応を進めていくことが重要と考える。

3. 謝 辞

本研究は、株式会社 不動テトラの助成により実施されたものである。関係各位に対し、ここに記して謝意を表す。

発 表 論 文

- 1) 富澤幸一・木村 亮：既設杭の軟弱地盤および液状化地盤における耐震補強技術，第 59 回地盤工学シンポジウム論文集，CD-ROM，2014.