

既設構造物基礎の耐震補強フロー

富澤 幸一* 西本 聡**

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震による被災経験を契機として、周知のとおり、橋梁には地震時における所要の耐震性能の確保が求められている。道路橋ではその耐震性能の目標として、安全性・供用性・修復性を掲げている。具体的には、地震動レベルや橋梁の重要度に応じて、耐震性能1「地震によって橋としての健全性を損なわない性能」・耐震性能2「地震による損傷が限定的なものにとどまり橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能」・耐震性能3「地震による損傷が橋とし致命的とならない性能」の3段階のレベルが設定されている¹⁾。つまり、耐震性能として橋梁に、小中規模地震(レベル1地震動)では無損傷であることを求めているが、大規模地震(レベル2地震動)では復旧が速やかに行える程度の変形と損傷を許容している。この耐震性能の目標は、橋梁の一部である基礎に対しても同様と解釈される。

そのため、既設構造物基礎については、後述する事由より、耐震性能の確保や地震後の対応も含めて、現場条件に応じた耐震補強対策を講じる必要があると考えられる。そこで、本報では現場に則した実務者のための、既設構造物基礎の耐震補強フローを示した。

2. 基礎耐震補強の必要性

北海道内の国道には約3700の既設橋梁が存在する。この内の約半数は1955年～1973年の日本の高度成長期に架橋された築後約50年の橋梁であり、この中には、老朽化が進んだものやレベル1地震動に対する震度法の耐震設計のみがなされ、現行設計法¹⁾が定めるプレート境界型(タイプI地震動)および内陸直下型(タイプII地震動)のレベル2地震動に対する耐震性能を、必ずしも十分に確保していないものも多くあると想定される。

そのため、平成17年度から平成19年度にかけて、緊急輸送道路の既設橋梁のうち、落橋や倒壊の恐れのある橋梁に対し耐震補強対策が国の施策として行われ

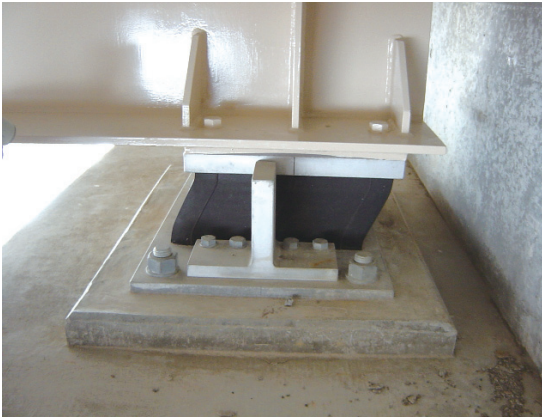
た。平成20年度以降についても、耐震性が不十分な橋梁については、随時既設橋梁の耐震補強が実施されている。ただし、それは主に橋梁上部工および下部工躯体が主体であり、既設構造物基礎については全国的に耐震補強対策がほとんど行われていないのが実態である。

基礎は地中にあるため地震時の損傷を見極めることが非常に難しく、基礎の損傷が上部工に与える影響は必ずしも大きくないという議論もある。また、基礎の耐震補強対策には一般には多大な予算を要し、構造物基礎は耐震設計上(主たるまたは副次的)塑性化を許容しているのも事実である¹⁾。

しかしながら、橋梁は一般に下部構造に比べて上部構造が重いいわゆるトップヘビーであるため、地震時に基礎の耐震性能が不十分な場合には上部工・下部工の応答変形も過大となり、その結果、橋梁全体の耐震性を著しく損なう可能性がある。また、一般に基礎の降伏耐力は下部工躯体の降伏耐力を上回っている場合が多いが、躯体の耐震補強をすることでその負荷が構造物基礎に作用する危険性もある。

そのため、既に変状をきたし明らかに耐震性が不足している場合や老朽化・損傷が認められるものなど、現行の道路橋が定める耐震性能を確保していない既設構造物基礎については、必要に応じて耐震補強対策を講じ、地震時の保有水平耐力を向上させる必要があると考えられる。

写真-1に2003年に発生した十勝沖地震の際に、既設橋梁の周辺で発生した液状化現象およびそれに伴う杭基礎の変状事例を示した。写真上より、液状化現象による噴砂跡が確認される。写真下より、液状化現象の流動荷重により既設杭基礎が前趾側に変状したため、ゴム支承が内側に大きく変形していることが分かる。液状化現象が生じた場合には基礎の水平地盤反力が過小となるため、増し杭などで基礎の剛性を上げても根本的な対策工とならないことから、本現場では既設基礎の周辺地盤を固化する対策が講じられている。また、2011年3月11日に発生した東日本大震災は継続時間の長い地震動が特徴の一つであるが、比較的小さ



写真－1 2003年十勝沖地震による
液状化現象・基礎の変状

な地震動で液状化現象が生じた事実もある。

そのため、橋梁を安全に供用させるためには、目標とする構造物基礎の耐震性能を現場状況により適切に設定し、地盤性状を考慮した合理的な耐震補強技術の確立を急ぐ必要がある。その対応は、今後の構造物基礎の性能規定設計法を運用する際も、不可避と考えられる。

3. 基礎の耐震補強技術

既設構造物基礎の耐震補強にあたっては、前記したように現行設計法¹⁾が定める耐震性能が不足しているものを前提に、以下の2点を検討すべきと考えられる。

- ①基礎の耐力および変形性能が著しく小さいもの
- ②液状化に伴う流動化が生じるもの

この際、耐震補強の検討にあたっては既設構造物基礎の耐震性能のレベルに加えて、橋梁の重要度や道路ネットワーク機能などについても十分に考慮する必要がある。なお、耐震補強以外に老朽化や洗掘などによる水平地盤反力が低下したものに対して、基礎の補修・補強が必要となる場合もある。

また、構造物基礎の耐震補強技術の基本的な考え方

は次の方法に大別される²⁾。

①基礎の耐力を増加させる方法

この方法には、既設構造物基礎に新たな構造部材を付加し基礎の耐力を向上させる手法と、基礎周辺地盤のせん断強度を地盤改良工法などで増加させる手法がある。

②良質な地盤に地震時荷重を伝達させる方法

この方法は、支持層への既設構造物基礎の根入れを確認し、必要に応じて増し杭などを行う手法である。

③基礎周辺地盤の液状化によるせん断強度低下を防止する方法

この方法には、間隙水圧の増加を抑制する手法と、矢板などを併設して地盤のせん断応力およびせん断ひずみを減少させる手法がある。

上記方法の代表的な耐震補強技術は、概ね以下と考えられる。

- ・フーチング補強
- ・増し杭
- ・地中連続壁増設
- ・鋼管矢板基礎増設
- ・ケーソン基礎増設
- ・碎石置換工
- ・地盤固化処理 など

ただし、耐震補強は既設構造物基礎との複合構造体となる場合が多いが、明瞭なそれぞれの設計照査法が体系化されていない。また、交通を供用しながらの具体的な施工管理法についても整備されていない実態にある。そのため、耐震補強を実施する際には、その補強技術別の実現場をモデルにした実験・数値解析により、その妥当性を詳細に検証することが望ましい。

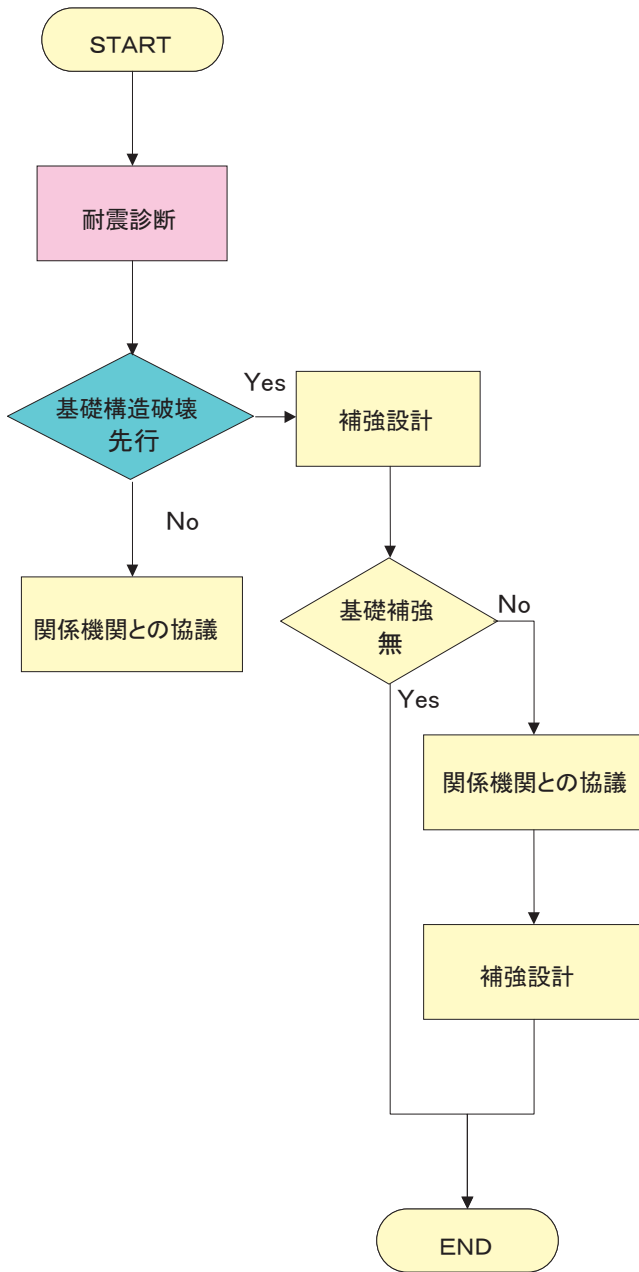
今後、種々の既設構造物基礎の耐震補強技術の安全性の判定として、例えば、設計水平震度・せん断耐力・応答塑性率などの設計指標や非線形動的特性を考慮した適正な構造モデルを示すべきと考えられる。

4. 既設構造物基礎の耐震補強フロー

(独)土木研究所寒地土木研究所 寒地地盤チームでは、前記した既設構造物基礎の耐震補強の必要性を考慮し、実務者のための耐震補強フローを策定した。

図－1に既設構造物基礎の耐震補強フロー(耐震診断)を示した。このフローは既設構造物基礎の耐震診断をまず行い、補強設計により現有の耐震性能を検証することで、耐震補強の必要性を判定するものである。なお、本フローは、耐震補強の有無の決定は道路管理

既設構造物基礎の耐震補強フロー



耐震診断

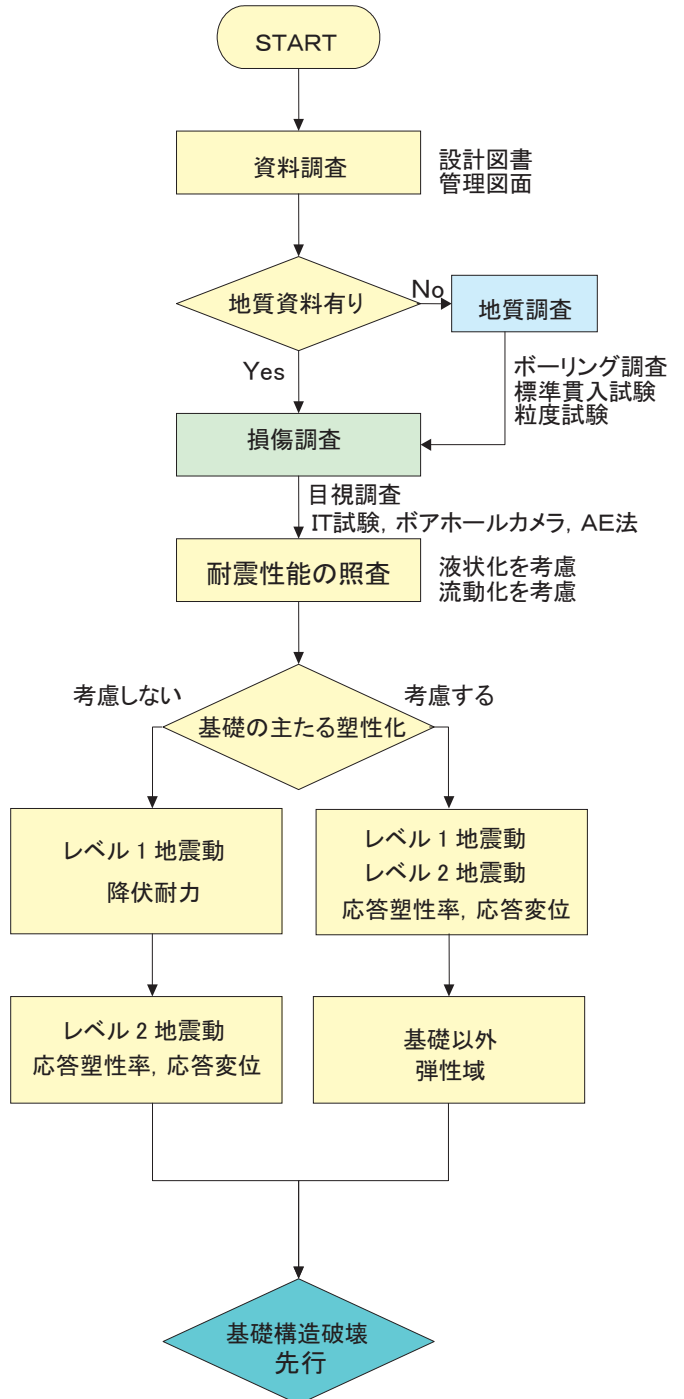


図-1 既設構造物基礎の耐震補強フロー(耐震診断)

地質調査

損傷調査

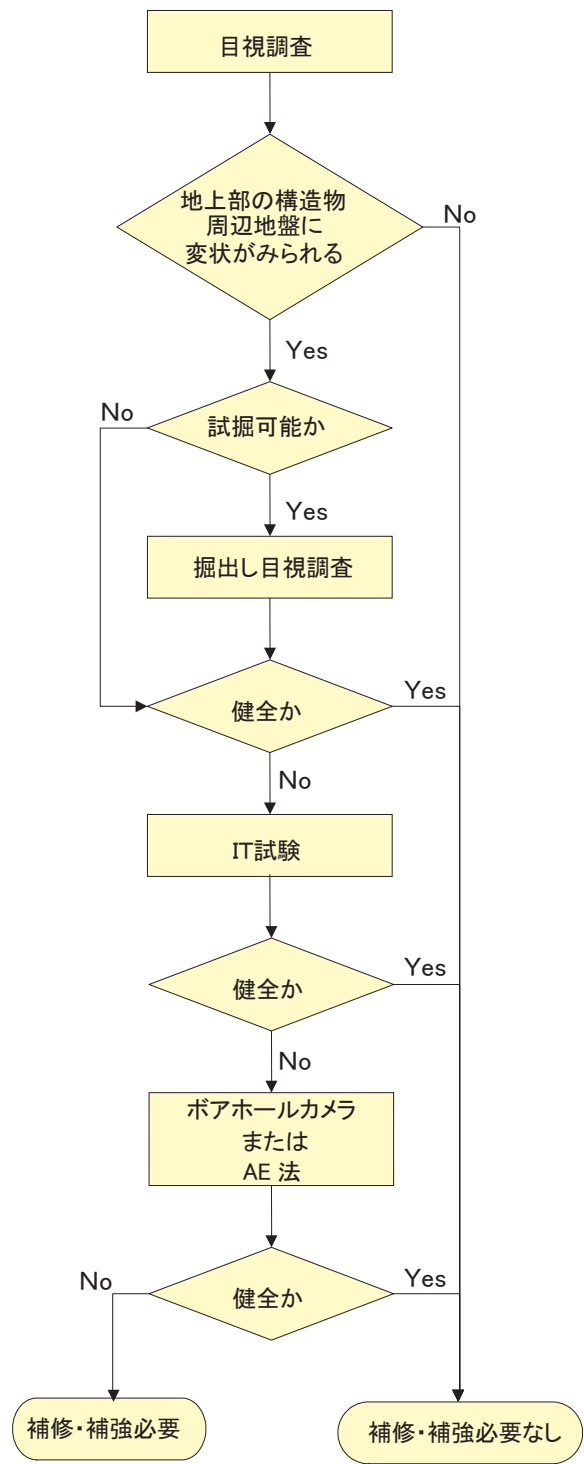
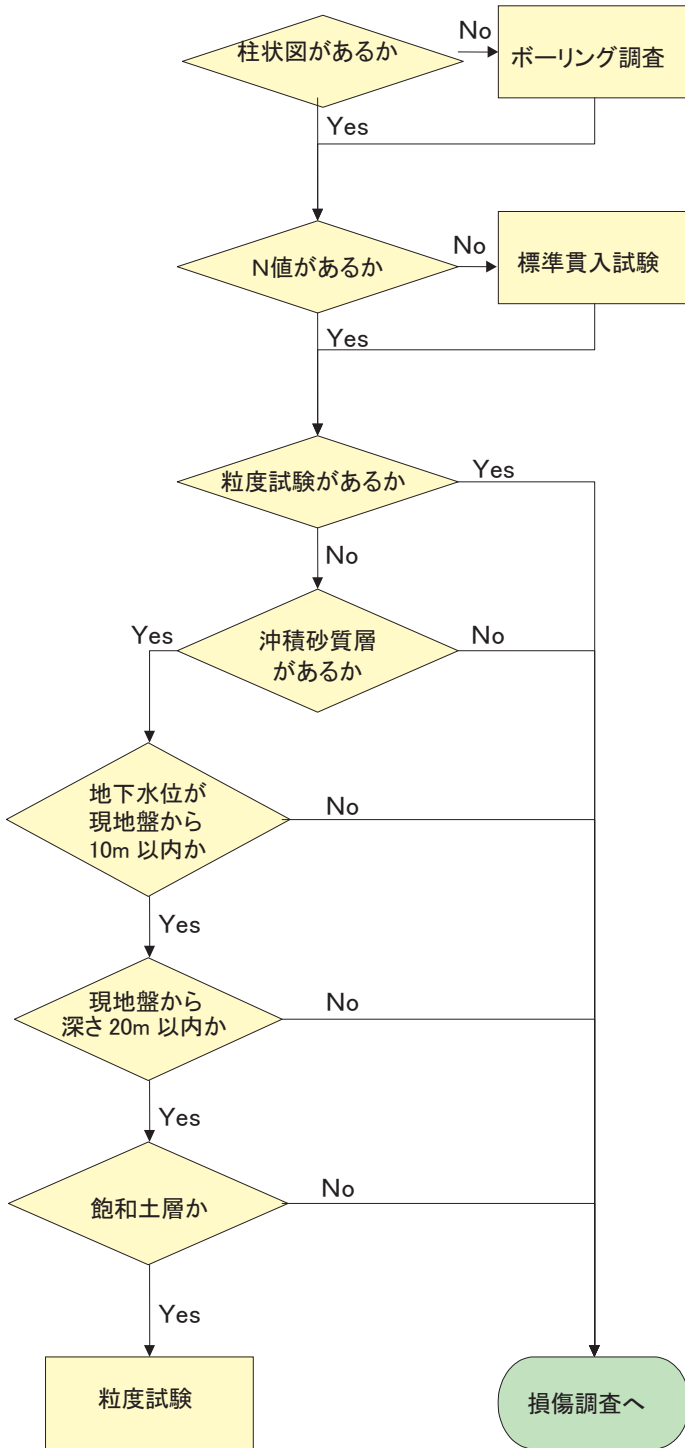


図-2 地質調査・損傷調査

者などの関係機関との十分な協議を前提としており、その意味では基礎以外の橋梁上部工および下部工躯体にも対応できるものとなっている

図には、既設構造物基礎の具体的な耐震診断を示しているが、このフローでは、既設構造物基礎の耐震性の判定は、地質調査と損傷調査を実務の主体としており、その結果を踏まえて、詳細な耐震性能照査を行うこととしている。ただし、この際のレベル1およびレベル2地震動に対する保有水平耐力照査は、下部工躯体と同様に、過大な耐震補強対策とならないように部材の許容応力ではなく降伏耐力の確保を念頭に置いている。照査の結果、フロー下にあるように、橋梁上部工および下部工躯体に対し基礎構造破壊が先行すると想定される場合には、既設構造物基礎の耐震補強が必要という判定となる。この際の地質調査と損傷調査の具体的な調査法を図-2のフローに示した。それぞれのフローによれば、地質調査は液状化判定が主体であり、損傷調査については、地上部は周辺地盤変状、地中部は試掘・ボアホールカメラなどによる既設基礎の目視での判定を行うことになる。

今後、以上の提案したフローを参考に、既設構造物基礎の耐震補強の必要性の有無を検討することが望ましい。具体的な補強技術については、関係機関との協議および実現場をモデルにした一連の解析を経て、前記した種々の工法より、求めるべき耐震性能を考慮し選定する必要がある。

5. おわりに

2011年3月11日に発生した東日本大震災のような大規模で継続時間の長い地震動や余震の繰返しの外力が作用した際の既設構造物基礎の耐震性能については、現行では十分に把握されているとは言い難い。そのため、今後、種々の地震動を考慮した既設構造物基礎の保有水平耐力を検証することが望ましいと考えられる。

(独)土木研究所寒地土木研究所寒地地盤チームでは、地震時における既設構造物基礎の地盤との相互作用に関する研究を推進し、一連の実験および数値解析より、基礎の固化改良体を併用する複合地盤杭基礎³⁾をベースに、他の工法と差別化を図った泥炭性軟弱地盤および液状化地盤に対する合理的な既設構造物基礎の耐震補強技術を提案する考えである。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、pp.1-228、2002.
- 2) (社)日本道路協会：既設道路橋の補強に関する参考資料、2000.
- 3) (独)土木研究所寒地土木研究所：北海道における複合地盤杭基礎の設計施工法に関するガイドライン、2010.



富澤 幸一*
Koichi TOMISAWA

寒地土木研究所
寒地基礎技術グループ
寒地地盤チーム
主任研究員
博士(工学)
技術士(建設・総合)



西本 聡**
Satoshi NISHIMOTO

寒地土木研究所
寒地基礎技術グループ
寒地地盤チーム
上席研究員
技術士(建設・総合)