

基礎の耐震補強法の性能検証に関する課題

谷本俊輔* 豊島孝之** 西田秀明*** 中谷昌一****

1. はじめに

地震後の震災復旧において重要となる安全性・信頼性の高い道路ネットワークの確保には、既設道路橋の耐震性向上が不可欠である。補強が必要な橋ひとつひとつに対して現行基準を満たすように着実に補強を進めていくだけでなく、大規模地震の切迫性が指摘されている状況も鑑みれば、地震直後の復旧活動に必要な広域的な道路ネットワークが機能するように、優先的に確保すべき経路に対して経路上の全ての橋に最低限必要な耐震補強を、スピード感を持って実施するという事も求められている。そこで、国土交通省では、平成17年に緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラムを策定している。このプログラムでは、緊急輸送道路上の橋梁に対して、過去の落橋で見られた主な損傷形態を分析した結果に基づいて、落橋に至るような致命的な被害を生じさせないための対策が優先的に行われた。例えば、古い年代に設計された鉄筋コンクリート橋脚の段落し部断面の巻き立て補強やけたかかり長の確保、落橋防止構造の設置などである¹⁾。

今後は、地震後の社会経済活動に与える影響を低減するためにも、緊急輸送道路上の橋について速やかに交通機能を確保できるように補強水準を向上させることや、未だ耐震補強が実施されていない緊急輸送道路以外の路線の橋への耐震補強の実施が課題となる。緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラムでは扱われなかった部材である基礎についても、基礎の損傷が地震後の交通機能の確保に大きく影響を与えると考えられるものから順に補強を行っていくことが考えられる。そこで、平成20年までに、土木研究所では、基礎の地震に対する脆弱性を簡易に判定し、補強優先度を判別するための方法を研究し、一次判定マニュアルとして提案したところである^{2),3)}。

しかし、実際に道路橋基礎の耐震補強を実施す

るにあたっては、施工環境、耐震性の不足度合い、補強の達成目標、既設橋梁の諸元や基礎形式など、様々な状況の組合せが想定されるため、諸条件に応じて適切な補強工法を選定することができるように、耐震補強の種類を充実させる必要がある。民間においても、様々な施工環境に対応できるように、増杭や地盤改良などの既存要素技術を活用した基礎の耐震補強工法が、それぞれを専門とする民間の開発者によって数多く提案されている。しかし、その補強原理が多種多様である一方で、性能や補強効果の検証が開発者任せになっており、その適用に当たっては道路管理者に非常に高度な技術判断が求められる。また、施工法の開発者は当該施工方法には精通していても、道路橋基礎の設計基準の根底にある性能の考え方や、背景・技術的根拠を十分に理解されておらず、開発技術の性能検証が道路橋基礎の設計基準に比べてなされていない恐れもある。このような現状では、道路管理者が、補強した結果が補強目標を満たしたかどうかを一定の技術的根拠をもって説明することが難しく、基礎の補強工法を適切に選択することができないということが懸念される。

そこで、土木研究所では、民間企業4社と共同研究「橋梁基礎の耐震補強技術の性能検証法の開発」(平成20~22年度)を実施している。本報は、共同研究の概要を紹介するものであり、道路橋基礎の各種耐震補強工法が検証すべき項目を整理した結果を述べる。

2. 共同研究の実施と各機関の役割

上述のように、耐震補強法はすでに多くの技術提案が産学からなされている一方で、どのような性能検証要件に対してどれだけの検証を重ねることが必要であるかが明確でないことが問題となっている。しかし、耐震補強の場合には、本当に大地震が起こらなければ効果が分からない面があり、事前にどれだけの検証を行う必要があるのかを吟味する必要がある。

また、基礎の耐震補強技術の開発は、課せられ

た適切なハードルの下に主として民間が行い、開発者がその努力に応じた利益を得るといった市場原理に委ねることが望ましい。ここでいうハードルとは、道路橋基礎の耐震補強に要求される性能水準とその検証水準を指す。このため、本研究の目的は土木研究所が主体となって適正な技術競争が可能な環境を整備することにある。

共同研究では、類似工法のグループ化、補強の基本原理解や基本的な設計の考え方、類似工法グループの中の個別の工法に課すべき性能検証項目や数量などを研究項目として取扱っている。すなわち、開発者が有する固有の工法を対象にした研究ではなく、いずれの開発者にとっても目標となる、必要な性能検証がなされたとみなせるためのハードルを設定するための共同研究である。

最終的には、平成22年度までに、道路橋基礎に関する各種耐震補強法に対して、補強効果や施工の確実性を含めた品質、耐久性、地震後の長期的な状態までも含めた、検証を要求すべき性能を評価・整理し、各補強工法グループに求める性能と検証方法や検証の観点を示すこと、施工環境や補強目標に応じた補強工法選定手法を提示することを目標としている。

3. 基礎の耐震補強法の分類

現在、基礎の耐震補強工法として様々な原理に基づくものが提案されている。そこで、課題の整理、性能検証法の開発等を今後進めていくにあたり、基礎の耐震補強法を表-1のように分類した。まず、基礎の耐震補強法は構造系補強工法と地盤系補強工法に大別することができる。さらに、補強原理に着目すると、5種類の中分類を設けることができる。中分類は、具体的な施工仕様等に基づいてさらに小分類に分けられる。小分類について

表-1 基礎の耐震補強方法の分類

大分類	中分類	小分類 (例)
構造系補強工法	構造部材の追加	杭の増設
		アンカーの増設
	部材の補強	拘束圧入
		矢板
仮想ケーソンの構築	矢板 + 固化	
	固化	
	地盤強化	
地盤系補強工法	液状化の抑制・防止	締固め
		せん断変形抑制
		排水
		注入固化

では、多くの場合には、多数の個別工法からなる。例えば、増し杭や固化改良、締固め改良等には、打設方法や材料など複数のものが提案されている。

ここでは、5種類の中分類について、図-1および以下に概要を示しておく。

(1) 構造部材の追加

既設基礎に杭やアンカー等の構造部材を追加する方法である。既設基礎の補強を前提とし、低空頭下における適用性に着目した工法が数多く存在する。低空頭下においても施工可能な杭工法としては、ロッド・施工機械を小型化したもの、部材を小型化したものなどがある。

(2) 基礎部材の補強

地上で橋脚に補強材を巻き立て、地中に圧入するなどにより、既設基礎の部材そのものを補強する方法である。今のところ、パイルベントやPCウェルなど、橋脚と基礎部材が一体型で断面形状や寸法が変わらないときに適用が限定される。

(3) 仮想ケーソンの構築

基礎周囲に矢板等の構造部材を増設、あるいは地盤固化改良し、基礎の部材として一体で挙動する仮想ケーソンを構築することで、地盤の抵抗面積を増加させ、地盤反力の増大を図るものである。補強により支持機構が大きく変化し、設計におけ

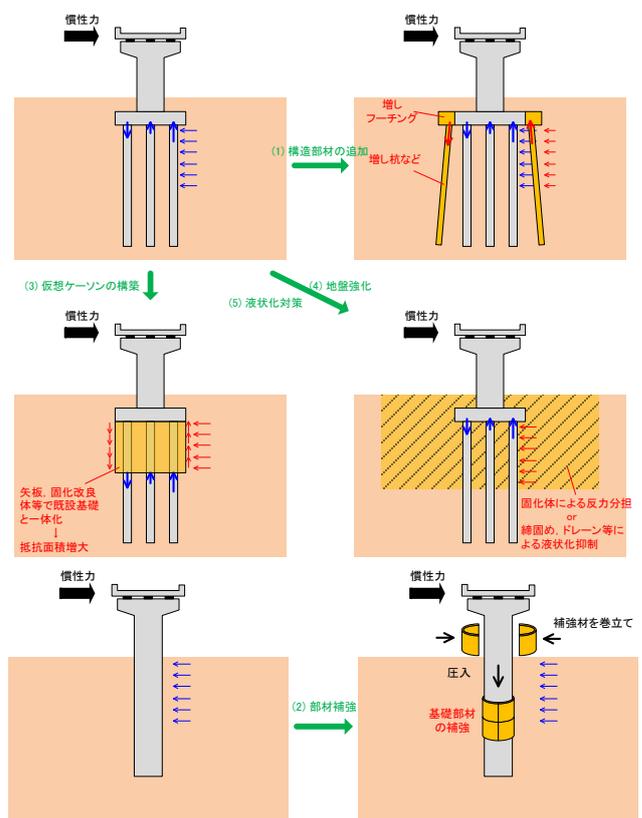


図-1 基礎の耐震補強法の例

る基礎形式の分類の変更を伴う。

(4) 地盤強化

杭基礎のような深い基礎であれば基礎周囲を、また直接基礎のような浅い基礎であれば基礎直下を主として深層混合処理等により固化改良することで、基礎からの荷重を改良地盤に分担させ、既設部材に対する見かけの地盤反力の増大を図る方法である。(3)との違いは、既設基礎と地盤改良体は一体として挙動するものでなく、設計上の基礎形式自体は補強前後で変わらないものと解される点である。

(5) 液状化の抑制・防止

地盤の液状化を防止あるいは抑制することにより、地震時における地盤抵抗の喪失を防ぐ方法である。地震時地盤せん断変形抑制工法（格子状固化改良）、締固め工法、ドレーン工法、注入固化工法等があり、これらは液状化対策工法と総称される。地盤を強化する方法とは、基礎の荷重を対策工自体に直接分担させるものではない点異なる。

4. 検証項目の整理

既設構造物の補強にあたっては、厳しい現場条件等のため、自ずと適用可能な工法が限定されることも少なくないと考えられる。この場合、技術の完成度が不十分であっても、限られたメニューの中からやむを得ず一つの工法を選択せざるを得ない場面も想定される。したがって、完成度が不十分な工法を排除するのではなく、それを認識しつつできるだけ優れた工法を選定していくという視点も必要となるものと考えられる。そこで、各工法が検証すべき項目として、現場条件に応じた工法の選定に関わる項目(A1)～(A2)と、補強効果の評価に関わる項目(B1)～(B4)、及び補強材料の

耐久性に関わる(C1)を区別して表-2に整理した。

施工時のトラブルや、補強前に比べて状況が悪化することは少なくとも避けなければならない。したがって、(A1)～(A2)が考えられる。

(A1)について、施工可能性という観点から、空頭や用地、施工ヤードといった空間的条件、騒音・振動等の環境的条件、施工を行い得る地盤条件（土質や硬さなど）等について、明確化が必要である。

(A2)については、施工時に既設基礎の支持力が低下し、既設構造物に変位が生じることが無いようにしなければならない。例えば、直接基礎の直下や杭基礎の周りに地盤改良を行う際に、一時的に一部の地盤を緩めることで、基礎に変位が生じることや、杭基礎であれば杭周面と先端の荷重分担が変わることなどが懸念される。これらの影響の有無を明らかにするとともに、影響がある場合はそれを事前に評価する方法を明らかにする必要がある。

(B1)としては、基礎天端に作用する荷重を、既設部材、追加部材、改良された地盤、改良されていない原地盤等のそれぞれにどう分担させるかが明確でなければならない。また、(B2)としては、これらが地震時にどのような形態で降伏あるいは破壊に至るかが明らかでなければならない。そして、(B1)と(B2)については、あらゆる荷重条件や地盤条件、基礎の諸元を想定して、地震中の補強効果の発揮のされ方から、地震後の再供用性を判断するためには地震後の支持機構の変化について、できる限り多くの載荷実験等による検証がなされる必要がある。(B1)で明らかにされた補強原理と、(B2)で載荷実験等により明らかにされた挙動の範囲で(B3)の設計法や得られる補強達成度が提案される必要があり、また、(B4)において適用範囲を

表-2 各種耐震補強法について検証すべき項目

検証項目	内 容
(A1) 施工可能な条件	施工を行うことのできる条件が明らかであるか。
(A2) 施工後の基礎の状態	施工時の地盤の乱れ等により、基礎の荷重分担に変化を及ぼさないか、あるいはその変化を事前に評価しうるか。
(B1) 補強原理	どのような原理で補強するものであるかが明確であるか。
(B2) 限界状態	補強された基礎がどのような過程、形態で降伏あるいは破壊に至るか。
(B3) 設計法	限界状態と関連付けられる工学的指標、基準値、計算モデルがセットで提案されているか。
(B4) 設計法の適用範囲	設計計算で想定した挙動が保証されるための前提条件が明らかであるか。
(C1) 耐久性	残存供用期間において、地震時の荷重伝達に支障を生じるような経年劣化等を生じないか。

明確にすることで体系化する必要がある。

また、補強のために使用した材料について、(C1)に示す耐久性についても配慮が必要である。したがって、材料の耐久性についても検証がされていることが望ましい。

ここで、(B4)についてももう少し詳しく述べておくと、例えば、精緻な設計計算を行ったとしても、設計で意図したとおりの施工ができない、あるいは出来型、品質を確認する方法がないということでは、そもそもどのような性能が担保されているかが分からない。また、十分な反力が期待できない地盤で仮想ケーソンを構築した場合、地盤反力が得られにくい一方で、構造の一部として地中に大きな重量が付加されることで、想定外の動的応答を示し、場合によっては補強により地震時の応答が大きくなる可能性もある。このため、必要に応じて施工品質や動的挙動等についても検証を行い、設計計算で想定した基礎の挙動を保証できる範囲を適用範囲として明示することが必要である。

橋梁基礎の設計法は、これまでここに挙げた全ての項目に配慮しながら、経験や実験も含めて、確実に性能を保証できる範囲で構築されてきている。そこで、土木研究所ではこれまでの設計法の構築のために行われた被災事例の分析や実験の方法について提示しながら、表-1の中分類ごとに、表-2の(B1)と(B2)のための実験で考慮すべき実験条件の設定方法を共同研究しているところである。今後、実験条件を明確にするとともに、実験を実施し、その結果を公表していく予定である。

5. まとめ

大地震の逼迫が指摘される中、本報で挙げたような基礎の耐震補強技術を早期に実用化すること

が望まれている。具体的な構造や設計・施工方法等に関する技術開発は民間の創意工夫に委ねられるが、それらが超えるべきハードルとして、要求性能や検証方法を体系的に整備することが必要である。

現在、各種耐震補強工法について課題を具体化するとともに、性能検証法の整理を行っており、補強工法の選定手法とあわせて検討を行っているところである。また、具体的な性能検証の例として、今後は可能なものから順次、検証のための載荷実験等を実施することとしており、これらについて、今年度末を目途にとりまとめる予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路、新幹線の橋梁の耐震補強の推進について、報道発表資料
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/06/060308_.html、2005.3.8
- 2) 中谷昌一、星隈順一、白戸真大、西田秀明、谷本俊輔、横幕清、豊島孝之：既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究、土木研究所資料、No.4168、2010
- 3) 豊島孝之、横幕清、谷本俊輔、白戸真大、中谷昌一：基礎の耐震性簡易判定法に関する研究、土木技術資料、第52巻、第7号、2010

谷本俊輔*



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター 研究員
Shunsuke TANIMOTO

豊島孝之**



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 交流研究員
Takayuki TOYOSHIMA

西田秀明***



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 主任研究員
Hideaki NISHIDA

中谷昌一****



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員、工博
Dr. Shoichi NAKATANI