

# 道路橋基礎の耐震性簡易判定法に関する研究

豊島孝之\* 横幕 清\*\* 谷本俊輔\*\*\* 白戸真大\*\*\*\* 中谷昌一\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

大地震の切迫性が指摘される昨今、より広範でかつ緊急的な補強の実施が求められ、道路ネットワークとして効果を発揮するような耐震補強計画が求められている。優先的に確保すべき経路を選定し、その区間に対しては、甚大な被害を防止し、最低限必要な交通機能を確保できるように耐震補強を実施するというものである。

この方針に基づき、平成17～19年度にかけて、国土交通省により『緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム』が着実に実施されてきたところである<sup>1)</sup>。高速道路上の橋梁および特定された緊急輸送道路上の橋梁に対して、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防止し、緊急輸送道路としての機能を確保すること、また、早急に耐震補強を進めることを目的としている。そして、このような要請のなか、平成18年に道路震災対策便覧（震前対策編）が改訂され、道路の耐震性確保の考え方が示されている。

道路橋の次期耐震補強の展開は、基礎の補強も当然考慮して議論されることになると考えられる。図-1に北海道と沖縄県を除いた各地方整備局が管理する国道上の橋長2m以上の道路橋基礎数と累計数の変遷を示す。1960年代に多くの道路橋基礎が建設されてきたことが分かる。この年代の基礎は、現行基準を満足していない可能性があり、耐震性能が相対的に低いと考えられ、現行基準を満足するように順次補強を行うことになる。将来の道路橋基礎の耐震補強プログラムの策定を念頭に置いた橋梁基礎に関する耐震補強の必要性の有無や補強優先度を判定する手法の整備を急ぐ必要がある。

そこで、筆者らは道路橋示方書（以下、道示）に定義されるレベル2地震動に対する既設道路橋の現行道示レベル相当への耐震補強の優先順位決定や橋梁の長寿命化計画策定に利用することを目

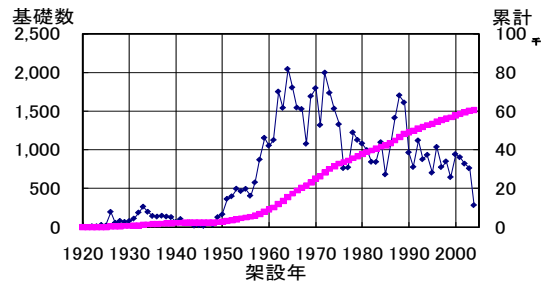


図-1 架設年毎の基礎数と累計数の変遷

的に道路橋基礎の耐震脆弱度を簡易に評価する手法をとりまとめた<sup>2)</sup>。

## 2. 既設道路橋基礎の耐震補強戦略

### 2.1 基礎に想定される損傷度レベル

「耐震補強3箇年プログラム」同様に、道路橋基礎に対しても補強優先度を設けた段階的な補強の実施を想定することにした。図-2に現行道示で設計された基礎（塑性変形性能に富む場合）と設計年代が古く部材が曲げひび割れの発生と同時にせん断破壊に移行する基礎（塑性変形性能がほとんどない場合）の荷重変位関係を示す。実際の基礎においては、この他にも構造条件や地盤条件に応じて様々な崩壊パターンが存在する。「基礎の安全性」、震後の特に緊急車両の通行に着目した「橋の供用性」及び「橋の短期修復性」の観点から基礎に想定される損傷度をI～Vの5段階で整理した。

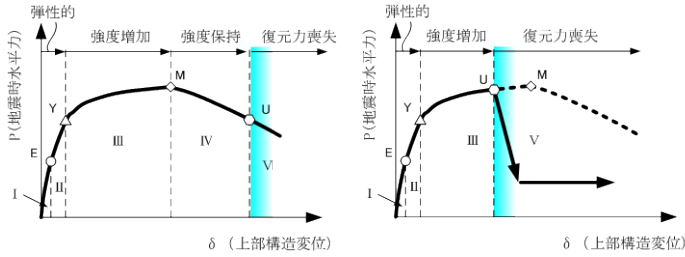
**損傷度I～II**：基礎全体系で弾性領域内にある軽微な損傷であり、一般車両が通行可能な状態。

**損傷度III**：基礎が最大強度点に達しておらず、修復がほとんど不要となる限定的な損傷であり、交通規制により一般車両が通行可能な状態。

**損傷度IV**：基礎が系としてポストピーク領域にある状態であり、復旧可能な範囲で致命的でない損傷であり、交通規制をバント設置等の応急復旧により緊急車両が通行可能な状態。

**損傷度V**：復旧困難となる致命的な損傷であり、車両は通行止め。

したがって、補強優先度を決定する上で、大地震

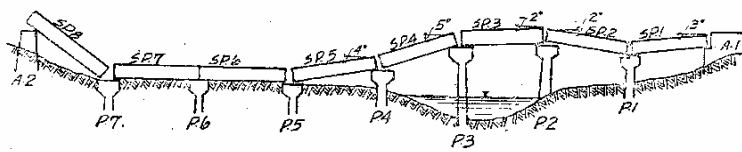


E: 各部材の弾性限界点、Y: 基礎全体の弾性限界点、M: 最大強度点、U: 終局点  
 a) 塑性変形性能に富む場合 b) 塑性変形性能がほとんどない場合

図-2 水平力—水平変位関係

表-1 基礎の損傷度と補強優先度の関係

	損傷度Ⅰ～Ⅲ 損傷度低い	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅴ 損傷度高い
橋の耐震性能	← 平成14年の道路橋示方書が要求する性能 →		
耐震補強の優先度	← 低い →	← 高い →	← 特に高い →



a) 基礎の支持力不足による落橋



b) パイルベント橋脚の被災



c) PHC杭のせん断破壊



d) 斜面崩壊による杭頭露出



e) 地すべりによる直接基礎橋台の沈下

写真-1 被災事例

において基礎に想定される損傷度が上述のⅠ～Ⅴのいずれに該当するか簡易に判定できるものが必要となる。表-1に基礎の損傷度と補強優先度の関係を示す。損傷度Ⅳ～Ⅴは、現行道示の橋としての機能を満たさないため早急な対策が必要となる。なお、補強優先度が高くないと判定されたものが補強不要であることを示したものではないことを断っておく。

## 2.2 被災事例及び設計基準の変遷調査

道路橋が安定であるために基礎に課せられた役割は、鉛直力を支持すること、上部構造からの水平力及び転倒モーメントを支持することに加えて、地震や風のような一時的な荷重に対しても上部構造や橋脚からの水平力や転倒モーメントに対して必要な復元力を与えることである。つまり、この要求性能を満たさない場合には、基礎の被害が原因で橋が安定を喪失する恐れがある。写真-1に地震によって基礎に生じた被災事例を示す。a)が当時の施工能力不足や技術レベルのため、支持層に

到達していない基礎での支持力不足により大きな沈下を引き起した事例、b)がパイルベント橋脚のようなフレキシブルな橋脚形式のため、液状化により水平支持力が不足し、大きな水平変位が生じ落橋した事例、c)がせん断補強筋の少ない既製コンクリート杭で杭頭部にせん断破壊が生じ、橋としての復元力を得られなくなった事例、d) e)は液状化（流動化含む）や風化斜面上、地すべり地帯の基礎などの地盤・地形条件により、地震による周辺地盤の不安定化によって常時の支持に不安が生じたものである。このように部材の脆性的な破壊により基礎に大きな残留変位が生じたり、地震後の周辺地盤からの抵抗力が低下する基礎は、大地震に対する安全余裕度が相対的に小さいと考えられる。

設計基準は被災事例や実験結果を踏まえて、随時見直されてきている。昭和46年の道路橋耐震設計指針で液状化に対する設計手法が整備され、これを機に液状化に対する耐震性が向上している。

昭和55年の道示では、せん断力に対する設計法が見直されている。平成7年の復旧仕様では、基礎に対しても橋脚柱同様に、地震時保有水平耐力法が導入され、耐力・変形性能が向上し現在に至っている。

### 2.3 既設橋基礎の耐震性評価

過去の被災事例から判断すると、現行基準を満足しない全ての基礎に対し耐震補強を実施することは必ずしも必要ではないと考えられる。そこで、既設道路橋基礎28基を対象に構造特性や設計基準に規定される構造細目の変遷を考慮した許容塑性率を新たに仮定した上で静的荷重漸増解析を実施し、各基礎に想定される損傷度をI～Vの5段階で評価した。試算結果と被災事例との関係と比較したところ、損傷度レベルは、基礎形式・地盤条件・設計年代の関係からパターン化できる。例えば、場所打ち杭の損傷度レベルであるが、試算の結果、液状化が生じない場合には設計年代によらず損傷度IV以下に判定される。液状化の影響を受ける場合には、液状化に対する設計が取り入れられた昭和46年の道路橋耐震設計指針で設計されたものは、損傷度IV以下となる。昭和46年より前に設計された基礎は、液状化時の周辺地盤に対する土質定数の低減係数 $D_E$ に応じて損傷度が異なり、 $D_E=1/6$ 以下となる場合には損傷度Vとなり補強優先度が高くなる。対象とした基礎のうち、ケーソン基礎は載荷実験<sup>3)</sup>を実施し、耐震性能を再評価した結果、損傷度IV以下となる。

## 3. 簡易判定マニュアルの整備

### 3.1 目的

上述の検討結果を踏まえ、マニュアルを提案した。図-3にその目次を示す。本マニュアルは地震時の安定性に著しく劣ると推定される既設道路橋基礎の概略把握に資することを目的としている。この中で、基礎形式や判定に必要な情報が入手できない場合など、耐震性が劣る可能性が高いがその程度を簡易に判別し難いと1次判定されたものについては、必要に応じて2次判定を行う必要がある。なお、提案したマニュアルでは具体的な内容を提案していないが、2次判定では構造諸元や地盤条件を考慮した復元設計、基礎の安定計算および地震時保有水平耐力法等による耐震性の照査を行うことを想定している。

第1章	目的
第2章	対象橋梁基礎と1次判定を行うために必要な情報
2.1	対象橋梁基礎
2.2	1次判定を行うために必要な情報
第3章	基礎に生じる損傷度の定義と工学的概念
第4章	1次判定の方法
4.1	判定の実施
4.2	判定フローの解説
第5章	調査票の記入及び解説
5.1	調査票の記入
5.2	調査票の解説

図-3 道路橋基礎の耐震性1次判定マニュアル(素案)の目次

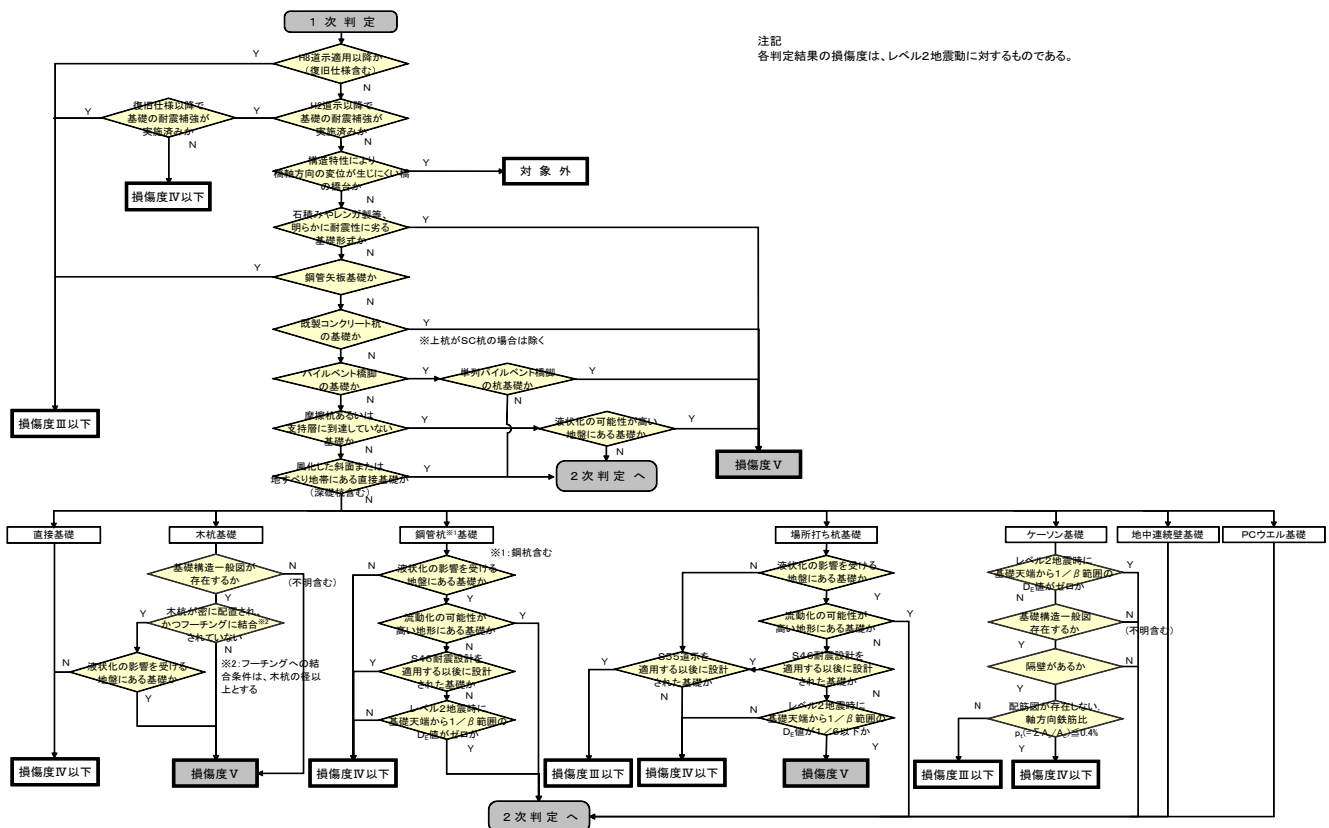
対象となる橋梁基礎は、復旧仕様より前に設計、または平成8年の道示を満足するような耐震補強がなされていない道路橋基礎である。ここで、1次判定に必要な情報は、平成8年の防災点検データベース、橋梁一般図及び基礎構造一般図、地質調査報告書またはボーリング柱状図である。

### 3.2 調査票の作成

調査票は、1次判定を行うために必要な各道路橋、各基礎の設計基準、基本諸元及び地盤条件等、耐震性の判定に必要な基本データ及び1次判定の経緯について記録を保存することを目的とした。このため、調査票は平成8年度に実施された防災点検データベースをもとに1次判定に必要な情報を追加する書式としている。

#### 3.3 1次判定フロー

1次判定に用いる判定フローを図-4に示す。調査票をもとにフローに従い判定を実施していく。判定は、第一段階として、対象となる橋梁基礎に対し適用された設計基準と橋梁の構造特性に応じて補強優先順位を設定する。第2段階としては、過去の被災事例や地盤・地形条件と設計年代が古く明らかに耐震性に劣る基礎形式について補強優先度が高いものを抽出する。第3段階として、各基礎形式に対し設計年代または液状化の程度など地盤条件に応じて損傷度を判定する。ここで、対象とする基礎のうち、古い年代に建設された橋梁では、液状化の判定に必要な土質調査資料が残っていないことが想定されるため、精度は劣るがボーリング柱状図をもとに簡易に液状化判定できる手法も提案し、マニュアルに示した。



注記  
各判定結果の損傷度は、レベル2地震動に対するものである。

図-4 基礎の簡易判定フロー (案)

4. おわりに

本マニュアルが、既設道路橋の現行道示レベル相当への耐震補強の優先順位決定や橋の長寿命化計画策定において、道路橋基礎の耐震性を簡易に評価する手法として大いに活用可能と考えている。

今後、損傷度判定結果を受けた基礎の耐震性向上策が必要となる。現在、基礎の各種補強技術に関する性能検証技術の確立に向け、民間企業と共同研究を実施しているところである 4)。

参考文献

- 1) [http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/06/060302\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/06/060302_.html)
- 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、第4168号、2010
- 3) 豊島孝之、張 広鋒、谷本俊輔、白戸真大、中谷昌一、大石雅彦、小滝勝美：大型模型載荷実験による既設ケーソン基礎の耐震性能評価、第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp.267～274、2010
- 4) 谷本俊輔、豊島孝之、西田秀明、中谷昌一：基礎の耐震補強法の性能検証に関する課題、土木技術資料、第52巻、第7号、2010

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

横幕 清\*\*



JFEスチール株式会社  
(前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  
Kiyoshi YOKOMAKU

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

白戸真大\*\*\*\*



国土交通省道路局企画課付  
(前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、工博  
Dr.Masahiro SHIRATO

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