

## V耐震設計編の改定と関連する調査研究

大住道生・岡田太賀雄

### 1. はじめに

本稿では、7月に改定された橋、高架の道路等の技術基準についてV耐震設計編（以下「V編」という。）の規定および従来の基準からの変更内容について主なものを紹介する。

### 2. V編の構成

V編はI編に規定される橋に要求される性能のうち、地震の影響に特有の事項およびそれを実現するための上部構造、下部構造、上下部接続部、およびそれらを構成する部材等に関する事項が規定されている。

V編の構成を図-1に示す。1章総則には設計の前提となる事項等が規定されている。2章には耐震設計の基本として、2.1に耐荷性能とその他使用目的との適合性を達成するために必要な性能（フェールセーフ）を求めることが、2.2以降に耐荷性能に関する基本事項、照査方法、考慮する状況（作用）、および状態（抵抗）の考え方が規定されている。3章および4章には具体的に考慮すべき作用の特性値、5章には構造解析手法が規定され、6章には地震の影響を考慮する状況における部材等の限界状態の設定の考え方が新たに規定されている。7章には地盤の液状化について、また、8章から14章には部材および構造形式ごとに特有の事項が規定されている。

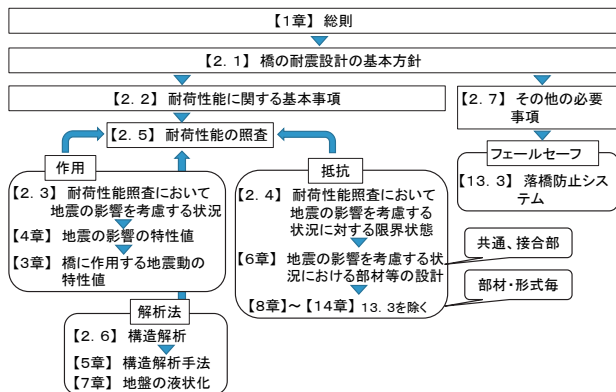


図-1 V耐震設計編の構成

なお、耐荷性能とその他使用目的との適合性を達成するために必要な性能が規定されたことに伴い、これまでの示方書で規定されていた「耐震性能」の概念は発展的に解消されている。「耐震性能」は、橋の供用期間中に発生する地震に対して、地震後に求められる機能を有している橋の状態を指す用語として用いられていた。今回の改定では、地震の影響を含む橋が置かれる状況に対して、橋があるべき状態にとどまることを所要の信頼性で実現できることが橋の耐荷性能と定義されている。

### 3. 架橋位置と形式選定において考慮する事項

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震や2004年インドネシア・スマトラ島沖地震においては、地震後に発生した極めて大きな津波により橋桁が流出する等の被害が生じた。また、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震においては橋の周辺で生じた大規模な斜面崩壊により、1999年に発生したトルコ・コジャエリ地震や台湾・集集地震では大規模な断層変位により、それぞれ落橋という致命的な被害が生じた。さらに、平成28年（2016年）熊本地震では、地震動の影響だけではなく、断層変位や斜面崩壊等の影響により、橋の通行機能を確保できなくなった事例が生じた。

津波、断層変位、斜面崩壊等の影響については、橋の設計に取り入れるために必要なこれらの事象の予測技術や影響の評価方法等が工学的に確立されておらず、設計計算で評価できる手法として確立されていない。また、設計で考慮する地震動に対して耐震設計された橋は、これらの事象に対してもある程度までは抵抗することができると考えられるものの、極めて大きな作用に対してまで抵抗することは困難であり、また、これらの極めて大きな作用には対策にも限界がある。

そのため、津波、断層変位、斜面崩壊等については、橋に作用する具体的な影響を評価する手法は規定されておらず、耐荷性能の照査の前提としてこれらの影響を受けないよう架橋位置又は橋の

形式の選定を行うことが標準的な対応となることが新たに規定されている。ただし、道路のような線状の施設では、やむを得ずこれらの影響を受ける架橋位置又は橋の形式となることも想定される。その場合には、少なくとも致命的な被害が生じにくくなるような構造とする等、地域の防災計画等とも整合するために必要な対策を講じなければならないと規定されている。

架橋位置の選定に際して断層変位を考慮する場合の手順を図-2に示す。ここで、断層変位のように不確実性の大きな事象に対しては、調査にも限界があり、不確実性を踏まえて対策を行うべきこと、橋の機能回復措置の方策を設計段階において考慮し、ソフト及びハードの両面から対策をとることも有効とされている。

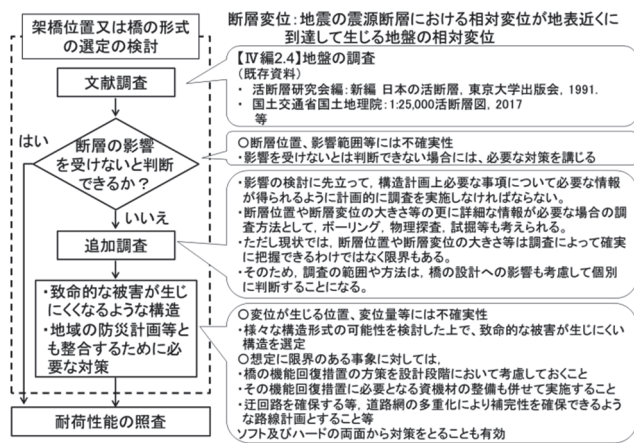


図-2 断層変位を考慮する場合の手順

#### 4. フェールセーフ

上下部接続部に支承を用いる場合、耐荷性能を確保した上で、仮に支承部の破壊を想定したとしても、下部構造が不安定とならず、上部構造を支持することができる構造形式とすることが新たに規定されている。これは、熊本地震において、両端が橋台で支持され、中間支点が水平力支持機能を有さず、かつ水平方向の拘束が失われると自立できない構造であるロッキング橋脚で支持された橋が、図-3に示すように橋台上の支承部の破壊により水平力支持機能を失い、上部構造の落下に至った事例が生じたことを教訓に規定されている。支承部に破壊が生じたとしても上部構造の落下に対する安全性を高めるという観点から、これまでの示方書でも、下部構造や落橋防止システムについて規定されてきた。これらは、地震の影響

により橋を構成する部材に破壊が生じるような状態となったとしても、少なくとも、下部構造は自立して安定を失わず最低限上部構造を支持する状態を確保できることが前提条件とされてきており、今回の改定では、この設計思想が明確化されている。

また、落橋防止システムについては、橋軸方向、橋軸直角方向、水平面内での回転方向のそれぞれの方向に対して独立して働くシステムから構成されることが規定されている。これに伴い、橋軸直角方向に対しては、橋軸方向に準じて算出される必要桁かかり長を確保する必要があることが規定されている。

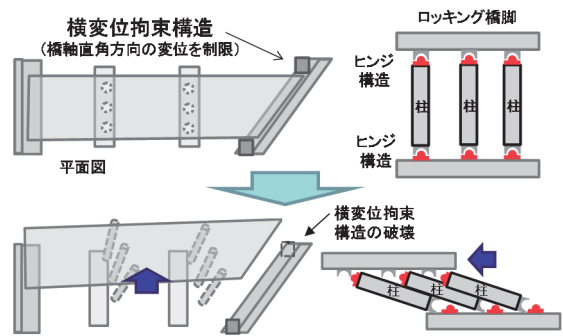


図-3 ロッキング橋脚を有する橋梁の落橋メカニズム例

#### 5. 解析手法

慣性力による応答値の算出にあたっては、動的解析を用いることが標準とされ、あわせて静的解析は適用できる条件が規定されている。これまでの示方書では、地震時の挙動が複雑ではない橋に対して静的解析を用い、地震時の挙動が複雑な橋に対して動的解析を用いることが規定されていたが、今回の改定では、橋の地震応答の評価に動的解析が一般的に用いられるようになっていることを踏まえて動的解析による照査を標準とし、地震時の挙動が複雑ではない橋に対しては、静的解析による照査を行ってもよいとされている。

#### 6. 接合部

部材に接合部を設ける場合、接合部を有する部材を一つの部材として所要の耐荷性能を発揮させることができるためには、接合後の部材全体としての限界状態とその一部である接合部の限界状態の関係が適切に制御されている必要があることが規定されている。接合部の設計の考え方は、基本

的に各編と同様であるが、地震の影響を考慮する場合には部材の限界状態の設定の考え方と同様に、載荷の繰返しの影響を適切に考慮したうえで、接合部の限界状態や限界状態と関連付けられる特性値及び制限値を設定する必要がある。

### 7. 液状化

液状化の判定法が部分的に見直された。東北地方太平洋沖地震における液状化の実態に基づき、新たな地盤調査・室内試験データを数多く取得し、図-4に示すように細粒分を含む砂の液状化強度式が見直された<sup>2)</sup>。液状化が生じた場合の地盤反力係数等について、より合理的な評価が可能となっている。

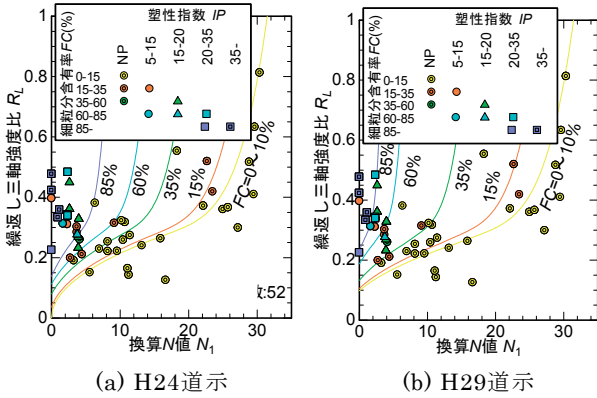


図-4 試験データと新旧液状化強度式

### 8. 限界状態、特性値、制限値

V編では、地震の影響を考慮する状況において、部材等の塑性化を期待する場合の限界状態2及び限界状態3が規定され、また各限界状態に対応する特性値、制限値が設定されている。ここでは、それらの指標として具体的に示された鉄筋コンクリート橋脚と鋼製橋脚の塑性変形能について紹介する。

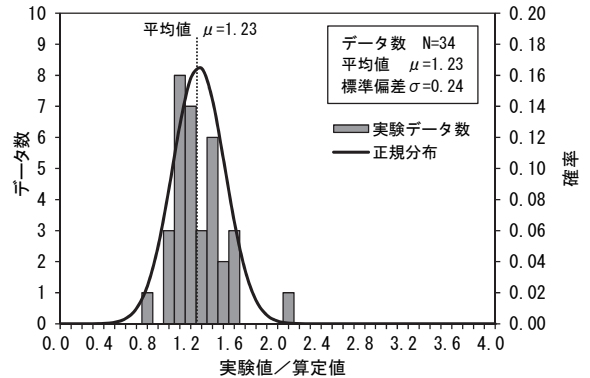
#### (1) 鉄筋コンクリート橋脚

鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形能の特性値は、実験結果<sup>3)</sup>と限界状態に相当する水平変位の算定値との関係を考慮して設定された。表-1に鉄筋コンクリート橋脚の限界変位の実験値と算定値を比較した結果の統計値、図-5に統計値の頻度分布を示す。ここで、鉄筋コンクリート橋脚の各限界状態は、最外縁の軸方向引張鉄筋位置において軸方向鉄筋の引張ひずみが鉄筋コンクリート橋脚の各限界状態に相当する引張ひずみに達するとき又は

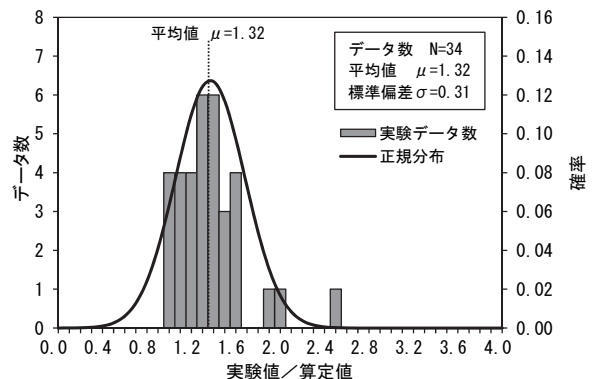
最外縁の軸方向圧縮鉄筋位置においてコンクリートの圧縮ひずみが限界圧縮ひずみに達するときのいずれか先に生じるときの状態としており、表-1にはそれら限界ひずみ別の統計値も記載している。鉄筋コンクリート橋脚の各限界状態に相当する水平変位の特性値には、補正係数1.3を乗じることとされているが、これは実験結果が水平変位の算定式を1.3倍程度上回ったことを考慮し設定されたものである。また、水平変位の算定式のもつ不確実性等を考慮し、これまでの示方書による場合と概ね同等の安全余裕が得られるように、各限界状態に対応する制限値が設定されている。

表-1 鉄筋コンクリート橋脚の限界変位(実験値/算定値)の統計値

限界変位	鉄筋コンクリート橋脚(限界状態2)			鉄筋コンクリート橋脚(限界状態3)		
	全体	鉄筋の限界引張	コンクリート限界圧縮	全体	鉄筋の限界引張	コンクリート限界圧縮
データ数	34	28	6	34	18	16
平均値	1.22	1.19	1.38	1.32	1.23	1.42
標準偏差	0.24	0.20	0.36	0.31	0.18	0.40
変動係数	0.20	0.17	0.26	0.24	0.15	0.28



(a) 限界状態2(全体)



(b) 限界状態3(全体)

図-5 鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形能の頻度分布

#### (2) 鋼製橋脚

鋼製橋脚の塑性変形能の特性値は、実験結果と鋼材及びコンクリートの応力度-ひずみ曲線並び

に鋼材の限界ひずみを用いて算出した変位の算定値との関係を考慮して設定されている。例として表-2にコンクリートを充填しない鋼製橋脚の限界変位の実験値と算定値を比較した結果の統計値、図-6に統計値の頻度分布を示す<sup>4),5)</sup>。コンクリート充てんの有無に関わらず、鋼製橋脚の各限界状態に相当する水平変位の特性値には、補正係数1.3を乗じることとされているが、これは実験結果が水平変位の算定式を1.3倍程度上回ったことを考慮し設定されたものである。また、水平変位の算定式のもつ不確実性等を考慮し、これまでの示方書による場合と概ね同等の安全余裕が得られるように、各限界状態に対応する制限値が設定されている。なお、これまでの示方書では、上部構造慣性力作用位置での鋼製橋脚の塑性変形能を算定するにあたって、鋼材の曲げモーメント-曲率関係及び許容ひずみが規定されていた。今回の改定では、曲げモーメント-曲率関係から算出される変位量と実験結果から得られる変位量とを比較し、その結果得られた算定式のばらつき等が考慮されている。

表-2 鋼製橋脚の限界変位(実験値/算定値)の統計値

限界変位	コンクリートを充てんしない鋼製橋脚
データ数	19
平均値	1.27
標準偏差	0.18
変動係数	0.14

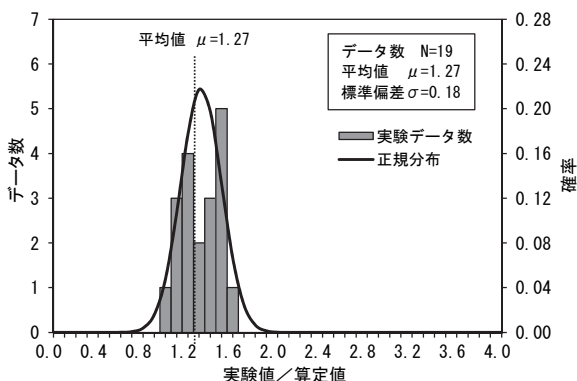


図-6 コンクリートを充てんしない鋼製橋脚の塑性変形能の頻度分布 (限界状態2)

## 9. おわりに

熊本地震では道路橋も被害を受けたが、地震動の特性値は従来の値が踏襲されている。これは、熊本地震で観測された地震動の加速度応答スペクトルの検証を行った結果、従来のレベル2地震動

タイプIIと同程度と評価されたこと、及びレベル2地震動タイプIIが導入された後の基準を適用して設計された道路橋の被害状況が分析された結果、ほとんどの橋は性能を満足しており、性能を満足しなかった橋の被害は地震動の影響だけでなく地盤変状に伴う下部構造の移動の影響が加わって生じた被害であると評価されたことによる<sup>6)</sup>。

V編では、塑性化を期待する部材等の制限値等の設定根拠に土木研究所等の研究成果が用いられた。また、地震被害等を踏まえ、新たに架橋位置と形式選定において考慮する事項等の規定が拡充された。しかし、地震の影響についてはまだ十分には解明されておらず、限られた知見をもとに設計を行っているということに変わりはない。引き続き安全な道路橋を経済的に実現するための手法などについて、研究開発を行っていく予定である。

## 参考文献

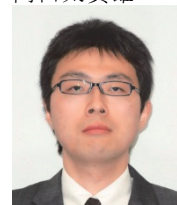
- 1) 社会資本整備審議会道路分科会第5回道路技術小委員会資料4-1、4p、2016
- 2) 佐々木哲也、石原雅規、林宏親、江川拓也、谷本俊輔、鷺見浩司、川口剛：細粒分を含む砂の液状化強度の評価法に関する再検討、土木研究所資料第4352号、pp.88～119、2016
- 3) 星隈順一、塚淳一、小森暢行、坂柳皓文：鉄筋コンクリート橋脚の地震時限界状態の評価手法に関する研究、土木研究所資料第4262号、198p、2013
- 4) 建設省土木研究所他：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(I)～(VIII)、(総括編)、共同研究報告書第178号～第184号、第212号、第219号、1997～1999
- 5) 岡田誠司、小野潔、谷上裕明、徳永宗正、西村宣男：高圧縮軸力が作用する矩形断面鋼部材の耐震性能評価に関する研究、土木学会論文集A、Vol.66、No.3、pp.576～595、2010
- 6) 社会資本整備審議会道路分科会第6回道路技術小委員会資料2、11p、2016

大住道生



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  
Michio OHSUMI

岡田太賀雄



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  
Takao OKADA