

4. 支承部の耐震補強対策及び落橋防止対策における考え方

4.1 平成 24 年の道路橋示方書における支承部の規定の改定のねらい

平成 14 年の道路橋示方書V耐震設計編⁴⁾（以下、「H14 道示V」という。）においては、レベル2地震動に対して支承部の機能を確保できる支承をタイプ B の支承部と定義し、これを基本とすることが規定され、レベル1地震動により生じる水平力及び鉛直力に対しては支承部の機能を確保できるが、レベル2地震動により生じる水平力に対しては、変位制限構造と補完し合って抵抗する構造をタイプ A の支承部と定義し、橋台の拘束により上部構造に大きな振動が生じにくい場合や支承部の構造上やむを得ない場合にはタイプ A の支承部を用いてもよいことが規定されていた。タイプ A の支承部とタイプ B の支承部の特徴をまとめたものが表-4.1 である。

平成 24 年の道路橋示方書V耐震設計編¹⁾（以下、「H24 道示V」という。）の改定においては、次の2点に配慮し、タイプ A の支承部の規定を削除している。

- 1) 点検・維持管理を考えたときには支承部を複雑な構造としない方が望ましい。
- 2) レベル1地震動を超える地震動により支承部が損傷した場合に、その部材や破片の落下による第三者被害が生じないような配慮が必要。

表-4.1 H14 道示Vと H24 道示Vによる支承部の規定の違い

	H14 道示Vの規定による支承部		H24 道示Vの規定による 支承部
	タイプ A の支承部	タイプ B の支承部	
レベル1地震動 まで	・ 支承部の機能を確保	・ 支承部の機能を確保	・ 支承部の機能を確保
レベル1地震動 以上、レベル2地 震動まで	・ 支承部は損傷する可能性 ・ 変位制限構造と補完し 合って機能を確保	・ 支承部の機能を確保	・ 支承部の機能を確保

4.2 既設橋の支承部の耐震補強対策及び落橋防止対策

支承部に対する耐震設計に関して H24 道示Vの改定において配慮された事項については、新設する橋に対してはその設計段階において一般には容易に考慮できる事項であるが、既設橋に対する耐震補強においては、レベル1地震動に対してまでは抵抗するように設計された支承部が既に設置されているという、既設橋に固有な構造的な与条件があるため注意が必要である。これは、改定された H24 道示Vの考え方を全てそのまま適用しようとする、設計・施工の面でその対応が難しい場合もあり、また、結果として、支承部の周辺が煩雑な構造という本来避けるべき構造を生み出す可能性もあり得るためである。

表-4.2 は、表-2.1 に示した耐震補強において目標とする橋の耐震性能のレベルの3つの例を対象に、耐震補強において目標とする性能レベルに対して、支承部及び上部構造に生じる状態、ならびに、その状態を具現化するための対応のとり方について、橋軸方向を対象とした検討の例を整理して示したものである。

まず、「レベル2地震動による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル」を目標とする場合には、支承部においては、レベル1地震動及びレベル2地震動のそれぞれに対して支承部として求められる機能を確保できるように補強することになる。既設の支承部がこの機能を確保できない場合には、支承部を取り替える等の対策をとるという考え方となる。

次に、「レベル2地震動により損傷が生じる部位があり、その恒久復旧は容易ではないが、橋としての機能の回復は速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル」を目標とする場合には、支承部においては、レベル1地震動に対して機能確保されるように設計された既設の支承部はそのまま用いつつ、レベル2地震動により生じる水平力にも支承部が機能するように補強を行うことになる。具体的には、レベル2地震動によって生じる水平力を分担する構造を新たに追加で設置するという対策を行うことになる。

このような対策が施された橋に、レベル1地震動を超える地震動が作用すると、既設の支承部は常時やレベル1地震動に対する機能を失う可能性があるため、上述した「レベル2地震動による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル」に対する対策に比べて、地震後の恒久復旧がより困難になる可能性があるという点で異なる。また、既設の支承部に損傷が生じることにより、路面に数百 mm の段差が生じる可能性があり、上部構造の支持機能に影響が生じることが懸念される場合もある。この場合には、地震後の道路ネットワークとして当該橋を含む路線に求められる性能を踏まえて、段差防止構造の設置等についても検討することになる。なお、このような対策を行った場合には、恒久復旧の容易さに違いはあるものの、橋としての機能の回復が速やかに行えるという観点では、本対策により1つめの耐震性能レベルと同等の性能レベルが確保されたとみなすことができる。すなわち、耐震性能2が求められる橋の耐震補強において、支承部の交換が必ず求められるというわけではない。

また、上記のいずれの耐震性能レベルを目標とする場合において、レベル2地震動により生じる水平力にも支承部が機能することに加え、さらに、その支承部に破壊が生じて上部構造の落下を防止できるように対策を講じることが求められる場合には、支承部をレベル2地震動に抵抗できるように設計した上で、支承部が破壊した後も上部構造の落下を防止できるように対策を講じることになる。

一方、「レベル2地震動に対して落橋等の甚大な被害が防止されるとみなせる耐震性能レベル」を目標とする場合には、支承部がレベル2地震動に対して変状や損傷が生じて機能を喪失することは許容するが、上部構造の落下を防止できるように対策を講じることになる。すなわち、具体的には、レベル2地震動によって生じる水平力を分担する構造を追加で設置する必要はなく、上部構造の落下防止対策を講じればよいことになる。

上部構造の落下防止対策については、H24 道示Vの5.7の(1)の規定に基づき、橋の構造条件を踏まえた上で、支承部の破壊に起因する上部構造の落下を防止できるように適切な対策を講じることになる。ここで、H24 道示Vの5.7の(2)の規定のとおり、16章に規定される落橋防止システムを設ければ、適切な上部構造の

落下防止対策を講じたとみなすことができるが、既設橋では様々な制約条件があるため、H24 道示Vの 16.2 から 16.5 による構造の詳細の検討においては当該橋梁固有の制約条件を適切に考慮するのがよい。

表-4.2 に示したのは、一般的な構造条件の既設橋に対する対策の考え方の例であり、既設橋の構造条件に応じた落橋防止対策の考え方については 4.4 に詳述する。なお、表-4.2 には橋軸直角方向への対応の考え方については示していないが、H24 道示Vの 16.1 の(4)に規定する上部構造の橋軸直角方向への移動により落橋する可能性のある橋に該当する場合には、H24 道示Vの 16.4 に規定する横変位拘束構造を設置することになる。

表-4.2 既設橋の耐震補強における目標性能レベルに応じた支承部・落橋防止システムへの対応の考え方の例（橋軸方向の場合）

耐震補強において目標とする橋の耐震性能レベル	耐震補強において考慮する支承部及び上部構造に生じている状態			既設橋の耐震補強における支承部・落橋防止システムへの対応
	レベル1地震動まで	レベル1～レベル2地震動まで	支承部の破壊後	
レベル2地震動による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかにに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	支承部（支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	支承部（支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	支承部は破壊するため、機能を喪失する [※] 。 桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	支承部： レベル2地震動に対して機能確保できる支承部（必要に応じて、段差防止構造を設置） 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置
レベル2地震動により損傷が生じる部位があり、その恒久復旧は容易ではないが、橋としての機能の回復は速やかにに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	支承部（支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	既設の支承部（支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等）に損傷又は変状が生じるため、支承部の恒久復旧は容易には行えないが、供用性に影響を及ぼす段差は生じない [※] 。また、水平力を分担する構造により水平力の伝達機能は確保されている。	支承部（水平力を分担する構造）は破壊するため、機能を喪失する。 桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	支承部： 既設の支承部をそのまま使用 レベル2地震動による水平力を分担する構造の追加設置（必要に応じて、段差防止構造を設置） 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置
レベル2地震動に対して落橋等の甚大な被害が防止されるとみなせる耐震性能レベル	支承部（支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	既設の支承部（支承本体、取付用鋼板、ボルト等の取付部材等）に損傷又は変状が生じるため、支承部は機能を喪失する。	桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	支承部： 既設の支承部をそのまま使用 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置

[※] 支承部に破壊が生じた場合にも、橋の速やかな機能の回復が求められる場合には、当該支承部の構造条件等によってはその破壊により路面に数百 mm の段差が生じる可能性がある場合もあるため、段差防止構造の設置等についても検討する。

4.3 支承部の設計地震力の考え方

H24 道示Vでは、タイプ A の支承部の規定を削除し、支承部に対する設計地震力を一本化したことを踏まえ、耐震補強において追加で設置するレベル2地震動によって生じる水平力を分担する構造の設計地震力としては、変位制限構造の設計地震力として用いられていた $3k_h R_d$ （ここで、 k_h はレベル1地震動に相当する設計水平震度、 R_d は死荷重反力）ではなく、H24 道示Vの 15.4 の規定によることが基本となる。ただし、既

設橋の耐震補強においては、ひとつの固定支点において大きな地震力を負担する構造を設置するよりも、固定支点だけでなく既設橋において可動支点として設計されている支点もレベル2地震動によって生じる水平力を協働で負担できるようにする方が設計上も合理的であり、かつ、固定支点の支承部周辺の維持管理の確実性及び容易さ等の面で有利な場合もある。このため、こうした点も踏まえ、例えば、可動支承を有する橋脚にもその耐力の範囲内で水平力を分担させるなど、個々の橋の構造条件に応じて橋全体系として必要十分な耐震補強となるように検討することが重要である。

また、H24 道示Vでは、鉛直上向きの地震力に対する安全性を十分に確保するために、15.5の(2)に $-0.3R_D$ （ここで、 R_D は上部構造の死荷重により支承に生じる反力）の設計鉛直地震力が作用した際に、支承部に生じる断面力が当該部材の耐力以下となることを照査することを標準とすることを規定している。これは、新設する橋に対してはその設計段階において一般には容易に対応できる事項であるが、既設橋に対する耐震補強では既設橋に固有な構造的な与条件があるため、対応が困難となる場合もある。したがって、耐震補強においてはレベル2地震動に対してH24 道示Vの式(15.4.2)により算出される R_U が負ではない、すなわち上揚力が生じないことの条件を満たせば、レベル2地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持されるという条件を満たすとみなすことができる。すなわち、レベル2地震動に対して R_U が負とならない場合であれば、既設橋の耐震補強においては上揚力対策は不要とすることができる。一方、レベル2地震動に対してH24 道示Vの式(15.4.2)により算出される R_U が負となる場合には、上揚力により支承部が上下に分離して支承部の機能が失われることがないように、既設橋の耐震補強においても上揚力に対して適切な対策を施す必要がある。

4.4 構造条件に応じた落橋防止対策の考え方

既設橋の耐震補強における落橋防止対策についても、新設の橋と同様に、H24 道示Vの5.7の(1)の規定に基づき、橋の構造条件を踏まえた上で、上部構造の落下を防止できるように適切な対策を講じればよいが、既設構造に関する様々な制約条件があるため、H24 道示Vに規定する「16章 落橋防止システム」の規定をそのまま適用することのみが必ずしも合理的とはならない場合もある。例えば、既設橋の場合には支承部周辺の構造上の制約条件により、落橋防止構造の後施工による設置が難しい場合には、桁かかり長を大きく確保すること（例えば、H24 道示Vの16.2の規定により設定される必要桁かかり長の1.5倍以上を確保する等）により、上部構造の落下防止対策とするという考え方もある。

既設橋の耐震補強においても、H24 道示Vの16.1の(3)に規定する橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋又は端支点の鉛直支持が失われても上部構造が落下しない構造特性を有する橋に該当する場合においては、落橋防止構造の設置を省略することができる。H24 道示Vにおいては、橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋とは、16.1の(3)の解説においてレベル2地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持され、かつ、16.2に規定する桁かかり長が確保されていることを前提とした上で、落橋に至るような大きな相対変位が上下部構造間に生じにくい構造特性を有する橋としている。ここで、支承部の耐震補強対策としてレベル2地震動によって生じる水平力を分担する構造を追加で設置する場合にお

いては、一連の上部構造を有する橋としてレベル2地震動によって生じる水平力に対して水平力の伝達機能が確保されていること及びそれぞれの支点において R_U が負ではない、すなわち上揚力が生じないことの条件を満たせば、レベル2地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持されるという前提条件を満たすとみなすことができる。

また、H14 道示Vにおいては、構造特性により橋軸方向の変位が生じにくい橋として、両端が剛性の高い橋台に支持された橋のうち、桁の長さが 25m 以下（I 種地盤の場合は桁の長さが 50m 以下）の一連の上部構造を有する橋で、上部構造が回転できる幾何学的な条件に該当しない場合には、落橋防止構造の設置を省略できるとされていた。H24 道示Vの改定では、落橋防止構造の設置を省略できる条件として、レベル2地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持されること、及び、H24 道示Vの 16.2 に規定する桁かかり長を確保していることが前提となっているが、構造特性により橋軸方向の変位が生じにくい橋として H14 道示Vに示されていた条件に該当する場合には、H24 道示Vにおける落橋防止構造の設置を省略できる前提条件を満たさない場合であっても、落橋防止構造の設置を省略することができる。また、この省略の可否の判断は橋台が地震時に不安定となる地盤上にあるかどうかに影響を受けない。これは、両端が橋台に支持される一連の上部構造を有する橋では、地震時に地盤が不安定となっても、橋台には背面土圧により前面に移動する方向の力が作用し、その結果として橋台間の距離が狭まる方向に挙動をするため、上部構造の落下が生じにくい構造特性を有する橋と考えられることから、H24 道示Vの改定において、地震時に不安定となる地盤があることと落橋防止構造の省略の可否は関係しないとしたためである。

なお、このような落橋防止構造の設置を省略できる条件は、支承部の破壊という損傷が生じても、単純な構造系であるがゆえに支承部の破壊後の上部構造の挙動が定性的には予測できると判断して定められているものである。一方、これが複数連の上部構造になる場合には、複数の上部構造やかけ違い部の橋脚の挙動が互いに複雑に影響し合うために支承部の破壊後の挙動の予測は定性的にも困難であることから、落橋防止構造の設置を省略できる対象とはしていない。仮に、静的解析や動的解析等からその挙動を予測しようとしても、その場合に想定すべき地震力が与えられていないこと、支承部の破壊後の挙動を十分な精度で再現できる解析モデルもないこと等から、上部構造が下部構造の頂部から逸脱する挙動を所要の精度で再現することは難しい。このため、落橋防止構造の設置を省略できるかどうかの判断は、このような地震応答解析結果に基づいて行うという性格のものではない点には留意が必要である。