

## 道路橋の支承部・落橋防止システムの性能評価技術に関する試験調査

研究予算：運営交付金

研究期間：平 20～平 23

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：星隈順一，塚淳一

## 【要旨】

道路橋の耐震設計基準では、大規模地震時に橋の上部構造が容易には落下しないようにするために、落橋防止システムが設置される。大規模地震時の落橋に対する安全性を合理的に評価するためには、橋の構造特性とそれに応じた落橋に対する構造的冗長性を明らかにする必要がある。このため、本研究では、落橋防止という観点から支承部と落橋防止システムに求められる事項を明確にすることを目的とし、大規模地震における被災事例の分析、橋の落橋に着目した地震応答解析及び落橋防止という観点から支承部と落橋防止システムに求められる事項に関する検討を行った。

これより、支承部に求められる事項は、支承部の機能が失われる状態に対して適切な安全性が確保できること及び地震時の繰返し荷重に対して安定した挙動を示すことであることを明確にした上で、これらの要求事項を検証するための方法を提案した。また、落橋防止システムは支承部が破壊した後に落橋という最悪の事態を防ぐために機能するシステムであることを踏まえて、落橋防止システムを構成する要素に求められる機能を明確にし、さらに、落橋防止システムの設計の考え方を提案した。

キーワード：橋，落橋，支承部，落橋防止システム，構造的冗長性

## 1. まえがき

道路橋の耐震設計基準<sup>1)</sup>では、大規模地震時に橋の上部構造が容易には落下しないようにするために、落橋防止システムが設置される。この落橋防止システムが機能するのは、支承部が破壊した後の状態を想定しているため、大規模地震時の落橋に対する安全性を合理的に評価するためには、橋の構造特性に応じた支承部の破壊の影響評価とそれに応じた落橋に対する構造的冗長性を明らかにする必要がある。このため、本研究では、落橋防止という観点から支承部と落橋防止システムに求められる事項を明確にすることを目的とし、既往の大規模地震における被災事例の分析、地震応答解析及び落橋防止という観点から支承部と落橋防止システムに求められる事項に関する検討を行った。

## 2. 既往の地震被害の分析

## 2.1 支承部の被害に関する検討

## (1) はじめに

支承部の設計は、レベル2地震動による地震力に対して各部材に生じる応力度等が、許容値を超過しないことを橋軸方向と橋軸直角方向の両方向に対して別々に照査している。しかし、支承部に想定以上の地震力

が作用した場合、あるいは、想定とは異なる橋の挙動となった場合には、最終的にどの部材要素が弱点となって、どのような破壊モードで損傷するかは明確ではない。支承部の設計の合理化を目指すためには、こうした破壊モードを明確にし、それを適切にコントロールする設計法を確立することが必要である。そこで、こうした検討の第一ステップとして、近年の地震によって、タイプBのゴム支承を採用した橋梁の支承部が損傷した事例を対象にその被害調査分析を行った<sup>2)</sup>。

## (2) 被害の概要

図-1は、2008年の岩手・宮城内陸地震においてレベル2地震動に対して設計された支承部に被害が生じた橋の概要を示したものである。本橋は、橋長約98m(支間長39.3m+57.3m, A1橋台およびP1橋脚90°, A2橋台斜角75°)の2径間連続非合成鋼少数鈹桁橋で、平成14年版の道路橋示方書<sup>1)</sup>に準拠して設計されていた。下部構造は逆T式橋台および張出し式橋脚で、A1橋台は深礎杭、P1橋脚は大口径深礎杭、A2橋台は直接基礎で支持されており、地盤種別はI種地盤である。支点条件は、橋軸方向にはゴム支承による弾性支持、直角方向には支承部に設置されたサイドブロックによる固定支持となっている。

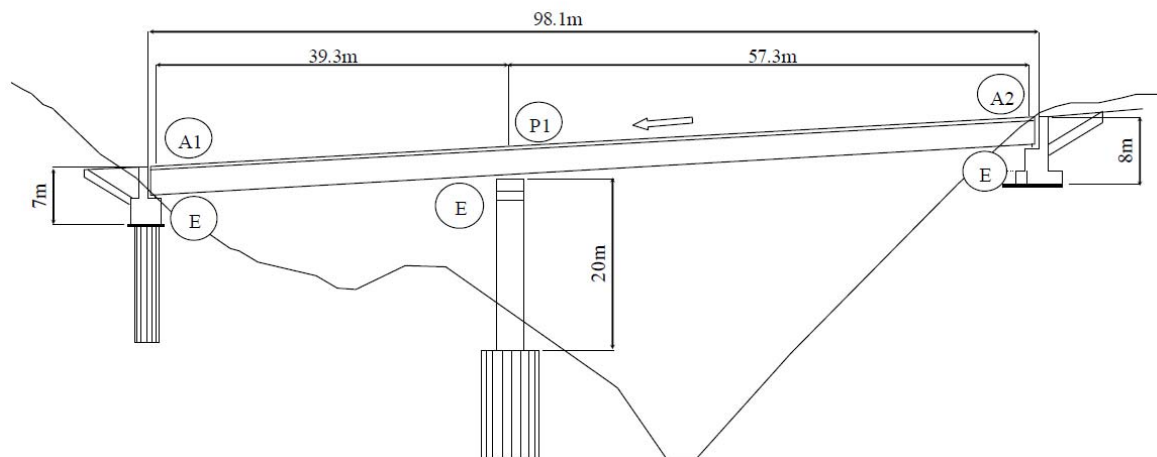


図-1 レベル2地震動に対して設計された支承部に被害が生じた橋の概要



写真-1 A1 橋台の支承部の被害

支承部の被害は、A1 橋台において生じた。損傷状況を写真-1 に示す。支承部の下沓とベースプレートを固定する下沓取付けボルトが破断し、主桁とパラペットが接触した状態で止まっていた。この状況からわかる点をまとめると以下ようになる。

- 主桁とパラペットが接触しているが、パラペットの損傷はクラック程度であることから、支承の変形量は最大で桁遊間の 250mm 程度と考えられる。
- サイドブロックの接触痕が上沓中心付近から支間中央側に向かってのみついていることから、ゴム支承の変形は上部構造の地震時応答変位による影響は小さく、主として橋台が支間中央方向に動いたことにより生じた一方向の変形であったと考えられる。
- G2 桁取付けボルトとゴムの接触痕が橋台前面から見て左側に若干ずれていることから、上鋼板(主桁)は下部構造に対して平面的に時計回りにねじれながらせん断変形したのではないかと推定される。このことは上鋼板の両側面にサイドブロックの接触

痕がある事と、両側面の接触痕の長さに差がある事からも推定される。

- サイドブロックと上沓の接触痕より推定されるゴムの変形量が 205mm~245mm である事から、破断した下沓取付けボルトは、桁とパラペットが接触する直前までは完全には破断していなかった(破断後はゴムが復元しようとするので接触痕が変形方向には付かない) と推定される。

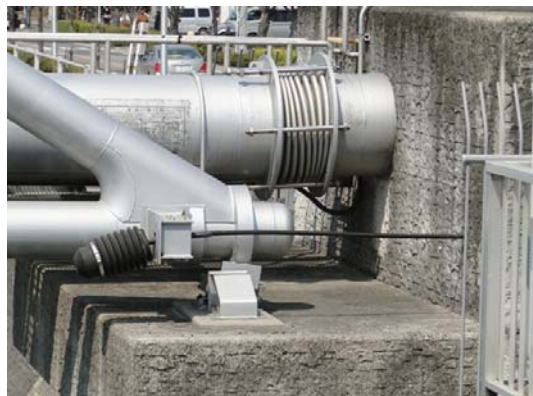
### (3) 被害の分析

支承部を構成する部材の耐力差等から破壊モードを推定するために、支承部を構成する各部材要素に作用する応力度等を算出し、実際に生じた損傷例との比較を行った。ここでは、橋軸方向及び橋軸直角方向に水平力を単独に作用させる場合や、これに加えて鉛直力を作用させる場合を想定し、力を伝達する各部材要素に発生する応力度を許容値に対する比から、その損傷の可能性を分析した。これらの結果より、橋軸方向および橋軸直角方向それぞれ単独に想定した地震力を積層ゴムの許容引張力と共に作用させても、下沓取付けボルトの破断には至らないことが推定された。

そこで、橋軸直角方向にも水平力が作用したことを想定した検討を行った。ここでは、橋軸方向に許容値相当の 250% のせん断ひずみ (水平力にして 613 kN) を作用させた状態から橋軸直角方向に水平力を増加させた結果、橋軸直角方向に 525 kN の力が同時に作用した場合、下沓取付けボルトが破断する可能性があり、破断方向など実際の被害と定性的に一致することが明らかとなった。ただし、両橋台が沈下するという現象も同時に生じているため、沈下に伴うアップリフト力が影響した可能性もある。



(a) クライストチャーチ地震における事例



(b) 東北地方太平洋沖地震における事例

写真-2 地震により橋台が前面に移動したと推測される事例

#### (4) まとめ

支承部が、橋軸方向と橋軸直角方向の力が同時に作用することによって、すなわち、斜め方向の力によって損傷する可能性があることを、近年の地震における被害に対する分析から示した。支承部には想定以上の力が作用したり、想定と異なる橋の挙動となることもあるため、支承部が破壊に至るモードを把握することが重要である。また、支承部が設計で考慮していない作用によって損傷した場合にも上部構造の落下という致命的な被害を生じさせないためにも、適切な落橋防止対策を施すことが重要である。

#### 2.2 落橋した事例及び落橋しなかった事例の分析

落橋防止対策を検討する上では、これまでの地震において落橋した橋にはどのような構造的特性があったか、落橋に至るまでの状況はどうであったか、また、従来までは落橋すると考えられていた構造的特性において落橋しなかった場合にはその理由を把握しておくことが重要である。

こうした観点から、平成16年度～19年度に実施した「被災シナリオに即した落橋防止システムに関する試験調査」において、過去の落橋事例を分析し、落橋のしやすさと構造的特性の関係を調べた<sup>3)~5)</sup>が、本研究では、落橋しなかった事例についての検討を行った。

平成14年版の道路橋の耐震設計基準では、構造的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長さが25m以下（I種地盤では50m以下）の一連の上部構造を有する橋で、幾何学的に回転する可能性のない場合には落橋防止構造を省略してもよいとされていたが、地震時に不安定となる地盤がある場合には上記の条件に該当する場合にも落橋防止構造の省略はできないとされていた。しかし、写真-2に示すように2011年のニュー

ージーランド・クライストチャーチ地震や東北地方太平洋沖地震をはじめとする近年の大規模な地震による橋の被災調査<sup>6)・7)</sup>では、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していることが確認された。したがって、このような挙動を呈した橋は、仮に支承部が破壊しても上部構造の落下が生じにくい構造特性を有する橋として評価できるものと考えられる。

### 3. 落橋防止構造の効果と必要桁かかり長に着目した地震応答解析

#### (1) はじめに

道路橋の耐震設計基準<sup>1)</sup>に規定される落橋防止システムは、桁かかり長、落橋防止構造、橋軸直角方向の変位制限構造等により構成される。ここで、桁かかり長の大きさや落橋防止構造等の構造の耐力をどのように設定すれば、合理的に落橋を防止できるかについてはまだ技術的な知見が少ないのが現状である。そこで、落橋防止構造の効果および落橋防止構造を設置しない場合に必要となる桁かかり長について解析的な検討を行った<sup>8)</sup>。なお、支承部の破壊後の挙動をこうした解析に基づいて評価するのは、一般には非常に困難であるため、ここでは、支承部の耐力や落橋防止構造の遊間や耐力等のパラメータを変化させることによって、支承部の破壊後の挙動の傾向を分析することを目的とした検討を行っている。

#### (2) 解析対象橋とモデル化

本解析では、1径間の単純桁橋において、橋軸方向の地震力により支承部が破壊して応答変位が過大になることにより上部構造が下部構造の頂部から逸脱する状態を対象とすることとし、隣接橋の影響を考慮する

表-1 直橋に対する解析ケースと結果

	固定支承		落橋防止装置		地震動	地震動倍率	上下部構造 相対変位 (mm)	桁かかり長 に対する 倍率	橋脚の 応答曲率 塑性率		
	耐力 (kN)	動摩擦 係数	遊間 (m)	耐力 (kN)							
CASE -1	2963	0.05	0.675	5925	II-II-1	2.3	922	1.42	0.98		
CASE -2	( $3k_h R_d$ )		----	----			1277		0.98		
CASE -3	9500		0.675	5925		2.0	923	1.54	3.30		
CASE -4			----	----			1390		3.30		
CASE -5			0.675	9500		3.0	912	1.26	5.42		
CASE -6			----	----			1130		2.52		
CASE -7			0.36	5925		2.9	958	1.19	2.95		
CASE -8			----	----			1069		2.14		
CASE -9			0.09	5925		2.1	913	1.81	4.55		
CASE -10			----	----			1625		3.60		
CASE -11			レベル2 地震動相当	0.4		0.675	5925	2.6	916	1.57	4.49
CASE -12						----	----		1409		3.60
CASE -13	0.05	II-II-2		0.675	5925	2.4	933	2.23	2.78		
CASE -14				----	----		2005		2.78		
CASE -15				0.675	5925	2.2	910	1.43	2.09		
CASE -16				----	----		1285		2.09		
CASE -17				0.675	5925	3.2	906	2.16	2.89		
CASE -18				----	----		1946		2.89		
CASE -19	0.675	5925	I-III-1	926	3.15	3.25					
CASE -20	----	----		2834		3.25					

※  
落橋防止構造の耐力  
 $1.5R_d = 5925 \text{ kN}$   
落橋防止構造の遊間量  
 $0.75 S_E = 0.675 \text{ m}$

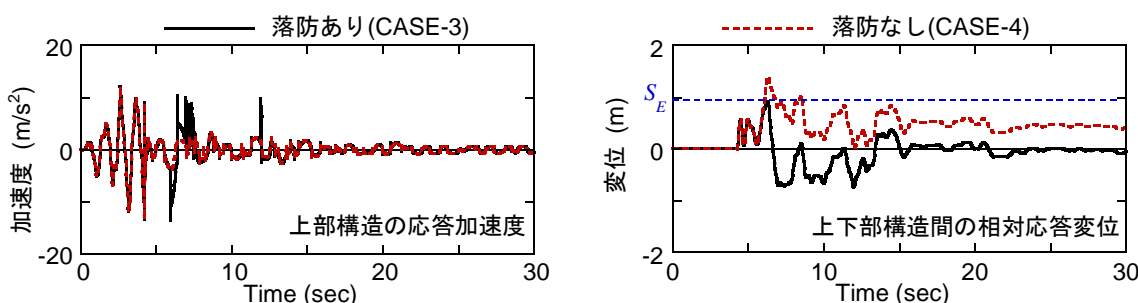
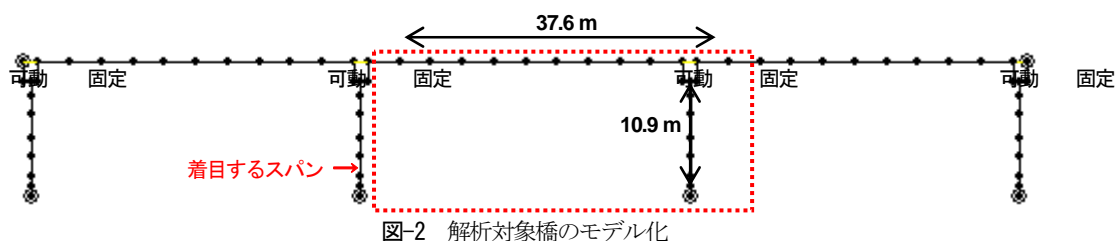


図-3 CASE-3 と CASE-4 の地震応答

ために、同一の単純桁橋が3径間連続する橋をモデル化することとした。解析モデルを図-2に示す。支間長は37.6mの鋼単純合成2主桁橋であり、上部構造慣性質量は7900kNである。下部構造は、レベル2地震動に対して設計された矩形断面(4×4.5m)のRC橋脚であり、橋脚の高さは10.9m、曲げ耐力、終局変位はそれぞれ9600kN、0.26mである。基礎は杭基礎であり、地盤はII種地盤に分類される。上部構造は線形はり要素により、RC橋脚は非線形はり要素(Takedaモデル)により、基礎と地盤の影響は線形ばねによりモデル化した。橋の支持条件は、固定可動支持の場合を対象とすることとし、支承部の耐力、破壊後の動摩擦係数をパラメータにした。支承部の破壊のモデル化は梶田らの提案<sup>9)</sup>に従った。落橋防止構造は、上下部構

造間に設置する場合を想定し、耐力と遊間量をパラメータにすることとした。落橋防止構造の破断は考慮していない。桁間衝突の影響は衝突ばねによってモデル化した。桁かかり長は道路橋示方書の規定により、0.9mとした。入力地震動としては、道路橋示方書に示される標準加速度応答スペクトルに適合するように振幅調整が行われた地震動のうちタイプI地震動とタイプII地震動の影響を調べられるように5波を選定した。このうち、1995年兵庫県南部地震のJR鷹取駅NS成分記録を振幅調整して得られたII-II-1記録を基本として用いた。動的解析における粘性減衰のモデル化には、要素別Rayleigh減衰を用いた。本解析モデルの1次固有周期は0.77秒である。

### (3) 落橋防止構造の効果と必要桁かかり長に関する検討

解析では、落橋防止構造を設置の有無の2ケースを1セットとして行うこととし、設置するケースに対して、上部構造に桁かかり長を超えるレベルの応答変位が生じるように地震動の入力倍率を変化させ、設置しないケースに対しては、同じ地震動強度を用いて解析を行うことにより、落橋防止構造が設置される場合にはどの程度の設計地震動に対してまで落橋を防ぐことができるのか、また、これを設置しない場合に落橋させないために必要となる桁かかり長を調べることにした。なお、落橋の挙動は複雑であるが、簡単のために、上下部構造間に桁かかり長を超える応答が生じる場合を落橋と判定することとした。解析ケースを表-2に示す。

図-3に、レベル2地震動に抵抗する支承耐力を有し、破壊後の動摩擦係数を5%とし、落橋防止構造の耐力と遊間量は道路橋示方書に従い $1.5R_d$ と $0.75S_E$ としたケース(CASE-3)と落橋防止構造を設置しないケース(CASE-4)の地震応答の比較を示す。これによれば、落橋防止構造を設置することにより、設計地震動の2倍までの強度の地震動に対しても上部構造の応答変位は桁かかり長以内におさまっている。いずれのケースも、固定支承は4.25秒の段階で破壊し、そのとき橋脚には降伏を超える応答が生じた。その後、落橋防止構造を設置したケースでは5.99秒に落橋防止構造が作動し、応答が桁かかり長以内におさまるが、落橋防止構造を設置しないケースでは、落橋防止構造がないため上部構造の応答は増加し、1.38 mに達する。これは、桁かかり長の1.5倍の応答に相当する。こうした結果をまとめたものが表-1であり、これより、本解析で対象としたパラメータに関して次のことが分かる。

支承耐力が大きくなると支承破壊までに蓄えられるエネルギーが大きくなり、支承破壊が上部構造の応答に大きな影響を及ぼすため、支承耐力が大きい方が上部構造の応答変位が大きくなる傾向にある。落橋防止構造については、耐力を大きくする場合または遊間を中程度にする場合に上部構造の応答変位は小さい。入力地震動の特性に関しては、タイプII地震動の方がタイプI地震動よりも大きな応答変位を生じさせやすい地震動であることが分かる。全体として、落橋防止構造を設置することにより、設計地震動の2倍までの強度の地震動に対しては落橋を生じさせるような応答変位は生じない。また、落橋防止構造を設置しない場合に上部構造の応答が桁かかり長におさまるようにするため

には、タイプII地震動に対してはおおむね現在の基準の桁かかり長の1.5~2倍程度の桁かかり長が必要と考えられる。

### (4) まとめ

本検討で対象とした条件の範囲で得られた結論を以下に示す。

- 1) 現行基準による落橋防止構造を設置することにより、設計地震動の2倍までの強度の地震動に対しては落橋を生じさせるような応答変位は生じない。
- 2) 落橋防止構造を設置しない場合に上部構造の応答が桁かかり長より小さくするためには、タイプII地震動に対しては道路橋示方書に規定される桁かかり長のおおむね1.5~2倍程度の桁かかり長が必要である。

## 4. 構造特性に応じた落橋に対するリスクの分類

落橋防止システムは、支承部が破壊したあとに、上部構造の落下という致命的な状態には容易にはならないようにするために設けられるものであるが、上部構造の落下を防ぐ観点では、そもそも、支承部が破壊した後に、上部構造が落下するリスクが大きい構造形式を採用することを推奨し、そのような構造形式を取り得ない場合に対して落橋防止システムを設けるという設計思想を明確にする必要がある。

そこで、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震等により生じた橋の被害の分析等に基づき、落橋に対する構造的冗長性が高いことにより落橋防止構造を省略できる条件の整理を行った。

この結果、次の3条件に該当する場合を、橋軸方向に大きな応答変位が生じにくい構造特性を有する橋とし、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、必要な桁かかり長が確保されることを前提とすれば、落橋防止構造を省略できるとした。

- ①両端が橋台に支持された一連の上部構造を有する橋
- ②橋軸方向に4基以上の下部構造において弾性支持又は固定支持される一連の上部構造を有する橋
- ③2基以上の下部構造が剛結される上部構造を有するラーメン橋

①の条件については、橋台や橋台背面の地盤の抵抗により上部構造の応答が拘束されることを踏まえたものである。なお、従来は、地震時に不安定となる地盤がある場合には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以下の一連の上部構造を有する条件を満たす場合にも落橋防止構造を省略してはな



(a) ゴム支承の破断



(b) 免震支承に生じたき裂

写真-3 積層ゴム支承の損傷事例

らないとしていた。しかし、2.2 に示した被災調査結果に基づくと、両端が橋台に支持される一連の上部構造を有する橋は、そもそも上部構造の落下が生じにくい構造特性を有している橋とみなすことができることから、落橋防止構造の省略の可否の判定は、地震時に不安定となる地盤の有無には関係しないこととした。

②及び③の条件については、上部構造が複数の下部構造に弾性支持又は固定支持、あるいは剛結されているために、支承部の破壊に対する構造的な補完性又は代替性が高いことを踏まえたものである。

これらに加えて、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ついても、支承部が破壊しても上部構造が落下する可能性は一般にはないため、落橋防止構造を省略してよいとした。

橋軸直角方向に対しては、斜橋や曲線橋のように上部構造の構造条件や幾何学的条件から回転できる橋であっても、4基以上の下部構造に支持される場合には橋軸方向と同様に落橋に対する構造的代替性及び補完性が高いため、橋軸直角方向の落橋防止対策を省略できるとした。

## 5. 支承部に求められる条件

### (1) 支承部に求められる条件の整理

2011年の東北地方太平洋沖地震では、写真-3に示すように、レベル2地震動に対して設計されたゴム支承に破断や亀裂が生じるという被害が生じた。上部構造の落下は、支承部の破壊に起因するものであるため、落橋防止対策の観点から支承部に求められる事項を明確化した。

まず、支承部は、大きな力や変位の作用があった場合、損傷や破断等により支承部の機能が失われる状態にいたると考えられるが、その状態に対して適切な安

全性が確保できることが求められる。これは、2.1で示したような、設計で考慮されない作用に対する配慮である。また、地震時にはその応答によって繰返しの荷重が作用することになるため、地震時の繰返し荷重に対して安定した挙動を示すことが求められる。

### (2) 検証実験において考慮すべき載荷繰返し回数

地震時の繰返し荷重の作用に対する挙動の安定性を確認するための特性検証実験においては、安定した挙動を評価する上で考慮すべき繰返し回数を適切に設定する必要がある。道路橋の耐震設計基準では、従来から免震支承に対して正負交番繰返し載荷に対して安定した挙動を示すことを求めており、考慮すべき繰返し回数はタイプIの地震動に対しては50回、タイプIIの地震動に対しては15回とされていた。これは、地震動の主要動の繰返し回数をもとに設定されたものであるが、地震応答時に実際に支承部に作用する力は橋の地震応答によるものであるため、橋の地震応答の繰返し回数から設定する方が合理的であること、2011年の東北地方太平洋沖地震では、従来に比べて継続時間が非常に長い地震動が観測されており、こうした地震動による橋の地震応答の繰返し回数についても検討しておく必要があることから、免震支承又は弾性支承で支持された橋を対象に、橋の地震応答における積層ゴム支承の繰返し回数に着目した検討を行った<sup>10)</sup>。

解析対象としたのは、図-4に示すような、上部構造一支承部一橋脚を模した2質点系モデルである。これに対して、道路橋の設計に用いられる地震動を入力地震動として解析を行った。ここで、地震応答に対してその繰返し回数を計上する際には、図-5に示すように最大応答の90%に相当する変位を超えた回数を目安とした。

このようにして地震応答時の繰返し回数を計上した

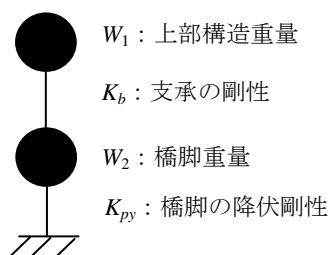


図-4 解析モデル

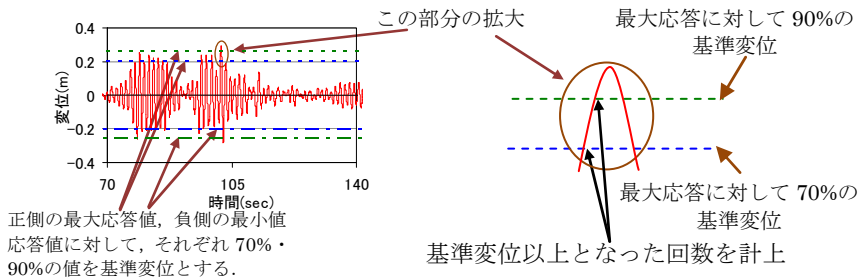


図-5 繰り返し回数を計上する方法

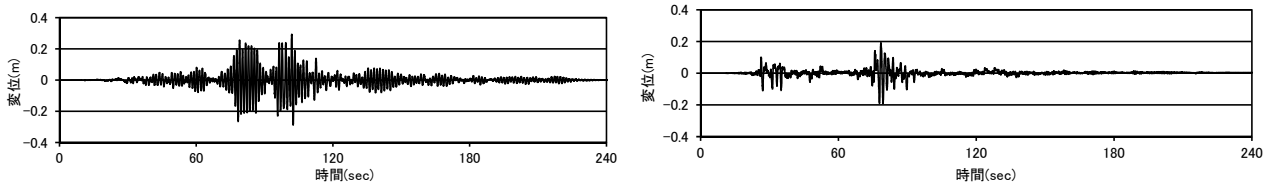


図-6 タイプ I の地震動 (I 種地盤 2 波目) の支承の応答変位

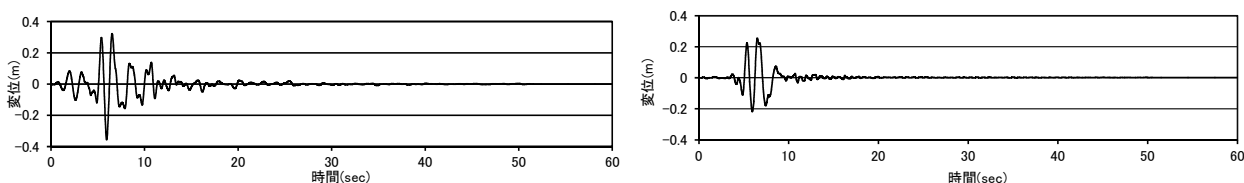


図-7 タイプ II の地震動 (III 種地盤 2 波目) の支承の応答変位

表-2 最大応答の 90%に相当する変位に達する回数 (応答の繰り返し回数)  
(表中の括弧内は、最大応答の 70%に相当する変位に達する回数を示す)

(a) 弾性支承

地震動タイプ	地盤種別	1波目	2波目	3波目
タイプ I	I 種	2 (3)	1 (2)	2 (8)
	II 種	1 (3)	2 (7)	3 (6)
	III 種	2 (4)	2 (2)	1 (3)
タイプ II	I 種	1 (3)	1 (2)	2 (3)
	II 種	1 (2)	1 (3)	1 (2)
	III 種	1 (1)	2 (2)	1 (2)

(b) 免震支承

地震動タイプ	地盤種別	1波目	2波目	3波目
タイプ I	I 種	1 (2)	2 (2)	1 (2)
	II 種	1 (2)	2 (4)	1 (2)
	III 種	2 (2)	1 (2)	2 (3)
タイプ II	I 種	1(2)	2(5)	1(2)
	II 種	1(1)	2(2)	1(1)
	III 種	1(1)	1(2)	1(1)

結果が、表-2 である。ここには、参考までに応答変位の実効値として用いられることの多い最大応答の 70%に相当する変位に対する繰り返し回数もあわせて示している。この結果から、最大応答の 90%に相当する変位に達する回数としては、プレート境界型の大規模な地震を想定した地震動を入力の方が地震動の継続時間が長い場合よりも繰り返し回数は多い傾向にあるが、最

大でも 3 回程度であること、また、免震支承と弾性支承の応答の繰り返し回数を比較すると、弾性支承の方がわずかに回数が多い程度で顕著な差はないことが分かる。

本検討より、载荷繰り返し回数としては継続時間の長いタイプ I の地震動に対しても 3 回程度を考慮しておけばよいと考えられる。

### (3) 検証実験において考慮すべき荷重繰返し回数

以上を踏まえ、(1)に示した事項を実験的に検証するための方法として、次のような荷重方法を提案した。ここで、地震時の繰返し荷重に対する安定した挙動を確認するための荷重繰返し回数は、安全側の配慮により5回としている。

- ①品質を確認するために、設計で考慮する許容変位の70%に相当する変位において11回の繰返し荷重
- ②地震時の繰返し荷重に対する安定した挙動を確認するために、設計で考慮する許容変位において5回の繰返し荷重
- ③支承部の機能が失われる状態に対する安全性が確保されていることを確認するために、設計で考慮する許容変位の1.2倍に相当する変位において2回の繰返し荷重

## 6. あとがき

本研究では、落橋防止という観点から支承部と落橋防止システムに求められる事項を明確にすることを目的とし、大規模地震における被災事例の分析、橋の落橋に着目した地震応答解析及び落橋防止という観点から支承部と落橋防止システムに求められる事項に関する検討を行った。主な結果を以下に示す。

- 1) 被災事例の分析から、支承部には想定以上の力が作用したり、想定と異なる橋の挙動となることにより、支承部が破壊する可能性があることを示した。これより、支承部が破壊に至るモードを把握することが重要であること、また、支承部が設計で考慮していない作用によって損傷した場合にも上部構造の落下という致命的な被害を生じさせないためにも、適切な落橋防止対策を施すことが重要であることを示した。
- 2) 落橋防止構造の効果および落橋防止構造を設置しない場合に必要となる桁かかり長に関する解析的な検討から、落橋防止構造を設置しない場合に上部構造の応答が桁かかり長より小さくするためには、従来の基準の桁かかり長のおおむね1.5~2倍程度の桁

かかり長が必要であることを示した。

- 3) 既往の大規模地震により生じた橋の被害の分析等に基づき、落橋に対する構造的冗長性が高いことにより落橋防止構造を省略できる条件を明示した。
- 4) 落橋防止の観点から、支承部に求められる条件として、支承部の機能が失われる状態に対して適切な安全性が確保できること及び地震時の繰返し荷重に対して安定した挙動を示すことが求められることを明示した。また、地震時の繰返し荷重に対して安定した挙動を検討する上で、考慮する繰返し回数については、積層ゴム系の支承部の挙動に着目した地震応答解析をもとに、3回程度であることを示した。

## 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，2002.
- 2) 植田健介，運上茂樹，星隈順一，塚淳一，岡田太賀雄：地震による支承部の被災事例の一分析，第13回地震時保有水平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.223-228，2010.
- 3) 運上茂樹，塚淳一：被災シナリオに即した落橋防止システムに関する試験調査成果報告書，土木研究所，2007.
- 4) 運上茂樹，星隈順一，塚淳一，植田健介：過去の大規模地震における落橋事例とその分析，土木研究所資料第4158号，2009.
- 5) 塚淳一，運上茂樹，星隈順一：大規模地震における落橋メカニズムと落橋防止構造の効果に関する分析，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol. 67 No.1，pp.57-71，2011.
- 6) 高橋良和，西田秀明，後藤浩之：2011年クライストチャーチ地震による橋梁被害，第14回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.445-450，2011.
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報，国土技術政策総合研究所資料第646号／土木研究所資料4202号，2011.
- 8) 塚淳一，星隈順一：道路橋の落橋防止構造の効果に関する一検討，土木学会第65回年次学術講演会梗概集，2010.
- 9) 梶田幸秀，渡邊英一，杉浦邦征，丸山忠明，永田和寿：鋼製支承の破損を考慮した連続高架橋の地震時応答性状と落橋防止装置の有効性の検討，構造工学論文集，45A，903-914，1999.
- 10) 横川英彰，塚淳一，星隈順一：積層ゴム支承に生じる地震応答の繰返し回数に関する一検討，土木学会第67回年次学術講演会梗概集，（投稿中）



## STUDY ON SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION METHOD OF BEARINGS AND UNSEATING PREVENTION DEVICES FOR HIGHWAY BRIDGES

### **Abstract :**

To develop more reliable design method for prevention of deck unseating, it is necessary to investigate the failure mechanism of bearings, dynamic response of the deck after bearing failure, and the effectiveness of unseating prevention devices. In this study, a series of dynamic response analyses for a single-span bridge was conducted, and a study on the structural requirements for bearings and unseating prevention devices based on earthquake damage investigation was conducted. Based on these investigations, the requirements of unseating prevention devices and bearing supports were clarified, and the design procedure of unseating prevention devices was proposed considering unseating scenarios.

**Key words :** *bridge, unseating, bearing, unseating prevention device, structural redundancy*