

# 荷重分散型ゴム支承の耐震補強事例

Study on Seismic reinforcement of horizontal force dispersing rubber bearings

交通事業本部 交通第2部 若杉 洋

我が国の耐震基準は、平成7年に発生した兵庫県南部地震で被災した橋梁の早期復旧対策として「兵庫県南部地震による被災した道路橋の復旧に係る仕様」(以下、「復旧仕様」と称する)が取りまとめられ、H8 道路橋示方書(以下、「道示」と称する)のレベル2地震動や、H14 道示の動的解析による設計が導入された。それ以降も、東北地方太平洋沖地震、熊本地震等の知見を取り入れ H24、H29 道示と耐震基準が改定されている。復旧仕様を準用した橋梁はゴム支承を用いているものの、設計地震力が現行基準よりも小さい場合が多く、レベル2地震時には支承の損傷に至る可能性が高い。本稿では、復旧仕様により設計された荷重分散型ゴム支承部を有する橋梁の耐震補強事例について紹介する。

## 1 橋梁概要

対象橋梁は、平成9年に竣工した橋長 384.0m の6径間連続変断面鋼箱桁橋である。本橋は復旧仕様により設計されており、レベル2地震動を考慮した荷重分散型ゴム支承を採用しているものの、現行基準とは異なるため補強が必要である。

橋梁の基本諸元を以下に示す。

橋 長 ; L=384.00m  
支 間 長 ; =70.0+69.9+88.2+51.4+60.7+42.2m  
幅 員 ; W=(1.00+2@3.50+1.00)×上下線  
斜 角 ;  $\theta = 87^{\circ} 03' 50'' \sim 90^{\circ} 00' 00''$   
上部工形式 ; 6径間連続変断面鋼箱桁橋  
平面線形 ; R=∞~クロソイド区間(一部)  
縦断線形 ;  $V_{ci} = -0.81429\%$ ,  $V_{Cl} = 500m$   
支 承 ; A-1, P-5, A-2 : すべり支承(ゴム)  
          P-1~P-4 : 分散型ゴム支承(ゴム)  
適用指針 ; H6 道路橋示方書, 復旧仕様  
竣 工 年 ; 平成9年

## 2 必要な支承部・落橋防止システムの構成

現行の道示、国土技術政策総合研究所発行の「既設橋の耐震補強設計に関する技術資料、国総研資料第700号、土研資料第4244号<sup>1)</sup>」(以下、「国総研資料」とする)より、落橋防止システムの構成は、以下の対策が必要となる。

- 1) 桁かかり長の確保
- 2) 落橋防止構造
- 3) 横変位拘束構造
- 4) 支承部レベル2地震動対応

本橋については、桁かかり長が現行基準を満足しており、落橋防止構造および横変位拘束構造が省略可能であることから、支承部のレベル2地震動への対応のみ必要な状態であった。

本検討では、復旧仕様による荷重分散型ゴム支承に着目し、その特性を活用したレベル2地震動への対応事例として耐震補強検討・設計した結果を紹介する。

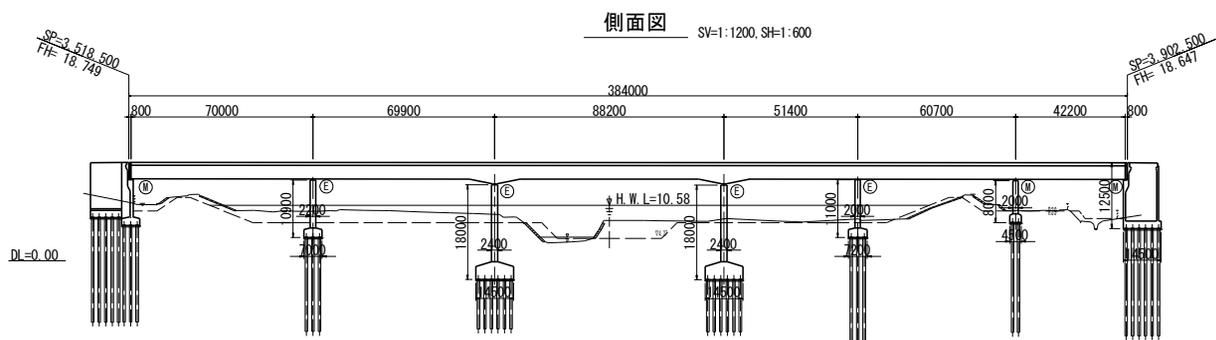


図1 橋梁側面図

### 3 耐震補強の基本方針

#### 3.1 適用指針

北海道開発局においては、「平成 24 年 12 月 18 日事務連絡 既設橋梁の耐震補強設計における道路橋示方書の留意事項について」が出されており、H24 道示に準拠した耐震補強設計を基本とする。また、既設橋の耐震補強設計への適用として、国総研資料を参考とする。

落橋防止システム設計における構造細部についての考え方は、既設橋梁落橋防止システム設計要領(案)<sup>2)</sup>を参考にする。

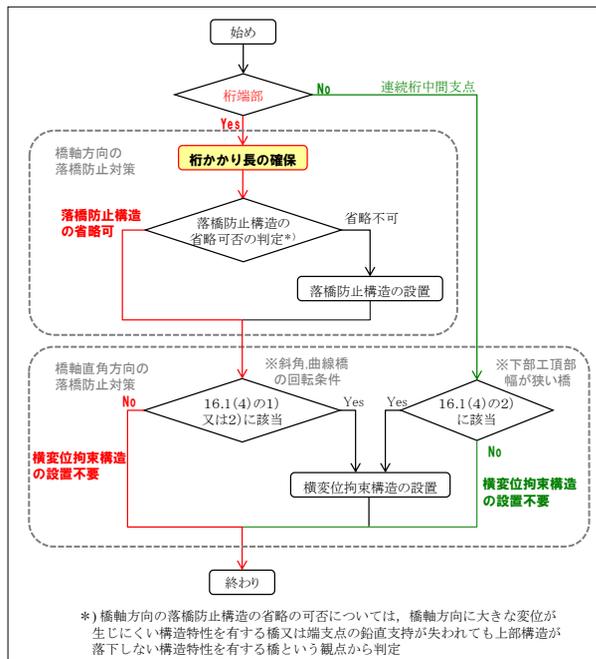


図 2 H24 道示の落橋防止システムの考え方

#### 3.2 目標性能レベルと支承部・落橋防止システムの対策

H24 道示に準拠した既設橋の耐震補強設計への適用として「国総研資料」を参考とし、目標性能レベルと支承部・落橋防止システムへの対応方針は表 1 の通りである。

本橋においては、「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(耐震性能 2.5)」を基本方針と定めた。

これは、既設支承をそのまま活用することを基本とし、水平力を分担する構造を追加設置することで、レベル 2 地震動に対応するものである。

表 1 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(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。	支承部の破壊後	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行えないが、供用性に影響を及ぼす段差は生じない <sup>※)</sup> 。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 落橋防止システム: 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 既設支承のレベル 2 地震時の照査

#### 4.1 荷重分散型ゴム支承の特徴

従来の固定・可動支承とは異なり、支承部を弾性(バネ)とすることで、躯体形状や基礎工形式・地盤条件が異なる下部工に対して、地震時水平力をバランスよく分担させることが可能な支承形式である。

このため、耐震補強の際に支承の固定条件を大きく変更すると、下部工への分担荷重が大きく変化し、下部・基礎工の応力超過となる可能性があることから、荷重分散型を維持することが重要である。

#### 4.2 支承の照査結果

本橋におけるレベル 2 地震時の支承部の照査結果を表 2 に示す。表内の耐力は上沓ストッパー、アンカーボルトおよびサイドブロックの耐力照査結果を示している。橋軸方向については、橋台移動量およびゴム支承のせん断ひずみが許容値を超過することから、上部工の地震時移動量への対策が必要となった。また、直角方向については全箇所での支承の耐力補強が必要となった。

表 2 レベル 2 地震時の支承照査結果

方向	照査項目	躯体名	A-1 すべて	P-1 分散	P-2 分散	P-3 分散	P-4 分散	P-5 すべて	A-2 すべて
橋軸方向	水平耐力	作用力	—	1593	1407	1332	1370	—	—
		耐力	775	2205	2308	2308	1537	—	429
	移動量	変位量	320	166	156	148	156	106	323
		許容値	250	215	195	195	215	245	250
	ゴムせん断ひずみ	ひずみ	—	224%	164%	153%	353%	—	—
		許容値	—	150%	150%	150%	150%	—	—
直角方向	水平耐力	作用力	1646	5531	5065	4339	3897	3604	1434
		耐力	556	1870	1741	1741	1134	1250	361
	上揚力	作用力	27	1457	2152	1365	1498	305	756
		耐力	287	750	844	844	638	574	143
	判定	判定	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
		判定	OK	NG	NG	NG	NG	OK	NG

## 5 支承部補強設計

### 5.1 橋軸方向の検討

#### 1)支承の損傷内容と対応方針

表3に示すように、復旧仕様で設計された分散型ゴム支承は現行基準と比べ作用地震力が小さく、許容せん断ひずみも150%と小さいことから、支承のせん断ひずみが超過し、ゴム支承が破断する可能性がある。また、上部工が大きく変位することで遊間不足が生じ桁端と胸壁間で衝突する可能性がある。

このため、以下の対策が必要となる。

- ① 支承のせん断ひずみを許容値150%以下とする  
orせん断ひずみに対応可能な支承に交換する
- ② 上部工の地震時移動量を遊間以下とする

表3 レベル2地震時(橋軸方向)の照査結果

	A-1 すべり	P-1 分散	P-2 分散	P-3 分散	P-4 分散	P-5 すべり	A-2 すべり
地震時応答ひずみ	—	109%	75%	71%	150%	—	—
許容せん断ひずみ	—	150%	150%	150%	150%	—	—
判定	—	NG	NG	NG	NG	—	—
応答変位量[mm]	320	166	156	148	156	106	323
許容移動量[mm] (遊間[mm])	(250)	215	195	195	215	245	(250)
判定	NG	OK	OK	OK	OK	OK	NG

#### 2)対策工法の検討

前述の通り、地震時の支承のせん断ひずみ、上部工の移動量対策としては、一般に以下の方法が考えられる。

Case1:ダンパー設置(移動量抑制)

Case2:遊間へのバッファ設置(移動量抑制)

Case3:支承交換(せん断ひずみ対応)

Case3は、大きなせん断ひずみに対応できる支承に交換する方法だが、地震時の移動量は減少せず他の移動抑制工法との併用が必要となることから、現実的ではない。また、Case2についてはバッファを橋台と桁の間に設置した場合、遊間量が限られているために上部工の移動量を吸収しきれず、橋台胸壁に衝突し破壊が生じる結果となった。

このため、支承せん断ひずみ・上部工移動が抑制可能なCase1 ダンパー設置について検討した。

#### 3)ダンパー設置方法の検討

ダンパーの設置基数および規模を変化させることで、移動量をコントロールすることができる。ダンパーを多く設置すれば、より移動量を抑制することができる一方で、取付け部および下部工に作用する荷重が大きくなるため、留意が必要となる。

検討結果を表4に示す。Case1として桁を衝突させない移動量に収めるため、全支承に対してダンパーを設置した案について検討した。支承のせん断ひずみは許容値内に収まるものの、移動量を制限する際にダンパーを介して大きな水平力が橋台に生じ、レ

ベル1地震時に堅壁が損傷する結果となった。橋台堅壁の補強は背面土砂を撤去し増厚することが必要であり、長期の交通規制を伴うため現実的ではない。このため、Case2として橋台へ作用する水平力の分担を解消するため、橋脚のみダンパーを設置した場合について検討した。橋脚のみにダンパーを設置した場合、支承のせん断ひずみは許容値内に収まり、橋台の損傷も避けられるものの、橋台の遊間不足が生じる結果となった。

橋脚へのダンパー設置数を増加しても橋台の遊間不足が解消されないことから、Case2の橋脚へのみにダンパーを設置することとし、桁端衝突回避対策との併用を検討する。

表4 ダンパー設置検討

Case1: 桁を衝突させない移動量に抑制する案

	A-1 すべり	P-1 分散	P-2 分散	P-3 分散	P-4 分散	P-5 すべり	A-2 すべり
ダンパー規格	750×4	300×8	300×8	300×8	300×8	300×8	1500×6
応答変位量[mm]	129.1	102.5	93.3	84.9	90.0	67.3	140.8
150%至み許容値 (橋台は遊間)	235 (0.549)	192 (0.534)	210 (0.444)	210 (0.404)	162 (0.556)	—	235 (0.599)
必要ストローク量	250.0	200.0	150.0	150.0	150.0	200.0	250.0
桁衝突の判定	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
橋台L照査	NG	—	—	—	—	—	OK

Case2: 支承が許容せん断ひずみ内となるように橋脚のみにダンパーを設置した案

	A-1 すべり	P-1 分散	P-2 分散	P-3 分散	P-4 分散	P-5 すべり	A-2 すべり
ダンパー規格	—	750×4	750×4	750×4	750×4	1000×4	—
応答変位量[mm]	320.0	166.1	156.4	148.2	156.5	105.8	323.2
150%至み許容値 (橋台は遊間)	235 (1.362)	192 (0.865)	210 (0.745)	210 (0.706)	162 (0.966)	—	235 (1.375)
必要ストローク量	250.0	200.0	150.0	150.0	150.0	200.0	250.0
桁衝突の判定	NG	—	—	—	—	—	NG
橋台L照査	OK	—	—	—	—	—	OK

#### 4)桁端衝突回避検討

橋脚のみダンパーを設置した場合、レベル2地震時、A-1橋台では応答変位は320mm(遊間250mm)となったことから、桁端と胸壁衝突時の損傷が懸念されるため、以下について検討した。

Case1:胸壁撤去・復旧案

レベル2地震時の桁端と胸壁衝突を回避するため、胸壁を撤去・再構築し遊間を確保する案である。大規模な工事が必要となる上、数ヶ月の交通規制が伴う。

Case2:胸壁はつり・PP工法復旧案

胸壁をはつり遊間を確保する案である。コンクリートとの付着力に優れ、防錆性能に優れたポリアクリル酸エステル共重合樹脂系(PAE系)特殊ポリマーセメントモルタルを材料とするPP工法によりかぶりを確保する。交通規制は伴わないため、現道交通が確保できる。

Case2では、遊間を最大限拡張したが、A-2橋台で僅かに桁端衝突が生じるため、移動量を制限する

ために最小規模のダンパーを追加した。なお、A-2橋台は箱式橋台であり、逆T式橋台に比べ耐力が大きいことから、ダンパーの設置が可能である。比較の結果を表5に示す。経済性および供用性で優れる「第2案 胸壁はつり・PP工法復旧案」を選定した。

表5 桁端衝突回避検討比較表

概要図	第1案 胸壁取壊し・復旧案		第2案 胸壁はつり案(PP工法)			
概算工事費	工種	A-1橋台	A-2橋台	工種	A-1橋台	A-2橋台
		金額	金額		金額	金額
	アスファルト取壊し	500	300	コンクリートはつり	200	200
	コンクリート取壊し	1,200	1,500	PP工	2,500	2,900
	アスファルト工	600	300	ダンパー		34,400
	コンクリート工	10,000	9,900			
	伸縮装置工	26,200	26,200			
足場工・支保工	1,300	4,400				
直工(千円)	39,800	42,600	直工(千円)	2,700	37,500	
直工(千円)	82,400	△	直工(千円)	40,200	○	

### 5)胸壁照査

胸壁はつり案(PP工法)では、胸壁のかぶりを小さくし、橋台背面側の有効断面が小さくなるため、復旧後の断面で胸壁の断面照査が確認する必要がある。照査の結果、断面性能を満足する結果となったため、PP工法が採用可能と判断した。

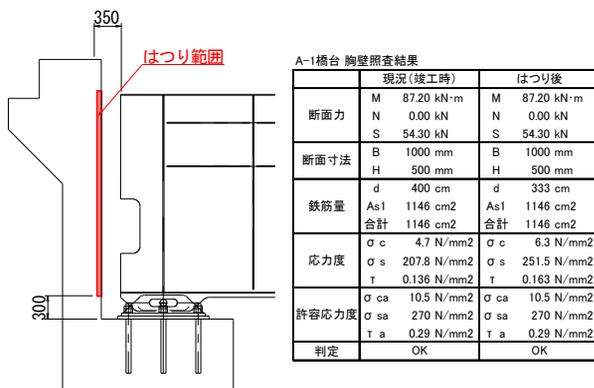


図3 胸壁照査概要図

## 5.2 橋軸直角方向の検討

### 1)水平力分担構造について

水平力分担構造とは、既設支承を鉛直荷重支持装置として使用し、レベル2地震動の水平力を分担する構造である。橋軸直角方向の支承条件は固定であることから、水平力分担構造を設置し支承の補強を行う。

## 2)地震時移動量抑制対策

レベル2地震時に橋軸直角方向の作用力が支承耐力を超過するため、直角の地震時移動量抑制対策について検討した。直角方向の水平力分担構造は、維持管理に優れる鋼製を基本とし、鋼製ストッパーと鋼製ブラケットを検討する。なお、各躯体において上揚力対策が必要となるため、上揚力対策も含めて検討した。比較の結果、経済性に優れ、かつ支承廻りの煩雑化を回避した「第2案 鋼製ストッパー(上揚力対策機能付き)」を採用した。

表6 橋軸直角方向水平力分担構造比較表

概要図	第1案 鋼製ストッパー+上揚力抵抗構造	第2案 鋼製ストッパー(上揚力対応)	第3案 鋼製ブラケット+上揚力抵抗構造
概算工事費(直工)	水平力分担構造	水平力分担構造	水平力分担構造
	A-1(900kN型) 3,200千円	A-1(900kN型) 3,200千円	橋台上部ブラケット 7,680千円
	P-1(1400kN型) 8,800千円	P-1(1400kN型) 8,800千円	橋台下部ブラケット 9,600千円
	P-2(1300kN型) 8,000千円	P-2(1900kN型) 12,000千円	設置費 3,600千円
	P-3(1100kN型) 5,760千円	P-3(1200kN型) 7,600千円	橋脚上部ブラケット 57,600千円
	P-4(1000kN型) 5,360千円	P-4(1300kN型) 8,000千円	橋脚下部ブラケット 105,600千円
	P-5(900kN型) 4,720千円	P-5(1000kN型) 4,720千円	設置費 18,000千円
	A-2(800kN型) 2,800千円	A-2(1300kN型) 4,800千円	上揚力抵抗構造
	鋼材(鋼製ブラケット) 144,000千円	鋼材(鋼製ブラケット) 144,000千円	PCケーブル(1300kN型) 2,000千円
	設置費 14,400千円	設置費 14,400千円	PCケーブル(1000kN型) 5,600千円
上揚力抵抗構造		鋼材(鋼製ブラケット) 21,600千円	
PCケーブル(1300kN型) 2,000千円		設置費 10,800千円	
PCケーブル(1000kN型) 5,600千円		合計 242,080千円	
鋼材(鋼製ブラケット) 21,600千円		(1.17)	
設置費 10,800千円			
合計 237,040千円	合計 207,520千円	合計 242,080千円	
(1.14)	(1.00)	(1.17)	
評価	経済性 ○(2)	経済性 ◎(1)	経済性 ○(3)
	構造性 ◎	構造性 ◎	構造性 ○
	施工性 ○	施工性 ◎	施工性 △
	維持管理性 ○	維持管理性 ◎	維持管理性 ○
	総合 2	総合 1	総合 3

## 6 まとめ

本検討では復旧仕様における荷重分散型ゴム支承のレベル2地震動への耐震補強の一例について検討し、本橋梁について以下の結果を得た。

- ①荷重分散型ゴム支承の移動抑制には、ダンパーの設置が有効であった。
- ②ダンパーの設置においては取付け部および取付けた下部工の耐力確認が重要である。
- ③遊間量が不足する場合、不足量によっては胸壁のかぶりをはつりPP工法にて復旧することで遊間量を確保できる。

これらは、あくまで一例であるが、本検討が今後の耐震補強計画において参考になれば幸いである。

### [参考文献]

- 1) 既設橋の耐震補強設計に関する技術資料, 国総研資料第700号, 土研資料第4244号, 2012.11
- 2) 既設橋梁落橋防止システム設計要領(案), 2005.1