

大地震直後における道路橋の供用性評価のための 支承損傷分析

中尾 尚史¹・菅原 達也²・大住 道生³

¹正会員 博(工) 国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 専門研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 交流研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

³正会員 修(工) 国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

1. はじめに

これまで地震により、道路橋は供用性を失う被害を受けてきた^{例えば¹⁾}。道路橋が供用性を失う原因の1つとして、支承部が破壊することによる路面段差が挙げられる。支承部の破壊による路面段差については、土のう及びベント設置等により路面段差を解消することで早期応急復旧が可能である場合もあるが、支承部の破壊形態によっては早期応急復旧が困難となる場合もあり、路面段差はできるだけ生じないように対策を行う必要がある。

このような支承破壊による路面段差を軽減するための対策として段差防止構造がある。段差防止構造は支承部の破壊を想定したとしても、橋の機能回復を速やかに行うために路面段差をできるだけ抑える構造である。

しかし、段差防止構造の必要性や対策方法は一般的な考え方は定められていないため、個別に検討することになる。そのため、段差防止構造を設置する優先度を考えた場合、各種支承はどのように損傷した実績及び損傷傾向があり、その結果、路面段差はどのようになるか考えるべきか、これらについて明らかにすることが重要である。

そこで本研究では、著者らグループが過去に実施した地震被害調査の資料を基に、地震により被害を受けた道路橋支承の損傷状態を調査し、各種支承における支承の損傷傾向及び、支承部の損傷と路面段差の発生の関係等について検討した。

2. 調査の概要

(1) 調査の対象とする地震

本研究では、表-1に示す2000年以降に発生した地震により道路橋が被害を受けた地震を対象とした。調査は著者らグループが地震被害調査で撮影した写真等の資料や調査報告書^{1)~6)}を基に行った。なお、本研究では地震直後の通行の可否に着目したため、津波により被害を受けた道路橋については調査の対象にしていない。また、支承部の損傷に着目しているため、下部構造の倒壊等により被害を受けた道路橋についても調査の対象にしていない。

(2) 調査項目

本研究では、以下の項目について調査を行った。

- ①支承形式 ②上部構造形式
- ③スパン長 ④支承の損傷状態
- ⑤路面段差の有無及び路面段差量

なお、路面段差の有無については、支承の損傷写真等から桁の脱落等を確認できたものを、路面段差

表-1 本研究で調査の対象とした地震

地震名	参考文献
2004年新潟県中越地震	2)
2007年新潟県中越沖地震	3)
2008年岩手・宮城内陸地震	4)
2011年東北地方太平洋沖地震	5)
2011年長野県北部の地震	6)
2016年熊本地震	1)

表-2 損傷が確認できた支承線のデータ数

(a) BP 支承				(b) 線支承				(c) ピン支承				(e) ピンローラー支承			
固定沓	単純桁	鈑桁	15	単純桁	鈑桁	6	単純桁	鈑桁	4	単純桁	鈑桁	0			
		箱桁	2		箱桁	2		箱桁	0		箱桁	0			
		PC,RC桁	1		PC,RC桁	3		PC,RC桁	3		PC,RC桁	0			
		その他	0		その他	0		その他	8		その他	4			
	total		18	total		11	total		15	total		4			
	連続桁	鈑桁	8	連続桁	鈑桁	4	連続桁	鈑桁	16	連続桁	鈑桁	4			
		箱桁	3		箱桁	1		箱桁	2		箱桁	11			
		PC,RC桁	1		PC,RC桁	0		PC,RC桁	0		PC,RC桁	0			
		その他	0		その他	0		その他	3		その他	1			
	total		12	total		5	total		21	total		16			
total			30	total			16	total			25	total			25
可動沓	単純桁	鈑桁	14	単純桁	鈑桁	13	単純桁	鈑桁	1	単純桁	鈑桁	4			
		箱桁	2		箱桁	0		箱桁	0		箱桁	0			
		PC,RC桁	0		PC,RC桁	2		PC,RC桁	0		PC,RC桁	0			
		その他	0		その他	0		その他	0		その他	0			
	total		16	total		15	total		1	total		4			
	連続桁	鈑桁	19	連続桁	鈑桁	4	連続桁	鈑桁	24	連続桁	鈑桁	11			
		箱桁	3		箱桁	2		箱桁	1		箱桁	4			
		PC,RC桁	1		PC,RC桁	0		PC,RC桁	0		PC,RC桁	7			
		その他	2		その他	0		その他	0		その他	3			
	total		25	total		6	total		0	total		3			
total			41	total			21	total			25	total			25

(表中の数値は支承線数)

が生じたと判断した。また、路面段差量について調査報告書¹⁾⁶⁾に記載されていない場合は、写真及び橋梁一般図から路面段差量を推定した。調査より損傷が確認できたデータ数を表-2に示す。本稿では、1支承線単位でデータ数をカウントしている。調査した結果、上部構造や支承の形式、及び損傷状態が判断できた83橋を対象に損傷を分析した。

なお調査した結果、一部の道路橋についてはH8道路橋示方書に基づき設計されていたが、それ以外の道路橋はH8道路橋示方書よりも前の基準で設計されていた。そのため、表-2に示した支承の大半はレベル2地震動に対する耐震設計が行われていなかった。

3. 各種支承の損傷傾向

(1) 支承の主な損傷状態

図-1は各支承の主な損傷状態の発生数を示したものである。図中の縦軸は該当する支承部品の損傷数である。本稿ではBP支承(支承板支承)、線支承、ピン支承、1本ローラー支承、ピンローラー支承、水平力分散ゴム支承及びパッド支承の損傷結果を示した。

a) BP支承(支承板支承)

BP支承の損傷数を図-1(a)に示す。単純桁の場合、上沓ストッパーの損傷が多い傾向にあり、鈑桁の固定沓で9支承線、可動沓で5支承線である。また、単

純桁では下沓の損傷も発生しており、鈑桁の固定沓及び可動沓共に3支承線である。一方、セットボルトやサイドブロック取付ボルトの損傷数は少ない傾向にあり、可動沓では損傷は確認できない。

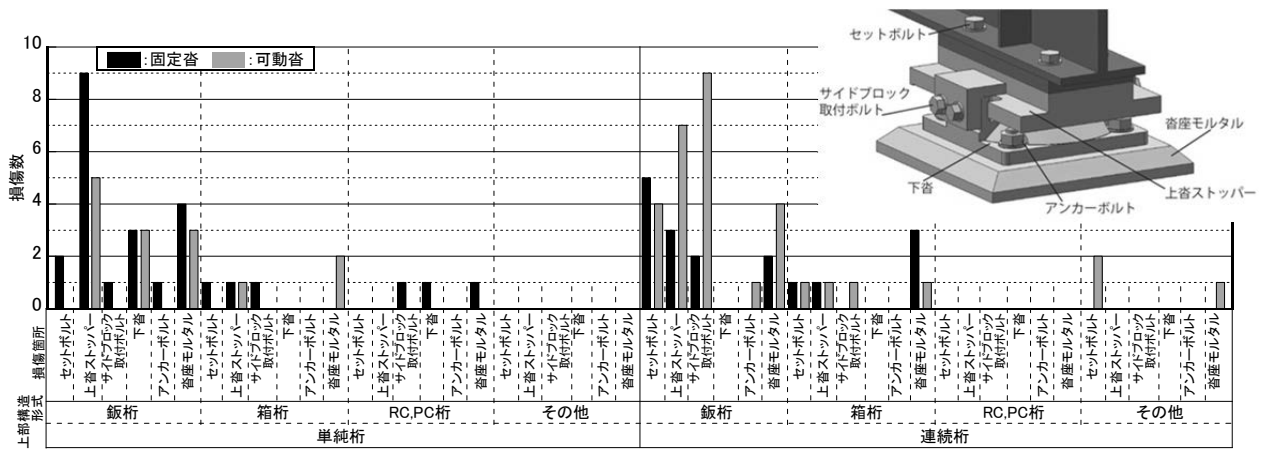
連続桁の場合、セットボルト、上沓ストッパー、サイドブロック取付ボルトが損傷する傾向があり、鈑桁の固定沓で2から5支承線、可動沓で4から9支承線確認できる。これらの部品はせん断キー等の他の部品の抵抗力により、水平方向の力では損傷しにくい。鉛直上向きの力により損傷したと考えられる。さらに単純桁では負反力は生じにくい。連続桁は他の支点部の支承が損傷することにより、負反力が支承部に作用する可能性がある。そのため、鉛直上向きの力によりセットボルトやサイドブロック取付けボルトにも損傷が生じた可能性がある。

b) 線支承

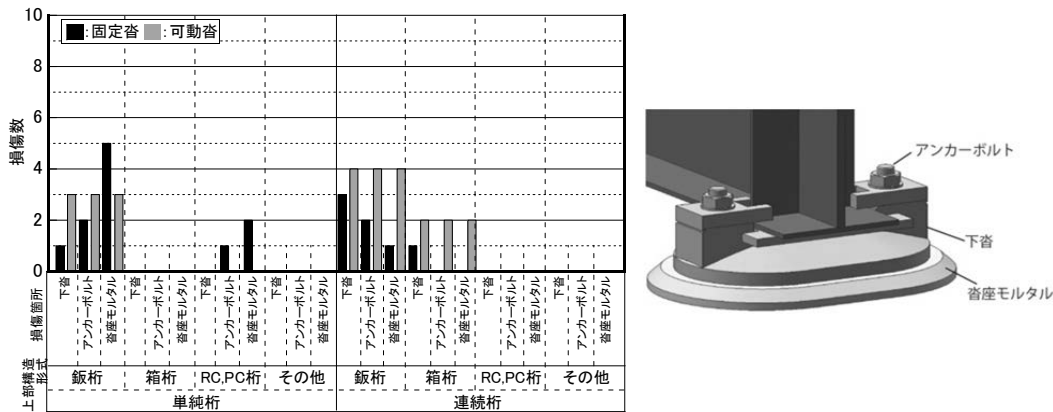
線支承の損傷数を図-1(b)に示す。単純桁の場合、沓座モルタルが損傷しやすい傾向にあり、鈑桁の固定沓で5支承線、可動沓で3支承線確認できる。連続桁の場合、下沓が損傷しやすい傾向にある。

c) ピン支承

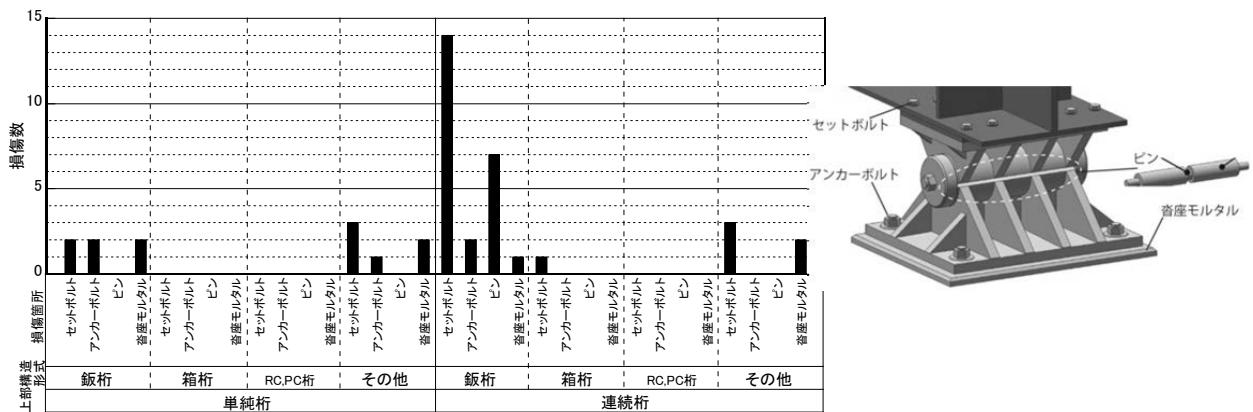
ピン支承の損傷数を図-1(c)に示す。連続桁の場合、セットボルト及びピンの損傷が多い傾向にあり、鈑桁ではセットボルトの損傷が14支承線、ピンの損傷は7支承線確認できる。一方、単純桁では連続桁より損傷が少なく、ピンの損傷は単純桁では確認できなかった。



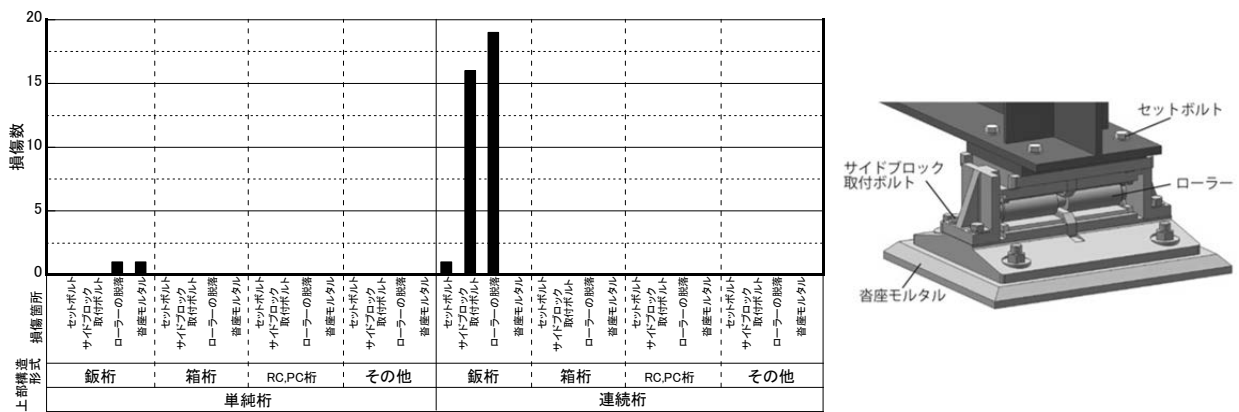
(a) BP 支承(支承板支承)



(b) 線支承

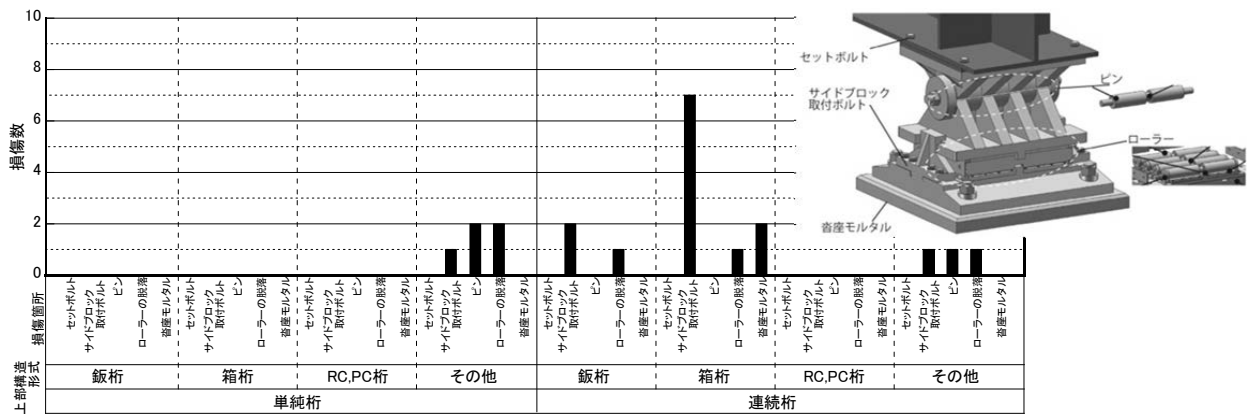


(c) ピン支承

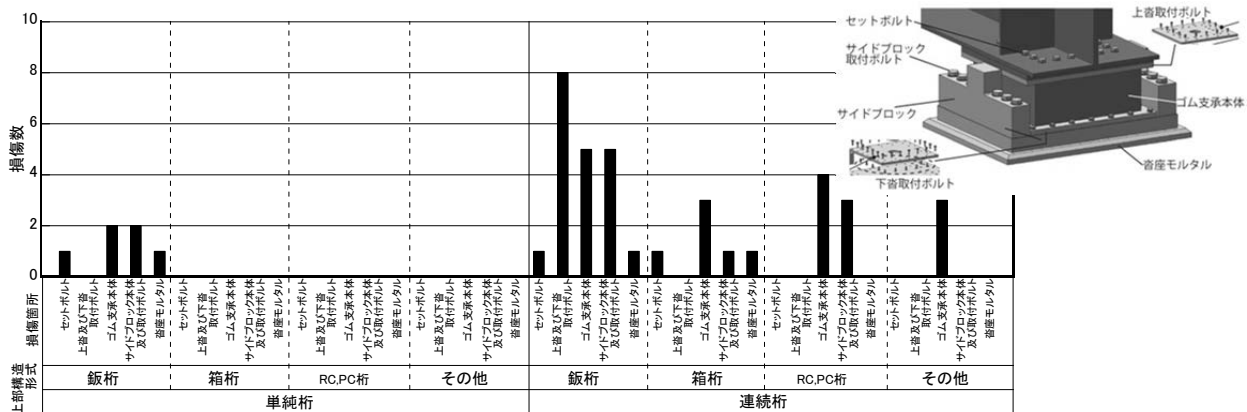


(d) 1本ローラー支承

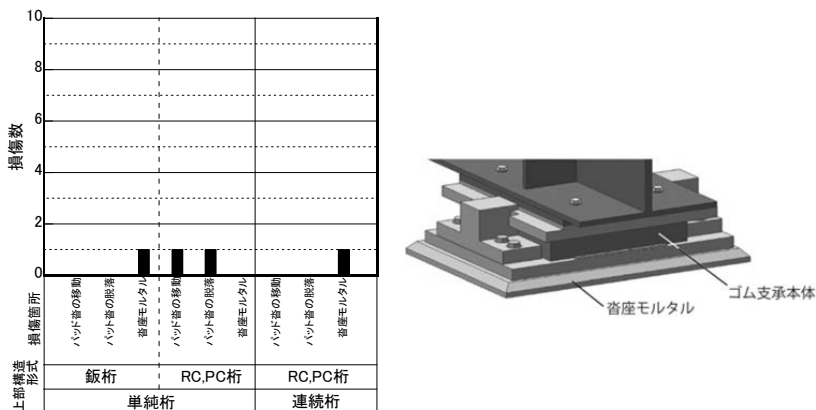
図-1 各種支承の損傷数(支承の図は文献7)を引用、一部加筆)



(e) ピンローラー支承



(f) 水平力分散ゴム支承



(g) パッド支承

図-1 各種支承の損傷数(支承の図は文献 7)を引用, 一部加筆)

d) 1本ローラー支承

1本ローラー支承の場合, 図-1(d)に示すように損傷の大半は, 連続桁のサイドブロック取付ボルトの損傷又はローラーの脱落であり, 連続桁の鉄桁で15支承線を超える。一方, セットボルトやアンカーボルト, 寄座モルタルの損傷はほぼ確認できなかった。

e) ピンローラー支承

ピンローラー支承の場合, 図-1(e)に示すように連続桁の箱桁で損傷が多く, 1本ローラー支承と同様にサイドブロック取付ボルトの損傷が多い傾向にある。

f) 水平力分散ゴム支承

水平力分散ゴム支承の損傷数を図-1(f)に示す。全体的に連続桁の損傷が多く, 上査及び下査取付ボルトやゴム支承本体, サイドブロック取付ボルトの損傷の損傷が多い傾向にある。一方, 単純桁では, 上査及び下査取付ボルトの損傷は確認できなかった。

g) パッド支承

パッド支承の場合, データ数が他の支承に比べて少ないが, RC及びPC桁で寄座モルタルの損傷やパッド沓の移動及び脱落が確認できる。

表-3 路面段差の発生数

		単純桁				連続桁			
		鈑桁	箱桁	PC,RC桁	その他	鈑桁	箱桁	PC,RC桁	その他
BP支承	固定	1	1	0	0	2	0	0	0
	可動	2	0	0	0	3	1	0	1
線支承	固定	1	0	0	0	1	0	0	0
	可動	4	0	2	0	3	0	0	0
ピン支承		1	0	0	0	10	0	0	1
1本ローラー支承		1	0	0	0	18	0	0	0
ピンローラー支承		0	0	0	2	2	1	0	1
ゴム支承		2	0	0	0	6	1	0	0

(表中の数値は支承線数)

(2) 路面段差の発生数

表-3は路面段差の発生数を示したものである。本研究では、前述したように支承の損傷写真等から路面段差を判断している。

表より、BP支承や線支承では、可動沓が路面段差の発生数が多い傾向にある。また、線支承ではPC,RC桁における路面段差も確認できる。ピン支承、1本ローラー支承、水平力分散ゴムの場合、路面段差の大半が連続鈑桁であり、ピン支承や1本ローラー支承では路面段差の発生数は10支承線以上確認できる。

4. 路面段差量と車両走行性

前章では、各種支承の損傷傾向及び路面段差の発生数について検討した。本章では、発生した路面段差量に対する車両走行性について検討する。本研究では、文献8)を参考に走行性を評価した。なお、ここでは段差量のみから走行性を評価しているが、現実には他の部材の損傷も踏まえた耐荷性能や走行安全性等も考慮して判断する必要がある。

図-3は各支承形式における路面段差量を示したものである。縦軸は路面段差量である。前述したように、路面段差量が報告書¹⁾⁶⁾に記載されているケースについては、報告書に記載されている数値、報告書に記載されていないケースについては、写真又は図面より推定した数値を記載した。但し、支承部の写真が不鮮明等、これら資料から推定が困難なケースについては図中には示していない。また、同一支承線上で段差量が異なる場合は、段差量が大きい方を記載した。図中には可能走行段差量⁸⁾も示した。本研究では文献8)に示されている走行可能な段差量以上の路面段差については走行不可と評価した。なお、パッド支承はデータ数が少ないため、本稿では記載していない。また表-4に路面段差が生じた状況における支承の損傷状態を示した。表中に示した橋

梁No.は、図-3に示した橋梁No.に対応している。

図より、ピン支承は全てのケースにおいてセットボルトの損傷を伴うことを確認でき、路面段差量は240mm以上が生じている。表-4に示したように、セットボルトやピンが損傷して支承全体又は下沓の高さ分の路面段差が生じる傾向にあり、かつ写真-1に示すようにピン支承は他の支に比べて支承高が高いことが考えられる。したがって、路面段差が生じると小型及び大型車両共に走行不可、又は走行可能でも停止(0~10km/h)になる傾向にあり、路面段差が生じると供用性は期待できないと考えられる。一方、線支承は上沓又は下沓の高さ分の路面段差が生じているが、写真-2に示したように他の支承に比べて支承高が低い場合路面段差量は小さく、路面段差量は150mm以下である。そのため、大型車両では全てのケースが徐行(15~20km/h)又は定常で走行可能であることから、線支承では路面段差が生じていても一定の供用性は期待できると考えられる。

水平力分散ゴム支承は、写真-3に示すように支承全体又は沓座モルタルを含めた高さ分の路面段差が生じる傾向にあり、200mmから400mm程度の路面段差が発生している。走行性を見ると、多くのケースで走行不可、走行可能でも停止(0~10km/h)の走行性しか期待できない。したがって、路面段差が生じると供用性は期待できないと考えられる。

1本ローラー支承は写真-4に示すように、上沓が橋脚又は橋台天端に留まっている場合と逸脱した場合で、100mmから400mm程度の路面段差量のばらつきが確認できる。走行性を見ると、停止(0~10km/h)又は走行不可になりやすい傾向にある。

ピンローラー支承の場合、路面段差が10mm程度のケースを確認できた。これは表-4及び写真-5に示すピンの損傷により発生した場合、路面段差量が小さい場合もあるが、余震等により損傷が進展する可能性があるため注意が必要である。一方、橋梁No.50~52では150mmの路面段差が生じている。写真-6に示すように、サイドブロック取付ボルトの損傷

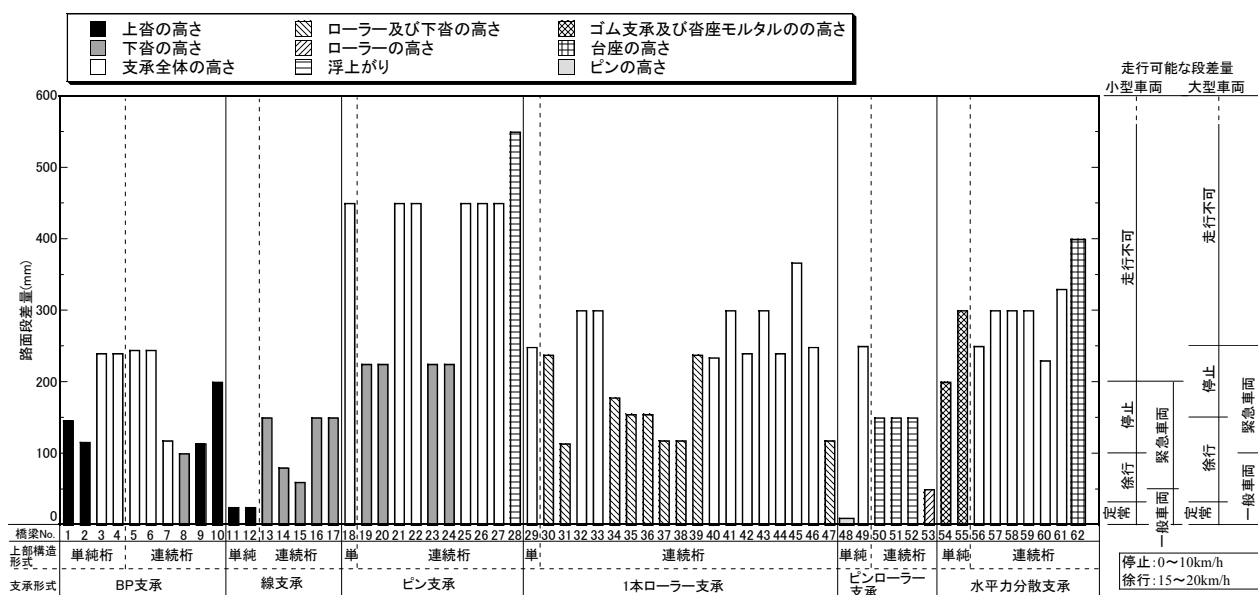


図-3 各支承における路面段差量

表-4 路面段差発生時の損傷状況

	BP 支承										線支承								ピン支承									
	単純桁					連続桁					単純桁				連続桁				単	連続桁								
橋梁No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
セットボルトの損傷	○	○			○	○	○	○	○	○								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上沓ストッパーの損傷		○						○																				
サイドブロック取付ボルトの損傷	○	○			○	○			○																			
下沓の損傷											○	○	○	○			○	○										
アンカーボルトの損傷														○		○	○	○										
沓座モルタルの損傷											○							○	○						○	○		
ピンの損傷																			○	○			○	○	○			
ローラーの脱落																												
上沓取付けボルトの損傷																												
下沓取付けボルトの損傷																												
ゴム支承本体の損傷																												

	1本ローラー支承										ピンローラー支承				水平力分散ゴム支承																			
	単	連続桁									単純桁	連続桁			単純桁	連続桁																		
橋梁No.	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
セットボルトの損傷																																	○	
上沓ストッパーの損傷																																		
サイドブロック取付ボルトの損傷		○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○		○	○	○	○			○	○	○	○				○			○		
下沓の損傷																																		
アンカーボルトの損傷																																		
沓座モルタルの損傷	○																																	
ピンの損傷																				○	○		○											
ローラーの脱落	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○									
上沓取付けボルトの損傷																																		
下沓取付けボルトの損傷																																		
ゴム支承本体の損傷																											○	○		○	○	○	○	○

※No.3 及び No.4 については損傷状態を確認できない



写真-1 ピン支承における桁の脱落



写真-2 過度な橋軸方向の変位による桁の落下

により桁が浮き上がることで段差が生じている。したがって、連続桁の場合は、このような浮上りによる段差発生にも留意が必要である。桁落下による路面段差による走行性を見ると、一部を除き徐行(15~20km/h)により走行可能であることを確認でき

る。なお、橋梁No.49の路面段差は、支承が橋脚天端から脱落したためである。

BP支承の場合、ほぼすべてのケースでセットボルトの損傷を伴っており、路面段差量は写真-7に示すように上沓のみ脱落する場合とセットボルトの損傷



写真-3 水平力分散ゴムにおける桁の落下

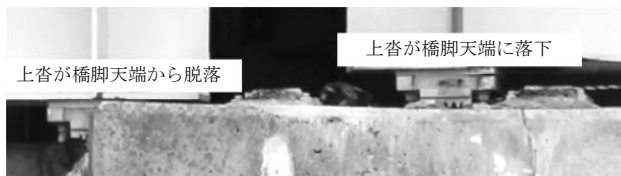


写真-4 ローラー支承における上沓の脱落



写真-5 ピンローラー支承におけるピンの損傷



写真-6 サイドブロック取付ボルトの損傷による
桁の浮上がり(ピンローラー支承)

により桁が落下する場合によりばらつきが生じているが、最低でも100mm程度の路面段差が生じている。走行性を考えると、小型車両では一部走行不可のケースが存在するが、全体的に停止(0~10km/h)又は徐行(15~20km/h)の走行性は期待できる傾向にある。

以上より、調査した範囲ではあるが線支承は路面段差が生じてても走行が困難になる段差量は生じず、



(a) 上沓が脱落した場合



(b) 桁が橋脚天端に落下した場合

写真-7 BP沓における路面段差の発生状況

ピン支承は路面段差が生じると走行が困難になる段差が生じることがわかった。そのため、優先度を考えた場合、ピン支承を優先的に段差防止装置を設置する必要があることがわかる。それ以外の支承については、優先度を決めるにはさらなる情報が必要であるが、支承の損傷状態から優先度を検討することは可能である。

5. まとめ

本研究は、過去に発生した地震被害の調査資料を基に、支承部の損傷状態と支承部の損傷と路面段差の発生の関係等を検討した。調査した範囲ではあるが、調査結果から各種支承の上部構造形式ごとの損傷傾向を把握することができた。また、一部の支承で供用性を評価、さらに段差防止装置の優先度を評価することができ、支承の損傷状態から優先度を検討することは可能であることがわかった。

本研究では、著者らグループが調査した範囲内で検討を行った。今後は、著者らグループが調査を行っていない地震や道路橋についても調査を行い、データ量を増やすことで、様々な支承形式における損傷傾向や供用性の評価を行っていく予定である。

謝辞：本研究は、研究当時土木研究所に所属していた余野智哉交流研究員(現、株式会社ビービーエム)に研究の協力を頂いた。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 平成28年(2016年)熊本地震土木施設被害調査報告、

国土技術政策総合研究所資料No.967／土木研究所資料No.4359, 2017.

- 2) 平成16年(2004年)新潟県中越地震土木施設災害調査報告, 国土技術政策総合研究所報告No.27／土木研究所報告No.203, 2006.
- 3) 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震被害調査報告, 国土技術政策総合研究所資料No.439／土木研究所資料No.4086／建築研究資料No.112, 2008.
- 4) 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震被害調査報告, 国土技術政策総合研究所資料No.486／土木研究所資料No.4120／建築研究資料No.115, 2008.
- 5) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による道路

橋等の被害調査報告, 国土技術政策総合研究所資料No.814／土木研究所資料No.4295, 2014.

- 6) 平成23年(2011年)長野県北部の地震による道路橋等の被害調査報告, 国土技術政策総合研究所資料No.770／土木研究所資料No.4274, 2013.
- 7) 土木学会：(鋼構造シリーズ25)道路橋支承部の点検・診断・維持管理技術, 2016.
- 8) 常田賢一, 小田和広, 中平明憲, 林健二, 依藤光代：段差走行実験に基づく地震時の道路の性能評価および交通運用, 土木学会地震工学論文集, 第29巻, pp.596-604, 2007.