

巻末資料-4 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

過去の大規模地震における落橋事例とその分析

平成21年12月

独立行政法人土木研究所
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

Copyright © (2009) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

過去の大規模地震における落橋事例とその分析

上席研究員	運上 茂樹*
上席研究員	星隈 順一
主任研究員	堺 淳一
交流研究員	植田 健介

※現 国土交通省国土技術政策総合研究所
危機管理技術センター 地震災害研究官

要 旨

国内外で過去に起こった大規模地震における落橋という甚大な被害をうけて、設計で想定される以上の地震外力の作用や地盤変位による上下部構造間の過大な相対変位に対しても落橋を防止することを目的とした落橋防止システムの設計法が整備されている。こうした落橋防止システムは支承破壊に伴う上下部構造間の大きな相対変位に対して落橋を防止できるように配慮することとされているものの、どのような落橋現象に対して、どのような性能を確保し、また、具体的な落橋現象を考慮した場合の落橋防止システムへの作用力の評価法など十分明らかにされていない点も多い。

そこで本研究では、過去の大規模地震における落橋事例を分析し、橋の桁落下に至るシナリオの検討を行い、落橋防止システムに要求される性能に関する考察を行った。

キーワード：落橋防止システム、落橋、被災シナリオ、桁落下事例

目 次

1. はじめに	1
2. 過去の地震における落橋の分析	2
3. 落橋防止システムの要求性能	8
参考文献	9
参考資料. 過去の大規模な地震による落橋事例集	11

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震において、落橋等の甚大な被害が多数の橋梁に生じたことをうけて、平成8年に改定された道路橋示方書V耐震設計編¹⁾では、落橋防止のために必要な機能を明確にして落橋防止システムを構成するとともに、その設計法が強化された。平成14年の道路橋示方書V耐震設計編²⁾では、性能設計に対応するために要求性能が示されることになり、落橋防止システムの性能目標としては、設計で想定される以上の地震外力や地盤の変位により過大な上部構造の応答が生じた場合にも、桁の落下を防止することとされた。しかし、道路橋示方書の規定は仕様規定となっており、性能という観点ではどのような落橋現象に対して、どのような性能を確保し、また、具体的な落橋現象を考慮した場合の落橋防止システムへの作用力の評価法など十分明らかにされていない点も多いため、これらを明確にし、合理的な落橋防止システムの設計法を構築することが必要とされている。

以上のような背景から、本研究では過去の地震における落橋の分析による橋の桁落下シナリオの検討を行い、落橋防止システムに要求される性能に関する考察を行った。

2. 過去の地震における落橋の分析

橋桁が落下するシナリオを検討するために、過去の大規模な地震における落橋事例の分析を行った。対象としたのは、表-1に示すように1891年濃尾地震以降の国内の地震と1994年米国・ノースリッジ地震以降の海外の地震において橋桁が落下した62ケース³⁾⁻⁴³⁾である。ここで、桁落下の被災シナリオとしては以下の5つを設定し、これによって分類した。図-1にシナリオA～Dの例を示す。

シナリオA：下部構造が倒壊

シナリオB：下部構造が大変位

シナリオC：上部構造の橋軸方向への変位

シナリオD：上部構造の橋軸直角方向への変位

シナリオE：津波による上部構造の流失（漂流船舶の衝突による橋脚の崩壊を含む）

我が国における被災例としては、1948年の福井地震までは下部構造が倒壊したことを原因とする落橋が大多数を占めているが、これより後には上部構造や下部構造の大変位による落橋も生じている。1995年の兵庫県南部地震では下部構造の倒壊によるケースと上部構造や下部構造の大変位によるケースが同程度生じている。

表-1の事例を構造形式と被災シナリオで分類し、径間数で整理したものが表-2であり、被災シナリオごとの橋数と径間数にまとめた結果が表-3である。これらによれば、桁落下の原因としては、下部構造の倒壊（シナリオA）が圧倒的に多く、橋数では全体の43%、径間数にすると全体の77%を占める。次いで多いのが、津波を原因とするケースである。下部構造や上部構造の大変位に起因する落橋（シナリオB～D）はそれぞれ径間数にして全体の10%以下と多くはない。

表-4は、我が国で地震により桁落下が生じた事例を構造形式ごとに整理した結果である。なお、文献23)によれば落下した桁の径間数は46径間となっているが、ここでは文献18)および22)～29)の資料をもとに下部構造の崩壊に伴う桁の沈下が顕著であった市庭町建石交差点の2径間についても落橋に含め、名神高速道路における落橋を瓦木西高架橋の2径間とし、さらに文献23)では落橋事例として取り上げられていない新港第4突堤ポートターミナルランプのダブルデッキの上下1径間の計2径間を追加し、表-5のように49径間としている。

表-4によれば、桁落下は複数径間を有する単純桁橋に多く生じている。ただし、200を超える落下径間のうちの90%近くは、下部構造の倒壊が原因である。一方、両端に橋台を有する単純桁橋は一般に橋が振動しにくいと考えられるが、実際の被害においても落橋したのは2ケースと少なく、その原因は橋台の破壊であり、橋の地震応答によるものではないと推測されている。連続桁橋では、兵庫県南部地震において斜橋や曲線橋において桁の回転の影響もあると推測されるが主として橋脚の崩壊により落橋した例が3橋（4径間）報告されている。また、連結桁形式の橋梁において、橋脚の倒壊により落橋した例が1橋（13径間）報告されている。2008年の岩手・宮城内陸地震における連続橋の落橋は、橋台・橋脚が設置された周辺地盤の崩壊が原因とされている。以上のことから、連続橋においては下部構造が倒壊しない限り桁落下が生じた事例はない。

以上より、過去の地震被災によれば、下部構造の倒壊なしに桁が落下した橋の構造形式としては、複数径間を有する単純桁橋に限られている。



(a) シナリオA：下部構造が倒壊した例¹⁴⁾



(b) シナリオB：下部構造が大変位した例¹⁹⁾



(c) シナリオC：桁が橋軸方向へ変位した例¹⁴⁾



(d) シナリオD：桁が直角方向へ変位した例^{12), 13)}

図-1 桁落下シナリオに基づく被災例

表-1 (1) 過去の被害地震による桁落下事例と被災シナリオ

地震名	橋梁名	落下径間 /径間数	構造形式	被害形式	シナリオ	資料頁番号	参考文献
1891年濃尾地震	枇杷島橋	不明	木橋 (詳細は不明)	地盤変状による下部構造崩壊	A	12-13	3), 4), 5)
	豊国橋	1/3	3径間鋼トラス橋, 斜角20°	下部構造の変位により1径間分の桁落下	B	14-15	6), 7)
	酒匂橋	33/33	33径間RCT桁橋	橋脚の破壊により落橋	A	16-17	6), 7)
1923年関東地震	早川橋	1/6	6径間RCT桁橋	上部構造の変位, あるいは橋脚変位	C	18-19	6), 7)
	神戸橋	2/2	2径間RCT桁橋	橋脚の破壊により落橋	A	20-21	6)
	谷戸橋	1/1	単径間平行弦アラトラス	橋台の破壊により落橋	A	22-23	6), 7)
	木質橋	不明	木造類杖橋	斜面崩落による橋脚破壊	A	24-25	6), 7)
	渡川橋	6/8	8径間鋼レソトラス橋	地盤変状による橋脚移動	B	26-27	8), 9), 10)
1946年南海地震	厄除橋	4/5	5径間ハウ型木トラス橋	津波によって遡上した船の衝突	E	28-33	10)
	会津橋, 他11橋	(12)/(12)	単純桁橋 (木, 鋼, RC造) 等	津波による橋脚の折損 (漂流船舶の衝突)	E	34-35	8), 9), 10)
	中角橋	11/14	14径間鋼鈹桁橋	上部構造の変位により桁落下	A	36-37	7), 11), 12), 13)
	長屋橋	4/8	8径間鋼桁橋	下部構造の沈下, 変位により上部構造沈下	A	38-39	7), 11), 12)
1948年福井地震	港橋	7/7	7径間木造土橋	橋脚の破壊により落橋	A	40-41	11), 12)
	布施田橋	53/75	75径間木造土橋	下部構造の破壊により落橋	A	42-43	11), 12)
	板垣橋	8/13	13径間RCT桁橋	下部構造傾斜により桁落下	A	44-45	11), 12)
	弁天橋	3/6	6径間RCT桁橋	下部構造の転倒により落橋	A	46-47	11), 12)
	船橋	30/30	30径間木造土橋	下部構造の崩壊により落橋	A	48-49	11), 12)
	響橋	3/3	6径間トラス橋 (3径間分架設済み)	上部構造の変位により桁落下	C	50-51	14)
1964年新潟地震	昭和大橋	5/12	12径間単純鋼鈹桁橋	1径間は振動応答により桁落下 それ以外の桁は液状化による地盤の変位により落下	B, C	52-53	7), 15), 16), 17), 18)
	新潟駅東跨線橋	1/16	単径間活荷重合成単純鈹桁橋 + (8+7) 径間アラトラス桁橋	液状化による地盤の変位により落橋	B	54-55	15), 16), 17), 18)
	松浜橋	1/14	14径間鋼レソトラス橋 (架設中)	支保工の倒壊により可動側から落橋	A	56-57	16), 17)
	品ノ木橋	不明	不明	橋脚の沈下による落橋	A?	58-59	15)
	錦松橋	1/9	9径間ゲルバー鈹桁橋	上部構造の振動変位による落下	C	60-61	19), 20)
1983年日本海中部地震	月出橋	3/5	4径間木橋+単径間RC床版桁橋	津波によって遡上した船の衝突	E	62-63	21)

表-1 (2) 過去の被害地震による桁落下事例と被災シナリオ

地震名	橋梁名	落下径間 / 径間数	構造形式	被害形式	シナリオ	資料頁番号	参考文献
1995年兵庫県南部地震	門戸高架橋	1/19	19径間単純桁橋 (PC桁, 鋼桁) 斜角40°	斜橋の回転による桁落下	D	64-65	23)
	岩屋高架橋	15/46	3径間連結PC桁橋3連 + 単純合成鋼箱桁橋 + 単純合成鋼桁橋 + 3径間連結PC桁橋4連 (上下線分離)	鋼製橋脚の局部座屈、角部われによる崩壊 RC橋脚の破壊による落橋	A	66-69	22), 23), 26), 27), 28)
	瓦木西高架橋	2/3	3径間連続RC中空床版橋, 斜角52°	斜橋の回転と橋脚損傷による桁落下	A, (D)	70-71	23)
	甲子園高潮町西	2/2	鋼単純鋼桁橋	RC橋脚の主鉄筋段落し部の破壊による倒壊	A	72-73	25)
	浜脇町札場	2/4	4径間鋼単純鋼桁橋	桁振動・衝突による桁落下	C	74-75	25)
	市庭町建石交差点	2/2	単純合成鋼箱桁橋 + 単純合成鋼桁橋	鋼製橋脚の座屈による崩壊	A	76-77	22), 23)
	東灘区梁江本町	18/18	18径間PCゲルババー桁橋 (ピルツ橋)	RC橋脚の主鉄筋段落し部の破壊による倒壊	A	78-79	22), 23), 24), 25)
	中央区波止場町	2/2	2径間単純合成鋼桁橋	RC橋脚の主鉄筋段落し部の破壊による倒壊	A	80-81	22), 25)
	湊川ランプ橋東人G3	1/2	2径間連続曲線鋼箱桁橋	曲線橋の回転と橋脚損傷による桁落下	A, (D)	82-83	22), 25)
	湊川ランプ橋西出G4	1/2	2径間連続曲線鋼箱桁橋	曲線橋の回転と橋脚損傷による桁落下	A, (D)	84-85	22), 25)
2000年鳥取県西部地震	西宮港大橋7号橋	1/2	ニルペローゼ橋 + 単純鋼箱桁橋	桁間の振動位相差と地盤流動化による桁落下	(B), C	86-87	18), 23), 29)
	新港第4突堤 ボート・シタマツ	2/8	単純鋼箱桁橋2連 (ガム・桁) + 2径間アーク 鋼箱桁橋, 二層式曲線橋, 斜角あり	斜橋の回転と上下部構造の大変位で桁落下	(B), (C), D	88-89	30)
	原田橋	1/1	単径間 斜角あり	橋台の破壊により落橋	A	90-91	31), 32)
	祭時大橋	3/3	3径間連続非合成鋼桁橋	地山の崩壊による大変位と橋脚崩壊による 落橋	A	92-93	33), 34)
	15/S14/カチエツ橋	3/10	10径間RC箱桁橋, 曲線橋	RC橋脚のせん断破壊による倒壊	A	94-95	33), 34)
	Gavin Canyon橋	2/5	PC箱桁橋 + (2+2)RC箱桁橋, 斜角66°	振動位相差による大変位でヒンジ部で落下	C	96-97	35), 36), 37)
	Arifeye橋	4/4	4径間単純PC橋, 斜角70°	断面による橋脚移動	B	98-99	38), 39)
	長庚橋	2/13	13径間PC単純5主桁橋	支承の破壊と桁の移動	C	100-101	38)
	卑豊橋	3/13	13径間RC単純桁橋	断面による地盤の隆起による橋脚の転倒	A	102-103	38)
	鳥渡橋 (旧橋)	2/18	18径間PC単純5主桁橋	断面による橋脚移動	B	104-105	38)
2004年マドリ沖大地震	石圍橋 (多数)	2/3 (多数)	3径間RC単純桁橋, 斜角55°~85° 単純桁橋	断面による橋脚移動 津波による流失	B E	106-111	40)
	百花大橋	4/9	(2+3+4)連続PCスラブ橋	橋脚の倒壊による落橋	A	112-113	41)
	廟子坪橋	1/18	2径間連結PCT桁+3径間連続PCアーク橋 +(5+4+4)径間連結PCT桁	下部構造の変位と上部構造の応答による 桁落下	(B), C	114-115	42)
	小魚洞橋	3/4	4径間連続方杖ラーメン橋	下部構造の破壊により落橋	A	116-117	42)
2008年中国・四川地震	井田坝大橋	2/2	2径間RCアーチ橋	下部構造の破壊により落橋	A	118-119	43)
	紅東大橋	不明	RCアーチ橋 (径間数不明)	下部構造の破壊により落橋	A	120-121	43)
	迎春橋	1/1	無補剛石造アーチ橋	下部構造の破壊により落橋	A	122-123	43)

表-2 過去の被害地震による桁落下事例の被災シナリオと構造特性による桁落下径間数の分類

地震名	構造形式	両端橋台単純桁				複数径間単純桁				連続（連結）桁				備考	
	シナリオ 橋梁名	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D		E
1891年濃尾地震	枇杷島橋					不									
1923年関東地震	豊国橋						1								
	酒匂橋					33									
	早川橋							1							
	神戸橋					2									
	谷戸橋	1													
1946年南海地震	木賀橋														不明
	渡川橋						6								
	厄除橋													4	
1948年福井地震	会津橋, 他11橋														12
	中角橋					11									
	長屋橋					4									
	港橋					7									
	布施田橋					53									
	板垣橋					8									
	弁天橋					3									
1955年二ツ井地震	船橋					30									
	響橋							3							
1964年新潟地震	昭和大橋						4	1							
	新潟駅東跨線橋							1							
	松浜橋					1									
1978年宮城県沖地震	品ノ木橋														不明
	錦桜橋							1							
1983年日本海中部地震	月出橋													3	
1995年兵庫県南部地震	門戸高架橋								1						
	岩屋高架橋					2				13					
	瓦木西高架橋									2			(2)		
	甲子園高潮町西					2									
	浜脇町札場								2						
	市庭町建石交差点					2									
	東灘区深江本町					18									
	中央区波止場町					2									
	湊川ランプ橋東入G3									1				(1)	
	湊川ランプ橋西出G4									1				(1)	
	西宮港大橋アプローチ橋						(1)	1							
2000年鳥取県西部地震	新港第4突堤						(2)	(2)	2						
	ポーターミナルランプ														
2008年 岩手・宮城内陸地震	原田橋	1													
小計	祭時大橋									3					
		2	0	0	0	178	12 (3)	9 (2)	3	20	0	0	0	19	
1994年 米国・ノースリッジ地震	I5/S14インターチェンジ橋					3									
	Gavin Canyon橋											2			
1999年 トルコ・コジヤエリ地震	Arifiye橋						4								
1999年台湾・集集地震	長庚橋								2						
	卑豊橋					3									
	烏溪橋（旧橋）						2								
	石圍橋						2								
2004年スマトラ沖大地震	（多数）														多
2008年中国・四川地震	百花大橋					4									
	廟子坪橋						(1)	1							
	小魚洞橋					3									
	井田坝大橋					2									
	紅東大橋					不									
小計	迎春橋					1									
		0	0	0	0	16	8 (1)	3	0	0	0	2	0	0	
合計		2	0	0	0	194	20 (4)	12 (2)	3	20	0	2	0	19	
	シナリオ	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	E	
	構造形式	両端橋台単純桁				複数径間単純桁				連続（連結）桁					

() 内は、複数の被害原因による落下径間数で、主たる被害原因に計上されていることを示す。

表-3 被災シナリオごとの落橋数と落下径間数

シナリオ	被害原因	橋数			径間数		
		日本	海外	合計	日本	海外	合計
A	下部構造が倒壊	23	7	30	200	16	216
B	下部構造が大変位	6	4	10	15	9	24
C	上部構造の橋軸方向への変位	7	3	10	11	5	16
D	上部構造の直角方向への変位	5	0	5	7	0	7
E	津波	14	0	14	19	0	19

注1) スマトラ沖地震の津波による被害は除く。

注2) 被害原因が2つ以上の場合は、いずれにも計上した。

表-4 関東地震以降の我が国の被害地震による落橋事例と構造特性の関係

地震	落橋数	構造特性 (径間数)		
		両端に橋台を有する単純桁橋	複数径間を有する単純げた橋	連続桁橋
1923年関東地震	6橋	(1)	2 (35)	----
1946年南海地震	1橋	----	6	----
1948年福井地震	7橋	----	(116)	----
1955年二ツ井地震	1橋	----	3	----
1946年新潟地震	4橋	----	6 (1)	----
1978年宮城県沖地震	1橋	----	1	----
1995年兵庫県南部地震	12橋	----	6 (26)	4 (17)
2000年鳥取県西部地震	1橋	(1)	----	----
2009年岩手・宮城内陸地震	1橋	----	----	(3)
合計	34橋	(2)	24 (178)	4 (20)

注) シナリオB, C, Dによる落下径間数を示す。括弧内はシナリオAによる落下径間数を示す。

ただし、シナリオB, C, DとあわせてシナリオAも原因のひとつと思われる場合には双方に計上している。

表-5 兵庫県南部地震における落下径間数

橋梁名	落下径間	
	参考文献12)	本研究
門戸高架橋	1	1
岩屋高架橋	15	15
瓦木西高架橋	3	2
甲子園高潮町西	2	2
浜脇町札場	2	2
市庭町建石交差点	—	2
東灘区深江本町	18	18
中央区波止場町	2	2
湊川ランプ橋東入G3	1	1
湊川ランプ橋西出G4	1	1
西宮港大橋アプローチ橋	1	1
新港第4突堤ボートターミナルランプ	0	2
合計	46	49

3. 落橋防止システムの要求性能

道路橋示方書に示される落橋防止システムは、主として桁かかり長と落橋防止構造から構成される。本システムは、基本的には支承が破壊した場合に生じる上下部構造間もしくは上部構造間の大きな相対変位に対応するために設置されており、こうした特性から考えると、下部構造が倒壊する場合（シナリオA）による桁の落下を防ぐことは困難と考えられる。こうした被災形態を防ぐためには、当然のことながら下部構造の耐震性能を向上することが重要である。また、橋台や橋脚が設置される周辺地盤の崩壊による落橋に対しても、落橋防止システム等の現状の技術で構造的に対応することは困難であり、路線計画段階における十分な検討が必要である。

下部構造もしくは上部構造に大きな変位が生じて、上下部構造間もしくは上部構造間の相対変位が大きくなる場合（シナリオB～D）には、十分な桁かかり長を確保することや落橋防止構造により隣接する上部構造間もしくは上下部構造間を連結することにより、桁の落下を防止することが可能と考えられる。落橋防止システムはこうした被害を防ぐことを想定としており、これをもとに合理的に桁かかり長や落橋防止構造の設計耐力、設計遊間量を設定することが重要である。

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，1996.
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2002.
- 3) 関西ライフライン研究会：明治以降関西地域の地震と被害，1995.
- 4) 明治29年愛知県震災報告：震災予防調査会報告2巻，1894.
- 5) 岐阜三重両県土木工事震害及復旧工事報告：震災予防調査報告3巻，1894.
- 6) (社) 土木学会：大正12年関東地震震害調査報告書（第3巻）（復刻版），1984.
- 7) (社) 土木学会：デジタルアーカイブ，土木学会ホームページ
- 8) 長谷川盟輔：高知県渡川橋震災復旧工事について，道路，1948.
- 9) 金井清他：高知県における南海地震の建物被害調査報告，高知県「南海大震災誌」付録，1949.
- 10) (社) 土木学会：南海大地震災害報告，土木学会誌 Vol. 32, No. 1, 1947.
- 11) 北陸震災調査特別委員会：昭和23年福井地震震害調査報告 I 土木部門，1950.
- 12) 福井県：福井大震災調査報告，1949.
- 13) 福井市：福井市広報広聴課写真帳，福井市立郷土歴史博物館ホームページ
- 14) 小寺重郎：橋の耐震設計について（その2），土木技術26巻4号，1971.
- 15) 建設省土木研究所：新潟地震調査報告，土木研究所報告No.125，1965.
- 16) 新潟地震30年事業実行委員会／学術技術誌編集委員会：新潟地震と防災技術，1994.
- 17) (社) 土木学会新潟震災調査委員会：昭和39年新潟地震震害調査報告，1966.
- 18) (社) 土木学会：緩衝型落橋防止システムに関する調査研究，土木学会関西支部講習会テキスト2001.
- 19) 建設省土木研究所：1978年宮城県沖地震災害調査報告，土木研究所報告No.159，1983.
- 20) (社) 土木学会東北支部：1978年宮城県沖地震調査報告書，1980.
- 21) 建設省土木研究所：1983年日本海中部地震災害調査報告，土木研究所報告No.165，1985.
- 22) 建設省土木研究所：平成7年(1995年)兵庫県南部地震被害調査報告，土木研究所報告No.196，1996.
- 23) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会（土木学会，地盤工学会，日本機械学会，日本建築学会，日本地震学会）：阪神・淡路大震災調査報告 土木建造物の被害 第1章 橋梁，土木学会，1996.
- 24) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書，1995.
- 25) 阪神高速道路公団：大震災を乗り越えて 震災復旧工事誌，1997.
- 26) (社) プレストレストコンクリート技術協会：岩屋高架橋（工事ニュース），プレストレストコンクリート，pp. 62, Vol.15, No.6, 1973.
- 27) 川崎茂信：直轄国道の被災状況と復旧，道路 652号，(社) 日本道路協会，1995.
- 28) 国土交通省：防災情報 阪神・淡路大震災の概要，兵庫国道事務所ホームページ
- 29) 神戸市港湾整備局：神戸港港湾施設復旧誌 阪神・淡路大震災をのりこえて（技術編），1998.
- 30) 建設省土木研究所：平成12年(2000年)鳥取県西部地震緊急調査報告書，土木研究所資料第3769号，2000.
- 31) 独立行政法人土木研究所：平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震被害調査報告，土木研究所資料第4120号，2008.

- 32) Unjoh, S., Tamakoshi, T., Ikuta, K. and Sakai, J.: Damage Investigation of Maturube Bridge during The 2008 Iwate-Miyagi-Nairiku Earthquake, *Proc. 41st Joint Meeting US-Japan Panel on Wind and Seismic Effect*, UJNR, Tsukuba, Japan, 2009. 5
- 33) 国土庁防災局：1994ロサンゼルス近郊地震（ノースリッジ地震）の記録，1994.
- 34) 建設省土木研究所：1994年1月ノースリッジ地震被害調査速報，土木研究所資料第3272号，1994.
- 35) 川島一彦，鈴木猛康，橋本隆雄：トルコ・コジャエリ地震による交通施設の被害概要，橋梁と基礎，Vol.34, No.2, 2000.
- 36) 川島一彦・鈴木猛康・橋本隆雄：トルコ・コジャエリ地震による交通施設の被害概要，第3回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム論文集，1999.12
- 37) 川島一彦・橋本隆雄・鈴木猛康：トルコ・コジャエリ地震による土木構造物の被害，東京工業大学土木工学科耐震工学研究グループReport No.TIT/EERG 99-7，1999.11
- 38) 土木学会地震工学委員会地震時保有耐力法に基づく耐震設計法の開発に関する研究小委員会：地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計法の開発（小委員会研究報告書） 13章 台湾地震による被害と解析，2001.
- 39) 筑波大学・京都大学・九州工業大学他橋梁被害共同調査団：1999年橋梁被害分析中間報告書,2003.
- 40) Unjoh, S.: Damage investigation of bridges affected by Tsunami during 2004 north Sumatra Earthquake, Indonesia, *Proc. of 4th International Workshop on Seismic Design and Retrofit of Transportation Facilities*, MCEER, CD-ROM, San Francisco, CA, USA, 2006.
- 41) 高橋良和，川島一彦，呉智深，葛漢彬，張建東：中国四川地震による百花大橋及び回欄立交橋の被害，第12回地震時保有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. 91-96, 2009.
- 42) 川島一彦，高橋良和，葛漢彬，呉智深，張建東：中国四川地震による廟子坪大橋及び小魚洞橋の被害，第12回地震時保有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. 97-104, 2009.
- 43) 呉智深，葛漢彬，張建東，川島一彦，高橋良和：中国四川地震におけるアーチ橋の被害，第12回地震時保有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. 105-110, 2009.