

## 第2章 コンクリート片落下の実態調査

### 2.1 実態調査の概要

現状の落下防止対策は材料や工法の違いにより様々なものがある一方で要求される具体的な性能については不明な点が多い。そこで、要求される性能について把握する目的で過去に発生したコンクリート片の落下事例についての文献と国が H16 年（2004 年）より行っている「橋梁における第三者被害予防措置要領（案）」に基づく特定点検（以下、特定点検）の結果の調査を行い、第三者被害発生のある恐れがある損傷の特徴と規模について整理した。さらに、落下防止対策を実施していても落下防止対策と一体となってコンクリート片が落下した事例または落下防止対策自身が落下した事例を調査し、その特徴について整理した。

### 2.2 コンクリート片落下事例の文献調査

#### (1) 文献調査対象

文献調査は、橋梁、トンネル、函渠で発生したコンクリート片等の落下事例について 2002 年度～2012 年度の 10 年間を対象に、発表されている資料や報道記事及び道路管理者のホームページ等の文献等を調査した。文献調査リストを表 2.2.1～表 2.2.3 に示す。

調査の結果、収集された事例 65 件の内訳を図 2.2.1 に示す。傾向を見ると構造物の種類では、橋梁 56 件、トンネル 8 件、函渠 1 件で橋梁に多く報告されている。地域別では、沖縄を除き全ての地域での発生事例が確認されている。

本調査結果は、公表されているものを集計しているため、事故には至っていない事例や発見されていない事例もあると考えるべきである。本研究で収集した結果はあくまでも抽出された事例の分析結果を示したものであり、コンクリート部材の落下事例や落下事象について全てを網羅できているわけではない。そのため、本研究で示す結果は現時点の調査結果に基づくものであり、確定したものではないことに注意する必要がある。

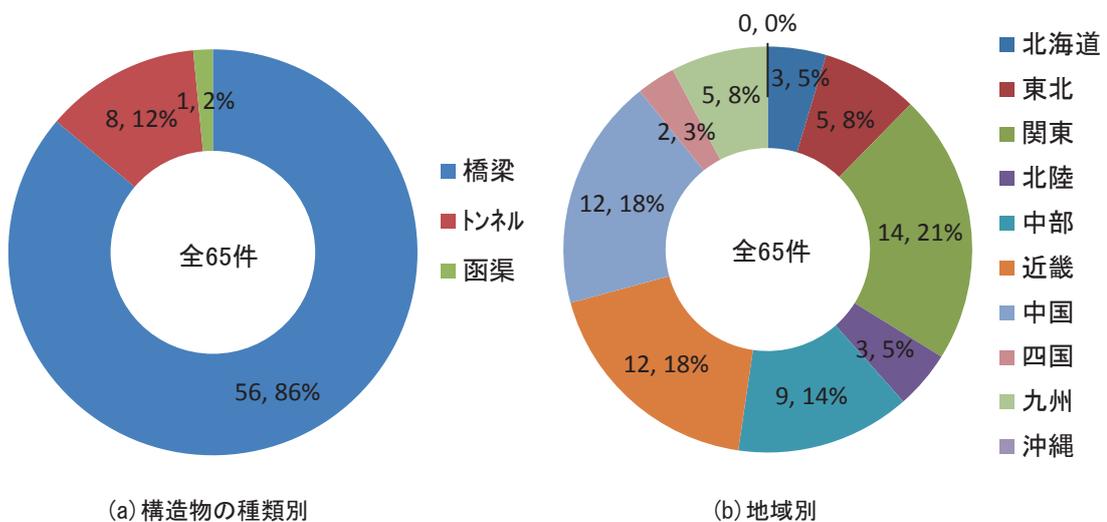


図 2.2.1 収集された事例の内訳

表 2.2.1 文献調査リスト(1)

No.	構造物種類	地域	損傷部材	損傷部位	損傷面	コンクリート片の規模				損傷原因(推定を含む)				落下事象	掲載日	参考文献等
						片数	B(cm)	L(cm)	t(cm)	総重量(kg)	挿雪	疲労	ASR			
1	トンネル	関東	覆工側壁部	施工目地	鉛直										H14.5.13	<a href="http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/consts/news/20020513/104612/">http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/consts/news/20020513/104612/</a>
2	橋梁	近畿	床版	桁間部	水平	18.0		5.0			○				H15.3.16	道路管理者からの情報提供
3	トンネル	関東	覆工アーチ部	天井部	水平	300.0		30.0	1000.0						H15.8.4	読売新聞
4	橋梁	東北	床版	桁間部	水平	80.0		90.0			○				H16.2.4	道路管理者からの情報提供
5	橋梁	東北	床版	桁間部	水平	2	60.0	15.0	3.0	5.0					H17.5.9	朝日新聞、読売新聞、福島民報、福島民友、毎日新聞
6	橋梁	近畿	床版	桁間部	水平	60.0		50.0							H17.6.30	<a href="http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/topics/topics_kak.html">http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/topics/topics_kak.html</a>
7	橋梁	近畿	床版	張出し部(シヨウト部)	角部	24.0	14.0	10.0	3.5						H17.5.9	京都新聞、中日新聞、読売新聞
8	橋梁	中部	床版	張出し部	水平	5.0	3.0		0.1						H18.11.10	<a href="http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kansai/h18/1110a/apology.html">http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kansai/h18/1110a/apology.html</a>
9	橋梁	中国	床版	水切り部	水平	10	30.0	10.0	17.0						H19.7.6	<a href="http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h19/0706/">http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h19/0706/</a>
10	橋梁	近畿	地覆	その他(中央分離帯)	角部	24	27.0	10.0	5.0	8.0					H19.7.26	<a href="http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kansai/h19/0726a/">http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kansai/h19/0726a/</a>
11	橋梁	中部	床版	桁間部	水平	4	10.0	6.0	2.5	0.4					H19.8.31	<a href="http://www-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_0ld/index.php?id=380">http://www-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_0ld/index.php?id=380</a>
12	橋梁	北海道	床版	水切り部	水平	3.0	1.0								H19.10.3	<a href="http://www.muromih.co.jp/muromih-web/back/2007/200710/071006.htm">http://www.muromih.co.jp/muromih-web/back/2007/200710/071006.htm</a>
13	トンネル	九州	覆工アーチ部	天井部	水平	15.0	5.0	4.5	0.4						H19.10.21	<a href="http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kyushu/h19/1021/">http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kyushu/h19/1021/</a>
14	トンネル	中国	覆工アーチ部	天井部	水平	12	33.0	15.0	15.0	60.0					H19.12.4	<a href="http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h19/1204/">http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h19/1204/</a>
15	橋梁	北陸	床版	打継目	水平	4	30.0	25.0	3.5	6.0					H19.12.5	山陰中央新聞
16	トンネル	近畿	覆工アーチ部	天井部	水平	30	12.0	3.5	1.0	0.5					H19.12.11	<a href="http://www-nexco.co.jp/pressroom/press_release/higata/h19/1211/">http://www-nexco.co.jp/pressroom/press_release/higata/h19/1211/</a>
17	橋梁	近畿	壁高欄	水切り部	角部	6	20.0	10.0	5.0						H20.2.25	<a href="http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kansai/h20/0225/">http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kansai/h20/0225/</a>
18	橋梁	関東	床版	桁間部	水平	75.0	60.0								H20.3.12	朝日新聞、神戸新聞、毎日新聞
19	橋梁	近畿	床版	水切り部	角部	16.0	5.0	3.0							H20.7.9	下野新聞
20	トンネル	四国	覆工側壁部	目地部	鉛直	9	14.0	11.0	7.0	2.7					H20.7.20	<a href="http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/shikoku/h20/0720/">http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/shikoku/h20/0720/</a>
21	橋梁	関東	床版	水切り部	角部	48.0	15.0	6.0	7.2						H20.8.19	<a href="http://www-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_0ld/index.php?id=1150">http://www-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_0ld/index.php?id=1150</a>
22	橋梁	中国	床版	水切り部	角部	20.0	4.0	2.0	0.2						H20.10.24	<a href="http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h20/1024/">http://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h20/1024/</a>

表 2.2.2 文献調査リスト(2)

No.	構造物種類	地域	損傷部材	損傷部位	損傷面	コンクリート片の規模				損傷原因(推定を含む)				落下事象	参考文献等			
						片数	B(cm)	L(cm)	t(cm)	総重量(kg)	堆雪	疲労	ASR		中性化	凍害	調査中	確認日
23	橋梁	中国	床版	桁間部	水平		25.0	25.0	5.0	7.2					○	はく落	<a href="http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h21/0114/">http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h21/0114/</a>	
24	橋梁	九州	床版	水切り部	水平		8.0	5.0	2.5	0.3					○	はく落	<a href="http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/kyushu/h21/0115/">http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/kyushu/h21/0115/</a>	
25	橋梁	中国	床版	水切り部	水平		7.0	5.5	3.2	0.3					○	はく落	<a href="http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20090120/529775/">http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20090120/529775/</a>	
26	橋梁	九州	床版	張出し部(ジョイント部)	水平		20.0	11.0	3.0	1.4					○	はく落	<a href="http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h21/0117/">http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h21/0117/</a>	
27	橋梁	中国	主桁	下面	水平		7.0	5.0	1.5	0.34					○	はく落	<a href="http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h21/0202/">http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h21/0202/</a>	
28	橋梁	中部	主桁	下面	水平		13.0	22.0	3.0	1.8					○	はく落	<a href="http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20090219/530495/">http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20090219/530495/</a>	
29	橋梁	関東	床版	桁間部	水平		90.0	70.0			○	○			○	抜け落ち	<a href="http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20090312/531081/">http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20090312/531081/</a>	
30	橋梁	四国	床版	水切り部	角部		100.0	10.0	2.6	6.0					○	はく落	<a href="http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/shikoku/h21/0403/">http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/shikoku/h21/0403/</a>	
31	橋梁	近畿	床版	水切り部	角部		8.0	7.0	2.0	0.3					○	はく落	<a href="http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/kansai/h21/0409/">http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/kansai/h21/0409/</a>	
32	橋梁	近畿	床版	水切り部	角部		9.0	6.0	2.0	0.2					○	はく落	<a href="http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20090430/532391/">http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20090430/532391/</a>	
33	橋梁	九州	床版	水切り部	角部		15.0	6.0	3.5	1.45					○	はく落	<a href="http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/kyushu/h21/0610/">http://corpw-nexco.co.jp/corporate/release/kyushu/h21/0610/</a>	
34	橋梁	関東	床版	桁間部	水平		150.0	120.0			○					抜け落ち(再劣化)	<a href="https://www.roador.jp/conference/data/29kaigi/main/aintenance/m02.pdf">https://www.roador.jp/conference/data/29kaigi/main/aintenance/m02.pdf</a>	
35	橋梁	中部	その他	その他(中央分離帯)	水平		40.0	238.0	5.0	120.0					○	脱落	<a href="http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20110509/547309/">http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20110509/547309/</a>	
36	橋梁	関東	橋脚	張出し部	水平		11.0	8.0	2.0	0.3					○	はく落	<a href="http://www-nexco.co.jp/pressroom/pressroom/kanto/h23/0921/">http://www-nexco.co.jp/pressroom/pressroom/kanto/h23/0921/</a>	
37	橋梁	中部	床版	水切り部	角部		35.0	20.0	5.0	12.5					○	はく落	<a href="http://www-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=2620">http://www-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=2620</a>	
38	橋梁	中部	壁高欄	その他	鉛直		1.5	1.0	0.5							はく落	<a href="http://www-nagoya-expressway.or.jp/files/news/file/88ec579b63801fd86333c466a2daa9.pdf">http://www-nagoya-expressway.or.jp/files/news/file/88ec579b63801fd86333c466a2daa9.pdf</a>	
39	橋梁	関東	床版	張出し部(ジョイント部)	鉛直		10.0	10.0	5.0	0.6					○	はく落	<a href="http://www-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=2695">http://www-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=2695</a>	
40	橋梁	北海道	床版	桁間部	水平		110.0	110.0								抜け落ち	<a href="http://www-nexco.co.jp/roadinfo/important/info/h24/0911/">http://www-nexco.co.jp/roadinfo/important/info/h24/0911/</a>	
41	橋梁	関東	橋脚	張出し部	水平		7.0	3.0	1.0	0.04					○	はく落		

表 2.2.3 文献調査リスト(3)

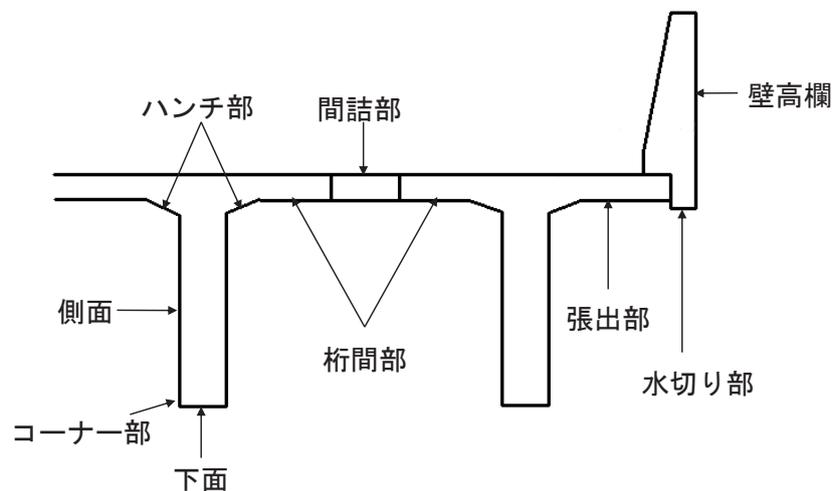
No.	構造物種類	地域	損傷部材	損傷部位	損傷面	コンクリート片の規模			損傷原因(推定を含む)				落下事象	参考文献等		
						片数	B(cm)	L(cm)	最大片の寸法 t(cm)	総重量 (kg)	擁壁	疲労		ASR	中性化	凍害
42	橋梁	北陸	床版	桁間部	水平	15.0	7.0	5.0	0.9					はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=2971">http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=2971</a>
43	橋梁	中部	床版	桁間部	水平	70.0	20.0	3.0	9.0					はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=2989">http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=2989</a>
44	トンネル	近畿	覆工側壁部	目地部	鉛直	90.0	40.0	10.0					○	はく落		朝日新聞、日経新聞、毎日新聞、産経新聞、読売新聞、大阪日日新聞
45	橋梁	関東	橋台	打継目	水平	18.0	13.0	2.5	0.8					はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0212/">http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0212/</a>
46	橋梁	関東	床版	水切り部	角部	23.0	13.0	1.0	0.6			○		はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0218/">http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0218/</a>
47	橋梁	中国	床版	PC鋼材定着部	鉛直	10.0	10.0					○		はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h25_0222/">http://www.c-nexco.co.jp/corporate/release/chugoku/h25_0222/</a>
48	橋梁	関東	床版	水切り部	角部	20.0	53.0	13.0	13.0			○		はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0223/">http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0223/</a>
49	橋梁	北海道	橋台	縦壁	角部	25.0	25.0	10.0	5.8			○		はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0228/">http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0228/</a>
50	ボックスカルバート	東北	地覆		鉛直	25.0	10.0	5.0	3.7			○		はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0318/">http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0318/</a>
51	橋梁	東北	床版	張出し部(ジョイント部)	角部	86.0	15.0	5.0	5.3			○		はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0325/">http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0325/</a>
52	橋梁	近畿	床版	水切り部	角部	5.0	5.0							はく落		<a href="https://www.hanshin-exp.co.jp/company/topics/nishiosaka-20130326.html">https://www.hanshin-exp.co.jp/company/topics/nishiosaka-20130326.html</a>
53	橋梁	関東	床版	水切り部	角部	6.0	10.0	2.5	0.5			○		はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0408/">http://www.c-nexco.co.jp/road/info/important_info/h25_0408/</a>
54	橋梁	東北	床版	桁間部	水平	120.0	150.0					○		抜け落ち		<a href="http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20130423/612589/">http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20130423/612589/</a>
55	橋梁	中部	床版	張出し部	水平	100.0	100.0	5.0				○		はく落(再劣化)		道路管理者からの情報提供
56	橋梁	中部	橋台	目地部	鉛直	14.0	9.0	7.0	2.0					はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=3166">http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=3166</a>
57	橋梁	中国	床版	桁間部	水平	50.0	50.0	4.0	20.0			○		はく落		・中国新聞 ・WEB中国新聞 <a href="http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1367991325887/index.html">http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1367991325887/index.html</a>
58	橋梁	中国	地覆		角部	40.0	5.0	5.0	4.0					はく落		・中国新聞 <a href="http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1368597159518/index.html">http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1368597159518/index.html</a>
59	橋梁	中国	床版	張出し部	水平	15.0	15.0	3.0	1.5					はく落		<a href="http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1368765442649/index.html">http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1368765442649/index.html</a>
60	トンネル	中国	覆工アーチ部	天井部	水平	1.5	1.5	0.1	0.002				○	はく落		山陽新聞、朝日新聞
61	橋梁	九州	床版	桁間部	水平	150.0	80.0	3.0	85.0				○	はく落		西日本新聞、朝日新聞、読売新聞、毎日新聞
62	橋梁	北陸				23.0	10.0	5.0	1.0					はく落		<a href="http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=3299">http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_old/index.php?id=3299</a>
63	橋梁	中国	床版	桁間部	水平	15.0	10.0	2.0	0.7			○		はく落		山陽新聞
64	橋梁	近畿	床版	ハンチ部	水平	20.0	30.0						○	はく落		<a href="http://www.pref.osaka.jp/hodo/index.php?site=lumi_n&amp;pageId=14143">http://www.pref.osaka.jp/hodo/index.php?site=lumi_n&amp;pageId=14143</a>
65	橋梁	関東							1.8					はく落		<a href="http://www.shutoko.co.jp/updates/h25_data/09/25_yokoane/">http://www.shutoko.co.jp/updates/h25_data/09/25_yokoane/</a>

## (2) 文献調査結果

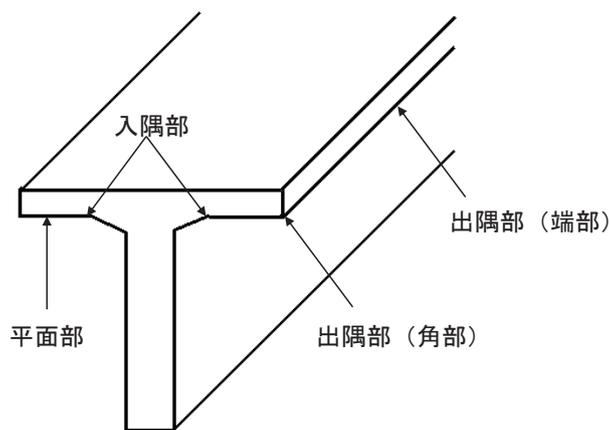
### ①コンクリート部材の落下発生箇所

文献調査から収集した 65 事例を部材と発生位置の形状 (図 2.2.2) により分類した結果を表 2.2.4、図 2.2.3 に示す。

- ・橋梁における落下発生部材は、床版が多く 75% を占め、その発生位置別内訳では、桁間部・張出部・水切り部で 95% を占めていた。この要因として、これらの位置は雨水の影響を受けやすい箇所となるため内部の鉄筋腐食が生じやすい状態であり、鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの落下が生じやすかったものと考えられる。
- ・発生位置の形状は、出隅部 (端部) で 43%、平面部 31% となっており、雨水の影響を受けやすい箇所に発生が多く見られる。
- ・今回実施した落下事例の文献調査の範囲だけでも、雨水の影響を受けやすい箇所で生じているものの、あらゆる箇所からコンクリート部材が落下していることが確認されている。このことから落下防止対策にはあらゆる部材や位置に適用できることが求められる。



(a) 位置

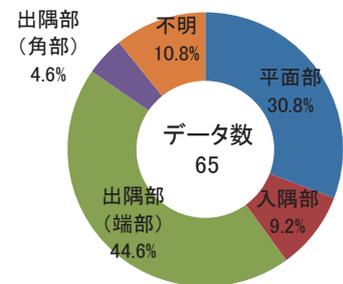
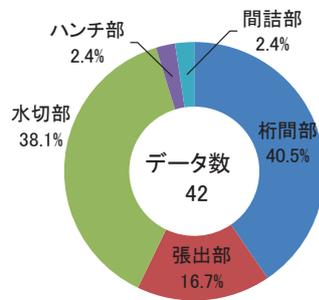
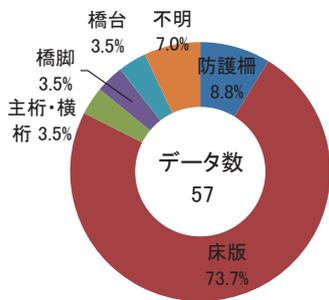


(b) 形状

図 2.2.2 発生位置・形状の説明図 (橋梁)

表 2.2.4 部材および発生位置の形状による分類

構造物	部材・位置	箇所数			発生位置の形状による内訳					
					平面部	入隅部 アーチ部	出隅部		不明	
							端部	角部		
橋梁	地覆・壁高欄	5	5	56	1		4			
	床版	桁間部	17		42	9		3		5
		張出部	7			3		2		
		水切部	16				16		2	
		ハンチ部	1				1			
		間詰部	1				1			
	主桁・横桁	側面			2					
		下面	2			2				
		コーナー部								
	橋脚	梁部	2		2			2		
		柱部								
橋台	2	2		1			1			
不明・その他部材	3	3		1				2		
トンネル	側壁部	3	8	8	2		1			
	アーチ部	5				5				
函渠		1	1	1			1			
合計		65	65	65	20	6	29	3	7	



(a) 部材による分類 (橋梁) (b) 床版内訳 (発生位置) (c) 発生位置の形状による分類

図 2.2.3 部材および発生位置による分類の割合

## ②コンクリート片落下の発生原因

文献調査から収集した 65 事例のうち落下事象の発生原因を図 2.2.4 に示す。発生原因が調査中・不明であるものが半数以上を占めているが、塩害、疲労、中性化、凍害はそれぞれほぼ同数の原因が報告されている。図 2.2.5 に、落下物の写真や報告内容から確認できた落下事象を整理した。写真 2.2.1、写真 2.2.2 には、整理に用いた分類の事象例を示す。

- ・落下事象の 53 件 (81%) がコンクリート部材から剥離等によりコンクリート片が分離して落下した事例であり、この 53 件中少なくとも 19 件 (約 36%) においてコンクリート片に錆汁や鉄筋跡が確認された。このため、コンクリート片の落下の原因は鉄筋腐食による影響が大きいと考えられる。その他としては、床版抜け落ちが 6 件、設置されている部材そのもの落下は 3 件であった。
- ・発生位置から発生原因を考えると①から最も多い発生部材は床版で約 74% を占め、そのうち桁間部・張出部、水切部が約 95% を占めていることから、水の影響を受けやすい箇所においての乾湿の繰り返しや冬期の塩水散布等により内部の鉄筋が腐食してコンクリートの剥離が生じたものと考えられる。
- ・コンクリート部材の剥離の発生原因は図 2.2.4 のとおり様々で、中性化のようなコンクリート材料の劣化のほか、塩害や疲労などの内部鉄筋の影響なども剥離現象を発生させる要因になっているものと考えられる。床版抜け落ちや設置部材の落下は、コンクリートの剥離とは落下に至るメカニズムが大きく異なる。部材そのものの落下の場合には、部材そのものの形状、重量、固定方法など個別の仕様が落下発生の原因に影響しているものと考えられる。
- ・今回実施した落下事例の文献調査の範囲だけでも、落下防止対策には床版抜け落ちや設置部材の落下を除くあらゆる部材や位置に発生するコンクリート片の落下事象に適用できることが求められる。

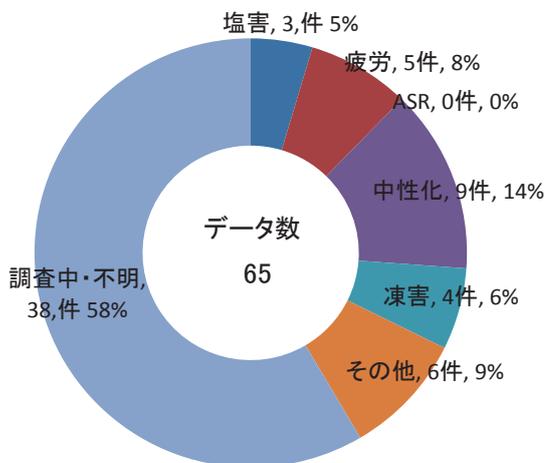


図 2.2.4 落下事象の発生原因

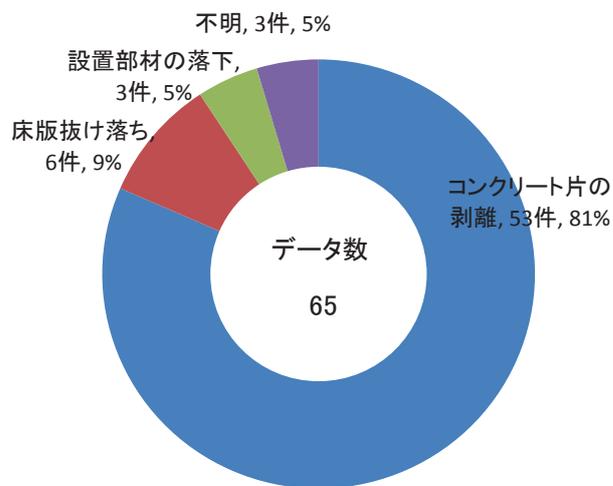


図 2.2.5 落下事象による分類



(a) コンクリート片の落下



(b) コンクリート片の落下（錆汁が見られる例）

写真 2.2.1 落下事象の例（その1）



(c) 床版の抜け落ち



(d) 設置部材の落下

写真 2.2.2 落下事象の例（その2）

### ③落下したコンクリート片の規模

文献調査から収集した 65 事例について、部材および発生位置別に、コンクリート片の部材厚さ、最大寸法、最大重量について表 2.2.5 のとおり整理した。なお、収集した事例のうち、表 2.2.6 に示す 9 事例は、床版の抜け落ちや設置部材の落下であり、コンクリート片の剥離現象による落下事例ではないため、集計結果からは除外している。

- ・ 構造物別で最大はトンネルで重量 1000kg、寸法の一辺が 3m である。橋梁で最大重量 85kg、寸法 1.5m×0.8m、函渠で最大重量 3.7kg、寸法 0.25m×0.1m であった。また、コンクリート片の厚みもトンネルからのコンクリート片が最も大きく最大 0.3m であった。
- ・ 各構造物の発生位置で見るとトンネルではアーチ部で最大重量 1000kg、寸法 3m、橋梁では床版の桁間部・張出部で最大重量 85kg、寸法 1.5m×0.8m であった。函渠は位置が不明であった。
- ・ 各構造物の部材別の規模の傾向を見ると橋梁については、地覆・壁高欄、床版の桁間部・張出部、水切部といった水が回りやすい箇所に比較的大きな規模のコンクリート片の落下が生じていた。トンネルについては、コールドジョイントや施工上から空洞が生じやすいアーチ部において大きな規模のコンクリート片の落下が生じていた。

表 2.2.5 コンクリート片落下の規模

構造物	部材・位置		厚みの範囲 (mm)	最大規模のコンクリート片 ( 上段: 重量(kg)、下段: 寸法(mm))				
				平面部	入隅部 アーチ部	出隅部		不明
						端部	角部	
橋梁	地覆・壁高欄		5~50	不明 100×100		8 270×100		
	床版	桁間部・張出部	25~50	85 1500×800		9 700×200	3.5 240×140	不明 750×600
		水切部	10~130			13 200×530		
		ハンチ部	不明		不明 200×300			
		間詰部	20	0.7 150×100				
	主桁・横桁	側面						
		下面	15~30	1.8 130×220				
		コーナー部						
	橋脚	梁部	10~20			0.3 110×80		
		柱部						
	橋台		70~100	5.8 250×250			2 140×90	
不明・その他部材		50					1.8 不明	
トンネル	側壁部		70~100	不明 900×400				
	アーチ部		10~300		1000 3000×不明			
函渠			50			3.7 250×100		

表 2.2.6 発生規模整理時の除外データ

構造物	部材・位置		平面寸法(mm)	厚さ(mm)	重量(kg)	事象
橋梁	床版	桁間部	800 × 900			床版の抜け落ち
	床版	桁間部	600 × 500			床版の抜け落ち
	床版	桁間部	900 × 700			床版の抜け落ち
	床版	桁間部	1500 × 1200			床版の抜け落ち
	床版	桁間部	1100 × 1100			床版の抜け落ち
	床版	桁間部	1200 × 1500			床版の抜け落ち
	床版	桁間部	180 × 130	25	0.8	目地材の脱落
	床版	その他	400 × 2380	50	120	コンクリート版の脱落
トンネル	側壁部					内装タイルの脱落

### (3) まとめ

橋梁、トンネル、函渠で発生したコンクリート片の落下事例について、過去 10 年間でまとめると以下のとおりとなる。

- ①コンクリート片の落下発生箇所は、特定の部材や位置に限定されることなく、発生の可能性のあるあらゆる箇所から落下していることが確認された。その中でも、部材としては床版等、発生位置としては出隅部（端部）や平面部等の雨水の影響を受けやすい箇所に多くみられた。
- ②コンクリート片落下の発生原因として、落下事象の 80%以上がコンクリート部材からの剥離等によるコンクリート片が分離して落下したものであり、このうち少なくとも 36%のコンクリート片に錆汁や鉄筋跡が確認された。コンクリート片の落下発生箇所が水の影響を受けやすい箇所に多かったことを考慮すると、乾湿の繰り返しや冬期の凍結防止剤散の塩分を含んだ水により内部の鉄筋が腐食してコンクリートの剥離が生じることが相対的に多いと考えられる。
- ③落下したコンクリート片の発生規模は、床版の抜け落ちや部材そのものの落下のようなコンクリート片の剥離現象による落下事例ではないものを除いた分析の結果、トンネルでの落下物の重量が 1000kg と最も大きく、その寸法は長さが 3m で幅は不明であった。橋梁については 85kg、寸法 1.5m×0.8m、函渠で 3.7kg、寸法 0.25m×0.1mが最も重量が大きかった。発生規模の大きい位置はトンネルでコールドジョイントや施工上から空洞が生じやすいアーチ部、橋梁では地覆・壁高欄、床版の桁間部・張出部、水切部といった水の影響を受けやすい箇所であった。

今回実施した落下事例の文献調査の範囲だけでも、コンクリート片の落下は水の影響を受けやすい箇所で多く発生しているという傾向にあるものの、特定の位置に限定されることなくあらゆる箇所で発生する可能性が否定できなかった。したがって、コンクリート片の落下防止対策にはできるだけ多様な部材や位置の条件への適用性のあるものが有効であり、求められている。

## 2.3 特定点検結果の調査

### (1) 特定点検結果の調査対象

第三者被害予防を目的として実施する特定点検では、うき・剥離によるコンクリート片落下という特定の事象に着目して、触診や点検ハンマーを用いた打音により、うき・剥離といった損傷の有無を確認して措置している。本研究では、直轄国道で管理されているコンクリート橋（PC橋・RC橋）16,992橋の内、H24年度までに特定点検が行われ、措置判定C（応急措置（叩き落とし作業）で落ちた。）が行われた100橋を抽出し、損傷の発生部材や発生位置、コンクリート片の形状や規模について調査した。100橋は、各地域からの抽出率がおおよそ同じになるようにランダムに抽出した。この場合、抽出率は全国で約0.6%である（表2.3.1）。

抽出された100橋から、コンクリート片落下懸念箇所（うきなどの落下の可能性がある損傷箇所を、予防措置として叩き落とした箇所であり、以降「落下懸念箇所」と言う。）を整理した結果、681箇所であった。

表 2.3.1 調査対象橋梁の内訳

	抽出 橋梁数	落下懸念 箇所数	管理橋梁数(橋長2m以上)のうち コンクリート橋からの抽出率			
			全橋	PC橋	RC橋	抽出率
			北海道	12	65	3,737
東北	13	78	2,967	1,242	314	0.84%
関東	7	46	2,780	695	528	0.57%
北陸	8	61	1,740	748	452	0.67%
中部	16	89	3,982	1,297	819	0.76%
近畿	5	40	3,884	1,340	1,358	0.19%
中国	16	138	3,138	1,174	817	0.80%
四国	8	57	2,070	632	697	0.60%
九州	11	93	3,139	1,546	720	0.49%
沖縄	4	14	264	147	19	2.41%
合計	100	681	27,701	10,160	6,382	0.60%

図 2.3.1 に、建設年度別橋梁数を示す。1971年～1980年に建設されたものが最も多く抽出されている。

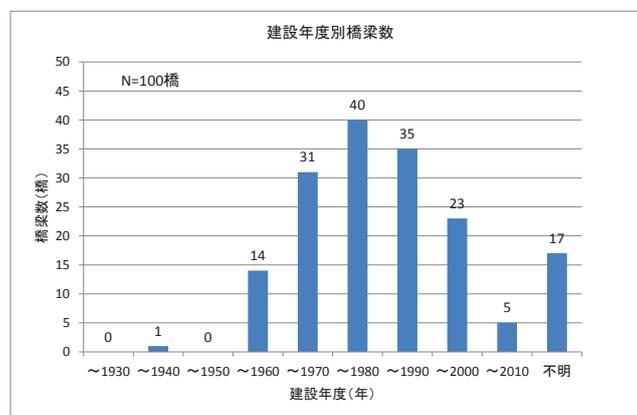


図 2.3.1 抽出された100橋の建設年度別橋梁数

## (2) 特定点検結果の調査結果

### ①橋梁形式

抽出された 100 橋の橋梁形式の比率を橋梁数と落下懸念箇所数で比較したものを図 2.3.2 に示す。橋梁形式の比率は、橋梁数と落下懸念箇所数ではほぼ同じ傾向を示しており、特定の橋梁形式に限定されることなく落下懸念箇所が存在している。したがって、落下懸念箇所は一橋あたり複数存在していることを意味しており、落下懸念箇所が 1 箇所確認された橋梁ではその他にも落下懸念箇所が存在することを疑う必要がある。

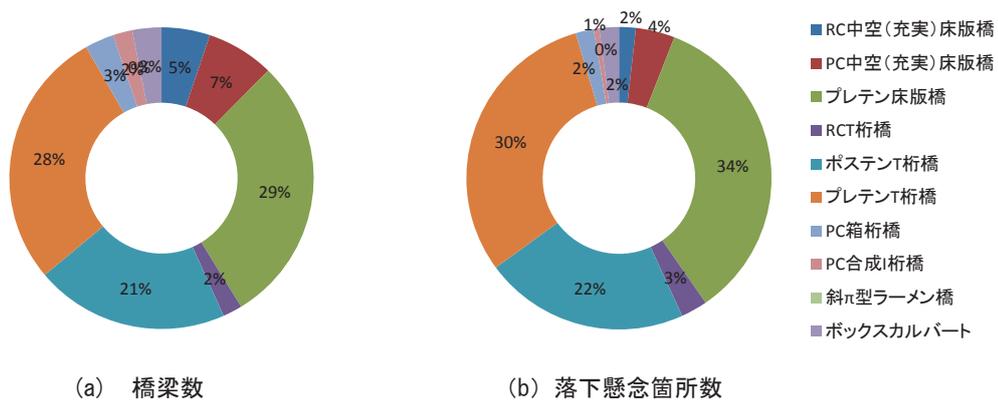


図 2.3.2 抽出された 100 橋の橋梁形式

### ②部材・位置

写真 2.3.1 に、橋梁の特定点検で報告されている損傷のうち、落下懸念箇所があった部材および位置の例を示す。また、表 2.3.2、図 2.3.3、図 2.3.4 のとおり、全 681 箇所の特定点検結果について部材と位置について整理した。

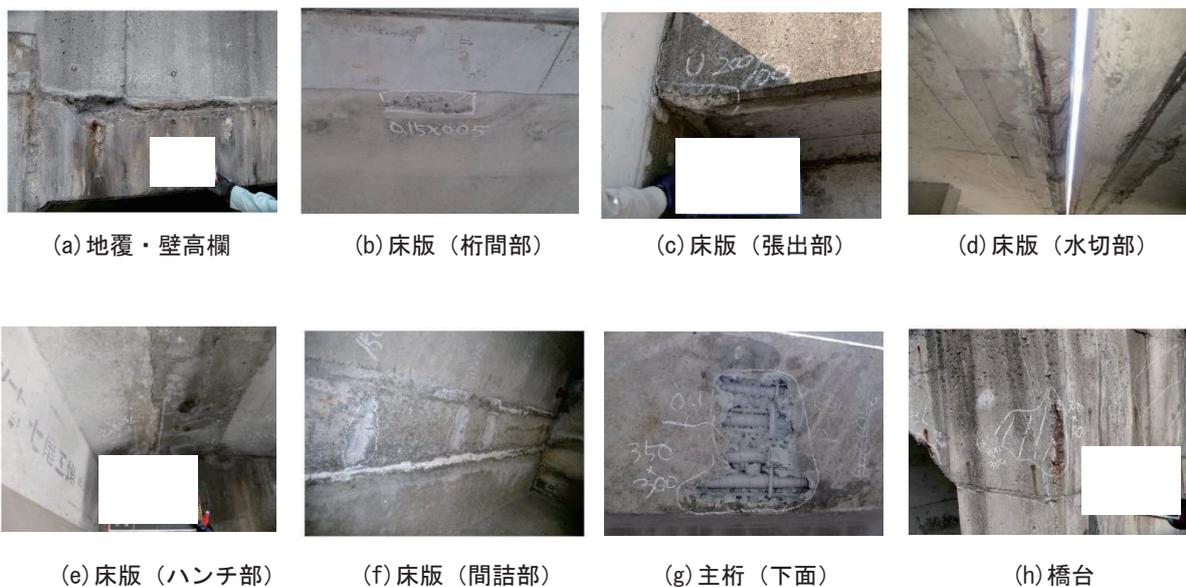


写真 2.3.1 損傷発生部材・位置の例 (橋梁)

表 2.3.2 部材・位置毎の落下懸念箇所数と発生位置の形状

部材・位置		箇所数		発生位置の形状による内訳			
				平面部	入隅部	出隅部	
						端部	角部
防護柵		58	58	49		9	
床版	桁間部・張出部	43	177	34		9	
	水切部	45				35	10
	ハンチ部	14			13	1	
	間詰部	75		75			
主桁・横桁	側面	143	268	97		46	
	下面	99		80		19	
	コーナー部	26				11	15
橋脚	梁部	29	33	23		5	1
	柱部	4		3		1	
橋台		145	145	95		40	10
合計			681	456	13	176	36

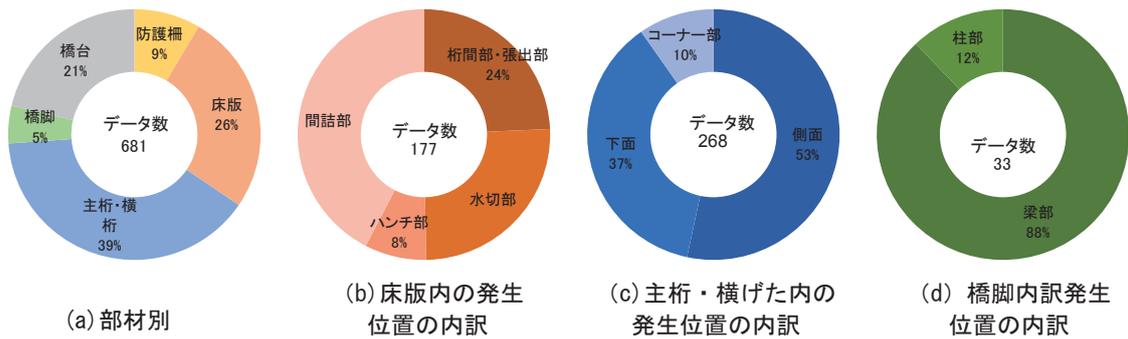


図 2.3.3 橋梁に発生した損傷部材と発生位置の内訳

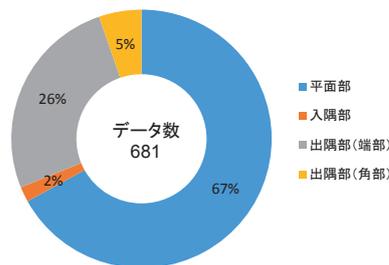


図 2.3.4 損傷発生位置の形状の内訳

- ・表 2.3.2 のとおり、コンクリート片剥離は、地覆・壁高欄、床版（桁間部、張出部、水切部、ハンチ部、間詰部）、主桁・横桁（側面、下面、コーナー部）、橋脚（梁部、柱部）、橋台で発生している。傾向としては、図 2.3.3(a)のとおり、主桁・横桁が全体の 39% を占める割合が多かったが、2.2 の文献調査結果と同様に、特定の部材に限定されることなく、あらゆる部材で発生している。
- ・各部材における発生位置の形状は、平面部、入隅部、出隅部（端部、角部）、間詰部に大別される。表 2.3.2 のとおりあらゆる位置において発生しているものの、図 2.3.4 のとおり平面部、出隅部（端部）、間詰部に多く発生している傾向が確認された。これは、2.2 の文献調査結果と同じ結果である。
- ・表 2.3.3 は特定点検結果において、コンクリート片剥離の発生原因として推定されていたものについて整理したものである。その原因として多かったのは、かぶり不足、中性化、凍害である。

表 2.3.3 コンクリート片剥離の損傷原因

対象地区	橋梁数	損傷原因										施工	
		中性化		塩害		ASR		凍害		疲労		かぶり不足	
		橋梁数	箇所数	橋梁数	箇所数	橋梁数	箇所数	橋梁数	箇所数	橋梁数	箇所数	橋梁数	箇所数
北海道	12	3	13	0	0	0	0	4	27	0	0	4	9
東北	13	10	54	0	0	0	0	9	60	0	0	10	60
関東	7	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	4	9
北陸	8	4	4	6	29	2	5	4	13	0	0	7	29
中部	16	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	10	18
近畿	5	4	15	1	1	0	0	0	0	1	3	4	13
中国	16	13	63	1	1	1	1	0	0	0	0	16	71
四国	8	6	11	0	0	0	0	0	0	0	0	5	14
九州	11	1	2	0	0	0	0	0	0	2	32	6	6
沖縄	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
合計	100	43	169	9	32	3	6	19	108	3	35	67	230

### ③損傷部の平面形状

表 2.3.4 に、損傷部の平面形状の傾向を把握するために平面寸法比を整理した。平面寸法比は長さ（幅）を示す 2 辺の寸法を、短辺／長辺により算出している。

- ・平面寸法比の平均で最も小さいのは床版で 0.38、最も大きいものは、橋脚で 0.69 であった。この結果から、床版では平面形状としては細長い長方形のコンクリート片の剥離の損傷が多くなっていることが推測される。全体の平均は 0.54 であった。
- ・写真 2.3.2 に、特定点検時に叩き落とされた損傷部の形状の例を示す。形状は長方形、円形、半円形、四角形、長方形、台形など様々なものが確認された。

表 2.3.4 損傷部の平面寸法比

部材・位置		平面部	入隅部	出隅部		平均
				端部	角部	
地覆・壁高欄		0.58		0.48		0.57
床版	桁間部・張出部	0.56		0.44		0.38
	水切部			0.42	0.38	
	ハンチ部		0.43	0.67		
	間詰部	0.25				
主桁・横桁	側面	0.63		0.58		0.61
	下面	0.69		0.45		
	コーナー部			0.53	0.46	
橋脚	梁部	0.64		0.82	0.73	0.69
	柱部	1.00		0.38		
橋台		0.61		0.55	0.26	0.57
平均		0.57	0.43	0.52	0.39	0.54



(a) 壁高欄 (形状: 長方形)



(b) 主桁側面 (形状: 半円形)



(c) 橋台 (形状: 四角形)



(d) 主桁下面 (形状: 円形)



(e) 床版桁間部 (形状: 三角形)



(f) 橋脚柱部 (形状: 台形)

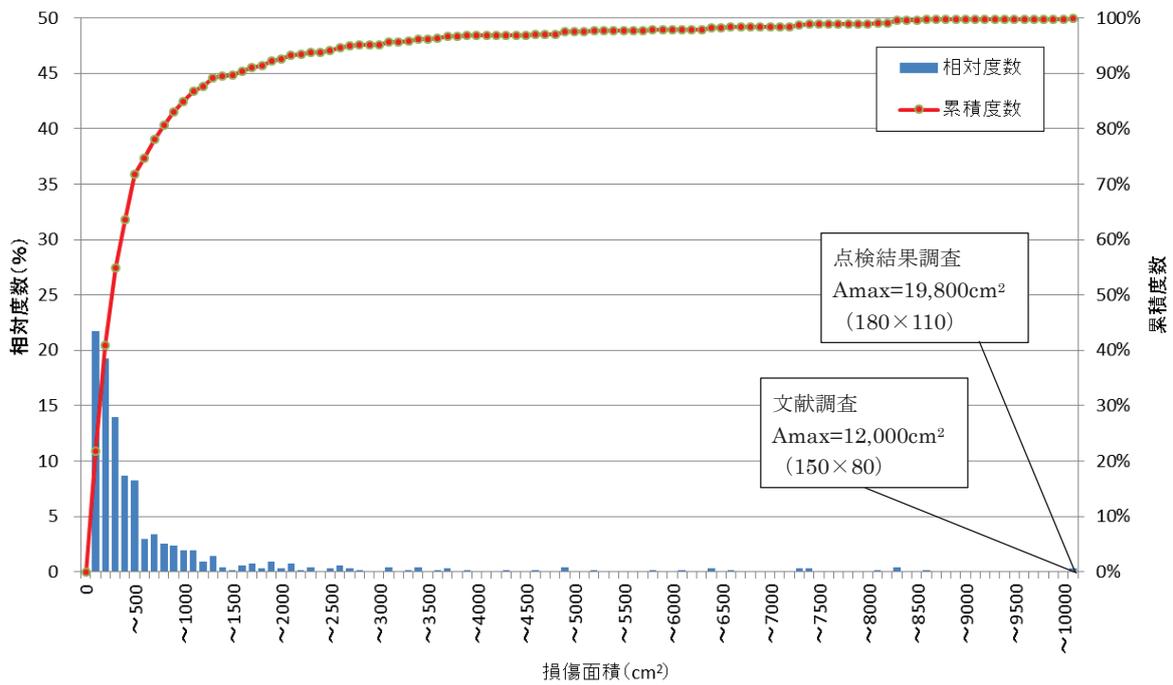
写真 2.3.2 損傷部の形状例

#### ④損傷規模

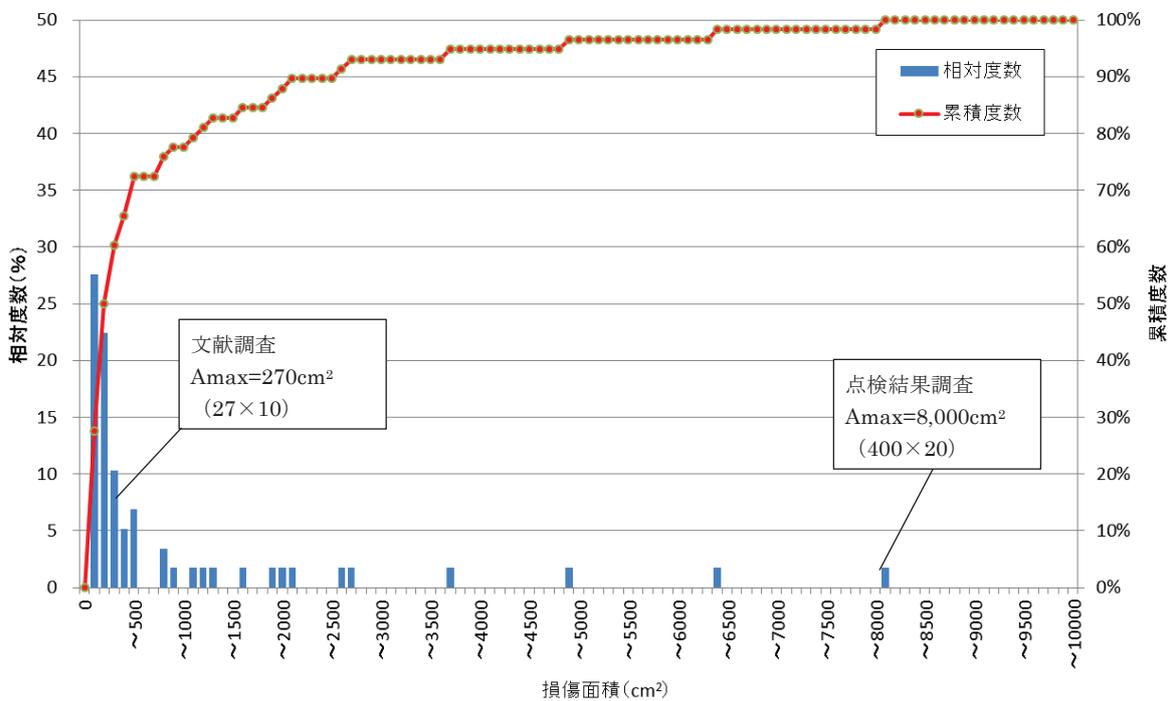
##### 1)面積分布

橋梁の特定点検で報告されている損傷について、部材毎に損傷部の面積を度数分布で整理した結果を図 2.3.5～図 2.3.10 に示す。分布図は 100cm<sup>2</sup> 毎の度数で整理した。図中には、比較のため 2.2 の文献調査で得られた最大面積を同時に示した。

- 図 2.3.5 (a)は全ての損傷部について整理したものであり、図 2.3.5(b)～図 2.3.10 は、損傷部材別で整理したものである。全ての損傷部での損傷面積は、最も小さい区分の 100cm<sup>2</sup> (10cm×10cm 相当) で 21.7%を占め、全体の平均面積は 673cm<sup>2</sup>(26cm×26cm 相当)であった。
- 点検結果調査で得られた損傷位置ごとの最大面積は、文献調査と比較して、床版の桁間・張出部を除き大きな値となっていた。この要因としては、特定点検結果で得られている面積は、実際にコンクリート片落下が発生した際の寸法ではなく、たたき検査によりうき・剥離が検知された範囲、または強制的に叩き落とされた範囲としているためと考えられる。そのため、実際の落下事例よりも大きく集計されている可能性があるが、コンクリート片落下防止対策で考慮する寸法としては安全側の評価であると考えられる。

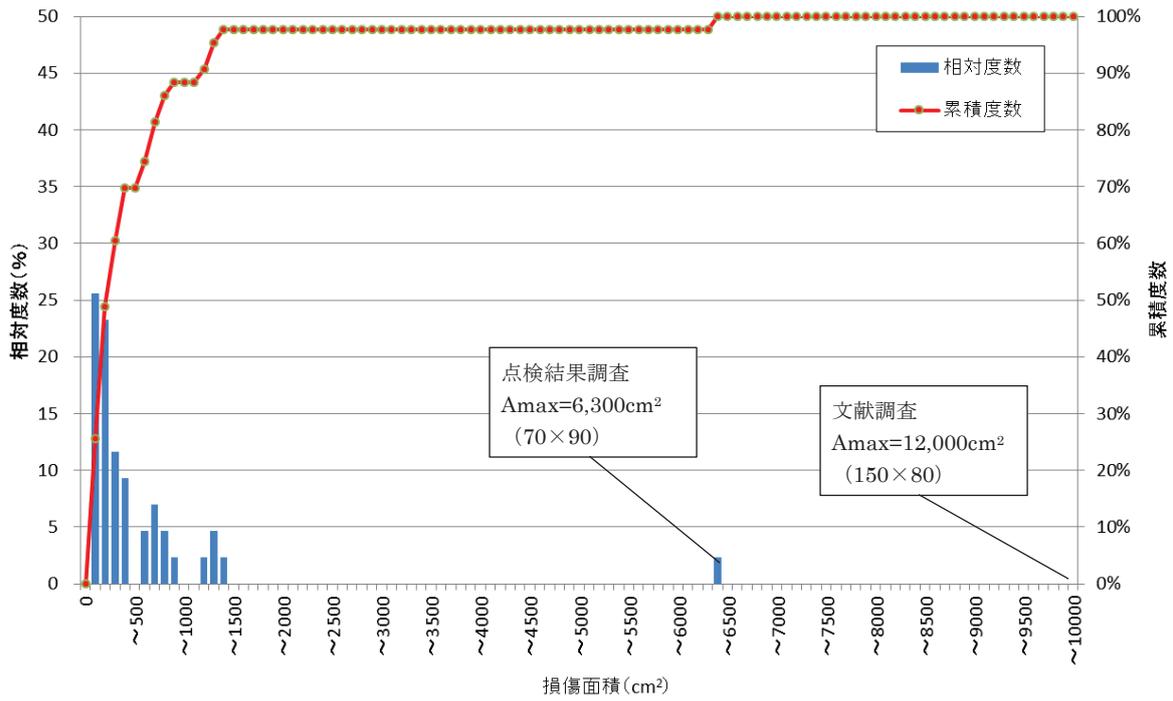


(a) 全ての損傷位置

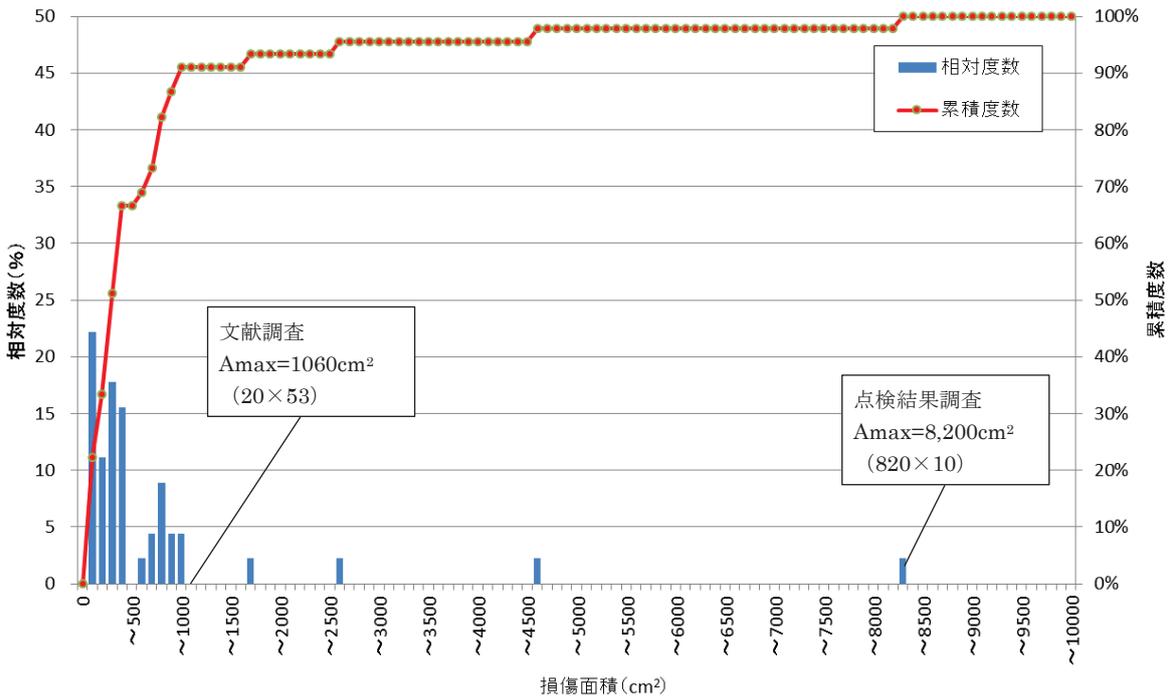


(b) 地覆・壁高欄

図 2.3.5 損傷部の面積分布 (その1)

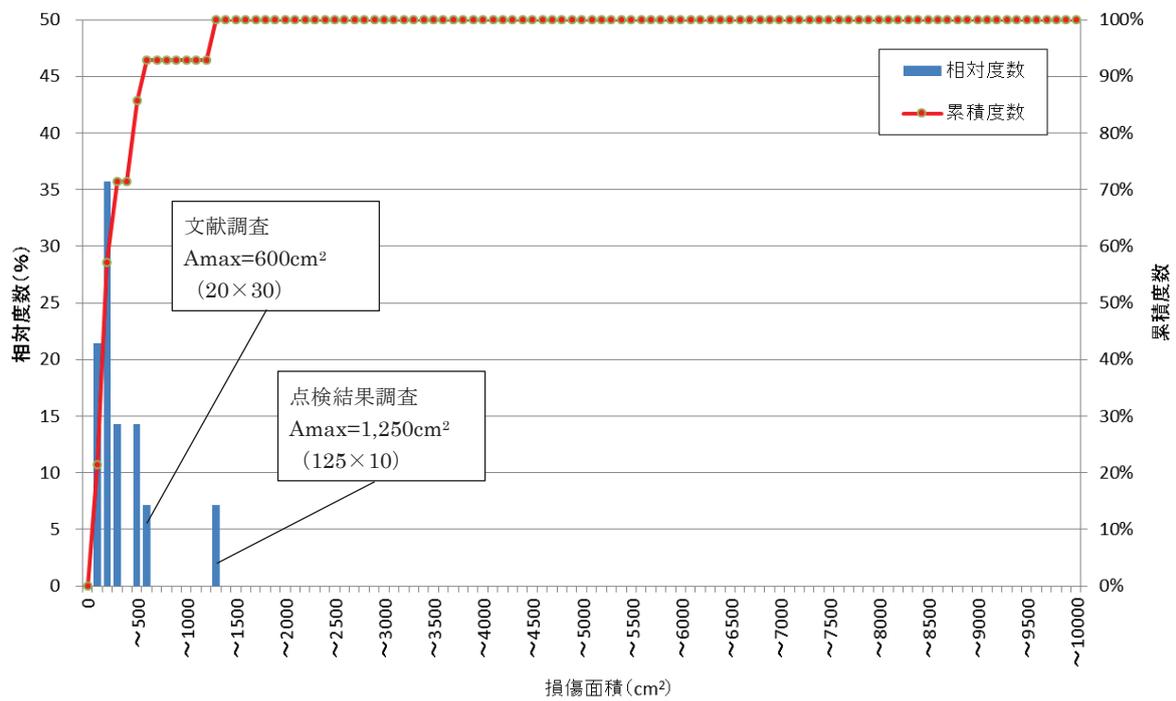


(c) 床版-桁間部・張出部

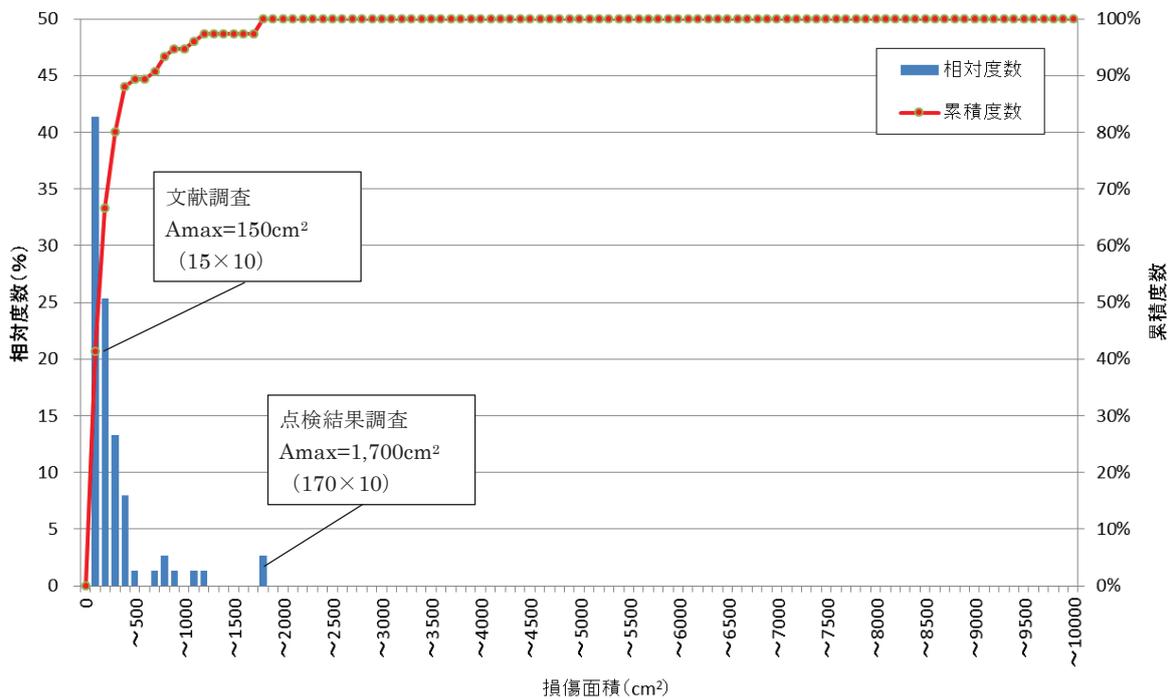


(d) 床版-水切部

図 2.3.6 損傷部の面積分布 (その2)

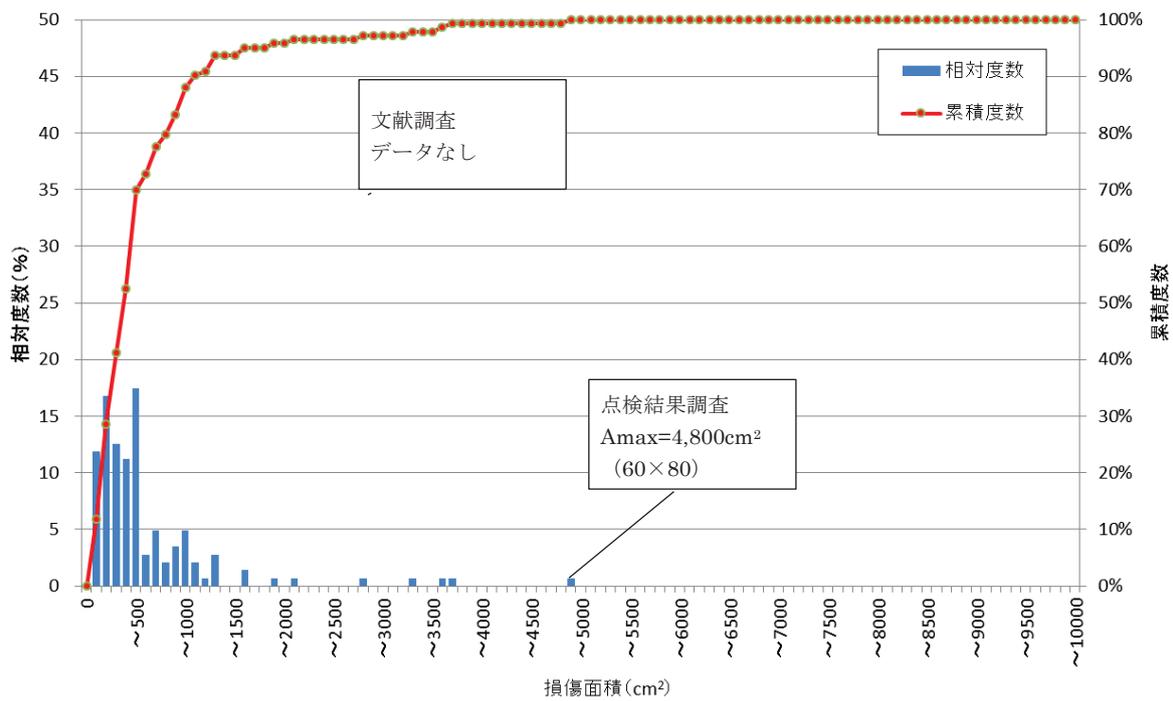


(e) 床版-ハンチ部

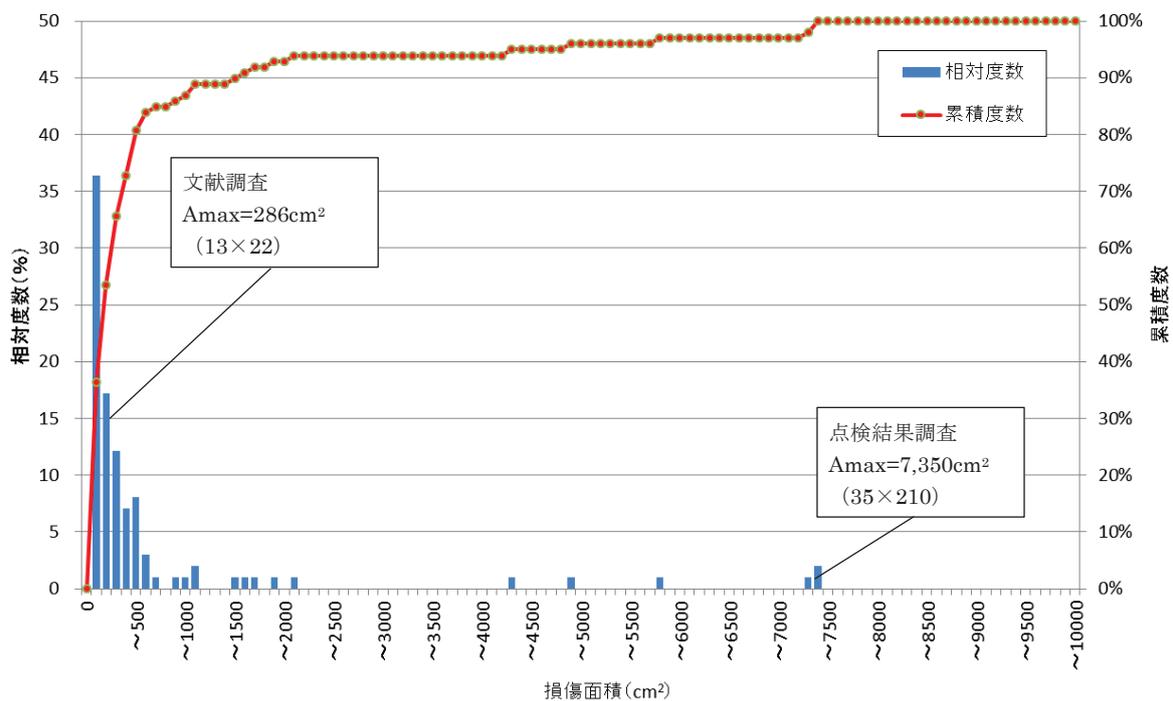


(f) 床版-間詰部

図 2.3.7 損傷部の面積分布 (その3)

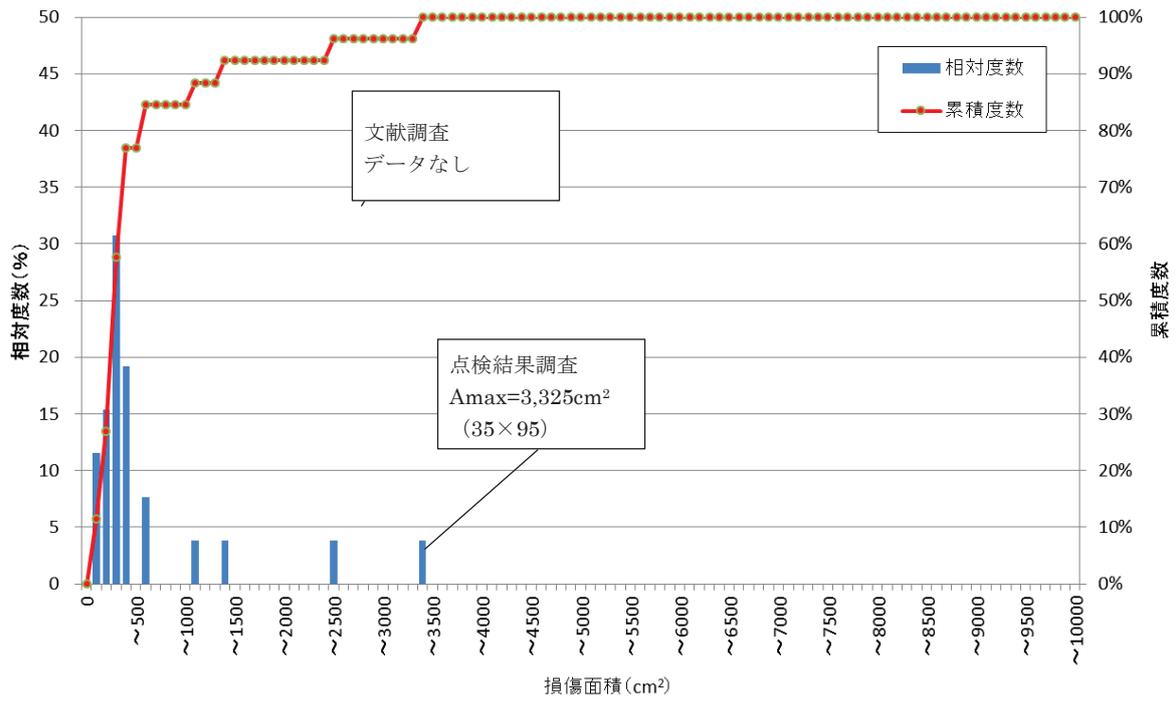


(g) 主桁・横桁-側面

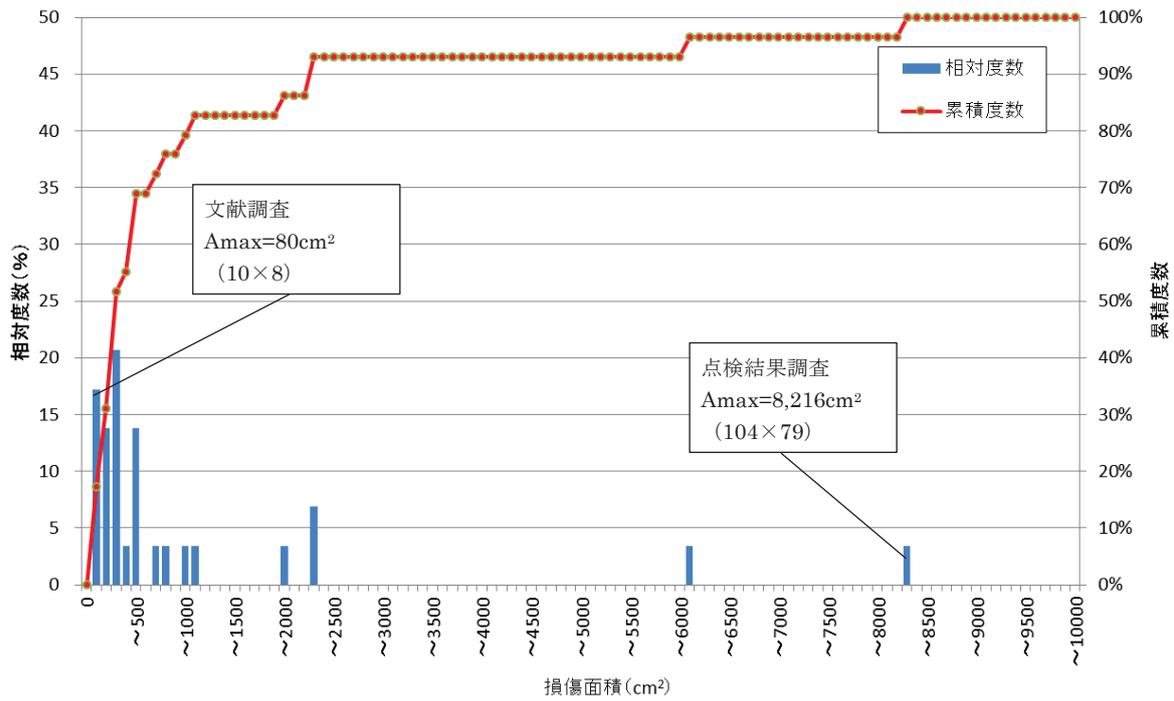


(h) 主桁・横桁-下面

図 2.3.8 損傷部の面積分布 (その 4)



(i) 主桁・横桁-コーナ一部



(j) 橋脚-梁部

図 2.3.9 損傷部の面積分布 (その5)

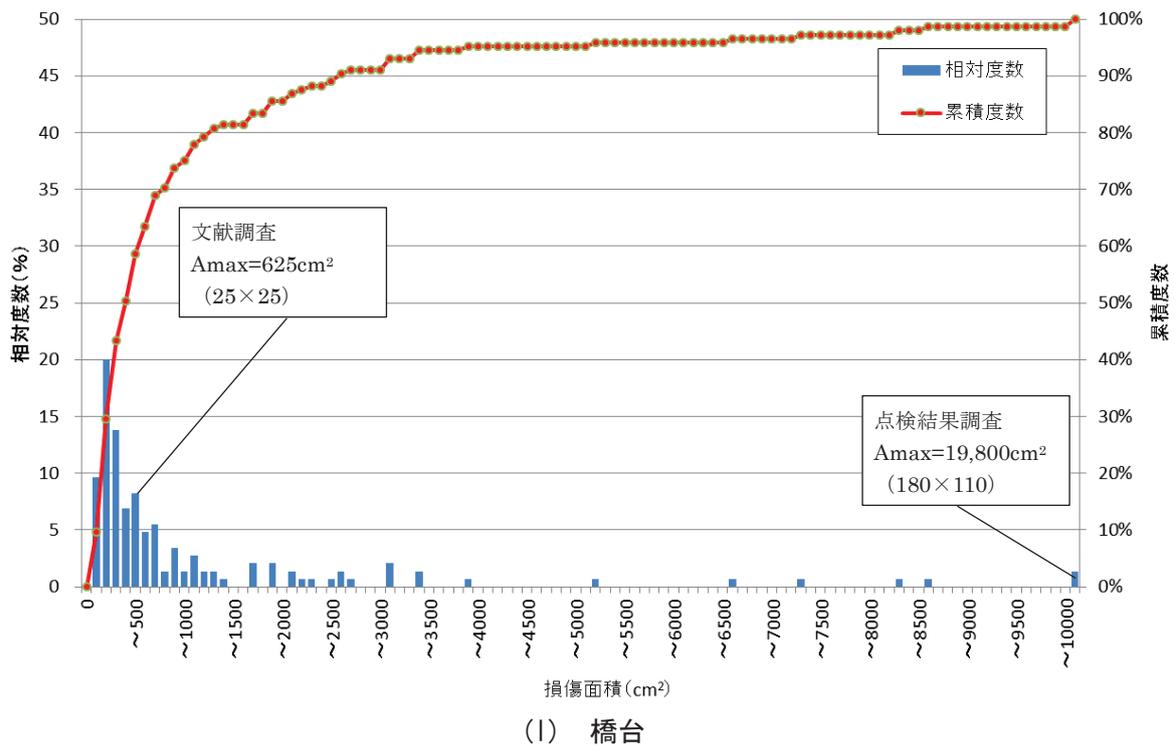
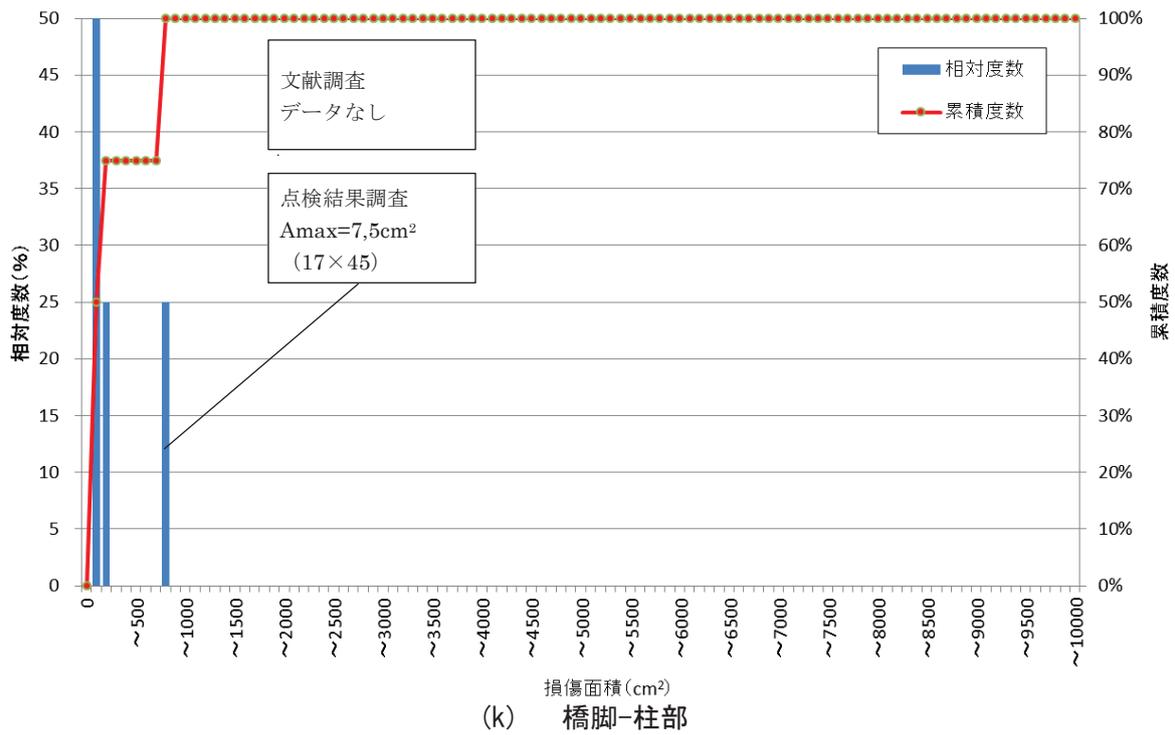


図 2.3.10 損傷部の面積分布 (その 6)

## 2) コンクリート片重量

### a) 厚さの設定

特定点検結果では、うき・剥離といった損傷部の平面寸法の情報は得られるものの、厚さについての記載はない。よって、コンクリート片の想定重量を算出するために厚さを仮定する。

落下事例の文献調査におけるコンクリート片厚さの報告値と、かぶりの規定値との比較を行った。なお、調査対象とした橋梁は、1970年以降に建設されたものが多いことから、かぶりの規定値は昭和55年の道路橋示方書から引用した（表2.3.5）。

表 2.3.5 道路橋示方書<sup>1)</sup> (S55)における最小かぶり (cm)

環境の条件	部材の種類		
	床版 <sup>※1)</sup>	けた <sup>※2)</sup>	柱(壁)
一般の場合	3	3.5 <sup>※3)</sup>	4
水中の場合(注)	—	—	7

(注) コンクリートを水中で打込む構造物は10cm以上が望ましい。

※1) 地覆、高欄、支間10m以下の床版橋は、床版に準じる。

※2) 支間が10mを超える床版橋は、けたに準じる。

※3) プレキャスト部材のPC鋼材の最小かぶりは2.5cmとする。

文献調査の結果とかぶりの規定値を落下位置毎に比較した結果を表2.3.6に取りまとめた。本研究での損傷部の厚さは、落下位置毎に、落下事例とかぶりの規定値のいずれか大きい方の値を設定することとした。

表 2.3.6 剥落懸念箇所の厚さの設定

部材・位置		落下事例 (mm)	かぶり厚規定 (mm)	設定値 (mm)
地覆・壁高欄		5~50	30	50
床版	桁間部・張出部	25~50	30	50
	水切部	10~130	30	130
	ハンチ部	(不明)	30	30
	間詰部	20	30	30
主桁・横桁	側面	(対象なし)	35	35
	下面	15~30	35	35
	コーナー部	(対象なし)	35	35
橋脚	梁部	10~20	40	40
	柱部	(対象なし)	70	100
橋台		70~100	70	100

b) コンクリート片重量

図 2.3.11 に全ての損傷部のコンクリート片想定重量について度数分布を整理した。また、表 2.3.7 に位置及び形状毎にコンクリート片想定重量の最大値を集計した結果を示す。

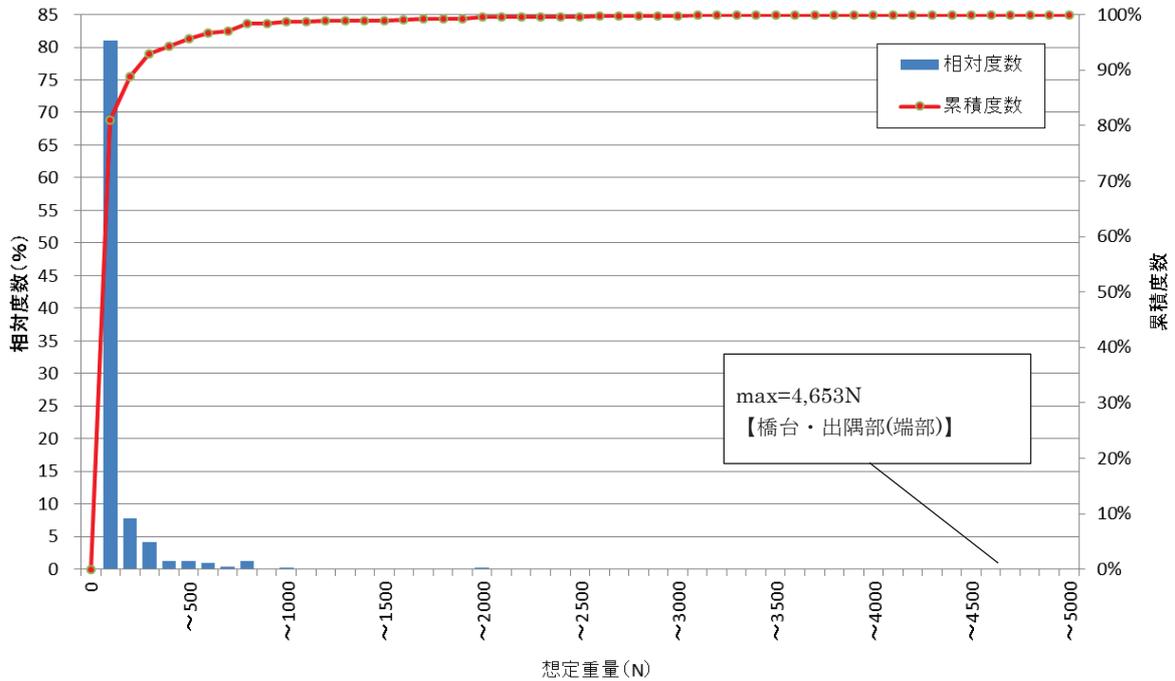


図 2.3.11 コンクリート片想定重量の分布

表 2.3.7 各分類におけるコンクリート片想定重量の最大値

(単位 N)

部材・位置	平面部	入隅部	出隅部		最大換算重量 W0
			端部	角部	
地覆・壁高欄	55		46		55
床版	桁間部・張出部	73	32		73
	水切部		72	57	72
	ハンチ部		11	7	11
	間詰部	17			
主桁・横桁	側面	44		38	44
	下面	44		39	44
	コーナー部			12	33
橋脚	梁部	66	14	34	66
	柱部	18	46		46
橋台	197		252	104	252
最大換算重量	197	11	252	104	252

コンクリート片落下の規模を評価する場合、様々な形状で落下するコンクリート片では、重量のみならずその大きさを考慮することが必要である。既存の押抜き試験<sup>2)</sup>では、φ100mmの圧子により試験が行われていることから、ここでは、供試体コア底面積あたり(φ100mm)に換算した重量を算出して整理した。(既往の文献<sup>3),4),5),6),7),8)</sup>)

コンクリート片の単位体積重量を23.0kN/m<sup>3</sup>とすると、換算重量W<sub>o</sub>は次式で算出される。

$$W_o = W \times 31.4 / L \quad (\text{N}) \quad (2.3.1)$$

ここに、W：剥落重量 (=23.0×A×d×10<sup>-3</sup> (N))

23.0：単位重量 (N/cm<sup>3</sup>)

A：剥落片の面積 (cm<sup>2</sup>)

d：剥落厚 (cm)

31.4/L：周長比 (コア周長 (cm) / 剥落片の周長 L (cm))

式2.3.1では、剥離厚さdが大きいほど、また、A/Lが大きいほど換算重量が大きくなる。したがって、最大重量になっている剥落片であっても剥離厚さや周長によっては、換算重量が最大になるとは限らない。なお、A/Lが最大となる形状は、剥離片が円形の場合となる。

図2.3.12にコンクリート片の換算重量の分布を、表2.3.8に、位置及び形状毎に集計した結果を示す。

- ・最大は橋台の252Nであった。橋台以外の部材では7N~73Nと比較的小さな値を示している。

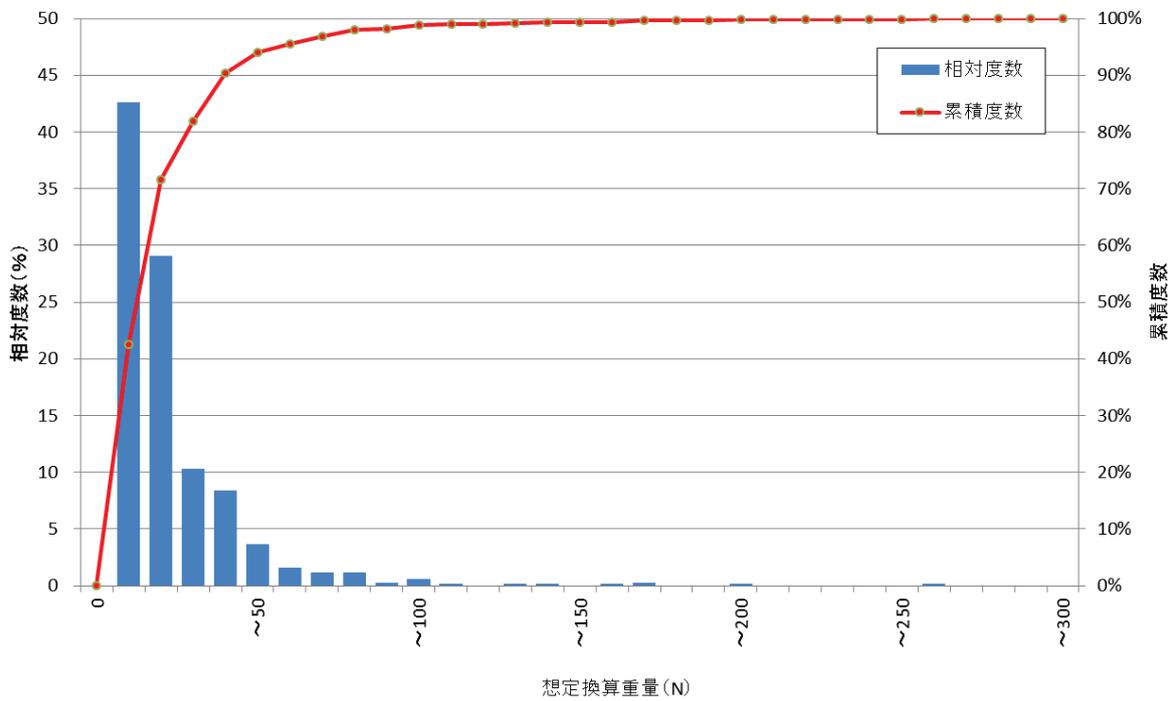


図 2.3.12 剥落想定換算重量の分布

表 2.3.8 剥落想定換算重量の最大値

(単位 N)

部材・位置		平面部	入隅部	出隅部		最大重量 W
				端部	角部	
地覆・壁高欄		940		294		940
床版	桁間部・張出部	740		141		740
	水切部			2,505	252	2,505
	ハンチ部		88	11		88
	間詰部	120				120
主桁・横桁	側面	395		303		395
	下面	395		605		605
	コーナー部			197	273	273
橋脚	梁部	772		35	207	772
	柱部	24		180		180
橋台		3,008		4,653	793	4,653
最大重量W		3,008	88	4,653	793	4,653

### (3) まとめ

直轄国道で管理されているコンクリート橋の H24 年度特定点検結果のうち、措置判定 C（応急措置（叩き落とし作業）で落ちた。）を含む橋梁を 100 橋抽出してその特定点検の点検調書の内容を調べた結果、以下の知見が得られた。

- ①調査した 100 橋において 681 箇所損傷箇所が確認され、1 箇所発生している場合は複数箇所発生していることを疑うべきである。
- ②第三者被害の恐れのあるコンクリート片落下懸念箇所は特定の橋梁形式に限定されることなく存在していた。
- ③コンクリート片剥離の恐れがある損傷は特定の部材・位置に限定されることなくあらゆる位置で発生していることが確認された。その中でも、平面部、出隅部（端部）、間詰め部に多くの損傷が発生していた。また、損傷の発生原因はかぶり不足、中性化、凍害が多かった。
- ④コンクリート片剥離の平面寸法比（短辺/長辺）から平面形状の傾向を整理した結果、細長い長方形の剥離が多く生じているものと推測された。しかし、その他にも半円形、円形、三角形、台形の剥離形状も確認された。
- ④調査結果全体でのコンクリート片剥落面積の分布は 100 cm<sup>2</sup> の区分(10cm×10cm 相当)で最も多く、また、平均面積は 673cm<sup>2</sup> (26cm×26cm 相当)であった。100mm コアの底面積あたりに換算した想定換算重量を算出した結果、ほとんどは 60N 以下、最大は橋台部の 252N であった。

以上のとおり、特定点検結果においても、文献調査の場合と同様に、あらゆる部材や位置でコンクリート片の位置が生じる可能性があることが確認にされた。また、コンクリート片の平面形状は細長い長方形が多かったものの、その他にも半円形、円形、三角形、台形等の様々な形状で剥落している場合があることが確認された。落下防止対策を行った場合でも、位置やコンクリート片の形状によってその抵抗機構は異なることが考えられる。この多様な位置や形状への適用性や期待する性能が発揮されるかどうかを適用技術の性能として確認することが落下防止対策の試験方法として求められると考えられる。

## 2.4 落下防止対策実施済み箇所の落下事例の調査

### (1) 調査対象

調査は、落下防止対策または表面塗装等が実施済みの橋梁で発生したコンクリート部材の落下事例について 2016 年 5 月までを対象に、発表されている資料や報道記事及び道路管理者のホームページ等を対象に調査した。調査の結果、4 件の事例が収集された。

### (2) 調査結果

#### ①コンクリート片落下の特徴

調査の結果、コンクリート片落下の特徴は以下のとおりである。

- ・ 広範囲にわたって落下防止対策とコンクリート片が一体となった落下 (写真 2.4.1(a))
- ・ 落下防止対策を実施していたことを理由に、特定点検または定期点検時の打音検査を省略したために、コンクリート片とともに落下防止対策が落下 (写真 2.4.1(b))
- ・ 表面塗装等を実施した箇所において、床版や桁の変状を外観から確認することが困難で、表面塗装等とともにコンクリート片が落下 (写真 2.4.1(c))



(a) 落下防止対策と一体となった落下



(b) コンクリート片とともに落下防止対策が一緒に落下



(c) 表面塗装等と一緒にコンクリート片が落下



写真 2.4.1 コンクリート片落下の特徴

## ②コンクリート片落下の発生原因

調査で収集した4事例における落下事象の発生原因は以下のように推定される。

- ・ 図 2.4.1 に示すように、コンクリート中またはコンクリートと落下防止対策の間に水が浸入し、凍結融解作用等を受けたことで、コンクリート表面と落下防止対策が一体となって剥がれた。また、コンクリートと落下防止対策の間に侵入した水によって落下防止対策自身の接着力が低下し、剥がれやすい状態となっていた。
- ・ 落下防止対策を実施していたものの、打音検査による点検を実施していなかったため、コンクリート片の規模を予想できず、落下防止対策の耐荷力を上回る規模のコンクリート片が落下した。
- ・ コンクリートに表面塗装等を実施していたことで、外観目視によるコンクリートの変状の確認が困難であったため、コンクリート片の落下を予測できなかった。

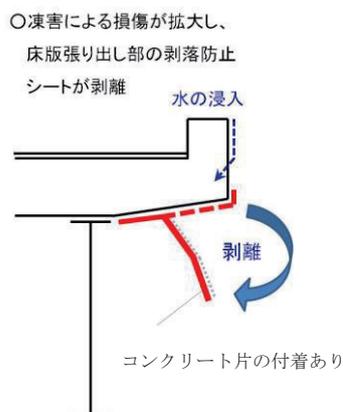


図 2.4.1 水の侵入が原因と推定される落下防止対策の落下事例

## (3) まとめ

落下防止対策またはコンクリートの表面塗装等が実施された橋梁で、コンクリート片の落下が生じた4事例について調査した結果、以下の知見が得られた。

- ① 落下防止対策を実施した場合でも、水等の侵入によって落下防止対策の耐荷性が十分に発揮されない場合がある。
- ② 落下防止対策を実施していても、落下防止対策の耐荷力以上のコンクリート片落下が生じる可能性がある。
- ③ コンクリート表面塗装等によって外観目視によるコンクリートの変状の確認が困難な箇所が存在し、そのような箇所で叩き落とし等の措置が適切に行われていない場合がある。

以上のとおり、落下防止対策を実施した場合でも、コンクリート片の落下が生じる可能性があることが確認された。落下防止対策を設置した場合、外観目視によって落下防止対策で覆われたコンクリートの変状を確認することは困難な場合が多いと考えられる。また、コンクリート片の落下は落下防止対策が想定している耐荷力以上の規模で発生する可能性がある。そのため、落下防止対策を設置した場合でも、落下防止対策上から打音点検によるコンクリートの変状を確認ができることが必要である。さらには、コンクリート中の水またはコンクリートと落下防止対策の間に侵入した水が、落下防止対策に作用した場合に、外観目視等によって落下防止対策に生じる変状等を確認できることが望ましいと言える。このように、落下防止対策を設置した後の維持管理の確実性及び容易さを事前に確認できるような落下防止対策の試験方法が求められると考えられる。

## 【第2章 参考文献】

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編、平成 55 年 2 月
- 2) (公社) 土木学会：コンクリート標準示方書[規準編]土木学会基準および関連基準、pp.430-433、平成 22 年 11 月
- 3) 吳智深、朝倉俊弘、吉澤弘之、袁鴻、小林朗、高橋徹：連続繊維シートの貼付によるコンクリート片の剥落防止効果に関する実験的・解析的研究、土木学会エ論文集 V-49、2000.11
- 4) 六車崇司、小島芳之、吉川和行：繊維シート接着工によるトンネル覆工コンクリートの剥落対策における覆工曲率の影響、土木学会第 56 回年次学術講演会、V-536、2001.10
- 5) 藤倉裕介、伊藤祐二、秩父顕美：ポリマーセメントモルタルと連続繊維シートを用いたコンクリート剥落防止工法に関する基礎実験、コンクリート工学年次論文集 Vol.25、2003
- 6) 大嶋健二、伊藤哲男、城間博通、倉持秀明：トンネル覆工剥離対策に用いる繊維シート接着工の基礎性能実験について、土木学会第 57 回年次学術講演会、III-246、2002.9
- 7) 六車崇司、小島芳之、吉川和行、小林朗、高橋徹：トンネル覆工における FRP 剥落対策工の適用性に関する基礎実験、土木学会第 57 回年次学術講演会、V-362、2002.9
- 8) 小島芳之、吉川和行、六車崇司、小林朗、若菜和之：トンネル覆工の剥落対策における繊維シート接着工の適用性について、トンネル工学研究論文・報告集第 12 巻、2002.11

