

橋台周辺部の津波被害把握とその特徴

高橋和慎¹・庄司学²

¹学生会員 修(工) 筑波大学 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)
²正会員 博(工) 筑波大学准教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、東日本沿岸に存在する橋梁が津波作用を受け、文献1)でも報告されるように橋台周辺部の盛土が流出してその交通機能が失われた。橋台周辺部では、その被災領域が広範囲に及ぶため現地での被害把握が困難である。また、文献2)で示されるような橋台及びその周辺部の盛土の構造並びに河川堤防と橋台の位置関係が複雑であり、さらに橋台周辺部の盛土と道路盛土との境界も曖昧であるため、橋台周辺部における盛土の被災メカニズムが不明確である。

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震津波により被災した橋梁を対象に、衛星画像に基づく橋台周辺部の盛土の流出面積の推定量を活用して、橋台及び橋台周辺部の盛土の構造の情報を基にその被害の特徴を分析する。

2. 対象橋梁と津波数値シミュレーション

文献3)は津波作用により被災した30橋梁を対象に衛星画像から橋台背面の盛土流出面積 A_w を推定し、文献4)では対象を桁橋構造である27橋梁に限定して分析を行っている。本研究では、文献3)で推定された盛土流出面積 A_w を活用するとともに、それら研究で対象とした橋台背面の盛土に加え、橋台周辺部の土構造や抗土圧構造も対象とする。対象とする構造は、図-1に示すように橋台の前面に存在する橋台前面盛土、橋台の背面に存在する橋台背面盛土、橋台の両側面に存在する橋台側面盛土、及び橋台背面盛土と通常の道路盛土を接続する橋台取付盛土の4つに分類し、これら全てを含めて橋台周辺盛土と呼称する。また、図-2に示すように橋台周辺盛土に河川堤防が接続する場合は、その一部も橋台周辺盛土の

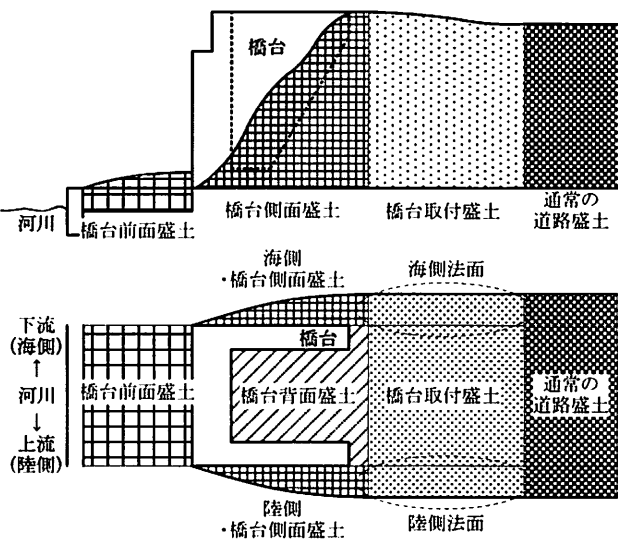


図-1 橋台前面盛土、橋台背面盛土、橋台側面盛土及び橋台取付盛土の位置関係

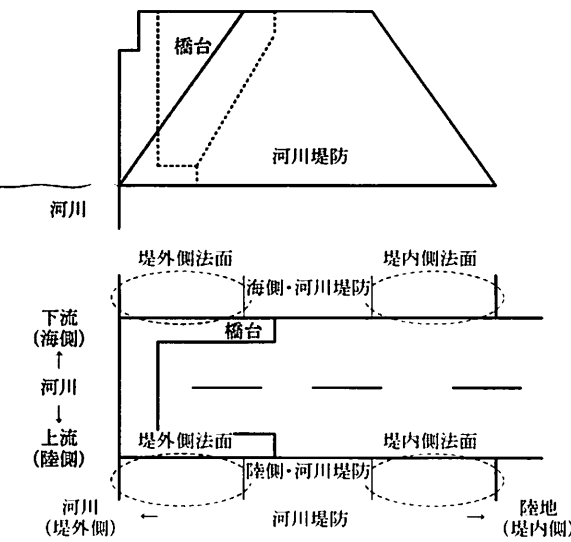


図-2 河川堤防の各法面の位置関係

対象とした。
また本研究では、被害との関係性を分析するため、

表-1 河川堤防の構造、橋台の位置、並びに橋台及びその基礎の構造形式

橋梁 No.	橋台周辺盛土に接続する河川堤防 注1)								河川堤防に対する 橋台の位置関係 注3)				河川堤防の天端に 対する橋台の天端 の高さの関係注3)				橋台及びその基礎の構造形式 注4)				
	構造				堤外側法面の被覆または擁壁の構造形式				A1		A2		A1		A2		橋台		橋台基礎		備考
	A1		A2		A1		A2		A1		A2		A1		A2		A1	A2	A1	A2	
	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	
1	R-2	Rn-1	R-2	Rn-1	自然斜面	-	自然斜面	-	H-2	-	H-2	-	V-2	-	V-2	-	逆T式(翼壁不明)	逆T式(翼壁不明)	不明	不明	文献8)から特定
2	Rn-1	Rn-1	Rn-1	Rn-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	逆T式(翼壁不明)	逆T式(翼壁不明)	不明	不明	調査写真から推定
3	Rn-1	R-3	R-3	R-3	-	もたれ式擁壁			-	H-1	H-1	H-1	-	V-4	V-4	V-4	重力式(翼壁不明)	重力式(翼壁不明)	不明	不明	文献8)から特定
4	R-1	R-1	R-1	R-1	自然斜面(川岸:不明)		コンクリート被覆		H-3	H3	H-1	H-1	V-2	V-2	V-4	V-4	逆T式(翼壁無)	逆T式(翼壁無)	鋼管杭	鋼管杭	文献8)から特定
5	Rn-1	Rn-1	Rn-1	Rn-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	扶壁式(翼壁不明)	扶壁式(翼壁不明)	直接基礎	直接基礎	文献8)から特定
6	Rn-1	Rn-1	Rn-1	Rn-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	不明	不明	調査写真から推定
7	R-2	Rn-1	R-2	R-2	自然斜面 (川岸:片持ち梁式擁壁)	-	自然斜面 (川岸:片持ち梁式擁壁)		H-2	-	H-1	H-1	V-3	-	V-1	V-1	扶壁式(翼壁有)	扶壁式(翼壁有)	鋼管杭	直接基礎	図面から特定
8	R-2	R-2	R-2	R-2	自然斜面				H-2	H-2	H-2	H-2	V-3	V-3	V-3	V-3	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	場所打ち杭	場所打ち杭	図面から特定
9	Rn-1	Rn-1	Rn-1	Rn-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	場所打ち杭	場所打ち杭	図面から特定
10	R-1	R-1	R-1	R-1	コンクリート被覆(橋台との接続部:不明)				H-1	H-1	H-1	H-1	V-4	V-4	V-4	V-4	扶壁式(翼壁有)	扶壁式(翼壁有)	鋼管杭	鋼管杭	図面から特定
11	R-1	R-1	R-1	R-1	コンクリート被覆				H-1	H-1	H-1	H-1	V-2	V-2	V-2	V-2	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	鋼管杭	鋼管杭	図面から特定
12	Rn-1	Rn-1	Rn-1	Rn-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	直接基礎	鋼管杭	文献8)から特定
13	Rn-1	Rn-1	Rn-1	Rn-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	鋼管杭	鋼管杭	文献8)から特定
14	Rn-1	Rn-1	対象外注2)		-	-	対象外注2)		-	-	対象外注2)		-	-	対象外注2)		ラーメン式	逆T式(翼壁有)	PC杭	直接基礎	図面から特定
15	R-3	R-3	R-3	R-3	片持ち梁式擁壁				H-1	H-1	H-1	H-1	V-2	V-2	V-2	V-2	半重力式(翼壁無)	半重力式(翼壁無)	PC杭	直接基礎	図面から特定
16	R-1	R-1	R-1	R-1	ブロック張被覆				H-1	H-1	H-1	H-1	V-2	V-2	V-2	V-2	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	不明	不明	調査写真から推定
17	R-3	R-3	R-3	R-3	もたれ式擁壁				H-1	H-1	H-1	H-1	V-2	V-2	V-2	V-2	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	不明	不明	調査写真から推定
18	対象外注2)		Rn-1	Rn-1	対象外注2)		-	-	対象外注2)		-	-	対象外注2)		-	-	重力式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	直接基礎	鋼管杭	図面から特定
19	R-3	R-3	R-3	R-3	重力式擁壁				H-1	H-1	H-1	H-1	V-4	V-4	V-2	V-2	逆T式(翼壁有)	逆T式(翼壁有)	不明	不明	調査写真から推定
20	R-2	R-2	R-3	R-2	自然斜面 (川岸:不明)		片持ち梁式擁壁	自然斜面 (川岸:不明)	H-2	H-2	H-1	H-2	V-2	V-2	V-2	V-2	逆T式(翼壁無)	逆T式(翼壁無)	不明	不明	調査写真から推定
21	Rn-2	Rn-1	Rn-2	Rn-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ラーメン式	逆T式(翼壁有)	不明	不明	調査写真から推定
22	R-2	Rn-1	R-2	Rn-1	自然斜面 (川岸:片持ち梁式擁壁)		-	自然斜面 (川岸:片持ち梁式擁壁)	H-2	-	H-2	-	V-2	-	V-2	-	不明	不明	不明	不明	
23	Rn-2	Rn-1	R-1	Rn-1	-	-	自然斜面		-	-	H-3	-	-	-	V-3	-	重力式(翼壁無)	重力式(翼壁無)	不明	不明	SV画像から推定
24	R-3	R-2	R-3	R-2	片持ち梁式擁壁	自然斜面 (川岸:不明)	片持ち梁式擁壁	自然斜面 (川岸:不明)	H-1	H-2	H-1	H-2	V-2	V-3	V-4	V-2	不明	不明	不明	不明	
25	R-2	R-2	R-2	R-2	自然斜面(川岸:片持ち梁式擁壁)				H-3	H-3	H-3	H-3	V-2	V-2	V-2	V-2	不明	不明	不明	不明	
26	R-2	R-3	R-2	R-3	自然斜面 (川岸:片持ち梁式擁壁)	重力式擁壁	自然斜面	重力式擁壁	H-2	H-1	H-2	H-1	V-3	V-2	V-3	V-2	逆T式(翼壁不明)	逆T式(翼壁不明)	不明	不明	SV画像から推定
27	R-2	R-2	Rn-1	Rn-1	自然斜面		-	-	H-3	H-3	-	-	V-2	V-2	-	-	重力式(翼壁不明)	重力式(翼壁不明)	不明	不明	調査写真から推定

注1) 衛星画像及び調査写真に基づき分析。

注2) 橋台の位置の標高が高く、橋台周辺盛土が被災し得ないため分析対象外。

注3) 衛星画像、調査写真及び5mDEMに基づき分析。

注4) 文献7)に基づく橋台及び橋台基礎の構造形式を記載。一般図等の図面がある場合はこれから特定し、ない場合は文献8)を基に特定するか、

調査写真及びGoogle Mapのストリートビュー画像(SV画像)から推定。なお、推定が困難な場合は“不明”と記載。

文献4)で行った津波数値シミュレーションの結果である橋梁位置での浸水高を活用する。波源モデルは Fujii *et al.*⁵⁾のVer.4.2を使用し、Okada⁶⁾の方法で初期水位を静的に与えている。最大浸水高から測量調査及び国土地理院提供の震災後のDEMデータに基づく河川水面の標高を引くことで最大浸水深 ID_{max} を定義し、押し波及び引き波のそれぞれの状況での最大値を算出した。なお、押し波は主桁の橋軸線に対して陸側を示す方向の波、引き波は海側を示す方向の波

である。

3. 橋台及び橋台周辺盛土の構造と被害の関係

(1) 河川堤防の構造及び橋台の位置

表-1 は河川堤防の構造、橋台の位置、並びに橋台及びその基礎の構造形式を示す。図-3 は橋台周辺盛土に接続する河川堤防の構造、図-4 は河川堤防に対する橋台の位置関係、及び図-5 は河川堤防

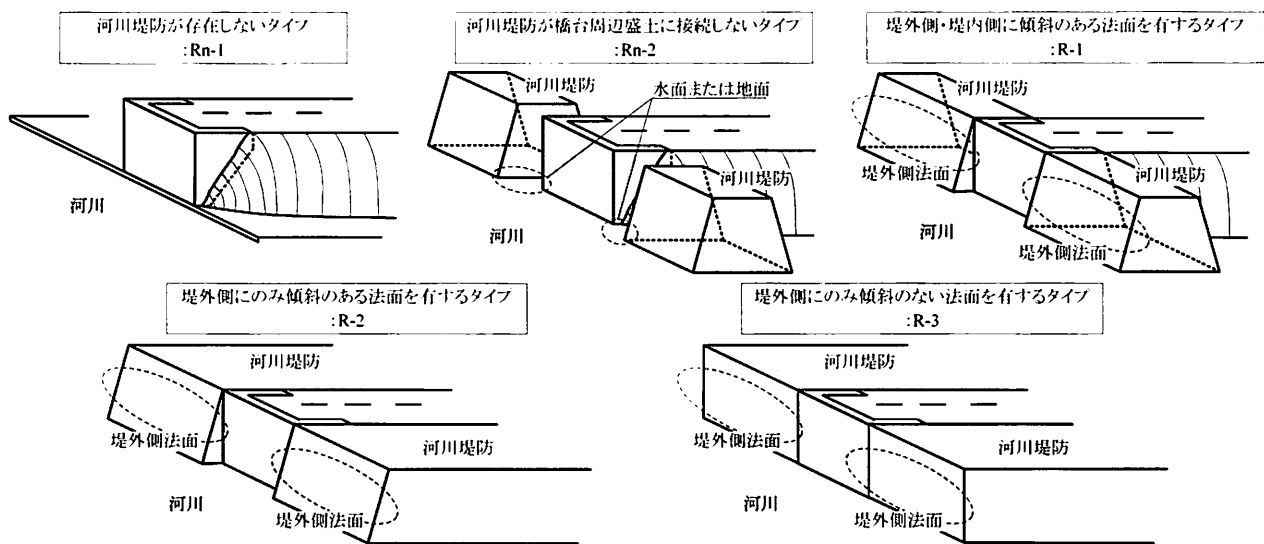


図-3 橋台周辺盛土に接続する河川堤防の構造

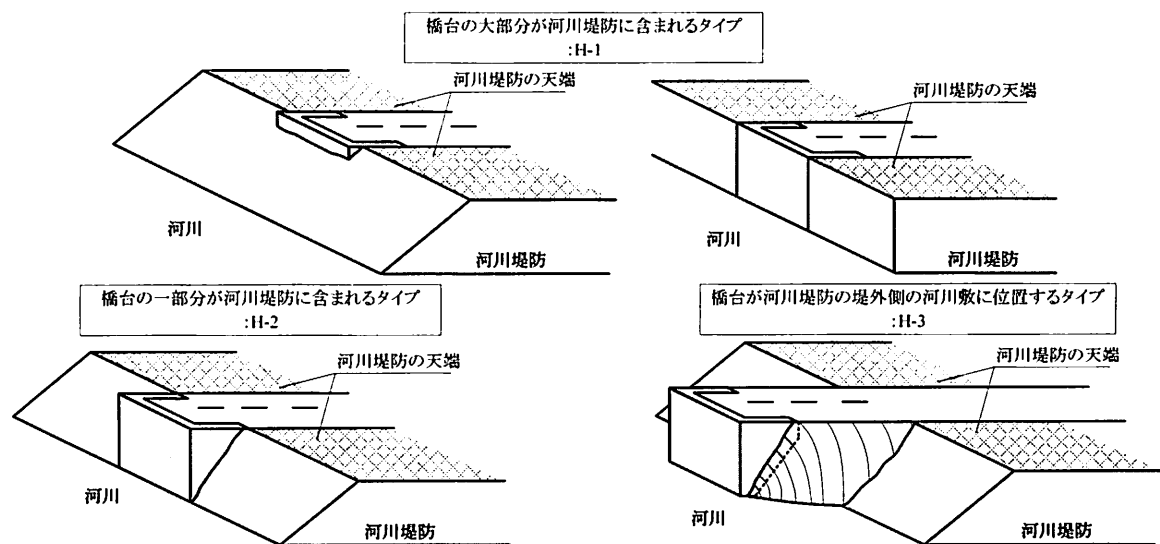


図-4 河川堤防に対する橋台の位置関係

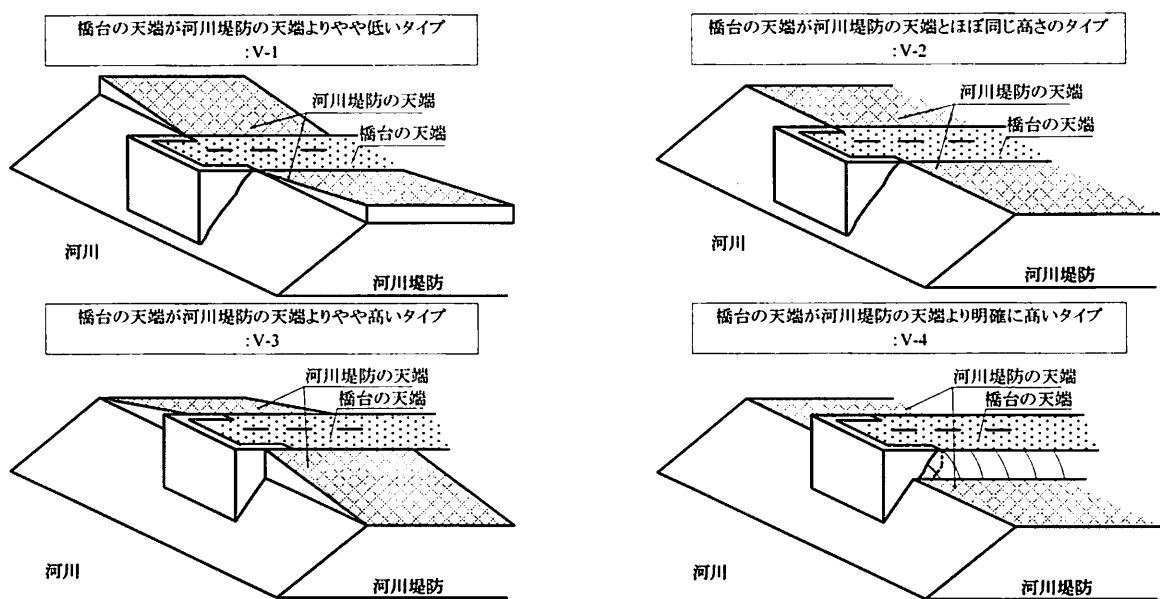


図-5 河川堤防の天端に対する橋台の天端の高さの関係

表-2 橋台周辺盛土の構造

橋梁 No.	橋台前面盛土 注1)				橋台側面盛土 注1)								橋台取付盛土 注1)							
	構造		被覆または擁壁の構造形式		構造		被覆または擁壁の構造形式		構造		被覆または擁壁の構造形式		構造		被覆または擁壁の構造形式					
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2				
	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海				
1	Ef-4	Ef-4	もたれ式擁壁		Es-4	Es-5	Es-4	Es-5	自然斜面 (天端: 被覆なし)	重力 式擁壁	自然斜面 (天端: 被覆なし)	重力 式擁壁	Ea-6	Ea-2	Ea-6	Ea-2	天端: 被覆無し	重力 式擁壁	天端: 被覆無し	重力 式擁壁
2	Efn	Efn	-	-	Es-1	Es-1	Es-1	Es-1	片持ち梁式擁壁・コンクリート被覆				Ea-4	Ea-4	Ea-4	Ea-4	コンクリート被覆			
3	Efn	Efn	-	-	Es-1	Es-3	Es-3	Es-3	もたれ 式擁壁	もたれ式擁壁(天端:被覆無し)			Ea-4	Ea-6	Ea-6	Ea-6	もたれ 式擁壁	天端:被覆無し		
4	Efn	Ef-3	-	コンクリ ート被覆	Es-2	Es-2	Es-3	Es-3	自然斜面		コンクリート被覆 (天端:同様)		Ea-6	Ea-6	Ea-3	Ea-3	天端:被覆無し		自然斜面	
5	Efn	Efn	-	-	Es-1	Es-1	Es-1	Es-1	片持ち 梁式擁壁	不明	ブロック 積擁壁	片持ち 梁式擁壁	Ea-4	Ea-4	Ea-4	Ea-4	自然斜面			
6	Ef-1	Ef-1	天端:川岸: コンクリ ート被覆	天端:川岸: 被覆無し	Es-1	Es-1	Es-1	Es-1	扶壁式擁壁				Ea-4	Ea-4	Ea-4	Ea-4	自然斜面			
7	Ef-2	Ef-2	天端:被覆無し (川岸:片持ち梁式擁壁)		Es-4	Es-1	Es-3	Es-3	自然斜面 (天端: 被覆なし)	自然斜面	自然斜面 (天端: 被覆なし)		Ea-6	Ea-4	対象外 注2)	対象外 注2)	天端: 被覆無し	自然斜面	対象外 注2)	
8	Efn	Efn	-	-	Es-4	Es-4	Es-4	Es-4	自然斜面(天端:被覆なし)				Ea-6	Ea-6	Ea-6	Ea-6	天端:被覆無し			
9	Efn	Efn	-	-	Es-1	Es-1	Es-1	Es-1	片持ち 梁式擁壁	自然斜面			Ea-3	Ea-3	Ea-3	Ea-3	自然斜面			
10	Ef-3	Ef-3	不明	不明	Es-3	Es-3	Es-3	Es-3	不明				Ea-3	Ea-3	Ea-3	Ea-3	自然斜面			
11	Ef-3	Ef-3	コンクリート被覆		Es-3	Es-3	Es-3	Es-3	コンクリート被覆(天端:同様)				Ea-4	Ea-4	Ea-3	Ea-3	自然斜面			
12	Ef-2	Efn	天端:不明 (川岸:片持ち 梁式擁壁)	-	Es-1	Es-1	Es-1	Es-1	不明		自然斜面		Ea-3	Ea-3	Ea-4	Ea-4	自然斜面			
13	Ef-2	Ef-2	天端:被覆無し (川岸:もたれ式擁壁)		Es-1	Es-1	Es-1	Es-1	ブロック積擁壁				Ea-4	Ea-4	Ea-4	Ea-4	自然斜面			
14	Ef-2	対象 外 注2)	天端:被覆 無し(川岸: もたれ 式擁壁)	対象外 注2)	Es-1	Es-1	対象外 注2)		自然斜面		対象外 注2)		Ea-4	Ea-4	対象外 注2)	対象外 注2)	自然斜面		対象外 注2)	
15	Efn	Efn	-	-	Es-3	Es-3	Es-3	Es-3	片持ち梁式擁壁(天端:被覆なし)				Ea-6	Ea-6	Ea-6	Ea-6	天端:被覆無し			
16	Ef-3	Ef-3	ブロック張被覆		Es-3	Es-3	Es-3	Es-3	ブロック張被覆(天端:被覆なし)				Ea-5	Ea-5	Ea-5	Ea-5	自然斜面			
17	Efn	Efn	-	-	Es-3	Es-3	Es-3	Es-3	もたれ式擁壁(天端:被覆なし)				Ea-6	Ea-6	Ea-6	Ea-6	天端:被覆無し			
18	対象 外 注2)	Ef-2	対象外 注2)	天端:被覆 無し(川岸: 重力 式擁壁)	対象外 注2)	Es-1	Es-1	Es-1	対象外 注2)	-	-	-	対象外 注2)	Ea-1	Ea-3	対象外 注2)	対象外 注2)	片持ち 梁式擁壁	もたれ 式擁壁	
19	Efn	Efn	-	-	Es-3	Es-3	Es-3	Es-3	重力式擁壁(天端:被覆なし)				Ea-6	Ea-6	Ea-6	Ea-6	天端:被覆無し			
20	Efn	Efn	-	-	Es-4	Es-4	Es-3	Es-4	自然斜面 (天端: 被覆なし)		片持ち 梁式擁壁 (天端: 被覆なし)	自然斜面 (天端: 被覆なし)	Ea-6	Ea-6	Ea-6	Ea-6	天端:被覆無し			
21	Ef-2	Ef-2	天端:被覆 無し(川岸: 片持ち 梁式擁壁)	不明	Es-1	Es-1	Es-1	Es-1	-	-	自然斜面		Ea-2	Ea-2	Ea-4	Ea-4	片持ち 梁式擁壁		自然斜面	
22	Efn	Efn	-	-	Es-4	Es-1	Es-4	Es-1	自然斜面 (天端: 被覆なし)	-	自然斜面 (天端: 被覆なし)	-	Ea-6	Ea-2	Ea-6	Ea-2	天端: 被覆無し	片持ち 梁式擁壁	天端: 被覆無し	片持ち 梁式擁壁
23	Efn	Efn	-	-	Es-1	Es-1	Es-1	Es-1	コンクリート被覆		不明		Ea-4	Ea-5	Ea-4	Ea-4	自然斜面			
24	Efn	Efn	-	-	Es-3	Es-4	Es-3	Es-4	片持ち 梁式擁壁 (天端: 被覆なし)	自然斜面 (天端: 被覆なし)	片持ち 梁式擁壁 (天端: 被覆なし)	自然斜面 (天端: 被覆なし)	Ea-6	Ea-5	Ea-6	Ea-5	天端: 被覆無し	自然斜面	天端: 被覆無し	自然斜面
25	Efn	Efn	-	-	Es-2	Es-2	Es-2	Es-2	自然斜面				Ea-5	Ea-5	Ea-5	Ea-5	自然斜面			
26	Efn	Efn	-	-	Es-1	Es-3	Es-1	Es-3	ブロック 積擁壁	重力 式擁壁 (天端: 被覆なし)	ブロック 積擁壁	重力 式擁壁 (天端: 被覆なし)	Ea-6	Ea-6	Ea-6	Ea-6	天端:被覆無し			
27	Efn	Efn	-	-	Es-5	Es-5	Es-5	Es-5	もたれ式擁壁				Ea-2	Ea-2	Ea-2	Ea-2	もたれ式擁壁			

注1) No.1-25では衛星画像及び現地測量時の調査写真、No.23-26では衛星画像及びGoogle Mapのストリートビュー画像を基に構造形式を推定。

文献9)に基づく被覆の構造形式及び文献2)に基づく擁壁の構造形式を記載。

注2) 橋台の位置の標高が高く、橋台周辺盛土が被災し得ないため分析対象外。

の天端に対する橋台の天端の高さの関係を示す。表-2 は橋台周辺盛土の構造を示す。図-6 は橋台前面盛土の構造、図-7 は橋台側面盛土の構造、及び図-8 は橋台取付盛土の構造を示す。なお、表-1 及び表-2 では上り線方向の橋台を A1、下り線方向の橋台を A2 と呼称している。

河川堤防の構造は、図-3 に示すように Rn-1、Rn-2、R-1、R-2、R-3 の計 5 タイプが存在する。No.2、5、6、9、12、13、の両橋台、No.14、の A1、No.18、27 の A2 では陸・海側で Rn-1、No.21 の両橋台、No.23 の A1

では陸側が Rn-1、海側が Rn-2 であり、これらの橋台では陸・海側で橋台周辺盛土に接続する河川堤防が存在しない。No.4、10、11、16 の両橋台の陸・海側、No.23 の A2 の陸側では R-1 の河川堤防が存在し、それらの堤外側法面にはコンクリート被覆、ブロック張被覆等を有するものが存在する。No.8、25 の両橋台、No.20、27 の A1、No.7 の A2 の陸・海側、No.1、22 の両橋台、No.7 の A1 の海側では R-2 の河川堤防が存在し、それらの堤外側法面の法尻の川岸には片持ち梁式擁壁を有するものが存在する。

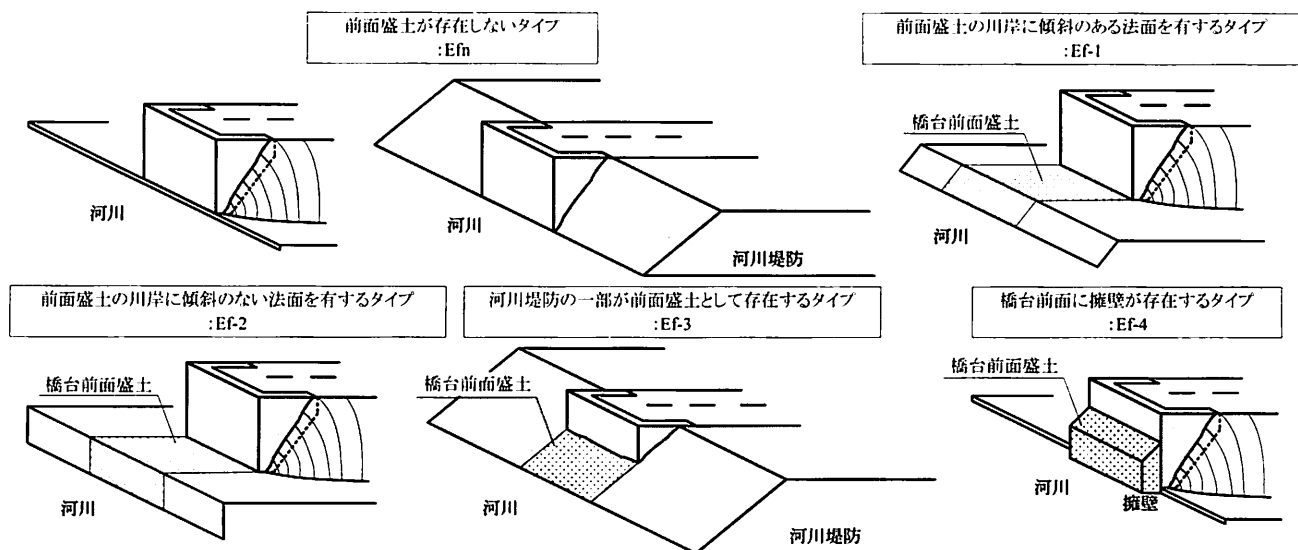


図-6 橋台前面盛土の構造

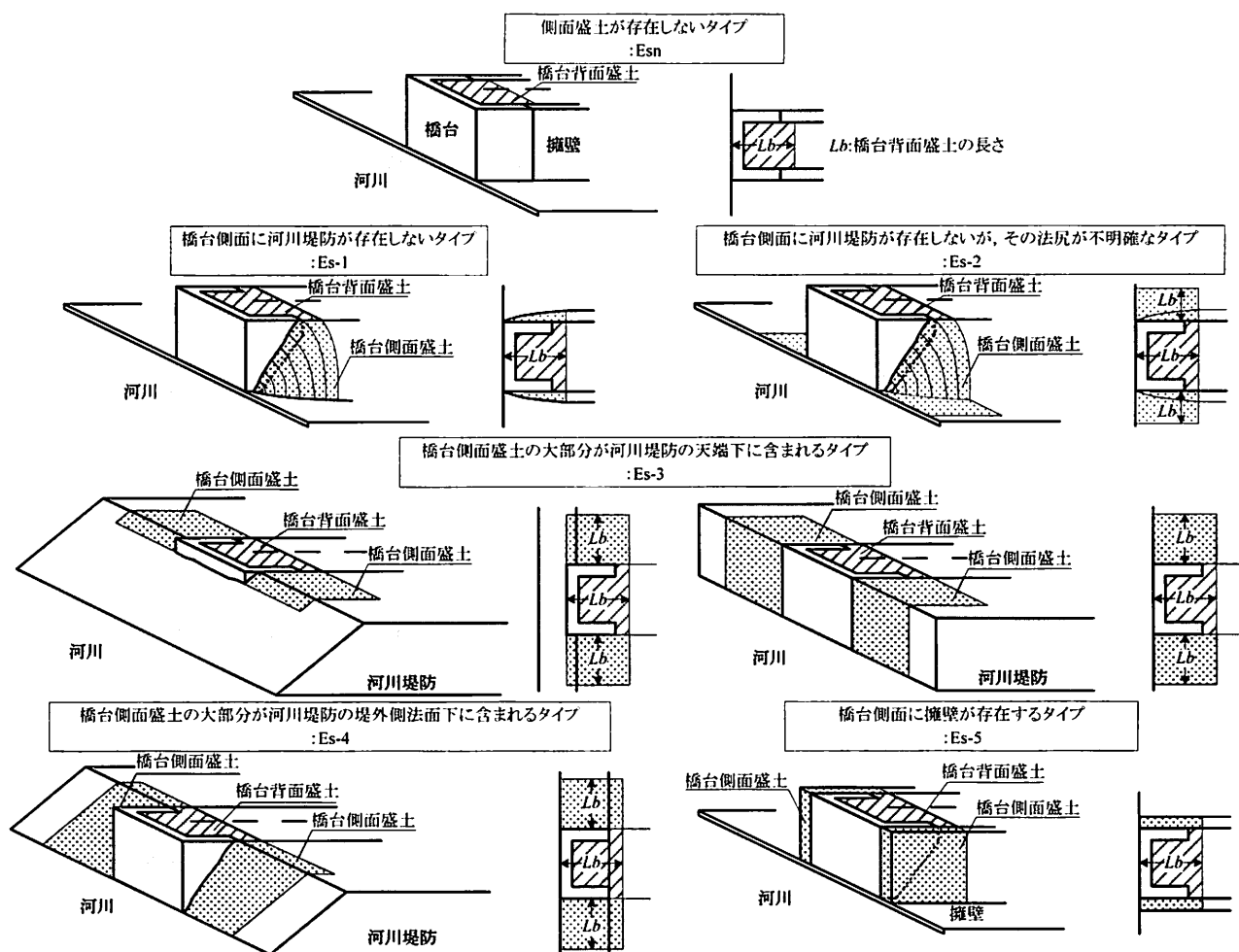


図-7 橋台側面盛土の構造

No.15, 17, 19 の両橋台, No.3 の A2 の陸・海側, No.3 の A1 の陸側では R-3 の河川堤防が存在し, それらの堤外側法面にはもたれ式擁壁, 片持ち梁式擁壁または重力式擁壁を必ず有している。No.24, 26 の両橋台, No.20 の A2 の陸・海側では R-2 及び R-3 の河川堤防が混在する。

河川堤防に対する橋台の位置関係は, 図-4 に示すように H-1, H-2, H-3 の計 3 タイプが存在する。No.10, 11, 15~17, 19 の両橋台, No.3, 4, 7 の A2 では陸・海側が共に H-1, No.24, 26 の両橋台, No.3 の A1, No.20 の A2 では陸・海側の片方が H-1 で, 津波作用を受けにくい位置となる。No.8 の両橋台,

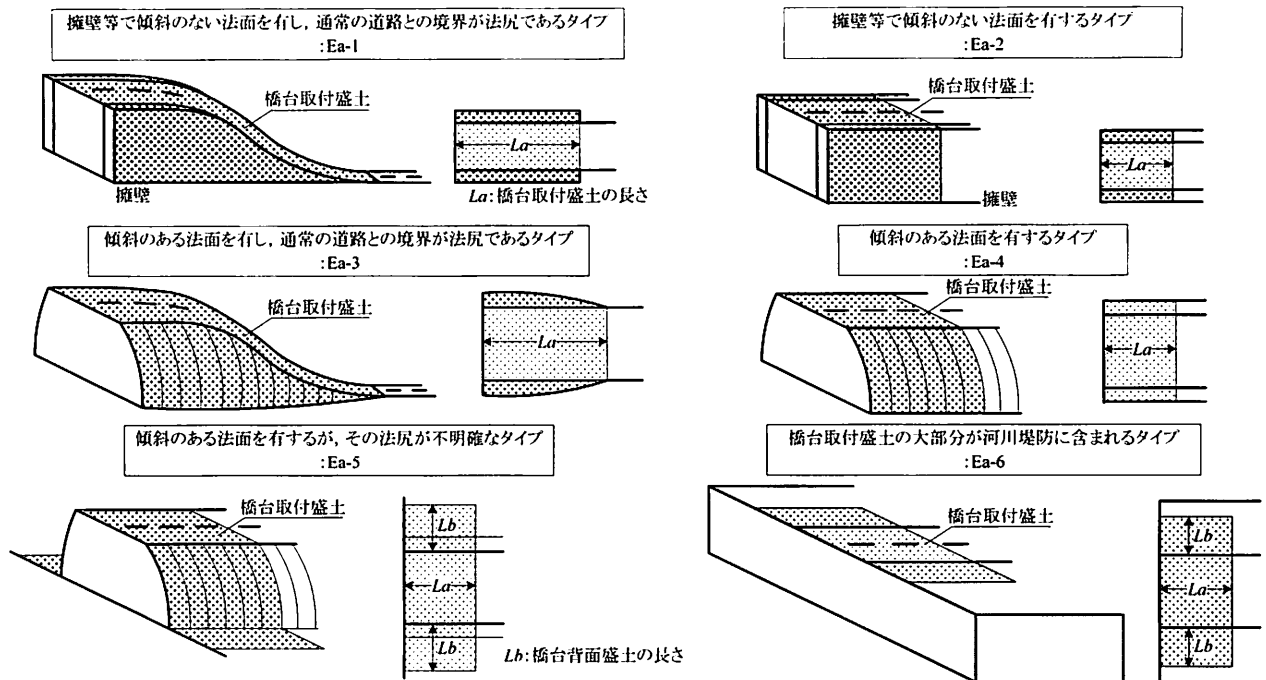


図-8 橋台取付盛土の構造

No.20 の A1 では陸・海側が共に H-2, No.1, 22 の両橋台, No.7 の A1 では陸・海側の片方が H-2 で、やや津波作用を受けにかつたと考えられる。これらを除く橋台(No.25 の両橋台, No.4, 27 の A1, No.23 の A2)では陸・海側の両方または片方が H-3 で、河川堤防が存在しない橋台と同様に、津波作用を受けやすい位置を示した。

河川堤防の天端に対する橋台の天端の高さの関係は、図-5 に示すように V-1, V-2, V-3, V-4 の計 4 タイプが存在する。No.7 の A2 では陸・海側が共に V-1 で津波作用を受けにくく、No.11, 15~17, 20, 25 の両橋台, No.4, 27 の A1, No.19 の A2 では陸・海側が共に V-2, No.1, 22, 24, 26 では陸・海側の片方が V-2 であり、津波作用をやや受けにくい状態を示した。これらを除く橋台(No.3, 8, 10 の両橋台, No.7, 19 の A1, No.4, 23 の A2)では陸・海側の両方または片方が V-3 または V-4 で、河川堤防が存在しない橋台と同様に、津波作用を受けやすい状態となった。

(2) 橋台及び橋台基礎の構造形式と橋台周辺盛土の構造

橋台の構造形式は逆 T 式が最も多く 31 橋台、重力式が 7 橋台、扶壁式が 5 橋台、半重力式及びラーメン式がそれぞれ 2 橋台となる。橋台基礎の構造形式は鋼管杭が最も多く 11 橋台、直接基礎が 7 橋台、場所打ち杭が 4 橋台、PC 杭が 2 橋台である。

橋台前面盛土の構造は、図-6 に示すように Efn, Ef-1, Ef-2, Ef-3, Ef-4 の計 5 タイプが存在する。No.2, 3, 5, 8, 9, 15, 17, 19, 20, 22~27 の両橋台, No.4

の A1, No.12 の A2 では Efn であり、これら多くの橋台では橋台前面盛土は存在しない。No.6 の両橋台では Ef-1 の橋台前面盛土が存在し、A1 側では全面にコンクリート被覆を有する。No.7, 13, 21 の両橋台, No.12, 14 の A1, No.18 の A2 では Ef-2 の橋台前面盛土が存在し、No.21 の A2 を除いて、川岸にもたれ式擁壁、片持ち梁式擁壁または重力式擁壁を必ず有する。No.10, 11, 16 の両橋台, No.4 の A2 では Ef-3 で河川堤防の一部が橋台前面盛土となっており、No.10 の両橋台を除いて、河川堤防と同様の被覆を有する。No.1 の両橋台では Ef-4 で橋台の前面にもたれ式擁壁が存在した。

橋台側面盛土の構造は、図-7 に示すように Esn, Es-1, Es-2, Es-3, Es-4, Es-5 の計 6 タイプが存在する。No.18 の A2, No.21 の A1 の陸・海側, No.22 の両橋台の海側では Esn であり、橋台側面盛土が存在しない。No.2, 5, 6, 9, 12, 13, 23, 25 の両橋台, No.4, 14 の A1, No.21 の A2 の陸・海側, No.3 の A1, No.26 の両橋台の陸側, No.7 の A1 の海側では Es-1 または Es-2 の橋台側面盛土が存在し、コンクリート被覆や各種擁壁を有するものが多く存在する。No.8, 10, 11, 15~17, 19, 20, 24 の両橋台, No.3, 4, 7 の A2 の陸・海側, No.1, 22 の両橋台, No.7 の A1 の陸側, No.3 の A1, No.26 の両橋台の海側では Es-3 または Es-4 で河川堤防が橋台側面に接続しており、河川堤防と同様の被覆または擁壁を有している。No.27 の両橋台の陸・海側, No.1 の両橋台の海側では Es-5 で橋台の側面に重力式擁壁またはもたれ式擁壁が存在した。

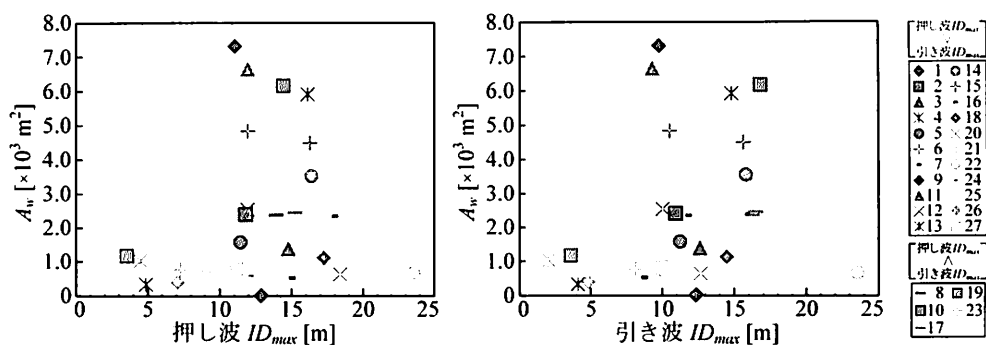


図-9 橋台周辺盛土の流出面積 A_w と最大浸水深 ID_{max} の関係

橋台取付盛土の構造は、図-8 に示すように Ea-1, Ea-2, Ea-3, Ea-4, Ea-5, Ea-6 の計 6 タイプが存在する。No.27 の両橋台、No.21 の A1 の陸・海側、No.18 の A2 の陸側、No.1, 22 の両橋台の海側では Ea-1 または Ea-2 で片持ち梁式擁壁、もたれ式擁壁または重力式擁壁を必ず有する。No.2, 5, 6, 9~13, 16, 23, 25 の両橋台、No.14 の A1, No.4, 21 の A2 の陸・海側、No.3 の A1 の陸側、No.7 の A1, No.18 の A2, No.24 の両橋台の海側では Ea-3, Ea-4 または Ea-5 の橋台取付盛土が存在するが、これらの中で被覆または擁壁を有するものは No.3 の A1 の陸側及び No.18 の A2 の海側のみであり、多くの橋台取付盛土が自然斜面となっている。No.8, 15, 17, 19, 20, 26 の両橋台、No.4 の A1, No.3 の A2 の陸・海側、No.1, 22, 24 の両橋台、No.7 の A1 の陸側、No.3 の A1 の海側では Ea-5 で河川堤防の天端と同様の構造形式となるが、全ての橋台取付盛土において被覆を有さなかった。

(3) 橋台周辺盛土の流出面積と最大浸水深の関係

図-9に橋台周辺盛土の流出面積 A_w と押し波及び引き波の最大浸水深 ID_{max} の関係を示す。なお、第2章で前述したように、 A_w には文献3)により推定された盛土流出面積を活用している。全体的な傾向として、 ID_{max} が大きくなるに伴い A_w も大きくなり、特に $ID_{max} \geq 10.0\text{m}$ で急激に上昇する。 A_w が $5,000\text{m}^2$ を超える4橋梁では、No.9は橋台周辺盛土に接続する河川堤防が存在せず、一部の橋台側面盛土の擁壁以外に被覆や擁壁が無いいため、橋台側面盛土及び橋台取付盛土の全域が流出した。No.10は河川堤防が存在するが橋台の天端の方が高く、橋台取付盛土には被覆や擁壁が無い状況で橋台側面盛土及び橋台取付盛土のほぼ全域が流出し、No.11は同程度の天端の高さの河川堤防が存在するが、橋台取付盛土に被覆や擁壁が無い状況でそのほぼ全域が流出した。No.13は橋台側面盛土に擁壁を有するが橋台前面盛土と共に

その全域が流出し、被覆や擁壁を有さない橋台取付盛土も流出した。一方で、 $ID_{max} \geq 10.0\text{m}$ の津波作用に対して $A_w=36\text{m}^2$ と非常に小さな値を示したNo.1では橋台側面盛土及び橋台取付盛土の陸側で河川堤防が接続し、海側では重力式擁壁が存在するため、流出面積が橋台側面盛土の一部に限定されたと推察される。

4. 結論

2011年東北地方太平洋沖地震津波により被災した橋梁を対象に、衛星画像に基づく橋台周辺盛土の流出面積の推定量を活用し、橋台及び橋台周辺盛土の構造を考慮した上でその被害の特徴を明らかにした。

謝辞：本研究で使用した数値計算については東北大学により開発されたプログラムを利用させて頂きました。同大学の今村文彦先生及び越村俊一先生には貴重なご助言を多々頂きました。また本研究は、国土交通省平成25年度「津波に強い道路構造物の研究開発」(代表者：幸左賢二・九州工業大学教授)の助成を得て実施致しました。九州工業大学の幸左賢二先生、元防衛大学校の藤間功司先生、九州工業大学の廣岡明彦先生、防衛大学校の鳴原良典先生、九州工業大学の佐々木達生氏、佐藤崇氏には橋梁の図面や貴重なご助言を多々頂きました。ここに記して全ての関係各位に対し謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所, (独)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, 2011年.
- 2) (社)日本道路協会: 道路土工-擁壁工指針, pp.3, 1999年.
- 3) 庄司学, 高橋和慎, 中村友治: 2011年東北地方太平

- 洋沖地震において津波作用を受けた橋梁構造物の被害把握, 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.6, pp.6_104-6_119, 2012年.
- 4) 高橋和慎, 庄司学: 2011年東北地方太平洋沖地震津波により被災した桁橋構造の橋梁の被害把握, 土木学会第68回年次学術講演会講演DVD-ROM, I-130, pp.259-260, 2013年.
 - 5) Fujii, Y., Satake, K., Sakai, S., Shinohara, M. and Kanazawa, T.: Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, Vol. 63, pp.815-820, 2011.
 - 6) Okada, Y.: Surface Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 75, No. 4, pp.1135-1154, 1985.
 - 7) 国土交通省 近畿地方整備局: 設計便覧(案)第3編道路編 第7章橋梁下部工 第10章基礎工, 2012年, <http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/binran/>.
 - 8) (社)土木学会: 第15回性能に基づく橋梁等の耐震評価に関するシンポジウム 東日本大震災による橋梁等の被害分析WG報告書, 性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会, 2012年.
 - 9) 建設省: 建設省河川砂防技術基準(案)同解説設計編[II], 山海堂, pp.144-178, 1997年.