東北地方太平洋沖地震津波で被災した 岩手県山田漁港・防潮堤の被災メカニズム に関する一考察

庄司 学1・水野 魁人2・高橋 和慎3・木原 直人4・松山 昌史5

¹正会員 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) E-mail:gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

³非会員 大林組(元 筑波大学 理工学群工学システム学類)(〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)
 ²学生会員 筑波大学大学院 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)
 E-mail: s1330224@u.tsukuba.ac.jp

4正会員 (一財)電力中央研究所 地球工学研究所 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

E-mail: kihara@criepi.denken.or.jp

5 正会員 (一財)電力中央研究所上席研究員 地球工学研究所 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646) E-mail: matsu@criepi.denken.or.jp

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岩手県三陸南沿岸山田漁港の防潮堤を対象として、その構造被害をGoogle Earth画像及び構造図面に基づき詳細に把握した上で、防潮堤の被害率と作用した最大浸水深との関係を、滑動安全率及び転倒安全率の指標を介し、力学的な被災メカニズムの 観点から考察した.その結果、1)高い被害率を示した防潮堤ユニットは津波が越流した部分において集中していること、2)転倒安全率に対して相対的に滑動安全率の数値は低く滑動モードが起点となって破壊が進行した可能性が高いこと、などが明らかとなった.

Key Words : the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, seawall, damage ratio, inundation depth, sliding failure, turning failure

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震津 波は、東北地方沿岸の海岸保全施設に甚大な構造被害を もたらした.特に防波堤や防潮堤などの施設は転倒や流 出により機能を消失した.その要因としては、設計条件 を超える津波波力が作用したためと考えられ、力学的な 観点から防潮堤の被災メカニズムを解明することが必要 不可欠である.

東北地方太平洋沖地震以前の研究の一例として,谷本 ら¹⁾は1983年日本海中部地震津波により被害が生じた埋 設護岸を対象として,現地調査,水理実験及び解析的検 討を通じ,段波の作用と被災した護岸の滑動及び倒壊の メカニズムとの関係を明らかにしている.

東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害 に関しては数多くの知見が報告されている.国土交通 省・港湾局³は被災した 10 漁港を対象に現地調査を行 うともに詳細な被災事例を示し,耐津波設計を行う上で の留意点について言及している.また,岩手県の断面が 明らかな 64 施設の胸壁を対象として,滑動および転倒 の安全率の観点から耐津波性能を明らかにしている.佐 藤ら³は福島県いわき市勿来海岸を対象に現地調査を行 い,津波の浸水高と海岸堤防の被害との関係を分析し, その被災要因を分析している.浅川ら⁴は岩手県,宮城 県,福島県の海岸保全施設の被災パターンを分類し,パ ターンごとの被害延長を分析することで,被災要因の傾 向を推察している.常田,谷本⁵は多様な海岸保全施設 を対象に現地調査を行い,海岸堤防,消波ブロック及び 盛土の構造的な被害の特徴を評価している.

一方で、防潮堤を含む構造物に作用する津波波力に関 する検討は数多くなされている.有川ら[®]は混成堤を越 流する津波の再現実験を行い、その破壊過程を検討し、 津波作用指標としての水位の重要性を確認している.三 上ら[®]は水理実験及びビデオ映像の分析から堤防を越流 する津波の流れの状態を分類し、それらの作用力の特性 を分析している.常田ら[®]は東北地方太平洋沖地震津波



図-1 対象とする防潮堤の全体図

により被害を受けた防潮堤を被害レベルごとに区分・分析し、さらに防潮盛土の津波越流実験を行い、盛土の越流に対する耐侵食性について評価している. 八木ら^{9,10}は、漁港施設の津波痕跡高を対象として現地調査を行い、 津波シミュレーションに基づく浸水高と比較することによって、その再現性を確認している. 川崎ら¹¹は岩手県 釜石市小白浜漁港の防潮堤を対象に3次元流体一構造解析を行い、現地の被災状況の再現性を確認するとともに、 被災メカニズムの検討を行っている.

このように、東北地方太平洋沖地震津波による海岸保 全施設の被害に関する研究は多くなされている一方で、 構造図面等に基づいた詳細な被害情報をもとに防潮堤の 被害を無被害事例も含めて把握し、被災メカニズムを検 討している研究事例は少ない.そこで、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岩手県 三陸南沿岸山田漁港の防潮堤を対象に、その被害・無被 害の状況をGoogle Earth画像及び構造図面に基づき詳細に 把握した上で、防潮堤の被害率と津波作用との関係を、 滑動安全率及び転倒安全率の指標を介し、力学的な被災 メカニズムの観点から考察する.



(c) 南部のユニット群図-2 対象とする防潮堤と最大浸水深の分布

2. 分析対象とする防潮堤及びその被害の概要

(1) 分析対象とする防潮堤の構造特性

本研究では、岩手県三陸南沿岸山田漁港海岸保全区域 に存在する防潮堤を分析対象とする.図-1に本研究が対 象とする防潮堤の全体図を示す.防潮堤と後述する最大 浸水深との関係を図-2に示す.また、防潮堤に関する全 データをまとめて表-1から表-4に示す.

なお、分析を進めるに当たって、詳細な構造被害の状況と後述するきめ細やかな浸水深データを比較し被害率 を論ずるという観点から、防潮堤を分割しユニットを定義することとした.ユニットの定義方法としては、山田 漁港海岸保全区域台帳¹⁰に表記がある場合はそれに従い、 表記がない場合は構造の区切りとなる目地の長さを Google Earthで測定することで推定した.また、ユニット

表-1	分析対象とする防潮堤の構造諸元,	被害状況,	及び浸水深	(ユニットSW1-1からSW6-5まで)
-----	------------------	-------	-------	----------------------

ユニット	ユニット	図面	1# \#-		建築物 ^註	浸水深	被害	流出
番号	長さ(m)	長さ(m)	博喧	被害モート	の有無	IDmax(m)	ランク	距離(m)
SW1-1	10.048				×	6.16	D	
SW1-2	10.115				×	5.93	D	$\langle \rangle$
SW 1-3 SW 1-4	10.238				×	5.78	D	
SW1-5	10.122				×	5.58	D	\sim
SW1-6	10.122				×	5.42	D	\langle
SW1-7 SW1-8	10.090				×	5.37	D	\sim
SW1-9	10.037	不明	矩形断面コンクリート擁壁部と推測	被害が認められず	×	5.57	D	\sim
SW1-10	7.900				×	5.40	D	\sim
SW1-11	10.408				×	5.11	D	\langle
SW1-12	10.583				×	4.98	D	$\langle \rangle$
SW 1-13 SW 1-14	9.952				X	4.99	D	\sim
SW1-14 SW1-15	9.936				0	4.82	D	\sim
SW1-16	4.781				Ō	4.74	D	\geq
SW1-17 ☆≇⊧(m)	4.520				0	4.74	D	
SW2-1	3 797		毎形断面コンクリート擁護部		×	4 94	D	
SG1	7.570		床間 にある にある にある にある にある にある にある にある		×	4.91	D	
SW2-2	11.569		毎形断面コンクリート擁壁部 陸闘格納部		×	4.99	D	
SW2-3	10.047				×	5.08	D	
SW2-4	10.072				0	5.24	D	
SW2-5	10.295	115.0		加雪が辺らことが	0	5.05	D	
SW2-6	10.110	115.0		仮吉か認められり	ŏ	5.14	D	
SW2-7	10.060		台形断面重力式コンクリート		0	5.15	D	
SW2-8	10.117				0	4.91	D	
SW2-9	10.064				0	4.98	D	
SW2-10	10.180			0	4.95	D	$\langle \rangle$	
SW 2-11	10.089				0	4.53	D	
合計(m) SW3-1	2 696				V	4 67	D	
SG2	6.994		<u> 起北町面コンクリート擁</u> 壁部 陸闘		×	4.80	D	
SW 3-2	12.066		毎日 毎日 毎日 1000000000000000000000000000000		×	4.78	D	
SW3-3	10.027				×	4.62	D	\sim
SW3-4	10.012				×	4.15	D	\langle
SW3-5	10.019				×	3.97	D	$\langle \rangle$
SW 3-0 SW 3-7	10.026		台形断面重刀式コンクリート,甲堀鋼管机有			3.77	D	\sim
SW 3-8	9.981	150.0		被害が認められず	×	3.31	D	\sim
SW3-9	10.049				×	3.66	D	
SW3-10	9.981				×	4.10	D	
SW3-11	10.038				0	4.78	D	\sim
SW 3-12	10.040		台形断面重力式コンクリート, 中堀鋼管杭無		0	5.48	D	
SW 3-13	10.089				0	5.53	D	$\langle \rangle$
SW 3-14	7 187				0	5.49	D	
合計(m)	149.218		ł		U	0.20	2	
SW4-1	2.785		矩形断面コンクリート擁壁部		×	5.25	D	
SG3	6.552		陸閘		×	5.25	D	\sim
SW4-2	12.460	43.2	矩形断面コンクリート擁壁部,陸閘格納部	被害が認められず	×	5.05	D	
SW 4-3 SW 4-4	10.533		台形断面重力式コンクリート		×	5.12	מ	\sim
습計(m)	42.393				X	5.10	2	
SW 5-1	10.062				×	4.98	D	
SW 5-2	10.072	40.2	1 WHT THE BOARD	Adverts (Marrisk & July 12	0	5.07	D	\sim
SW 5-3 SW 5-4	9 994	49.3	市形町面重刀式コンクリート	彼書か認められす	0	5.13	U D	\sim
SW 5-5	9.519				0	4.99	D	
合計(m)	49.651							
SW 6-1	14.301		台形断面重力式コンクリート	陸側に転倒.海側には建築物があるため,他のユニットより 作用した津波の流速は小さいと考えられる。	0	5.29	Α	\nearrow
SG4	3.411		陸閘	陸側に転倒・流出、Google Earthで流出先が見つけられ ず、Google Earthによると、陸開海側には建築物等が見当 たらず、前面の内港防波堤開口部の津波による強い流速 が作用したと考えられる	×	5.31	As	不明
SW 6-2	12.588	61.6	台形断面重力式コンクリート	上記の被害モード同様,前面の内港防波堤開口部の津波 による強い流速が作用したと考えられる.さらに、本ユニット	×	5.32	As	19.8
SW6-3	11.410		ロルの目間里パパーインソート	の前後に津波による洗掘跡のようなものが見られ,強い押 し波と引き波が生じたと推測される.	×	5.32	As	28.9
SW6-4	9.263		for my life	陸側に転倒. 本ユニット海側には建築物が見当たらないこ	×	5.41	А	
SW6-5	9.663		ル形町面コンクリート 擁壁部	とから,上記の被害モード同様,前面の内港防波堤開口	×	5.61	А	
合計(m)	60.635		1	npv2年ixによる194V1/NJ本が16用したとちえられる。	·			

註: Google Earth画像をもとに、海岸線から防潮堤までの間に建築物が存在する場合を〇、存在しない場合を×とした.

の両端の座標及び流出距離はGoogle Earthで筆者らが目視 により読み取ったものである.構造形式は,山田漁港海 岸保全区域台帳¹⁰より, (a) 矩形断面コンクリート擁壁部, (b) 台形断面重力式コンクリート, (c) テラス式の3種類に 分類できる.それらの代表的な構造断面を図-3にそれぞ れ示す.

(2) 被害の特徴

被害の分析は,詳細な被害報告(水産総合研究センタ ー¹³⁾,東京大学生産技術研究所・中埜研究室¹⁴⁾,岩手 県¹⁵⁾,筆者らによる現地調査結果,及び,Google Earth 画像に基づき行った.また,防潮堤の被害状況の傾向を 明らかにし,被害ランクを定義した.被害ランクは,防 潮堤の流出を As,転倒を A,堤体上部の脱落・流出を

ユニット	ユニット	図面	構造	被実モード	建築物註	浸水深	被害	流出
番号	長さ(m)	長さ(m)			の有無	$ID_{max}(m)$	ランク	距離(m)
SW /-1	2.307		22世界の日本の1000円を開発した。	被害が認められず	0	5.72	D	
SW7-2	10.859		産闸 坂平断ボランク11ート 塩辟部 陸間核納部	被害か認められず 地宇が認められず	0	6.23	D	\sim
SW7-3	6.590	516			ŏ	6.33	D	\sim
SW7-4	9.017	56.0			0	6.36	D	
SW 7-5	9.012		台形断面重力式コンクリート,鋼管杭有	被害が認められず	0	6.68	D	
SW7-6	9.000				×	6.68	D	
SW7-7	2.336	<u> </u>			\times	6.71	D	
合計(m)	55.349			Treat company of the two	· · · · ·	6.71		
SW 8-1	3.786		矩形断面コンクリート擁壁部,陸闸格納部	被害が認められず	×	6.71	D	
SUb	6.347			被害が認められず	×	6.89	D	
SW 8-2	4.281		矩形断面コンクリート擁壁部,陸闸格納部	被害が認められず	×	7.09		
SW 8-5	10.035		アフス式,避難路有	被害が認められす	×	7.00	D	
SW 8-5	10.004		台形重力式コンクリート	被害が認められず	×	6.71	D	
SW8-6	6.348			テラスの手すりの部分が一部流出	×	6.54	C	\sim
0.1.0.0	010.0	00.0		陸側に転倒、流出、押し波の影響が考えられるが、倒壊し		010 .		\sim
SW8-7	6.432	89.9		た防潮堤の基礎側破壊断面を見ると,鉄筋がそのまま上 にのびており,防潮堤が浮上して抜けたことを表している.	×	6.34	As	11.76
SW 8-8	5.665		テラス式	テラス部(斜路部)が翼のように防潮堤から突き出しており、 上向きの揚力を受けやすい構造が倒壊の原因となったと	×	6.08	As	25.92
SW 8-9	9.669			考えられる.またGoogle Earthより前面に建築物がなく大き	×	6.22	As	11.36
CW/8-10	0.510			い流速が作用したと考えられる。		6.71	Ac	4.14
SW 8-10	9.510	1		上記の彼者に加え, 座側に流口される际に, 建築物に阻 まれ SW8-7 B パSW8-8 SW8-9 トり海出距離が毎い	×	6.90	As As	4.14
合計(m)	91.906			式化, 5W 0 7 次 0 5W 0 0, 5W 0 2 3 2 / 加田町間 / 2 4 1	~	0.20	Π.	4.4
D BIX /			Γ	Goode Earthから転倒 流出が確認された 上記同様 テ	· · · · · ·			
SW9-1	6.573		テラス式	うく語が変のように防潮提みら突き出しており、上向きの揚 カを受けやすい構造が倒壊の原因となったと考えられる. またGoogle Earthより前面に建築物がなく大きい流速が作 用したと考えられる。陸側に流出される際に、建築物に阻 主れ、SW8-7及びSW8-8、SW8-9より流出距離が短い、	×	6.97	As	6.73
SW9-2	12.373	740	テラス式	被害が認められず	0	6.85	D	
SW9-3	2.486	74.8	矩形断面コンクリート擁壁部	被害が認められず	0	6.62	D	\sim
SG7	4.603		陸閘	被害が認められず	0	6.50	D	
SW9-4	9.061		矩形断面コンクリート擁壁部,陸閘格納部	被害が認められず	Q	6.27	D	
SW 9-5 SW 9-6	10.075		ム形態売重カポラング川ート 細管症有	*************************************	0	6.05	D	\frown
SW9-7	5.594		百形例 田里 ハスペイシン 「、 明日 700日	彼吉小認の20469	X	6.20	D	\sim
SW9-8	9.603		ハガルニズチャナーン 加二し 御焼枝方	被害が認められず	×	6.30	D	\leq
SW 9-9	6.428		百形町山里刀式ユンクリード, 調官加市	被害が認められず	×	6.54	D	
合計(m)	76.854		-					
SG8	9.872		陸閘	被害が認められず	×	6.62	D	
SW 10-1 SW 10-2	13.433		矩形断面コンクリート擁壁部、陸閘格納部	被害が認められず	0	6.87		
SW10-2 SW10-3	10.084	72.8			0	6.83	D	
SW10-4	9.998		矩形断面コンクリート擁壁部,基礎杭有	被害が認められず	Ŏ	6.73	D	
SW10-5	10.054				Ō	6.68	D	\geq
SW10-6	10.044				0	6.63	D	
合計(m)	73.513							
SW11-1	9.995	25.4		At a creater and the set	0	6.58	D	
SW 11-2 SW 11-3	4 854	23.4	矩形町面コンクリート 擁堂部, 産碇机有	桜書か認められ ず	0	0.55 6.41	D	\sim
合計(m)	24.916					0.71	D	/
SG10	13.469		陸閘	被害が認められず	×	6.40	D	
SW12-1	6.704		矩形断面コンクリート擁壁部	被害が認められず	×	6.41	D	
SW12-2	14.293	82.7	矩形断面コンクリート擁壁部	陸側に流出. Google Earthから流出先は確認できず. 防 潮堤の脚部鉄筋の鉛直方向の破断によって転倒, 流出. 防潮堤外側には建築物がなく津波の流体力が作用したこ とが推定され、このような構造形式および被災箇所の位置 が防潮堤の倒壊を起こした要因として考えられる. なお, 本被災箇所の堤外側用地では大規模な洗掘が発生して おり,引き波時に速い流速が作用したと考えられる. (引き ³⁰⁴⁶ の光風にとって準続4.例(堀). ていえ)	×	6.46	As	不明
SW12-3	6.002		にで低声マンクロート確時如	波時の洗濯によりて建物も肉感しているい. 姉生が知いたわず	×	6.46	D	
SW12-3	10.002		2月10日コンクリート擁壁部	彼吉か認められ 9	X	6.51	D	\sim
SW12-4	10.009					6.56	D	
SW12-6	10.017	i	台形断面重力式コンクリート	被害が認められず	0	6.56	D	
SW12-7	8.697	1			Ő	6.62	D	\sim
△卦(m)	70 281	-						

表-2 分析対象とする防潮堤の構造諸元,被害状況,及び浸水深(ユニットSW7-1からSW12-7まで)

註: Coogle Earth画像をもとに、海岸線から防潮堤までの間に建築物が存在する場合を〇,存在しない場合を×とした.

B, 天端・付属物の流出を C, 被害がないものを D とした. 被害及び無被害の詳細を図-4 のように同定した. 代表的な被害箇所の写真を図-5 に示す. また, 防潮堤から海岸線までの間の建築物の有無を Google Earth 画像から判断した. その理由としては, 建築物によって防潮堤に加わる津波波力が軽減され, より正確な被害の推定には必要となる情報であるからである.

防潮堤の被害の特徴としては、防潮堤と海岸線の間に 建築物がない箇所において、建築物が存在する箇所に比 べて被害が集中していることが明らかとなった.具体的 には、建築物のないユニット群SW6-1~SW6-5、SW8-6~SW8-11、SW9-1、SW12-2、SW18-1~SW18-2、SW19-1~SW19-2、SW20-4~SW20-5で流出や転倒の被害モードが 生じている.

그드ット 포모	ユニット	図面 E さ(m)	構造	被害モード	建築物註	浸水深 /D (m)	被害	流出
留亏 SW/13_1	天ල(m)	₩9(m)	佐政府ニーシャルート体験が		の有無	1D max (111))///	起两m(III)
SG11	8.821		ル形例 国コンクリート 弾空部 防闘	牧告が認められず 被害が認められず	×	6.63	D	
SW13-2	5.226		矩形断面コンクリート擁壁部	被害が認められず	0	6.50	D	
SW13-3	10.013	53.5			0	6.48	D	\sim
SW13-4	10.070	-	台形断面重力式コンクリート H鋼杭有	被害が認められず.防潮堤の前面背面両方に洗掘跡が見	×	6.41	D	\leq
SW13-5 SW13-6	10.019			られ,強い押し波と引き波が生じたと考えられる.	X	6.35	D	$\langle \rangle$
슬卦(m)	53.192				^	0.20	Ъ	
SW14-1	6.048		矩形断面コンクリート擁壁部	被害が認められず.防潮堤の前面背面両方に洗掘跡が見	×	6.28	D	
SG12	10.047		陸閘	あたい、強い当てし返こうさ返が主したころんられる。 被害が認められず	×	6.28	D	
SW14-2	6.604		台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有	被害が認められず	0	6.15	D	
SW14-3	10.091				Õ	6.06	D	\sim
SW14-4	10.003	87.0			×	6.07	D	
SW14-5	10.083		矩形断面コンクリート擁壁部 被害が認められず	0	5.94	D		
SW14-6	10.034			0	5.76	D	$\langle \rangle$	
SW14-7	10.049				0	5.73	D	
SW14-8 SW14-9	3 626				0	5.68	D	
合計(m)	86.619				0	5.05	D	
SW15-1	5.452		矩形断面コンクリート擁壁部	被害が認められず	×	5.57	D	
SG13-1	11.196		陸閘	被害が認められず	×	5.48	D	
SW15-2	6.071		矩形断面コンクリート擁壁部	被害が認められず	0	5.35	D	
SW15-3	10.004				0	5.28	D	
SW15-4	9.995				0	5.27	D	
SW15-5	10.000		台形断面重力式コンクリート. H鋼杭有	被害が認められず	0	5.35	D	
SW15-6	10.034				0	5.41	D	
SW15-7	10.028				0	5.31	D	
SW 15-8	3.801	158.4		防潮相上如于於用声彻诊脱索 法山 防潮相益素(2)注薄	0	5.38	D	
SW15-9	9.808		台形断面重力式コンクリート, H鋼杭有	い制定工部工が定内側に脱落, 流田. い制定即面には建築物があるので, 作用した流速は小さいと推測される.	0	5.33	B	11.08
SW15-10 SW15-11	10.066				0	5.34	D	$\langle \rangle$
SW15-11 SW15-12	10.033				0	5.33	D	
SW15-13	10.026		台形断面重力式コンクリート, H鋼杭有	被害が認められず	0	5.35	D	\sim
SW15-14	10.043				Õ	5.42	D	\sim
SW15-15	10.022			0	5.47	D		
SW15-16	10.059				0	5.34	D	
스쿼(m)	156 710							
合計(m) SW16-1	156.710 6.065		矩形断面コンクリート擁壁部	被害が認められず	0	5.41	D	
合計(m) SW16-1 SG14	156.710 6.065 10.443		<u>矩形断面コンクリート擁壁部</u> 陸閘	被害が認められず 被害が認められず	0 ×	5.41 5.42	D D	\geq
合計(m) SW16-1 SG14 SW16-2	156.710 6.065 10.443 6.590		短形断面コンクリート擁壁部 陸開 短形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず	0 × ×	5.41 5.42 5.34	D D D	\mathbb{N}
合計(m) SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006		短形断面コンクリート擁壁部 陸開 矩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有		0 × × 0	5.41 5.42 5.34 5.26	D D D D	
À∄+(m) SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3 SW16-4	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002		短形断面コンクリート擁壁部 陸開 矩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず	0 × × 0	5.41 5.42 5.34 5.26 5.17	D D D D	
合計(m) SW16-1 SW16-2 SW16-3 SW16-4 SW16-5	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸間 矩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落, 流出. 防潮堤前面には建 築物が存在していたので, 作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる.		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05	D D D D B	3.14
合計(m) SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-6	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326	84.6	塩形断而コンクリート擁壁部 陸南 矩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落, 流出. 防潮堤前面には建 築物が存在していたので, 作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる.		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01	D D D D B B	3.14
合計(m) SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-7	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.007	84.6	塩形断而コンクリート擁壁部 陸朝 塩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる. 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92	D D D D B B D D	3.14
合計(m) SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-6 SW16-6 SW16-7 SW16-8	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.083 10.083	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸朝 短形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる. 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99	D D D D D D D D D D D	3.14
 ○日本(10) ○日本(10)	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.007 10.086 84.608	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸間 塩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる。 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99	D D D D D D D D D D	3.14
→ 10 → 10 SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-6 SW16-7 SW16-8 合計(m) SW17-1 SW17-1	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.083 10.007 10.086 84.608 10.027	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸開 矩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落, 流出. 防潮堤前面には建 築物が存在していたので, 作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ どが考えられる. 被害が認められず 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.06	D D D D D D D D D D D	3.14
→ 10 → 10 SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-8 合計(m) SW17-1 SW17-3 SW17-3	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.007 10.088 84.608 10.027 10.037 10.043	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸開 矩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落, 流出. 防潮堤前面には建 築物が存在していたので, 作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる. 被害が認められず 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.06 5.12	D D D D D D D D D D D D D	3.14
Ga計(m) SW16-1 SW16-1 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-8 合計(m) SW17-1 SW17-2 SW17-4 SW17-4	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.007 10.088 84.608 10.027 10.037 10.043 9.194	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸閉 矩形断面コンクリート擁壁部。陸開格納部 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 矩形断面重力式コンクリート、H鋼杭有	 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測されるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したことが考えられる。 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.09 5.12 4.37	D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14
合計(m) SW16-1 SU16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW16-7 SW16-8 合計(m) SW17-2 SW17-3 SW17-4 合計(m)	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.007 10.086 84.608 10.027 10.037 10.043 9.194 39.302	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸開 塩形断面重カズコンクリート, H鋼杭有 台形断面重カズコンクリート, H鋼杭有 台形断面重カズコンクリート, H鋼杭有 台形断面重カズコンクリート, H鋼杭有 台形断面重カズコンクリート, H鋼杭有 短形断面重カズコンクリート, H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる. 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.06 5.12 4.37	D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14
合計(m) SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-6 SW16-7 SW17-1 SW17-2 SW17-2 SW17-4 合計(m) SG17	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.007 10.088 84.608 10.027 10.037 10.043 9.194 39.302 8.414	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸間 矩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 名形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 短形断面コンクリート,H鋼杭有 矩形断面コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落, 流出. 防潮堤前面には建 集物が存在していたので, 作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる。 被害が認められず 被害が認められず てoogle Earthより陸閘の流出が確認された.流出先は確認 できないため, 飛散したと考えられる。		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.09 5.02 5.12 4.37 3.96	D D D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14 不明
合計(m) SW16-1 SG14 SW16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-7 SW17-1 SW17-1 SW17-3 SW17-3 SW17-4 合計(m) SG17 SW18-1	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.0002 11.326 10.083 10.007 10.086 84.608 10.027 10.037 10.043 9.194 39.302 8.414 14.917	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸南 矩形断面コンクリート擁壁部,陸南格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 を形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 短形断面コンクリート,H鋼杭有 短形断面コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 集物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ どが考えられる. 被害が認められず 彼害が認められず てoogle Earthより陸開の流出が確認された.流出先は確認 できないため,飛散したと考えられる. Google Earthより陸開の流出が確認された.本ユニットの前 面には建築物がないため,速い流速の津波が作用したと 考えられる.		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.06 5.12 4.37 3.96 3.16	D D D D D D D D D D D D D C As	3.14 不明 3.2
合計(m) SW16-1 SG14 SG15 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-6 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW17-3 SW17-1 SW17-2 SW17-4 合計(m) SW17-4 SW17-4 SW18-1 SW18-2	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.006 10.0083 10.083 10.088 10.083 10.083 10.084 10.085 10.084 10.085 10.085 10.086 10.087 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547	38.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸間 塩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 陸間 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 名形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測されるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したことが考えられる。 など、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したことが考えられる。 被害が認められず 被害が認められず 酸害が認められず できないため、飛散したと考えられる。 Google Earthより陸閘の流出が確認された、流出先は確認 できないため、飛散したと考えられる。 Google Earthより転倒、流出が確認された、本ユニットの前面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる。 Google Earthより、転倒が確認。移動距離が小さいことから 抗を支点に転倒したと考えられる。また、本ユニットの前面 には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考 えられる。		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.09 5.02 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05	D D D D D D D D D D D D As As	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SG14-1 SW16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-8 合計(m) SW17-2 SW17-2 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW18-1 SW18-3 SW18-3	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.084 10.085 10.087 10.084 10.027 10.043 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.9996	38.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸開 矩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる。 被害が認められず 被害が認められず		5.41 5.42 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.09 5.09 5.09 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07	D D D D D D D D D D D D D D D As As	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SU16-1 SW16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-8 合計(m) SW17-1 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW18-1 SW18-1 SW18-2 SW18-3 SW18-4 SW18-4 SW18-4	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.007 10.086 84.608 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.996 10.029	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸南 塩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測されるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したことが考えられる。 被害が認められず 酸害が認められず 酸害が認められず (0.5) 酸害が認められず (1.5) (2.5) (2.5) (2.5) (2.5) (3.5) (3.5) (3.5) (3.5) (3.5) (3.5) (3.5) (3.5) (3.5) (3.5) (3.5)		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.06 5.12 4.37 3.96 3.16 3.07 3.21	D D D D D D D D D D D D D D D C As As	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SG14 SG14 SW16-3 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW16-7 SW17-1 SW17-2 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW18-1 SW18-1 SW18-2 SW18-3 SW18-3 SW18-4 SW18-5 SW18-5	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.0002 11.326 10.083 10.007 10.086 84.608 10.027 10.086 84.608 10.027 10.043 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.547 9.996 10.029 10.022	84.6 38.6 135.5	塩形断面コンクリート擁壁部 陸南 塩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 短形断面コンクリート,H鋼杭有 短形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 超形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 葉物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる. 被害が認められず てoogle Earthより陸開の流出が確認された.流出先は確認 できないため,飛散したと考えられる. Google Earthより陸開の流出が確認された.本ユニットの前 面には建築物がないため,速い流速の津波が作用したと 考えられる. Google Earthより、低倒が確認された.本ユニットの前 面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考 えられる.		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.06 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44	D D D D D D D D D D D D D D D C D D D D	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SG14 SG14 SW16-3 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-6 SW16-7 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW18-1 SW18-1 SW18-2 SW18-2 SW18-2 SW18-3 SW18-4 SW18-5 SW18-6	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.083 10.086 84.608 10.027 10.084 10.028 8.414 14.917 9.547 9.996 10.022 10.021 10.022	84.6 38.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸南 塩形断面コンクリート擁壁部、陸開格納部 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 を形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 短形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 を形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 と形断面重力式コンクリート、H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 集物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる。 被害が認められず Google Earthより陸閘の流出が確認された.流出先は確認 できないため,飛散したと考えられる。 Google Earthより陸閘の流出が確認された.本ユニットの前 面には建築物がないため,速い流速の津波が作用したと考 えられる。 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.09 5.09 5.09 5.09 5.09 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44 3.37	D D D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SG14 SG14 SG14 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW17-1 SW17-1 SW17-2 SW17-3 SW17-4 合計(m) SW17-4 SW18-1 SW18-2 SW18-3 SW18-3 SW18-5 SW18-6 SW18-7 SW18-7 SW18-7 SW18-7 SW18-7	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.083 10.084 10.083 10.083 10.084 10.083 10.083 10.084 10.085 84.608 10.043 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.996 10.012 10.001	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸間 垣形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測されるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したことが考えられる。 などが考えられる。 被害が認められず 酸害が認められず 酸害が認められず (ごうなどので) (ごうなどのなり、建築物の強したと考えられる。 (ごうなどのなります) (こうなどのなります) (こうなどのものでは、「「「「」」」」 (こうなどのます) (こうなどのます) (こうなどのます) (こうなどのます) (こうなどのます) (こうなどのます) (こうなどのます) (こうなどのまままるいといことからう (こうなどのままるいため)、まい流速の津波が作用したと考えられる。 (こうなどのままるいためられず) (こうなどのままるいため、まい流速の津波が作用したと考えられる。 (こうなどのままるいため、まい流速の津波が作用したと考えられる。 (こうれるこのままるいため、また、たちょうないため、また、たちょうないため、また、たちょうないため、また、たちょうれるいたちょうないため、また、たちょうないため、また、たちょうれるいたちゃういたちょうないため、また、たちょうないため、また、たちょうないため、また、たちょうないため、また。		5.41 5.42 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.09 5.09 5.02 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44 3.37 3.97	D D D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SU16-2 SW16-3 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-6 SW16-6 SW16-7 SW16-8 合計(m) SW17-2 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW18-8 SW18-1 SW18-3 SW18-3 SW18-8 SW18-6 SW18-7 SW18-8	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.084 10.083 10.085 10.084 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.996 10.01 10.056 10.005	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸間 塩形断面コンクリート擁壁部、陸開格納部 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 塩形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 を形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる。 被害が認められず 被害が認められず 酸害が認められず できないため、飛散したと考えられる。 Google Earthより陸閘の流出が確認された.流出先は確認 できないため、飛散したと考えられる。 Google Earthより転倒、流出が確認された.本ユニットの前 面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと 考えられる。 Google Earthより、転倒が確認.移動距離が小さいことから 杭を支点に転倒したと考えられる.また、本ユニットの前面 には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考 えられる。 被害が認められず 被害が認められず		5.41 5.42 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.09 5.09 5.09 5.09 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44 3.37 3.97 4.29	D D D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SU16-3 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-7 SW16-8 合計(m) SW17-1 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW17-3 SW18-1 SW18-1 SW18-3 SW18-5 SW16-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW17-5 SW18-	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.083 10.083 10.083 10.083 10.084 10.085 84.608 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.996 10.029 10.012 10.001 10.056 10.000	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸 開 塩形断面コンクリート擁壁部 、陸開格納部 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 電形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 全形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 全形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 合形断面重力式コンクリート、H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測されるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したことが考えられる。 彼害が認められず 酸害が認められず 酸害が認められず (被害が認められず (なっく見ないため、現したと考えられる。 Google Earthより陸閘の流出が確認された.本ユニットの前面にには建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる。 Google Earthより、転倒が確認、移動距離が小さいことから前を支にに転倒したと考えられる。また、本ユニットの前面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる。 Google Earthより、転倒が確認。また、キュニットの前面にはま築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる。 <td></td> <td>5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.06 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44 3.37 3.97 4.29 4.64 5.31</td> <td>D D D D D D D D D D D D D D D D D D D</td> <td>3.14 不明 3.2 2.35</td>		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.06 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44 3.37 3.97 4.29 4.64 5.31	D D D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SG14 SG14 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW16-7 SW18-7 SW18-1 SW18-8 SW18-10 SW18-10 SW18-10	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.006 11.326 11.326 10.083 10.007 10.083 10.007 10.086 84.608 10.027 10.037 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.996 10.029 10.012 10.001 10.056 10.0001 10.055 8.794	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸南 塩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 電形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 短形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測されるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したことが考えられる. なぎが認められず 酸害が認められず 酸害が認められず 酸害が認められず 酸害が認められず 酸害が認められず Google Earthより陸閘の流出が確認された.本ニットの前面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる. Google Earthより陸閘の流出が確認された.本ニットの前面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる. Google Earthより、転倒が確認.移動距離が小さいことから前をなった。私=シートの前面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる. Google Farthより、転倒が確認.移動距離が小さいことから前を支えられる. Google Farthより、転倒が確認.移動距離が小さいことから前をなった。からの前面には地震力がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる. Google Farthより、転倒が確認.移動距離が小さいことから前をす。 Google Farthより、転倒が確認.移動距離が小さいとためら前を支えられる. Google Farthよりを考えられる. Waterがらないため、速い流速の津波が作用したと考えられる. Google Farthよりを考えられる. Google Farthより、転倒が確認.移動距離が小さいことから前をす。 Google Farthより、低倒が確認. Google Farthより、低倒でなど考えられる. ボセッボンを考えられる. 「たき考えられる. Google Farthより、低倒が確認 ためかられず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.06 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44 3.97 4.29 4.64 5.60	D D D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14 不明 3.2 2.35
☆計(m) SW16-1 SG14 SW16-3 SW16-3 SW16-5 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW16-7 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW18-1 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-5 SW18-7	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.006 11.326 11.326 10.083 10.083 10.084 10.083 10.084 10.085 84.608 10.027 10.033 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.996 10.022 10.021 10.022 10.025 10.025 10.025 10.025 10.025 10.025 10.025 10.025 10.025 9.175	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸南 塩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 室形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 短形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防潮堤上部工が堤内側に脱落,流出.防潮堤前面には建 築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測さ れるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したこ とが考えられる。 被害が認められず Google Earthより陸閘の流出が確認された.流出先は確認 できないため,飛散したと考えられる。 Google Earthより陸閘の流出が確認された.本ユニットの前面には建築物がないため,速い流速の津波が作用したと 考えられる。 Google Earthより、強い流速の津波が作用したと考 えられる。 被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.06 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44 3.37 3.97 4.29 4.64 5.31 5.60	D D D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14 不明 3.2 2.35
合計(m) SW16-1 SG14 SG14 SW16-3 SW16-3 SW16-3 SW16-4 SW16-5 SW16-5 SW16-6 SW16-7 SW16-6 SW16-7 SW16-7 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW18-7 SW18-1 SW18-3 SW18-4 SW18-5 SW18-4 SW18-5 SW18-6 SW18-7 SW18-8 SW18-7 SW18-8 SW18-1 SW16-1 SW17-2 SW17-2 SW17-2 SW18-1 S	156.710 6.065 10.443 6.590 10.006 10.002 11.326 10.083 10.083 10.086 84.608 10.027 10.037 10.043 9.194 39.302 8.414 14.917 9.547 9.996 10.022 10.021 10.025 9.775 3.750	84.6	塩形断面コンクリート擁壁部 陸南 塩形断面コンクリート擁壁部,陸開格納部 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 短形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 を形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有	被害が認められず 被害が認められず 被害が認められず 防衛堤上部工が堤内側に脱落,流出.防衛堤前面には建築物が存在していたので,作用した流速は小さいと推測されるが、建築物の飛散した部分の衝突によって脱落したことがが考えられる。 被害が認められず 酸害が認められず 酸害が認められず 酸害が認められず (Google Earthより陸閘の流出が確認された.流出先は確認できないため、飛散したと考えられる。 Google Earthより陸閘の流出が確認された.本ユニットの前面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる。 Google Earthより、転倒が確認、移動距離が小さいことから抗を支点に転倒したと考えられる。また、本ユニットの前面には建築物がないため、速い流速の津波が作用したと考えられる。 ならりたと考えられる。 破害が認められず 被害が認められず		5.41 5.42 5.34 5.26 5.17 5.05 5.01 4.92 4.99 5.09 5.06 5.12 4.37 3.96 3.16 3.05 3.07 3.21 3.44 3.37 3.99 4.64 5.31 5.60 6.22 6.16	D D D D D D D D D D D D D D D D D D D	3.14 不明 3.2 2.35

表-3 分析対象とする防潮堤の構造諸元,被害状況,及び浸水深(ユニットSW13-1からSW18-13まで)

註: Google Earth画像をもとに、海岸線から防潮堤までの間に建築物が存在する場合を〇,存在しない場合を×とした.

3. 被害分析

(1) 津波作用の指標

作用の指標とする. なお,最大浸水深 IDmax には,中村, 庄司 1%による津波シミュレーションによって算出された データを活用する.

本研究では、最大浸水深 IDmax を防潮堤に対する津波 これらの最大浸水深IDmaxのデータをGIS上で5.56mの

그ニット 番号	ユニット 長さ(m)	図面 長さ(m)	構造	被害モード	建築物 ^註 の有無	浸水深 ID _{max} (m)	被害 ランク	流出 距離(m)
SG18	4.191		陸閘	門扉は飛散し,陸閘周辺は陸側,海側周辺で大きな洗掘 が生じていた.	×	6.16	As	不明
SW19-1	8.067		ム 影響 あま カポッシュ 川田 田畑 広ち	陸側に転倒, 流出. 陸側の多くのH鋼杭が破断, 海側では	×	6.27	As	4.64
SW19-2	6.360		ロル例 山 重力 氏 ユンクリート, 日 興 机 有	H鋼杭が破断せずにそのまま上部に露出.	×	6.35	As	5.99
SW19-3	9.524	125.1	台形断面重力式コンクリート, H鋼杭有	陸側に転倒. 陸側の多くのH鋼杭が破断, 海側ではH鋼杭 が破断せずにそのまま上部に露出. 移動距離は小さく, そ の場で陸側底部を支点として転倒したものと推定される.	0	6.09	А	1.91
SW19-4	10.007				0	6.19	Α	2.72
SW19-5	9.992				0	6.08	Α	2.72
SW19-6	10.026				0	5.88	Α	2.72
SW19-7	10.091			時间にため 時间のタイの単綱技巧理解 海側のけ単綱技	0	6.13	А	2.72
SW19-8	10.050				0	5.98	Α	2.72
SW19-9	10.012		市形町面里刀式コンクリート,日期机有	か阪岡セ9にてのまま上部に路田. 移動距離は小さく、ての場で陸側底部を支占し1 て転船1 たたのと推定される	0	6.09	Α	2.72
SW19-10	10.010	1	O) Signature (O)	の場て座側底部を文点として転倒したものと推定される。	0	5.95	Α	2.72
SW19-11	10.019	1			0	6.05	Α	2.72
SW19-12	10.043				0	5.87	Α	2.72
SW19-13	5.049				0	6.08	Α	2.72
合計(m)	123.442		•					
SG19	4.936		陸閘	飛散しており, 流出距離不明	×	5.82	As	不明
SW20-1	7.458		台形断面重力式コンクリート,H鋼杭有 陸低流波	陸側に転倒. 流出. 防潮堤前面に建物が存在するため,	0	5.93	As	3.51
SW20-2	4.610			流速は小さくなったと考えられる.	0	6.03	As	4.04
SW20-3	10.572		台形断面重力式コンクリート, H鋼杭有	陸側に転倒.移動距離から、その場で陸側底部を支点として転倒したものと推定される.	0	5.76	А	1.22
SW20-4	10.054		→ 形断両重カポコンクⅡート 日曜結束 陸側に転倒, 流出. 防潮堤前面には建築物がないた	×	5.98	As	9.47	
SW20-5	10.265		日形时面重力式42999 下,11.购代有	大きな流速が作用し, 転倒, 大きく移動したもの考えられる	×	5.63	As	5.2
SW20-6	10.022		0.1 台形断面重力式コンクリート、H鋼杭有 被害が認められず		×	5.48	D	
SW20-7	10.046	140.1			×	4.54	D	
SW20-8	10.039	140.1			×	4.24	D	
SW20-9	10.018			×	4.39	D		
SW20-10	10.039			被害が認められず	×	4.34	D	\sim
SW20-11	10.024				×	4.42	D	$\langle \rangle$
SW20-12	10.000	4			×	4.34	D	
SW 20-13	10.025	-			×	4.40	D	
SW20-14	2.391	ł			0	4.20	D	
SW20-15	6.763	1	台形断面重力式コンクリート	被害が認められず	0	4.20	D	
SW20-16	2.844		矩形断面コンクリート擁壁部	被害が認められず	×	3.93	D	
合計(m)	140.103							
SG20	4.911		陸閘	被害が認められず	×	3.66	D	
SW21-1	10.012	23.5	拓形断面コンカリート擁辟部 陸間枚姉部	被害が認められず	×	3.64	D	
SW21-2	7.681		ハロルフロークシンシー 口煙室中,座門俗和目	被害が認められず	×	1.36	D	
合計(m)	22.604							

表-4 分析対象とする防潮堤の構造諸元,被害状況,及び浸水深(ユニットSW18からSW21-2まで)

註: Google Earth画像をもとに、海岸線から防潮堤までの間に建築物が存在する場合を〇,存在しない場合を×とした.



格子と結合させた.その格子とユニットを空間結合する ことで、格子にまたがるユニットの最大浸水深IDmacの推 定を行った.なお、複数の格子にまたがるユニットに関 しては、ユニットが最長となる格子の最大浸水深IDmacを 採用する.以上の過程を経て得られた最大浸水深IDmacを 図-1, 図-2及び表-1から表-4に併せて示す.

(2) 最大浸水深IDmaxと被害率の関係

最大浸水深IDmaxとユニットの被害の有無の関係を図-6 に示す.最大浸水深IDmaxに対する被災したユニット数の



図-4 対象とする防潮堤の被害及び無被害の詳細



図-6 最大浸水深IDmaxと被害の有無の関係

頻度を図-7(a)に示し、さらに、最大浸水深 ID_{max} に対するユニットの被害延長の分布を図-8(a)に示す.ここで、防潮堤ユニット被害率 R_{dt} 及び防潮堤延長被害率 R_{dt} [m/m]をそれぞれ以下のように定義した.防潮堤ユニット被害率 R_{dt} に関しては、被害ユニット数 N_{dt} を全ユニット数 N_{u} で除し、次式のように定めた.

$$R_{du} = \frac{N_{du}}{N_u} \tag{1}$$

また,防潮堤延長被害率 R_d に関しては,被害延長 L_d [m] を全延長L[m]で除し,次式のように定めた.



図-5 被災した防潮堤の状況

$$R_{dl} = \frac{L_{dl}}{L} \tag{2}$$

これらの式によって算出した被害率をそれぞれ図-7(b), 図-8(b)に併せて示す.

図-6 によれば、最大浸水深 D_{max} が 3.06~3.16m におい て被害が生じているものの、5.05~6.97m において被害が 集中していることがわかる.また、図-7 及び図-8 から、 最大浸水深 D_{max} が 5~6m で 15 個、6~7m で 18 個のユニ ットが被災しており、また、 D_{max} が 5~6m で 156.8m、 6~7m で 151.9m が被災していることから、被害が卓越し ている D_{max} の分布がわかる.被害率の観点から分析す ると、 D_{max} が 6~7m でのユニットの被害率 R_{du} は 0.271、 被害延長の被害率 R_{dl} は 0.268 となっており、両指標にお いて最も高い値を示している.以上のことから、最大浸 水深 D_{max} の領域において、全ユニットに対して 18.7%、全 延長に対して 19.7%の被害が集中していることが明らか となった.

(3) 防潮堤の安定性の観点からの分析

次に,防潮堤の被災メカニズムを,津波波力を受ける 防潮堤の安定性の観点から分析する.それは滑動及び転



倒に対する安全率を求めることによって照査できる.本研究では、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁷において示された、重力式防波堤における性能照査を参考として、滑動安全率*SF*_s及び転倒安全率*SF*_rを以下のように算出する.

まず, 滑動安全率SFsは静止摩擦力の水平波力に対す る比であり, 次式のように求められる.

$$SF_{S} = \frac{f \left(W - F_{B} - F_{U}\right)}{F_{H}}$$
(3)

ここで、fは静止摩擦係数、Wは防潮堤の重量[kN]、 F_B は 浮力[kN]、 F_U は揚圧力[kN]、 F_H は水平波力[kN]である. なお、静止摩擦係数fは、山田漁港・防潮堤の建設の際 に用いられた設計基本条件に基づき0.7とした.

式(3)を適用するに当たって防潮堤の重量*W*[kN]を次のように算出した.

$$W = \rho_{RC} V_{SW} \tag{4}$$

ここで、 ρ_{Rc} は鉄筋コンクリートの単位体積重量[kN/m³] である. V_{SW} は防潮堤の体積[m³]である. なお、文献17) に基づき ρ_{Rc} =24.0[kN/m³]としている. また、浮力 F_B につ いては、次式を用いて算出した.

$$F_{B} = \frac{1}{2} \rho_{SW} g(h_{1} + h_{2}) A \tag{5}$$

式(5)において、 ρ_{sw} は海水の重量[kg/m³]であり、 1.03×10^3 [kg/m³]とした.gは重力加速度[m/s²]であり、9.8[m/s²]とした. h_1, h_2 はそれぞれ津波作用構面、反対側構面における浸水深[m]である.ただし、浸水深 h_1 については、他の建築物により津波波力の軽減が見込まれる場合で海岸線から500m以上の位置に存在する場合には入射津波の最大浸水深 ID_{max} の1.5倍の値を、他の建築物により波



図-10 比高R_Eと転倒安全率SF_Tの関係

カの軽減が見込まれる場合で海岸線から500m以内の位置に防潮堤が存在する場合には最大浸水深IDmaxの2倍の値を用いる.その他の場合については最大浸水深IDmaxの3倍とする.また,h2に関しては、ここでは押し波による津波作用構面の波力を想定しており、作用反対側の構面の浸水深は0としている.Aは防潮堤の水没部の水平投影面積[m²]である.

一方で、式(3)を適用するに当たって、揚圧力 F_{U} は本 来考慮すべき波力であるが、本研究では津波作用構面に おける動水圧の影響は小さいと考え、0と仮定した. さ らに、水平波力 F_{H} は、段波波力として次式を用いて算 出した.

$$F_{H} = \frac{a^2}{2} \rho_{SW} Bg \cdot ID_{\max}^{2}$$
 (6)

式(6)においてaは水深係数であるが、式(5)における浸水 深h₁の設定方法と同様の考え方に基づき定める.他の建築物により津波波力の軽減が見込まれる場合で海岸線から500m以上の位置に存在する場合には1.5を用いる.また,他の建築物により波力の軽減が見



図-11 滑動安全率 SF_{s} 、転倒安全率 SF_{T} と防潮堤の被害モードとの関係

込まれる場合で海岸線から500m以内の位置に防潮堤が 存在する場合には2を用いる. その他の場合については3 とする. Bは見つけ幅[m]で、本研究ではユニットの長さ と仮定する. なお、防潮堤の受圧部分を超える水平波力 に関しては無視する.

防潮堤の裏法面から施設高までを比高 R_E として、それに対する滑動安全率 SF_S との関係を $\mathbf{20-9}$ に示す。

次に、転倒安全率SF-については、防潮堤に加わる波 力のモーメントの比であり、以下のように定められる.

$$SF_{T} = \frac{a_{1}W - a_{2}F_{B} - a_{3}F_{U}}{a_{4}F_{H}}$$
(7)

式(7)の適用に当たって,防潮堤の重量 W[kN],防潮堤に 加わる浮力 $F_{B}[kN]$,揚圧力 $F_{U}[kN]$,水平波力 $F_{H}[kN]$ につ いては先述した滑動安全率 SF_{S} の算定の際と同様の値を 用いる.なお, a_{1} , a_{2} , a_{3} , a_{4} に関しては,各作用力の アームの長さ[m]である.以上,比高 R_{E} に対する転倒安 全率 SF_{T} との関係を図-10 に示す.また,被害モードに おける滑動安全率 SF_{S} および転倒安全率 SF_{T} の関係を図-11 に示す.

図-11によれば、流出箇所では滑動安全率 SF_s は 0.13-0.61,転倒安全率 SF_r は0.19-1.16となり、両安全率と もにおよそ1より低い値となった.また、転倒箇所では SF_s は0.30-0.65, SF_r は0.36-1.27となり、同様におよそ1よ り低い値となった.これらのことから、防潮堤の津波波 力の抵抗力に対して、津波作用が卓越したと推定される. また、滑動安全率 SF_s と転倒安全率 SF_r を比較すると、多 くの防潮堤の断面で滑動安全率 SF_s の数値のほうが相対 的に低く、防潮堤の破壊に際して滑動モードが起点にな ったと推定される.一方で,被害を受けていないユニットにおいても,安全率が1を下回っているデータが見られ, *SFs*は0.11~0.64, *SFr*は0.13~0.94となった.この理由としては,防潮堤前面の建築物の有無により防潮堤が実際に受ける水平波力にばらつきが生じ得ること,安全率の算出の際に杭基礎の支持力を考慮していないことなどが考えられ,これらの点については今後検討を行う予定である.

4. 結論

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震津波で被災 した岩手県三陸南沿岸山田漁港の防潮堤を対象として、 Google Earth 画像及び構造図面に基づき詳細な被害把握 を行った.最大浸水深と防潮堤の被害率の関係を論ずる とともに、滑動安全率及び転倒安全率を算出することで 被災メカニズムについて考察した.得られた知見は以下 の通りである.

- (1) 防潮堤の被害率に関する分析を通じて,防潮堤と海 岸線の間に建築物がない箇所の方が,建築物が存在す る箇所に比べて被害が集中しており,また,津波が越 流した部分において被害が集中していることが明らか となった.
- (2) 滑動安全率及び転倒安全率を算出した結果,両安全 率はほぼ1より低くなった.これにより防潮堤の抵抗 力を超える津波波力が作用したと推察される.また, 転倒安全率に対して滑動安全率は相対的に数値が低く, 防潮堤の破壊において滑動モードが起点になったと推 察される.
- (3) 被害を受けていない箇所においても、安全率が1より を下回っているユニットが多く見られた.この理由と しては、防潮堤前面の建築物の有無を考慮するかしな いかで防潮堤が実際に受ける水平波力にばらつきが生 じ得ること、安全率の算出の際に杭基礎の支持力を考 慮していないことなどが考えられ、これらの点につい ては今後検討が必要である.

謝辞:岩手県農林水産部・漁港漁村課復旧チーム及び岩 手県山田町水産商工課水産チームの皆様方には、山田漁 港・防潮堤の構造や被害に係わる貴重な資料提供を賜り ました.また、土木学会・地震工学委員会「地震・津波 複合災害の推定手法および対策研究小委員会」(菅野高 弘・委員長、今村文彦・副委員長、富田孝史・幹事長) の委員の皆様には防潮堤の被害分析に関する貴重な情報 を頂きました.ここに関連する全ての皆様方に謝意を表 します.

参考文献

- 谷本勝利,鶴谷広一,中野晋:1983年日本海中部地震津 波における津波力と埋立護岸の被災原因の検討,第31回 海岸工学講演会論文集,pp.257-261,1984.
- 国土交通省・港湾局:港湾における防潮堤(胸壁)の耐 津波設計ガイドライン,防潮堤等の地震・津波による被 災事例と耐津波設計を行う上での留意点,2013.11.
- 佐藤愼司,武若聡,劉海江,信岡尚道:2011 年東北地方 太平洋沖地震津波による福島県勿来海岸における被害, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, pp.I_1296-I_1300, 2011.
- 浅川典敬,中村隆・加藤広之,早川光,佐藤勝弘,見上 敏文,小玉篤,鈴木彰:2011年東北地方太平洋沖地震に おける漁港海岸保全施設の被災状況,土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, ppI_275-I_280, 2013.
- 5) 常田賢一,谷本隆介:2011 年東北地方太平洋沖地震の現 地調査による防潮堤などの津波被害特性,土木学会論文 集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_1406-I_1410, 2012.
- 有川太郎,佐藤昌治,下迫健一郎,富田孝史,廉慶善, 丹羽竜也:津波越流時における混成堤の被災メカニズム と腹付工の効果,港湾空港技術研究所資料, No.1269, ISSN1346-7840, 2013.3.
- 7) 三上貴仁,松葉俊哉,柴山知也:津波越流時の堤防周辺
 における流体運動の分析,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_991-I_995, 2013.
- 常田賢一,竜田尚希,谷本隆介,鈴木啓祐:津波防潮堤の評価および防潮盛土の耐侵食性の確保・向上,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_1016-I_1020, 2013.
- 9) 八木宏,杉松宏一・中山哲嚴,西敬浩,奥野正洋,小池 哲,林健太郎,五十嵐雄介:東北地方太平洋沖地震津波 による女川漁港の漁港施設における被災メカニズムの検 討,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, ppI_1346-L1350, 2012.
- 10) 八木宏, 杉松宏一, 中山哲嚴, 三上信雄, 大村智宏, 佐 野朝昭, 奥野正洋, 五十嵐雄介:東北地方太平洋沖地震 津波による田老漁港の漁港施設における被災メカニズム の検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, ppI_1351-L1355, 2012.
- 川崎浩司,松浦翔,坂谷太基,本橋英樹,菅付紘一,野 中哲也:小白浜漁港防潮堤の津波被災メカニズムに関す る3次元流体-構造解析,土木学会論文集 B2(海岸工 学), Vol.69, No.2, pp.I_891-I_895, 2013.
- 12) 山田漁港海岸保全区域台帳, 2004.4.
- 13) (独)水産総合研究センター:東日本大地震による漁港 施設の地震・津波被害に関する調査報告(第1報),震 災復興に向けた活動報告集1,2012.3.
- 14) 東京大学生産技術研究所 中埜研究所:2011年3月11日 東北地方太平洋沖地震による建築物の地震被害および津 波被害調査報告,2012.3.12.
- 15) 岩手県:市町村管理漁港海岸 東北地方太平洋沖地震及 び津波災害に関する漁港海岸の被害状況及び考察,資料 NO.5, 2012.
- 16) 中村友治,庄司学:橋梁構造物に入射する津波の時系列 波形とその類型化,土木学会論文集 A1(構造・地震工 学),Vol.70,No4(地震工学論文集第 33 巻),pp.I_210-I_218, 2014.
- (社)日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解 説, 2007.

CLARIFICATION OF DAMAGE MECHANISM ON THE SEAWALLS AFFECTED BY THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE TSUNAMI

Gaku SHOJI, Kaito MIZUNO, Kazunori TAKAHASHI, Naoto KIHARA, and Masafumi MATSUYAMA

Damage mechanism of seawalls affected by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami was clarified. Dependency of the damage ratios defined as the number of damaged seawall units divided by total number of exposed seawall units by the associated inundation depths was revealed, with considering the failure and non-failure mechanism on sliding and turning failure modes of seawalls based on computation of safety factors.