

3.3.2 対象物の被災度評価

1) 海岸堤防

①概要

堤体の安定性の評価は、図 3.3-9 のように、波力、浮力、自重、堤体背後土圧(受働土圧)を考慮して行った。

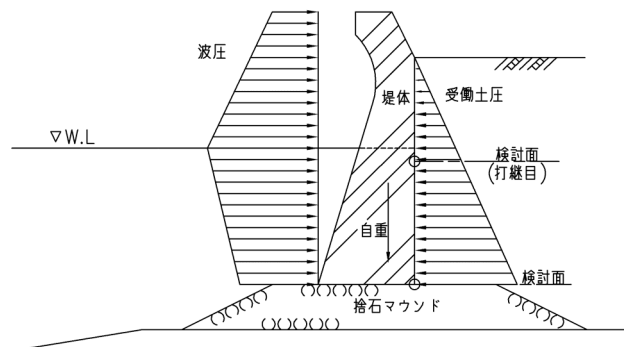


図 3.3-9 直立堤に作用する荷重

滑動に対する安定性は、以下の式を用いて行った。

$$F_s \leq \frac{\mu(W_0 - U) + H_p}{P}$$

ここで、 F_s :直立部の滑り出しに対する安全率、 μ :直立部と捨石マウンドの摩擦係数、 W_0 :直立部の水中部分の重量(kN/m)、 U :直立部に作用する揚圧力(kN/m)、 P :直立部に作用する水平波力(kN/m)、 H_p :堤体に作用する受働土圧合力(kN/m)である。波力の算定は、「引用文献 13.」に示されている合田式を用いた。堤体背後土圧(受働土圧)の算定は、「引用文献 13.」に示されている土圧の算定式を用いた。

転倒に対する安定性は、以下の式を用いて行った。

$$F_s \leq \frac{W_0 t - M_U + H_p y}{M_P}$$

ここで、 F_s :直立部の転倒に対する安全率、 W_0 :直立部の水中部分の重量(kN/m)、 t :直立部の重力の合力の作用線から直立部の堤体の後趾までの距離(m)、 M_U :揚圧力による直立部の後趾の回りのモーメント(kN・m/m)、 M_P :水平波力による直立部の後趾の回りのモーメント(kN・m/m)、 H_p :堤体に作用する受働土圧合力(kN/m)、 y :受働土圧合力の作用線から直立部底面部までの距離(m)である。

②安定性評価手法の検証

1999 年の台風 18 号により被災した山口県内の護岸および海岸堤防を対象に、前節までに述べた安定性評価手法の検証を行った。対象箇所は郡・津布田海岸(もたれ壁式)、床波漁港(重力式)、埴生漁港(直立壁式)である。既存資料から設計時と被災時の波高を算定し、それぞれについて滑動および転倒に対する安全率を算定した。郡・津布田海岸と埴生漁港に関しては厚狭港沖開作地区のデータを準用した。被災時の波高については、埴生漁港に関して郡・津布田海岸のデータを準用した。打ち継ぎ目より上部の堤体が転倒した郡・津布田海岸および床波漁港については、打ち継ぎ目より上部の安全率も算定した。

表 3.3-5 は、設計外力と被災時の外力に対する海岸堤防の安全性を評価した結果である。郡・津布田海岸、床波漁港とも、設計波に対しては打ち継ぎ目においても堤体の安定性に問題はないが、被災時の波浪が作用した場合に打ち継ぎ目において転倒するという結果となった。このほか、埴生漁港については、設計波においては安定する結果となったが、被災波を作用させた場合、滑動、転倒とも許容値を満足しない結果が得ら

れた。

以上のように、この評価手法により被災の発生を十分に説明できることから、この評価手法の現地適用性が確認された。

表 3.3-5 海岸堤防の安全率

対象	被災 形態	郡・津布田海岸		床波漁港		殖生漁港	
		設計波	被災波	設計波	被災波	設計波	被災波
打ち継ぎ目 より上部	滑動	18.10	1.91	3.93	1.30	-	-
	転倒	22.01	0.97	2.95	0.60	-	-
堤体全体	滑動	19.99	9.11	5.38	2.87	3.55	0.80
	転倒	18.84	3.58	4.10	1.45	1.47	0.31

③越波流量と堤体破壊との関係

開発した安定性評価手法を用いて越波流量と堤体破壊との関係を整理した。検討では、波高は設計時および被災時の値を、潮位は設計時と被災時の間で複数設定した。設定した潮位および波高について、堤前の最高波高を算出し、堤体の滑動、転倒の安全率と越波流量を算定した。検討結果を表-2 に示す。

図 3.3-10 は、開発した安全性評価手法を用いて算出した、転倒に対する堤体の安全率を、越波流量とともに示したものである。転倒の安全率が 1 となる越波流量は $0.04\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ と評価された。安全率が 1 に近い条件では、転倒の安全率は滑動よりも小さくなったことから、被災限界の越波流量は $0.04\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ と評価された。

表 3.3-6 検討結果

郡・津布田海岸										床波漁港										殖生漁港									
潮位	H ₀ (m)	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	H _{max} (m)	安全率		越波量 (m ³ /m・s)			潮位	H ₀ (m)	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	H _{max} (m)	安全率		越波量 (m ³ /m・s)			潮位	H ₀ (m)	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	H _{max} (m)	安全率		越波量 (m ³ /m・s)		
					滑動	転倒									滑動	転倒									滑動	転倒			
3.82	2.11	6.00	0.74	0.99	18.10	22.01	5.38E-05			3.68	3.70	6.80	1.30	1.85	3.93	2.95	7.79E-03			3.64	2.11	6.00	1.86	2.60	3.55	1.47	8.76E-03		
	1.40	5.84	0.67	0.89	22.09	29.00	7.34E-06				4.20	8.10	1.43	2.09	3.26	2.18	1.40E-02				1.40	5.84	1.45	2.39	4.24	1.87			
4.00	2.11	6.00	0.84	1.12	12.96	13.05	2.61E-04			4.00	3.70	6.80	1.49	2.15	2.72	1.68	1.70E-02			4.00	2.11	6.00	1.98	2.82	2.71	1.20	9.58E-03		
	1.40	5.84	0.79	1.03	15.09	16.06	7.78E-05				4.20	8.10	1.64	2.31	2.03	1.16	2.74E-02				1.40	5.84	1.41	2.44	3.45	1.75			
4.50	2.11	6.00	1.15	1.47	6.21	4.30	4.86E-03			4.50	3.70	6.80	1.83	2.45	1.98	1.04	5.18E-02			4.50	2.11	6.00	2.03	3.09	1.98	0.89	1.98E-02		
	1.40	5.84	1.08	1.40	6.76	4.81	1.32E-03				4.20	8.10	1.99	2.71	1.58	0.81	6.90E-02				1.40	5.84	1.38	2.44	2.76	1.31	7.84E-04		
5.00	2.11	6.00	1.44	1.83	3.61	2.15	2.33E-02			5.00	3.70	6.80	2.20	2.88	1.39	0.63	1.11E-01			5.00	2.11	6.00	2.03	3.28	1.43	0.63	3.08E-02		
	1.40	5.84	1.32	1.75	3.86	2.31	9.21E-03				4.20	8.10	2.36	3.13	1.17	0.57					1.40	5.84	1.35	2.42	2.06	0.94	1.53E-02		
5.50	2.11	6.00	1.68	2.18	2.27	1.23	7.34E-02			5.50	3.70	6.80	2.57	3.31	0.92	0.42				5.50	2.11	6.00	2.01	3.41	0.73	0.30	4.85E-02		
	1.40	5.84	1.46	2.10	2.39	1.28	2.92E-02				4.20	8.10	2.73	3.58	0.79	0.36					1.40	5.84	1.33	2.40	0.97	0.41	4.04E-03		
6.00	2.11	6.00	1.86	2.51	1.75	0.91				6.00	2.11	6.00	1.99	3.48	0.55	0.22				6.00	2.11	6.00	1.99	3.48	0.55	0.22			
	1.40	5.84	1.46	2.35	1.94	0.99					4.20	8.10	2.73	3.58	0.79	0.36					1.40	5.84	1.31	2.38	0.68	0.28	1.17E-02		
6.13	2.11	6.00	1.89	2.58	1.74	0.88					4.20	8.10	2.73	3.58	0.79	0.36					1.40	5.84	1.31	2.38	0.80	0.31			
	1.40	5.84	1.45	2.39	1.91	0.97					4.20	8.10	2.73	3.58	0.79	0.36					1.40	5.84	1.31	2.38	0.80	0.31			

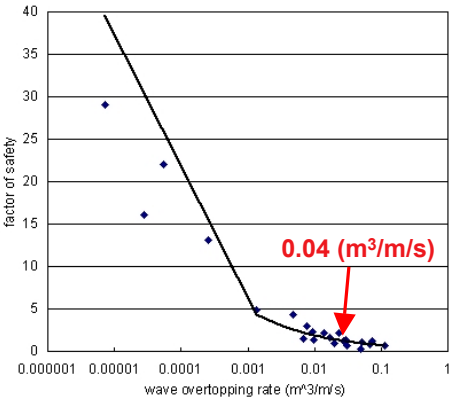


図 3.3-10 越波流量と転倒安全率との関係

参考文献

加藤史訓: 高潮危険度評価に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第 275 号, 108p., 2005.

2) 家屋・家庭用品の被害¹⁾

①概要

高潮対策の効果は、氾濫解析等により得られる浸水状況の変化だけでなく、家屋や家庭用品などの一般資産の被害低減の観点からも評価される必要がある。高潮については、浸水と一般資産の被害との関係に関する調査事例が極めて限られている。このため、家屋の各部位(基礎、床、壁など)や各種家庭用品(家具、電気製品、自動車、衣類など)の被害と浸水深などとの関係が解明されておらず、高精度で浸水深を予測できても一般資産の被害を精度良く評価できない状況にある。そこで、2004年8月の台風0416号による高潮を対象に、家屋および家庭用品の被害程度と浸水深などとの関係を解明するとともに、高潮対策の事業評価に用いられる一般資産の被害率を評価した。

②調査方法

台風0416号による高潮で浸水した香川県高松市と岡山県倉敷市の世帯を対象に、浸水被害に関するアンケート調査を実施した。台風0416号の接近により、高松や宇野などで既往最高の潮位が観測され香川県、岡山県などの沿岸部では浸水被害が発生した。高松市では、床上浸水3,538戸、床下浸水12,023戸の被害があった。また、倉敷市では、床上浸水2,643戸、床下浸水1,693戸の被害があった。

調査対象者は、浸水域の住宅地図から無作為に抽出した後、死傷者が出た世帯を除外した。現地調査では、調査への協力を依頼するはがきを調査対象者に事前に郵送し、2005年1月28～30日に調査員が各戸を訪問して、記入方法を説明した上で調査票を配布し、一週間後の2月4～6日に調査票を回収した。

調査には、河川災害の被害率を調査した栗城ら²⁾の調査票をそのまま用いた。調査票の概要は以下のとおりである。

a)家屋

家屋の形式や築後年数、浸水深や土砂堆積深、浸水時間、流出部分の有無等を尋ねた後、表3.3-7に示された家屋の構成部分別に、4～6段階に設定した被害程度の中から該当するものを選択していただいた。調査票は、木造家屋用と非木造家屋用の2種類を用意した。

b)家庭用品

表3.3-8に示す家具、電気用品について、全所有数量、製品下半分が浸水した数量、製品全体が浸水した数量、流失あるいは廃品となった数量を記入していただいた。また、自動車およびバイク・スクーターについて、全所有数量、浸水深が0.5m程度となった数量、浸水深が1m程度となった数量、全体が浸水した数量、流失あるいは廃品となった数量を記入していただいた。さらに、表3.3-8に示す衣類等について、全所有数量、浸水した数量、流失あるいは廃品となった数量を記入していただいた。

表 3.3-7 調査対象の家屋構成部分

木造	基礎(布基礎、独立基礎)、柱、屋根(瓦、亜鉛鉄板など)、外壁(モルタル塗、板張など)、内壁(塗壁、板など)、造作、天井、床(畳、板張、タイルなど)、建具、その他
非木造	主体構造(鉄筋コンクリート、鉄骨造など)、外部仕上げ、内部仕上げ、床、天井、屋根、建具、設備(電気、給水など)、その他

表 3.3-8 調査対象の家具・電化用品, 衣類等

家具・電化用品	電気冷蔵庫, 電気掃除機, 電子レンジ, ガステーブル, ガス瞬間湯沸かし器, 電動ミシン, 電気こたつ, ガスストーブ, 温風ヒーター, 和だんす, 洋服ダンス, 整理だんす, 鏡台, 茶だんす・食器戸棚, 食卓・椅子, 電話機, 書棚, カラーテレビ, ラジカセ, ステレオ, ビデオデッキ, ピアノ・電気オルガン, パソコン・ワープロ, エアコン室内機, エアコン室外機, 洗濯機
衣類等	男子オーバー・コート, 男子背広, 男子上着, 男子ズボン, 男子ネクタイ, 婦人オーバー・コート, 婦人スーツ, 婦人ワンピース, 婦人ブラウス, 婦人スカート, 婦人黒礼服, 婦人着物, 婦人訪問着, 婦人留袖, 婦人喪服, 婦人羽織, 婦人和服コート, 婦人帯, 婦人ハンドバック, セーター, 靴, 敷布団, マットレス, 掛布団, 毛布

③調査結果

(1)調査票の回収状況

調査票の回収数は, 高松市 125 件, 倉敷市 107 件である。回答者の属性は以下のとおりである。

- ・世帯主の職業は, 両市とも, 無職が多くを占める「その他」が約 40%で, 会社員・公務員が約 35%, 自営業が約 20%であった。
- ・木造家屋の割合は, 高松市が 85%, 倉敷市が 75%であった。また, 2 階建ての割合は高松市が 86%, 倉敷市が 80%, 地階を有する家屋の割合は両市とも 2%程度であった。
- ・築後年数が 30 年を超える家屋の割合は, 高松市で 41%, 倉敷市で 35%であった。また, 同 10 年以下の家屋の割合は, 高松市で 15%, 倉敷市で 24%であった。

(2)家屋の浸水状況

図 3.3-11 のように, 回答者中の床下浸水の割合は高松市が 37.6%, 倉敷市が 28.0%で, 平均的には倉敷市の方が浸水深は大きかった。両市とも, 床上 3m 以上の浸水家屋は含まれていなかった。浸水時間は 図 3.3-12 のように, 両市とも回答者の 4 割が 12 時間以下であるが, 高松市では 72 時間超という回答も見られた。また, 家屋内での土砂堆積は, 図 3.3-13 のように両市とも回答者の 9 割弱が無かったと回答しており, 残りもほとんど全てが厚さ 10cm 未満であった。台風 9918 号の被害率調査²⁾の対象者と比べると, 土砂堆積があった家屋の割合は少ない。

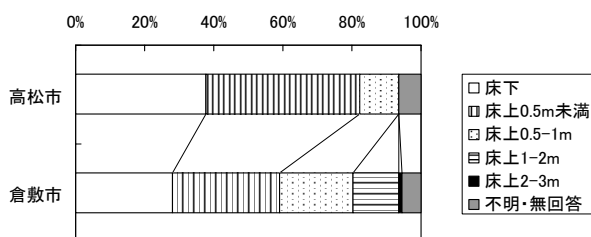


図 3.3-11 家屋の浸水深

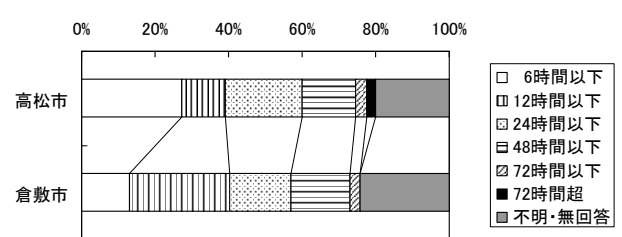


図 3.3-12 家屋の浸水時間

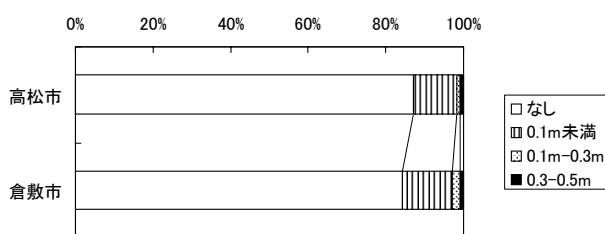


図 3.3-13 家屋の土砂堆積深

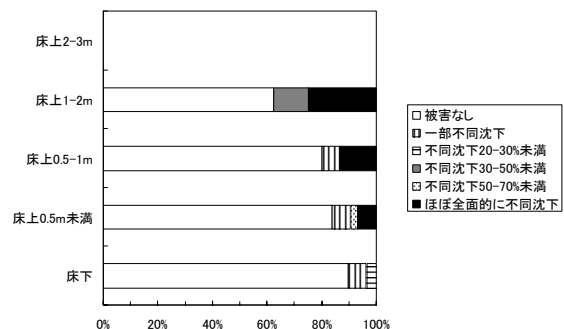


図 3.3-14 布基礎の被害

(3)家屋の被害状況

回答数の8割を占めた木造家屋については、家屋の各部位の被害と浸水深との関係は以下のとおりである

- ・ 布基礎は床下浸水でも1割の世帯で不同沈下が生じており、その割合は浸水深とともに大きくなる(図3.3-14)。
- ・ 独立基礎では、床下浸水でも2割の世帯で不同沈下しており、布基礎と比べ全体的に被害程度が大きかった。
- ・ 柱は、床下浸水では被害がなかったものの、床上浸水になると損傷した家屋の割合が増加する(図3.3-15)。
- ・ 屋根や天井の被害程度については、浸水深とほとんど関係がなかった。
- ・ 外壁は、床下浸水では表面汚染程度の被害である。床上浸水になると、板張りの外壁は図3.3-16のように浸水深とともに損傷の程度が著しく大きくなるが、モルタル塗の外壁は図3.3-17のように床上1m以上の浸水でも剥落の割合は2割に過ぎない。
- ・ 塗壁の内壁は、図3.3-18のように床上0.5m未満の浸水でも半数の世帯で亀裂等が生じている。また、被害程度は浸水深とともに増大している。
- ・ 畳(図3.3-19)、板張りの床とも、床上浸水では、浸水深とともに被害程度が増大する傾向が認められた

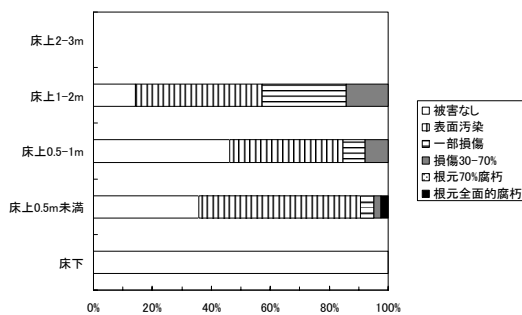


図 3.3-15 柱の被害

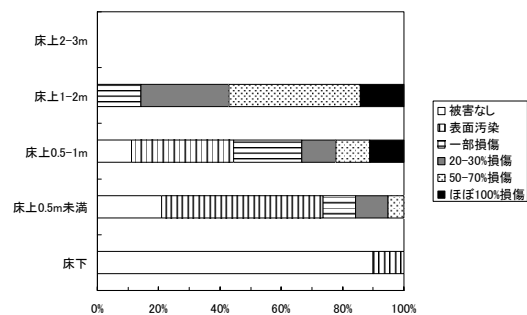


図 3.3-16 外壁(板張り)の被害

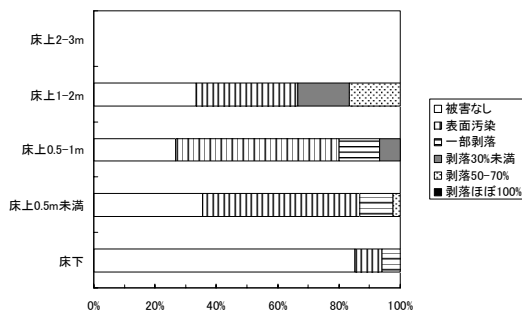


図 3.3-17 外壁(モルタル塗)の被害

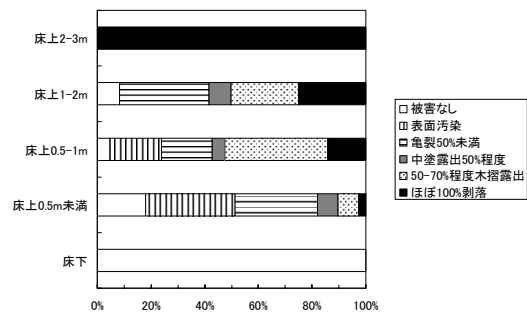


図 3.3-18 内壁(塗壁)の被害

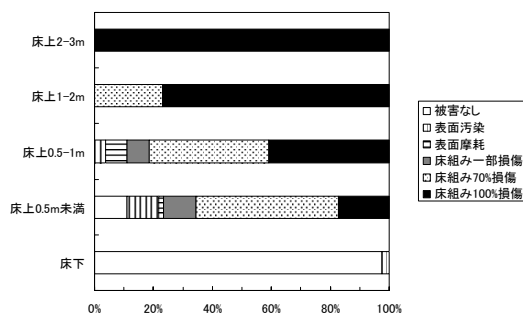


図 3.3-19 畳の被害

(4)家庭用品の被害状況

家庭用品の被害状況について、家具・電気用品、自動車、衣類等に分けて考察する。

図 3.3-20 は、家具・電気用品について、浸水深別に被害状況を示している。床下浸水では被害はほとんど発生していないが、床上浸水になると浸水深とともに流失・廃品の割合が増加し、床上 1m 以上の浸水では 8 割以上が流失・廃品である。

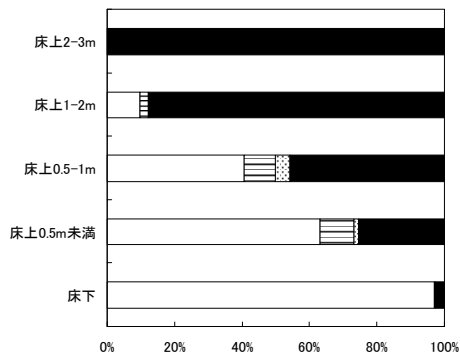


図 3.3-20 家具・電気用品の被害

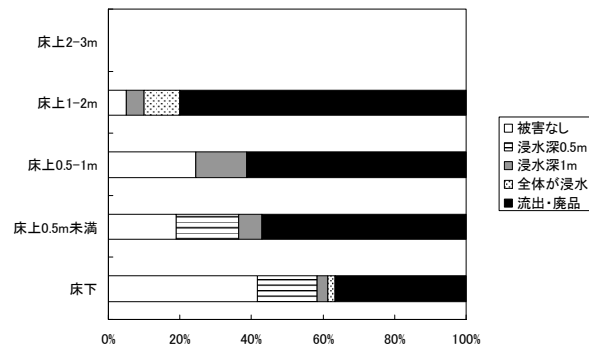


図 3.3-21 自動車の被害

図 3.3-21 は自動車の被害状況を示している。家具・電気用品とは異なり、流失・廃品の割合は、床下浸水でも 4 割弱、床上1m 以上の浸水では 8 割弱に上る。バイク・スクーターも同様の傾向であった。

図 3.3-22 は、衣類等の被害状況を示している。家具・電気用品や自動車と比べて、流失・廃品の割合は小さかった。

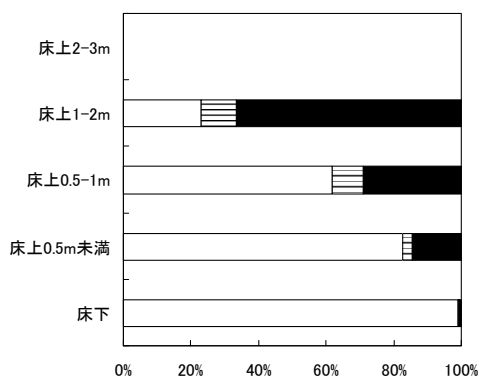


図 3.3-22 衣類等の被害

④被害率の算定

(1)被害率の算定

家屋と家庭用品の被害率の算定は、栗城ら²⁾に従って以下のように行った。

a)家屋

$$\text{被害率} = \sum_i \left\{ \sum_j (Db_{ij} \times Lb_{ij}) \times Pb_i \right\} \quad (1)$$

ここで、 Db_{ij} : 部分別損傷程度別被災数量(当該被害があった場合 1, なかった場合 0), Lb_{ij} : 部分別損傷程度別損耗率, Pb_i : 部分別価値構成比, i : 家屋の構成部分(基礎, 外壁, 床など), j : 損傷程度である。このうち, 部分別損傷程度別損耗率および部分別価値構成比については, 栗城ら(1995)の調査結果を用いた。

b)家庭用品

被害率＝被害額÷所有資産額

$$= \sum_i \left\{ \sum_j (Df_{ij} \times Lf_{ij}) \times Pf_i \times Rf_i \right\} \div \sum_i (Tf_i \times Pf_i \times Rf_i) \quad (2)$$

ここで、Df_{ij}:品目別浸水程度別被災数量,

Lf_{ij}:品目別浸水程度別損耗率,

Pf_i:再調達価額,

Rf_i:経年残価率,

Tf_i:品目別所有数量,

i:品目,

j:浸水程度である.

このうち、品目別浸水程度別損耗率および再調達価額については栗城ら³⁾の調査結果を用い、経年残価率は一律 0.75 とした.

(2)被害率の都市間比較

図 3.3-23 および 3.3-24 は、台風 0416 号時における浸水深別の被害率の平均値を、高松市と倉敷市に分けて示している. 高松市の回答者には床上 1m 以上の浸水家屋が含まれていない. 家屋の被害率は、床上 0.5m 未満の浸水では倉敷市の方が若干大きい、床上 0.5m 以上の浸水では高松市の方が大きい. 家庭用品の被害率は、床下浸水では倉敷市の方がかなり大きかった.

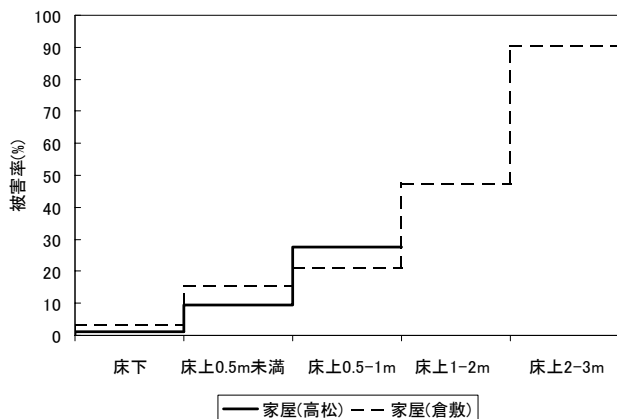


図 3.3-23 家屋の被害率

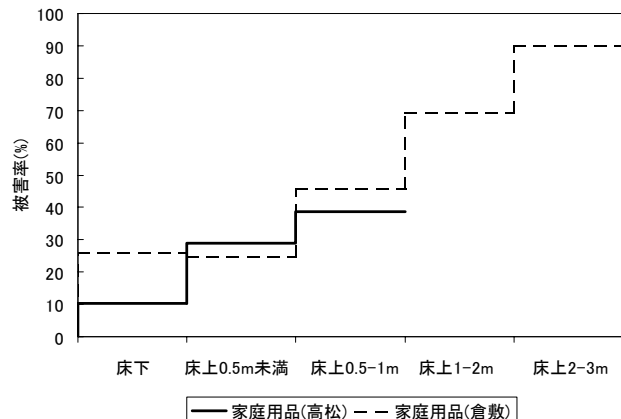


図 3.3-24 家庭用品の被害率

家庭用品を家具・電気用品、自動車およびバイク・スクーター、衣類等に分けて被害率を算出したところ、床下浸水での被害率は、家具・電気用品や衣類等が 10%以下であるのに対し、自動車等は両市平均で 45%と高かった. また、図 3.3-25 のように、自動車等の被害率は、床下浸水では倉敷市の方が高かった. さらに、倉敷市の方が、浸水時間が長く、家庭用品を移動した世帯の割合が少なかった(高松市 42.6%, 倉敷市 28.1%). 以上のことから、床下浸水での家庭用品の被害率が倉敷市で比較的高かったと考えられる.

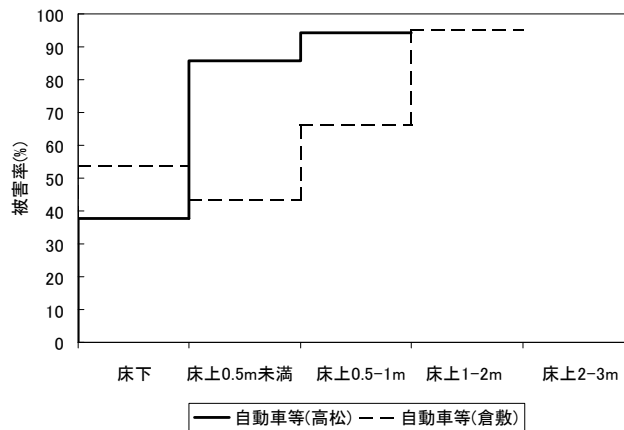


図 3.3-25 自動車等の被害率

(3) 台風 9918 号時の被害率との比較

図 3.3-26 および 3.3-27 は、台風 0416 号時の被害率(高松市と倉敷市の平均)を、海岸事業の費用便益分析指針⁴⁾に示されている値とともに、台風 9918 号時の被害率調査結果³⁾(熊本県不知火町と山口県宇部市の平均)と比較したものである。家屋の被害率は、指針と同程度であるが、台風 9918 号時と比べると、床下浸水では若干小さく、床上浸水ではかなり大きかった。一方、家庭用品の被害率は、指針と比べると、床上 0.5m 未満の浸水では大きく、それ以上の浸水では小さかった。また、台風 9918 号時と比べると、被害率は全ての浸水深で小さかった。その要因として、家庭用品を安全な場所に移動させた世帯の割合が、台風 9918 号時の約 2 倍と高かったことが考えられる。

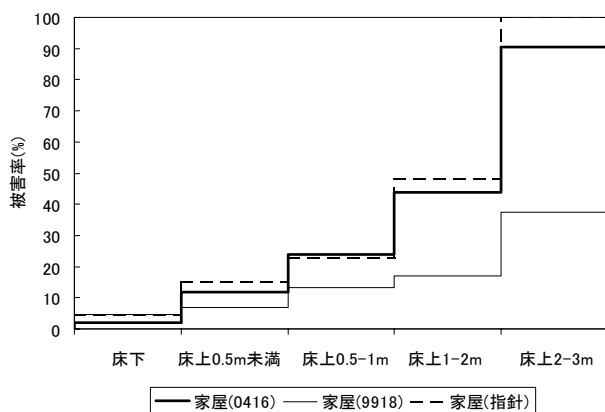


図 3.3-26 被害率の比較(家屋)

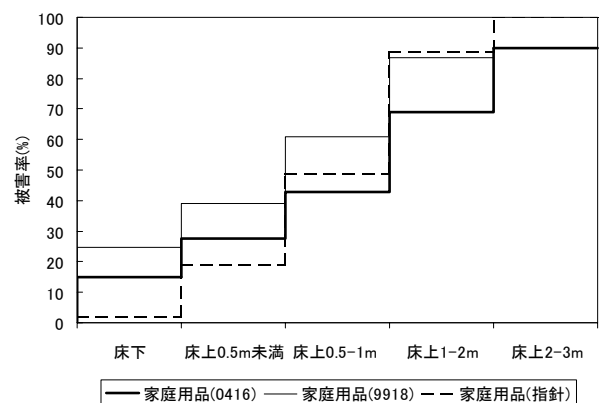


図 3.3-27 被害率の比較(家庭用品)

⑤ おわりに

今回行ったような高潮による浸水被害に関する実態調査は数少なく、より精度の高い事業評価のため調査事例を蓄積していく必要がある。被害率の算定に用いた損耗率は、河川災害の実績に基づくものであることから、塩分等の影響が加わる高潮災害では過小となる可能性がある。よって、高潮災害を対象とした損耗率について検討が必要である。

また、今回使用した調査票は、家庭用品だけで 56 項目も記入する必要があり、回答にかなりの時間を要する。このため、戸別訪問による回答方法の説明が不可欠で、これがサンプル数の制約となっている。調査の精度と回答者の負担とのバランスを考慮しながら、調査票の改良を図る必要がある。

参考文献

- 1)加藤史訓, 福濱方哉, 野口賢二:高潮による浸水被害の実態調査, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.231-235, 2005.
- 2)栗城 稔, 今村能之, 小林裕明:水害被害の実態調査に基づく一般資産の被害率の推定, 土木研究所資料, 第3330号, 282p, 1995.
- 3)加藤史訓, 鳥居謙一:高潮による一般資産の被害特性, 土木計画学研究・講演集, No.24(1), pp.689-692, 2001.
- 4)農林水産省農村振興局, 農林水産省水産庁, 国土交通省河川局, 国土交通省港湾局:海岸事業の費用便益分析指針(改訂版), 103p, 2004.