地震と洪水の複合災害に係る被害低減対策効果の特性の分析

板垣修¹⁾、松浦達郎²⁾、服部敦³⁾

1) 非会員 国土交通省大臣官房付（前国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室、主任研究官）

e-mail : itagaki-o@outlook.jp

2) 非会員 同下水道研究部下水道研究室（前 河川研究部河川研究室）、主任研究官

3) 非会員 同河川研究部河川研究室、室長 博士（工学）

要 約

本論文は、地震と洪水の複合災害を対象として、被害低減対策ごとの被害低減効果の特性について分析し、対策検討上の留意事項を抽出することを目的とする。分析に当たっては、国土交通大臣直轄管理河川を念頭に設定した延長約60kmのモデル河川において、地震・洪水規模、両者の生起間隔、対策ケースを変化させた計120ケースについて直接被害額及び死者数を試算した。本成果を活用することにより複合災害時の被害低減対策についてより具体的に検討できるようになると著者らは考えている。

キーワード： 複合災害、地震、洪水、被害低減対策、直接被害額、死者数

1. はじめに

2011年の東日本大震災以降、これまで想定外とされてきた低頻度・大規模災害に対しても事前に減災対策を立てておくことの重要性が認識されている。河川においても津波¹⁾や気候変動を見据えた大規模洪水²⁾について検討が進められている。こうした災害の1つとして、洪水と地震が同時もしくはほとんど間を置かずに連続して発生する複合災害が挙げられる。過去には、福井地震（1948年）や新潟県中越地震（2004年）のように、地震発生前後1カ月以内に豪雨が発生し被害を受けた事例も知られている³⁾。地球温暖化による各種気象の極端現象が出現しやすくなると、被災からの復旧・復興事業の優先順位を次の災害発生の危険性を考慮して決めるという新しい考え方も必要となってきた⁴⁾。

本論文では、複合災害時の被害低減の観点を河川整備の計画検討時等に具体的に考慮することを目的として、松浦ら⁵⁾が提案した体系的な複合災害時の被害特性分析手法をより幅広い複合災害ケースに適用し、被害低減対策ごとの被害低減効果について試算・分析し、被害低減対策検討上の留意点を抽出・整理したものである。

2. 地震と洪水による複合災害対策検討の考え方

地震発生に次いで洪水が生じる複合災害の場合、最初に発生した地震の規模によって河川構造物や堤内地での被害が異なり、その復旧に必要な日数も異なる。一般的に、地震の規模が大きければ被害も大きく復旧に必要な日数も長くなるため、その後の洪水被害が拡大しやすくなると考えられる。一方、地震直後のように復旧が進んでいない状態で洪水が発生した場合はより被害が大きくなる可能性がある。したがって複合災害時の被害低減対策を検討する際には、地震と洪水の規模に着目するだけでは不十分

であり、時系列の復旧状況も観点として加えることが重要である。本研究では堤内地の住宅・道路・電気及び堤防等施設の復旧状況を時系列で整理し、各復旧状況に至るまでの経過日数と各復旧状況において洪水が発生した場合の被害を試算し、さらに、被害低減対策ごとの効果について試算・分析した。

本研究では、一級河川国土交通大臣直轄管理区間を念頭に設定した延長約 60km のモデル河川を対象として地震・洪水の規模及び両者の生起間隔を体系的に変化させるとともに、堤内地の被害が河川構造物の復旧工事に与える影響を過去の実績等から設定した上で、人的被害等と復旧に要する日数の試算を行った。なお、今回は地震被害として揺れによる被害を主な対象とし、津波や地盤沈下による被害は考慮していない。また、洪水時の高潮の同時生起についても考慮していない。

3. 複合災害時の被害の試算・分析の対象とした流域・地震・洪水

今回検討対象としたモデル河川・氾濫区域（以下「モデル区域」）の概要を表1に、地震発生後の経過によるモデル河川・区域の概況を表2に、モデル区域の土地利用・地盤高を図1に示す。モデル河川の下流域（左岸）は低平地であり、浸水被害が生じやすい。なお下流右岸は山付き区間として設定している。

地震規模については中央防災会議による南海トラフの巨大地震⁶⁾及び東海・東南海・南海地震⁷⁾の予測結果を基にモデル区域内に 250m メッシュの震度分布を設定し、図2に示す規模が異なる3つの地震を想定した。本研究ではこれらを便宜的に L2（モデル区域での最大震度 6.5）、L1'（同 6.2）、L1（同 5.8）と呼ぶが一般的な定義とは一致していないことに留意されたい。洪水規模についてはモデル河川上流端でのピーク流量が約 15,000m³/s の河川整備基本方針規模の出水と現況流下能力程度である約 8,000m³/s の2つの洪水を想定した。

洪水による被害については表2に示すとおりモデル区域内の避難状況や堤防の復旧状況が異なる時点に区分して各試算した。なお、地震により沈下した堤防の緊急復旧高は HWL（計画高水位）までとし、氾濫被害が相対的に大きい左岸下流部 10～23.2km 区間を優先的に復旧する設定とした。

表1 モデル河川・区域の概要

流域の概要	幹川流路延長	約200km
	流域面積	約5,000km ²
氾濫域の概要	直轄管理区間	約60km
	氾濫区域面積	約600km ²
	河床勾配	1/500～1/5000程度
	氾濫区域内人口	約2,200,000人
	氾濫区域内資産	約69兆円
	土地利用形態	建物:29%、農地:37%、 河川等:14%、その他:20%

表2 地震発生後の経過によるモデル河川・区域の概況

地震発生後の経過	モデル河川・区域の概況	図7での呼称
地震発生直後	道路啓開前のため区域外への避難不可 堤防復旧は全く進んでいない	I
道路啓開直後	主要道路は啓開、堤防復旧工事未着手	II
堤防緊急復旧20%	左岸下流部10.0～23.2kにおいてHWL-1.6m まで緊急復旧が完了	III
堤防緊急復旧50%	左岸下流部10.0～23.2kの緊急復旧が完了	IV
堤防緊急復旧完了	堤防の緊急復旧が完了	V

図1 モデル区域の概要（左：土地利用状況、右：地盤高）

図2 想定震度分布（左L2、中L1'、右L1）

4. 地震による被害の想定

地震被害、その後の復旧状況及び洪水被害の想定フローを図3に示す。地震による停電による避難情報の伝達困難な世帯数、道路被害、建物被害、人的被害、河川堤防の沈下量を以下のとおり想定した。

図3 地震被害から洪水被害までの想定フロー

表3 地震による被害試算結果

地震規模		L2	L1'	L1
モデル区域人口(人)		2,200,000		
モデル区域内世帯数(世帯)		780,000		
モデル区域内家屋数(戸)		580,000		
損壊家屋数(戸)	全壊家屋	57,000	21,000	420
	半壊家屋	220,000	120,000	1,800
	計	270,000	140,000	2,200
地震直後の停電世帯数(世帯)		730,000	680,000	360,000
家屋倒壊による人的被害(人)	死者	3,400	1,200	25
	要救助者	28,000	9,300	190
	救出人数	1,100	1,100	160
	救出時死者	25,000	8,300	30
地震による死者数(人)		28,000	9,500	55
地震直後の断水人口(人)※		1,700,000	1,700,000	1,200,000
家屋倒壊による避難者数(人)		240,000	84,000	1,500
断水による最大避難者数(人)		450,000	460,000	320,000
計(人)		690,000	550,000	320,000
避難所収容人数(人)	平常時収容可能人数	330,000		
	被災後収容可能人数	180,000	250,000	330,000
	断水避難者ピーク時	180,000	250,000	320,000
避難者数(人)	区域外	510,000	290,000	0
	区域内	180,000	84,000	1,500
	断水解消後	60,000	0	0
地震後自宅居住者(人)	断水避難者ピーク時	1,500,000	1,600,000	1,900,000
	断水解消後	1,900,000	2,100,000	2,200,000
地震による直接被害額(百億円)		2,600	1,700	19

※ 地震直後の断水人口は家屋倒壊による要救助者を除いた値。

4.1 停電による避難情報の伝達困難な世帯数

東日本大震災時の実績⁸⁾に基づき地震直後の震度別停電率を震度6弱以上:96%、震度5強:43%、震度5弱:22%、震度4:13%、震度3以下:0%とし、その後の経過日数に応じた復旧率を中央防災会議の南海トラフ巨大地震の被害想定手法(以下、南海トラフ想定手法)⁹⁾を参考に想定(例 地震後1週間で復旧率90%)し、モデル区域内の停電世帯数(洪水時に避難行動をとれない人数)をメッシュ別に試算し洪水時避難率を低減した。今回停電率及び復旧日数を概略で設定したが、庄司ら¹⁰⁾、Shoji et al.¹¹⁾がより詳細な設定手法を提案しており、今後同手法などを活用した精度向上が考えられる。

4.2 道路啓開必要日数及び建物被害の推定

「中部版くしの歯作戦」¹²⁾を参考に L2 地震時の道路啓開必要日数を 3 日と設定し、南海トラフ想定手法を用いてモデル区域内に想定した緊急輸送道路の「震度別延長 (km)」に「震度別道路延長当たり被災箇所数 (箇所/km)」を掛けることにより地震規模毎の道路被災箇所数を想定し、L2 時の道路被災箇所数との比率により L1' を 3 日、L1 は 2 日と設定した。なお、今回道路被災箇所数を概略で設定したが、Shoji and Nakamura¹³⁾などを参考に最新の知見を活用した設定を今後検討することが考えられる。

また南海トラフ想定手法を用いて地震規模ごとの全・半壊戸数を設定するとともに、設定した家屋の全・半壊率よりモデル区域内の避難施設の被災 (使用不能) 率を設定した。

4.3 地震による人的被害の推定

メッシュごとの震度、建物構造別・建築年次別棟数から南海トラフ想定手法を参考に全壊・半壊 (全半壊戸数比より) 戸数を試算し、死者・要救助者数 (自立脱出困難者数) 及び避難者数を試算した (表3、死者数がより多くなる夜間 (建物滞留率100%) に地震が発生した場合を採用)。なお要救助者の生存率については阪神・淡路大震災の実績¹⁴⁾を参考に発生当日: 75%、2日目: 25%、3日目: 15%、4日目以降: 0%と設定した。避難者数は南海トラフ想定手法を参考に建物倒壊と断水によるものに分けて推定した。断水による避難者数は川上による手法 (水道管は普通鉄管とした)¹⁵⁾から設定した。水道復旧率については都市部における水道事業者の事業継続計画¹⁶⁾を参考に、発災後4日目までは被災調査等のため復旧率0%、復旧作業は5日目から開始し28日目に完了する (復旧率は復旧作業開始からの日数に一次比例) と想定した。断水による避難者数は断水生活困窮度に応じて時系列で変化し、避難施設の収容人数を超える避難者はモデル区域外へ避難するものとした。なお水道復旧に要する期間の設定についてはNagata et al.¹⁷⁾など、ライフライン停止を踏まえた避難者数設定については東京都¹⁸⁾などを参考に今後改良することが考えられる。

4.4 地震による堤防沈下量の推定

河川堤防の耐震点検マニュアルの簡易式¹⁹⁾によって算定した200mごとの堤防沈下量を堤防耐震性能照査²⁰⁾結果により補正 (プレート型地震動による $K_h=0.4$ の場合の両沈下量の比から簡易式による沈下量を補正。堤防高の75%を沈下量の上限とした) し、地震規模ごとに堤防沈下量 (右岸下流の山付き区間を除く) を設定した (図4)。左岸40kmより上流部において地震規模に応じた沈下量に若干差が生じているものの、それ以外の区間では顕著な差は認められなかった。

図4 堤防沈下状況設定縦断面図

5. 洪水発生までの危機対応の想定

5.1 危機対応で使用可能な重機数の設定

危機対応で使用可能な重機数は、河川管理者と災害協定を締結している業者 (以下「協定業者」) が所有しているものを対象として設定した。このうち、道路啓開前はモデル区域内に位置する協定業者のみを対象とし、道路啓開後はモデル区域を含む市町村内の協定業者まで対象を広げた。これら重機の救助作業と復旧工事での使用台数の割り振りについては東日本大震災における直轄管理河川での緊急復旧工事の実績に基づき、バックホウ・ブルドーザは救助作業: 復旧工事=8:2、ダンプトラックは復旧工事

開始後 10 日目までは同 8 : 2、同 11 日目以降は 3 : 7 とした。なお、救助作業が完了した後はバックホウ・ブルドーザ・ダンプトラックともに同 0 : 10 とした（表 4）。

表 4 危機対応で使用可能な重機数の設定

	バックホウ		ブルドーザ		ダンプトラック	
	復旧工事	協定業者所有	復旧工事	協定業者所有	復旧工事	協定業者所有
道路啓開前	0	228	0	51	0	200
道路啓開後～河川堤防復旧工事開始前	0	447	0	100	0	480
道路啓開後復旧工事開始後 10 日目まで	89	447	20	100	96	480
復旧工事開始後 11 日目以降	89	447	20	100	336	480

表 5 救助作業の設定

消防機関 人員*1	救助作業 人員*2	救助隊編成		1名の救助に要する時間 ²⁾		1日の作業時間
				木造家屋	非木造家屋	
5,900人	4,500人	5人	バックホウ1台*3	117分	252分	9時間

*1 同規模の氾濫区域を持つ自治体の消防年報等から設定。

*2 救急隊員、通信指令要員等ほかの作業に従事する人員を考慮し消防機関人員の 75% とした。

*3 東日本大震災の聞き取り調査より。

5.2 建物被害に伴う救助作業の設定

救助作業は消防機関で対応すると想定し表 5 のとおり設定した。本試算の救助隊数は結果的に重機数に制限された。1 日あたりの救助可能人数等を表 6 に示す。1 日あたり救助可能人数は被災家屋の木造・非木造比率に応じて救助隊数を案分し算定している。

表 6 倒壊建物からの救助作業の設定

	救助隊数	救助効率 (人/隊・日)		1日当たり救助可能人数	救助完了までに必要な日数		
		木造	非木造		L2	L1'	L1
道路啓開前	228	4.6	2.1	933	23日	10日	1日
道路啓開後～緊急復旧工事開始前	447			1,832			
緊急復旧工事開始後	358			1,466			

表 7 河川堤防の緊急復旧工事の設定

地震規模	復旧土量 (m ³)	1日あたりの復旧量(m ³)				地震発生から緊急復旧完了までの日数*
		10日目*迄	11～15日目	16～23日目	24日目以降	
L2	1,438,085	16,000	16,000	21,000	80,000	37
L1'	1,379,007	16,000	80,000	80,000	80,000	27
L1	1,132,027	80,000	80,000	80,000	-	20

* 堤防の被災調査に要する 5 日間を含む。

5.3 河川堤防の緊急復旧工事の設定

復旧工事は道路啓開後かつ堤防被災調査完了後に開始するものし、被災調査日数は東日本大震災や新潟県中越沖地震における 1 日あたりの調査実績等より規模に関わらず 5 日間と設定した。緊急復旧工事は 24 時間体制で実施するものとし、復旧に必要な土量と 1 日当たりの復旧量等を表 7 に示す。地震規模による堤防被害に大きな差がないにも関わらず復旧工事完了までの日数に差が出たのは、堤内地における救助作業の影響を受け、復旧工事速度に差が生じたためである。

6. 複合災害による被害の試算と被害特性の分析

氾濫計算は治水経済調査マニュアル（案）²²⁾ に基づき河道内水位を逐次一次元計算し、任意の堤防断面で無害流量に相当する水位（堤防沈下後は沈下分だけ低く設定、ただし耐震性能照査水位及び破堤敷高を下回らないものとした）を河道内水位が超えた時点で破堤氾濫するものとし、氾濫原内で 250m メッシュ二次元不定流計算を行いメッシュ別最大浸水深を試算した。

洪水による直接被害額は次式によりメッシュ・資産種類ごとに試算した。

「直接被害額」＝「最大浸水深・資産種類に応じた被害率」×（「地震前の資産額」－「地震による資産被害額」）

洪水による死者数は LIFESim モデルを参考にした手法²³⁾ を踏まえ表 8 及び図 5 のとおり地震の影響を考慮した算定条件を設定し、次のとおりメッシュごとに試算した。

「死者数」＝「最大浸水深・建物損壊状況（全・半壊、その他）に応じた死亡率」×（「建物損壊状況別居住者数（避難者及び地震による死亡者を除く）」

表 8 洪水時の死者数算定条件

地震による要救助者の浸水時の死亡判定	避難率は0%とし、1階床面から危険水位帯として判定
半壊家屋居住者の浸水時の死亡判定	年齢に関わらず上階へ避難ができないものとし、1階床上から安全水位帯、準危険水位帯、危険水位帯として判定
洪水時の避難行動	地震による避難者の洪水時避難率は100%、自宅残留者の避難率は40%、停電世帯の避難率は0%と設定

図 5 地震による被害を考慮した洪水時死亡率の設定

6.1 洪水氾濫計算結果

洪水氾濫計算結果例を図 6 に示す。基本方針規模洪水時について洪水単独の場合と堤防が最も沈下した状況である L2 地震直後の場合とを比較すると、後者は前者に比べ平均浸水深で約 1.3 倍、浸水面積で約 1.5 倍に増大し、堤防沈下の影響が明確に表れた。なお、地震規模ごとの堤防沈下量の差は小さかったため地震規模による浸水深・面積の差は顕著ではなかった。

図 6 氾濫シミュレーション結果

図 7 地震から洪水までの日数と基本方針規模洪水による死者数等との関係

6.2 洪水被害の試算と被害特性の分析

図7に地震発生から洪水発生までの日数とモデル区域内の居住者（避難せず自宅にいる住民）、堤防の復旧速度、洪水による死者数の関係を示す。洪水が単独で発生した場合の被害（基本方針規模で460人、現況流下能力規模で0人）と比較すると、複合化することで洪水被害が大きく増加している。

なお、6.1 で述べたとおり地震規模による氾濫状況に大きな差はないにもかかわらず、L2 と L1' の基本方針規模洪水時の死者数に大きな差が生じている（地震直後の洪水で L2 は L1' の約 1.4 倍）。これは表 3

に示したとおり全・半壊戸数でL2はL1'のほぼ2倍となっていることから建物被害の影響（地震による建物倒壊により要救助者の死亡率が増大すること、半壊建物における垂直避難が困難になること等）が大きいと推察される。

特に地震直後に基本方針規模洪水が発生すると洪水による死者数は表3に示した地震単独による死者数よりも大きくなる。一方、堤防の復旧が進むにつれて死者数は大きく減少し、復旧工事の進捗が被害低減に大きく寄与することがわかる。ただし、L2、L1'地震のいずれも20%復旧時よりも50%復旧時の方が基本方針・現況流下能力規模洪水による死者数が多かった。これは、地震に伴う断水による避難者が断水の解消とともに区域内の住居に戻ってきた結果、20%復旧時よりも50%復旧時の方が区域内人口が多くなったためである。

7. 複合災害時の被害低減対策の効果の試算・分析

下記4つの仮想的対策ケースを設定し、各被害低減効果を試算した。試算結果の比較・分析に当たっては、地震発生日から洪水発生日までの日数と洪水による被害との関係曲線（図7参照）を各作成するとともに、同曲線と横軸との間に挟まれる面積（地震発生日から緊急復旧完了日まで）を「相対リスク」として次のとおり定義した。

相対リスク = $\int R(t) dt$ （積分区間は $t=0$ から t_e まで）

ここで、 $R(t)$ は地震発生から洪水発生までの日数と洪水による被害との関係曲線、 t は地震発生から洪水発生までの日数、 t_e は河川堤防の緊急復旧工事完了までに要する日数

上記相対リスクに基づき「被害低減対策ごとの被害低減率」=（「対策なしの場合の相対リスク」－「対策実施の場合の相対リスク」）÷「対策なしの場合の相対リスク」について分析した。

- ・対策ケース1：河川堤防の緊急復旧を2週間で100%実施できる資機材（建設重機、堤防材料等）を備蓄しておく。
- ・対策ケース2：同2週間で50%実施できる資機材を備蓄しておく。
- ・対策ケース3：上記対策ケース2と同程度の費用（50年間分）で堤防を耐震化する。
- ・対策ケース4：上記対策ケース3と同様に堤防を耐震化するとともに「対策ケース1の費用と対策ケース3の費用の差」（50年間分）を上限として資機材の備蓄を行う。（堤防の耐震化費用と資機材の備蓄費用（50年間分）の合計は対策ケース1と同程度）

7.1 地震の影響による洪水被害の変化

地震による河川管理施設、氾濫ブロック内の建物・道路等の被害は、その後発生する洪水被害に対して主に次の3つの影響を与えられられる。

- (1) 堤防の沈下による洪水時の氾濫範囲・浸水深の増大による被害の増大。
- (2) 氾濫ブロック内の住宅等が地震により損壊し、2階建て建物において2階へ避難できなくなることで、地震後の停電により洪水時の避難情報等が伝達できなくなることで洪水時の人的被害の増大。
- (3) 地震による建物等の損壊による資産の残存価値の低減による、その後の洪水氾濫による浸水時の直接被害額の見かけ上の低減。

L2、L1'地震後に基本方針規模又は現況流下能力規模洪水が表2の各時点（Ⅲを除く）で生じた場合の洪水による死者数の試算結果を図8に、同基本方針規模洪水が生じた場合の洪水による直接被害額の試算結果を図9に示す。図8のとおり地震規模の増大に応じて洪水による死者数が増大している。これは、上述の(1)、(2)の影響が相対的に大きいためと考えられる。一方、図9の地震直後の洪水による直接被害額は地震規模の増大に対して減少している。これは上述の(3)の影響が相対的に大きくなったためと考えられる。このため、複合災害時の被害低減対策検討においても多軸評価が重要であり、直接被害額と死者数の2つは最低限検討対象に含めるべきであろう。

7.2 資機材備蓄対策と耐震化対策による効果の特性の違い

今回の試算上同程度の費用となる対策ケース2と3を比較すると、当然のことながら堤防の耐震化対策による洪水被害低減効果は地震発生直後から生じ、地震発生直後の洪水被害に大きな差が生じている（図

8)。また、被害低減率を比較すると、例えばL2地震後の基本方針規模洪水時の死者数では、対策ケース2では46%であるのに対して、対策ケース3では72%と20ポイント以上大きくなった。複合災害時の被害低減対策について「耐震化対策による被害低減効果は備蓄対策よりも大きい」ことを本手法により確認することは、代替案の比較検討時に重要な場合があるものと考えられる。

図8 被害低減対策ごとの死者数低減効果
(左：L2地震 右：L1' 地震)

図9 被害低減対策ごとの直接被害額低減効果
(左：L2地震 右：L1' 地震)

7.3 想定洪水規模の違いが被害低減効果に及ぼす影響

対策による被害低減効果は洪水規模により異なっている。例えば、図8の対策ケース3、4による死者数低減効果は一部の時点を除き現況流下能力規模洪水時よりも基本方針規模洪水時の方が大きい。被害低減率を比較すると、例えば対策ケース3におけるL1'地震後の基本方針規模洪水による死者数では72%だが、同現況流下能力規模洪水については60%と10ポイント以上の差が生じた。複合災害に関する被害低減対策の比較検討時には、複数の洪水規模を対象として被害低減効果を試算することが必要な場合があると考えられる。

7.4 想定地震規模の違いが被害低減効果に及ぼす影響

地震規模により対策ケースごとの被害低減効果が異なっている。例えば、対策ケース2における基本方針規模洪水による死者数の被害低減率は、L2地震について46%であるが、同L1'地震については21%しかない(図8)。これは、L2地震時に比べL1'地震時の氾濫ブロック内の家屋被害が相対的に少ない(表3)ことなどから、資材備蓄による復旧作業の早期化による被害低減効果が相対的に小さくなったためと考えられる。複合災害時の被害低減対策の比較検討時には、複数の規模の地震を対象に被害試算を行うことが必要な場合があると考えられる。

8. 結語

松浦ら⁵⁾が提案した地震と洪水の複合災害時の被害特性の分析手法をモデル河川に適用し、3つの地震規模、2つの洪水規模、4つの地震・洪水発生間隔、4つの対策ケース(このほかに対策なし1ケース)の総当たりの計120ケースについて被害を試算し、被害低減対策の効果の特性を分析した。得られた主な知見は次のとおりである。

- (1)地震・洪水規模の変化が洪水被害に与える影響を死者数と直接被害額の2つの観点から図示した。洪水時の死者数は地震規模の増大により増加したが、同直接被害額は地震規模の増大により見掛け上減少する場合があった。このため、複合災害対策の検討においては特性の異なる複数の被害指標の観点が重要と考えられる。
- (2)資機材備蓄対策と堤防等の耐震化対策の被害低減効果の特性を図示した。耐震化対策による被害低減効果は地震直後に大きいとともに、緊急復旧完了までの期間全体で見ても相対的に大きいことを示した。迅速な復旧が困難な地域特性等が認められる場合には特に耐震対策の優先順位を上げる必要性が高いと考えられる。
- (3)想定地震・洪水規模の違いにより対策ごとの被害低減効果が異なることを図示した。特定の地震・洪水規模に対策の検討・分析を限定せずに、複数の地震・洪水規模を対象に被害試算・対策検討を行うことが重要と考えられる。

上記を体系的に考慮した分析・検討を行うには、本研究で用いた地震・洪水規模及び両者の生起間隔を体系的に設定し被害を試算・分析・図示する本手法が有効と筆者らは考える。

今後は、河道整備、堤防等の耐震対策、避難道路の耐震対策、堤内地の住宅等の耐震対策等を総動員した複合災害時の流域全体のリスク低減方策について研究する予定である。

謝 辞

本研究では、一般社団法人仙台建設業協会、宮城県解体工事業協同組合、東北地方整備局河川計画課、北陸地方整備局河川工事課・信濃川河川事務所のご協力により収集した東日本大震災、中越地震、中越沖地震後の復旧作業に関する資料を使わせていただいた。ここに改めて記して御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 河川津波対策検討会：河川への津波遡上に対する緊急提言、2011年8月。
- 2) 服部敦、板垣修、土屋修一、加藤拓磨、藤田光一：気候変化の治水施策への影響に関する全国マクロ評価、河川技術論文集、第18巻、2012年6月、pp.481-486。
- 3) 中央防災会議：1948福井地震、災害教訓の継承に関する専門調査会第4期報告書、2011年3月。
- 4) 河田恵昭：自然災害の新しい脅威と災害対応の課題、減災、Vol.3、2008年5月、pp.14-20。
- 5) 松浦達郎・板垣修・服部敦：地震と洪水の複合災害による被害試算と被害特性の分析、河川技術論文集、第20巻、2014年6月、pp.385-390。
- 6) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震対策について(最終報告)～南海トラフ巨大地震の地震像～、2013年5月。
- 7) 中央防災会議：東南海、南海地震の被害想定について、東南海、南海地震等に関する専門調査会第14回資料、2003年9月。
- 8) 消防庁：東日本大震災記録集、2013年3月。

- 9) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要、2013年3月。
- 10) 庄司学、高橋大、築地拓哉、那波悟志：2011年東北地方太平洋沖地震における1都5県の停電分析、土木学会論文集A1、Vol.68、No.4、2012年7月、pp. I 1210- I 1223.
- 11) Gaku Shoji and Ayumi Toyota: Function of emergency road networks during the post-earthquake process of lifeline systems restoration, Journal of Disaster Research, Vol.7, No.2, 2012年2月, pp.173-183.
- 12) 中部地方幹線道路協議会：平成24年度「中部版 くしの歯作戦」、2013年5月。
- 13) Gaku Shoji and Tomoharu Nakamura: Development of damage functions on road infrastructures subjected to extreme ground excitations by analyzing damage in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Journal of Disaster Research, Vol.9, No.2, 2014年3月, pp.121-127.
- 14) 国土交通省近畿地方整備局：阪神・淡路大震災の経験に学ぶ、2002年1月。
- 15) 川上英二：震度、被害率、断水率の関係、土木学会第53回年次学術講演会、1998年10月、pp.646-647.
- 16) 名古屋市上下水道局：事業継続計画地震対策編、2012年3月。
- 17) Shigeru Nagata, Kohei Kageyama, Kinya Yamamoto: An emergency restoration model for water supply network damage due to earthquakes, Journal of Disaster Research, Vol.3, No.6, 2008年12月, pp.390-399.
- 18) 東京都防災会議：首都直下地震等による東京の被害想定報告書、2012年4月、pp.3-67,3-70.
- 19) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル、17頁、2012年2月。
- 20) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説、2012年2月。
- 21) 岐阜県：岐阜県東海地震等被害対応シナリオ作成業務報告書、2004年3月。
- 22) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル（案）、2005年4月。
- 23) 国土交通省水管理・国土保全局：水害の被害指標分析の手引（H25試行版）、2013年7月、pp.23-25.
 （受理：2015年4月24日）
 （掲載決定：2016年1月28日）

Case Study on Characteristics of Effect of Damage Reduction Measures against Multiple Disasters of Earthquakes and Floods

ITAGAKI Osamu ¹⁾, MATSUURA Tatsuro ²⁾ and HATTORI Atsushi ³⁾

1) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), ex-Senior Researcher, River Division, River Department, National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM)

2) Senior Researcher, Waste Water System Division, Water Quality Control Department, NILIM, MLIT

3) Head, River Division, River Department, NILIM, MLIT, Dr. Eng.

ABSTRACT

We applied a proposed procedure for estimating the potential direct economic damage and death toll caused by multiple disasters of earthquakes and floods to a case study river, and extracted characteristics of effect of damage reduction measures against the multiple disasters. We assumed a multiple disaster in which a flood occurs after an earthquake, and estimated the potential damage in a river (about 60 km long). We estimated each damage in 120 cases changing the scale of the earthquake and the flood, the interval between the earthquake and the flood, and the countermeasure, considering the emergency works for the levees and roads, and the emergency rescue activities after the earthquake, and so on. We extracted 3 consideration points, which are beneficial for discussing possible damage reduction measures against the multiple disasters.

Keywords: Multiple Disaster, Earthquake, Flood, Flood damage reduction, Direct economic damage, Death toll