

石巻市の津波被害に対する 浸水深と水域距離の影響

佐藤 誠一¹・田中 努²

¹正会員 日本工営株式会社 地盤環境部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)
E-mail:a5016@n-koei.co.jp

²フェロー会員 株式会社エイト日本技術開発 保全・耐震・防災事業部
(〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11) E-mail:tanaka-tsu@ej-hds.co.jp

石巻市における東日本大震災大津波の被災状況やその特性を把握することを目的に、市内本庁地区の罹災世帯位置および死亡者居住地と津波浸水深ならびに水域最短距離の関係を整理・分析した。

その結果、浸水深と世帯罹災状況には強い相関があること、死亡率と全壊率の関係はばらつきがあるものの、死亡率が高い場合には全壊率が高い傾向があることが明らかになった。また、海岸線や河川からの最短距離と被災状況の関係からは、最短距離が1kmを下回る場合に家屋、人命ともに甚大な被害が生じていることが分かった。

Key Words : tsunami, inundation depth, death rate, distance from water area, Ishinomaki city

1. はじめに

東日本大震災津波避難合同調査団(山田町・石巻市担当チーム)¹⁾では、東日本大震災大津波における津波からの避難実態を調査し、教訓を集め、今後の施策に反映させることを目的として、主に石巻市本庁地区の仮設住居入居者355名を対象としたヒアリング調査²⁾ならびにポスティングアンケート調査(797票回収)を実施している。これらの避難行動に関するアンケート調査結果の概要は、合同調査団メンバーにより分析と幾つかの報告がなされてきている(例えば三上ら³⁾)。

アンケート調査の実施にあたり、当該地域の被害状況の全容を把握すること、ならびに避難行動の分析に用いる基礎資料を得る必要があったことから、市内の罹災世帯や死者に関する詳細な情報を石巻市よりご提供頂き、位置情報を付加して整理を行った。この整理過程において、津波浸水深と罹災状況、死者の関係を分析し、幾つかの知見が得られたのでここに報告する。また、当該地区は、仙台湾に面する平野部に位置し、その中心部を旧北上川が蛇行して流下するため(図-1)、津波の河川遡上による被害も確認されている。そこで、海岸線からだけでなく主たる河川からの最短距離と罹災世帯、死亡者発生に関係に着目した整理、分析もあわせて行った。

2. 石巻市の概要と被害状況

石巻市は人口約16万人、約6万世帯(震災前)、農林・水産・商工業のバランスの取れた宮城県第二の都市である。特に本庁地区と呼ばれる旧北上川河口部には水産や製紙業等が集積し、40%を超える人口・世帯数が集中している。東日本大震災では、本庁地区沿岸部に最大で8m程度の津波が到達し、沿岸域を中心に多くの被害が発生した。なお、石巻市全体の死者・行方不明者は3,819人(2012年3月11日石巻市HP)、浸水域人口あたりの死亡率は3.4%である(浸水域人口は総務省統計局)。



図-1 石巻市の地形概要と被災状況

3. 浸水深と世帯罹災状況の相関

(1) 適用したデータ

世帯罹災状況と津波浸水深との相関性の検討は、石巻市より提供頂いた罹災世帯データと津波浸水深を用いて実施した。提供頂いたデータには、住所と罹災証明に適用された被害認定結果（全壊、大規模半壊、半壊、一部損壊）が示されている。なお、本調査内では津波浸水深に関する調査やシミュレーションを実施していないため、相関性の検討に用いた津波浸水深は、石巻市より公表されている浸水範囲図をデジタル化して使用した。元データの制約上、2m以上の浸水深を一括としていること、世帯数を対象としていることに留意する必要がある。

(2) 浸水深と罹災状況の相関性

市内全域での罹災世帯数（一部損壊～全壊）は約44千世帯であり、全世帯の約70%程度である。そのうち浸水範囲に位置するのは約30千世帯であり、被害が認められなかった約20千世帯のうち14千世帯が浸水範囲外に位置する。つまり浸水範囲内では85%の家屋に何らかの被害が生じていることとなる。

浸水深別の罹災率を見ると、浸水深50cm未満の場合に全壊と判断された世帯が7.4%、1～2m未満の場合29.9%であるのに対し、2.0m以上の場合90%と急激に増加する傾向にあり、津波浸水深と罹災程度の強い相関性が認められる。また、浸水範囲内の全壊世帯70%以上が浸水深2m以上の範囲に分布していることを踏まえると、被害が全壊に至る閾値として2mという数字が有意であることが示唆される。これは首藤による津波高と被害程度の関係⁴⁾に見られる木造家屋の被害程度と調和的である。

前述したとおり、適用した津波浸水深のデータは2m以上では細分化されていないため、2m以上の浸水があった地区について詳細に分析することはできていない。しかし、他の痕跡調査⁵⁾やヒアリング調査結果等に基づく、旧北上川右岸側の門脇町や南浜町では平均的に7～8m程度の浸水があった一方、左岸側の川口町、大門町、湊町等では4～5mとやや浸水深が低い状況であることが推察される。また、被災直後の航空写真による家屋流出状況や現地踏査の結果から、旧北上川右岸側はほぼ全面的に家屋が流出した状況であるが、左岸側はある程度原形をとどめている状況にある。ヒアリング調査結果では、避難行動が間に合わず、自宅2階に避難して助かった住民も少なからずいることから、流速や漂流物の影響等も考えられるところではあるが、5mを超える浸水深があったか否かも、石巻市における生死を分けたポイントとなっている可能性がある。

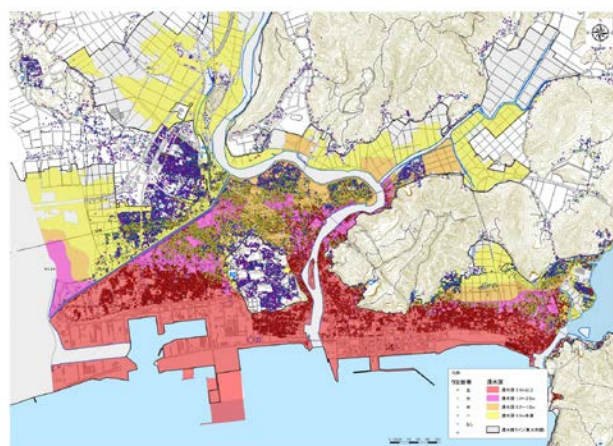


図-2 本庁地区の罹災率と被災家屋分布

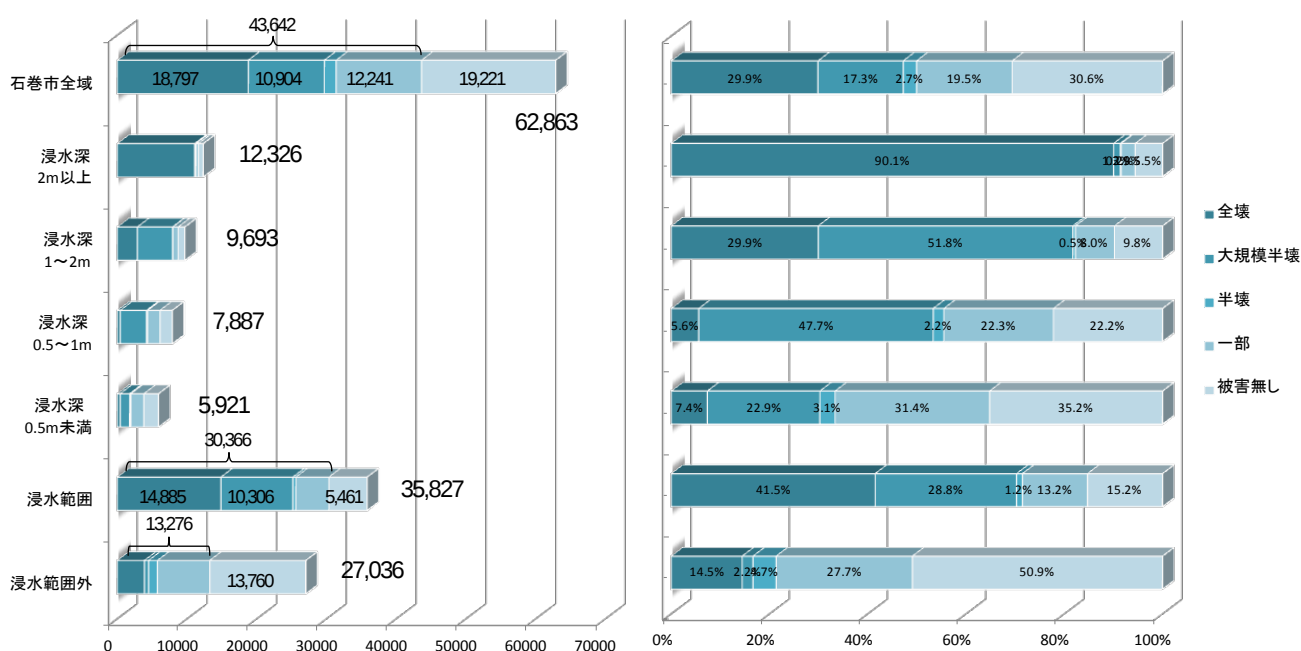


図-3 世帯罹災数・罹災率と浸水深の関係

4. 罹災状況と死者発生状況の相関性

(1) 適用したデータ

石巻市より提供頂いた死者の居住地、性別、年代に基づき、浸水深および罹災状況との相関性を検討した。

外出等により居住地で被災していないケースも含まれるが、ヒアリング調査結果から約6割の方が自宅、約2割の方が避難途中と8割程度の方が自宅周辺で犠牲になっていることを踏まえると、傾向は十分把握できるものと考えている。なお、死亡率は町丁目毎の人口を分母、死亡者を分子として推計している。

(2) 死者の年齢構成と浸水深との関係

震災発生前（平成22年度）の石巻市の年代別人口構成⁶⁾と震災による年齢別死者・行方不明者数（男女別）を図-4に示す。

震災発生前の年代別人口構成は、60才代を頂点とした比較的緩やかな人口ピラミッドの様相を呈しているが、震災による死者・行方不明者は、70～80才代が多くを占めることが分かり、若年～壮年層の被災者数は被災前の人口構成を踏まえると相対的に少ない傾向が伺える。

次に、死者居住地の浸水深（浸水範囲外含む）に基づく、年齢区分別被災者の割合を図-5に示す。

全体的に顕著な傾向の違いはないが、浸水範囲外との比較において浸水範囲での死者数が多い傾向にあるのは30～70才代であり、その中でも60～80才代では浸水深が2m以上の範囲に居住されている方が多い。これは震災が平日日中に発生したことから、高齢者の在宅率が高く、また仙台湾や旧北上川に近い浸水深が深いエリアに居住されていた方が自宅で亡くなった、あるいは逃げ遅れたことを示唆している。また、30～50才代で浸水深が2m未満のエリアでの死者数が相対的に多い理由は、上記同様、平日日中であったため、就業等により産業が集積する沿岸エリアに滞在していたためではないかと推測される。なお、90才以上の死者は100人程度と母数が少ないため、これらの考察から除外した。

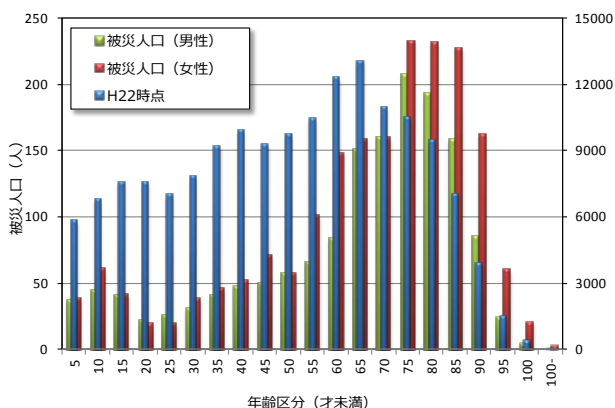


図-4 石巻市の年代別人口構成と被災人口

(3) 罹災状況と死者発生状況

町丁目毎の罹災率（全壊）と死亡率の関係を図-6に示す。死亡率が10%を超過している地区は市内全域で16存在し、その何れも罹災率（全壊）は80%を超えており、死亡率が高い地域は罹災率が高い地域であると言える。

しかし、罹災率が高くとも死亡率が低い場合もあり、このような地区では津波に対する意識が高く迅速な避難行動が取られていた可能性が高いことも考えられる。この点に着目し、今後ヒアリング結果を含めた分析を行っていく予定である。

ここで、都市型平地部での津波被害想定への適用を想定し、死亡率と罹災率の関係を二次の多項式で近似することを試みた。その結果、ばらつきが大きく、被害想定等に適用するには過小評価となることが懸念された。そこで罹災率5%以上の地区の90%を包含するような関係式をあわせて示した。

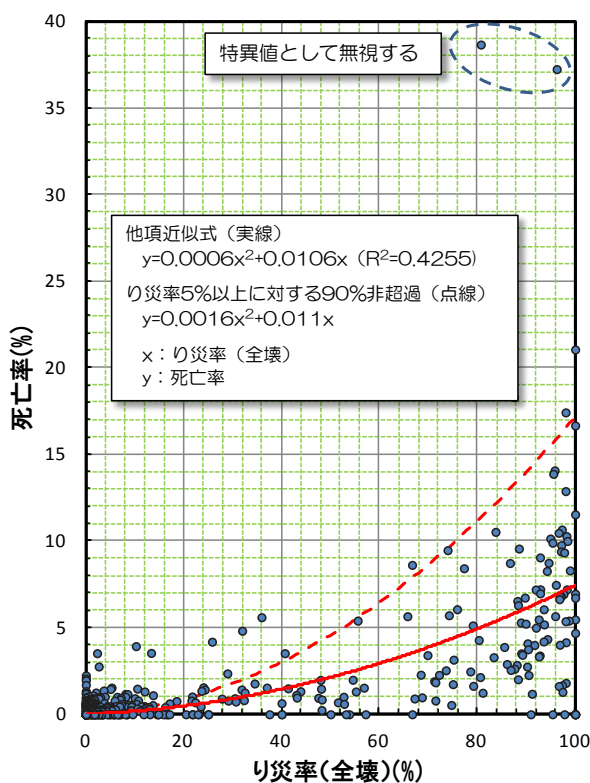


図-6 罹災率と死亡率の関係

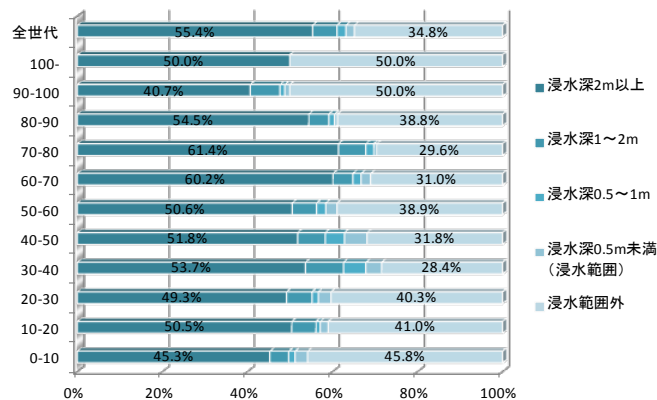


図-5 年齢区分別被災者の浸水深の割合

5. 被害発生状況と水域までの距離

(1) 検討趣旨

石巻市本庁地区の市街地は仙台湾に面する平野部に位置するが、市街地中心を旧北上川が蛇行して流下し、東西を隔てている。東日本大震災では、この旧北上川を遡上した津波が周辺地域に大きな被害を及ぼしている。

海岸線から直接到達する津波や河川遡上した津波による被害は、精緻な地形データを用いた津波伝搬・遡上・氾濫シミュレーションを行うことにより推定することは可能であるが、その労力は大きく、特に一般市民の自助努力で実施可能なものではない。したがってこのような高度な解析を行わずしても、非常に簡便な方法で津波被害に対する危険度の定量的な予測を可能にすることも重要であると考えた。このような視点から、海岸線からだけでなく遡上した河川・水路からの最短距離と罹災状況および人的被害状況の関係分析を行った。

(2) 適用したデータと方法

被災状況に関するデータは、前章までと同様である。海岸線および河川、地形データは、国土地理院による数値地図（1/25,000空間データ基盤および行政界・海岸線）⁷⁾を用いた。

また、死者居住地および世帯住所データを緯度・経度に変換した上で、GIS機能を用いて海岸線と主たる河川までの最短距離を算出した。

(3) 被害発生状況と水域までの距離の関係

水域（海岸線・河川）までの最短距離と死者数の関係を図-7、表-1に、被災世帯数との関係を図-8、表-2に示す。なお、図中に示す水域最短距離とは、対象地点から海岸線、河川それぞれの距離のいずれか近いものを採用した距離である。

a) 死者居住地と水域までの最短距離

死者の居住地は、概ね90%が水域最短距離1km以内にあり、これは男女別、年齢別でも大きな傾向の違いは見られない。石巻市のみの分析であること、津波到達時間の違いや地形条件等、津波被害の発生には様々な要因が含まれることなどから、水域までの最短距離が1km以上あることが津波防災上の必要十分条件と言うことはできないが、同様の地形条件の地域等では一つの目安とすることができるのではないかと考えている。

また、水域最短距離1kmや500mなどの水際に近い場合の累積相対度数に着目すると、男性は女性より少なく、また年代が若いほど度数が小さくなる傾向にある。やはり平日日中の被災であることから、津波の影響が少ない

表-1 水域最短距離と死亡者の累積相対度数

水域最短距離	全死亡者	性別		年代別（代表）			
		男性	女性	20代	40代	60代	80代
100m	0.14	0.13	0.14	0.07	0.10	0.12	0.17
500m	0.60	0.59	0.62	0.50	0.55	0.62	0.65
1km	0.91	0.89	0.92	0.87	0.87	0.92	0.92
2km	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99
3km	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99

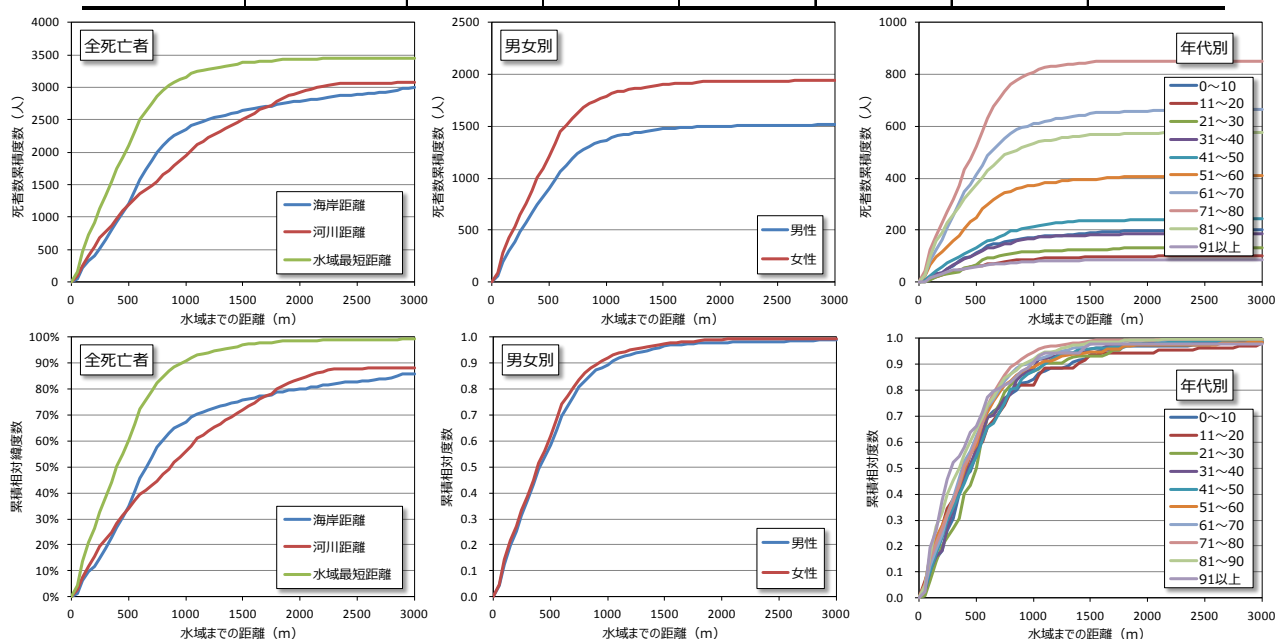


図-7 水域最短距離に着目した死亡者の累積度数と累積相対度数

表-2 水域最短距離に着目した被災世帯の累積相対度数

水域最短距離	全世帯	被害有無		被害程度			
		被害有	被害無	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊
100m	0.08	0.09	0.04	0.14	0.04	0.08	0.05
500m	0.39	0.42	0.31	0.53	0.33	0.43	0.35
1km	0.70	0.76	0.58	0.95	0.67	0.63	0.58
2km	0.91	0.95	0.84	1.00	0.99	0.83	0.85
3km	0.94	0.96	0.89	1.00	0.99	0.87	0.90

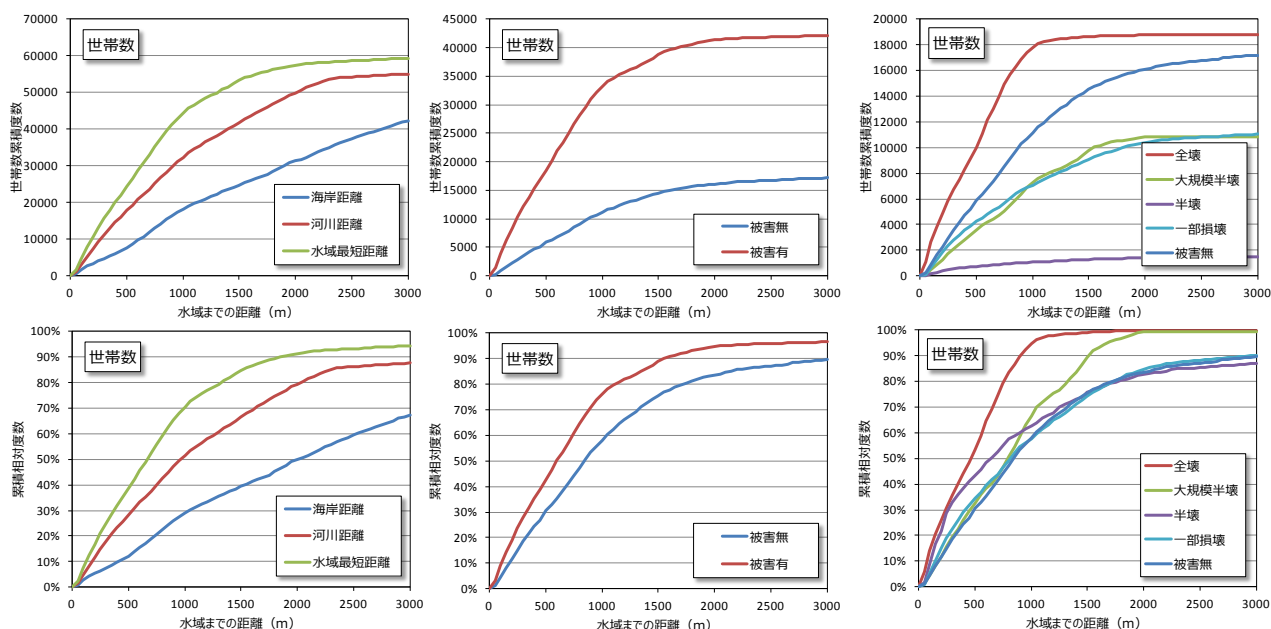


図-8 水域最短距離に着目した被災世帯の累積度数と累積相対度数

居住地から、就業等により、影響が大きい水域近くの市街地に滞在していたことが理由の一つと考えられる。

b) 被災世帯と水域までの最短距離

市内全世帯の90%が水域から2km以内にあり、95%が3km以内に位置する。被害有無のみに着目した場合には、累積相対度数の傾向は大きく変わらないが、被害有を被害状況別に細分化した場合、全壊と判定された世帯の95%が水域最短距離1km以内に位置することが分かる。

東日本大震災津波での住家被害における被害判定⁸⁾では、全壊は「流出」または「概ね1階天井まで浸水」と定義されており、水域最短距離1km以上あれば、ほとんどの住家が全壊に至らず、2階に避難して津波から逃れることもできた、とも言える。これは前章で述べた死者の居住地の90%程度が水域最短距離1kmの範囲に位置することでも裏付けられる。

また、被害程度が小さくなるにつれ、累積状況は緩やかとなり、大規模半壊では水域最短距離2kmで90%、それ以下では3kmで90%に達する。なお、半壊や一部損壊には、津波の床下浸水だけでなく、地震による小規模な損傷も含まれるものと想定される。

6. まとめ

石巻市における世帯罹災状況、死亡率について、津波浸水深と海岸および河川からの最短距離に着目した相関性について検討した結果、以下のことがわかった。

- ・ 浸水深と罹災状況には強い相関がある。特に浸水深2m以上の場合、全壊率が急増する傾向にあり、過去の事例とも調和的である。
- ・ 津波浸水深と男女別、年齢別の死亡率には顕著な傾向は認められないが、60～80才代では津波浸水範囲内、特に浸水深2m以上での死亡割合が高く、平日日中に生じた災害の特性であることを示唆している。
- ・ 死亡率と罹災率（全壊）の関係はばらつきが大きいですが、死亡率が高い場合には罹災率（全壊）も高い傾向がある。
- ・ 死者の居住地は水域最短距離1km以内に90%が位置し、様々な条件は考慮する必要があるものの、今後の津波防災を考える上での一つの目安となりうる。
- ・ 全壊判定された世帯の95%は水域最短距離1km以内に集中しており、他の被害程度の世帯と傾向が大きく異なる。

謝辞：本調査は、科学技術復興機構の「国際緊急共同研究・調査支援プログラム(J-RAPID)」，土木学会の支援を受けた東日本大震災津波避難合同調査団（山田町・石巻市担当チーム）の調査結果を用いてとりまとめたものである。また、罹災世帯データ等は石巻市より貴重なデータをご提供頂きました。

参考文献

- 1) 後藤洋三，中林一樹：東日本大震災津波避難合同調査団（山田・石巻市担当チーム）の調査，土木学会大67回年次学術講演会，2012.9.
- 2) 後藤洋三：被災地からの声，日本地震工学会論文集・特集号「2011年東日本大震災」，2012.9
- 3) 三上卓，後藤洋三，佐藤誠一：東日本大震災津波襲来時の石巻市における住民行動調査 東日本大震災津波襲来時の石巻市における住民行動調査，土木学会

大67回年次学術講演会，2012.9.

- 4) 首藤：津波強度と被害，津波工学研究報告，第9号，pp.101-136，1992
- 5) 原口，岩松：東日本大震災津波詳細地図，古今書院，2011
- 6) 石巻市ホームページ：<http://www.city.ishinomaki.lg.jp/sougouseisaku/toukei/toukeisyo2008.jsp>
- 7) 国土地理院ホームページ：<http://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html>
- 8) 内閣府：平成23年東北地方太平洋沖地震に係る住家被害認定の調査方法，<http://www.bousai.go.jp/hou/pdf/h23jishin.pdf>

(???? 受付)

THE INFLUENCE OF THE INUNDATION DEPTH AND DISTANCE FROM WATER AREA TO TSUNAMI DAMAGE IN ISINOMAKI

Seiichi SATO and Tsutomu TANAKA

This report attempts to analyze the situation and characteristics of damage by the Great East Japan Earthquake Tsunami of 2011, in Ishinomaki.

We had analyzed the relationship between tsunami damage and the external force. In the correlation analysis, we focused on the death rate and destroyed houses ratio. In addition, the external force was focused on the inundation depth and distance from water area.

Based on our analysis, we have obtained the following results:

- 1) There is a strong correlation between tsunami damage and the inundation depth.
- 2) Relationship between death rate and destroyed houses ratio vary widely. However, In the case of a high death rate, house damage rate is higher.
- 3) Within a range of 1km from water area, most houses destroyed and many people died by tsunami. In contrast, without arrange of 1km from water area, tsunami damage was less.