

南海トラフ地震による岡山市への 津波予測と早期避難について

岡山大学大学院環境生命科学研究科

前野 詩朗

2016年8月10日

南海トラフ地震下の鳴門・明石海峡部の津波波形を用いた 岡山市に襲来する津波の簡易予測法の検討

前野 詩朗
工代 健太

1. 研究の背景および目的

2012年に内閣府中央防災会議(以下中防災)が発表した南海トラフ地震下の津波シミュレーション結果では、岡山市が面する児島湾の湾口付近に位置する玉野市山田港(図-1)には津波が数波に渡って到来し、1波目よりも2波目から4波目の波高が高くなるなど独特の特徴が見られる。そのため岡山市の津波被害が持続的に拡大する可能性があり、地震発生時に少しでも早く岡山沿岸の津波挙動を予測することが津波防災上重要である。南海トラフ地震時に岡山沿岸を襲う津波は主に東側の鳴門海峡と明石海峡を経由してくる津波であることが既往研究において示されている。鳴門及び明石海峡から山田港にかけてそれぞれ約60 km, 80 kmの直線距離(図-1)を有し、水深が比較的浅い播磨灘および備讃瀬戸(図-1)では津波伝播速度が低減する。以上のことから、津波が両海峡を経て岡山沿岸に到達するのに時間を要することが考えられる。そこで本研究では波の早期予測を目標とし、各海峡の外海側(以下外側、位置は図-2)で津波波形が得られた時点でそれらの結果をもとに山田港の津波波形を簡易的に推定する方法(以下簡易予測法)を検討する。

2. 研究内容

中防災の11の震源ケースの内、岡山山田港の津波高が最も大きくなるケース④(四国沖に大すべり域を設定したケース)の津波解析結果をもとに、簡易予測法の検討を行った。解析範囲は図-3に示す通りである。解析手法は国土交通省発行の「津波遡上解析のてびき」に従い、初期水位を山田港の2012年の最大潮位(T.P. 1.29m)に合わせた。

(1)各海峡経由する津波の山田港における挙動の検討:それぞれの海峡を経由した津波の山田港における波形を別々に検討するため、各海峡のいずれか一方を封鎖した津波解析を行った。図-4は各海峡を経由した山田港での津波波形を示したものである。両海峡とも開いた解析と比較すると表-1に示す通り、山田港の第1波は鳴門経由の①の波であり、波高が比較的大きな第2波から第4波は鳴門経由の②から④番の津波と明石経由の①から③番の津波がそれぞれ重なり波高が高くなっていることが分かる。

(2)各海峡部の津波波高と山田港の津波波高の相関の検討:各海峡の外海側の津波波高と瀬戸内側の津波波高の比(内側の波高/外側の波高、以下波高比1)及び各海峡通内側の波高とそれぞれの海峡を通過した津波の山田港到達時の波高との比(山田港における波高/内側の波高、以下波高比2)について検討した。本検討は(1)の各海峡の一方を封鎖した解析について初期の波源の水位変動を0.8倍、1.0倍、1.2倍に設定した解析から得られた①~④波の計12波をサンプルに行った。図-5および図-6はサンプル波について、各海峡の外側での津波波高をx軸に、波高比1をy軸にとったものであり、得られた波の波高の範囲内では両者の関係が図中の最小二乗法による一次近似式で表されることが分かる。図-7および図-8は各海峡の内側の波高を横軸に、波高比2を縦軸に上と同じ各12波についてプロットのしたものである。両海峡とも波ごとにほぼ決まった波高比をとることが分かり、各波の3つの値の平均値(図中の数字)を波高比2の値とした。

(3)簡易予測法の検討:対象としたケースでは地震発生時の波源の北側の地盤沈下により、各海峡部と岡山山田港の水位が約0.5 m低下することが分かっている。以上のことを(1),(2)の検討事項とともに勘案し、iからiiiの手順を津波予測法として考案した。i各海峡の外側において、初期水位より0.5 mを差し引いた線を振幅の基準に津波波形を抽出する。ii各海峡の外側の振幅に波高比1、波高比2を乗じ、表-2に占めず各海峡外側と山田港の津波到達時間差の平均値分を遅らせる。iii山田港の初期水位から、0.5 mを差し引いた

線を基準として、2つの波形を足し合わせる。また、地震発生から280分後から360分後にかけて、西側からの津波により岡山山田港の水位が約0.3m程度上昇することが別に行った検討により明らかになっており、iiiの足し合わせの際に考慮した。なお、3の(2)で述べる潮汐場における予測法の適応の際には、各海峡部の波の抽出および山田港における波の足し合わせの振幅の基準をそれぞれ各地点の潮汐の水位(解析値)から0.5 mを差し引いたものとした。

3. 研究結果および結論

(1) 潮汐を考慮しない場合の予測精度の検証: 図-9は初期水位をT.P. 1.29 mに合わせた津波解析による山田港の波形(青線)と簡易予測法により求めた山田港の予測波形(赤線)を示したものである。この図から特に波高の大きな第2波から第4波の波高及び最大津波高がほぼ正確に再現できていることが分かる。

(2) 潮汐を考慮する場合の予測精度検証: 岡山沿岸の干満差(気象庁公開)が近年で比較的大きかった大潮日である2013年1月14日に南海トラフ地震の発生を仮定し、潮汐と津波の同時解析を行った。そしてこの結果を用いて、潮汐場における簡易予測法による山田港における津波の予測精度の検証を行った。図-10は岡山近海が満潮になる3時間前に地震の発生を想定した場合における山田港における津波波形(解析値)と両海峡部外側の波形から簡易予測モデルにより求めた予測波形を重ねて示したものである。この図から特に山田港が満潮時に到来する第2波から第3波の最大津波高がよく一致していることが確認できる。他の時間帯に地震が発生した場合においても同様の結果が得られており、今回検討した簡易予測法により、南海トラフ地震発生時に両海峡部の津波波形から岡山沿岸部の最大津波高が早期予測できることが示された。

4. 実用化に向けての現在の取り組み

簡易予測法の実用化に向け、波源域が異なる津波についての予測精度の向上や両海峡より波源域に近い海域からの山田港の津波予測法の確立が課題として挙げられる。現在、海峡部の津波波高から山田港の波高へと換算する式の改良や紀伊水道の津波と各海峡部の波高相関関係の検討を中心に研究を進めている。

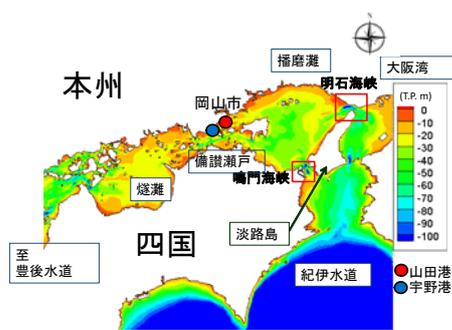


図-1 瀬戸内海の標高分布と主な地名

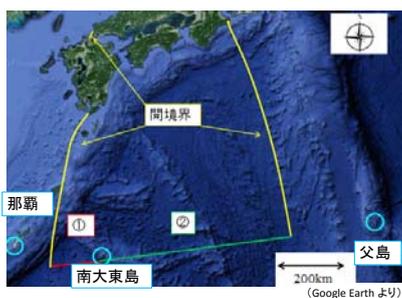


図-3 解析範囲



左: 鳴門海峡 右: 明石海峡

図-2 鳴門および明石海峡の拡大図
(青丸: 内側, 赤丸: 外側, 黒線: 封鎖時の開境界)

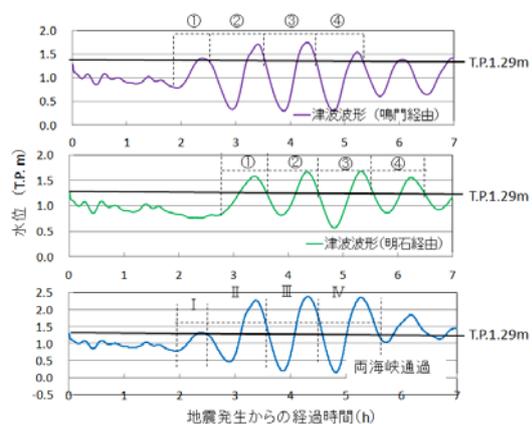


図-4 山田港の津波波形

表-1 波の対応関係

波番号(紀伊水道)	①	①	②	②	③	③	④
経由する海峡	鳴門	明石	鳴門	明石	鳴門	明石	鳴門
波番号(山田港)	I	II	II	III	III	IV	IV

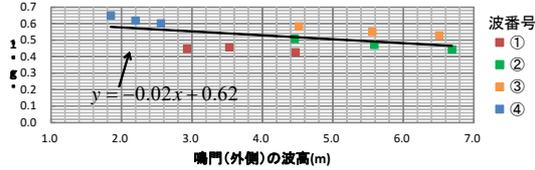


図-5 鳴門海峡外側の波高と波高比1の関係

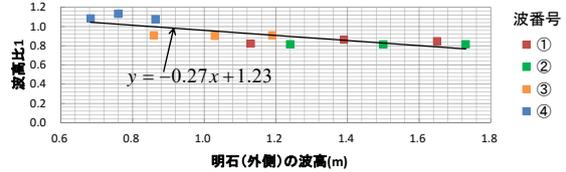


図-6 明石海峡外側の波高と波高比1の関係

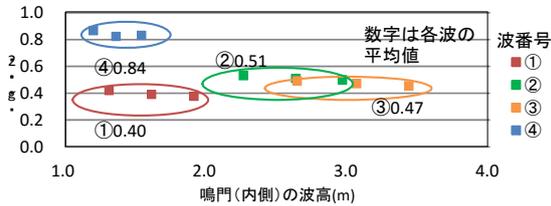


図-7 鳴門海峡内側の波高と波高比2の関係

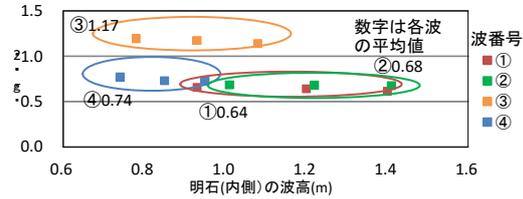


図-8 明石海峡内側の波高と波高比2の関係

表-2 各海峡から山田港への津波到達時間

波番号	①	②	③	④	平均
鳴門からの到達時間(h)	1.34	1.31	1.25	1.39	1.32
明石からの到達時間(h)	1.81	1.85	1.89	×	1.85

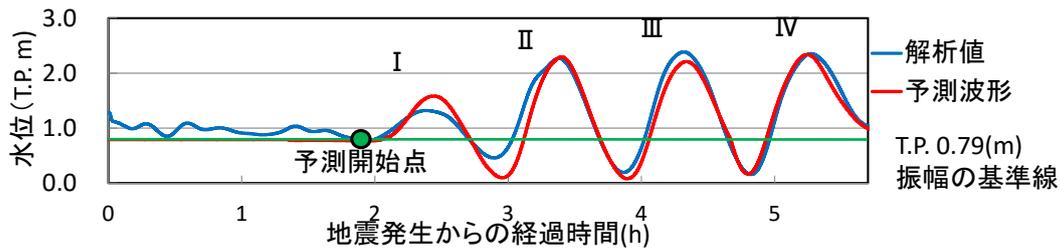


図-9 波源から解析と予測波形の比較

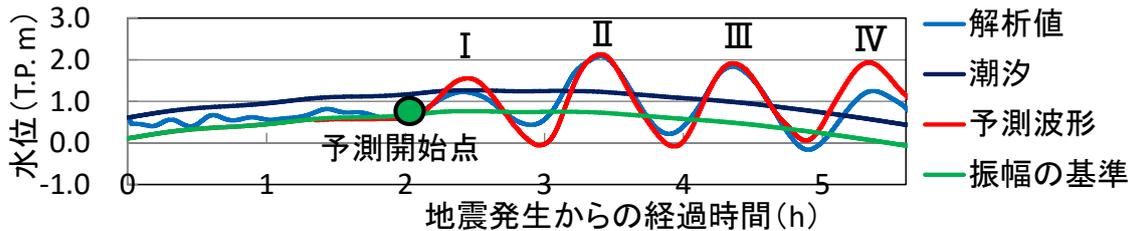


図-10 潮汐場での波源からの解析と予測波形の比較

岡山市における津波到達前後の浸水範囲予測

および避難時間の検討

前野 詩朗

赤穂 良輔

1. 研究の目的

東日本大震災以降、政府や地方自治体により南海トラフ巨大地震に備えたソフト対策が講じられており、岡山市でも平成 25 年 8 月に津波ハザードマップが作成された。一方、岡山市沿岸域の多くは海拔 0 m 地帯であり、また液状化危険度が非常に高く、地震発生直後から堤防沈下による浸水が発生する可能性がある。また、避難計画の高度化には、最大浸水深だけでなく津波の到達時刻や氾濫経路を再現できる氾濫解析モデルの利用が有効である。そこで本研究では堤防沈下を想定した津波氾濫解析を行い、岡山市における津波到達前後の浸水特性を予測するとともに、津波到達前の浸水状況下での避難経路・避難時間について検討を行った。

2. 研究内容

(1) 氾濫解析：対象津波は南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012)における「四国沖に大すべり域を設定」とし、解析は児島湾および児島湖北部の沿岸域を含む図-1 に示す範囲とした。また、本解析では浸水範囲だけでなく避難経路や避難時間を予測するために、図-1 の赤枠で示した旭川左岸側の建物配置を詳細に再現した。液状化の影響を考慮するために堤防を岡山県の津波浸水想定に従って 75 %沈下させ、図-1 の緑線で示した湾口境界に波源を含む広範囲の津波解析結果を与えることで津波の再現計算を行った。基礎方程式には浅水流方程式を用い、三角形格子における有限体積法で離散化を行った。また、道路境界線に三角形格子の辺が接するように配置し(図-2)、道路境界線に囲まれたブロック(図-2 緑線)の建物占有率に基づきフラックスを与える赤穂らの半透過式(2015)を適用した。

(2) 解析結果と考察：図-3 に海岸線近傍の点(図-1 の白点)における水位の時間変化を示す。第 1 波は地震発生から約 2 時間半後に到達し、8 時間後までに同程度の津波が 5 回到達した。図-4 に本解析モデルと建物の影響を粗度で考慮した従来モデルによる流況の違いを示す。本解析モデルでは、氾濫水が道路に集中している様子が確認でき、粗度モデルよりも実際の流況をよく再現できていると考えられる。図-5 に第 1 波到達直前の浸水深分布を示す。堤防沈下によって、海岸線あるいは河川から 1.5 km 程度の地点まで浸水域が到達している。浸水深は 0.5 m 以下の領域が多く、海岸付近では 1.5 m 程度に達する領域もあるため、歩行での避難が不可能、あるいは可能ではあるものの避難速度は大きく低下すると考えられる。図-6 に第 2 波から第 5 波到達後の最大浸水深の分布を示す。各津波のピークは同程度であるが浸水域は第 5 波到達後まで広がり続けており、海岸線から約 4 km まで到達した。

(3) 避難時間の検討：図-6 に示した第 5 波到達後の浸水域に含まれる各交差点から、岡山市より公開されている避難場所(図-7 星印)までの避難経路および避難時間を検討した。今回は試行計算として、避難速度は目黒らの歩行速度減衰モデル(2005)より与えた。本モデルは、歩行限界速度および歩行限界水深を設定し、道路内の流速・水深との比を用いて線形に歩行速度を減衰させるモデルである。避難開始場所は、図-7 中に丸印で示す計 36 箇所の交差点とし、避難場所まで最短で移動できる経路を検出した。また、道路上の水深および水の流速は、避難経路および避難時間が最も顕著になる最悪の状況を想定し、図-5 に示す第 1 波到達直前の計算結果を用いた。浸水を考慮することで図-8 に示す以下の 4 パターンが発生する可能性がある。(a)：避難経路の変化がない(図-7 赤点)、(b)：避難場所の変化はないが、避難経路が変化する(図-7 黄点)、(c)：避難場所が変化することで避難経路も変化する(図-7 青点)。

(d)：浸水により避難不可能になる(図-7 黒点)。また、図-9 に浸水の無に有よる避難時間の比較を示す。これらの結果を用いることで、早期に避難が必要な場所や、避難場所が十分ではない領域について検討が可能である。また、避難時間は、平均で約 1.6 倍、最大で約 28 分増加しており、浸水を考慮した避難計画の重要性が示唆された。

3. 主要な結論

本研究で行った津波氾濫解析により、岡山市では堤防沈下による浸水域を考慮した避難経路の策定、最大波高ではなく水位上昇の長期化による浸水被害を考慮した避難計画の立案が重要であることが示唆された。本研究で用いた市街地レイアウトを考慮した氾濫解析モデルはこれらの検討に有効なツールであることが示された。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフの地震活動の長期評価（第二版），2012.
- 2) 本間仁：低溢流堰堤の越流係数，土木学会誌，第 26 巻，9 号，pp.849-862，1940.
- 3) 赤穂良輔，石川忠晴，畠山峻一，小島崇，都丸真人，中村恭志：岩手県釜石市街地における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の氾濫解析，土木学会論文集 B1(水工学)，71(1)，16-27，2015.
- 4) 目黒公郎，織田浩平：津波災害時の避難行動シミュレーションモデルの開発，生産研究(研究速報) 57 巻 4 号，2005.

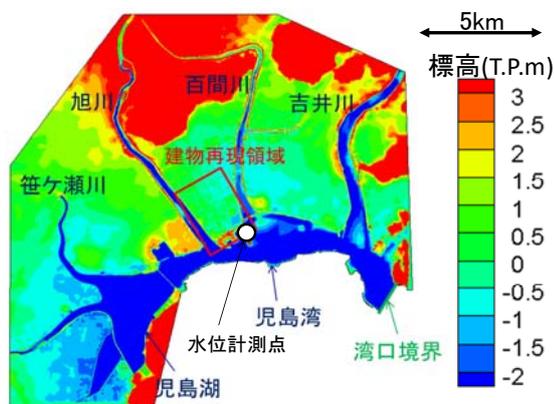


図-1 対象領域

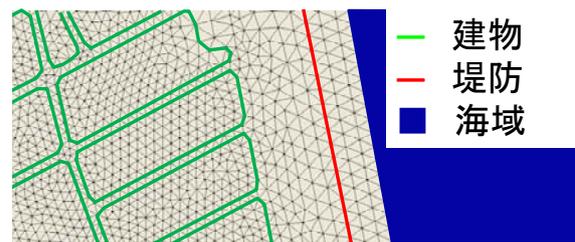


図-2 計算格子

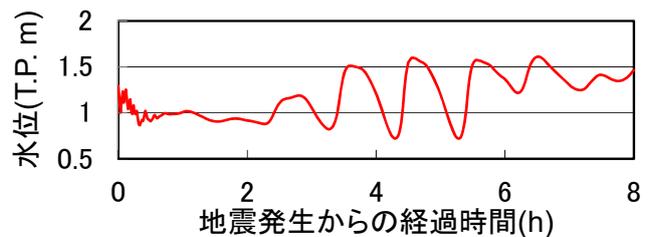


図-3 海岸付近における水位の時間変化

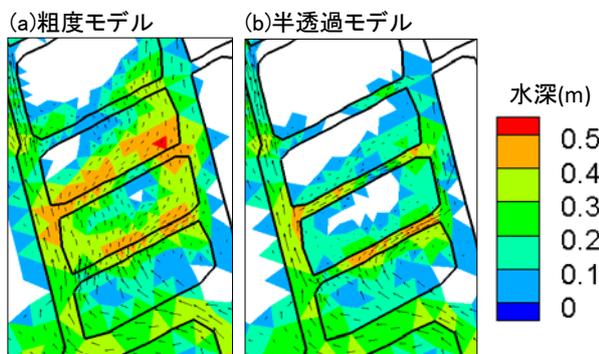


図-4 計算モデルによる流況の違い

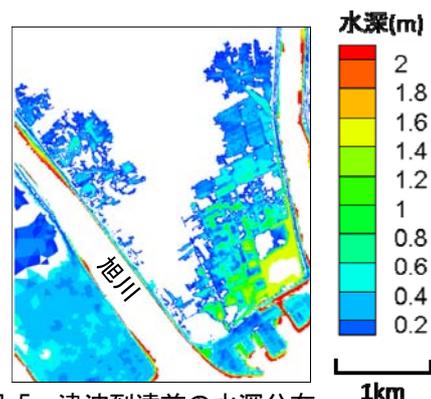


図-5 津波到達前の水深分布

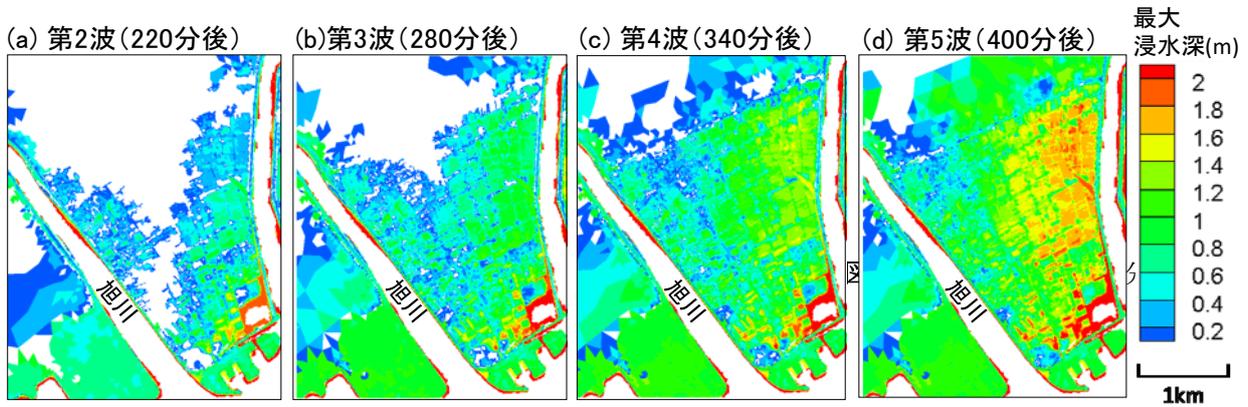


図-6 津波到達後の最大浸水深分布

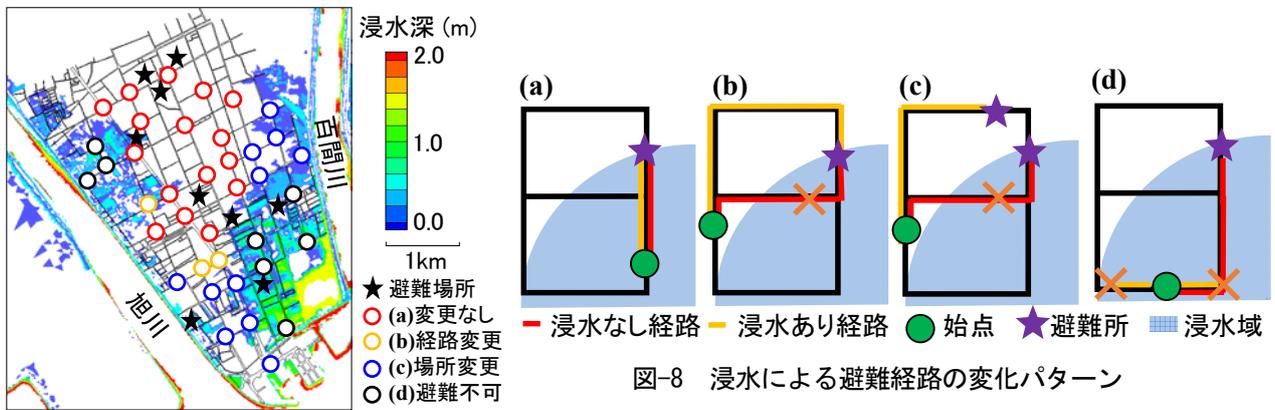


図-7 避難場所の変化

図-8 浸水による避難経路の変化パターン

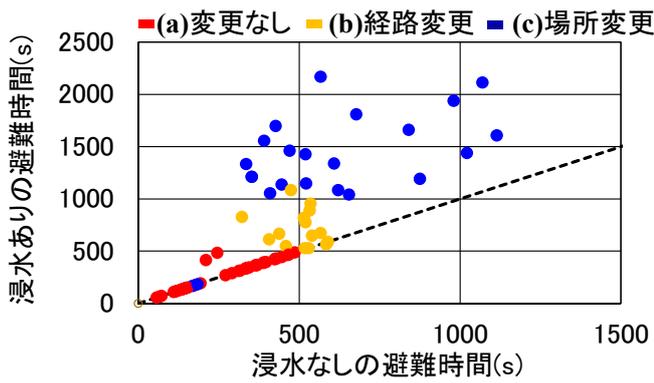


図-9 避難時間の比較