

# 1946 年昭和南海地震による高知市の河川堤防被害とその要因

徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部\* 三神 厚

元高知大学大学院生 理学研究科地学専攻† 辻野 典子

Damage to Levee Embankments in Kochi City Area during the 1946 Showa-Nankai Earthquake

Atsushi MIKAMI

Dept. of Civil and Environmental Engineering, The University of Tokushima, 2-1 Minami-Josanjima, Tokushima,  
Tokushima 770-8506, Japan

Noriko TSUJINO

Formerly, Graduate Student of Dept. of Earth Science, Kochi University, 2-5-1 Akebono, Kochi,  
Kochi 780-8520, Japan

In the 1946 Showa-Nankai Earthquake, serious damage to levee embankments occurred in Kochi city, and the following tsunami (relative sea level change to the land) caused massive flooding in a wide spread area of Kochi. Although the occurrences of damage to levees in Kochi have been fragmentarily reported in various ways, no document that summarized levee damage locations on a map exists as far as the authors know. This study attempts to identify locations of damage to levee embankments in Kochi city caused by the 1946 Showa-Nankai Earthquake by utilizing every available kinds of information sources including damage maps, newspapers, books, photos, and first-hand accounts. Next, the identified damage locations are compiled on a map. Damage severity of levee in each levee segment along with available parameters that might correlate to damage levels are compiled. We, then, apply quantification theory to identify risk factors for seismically-induced levee damage, and find that geological conditions play an important role in levee performance. In order to obtain universal results about seismic performance of levees in Kochi city regarding Nankai Earthquakes, locations of damage to levee embankments by the 1854 Ansei-Nankai Earthquake and by the 1707 Hoei Earthquake are identified from the description of available historical documents.

Keywords: damage to levees, Nankai Earthquake, Kochi, tsunami, quantification theory

## § 1. はじめに

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震では、津波は海岸堤防を越え、あるいは河川を遡上しながら堤防を越え、甚大な被害をもたらした。津波によって甚大な被害を引き起こす海溝型の地震という点で南海地震と共通したものであった。2011 年の地震によって地盤が大きく沈降した地域では、長期にわたり浸水被害が生じた。石巻市の渡波地区など、東北地方の広範な地域で、現在に至るまで地盤沈下による浸水の影響に悩まされている。

同様なことが 1946 年の昭和南海地震後の高知市でも起こっていた。図 1 は昭和南海地震直後と現在

の高知市の様子を対比した写真(高知市防災対策部所蔵)であるが、地震後に来襲した津波(潮位変化)によって高知市は甚大な浸水被害に見舞われた。高知平野は南海地震のたびに沈下する地震性の沈降平野で、昭和南海地震の際も顕著な地盤沈下が生じた。沢村(1951)によれば高知市の沈下量は 120 cm に至ったと報告されている。そのため、高知市は長期にわたり浸水被害に苦しめられた(図 2)。昭和南海地震はマグニチュードが 8.0 と推定され、繰り返し発生してきた一連の南海地震の中でも規模が小さい方なので(宇佐美, 2003), より大規模な南海地震が発生すると、津波波高に加え、高知市の地盤の沈下量もさらに大

\* 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1 徳島大学工学部建設工学科

電子メール: amikami@ce.tokushima-u.ac.jp

† 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1

電子メール: saki\_tsujino@yahoo.co.jp



図1 五台山から見た高知市. 本図のカラー版は口絵1参照.  
(写真上は昭和南海地震直後で高知市所蔵写真より転載, 写真下は2011年3月撮影)

Fig. 1 Photo of Kochi city from Mt. Godai



図2 高知市城見町電車通の浸水被害  
(昭和21年12月21日撮影, 高知市所蔵写真より  
転載)

Fig. 2 Photo of downtown Kochi after the 1946  
Showa-Nankai Earthquake

きくなることが懸念される。

地震後、河川を遡上してくる津波から市街地を守るためには、洪水防御施設としての河川堤防が地震時に健全に保たれていることが最低限必要である。昭和南海地震による河川堤防の被害要因としては、津波による影響と地震動による影響が考えられるが、昭和南海地震に関して、那須・白井(1949)は、「湾口を過ぎて浦戸湾の内部に侵入した津波は急激に減衰して、湾奥では殆ど平時の風波と区別できない程度であった」と報告している。また、沢村(1972)は、浦戸湾口の桂浜付近で3 m近くあった津波高(津波来襲

時の海面上の高さ)が御畳瀬付近では1 m程度に減衰し、さらに、浦戸湾の奥になると60 cm程度にまで低下したというデータを示しながら、「浦戸湾のような湾口の狭い、湾内の広がった地形の湾では、湾内に侵入した津波の勢力がそがれ、水位の上昇(著者注:地盤沈下による影響が大きいと思われる)による被害が大であった」と結論付けている。図3として、沢村(1972)も用いた水路部(1948)による『昭和21年南海大地震報告、津波編』のデータをもとに、太平洋から侵入した津波の津波高が、高知市街に到達するまでに大きく低下していく様子を示す。最大の堤防決壊があった葛島での津波波高は0.46 mであり、これが「平時の風波と区別できない程度であった」とする那須・白井の根拠の1つであったと思われる。ただし、ここでの水位上昇は、津波による水位上昇のみならず、地盤の沈降や潮汐の影響が相俟ってもたらされたものと考えられる。

以上から津波による波高は浦戸湾奥に位置する高知市では小さかったことがわかる。浸水被害の原因が何であったかについては、地盤沈下と津波による影響を併せても2 m弱の水位上昇であり、堤防が健全であったならばこれほど大規模な浸水被害に結び付いたとは考えにくい。沢村(1972)は「堤防の決壊も堤防の構造の弱体から主として地震動が原因であった」と分析しているが、実際、最大の浸水被害をもたらした葛島の破堤の経過について、高知県(1949)による『南海大震災誌』によれば、「十二月二十一日四時十五分の強震により堤防に大亀裂を生じ法面崩壊せし時、間もなく襲来せる高潮(普通潮位より一、八米増高)は沈下せる堤防上を溢流せしため破堤せり」と報告されている他、堤防の被害が報告されている。

以上のことから、昭和南海地震では地震によって



図3 津波波高の推移と高知市周辺の地図

Fig. 3 Attenuation of Tsunami height and rivers flowing through Kochi city

堤防に亀裂が入ったり、法面が沈下、崩壊するなどの被災をし、堤防が弱体化したところへもたらされた潮位変位(繰り返し到来した津波と地震による地盤沈下、さらに潮汐の影響などによる)によって堤防が決壊したものと考えられる。金井・他(1949)の報告によれば高知市内の河川堤防は11箇所が決壊したとされている。しかし、その11箇所の場所や被害の程度などの詳細についての記述は見あたらない。地震動による堤防被害の要因については地盤の液状化による場合が多い。また、地盤の液状化は地震のたびに繰り返し同じ場所に発生することが指摘されている(例えば、若松, 2011)。そのため、被害箇所を特定し、その要因を検討しておくことは、今後の南海地震防災へ向けて重要である。しかしながら、著者らの調査の範囲では、これら11箇所を含む河川堤防の被害箇所を1つにまとめた資料や文献は見当たらない。本研究では、1947年に震災特別号が刊行された『月刊高知』などの各種文献や当時の新聞記事、写真等から、高知市内の主な河川堤防の被害箇所の特定を試みるとともに、その被害要因について考察する。さ

らに、安政の南海地震や宝永地震についても河川堤防の被害に関する記述を調査し、昭和南海地震による堤防被害との共通点や相違点について検討を加える。

## §2. 高知市を流れる河川の概要

図3に高知市周辺を流れる河川を示す。鏡川、江ノ口川は高知市中心部を東西に貫流した後、浦戸湾に注いでいる。その他、久万川、国分川、舟入川、下田川が浦戸湾に注いでいる。図3には併せて昭和22年国土地理院発行の地形図をもとに当時の海岸線を点線で示しているが、弘化台が建設されたことと、浦戸湾東側の海岸線が変化したことを除き、現在と地形的に大きな差異はない。

図3には併せて標高0m地帯の概ねの位置を点線で示している。高知市はいわゆる地震性の沈降平野で南海地震のたびに沈下を繰り返し、低地が広がっており、五台山付近を除き、ゼロメートル地帯が広

表1 堤防被害箇所の一覧  
Table 1 List of damage to levees

被害番号	名称	根拠
	葛島橋西詰堤防	新聞, 写真, 文献
	葛島橋東詰堤防	写真
	国分川右岸堤防	震害図, 写真
	舟入川左岸堤防	震害図
	舟入川右岸堤防	震害図
	国分川左岸堤防	震害図
	弥右衛門堤防	写真
	江ノ口川堤防	写真
	若松町岸壁	文献, 写真
	潮江新築堤防	震害図, 写真, 文献
	下田川堤防	震害図, 文献, 写真
	介良川堤防	文献, 証言
	帯田南方中堤	写真
	船留場堤防	写真

域にわたっていることがわかる。南海地震の際には高知市は再び大きく沈下することが予想されるため、もし地震によって河川堤防が被災したならば、高知市はほぼ全域にわたり甚大な浸水被害に見舞われることが容易に推測できる。なお、0 m 地帯の概ねの位置を特定するにあたっては、高知地盤災害情報評価委員会(2011)による高知地盤災害関連情報ポータルサイトを参考にした。本研究では、四角で囲んだ枠の範囲内の堤防を検討対象とする。

### § 3. 河川堤防被害箇所の推定

昭和南海地震による河川堤防の被害箇所を、当時作成された震害図、文献、写真、証言などを利用して推定した。ここでは被害箇所の一覧とその根拠を表1としてまとめて示した上で、以下でその根拠について説明する。ここでは、11箇所以上について堤防被害箇所を示しており、甚大な被害箇所についてはほぼすべてをカバーできたものと考えている。

#### 3.1 震害図を利用した堤防被害箇所の推定

高知新聞社(1946)による『月刊高知』には震災特別号として高知県内各地の被害の様子がまとめられており、その中の高知市震害図において、堤防亀裂について記されている。それによれば、国分川右岸堤防をはじめ、舟入川左岸堤防、舟入川右岸堤防、国分川左岸堤防の被害、潮江新築堤防の被害などを見出すことができる。

高知市昭和国民学校、第一国民学校、第二国民学校(発行年は不明)が取りまとめた『南海大地震記

録』では、高知市の各種被害を取りまとめるとともに、児童の地震体験談を取りまとめている。その中の地図には、堤防決壊や堤防崩壊箇所が取りまとめられている。それによると、葛島橋西詰堤防の被害や江ノ口川堤防の被害、潮江新築堤防の被害などが示されている。この被害図の原図にはその他の被害についても記載されている可能性があるが、複写された文献を参照しているため、画質の問題により判別が困難であった。

#### 3.2 被害写真を利用した堤防被害箇所の推定

当時の写真を利用して河川堤防の被害箇所を特定した例を図4に示す。図4の写真左は、江ノ口川堤防に発生した大亀裂の写真で、写真右は現在の様子があるが、著者らによる現地確認の結果、当時の鉄砲町(現在の桜井町)あたりであると判断した。

その他、高知県や高知市の所蔵写真、岡村土研ウェブサイト(<http://sc1.cc.kochi-u.ac.jp/mako-ok/>)で公開されている写真(木村昌三氏所有)等を参考にしながら、葛島橋西詰堤防、国分川右岸堤防(下知)、潮江新築堤防、葛島橋東詰堤防(葛島橋の下流国分川左岸堤防)、弥右衛門堤防、帯田南方中堤、船留場堤防などの被害箇所を現地確認を繰り返しながら特定していった。

ここで行った現地確認の具体的な方法であるが、以下のような手段を用いた。

- (1) 写真に写っている山の稜線など、背後の景色から判断
- (2) 写真に橋などの現存する構造物が写っている場合にはそれとの位置関係
- (3) 持参した写真を現地のお年寄りに見せ、確認して頂く
- (4) 各写真には若干の解説が付されているので、それを参考に、当時の地図や文献を照らし合わせながら概ねの位置を判断する。町名が変更されている場合も少なくないので、文献や現地の立て看板から場所を判断していく。(例えば、図4の写真のように「高知市鉄砲町の大亀裂昭和二十一年十二月二十一日撮影」と書かれているものがあるが、鉄砲町という町名は現存せず、現在は桜井町になっていることを見出した)。

地点  $\square$  については手段(1)、(2)、(4)を、地点  $\square$  については(1)~(4)のすべての手段を、地点  $\square$  については手段(1)、(4)を用いた。地点  $\square$  の弥右衛門堤防のように、被害箇所特定の根拠情報が十分でない場合には、場所を特定することは困難で、大凡の位置を推定せざるを得なかった。この場合、本論文では「推定」位置として被災したと思われる堤防を点線で表現している。



図4 江ノ口川堤防に発生した大亀裂

(写真左は昭和21年12月21日撮影の高知市所蔵写真より転載, 写真右は平成23年4月撮影)

Fig. 4 Photo of large cracks that appeared in a levee after the 1946 Showa-Nankai Earthquake

### 3.3 文献情報を利用した堤防被害箇所の推定

昭和21年12月23日の高知新聞(高知新聞社, 1946)によれば, 「市かつら島橋西詰から青柳橋西詰に達する若松町堤防はかつら島橋より約四十米決かい…」という記述が見られる。この場所が 葛島橋西詰堤防の最大被害箇所であったと思われる。

その他, 河川堤防の被害に関する記述は『南海大震災誌(高知県, 1949)』に散見される。例えば, 「地震にともなう高潮のため高知市萩町土佐電化工場より棧橋にかけて堤防約八十米決壊し, ……浸水による被害が極めて大きかった」という記述から当時の土佐電化工場があった場所を現地調査し, の堤防被害箇所を推定した。また, 「…長浜, 五台山においても夫々堤防の破損あり, ために浸水による被害が極めて大きかった」という記述と同誌に掲載されている「復興完成せんとする下田川堤防」というタイトルの写真から, の下田川堤防沿いの五台山という地域に被害があったことがわかる。の介良川堤防の被害については, 「下田川支流介良川堤防他十六箇所の陥没, 被害延長一〇, 九〇〇米, 工事着手箇所九箇所」という記述があるが, 具体的な被害を受けた場所は確認できなかった。の若松町岸壁についても「若松町岸壁は殆ど使用不能」という記述がみられる。

### 3.4 現地におけるヒアリングによる堤防被害箇所の推定

以上述べたような方法を使っても堤防被害箇所の特定が困難な場合もある。そこで, 下田川では現地調査を行い, 昔からこの地域に住む女性にお話を伺った。その結果, 「介良川で堤防が決壊し浸水した」ことを確認することができた。

### 3.5 堤防被害箇所の推定結果

図5には特定された河川堤防の被害箇所を地図上に示す。実線で示した被害箇所は, 文献の記述や当時の写真等によりほぼ被害位置を特定することができたものである。点線で示した箇所は写真等, 被害位置を特定する情報が不十分であるため, 著者らが概ねの位置を推定した結果である。また, 水路局(1948)や甲藤・他(1984)によって調査された浸水被害エリアを重ねて示す。ここでは, 両者による調査結果を包含する浸水エリアを示すこととした。

一方で, 「被害がなかった」あるいは「被害が小さかった」という情報も重要である。例えば, 図6は潮江橋付近の当時の様子であるが, 堤防に目立った変状は見られない。甚大な被害は写真や文献等に記録として残されているものの, さほど被害が大きくない場合

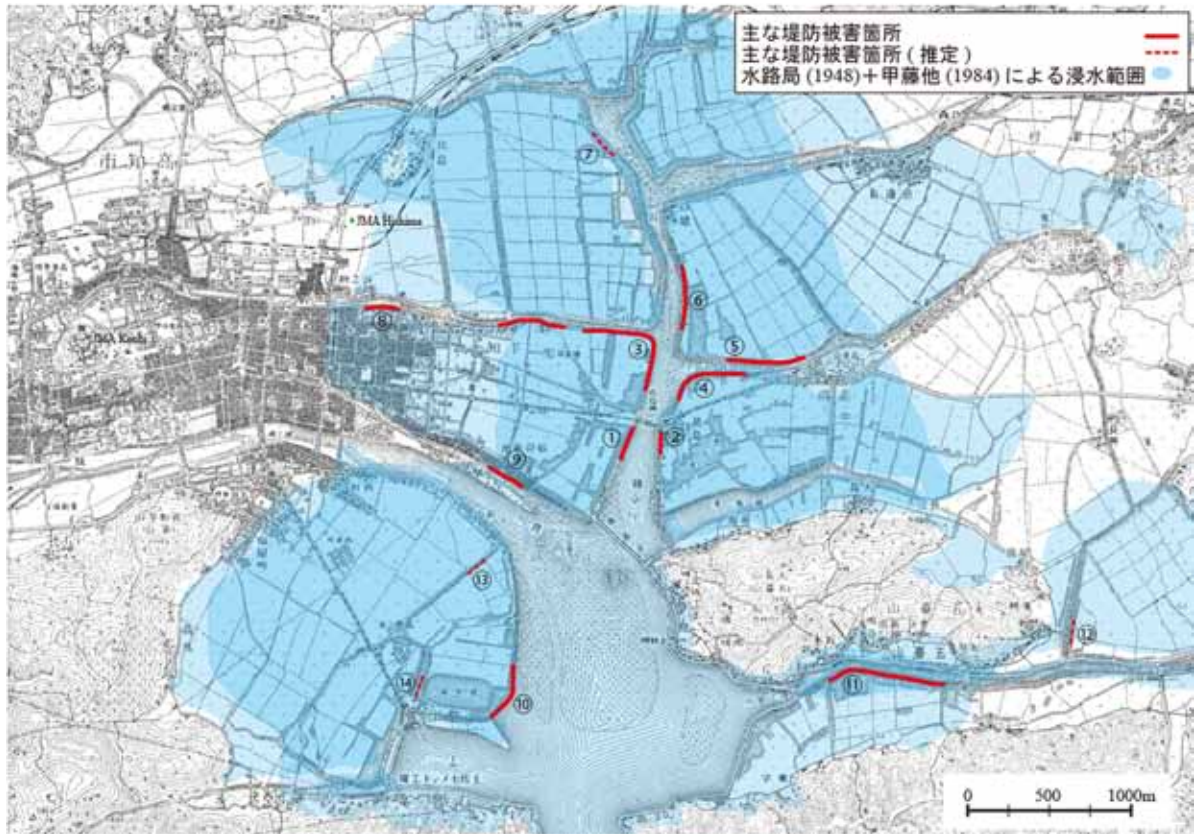


図5 昭和南海地震による高知市の河川堤防被害箇所のまとめ．本図のカラー版は口絵2参照．  
国土地理院(昭和22年)発行の2万5千分の1地形図(高知)を使用．

Fig. 5 Summary of damage to levees due to Showa-Nankai Earthquake



図6 潮江橋付近の様子  
(高知市所蔵写真より転載)

Fig. 6 Photo of levee near Ushioebashi bridge

には写真や被害図などの記録に残されていないものと考えられる．そのため、ここで被害箇所として見いだされなかった場所については、比較的被害が小さかった堤防区間と判断することにした(ただし、被害小の区間には無被害区間も含むものとする)．

なお、本論文執筆中、『描かれた高知市』という資料が高知市より2012年3月末に発行され、その中に「高知市震災復旧工事箇所」という既成の地図上に、昭和南海地震によって被災した堤防や道路などの箇所を手書きで加筆したものが含まれていた．発行年、発行者とも不明であり、現時点では、本論文にはその情報を反映させていないが、今後、当該地図上の堤防の復旧工事箇所に着目し、本研究の結果と併せて、高知市内の堤防の被害についてより詳細にまとめて行きたいと考えている．

#### §4. 河川堤防被害要因の分析

高知市における河川堤防の被害箇所の特定が概ねできたので、その結果を用い被害要因を探る．ここでは目的変数がある場合の統計解析手法である数量化 類を用いて、被害の程度と、被害の程度を左右する要因の関係について検討する．

##### 4.1 数量化理論

数量化 類はサンプルが持っている質的な特性からサンプルがどの群(外的基準といい、回帰分析における目的変数にあたる．ここでは  $K$  個の群からなると

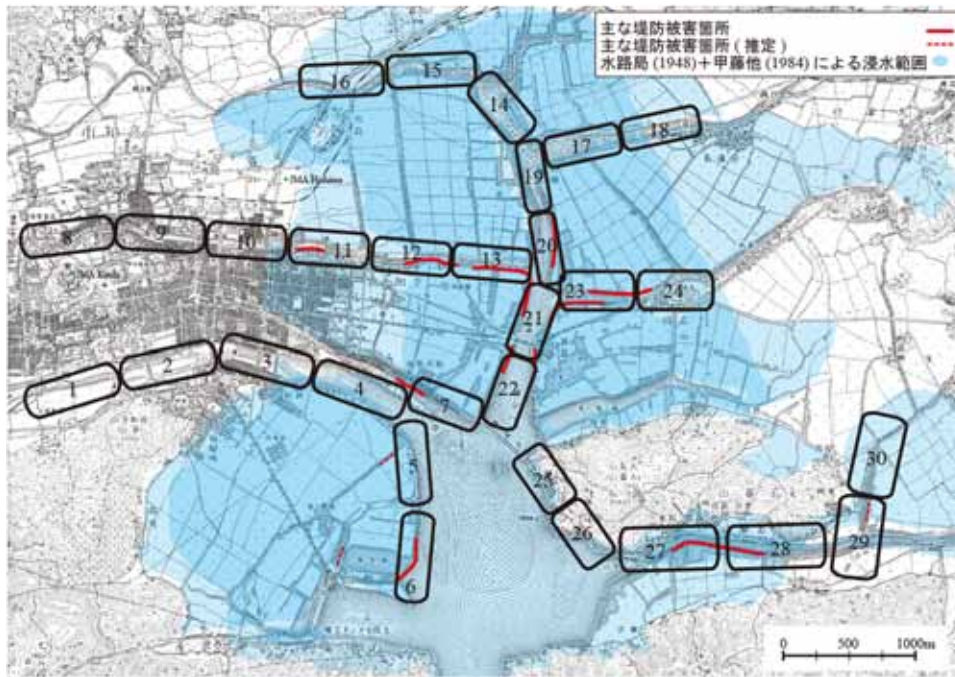


図7 検討対象河川堤防のセグメント分割  
 国土地理院(昭和22年)発行の2万5千分の1地形図(高知)を使用  
 Fig. 7 Segmentation of levees

する)に属するかを判別(予測)する方法である。判別分析は説明変数が数量データなのに対し、数量化類は説明変数がカテゴリーデータ(分類)であることが特徴である。

数量化類では、説明変数や目的変数の項目のことをアイテム(1~R とする)と呼んでいて、各アイテムはいくつかのカテゴリー(分類, 1~c<sub>j</sub> とする)に細分類される。目的変数の各カテゴリーにはカテゴリースコア  $a_{jk}$  が付与され、それをもとに次式によってサンプルスコアが決定される。

$$Y_{ia} = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} \hat{a}_{jk} a_{jk} d_{ia}(jk) \quad (1)$$

ここで、 $d_{ia}$  はダミー変数で、第  $i$  群の  $a$  番目のサンプルが  $j$  アイテム、 $k$  カテゴリーに反応した時(該当する場合)1 とし、それ以外の場合は 0 とする。

外的基準による  $K$  個の群を判別するため、次式で定義される相関比が最大となるようにカテゴリースコアを決定する。

$$h^2 = \frac{S_B}{S_T} = \frac{\sum_{i=1}^K \hat{a}_{ij} n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^K \sum_{a=1}^{n_i} \hat{a}_{ia} (Y_{ia} - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

ここで、 $S_T$  は全体分散のことで、各サンプルのサンプルスコアと全サンプルスコアの平均値との差の平方和

である。 $S_B$  は群間の分散で、各群のサンプルスコア平均と全サンプルスコア平均との差の平方和である(各群のサンプル数が  $n_i$  個からなるものとしている)。数量化理論について、詳しくは例えば田中・他(1984)などの書籍を参照されたい。

#### 4.2 セグメントの分割と特性化

本来、連続した構造である河川堤防を長さ 1km 程度のセグメントに分割し、各セグメントを 1 つのサンプルと考える。各セグメントの被害度を外的基準にとり、大、小の 2 分類に分割するとともに、被害の程度を左右するパラメーター(説明変数)からなるカテゴリーデータによって特性化する。ここでは、図 7 に示すような 30 のセグメントに分割した。

本研究の検討の範囲は、震源からの距離に比べて狭く、地点間で震源までの最短距離に大差ないので、距離減衰的に決定される基盤レベルでの地震動はほぼ一定と考えられる。一方で、表層地盤によるサイト増幅効果や地盤の液状化の程度は検討対象範囲内でも差異が生じると思われるので、堤防の被害の程度を左右するパラメーターとして、地形分類、基盤までの深さ、30 m 平均 S 波速度( $V_{s30}$ )を選択した。その他、堤防そのものの脆弱性に影響を与えと思われる要因として、堤防の建設年代や工法、そして用いられた土質材料等が考えられるが、これまでのところ、著者らはそのような情報を見出すことができてい

表2 外的基準と説明変数のカテゴリー分類

Table 2 Item categories

外的基準		
被害の程度	無被害, 小被害	1
	大被害	2
説明変数		
地形分類	三角州, デルタ	1
	扇状地, 自然堤防	2
基盤までの深さ	25m 以下	1
	25m 以上	2
Vs30	200m/sec 以下	1
	200m/sec 以上	2

ない。その他、地下水位の影響も当然考えられるが、対象範囲を十分密にカバーするデータを見出せていない。

地形分類については、「三角州、デルタ地域」と「扇状地、自然堤防」の2つに分類した。基盤までの深さについては、25mを境にそれより深いか浅いかで分類した。Vs30については、200 m/secより大きい小さいかで分類した。

以上で述べた外的基準と説明変数のカテゴリー分類を表2に示す。

#### 4.3 地形分類

地形分類については、図8に示す土地分類基本調査(経済企画庁, 1966)を参考にした。大局的に見て、高知市東部の国分川に沿ったエリアにはデルタが広がり、高知市中心部の鏡川周辺には、鏡川が形成した自然堤防が広がっていることがわかる。

#### 4.4 基盤までの深さ

ここでは、『土地地質図(国土開発技術研究センター, 1998)』や『高知地盤図(高知地盤図編集委員会, 1992)』に掲載されている沖積層基底面深度図(支持層上限面図)を参考に、各セグメントにおける基盤までの深さの平均的な値を決定した。おおまかな傾向としては、鏡川や国分川に沿ったエリアに表層地盤が厚く堆積しており、その厚さは河口に近づくにつれ厚くなり、浦戸湾に到達するあたりで概ね35 m程度になっている。

#### 4.5 Vs30

各セグメントの30 m平均S波速度を評価するにあたっては、防災科学技術研究所(2010)によるJ-SHISによって算定された情報を用いる。今回、対象領域は狭い範囲であるため、南海地震を想定した場合の基盤レベルでの地震動強度に大きな違いはないと考

表3 データシート

Table 3 Data sheet used in the analysis

地区番号	地区名	被害度	地形分類	基盤までの深さ	Vs30 (m/sec)
1	鏡川中流A	1	2	1	1
2	鏡川中流B	1	2	2	1
3	鏡川下流A	1	2	2	1
4	鏡川下流B	1	2	2	2
5	浦戸湾西A	1	1	2	2
6	浦戸湾西B	2	1	2	2
7	若松町	2	2	2	2
8	江ノ川上流A	1	2	1	1
9	江ノ川上流B	1	2	2	1
10	江ノ川中流A	1	2	2	1
11	江ノ川中流B	2	1	2	1
12	江ノ川下流A	2	1	2	2
13	江ノ川下流B	2	1	2	2
14	久万川下流	2	1	1	2
15	久万川中流A	1	1	1	1
16	久万川中流B	1	1	1	1
17	国分川上流A	1	1	1	2
18	国分川上流B	1	1	1	2
19	国分川中流A	1	1	1	2
20	国分川中流B	2	1	2	2
21	国分川下流A	2	1	2	2
22	国分川下流B	2	1	2	2
23	舟入川下流A	2	1	2	2
24	舟入川下流B	2	1	1	2
25	浦戸湾東A	1	1	2	2
26	浦戸湾東B	1	1	2	2
27	下田川下流A	2	1	2	2
28	下田川下流B	2	1	2	2
29	下田川中流A	2	1	1	2
30	下田川中流B	1	1	1	2

えられるが、一方で表層地盤による増幅の効果は顕著であると考えられるので、増幅の程度を示す1つのパラメーターであるVs30を説明変数の1つに用いることとした。

#### 4.6 データシート

以上をもとに30のセグメントを特性化し、表の形でデータシートをまとめたものを表3に示す。また、クロス集計表を表4に示す。数量化理論 類では、外的基準のみならず、各アイテム内のカテゴリーに含まれるサンプル数を同程度にすることが基本であるが、用いたデータの粗さ等の問題から、本解析においては、外的基準についてはほぼ同程度になっているものの、説明変数についてはやや偏りが残っている。

#### 4.7 独立性の検定

数量化解析では、解析の前段階として説明変数の独立性について検討しておく必要がある。説明変数のうち、Vs30については地形分類から推定されているため、両者に強い相関関係があることが考えられる。そこで地形分類とVs30について、帰無仮説:  $H_0$ 「地形分類とVs30は関係がない(独立である)」をたて $c^2$ 検定により独立性のチェックを行った。

まず、 $c^2$ の値を求めると $c^2 = 10.52$ となった。一方で、有意水準5%(自由度1)で考えると、 $c(1,0.05) = 3.841$ となり、 $c^2 = 10.52$ は棄却域にある



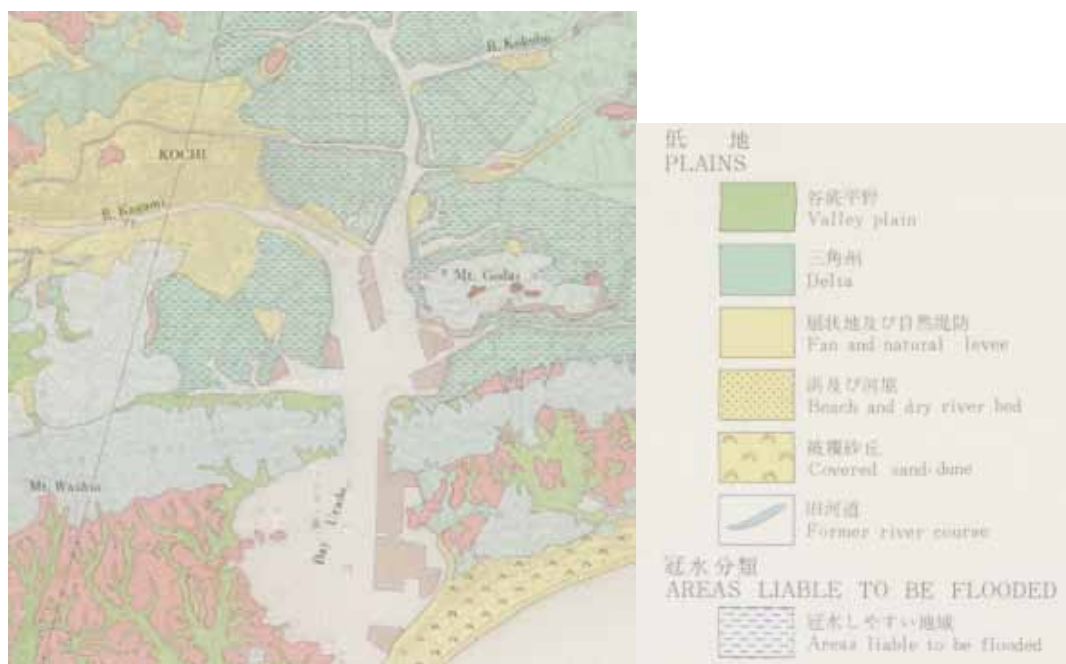


図8 高知市の地形分類図．本図のカラー版は口絵3参照．  
1/50,000 土地分類基本調査(地形分類図),「高知」,経済企画庁(1966)．  
Fig. 8 Geomorphologic land classification map (Kochi)

表4 クロス集計表

Table 4 Cross table

アイテム		地形分類		基盤深さ		被害度	
		デルタ	扇状地	25m 以下	25m 以上	小	大
地形分類	デルタ	22	0	9	13	9	13
	扇状地	0	8	2	6	7	1
基盤深さ	25m 以下	9	2	11	0	8	3
	25m 以上	13	6	0	19	8	11
被害度	小	9	7	8	8	16	0
	大	13	1	3	11	0	14

ことから、 $H_0$  は棄却される。すなわち、地形分類と  $V_{s30}$  については独立とは言えないことがわかった。そこで、 $V_{s30}$  の説明変量を落として解析を行うことにする。なお、地形分類と基盤までの深さの説明変量間の独立性については、 $c^2 = 0.6$  となり  $c^2(1, 0.05) = 3.841$  より小さい値となった。よって、有意水準 5%(自由度 1)で判断して、これらの説明変量は独立であるという仮説は棄却されなかった。

#### 4.8 解析結果

解析結果を図 9, 10 に示す。図 9 はアイテムレンジを示したものであるが、この値が大きいほど、そのアイテムが結果(被害の程度)に及ぼす影響が大きいことを示す。図 9 は堤防被害の程度に対して地形分類の影響が最も大きく、基盤までの深さの影響はそれよりやや小さいことを示している。

より詳細に検討するため、各アイテム内のカテゴリーの影響について検討を加える。図 10 はカテゴリースコアを示したものである。最も影響の大きいアイテムである地形分類についてみると、地形が扇状地や自然堤防の場合には被害を小さくする効果が大きく、逆にデルタ地形は被害を大きくすることがわかる。また、表層地盤が厚く堆積し、基盤が深い場合、被害を大きくする効果があることがわかった。

分析の精度について、ここではサンプルスコアと判別の midpoint との関係で推定がなされるが、実績群と推定群の一致度から求めた本手法の的中率(全サンプルのうち、外的基準を推定できた割合)は  $23/30 =$  約 77% となり、また、外的基準の群がどの程度よく判別されているかを示す指標である相関比の値は 0.30 程度であり良くない。その原因として、説明変数の数が少ないことが考えられる。

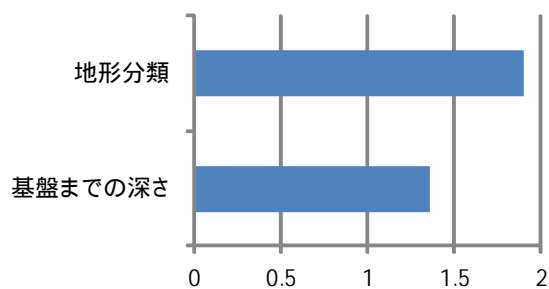


図9 アイテムレンジ

Fig. 9 Item range

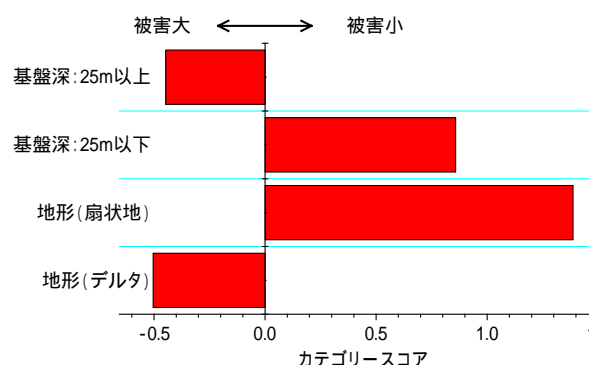


図10 カテゴリースコア

Fig. 10 Category score

## §5. 安政南海地震や宝永地震の際に発生した河川堤防の被害

以上で得られた知見は昭和南海地震についての限定的なものである。より普遍的な結論を得るためには、昭和南海地震以前の南海地震についても河川堤防の被害を文献で調査し、本結果の普遍性を確認しておくことが望ましい。

そこで、安政南海地震や宝永地震による現在の高知市における堤防被害について、東京大学地震研究所(1987)による『新収日本地震史料第五巻、別巻五 - 二』や、東京大学地震研究所(1983)による『新収日本地震史料第三巻別巻』、高知県立図書館(2005)による『土佐国群書類従』や間城(2011)による『南海地震』や間城(1995)による『宝永南海地震』をもとに文献調査を行い、河川堤防に関する記述を拾い出し、検討を加えることとした。また、地名を特定するにあたっては、平凡社(1983)による『高知県の地名』や原田・他(1979)による『天保十二年(1941)土佐国高知城下町絵図』を用いた。

### 5.1 安政南海地震の際の河川堤防被害

1854年の安政南海地震の際の高知市における河川堤防被害についての記述を表5にまとめるとともに、図11の地図に堤の被害発生箇所を示す。堤防の被害箇所を概ね特定できた場合には実線(安政が青、宝永が緑)で示し、堤の被害箇所が不明確な場合には点線で、堤の被害箇所が村単位でしかわからない場合(その村のどこか)は、村の中心にA3やH5等の記号を付し、点線の丸で囲んで示すこととした。

例えば、『大地震日記』には、下知で堤防被害が発生したことが記述されている他、『大地震日記』や『土佐国大地震并御城下大火事且大汐実録』では潮江の被害に関する記述がみられ、昭和南海地震と被害箇所が共通していたことがわかる。

### 5.2 宝永地震の際の河川堤防被害

1707年の宝永地震の際の河川堤防被害についての記述を表6にまとめるとともに、図11に安政南海地

震の場合と同様な方法で被害箇所を示す。

例えば、『宝永四年(1707年)の大地震によって北側の江ノ口川の堤防が決壊し、浸水被害を受け…』の記述や『巴堤押切下知寺町悉く浪入り破損ず…』の記述が見られ、やはり、昭和南海地震と同様の場所に被害が見られたようである。

### 5.3 安政南海地震や宝永地震による堤防被害と昭和南海地震による堤防被害の比較

図11から、現在の下知や潮江新田にはそれぞれの南海地震で共通して被害が見られることがわかる。一方で、安政や宝永の南海地震では堤の被害が発生したが、昭和南海地震では見られなかったものもある。

1点注意が必要なのは、1707年や1854年当時においては、1946年における河川堤防整備状況とは異なることである。高知城が慶長八年(1603年)に竣工した後、城下に堤防が築かれ、その後、徐々に城下町が拡大し、堤防整備が東へ延伸していった。土佐史談会(2004)による『高知城下町読本』によれば、「城下のもっとも東端には、寛永二年(1625)南北方向の外輪堤が築かれ、これが宝永大地震で壊れると、すぐに補強して宝永堤を作っている」とある。また、重松(1937)の『土佐を語る』には、「下知の宝永町は、江戸時代の中世宝永年間に大海嘯の苦杯をなめた後、ここに堤を築いたのに始まるといふから、ここから東は二百三十年前にはまだ完全な陸地ではなかったものである。」という記述がある。以上から、宝永地震の頃には、宝永堤あたりが東端で、それより東には町が広がっておらず、堤防も整備されていなかったと考えられる。本論文ではH3の下知下外輪の堤防の位置が特定できていないため、H1と区別しているが、H1とH3が同じ被害である可能性がある。

表5 安政南海地震による河川堤防被害

Table 5 Damage to levee by Ansei-Nankai Earthquake

番号	根拠となる記述	根拠となった文献	文献が掲載されている史料集
A1	「下知ノ堤大痛ミ葛嶋ノ渡し場ヨリオモノ渡し場之角ト迄八堤の割目幅三尺から壹尺位迄, …」	大地震日記	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二 ・南海地震(間城)
A2	「葛島ヨリ絶海へ通堤三拾間計きれ, かつら辺人家を始メ絶海高須新木屋頭鹿兎山の端まで一円の海となる」	大地震日記	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二
A3	「下知南の丸堤両方へ裂六尺程も割たり」	三災録	・南海地震(間城) ・新収日本地震史料第五巻別巻五-二 ・土佐国群書類従第七巻
A4	「大潮而下知村支配之中所々堤切シ, 中ニも下知北ノ丸外曲輪堤切, 新町・濃人町・茶園場裏町迄一円の溢りと成」	大地震日記	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二
A5	「下知村支配之内弥右衛門ノ堤切」	大地震日記	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二
A6	「高須村支配之内左衛門堤切一円之溢りと成」	大地震日記	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二
A7	「掘詰より汐押し込」	大地震日記	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二
A8	「潮江村八新田の中堤切レ, 塩屋崎迄一円の溢りとなる」 「…潮江之堤・中堤等潮押切る, …」	大地震日記  土佐国大地震并御城下大火事且大汐	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二  ・土佐国大地震并御城下大火事且大汐
A9	五台山之内五右衛門堤東ノヨリ拾間計切	大地震日記	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二
A10	「田辺嶋堤の切れと次第に広く一丁余になり, 深さ九尋斗り, …」	修史余録	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二
A11	「就中布師田橋ヨリ車の堤双方へひらき大にわれ, …」	三災録	・新収日本地震史料第五巻別巻五-二

## §6. まとめ

昭和南海地震の際の高知市における河川堤防の被害箇所を, 利用可能な様々な資料をもとに推定し地図上にまとめた。また, 統計手法を用いて被害要因について検討した結果, 昭和南海地震による堤防被害を見る限り, 地形的な影響が支配的であることがわかった。特に, デルタ地形や基盤が深い場合には被害を大きくし, 自然堤防や扇状地地形の場合には被害を小さくするのに寄与することがわかった。

より普遍的な結論を得るために, 安政南海地震や宝永地震の際の堤防被害についても調べた。その結果, 安政の南海地震による堤防被害は, 昭和南海地震による堤防被害と同様な箇所が生じていた。宝永地震については, 昭和や安政の南海地震で堤防被害が集中した国分川下流域には被害の記録が認められなかった。ただし, 宝永の地震当時, 堤防の整備が宝永堤のあたりまでしか進んでいなかったと思われ

る。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり, (社)四国建設弘済会「2010年度建設事業に関する技術開発支援制度」による研究助成の一部を使用させて頂きました。

匿名査読者と編集委員の行谷佑一氏(産業技術総合研究所)より, 論文を改善する上で大変貴重な意見を頂戴しましたことに感謝致します。また, 京都大学の中西一郎先生から安政南海地震による堤防の被害に関する文献情報を提供して頂きました。

本論文の一部は Generic Mapping Tools (Wessel and Smith, 1991, 1998)により作成しました。

対象地震: 1707年宝永地震, 1854年安政南海地震, 1946年昭和南海地震

表 6 宝永地震による河川堤防被害

Table 6 Damage to levee by Hoen Earthquake

番号	根拠となる記述	根拠となった文献	文献が掲載されている史料集
H1	「宝永の津浪、松か崎を打越し、巴堤を押切、新町へ溢入。」 「巴堤とは下知より三ツ頭へ出る中堤なりといふ。」 中堤は宝永四年の大地震に潮害でつぶれた。	三災録  高知市史跡めぐり	・土佐国群書類従第七巻 ・高知市史跡めぐり
H2	寺町の欄に、「宝永四年(1707)の大地震によって北側の江ノ口川の堤防が決壊し、浸水の大被害を受け、…」とある。	日本歴史地名体系	・日本歴史地名体系
H3	「宝永四年の地震の後下知下外輪の堤防破却し潮汐溢するの憂あるより諸寺また各所ニ散移すと云」	北町誌	・新収日本地震史料第三巻別巻
H4	「御城下廻り堤不残打こえ押切、大潮入込ミ」	弘列筆記	・新収日本地震史料第三巻別巻 ・土佐国群書類従第七巻

## 文献

防災科学技術研究所: J-SHIS, 地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 2010.  
(2012年5月17日確認)

原田彦彦・西川幸治・矢守一彦, 1979, 天保十二年(1941)土佐国高知城下町絵図, 鹿島出版会.  
平凡社, 1983, 高知県の地名, 日本歴史地名大系40.

甲藤次郎・西和彦・平朝彦・岡村真・中野尊正, 1984, 高知平野地下の第四系ならびに地質災害について, 高知大学学術研究報告, 自然科学編, 第32巻, pp.111-150.

金井清・田中貞二・金子重彦, 1949, 高知県に於ける南海地震の建物被害調査報告, 南海大震災誌, 南海大震災学術的記録, 高知県, pp.1-18.

経済企画庁, 1966, 1/50,000 土地分類基本調査(地形分類図)高知.

高知県, 1949, 南海大震災誌, 692 pp.

高知県立図書館, 2005, 土佐国群書類従, 第七巻, 387 pp.

高知市, 2012, 描かれた高知市, 219 pp.

高知新聞社, 1946, 高知新聞, 昭和21年12月23日号.

高知新聞社, 1947, 月刊高知, 震災特別号.

高知市昭和国民学校, 第一国民学校, 第二国民学校, 昭和二十一年十二月二十一日南海大地震記録.

高知地盤災害情報評価委員会, 高知地盤災害関連情報ポータルサイト,

<http://www.geonews.jp/kochi/index.html>, 2011.

(2012年5月17日確認)

高知地盤図編集委員会, 1992, 高知地盤図, 高知県建築設計監理協会, 461 pp.

国土開発技術研究センター, 1998, 四国地方土木地質解説書.

間城龍男, 1995, 宝永南海地震, 167 pp.

間城龍男, 2011, 南海地震, 91 pp.

那須信治・白井俊明, 1949, 高知県種崎及久礼に於ける津波調査報告, 南海大震災誌, 南海大震災学術的記録, 高知県, pp.130-137.

岡村土研ウェブサイト,  
<http://sc1.cc.kochi-u.ac.jp/~mako-ok/>.

(2012年5月17日確認)

沢村武雄, 1951, 南海大地震と地殻運動, 高知大学学術研究報告.

沢村武雄, 1972, 土佐湾沿岸の地質・地形の特徴と災害, 高知大学学術研究報告.

重松実男, 1937, 土佐を語る, 高知県教育会, 338 pp.

水路部, 1948, 昭和21年南海大地震調査報告, 津波編, 76 pp.

水路局, 1948, 昭和21年南海大地震調査報告, 地変及び被害編, 192 pp.

田中豊・垂水共之・脇本和昌, 1984, パソコン統計解析ハンドブック, 多変量解析編, 共立出版株式会社, 402 pp.

東京大学地震研究所, 1983, 新収 日本地震史料第三巻別巻, 590 pp.

東京大学地震研究所, 1987, 新収 日本地震史料第五巻, 別巻五 - 二, 2528 pp.

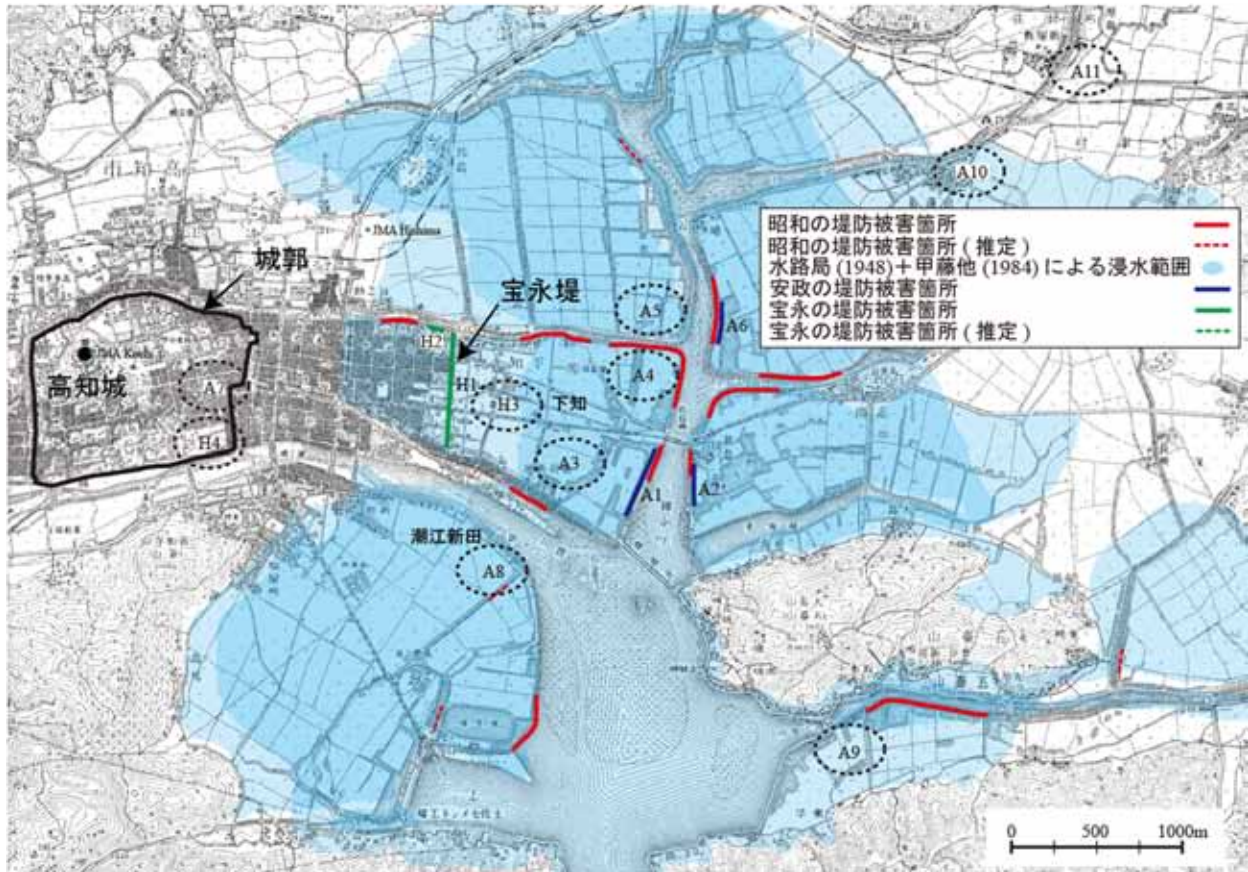


図 11 安政や宝永南海地震による堤防被害と昭和南海地震による堤防被害の位置の比較. 本図のカラー版は口絵 4 参照. 国土地理院(昭和 22 年)発行の 2 万 5 千分の 1 地形図(高知)を使用.

Fig. 11 Comparison of damaged sections of levees due to Nankai Earthquakes

土佐史談会, 2004, 高知城下町読本, 高知市, 53 pp.  
 宇佐美龍夫, 2003, 最新版日本被害地震総覧 [416]-2001, 東京大学出版会, 605 pp.  
 若松加寿江, 2011, 日本の液状化履歴マップ, 東京大学出版会, 71 pp.

Wessel, P. and Smith, W. H. F., 1998, New improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 79, 579.  
 Wessel, P. and Smith, W. H. F., 1991, Free software helps map and display data, EOS Trans. AGU, 72, 441.

