避難路の液状化対策検討のための手引き

令和３年３月

高知県

目次

１ はじめに……1
１-１ 手引きの目的……1
１-２ 検討にあたって整理すべき事項……2
１-２-１ 過去の液状化被害……2
１-２-２ 液状化被害の避難行動への影響……9
２ 対策を実施すべき避難路の抽出……13
２-１ 避難路の液状化対策の検討の流れ（検討フロー）……13
２-２ 液状化の可能性がある地域内の重要な避難路の抽出……14
２-２-１ 液状化の可能性がある地域……14
２-２-２ 重要な避難路……16
２-２-３ 対策を実施すべき避難路の抽出……17
２-３ 避難路の対策優先度の検討……18
２-４ 津波避難の可否の判定……22
２-５ 詳細な地質調査等の実施……27
３ ハード対応……29
３-１ 対策工法の紹介……29
３-２ 対策効果の検証……34
４ ソフト対応……37
４-１ ソフト対応の考え方……37
４-２ 属性別の影響と対応……41
５ 避難路の液状化対策モデル実験……42

― 参 考 資 料 ―

１ 液状化による地盤の地震時挙動の概念……1
２ 微地形区分ごとの液状化危険度……2
３ 地盤モデルの作成方法……3
４ 液状化危険度の判定方法……5
５ 重要な避難路（最短ルート）の設定方法……7
６ 舗装厚と液状化被害の関係……8
７ 地表面に着目した液状化の影響……9
８ 対策効果の検証方法……13
避難路の液状化対策検討会……1

＝ 巻 末 ＝

避難路の液状化対策検討会

１　はじめに

１-１　手引きの目的

避難路の液状化対策検討のための手引き（以下「本手引き」という。）は、南海トラフ地震に伴い液状化被害が想定される避難路において、安全な避難を実現させるため、避難路の液状化対策の考え方について取りまとめ、市町村が避難路の液状化対策に係る業務を適切かつ効率的に進めるために活用されることを目的に作成した。

津波避難対策として、これまでに高知県では、津波避難タワーや避難路・避難場所等の津波避難空間の整備、住宅の耐震化やブロック塀等の除却による避難路の安全性の確保等のハード対策、津波避難計画の策定や津波避難経路の安全性の確認、各種避難訓練等のソフト対策を行ってきた。

過去の地震による液状化被害は、建物や土木構造物に対するものが多く、その対策については広く検討されており、高知県でも平成 25 年に液状化可能性予測結果を公表し県民に周知を図ってきたところである。しかし、液状化被害の避難行動に及ぼす影響についてはこれまでに具体的に示しておらず、全国的にも検討された事例は少ない。

このため、南海トラフ地震による液状化被害が想定される避難路において、安全に避難させるために、液状化が避難行動に与える影響や避難路の液状化対策について検討するため、有識者で構成する「避難路の液状化対策検討会」を令和元年度に設置し、これまで３回の検討会及び沿岸 19 市町村の意見を踏まえ、検討結果をとりまとめた。

１-２　検討にあたって整理すべき事項

避難路の液状化対策の検討を進めるにあたっての基礎情報として、これまでの液状化被害の事例や液状化被害が避難行動にどのような影響を与えるのかについて整理した。

１-２-１　過去の液状化被害

県内と県外の過去の液状化被害は、以下のとおりである。

（１）　県内の液状化被害発生事例

日本の液状化履歴マップによると高知県では、南海トラフを震源とする宝永地震、安政東海地震、昭和南海地震、日向灘地震において表 １-１及び図 １-１のとおり液状化被害が発生している。地震毎に被害の発生位置は異なるが、谷底低地や干拓地といった比較的液状化が発生しやすいと言われている微地形（図 １-２）において、液状化被害が記録されている。

日向灘地震では、埋立地の地盤が液状化することにより、ブロック塀の倒壊や不等沈下、噴砂が発生している。[1]

【日本の液状化履歴マップより高知県で記録されている液状化被害をプロット】

表 １-１　日本の液状化履歴マップ（高知県）[2]

ID	年次	地震名	マグニチュード	最大震度	サイト
1	1707.10.28	宝永地震	8.6	震度5～6	久坂(日下)村大宮(高知県日高村本郷、下分、沖名付近)
2	1854.12.23	安政東海地震	8.4	震度3	土佐柏島西北寺近辺(高知県大月町)
3	1854.12.23	安政東海地震	8.4	震度4～5	土佐知寄(高知県高知市知寄町)
4	1854.12.24	安政南海地震	8.4	震度5～6	土佐柏島西北寺近辺(高知県大月町)
5	1854.12.24	安政南海地震	8.4	震度5～6	土佐知寄(高知県高知市知寄町)
6	1946.12.21	昭和南海地震	8	震度6	高知県野根町・二本町
7	1946.12.21	昭和南海地震	8	震度6	高知県奈半利川海岸
8	1946.12.21	昭和南海地震	8	震度6	高知県中村市 旧市街地
9	1968.4.1	日向灘地震	7.5	震度5～6	高知県土佐清水市埋立地

図 １-１　日本の液状化履歴マップにおける液状化発生位置[2]

[1] 地震研究所,日向灘地震家屋被害調査概報,地震研究所彙報 Vol.46 ,1968 年
[2] 若松加寿江,日本の液状化履歴マップ,若松,2011 年

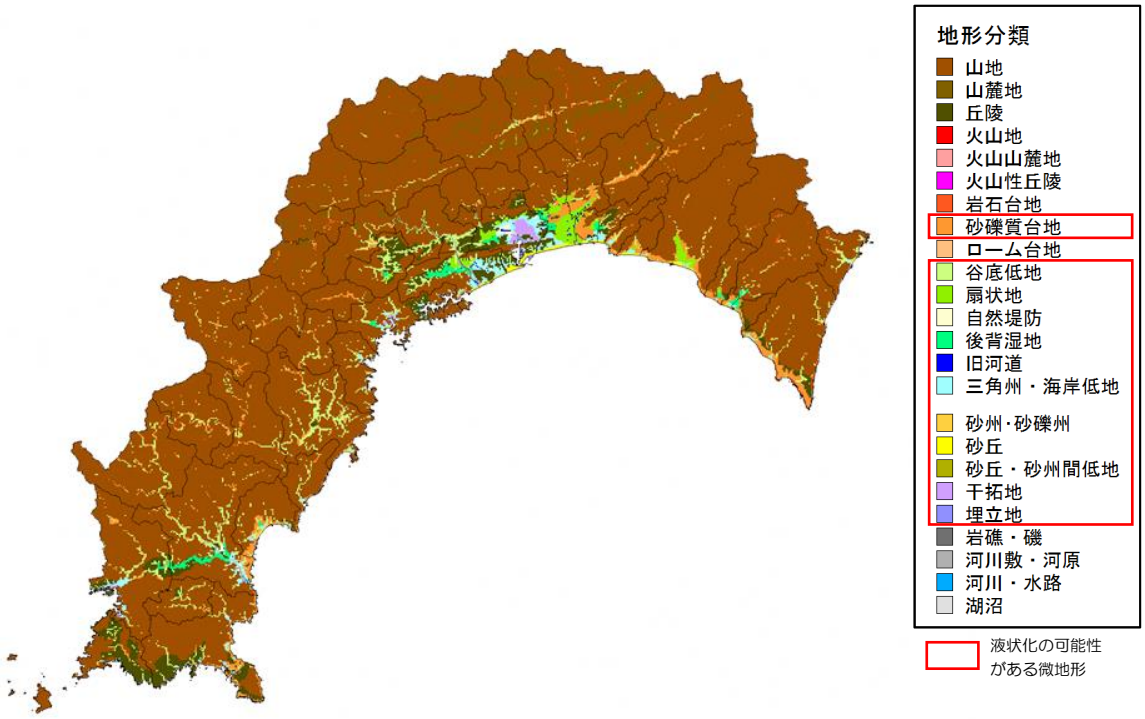


図 1-2　高知県内の微地形区分[3]

図 1-3　昭和南海地震による高知市内の液状化被害[4]

[3] 若松ら, 地形・地盤分類 250m メッシュマップ全国版の構築,日本地震工学会大会-2008 梗概集、pp.222-223,2008 年

[4] 高知大学　沢村武雄教授撮影

（２）　県外の液状化被害発生事例

液状化被害が確認された主な地震と液状化被害を表 1-2に示す。近年で被害の大きかった「東北地方太平洋沖地震」「熊本地震」「北海道胆振東部地震」で発生した液状化被害を以降に示す。

全国的に見ても、埋立地や干拓地等の比較的地盤の緩い微地形で被害が発生していることから、南海トラフ地震が発生した場合には、同様の微地形において過去に高知県で発生した被害を上回る被害の恐れがある。特に、盛土によりかさ上げした堤防や造成した宅地での被害のほか、地下埋設されたマンホールの浮き上がり、電柱倒壊、構造物の段差等の発生にも注意する必要がある。

【液状化履歴一覧】

表 1-2　地盤の液状化が確認された主な地震

地震名 （括弧内は地震発生日）	マグニチュード	最大震度	液状化被害地域	地形的特徴等
新潟地震 （1964.6.16）	7.5	5	新潟市	埋立地、平地の側方流動
根室半島沖地震 （1973.6.17）	7.4	5	根室市、釧路市	埋立地盤
宮城県沖地震 （1978.6.12）	7.4	5	仙台市七郷、六郷	平地（沖積砂層）
日本海中部地震 （1983.5.26）	7.7	5	秋田市、八郎潟付近　ほか	河川・水田の埋立地、砂丘と沖積低地境界付近の造成地
千葉県東方沖地震 （1987.12.17）	6.7	5	千葉市、浦安市　ほか	海岸・水田の埋立地
釧路沖地震 （1993.1.15）	7.8	6	釧路市、標茶町　ほか	沖積低地上の盛土
北海道南西沖地震 （1993.7.12）	7.8	5	利別川流域、函館港	旧河道・海岸の埋立地（再液状化）、砂鉄採取後の埋戻し土
北海道東方沖地震 （1994.10.4）	8.1	6	釧路市、根室市　ほか	沖積低地上の盛土
三陸はるか沖地震 （1994.12.28）	7.5	6	八戸市	埋立地、河川・港湾の護岸
兵庫県南部地震 （1995.1.17）	7.3	6	神戸市　ほか	まさ土による埋立地・盛土
鳥取県西部地震 （2000.10.6）	7.3	6強	米子市　ほか	干拓地、埋立地
芸予地震 （2001.3.24）	6.7	6弱	大野町、廿日市市	埋立地、河川・港湾の護岸
十勝沖地震 （2003.9.26）	7.1	6弱	札幌市	火山灰による造成宅地
新潟県中越地震 （2004.10.23）	6.8	7	柏崎市、刈羽村、見附市	斜面地における地すべり、旧河道の液状化
福岡県西方沖地震 （2005.3.20）	7	6弱	福岡県、佐賀県　ほか	埋立地（港湾構造物が軽微な被害を受けたのみとの記録有り）
新潟県中越沖地震 （2007.7.16）	6.8	6強	長岡市、柏崎市　ほか	旧河道の埋立地、砂丘斜面の崩壊
東北地方太平洋沖地震 （2011.3.11）	9	7	千葉県、茨城県、福島県　ほか	埋立地
熊本地震 （2016.4.14～16）	6.5（14日） 7.3（16日）	7 7	熊本市	平地（緑川と白川に挟まれた地域）
北海道胆振東部地震 （2018.9.6）	6.7	7	札幌市清田区	造成地

【新潟県中越地震】

新潟県中越地震の液状化被害は、田畑、河口、旧河道、港湾や砂丘麓や人口改変地等で液状化が発生しており、このような地域では液状化による地盤変状に起因した建物被害が多く発生している。

また液状化層がない地域でもマンホールの浮き上がりが発生したが、1993 年十勝沖地震・北海道南西沖地震、1994 年北海道東方沖地震、2003 年の十勝沖地震で見られたマンホール浮上りと同じメカニズムで発生ものと考えられている[5]。

図 1-4　2004 年新潟県中越地震による液状化発生状況

[5] 若松ら,2004 年新潟県中越地震による液状化現象と液状化発生地点に地形・地盤特徴,土木学会論文集 C Vol.62,No.2,263-276,2006 年

【東北地方太平洋沖地震】

震源地に近い東北地方のみならず、関東地方の利根川流域などで液状化被害が発生している。地域ごとの被害の特徴を以降に示す。

〈東北地方〉

東北地方では、6 県 63 市町村で液状化被害が確認されている。液状化被害が多く発生した地域は、宮城県、福島県、岩手県であり、青森県、秋田県、山形県でも局所的な液状化被害が発生している。東北地方の液状化発生場所は、関東地方に比べて埋立地が少なく、また海岸部は津波で浸水したこともあり、埋立地の被害は見かけ上少ない。そのため本地震による東北地方の液状化被害は、北上川、鳴瀬川、吉田川、江合川、阿武隈川などの大河川の沿岸に自然堤防や旧河道に集中している。

図 1-5　東北地方太平洋沖地震での東北地方の被害[6]

[6] 仙台河川国道事務所,阿武隈川　枝野地区（角田市）における被災状況

〈東京湾の周辺〉

関東地方では、7 都県 96 市区町村で液状化被害が確認されている。被害は広域にわたり発生しており、埋立地、干拓地、三角州、後背湿地、自然堤防などの軟弱地盤で住宅、道路、河川堤防、港湾施設、ライフラインに多大な被害が発生した。また、図 1-6のように、噴砂により路面を泥水が覆ったり、地下埋設物の埋め戻し土の液状化によるマンホールの飛び出しなどの液状化被害が発生している。

図 1-6　浦安市の液状化被害写真[7]

〈利根川流域〉

利根川流域では、図 1-7（左）のように沿岸部の埋立地で歩道下の水路が大きく浮き上がり、電柱の傾斜や家屋の不同沈下の被害が確認されている。下流域の干拓地では、多量の噴砂が見られ、電柱の多くは傾き、地盤沈下により多くの道路で凹凸が生じ、一部で陥没も確認された。三角州や砂州などでは、田畑のいたるところで、比較的大規模な噴砂が発生していた。中流域の旧河道や埋立地では、大規模な液状化被害が発生しているほか、水田や田畑の埋立地で液状化が確認されている。

千葉県香取市役所の正面玄関前では、図 1-7（右）のように 50 ㎝程度の段差が生じ、河川の護岸が液状化の噴砂により隆起しているのが確認されている。

図 1-7　液状化被害写真（左：潮来市日の出地区、右：香取市佐原地区）[8]

[7] 浦安震災アーカイブ

[8] 先名他,東北地方太平洋沖地震における利根川流域の液状化被害,日本地震工学会論文 第 12 巻 第 5 号（特集号）,2012 年

【熊本地震】

熊本地震での液状化被害の多くは、低い自然堤防や後背湿地や埋立地で発生しており、噴砂や道路の波状変形・沈下、地表の開口亀裂が主で、電柱の傾動やマンホールの浮き上がりも数地点で確認された。液状化被害の様子を図 1-8に示す。

図 1-8　熊本地震における液状化被害[9]

【北海道胆振東部地震】

北海道胆振東部地震での液状化によって、札幌市清田区里塚では帯状の陥没を伴う大規模な地盤変動が発生し、これに伴い道路面の陥没や段差、戸建て住宅の沈下や傾斜、水道管の破損といった甚大な被害が生じた。

当該地の盛土地盤は、比較的緩い砂質系火山灰土で構成されており、かつ低地に沿った集水地形に埋め立てられたものであり、前日から降雨の影響により、地震時の地盤の飽和度は比較的高く液状化しやすい状況であったと考えられている。液状化被害の様子を図 1-9に示す。

図 1-9　胆振東部の液状化被害写真[10]

[9]村上哲, 村上委員基調講演資料 1,液状化シンポジウム,2019 年

[10] 地盤工学会,北海道胆振東部地震による液状化被害, 2018 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震の被害調査速報会,2018 年

１-２-２　液状化被害の避難行動への影響

液状化とは、緩く堆積し地下水で飽和された砂地盤に強い地震動が加わることにより、地層自体が液体状になる現象のことであり、液状化により路面には噴砂や段差の被害が発生する。

液状化現象は一般的に地震発生直後から起こり、数分後には路面への影響が現れる可能性があるため、避難の支障となる恐れがある。

また、避難路となる道路には、マンホールなどの埋設物や橋梁などの構造物があり、それらも液状化被害を受け、浮き上がりや陥没、境界での段差発生等により避難の支障となる恐れがある。

【液状化現象のメカニズム】

図 １-１０のように、地下水で飽和された緩く堆積した砂地盤において、平時では土粒子がかみ合い安定した状態にあるが、地震が発生し強い地震動が加わると、土粒子が水に浮遊し地層自体が液体状になる。

液状化を引き起こす主な要因は、緩い砂地盤、高い地下水位、地震動が大きくまたは継続期間が長いという３点であり、埋立地や干拓地などで発生しやすいが、条件を満たせば内陸の平野部でも発生する。

液状化が発生すると、砂を含んだ泥水の噴出や地盤の沈降が起こる。地中で液体状となった砂粒と水が吹き出し、地盤沈降により地面がひび割れ、段差が発生する。

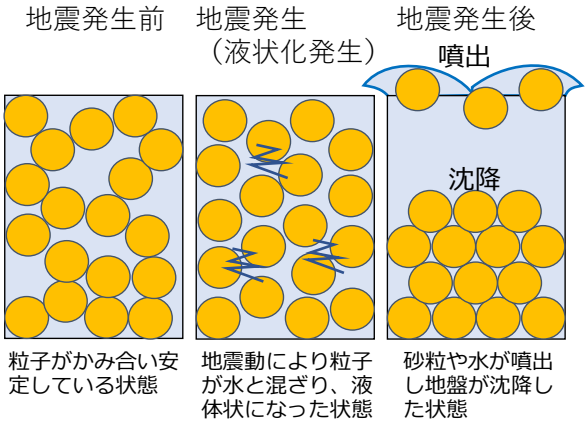


図 １-１０　液状化発生のメカニズム

【液状化被害の時間経過】

図 １-１１は、東日本大震災における防犯カメラ映像である。地震発生５分後から路面の段差やクラックが現れ、９分後には泥水が噴出しており、地震直後に液状化が発生し地表面へ影響が出ていることが確認できる。また、図 １-１２は、東日本大震災時の宮城県気仙沼市の津波来襲地域で発生した液状化の写真であり、避難の際の液状化被害が確認できる。このように、過去の地震からも、液状化被害は避難時にも影響があるという事が示されている。

なお、液状化による地盤の地震時挙動の概念については参考資料に示す。

時間		地震	確認された現象		画像
			クラック	噴水・噴砂	
	14:48	本震　揺れ始め			①
14:50					
	14:52			波動あり	②
	14:54	揺れ収束			
14:55					
					③
15:00					
15:05	15:05			沈静化	
15:10					
15:15					
	15:16	余震　揺れ始め		波動あり	
	15:17	収束			
15:20	15:20			活発	④
				場所によって	
				徐々に	
15:25				沈静化	
					⑤
15:30					

図 1-11　液状化被害の時間変化[11]

図 1-12　宮城県気仙沼市での津波来襲地域で発生した液状化[12]

[11] 浦安市液状化対策技術検討調査委員会,資料 2-4-1　地盤特性の把握・液状化の要因分析,2011 年
[12] 中根圭一氏撮影

【埋設物の浮き上がり】

〈特徴〉

液状化が発生した場合には、マンホールや下水道管などの比重の小さな埋設物は浮き上がりや段差が生じ、避難の妨げとなる恐れがある。また、特に上下水道管などで浮き上がりが発生した場合には、配管が破損することで、水が流出することにより被害が拡大する。

〈現象〉

液状化による埋設物の被害として、マンホールの飛び出し等のメカニズムを図 1-13に、埋設管の浮き出し等のメカニズムを図 1-14にそれぞれ示す。

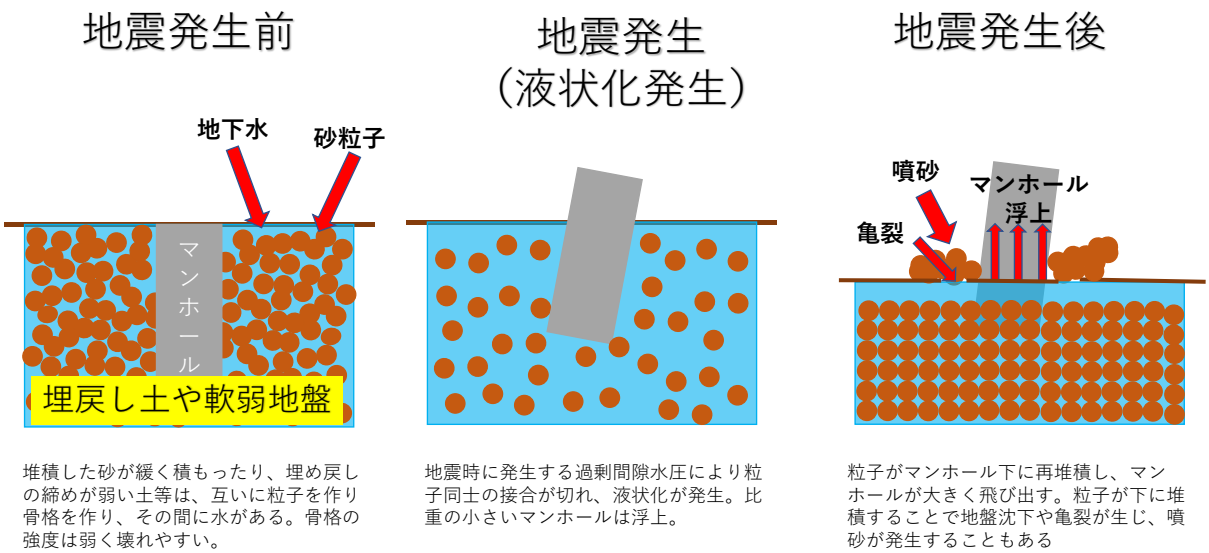


図 1-13　マンホールの飛び出し等のメカニズム

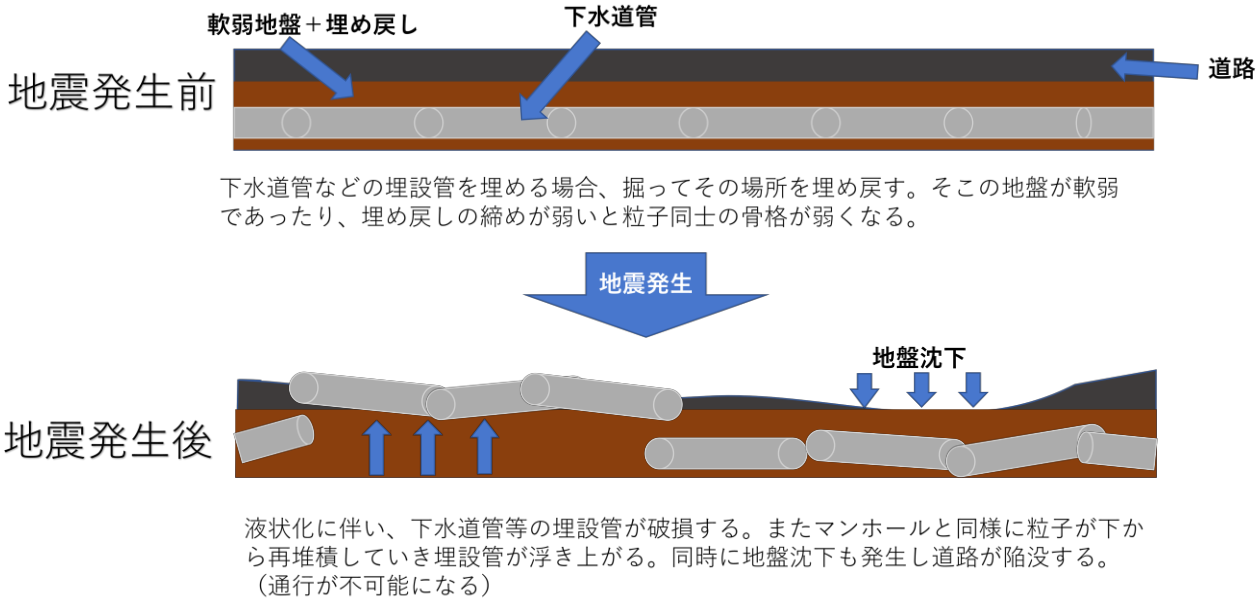


図 1-14　埋設管の浮き出し等のメカニズム

【構造物による段差】

〈特徴〉

液状化の影響を受ける路面と液状化対策を実施している構造物との境界で段差が発生した事例があり、鳥取県西部地震では、橋梁と道路の接合部で最大で 50 ㎝もの段差の発生が記録されている。熊本地震でも同様の被害が発生しており、その段差量については盛土高が高くなると段差量も大きくなる。[13]

特に橋梁について、杭を支持層まで貫入している場合が多いため、液状化の影響を受けない一方、周辺地盤は液状化の影響を受けることから、接合部で段差が発生する可能性がある。

〈現象〉

橋梁と道路の接合部で発生する段差のメカニズムについて図 1-15に示す。

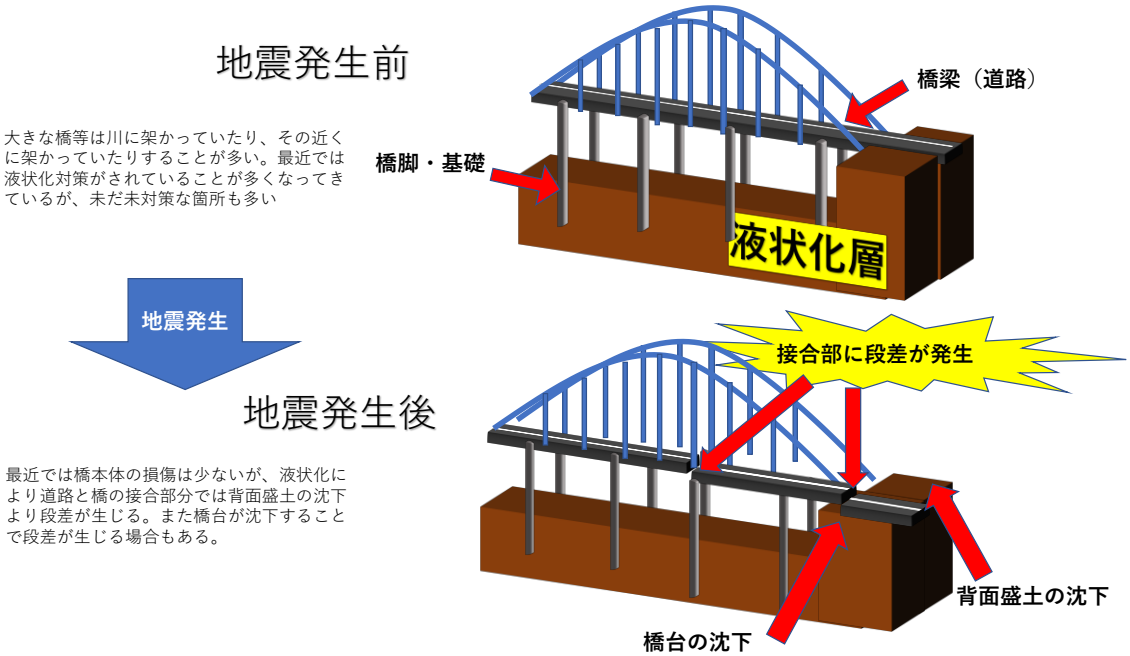


図 1-15　橋梁と道路の接合部で発生する段差

図 1-16　橋梁と道路接合部での段差（熊本地震）

[13] 原ら,平成 28 年熊本地震による橋梁段差に関する考察,日本地震工学会・大会－2016 梗外集, 2016 年

２　対策を実施すべき避難路の抽出

２-１　避難路の液状化対策の検討の流れ（検討フロー）

液状化の可能性のある地域の避難路について対策を実施すべきではあるが、全ての避難路に対策を講ずることは困難である。そのため、液状化の可能性がある地域内の重要な避難路を抽出し、対策優先度及び避難困難可否の判定を基に、避難路毎にハード対応又はソフト対応について、市町村が判断できる仕組みとする。

避難路の液状化対策の検討フローを図 ２-１に示す。

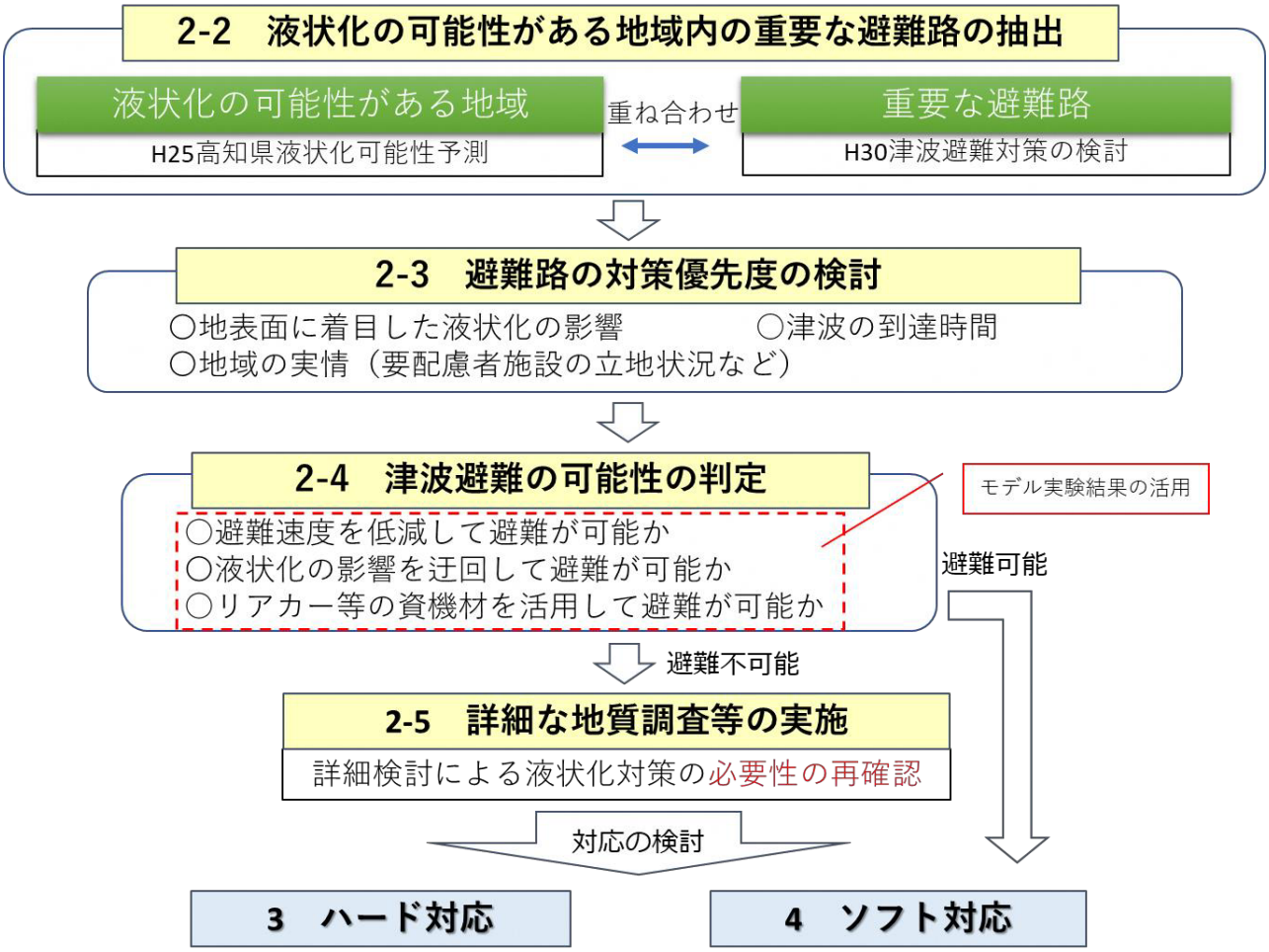


図 ２-１　避難路の液状化対策の検討の流れ

２-２　液状化の可能性がある地域内の重要な避難路の抽出

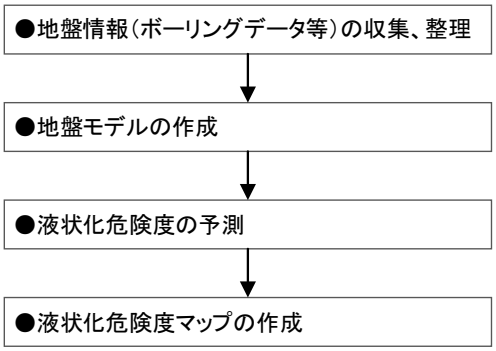
液状化の可能性がある地域内の重要な避難路の抽出にあたり、H25 高知県液状化可能性予測の考え方及び重要な避難路の設定について示す。

２-２-１　液状化の可能性がある地域

液状化危険度判定では、県内全域を２５０ｍメッシュに分割した約１１万メッシュに対して、約１万本のボーリングデータから微地形区分等を考慮したうえで、各層毎の土質区分とＮ値を補間することで地盤モデルを作成している。

この地盤モデルに対し、南海トラフ地震による地震波形を入力し、各メッシュ液状化危険度を評価し、液状化危険度マップを作成している。

〈検討フロー〉



微地形区分ごとの液状化危険度、地盤モデルの作成方法及び液状化危険度の判定方法を参考資料参-2 参-3 に示す。

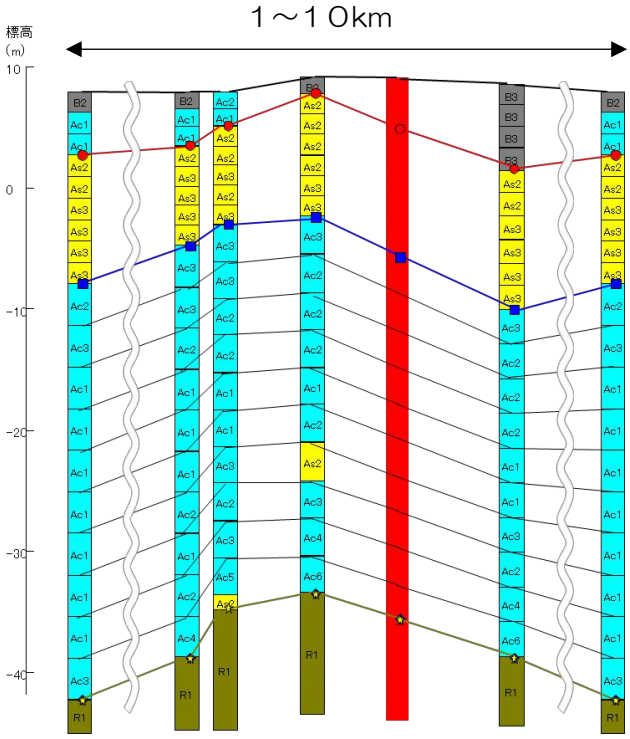


図　２-２　地盤モデルの作成イメージ

【液状化危険度の判定結果】

液状化可能性予測結果を図 2-3に示す。浦戸湾周辺、仁淀川周辺、入野海岸周辺、四万十川周辺の４つの地域は液状化の発生する可能性が高い結果が広範囲にある。それぞれの地域別の液状化被害の危険性を表 2-1 に示す。

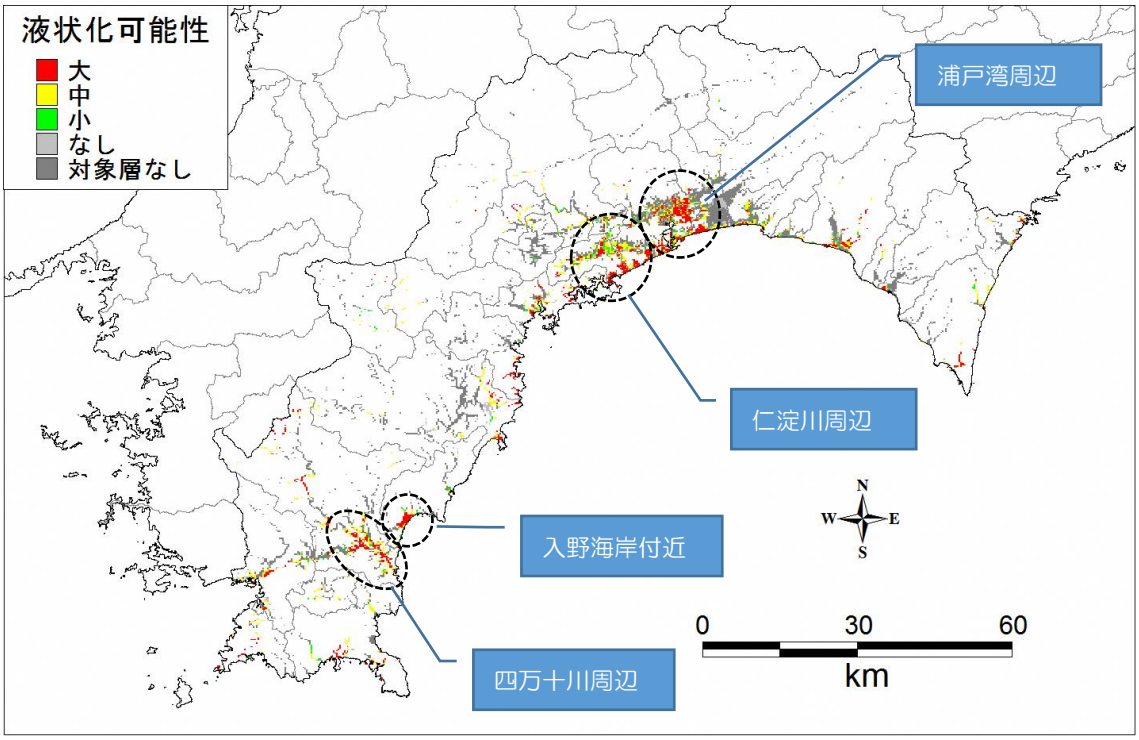


図 2-3　液状化可能性予測図（L2 最大）

表 2-1　広範囲にわたり液状化可能性の高い地域の液状化被害の危険性

地域	液状化被害の危険性
浦戸湾周辺	・浦戸湾内は埋立地、盛土が広がっている。 ・東北地方太平洋沖地震においても、十分に締め固まっておらず、かつ、地下水位が高い埋立地・盛土で広域にわたり液状化被害が確認されている。
仁淀川周辺	・仁淀川周辺地域は埋立地、盛土や自然堤防が広がっている。 ・東北地方太平洋沖地震でも、東北地方や関東の利根川周辺において広範囲にわたり液状化が発生した。緩い砂層や地下水位の影響を受け液状化被害が発生すると考えられる。
入野海岸付近	・入野海岸周辺地域は、自然堤防が広がる。 ・緩い砂が堆積し、地下水位も高いため、液状化危険度が高いといえる。
四万十川周辺	・四万十川周辺地域は仁淀川周辺と同様に埋立地、盛土や自然堤防が広がる。 ・同様に液状化の危険性が高い地域であり、液状化被害の可能性がある。

なお、地盤モデルは収集したボーリングデータを補間し作成しているため、それを基にした液状化危険度評価結果については、個別メッシュの危険度ではなく、液状化リスクの分布傾向を把握するものであることに注意する必要がある。

2-2-2　重要な避難路

高知県が平成 30 年度に実施した津波避難対策検討委託業務において、避難場所への直結や利用者数を基に、市町村からの意向を反映させて選定した”最短ルート”を重要な避難路として位置づける。ただし、道路の利用状況や周辺施設の変化のために、重要な避難路の見直しが必要となった場合は適宜修正する必要がある。

選定した重要な避難路の例を図 2-4に示す。重要な避難路（最短ルート）の設定方法については、参考資料に示す。

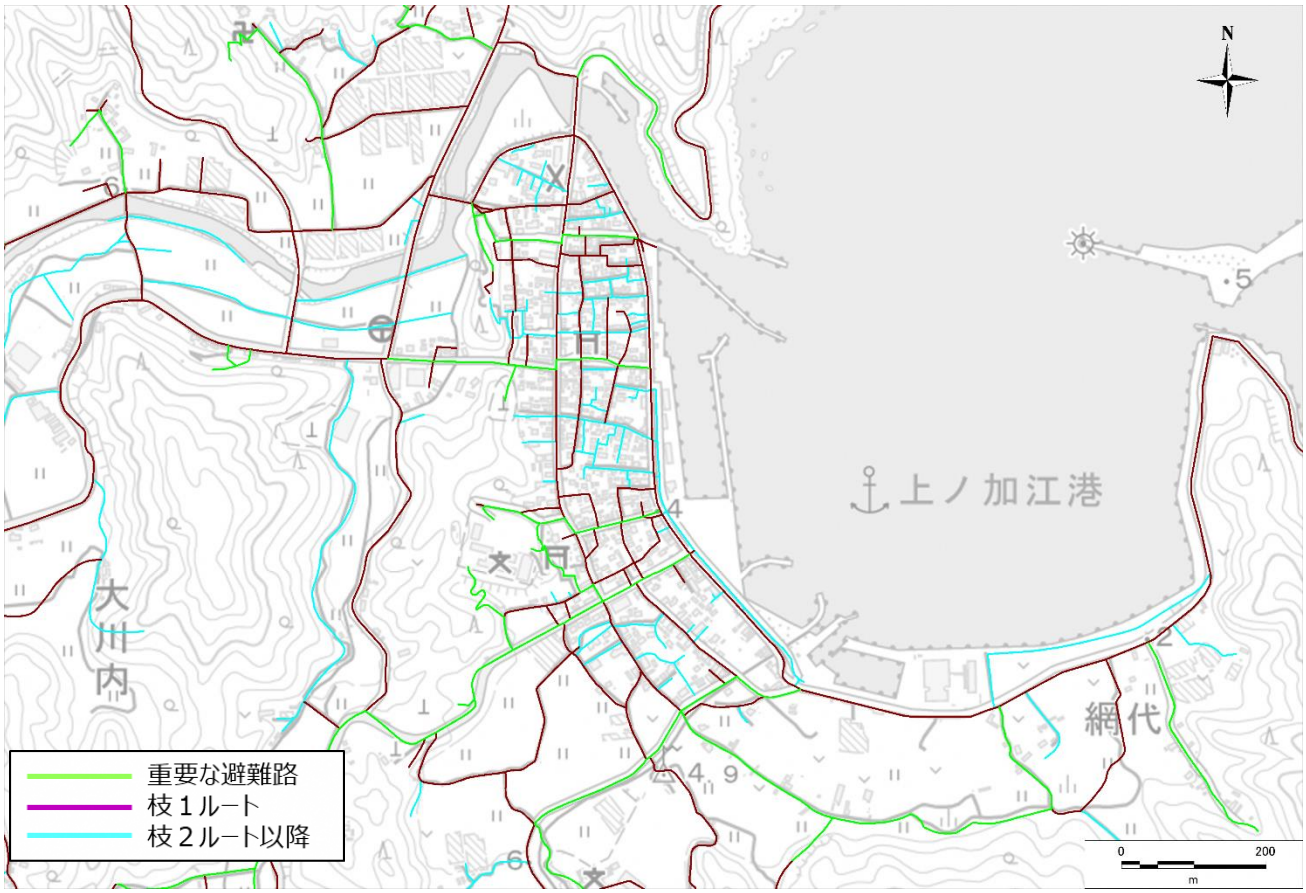


図 2-4　最短ルート

2-2-3　対策を実施すべき避難路の抽出

「2-2-1液状化の可能性がある地域」と「2-2-2重要な避難路」を重ね合わせ、対策を実施すべき避難路を抽出する。

【対策を実施すべき避難路の抽出】

液状化の可能性がある地域（液状化の可能性が極めて高い又は液状化の可能性が高い）内の重要な避難路の抽出した例を図 2-5に示す。

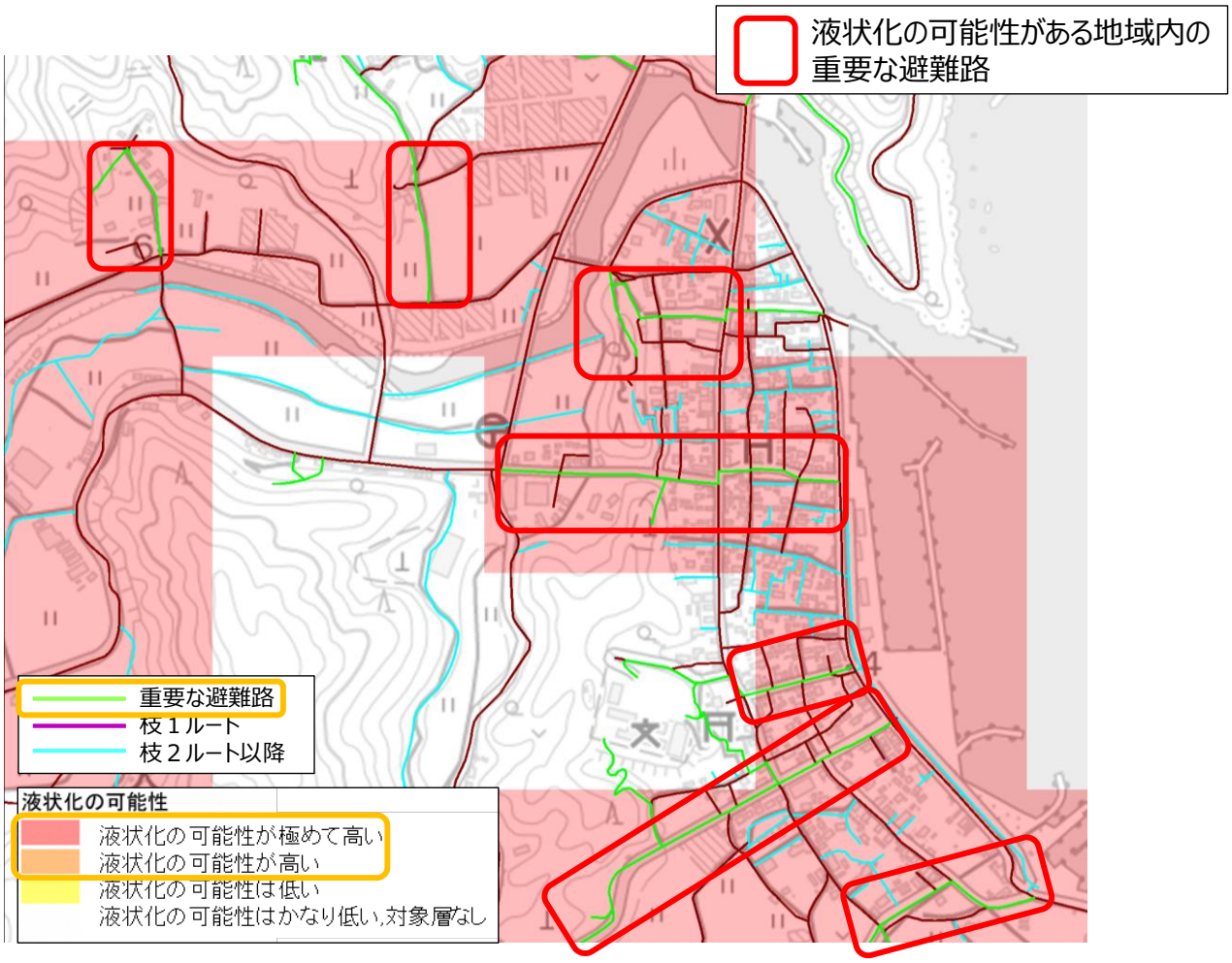


図 2-5　対策を実施すべき避難路の抽出例

２-３　避難路の対策優先度の検討

抽出された液状化の可能性のある地域内の重要な避難路については、優先度の高い避難路から対策を実施する必要がある。対策を実施する優先順位付けについては、以下の評価項目を参考に判断し、検討するものとする。

〈評価項目〉

1．地表面に着目した液状化の影響

H25 高知県液状化危険度判定は、地盤全体（地表面から深さ 20m）の液状化のしやすさを評価しているが、本検討が避難路の通行への影響であることから、地表面への影響に着目して、その影響範囲について評価する。（「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針（2013 年）」国土交通省）

2．津波の到達時間

海岸線や河川に近い地域は津波の到達が早いため、津波到達時間が早くリードタイムが少ない地域については優先的に対応する必要がある。

浸水深 30cm の津波が 30 分以内に到達する地域を「早い地域」、それ以外を「遅い地域」として評価する。

3．地域の実情

避難行動要支援者等の多い地域や道路の事情等の地域の実情を踏まえ、市町村で優先度を評価する。

【１．地表面に着目した液状化の影響】

H25 高知県液状化危険度判定は、「道路橋示方書・同解説（2002 年３月発行）」による地表面から２０mの深さまでの地盤において判定し、岩崎ら（1980）により液状化の危険度を大中小で評価するものであったが、避難路の液状化対策として着目すべき点は、避難行動の際に路面状態が正常に保たれているかどうかである。

そのため、国土交通省により公表されている戸建て住宅地の液状化被害の可能性を判定することを目的とした「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針（2013 年）」による判定方法（以下「宅地の液状化被害可能性判定」という。）を用いて、表 ２-２及び図 ２-６の判定表により地表面に現れる液状化被害について再評価を実施し、その判定結果により優先度を付ける。

検討方法の詳細については、参考資料の「地表面に着目した液状化の影響」に示す。

表 2-2　宅地の液状化被害可能性の判定表

判定結果	H_1の範囲	D_{cy}の範囲	P_L値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m以下	5cm以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm未満	5 未満	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	3m超え、5m以下	5cm以上	5 以上	
B1		5cm未満	5 未満	
A	5mを超える	-	-	顕著な被害の可能性が低い

H_1：非液状化層厚
D_{cy}：地表面変位
P_L：液状化危険度

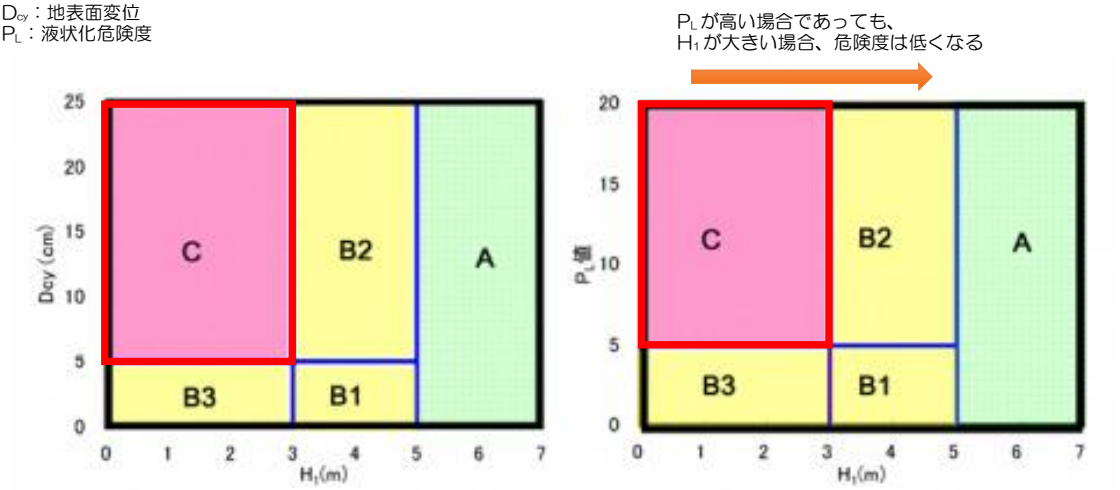


図 2-6　H_1値、D_{cy}値、P_L値による判定図

検討地点		実施箇所	ボーリング地点の液状化被害の有無	水位低下前（本震：M7.3 260gal） 非液状化層 H1(m)	地表変位量 Dcy(cm)	地表変位量 判定	液状化指数値 PL値	液状化指数値 判定
震災後データ	No.1-1	ふれあい公園	被害あり	4.0	9.1	B2	4.4	B1
	No.1-2	日吉小学校		2.0	21.7	C	12.2	C
	No.1-3	日吉調理場		1.6	0	A	0	A
	No.1-4	消防団48分団		1.0	7.7	C	4.3	B3
	No.1-5	交通局用地		1.0	15.5	C	8.7	C
	No.1-6	上ノ郷団地	被害なし	4.0	8.2	B2	6.3	B2
	No.1-7	白藤公園		5.0	12.6	A	5.9	A
	No.1-8	ふれあい公園		8.0	2.5	A	1.0	A
震災前データ		日吉小学校　プールA	被害あり	1.5	3.7	B3	1.67	B3
		日吉小学校　プールB		3	11	B2	5.5	B1
		1971　日吉小学校　No1		1.5	25.6	C	12.91	C
		1977　日吉小学校　No2		1	8.5	C	4.95	B3
		1977　日吉小学校　No3		1	21	C	11.31	C
		近見汚水1号S58 No.1		1	3	B3	1.34	B3
		近見汚水1号S58 No.3		1	9.6	C	1.93	B3
		近見汚水13号S59 No.4		2	7.4	C	6.15	C
		近見汚水13号S59 No.6		2	8.8	C	4.88	B3
		近見汚水13号S61 No.1		1.5	6.1	C	2.81	B3
		近見汚水13号S61 No.5		1.5	12.7	C	6.21	C
		近見汚水13号S61 No.6		1.5	19.8	C	11.54	C
		宅地-1		1.5	4.4	B3	1.7	B3
		宅地-3		1.5	6.2	C	2.2	B3
		宅地-4		2	6.5	C	5.27	C
		1971　日吉小学校　No2	被害なし	2.5	3	B3	2.58	B3
		1977　日吉小学校　No1		4.5	14.2	B2	7.9	B2
		近見汚水1号S58 No.2		15.5	0	A	0	A
		近見汚水13号S59 No.1		7	1.3	A	0.8	A
		近見汚水13号S59 No.2		2.5	0.6	B3	0.26	B3
		近見汚水13号S59 No.3		15	0	A	0	A
		近見汚水13号S59 No.5		15.5	0	A	0	A
		近見汚水13号S61 No.2		3.5	5.6	B2	1.11	B1
		近見汚水13号S61 No.3		2.5	6.8	C	4.29	B3
		近見汚水13号S61 No.4		2	2.8	B3	0.68	B3
		宅地-2		5	1.5	A	0.78	A
		宅地-5		2.0	0	A	0	A

被害状況と判定結果がおおむね一致

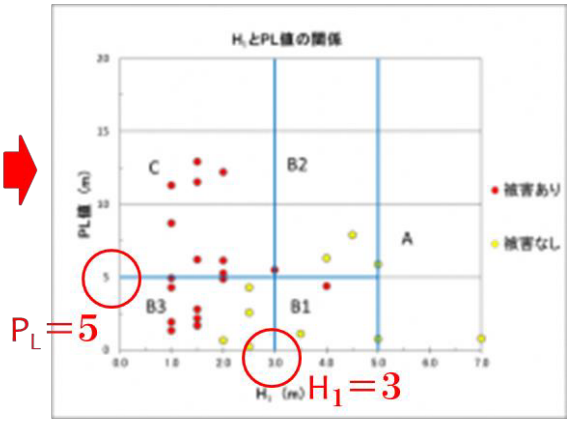


図 2-7　液状化被害可能性判定（熊本市液状化対策技術検討委員会資料を編集）

【2. 津波の到達時間】

津波到達時間の早い地域は、液状化による避難速度の低下により避難困難となる可能性が高くなるため、優先度の評価項目に津波到達時間を含める。南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域の指定基準でもある、浸水深 30cm の津波が 30 分以内に到達する地域を「早い地域」、それ以外を「遅い地域」として評価する。高知市の津波浸水予測時間図を例として、図 2-8に示す。このように、海岸線付近の地域と湾内の地域では、津波到達時間に差があり、「早い地域」は優先度を上げる。

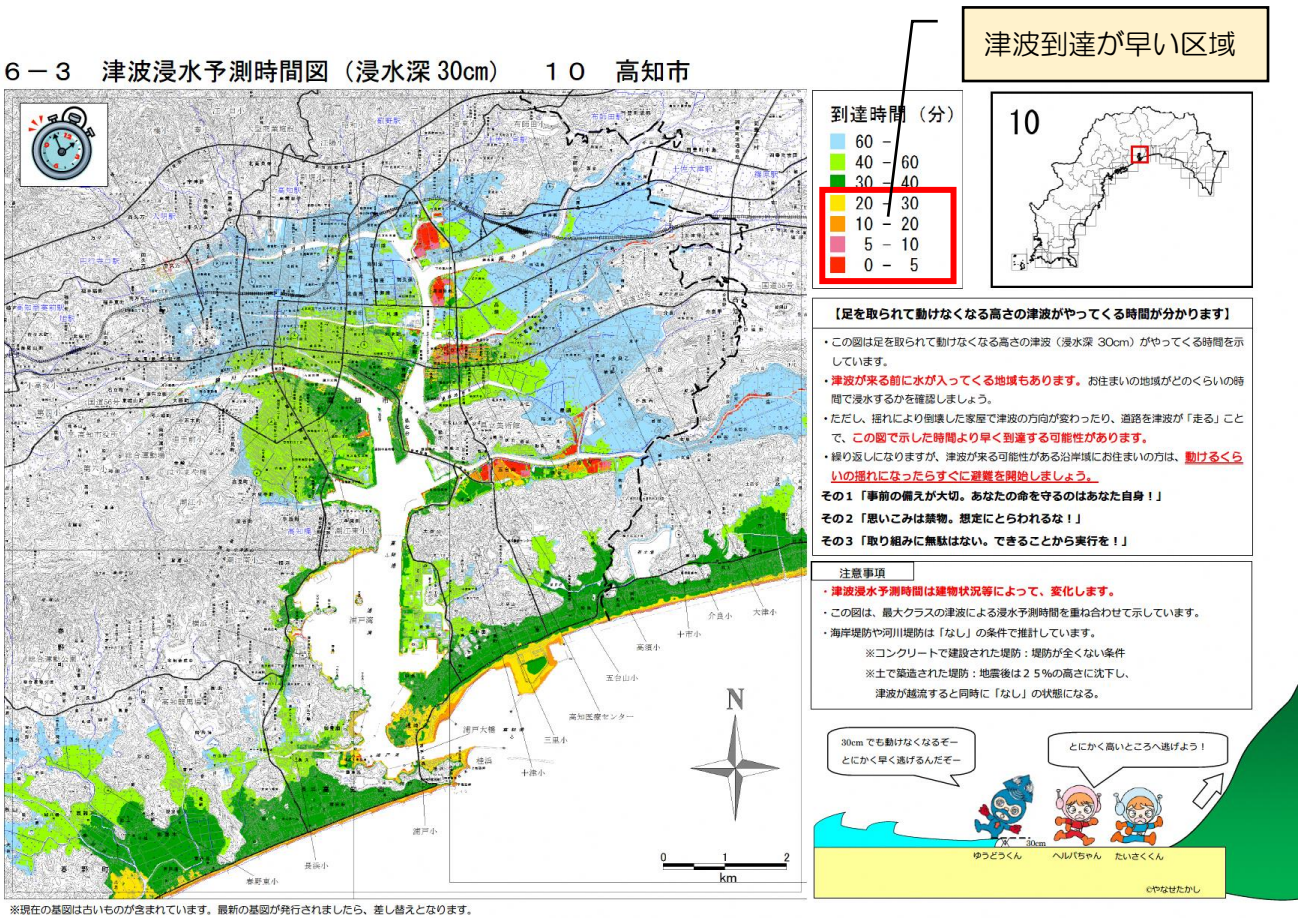


図 2-8　30cm 津波浸水予測時間図　例（高知市）

【3. 地域の実情】

対策の優先度を検討するうえでは、要配慮者の多い地域や道路の事情等の地域の実情を考慮する必要がある。下記のような地域の実情を踏まえ、優先度を総合的に検討する。

〈地域の実情（例）〉

- 道幅が広く舗装もされており、液状化の影響を受ける構造物等が少ない場合には優先度を低くする。
- 安全な代替ルートが近くにある等の対応ができる場合には、優先度を低くする。
- 車椅子利用者や視覚障害者などの避難行動要支援者が多い地域は、優先度を高くする。

・現在の津波浸水想定では浸水域と想定されているが、河川や海岸等のハード整備により浸水域外となる可能性がある地域については、新たな想定をもとに検討する必要があるため、優先度を低く設定する。

【対策の優先順位付け】

「地表面に着目した液状化の影響」「津波の到達時間」「地域の実情」の３つの評価項目により、対策の優先順位付けを行う。優先順位付け（スコアリング）は以下のとおり。最終的には、優先順位付けの結果等をもとに、対応する避難路について市町村が検討する。

表 2-3　優先順位付け（スコアリング）

避難路	1.地表面に着目した液状化の影響 （宅地の液状化被害可能性の判定）	スコア	2.津波の到達時間 （30cm津波の到達時間）	スコア	3.地域の実情	スコア	合計	優先順位
A	顕著な被害の可能性が高い 判定結果　C	3	早い （30分以内）	2	代替ルート有	-1	4	3
B			遅い （30分を超える）	1	要配慮者多い	2	6	1
C	顕著な被害の可能性が比較的低い 判定結果　B	1	早い （30分以内）	2	要配慮者多い	2	5	2
D			遅い （30分を超える）	1	特になし	0	2	4
E	顕著な被害の可能性が低い 判定結果　A	0	早い （30分以内）	2	代替ルート有	-1	1	5
F			遅い （30分を超える）	1	道幅が広い	-1	0	6

※スコアの設定

■地表面に着目した液状化の影響の評価：0～3

■津波の到達時間の評価：1、２

■地域の実情の評価は：-1～2

図 2-9　検討状況

2-4　津波避難の可否の判定

避難路の液状化対策は、ハード・ソフト両面から効率良く実施する必要がある。優先順位付けにより対策が必要となった避難路については、液状化被害を考慮したうえで、避難が可能か否かを確認することにより、ハード対応を実施すべき避難路であるか判定する。

避難が可能か否かの確認は、迂回による避難が可能か、避難速度を低減させて避難が可能か、また、リアカー等の資機材を活用して避難が可能か、地域の実情に合わせた検討ケースにより判定を行う。

なお、机上による判定だけでなく、地域の実情等を総合的に判断するために、実際に現地の状況等を確認しながら判定の補足を行うことを推奨する。

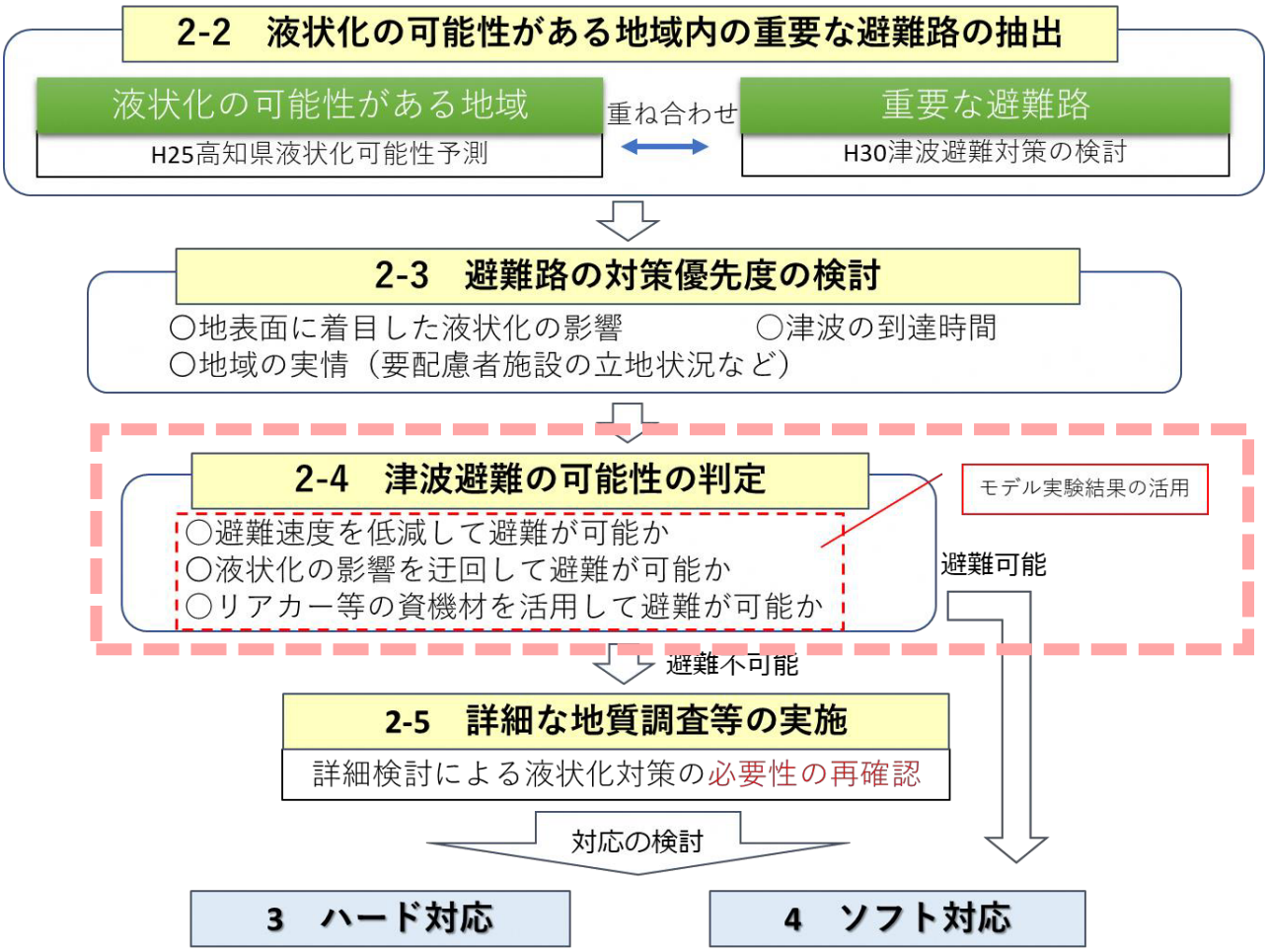


図 2-10　避難路の液状化対策の検討の流れ（再掲）

【低減率等の適用】

モデル実験の結果より、避難速度の低減率及びリアカーの有効性について、津波避難の可否の判定に活用する。

・避難速度の低減率

液状化により避難速度が遅くなる(低減する)ことを、本手引きでは「低減率」と称して述べる。図 2-11のように避難完了に影響が発生する。避難を検討する際には、表 2-4のモデル実験結果から得られた液状化による避難速度の低減率より、液状化の可能性のある地域内の避難路を通過する際には、避難速度を低減させ避難が可能か確認する必要がある。この時、小学生、一般成人、高齢者、疑似体験、リアカーなどの被験者は、低減率 0.7 を使用し、視覚障害者については、低減率 0.6 を使用する。リアカーが整備されており車椅子利用者や視覚障害者がリアカーを使用した避難を想定している地域では、低減率 0.7 を使用できるため、より早く避難することが可能となる。しかし、本実験は、砂の厚さ 5cm かつ 10m の区間を走行した場合の結果であるため、液状化が広く発生する可能性がある地域や噴砂が多く発生する可能性がある地域については、長距離避難による疲労や悪条件の道路状況によって、より避難速度が低減する可能性もあるため、留意が必要である。

表 2-4　液状化による避難速度の低減率

属性	液状化を模した地盤での低減率（実験結果）	採用する低減率
①小学生	0.68	0.7
②一般成人	0.86	
③高齢者	0.78	
④疑似体験	0.75	
⑤リアカー	0.75	
⑥視覚障害者	0.61	0.6
⑦車椅子	走行不可	—

※⑥⑦については、リアカーを活用することで低減率を 0.7 とすることができる

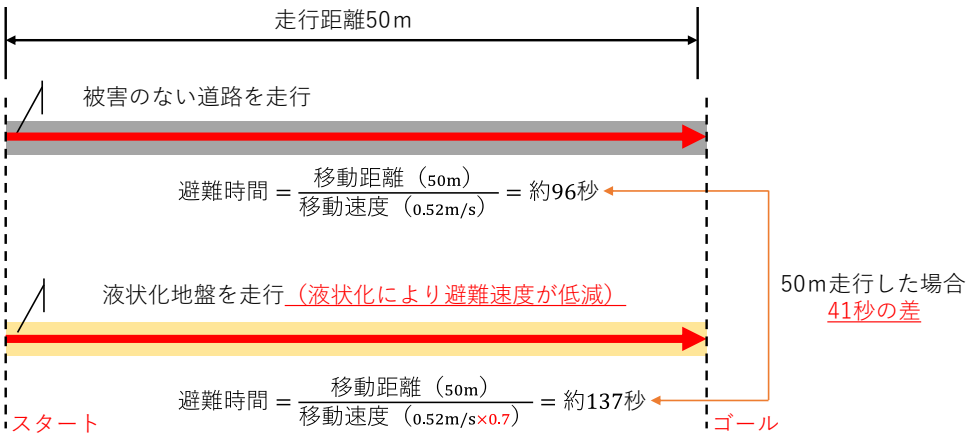


図 2-11　避難速度の低減による影響イメージ

・リアカーの有効性

モデル実験結果から、リアカーはアスファルト舗装の路面では一般成人程度の速度となり、液状化による低減率も 0.75 であることが分かったため、車椅子利用者や視覚障害者等の避難速度向上の資機材として活用が可能である。

図 2-12　実験状況

【津波避難の可能性の判定】

・液状化の可能性がある避難路を迂回して避難可能か確認

液状化の可能性がある避難路を通過せずに避難ができるか、地域性を考慮した避難速度の設定と津波到達時間等から確認する。なお、迂回での避難路を検討する際には、2.0キロメートル[14]（歩行限界距離）以上の避難とならないように注意すること。

・液状化の可能性がある避難路を通過（速度低減）して避難可能か確認

液状化の可能性がある避難路が多い場合や迂回するとなると 2.0 キロメートル以上となる場合など、迂回による避難が困難な場合は、液状化の可能性のある避難路を通過する際には低減率をかけたうえで、避難可能か確認する。

・リアカー等の資機材整備により避難速度を向上させたうえで避難が可能か確認

要配慮者等の多い地域については、もともとの避難速度を 0.52m/秒として考える必要があり、さらに液状化による低減率をかけた場合に、避難が困難となる可能性がある。モデル実験により、リアカーと健常者の避難速度は同等という結果が得られたことから、リアカー等の資機材整備の効果を考慮したうえで、避難可能か確認する。

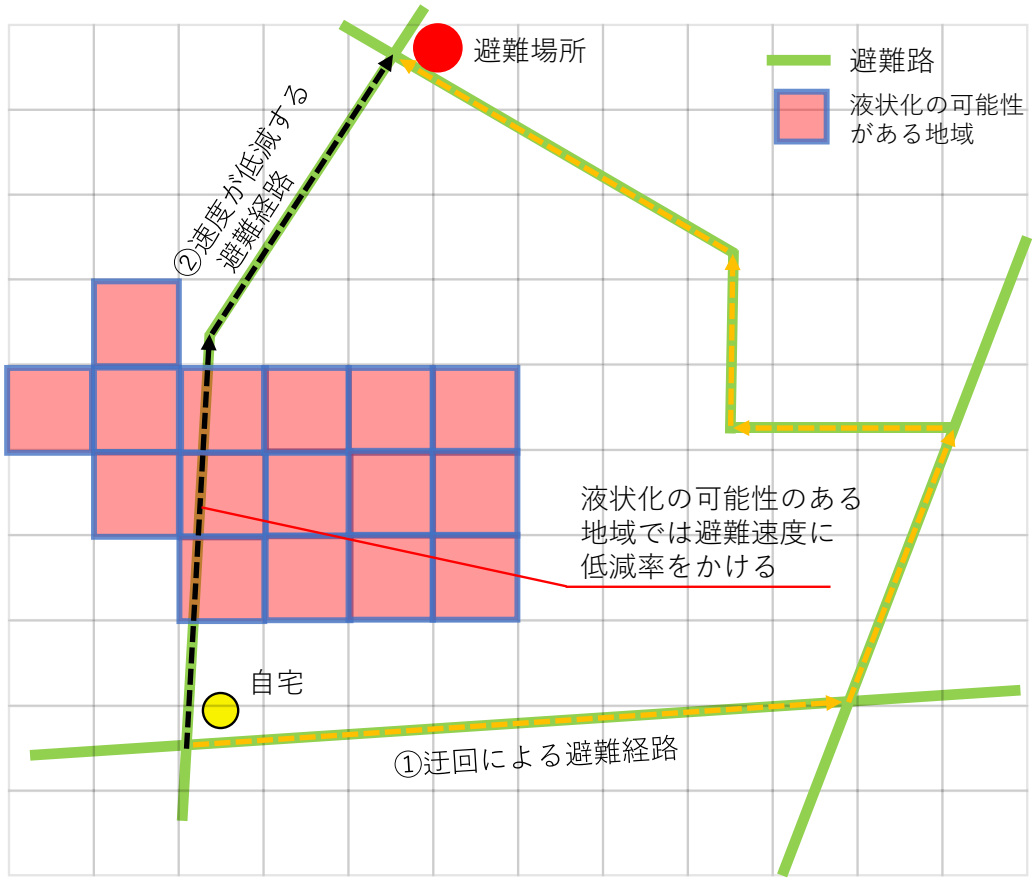


図 2-13　避難路の確認方法（例）

[14] 国土交通省地域整備局都市防災対策室,改訂　都市防災実務ハンドブック　震災に強い都市づくり・地区まちづくりの手引,2005 年

・現地確認

津波避難の可能性を判定する際には、液状化だけでなくブロック塀や古い家屋などの他の危険要因や、実際の訓練を通して分かってきた課題等も考慮し、地域の実情等を総合的に判断するためにも、現地での対策の必要性等の確認を実施することを推奨する。

図 2-14　避難路の現地点検

図 2-15　避難訓練

2-5　詳細な地質調査等の実施

H25 年の液状化の危険度判定は既存のボーリングデータを基に行っており、判定範囲についても縦 250m、横 250m の区域ごとと広く、確実性には限界がある。そのため、液状化対策の必要性については、詳細な調査を実施したうえで再度確認する必要がある。

【詳細調査フロー】

液状化の危険度が高い地域における詳細な検討のための調査方法のフローを図 2-１６に示す。以下の詳細調査を実施することにより、表層にある非液状化層の分布や地下水位以下の液状化対象層の分布を正確に把握し、液状化の危険度を適切に判定する。

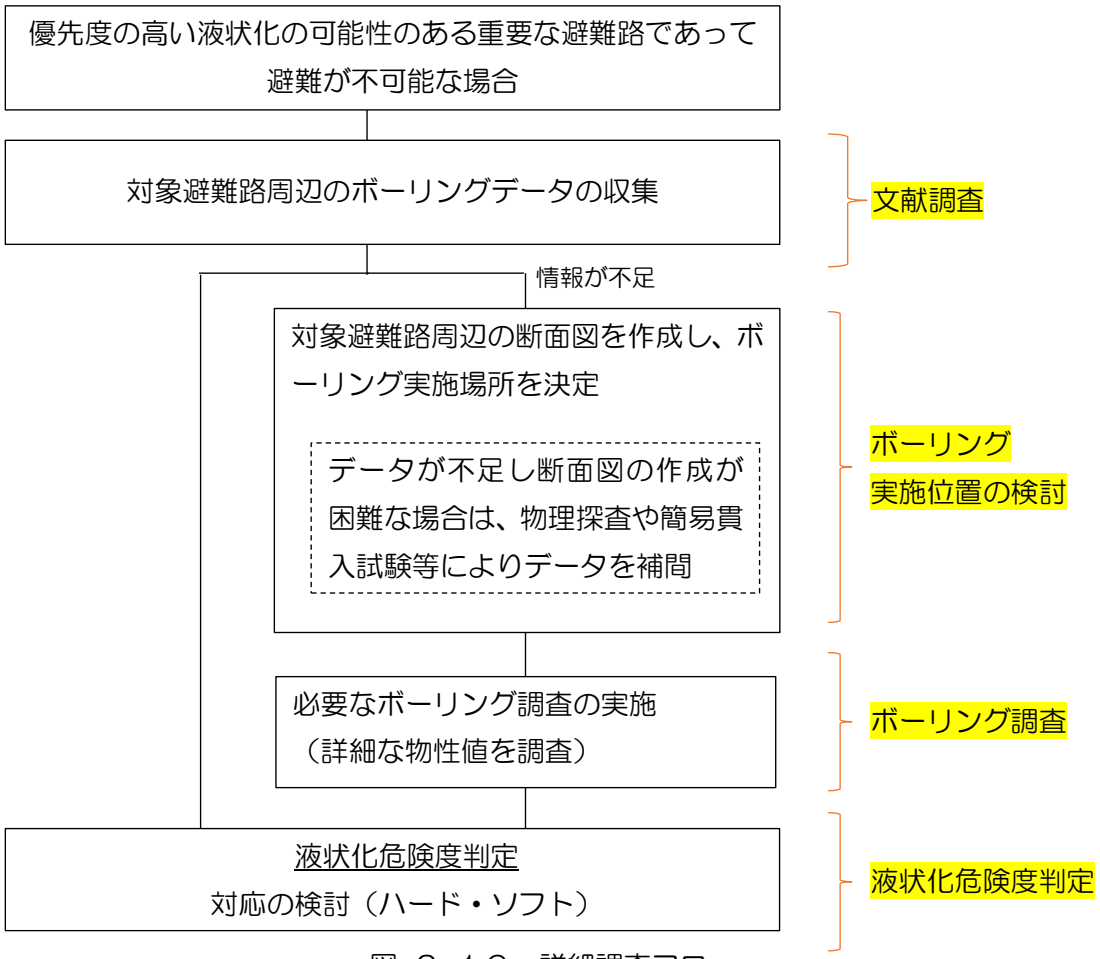


図 2-１６　詳細調査フロー

〈文献調査〉

H25 年の液状化の危険度判定は、工事等により調査された既存のボーリングデータを収集して、そのデータを基に地盤モデルを作成し評価したものである。H25 年から期間も経ていることから、対象避難路周辺のボーリングデータを再度収集する。

〈ボーリング実施位置の検討〉

収集したボーリングデータでは、情報が不足する場合には、新たにボーリング調査を実施する必要がある。ボーリング調査実施位置の検討のために、断面図（地層の分布）作成する。

断面図を作成する際にデータが少ない地域については、不足分を補う必要がある。周辺にボーリングデータはあるが詳細な液状化層厚や非液状化層厚の分布等を面的に確認したい場合には、物理探査（計器により非破壊で面的な地質情報を得る調査）等の調査を実施する。また、調査地点の鉛直データ（N値）を求める場合には、標準貫入試験等を実施し断面図（地層の分布）の精度を向上させる。

〈ボーリング調査〉

ボーリング調査を実施する際の原位置試験（ボーリング調査孔で測定する試験）および室内試験（サンプリングした試料を試験室で測定する試験）で得られる液状化危険度判定に必要となる物性値を、表２-５に示す。

〈液状化危険度判定〉

ボーリング調査等から得られた詳細な物性値をもとに、液状化危険度判定を実施し、対応の検討を行う。

表 2-5　ボーリング調査時の試験項目

項目	地盤調査種別	調査・試験	求められる物性値
ボーリング調査	原位置試験	地下水位測定	地下水位
		標準貫入試験	N値 土質柱状図
		速度検層	P波速度V_p,S波速度V_s
	室内試験	土の湿潤密度試験	湿潤単位体積重量 γ_t 水中単位体積重量 γ_t'
		土の粒度試験	平均粒径 D_{50},60％粒径 D_{60}, 10％粒径 D_{10},均等係数U_C, 細粒分含有率 F_C 粘土分含有率 P_C
		土の液性限界・塑性限界試験	塑性指数　I_P
		土の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験	繰り返し応力振幅比（$\sigma_d/2\sigma'_0$）と繰り返し載荷回数N_cの関係図（液状化強度比R_{max}）
		繰返し三軸試験	等価せん断剛性率G-片振幅せん断ひずみγ図、 履歴減衰率h-片振幅せん断ひずみγ図

3　ハード対応

3-1　対策工法の紹介

液状化を抑止する工法は、大規模かつ工事完成までに長期間を要し、周辺環境に与える影響も大きく、対策費用が高価となる課題がある。一方で抑制する工法は、液状化の発生を許容し、地盤の変形を軽減する工法で道路補修工事と合わせ比較的短期間で施工可能であり、対策費用も安価となる。

本手引きでは、液状化を抑止する工法に加え、避難行動へ影響を与える段差や噴砂（泥水）の発生を抑制する工法について示し、避難路の性能として液状化被害を抑制し通行可能であるかという視点で評価する。なお対策方針は地域により考え方や地盤の状況が異なるため、対策工法の選定には本手引きの工法を参考に、詳細調査等を実施のうえ、経済性、施工性、周辺環境への影響などについて慎重に検討する必要がある。

【液状化対策工法】

液状化対策では、表 3-1 に示すような工法が実施されており、対策の原理からみて液状化の発生を防止する対策（抑止）と液状化の発生を許すが施設の被害を軽減する対策（抑制）に大別できる。目的や条件等により様々な工法による対策が示されている。

表 3-1　液状化対策の原理と方法[15]

		原理	方法	（具体的な工法または事例）
液状化の発生そのものを防止する対策（抑止）	土の性質の改良	密度の増大	密度増大工法	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法
				振動棒工法
				ﾊﾞｲﾌﾞﾛﾌﾛｰﾃｼｮﾝ工法
				重錘落下締固め工法
				ﾊﾞｲﾌﾞﾛﾀﾞﾝﾊﾟｰ工法
				転圧工法
				爆破工法
				群杭工法
				丸太打設工法
		固結	固化工法	深層混合処理工法
				注入固化工法
				生石灰パイル工法
				事前混合処理工法
		粒度の改良	置換工法	置換工法
		飽和度の低下	地下水位低下工法	ディープウェル工法
	応力・変形および間隙水圧に関する条件の改良	有効応力の増大		排水溝工法
		間隙水圧の抑制・消散		間隙水圧消散工法
		間隙水圧の遮断		
		せん断変形の抑制		せん断変形抑制工
液状化被害の軽減（抑制）	液状化の発生は許容するが構造的的に対応	堅固な地盤による支持		杭基礎など
		基礎の強化		杭基礎の強化
				布基礎の強化
				護岸の強化
		浮上がり量の低減		地中構造物の浮上がり抑止用杭または矢板
				地中構造物の重量増大
		地盤変位への追従		可撓継手による地盤変形吸収
		液状化後の変位対策		直接基礎におけるこま形基礎の設置
				直接基礎のジオグリッドなどによる補強
				盛土に対するシートパイル締切工法

[15] 土質工学会,液状化対策の調査・設計から施行までを一部加工, 1993 年

【避難路へ有効な液状化対策工法の考え方】

道路部への液状化対策は、一般的にサンドコンパクションパイル工法等により道路変状（残留沈下、残留傾斜等）を防止する液状化対策が実施されている。しかし、これら従来からの発生防止対策ではコストが著しく増大することや周辺の家屋等への影響など、避難路への適用を考えると現実的に実施することができない可能性がある。

本手引きは、避難路の液状化対策であり、避難時に発生する液状化被害に着目をしている。避難行動は、地震発生後からおおよそ 60 分間の短時間であるため、その間、段差発生や噴砂の発生による路面変状が起こらないような対策工法を基本とする。なお、この考え方は、一般的な工法による対策の実施を妨げるものではない。

【避難路の液状化対策に有効な対策工法の紹介】

避難路の液状化対策として有効と考えられる工法として、液状化の発生そのものを防止する（抑止）対策から１つ、液状化被害を軽減する（抑制）対策から２つ事例を紹介し、それぞれの特徴や課題について示す。また、従来のサンドコンパクションパイル工法との比較を表 3-2に示す。

（１）液状化の発生そのものを防止する（抑止）対策

<密度増大工法（例：丸太打設締固め工法）>

◎工法概要

丸太を液状化の生じやすい緩い砂地盤に打設し、丸太の体積分地盤を密実にする液状化対策工法である。液状化しやすい地盤は地下水位が高いのが特徴で、そのような地盤に丸太を打設しても半永久的に丸太は健全性を保つ。また木材は大気中から二酸化炭素を吸収し炭素を固定しているので、丸太を液状化対策材料として使うことで、地中への炭素貯蔵を可能する工法である。

最も安価とされている従来の液状化対策（サンドコンパクションパイル工法）と比べて、10%のコストダウンを図ることができ、木材には地域産材を活用するため、地産地消で地域の活性化に貢献できる。

◎課題

・現状では、L2 地震に対する仕様を実現した施行実績がない

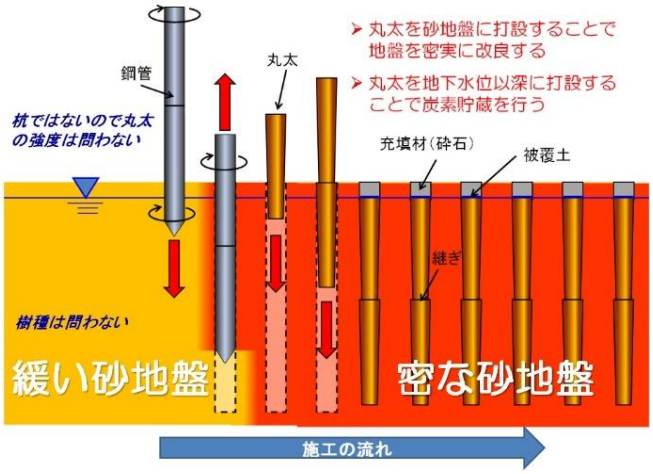


図 3-1　丸太打設締固め工法[16]

[16] 飛島建設 HP

（２）液状化被害を軽減する（抑制）対策

〈液状化後の変位対策工法（例：タフロード工法）〉

◎工法概要

性能設計の考えに基づき、液状化の発生は許容するが道路の機能を確保するというものであり、道路直下に軽量土を用いて周辺地盤との重量バランスをとるとともに、路床全体にジオグリッドを敷設し全体を一体化および補強することで、道路の極端な沈下や隆起、段差の発生を抑制する工法である。

最も安価とされている従来の液状化対策（サンドコンパクションパイル工法）と比べて、30%～50%のコストダウンを図ることができ、工期短縮や騒音、振動に伴う周辺環境への影響も抑制することができる。

◎課題

・路面下に地下埋設管がある道路については、施工後のメンテナンスを考慮する必要がある。

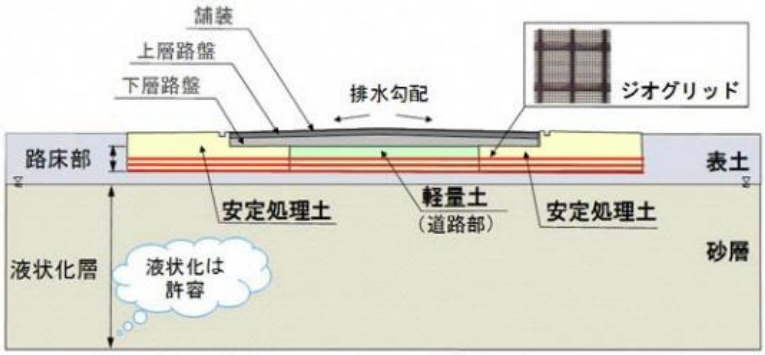


図 3-2　タフロード工法[17]

[17] 株式会社大林組 HP

〈液状化後の変位対策工法（例：HM-G 工法）〉

◎工法概要

砕石に高強度の繊維（ジオシンセティックス）を混ぜることで、液状化の変形を抑制する対策工法である。これにより砕石層内及びその周辺液状化地盤の過剰間隙水圧の発生を抑制、ジオシンセティックスで補強した砕石層が盛土の不等沈下や側方変形を抑制することができる。

従来の液状化対策工法と異なり、特にレベル２地震時に修復性を確保する事を目的としており、施工方法が簡便であり、最も安価とされている従来の液状化対策（サンドコンパクションパイル工法）と比べて、50%～70%のコストダウンを図ることができ、工期短縮や騒音、振動に伴う周辺環境への影響も抑制することができる。

◎課題

・路面下に地下埋設管がある道路については、施工後のメンテナンスを考慮する必要がある。

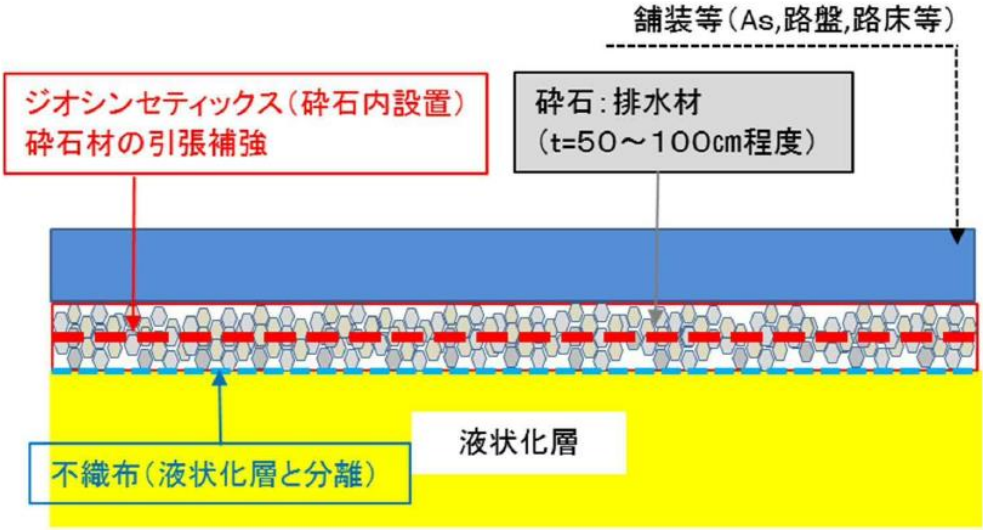
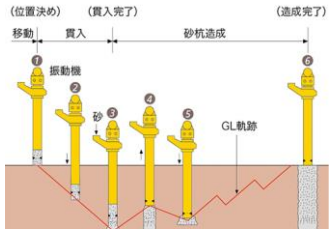
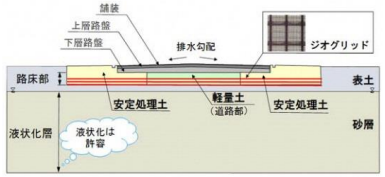
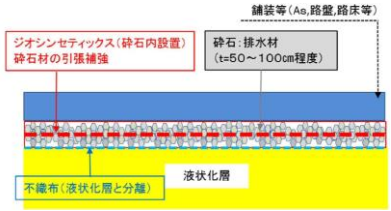
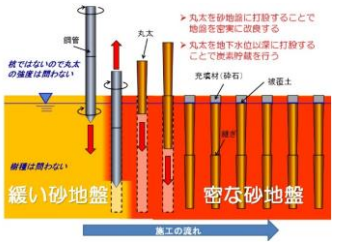


図 3-3　HM-G 工法[18]

[18] エターナルプレザーブ株式会社提供

表 3-2　液状化対策工法の比較

工法		従来工法（一般的な工法）	避難路の液状化対策に有効な対策工法		
		サンドコンパクションパイル工法	1案　タフロード工法	2案　HM-G工法	3案　密度増大工法（丸太打設締固め工法）
		 出典：株式会社 不動テトラ　HP	 出典：株式会社大林組　HP	 エターナルプレザーブ株式会社提供	 出典：飛島建設　HP
経済性	内容	標準工事費2,500～3,500円/m	12,000円/m^2（サンドコンパクションパイル工法の50%程度）	砕石厚2.0m：8,000～10,000円/m２	2,500円/m^3程度（NETIS(施工面積1,000m2試算)）
	評価	×	○	◎	△
工程・工期	内容	設備の移動コストがかかる。工期を大きく要する。	安定処理工、軽量土の搬入、ジオグリッドの敷設があり工期が必要。 （サンドコンパクションパイル工法の40%程度）	砕石の搬入、ジオグリッドの敷設があり工期が必要。	資機材搬入後プラント設置や大規模な機械組み立てを必要とせず直ちに施工が可能で、施工後も養生などを必要とせず直ちに次工程へ入れる。
	評価	○	◎	◎	○
施工性	内容	重機の搬入が発生するため、広い設備ヤードを必要とする。	道路工事用施工機械で施工可能。	道路工事用施工機械で施工可能。	丸太の搬入、重機の搬入できる設備ヤードを必要とする。
	評価	△	◎	◎	○
周辺への影響	評価	打設時に振動が発生する。	周辺への影響が小さい。	周辺への影響が小さい。	木杭を地面に圧入するため、周辺への影響が小さい。
	評価	△	◎	◎	◎
対策効果	内容	地盤の液状化発生そのものを抑制する。	表層の改良により、液状化被害の発生を軽減する。	表層の改良により、液状化被害の発生を軽減する。	地盤の液状化発生そのものを抑制する。
	評価	◎	○	○	◎

※対策効果は、抑制効果により評価しているため、目的に応じて再確認が必要となる。

3-2　対策効果の検証

紹介した避難路の液状化対策工法のうち、液状化被害を軽減する（抑制）対策について、施工前後をモデル化した数値解析により対策を実施することによる効果を沈下量により評価する。

【検証条件】

解析条件の概要を以下に示す。　対策効果の検証方法については参考資料に示す。

・解析モデル

中土佐町の柱状図（図 3-1）を参考に水平成層のモデルを作成した。

・解析に用いる地震動

解析に用いる地震動はレベル２地震動（タイプⅠ）を採用した。静的解析による堤防の耐震性能照査は、液状化に伴う地盤の剛性低下率を算出する際、入力地震動として地表面の設計水平震度（＝地震加速度ａ（400gal）　／　重力加速度ｇ）を用いた。

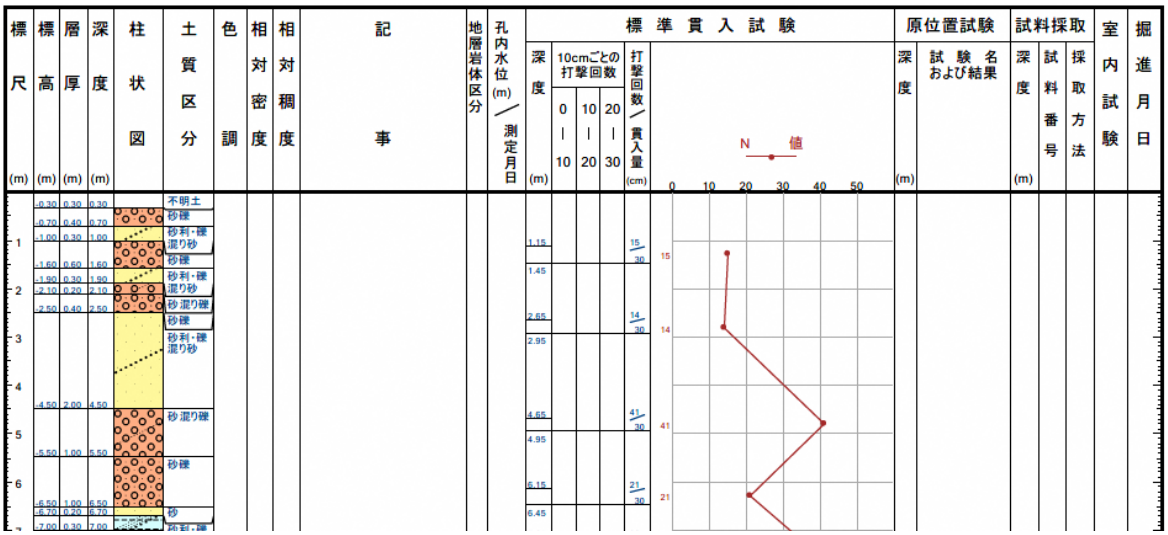


図 3-1　柱状図（中土佐町）

【対策効果】

<タフロード工法>

対策前後の変形図を図 3-4に示す。従来工法から路床に軽量土を使用することにより沈下量が抑えられ、また路床部にジオグリッド入れることで、路面の変形を 60cm から 37cm に抑制できている。

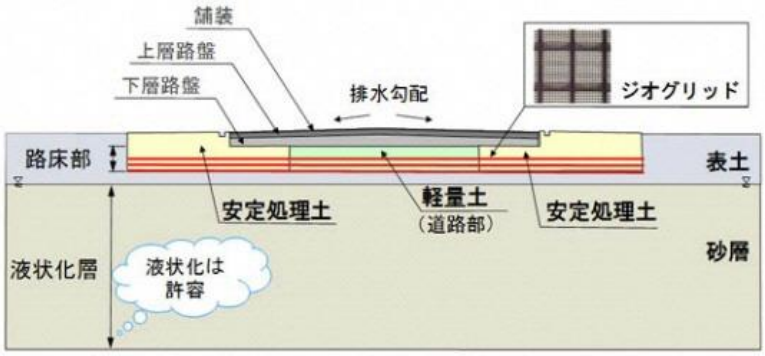


図 3-2 タフロード工法（再掲）

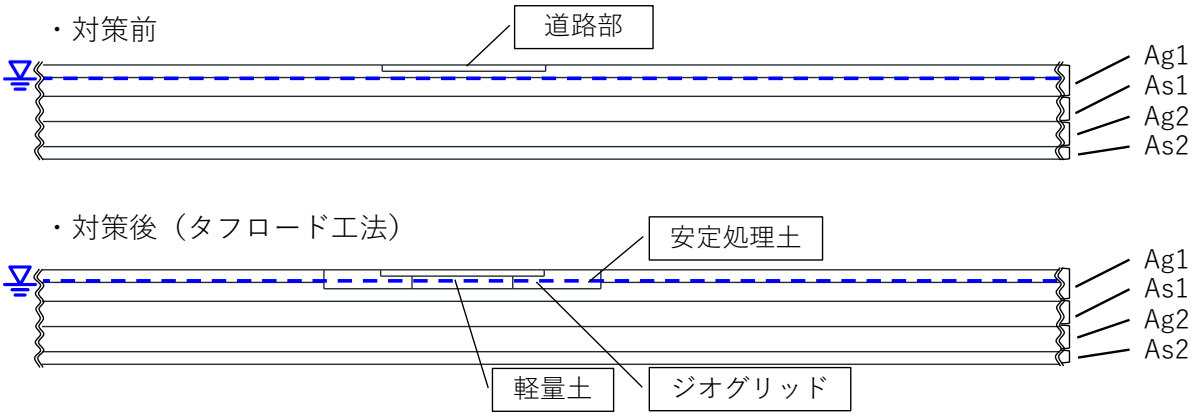


図 3-3 解析モデル

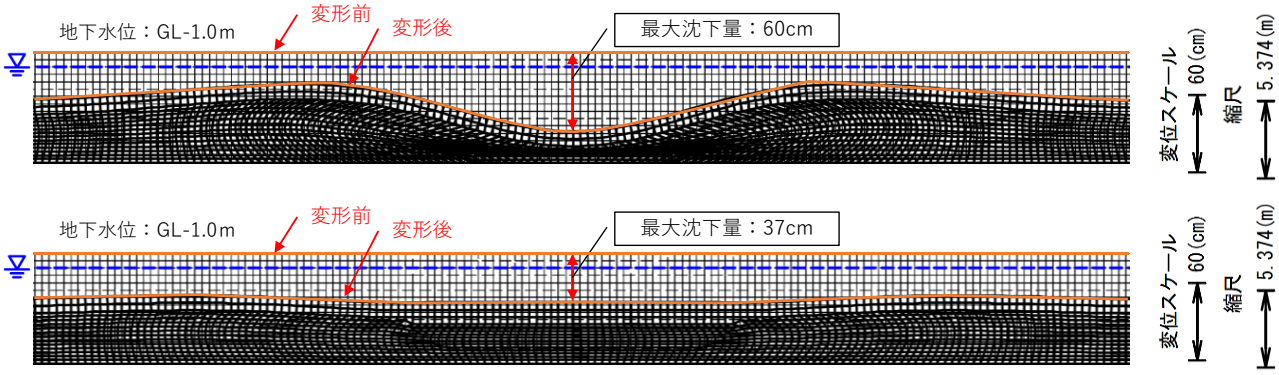


図 3-4 変形図（上図：対策前、下図：対策後）

〈HM-G 工法〉

対策前後の変形図をに示す。従来工法から砕石の間にジオグリッド入れることで、路面の変形を 60cm から 38cm に抑制できている。

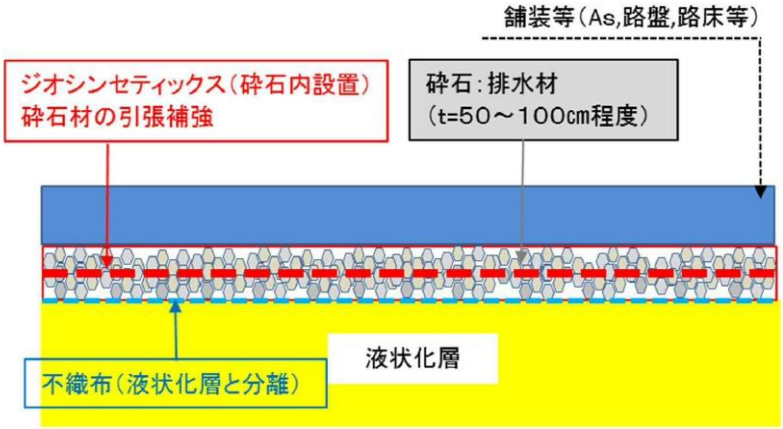


図 3-5　HM-G 工法（再掲）

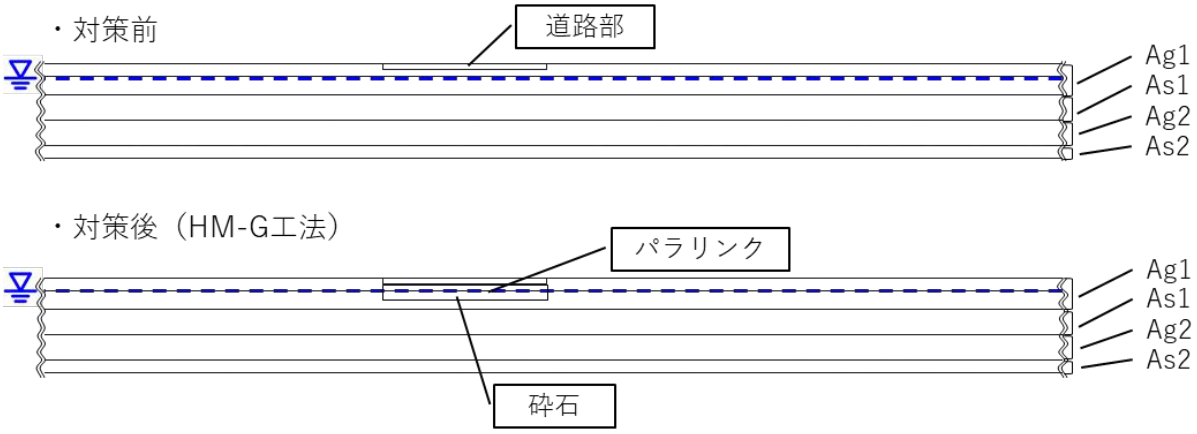


図 3-6　解析モデル

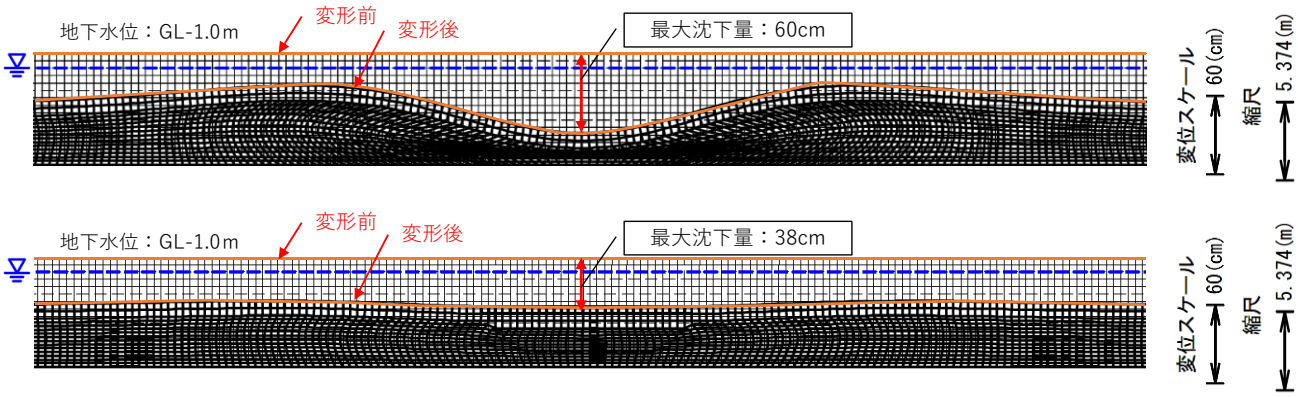


図 3-7　変形図（上図：対策前、下図：対策後）

４　ソフト対応

液状化被害が想定される全ての避難路において、ハード対策を実施することは時間的・経済的にも現実的ではない。また、対策の優先度が高い避難路であったとしても、完了までには長期間を要することが想定される。このため、これまでの津波避難対策と同様に、避難路の液状化対策においても、ハードとソフト両面での対応が必要となる。

ソフト対策は、計画への位置付け、啓発、訓練の３つに大きく分類し、それぞれで効果的な対応策について整理する。

なお、液状化被害が避難行動に与える影響は、避難者の運動能力により個人差があるため、モデル実験結果は目安とし、訓練等によりそれぞれの避難行動への影響について検討する必要がある。

４-１　ソフト対応の考え方

【計画への位置付け】

液状化被害が避難行動に影響を与えることやそのために実施すべき対策について、各種計画へ記載し位置付けることにより、自助・共助・公助により幅広い対策を進める。

以下に位置付けるべき主な計画とその項目を示す。

計画	位置付ける項目
地域防災計画	・避難路の液状化対策の取組み （啓発や訓練、ハード対策の実施）
市町村津波避難計画	・市町村内の液状化危険地域 ・液状化被害の避難への影響と検討の必要性 ・地域住民の意識啓発 ・液状化被害を想定した訓練の実施 ・避難路の液状化対策のための資機材（リアカー等）の整備
地区別津波避難計画	・地区内の液状化危険地域 ・液状化被害の避難への影響と検討の必要性 ・液状化被害による避難の妨げになる可能性のある箇所 ・液状化被害を想定した訓練の実施 ・避難路の液状化対策のための資機材（リアカー等）の整備 ・液状化被害の可能性による迂回路の検討
個別避難計画 （避難行動要支援者）	・避難路の液状化被害の可能性 ・液状化被害における避難時の注意事項 ・液状化被害の可能性による迂回路の検討

【啓発】

市町村は地域住民に対して、液状化被害が想定される避難路の場所や液状化被害が津波避難行動の妨げになる可能性があることを周知する。

津波の到達時間が早く液状化の可能性の高い地域の住民に対しては、特に重点的に周知する必要がある。また、液状化被害は、ブロック塀や古い家屋の倒壊のように危険性のあるモノが現在あるわけでは無く、地中で起こる現象であるため、理解しがたい面がある。啓発の際には、映像や画像により視覚的に実施することが効果的である。

なお、液状化被害は単独で起こるのではなく、家屋やブロック塀の倒壊と併せて複合的に起こり津波避難の妨げになる可能性があることについても重要な視点である。

以下に特に啓発すべき項目を示す。

啓発内容

①噴砂（泥水）が路面を覆うため、避難速度が低下（通常より７割程度）する

②液状化被害は、地震発生直後から現れる可能性がある

③マンホールなどの埋設物は、浮き上がる可能性がある

④橋梁などの構造物と避難路の間に段差が発生し、通行の妨げとなる

⑤車椅子による避難は、噴砂（泥水）の影響により走行不可となる可能性がある

⑥液状化被害だけで無く、ブロック塀や古い家屋の倒壊など、避難を阻害する他の要因の発生も踏まえて、迂回を考慮した避難路を複数確保（確認）しておく

※啓発方法については、印刷物の配布、インターネットや防災掲示板での掲載、各種施設等での掲示、イベントを通じた広報、マスメディアを通じた広報等効果的な方法により実施する。

啓発における注意点

①液状化被害により避難できなくなると過度にあおるのでは無く、適切な対策をしていればこれまで通りの避難が可能ということを周知する

②液状化可能性判定は目安であり、メッシュごとに液状化の発生があるか無いかを判断するものではないため、幅広い啓発が必要となる

図 4-1　行政による事前液状化対策の検討及び住民等への事業説明[19]

[19] 国土交通省,リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成の手引き, 2021 年

【訓練】

これまでの避難訓練では、津波到達時間までに避難場所に安全に避難するため、避難路の安全性や個々の避難速度の確認を行ってきた。

今後は、液状化被害を想定した訓練の実施が必要となってくるが、液状化被害については、事前に正確に把握することは困難であるため、液状化の可能性が少ない地域においても幅広く実施する必要がある。

液状化被害により起こる可能性のある噴砂（泥水）や段差等を想定した上で、避難訓練を実施する必要があるが、老朽化住宅やブロック塀等の危険性とは違い、どのような被害（段差や噴砂）が起こるのかをイメージすることが難しいため、訓練前に液状化被害の動画や映像を事前知識として周知したうえで訓練を行う事が望ましい。

以下に訓練の際に注意すべき項目を示す。

訓練における注意点

①防災マップにより地域の液状化危険度を事前に把握する（液状化危険度の低い地域でも訓練実施）
　液状化の危険度が高い、重要な避難路について、現地で確認する
②マンホール等の埋設物は浮き上がる可能性がある
③橋梁等の構造物と路面に段差が発生し通行できなくなる可能性がある
④噴砂（泥水）で避難速度が低下（通常より７割程度）することを想定し避難可能か確認する
⑤液状化危険度の高い地域や液状化の被害が起こる可能性の高い橋梁等の迂回を想定する
⑥液状化被害の影響を受ける避難行動要支援者との避難訓練
⑦噴砂（泥水）では車椅子が走行不可となるため、代替としてリアカーを用いて実施
⑧噴砂（泥水）を想定し、砂浜や砂場で疑似体験を行う
⑨段差を想定した、リアカー避難の訓練を取り入れ、乗り降りの遅延短縮を行う

図 4-2　砂浜での疑似体験イメージ

【その他の影響】

避難開始（自宅）から避難完了（避難場所）までの間で、避難路以外で液状化被害が避難行動へ与える影響は以下のとおり考えられる。

■避難開始時（自宅）

・不同沈下の影響による建物の傾きにより、ドアの開閉ができない又は時間がかかる

・自宅と道路の間に段差が生じ、道路に出られない又は時間がかかる

■避難開始時（駐車場）の影響

・駐車場で大きな噴砂が発生した場合、車両を使用した避難ができない（やむを得ない車避難時）

■避難時（避難場所）の影響

・避難場所（建物）と道路の間に段差が生じ、建物に入れない又は時間がかかる

４-２　属性別の影響と対応

液状化が避難行動に与える影響は、避難者の運動能力と大きな関わりがある。

モデル実験結果等から、避難者の属性毎に避難時の液状化被害の影響と、それに対する対応策を以下のとおり示す。

属性	影響	対応策
車椅子利用者	・噴砂（泥水）に車輪がとられ走行不可 ・大きな段差が発生している場合には容易に乗り越えられない ・路面が傾斜している場合は走行が困難	・液状化被害の可能性の高い危険箇所の認知 ・車椅子の代替としてリアカーの整備 ・介助者との信頼関係の構築 ・避難訓練を実施し、個別避難計画の実効性の向上
高齢者	・段差につまずき転倒 ・噴砂（泥水）の路面での避難の際には、避難速度の低下	・避難訓練を実施し、実効性の向上
視覚障害者	・噴砂（泥水）の路面での避難の際には、避難速度の低下 ・段差確認に時間を要し、避難速度が低下 ・介助者の能力により避難速度の低下度合いが異なる	・液状化被害の可能性の高い危険箇所の認知 ・リアカーを整備し避難することが望ましい ・介助者との信頼関係の構築 ・避難訓練を実施し、個別計画の実効性の向上
小学生	・いつもと違う道路状況への戸惑いや不安 ・噴砂（泥水）の路面での避難の際には、避難速度の低下	・液状化被害の啓発を重点的に実施 ・避難訓練を実施し、実効性の向上
健常者	・液状化による噴砂（泥水）や段差の影響は大きくないが、介助側となった場合には、避難速度が低下する可能性もある	・避難訓練を実施し、介助能力・実効性の向上

５　避難路の液状化対策モデル実験

地震時には地盤が液状化し、地表面に生じる噴砂や段差等が避難行動の支障となる恐れがある。

このため、液状化被害を再現した走行路において、高齢者や車椅子等が走行する時間や様子を記録し、液状化被害が避難行動に与える影響（避難速度の低減率・許容段差量）について検証した。なお、昼夜の外的要因は、歩行速度に大きく影響を与えるが、本実験では、昼間の発災を想定した。

本実験結果を広く周知し液状化の危険性を伝えるため、液状化と津波避難行動に関する実験的検証（その１　液状化の程度と歩行速度の関係）および液状化と津波避難行動に関する実験的検証（その２　液状化による段差の歩行への影響）と題し、２編の論文を作成している。

【実験の概要】

■日時：令和２年 12 月 20 日（日）10:00～12:00、13:15～15:15

■会場：上ノ加江漁港周辺（高岡郡中土佐町上ノ加江）

■天候：晴れのち曇り

■気温：最高気温 10.9℃、最低気温 1.1℃

■被験者

属性	被験者				
	番号	性別	年齢		備考
			個別	平均	
小学生	1	女	9	9	3年生
	2	女	9		3年生
	3	女	9		3年生
一般成人	4	男	61	59	自主防
	5	男	69		自主防
	6	男	62		自主防
	7	男	45		職員
車椅子（一般成人）	4	男	61	64	自主防
	5	男	69		自主防
	6	男	62		自主防
リアカー（一般成人）	4	男	61	59	自主防
	5	男	69		自主防
	6	男	62		自主防
	7	男	45		職員
高齢者	8	男	83	79	自主防
	9	男	80		自主防
	10	男	73		自主防
視覚障害者	11	男	60	65	全盲
	12	男	66		全盲
	13	男	70		弱視
歩行能力が低下した高齢者（一般成人が疑似体験）	14	男	55	50	職員
	15	男	46		職員
	16	男	50		職員

※一般大人について、平均年齢が５９歳と若干高齢ではあるが、自主防災組織で中心的に活動しており、健康状態も問題ない被験者であったため、本実験では以下、一般成人として整理した。

■実験内容

〈実験１（避難速度）〉

３種類の走行路（１０メートル）を歩き、走行状態や走行時間を記録

・走行路
走行実験①：アスファルト舗装
→平常時

走行実験②：液状化を模した地盤（5cm の泥水）
→地震発生直後の液状化を再現

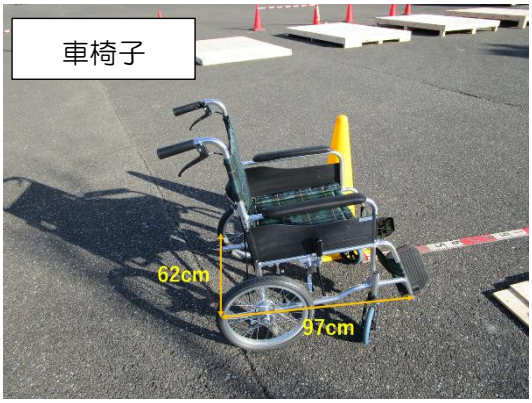
走行実験③：砂浜
→地震発生後に時間が経過し、水が引いた状態を再現

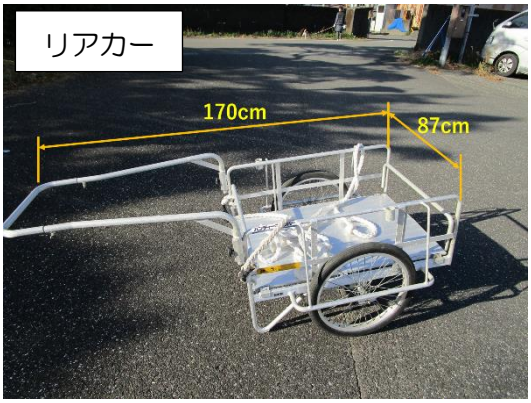
〈実験２（段差）〉

４種類の高さについて、乗り越えの困難さや可否を記録

段差実験：10cm、20cm、25cm、30cm

■使用した機材





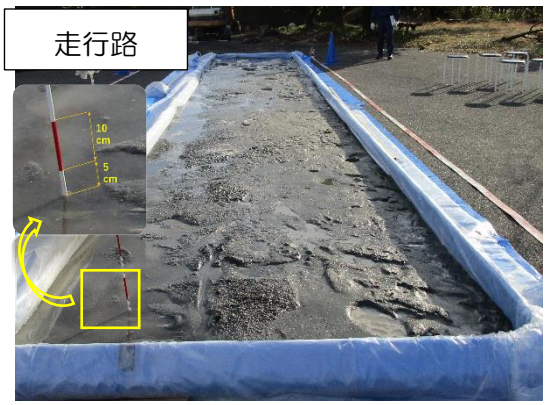
■歩行能力が低下した高齢者の疑似体験

〈実験１：避難速度〉

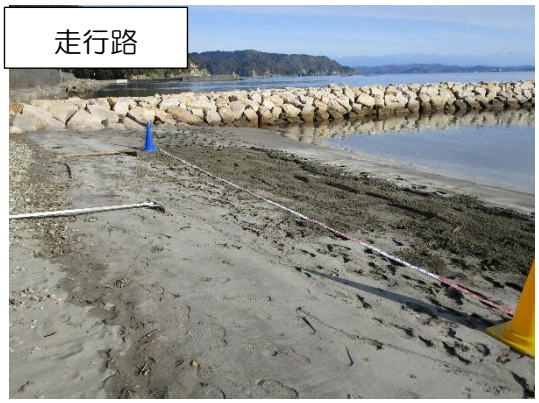
①アスファルト舗装、②液状化を模した地盤、③砂浜の３種類の走行路（10 メートル）において、走行状態や走行時間を記録した。なお、避難を想定した早歩きとし、測定の誤差を除去するために被験者毎に３回走行した。

■走行実験①：アスファルト舗装（測定距離：10m）

■走行実験②：液状化を模した地盤（測定距離：10m、砂厚 5cm）→地震発生直後の液状化を再現



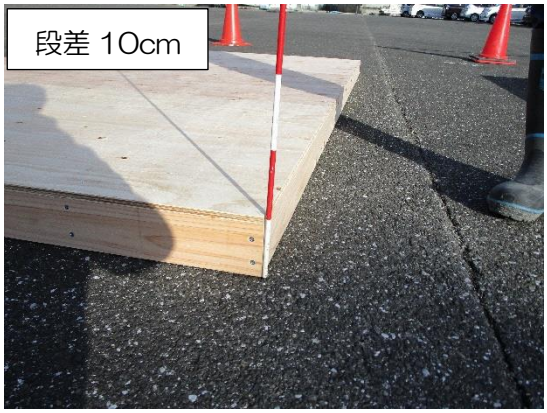
■走行実験③：砂浜（測定距離：10m）→地震発生後に時間が経過し、水が引いた状態を再現

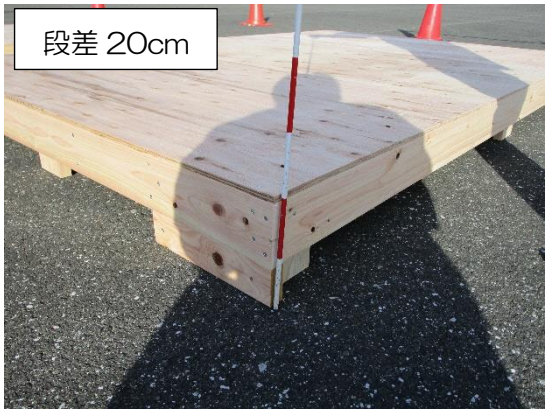


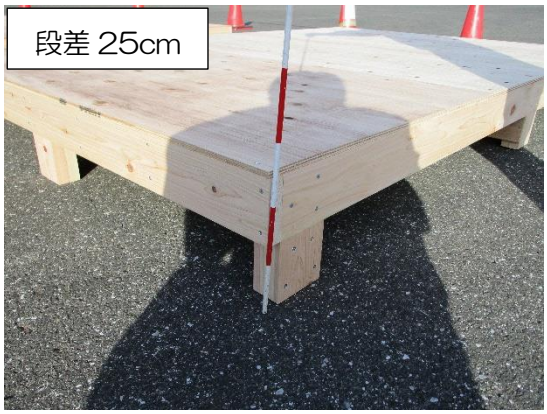
〈実験２：段差〉

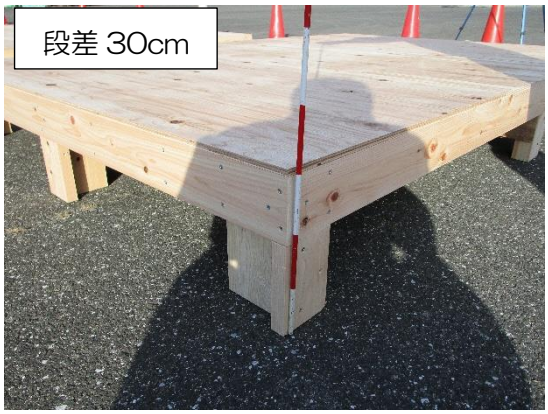
４種類（10cm,20cm,25cm,30cm）の段差の乗り越えの可否や状態を記録した。なお、リアカー、車椅子を除く測定は、30cm から乗り越え状況を確認後、それ以下の段差の測定をするか判断。測定回数は原則３回とした。しかし、乗り越え状況から「全く問題ない」と判断した場合については、測定を１回とした。

リアカー、車椅子については 10cm から測定を開始。各被験者１回ずつ測定。乗り越えの状況からそれ以上の段差を乗り越えることは難しいと判断した場合、実験を終了とした。









【実験結果】

〈実験１（測定結果）〉

表 5-1　実験１測定結果

属性	被験者番号	アスファルト舗装の歩行速度（秒）				液状化模した地盤の歩行速度（秒）				砂浜の歩行速度（秒）				液状化模した地盤の低減率		砂浜の低減率	
		測定1	測定2	測定3	平均	測定1	測定2	測定3	平均	測定1	測定2	測定3	平均	個別	属性ごと平均	個別	属性ごと平均
小学生	1	8.37	8.36	8.15	8.29	11.18	12.45	13.23	12.29	4.18	7.03	8.22	6.48	0.67	0.68		
小学生	2	9.09	9.32	8.15	8.85	14.00	12.29	12.63	12.97	5.10	7.85	9.07	7.34	0.68			
小学生	3	7.38	6.73	7.83	7.31	11.50	11.06	9.65	10.74	6.50	8.19	7.82	7.50	0.68			
一般成人	4	5.50	5.71	5.88	5.70	6.98	6.87	7.17	7.01	5.94	6.34	6.17	6.15	0.81	0.86	0.93	0.97
一般成人	5	7.09	6.85	7.07	7.00	7.59	7.43	7.16	7.39	7.45	7.18	7.55	7.39	0.95		0.95	
一般成人	6	7.56	6.68	7.18	7.14	8.19	7.94	8.44	8.19	7.14	6.81	7.29	7.08	0.87		1.01	
一般成人	7	6.45	6.75	6.69	6.63	8.06	8.25	8.21	8.17	6.46	6.40	6.79	6.55	0.81		1.01	
高齢者	8	6.10	6.30	6.60	6.33	6.94	7.60	7.72	7.42	6.34	6.67	6.65	6.55	0.85	0.78	0.97	0.93
高齢者	9	9.40	9.40	8.80	9.20	13.56	12.44	11.39	12.46	10.40	9.68	9.35	9.81	0.74		0.94	
高齢者	10	6.10	7.20	7.00	6.77	8.74	9.28	8.59	8.87	7.63	7.37	7.55	7.52	0.76		0.90	
視覚障害者	11	7.24	6.68	6.30	6.74	10.80	12.22	12.51	11.84	7.53	8.05	7.12	7.57	0.57	0.61	0.89	0.85
視覚障害者	12	8.90	7.68	7.56	8.05	10.68	14.86	11.35	12.30	9.58	10.32	9.80	9.90	0.65		0.81	
視覚障害者	13	6.00	4.33	5.99	5.44	19.09	10.85	14.51	14.82	7.40	5.89	4.37	5.89				
疑似体験	14	12.56	18.09	19.43	16.69	27.54	22.45	24.66	24.88	24.59	21.89	19.17	21.88	0.67	0.75	0.76	0.83
疑似体験	15	17.88	20.46	19.37	19.24	21.37	22.04	22.12	21.84	23.13	19.93	20.38	21.15	0.88		0.91	
疑似体験	16	11.69	14.13	13.12	12.98	17.40	19.32	19.38	18.70	16.47	14.56	15.83	15.62	0.69		0.83	
車椅子	4	6.52	6.46	6.50	6.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
車椅子	5	7.44	6.97	7.15	7.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
車椅子	6	7.39	8.25	7.67	7.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
リアカー	4	6.61	6.46	6.48	6.52	9.64	-	-	9.64	10.43	-	-	10.43	0.68	0.76	0.62	0.72
リアカー	5	7.14	6.66	7.17	6.99	8.77	-	-	8.77	8.11	-	-	8.11	0.80		0.86	
リアカー	6	8.37	7.26	7.58	7.74	8.77	-	-	8.77	8.85	-	-	8.85	0.88		0.87	
リアカー	7	8.21	7.29	7.46	7.65	11.33	-	-	11.33	14.25	-	-	14.25	0.68		0.54	

※被験者１～３の砂浜での走行は、最初の実験ということもあり小走りとなっており他の実験の走行状態と異なるため、参考値として整理する。

※被験者１３（視覚障害者）は飛び跳ね等がみられるなど走行状態にばらつきが大きく、他の視覚障害者と走行状態が異なるため参考値として整理する。

〈実験 1 の測定結果〉

実験 1 では、3 種の走行路（10 メートル）を被験者ごとに 3 回ずつ走行し、その平均値を採用した。

また、誤差や異常値を除去するために、各被験者の走行状態や測定結果から異常値として取り扱うべき極端なデータは、参考値として取り扱うこととした。

測定結果より、地震発生直後の液状化状態を再現した「液状化を模した地盤」の方が、時間が経過し水が引いた状態を想定した「砂浜」に比べ、歩行速度の低減率が大きくなる結果であった。避難行動は地震発生直後に開始すること、また安全側を取ることを理由に、避難速度の低減率は「液状化を模した地盤」の測定結果を用いて設定する。

実験結果から整理した属性別の低減率は表 5-2のとおりである。

表 5-2　属性別の避難速度の低減率（平均値）

属性	液状化を模した地盤	砂浜
①小学生	0.68	—
②一般成人	0.86	0.97
③高齢者	0.78	0.93
④疑似体験	0.75	0.83
⑤リアカー	0.75	0.69
⑥視覚障害者	0.61	0.85
⑦車椅子	走行不可	走行不可

※「液状化を模した地盤」の結果を活用、砂浜は参考

①～⑤属性では、「液状化を模した地盤」の低減率は 0.68～0.86 であり、被験者の年齢や歩行能力によって差があるものの、安全側で概ね 0.7 とする。また、⑥視覚障害者は 0.61 と他の属性より低いため、低減率は 0.6 とし、⑦車椅子については走行不可能であるため低減率は無し。このため、⑥⑦属性については、リアカーに乗車して避難することが望ましい。なお、リアカーは走行可能であるが、動き出しには力が必要で、長距離の避難は体力が大きく奪われる可能性が高いため注意が必要である。

小学生の低減率は 0.68 ではあったが、実験時には泥水へ足を入れる戸惑いがあった。採用値との差の 0.02 は液状化被害の啓発を実施することによりカバーできるとして 0.7 の低減率の属性として整理した。

表 5-3　液状化による避難速度の低減率

属性	低減率（実験結果）	採用する低減率
①小学生、②一般成人、③高齢者、④疑似体験、⑤リアカー	0.68～0.86	0.7
⑥視覚障害者	0.61	0.6
⑦車椅子	走行不可	―

※⑥⑦については、リアカーを活用することで低減率を 0.7 とすることができる

〈避難の考え方〉

- 小学生や高齢者を含めた一般成人等

  液状化による避難速度の低減率は 0.7 という結果となった。通常のアスファルト舗装の路面と同等に走行することは不可能であるため、液状化の可能性の高い地域で重要な避難路に位置付けられている場合には、避難可能か否かの判断にこの低減率を用いた検討が望ましい。

- リアカー

  アスファルト舗装の路面では一般成人程度の速度となり、液状化による低減率も 0.75 であることが分かったため速度向上の資機材として活用可能である。

- 視覚障害者

  他の属性と比べると液状化の影響を大きく受け、低減率は 0.6 という結果となった。避難速度の向上のためには介助者の能力向上やリアカーでの避難の準備が有効となる。

- 車椅子

  液状化を模した地盤、砂浜、共に走行不可であった。液状化の可能性の高い地域では、地震発生後の水が引いて乾いた状態でも使用することができない可能性があるため、車椅子の代替としてリアカーの活用について検討する必要がある。

なお、今回の実験は測定距離が 10mであったが、距離が長くなると体力が奪われ避難速度が低下する危険性があるため、広範囲に液状化が発生するような液状化の被害のある路面を長距離避難する可能性のある地域は、リアカーによる避難時には、疲労による遅延についても考慮し、複数の支援者の確保等も検討する必要がある。

〈対策の考え方〉

車椅子や視覚障害者等の液状化被害の影響を大きく受ける方については、リアカー等の資機材の準備が必要となる。

また、液状化の被害のある路面状態（泥水）での避難を想定した避難訓練や、避難速度の低減率を考慮した避難経路や避難場所の見直しを行う必要がある。

なお、砂浜での歩行実験から杖を使用した被験者である「疑似体験」、「視覚障害者」で歩行速度の低下が見られた。また「疑似体験」の走行状態の所見から、杖が砂にめり込むなどが確認されている。砂浜でも使用可能な四つ足のステッキを日頃より準備するなどの対策が必要である。

〈実験２（測定結果）〉

表 5-4　実験２測定結果

属性	被験者番号	100mm			200mm			250mm			300mm		
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
小学生	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
小学生	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
小学生	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
一般成人	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
一般成人	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
一般成人	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
一般成人	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
高齢者	8	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	○	○
高齢者	9	-	-	-	-	-	-	○	-	-	△	△	△
高齢者	10	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	○	○
視覚障害者	11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
視覚障害者	12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△
視覚障害者	13	○	○	○	-	-	-	-	-	-	○	○	○
疑似体験	14	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	○	○
疑似体験	15	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	○	○
疑似体験	16	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	○	○
車椅子	4	○	-	-	○	-	-	○	-	-	○	-	-
車椅子	5	○	-	-	○	-	-	○	-	-	○	-	-
車椅子	6	○	-	-	○	-	-	○	-	-	○	-	-
車椅子	介助者2人	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
リアカー	4	○	-	-	不可能と判断し、未実施								
リアカー	5	○	-	-	不可能と判断し、未実施								
リアカー	6	○	-	-	不可能と判断し、未実施								
リアカー	7	○	-	-	不可能と判断し、未実施								
リアカー	介助者2人	-	-	-	△	-	-	不可能と判断し、未実施					

○：問題なく乗り越え可能
△：乗り越えられたが、ふらつきまたは時間を要した
―：未実施

〈実験２の測定結果〉

実験２では、被験者ごとに４ 種類（10cm,20cm,25cm,30cm）の段差の乗り越えの可否や状態を確認した。実験結果から整理した属性別の段差乗り越えの可否は表 5-5のとおり。

表 5-5　属性別の段差乗り越えの可否

属性	10cm	20cm	25cm	30cm
小学生	30cm の結果から乗り越え可と判断			○
一般成人	30cm の結果から乗り越え可と判断			○
高齢者	○	○	○	○（一部△）※注意が必要
視覚障害者	○	○	○	○（一部△）※注意が必要
疑似体験	○	○	○	○
車椅子	○	○	○	○※時間を要する
リアカー	○	×（１人） △（２人）	20cm の結果から乗り越え不可と判断 ※乗っている人に降りていただいたうえで、段差を乗り越える必要がある。	

○：問題なく乗り越え可能
△：乗り越えられたが、ふらつきまたは時間を要した

小学生や一般成人については、特に問題なく段差を乗り越えることが出来、高齢者や疑似体験については、全員 25cm の段差までは問題なく乗り越えられたが、30cm では一部の被験者が若干のふらつきが見られた。視覚障害者については、すべての段差を介助者付きで乗り越えることは出来たが、杖で段差を確認する作業に時間を要した。また、30cm では一部の被験者が若干のふらつきが見られた。

車椅子については、30cm までの段差は乗り越えることが出来たが、介助者、乗り手の双方に大きな負荷がかかり、また時間を要した。リアカーについては、10cm の段差は乗り越えることは出来たが、20cm ではリアカーの前後を介助者２人で対応し、どうにか乗り越えられることは出来たが、後方の介助者に大きな負荷がかかった。

今後の避難路の液状化対策として採用する許容段差量を表 5-6に示す。

表 5-6　許容段差量

属性	乗り越え可能な許容段差
小学生、一般成人、高齢者、 視覚障害者、疑似体験、車椅子	30cm 程度
リアカー	10cm 程度 ※10cm 以上の段差を乗り越える際には、乗り降りが必要となる

〈避難の考え方〉

- 小学生、一般成人、疑似体験

  高知県で想定している液状化による最大の沈下量である 30cm まで問題無く乗り越え可能である。

- 高齢者、視覚障害者、車椅子

  一部の高齢者や視覚障害者については、30cm の段差では乗り越えに時間を要し、ふらつきが見られたことから、注意が必要であり、視覚障害者は介助者の声かけ等の能力向上が必要である。車椅子についても、介助者の能力により乗り越えに時間がかかる可能性がある。

- リアカー

  リアカーは車輪が一軸しかないため、10cm までしか乗り越えられない。避難時にそれ以上の段差を乗り越える場合は、乗っている人に一度荷台から降りてもらい、リアカーのみで段差を乗り越えた後にもう一度乗ってもらうという手間が発生し、時間を要する可能性があるためその遅延についても考慮する必要がある。

〈対策の考え方〉

今回の実験では 30cm の段差であれば乗り越えられたが、いざ避難の際に通常の路面とは異なり段差が発生していた場合には戸惑う場面も考えられるため、液状化被害により段差が発生するという啓発や、構造物が埋設されている可能性があること、橋梁の継ぎ目などの構造物との境界では段差が生じやすい前提で訓練や避難経路の見直しを行う必要がある。

〈リアカー活用の注意点〉

実験１の結果より、視覚障害者や車椅子利用者については、泥水（噴砂）の生じた路面での避難が困難となる可能性があるため、液状化被害の可能性の高い地域においては、リアカーでの避難を推奨することとした。一方で、実験２の結果より、リアカーは乗車したままでは、10cm 以上の段差は乗り越えが困難となり、乗り降りの作業が必要となる。

地震が発生した際の液状化被害を事前に把握することは難しく、どこでどのような被害が起こるのかは不明である。そのため、噴砂と段差が同時に発生することを前提として、リアカーによる避難とする。段差乗り越えの際の遅延時間については、訓練と啓発により効果的な対策を進め、遅延時間の短縮に努めることを求める。特に、津波到達時間の早い地域については、特段の配慮が必要となる。

参　考　資　料

－　参　考　資　料　－

１　液状化による地盤の地震時挙動の概念……参－１
２　微地形区分ごとの液状化危険度……参－２
３　地盤モデルの作成方法……参－３
４　液状化危険度の判定方法……参－５
５　重要な避難路（最短ルート）の設定方法……参－７
６　舗装厚と液状化被害の関係……参－８
７　地表面に着目した液状化の影響……参－９
８　対策効果の検証方法……参－13

1　液状化による地盤の地震時挙動の概念

液状化による地盤の地震時挙動を以下に示す。

〈液状化被害の時間変化〉

① 地震前の状態であり、盛土には自重のみが作用し、地震の慣性力は作用しておらず静止している。盛土底面と基礎地盤との境界面には初期せん断力が作用している。ただし、基礎地盤の砂層は剛性低下しておらず、安定性を保っている。

② 地震波の主要動の前半部における完全液状化までに達するまでの段階である。地震時の慣性力による繰り返し荷重が盛土および基礎地盤に作用することにより、砂層の過剰間隙水圧が上昇して完全液状化に至る。

③ 過剰間隙水圧の上昇により、初期に作用していたせん断応力は失われ、応力の再分配が行われ、塑性破壊が生じる。基礎地盤の砂層では過剰間隙水圧の上昇に伴い土の強度・剛性が低下する。

④ 地震波の主要動の後半部における完全液状化後の段階である。液状化による法先地盤の有効応力が失われ、盛土直下地盤が左右にしぼり出されるように変形する。

⑤ 地震動が収束した後の段階である。この段階では地震の慣性力は作用していないが、発生した過剰間隙水圧の消散に伴う圧縮沈下が生じ、沈下する。

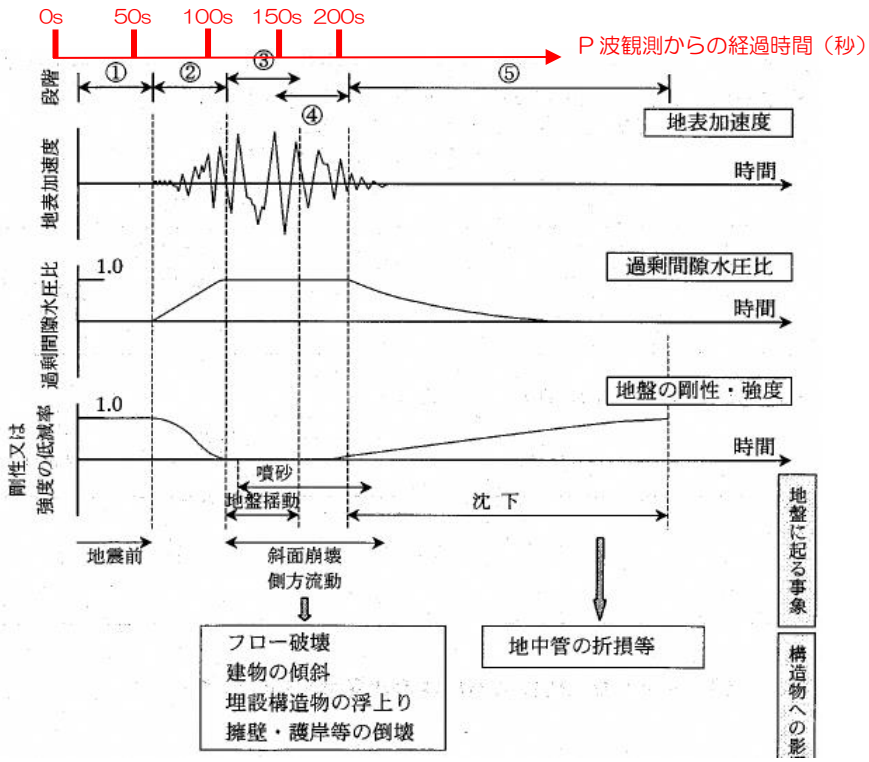


図 参-1-1　液状化による地盤の地震時挙動の概念図[20]

[20] 国土技術研究センター,河川堤防の地震時変形量の解析手法,2002 年

２　微地形区分ごとの液状化危険度

高知県の地形分類から、松岡ら（2011）の推定方法を用いて液状化危険度を分類した。微地形ごとの震度と液状化発生確率の関係は表 参-２-１のとおりである。本県の計測震度がおおよそ 5.5 以上であることから、グループ 1～3 については液状化危険度が高く、グループ４については注意が必要である。なお、液状化危険度評価において液状化の可能性の高い判定は液状化発生確率の高い微地形区分に含まれている。

表 参-２-１　微地形ごとの計測震度と液状化発生確率[21]

グループ1	微地形区分：	自然堤防(NTL)，旧河道(ARC)，砂丘末端緩斜面(LSD)，砂丘間低地(LDB)，干拓地(REC)，埋立地(FLL)
	特徴：	緩い砂が堆積し，地下水位が浅い。 計測震度5.0付近で液状化が発生し始める。
グループ2	微地形区分：	扇状地(ALF)，扇状地（傾斜<1/100）(AFS)，砂州・砂礫州(BAR)
	特徴：	地下水位は浅く，砂や砂礫が広く堆積するが，砂ないし砂礫は，グループ①の砂に比べて締まっている。 計測震度5.0程度では液状化が発生しないが，震度が大きくなるについてれ発生確率が急激に大きくなる。
グループ3	微地形区分：	後背湿地(BKM)，三角州・海岸低地(DEL)，砂丘(DUN)
	特徴：	地下水位は浅いが，緩い砂の分布は局地的（粘性土が卓越）である（BKM，DEL）。 緩くきれいな砂（細粒分が少ない砂）が広く分布するが，地下水位が一般に深い（DUN）。 計測震度5.4付近で液状化するが，震度が大きくなっても発生確率はあまり上がらない。
グループ4	微地形区分：	砂礫質台地(GVT)，谷底低地(VBP)，谷底低地（傾斜<1/100）(VPS)
	特徴：	砂礫が広く堆積する（GVT, VBP）。粘性土が卓越し，砂の分布は局地的である（VPS）。 計測震度6.0程度になって液状化が発生し，震度が大きくなるにつれて発生確率が急激に大きくなる。

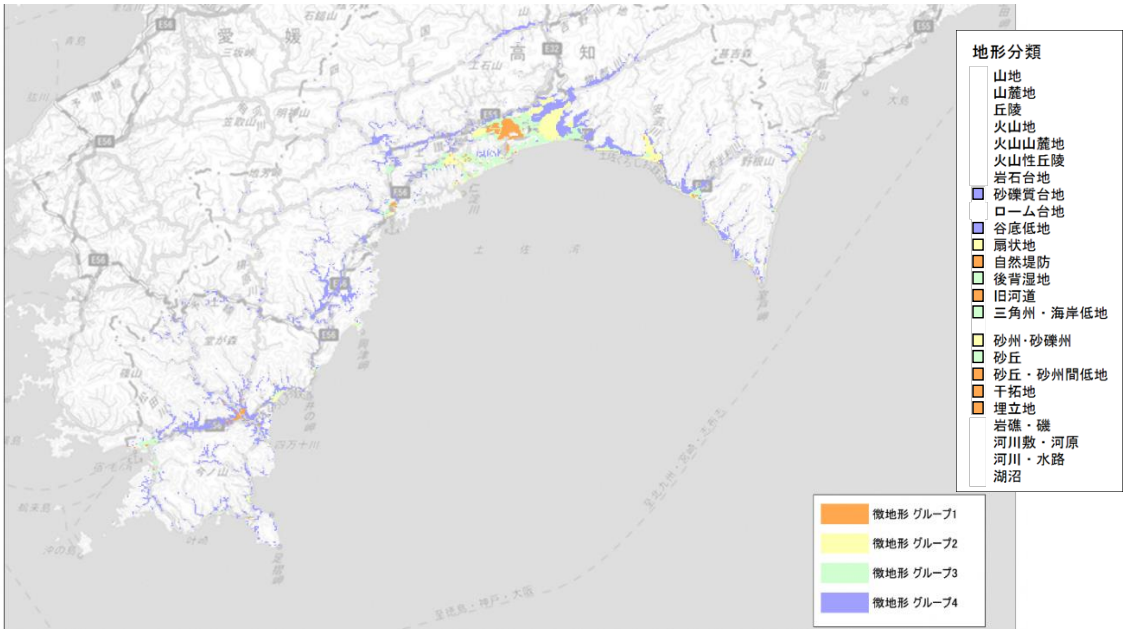


図 参-２-１　微地形区分

[21] 松岡ら,地形・地盤分類 250m メッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法, 2011 年

３　地盤モデルの作成方法

県内全域を２５０ｍメッシュに分割した約１１万メッシュに対して、約１万本のボーリングデータから各層毎の土質区分とＮ値を補間することで地盤モデルを作成している。（津波浸水想定範囲では7,672メッシュに対してボーリング 2,957 本から補間している）

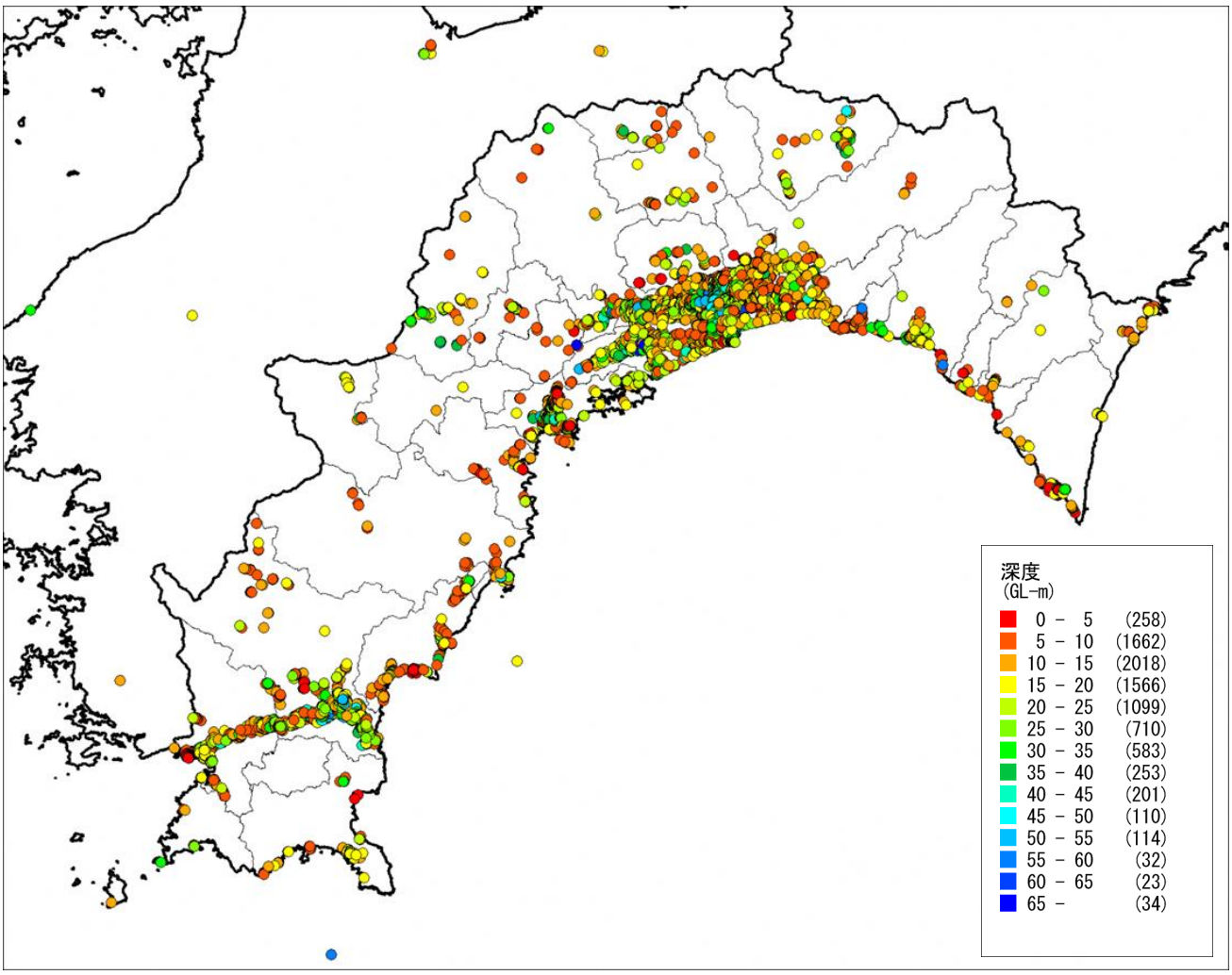


図 参-３-１収集したボーリングデータの分布

なお、ボーリングデータは工事等の際に調査されたものを活用しているため、図 参-３-１のとおり県内で均一に分布してはいない。そのため、微地形区分などを考慮したうえで同一の地形の１０本程度のボーリングデータから補間することにより、適切な地盤モデルを作成している。（補間範囲はボーリングデータが密な地域では１～２ｋｍ、疎な地域では数～10ｋｍである）

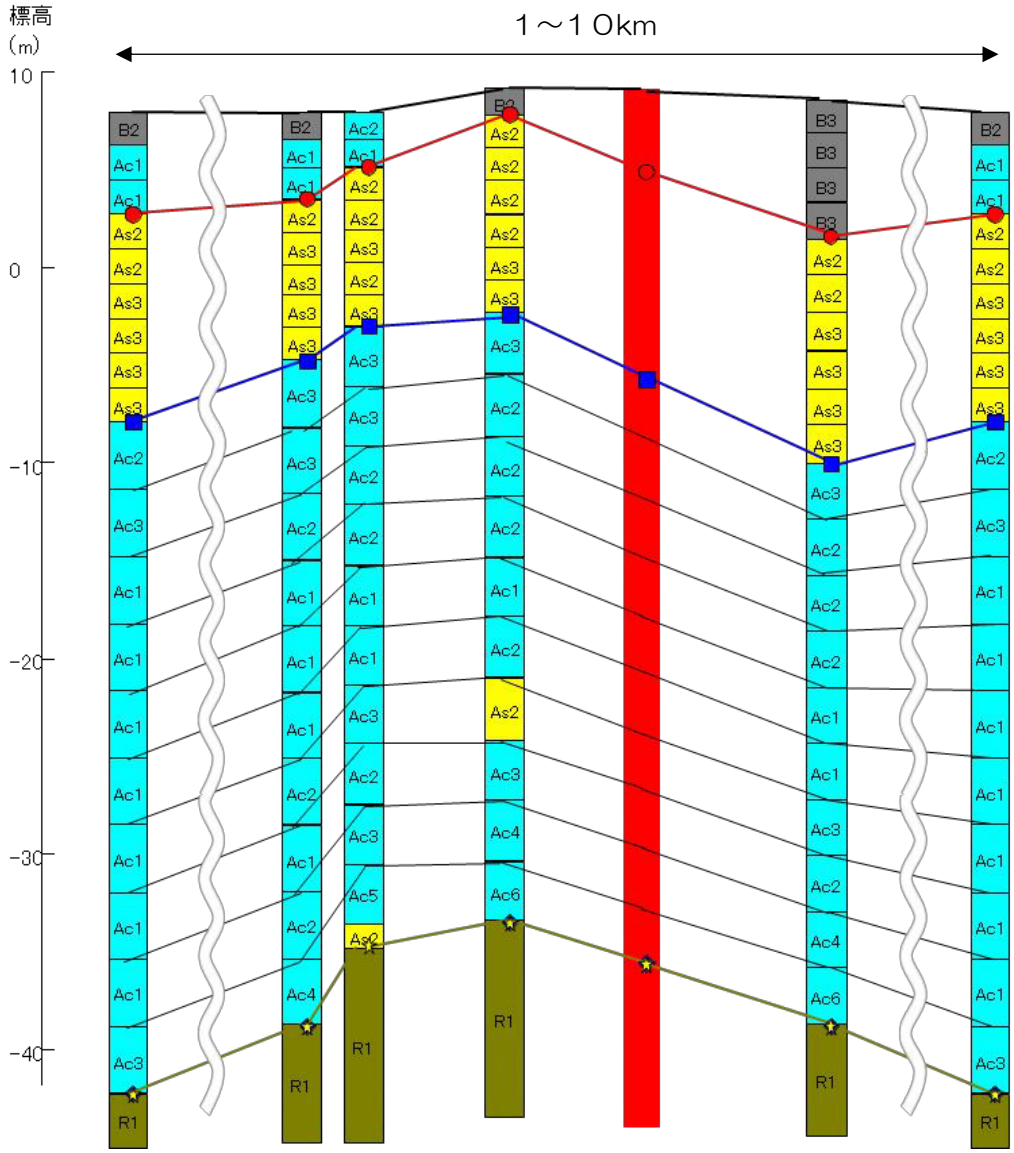


図 参-３-２　地盤モデルの作成イメージ

４　液状化危険度の判定方法

液状化危険度の判定は図 参-４-１のフローで実施している。

250mメッシュ毎に作成した地盤モデルに対し、各メッシュの計測震度から求まる最大加速度を与え、液状化対象層ごとの F_L 値[22]を算出する。各メッシュ単位で深度 20mまで F_L 値を積分し、メッシュごとの P_L 値[23]を算出する。このようにして算出した P_L 値をもとに液状化危険度を判定する。

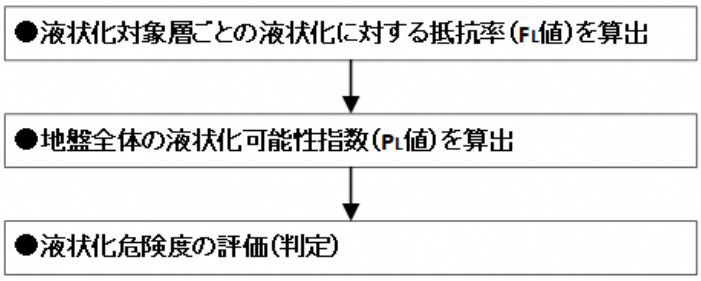


図 参-４-１　液状化危険度の判定フロー

〈液状化危険度の評価〉

液状化危険度の評価については、「道路橋示方書･同解説（2002 年 3 月発行）」による、砂質土層の液状化の判定手法を採用した。すなわち、地震動計算結果から地表から 20m までの地中のせん断応力（L）と液状化対象層の繰り返し三軸強度比（R）を求め、液状化対象層ごとに液状化に対する抵抗率（F_L＝R/L）を求め、さらに地層全体の液状化可能性指数（P_L）を評価した。

（1）動的せん断強度比Ｒについては、下記の方法で求めた。

$R = C_w \cdot R_L$

$R_L =$　0.0882$(N_a / 1.7)$0.5　（N_a＜１４）

0.0882$(N_a / 1.7)$0.5 ＋1.6×10-6・（N_a－14）4.5　（N_a≧１４）

Ｃw：地震動特性による補正係数

高知県内での振動三軸試験のデータを用いて試験実施地点に最も近いモデル柱状図の砂層におけるせん断力波形より C_w（＝0.67×C2）を算出し、せん断応力波形の繰返し回数Ｎと C_w の関係および繰り返し三軸強度比 R_L と C_w の関係を検討した。

通常 M8.0 以下のプレート型は C_w=1.0 である。最大クラス（レベル２）の地震動で高知県の地盤を対象に検討すると、安全側にみて C_w=0.8 程度と評価される。今回の想定では、継続時間の長い最大クラスの地震（レベル２）については C_w＝0.8 と設定した。

---

[22] F_L 値は地盤のある深さにおける液状化に対する抵抗率

[23] P_L 値はその地点における液状化の激しさの程度を表す指標

⑵ N値及び Fc の算出については、亀井ほか(2002) の式に従った。

$$Na = N1 + \Delta N$$

ただし、

N_a：道路橋示方書の液状化強度比を推定する式における粒度の影響を考慮した補正 N 値

N_1：有効土載圧 100kN/m2 相当に換算した N 値

⊿N：東京低地における細粒分の影響を補正する N 値

$$Fc: \begin{cases} 916/(N+9.21)-29.5 & (N<22) \\ 0 & (N \geqq 22) \end{cases}$$

⑶ 地震時せん断応力比 L

$L = r_d \cdot Ks \cdot \sigma_v / \sigma_v'$

$r_d = 1.0 - 0.015x$

$\sigma_v = [\rho_{t1} + \rho_{t2}(x - h_w)] / 10$

$\sigma_v' = [\rho_{t1} + \rho_{t2}'(x - h_w)] / 10$

ここに、

r_d：地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

K_s ：液状化に対する設計震度

x ：地表面からの深さ（m）

ρ_{t1}：地下水面より浅い位置での土の密度（tf/m3）

ρ_{t2}：地下水面より深い位置での土の密度（tf/m3）

ρ_{t2}'：地下水面より深い位置での土の有効密度（tf/m3）

h_w ：地表面から地下水面までの深さ（m）

$$Ks = Amax / 9.8$$

Amax：地表最大加速度（m/s2）

9.8 ：重力加速度（m/s2）

ここで地表最大加速度は、地震動予測解析により求められた地表の計測震度から、童・山崎（1996） による計測震度（I）と最大加速度（PGA）の関係式を用いて求めた。

$$I = 0.59 + 1.89 \cdot \log 10(PGA)$$

⑷ 液状化指数 P_L 値の算出

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x)dx$$

ここに、F_L：液状化に対する抵抗率（$F_L \geqq 1$ の場合には $F_L = 1$）

x：地表面からの深さ(m)

求められたメッシュ毎の P_L 値より、以下の基準で液状化可能性を評価する。

$P_L > 15$ ：液状化の可能性が大

$5 < P_L \leqq 15$ ：液状化の可能性が中

$0 < P_L \leqq 5$ ：液状化の可能性が小

$P_L = 0$ ：液状化の可能性なし

５　重要な避難路（最短ルート）の設定方法

〈対象とするルート〉

地域津波避難計画現地点検で避難路として調査されたルート

〈高台の場合〉

①対象地区の海岸沿いの道路を基準線（起点となる道路）とする

②避難場所の入口から基準線までの最短経路を選定

③避難場所への入口が複数ある場合は、入口毎に選定

④経路が途中で分岐する場合、同程度の延長であれば両側選定

図 参-５-１　最短ルートの設定（高台）

〈避難タワー等の場合〉

①高台の場合の①～④と同様

②全方向からのルートを対象とする

③海岸方向に向かってタワー等に向かうルートについては、隣接する避難場所等を考慮して適宜延長を決定する

図 参-５-２　最短ルートの設定（避難タワー）

〈内陸部〉

地区が海岸沿いで無いため、基準線（起点となる道路）が無い場合

①地区内の中心部の交差点を基準点（起点）とする

②避難場所の入口から起点までの最短経路を選定

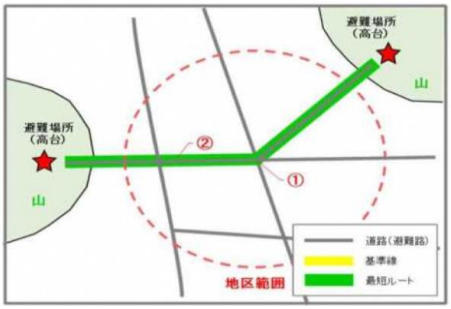


図 参-５-３　最短ルートの設定（内陸部）

〈内陸部（河川遡上）〉

津波の河川遡上により内陸部で浸水する地域の場合

①河川沿いの道路を基準線（起点となる道路）とする

②避難場所の入口から基準線までの最短経路を選定

図 参-５-４　最短ルート（内陸部（河川遡上））

６　舗装厚と液状化被害の関係

道路の液状化被害に及ぼす要因は図 参-６-１のとおりである。図 参-６-１から生活道路で P_L 値が15 程度であった場合は、おおよそ１６cm の沈下発生が予測され、熊本地震では橋梁背面と比較して道路では大きな段差は発生しておらず、道路機能への影響は少ない状況であった。[24]東北地方太平洋沖地震では、生活道路と幹線道路で沈下被害の程度に違いがあり、道路の路盤も含めた舗装厚と液状化被害の関係性について、図 参-６-２のとおり整理されており、道路の路盤・舗装厚は道路の液状化被害を考える上で重要である。２車線以上の幅員が確保されている国道等は、交通量や通過する車種を考慮し、もともと舗装厚が厚く場所によっては地盤改良が実施されているところもあり、液状化被害の可能性は少なく、液状化対策の対象から除外できる可能性はあるが、道路管理者へ舗装厚の確認が必要である。

県道や市町村道は、舗装厚が 1.2mを下回ることが多く、液状化の危険度が高い地域にある道路については、液状化対策について検討すべきである。

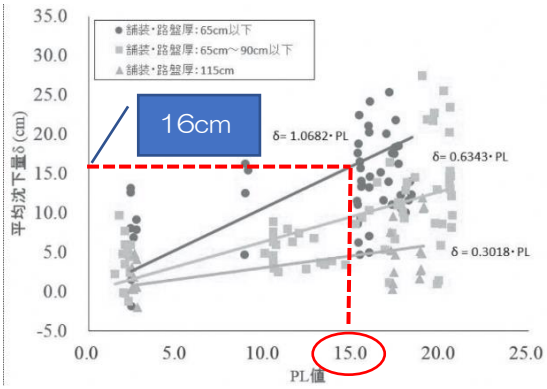


図 参-６-１　道路の平均沈下量と P_L 値の関係[25]

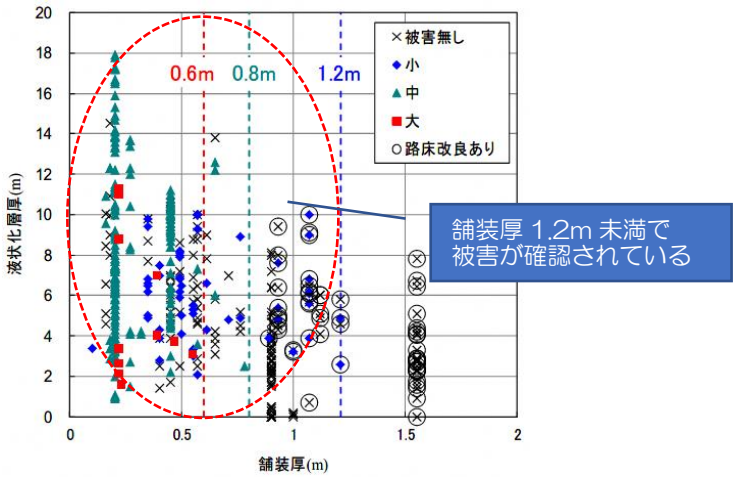


図 参-６-２　液状化被害の程度と液状化層厚・非液状化層厚との関係[26]

[24]栗林ら,液状化地盤上の道路盛土被害に関する－考察, 2021 年
[25] 梶原ら,道路種別を考慮した新しい液状化ハザードマップの構築,2015 年
[26] 藪ら,道路平面部における液状化被害の影響要因に関する検討,2018 年

７　地表面に着目した液状化の影響

H25 高知県液状化危険度判定は、「道路橋示方書・同解説（2002 年３月発行）」による地表面から２０mの深さまでの地盤において判定し、岩崎ら（1980）により液状化の危険度を大中小で評価するものであったが、避難路の液状化対策として着目すべき点は、避難の際に路面状態が正常に保たれているかどうかである。

そのため、戸建て住宅地の液状化被害の可能性を判定することを目的とし国土交通省により公表されている「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針（2013 年）」による判定方法（以下「宅地の液状化被害可能性判定」という。）を用いて、地表面に現れる液状化被害について再評価を実施し、その判定結果により優先度を付ける。

過去の地震における液状化被害から、非液状化層厚（H_1）と地表面の液状化被害についての関係が検討され、宅地の液状化被害可能性判定において、非液状化層厚（H_1）と液状化指標値[27]（P_L値）又は地表面変位量[28]（D_{cy}値）の関係から、表 参-7-1 及び図 参-7-1 のように液状化被害の可能性を３段階で評価する方法が示されている。

非液状化層（H_1）は、地表面から液状化しない条件を満足する連続した層厚であり、「道路橋示方書・同解説　Ⅴ耐震設計編」により算定する。表 参-７-３に非液状化層の判定表を示す。

これらの評価と実際の液状化被害の発生状況については、図 参-７-２のとおり熊本地震において検証されており、概ね被害状況と判定結果は一致している。

表 参-７-１　宅地の液状化被害可能性の判定表

判定結果	H_1の範囲	D_{cy}の範囲	P_L値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m以下	5cm以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm未満	5 未満	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	3m超え、5m以下	5cm以上	5 以上	
B1		5cm未満	5 未満	
A	5mを超える	-	-	顕著な被害の可能性が低い

P_Lが高い場合であっても、
H_1が大きい場合、危険度は低くなる

[27] その地点における地盤の液状化の激しさの程度を表す指標
[28] 液状化時に発生する地盤の沈下量

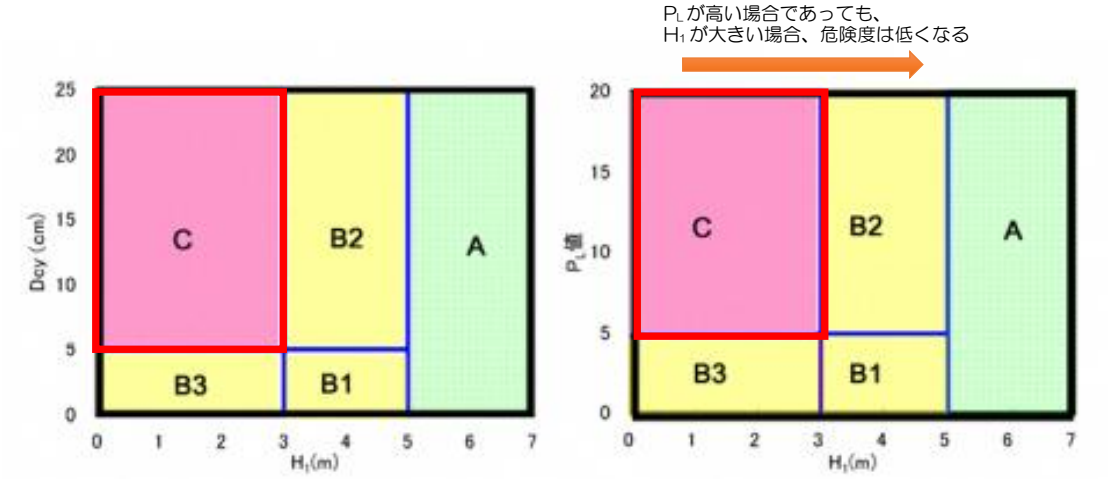


図 参-7-1　H_1 値、D_{cy} 値、P_L 値による判定図

表 参-7-2　非液状化層（H_1）

	地下水位より浅い層	地下水位より深い層				
		液状化の安全率（ＦＬ値）が1.0より大きい層	Ｎ値が2より大きい粘性土層（埋立土・盛土）	細粒分含有率35％を超える層（沖積層・埋立土・盛土）		平均粒径10ｍｍ以上で、または10％粒径が1ｍｍ以上の土層（沖積層・埋立土・盛土）
				粘土分含有率が10％以上の層	塑性指数15以上の層	
「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合	○	○	○	○	○	----------
道路橋示方書・同解説Ｖ耐震設計編」を基本とする場合	○	○	○	----------	○	○

検討地点		実施箇所	ボーリング地点の液状化被害の有無	水位低下前（本震：M7.3 260gal）				
				非液状化層	地表変位量		液状化指数値	
				H1(m)	Dcy(cm)	判定	PL値	判定
震災後データ	No.1-1	ふれあい公園	被害あり	4.0	9.1	B2	4.4	B1
	No.1-2	日吉小学校		2.0	21.7	C	12.2	C
	No.1-3	日吉調理場		1.6	0	A	0	A
	No.1-4	消防団48分団		1.0	7.7	C	4.3	B3
	No.1-5	交通局用地		1.0	15.5	C	8.7	C
	No.1-6	上ノ郷団地	被害なし	4.0	8.2	B2	6.3	B2
	No.1-7	白藤公園		5.0	12.6	A	5.9	A
	No.1-8	ふれあい公園		8.0	2.5	A	1.0	A
震災前データ		日吉小学校 プールA	被害あり	1.5	3.7	B3	1.67	B3
		日吉小学校 プールB		3	11	B2	5.5	B1
		1971 日吉小学校 No1		1.5	25.6	C	12.91	C
		1977 日吉小学校 No2		1	8.5	C	4.95	B3
		1977 日吉小学校 No3		1	21	C	11.31	C
		近見汚水1号S58 No.1		1	3	B3	1.34	B3
		近見汚水1号S58 No.3		1	9.6	C	1.93	B3
		近見汚水13号S59 No.4		2	7.4	C	6.15	C
		近見汚水13号S59 No.6		2	8.8	C	4.88	B3
		近見汚水13号S61 No.1		1.5	6.1	C	2.81	B3
		近見汚水13号S61 No.5		1.5	12.7	C	6.21	C
		近見汚水13号S61 No.6		1.5	19.8	C	11.54	C
		宅地-1		1.5	4.4	B3	1.7	B3
		宅地-3		1.5	6.2	C	2.2	B3
		宅地-4		2	6.5	C	5.27	C
		1971 日吉小学校 No2	被害なし	2.5	3	B3	2.58	B3
		1977 日吉小学校 No1		4.5	14.2	B2	7.9	B2
		近見汚水1号S58 No.2		15.5	0	A	0	A
		近見汚水13号S59 No.1		7	1.3	A	0.8	A
		近見汚水13号S59 No.2		2.5	0.6	B3	0.26	B3
		近見汚水13号S59 No.3		15	0	A	0	A
		近見汚水13号S59 No.5		15.5	0	A	0	A
		近見汚水13号S61 No.2		3.5	5.6	B2	1.11	B1
		近見汚水13号S61 No.3		2.5	6.8	C	4.29	B3
		近見汚水13号S61 No.4		2	2.8	B3	0.68	B3
		宅地-2		5	1.5	A	0.78	A
		宅地-5		2.0	0	A	0	A

被害状況と判定結果がおおむね一致

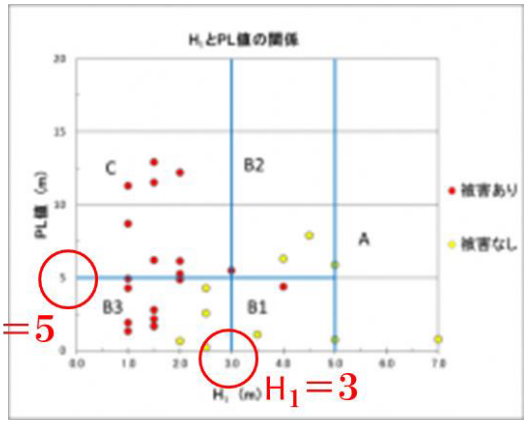


図 参-7-2　液状化被害可能性判定（熊本市液状化対策技術検討委員会資料を編集）

〈再評価の判定方法〉

ボーリングデータから各層の液状化に対する安全率を算定し、これを基に算定される非液状化層厚（H_1）と地表面変位量（D_{cy} 値）から地表面の液状化被害の可能性を判定する（図 参-7-1 左図）。

非液状化層厚（H_1）が 3m未満かつ地表面変位量（D_{cy} 値）が 5cm 以上の地盤については液状化発生の危険性が高まることから、今回の避難路の液状化対策の検討の対象とする範囲は図 参-7-1 左図における〝C〟とする。

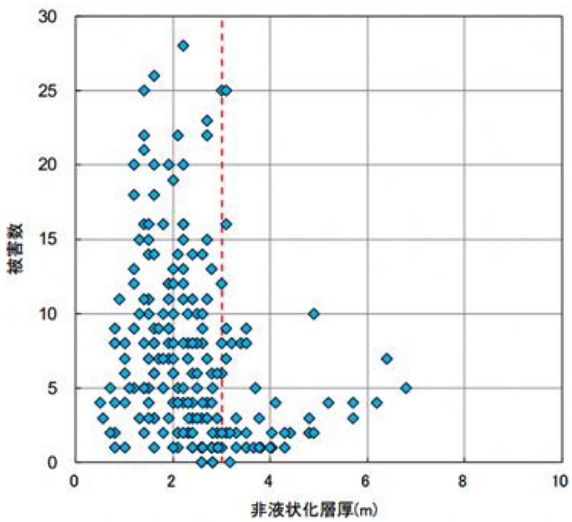


図 参-7-3　非液状化層厚と液状化被害の関係

〈再評価結果の確認〉

H25 高知県液状化可能性予測による液状化危険度評価（P_L法）と、宅地の液状化被害可能性判定による判定結果を比較する。比較する基準としては対策の有無を基準とし、P_L法では「5＜P_L値（液状化の可能性がある。液状化の可能性が高い。）」、宅地の液状化被害可能性判定（表 参-7-3）では判定結果「C（顕著な被害の可能性が高い）」を対象に表 参-7-1のとおり集計結果を比較した。その結果、対策の優先度の高いメッシュを1／6まで絞り込めた。なお、高知市における液状化危険度の分布の比較結果を図 参-7-4に示す。

表 参-7-3　P_L法による判定

	P_L=0	0＜P_L≦5	5＜P_L≦15	P_L＞15
P_L値による 液状化危険度判定	液状化の可能性はない。液状化に関する詳細な調査は不要。	液状化の可能性が低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。	液状化の可能性がある。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般には必要。	液状化の可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避。

表 参-7-4　対策の優先度の高いメッシュ数の比較（県全域）

判定方法	液状化対策の必要なメッシュ数
P_L法（5＜P_L：液状化の可能性がある、高い）	2778
液状化対策の検討の対象（C：顕著な被害の可能性が高い）	458

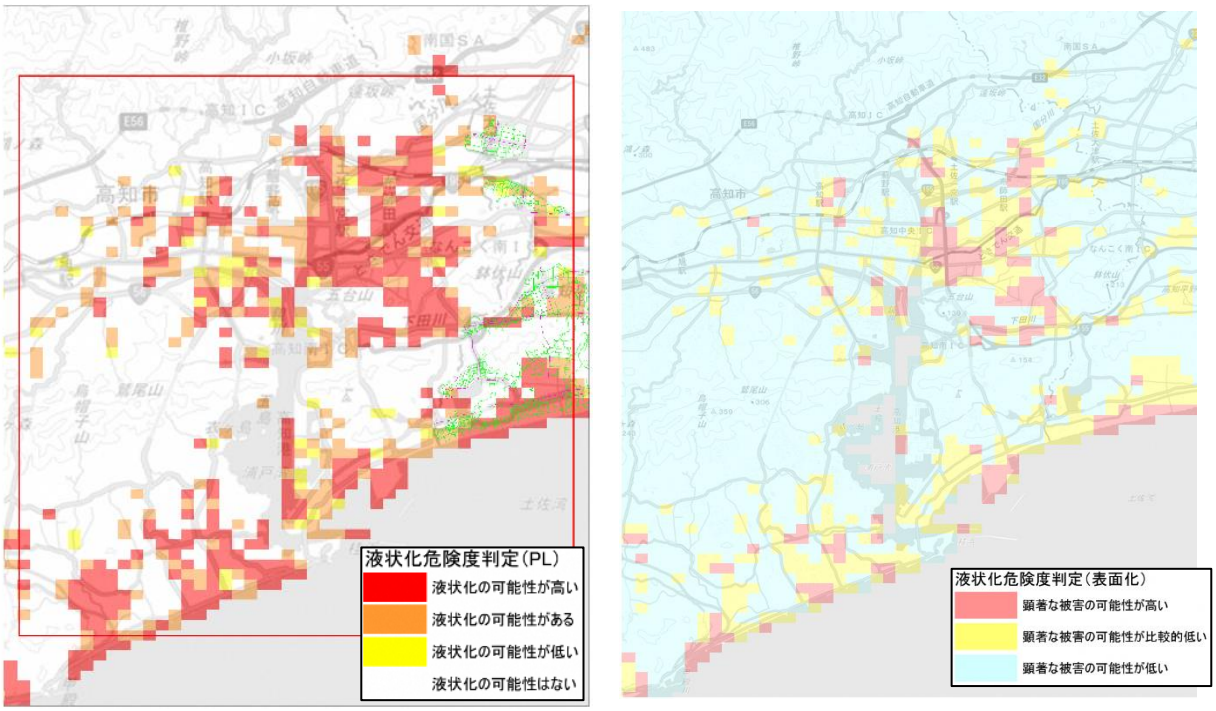


図 参-7-4　液状化可能性の分布の比較（高知市）

左図：P_L法による判定　右図：宅地の液状化被害可能性判定

8　対策効果の検証方法

対策効果の確認にあたっては、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 H28.3」（以下、H28 指針と呼ぶ）に基づき、静的 FEM 解析法の一つである自重変形解析法を用いた。解析プログラムは、2 次元液状化流動解析プログラム ALID/Win（Analysis for Liquefaction-Induced Deformation）の最新版（ver5.3）を用いた。

〈沈下量の算出方法〉

ALID による解析の流れは以下のとおりである。図 参-8-1 に解析フロー図を示す。

<u>ステップ 1</u>

- G_0（地震前のせん断剛性）を用いた初期自重解析を行う。
  この解析は、地震前の地盤内の応力状態を再現することが目的である。

<u>ステップ 2</u>

- ステップ 1 で得られた各要素の全上載圧および有効上載圧を用いて、液状化判定を行う。液状化判定により得られる F_L 値（液状化抵抗率）により、各要素の G_1（液状化後の低下せん断剛性）を設定する。
- G_0（地震前のせん断剛性）を G_1（液状化後の低下せん断剛性）に低下させ、初期応力解析で得られた弾性ひずみに不適合な超過応力を解放（再配分）する解析を行う。
  この解析で、地震直後の変形量が求まる。

<u>ステップ 3</u>

- 各要素の相対密度および F_L 値を用いて、地震後の過剰間隙水圧消散に伴う沈下を求める。

最後に、ステップ 2 およびステップ 3 の変位を合算して、地震後の残留変位とする。

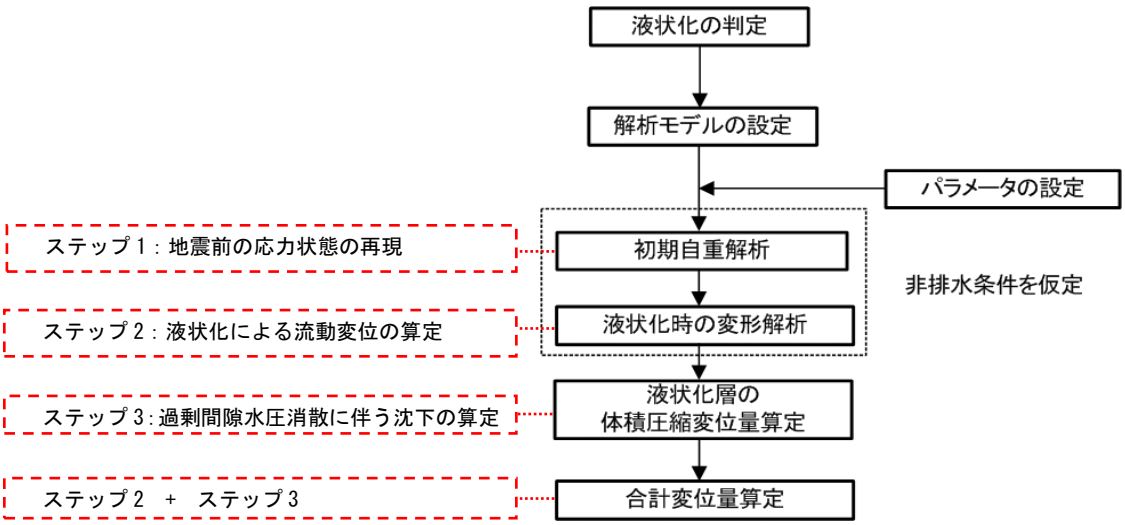


図 参-8-1　ALID による地震後の残留変位量解析の手順

・解析条件

解析モデルについては、中土佐町の柱状図を参考に水平成層のモデルを作成した。使用した解析モデルを図 参-8-3に示す。なお、物性値については一般値より表 参-8-1、表 参-8-2、表 参-8-3のとおり設定した。

解析に用いる地震動については、レベル２地震動（タイプⅠ）を採用した。静的解析による堤防の耐震性能照査は、液状化に伴う地盤の剛性低下率を算出する際、入力地震動として地表面の設計水平震度（＝地震加速度ａ（400gal） ／ 重力加速度ｇ）を用いた。

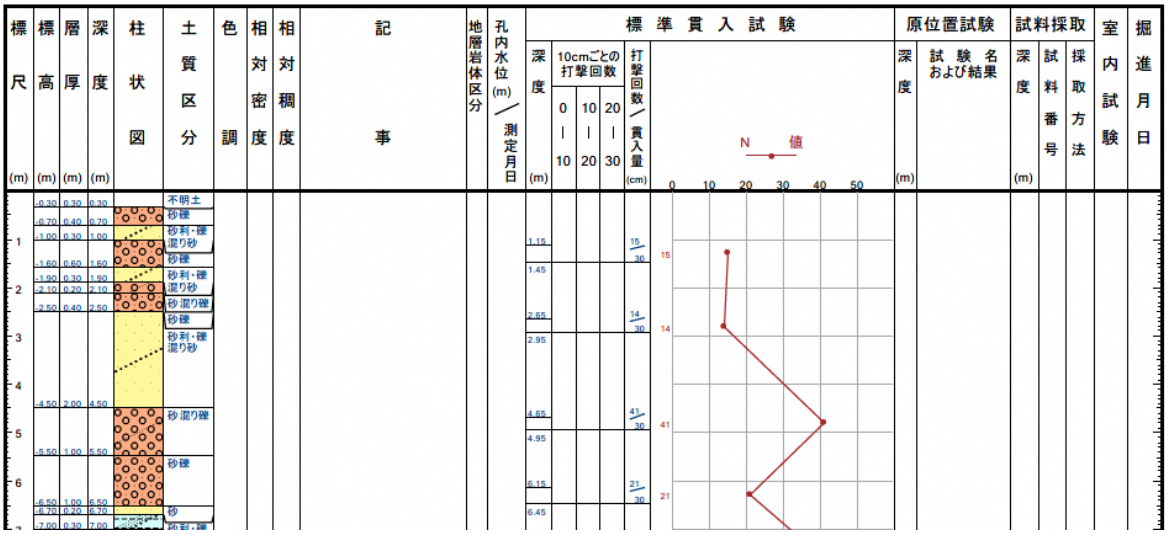


図 参-8-2　ボーリング柱状図

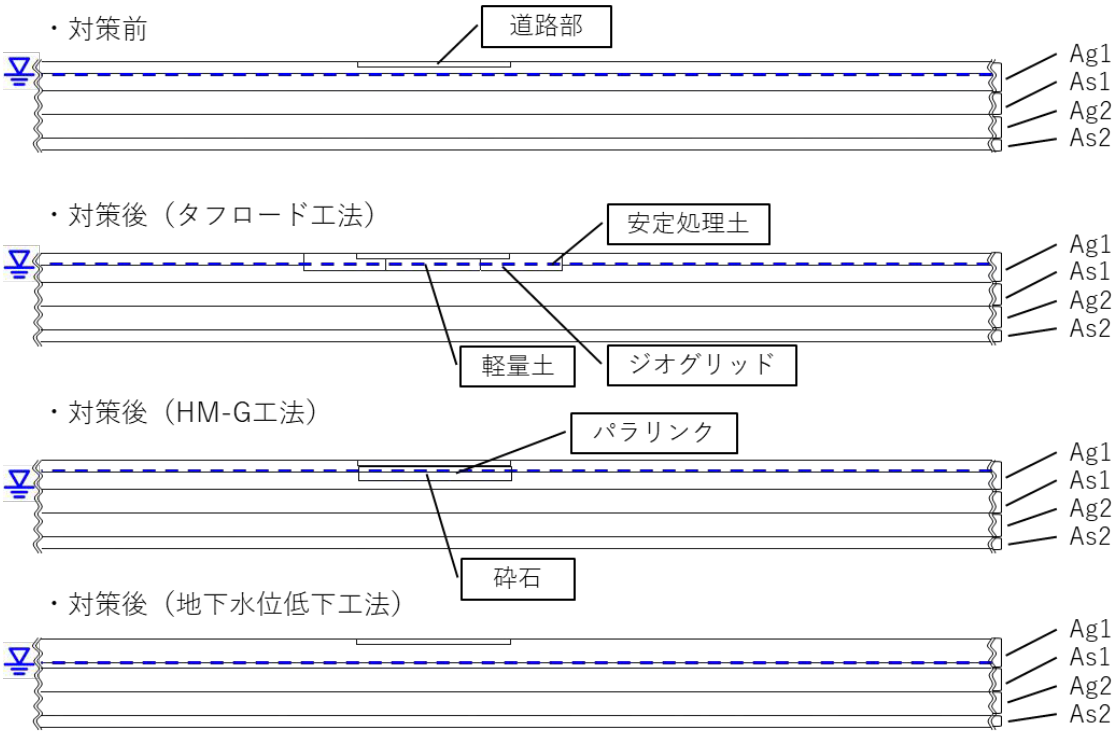


図 参-8-3　解析モデル図

表 参-8-1　設定した地盤の物性値一覧表（地下水位 G.L.-1.0m）

土質区分	変形特性	単位体積重量 γ_t(kN/m^3)	平均N値	変形係数 E(kN/m^2)	地震前のせん断剛性 G0(kN/m^2)	地震後のせん断剛性 G1(kN/m^2)	相対密度 Dr(%)	細粒分含有率 Fc(%)	ポアソン比 Y	内部摩擦角 Φf(°)	粘着力 C(kPa)
Ag1（地下水位以浅）	連成要素	15	15	42000	15,789	要素ごとに自動集計	65.1	0	0.33	32.3	0
Ag1（地下水位以深）	液状化要素	21	14	39200	14,737	要素ごとに自動集計	57.8	0	0.33	31.7	0
As1	液状化要素	20	14	39200	14,737	要素ごとに自動集計	73.1	10	0.33	31.7	0
Ag2	液状化要素	21	41	114800	43,158	要素ごとに自動集計	83.5	0	0.33	43.6	0
As2	液状化要素	20	28	78400	29,474	要素ごとに自動集計	89.5	10	0.33	38.7	0

表 参-8-2　設定した地盤の物性値一覧表（地下水位 G.L.-2.0m）

土質区分	変形特性	単位体積重量 γ_t(kN/m^3)	平均N値	変形係数 E(kN/m^2)	地震前のせん断剛性 G0(kN/m^2)	地震後のせん断剛性 G1(kN/m^2)	相対密度 Dr(%)	細粒分含有率 Fc(%)	ポアソン比 Y	内部摩擦角 Φf(°)	粘着力 C(kPa)
Ag1（地下水位以浅）	連成要素	15	14	39200	14,737	要素ごとに自動集計	60.8	0	0.33	31.7	0
Ag1（地下水位以深）	液状化要素	21	14	39200	14,737	要素ごとに自動集計	56.6	0	0.33	31.7	0
As1	液状化要素	20	14	39200	14,737	要素ごとに自動集計	73.1	10	0.33	31.7	0
Ag2	液状化要素	21	41	114800	43,158	要素ごとに自動集計	83.5	0	0.33	43.6	0
As2	液状化要素	20	28	78400	29,474	要素ごとに自動集計	89.5	10	0.33	38.7	0

表 参-8-3　材料の解析定数

材料	単位体積重量 γ_t(kN/m^3)	内部摩擦角 Φf(°)	粘着力 C(kPa)
安定処理土	19	30	65
道路部	20	－	－
軽量土	12	35	45

材料	引張強度 (kN/m^2)	弾性係数 E	せん断弾性係数G (kN/m^2)	単位体積重量 γ_t(kN/m^3)	断面積 (m^2)
ジオグリッド	75	7092200	2727769	9	0.0266

材料	単位体積重量 γ_t(kN/m^3)
砕石（C-40）	17.5

材料	引張強度 (kN/m^2)
パラリンク	79

避難路の液状化対策検討会

「避難路の液状化対策検討会」委員名簿

委員	氏名	所　属・役　職
委員長	原　忠	高知大学教育研究部自然科学系 理工学部門教授
委　員	神原　咲子	高知県立大学大学院 看護学研究科教授
委　員	坂本　淳	高知大学教育研究部 自然科学系理工学部門講師
委　員	藤岡　正樹	高知大学教育研究部総合科学系 地域協働教育学部門講師
委　員	間　章	高知県社会福祉協議会 地域・生活支援課課長

〈開催経緯〉

第１回：令和元年 10 月 11 日（金）　：オーテピア高知図書館 ４階 ホール

- 避難路の液状化対策の基本事項
- 避難路の液状化対策に関する検討方針と検討項目

第２回：令和２年１０月 27 日（火）　：オーテピア高知図書館 ４階 ホール

- 避難路の液状化対策の考え方

第３回：令和３年３月１９日（金）　：高知城ホール ２階 大会議室

- 避難路の液状化対策モデル実験結果
- 避難路の液状化対策検討のための手引き

避難路の液状化対策検討のための手引き

令和３（2021）年３月

発　行：高知県 危機管理部 南海トラフ地震対策課
Ｔ Ｅ Ｌ：088-823-9386
Ｍａｉｌ：010201@ken.pref.kochi.lg.jp