

8. 地域別の標準的な液状化対策工法の考え方

8-1. 液状化対策工法の考え方

液状化対策とは、地震時に発生する地盤内のせん断応力により地盤の持つ強度が失われて構造物に被害を与えることを、防止または軽減することである。これらの被害を防止もしくは軽減するためには、液状化による被害メカニズムを考慮してその被害要因を検討する必要がある。液状化対策を考える上では以下の検討が行われる。

- イ) 液状化発生の可能性の予測
 - ロ) 液状化の影響の評価
 - ハ) 効果的な対策方法の選定
- 二) 対策効果の確認

また、液状化対策の対象となる構造物には、ライフラインに代表される線状でネットワークを形成するものと、そうでないもの、地上に位置するものと地中にあるものなどいろいろな種類のものがある。液状化対策工法の選定には、これらの点と対策原理や適用限界をよく理解しておくことが重要である。液状化対策の考え方を大別すると以下のものが挙げられる。

- ①. 液状化そのものを発生させないようにする。
- ②. 被害が発生しないように構造物側で対処する。
- ③. 代替え機能を準備しておく。

③の考え方も近年のライフライン施設等のネットワークを形成する構造物を対象に採用が検討されてきた考え方であるが、標準的な液状化対策工法を選定するという本検討の主旨からは異なることから、ここでは①と②について検討するものとする。

(1) 液状化そのものを発生させないようにする考え方

液状化そのものを発生させなくする対策では、過剰間隙水圧を初期有効拘束圧まで上昇させないこと、地盤が軟化して大変形を起こし得る状態にさせないことがその骨子である。そのための手段として密度増加、固化、粒度改良、不飽和化、排水促進などの方法が用いられる。

(2) 液状化しても被害が発生しないように構造物側で対処する考え方

構造物側で対処する方法で従来から用いられる代表的なものは、液状化した地盤の水平抵抗を軽減もしくは無視して基礎構造を設計する方法がある。

図8-1に①と②の考え方を示す。

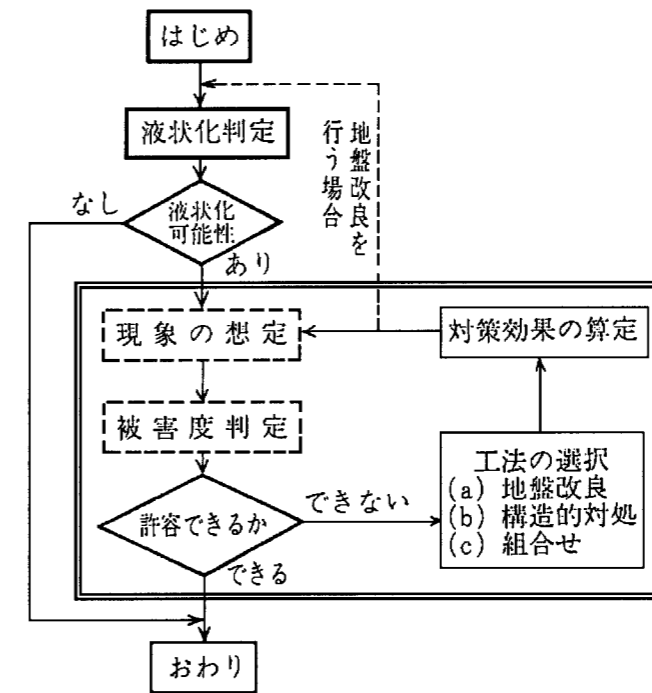


図8-1 液状化対策の考え方

以上のように、液状化対策は対策の原理から前述した①②と2分されるものの、具体的な対策工法のなかには、程度の差こそあれ、両方の効果を兼ね合わせ持つものもある。

液状化の発生を防ぐには、地盤の液状化強度を増大させるか、地盤内の応力・変形に関する条件や間隙水圧に関する境界条件を液状化しにくいものにすれば良い。

一般に液状化強度は以下の場合に大きくなる。

- 1) 密度が高い
- 2) 液状化しにくい粒度である
- 3) 土骨格が安定している
- 4) 飽和度が低い

また、応力・変形および間隙水圧に関する条件については以下の場合に液状化しにくい。

- 5) 過剰間隙水圧が速やかに消散する
- 6) 液状化した周辺から過剰間隙水圧が侵入しにくい
- 7) 初期有効応力を増加させることにより、せん断応力の初期有効応力に対する比を低下させる
- 8) 地震時に生じるせん断変形が少ない

以上の原理と方法を図8-2に示す。

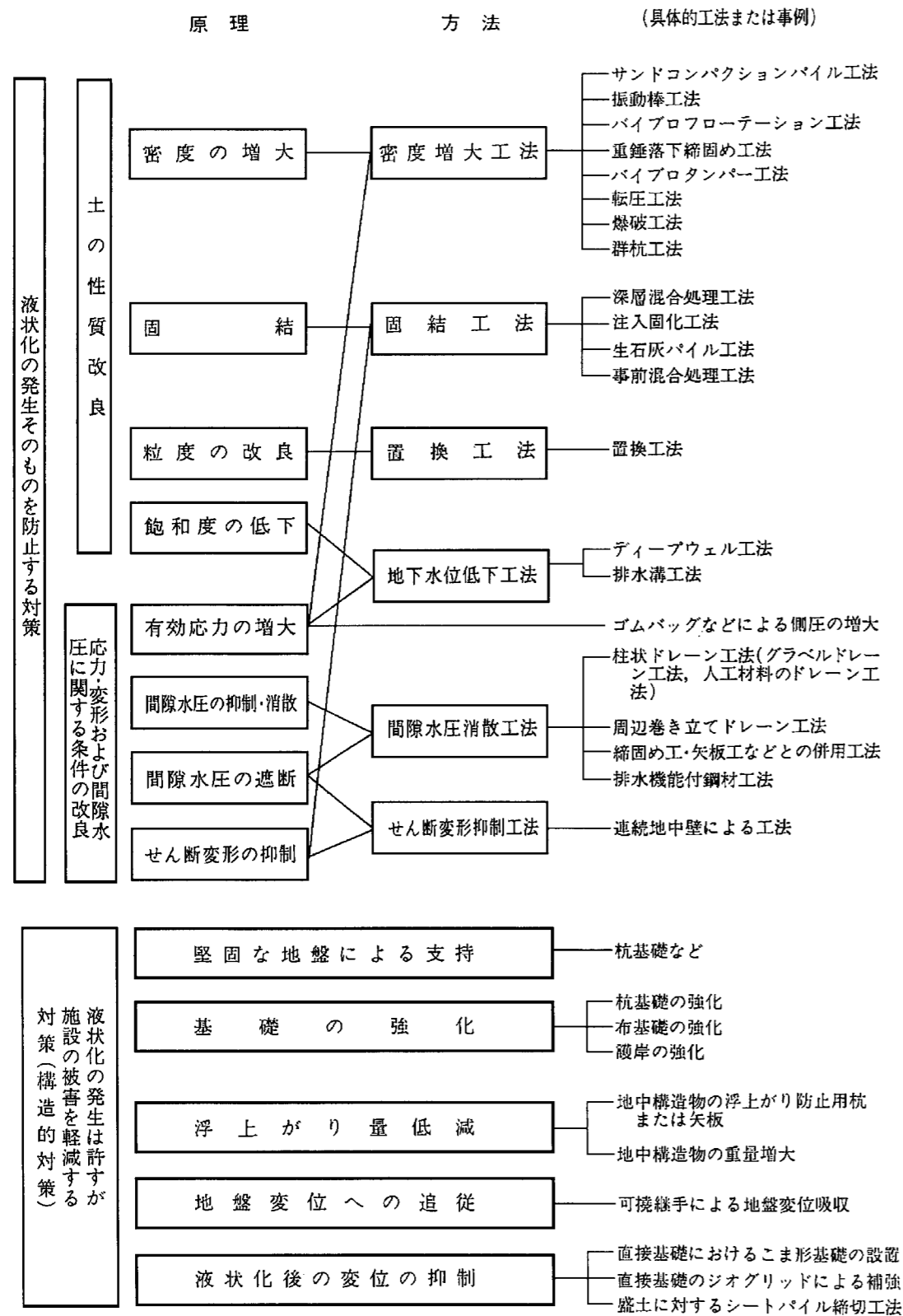


図 8-2 液状化対策の原理と方法¹⁾

地盤の密度を増加させて地盤の液状化強度を増大させる工法には、密度増大工法がある。なお、密度増大工法は、施工時に地盤の密度を増大させるばかりではなく、側方土圧を増加させる場合があることが指摘されているので、7) の効果も期待できる場合がある。

液状化しにくい粒度にする工法には置換工法がある。液状化しにくい材料としては、礫が用いられることが多い。なお、礫材は、透水係数が大きいので、この場合には5) の効果が期待できる場合もある。

土粒子骨格を安定させることにより液状化強度を増大させる工法には、固結工法がある。この工法は固結による改良対の配置の仕方によっては、6) や8) の効果が期待出来る場合がある。

飽和度を低下させる工法には、地下水位低下工法がある。ただし、地下水位を低下させた場合には、有効土被り圧も増大するため7) の効果も期待できる。

過剰間隙水圧を速やかに消散させる工法には、間隙水圧消散工法がある。なお、この工法はドレーンの配置の仕方によっては、6) の効果が期待できる場合がある。

初期有効応力を増大させることにより、せん断応力の初期有効応力に対する比を低下させる工法には、地下水位低下工法と側圧増大工法がある。

地震時によって生じるせん断変形を小さくすることにより液状化を防止する工法には、せん断変形抑制工法がある。

一方、対象構造物近傍における液状化の発生は許すが施設の被害を軽減するための対策としては、基礎を強化することにより支持力の低下を軽減するもの、液状化に伴って生じる水平土圧や浮力の増加に耐えられるように構造物やそれを支持するものを強化するもの、液状化に伴って生じる地盤変位にある程度追従できるような工夫を施したものなどがある。

表 8-1 には液状化対策工法の概要と特徴の一覧を示す。

表 8-1 (1) 液状化対策工法の概要と工法の特徴²⁾

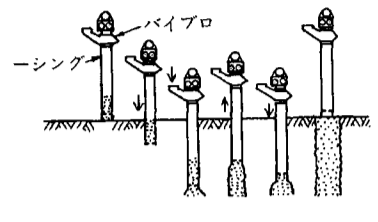
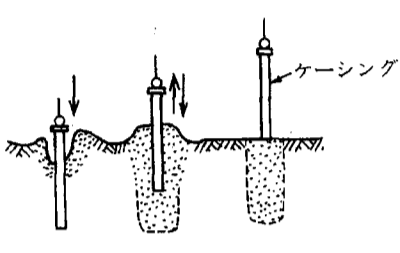
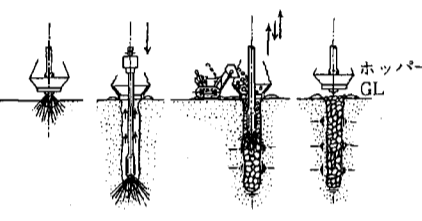
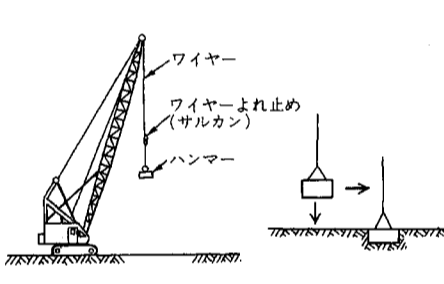
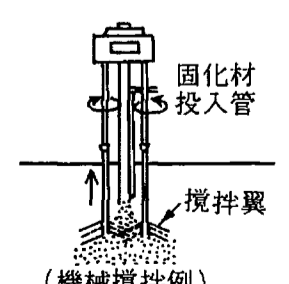
考え方	対象	方法	工法名	工法の概要	工法の特徴		
液状化の発生を防止する対策	液状化全層	密度の増大	サンドコンパクションパイル工法	<p>鋼管ケーシングを先端閉塞の状態ではじめに貫入させる。所定の深さに達したところで、ケーシング内に砂を入れ、砂を地中に圧入しながらケーシングを引き抜く。締め固められた砂杭を形成する。このとき、周辺地盤を、側方に圧縮するとともに、振動締め固めを行う。 (補給材：砂、碎石)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・大深度・高密度化が期待可能 ・対象地盤に細粒分が多いと、改良後のN値が上昇しにくい。 ・粘性土地盤にも適用可能 	
			振動棒工法	<p>各種の特殊圧入ロッドを振動圧入することにより、緩い砂質地盤を締め固める工法。その先端および側面の突起には各種のものがある。ケーシングには鋼管あるいはH鋼を使用する。 (補給材：砂、砂利、碎石)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・振動締め固め効果を大きくするためロッドに特殊効果が施してある。 ・対象の地盤に細粒分が多いと、改良後のN値が上昇しにくい。 ・施工機械が機動性に富み、施工能率が良い。 ・補給材として現地土砂の使用も可能 	
			バイプロフローテーション工法	<p>バイプロフロットと呼ばれるバイブレーターを内蔵した鋼管を先端ノズルから水を噴出させながら地中に鉛直を貫入させる。所定の深さに達したらバイブレーターにより、管を振動させながら徐々に引き上げる。振動によって地盤が締め固められた結果、バイプロフロット周囲にできた隙間に砂利、鉋さい、砂などの粗粒材を流し込む。 (補給材：砂利、鉋さい、砂)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・水締め効果も期待できる。 ・対象地盤に細粒分が多いと、改良後のN値が上昇しにくい。 	
			重錘落下締め固め工法	<p>10~30tfの錘（ハンマー）を自由落下させることにより発生する衝撃力で地盤を締め固める工法</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・細粒分が多いと改良結果が低下する。 ・振動・衝撃が大きいので、影響を受ける構造物が周辺にない場合に使用される。 ・通常は、10m以下の改良に用いられることが多い。 ・10m以上の改良には、大重量(25ft以上)のハンマーによるタンピングが必要 	
			プレロード工法	<p>未操業地の地盤に盛土を行い盛土荷重により地盤の密度を上昇させる。</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・細粒分が多いと改良結果が低下する。 ・通常は、粘性土地盤の改良に用いられることが多い。 	
			爆破工法	<p>地中にてダイナマイトなどを爆発させその衝撃により土中の相対密度を上げる。</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・短時間に大量の改良が可能である。 	
			群杭工法	<p>杭に打ち込むことによる地盤の締め固め効果と杭によるせん断変形抑制効果をあわせもつ。</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・沈下抑制効果が大きい。 	
		固結	深層混合処理工法	<p>固化材と原地盤を攪拌混合し、地盤を固化させる。</p>	<p>深層混合</p> <ul style="list-style-type: none"> 機械攪拌 <ul style="list-style-type: none"> スラリー系 粉体系 高圧噴射 (流体切削) <ul style="list-style-type: none"> グラウト系 エア・グラウト噴射系 水・エア・グラウト噴射系 	 <p>(機械攪拌例)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・土粒子の骨格が結合するため改良部分は液状化しない。

表 8-1 (2) 液状化対策工法の概要と工法の特徴²⁾

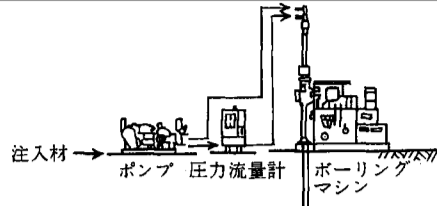
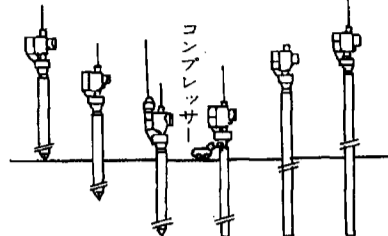
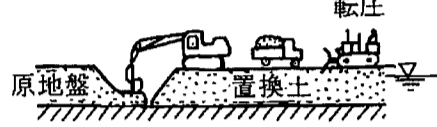
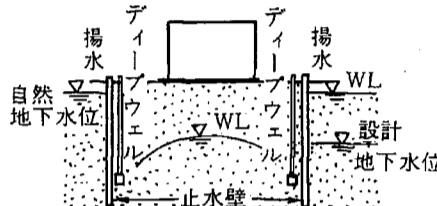
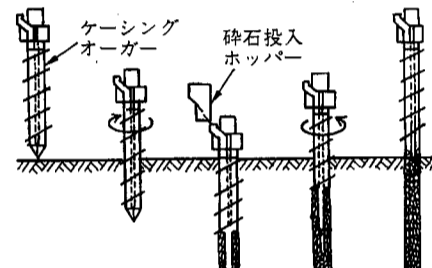
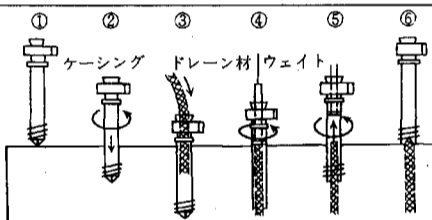
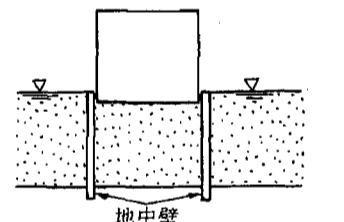
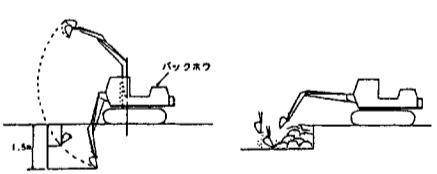
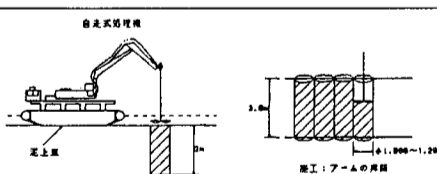
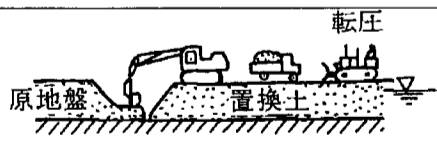
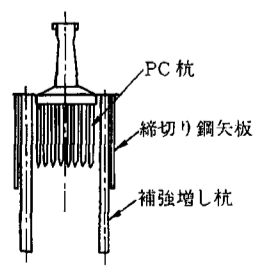
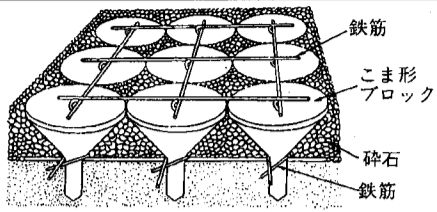
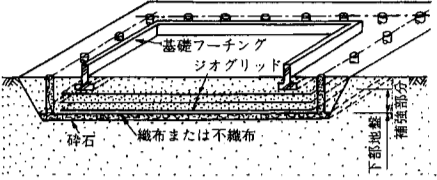
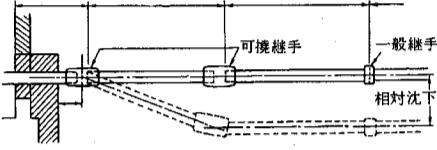
		注入固化工法	ボーリング孔を利用し、セメントグラウトなどを注入し、地盤を固化する。		・設備が小規模で狭い空間でも施工可能で騒音・振動に対する問題が少ない。			
		生石灰パイル工法	生石灰による吸水脱水硬化反応により固化する 吸水膨張時の周辺土の締め固め効果も期待できる。		・生石灰による吸水膨張による周辺地盤締め固め、側圧増大効果が期待できる。			
		置き換え	置換工法	液状化の発生しにくい材料（たとえば碎石）で置換する。		・良質材で置換 ・改良すべき地層が地表近くにあり広さも限られている場合に用いる。		
		地下水位の低下	ディープウェル工法	構造物の周囲を止水壁で囲いその内部の地下水位をディープウェルなどにより低下させる。		・構造物直下に対策工が不可能な場合に適用		
			グラベルドレーン工法	ケーシングオーガーを所定の位置に回転貫入させた後碎石を地中に排出させながらケーシングを引き上げ地中に碎石パイルを造成する。地震時に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑制する。		・低振動、低騒音の施工可能 ・周辺地盤の地盤変状を発生させることがないので、既設構造物近傍での施工が可能		
		過剰間隙水圧の消散	人工材料ドレーン工法	ケーシングを圧入あるいは回転貫入させ人工材料のドレーン材を地中に設置する。ドレーン材の周辺はフィルター材で多い目詰まりなどを防止する。過剰間隙水圧の上昇を抑制する。		・人工材料を使用するために品質が一定している。 ・低振動・低騒音の施工可能 ・近接施工に適する。 ・施工機械が小型		
			せん断変形の抑制	連続地中壁工法	建物の外周に剛性の大きい連続地中壁を設置し、せん断変形を抑制する。杭と併用して地震時の変形を抑える。		・周辺からの間隙水圧の伝播を遮断することが可能 ・地震時の変形を抑えることが可能	
		液状化の発生は許すが施設被害を軽減する対策	表層	固結	浅層混合処理（バックホー混合）工法	バックホーを用いて攪拌・混合が可能な場合に所定の深度まで掘削すると同時に、改良材との攪拌混合によって改良地盤を固化する。		・施工機（バックホー）が進入かのであればあらゆる土質に対応可能 ・若干攪拌精度が劣る。
					浅層混合処理（柱状改良）工法	プラントにて製造された改良材スリ-をグラウトポンプにて圧送して処理機の攪拌装置により円柱状の固化体を造成する。		・円柱状の改良体を造成 ・狭所、小規模工事での作業に優れる。
				置き換え	置換工法	液状化の発生しにくい材料（たとえば碎石）で置換する。		・良質材で置換改良すべき地層が地表近くにあり広さも限られている場合に用いる。
施設（建築物）	基礎の強化	増杭	液状化の進行を考慮し、地盤反力係数を低減させ杭基礎を設計 補強杭は地震時作用の時のみ効果を発揮		・液状化の発生を前提として杭の設計を実施し、通常の杭の施工と同様			
		布基礎の強化	鉄筋コンクリート造にすることなどにより布基礎の強さを増大させる		・液状化に伴う布基礎下部の土の流出による基礎の破壊を防止する。			

表 8-1 (3) 液状化対策工法の概要と工法の特徴²⁾

	変位の抑制	こま形基礎の設置	こま形状をしたコンクリートブロックを設置し、ブロック間に碎石を充填し締め固めた後ブロックの頭部を鉄筋で連結		<ul style="list-style-type: none"> ・軟弱地盤の沈下対策に有効なこま形基礎の液状化対策工を用いる。 ・小規模構造物に適用は可能
		ジオグリッドによる補強	ジオテキスタイルを層状に敷設することにより液状化の抵抗を高めると同時に、遮水膜やドレーンを併設することにより、液状化した周辺地盤の影響が基礎に及ばないようにする。		<ul style="list-style-type: none"> ・小規模構造物の被害軽減対策として用いる。
施設(配管)	地盤変位への追従	可撓継ぎ手による地盤変位の吸収	埋設管に可撓継ぎ手を取り付けることにより、構造全体の可撓性を増大させる。		<ul style="list-style-type: none"> ・液状化に伴う地盤の沈下や変位に追従し、管に生じる応力の低減を図る。

8-2. 地域別の標準的な液状化対策工法の提案

地域別に標準的な液状化対策工法を設定する場合に、選定上で影響する要因には以下の項目が挙げられる。

I. 地盤（土質）による要因

- ①. 地下水位
- ②. 液状化層上面に分布する非液状化層の層厚
- ③. 液状化層厚
- ④. 細粒分含有率の程度

II. 対象構造物の形状

- ⑤. ライフライン等の線上構造物
- ⑥. 建物等の個別構造物

III. 土地利用・他構造物等の近接による要因

- ⑦. 土地利用区分
- ⑧. 埋立地かそれ以外
- ⑨. 近接構造物の有無

以上の地盤（土質）・対象構造物の形状・土地利用・他構造物との近接の要因を考慮して平成12年鳥取県西部地震に伴い液状化被害の発生した5団地、2千拓地および米子港について標準的な液状化対策工法の提案を示す。

ただし、現時点で得られている情報には限りがあることから本提案はその限りにおいて検討したものであり、実際には詳細な地盤調査結果および構造形式により異なる対策工法が選定される場合もあり得るので留意する必要がある。

8-2.1 竹内工業団地

(a) 埋め立て経緯

竹内工業団地は、昭和54年～昭和59年頃に埋め立てられて昭和61年頃から用地の売却を行っており、埋め立ては航路や泊地の浚渫土砂及び埋め立て地前面の海底から採取した土砂をポンプ船で吹き込んで造成している。

(b) 土質構成

竹内工業団地の既往調査で確認されている土質構成は、標高TP-10m程度以浅は、現世の埋土（R）層であり、砂州（西）側は標高TP+2mまで薄くなっている。標高TP-10m～TP+2m以深から標高TP-16m～TP-42mは、第四紀の沖積層であり、標高TP-16m～TP-42m以深は第四紀の洪積層である。

埋土（R）層は、砂質シルトを主体として埋め立てられているが、部分的に砂質土を主体とする所があり、極めて不均質である。N値は、0～4と軟らかいまたは緩い地層である。沖積層は、砂丘砂層・シルト層～砂質土層・シルト層・粘性土層である。砂丘砂層のN値は10～20、シルト層～砂質土層のN値は

5～10であり、緩い～中位な地層である。シルト層及び粘性土層のN値は、0～4と軟らかい地層である。洪積層は、砂層・シルト層～砂質土層・砂質土層・粘性土層・砂礫層である。上部の砂層及び砂質土層のN値は、15～40と中位～密な地層であり、下部の砂層及び砂礫層のN値は、50以上と非常に密な地層である。シルト層～砂質土層及び粘性土層のN値は、10～20と硬い～非常に硬い地層である。

(c) 液状化層の推定と標準的な対策工法

今回液状化が想定される地層はTP-10m以浅の現世の埋土（R）層であり土質はシルトを主体としていて、今回の液状化被害での特異的な特徴を有している。

ここでの、液状化対策を選定する上で検討が必要なことは土質の細粒分含有率であり、細粒分含有率が多い場合には密度増加工法では対策効果が発揮しにくい事が注意される事項として挙げられる。

一方、作業率も50%近くに達していることから、作業企業に近接する場合には、液状化対策を施工する上で既設構造物への地盤変位に関する検討も必要となる。

8-2.2 昭和町工業団地

(a) 埋め立て経緯

昭和町工業団地は、昭和40年代頃に埋め立てられて昭和50年代頃から用地の売却を行っており、埋め立ては航路や泊地の浚渫土砂及び埋め立て地前面の海底から採取した土砂をポンプ船で吹き込んで造成している。

(b) 土質構成

昭和町工業団地の既往調査で確認されている地層構成は標高TP-10m程度以浅が、現世の埋土(R)層であり、標高TP-10m以深は第四紀沖積世の粘性土(Ac)層となっている。

埋土(R)層は、砂質土を主体として埋め立てられているが、部分的に粘性土を主体とする所があり、極めて不均質である。N値は、2~21とばらついており、平均的なN値は約10程度であるが、2~5と緩いまたは軟らかい所がある。沖積粘性土(Ac)層は、シルトを主体とし、N値は1~6と軟らかい~中位の地層である。

(c) 液状化層の推定と標準的な対策工法

液状化したと想定される地層は、砂分の多い埋土(R)層である。

土質としては、竹内工業団地とは異なり細粒分含有率は20%以下であり、密度増大工法の採用が考えられるが、既に団地内の操業率は高く液状化対策に対しては近接する構造物への影響を検討する必要があるため、大掛かりな密度増大工法の採用は難しく構造物周りに施工が可能な連続地中壁工法や増杭、布基礎の強化等の基礎の強化工法が考えられる。

8-2.3 富益団地

(a) 埋め立て経緯

富益団地は、昭和50年代前半頃に埋め立てられて昭和50年代後半頃から用地の売却を行っており、埋め立ては盛土材をダンプトラック等で搬入して造成している。

(b) 土質構成

富益団地の既往調査で確認されている深度は、標高TP-14m程度までである。標高TP+4.5m程度以浅は、現世の埋土(R)層であり、標高TP+4.5m以深から標高TP-0m~TP-3mは第四紀の沖積世の砂丘砂(Ad)層である。標高TP-0m~TP-3m以深は第四紀の洪積世の砂質土(Ds)層・粘性土(Dc)層である。埋土(R)層は、砂質土を主体として埋め立てられているが、部分的に粘性土の所があり、不均質である。N値は、層厚が薄いために標準貫入試験が1回だけであるが、2と緩い地層である。沖積世の砂丘砂(Ad)層は、細砂を主体とし、N値は6~32と緩い~中位の地層である。洪積砂質土(Ds)層は、中砂を主体とし、N値は20~50以上と中位~非常に密な地層であり、洪積粘性土(Dc)層は砂質シルトを主体とし、N値は14と硬い地層である。

(c) 液状化層の推定と標準的な対策工法

今回液状化被害を受けた箇所は、これまでの調査で部分的に掘削埋戻しを行ったと推定される一部である。今後は埋め戻し材料の特性を明らかにして対策工法を検討する必要がある。なお、家屋の構造に応じた別途布基礎の強化等基礎の強化工法も考えられる。

8-2.4 崎津団地

(a) 埋め立て経緯

崎津団地は、昭和20年から昭和40年にかけて農地増反政策として、航路や泊地及び団地前面の海底から採取した浚渫土で埋め立てられ、その後建設残土等で2m程度盛土された土地である。

平成13年度から分譲予定で、平成12年8月から造成工事に着手していた。

(b) 土質構成

崎津団地での調査で確認されている深度は、標高TP-19m程度までである。標高TP-3m程度以浅は、現世の埋土(R)層であり、標高TP-3m以深は第四紀沖積世の砂丘砂(Ad)層・粘性土(Ac)層・砂質土(As)層である。埋土(R)層は、砂質土を主体として埋め立てられており、一部を除いて比較的均質である。N値は、3~12と緩い地層である。沖積世の砂丘砂(Ad)層は、細砂~中砂を主体として不均質であり、N値は15~27と中位な地層である。沖積粘性土(Ac)層は、火山灰質粘土を主体とし、N値は4と軟らかい地層であり、沖積砂質土(As)層は細砂~粗砂を主体として不均質であり、N値は16~34と中位~密な地層である。

(c) 液状化層の推定と標準的な対策工法

液状化したと想定される地層は埋土(R)層であり、埋土層に対する対策を検討する必要がある。崎津団地は今後に売却が計画されている団地であり、全てが未操業地と言う位置付けから大規模な液状化対策も検討が可能である。土質特性からみても密度増大工法とあいてのサンドコンパクションパイル工法・振動棒工法等の採用が挙げられる。また新規の構造物を対象するため、小規模構造物に関しては表層部分での液状化対策工法の選定も考えられる。

8-2.5 安倍彦名団地

(a) 埋め立て経緯

安倍彦名団地は、江戸時代中期に海面を埋め立てて水田となった。昭和60年代頃に水田を造成し、平成元年から用地の売却を行っている。

(b) 土質構成

安倍彦名団地の既往調査から確認されている土質の深度は、標高TP-19m程度までである。標高TP-7m程度以浅は、現世の埋土(R)層であり、標高TP-7m以深は第四紀沖積世の粘性土(Ac)層・砂質土(As)層である。埋土(R)層は、砂質土を主体として埋め立てられているが、部分的にシルト分を多く混入する所があり、不均質である。N値は、0~18とばらついており、平均的なN値は約10程度であるが、0~9と緩い所がある。沖積粘性土(Ac)層は、シルトを主体とし、N値は0~3と軟らかい地層である。沖積砂質土(As)層は、中砂を主体とし、N値は7~21と緩い~中位の地層である。

(c) 液状化層の推定と標準的な対策工法

今回の地震で液状化したと想定される地層は埋土(R)層であり、造成当時にサーチャージ盛土をした箇所に関しては液状化被害が発生していないことが特徴として挙げられている。現時点では既に団地として供用されていることから新規にサーチャージ盛土施工は不可能であり、戸建て住宅等の小規模建築物では、表層地盤置き換え、布基礎の強化、ジオグリッド工法等の個別工法の考慮が必要である。

8-2.6 弓浜干拓地

(a) 埋め立て経緯

弓浜干拓地は、昭和44年度から昭和55年の間に外周堤防の埋立整備が行われている。また、埋立工事は昭和51年に着手し、昭和58年度に完了している。

(b) 土質構成

弓浜干拓地の既往柱状図から土質構成は、標高-2~-5mの中海の海域を干拓・埋立造成した地盤である。旧海底面下は砂質土で構成されているが、上部は比較的緩い沖積砂層が分布し、さらにこの下には洪積世の砂層(N値=20~30)が分布する。

(c) 液状化層の推定と標準的な対策工法

干拓・埋立土の性状の詳細は不明であるが、地震被害状況からみて緩い砂、シルトが主体をなすと考えられ今回の液状化被害もこの干拓・埋立土層に起因するものと見られる。ただし、干拓地内は構造物の無い耕作地であることから、液状化対策自体の必要性についての検討が大切であろう。

8-2.7 彦名干拓地

(a) 埋め立て経緯

彦名干拓地は、昭和46年度から昭和59年の間に外周堤防の埋立整備が行われている。また、埋立工事は昭和51年に着手され現在に至っている。

(b) 土質構成

彦名干拓地の既往の柱状図を対比して示した。標高-2~-7mの中海の海域を干拓・埋立造成した地盤であり、旧海底面下5m程度の厚さで沖積粘性が分布し、この下にはN値10~30程度の砂質土層が分布している。干拓・埋立土の性状の詳細は不明であるが、地震被害状況からみて緩い砂、シルトが主体をなすと考えられる。

(c) 液状化層の推定と標準的な対策工法

今回の液状化被害は弓浜干拓地と同様に干拓・埋立土層に対する対策を検討することとなる。ただし、干拓地内は構造物の無い耕作地であることから、液状化対策自体の必要性について検討することも重要である。

8-2.8 米子港

(a) 埋め立て経緯

米子港は昭和51年頃から埋め立てが開始され、昭和59年までに埋め立てが完成している。

(b) 土質構成

米子港周辺の既往柱状図から地表面下には、埋立土と想定される緩い砂層が5~7m程度の厚さで分布している。この下には、軟弱な粘性土、砂質土が堆積している。全般に旗ヶ崎よりで軟弱粘性土が厚く分布する傾向にある。さらに、GL-30m付近から、N値>30程度を示す砂質土、礫質土が分布している。液状化対策の対象となる地層は埋立土層となる。

(c) 液状化層の推定と標準的な対策工法

標準的な対策工法としては、既に操業している建物を対象とすると、表層部分の注入固化工法や、増杭・

布基礎の強化等構造物側で対処する工法が標準的に挙げられる。

以上、各地域毎に標準的な液状化対策工法を提案したが、現時点で個別の構造物に対して詳細な土質定数・構造設計条件を基にしていなかったため、実際には個別毎の対象に対して検討することが必要である。

出典及び参考文献

- 1) 地盤工学会：液状化対策の調査・設計から施工まで、地盤工学会, p.140, 1993
- 2) 地盤工学会：液状化対策の調査・設計から施工まで、地盤工学会, pp.142-151 に加筆
- 3) 石原研而：Stability of Natural Deposits during Earthquake, 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, pp.321-376, 1985

9. 鳥取県全域の液状化可能性についての検討

9-1. 鳥取県地域防災計画での液状化危険予想地域

鳥取県では地域防災計画(震災対策編)の中で、液状化危険予想地域を示している(図 9-1)。この想定は、5万分の1土地分類図を用いて液状化危険予想地域を示しており、地形分類図や地質図により液状化の可能性を評価したものである。

しかしながら、液状化の可能性については、大・中・小等のランク分けがされておらず、「液状化危険予想地域」のみの表現となっており、弓ヶ浜半島の場合、埋立地と旧砂丘地等の区分がなく、全域液状化危険予想地域となっている。

このことから、今回の地震の結果を踏まえた上で、鳥取県全域の液状化の可能性について、点検を行うものである。

9-2. 鳥取県全域での液状化予測方法の提案

液状化予測方法には、いろいろな種類があるが、今回は対象とする地域が広く概略的な意味合いがあるため、微地形分類を用いた液状化可能性の判定を行うこととしたい。この微地形区分を用いる方法については、1994年「小規模建築物のための液状化マップと対策工法」(国土庁、建設省監修)として発表され、それを発展した形で資料9-1に示す「液状化地域ゾーニングマニュアル(平成10年度版)」(国土庁防災局 震災対策課発行)としてとりまとめられている。

この「液状化地域ゾーニングマニュアル」の微地形区分による液状化可能性の判定方法は、地震動のレベルをレベル1地震動とレベル2地震動の2つに分けたところに特徴がある。

- レベル1地震動: 構造物の供用期間内に1~2度発生する確率を有する地震動*
(例: 1964年新潟地震、マグニチュード M=7.5)
- レベル2地震動: 陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震や直下型地震による地震動のように供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動*
(例: 1995年兵庫県南部地震、マグニチュード M=7.2)

また、この方法は最も簡単なグレード1の調査から、詳細なグレード3の調査方法まで含まれている。各グレードの内容は以下の通りである。

- グレード1: 液状化対象地域を地形分類により大きく区分する方法(山地と平野を区分し、平野を対象範囲とする)
- グレード2: 微地形区分を用いて液状化可能性の程度を判定する方法
- グレード3: ボーリング柱状図等を収集し、表層地盤の応答計算も行って詳細に液状化判定する方法

今回の鳥取県全域での検討方法は上記のグレード2にあたり、地表の地形分類および表層の地質を用いて概率的な液状化可能性の程度を検討するものであり、詳査するためには、ボーリング・標準貫入試験などの調査、試験データの収集・分析が必要である。

※文献: 土木学会: 土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」(1996)

第2 液状化危険

地形分類図や地質図等の既存資料に基づき、相対的に液状化しやすい地域を検討し、県域の液状化危険を定性的に評価した。なお、ここでは地盤種別の詳細な数値計算は行わず、以下の指標による読図を行い、概括的な評価を行った。

表2.1 地形と地震災害危険（地形の縁辺部や境界で生じやすい災害）

地形	地震災害の種類		地形	地震災害の種類	
	地盤の液状化	その他の災害		地盤の液状化	その他の災害
扇状地	末端部で危険がある。		天井川沿いの微高地	低地との境界付近で危険	
緩扇状地	地下水位の高い場所は危険。末端部で危険がある		海岸平野	砂丘の背後、砂堆・砂州の縁辺は発生の可能性大	
自然堤防	河道や背低地との境界付近は危険。	比高の大きい砂丘斜面や、自然堤防、砂堆・砂州の縁部では、地震時に崩壊や陥没・亀裂の発生がある。	後背低地	自然堤防との境界付近は危険。	
砂丘	周縁部の地下水位が高い場所は危険海岸砂丘の場合、内陸斜面下部で危険大。砂丘間の凹地も、地下水が高い場合、危険が大きい。		人口地形		軟弱な地形からなる人口地形と良好な地盤の境界付近では、地震時には地下埋設物や構造物に被害が生じやすい。
砂（礫）堆 砂（礫）州	周縁部の地下水位が高い場合危険。海岸砂丘は内陸斜面下部で危険大。				

出典：自治省消防庁「防災アセスメントに関する調査研究報告書」（昭和59年3月）

図1.4.10 液状化危険予想地域

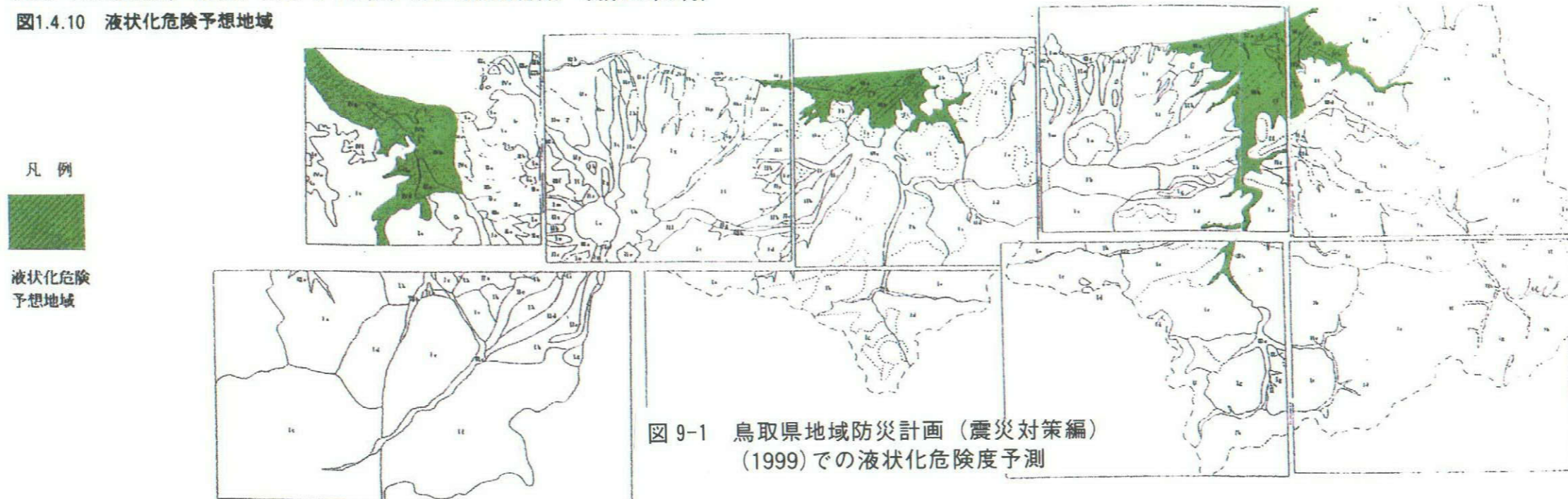


図9-1 鳥取県地域防災計画（震災対策編）（1999）での液状化危険度予測

鳥取県の液状化危険としては、以下のように整理される。

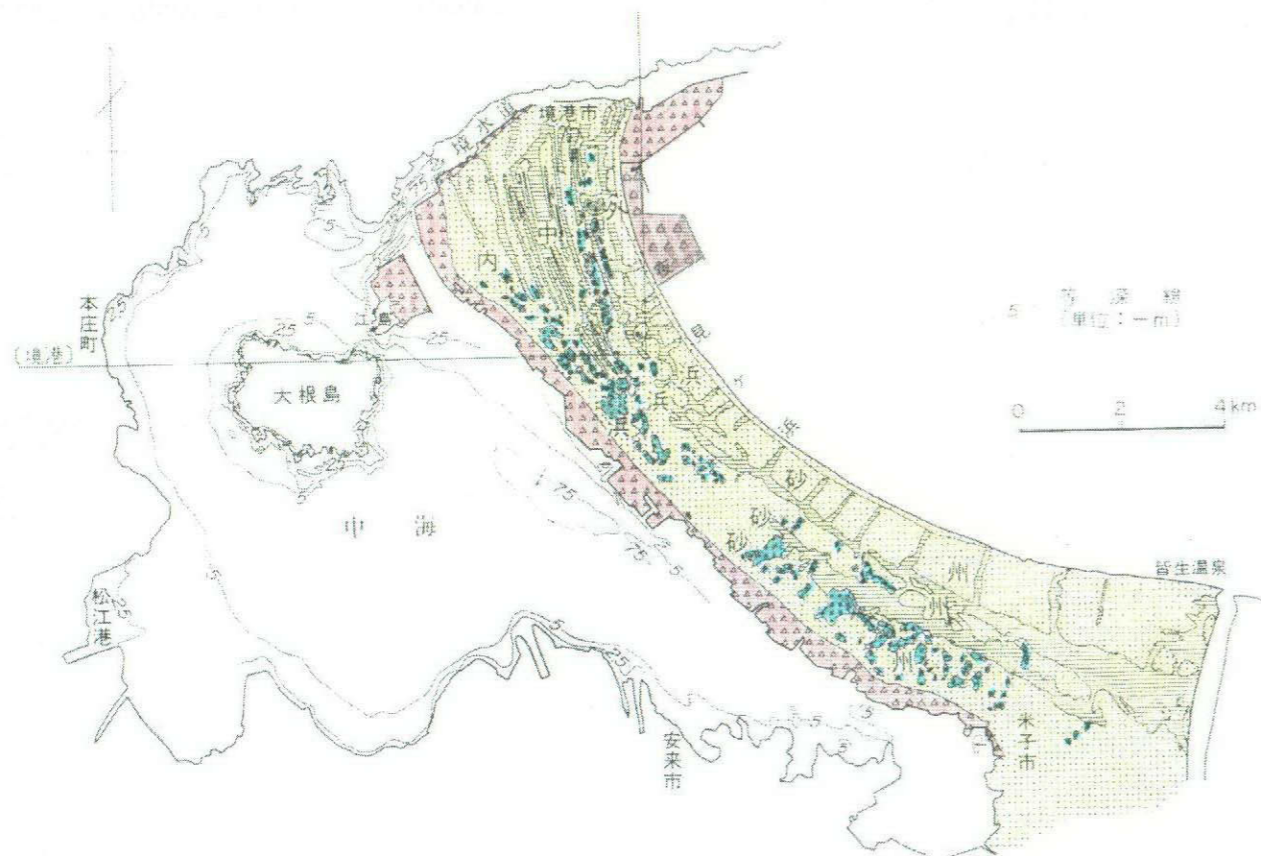
- (1) 扇状地及び緩扇状地
日野川扇状地や袋川扇状地等が隣接平野と接合する末端部で液状化危険がある。これ以外にも大山北端に多くの扇状地が分布する。
- (2) 自然堤防
千代川や天神川下流にみられる自然堤防のうち、旧河道や後背低地に接する部分は液状化危険が大である。特に、鳥取市江津では、後背湿地との比高が3mに達する部分もある。
- (3) 砂丘、砂（礫）堆及び砂（礫）州
弓浜半島の砂州、鳥取砂丘、北条砂丘、大山北端に分布する礫の浜堤が連続する。これらのうち、凹地部分や地下水位によって液状化危険の高い部分がある。
- (4) 海岸平野及び後背低地
鳥取砂丘、北条砂丘等の砂丘の背後の後背地においては、後背湿地や三角州性低地がかなり発達しており、また、上記の砂（礫）堆及び砂（礫）州、自然堤防との隣接部も液状化危険の高い部分がある。
- (5) その他
総合的評価として、鳥取県の平野部分は、その形成過程からみると液状化危険の高い部分が多い。ただし、これらは、地形・地質特質に基づく相対的・潜在的危険度の概略的な評価であり、想定地震による震源位置との関連による具体的な被害発生区域の分布については、今後の詳細な調査による検討が望まれる。

9-3. 弓ヶ浜半島での液状化予測結果の検証

「液状化地域ゾーニングマニュアル」の方法を用いて弓ヶ浜半島で液状化を予測した結果を図9-2に示した。これによると弓ヶ浜半島の液状化可能性の程度は、3つに区分され、埋立・干拓地については、レベル1地震動で「液状化の可能性大」、レベル2地震動で「液状化の可能性極大」となった。また、海岸砂丘では、同じように「極小」および「小」となっている。

弓ヶ浜半島での地震動レベルは、境港の強震記録(EW 成分 302gal)から考えるとレベル1地震動とレベル2地震動の中間と考えられる。また、図9-3に示す国土地理院による鳥取県西部地震液状化被害調査図(2000)によると弓ヶ浜半島で液状化が発生した地点は、すべて埋立地であり、他の微地形区分では液状化が発生していない。

図9-2の微地形区分による予測結果は、図9-3の実際の液状化発生状況と合致したものとなっている。



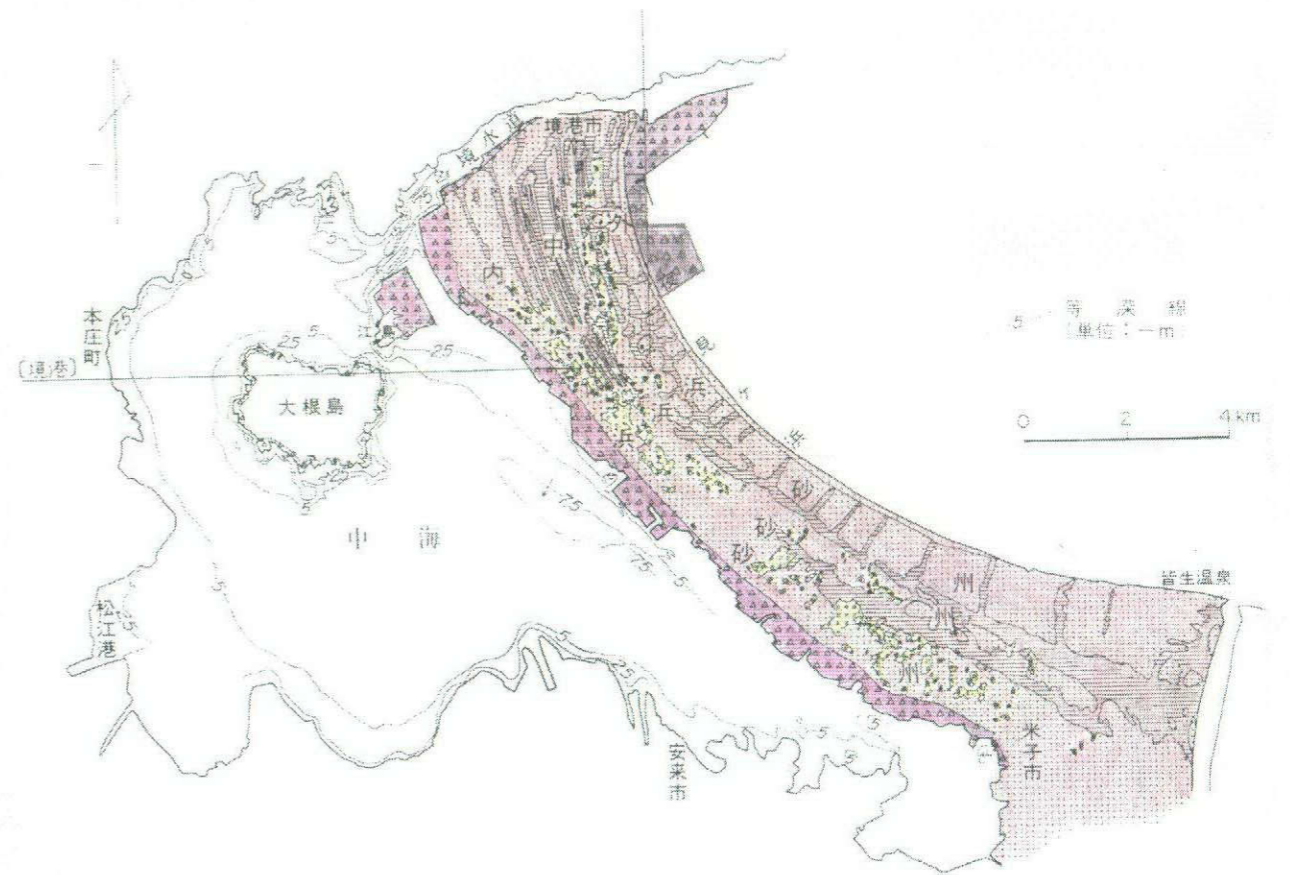
微地形区分による液状化可能性の判定

レベル1地震動*	
微地形	表層地盤の液状化可能性の程度
砂州・浜境	極小
海岸砂丘	小
後背湿地	大
埋立・干拓地	大

レベル1地震動*	
表層地盤の液状化可能性の程度	液状化発生面積率の目安
小	2%程度
極小	1%未満
小	2%程度
大	10%程度

* 今回の鳥取県西部地震の弓ヶ浜半島の地震動の大きさは、境港の強震観測記(EW成分302gal)から考えると、上記のレベル1地震動とレベル2地震動の間と考えられる。

図9-2(1) 微地形区分による液状化可能性の判定<レベル1地震動>
(液状化地域ゾーニングマニュアル〔平成10年度版〕
平成11年1月 国土庁防災局 震災対策課)



微地形区分による液状化可能性の判定

レベル2地震動*	
微地形	表層地盤の液状化可能性の程度
砂州・浜境	極大
海岸砂丘	小
後背湿地	大
埋立・干拓地	極大

レベル2地震動*	
表層地盤の液状化可能性の程度	液状化発生面積率の目安
大	10%程度
小	2%程度
大	10%程度
極大	20%以上

* 今回の鳥取県西部地震の弓ヶ浜半島の地震動の大きさは、境港の強震観測記(EW成分302gal)から考えると、上記のレベル1地震動とレベル2地震動の間と考えられる。

図9-2(2) 微地形区分による液状化可能性の判定<レベル2地震動>
(液状化地域ゾーニングマニュアル〔平成10年度版〕
平成11年1月 国土庁防災局 震災対策課)

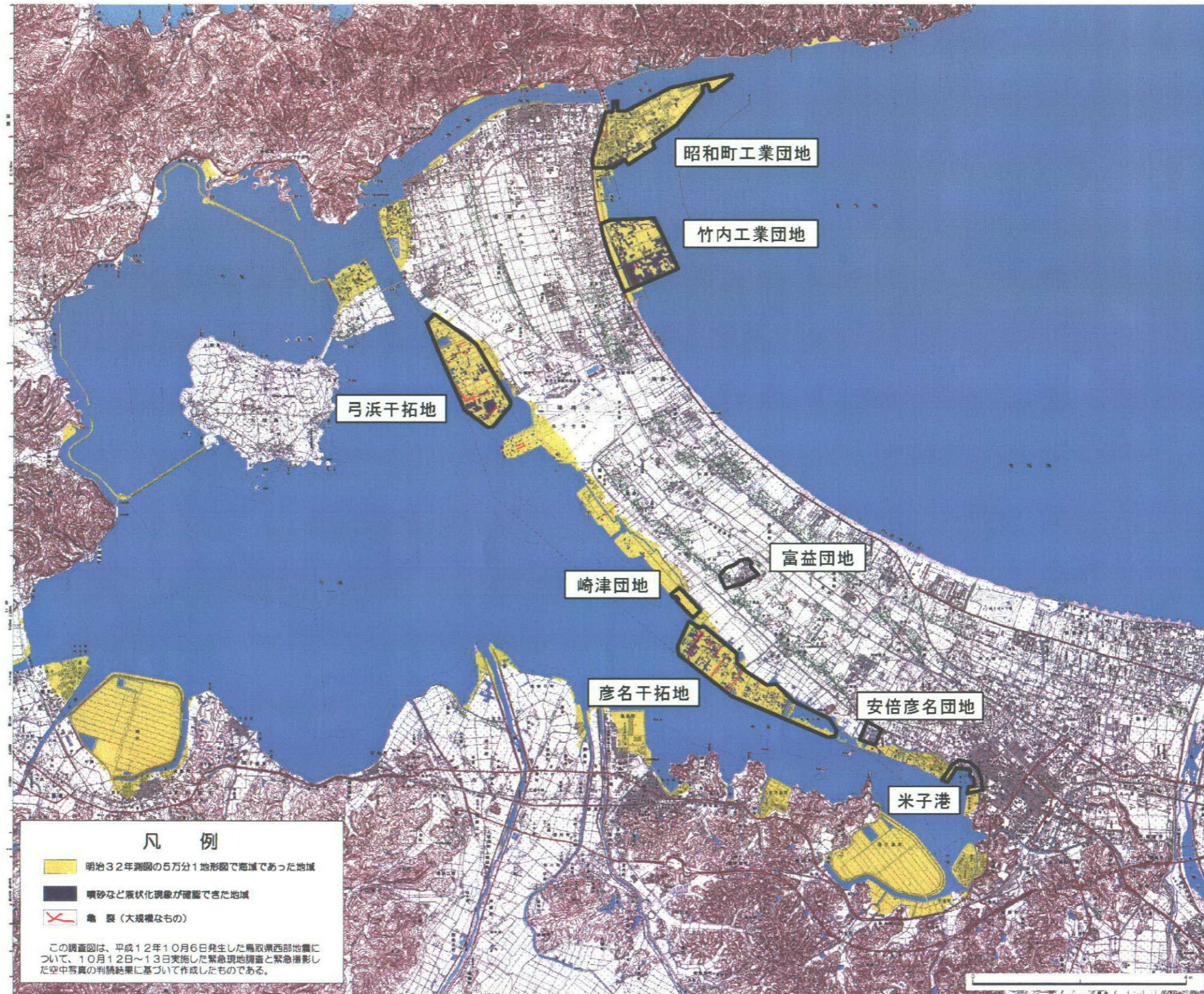


図9-3 鳥取県西部地震液状化被害調査図（国土地理院：平成12年11月作成に加筆）

9-4. 鳥取県全域での液状化予測について

ここでは、経済企画庁発行(1974)の鳥取県全域の地形分類図および表層地質図を用いて、鳥取県全域での液状化予測を行った。まず地形分類図から、図9-4の黒線で囲んだように低地部分を抽出し、図9-5に示す表層地質図の未固結層堆積物を重ね合わせた。なお、図9-5の黒線で囲んだ部分は、「砂がち堆積物」を示している。次に3-1節の「液状化地域ゾーニングマニュアル(平成10年度版)」の微地形区分による地盤表層の液状化可能性の判定基準を基に、地形区分と表層地質の組み合わせにより表9-1に示す判定基準を作成した。さらに、図9-6に示すように現在の地形図と明治32年の地形図を比較し、埋立地を抽出し、埋立地の液状化可能性を上記マニュアルを用いて検討した。これらをまとめて鳥取県全域での液状化予測図作成し、図9-7(1)〔レベル1地震動〕および図9-7(2)〔レベル2地震動〕に示した。

図9-7(1)レベル1地震動の場合、液状化の可能性のある場所は、弓ヶ浜半島、倉吉平野の海岸部および鳥取平野の海岸部の極僅かに限られ、埋立地を除いて表層地盤の液状化可能性の程度は極小(液状化発生面積率で1%未満)である。この場合埋立地では、表層地盤の液状化可能性の程度は大(液状化発生面積率で10%程度)となっている。

図9-7(2)のレベル2地震動の場合は、鳥取県内陸まで液状化の可能性があるが、表層地盤の液状化の程度は小(液状化発生面積率で2%程度)である。弓ヶ浜半島、および極僅かに倉吉平野・鳥取平野の海岸部砂州では、液状化の程度は小(液状化発生面積率で2%程度)であり、埋立地では極大(液状化発生面積率で20%程度以上)となっている。

表9-1 微地形および表層地質による液状化可能性の程度分類

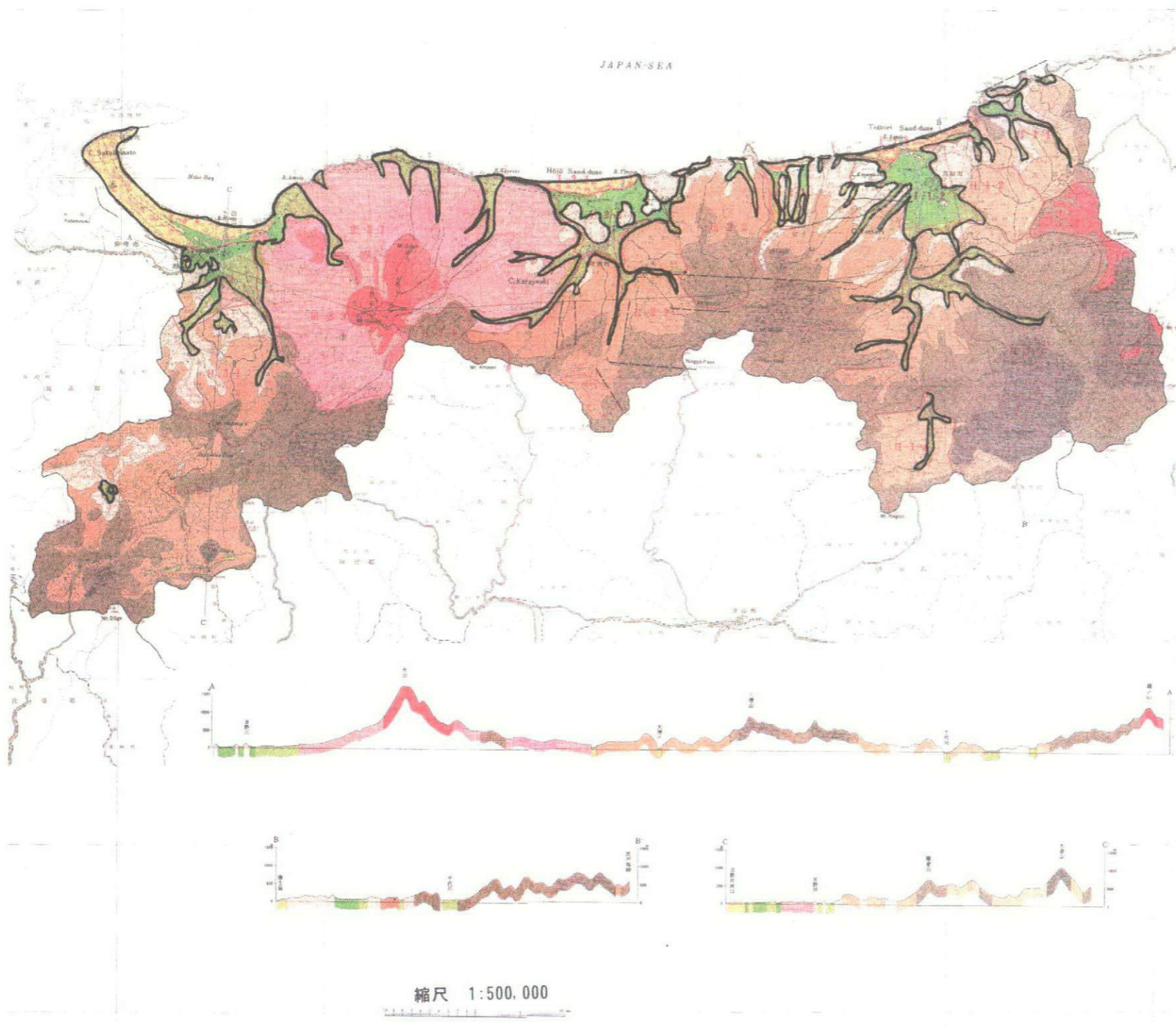
地形分類	表層地質	液状化可能性の程度		備考
		レベル1地震動	レベル2地震動	
扇状地性低地	礫がち堆積物	極小	小	
	砂がち堆積物	—	—	出現しない
	泥がち堆積物	極小	小	
	砂礫堆積物	極小	小	
	砂丘砂	—	—	出現しない
三角州性低地	礫がち堆積物	極小	小	
	砂がち堆積物	小	大	
	泥がち堆積物	極小	小	
	砂礫堆積物	極小	小	
	砂丘砂	極小	小	
自然堤防・砂州	礫がち堆積物	極小	小	
	砂がち堆積物	極小	小	
	泥がち堆積物	極小	小	
	砂礫堆積物	極小	小	
	砂丘砂	極小	小	
埋立地	—	大	極大	別途抽出

9-5. 鳥取県全域での液状化についての今後の取り組みについて

図9-7(1), (2)に示した鳥取県全域でのレベル1地震動およびレベル2地震動の液状化予測図を併せて検討すると、1943年の鳥取沖地震や鳥取地震等の過去の地震における特に鳥取平野部での液状化被害の発生領域と整合しない。この原因としては図9-7に示したものは、地表の地形分類および表層の地質で液状化予測を行ったものであり、深度方向の情報は入っていないと言う低いグレードでの判定であったことが理由として挙げられる。

本研究会で検討した弓ヶ浜半島の埋立地に於いては、標準貫入試験結果(N値)などの深度方向のデータを取り入れることにより、現行の液状化判定法におけるFL値、PL値で妥当な評価が得られること、さらに竹ノ内工業団地の様な細粒分の多い埋立土については、今回従来の細粒分による補正係数の適用範囲を広げることにより実被害に合致する判定ができることが検証できた。

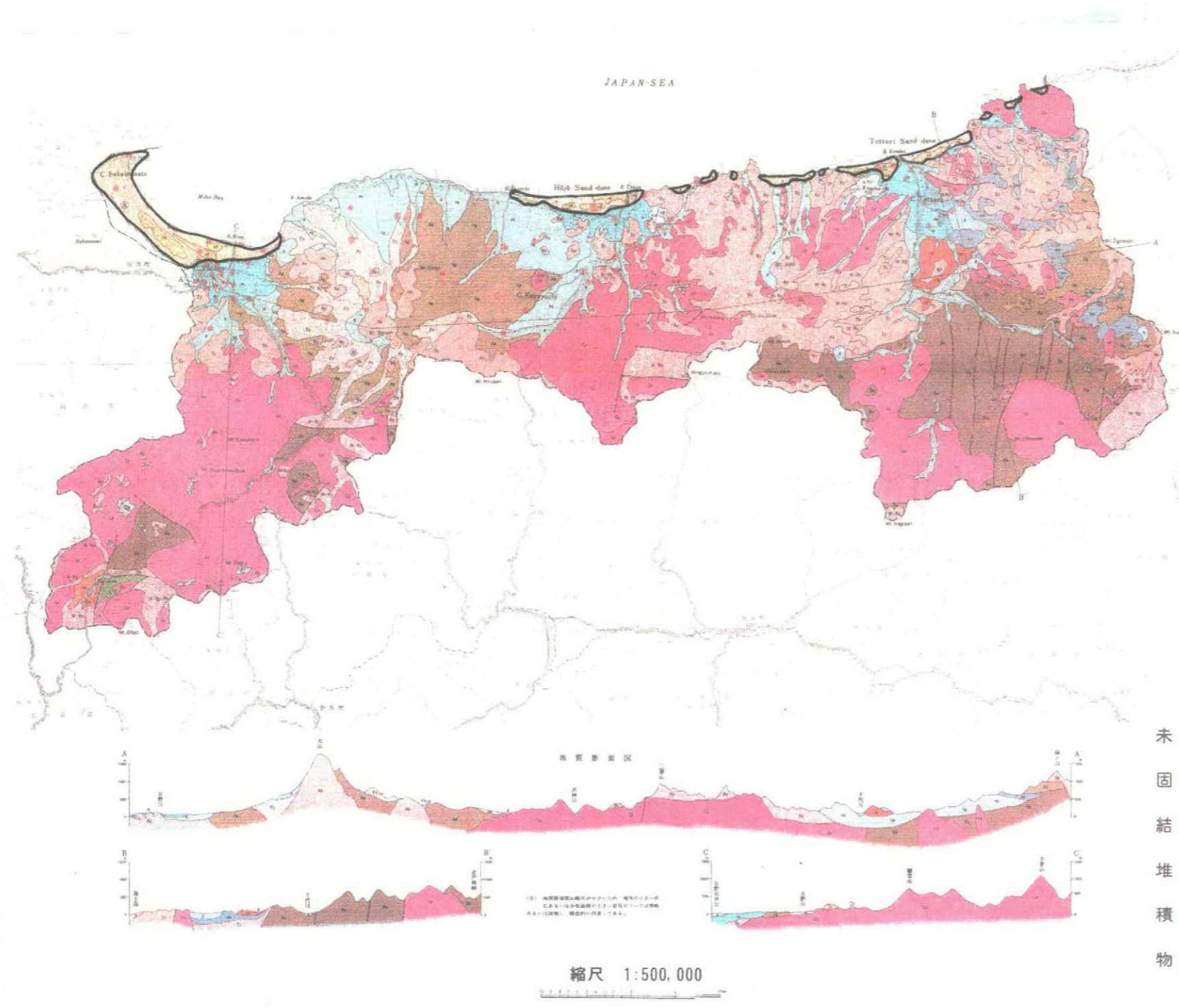
今後、全県域の液状化の可能性について検討する場合、その目的に対応した予測精度を考慮することが重要であり、また精度を高く求めればそれに応じて調査レベルも高くする必要がある。全県域で今回行った微地形分類を用いた手法より高いグレードの予測を行う場合には、既存調査ボーリングによる標準貫入試験結果(N値)などの深度方向のデータを取り入れる必要がある。



凡 例

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>低 地</p> <ul style="list-style-type: none"> 扇状地性低地 三角洲性低地 自然堤防・砂州 | <p>米子平野には岸本駅を扇頂とし、大山寺駅を扇端とする日野川扇状地がみられ大山火山からの支流による小扇状地が東からこれを被覆する複合扇状地をなす。鳥取平野では袋川扇状地がみられる。大山北麓には多くの扇状地がみられる。</p> <p>鳥取県においては砂丘地の背後に規模の差はあれ必ずみられる。その地形発達はい海→ラグーン→後背湿地→三角洲性低地と変貌したため、海成粘土、泥炭腐植が厚く堆積している。地形および構成物質から海拔10m付近が限界をなすことが多いようである。</p> <p>自然堤防は千代川、天神川下流にみられる。鳥取市江津では後背湿地との比高3mに達する。砂州は弓浜半島に見事に発達する。また大山北麓では礫の浜堤が連続するが狭小なため表現していない。北条・鳥取砂丘では海拔数mの砂州上に砂丘が発達した。</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

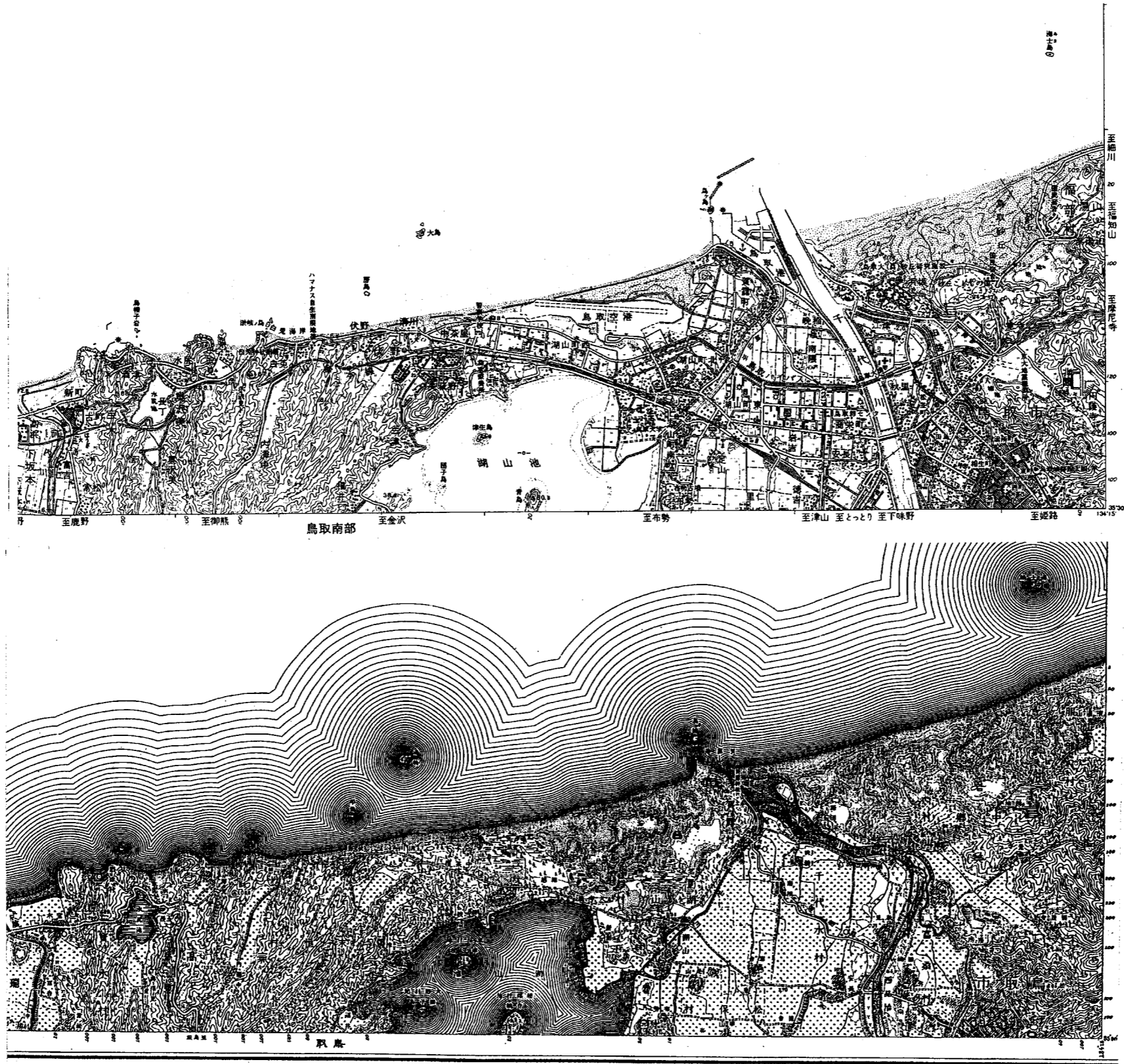
図 9-4 地形分類図



凡 例

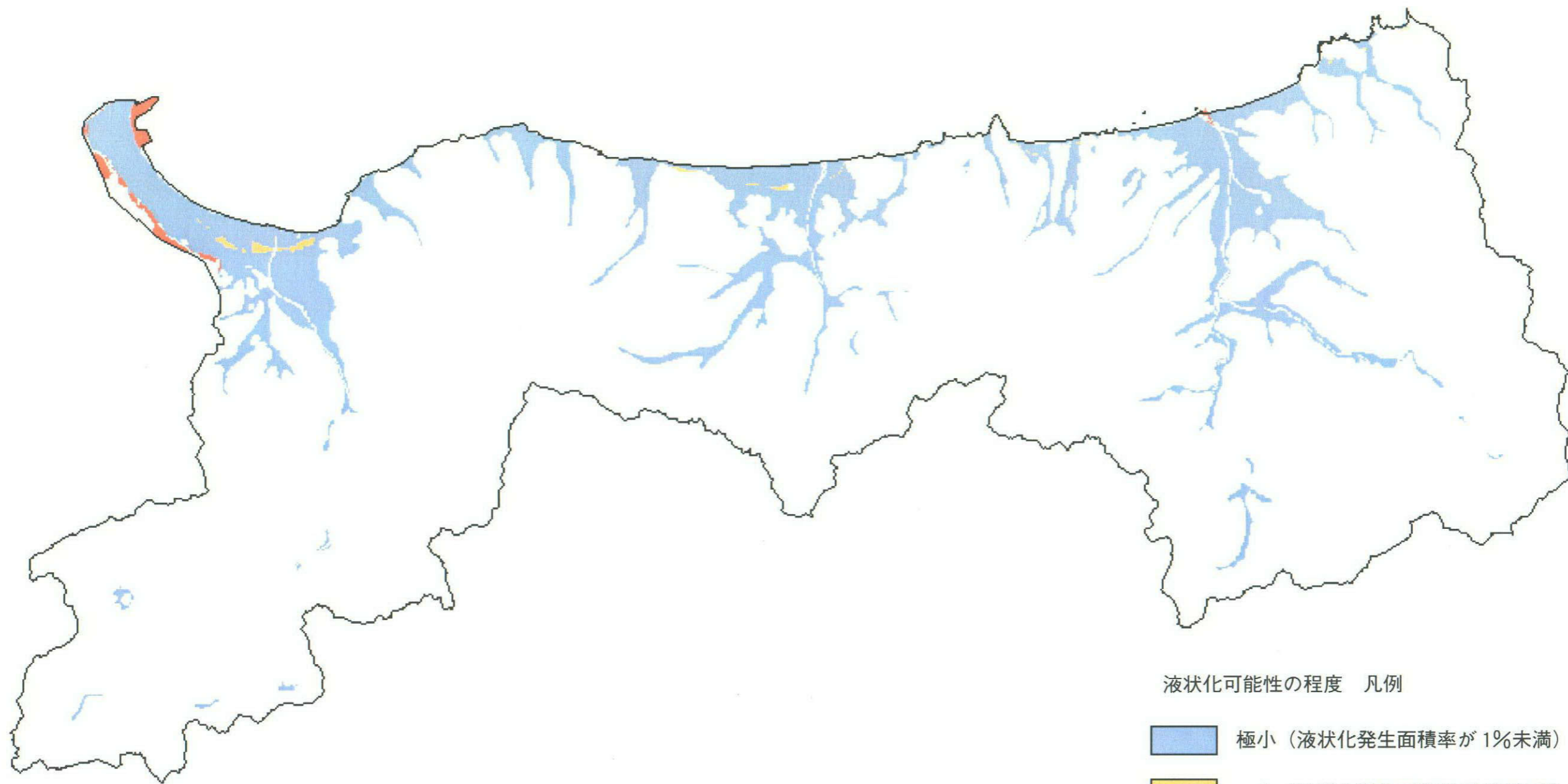
m	泥がら堆積物	県内の河川が平野にそ、くところに扇状地堆積物として見られるほか、河谷部にみられる。コブシ大から人頭大のものまであり、きわめて新鮮である。砂がちのところに漸移することもある。礫は花崗岩、安山岩、節理成岩の順に多い。国府川や日野川の扇状地礫層が顕著である。腐蝕性堆積物の場合に角礫である。すべて沖積世に形成された。	沖積世
s	砂がら堆積物	県下の海岸部の低地に帯状に広く分布する。とくに海岸平野の沿岸部に砂丘を構成しているものと弓浜半島で砂州を構成するものが大部分である。細粒砂と中粒砂の石英砂が多いが粒度はよく揃っており、長石や有色鉱物も含まれていて、全般に黄色がかっている。沖積地の地下にも砂がら堆積物は多く、泥がら堆積物に漸移する。厚いところでは20mに達するが未凝固で風によって容易に移動する。	
sg	砂礫堆積物	鳥取平野、倉吉平野、米子平野の県下三大河川の河口部に発達している沖積地には厚い泥層として分布している。N値は0-2のような軟弱地盤をなし、含水率も大きい。これらは洪積世の海退期に形成された侵食谷を沖積世に埋積した海成粘土である。砂層および礫層を夾在することがあるが泥がら堆積物としてまとめた。湯山、湖山、宝木、倉人などでは湖沼ないし湿地帯として形成されたものである。シルト混りの泥が多く、砂がら堆積に漸移する。	
sd	砂丘砂	大山山麓および平野の内陸側周辺に発達する砂礫層で20-60mの台地-段丘平坦面を構成するものが多い。礫はコブシ大から人頭大のものが圧倒的に多い。洪積世の堆積物で前・中期洪積世砂礫層はクサリ礫化しており、大山の下部ローム層によって被覆されている。溝口層、御来屋砂礫層、駄経寺砂礫層で代表される。洪積世後期の砂礫層は比較的新鮮で大山火山灰層の中・上部層をのせている。高尾層、辨本層などで代表される。	洪積世
sg	砂がら堆積物	いわゆる“古砂丘”を構成する洪積砂層である。鳥取平野、倉吉平野の沿岸部で砂がら堆積物の下に埋積されている砂で、やしまつていて風によっては移動しない。風化がすすんで古砂丘の表層部は粘土化しているほか全体に黄褐色化している。大山火山灰層の中・上部層をのせている、きわめて粒度の揃った砂で下部は水平ラミナが上部は斜交したラミナが発達している。厚さは30m以上のところがある。	

図9-5 表層地質図（平面的分類図）



縮尺 1:62,500

図 9-6 表層地質図 (平面的分類図)



液状化可能性の程度 凡例

極小（液状化発生面積率が1%未満）

小（液状化発生面積率が2%程度）

大（液状化発生面積率が10%程度）

図9-7(1)鳥取県全域の液状化予測図〔レベル1地震動〕

注) 本図面は既存の表層地形・地質データより概略的に予測を行ったものであり、詳細な液状化予測を行うためには地盤の深度方向の地盤特性を調べるための調査が必要となります。

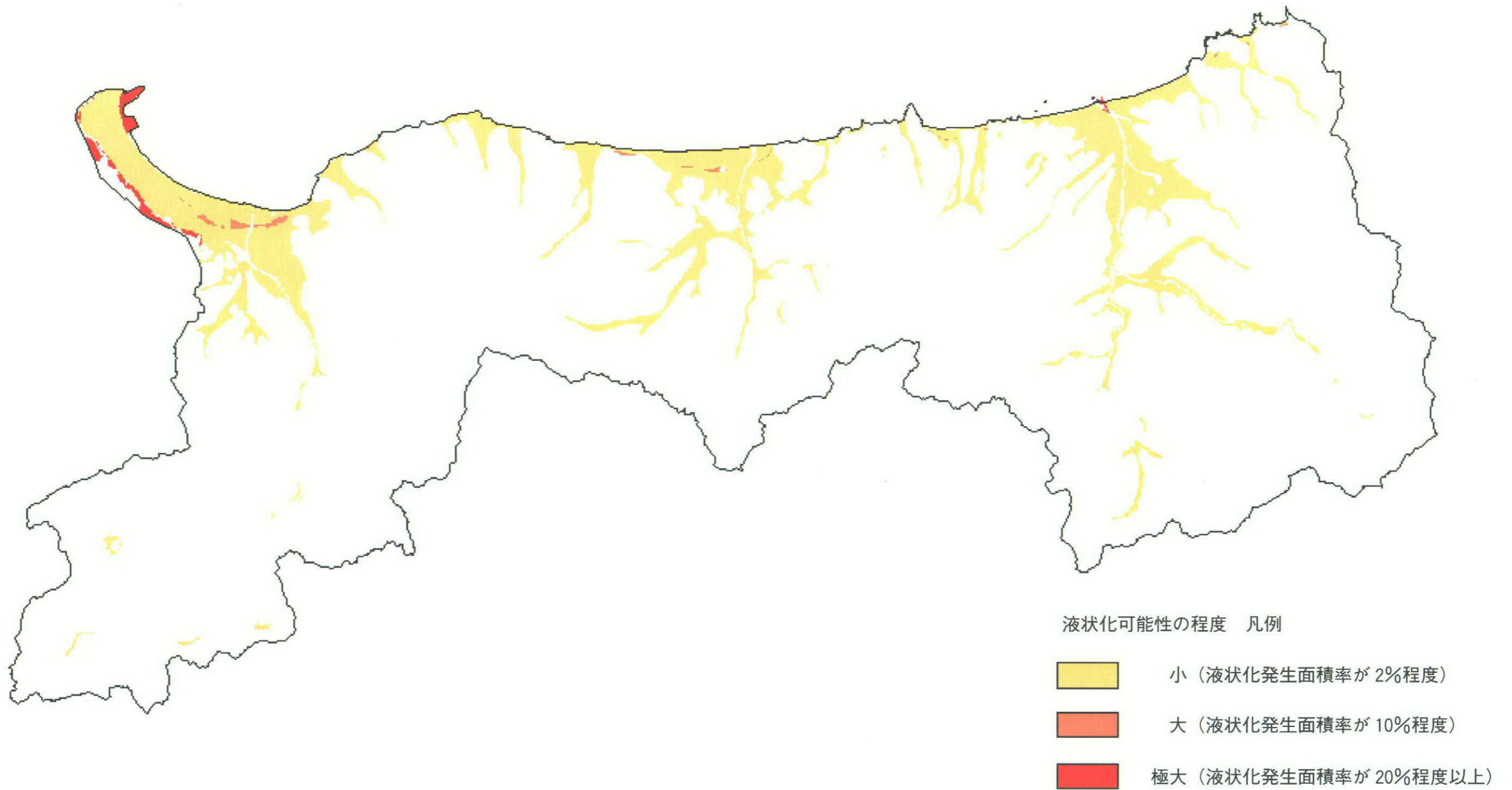


図 9-7(2) 鳥取県全域の液状化予測図 [レベル2地震動]

注) 本図面は既存の表層地形・地質データより概略的に予測を行ったものであり、詳細な液状化予測を行うためには地盤の深度方向の地盤特性を調べるための調査が必要となります。

資料9-1 液状化地域ゾーニングマニュアル
(平成10年度版)

5.4 微地形分類図の作成

グレード2微地形分類図に用いる微地形分類は、原則として表5.4.1に示す沖積低地に関するものに段丘地形を付加したものをを用いる。

- (a) 沖積低地に形成される地形は、概ね表5.4.1に示した地形区分に分類できる。ここでは、入手した微地形分類図を空中写真等を用いて、さらに細かい地形区分に分類して地図化する。
- (b) 比高の違いが重要になるような砂丘、自然堤防などについてはできるだけ現地踏査により確認する。
- (c) 段丘といえども地下水位が高い場合には液状化する可能性があるため、段丘地形も分類することとした。

平成11年1月

国土庁防災局
震災対策課

表 5.4.1 微地形分類基準

微地形区分		判断の際の分類基準		
分類	細分類	地形的位置、特徴	形態	主な土地利用
谷底平野	扇状地型谷底平野	古期岩盤の山地、砂礫層の丘陵地	縦断勾配のやや急な谷底	畑、水田
	デルタ型谷底平野	未固結岩石の丘陵地、台地	縦断勾配の緩やかな谷底	水田
扇状地	扇状地（沖積錐を含む）	河川の谷底、山麓部	扇状～円錐状、平均縦断勾配 1/100 (0.57°) 程度以上	果樹園、桑畑、畑
	緩扇状地	同上、または扇状地の末端部	扇状～円錐状、平均縦断勾配 1/100 (0.57°) 程度以下	畑、水田
自然堤防	自然堤防	現・旧河川の流路沿い	帯状またはパッチ状の微高地	畑、桑畑、集落
	自然堤防縁辺部	低地一般面と自然堤防の境界部	同上、微高地のうち比高 1m 以下の部分	畑
	比高の小さい自然堤防			
	蛇行州（ポイントバー）	蛇行河道の凸岸側にできる堆積地形	河道に沿って湾曲した帯状または半円状の微高地	水田
後背低地		自然堤防・砂州・砂丘の背後	沼沢性起源の低地	水田
旧河道	新しい（明瞭な）旧河道	低地域の全般、過去の河川流路の跡	帯状凹地、一般面よりの比高 0.5～1.0m	水田、荒地
	古い（不明瞭な）旧河道	同上	帯状凹地、比高 0.5m 以内で不連続	水田
旧池沼		過去の池沼の跡	凹地または平坦地	水田、荒地
湿地		低地域のうち排水不良地、湧水地点付近、旧河道	同上	同上
河原	砂礫質の河原	扇状地型谷底平野・扇状地における現河道の流路沿い	平坦、流水に覆われることのある復地中流部	荒地、果樹園
	砂泥質の河原	デルタ型谷底平野・低地一般面における現河川の流路沿い	同上、下流部	荒地、畑、水田
三角洲（デルタ）		河川の河口部	起伏に乏しい	水田
砂州（浜堤砂礫含む）	砂州*	海岸、湖岸沿い	汀線に平行な微高地	針葉樹林、畑、荒地、集落
	砂礫州	同上	同上	同上
砂丘	砂丘	海岸、河岸	小丘の集合体、一般面との比高 3m～4m 以上	針葉樹林
	砂丘末端緩斜面	同上、砂丘の縁辺部	比高 3m～4m 以下	畑、集落
海浜	海浜	海岸地域の境外地	海岸の波打ち際の砂地	海浜
	人工海浜	同上	同上、人工的なもの	同上
砂丘間低地・堤間低地		砂丘間、砂州間	比較的平坦	畑、水田
干拓地		沿岸地域、湖水域形や水面を干して陸地化した土地	平坦地、規則正しい地割り	水田
埋立地		海城などの水面を一般面と同じ高さまで埋め立てたもの	平坦地	工場地、宅地
湧水地点（帯）		扇状地末端部、砂丘縁辺部、断崖部、旧河道、湿地、天井川に沿った堤内地	———	湿地、水田
盛土地		———	低地において 1m 以上の盛土	宅地

砂州、砂礫州：空中写真だけでは判断困難。
 盛土地：ここである盛土地とは、崖・斜面に隣接した盛土地、低湿地・干拓地・谷底平野上の盛土地を指す（すなわち、地下水位が高いと想定されるもの）。これ以外の盛土地は、盛土前の地形の区分と同等に扱う。
 段丘：本表は沖積地の微地形分類のため、段丘層は記載していないが、斜面に隣接し地下水位が高いと想定される段丘については液状化の可能性があるので、段丘も分類するものとする。

5.5 液状化可能性の判定

1) 微地形区分による判定基準

微地形分類図と表 5.5.1 の液状化判定基準を使用して、地盤表層の液状化の可能性を地震動のレベルに応じて、それぞれ下記の 4 段階に判定する。

- レベル 1 地震動 --- 「大」、「小」、「極小」、「無」
- レベル 2 地震動 --- 「極大」、「大」、「小」、「無」

表 5.5.1 地形から見た判定基準

地盤表層の液状化可能性の程度					微地形区分
グレード 1	グレード 2				
	レベル 1 地震動	レベル 2 地震動			
液状化の検討を要する地域	大	液状化の可能性は大きい	極大	液状化の可能性は非常に大きい	埋立地、盛土地、旧河道、旧池沼、ポイントバー、砂泥質の河原、人工海浜、砂丘間低地、堤間低地、湧水地
	小	液状化の可能性は小さい	大	液状化の可能性は大きい	自然堤防、湿地、砂州、後背低地、三角洲、干拓地、緩扇状地、デルタ型谷底平野
	極小	液状化の可能性は極めて小さい	小	液状化の可能性は小さい	扇状地、砂礫質の河原、砂礫州、砂丘、海浜、扇状地型谷底平野
要しない地域	無	可能性無し	無	可能性無し	台地・段丘、丘陵地、山地

(注 1) ・ここで言う盛土地とは、崖・斜面に近接した盛土地、低湿地・干拓地・谷底平野上の盛土地をさす。これ以外の盛土地は、盛土前の微地形区分と同等に扱う。
 (注 2) ・自然堤防のうち、自然堤防縁辺部、比高の小さい自然堤防等、地下水位が高い部分 (G.L.-2m ~ G.L.-3m 以浅) は液状化の可能性を 1 ランク高く評価する。
 ・砂丘のうち、砂丘末端斜面や切土地など、地下水位が高い部分 (G.L.-2m ~ G.L.-3m 以浅) は液状化の可能性を 2 ランク高くする。
 ・台地・段丘上でも凹地部分などで地下水位が高い場合は、液状化の可能性がある。

(a) 表 5.5.1 の分類の特徴は、過去の被害事例研究に基づき、液状化の要因と微地形分類を関連づけている点にある。

したがって、地域に固有な地形分類がある場合や微地形を構成する表層土質が地域性により一般と異なる場合には、上表作成の基本精神を尊重し、地下水位の高低、その構成土質および成因、粒度分布、液状化履歴などを勘案して地盤の液状化被害の程度を判断するものとする。

(b) また、盛土・干拓地は人工地盤のため、自然地盤と異なり、その構成土質は現地条件や施工者に左右される場合もある。そのため、その構成土質によっては上記分類とは液状化の可能性が異なることがある点、注意を要する。

(c) 参考－液状化発生面積率について－

表 5.5.1 では、地盤表層の液状化可能性の程度を、「極大」、「大」、「小」、「極小」の 4 種類に表現した。これらの分類は、例え「極大」と言えどもここに分類された面積の大半が液状化するわけではない。

例えば、1964 年の新潟地震では、図 5.5.1 に示すように各地形区分内に含まれる液状化発生面積率 (b) の図) は以下の通りであった³⁾。

地形種別	液状化発生面積率
旧河道	25.0%
現河道	8.0%
人工地	16.0%
氾濫平野	1.4%
砂浜	2.2%
砂丘	2.3%
低湿地	4.5%
自然堤防	2.7%
砂丘間低地	3.3%

この新潟地震の事例(レベル 1 地震動)では、各地形区分ごとではなく、新潟平野における砂質土層の分布範囲の全面積に占める液状化が実際に発生した面積の割合については、3%程度であった。

また、新潟地震の事例を整理したこれらの結果を用いて、液状化可能性ランク毎の液状化発生面積率(例えば、液状化可能性ランク A の面積中で実際に液状化すると推定される面積率)を算出した例がある³⁾。これによれば、下記のような液状化発生面積率が示されている。

液状化可能性ランク	液状化発生面積率
A ($15 < P_L$)	18 (%)
B ($5 < P_L \leq 15$)	5 (%)
C ($0 < P_L \leq 5$)	2 (%)
D ($P_L=0$)	0 (%)

1978 年の宮城県沖地震では、図 5.5.2 に液状化地点中の各地形の地点数の割合が示されている⁴⁾。また 1983 年日本海中部地震および 1976 年唐山地震での沖積低地における液状化発生面積率(液状化発生面積/沖積低地の面積)が示されており、日本海中部地震では 2~5%となっている³⁾。

レベル 2 地震動の例としては、平成 7 年兵庫県南部地震の際の地形分類別液状化発生面積率を、1 万分の 1 地形図の「西宮」、「芦屋」、「六甲」、「三宮」、「長田」地区を対象に求めたものがある⁴⁾。この場合、下記のような値が得られている。

地形種別	液状化発生面積率
埋立地	20% ~ 32%
自然堤防	1%以下
緩扇状地	1%以下
海岸平野・三角州	1%以下

このような事例から、それぞれ液状化可能性の程度を分類した微地形区分の面積の中で、表 5.5.2 の程度の面積率で液状化することが考えられる。

表 5.5.2 微地形区分ごとの液状化発生面積率の目安

液状化可能性の程度	液状化発生面積率
極大	20%程度以上
大	10%程度
小	2%程度
極小	1%未満
無	0%

注 1: 「埋立地」に分類される微地形区分では、液状化可能性程度が「極大」で液状化発生面積率が 30%以上になることもあり得る。グレード 3 マップの図 6.5.2 (1) を参照されたい。

注 2: 「旧河道」に分類される微地形区分では、「旧河道」に分布する地盤の違いにより、液状化発生面積率も大きく異なる。図 5.5.1 に示す新潟地震の事例(砂質土主体)と図 5.5.2 に示す宮城県沖地震の事例(粘性土主体)を参照されたい。

10. まとめ

鳥取県西部地震では、弓ヶ浜半島周辺で地盤の液状化現象による被害が多数発生し、建築構造物や道路、港湾施設などの公共施設に甚大な被害をもたらした。弓ヶ浜半島液状化対策研究会では、平成12年12月から平成13年3月までの間に3回の研究会を開催して、液状化被害の実態把握、液状化発生のメカニズムならびに液状化対策工法の検討するとともに、鳥取県全域における将来的な液状化現象の発生の可能性について検討を行った。

液状化現象の被害やメカニズムについて、以下の地区で検討した。

- ① 竹内工業団地
- ② 昭和工業団地
- ③ 富益住宅団地
- ④ 崎津住宅団地
- ⑤ 安倍彦名住宅団地
- ⑥ 弓浜干拓地
- ⑦ 彦名干拓地
- ⑧ 米子港

今回発生した鳥取県西部地震による弓ヶ浜半島における液状化現象の特徴や検討結果の概要を以下に整理した。

- 地盤の液状化現象の発生は、弓ヶ浜半島の周辺の埋立地・干拓地の若齢地盤のみであった。弓ヶ浜半島の在来地盤は、地形的には砂嘴、砂丘からなっており、人工的な掘削・埋立地盤などの特別な場合を除いて、砂嘴、砂丘上での液状化現象の発生は認められない。
- 弓ヶ浜半島で地表の微地形分類から表層地盤の液状化可能性の程度を検討し、ほぼ実際の被害に見合う予測結果が得られた。次に、鳥取県全域の液状化可能性についても検討を行った。これはについては、用いた微地形分類図の縮尺が1/200,000であることなどの理由から、過去の液状化履歴と必ずしもよく整合しなかった。これらの検討は、表層の地質をもとにした概略的な評価であり、深度方向の情報は入っていないため、今後は、ボーリング、標準貫入試験結果（N値）などの深度方向のデータも取り入れて、液状化予測図の精度を上げることが望ましい。
- 特に竹内工業団地では、シルトを主体とした埋立土で液状化現象が発生しており、大規模な地割れや噴砂（泥）が見られ大きな被害をもたらした。また、高松川（承水路）では、周辺の埋立地盤の液状化に伴う側方流動による被害が発生している。

現在の液状化判定基準では、塑性指数 $IP < 15$ 以下、細粒分混入率 $F_c < 35\%$ 以下あるいは粘土分混入率が20%以下などの土層について液状化の可能性について検討することとなっている。しかし、竹内工業団地においては、これらの規定からはずれるシルト地盤で液状化現象が発生しており、こうした地盤での液状化の判定手法の研究は今後の課題と言えよう。

- 今回の地震での液状化に伴う地盤の明瞭な強度の増加は認められない。将来的に今回の地震と同等規模の地震が発生した場合の地盤の液状化の発生の可能性について検討を行ったが、今回での地震と同様に半島の外周部の人工的に造成された埋立地・干拓地で液状化の発生が予測される。
- 地域別に標準的な液状化対策工法の提案を行った。大きくは、液状化そのものを発生させないようにする考え方とある程度液状化の発生は許しても被害を軽減する考えに立つ対応が考えられる。具体の対応については、計画する建物や構造物の重要度、利用形態あるいは費用対効果などの要素を十分勘案のうえ選定されるべきであり、必要に応じて個別に地盤調査行いや液状化発生の可能性について検討をするのが望ましい。

以 上