

7. 復旧工法と液状化対策工法について

平成12年鳥取県西部地震においては、第4章に示したように竹内工業団地での被害を始めとして、県営工業団地の多くの敷地・建物に被害が発生しており、被災状況に差はあるものの、地盤の液状化に起因するものが大半と言える。

地震後の調査結果によると、地震前後の地盤状況に大きな変化は認められず、また、今後同程度の地震が再来した場合の液状化判定では同様の液状化被害の発生が予想される結果となっている。

今後、各企業の建物・敷地の復旧に際しては、何等かの液状化防止対策ないし被害軽減対策を盛り込むことが期待される。また、新たに進出、操業開始する場合においても同様である。

7-1. 復旧工法に関して

既設建造物の復旧に際しては、被災程度のみならず、建物の経過年数や老朽化の程度等も考慮して決められることになる。また、被災程度に係わらず、必要とされる補修や補強工事の内容から建物の解体が余儀なくされる場合もある。

いずれにしても被災の程度について調査・診断（特に木造建物では傾斜角、鉄筋コンクリート造では残留耐震強度）を行い建築法令に見合った必要な復旧工法を検討することが大切となる。

一般に取られる復旧工法には以下のものがある。

*木造建物	傾斜角 3/1000~5/1000	現況での破損個所の補修
	5/1000~10/1000	建屋全体の引き起こし<ジャッキアップ>
	10/1000~15/1000 以上	建屋全体の引き起こし<ジャッキアップ>・補修又は立て替え
*鉄筋コンクリート造	損傷の程度に応じ、損傷個所の補修、補強、解体・建替え 補強工法・建物重量軽減、耐震壁増設（RC、鉄骨ブレース）	
*鉄骨造	傾斜角 1/120 以上	柱引き起こし<ジャッキアップ>
	基礎支持力不足	アンダーピニング又は建物周囲の連続壁 杭の増設・基礎の補強・連結
	土間の沈下	被害小 コンクリート打直し 被害大 解体・埋め戻し 表層改良 or 柱状改良
	その他破損部分	修復

7-2. 液状化対策工法

ここでは、液状化とこれに係わる被害への対策の考え方について、以下の図表に整理した。

図7-1 被災箇所の対策工選定フロー

図7-2 未操業地の液状化対策工選定フロー

表7-1 工業団地別対策工法選定表

表7-2 液状化対策及び被害軽減工法の概要

図7-1のフローは今回の地震で被害の発生した建物及び敷地について、復旧及び機能回復に加えて取りうる対策工を、被災状況と被災原因に応じて選定する場合の考え方について示したものである。内容的には復旧工法と重複するものも出てくる。また、被災内容が複数に及ぶ場合、対策も幾つかの組合せが考えられる。

図7-2のフローは未操業地やこれから進出が計られる敷地への対策工を検討する場合の考え方を示したものである。

対策工は、大きく分けて液状化全層の液状化防止策と被害軽減対策に分けられる。

表7-1の選定表は一般的に考えられる対策工法について、団地別の適用性を検討したものである。各団地の対策工法は、地盤状況や液状化危険度及び操業状況等によって適用性の評価が異なってくる。

表7-2の概要表は、一般に考えられる対策工法の概要や特徴及び標準仕様を示したものである。

なお、対策工法の選定に際しては建物の規模や施設の重要度の他に、リスクに応じた費用対効果も考慮して、選びうる対策工は条件に応じて個々に異なるであろうが、最低限の被害軽減対策の採用が望まれる。

実際の対策工を選定する場合、未操業地や新規進出敷地への対策は出来るだけ面的改良が望ましく、高度な対策が求められる場合は液状化層の密度増加ないし固化工法、一般企業の場合には被害軽減対策としての表層固化工法が適当と考えられる。また、被害低減対策の場合は、建築構造・基礎の補強や配管継ぎ手の可撓化など万一を考慮した予防策も合わせて採用することが理想的である。又、杭基礎の場合は液状化を考慮した設計が必要である。

一方、既設建物に採用しうる対策工は限られてくる。復旧工法との兼ね合いにもよるが、全面的解体や移設を伴わない場合、液状化防止対策としては注入固化工法か建物周囲への人工材ドレーン工法、矢板等地中壁工法が可能性のある工法となる。一般には被害低減対策+予防的補助工法が採用され、被害低減対策としては表層固化+増杭 or 直接基礎の強化が妥当な工法と考えられる。

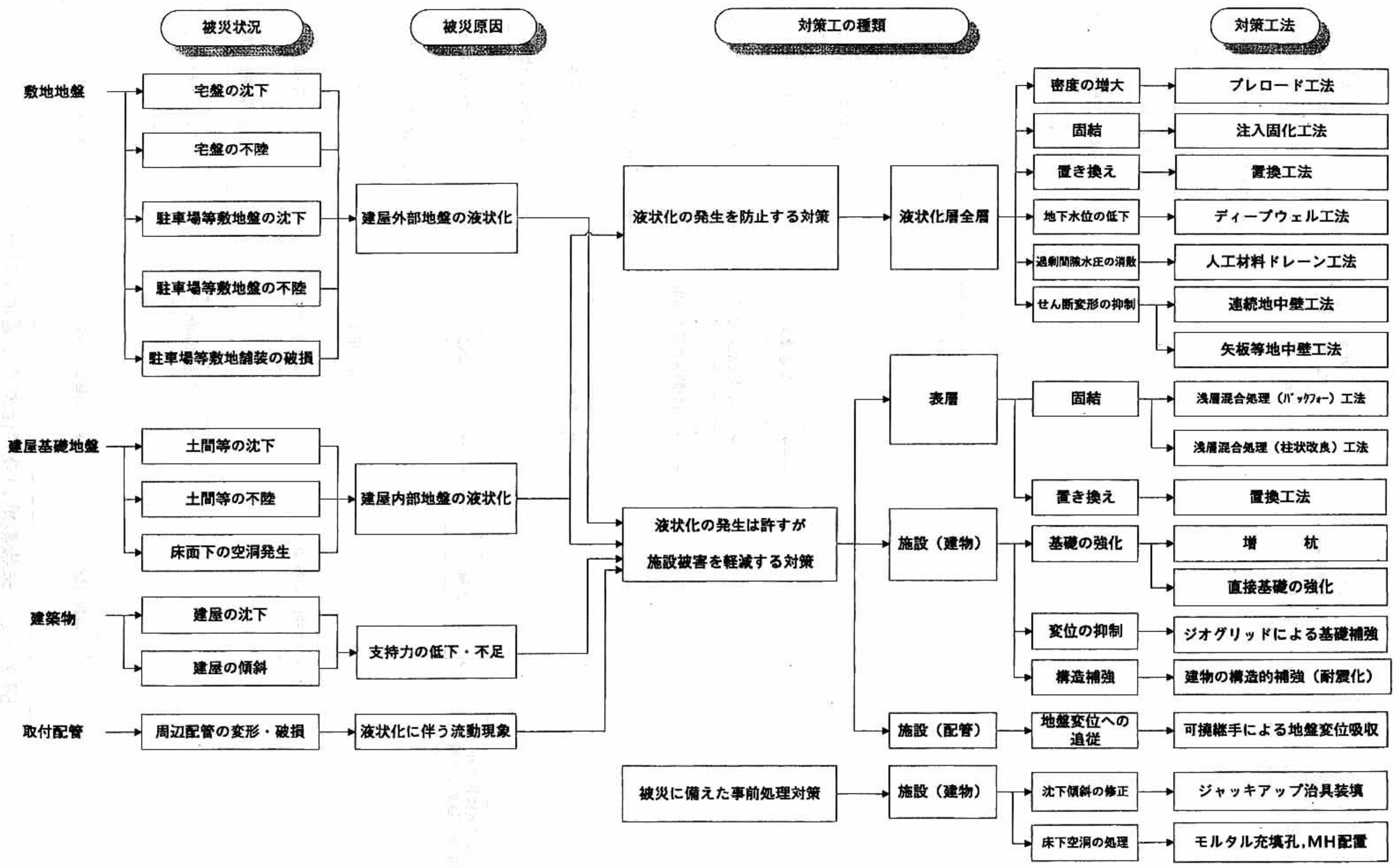


図 7-1 被災箇所の対策工選定フロー

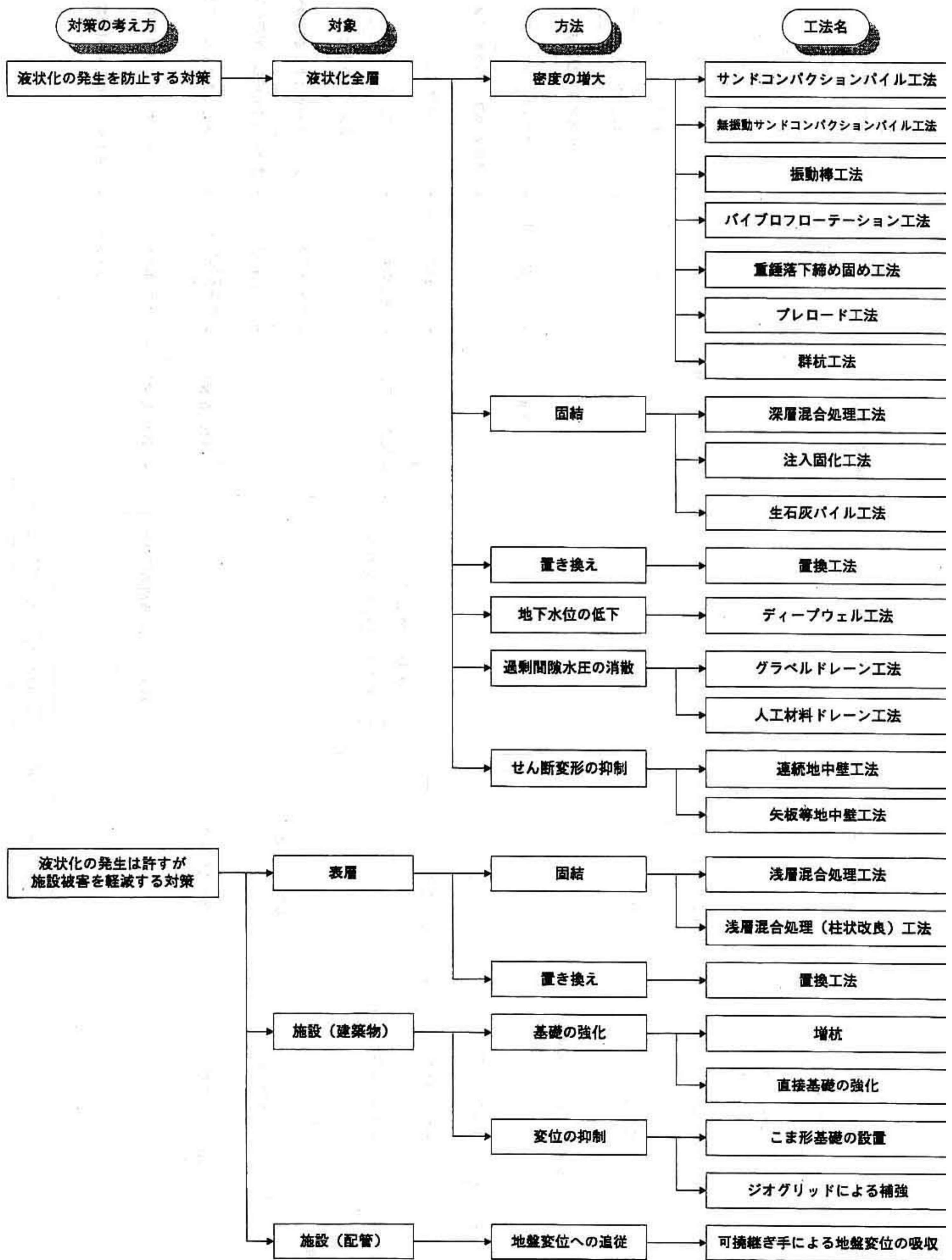


図7-2 未操業地の液状化対策工選定フロー

表7-1(1) 県営工業団地別の対策工法選定表

対象	既設建物 近接物無し		凡例 ◎：適用が妥当な工法 ○：適用が可能な工法 △：適用には注意を要する工法 ×：適用が困難な工法				
	対策目的	対策内容	竹内工業団地	昭和工業団地	旗ヶ崎工業団地	崎津団地	選定理由
		地盤特性	シルト主体	細砂～シルト主体	細砂主体	細砂主体	
		操業状況	半数操業	全数操業	全域操業	未操業	
		想定液状化厚(GL-m)	14～20m	12m	4～19m	6m	
		液状化危険度	危険度 大	危険度 小～中	危険度 中	危険度 小	
液状化の発生を防止する対策	密度の増加(液状化層)	対策工法					
		サトコパクションパイル	×～△	×～△	×～△	△	シルト系土質効果疑問、振動影響注意
		無振動サトコパクションパイル	△～○	△～○	△～○	△～○	〃
		振動棒工法	×～△	×～△	×～△	△	〃
		パイロレーション工法	×～△	×～△	×～△	△	〃
		重鎮落下締め固め工法	×～△	×～△	×～△	△	〃
		プレート工法	△	×～△	△	△	既存建物悪影響
	固化(液状化層)	群杭工法	×～△	×～△	×～△	△	既存建物悪影響
		深層混合処理工法	×～△	×～△	×～△	△	作業スペース疑問
		注入固化工法	△～○	△～○	△～○	△～○	作業スペース疑問
	置き換え	生石灰パイル工法	×～△	×～△	×～△	△	作業スペース疑問
		置換工法	×～△	×～△	×～△	△～○	5m以上施工困難
	地下水位の低下	ディープウェル工法	△～○	△～○	△～○	△	沈下が既存建物に悪影響
	過剰間隙水圧の消散	グラベルドレーン工法	△～○	△～○	△～○	△～○	10m以上効果疑問
		人工材料ドレーン工法	△～○	△～○	△～○	○	10m以上効果疑問
	せん断変形抑制	連続地中壁工法	△～◎	△～◎	△～◎	△	施工スペース困難？
		矢板等地中壁工法	○～◎	○～◎	○～◎	○	既存建物悪影響
	液状化の発生は許すが施設被害を軽減する対策	固化(表層)	浅層混合処理(バックホウ)工法	△～○	△～○	△～○	○
浅層混合処理(柱状改良)工法			△～○	×～○	×～○	○	既存建物悪影響
置き換え(表層)		置換工法	△～○	△～○	△～○	○	
		増杭	△～○	△～○	△～○	○	既存建物悪影響
液状化を考慮した建築構造設計(基礎・上屋)		布基礎の強化	○～◎	○～◎	○～◎	◎	
		こま形基礎設置	△	△	△	△	
		建築構造補強	◎	◎	◎	◎	
		ジャッキアップ工法	△～○	△～○	△～○	○	既存建物悪影響
		ジャッキアップ治具	◎	◎	◎	◎	補助工法
変位追従		床下モルタル充填孔・MH	◎	◎	◎	◎	補助工法
	可とう継手	◎	◎	◎	◎		

表7-1(2) 県営工業団地別の対策工法選定表

対象	既設建物 近接物有り		凡例 ◎：適用が妥当な工法 ○：適用が可能な工法 △：適用には注意を要する工法 ×：適用が困難な工法				選定理由	
	竹内工業団地	昭和工業団地	旗ヶ崎工業団地	崎津団地				
	地盤特性	シルト主体	細砂～シルト主体	細砂主体	細砂主体			
	操業状況	半数操業	全数操業	全域操業	未操業			
	想定液状化厚(GL-m)	14～20m	12m	4～19m	6m			
	液状化危険度	危険度 大	危険度 小～中	危険度 中	危険度 小			
対策目的	対策内容	対策工法						
液状化の発生を防止する対策	密度の増加(液状化層)	サントコンパクション工法	×～△	×～△	×～△	△	シルト系土質効果疑問、振動影響あり	
		無振動サントコンパクション工法	△	△	△	△	〃	
		振動棒工法	×～△	×～△	×～△	△	〃	
		ハイロフレーション工法	×～△	×～△	×～△	△	〃	
		重鎮落下締め固め工法	×～△	×～△	×～△	△	〃	
		プレート工法	×～△	×～△	×～△	△	隣地沈下影響	
	固化(液状化層)	群杭工法	×～△	×～△	×～△	△	振動変形影響	
		深層混合処理工法	×～△	×～△	×～△	△	振動変形影響、作業スペース困難	
		注入固化工法	△	△～○	△	△	作業スペース困難	
	置き換え	生石灰工法	×～△	×～△	×～△	△	〃	
		置換工法	×～△	×～△	×～△	△	〃	
		地下水位の低下	ディープウェル工法	×～△	×～△	×～△	△	〃
		過剰間隙水圧の消散	グラベルドレーン工法	×～△	×～△	×～△	△	〃
			人工材料ドレーン工法	△～○	△～○	×～○	△～○	〃
せん断変形抑制	連続地中壁工法	△	△	△	△	〃		
	矢板等地中壁工法	△～○	△～○	△～○	○			
液状化の発生は許すが施設被害を軽減する対策	固化(表層)	浅層混合処理(バックホウ)工法	△～○	△～○	△～○	△～○	作業スペース困難	
		浅層混合処理(柱状改良)工法	△～○	×～○	×～○	△～○	〃	
	置き換え(表層)	置換工法	△～○	△～○	△～○	△～○	〃	
		増杭	△～○	△～○	△～○	△～○	〃	
	液状化を考慮した建築構造設計(基礎・上屋)	布基礎の強化	○～◎	○～◎	○～◎	◎		
		こま形基礎設置	△	△	△	△		
		建築構造補強	◎	◎	◎	◎		
		ジョッキスタイル工法	△～○	△～○	△～○	△～○	作業スペース困難	
		ジャッキアップ治具	◎	◎	◎	◎	補助工法	
	変位追従	床下モルタル充填孔・MH	◎	◎	◎	◎	補助工法	
可とう継手		◎	◎	◎	◎			

表7-1(3) 県営工業団地別の対策工法選定表

対象	新設(全面改築含む) 近接物無し		凡例 ◎：適用が妥当な工法 ○：適用が可能な工法 △：適用には注意を要する工法 ×：適用が困難な工法				選定理由
	竹内工業団地	昭和工業団地	旗ヶ崎工業団地	崎津団地			
	地盤特性	シルト主体	細砂～シルト主体	細砂主体	細砂主体		
	操業状況	半数操業	全数操業	全域操業	未操業		
	想定液状化厚(GL-m)	14～20m	12m	4～19m	6m		
	液状化危険度	危険度 大	危険度 小～中	危険度 中	危険度 小		
対策目的	対策内容	対策工法					
液状化の発生を防止する対策	密度の増加(液状化層)	サントコンパクションパイル	△～○	△～○	△～◎	△～◎	シルト系土質効果疑問、振動影響注意
		無振動サントコンパクションパイル	△～○	△～◎	△～◎	△～◎	〃
		振動棒工法	△	△～○	△～◎	△～◎	〃
		パイロフローテーション工法	△	△	△～◎	△～◎	〃
		重鎮落下締め固め工法	△	△	△～◎	△～◎	〃
		プレート工法	○～◎	○	△～◎	△～◎	一般には粘性土対象の改良
	固化(液状化層)	群杭工法	△～◎	△～◎	△～◎	△～◎	
		深層混合処理工法	◎	◎	◎	◎	土性への汎用性がある
		注入固化工法	△～○	△～○	△～○	○	10m以上での効果疑問
	置き換え	生石灰パイル工法	△～○	△～○	△～○	△～○	10m以上での効果疑問
		置換工法	×～△	×～△	×～△	×～◎	5m以上施工困難
	地下水位の低下	ディープウェル工法	△～○	△～○	△～○	△～○	シルト系土質効果疑問
	過剰間隙水圧の消散	グラベルドレーン工法	△～○	△～○	○	○	〃
		人工材料ドレーン工法	△～○	△～○	○	○	〃
せん断変形抑制	連続地中壁工法	○～◎	○～◎	○～◎	○～◎		
	矢板等地中壁工法	○～◎	○～◎	○～◎	○～◎		
液状化の発生は許すが施設被害を軽減する対策	固化(表層)	浅層混合処理(バックホー)工法	◎	◎	◎	◎	
		浅層混合処理(柱状改良)工法	◎	○～◎	○～◎	○～◎	
	置き換え(表層)	置換工法	△～◎	△～◎	△～◎	△～◎	
		増杭	◎	◎	◎	◎	
	液状化を考慮した建築構造設計(基礎・上屋)	布基礎の強化	◎	◎	◎	◎	
		こま形基礎設置	△～◎	△～◎	△～◎	△～◎	
		建築構造補強	◎	◎	◎	◎	
		ジオテキスタイル工法	○～◎	○～◎	○～◎	○～◎	
		ジャッキアップ治具	◎	◎	◎	◎	補助工法
		床下モルタル充填孔・MH	◎	◎	◎	◎	補助工法
変位追従	可とう継手	◎	◎	◎	◎		

表7-1(4) 県営工業団地別の対策工法選定表

対象		新設(全面改築含む)		凡例 ◎:適用が妥当な工法 ○:適用が可能な工法 △:適用には注意を要する工法 ×:適用が困難な工法				
		近接物有り		竹内工業団地	昭和工業団地	旗ヶ崎工業団地	崎津団地	選定理由
		地盤特性	シルト主体	細砂～シルト主体	細砂主体	細砂主体		
		操業状況	半数操業	全数操業	全域操業	未操業		
		想定液状化厚(GL-m)	14～20m	12m	4～19m	6m		
		液状化危険度	危険度 大	危険度 小～中	危険度 中	危険度 小		
対策目的	対策内容	対策工法						
液状化の発生を防止する対策	密度の増加(液状化層)	サトコソパクションパイル	×～△	×～△	×～△	△	振動影響大	
		無振動サトコソパクションパイル	△～○	△～○	△～○	△～○	振動影響?	
		振動棒工法	×～△	×～△	×～△	△	振動影響大	
		ハイロフローション工法	×～△	×～△	×～△	△	振動影響大	
		重鎮落下締め固め工法	×～△	×～△	×～△	△	振動影響大	
		プレート工法	×～△	×～△	×～△	△	沈下影響	
		群杭工法	△～◎	△～◎	△～◎	△～◎		
	固化(液状化層)	深層混合処理工法	○～◎	○～◎	○～◎	○～◎	プラントヤード確保要	
		注入固化工法	△～○	△～○	○	○	10m以上効果疑問	
		生石灰パイル工法	△～○	△～○	○	○	〃	
	置き換え	置換工法	×～△	×～△	×～△	○～◎	5m以上施工困難	
	地下水位の低下	ディープウェル工法	×～△	×～△	×～△	△	周辺地域への沈下影響	
	過剰間隙水圧の消散	グラベルドレーン工法	△～○	△～○	△～○	△～○	シルト系効果疑問	
		人工材料ドレーン工法	△～○	△～○	○	○	シルト系効果疑問	
せん断変形抑制	連続地中壁工法	△～◎	△～◎	△～◎	△～○	施工スペース困難?		
	矢板等地中壁工法	○～◎	○～◎	○～◎	○～◎			
液状化の発生は許すが施設被害を軽減する対策	固化(表層)	浅層混合処理(バックホウ)工法	◎	◎	◎	◎		
		浅層混合処理(柱状改良)工法	◎	○～◎	○～◎	◎		
	置き換え(表層)	置換工法	△～◎	△～◎	△～◎	○～◎		
	液状化を考慮した建築構造設計(基礎・上屋)	増杭	○～◎	○～◎	○～◎	○～◎	隣地への影響注意	
		布基礎の強化	◎	◎	◎	◎		
		こま形基礎設置	△～◎	△～◎	△～◎	△		
		建築構造補強	◎	◎	◎	◎		
		ジッキスタイル工法	○～◎	○～◎	○～◎	○～◎		
		ジャッキアップ治具	◎	◎	◎	◎	補助工法	
	床下バルク充填孔・MH	◎	◎	◎	◎	補助工法		
変位追従	可とう継手	◎	◎	◎	◎			

表7-2(1) 液状化対策及び被害軽減工法の概要表

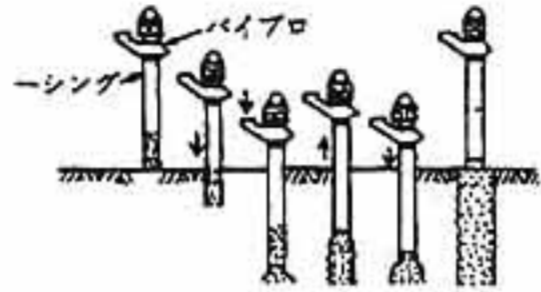
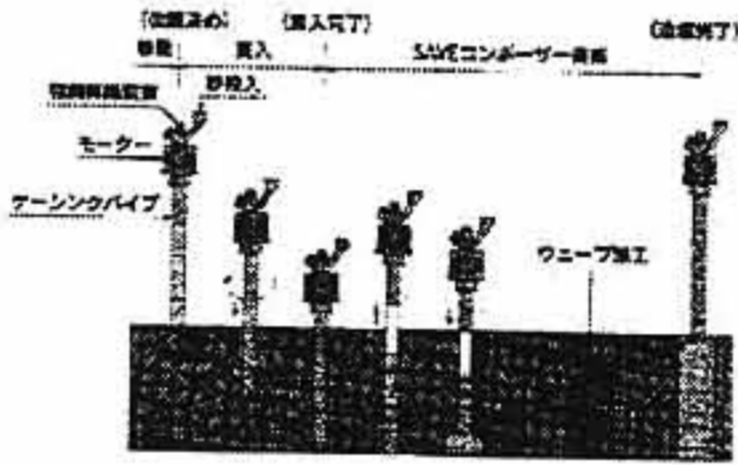
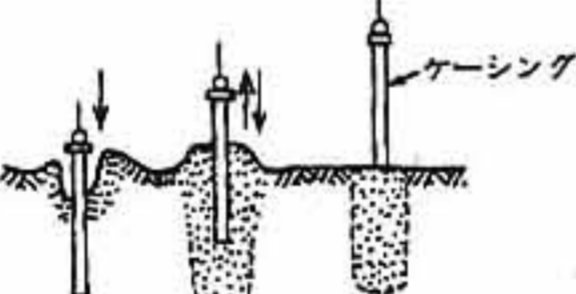
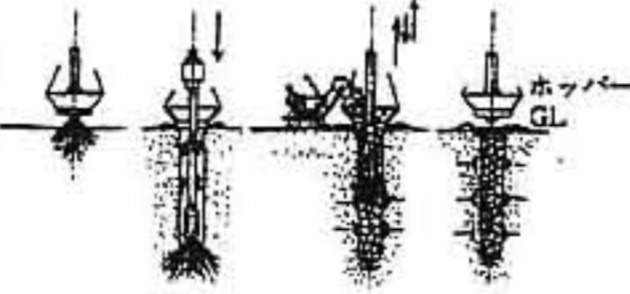
考え方	対象	方法	工法名	工法の概要	工法の特徴	標準仕様 改良目標等
液状化全層 密度の増大 液状化の発生を防止する対策			サンドコンパクションパイル	<p>鋼管ケーシングを先端閉塞の状態では貫入させる。所定の深さに達したところで、ケーシング内に砂を入れ、砂を地中に圧入しながらケーシングを引き抜く。締め固められた砂杭を形成する。このとき、周辺地盤を、側方に圧縮するとともに、振動締め固めを行う。 (補給材：砂、碎石)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・大深度・高密度化が期待可能 ・対象地盤に細粒分が多いと、改良後のN値が上昇しにくい。 ・粘性土地盤にも適用可能 ・概算単価：29,000 円/m² 	<p>改良長 L=10m, (φ700 mm) 改良ピッチ：配置□1.6m (改良率 as=15%) <N=4→N=15 目標></p> <p>@72,000 円/本 72000/1.6²=28,125 円/m²</p>
			無振動サンドコンパクションパイル	<p>鋼管ケーシングを先端閉塞の状態では回転させながら地中に圧入する。所定の深さに達したところで、ケーシング内に砂を入れ、ケーシングパイプを引き抜きながら砂を地盤中に排出する。その後、強制昇降装置によりケーシングパイプを打ち戻し、排出した砂と現地盤の砂を締め固める。 (補給材：砂、碎石など)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・強制昇降装置を用いた貫入・締め固めを行うため、振動・騒音をほとんど発生しない。 ・改良効果はSCP工法と同等 ・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。(細粒分を考慮した設計法を用いる。) ・粘性土地盤にも適用可能 ・概算単価：44,000 円/m² 	<p>改良長 L=10m, (φ700 mm) 改良ピッチ：配置□1.6m (改良率 as=16%) <N=4→N=15 目標></p> <p>@112,000 円/本 112,000/1.6²=43,750 円/m²</p>
			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 ・概算単価：31,000 円/m² 	<p>改良長 L=10m, (φ600 mm相当) 改良ピッチ：配置□=1.3m (改良率 as=15%) <N=4→N=15 目標></p> <p>@51,200 円/本 51,200/1.3²=30,296 円/m²</p>
			パイプロフレーション工法	<p>パイプロフロッター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、パイプロフロッター周囲にできた間隙に砂利、鉱さい、砂などの粗粒材を流し込む。 (補給材：砂利、鉱さい、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。 ・概算単価：32,000 円/m² 	<p>改良長 L=10m, (φ400 mm相当) 改良ピッチ：配置□=1.4m <N=4→N=15 目標></p> <p>@61,000 円/本 61,000/1.4²=31,122 円/m²</p>

表7-2(2) 液状化対策及び被害軽減工法の概要表

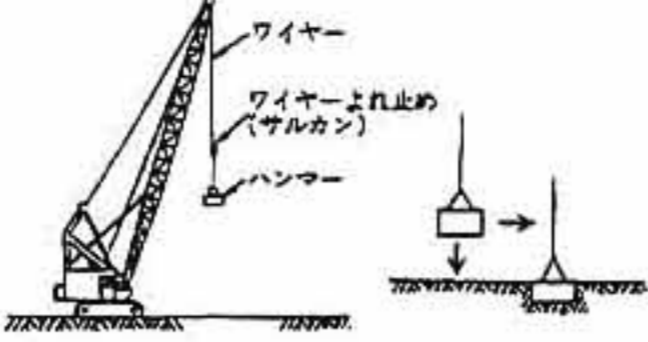
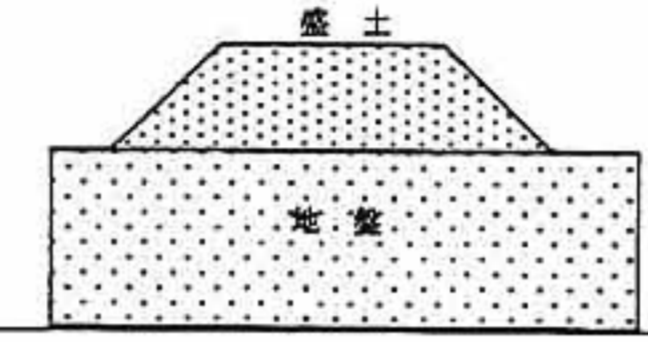
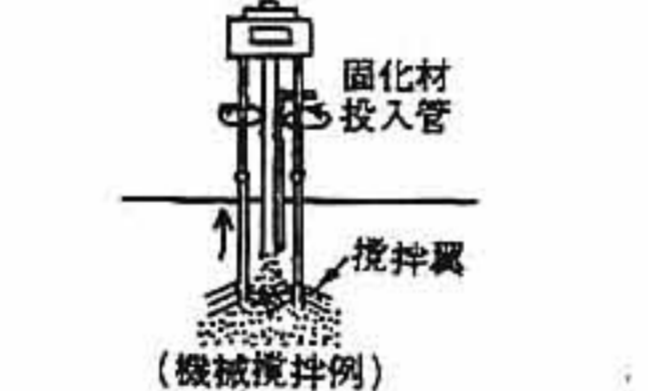

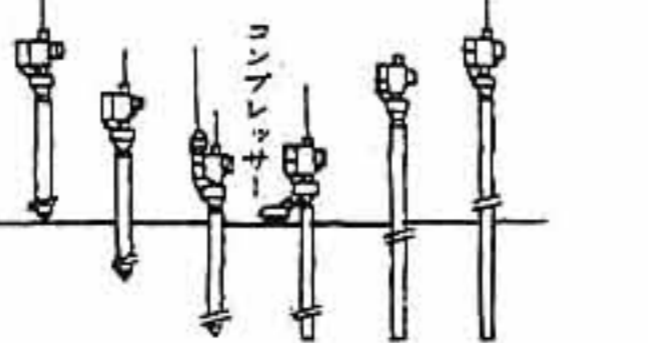
	<p>重錘落下締固め工法</p>	<p>10~30tfの錘（ハンマー）を自由落下させることにより発生する衝撃力で地盤を締め固める工法</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・細粒分が多いと改良結果が低下する。 ・振動・衝撃が大きいので、影響を受ける構造物が周辺にない場合に使用される。 ・通常は、10m 以下の改良に用いられることが多い。 ・10m 以上の改良には、大重量（25ft 以上）のハンマーによるタンピングが必要 ・概算単価：11,000 円/m²（L=10m程度） 	<p>@6,850/m² × 1.6 = 10,960 円/m² <*建設物価></p>
	<p>プレロード工法</p>	<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"> ・粗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。 ・概算単価：29,000 円/m² 	<p>プレロード高 H=3m</p> <p>盛土工@3,000/m²(材料費込) 撤去工@3,000/m²(処分費込) 合計 @6,000/m² × 3.0 × 1.6 = 28,800 円/m²</p>
	<p>群杭工法</p>	<p>杭に打ち込むことによる地盤の締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 ・概算単価：750,000 円/m² 	<p>杭長 L=10m(鋼管φ400mm) <先端閉塞打込杭> 配置□0.8m(<2.5D・群杭) (改良率 a_s=20%) @300,000 円/本 @300,000 × 1.6/0.8² = 750,000 円/m²</p>
固結	<p>深層混合処理工法</p>	<p>固化材と原地盤を攪拌混合し、地盤を固化させる。</p> <p>深層混合系</p> <ul style="list-style-type: none"> 機械攪拌系 <ul style="list-style-type: none"> スラリー系 粉体系 高圧噴射系 <ul style="list-style-type: none"> グラウト系 エアール・グラウト噴射系 <p>(流体切削) 水・エアール・グラウト</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。 ・概算単価 DJM<機械攪拌>62,000 円/m² JSG<高圧噴射>340,000 円/m² 	<p>改良長 L=10m, 改良率 a_p=50% (TOFT 工法：格子状)</p> <p>*DJM@300,000 円/本 @12,400 × 10 × 0.50 = 62,000 円/m² *JSG@67,900 円/本 @67,900 × 10 × 0.50 = 339,500 円/m²</p>
	<p>注入固化工法</p>	<p>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。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・概算単価：285,000 円/m² 	<p>改良深度 L=3m 改良範囲 A=200 m² 注入率 α=0.5</p> <p>*注入量 I = 200 × 3 × 0.5 × 1000/200 = 1,500 ㎥/m² *単価@190 円/㎥ @190 × 1,500 = 285,000 円/m²</p>
	<p>生石灰パイル工法</p>	<p>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固め効果も期待できる。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・生石灰による吸水膨張による周辺地盤締固め、側圧増大効果が期待できる。 ・概算単価：34,000 円/m² 	<p>改良長 L=10m, 改良ピッチ：配置□=1.4m</p> <p>*単価@65,000 円/本 @65,000/1.4² = 33,163 円/m² <*建設物価></p>

表7-2(3) 液状化対策及び被害軽減工法の概要表

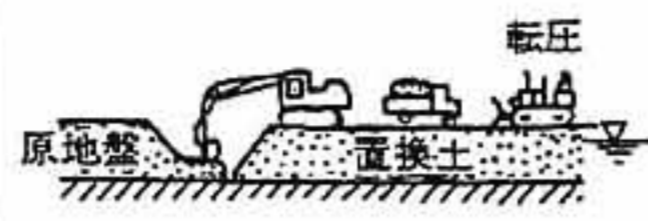
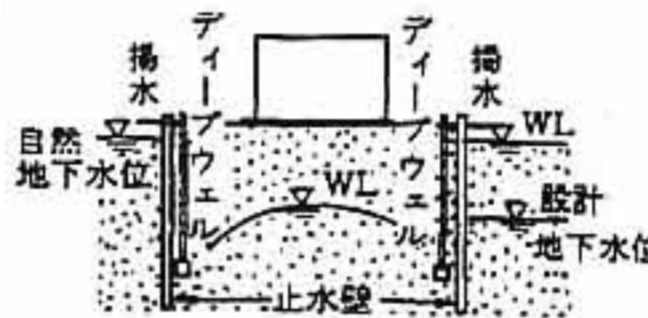
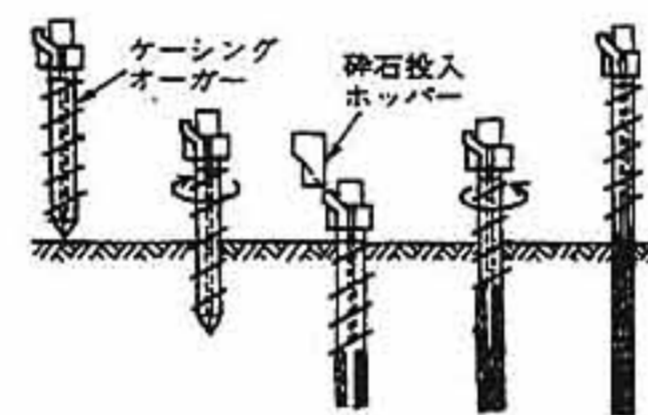
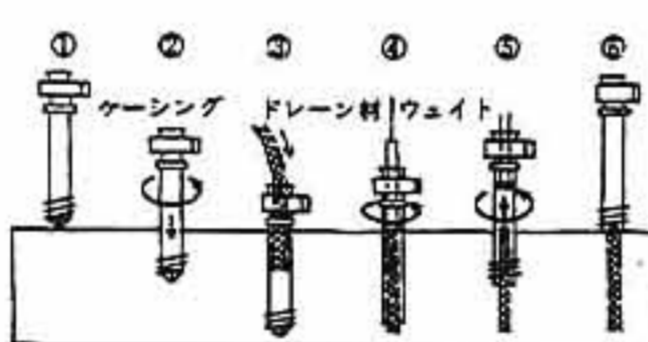
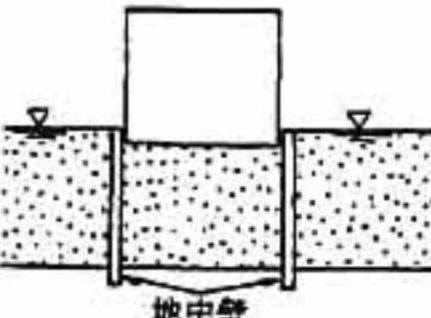
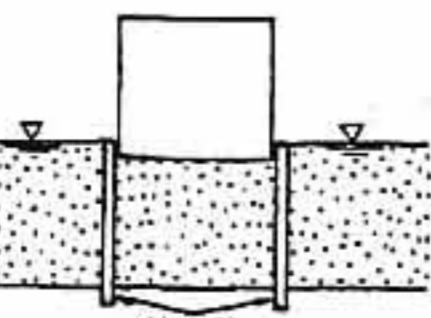
置き換え	置換工法	<p>液状化の発生しにくい材料（たとえば砕石）で置換する。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・良質材で置換 改良すべき地層が地表近くにあり広さも限られている場合に用いる。 ・概算単価：39,000 円/m³ 	<p>置換深さ H=3m, 対象面積 A=200 m²</p> <p>掘削工@4,000/m³ (処分費込) 置換工@4,000/m³ 材料費込) 合計 @8,000/m³ × 3.0 × 1.6 =38,400+ポンプ 420 =38,820 円/m³</p>
	地下水位の低下	<p>構造物の周囲を止水壁で囲いその内部の地下水位をディープウェルなどにより低下させる。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物直下に対策工が不可能な場合に適用 ・概算単価：73,000 円/m³ <ランニングコスト含まず> 	<p>対称層 L=10m <止水矢板 L=12m: II 型> 止水矢板周長 S=60m 対象面積 A=200 m² ディープウェル設置：1 本 (10m)</p> <p>*ディープウェル@1,500,000 円/本 *止水矢板@86,400 円/枚 @86,400 × 150=12,960,000 円 (1,500,000+12,960,000)/200= 72,300 円/m²</p>
過剰間隙水圧の消散	グラベルドレーン工法	<p>ケーシングオーガーを所定の位置に回転貫入させた後砕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砕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。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・概算単価：64,000 円/m³ <グラベルマット含まず> 	<p>改良長 L=10m, 改良ピッチ：配置□=1.0m</p> <p>@64,000 円/本 @64,000/1.0²=64,000 円/m²</p>
	人工材料ドレーン工法	<p>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。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・概算単価：51,000 円/m³ <グラベルマット含まず> 	<p>改良長 L=10m, 改良ピッチ：配置□=0.7m</p> <p>@24,800 円/本 @24,800/0.7²=50,612 円/m² <*建設物価></p>
せん断変形の抑制	連続地中壁工法	<p>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。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・概算単価：190,000 円/m² 	<p>対象面積 A=200 m² 連続壁長 L=12m 連続壁周長 S=60m</p> <p>@52,480 円/m² @52,480 × 12 × 60/200 =188,928 円/m² <*建設物価></p>
	矢板等地中壁工法	<p>建物の外周に剛性の大きい矢板等で連続地中壁を設置し、拘束効果を与え、せん断変形を抑制する。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺からの間隙水圧の伝播を遮断することが可能 ・地震時のせん断変形を抑制 ・概算単価：102,000 円/m² 	<p>対象面積 A=200 m² 連続壁長 L=12m <止水矢板 IV 型・埋殺し> 連続壁周長 S=60m 止水矢板枚数 60/0.4=150 枚</p> <p>@134,800 円/枚 @134,800 × 150/200 =102,000 円/m²</p>

表7-2(4) 液状化対策及び被害軽減工法の概要表

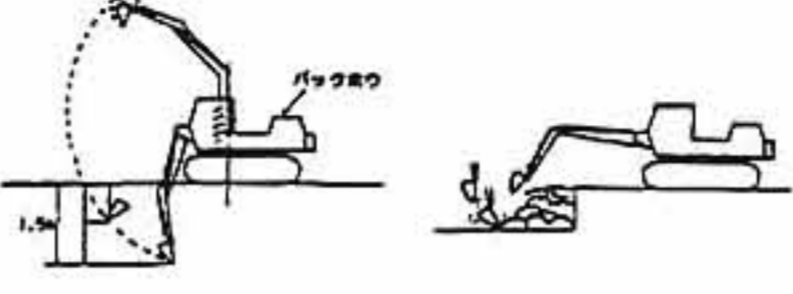
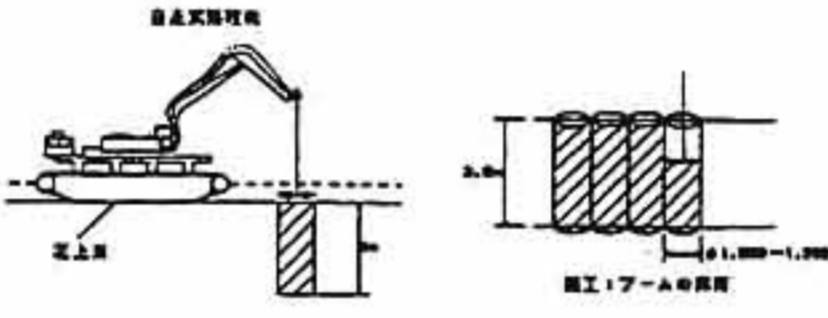
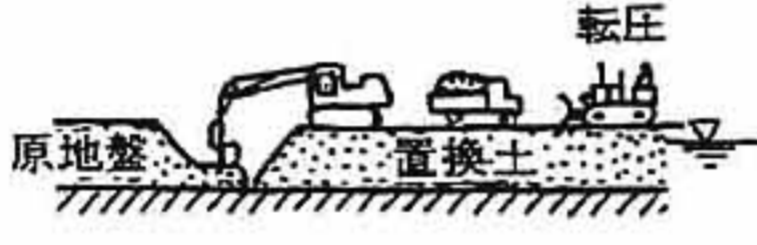
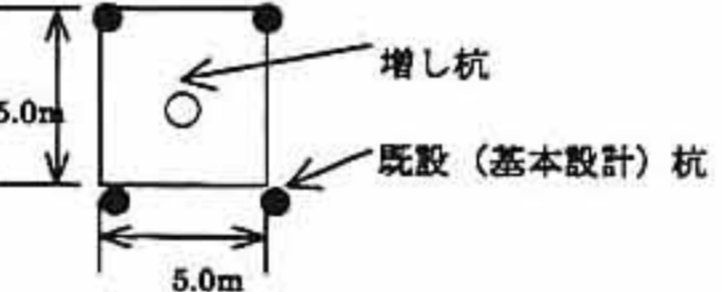
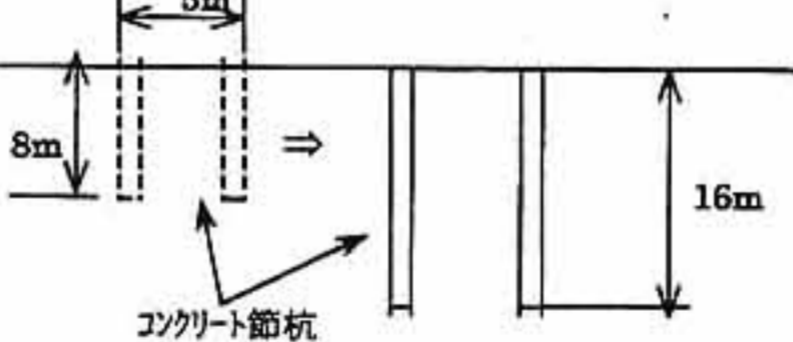

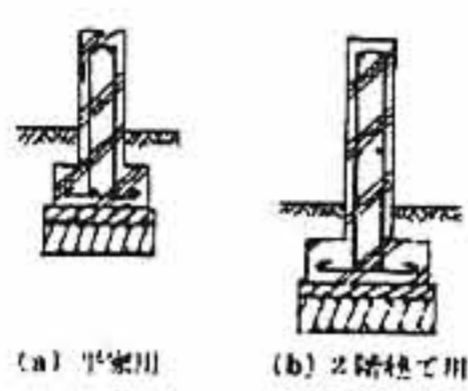
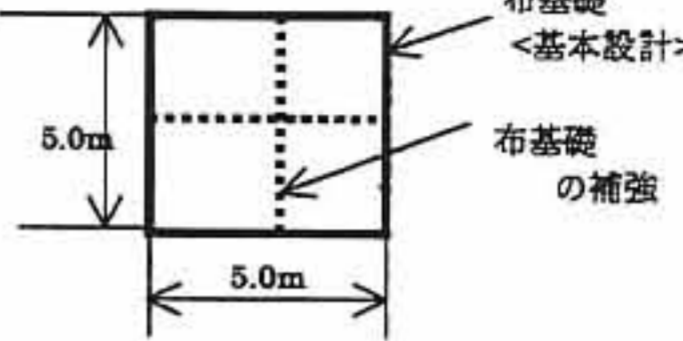
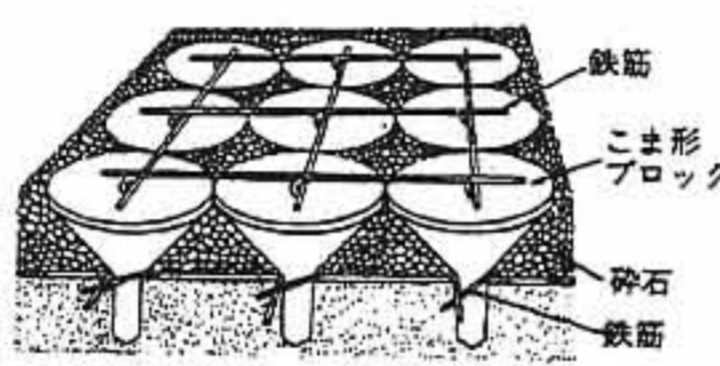
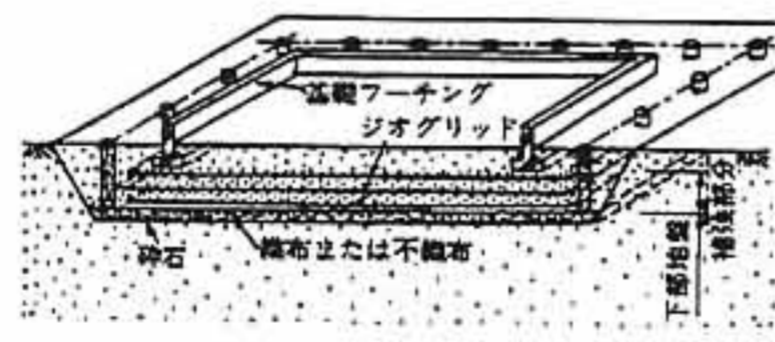
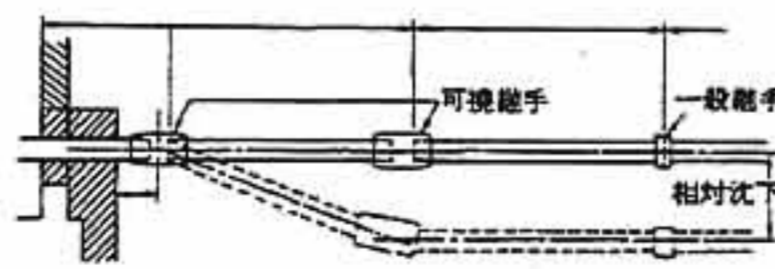
液状化の発生は許すが施設被害を軽減する対策	表層	固結	<p>浅層混合処理 (ハックフォア混合) 工法</p> <p>ハックフォアを用いて攪拌・混合が可能な場合に所定の深度まで掘削すると同時に、改良材との攪拌混合によって改良地盤を固化する。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工機 (ハックフォア) が進入可能であればあらゆる土質に対応可能 ・若干攪拌精度が劣る。 ・概算単価: 9,000 円/m² 	<p>改良深度 D=2m 改良材 100kg/m³</p> <p>@4,100 円/m³ (転圧込み) @4,100 円 × 2 = 8,200 円/m²</p>
		固結	<p>浅層混合処理 (柱状改良) 工法</p> <p>プラントにて製造された改良材スラリー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。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・軟弱な地盤に限る (砂層困難?) ・概算単価: 14,000 円/m² <p><深層混合系の施工は省く: 高価></p>	<p>改良深度 D=2m</p> <p>@7,000 円/m³ @7,000 円 × 2 = 14,000 円/m²</p>
		置き換え	<p>置換工法</p> <p>液状化の発生しにくい材料 (たとえば碎石) で置換する。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・概算単価: 26,000 円/m² 	<p>置換深さ H=2m, 対象面積 A=200 m²</p> <p>掘削工@4,000/m³(処分費込) 置換工@4,000/m³(材料費込) 合計 @8,000/m³ × 2.0 × 1.6 = 25,600 円/m²</p>
施設 (建築物)	基礎の強化	増杭 (1) <本数増>	<p>液状化の進行を考慮し、地盤反力係数、周面摩擦力を低減させ杭基礎を設計。杭本数を増加する。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・概算単価<増>: 12,000 円/m² 	<p>杭長 L=12m (鋼管 φ400 mm) 25m² に 1 本増杭 <分担荷重半減> <地盤密度増大> <水平耐力増加></p> <p>@300,000 円/本 @300,000/25=12,000 円/m²</p>
		増杭 (2) <深度増>	<p>液状化の進行を考慮し、地盤反力係数、周面摩擦力を低減させ杭基礎を設計。杭深度を液状化層以深まで増加する。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・概算単価<増>: 9,000 円/m² 	<p>杭種: 節杭 (400-500 mm) 杭長: 8m を 16m に増強 杭配置: 25m² に 1 本</p> <p>@L=8m 320,000 円/本 @L=16m 530,000 円/本 差額 210,000 円/本 @210,000/25.0m² = 8,400 円/m²</p>
		直接基礎の強化 (1) <布基礎の断面補強>	<p>布基礎断面を増強し、鉄筋量増、底面積増などにより基礎自体の強度増加と被害低減を図る。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・概算単価<増>: 32,000 円/m² 	<p>布基礎配置 1.8m × 3.6m 延長 (1.8+3.6) × 2 = 10.8m</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通常基礎幅 0.15m, 高 0.45m 7-チソク 幅 0.45m, 高 0.15m 基礎面積 A=0.135m² ・補強基礎幅 0.35m, 高 1.20m 7-チソク 幅 1.00m, 高 0.30m 基礎面積 A=0.720m² <p>増加断面積 ΔA=0.585m²</p> <p>施工単価@64,000 円/m³ @64,000 × 0.585 × 10.8 / 2 × 1.8 × 3.6 = 31,200 円/m²</p>

表7-2(5) 液状化対策及び被害軽減工法の概要表

	直接基礎の強化(2) <鉄筋化・間隔補強>	<p>無筋を鉄筋コンクリート造にすること、配置間隔を狭める(地中梁)ことなどにより布基礎の強さを増大させる</p>  <p>(a) 標準用 (b) 2筋柱で用</p>	<p>・液状化に伴う布基礎下部の土の流出による基礎の変形・破壊を防止する。 ・概算単価<増>: 6,000 円/m²</p> 	<p>布基礎配置 □5m 基礎幅 0.15m, 高 0.45m フーチング幅 0.45m, 高 0.15m 基礎面積 A=0.135m² 基本延長 L=20m</p> <p>無筋単価@32,000 円/m² 鉄筋単価@64,000 円/m² 単価<増>@32,000 円/m² @32,000 × 0.135 × 20/2 × 25 =1,728 円/m² 補強延長 S = 10m @64,000 × 0.135 × 10/25 =3,456 円/m² 工費増@1.728+@3.456 =5,184 円/m²</p>
	直接基礎の強化(3) <ベタ基礎化>	<p>ベタ基礎として基礎の一体化をはかり、基礎自体の強度増加と液状化時の変形の抑制を図る。</p>	<p>・液状化に伴う基礎下部の土の流出・強度低下による基礎局所の変形・破壊を防止する。 ・概算単価: 39,000 円/m²</p>	<p>鉄筋コンクリートスラブ打設 スラブ厚 60cm</p> <p>施工体積 0.6m³/m²</p> <p>施工単価@64,000 円/m³ @64,000 × 0.6 = 38,400 円/m²</p>
	こま形基礎の設置	<p>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</p> 	<p>・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 ・概算単価: 32,000 円/m²</p>	<p>こま形基礎 φ500mm 1m²当たり個数 4個</p> <p>@8,000 円/個 (こま基礎・碎石・設置費) <建設物価より> @8,000 × 4.0 = 32,000 円/m²</p>
変位の抑制	ジオグリッドによる補強	<p>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。</p> 	<p>・小規模構造物の被害軽減対策として用いる。 ・概算単価: 20,000 円/m²</p>	<p>対象面積 A=200 m² 施工深度 D=1.5m 不織布 1 + ジョウリット 2 敷設</p> <p>*掘削@3,000 × 300m³ *不織布@1,000 × 200m² *ジョウリット@1,200 × 400m² *碎石@4,000 × 130m³ 計 2,100,000 円</p> <p>2,100,000 × 1.6/200 = 20,000 円/m²</p>
	施設(配管)への追従	<p>可撓継ぎ手による地盤変位の吸収</p> <p>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。</p> 	<p>・液状化に伴う地盤の沈下や変状に追従し、管に生じる応力の低減を図る。 ・概算単価: 施設内容・規模・継手性能により変動</p>	