

第4章 污水处理施設の耐震対策

4.1 耐震対策の基本的な方針

耐震診断の結果、既設構造物の耐震性能が不足することが明らかとなった場合は、原則、耐震補強等の対策を行う必要がある。この場合の耐震性能（補強）レベルは、新設構造と同等の耐震性能を確保しなければならない。

一方、集落排水施設は小規模で過去の震災においても大きな被害はなく、また市町村等は効率的な運営に向けて、複数の集落排水施設の統合等の再編、老朽化施設の更新整備を進めている状況である。

このような中で、現在、市町村等が取り組んでいる再編整備や更新事業と耐震対策を一体的に検討する時間軸を考慮した耐震対策も効果的である。

〔解説〕

(1) 耐震性能（補強）レベル

既設構造物の耐震性能は、新設構造物と同等の耐震性能を有するようにしなければならない。これは、新設構造物、既設構造物を問わず、大地震が発生すれば同程度の地震力を受けるため、対象となる地震動を想定した場合、新設と既設の区別はないという考え方による。

補強すべきレベルとしての耐震性能レベルは、構造物の種類により、レベル1、レベル2地震動を想定し、個々の構造物の位置付けや重要性から選定される。

図 4-1-1は、補強による性能向上の概念とそれに対する耐震性能の目標を定めたものである。一般的に構造物は、経年変化と共に構造物耐力が低減していくため、現時点での耐力を正しく評価し、将来的にも維持できるようにしなければならない。

このことは、建設当時と現在の要求性能が同一であったとしても、構造物の耐力が減少していれば、それを向上させる必要があるということである。

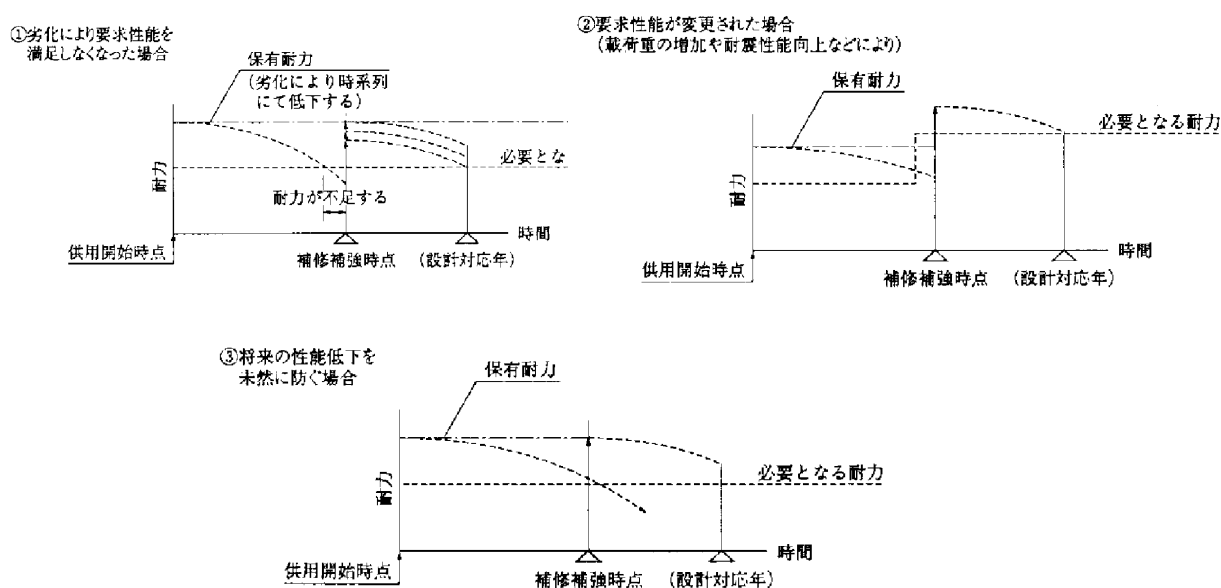


図 4-1-1 補強による性能向上の概念

(2) 耐震補強における留意点

ア) 構造物の全体系のバランスの考慮

耐震補強後の性能バランスは、構造物全体として評価しなければならない。また、耐震補強工法の耐震性能は、その性能が確立されたもの、又は検証されたものとする。

構造物の全体系としての性能とは、例えば、処理水槽、基礎が、全体としてバランスを保持するように考慮し、一部位の補強が他の部位の損傷に大きな影響を与えることがないように、全体系として取り扱わなければならない。

したがって、補強された構造部位の耐震性能の評価にとどまらず、構造系としての耐震性能及び他の荷重系に対する安全性も評価する必要がある。

イ) 液状化地盤における留意点

液状化の可能性がある地盤における構造物については、対策工の検討や液状化を考慮した地盤も含めた全体系での耐震性能の検討が必要である。

ウ) 補強された構造物の耐震性能の評価

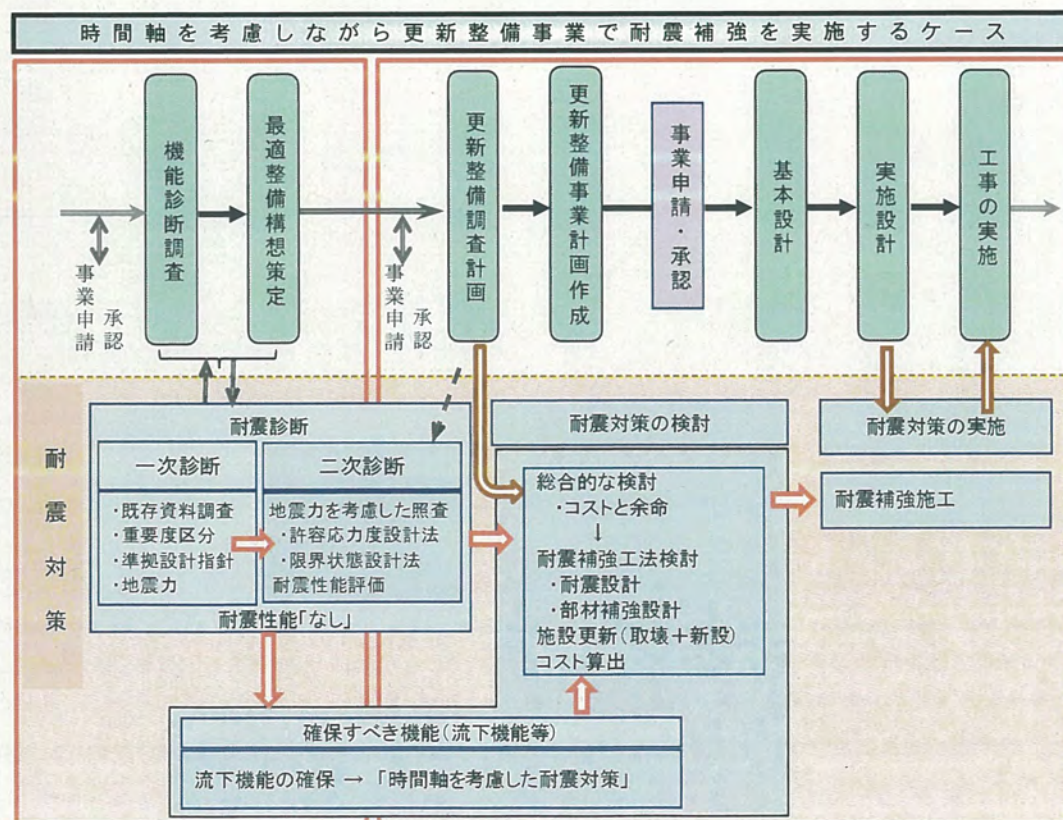
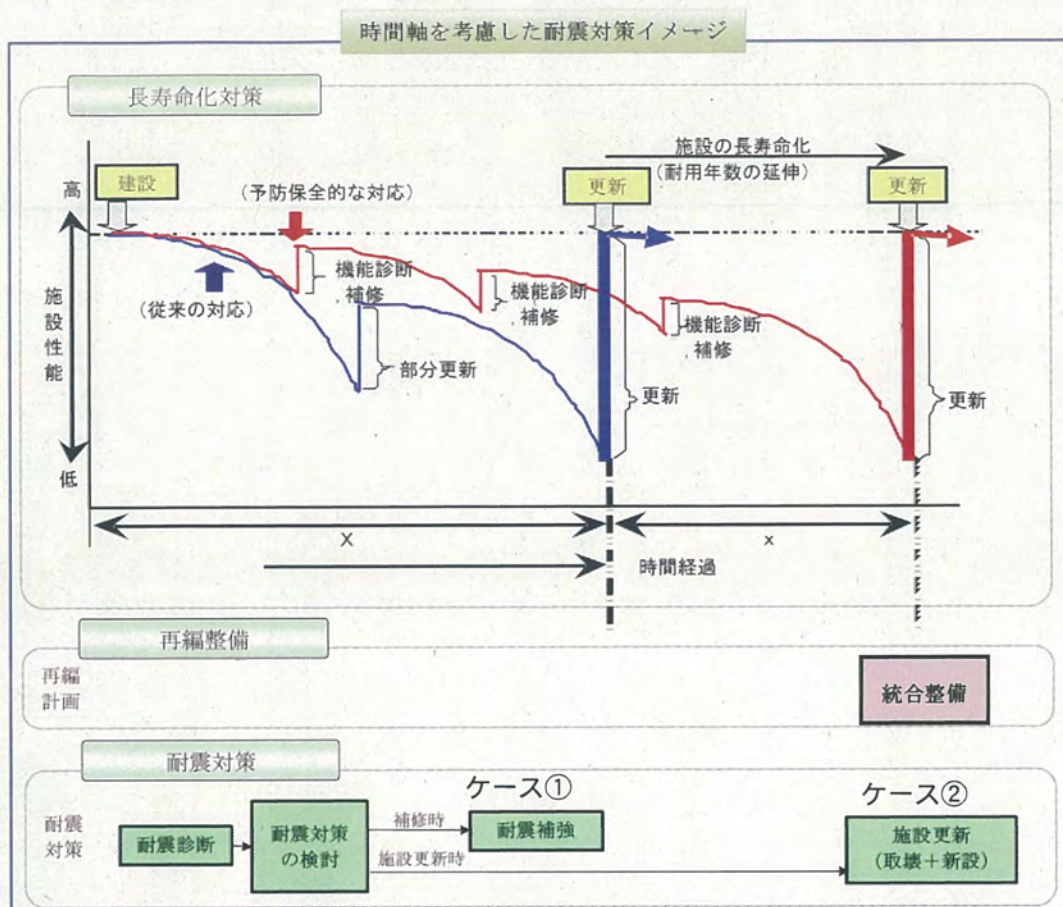
補強された構造物の耐震性能は、定量的な方法によって評価しなければならない。そのために、実物大の試験、数値解析、地震観測等を行って評価された方法を採用するものとする。特に新工法や新材料を用いる場合には耐震性能の評価方法によって十分な検証がなされたものでなければならない。

(3) 時間軸を考慮した耐震対策

集落排水施設を管理する市町村は、老朽化した集落排水施設の長寿命化対策として機能診断や最適整備構想を策定し、計画的な補修や更新等を実施しているところである。更に、効率的な施設の運営を目指して、複数の集落排水施設の統合等の再編整備に取り組んでいるところである。

このような状況の中で、耐震診断の結果、耐震性能がないと判断された施設について、単独で補強等の耐震対策を検討するよりは、市町村等が現在行っている長寿命化対策や再編整備計画の流れに合わせて、時間軸を考慮した耐震対策を実施する方が効率的かつ効果的である。

そこで、地域の状況に応じて、現在、市町村等が取り組んでいる長寿命化対策、再編整備、更新事業の流れによる時間軸を考慮した実施（図 4-1-2、図4-1-3）を参考に示す。



4.2 確保すべき機能

地域の状況に応じて時間軸を考慮した耐震対策を行う場合においても、地震時に確保しなければならない機能である、汚水の流下機能や消毒機能を確保しなければならない。

[解説]

地震時に要求される確保すべき機能とは、汚水の流下機能と消毒機能であり、この機能を確保できる方策（例えば、下流方向へのバイパス経路の確保や消毒剤添加機能の確保）を講じることが重要である。

これらの機能を確保することを前提に、将来の更新整備や再編整備等に併せて、時間軸を考慮した耐震対策を実施することができるものとする。

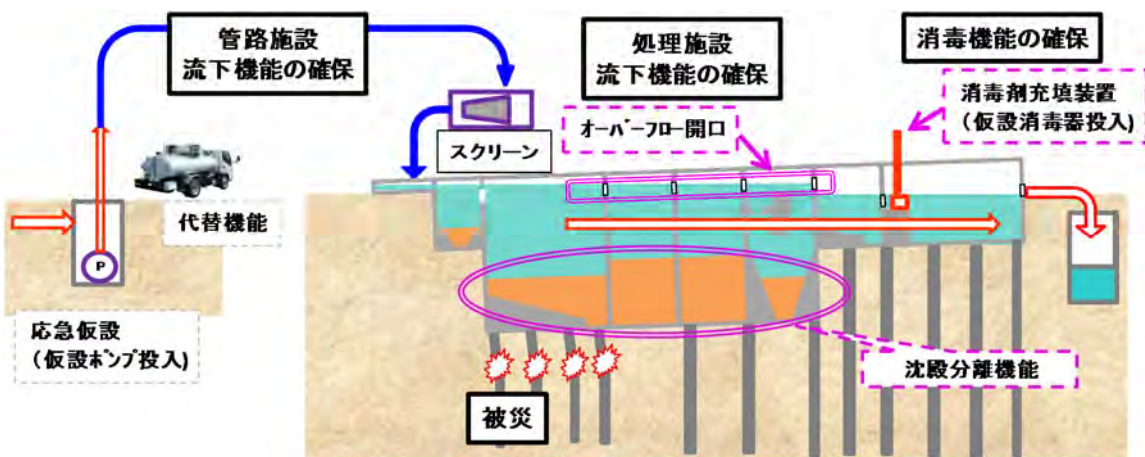


図 4-2-1 確保すべき耐震性能の確保（イメージ図）

4.3 確保すべき機能等の対策

地域の状況に応じて時間軸を考慮した耐震対策を行う場合、被災による影響を低減するための確保しなければならない機能として、汚水の流下機能及び消毒機能の確保を位置づける。

この対策については、既存施設で既に対応済みであれば対応の必要はないが、未対応の場合は、速やかに実施する必要がある。

[解説]

(1) 汚水の流下機能の確保

汚水の流下機能の確保とは、通常時の汚水処理機能が停止しても、処理場へ流入する汚水が流入部（前処理部）から放流部まで流下することを指す。

地震による処理機能の停止原因には、躯体構造物破損以外にも機器・配管・電気設備等の破損や停電等が予測される。汚水の流下機能が確保されれば、例え停電等によって正常な処理機能を失っても、汚水が沈殿分離操作を受けて放流されることになり汚水放流が環境へ与える影響を低減することができる。建築基準法告示構造第4（沈殿放流の浄化槽）の規定では、沈殿容量が約10時間（100人槽の例）でBOD除去率55%以上が期待できるとされる。

集落排水施設は、鉄筋コンクリート壁で多くの水槽に仕切られており、内部水槽の応力支点間が小さいので構造的には外周壁以外の構造部材は耐震性能上問題となることは少ない。

構造的流下機能の確保については、流入部、処理槽部、放流（消毒）部の大まかに3部分に分けて考えることができる。

ア) 流入部

汚水の流入方式は自然流入とポンプ流入に分けられる。

自然流入方式では躯体床付けが処理槽部と同程度か又は深くなっている。原水ポンプ槽を設けて汚水をポンプ揚水し、流入部管理用階段室が設けられているのが通常である。原水ポンプ槽容量は比較的小さく、階段室も狭いので応力支点間も小さく躯体構造的な問題は比較的少ないことが多い。しかし、地震での地盤と躯体間にズレによる流入管損傷のおそれがある場合には埋設深が深いため修復が容易でないことから平常時に計画的に対策する必要がある。また、ポンプ揚水では停電対策としてエンジン付ポンプが設備されることが多いが、燃料容量が長時間運転に対応していない場合には、別途、対策が必要である。

一方、ポンプ流入での前処理施設の水槽類は比較的浅く、処理槽部に隣接する比較的浅い躯体か、処理槽部と同じ構造体として建設されている。流入汚水は、流入管から流量調整槽へは比較的容易に自然流下させることができる。

イ) 処理槽部

流量調整槽には後段への処理槽へオーバーフローする開口を設けるのが通常である。したがって、流量調整槽から消毒・放流部までは動力を要せずに自然流下させることができる。しかし、主処理槽内移流バップルや沈殿槽センターウェルへの移送管、沈殿槽越流堰が破損すると汚水流下障害のおそれがある。その場合には水槽仕切壁上部に開口を設ける。オーバーフローさせる開口はできるだけ正常時の処理経路の順となるようにして震災時の沈殿分離機能を確保するようにする。

流量調整槽から主処理水槽へのオーバーフローが壁開口ではなく非常用ポンプ移送の場合は、非常用ポンプが電動機駆動のときは停電対策を講じる必要がある。

ロ) 放流（消毒）部

放流部の水槽容量（散水ポンプ槽、消毒槽、放流ポンプ槽）は比較的小さく、流下方向に隣接して設けられていることが多い。また、消毒槽はその特性により水面上の空間が他の水槽と隔離されており、これらの水槽構造は耐震性能的に問題となることは少ない。

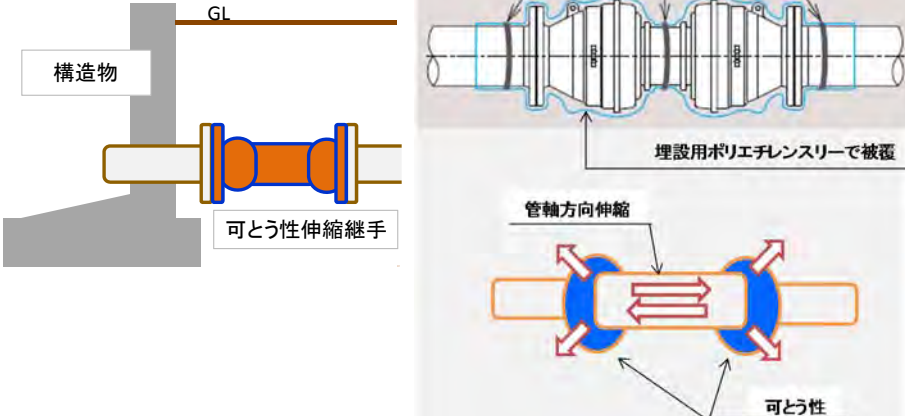
放流ポンプ等の電動機駆動がある場合は、停電対策を講じる必要がある。

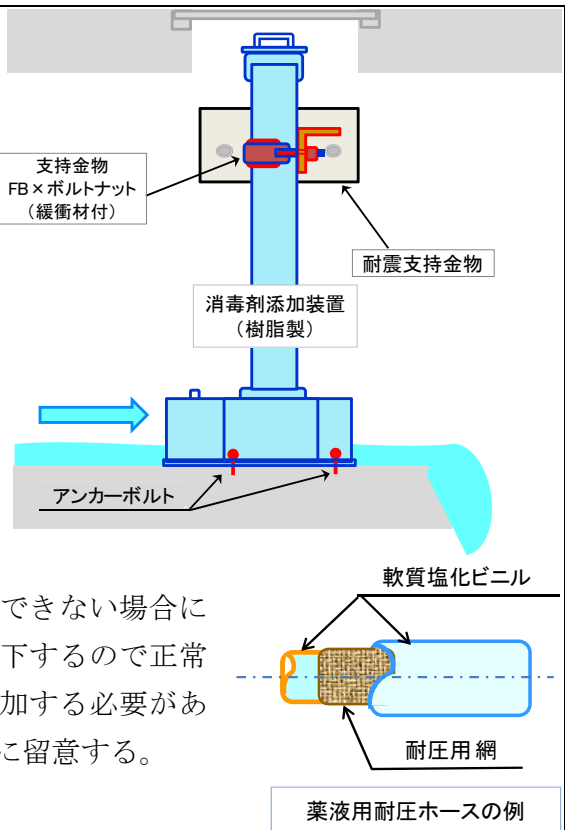
(2) 消毒機能の確保

汚水の消毒機能の確保とは、排泄物に含まれるおそれがある病原菌による水系感染のリスクを消毒操作によって減らして、環境水中に放流することを言う。

消毒効果は、汚水中の濁質に大きく影響される（濁質が病原菌と消毒剤との接触機会を阻害する）。そのため、正常な水処理機能が担保されない場合には消毒機能を確保するため、処理場全体の水槽を使って沈殿分離操作を行い、分離液を消毒した後環境水域へ放流する。消毒槽は、前述のように構造的には耐震性を有することが多く、耐震対策としては固形塩素剤の備蓄を検討する。また、地震動に応じた塩素剤充填器の支持対策が必要であるが、充填器の損傷時にはネット状袋や麻袋での代替も可能である。

表 4-3-1 汚水の流下機能の確保と消毒機能の確保

埋設配管 (自然流入管) (自然放流管)	可とう性伸縮継手の例 
汚水の流下機能 の確保 (流入・放流)	地下階に原水ポンプ槽がある処理施設やポンプ放流の施設では、停電によってポンプが停止すると処理施設が冠水するおそれがある。そのため、停電対策として非常用自家発電機（自家発）または非常用エンジンポンプの設置を検討する。また、重要度区分A種の施設では自家発等の電源が確立するまでの制御・通信等の電源喪失に備えて無停電電源装置（UPS）の設置が望ましい。 ・ 非常用発電設備の燃料貯蔵に当たっては、消防法の規制により最大貯油量の制限を受けることから、長期間の停電が予測される場合には、震災時の燃料供給体制も検討する。 ・ 大型可搬式発電機による電源供給を計画する場合には、非常電源受電盤の設置を検討する。 ・ 非常用エンジンポンプや燃料貯蔵タンクは、冠水を避ける位置に設置することが望ましい。

消毒機能の確保	処理水の消毒方法は、一般的に固形塩素剤溶解方式が多い。 固形塩素剤の添加装置は、固形薬剤の貯蔵部と溶解量調整部が一体となった樹脂製装置が多い。支持金物材料は、腐食雰囲気を設置するので耐食性とする。 液体塩素剤の注入管は、耐衝撃性の耐震性のある材料とする。 また、生物処理機能が期待できない場合には、汚水中の細菌類除去が低下するので正常時より有効塩素濃度を多く添加する必要がある、正常時から消毒剤の在庫に留意する。  支持金物 FB×ボルトナット (緩衝材付) 耐震支持金物 消毒剤添加装置 (樹脂製) アンカーボルト 軟質塩化ビニル 耐圧用網 薬液用耐圧ホースの例
----------------	--

4.4 耐震補強等の工法選定

耐震補強の工法は、施工性、安全性、経済性、周辺環境に与える影響度及び維持管理の容易性を考えて選定されなければならない。

[解説]

(1) 工法選択方法

供用中の既設構造物の水槽等に耐震補強等を施す場合には、多くの場合、該当補強箇所の代替機能を有する仮設施設を設置し、汚水処理を停止することなく工事することが要求される。また、既存施設では、施工期間、施工スペースが制限され、施工性、安全性、経済性、周辺環境への影響度及び維持管理の容易性を考えた工法を選択することが望ましい。

耐震補強は、現状構造物の地震時の危険性を減少させる一つの方法として選択されるが、地震時に想定される損傷形態や被災程度とそれが及ぼす影響度合い、復旧の難易度によって現実にはその補強程度や方法が変わってくる。

また、処理水槽壁の耐震補強等において、壁厚の打増等を検討する場合には、施設容量を低減させことになるので、現況の計画人口等からみて十分な施設容量を確保できているかを確認しなければならない。言い換えれば、耐震検討に併せて、施設の計画人口の見直しや汚水処理法の変更等も検討し、処理水槽の容量や水深を低減化することができる場合は、処理水槽壁の打増等の経済的な補強も可能となるので、構造的な検討だけでなく事業計画や汚水処理方式として総合的に検討することも有効である。

一方、農業集落排水施設は構造物としては、地上高が低く、構造物の建設面積や水槽径間も比較的小さいため、耐震補強工法等の選択肢はあまり多くはなく、且つ、比較的単純な工法となることが多い。

(2) 一般的な耐震補強工法

これまでの震災事例などから、甚大な被害に結びついた構造要素（せん断耐力が不足した橋脚、地下鉄の中柱、落橋に至った支承周辺構造等）が着目され、これを効果的に補強する以下のような対策が検討されている。

- ア) 橋梁・基礎構造物の鉄筋コンクリート脚柱では、鋼板や鉄筋コンクリート又は炭素繊維を巻立てて補強する工法が実用化されている。
- イ) 土構造物の護岸・岸壁では、背面土圧や液状化圧力等を軽減する地盤改良、既存護岸の変形を抑制する異種構造物の併設、既設構造物の一体化などが考えられている。
- ウ) 埋設管路の補強方法としては、可とう管や内面バンドによる可とう性の向上、管路の敷設替え、管路周辺の埋戻し材の置換や地盤改良工法が挙げられる。

(3) 類似施設の耐震補強工法

表 4-4-1 に施設ごとの補強方法の例を示す。

表 4-4-1 施設ごとの補強方法の例

施設名		対策	補強方法
④擁壁、 ⑤開水路、 ⑥ファームポンド、 ⑪ポンプ場等	躯体部	耐力不足への対応 じん性の増大	コンクリート巻立て及び増打ち 炭素繊維巻立て 鋼板接着 あと施工アンカーによるせん断補強 バットレス 耐震壁増打ち（ブレース）
	基礎部	耐力不足への対応 支持力不足への対応 液状化対策	フーチング部コンクリート増打ち、増し杭、 地中連続壁及び鋼矢板などの構築、地盤改良
⑧パイプライン		相対変位防止 耐力不足への対応 液状化対策	必要に応じて可とう管の設置、管路の布設替 え、（既設管内挿入工法を含む）、管路周辺の 埋戻し材の置換及び地盤改良 内面バンドによる継手の可とう性向上

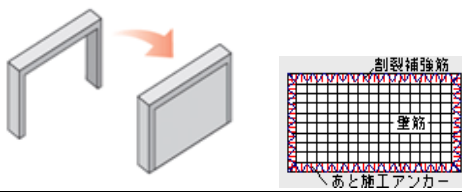
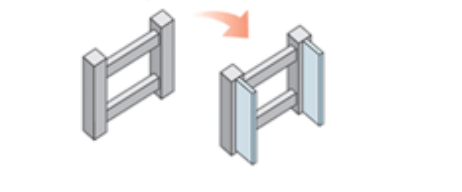
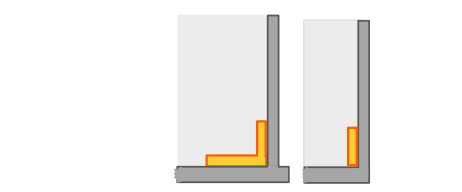
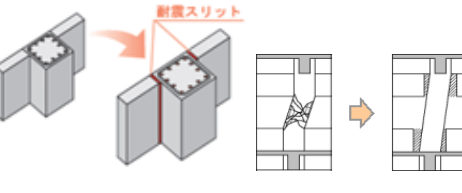
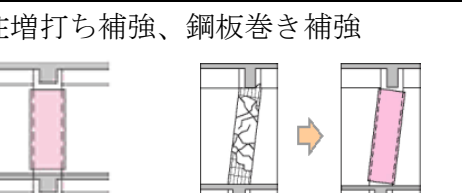
施設名			対策	補強方法
そ の 他	立坑	躯体	耐力不足への対応	内面コンクリート増打ち、ブレース材の設置
		地中部	地盤支持力強化	地盤改良
		接続部	相対変位防止	可とう性ジョイントの設置、既設継手の補強
	シールド （セグメント）		相対変位防止 （応力集中防止） 耐力不足への対応 液状化対策	構造物との接続部へ可とう性ジョイントの設置 管渠内の補強（縮小断面の構築） 一部地盤改良
	建築構造物	上屋	荷重低減 耐力不足への対応 じん性の増大 短柱沓座	重量低減 柱・はり補強 耐震壁増打ち（ブレース） スリット改造
		基礎部	地耐力強化 液状化対策	躯体近傍への地中連続壁及び鋼矢板などの構築 地盤改良

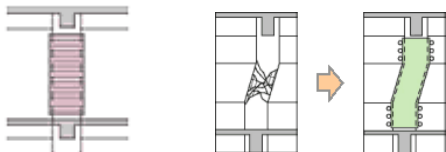
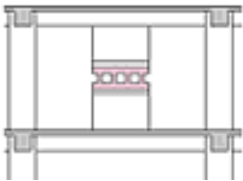
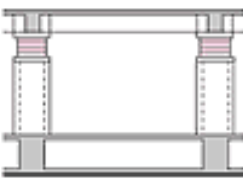
資料：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成 27 年版）

4.5 土木・建築構造物耐震補強（工法例）

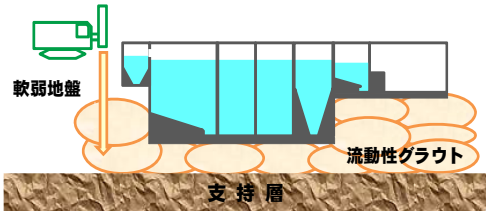
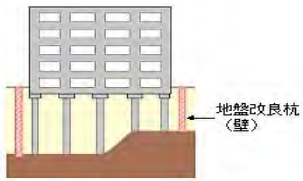
既設の集落排水施設の耐震補強の工法について、処理水槽等の土木構造物、基礎部（直接基礎、杭基礎）、建屋等の建築物の例を次に示す。

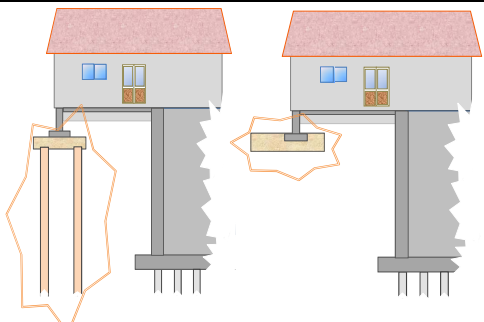
(1) 処理水槽等の土木構造物

項目	対策イメージ	適用
後打壁の増設 (内部開口部等に壁 新設)		新たな壁を鉄筋コンクリート・鉄板壁等で増設し耐震補強を行う。建物の内部、外部を問わずに設置できる。
後打壁の増設 (外部壁に壁増設) (バットレス等)		耐震壁などの構造躯体を建物の外部に増設することで耐震改修を行う。構造物周辺や敷地に余裕がある場合に適する。
鉄骨枠組増設		柱・梁に囲まれた中に鉄骨ブレースを増設することにより耐震補強を行う。開口部を残しながら耐震性能を向上させることが可能。
後打部分補強等 (応力不足部位の補強) (隅角部のハンチ補強)		壁や床版の応力不足部位に部分的に増打補強する。 一般に、ハンチは耐力を増加させ、隅角部における応力伝達を円滑にする効果をもつ。
【参考】 柱耐震補強 (耐震スリット)		鉄筋コンクリート造の既存柱に近くに隙間を設けて柱の粘り強さを向上させる。これ以外の補強方法を組合せて行うことが一般的。
【参考】 柱耐震補強 (柱巻き付け補強)		柱外周を補強することで、ねばり強さと圧縮強さを向上。

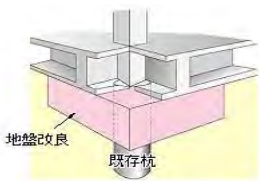
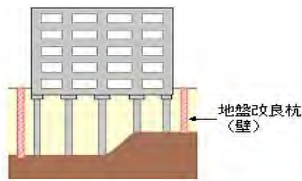
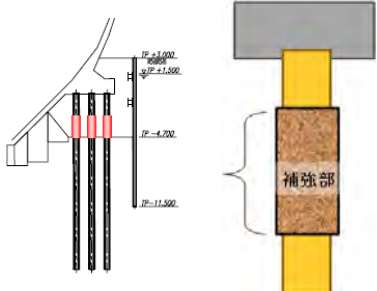
【参考】 柱耐震補強 (柱巻き付け補強)	繊維巻き補強 	柱外周を補強することで、ねばり強さが向上
重量低減		構造体等の一部を撤去することによって全体の重量を低減させる。これ以外の補強工法を組み合わせて行うことが一般的。
【参考】 その他の耐震補強等	制震 	免震装置を建物の基礎下や中間階に設けることで地震力の建物への入力を大幅に低減することにより、構造体の損傷低減を図る。
	免震 	制震補強は制震ダンパーなどで、建物に影響を与える地震力を吸収することにより、構造体の損傷低減を図る。

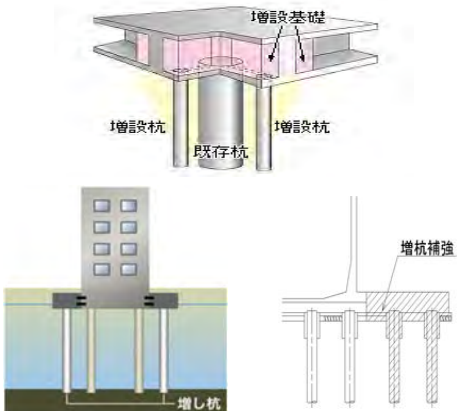
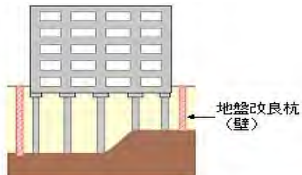
(2) 基礎部（直接基礎）

項目	対策イメージ	適用
地下水位制御工法	ソイルセメント遮水工法、 地中遮水膜連続壁工法、 ディープウェル工法	地下水の水位を制御することにより、地盤を液状化しにくくする。
注入固結工法 (静的圧入締固め工法等)		極めて流動性の低いモルタル・薬液などを地盤中に静的圧入して固結体を造成し、この固結体による締固め効果で周辺地盤を圧縮強化する工法。
地盤改良杭の追加		新たに地盤改良杭を建物外周に囲うことにより地盤を液状化しにくくする。

【参考】 基礎形式の変更 (現場造成杭等)		直接基礎を杭基礎に変更する。
【参考】 基礎形状の変更		直接基礎底版の面積を拡大する

(3) 基礎部（杭基礎）

項目	対策イメージ	適用
杭頭部の地盤改良		既存杭の頭部周辺の地盤を改良し安定させ、杭を補強する。
杭周りの地盤改良		杭の周辺・先端を地盤改良し、地盤と杭の間の摩擦力を向上させ、支持力を改善する。
地盤改良杭(壁)の追加		新たに地盤改良杭を建物外周に囲うことにより地盤を液状化しにくくする。
杭の補強		既存杭の頭部に鋼管や繊維シートを巻き付け、杭頭部を補強する。

杭の増設		新たに杭を増設することにより基礎を補強する。
土圧壁の増設		新たに地中連続壁を増設することにより基礎を補強する。

(4) 建屋等の建築構造物

集落排水施設の上屋等については、建築基準法(新耐震基準)に基づいており、要求される耐震性能を満たしており、補強等は不要であるが参考までに耐震補強の例や参考資料を示す。

建築物の耐震補強の例は、(1) 処理水槽等の土木構造物と同様および次の資料を参照する。

<一般財団法人日本建築防災協会出版物>

- ・既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説
2001年改訂版 (H13.10改訂)
- ・既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説
2009年改訂版 (H21.12改訂)
- ・耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説 2011年改訂版 (H23.9改訂)
- ・既存壁式鉄筋コンクリート造等の建築物の簡易耐震診断法 (17.7発行)
- ・既存鉄筋コンクリート造建築物の外側耐震改修マニュアル (H14.9発行)
- ・既存鉄筋コンクリート造建築物の免震・制震による耐震改修ガイドライン (H18.6発行)
- ・連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針(2010年改訂版) (H22.2発行)
- ・既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修事例集(2009) (H21.7発行)
- ・既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修事例集 第Ⅲ集(H26.6発行)
- ・既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修事例集 第Ⅲ集(H26.6発行)

4.6 地盤耐震補強等（液状化対策）

地盤の液状化は、管路施設等の被災原因の一つであり、重要度や被災の影響度に応じて、地盤の液状化判定を行い、対策が必要な施設に対して必要な対策を講じる必要がある。

液状化の判定には、液状化しやすい条件等を参考にしながら、一般的に多く用いられているFL値法を標準とする。

既設構造物の液状化対策は、新設構造物と比較して地盤調査や対策工事を行う上で、制約を受けることから、条件に応じた液状化対策を選定する必要がある。

〔解説〕

(1) 液状化対策

液状化対策は、施設の重要度、被災による影響が大きい施設及び箇所(5.2(1)ア)、被災しやすい立地場所及び箇所(5.2(2)イ)に留意しながら、地形・地質調査結果を踏まえた液状化の可能性等について検討を行い、対策が必要な施設について、必要な対策を講じる必要がある。

液状化の判定については、以下に示す液状化しやすい条件等を参考にしながら、地盤内のある深さの液状化強度比 R （せん断応力で表した液状化強度と有効拘束圧の比）を、 N 値や粒径等から求めるFL値法を標準として行う。

<液状化しやすい条件について>

ア) 地盤の液状化の判定を行う必要がある砂質土層

構造物の基礎地盤の砂質土層が、以下の3つの条件すべてに該当する場合には、地震時に液状化が生じる可能性がある。

- ・地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ、現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- ・細粒分含有率 F_c が35%以下の土層、又は、 F_c が35%を超えても塑性指数 I_p が15%以下の土層
- ・平均粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ、10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層

（出典：土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」平成21年3月 P359）

イ) 地形的な条件で把握する方法

表 2.1.3のような地形では液状化が発生しやすいといわれる。

また、「液状化地域ゾーニングマニュアル」⁴⁾では、より詳細な微地形区分による液状化可能性の判断基準が示されており、参考にすることができる。

表2.1.3 液状化の起こりやすい地形区分⁵⁾に加筆

区 分	地形*) 条件
(A) 液状化する可能性が高い地域	現河道、旧河道、旧水面上の盛土地、埋立地
(B) 液状化する可能性がある地域	(A)、(C)に属さない沖積低地
(C) 液状化する可能性が低い地域	台地、丘陵、山地、扇状地

*) 地形の形成過程によって分類した細かい地形のことをいい、「微地形」ともいう。

4) 「液状化地域ゾーニングマニュアル」国土庁防災局震災対策課（平成10年）

5) 「共同溝設計指針」（社）日本道路協会（昭和61年）

（出典：下水道の地震対策マニュアル2006年版 P37）

ウ) 埋戻し土の液状化による被害の可能性の判定手法

埋戻し土の液状化による被害の可能性の判定手法としては確立したものがないが、これまでの被害事例から、以下の条件全てに該当する場合に埋戻し土の液状化による被害の可能性がある。

- ①地下水位が高い場合（G.L.－3m以浅）
- ②埋設深度が深い場合（管きよの土被りがG.L.－2m以深、かつ、地下水以下）
- ③周辺地盤が軟弱な場合（緩い砂地盤（概ねN値 ≤ 15 ）、軟弱粘性土地盤（概ねN値 ≤ 7 ）等）

（出典：下水道の地震対策マニュアル2006年版 P39）

< F L 値法 >

F L 値法は、まず地盤内のある深さの液状化強度比（せん断応力で表した液状化強度と有効拘束圧の比）Rを、N値や粒径等から求める。次に、その土に地震時に加わる繰り返しせん断応力比Lを地表最大加速度などから推定して、両者の比を液状化に対する抵抗率（又は安全率とも呼ぶ）F Lを次式で求める。

$$F L = R / L = R_{\max} / L_{\max}$$

ここに、R、R_{max}：液状化強度比

L、L_{max}：繰り返しせん断応力比

算定の結果、F L ≤ 1 であれば液状化の可能性があり、F L > 1であれば可能性が小さいと判断する。なお、ここでmaxと記す場合には、地震荷重のもとでの液状化強度比と繰り返しせん断応力比を、記さない場合には一様振幅荷重のもとでの意味を表している。

（出典：土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」平成21年3月 P359）

(2) 液状化の発生条件と対応策

液状化の発生には大きく4つの条件があり、その発生条件に対する対応策を検討する。液状化の発生条件と対応策の例を表 4-6-1、液状化対策の原理と方法を図 4-6-1に示す。

既設管路の液状化対策については、5.1(2)既設管路と同様に、老朽化による整備更新や布設替時に、液状化対策が必要と判断される場合には、必要な対策を行うこととする。なお、参考として類似するパイプラインの液状化対策を表 4-6-2に示す。

表 4-6-1 液状化の発生条件と対応策の例

液状化の発生条件		対応策の例	
①	砂質土及び軟弱な中間土 (砂と一部のシルト)	地層を固化する 良質土に置換する	地盤改良
②	沖積層や埋立地など (ゆるく堆積している)	液状化する地層に穴を掘り、そこに砂を振動工法等で押し込むことにより元の地盤を横方向に圧縮する方法等	締め固め 載荷工法
③	地下水位が高い	止水壁を設け、その中の地下水位を下げる	各種の 排水ドレーン工法
④	強い(あるいは長い) 地震動が発生する	地中に壁を作り、地震の揺れが来た時に、地層内の変形が生じにくくする。囲った原地盤に伝わる地震力が低減される。	地盤変形抑制

表 4-6-2 パイプラインの液状化対策(地震応答対策)

被災の内容	対策を考慮するポイント	対策例
現地盤の液状化	【液状化の予想される飽和砂質土層】	
	・埋戻し土に対して行う対策	・埋戻し土の密度を高める。(厳密な管理を行う) ・砕石など液状化抵抗力の高い材料を埋戻し材料として使用する。 ・ソイルセメントなどの液状化しない材料を埋戻し材として用いる。
	・現地盤に対して行う対策	・地下水位を低下させる。 ・地震時に発生する過剰間隙水圧を低く抑えるためのドレーンを設置する。 ・地盤改良等の対策を行う。
埋戻し土の液状化	・管路に対して行う対策	・一体構造の管路の場合には地盤ひずみを吸収する特殊管を採用する。 ・伸縮可とう性が大きく離脱防止機構を持った鎖構造継ぎ手の管路を使用する。
	【液状化の予想される埋戻し土】	
	・埋戻し土に対して行う対策	・埋戻し土の密度を高める。(厳密な管理を行う) ・砕石など液状化抵抗力の高い材料を埋戻し材料として使用する。 ・ソイルセメントなどの液状化しない材料を埋戻し材として用いる。
	・現地盤に対して行う対策	・地下水位を低下させる。
	・管路に対して行う対策	・一体構造の管路の場合には地盤ひずみを吸収する特殊管を採用する。 ・伸縮可とう性が大きく離脱防止機構を持った鎖構造継ぎ手の管路を使用する。

1 埋め戻し材料として、改良土を用いることによって大きな地盤反力を得ることができ完全に液状化を防止することが可能である。改良土としてはセメント系固化剤を用いたものが一般的である。埋設深さ数メートルのパイプラインの場合は、最大で200kPa程度の一軸圧縮強度が得られる配合とするが、現場配合での強度試験によって確認する必要がある。高強度の改良土の場合には、のちの開削工事の障害となることもあるため、十分注意する必要がある。^()

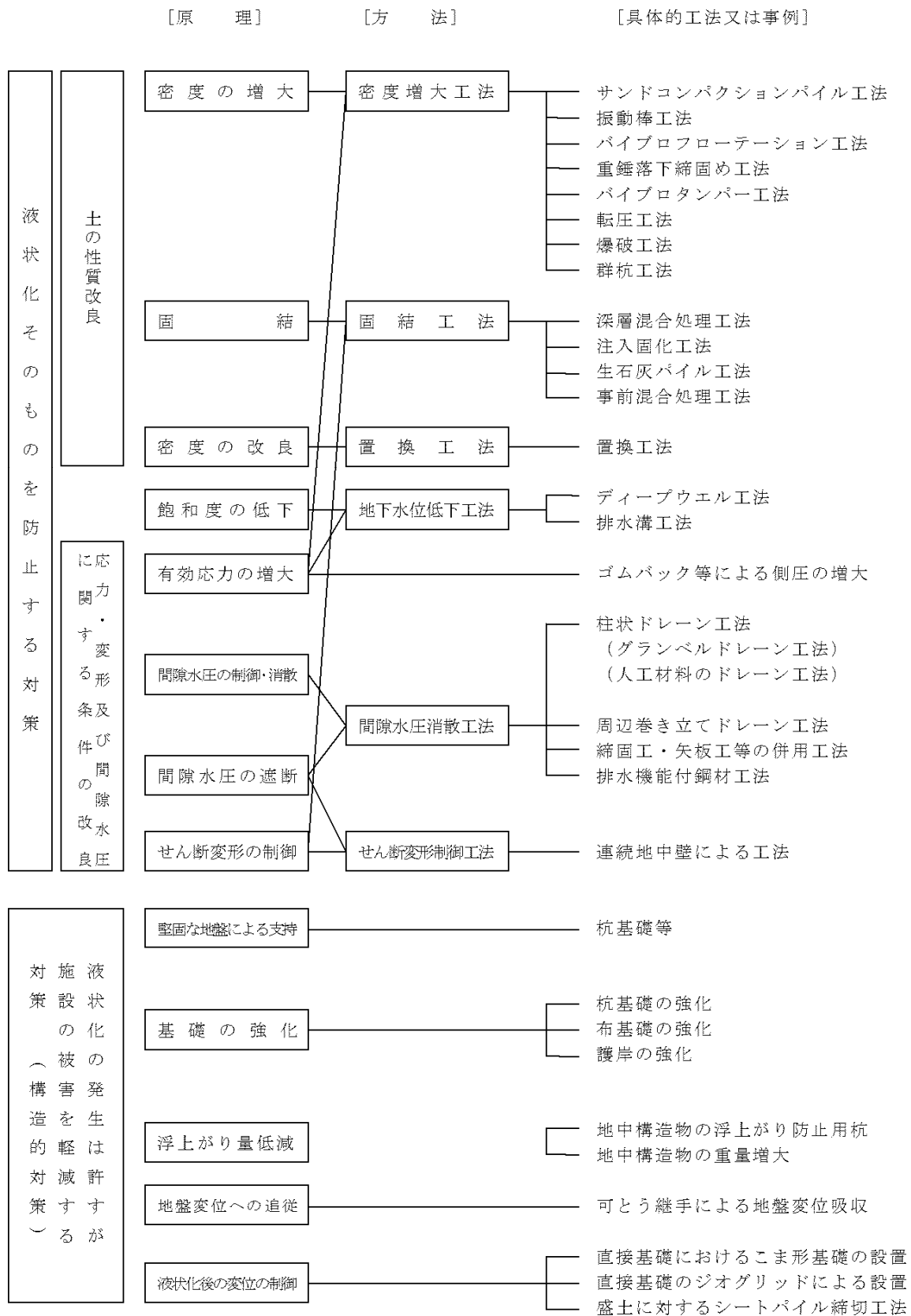


図 4-6-1 液状化対策の原理と方法

(出典：下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年版) P 299)

(3) 既設構造物の制約と耐震補強等

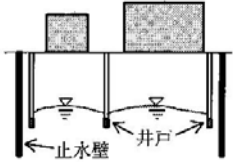
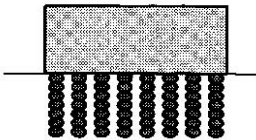
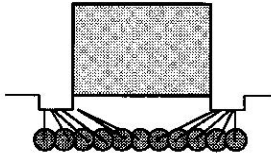
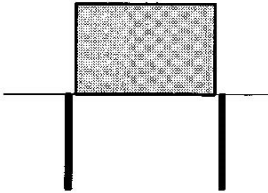
新設構造物と比較して、既設構造物の液状化対策には以下のような制約がある。

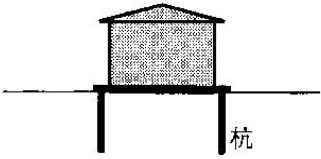
- ア) 構造物直下の地盤を液状化しないようにすることが最も効果的であるが、既設構造物ではこれができにくい。
- イ) 構造物を使用しながら耐震補強工を施さねばならず、適用施工機械などに制約を受ける。
- ウ) 対象とする構造物の近傍に構造物がある場合は、近傍への構造物へ影響を与えない施工方法を選定する必要がある。
- エ) 既設直下の地盤調査を行えないので、液状化の判定を行い難い（逆に既往の調査があることもある。）

上記のような制約の中、最近、既設構造物へ液状化対策事例が急増しており、新しい工法の研究開発も多く行われている。表 4-6-3に既設構造物の液状化対策の事例を示す。

表 4-6-3 既設構造物に対する液状化対策の方法

（安田進、既設構造物のための液状化対策の考え方、基礎工、34(4)、(2006)をもとに作成）

①既設の直接基礎構造物における対策事例 (土地改良事業設計指針「耐震設計」(平成27年版) P 297引用)		
(1) 井戸や排水溝による地下水低下		石油タンクヤードの対策 (大森、1988年、旧本p. 294)
(2) 底版にあけた孔からの締固めや薬液による固化		横浜税関の対策 (金子ら、2003年、旧本p. 505)
(3) 周囲からの薬液による固化		化学薬品タンクの対策 (日経コンストラクション、2005年10.14、p. 30～35)、ペルトコンベア基礎 (斉藤ら、2002年、新本p. 351)
(4) 鋼矢板による変形抑制		タンクの対策 (酒見ら、1996年、新本 p. 454)

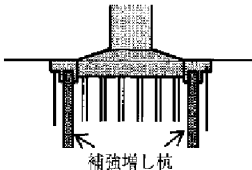
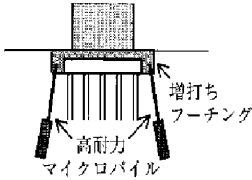
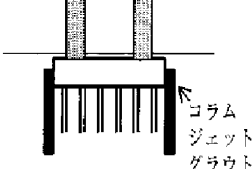
(5) 周囲からの杭打設		十勝沖地震後に復旧された家屋
--------------	---	----------------

注：表中(1)～(5)に示す事例で地盤工学会の以下の2冊の本(文献1)を旧本、文献2)を新本と呼ぶ)に載せられているものは、紙面の都合上、文献名を省略し、各本に記載されているページのみを示した。

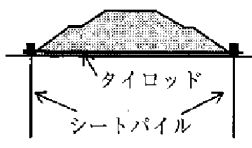
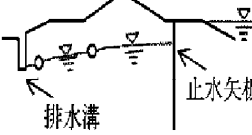
文献1：地盤工学会：液強化の調査・設計から施工まで、1993

文献2：液状化対策工、2004

②既設の杭基礎構造物における対策事例

(1) 増し杭		橋脚の補強（旧本、p. 388）
(2) 高耐力マイクロパイル		橋脚の補強（旧本、p. 442）
(3) 杭基礎周辺の地盤改良		橋脚の対策（阪神高速道路公団、1997年、新本 p. 440）

③既設の土構造物における対策事例

(1) シートパイルによる変形抑制		東海道新幹線の盛土対策（大橋ら、1980年、旧本 p. 422）淀川堤防の復旧（新本 p. 472）
(2) のり尻部の締固めや固化		荒川堤防の対策（旧本、p. 259）
(3) 排水溝による地下水位低下		八郎潟干拓堤防の復旧（秋田県土木部、1990年、旧本 p. 299）
(4) のり尻ドレーン工による盛土内の地下水位低下		十勝川堤防の復旧（北海道開発局帯広開発建設部、1994年、新本 p. 358）