

6. 地震前における構造物の耐震補強方の調査

6. 1 橋梁

6. 1. 1 耐震補強の現状

(1) 耐震補強法の調査結果

(a) 調査対象

橋脚構造物ならびに基礎構造物に限定して、国内および国内の既存の耐震補強技術を収集した。

(b) 橋脚の耐震補強技術

橋脚の耐震補強技術の調査結果を表-6. 1. 1 に示す。

既存の耐震補強技術は、橋脚単体の補強とラーメン橋脚の補強および免震化工法に大別される。

橋脚単体の補強目的としては、曲げ耐力の向上、じん性の向上およびせん断耐力の向上があり、補強方法としては、

- ① 鋼板巻き立て工法
- ② RC巻き立て工法

の実績が多いが、施工スペースや施工機械の制約に対処するため近年開発された補強方法として、

- ③ 鋼板の代わりに炭素繊維やアラミドなどの新素材を用いる方法
 - ④ 鋼板の継手に機械式継手を用いる方法
 - ⑤ 鋼板の代わりにプレキャストパネルを用いる方法
 - ⑥ せん断補強のための鋼材にスパイラル筋を使用する方法
 - ⑦ コンクリートで巻き立てる代わりにモルタルを吹き付ける方法
- 等がある。

また、壁式橋脚のように辺長比の大きな断面については、

- ⑧ PC鋼棒により中間帯鉄筋を代替する方法
 - ⑨ FRPロッドにより鋼板のはらみ出しを防止する方法
- 等が開発されている。

ラーメン橋脚の補強方法としては、橋脚間に耐震壁を設ける方法が一般的であるが、

⑩ プレキャストパネルで耐震壁を施工する方法

⑪ ブレース材による補強とハニカムダンパーによるエネルギー吸収を組み合わせた方法

等が開発されている。

「参考文献」

- 1) 川島一彦：米国における既設道路橋の耐震補強プログラム，橋梁と基礎，1990年3月
- 2) 川島一彦：ニュージーランド及び米国における免新設計を用いた既存橋の耐震設計技術，土木技術資料 31-3，1989年
- 3) 土木学会：橋脚などの耐震補強の現状と課題，平成9年6月
- 4) 建設工業新聞：平成8年2月14日

表-6.1.1 既設橋脚の耐震補強工法一覧：国内（その1）

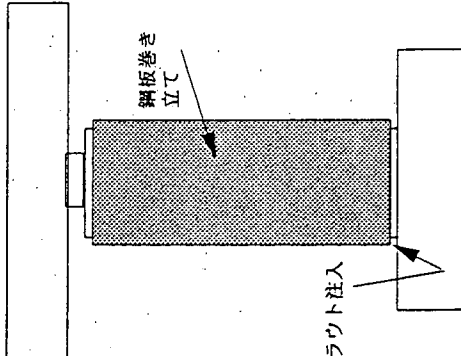
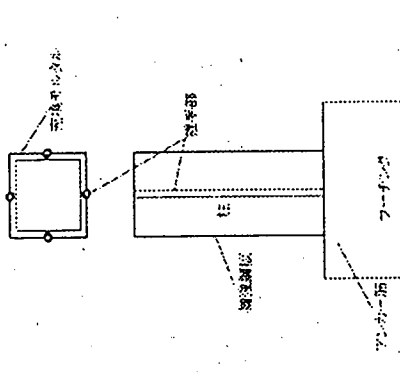
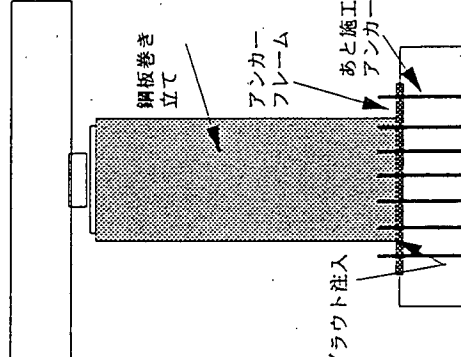
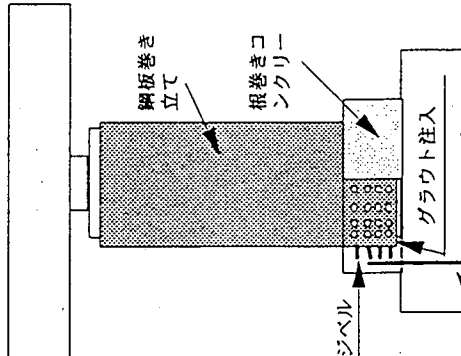
工法名	鋼板巻き立て工法	鋼板巻き立て（鋼矢板式継手）工法	曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法	曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法
概要	 <p>鋼板巻き立て グラウト注入</p>	 <p>完成コンクリート 継手部 柱 アンカー部 グラウト注入</p>	 <p>鋼板巻き立て アンカーフレーム あと施工アンカー グラウト注入</p>	 <p>鋼板巻き立て 根巻きコンクリート ジベル あと施工アンカー グラウト注入</p>
コンセプト	せん断補強による靱性向上	継手の省力化	せん断補強による靱性向上+曲げ耐力補強	せん断補強による靱性向上+曲げ耐力補強
施工手順	鋼板で巻き立て 隙間にセメントモルタルor樹脂注入	鋼板立て込み モルタル充填	後施工アンカー フレーム付き鋼板設置、グラウト注入	後施工アンカー ジベル付き鋼板設置 隙間にグラウト注入、根巻きコン打設
特徴	断面寸法の増加が小さい	継手に鋼矢板式継手を採用 機械式継手なので溶接不要 他、継ぎ手にかみ合わせ部を設けたものもある	断面寸法の増加が小さい	断面寸法の増加が小さい アンカーフレーム不要
留意点	大断面橋脚での拘束効果 鋼板の防食塗装の維持	鋼板の重量増加	後施工アンカーの作業性 フォーミング耐力	後施工アンカーの作業性 フォーミング耐力 鋼板の防食塗装の維持
推奨構造物	小断面橋脚	矩形断面橋脚	大断面橋脚	大断面橋脚
施工実績	多い（鉄道橋）	あり	あり（道路橋）	多い（道路橋）

表-6.1.1 既設橋脚の耐震補強工法一覧：国内（その2）

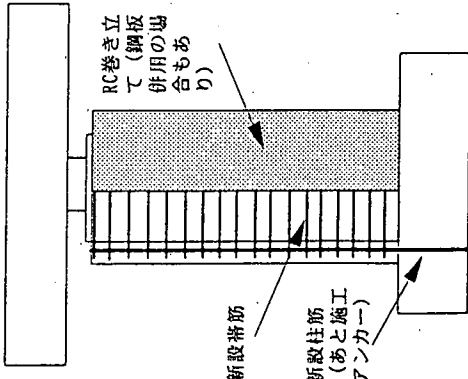
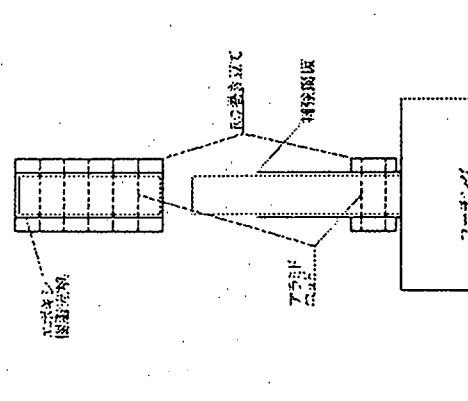
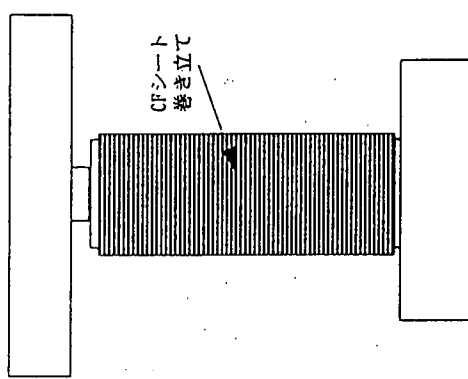
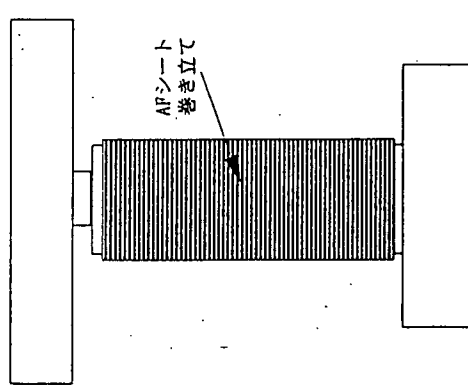
工法名	(鋼板併用) RC巻き立て工法	FRP・GFRP併用巻き立て工法	CFシート巻き立て工法	アラミドシート巻き立て工法
概要				
コンセプト	せん断補強による靱性向上・山付け耐力補強	せん断補強＋主筋座面防止	せん断補強による靱性向上	せん断補強による靱性向上
施工手順	後施工アンカーで柱筋を増設 帯筋筋を配置 巻き立てコン打設	鋼板巻き立て、樹脂充填 RC巻き立て FRP・GFRP設置 FRP・GFRPにより鋼板のはらみ出し防止	表面処理 CFシートの接着・巻き立て 耐久性塗装	表面処理 APシートの接着・巻き立て 耐久性塗装
特徴	鋼板巻かなければメンテナンステナンスフリー可能 鋼板併用の場合は鋼板を型枠に利用できる	FRP・GFRPにより鋼板のはらみ出し防止	施工性良好 断面寸法の増加が小さい メンテナンステナンスフリー可能	施工性良好 断面寸法の増加が小さい メンテナンステナンスフリー可能 隅角部の面取り不要
留意点	橋脚幅の増加による建築限界 自重増加 アンカー施工の作業性	FRP・GFRPの施工手間	条件により防火工・緩衝工	条件により防火工・緩衝工
推奨構造物	大断面橋脚	壁式橋脚	小断面橋脚、狭あい部	小断面橋脚、狭あい部
施工実績	多い(道路橋)	あり	あり	あり

表-6.1.1 既設橋脚の耐震補強工法一覧：国内（その3）

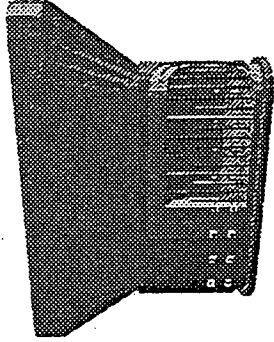
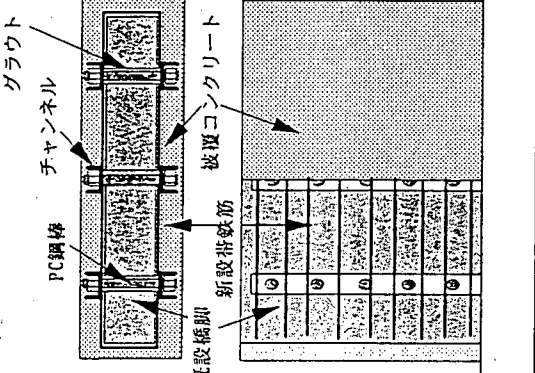
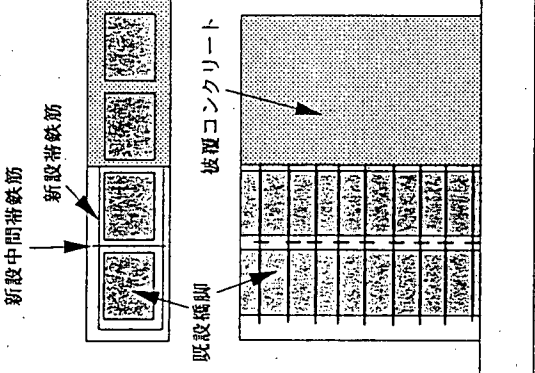
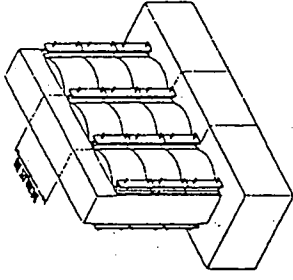
工法名	CFシート・鋼板巻き建て・PC鋼棒併用工法	PC鋼棒による中間帯鉄筋代替工法	ウォータージェットによる帯鉄筋補強工法	曲面状鋼製セグメント工法
<p>概要</p> 				
コンセプト	<p>断落とし部補強と靱性向上 表面処理・CFシートの接着巻き立て 鋼板巻き建て・PC鋼棒定着</p>	<p>壁式橋脚のせん断補強 コアポータリングで削孔 ナットでPC鋼棒をチャンネルに固定 グラウト施工</p>	<p>壁式橋脚のせん断補強 ウォータージェットでスリット切り込み 帯鉄筋・中間帯鉄筋配置 無収縮コン打設（及び設置コン打設）</p>	<p>せん断補強＋主鉄筋座屈防止</p>
施工手順	<p>CFシートで断落とし部補強 鋼板巻き建てによる靱性向上 PC鋼棒によるせん断補強</p>	<p>壁式橋脚に対応できる</p>	<p>壁式橋脚に対応できる 中間帯鉄筋だけの補強の場合断面寸法不変</p>	<p>貫通PC鋼棒＋曲面状鋼板 セグメントと躯体の間に新規鉄筋</p>
特徴	<p>条件により防火工・緩衝工 鋼板の防食塗装の維持 グラウトの充填管理・既設鉄筋の損傷・破断等</p>	<p>グラウトの充填管理 既設鉄筋の損傷・破断</p>	<p>施工機械の設置面積</p>	<p>普通PC鋼棒の施工手間 コスト？</p>
留意点	<p>壁式橋脚 あり</p>	<p>壁式橋脚 あり</p>	<p>壁式橋脚 あり</p>	<p>壁式橋脚 なし</p>
推奨構造物	<p>壁式橋脚 あり</p>	<p>壁式橋脚 あり</p>	<p>壁式橋脚 あり</p>	<p>壁式橋脚 なし</p>
施工実績	<p>あり</p>	<p>あり</p>	<p>あり</p>	<p>あり</p>

表-6.1.1 既設橋脚の耐震補強工法一覧：国内（その4）

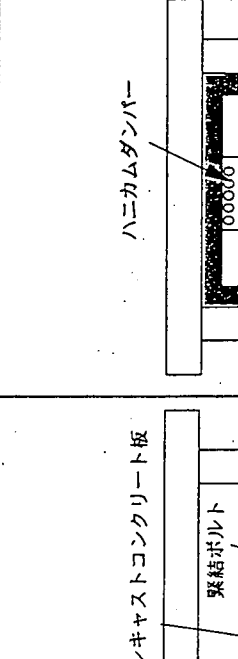
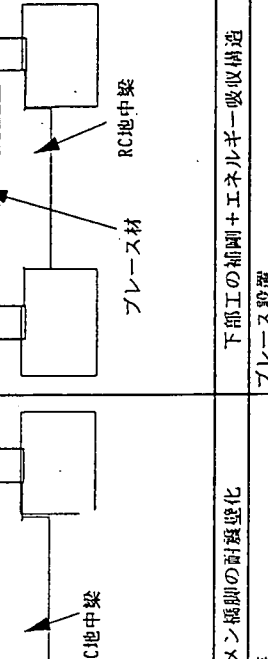
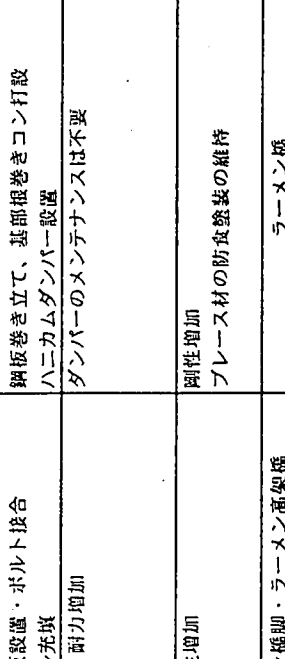
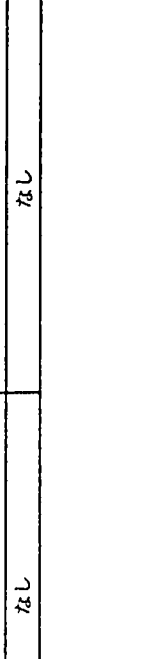
工法名	基礎リング拘束工法	プレキャストコンクリート板	ハニカムダンパー付きブレース補強工法	既設橋梁の免震化工法
概要	 <p>鋼板巻き立て リング設置 膨張コンクリート 拘束リング</p>	 <p>プレキャストコンクリート板 緊結ボルト 鋼板 RC地中梁</p>	 <p>ハニカムダンパー ブレース材 RC地中梁</p>	 <p>既存支承 水平カダンパー ブラケット</p>
コンセプト	土盛り内の橋脚断面の拘束と拡幅	ラーメン橋脚の耐震強化	下部工の補剛+エネルギー吸収構造	地震力の低減
施工手順	鋼板巻き立て リング設置 膨張コンクリート打設	RC地中梁製作 プレキャスト板設置・ボルト接合 無収縮モルタル充填	ブレース設置 鋼板巻き立て、基部根巻きコンクリート打設 ハニカムダンパー設置	ブラケット設置 免震支承の設置 スライド支承のストッパー撤去
特徴	地上部橋脚断面寸法に影響しない 後施工アーカー不要 矩形・円形断面ともに対応可能	全体系の剛性・耐力増加	ダンパーのメンテナンスは不要	上下部を与える影響が小さい
留意点	特殊コンクリートの配合・施工管理 土盛りとリング高さの関係 鋼板の防食塗装の維持	自重増加と剛性増加	剛性増加 ブレース材の防食塗装の維持	桁橋を対象
推奨構造物	特になし	ラーメン橋脚・ラーメン高架橋	ラーメン橋	単桁桁橋・連続桁橋
施工実績	1例（道徳橋）	なし	なし	あり（道徳橋）

表-6.1.1 既設橋脚の耐震補強工法一覧：国内（その5）

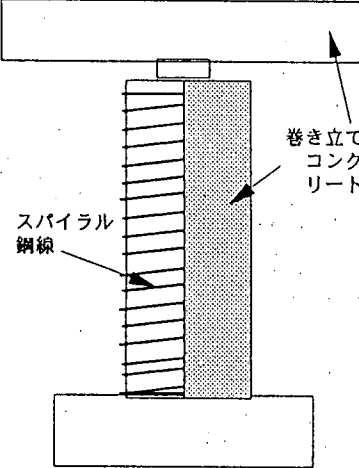
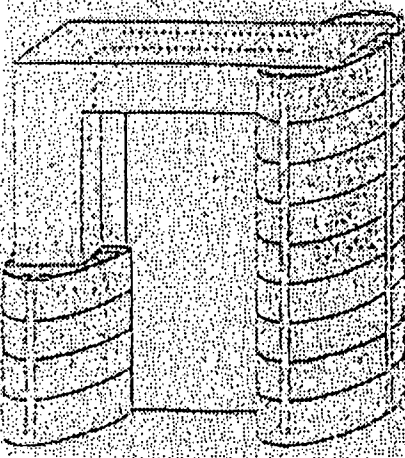
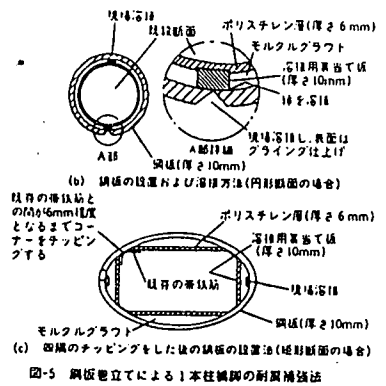
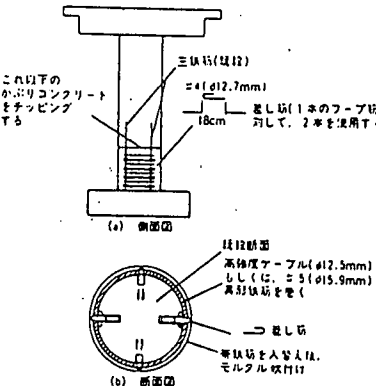
工法名	スパイラルPC鋼線巻き立て工法	PCコンファイド
概要	 <p>スパイラル鋼線</p> <p>巻き立てコンクリート</p>	
コンセプト	円柱橋脚の拘束補強	橋脚の拘束補強
施工手順	目あらし PC鋼線巻きつけ 巻き立てコンクリート打設	プレキャストパネル設置 PC鋼線挿入、緊張 隙間コンクリート打設
特徴	スパイラル施工の省力化が可能	矩形断面对应可能
留意点	基本的に円柱橋脚を対象	
推奨構造物	円柱橋脚	
施工実績	なし	あり（アルカリ骨材反応劣化対策）

表-6.1.1 既設橋脚の耐震補強工法一覧：国外（その1）

工法名	鋼板巻き立て工法	帯鉄筋入れ替え工法
<p>概要</p>  <p>図-5 鋼板巻立てによる1本柱橋脚の耐震補強法</p>	 <p>図-6 帯鉄筋入れ替えによる1本柱橋脚の耐震補強法</p>	
コンセプト	靱性向上	せん断耐力向上
施工手順	鋼板設置 溶接 モルタル打設	橋脚チップング 既存帯鉄筋撤去、帯鉄筋設置 モルタル吹き付け
特徴	橋脚の剛性増加をさせるため、モルタルグラウトと既設橋脚の間をポリチレン層で縁切り。矩形断面の橋脚は、楕円形の鋼板で巻き立て。	塑性ヒンジ化した場合に帯鉄筋がズリ落ちないように、差し筋で固定
留意点		
推奨構造物		
施工実績	米国カリフォルニア州	

(c)基礎の耐震補強技術

基礎の耐震補強技術の調査結果を表-6.1.2より示す。

既存の耐震補強技術は、基礎フーチングの補強、橋台（抗土圧構造物）の補強および液状化対策に大別される。

基礎フーチングの補強方法としては、

- ① フーチングの拡大や増し杭により基礎の安定性の向上を図る方法
- ② フーチング増し厚によりフーチングの耐力の向上を図る方法
- ③ プレストレスの導入によりフーチングの耐力の向上を図る方法
- ④ フーチングの周囲に地中連続壁を施工し、フーチングと頂版を一体化することによって基礎の構造を杭基礎から地中連続壁基礎として基礎の耐力及び変形性能の向上を図る方法
- ⑤ フーチングの直下に高強度の地盤改良を行い、基礎の構造を直接基礎あるいは杭基礎からケーソン基礎に近い基礎形式にして安定性の向上を図る方法
- ⑥ マイクロパイルによる増し杭方法

等がある。

橋台の補強方法としては

- ⑦ 抑止杭や地盤改良により地震時の土圧を軽減させる方法
- ⑧ グラウンドアンカー等を併用して地震時の土圧に抵抗させる方法
- ⑨ 橋台パラペットをロックオフ構造として衝突エネルギーを吸収する方法

等がある。

液状化対策としては

- ⑩ 基礎の周囲に鋼矢板等の遮水壁を造成して過剰間隙水圧の上昇の抑制及びせん断変形を抑制する方法
- ⑪ 地盤改良により地盤の強度を向上させる方法
- ⑫ 地下水位を低下させる方法

等がある。

「参考文献」

- 1) 岡原美智夫 他：土木における埋め込み技術の現状と課題，基礎工，1998年2月
- 2) M.J.N. Priestley 他，川島一彦 監訳：橋梁の耐震設計と耐震補強
- 3) アバン・インフラテクノロジ-推進会議第9回技術研究発表論文集 1998年2月

表-6.1.2 基礎耐震補強工法一覧：（基礎フーチング（その1））国内

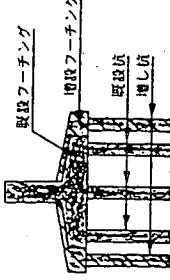
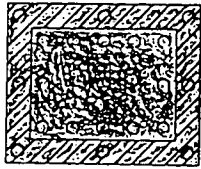

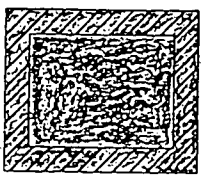
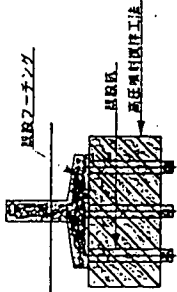
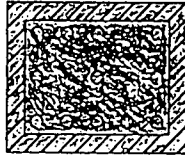
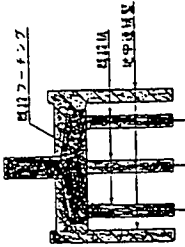
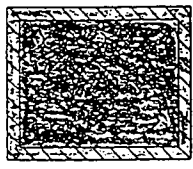
工法名	増し杭工法	フーチング拡大工法	地盤改良工法	地中連続壁基礎工法
概要	 	 	 	 
コンセプト	基礎の耐力・変形性能の向上	基礎の耐力・変形性能の向上	基礎の耐力向上	基礎の耐力・変形性能の向上
施工手順	増し杭打設 後施工アンカー設置 フーチング増設	後施工アンカー設置 フーチング増設	フーチングのコア抜き 高圧噴射攪拌工 フーチングのコア抜き復旧	地中連続壁施工 後施工アンカー設置 頂版施工
特徴	地震力に対して既設杭と増し杭が共同で底杭	地震力に対して拡大したフーチング全体で底杭	フーチング直下の地盤強度を上げ改良地盤上の間接基礎として地震力に対し底杭	地震力に対して既設杭と地中連続壁が共同で底杭
留意点	平面的な用地の確保	平面的な用地の確保	フーチング直下の地盤を改良する際におけるフーチング部のコア抜き	平面的な用地の確保
推奨構造物	直接基礎、杭基礎	直接基礎	直接基礎、杭基礎	杭基礎
施工実績	多い（鉄道橋、道路橋）	多い（鉄道橋、道路橋）	あり（鉄道橋、道路橋）	あり

表-6.1.2 基礎耐震補強工法一覧：（基礎フーチング（その2））国外

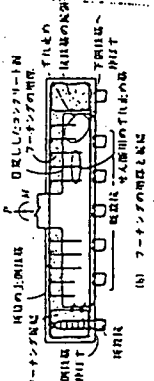
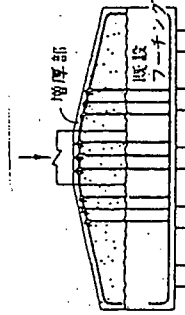
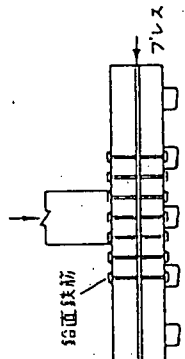
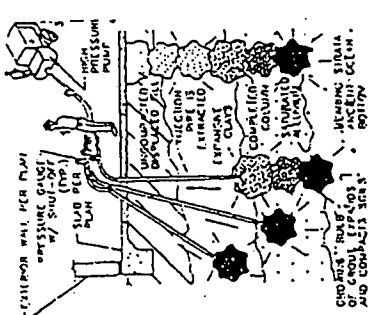
工法名	杭・フーチング増設工法	フーチング増厚工法	プレストレス導入工法	コンパクション・グラウティング
概要	 <p>(b) フーチングの増設</p>	 <p>(a) 増厚と長い止め筋</p>	 <p>(b) 鉛直鉄筋の配置とフーチングへのプレストレスの導入</p>	
コンセプト	フーチングの安定性向上	橋脚との接合部の耐力向上	橋脚との接合部のひび割れ防止	
施工手順	増設杭打設 後施工アンカー設置 フーチング増設	すれ止め筋設置 増厚部打設	フーチングのコア抜き PC鋼材設置、緊張	
特徴	増設杭によりフーチングの安定性が向上	フーチングを増厚させることにより接合部の耐力が向上	プレストレスにより接合部のひび割れを防止	
留意点	平面的な用地の確保		既設鉄筋の切断 グラウトの充填管理	
推奨構造物	杭基礎	直接基礎、杭基礎	直接基礎、杭基礎	
施工実績	あり	あり		集合住宅の次下修正、基礎補強

表-6.1.2 基礎耐震補強工法一覧：（基礎フーチング（その3））国外

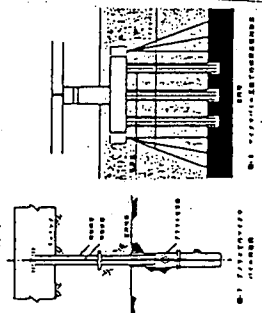
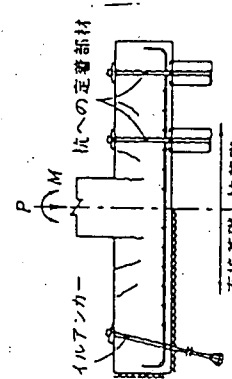
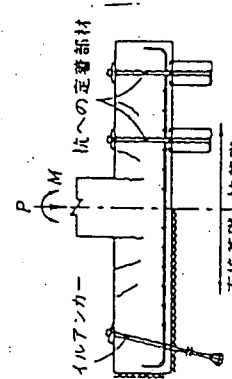
工法名	マイクロバイル工法	ソイルアンカー工法	杭とフーチングの結合工法
概要		 <p>(a) 上層力に対する耐震補強</p>	 <p>ソイルアンカー 杭への定着部材 直接基礎 杭基礎</p>
コンセプト	小口径の杭によるフーチング補強	フーチングの安定性向上	フーチングの安定性向上
施工手順	マイクロバイル打設 フーチング増設	フーチング上縁鋼筋補強 ソイルアンカー設置	フーチング上縁鋼筋補強 タイロッド設置
特徴	施工機械が小型で空間的制限に対処可 振動・騒音小 杭角度は自由に設定可	ソイルアンカーにより地盤とフーチングを結合し、地震時のロッキング（浮き上がり）を防止	杭とフーチングが結合されていない場合にタイロッドにより結合し、地震時のロッキング（浮き上がり）を防止
留意点		フーチングの負曲げに対する補強が必要	フーチングの負曲げに対する補強が必要
推奨構造物	杭基礎	直接基礎	杭基礎
施工実績	あり	あり	あり

表-6.1.2 基礎耐震補強工法一覧：（橋台（その1））国内

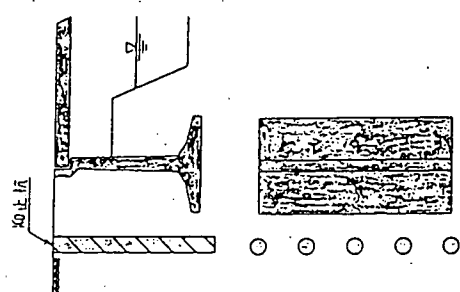
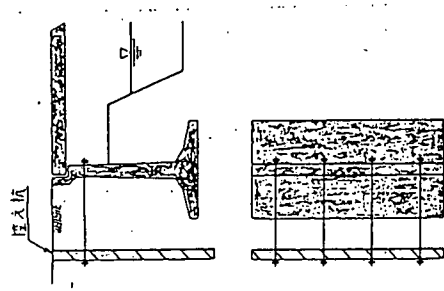
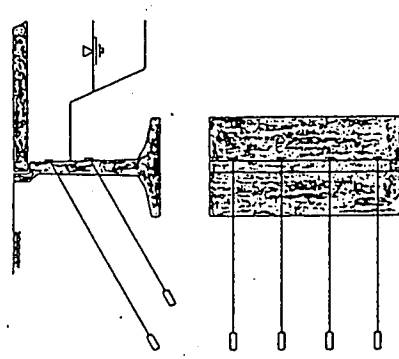
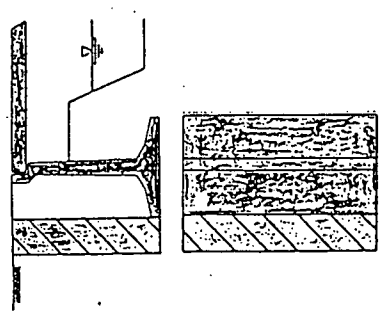
工法名	抑止杭工法	控え杭工法	アンカー工法	地盤改良工法（コングリート外工法）
概要				
コンセプト	作用荷重の軽減	構造系の変更による耐力・変形性能の向上	構造系の変更による耐力・変形性能の向上	作用荷重の軽減
施工手順	抑止杭打設	控え杭打設 掘削 タイロッド設置 埋め戻し	アンカー打設 プレストレス導入	地盤改良工
特徴	地震時の土圧には抑止杭と抗土圧構造物が共同で底抗	地震時の土圧には控え杭と抗土圧構造物が共同で底抗	地震時の土圧にはアンカーと抗土圧構造物が共同で底抗	橋台背面の地盤を改良し自立壁を構築し、地震時土圧には改良体と抗土圧構造物が共同で底抗
留意点	抗土圧構造物背面の用地	抗土圧構造物背面の用地	抗土圧構造物背面の用地	抗土圧構造物背面の用地
推奨構造物	橋台	橋台	橋台	橋台
施工実績	あり	あり	あり	あり

表-6.1.2 基礎耐震補強工法一覧：（橋台（その2））国外

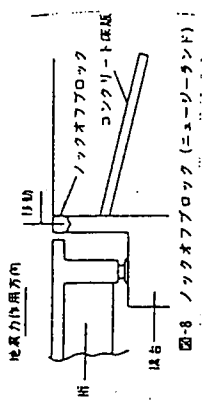
工法名	ノックオフブロック工法
概要	 <p>地震力作用方向</p> <p>はき</p> <p>ノックオフブロック</p> <p>コンクリート保護</p> <p>図-8 ノックオフブロック (ニューリランド)</p>
コンセプト	地震時のエネルギー吸収
施工手順	パラベット背面掘削 コンクリート床版打設 ノックオフブロック設置
特徴	地震時に橋台パラベット上に設置されたブロックに桁を衝突させエネルギー吸収
留意点	
推奨構造物	橋台
施工実績	あり

表-6.1.2 基礎耐震補強工法一覧：（液状化（その1））国内

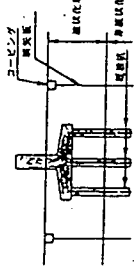

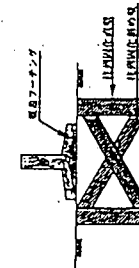

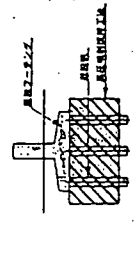

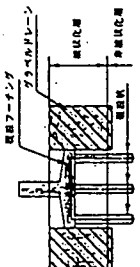
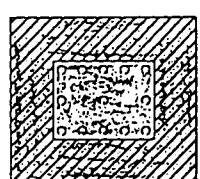
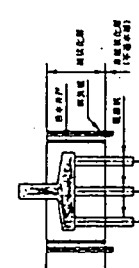
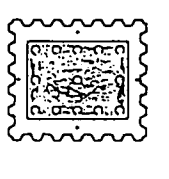
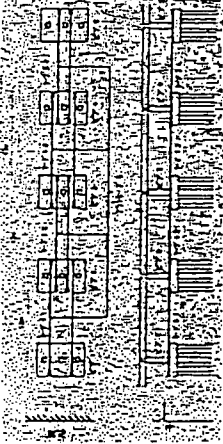
工法名	鋼矢板リング工法	筋交い固化工法	地盤改良工法	グラベルドレーン工法	地下水位低下工法
概要	 	 	 	 	 
コンセプト	過剰間隙水圧遮断 せん断変形の抑制	せん断変形の抑制 地盤の側方流動対策	土の性質改良	間隙水圧の抑制・消散	飽和度の低下
施工手順	鋼矢板打設 コーピング施工	斜め方向及び鉛直方向柱列固化工法構築	フーチングのコア抜き 高圧噴射置換 コア抜き部の復旧	グラベルドレーン打設	鋼矢板打設 揚水井戸施工
特徴	地盤を拘束することによる地震時に おける地盤のせん断変形の低減・ 拘束された部分が液状化するような 大地震時にも地盤の側方流動を拘束 し過大な変形を防止	部分固化工法で全体固化工法に比べて コストの低減可能	改良体周辺の液状化に伴う側方流 動圧に対しては改良体全体で底抗 改良範囲が比較的狭いので用地の 制約が厳しい場所にも有利	低振動・低騒音で施工可能	鋼矢板を不透水層まで根入れし水 の浸入を遮り、内側の地下水を強制的 に排出し、地盤の強度を上げる
留意点	施工時の振動・騒音	斜め方向の柱列固化工法を構築する 際のスペース	フーチング直下を改良する際にお けるフーチングのコア抜き	折下高さの制約から施工領域の事前検討 間隙水の排水により間隙水の消散をはか るため地盤沈下の事前検討が必要	長時間のポンプ排水
推奨構造物	各種基礎	各種基礎	各種基礎	各種基礎	各種基礎
施工実績	あり	なし	あり	あり	あり

表-6.1.2 基礎耐震補強工法一覧：（液状化（その2））国内

工法名	隣接フーチング 連結工法
概要	
コンセプト	基礎間の相対変位制御
施工手順	フーチング部屈折 後施工アンカー、コンクリート打ち増し 外ケール配置、緊張 埋め戻し 液状化に伴う側方流動による基礎の変位を抑制
特徴	
留意点	掘削箇所の既設埋設物等
推奨構造物	護岸近傍基礎
施工実績	なし

(2)現状における問題点

調査結果を基にして、現状技術に関する問題点を以下に列記する。

(a)橋脚

① 既存躯体への削孔方法

既存躯体への損傷を最小限にとどめるために鉄筋位置の把握と削孔方法の選定。

② 狭隘な空間での鋼板の設置

狭隘な空間での鋼板の運搬設置は非常に困難な作業となる。また、厚い鉄板、狭隘な作業空間での確実な溶接作業も、鋼板巻きたて工法においては問題点と考えられる。

③ CFシート設置時の定着面処理やエポキシの温度管理

④ グラウト注入の品質管理

グラウトの注入性能確保のための品質管理、グラウト充填管理と養生など

⑤ 大断面橋脚の有効な補強

⑥ 辺長比大断面（壁式橋脚）の有効かつ簡便な補強

壁式橋脚の多くは帯鉄筋を有していないことが多く、長辺におけるコンクリート拘束効果が低くなりやすい。貫通ボルトによる補強が多く採用されているが、施工が非常に困難となりやすく、有効かつ簡便な補強法の開発が望まれる。

⑦ 直接的に橋脚補強が行えないラーメン橋の耐震補強工法

橋脚が河川内に設置されたラーメン橋などでは、直接的に橋脚補強を行うには、仮締め切りなどが必要となり、大規模な仮設を必要とし補強工費が大きくなりがちである。免震化工法などの直接橋脚に補強を行わない工法も存在するが、ラーメン橋などでは適用不可能である。

(b)基礎

① 既存フーチングへの削孔方法

既設フーチングへの損傷を最小限にとどめるために鉄筋位置の把握と削孔方法の選定。

② 狭隘な空間での杭打設施工

空頭制限、狭隘な場所での杭打は困難な作業となる。

③ プレストレスの導入の効果の評価方法

- ④ 既設フーチング直下に地盤改良を行う場 には削孔による損傷及び地盤改良等とフーチングとの一体化の方法
- ⑤ 橋台の抑止杭あるいは地盤改良施工時の交通の一時遮断
- ⑥ 定常的な地下水位低下による維持管理費の増大

6. 1. 2 今後の課題と研究方法

今後の課題と研究方法については、補強工法の開発はほぼ終了したような感のある橋脚に関しては割愛し、橋梁基礎についてのみ述べる。

(1) 今後の課題

- (a) 橋梁基礎に対する補強工法は目的としては大きく分けて①基礎の耐力向上②液状化対策の2つがあり、阪神・淡路大震災以降いくつかの工法が用いられている。これらの補強工法の多くは「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」及び「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成8年12月）」に準拠して震度法及び地震時保有耐力法による設計が行われてきた。これらの補強工のうち①に関するものは基礎が地震時に有害な損傷を被らないレベルの耐力を有することを目的としているが、その効果については既往の解析手法に準じておりその妥当性の検証等適切な評価は行われていない。
- (b) 既存の基礎に対する補強工の設計を行うに際して大地震時における既存杭と新設杭に対する荷重の分担比率が不明瞭である。また増し杭を設けたようなケースにおいては既存杭が補強時に既に軸力を負担しているために大地震時に既存杭が先に降伏するような場合も想定されるなど補強工を施工した後の構造系のメカニズムが不明瞭である。
- (c) 大地震時における地盤の非線形特性あるいは地震時土圧などが十分に把握されていない。

(2) 研究方法

- (a) 基礎構造別に（主として杭基礎）既存の補強工法の効果を数値解析にて検証しその適用範囲を明らかにするとともに施工性向上および低コスト化に向けての新しい補強工法の提案を行う。また既存の補強工法が適用できない場合の条件についても検討を行い対応可能な新しい補強工法の提案を行う。その後、振動実験などにより提案した補強工法の効果の確認を行う。

新しい補強工法の一例として、杭基礎の杭頭に鋼板とフーチングへのアンカー筋を用いて補強を施す工法を提案する。本工法は、杭基礎の破壊がその杭頭で起こることを勘案し、鋼板とフーチングへのアンカー筋による補強で杭頭の曲

げ及びせん断耐力を向上させる橋梁基礎の耐震補強工法である(図-6.1.1 参照)。

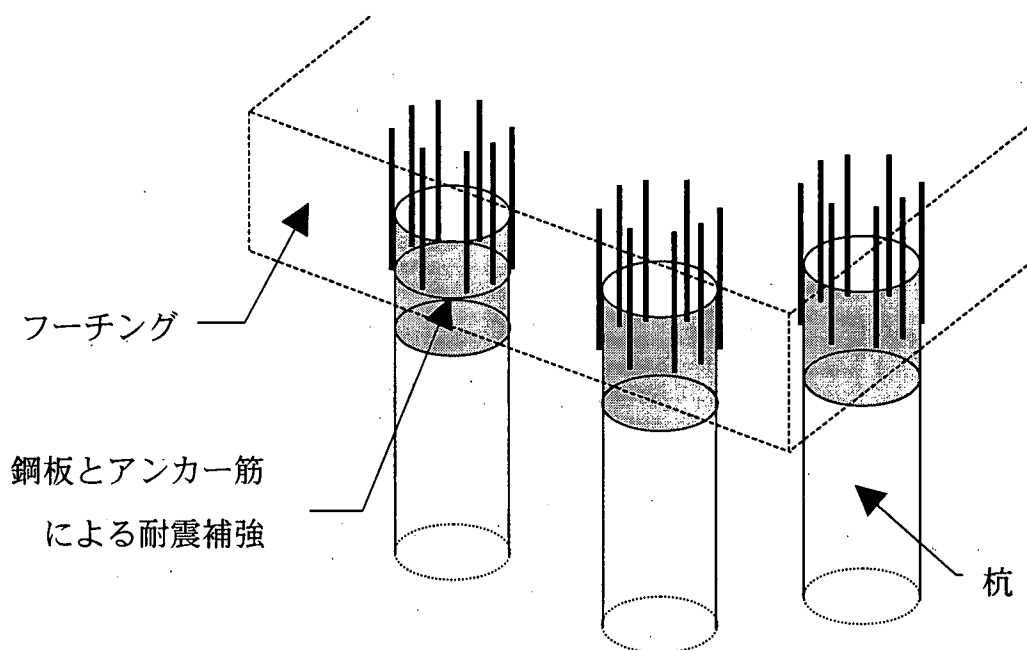


図-6.1.1 鋼板およびアンカー筋による杭頭の耐震補強工法

研究方法としては、鋼板およびアンカー筋補強により、どの程度耐震性が向上されるか解析および実物大振動実験により調査する。また、実物大振動実験に先駆けて施工性を把握するために施工性実験もあわせて実施する。

- (b)補強工を施した基礎について新設及び既存杭の荷重の分担率や補強後の破壊メカニズムを解析によって明らかにし、既存の補強工法の妥当性を検証する。
- (c)地盤の非線形性を適切に評価したモデルで動的解析を行い基礎の破壊メカニズムを把握してより合理的な補強方法の開発につなげる。

6.2 土構造物

6.2.1 耐震補強の現状

(1) 調査対象構造物

土構造物はコンクリート構造物などに比べて強度が低く、中程度の地震でも被害を受けることがある。しかし、材料も比較的安く、補修も容易であることから、「壊れたら直す」という考え方が採用されているものも少なくない。しかし、1995年兵庫県南部地震では、復旧工事が集中したことにより土砂の調達も思うようにできず、被災規模が大きくなると土構造物であっても早期復旧が容易でないことを学んだ。

この地震以降、各機関において耐震基準の見直しが行われているが、土構造物についてもその重要度に応じて耐震性の向上を図る必要が生じている。特に、都市機能の観点から構造物の耐震性を評価する必要のある大都市圏では、土構造物の耐震性の低さが弱点となることが予想され、その耐震補強は重要な課題の一つである。

ここでは以下の3構造物についてその耐震補強法の現状を調査する。

1) 岸壁

海上輸送の拠点となる港湾施設の被災は経済的に大きな影響を及ぼすだけでなく、震災復旧時の海上輸送の途を断ち、支援物資、工事用資機材の輸送に支障をきたす。

2) 河川堤防

1995年兵庫県南部地震では河川水が堤内地へ流入するという二次災害は発生しなかったが、大都市圏の河口付近に存在するゼロメートル地帯の河川構造物の耐震性確保の重要性が強く認識された。

3) 鉄道・道路盛土

橋梁などの構造物に比べて、盛土部は耐震性が低く、陸上輸送路の弱点となり、震災復旧時の支援物資、工事用資機材の輸送に支障をきたす。

(2) 既存の耐震補強法

(a) 岸壁¹⁾～¹⁰⁾

既設の岸壁の耐震補強法は運輸省港湾局技術課によって「既設岸壁の耐震補強工法事例集」としてまとめられている。ここに記載されている補強法のうち、重力式および矢板式

岸壁の主な耐震補強法を表-6.2.1, 表-6.2.2に示す.

岸壁の構造形式は様々であるが, 既設岸壁の制約条件からその耐震補強法は大きく

- 1) 岸壁法線を変更しない場合
 - 1)-1 既存施設は残置し, 構造体として利用
 - 1)-2 既存施設を一部撤去 (一時撤去を含む)
 - 1)-3 既存施設を完全撤去
- 2) 岸壁法線を変更 (前だし) する場合
 - 2)-1 既存施設は残置し, 構造体として利用
 - 2)-2 既存施設は残置するが構造体として利用しない
 - 2)-3 既存施設を完全撤去

に分けることができる. 1)は前面の海域を侵すことなく岸壁, 背面地盤などを強化する方法である. 一方, 2)は海側に法線を変更しての耐震補強であるため, 岸壁背面の空間に制約があり, 前面の海域に余裕がある場合などに限られる.

補強の基本的考え方は

- a) 背面の土圧を低減する方法
- b) 岸壁を構造的に強化する方法

の2つがある (2) の場合はb) が中心となる). a)は裏埋め土の地盤改良や本体直背後の控え組杭により岸壁背面に作用する土圧を低減し, 結果的に岸壁の耐震性の向上を図る方法である. 地盤改良による方法には裏埋め土の軽量化, 固化処理などによる裏埋め土の強度増加がある. 特に, 岸壁背面地盤が地震時に液状化の可能性のある場合には液状化対策としての地盤改良が実施される. 過去の地震でも岸壁背面地盤の液状化による被害が多くみられ, 背面地盤の液状化は検討すべき重要項目の一つである. また, 1995年兵庫県南部地震での被害からケーソン直下の置換砂も耐震上の弱点となることが分かり, 背面地盤だけでなくケーソン直下の置換砂に対しても液状化対策の必要性が生じてきている. 図-6.2.1に液状化対策工法の原理と分類を示すが, 液状化対策としては固化処理のほか振動締固めや間隙水圧消散による対策工法が用いられることが多い.

b)の方法 (あるいはa)とb)との組み合わせ) はa)だけでは耐震性が確保できない場合に採用される. 1)の場合, 重力式岸壁では背面の腹付けコンクリートによる重量化, 摩擦増大マットの敷設などにより安定性の向上が図られ, 矢板岸壁では既設矢板背面への新設矢板の打設, 控え工の補強などによる矢板耐力の増加が図られる. 2)は既設構造物前面に重

方式、矢板式、栈橋式構造物を設置し、構造強化を図ることとなる。いずれの場合も新設同様に大掛かりな工事となる。

(b) 河川堤防^{11)~19)}

建設省河川構造物地震対策技術委員会の報告書のなかに「河川堤防の地震対策工法」として土堤および自立式特殊堤の地震対策工法が示されている。表-6.2.3、表-6.2.4に土堤および自立式特殊堤の主な耐震補強法を示す（実際の適用に当たってはこれらの複合的な対策も検討される）。

土堤は大規模な地震被害の主因が基礎地盤の液状化と予想されるため、その耐震補強は液状化を抑制する対策工が基本となっている。しかし、洪水防御に対する整備率が未だ低いことから、

1) 耐震性の向上に寄与する改修工事（高水敷造成、緩傾斜化など）

1)-1 川表側対策

1)-2 川裏側対策

を優先的に実施し、それでも耐震性が確保できない場合に

2) 液状化を抑制する地震対策

2)-1 川表側対策

2)-2 川裏側対策

を付加することが基本となっている。

1)の対策には高水敷の造成、腹付け盛土による堤体の緩傾斜化、嵩上げなどの方法があるが、これらはあくまで2次的効果、すなわち上載荷重の増加（基礎地盤の有効応力の増加）により液状化の発生を抑制する効果を期待する工法である。このうち緩傾斜化による方法（高規格堤防を含め）には土堤の変形を緩和させる効果もあり、比較的耐震性の向上の効果が期待できる。

2)は基礎地盤（液状化層）を直接改良する工法であるが、堤防本来の洪水防御機能を低下させないように十分に検討する必要がある。河川堤防への適用性が高い液状化対策工法には固化処理、振動締固め、グラベルドレーンなどが挙げられ、基本的には川表側あるいは川裏側の基礎地盤が改良の対象となる。従って、土堤直下の基礎地盤に対しては間接的な対策工となっている。

自立式特殊堤は偏土圧、水圧に対して基礎地盤の支持力で抵抗する構造物であり、土堤同様に液状化が地震被害の主因と予想される。その耐震補強法は

- a) 地盤を強化する工法（地盤改良）
- b) 本体および基礎工を強化する工法

に分けられ、a)は特殊堤前面の押え盛土や地盤改良、b)は特殊堤前面の増し杭、あるいはジャケットフレーム設置などが対策工として挙げられる。特殊堤は一般に市街地など土堤建設のための用地取得が困難な箇所に設けられているため施工空間上の制約も多い。従って、対策工も川表側が主となる。また、特殊堤は既設の特殊堤に継足しを行ったものも多く、これらの対策が困難な場合も少なくない。そのため、撤去・新設も考慮の必要がある。

(c) 鉄道・道路盛土^{20)~32)}

表-6.2.5に鉄道・道路盛土の主な耐震補強法を示す。なお、基礎地盤の液状化対策については前項 (b)河川堤防と同様と考えられるので、ここでは除いた。

鉄道や道路盛土などの耐震補強は

- 1) 盛土の変形を抑止する工法
- 2) 盛土自体を補強する工法

に分けられる。1)は構造物の剛性で盛土および基礎地盤の変形を抑止する従来の考え方に基づいた方法である。抑止杭、鋼矢板・アースアンカー、鋼矢板・タイロッドなどの工法が挙げられる。1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震では被災した鉄道盛土の復旧工事において、復旧と同時にこれらの補強工が実施された。

2)は盛土内に補強材を敷設し、盛土材と補強材の摩擦力よる引き抜き抵抗により盛土の強度増加を図る方法で、土の持つ変形性能を生かした補強法である。1995年兵庫県南部地震ではこの補強土工法が被災した鉄道盛土の復旧に多く用いられた（樹脂製の面状補強材を敷設した補強土工や、ソイルセメントによる太径のアンカー体を用いた補強土工によって耐震強化が図られた）。

補強土工法は

- a) 補強土擁壁工法：壁面材と盛土の補強材（帯状鋼板など）による盛土体の補強
- b) 盛土補強工法：盛土の補強材（樹脂ネットなど）による盛土体の補強
- c) 地山補強工法：自然地山への補強材（鉄筋など）の挿入による自然地山の補強

に分けられ、a)やb)は従来急勾配盛土工法として用いられている。1995年兵庫県南部地震では補強土工法により施工された箇所の調査が行われ、「壊滅的な損傷を受けることなく、構造上の機能を十分果たした。」とする報告があり、土構造物の耐震補強法としても有効であることが確かめられた。また、既設の鉄道盛土の耐震補強として、ソイルセメントに

よる太径のアンカー体を用いた補強も試みられており、既設盛土を自然地山と考えれば、c)の工法は既設盛土の耐震補強工法としての適用が考えられる。

(3) 現状における問題点

土構造物（岸壁，河川堤防，鉄道・道路盛土）に関する既存の耐震補強法の概要を前項で述べたが，土構造物の耐震補強は

1) 構造物の補強

1)-1 岸壁など抗土圧構造物の構造的補強

1)-2 土構造物（盛土）そのものの補強

2) 構造物周辺地盤，あるいは基礎地盤の補強（主に液状化対策）

に分けられる。これら対策工の既設土構造物への適用にあたっての主な問題点を挙げると以下のようなになる。

a) 設計面

a)-1 適切に補強効果を評価できる設計法が確立されていない。

a)-2 補強体の強度，変形特性が十分把握されていない。

a)-3 補強範囲と補強効果の関係が十分把握されていない。

a)-4 残留変形を適切に予測する方法が確立されていないので，盛土の設計において許容変位・沈下量の考え方を採用する事が困難である。

a)-5 その他。

b) 施工面

b)-1 施工空間の制約を受ける。

b)-2 供用しながらの施工のため，時間的・空間的制約を受ける。

b)-3 対策工に伴う振動や地盤変位が既設構造物へ影響を及ぼす。

b)-4 対策工に伴う騒音や振動が周辺環境へ影響を及ぼす。

b)-5 その他。

コンクリート構造物では塑性変形までも考慮した設計法が導入されつつあるが，土構造物ではその非線形挙動を適切に評価できる設計法が確立されておらず，1)-2および2)では設計面での問題も多い。1995年兵庫県南部地震以降，設計基準の見直しが行われているが，レベル2地震動のような強震動に対して現状の設計法では液状化対策工の設計が難しいと言われている。一方で，従来のレベル1相当の地震力で設計された液状化対策工が兵庫県

南部地震でその効果が確認されたとする報告もあり、レベル2地震動に対して液状化対策工が困難となる現状の設計法に限界が感じられる。

施工面では1)、2)いずれも共通の問題を抱えている。個々には、低振動、低騒音化、地盤改良の効率化などが図られているが、土構造物では橋脚の耐震補強のような比較的簡易な補強法は少ない。特に、既設構造物直下地盤や近傍地盤に対する耐震補強は施工上の制約も多く、施工技術のさらなる開発が望まれる。

また、1995年兵庫県南部地震で大きな被害をもたらした地盤の液状化に伴うの側方流動に関しては不明な点も多く、設計面、施工面（有効な対策工）の両面から研究を進めていく必要がある。

表-6.2.1 重力式岸壁の耐震補強工法 (1) ¹⁾

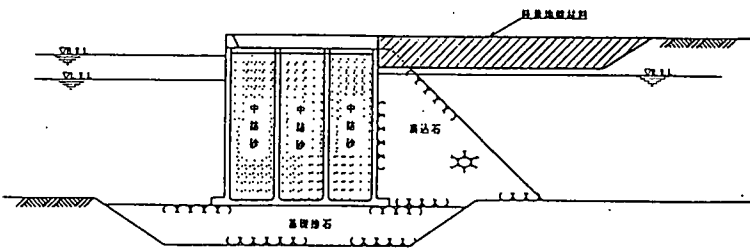
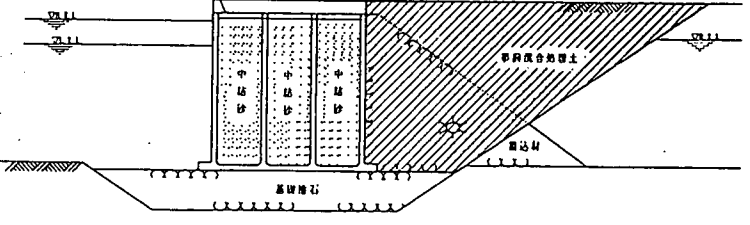
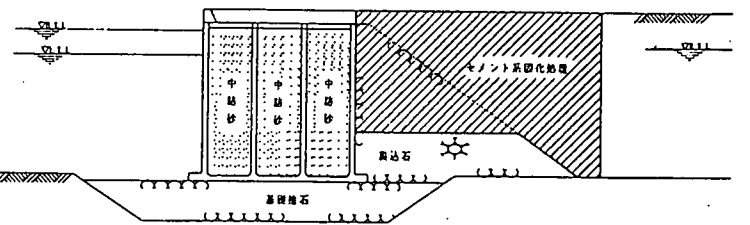
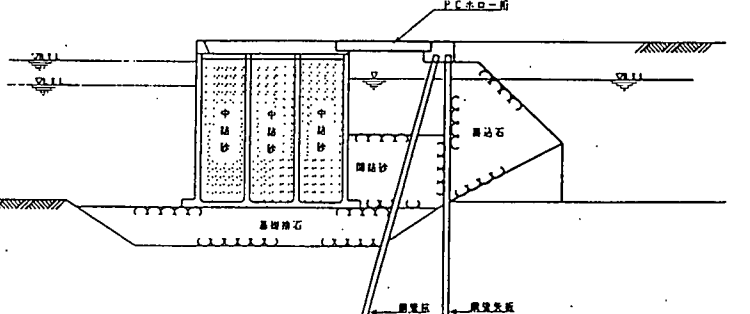
補強の考え方	工法の概要
背面土圧低減	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 裏込材を軽量地盤材料（水砕スラグ、気泡混合処理土など）に置換し、土圧低減を図る。</p> 
背面土圧低減	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 裏込材を事前混合処理土に置換して土圧を低減する。</p> 
背面土圧低減	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 裏込材をセメント系固化処理し、土圧低減を図る。</p> 
背面土圧低減	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 本体直背後に控え組杭などを設置し、本体に作用する土圧を低減する。</p> 

表-6.2.1 重力式岸壁の耐震補強工法 (2) 1)

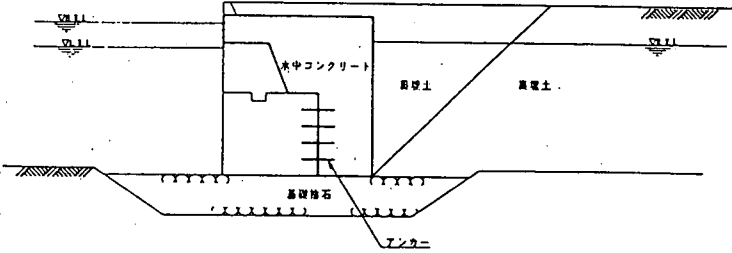
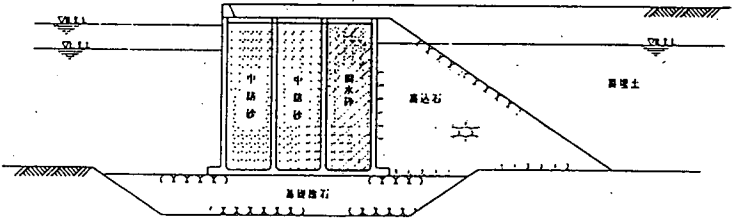
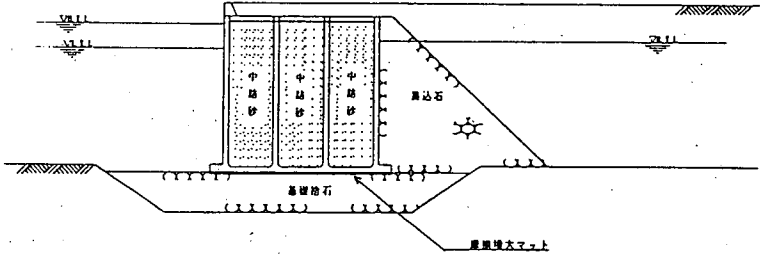
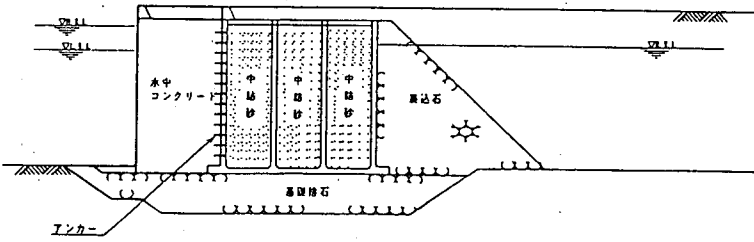
補強の考え方	工法の概要
<p>構造強化</p>	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 既設構造物の背後に水中コンクリートを打設し、アンカーによって一体化せる。</p> 
<p>構造強化</p>	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 中詰砂を銅水砕などで置換し、ケーソンを重量化して安定度を増す。</p> 
<p>構造強化</p>	<p>法線変更なし。既存施設を一部撤去（一時撤去を含む）。 ケーソンを一時撤去し、据え直し時に摩擦増大マットを設置することで安定度を増す。</p> 
<p>構造強化</p>	<p>法線前出し。既存施設は残置し、構造体とし利用。 前面に既設と一体化して水中コンクリートを打設することで安定度を増す。</p> 

表-6.2.1 重力式岸壁の耐震補強工法 (3) 1)

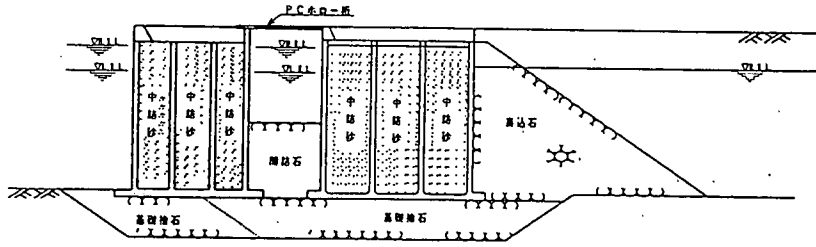
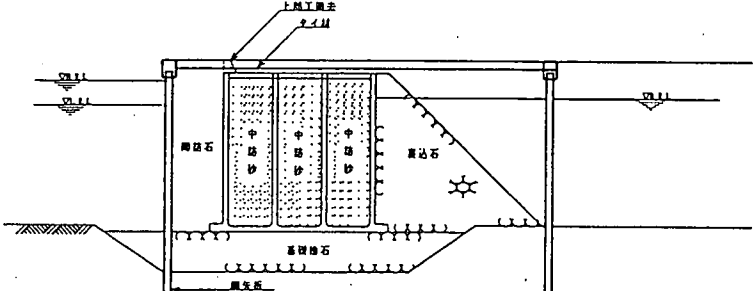
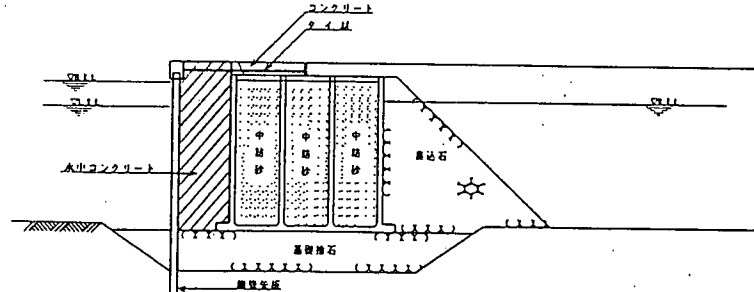
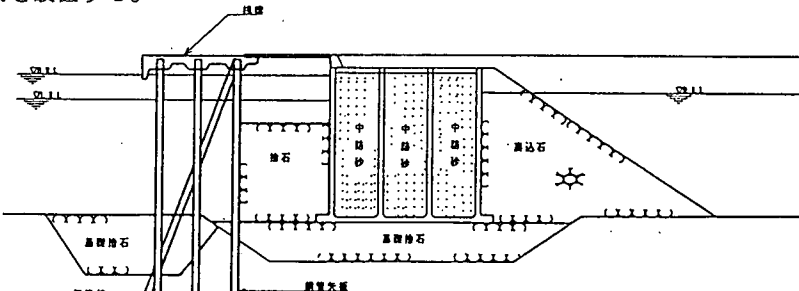
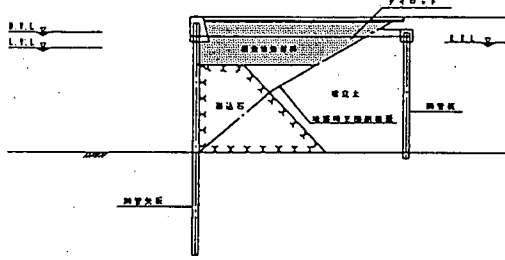
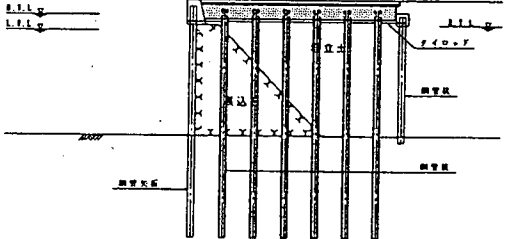
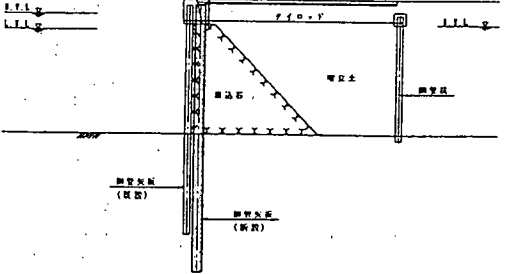
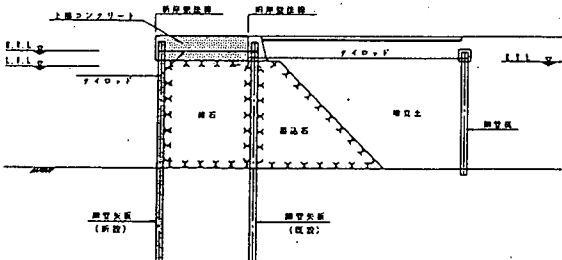
補強の考え方	工法の概要
構造強化	<p>法線前出し。既存施設は残置し、構造体とし利用。 前面に重力式構造物を設置し、既設との間に間詰石を設置して既設構造の安定度を増す。</p> 
構造強化	<p>法線前出し。既存施設は残置し、構造体とし利用。 前面に矢板を設置し、新設矢板および間詰石で既設岸壁の抵抗力を増加（既設を控え工として利用する場合あり）。</p> 
構造強化	<p>法線前出し。既存施設は残置し、構造体とし利用。 前面に矢板を設置し、既設との間に水中コンクリートを打設して一体化する。</p> 
構造強化	<p>法線前出し。既存施設は残置し、構造体とし利用。 前面に捨石を設置し、既設の抵抗力を増し、必要な水深を得るために前面に土留を含む棧橋を設置する。</p> 

表-6.2.2 矢板式岸壁の耐震補強工法¹⁾

補強の考え方	工法の概要
背面土圧低減	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 矢板背面を軽量地盤材料に置換し、背面土圧を低減する。</p> 
背面土圧低減	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 矢板背後に棚式構造物を設置して荷重を分担させ、背面土圧を低減する。</p> 
構造強化	<p>法線変更なし。既存施設は残置し、構造体とし利用。 既設矢板背後に新設矢板を打設し、既設と一体化して矢板耐力を増加させる（必要に応じて控え工を補強する）。</p> 
構造強化	<p>法線前出し。既存施設は残置し、構造体とし利用。 既設矢板前面に新設矢板を打設し、既設矢板を控え矢板工として利用する。</p> 

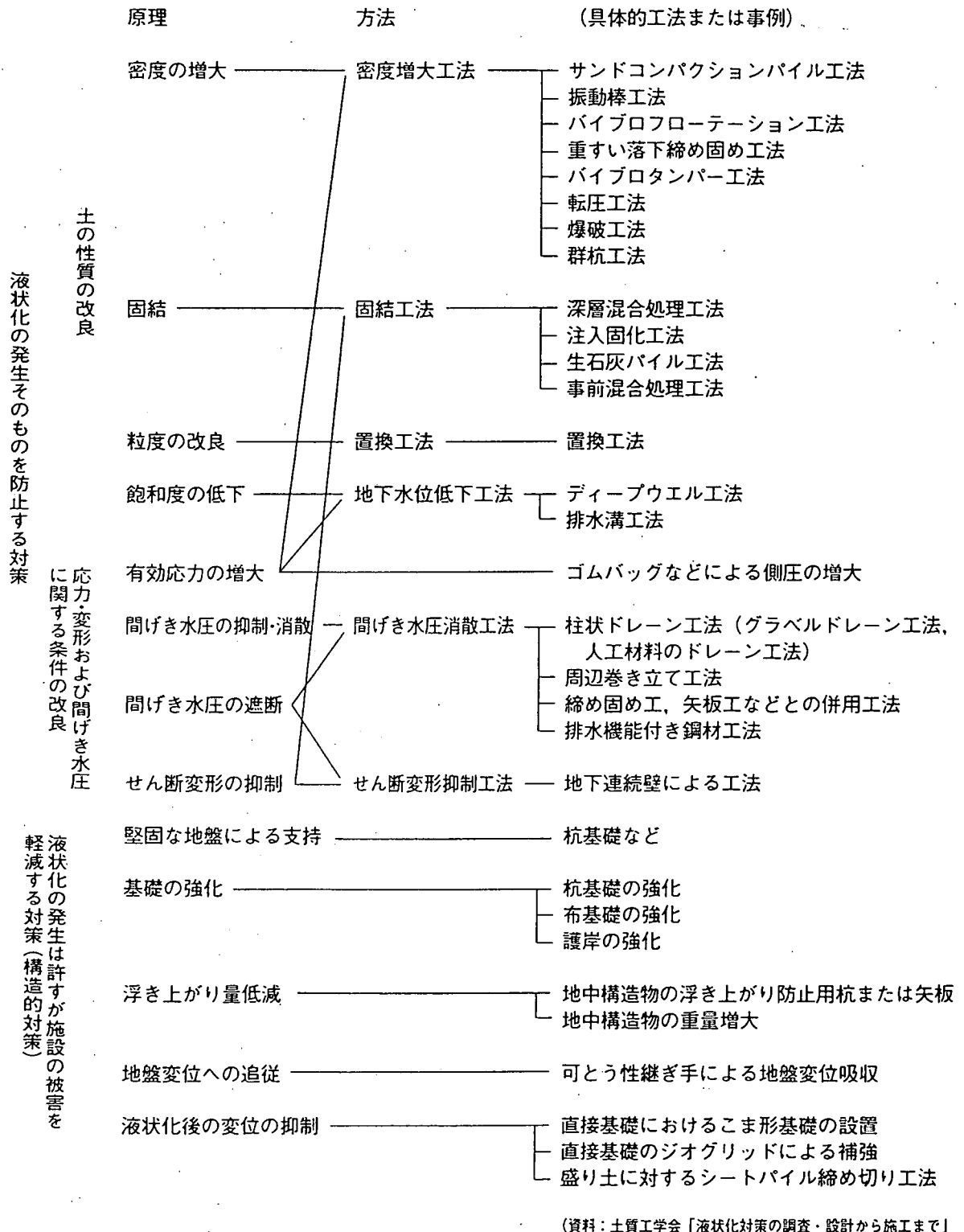


図-6.2.1 液状化対策工法の原理と分類¹⁰⁾

表-6.2.3 河川堤防の耐震補強工法（土壌）（1）¹¹⁾

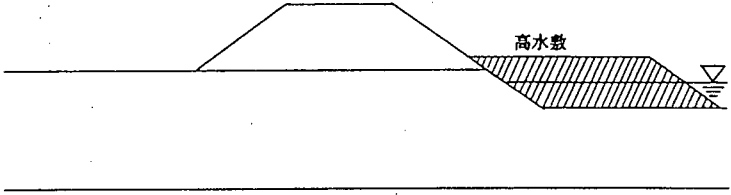
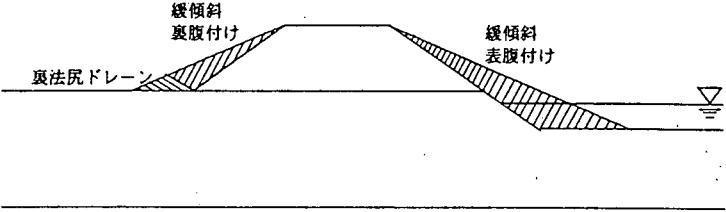
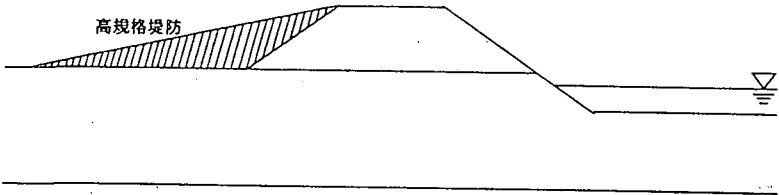
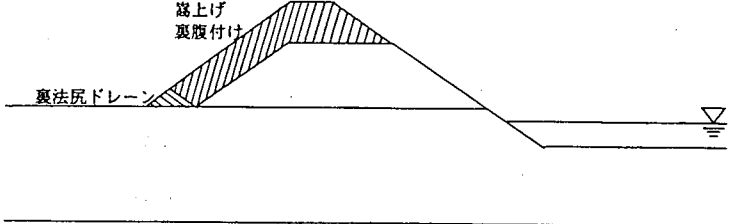
補強の考え方	工法の概要
基礎地盤の強化 （2次的効果）	<p>高水敷を造成する。これにより高水敷部分の上載荷重が増し、液状化の発生を抑制する効果がある。</p> 
基礎地盤の強化 （2次的効果）	<p>表腹付け、裏腹付け、あるいは表腹付けおよび裏腹付けにより緩傾斜堤とする。これにより腹付け部分の上載荷重が増し、液状化の発生を抑制する効果がある。緩傾斜とすることで変形を緩和させる効果もある。</p> 
基礎地盤の強化 （2次的効果）	<p>川裏側に盛土し、高規格堤防とする。これによる上載荷重の増加により液状化を抑制する効果がある。極めて緩い傾斜とすることにより変形を緩和させる効果もある。</p> 
基礎地盤の強化 （2次的効果）	<p>嵩上げ、裏腹付けを行う。これにより天端および裏のり面部分の上載荷重が増し、液状化を抑制する効果がある。</p> 

表-6.2.3 河川堤防の耐震補強工法（土壌）（2）¹¹⁾

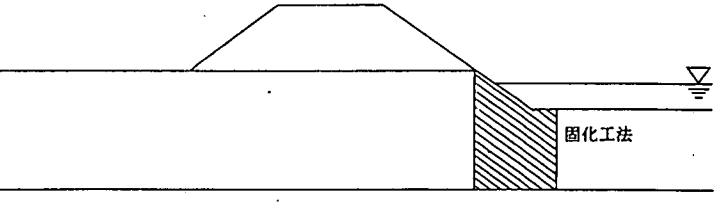
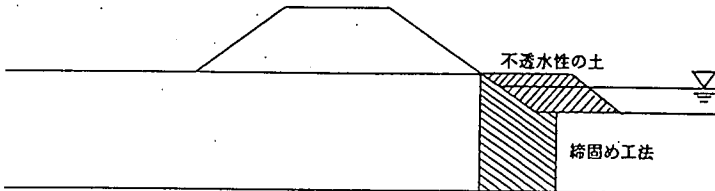
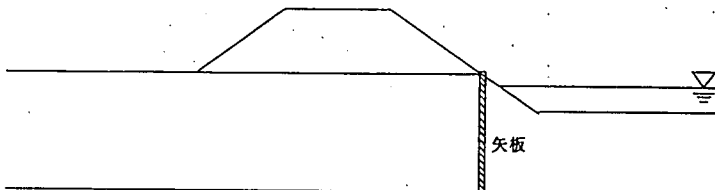
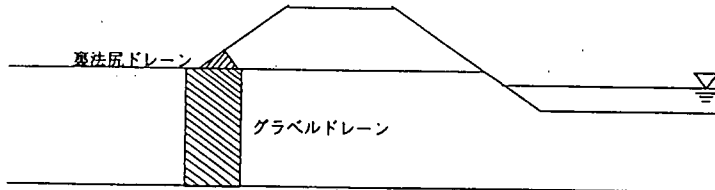
補強の考え方	工法の概要
基礎地盤強化	<p>川表側または川裏側の基礎基礎地盤を固化工法により改良し、非液状化ゾーンを形成する。これにより液状化層の側方流動を抑止し、堤体の沈下・変形を抑制する。川裏側の場合は浸潤線を上昇させることも考えられるので裏法尻ドレーンを設ける。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a dam on the left and a water level on the right. A hatched area on the right side of the dam base is labeled '固化工法' (Consolidation method). A water level symbol is shown on the right.</p>
基礎地盤強化	<p>川表側または川裏側の基礎基礎地盤を締め固め工法により改良し、非液状化ゾーンを形成する。これにより液状化層の側方流動を抑止し、堤体の沈下・変形を抑制する。川裏側の場合は浸潤線を上昇させることも考えられるので裏法尻ドレーンを設ける。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a dam on the left and a water level on the right. A hatched area on the right side of the dam base is labeled '締め固め工法' (Compaction method). Above this area, the text '不透水性の土' (Impermeable soil) is written. A water level symbol is shown on the right.</p>
基礎地盤強化	<p>川表側または川裏側に矢板（自立式矢板あるいは二重矢板）を打設する。矢板の剛性で側方流動を抑止し、堤体の沈下・変形を抑制する。川裏側の場合は浸潤線を上昇させることも考えられるので裏法尻ドレーンを設ける。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a dam on the left and a water level on the right. A vertical line representing a sheet pile is labeled '矢板' (Sheet pile) and is located on the right side of the dam base. A water level symbol is shown on the right.</p>
基礎地盤強化	<p>川裏側にグラベルドレーンを打設し、過剰間隙水圧の発生を抑制することで非液状化ゾーンを形成する。これにより液状化層の側方流動を抑止し、堤体の沈下・変形を抑制する。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a dam on the left and a water level on the right. A hatched area on the right side of the dam base is labeled '裏法尻ドレーン' (Backfill drain). Below it, a layer of gravel is labeled 'グラベルドレーン' (Gravel drain). A water level symbol is shown on the right.</p>

表-6.2.4 河川堤防の耐震補強工法（特殊堤）¹¹⁾

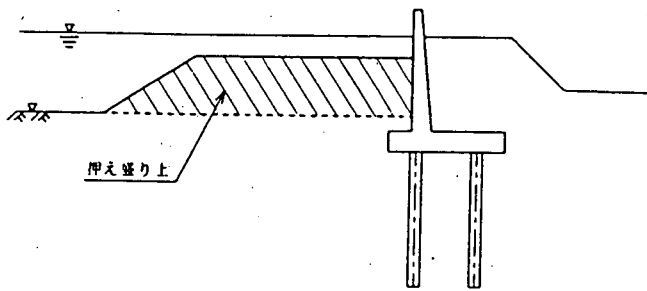
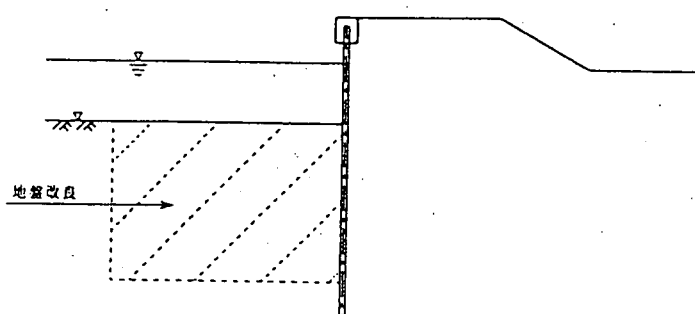
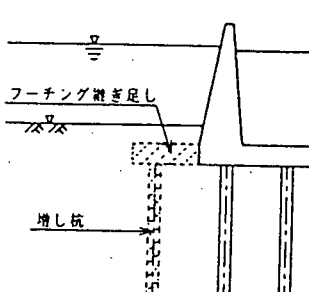
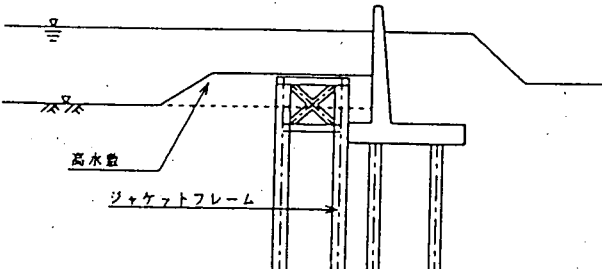
補強の考え方	工法の概要
受動土圧の増大	<p>押え盛土の荷重により特殊堤前面の受動土圧を増大させ、特殊堤の耐震性を高める。三 載荷重増大によって液状化を抑制する。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a special dike with a crest on the right and a slope on the left. A horizontal line represents the ground surface, and a dashed line below it represents the original ground level. A hatched area between the ground surface and the dashed line is labeled '押え盛り上' (soil fill). The dike structure consists of a vertical wall and a base. The ground surface is higher on the left side, creating a larger soil mass behind the dike.</p>
受動土圧の増大	<p>矢板式特殊堤の前面の受動土圧を地盤改良（振動締め固め工法、固化工法など）によって 増大させ、耐震性を高める。地盤改良により液状化を抑制する。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a special dike with a crest on the right and a slope on the left. A horizontal line represents the ground surface, and a dashed line below it represents the original ground level. A hatched area between the ground surface and the dashed line is labeled '地盤改良' (ground improvement). The dike structure consists of a vertical wall and a base. The ground surface is higher on the left side, creating a larger soil mass behind the dike.</p>
構造強化	<p>特殊堤フーチング前面（または背面）に杭を打設してフーチングを継ぎ足し、支持力の 強化によって特殊堤の耐震性を高める。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a special dike with a crest on the right and a slope on the left. A horizontal line represents the ground surface, and a dashed line below it represents the original ground level. A hatched area between the ground surface and the dashed line is labeled 'フーチング継ぎ足し' (footing extension). A vertical pile is shown extending from the footing down into the ground, labeled '増し杭' (additional pile). The dike structure consists of a vertical wall and a base.</p>
構造強化	<p>特殊堤の前面に鋼管杭とジャケットでフレームを形成したうえで高水敷造成し、耐震性 を高める。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a special dike with a crest on the right and a slope on the left. A horizontal line represents the ground surface, and a dashed line below it represents the original ground level. A hatched area between the ground surface and the dashed line is labeled '高水敷' (high water table). A frame structure is shown in front of the dike, consisting of vertical piles and a horizontal beam, labeled 'ジャケットフレーム' (jacket frame). The dike structure consists of a vertical wall and a base.</p>

表-6.2.5 道路・鉄道盛土の耐震補強工法 (1) ^{20)~32)}

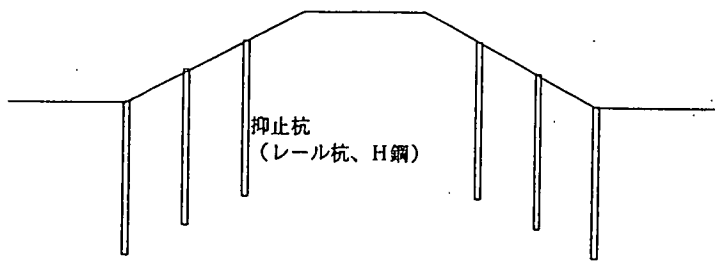
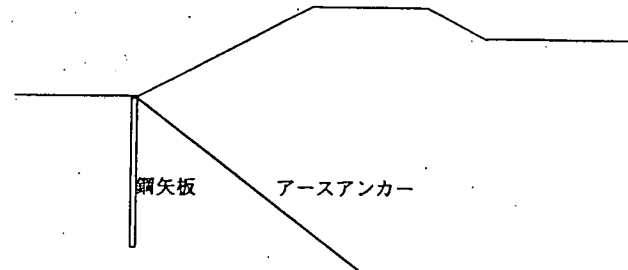
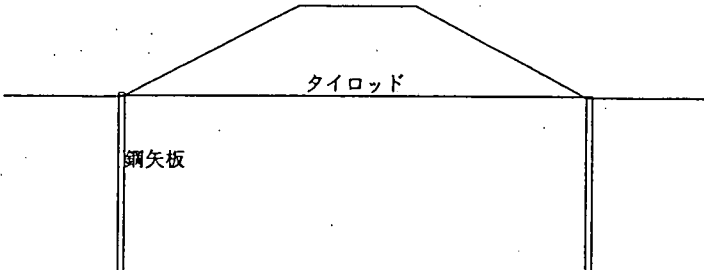
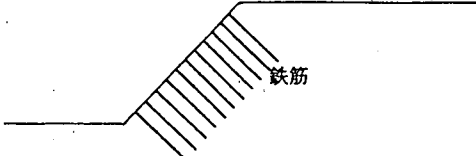
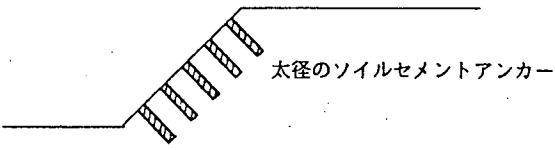
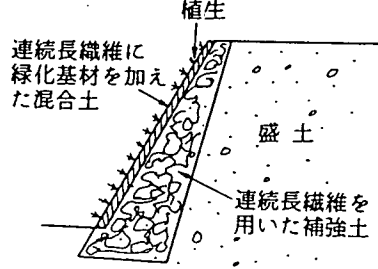
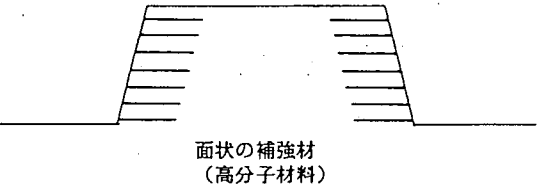
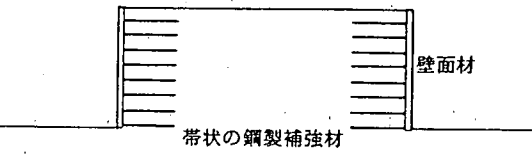
補強の考え方	工法の概要
<p>構造物による強化 (変形抑止)</p>	<p>法尻および法面に杭を打設し、盛土および基礎地盤の滑り破壊を抑止する。</p> 
<p>構造物による強化 (変形抑止)</p>	<p>法尻に鋼矢板、アースアンカーを打設し、盛土および基礎地盤の滑り破壊を抑止する。</p> 
<p>構造物による強化 (変形抑止)</p>	<p>左右の法尻に矢板を打設し、頭部をタイロッドで結ぶことにより盛土基礎地盤の滑り破壊を抑止する。</p> 
<p>盛土の強度増加</p>	<p>盛土法面に鉄筋による補強材を打設し、補強材の盛土材との摩擦抵抗による引き抜き抵抗力で土留め効果を発揮し、盛土の安定性を増大させる。</p> 

表-6.2.5 道路・鉄道盛土の耐震補強工法（2）^{20)～32)}

補強の考え方	工法の概要
盛土の強度増加	<p>盛土法面にFRPロッドを芯材とした混合攪拌による太径のソイルセメントアンカー一体打設し、補強材の盛土材との摩擦抵抗による引き抜き抵抗で土留め効果を発揮し、盛土の安定性を増大させる。</p> 
盛土の強度増加	<p>連続長繊維を混合した補強土により盛土法面を補強し、盛土の安定性を増大させる。急勾配盛土工法として用いられている。</p> 
盛土の強度増加	<p>面状の高分子材料による補強材を盛土中に敷設し、面状補強材の盛土材との摩擦抵抗による引き抜き抵抗で土留め効果を発揮し、盛土の安定性を増大させる。急勾配盛土工法として用いられている。</p> 
盛土の強度増加	<p>帯状の鋼製補強材を盛土中に敷設し、帯状補強材の盛土材との摩擦抵抗による引き抜き抵抗で土留め効果を発揮し、盛土の安定性を増大させる。補強材は壁面材と連結され垂直な壁面を構築する。</p> 

6. 2. 2 今後の課題と研究方法

(1) 今後の課題

土構造物の課題としては

- 1) 土構造物に求められる耐震性能の明確化.
- 2) 土構造物の残留変形量などを適切に評価できる耐震設計法の確立.
- 3) 既設構造物近傍および直下地盤を構造物に悪影響を及ぼすことなく補強する施工法の開発.
- 4) 狭隘な施工空間に対応できる施工法, 施工機械の開発.
- 5) 地盤の液状化に伴う側方流動に対する効果的な対策工の開発.

などが挙げられるが, ここでは構造物周辺地盤および盛土そのものに着目し,

- a) 地盤の液状化に伴う側方流動に対する対策工法
- b) 盛土の耐震補強法

について提案を行う.

(2) 研究方法

(a) 地盤の液状化に伴う側方流動に対する対策工法

地盤の液状化に伴うの側方流動に対しては今のところ合理的な対策工が見あたらない. 現状では, 構造物基礎を強化したり, 周辺地盤に液状化対策を施したり, 基本的には側方流動圧に対する抵抗力を強化する方法が採られる. しかし, 何らかの方法で側方流動圧を低減することができれば, これも耐震強化となる. 道路橋示方書によれば側方流動圧は非液状化層で大きい. この層の流動圧を低減できれば, 構造物の側方流動に対する安全性は向上する. そこで, 構造物近傍に側方流動圧を緩和する領域を設け (特に非液状化層の側方流動圧を低減する), 側方流動に対する構造物の安全性の向上を図る対策工法の開発を提案する.

研究項目を以下に示す.

1) 対策工法の提案

対策工の概念図を図-6. 2. 2に示す. ここでは構造物近傍に地盤改良を施し, その隣に側方流動圧の緩和領域を設けている. 側方流動圧の緩和の方法としては

- a) 非液状化層をゆる詰め砂で置き換え, この領域を液状化させることで側

方流動による地盤変位を吸収し、側方流動圧を緩和させる。

- b) 非液状化層に斜めに滑り面を造り、側方流動圧が作用したときにその面で滑りを生じさせ、側方流動圧を緩和させる。

などが考えられる。

2) 対策工の効果に関する実験的検討

提案した対策工法について、小規模の模型土槽を用いてその効果を確認する（図-6.

2.3参照）。

- a) 側方流動圧緩和方法の違いによる効果確認実験

無対策の場合と比較し、各方法の効果を確認する。

- b) 非液状化層厚と対策工の効果確認実験

非液状化層の厚さを変え、代表的な方法で非液状化層の厚さが対策工の効果に与える影響を確認する。

3) 施工法に関する検討

効果を確認した後、実施工の方法を検討する。

- a) 施工方法の提案

具体的な施工方法を机上で検討し、提案する。

- b) 施工性に関する試験施工

試験施工を行い施工性の確認、施工法の修正を行う。

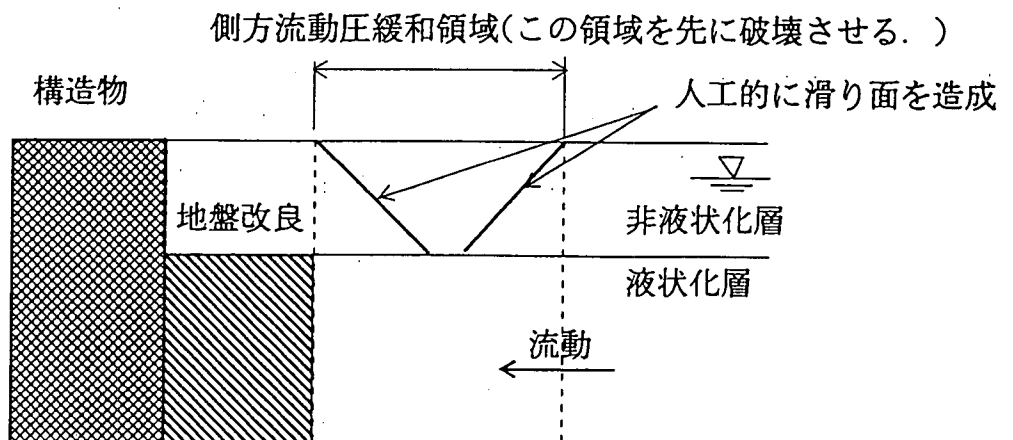
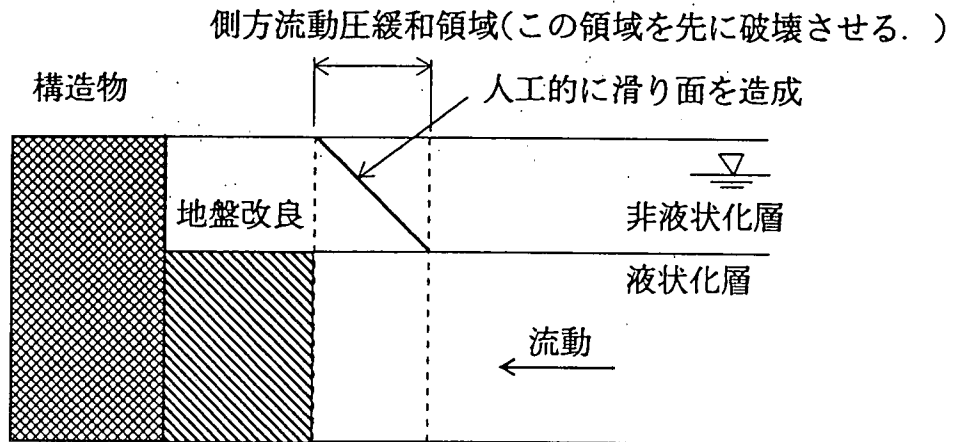
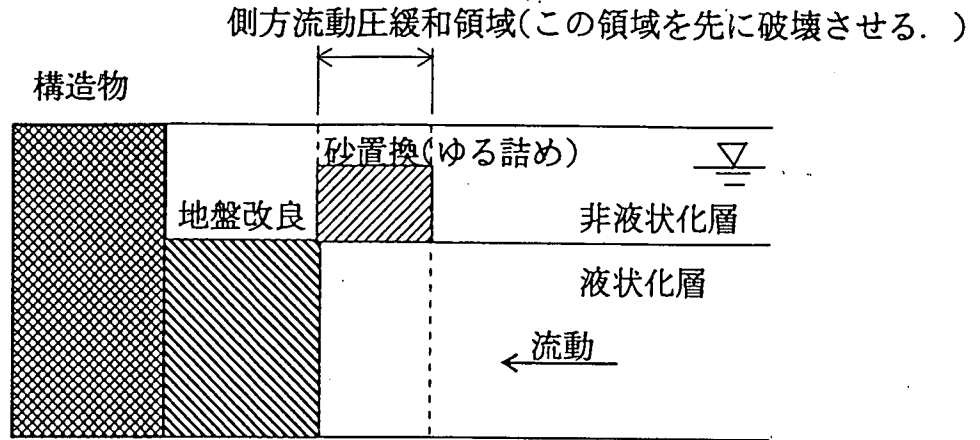
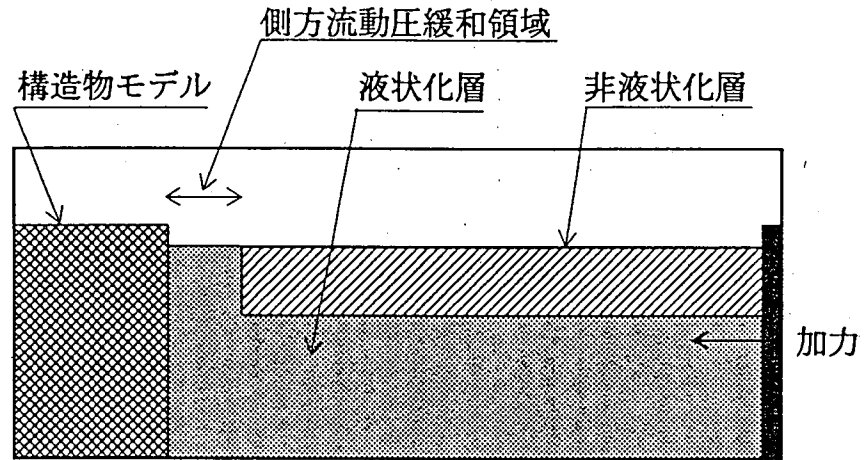


図 6.2.2 提案工法 (側方流動対策) 概念図



- ①土槽に振動を与え，液状化を発生させる。
- ②右端から力を加え，地盤を流動させる。
- ③側方流動圧緩和領域で破壊が生じるかを確認する。

図 6. 2. 3 土槽実験概念図

(b) 盛土の耐震補強

既設の盛土に関する耐震補強法としては補強土工法のうちに地山補強工法の適用性が高いと考えられ、これの耐震補強法としての適用性に関する研究が望まれる。しかし、ここでは、既設の補強にこだわらず、土構造物の特徴、すなわち「壊れても復旧が容易である」という特徴を失わず、かつ急勾配盛土も可能な工法の開発を提案する。すなわち、ブロック状の盛土材を事前に製作し、それを積み上げることで盛土を構築する工法（EPS盛土のような工法）の開発を提案する。図-6.2.4に概念図を示す。ブロック状の盛土材に形状を保つだけの強度を持たすことで、地震時に盛土構造物として被災しても、構造要素としての健全性は保ち、ブロック状の盛土材を積み直すことで、転圧せずに盛土を再構築できる。断層を横断する盛土構造物など被災が免れない箇所への適用が考えられる。盛土材としては見かけの粘着力を付加しただけのものや、軽量化を図ったもの、さらには建設残土など廃材の利用も考える。

研究項目を以下に示す。

1) ブロック状盛土材の検討

ブロック状盛土材の製作方法を提案し、ブロック状盛土材の強度特性を実験的に確認する。

a) 使用材料、ブロック形状保持方法の検討

盛土材の材料およびブロック形状保持方法（粘着力付加方法）を机上で検討する。

b) 盛土材の強度確認試験

使用材料、粘着力付加方法と盛土材の強度特性の関係を把握する。

c) ブロック状盛土材の強度確認試験

ブロック状盛土材の形状寸法と運搬時の形状保持能力、設置時の強度特性を実験的に把握する。

2) 施工法に関する検討

ブロック状盛土材の基本的性能を確認した後、実施工の方法を検討する。

a) 施工法の提案

盛土構築方法を机上で検討、提案する。

b) 予備施工実験

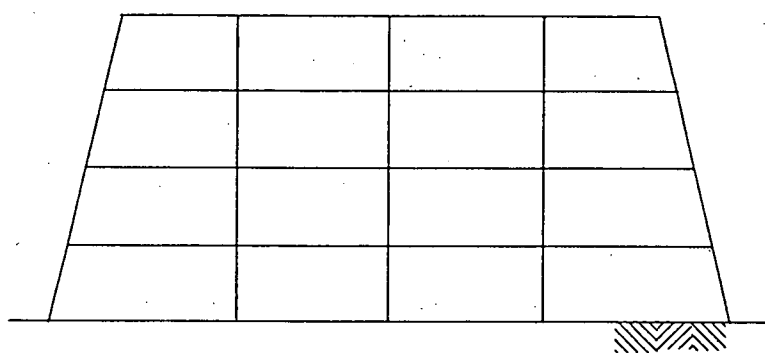
ブロック状盛土材単体でその取り扱い性能を確認・改良する。

c) 施工性に関する施工実験

ブロック状の盛土材を用いた試験施工を行い，盛土構築時，解体・再構築時の施工性を確認する。

3) 地震時挙動に関する実験的検討

模型盛土地盤の振動台実験を行い，ブロック状盛土材を用いた盛土地盤の地震時挙動を把握する。



事前に作製されたブロック状の盛土材で盛土を構築。
盛土構造物として被災してもブロック状の構造要素は健全。
復旧は構造要素の積み直しのみ。

図 6.2.4 提案工法概念図

参考文献

- 1) 運輸省港湾局技術課：既存岸壁の耐震補強工法事例集，平成 8年 3月。
- 2) 藤原敏光ほか：グリッド・レン工法（釧路港漁港埠頭災害復旧工事における実施例），基礎工，Vol. 23, No. 12, pp. 88-91, 1995年12月。
- 3) 島正憲ほか：スパイラル・レン工法の設計・施工例，基礎工，Vol. 23, No. 12, pp. 92-98, 1995年12月。
- 4) 伊藤克彦ほか：締固め砕石・レン工法における最近の施工例，基礎工，Vol. 24, No. 7, pp. 109-113, 1996年7月。
- 5) 坂本研治ほか：発泡ビーズ混合軽量土工法による既設護岸の改修，基礎工，Vol. 24, No. 7, pp. 114-119, 1996年7月。
- 6) 松井保：土木構造物基礎の復旧・補強と今後への課題，提言，基礎工，Vol. 24, No. 10, pp. 2-9, 1996年10月。
- 7) 及川研ほか：神戸港におけるケソン岸壁の被災と復旧工法，基礎工，Vol. 24, No. 10, pp. 58-63, 1996年10月。
- 8) 福手勤ほか：港湾におけるコンクリート構造物の耐震補強と耐震設計，セメント・コンクリート，No. 606, pp. 44-52, 1996年12月。
- 9) 及川研ほか：神戸港・岸壁の震災復旧工事における地盤改良，土木技術，51巻10号，pp. 56-63, 1996年10月。
- 10) 日経コンストラクション編：地震に強い土木，1996年3月。
- 11) 建設省河川構造物地震対策技術検討委員会：河川構造物地震対策技術検討委員会報告書，1996年3月。
- 12) 才村幸生ほか：排水機能付き鋼材による液状化対策工法－取水場沈砂池，河川堤防での実施例－，基礎工，Vol. 23, No. 12, pp. 48-51, 1995年12月。
- 13) 伊藤克彦ほか：グラベル・レン工法（淀川河口付近西島地区での施工例），基礎工，Vol. 23, No. 12, pp. 77-81, 1995年12月。
- 14) 土谷尚：動圧密工法による河川堤防基礎地盤の地盤改良，基礎工，Vol. 23, No. 12, pp. 114-117, 1995年12月。
- 15) 田村圭司ほか：釧路沖地震災害における河川堤防の基礎地盤処理工事について，土質工学会北海道支部技術報告集，第34号，pp. 136-139, 1994年2月。
- 16) 塚田幸広ほか：道路・河川工事における地盤改良工法と耐震技術の動向，土木技術，

- 51巻10号, pp. 31-38, 1996年10月.
- 17) 鈴木勉ほか：多摩川本羽田地区堤防強化工事におけるDJM工法適用事例, 土木技術, 51巻10号, pp. 47-55, 1996年10月.
- 18) 渡辺和足：高規格堤防におけるDJMによる地震対策－伊賀袋地盤改良－, 土木施工, Vol. 36, No. 12, pp. 17-23, 1995年11月.
- 19) 白井祥夫ほか：耐震性を高める淀川堤防の復旧, 土木学会誌, 第81巻第1号, pp. 50-51, 1996年1月.
- 20) 久楽勝行：補強土工法の現状と問題点, 基礎工, Vol. 19, No. 11, pp. 2-7, 1991年11月.
- 21) 村田修ほか：鉄道における急勾配盛土（補強盛土）工法の考え方, 基礎工, Vol. 19, No. 11, pp. 19-29, 1991年11月.
- 22) 三木博史ほか：道路等におけるジオテキスタイルを用いた補強土の考え方, 基礎工, Vol. 19, No. 11, pp. 30-39, 1991年11月.
- 23) 八田俊志：テール工法の現状, 基礎工, Vol. 19, No. 11, pp. 40-45, 1991年11月.
- 24) 杉山光彦：用地生み出しに伴う鉄筋補強盛土の施工例, 基礎工, Vol. 19, No. 11, pp. 62-67, 1991年11月.
- 25) 館山勝：鉄道擁壁の被害と復旧, 基礎工, Vol. 24, No. 10, pp. 46-51, 1996年10月.
- 26) 龍岡文夫ほか：ジオシテック補強土擁壁工法の特徴・歴史・将来展望, 基礎工, Vol. 24, No. 12, pp. 2-11, 1996年12月.
- 27) 館山勝ほか：阪神大震災におけるRRR工法の挙動, 基礎工, Vol. 24, No. 12, pp. 59-63, 1996年12月.
- 28) 松井保ほか：兵庫県南部地震による鋼製材補強土構造物の被災事例, 土と基礎, No. 457, pp. 76-78, 1996年2月.
- 29) 館山勝ほか：鉄道における最近の補強土工法, 土木技術, 51巻2号, pp. 47-55, 1996年2月.
- 30) 鍵谷博司ほか：ソイルリソグ工法の設計・施工と実施例, 土木技術, 51巻2号, pp. 65-72, 1996年2月.
- 31) 東根頭ほか：三陸はるか沖地震の被害と復旧概要, JREA, Vol. 38, No. 9, pp. 57-60, 1995年11月.
- 32) 及川浩：釧路沖地震等の被害と復旧, JREA, Vol. 38, No. 9, pp. 61-64, 1995年11月.

6.3 地中構造物

6.3.1 耐震補強の現状

兵庫県南部地震以後，都市基盤施設全体の地震防災性を向上させるために多くの構造物に対して補強がなされて来ている．ここでは，共同溝やシールドトンネル等の既設の地中構造物を対象とした耐震補強の現状について取りまとめる．

(1) 調査対象構造物

地中構造物の調査対象は，鉄道施設（地下鉄の駅部，線路部等），下水道施設（処理施設，管路施設，立坑等）や上水道施設（貯水所，送水管等）等の地中および半地下内に構築されている構造物とした．

耐震補強の現状を取りまとめる上で上記の対象となる地中構造物を構造物の形状により分類して検討を行った．以下に地中構造物の分類および該当する構造物名称を記述する．図-6.4.1 に調査対象地中構造物のイメージ図を示す．

- ①線状構造物：カルバート構造物（地下鉄の駅部や線路部，共同溝），シールドトンネル（線路部，管路）等の線的に細長い地中構造物
- ②面状構造物：下水処理場や浄水場等の面的に広がりをもつ地中構造物
- ③縦状構造物：立坑のように縦に長い地中構造物

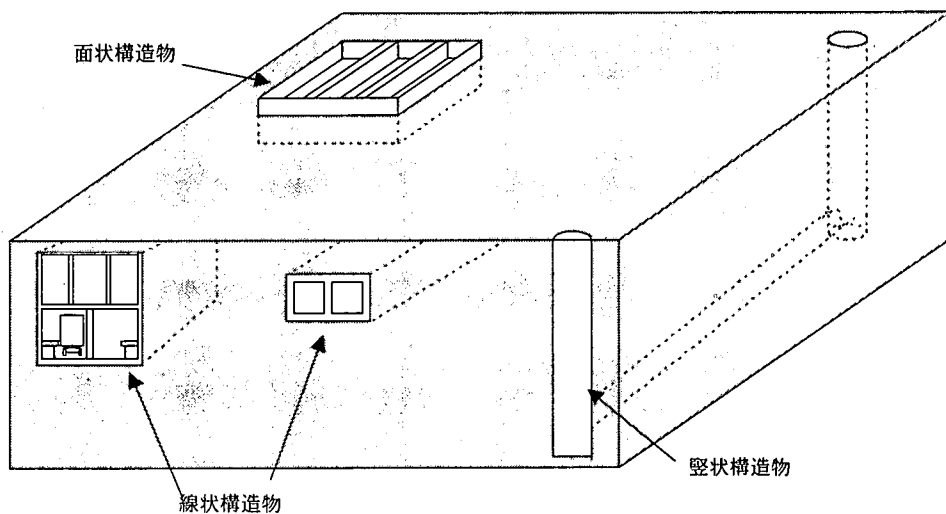


図-6.3.1 調査対象構造物イメージ図

調査は，科学文献調査，土木学会や地盤工学会から出されている兵庫県南部地震の報告書および土木学会，地盤工学会やコンクリート工学会等の学会発表論文を中心に実施した．

(2) 耐震補強の事例

既設構造物に対する耐震補強の問題点や今後の課題を抽出するために、耐震補強の事例を整理すると以下に示す通りである。

①線状構造物

線状構造物の復旧事例は大開駅を代表に多く報告されているが、耐震補強を報告した事例は少なく3件であった。線状構造物の耐震補強工事は、ボックスカルバートの中柱を中心に行われ、その補強方法としては鋼板巻立てや GFRP 吹付けが採用されている。

表-6.3.1 補強事例

大阪市交通局	ボックスカルバート	鋼板巻立て補強
営団地下鉄東西線	ボックスカルバート	鋼板巻立て補強
JR 東日本	ボックスカルバート	GFRP 吹付け補強

②面状構造物

面状構造物の耐震補強を報告している事例は、阪神水道企業団猪名川浄水場の1件で、耐震性伸縮可撓吸収型の伸縮目地を設置したり、構造物底版下の地盤改良を実施する等の補強内容であった。

③堅状構造物

堅状構造物は、唯一兵庫県南部地震で被災した立坑の復旧事例は報告されているが、既設堅状構造物を対象とした耐震補強事例は報告されていなかった。

そこで本調査報告では、線状構造物と面状構造物の耐震補強事例について紹介し、さらに地中構造物の耐震補強を行う上での現状の問題点についてまとめる。

(a) 線状構造物の補強事例

①大阪市交通局

大阪市交通局で実施された、耐震補強事例を紹介する。

a) 補強目的

兵庫県南部地震により被害を受けた地中構造物の多くは開削トンネル部の中柱がせん断損傷したものであった。大阪市交通局では地下鉄中柱の耐力診断を実施し、地盤変位が大きい箇所、せん断破壊先行の柱、約1,000本について耐震補強を実施することになった。

b) 補強方法

中柱の耐震補強方法は、補強断面図を図-6.3.1に示すように中柱の外に鋼板を巻

立てて、空隙に流動化モルタルもしくはエポキシ樹脂を充填する工法を採用した。補強方法として鉄板巻立て工法を採用した理由は、以下に示す通りである。

- a. 鋼板補強は耐震補強として実績が多い
- b. 実物大実験を実施した結果、じん性率が5倍、耐震性は2.5倍になる結果を得た。

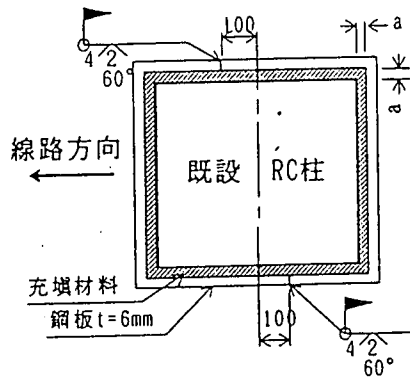


図-6.3.1 補強断面図

c) 施工方法

地下鉄トンネル内の耐震補強作業の制約条件は、以下に示す通りであった。そこで大阪市交通局では、作業効率が上がる、省力化がはかれる、鋼板設置時に足場工がいない等の理由から、耐震補強工作車を作成して施工にあたった。写真-6.3.1に工作車を写真-6.3.2に施工状況を示す。

- a. 実作業時間が、移動時間と後片づけを考えると2時間程度しかない。
- b. その他の軌道内工事が輻輳している。

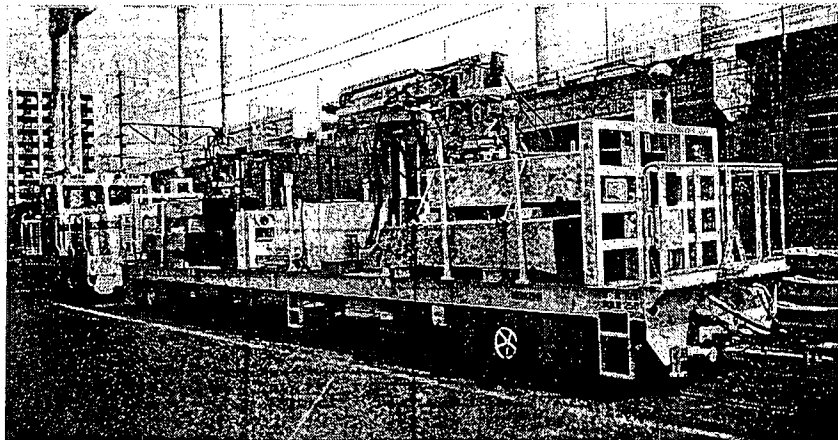


写真-6.3.1 耐震補強工作車

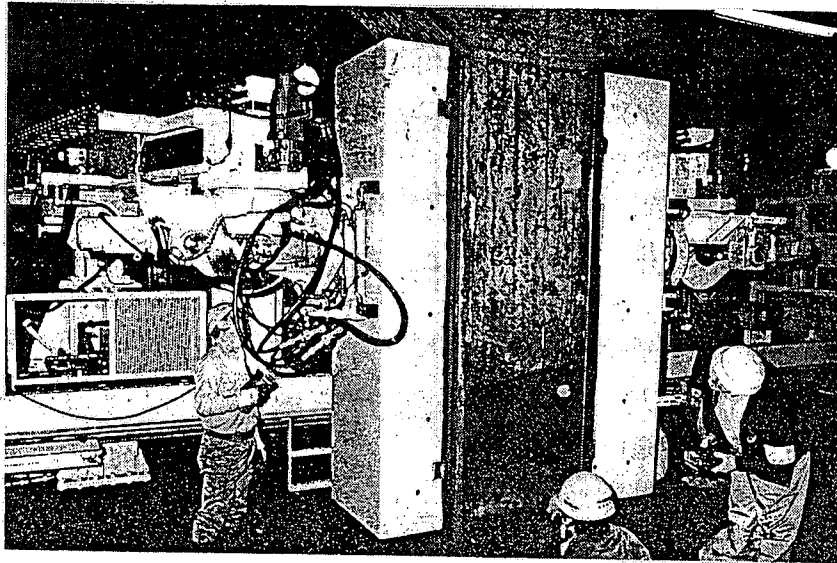


写真-6.3.2 施工状況

② 営団地下鉄東西線

営団地下鉄東西線竹橋駅で実施された補強工事事例²⁾について紹介する。

a) 補強設計の目的

兵庫県南部地震において、地下鉄トンネルでもっとも大きな被害を神戸市交通局の大開駅（神戸市高速鉄道東西線）で受けた。この被害は、中柱の破壊により上床版が耐えきれず崩壊するメカニズムに成っている。このことから、開削トンネルについては中柱のせん断耐力を増強することと、じん性を強化することを目的とした補強設計を行っている。

b) 補強方法

補強方法の選定にあたっては、地下鉄構内の施工環境を考慮した。施工環境の特色を以下に示す。

- a. 作業時間が短い（深夜1時～朝4時30分）
- b. 作業終了後、完全な後片付けが必要
- c. 大型重機が使用できない
- d. 工事資材は、車両基地もしくは駅出入口からの搬入
- e. 煙や火気を伴う工事を避ける

c) 補強概要

上記の設計や施工環境を満足する工法として鋼板巻立て工法を採用し、以下に示す工夫を行った。

- a. 出入口から的人力搬入を可能にするために、コ型に加工した鋼板を6～8分割にし、1ピースの重量を約70kgに押さえている。
- b. 短時間作業への対応と煙、火気の発生を最小限にするため、鋼板の鉛直継ぎ手をボルト継ぎ手とし、水平継ぎ手を省略している。

図 6.3.2 に補強構造図を示す。

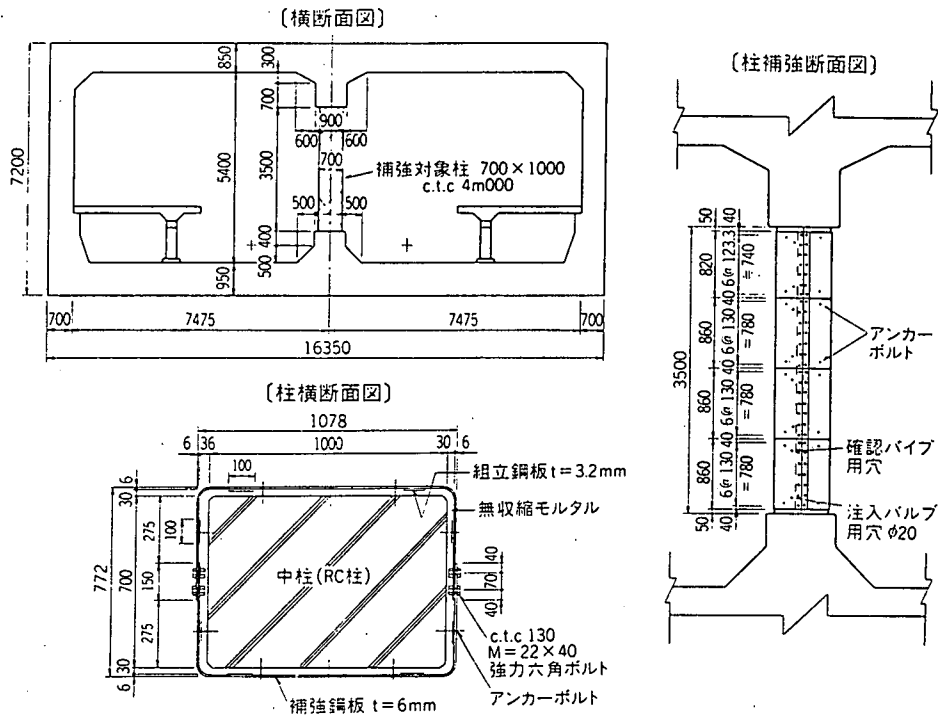


図-6.3.2 補強構造図

③JR 東日本

JR 東日本で実施された耐震補強の事例について紹介する。

a) 補強概要

東京の大都市圏を営業範囲とする JR 東日本では、平成7年8月に鉄道施設の緊急耐震補強計画を策定し、平成8年1月より本格的な耐震補強工事に着手している。対象となる構造物は、ラーメン高架橋・橋台の鉄筋コンクリート造の柱および開削トンネル中柱である。

b) 補強方法

鋼板による耐震補強工事では、空間的かつ時間的にも制限を受けるような施工箇所においては重機の使用や補強鋼板の搬入・建込み等が困難となる。このような施工条件の開削トンネル中柱の補強に新素材による耐震補強工法の1つである繊維強化プラスチックを用いた FRP 吹付け補強工法を採用した。図-6.3.4 に FRP 吹付け工法の概要を図-6.3.5 に施工箇所を示す。写真-6.3.3 に吹付け作業状況を

示す。

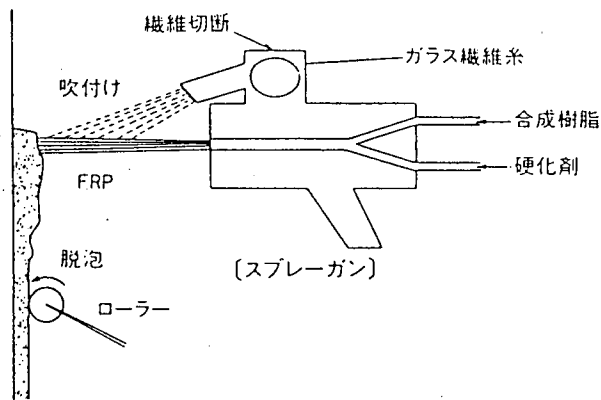


図-6.3.4 FRP吹付け工法の概要

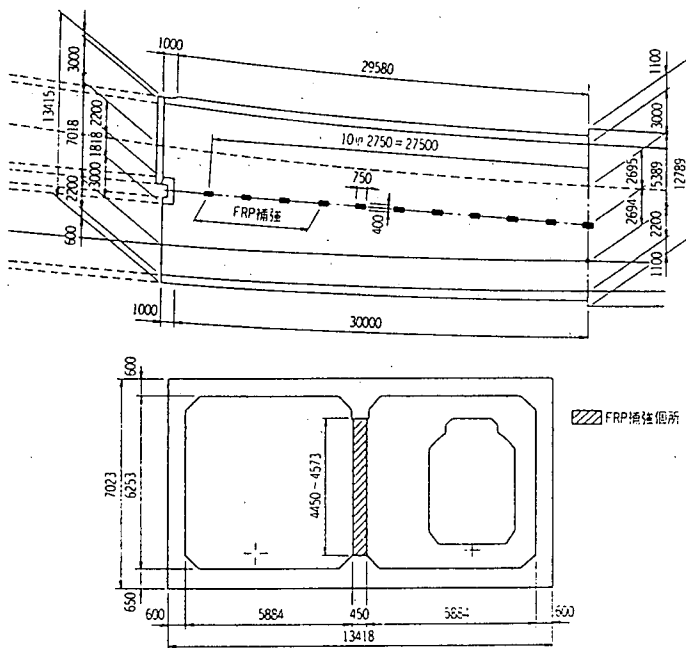


図-6.3.5 FRP補強施工場所

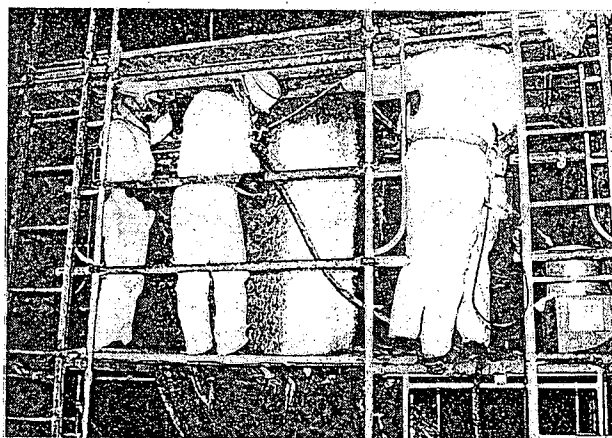
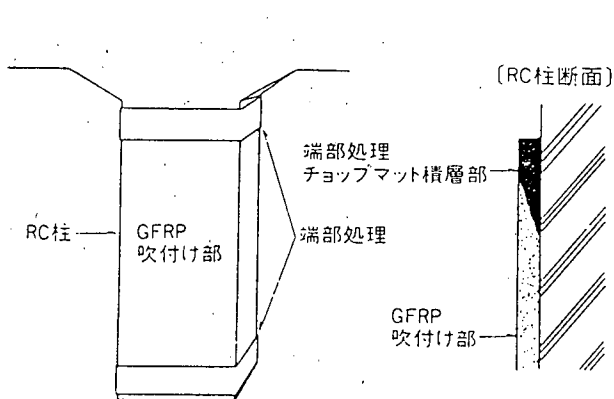


写真-6.3.3 FRP吹付け施工状況

(b)面状構造物

①阪神水道企業団猪名川浄水場

a) 被害状況

猪名川浄水場における面状構造物の被害状況は、表-6.3.2 に示す様に損傷は伸縮目地部の損傷および基礎杭に集中している。図-6.3.6 に施設配置と被害位置を示す。

表-6.3.2 被害状況

被害箇所	被害状況	詳細場所
フロック形成池	流入渠横ずれ2箇所，漏水	①
	伸縮目地損傷4池，漏水	②
	フロキュレーター軸偏心7池	③
	基礎杭損傷（円周方向にヘアークラック約50%）	④
沈殿池	伸縮目地損傷6池，漏水	⑤
	集泥設備（14池分）機器類水没	⑥
	傾斜装置破損6池	⑦
	流出渠（7池分）伸縮目地損傷4箇所	⑧
	基礎杭損傷（円周方向にヘアークラック約50%）	⑨
砂ろ過池	流量計（18池分）水没	⑩
	流出渠～消毒池連絡渠側壁亀裂，漏水	⑪

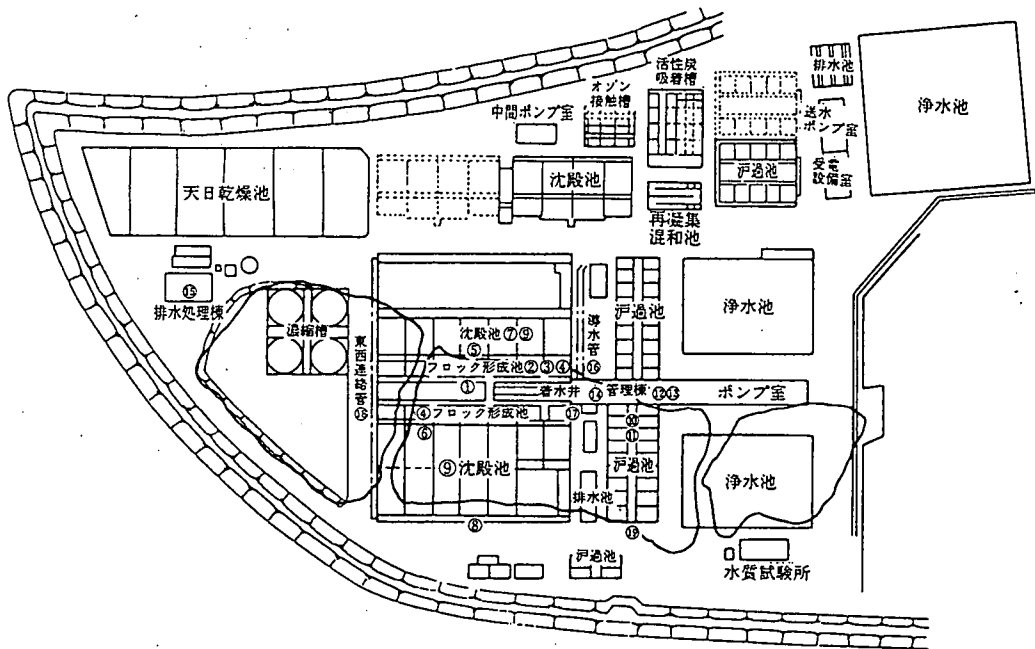


図-6.3.6 施設位置と被害位置

b) 補強方法

猪名川浄水場では、底版下に発泡ウレタン注入や伸縮目地部にゴム製止水板を接着したりして復旧を行った。新築復旧する構造物に対しては、伸縮目地を少なくし、伸縮目地には耐震性伸縮可撓吸収型（図-6.3.7、伸縮量 50mm）止水板を採用した。基礎構造においては、①調査した基礎杭の半分以上が損傷を受けており、地震時水平力には抵抗できない状態であると判断できる。②基礎地盤の大半が液状化対策が必要な地盤であり、恒久的な対策が必要である。③施設能力に余裕がないため、沈殿池の大幅な停止は不可能である。この3点から基礎地盤の改良を行う直接基礎方式を選んだ。復旧後の沈殿池の断面図を図-6.3.8 に示す。

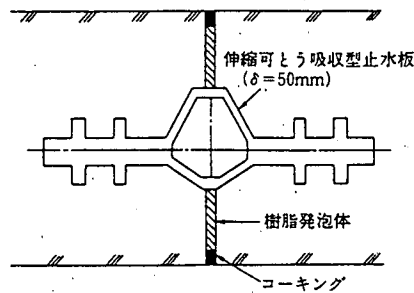


図-6.3.7 耐震性伸縮可撓吸収型の伸縮目地

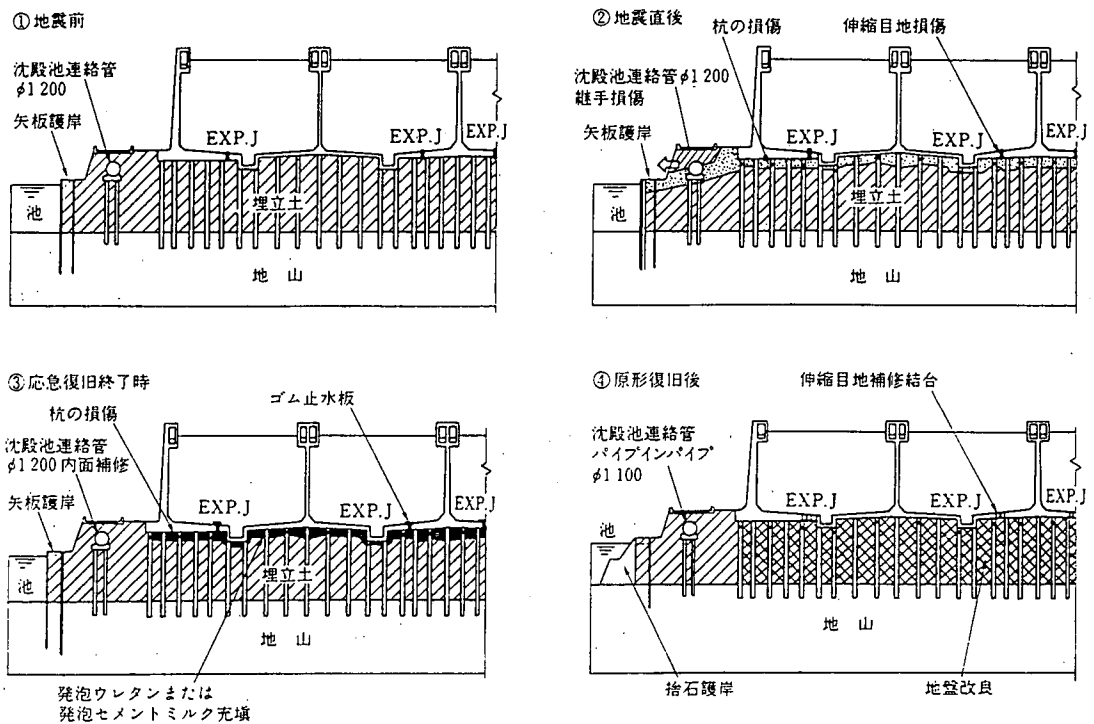


図-6.3.8 復旧後の断面図

(3) 設計施工上の問題点

地中構造物の耐震補強事例を調査して結果、現段階での問題点を以下に示す。

① 設計上の問題点

- a) 地中構造物の L2 レベルでの縦断方向の照査方法が明確化されていない。
- b) 液状化対策後の地中構造物の設計法が明確でない。
- c) 面状構造物の杭基礎に対する L2 レベルでの照査基準が明確化されていない。

② 施工上の問題点

- a) 実質的な作業時間が短く、時間的な制約をうける。
- b) 構造物が地中に存在するため、作業(対策)スペースが少ない。
- c) 正確な図面類が残っていなかったり、構造物が図面どおりでない。
- d) 地中障害物の図面類が整理されていない(企業体ごとにばらばら)。
- e) 営業しながらの施工となり、時間的な制約を受ける。
- f) 構造物直下の対策が出来ない。

6. 3. 2 今後の課題と研究方法

(1) 今後の課題

前節に地中構造物の被害状況および耐震補強事例をまとめた。その結果、現在行われている地中構造物の耐震補強は、ボックスカルバートの中柱を中心とした補強であり、面状構造物や豎状構造物では耐震補強工事がなされていない。この状況を踏まえて地中構造物の耐震補強に関する今後の課題を以下に記述する。

① 既設線状地中構造物に対する液状化対策

中柱を中心とする構造躯体に対する耐震補強技術の開発は、進んできているが、既設地中構造物周辺の地盤が液状化した場合での対策工法の開発や効果確認はあまりなされていない。特に道路下に存在する既設の線状地中構造物に対しては、液状化対策を行うスペースが少なく、効果的な対策工法の開発が望まれる。

② 既設地中構造物に対する側方流動対策

猪名川浄水場や東灘処理場等の面状構造物の被害事例を見ると、地盤の液状化に伴う側方流動が被害に与える影響として大きかったことは判明している。特に浄水場や下水処理場といった施設は、埋め立て地や河川流域に多く存在し側方流動による影響が懸念され、既設構造物直下および周辺地盤に対する効果的な液状化対策の開発が望まれる。

③液状化時の地中構造物の設計法

現在液状化時の地中構造物の設計法は、周辺地盤が液状化することによる浮き上がり検討のみで、液状化時の横断方向や縦断方向の設計法はいまだ確立されていない。今後は液状化時や側方流動を受ける地中構造物の設計法の確立が望まれる。

④L2 レベルでの地中構造物の設計法（地震時保有水平耐力？）

L1 レベルでの横断方向や応答変位法による縦断方向の設計法は確立されているが、L2 レベルでは入力地震動の定義はあるものの、明確な判断基準が存在しない。今後はL2 レベルでの地中構造物の耐震照査手法の確立が望まれる。

(2)研究方法

大規模地震時の地中構造物の挙動は、今だ不明な点が多い。特に既に都市部に配備されている地中構造物に対する、液状化対策等の地盤補強を考慮に入れた耐震補強工法の開発やその照査方法等は、今だ不明瞭なままである。そこで、既設地中構造物に対する耐震補強工法の開発とその照査方法の開発を目的とした実験的研究方法を以下に提案する。

①大型振動台を用いた大規模地震時における地中構造物の挙動確認

- ・大型振動台を用いて、大規模地震時における地中構造物の挙動や崩壊傾向について検証を行う。
- ・大型振動台を用いて、既設地中構造物に対する効果的な耐震補強方法の検討を行う。

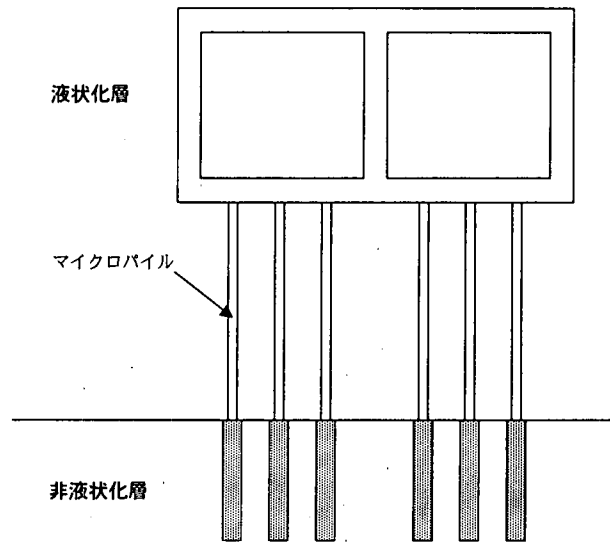
②既設地中構造物直下および構造物周辺に対する耐震補強工法の開発

- ・マイクロパイルを用いた地中構造物の耐震方法の開発
マイクロパイルは、構造物のアンダーピニングや地盤補強としてヨーロッパやアメリカを中心に使用されてきた。アメリカの一部では耐震補強として利用されつつあるが十分な研究はされていない。狭隘な施工空間でも可能な施工性やマイクロパイルのグループ効果やネットワーク効果といった地盤補強効果を考慮に入れた、地中構造物に対する耐震補強方法の開発を行う。

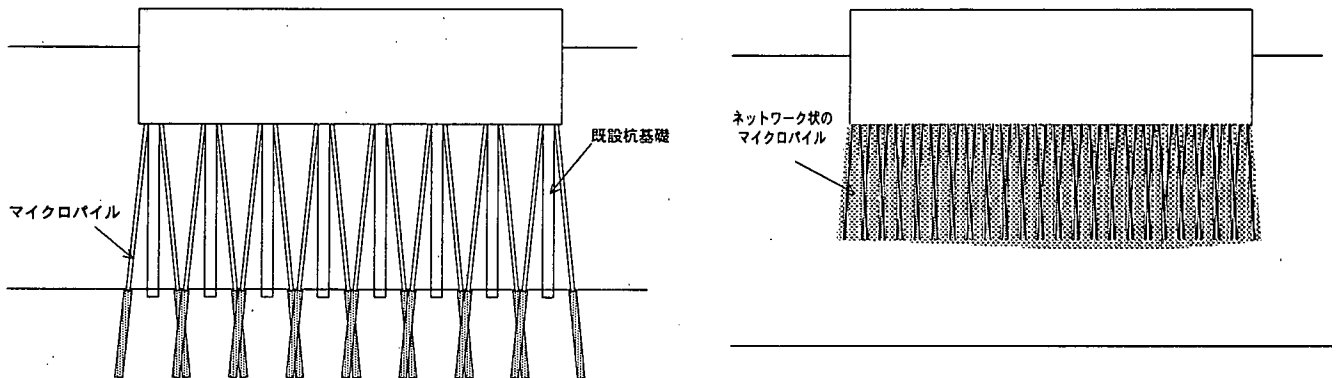
具体的な方法

- ・載荷実験
マイクロパイルの支持メカニズム解明（単体、グループ、ネットワーク）
- ・振動台実験
マイクロパイルの耐震補強効果の確認
マイクロパイルの動的ネットワーク効果の確認
液状化や地盤の側方流動対策への適用性についての確認

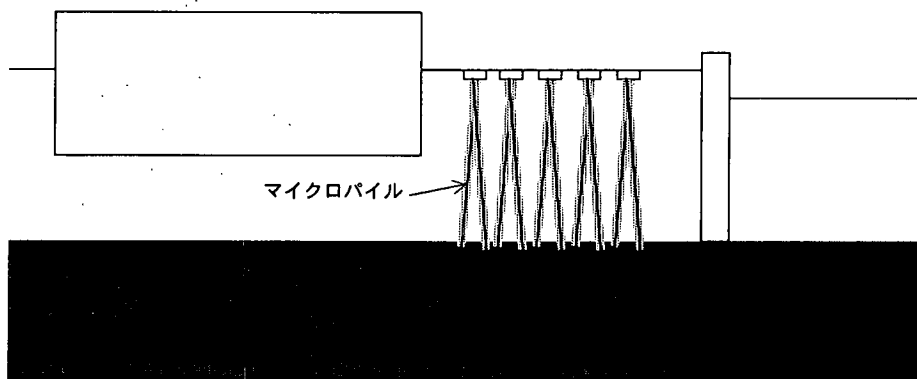
・ マイクロパイルを用いた地中構造物の耐震補強案



a) 線状地中構造物を対象とした例



b) 面状地中構造物を対象とした例



c) 地盤の側方流動を対象とした例

図-6.3.9 マイクロパイルを用いた耐震補強対策案

【参考文献】

- 1)島拓造，山田昌弘，中尾正人：耐震補強工作車による地下鉄中柱の補強計画，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.2，1997
- 2)宮田信裕：営団地下鉄における既設土木構造物の耐震対策，セメント・コンクリート，No.606，1997
- 3)輿石逸樹，水野光晴：JR 東日本における工事例，セメント・コンクリート，No.606，1997
- 4)阪神・淡路大震災調査報告編集委員会；阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧