

2.4 堤防および河川構造物

2.4.1 総論

(1) 河川・砂防構造物の種類と構造特性

河川・砂防に関わる構造物は、ダム、堤防、堰、水門、河川トンネル等多種に及び、それぞれ設置される目的が異なると共に、目的に応じて構造形式、設計方法多岐に及ぶ。

河川・砂防施設について各々の構造の設置目的、構造上の特性、設計法を「河川管理施設等構造令」及び「建設省河川・砂防技術基準（案）」より整理して表-2.4.1.1に示す。

表-2.4.1.1(1) 河川構造物の構造特性

(1) ダム	
<p>構造物の設置目的</p>	<p>(1) 河川を横断して専ら流水を貯留する目的で築造された構造をダムと言う。</p> <p>(2) 「河川管理施設等構造令」及び「建設省河川・砂防技術基準（案）」で規定するのは基礎地盤から堤頂までの高さが15m以上のダムである。</p>
<p>構造の特徴</p>	<p>(1) コンクリートダム</p> <ul style="list-style-type: none"> — 重力式 — アーチ式 — 中空重力式 — バットレスタイプ <p>(2) フィルダム</p> <ul style="list-style-type: none"> — 均一型 — ゾーン型 — 表面遮水型
<p>構造の原則</p>	<p>(1) コンクリートダムの堤体は、予想される荷重によって滑動又は転倒しない構造とする。（滑動に対する安全率>4.0, 荷重の作用位置がミドルサード以内に入る事）</p> <p>(2) フィルダムの堤体は、予想される荷重によって滑り破壊又は浸透破壊が生じない構造とするものとする。（滑り破壊に対する安全率 1.2以上）</p> <p>(3) ダムの基礎地盤は、予想される荷重によって滑動・滑り破壊又は浸透破壊が生じないものとする。</p>
<p>備考</p>	<p>・ダムの型式、地域によって設計震度を定めた耐震設計を行う。</p>

表-2.4.1.1(2) 河川構造物の構造特性

(2) 堤防	
<p style="writing-mode: vertical-rl;">構造物の設置目的</p>	<p>(1) 河川の流水が河川外に流出することを防止する為に設けられるものである。</p> <p>(2) 遊水地等において流水を調節する為の越流堤, 圍繞堤</p> <p>(3) 河川の流水を分流する為の背割堤, 導流堤</p> <p>(*ただし、越流堤, 圍繞堤, 背割堤, 導流堤は構造令から除外)</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">構造の特徴</p>	<p>(1) 河川堤</p> <ul style="list-style-type: none"> └─ 防土堤 └─ 特殊堤 <ul style="list-style-type: none"> └─ コンクリート式 (逆L, 逆T式) └─ 鋼矢板 (自立式, タイロット式) <p style="text-align: center;"> { * 堤防は盛土により築造する事を原則とする。土地利用その他の特別の事情により、やむを得ないと認められる場合においては特殊堤とする事ができる。 </p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">構造の原則</p>	<p>堤防は護岸, 水利その他これらに類する施設と一体として、計画高水位 (高潮区間にあつては計画高潮位) 以下の水位の流れの通常的作用に対して安全な構造とする。</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">備考</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 河川堤防 (土堤) の法勾配は1:2.0 以上を標準とし、更に川表側, 川裏側に小段を設けるものとする。又、単断面の河川で掘込河川 (H. W. Lが堤内地盤高より低い) 河川においては法勾配1:0.5 程度のブロック積み護岸とする事もある。 ・ 基本的に地震時に対する設計を行っていない。

表-1.1(3) 河川構造物の構造特性

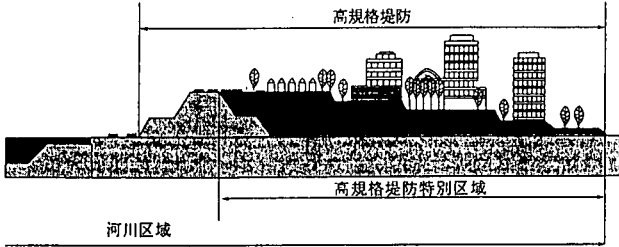
(3) 堤防（高規格堤防）							
構造物の設置目的	<p>背後地に人口及び資産が集積した大河川の堤防が計画の規模を上回る洪水により、破壊した場合の甚大な被害を避けるために整備をする。（現在の所、利根川、江戸川、荒川、多摩川、淀川及び大和川）</p>						
構造の特徴	<p>高規格堤防特別区域を設定し、河川区域内であっても一般の土地利用を認めるものである。</p> 						
構造の原則	<p>高規格堤防の構造は、河道内流水によるせん断力、揚力、杭力、流水圧、越流水によるせん断力、堤体の自重、静水圧、間隙圧、地震時慣性力、浸透水による侵食力、波圧等で決定されるものである。</p>						
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・堤防の法勾配 —— 越流水によるせん断力 < 堤防上部のせん断抵抗力 ・滑り破壊に対する安定性 —— 円弧滑り法によって検討 ($FS > 1.2$) ・液状化破壊 —— $FL > 1.0$ とする。円弧滑り法において過剰間隙水圧を考慮（下記の震度の1.25倍の震度で検討） ・地震の滑りに関する計算に用いる設計用震度 <table border="1" data-bbox="302 1668 869 1836" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>強震度地域</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>中震度地域</td> <td>0.12</td> </tr> <tr> <td>弱震度地域</td> <td>0.10</td> </tr> </tbody> </table>	強震度地域	0.15	中震度地域	0.12	弱震度地域	0.10
強震度地域	0.15						
中震度地域	0.12						
弱震度地域	0.10						

表-2.4.1.1(4) 河川構造物の構造特性

(4) 床止め	
<p>構造物の設置目的</p>	<p>(1) 床止めは河床の洗掘を防いで河道の勾配等を安定させ、河川の縦断又は横断形状を維持する為に、河川を横断して設けられる施設である。</p> <p>* 砂防工学の分野では「床固め」とする。</p>
<p>構造の特徴</p>	<p>砂防目的 ———— 縦侵食を防止して溪床を安定させる。</p> <p>河道安定目的 ————</p> <ul style="list-style-type: none"> — 河床勾配を緩和する（落差工）* — 乱流を防止し、流向を定める（落差工又は帯工） — 河床の洗掘又は低下を防止する。（帯工） <p>* 床止め工のうち、落差のあるものを落差工、落差がないあるいはあっても極めて小さいものを帯工と呼ぶ。</p>
<p>構造の原則</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 床止めは計画高水位（高潮区間にあつては、計画高潮位）以下の水位の作用に対して安全な構造とする。 2. 床止めは、付近の河岸及び河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさない構造とする。
<p>備考</p>	<p>・ 床止め本体は地震時の慣性力を考慮。（建設省 河川・砂防技術基準（案））</p>

表-2.4.1.1(5) 河川構造物の構造特性

(5) 堰	
<p style="writing-mode: vertical-rl;">構造物の設置目的</p>	<p>堰は、河川の流水を制御する為、河川を横断して設けられるダム以外の施設であって堤防の機能を有しないものを言う。</p> <p>① 分流堰 —— 河川の分流地点に設け、水位を調節又は制限して洪水又は低水を計画的に分流させる。</p> <p>② 潮止堰 —— 感潮区間に設け、堰分の遡上を防止し、流水の正常な機能を維持する。</p> <p>③ 取水堰 —— 河川の水位を調節して都市用水、かんがい用水及び発電用水等を取水する。</p> <p>* 1. ダムと堰の構造令上の適用</p> <p>1) 基礎地盤から固定部の天端までの高さが15m以上のものはダム</p> <p>2) 流水の貯留による流量調節を目的としないものは堰</p> <p>3) 堤防に接続するものは堰</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">構造の特徴</p>	<p>(1) 固定堰 —— ゲートによって水位調節ができないもの（主にコンクリート製）</p> <p>(2) 可動堰 —— ゲートによって水位の調節ができるもの</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">構造の原則</p>	<p>(1) 堰は、計画高水位（高潮区間にあつては計画高潮位）以下の水位の流水の作用に対して安全な構造とする。</p> <p>(2) 堰は、計画高水位以下の水位の洪水の流下を防げず、付近の河岸及び河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさず、並びに堰に接続する河床及び高水敷の洗掘の防止について適切(3)に配置された構造とするものとする。</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">備考</p>	<p>・地震時の慣性力を考慮。（建設省 河川・砂防技術基準（案））</p>

表-2.4.1.1(6) 河川構造物の構造特性

(6) 水門及び樋門	
構造物の設置目的	<p>水門及び樋門は河川又は水路を横断して設けられる利水施設であり、堤防の機能を有するものをいう。</p> <p>(1) ゲートを全閉する事により洪水時又は高潮時において堤防の代わりとなり得るものは水門又は樋門。</p> <p>(2) 当該施設の横断する河川又は水路が合流する河川（本川）の堤防を分断して設けられるものは水門であり、堤体内に暗渠を挿入して設けられるものを樋門と呼ぶ。</p> <p>(3) 構造令上樋門と樋管の区別はない。</p>
構造の特徴	<p>水門 — 防潮水門 — 津波、高潮が堤内に浸入しない。</p> <p>樋門</p>
構造の原則	<p>1. 水門及び樋門は、計画高水位（高潮区間にあつては計画高潮位）以下の水位の流水の作用に対して安全な構造とする。</p> <p>2. 水門及び樋門は、計画高水位以下の水位の洪水の流下を妨げず、付近の河岸及び河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさず、並びに水門又は樋門に接続する河床及び高水敷の洗掘の防止について適切に配慮された構造とするものとする。</p>
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水門は堰の設計に準じて地震時の慣性力を考慮。 ・ 樋門は門柱部、翼壁部（地上部分）について地震時の慣性力を考慮。

表-2.4.1.1(7) 河川構造物の構造特性

(7) 揚水機場, 排水機場及び取水塔	
構造物の設置目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ 揚水機場及び排水機場はポンプによって河川又は水路の流水を河岸又は堤防を横断して取水又は排水する為に河岸又は堤防の付近に設けられる施設であり、ポンプ場とその付属施設(吸水槽, 吐水槽, 樋門等)の総称である。 ・ 取水塔とは、河川の流水を取水するために河道内に設けられる塔状の集水施設である。
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 排水機場 堤内池の水路の水(主に洪水時)をポンプで河川へ排水する施設。 ・ 揚水機場 水道用水, 工業用水, 農業用水等の水を河川からポンプで取水する施設。 ・ 取水塔 水道用水等を河川から取水する為の集水施設で塔状(円形, 楕円形)の施設。
構造の原則	<p>3. 揚水機場及び排水機場は、河岸及び河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさない構造とするものとする。</p> <p>4. 揚水機場及び排水機場のポンプ室(ポンプを据え付ける床及びその下部の室に限る。), 吸水槽及び吐出水槽その他の調圧部は、鉄筋コンクリート構造又はこれに準ずる構造とするものとする。</p>
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震時の慣性力を考慮。(建設省 河川・砂防技術基準(案))

表-2.4.1.1(8) 河川構造物の構造特性

(8) 伏せ越し	
構造物の設置目的	<p>伏せ越しとは、用水施設又は排水施設である。開渠が河川と交差する場合において逆サイフォン構造で河底を横断する為に設ける施設である。</p> <p>*河底を横断する地下鉄、道路、上下水道、工業用水、石油パイプライン等は「河底横過トンネル」と呼び、伏せ越しとは区別する。</p>
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・堤防を横断して設ける伏せ越しにあつては、堤防の下に設ける部分とその他の部分（河底横断部）とは構造上分離するものとする。 ・河底横断部は、橋脚の根入れに準じる。（計画河床又は計画河床の内、低い方から2m以上）
構造の原則	<ol style="list-style-type: none"> 1. 伏せ越しは、計画高水位（高潮区間にあつては計画高潮位）以下の水位の流水の作用に対して安全な構造とするものとする。 2. 伏せ越しは、計画高水位以下の水位の洪水の流下を妨げず、並びに付近の河岸及び河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさない構造とするものとする。
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・伏せ越しの構造は、堤防の下に設ける部分とその他の部分とを構造上分離するものとする。 ・構造上分離された部分の内、堤防下の部分については地震時にも耐えられる構造としなければならない。ただし、河川の常時水位が堤内地盤より高い場合は堤防以下の部分についても同様とする。

表-2.4.1.1(9) 河川構造物の構造特性

(9) トンネル河川	
構造物の設置目的	トンネル河川は水系の河川改修計画に基づき計画され、河川流量の一部若しくは全量をトンネル構造の水路で流下させるものである。
構造の特徴	<p>トンネル河川 — 開水路トンネル—計画洪水時において空隙を確保する。</p> <p> </p> <p> └ 圧力トンネル—洪水分流時に圧力渠となる。</p>
構造の原則	トンネル河川は、設計流量の流水作用に対して安全であり、付近の河岸及び河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさず、並びにトンネル河川に接続する河床及び高水敷の洗掘の防止について適切に配慮された構造とする。
備考	<ul style="list-style-type: none"> トンネル河川の設計は「河川・砂防技術基準（案）」の他「トンネル標準示方書（土木学会）」「開削トンネル指針（土木学会）」等を参考にして設計するものとする。

(2)河川構造物の震災事例の概要

河川構造物の過去における地震被害の事例を震災後に行なわれた調査結果よりまとめて以下に示す。

1) ダム

- ① ダムは過去の大規模な地震において構造の安全性を損なうような被害を受けていない。
- ② 兵庫県南部地震で計測されたダムサイト基礎岩盤での最大加速度は 184gal (震央から約10km) である。
- ③ 堤高が100mを超える重力式コンクリートダムに生じる引張応力の最大値は30kgf/cm²程度であると推定され、許容できる値である。

2) 河川堤防



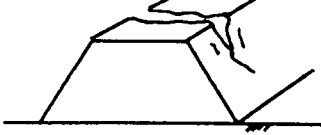
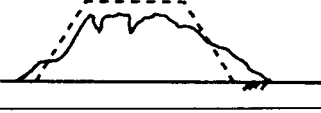
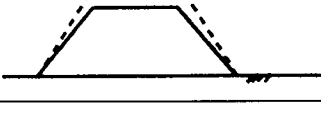

a) 土堤

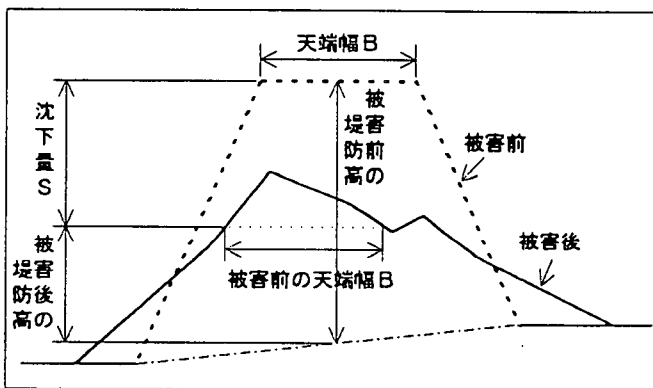
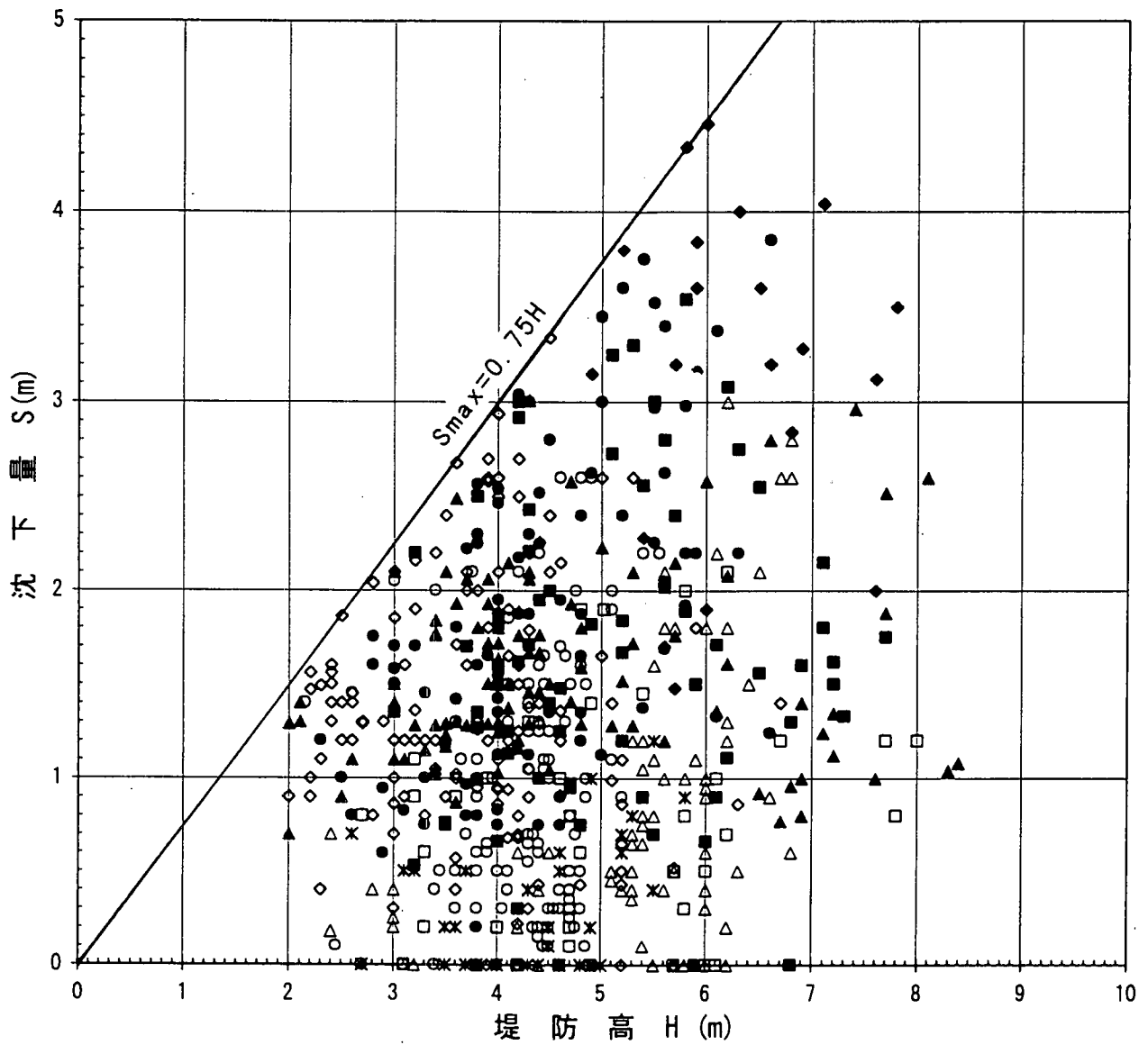
- ① 河川堤防では過去の地震により堤体の縦断亀裂, 横断亀裂, 沈下等の被害が生じている。(表-2.4.1.2)
- ② 過去の地震による堤防の沈下量はさまざまであるが、堤防すべてが沈下してしまう様な事例はなく、最低でも堤防高(被災前)の25%以上の高さは残留, 確保されている。(図-2.4.1.1)
- ③ 過去の地震において堤防が被害を受けた直後に河川水が直接堤内に浸水した二次被害の例はほとんどない。
- ④ 地震後の津波によって浸水被害をおこした例は東南海地震, 南海地震, 新潟地震, 日本海中部地震などで見られている。
- ⑤ 過去の地震による河川堤防の被害は、旧河道, 湿地, 旧湿地, 干拓地など軟弱な地盤上の堤防に多く生じている。特に地盤の液状化によって被災している例が多いと考えられる。

表-2.4.1.2 主な地震による河川堤防（土堤）の被害の代表例

地震名	被害地点	被害概要
1964年 新潟地震	阿賀野川堤防	堤体の沈下、縦横断亀裂 (左岸1.5km、右岸2km)
1968年 十勝沖地震	馬淵川堤防	堤体の沈下、縦断亀裂(延長2km)
"	十勝川大津築堤	堤体の沈下、縦断亀裂
1978年 宮城県沖地震	北上川橋浦第四堤防	堤体の沈下、縦断亀裂
"	吉田川山崎堤防	堤体の沈下、縦断亀裂
"	名取川堤防	堤体の沈下、縦断亀裂
1983年 日本海中部地震	岩木川豊富築堤	堤防縦断亀裂
"	米代川中島築堤	堤体の沈下、縦横断亀裂
"	八郎潟干拓堤防	堤体の沈下、縦断亀裂
1993年 釧路沖地震	釧路川遊水池左岸築堤	堤体の沈下、縦断亀裂
"	十勝川統内築堤	堤体の沈下、縦断亀裂
1993年 北海道南西沖地震	後志利別川兜野地先	堤体の沈下、縦断亀裂
"	尻別川長名地先	堤体の沈下、縦断亀裂

表-2.4.1.3 河川堤防（土堤）の被害パターン分類

被害パターン	被害模式図	被害形態
I型		法面の崩壊又は亀裂、段差の発生が法肩に限られるもの。
II型		堤体のすべり崩壊又は縦断亀裂、段差の発生が堤体の中央部にまで及ぶもの。
II'型		堤体の横断亀裂、段差が発生したもの。
III型		破壊が基礎地盤に及び盛土形状が原形をとどめないもの。
IV型		堤体の一様な沈下に伴って、堤体形状をある程度保ちつつ変形したもの。
V型		構造物周辺の堤防盛土が沈下及び亀裂を生じたもの。



- ◆ 濃尾地震 (長良川、揖斐川等)
- 関東大地震 (江戸川、富士川等)
- 福井地震 (九頭竜川、大聖寺川等)
- ▲ 十勝沖地震 (新釧路川、十勝川等)
- ◇ 新潟地震 (阿賀野川、信濃川等)
- 宮城県沖地震 (北上川、名取川等)
- × 日本海中部地震 (岩木川、米代川等)
- △ 釧路沖地震 (釧路川)
- 北海道南西沖地震 (後志利別川)

図-2.4.1.1 既往地震の被害事例における堤防高と沈下量の関係

b) 自立式構造の特殊堤

- ① 自立式特殊堤における過去の地震による大規模な被災事例はほとんど報告されていない。(兵庫県南部地震以前で2ヶ所、兵庫県南部地震ではいずれも軽微な被害であった。)
- ② 被災の主なものは本体の傾斜、沈下及び継ぎ目の開口等である。(表-2.4.1.4)
- ③ 本体の沈下、傾斜は主に地盤の液状化が主要因と考えられる。

c) 水門、樋門

- ① 過去の主な地震による水門、樋門の被害例を表-2.4.1.5に示す。
- ② 樋門の函渠が破壊したり、水門の床版が破損するような被害が生じた事例は少なく、水門、樋門の被害に直接に起因した堤内地の浸水は報告されていない。(表-2.4.1.6, 2.4.1.7)
- ③ 被害の種類としては樋門の函体の亀裂、継手の開口、門柱の亀裂、傾斜、翼壁・胸壁の目地の開きなどが発生している。(図-2.4.1.2)

表-2.4.1.4 過去の地震による自立式構造の特殊堤の被害

地震名	被害箇所	被害概要
1964年 新潟地震	阿賀野川 大浜特殊堤	傾斜、目地ズレ
1978年 宮城県沖地震	名取川 関上特殊堤	目地開口、傾斜、盛土縦断亀裂、盛土の沈下



○新潟地震 阿賀野川 大浜特殊堤

写真-2.4.1.1 地震による自立式構造の特殊堤の被害例

表-2.4.1.5 主な地震による水門・樋門の被害

地震名	被害箇所	被害概要
1964年 新潟地震	下山樋管 (阿賀野川左岸下山地区)	堤体沈下による樋管中央部継手の切断
1978年 宮城県沖地震	阿久戸排水樋管 (鳴瀬川右岸)	門柱折損し、川側に7度の残留傾斜 中間支柱は約2.5度の残留傾斜
1983年 日本海中部地震	津花川排水樋門 (高瀬川水系津花川)	継手部遊間10cm、止水板破損
"	流川排水樋門 (高瀬川水系流川)	継手部遊間3~4cm止水板破損の可能性あり
"	長泥排水樋管 (岩木川右岸)	門柱と翼壁の分離
"	豊巻樋門 (雄物川左岸)	函体の縦断及び横断クラック
1993年 釧路沖地震	愛国樋門 (釧路川左岸)	門柱と翼壁の接続部に亀裂
"	吉野樋門 (釧路川水系和天別川)	門柱と翼壁の間に亀裂 門柱下部に細かい継クラック
1993年 北海道南西沖地震	豊田2号樋門 (後志利別川左岸)	躯体継手開き7cm 止水板一部切れ、翼壁2.5cm開き

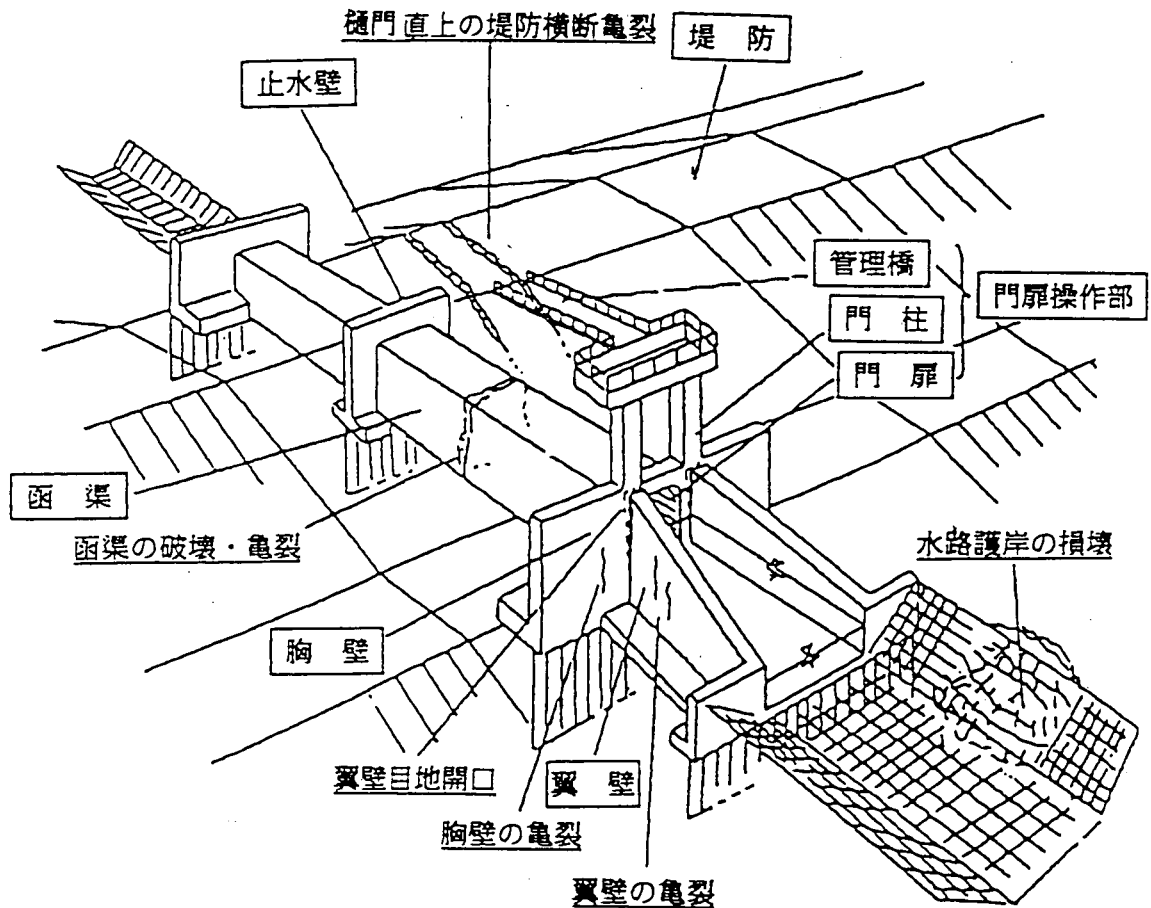


図-2.4.1.2 樋門・樋管の被害形態

表-2.4.1.6 水門の被害分類

発生部位	構造的被害	事例
床版 水叩き	破損	通船川水門、新井郷川水門 (新潟地震：阿賀野川)
扉体	戸当り金具、制御装置の損傷	
取付け護岸 水路	沈下 目地開口	中島水門 (日本海中部地震：米代川)

表-2.4.1.7 樋門の被害分類

発生部位	構造的被害	事例
函渠	破断、ずれ (数10cm~1.5m)	下山樋管 (新潟地震：阿賀野川)
	亀裂(函周、函軸方向) (数mm~数cm)	中村排水樋管 (宮城県沖地震：吉田川)
	継手、遊間の拡大	津花川樋門 (日本海中部地震：高瀬川)
門柱	傾斜(門柱)	阿久戸排水樋管 (宮城県沖地震：鳴瀬川)
胸壁	亀裂(数mm~数cm)	朴瀬排水樋管 (日本海中部地震：米代川)
翼壁	目地開口	大峰川第一排水樋管 (日本海中部地震：岩木川)
扉体 操作部	管理橋の変形 操作部の損傷	悪土排水樋管 (日本海中部地震：米代川)
水叩き 水路 取付け護岸	亀裂、沈下	桑山樋管 (新潟地震：阿賀野川) 中井樋門 (北海道南西沖地震：尻別川) 他

(3)兵庫県南部地震における被害

1) ダム

a) ダムの臨時点検結果

建設省が兵庫県南部地震後直ちに実施した臨時点検及び土木研究所による現地調査の結果を表-2.4.1.8に示す。(土木技術資料37-4より)

調査結果の概要は以下の様である。

- ① コンクリート重力式ダム本体に変状は認められなかった。
- ② フィルダムの天端舗装面に亀裂が生じたダムが数例あったが、ダム本体からの漏水はなく安全性を損なう損傷はなかった。
- ③ 貯水位が低い状態で地震動を受けたダムが多く、軽微な変状があったダムでも貯水位の上昇に際しては十分監視していく必要がある。

b) ダムサイトの地盤加速度

兵庫県南部地震時に記録されたダムサイトにおける地盤加速度の最大値を表-2.4.1.9に示す。

又、水平最大加速度と震源からの距離の関係を図-2.4.1.6に示す。

- ① ダムサイト基礎岩盤で得られた最大加速度は一庫ダム(震源から約10km)で184galであった。
- ② 今回の地震で得られた加速度記録を総合的に評価すると今回の地震においてダムサイトとなりうるような岩盤で生じた最大加速度の上限値は220gal程度と推定される。

表-2.4.1.8 調査ダムおよび調査結果の概要

法河川区域内

ダム名	水系名	河川名	所在地	型式	堤高 (m)	地設時水深 (m)	ダム管理者	竣工年度	調査結果
天ヶ瀬ダム	淀川	宇治川	京都府宇治市	アーチ式コンクリートダム	73.0	65.6	近畿地方建設局	1964	変状なし
加古川大堰	加古川	加古川	兵庫県加古川市	可動堰	5.3		近畿地方建設局	1988	ゲートが当たり変形
一庫	淀川	猪名川	兵庫県川西市	重力式コンクリートダム	75.0	38.4	水資源開発公団	1983	変状なし、湖岸小崩落1ヶ所
箕面川	淀川	箕面川	大阪府箕面市	中央コア型ロックフィルダム	47.0	24.5	大阪府	1983	変状なし
輪鶴羽	三原川	輪鶴羽川	兵庫県三原郡三原町	重力式コンクリートダム	42.0	25.1	兵庫県	1974	上流面モルタルが局部的に少見剥離
大日川	三原川	大日川	兵庫県三原郡南淡町	重力式粗石コンクリートダム	43.5	18.0	兵庫県	1964	変状なし
天王	新湊川	天王谷川	兵庫県兵庫市	重力式コンクリートダム	33.8	13.9	兵庫県	1980	変状なし、急傾落石少量、水位低下
安室	千種川	安室川	兵庫県赤穂郡上郡町	重力式コンクリートダム	50.0	26.2	兵庫県	1991	変状なし
生野	市川	市川	兵庫県朝来郡生野町	重力式コンクリートダム	56.5	32.5	兵庫県	1972	変状なし
安富	揖保川	林田川	兵庫県宍粟郡安富町	重力式コンクリートダム	50.5	29.3	兵庫県	1984	変状なし
立ヶ畑	新湊川	石井川	兵庫県神戸市	重力式粗石モルタルダム	33.3	24.2	神戸市	1905	変状なし
千野	武庫川	羽束川	兵庫県神戸市	重力式粗石モルタルダム	42.4	27.6	神戸市	1919	変状なし
丸山(第1)	武庫川	船坂川	兵庫県西宮市	重力式コンクリートダム	31.0	18.4	西宮市	1977	変状なし
成相池	三原川	成相川	兵庫県三原郡三原町	重力式粗石コンクリートダム	33.0	19.4	成相池土地改良区	1950	変状なし
常盤	野島川	野島川	兵庫県津名郡北淡町	ゾーン式アースフィルダム	33.5	20.9	近畿農政局	1974	天端舗装の小亀裂
谷山	楠本川	楠本川	兵庫県津名郡東浦町	ゾーン式アースフィルダム	28.2	19.8	近畿農政局	1974	天端舗装の小亀裂
香吐	加古川	山田川	兵庫県三木市	重力式コンクリートダム	71.5	42.8	近畿農政局	1989	変状なし
琵琶	加古川	住吉原川	兵庫県多可郡中町	中央コア型ロックフィルダム	44.1	16.7	近畿農政局	1991	変状なし
鴨川	加古川	鴨川	兵庫県加東郡東条町	重力式コンクリートダム	43.5	16.3	近畿農政局	1951	変状なし
大川瀬	加古川	東条川	兵庫県三田市	重力式コンクリートダム	50.8	36.0	近畿農政局	1990	変状なし
喜撰山	淀川	寒谷川	京都府宇治市	中央コア型ロックフィルダム	91.0	75.5	関西電力	1970	変状なし
黒川	市川	市川	兵庫県朝来郡生野町	傾斜コア型ロックフィルダム	98.0	89.2	関西電力	1974	変状なし
多々良木	門山川	多々良木川	兵庫県朝来郡朝来町	アスファルト表面遮水型ロックフィルダム	64.5	37.0	関西電力	1974	変状なし
長谷	市川	大見川	兵庫県神崎郡大河内町	重力式コンクリートダム	102.0	65.5	関西電力	1992	変状なし

法河川区域外

ダム名	水系名	河川名	所在地	型式	堤高 (m)	地設時水深 (m)	ダム管理者	竣工年度	調査結果
大谷	楠本川	楠本川	津名郡淡路町	アースフィルダム	16.6	-	ちひろ土地改良区		天端舗装の小亀裂
昭和池	総崎川	総崎川	津名郡淡路町	アースフィルダム	16.0	-	上高寺地区		上流法面の石漏り変状、天端舗装の亀裂
五本松	生田川	生田川	兵庫県神戸市	重力式粗石コンクリートダム	33.3	24.6	神戸市	1900	変状なし、急傾落石
深谷	武庫川	逆瀬川	兵庫県宝塚市	傾斜コア型ロックフィルダム	41.0	24.0	宝塚市	1971	余水吐ブロックのズレ、余水吐周辺の堤体少し沈下
北山(第1)	夙川	夙川	兵庫県西宮市	均一型アースフィルダム	24.5	16.2	西宮市	1968	上流面石張り崩落
奥山(第1)	芦屋川	芦屋川	兵庫県芦屋市	中央コア型ロックフィルダム	23.4	13.0	芦屋市	1972	旧堰天端若干沈下、奥池の取水塔の傾斜、取水塔コンクリート部に亀裂



図-2.4.1.3 調査ダムの位置

表-2.4.1.9 ダムサイト地盤最大加速度

(数値は暫定値であり、確定値ではない)

ダム名	事業者	最大加速度 (gal)	上下流最大加速度 (gal)	ダム軸最大加速度 (gal)	鉛直最大加速度 (gal)	ダム名	事業者	最大加速度 (gal)	上下流最大加速度 (gal)	ダム軸最大加速度 (gal)	鉛直最大加速度 (gal)
天ヶ瀬	近畿地建	95	43	95	24	正木	徳島県	33	28	33	33
猿谷	近畿地建	18	13	18	13	福井	徳島県	32	32	29	16
大野	近畿地建	28.4	28.4	27.3	24.1	白川	奈良県	50.5	50.5	38.3	48.1
丸山	中部地建	5.9	2.9	5.9	3.3	龍ヶ鼻	福井県	6.5	6.5	5.3	2.9
速	中部地建	25.3	25.3	14.5	19.3	生野	兵庫県	16	6	13	16
早明浦	水資源開発公団	8.97	8.97	7.06	5.74	安室	兵庫県	37.2	36.8	37.2	31.2
新宮	水資源開発公団	11.91	9.84	8.32	11.91	瀬川	関西電力	20.2	15.9	17.4	20.2
高山	水資源開発公団	11	10	11	11	旭	関西電力	14.4	14	14.4	14.1
室生	水資源開発公団	17	17	15	11	長谷	関西電力	30.5	24.8	30.5	22.3
布目	水資源開発公団	28	28	18	15	太田	関西電力	27.9	26.8	27.9	20.8
一庫	水資源開発公団	184	184	156	62	柳村	四国電力	7	7	5	5
岩屋	水資源開発公団	12	12	7	2	高基	中国電力	5.2	5.2	4.2	4.3
阿木川	水資源開発公団	5	4	5	3	西平	中部電力	37.72	21	37.72	25.26
箕面川	大阪府	130	130	130	85	上大須	中部電力	9	9	7.47	5.09
津川	岡山県	28.2	28.2	24.3	18.3	池原	電源開発	11.56	10.99	11.56	9.8
野呂川	広島県	4	4	4	4	蔵王	近畿農政局	49.4	49.4	22.3	24.6
千足	香川県	51	51	36	-	永源寺	近畿農政局	28.5	28.5	27.9	13.5
石田川	滋賀県	12	9	12	7	香吐	近畿農政局	111	97	111	-
骨上	滋賀県	22	22	21	11	日谷	中国四国農政局	9	4	9	4

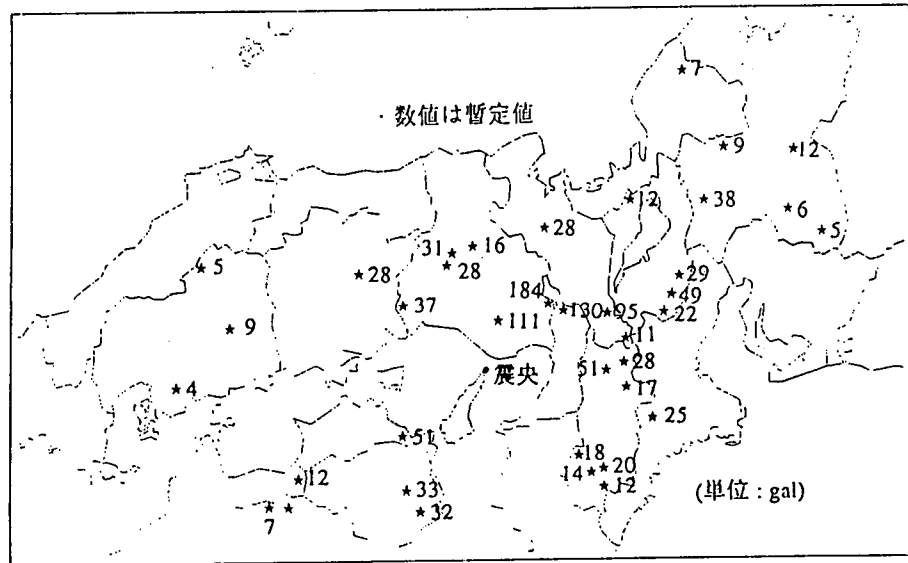


図-2.4.1.4 ダムサイト地盤最大加速度分布

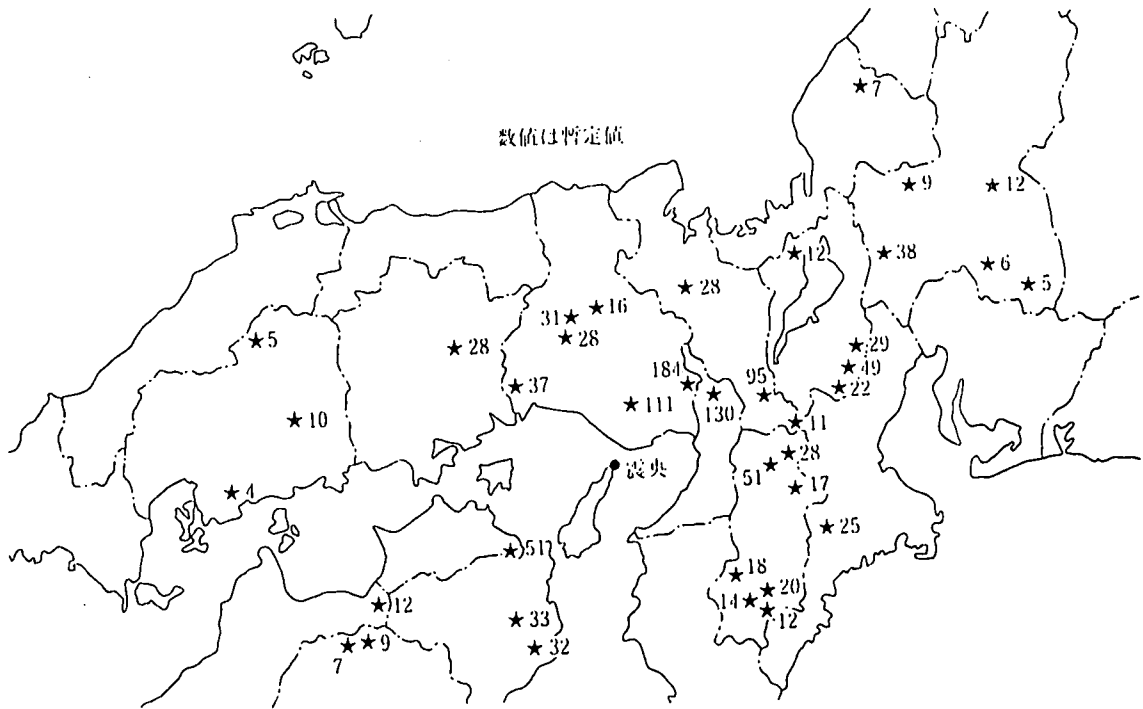


図-2.4.1.5 ダム地盤最大加速度分布 (単位: gal)

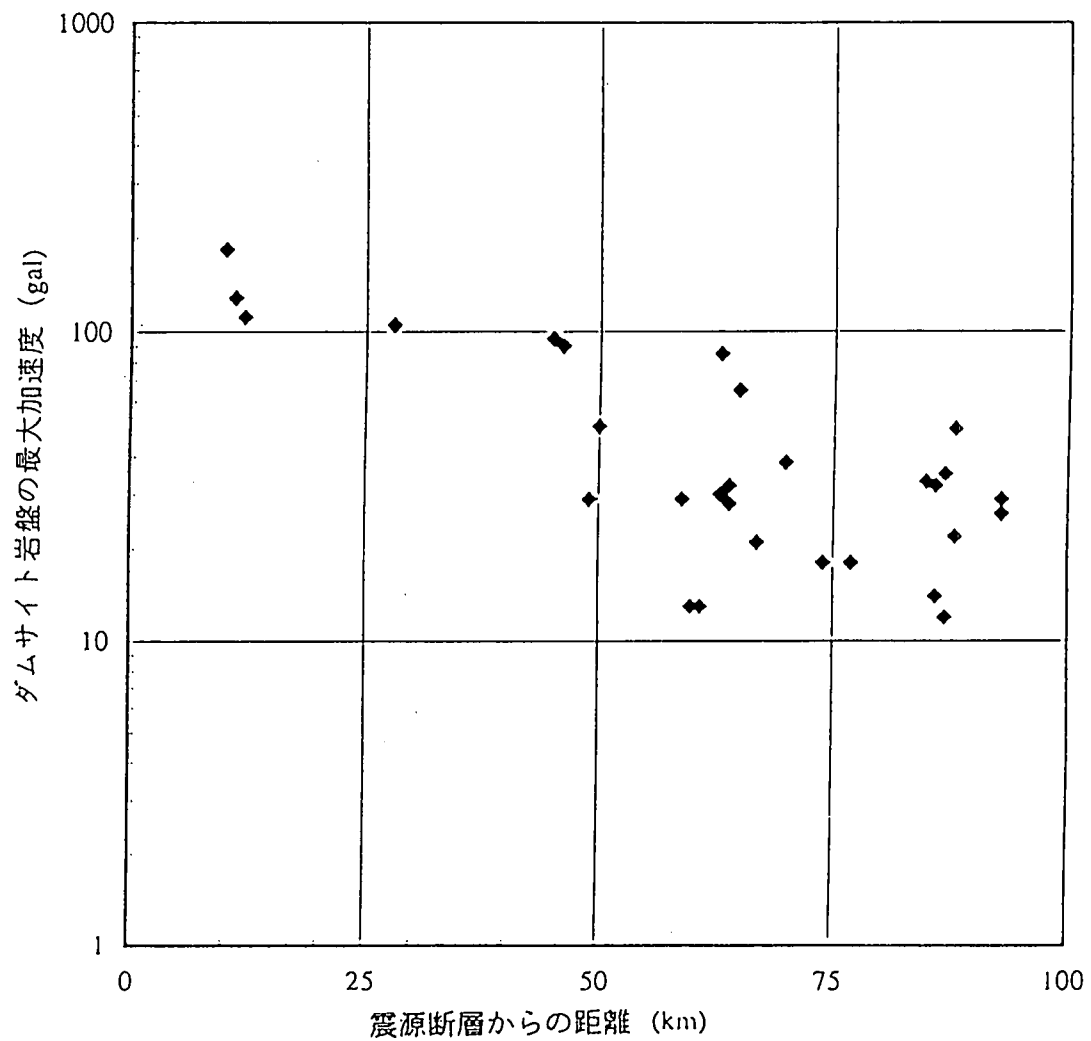


図-2.4.1.6 水平最大加速度の距離減衰

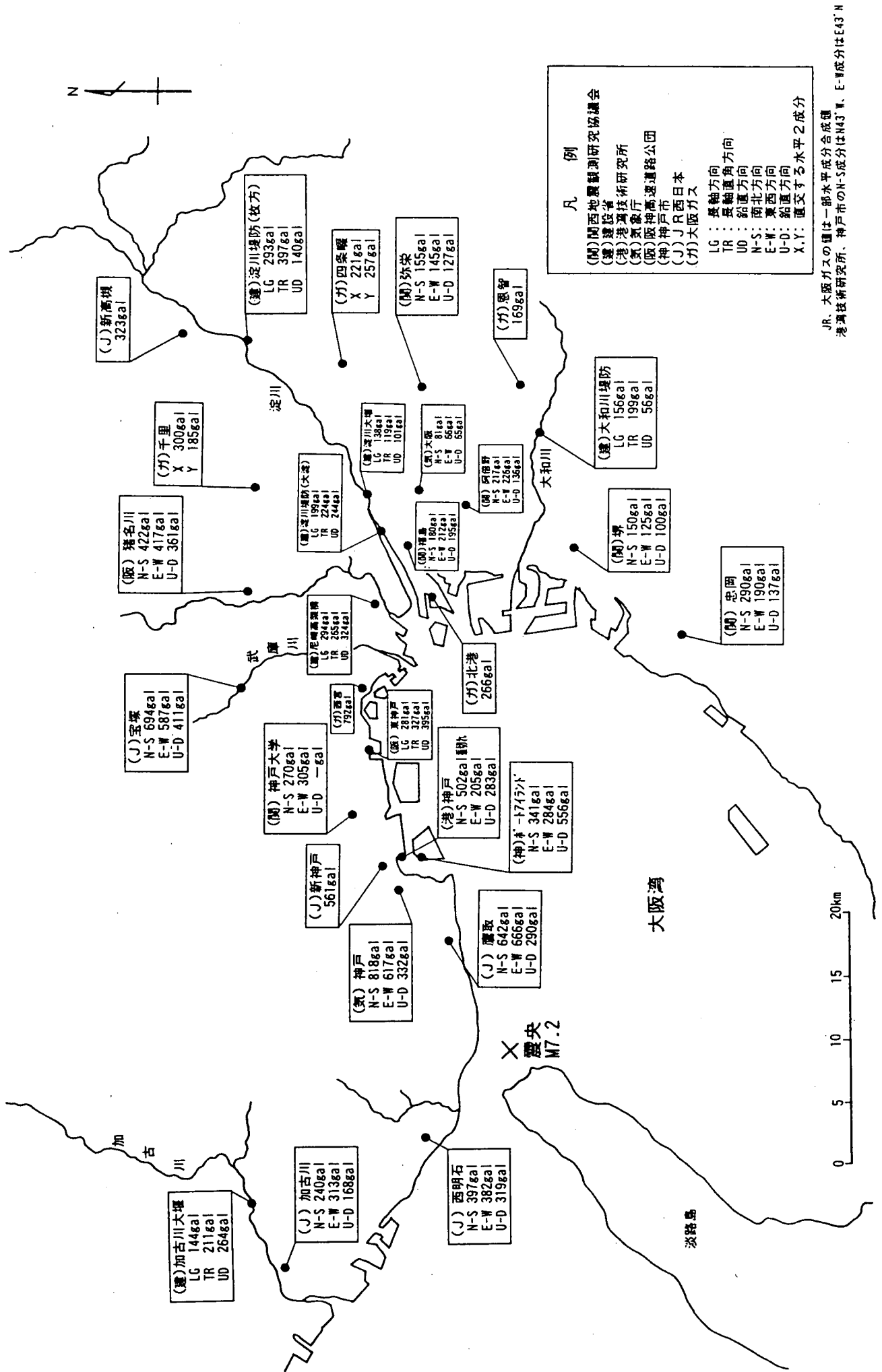


図-2.4.1.7 兵庫県南部地震における最大地表水平加速度の分布

2) 河川堤防（土堤）

主な被害箇所である淀川、藻川、神崎川、武庫川および中島川についてその被害状況を整理すると次のとおりである。

- ① 淀川： 被害は主に下流部に集中し、右岸で 0.2～1.5mの沈下、左岸で最大約 3mの沈下が生じた。淀川左岸の大阪市此花区西島地先では、堤防が延長約 1.8kmにわたり最大約 3m沈下したが、堤体の形態は残留しており、被害後の満潮時にも市街地への浸水はなかった。
その他の区間では 0.2m以下の天端の沈下や亀裂等、比較的軽微な被害であった。
- ② 藻川： 堤体天端に最大 1mの沈下が生じ、裏のり尻にも幅数10cmの亀裂が発生した。
- ③ 神崎川： 堤防全体が10～15cm程度沈下するとともに、天端中央に縦断亀裂が680mにわたり生じた。
- ④ 武庫川： 河口より約 2.5kmから上流の約 6 km区間の左右岸堤防に被害が生じた。特に山陽新幹線の橋梁付近の左右岸堤防の堤体や高水敷などに縦横断の亀裂が発生したが、顕著な堤体の沈下は認められなかった。なお、亀裂深さが90cm以上に達するものも認められた。しかし、武庫川堤防は震源から約30kmの近傍に位置し、最大地表水平加速度が 500～700galと極めて大きな地震動が生じたと推定されるにもかかわらず、堤防の被害程度は震源から遠距離にある淀川下流域の堤防に比べて軽微な被害であった。
- ⑤ 中島川： 延長 920mにおよぶ堤防天端が 0.5～1 m沈下、被覆コンクリートの陥没、縦方向の亀裂および裏のり面のブロックの陥没を生じた。

被害の著しい淀川、藻川、中島川においては噴砂の痕跡が各所において確認されていることから、地震時に地表付近の緩い砂層が液状化を生じ、堤体が変形したものと考えられる。

なお、震源の近傍に位置する武庫川堤防の被害が淀川下流域に比べて軽微であった理由としては、堤防の基礎地盤がややしまった礫、砂からなり、比較的液状化の程度が低かったことなどが考えられる。

「河川構造物地震対策技術検討委員会 報告書(H8. 3)」より

3) 自立式構造の特殊堤の被害例

左門殿川と神崎川の分流部付近では、自立式構造の特殊堤が川側に傾斜し、天端が沈下した。また、堤内側張コンクリートに陥没、開口クラックが見られ、周囲には噴砂が見られる。なお、自立式構造の特殊堤の被害は、そのほとんどが本体の被害ではなく、前面護岸や背後コンクリートの陥没、クラック等の軽微な被害であった。

4) 水門・樋門の被害例

水門・樋門の被害箇所は少なく、汐入川において排水機場および水門にクラック等の被害を受けた。

2.4.2 現行の耐震設計基準と改訂の動向

(1) 河川構造物の現行耐震基準の要約

河川構造物の現行耐震基準の概要を表-2.4.2.1に示す。

1) ダム

- ① ダムの設計震度は、ダムのタイプと地域特性から定められている。
- ② ダムの耐震設計法は、震度法で行なう。
- ③ フィルダムは、円弧滑り法（フェルニウス法，有効応力度法）によって行ない、安全率を 1.2 以上とする。

2) 堤防（土堤）

河川堤防（土堤）は一般に耐震設計を行っていない。

これは以下の理由による。

- イ. 地震と洪水が同時に発生する可能性が少ない。
- ロ. 地震による被害を受けても復旧が比較的容易である。

3) 堤防（自立式特殊堤）

- ① 自立式特殊堤は、復旧が困難な場合が多い事より、「河川・砂防技術基準（案）」等に定めるところにより地震による外力に対して十分安全となる様に設計をする。（レベル1）
- ② 地盤の液状化に対する記述はない。

4) 堤防（高規格堤防）

- ① 高規格堤防の設計震度（円弧滑り法による検討）は地域によって $k_h = 0.1 \sim 0.15$ としている。
（常時）
- ② 洪水時における設計震度は上記の値のとなる。
- ③ 液状化の判定に用いる震度は、前記①の値を一律に1.25倍する。

液状化に対する堤防安定検討は、円弧滑り法において過剰間隙水圧として作用させる事によって行なう。（有効応力度法）

5) 堰・水門

- ① 堰・水門の耐震設計は、震度法によって行ない、設計震度は基準震度を $k_h = 0.2$ とし、地域別、地盤種別、重要度別補正係数を乗じて決定する。
- ② 重要度別補正係数は通常1.0 とするが、特に大規模でかつ影響の著しいもの、その他特別な理由のある場合は1.25とする事ができる。
- ③ 洪水と地震、波圧と地震、風荷重と地震は同時に作用させないものとする。
- ④ 基礎杭の設計は、「道路橋示方書・同解説」に準じて行なう。
- ⑤ 液状化に対する検討は、「道路橋示方書・同解説」に準じて行なう。

表-2.4.2.1 河川構造物の耐震設計基準

	設計基準	制定年	設計震度						耐震設計法	備考	
			基準震度	地域	地盤	補正係数					固有周期
						重要度	構造特性				
ダム	河川・施設等構造令 建設省河川・砂防技術基準(案)	1992 1995	重力的 コンクリートダム 中空重力的 コンクリートダム	ダム基礎条件	ゾーン型フィルダム	アーチ式 コンクリートダム	ゾーン型フィルダム	均一型フィルダム	震度法		
			通常の岩盤基礎	0.12~0.15	0.15	0.24~0.30	0.15	0.15~0.18			
			土質基礎		0.18		0.18	0.20			
			通常の岩盤基礎	0.12	0.12~0.15	0.24	0.12~0.15	0.15			
			土質基礎		0.15~0.18		0.18~0.20				
			通常の岩盤基礎	0.10~0.12	0.10~0.12	0.20~0.24	0.10~0.12	0.12			
弱震帯地域	土質基礎		0.15		0.18						
但し、これらの値は目安の値であり、当該地の地震歴、地質条件、堰体の動力学的特性を考慮して、これらの値以上をとることとする。											
堤防	建設省河川・砂防技術基準(案) 河川・土工マニュアル(案)	1995	—	—	—	—	—	—	—	—	
			0.20	1.0(強震帯) 0.85(中震帯) 0.7(弱震帯)	0.9(1種) 1.0(2種) 1.1(3種) 1.2(4種)	1.0	1.0	—			
	高規格堤防	河川管理施設等構造令・施行規則政令・建設省	1992	0.15(強震帯) 0.12(中震帯) 0.10(弱震帯)	—	—	—	1.0 (0.5)*	—	—	平水位を越え、計画水位以下の場合には設計震度を半減
				0.20	1.0(強震帯) 0.85(中震帯) 0.7(弱震帯)	0.9(1種) 1.0(2種) 1.1(3種) 1.2(4種)	1.0~1.25	1.0	—		
堰・水門	建設省・河川砂防技術基準(案)		0.20	1.0(強震帯) 0.85(中震帯) 0.7(弱震帯)	0.9(1種) 1.0(2種) 1.1(3種) 1.2(4種)	1.0	1.0	1.0	1.0	震度法	
樋門、樋管	同上		0.20	1.0(強震帯) 0.85(中震帯) 0.7(弱震帯)	0.9(1種) 1.0(2種) 1.1(3種) 1.2(4種)	1.0	1.0	1.0	1.0	震度法	
排水機場	同上		0.20	1.0(強震帯) 0.85(中震帯) 0.7(弱震帯)	0.9(1種) 1.0(2種) 1.1(3種) 1.2(4種)	1.0	1.0	1.0	1.0	震度法	
河川トンネル	トンネル標準示方書(土木学会) 開削トンネル指針(土木学会)		—	—	—	—	—	—	—	—	地震の性状によっては、地震の液状化に対する検討を行う。

6) 樋門, 樋管

- ① 函体の設計は常時及び洪水時（内圧）のみを検討し、地震時においては一般に検討は不要である。（適切な継手を設ける事で地震に対する安全性は確保される。）
- ② 門柱に接続される函体縦方向の計算においては門柱に作用する地震時慣性力を考慮する。
- ③ 門柱, 操作台は震度法によって耐震設計を行なう。設計震度及び荷重の組合せは堰, 水門と同じ。

(2) 耐震設計基準改訂の動向について

兵庫県南部地震後に各河川構造物の耐震設計法に関する関係省庁の動向と基準改訂の動向について以下に示す。

1) ダム

a) 耐震性に関する技術検討委員会

兵庫県南部地震後に「ダムの耐震性に関する評価検討委員会」が設定された。

b) 検討内容

① 兵庫県南部地震における地震動の分析

兵庫県南部地震でダムサイトで観測された地震動に関する分析

② ダムの耐震性の評価

震度法によって設計されたダムの耐震性を評価する為に一庫ダム（重力式コンクリートダム, 堤高75m）と箕面川ダム（ロックフィルダム, 堤高47m）で動的解析を行なった。入力地震動は観測波形を水平最大加速度 250ga $\%$ に引き伸ばしたものをを用いた。

c) 検討結果

- ① ダムサイト岩盤で観測された最大加速度と土質地盤で観測された最大加速度を震央距離との関係で整理した結果、観測された最大加速度はいずれも震央距離が大きくなるにしたがって減少する傾向がみられる。
- ② 今回の地震で得られた加速度記録を総合的に評価すると今回の地震においてダムサイトとなりうるような岩盤で生じた最大加速度の上限値は 220ga $\%$ 程度と推定される。
- ③ 動的解析法は地震時のダムの挙動を十分な精度で再現できることが確保され、震度法で設計されたダムの安全性は確保されているとの結論が得られた。

d) 今後の課題

① 地震の観測体制の強化・充実

全てのダムに地震計を設置し、地震の観測体制の強化・充実を図る。

② ダムの耐震設計法の高度化

地震動の特性，堤体材料の動的特性，ダムの動的解析手法について今後とも引き続き研究を進めていく必要がある。

2) 河川構造物（堤防，自立式特殊堤，水門，樋門）

a) 耐震性に関する技術検討委員会

「河川構造物地震対策技術検討委員会」

b) 検討内容

- ① 河川構造物の構造特性と従来の地震による被害特性の検討
- ② 兵庫県南部地震による河川構造物の被害特性とその教訓
- ③ 河川構造物の確保すべき耐震性の検討
- ④ 河川構造物の耐震性向上の考え方と地震外力の検討
- ⑤ 河川構造物の地震対策工法の検討

c) 検討結果

河川構造物の地震外力について当面の考え方，及び将来の考え方について整理した表を表-2.4.2.2に示す。

又、堤防の地震時における安全率と耐震性評価法の特徴を同委員会報告書より抜粋して表-2.4.2.3，2.4.2.4に示す。

表-2.4.2.2 河川構造物の地震外力について

	土 堤	自立式構造の特殊堤	水 門 ・ 樋 門
構造物としての機能	<ul style="list-style-type: none"> 計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造（堤内の浸水防御） 	<ul style="list-style-type: none"> 計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造（堤内の浸水防御） 	<ul style="list-style-type: none"> 計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造（堤内の浸水防御） 取水、排水、防潮、津波侵入防止などの設置目的に応じた機能
現行の地震外力の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> 地震力を考えていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 慣性力を考慮 ($K_{h0}=0.2$) 	<ul style="list-style-type: none"> 慣性力を考慮 ($K_{h0}=0.2$) (門柱、胸壁、翼壁について)
地震被害特性	<ul style="list-style-type: none"> 沈下を伴う大きな被害は液状化を伴っている。 ただし、過去の大地震に対しても堤防高の25%は残留。 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊堤本体の被害（沈下、目地の開き、傾斜）はわずか3事例 全てに液状化が見られている。 2事例は施工年が古く、地震力を考慮した設計を行っているかどうかは不明。 	<ul style="list-style-type: none"> 機能を失うような被害は4事例のみ。 事例は施工年が古く、地震力を考慮した設計を行っているかどうかは不明。 周辺では液状化が見られている。
復旧の難易	<ul style="list-style-type: none"> 土構造物であり、復旧が比較的容易。 概ね2週間で緊急復旧終了 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺のスペースが無く、早期の復旧は困難。 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造物であり、早期の復旧は困難。 ただし、小口径樋門について土のうや角落し、排水ポンプ等の対応により最低限の機能確保は、可能な場合もある。
確保すべき耐震性	<ul style="list-style-type: none"> 浸水等による二次災害の防御（最低限の機能の確保） 地震により壊れない堤防を目標とするのではなく、壊れても二次災害を起こさない。 	<ul style="list-style-type: none"> 多少の変形は許容するものの、浸水による二次災害をさせないように地震力に対して、所要の安全性を有する構造 	<ul style="list-style-type: none"> 多少の変形は許容するものの、浸水による二次災害をさせないように地震力に対して、所要の安全性を有する構造
地震外力の当面の考え方	<ul style="list-style-type: none"> 河川水の状況により、浸水被害（二次災害）の可能性のある堤防については、液状化を考慮した設計を行う。地盤条件によっては慣性力も考慮する。 慣性力 $K_{h0}=0.2$ 液状化 $K_{s0}=0.15$ 	<ul style="list-style-type: none"> 二次災害防止の観点から、現行の慣性力を考慮するとともに地盤に対する液状化を考慮する。 慣性力 $K_{h0}=0.2$ 液状化 $K_{s0}=0.15$ 	<ul style="list-style-type: none"> 二次災害防止の観点から、現行の慣性力を考慮するとともに地盤に対する液状化を考慮する。 慣性力 $K_{h0}=0.2$ 液状化 $K_{s0}=0.15$
将来	<ul style="list-style-type: none"> 河川構造物の変形に対する解析手法や耐震性評価手法などの進展を踏まえ、検討する。 		

※ 河川構造物地震対策技術委員会報告書（H3. 3月）より

表-2.4.2.3 堤防天端の沈下量（上限値）と地震時安全率の関係

地震時安全率 F_{sd}		沈下量（上限値）
$F_{sd} (kh)$	$F_{sd} (\Delta u)$	
$1.0 < F_{sd}$		0
$0.8 < F_{sd} \leq 1.0$		(堤高) $\times 0.25$
$F_{sd} \leq 0.8$	$0.6 < F_{sd} \leq 0.8$	(堤高) $\times 0.50$
—	$F_{sd} \leq 0.6$	(堤高) $\times 0.75$

$F_{sd} (kh)$: 慣性力のみを考慮した円弧すべりの安全率

$F_{sd} (\Delta u)$: 過剰間隙水圧のみを考慮した円弧すべりの安全率

表-2.4.2.4 土構造物の耐震性評価法の特徴

手法	手法の概要	入力データ	評価項目 (出力)	備考
被害事例に基づく変形予測法	種々の条件に対する安定計算結果に基づき、任意の地盤条件・外力条件に対する地震時安全率を図表から算出。 安全率から天端の沈下量を推定。	<ul style="list-style-type: none"> 堤体形状 地層構成 堤体, 地盤定数 地震力 地下水位 	<ul style="list-style-type: none"> 被害形態 (パターン) 被害程度 (沈下量) 	<ul style="list-style-type: none"> 安定計算を簡便化 簡便な概略点検用の手法 対策工法の評価は不可
円弧すべりによる安定計算法	円弧すべり計算。 過剰間隙水圧と慣性力は別々に作用させる。	<ul style="list-style-type: none"> 堤体形状 地層構成 堤体, 地盤定数 地震力 地下水位 	<ul style="list-style-type: none"> 安全率 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的簡便であるが、変形の予測不可。 構造物系の対策工法の評価は不可。
FEMによる残留変形解析 (有効応力法) (全応力法)	初期応力解析, 地震応答解析, 累積変形特性試験に基づく見かけせん断剛性率 G^* を算出し、静的自重変形解析により地震後の永久変形量を求める。 (土研方式の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 堤体形状 地層構成 堤体, 地盤定数 動的変形特性 地震力 地下水位 他 (土研方式の場合) 	<ul style="list-style-type: none"> 地震後変形量 	<ul style="list-style-type: none"> 累積変形特性試験等、動的土質試験が必要。 力学的に正統な方法であるが、入力データが多く、費用、時間がかかる。 対策工法の評価は課題あり。
最小エネルギー原理に基づく地震時永久変形解析	液状化層の水平変位が正弦曲線状に分布すると仮定し、地盤のひずみエネルギーと位置エネルギーを求め、全ポテンシャルが最小になる時の変形量を求める。	<ul style="list-style-type: none"> 堤体形状 地層構成 堤体, 地盤定数 液状化特性 地震力 地下水位 他 	<ul style="list-style-type: none"> 地震後変形量 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的簡便に変形量の推定が可能。 対策工法の評価は課題あり。

2.4.3 土木学会第2次提言における耐震設計法（レベル2）に対する問題点と課題

(1) 構造物の重要度と要求される耐震性能

1) 施設重要度

河川構造物は、ダム、堤防、地上構造物（堰、水門、排水機場）、地下構造物（河川トンネル、地下調節池）と多岐に及び構造の形式もまちまちであるが、総じて治水も目的に設置される。

これらの施設はむろん地震時においても当初の機能を発揮する事が望ましいが、経済的理由等によって必ずしも十分な耐震性能を有していない施設もある。又、土木学会の2次提言に対してはダム等の一部の施設を除いては対応がなされていない状況にある。今後、更に2次提言に対する検討を行なうに際し、各々の施設の重要度と要求される耐震性能について整理し、対策を行なう際の優先順位について検討しておく必要がある。

a) ダム

常時水を湛水しておく施設であり、地震によつての被害は許されない。重要度は極めて大。

b) 河川堤防（土堤）

河川堤防（土堤）は主に以下の理由により耐震設計が行われていない。

- イ. 洪水と地震の同時発生の確率は極めて小さく、考慮する必要がない。
- ロ. 河川堤防は、用地の利用を限定する河川敷地内に築造される事より、地震による堤防破壊が直接人命、社会的に影響を与える事はない。
- ハ. 土で構築される堤防は被災後の復旧が比較的容易であり、過去の事例については概ね2週間以内で復旧が完了している。
- ニ. 河川堤防は長い治水の歴史の中で堤体の嵩上げ、腹付けを重ねてきている。従つて、堤体内部の構造が場所によって不均質であったり、基礎地盤が軟弱であったりして堤防の安全性を評価する事が困難である。
- ホ. 堤防の断面は、河川毎に標準的な形状が決定されており（法勾配 1:2.0以上が原則）過去の被災事例を見ても大規模な被害がない。

しかしながら、新潟地震以降、地盤の液状化によつて堤防が大規模な被害を被る例も報告されている事、堤内地盤高の低い区域の堤防は復旧前に満潮、高潮、津波によつて堤内へ浸水する二次災害が想定される事より、耐震検討を行なう必要がある。

表-2.4.3.1 河川構造物の震災時における被災の影響度

	地震による被災の影響度				避難救助活動への影響	復旧の難易度
	構造物の設置目的	人命へ与える影響	二次被害の程度	経済活動への影響度		
ダム	<ul style="list-style-type: none"> ・利水容量の確保 ・洪水調節 	甚大	甚大	<p>さわめて大</p>	—	さわめて困難
河川堤防（土堤）	<ul style="list-style-type: none"> ・洪水防御 	直接的にはない	堤内地盤高が低い場合、満潮高潮が堤内に浸水	堤防天端、法尻の道路が被災する事によって影響あり	救援活動の拠点として河川敷利用	比較的容易
河川堤防（自立式特殊堤）	<ul style="list-style-type: none"> ・洪水防御 	直接的にはない	堤内地盤高が低い場合、満潮、高潮が堤内に浸水	堤防天端、法尻の道路が被災する事によって影響あり		困難
河川堤防（高規格堤防）	<ul style="list-style-type: none"> ・洪水防御 ・宅地等造成 	直接的にはない	堤内地盤高が低い場合、満潮、高潮が堤内に浸水	道路、鉄道等が被災する事によって影響がある	良質な宅地として被災を免れれば救援活動の拠点として利用	困難
堰	<ul style="list-style-type: none"> ・流水の制御 	直接的にはない	特になし	特になし	—	困難
樋門、樋管、水門	<ul style="list-style-type: none"> ・河川からの取水 ・河川への排水 	防潮流門は津波発生時に機能しない場合影響大	堤内地盤高が低い場合、満潮、高潮が堤内に浸水	上水道取水樋門は影響大	—	困難
排水機場	<ul style="list-style-type: none"> ・河川からの取水 ・河川への排水 	直接的にはない	堤内地排水不可になる	特になし	—	困難
伏越工	<ul style="list-style-type: none"> ・水路の河川横断 	直接的にはない	河川水が堤内に逆流する可能性有	農業用水の切断になる場合、農業への影響	震災時に避難、救援活動の拠点になりうる	困難

(2) 提言を設計実務に反映させるための方法と課題の検討

提言を実務設計に反映させるための方法と課題の検討 <河川・砂防(1)>

検討項目	現状	問題点・対応方針	今後の課題
(1) 河川構造物の構造特性と確保すべき耐震(2)性能	① ダム：第四紀断層を避けてダムを計画する事、兵庫県南部地震後の検討結果より震度法による設計の安全性が確認されたとしている。 ② 河川堤防：従来河川堤防の土堤は地震力を考慮していなかった。今後0m地帯の堤防については二次被害を防止する目的で耐震設計を行なう。(レベル1) ③ 自立式特殊堤：自立式特殊堤は従来より耐震設計が行なわれてきた(レベル1)。今回の地震による被害は主に液状化が原因と思われ、特に液状化に対する対策を重点的に実施する。 ④ 高規格堤防：フィリダムに準じた設計震度で耐震設計が行なわれている事、堤防の法勾配が超緩傾斜である事より、堤体が壊滅的破壊に至らないと考えられる事より、現設計法で変更予定なし。 ⑤ 堰：特に重要な構造物については施設の重要度補正係数を1.25とする震度法で設計する。 ⑥ 樋門、樋管、水門：従来通りの耐震設計(レベル1)で特に重大な被害はない。 ⑦ 排水機場：	ダムが設置される基礎岩盤の想定最大加速度は、250gal程度とし、非線形動的解析によって一応の安全性が確認されている。 ・ フィリダムも非線形動解で解析をしているが、安全性の評価基準が確立していない。 ・ 背後地盤の地盤高と破壊した場合の二次被害の程度及び復旧の難易度を予め予測し、レベル2地震対策の必要区間を設定する。特に甚大な被害が予測される区間の堤防についてレベル2地震時ににおける安全性を評価する手法を研究する。 ・ 一般堤防区間については、破壊する事を前提に復旧方法についてのマニュアルを予め準備しておく。 ・ 特殊堤は隣田川に見られる様に家屋が密集した所、特殊堤直背面に石油タンク等の構造物が位置する所に設定される場合が多い。レベル2地震による被害の程度を予測し、重要度に依じてレベル2地震に対する検討及び対策の必要性について整理する必要がある。 ・ 高規格堤防は用地取得の制約上、全断面一律に施工される事は考えにくく、細分化されて施工される。施工境界面では擁壁構造として耐震設計(レベル1)を行なう事としていないが、レベル2地震動に対する検討及び対策がなされていない。擁壁部はレベル2地震動に対して設計を行なうか、若しくは擁壁付近の地上の利用を制限する。 ・ 地震後直ちに予測される津波に対しては防潮水門の重要性は大きい。特に重要施設としてレベル2設計及び対策を行なう必要がある。 ・ 取水堰(上水、工業用水、農業用水)の内、ライフラインに直結ものは重要度が大きい為、レベル2地震動に対する耐震性のチェックを行なう。 ・ 上水道の取水、下水排水等ライフラインに直結する施設は重要度が大きい為、レベル2地震動に対する耐震性のチェックを行なう。 ・ 排水機場の敷地は一般に予測浸水水位より高く設定されている。機場内に水、食料等を備蓄して、震災時の救援、避難活動の拠点としての利用が考えられる。拠点に指定された機場に対してはレベル2対応耐震性評価が必要。 ・ 機場上屋については建築基準法による設計が行なわれている。基準の設計法の整合をより安全性を確認する必要がある。	・ 第四紀断層の特定方法と予測される地震動の規模の特定方法を設定する必要がある。 ・ レベル2地震時における堤体の変形予測と被害予測方法の研究が必要。 ・ 堤防の安全度の評価基準の確立と地元へのP R。

提言を実務設計に反映させるための方法と課題の検討 <河川・砂防(2)>

検討項目	現 状	問題点・対応方針案	今 後 の 課 題
<p>(3) レベル2の地震(4)時の設計方法</p> <p>1) 土構造物(堤防)</p>	<p>土構造物の耐震性評価法は当面円弧滑り法による安全率と被災事例に基づく変形予測法を組み合わせて表-1の様としている。</p>	<p>堤防のレベル2地震の耐震性評価手法は地震による堤防の変形を精度よく予測し、変形後の治水安全度(堤体高、幅)について評価する必要がある。</p> <p>河川構造物の確保すべき耐震性は、「構造物の被害により河川水による堤内浸水等の二次災害を起こさないこと」を基本としており、構造物の若干の変形は許容するものとして評価している。したがって、河川構造物の耐震性評価法は、地盤・構造物系の地震時の安定性を評価するとともに、変形量を予測できる手法であることが望ましい。</p> <p>河川構造物(堤防)の主な耐震性評価法としては、表-1に示すものがある。</p> <p>このうち、被害事例に基づく変形予測法は使用が容易でかつ被害の程度を直接評価できるという利点を有する反面、一般性及び信頼性に限界がある。</p> <p>円弧すべりによる安定計算法は、計算が比較的容易であり、かつ、これまである程度の適用性の確認がなされているが、本来、被害の程度を評価できる手法ではないため、変形量を予測するには限界がある。</p> <p>残る2つの方法は、解析的に変形量を予測する手法である。</p> <p>有限要素法による土構造物の変形解析法は、有効応力法による動的応答解析と全応力法による動的・静的解析に大別される。両者とも、応力~ひずみ関係の設定方法等により、多くの手法が提案されているが、現地への適用性も踏まえた十分な評価はなされていないのが現状である。また、解析においては多くの入力データが必要であり、それらの入力データを取得するためには数多くの高度な土質試験が必要であるので、簡便さに欠けること等が大きいがある。</p> <p>一方、最小エネルギー原理に基づく永久変形解析は、液状化した地盤のひずみエネルギーと位置エネルギーの合計を全ポテンシャルエネルギーと考え、これが最小になる状態で変位が止まるものとして、可能最大変位量を求める。次いで、流動する地盤の運動エネルギーと散逸エネルギー、およびポテンシャルエネルギーを運動方程式に代入し、変位の時間変化を求める手法である。過去の模型実験等によると振動終了とともに地盤流動も停止することが多く、変位の時刻歴を考慮することが必要である。この手法は、堤体形状、液状化層厚、液状化抵抗率、非液状化層の弾性係数等、比較的少ないデータから、堤防天端の沈下量や法尻部の水平移動量を計算することができるが、液状化後の有効な流動継続時間の設定方法などに課題を残している。</p>	<p>特に主要厚の高い堤防(堤体の破壊が直接堤内浸水へ至る場合)については、レベル2地震時の安全性を確認しておく事が望ましいが、FEM動的解析を常に実行する事は困難である。地盤種別、堤防形状毎に標準的断面を仮定して数ケースを行い、パターン毎に判定可能な様にすることが必要である。</p>
<p>2) 土構造物(自立式特殊堤)</p>	<p>震度法による耐震設計(レベル1)</p>	<p>自立式特殊堤防は、偏土圧、水圧を受ける構造物である。過去の震災事例を見ると、液状化が主な原因で損傷している。レベル2地震に対する保有水平耐力照査を行う際には、土圧、水圧、液状化した地盤の強度等を推定する必要がある。土圧強度はクーロン・物部式ではレベル2地震に適用できない。</p>	<p>地震時及び液状化槽の土圧強度計算式の確立</p>
<p>3) 高規格堤防</p>	<p>震度法による耐震設計(レベル1)</p>	<p>高規格堤防は、断面の形状からしてレベル2地震時においても全面的に崩壊する事は考えられないが、土造成上の家屋について耐震性を保障したものではない。</p>	<p>高規格堤防のレベル2地震時に想定される変形予測が可能であれば(上記土堤と同じ(造成地盤上の被害予測、及びP R Rが可能となる。今後の研究課題。</p>

提言を実務設計に反映させるための方法と課題の検討 <河川・砂防(3)>

検討項目	現 状	問題点・対応方針案	今 後 の 課 題
4) 水門 (防潮水門)	震度法による許容応力度設計法 (レベル1)	<p>防潮水門は、地震直後に津波が発生した場合に、直ちにその機能が必要とされる施設であり、レベル2地震時での水平耐力を照査する必要がある。防潮水門は、津波による水平力が非常に大きい為、レベル2地震における水平耐力を有する設計は充分可能と考えられる。地震時の保有水平耐力照査法は、改定が予定される道路橋示方書によるものとすするが、水門の場合、以下の問題がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 水門の上に荷重の大きいゲート及び上屋がある為、一質点系構造物としての固有周期が求まらない。非線型動解を実施する必要がある。 ② 土木構造物のみでなく、ゲート、巻上機の耐震性についてチェックする必要がある。 	<p>機電設備の免震構造の検討</p>
5) 樋門・樋管	地上部のみ震度法による耐震設計 (レベル1)	<p>樋門・樋管は地上部の門柱、操作室については、耐震設計を行なう事が可能と思われる。(レベル1, レベル2保有水平耐力照査)しかし、本来、樋門、樋管の地震時の挙動は堤防との相互作用を考慮して函体継手部の照査を行なうべきである。</p>	<p>堤体の変形と函体の相互作用力の確認 (模型実験等)</p>