

仙台市の導・送・配水本管の被害

- 導、送、配水本管の被害箇所数:10箇所
 - ダクタイトイル鉄管K型継手:4箇所
 - ダクタイトイル鉄管A型継手:4箇所
 - ダクタイトイル鉄管T型継手:1箇所
 - 鋼管:1箇所

- 属具被害:43箇所
 - 空気弁:41箇所
 - 仕切弁:1箇所
 - 消火栓:1箇所

空気弁の被害

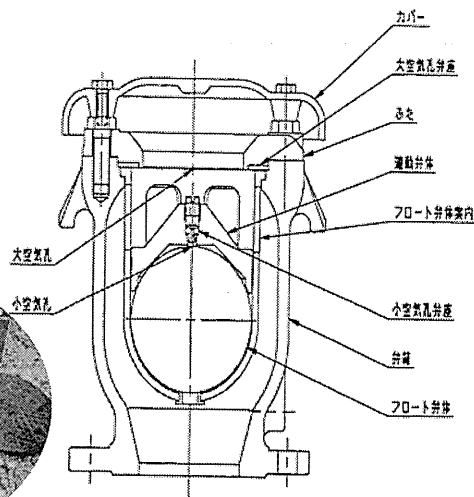
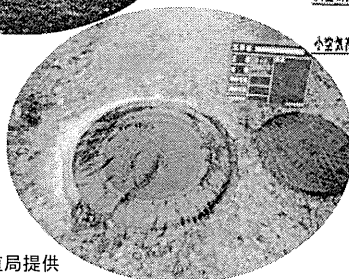
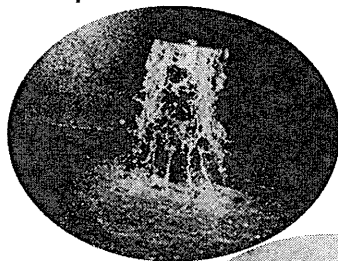


写真:仙台市水道局提供

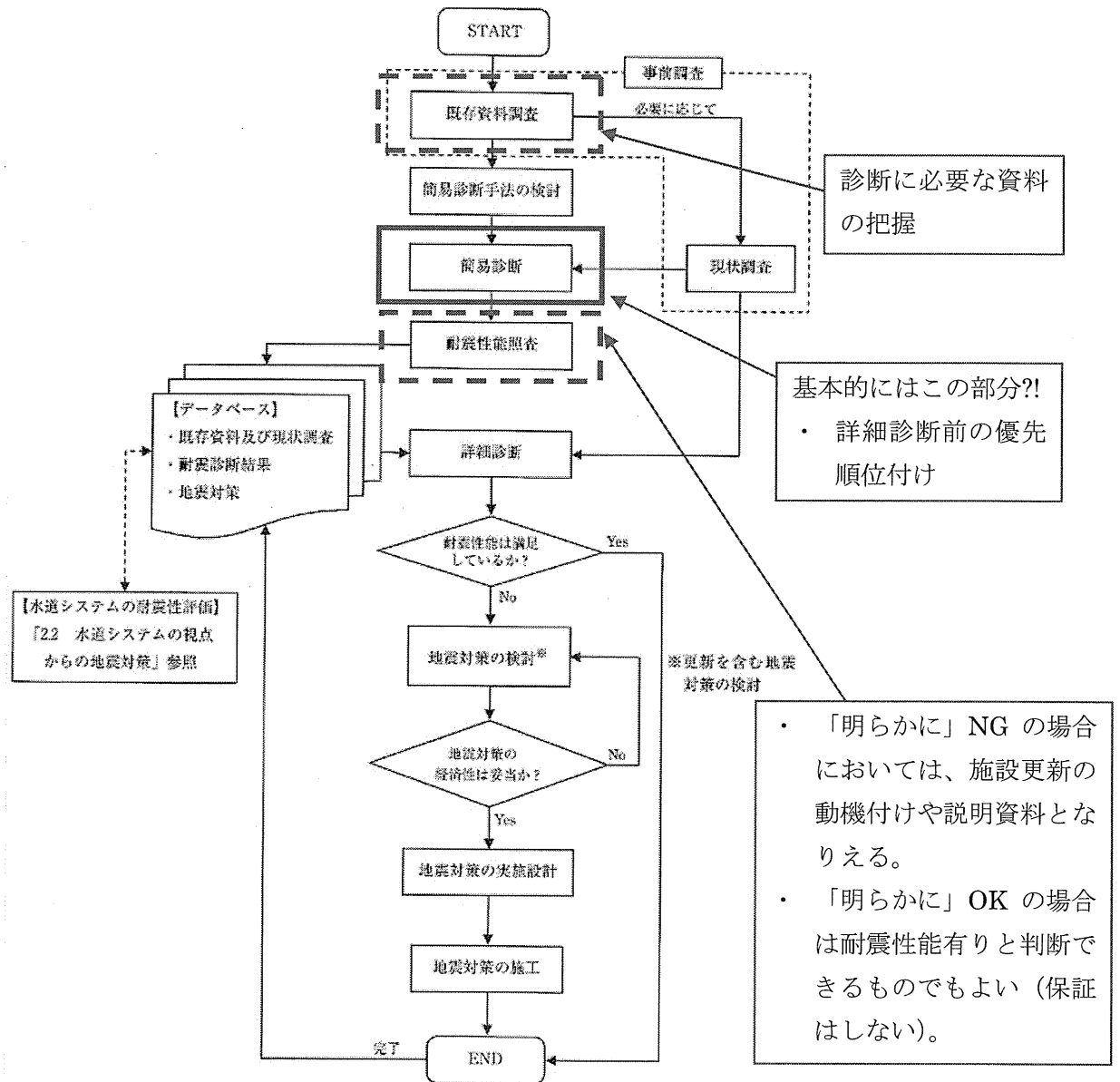
呼び図 75~200

被害の特徴

- 地震:地震動
地盤変形(液状化、道路盛土崩壊、
斜面崩壊など)
- 津波:流出(水圧、漂流物衝突)
水没(浮上、機能損失)
地盤変形(洗掘、盛土流出など)

4.3 簡易耐震診断の改善手法案の検討

4.3.1 簡易診断法の位置づけ



一般的な耐震診断等の流れ図（2009 水耐指針抜粋）

○期待される成果

－詳細診断の優先順位付け

－老朽化施設の更新への動機付け

4.3.2 簡易診断手法

(1) 現行の簡易診断表

現行の簡易診断表は以下のとおり。

取水堰、深井戸、配水塔／取水塔、浅井戸、取水門、開渠／暗渠、導水隧道、ポンプ設備、無蓋池状構造物（沈殿池、着水池、ろ過池等）、有蓋池状構造物（浄水池、配水池等）、PCタンク、高架水槽、独立水管橋（鋼管）、添架管（鋼管）、独立水管橋（ダクタイル鋳鉄管／鋳鉄管）、添架管（ダクタイル鋳鉄管／鋳鉄管） 計16種

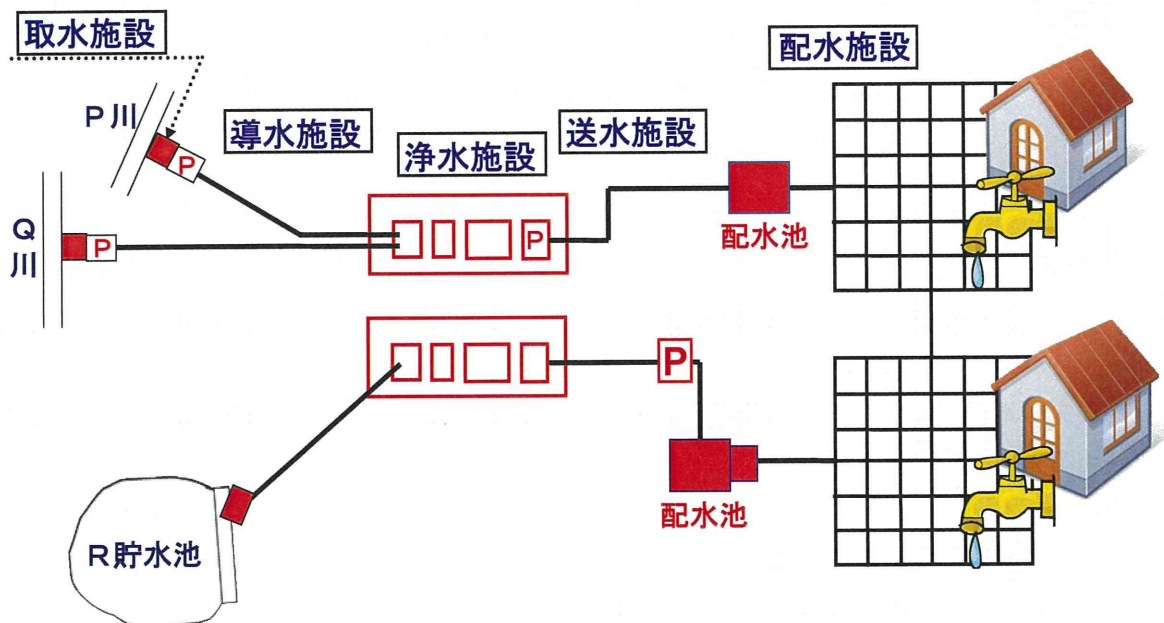
(2) 対象施設

本研究の対象施設は取水施設を含む浄水施設が主たる対象となる。管路及び独立水管橋、添架管は対象外。

また、現行の簡易耐震診断表を合わせて鑑みると以下の点に配慮する必要あり。

- ・個別の診断表には以下のものを検討する必要有り。

- 場内配管（東日本大震災も鑑み）
- 建築（建築設備は除外）
- 機械・電気設備

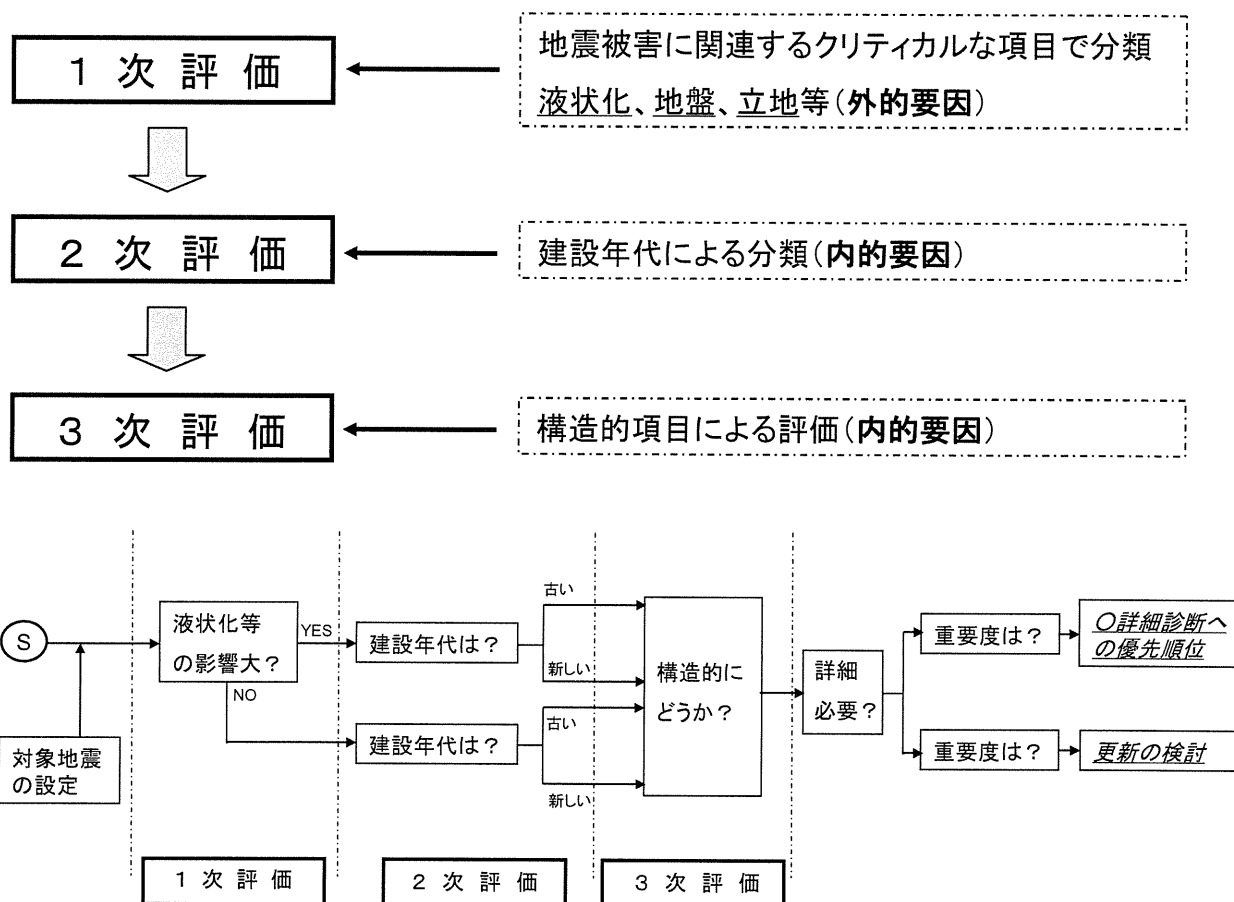


診断対象イメージ（赤部分が対象）

(3) 個別の簡易耐震診断手法の検討の仕方

1) 基本方針案

既存の簡易耐震診断表を基本とはするが、被害実態を踏まえ、簡易診断を何階かの階層にわけた評価手法が考えられる。



2) 1次評価

地震による構造物への被害は、液状化、地盤、立地等の外的要因による被害が多数であることが想像できるため、まず外的要因による分類を行う。

過去の地震による、浄水施設等への被害実績を主な根拠としつつ、詳細診断による耐震性判定を補助的に考慮する。

【過去の地震による被害実績】

①兵庫県南部地震（1995年1月17日）

「水道施設耐震工法指針・解説 1997年版（社団法人日本水道協会）」、「水道施設耐震工法指針・解説 2009年版（社団法人日本水道協会）」及び「地震による水道被害の予測及び探査に関する技術開発研究（財団法人水道技術研究センター）平成12年3月」を参考

に浄水場等の構造物における被害実績をまとめる。

「水道施設耐震工法指針・解説 1997 年版」

- －池状コンクリート構造物の伸縮目地の拡大やクラックの発生による漏水や沈殿池傾斜板（管）の脱落が顕著であり、特に液状化や地盤の側方流動による杭基礎の沈下による構造物の変形が経年化したものに目立つ。
- －周辺の岩盤崩落により取水施設が埋没し、機能停止

「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版」

- －躯体の被害は、推定最大水平加速度が 500gal 以上の箇所が発生しているが、良好な地盤で地盤沈下等が認められなかった箇所では顕著でない。
- －地盤沈下等が認められた箇所でも、昭和 55 年以降の建設施設に被害は少ない。
- －躯体の被害は比較的大きい施設に多く、目地の開き・クラックなどが発生している。
- －水中の機器に関する被害は、傾斜管・スラッジ掻寄機の脱落が多く、また躯体に被害が生じた場合に顕著である。

「地震による水道被害の予測及び探査に関する技術開発研究」

- －液状化を生じると、施設のほとんどが被害を受けている。
(液状化なしの部分でも被害は生じているが、被害率でいうと顕著である)
- －埋立地・盛土における被害が比較的多い。ただし、施工地盤については、基礎構造との因果関係が深く、現在の基準では杭基礎とする箇所でも、建設当時の構造基準では直接基礎として設計されていることがあるため、施工地盤のみに要因があるわけではない。

項目	範 疇	被害があった箇所		被害がなかった箇所		全体数	
		被害あり	比率	被害なし	比率	全体	比率
地 盤	I 種	7	26.9% (7/26)	19	73.1% (19/26)	26	29.9% (26/87)
	II 種	13	24.5% (13/53)	40	75.5% (40/53)	53	60.9% (53/87)
	III 種	6	75.0% (6/8)	2	25.0% (2/8)	8	9.2% (8/87)
液状化	なし	22	26.8% (22/82)	60	73.2% (60/82)	82	94.3% (82/87)
	あり	4	80.0% (4/5)	1	20.0% (1/5)	5	5.7% (5/87)
施工地盤	地山・切土	16	28.1% (16/57)	41	71.9% (41/57)	57	65.5% (57/87)
	傾斜地	3	18.8% (3/16)	13	81.3% (13/16)	16	18.4% (16/87)
	山頂	0	0.0% (0/1)	1	100.0% (1/1)	1	1.1% (1/87)
	埋立地・盛土	7	53.8% (7/13)	6	46.2% (6/13)	13	14.9% (13/87)
基礎工	杭あり	11	49.3% (11/22)	15	57.7% (15/26)	26	29.9% (26/87)

②新潟県中越地震（2004 年 10 月 23 日）

「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版（社団法人日本水道協会）」、「新潟県中越地震水道被害調査報告書（厚生労働省健康局水道課）」及び「新潟県中越地震水道被害調査報告書_長岡市山古志地域編（厚生労働省健康局水道課）」を参考に浄水場等の構造物における被害実績をまとめる。

- ―大規模施設の被害は、伸縮目地の破損やクラックからの漏水など比較的軽微なものが多く、通水が停止するような大被害はない。ただし、地盤沈下による場内各種埋設配管の漏水、躯体伸縮継ぎ手部、附帯構造物、設備廻りの配管に被害が発生している。地盤沈下は、最大で 50cm 以上生じている他、墳砂跡も散見され、液状化の影響も受けたと想定される。
- ―小規模施設では、周辺地盤の崩壊や滑動により構造物が移動や沈下して、機能停止する被害が生じている。

③能登半島地震（2007年3月25日）

「水道施設耐震工法指針・解説 2009年版（社団法人日本水道協会）」及び「平成19年能登半島地震水道施設被害等調査報告書（厚生労働省健康局水道課）」を参考に浄水場等の構造物における被害実績をまとめる。

- ―構造物の主な施設としては、2基の配水施設のステンレスパネルタンクの損傷が挙げられる。過去の地震では、斜面崩壊の影響により機能停止する配水池の被害事例はあったが、地震動により配水池本体が損傷し、機能停止した配水池の被害事例は少ない。

④新潟県中越沖地震（2007年7月16日）

「水道施設耐震工法指針・解説 2009年版（社団法人日本水道協会）」及び「平成19年新潟県中越沖地震水道施設被害等調査報告書（厚生労働省健康局水道課）」を参考に浄水場等の構造物における被害実績をまとめる。

- ―構造物への被害は比較的軽微であったが、構造物埋込み配管と埋設配管との取合い点で抜け出しが発生、越流管の破損等の被害があった。

⑤岩手・宮城内陸地震（2008年6月14日）

「平成20年岩手・宮城内陸地震水道施設被害等調査報告書（厚生労働省健康局水道課）」を参考に浄水場等の構造物における被害実績をまとめる。

- ―中山間部を直撃したため、地割れや斜面崩壊の発生が特徴的で、浄水場の緩速ろ過装置の沈下や水源地の埋没・崩壊等による水源の枯渇・濁りなどの事例が見られた。

⑥東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）

本研究による被害実態調査、「平成23年東日本大震災水道施設被害等現地調査団報告書（厚生労働省健康局水道課）」及び「東日本大震災_浄水技術等支援チーム_現地調査報

告書（水道技術研究センター）」を参考に浄水場等の構造物における被害実績をまとめる。

—液状化が発生した浄水場では、液状化による地盤沈下等により構造物、場内連絡管等に甚大な被害が発生した。石巻地方広域水道企業団の蛇田浄水場、神崎町の神宿浄水場、茨城県企業局の鰐川浄水場が事例として挙げられる。

—液状化が発生しなかった池状構造物では、エキスパンションジョイントの損傷、壁クラック等からの漏水、場内連絡管との接続部の被害は発生したが、躯体の損傷により機能停止に至るような被害は発生しなかった。ただし、一関市の高架配水池については、本震による下部の損傷、余震による下部の崩壊により、倒壊した。

—多くの構造物はレベル2地震動に非対応であったと推察されるが被害が軽微であった。特に、仙台市の茂庭浄水場においては、平成22年度に実施した耐震診断では耐震性が低いと判断された施設であっても、施設運用に支障が生じるような被害が発生していない。

【詳細診断による耐震性判定】

詳細診断において、液状化が発生する可能性有り と判定された構造物において、診断結果が耐震性有り or 無しの因果関係を検討し、1次評価の補助的根拠とする。

水道施設は河川近傍の浄水場を除いて、比較的の良い地盤に建設されることが多いと推察されるため、液状化判定において液状化しないと判定される場合が多い可能性はある。

【参考】液状化の判定を行う必要がある砂質土層（水耐指針 2009）

沖積層の砂質土層で以下の 3 つの条件すべてに該当する場合には、地震時に水道施設に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、液状化判定を行わなければならない。

- ・地下水位が現地盤面から 10 以浅にあり、かつ、現地盤面から 25m 以内の深さに存在する飽和土層
- ・細粒分含有率 FC が 35%以下の土層、又は、FC 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

3) 2次評価

耐震性の照査は、その時々基準により評価されるものである。すなわち、構造物の耐震性は、現行の基準と設計、施工時とを照らし合わせることで推測が可能である。

各種基準、指針の変遷を主な根拠としつつ、過去の地震による浄水施設等への被害実績及び詳細診断による耐震性判定を補助的に考慮する。

【各種基準、指針の変遷】

①RC 構造物

「水道施設耐震工法指針・解説」の改訂を基準にする。

同指針・解説の改訂においてポイントとなるのは、1997年の改正におけるレベル2地震動を用いた耐震水準の設定であると考ええる。2009年版同指針・解説においても同様の耐震水準設定がなされるため（静的解析を行う場合）、現行の指針での耐震性照査を実施した場合、1996年以前に設計、施工された構造物の大部分は耐震性なしと判断される。ただし、1979年改正以降の構造物でも、比較的小規模な施設は池面積に対して壁量が多く剛性が高いため、現行の指針での耐震性照査を実施した場合でも耐震性ありと判断される場合もある（詳細診断結果の考慮）。

すなわち、2次評価での分岐点としては、1997年、1979年並びに同指針・解説が発行された1953年が挙げられる。また、本研究においては、「更新」への道筋を示すことを意図しているため、耐用年数についても考慮にいれる必要がある。

表-2.3.1 施設重要度別の保持すべき耐震性能（レベル1地震動）

重要度の区分	耐震性能1	耐震性能2	耐震性能3
ランクA1の水道施設	○	-	-
ランクA2の水道施設	○	-	-
ランクBの水道施設	-	○	△

△：ランクBの水道施設のうち、構造的な損傷が一部あるが、断面修復等によって機能回復が図れる施設に適用

表-2.3.2 施設重要度別の保持すべき耐震性能（レベル2地震動）

重要度の区分	耐震性能1	耐震性能2	耐震性能3
ランクA1の水道施設	-	○	-
ランクA2の水道施設	-	-	○
ランクBの水道施設	-	-	※

※：ここでは保持すべき耐震性能は規定しないが、厚労省令では、「断水やその他の給水への影響ができるだけ少なくなるとともに、速やかな復旧ができるよう配慮されていること」と規定している。

耐震性能1：地震によって健全な機能を損なわない性能

耐震性能2：地震によって生じる損傷が軽微であって、地震後に必要とする修復が軽微なものにとどまり、機能に重大な影響を及ぼさない性能

耐震性能3：地震によって生じる損傷が軽微であって、地震後に修復を必要とするが、機能に重大な影響を及ぼさない性能

水道施設の重要度は、表-2.3.3の区分を基本とする。

表-2.3.3 水道施設の重要度の区分

水道施設の重要度の区分	対象となる水道施設
ランクA1の水道施設	表-2.3.4に示す重要な水道施設のうち、ランクA2の水道施設以外の水道施設
ランクA2の水道施設	表-2.3.4に示す重要な水道施設のうち、次の1)及び2)のいずれにも該当する水道施設 1) 代替施設がある水道施設 2) 破損した場合に重大な二次被害を生ずるおそれが低い水道施設
ランクBの水道施設	上記ランクA1、ランクA2以外の水道施設

表-2.3.4 重要な水道施設

重要な水道施設	(1) 取水施設、貯水施設、導水施設、浄水施設及び送水施設 (2) 配水施設のうち、破損した場合に重大な二次被害を生ずるおそれが高いもの (3) 配水施設のうち、(2)の施設以外の施設であって、次に掲げるもの (i) 配水本管（配水管のうち、給水管の分岐のないものをいう。以下同じ。） (ii) 配水本管に接続するポンプ場 (iii) 配水本管に接続する配水池等（配水池及び配水のために容量を調節する設備をいう。以下同じ。） (iv) 配水本管を有しない水道における最大容量を有する配水池等
---------	---

施設重要度別の保持すべき耐震性能（水耐指針 2009 抜粋）

②PC タンク

「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説」を基準とする。

基本的には RC 構造物の考え方と同様でよいと考えるが、同指針・解説によれば、「既存の PC タンクの耐震診断のうち、構造系の耐震診断は、水道施設耐震工法指針・解説（1979）又は水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書（1980）に基づいて設計された容量 15,000m³以下の PC タンクについては、これを省略してもよい」とされているため、現行の同指針・解説の発行年である 1997 年と 1980 年が分岐点となると考える。

表 4.3.1 耐震工法に関する主な規準・示方書の変遷 (1) (水耐指針 2009 抜粋)

	池状構造物	PCタンク	鋼製タンク	埋設管路	水管橋	備考
1920						1916(T5) 震度法概念が提案される
1930						1923(T12) 関東大震災(M7.9)
1940						・強度不足による被害
1950						1948(S23) 福井地震(M7.1)
						・強度不足による被害
						・水道施設の被害が甚大
1960	1953(S28) 「水道施設の耐震工法」発行 ・震度法の採用($k_0=0.1 \sim 0.3$) ・地震時土圧・水圧を考慮 ・高架水槽の設計震度割増					
1970	1966(S41) 「水道施設の耐震工法」 一部改訂					1964(S39) 新潟地震(M7.5) ・液状化被害の認識 1968(S43) 十勝沖地震(M8.1) ・せん断破壊現象
1980	1979(S54) 「水道施設耐震工法指針・解説」 ・ $k_0=0.1 \sim 0.3$ (標準水平震度は0.2を下回らない) ・応答変位法、動的解析法の採用 ・地震時の地盤変位、構造物の慣性力、地震時動水圧、液面揺動を考慮	同左 ・構造計算例 で $k_0=0.3$		1977(S52) 「水道用埋設鋼管路耐震設計指針」 ・応答変位法		1973(S48) 石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令 1977(S52) 新耐震設計法(案) 1977(S52) 地下埋設管路耐震継手の技術基準(案) 1978(S53) 宮城県沖地震(M7.1) ・PCタンクの損傷 ・RC橋脚の損傷
1990		1980(S55) 「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書」	1985(S60) 「鋼製石油貯槽の構造(全溶接性) JIS B 8501」改訂 ・耐震設計の必要性	1984(S59) ・SII、S形ダクタイル管路の設計	1981(S56) 「水管橋設計基準」 ・震度法、修正震度法	
2000	1997(H9) 「水道施設耐震工法指針・解説」改訂 ・新たな震度法(修正震度法と統合)、応答変位法、動的解析 ・レベル1、2地震動を用いた耐震水準の設定 ・材料の非線形性を考慮した構造物特性係数	1997(H9) 「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説」 ・地震に対する安全性検討の改定 ・構造物特性係数 ・耐震診断、補修・補強等を追加	1997(H9) 「鋼製配水池設計指針 WSP-063-97」 ・レベル1、2地震動の導入	1997(H9) 「水道用鋼管路における伸縮可接管」	1997(H9) 「水管橋設計基準(耐震設計編)」	1995(H7) 兵庫県南部地震(M7.3) ・土木・建築構造物に甚大な被害 2000(H12) 水道施設の技術的基準を定める省令
	2009(H21) 「水道施設耐震工法指針・解説」改訂 ・性能設計の導入 ・経済性照査の紹介			2006(H18) NS、SII、S形ダクタイル鉄管管路の設計		2003(H15) 十勝沖地震(M8.0) ・液面揺動による石油タンクの被害 2004(H16) 新潟県中越地震(M6.8) ・中山間地での孤立集落の発生 2007(H19) 新潟県中越沖地震(M6.8) ・相互応援体制の見直し 2008(H20) 水道施設の技術的基準を定める省令の一部改正

※ 本表では、耐震工法に関する主な規準・示方書の変遷の契機となった主な大地震を備考に示した。それ以外の大地震は、各論資料(表-Ⅲ.1)等を参照されたい。

表 4.3.2 耐震工法に関する主な規程・示方書の変遷 (2) (水耐指針 2009 抜粋)

	道路構造物	コンクリート標準示方書	基礎構造物	建築構造物
1920				
1930	1926(T15)「道路構造に関する細則案」 ・最強地震力を考慮			1924(T13)「市街化建築物法」改正 ・耐震計算の義務付 ($k_v=0.1$)
1940	1939(S14)「鋼道路橋示方書案」 ・水平加速度 0.2G ・鉛直加速度 0.1G	1931(S6)「コンクリート標準示方書」制定 ・ $k_h=0.2$ 、 $k_v=1/2k_h$		
1950				
1960				1950(S25)「建築基準法」制定 ・水平震度 0.2
1970			1961(S36)「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計篇」 ・水平荷重を考慮 1971(S46)「道路橋耐震設計指針」制定 ・地盤の液状化を考慮 1974(S49)「建築基礎規準」改訂 ・抗に水平力負担 1979(S54)「水道施設耐震工法指針・解説」 ・液状化検討及び対策 ・抗に水平力負担	
1980				
1990	1980(S55)「道路橋示方書 V耐震設計編」 制定 ・地震時変形性能の照査法	1986(S61)「コンクリート標準示方書 設計編」制定 ・限界状態設計法	1980(S55)「道路橋示方書 V耐震設計編」制定 ・液状化による土質定数低減	1981(S56)新耐震設計法(S55 建築基準法改定) ・保有水平耐力照査 ($C_d=1.0$)
1990	1990(H2)「道路橋示方書同解説 V耐震設計編」 ・地震時保有水平耐力照査(0.7~1.0G) 1996(H8)「道路橋示方書同解説 V耐震設計編」改訂 ・レベル1、2地震動	1996(H8)「コンクリート標準示方書 耐震設計編」制定 ・レベル1、2地震動	1996(H8)「道路橋示方書同解説 V耐震設計編」改訂 ・液状化判定に礫質土、流動化の影響を考慮	
2000	2002(H14)「道路橋示方書同解説 V耐震設計編」改訂 ・性能照査型示方書への移行		2000(H14)「道路橋示方書同解説 V耐震設計編」改訂 ・基礎においても地震時保有水平耐力法の考え方を導入	2005(H17)「消防法」改正 ・長周期地震動応答を最大 200kine レベルまで考慮

【過去の地震による被害実績】

①東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）

一関市の倒壊した高架配水池（沢配水池）は1978年に竣工しており、1979年の水道施設耐震工法指針改訂以前の構造物である。設計当時の設計基準より、基準設計水平震度は $K=0.3$ を用いていた。これに対し、現行の設計基準である水道施設耐震工法指針2009年版では、レベル2地震動に用いる設計水平震度 $K_h2=0.36$ （Ⅱ種地盤）を用いている。現行の設計基準で耐震照査した場合、沢配水池は構造耐力に問題があると評価される。

東北地方太平洋沖地震では、一関市において南北方向で900galを超える加速度が観測されており、設計時に想定した地震動を超えている。このため、倒壊に至ったと考えられる。

また、一関市が保有する配水池の多くは、沢配水池と同様PC構造であるが、東北地方太平洋沖地震により被災したのは沢配水池のみである。沢配水池と同じ高架水槽形式は4基、沢配水池（1978年）、東工業団地配水池（1982年）、八郎沢配水池（1991年）、鶴ヶ沢配水池（1992年）である。1979年の水道施設耐震工法指針改訂以前の構造物は、沢配水池のみである。

※1973年築造の関が沢配水池は、沢配水池以前に築造されているが、直置き構造であり被災を免れた。

※仙台市では1970年築造の茂庭浄水場の構造物が耐震診断では耐震性が低いと判断された施設であったが、施設運用に支障が生じるような被害が発生していない。

②兵庫県南部地震（1995年1月17日）

1953年～1966年に建設された施設の被害発生率（43%）が、1953年以前のもの（38%）よりも高い値となっているが、おおむね建設年代の古い施設の被害発生率が高い傾向を示している。また、1980年以降の施設については被害が発生していない。

項目	範 疇	被害があった箇所		被害がなかった箇所		全体数	
		被害あり	比率	被害なし	比率	全体	比率
地 盤	Ⅰ 種	7	26.9% (7/26)	19	73.1% (19/26)	26	29.9% (26/87)
	Ⅱ 種	13	24.5% (13/53)	40	75.5% (40/53)	53	60.9% (53/87)
	Ⅲ 種	6	75.0% (6/8)	2	25.0% (2/8)	8	9.2% (8/87)
液状化	なし	22	26.8% (22/82)	60	73.2% (60/82)	82	94.3% (82/87)
	あり	4	80.0% (4/5)	1	20.0% (1/5)	5	5.7% (5/87)
施工地盤	地山・切土	16	28.1% (16/57)	41	71.9% (41/57)	57	65.5% (57/87)
	傾斜地	3	18.8% (3/16)	13	81.3% (13/16)	16	18.4% (16/87)
	平地	0	0.0% (0/1)	1	100.0% (1/1)	1	3.8% (1/26)
建設年代	1953年以前	10	38.5% (10/26)	16	61.5% (16/26)	26	29.9% (26/87)
	1953～1966年	9	42.9% (9/21)	12	57.1% (12/21)	21	24.1% (21/87)
	1967～1980年	7	21.9% (7/32)	25	78.1% (25/32)	32	36.8% (32/87)
	1980年以降	0	0.0% (0/8)	8	100.0% (8/8)	8	9.2% (8/87)

4) 3次評価

構造評価（3次評価）で検討を要する項目を以下に挙げる

- ①現状の簡易診断表の分類が適正かどうか検討
- ②現状の簡易診断表の構造評価項目の照査及び過不足分の項目について検討
- ③現状の簡易診断表で用いられている重み付けの値について統計的に処理できるかどうかの検討

【検討方法】

現行の診断表の区分である浄水池、配水池、調整池等の有蓋池構造物（RC構造物）に限定して検討を進め、その結果をもって、その他の診断表についても検討する。

実際の詳細耐震診断結果及び水道施設耐震広報指針・解説を用いて、診断に必要な計算条件を整理し、さらに診断結果をまとめて、検討することとした。本資料での検討は要検討事項②が主である。

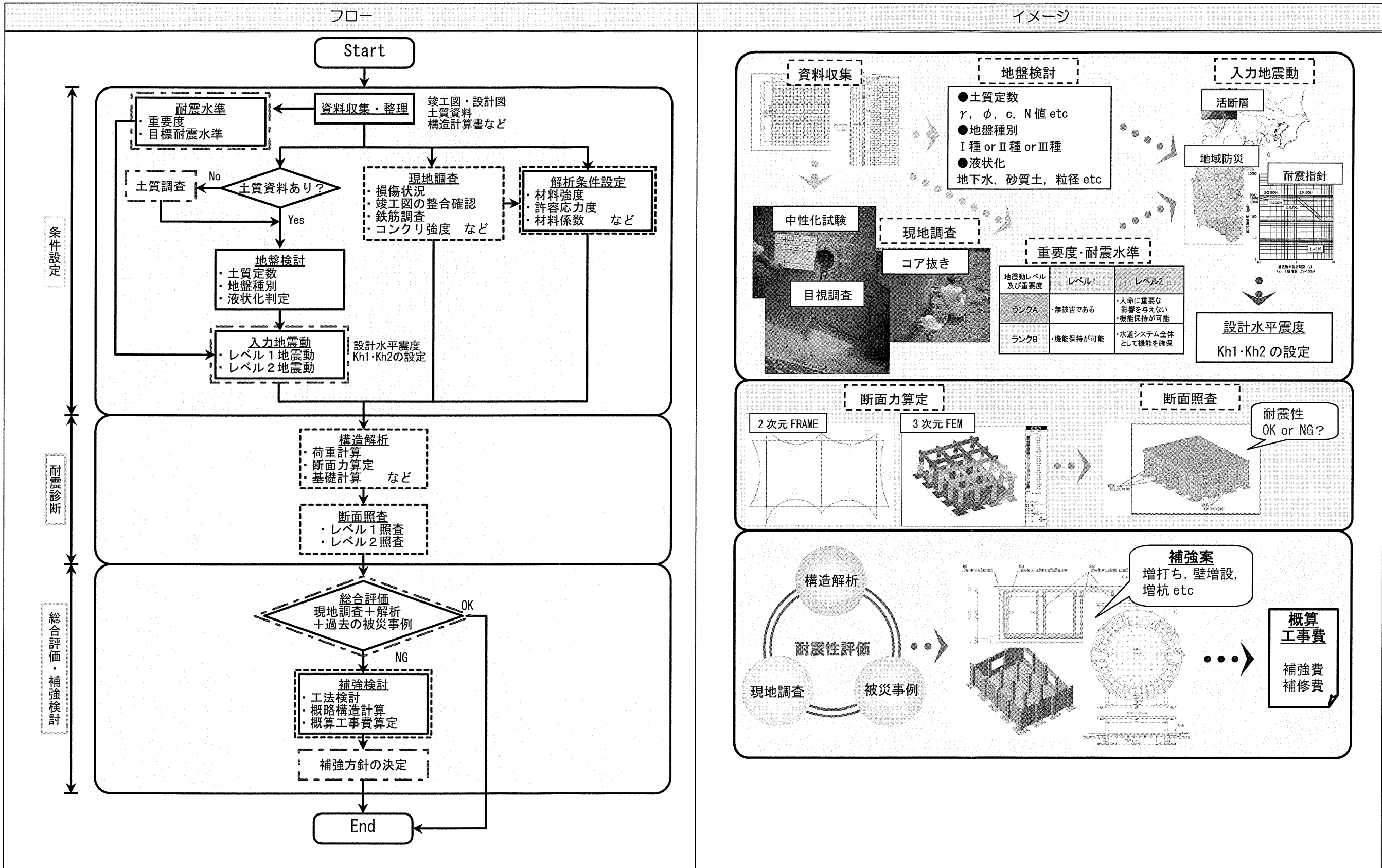
表 4.3.3 収集した詳細診断結果サンプル

施設名	建設年度	構造形式等	容量	水深	基礎形式	解析方法
A 浄水池	S55	RC_フラットスラブ(地下)	7,200m ³	4.5m	杭基礎	震度法
B 浄水池	H1	RC_フラットスラブ(地下)	5,000m ³	4.5m	直接基礎	震度法
C 浄水池	S52	RC_フラットスラブ(地下)	500m ³	4.3m	直接基礎	震度法
D 浄水池	S51	RC_フラットスラブ(地下)	300m ³	3.2m	直接基礎	震度法
E 配水池	S37	RC_壁(地下)	700m ³	3.5m	直接基礎	震度法
F 配水池	S52	RC_壁(半地下)	330m ³	3.5m	直接基礎	震度法
G 浄水池	S55	RC_壁(地下)	200m ³	2.7m	直接基礎	震度法

表 4.3.4 収集した新設設計サンプル

施設名	建設年度	構造形式等	容量	水深	基礎形式	解析方法
H 配水池		RC_フラットスラブ(地下)	32,600m ³	6.4m	直接基礎	震度法

①診断に必要な計算条件の整理
 ①-1 耐震診断の作業フローの例



①-2 評価項目の抽出

●基本条件や解析条件

構造解析を実施する上での基本条件や解析条件に係る項目を整理すると以下のとおりである。

- ①重要度：ランクA1、ランクA2、ランクB
⇒耐震水準の設定に必要
- ②耐震水準：重要度判定（ランクA1、ランクA2、ランクB）と地震動（レベル1、レベル2）の組み合わせにより耐震性能1、耐震性能2、耐震性能3を決定
⇒断面照査の条件設定に必要
- ③土質定数：N値、単位体積重量 γ_s 、内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c 、変形係数 E_0
⇒荷重計算、地盤種別判定、バネ定数計算に必要
- ④液状化判定：液状化の可能性判定
⇒土質定数低減率計算に必要
- ⑤地盤種別：Ⅰ種地盤、Ⅱ種地盤、Ⅲ種地盤
⇒設計地震動の設定に必要
- ⑥設計水平震度：地震動による水平方向の力、レベル1、レベル2
⇒地震が作用する荷重計算に必要
- ⑦構造物特性係数：構造物の塑性変形能力を考慮するための係数
⇒レベル2設計水平震度の算定に必要
- ⑧材料剛性等：材料強度、許容応力度、弾性係数、材料係数
⇒断面照査に必要
- ⑨荷重条件：水深、土被り
⇒満水、空水、実運用水位等、解析ケースを設定するために必要

●荷重の整理

構造解析に用いる「荷重」を整理すると以下のとおりである。

- ①固定荷重：躯体の自重
- ②上載荷重：人荷重、雪荷重、土荷重等
- ③土圧：地中深さに応じた地震時の土圧（震度法）
- ④地下水圧：地下水位に応じた水圧
- ⑤静水圧：内水位に応じた水圧
- ⑥動水圧：内水の地震時の水圧
- ⑦慣性力：固定荷重、上載荷重の慣性力
- ⑧応答変位土圧：地盤の応答変位による土圧（応答変位法）
- ⑨周面せん断力：地盤と構造物の間の相互作用力（応答変位法）
- ⑩バネ定数：地盤や基礎杭による水平、鉛直バネ定数

●照査事項の整理

上記の荷重を対象構造物に作用させ、各部材に発生する応力（断面力：曲げモーメント、せん断力、軸力）を求め、要求性能に沿った断面照査を実施する。断面照査に用いる照査項目は以下のとおりである。

例) 重要度 A1 の場合

レベル1：耐震性能1

$$\sigma_c \leq \sigma_{ca}, \quad \sigma_s \leq \sigma_{sa}, \quad \tau \leq \tau_a$$

σ_c ：コンクリートの圧縮応力度 σ_{ca} ：コンクリートの許容圧縮応力度

σ_s ：鉄筋の引張り応力度 σ_{sa} ：鉄筋の許容引張り応力度

τ ：コンクリートのせん断応力度 τ_a ：コンクリートの許容せん断応力度

レベル2：耐震性能2

曲げに対する照査 $M_d \leq M_u$

せん断に対する照査 $V_d \leq V_{yd}$

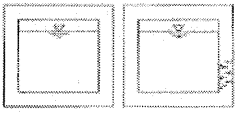
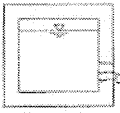
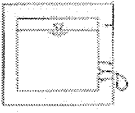
破壊モードの判定 $V_{mu}/V_d < 1.0$

M_u ：部材の曲げ耐力 (tf・m) M_d ：部材の設計曲げモーメント (tf・m)

V_d ：部材のせん断力 (tf) V_{yd} ：部材の設計せん断耐力 (tf)

l_a ：せん断スパン (= M_d/V_d) (m) $V_{mu} = M_u/l_a$

表 4.3.5 池状構造物 (RC) の耐震性能と照査基準 (水耐指針参考)

耐震性能	耐震性能1	耐震性能2	耐震性能3
限界状態 ^{※1}	限界状態1 (降伏耐力以下)	限界状態2 (最大耐力以下)	限界状態3 (終局変位以下、せん断耐力以下)
損傷状態			
照査項目例 ^{※2}	断面力 (曲げ、せん断)、応力度	断面力 (曲げ、せん断)、塑性率	変位量、曲率、断面力 (せん断)
照査用限界値例 ^{※3}	断面力 (曲げ) \leq 降伏曲げ耐力 断面力 (せん断) \leq せん断耐力 応力度 \leq 許容応力度	断面力 (曲げ) \leq 最大曲げ耐力 断面力 (せん断) \leq せん断耐力 塑性率 \leq 許容塑性率	変位量 \leq 終局変位量 曲率 \leq 終局曲率 断面力 (せん断) \leq せん断耐力
レベル1地震動	ランク A1、ランク A2	ランク B	-
レベル2地震動	-	ランク A1	ランク A2

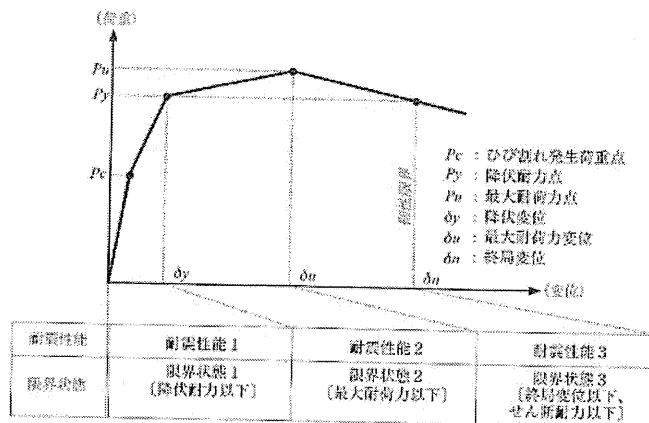


図 4.3.1 荷重・変位曲線に対応した耐震性能と限界状態 (水耐指針参考)

②詳細診断の実例

②-1 診断の流れ（震度法）（C 配水池を例に）別資料_資料 2-1 参照
 構造図及び解析断面

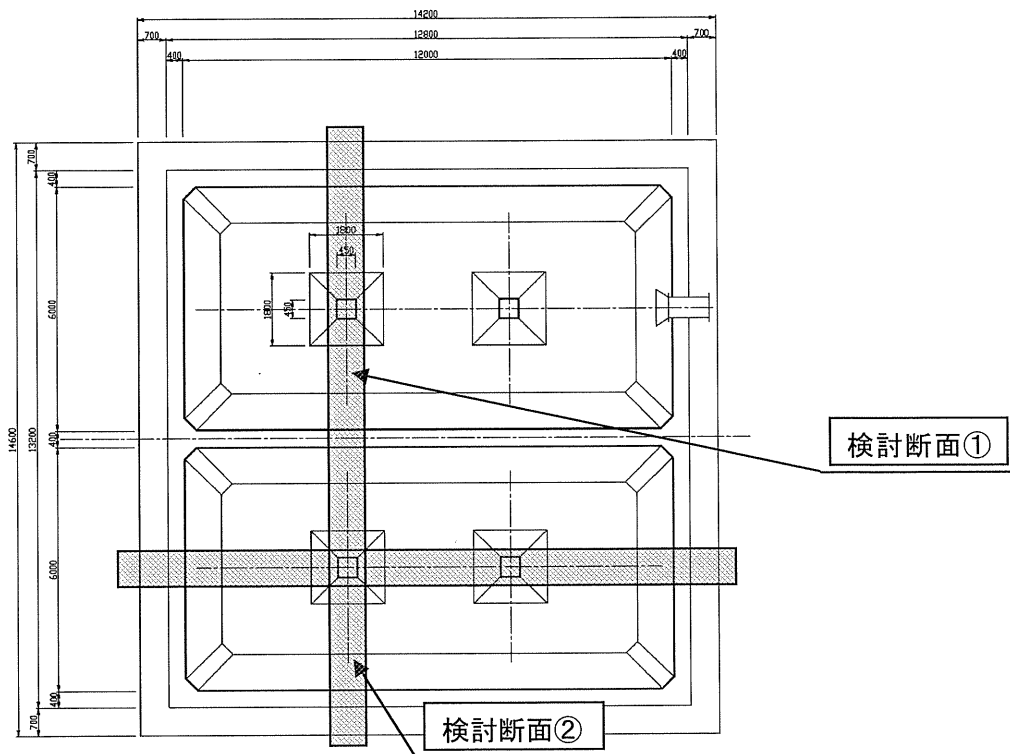


図 4.3.2 平面図及び解析断面

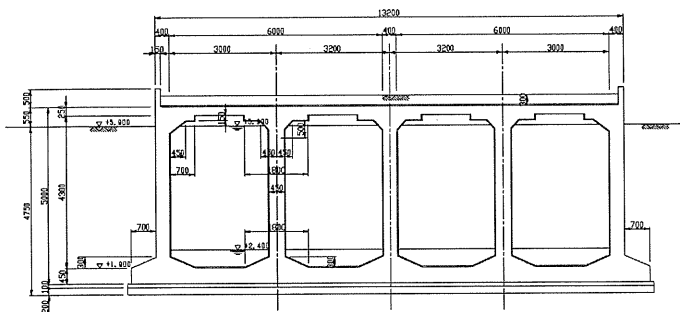


図 4.3.3 解析断面①

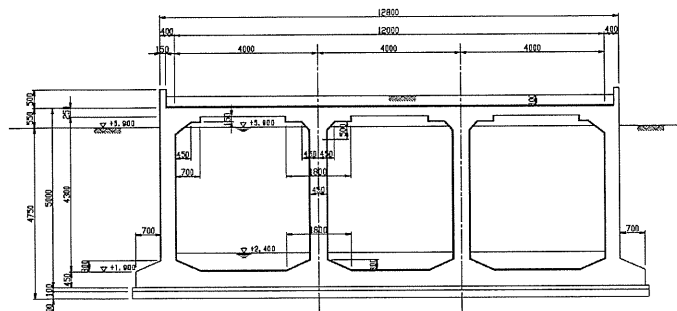


図 4.3.4 解析断面②

②-2 サンプル結果の整理

○A 浄水池

