

葛西給水所耐震補強工事の実施設計における水道施設耐震工法指針への適用について

五十嵐 徹¹・窪田 忠仁²

¹株式会社ニュージェック 都市・地域整備グループ グループマネジャー
(〒531-0074 大阪市北区本庄東二丁目3番20号)

E-mail: igarashitr@newjec.co.jp

²東京都水道局 建設部 管路設計課長
(〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号)

E-mail: kubota-tadahito@waterworks.metro.tokyo.jp

葛西給水所は、有効容量4万 m^3 、日最大配水量10.9万 m^3 /日の重要施設であり、配水ポンプ所を併設する給水所である。「水道施設耐震工法指針・解説」(1997年、日本水道協会、以下、前指針と呼ぶ)改訂以前の耐震基準である「水道施設耐震工法指針・解説」(1979年、日本水道協会)に基づき1991年8月に設計され、1998年5月に竣工している。本配水ポンプ所では、前指針に基づき2008年度に実施した耐震診断により耐震補強が必要であるとの結論となり、2009年度に耐震補強設計を行うこととなった。2009年7月に上記指針が改定となり(以下、新指針と呼ぶ)、新指針に準拠した設計とした。

このように、時系列的に3種類の指針に対して構造計算が実施された本施設について、各指針の相違点、動的解析法による検討結果の特性等について評価を行った。評価結果は、新指針により明記された部材の非線形解析の実施と3次元モデルにより側壁、耐震壁の影響を考慮することで耐震補強箇所を限定することができ、合理的な設計となることが確認された。また静的解析法と動的解析法の計算結果に大きな差違が無く、新指針に記載されているように、「平面規模に比べて鉛直高さが比較的小さく、対象施設のせん断剛性が大きく地震時の挙動も複雑でない」葛西給水所配水池については、静的解析法による解析で十分安全性が確認される構造物であることが確認された。

Key Words : *Water distribution station, Earthquake-resistant design, Three-dimensional structure
Dynamic analysis method*

1. はじめに

水道施設の耐震に関する指針については、1953年に「水道施設の耐震工法」¹⁾が発刊されたことに始まる。その後、1966年²⁾、1979年³⁾に改訂されている。葛西給水所はこの1979年版(以下旧指針と呼ぶ)に基づき1991年に設計された施設である。

その後、兵庫県南部地震での水道施設の被害状況を考慮して、1997年に改訂された水道施設耐震工法指針(以下前指針と呼ぶ)⁴⁾では、地震動の設定や水道構造物の耐震計算方法が大きく改訂された。他基準類の「コンクリート標準示方書」や「下水道施設の耐震基準」等も兵庫県南部地震以降改訂が行われている。具体的には、設計水平震度が地震の規模に合わせレベル1、レベル2の2段階となったこと、

レベル2地震動はこれまでの設計水平震度よりも大きな値となること、構造物の照査に限界状態設計法を用いることが挙げられる。東京都水道局では、この前指針に基づき、施設の耐震化を計画的に進めてきた。

葛西給水所もその一つである。葛西給水所は2008年度にこの前指針に準拠して耐震診断調査を行った結果を受け、配水池および管廊の耐震補強検討を2009年度に行うこととした。

検討年度途中7月に改訂された水道施設耐震工法指針(以下新指針と呼ぶ)⁵⁾では、主に【保持すべき耐震水準・耐震性能】、【設計地震動】等が変更された。さらにこの改訂では、動的解析手法を適用した設計を目指すこと、三次元の解析モデルによる検証解析の必要性などが記載され、この新指針に準拠

した補強について検討する必要性が生じた。以下、葛西給水所の耐震設計⁶⁾について、各指針の比較検討等について報告する。

表-1に水道の耐震設計指針と葛西給水所の耐震検討の変遷を示す。

表-1 水道の指針改定の変遷

年代	大規模地震	水道指針改定	葛西給水所
1952年 (昭和27年)	十勝地震		
1953年 (昭和28年)		【水道施設の耐震工法】 発刊	
1955年 (昭和29年)		【水道施設基準】 制定	
1956年 (昭和30年)		【水道施設基準解説】 発刊	
1964年 (昭和33年)	新潟地震		
1966年 (昭和34年)		【水道施設の耐震工法】 【水道施設基準解説】 改訂	
1977年 (昭和39年)		【水道施設設計指針・解説】 改訂	
1978年 (昭和40年)	宮城沖地震		
1979年 (昭和41年)		【水道施設耐震工法指針・解説】 改訂	
1990年 (平成2年)		【水道施設設計指針・解説】 改訂	
1991年 (平成3年)			当初設計
1995年 (平成7年)	兵庫県南部地震		
1997年 (平成9年)		【水道施設耐震工法指針・解説】 改訂	
1998年 (平成10年)			完成
2000年 (平成12年)	鳥取県西部地震	【水道施設設計指針・解説】 改訂	
2004年 (平成16年)	新潟県中越沖地震 十勝沖地震		
2007年 (平成19年)	新潟県中越沖地震		
2008年 (平成20年)			耐震診断年度
2009年 (平成21年)		【水道施設耐震工法指針・解説】 改訂	耐震補強設計年度
2011年 (平成23年)	東北地方太平洋沖地震		

2. 葛西給水所の概要

葛西給水所は、金町浄水場の浄水を東京都区部の東南部に位置する江戸川区南部地区（江戸川区の半分）に安定給水する拠点として機能してきた。有効容量4万 m^3 、日最大10.9万 m^3 /日の重要施設であり、配水ポンプ所を併設する給水所である。

地上建築物であるポンプ所と、地下構造物である1号配水池、2号配水池、管廊で構成されている。施設の配置を図-2に示す。配水池の上部は野球場および公園として整備され、一般に開放されている。



図-1 葛西給水所の位置

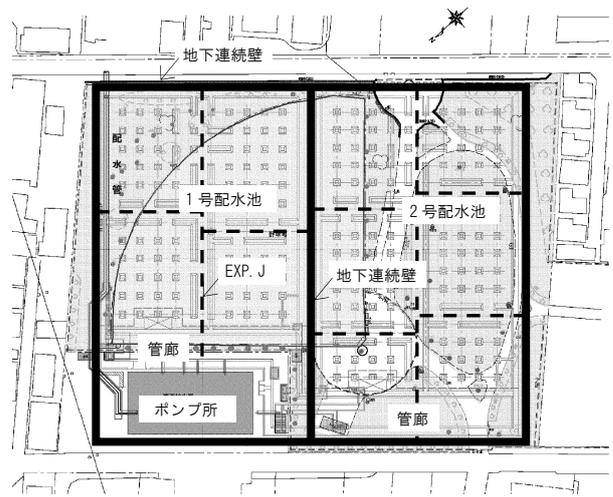


図-2 平面図

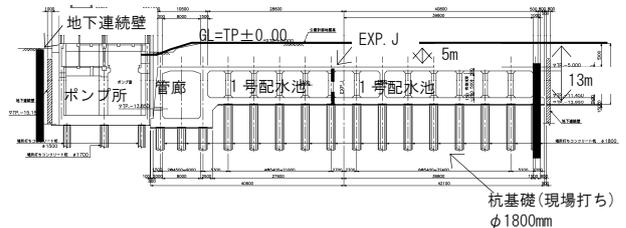


図-3 断面図

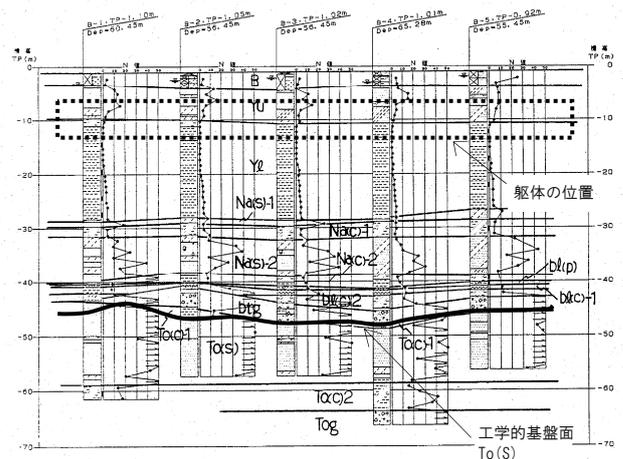


図-4 土層想定図

施設は図-3の断面図に示すように、施設頂板までの土被りは4m、底板下面までの深さは約13mとなっている。地表面標高はTP±0.00mである。図-4の土層想定図からわかるように、躯体は軟弱な沖積層である上部有楽町層 (Yu) 層のほぼ上面に位置する。上部有楽町層は細砂を主体とした均等係数の小さい単粒径地盤で、N値も小さく、地盤の液状化の可能性が高い地層であるが、TP-35~40mの地下連続壁で躯体周囲を取り囲み流動を拘束することにより液状化対策が実施されている。

洪積層のうち、TP-44~48m以深に分布する東京層の砂質土層(TO(S))は細砂~微細砂を主体とした地層で、N値はおおむね50以上を示し、層厚も5m以上有することから、この層を構造物の支持地盤としてφ1800mmの現場打ち鉄筋コンクリート杭が施工されている。

3. 葛西給水所の構造的特徴

葛西給水所は図-2に示すように、エキスパンションジョイント（以下、EXP.J）により、1号配水池は4ブロックに、2号配水池は6ブロックに分割されている。EXP.J沿いには、並行して耐震壁が設置されており、地震時に水平せん断力によるねじれ変形が生じないように考慮されている⁷⁾。

図-5には2号配水池の構造図を示す。

当初設計の構造計算書によると、躯体慣性力について壁（側壁および耐震壁）と柱とで50%ずつ負担することとしたうえで、軸通り毎に柱面積と耐震壁面積の比率により水平力分担率を設定している。結果として表-2に示すように、耐震壁が無く最も剛性の小さい計算断面(X軸方向ではX-7~10通り)では慣性力の分担率が約4%程度に設定されており、D値法⁸⁾を用いた耐震壁による水平力分担を考慮した設計となっている。

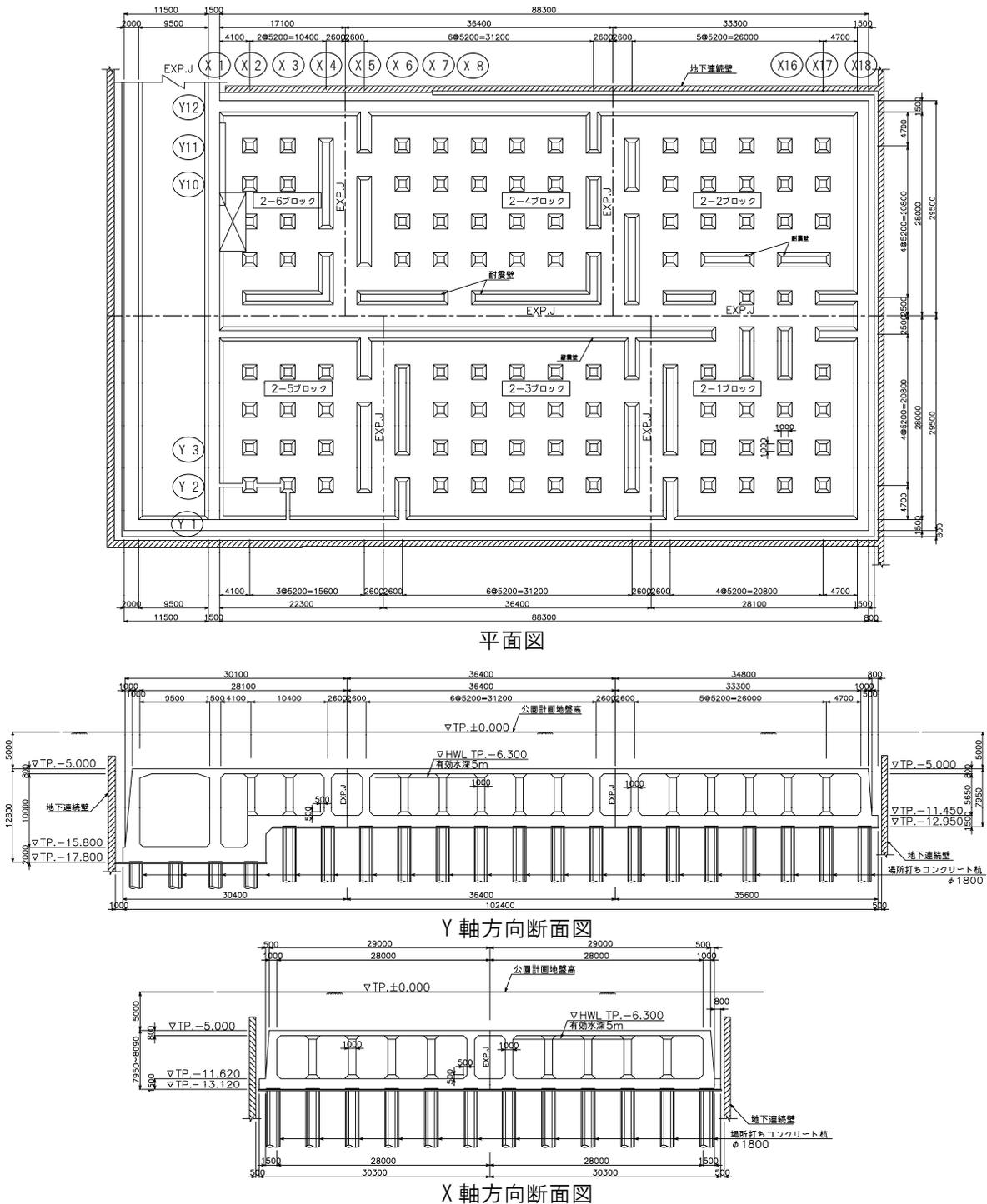


図-5 2号配水池構造図(上から平面図、Y軸方向断面図、X軸方向断面図)

4. 新指針への対応

表-2 慣性力分担(当初設計)

	2池側 X方向					
	D値(xDc)			分担率		
	壁	柱	計	壁	柱	計
X1	274	0	274	14.256	0.000	14.256
2	0	12	12	0.000	4.082	4.082
3	0	12	12	0.000	4.082	4.082
4	53	7	60	2.758	2.381	5.139
5	106	2	108	5.515	0.680	6.195
6	54	7	61	2.810	2.381	5.191
7	0	12	12	0.000	4.082	4.082
8	0	12	12	0.000	4.082	4.082
9	0	12	12	0.000	4.082	4.082
10	0	12	12	0.000	4.082	4.082
11	57	6	63	2.966	2.041	5.007
12	106	2	108	5.515	0.680	6.195
13	54	7	61	2.810	2.381	5.191
14	0	12	12	0.000	4.082	4.082
15	19	10	29	0.989	3.401	4.390
16	19	10	29	0.989	3.401	4.390
17	0	12	12	0.000	4.082	4.082
18	219	0	219	11.394	0.000	11.394
計	961	147	1108	50.002	50.002	100.004

当初設計構造計算書より抜粋

新指針においては、近年の地震工学の研究や科学技術の進展を踏まえ、単に工学的な面にとどまらず社会科学的な考え方を取り入れることに努められている。特に、「経済性照査の概念⁹⁾」が耐震設計に取り入れられたことは大きな特徴である。兵庫県南部地震後に得られた強震記録¹⁰⁾についても考慮されている。

葛西給水所耐震補強の設計には、新指針に準拠することとした。新指針の主な改訂点をまとめると以下ようになる。

- ・レベル1地震動の設定に経済性照査の概念が取り入れられた。
- ・性能規定型設計手法の採用
- ・重要度が高く規模の大きな施設は「動的解析法を用いてその耐震性を照査するのがよい」とされている。
- ・レベル2地震時の耐震性能を照査する場合に、非線形特性を適正に評価する。
- ・外周壁および耐震壁の効果を評価するため、三次元モデルによる検討が望ましい。
- ・前指針発刊後の強震記録を設計地震動の規模に採用してもよい。

表-3に、当初設計(平成3年度)、耐震診断(平成20年度)、今回の耐震補強設計(平成21年度)における、設計方法および耐震工法指針の比較をまとめた。

表-3 設計指針と設計方針の変遷

	当初設計	耐震診断	耐震補強設計
設計年度	詳細設計 平成3年度	耐震診断 平成20年度	耐震補強設計 平成21年度
準拠指針	1979版	1997版	新指針・解説2009
地震動の規模	<静的解析> 設計水平震度 Kh=0.24 道路標示方書・同解説 V耐震設計編	<静的解析> レベル1 Kh1=0.22 レベル2 非超過確率70% Kh2=0.40 非超過確率90% Kh2=0.58	<静的解析> 方法4 同左 <動的解析> 方法3 レベル2 K-net 柏崎NIG018 NⅢⅢ種 最大地表面加速度668gal
地震時土圧	<静的解析> 地震時土圧係数(岡部・物部式)	<静的解析> 応答変位法(新指針・解説)	<静的解析>同左 <動的解析>周辺地盤の1次元成層地盤応答解析(SHAKE)
3次元効果(外壁・耐震壁効果)	D値法によるフレーム剛性比によるせん断力分担率の設定(手計算)	考慮せず	3次元フレーム解析
耐震計算法	<静的解析> 震度法	<静的解析> 応答変位法(土圧)+動水圧+慣性力	<静的解析>同左 <動的解析>地盤応答解析(土圧)+動水圧+慣性力(時刻歴)
断面照査方法	許容応力度法	レベル1 許容応力度法 レベル2 限界状態設計法(終局耐力)	レベル1 許容応力度法 レベル2 限界状態設計法(終局耐力)
設計方法の比較	静的解析の位置付け	静的解析が標準	静的解析が標準
	地震動の規模	「新耐震設計法(建設省)」に準拠	レベル1 対象となる建造物の供用期間中に1~2回発生するレベルの地震動 レベル2 一般に水道施設がそのような地震動に遭遇する確率は低いが、水道施設に与える影響は極めて大きい
	耐震計算法	震度法・剛性が高く固有周期が短い(0.5秒以下)建造物 修正震度法・比較的剛性が低く固有周期の長い建造物 応答変位法・地下に埋設された線状建造物	震度法・地上建造物および剛性が高く(修正震度法含)固有周期が短い(0.5秒以下)建造物 応答変位法・地下に埋設された線状建造物。水槽類は埋設状況、固有周期をみて適用する。
	断面照査方法	許容応力度法	レベル1 許容応力度法 レベル2 限界状態設計法 曲げ耐力、せん断耐力、破壊モード判定
耐震工法指針の比較	静的解析法	当面的間は、比較的単純な建造物では静的解析による設計ができる。池状建造物の動的解析による耐震計算法は、その必要性を検討した上で目的を明確にして実施する。	当面的間は、比較的単純な建造物では静的解析による設計ができる。池状建造物の動的解析による耐震計算法は、その必要性を検討した上で目的を明確にして実施する。
	動的解析法	構造物の重要性、特殊な地盤条件や構造形式等の理由で、更に詳細な地震時挙動の解析が必要な場合は、静的解析の結果を動的解析によって検討する。	地上水槽は、震度法に加えて動的解析により安全性を照査することが望ましい。 地震時の挙動が複雑な建造物のレベル2の耐震設計を行う場合は必要に応じて動的解析を行い、震度法又は応答変位法による耐震設計結果を照査する。
動的解析法			<照査するのがよい池状建造物> ①重要度が高く規模が大きい ②複数の池状建造物が隣接して相互作用の影響が無視できない。 ③動的挙動が未解明な新技術、新構造形式、新工法を採用 ④池状建造物の周辺で地層の堆積状況が平面又は深さ方向に変化が大きい場合 ⑤地盤又は躯体や基礎杭の非線形応答を求めるとき

なお、新指針におけるレベル1およびレベル2地震動の設定方法は表-4および表-5に示す。

表-4 レベル1地震動の設定方法

設定方法	動的解析に用いる設計地震動	静的解析に用いる設計地震動
従来の方法を用いて設定する場合	線形解析を行う場合は、建設地点の地盤条件を用い、「総論解説編Ⅲ」に示す設計震度スペクトルフィッティングした時刻歴加速度波形を用いる。ただし、構造物の非線形性を考慮する場合には、当該地点と同様な地盤条件における観測記録で、「総論解説編Ⅲ」の設計震度と同等と見なせる時刻歴加速度波形を用いる。	建設地点の地盤条件及び構造物の固有周期を用い、「総論解説編Ⅲ」に示す設計震度を用いる。
経済性照査を用いて設定する場合	① 複数の設計震度を用いて、静的解析にて解析モデル(設計断面)を複数設定する。 ② 震源断層を想定した地震動評価による建設地点の地震動や、建設地点と同様な地盤条件で観測された強震記録の中で、震度5弱～震度6強程度を観測したものから複数の大きさの地震動を抽出する。 ③ ①で設定した解析モデルを対象に、②で抽出された複数の地震動の時刻歴加速度波形を入力した動的解析を行い、建設費及地震による被害等を指標とし、経済性照査を行う。 ④ ③の結果を用いてトータルコストが最小となる弾性限界を決め、これに基づいてレベル1地震動の設計震度とする。	① 複数の設計震度を用いて、静的解析にて解析モデル(設計断面)を複数設定する。 ② 震源断層を想定した地震動評価による建設地点の地震動や、建設地点と同様な地盤条件で観測された強震記録の中で、震度5弱～震度6強程度を観測したものから複数の大きさの地震動を抽出する。 ③ ①で設定した解析モデルを対象に、②で抽出された複数の地震動の時刻歴加速度波形を入力した動的解析を行い、建設費及地震による被害等を指標とし、経済性照査を行う。 ④ ③の結果を用いてトータルコストが最小となる弾性限界を決め、これに基づいてレベル1地震動の設計震度とする。

表-5 レベル2地震動の設定方法

設定方法	動的解析に用いる設計地震動	静的解析に用いる設計地震動
方法1	震源断層を想定した地震動評価を行い、当該地点での地震動を使用する。	地震動評価結果の地表面、工学的基盤面の時刻歴加速度波形、あるいは応答スペクトルを用いる。
方法2	地域防災計画等の想定地震動を使用する。	想定地震動の地表面、工学的基盤面の応答スペクトルを用いる。
方法3	当該地点と同様な地盤条件(地盤種類の地表面)における強震記録の中で、震度6強～震度7の記録を用いる。	強震記録の時刻歴加速度波形を用いる。
方法4	兵庫県南部地震の観測記録を基に設定された設計震度、設計応答スペクトル。	「総論解説編Ⅲ(97年版指針再掲部)」の設計応答スペクトルまたは、それに適合した時刻歴波形を用いる。

レベル1地震動の設定における経済性照査については、今回の耐震補強設計においてレベル2地震動に対して耐震性能2を保持するように耐震補強を行うことにより、地震後に必要な修復が軽微なものに止まることとなる。本配水池は2池分離構造であるため修復時には片池ずつの運転が可能で、大規模地震発生後も運転停止を伴わない。したがって、補強設計においては経済性照査の対象としなかった。

レベル2地震動については、計算の煩雑化を避けるため、また方法3として用いる同様な地盤条件(Ⅲ種地盤)の強震記録のスペクトル¹⁰⁾が方法4のスペクトルと同等またはそれ以下であるため、静的解析においては方法4を用いた。ただし、レベル2地震動において非超過確率70%と90%¹¹⁾の二種類を行うことで、ハザードの発生確率を考慮した地震動の設定を行った。

動的解析については、本配水池は平面規模に比べて鉛直高さが比較的小さいことから静的解析法を用いて耐震性評価を行ってもよい施設であるが、新指針が動的解析を基本としていることから、動的解析によるチェックを実施した。なお、動的解析に用いる波形は静的解析に用いた方法4のⅢ種地盤のスペクトルと類似性の高い「K-net柏崎NIGO18NS」¹⁰⁾を採用した。

以上の地震動設定の考え方により、前指針に準拠した耐震診断と等しい地震動を選択した。

解析手法については、対象構造物が地中構造物である事により地盤の地震時挙動の影響が支配的と考

え応答変位法を選択した。

応答変位法による耐震計算方法には、構造物をはりにモデル化し、これを周辺地盤との相互作用を表すバネで支持する計算法(はりーばねモデル)、構造物と地盤を有限要素モデルに置換する計算法があり、発生する曲げモーメントおよびせん断力が最大耐力力点以下となる耐震性能2の状態を照査するため、非線形解析を実施した。

前指針に準拠した耐震診断においても、同様に応答変位法による地震時土圧を外力として与え、非線形解析が採用されている。

当初設計においてはD値法を用いた変形抑制効果を考慮した設計とされていたが、耐震診断時はNG箇所を抽出する観点から2次元フレーム解析を採用している。

一方、本配水池は機能上、側壁をはじめ導流壁、隔壁及び耐震壁等の壁量が多く、立体的な剛性が大きい施設であるため、検討断面内や検討断面の奥行き方向に配置されている壁の影響を考慮する必要がある。

解析手法としては、二次元解析モデルの構造物の内空部分に薄肉板要素やブレス部材を配置するなどの方法がある。これらの方法を採用する場合には薄肉板要素やブレス剛性の評価が重要であるため、適用にあたっては三次元モデルによる検証解析等を含め十分な検討が必要である¹²⁾。

葛西給水所においては、当初設計時にはD値法により、各フレームの剛性を考慮した水平力分担を考慮した設計となっていた。

この方法においては計算ソフトによる三次元解析と比較して、分かりやすいが、以下の項目の解析がD値法による二次元フレーム解析の限界であり、構造の再現性が不十分であると考え今回の設計においては、三次元フレーム解析を採用した。

D値法による二次元フレーム解析での限界

- ・力の伝達は考慮できるが、EXP.J部の目開き、変位量の照査ができない。
- ・耐震壁が多いフラットスラブ構造の場合、柱列帯と柱間帯での曲げモーメントの分配が適切とされない可能性がある。

5. 計算方針の違いによる計算結果の比較

上述のように時系列的に3種類の指針に対して構造検討が実施された本施設について、設計条件の相違点、動的解析法による検討結果の特性等について評価を行った。

表-6に当初設計時、耐震診断時、補強設計時における設計条件の主な相違点を表-3から抽出した。

レベル1地震動については、当初設計は震度法による解析を採用しており道路橋示方書に示された地震時土圧を採用している。従って深くなるほど大きな土圧が側壁に作用することとなる。一方、耐震診断時、補強設計時は応答変位法による土圧を作用させ

ているため、深くなるほど小さな土圧が作用することとなる。設計水平震度には大きな差異はない。

表-6 設計条件の主な相違点

	地震時土圧	解析手法		三次元効果
		レベル1地震動	レベル2地震動	
当初設計	道路標示方書	線形解析	-	D値法
		Kh=0.24		
		許容応力度法		
耐震診断	応答変位法	線形解析	非線形解析	考慮無し
		Kh1=0.22	Kh2=0.40(非超過確率70%) Kh2=0.58(非超過確率90%)	
		許容応力度法	限界状態(終局)	
補強設計	応答変位法	線形解析	非線形解析	三次元フレーム解析
		Kh1=0.22	Kh2=0.40(非超過確率70%) Kh2=0.58(非超過確率90%)	
		許容応力度法	限界状態(終局)	

図-6および図-7はレベル1地震動について耐震診断結果と補強設計時の計算結果を示している。着色している柱部材でNGの判定となっている。結果、全ての柱が補強対象とされた。

耐震診断時は耐震壁の無いフレームを代表断面として計算し、耐震壁への水平力分担が考慮されていないことから、代表断面の計算結果を基に全ての軸通りで同一の評価がなされ補強範囲が多くなる。一方、補強設計時の解析結果は、三次元解析を採用したことから、側壁や耐震壁への水平力分担が考慮され、補強が必要な柱は耐震壁スパンの広いブロックに限定されている。なお、当初設計より若干小さな設計水平震度でNG箇所が発生しているのは、土圧の作用方法の違いによりフレーム上部への水平力が増加していることが原因である。

図-8は非超過確率を90%としたときのレベル2地震動(Kh2=0.58)について耐震診断時の計算結果を示している。着色している頂版、底版、柱部材でNGの判定となっている。耐震壁を除く配水池全体がNG判定となっている。なお非超過確率70%(Kh2=0.40)時においてもNG箇所は同様であった。

図-9はレベル2地震動について補強設計時の計算結果を示している。補強が必要な箇所はレベル1地震動時と同様に耐震壁スパンの広いブロックの外周壁と頂版に限定されている。なお非超過確率70%(Kh2=0.40)時においてもNG箇所は同様であった。

補強設計時の三次元解析において最大応力が発生した2号配水池のX9通りについて耐震診断時と補強設計時の発生曲げモーメントについて比較した結果を表-7に示す。頂版の上端部と側壁の中間部および下端部で発生応力が60%程度に軽減されていることがわかる。

柱部については若干軽減されている程度となった。

表-7 発生曲げモーメントの相違

部位	頂版			側壁			柱		
	左端部	支間部	右端部	上端部	中間部	下端部	上端部	中間部	下端部
耐震診断時	765	40	-1,462	-1,509	2,498	-3,108	-1,323	-165	1,558
補強設計時	767	40	-927	-1,769	1,545	-1,924	-1,154	-30	1,533
補強時/診断時	100%	100%	63%	117%	62%	62%	87%	18%	98%

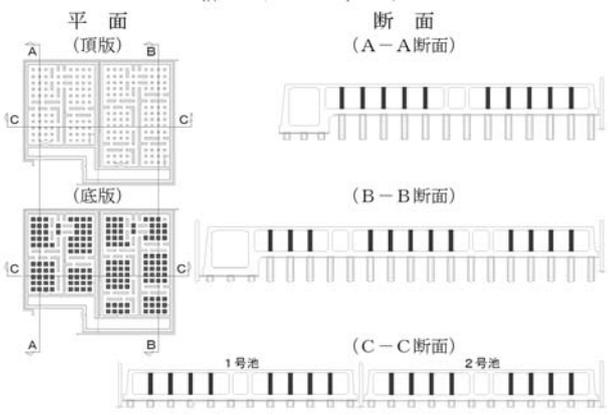


図-6 レベル1地震動 NG 箇所 (耐震診断時)

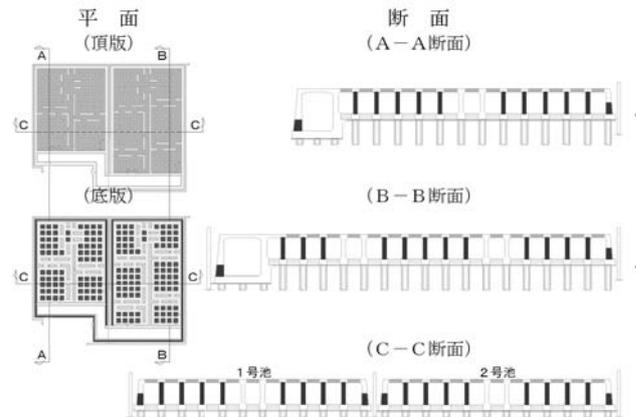


図-8 レベル2地震動 NG 箇所 (耐震診断時)

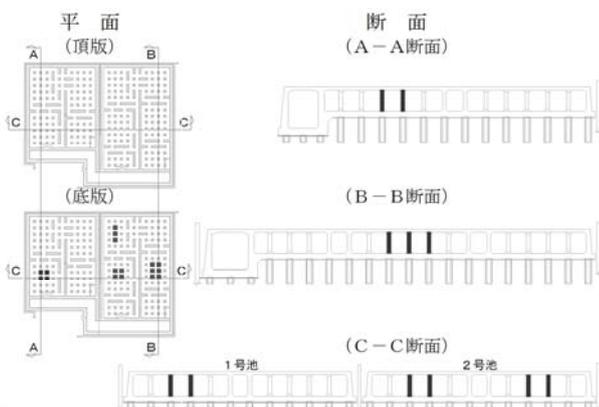


図-7 レベル1地震動 NG 箇所 (補強設計時)

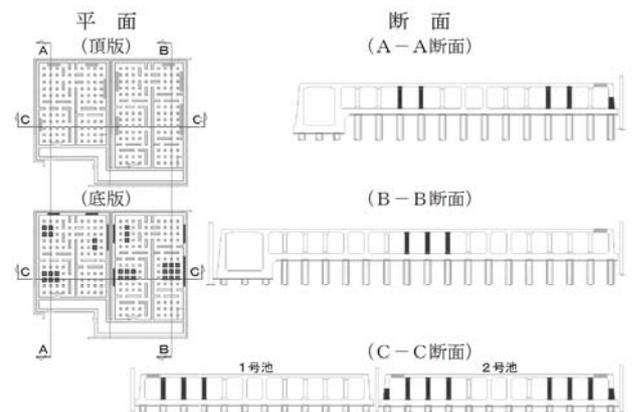


図-9 レベル2地震動 NG 箇所 (補強設計時)

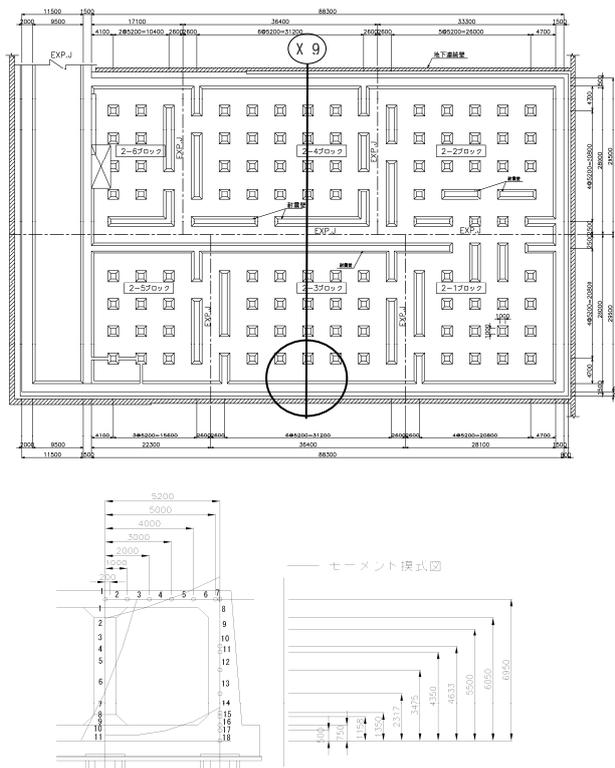


図-10 最大応力発生場所

次に動的解析による計算結果について述べる。動的解析は、静的三次元解析で最も大きい断面力が発生した断面（1号池のA-Aと2号池のC-C）を抽出し、側壁および耐震壁等の効果を考慮した二次元解析とした。

動的解析の計算結果はほぼ同じ部位で補強が必要という結果となったが、各部位の損傷の度合いは、静的解析の結果のほうが大きい結果となった。よって、耐震補強を行うための計算結果は施設の重要度を踏まえ、より安全度の高い静的解析の結果を採用することとした。

5. 結論

2008年度に行った前指針に基づいた耐震診断および今回行った新指針に基づく耐震計算の結果は表-8のようになる。前指針では、レベル2の地震動に対して耐震性能を確保するためには、すべての部位（柱・頂版・側壁・底版）で耐力不足と判定された。これに対して、新指針では底版は補強の必要が無い結果となった。

一方、今回の耐震計算の結果と前指針に準拠した耐震診断結果とでは、補強が必要な範囲に大きな違いがでていいる。耐震補強が必要な部位（材）の個所や面積を、前指針に基づいた調査時の結果と新指針に基づく詳細設計時の結果について比較すると、概ね表-9のようになる。これらの違いは、新指針に準拠し外周壁及び耐震壁による変形抑制効果を適正に評価したために生じたと考えられる。図-9からその傾向がわかるように、EXP.Jにより分離されたブロックの幅が広く耐震壁の設置が少ない箇所につい

て柱の補強が必要となっている。

静的解析と動的解析の比較については、葛西給水所のように平面規模に比べて鉛直高さが比較的小さい土中構造物については静的解析法を用いて耐震性評価を行ってもよい施設であることが確認された。

以上のことから、葛西給水所の場合、耐震補強設計時に新指針に基づいて側壁および耐震壁による変形抑制効果を考慮した解析を行ったことにより、補強が必要な個所や面積は、底版で補強が必要無くなり、その他の部位でも前指針に基づいた必要補強個所の約平均24%と大幅に少なくなり、全体でも約20%程度に縮小されたと推測される。

これら新指針に基づく耐震補強設計を実施したことで、葛西給水所の耐震補強工事にかかるコストは概ね75%縮減することができた。

水道事業者は需要者の日常生活を支える水を供給しており、通常時のみならず震災等緊急時においても需要者は「命の水」の供給を水道部局に望んでいる。そのため、地震等の災害や事故の発生など様々なリスクが想定される中、施設整備を進めていくことが求められている。

今回、時系列的に3種類の指針に対して構造検討が実施された葛西給水所について比較解析を行ったように、水道配水池は側壁と頂版、底版により囲まれた低層構造物であることが多く、剛床と耐震壁の効果が期待できる施設が多い¹³⁾。

現在、新指針発刊から7年が経過しており、耐震診断や耐震補強工事の実施事例が増加している。このような水道施設の構造特性を、より精度よくモデル化した耐震診断計算を行い、合理的な耐震補強を行うことが重要である。

葛西給水所の場合、新耐震工法指針に基づく診断及び補強設計は、三次元解析や動的解析など、設計にかかるコストや労力は増加するものの、施設によっては補強ポイントを絞ることが可能となり、地震時の影響をより詳細に把握できるため、補強工事費が大幅に縮減できることが検証された。

表-8 部位別耐震計算結果一覧

部位	耐震診断結果		新指針に基づく補強設計計算結果	
	曲げ耐力	せん断耐力	曲げ耐力	せん断耐力
柱	NG	NG	NG	NG
頂版	NG	NG	NG	NG
側壁	OK	NG	OK	NG
底版	OK	NG	OK	OK

表-9 部位別補強範囲一覧

部位	耐震診断時の補強範囲①	新指針に基づいた補強設計時の補強範囲②	②/①
柱	167個所	30個所	18%
頂版	2,754m ²	355m ²	13%
側壁	854m ²	347m ²	41%
底版	2,758m ²	0m ²	0%

謝辞：防災科学技術研究所により提供されているK-NET及びKiK-netの強震観測データを使わせていただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 水道施設の耐震工法，昭和28年10月(社)日本水道協会
- 2) 水道施設の耐震工法，昭和41年4月(社)日本水道協会
- 3) 水道施設耐震工法指針・解説1979年版，昭和54年10月(社)日本水道協会
- 4) 水道施設耐震工法指針・解説1997年版，昭和54年10月(社)日本水道協会
- 5) 水道施設耐震工法指針・解説2009年版，平成21年7月(社)日本水道協会
- 6) 寒風貴，栗原達夫，塚原浩，第62回全国水道研究発表会，平成23年5月(社)日本水道協会 pp.464
- 7) 水道施設耐震工法指針・解説1979年版，昭和54年10月(社)日本水道協会 pp.146-147
- 8) 鉄筋コンクリート構造計算用資料集 2001，日本建築学会 p.131-145
- 9) 水道施設耐震工法指針・解説2009年版，平成21年7月(社)日本水道協会 pp.36
- 10) 水道施設耐震工法指針・解説2009年版，平成21年7月(社)日本水道協会 pp.39,251
- 11) 水道施設耐震工法指針・解説2009年版，平成21年7月(社)日本水道協会 pp.191
- 12) 水道施設耐震工法指針・解説2009年版，平成21年7月(社)日本水道協会 pp.131
- 13) 巨大地震災害への対応検討特別委員会，耐震性評価及び耐震設計検討部会報告書，平成18年3月，(財)土木学会 pp.204

(?????受付)

THE SEISMIC REINFORCEMENT DESIGN OF KASAI WATER DISTRIBUTION STATION

Toru IGARASHI and Tadahito KUBOTA

The Kasai water distribution station is an important facility which has 4 million m³ of service reservoir capacity, 10.9 million m³ of maximum daily supply. The facility is also attached to a distribution pump station. In 2009, earthquake-resistant design guideline was revised and the design of the facility is being applied to the guideline. Constructional calculation has been done for three types of guidelines at this facility chronologically.

The first time was at the time of the first design, the second time was at the seismic diagnosis design, and the third time is at the seismic reinforcement design, which is this time.

Trial calculation has been done and the difference of the each calculation result has been clarified. Considering the effect of side wall and shear wall by applying three-dimensional structure makes it clear which points to be reinforced, and the model was shown to be a reasonable design. Furthermore, it is confirmed that there is no big difference in calculation result between static analysis method and dynamic analysis method. It is also appeared that safety is fully confirmed with static analysis method for a facility with this kind of form.