

震性判定結果の比較を示す。

既往簡易耐震診断表による耐震性評価点と新簡易耐震診断表によるそれとを比較すると、既往簡易耐震診断表適用の場合は、「耐震性あり」にもかかわらず「耐震性なし」よりも耐震性が低い（耐震性評価点の数值が大きい）という矛盾を生じている構造物が幾つか見られるが、新簡易耐震診断表を適用すると、無蓋構造物 O を除くすべてでこの矛盾は解消されており、新簡易耐震診断表の改善効果が見られる。

なお、唯一の例外である無蓋構造物 O は、側壁の量・厚さともに不十分のため大きな数值の評価点となって耐震性が低い結果となったが、簡易耐震診断では鉄筋量を考慮せずにコンクリート厚さのみを評価してい

ることから、診断手法の違いによって詳細耐震診断結果との差が出たためであると考えられ、本簡易耐震診断手法の限界を示唆している。

表 17 の有蓋構造物の新簡易耐震表適用結果では、非耐震構造物は、いずれも耐震構造物よりも数值が大きく、耐震性が低い判定結果を得ており、非常に良好な簡易耐震診断結果である。一方、表 18 の無蓋構造物では、前述のように診断手法の差が表れている O を例外とすると、非耐震構造物はすべての耐震性構造物よりも耐震性が低くなっており、妥当な簡易耐震診断結果となっている。

これらの結果から、新簡易耐震診断表の耐震性の判定は有効性を有するといえる。

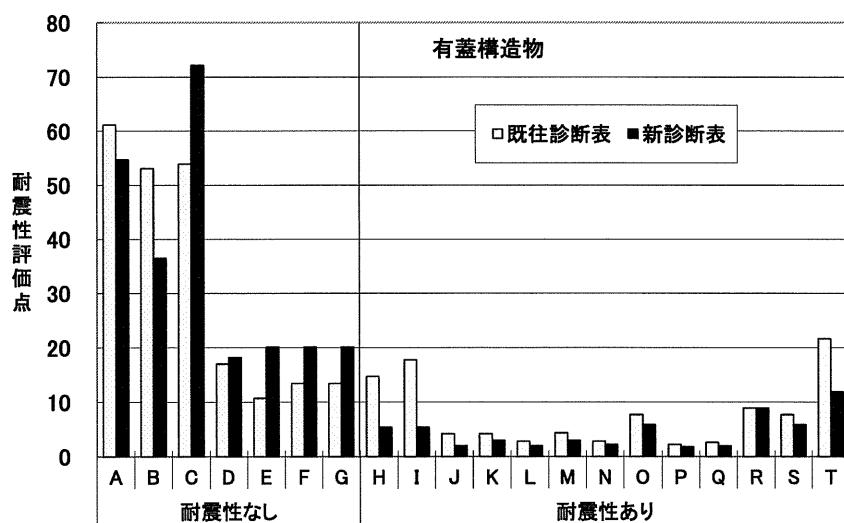


図 45 既往簡易耐震診断表と新簡易耐震診断表の診断結果の比較（有蓋構造物）

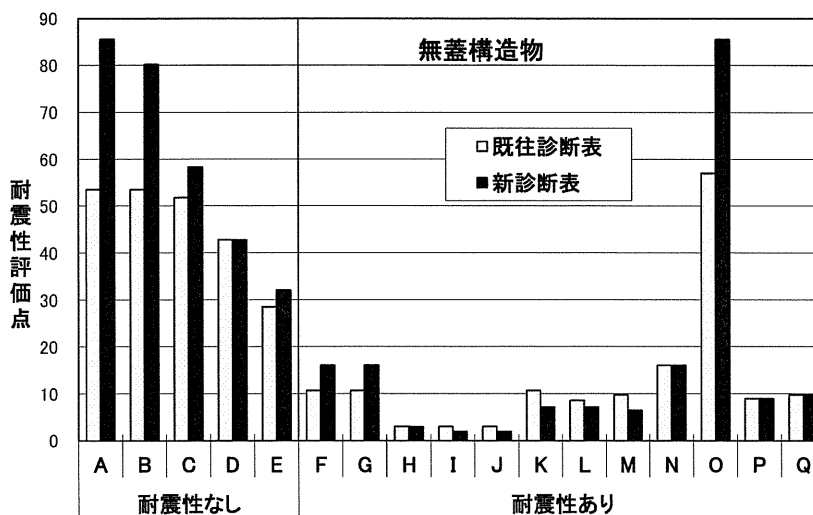


図 46 既往簡易耐震診断表と新簡易耐震診断表の診断結果の比較（無蓋構造物）

表 17 「新簡易耐震診断表(案)」によるケーススタディ結果 (有蓋構造物)

評価項目		評価方法 ()内は重み係数				耐震性 なし							耐震性 あり												
						A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
耐震性能	立地条件等 (外的条件)	地盤種別	I種 (0.5)	II種 (1.5)	III種 (1.8)	1.5	1.5	1.8	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5
		液状化	なし (1.0)	おそれあり (2.0)	あり (3.0)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0
		施工地盤	地山、切土 (1.0)	傾斜地等 (1.2)	山頂 (1.3)	埋立地・盛土 (1.5)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		位置	地下 (1.0)	半地下 (1.1)	地上 (1.2)	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
	構造の強度 (内的条件)	竣工年度	1983年～ 2000年 (1.0)	1970年～ 1982年 (1.5)	1957年～ 1969年 (1.6)	1956年以前 (1.8)	1.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		方向別池面積 壁面積	基準以上 (1.0)		基準未満 (1.5)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0
		側壁厚 側壁高	基準以上 (1.0)		基準未満 (1.5)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		劣化度	小 (1.0)	中 (1.5)	大 (2.0)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	貯水保持力 (基本機能)	可撓管	あり (1.0)		なし (2.0)		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		伸縮目地	耐震 (1.0)		非耐震 (2.0)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
想定震度		SI-1 (2.2)		SI-2 (3.6)		3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	
耐震性						54.68	36.45	72.17	18.23	20.05	20.05	20.05	5.40	5.40	1.98	2.97	1.98	2.97	2.16	5.94	1.80	1.98	8.91	5.94	11.88

表 18 「新簡易耐震診断表(案)」によるケーススタディ結果（無蓋構造物）

評価項目		評価方法 ()内は重み係数				耐震性 なし					耐震性 あり												
						A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
耐震性能	立地条件等 (外的条件)	地盤種別	I種 (0.5)	II種 (1.5)	III種 (1.8)	1.5	1.5	1.5	1.8	1.5	1.8	1.8	0.5	0.5	0.5	1.8	1.8	1.5	1.8	1.5	1.5	1.5	
		液状化	なし (1.0)	おそれあり (2.0)	あり (3.0)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		施工地盤	地山、切土 (1.0)	傾斜地等 (1.2)	山頂 (1.3)	埋立地・盛土 (1.5)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0
		位置	地下 (1.0)	半地下 (1.1)	地上 (1.2)	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2
	構造の強度 (内的条件)	竣工年度	1983年～ 2000年 (1.0)	1970年～ 1982年 (1.5)	1957年～ 1969年 (1.6)	1956年以前 (1.8)	1.6	1.5	1.8	1.0	1.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.0	1.0	
		方向別池面積 壁面積	基準以上 (1.0)		基準未満 (1.5)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	
		側壁厚 側壁高	基準以上 (1.0)		基準未満 (1.5)		1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0
		劣化度	小 (1.0)	中 (1.5)	大 (2.0)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0
	貯水保持力 (基本機能)	可撓管	あり (1.0)		なし (2.0)		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	
		伸縮目地	耐震 (1.0)		非耐震 (2.0)		2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	
想定震度		SI-1 (2.2)		SI-2 (3.6)		3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	
耐震性						85.54	80.19	58.32	42.77	32.08	16.04	16.04	2.97	1.98	1.98	7.13	7.13	6.48	24.06	85.54	8.91	9.72	

また、無蓋構造物の耐震性評価点は有蓋構造物と比較すると数値が大きくなる傾向にあるが、この原因としては、このケーススタディにおける有蓋構造物は主に配水池であり、配水池はその性質上、山間部など地盤条件の良い地域に築造されているのに比べ、無蓋構造物は浄水場などの沈澱池や沈砂池であり、地盤条件が悪い河川付近や低地に築造される場合がほとんどである。このため、無蓋構造物では立地条件である「地盤種別」や「液状化の有無」の判定点が大きくなる傾向にあることから、必然的に総合的な耐震性の判定において数値がやや大きくなる傾向にあると考えられた。ただし、地盤条件は構造物の耐震性や補強方法などに大きく影響を及ぼすことが考えられるため、判定点として大きく出るとは問題ないと判断された。

6) 詳細耐震診断実施の優先順位設定方法の検討

詳細耐震診断実施に当たっての優先順位は、単に簡易耐震診断による耐震性の高低だけではなく、図 47 に示すように、「耐震性」と「影響範囲（対象構造物が地震被害を受けたときの給水等に与える影響の範囲と大きさ、及びその他考慮すべき事項）」によって「耐震性改善必要度」を求め、これの大きなものほど順位を高く設定することとした。

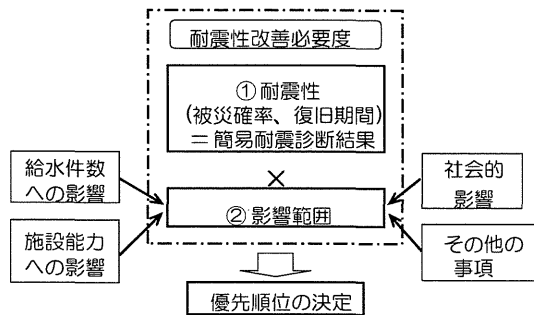


図 47 優先順位の設定

(1) 耐震性の高低と被災確率・被害の程度の関係

簡易耐震診断表による診断においては、耐震性を「高い」、「中」、「低い」に区分して判定するものであるが、優先順位の設定においては、耐震性の高低と被災確率・被害程度とは、以下の関係が成立し

ているものとした。

なお、詳細耐震診断では、弱点である部材に発生する応力と許容値の比較によって被災確率・被害の程度が推定できる

簡易耐震診断表による診断の結果「耐震性が低い(数値が大きい)」ほど、「被災する確率は高く」かつ「被害の程度も大きく、復旧に時間を要する」

ことが多いが、簡易耐震診断では、手法の性質上こうした推定が困難なことから、上述のように想定するものである。可とう管などのように、この想定になじまない場合もあると考えられるが、簡便化を図るため、この方法を採用した。

(2) 被災時の給水等に与える影響（「影響範囲」）

構造物の被害に伴う給水への影響の範囲と大きさ等を「影響範囲（影響度）」として考慮し、詳細耐震診断の優先順位を決定する要素とした。

影響範囲は、水道施設の現況機能の評価し、機能改善の必要性を診断するため、平成 20～22 年度厚生労働科学研究費補助金による研究で策定した「水道施設機能診断マニュアル（平成 23 年 3 月、水道技術研究センター）」において機能改善必要度算定時に用いる「影響範囲」を参考に、被災時における「給水件数への影響」、「施設能力への影響」、「政治・生産活動等に与える社会的影響」のそれぞれの範囲と大きさを評価し、さらに「その他考慮すべき事項」も勘案し、次式によって数値化する。

$$\text{影響範囲} = (\text{物理的影響 A} \times \text{物理的影響 B} \times \text{社会的影響} \times \text{その他考慮すべき事項})^{1/4}$$

影響範囲は、上式の定義から、次の 4 項目の評点の幾何平均値注) として求められる。

- ・物理的影響 A：影響を受ける給水件数
- ・物理的影響 B：不具合設備によって影響を受ける施設能力
- ・社会的影響：医療・産業などの社会的活動等への影響度合
- ・その他考慮すべき事項：対象構造物の特性・周辺環境、及び水道事業体にお

表 19 影響範囲算出表（算出例）

構造物名称		○市水道部 ●第2浄水場 横流式薬品沈澱池			
作成担当者		□□ □	作成年月	H■年△月	
評価項目		評価・判定		判定点	影響範囲
影響範囲	①給水件数への影響 (物理的影響A)	4. 給水に致命的な影響を与える。 例)「減断水によりおおむね50%以上の世帯(給水件数)に影響が出る」	3	3.13	
		3. 給水に重大な影響を与える。 例)「減断水によりおおむね25%以上～50%の世帯(給水件数)に影響が出る」			
		2. 給水にかなりの影響を与える。 例)「減断水によりおおむね5%以上～25%の世帯(給水件数)に影響が出る」			
		1. 給水への影響は小さい又は無視できる。 例)「減断水によりおおむね5%未満の世帯(給水件数)に影響が出る」			
	②施設能力への影響 (物理的影響B)	4. 運転管理、施設能力等に致命的な影響を与える。 例)「施設能力全体に影響が出る」	4	3.13	
	3. 運転管理、施設能力等に重大な影響を与える。 例)「施設能力の1/2以上に影響が出る」				
	2. 運転管理、施設能力等に影響を与える可能性がある。 例)「施設能力の1/4以上に影響が出る」				
	1. 運転管理、施設能力等への影響は小さい又は無視できる。 例)「影響は施設能力の1/4未満である」				
	③社会的活動への影響 (社会的影響)	影響を受ける給水エリアにおける以下の項目のうち、該当する項目数により判定点を求める。 3項目以上:4点 2項目:3点 1項目:2点 0項目:1点	4	3.13	
	・地域防災計画等に位置づけられた病院など、災害時の拠点医療施設への影響がある。 例)「減断水等による医療活動の困難さなど」				
	・防災拠点、避難所、応急給水拠点など発災後の対応活動の拠点となる施設への影響がある。 例)「緊急用水確保の困難さなど」				
	・政治行政機能など、都市機能を支える重要施設に悪影響を及ぼす。 例)「水冷式冷房の停止による電子計算機の機能麻痺など」				
	④その他考慮すべき事項	以下の項目の中から該当する項目を選択し、その数により判定点を求める。 3項目以上:4点 2項目:3点 1項目:2点 0項目:1点	2	3.13	
	・浄水を貯留する(応急給水用の浄水となる)。				
	・被災時の漏水による家屋等への二次被害を避ける。 例)「高所に設けた配水池、高架水槽、崖上の沈澱池など」				
	・被災時に速やかな復旧が困難である、又は期待できない。 例)「進入道路が狭く工事車両が通行困難な場合など」				
		・その他特別な事項 (事業構想・課題等に関する事項) 例)「重要拠点施設として存続を図る場合など」			

注1) 給水件数は、給水区域内全域における給水件数を意味し、個々の浄水場・配水池等の受け持つ給水件数ではない。

2) 影響範囲は、バックアップ(他系統等からの応援)給水の有無を考慮しないで算出する。

ける事業構想等を反映する項目

なお、判定に当たっては、地震被害よって生じる悪影響とともに、悪影響を「生じるおそれ」を考慮する。

影響範囲は、表 19 に示す影響範囲算出表によって算出する。この表 19 は算出事例を示したものであるが、評価項目ごとに該当する影響の度合等を判定すると、それに応じた影響範囲の点数が求められる。

(3) 耐震性改善必要度の算定

既に簡易耐震診断表によって求められた耐震性評価点（10 点満点換算値）と、前項で求めた影響範囲により、次のとおり耐震性改善必要度が算出される。

$$\text{耐震性改善必要度} = \text{耐震性評価点} \times \text{影響範囲}$$

詳細耐震診断実施の優先順位は、簡易耐震診断による耐震性の高低と被災時の影響範囲を考慮することとし、「耐震評価点（10 点満点換算値）」と「影響範囲」の点数を掛け合わせて、耐震性改善必要度を求め、得られた数値の高いものほど優先順位を高く設定することとした。

この手法は、単なる耐震性の高低だけでなく、給水への影響や社会的影響を考慮することが出来るため、市町村合併等により多数の施設が存在する事業体にとって有効な手段になると考えられる。

表 20 に、耐震性改善必要度の算出と優先順位設定の例を示す。

表 20 耐震性改善必要度の算出と優先順位設定の例

構造物名	耐震性評価点 (10点満点換算値)	影響範囲	耐震性改善必要度	詳細耐震診断実施の優先順位
薬品沈澱池1	7.00	2.21	15.47	8
薬品沈澱池2	6.68	3.13	20.91	1
ろ過池1	6.89	2.00	13.78	9
ろ過池2	6.63	1.86	12.33	10
浄水池1	6.89	2.63	18.12	3
浄水池2	8.21	2.45	20.11	2
配水池1	6.95	2.38	16.54	5
配水池2	7.53	2.21	16.64	4
配水池3	7.21	2.21	15.93	6
配水池4	7.11	2.21	15.71	7

なお、バックアップ給水（他の機場や配水系統などからの管路による応援給水）が期待できる場合には、耐震性改善必要度が下がることから、バックアップ給水に対する依存度及び信頼度に応じて、耐震性改善必要度を補正できることとした。

4 「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」の作成

新たな簡易耐震診断表の適用方法・留意点などをまとめ、「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」の原案を作成し、中小事業体におけるレビュー等によって精査・推敲して最終案とすることとした。

「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」を有識者 2 名による査読によって文章、構成等の推敲を重ねるとともに、6 つの中小事業体でのレビューを実施し、読み易さ・使いやすさ等の意見を聴取して「手引き(案)」の充実を図った。聴取した主な意見は以下のとおりである。

- ・ 難解な用語は避けてほしい。
- ・ 診断サンプルによって診断の方法を説明してほしい
- ・ 診断事例をできる限り掲載してほしい
- ・ 技術者が3人のみだが、冒頭部だけ読めば診断ができるのはありがたい。
- ・ 使ってみた結果、ほぼ想定どおりの結果を得たので、良いと思う。
- ・ 構造物の耐震性を大まかにでも判断できれば内部資料として使用できる。

この結果を受け、「手引き(案)」の作成に当たっては、中小事業体職員の利用を特に考慮し、診断モデルを用いた平易な解説により理解を助けるとともに、冒頭部（12～13 頁）のみの理解で簡易耐震診断の実施と詳細耐震診断の優先順位付けが可能ないように配慮した。また、簡易耐震診断表、影響範囲算出表等は、必要なデータ（判定値）を入力範囲算するだけで耐震評価点等の結果を算出できるように作表し、これ格納した CD-ROM を「手引き(案)」に添付した。

表 21 に、「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」の構成を示す。

5 浄水施設等の耐震性の現況把握

表 21 「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」の構成

はじめにお読み下さい 本書の使い方
 簡易耐震診断の基礎知識
 簡易耐震診断とは — 目的と精度 —
 簡易耐震診断の対象 — 適用範囲と条件 —
 このデータがあれば診断できる

1 章 はじめよう！ 簡易耐震診断
 — 新簡易耐震診断表の使い方 —

1.1 簡易耐震診断の実施手順
 1.2 簡易耐震診断表
 1.3 詳細耐震診断実施の優先順位

2 章 簡易耐震診断の解説
 — 新診断表の作成背景と検討内容 —

2.1 水道施設耐震工法指針等の変遷
 2.2 浄水施設の耐震化等の現況
 2.3 耐震診断手法の概要
 2.4 新簡易耐震診断表
 2.5 詳細耐震診断実施の優先順位

資料編

【資料 1】用語の解説
 【資料 2】水道施設耐震診断実施の現況と課題
 【資料 3】近年の地震による浄水施設被害の実態
 【資料 4】構造的強度評価方法の改善
 【資料 5】新簡易耐震診断表
 【資料 6】バックアップ給水を考慮した耐震性改善必要度の算定
 【資料 7】地盤液状化判定方法
 【資料 8】耐震性改善工法

よくある質問 (FAQ)

平成 25 年度までにケーススタディを実施した事業体のデータから、耐震性がない又は耐震性が不明の有蓋・無蓋池状構造物を新簡易耐震診断表によって診断した耐震性判定結果を、図 48 に示す。この図は 22 施設のデータを人口規模別に表したものであるが、耐震性が高いと判定された施設は皆無であり、すべての施設において、給水人口規模による差異はなく、耐震性が中又は低いとの判定結果であり、大半が「低い」であった。

このような結果から、データ数が少ないものの、中小事業体の有蓋・無蓋構造物は比較的耐震性が低い施設が多く存在していると考えられる。

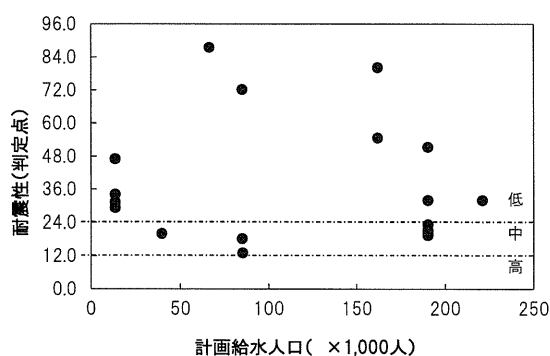


図 48 耐震性の判定

D. 考察

我が国における浄水施設の耐震化の状況は依然として低く、中小事業体を中心に耐震化への取り組みも遅れている。耐震化に向けての課題として経済的、人材的、技術的な課題などが挙げられた。

このような背景を考慮し、近年の地震被害事例に基づく耐震診断手順案を、使いやすく分かりやすい診断実施の具体的なフローとして示した。また、有蓋・無蓋池状構造物の既往簡易耐震診断表の問題点を改善して新簡易耐震診断表とするとともに、被災時の給水への影響度合等を考慮した詳細耐震診断実施の優先順位付けの手法を提案した。こうした成果を基に、中小事業体における使用を念頭に置いた分かりやすい「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」としてまとめた。

これらは中小事業体によるケーススタディ及びレビューにおいて試用され、その妥当性等が確認されたところであり、特に、新簡易耐震診断表についての改善効果・有効性が検証された。また、小規模事業体でのレビューでは、「冒頭の部分だけを読んで実際に診断ができた」との声も寄せられ、中小事業体における汎用性もあると考えられる。

本研究においては有蓋・無蓋構造物以外の構造物に関する簡易耐震診断表は、詳細耐震診断事例の収集が困難なため統計的解析を行えず、既往簡易耐震診断表の一部を改善するに止まったが、今後、これらの構造物の詳細耐震診断実施を促してその診断データを収集し、簡易耐震診断手法の精度向上に努める必要がある。

また、事業体におけるケーススタディに

よって得られたデータを基に、新簡易耐震診断表による耐震性判定結果を検討したところ、中小事業体の有蓋・無蓋構造物は比較的耐震性が低い施設が多く存在していると考えられるが、今回の検討では、データ数が少ないこと、比較的地震対策の意識の高い事業体中心のデータであることから、より多くの普遍的なデータの収集に努めて、確度の高い状況を確認する必要がある。

東南海地震の到来が懸念され、水道施設の耐震化が喫緊の課題となっている現在、中小事業体における耐震化促進のため、「手引き(案)」の周知及び活用のための継続的な普及・啓発活動が必要不可欠である。

この作成に当たっては、最新の耐震工法指針等の指針・規定・検討書などを基にしたが、これらの変遷や地震被害等の知見の集積及び技術の進展とともに、記載内容を必要に応じて改定する必要がある。また、「手引き(案)」では、津波被害については考慮していない。津波被害は水道施設の立地条件、特に土地の標高に左右されるが、今後、津波被害に関する知見を収集整理して津波への防災対策・減災対策、更にはバックアップ対策などを検討して盛り込む必要があると思われる。

E. 結論

本研究は多くの課題が顕在化している中小事業体に対して適切な改善強化方策や施設更新によるリスク低減策を「手引き(案)」として提示することにあるが、これを活用する水道技術者の専門性を考慮し、検討課題ごとに「手引き(案)」を策定した。

1 原水水質悪化への対応の検討

中小事業体から原水水質悪化に対する浄水処理の課題を把握し、その課題解決に向けた方策の検討を実施した。その結果と課題改善の実例を合わせ、中小事業体向けに導入しやすく有効な浄水処理技術の改善・強化方策を提案する「高濁度原水への対応の手引き(案)」を作成した。これを支援ツールとして中小事業体が活用し、原水水質悪化に対応した適切な改善・強化方策を実施することにより、水道施設並びに水質管理におけるリスク低減が可能となる。

2 耐震化促進等に関する検討

我が国における浄水施設の耐震化の状況は依然として低く、中小事業体を中心に耐震化への取り組みが遅れていることから、東北地方太平洋沖地震等の地震被害実態を踏まえた簡易耐震診断手順を提案するとともに、既往簡易耐震診断表を改善した「新簡易耐震診断表(案)」の提案と、被災時の影響度合を考慮した詳細耐震診断実施の優先順位決定方法を提案した。これらはケーススタディにより有効性が確認され、また中小事業体にとって使いやすかつ高度な技術力を要しないことから、今後、中小事業体をはじめ我が国の水道事業における浄水施設等の耐震化促進に大きく寄与するものと期待できる。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1 論文発表

M. Miyajima “Resilient Water Supply System for Earthquake and Tsunami”, *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, **63**(2), pp.86-94, 2014.3.

富井正雄「高濁度に対応した水道システム」、『水坤』、No.45、pp.21-23、2013.1.

桐村昭充・足立渉・鈴木泰博・相澤貴子・藤原正弘・宮島昌克「地震被害実態に基づく浄水施設簡易耐震診断手法の検討」、『環境衛生工学研究』、Vol.26, No.3, pp.13-16、2012.7.

2 学会発表

井本祐司、鎌田素之、山口太秀、相澤貴子「高濁度原水における二段凝集処理最適化の検討」、『第50回環境工学研究フォーラム講演集』、p.137、2013.11.

相澤貴子、安藤茂、富井正雄、伊藤雅喜、堤行彦、鎌田素之「高濁度原水に対する実用的な中小水道事業体向け支援対応方策」、『第16回日本水環境学会シンポジウム講演集』、pp.177-178、2013.11.

安積良晃、中山宏二、中川勝裕、富井正雄、安藤茂、藤原正弘、相澤貴子「中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（I）－浄水場の運転管

理に関するアンケート調査結果等に基づく考察一』、『第 64 回全国水道研究発表会講演集』、pp.208-209、2013.10.

堤行彦、伊藤雅喜、鎌田素之、佐藤仁是、安積良晃、富井正雄、相澤貴子「中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅱ）－高濁時凝集剤注入管理指標とアルカリ度代替指標に関する実施データの解析と評価一』、『第 64 回全国水道研究発表会講演集』、pp.210-211、2013.10.

向後隆蔵、早川英司、三好礼子、伊藤雅喜「中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅲ）－小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出条件の検討一』、『第 64 回全国水道研究発表会講演集』、pp.212-213、2013.10.

早川英司、向後隆蔵、三好礼子、伊藤雅喜「中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅳ）－小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出抑制方策の検討一』、『第 64 回全国水道研究発表会講演集』、pp.214-215、2013.10.

鎌田素之、井本祐司、山口太秀、海老江邦雄、相澤貴子「中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅴ）－集塊化開始時間測定法による新たな凝集処理制御に関する検討一』、『第 64 回全国水道研究発表会講演集』、pp.216-217、2013.10.

桐村昭充、渡部和弘、長田克也、鈴木泰博、武内辰夫、宮島昌克、相澤貴子「近年の地震被害実態に基づく新簡易耐震診断手法の提案』、『第 64 回全国水道研究発表会講演集』、pp.660-661、2013.10.

M. Miyajima “Performance of Drinking Water Pipelines in Liquefaction Areas in the 2011 Great East Japan Earthquake”, *International Journal of Landslide and Environment*, 1(1), pp.61-62, 2013.10.

Y. Tsutsumi, M. Itoh, M. Kamata, M. Fujiwara, S. Ando, M. Tomii, Y. Asaka, K. Nakayama and T. Aizawa “Evaluation of Water Quality Indicators Related to Water Treatment Processes and Practical Treatment Method against High Turbidity Raw Water”, *Proceedings of the 5th IWA Aspire conference & exhibition*, [USB Flash Disk] 09D1-5, p8, 2013.9.

N. Mizuno, M. Suzuki, T. Onuma,

K. Taira, T. Aizawa “Water Quality Surveys of Shallow Wells Damaged by Tsunami in the Great East Japan Earthquake -Case of Minamisanriku-cho in Miyagi Prefecture-”, *Proceedings of the 8th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices*. pp.373-383, 2013.8.

M. Miyajima “Verification of a Prediction Method of Earthquake Damage to Water Supply Pipeline by Using Damage Data of the 2011 Great East Japan Earthquake”, *Proceedings of the 8th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices*. pp.43-49, 2013.8.

Y. Imoto, M. Kamata, D. Yamaguchi and T. Aizawa “Application of Two-stage Coagulation for High Turbidity Raw water”, *Proceedings of JWET2013*, p.16, 2013.6.

A. Kirimura, Y. Suzuki, T. Aizawa, M. Fujiwara and M. Miyajima “Simplified Evaluation Method of Seismic Resistance for Water Treatment Facilities”, *Proceedings of 6th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering*, [CD-ROM], 2013.5.

M. Miyajima “Damage to Water Supply Pipelines in the 2011 Great East Japan Earthquake”, *Proceedings of 6th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering*, [CD-ROM], 2013.5.

M. Miyajima “Resilient Water Supply System for Earthquake and Tsunami”, *Proceedings of The 9th International Symposium on Water Supply Technology*, Special Session, pp.91-94 2012.11.

N. Mizuno, Y. Obata, K. Yamashita, T. Oonuma, T. Aizawa and N. Kobayashi “Water Quality Surveys in Support of Reconstruction after Great East Japan Earthquake”, *Proceedings of The 9th International Symposium on Water Supply Technology*, SP3-9, pp.171-172, 2012.11.

W. Takashima, S. Watanabe, S. Sameshima, S. Takizawa, M. Fujiwara

“Raw water turbidity prediction corresponding to weather variations”, *Proceedings of 8th IWA World Water Congress and Exhibition*, USB, Theme 3, No.105, 2012.9.

相澤貴子・中山宏二・安藤茂・藤原正弘「小規模水道事業体における浄水処理の課題」、『第15回水環境学会シンポジウム講演集』、pp.145-146、2012.9.

M. Miyajima “Damage to water supply system induced by the 2011 great east Japan earthquake”, *Proceedings of International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake*, [CD-ROM], pp. 1467-1474, 2012.3.

M. Miyajima “Damage Analysis of Water Supply Facilities in the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami”, *Proceedings of 15WCEE*, CD-ROM, 2012.

宮島昌克：「2011年東日本大震災における水道施設の地震被害の特徴」、『第3回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム講演集』、pp. 43-47, 2011.12.

M. Miyajima “Damage to Water Supply Facilities during the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami”, *Proceedings of the 9th International Symposium on Mitigation of Geo-disasters in Asia*, pp.185-190, 2011.12.

Y. Kobayashi, M. Itoh, T. Yamamada, M. Akiba and Y. Matsui “Experimental evaluations of water treatment system as adaptations to a sharp increase in raw-water turbidity caused by climate change, using a pilot-scale plant”, *Proceedings of The 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition*, [USB Flash Disk], 2011.10.

M. Miyajima “Lessons from the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Disasters”, *Proceedings Of 7th Japan-US-Taiwan Workshop on Water System Seismic Practices*, Keynote Address, pp.1-7, [CD-ROM], 2011.10.

M. Kanmatsuse, W. Adachi, S. Ando, M. Fujiwara and M. Miyajima “Technical Assistance Tools for Improving Earthquake Resistance of Drinking

Water Infrastructure”, *Proceedings of 7th Japan-US-Taiwan Workshop on Water System Seismic Practices*, Technical Session 6, pp.1-10, 2011.10.

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1 特許取得
該当なし

2 実用新案登録
該当なし

3 その他
該当なし

Ⅱ. 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
M. Miyajima	Resilient Water Supply System for Earthquake and Tsunami	Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA	63(2)	86-94	2014
富井正雄	高濁度に対応した水道システム	水坤	No.45	21-23	2013
井本祐司、鎌田素之、山口太秀、相澤貴子	高濁度原水における二段凝集処理最適化の検討	第50回環境工学研究フォーラム講演集		137	2013
相澤貴子、安藤茂、富井正雄、伊藤雅喜、堤行彦、鎌田素之	高濁度原水に対する実用的な中小水道事業者向け支援対応方策	第16回日本水環境学会シンポジウム講演集		177-178	2013
安積良晃、中山宏二、中川勝裕、富井正雄、安藤茂、藤原正弘、相澤貴子	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅰ）—浄水場の運転管理に関するアンケート調査結果等に基づく考察—	第64回全国水道研究発表会講演集		208-209	2013
堤行彦、伊藤雅喜、鎌田素之、佐藤仁是、安積良晃、富井正雄、相澤貴子	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅱ）—高濁時凝集剤注入管理指標とアルカリ度代替指標に関する実施データ解析と評価—	第64回全国水道研究発表会講演集		210-211	2013
向後隆蔵、早川英司、三好礼子、伊藤雅喜	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅲ）—小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出条件の検討—	第64回全国水道研究発表会講演集		212-213	2013
早川英司、向後隆蔵、三好礼子、伊藤雅喜	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅳ）—小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出抑制方策の検討—	第64回全国水道研究発表会講演集		214-215	2013
鎌田素之、井本祐司、山口太秀、海老江邦雄、相澤貴子	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（Ⅴ）—集塊化開始時間測定法による新たな凝集処理制御に関する検討—	第64回全国水道研究発表会講演集		216-217	2013
桐村昭充、渡部和弘、長田克也、鈴木泰博、武内辰夫、宮島昌克、相澤貴子	近年の地震被害実態に基づく新簡易耐震診断手法の提案	第64回全国水道研究発表会講演集		660-661	2013
M. Miyajima	Performance of Drinking Water Pipelines in Liquefaction Areas in the 2011 Great East Japan Earthquake	International Journal of Landslide and Environment	1(1)	61-62	2013

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Y. Tsutsumi, M.Itoh, M. Kamata, M. Fujiwara, S. Ando, M. Tomii, Y. Asaka, K. Nakayama and T. Aizawa	Evaluation of Water Quality Indicators Related to Water Treatment Processes and Practical Treatment Method against High Turbidity Raw Water	Proceedings of the 5 th IWA Aspire conference & exhibition		8	2013
N. Mizuno, M. Suzuki, T. Onuma, K.Taira, T. Aizawa	Water Quality Surveys of Shallow Wells Damaged by Tsunami in the Great East Japan Earthquake -Case of Minamisanriku-cho in Miyagi Prefecture-	Proceedings of the 8 th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices		373-383	2013
M. Miyajima	Verification of a Prediction Method of Earthquake Damage to Water Supply Pipeline by Using Damage Data of the 2011 Great East Japan Earthquake	Proceedings of the 8 th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices		43-49	2013
Y. Imoto, M. Kamata, D. Yamaguchi and T. Aizawa	Application of Two-stage Coagulation for High Turbidity Raw water	Proceedings of JWET2013		16	2013
A. Kirimura, Y. Suzuki, T. Aizawa, M. Fujiwara and M. Miyajima	Simplified Evaluation Method of Seismic Resistance for Water Treatment Facilities	Proceedings of 6 th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering			2013
M. Miyajima	Damage to Water Supply Pipelines in the 2011 Great East Japan Earthquake	Proceedings of 6 th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering			2013
M. Miyajima	Resilient Water Supply System for Earthquake and Tsunami	Proceedings of The 9 th International Symposium on Water Supply Technology, Special Session		91-94	2012
N. Mizuno, Y. Obata, K. Yamashita, T. Oonuma, T. Aizawa and N. Kobayashi	Water Quality Surveys in Support of Reconstruction after Great East Japan Earthquake	Proceedings of The 9 th International Symposium on Water Supply Technology		171-172	2012
W. Takashima, S. Watanabe, S. Sameshima, S. Takizawa, M. Fujiwara	Raw water turbidity prediction corresponding to weather variations	Proceedings of 8 th IWA World Water Congress and Exhibition			2012
相澤貴子・中山宏二・安藤茂・藤原正弘	小規模水道事業体における浄水処理の課題	第15回水環境学会シンポジウム講演集		145-146	2012
桐村昭充・足立渉・鈴木泰博・相澤貴子・藤原正弘・宮島昌克	地震被害実態に基づく浄水施設簡易耐震診断手法の検討	環境衛生工学研究	Vol.26、No.3	13-16	2012

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
M. Miyajima	Damage to water supply system induced by the 2011 great east Japan earthquake	Proceedings of International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake		1467-1474	2012
M. Miyajima	Damage Analysis of Water Supply Facilities in the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami	Proceedings of 15WCEE			2012
宮島昌克	2011年東日本大震災における水道施設の地震被害の特徴	第3回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム講演集		43-47	2011
M. Miyajima	Damage to Water Supply Facilities during the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami	Proceedings of the 9 th International Symposium on Mitigation of Geo-disasters in Asia		185-190	2011
Y. Kobayashi, M. Itoh, T. Ymamada, M. Akiba and Y. Matsui	Experimental evaluations of water treatment system as adaptations to a sharp increase in raw-water turbidity caused by climate change, using a pilot-scale plant	Proceedings of The 4 th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition			2011
M. Miyajima	Lessons from the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Disasters	Proceedings Of 7 th Japan-US-Taiwan Workshop on Water System Seismic Practices, Keynote Address		1-7	2011
M. Kanmatsuse, W. Adachi, S. Ando, M. Fujiwara and M. Miyajima	Technical Assistance Tools for Improving Earthquake Resistance of Drinking Water Infrastructure	Proceedings of 7 th Japan-US-Taiwan Workshop on Water System Seismic Practices, Technical Session 6		1-10	2011

Ⅲ. 研究成果の刊行物・別刷
(主要な発表論文別刷)

Resilient Water Supply System for Earthquake and Tsunami

M. Miyajima*

*School of Environmental Design, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan
(E-mail: miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp)

Abstract

This paper focuses on resilient water supply system for earthquake and tsunami. The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake generated not only strong ground vibration but also tremendous tsunami. Although some of water supply system suffered damage and water suspension occurred extensively, earthquake resistant pipe survived and quick recovery of water delivery was done. We must learn many lessons from the earthquake and tsunami disasters and exchange the lessons internationally. In this paper, earthquake performance of water supply pipeline during the earthquake and tsunami is summarized first. Next, the paper introduces an application of Japan's earthquake resistant technology in the City of Los Angeles.

Key words | earthquake, earthquake resistant pipe, seismic guideline, tsunami, water supply system

INTRODUCTION

In Japan, earthquake resistant technology and seismic design guidelines for drinking water facilities have been advanced and revised based on observed damage in the past major earthquakes. Because earthquake resistant pipes did not suffer damage in recent huge earthquakes such as the 1995 Hyogo-ken Nambu Earthquake (Kobe Earthquake) and the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Tohoku Earthquake), earthquake resistance of water supply pipelines against earthquake was verified. On the other hand, the 2011 Tohoku Earthquake generated a tremendous tsunami and the tsunami hit extensive areas. We must learn new lessons from the tsunami disaster. The present paper summarizes lessons from the recent earthquakes and tsunami. It also discusses a test installation of Japan's earthquake resistant pipe in the U.S. to establish resilient water supply system for earthquake and tsunami.

DAMAGE TO WATER SUPPLY FACILITIES BY TSUNAMI

Damage Characteristics by Tsunami

The 2011 Tohoku Earthquake generated a tsunami of unprecedented height and special extent along the northeast coast of Japan. In the majority of flooded areas, residents have not been able to return home after the event because most buildings and houses have been washed away. As a result, there has been no need to distribute water in these areas, and most of the damaged pipelines have been left unrepaired. Thus we have not been able to collect the entire data of damage to water supply pipelines. So far, the following damages have been revealed.

Causes of damage by the tsunami are roughly classified into three categories: inundation, washing away and scouring of surface ground. Some intake facilities were inundated and had not functioned for a long time because of high concentration of sodium chloride in groundwater (Photo 1). Photo 2 shows damage to a water pipe bridge, which was completely washed away. It is unknown yet which caused this kind of damage, water pressure, floating wreckages or both. We should study the force acted on the water pipe bridge during the tsunami through damage analysis. Photo 3 shows damage to buried pipeline. The pipe was exposed as the covered soil had been scoured by the tsunami. The mechanism of damage to the pipe, that is, how much force was acted on the pipe in what way, is still unknown, waiting to be clarified in future.

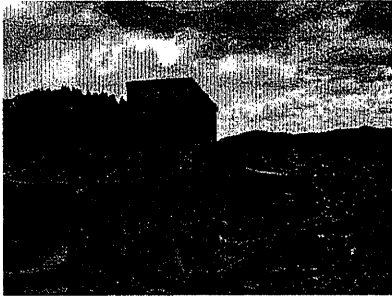


Photo 1 | Inundated intake facilities (Sukedukuri No.2).

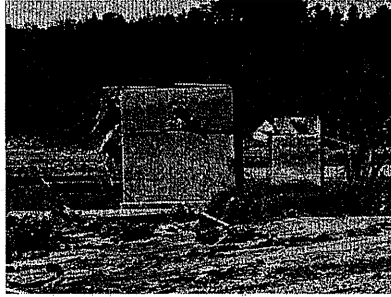


Photo 2 | Washed-away water pipe bridge.



Photo 3 | Damage to pipe by tsunami-induced scouring

Field survey of surviving earthquake resistant pipes from tsunami

The earthquake resistant joint ductile iron pipes (ERDIP) did not suffer damage at all in the 2011 Tohoku Earthquake. A field survey was conducted on surviving ERDIP buried in the tsunami-hit area at Ishinomaki City in Tohoku region. Photo 4 shows an ERDIP exposed above ground surface by scouring caused by the tsunami. The exposed pipelines were covered by debris of crushed wooden houses and a steel container as shown in Photo 5. This pipeline is ERDIP with 300 mm nominal diameter, installed in 2010. Deformation of pipeline, displacement and bending angle at each joint were measured for fourteen pipes as shown in Figure 1.

Figure 2 illustrates a horizontal distance to a pipeline from the edge of a road before and after the earthquake. Because the road was not dislocated horizontally or deformed by the earthquake and tsunami, this figure indicates that the pipeline moved about 40 cm. Figure 3 shows the bending angles at joints measured at the field. The maximum bending angle is 7.5 degrees at the joint No. 11. It seems that the pipeline was exposed above ground by the scouring, hit by a steel container and debris in undertow of the tsunami, and moved to the coastline. There was, however, no damage to ERDIP and water suspension did not occur.

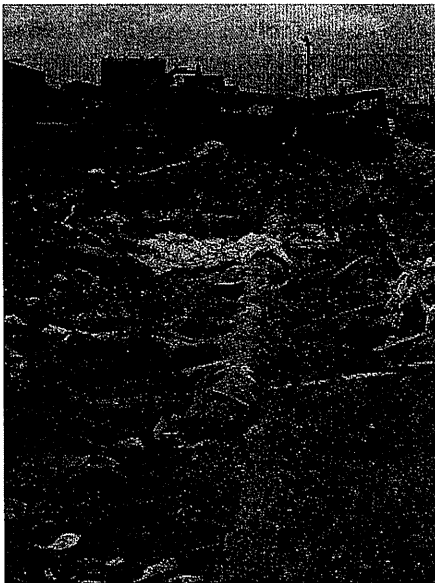


Photo 4 | ERDIP exposed above ground.



Photo 5 | ERDIP covered by debris.

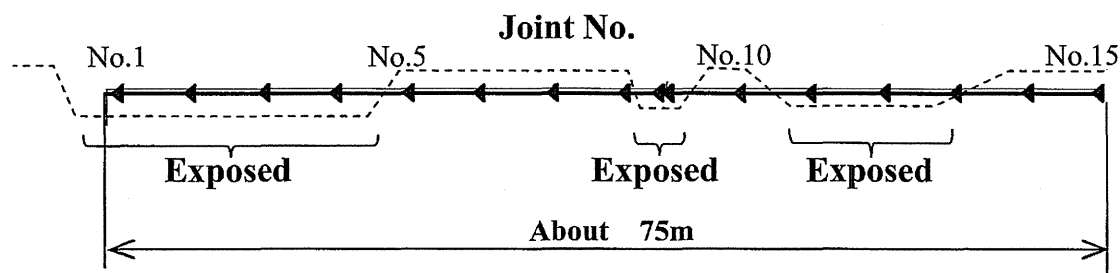


Figure 1 | Profile of ERDIP with 300 mm diameter.
(Dashed line indicates the level of the ground surface after the earthquake.)

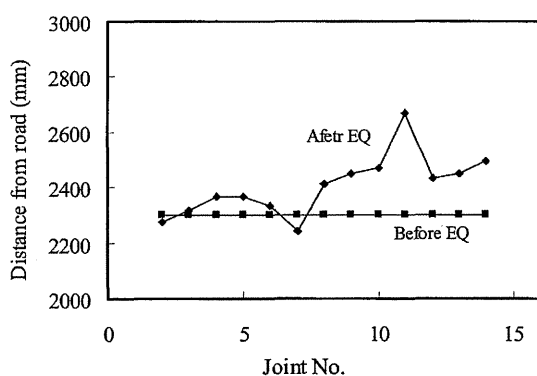


Figure 2 | Distance to the pipeline from a road edge before and after the earthquake.

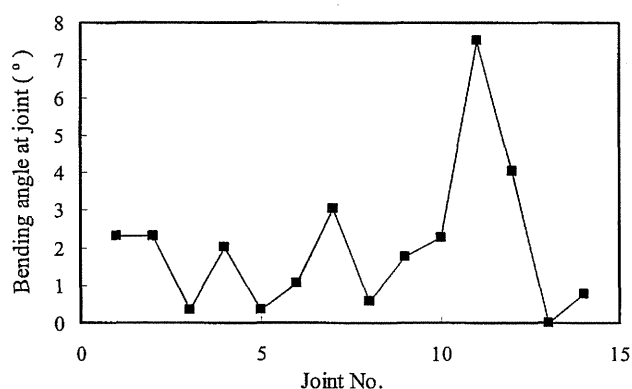


Figure 3 | Bending angle at joint measured at the field.

DAMAGE TO WATER SUPPLY PIPELINE IN STRONG GROUND MOTION AREA

The maximum JMA (Japan Meteorological Agency) seismic intensity of this earthquake was 7, which was recorded in Kurihara City, Miyagi prefecture. 7 is also the maximum grade of JMA scale. The JMA seismic intensity in the surrounding Osaki City, Tome City and Wakuya Town was 6+. The damage to buried pipeline in those municipalities, including Kurihara City, is discussed here. Figure 4 illustrates distribution of JMA seismic intensity estimated by QuakeMap (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) and sites of damaged water supply pipeline in the four municipalities. JMA seismic intensity estimated by QuakeMap is given in each 250 m cell. Table 1 lists the number of cells by each level of JMA seismic intensity. According to QuakeMap, 7.6%, 33.6%, and 23.8% of the total area marks the JMA seismic intensity of 7, 6+, and 6-, respectively.

The main types of buried water pipes in Japan are ductile cast iron pipes (DIP), grey cast iron pipes (CIP), steel pipes (SP), polyethylene pipes (PE), polyvinyl chloride pipes (PVC), and asbestos cement pipes (ACP). Figure 5 illustrates an accumulated damage rate of each pipe type. This figure indicates that the damage to pipeline starts to occur at 5+ of JMA seismic intensity and the damage rapidly increases at 6+.

Micro topography classification map of surface ground by J-SHIS (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) is used here. This data is also organized in 250 m cell. Micro topography classification can be divided into two categories, which are Bad (soft ground in which pipe is susceptible to earthquake damage) and Good (ground type other than Bad), as shown in Table 2. Figure 6 illustrates a distribution of ground categories, JMA seismic intensity and the sites of damage. Many damages occurred at the boundary between Bad of more than 5+ and Others.

Figure 7 illustrates a comparison of damage rate by pipe type in the two micro topography classification categories. This figure suggests that the damage rates in Bad are much greater than those in Good.

Table 3 lists a piping length in each level of JMA seismic intensity, categories of micro topography classification and pipe type. There was no damage to ERDIP and fusion-bonded polyethylene pipe in this earthquake. According to Table 3, about 45 km of ERDIP and about 15 km of fusion-bonded PE survived in the strong ground motion area where JMA seismic intensity was more than 6- and the micro topography classification category was Bad.

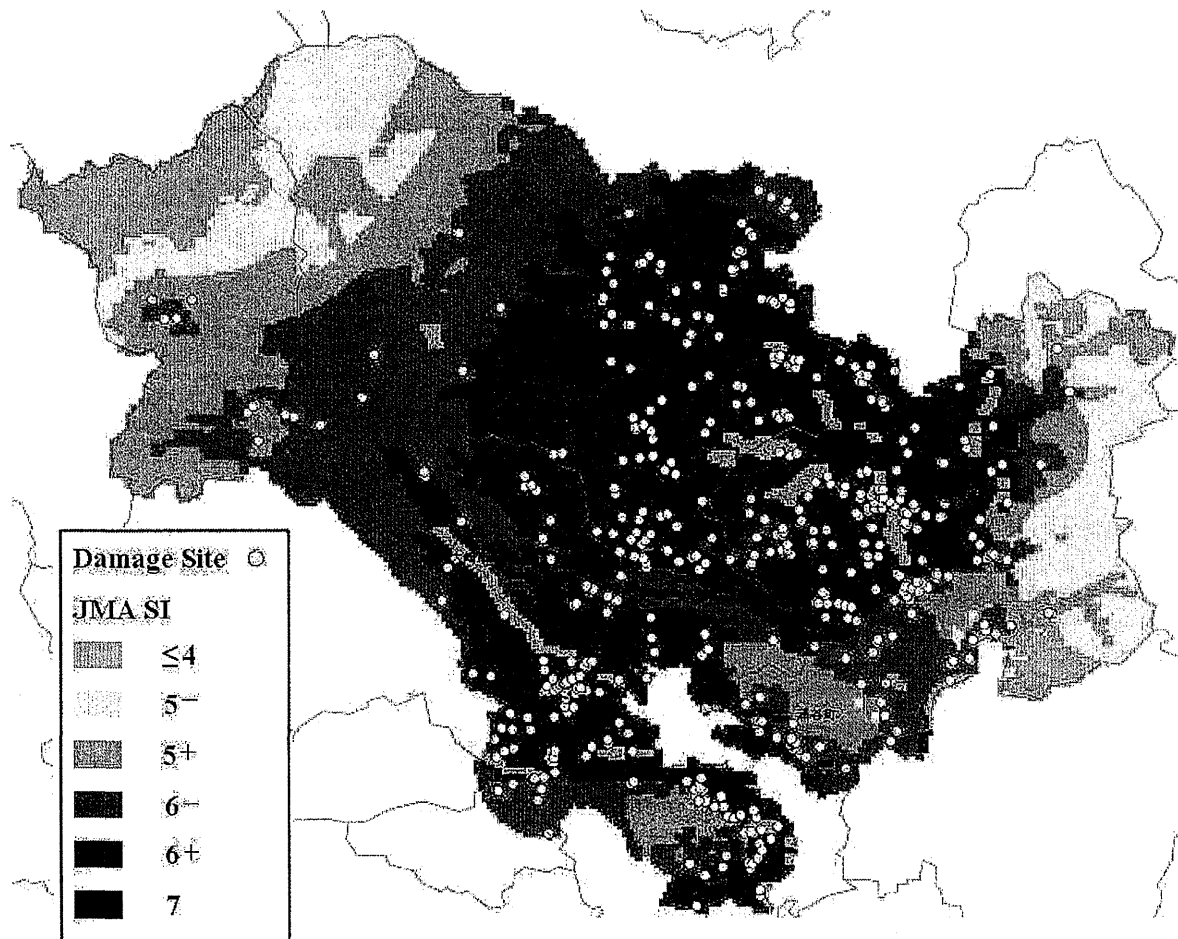


Figure 4 | Distribution of JMA seismic intensity and sites of damage.

Table 1 | Number of cells in each level of JMA seismic intensity

JMA SI	Kurihara City	Osaki City	Tome City	Wakuya Town	Sum	Percentage
Others	156	297	543	35	1,031	2.8%
≤4	80	1,403	294		1,777	4.8%
5-	1,448	855	1,902	12	4,217	11.4%
5+	1,647	2,486	1,292	465	5,890	16.0%
6-	3,452	3,456	1,209	672	8,789	23.8%
6+	4,315	4,814	3,026	243	12,398	33.6%
7	2,137	29	622		2,788	7.6%
Sum	13,235	13,340	8,888	1,427	36,890	100.0%

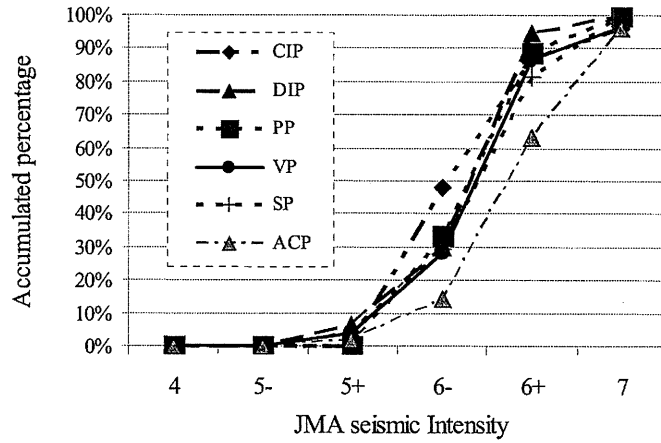


Figure 5 | Accumulated damage rate of each pipe type.

Table 2 | Micro topography classification and its categories

No	Microtopography	Category
1	Mountains	Good
2	Piedmont areas	
3	Hill	
4	Volcanic areas	
5	Volcanic piedmont areas	
6	Volcanic hills	
7	Mesa	
8	Quality gravel plateau	
9	Loam plateau	
10	Lowland valley	Bad
11	Alluvial fan	
12	Natural levee	
13	Backswamp	
14	Old River Road	
15	Delta & Coastal lowland	
16	Reef & In gravel	
17	Dune	
18	Reef & Between the lowland	
19	Reclaimed land	
20	Filled land	
21	Rocky & reef	
22	Riverside	
23	River channel	
24	Lake	