

給水管分岐部に係る給水配管の耐震性評価報告書

令和4年3月

公益財団法人 給水工事技術振興財団

給水システム協会

給水管分岐部に係る給水配管の耐震性評価報告書について

東日本大震災や熊本地震の管路被害調査報告では、給水管部に多くの被害が発生しており、大地震の際の給水障害の要因の一つとなっている。地震時にも安定して給水を継続するため、厚生労働省健康局水道課から平成 27 年 6 月に発表された「水道の耐震化計画等策定指針」では、給水装置の耐震化に触れられ、より耐震性の高いものへの更新が推奨されている。

一方で、「水道施設耐震工法指針（2009）」では、給水装置のレベル 2 地震動に対する耐震性の考え方は明確に定められておらず、給水装置の耐震化は各事業体の判断に委ねられており、事業体が給水装置の耐震性を判断するための資料は十分に整備されているとは言えない状況にある。

これらの背景から、給水システム協会では令和 2 年度に「給水装置工事技術に関する調査研究」（以下、基礎試験という。）を行い、過去の地震による被害調査を参考に、規格型や一般的に使用されている給水装置を選別し、それらの資機材について耐震基礎試験を行い、耐震性を評価し、耐震化に有効な給水管分岐部（サドル付分水栓）、給水配管、継手等を選定している。

公益財団法人 給水工事技術振興財団は、事業体が給水装置の耐震性を判断するための参考資料を提供し、より安全な水道管路を構築するため、「給水管分岐部に係る給水配管の耐震性評価と指標作成検討委員会」（以下、当委員会という。）を令和 3 年度に設置し、学識者、事業体、関連団体の参加のもとで、配水管から分岐するサドル付分水栓及び給水配管、継手等からなる給水配管の耐震性評価基準の設定と耐震試験方法の確立、給水性能への影響を含めた給水装置の耐震性能の評価を行ってきた。また、これらの結果を踏まえた給水装置の耐震性の考え方を提案として示し、これらの成果を本報告書にとりまとめた。

本報告書により、給水管分岐部に係る給水配管の耐震性の考え方についての議論が高まり、地震に対する給水配管の被害低減に寄与する一助となれば、当委員会として幸いである。

給水管分岐部に係る給水配管の耐震性評価と指標作成検討委員会
委員長 丸山 喜久

給水管分岐部に係る給水配管の耐震性評価と指標作成検討委員会 構成表

委員長	国立大学法人 千葉大学 教授	丸山 喜久
副委員長	学校法人 関西大学 教授	飛田 哲男
副委員長	関東学院大学 准教授	鎌田 素之
委員	全国管工事業協同組合連合会 専務理事	粕谷 明博
委員	公益社団法人 日本水道協会 工務部技術課長	北野 守康
委員	公益財団法人 水道技術研究センター 調査事業部主任研究員	日下部 貴章
委員	東京都水道局 給水部給水課長	茨木 延和
委員	横浜市水道局 給水サービス部 洋光台水道事務所長	長内 豊
委員	さいたま市水道局 業務部給水工事課長	小日向 充
委員	一般社団法人 日本ダクタイル鉄管協会 技術委員	小田 圭太
委員	給水システム協会 技術副委員長	中山 歳久
オブザーバー	厚生労働省 医薬・生活衛生局水道課 課長補佐	加藤 潤
事務局	公益財団法人 給水工事技術振興財団 専務理事	石飛 博之
事務局	公益財団法人 給水工事技術振興財団 技術開発部長	川崎 敬生
事務局	公益財団法人 給水工事技術振興財団 技術開発課員	茂木 謙太郎
事務局	給水システム協会 事務局長	長島 俊彰

目次

1. はじめに	p 1
2. 耐震試験における給水装置の対象	p 2
(1) 対象範囲	
(2) 対象管種	
3. 耐震試験における耐震性評価の基準	p 5
(1) 水道施設耐震工法指針（2009）の規定	
(2) 耐震試験後の耐震性評価の基準	
4. 想定地震動及び耐震試験条件の設定	p 7
(1) 想定地震動と耐震試験の配水管の最大移動速度の設定	
(2) 地盤モデルごとのダクタイル鋳鉄管の変位量の設定	
(3) 耐震試験の方法及び条件のまとめ	
5. 耐震試験用モデル配管の説明	p 11
(1) 耐震試験のダクタイル鋳鉄管と給水装置の口径の設定	
(2) 耐震試験用配管	
6. 耐震試験	p 13
(1) 耐震試験装置	
(2) 配管埋設方法	
(3) 耐震試験手順	
7. 耐震試験結果と耐震性能評価	p 16
(1) 耐震試験結果	
(2) 給水性能への影響に関する検証試験	
(3) 耐震性能評価	
8. 給水管分岐部に係る給水配管に作用する荷重値調査試験	p 31
(1) 調査試験方法	
(2) 調査試験結果	
(3) 給水管分岐部に係る給水配管へ作用する荷重値	

9. 耐震試験と耐震性評価のまとめ	p 36
(1) 耐震試験後の耐震性評価の基準	
(2) レベル 2 地震動を想定した耐震試験方法	
(3) 給水配管（3 条件）の耐震性評価	
10. 水道施設の耐震性能と給水管分岐部に係る給水配管の耐震性能	p 39
(1) 水道施設の耐震性能：水道施設耐震工法指針（2009）	
(2) 給水管分岐部に係る給水配管の耐震性能と要求性能	
11. その他の耐震性向上対策	p 44
(1) 施工不良と推測される事例	
(2) サドル付分水栓のトルク管理	
(3) 給水管と継手の接続方法	
12. おわりに	p 47

【資料】

資 1. 東日本大震災・熊本地震 被害件数内訳	p 49
資 2. ステンレス管の繰り返し曲げ試験（片側）	p 50
資 3. ステンレス管の繰り返し曲げ試験（往復）	p 53

1. はじめに

近年多発する大地震において、給水管部には多くの地震被害が発生しており、地震後も安定した給水を継続するためには、給水装置を含めた水道施設全体の耐震性の向上が課題となっている。

給水システム協会が実施した「令和 2 年度 給水装置工事技術に関する調査研究」の「東日本大震災・熊本地震 被害件数内訳（【資料編】参照）」によると、サドル付分水栓は、他の給水装置と比較して被害割合が小さく、一定の耐震性を有すると考えられたが、給水管では、水道用ポリエチレン管、ステンレス波状管の被害割合が比較的低いものの、全ての給水管の被害数は、全管路被害数の約 80%を占めていたことから、給水管部の耐震性確保の重要性が再認識された。



図 1-1 給水配管（例）

このことから、当委員会では、レベル 2 地震動を想定して、給水管分岐部（サドル付分水栓）に係わる給水配管（図 1-1）の耐震性評価と、耐震性の考え方をまとめることを目的とした検討を行った。検討では、事業体の採用配管等を参考に、規格型を主とする一般的な試験配管を対象に耐震試験を行うと共に、試験結果の考察から耐震試験後の給水性能への影響等も考慮して、ダクタイル鋳鉄管から分岐するサドル付分水栓及び給水管、継手等からなる給水配管について耐震性評価基準を取りまとめた。

提案する耐震試験による試験配管が有する耐震性能の評価結果や、給水装置の耐震性の考え方をまとめることができたため、ここに報告する。

2. 耐震試験における給水装置の対象

(1) 対象範囲

給水装置とは、水道事業者の施設である配水管から分岐して設けられた給水管及びこれに直結する給水用具をいう。

本試験は給水装置のうち、給水管分岐部（サドル付分水栓）から概ね宅地内の第一止水栓までの給水配管の範囲を、「対象とする給水管分岐部に係る給水配管」とする。（図 2-1）

対象範囲例 1：第一止水栓が水道メーター付近の場合

対象範囲例 2：第一止水栓が水道メーターより手前の場合

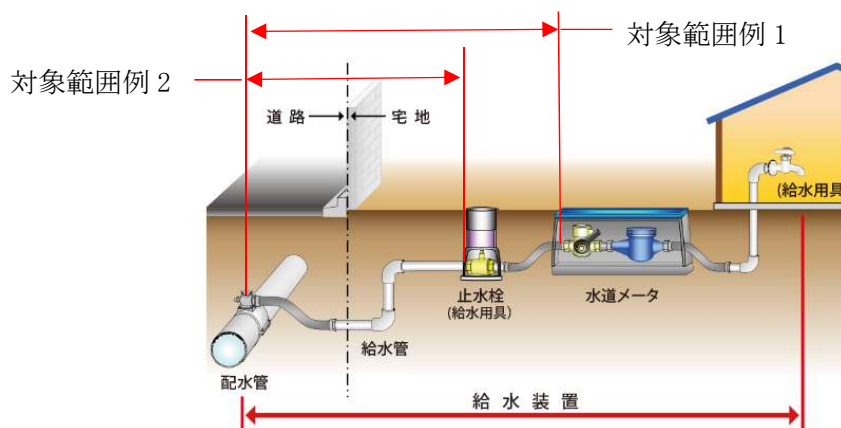


図 2-1 対象とする給水管分岐部に係る給水配管

(2) 対象管種

1) 全国採用配管調査

給水システム協会が調査した、人口 10 万人以上の 261 自治体を対象にした給水管の採用管種割合を図 2-2 に示す。

自治体の人口により、使用する給水管の量も変動するため、「自治体の採用管種×自治体人口」として集計した結果、水道用ポリエチレン 1 種二層管（PE1 種二層管）と水道用波状ステンレス鋼管（SUS 波状管）の 2 管種で、国内で約 9 割を占めることから、これらを選定する。

また、配水管には、水道事業用で布設された配水管延長のうち、約 5 割を占めているダクタイル鋳鉄管を選定する。

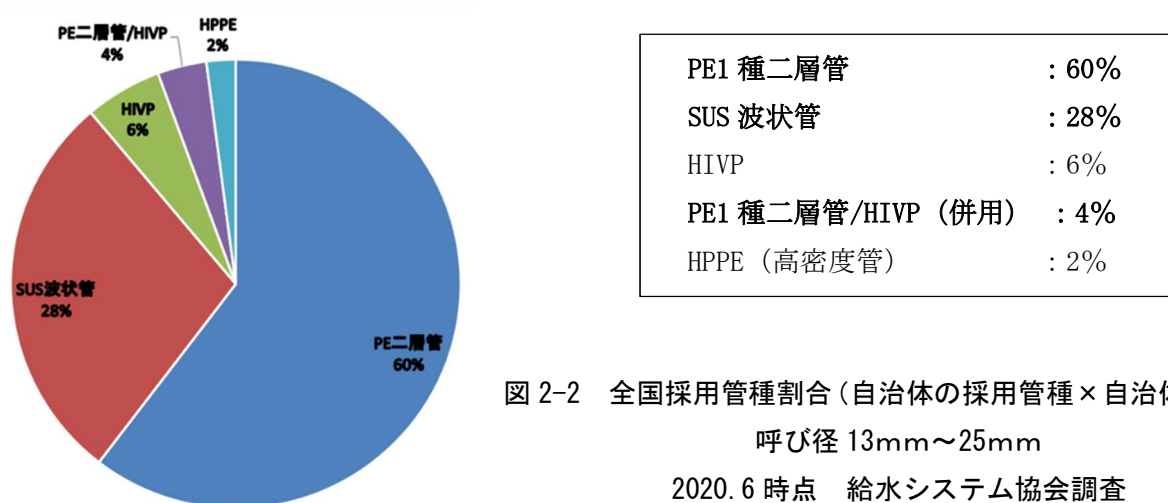


図 2-2 全国採用管種割合（自治体の採用管種×自治体人口）

呼び径 13mm～25mm

2020.6 時点 給水システム協会調査

2) 試験で用いる給水装置

ダクタイル鋳鉄管を配水管として、規格型を主とする汎用品であり、かつ給水システム協会が行った令和2年度の「給水装置工事技術に関する調査研究」において、耐震性を有すると思われるサドル付分水栓、給水配管、継手等を選定し、試験で用いる配水管・給水装置を表2-1に示す。

表 2-1 試験で用いる配水管・給水装置 (1)

種類	名称	製品画像 (一例)
配水管	ダクタイル鋳鉄管 GX 形 (試験は耐震継手無し (直管) で行う)	 図 2-3 ダクタイル鋳鉄管 GX 形
給水管分岐部	JWWA サドル付分水栓 A 型 (ボール式・ねじ込み式)	 図 2-4 JWWA サドル付分水栓 A 型
	JWWA SUS サドル付分水栓 AF 型 (ボール式・フランジ式)	 図 2-5 JWWA SUS サドル付分水栓 AF 型
給水管	水道用ポリエチレン 1 種二層管 PE50 (以下、PE1 種二層管という。)	 図 2-6 PE1 種二層管 出典：日本ポリエチレンパイプシステム協会
	水道用波状ステンレス鋼管 (以下、SUS 波状管という。)	 図 2-7 SUS 波状管

表 2-1 試験で用いる配水管・給水装置 (2)

種類	名称	製品画像 (一例)
給水管取出部の継手	WSA 規格※継手 分・止水栓用 ※ 給水システム協会規格	 図 2-8 WSA 規格継手 (分・止水栓用)
	JWWA SUS 伸縮可とう式継手 分水栓用ソケット	 図 2-9 JWWA SUS 伸縮可とう式継手 (分水栓用ソケット)
	フレキシブル継手 異種金属 絶縁型	 図 2-10 フレキシブル継手
継手	JWWA SUS 伸縮可とう式継手 めねじ付ソケット	 図 2-11 JWWA SUS 伸縮可とう式継手 めねじ付ソケット
防食コア	銅コア (密着型)	 図 2-12 銅コア (密着型)
	ステンレスコア (密着型)	 図 2-13 ステンレスコア (密着型)

3. 耐震試験における耐震性評価の基準

(1) 水道施設耐震工法指針（2009）の規定

1) 耐震性能の規定と保持すべき耐震性能

水道施設の耐震性能は、水道施設耐震工法指針（2009）で表 3-1 のように規定されている。

表 3-1 水道施設の耐震性能ごとの要求性能

区分	要求性能
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

出典：水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p28 を要約

2) 配水支管、給水管の重要度の区分

水道施設耐震工法指針（2009）では、水道施設の重要度の区分は、重要度に応じてランク A1、ランク A2、ランク B の区分となっている。

配水支管、給水管の重要度の区分は、いずれもランク B としている。

3) 各耐震性能に対する限界状態

各耐震性能に対する埋設管路の限界状態は表 3-2 のように規定されている。

表 3-2 耐震性能 1、耐震性能 2、耐震性能 3 に対する埋設管路の限界状態

水道施設	部材	耐震性能 1	耐震性能 2	耐震性能 3
埋設管路	一体構造管路の管体	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	部分的に塑性化しても漏水が発生しない限界の状態	
	継手構造管路の継手	継手から漏水が発生しない限界の状態	継手から漏水が発生しない限界の状態	

出典 水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p42 表-2.5.1 を抜粋

4) 施設重要度別の保持すべき耐震性能

レベル 2 地震動に対して、重要度の区分別に保持すべき耐震性能は表 3-3 のように規定されている

表 3-3 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。

出典 水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p29 表-2.3.2 を抜粋

(2) 耐震試験後の耐震性評価の基準

水道施設耐震工法指針（2009）では、配水支管、給水管の区分は、いずれもランク B としており、レベル 2 地震動に対しては、表 3-3 のように保持すべき耐震性能は明確に定められていない。

しかし、現在ダクタイル鋳鉄管は、NS 形、GX 形等のレベル 2 地震動に対して高い耐震性能を有する配水管が主流となり、国内では耐震性の高い配水管への更新が進められている。

よって配水管と同様に、給水配管も高い耐震性を有することが望ましいと考え、表 3-2 の「一体構造管路の管体」「継手構造管路の継手」を参考にし、耐震試験後の耐震性評価の基準を表 3-4 に示す。

表 3-4 耐震試験後の耐震性評価の基準

耐震性能	給水配管への要求性能
レベル 2 地震動 に対して 耐震性能 2	部分的に塑性変形があっても漏水しないこと
	給水性能への影響が軽微で継続使用が可能なこと

4. 想定地震動及び耐震試験条件の設定

(1) 想定地震動と耐震試験の配水管の最大移動速度の設定

1) 想定地震動

想定地震動は、レベル 2 地震動として耐震試験の条件設定を行う。

レベル 2 地震動：当該施設の設置地点において発生すると想定される地震動のうち、最大規模の強さを有するもの。

本報告書では、震度 6 強から震度 7 程度の地震動を想定する。

2) 配水管の最大移動速度の設定

震度 6 強以上が観測された観測点の地震動の速度を図 4-1、図 4-2 に示す。地震動の速度は、瞬間的に 100kine を超える速度を示している。

また表 4-1 より、震度 6 強以上が観測された地震の地震動の最大速度は、約 100 (kine) ～ 130 (kine) となっている。

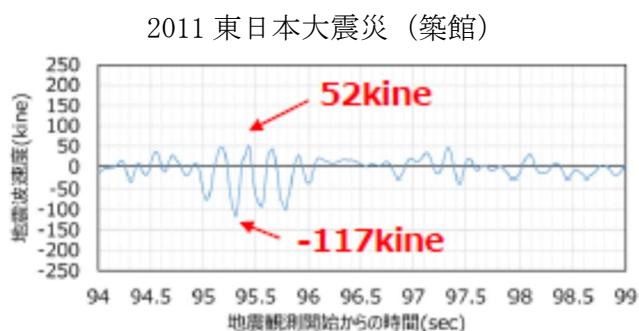


図 4-1 地震動の速度（築館）



図 4-2 地震動の速度（益城）

表 4-1 震度 6 強以上が観測された地震動の最大速度

年	名称	場所	最大速度 [kine]
2000	鳥取地震	日野	108
2004	新潟中越地震	小千谷	132
2007	新潟中越沖地震	柏崎	130
2007	能登半島地震	穴水	99
2011	東日本大震災	築館	117
2016	熊本地震	益城	127
2018	胆振東部地震	追分	92

【解析条件】

国立研究開発法人 防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET、KiK-net）で計測した強震記録の、加速度波形を防災科研配布の専用ソフトで積分して算出。

耐震試験の管軸方向の配水管の最大移動速度は、以下とする。

目標 : 100 (kine : cm/s)

範囲 : 100～130 (kine : cm/s)

(2) 地盤モデルごとのダクトイル鉄管の変位量の設定

レベル 2 地震動が発生した際の配水管管軸方向の相対変位量を、水道施設耐震工法指針（2009）の計算式を用いてモデル地盤ごとに算出した。（表 4-2、次頁計算表 4-1）

試験は、標準的な転圧、埋設条件として、N 値を 10、土被り 0.8m とした「モデルⅡ」の条件を選定する。地盤の不均一性を考慮し、地盤条件は「均一から不均一」とする。

表 4-2 地盤モデルごとのダクトイル鉄管の変位量計算

モデル	呼び径	土被り (m)	地盤条件				管軸方向の 相対変位量 (m)	備考
			層数	N 値	厚み (m)	砂質		
モデルⅠ	150	1.2	H1	2	25	沖積層砂質土	0.43	水道施設耐震 工法指針 (2009)
			H2	5	5	沖積層粘性土		
モデルⅡ	150	0.8	H1	10	25	沖積層砂質土	0.16~0.23	本実験モデル (地盤：均一か ら不均一)
			H2	10	5	沖積層粘性土		
			H1	10	25	沖積層砂質土	0.32	本実験モデル (地盤：極めて 不均一)
			H2	10	5	沖積層粘性土		
モデルⅢ	150	0.8	H1	2	10	沖積層砂質土	0.23	モデルⅠを ベース
			H2	5	10	沖積層粘性土		

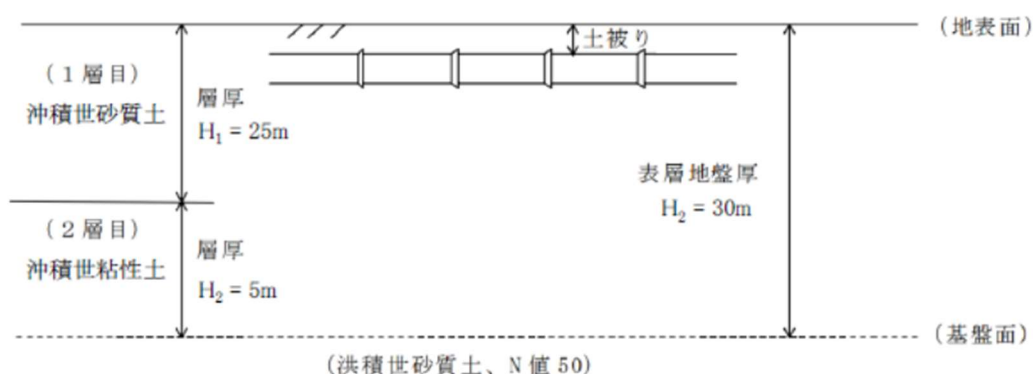


図 4-3 モデルⅠの地盤イメージ

出典：水道施設耐震工法指針（2009）

耐震試験の管軸方向の相対変位量は、以下とする。

地盤：均一から不均一：0.16~0.23m

計算表4-1 水道施設耐震工法指針からの管軸方向の変位量計算：モデルⅡ

P61-P62 3.1.5 耐震設計上の地盤種別

耐震設計上の地盤固有周期 T_G (s)

耐震実験モデルⅡ（密地盤）での計算

式3.1.5 $T_G = 4 * ((H_1/V \text{ s } 1) + (H_2/V \text{ s } 2))$

		H (m)
H1		1層目 沖積世砂質土 25
H2		2層目 沖積世粘性土 5

	N値	表-3.1.6(せん断歪み 10^{-3})	V_s (m/s)
V_{s1}	10	1層目 沖積世砂質土 $61.8 * N^{0.211}$	100.459
V_{s2}	10	2層目 沖積世粘性土 $123 * N^{0.0777}$	147.097

T_G		式3.1.5	T_G (s)
			1.131 ①

P196 1.3.7 地中構造物の応答変位法による設計に用いる設計地震動（地震動レベル2）

地表面から x (m) の位置の地盤の変位振幅 ($U_h(x)$)

耐震実験モデルⅡでの計算

式1.3.6 $U_h(x) = 2/\pi^2 * S_v * T_G * \cos(\pi x / 2H)$

x		土被り (m)	0.8
S_v		表-1.3.5 S_v (c m/s)	100
T_G		① T_G (s)	1.131
H		表層地盤厚 (m)	30

$U_h(x)$		式1.3.6	$U_h(x)$ (cm)
			22.907 ②

P257-P259 埋設管路の耐震設計法

1.応答変位法による耐震計算法の例

1) ダクタイル鋳鉄管の例

P259 中段の式 $U_a = 1/\sqrt{(2)} * U_h$

U_h		② $U_h(x)$ (m)	0.229
-------	--	----------------	-------

U_a		水平変位振幅 (m)	U_a (m)
			0.16 ㊟

地盤条件	地盤不均一度係数	変位振幅m
均一な沖積地盤など	均一：1.0	0.16
層厚の変化がやや激しい 沖積地盤など	不均一：1.4	0.23
非常に不均一な沖積地盤など	極めて不均一：2.0	0.32

出典：水道施設耐震工法指針（2009）

(3) 耐震試験の方法及び条件のまとめ

レベル 2 地震動を想定した耐震試験条件の一覧を表 4-3、地盤の不均一度係数を表 4-4、計測項目を表 4-5 に示す。

表 4-3 レベル 2 地震動を想定した試験条件の一覧

土被り (m)	締固め (N 値)	配水管の 最大移動速度 (kine)	管軸方向の相対変位量 (m)	
0.8	目標 10	目標 100 100～130	0.16～0.23 (目標 20 c m) (地盤：均一から不均一)	基本ケースの 相対変位量
0.8	目標 10	目標 100 100～130	0.32 (目標 35 c m) (地盤：極めて不均一) ※	基本ケースの 相対変位量の約 2 倍

※本試験のモデル地盤は、N 値 10 とした「締固めた地盤」であるため、「地盤：均一から不均一：0.16～0.23m」を基本ケースとしたが、より厳しい条件である「地盤：極めて不均一：0.32m」を想定し、基本ケースの約 2 倍の変位量でも耐震試験を行った。

表 4-4 地盤の不均一度係数

不均一の程度	不均一度係数	地盤条件
均一	1.0	洪積地盤、均一な沖積地盤
不均一	1.4	層厚の変化がやや激しい沖積地盤、 普通の丘陵宅造地
極めて不均一	2.0	河川流域、おぼれ谷等の非常に不均一な沖積地 盤、大規模な切土・盛土の造成地

出典：水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p75 表-3.1.8 を要約

表 4-5 計測項目一覧

項目	測定内容
配水管移動速度	時系列の移動速度
配水管荷重値	配水管の移動量と荷重値

5. 耐震試験用モデル配管の説明

(1) 耐震試験のダクタイル鋳鉄管と給水装置の口径の設定

国内で広く使用されている配水管（ダクタイル鋳鉄管）と給水装置の口径（呼び径）は以下である。

- ・配水管 : 100mm、150mm
- ・給水装置 : 20mm、25mm

口径が大きいと地盤反力が増加するため、より負荷が大きいと予測される以下の口径を使用する。

- 配水管 : 150mm
- 給水装置 : 25mm

(2) 耐震試験用配管

「表 2-1 試験で用いる配水管・給水装置」から、国内の採用管種割合、事業体の採用配管を参考を選定した試験配管 3 条件を、表 5-1、図 5-1～図 5-3 に示す。

表 5-1 耐震試験用配管（3 条件）

試験条件	配水管	サドル付 分水栓	防食コア	給水管 取出し部	給水管	継手
1	150 GX 形	JWWA A 型 150×25	銅コア 密着型	WSA 規格継手 分・止水栓用	PE1 種二層管	—
2	150 GX 形	JWWA SUS AF 型 150×25	SUS コア 密着型	SUS 伸縮 可とう式継手 分水栓用ソケット	SUS 波状管	—
3	150 GX 形	JWWA A 型 150×25	銅コア 密着型	フレキシブル継手	フレキシブル 継手、 SUS 波状管	SUS 伸縮 可とう式継手 めねじ付 ソケット

1) 試験条件 1 : PE1 種二層管 生曲げ配管 (JWWA サドル付分水栓 A 型)

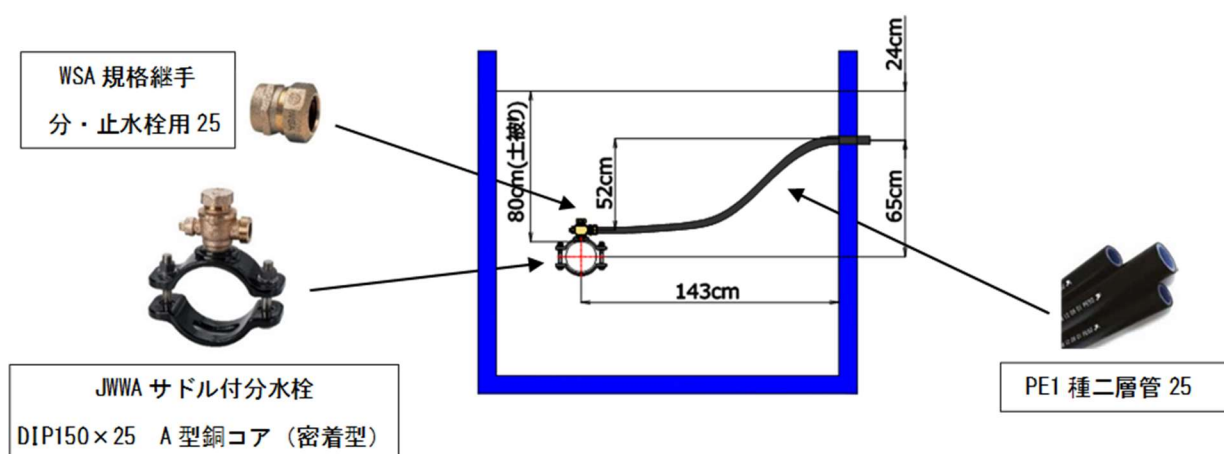


図 5-1 試験条件 1

2) 試験条件 2 : SUS 伸縮可とう継手+SUS 波状管配管 (JWWA SUS サドル付分水栓 AF 型)

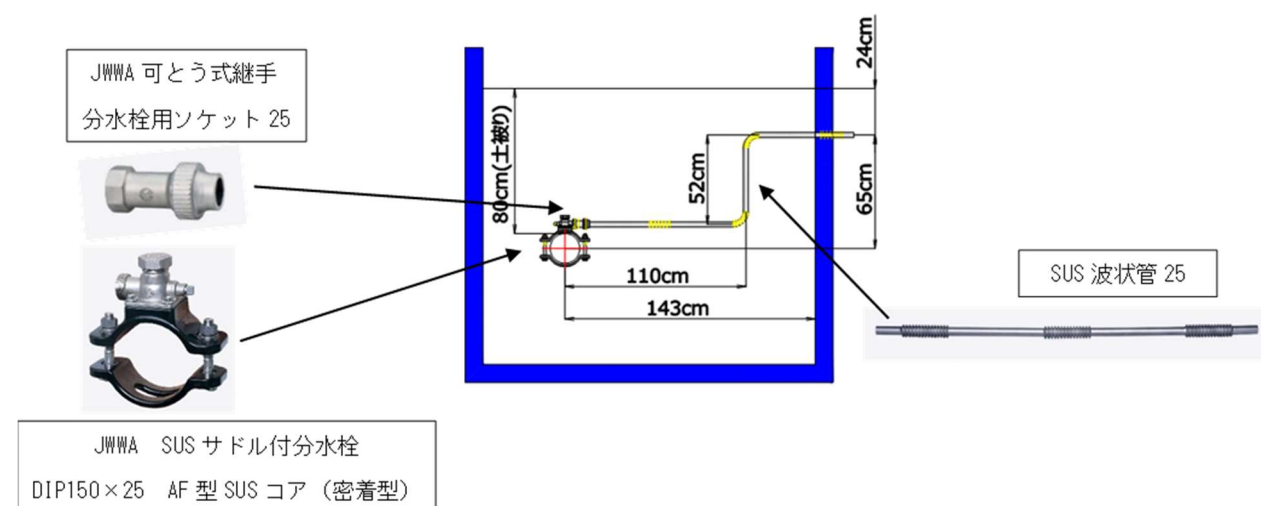


図 5-2 試験条件 2

3) 試験条件 3 : フレキシブル継手+SUS 波状管配管 (JWWA サドル付分水栓 A 型)

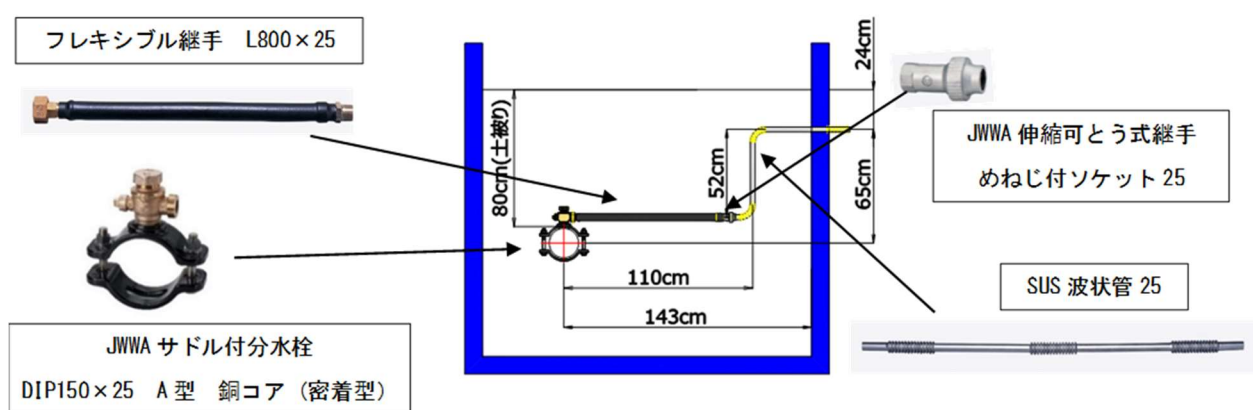


図 5-3 試験条件 3

6. 耐震試験

(1) 耐震試験装置

図 6-1 に耐震試験装置、図 6-2 に耐震試験装置の概要を示す。



図 6-1 耐震試験装置

構成機器：土砂箱、油圧ジャッキ、ロードセル、変位計、データロガー

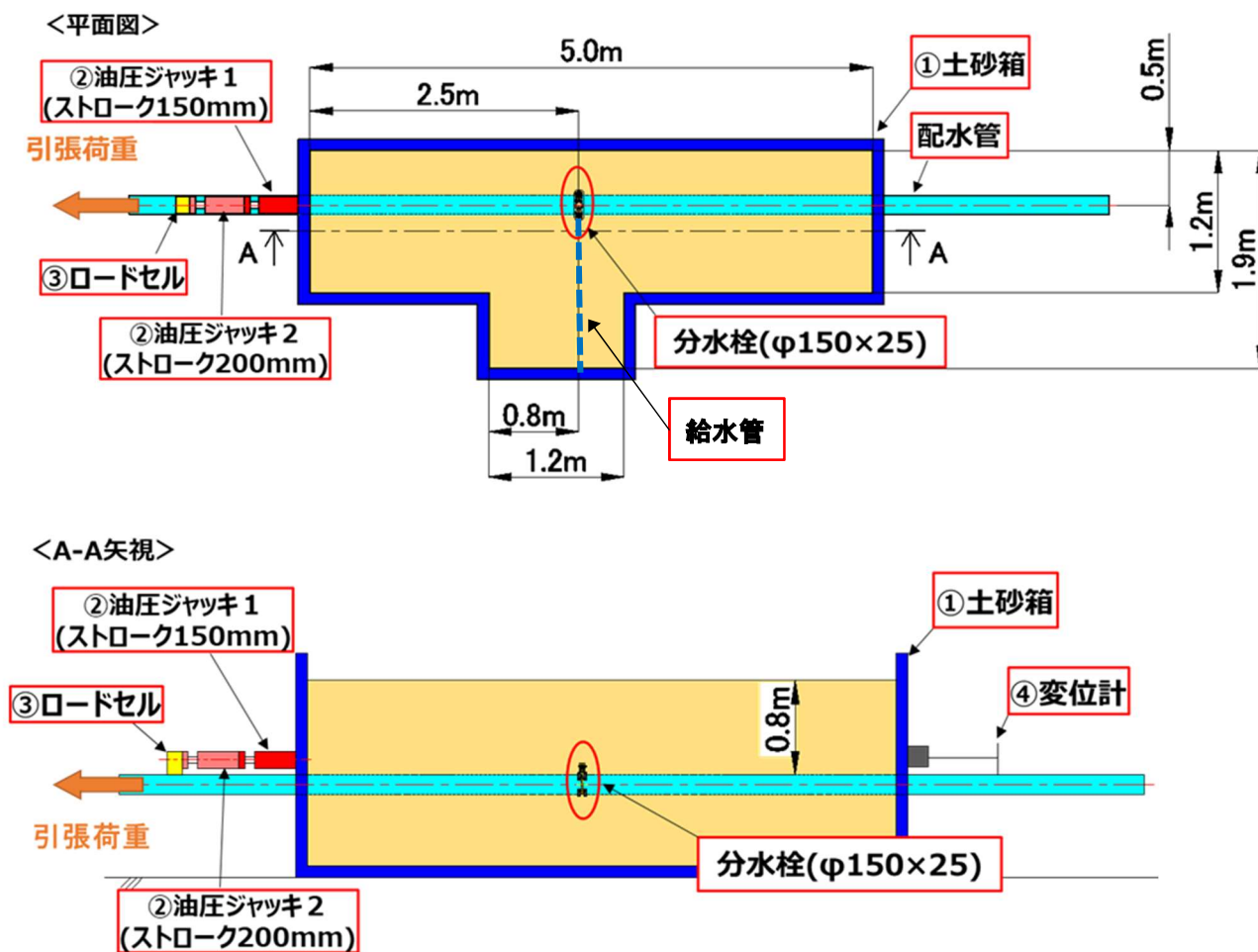


図 6-2 耐震試験装置の概要

(2) 配管埋設方法

- ① 1層目位置に山砂を入れ、⑤、⑥の手順で締め固める。
- ② 配水管にサドル付分水栓を取付け、穿孔し、防食コアを取付ける。※1
- ③ サドル付分水栓に給水配管を取付ける。※1
- ④ 2層目位置まで山砂を入れる。
- ⑤ ランマー、プレートコンパレータで締め固める。
- ⑥ 締め固め後に「×」位置のN値を層毎に測定する。※2 N値平均が10になるまで、締め固め作業を繰り返す。必要に応じてトンボで地ならしを行う。
以降5層目まで繰り返す。

※1 サドル付分水栓、給水配管、給水管継手は、各々の標準施工手順に従って施工した。

※2 N値計測方法(簡易動的コーン貫入試験方法/ JGS 1433)

- ・質量5kgのハンマーを500mmの高さから自由落下させ、100mm貫入させるために必要な打撃回数から、N値を求める。

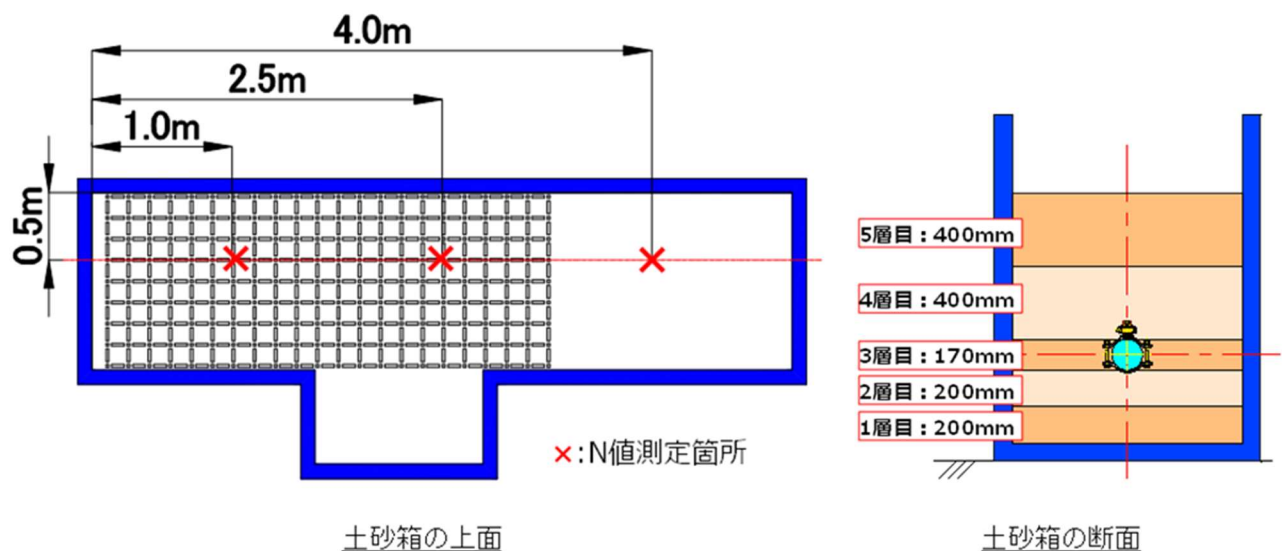


図 6-3 締め固め説明図



図 6-4 締め固め



図 6-5 N値測定

(3) 耐震試験手順

- ① 配水管及びサドル付分水栓を埋設後、一方の管端部を油圧ジャッキで押して強制移動させる（配水管の移動速度：100kine～130kine）。
- ② 配水管の移動後、配水管の変位量、引張荷重値、及び土砂表面の状態を確認する。
- ③ 掘削を行い、サドル付分水栓のずれ量及び給水管の状態を確認する。
- ④ 配水管を掘り出した後、分水栓の前後 30 c m の範囲で切り出し、その供試片を用いて給水性能への影響に関する検証試験を実施する。
（水圧試験、試験前後の給水流量比較試験）



図 6-6 油圧ジャッキ

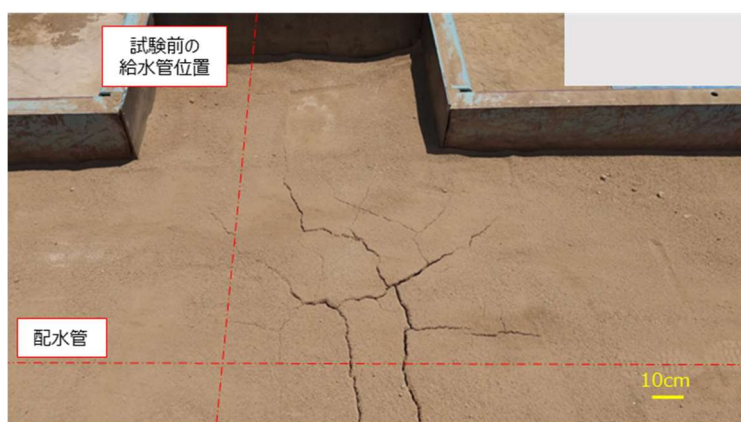


図 6-7 試験後の土砂表面の状態
（試験 No. 1 の例）

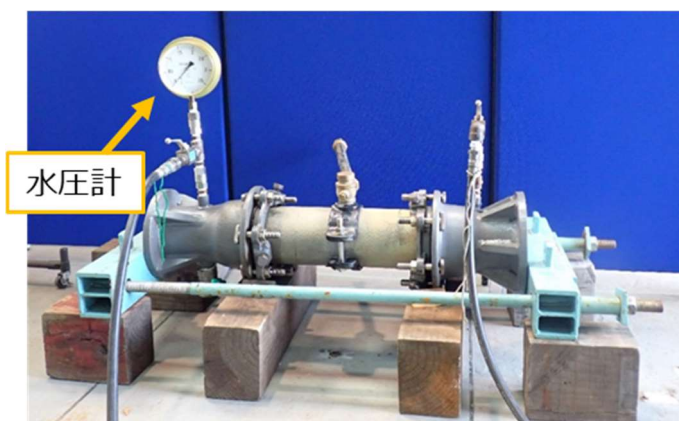


図 6-8 水圧試験装置

表 6-1 水圧試験条件

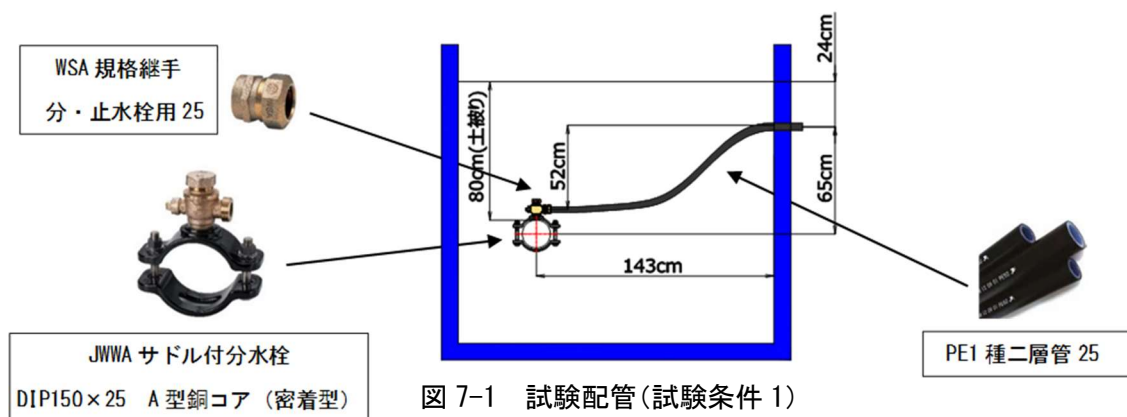
試験水圧	保持時間
0.8MPa	5 分以上

7. 耐震試験結果と耐震性能評価

設定した試験条件で耐震試験を実施し、給水性能への影響に関し検証した。
それらの結果から、設定した評価基準をもとに耐震性評価を行った。

(1) 耐震試験結果

1) 試験 No1 : PE1 種二層管 生曲げ配管 (JWWA サドル付分水栓 A 型)



① 試験結果 : 相対変位量 20 c m

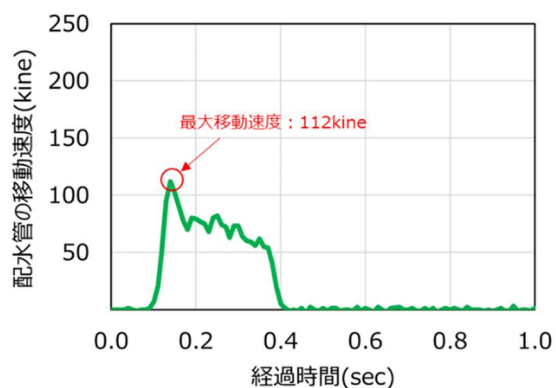


図 7-2 配水管の移動速度

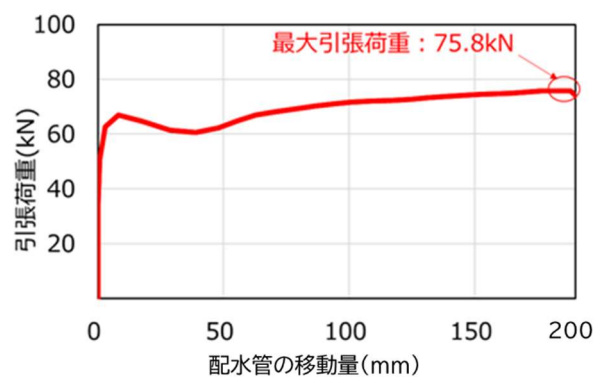


図 7-3 配水管の引張荷重



図 7-4 サドル付分水栓及び給水管の変形状況

- 配水管の最大移動速度は 112kine で、試験条件 (100～130kine) を満足した。
- 配水管の移動量は 20 c m、最大引張荷重は 75.8kN で、配水管の移動量が約 20 c m で発生した。また、他配管と同様に 1 c m 程度の位置で最大荷重に近い荷重が発生している。
- ポリエチレン管に、分水栓からの取出し部で最大で約 25° の屈曲が生じた。

② 試験結果：相対変位量 35 c m

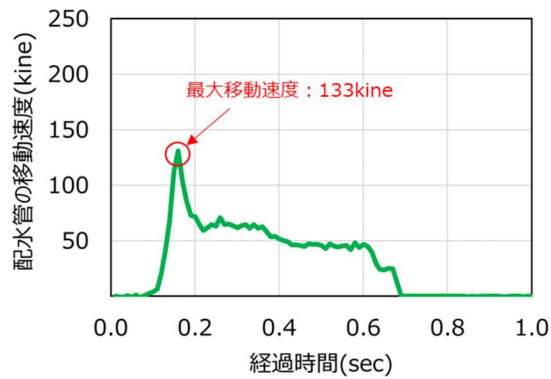


図 7-5 配水管の試験速度

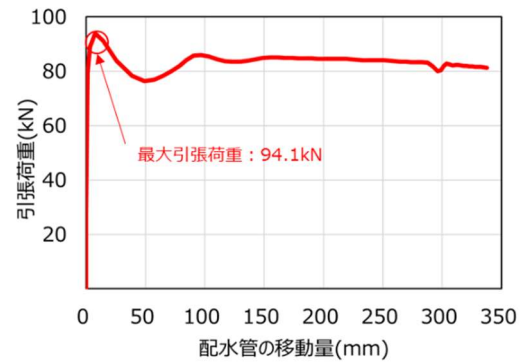


図 7-6 配水管の引張荷重

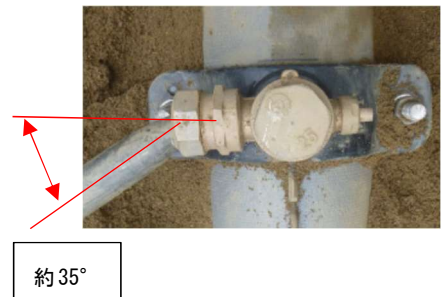


図 7-7 サドル付分水栓及び給水管の変形状況

- 配水管の最大移動速度は 133kine で、試験条件（100～130kine）をやや上回った。
- 配水管の移動量は 35 c m、最大引張荷重は 94.1kN で、配水管の移動量が約 1 c m で発生した。
- ポリエチレン管に、分水栓からの取出し部で最大で約 35° の屈曲が生じた。

2) 試験 No2 : SUS 可とう継手+SUS 波状管配管 (SUS サドル付分水栓 AF 型)

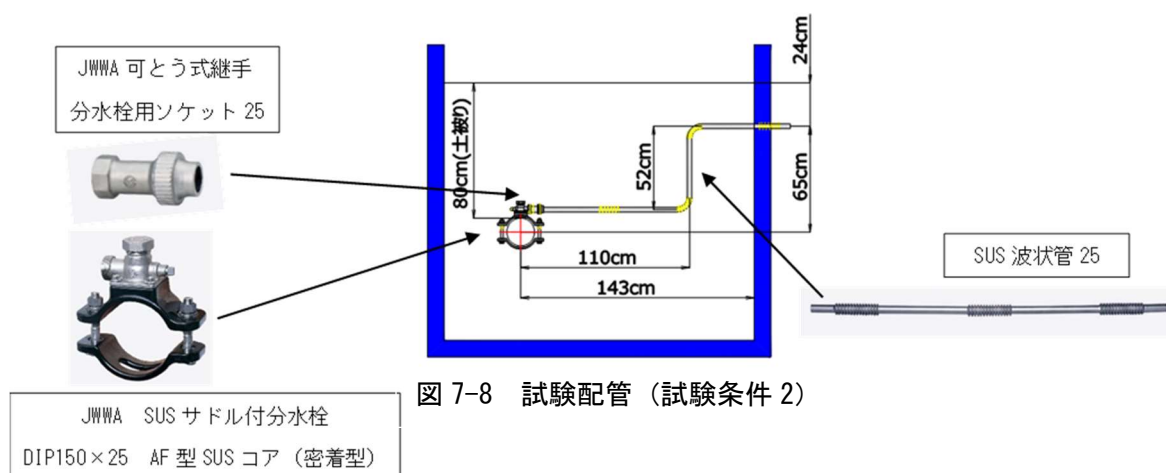


図 7-8 試験配管 (試験条件 2)

① 試験結果：相対変位量 20 c m

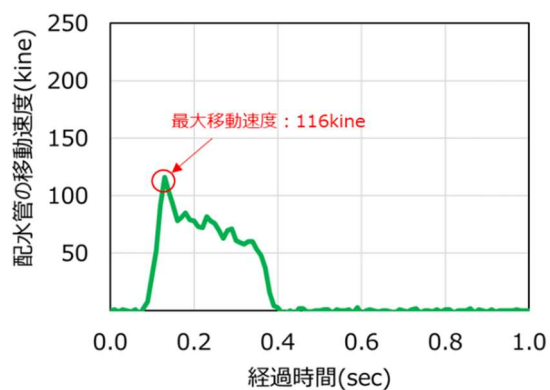


図 7-9 配水管の試験速度

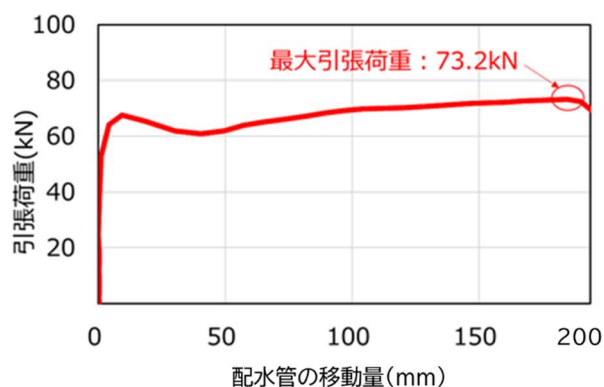


図 7-10 配水管の引張荷重

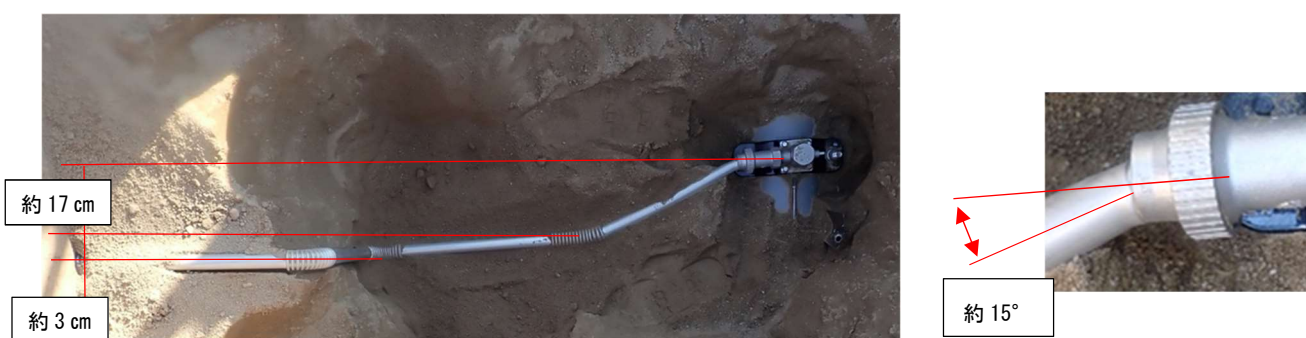


図 7-11 サドル付分水栓及び給水管の変形状況

- 配水管の最大移動速度は 116kine で、試験条件 (100～130kine) を満足した。
- 配水管の移動量は 20 c m、最大引張荷重は 73.2kN で、配水管の移動量が約 20 c m で発生した。また、他配管と同様に 1 c m 程度の位置で最大荷重に近い荷重が発生している。
- SUS 管は可とう継手からの取り出し部で約 15° の屈曲が生じた。

② 試験結果：相対変位量 35 c m

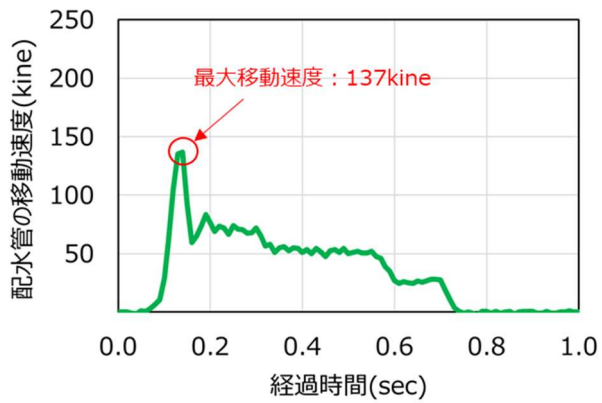


図 7-12 配水管の試験速度

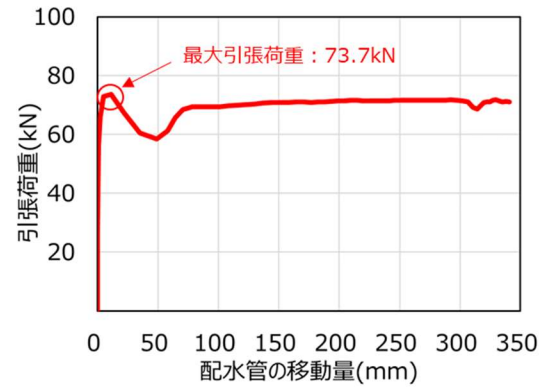


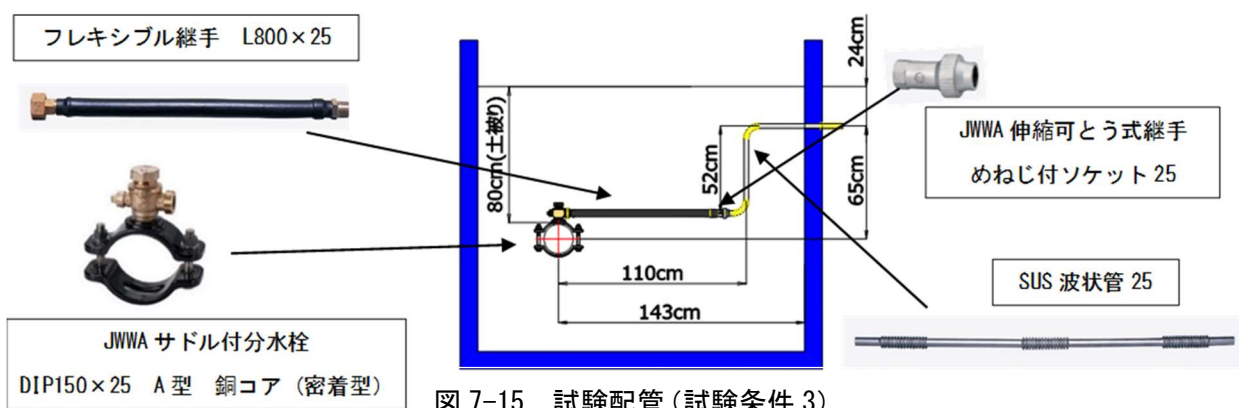
図 7-13 配水管の引張荷重



図 7-14 サドル付分水栓及び給水管の変形状況

- 配水管の最大移動速度は 137kine で、試験条件（100～130kine）をやや上回った。
- 配水管の移動量は 35 c m、最大引張荷重は 73.7kN で、配水管の移動量が約 1 c mで発生した。
- SUS 管は可とう継手からの取り出し部で約 25° の屈曲が生じた

3) 試験 No3 : フレキシブル継手+SUS 波状管配管 (サドル付分水栓 A 型)



① 試験結果 : 相対変位量 20 c m

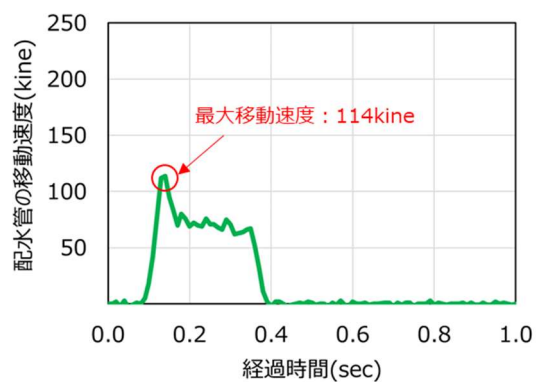


図 7-16 配水管の試験速度

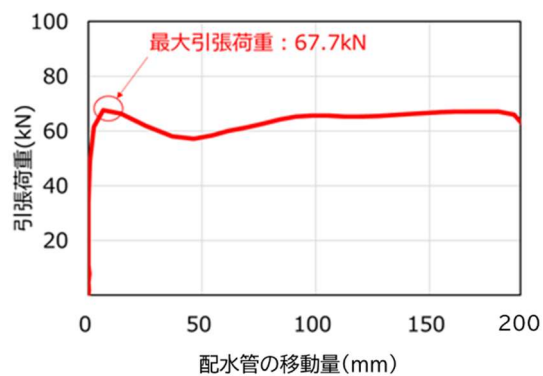


図 7-17 配水管の引張荷重



図 7-18 サドル付分水栓及び給水管の変形状況

- 鉄管の最大移動速度は 114kine で、試験条件 (100～130kine) を満足した。
- 鉄管の移動量は 20 c m、最大引張荷重は 67.7kN で、鉄管の移動量が約 1 c m で発生した。
- フレキシブル継手に、分水栓からの取出し部で最大約 30° の屈曲が発生した。

② 試験結果：相対変位量 35 c m

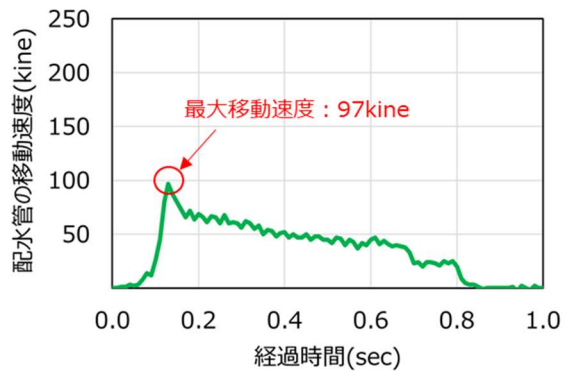


図 7-19 配水管の試験速度

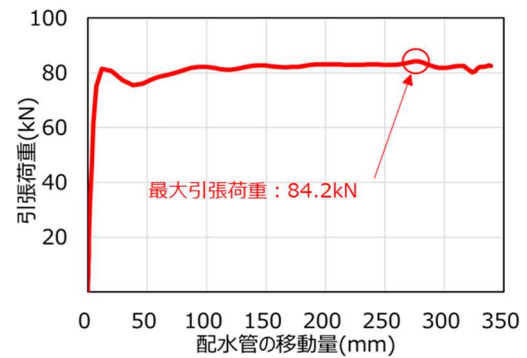


図 7-20 配水管の引張荷重

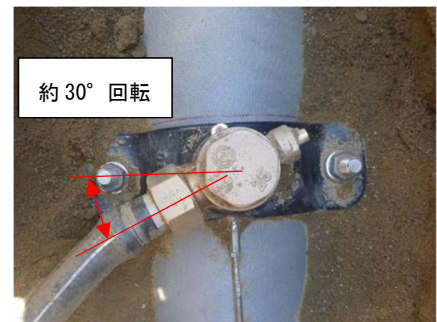
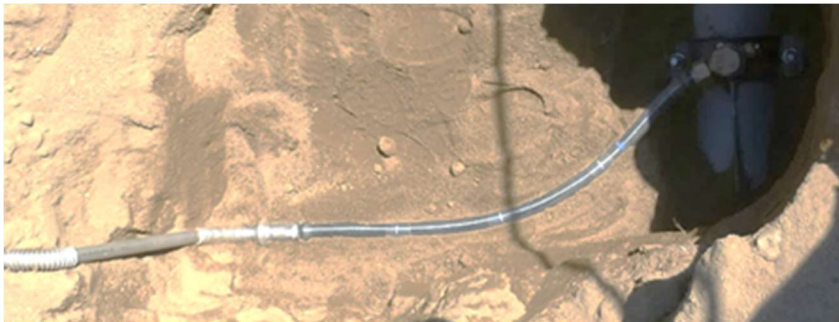


図 7-21 サドル付分水栓及び給水管の変形状況

- 配水管の最大移動速度は 97kine で、試験条件（100～130kine）をやや下回った。
- 配水管の移動量は 35 c m、最大引張荷重は 84.2kN で、配水管の移動量が約 25 c m で発生した。また、他配管と同様に 1 c m 程度の位置で最大荷重に近い荷重が発生している。
- 分水栓ねじ込み部が左方向に約 30° 回転していた。

(2) 給水性能への影響に関する検証試験

1) 水圧試験

① 試験方法

耐震試験後（相対変位量 20 c m、及び 35 c m）の試験 No1～No3 の配水管を、サドル付分水栓の前後 30 c mの範囲で切り出し、その供試品に水圧を 0.8MPa 負荷し、漏水、その他異常の有無を確認した。



図 7-22 試験画像：SUS 可とう継手+SUS 波状管配管

表 7-1 供試品一覧

試験 No.	供試品	土砂箱内での 変形状況（最大）
試験 No. 1	試験条件 1 配管 PE 1 種二層管 生曲げ配管 (JWWA サドル付分水栓 A 型)	PE 管 継手接合部 最大約 35° 屈曲
試験 No. 2	試験条件 2 配管 SUS 可とう継手+SUS 波状管配管 (JWWA SUS サドル付分水栓 AF 型)	SUS 管 継手接合部 最大約 25° 屈曲
試験 No. 3	試験条件 3 配管 フレキシブル継手+SUS 波状管配管 (JWWA サドル付分水栓 A 型)	分水栓ねじ込み部 最大約 30° 回転

② 試験結果

水圧試験の結果、漏水、その他の異常は確認されなかった。

表 7-2 水圧試験結果

試験 No	試験水圧	保持時間	試験結果
No1	0.8MPa	5 分以上	漏水、その他異常なし
No2			漏水、その他異常なし
No3			漏水、その他異常なし

2) サドル付分水栓上部への水圧試験

① 分水栓ねじ込み部の構造

分水栓ねじ込み部は、一定以上の回転方向の負荷がかかると回転するが、図 7-23 に示すように回転しても水密性を保持する構造となっている。

相対変位量 35 c m の耐震試験において、試験 No3 は、分水栓ねじ込み上部に左方向約 30° の回転が生じたが、耐震試験後の水圧試験は合格している（7.（2）.1）水圧試験）。

ここでは更に分水栓上部を左方向 360° まで回転させて、その水密性を確認した。また、耐震試験結果とは逆の右方向にも 30° 回転させて水密性を確認した。

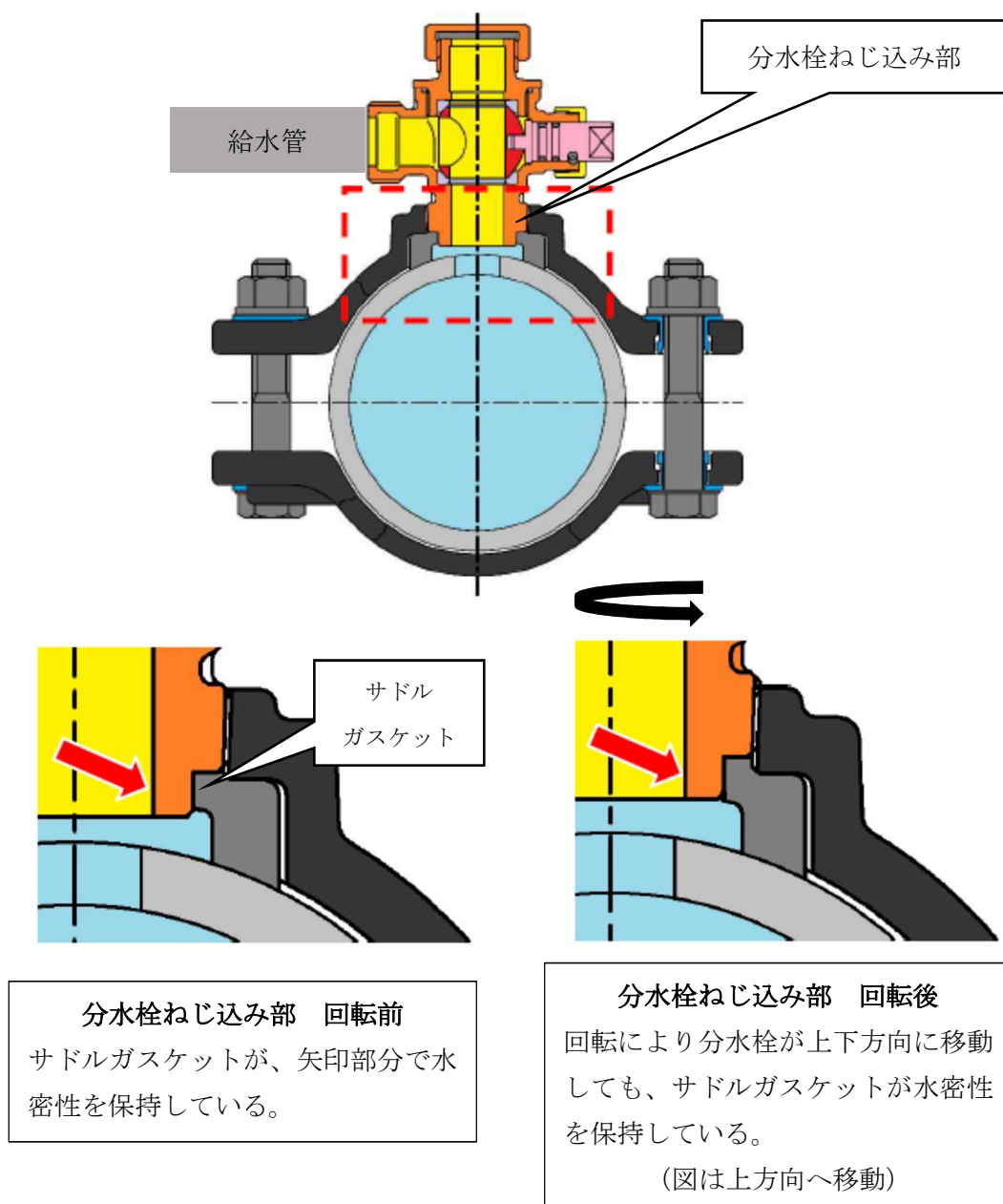


図 7-23 分水栓ねじ込み部の水密構造

※説明のため、防食コアは除いている。

② 分水栓ねじ込み部の水圧試験結果

JWWA サドル付分水栓の分水栓ねじ込み部を左方向へ 360°、右方向に 30° 回転させた供試品で水圧試験を行った結果、漏水その他異常はなかった。

表 7-3 水圧試験結果

試験条件			試験結果
サドル付分水栓	分水栓ねじ込み部 回転角度	水圧負荷条件	漏水、異常の有無
JWWA サドル付分水栓 A 型 150×25	左方向 360°	0.8MPa 5 分	漏水、その他異常なし
		1.3MPa 5 分	漏水、その他異常なし
	右方向 30°	0.8MPa 5 分	漏水、その他異常なし
		1.3MPa 5 分	漏水、その他異常なし



図 7-24 分水栓ねじ込み部回転時の水圧試験装置

3) 流量比較試験

耐震試験の結果、3 条件の配管で屈曲が発生したため、給水管の屈曲による給水量への影響を、耐震試験前後の通水量の比較試験により確認した。供試品は、屈曲角度が大きい相対変位量 35 c m の耐震試験後の配管で行った。

① 試験方法

水理ラインを用いて耐震試験前の供試品（新規配管品）と、相対変位量 35 c m の耐震試験後の供試品で流量の比較を行った。

測定圧力は 0.1MPa から 0.05MPa ごと増加させ流量を測定し、流量測定限界値まで行った。（流量測定限界値：324.3L/min）

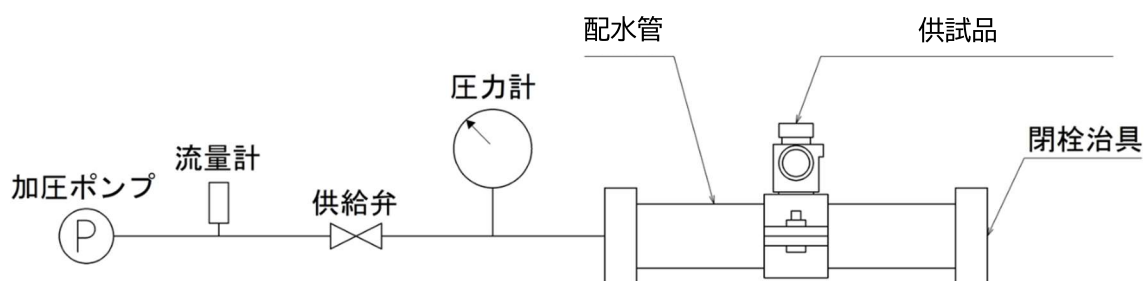


図 7-25 試験装置簡略図

② 試験結果（PE1 種二層管配管）

耐震試験後のポリエチレン管が塑性変形していなかったため、試験後の最大角度の約 35° となるよう、強制的に屈曲させた状態で流量比較を行った。



図 7-26 耐震試験前の供試品



図 7-27 耐震試験後の供試品 1



図 7-28 耐震試験後の供試品 2
(約 35° 強制屈曲)

表 7-4 PE1 種二層管
流量比較試験結果

測定圧力 (MPa)	PE1 種二層管	
	測定流量(L/min)	
	耐震試験前	耐震試験後
0.1	168.3	162.1
0.15	205.1	201.3
0.2	241.1	231.7
0.25	266.4	263.3
0.3	290.0	284.3
0.35	315.0	306.7
0.4	—	—
平均	247.7	241.6
増減	0	▼6.1 (▼2.5%)

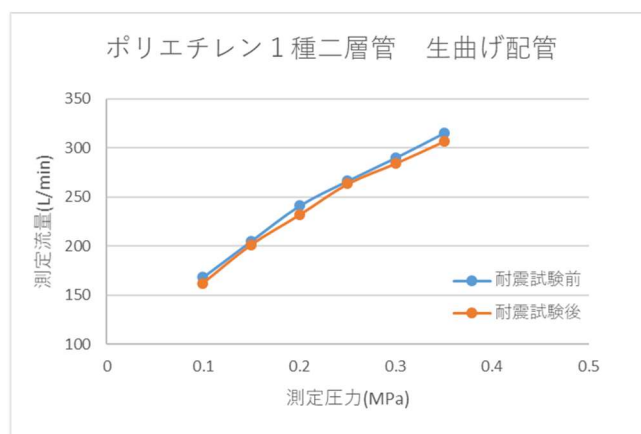


図 7-29 比較グラフ

○流量の平均値で、6.1L/min の低下、割合で 2.5% の低下であった。

③ 試験結果（SUS 可とう継手+SUS 波状管配管）

耐震試験後の供試品は、SUS 可とう継手の部分から約 25° 屈折している状態のまま流量比較を行った。

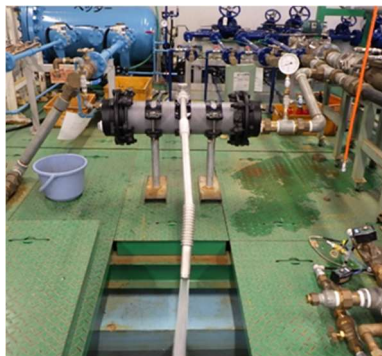


図 7-30 耐震試験前の供試品



図 7-31 耐震試験後の供試品 1



図 7-32 耐震試験後の供試品 2

表 7-5 SUS 可とう継手+SUS 波状管配管
流量比較試験結果

測定圧力 (MPa)	SUS 可とう継手+SUS 波状管配管	
	測定流量(L/min)	
	耐震試験前	耐震試験後
0.1	167.1	162.7
0.15	198.5	199.4
0.2	231.5	228.7
0.25	259.0	254.5
0.3	282.9	281.5
0.35	304.2	299.8
0.4	—	320.1
平均 (0.35 まで)	240.5	237.8
増減	0	-2.7 (▼1.1%)

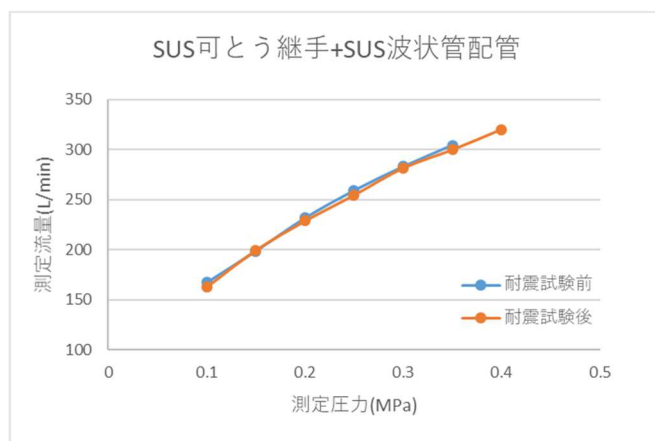


図 7-33 比較グラフ

○流量の平均値で、2.7L/min の低下、割合で 1.1% の低下であった。

④ 試験結果（フレキシブル継手+SUS 波状管配管）

耐震試験後の供試品は、分水栓ねじ込み部が約 30° 回転している状態のまま流量比較を行った。

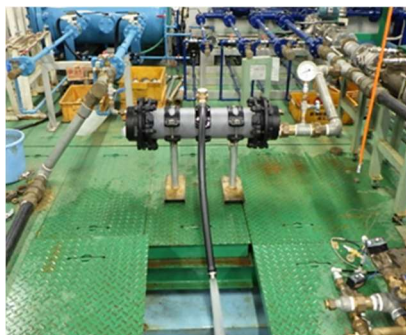


図 7-34 耐震試験前の供試品



図 7-35 耐震試験後の供試品 1

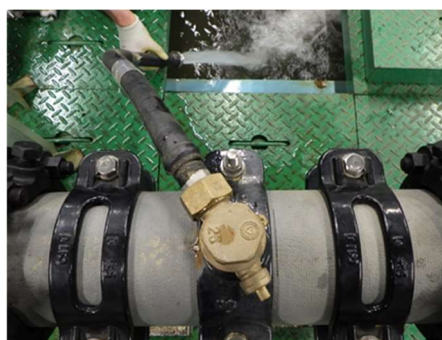


図 7-36 耐震試験後の供試品 2

表 7-6 フレキシブル継手+SUS 波状管配管
流量比較試験結果

測定圧力 (MPa)	フレキシブル継手+SUS 波状管配管	
	測定流量(L/min)	
	耐震試験前	耐震試験後
0.1	145.8	136.4
0.15	170.2	161.1
0.2	194.6	184.8
0.25	216.4	208.9
0.3	234.6	231.8
0.35	253.0	247.0
0.4	271.4	264.5
0.45	285.6	281.6
0.5	300.5	295.3
平均	230.2	223.5
増減	0	-6.7 (▼2.9%)

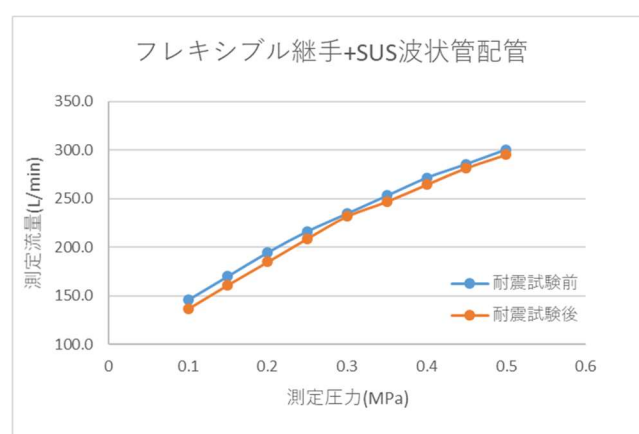


図 7-37 比較グラフ

○流量の平均値で、6.7 L/min の低下、割合で 2.9% の低下であった。

⑤ まとめ

測定圧力 0.1MPa から 0.05MPa ごと増加させた条件で、耐震試験前：新規配管品と耐震試験後：変位量 35 c mでの耐震試験品を用いて流量比較試験を行った結果、平均値で最大でも 2.9%の流量低下であり、耐震試験後の 3 条件の配管は、給水量に影響なく継続使用が可能な結果となった。

(参考 JWWA 規格の基準流量 (継手、サドル付分水栓) 呼び径 25mm : 60L/min)

(3) 耐震性能評価

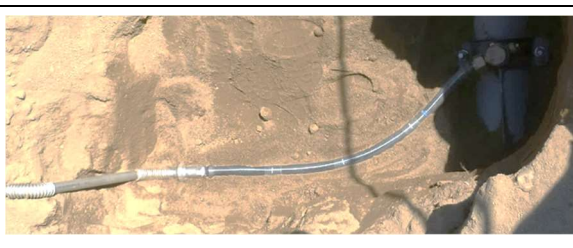
表 7-7 に示す試験結果から、試験条件 1～3 の配管は、「レベル 2 地震動に対して耐震性能 2」を有すると評価できる。

○3 条件の配管に対して、移動速度 100～130Kine，変位量 20 c m 及び 35 c m の耐震試験を行い、いずれの条件でもサドル付分水栓のずれは生じなかった。

○耐震試験後に 0.8MP a の水圧試験を行い、水密性能を保持していることを確認した。

○耐震試験後の配管について、給水管の変形や分水栓ねじ込み部の回転等の部分的な変形が生じたが、給水性能に影響はなく、継続使用が可能なことを確認した。

表 7-7 相対変位量 20 c m と 35 c m の試験結果と耐震性能評価

試験条件	相対変位量 20 c m（基本ケース）	相対変位量 35 c m（基本ケースの約 2 倍）
試験条件 1 PE 1 種二層管	 給水管分岐部約 25° 屈曲	 給水管分岐部約 35° 屈曲
試験条件 2 SUS 波状管	 給水管分岐部約 15° 屈曲	 給水管分岐部約 25° 屈曲
試験条件 3 フレキシブル 継手 + SUS 波状管	 給水管分岐部約 30° 屈曲	 分水栓ねじ込み部約 30° 回転 屈曲はなし
耐震試験後の 検証	水圧試験：合格 サドルずれ：なし	水圧試験：合格 サドルずれ：なし 給水量：影響なし
耐震性能 評価	レベル 2 地震動に対して耐震性能 2 を有する	

8. 給水管分岐部に係る給水配管に作用する荷重値調査試験

(1) 調査試験方法

地震時に各給水装置に作用する荷重を分析するため、追加の耐震試験を実施した。

各給水装置の荷重を直接測定することが難しいため、配水管のみの耐震試験と、配水管にサドル付分水栓のみの耐震試験を行い、「7. 耐震試験結果と耐震性能評価」で得られた荷重データから減じて、サドル付分水栓と給水管に作用する荷重値を求めた。

1) 耐震試験装置

図 8-1 に耐震試験装置を示す。



図 8-1 耐震試験装置

2) 試験条件

表 8-1 に供試管及び試験条件の一覧を示す。

表 8-1 供試管及び試験条件の一覧

No.	配水管	分水栓 (仕様等)	給水管	土被り (m)	締固め (N 値)	配水管の最大移動速度 (kine)	相対 変位量 (m)	備考
1-1	150 GX 形	150×25 (コア 密着型)	PE1 種二層管	0.8	目標 10	目標 100 100～130	0.16 ～0.23 (16～23 c m)	「7. 耐震 試験結果 と耐震性 能評価」
1-2			SUS 波状管					
1-3			フレキシブル 継手 +SUS 波状管					
2	150 GX 形	150×25 (コア 密着型)	なし	0.8	目標 10	目標 100 100～130	0.16 ～0.23 (16～23 c m)	本試験
3	150 GX 形	なし	なし	0.8	目標 10	目標 100 100～130	0.16 ～0.23 (16～23 c m)	本試験

3) 試験手順

試験手順は、「6. 耐震試験」と同様に行い、計測項目を表 8-2 に示す。

表 8-2 計測項目一覧

項目	測定内容
配水管移動速度	時系列の移動速度
配水管荷重値	配水管の移動量と荷重値

(2) 調査試験結果

1) サドル付分水栓に作用する荷重値

① 荷重値の算出方法

配水管にサドル付分水栓（分水栓）を装着した状態での耐震試験（No. 2）と配水管だけの場合（No. 3）の耐震試験結果から、分水栓に作用する荷重を以下の式で算出した。

結果を図 8-2 に示す。

[分水栓に作用する荷重]

$$= [\text{配水管} + \text{分水栓の引張荷重}] - [\text{配水管だけの引張荷重}]$$

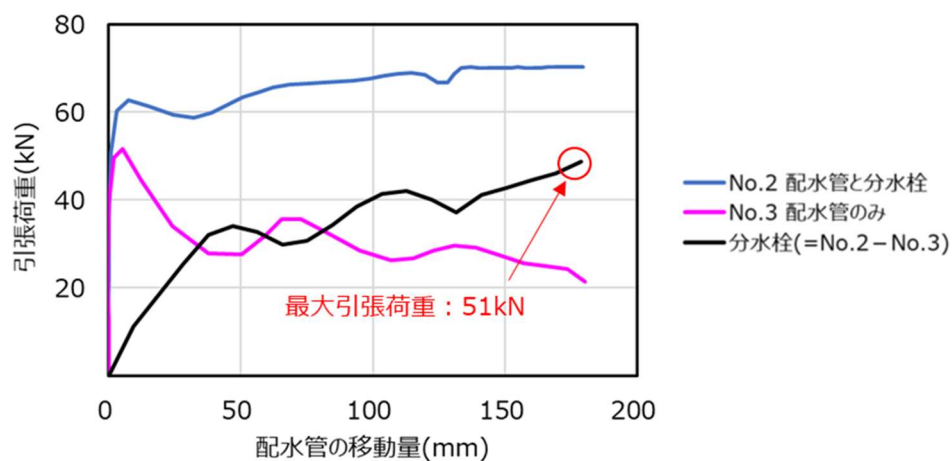


図 8-2 サドル付分水栓に作用する荷重値

② 結果

本試験条件では、サドル付分水栓に 51 kN の最大荷重が作用していた。

サドル付分水栓に作用する荷重は、配水管の移動量が 5 c m 程度までは移動量当たりの増加が大きく、移動量 5 c m を超えると緩やかな増加に転じ、移動量 約 18 c m で最大荷重が発生していた。

2) 給水管に作用する荷重値

① 荷重値の算出方法

配水管にサドル付分水栓（分水栓）及び給水管を装着した状態での耐震試験（No. 1- 1 ～ 3：「7. 耐震試験結果と耐震性能評価」の荷重値）と、配水管に付分水栓のみを装着した耐震試験（No. 3）の試験結果から、給水管に作用する荷重を以下の式で算出した。

結果を図 8-3、図 8-4 に示す。

〔給水管に作用する荷重〕

$$= \text{〔配水管 + 分水栓 + 給水管の引張荷重〕} - \text{〔配水管 + 分水栓の引張荷重〕}$$

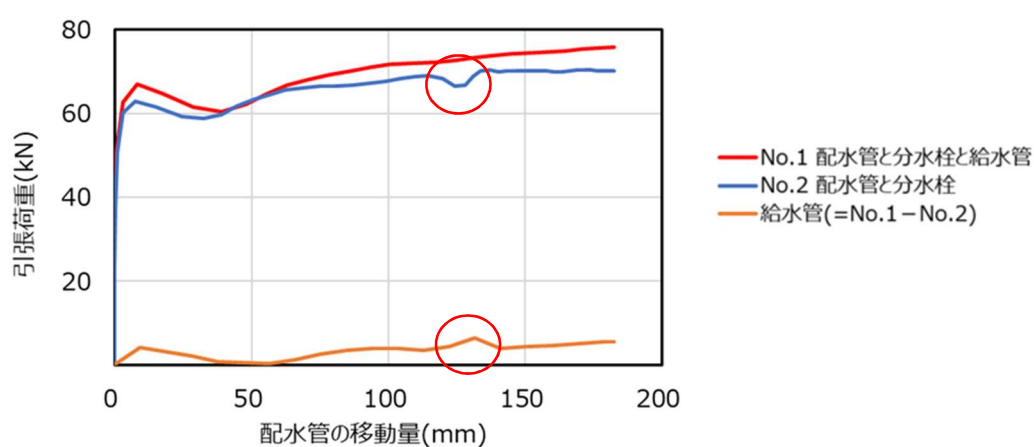


図 8-3 給水管（PE1 種 2 層管）に作用する荷重値

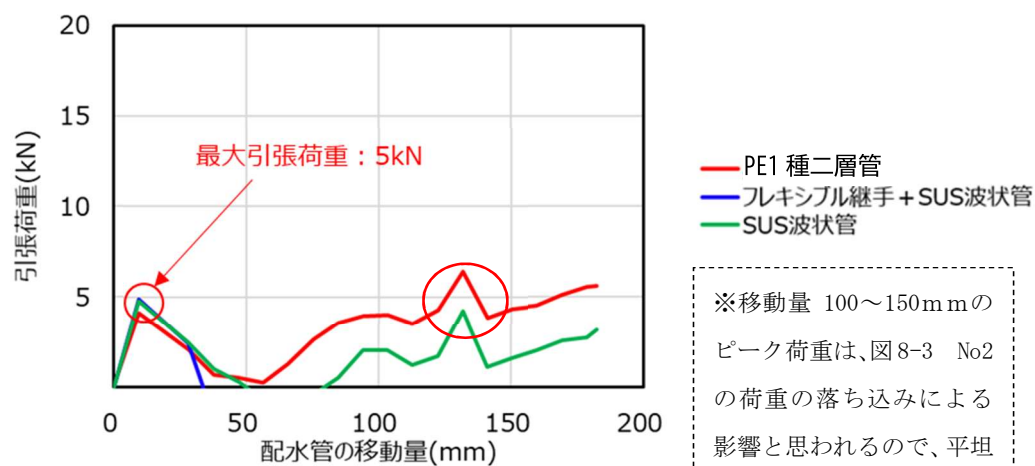


図 8-4 各給水管に作用する荷重値（拡大）

② 結果

本試験条件では、給水管に作用する荷重は 5 kN であり、サドル付分水栓に作用する荷重 51 kN と比較して 1/10 程度であった。

(3) 給水管分岐部に係る給水配管へ作用する荷重値

1) サドル付分水栓、給水管へ作用する荷重値

耐震試験後の給水配管の影響範囲と、サドル付分水栓、給水管に作用する荷重を、図 8-5～図 8-7 に示す。

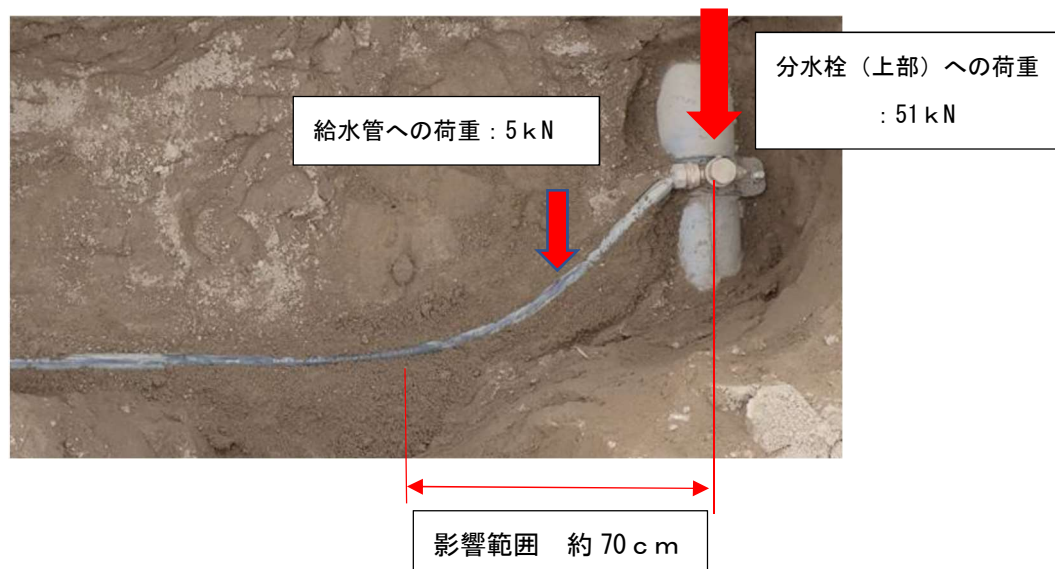


図 8-5 耐震試験後の給水配管の状況と荷重値（PE 1 種二層管）

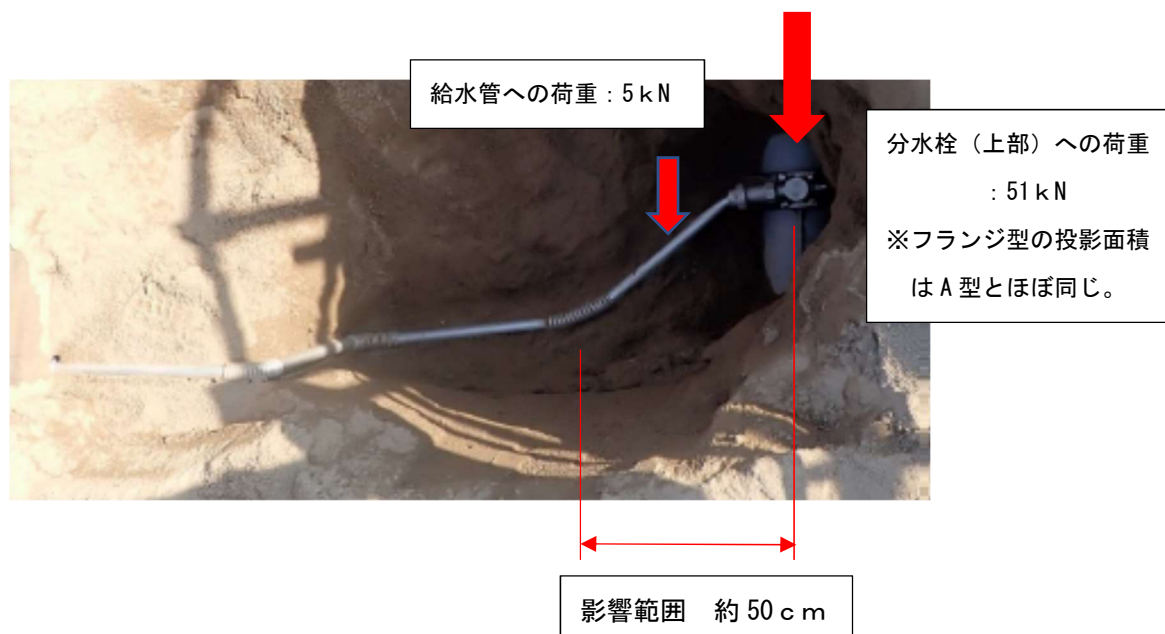


図 8-6 耐震試験後の給水配管の状況と荷重値（SUS 波状管）

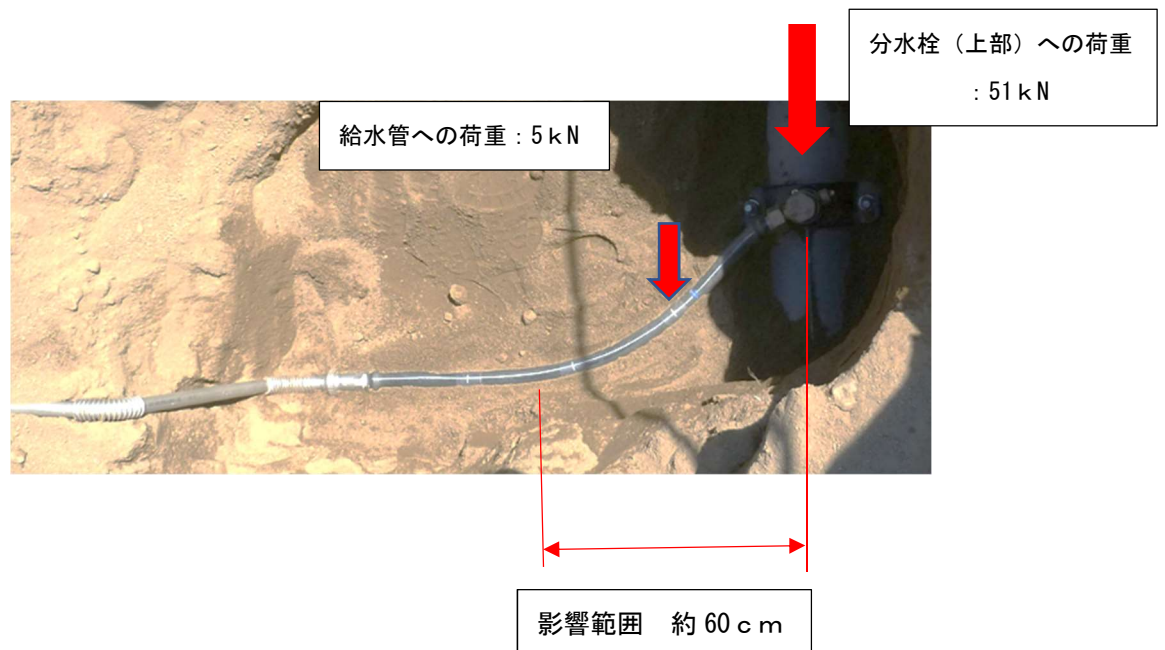


図 8-7 耐震試験後の給水配管の状況と荷重値（フレキシブル継手+SUS 波状管）

9. 耐震試験と耐震性評価のまとめ

(1) 耐震試験後の耐震性評価の基準

「3. 耐震試験における耐震性評価の基準」で設定した「耐震試験後の耐震性評価の基準」を表 9-1 に示す。

表 9-1 耐震試験後の耐震性評価の基準（表 3-4 再掲）

試験給水配管	耐震性能	給水配管への要求性能
試験条件 1 試験条件 2 試験条件 3	レベル 2 地震動 に対して 耐震性能 2	部分的に塑性変形があっても漏水しないこと 給水性能への影響が軽微で継続使用が可能なこと

(2) レベル 2 地震動を想定した耐震試験方法

「4. 想定地震動及び耐震試験条件の設定」で設定した、レベル 2 地震動を想定した耐震試験条件の一覧を、表 9-2、計測項目を表 9-3 に示す。

表 9-2 レベル 2 地震動を想定した試験条件の一覧（表 4-3 再掲）

土被り (m)	締固め (N 値)	配水管の 最大移動速度 (kine)	管軸方向の相対変位量 (m)	
0.8	目標 10	目標 100 100～130	0.16～0.23 (目標 20 c m) (地盤：均一から不均一)	基本ケースの 相対変位量
0.8	目標 10	目標 100 100～130	0.32 (目標 35 c m) (地盤：極めて不均一) ※	基本ケースの 相対変位量の約 2 倍

※本試験のモデル地盤は、N 値 10 とした「締固めた地盤」であるため、「地盤：均一から不均一：0.16～0.23m」を基本ケースとしたが、より厳しい条件である「地盤：極めて不均一：0.32m」を想定し、基本ケースの約 2 倍の変位量でも耐震試験を行った。

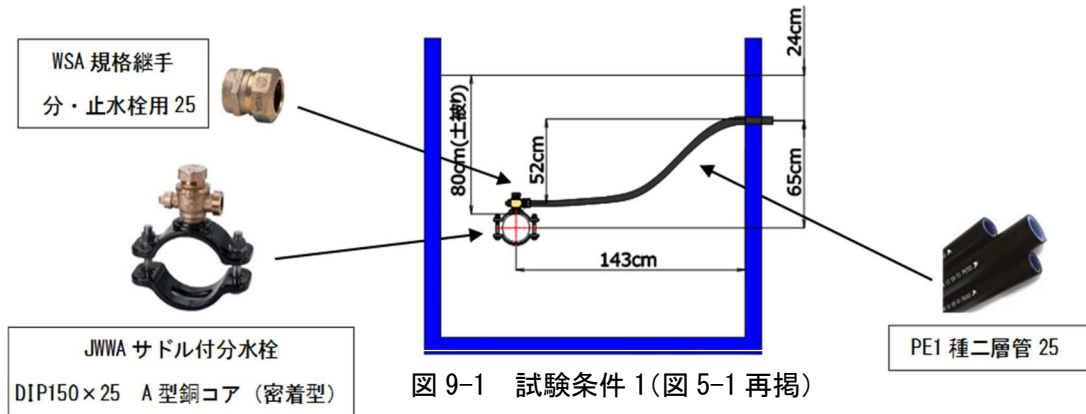
表 9-3 計測項目一覧（表 4-5 再掲）

項目	測定内容
配水管移動速度	時系列の移動速度
配水管荷重値	配水管の移動量と荷重値

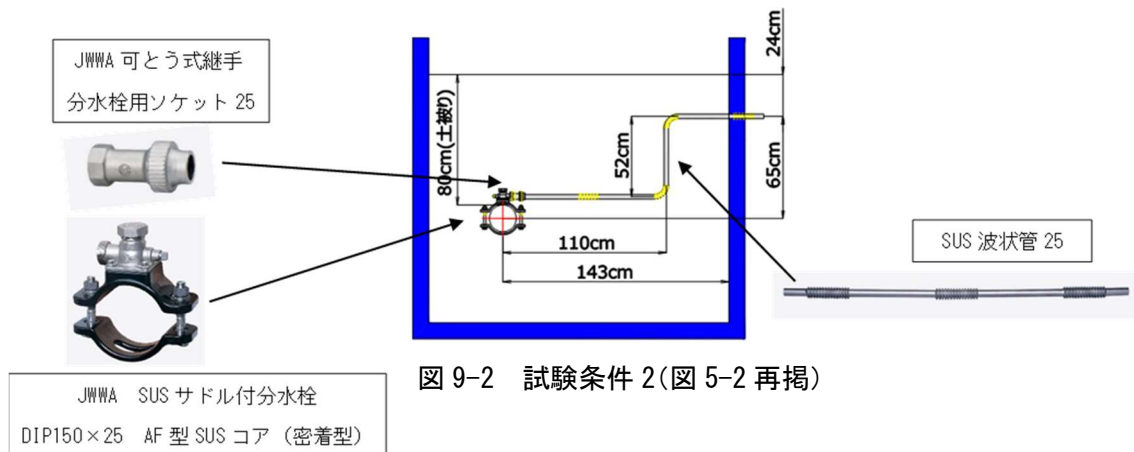
(3) 給水配管（3 条件）の耐震性評価

「7. 耐震試験結果と耐震性能評価」で試験した試験配管 3 条件を図 9-1～図 9-3、耐震試験後の耐震性評価を表 9-4 に示す。

1) 試験条件 1 : PE1 種二層管 生曲げ配管（JWWA サドル付分水栓 A 型）



2) 試験条件 2 : SUS 可とう継手+SUS 波状管配管（SUS サドル付分水栓 AF 型）



3) 試験条件 3 : フレキシブル継手+SUS 波状管配管（サドル付分水栓 A 型）

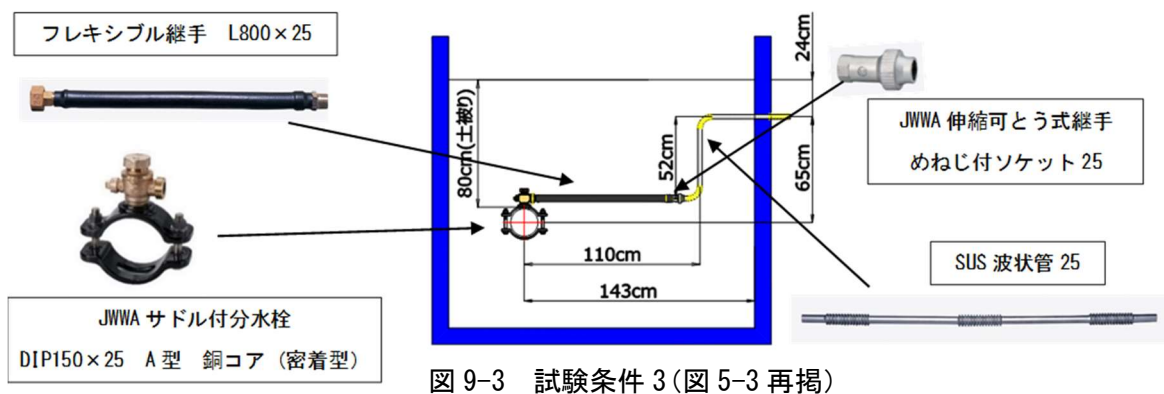
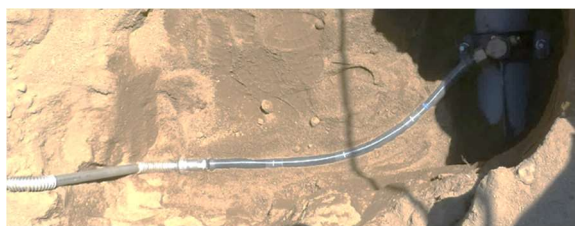


表 9-4 相対変位量 20 c m と 35 c m の試験結果と耐震性能評価（表 7-7 再掲）

試験条件	相対変位量 20 c m (基本ケース)	相対変位量 35 c m (基本ケースの約 2 倍)
試験条件 1 PE 1 種二層管	 給水管分岐部約 25° 屈曲	 給水管分岐部約 35° 屈曲
試験条件 2 SUS 波状管	 給水管分岐部約 15° 屈曲	 給水管分岐部約 25° 屈曲
試験条件 3 フレキシブル 継手 + SUS 波状管	 給水管分岐部約 30° 屈曲	 分水栓ねじ込み部約 30° 回転 屈曲はなし
耐震試験後の 検証	水圧試験：合格 サドルずれ：なし	水圧試験：合格 サドルずれ：なし 給水量：影響なし
耐震性能 評価	レベル 2 地震動に対して耐震性能 2 を有する	

試験条件 1～3 の給水配管は、以下のことから「レベル 2 地震動に対して耐震性能 2」を有すると評価する。

○3 条件の配管に対して、移動速度 100～130Kine，変位量 20 c m、及び 35cm の耐震試験を行い、いずれの条件でもサドル付分水栓のずれは生じなかった。

○耐震試験後に 0.8MP a の水圧試験を行い、水密性能を保持していることを確認した。

○耐震試験後の 3 条件の配管について、給水管の変形や分水栓ねじ込み部の回転等の部分的な変形が生じたが、給水性能に影響はなく、継続使用が可能なことを確認した。

10. 水道施設の耐震性能と給水管分岐部に係る給水配管の耐震性能

「3. 耐震試験における耐震性評価の基準」では、当委員会で行った耐震試験の評価基準を定め、試験条件 1～3 の給水配管に限定して、レベル 2 地震動に対して耐震性能 2 を有すると評価した。

その結果を踏まえ、「水道施設耐震工法指針（2009）」の規定と、厚生労働省健康局水道課による「水道の耐震化計画等策定指針」の「管路の耐震化」および「給水装置の耐震化」の内容から、給水管分岐部に係る給水配管の耐震性の考え方をまとめる。

(1) 水道施設の耐震性能：水道施設耐震工法指針（2009）

1) 耐震性能の規定と保持すべき耐震性能

水道施設の耐震性能は、水道施設耐震工法指針（2009）で表 10-1 のように規定されている。

水道施設の重要度の区分は、表 10-2、表 10-3 のような区分となっている。

表 10-1 水道施設の耐震性能ごとの要求性能（表 3-1 再掲）

区分	要求性能
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

出典：水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p28 を要約

表 10-2 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 10-3 に示す重要な水道施設のうち、ランク A2 以外の水道施設
ランク A2 の水道施設	表 10-3 に示す重要な水道施設のうち、次のいずれにも該当する水道施設 ・代替施設がある水道施設 ・破損した場合に重大な二次災害を生じる恐れが低い水道施設
ランク B の水道施設	A1 および A2 以外の水道施設

出典：水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p30 表-2.3.3 を要約

表 10-3 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災害を生ずる恐れが高いもの (3) 配水施設のうち、(2) 以外の施設であって、次のもの ① 配水本管 ② 配水本管に接続するポンプ場 ③ 配水本管に接続する配水池など ④ 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など
---------	--

出典：水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p30 表-2.3.4 を要約

2) 配水支管、給水管の重要度の区分

水道施設耐震工法指針（2009）では、配水支管、給水管の重要度の区分は、説明文 10-1 のように説明され、いずれもランク B としている。

説明文 10-1

ランク B の水道施設には、・・・(省略)・・・配水支管、給水管などが該当する。

水道法では給水管等の給水装置は水道施設に含まれないが、水道施設は水源から給水装置に至るまで幅広い地域に分布し、また、有機的に連結されているため、本指針では給水管を水道施設のランク B の施設区分に加えるものとする。

出典 水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p31 〔説明〕を抜粋

3) 施設重要度別の保持すべき耐震性能

レベル 1 地震動、レベル 2 地震動対して、重要度の区分別に保持すべき耐震性能は、表 10-4、表 10-5 のように規定されている。

表 10-4 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

出典 水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p29 表-2.3.1 を抜粋

表 10-5 施設重要度別の保持すべき耐震性能（レベル 2 地震動）（表 3-3 再掲）

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。

出典 水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p29 表-2.3.2 を抜粋

4) 各耐震性能に対する限界状態

各耐震性能に対する埋設管路の限界状態は、表 10-6 のように規定されている。

表 10-6 耐震性能 1、耐震性能 2、耐震性能 3 に対する埋設管路の限界状態（表 3-2 再掲）

水道施設	部材	耐震性能 1	耐震性能 2	耐震性能 3
埋設管路	一体構造管路の管体	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	部分的に塑性化しても漏水が発生しない限界の状態	
	継手構造管路の管体	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態	
	継手構造管路の継手	継手から漏水が発生しない限界の状態	継手から漏水が発生しない限界の状態	

出典 水道施設耐震工法指針（2009）・総論 p42 表-2.5.1 を抜粋

(2) 給水管分岐部に係る給水配管の耐震性能と要求性能

厚生労働省健康局水道課による「水道の耐震化計画等策定指針」では、「管路の耐震化」（導送配水管）について説明文 10-2 のように説明されている。

説明文 10-2

1) 管路（埋設管路）の耐震化

管路（埋設管路）は、耐震性の低い管種・継手の管路を耐震性の高いものへの更新を検討する。

液状化の可能性がある地区等、管路被害が発生し易い地区の管路はさらに優先度を高める。

〔解説〕

（管路の耐震化）

管路（埋設管路）について、基幹管路、重要給水施設管路、破損した場合に重大な二次災害を生ずるおそれが高い管路、・・・（省略）・・・地震による被害が多い管種・継手を中心に耐震性の低い管路を耐震性の高い管路に更新する。

(管路被害が発生し易い地区の耐震化)

液状化の可能性がある地区・路線、盛土地区、活断層の近傍、地滑りが想定される箇所、地層が変化する箇所、不等沈下が予想される箇所等については、さらに優先度を高めて耐震性の高い管路への更新および必要に応じて十分な変位量・伸縮量を有する伸縮可撓管の設置等を行う。

出典：厚生労働省健康局水道課「水道の耐震化計画等策定指針」（平成27 年6 月）

P26, 27「4.2.2 管路の耐震化」を抜粋

また、「給水装置の耐震化」について「水道の耐震化計画等策定指針」では、**説明文 10-3**のように説明されている。

説明文 10-3

1) 給水装置の耐震化

給水装置は、重要給水施設に給水するもの、および耐震性の低い管種・継手、液状化の可能性がある地区、盛土地区等を優先して耐震性の高いものに更新することについて検討する。

〔解説〕

給水装置、受水槽等は利用者等が所有しており、所有者に対して広報等を行い、更新あるいは補強して耐震化することが望ましい。また公道下等の給水装置は配水管更新工事に合わせて、耐震性の高いものに更新する。

出典：厚生労働省健康局水道課「水道の耐震化計画等策定指針」（平成 27 年 6 月）

P28「4.2.3 給水装置等の耐震化」を抜粋

水道施設耐震工法指針（2009）では、配水支管、給水管の区分は、いずれもランク B としており（説明文 10-1）、ランク B は、表 10-5「施設重要度別の保持すべき耐震性能（レベル 2 地震動）」から、レベル 2 地震動に対しては、保持すべき耐震性能は明確に定められていない。

しかし、現在ダクタイル鋳鉄管は、NS 形、GX 形等のレベル 2 地震動に対して高い耐震性能を有する配水管が主流となり、国内では耐震性の高い配水管への更新が進められている。

説明文 10-1（「水道施設耐震工法指針（2009）」）で、「水道施設は水源から給水装置に至るまで幅広い地域に分布し、また、有機的に連結されているため、本指針では給水管を水道施設のランク B の施設区分に加えるものとする。」とあり、給水管を配水管と同様の区分にする根拠が示されている。

更に、**説明文 10-2**（「水道の耐震化計画等策定指針」）で管路（埋設管路）について、基幹管路、重要給水施設管路、破損した場合に重大な二次災害を生ずるおそれが高い管路、地震による被害が多い管種・継手を中心に耐震性の低い管路を耐震性の高い管路に更新する。また、管路被害が発生し易い地区の耐震化として、液状化の可能性がある地区・路線、盛土地区、活断層の近傍、地滑りが想定される箇所、地層が変化する箇所、不等沈下が予想される箇所等については、さらに優先度を高めて耐震性の高い管路への更新および必要に応じて十分な変位量・伸縮量を有する伸縮可撓管の設置等を行うものとされている。

同様に、給水装置の耐震化については、**説明文 10-3**（「水道の耐震化計画等策定指針」）では、「給水装置は、重要給水施設に給水するもの、および耐震性の低い管種・継手、液状化の可能性

がある地区、盛土地区等を優先して耐震性の高いものに更新することについて検討する。」という内容から、耐震性の低い配水管を耐震性の高い配水管に更新する必要がある地区、路線、管路では、地震等の発生時でも末端までの給水機能を維持する観点から、給水配管も優先して耐震性の高いものに更新することが推奨されている。

したがって、「耐震性の高い配水管から分岐する給水配管」は、配水管と同等の「耐震性の高い給水配管」であることが望ましい。

耐震性能に対する給水配管への要求性能は、表 10-6 耐震性能 1、耐震性能 2、耐震性能 3 に対する埋設管路の限界状態の「一体構造管路の管体」「継手構造管路の継手」を参考にすることが妥当である。

以上のことより、給水管分岐部に係る給水配管の耐震性能と要求性能として、表 10-7 を提案する。

表 10-7 の給水配管分類に該当しない給水配管については、厚生労働省健康局水道課による「水道の耐震化計画等策定指針」の「給水装置の耐震化」（説明文 10-3）に基づき、配水管の更新に合わせて、耐震性の高い給水配管に更新することが望まれる。

表 10-7 給水管分岐部に係る給水配管の耐震性能と要求性能

給水配管分類	耐震性能	要求性能
耐震性の高い配水管 から分岐する給水配管	レベル 2 地震動 に対して 耐震性能 2	部分的に塑性変形があっても漏水しないこと
		給水性能への影響が軽微で継続使用が可能なこと

11. その他の耐震性向上対策

(1) 施工不良と推測される事例

標準施工手順に沿って施工した給水装置で耐震試験を実施した結果、試験条件 3 条件の配管について高い耐震性能を有すると評価できた。

しかし適切な施工がされていない場合、JWWA 規格や WSA 規格で定められている給水装置本来の性能が確保できない恐れがある。耐震性を確保するためには、各標準施工手順に沿って、給水配管を施工することが肝要である。

一例として、東日本大震災における、施工不良によって生じたと推測される SUS 波状管と SUS 伸縮可とう式継手の継手部の被害状況を図 11-1 に示す。

図 11-1 の継手抜けのケースは、①SUS 波状管の波状部が伸びていない点（引抜試験では管より波状部が先に伸びる）、②抜けた管に、管端に向けてロック部材（管に溝をつけ勘合させる SUS 玉部材）に絞られた痕が無い点から、締付ナットが十分に締まっていなかったため、波状部が伸びる前に管が離脱した可能性がある。耐震性能確保のために、給水管継手部の施工の際には標準施工手順に沿い、標準締付トルクで締め付けることを徹底していただきたい。

SUS 伸縮可とう式継手の標準締付トルクを表 11-1 に示す。

表 11-1 SUS 伸縮可とう式継手の標準締付トルク

呼び径	標準締付トルク
20、25	70 N・m
30、40、50	120 N・m

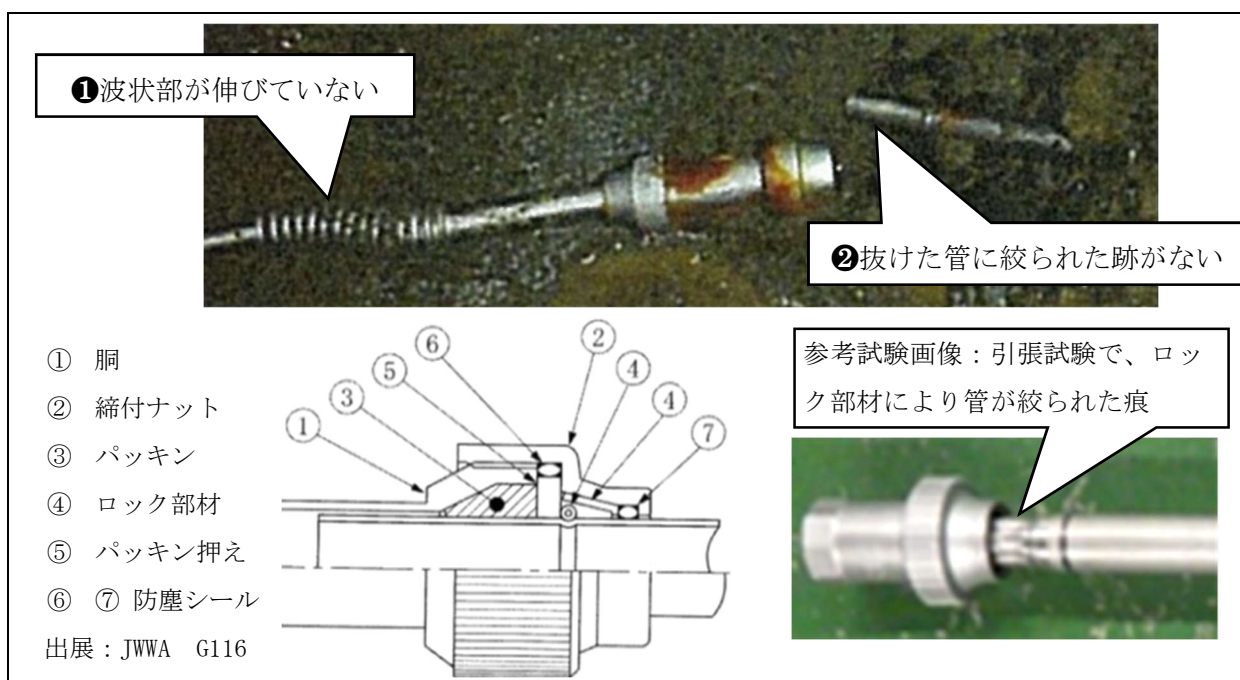


図 11-1 継手部の施工不良によって生じたと推測される被害状況

出展：公益財団法人 給水工事技術振興財団「被害状況データシート東日本大震災」

(2) サドル付分水栓のトルク管理

サドル付分水栓の締付ボルト、及びナットの締付トルク管理も重要である。

JWWA 規格で規定しているダクタイル鋳鉄管に取付ける JWWA サドル付分水栓の標準締付トルクを、表 11-2 に示す。JWWA サドル付分水栓の給水性能や耐震性能維持のため、事業体の工事標準仕様書や施工基準等にはぜひ規定していただきたい。(図 11-2)

表 11-2 JWWA サドル付分水栓の標準締付トルク

取付管の種類	ボルトの呼び	
	M 16	M 20
ダクタイル鋳鉄管 (DIP)	60 N・m	75 N・m

出典：JWWA B117、 JWWA B139

(エ) ステンレス製サドル付分水栓又はサドル付分水栓は、配管の管軸頂部にその中心がくるように据え付ける。

ただし、障害物等によりやむを得ない場合は、中心より 45° 以内の範囲に限って据え付けることができる。

配管に固定するときは、パッキンと管の密着面において、異物の噛込みがないこと及びパッキンの変形がないことを確認し、締付けボルト及びナットを全体に均一になるように所定のトルクで締め付けること。

なお、サドル部パッキンの破損、離脱を防止するため、締付けボルト及びナットを締め付けた状態でサドル分水栓を移動させないこと。

(オ) 配管が硬質塩化ビニル管の場合、管頂部に沿って管探知用の銅線が配線されている場合があるので、据え付けに当たっては、この銅線を左右いずれかの方向にずらし、ビニルテープ等で固定させる。

また、ビニル管専用のトルクレンチを使用すること。

表-6 ボルトの標準締付トルク

被分岐管 口径	被分岐管の種類	締付トルク N・m
150mm以下	鋳鉄管、石綿セメント管、鋼管	60
	硬質塩化ビニル管	40
200mm以上	鋳鉄管、石綿セメント管、鋼管	75

締付ボルト、ナット

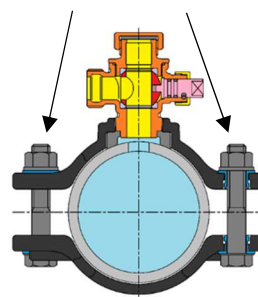


図 11-2 施工基準例

出典：東京都水道局「給水装置設計・施工基準（給水装置編）」12 給水管の分岐

(3) 給水管と継手の接続方法

今回試験した試験配管 3 条件では、通常のパッキンを使用し、「レベル 2 地震動に対して耐震性能 2」を有する評価となった。

しかし、地震動等の影響で配管接続部に曲げ方向の力が加わった時、(特に袋ナット接続の場合) パッキン止水部は、パッキンの片側を多く押している状態になる可能性がある。(図 11-3)

したがって、耐震性確保のために、給水管と継手は真っ直ぐに接合し、施工時からパッキンに曲げ方向の力がかからないようにすることが重要である。また、耐震性を向上させるためには、パッキンの剛性を増加させることが有効であると考えられる。

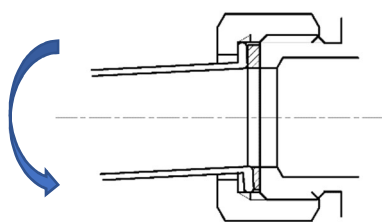


図 11-3 通常のパッキン
(例示)

一例として、メタル入りパッキンを用いる方法がある。メタル入りパッキンは、内部の金属板にゴムを焼付けている構造で、つぶし代が少なく、配管に曲げ方向の力がかかっても平行を維持できる。(図 11-4～図 11-5)

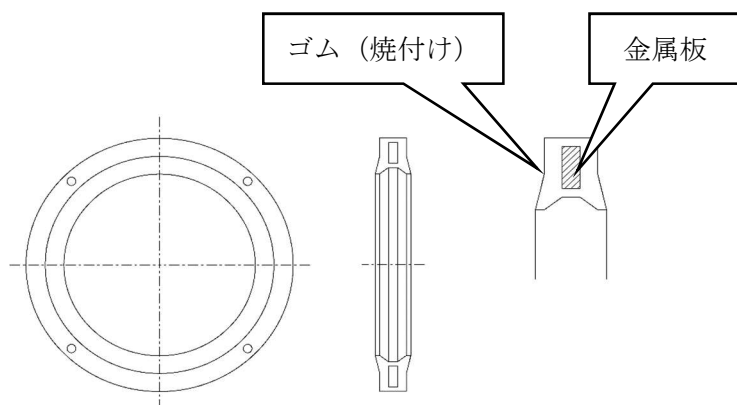


図 11-4 メタル入りパッキンの構造
(例示)



図 11-5 メタル入りパッキン外観
(製品一例)

12. おわりに

今回対象とする「給水管分岐部に係る給水配管」は、図 2-1 に示す給水管分岐部（サドル付分水栓）から概ね宅地内の第一止水栓までの範囲として評価検討を行った。評価対象とする給水装置（給水用具、給水管）は、規格型を主とする汎用品であり、かつ給水システム協会が行った令和 2 年度の「給水装置工事技術に関する調査研究」の結果から、耐震性を有すると思われるサドル付分水栓、給水管、継手等を選定した。選定した給水用具、給水管から国内で数多く採用されている給水配管である試験配管を設定し、耐震試験を行い、3 条件の試験配管に限定して、レベル 2 地震動に対して耐震性能 2 を有すると評価できた。

耐震試験において、耐震試験に用いた給水装置の施工は、公益財団法人 給水工事技術振興財団の「給水装置工事技術指針 2020」記載の各標準施工手順に沿って施工した。

しかし、現場において適切な施工がされていない場合、JWWA 規格や WSA 規格で定められている給水装置本来の性能が確保できない恐れがある。

給水装置本来の給水性能や耐震性能確保のため、改めて「給水装置工事技術指針 2020」記載の各標準施工手順を確認願いたい。また施工時にはチェックシートに施工時の情報を記録し、管理することにより、更に耐震性の向上に寄与すると思われる。

【資料編】の「東日本大震災・熊本地震 被害件数内訳」の被害数は、製品の年代や施工方法が不明なものが多い。耐震試験で用いた規格型を主とする製品を、適切な方法で施工することにより耐震性能が確保でき、地震に対する給水配管の被害低減に寄与すると思われる。

また、給水管分岐部に係る給水配管の耐震性能の考え方として、「耐震性の高い配水管から分岐する給水配管」は、配水管と同等の「耐震性の高い給水配管」であることが望ましいとし、本報告書では、給水配管の耐震性能と要求性能を提案した。

現在国内で耐震性の高い配水管への更新が進められているなかで、厚生労働省健康局水道課による「水道の耐震化計画等策定指針」の「給水装置の耐震化」に基づき、配水管の更新に合わせて、耐震性の高い給水配管に更新することが望まれる。

最後に、今回は数多く採用されている給水配管について耐震性を評価したが、今後は他の給水配管等についても耐震性を評価する必要があると考える。

【資料】

- 資 1. 東日本大震災・熊本地震 被害件数内訳
- 資 2. ステンレス管の繰返し曲げ試験（片側）
- 資 3. ステンレス管の繰返し曲げ試験（往復）

資 1. 東日本大震災・熊本地震 被害件数内訳

給水システム協会による令和2年度の「給水装置工事技術に関する調査研究」でまとめた東日本大震災、熊本地震の被害件数内訳の要約を、表 資 1-1、表 資 1-2 に示す。

表 資 1-1

東日本大震災 被害件数内訳

部位	管種・構造		被害数		
給水分岐部	サドル付分水栓	破損・抜け・分類不能	179 (4.0%)	504	4,454
	不断水割T字管	本体割れ・分類不能	2		
	分水栓	破損・抜け・分類不能	17		
	チーズ継手等	破損・抜け・分類不能	306		
給水管部	塩ビ管	破損・抜け・分類不能	2,432	3,327 (74.7%)	
	ポリエチレン管	破損・抜け・分類不能	274		
	鋼管	破損・抜け・分類不能	160		
	波状ステンレス鋼鋼管	抜け	2		
	鉛管	破損・抜け	426		
	銅管	破損・抜け	26		
	分類不能		7		
	第一止水栓部	本体被害・破損・抜け・分類不能	605		
	水道メーター部	止水栓被害・破損・抜け	18		

出典：（公財）給水工事技術振興財団
東日本大震災 給水装置被害状況調査について

表 資 1-2

熊本地震 被害件数内訳

部位	管種・構造		被害数		
給水分岐部	サドル付分水栓	破損・抜け	38 (1.8%)	131	2,085
	チーズ継手等	破損・抜け	93		
給水管部	塩ビ管（HIVP、VP）	破損・抜け・分類不能	559	1,715 (82.3%)	
	ポリエチレン管	破損・抜け	283		
	鋼管	破損・抜け・分類不能	746		
	鉛管	破損・抜け	125		
	銅管	破損	2		
	第一止水栓部	本体被害・破損	51		
	水道メーター部	止水栓作動不良・破損	188		

出典：（公財）給水工事技術振興財団
熊本地震 給水装置被害状況調査報告書

資 2. ステンレス管の繰り返し曲げ試験（片側）

（1）試験条件

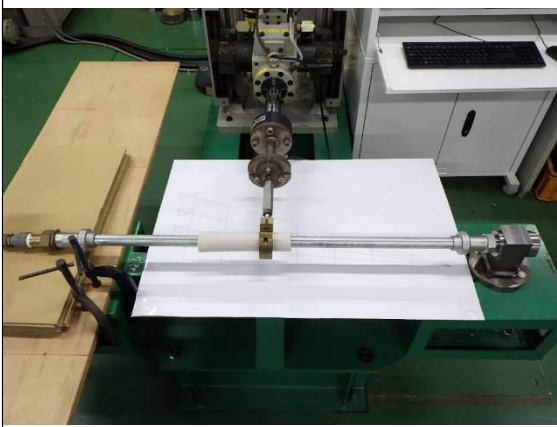
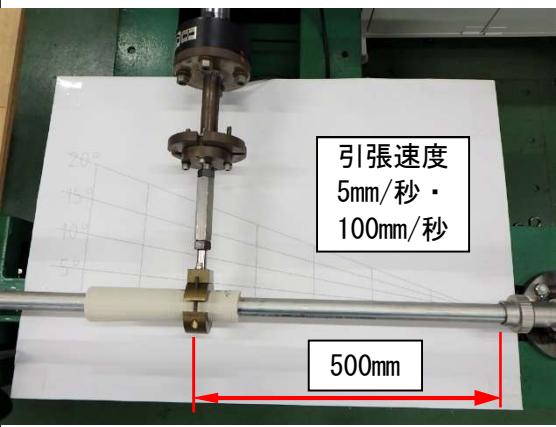
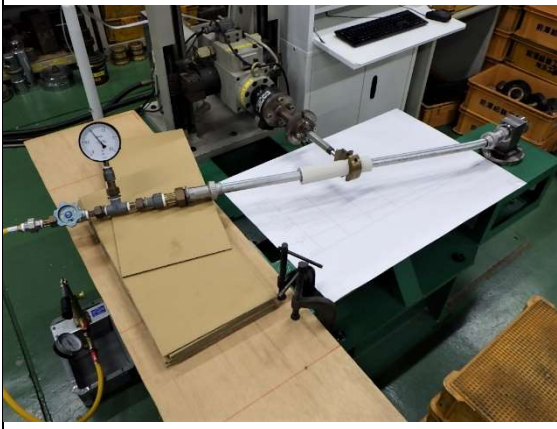
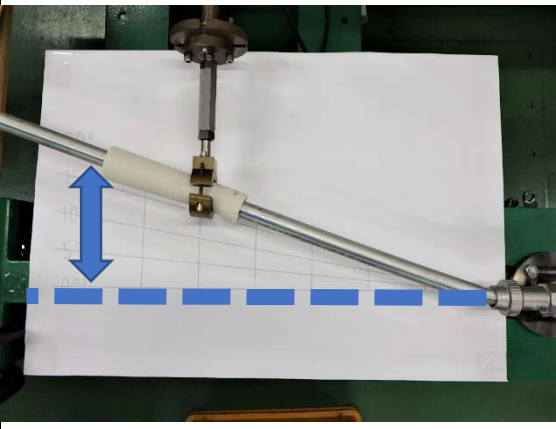
相対変位量 35 c m（想定の変位量の約 2 倍）で行った耐震試験の結果、SUS 波状管の配管で最大約 25° の屈曲が発生したため、繰り返しの地震動による管と継手への影響を、繰り返し曲げ試験（片側）により確認した。

試験装置に 0.75MPa の水圧を加えた状態で、継手から約 500mm 位置を 5mm/秒の速度で引張り、SUS 管が 25° の位置になるまで曲げ、漏水、その他異常の有無を確認する。

漏水が見られない場合は、曲げ位置 (25°) から初期位置 (0°) まで同じ速度 (5mm/秒) で戻し、漏水、その他異常の有無を確認する。この手順を 5 回繰り返す。

5 回終了後も漏水が見られない場合、引張速度を 100mm/秒に変更した上で、曲げ位置 (25°) ⇨ 初期位置 (0°) の試験を更に 5 回繰り返し、漏水、その他異常の有無を確認する。

表 資 2-1 試験装置及び試験状況写真

試験装置外観 1	初期位置 (0°)
	
試験装置外観 2	曲げ位置 (25°)
	

(2) 試験結果

表 資 2-2 試験結果（引張速度 5mm/秒）

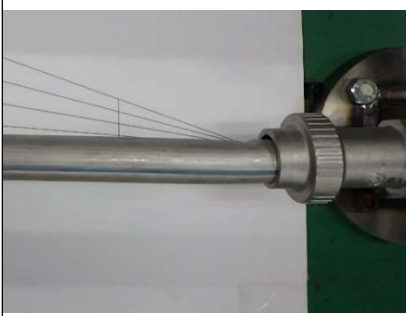
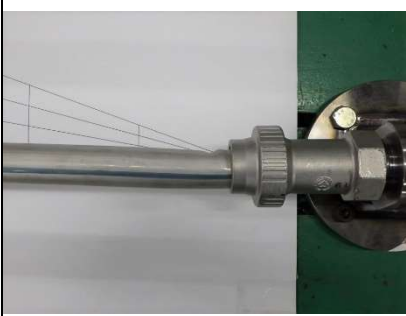
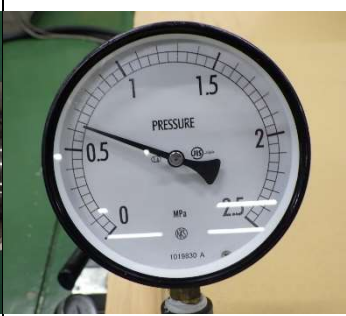
試験内容	状況	継手部拡大（上視）	水圧状況
曲げ：1回目 (速度 5mm/秒)	- 管に変形が見られた。 - 水圧が約 1MPa まで上昇。 - 漏水なし。		
戻し：1回目 (速度 5mm/秒)	- 管に変形が見られた。 - 水圧が約 0.65MPa まで降下。 - 漏水なし。		
曲げ：5回目 (速度 5mm/秒)	1回目時の状況と大きな変化は見られず。 - 漏水なし		
戻し：5回目 (速度 5mm/秒)	1回目時の状況と大きな変化は見られず。 - 漏水なし		

表 資 2-3 試験結果（引張速度 100mm／秒）

試験内容	状況	継手部拡大（上視）	水圧状況
曲げ：1 回目 （合計：6 回目） （速度 100mm／秒）	・管に変形が見られた。 ・水圧が約 1.1Mpa まで上昇。 ・漏水なし。		
戻し：1 回目 （合計：6 回目） （速度 100mm／秒）	・管に変形が見られた。 ・水圧が約 0.7Mpa まで降下。 ・漏水なし。		
曲げ：5 回目 （合計：10 回目） （速度 100mm／秒）	・1 回目時の状況と大きな変化は見られず。 ・漏水なし		
戻し：5 回目 （合計：10 回目） （速度 100mm／秒）	・1 回目時の状況と大きな変化は見られず。 ・漏水なし		

(3) まとめ

速度 2mm/秒、100mm/秒の 2 速度で、曲げ・戻しを各 5 回、合計 10 回の繰り返し曲げ試験の結果、管に部分的な塑性変形は見られたが、漏水、その他の異常は見られなかった。



図 資 2-1 繰り返し試験（片側）10 回後の SUS 管の状態

資 3. ステンレス管の繰り返し曲げ試験（往復）

（1）試験条件

相対変位量 35 c m（想定の変位量の約 2 倍）で行った耐震試験の結果、SUS 波状管の配管で最大約 25° の屈曲が発生したため、繰り返しの地震動による管と継手への影響を、繰り返し曲げ試験（往復）により確認した。

試験装置に 0.75MPa の水圧を加えた状態で、継手から約 500mm 位置を 5mm／秒の速度で引張り、SUS 管が 10～15° の位置になるまで曲げる。次に、曲げた位置(10～15°)から初期位置(0°)まで同じ速度(5mm／秒)で戻し、そこから逆の方向へ 10～15° の位置になるまで SUS 管を曲げる。再度、同じ速度で初期位置(0°)まで戻し、漏水、その他異常の有無を確認する。

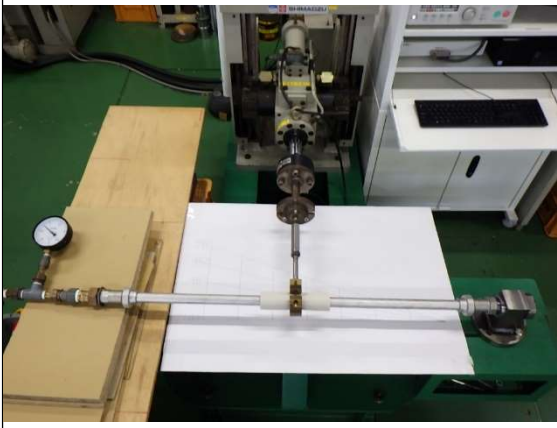
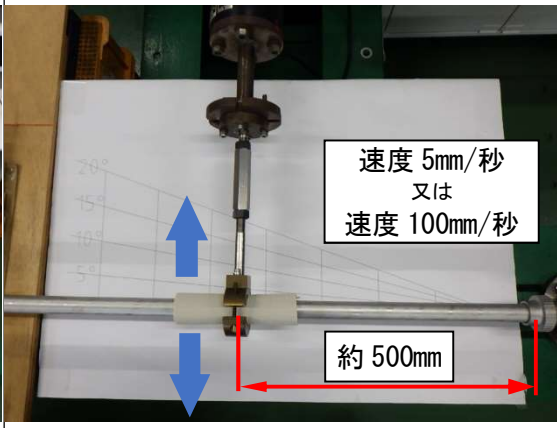
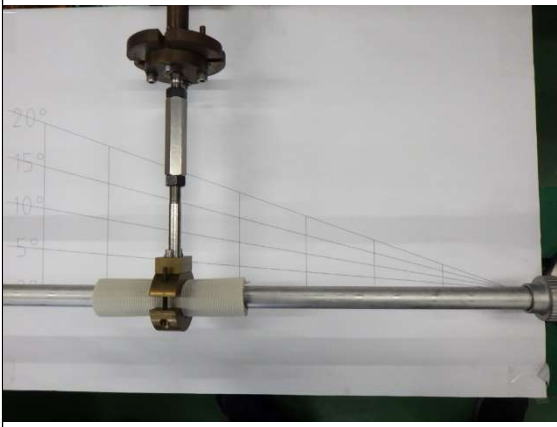
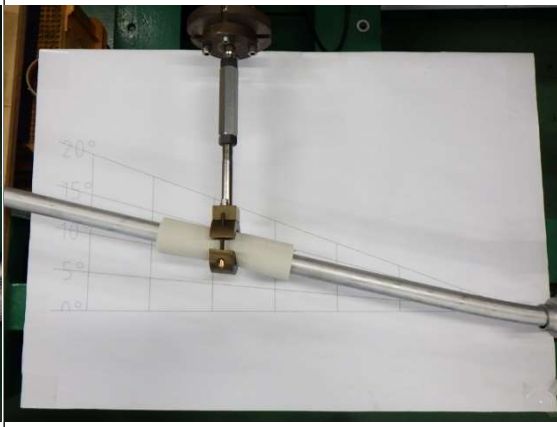
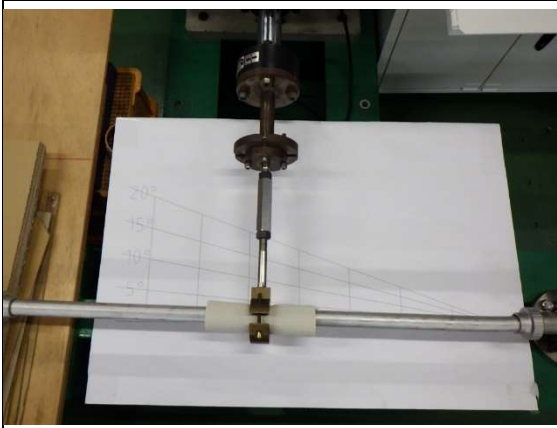
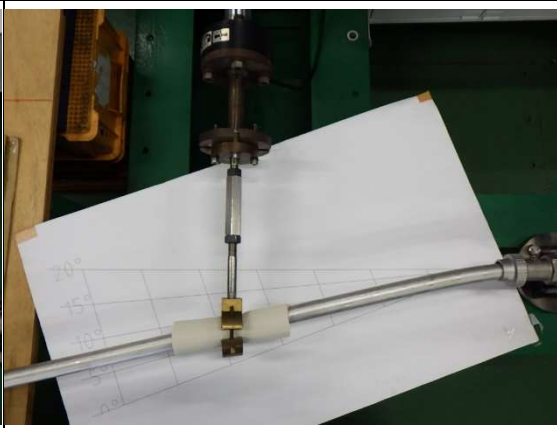
これを 1 往復とし、同手順を 5 往復繰り返す。

5 往復終了後、速度を 100mm／秒へ変更し、更に 5 往復の繰り返し曲げ試験を実施し、漏水、その他異常の有無を確認する。。

[1 往復の流れ]

- ①初期位置(0°)から 10～15° の位置まで曲げる。
- ②曲げた位置(10～15°)から初期位置(0°)まで戻す。
- ③初期位置(0°)から-10～-15° の位置まで曲げる
- ④曲げた位置(-10～15°)から初期位置(0°)まで戻す。

表 資 3-1 試験装置及び試験状況写真

試験装置外観	掴み位置
	
初期位置 (0°)	曲げ位置 (10～15°)
	
初期位置 (0°)	曲げ位置 (-10～15°)
	

※角度の実測値は、約 13° であった。(往復 26°)

(2) 試験結果

表 資 3-2 試験結果（試験速度 5mm／秒）

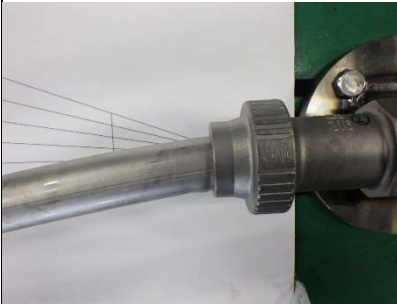
試験内容	状況	継手部拡大（上視）	水圧状況
① 曲げ： 1 往復目 (速度 5mm／秒)	- 管に変形が見られた。 - 漏水なし。		
② 戻し： 1 往復目 (速度 5mm／秒)	- 管に変形が見られた。 - 漏水なし。		
③ 曲げ： 1 往復目 (速度 5mm／秒)	- 管に変形が見られた。 - 漏水なし。		

表 資 3-3 試験結果（試験速度 100mm／秒）

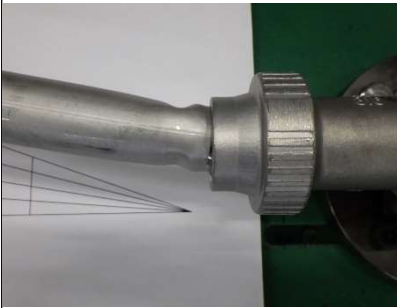
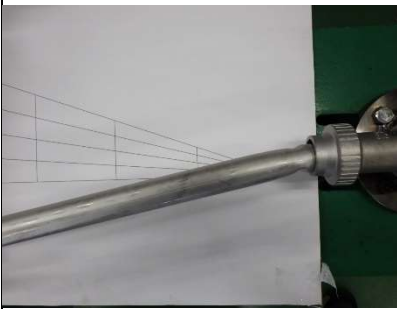
試験内容	状況	継手部拡大（上視）	水圧状況
① 曲げ： 1 往復目 (合計 6 往復目) (速度 100mm／秒)	・管に変形が見られた。 ・水圧が約 0.9Mpa まで上昇。 ・漏水なし。		
② 戻し： 1 往復目 (合計：6 往復目) (速度 100mm／秒)	・管に変形が見られた。 ・漏水なし。		
③ 曲げ： 1 往復目 (合計：6 往復目) (速度 100mm／秒)	・管に変形が見られた。 ・水圧が約 1.1Mpa まで上昇。 ・漏水なし。		

表 資 3-4 試験結果（各 5 往復終了後）

試験内容	状況	継手部拡大（上視）	水圧状況
速度：5mm/秒 5 往復終了後	・管に変形が見られた。 ・水圧が約 1MPa まで上昇。 ・漏水なし。		
速度：100mm/秒 5 往復終了後 (合計：10 往復)	・管に変形が見られた。 ・水圧が約 0.8MPa まで上昇。 ・漏水なし。		

(3) まとめ

速度 2mm/秒、100mm/秒の 2 速度で、各 5 回、合計 10 回の繰り返し曲げ試験（往復）の結果、管に部分的な塑性変形は見られたが、漏水、その他の異常は見られなかった。



図 資 3-1 繰り返し試験（往復）10 往復後の SUS 管の状態