

Study of Seismic Design of Lifeline System Considering System Performance after an Earthquake

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-12-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Miyajima, Masakatsu メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00049463

This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0
International License.



KAKEN
2000
50

金 沢 大 学

地震後性能を考慮したライフライン系の 耐震設計法に関する研究

Study of Seismic Design of Lifeline System
Considering System Performance after an Earthquake

研究課題番号：11650480

平成11年度～平成12年度
科学研究費補助金（基盤研究(C)・一般研究）
研 究 成 果 報 告 書
Grant-in-Aid for Scientific Research (C)

平成13年3月
March 2001

研究代表者 宮 島 昌 克
(金沢大学工学部)

金沢大学附属図書館



8000-96477-5

Masakatsu MIYAJIMA
(Kanazawa University)

地震後性能を考慮したライフライン系の 耐震設計法に関する研究

Study of Seismic Design of Lifeline System
Considering System Performance after an Earthquake

課題番号 : 11650480

平成 11 年度～平成 12 年度
科学研究費補助金（基盤研究（C）・一般研究）
研究成果報告書

Grant-in-Aid for Scientific Research (C)

平成 13 年 3 月
March 2001

研究代表者 宮島 昌克
(金沢大学工学部)

Masakatsu MIYAJIMA
(Kanazawa University)

科学研究費助成金（基盤研究（C））研究成果報告書

Grant-in-Aid for Scientific Research (C)

研究課題： 地震後性能を考慮したライフライン系の耐震設計法に関する研究

課題番号： 11650480

研究組織： 研究代表者：宮島昌克（金沢大学工学部 教授）
研究分担者：北浦 勝（金沢大学工学部 教授）
研究分担者：池本敏和（金沢大学工学部 助手）
研究分担者：村田 晶（金沢大学工学部 助手）
研究分担者：湊田邦彦（八代工業高等専門学校 助教授）
研究分担者：吉田雅穂（福井工業高等専門学校 講師）

研究経費： 平成11年度 2, 000千円
平成12年度 1, 200千円
計 3, 200千円

研究発表：

学会誌等

- 1) Miyajima, M. and Kitaura, M. : Seismic Response Analysis of Water Supply Pipe Network During the 1995 Hyogoken Nambu Earthquake, Proc. of the 8th Canadian Conference on Earthquake Engineering, pp.615-620, 1999.6.
- 2) Kitaura, M., Miyajima, M. and Nakagawa, H. : Lessons Learned from Damage to Water Supply Pipelines Due to the 1995 Hyogoken Nambu Earthquake in Japan, Proc. of the 8th Canadian Conference on Earthquake Engineering, pp.633-638, 1999.6.
- 3) Fuchida, K., Shirinashihama, S. and Akiyoshi, T.: Aseismic Design Method Using Response Spectra Including Liquefaction, Proc. of the 2nd International Symposium on Earthquake Resistant Engineering Structures 99, pp.457-466, 1999. 6.
- 4) Miyajima, M. and Kitaura, M. : Response Analysis of Water Supply Pipelines Network for Seismic Diagnosis, Proc. of the 5th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, pp.424-431, 1999.8.
- 5) Fuchida, K., Shirinashihama, S. and Akiyoshi, T.: Response Behavior of Pipeline System Subjected to

Subsidence of Ground Liquefaction, Proc. of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, No.425 (CD-ROM), 2000.1.

- 6) Murata, A., Kitaura, M. and Miyajima, M. : Prediction of Damage to Wooden Houses Through Fatigue Response Spectra Considering the Number of Earthquake Response Cycle, Proc. of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, No.1870 (CD-ROM), 2000.1.
- 7) Miyajima, M. and Kitaura, M. : Seismic Response Analysis of Water Supply Network During the 1995 Hyogoken Nambu Earthquake, Proc. of Taiwan-Japan Workshop on Lifeline Performance and Disaster Mitigation During Recent Big Earthquakes in Taiwan and Japan, pp.57-62, 2000.6.
- 8) Hashimoto, T., Date S. and Miyajima, M. : A Service-level Approach for Planning of Roads to Enhance Emergency Management in Earthquakes: through Lessons Learned from Hanshin-Awaji Earthquake, Proc. of the 10th Road Engineering Association of Asia and Australasia Conference (CD-ROM), 2000.9.
- 9) Miyajima, M., Ito, N and Kitaura, M. : Study of Retrofit Prioritization of Water Supply Pipeline Considering Required Performance after Earthquake, Proc. of the 6th International Conference on Seismic Zonation, No.198 (CD-ROM), 2000.11.
- 10) 秋吉 卓, 尻無濱昭三, 瀧田邦彦, 松本英敏 : 地盤の液状化特性を反映した応答スペクトルの耐震設計への応用, 土木構造・材料論文集, 第16号, pp.117-124, 2000.11.
- 11) Miyajima, M., Fukuda, K. and Yoshida, E. : Performance of Water Supply Network During the 1999 Ji-Ji Earthquake in Taiwan, Proc. of the 2nd Japan-Iran Workshop on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation -Focussing on Lifeline Earthquake Engineering-, pp.41-46, 2000.11.
- 12) Akiyoshi, T. and Fuchida, K.: An Estimation Method on Effective Aseismic Investment for Lifeline Systems, Proc. of the 2nd Japan-Iran Workshop on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation -Focussing on Lifeline Earthquake Engineering-, pp.173-178, 2000.11.
- 13) Miyajima, M. and Hashimoto, T.: Damage to Water Supply System and Surface Rupture Due to Fault Movement during the 1999 Ji-Ji Earthquake in Taiwan, Proc. of the 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, No.10-45 (CD-ROM), 2001.3.

(2) 口頭発表

- 1) 宮島昌克, 伊藤真美, 川畑公義, 北浦 勝 : 地震後の機能性能を考慮した上水道管路の耐震補強に関する研究, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1069-1072, 1999.7.
- 2) 宮島昌克, 橋本隆雄 : 1999年コロンビア・キンディオ地震による地盤震動とライフライン被害, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.13-16, 1999.7.
- 3) 渡辺康司, 宮島昌克, 津田善裕, 北浦 勝 : 上水道管路の形状を考慮した地震時簡易被害予測に関する研究, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1065-1068, 1999.7.
- 4) 瀧田邦彦, 秋吉 卓, 尻無濱昭三 : 液状化による地盤変状を受ける地中パイプラインの挙動と対策, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1061-1064, 1999.7.
- 5) 瀧田邦彦, 秋吉 卓, 木原隆文 : 免震層を有する地中パイプラインの静的及び動的応答解析,

- 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, 第1部(B), pp.372-373, 1999.9.
- 6) 高橋洋介, 村田 晶, 北浦 勝, 宮島昌克: 疲労応答スペクトル強度を用いた上水道管路の被害相関解析, 土木学会第54回年次学術講演会概要集, 第1部(B), pp.492-493, 1999.9.
- 7) 宮島昌克, 橋本隆雄: 1999年コロンビア・キンディオ地震被害調査 ―ライフライン被害―, 第18回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.59-60, 1999.10.
- 8) 村田 晶, 北浦 勝, 宮島昌克: 動揺地震動と地盤震動特性の関係に関する研究, 第4回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, pp.155-158, 1999.10.
- 9) 宮島昌克, 橋本隆雄: 1999年トルコ・コジャエリ地震によるライフライン被害, 平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.87-88, 2000.3.
- 10) 松原美穂, 奥村智恵, 宮島昌克, 北浦 勝, 川畑公義: 地震後の医療現場における水の利用実態に関するアンケート調査, 平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.103-104, 2000.3.
- 11) 奥村智恵, 松原美穂, 宮島昌克, 北浦 勝, 川畑公義: 地震時上水道施設被害による住民困窮度の算出と地震対策評価, 平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.105-106, 2000.3.
- 12) 楡井康哲, 村田 晶, 北浦 勝, 宮島昌克: 動揺振動入力を考慮した構造物応答解析, 平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.85-86, 2000.3.
- 13) 秋吉 卓, 洸田邦彦, 尻無濱昭三: 液状化時の地盤変状に対する地中パイプラインの挙動と対策, 第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, pp.217-220, 2000.3.
- 14) 秋吉 卓, 洸田邦彦, 松本英敏, 日野 章, 矢野裕彦: ライフライン耐震化のための合理的投資のあり方に関する研究, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2000.9.
- 15) 洸田邦彦, 秋吉 卓, 小野清吾: 液状化地盤の沈下を受けるパイプラインの挙動と対策, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2000.9.
- 16) 津田喜裕, 小池 武, 北浦 勝, 宮島昌克: 水平伝播する地震波の地盤ひずみと埋設管のひずみ, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2000.9.
- 17) 石井智大, 村田 晶, 北浦 勝, 宮島昌克: 応答振幅の繰返しが構造物破壊に与える影響, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2000.9.
- 18) 村田 晶, 宮島昌克, 吉田雅穂, 北浦 勝: 2000年鳥取県西部地震における地震動強さを表す各種指標の比較, 土木学会中部支部平成12年度研究発表会講演概要集, pp.83-84, 2001.3.
- 19) 川畑公義, 宮島昌克, 北浦 勝: 地震被害ポテンシャルマップを用いた上水道管路網のリアルタイム被害把握に関する研究, 土木学会中部支部平成12年度研究発表会講演概要集, pp.81-82, 2001.3.

目 次

第1章 緒 論	1
1－1 研究の目的	1
1－2 研究の構成	1
第2章 上水道施設の地震後機能性能に関するアンケート調査	3
2－1 概 説	3
2－2 調査方法および調査の概要	3
2－3 調査結果および考察	3
2－4 結 語	6
第3章 住民困窮度を用いた耐震補強策の評価手法	17
3－1 概 説	17
3－2 地震時の管路破壊シミュレーションと流量解析	17
3－3 復旧シミュレーション	19
3－4 住民困窮度からみた耐震補強策の評価	20
3－5 結 語	22
第4章 金沢市におけるケーススタディ	24
4－1 概 説	24
4－2 金沢市上水道管路網のモデル化	24
4－3 困窮度算出のための必要諸量	25
4－4 住民困窮度および耐震補強の対策案評価	27
2－5 結 語	29
第5章 結 論	45

付属資料

第1章 緒 論

1-1 研究の目的

阪神・淡路大震災を契機として、ライフラインの構造安全性ばかりではなく、震中、震後の機能性能、震後の修復性の重要性が再認識された。また、要求される安全性のレベルや機能性能は必ずしも一律ではなく、目的、用途の重要性、緊急性に応じて選択可能なものであることも認識された。

近年、建築構造物の設計においては、従来からの仕様規定型設計法から性能規定型設計法に移行しようとしている。この流れを受け、特に阪神・淡路大震災以降、土木構造物についても性能規定型設計法への移行を模索する動きが活発になっている。道路橋示方書平成8年改訂版の耐震編においては、設計指針が目指す地震後の性能が明記され、近年中には性能規定化が標準とされる予定となっている。このように、構造物単体の設計法における性能規定型設計法については議論が重ねられ、試行され始めているが、ライフラインのようなシステムの設計に関しては、わが国ではまだほとんど議論されていないのが現状である。一方、米国においては道路橋の耐震設計に性能規定型設計法が採用されており、ライフラインについても検討が始められている。わが国においても性能規定型設計法に移行するか否かの十分な議論が望まれている状況にある。このような背景から、本研究では特に地震後性能に注目し、ライフラインのひとつとして上水道システムを取り上げてその耐震設計法について考究する。

本研究ではまず、全国の水道事業体を対象にアンケート調査を実施し、供給側である水道事業体が考えている地震後性能について明らかにするとともに、耐震補強に関する取り組みの現状を把握する。つぎに、想定される地震被害を受けた後の上水道管路網の流量解析を行い、各供給点で取り出すことのできる水量を求め、これらの地震後性能と構造被害との関係について検討する。また、必要とされる地震後性能が与えられた場合に、その性能を確保するために必要な耐震補強策を幾通りか提案することのできる手法について検討を加え、それぞれの補強策の優劣を地震後性能の観点から定量的に評価できる手法を提案し、考察を加える。本研究では、単位水量の水が供給されなかったときの水の貨幣価値を単位水量損失と呼び、これと地震後に最低必要とされる水量からの不足水量との積を困窮度と定義し、地震後の機能性能を評価するための指標とする。この指標を用いて、いくつかの耐震補強案が示された場合の優劣を定量的に比較する手法を開発するとともに、ライフラインに対する性能規定型設計法の導入の可能性について議論することを本研究の目的とする。

1-2 研究の構成

本研究報告書は5章から構成されている。
第1章は緒論である。

第2章では、上水道施設の地震後性能に対する考え方を知るために、全国の水道事業体に対してアンケート調査を行い、その結果に基づいて地震後に最低限必要であると考えられる性能について検討するとともに、各水道事業体の地震に対する準備状況を明らかにした。

第3章では、想定される地震によって被害を受ける地震被害シミュレーションの手法と、被害を受けた管路網による流量解析法について述べるとともに、地震後性能を表すひとつの指標として困窮度を提案した。さらに、現状と対策後の状態との損失の差により対策の効果を便益と考え、便益費用比により対策案の評価を行う手法について述べた。

第4章では、金沢市の上水道管路網を対象として、前章で提案した耐震補強の対策案の評価法に関するケーススタディを行った。すなわち、想定される地震被害を受けた後の上水道管路網の流量解析を行い、各供給点で取り出すことのできる水量を求め、これらの地震後性能と構造被害との関係について検討した。また、必要とされる最低限の地震後性能を兵庫県南部地震の際の神戸市の例を参考にして決定し、提案されたいくつかの耐震補強策の優劣を地震後性能の観点から定量的に評価した。

第5章は結論であり、本研究の成果と今後の課題を整理してまとめた。

また、附属資料として、本文に十分納めることの出来なかった研究成果も含めて、本研究課題に対して各研究分担者がこれまでに発表した論文の別刷りを掲載している。

第2章 上水道施設の地震後性能に関するアンケート調査

2-1 概 説

水道事業体、市民、行政担当者、病院関係者など、水道施設における供給者、需要者という立場の違いによって、地震後性能に対する考え方は異なるものと考えられる。そこで本研究ではまず、水の供給者である水道事業体を対象として、地震後に最低限必要であると考えられる上水道の性能についてアンケート調査を通して検討する。さらに、各水道事業体の地震に対する準備状況についても明らかにする。

2-2 調査方法および調査の概要

全国 90 の水道事業体に調査票を郵送し、発送から 2 週間後を締め切りにファクシミリにて返送していただいた。返送数は 63 であった。発送先とその返送状況の都道府県別分布は図 2-1 に示すとおりである。図 2-1 を見てもわかるように、得られた収集データに偏りがある。特に北海道が 9 通、福井県が 6 通、兵庫県が 10 通となっておりデータ数が多くなっている。これは過去に地震を経験した自治体に多く調査票を送ったことが原因となっている。北海道については北海道東方沖地震、北海道南西沖地震、釧路沖地震、福井県については福井地震、兵庫県については兵庫県南部地震がそれである。なお、本調査は平成 10 年 11 月に行われたものである。

アンケートは大別して 4 つの内容から構成されている。はじめに各事業体が管轄する自治体の特徴を知るための人口総数、世帯数を、2 つ目に上水道施設の概要を知るための給水人口、普及率、浄水方法、給水処理能力、日平均給水量を記入する項目を設けた。その結果を 2-3-1 に示す。3 つ目は、震災に対する備えをどのように行っているかについて、事業体の備え、住民による備え、管路の耐震化に分けて調査した。4 つ目として、水道施設の地震後機能性能について選択方式の質問を設定した。これらの結果をそれぞれ 2-3-2、2-3-3 で述べる。

調査票については付録 1 に掲載した。

2-3 調査結果および考察

2-3-1 データの属性

事業体の属性を示す指標として規模区分と地震歴区分を用いた。規模区分に関しては給水人口データから表 2-1 に示すような 5 分類を用い、地震歴区分に関しては表 2-2 に示すような 3 分類を用いて整理した。地震歴区分においては、経験した地震としてライフラインに大きな被害を与えたものを選んでいる。規模区分、地震歴区分のそれぞれが占める割合を図示したものが図 2-2 である。規模区分に関しては、それぞれの区分に対してのデータ数がほぼ偏らず揃っている。地震歴区分に関しては、“その他”が半数以上を占めて

おりデータ数の偏りが多少見られるが、地震の経験による違いを読みとるには十分であると考えられる。

また、神戸市にはデータが3つあり、自治体の特徴、上水道施設の概要、震災に対する備えの質問に関しては1データとして、記入者の主観が入り込む質問となっている地震後の機能性能についての質問に関しては3データとして取り扱った。表2-1、2-2の（ ）の中の数字は神戸市を3データとして取り扱った場合である。

2-3-2 震災に対する備え

「水の備えについて住民に指導していますか」という質問をに対して、図2-3のような結果であった。約4割の事業体が指導していると答えている。“いる”と答えた事業体のうち、どれくらいの水量を指導しているかに関しては、図2-4のような結果であった。最後の項目“-”は、“具体的な値を決めていない”を示している。多くの自治体が1人あたり3リットルと答えている。地震直後の生命維持のための水をそれぞれ住民自身で備蓄するということの現れであると考えられる。これを平均すると6リットル/人であった。これは1人あたり1日3リットル必要であるとする2日分に当たる。どれくらいの水量を指導しているかという質問の意味が事業体側には、「1人あたり何リットルか」ではなく、「1人あたり1日何リットルか」と考えた事業体があったかも知れず、このため3リットルと答えた事業体が多くなった可能性もある。

図2-3を各区分で比較したものが、図2-5である。規模区分比の図を見てわかるように、10万人未満の規模の小さい事業体では住民に対して指導を行っているところは少ない。小さい事業体ほど地域的つながりの中で助け合うことが根付いており、震災後の混乱期中で近隣住民同士の協力に任せ、指導を行うことをしていないものと思われる。つぎに図2-5の地震歴区分比を見ると、地震の経験による違いはあまりない。なお、水の備蓄といった地震への備えは水道事業体が指導するというよりは各自治体の地震対策担当の部署が行っていることも考えられる。

施設の耐震性向上を行った時期についての質問に対しては、図2-6のような結果であった。耐震化を阪神・淡路大震災前から実施している事業体は全体の51%、阪神・淡路大震災後に実施した事業体は31%であり、かなり多くの事業体が既に何らかの耐震化を行っていることがわかる。しかし、図2-7の規模区分比の図を見ても明らかなように、規模が小さい事業体ほど耐震化の時期が遅れていたり、現在検討中という答えが多くなっている。これは、財政的問題が大きく影響しているものと考えられる。“5万人未満”については、過去に地震歴のある事業体、特に北海道東部に位置する事業体が3分の1以上占めていることが耐震化の時期を早めた要因といえる。さらに、図2-7の地震歴区分比で見ると、“～4年”については、阪神・淡路大震災後には全ての事業体で耐震化を実施していることがわかる。“5～40年”については、他の区分に比べ阪神・淡路大震災前に耐震化を実施したと答えている割合が多くなっている。これらより、地震を経験することにより耐震化の必要性を強く感じ、実施へと至ったことがうかがえる。

つぎに、「耐震化を行う際、小中学校といった避難場所となる防災拠点、病院、消火施設などへ至る管路を優先的に考えていますか」という質問に対して、図2-8のような結果であった。図2-8を地震歴区分比で表したものが図2-9である。地震を近年に経験している方が、考えている割合が大きくなっている。耐震化を行う際には重要施設に繋がる施設を優先的に考える必要があるといえる。

2-3-3 地震後の機能性能

図 2-10、2-11、2-12、2-14、2-16 に関しては、各選択項目を選んだ順位を足し合わせたものを小さい方から、すなわち優先順位が高いと考えられる順に番号をつけて整理した。図 2-10、2-11、2-12 については、各項目の前についている数字がその優先順位を示しており、図 2-14、2-16 については、各項目をその優先順に上から並べてある。凡例のうち、図 2-10、2-11、2-12、2-16 の中の“7”、図 2-14 の中の“6”と項目数を越えているのは、選択項目に“その他”を設けたためである。“その他”の項目に関しては、各事業体がそれぞれの回答をしているため、ここでは集計はしていない。図 2-13、2-15、2-17 に関しては、選択項目を複数回答可として答えられた結果を示している。

地震後に最低限必要な飲料水として 1 人 1 日 3 リットルを確保するためにどのような準備が必要であるかという問いに対して、結果は図 2-10 のようになった。上から 3 つ目までの項目は、ハード的対策であり、下の 3 つはソフト的対策である。図 2-10 を規模区分比で表したものが図 2-11 であるが、比較をしやすくするため、“100 万人以上”と“50～100 万人”を“50 万人以上”とし、“5～10 万人”と“5 万人未満”を“10 万人未満”として表した。規模の大きさに限らず、“配水池の緊急遮断弁設置による水の確保”を 1 位に挙げる事業体が多い。また、大規模の事業体では、“住民による飲料水の確保”を 1 位とする事業体が他に比べて多く、このことは図 2-5 から確かめることができる。大規模事業体では、ハード的対策よりもソフト的なものに重点が置かれている傾向が読みとれる。これは、地震後の給水体制を作る際に、小規模事業体の日常から協力し合える社会環境と、大規模事業体の複雑な都市的社会環境との違いによるものであると考えられる。図 2-12 は図 2-10 を地震歴区分比で表したものである。兵庫県南部地震を経験した“～4 年”については、「水はどこに行けばあるのか」といった情報の混乱が多く生じたことから、施設の耐震補強とともに給水活動に関する整備にも目が向けられていることがわかる。“その他”の過去 40 年間のうちに地震を経験していない事業体では、ハード的対策が主に重要視されている。ソフト的なものは事業体の特徴によって左右されやすく、地震を経験していない事業体では対策を立てにくいことが原因と考えられる。

1 人 1 日 3 リットルを上水道の地震直後に必要な性能と考えることに対してどう思うか、についての結果が図 2-13 である。“1. 適当な水準である。”と“3. 阪神大震災レベルではこの基準を満たすことはできないが最低限満たすべき目標として基準であると考える。”の 2 項目を答える事業体が多く、1 人 1 日 3 リットルを目標にしていることがわかる。しかし、阪神大震災レベルの地震が発生した場合にはその目標を達成することは難しいとも考えており、現段階で耐震化が十分には進んでいない事業体が多いことがわかる。

水供給の観点から地震直後に優先されるべき水の用途に対する質問の結果が、図 2-14 である。“飲料水”が最も優先されるべきと考えていることわかる。また、“消火用水”、“医療用水”ともに重要視されている。これらの 3 つに関して順位付けはできず、どれも 1 位であると考えている事業体がいくつかあり、一概に“飲料水”が最優先であるとはいえないようである。ただ、“消火用水”や“医療用水”については、他に水源（消火用水：河川など、医療用水：各病院による備蓄など）があるため、優先順位がわずかに低くなったと考えられる。“商業用水”、“工業用水”は予想通り低い順位となっている。今回アンケートの中に“生活用水”を加えなかったため、これとの関係が明らかにはならなかった。

“その他”としてこの“生活用水”を挙げている事業体が 4 つあり、いずれも 4 番目に重

要としていた。このことから、“生活用水”を項目に加えた場合，“商業用水”と“工業用水”よりも優先すべきとする事業体が多いのではないかと考えられる。

飲料水以外の性能に関してはどのように目標性能を設定したらよいかという質問に関しては、図 2-15 のような結果であり、飲料水以外については実際どれくらいを目標にしたらよいかわからない状況であることがわかる。図 2-8 で重要施設への優先化を考えている事業体でも、具体的目標を持って行っているわけではないことがうかがえる。給水活動においても、計画的に行うというよりは、足りない場合に優先的に重要施設への給水を行うといった傾向ではないかと考えられる。

各種需要者に対する水供給の性能を確保するための準備に関する質問については、図 2-16 のような結果であり、図 2-10 と似た傾向がある。しかし、“管路の耐震化”の重要性が低くなり、代わりに“緊急給水用具の整備”が高くなっている。住民への飲料水は、上水道システム全体に位置し広範囲であるのに対し、避難場所や病院などの重要施設については、供給場所がある程度限られてくるため、地震後の給水活動で賄おうとする傾向が読みとれる。

目標性能を明示した上で、それを満たすように耐震設計を行うという性能規定型設計法を取り入れるにあたっての問題点についての結果は、図 2-17 のような結果であった。性能設計に関しては、性能というソフト面と実際の管路の耐震化といったハード面とをうまく結びつけることが困難であるため、目標性能から耐震化を行うことは難しいと考えていることがわかる。一方では、住民に対しては目標性能を明示し耐震化を行う方がより身近でわかりやすいとしている。

本アンケート調査の主な目的は『上水道施設の地震後の機能性能とは何か？』ということであるが、この問いかけに事業体側も“わからない”という声が多くあった。以下に主な意見を挙げる。

- ・ハードとソフトをつなげて考えることは難しく、定義することはできない。
- ・水道はあくまでも蛇口から出てくるものが水道であり、応急給水によって得られる水は、水道とは異なる。
- ・1人1日3リットルというのも、性能ではなく応急給水の単なる目標でしかない。
- ・耐震化を行おうと思っても、財政的な問題があり、今の対策で手一杯である。

事業体は、ある性能を満たすために耐震化を進めているのではなく、管路を耐震管に布設替え、配水池に緊急遮断弁を設置、応急給水活動のための整備、といったことを“耐震化に繋がっている”という漠然とした意識の中で行っているものと考えられる。最後に示した意見の財政的問題は小さい事業体に多く見られた意見であり、実際的に耐震化を行うには深刻な問題といえる。

2-4 結 語

本章ではまず、地震後性能に関する考え方を知るために、水道事業体を対象にアンケート調査を実施し、地震後に最低必要であると考えられる上水道の性能について考察するとともに、各水道事業体の地震に対する備えについても明らかにした。その結果、近年において地震を経験した事業体においては施設の強化といったハード的な対策ばかりではなく、ソフト的な対策にも目が向けられていること、また、大規模な事業体では実施に時間の要

するハード的な対策よりもソフト的な対策から行われていることが知れた。

地震後最低必要な性能という観点からは、一人1日3リットルという回答が多かったが、それは単に応急給水の目標値に過ぎないとか、応急給水による水の供給は水道事業とは異なる性能だ、という意見もみられ、緊急時の水供給をさらに総合的に考える視点が必要であると感じられた。すなわち、需要者である住民にとっては地震後にどんな方法でも水を手に入れたいという要求があるが、事業体側には、早く水道の復旧を行うという意識があり、また、応急給水活動は水道事業体のみではなく、水道事業体以外の行政機関、他の自治体や自衛隊も協力して行われる。このようなことから、耐震化をハードとソフトの両面から考えるとともに、地震後必要な機能性能を満たすために総合的な耐震対策を考えていくことが望まれているといえる。

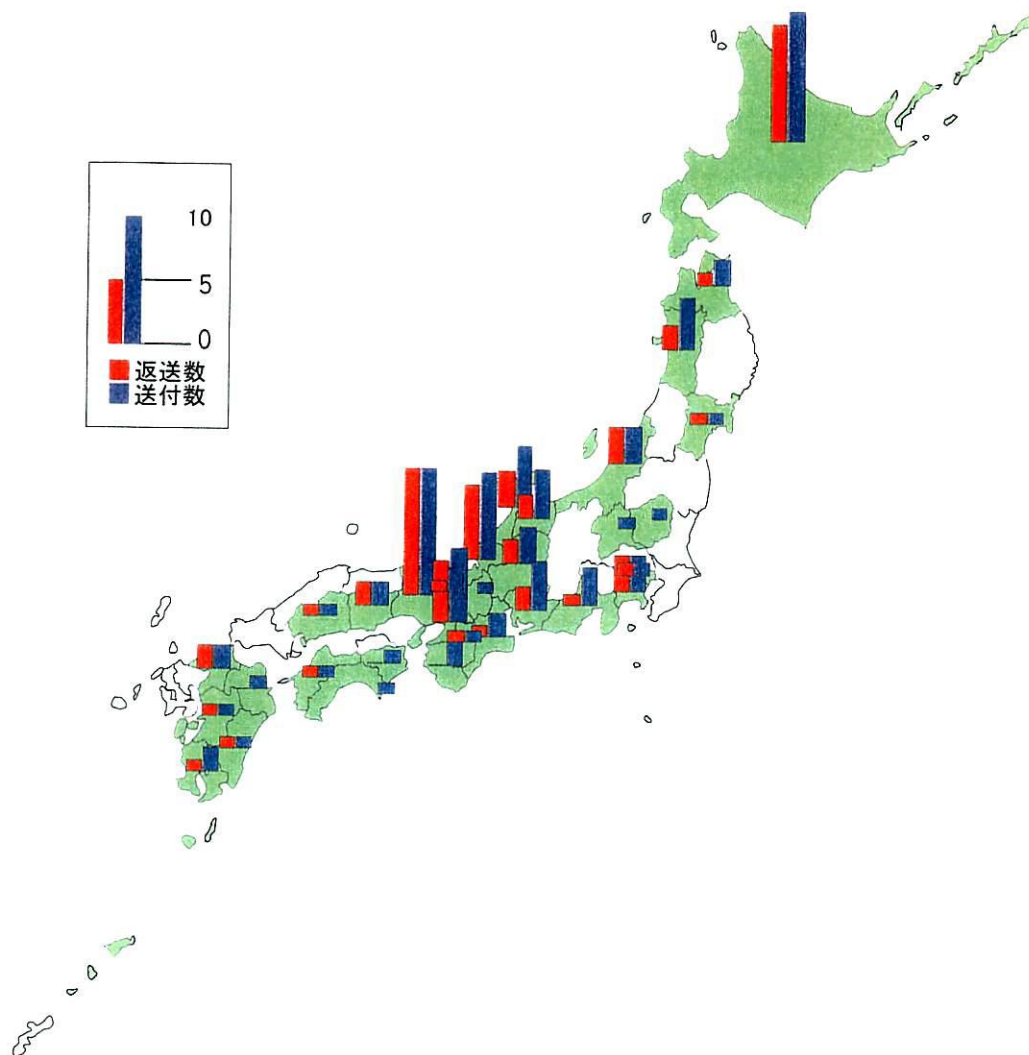


図 2-1 県別返送状況

表 2-1 給水人口による
規模区分の種類

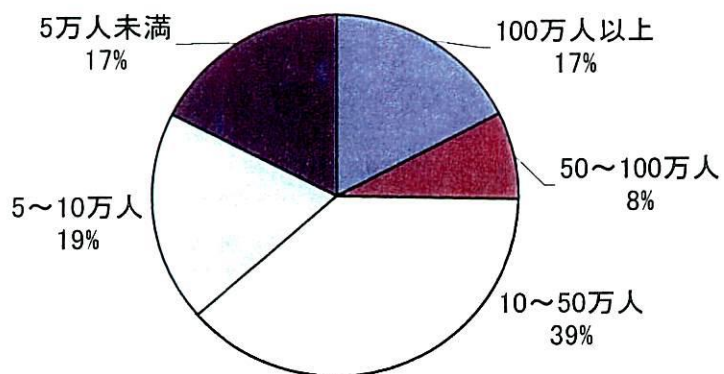
分類名	事業体数
100万人以上	11(13)
50～100万人	5
10～50万人	24
5～10万人	12
5万人未満	11

【注】()の中の数字は図 2-9
以降に関するものである。

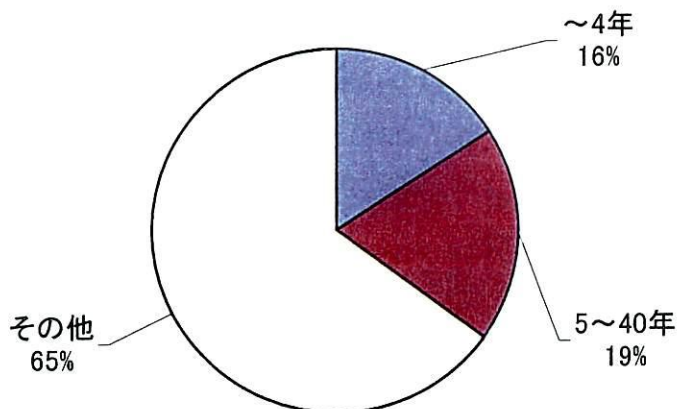
表 2-2 地震歴区分の種類

分類名	地震名	事業体数
～4年	兵庫県南部地震	10(12)
5年～40年	三陸はるか沖地震、北海道 道東沖地震、北海道南 西沖地震、釧路沖地震、 日本海中部地震、宮城県 沖地震、新潟地震	12
その他		41

【注】()の中の数字は図 2-9以降に関するものである。



規模区分



地震歴区分

図 2-2 各区分が占める割合

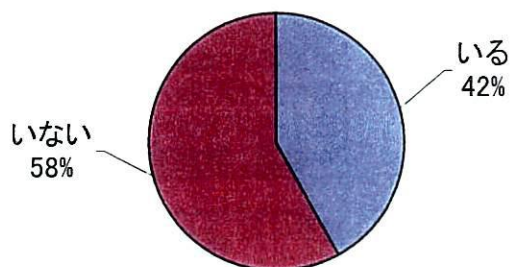


図 2-3 水の備えについての住民への指導

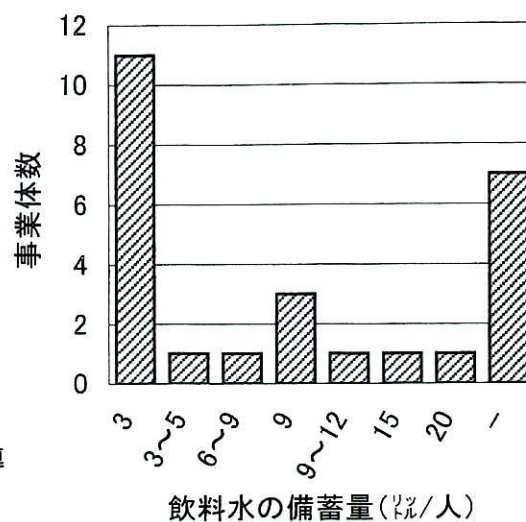


図 2-4 指導している飲料水の備蓄量

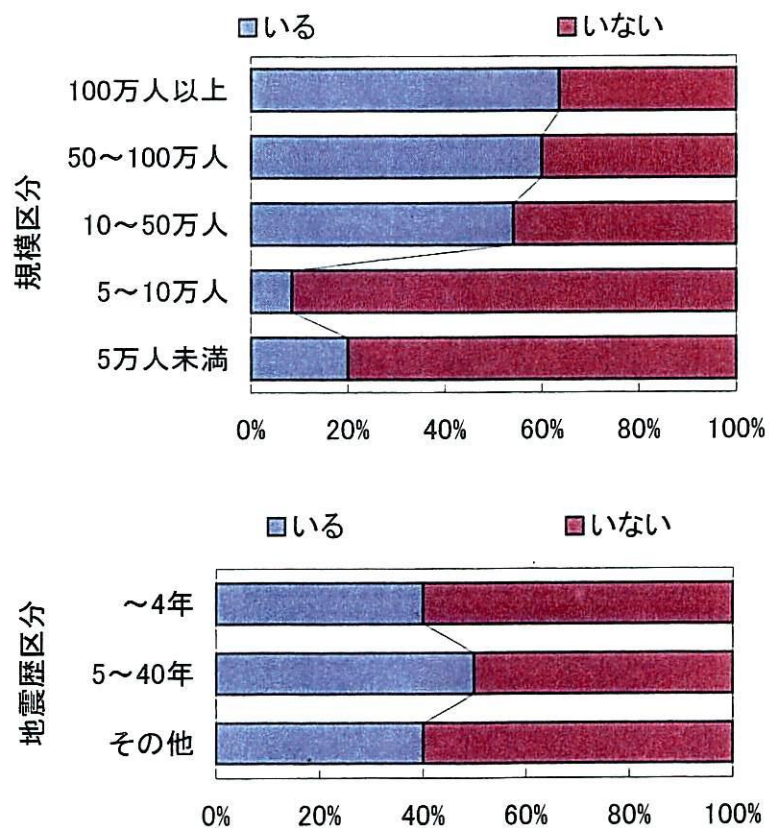


図 2-5 各区分比による水の備えについての住民への指導

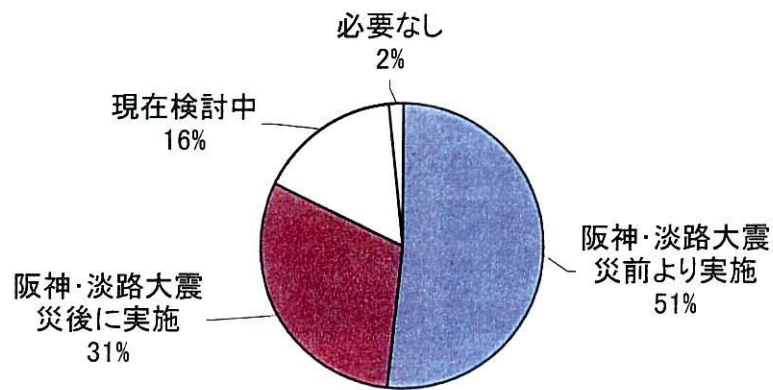


図 2-6 施設の耐震化を行った時期

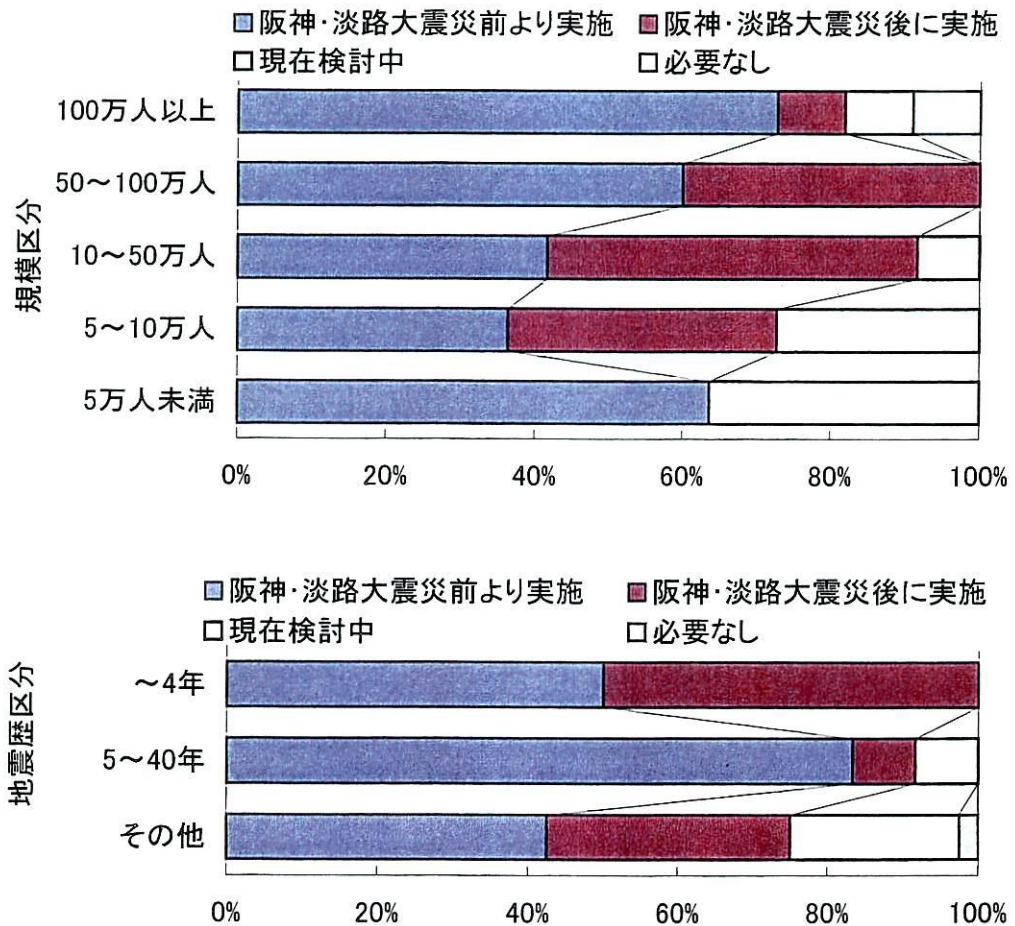


図 2-7 各区分比による施設の耐震化を行った時期

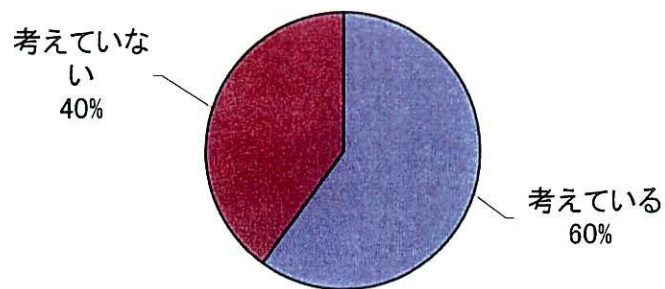


図 2-8 重要施設に対する優先化への考え

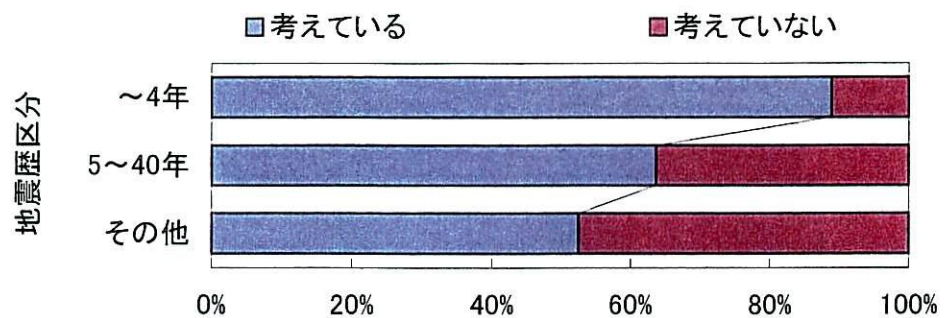


図 2-9 地震歴区分比による重要施設に対する優先化への考え

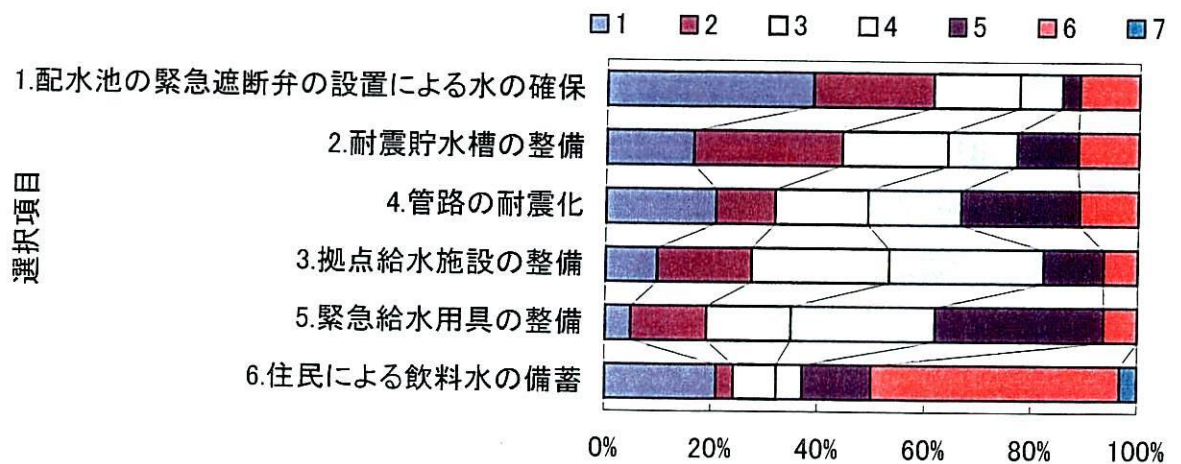


図 2-10 地震後3日/日・人に対する性能確保のための優先される順位の割合

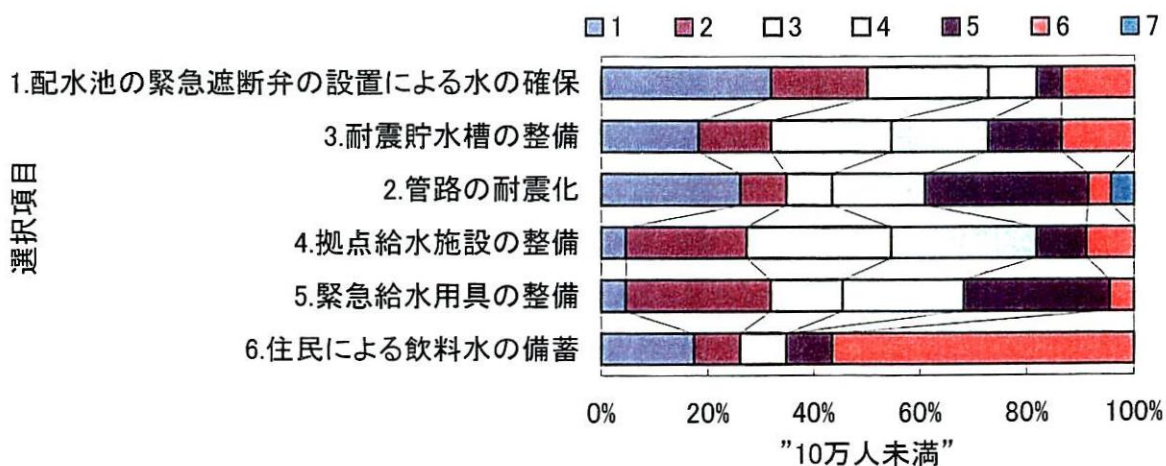
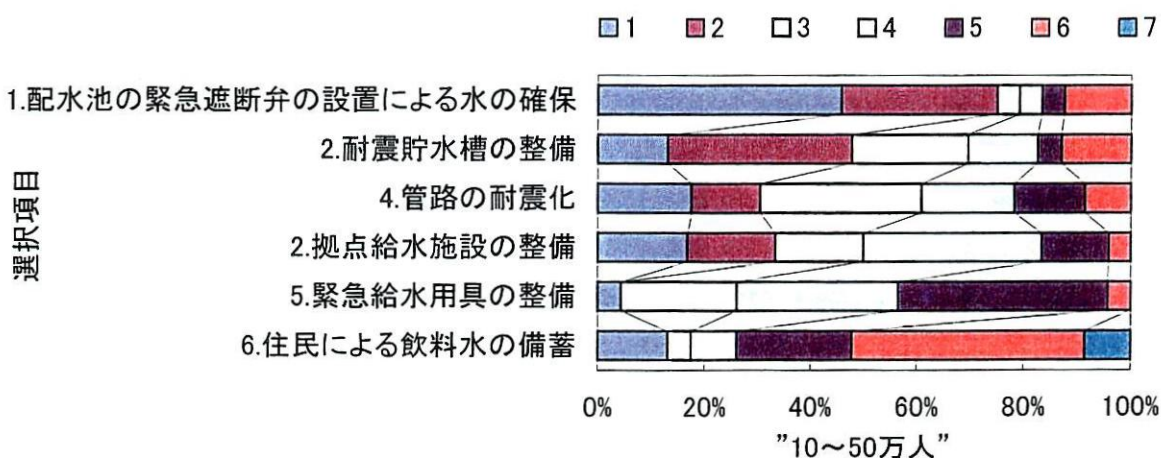
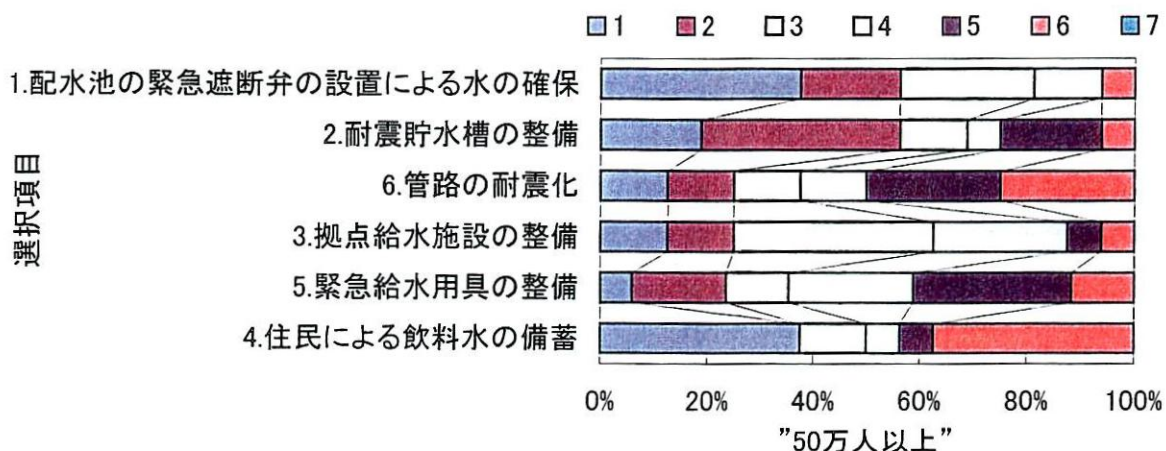


図 2-11 規模区分別の地震後3日/日・人に対する
性能確保のための優先される順位の割合

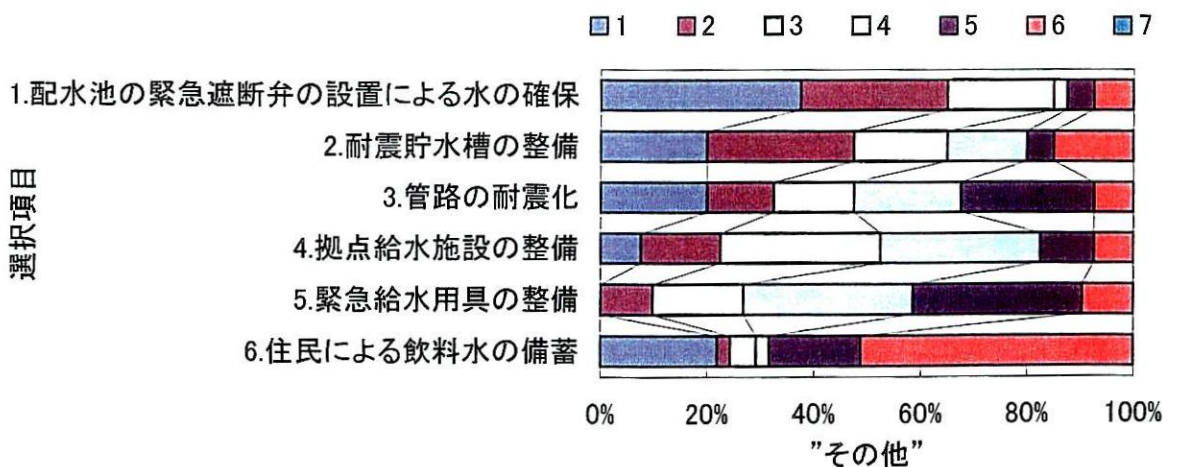
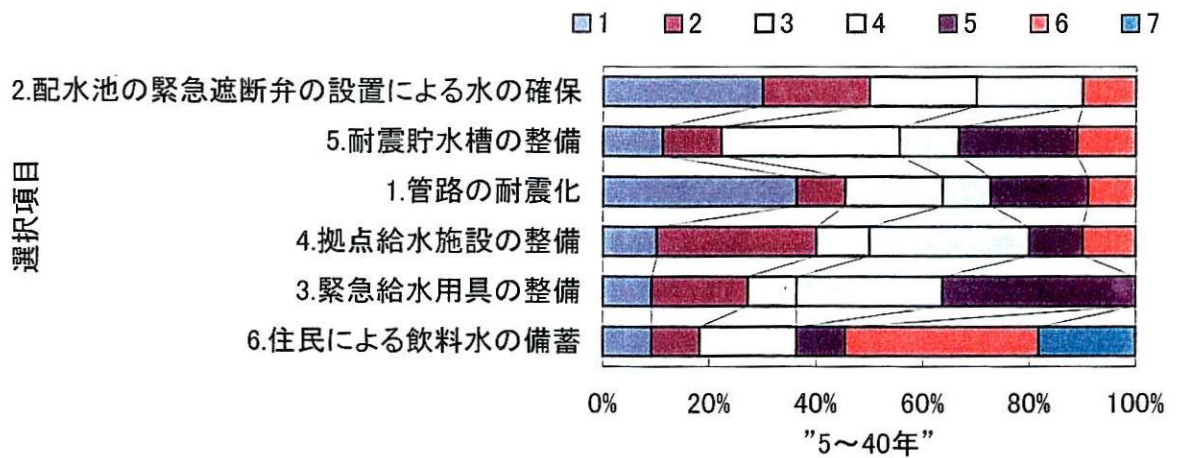
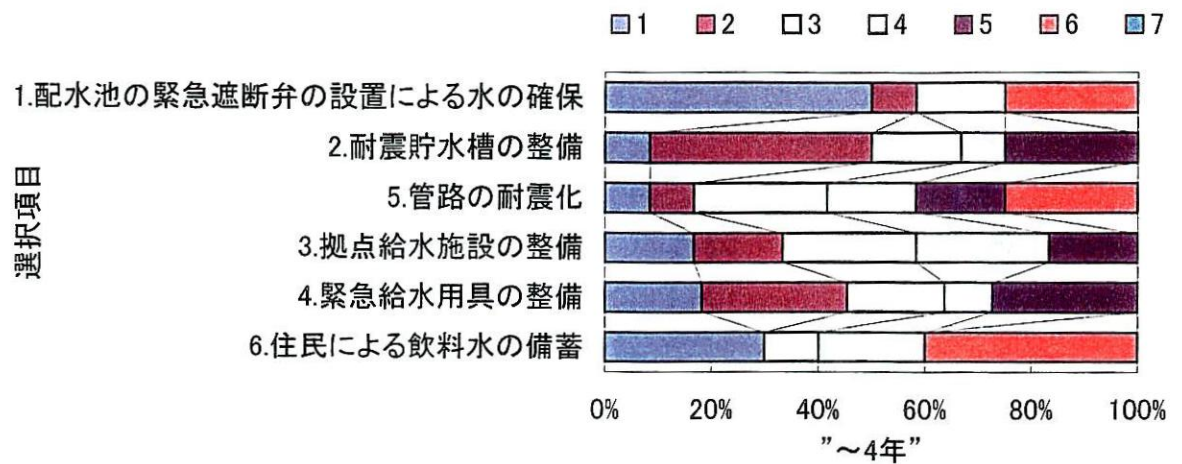
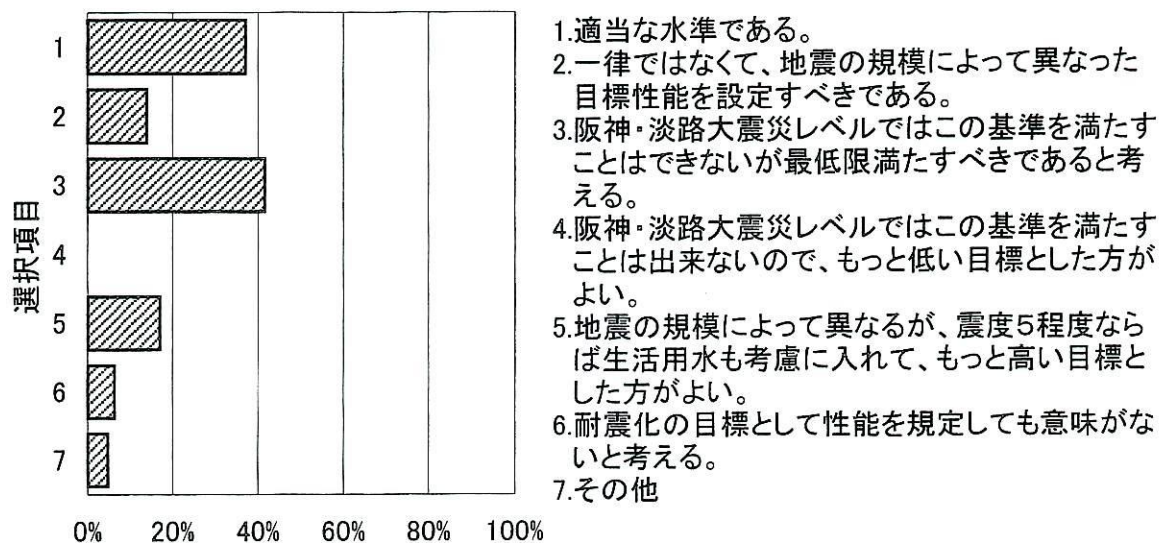


図 2-12 地震歴区分比の地震後3日/日・人に対する
性能確保のための優先される順位の割合



1. 適当な水準である。
2. 一律ではなくて、地震の規模によって異なった目標性能を設定すべきである。
3. 阪神・淡路大震災レベルではこの基準を満たすことはできないが最低限満たすべきであると考え。
4. 阪神・淡路大震災レベルではこの基準を満たすことは出来ないのもっと低い目標とした方がよい。
5. 地震の規模によって異なるが、震度5程度ならば生活用水も考慮に入れて、もっと高い目標とした方がよい。
6. 耐震化の目標として性能を規定しても意味がないと考える。
7. その他

割合 (全体数65)

図 2-13 地震後に確保されるべき上水道の性能について

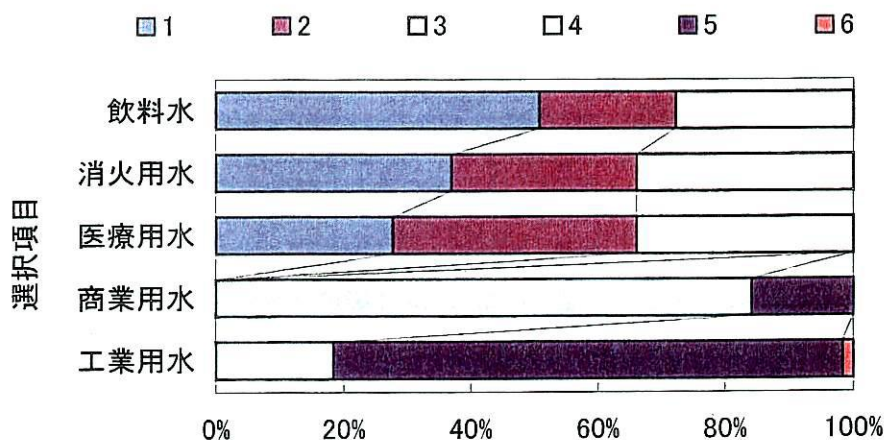
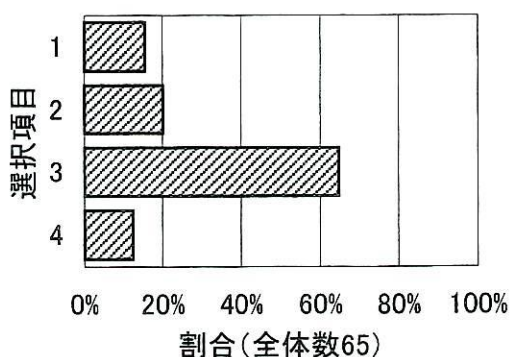


図 2-14 給水活動における優先される順位の割合



1. 各対象機関にアンケート調査などを行い、実状を反映させた数値を探る。
2. 地震規模によっても異なるので、過去の地震被害に基づいて地震規模に応じて決める。
3. 対象規模(人口、火災規模、病棟数など)によって異なるので一概には決められない。
4. その他

割合 (全体数65)

図 2-15 飲料水以外の性能についての目標設定

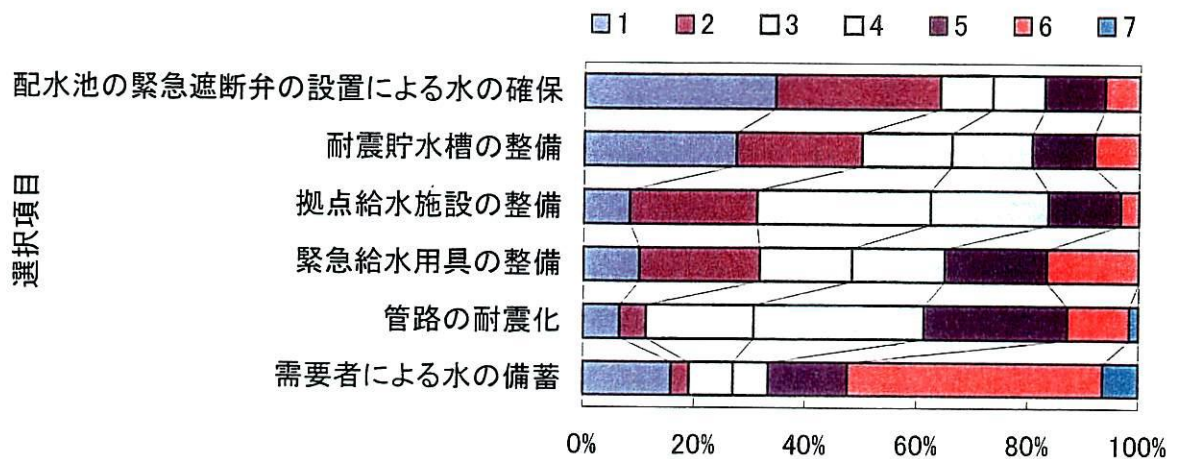
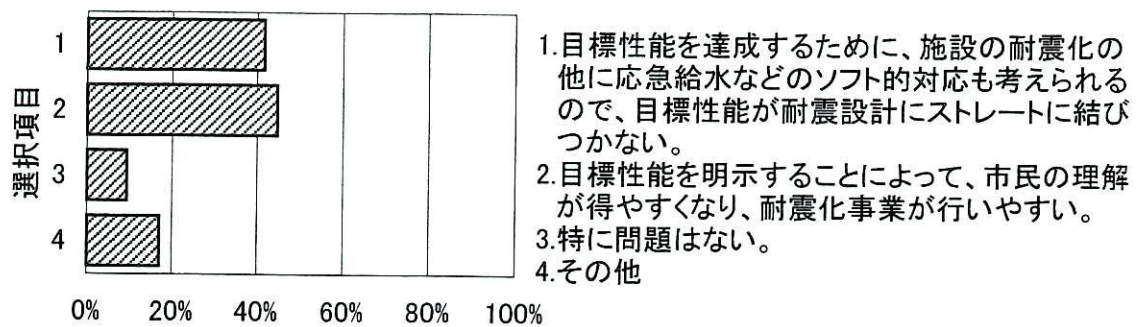


図 2-16 各種需要者に対する性能確保のための優先される順位の割合



割合(全体数65)

図 2-17 水道施設の性能設計を行うにあたっての問題点

第3章 住民困窮度を用いた耐震補強策の評価手法

3-1 概 説

地震後の機能性能を保つために、管路を耐震管へ布設替えするといった耐震対策が考えられる。しかし、その対策には莫大な財源が必要であるが、資金は限られている。したがって、2-3-3からも明らかなように、財政的問題から耐震化がなかなか進まない事業体が多い。

耐震対策の効果を定量的に表すことにより、対策費用と効果の関係から最適な対策案を選択することが容易にできることになる。そのためには、機能性能を定量的に表す指標を提案し、それを用いて対策前後を比較することにより、対策案を定量的に比較できると考えられる。そこで、アンケート調査でも重要とされた住民の飲料水に注目した評価指標について考究する。

本研究では、上水道システムの管路網をモデル化し、地震時の破壊シミュレーションを行った管路について、流量解析により流量計算を行う。地震時の破壊シミュレーションは、上水道管路網を構成するネットワーク形状、管路の材質などを考慮し、モンテカルロ法を用いて行う。また、地震後日数が経過するに従って管路が復旧されるので、復旧シミュレーションも同時に行う必要がある。さらに、流量解析で得られた各ノードの取り出し水量と必要水量との差による困窮度の算出方法を示し、耐震補強策の評価手法を提案する。

3-2 地震時の管路破壊シミュレーションと流量解析

地震時における上水道配水管路網の機能的な信頼性を、確定論的な見地から評価することはかなり難しいことであると考えられる。第1に、地震の発生自体が確定的ではない。構造物や建築物に甚大な被害をもたらす巨大地震の発生は稀であり、また、その地震記録や被害記録となると、有用な資料となるようなものは数少ない。第2に、配水管路の破壊は、管路の強度、地盤条件、埋設深さなどのばらつきを持つ多くの要因によって影響されている。また、配水管路網をネットワークとして見ると、その機能はそれを構成している耐震性の異なる管路の破壊状況によって複雑に影響されている。管路網は比較的単純な管路が結合して形成されるものではあるが、ネットワークとして見たときの配水管路網は、単純にすべての管路の破壊の影響が同じであったり、破壊の影響が単に伝達することはない。また、シミュレーションを確定論的に行うと、いたずらに回数が増えるだけであるが、モンテカルロ・シミュレーション法のように乱数を与えて実験をする方法は、近似解ではあるが効果的に実験回数を少なくして解を得ることができる。

以上のことから、確定論的にすべての場合を実験して解を得るよりも、乱数を用いてランダムな試行を繰り返し、近似解を得る方が有効であると考えられる。そこで本研究では、モンテカルロ・シミュレーション法を用いて、配水管路網が地震時に損傷を受けた場合の影響を評価する。この方法では、乱数を用いて十分多数回のランダムな実験を繰り返し、その結果を集計することによって、求める解を近似的に得ようとするものである。

まず、モンテカルロシミュレーション法の適用にあたって重要となる、管路の破壊状況と破壊確率の考え方について述べる。すなわち、管路の破壊を想定するに当たって、想定地震による地震の揺れの強さを設定し、これより管路の被害率を求め、管路の破壊がポアソン分布に従うとして破壊確率を求める。

破壊確率を求める際に必要となる被害率の算出方法をについて以下に示す。埋設管の物理的な被害の程度を統計的に検討する際には、破壊箇所数を管路延長で除した値、すなわち単位長さあたりの破壊箇所数が用いられ、これを被害率と呼んでいる。被害率は次のようないくつかの要因によって左右される。(a) 地盤の種別、(b) 管路の埋設支持状態、(c) 管材質、継手特性、(d) 管径・管厚、及び異形管部の有無、(e) 地震動強度、継続時間、(f) 埋設年代、腐食状況など、である。これらの要因による影響を考慮して、各研究機関や自治体において被害率と最大加速度あるいは最大速度との関係式などが既に提案されている。たとえば、久保・片山によって 1997 年に公表された、東京都区部の地震被害想定¹⁾ で用いられているものがある。その後、磯山・久保²⁾ によって改良され以下のような被害推定式が提案されている。

$$D_m = C_1 C_2 C_3 \cdots C_n D(A) \quad (3-1)$$

D_m : 補正された被害率 [件/km]
 C_i : 各種の補正係数 ($i=1 \sim n$)
 D : 標準被害率 [件/km]
 A : 地震動の推定最大加速度 [gal]

上式は過去の被害に基づく経験式であり、適用が簡易かつ実務的であることから、これまで多くの被害想定で用いられてきた。また、独自の補正係数を用いたい場合や、新しいデータが出てきた場合の修正も比較的容易である。そこで、本研究でもこの式を用いることとする。

標準被害率として従来から用いられている久保・片山の式を式 (3-2) に示す。

$$D = 1.698 \times 10^{-16} A^{6.06} \quad (3-2)$$

この式によると、400gal を越える辺りから急速に被害率が上昇するので、大地震時には適当ではないと考えられる。そこで今回はこれは用いず、阪神・淡路大震災のデータを数量化理論Ⅰ類による多変量解析で分析し、算出された次式を用いる³⁾。

$$D = 4.11 \times 10^{-9} A^{2.92} \quad (3-3)$$

補正係数については、阪神・淡路大震災のデータを基に既往の研究を考慮し算出しているものを用いることとする³⁾。補正係数は、管種、管経、液状化、表層地質についての 4 種類であり、詳細は付録 2 に示す。以上より、最大加速度から標準被害率を求め、補正係数を掛けることで条件の異なる管路について調整を行い、各管路の被害率を求めることができる。

本研究では管路の破壊状態を図 3-1 に示すように以下のとおり考えた。すなわち、管路の破壊箇所が少ない場合には、破壊箇所でも漏水はしているが下流への通水は可能な状態であると考え、破壊箇所が一定数を越えた場合、その管路は漏水が多量に発生し、下流への通水が不能な状態であると考え、したがって、破壊状態を次のように定義する。

接点と接点とを結ぶ管路が破壊を受けて漏水しているが、通水が可能な状態を漏水 k とした。すなわち、破損箇所数が N 未満の場合とする。 k は破損箇所数により漏水の程度が異なると考えられ、破損箇所数によって 3 つにランク分けする。この場合、管路はそのままであるが、両端の接点から漏水が発生するものとする。つぎに、接点と接点とを結ぶ管路が破壊し通水不能な状態を考える。すなわち、破損箇所数が N 以上の場合とする。この場合、その管路はないものとし、さらにその両端の接点から漏水が発生するものとする。

モンテカルロ法を用いて地震による破壊状態をシミュレーションする場合、0~1 までの乱数を与え、乱数が破壊する確率よりも下まわった場合に、管路が破壊したものとして流量解析を行う。このとき漏水 k 、通水不能となる確率を $Pr(k)$ 、 $Pr(N)$ とし、式 (3-4)、(3-5) で表すことができる。

漏水 k ($k=1, 2, 3$) の場合：

$$Pr(k)=1-(P_1+P_2+\cdots+P_{n_k-1}) \quad (3-4)$$

通水不能の場合：

$$Pr(N)=1-(P_1+P_2+\cdots+P_{N-1}) \quad (3-5)$$

n_k は漏水 k となる被害箇所数、 N は通水不能となる被害箇所数を表している。一般に、地震による管路の破壊はポアソン分布に従うとされており、 P_n は、式 (3-6) で表される。

$$P_n = \frac{(D_m \cdot L)^n}{n!} \exp(-D_m \cdot L) \quad (3-6)$$

ここで、 L は管路長 (km)、 D_m は被害率 (件/km) である。以上を図示したものが図 3-2 である。このようにしてモンテカルロ法を用いて破壊状態をシミュレーションし、管路網の流量解析を行う。

流量解析にあたっては各節点のエネルギー一位を未知数として解析する手法であるエネルギー一位法を用いた⁴⁾。これは、各管路の流量を未知数として解析する手法である流量法に比べて、漏水の取り扱いが容易であることによる。

3-3 復旧シミュレーション

地震による住民の困窮度を考える際、地震直後だけを考えたのでは地震後の機能性能を十分に評価できない。地震後の時間経過による住民の行動心理の変化や管路の復旧活動による機能性能の回復など考慮すべきである。ここでは、破壊シミュレーションを行った後の管路を復旧させる手法について述べる。

3-2 で破壊シミュレーションを行った管路を 1 日ごとに復旧させていくことを考える。ライフラインの復旧は、上流が復旧されないと下流の管路を復旧しても水が流れてこないため、一般的には上流から順に行われる。復旧過程のシミュレーションにおいても、復旧は上流から行うこととする。このとき復旧班をいくつか設定し、同時に復旧することとす

る。簡単のため復旧順序はあらかじめデータとして与え、上水道ネットワークの破壊状態には依らないこととした。

一般に復旧作業を開始するには調査、計画が必要であり、地震直後には復旧作業が開始できないと考えられる。また、モデル化する上水道システムは幹線管路網であり、幹線が復旧してもそこから各需要者にはさらに配水管を通り給水される。そのためモデル化された管路が復旧されても、需要者に直接つながる配水管が破壊している場合には水が供給されないことになる。これらの復旧の遅れを考慮するため、復旧を開始する日は地震発生後4日目からとする。

つぎに、復旧方法について考える。前節で定義した漏水 k と通水不能の破壊状態を1日にある決まった箇所数だけ復旧させることとする。

通水不能 $\Rightarrow$ 漏水 3

漏水 3 $\Rightarrow$ 漏水 2

漏水 2 $\Rightarrow$ 漏水 1

漏水 1 $\Rightarrow$ 通常

のように破壊状態を変化させることで復旧過程をシミュレートする。このとき各自治体の復旧計画などを参考に作業人数等を考慮し、1日あたりの復旧箇所数を決定する。

3-4 住民困窮度からみた耐震補強策の評価

3-4-1 困窮度の定義

地震により上水道施設が破壊されることによって、漏水や断水が発生し、住民は需要を満たす水量を得ることができなくなる。供給される水量と地震時に要求される水量との差に何らかの係数を掛けることで住民の困る度合い、『困窮度』というものを考える。図 3-3 はこれを図示したものである。地震発生直後、住民は我慢し要求する水量が少ないために要求量より多く供給できる場合がある。しかし、日数の経過とともに要求する水量が増えていくのに対し、復旧が進まず供給できる水量が要求水量に追い越され、要求を満たせない状態となる。流量解析により求まる取り出し流量を供給される水量とし、必要水量を地震時に要求される水量とする。次式により困窮度を定義する。

$$K = \sum_i \sum_k K_{i,k} \quad (3-7)$$

$$K_k = \sum_i K_{i,k} \quad (3-8)$$

$$K_i = \sum_k K_{i,k} \quad (3-9)$$

$$K_{i,k} = \{Q_{n_i}(k) - Q_{i,k}\} \times 24 \cdot 60 \cdot 60 \times Cw(k) \quad (3-10)$$

K : 上水道システム全体の困窮度 (円)
 $K_{i,k}$: ノード i の復旧 k 日目の困窮度 (円)
 K_k : 復旧 k 日目の全ノードの困窮度 (円)
 K_i : ノード i の全復旧期間の困窮度 (円)

$Qn_i(k)$	: ノード i の復旧 k 日目の単位必要水量 (m^3/sec)
$Q_{i,k}$	: ノード i の復旧 k 日目の取り出し水量 (m^3/sec)
$Cw(k)$	: 復旧 k 日目の単位水量損失 ($\text{円}/\text{m}^3$)

3-4-2 必要水量

必要水量とは、住民が地震後に必要としている水の量である。これは、地震後日数が経過するにしたがって変化することが考えられる。地震直後は生命維持のための飲料水だけでも我慢できるが、日数が経つにつれて洗面、調理、入浴などに使用する水への欲求がでてくる。表 3-1 は神戸市水道局に寄せられた苦情などを分析した結果で、被災者の応急給水に関する要望の推移を示したものである⁵⁾。水を必要とする時間的变化を考慮するため、必要水量は地震後の日数によって変化させることにする。

3-4-3 単位水量損失

単位水量損失とは、単位水量 (1m^3) あたりの水が供給されなかったときの水の貨幣価値である。白石・友野⁶⁾ は、給水障害が起こった場合の水の貨幣価値は通常よりも高くなるのではないかとすることを、一般家庭に対するアンケートにより調査している。「大渴水や大地震で安全な水が極端に欠乏したとき、1 缶 (20l) の安全な水にいくら支払ってもよいか」という質問に対して、“200 円くらいまで” が最も多く (37.7%)、以下 “1,000 円くらいまで” (23.7%)、 “わからない” (14.0%)、 “50 円くらいまで” (11.7%) がそれに続く。東京都の水道料金 791 円/ 10m^3 によれば、通常の水の価値が 20l あたり約 1.6 円であるので、これらの回答結果から、緊急時の水の価値が非常に高くなっていることがわかる。そこで本研究では、地震という緊急時で水が不足している状態の水の価値を通常より高く設定することとする。

前節の必要水量を地震後の経過日数によって変化させることとするため、単位水量損失も地震後の経過日数によって変化させる必要があると考えられる。通常の 1 人 1 日あたりの平均配水量と一般家庭の水道料金を基準として、必要水量に反比例するように単位水量損失を定める。すなわち、通常の配水量が 1 人 1 日あたり 300 リットル、水道料金を 791 円/ 10m^3 とすると、地震直後の必要水量が 1 人 1 日あたり 3 リットルの場合、地震直後の単位水量損失は、通常の 100 倍の 7,910 円/ m^3 となる。

3-4-4 耐震補強策の評価方法

3-4-1 で定義した困窮度を用いた耐震補強策の評価方法について述べる。耐震補強策の評価を行う場合、その耐震補強によってどれだけ効果があるということが最も重要である。つぎに、その耐震補強を行うのにどれだけの費用が必要であるかということが問題となる。さらにそれらを統合することで、最も経済的で効果的な耐震補強策の選択、決定を行うことができると考えられる。以下に評価方法の 1 つとして費用便益分析について述べる。

現状と対策後の状態との損失の差により対策の効果を便益とすることができる。このとき地震による被害として、困窮度以外に管路損傷を修理、復旧する費用が考えられる。これを構造損失と呼ぶことにする。したがって、構造損失 P と困窮度 K を足し合わせたものの、

$$R = P + K \quad (3-11)$$

を地震による損失 R とできる。しかし、構造損傷 P と住民の心理状態を金額に換算した困窮度 K との間には隔たりがあると考えられる。困窮度に重み付けを行い、式 (3-12) により地震による損失 R' とする。

$$R' = P + cK \quad (3-12)$$

c : 構造損失に対する困窮度の重み

これを用いて式 (3-13) により対策 i の便益 B_i を求めることができる。

$$B_i = R_B' - R_{Ai}' \quad (3-13)$$

R_B' : 対策前の想定地震による損失
 R_{Ai}' : 対策案 i を行った後の想定地震による損失

便益 B_i を便益費用比による評価基準 η_i を定めると式 (3-14) のようになる。

$$\eta_i = \frac{B_i}{C_i} \quad (3-14)$$

C_i : 対策案 i を行うために必要なコスト

評価基準 η_i により対策案 i の評価を行う。ただし費用便益分析による評価では、便益と費用の対比によって効率的な案を選択するという基準になっているため、便益がどこに帰属するかといった公平性を評価できない。

3-5 結 語

本章では、想定される地震によって被害を受ける地震被害シミュレーションの手法と、被害を受けた管路網による流量解析法について述べるとともに、地震後性能を表すひとつの指標として困窮度を提案した。さらに、現状と対策後の損失の差により対策の効果を便益と考え、便益費用比により対策案の評価を行う手法について述べた。ただし、地震による被害として、機能損傷を機能性能で評価した困窮度という指標の他に、管路損傷を修理、復旧する費用、すなわち構造損失も考慮することとした。次章では、ここで述べた手法を金沢市の上水道管路網に適用し、その有用性を検討する。

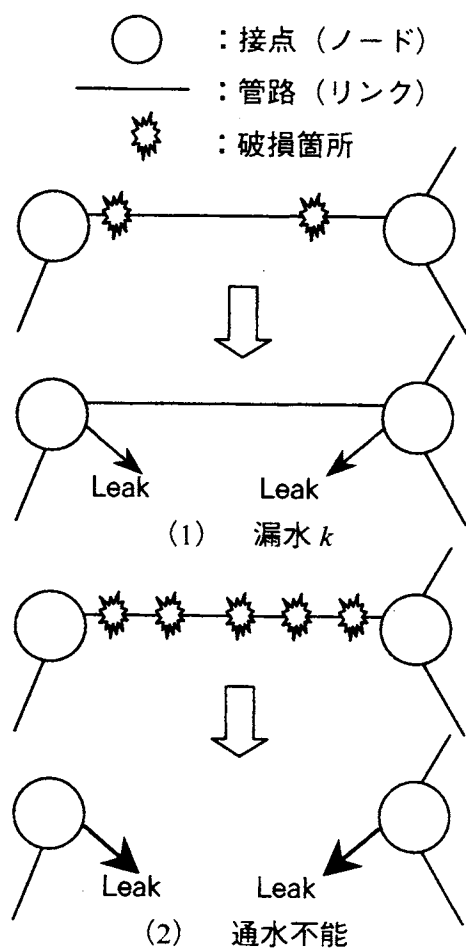


図 3-1 破壊状態のモデル図

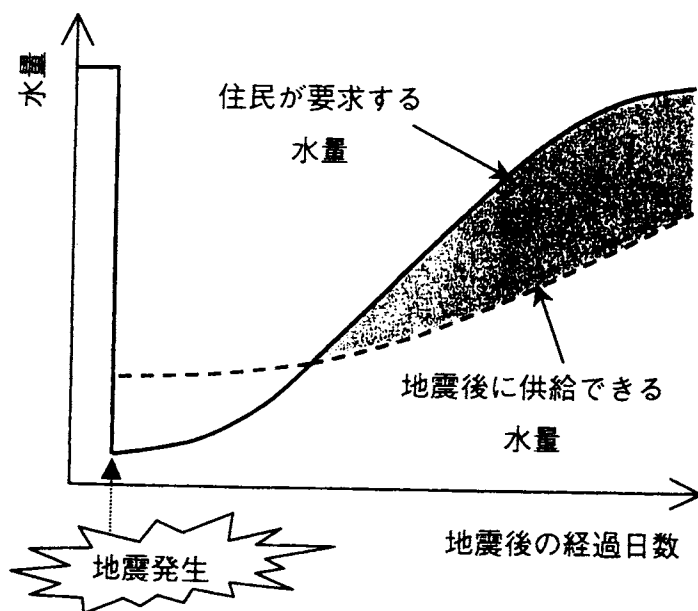


図 3-3 水量と地震後の経過日数

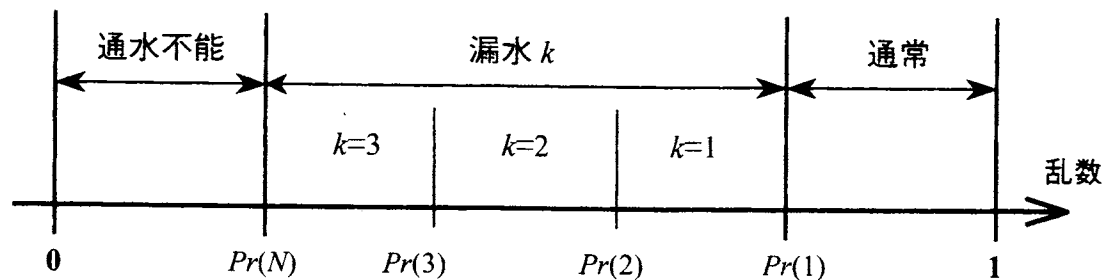


図 3-2 モンテカルロ法

表 3-1 水に関する要望の推移⁵⁾

～ 3 日目 (1 週目前半)	その日生きるための最小限の水
4～ 7 日目 (1 週目後半)	飲料水、炊事用水、トイレ用水
8～14 日目 (2 週目)	洗濯の水、避難所での入浴
15～21 日目 (3 週目)	自宅での入浴、自宅での洗濯
22～28 日目 (4 週目)	同上
29 日目以降	我慢の限界、通常と同水準の給水

第4章 金沢市におけるケーススタディ

4-1 概 説

金沢市の上水道管路網を取り上げ、前章で提案した対策案の評価法に関するケーススタディを行う。本研究で対象とした上水道システムは、金沢市の計画給水区域の幹線配水本管（φ300mm 以上）である。この幹線配水本管は、金沢市全域に給水を行うための基本となる配水管であり、破壊することで下流域全体に影響を与える。したがって、地震後も機能性能を保てるように、有効な耐震補強を行う必要がある。

4-2 金沢市上水道管路網のモデル化

本研究で対象とした幹線配水本管の管種は全てダクタイル鋳鉄管であるとする。金沢市の上水道システムは、野田、大桑、館山、浅野川、犀川、若松、四十万高区、四十万中の7ヶ所の配水場より自然流下方式で給水している。主に市内への配水は3系統により行われている。野田、大桑、館山、浅野川の4配水場は犀川の表流水を水源として末浄水場より配水され、主として市内の寺町、小立野の高台および田上方面に給水している。犀川、若松の2配水場は内川ダムを水源として犀川浄水場より配水され、主として市内中央部および浅野川以北の地区に給水している。四十万高区、四十万中の2配水場は県営水道から受水し、主として市内南部地区に給水している⁷⁾。

金沢市上水道幹線配水本管⁸⁾をノードとリンクから構成されるネットワークでモデル化した。モデル化した図を図4-1に示す。ここでは、主にリンクが交差する地点でリンクの分割を行っている。○はノード（節点）、□は配水場であるノード、矢印はリンク（管路）を表している。リンクの矢印は、管路が全く破損を受けていない状態、すなわち通常の状態において流れる水の向きを示している。7つの配水場（ノード70～77）から69の需要点（ノード1～69）に配水管路（リンク1～107）を通して給水が行われる。モデルにおいて水の取り出しは全てノードにおいて行い、漏水も全てノードで発生するものとする。また、地震による損傷はリンクでのみ確率的に発生するものとして、ノードの損傷はないものとする。管路破壊状態の漏水 k と通水不能については、漏水1を管路損傷1箇所、漏水2を管路損傷2箇所、漏水3を管路損傷3箇所とし、通水不能を管路損傷4箇所以上とする。

復旧過程については、主に若松、館山、大桑、浅野川、犀川の5配水場（ノード70～74）から給水される地域と、野田、四十万高区、四十万中の3配水場（ノード75～77）から給水される地域の2つに分け、同時に復旧していくこととする。1日あたりの復旧箇所数は、2つの地域でそれぞれ2箇所ずつとする。一方の地域の復旧が完了した後、もう一方の復旧が完了していない場合、応援という形で1日あたり4箇所ずつ復旧していものとする。

次に流量解析に必要な諸量を示す。

(1) ノード条件

金沢市の全人口を町単位で各ノードに割り当て、ノードの給水人口とする。各ノードの給水人口とその町名を付録 3 に示す。各町の給水人口は金沢市統計課資料⁹⁾による。付録 4 にノード条件である、地盤高、管中心高、許容取り出し水量、給水人口を示す。管中心高は管埋設深さを 2m とし地盤高より求めている。許容取り出し水量は、1996 年の金沢市における 1 日最大配水量を各ノードの給水人口より比例配分して求めている。

(2) リンク条件

付録 5 にリンク条件である、リンクの上流側及び下流側のリンク、管路、管路長を示す。

(3) 仮定エネルギー位

解析時の初期仮定エネルギー位を全てのノードについて $E_i=100$ (m) とする。

(4) 流量係数

全てのリンクについて $C_H=50$ とする。

(5) 漏水項

全てのノードにつて $k=1.15$ 、 $C_i=5.0 \times 10^{-5}$ とする。この値を用いると金沢市上水道の通常時の漏水量は、配水量の約 10% となる。また破壊状況に応じて、漏水 k については $C_i=C_{k,i}$ ($k=1:1.0 \times 10^{-4}$, $k=2:2.0 \times 10^{-4}$, $k=3:5.0 \times 10^{-4}$)、通水不能については $C_i=C_{4,i}=1.0 \times 10^{-3}$ となる漏水が発生するものとする。

(6) 許容地盤上残存水頭

許容地盤残存水頭を $RP_o=15$ (m) とする。

(7) 接点方程式の許容最大誤差

1.0×10^{-4} m/sec とする。

(8) 指定エネルギー位

エネルギー位を指定したノードは、配水場であるノード 70~77 であり、H.W.L.と L.W.L.の平均値を用いる。付録 6 にこれを示す。

(9) 復旧の順序

管路の復旧を行う 2 つの地域の復旧順序を付録 7 示す。

4-3 困窮度算出のための必要諸量

金沢市に被害を及ぼす地震として、金沢市をほぼ北東から南西に横切る形で存在するといわれている森本断層が活動したケース¹⁰⁾を想定する。表 4-1 に森本断層の各パラメータを示す。この想定地震を適用して 3-2 に示した方法で各リンクの被害確率を算出した。その結果を付録 8 に示す。

地震後の時間経過によって変化する必要水量を、金沢市地域防災計画¹⁰⁾の給水計画から定める。図 4-2 に示すように、地震後 3 日目までの 3 日間は 3 リットル/人・日、4 日目から 7 日目までの 4 日間は 20 リットル/人・日、8 日目から 14 日目までの 1 週間は 100 リットル/人・日、15 日目から 28 日目までの 2 週間は 300 リットル/人・日、29 日目以降は 444 リットル/人・日とする。29 日目以降の 444 リットル/人・日は、1996 年の金沢市の 1 日平均

配水量を、給水人口によって除したもので、通常必要水量と考えられる。これらの値に各ノードの給水人口をかけ、各ノードの必要水量を算出する。

つぎに、必要水量に反比例するようにして単位水量損失を定める。金沢市における通常時の水道料金は、一般家庭（300～500 リットル/日・人×30 日×4 人=36～60m³）の場合で求めると 123 円/m³であり¹¹⁾、これを 29 日目以降の単位水量損失とする。これにより地震直後の単位水量損失は、図 4-3 に示すように、通常の 148 倍の 18,240 円/m³となる。

破壊をモンテカルロ法によってシミュレーションし、流量解析を行い困窮度を求める手法については前章で既に述べた。管路破壊シミュレーションを行う回数については、50 回、100 回、200 回の場合と試行した結果、100 回、200 回の計算結果が誤差 0.2%でほぼ一致していたので、ネットワークのモデル化による誤差、困窮度算出に必要な諸量の信頼性、収束状況、計算時間を考慮すると、100 回のシミュレーションで十分であると考えられる。以上より、管路破壊シミュレーションを 100 回行い、その平均値を用いて困窮度を求めた。

まず、あるシミュレーション例を用いて困窮度算出について具体的に説明する。ここで取り上げるのは、20 回目のシミュレーションである。乱数を用いて算出された地震直後の各リンクの破壊状況を図 4-4 に示す。赤の矢印は通水不能、緑の矢印は重度の漏水である漏水 3、青の矢印は中度の漏水である漏水 2、紫の矢印は軽度の漏水である漏水 1 を示している。液状化発生の可能性が高い地域である JR 北陸線以北で、通水不能や漏水 3 となっているリンクが集中していることがわかる。また、森本断層が位置する付近も通水不能のリンクが多くなっている。図 4-5 は、地震後の経過日数における被害状況の変化を図示したものである。復旧によって破壊状況が変化する様子を、地震直後、地震後 8 日目、地震後 15 日目、地震後 22 日目、地震後 29 日目、地震後 36 日目、地震後 43 日目と 1 週間ごとに示している。また、ピンクの×印は通水不能のリンクによって囲まれ孤立しているノードを示している。図 4-6、4-7 は、金石、栗崎に位置するノード 41、68 の地震経過日数における困窮度である。地震後の経過日数による変化が分かりやすいように、図 4-6、4-7 の困窮度のスケールは異なっている。

ノード 41 では、地震発生から 14 日目までは、必要水量が少なかったために、必要水量分の水を取り出すことができ困窮度はゼロとなっている。しかし 15 日目で必要水量の増加によって、必要水量を満たすことができず困窮度が発生している。その後、復旧によって取り出せる水量が増加し、困窮度が減少している。25 日目には困窮度がゼロとなるが、再び必要水量が増加する 29 日目に困窮度が発生している。このように、地震直後は需要を満たしているノードでも、日数の経過によって需要を満たせなくなる場合がある。

ノード 68 は、下流に位置しているため上流の管路の影響を強く受け、地震直後に取り出せる水量はゼロである。図 4-4 を見るとわかるように、ノード 68 は通水不能のリンク 64、65、86 によって、配水場とのつながりを断ち切れ孤立している。これらの 3 つのリンク 64、65、86 が復旧されない限りノード 68 から水を取り出すことはできない。したがって、地震発生から 16 日目までほとんど困窮度が変化していない結果となっている。17 日目には、リンク 64 が通水不能から漏水 2、リンク 68 が漏水 1 から通常、リンク 76 が漏水 3 から漏水 2 へと復旧されている。この復旧により、ノード 68 は孤立していない状態となりある程度の水を取り出せるようになった。このことは、図 4-5 の地震後 15 日目と地震後 22 日目の図により確かめられる。その後復旧が進み徐々に取り出せる水量が増加し、困窮度が減少している。しかし、先ほどのノード 41 と同様に必要水量が増加する

と困窮度が上昇している。

図 4-8 は、各ノードの困窮度を足し合わせ、地震後の経過日数によるシステム全体の困窮度の変化を示したものである。図 4-8 の中で、前日より困窮度が上昇している日がある。上昇を示しているのは、地震後 15 日、29 日である。図 4-2 からわかるように必要水量が地震後 15 日は、前日の 100 リットル/日・人から 300 リットル/日・人へと 3 倍に増加している。地震後 29 日は、前日の 300 リットル/日・人から 444 リットル/日・人と 144 リットル/日・人増加している。このため、必要水量の増加に復旧が追いつかず困窮度が上昇しているのである。また、図 4-8 で地震後 42 日目以降困窮度がゼロとなっているが、図 4-5 の地震後 43 日目の図からもわかるように、42 日目の時点では完全に復旧していない。このように、完全にリンクが復旧していなくても通常の水を得ることができる。

以上のように計算を行うことで、それぞれのシミュレーションにおける各ノード、地震経過日数における困窮度が算出される。シミュレーションの結果を平均することで、各ノード、地震経過日数における平均的な困窮度を求めることができるので、次節では、平均的な困窮度を用いた耐震補強の対策案評価について検討する。

4-4 住民困窮度および耐震補強の対策案評価

対策を行う前の現段階における各リンクの平均被害箇所数を図 4-9 に示す。平均被害箇所数は、各リンクの被害率 [件/km] に延長 [km] をかけた値である。被害箇所数が赤の矢印は 4 箇所以上、緑の矢印は 3~4 箇所、青の矢印は 2~3 箇所、紫の矢印は 1~2 箇所、黒の矢印は 1 箇所未満を示している。シミュレーションの結果から求められる地震後の経過日数における平均的な困窮度を示したものが図 4-10 である。全体を見ると、右下がりになっており、地震後日数が経過するにしたがって復旧が進み、困窮度が少なくなっている様子がわかる。また、地震後 46 日以降は必要水量分の水を全てのノードで取り出すことができ、困窮度がゼロになっている。図 4-10 についても、図 4-8 と同様に前日より困窮度が上昇している日がある。上昇を示しているのは、地震後 8 日、15 日、29 日であり、図 4-8 と同じ理由から困窮度が上昇したと考えられる。

各ノードの復旧期間全体の困窮度を図 4-11 に示す。また、これを管路網図上に簡略的に表したものが図 4-12 である。赤の丸で囲まれたノードは困窮度が 1,000 万円以上、緑の丸で囲まれたノードは 500~1,000 万円、青の丸で囲まれたノードは 10~500 万円であることを示している。

赤の丸で囲まれたノード 60 の困窮度が高い原因としては、まず 1 つに図 4-9 の各リンクの被害箇所数を見ると、リンク 85 は赤の矢印であり、通水不能となる確率が高いことがわかる。さらに上流のリンク 82、83 も赤の矢印であり、困窮度の上昇に寄与していると考えられる。ノード 2 つ目にこのノードにつながるリンクはリンク 85 だけであるということが挙げられる。すなわち、ノード 60 に通常の給水がされる絶対条件として、リンク 85 が損傷を受けないか、または復旧される必要がある。他のリンクからの流入がないため、ただ 1 本しかないリンクが破壊するとそのリンクが復旧されるまで通常の通水がされず、結果として困窮度が高くなる。3 つ目として、ノード 60 は下流に位置しているため地震後かなりの日数が経過してから復旧が行われる。以上のことから、ノード 60 の困窮度が著しく高くなったと考えられる。

緑の丸で囲まれたノード 40 については、このノードにつながる上流にあるリンク 53, 55 が図 4-9 より赤の矢印になっているという点が困窮度の高い理由として挙げられる。また、ノード 60 と同様に下流に位置しているため復旧が遅れるということも考えられる。さらに図 4-13 の各ノードの給水人口を見てもわかるとおり、ノード 40 の給水人口が高い値を示している。給水人口が多いと、そのノードの必要水量が比例して多くなる。そのため、必要水量だけの水量をそのノードから取り出せない場合が多くなり、困窮度を高くする原因になる。

図 4-10 や図 4-11 を足し合わせることによって求まる、対策前の現段階において想定地震が発生した場合の金沢市の上水道システム全体の困窮度は、73,000,500 円であった。ここで求められた困窮度を、耐震対策を行うことで減らすことを考える。その 1 つ目として、住民が 1 人 1 日当たり 3 リットルの水を 3 日間分、すなわち 1 人当たり 9 リットルの水を各自備蓄するとする。この場合、地震後 3 日間必要水量が得られるとして、困窮度がゼロとなる。すなわち、図 4-10 のうち地震後の経過日数 1~3 日は困窮度が 0 円となり、図 4-14 のようになる。この 3 日分の困窮度は 9,610,791 円であり、システム全体の困窮度 73,000,500 円の 13.2%にあたる。したがって、住民が水を備蓄することで必要水量を満たすことができ、水道の機能性能そのものに関するものではないが、地震直後の困窮度を減少させることができた。

2 つ目の対策として、ハード的対策である管路の布設替えについて考える。被害率が高く、確率的に被害箇所数が多いリンク 83, 85 の管路を一般継手のダクタイル鋳鉄管から耐震継手のダクタイル鋳鉄管に交換するとする。これにより、この 2 つのリンクの被害率は 0 件/km となる。このような仮定の下でシミュレーションを行った結果が、図 4-15, 4-16 である。図 4-15, 4-16 とともに、対策前の結果を重ね合わせている。すなわち対策前を黒、対策後を赤で示している。

図 4-15 を見ると、各ノードの困窮度を対策前のリンク 85 のすぐ下流に位置しているノード 60 (図 4-1 参照) の困窮度が激減していることがわかる。数字で見ると、ノードの 60 の困窮度は 14,767,750 円から 1,955,934 円に約 87%の減少である。ノードによっては困窮度が小さいながらも増加しているものもある。これについては、復旧によってそれまで流れないリンクに水が流れることで、別のリンクへの流量が減少することが考えられる。しかし、システム全体で見ると、対策前 73,000,500 円、対策後 57,707,110 円であり、21%の減少である。地震後の経過日数による変化を図 4-16 から見ると、完全復旧までの日数も 46 日から 42 日に減少している。

図 4-17 は、各対策案を行うことによる困窮度の変化を示したものである。また、表 4-2 は図 4-17 における横軸の対策案の番号と対応する対策内容を表している。前述した対策に加えて、リンク 80, 83, 85, 86 の 4 本のリンクに注目して対策案を考えた。4 本のリンクの組み合わせを変え、15 通りの対策案について困窮度を算出した。全て耐震継手のダクタイル鋳鉄管への布設替えであり、その結果として被害確率がゼロになる場合である。これら 4 本のリンクの平均被害率は図 4-9 を見てもわかるとおり、森本断層付近に位置するためいずれも高く、布設替えを行う効果は十分にあると予想される管路である。図 4-17 を見ると、布設替えをするリンクによって差が生じていることがわかる。リンクを 2 本布設替えするよりも、1 本しか布設替えしない場合の方が困窮度の減少が大きい場合もある。しかし、この低減量だけ見ても対策案を評価することはできない。対策案のコストとの関係が重要となってくる。

対策案のコストとして、耐震継手（SⅡ型）のダクトイル鋳鉄管を新設工事する概算工事費から値を得ることとする。その結果を表 4-3 に示す。表 4-3 の値を用いて、各対策案の布設替えを行うリンクのコストを足し合わせることで、各対策案のコストを算出する。また一方では、困窮度の低減量を対策案に対する効果とする。対策案の評価はコストに対する効果の比を用いて行う。コストに対する効果の比をコスト効果比 η （%）と呼ぶことにする。これらの算出結果を表 4-4 に示す。表 4-4 を見てもわかるように、いずれの対策案に対するコスト効果比 η も、1～2%程度である。いかに布設替えのために資金が必要かがわかる。コストの金額は非常に大きく、効果がコストを下回るのはやむを得ないと考えられる。図 4-18 は、コスト効果比を各対策案で比較したものである。この図を作成することで、対策案の1つの評価ができる。すなわち、図 4-18 から、コスト効果比 η が一番大きい対策案 16 が、最も効果的な対策であると考えることができる。なお、ここでは構造損失（管路損傷を修理、復旧する費用）については特に考慮しなかった。また、対策案を評価し、決定するためには、そのほかの様々な条件も検討する必要がある。

4-5 結 語

本章では、金沢市の上水道管路網を対象として、前章で提案した耐震補強の対策案の評価法に関するケーススタディを行った。すなわち、想定される地震被害を受けた後の上水道管路網の流量解析を行い、各供給点で取り出すことのできる水量を求め、これらの地震後性能と構造被害との関係について検討した。また、必要とされる地震後性能を兵庫県南部地震の際の神戸市の例を参考にして決定し、提案されたいくつかの耐震補強策の優劣を地震後性能の観点から定量的に評価できる手法を提案した。本研究では、単位水量の水が供給されなかったときの水の貨幣価値を単位水量損失と呼び、これと地震後に最低必要とされる水量からの不足水量との積を困窮度と定義し、地震後の機能性能を評価するための指標とした。さらに対策コストも考慮し、コスト効果比という指標でいくつかの耐震補強案が示された場合の優劣を定量的に比較した。

本研究で考慮した要因以外にも様々な条件を考慮しなければならない場合が考えられるが、地震後の必要性能と言う観点から考えた場合のひとつの評価法として考えることができる。このような定量的指標で対策案を評価することは、対策案の選択だけでなく、耐震対策の効果を住民が理解し易いという、アカウンタビリティの観点からも有効できると考えられる。

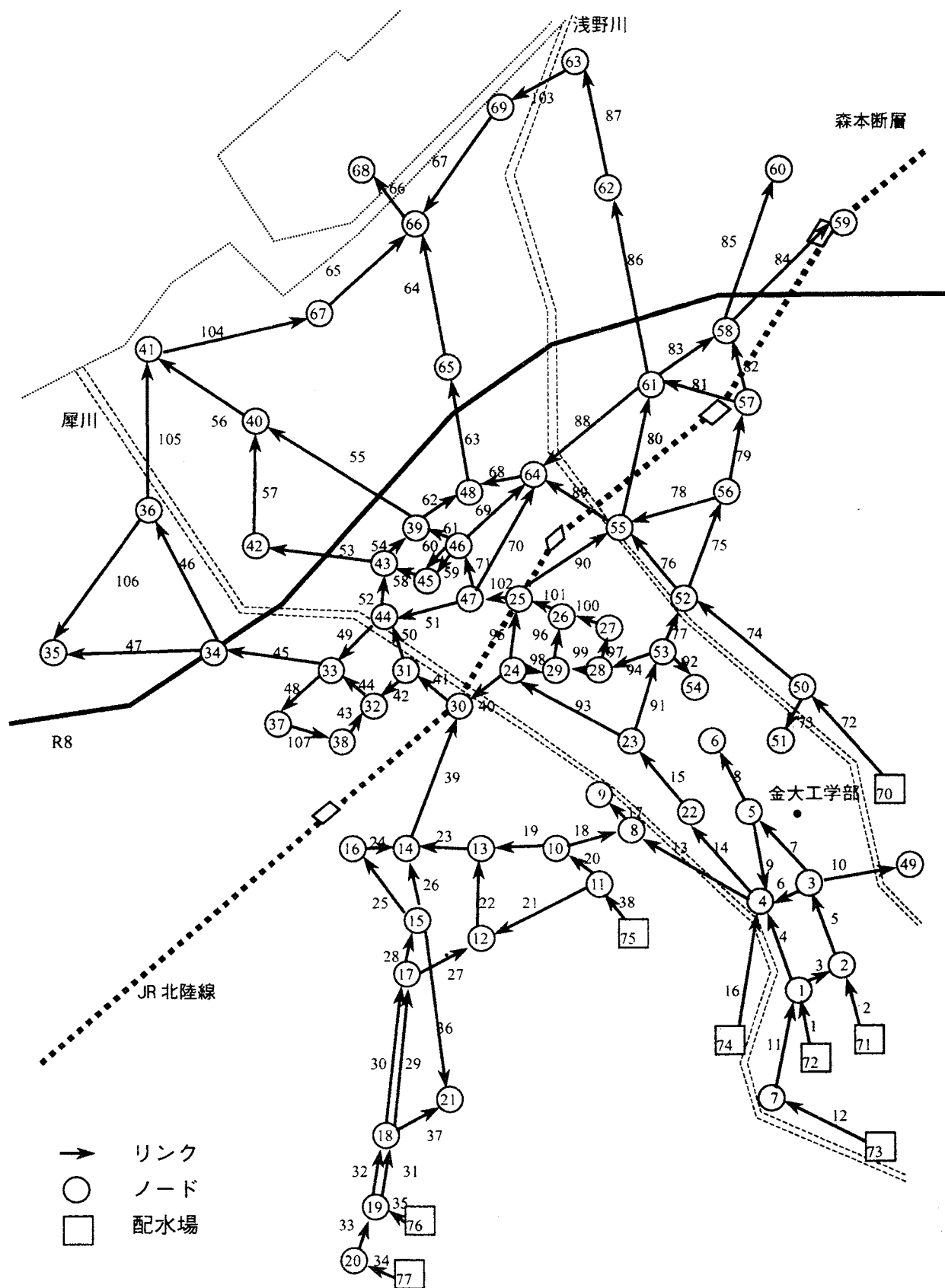


図 4-1 金沢市の管路網モデル図

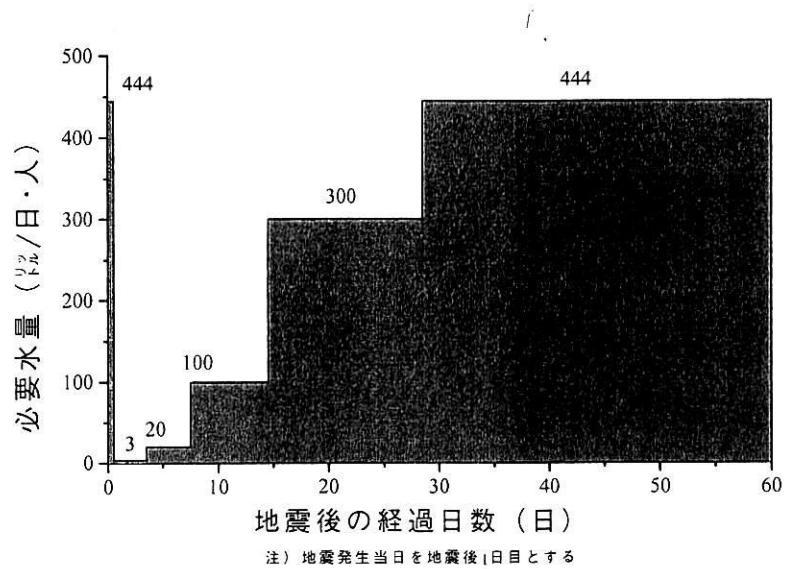


図 4-2 地震後の経過日数に対する必要水量の変化

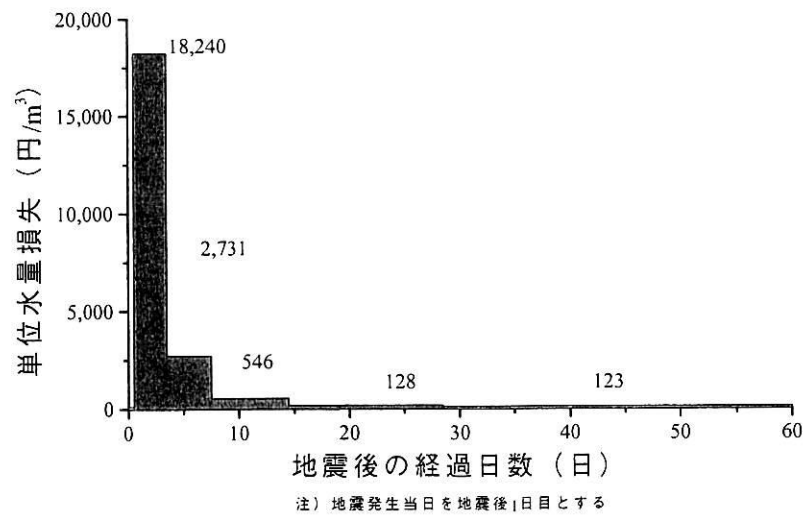


図 4-3 地震後の経過日数に対する単位水量損失の変化

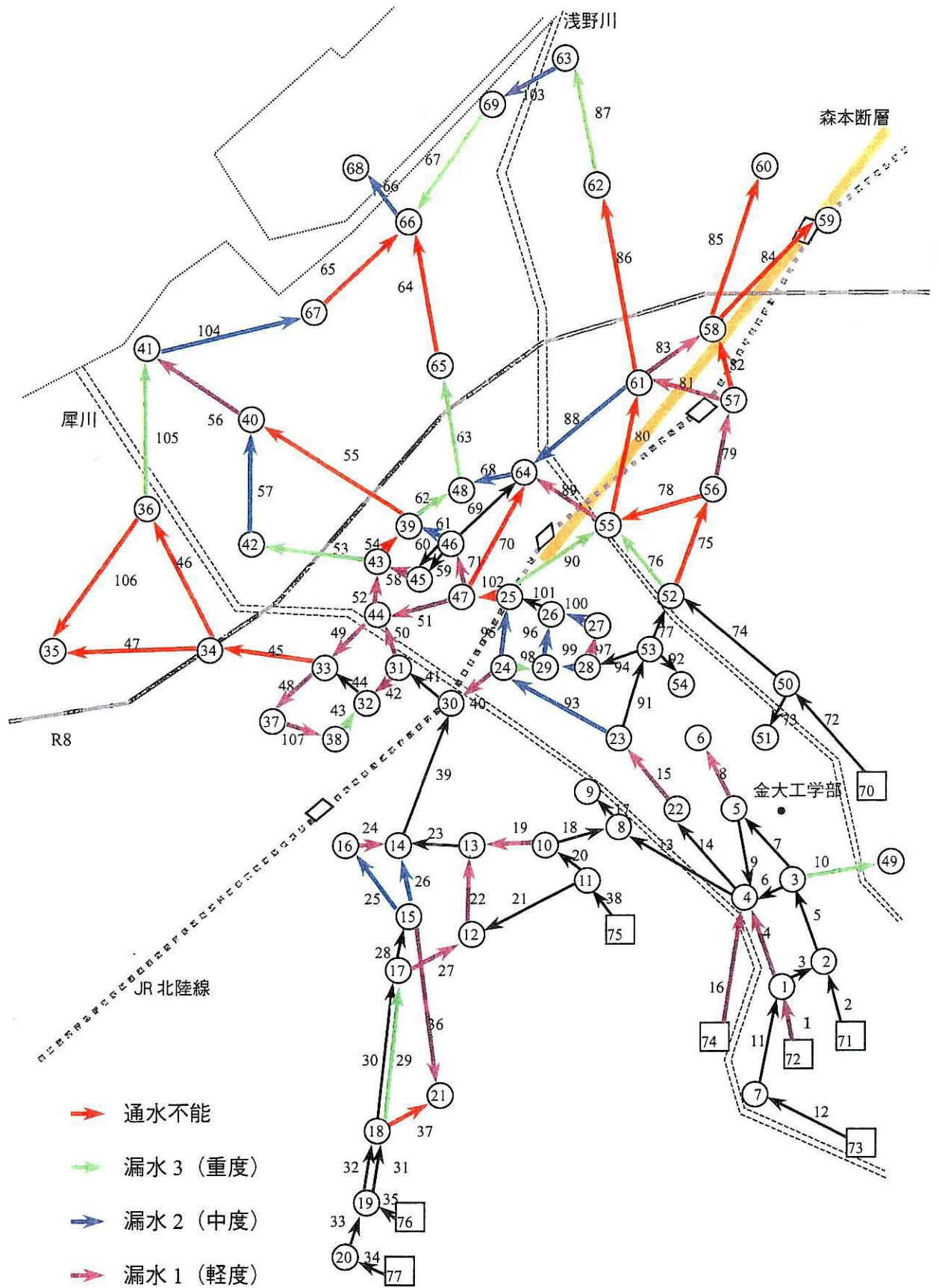
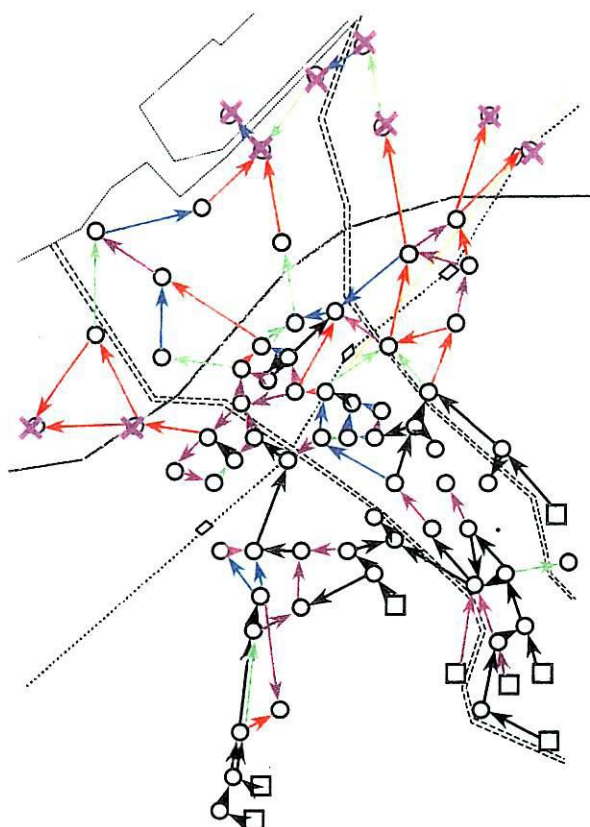
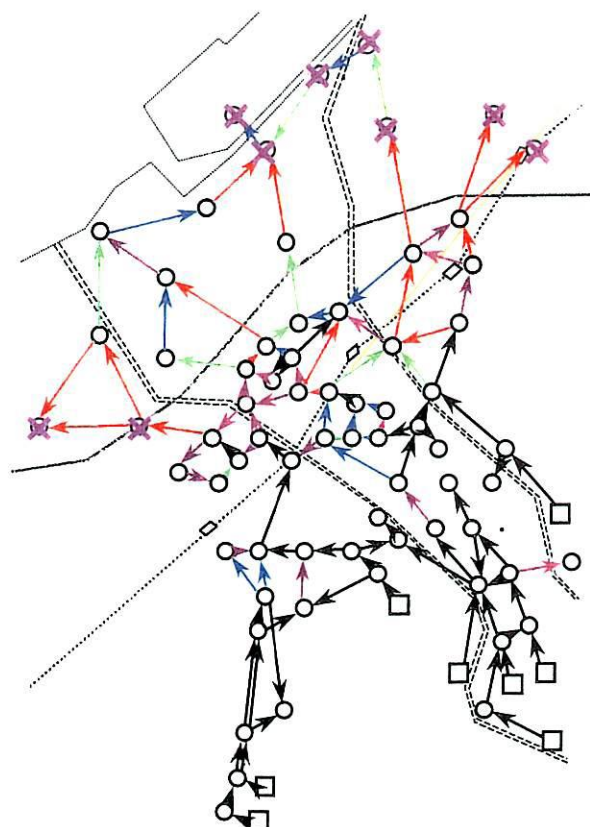


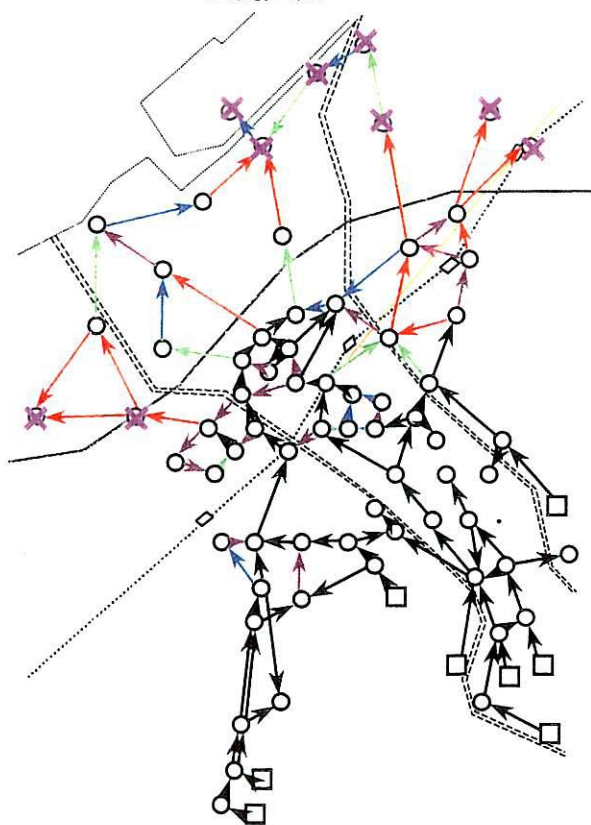
図 4-4 管路の破壊状況 (シミュレーション 20 回目、地震直後)



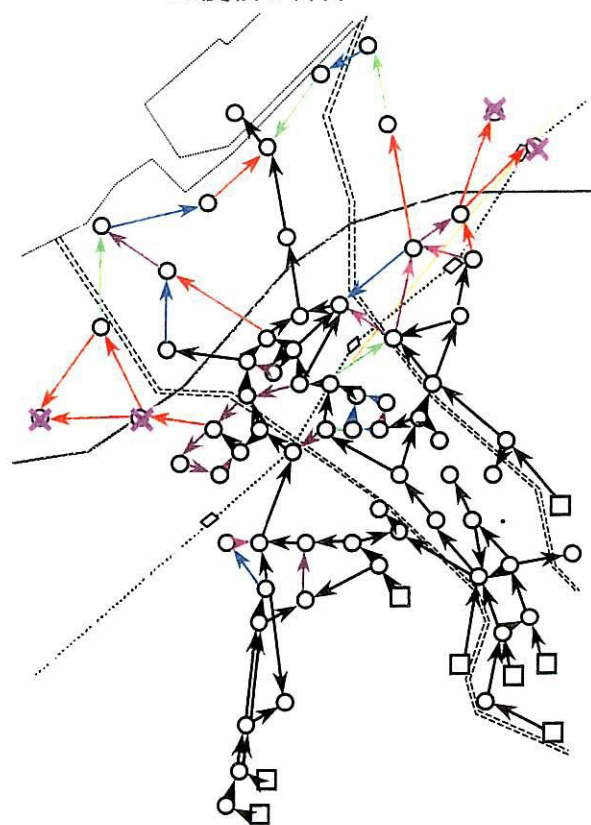
地震直後



地震後 8 日目

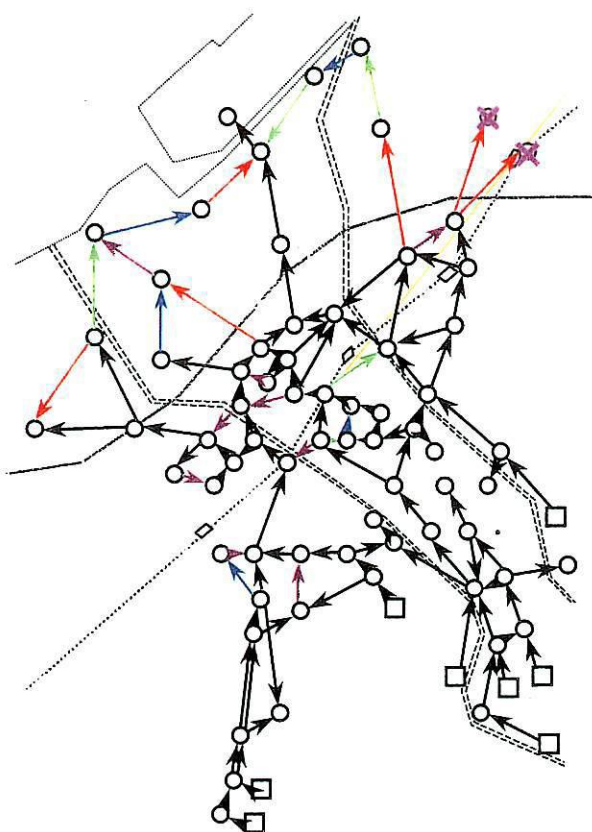


地震後 15 日目

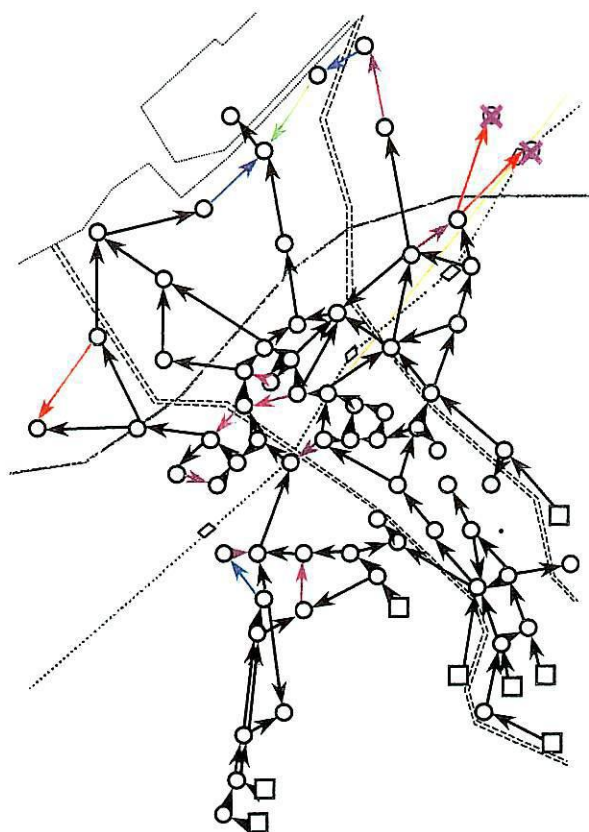


地震後 22 日目

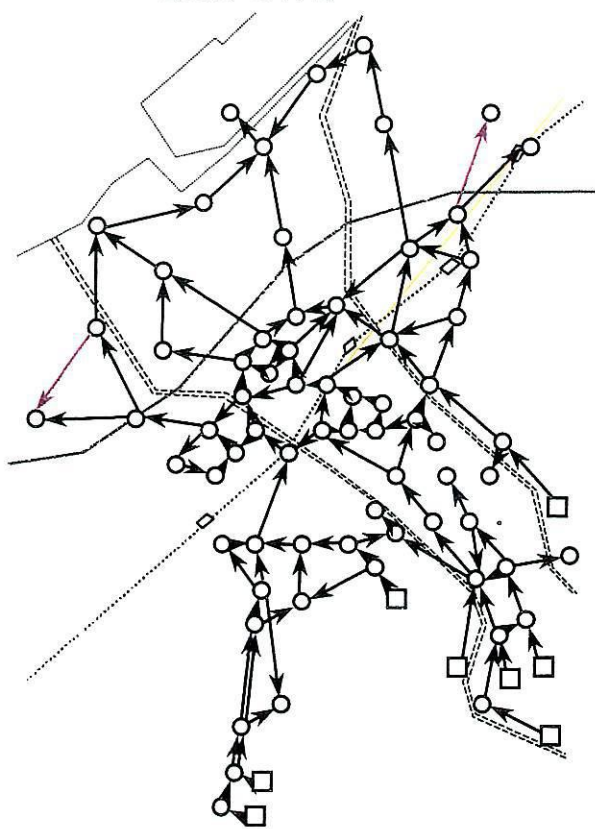
図 4-5.1 地震後の経過日数における破壊状況（シミュレーション 20 回目）



地震後 29 日目



地震後 36 日目



地震後 43 日目

- 通水不能
- 漏水 3 (重度)
- 漏水 2 (中度)
- 漏水 1 (軽度)
- × 孤立しているノード

図 4-5.2 地震後の経過日数における破壊状況 (シミュレーション 20 回目)

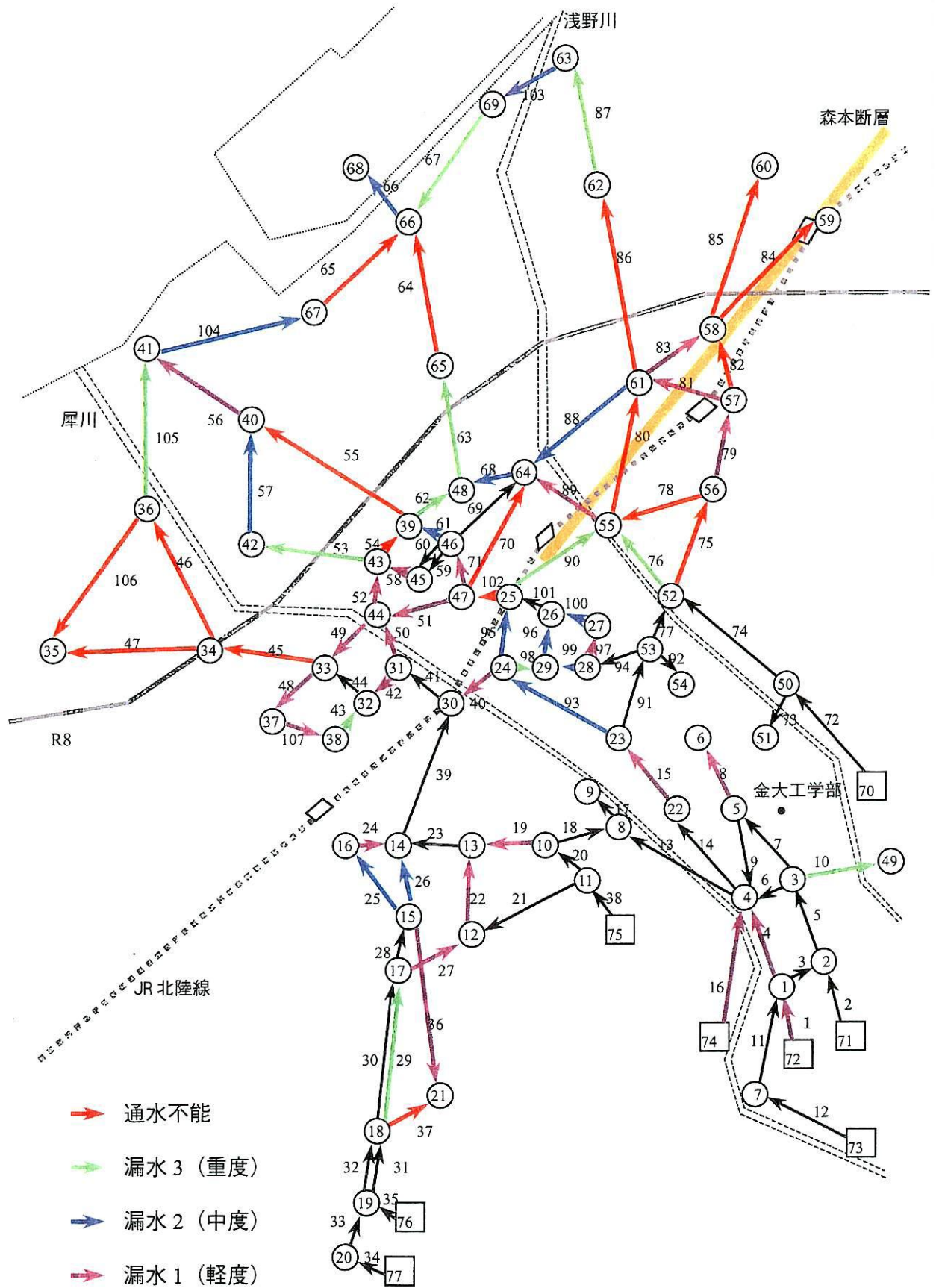
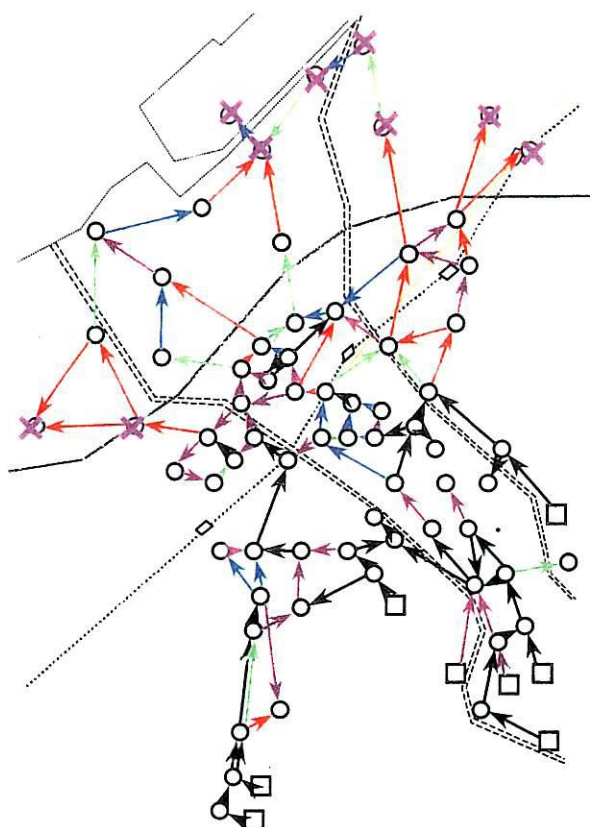
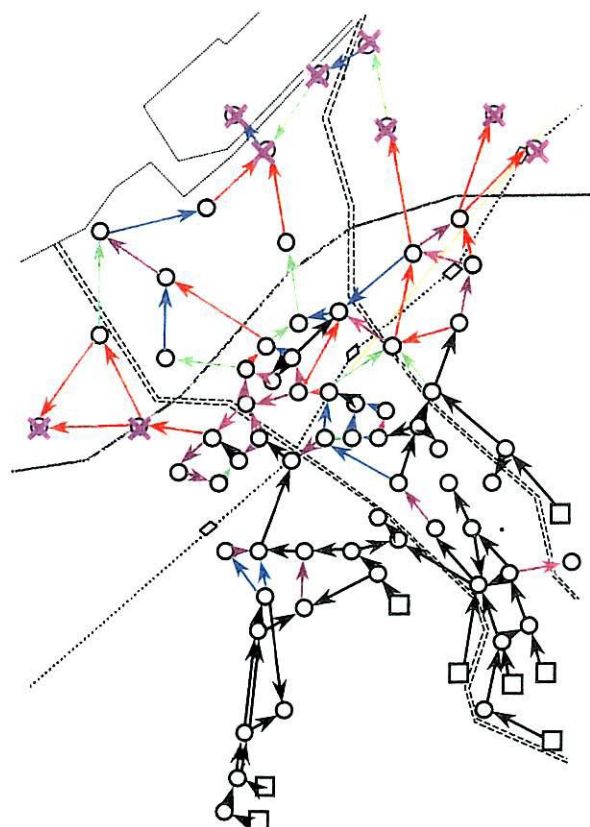


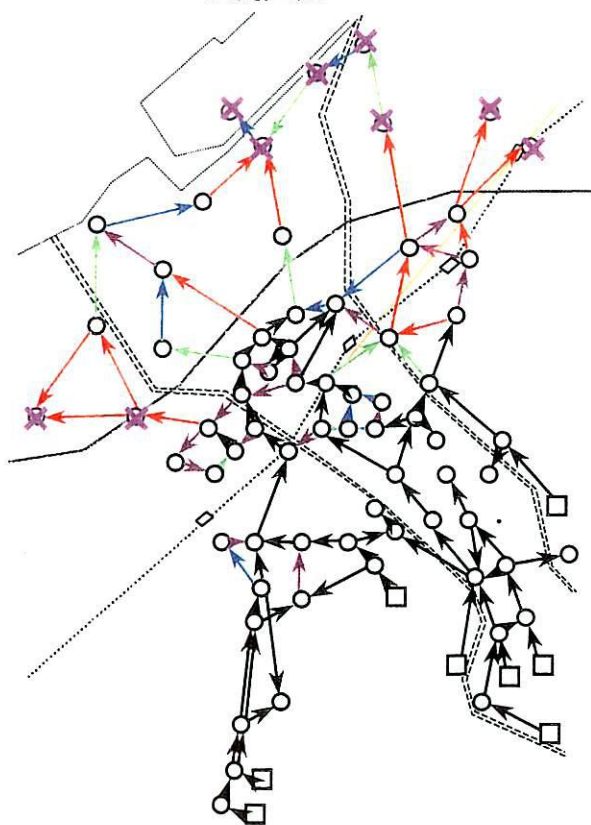
図 4-4 管路の破壊状況 (シミュレーション 20 回目、地震直後)



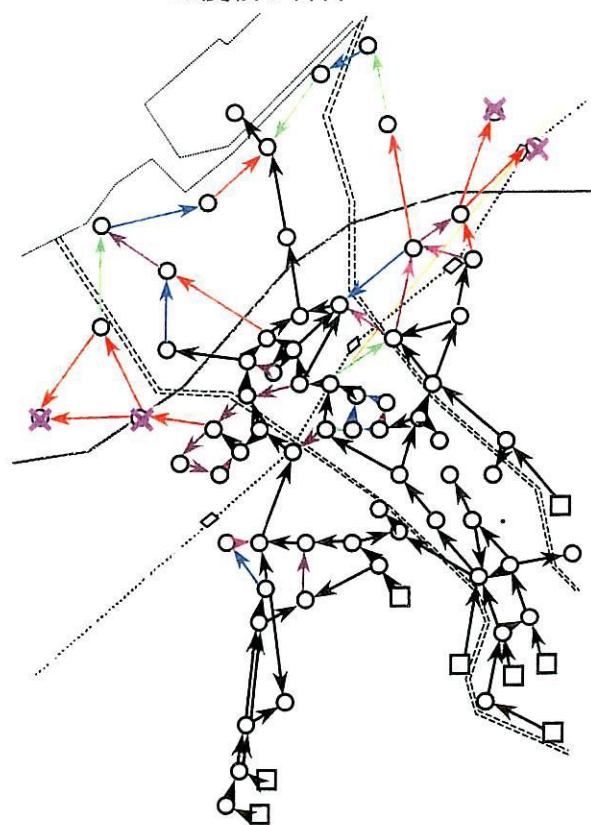
地震直後



地震後 8 日目

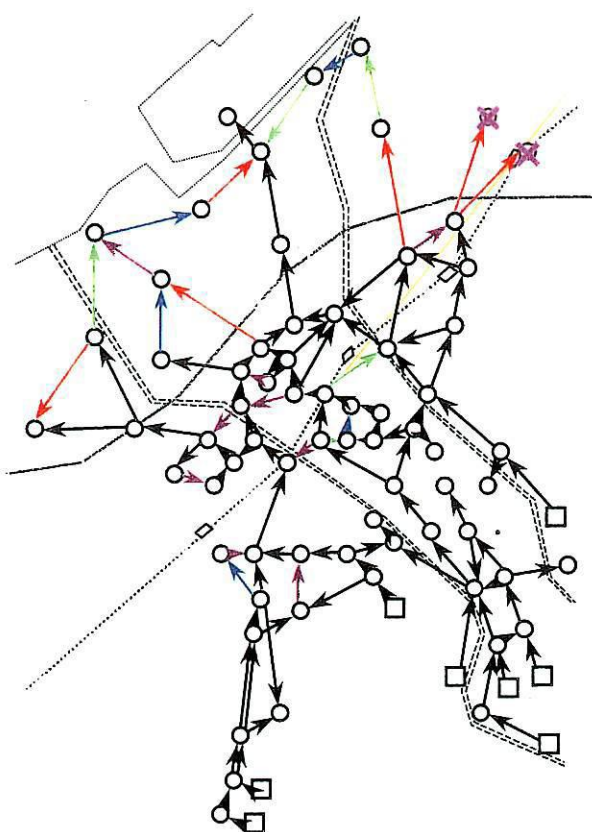


地震後 15 日目

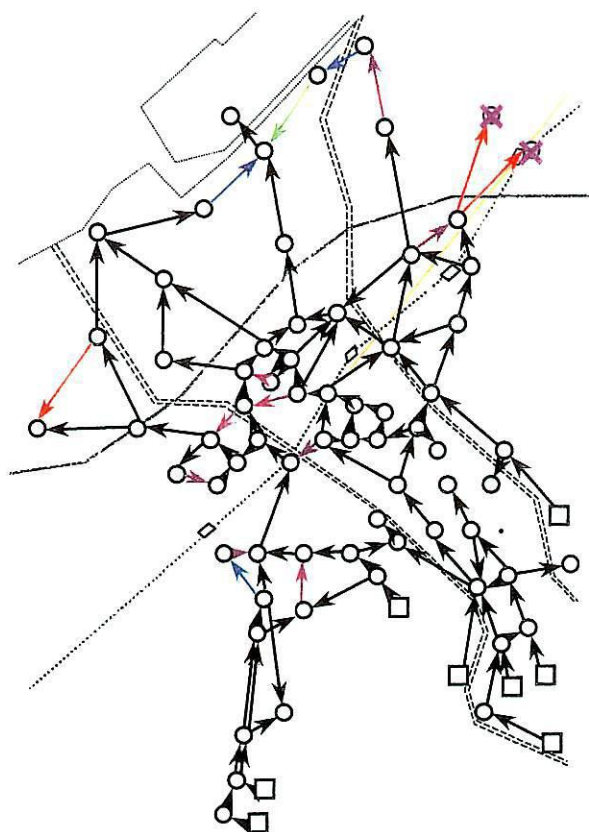


地震後 22 日目

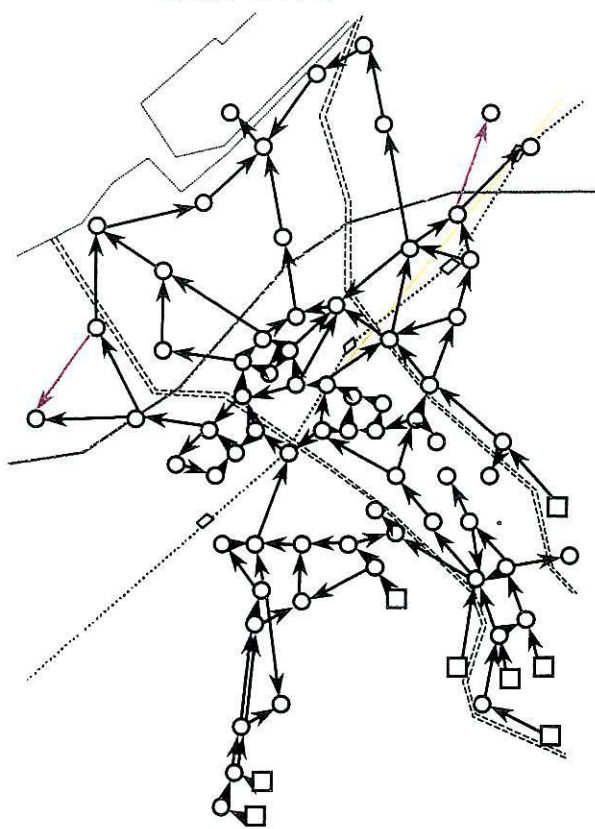
図 4-5.1 地震後の経過日数における破壊状況（シミュレーション 20 回目）



地震後 29 日目



地震後 36 日目



地震後 43 日目

- 通水不能
- 漏水 3 (重度)
- 漏水 2 (中度)
- 漏水 1 (軽度)
- × 孤立しているノード

図 4-5.2 地震後の経過日数における破壊状況 (シミュレーション 20 回目)

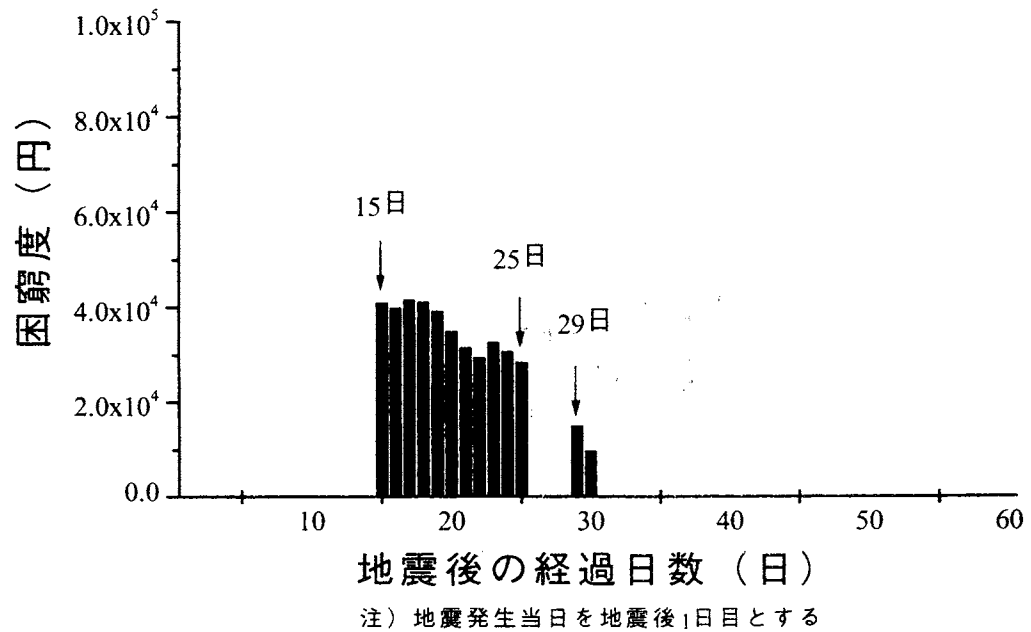


図 4-6 地震後の経過日数における困窮度
(シミュレーション 20 回目、ノード 41)

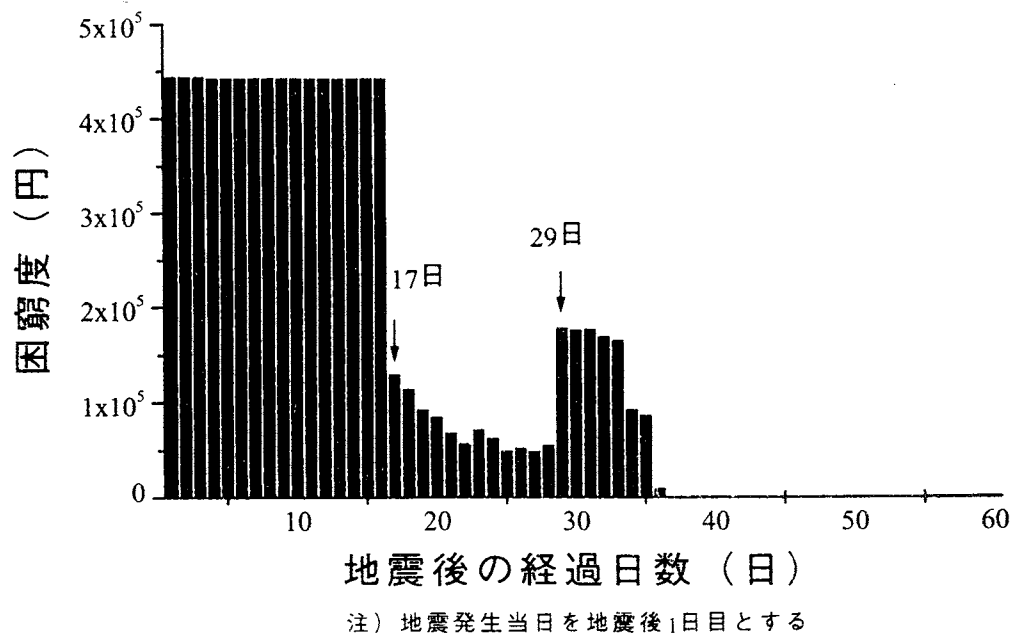
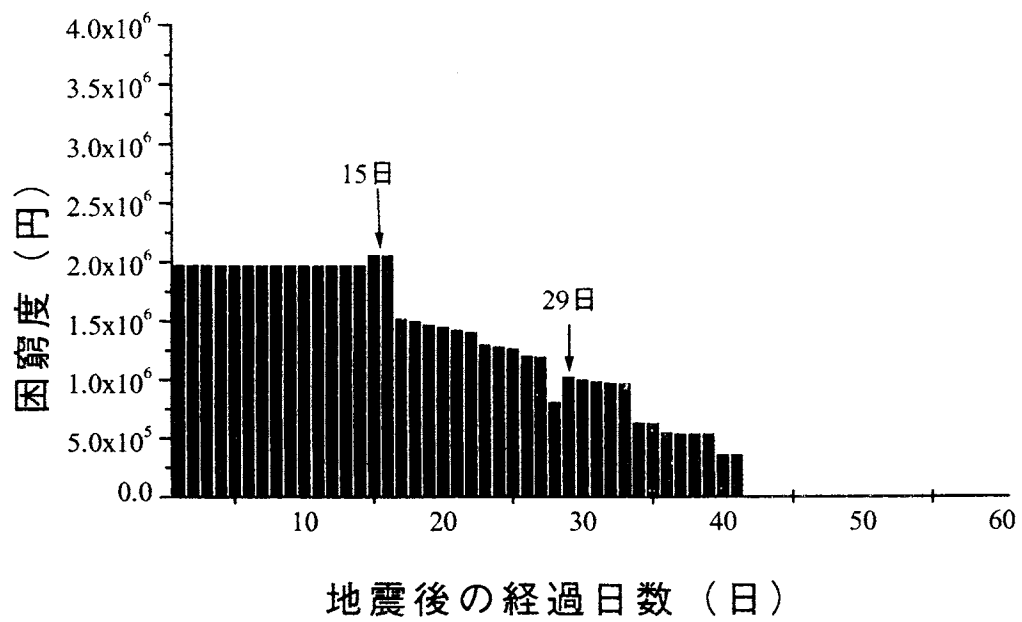


図 4-7 地震後の経過日数における困窮度
(シミュレーション 20 回目、ノード 68)



注) 地震発生当日を地震後 1日目とする

図 4-8 地震後の経過日数における困窮度
(シミュレーション 20 回目)

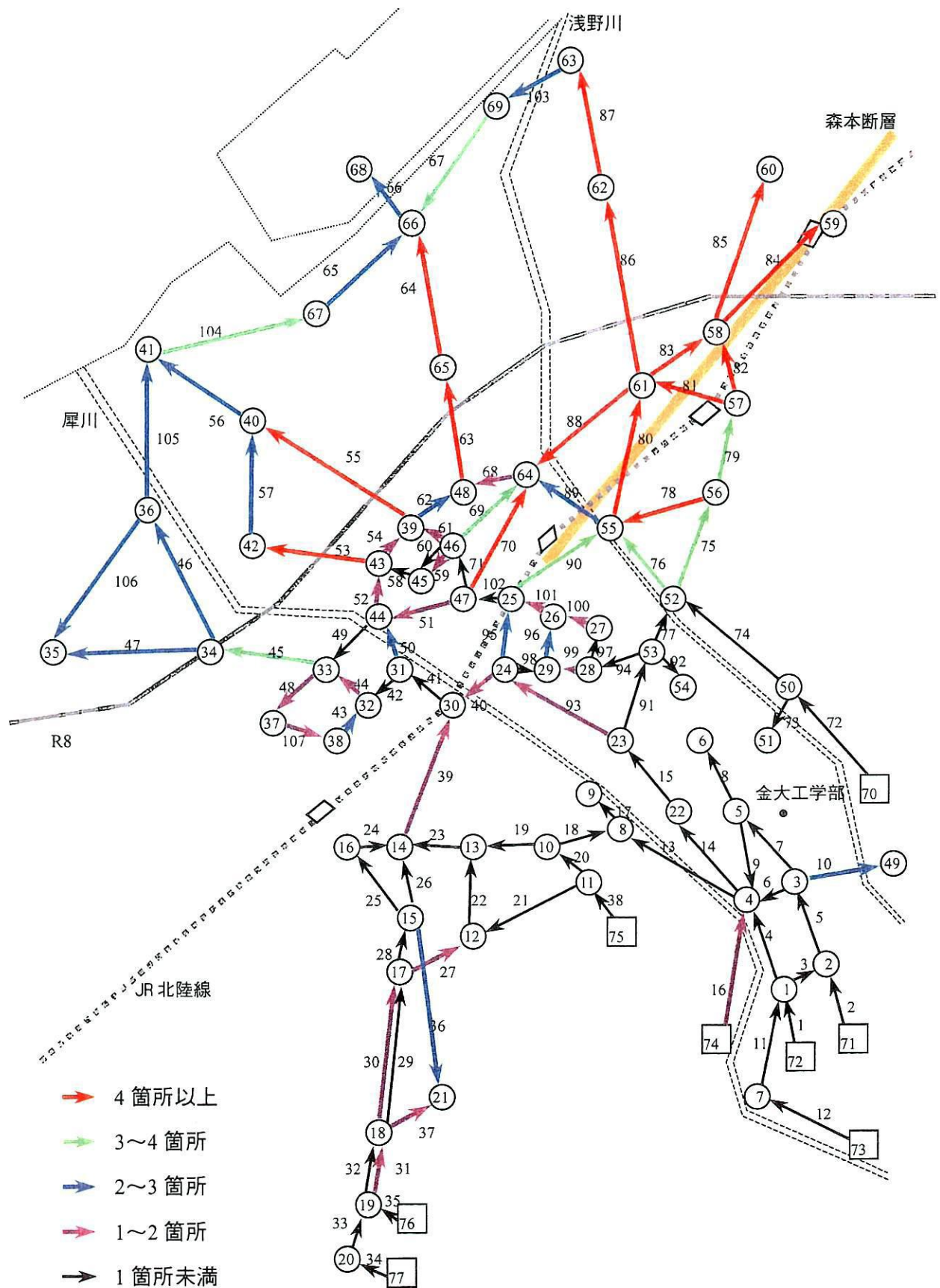


図 4-9 各リンクの平均被害箇所数

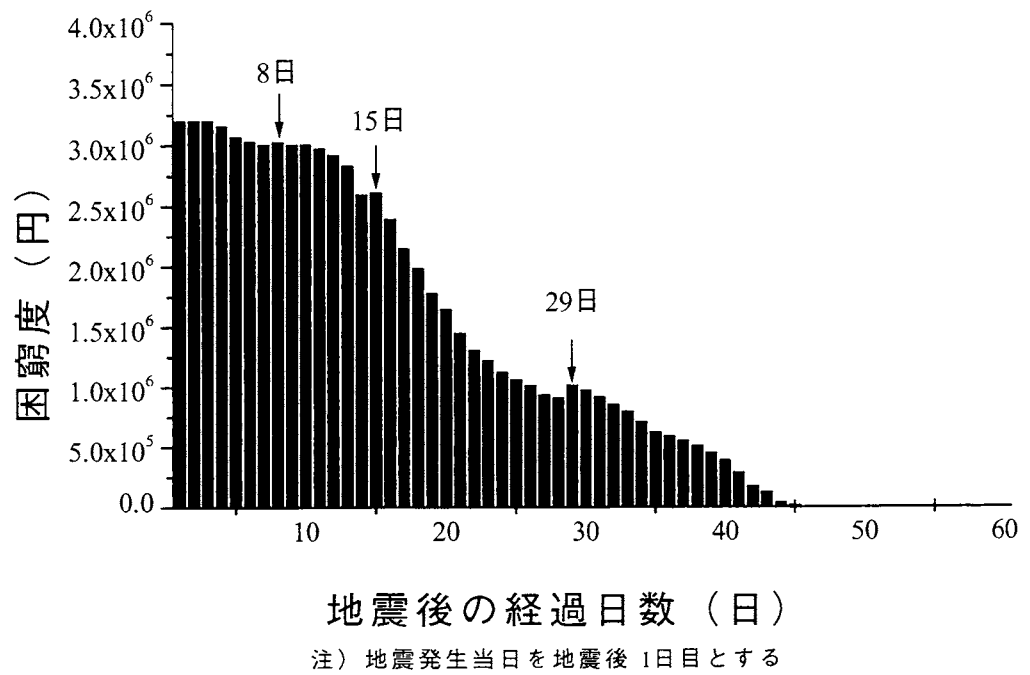


図 4-10 地震後の経過日数における困窮度

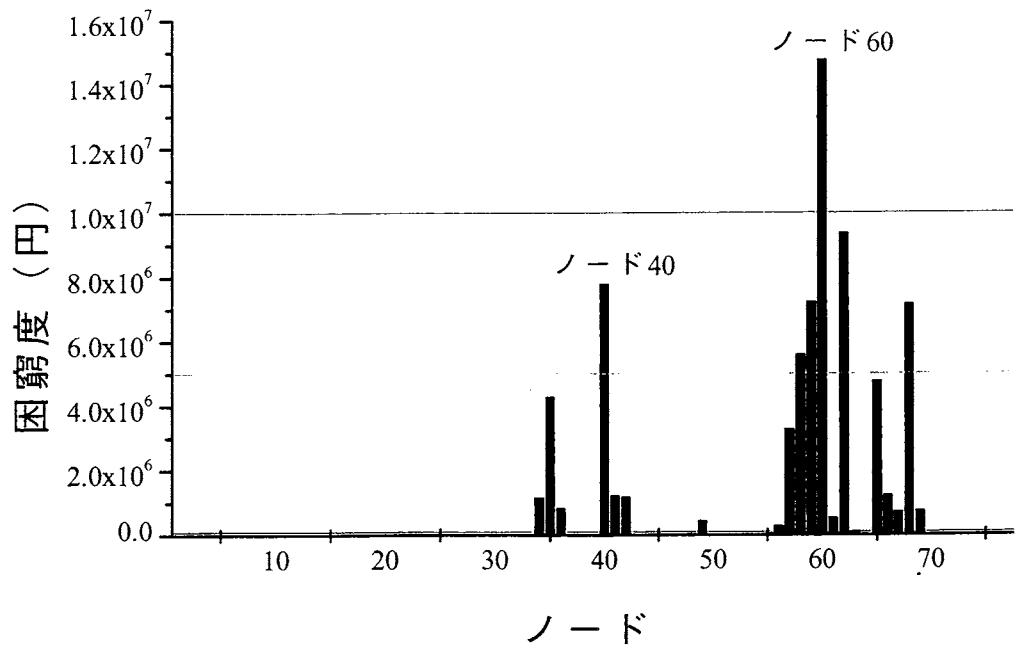


図 4-11 各ノードの困窮度

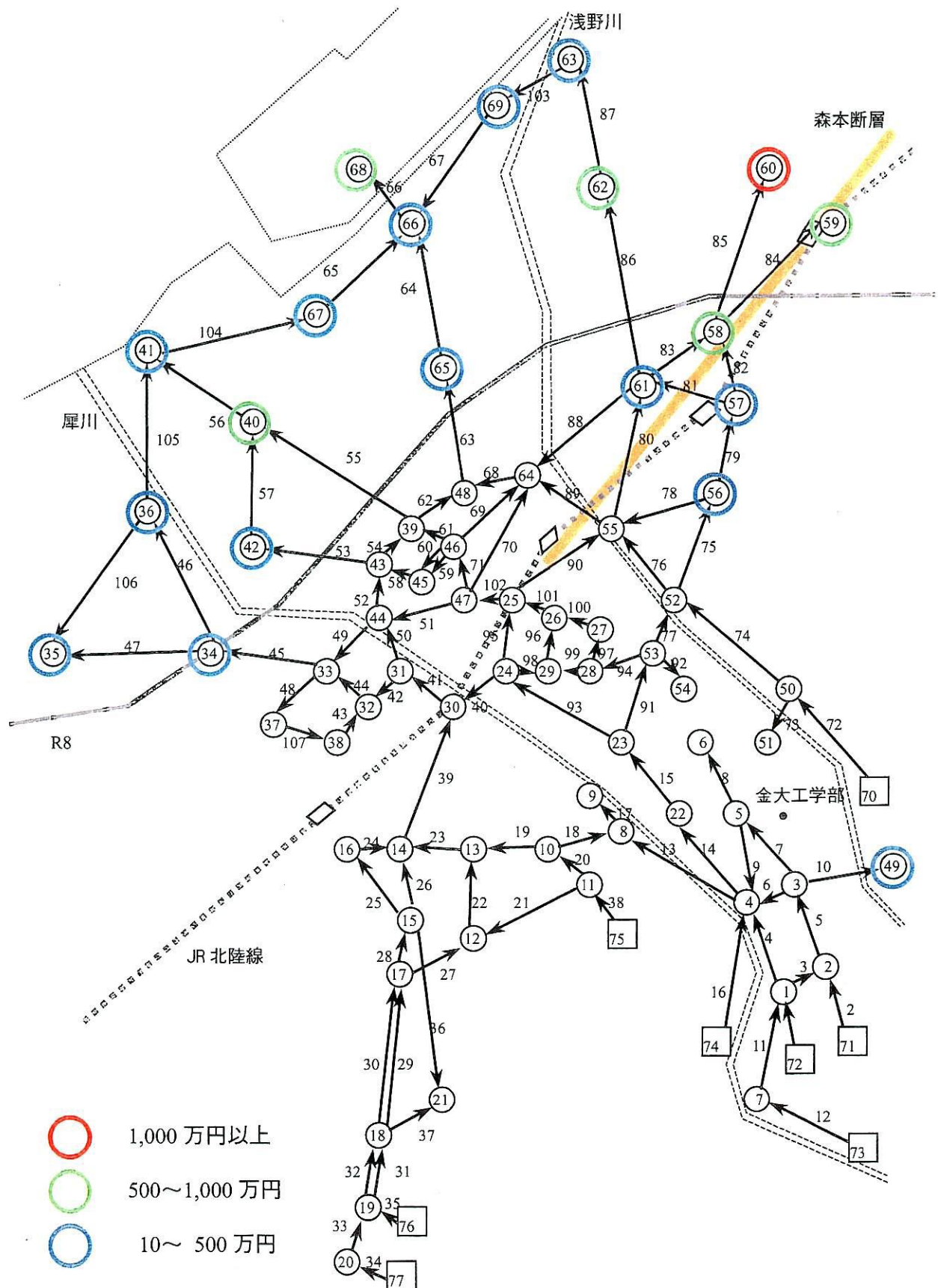


図 4-12 各ノードの困窮度分布

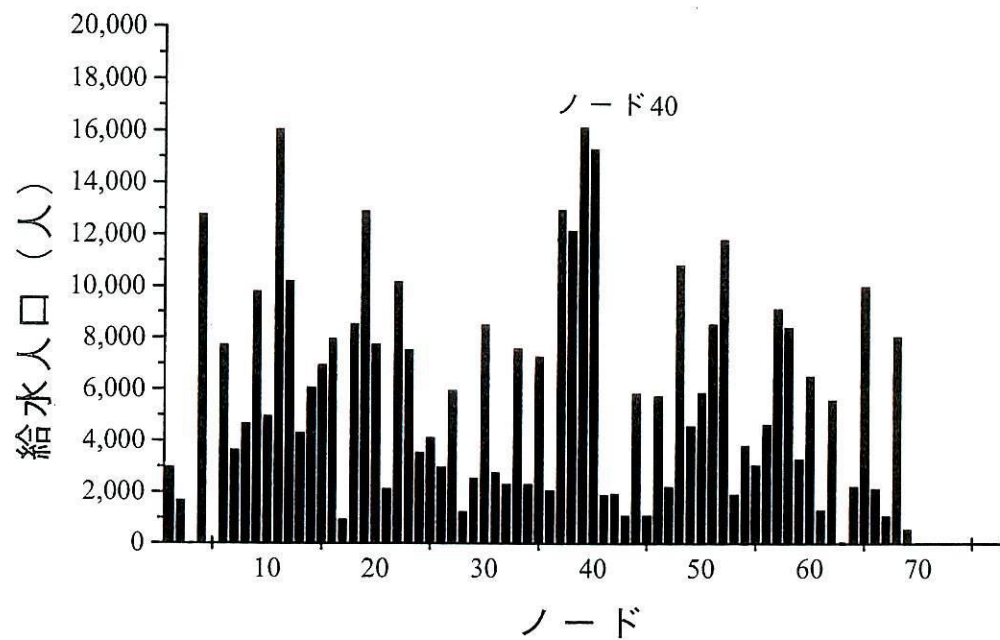
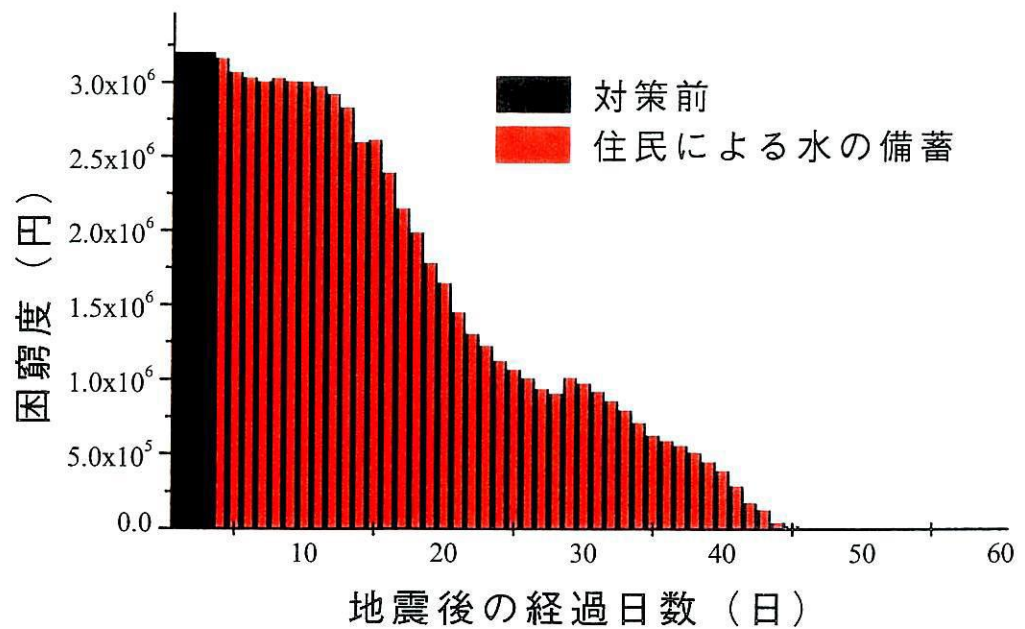


図 4-13 各ノードの給水人口



注) 地震発生当日を地震後1日目とする

図 4-14 地震後の経過日数における困窮度
(水の備蓄を行っている場合)

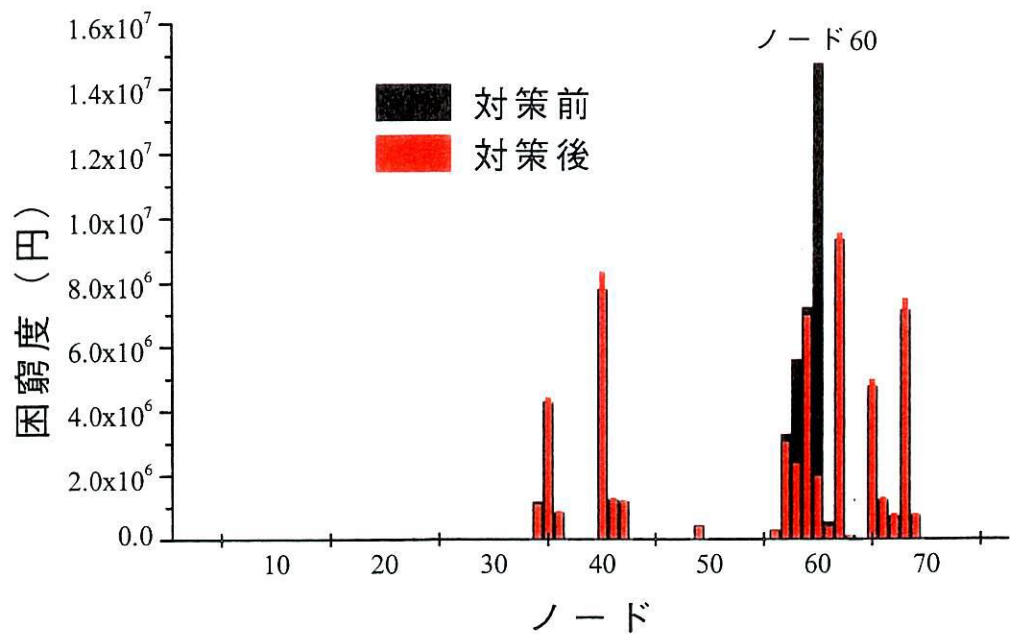
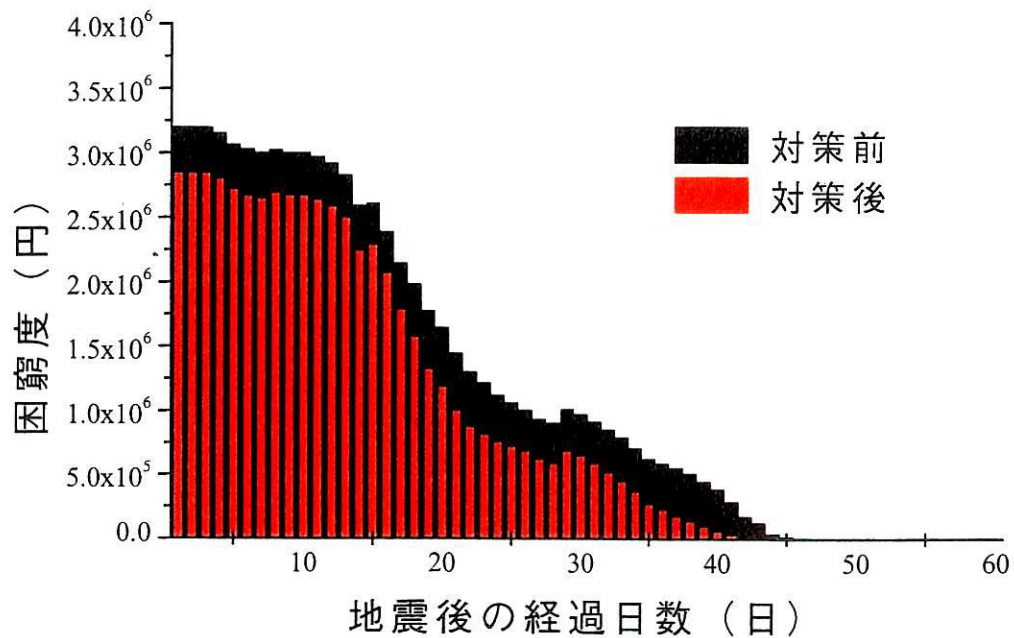


図 4-15 各ノードの困窮度
(リンク 83、85 を布設替えした場合)



注) 地震発生当日を地震後1日目とする

図 4-16 地震後の経過日数における困窮度
(リンク 83、85 を布設替えした場合)

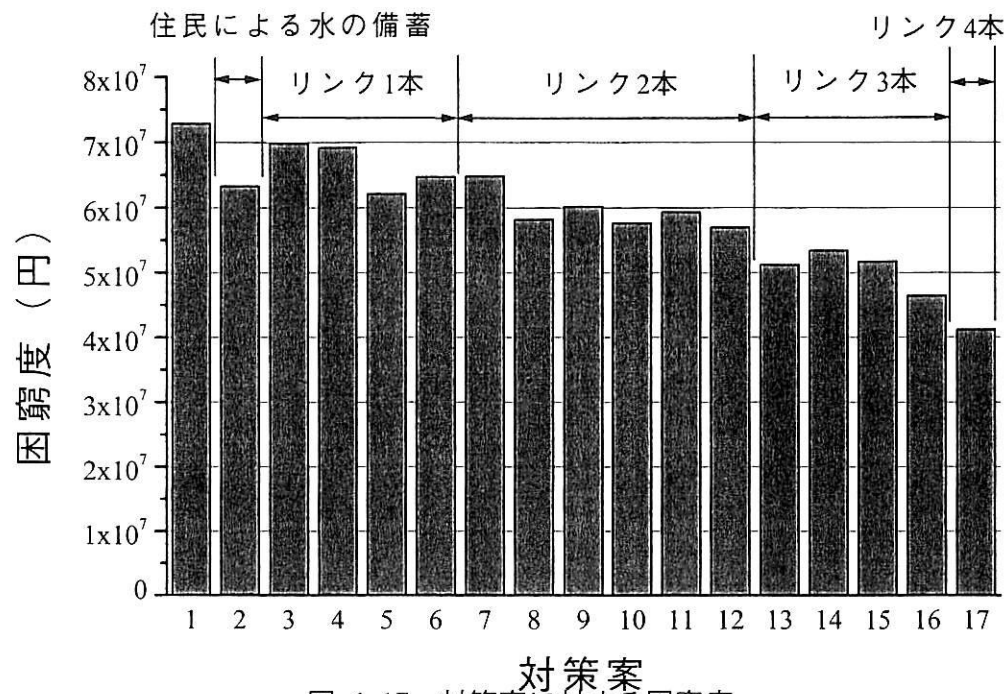


図 4-17 対策案に対する困窮度

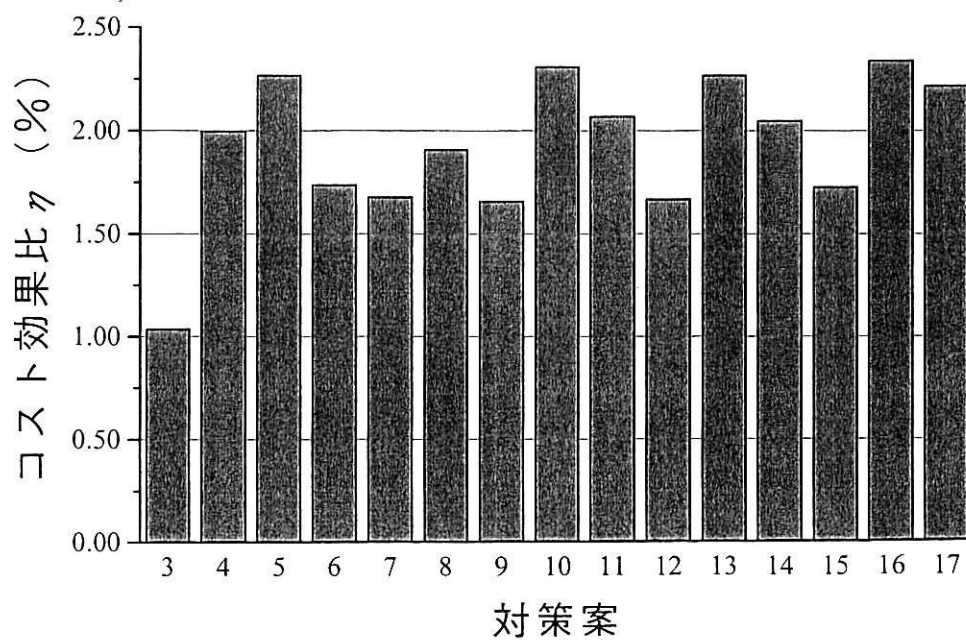


図 4-18 各対策案に対するコスト効果比

表 4-1 被害想定地震（森本断層）⁹⁾

マグニチュード M		6.7
長さ L (km)		14.0
幅 W (km)		7.0
深さ D (km)		3.0
走向 θ (°)		215 (N35° E)
傾斜 δ (°)		90
ライズタイム τ (s)		1.1
S 波速度 (km/s)		3.0
破壊伝播速度 (km/sec)		2.2
断層原点	北緯 (°)	36.670
	東経 (°)	136.738
破壊形式		同心円状

表 4-2 各対策案の番号とその内容

NO.	対策内容	NO.	対策内容
1	対策なし	10	リンク 83,85 の布設替え
2	住民による水の備蓄 (9 割/人)	11	リンク 83, 86 の布設替え
3	リンク 80 の布設替え	12	リンク 85,86 の布設替え
4	リンク 83 の布設替え	13	リンク 80,83,85 の布設替え
5	リンク 85 の布設替え	14	リンク 80,83, 86 の布設替え
6	リンク 86 の布設替え	15	リンク 80, 85,86 の布設替え
7	リンク 80,83 の布設替え	16	リンク 83,85,86 の布設替え
8	リンク 80, 85 の布設替え	17	リンク 80,83,85,86 の布設替え
9	リンク 80, 86 の布設替え		

【注】 全て耐震継手のダクトイル鋳鉄管への布設替え

表 4-3 各リンクのコスト

リンク	管径 (mm)	単位長さ当たりの 工事費 (円/m)	管路長 (m)	コスト (円)
80	600	226,000	1,300	293,800,000
83	400	160,000	1,150	184,000,000
85	300	124,000	3,850	477,400,000
86	350	142,000	3,325	472,150,000

表 4-4 各対策案のコストと困窮度の低減量

対策案	対策案のコスト (円)	困窮度の低減量 (円)	コスト効果比 η (%)
3	293,800,000	3,049,300	1.04
4	184,000,000	3,686,000	2.00
5	477,400,000	10,824,500	2.27
6	472,150,000	8,192,900	1.74
7	477,800,000	8,046,500	1.68
8	771,200,000	14,695,100	1.91
9	765,950,000	12,733,300	1.66
10	661,400,000	15,293,400	2.31
11	656,150,000	13,599,600	2.07
12	949,550,000	15,896,600	1.67
13	955,200,000	21,648,000	2.27
14	949,950,000	19,507,000	2.05
15	1,223,350,000	21,156,000	1.73
16	1,133,550,000	26,520,500	2.34
17	1,427,350,000	31,733,800	2.22

第5章 結 論

本研究は、ライフラインシステムにおける、従来からの仕様規定型設計法から性能規定型設計法への移行の可能性を意識し、上水道施設を例として、地震後性能を考慮した耐震設計法に関する基礎的研究を行ったものである。

まず、上水道施設の地震後性能に対する考え方を整理するために、全国の水道事業体に対してアンケート調査を行い、その結果に基づいて地震後に最低限必要であると考えられる性能について検討するとともに、各水道事業体の地震に対する準備状況を明らかにした。その結果、近年において地震を経験した事業体においては施設の強化といったハード的な対策ばかりではなく、ソフト的な対策にも目が向けられていること、また、大規模な事業体では実施に時間の要するハード的な対策よりもソフト的な対策から行われていることが知れた。また、地震後最低必要な性能という観点からは、一人1日3リットルという回答が多かったが、それは単に応急給水の目標値に過ぎないとか、応急給水による水の供給は水道事業とは異なる性能だ、という意見もみられ、緊急時の水供給をさらに総合的に考える視点が必要であると感じられた。

つぎに、想定される地震によって被害を受ける上水道管路網の地震被害シミュレーションの手法と、被害を受けた管路網による流量解析法について述べるとともに、地震後性能を表すひとつの指標として困窮度を提案した。さらに、現状と対策後の状態との損失の差により対策の効果を便益と考え、便益費用比により対策案の評価を行う手法について述べた。さらに、金沢市の上水道管路網を対象として、本研究で提案した耐震補強の対策案の評価法に関するケーススタディを行った。すなわち、想定される地震被害を受けた後の上水道管路網の流量解析を行い、各供給点で取り出すことのできる水量を求め、これらの地震後性能と構造被害との関係について検討した。また、必要とされる最低限の地震後性能を兵庫県南部地震の際の神戸市の例を参考にして決定し、提案されたいくつかの耐震補強策の優劣を地震後性能の観点から定量的に評価した。このような定量的指標で対策案を評価することは、対策案の選択だけではなく、耐震対策の効果を住民が理解し易いという、アカウンタビリティの観点からも有効できると考えられる。

今後は、ライフラインに対する性能規定型設計法の導入の可能性についての議論をさらに深めていきたいと考えている。

最後に、本研究課題を修士論文研究として取り組まれた元金沢大学大学院生の奥村智恵氏（現 石川県）、卒業研究として取り組まれた元金沢大学学生の伊藤真美氏（現 福井県）に感謝します。また、第2章のアンケート調査にご協力いただきました、全国の上水道関係者に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 久保慶三郎，片山恒雄：地下埋設管の被害，東京都区部における地震被害の想定に関する報告書，東京都防災会議，1977。
- 2) 磯山龍二，片山恒雄：大規模水道システムの地震時信頼度評価法，土木学会論文報

告集, 第 321 号, 1982.5.

- 3) 高田至郎, 藤原正弘, 宮島昌克, 鈴木泰博, 依田幹雄, 戸島敏雄: 直下型地震災害特性に基づく管路被害予測手法の研究, 水道協会雑誌, Vol.70, No.3, 2001 (印刷中).
- 4) 高桑哲男: 配水管網の解析と設計, 森北出版, 1978. 8.
- 5) (財) 水道技術研究センター: 水道の耐震化計画策定指針 (案) の解説, 1997.5.
- 6) 白水暢, 友野勝義: 水のリスクに対する需要者の認識, 水道協会雑誌, 第 745 号, pp.15-25, 1996.10.
- 7) 金沢市企業局: 金沢の水道, 1993.
- 8) 金沢市企業局: 上水道管路概要図, (株) 中日本コンサルタント, 1995.
- 9) 金沢市都市政策部情報統計課: 金沢市の人口及び世帯数, 1997.
- 10) 金沢市防災会議: 金沢市地域防災計画「震災対策編」総論, 1998.10.
- 11) 金沢市企業局: 上水道料金表

付録Ⅰ アンケート調査票

上水道施設の地震後に確保されるべき機能性能と 耐震設計に関する基礎調査

アンケートの趣旨

地震直後に最低限必要な飲料水として一人1日3リットルと言われています。これが、地震後に確保されるべき上水道施設のひとつの機能性能と考えることが出来ます。神戸市では、このような性能を確保するために阪神・淡路大震災以前から概ね半径2 kmに1箇所割合で臨時給水所を設置する計画を進めていました。すなわち、地震直後は応急給水で対応しようと考えていました。それでは、埋設管路の耐震補強と地震後の機能性能との関係をどのように考えたらよいのでしょうか。また、地震後の優先順位が高いと考えられる病院への給水、消火用水、災害弱者への給水などは、当然異なった機能性能が要求されるはずです。

阪神・淡路大震災以降、各種構造物において、このような機能性能に基づいた耐震設計法の導入が模索されております。本調査は、上水道施設に性能規定型の耐震設計法を導入するための問題点を整理するための基礎調査を行うものです。

調査結果および提供資料の取扱い

本調査票およびご提供いただいた資料は統計データとして用いられるだけで、具体的な内容は全て非公開として取り扱います。統計データとしての調査結果は後日ご報告させて頂く予定にしております。

回答希望日

平成10年11月末日までに調査票をFaxにてご返送下さいますよう、お願い申し上げます。関連資料がございましたらご送付いただけると幸いです。

金沢大学工学部土木建設工学科

助教授 宮島昌克

学部生 伊藤真美

〒920-8667 金沢市小立野2-40-20

Tel.: 076-234-4656

Fax.: 076-234-4644

送付先：FAX. 076-234-4644

〒920-8667 金沢市小立野2-40-20

金沢大学工学部土木建設工学科 宮島昌克宛

記入上の御注意

- ✓ 数値の記入の際には単位に注意して下さい。
- ✓ 選択肢の場合は該当する番号を○で囲んで下さい。
- ✓ 質問内容の分かりにくいもの、記入しにくいもの、記入スペースの不足するものなど、設問に多々不備があるとは思いますが、全ての項目に回答をお願いします。また、関連する資料などを送付して頂けたら幸いです。

A. 自治体の概要を御記入ください。(平成10年4月1日現在)

・自治体名称：_____ ・人口総数：_____人 ・世帯数：_____世帯

B. 上水道施設の概要について御記入ください。

・給水人口：_____人 ・普及率：_____％ ・浄水方法：_____

・給水処理能力：_____m³/日 ・日平均給水量：_____m³/日

C. 震災への備えについて御記入ください

1. 自治体の備え

種類	貯水槽	給水車	給水タンク	給水ポンプ	市販水	ポリ容器
個々の容量	トン	トン	トン	リットル/分	リットル	リットル
個数	基	台	台	基	個	個

2. 水の備えについて住民に指導していますか。

1. いる
2. いない

【「いる」と答えた方】飲料水の備蓄：1人あたり_____リットル

その他_____

3. 管路の耐震化

イ. 耐震管への布設替えなど施設の耐震性向上を実施しましたか。

1. 阪神淡路大震災前より実施
2. 震災後に実施
3. 現在検討中
4. 必要なし

【上記問で「実施、検討中」の場合の具体的内容】

.....
□. 耐震化を行う際、小中学校といった避難場所となる防災拠点、病院、消火施設などへ至る管路を優先的に考えていますか。

1. 考えている
2. 考えていない

D. 水道施設の地震後性能について御記入ください。

1. 地震直後に最低限必要な飲料水として一人1日3ℓとされていますが、これを確保するためにはどのような準備が必要であると考えますか。必要と思われる順に数字で順位を記入してください。

- ・〈 〉 緊急給水用具の整備
- ・〈 〉 管路の耐震化
- ・〈 〉 拠点給水施設の整備
- ・〈 〉 配水池の緊急遮断弁の設置による水の確保
- ・〈 〉 耐震貯水槽の整備
- ・〈 〉 住民による飲料水の備蓄
- ・〈 〉 その他 (_____)

2. 最低限必要な飲料水として一人1日3ℓとされていますが、これを地震直後に確保されるべき上水道の性能と考えることについてどう思われますか。あてはまる番号に○をつけて下さい（複数回答可）。

1. 適当な水準である。
2. 一律ではなくて、地震の規模によって異なった目標性能を設定すべきである。
3. 阪神・淡路大震災レベルではこの基準を満たすことはできないが最低限満たすべき目標としての基準であると考える。
4. 阪神・淡路大震災レベルではこの基準を満たすことは出来ないので、もっと低い目標とした方がよい。
5. 地震の規模によって異なるが、震度5程度ならば生活用水も考慮に入れて、もっと高い目標とした方がよい。

6. 耐震化の目標として機能性能を規定しても意味がないと考える。

7. その他 ()

3. 地震後の水道施設に求められる機能性能は一律ではなく、重要性、緊急性によって異なる と考えられますが、次の中で水供給の観点から地震直後に優先すべき順位を数字で記入して下さい。

- ・〈 〉 飲料水
- ・〈 〉 消火用水
- ・〈 〉 医療用水
- ・〈 〉 商業用水
- ・〈 〉 工業用水
- ・〈 〉 その他 ()

4. 一人1日3ℓというのは地震直後に飲料水に関する機能性能の一例だと考えられますが、上に挙げた飲料水以外の性能に関してはどのように目標性能を設定したらよいと思いますか。適当だと思ふ番号に○をつけて下さい（複数回答可）。

1. 各対象機関にアンケート調査などを行い、実状を反映させた数値を探る。
2. 地震規模によっても異なるので、過去の地震被害に基づいて地震規模に応じて決める。
3. 対象規模（人口、火災規模、病棟数など）によって異なるので一概には決められない。
4. その他 ()

5. 各種の需要者に対する地震後の水供給の性能を確保するために、今後どのような準備が必要であると考えますか。必要と思われる順に数字で順位を記入して下さい。

- ・〈 〉 緊急給水用具の整備
- ・〈 〉 管路の耐震化、
- ・〈 〉 拠点給水施設の整備
- ・〈 〉 配水池の緊急遮断弁の設置による水の確保
- ・〈 〉 耐震貯水槽の整備
- ・〈 〉 需要者による水の備蓄
- ・〈 〉 その他 ()

6. 地震後に求められる目標性能を明示した上で、それを満たすように耐震設計を行うと

いう性能規定型設計法が我が国でも取り入れようとしていますが、水道施設においてはどのような問題点が考えられますか。適当だと思われる番号に○をつけて下さい（複数回答可）。

1. 目標性能を達成するために、施設の耐震化の他に応急給水などのソフト的対応も考えられるので、目標性能が耐震設計にストレートに結びつかない。
2. 目標性能を明示することによって、市民の理解が得やすくなり、耐震化事業が行いやすい。
3. 特に問題はない。
4. その他（_____）

E. ご意見、ご感想などありましたら御記入ください。

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

<御記入担当者> 差し支えなければご記入願います。

氏名：_____

所属：_____

所在地：_____

Tel.：_____

Fax.：_____

E-mail：_____

付録2 被害率の補正係数

2-1 管種による補正係数

管種	補正係数
ダクタイル鋳鉄管（一般継手）：DIP（A,K,T）	0.3
ダクタイル鋳鉄管（耐震継手）：DIP（S,SⅡ）	0
鋳鉄管：CIP	1.0
鋼管（溶接継手）：SP	0.3
鋼管（ネジ継手）：SGP	4.0
塩化ビニル管：VP	1.0
石綿セメント管：ACP	2.5

2-2 管径による補正係数

口径	補正係数
ϕ ～ 75	1.6
ϕ 100～150	1.0
ϕ 200～250	0.9
ϕ 300～450	0.7
ϕ 500～600	0.5

2-3 液状化の程度による補正係数

液状化の程度	補正係数
なし（0 PL 5）	1.0
部分的（5 PL 15）	2.0
全体的（15 PL）	2.4

2-4 表層地盤による補正係数

表層地盤	補正係数
基盤岩・洪積層	0.9
洪積層	1.0
自然堤防・砂州	1.2
埋立地	2.0

付録3 各ノードの給水人口

ノード	町名	給水人口
1	涌波	3004
2	土清水	1713
3		0
4	三口新町、平和町、十一屋町、小立野1,2丁目	12795
5		0
6	石引、宝町、小立野3,4,5丁目	7766
7	末町	3674
8	泉野	4703
9	寺町、野町、法島町	9833
10	弥生、泉ヶ丘	4987
11	緑が丘、泉野出町、長坂台、富樫、円光寺、山科	16091
12	窪、伏見台、有松1,2丁目、寺地	10242
13	有松3,4,5丁目、泉	4341
14	西泉、泉本町	6113
15	横川、久安3,4,5,6丁目	7004
16	米泉町、押野	8020
17	久安1、2丁目	957
18	馬替、高尾	8570
19	額谷、額新町、大額、光が丘、額新保	12949
20	四十万、三十刈	7781
21	三馬	2153
22	菊川、城南、笠舞	10199
23	本多町、幸町、新竪、十三間町、片町、中央通町	7577
24	三社、長土堀	3562
25	昭和町、本町、堀川、笠市、此花	4167
26	芳斉、玉川	3001
27	彦三町、十間町、安江、武蔵、瓢箪、尾張	5991
28	香林坊、高岡町、尾山町	1279
29	長町	2577
30	神田、増泉、御影町、中村、白菊、千日町	8559
31	新神田、本江町	2810
32	東力	2339
33	古府、松島、黒田、高畠、進和	7635
34	豊穂、下安原、北塚、南塚、神野	2343
35	みどり、打木、副増、上安原、中尾	7327
36	専光寺、二ツ寺、赤十、佐奇森	2104
37	西金沢、保古、八日市、矢木、八日市出町、新保本町、上荒屋	12978
38		12178

ノード	町名	給水人口
39	大野町	16168
40	金石、寺中、桂町、観音堂、善光寺、藤江北、南、松村、	15345
41	二ツ屋、畝田、無量寺、若宮、二宮、北町	1940
42	示野、松村7丁目、袋畠	1979
43	桜田町、出雲	1125
44	玉鉾、入江、米丸	5900
45	長田本町、元菊	1116
46	駅西本町、長田、広岡、二口町、西念1丁目	5774
47	中橋町、北安江1,2,3丁目	2240
48	西念町、北安江町、諸江	10852
49	旭町、田上	4605
50	若松、鈴見	5909
51	田井町、天神町、扇町、桜町、暁町	8576
52	橋場、東山、森山、元町、小橋町、山の上、小金町、春日町	11842
53	兼六元町、小将町、大手町、広坂	1947
54	横山町、東兼六町、材木町	3876
55	京町、浅野本町1,2丁目、昌永町	3076
56	鳴和、神宮寺、乙丸	4689
57	神谷内、三池町、小坂、疋田	9172
58	福久、金市、荒屋、百坂、千木、柳橋、法光寺、横枕	8451
59	吉原町、弥勒町、塚崎、岩出、観法寺	3336
60	大場町、八日町、才田町、北、南森本	6566
61	田中町、高柳町、宮保町	1324
62	木越町、大浦町、千田町、東蚊瓜	5621
63	湊1丁目	79
64	浅野本町、沖町、磯部町、松寺町、七ツ屋、三浦	2263
65	南新保、問屋町、近岡、直江、大友、割出、大河端、三口、三ツ谷	10063
66	御供田、須崎、蚊瓜、北間	2181
67	湊4丁目、戸水	1103
68	栗崎	8115
69	湊2丁目	591
70	若松配水場	
71	館山配水場	
72	大桑配水場	
73	浅野川配水場	
74	犀川配水場	
75	野田配水場	
76	四十万高区配水場	
77	四十万中配水場	

付録４ ノード条件

ノード	地盤高 (m)	管中心高 (m)	人口 (人)	許容取り出し水量 (m ³ /sec)
1	80.0	78.0	3,004	0.018790
2	80.0	78.0	1,713	0.010715
3	76.0	74.0	0	0.000000
4	60.0	58.0	12,795	0.080033
5	69.0	67.0	0	0.000000
6	57.0	55.0	7,766	0.048577
7	105.0	103.0	3,674	0.022981
8	46.0	44.0	4,703	0.029417
9	43.0	41.0	9,833	0.061506
10	40.0	38.0	4,987	0.031194
11	52.0	50.0	16,091	0.100650
12	21.0	19.0	10,242	0.064064
13	17.0	15.0	4,341	0.027153
14	13.0	11.0	6,113	0.038237
15	16.0	14.0	7,004	0.043810
16	13.0	11.0	8,020	0.050165
17	19.0	17.0	957	0.005986
18	27.0	25.0	8,570	0.053606
19	35.5	33.5	12,949	0.080997
20	42.0	40.0	7,781	0.048671
21	30.0	28.0	2,153	0.013467
22	35.0	33.0	10,199	0.063795
23	23.0	21.0	7,577	0.047395
24	13.0	11.0	3,562	0.022280
25	10.0	8.0	4,167	0.026065
26	12.5	10.5	3,001	0.018771
27	17.0	15.0	5,991	0.037474
28	22.0	20.0	1,279	0.008000
29	15.0	13.0	2,577	0.016119
30	15.5	13.5	8,559	0.053537
31	9.0	7.0	2,810	0.017577
32	9.0	7.0	2,339	0.014631
33	9.0	7.0	7,635	0.047757
34	5.0	3.0	2,343	0.014656
35	9.0	7.0	7,327	0.045831
36	2.0	0.0	2,104	0.013161
37	7.0	5.0	12,978	0.081178
38	8.0	6.0	12,178	0.076174
39	6.0	4.0	16,168	0.101132
40	3.0	1.0	15,345	0.095984
41	5.0	3.0	1,940	0.012135
42	5.0	3.0	1,979	0.012379
43	7.0	5.0	1,125	0.007037

ノード	地盤高 (m)	管中心高 (m)	人口 (人)	許容取り出し水量 (m ³ /sec)
44	8.0	6.0	5,900	0.036905
45	7.0	5.0	1,116	0.006981
46	7.0	5.0	5,774	0.036117
47	8.0	6.0	2,240	0.014011
48	4.5	2.5	10,852	0.067880
49	22.0	20.0	4,605	0.028805
50	20.0	18.0	5,909	0.036961
51	22.0	20.0	8,576	0.053643
52	15.0	13.0	11,842	0.074072
53	25.0	23.0	1,947	0.012179
54	25.0	23.0	3,876	0.024245
55	8.5	6.5	3,076	0.019241
56	12.0	10.0	4,689	0.029330
57	9.5	7.5	9,172	0.057371
58	5.0	3.0	8,451	0.052861
59	4.0	2.0	3,336	0.020867
60	4.0	2.0	6,566	0.041071
61	8.5	6.5	1,324	0.008282
62	3.5	1.5	5,621	0.035160
63	2.5	0.5	79	0.000494
64	7.5	5.5	2,263	0.014155
65	3.0	1.0	10,063	0.062945
66	1.5	-0.5	2,181	0.013642
67	1.0	-1.0	1,103	0.006899
68	5.0	3.0	8,115	0.050760
69	2.0	0.0	591	0.003697
70	62.0	60.0	0	0.000000
71	130.0	128.0	0	0.000000
72	105.0	103.0	0	0.000000
73	125.0	123.0	0	0.000000
74	85.0	83.0	0	0.000000
75	75.0	73.0	0	0.000000
76	80.0	78.0	0	0.000000
77	80.0	78.0	0	0.000000
合計			394,596	2.471661

付録5 リンク条件

リンク	上流側 節点	下流側 節点	管路長 (m)	管径 (mm)	リンク	上流側 節点	下流側 節点	管路長 (m)	管径 (mm)
1	72	1	650.0	350	40	30	24	975.0	600
2	71	2	1,050.0	350	41	30	31	1,000.0	700
3	1	2	575.0	450	42	31	32	400.0	600
4	1	4	1,150.0	450	43	32	38	825.0	400
5	2	3	1,000.0	450	44	32	33	675.0	600
6	3	4	625.0	350	45	33	34	2,375.0	600
7	3	5	1,000.0	300	46	34	36	1,625.0	300
8	5	6	950.0	300	47	34	35	1,950.0	350
9	4	5	1,100.0	350	48	33	37	1,475.0	1,200
10	3	49	1,875.0	300	49	44	33	1,100.0	1,200
11	7	1	1,050.0	350	50	31	44	1,012.5	600
12	73	7	750.0	900	51	44	47	1,225.0	900
13	4	8	2,825.0	350	52	44	43	450.0	600
14	4	22	1,025.0	1,000	53	43	42	2,587.5	450
15	22	23	1,025.0	1,000	54	39	43	775.0	600
16	74	4	1,550.0	1,000	55	39	40	2,500.0	350
17	8	9	675.0	300	56	40	41	1,712.5	350
18	8	10	1,000.0	350	57	42	40	1,775.0	450
19	10	13	550.0	900	58	45	43	287.5	450
20	11	10	875.0	1,000	59	46	45	525.0	600
21	11	12	2,750.0	600	60	46	45	312.5	1,000
22	12	13	1,700.0	600	61	46	39	525.0	500
23	13	14	725.0	900	62	48	39	1,350.0	600
24	14	16	525.0	900	63	48	65	1,675.0	400
25	15	16	1,550.0	1,650	64	65	66	2,025.0	400
26	15	14	1,150.0	450	65	66	67	1,500.0	300
27	17	12	712.5	600	66	66	68	1,350.0	400
28	17	15	600.0	1,650	67	66	69	2,100.0	300
29	18	17	1,350.0	400	68	64	48	700.0	600
30	18	17	1,350.0	1,650	69	46	64	1,375.0	500
31	19	18	1,300.0	400	70	47	64	1,225.0	350
32	19	18	1,300.0	1,650	71	47	46	312.5	500
33	20	19	425.0	1,650	72	70	50	1,825.0	900
34	77	20	475.0	1,650	73	50	51	400.0	400
35	76	19	400.0	400	74	50	52	1,700.0	900
36	21	15	1,375.0	350	75	52	56	1,525.0	600
37	18	21	1,262.5	350	76	52	55	1,225.0	450
38	75	11	650.0	1,000	77	53	52	1,450.0	450
39	14	30	1,675.0	900	78	56	55	1,225.0	300

リンク	上流側 節点	下流側 節点	管路長 (m)	管径 (mm)	リンク	上流側 節点	下流側 節点	管路長 (m)	管径 (mm)
79	56	57	1,300.0	600	94	53	28	700.0	500
80	55	61	1,425.0	350	95	24	25	925.0	500
81	57	61	1,350.0	300	96	29	26	850.0	300
82	57	58	1,150.0	400	97	28	27	875.0	300
83	61	58	1,700.0	350	98	29	24	275.0	300
84	58	59	3,850.0	300	99	28	29	500.0	400
85	58	60	3,325.0	350	100	27	26	525.0	350
86	61	62	2,625.0	350	101	26	25	300.0	350
87	62	63	2,575.0	300	102	25	47	300.0	500
88	61	64	1,800.0	600	103	69	63	1,225.0	250
89	55	64	1,000.0	450	104	41	67	2,150.0	250
90	25	55	1,425.0	500	105	41	36	1,700.0	250
91	23	53	700.0	600	106	35	36	1,875.0	250
92	53	54	450.0	300	107	38	37	450.0	250
93	23	24	1,575.0	1,000					

付録6 配水場の H.W.L.、L.W.L.

ノード	配水場名	H.W.L.	L.W.L.	エネルギー位
70	若松	71.70	67.00	69.350
71	館山	129.10	125.10	127.100
72	大桑	106.95	102.55	104.750
73	浅野川	125.00	121.00	123.000
74	犀川	83.60	78.10	80.850
75	野田	66.45	62.60	64.525
76	四十万高区	91.60	87.30	89.450
77	四十万中	66.45	60.45	63.450

付録7 復旧順序

地域1 (ノード70～74の配水場)							地域2 (ノード75～77の配水場)						
16	13	17	72	73	74	75	35	34	33	31	32	37	36
1	2	12	11	3	4	5	29	30	27	38	20	18	19
7	8	9	10	6	14	15	23	28	26	39	41	50	52
93	95	102	70	71	69	68	54	62	61	59	60	63	64
91	77	76	79	78	80	89	66	53	42	44	43	45	48
88	82	81	94	97	99	100	46	47	105	55	57	56	104
98	96	101	90	92	86	87	65	49	25	24	21	22	40
103	67	83	84	85			51	58	107	106			

付録8 各リンクの被害確率

リンク	通水不能	漏水3	漏水2	漏水1	リンク	通水不能	漏水3	漏水2	漏水1
1	0.000000	0.000026	0.001451	0.053382	40	0.115877	0.281182	0.550120	0.841813
2	0.000001	0.000076	0.002930	0.075566	41	0.012219	0.058663	0.218062	0.582770
3	0.000000	0.000010	0.000776	0.039134	42	0.010373	0.052176	0.202857	0.564946
4	0.000004	0.000147	0.004517	0.093526	43	0.178236	0.373989	0.642424	0.887827
5	0.000002	0.000080	0.003021	0.076721	44	0.048648	0.155441	0.392099	0.741731
6	0.000002	0.000094	0.003362	0.080873	45	0.487738	0.699710	0.875673	0.973054
7	0.000017	0.000468	0.009715	0.136112	46	0.289860	0.510752	0.754571	0.933987
8	0.000068	0.001307	0.019072	0.188839	47	0.304943	0.527195	0.766522	0.938331
9	0.000038	0.000853	0.014415	0.164919	48	0.023487	0.093347	0.289467	0.656518
10	0.229804	0.440861	0.700293	0.912891	49	0.015064	0.068117	0.239007	0.605979
11	0.000002	0.000105	0.003626	0.083940	50	0.188728	0.388204	0.655265	0.893626
12	0.000000	0.000000	0.000067	0.011525	51	0.033570	0.120014	0.336541	0.698112
13	0.001431	0.012410	0.082071	0.376747	52	0.020321	0.084257	0.272069	0.639866
14	0.000000	0.000023	0.001326	0.051062	53	0.717621	0.864807	0.955304	0.992398
15	0.002642	0.019413	0.109147	0.429206	54	0.097122	0.249664	0.514796	0.822011
16	0.002897	0.020761	0.113891	0.437558	55	0.874446	0.950543	0.986719	0.998183
17	0.000035	0.000805	0.013883	0.161934	56	0.277258	0.496694	0.744115	0.930099
18	0.000127	0.002084	0.025875	0.218686	57	0.248871	0.463877	0.718818	0.920347
19	0.000000	0.000019	0.001173	0.048036	58	0.004742	0.029689	0.142731	0.484214
20	0.000000	0.000025	0.001408	0.052587	59	0.039935	0.135503	0.361672	0.718506
21	0.013500	0.062995	0.227825	0.593772	60	0.000244	0.003379	0.035452	0.254177
22	0.010645	0.053150	0.205189	0.567737	61	0.034114	0.121375	0.338807	0.699999
23	0.000621	0.006730	0.055391	0.313812	62	0.341600	0.565548	0.793281	0.947668
24	0.000271	0.003651	0.037278	0.260319	63	0.723760	0.868566	0.956838	0.992711
25	0.008925	0.046839	0.189746	0.548839	64	0.663459	0.830244	0.940593	0.989266
26	0.043116	0.142934	0.373249	0.727523	65	0.326966	0.550500	0.782964	0.944131
27	0.008117	0.043752	0.181880	0.538818	66	0.212798	0.419601	0.682574	0.905506
28	0.000184	0.002741	0.030935	0.238197	67	0.542853	0.743867	0.899268	0.979361
29	0.106192	0.265166	0.532462	0.832078	68	0.084750	0.227627	0.488622	0.806465
30	0.001878	0.015141	0.093186	0.399376	69	0.412149	0.633708	0.837220	0.961843
31	0.034719	0.122878	0.341297	0.702062	70	0.620409	0.800942	0.927293	0.986247
32	0.000453	0.005336	0.047679	0.292461	71	0.008034	0.043432	0.181050	0.537744
33	0.000003	0.000140	0.004385	0.092176	72	0.000233	0.003268	0.034685	0.251548
34	0.000000	0.000000	0.000059	0.010839	73	0.000728	0.007559	0.059701	0.325011
35	0.000000	0.000007	0.000575	0.033713	74	0.000015	0.000435	0.009262	0.132976
36	0.148305	0.331406	0.602017	0.868647	75	0.480071	0.693313	0.872115	0.972064
37	0.076191	0.211696	0.468849	0.794193	76	0.363838	0.587789	0.808112	0.952613
38	0.000000	0.000004	0.000435	0.029344	77	0.002807	0.020289	0.112242	0.434680
39	0.041438	0.139037	0.367214	0.722852	78	0.620409	0.800942	0.927293	0.986247

リンク	通水不能	漏水3	漏水2	漏水1	リンク	通水不能	漏水3	漏水2	漏水1
79	0.405510	0.627582	0.833451	0.960684	94	0.000134	0.002174	0.026599	0.221598
80	0.742900	0.880077	0.961453	0.993636	95	0.204040	0.408363	0.672960	0.901393
81	0.568194	0.763143	0.909045	0.981840	96	0.344320	0.568308	0.795148	0.948300
82	0.575940	0.768912	0.911908	0.982551	97	0.002174	0.016844	0.099731	0.411955
83	0.720264	0.866429	0.955967	0.992533	98	0.015378	0.069124	0.241163	0.608287
84	0.999337	0.999865	0.999982	0.999999	99	0.086703	0.231180	0.492931	0.809078
85	0.997277	0.999369	0.999902	0.999992	100	0.117196	0.283323	0.552437	0.843067
86	0.966391	0.989470	0.997771	0.999761	101	0.023360	0.092989	0.288797	0.655891
87	0.876648	0.951588	0.987049	0.998236	102	0.007645	0.041908	0.177074	0.532553
88	0.660583	0.828338	0.939750	0.989080	103	0.206123	0.411055	0.675279	0.902392
89	0.163709	0.353719	0.623567	0.879054	104	0.432496	0.652139	0.848351	0.965204
90	0.490457	0.701964	0.876918	0.973398	105	0.216246	0.423970	0.686265	0.907065
91	0.000091	0.001622	0.021967	0.202149	106	0.329849	0.553491	0.785033	0.944847
92	0.000063	0.001234	0.018366	0.185430	107	0.023447	0.093234	0.289256	0.656322
93	0.054075	0.167252	0.409236	0.754166					