

イラン国
テヘラン州上下水道公社

イラン国
テヘラン市上水道システム
耐震性強化計画調査

要 約

平成18年11月
(2006年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

委託先

株式会社 日 水 コ ン
株式会社 東京設計事務所

報告書で用いた通貨換算率

US \$1.00 = Rial 9,186

US \$1.00 = JPY 115

2006年7月末現在

序文

日本国政府は、イラン国政府の要請に基づき、同国のテヘラン市上水道システム耐震性強化に係る開発調査を行うことを決定し、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施致しました。

当機構は、平成 17 年 5 月から平成 18 年 11 月までの間、株式会社日水コンの岩崎皓一氏を団長とし、同社及び株式会社東京設計事務所から構成された調査団を現地に派遣致しました。

また、国際協力総合研究所国際協力専門員の岩堀春雄氏を委員長とする国内支援委員会を設置し、本調査に関し、専門的かつ技術的な見地から検討・審議が行われました。

調査団は、イラン国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援を頂いた関係者各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 18 年 11 月

独立行政法人国際協力機構
理事 松本 有幸

独立行政法人国際協力機構
理事 松本 有幸 殿

伝達状

イラン国テヘラン市上水道システム耐震性強化計画調査に関する最終報告書をここに提出いたします。この報告書は日本国政府の関係機関及び貴機構から頂いた貴重な助言と、最終報告書草案にかかるイラン国テヘラン州上下水道公社、テヘラン市上下水道公社及びその他イラン国政府関係機関のコメントに基づいて作成いたしました。

最終報告書は和文及びペルシャ語要約を除き、以下の3分冊で構成されています。

Volume I:	Executive Summary
Volume II:	Main Report
Volume III:	Appendix

この報告書は、3つのフェーズで実施した全ての調査結果をとりまとめたものです。フェーズ I では予備調査、フェーズ II では被害想定と目標設定、フェーズ III では耐震化計画を中心とした調査を実施しました。

ここに、調査を進めるに当たり貴重な御助言と御指導を賜りました貴機構、日本国政府外務省、厚生労働省及びその他の機関の関係各位に対し深甚なる感謝の意を表すとともに、調査期間中、特段の御協力を頂いたイラン国テヘラン州上下水道公社、テヘラン市上下水道公社、MPO (Management and Planning Organization) その他の関係機関及び日本大使館に対し、深く御礼を申し上げます。

貴機構におかれましては、本計画の推進に向けて、本報告書を大いに活用されることを切望する次第です。

平成 18 年 11 月

株式会社 日水コン
イラン国テヘラン市上水道システム
耐震性強化計画調査団
総括 岩崎 皓一

計画概要

本調査における耐震化計画は、現実性の高いものを目指し策定した。地震対策は、本格的な対策を講じると大きな費用が必要なことになるが、対策の実施が料金収入の増加につながらないという性格を持っているため、短期間にあれもこれも実施しようとするのは難しい。もしも実施しようとするれば、水道料金の高騰を招きかねないからである。そこで、本調査では、例えば浄水場の移設のような理想的な方策だが大きな費用が必要で実現のための期間のかかるものについては、他施設からの送水支援を含み、長期的な検討事項として扱い、本計画案には含めないこととした。一方、施設の耐震化以外に、地震発生前に準備しておくものとして応急給水のための拠点の整備があり、これは耐震化計画に含めることとした。

まず、導水施設～浄水施設という上流施設についての耐震化案を検討した。このうち、導水管路は入手データが少なかったが、根幹的施設であるため概略検討を行った。

シナリオ地震では断層上の施設が被災する恐れがあるが、機能停止を防ぐための補強は大規模で非効率なものとなる。そこで、バイパス設置、他からの水供給の支援、あるいは、長期的には移設を対策として提案しており、補強対策の実施を本耐震化計画には含めていない。テヘラン市の水道施設では、導水管・浄水場とも機能停止した場合には、他系統や他施設からの水供給が主体となる。これは、既に表流水系施設が 4 系統に分割されているうえ、地下水が豊富で、さらに第 6・第 7 浄水場の建設も計画されているという施設分散の進展のためである。送水管網が発達しているため他から上水を供給しやすいという状況にあることが、これを後押ししている。

一方、上記よりも小さい地震対応として、施設をイラン国基準の Code 2800（地震加速度 350g）で判定し、必要な強化策を提案している。Code 2800 による応力チェックの結果、構造物や建築物の応力不足が検証されており、部材の補強が必要となっている施設がある。設備についても不安定な設置状況にあるものや二次災害の可能性のあるものがあり、これらに対する施策が必要となっている。これらの具体策として、施設に対しては、耐震壁の挿入、池構造物側壁の強化、レンガ壁の補強等を、また、設備に対しては、転倒防止のための固定、塩素中和設備の設置等を本耐震化計画に含めた。

送水管～配水管網までの下流側施設の耐震化案について、まず、送水管については目標として設定したように、被害発生の最小化を狙い、事前に強化することとした。シナリオ地震による破損箇所（信頼性 70%未満）は、断層横断部が 23 箇所、構造物接続部が 30 箇所

と想定されており、これらを本耐震化計画に含めた。信頼性が 70%以上ある箇所については、断層横断部は将来の実施に回し、一方、構造物接続部は破損しにくいものの工事が容易で安価であるため本計画に含めるとした。

配水管については、基本的に被災後の応急対策にて対応する方針としたが、重要と思われる配水幹線については、被害発生の最小化のため強化する計画とした。具体的には、北テヘラン断層の近傍における断層横断部の箇所、構造物接続部の箇所を補強することとした。その他の幹線や配水支管については、応急給水・応急復旧で対応することとした。

配水池やポンプ棟といった施設については、浄水場と同様に、シナリオ地震に対してはバイパス設置、他からの水供給の支援、あるいは、長期的には移設を検討した。Code2800 に対しても浄水場と同様に考え、施設については必要な補強等の施策を施すこととし、設備については、転倒防止のための固定、塩素中和設備の設置や 2 回戦受電等の施策を講じることとした。

応急給水のための整備としては、配水池の流出側をサイフォンにアレンジするまたは緊急遮断弁の設置、公園等に地下水用の給水タンク及び自家発設備の設置、適所に緊急給水槽の設置等を耐震化計画に含めた。

概略事業費については、大半はイラン国内での調達となるが、一部の設備等は輸入すべき項目もあるため、内貨と外貨に分けて概算した。次頁の表に示すように、工事費は約 22 百万ドル、事業費としては 28.5 百万ドルと概算された。均等に投資すると考えると 1 年間あたりの投資額は 2.4 百万ドルとなり、2005 年度の料金収入 67 百万ドルの 3.5%程度となる。

耐震化計画の実施期間としては、まず、予算確保を含む準備に 1 年間必要と考え、その後、短期を 3 年間、中期を 4 年間、長期を 5 年間と JICA の M/P と同様に考えた。これより事業計画の目標年度は 2019 年と設定した。

表 プロジェクト期間

年 次	2007		2010	2014	2019	
期 間	準備	短期	中期	長期	将来	
		3 年間	4 年間	5 年間		

実施の優先順位については、緊急性・重要度・社会配慮・費用対効果・便益等より求めたが、その結果、次頁の表のように、短期の工事費が小さく、長期が大きいという事業工程が得られた。これは時間のかかる断層位置の調査を最初に行うため、実施の多くが中期、長期となったためである。

事業期間内に実施できる項目を選定し、実現性の高い計画としたため、事業費を低くすることができ、仮に補助金による事業支援がなくても、財務面では、最大 5.5%の料金値上げに収めることが可能との概算結果である。しかし、市民に理解を得るため中央または地方政府の補助金の導入が必要と考える。

表 耐震化計画プロジェクトの概算事業費と段階分け

(単位：US ドル)

	Cost Items	Short Term	Middle Term	Long Term	Total Cost
1	Construction Cost	3,628,600	6,243,900	12,395,200	22,267,700
	Pipelines				0
	Min. Occurrence	150,000	700,000	6,290,000	7,140,000
	Min. Effect	—	—	—	—
	Facility (Structure)				0
	Min. Occurrence	992,800	1,609,900	744,200	3,346,900
	Min. Effect	—	—	—	—
	Equipment				0
	Min. Occurrence	171,800	—	—	171,800
	Min. Effect	286,000	1,336,000	2,431,000	4,053,000
	Emergency Supply	2,028,000	2,598,000	2,930,000	7,556,000
2	Administration Fee (8 %)	290,288	499,512	991,616	1,781,416
3	Consultant Fee (10%)	362,860	624,390	1,239,520	2,226,770
4	Contingency (Approx.10%)	362,252	624,198	1,237,664	2,224,114
5	Preliminary Project Cost	4,644,000	7,992,000	15,864,000	28,500,000
6	Annual Project Cost	1,548,000	1,998,000	3,172,800	

なお、イラン側は本プロジェクトの実施に積極的であり、TWWC や MPO では、引続き行うべき調査・設計を現地コンサルタントに委託する予定となっている。また、IIEES により断層位置調査が行われることも、既に発表されている。

イラン国テヘラン市上水道システム耐震性強化計画調査

和文要約

目 次

目次

表リスト

図リスト

略語表

第 1 章	調査概要	S - 1
1.1	調査の背景	S - 1
1.2	調査の目的	S - 1
1.3	調査業務の範囲	S - 2
1.4	調査対象地域について	S - 2
1.5	調査のフレーム	S - 3
第 2 章	予備調査	S - 4
2.1	イランにおける情報収集と分析	S - 4
2.2	水需要の予測値	S - 4
2.3	既存水道施設	S - 4
2.4	近年の調査概要	S - 5
第 3 章	地震動解析	S - 7
3.1	最近の調査研究成果	S - 7
3.2	地震動解析手法の選定	S - 8
3.3	地震動解析の手順と条件	S - 9
3.4	強振動解析	S - 10
第 4 章	水道施設の被害予測	S - 12
4.1	管路の被害想定	S - 12
4.1.1	概要	S - 12
4.1.2	被害想定モデル	S - 12
4.1.3	解析法概要	S - 13
4.1.4	基本データと解析概略	S - 13
4.1.5	送水管の被害	S - 14
4.1.6	配水本管の被害想定	S - 15
4.1.7	配水小管の被害想定	S - 15
4.1.8	給水接続管の被害	S - 16

4.1.9	結語	S - 16
4.2	構造物・設備の被害想定	S - 17
4.2.1	目視調査	S - 17
4.2.2	被害予想	S - 20
4.3	送水管網の水理解析	S - 22
4.3.1	送水管網水理解析の条件設定	S - 22
4.3.2	水理解析の実用性の検証	S - 22
4.3.3	地震災害時の計算	S - 23
4.3.4	配水管網の概略検討	S - 24
第 5 章	耐震化のための目標設定	S - 26
5.1	耐震化の定義	S - 26
5.2	目標設定の基本方針	S - 26
5.3	目標の設定	S - 27
第 6 章	耐震化方策の抽出と検討	S - 29
6.1	個別の耐震化手段の抽出	S - 29
6.2	パイプラインの地震対策の検討	S - 29
6.2.1	パイプ材質と地震	S - 29
6.2.2	パイプラインへの地震の影響と耐震対策	S - 30
6.2.3	導水管の地震対策	S - 32
6.2.4	送水管の地震対策	S - 32
6.2.5	配水本管の地震対策	S - 33
6.2.6	配水小管の地震対策	S - 33
6.2.7	管路システムを組み合わせた被害の影響	S - 34
6.2.8	結語	S - 34
6.3	構造物と設備の耐震化計画	S - 35
6.3.1	対象施設の対策方針	S - 35
6.3.2	対象施設と優先順位	S - 36
6.3.3	対策の提案と将来の課題	S - 37
6.4	応急給水施設と給水方法	S - 40
6.4.1	応急給水方法の選定	S - 40
6.4.2	応急給水拠点の配置	S - 41
第 7 章	応急対策計画	S - 43
7.1	断水人口と復旧日数	S - 43
7.1.1	断水人口と復旧日数の考え方	S - 43
7.1.2	出力結果	S - 45
7.1.3	地震対策の効果分析	S - 46
7.2	応急対策の共通事項	S - 47
7.3	応急給水計画	S - 50
7.4	応急復旧計画	S - 51
第 8 章	耐震化計画案の策定	S - 52
8.1	耐震化計画案の選定	S - 52
8.2	プロジェクト期間の設定	S - 55

8.3	事業費の概算	S - 55
8.4	事業実施計画	S - 56
第 9 章	経済分析及び財務計画	S - 57
9.1	経済分析の目的.....	S - 57
9.2	プロジェクト便益.....	S - 57
9.3	経済分析のためのケースの設定.....	S - 57
9.4	プロジェクトコスト.....	S - 58
9.5	経済分析の結果.....	S - 58
9.6	財務分析の目的.....	S - 59
9.7	財務分析のためのケース.....	S - 60
9.8	財務分析の結果.....	S - 60
9.9	財務計画への提言.....	S - 61
第 10 章	環境社会配慮	S - 63
第 11 章	耐震化計画の総合評価と提言	S - 64
11.1	社会経済評価.....	S - 64
11.2	技術評価.....	S - 64
11.3	財務評価.....	S - 64
11.4	環境評価.....	S - 64
11.5	総合評価.....	S - 65
11.6	耐震化計画に対する提言.....	S - 65
第 12 章	無収水(NRW)対策に関する技術的提案.....	S - 66
12.1	NRW と関連用語の定義	S - 66
12.2	水量ロスとその計測	S - 66
12.3	TWWC の NRW 削減対策.....	S - 67
12.4	NRW 対策に関する提言	S - 68
第 13 章	広報活動に対する助言	S - 70
13.1	広報の現況評価	S - 70
13.2	広報活動への助言	S - 70
13.3	水の博物館設置の助言	S - 70

表リスト

表 2.2.1	2004 年の人口と給水量
表 2.2.2	将来(2021 年)の水需要量
表 2.3.1	テヘラン水道の取水ダム
表 2.3.2	既設浄水場の概要
表 2.3.3	配水池及び類似施設の一覧
表 2.3.4	送配水管の延長
表 2.4.1	近年の地震動解析及び耐震化調査の概要
表 3.3.1	本調査に適用された断層パラメーター
表 3.4.1	解析結果の要約
表 4.3.1	各ケースの水理解析用の送水量
表 4.3.2	水理計算結果
表 5.3.1	施設の耐震化目標
表 5.3.2	応急給水の目標値
表 5.3.3	応急復旧の目標値
表 6.3.1	リスクコントロール総括表（実施計画に移行するもの）
表 6.4.1	短・中長期計画で整備される応急給水拠点の数
表 7.1.1	復旧シミュレーションの前提条件
表 7.1.2	管路の復旧作業体制の設定
表 7.1.3	管路の復旧作業に要する時間
表 7.1.4	地震対策メニュー
表 7.1.5	断水人口と復旧日数
表 8.1.1	導水施設及び浄水場における対策
表 8.1.2	送水施設及び配水施設の対策
表 8.2.1	プロジェクト期間
表 8.3.1	概算事業費
表 8.4.1	優先順位に関する評価項目
表 9.2.1	耐震強化投資前と投資後のシナリオ地震発生後の断水人口の推移比較
表 9.3.1	経済評価のためのケース及びシナリオ地震の生起確率
表 9.3.2	財務価格ベース及び経済価格ベースの年間総便益
表 9.5.1	経済内部収益率（EIRR）の計算結果（単位：パーセント）
表 9.7.1	財務分析のための想定ケース
表 9.8.1	財務分析の各ケースの補助金額及び TWWC によるローンの最大・平均償還額
表 12.1.1	IWA による NRW の定義
表 13.3.1	博物館運営方法の一例

図リスト

- 図 1.4.1 調査対象区域図
- 図 1.5.1 調査のフレームと作業工程
- 図 3.1.1 調査地域の概括的地質断面図
- 図 3.1.2 テヘラン市周辺の断層位置図
- 図 3.3.1 地震動解析と被害想定フロー図
- 図 3.4.1 与えられた再現期間に対する地震発生確率
- 図 4.1.1 正規分布
- 図 4.1.2 断層部の管体被害
- 図 4.1.3 ずれによる継ぎ手離脱
- 図 4.1.4 構造物との接続部における継ぎ手離脱
- 図 4.1.5 ノーステヘラン地震の管路リンク信頼性
- 図 4.1.6 配水区域ごとの配水本管被害箇所（ノーステヘラン）
- 図 4.1.7 配水区域ごとの配水本管単位長さ当たりの被害箇所（ノーステヘラン）
- 図 4.1.8 配水区域ごとの配水小管被害箇所（ノーステヘラン）
- 図 4.1.9 配水区域ごとの配水小管単位長さ当たりの被害箇所（ノーステヘラン）
- 図 4.2.1 被害予想と関連する作業の流れ
- 図 4.2.2 被害予想図（North Tehran Fault）
- 図 4.3.1 テヘラン市送水管網 基本フロー図
- 図 5.1.1 耐震化計画の概念図
- 図 5.2.1 目標設定の基本方針
- 図 6.1.1 耐震化の概要
- 図 6.2.1 鞆管やカルバート
- 図 6.2.2 コンクリート巻き立て
- 図 6.2.3 断層部の伸縮継ぎ手
- 図 6.2.4 カルバートの破損
- 図 6.2.5 カルバートと伸縮継ぎ手
- 図 6.2.6 バイパス配管
- 図 6.2.7 送水管概略
- 図 6.3.1 「耐震化計画」とこれに関連するフローチャート
- 図 6.3.2 対象施設とその状況
- 図 6.4.1 配水池流出管のアレンジ方法
- 図 6.4.2 緊急給水貯水槽
- 図 6.4.3 給水拠点の配置（2 km ごと）
- 図 6.4.4 給水拠点の配置（1 km ごと）
- 図 7.1.1 断水人口（ $t=0$ と $t=30$ ）
- 図 7.1.2 断水人口と復旧日数

- 図 7.2.1 TWWC の応急対策組織図
- 図 7.2.2 他機関よりの応援要請
- 図 7.3.1 応急給水の概念図
- 図 8.2.1 プロジェクト期間
- 図 13.3.1 東京都の水道歴史館概要図

略語表

AL	Alarm
BCR	Benefit Cost Ratio
BHRC	Building and Housing Research Center
CP/CIP	Cast Iron Pipe
CVM	Contingent Valuation Method
DMS	Integrated Distribution Management System
DOE	Department of Environment
DP/DIP	Ductile Iron Pipe
DTSC	Diagnosis Table for Seismic Capacity
EIA	Environmental Impact Assessment
EIRR	Economic Internal Rate of Return
EPHC	Environmental Protection High Council
FIRR	Financial Internal Rate of Return
GIS	Geographic Information System
GOI	Government of Iran
GOIRI	Government of Islamic Republic of Iran
GOJ	Government of Japan
GTGC	Greater Teheran Gas Company
IEE	Initial Environmental Examination
IIEES	International Institute of Earthquake Engineering & Seismology
IRI	Islamic Republic of Iran
JICA	Japan International Cooperation Agency
JST	JICA Study Team
JWRC	Japan Water Research Center
JWWA	Japan Water Works Association
Lpcd	litter per capita per day
MOE	Ministry of Energy
MPO	Management & Planning Organization, Office of the President
NPV	Net Present Value
NIGC	National Iranian Gas Company
N-NO3	nitrate nitrogen
NRW	Non Revenue Water

O&M	Operation and Maintenance
OR	Operating Ratio
PE	Polyethylene Pipe
PGA	Peak Ground Acceleration
PGD	peak Ground Displacement
PGV	Peak Ground Velocity
PML	Probable Maximum Loss
PLC	Programmable Logic Controller
Pos.	Position
PR	Public Relations
PVC	Polyvinyl Chloride Pipe
PWUT	Power and Water University of Technology
RCS	Red Crescent Society of Islamic Republic of Iran
Res.	Distribution Reservoir
RTU	Remote Terminal Unit
RTWO	Regional Tehran Water Organization
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCF	Standard Conversion Factor
Sel.	Select
SERF	Shadow Exchange Rate Factor
SP	Steel Pipe
Sw.	Switch
SWC	Staff per Thousand Water Connections
SWR	Shadow Wage Rate
TDMO	Tehran Disaster Management Organization
the Study	the Study on Water Supply System Resistant to Earthquakes in Tehran Municipality in the Islamic Republic of Iran
TPWWC	Tehran Provincial Water and Wastewater Company
TWWC	Tehran Water and Wastewater Company
UBC	Uniformed Building Code
UFW	Unaccounted-for Water
UPS	Uninterrupted Power Supply
WHO	World Health Organization
WTP	Water Treatment Plant
WtP	Willingness to Pay

第 1 章 調査概要

1.1 調査の背景

イラン国の首都であるテヘラン市はイランの中央連峰にあるアルボルズの南山麓に位置しており、市の南端（標高 1,040m）と北端（1,800m）とでは 760m の高低差がある。気温の季節変化は大きく、年間降水量は 300mm 以下である。また、市は半砂漠地帯に位置付けられている。

市の人口について、最新の国勢調査年である 1996 年から 10 年間は安定した増加を示し、2005 年のそれは 7.2 百万人と推定されている。しかしながら、近年、市の北側に広範囲に展開されている住宅建設から見ると、人口増加は過去よりも大きくなっていると思われる。

テヘラン周辺の区域は、地震の頻発地区としても有名である。過去の地震について種々調査はされているものの、地震災害に対する水道の危機管理は、必ずしも十分に確立されたとはいえない状況にある。このため、大規模地震が取水ポンプを破壊し、コンクリートパイプを破損させ、給水を停止したりする等の不安が内在している。さらに、1952 年に設置された、老朽化した既存施設の改善が緊急な要件となっている。

イラン国の要請に応じて、日本政府は「イラン国テヘラン市上水道システム耐震性強化計画調査」の実施を決定した。そして、わが国の技術協力の実施機関である JICA が、イラン政府と協力しつつ調査を実施する運びとなった。

業務内容が JICA とイラン国エネルギー省の機関である TPWWC の間で合意され、調査の議事録が 2004 年 1 月 24 日に署名された。その業務内容に沿って、JICA は、2005 年 2 月に株式会社日水コンと東京設計株式会社の JV に対し、JICA 調査団を形成し調査を実施するよう任命した。

1.2 調査の目的

調査の目的は、次の通りである。

- TPWWC が地震に対抗できる、あるいは被災しても短期間に復旧可能な上水道システムを整備するための耐震化計画を作成することにより、地震に対する具体施策を明確にすること。
- 調査の過程においてカウンターパートに技術移転、特に水道システムの改善計画を作成するための方法論の移転を図ること。

1.3 調査業務の範囲

本調査は、2004年8月21日に合意されたS/W及び同協議に関する議事録（M/M、2004年11月24日）に基づき実施されるもので、以下に示す調査および技術支援を実施した。

- 1) 上水道耐震化計画案の策定
- 2) 無収水削減計画並びに漏水調査に対する技術支援

1.4 調査対象地域について

本調査は、既存上水道システムの耐震性強化を主目的とするため、現在の給水区域であるテヘラン市内の1区～20区を調査対象区域とした。ただし、導水管路については、入手データの少ない中ではあるが、概略検討を加えることとした。

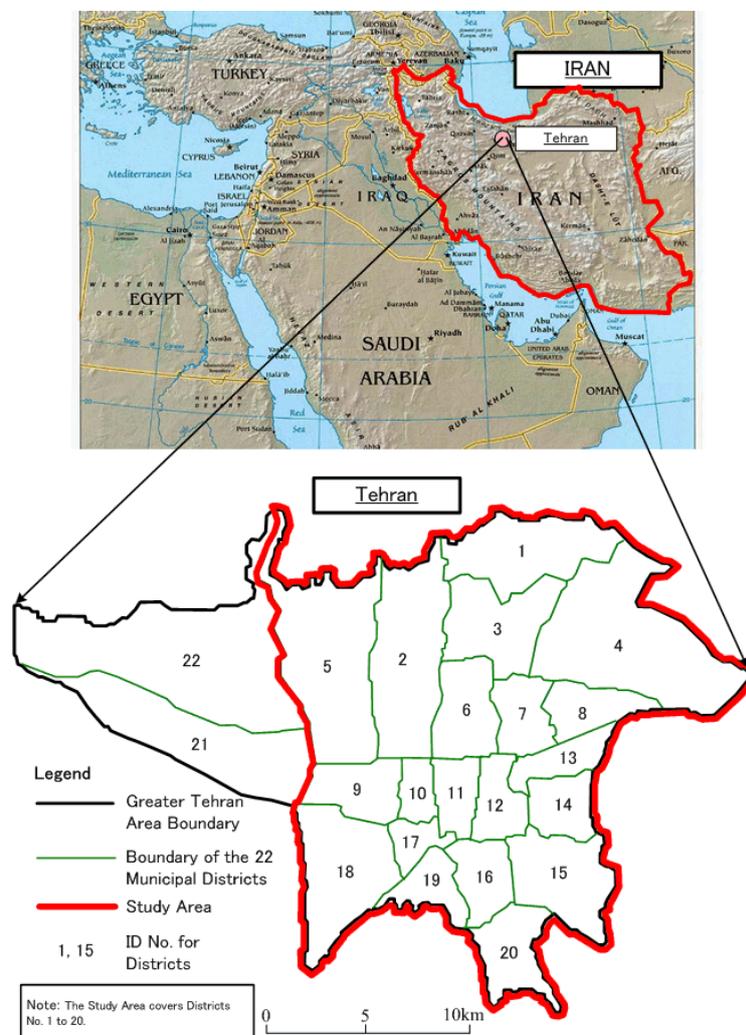


図 1.4.1 調査対象区域図

1.5 調査のフレーム

図 1.5.1 に示すように、本調査は3段階の現地調査で区分されており、第1段階が予備調査、第2段階が施設の被害想定と目標設定、3段階が耐震化計画策定となっている。

各段階の終了時には報告書の提出が定められている。着手時の Inception Report は別として、第1段階が Progress Report、第2が Interim Report、第3が Draft Final Report となっている。さらに、Final Report は、2006年11月末の提出とされている。

上記を含め図示の作業工程により、本調査が実施されてきた。

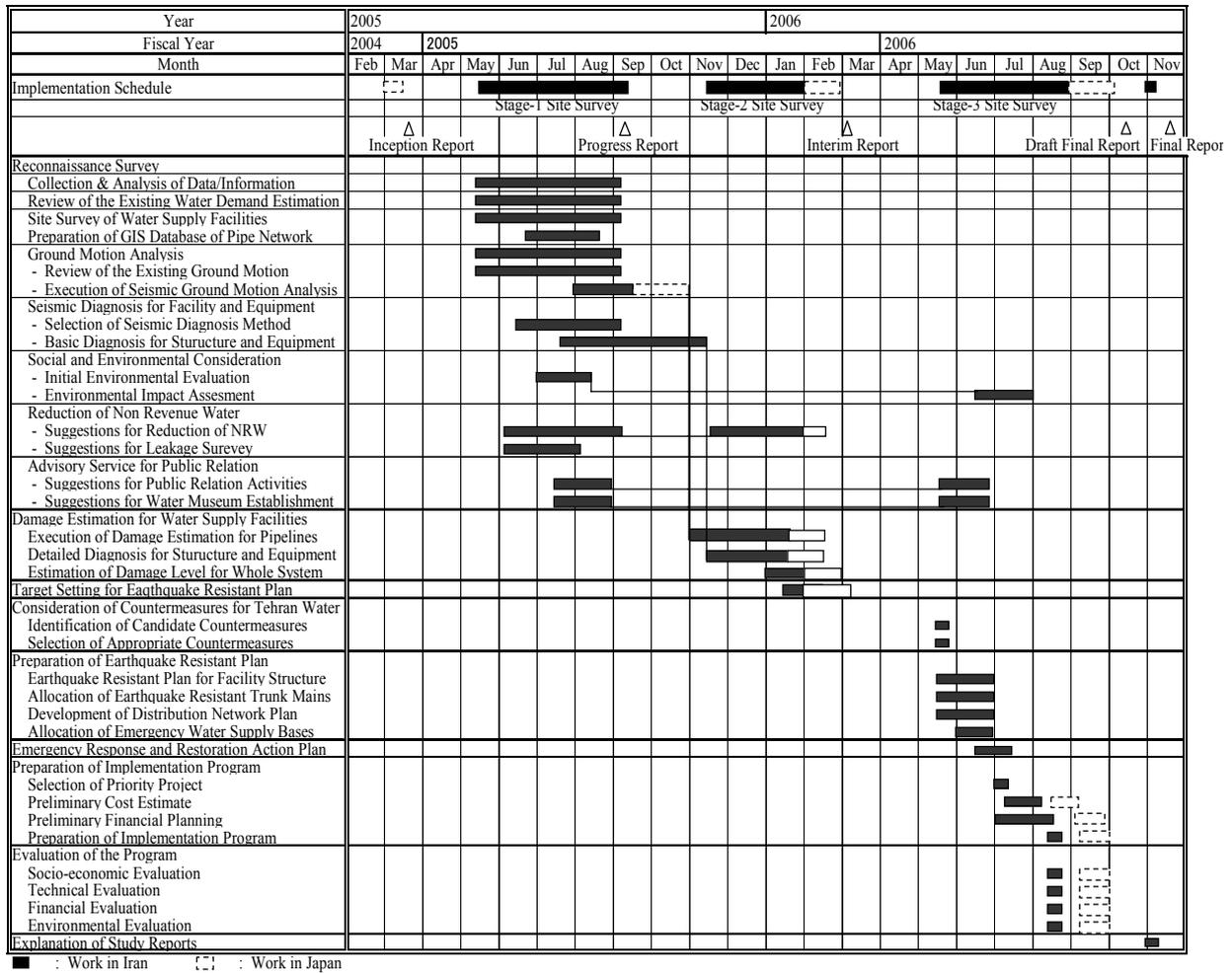


図 1.5.1 調査のフレームと作業工程

第2章 予備調査

2.1 イランにおける情報収集と分析

事前に日本で入手した資料以外に、テヘランにて数多くの報告書や書籍を収集した。また、調査団は、現地踏査やヒアリングを通じても種々のデータを収集した。

2.2 水需要の予測値

テヘラン水道の現在給水区域は、市内 22 区の内、1 区から 20 区までで、給水区域面積は 533km² である。2004 年現在の給水人口及び給水量は表 2.2.1 に示すとおりであり、1 人 1 日水使用量(有収水量)や無収水率から見ると、ほぼ、先進国並みの水道である。特に、無収水率は、1995 年の 44.46%から 10 年間で 20%以上も低減しており、経営努力の跡が見える。

将来の水需要としては、事前調査に示されるものを含め 3 種類の予測があり、2021 年に 299~338 万 m³/d とされている。低位予測では、現在の給水量よりも小さくなるが、これは TWWC が節水・有収率向上により 1 人 1 日当り水量を下げようとする結果である。

表 2.2.1 2004 年の人口と給水量

事業指標	数 値
給水人口	7,019,600 人
一日最大給水量	3,173,495 m ³ /d
1 人 1 日平均給水量	360 lpcd
1 人 1 日水使用量	274 lpcd
無収水率	23.67 %

表 2.2.2 将来(2021 年)の水需要量

予測種別	将来人口	1 日最大給水量
現地コンサル	9,250 千人	327 万 m ³ /d
JICA 事前調査	10,720 千人	338 万 m ³ /d
低位予測	8,292 千人	299 万 m ³ /d

注：低位予測は統計局の将来人口 x TWWC 原単位

2.3 既存水道施設

既存の水道施設は、給水区域の形状に影響され、数多くの施設（群）に分散されている。水源～導水施設、浄水場、配水池類、送配水管の概要を表に示す。

表 2.3.1 テヘラン水道の取水ダム

Name of Dam	Year of Completion	Type of Dam	Effective Capacity	Raw Water Transmission Destination
Karaj Dam	1961	Double Curvature concrete arch	195 M m ³	Water Treatment Plants No. 1 and No.2
Latiyan Dam	1967	Concrete Buttress	85 M m ³	Water Treatment Plants No. 3 and 4
Lar Dam	1980	Earthfill with Clay Core	860 M m ³	Water Treatment Plant No. 5
Taleghan Dam	2005	Earthfill with Clay Core	329 M m ³	Water Treatment Plants No.1 & 2 (Emergency Use)
Mamloo Dam	Under construction	Earthfill with Clay Core	250 M m ³	Water Treatment Plant No.7 (Planned)

表 2.3.2 既設浄水場の概要

No. of Plant	1	2	3	4	5	Total
Name of Plant	Jalaliyeh	Kan	Tehranpars		Panjom	
Year in Operation	1955	1963&1970	1968	1984	2003	
Maximum Capacity	3.0	9.0	4.5	4.5	9.0	30.0
Nominal Capacity	2.7	8.0	4.0	4.0	7.5	26.2
Elevation NCC	1257m	1343m	1515m		1686m	

Note: Unit of the capacity is m³/sec.

表 2.3.3 配水池及び類似施設の一覧

Reservoir and Similar Tank		Distribution Reservoir	Reservoir/ Contact Tank	Contact Tank	Elevated Tank	Clear Water Tank	Break Pressure Tank	Booster Station	Total	
Existing	Number	in use	56	2	6		5	1	4	74
		not used	5			3		1		9
	Capacity	in use	1,858,300	40,000	98,700	950	141,000	2,400	—	2,141,350
		not used	111,800			3,000		2,500		117,300
Future	Number	Planned	17			1				18
		Chancelled	1							1
	Capacity	Planned	193,000			500				193,500
		Chancelled	—							0
Retention Time (hr) of Existing Reservoirs & Tanks										
Average Supply in 2004		17.7								20.4
Maximum Supply in 2004		14.1								16.2

表 2.3.4 送配水管の延長

Pipeline Category	Length (m)
Transmission Main	399,346
Distribution Trunk Main	768,179
Distribution Sub Main	6,385,927
Total Length (m)	7,553,452

2.4 近年の調査概要

近年実施された地震動解析や耐震化調査には表 2.4.1 に示すものがあり、それぞれの特徴は表中に示されるとおりである。本調査も、これら既往の調査を参考に実施する。

表 2.4.1 近年の地震動解析及び耐震化調査の概要

No	調査名	発注者等	調査の概要
1		JICA	<p>地震動解析とライフラインの被害想定結果を基にして、大テヘラン圏の地震防災計画の基礎として供用することのできる地震マイクロゾーニング地図および公共施設、建物、緑地他の基礎データベースの構築のための計画調査</p> <p>1) 基礎地盤の分類と地震動解析のための地盤モデル 50本のボーリング実施。既存の400本のボーリングデータを利用。</p> <p>2) シナリオ地震と地震動解析 ①次の活断層からシナリオ地震を想定、(1)モシャ断層、(2)北テヘラン断層、(3)レイ断層(南レイ断層)、(4)フローティング断層 ②経験的グリーン関数法による基盤での地震動解析 ③1次元地震応答解析による地表地盤の加速度(PGA)他の解析 3)水道、電気、ガス等のライフライン施設、建物被害の想定</p>
2	直下型地震を受ける大都市水道ライフラインシステムの機能維持と復旧・復興戦略に関する研究、Mar. 2000	Takada S., et al.	<p>地震動解析と送水管、配水管被害想定結果に基づく水道施設の脆弱性および断水効果の評価および水道施設の機能維持と復旧・復興戦略の研究</p> <p>1) 基礎地盤の分類と地震動解析のための地盤モデル 既存の850本のボーリングデータと110本の深井戸ボーリングデータ他を利用。</p> <p>2) シナリオ地震と地震動解析 ①次の活断層からシナリオ地震を想定、(1)北テヘラン断層および(2)北レイ断層 ②統計的グリーン関数法による基盤での地震動解析 ③1次元地震応答解析による地表地盤の加速度(PGA)他の解析 3) 水道配管・施設の被害想定</p>
3	テヘラン市ガスネットワーク耐震性強化及び制御のための調査研究プロジェクト、Mar. 2004	NIGC & GTGC	<p>テヘラン市ガスネットワークの耐震性評価と耐震対策手法の提案を目的とした調査研究</p> <p>1)基礎地盤の分類と地震動解析のための地盤モデル 既存の850本のボーリングデータと110本の深井戸ボーリングデータ他を利用</p> <p>2) シナリオ地震と地震動解析 ①次の活断層からシナリオ地震を想定、(1) 歴史的な地震モデル、(2)北テヘラン断層、(3)モシャ断層、(4)北レイ断層、(5)南レイ断層 ②統計的グリーン関数法による基盤での地震動解析 ③1次元地震応答解析による地表地盤の加速度(PGA)、地表面速度(PGV)他の解析 3) ガス配管・施設の被害想定</p>
4	イラン国大テヘラン圏総合地震防災及び管理計画調査、Mar. 2005	JICA	<p>上記イラン国大テヘラン圏地震マイクロゾーニング計画調査結果に基づいた総合地震防災及び管理計画策定</p>
5	テヘラン上水道システム耐震設計調査、Oct. 2004	TWWC	<p>テヘラン市上水道システムのために以下の情報を見直し、評価、診断する調査</p> <p>①既存の地質および地震についての調査の見直し ②既存地震動解析の評価 ③地震時の水道施設の脆弱性の診断 ④水道システムの地震災害管理についての議論点</p> <p>1)基礎地盤の分類と地震動解析のための地盤モデル テヘラン市、テヘラン鉄道機構、TWWCの技術部門からのボーリングデータと深井戸データを利用</p> <p>2) シナリオ地震と地震動解析 ①ほぼガスプロジェクトでの地震動解析に同じ。次の活断層からシナリオ地震を想定、(1)北テヘラン断層、(2)モシャ断層、(3)北レイ断層、(4)南レイ断層、(5)カリザーク断層 ②ガスプロジェクトと同様と思われる ③同上 3) 送水管・施設の被害想定</p>

第3章 地震動解析

本章では地震動解析について述べる。本地震動解析の基本となる考え方は次の調査研究の成果に大いに依拠している。本解析についての詳細記述は別添付属資料に載せてある。

3.1 最近の調査研究成果

次の二つの調査研究は最近のテヘランの地震動解析に関する研究の中の代表的なものである。

- JICA、「イラン国大テヘラン圏地震マイクロゾーニング計画調査」、March 2000
- NIGC & GTGC, 「テヘラン市ガスネットワーク耐震性強化及び制御のための調査研究プロジェクト」、Mar. 2004

これら二つの成果は地形、地質、地震テクトニックの様相および人口、建物、都市の施設やライフラインなどの自然、社会条件を包含している。本地震動解析では、これら二つの調査研究の成果を最大限に活用している。

3.1.1 調査地域地質断面図

図 3.1.1 は本調査地域の概括的な地質断面図である。

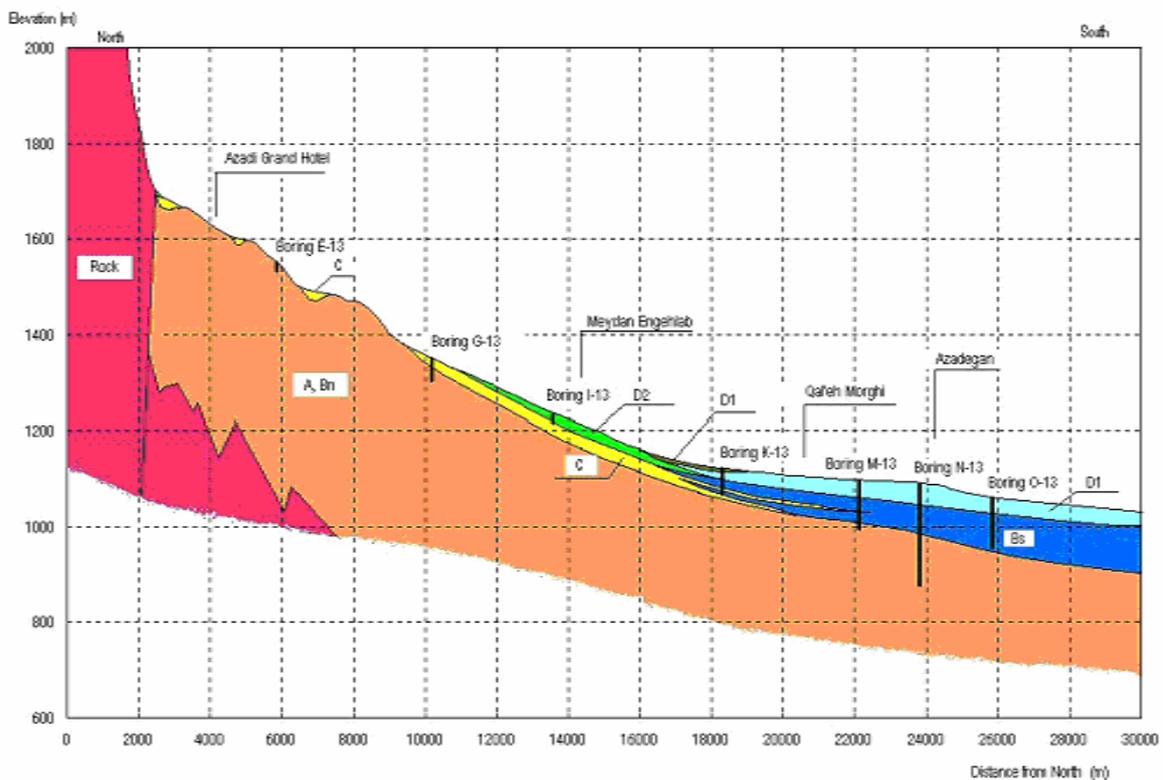


図 3.1.1 調査地域の概括的地質断面図

3.1.2 調査地域付近の地震テクトニック

(1) 主要断層

主要断層の特徴を JICA マイクロゾーニング調査とガス調査研究プロジェクトの結果に従って紹介す

る。図 3.1.2 にテヘラン市付近の断層位置を示す。

1) 北テヘラン断層(NTF)

この断層は長さ 90km でテヘラン市の北部に位置している。この断層は E-W to ENE-WSW の走向を有する衝上断層であり、モシャ衝上断層の分岐と考えられている。モシャ断層の分岐断層と考えられることから、この断層の傾斜角は 75°よりゆるやかな傾斜と推測できる。

2) 北レイ断層 (NRF)

北レイ断層はアゼムアバド (AzeemAbad) 地方 (Ray-Behesht Zahra 高速道路の南縁) 付近の侵食された断層岩壁に見られる地震活動性を有する第 4 紀の沖積層である。この侵食岩壁は高さ 2m 長さ 17km で E-W の走向を有している。

3) 南レイ断層 (SRF)

南レイ断層は地震活動性を有する第 4 紀の沖積層であり、シャールレイ (Shahre Ray) 南西部のカレーノ (Qal'ehno) 地方にある古来の丘、ガール丘(Ghar Hill)南部の高さ 1m~2m で南西方向に伸びている侵食岩壁として現れている。

4) モシャ断層 (Mosha Fault)

この断層は 200km 以上の長で地震活動性を有する断層である。アルボルズ高度地帯 (High Alborz Zone) はアルボルズ境界褶曲 (Alborz Border Folds) の上に北から南に向かって突き出た衝上断層である。走向は 東南東~西南西であり図上では正弦曲線のような形状に見える。他方、この断層の東部は東西走向となっている。断層傾斜角は約 75°で北に傾斜している。

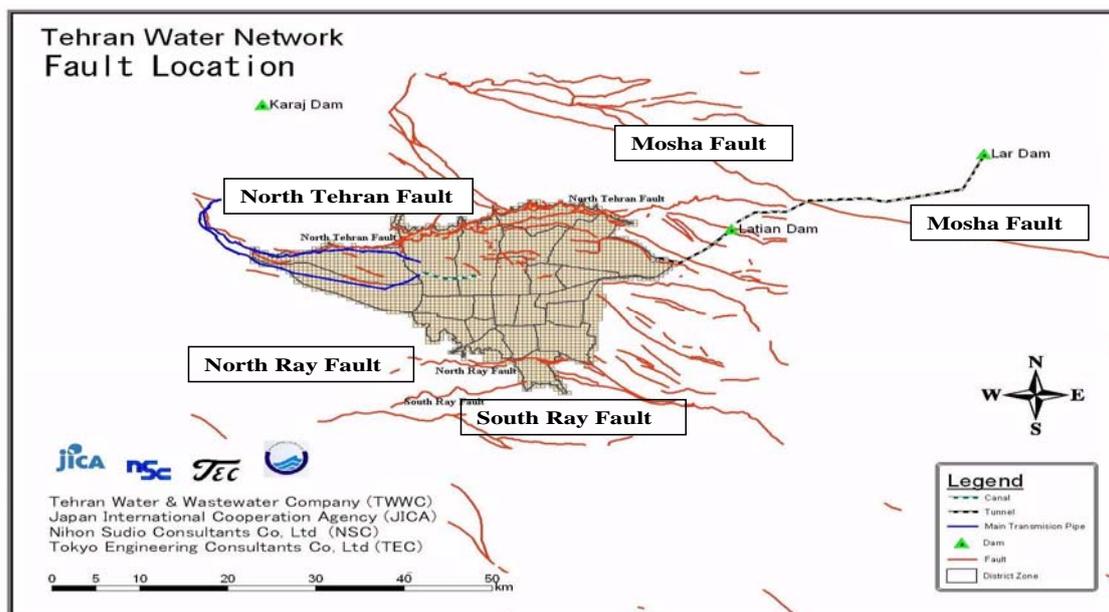


図 3.1.2 テヘラン市周辺の断層位置図

3.2 地震動解析手法の選定

3.2.1 地震動解析手法の選定

「テヘラン市ガスネットワーク耐震性強化及び制御のための調査研究プロジェクト」(Mar. 2004) において適用されている地震動解析手法は、下記の側面より最も適切な手法であると判断し、本調査に

においても採用した。

- ライフライン施設についての既存の地震動解析に適用されている手法の適切な利用と有効活用
- ライフライン施設、特に水道施設に関する他の調査と共通するデータベースを持つとともにそれらの評価および更新が持続的に実施可能な方法
- 上水道配管、ガス配管等のライフライン施設の被害想定にとって適切な解析手法
- カウンターパートである TWWC への技術協力と技術移転にとって適切な手法
- ガス調査研究プロジェクトでの地震動解析手法は基本的に高田教授等の調査研究と同様な手法

3.3 地震動解析の手順と条件

3.3.1 地震動解析と被害想定の手順

TWWC の上水道施設のための地震動解析と被害想定の手順を図 3.3.1 に示す。

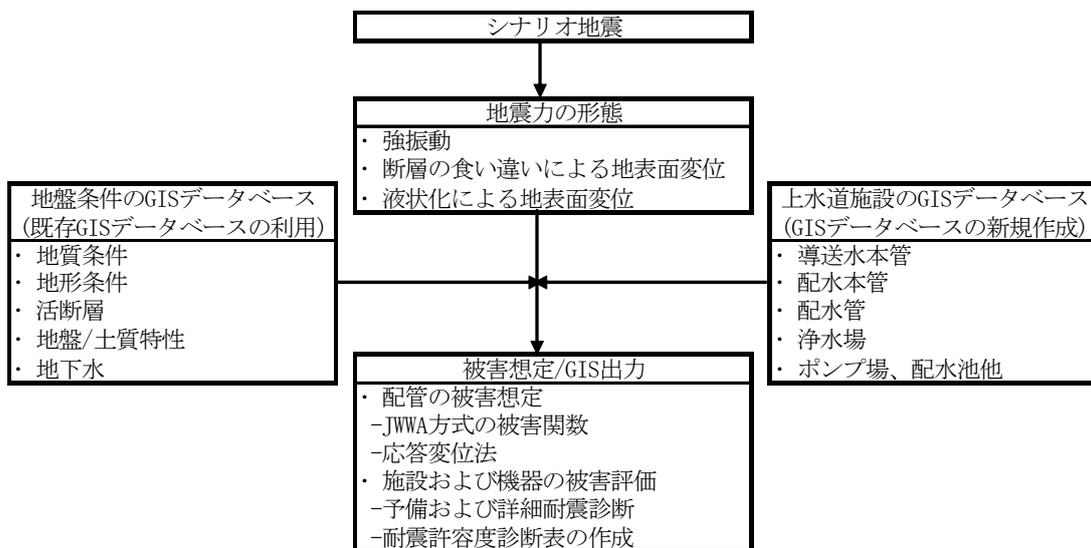


図 3.3.1 地震動解析と被害想定のプロフロー

3.3.2 地震動解析条件

(1) 地震力

4つの主要な活断層による地震によって引き起こされる地震力として、地質、地形、地盤/土質条件を考慮して、次の3つの形態の地震力を取り上げる。これらの地震力を水道施設の地震応答解析の入力条件として使用する。

- 強振動
- 断層の食い違いによって引き起こされる地表面変位
- 液状化による地表面変位

歴史地震とは過去の地震記録の統計的な解析から導出された地震である。予想される歴史地震の規模と再現期間はポアソンの手法に基づく統計的解析によって想定している。歴史地震の統計的な地震動

解析に当たっては、テヘラン市ガス調査研究プロジェクトと同様に、パーチン断層（Parchin fault）とカリザーク断層（Kharizak fault）が利用されている。

テヘラン市南部における液状化の問題については、テヘラン市ガス調査研究プロジェクトにおいて液状化発生の可能性は低いことが確認されている。したがって、地盤の液状化解析結果は本調査の中では利用していない。地すべり問題についても、上水道施設現場の現地踏査において可能性は低いと観察されたため、本調査では考慮していない。しかし、実施に当たっては、慎重な調査が必要となる。

(2) 断層パラメーター

本 JICA 調査に適用された断層パラメーターを表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1 本調査に適用された断層パラメーター

Parameter	Fault							
	Mosha		North Tehran		North Ray	South Ray	Parchin	Kahrizak
Length (km)	20	80	40	28	17	17	73	50
Width (km)	20	20	22	22	9	9	28	20
Moment magnitude (Mw)	7.1	7.3	7.2	7.2	6.5	6.6	7.2	6.9
Small moment magnitude (Mw)	5.3	5.3	5.3	5.3	5	5	5.3	5.2
Dislocation (m)	1.25	1.58	1.41	1.58	0.63	0.7	1.41	0.99
Rise time τ (sec)	1.25	1.58	2.16	2.16	1.21	1.85	6.76	4.63
Shear wave velocity (km/sec)	3.5	3.5	3.5	3.5	3	3	3.5	3.5
Mass density (tf/m ³)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Strike angle (degree) (clockwise from north at western edge)	282	298	270	260	266	257	250	260
Slip angle (degree)	90	90	90	90	90	90	90	90
Dip angle (degree)	75	75	75	75	75	75	75	75
Number of synthesis	8	10	8	8	5	6	9	7
Depth of upper edge (km)	5	5	5	5	5	5	5	5

3.4 強振動解析

3.4.1 歴史地震

(1) 解析手法

この解析手法では、先ず距離 R においてマグニチュード M を持つ地震の確率的な事象を計算し、任意の変数を持つある範囲内の震源断層、位置の明確な震源断層とポアソン手法とにより地震危険性を得る。次に、地表面の時刻暦運動を、与えられた断層に対してシミュレーションする。その後、地震動の速度応答スペクトルを検討し、それに基づいて統計的な地震動のための時刻暦地震動を得る。

(2) 統計的地震動

図 3.4.1 は与えられた再現期間に対する地震動発生の確率を示したものである。

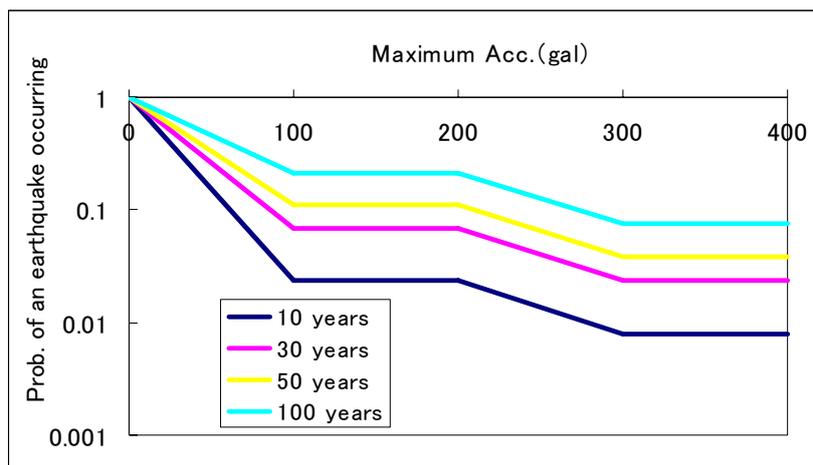


図 3.4.1 与えられた再現期間に対する地震発生確率

3.4.2 シナリオ地震

(1) 解析手法

1) 基盤での地震動合成手法

いくつもの小地震からある地震動生成するために、ボア（Boore）の統計的シミュレーション手法（Statistical Green's Function Method）を使用している。基盤での地震動解析は高田教授他によって作られたコンピュータープログラムにて行っている。

2) 地表面地震動計算手法

基盤と地表面間の地震動増幅および地表面での加速度、速度、変位の算出には SHAKE プログラムを使用している。

3) 断層食い違いの解析手法

断層食い違いの解析には、ステッケティ（Steketee）の弾性転位論に基づいた岡田の式を適用している。

(2) 解析結果

解析結果の地表面における値を要約して表 3.4.1 に示す。その他の解析結果については、本編または付属資料を参照されたい。

表 3.4.1 解析結果の要約

項目	単位	北テヘラン地震	南レイ地震	北レイ地震	モシヤ地震	歴史地震
Max PGA	cm/sec ²	746	286	343	262	221
Max PGV	cm/sec	76.0	56.5	52.3	17.7	19.8
Max PGD	cm	4.8	5.0	5.8	0.8	
Max Horizontal Dislocation	cm	48.8	6.7	5.8	13.0	
Max Vertical Dislocation	cm	75.9	12.0	14.1	6.2	

第4章 水道施設の被害予測

4.1 管路の被害想定

4.1.1 概要

管路延長小口径管を含めると 7500 km を超える。内訳を分類すると以下ようになる。

- 導水管
- 送水管 延長約 300km
- 配水本管 延長約 750km
- 配水小管 延長約 6500km

管継ぎ手は鋼管を含めてメカニカル継ぎ手である。したがって被害箇所はこれらの継ぎ手と考えられる。即ち、継ぎ手離脱が主たる要因と考えられる。埋設管路は一般部と特殊部に分けることができる。特殊部とは断層横断部と構造物との接続部である。この代表的な構造物としては配水池がある。これらより管路の被害を考える上で3つの被害形状を考慮した。まず、最初は地震の強振動によるもの、2番目が断層による管路のせん断破壊、3番目が構造物との接続部における継ぎ手抜け出しである。

4.1.2 被害想定モデル

管路ネットワークはリンクとノードからなっており、リンクの信頼性を被害の指標として採用した。

(1) 強振動による管路の被害

埋設管路の被害を推定するのに2通りの方法がある。解析的な方法としては応答変位法があり、他方は統計つまり過去の経験に基づくものである。応答変位法は埋設構造物の解析に広く用いられている。振動によって発生した地盤ひずみが管体に伝播し、それらが継ぎ手の離脱を引き起こすと考える。統計的な手法は地盤の加速度や速度と被害の相関を考慮したものである。必ずしも被害要因ははっきりしないが、数量的な傾向を見るのには適している。各種要因が重なって被害を受ける小口径管などには適用可能と考えられる。

このようなことを考慮して比較的口径の大きな管路には応答変位法を、それ以外には統計的な被害データを用いて算定を行った。

(2) 断層横断部の解析

テヘラン市内には二次断層を含めて多くの断層横断箇所がある。これは送水管、配水管双方について言える。二次断層自体は必ず動くというわけではないが、シナリオ断層のような活断層が動いた場合にはなんらかの動きをすることは考えられる。本解析では永久地盤変位をこのような二次断層のずれ量と推定した。

(3) 構造物との接続部

一般的に言って巨大な構造物は周辺の地盤とは異なった固有周期を持っている。したがって地震時において位相の異なった振動をすることが考えられる。その結果接続部には相対変位が発生する可能性がある。この値は断層のずれ量から見ればはるかに小さい値である。ただこの部分に管路があると継ぎ手離脱が発生する可能性がある。このような現象は実際の被害としてよく見られる。厳密な相対変位を推定するのは難しいこともあり、本編では地震動の最大振幅値を採用した。

4.1.3 解析法概要

(1) 応答変位法を用いる場合

管路の離脱を求めるために応答変位法を用いた。その際にデータのばらつきを考慮した。発生ひずみや抜け出し量は正規分布を考え、安全性は確率的な考え方によった（図 4.1.1）。

(2) 断層のずれによる被害

テヘラン市内には活断層横断部や多くの二次断層横断箇所がある。これらの中で二次断層は必ずしも動くとは限らない。しかし何らかの理由でずれが発生することは考慮すべきである。永久地盤変位をこの値として採用した。

図 4.1.2 に断層ずれに伴う被害を、図 4.1.3 に継ぎ手の離脱の模式図を示す。

(3) 構造物との接続部

貯水池との接続部のように管路と構造物とは多くの接続箇所が存在する。このような箇所には固有周期の違いから相対変位が生じる可能性がある。この結果継ぎ手の離脱の恐れがある。図 4.1.4 に模式図を示す。

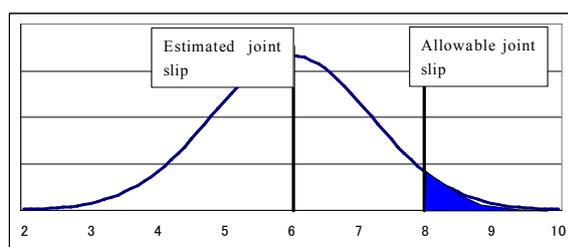


図 4.1.1 正規分布

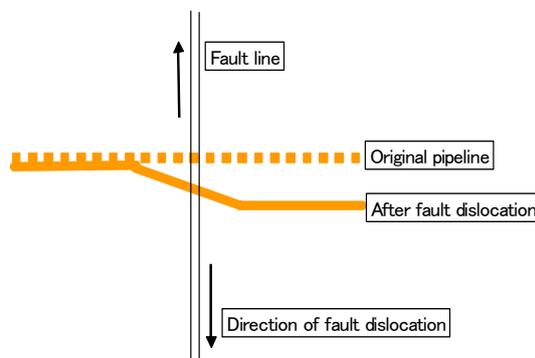


図 4.1.2 断層部の管体被害

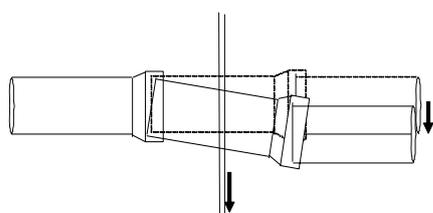


図 4.1.3 ずれによる継ぎ手離脱

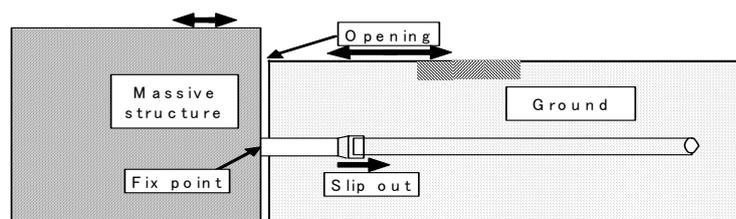


図 4.1.4 構造物との接続部における継ぎ手離脱

4.1.4 基本データと解析概略

(1) パイプデータ

パイプデータは本編の Table 4.1.1 に示してあるので参照されたい。

(2) 地震動により地盤に発生するひずみ

地震動により発生する地盤ひずみは応答変位法における基本的なものである。地盤ひずみが管路に伝達され、それらが継ぎ手に集中することで継ぎ手離脱が起こる。地盤ひずみは次式で与えられる。

$$\varepsilon_G = \frac{\pi U_h}{L}$$

ε_G : 地盤ひずみ

U_h : 地震動振幅

L : 等価的な地震波の波長

4.1.5 送水管の被害

(1) 送水管概要

送水管は延長 300km を超える。75%は鋼管であり、コンクリート管は延長としては短いが大口径の主要な管路に用いられている。詳しくは本編の Table 4.1.2 に示してある。中口径のダクタイル管が北部では用いられている。

(2) 前提条件

地震による強振動、断層横断と構造物接続部の被害を考慮した。解析においては発生する離脱量は正規分布を考慮している。

(3) 被害想定

パイプリンクの信頼性を指標として被害を考えた。上で述べた 3 つの被害モデルを考慮している。被害は断層横断部が多く、強地震動によるものはない。図 4.1.5 はノーステヘラン地震のリンク信頼性を示している。

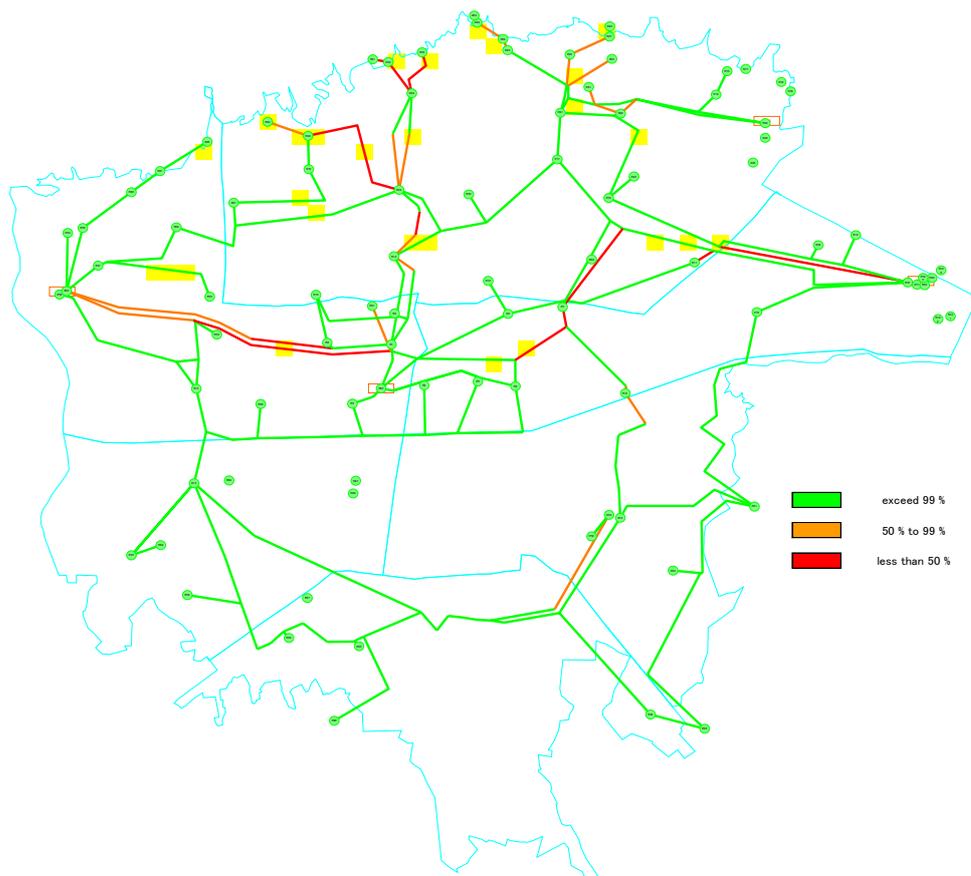


図 4.1.5 ノーステヘラン地震の管路リンク信頼性

4.1.6 配水本管の被害想定

(1) 配水本管概要

口径 300mm 以上を配水本管とみなした。その延長は約 750km である。本編 Table 4.1.4 に詳細が示されている。また本編 Figure 4.1.9 に各配水区域ごとの延長も示した。

(2) 前提条件

強振動、断層横断及び構造物との接続をここでも考慮した。解析手法は送水管と同様である。構造物との接続部は詳細データが不十分なため、1 km あたり 0.2 箇所と推定した値を用いた。

(3) 被害想定

被害箇所数と単位長さあたりの被害数の双方を考慮した。図 4.1.6 にノーステヘラン地震の結果を示す。シナリオ断層近傍での被害が多い。また、図 4.1.7 は単位長さ当たりの被害を表す。

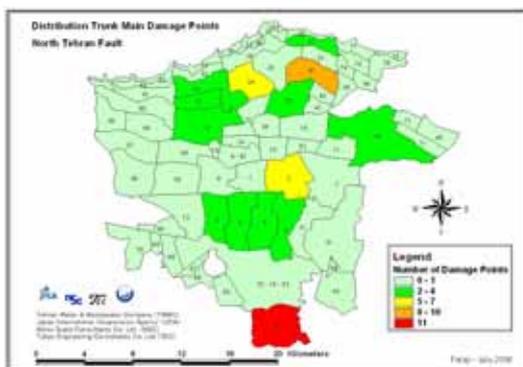


図 4.1.6 配水区域ごとの配水本管被害箇所（ノーステヘラン）

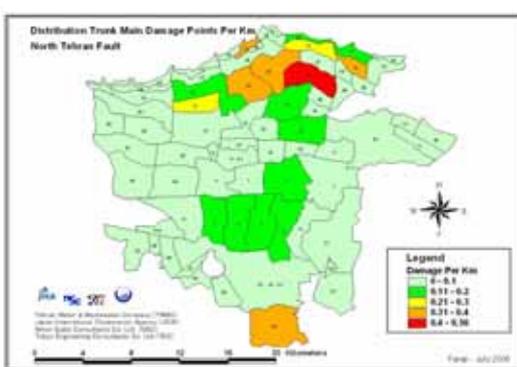


図 4.1.7 配水区域ごとの配水本管単位長さ当たりの被害箇所（ノーステヘラン）

4.1.7 配水小管の被害想定

(1) 配水小管概要

配水小管は口径 300mm 未満であり、延長は約 6500km である。配水区域ごとの延長など詳細は本編の Table 4.1.7 に示してある。

(2) 被害想定

日本水道協会による被害関数を用いた。さらに断層横断部は個別に検討を行った。各配水区域ごとの被害は本編の Table 4.1.8 にノーステヘランの結果が示してある。被害箇所数は約 700 箇所のうち 500 箇所が断層横断箇所である。図 4.1.9 に単位長さ当たりの被害を示す。

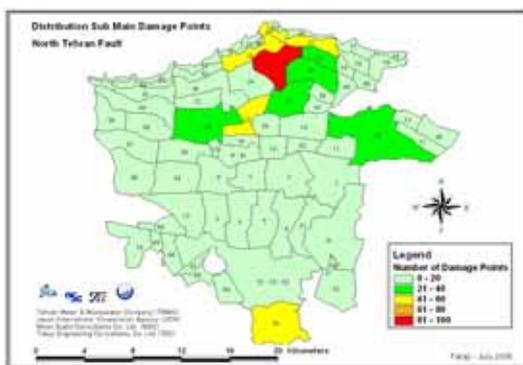


図 4.1.8 配水区域ごとの配水小管被害箇所（ノーステヘラン）

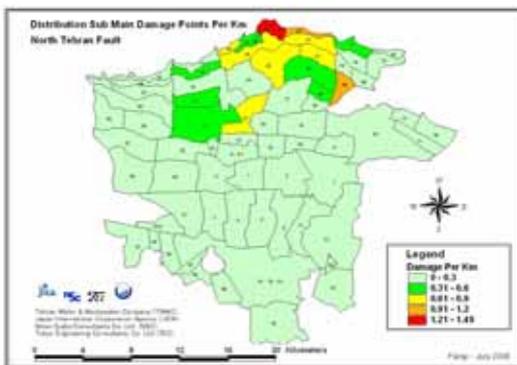


図 4.1.9 配水区域ごとの配水小管単位長さ当たりの被害箇所（ノーステヘラン）

4.1.8 給水接続管の被害

給水接続の被害としては、家屋被害を地震直後の被害指標として用いた。配水区画単位での被害を本編の Table 4.1.9 示す。一方、TWWC の給水管の被害は、量水器の前後で分類し、配水分岐～量水器までを考慮した。本編の Table 4.1.10 に給水管の被害を示した。給水管の被害は配水本管の 5 倍と想定した。

4.1.9 結語

(1) 導水管

導水管の検討は、データがほとんど入手できないため、いくつかの留意点を述べるに留める。ビラガンからテヘランまではそれぞれ 2 条のコンクリート管と鋼管があり、ノーステヘラン断層を横断している。したがってこれらの箇所では被害が想定される。東部においてはダムから浄水場まではトンネルであるが、やはり断層横断箇所がいくつかある。もっともこれらのトンネルは被害が想定されたとしても対策を採ることは難しいと思われる。

(2) 送水管

強振動による被害はほとんど無いと考えられ、断層横断箇所と構造物との接続部が主たる被害箇所と予想される。ノーステヘラン断層の影響がもっとも大きい。

(3) 配水本管

ノーステヘラン断層の影響がもっとも大きいことは送水管と同様であり、被害要因も断層横断部と構造物接続部が主である。

(4) 配水小管

統計データと断層横断箇所を考慮したが、箇所数では、強振動によるものよりも圧倒的に断層横断箇所の被害が多い。

4.2 構造物・設備の被害想定

構造物・設備の耐震診断は基礎診断と本格診断に分かれ、基礎診断においては主に目視調査による問題箇所の指摘、本格診断では診断表ならびに構造計算によって被害想定をおこなった。

4.2.1 目視調査

(1) 一般的事項

構造物・設備の耐震性は過去の被害経験によって評価することができる。被害例は、構造、非構造、機械・電気設備に分類される。以下は、一般的な構造物と設備において被害を受けやすい箇所であり目視調査の要点である。

- a) 渡り廊下や、配水池やポンプ棟などにおける流入・流出管のような異なる2つの構造物の接続箇所
- b) 異なる地盤上にある構造物
直接基礎と杭基礎にまたがる場合や、砂基礎にあるパイプと杭基礎上の構造物がこれに当たる。
- c) 液状化の可能性が高い地盤にあるパイプ
- d) 支持条件が異なる設備
 - 構造物につながるパイプや配線
 - ディーゼル機関と減速機のカップリング等
 - 主ポンプのカップリング（芯ずれ）
 - 沈殿池の傾斜板の脱落
- e) 機器の固定用アンカーボルト
- f) 建築二次部材
内装材，外装材，建具，カーテンウォール等
- g) 備品類
戸棚，薬品，工具

また、施設ごとの劣化の程度を目視により見極める。

(2) 地盤条件

構造物の目視調査をする際に、下記の配水池の増設、マンホールの築造、あるいはパイプの敷設工事において直立する掘削地盤面を観察し、テヘランでは地盤が非常に良いことを確認した。(写真 4.2.1 参照)

- －配水池 No.11（北東）： 流入管を掘り出した現場
- －配水池 No.21（北）： 汚水ピット掘削現場
- －配水池 No.16（南東）： マンホール築造現場
- －配水池 No.38（北西）： 地盤
- －配水池 No.51（西）： 配水池増設現場 Extension field of Reservoir
- －配水池 No.57（北西）： Extension field of Reservoir
- －配水池 No.58（北西）： Extension field of Reservoir
- －配水池 No.80（北西）： Foundation works of telemetry house



写真 4.2.1 配水池における地盤状況

なお、南部の沖積扇状地にある No.16 配水池の土質は粘性が強く地下水もなく、マンホールは、掘削背面を型枠として内型枠だけで築造していた状況から、液状化の可能性は少ないと判断した。これは前出 3.3.2(1)で示した条件の検証となる。構造物基礎は問題ないので、周辺の風化した崖やスロープに留意し、将来、斜面の安定工法を検討することを提案した。

(3) 構造物

a) 井戸

日本において井戸は地震時応急給水として非常に重要な役割を果たしている。一般的に、言われているのは、井戸は地震に強いということであり、これは井戸桁が非常に小さいため荷重が小さく、よって地震時水平力が小さいことに由来する。状況はイランでも同じであると考えられる。

b) 浄水場

一般的に良質地盤上の水槽や階層の低い建屋の主構造の耐震性は高い。この考えを適用するとテヘランの地盤は非常に良いので地盤支持力も十分にあり耐震性が高い。調査を通じて他の問題点が明らかになり、以下にその実態と対応を述べる。

No.1 浄水場： 発電機室は、一見して柱梁の荷重の負荷が大きい。よって構造計算をおこない耐震壁の配置が必要である。

No.2 浄水場： 機械棟や Pulsator（凝集沈殿池）で収縮クラックが見られた。テヘランは乾燥しており腐食速度が遅いため、腐食によるクラックではなく、気温の季節変動による収縮クラックであると考えられた。これは補修や仕上げで対応できる。

No.3 浄水場： 水槽や建屋の状態は非常に良く、地盤も良いため耐震性は高い。しかし Pulsator

の管廊でクラックが見受けられたので補修が必要である。

No.4 浄水場： 水槽や建屋の状態は非常に良く、地盤も良いため耐震性は高いが、砂ろ過で漏水があり補修が必要である。構造部材の信頼性とは直接的に関係ないものであるが、薬品棟と薬液注入棟間の渡り廊下の端部で地震時にねじり応力が発生するので対応が必要である。

No.5 浄水場： 耐震設計が適応された施設なので主構造の耐震性は高いが、断層上に位置することの考慮がなかった。薬品注入棟における埋戻し土の沈下が、階段の亀裂や小さな範囲の土間陥没等に見受けられたが、これらが薬品注入棟の柱梁に影響を与えている形跡がないため、大きな問題にはならないと判断した。ただし擁壁への影響が懸念されるため、沈下が収束する将来、検討が必要となる。この浄水場はカーテンウォールや大理石等の新しい建材を用いているためそれら非構造部材の落下による人身事故が懸念される。よってその対応が求められる。

c) ポンプ棟

50 年前の古いポンプ場であっても全体的にコンクリートの状態は非常に良好である。当初のイギリス人による設計よりもその後のイラン人による設計の部材が厚いと観察された。本格診断ではこの点を考慮した。

d) 配水池

トップスラブのある構造は地震力がスラブによって全体の壁に伝達されるので耐震性は高い。むしろ、閉鎖された内部の腐食が問題となる。多くのタンクの内部を観察したが、内部の状況は換気の良し悪しに左右されることが明確になった。そして、換気の悪い No.6 と No.66 の配水池の腐食が顕著だった。

(4) 機械・電気設備

目視調査では以下の項目を観察し、危険な状況あるいは改善点を明らかにした。

ポンプ： ほとんどのポンプは固定状況が良好である。

サージタンク： No.2, 22, 96 のポンプ場を除いて固定は良好である。

塩素注入設備： 多くの塩素ポンベは不安定であり、中和設備もない。これらの設置、あるいは、可能ならば次亜塩の採用が望ましい。

連絡配管： 緊急遮断弁等の池内水流出防止機構が設置されていない。

電気盤： 3つのタイプの電気盤が設置されているが、そのひとつの 400V 用は基礎ボルトでしっかり固定されていない。変圧器:変圧器が載るすべての台車がボルトで固定されていない。

バッテリー： Reservoir No.1 の配水池を除き固定されていない。

UPS (Uninterruptible Power Supply)： すべての UPS はストッパーあるいはボルトで固定されていない。

薬注パイプ： 浄水場 No.5 のみ、構造のエキスパンションジョイントの付近で可とう管が設置されている。

配線： ほとんどの施設で配線にあそびがない。

オイルタンク： オイルの漏れによる二次災害を防止する防液堤がない。

電柱： No.22 配水池の電柱が傾いている。

その他： 大きなオイルタンクや設備がレンガ壁に固定されており、壁自体の補強が必要である。

4.2.2 被害予想

(1) 診断方法

対象施設が非常に多く、それらの設置状況も複雑であるため、連続する3つの段階を通じてリスクマネジメントの手法により検討を行った。リスクは① リスク要因分析により定義され、② リスク評価により被害を予想する。次の章で検討することになる③ リスクコントロールで対策を検討しリスクマネジメントは完了する。

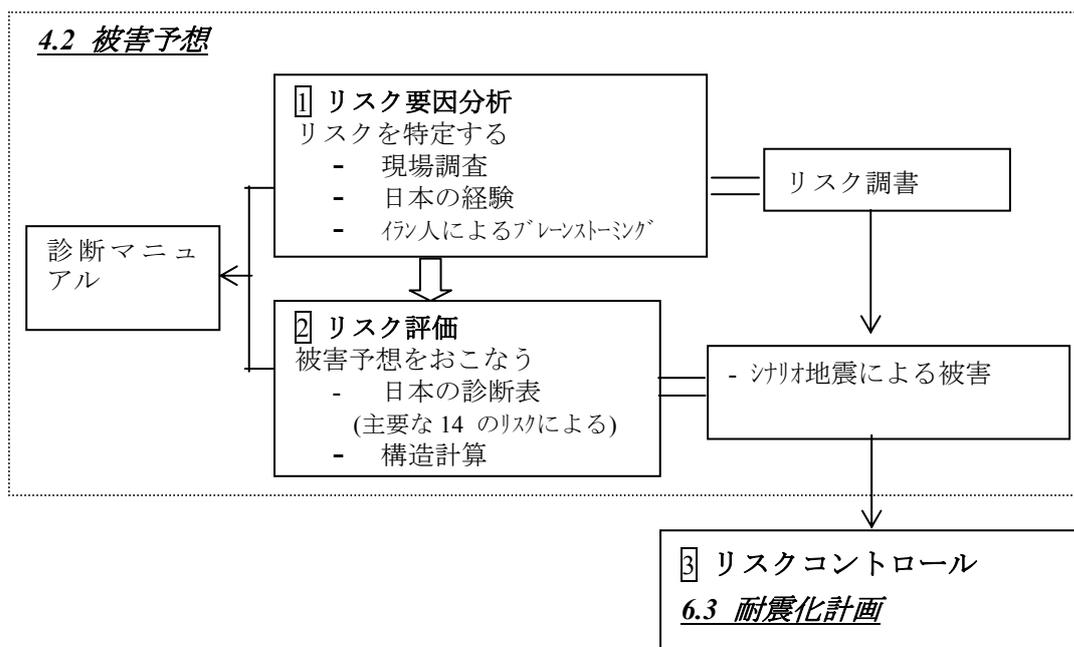


図 4.2.1 被害予想と関連する作業の流れ

(2) リスク要因分析

耐震化対策の根拠となるリスク要因を、日本の経験に加え、イラン人の地震に対する感覚をブレインストーミングで抽出し・設定した。

(3) リスク評価 (被害予想)

主要14のリスク要因を評価する日本の簡易診断表を用い、これにイランの事情を加味して被害予想をおこなった。

簡易診断表による被害予想は最も客観性のある方法である。これは日本の地震被害統計を基に作成されたものであり、14のリスク要因(地盤、液状化、施工地盤、位置、材質、方向別壁面積/池面積、総深度、型式、土盛り、建設年代、可撓管、伸縮目地、老朽度、震度階)を評価し重み係数(脆弱性ポイント)を合計して耐震性を評価するものである。修正簡易診断表を本編の Table 4.2.13 に示した。

(4) 被害予想結果

被害予想をおこなう上で以下のような条件あるいは留意事項があり、これを基に作業を進めた。

- 簡易診断表は現地調査が基本であり調査ができなかった施設は評価できない。配水池は67箇所を評価した。
- 構造計算の知見を反映させた。
- 被害予想は4つのシナリオ地震について行なった。
- 断層上の施設は北部に集中し有害な断層のずれは Northern Tehran fault のケースで発生する。
- Code2800^{注1)}を条件とした簡易診断結果は、具体的な被害ではなく保有する耐震性能を表しており、被害予想マップとしては作成しない。耐震性能図として Section 6.3 で提案する。
- すでに耐震設計された施設についても簡易診断表を作成したが耐震性が中位と評価されるケースがあった。これは診断表に注意書きを入れ修正した。
- No.23 配水池は構造計算で耐震性が高いことを確認したが簡易診断表では中位となったので診断表を修正した。
- 劣化が進んでいる No.6 配水池の検討に伴い竣工図を入手し構造計算をおこなったが、外壁で通常では考えられないほど鉄筋が少ないため耐震性が中位と診断された。これと同じ時期に建設された No.1 から No.5 も同様に鉄筋が少ないと考えられるが、配筋図がないため断定はできなかった。ここでは No.6 と同等の評価とした。

もともと、被害が大きいと考えられる、ノーステヘランのケースについて、被害予想図を示す。

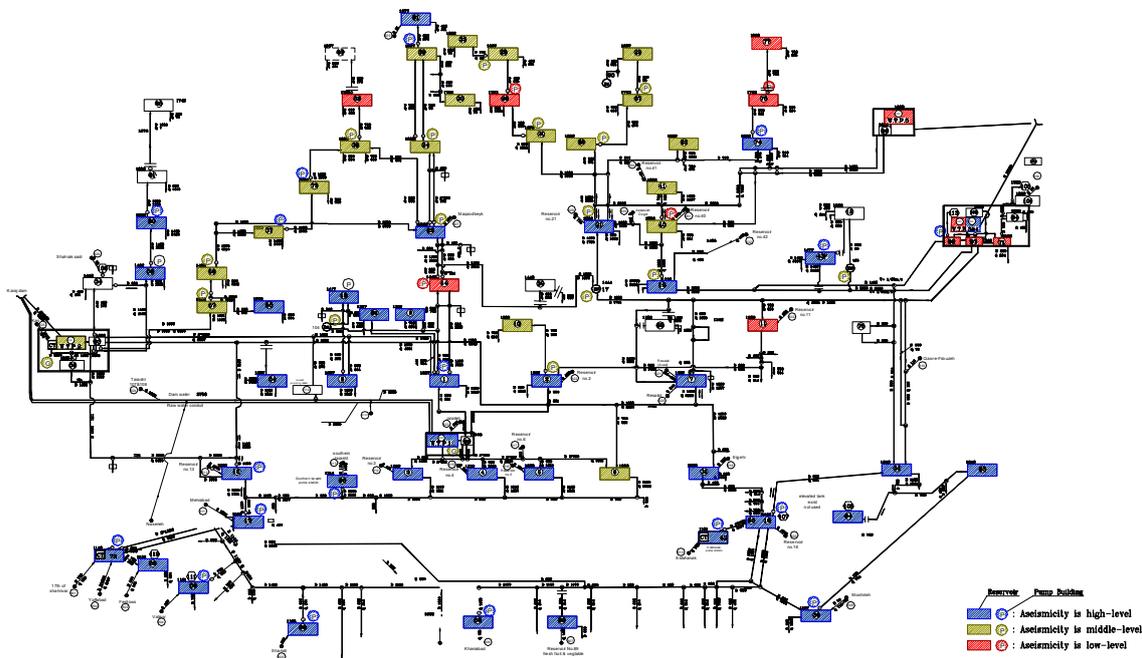


図 4-2-2 被害予想図(North Tehran Fault)

注 1)Code2800 ; Iranian Building Codes and Standrads, 2nd Eddition-1999, BHRC Publication No.S374, 2003

4.3 送水管網の水理解析

テヘラン市水道の給水区域は標高+1,800~1,100m と高低差が大きいため、基本的に配水池を水源とする多くの配水ゾーンに区分されている。現状では5つの浄水場から72基の配水池等へと複雑な送水管網を經由して送水されている。ここでは、水理解析により送水の流れを再現し、送水管路における地震災害時の問題の把握及びその解決方法について検討する。また、その後、配水池より配水管網を通して市民に給水されているが、高低差の大きい配水ゾーンや平坦で面積の大きい配水ゾーンがあり、配水管網は一様な構成でない。代表的な2、3の配水ゾーンを抽出し、これらの給水状況の改善に向けての概略検討を行った。

4.3.1 送水管網水理解析の条件設定

(1) 管網モデル

送水管網の水理モデルは、Nodes, Pipes, Tanks, Pumps および Valves により構成され、2005年7月現在のモデル図を図4.3.1に示すよう作成した。これらの構成要素である既設井戸、井戸ポンプ、送水ポンプ、配水池の容量・仕様については、第2章の施設現況に示すとおりである。

(2) 送水量

送水量としては2005年の1日最大配水量3,172,996m³/日を採用した。水源別の生産水量を表4.3.1に示す。

表 4.3.1 各ケースの水理解析用の送水量

(単位：m³/日)

	Supply	Production	Ajusted	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
WTP-1		232,600	232,600	0	232,600	232,600	232,600
WTP-2		769,000	787,026	787,026	0	787,026	787,026
WTP-3		391,200	401,200	401,200	401,200	0	401,200
WTP-4		387,700	397,700	397,700	397,700	0	397,700
WTP-5		279,900	279,900	279,900	279,900	279,900	0
Subtotal		2,060,400	2,098,426	1,865,826	1,311,400	1,299,526	1,818,526
Ratio(%)		98.2	100	88.9	62.5	61.9	86.7
地下水		1,074,570	1,074,570	1,074,570	1,074,570	1,074,570	1,074,570
Total	3,172,996	3,134,970	3,172,996	2,940,396	2,385,970	2,374,096	2,893,096

4.3.2 水理解析の実用性の検証

(1) 検証

上記の条件を基に Water CAD により水理解析を実施した。解析の結果は、

- －計算値は一部の配水池流入量の実測値 (No.27 配水池) に近い値である
- －計算では全ての配水池に所定の水量を流すことができ、実際の運転を再現している
- －第3浄水場から No.19 および No.51 配水池への送水管の流速が大きいが、これは管理担当者の意見と同様である
- －その他の送水管の流速は通常範囲である

等より考え、水理計算結果は、実施の送水の流れを再現していると思われ、設定した水理モデルの実用性が確認された。

(2) 解析結果の概要

解析結果からは、概して、ポンプ送水については能力に余裕があり、自然流下系については余裕の少ないことが把握された。個別の管路では第3・4浄水場からの送水管がどれも能力一杯に近づいており、一方、第5浄水場から市の中心部や南部への送水管が設計水量に対しては不足していると思われる。

ただし、このモデルは2005年7月時点のモデルであり、第5浄水場の生産水量が設計能力の1/3と少ない。その後、新たな配水池の運転開始や管路の切り回しにより、一部の流れが変更されたという情報がある。今後、施設の変更に従い管網モデルを修正して使用することが必要である。

4.3.3 地震災害時の計算

地震災害時の水理解析に際しては、施設及び管路の被害予測を基に解析ケースを選定した。基本的に断層上にある、あるいは、断層を横断する施設が最も被害を受けやすいことを考慮して選定した。

(1) 解析ケースと施設操作レベル

前節の被害予測によれば被害箇所はもっと多いが、地震災害時解析ケースとして代表的と思われる次のケースを選定した。

- ① それぞれの浄水場が運転停止した場合（4ケース：表 4.3.1 参照）
- ② 送水管路が破損した場合（3ケース：大口径のコンクリート管）
- ③ ポンプ場が運転停止した場合（1ケース：No.14 ポンプ場）

(2) 計算結果のまとめ

表 4.3.2 地震災害時において、バルブやポンプを最大限に制御した場合および現実的と思われる程度に制御した場合のそれぞれ8ケースについての水理計算結果を示す。

(3) 送水管網の評価

計算の結果によれば、Case2（第2浄水場の停止）およびCase3（第3&4浄水場の停止）が最も大きな被害を与える。第2浄水場系では2,000mmコンクリート導水管路が破損しやすく、この場合には他の浄水場からのカバーも不十分となり、広い範囲での被害が想定される。また、第2浄水場からの1,850mmのコンクリートの送水管路も下流の1,350mm(Case6)の管路を含めて補強が必要と思われる。

第3・4浄水場についても広い範囲で流入水不足となる配水池が出現する。4.3.2 (2) に示したように第5浄水場からの送水管路の敷設が望まれる。これにより流入水不足の配水池は第5から自然流下による送水が出来るようになるだろう。また、第5浄水場については、現時点では問題ないが、将来、給水区域が高台に広がることになり、将来の第6浄水場からの連絡管を設ける等の対応が必要となるだろう。送水管路、ポンプ場については、ケース以外にも被害が予測されており補強や連絡管等により耐震化が望まれる。

表 4.3.2 水理計算結果

解析ケース	被害最小化のケース	実用化案のケース
浄水場停止時 1) ケース 1	第 1 浄水場が停止しても、第 2 および第 3・4 浄水場の浄水が余裕のある送水管路を通して第 1 浄水場の給水区域に送水可能であり、ほとんど影響はない。	操作数が少なくなった分、多少流入しにくい配水池が数基出現した。
2) ケース 2	第 2 浄水場は第 1 浄水場より標高が高く、生産水量が大きいため、その停止を他の浄水場でカバーすることができない。水理計算では数箇所の配水池に水が届かなくなり、流入水不足となる配水池も出現するとの結果を得た。(図 4.3.3 参照)	計算上水の届かなくなる配水池は数箇所だが、広い範囲の 10 箇所以上の配水池が流入水不足となる。第 2 浄水場への原水または上水の補給が望まれる。
3) ケース 3	第 3・4 浄水場も規模が大きく、浄水機能が停止した場合、近傍の数箇所の配水池に水が届かなくなる。浄水場近傍以外の数配水池では他浄水場からの水融通が可能となる。	浄水場近傍の数配水池以外に、水の届きにくい配水池が広い範囲で数多く出現する。第 3・4 浄水場のどちらかが被災しないようにするか、他からの水の補充が必要と思われる。
4) ケース 4	第 5 浄水場が運転を開始するまでは第 3・4 浄水場によりカバーされた区域が多く、第 5 の停止は大きな影響をもたらさない。	多少流入量の減る配水池が数池出現した。
送水管被災時 1) ケース 5	第 2 浄水場からの 2 条の 1,850mm の送水管が破損した場合、直結する配水池数池に送水できなくなる。この他、水の届きにくくなる配水池が数箇所出現する。	直結する 2 配水池に水が届かないだけでなく、送水しにくい配水池が広範囲に出現した。この管路は重要で、被災しないよう補強が必要である。
2) ケース 6	この 1,350mm の RC 管は上記 1,850mm の下流にあるため、被害は下流側に限られる。しかし、数基の配水池で流入不足となる。	下流なので簡単な操作でも流入しにくい配水池は数基にとどまる。
3) ケース 7	ケース 5 と 6 を総合した厳しいケースであるが、送水管の能力に差があるため、ケース 5 とほぼ同様な影響となる。	上記 1) と同様、被害が広がるので、耐震化が必要と思われる。
ポンプ場停止 ケース 8	No.14 ポンプ場が停止したケースであるが、No.3・4 浄水場から No.21 ポンプ場を経由しての送水が可能となり影響は小さくできる。	左のケースよりは増えるが、簡単な操作でも流入しにくい配水池は数基にとどまる。

4.3.4 配水管網の概略検討

配水管網については、No.27、No.15～63、No.12 の 3 ゾーンを抽出した。これらの給水状況を水理解析により検討し、改善への方向付けを行った。本編を参照されたい。

Tehran Water Supply Transmission Network Basic Flow Diagram

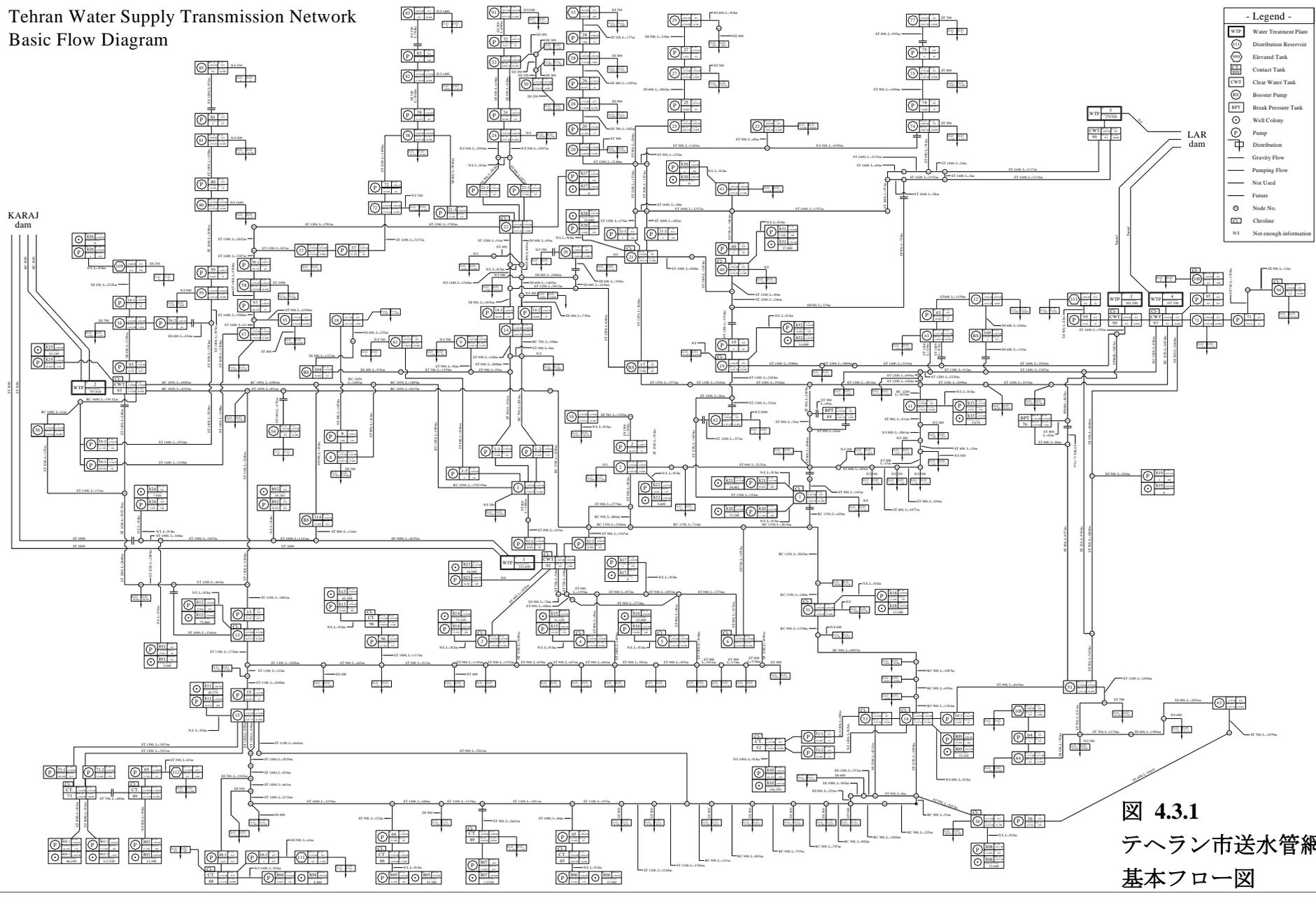


図 4.3.1
テヘラン市送水管網
基本フロー図

第5章 耐震化のための目標設定

5.1 耐震化の定義

耐震化計画とは、(1)地震に強くするために施設を補強する、あるいは、被害の最小化のためバックアップすること、および、(2)被災した際の応急対策、即ち、応急給水の充実と復旧の迅速化を総合的に行うことである。図 5.1.1 にこれらの関連を示すが、

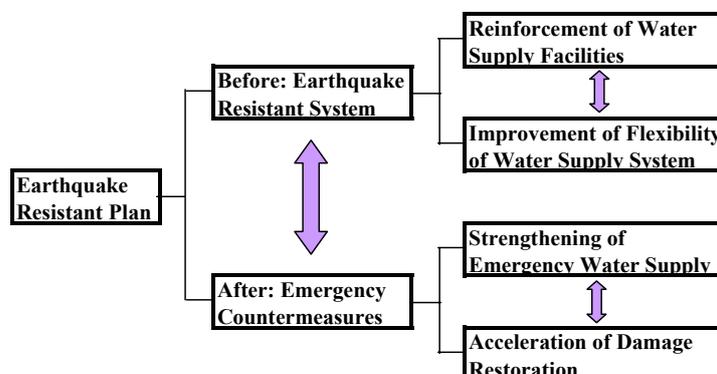


図 5.1.1 耐震化計画の概念図

耐震化を完全にするためには、膨大な予算と実施期間が必要

になり、実現が容易でない。一方、耐震化を全く行わない場合には、被害が大きくなるため、応急対策に必要な予算、人的資源、復旧期間が非常に大きくなってしまふ。それぞれがトレードオフの関係にある。

上記のそれぞれに着目しながら、水道施設の被害予測結果や地震対策の事例等から適切な耐震計画の目標を設定する。

5.2 目標設定の基本方針

耐震化計画のための目標設定に関連する項目としては、(1)水道システムの被害予測結果が、最も重要であるが、その他にも(2)テヘラン市水道の特性、(3)過去の地震被害の教訓、(4)日本における目標設定の事例／経験等が考えられる。これらの4つの要件をもとに、テヘラン市水道の根本的な特性を抽出し、これに見合う耐震化となるような基本方針を立てた。

最大の特徴は、給水区域の高低差が大きいため配水ゾーンが発達し、この中心施設として多くの配水池が設けられていることである。浄水場から配水池への送水施設も発達し、複雑な送水管網を形成している。このため浄水場の水を異なった系統の配水池に送水することが可能となっているところが多い。一方、浄水場等の上流施設は既に4系統に分散化された上、地下水源が豊富であることより、1系統の被災を他系統でカバーすることが可能となっていると考えられる。

災害時にも浄水場で処理された水を配水池まで送水し、常に配水池の水を確保することが最も重要であると考え、そのために必要な送水管を耐震化し強固にすることを基本方針とした。

取水～浄水までの施設は、連絡管や水融通によりシステム全体として被害影響を小さくすることを考えた。また、配水管路については、基本的には地震後の応急対策で対応することとし、図 5.2.1 に示す基本方針を採用した。

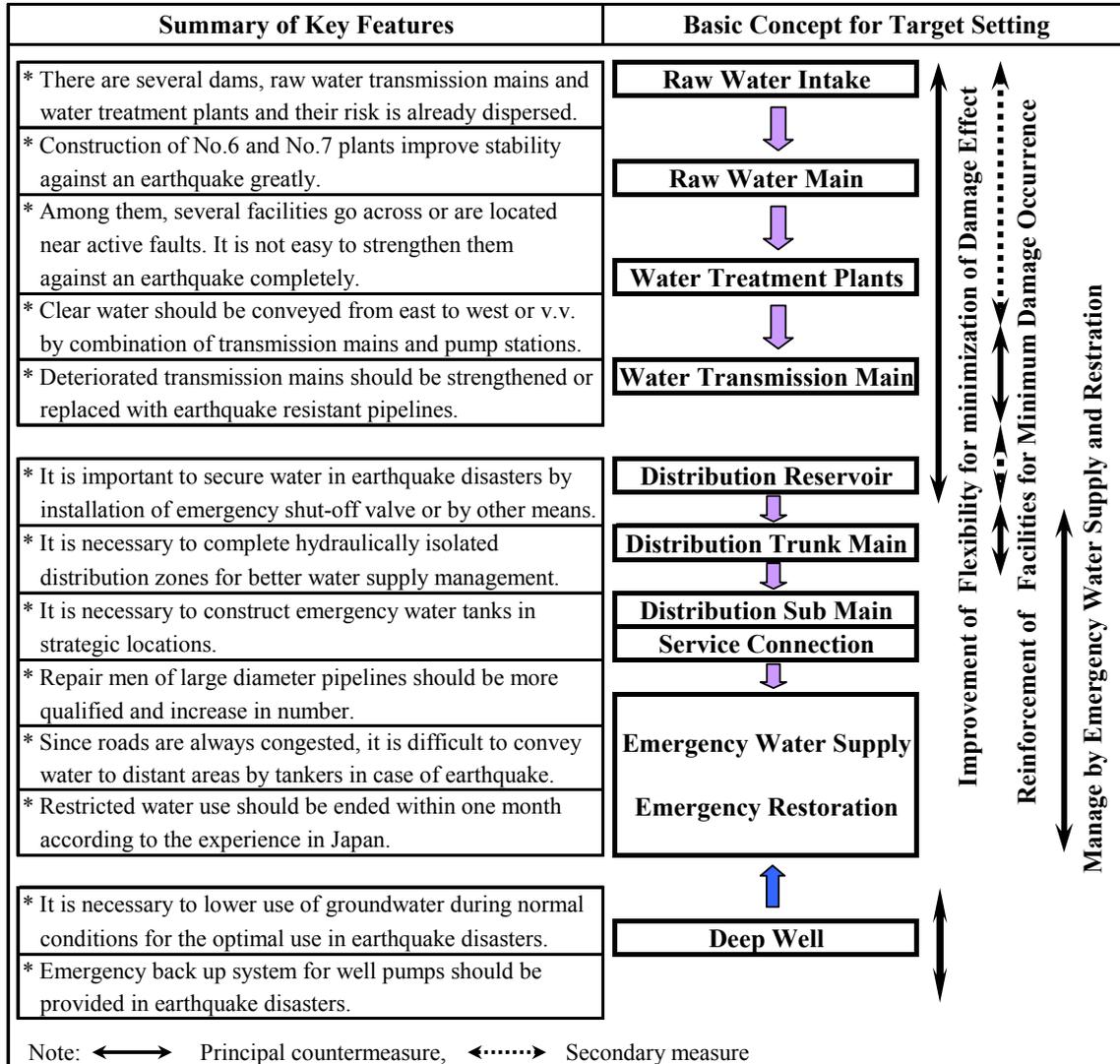


図 5.2.1 目標設定の基本方針

5.3 目標の設定

前節の基本方針を基に耐震化の目標を設定するが、目標としては、(1) 施設の耐震化および(2) 応急対策の2面に分けて設定した。

5.3.1 施設耐震化

基本方針に示したとおり、上流施設はシステム全体として被害影響の緩和／最小化を図ることとし、送水管と一部の配水幹線の補強・強化を目標とした。応急給水を速やかに行うため給水拠点の整備も施設耐震化に含めた。

表 5.3.1 施設の耐震化目標

Category of Aseismicity	Principal Measures	Object Facilities
Minimization of Damage Occurrence	Reinforcement of Each Facility	Transmission Main Important Distribution Main
Minimization of Damage Effect	Improvement of System Flexibility	Raw Water Main Water Treatment Plant Distribution Reservoir
Preparedness for Emergency (Before Earthquake)	Securing emergency Water	Securing Reservoir Water Preparation of Emergency Water Supply Bases
Emergency Countermeasure (After Earthquake)	Emergency Supply and Restoration	Distribution Network Service Connection

5.3.2 応急対策

応急給水および応急復旧の目標としては、主に日本の経験を基礎として表 5.3.2 および 5.3.3 のとおりに設定した。主要項目としては、30 日以内の復旧作業と初期の水確保距離として 1 km を設定した。

表 5.3.2 応急給水の目標値

Days after earthquake	Supply amount	Water use purposes	Access to water	Supply measures
Day	Lpcd		Meter	
Up to 3day	3	- Drinking: keeping human life	1,000	- Water Tank - Water Tanker
4d to 2week	20	- Drinking, - Toilet - Face washing: minimum daily life	250	- Water Tank - Temporary taps connected to distribution mains
2w to 3week	100	- Drinking - Toilet, - Bathing - Cooking	100	-Temporary taps connected to distribution sub-mains
Approximately 4 week	200 – 250	-Normal daily life	10	-House connections from temporary service pipes - Public taps

表 5.3.3 応急復旧の目標値

Category	Number of Damage	Target Period
Trunk Main	70	0.5 Month
Sub-main	700	1.0 Month
Service Connection	3,850	

第6章 耐震化方策の抽出と検討

6.1 個別の耐震化手段の抽出

被害想定の結果、既往の報告書、現地調査、C/Pとの協議等より、考える個々の耐震化手段を全て抽出する。

手段は、図 6.1 に示すように、地震発生前に実施すべき耐震化と被害発生後に行う緊急対応に区分して抽出する。さらに、前者は被害の最小化と影響の最小化に、後者は復旧の迅速化、応急給水の充実に区分して検討する。

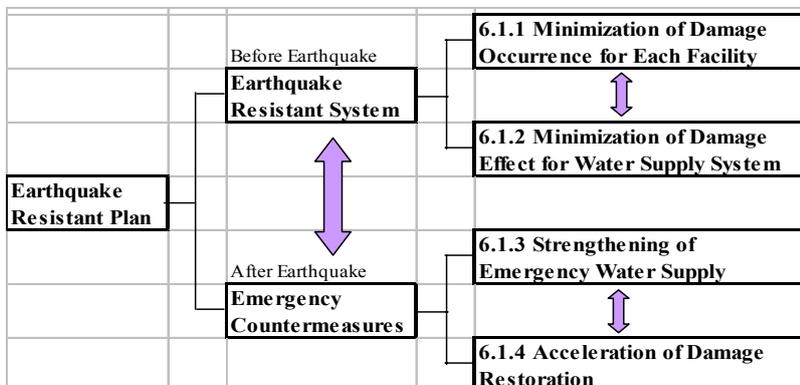


図 6.1.1 耐震化の概要

これらの4分類の手段の内、施設や管路の補強という施設整備に属するものは、6.2～6.3節に、応急対策については緊急給水拠点のような施設整備については6.4節に、第7章においては応急給水及び復旧計画について検討した。

6.2 パイプラインの地震対策の検討

パイプラインの信頼性向上はパイプ自体の強度増加とシステムの冗長性向上によって達成される。前者はより信頼性の高い材質に交換することであり、後者は送配水ネットワーク構築になる。

6.2.1 パイプ材料と地震

(1) 鋼管

鋼管は強度と靱性にすぐれており、溶接された鋼管の継手は本体と同等の強度を持つ。耐震性に関し溶接鋼管は理想的であり、特に突き合わせ溶接された継ぎ手を持つものは強度が優れている。

(2) ダクタイル鋳鉄管

ダクタイル管も大きな強度を持つが、継ぎ手が弱点である。一般的な継ぎ手では簡単に離脱してしまい、地震に対して抵抗があるとはいえない。そこで離脱防止継ぎ手を用いることでこの弱点を補うことができる。

(3) コンクリート管

コンクリート管が上水に用いられることは多くはない。本管、継ぎ手ともに耐震性に優れているとはいえない。

(4) 鋳鉄管

鋳鉄管も本管、継ぎ手ともに耐震性は低い。近年では用いられることは少なくなっているが、

過去に敷設されたものはまだ多く残っている。

(5) ポリエチレン管

ガス分野では多く使われている。融着継ぎ手のものは強度も高く耐震性に優れている。水道管に用いる場合には、高性能管(HPPE/PE100)を用いる。

継ぎ手の信頼性の高い管を用いることで、他の特別な対策を講じなくとも耐震性の高い管路の構築が可能である。大口径には溶接鋼管を、中口径には離脱防止対策を施したダクタイル管を、小口径には融着継ぎ手のポリエチレン管が適している。

6.2.2 パイプラインへの地震の影響と耐震対策

(1) 被害を受ける箇所

被害が想定される箇所は次のような場所である。

- － 断層横断箇所
- － 構造物との接続部
- － 一般埋設箇所

実際はこれらの要因が複合する。テヘランでは断層横断箇所がもっとも危険性が高い。一方で小口径管では接続状況などが絡んで地盤ひずみが集中する箇所での被害も考えられる。ノーステヘラン断層は $\pm 75\text{cm}$ のずれを生じる。そのほかにも二次断層があり、活断層の動きによって何らかのずれが発生する可能性があるが、そのずれ量は小さい。被害については本報告 4.1 節に示した。以下に対策について述べる。(図 6.2.1～6.2.6 参照)

(2) 鞘管やコンクリートカルバートの利用

断層のずれはこれらの構造物によって吸収される。本管は構造物中に設置され急激な変形から保護される。一方大きなずれに対して構造が安全であるように設計することは不経済になる可能性がある。

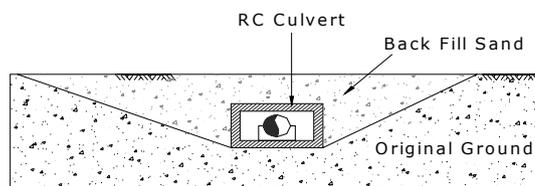


図 6.2.1 鞘管やカルバート

(3) コンクリートによる本管の保護

上記のカルバートなどの代わりに直接コンクリートを管に巻き、曲げ剛性を高める構造である。

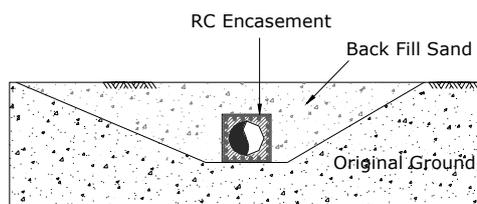


図 6.2.2 コンクリート巻き立て

(4) 断層部への伸縮継ぎ手の利用

軸方向、軸直角方向のずれを伸縮継ぎ手で吸収する。しかし伸縮継ぎ手にも許容量があるため追加対策が必要な場合がある。硬い土の中では周辺の土を変えるなど対策が要求される。

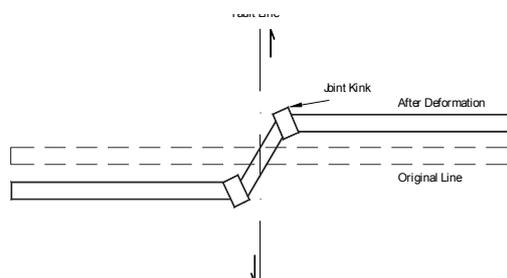


図 6.2.3 断層部の伸縮継ぎ手

(5) 犠牲となる構造物による対策

完全な対策を採ることが難しい場合や経済的でない場合には、管路を保護する構造物に被害が出たとしても、管路自体には被害が無いような対策を採ることができる。下に示すように、カルバートが壊れたとしても内部のパイプは十分な空間が確保されていることで水道管路としての機能を果たすことができる。

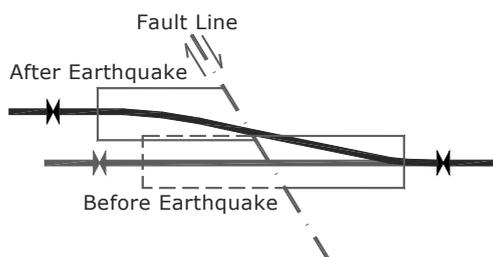


図 6.2.4 カルバートの破損

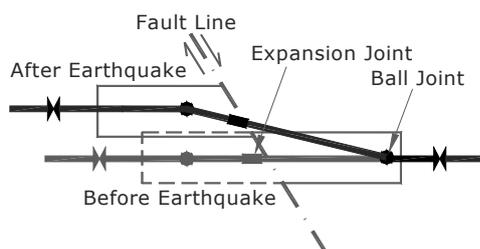


図 6.2.5 カルバートと伸縮継ぎ手

(6) バイパス管路による対策

既存の管路に平行してバイパスラインを設置し、本管に被害が出てもバイパスによって機能を確保する。バイパスラインも被害を受けた場合には仮設管によって送水をおこなう。

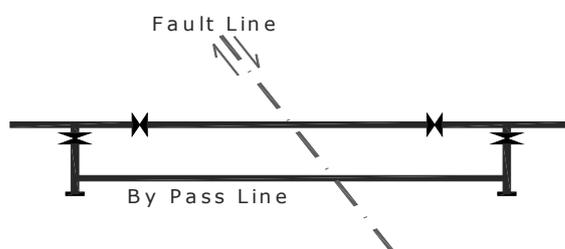


図 6.2.6 バイパス配管

(7) 構造物との接続部

構造物との接続部においては相対変位が発生する可能性がある。ただその大きさは断層のずれに比べれば小さい。断層横断部と同様の対策をとることができるが、離脱対策を施した管路の場合にはそれのみで抵抗することも可能である。

(8) 地震動に対する対策

軟弱な地盤では表層地盤での増幅が大きく、地盤ひずみが大きくなることで管体にもひずみが発生する。テヘランでは地盤が固いため特別な対策を施さなくても、大きな被害は発生しないと考えられる。ただ更新計画においては離脱防止継ぎ手を用いることはより信頼性を高めるためには適切であると考えられる。

(9) 対策に対するまとめ

いくつかの対策が考えられるが、断層横断部のずれが大きいことなどを考慮すると完全に被害を食い止めることは経済的でないと考えられる。したがって犠牲構造物のような考え方やバイパスや仮設接続管といった対応によって機能を満たすことも現実的と考えられる。

6.2.3 導水管の地震対策

活断層横断箇所での被害が予想される。ただノーステヘランのような大きなずれに対する対策は困難である。バイパスラインを設置することや仮設配管での対策が現実的であると考えられる。とくにコンクリート管では具体的な強化対策は困難である。

6.2.4 送水管の地震対策

(1) 概略

延長は約 400 km であり、浄水場と配水池を接続する重要な施設である。多くの断層横断箇所がある。3 箇所活断層横断と 40 箇所程度の二次断層横断箇所がある。それらの多くは市北部に位置している。

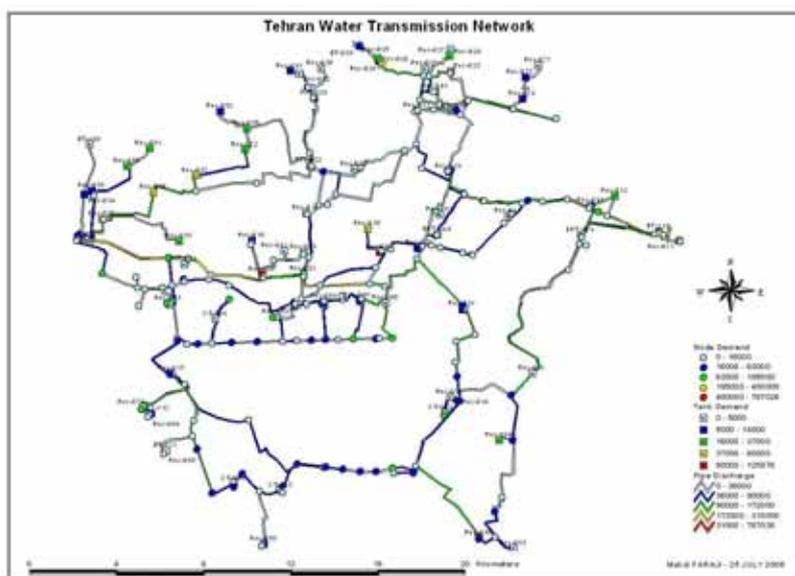


図 6.2.7 送水管概略

(2) 強化対策

活断層横断部では鞘管やカルバート内に本管を敷設することが有効である。これらの管路は小口径であり、現実的といえる。これらの管路には離脱防止を施した材料を用いる。カルバート内部は空間を確保しカルバートが破損した場合においても本管の機能を確保する。口径1850mmのコンクリート管が二次断層を横断しているが、これは導水管と同様にバイパスや仮設配管による対応による機能が現実的といえる。

(3) 分析結果

本報告書の Figure 6.2.15 にノーステヘラン地震後の現状における送水管のみによる影響を示した。北部において水の供給が阻害されている。これは多くの活断層横断部があることによる。本報告書の Figure 6.2.16 にノースレイ断層による影響を示したが、同様の結果が得られた。断層横断箇所が多い配水区画での影響は大きい。

6.2.5 配水本管の地震対策

(1) 概要

延長は770kmであり、ダクティル管の延長はそのうちの約500kmである。300mm以上の管路を配水本管とみなしている。約95箇所の断層横断部があるが多くは二次断層横断部である。

(2) 地震対策

送水管と同様の対策が考えられる。ただし配水管はネットワークを構成しているため、被害箇所数が少なければ影響は比較的小さくなる。つまりシステムの冗長性を有している。具体的対策としてはカルバート内の敷設といったことが考えられるが、更新計画に沿う場合には、離脱対策を施した溶接鋼管や離脱防止継ぎ手を持つダクティル管の使用によって信頼性を向上させることができると考えられる。

(3) 分析結果

解析方法の詳細については本文を参照されたい。本報告書の Figure 6.2.20 にはノーステヘラン地震の場合の現状での各配水区域ごとの断水割合を示した。それほど大きな断水ではないことがわかったが、これは管路が冗長性をもっていることと、それほど多くの破損箇所が無いことによる。

6.2.6 配水小管の地震対策

(1) 概要

250mm以下の口径のパイプが配水小管であり、延長は約6500kmである。このため耐震対策としての目的で、具体的な対策を採っていくことは困難である。

(2) 地震対策

更新計画に沿って地震に強いパイプを用いていくことが現実的といえる。すなわち離脱防止継ぎ手を持ったダクティル管と融着継ぎ手によるポリエチレン管の使用である。これらを更新計画に沿って用いることが現実的といえる。

(3) 分析結果

配水本管と似た解析を行い、配水区域ごとの影響を調べた。本報告書の Figure 6.2.24 にノーステヘランの結果を示した。700箇所程度の被害が想定されるがそのうち500箇所が断層横

断部である。

6.2.7 管路システムを組み合わせた被害の影響

以下の解析では、データが十分に得られていないため導水管は被害が無いと仮定している。

1) 現状

本報告書の Figure 6.2.30 にノーステヘラン地震の現状を示した。水供給が停止する箇所が多く予想される。これらは送水管の被害による。

2) 対策後

この段階での想定は次のとおりである。実際的な対策を実施後と考えられる。

- 送水管はコンクリート管が無く信頼性の高い状態
- 配水本管は断層対策と鋳鉄管を更新
- 配水小管は 200mm 未満の鋳鉄、アスベスト、PCV 更新済み

現状に比べて信頼性は向上するが、配水小管が現状に近いいため全体としては大きな向上とはならない。

3) 将来

最終段階での想定は次のとおりである。

- 送水管はコンクリート管が無く信頼性は高い状態（前段階と同じ）
- 配水本管は更新済み
- 配水小管も更新済み

したがって配水管ではほとんど被害が発生しない状態に近いと考えられる。

本報告書の Figure 6.2.32 に将来の予測を示した。給水停止箇所の大幅な改善が見込まれることが分かる。

6.2.8 結語

管体自体とシステムとしての信頼性を上げることが耐震化にとって必要である。管体の強化は主として継ぎ手の強化によって達成される。鋼管では溶接継ぎ手、ダクティル管では離脱防止継ぎ手そしてポリエチレン管で融着継ぎ手がこのような条件を満たす。

多くの被害は断層横断部に発生する。大きなずれを生じる箇所では、継ぎ手の強化だけでは不十分であり、特別な対策が必要となる。構造物によって内部の管路を保護することがカルバートや鞘管の使用によって可能になる。一方非常に大きなずれではそのような対策でも不十分であり、経済性を考慮するとバイパスラインや仮設配管といった被害を受けた後の対応による対策が考えられる。

送水管はもっとも重要な管路のひとつであり、十分な対策が必要である。一方で配水管ではネットワークを構成していることもあり、システムとしての信頼性はある程度確保できているといえる。したがってこれらの管路に対しては更新計画に沿って管路の更新を行っていくのであるが、その場合に耐震性の高い管材料を用いることがもっとも重要といえる。

大口径の管路では溶接継ぎ手を持った鋼管を、中口径では離脱防止継ぎ手をもったダクティル管を、さらに小口径では融着継ぎ手を有するポリエチレン管の使用が推奨される。

6.3 構造物と設備の耐震化計画

本節では4.2節を受け、リスクマネジメントの最終段階に当たるリスクコントロールを実施し対策案を提案する。

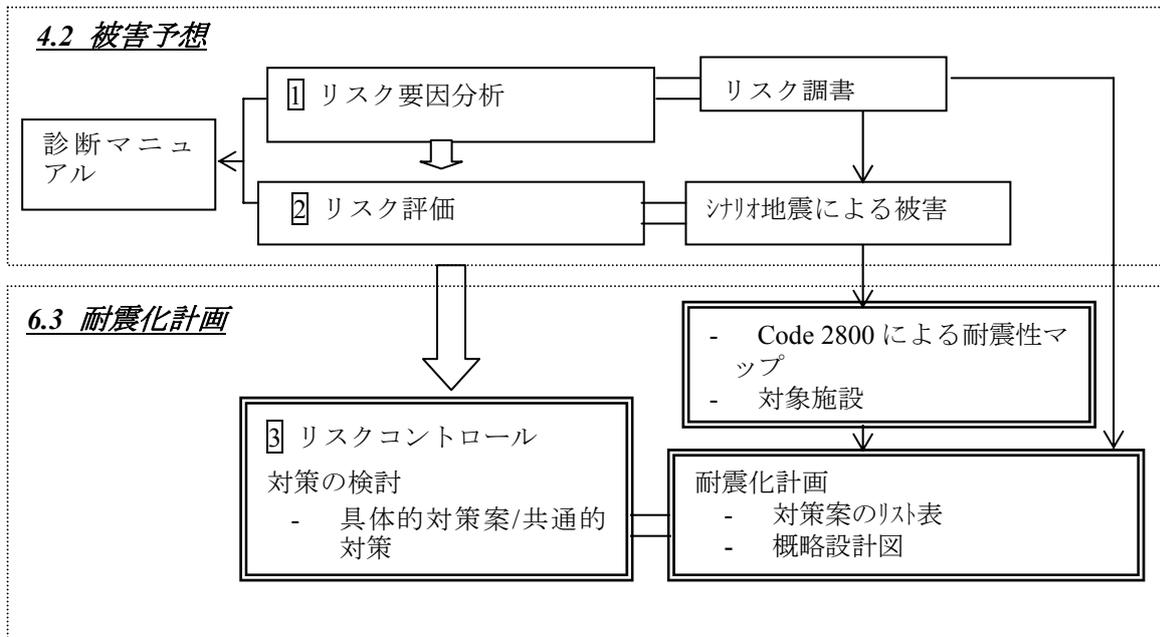


図 6.3.1 「耐震化計画」とこれに関連するフローチャート

6.3.1 対象施設の対策方針

これまでの調査から、3つの事項が明らかになった。ひとつは、①発生確率は小さいが North Tehran シナリオ地震による断層上の施設の被害が最も大きいということ。次に②Code 2800 が施行されてから10年以上もの期間、新規施設を耐震設計により建設してきたこと。そして③TWWCは、今後、既存施設の耐震化実施の意思が強いということである。これらの状況を踏まえ、TWWC が今後事業を円滑に進めるためには、条件・状況が異なる対象施設を分類しそれぞれの実情にあった対策方針を明確にすることが求められた。

対象施設は2つに分類した。

- － カテゴリー A: North Tehran シナリオ地震で被害が予想される断層上の施設
- － カテゴリー B: 断層の条件と切り離し、設計ベースの条件による耐震性マップ(本編 Figure 6.3.2 参照)上で耐震性能が低い構造物

a) カテゴリーAの施設の対策方針

断層上の施設は現位置での対策が困難であるから、被害影響の最小化を目標にバイパス管や他の施設で機能を補完する。将来は耐用年数に達した施設から断層を避け配置する方法や水道システムの再構築によって断層を回避する。

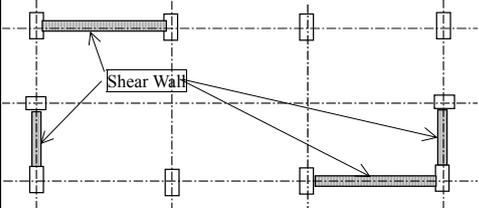
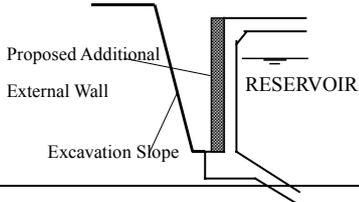
b) カテゴリーBの施設の対策方針

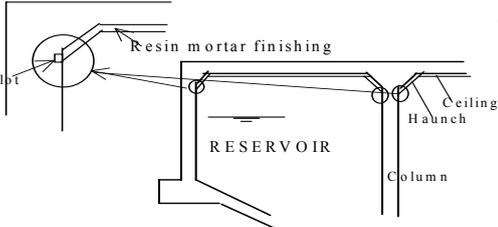
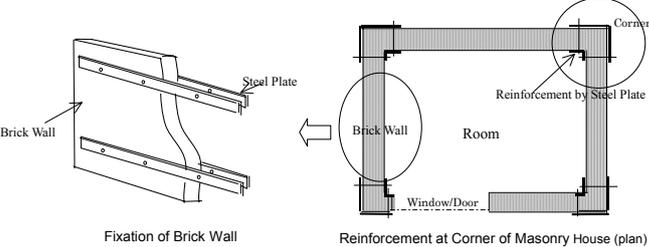
基本的に Code 2800 の条件で個々の構造物に対して被害の低減を図る具体的な補強等を検討する。同

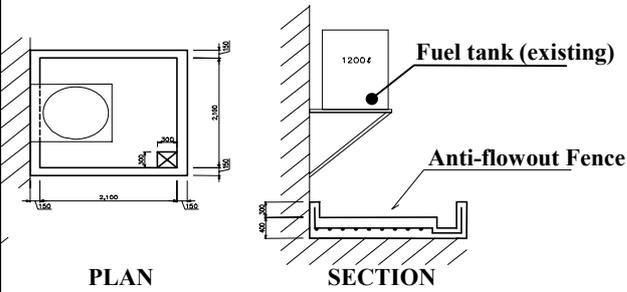
6.3.3 対策の提案と将来の課題

リスクに対応したすべての対策案を検討し、実施計画に移行するもの、将来計画、保留事項、今回は適用しない対策を本編 Table 6.3.5 にまとめた。ここでは表 6.3.1 に実施計画に移行する対策を抜粋してまとめた。

表 6.3.1 リスクコントロール総括表（実施計画に移行するもの）

リスク	対策
S-1 地盤条件に係るリスク	
S-1-1-1 断層の移動が構造の損傷と人身事故に及ぶ	S-1-1-1-b 他の施設によるバックアップの検討
S-1-1-4 崖が崩れ建物に被害を及ぼす。	S-1-1-4-f 建屋内防御壁 Bileghan 取水場退避所
S-2 構造部材に係るリスク	S-2-1-1-b RC 耐震壁によるフレーム補強
S-2-1-1 柱が座屈し、梁・屋根が変形あるいは落下する。	発電機室（浄水場 No.1, No.2）、ポンプ室 No.1, 2, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 24, 36, 40, 52, 57, 58, 73, 27, 28, 38
	 <p>耐震壁の配置図</p>
S-2-1-2 水槽にクラックが入り漏水し水が汚染される。	S-2-1-2-a 部分的断面補強 Pulsator(浄水場 No.2) 最も古い配水池 No.1, 2, 3, 4, 5, 6 比較的古い配水池 No.9, 10, 11, 13, 15, 16, 20, 23, 25, 29, 30, 32 (背面土の土質調査が必要)
	 <p>壁補強断面図</p>
S-2-1-3 部材が変形した際に Ex.j で変形が最大になり、止水板がせん断され漏水する。	S-2-1-3-b Ex.j の一体化 砂ろ過池(浄水場 No.4)
	S-2-2-1-b 渡り歩廊の固定 浄水場 No.4 の薬注室

<p>S-2-3-1 鉄筋が露出しているような大きい劣化の場合、構造機能が失われており耐震性が期待できないので座屈、変形、クラック、漏水等が発生する。</p>	 <p>S-2-3-1-a 補修 配水池 No.6, 66</p> <p style="text-align: right;">補修断面図</p>
<p>S-3 非構造部材に係るリスク</p> <p>S-3-1-1 Pulsator の集水トラフが外れ水質が悪化する。</p>	<p>S-3-1-1-b ずれ止め 浄水場 No.2 の Pulsator は壁の補強工事が必要なのでその時トラフの対策もおこなう。</p>
<p>S-3-2-1 レンガ壁が崩れ落下し人身事故あるいは設備が壊れる。</p>	<p>S-3-2-1-a 補強 浄水場の建屋、ポンプ室、緊急補修基地</p>  <p>レンガ壁の補強図</p>
<p>S-3-3-1 劣化したコーキングが振動に追従できずにガラスが割れ人身事故に至る。</p>	<p>S-3-3-1-a 窓の更新 (共通)</p> <p>S-3-3-1-b ガラス飛散防止フィルムの張り付け (共通)</p>
<p>S-3-3-2 壊れたドアが原因で人が閉じ込められる</p>	<p>S-3-3-2-a ドアの更新(共通)</p>
<p>S-3-4-1 固定が十分ではない大きなサイズの外壁仕上げ板が落下し人身事故に至る。</p>	<p>S-3-4-1-a ボルトで固定 浄水場 No.5 の塩素棟の外壁</p>
<p>S-3-7-1 人が手摺を越えて落下する。</p>	<p>S-2-7-1-a ポストの固定 (共通)</p> <p>S-2-7-1-b 高い手摺への更新 (共通)</p>
<p>E-1 主たる設備に係るリスク</p> <p>E-1-1-1 サージタンクが転倒しポンプ送水機能が損失</p>	<p>E-1-1-1-a ボルトによる固定</p> <p>E-1-1-1-b 中間サポートの設置 ポンプ場 No.2, 22, 96</p>
<p>E-1-1-2 塩素ポンベや銅管から塩素が漏れ人身被害に至る。</p>	<p>E-1-1-2-a 安定性の高い台座の設置 Bileghan 取水場, 浄水場 No.1 to No.3, and 配水池 No. 1, 2, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 40, 52, 56, 57, 58, 65, 68, 73, 114</p> <p>E-1-1-2-b 中和装置と緊急遮断弁の設置 Bileghan 取水場, 浄水場 No.1 to 5,配水池 No.52, 73, 4, 5, 7, 13, 19, 21, 31, 36, 40, 65, 66, 68, 69, 89, Southern Tarasht, Said Abad</p>

E-1-1-3 変圧器がレールを動き外に投げ出され設備が機能停止する。	E-1-1-3-a 止め金具の設置 すべての変圧器
E-1-1-4 ポンプ電気盤が倒れ設備が機能停止する。	E-1-1-4-a ボルトによる固定 ポンプ場 No.8, 12, 13, 27, 28, 32, 34, 36, 37, 38, 43, 59, 65, 66, 68, 69, 71, 72, 74, 75, 80, 81, 90, 91, 93, 95, 96, 101, 102, 105, 井戸ポンプ E-1-1-4-b ステージの補強 ポンプ場 No.72 のスチール製ステージの補強
E-1-2-1 配管がはずれ漏水し送水ができなくなり応急給水が不可能となる。	E-1-2-1-a 可とう管の設置 浄水場 No.1 to No.5, Bileghan Intake E-1-2-1-b 配水池の流出側に緊急遮断弁を設置 すべての配水池
E-1-2-3 発電機のオイルが漏れ火災が発生する。	E-1-2-3-a 防液堤の設置 発電機 (Bileghan 取水場、浄水場 No.1 to No.5)  防液堤の概要図
E-1-2-4 電柱が倒れ設備が機能停止する	E-1-2-4-a 電柱サポートの設置 配水池 No.22
E-1-3-1 (停電) 送水機能停止、処理水質の低下を起こす。	E-1-3-1-b 2 回線受電 ポンプ場 No.16, 52, 68, 114
E-2-1-1 バッテリーが外れ無線、計装が作動しない。電気盤の電気ランプが表示されない。停電になれば遮断器に電気をおくれない。	E-2-1-1-a バッテリーの固定 浄水場 No.1 to No.5 ポンプ場 No.1, 2, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 40, 52, 56, 57, 58, 65, 68, 73, 114
E-2-2-1 UPS が転倒し、停電時に自家発が稼動するまで計装ができなくなる。	E-2-2-1-a UPS の固定 浄水場 No.1 to No.5
P-1 接続管に係るリスク	
P-1-1-1 配管がはずれ漏水し、送水ができなくなり応急給水が不可能となる。	P-1-1-1-a 可とう管設置、複数配管の場合、内 1 本を優先 6.2 節 P-1-1-1-b バックアップ配管 (可とう管付) 6.2 節

6.4 応急給水施設と給水方法

6.4.1 応急給水方法の選定

応急給水施設は、既存の施設を最大限利用することにより確保するという方針に従い、原則として以下の施設を活用するものとした。

- － 既設配水池
- － 既設送水管からの分岐給水(自然流下部分)
- － 既設深井戸

これらの中でも、上記の2施設は浄水処理をした安全な水質であり、また、簡単なエンジンポンプ程度で給水可能なため、優先して整備することとする。地下水については、上記施設が無い地区で採用する。上記施設でカバーしきれない箇所は給水車や緊急給水貯水槽でカバーするものとする。

コスト・施工の容易性・維持管理の容易性その他調査対象地域の特性等を考慮し、上記応急給水方法をさらに以下のように細分化し、その適用優先順位を決定した（掲載順は適用優先順位を示す）。

- ① 既設配水池からの給水（配水池出口をサイフォン配管）
- ② 既設配水池からの給水（配水池出口に緊急遮断弁）
- ③ Englab 通り及び Southern Ring Main 沿いの自然流下送水管から分岐を取って給水
- ④ TWWC 所有または公園にある深井戸からの給水
- ⑤ 応急給水車による給水
- ⑥ 緊急給水貯水槽による給水（飲料目的。深井戸の水質が不十分である地域で補完的に使用）

この中で、特に①については、調査団の工夫した方法であり、高価な緊急遮断弁なしで緊急用に配水池内の水を確保できる仕組みである。テヘランの配水池容量は一日平均給水量の約 20 時間分と大きいことから、配水池流出管に図 6.4.1 に概略のようなアレンジを施すことにより緊急時の水量を保持することが可能と考えた。

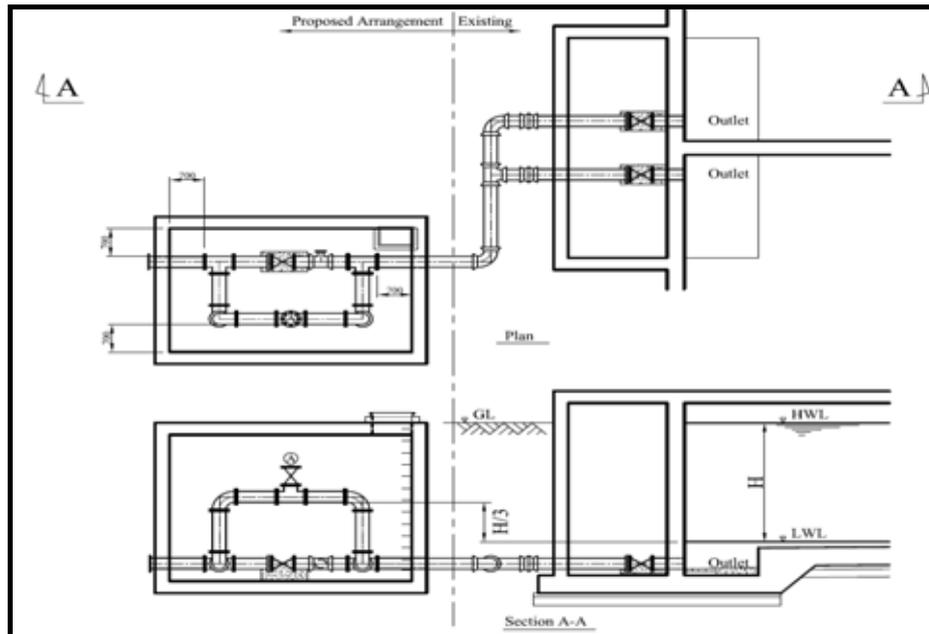


図 6.4.1 配水池流出管のアレンジ方法

また、④の深井戸利用にあたっては、塩素注入設備を設置するほか、地震後の停電を考慮して発電機を備えておくこととした。

一方、⑥の緊急給水貯水槽は、TWWC が試作しており、容量が 10m³ と 20m³ と小型ながら、水質の悪い地域の補強や重要施設等に用いれば有効に活用できる。なお、水質対策（死水対策）を考慮して流出入管について調査団で改良を提言したが、その概略を図 6.4.2 に示す。

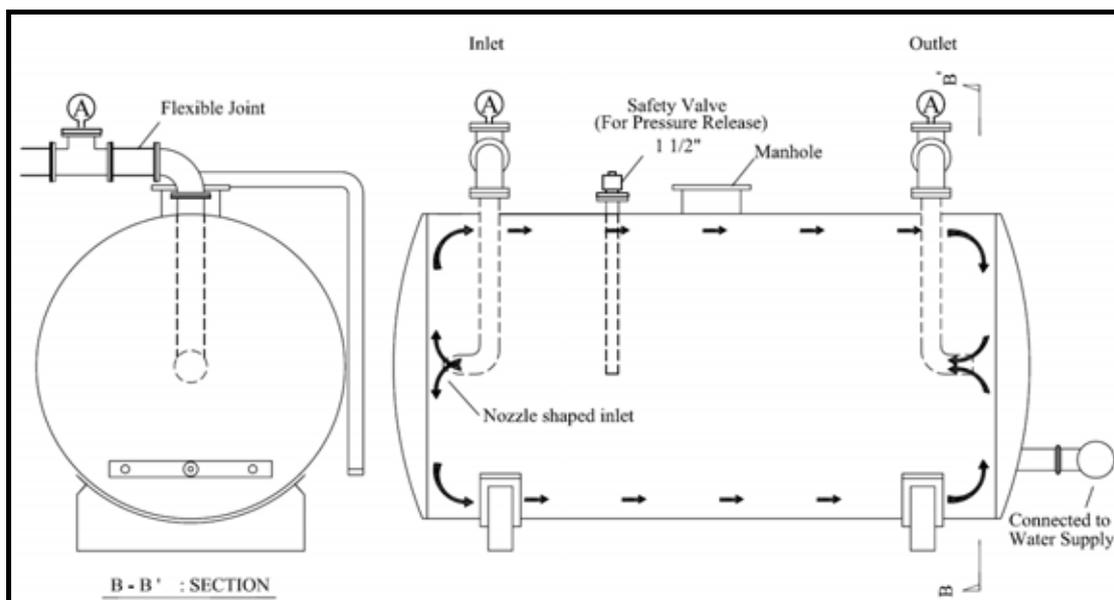


図 6.4.2 緊急給水貯水槽

6.4.2 応急給水拠点の配置

調査対象地域の地理的特性を考慮して、本調査ではすべての被災者が 1 km 以内の距離で応急給水拠点にアクセスできるよう拠点を配置する計画とした。段階的整備計画を策定するにあたり、短期的には、最大アクセス距離を 2 km 以内とするように拠点を配置し、中長期計画で最大アクセス距離を 1 km 以内とするように拠点を増やすものとした。下表に短・中期計画の中で整備される応急給水拠点の数を給水方法別に示す。

表 6.4.1 短・中長期計画で整備される応急給水拠点の数

応急給水方法		拠点数量		
		短期計画	中長期計画	合計
1	既設配水池（配水池出口をサイフォン配管）	30	18	48
2	既設配水池（配水池出口に緊急遮断弁）	0	3	3
3	Engelab 通り及び Southern Ring Main 沿いの自然流下送水管から分岐を取って給水	11	7	18
4	深井戸（TWWC 所有）	0	27	27
5	深井戸（公園）	22	37	59
6	緊急給水貯水槽	32	169	201

図 6.4.3 に 2 km おきの給水拠点位置をまた、図 6.4.4 に 1 km ごとの給水拠点設置位置を示す。施工の容易性と工事費を低く抑えることを考慮した短期計画としたため、2 km ごとの場合、主に既存の配水池出口をアレンジすることと公園の深井戸を利用して給水拠点を確保する計画とした。

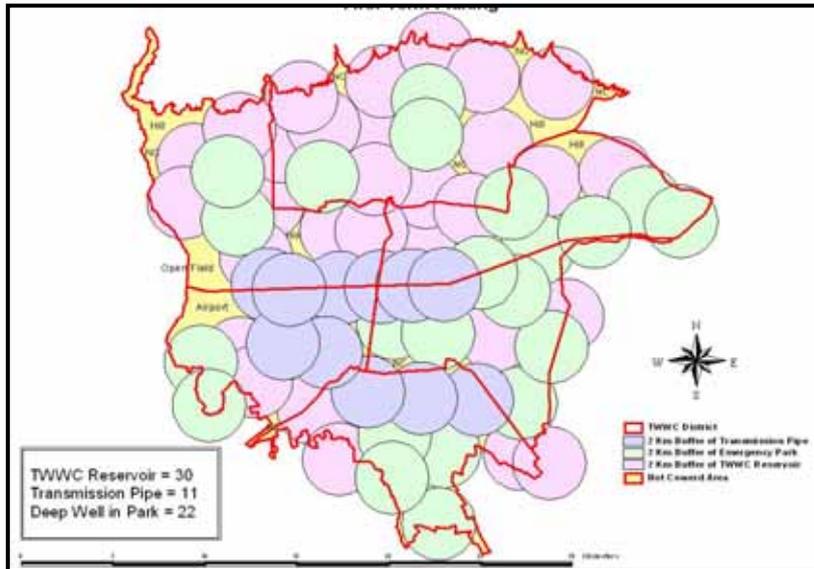


図 6.4.3 給水拠点の配置 (2 km ごと)

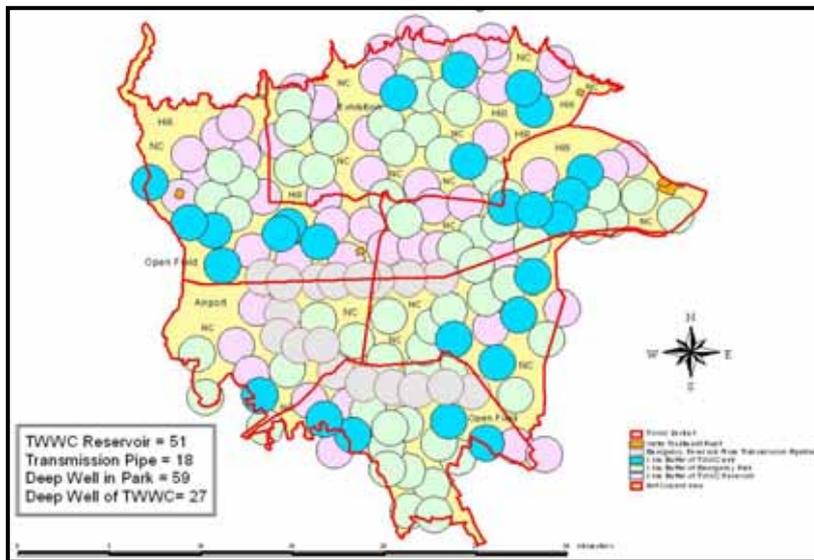


図 6.4.4 給水拠点の配置 (1 km ごと)

なお、本調査では、短期的計画の中でも、各シナリオ地震による断水人口が大きくなると予想される地区、建物被害、運搬給水の困難さ（道路封鎖によるアクセスの制限）、停電地区、工事に伴う断水の影響等の大きな地区から優先的に拠点整備を行うことを併せて提言している。

第7章 応急対策計画

7.1 断水人口と復旧日数

地震は、建物や道路の破壊とともに、水道、電気、ガスのライフラインを切断し、需要者の生活に多大な影響をもたらす。そのため水道事業者は、限られた人員や資機材を活用して、早期に給水を行うことが求められる。

水道の被害は、全ての施設を耐震化することにより、被害を最小限に止めることができる。しかし、その施設整備量は膨大であり、多くの時間と費用を要することになる。そのため施設の耐震化と応急対策とのバランスを考慮した効率的な地震対策の検討が必要となる。

7.1.1 断水人口と復旧日数の考え方

(1) 復旧シミュレーションの前提条件

復旧シミュレーションは、地震時における住民に与える影響を定量的に把握し、その影響度（延べ断水人口）を用い、地震対策の効果について検討するものである。その復旧シミュレーションの前提条件は、表 7.1.1 に示すとおりである。

表 7.1.1 復旧シミュレーションの前提条件

項目	復旧シミュレーションで考慮する内容		復旧シミュレーションの外部で考慮できる内容
	施策前	施策後	
a) 発電所	対象外	対象外	地震発生による影響で、発電所の1週間程度の停止を考える
b) 災害対策本部の設置 (職員の招集、体制の確立)	震災直後、1週間程度(初動体制の確立に要する準備期間)	震災直後、3日程度(初動体制に関するマニュアルが整備されているため、準備期間が短縮される)	
c) 井戸	使用可能	使用可能	
d) 導水幹線	対象外	対象外	下流側に位置する浄水場で、一定期間の停止を考える
e) 浄水場	対象外	対象外	対象とする浄水場で、一定期間の停止を考える
f) 送水幹線	配水系統単位で、被害箇所の下流側の配水池で全断水と考える	整備方針に基づき、耐震管路上の被害箇所を0件と考える	
g) 配水幹線	配水ブロック単位で、被害箇所数より配水幹線被害率を想定する	整備方針に基づき、耐震管路上の被害箇所を0件と考える	
h) 配水支管・給水管	配水ブロック単位で、被害箇所数より配水支管被害率を想定する	整備方針に基づき、耐震管路上の被害箇所を0件と考える	

なお復旧シミュレーションでは、North Tehran、North Ray、South Ray、Mosha の4つのシナリオ地震のうち、上水道施設及び需要者に与える影響が最も大きいと考えられる North Tehran 活断層地震による被害について検討した。

(2) 復旧シミュレーションの算出手順

復旧シミュレーションの算出手順を本編 Figure 7.1.4 に示した。復旧シミュレーションの活用方法は、以下に示すとおりである。

対策前の断水人口及び復旧日数を算出する。

対策後の断水人口及び復旧日数を算出する。(耐震化目標と復旧日数の比較)

対策前後の延べ断水人口(断水人口×復旧日数)を比較し、施策の評価を行う。

1) 配水池ゾーン別人口の設定

配水池ゾーン別人口は、西暦 2005 年のテヘラン市の行政人口 6,938,734 人 (Iran Statistics data、但し District21、22 を除く) を配水池ゾーン毎に配分した。

2) 送水幹線ネットワークの設定

送水系統は、日最大配水日 (19.july.2005) における水の流れをもとに、浄水場単位に送水区域を設定した。

3) 復旧作業体制の設定

TWWC のヒアリング結果をもとに、管路の復旧作業体制を表 7.1.2 のように設定した。

表 7.1.2 管路の復旧作業体制の設定

管路の種類	管理者	班数	備考欄
送水幹線 (Transmission main)	TWWC	3 team	1 チームは 12 人で構成される
配水幹線 (Distribution trunk-main)	Districts	18 team	6districts×3 emergency-post 1 チームは 12 人で構成される
配水支管 (Distribution Sub-main)	Districts	54 team	6districts×3 emergency -post×3team 1 チームは 12 人で構成される
給水管 (Service pipe)	Districts	108 group	6districts×3 post×3team×2group 1 グループは 3~4 人で構成される

4) 復旧過程の算出

復旧シミュレーションの基本的な考え方は、以下に示す。

<p>—地震時の職員召集や被害状況の把握、復旧作業体制を確立するまでの準備期間は、施策前で 1 週間、施策後で 3 日間 (マニュアルの整備や職員意識の高揚を考慮して) 設定した。</p> <p>—管路の復旧作業班は、各送水系統の被害率をもとに配分した。</p> <p>—管路の復旧順序は、施設の上流側から下流側 (送水幹線→配水幹線→配水支管→給水管) に進めることにした。また送水幹線、配水幹線の復旧作業は、上流側から下流側への作業状況や重機等の制約を考慮して、同一路線上において、同一時刻に複数班の投入を不可能とした。</p> <p>—箇所当たりの管路の復旧に要する時間は、地震時の建物倒壊、道路やライフラインの寸断等による交通状況を考慮し、通常における管路修繕時間 (TWWC のヒアリング調査結果) の 2 倍程度を設定した。その結果を表 8.1.3 に示す。</p>

表 7.1.3 管路の復旧作業に要する時間

管路の種類	管路口径	復旧作業に要する時間
送水幹線 (Transmission main)	$X \geq \phi 600\text{mm}$	0.33 箇所/日/班
	$\phi 600\text{mm} > X \geq \phi 300\text{mm}$	0.5 箇所/日/班
配水幹線 (Distribution trunk main)	$X \geq \phi 300\text{mm}$	0.5 箇所/日/班
配水支管 (Distribution sub main)	$X < \phi 300\text{mm}$	1.0 箇所/日/班
給水管 (Service pipe)		2.0 箇所/日/班

5) 断水人口の算出

断水人口は、配水池ゾーン別人口と管路被害率（送水幹線、配水幹線、配水支管、給水装置）によって算出する。以下には、断水人口の算出のための基本的な考え方を示す。

- －断水人口は、基本的に送水幹線、配水幹線、配水支管、給水管の管路被害率を考慮して算出する。
- －発電所、導水幹線、浄水場、配水池、ポンプ塔の被害状況は、復旧シミュレーションの対象外とする。
- －送水幹線上に被害がある場合、上流側の被害箇所が復旧するまで下流側の配水池以降を全断水とする。
- －送水幹線上に被害がない場合、配水幹線被害率、配水支管被害率（給水管被害率を含む）を用いて、配水ブロック被害率を算出する。

$$\text{配水ブロック別断水率} = 1 - (1 - \text{配水幹線被害率}) \times (1 - \text{配水支管被害率})$$

$$\text{配水ブロック別断水人口} = \text{配水ブロック別行政区域内人口} \times \text{配水ブロック別断水率}$$

7.1.2 出力結果

(1) ケーススタディ

復旧シミュレーションでは、耐震化目標（1ヶ月以内の復旧）を達成するため、耐震化と応急対策のバランスを考慮した地震対策について検討する。復旧シミュレーションで検討する地震対策メニューを表 7.1.4 に示す。

表 7.1.4 地震対策メニュー

CASE-1	耐震化を行わない場合
CASE-2	送水幹線の耐震化を行う場合
CASE-3	送水幹線の耐震化と復旧作業班を2倍にした場合
CASE-4	送水幹線の耐震化と配水幹線の活断層対策を行う場合
CASE-5	送水幹線の耐震化と配水幹線、配水支管の活断層対策を行う場合

(2) 各ケーススタディにおける断水人口と復旧日数

ケーススタディの断水人口と復旧日数を、表 7.1.5 に示す。

表 7.1.5 断水人口と復旧日数

No.	初期断水人口 (千人)	初期断水率 (%)	延べ断水人口 (千人)	復旧日数 (日)
CASE-1	3,995	57.6	125,770	82
CASE-2	1,739	25.0	64,483	73
CASE-3	1,739	25.0	29,728	30
CASE-4	1,640	23.6	48,382	65
CASE-5	1,591	22.9	45,015	60

※初期断水率 = 初期断水人口 ÷ 6,938,734 people (Iran Statistics data より) × 100

配水池ゾーン毎の断水人口の推移を図 7.1.1 (CASE 1 と CASE3) に示す。

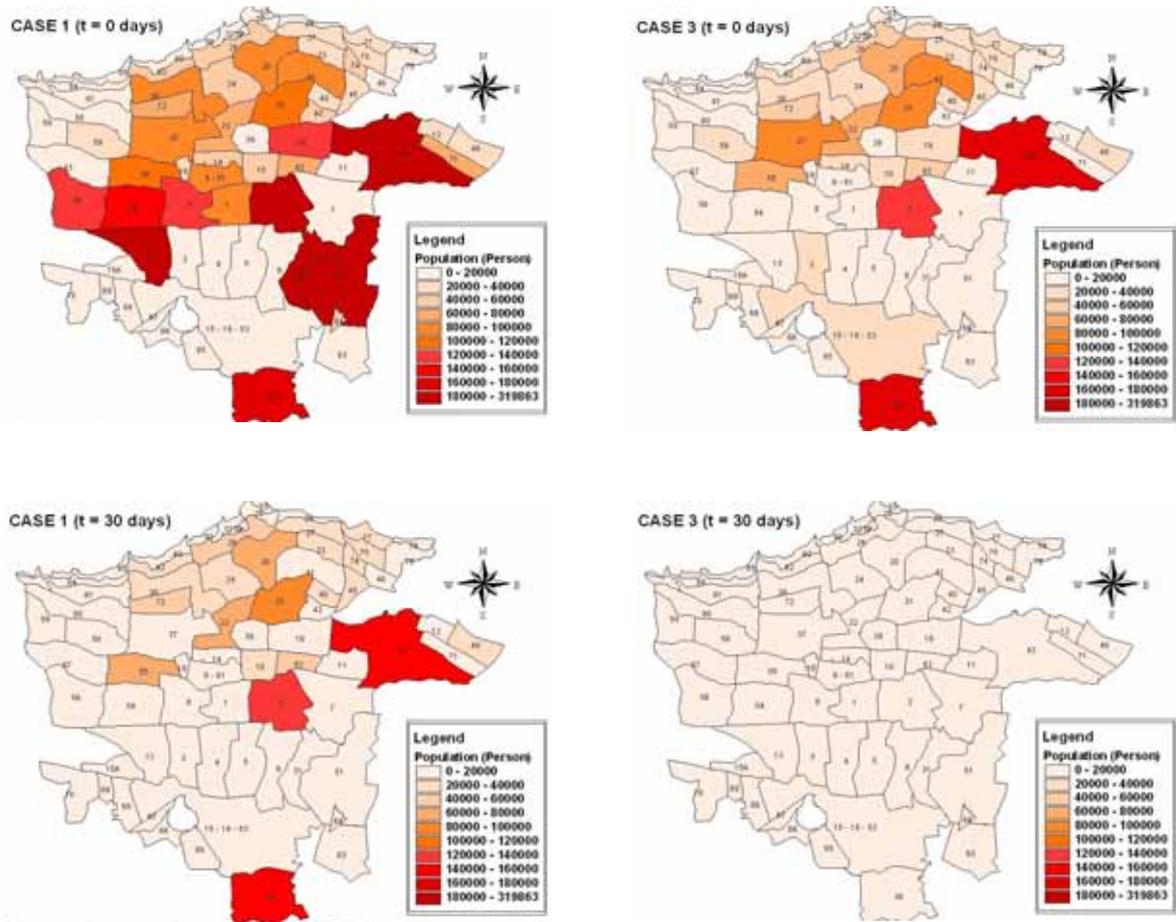


図 7.1.1 断水人口 (t=0 と t=30)

7.1.3 地震対策の効果分析

ここでは、地震時における住民に与える影響(述べ断水人口)を定量的に把握し、その影響度を用いて、CASE-2 から CASE-5 までの地震対策

の効果について検討する。図 7.1.2 は、ケーススタディの断水人口と復旧日数を示す。CASE-1 と CASE-2 から CASE-5 までの初期断水人口の格差は、主に送水幹線の耐震化による効果である。また CASE-2 と CASE-3 の復旧日数の格差は、復旧作業班の増員による効果である。

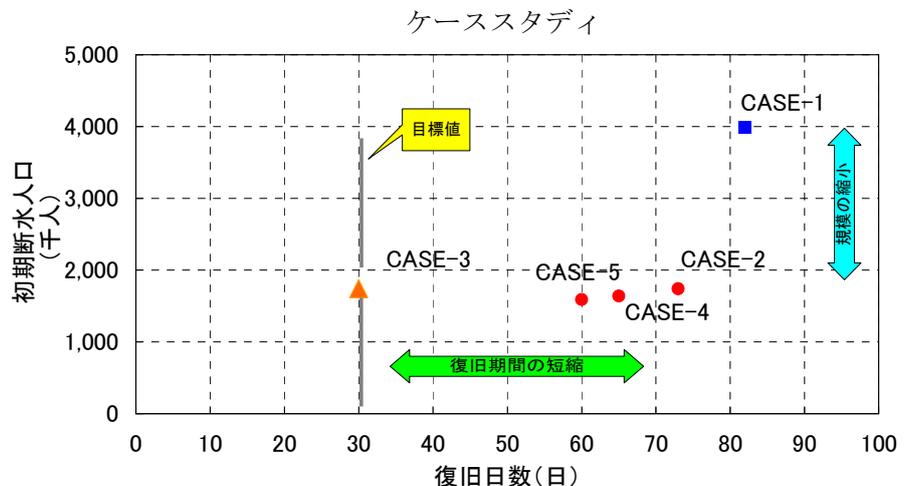


図 7.1.2 断水人口と復旧日数

CASE-3 において、1 ヶ月内での耐震化目標を達成することができる。

各ケースの効果は以下のとおり。

－送水幹線の耐震化：(CASE-2)－(CASE-1)

初期断水人口で 2,250 千人の縮小、復旧日数で 9 日の短縮、延べ断水人口で 61,290 千人削減の効果がある。

－活断層対策（配水幹線）：(CASE-4)－(CASE-2)

初期断水人口で 100 千人の縮小、復旧日数で 8 日の短縮、延べ断水人口で 16,100 千人削減の効果がある。

－活断層対策（配水支管）：(CASE-5)－(CASE-4)

初期断水人口で 50 千人の縮小、復旧日数で 5 日の短縮、延べ断水人口で 3,370 千人削減の効果がある。

－復旧作業班の増強：(CASE-3)－(CASE-2)

復旧日数で 43 日の短縮、延べ断水人口で 34,750 千人削減の効果がある。

CASE-2、CASE-4、CASE-5 を見ると、耐震化目標は施設の耐震化のみで対応することが困難である。

そのため、CASE-3 のように、被害規模の縮小と復旧期間の短縮のバランスを考慮することが必要である。本調査では送水幹線と配水幹線の耐震化（6.2 参照）を検討しているが、少なくとも復旧作業班を 2 倍にすることで耐震化目標を達成することができる。

上記の地震対策を実施する場合、予算を考慮して、耐震化整備量と復旧作業班数のバランスや優先度の検討が必要である。またシミュレーションは、送水幹線、配水幹線、配水支管、給水装置の被害のみを想定した結果である。停電、導水幹線、浄水場において被害が発生する場合は、それぞれの延べ断水人口（断水人口×復旧日数）を該当する送水系統単位のシミュレーション結果に加えることによって算出可能である。

7.2 応急対策の共通事項

(1) 応急対策組織と初期活動

緊急時対応における組織命令系統と各部署の役割について TWWC がまとめており、それを基に下図に示す応急対策組織とその役割を提案した。

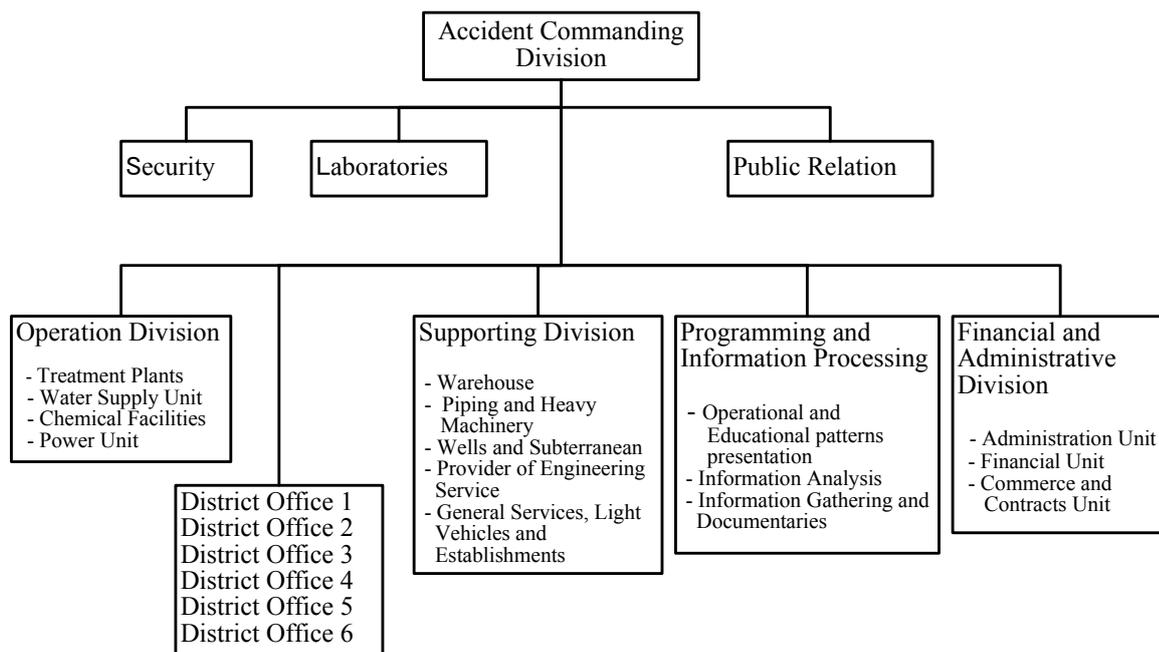


図 7.2.1 TWWC の応急対策組織図

平時より緊急時における TWWC 各部署の役割を明確にしておき、職員にその周知徹底を図っておかなければならない。緊急時には、対策本部を 24 時間以内に設置し、施設被害状況等の情報収集、緊急時対応の統括、TWWC の外部組織との連絡調整を遅滞なく行うことが重要となる。主な初期活動には以下のものがある。

- － 応急対策組織の設置
- － 情報収集および被害レベルの確認
- － 関係諸機関への連絡および調整
- － 他水道事業等外部機関への応援要請
- － 民間会社への発注および応援要請
- － 応急給水の開始
- － 応急復旧計画作成および漏水調査・修理作業の開始

TWWC 職員の参集が、緊急対策の速やかな開始にとって不可欠であるため、参集のためのルール作り、参集場所の決定、参集者リストの作成、参集に当たっての注意事項の整理などが必要となる。速やかな職員召集を可能とするため、以下を推奨した。

- － 応急復旧等の主要職員に勤務地域内の住宅を貸与し、初期活動にあたらせる。
- － 応急復旧等緊急時に重要な任務にあたる職員の、住居近くへの配属替えを検討する。
- － 主要職員にバイク等非常時に活用できる交通手段を支給し、参集を容易にするとともに、初期の被害状況等情報収集にあたらせる。

非常時の判断力を養い、知識や技術力を向上させるため、訓練や講習等による TWWC 職員の研修を行うことが重要となる。定期的な大規模訓練により、職員等の技術力や意識向上を図ることが求められる。

(2) 他機関よりの応援 (他機関との関係強化)

下図に他機関への応援要請の模式図を示す。

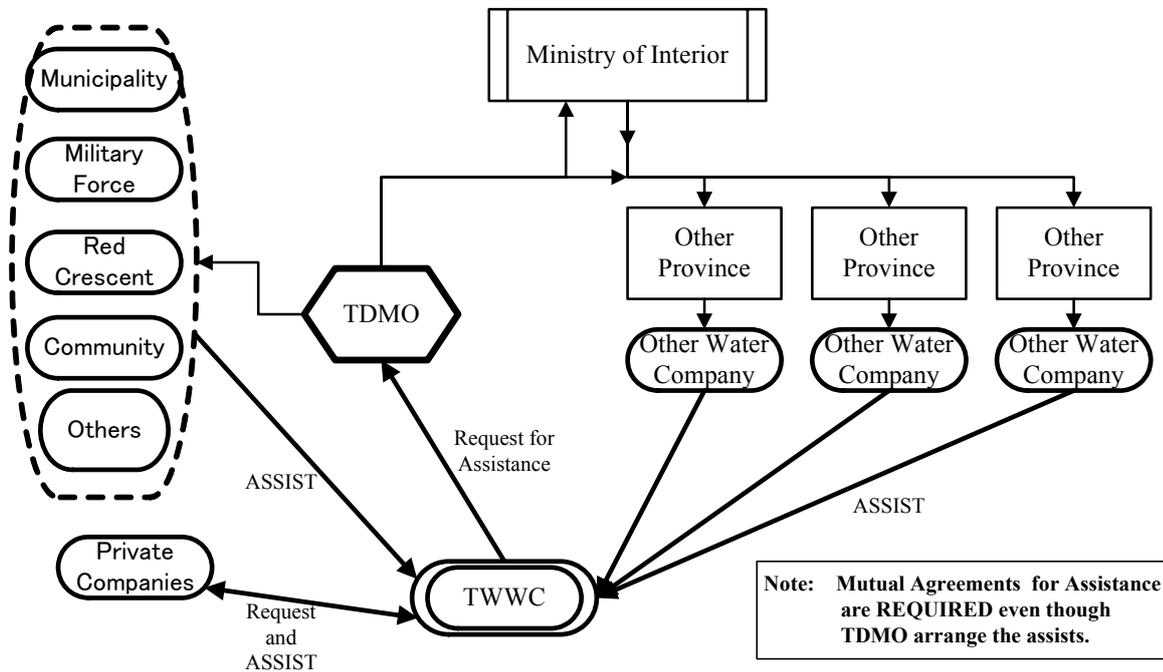


図 7.2.2 他機関よりの応援要請

地震災害後には、テヘラン市災害対策機関（Tehran Disaster Management Organization : TDMO）内に、市長を委員長とする対策本部が設置され、TWWCをはじめ、軍、警察、赤新月社、ガス、電気等の30を越す機関の代表がそのメンバーとなる。TDMOが各機関の調整を行うため、TWWCもここを通して他機関への応援要請を行うことになる。しかし、事前に他都市の水道事業体と直接協議し、相互協定を締結することが必要となる。協議では、派遣可能な応援チーム数、派遣期間、支援可能なパイプ等資機材、費用分担等の協力内容の詳細についても話し合うことが重要となる。協定内容の確認や見直し、図面整備や保有資機材の改善等、準備活動状況の情報交換のため、定期的に協議を行うことが求められる。一方、民間会社も震災後の重要な協力者となるため、種々の会社と協議を持ち、可能であれば協定を結んでおくことが望ましい。民間会社に期待される支援内容には次のものがある。

- － 管材料や他の資機材の調達
- － 管路の応急復旧
- － 各種重機およびその操作員の手配・貸し出し
- － 給水車の手配・貸し出し

応援者等も迅速かつ効率的な活動ができるよう、受け入れ態勢やマニュアルを整備し、応急給水拠点や重要施設を記入した全体図や管路図の作成・定期的な見直し・分散保管をすることが必要となる。

(3) マニュアルの整備

整備すべきマニュアルには、応急給水活動、復旧計画、震災後の情報伝達方法、他水道事業体や民間会社リストと支援内容、TWWCの役割分担、命令系統等を明らかにしておく必要がある。マニユア

ルは、定期的に見直しを行い、TWWCの全職員に周知徹底を図ることが求められる。

(4) 情報伝達手段

震災後復旧計画を適切に作成するためには、情報収集とその分析が不可欠となるため、事前に、情報伝達のルールを決定しておくとともに、複数の通信手段を確保しておくことが必要となる。情報手段には TWWC が整備を進めている遠方監視制御システムを活用し、有線電話、携帯電話、無線通信、インターネットなどの整備状況を見直すことが必要となる。具体的に直ちに行うべき対策としては、通信機器の固定による耐震化及び、停電に備えた充電器や発電機の補充がある。

7.3 応急給水計画

応急給水の目標を満足すべく、既存の配水池や井戸を中心とした応急給水拠点を整備しておき、配水管の復旧とともに消火栓に応急給水栓を設置して拠点を増やしてゆく。下図にその概念を示す。

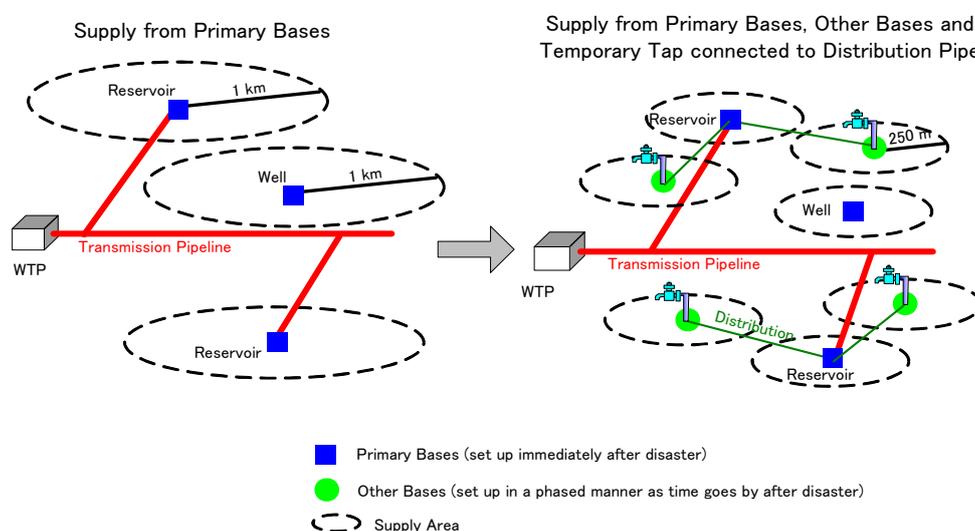


図 7.3.1 応急給水の概念図

(1) 応急給水方法

応急給水拠点から地震災害後速やかに給水を開始すべく、人員配置等について事前に計画を立てておくなければならない。また、この応急給水拠点から給水車や消防自動車等緊急車両への水を補給することが必要となる。道路が通行可能な場合は、給水車により仮設給水槽や病院等の重要施設へ運搬給水を行うことが有効な手段となる。そこで、現在、市が緑地への散水で使用している民間の給水車を非常時に使用できるよう協議するなど、十分な給水車を確保することが必要となる。ペットボトルや袋詰めによる飲料水の配給も有用であるため、水道水の袋詰め機導入も検討することが必要となる。

(2) 応急給水体制の整備

応急給水の応援者としては、市や他都市の水道事業体、赤新月社、軍、ボランティア等が考えられる。給水車の確保は TWWC や民間会社、他の水道事業体、軍等による必要があるが、ボランティアに訓練を行うことによって応急給水地点での活動を行うことができる。TWWC では、総務等の技術職以外の職員が主に応急給水に当たるものとし、技術職員が応急復旧に専念できる体制を作ることが望まれる。広報担当部署は消費者に十分な情報を与えることが重要となる。震災後には被害を受けた施設

からの水質汚染の可能性が高まるため、水質試験室による、応急給水の水質検査管理の重要性も増す。Supporting Division による資機材の管理、調達も十分に準備をしておくことが重要となる。

(3) 重要施設への応急給水

重要施設へつながる配水管ルート耐震化優先順位は高いが、その実施には多額の投資と時間を要する。そこで、応急給水拠点を避難所またはその近辺に設置することが重要となる。また、病院等には運搬給水を優先的に行う等 TWWC が種々の対策を検討する必要があるが、十分な給水を行えない場合に備えて各病院に井戸と発電機や貯水施設の設置を指導することも必要となる。その他、消火栓から消火活動を行えるよう配水池に水量を確保しておき、配水管が使用できない場合は各給水拠点から消防車への給水を行う。TWWC で最大限の努力をするが、消火活動への給水が十分に行われない場合もあるため、消防当局と話し合い、カナートなど他の水源の使用や、各種井戸を使用するため消防による発電機の準備などについて協議・提言を行うことが必要となる。

7.4 応急復旧計画

水道施設の早期復旧と二次災害防止のため、水道施設の復旧計画を準備しておくことが重要である。復旧作業班数の増加と適切な計画が迅速な復旧活動にとって不可欠である。

(1) 復旧方法

復旧計画作成にあたって、先ず震災直後に水道被害の情報を収集することが必要となる。遠方監視等による水量や水圧の異常を観察することにより、被害レベルの推定を行い対策の準備をする。その後、導水管、送水管、配水本管等重要管路の被害状況の確認を行い、順次小口径管の確認をしていくこととなる。被害発生確率の高い箇所の被害確認を優先的に行うことが効率的であるため、事前にそのリストを作成・整理しておき、復旧の進捗に合わせて応急復旧計画を見直してゆくことが求められる。本編で提示したような記録用紙を用いて被害状況や復旧についての記録を残し、将来計画にのっとった本格復旧計画に活用することが重要となる。

(2) 応急復旧のための各部署の役割分担

応急復旧のための各部署の役割を明確にしておき職員にその周知徹底を図っておくことが求められる。6つの地区事務所（District 事務所）やその下にある現場事務所（Emergency Posts）が管路の応急復旧活動を実施することになるが、Operation Division が中心となって復旧計画をたて復旧活動を調整することが重要となる。また、Supporting Division が必要な資機材や重機等の管理に責任を持つが、特に他都市からの応援者も使用できるよう、適切な器具や機器をあらかじめ用意しておく必要がある。不足する管材料等は製造業者や取り扱い業者から迅速に入手できるよう、平常時から良好な関係を築いておくことも重要となる。

第 8 章 耐震化計画案の策定

第 5 章で設定した目標や第 6 章で検討した各種の耐震化方策を基に耐震化計画案を作成する。

8.1 耐震化計画案の選定

耐震化計画案としては、当然のこととして、現実性の高いものを目指すこととする。地震対策は、本格的な対策を講じると大きな費用が必要なことになるが、対策の実施が料金収入の増加につながらないという特徴を持っているため、短期間にあれもこれも実施しようとするのは難しい。もしも実施しようとするれば、水道料金の高騰を招きかねないからである。

そこで、6 章において検討した方策のうち、例えば浄水場の移設のような、理想的な方策だが大きな費用が必要で実現のための期間のかかるものについては、長期的な検討事項として扱い、本計画案には含めないこととした。一方、施設の耐震化以外に、地震発生前に準備しておくものとして応急給水のための拠点の設置があり、これは耐震化計画に含めることとした。

8.1.1 上流側施設の耐震化案

導水施設から浄水施設という上流側施設について採用すべき耐震化案を検討した。このうち、導水管路は入手データが少なかったが、根幹的施設であるため概略検討を行った。

表 8.1.1 に示すように、導水管路及びトンネルは、断層横断部において大きなシナリオ地震の際に被災する恐れがあり、断層上の第 3&4 及び第 5 浄水場もまた被災する恐れがある。施設規模、被害特定の困難さや移設の費用等より、これらの施設を完全に耐震化することは難しく、被害影響の最小化が現実的な対応策となる。また、横断する断層が違う等の理由により、一度の地震で複数の施設が同時に被災するとは考えにくい。そこで、ここでは、1 系統毎に運転停止となった場合を想定し対応の検討を行った。

このうち、第 1 及び第 5 浄水場が停止した場合は、他からの支援により送水を維持することが可能となる。一方、第 2 及び第 3&4 浄水場が停止した場合は、他系統よりの送水では不十分となる可能性がある。従って、第 2 浄水場については将来の第 6 浄水場からのバイパス管設置を、また、後者については、第 3 と第 4 との接続や第 5 浄水場からのバイパス管設置を検討すべきである。また、給水車による給水も視野に入れておくことが必要となる。

一方、上記より小さな地震対策として、浄水場施設について Code 2800 を基準とした構造計算等より耐震性を検討した。その結果、構造物や建築物の応力不足が検証されており、部材の補強が必要となっている施設がある。設備についても不安定な設置状況にあるものや 2 次災害の可能性のあるものがあり、これらに対する施策が必要となっている。具体策については第 6 章で検討したとおりで、施設に対しては、耐震壁の挿入、池構造物側壁の強化、レンガ壁の補強等を、設備に対しては、転倒防止のための固定、塩素中和設備の設置等を含んでいる。

表 8.1.1 導水施設及び浄水場における対策

	System	No.1 (Jalaliyeh)	No.2 (Kan)	No.3&4 (Teheranpars)	No.5 (Panjom)
Facilities	Main Dam	Karaj Dam	Karaj Dam	Latiyan Dam	Lar Dam
Water Source		Tareghan Dam (Supplemental Source of Karaj Dam)			
Raw Water Main	Type and Dimensions	D1,000mm x L73km x 2sets Steel Pipelines	D2,000mm x 67km x 2sets Reinforced Concrete Pipes	D2,700mm x L9km +D3,000 x L20km Tunnel	D3,600mm x 11.3km + d2,000 x L7.2km x 2sets
	Fault Crossing	1 point near Bileghan	8 points between Bileghan and WTP No.2	2 points between Dam and WTP No.2	
	Fault Related	North Tehran Fault	North Tehran Fault	North Tehran/Mosha	North Tehran/Mosha
	Fault Dislocation	40 - 50cm	30 - 40cm	30 - 40cm	
WTP	Capacity	2.7m ³ /day	8.0m ³ /day	8.0m ³ /day	7.5m ³ /day
	Fault Location	remote from fault	remote from fault	on the fault	on the fault
Fragility of the System	For Scenario Earthquake: Pipes	Damage estimation of raw water mains was not executed, because they are located out of the study area. However, it is considered that raw water mains and raw water tunnels would be damaged by fault dislocation.			
	WTP	Not much damage on whole WTP	Not much damage on whole WTP	WTP would be damaged by fault dislocation	
	For Historical Earthquake: Pipes	Damage estimation of raw water mains was not executed, because they are located out of the study area.			
	Code 2800: WTP	Damages on some parts of facilities and equipment	Damages on some parts of facilities and equipment	Damages on some parts of facilities and equipment	Damages on some parts of facilities and equipment
Possibility of Reinforcement or Mitigation	Coverage by Other WTP or Transmission Main When Interrupted	Water transmission from WTP No.2 and No.3&4 could almost cover WTP No.1 area.	Several zones around WTP No.2 would suffer water shortage, because of its capacity and higher elevation	Several zones around WTP No.3 &4 would suffer water shortage, because of its large capacity and insufficient transmission capacity of No.5 to	Water transmission from WTP No.3&4 and No.2 could almost cover No.5 area. Because No.3 &4 supplied No.5 area until recent years.
	Possibility of Prior Reinforcement	Not much difficult because of only one fault crossing and moderate pipe diameter	Difficult because of big diameter pipelines and many fault locations	Difficult of reinforcement for both of tunnel and WTP	Difficult of reinforcement for both of tunnel and WTP
	Other Measures for Mitigation	Not necessary	Possibility of transmission of Tareghan water, WTP No.5 and future WTP No.6 water	Large scale water transmission from WTP No.5. Interconnection of No.3 and 4	Interconnection of No.5 and future WTP No.6
Measures to be Adopted for Raw Water Main and WTP	For Scenario Earthquake: Pipes	Necessary to study in detail of reinforcement at fault crossing	Necessary to study above measures especially for minimization or mitigation of damage effects		
	WTP	No measure at present other than coverage by others.	Cover by others and emergency water supply by tankers.	Cover by others and emergency water supply by tankers.	No measure at present other than coverage by others.
	For Historical Earthquake: Pipes	Same study as for scenario earthquakes is considered necessary.			
	Code 2800: WTP	Parts or members of facility structures and equipment should be reinforced			

8.1.2 下流側施設の耐震化案

送水管から配水管網までの下流側施設の耐震化案については、表 8.1.2 に示す通りの施策を採用した。

まず、送水管については目標として設定したように、被害発生の最小化を狙い、事前に強化することとした。シナリオ地震による破損箇所（信頼性 70%未満）は、断層横断部が 23 箇所、構造物接続部が 30 箇所と想定されており、これらについて強化することとした。信頼性が 70%以上ある箇所について、断層横断部は将来の実施に回し、一方、構造物接続部は破損しにくいものの工事が容易で安価であるため本計画に含めるとした。

表 8.1.2 送水施設及び配水施設の対策

Facilities and Their Conditions	Numbers	Description and Inclusion in the Project
1) Clear Water Transmission Main	<u>Target</u>	Reinforcement for minimization of damage
General		
Dimensions		Diameter: 2000-150mm, Length: 399km
Number of fault crossing	39	Twin pipes are counted as one pipeline
Connection to structures	150	
Damage by scenario earthquake		Reliability smaller than 70% (R<70%)
Fault crossing	60%	To be implemented in the project
Connection to structures	20%	To be implemented in the project
Damage by scenario earthquake		R>70%
Fault crossing	40%	To be implemented in future stage
Connection to structures	80%	Included: larger reliability but cheap/easy implementation
2) Distribution Trunk Main	<u>Target</u>	Basically treated by emergency countermeasures
General		
Dimensions		Diameter: 1600-300mm, Length: 768km
Number of fault crossing	95	
Connection to structure	190	
Damage by scenario earthquake		R<70%
Fault crossing	30%	To be implemented in the project considering high priority
Connection to structures	20%	To be implemented in the project considering high priority
Damage by scenario earthquake		R<70%
Fault crossing	70%	To be implemented in future stage
Connection to structures	80%	To be implemented in future stage
3) Distribution Sub Main	<u>Target</u>	Treated by emergency water supply and restoration
General		
Dimensions		Diameter: 250-50mm, Length: 6385km
Number of fault crossing	552	
Damage by scenario earthquake	868	Not included in the project
4) Distribution Reservoirs	<u>Target</u>	Minimization of damage effect
General		
Numbers	70	Including contact tanks and clear water tanks
Numbers located on fault	9	
Damage by Scenario Fault		
Reservoir on Fault	9	By-pass installation or supply by other facilities
Insufficient Capacity by Code 2800		
Aged/Deteriorated Reservoirs	15	Reinforcement of structure members or refurbishment
5) Pump stations	<u>Target</u>	Minimization of damage effect
General		
Numbers	40	
Numbers located on fault	3	
Damage by Scenario Fault		
Reservoir on Fault	3	Water supply by other facilities or supply by tankers
Insufficient Capacity by Code 2800		
Aged/Deteriorated Pump House	21	Installation of share walls & reinforcement of brick walls are included in the project
6) Mechanical and Electrical Equipment		
Damage Judged by Site Survey and Foundation Bolt Strength		
Unstable and unsafety Equipment	Many	Fixation/support of equipment, installation of chlorine neutralization equipment, etc. are included in the project.

配水管については、被災後の応急対策にて対応する方針だが、重要と思われる配水幹線については、被害発生を最小化のため強化することとした。北部地区の断層横断部、構造物接続部を補強することとした。その他の幹線や配水支管については、応急給水・応急復旧で対応することとした。

施設（構造）については、浄水場と同様に、シナリオ地震に対してはバイパス設置、他からの水供給の支援、あるいは、長期的将来の移設を検討した。

Code2800 に対しても、構造物や建築物の応力不足に対し部材の補強が必要となっている施設があり浄水場と同様な対策を計画した。また、設備についても不安定な設置状況にあるものや 2 次災害の可能性のあるものに対し補強等の施策を施すこととした。

8.2 プロジェクト期間の設定

JICA の M/P における水道耐震化計画の工程案、TWWC の将来計画や上述した実現性を考慮して目標達成期間を設定した。

JICA の M/P では、事業期間として 12 年間を設定し、そのうち短期を 3 年間、中期を 4 年間、長期を 5 年間としている。一方、TWWC では長期計画の目標年度を現時点より 15 年先の 2021 年に置いている。ここでは、事業期間としては、まず、設計および予算確保に 1 年間必要と考え、その後短期を 3 年間、中期を 4 年間、長期を 5 年間と JICA の M/P と同様に考えた。これより事業計画の目標年度は 2019 年と設定した。

図 8.2.1 プロジェクト期間

年 次	2007		2010	2014		2019
期 間	準備	短期	中期	長期	将来	
		3 年間	4 年間	5 年間		

8.3 事業費の概算

概略事業費については、TWWC からの聞き取り、経験ある現地コンサルの協力、「Price List of Goods and Service (MPO)」等により算定した。事業項目としては、6 章で検討したように管路や施設・設備の耐震化に必要な項目および応急給水のために準備すべき項目を含んでいる。

また、事業費については、大半は、イラン国内での費用となるが、一部の設備等は輸入すべき物もあり、内貨と外貨に分けて概算した。工事費は約\$22 百万、事業費としては\$28.5 百万と概算された。均等に投資すると考えると 1 年間あたりの投資額は\$2.4 百万となり、2005 年度の料金収入 \$67 百万の 3.5%程度となる。

表 8.3.1 概算事業費

	Cost Items	Short Term	Middle Term	Long Term	Total Cost
1	Construction Cost	3,628,600	6,243,900	12,395,200	22,267,700
	Pipelines				0
	Min. Occurrence	150,000	700,000	6,290,000	7,140,000
	Min. Effect	—	—	—	—
	Facility (Structure)				0
	Min. Occurrence	992,800	1,609,900	744,200	3,346,900
	Min. Effect	—	—	—	—
	Equipment				0
	Min. Occurrence	171,800	—	—	171,800
	Min. Effect	286,000	1,336,000	2,431,000	4,053,000
	Emergency Supply	2,028,000	2,598,000	2,930,000	7,556,000
2	Administration Fee (8 %)	290,288	499,512	991,616	1,781,416
3	Consultant Fee (10%)	362,860	624,390	1,239,520	2,226,770
4	Contingency (Approx.10%)	362,252	624,198	1,237,664	2,224,114
5	Preliminary Project Cost	4,644,000	7,992,000	15,864,000	28,500,000
6	Annual Project Cost	1,548,000	1,998,000	3,172,800	

8.4 事業実施計画

飲料水の確保を含め整備すべき方策の優先順位付けを行う。その際、緊急性・重要度・社会配慮・費用対効果・便益等より各プロジェクトの優先順位を求めた。具体的な評価項目は、次のようになる。

表 8.4.1 優先順位に関する評価項目

<ul style="list-style-type: none"> ➤ 特に壊れやすい施設である。 <ul style="list-style-type: none"> — 断層上に位置する。 — 適切に固定されていない。 — 老朽化、劣化が厳しい。 — 脆弱な材料で製作されている。 ➤ 壊れると施設運転が停止する。 ➤ 壊れると人命に影響する。 ➤ 壊れると他より被害が大きい。 ➤ 壊れると2次災害が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 上流側施設の破損は影響が大きい。 ➤ 補強しやすい施設である。 ➤ 小さな費用で大きな効果が得られる ➤ 同類の施設での補修の順序 <ul style="list-style-type: none"> — 古いものから補修する。 — 対象人口の大きいものを先行。 ➤ 災害時用の水確保に必要である。 ➤ 災害時用の給水準備に必要である。
---	--

これらにより優先順位を検討した結果、表 8.3.1 に示すように、初期の工事費が小さく、後期が大きくなるという事業工程になった。この主な原因は、工事着工前に時間を要する断層調査を行う必要があり、断層部の補強を中期に開始するとしたことによる。

第9章 経済分析及び財務計画

9.1 経済分析の目的

ライフライン強化を主な目的とする耐震強化プロジェクトは、シナリオ地震による損失回避の評価に基づいて、経済分析を実施する。特に、その経済分析においては、以下の点を考慮する。

- a) 耐震強化プロジェクトは、通常の水供給プロジェクトと異なり、給水量の増加を実質的に伴わないものであり、その結果、ユーザーからの料金による事業体の収入増加を生まないプロジェクトである。
- b) 耐震強化プロジェクトの便益はシナリオ地震による損失回避であり、シナリオ地震の生起確率及び規模により決定されるため、その便益は不確実な性格を持つ。
- c) しかしながら、耐震強化プロジェクトは、首都の重要なライフラインを守るという意味において、国益にかなう重要なプロジェクトである。

一般に、耐震強化プロジェクトにおいて参入する便益は、地震が生じた場合における復旧日数の削減から発生する。具体的には、シナリオ地震による被害からの復旧に要する日数の削減がもたらす、i) 初期断水地域における付加価値損失額、ii) 復旧に要する労働者の追加費用、及び iii) 応急給水に要する労働者の追加費用の損失回避により、貨幣価値化可能な便益が発生する。

9.2 プロジェクト便益

耐震強化プロジェクトへの投資に伴う初期断水人口が大幅に削減されることが第一のプロジェクト便益である。これにより、初期断水人口が約 220 万人削減される。これは、耐震強化投資により、初期断水率が投資前の 44.2 パーセントから投資後の 25.0 パーセントに大幅に改善されることに起因するものである（表 9.2.1）

表 9.2.1 耐震強化投資前と投資後のシナリオ地震発生後の断水人口の推移比較

シナリオ地震発生後の日数	投資前 (人)	投資後 (人)	投資前と投資後の差 (人)
発生当日	3,994,553	1,738,083	2,256,470
発生後 15 日	3,458,205	1,075,447	2,382,758
発生後 30 日	1,315,797	0	1,315,797
発生後 45 日	802,904	0	802,904
発生後 60 日	386,100	0	386,100
発生後 75 日	76,000	0	76,000
発生後 90 日	0	0	0

出所: 調査団による推定

第二のプロジェクト便益として、断水被害を受けた地域の復旧に要する労働者の費用が削減されることが、便益として算入可能である。耐震強化前のすべての被害を受けたパイプラインの復旧に要する労働者の延べ「人・日」数は、44,268 人・日であり、これが耐震強化後に、18,468 人・日まで大幅に削減することが可能となる。延べ 25,800 人・日低減される。さらに、第三のプロジェクト便益として、応急給水に要する労働者の費用が削減されることが、便益として算入可能である。削減効果は、延べ 7,671 人・日に達する。

9.3 経済分析のためのケース設定

上述した便益は貨幣価値に換算され、表 9.3.1 に示すシナリオ地震の生起確率の前提となる 4 つのアプローチにしたがって、1 年あたりの経済価格に変換される。

表 9.3.1 経済評価のためのケース及びシナリオ地震の生起確率

ケース	アプローチ	生起確率	シナリオ地震生起確率の考え方
ケース A	基本シナリオ準拠アプローチ	500 年に 1 度	経済評価のため、シナリオ地震の生起確率として左記を用いることとした。
ケース B	リスクプレミアム準拠アプローチ	400 年に 1 度	ケース A に地震リスク市場で取引されているリスクプレミアムを考慮した経済的生起確率を採用する。(プレミアム=1.25 倍)
ケース C	リスクプレミアム準拠アプローチ	300 年に 1 度	同上 (プレミアム=1.67 倍)
ケース D	リスクプレミアム準拠アプローチ	200 年に 1 度	同上 (プレミアム=2.5 倍)
ケース E	リスクプレミアム準拠アプローチ	100 年に 1 度	同上 (プレミアム=5 倍)
ケース F	サービスライフ準拠アプローチ	50 年に 1 度	シナリオ地震の生起確率を、理論的生起確率に関係なく、耐震補強プロジェクトのプロジェクトライフである 50 年に 1 度シナリオ地震が発生すると想定して設定。
ケース G	カタストロフィーリスク準拠アプローチ	生起確率を考慮せず。	シナリオ地震の生起確率を考慮せず、シナリオ地震発生の場合の想定最大被害の規模そのものに着目する。

出所：調査団によるケース分け

前述したプロジェクト便益に対して、シナリオ地震の生起確率及び関連する変換係数を適用することにより、表 9.3.2 に示すように、ケースごとに 1 年当たりの財務価格ベースの便益を貨幣価値化し、年当たりの経済価格ベースの便益に変換する。

表 9.3.2 財務価格ベース及び経済価格ベースの年間総便益

ケース	シナリオ地震生起確率	年間総便益 (財務価格) (ドル)	変換係数	年間総便益 (経済価格) (ドル)
ケース A	500 年に 1 度	811,725	0.970	787,374
ケース B	400 年に 1 度	1,014,657	0.970	984,217
ケース C	300 年に 1 度	1,339,347	0.970	1,229,167
ケース D	200 年に 1 度	2,029,314	0.970	1,968,434
ケース E	100 年に 1 度	4,058,627	0.970	3,936,868
ケース F	50 年に 1 度	8,117,254	0.970	7,873,737

出所：調査団による計算結果

9.4 プロジェクトコスト

耐震強化プロジェクトの総事業費は、28,500 千ドルであり、2008 年から 2019 年までの 12 年間にわたって投資される。この初期投資に加えて、施設・設備の更新費用 (2038 年から 2049 年までの 12 年間に合計 4,225 千ドル)、及び応急給水施設の維持管理費用 (毎年 4,680 ドル) が考慮される。これらの財務価格ベースのプロジェクトコストに対して、関連する変換係数を適用し、経済価格ベースの総投資費用は 20,162 千ドルと推定された。

9.5 経済分析の結果

シナリオ地震の生起確率を 500 年に 1 度と設定し、この確率は極めて低い数値であるが、前述した 4 つのアプローチに準拠した経済分析により経済内部収益率 (EIRR) に代表される経済指標を精査した結果、以下のように、耐震強化プロジェクトによる大規模投資の経済的妥当性が確認された。同時に、10 パーセントのコスト上昇、10 パーセントの便益減少及びそれらの組み合わせのリスクを含む

感応度分析も実施した。これらの EIRR に対応する、財務内部収益率 (FIRR)、便益・費用比率 (BCR)、純現在価値 (NPV) も、同時に計算された。

- a) 基本シナリオ準拠アプローチに基づけば、EIRR は、感応度分析のリスクがない場合でも、0.62 パーセントと、カット・オフ・レートの 5 パーセントを大きく下回り、シナリオ地震の極めて低い生起確率のために、1 年当たりの便益が極めて低く推定され、大規模投資に見合わない経済性であることが判明した。
- b) しかしながら、実際の地震再保険市場などにおいて経済的地震リスクとして取引されているシナリオ地震の生起確率以上のリスクプレミアムを考慮した経済的生起確率、すなわち、400 年に 1 度の生起確率 (0.025) から 100 年に一度の生起確率 (0.01) の範囲の生起確率を前提とする リスクプレミアム準拠アプローチに基づけば、実際に地震リスク市場で取引されている生起確率の下限である 200 年に 1 度 (0.005) の生起確率の場合は、EIRR は最も感応度分析リスクのある場合でも、5.19 パーセントと、カット・オフ・レートの 5 パーセントをわずかに上回り、市場のリスク評価においては、経済的妥当性を示すことが判明した。
- c) シナリオ地震の理論的生起確率に関わりなく、耐震強化投資の施設の耐用年数を考慮したサービスライフ期間中である 50 年に 1 度のシナリオ地震が発生するとの考え方を前提とする サービスライフ準拠アプローチに基づけば、経済内部収益率は、最も感応度分析リスクのある場合でも、20.18 パーセントと、カット・オフ・レートの 5 パーセントを大幅に上回り、経済的妥当性を示すことが判明した。
- d) シナリオ地震の生起確率に関わりなく、シナリオ地震のもたらす想定最大被害の規模が壊滅的な場合において、その想定最大被害の規模そのものをもって、万一シナリオ地震の発生時に重大な損失を回避できるとの考え方である カタストロフィーリスク準拠アプローチに基づけば、シナリオ地震が発生した場合の想定最大損失額は、407,723 千ドルに達し、これは 2005 年の国内総生産の 0.247 パーセント及び国内総資本の 0.665 パーセントに相当する巨大な損失であり、シナリオ地震のもたらす想定最大被害額は、極めて甚大であり、シナリオ地震の生起確率が極めて低いことを考慮しても、耐震強化投資の妥当性が存在することを示している。

表 9.5.1 経済内部収益率 (EIRR) の計算結果 (単位: パーセント)

ケース	シナリオ地震の生起確率	基本ケース	感応度リスク 1 (コスト 10%上昇)	感応度リスク 2 (便益 10%減少)	感応度リスク 3 (コスト 10%上昇及び便益 10%減少)
ケース A	500 年に 1 度	0.62	0.03	0.02	-0.51
ケース B	400 年に 1 度	1.93	1.36	1.30	0.75
ケース C	300 年に 1 度	3.69	3.07	3.00	2.40
ケース D	200 年に 1 度	6.73	5.98	5.90	5.19
ケース E	100 年に 1 度	13.53	12.43	12.32	11.28
ケース F	50 年に 1 度	23.37	21.82	21.66	20.18
ケース G	考慮せず。	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

出所: 調査団による計算結果

9.6 財務分析の目的

財務分析の主な目的は、以下の財務的観点からプロジェクトを評価し、TWWC による耐震強化プロジェクトの適正な財務計画を提言することにある。

- a) TWWC の財務的持続性に関する指標への耐震強化投資のインパクトを評価する。
- b) TWWC の損益計算書 (P/L) 及びバランスシート (B/S) などの財務諸表への耐震強化投資のインパクトを評価する。
- c) シナリオ地震が発生した際の、TWWC の料金収入減の回避効果を評価する。
- d) 中央政府補助金、TWWC による借り入れ及びユーザー負担 (料金への転嫁) の 3 者の耐震強化投資に対する最適な負担割合を確定するためのシミュレーションを実施する。

9.7 財務分析のためのケース

表 9.7.1 に示すように、補助金の範囲及び資金ソースの種類による 12 の財務分析のための分析ケースを想定しシミュレーションを行った。

表 9.7.1 財務分析のための想定ケース

補助金の範囲及び補助金でカバーされない部分の資金ソースの種類	極めて譲許性の高いローン (償還期間 40 年、元本支払猶予期間 10 年、年利 0.75% のローンを想定)	譲許性の高いローン (償還期間 30 年、元本支払猶予期間 10 年、年利 2.00% のローンを想定)	コマーシャルベースに準ずるローン (償還期間 20 年、元本支払猶予期間 5 年、年利 5.0% のローンを想定)
補助金による投資なし	A-1	A-2	A-3
パイプラインのみ補助金によりカバー	B-1	B-2	B-3
パイプライン及び施設・設備の耐震投資を補助金によりカバー	C-1	C-2	C-3
すべてのコンポーネントを補助金によりカバー	D-1	D-2	D-3

出所：調査団による設定

9.8 財務分析の結果

財務分析の結果は、以下のとおりである。

- a) TWWC のワーキング・レシオ (施設・設備の減価償却費を除くオペレーション・コストを料金収入で除したもの) 及びオペレーティング・レシオ (減価償却費を算入した総オペレーション・コストを料金収入で除したもの) などの財務的持続性指標は、現在においても国際的に認知されている必要最低基準を満たしていないが、耐震強化投資によりこれらの財務的持続性指標はさらに悪化することが懸念される。これは、耐震強化プロジェクトが直接キャッシュを創出しないタイプのプロジェクトであり、耐震強化という機能強化部分をユーザーが評価し、料金上乘せに同意しない限りは、補助金でカバーされない部分は、TWWC がローンでファイナンスするしかないためである。具体的には、大規模な耐震強化投資は、ワーキング・レシオの必要最低基準である 100.0 を越えている現在の値の 125.7 をさらに悪化させ、料金上乘せが全くできない最悪のケースでは 128.5 まで悪化する。同様に、オペレーティング・レシオの必要最低基準である 120.0 を越えている現在の値の 129.2 をさらに悪化させ、最悪のケースでは 132.0 まで悪化することが懸念される。
- b) 財務的持続性に関する指標へのインパクトと同様に、耐震強化という機能強化部分をユーザーが評価し、料金上乘せに同意しない限りは、補助金でカバーされない部分は TWWC が借り入れてファイナンスしなければならないため、損益計算書及びバランスシートなどの TWWC の財務諸表に少なからずネガティブな影響を与える。TWWC の 2005 会計年度の財務諸表を前提

とすると、最も影響が大きいケース（ケース A-3）では、TWWC の 2005 会計年度を前提とした粗利益の 5.83 パーセント及び純利益の 2.12 パーセントが、料金に全く転嫁できない場合において、それぞれ減少すると推定された。

- c) 耐震強化プロジェクトへの大規模な投資は直接キャッシュを創出しないため、料金に転嫁できない場合は、見かけ上は TWWC の財務状況に広範囲の悪影響を与える。しかしながら、シナリオ地震が実際に発生した場合は、耐震投資によって強化されたパイプラインによる初期断水率が大幅に改善するのに加えて、復旧期間が大幅に短縮するため、TWWC は断水期間中の料金収入の大幅な減少を回避することができる。具体的には、TWWC の 2005 年会計年度における年間総料金収入の約 3.89 パーセントに相当する 2,596 千ドルの料金収入の減少を回避できると推定された。
- d) 各ケースの中央政府による補助金がカバーする範囲に基づいて、TWWC による補助金によりカバーされない部分をローン総額として設定する。その結果、各ケースの異なる償還期間、支払猶予期間及び借り入れ金利を考慮して、年次最大償還額及び年次平均償還額を算出した。表 9.8.1 は、各ケースの補助金による総投資額及び TWWC による年次最大・平均償還額を比較したものである。

表 9.8.1 財務分析の各ケースの補助金額及び TWWC によるローンの最大・平均償還額

ケース	補助金による 総投資額 (千ドル)	総投資額に対する 補助金投入率 (%)	TWWC による総 借り入れ必要額 (千ドル)	TWWC による 年次最大償還額 (千ドル)	TWWC による 年次平均償還額 (千ドル)
A-1	0	0.0	28,530	1,139	680
A-2	0	0.0	28,530	1,892	805
A-3	0	0.0	28,530	2,979	941
B-1	9,138	32.0	19,391	771	462
B-2	9,138	32.0	19,391	1,273	547
B-3	9,138	32.0	19,391	1,980	640
C-1	18,829	66.0	9,700	385	231
C-2	18,829	66.0	9,700	487	201
C-3	18,829	66.0	9,700	791	236
D-1	28,530	100.0	0	0	0
D-2	28,530	100.0	0	0	0
D-3	28,530	100.0	0	0	0

出所：調査団による計算結果

9.9 財務計画への提言

耐震強化プロジェクトをファイナンスするために、財務的健全性を持った財務計画のために、以下の 4 つのステップを提言する。

- a) 第 1 のステップとして、仮想市場法 (CVM) などの手法を用いた客観的手法に基づくユーザーの耐震強化への料金値上げ受け入れレベルを調査する。

耐震強化のための補助金によりカバーされない部分に対する料金値上げ可能額及び補助金投入部分の最適レベルを検討するために、第 1 のステップとして、本プロジェクト仮想市場法は、アンケート手法を用いて、ユーザーの耐震強化という公共サービスの改善に対して、いくらまでなら料金に上乗せを受け入れることができるかどうかを質問するものである。CVM 手法により、需要者側のサービス向上に対する支払い意思額を客観的に評価することが可能となる。この第 1

ステップにより、本耐震強化プロジェクトにより改善されるパイプラインなどの施設・設備の耐震機能の追加的向上部分への料金支払い意思額とリンクした妥当な料金改定率を求めることが可能となる。

b) 第2のステップとして、耐震強化のための料金値上げの前提条件として、現在の複雑な料金体系を整理する。

ユーザーへの耐震強化投資部分への料金値上げを求める前提として、第2のステップとして、現行の複雑な料金体系を簡素化し整理する。耐震強化プロジェクト部分だけが、支払い意思額とリンクしていても、料金体系としては不完全であり、妥当な料金ブロックによる異なったユーザー・グループへの給水サービスのコストを適切に回収するために、現行の複雑な料金体系を整理する必要がある。具体的な、整理すべき現行料金体系の問題点は本文 2.3.3 のとおりである。

c) 第3のステップとして、料金値上げ率及び TWWC 借り入れ額の最適な組み合わせを決定する。

耐震強化プロジェクトのための妥当な料金改定レベルを精査するとともに、現行料金体系を見直した後、第3のステップとして、補助金によりカバーされない部分の料金への転嫁率を確定するとともに、残りの部分を TWWC によるローン借り入れによる資金調達としてその必要額を確定する。第1のステップにおいて、CVM（仮想市場法）などの手法により確認されたユーザーの WTP（支払い意思額）の範囲内で、最適な料金値上げ率を算出し、残りの部分を TWWC による借り入れで賄う。

d) 第4のステップとして、耐震強化投資後の TWWC の財務的持続性指標をモニターするために、TWWC の会計基準をグローバル・スタンダードのレベルに改善する

第4のステップとして、TWWC が独立した事業体として、第3のステップによって確定された借り入れを実行した後に、財務的持続性を確保するために、財務的持続性指標をモニターする必要があるが、このために、TWWC の会計基準をグローバル・スタンダードの基準に改善する必要がある。この最後のステップは、耐震強化投資後の TWWC の財務的持続性指標をモニターするために必須の条件である。具体的な改善すべき現行の会計基準上の問題点は、i) TPWWC から引き継いでいない資産を早急に TWWC のバランスシートに組み込み、それらの減価償却分を含めること、ii) 中央政府の補助金により建設された施設・設備を早急に TWWC のバランスシートに組み込み、それらを減価償却分を含めること、iii) 料金調整部分及び料金以外にチャージされている寄付資本金（Donated Capital）を適切に料金体系に反映するなどである。

第 10 章 環境社会配慮

当該国の法制度によれば、本調査で提案されている耐震化計画案は本格的な環境影響調査を必要とされない事業に分類される。また、同計画案の実施に伴う大規模な非自発的住民移転や大規模新規水源開発も計画されていない。ただし、建設工事段階における交通渋滞、工事排水の発生や騒音・振動の軽減対策について特に配慮して計画を進めることが必要である。ただし、上記の項目は建設工事期間に限られる限定的な影響であり、適切な工事計画を策定することにより最小限に抑えることが可能であると判断される。

一方、事業の実施により、環境社会配慮の面から以下の効果が期待される。

- － 本プロジェクト実施のシミュレーション結果より、初期断水人口が約 4 百万人から約 1.7 百万人に減少する。
- － 震災後復旧に要する期間が 82 日間から 30 日間と大幅に短縮される。
- － 震災後も必要最低限の生活用水（被災者 1 人当 1 週間分 89L）が確保される。
- － 施設の耐震性を強化することにより、被害の程度が最小限に抑えられ、結果としてそれに伴う火災や塩素ガス漏洩などの 2 次災害が抑えられる。

以上より、本調査で提案されている耐震化計画案による事業の実施により、対象地域における既存の社会環境が深刻な影響を受けることは無いと判断される。

第 11 章 耐震化計画の総合評価と提言

耐震化計画は、通常の水道施設整備のように、市民の水需要を満足させ、料金収入増加をもたらすプロジェクトとは異なり、次のような特徴を持っている。これらを念頭に置き、経済面、技術面、財政面及び環境面という多方面から耐震化計画を評価する。

- －耐震化計画は、その性格上、投資をしても、それが料金収入の増加につながらない
- －耐震化計画の便益は、地震の発生時期に左右されるため、不確かなものとなる
- －耐震化計画は、首都のライフラインの保護という国家の関心プロジェクトである

11.1 社会経済評価

耐震化計画実施による社会経済面の便益には次のものがある。

- －技術面に示したように、初期断水人口及び応急復旧期間が大幅に短縮される
- －震災直後でも被災者は 3 lpcd の水が入手でき、その量は時間の経過とともに増加する
- －震災直後でも被災者は 1km 以内の距離で水にアクセスでき、時間とともに短縮される
- －被災者は 1 ヶ月以内に、ほぼ、通常の水使用状況に戻ることが可能である
- －耐震化計画により 9,800 万人日が水不足を逃れられる
- －耐震化計画による便益は、数値化できるものだけで、約 4 億ドルになる

経済指標については、地震の再現期間を 500 年と見たときは、小さな数値となるが、プレミア付きで 200 年と見たときには、通常の水道プロジェクト程度の EIRR や B/C の値となり、妥当性が出る。

11.2 技術評価

本耐震計画は、緊急遮断弁等一部の設備を除いてイラン国内の技術で実施でき、輸入すべき一部の設備についても国内の技術レベルで管理が出来るものであるため、本計画は技術的に妥当であると考えられる。なお、本耐震化計画による基本的な便益は、次に代表される。

- －耐震化計画の実施により、初期断水人口が 2.2 百万人減少する、
- －耐震化計画の実施により、復旧日数が 50 日間短縮される。

また、脆弱なあるいは老朽化した施設や管路の補強／更新は、漏水の低減や高水圧等による事故の低減につながり、テヘラン水道システムの安定性を高める。

11.3 財務評価

実現性の高いプロジェクトとするため工事費を極力低くするよう検討したので、全額を TWWC の負担で実施したとしても、料金増加を 5.5%程度に抑えることが出来た。また、料金収入増加をもたらさないプロジェクトであるが、経済評価で述べたようにプレミア付きで考えれば妥当性は高まる。ただし、それでも市民の同意を得ることは容易でないと思われるため、国または市の補助金を投入することが必要と思われる。日本でも耐震化の補助制度があり、市民の支払い意思調査を行って、補助額を設定する当の方法が考えられる。

11.4 環境評価

本耐震化計画は、既存の施設を補強する、あるいは更新するプロジェクトであり、新たな

施設用地の確保や水源の開発を伴わない。従って、配慮すべき事項は、交通への妨げと騒音・塵埃・振動の発生程度である。施設・設備の補強は既設敷地内で行われるため、これらの影響は軽減される。管路の工事については工事期間や時間の選択、防音壁や水撒き等軽減策を講じることで影響が小さくなると考える。

11.5 総合評価

本耐震化プロジェクトの実施により、技術面では断水人口や復旧期間低減を始め大きな便益が得られるうえ、環境に与える負の影響が少ないことが把握された。また、給水量の増加をもたらさないプロジェクトではあるが、工事費を低めに抑えられたため、地震の再現期間を 200 年と見れば、経済面及び財務面の実行可能性も高まることも把握された。これにより本計画は、十分に実施の妥当性があるものと評価される。

たとえその発生確率が小さくても、地震災害から市民を守ることは重要である。特に、テヘラン近郊では、前回 1830 年に発生した地震から、既に大地震の周期と言われる 150 年を経過しており、この面からも実施が急がれることになる。なお、実施に際しては、中央または地方政府の補助が期待される。

11.6 耐震化計画に対する提言

耐震化計画を実施するうえで必要となる事項を提言として以下にまとめる。

(1) 全般的な必要性

- －継続業務：現地コンサルタントによる詳細調査、設計の継続、
- －データ収集：構造物の配筋状況、構造物との接続管路図、カナート規模と位置、
- －水道事業のマスタープランの作成、
- －配水ゾーンの独立（水理的分割）

(2) 地震関連データの必要性

- －補強方法及び位置選定のための断層位置・上端深度の調査
- －北部地域での地すべり、地盤崩壊の発生可能性調査

(3) 材料と施工

- －耐震型管路の使用
- －適切な接続、敷設及び防食の実施

(4) 応急給水拠点の整備

- －緊急貯水槽の配置の決定
- －公園内での緊急用深井戸の選定
- －上記井戸の水質モニタリングの実施

(5) 応急給水と復旧工事

- －TDMO との協力と定期的協議の実施
- －他都市水道事業体との支援体制の構築
- －管財や給水車所有の民間会社との協力体制の構築と復旧作業の演習
- －TWWC 緊急体制における具体的役割と責任の明確化と職員への周知
- －緊急集合ルールの早期作成
- －緊急給水拠点での給水の演習

第 12 章 無収水(NRW)対策に関する技術的提案

12.1 NRW と関連用語の定義

TWWC は NRW とその関連用語に関する定義付けを明確に行っておらず、NRW に原水の導水ロスや浄水場の浄水ロスを含んでいる場合もあった。用語の違った使い方や理解は、現状に対する誤解や NRW 削減対策の失敗にもつながるため、用語の定義を明確にし、職員全員が共通理解を持つことを提言した。TWWC と協議したところ、世界的に認められている IWA の定義を用いることが適切であるとの理解を得た。IWA による NRW 関連用語の定義を下表に示す。

表 12.1.1 IWA による NRW の定義

System Input Volume (Production/Distribution Volume)	Authorized Consumption	Billed Authorized Consumption	Billed Metered Consumption	Revenue Water
			Billed Non-metered Consumption	
		Unbilled Authorized Consumption	Unbilled Metered Consumption (water used for fire fighting, etc)	Non-Revenue Water (NRW)
			Unbilled Non-metered Consumption (free water distributed at Standpipes)	
	Water Losses	Apparent Losses (Non-technical or Commercial Losses)	Unauthorized Consumption (illegal use and connections)	
			Metering Inaccuracies <ul style="list-style-type: none"> - No meters - Meters not working - Meters not recording accurately - Meters misread 	
		Real Losses (Technical Losses)	Leakage from Transmission and/or Distribution Mains	
			Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks	
Leakage from Service Connecting pipes up to Customers' Meters				

Source: IWA (International Water Association)

上記の定義を適用した場合、TWWC の NRW は過去 10 年間で 44.5% から 23.7% に低減したことになる。

12.2 水量ロスとその計測

(1) 原水導水ロス

現在、導水ロスは計測されておらず、推定されているのみである。表流水及び地下水の取水と浄水場や塩素接触池流入部における流量測定を強化し、比較することが必要となる。原水を導水施設途中で分水しているが、その量も測定する必要がある。

(2) 浄水ロス

浄水ロスも現在、計測されておらず推定されている。各浄水場の流入量と流出量を計測し、浄水ロスが大きい場合は、ろ過池洗浄方法や沈殿地排泥方法のチェック・見直しなど適切な措置を講ずる必要がある。必要によって、排水の着水井返送も検討する。

(3) 無収水 (NRW)

現状では浄水や地下水の流量計が不足しているため NRW を計測することが出来ない。NRW の構成要素の現状を以下にまとめる。

- － **Unbilled Authorized Consumption**(正規使用で料金請求されない使用者): 料金請求を行わない場合でもその消費量を把握するためメータを設置する必要がある。洗管等局事業用水などで、メータの通さない使用についてはその使用量をその都度推定し記録する。
- － **Unauthorized consumption** (盗水) : 盗水は周囲の住民やメーターリーダーの通報や検査によって発見される。量は少ないだろうが、各盗水量の推定と記録をすることが重要となる。
- － **Metering inaccuracy**(メータ不感水量): TWWC は定期的なメータ取替えを開始し、2000 年から 2004 年の間に 673,000 個の各戸メータを取り替えた。NRW 削減のため TWWC は 6-7 年おきに全てのメータを取り替えることを計画している。
- － **Leakage** (漏水) : 漏水修理記録より、2004 年には、TWWC は毎日 433 箇所もの事故を修理していたことがわかる。漏水の殆ど(約 89.8%)は給水管で見つかっているが、その量は不明である。問題の重大性を知るためにも漏水修理のたびに、その量を測定あるいは推定して記録することが重要となる。

12.3 TWWC の NRW 削減対策

(1) 漏水調査と修理

JICA 調査チームが現場調査を行った際、TWWC の職員が漏水調査及び修理の機器を適正に操作し、作業を適切に行っていることを確認した。ただし、PVC 管やポリエチレン管の漏水調査には困難を伴っていた。また現場では、修理器具・機器の修理・調整に時間がかかることや、新しい機器の導入が必要だという深刻な問題を抱えていた。修理機器を搭載した車輛の導入も有効だと考えられる。その他、維持管理担当の職員によると、購入時の品質管理が不十分なため必ずしも適切な機器を調達できていないという問題もある。購入方法や仕様の適宜見直しが重要である。

(2) NRW 削減対策

テヘランでは、TWWC の対策が功を奏し、ここ 10 年で無収水(NRW)を飛躍的に削減した。データの信頼性に問題があるものの、TWWC の対策は適切であり評価に値すると考える。TWWC の取った対策の主なものは以下のとおりである。

- － 各戸メータの取替え: TWWC はテヘラン市全各戸メータの約 80%を交換し、定期的な交換を行っている。
- － 水圧管理: TWWC はその重要性を認識し、配水の水圧管理に力をそそいでいる。主な対策は、減圧調整弁の設置と配水区を仕切り弁で分離する配水ブロック化の計画である。
- － 経年管の敷設替え: TWWC は経年管および漏水多発等問題の多い管の敷設替えを行っており、過去 9 年間で約 505km の管を敷設換えした。
- － 漏水調査と迅速な修理: 2004 年には配水管の約 3.2 km の漏水調査を行った。1999 年から 2004

年にかけての過去 5 年間に 12,800m の配水管の漏水調査を行ったが、これは、全長の約 1.5 倍に相当する。また、漏水の早期修理のため、一日 24 時間体制で漏水修理を行っている。

12.4 NRW 対策に関する提言

NRW やその他の水量損失は急激に削減されたため、今後は同じような努力で同じように削減をしていくことが難しくなり、更なる対策とコストが必要となる。NRW 削減には優先順位の選定が今後ますます重要になる。優先対策、調査の優先地区、優先的に敷設替えする管路の選定を行っていくことが必要となる。下記に、更なる水量損失削減策の提言をまとめる。

(1) 流量の計測とモニタリング

先ず壊れた流量計の修理と不足している流量計の設置が重要である。流量を計量して記録することにより、配水量や導水量ロス、浄水ロス、配水池における損失、送水施設の損失、配水管における損失等の実測値を知ることが出来る。また、継続的に測定しモニタリングを行うことにより、漏水発生等の問題を見つけることが出来る。対策の優先順位を決めるためには、流量計の設置、計測、記録、継続的なモニタリングが重要となる。

(2) NRW や他の水量損失の分析

水量の計測値あるいは推計値を使用して水量損失の各要素を分析することにより、問題点やその重要性がわかり、対策の優先順位を考えることが出来る。各要素の損失水量、あるいは損失率を定期的に分析することにより、対策の効率性を検討することも出来るようになる。

(3) 配水ブロック化

TWWC は、配水区を分離してそれぞれを水理的に独立させる配水ブロック化を計画しているものの、現状では配水区の水理的な独立を積極的に行っているとは言えない。減圧弁の設置により配水圧をコントロールしているが、必ずしも常に適切な減圧は行えていない。配水ブロック化は震災後の応急対策等様々な点で有利であるが、特に水圧管理を適切に行い NRW 削減対策を進めるためにはブロック化の積極的な導入が望まれる。

(4) データの収集・整理・活用

NRW の原因やその対策を見つけ出すためには、事故報告等の整理を行い、分析することが重要である。TWWC では、データ収集を行った後の整理・活用が十分に行われているとは言えない。データの収集・整理・活用について以下のとおりまとめることが望ましい。

- － データベースの統一： 現在、各地区でそれぞれ独自にデータ整理をおこなっているが、データ収集と活用目的を考慮に入れて、本部主導によってデータ収集・整理システムの統一を図ることが求められる。
- － 漏水量データ： 優先順位を見つけ漏水削減計画をたてるためには、漏水に関する情報を集めることが重要となる。特に、通報を受けてから修理までの時間、漏水箇所等状況の詳細、漏水原因の推定、漏水量の計測または推定などが、重要なデータとなるため、各漏水現場で記録し、集計することが求められる。
- － 漏水マップの作成： 漏水修理後、漏水修理班が配水管図に(Scale 1/2,000)漏水発生地区の印をつ

けることによって、漏水マップを作成することが出来る。漏水マップは、問題管路や問題地域の特定・発見に有効な情報となる。

- － 配水管路図の更新: 敷設位置、管種、口径、敷設年、バルブ等の付属品位置等が正確に記載された管路図は、漏水削減対策に不可欠である。そこで、漏水修理や掘削等により情報を得るたびに、記録し、定期的に図面を更新することが重要となる。
- － データの保管と活用: データ収集後、各地区事務所はそれを本社に定期的に伝え、本社で適切に保管、管理することが問題分析や優先順位の検討にとって必要となる。結果は少なくとも3か月おきに公表し、問題点の共通理解や迅速な対策実施に役立てる。収集・整理されたデータの活用法について、担当職員の間で協議し共通理解を持つことが重要である。

(5) 改善のための話し合い

NRW を更に削減するためには、TWWC 内の本庁と各地区事務所が目標達成のための方法について話し合うことが重要である。現場の維持管理を担当する職員の能力は高く的確に仕事を行っているため、現場の意見は有用なものが多い。良い対策は積極的かつ迅速に取り入れていくことが求められる。

(6) 現場での意識高揚

NRW 削減の作業は、地道できつい仕事であるため、現場でのやる気を高めるための方策を考えることが必要となる。様々な対策が考えられ提案を行ったが、現場の意見を現実化することもその一つである。

(7) 広報活動

住民は水の重要さを理解しており、漏水等の問題の通報システムも整っているため、99.1%の事故は通報によって発見されている。今後も、広報活動により、住民の情報を積極的に集めていくことが重要となる。また、節水方法等について TWWC 側からの働きかけも同時に行っていく必要がある。

(8) その他

その他の対策として以下も重要となる。

- － メーターリーダーを NRW 削減対策に取り込むため NRW 対策部署と関係強化を図ること。
- － 資機材調達担当部署と維持管理部署との協議を持ち、品質管理の向上を図ること。
- － 現場をきれいにして適切な資機材を使用するなど、漏水修理の質の維持に努めること。
- － 地区事務所等、現場で迅速に経費を使用できるよう、予算措置のあり方を見直すこと。

第 13 章 広報活動に対する助言

13.1 広報の現況評価

(1) 広報機関

1970 年にテヘラン州水道公社 (TPWWC) は、規制緩和に伴い、会社組織に移行した。そして、2004 年 1 月にテヘラン市水道公社 (TWWC) は、TPWWC から分離し、独立した機関となった。分離当初は、広報機関については両社共通であったが、2005 年の 9 月に他部門と同様に分離した。

分離後の TWWC の広報機関としては、Call122 (Public Communication Center) が TWWC の Customer Service Section に移行し、新たに名称変更した PR & Public Education Office は 17 名の小さな機関になった。今のところ活動範囲は狭い。

13.2 広報活動への助言

今後の PR & Public Education Office の活動に対し以下の助言を与えた。

- － 広報活動の成功のためには、情報の発信と市民情報の収集のバランスが重要である
- － 地震等の災害時に対する広報を実施すること
- － 広報活動効果の測定のためモニターを置き、常に、顧客としての意見を得ておくこと
- － 水道公社職員全員が広報機関の所属であるとの意識を持って市民対応すること
- － 市民が施設を訪問しやすくすること、中でも水の博物館を設置すること

災害時の市民広報の一助として、東京都作成のパンフレット「地震時の 10 の教訓」のペルシヤ語版を作成し、TWWC に提出した。

13.3 水の博物館設置の助言

(1) 博物館設置の機運

2002 年 5 月に 5 名のイラン国上下水道担当高官が、神戸市の水の科学博物館を訪れ、展示物のすばらしさと事業者と市民との良好な関係に感銘を受けた。そして、テヘラン水道でも博物館の設置が必要と考えた。

現在、TWWC では、テレメトリー設備を更新中であり新しい建物が建設されている。空き室となる旧テレメトリー室を利用して、ここに水の博物館を設置しようと言う案とラーレ公園脇にある第 3 配水池敷地内に建設中の建物内に設置しようという案の 2 つの候補が出てきている。前者は TWWC の本部及び第 1 浄水場が存在するため便利な位置にあり、一方、後者は絨毯博物館・宝石博物館の近くにあり、一度に博物館めぐりをしようという市民にとり都合が良い。次項に述べる建設委員会を早期に設置して、十分な検討を行い、設置位置を決定することが望ましい。

(2) 設置の基本方針

博物館設置の基本方針として次の 3 項目を示した。

- －広報活動の一環としての博物館建設の必要性の認識
- －建設委員会設置による建設計画・実施の推進
- －展示物の選定と展示方法

(3) 日本における展示物と展示方法

日本の先進的な都市の水の博物館として、東京都の水道歴史館と水の科学館、横浜市の水道記念館、水道技術資料館及び神戸市の水の科学博物館を抽出し、これらの中からテヘラン市に望ましいと思われる展示物や展示方法を紹介した。

東京都の水道歴史館における展示の概要を次頁の図 13.3.1 に示す。

(4) 水の博物館の運営について

1) 運営方法

望ましいと思われる水の博物館の運営方法の例を表 13.3.1 に示す。

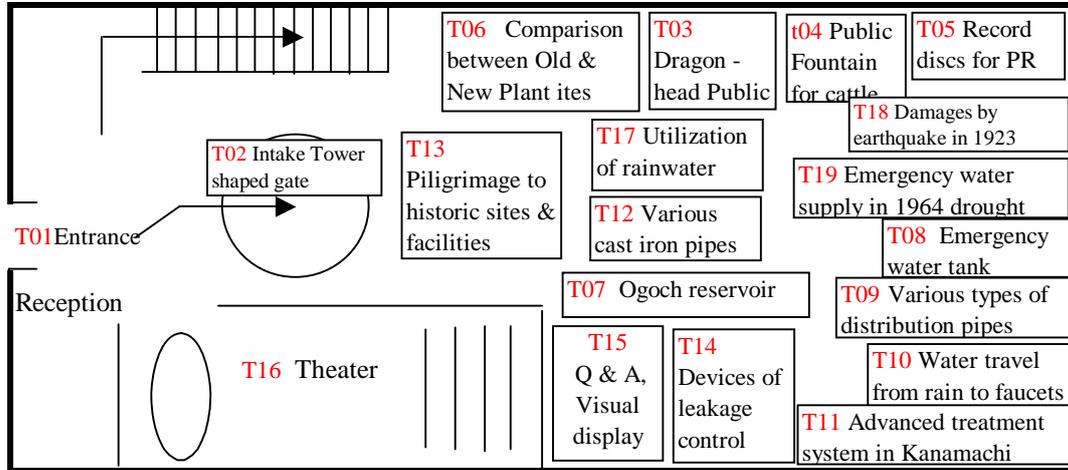
表 13.3.1 博物館運営方法の一例

運営母体：TWWC
資金： 運営費はテヘラン市の出費とする
博物館の管理：委託
契約期間：5年間
開館時間：午前9時～午後5時
入場料： 1,000 Rial/人

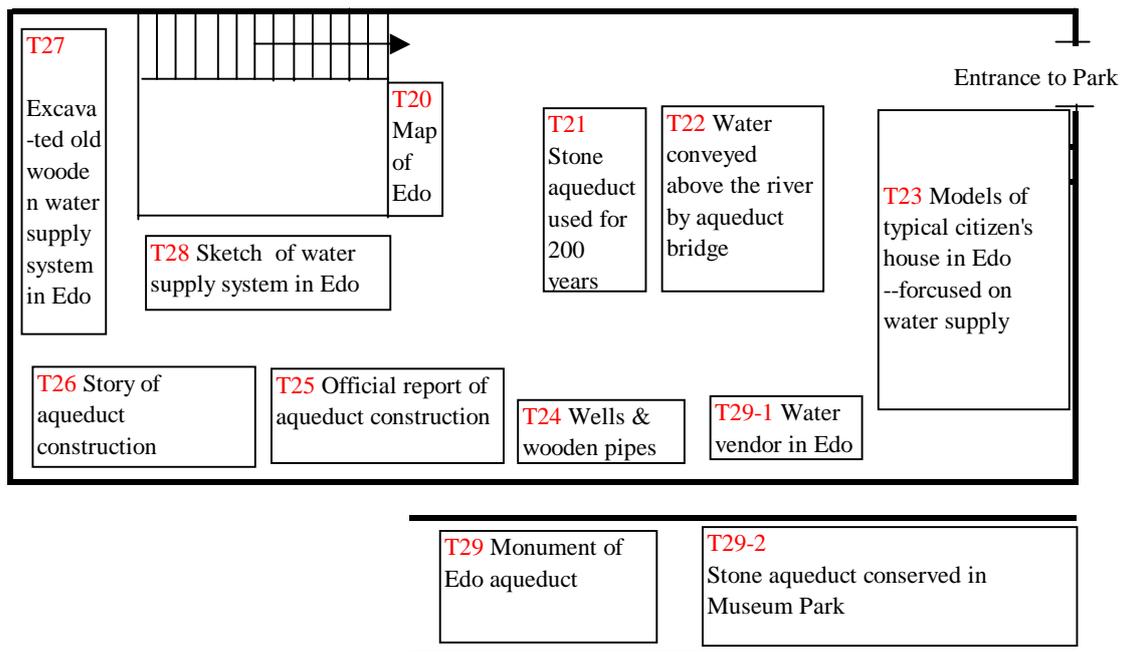
2) 運営に対する提案

博物館の安定した運営を行う上で必要と思われる事項を以下に示す。

- －博物館の開館をマスメディアを利用し十分に宣伝する。料金表の裏に博物館の写真を載せる
- －TWWC の重要な広報活動の一環と位置づける
- －入場者数を増やす努力を続ける
- －展示物に創意工夫をして、常に入場者をひきつけること
- －地域、学校、環境機関等種々の団体と協力する
- －その他



・Ground Floor : Modern Water Supply Section (After 1868)



・1st Floor & Park : Premodern Water Supply Section (Before 1868)

〒113-0033 1-7, Hongo 2-Chome, Bunkyo-ku, Tokyo

Tel 03-5802-9040 Fax 03-5802-9041

図 13.3.1 東京都の水道歴史館概要図