

図 3. 2. 2 応急復旧手順と被害探査の関連

2) ヒアリング調査結果による震災時被害探査方法

今回研究で6事業者に対して行ったヒアリングによると、いずれの事業者も平常時の漏水探査に有効な流量のブロック監視が地震による被災時にあってもそのまま適用可能と考えている。一方で、断水ブロックに導入している遠方監視システムが震災時にどの程度機能するか懸念をいだいており、被災箇所把握は実際に現場におもむいて行うことを基本としている。

震災時における管路の被災確認方法は概ね次のように集約できる。

表 3. 2. 4 事業者が考えている震災時被害探査方法

項 目	対 応 方 法
1) 大まかな漏水発生 (管路異常) 有無の把握	管路の被災に伴う大量漏水の有無は、流量のブロック監視で対応する。
2) 被災箇所の特定と その探知方法	職員等が実際に現地へ赴き、地上漏水や漏水探査機器を利用して探知する。 従来の探査技術では管路通水が不可欠のため、上流から下流へ向かう探査順序をとる。

注) 今回ヒアリングを行った事業者は大規模であったので上記1)が有効となるが、ブロック監視を導入していない大多数の中小規模事業者(注2)に限定されることになる。

3) 一般的な震災時被害探査プロセス例

1本の配水管についての被災直後から復旧完了までの応急復旧過程例を、便宜的に極端な例として以下に示した。

表3.2.5 各応急復旧過程例の条件と特徴

	CASE-A	CASE-B
管路の仮定条件	ある1本の配水管について、複数箇所の被災により極端に水圧が低下した状態を仮定する。 復旧(探査対象)区間は下図1-3区間であり、探査区間はA、Bに分けることとしたものである。	
探査条件特徴	探査方法は既往の手法とし、全面断水を避けるために下流側に通水しながら探査を行うケースである。	探査方法は既往の手法とし、上流側より探査区間ごとにバルブ(図中2地点)で遮断しながら段階的に探査・通水を行うケースである。
	水量的に不足するとしても下流側の断水は回避できる。 全区間通水状態にあるため、2区間を同時に探査することが可能である。	既往の探査方法では管が有圧である必要があるため上流側より段階的に通水することとなり、下流側ではその間断水状態となり、探査もまた不能となる。
	既往の探査方法ではある程度以上の水圧が確保されていないと探査の精度が低くなる。 ここでは二次探査が必要となった例を示した。	ある程度以上の水圧が確保されていれば探査の精度はCASE-Aよりも高くなる。 ここでは二次探査が不要とした。

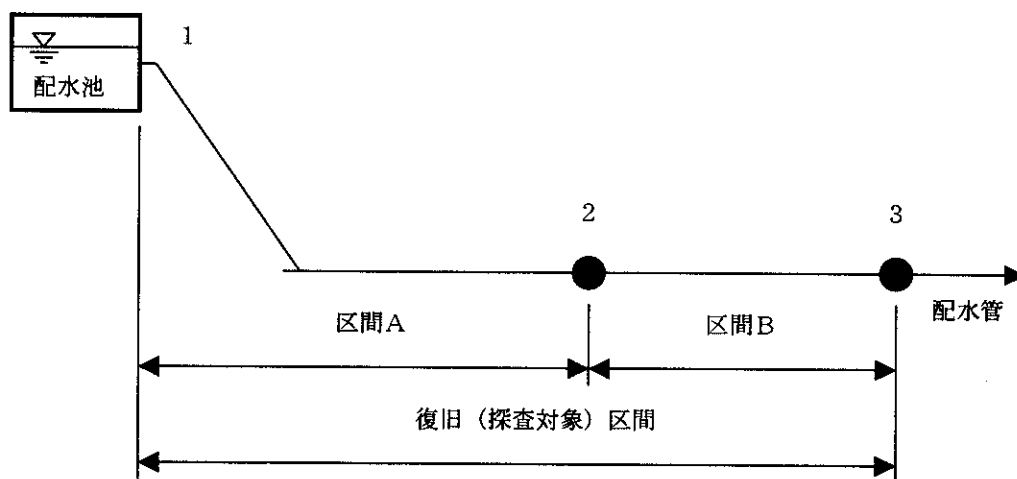


図3.2.3 応急復旧過程例の前提とした配水管模式図

各ケースの震災時応急復旧・探査プロセスを以下に示す。

CASE-Aは断水を伴わず、全区間を同時に探査・復旧が可能となるが水圧不足に起因して二次探査が必要となることがあり、一方、CASE-Bは全面断水を伴うことになるが、一概にいずれの探査・復旧速度が速いということはいえないであろう。

また、事業者の震災対策計画では極力断水は避けて通水しながら探査・復旧を行うことを基本としていることが多い。今後の議論が待たれるところである。

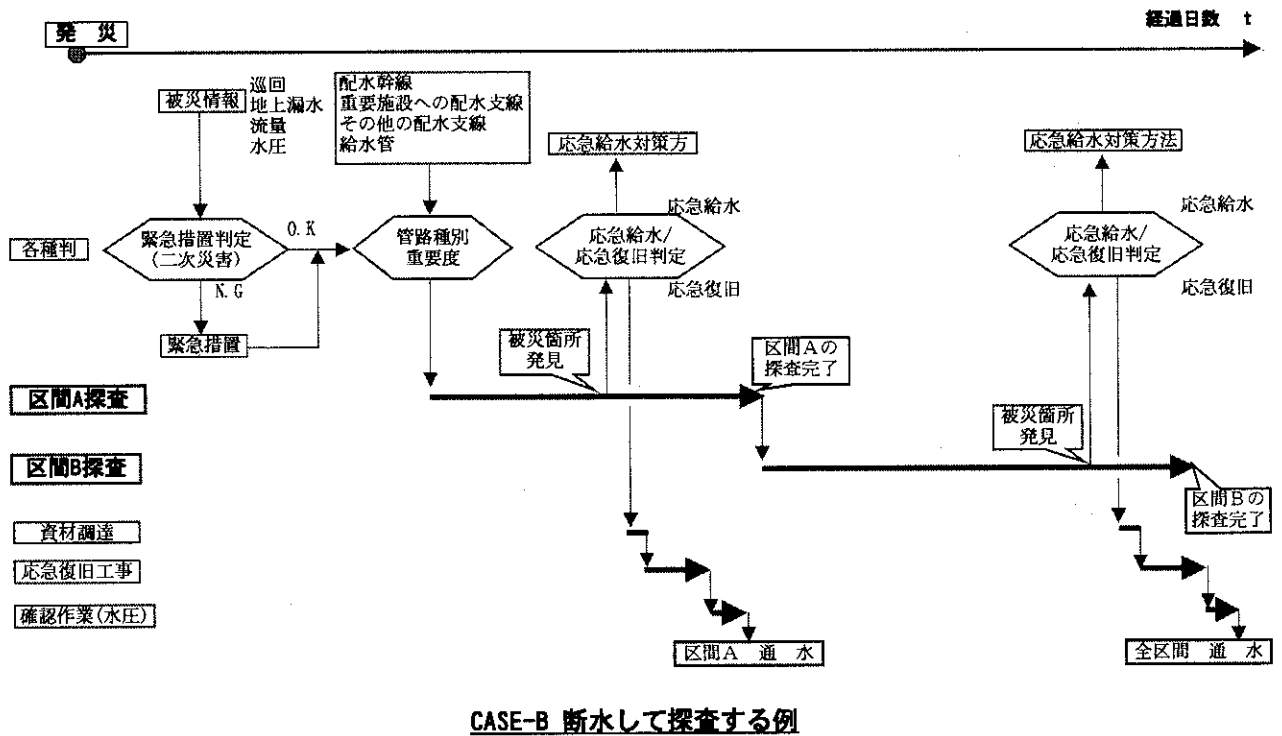
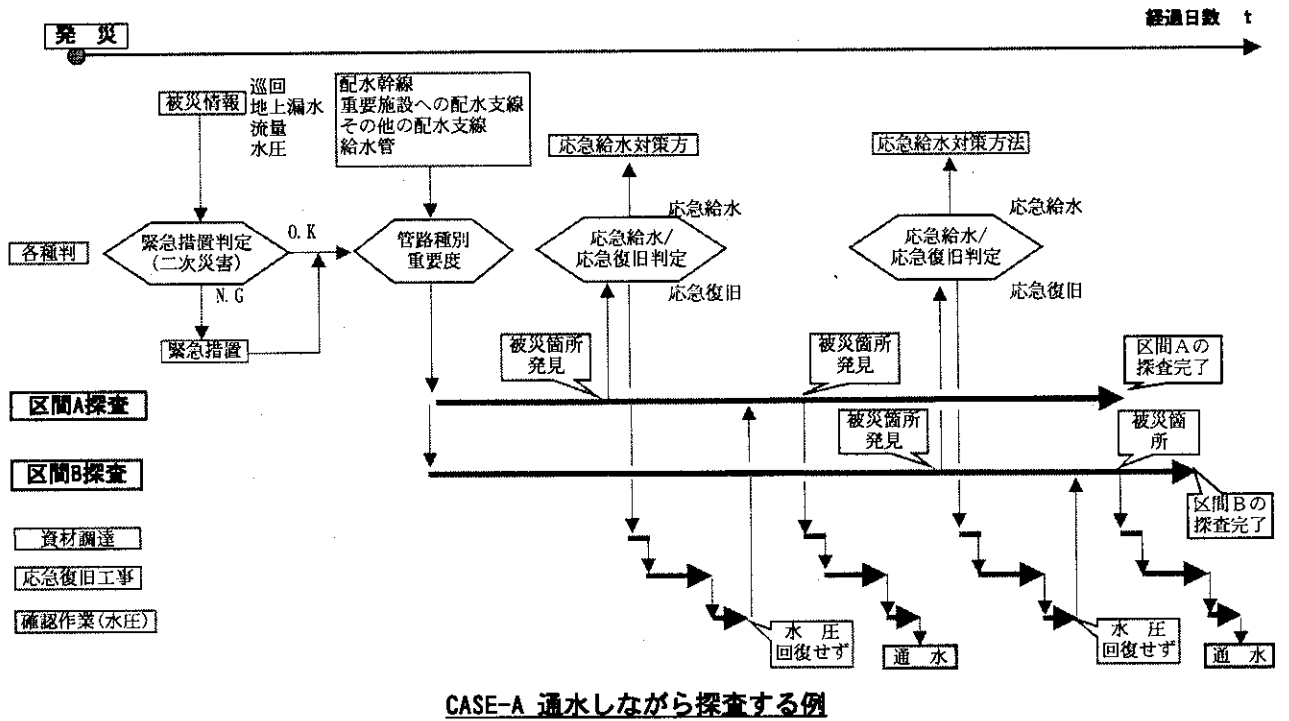


図 3.2.4 震災時応急復旧・探査プロセス例

一次探査：精度は粗くても広い範囲を対象に早急に被災区間の目安をつけられる探査
 二次探査：被災箇所を精度良く特定できる探査

4) 震災時において既往の被害探査技術が有する課題

ここまでで、事業体の震災対策計画が平常時の漏水探査方法を適用することを基本に構築されていることや、震災時応急復旧プロセス例について示してきたが、応急復旧プロセスが探査の特徴・限界によりかなり制約を受けていることがうかがわれた。震災時の被害探査に関して次のような解決すべき課題が認められる。

表3.2.6 震災時において既往の被害探査技術が有する課題

項目	問題点
a. 既往の探査技術の原理に起因する課題	探査に関わる通水確保の制約が効率的探査・復旧の障害となる。
	探査に関わる所定水圧確保の制約が効率的探査・復旧の障害となる。
	探査順序の制約が効率的探査・復旧の障害となる。
	探査精度、探査速度、その他の各探査機器の適用条件による制約が効率的探査・復旧の障害となる。
b. 広域監視、ブロック監視に関する課題	未整備の監視網がブロック監視の有効性を阻害し、早急な初動体制確立の障害となる。
	職員等が直接現地に赴いて確認・探査することが早急な初動体制確立の障害となる。

a. 既往の探査技術の原理に起因する課題について

既往の探査技術の原理に関する課題として以下のものがある。

- (i) 探査に関わる通水確保の制約
- (ii) 探査に関わる所定水圧確保の制約
- (iii) 探査順序の制約
- (iv) その他各探査機器の適用条件による制約

(i)について

従来の探査手法では漏水探査の際に通水しておく必要があるため、被災の規模によっては莫大な漏水探査用水の確保が必要となり、配水池容量が十分でない場合や水源からの供給量が不足した場合に探査が困難となる。

(ii)について

兵庫県南部地震の報告例によれば、尼崎市等の被害が比較的小さかった市では上流側幹線から復旧する原則に則り、全面断水を行わずに通水しながら復旧を行うことが可能であった。一方、西宮市等の被害の甚大な市でも当初、通水を行いながら漏水箇所探査・復旧する方法が採られたが、損傷が甚大なため漏水の形態で被災箇所を発見することが困難であった。同様に神戸市では漏水が地下に漏出して地上漏水が現れ難かったことや漏水に伴い水圧が著しく低下して探査作業に支障を来したため、バルブにより区間を区分し、試験通水しながら探査・復旧を図った。

このように、被災箇所の探査にあたり、既往の探査方法では管内がある程度以上の水圧を有している必要があることが大きな制約となり、更に管路の復旧の進展に伴い配水圧力が回復すると、低水圧時に発見できなかった被災箇所からの漏水のために二重・三重の漏水探査を余儀なくされることもある。

(iii)について

漏水探査の際に管路通水が不可欠なために、漏水探査手順（上流から下流へ）が限定されるため、効率的な探査・復旧作業手順とならないことがある。

3. 2. 3 被害探査に求められる技術と適用性

本項では前項に記述した震災時において既往の被害探査の有する課題を踏まえ、被害探査に求められる技術的な事項や復旧段階・管路種別ごとに求められる要件等を取りまとめるとともに新技術も含めた被害探査技術の適用性について述べる。

1) 被害探査に求められる技術

震災時の被害探査に今後求められる技術には次のようなものが考えられる。尚、あるひとつの求められる要件が複数の項目に関連するものがあるが、便宜上項目別に分類した。

表3. 2. 7 被害探査に求められる技術 (1)

項 目	探査に求められる具体的技術内容
a. 探査機器の適用限界の解消・拡張	探査機器の探査精度や探査速度、管路種別他による適用条件の制約、特に被災管路の通水とある程度以上の管内水圧確保を必要としない探査技術。 例えば、空管/満管併用技術の開発。 その他の探査機器の適用条件を拡張でき、かつ従来以上の漏水位置特定精度を有する探査技術の開発。
b. 探査・復旧の効率化	復旧段階（緊急措置、応急復旧）や管路種別（幹線、支線他）に応じて探査に求められる情報の質等に差異があることを考慮して、例えば、探査方法の組合せによる段階的探査を導入して探査・復旧の効率化を図ることが考えられる。 これは、発災直後において探査精度が多少粗くとも広い範囲を対象に被災規模の目安をつけることが可能で探査速度の速い探査を先行して通水/断水の判定を行うと共に、多少時間がかかっても特定確度の高い探査を追従して行うものであり、各要件を満たす探査方法の開発が必要となる。
c. 広域センシング	特に早期の初動体制確立を目的として、人員が現地に赴かずに被害状況を把握可能な遠方監視（広域センシング）の導入。 従来より使用されている流量計、水圧計以外の計測機器の利用。
d. リアルタイム地震防災システムを利用した間接的被災区域推定	現在積極的に導入を推進しつつあるリアルタイム地震防災システムを利用して、液化化、地震動規模や構造物の被災程度により間接的に管路の被災を把握できる技術の確立。

表3.2.7 被害探査に求められる技術 (2)

項目	探査に求められる具体的技術内容
e. 復旧戦略立案に有効な情報を提供できる探査技術	<p>効率的・効果的な復旧戦略を立案するために新たな情報を探査に求められることが考えられる。 今後、復旧支援システム開発研究等の中で検討することになるう。</p> <p>現在、重要度・影響度の大きい管路を優先して復旧することが一般的に考えられているが、復旧の効率化のみならず市民感情を考慮した場合などに異なった復旧プロセスをとらざるを得ない場合も想定される。 これについては今後、復旧支援システム開発研究の中で検討することになるうが、当該要件に応える探査方法については上記に掲げた探査を適用することで対応可能と思われる。</p>
f. 平常時においても有効に活用できる探査技術	地震時のみならず平常時においても有効に活用可能な探査技術であることが望まれる。
g. その他	将来技術として管路に自己診断機能を付与する技術。

a. 探査機器の適用限界の解消・拡張について

(i) 空管/満管併用技術の開発

(ii) 探査の適用条件を拡張でき、かつ漏水位置の特定確度が従来以上に高い探査技術の開発

(i)について

前出のとおり、既往の探査技術にはその原理に起因する適用上の限界があり、中でも既往の探査では通水が不可欠であり、また所定の水圧が確保されていないと探査精度も低下することが最大のネックとなっており復旧プロセスにも制約を強いる結果となっている。このようなことから、被災管路の通水とある程度以上の管内圧力確保を必要としない探査技術が求められるのであるが、空管を対象とした探査については平成8～10年度で既に研究済みであるので、今年度以降の研究では空管/満管併用技術について検討を行う。

(ii)について

上記の他、探査機器の探査精度や探査速度、管路種別他による適用条件の制約を解消・拡張できる探査方法について検討する必要がある。

本研究では音響法と音圧法の基礎実験を行い検討する計画であり、また、新技術を含めた探査方法の各種条件別適用性については後述する。

b. 探査・復旧の効率化について

図3.2.1に示した各段階の給水目標を達成するためには、各応急復旧のための被害探査が効率的に成果をあげなければならない。このとき、復旧段階（緊急措置、応急復旧）や管路種別（幹線、支線他）に応じて探査に求められる情報の質等に差異があるので、種々の制約はあるがなるべく各復旧段階で求められる探査の要件に合致した方法を採用が必要がある。

ここで、発災直後において探査精度が多少粗くとも広い範囲を対象に被災規模の目安をつけることが可能でかつ探査速度の速い探査（ここでは一次探査と仮称する）を先行して行うことができるならば、通水/断水を早期に判定することができ、より迅速な応急給水・応急復旧の判断が可能となる。

更に、多少時間がかかっても特定確度の高い探査（ここでは二次探査と仮称する）を追従させるならば、被災の考えられる区間を集中的に探査することが可能となり総じて効率的な探査・復旧が実現できることとなる。

以上の観点から復旧段階および管路種別ごとに、被害探査の情報として求められるグレード・要件について整理したものを、表3.2.8に示す。

表3.2.8 復旧段階・管路種別ごとの情報に求められる要件等

復旧段階	管路種別	情報に求められるグレード (探査を含む)	情報に求められる要件 (探査を含む)
混乱期 概ね3日間 導・送水管復 旧を優先	給水区域 全 域	「どのあたり」で断・減水している のか（全域の概要把握）	
	導・送水管	「どの管路」で被災したのか 「当該管路の被災の程度」（流せる のか流せないのか＝被害の程度） 被災箇所の特定	被災想定区間、箇所を狭める技術 被災箇所を精度よく特定できる手 法
	配水幹線	「どの管路」で被災したのか 「当該管路の被災の程度」（流せる のか流せないのか＝被害の程度）	精度は粗くても広い範囲を対象に 早急に被災区間の目安がつけられ る手法
応急復旧 (前期) 配水幹線の 復旧を優先	配水幹線	被災箇所の特定	被災想定区間、箇所を狭める技術 被災箇所を精度よく特定できる手 法
	配水支線	「どの管路」で被災したのか 「当該管路の被災の程度」（流せる のか流せないのか＝被害の程度）	精度は粗くても広い範囲を対象に 早急に被災区間の目安がつけられ る手法
応急復旧 (中期) 支線、管網、 ブロック	配水支線	被災箇所の特定	被災想定区間、箇所を狭める技術 被災箇所を精度よく特定できる手 法
応急復旧 (後期) 支線、管網、 ブロック	配水管 (全般)	被災箇所の特定	被災想定区間、箇所を狭める技術 被災箇所を精度よく特定できる手 法

注) 各復旧段階に記した管路種別は当該復旧段階において主要な復旧作業対象となるものを掲げた。

給水管については配水管が通水できていれば復旧段階によらず個別に対処可能であるので省略した。

情報には探査とこれ以外に巡回、通報による地上漏水の発見、断減水の通報他がある。

上表は以後の探査手法を絞り込む上での要件となる。

c. 広域センシングについて

震災時にあっては道路事情等により人員を派遣することに時間を要する危険性があり早期の初動体制の確立が危ういことから、職員等が直接現地に赴かずとも被害状況を把握可能な遠方監視（広域センシング）の導入について検討する価値があることは前述したとおりである。

常時監視を行わない探査で確認できるのは、例えば被災後しばらく経った後の空管になった状態であり、分岐管以後の管や下流側管の被災が原因したもので探査対象の管路は健全な場合もあるが、随時探査初期の段階では判定不能である。しかし、十分密にセンサーを配置した広域センシングによる常時監視体制が整備されていれば、動的な解析により被

災区間を推定できる可能性がある。検討未了のためいまだ可能性の域を出ないが検討の価値は十分あると考えている。

この他に広域センシングに関連して、従来より使用されている流量計、水圧計以外の計測機器利用についても模索する必要があるだろう。

尚、耐震化が進むことにより被災確率が低くなれば広域センシングの密度等は軽減されることが想定される。

d. リアルタイム地震防災システムの利用について

JR等の一部企業体で以前から導入していたものもあるが、兵庫県南部地震以後、各地にセンサーを配置して防災・震後対策に役立てようとする動きが活発化し積極的にその導入を推進しようとの動きにある。水道事業体のみでは導入が困難であっても他企業体との連携をとることにより被災推定に有効に活用できる可能性がある。例えば、液状化、地表加速度、応答速度や構造物の被災規模を基に間接的に管路の被災を把握できる技術の開発が求められる。

e. 復旧戦略立案に有効な情報を提供できる探査技術について

- (i) 効率的・効果的な復旧戦略を立案するための新たな情報
- (ii) 管路復旧優先順位の変更に対する探査の対応性

(i)について

効率的・効果的な復旧戦略を立案するために新たな情報を探査に求められることが考えられるが、今後の復旧支援システム開発研究等の中で検討することになるだろう。

(ii)について

管路復旧作業の優先順位に関して、神戸市の報告では「復旧班の投入方法として、①早期復旧可能な区域を早く見出したうえで、その区域に優先的に復旧班を配置する方策と、②被害が甚大な区域に優先的に復旧班を配置する方策がある」とし、「兵庫県南部地震の際には市民感情を優先させて②の方策をとったが、全体の作業効率を考えた場合には①の方策も有効であろう」としている。

現在、重要度・影響度の大きい管路を優先して復旧することが一般的に考えられているが、復旧の効率化のみならず市民感情を考慮した場合などに異なった復旧プロセスをとらざるを得ない場合も想定される。

ただし、目下、重要度・影響度の大きな管路を優先する復旧過程を念頭に探査を考えているが、当該要件に応える探査方法についても以上までに掲げた探査で対応可能と思われる。

f. 平常時においても有効に活用できる探査技術について

被災時被害探査方法は平常時においても有効に活用できる探査技術である必要があり、これについては今後検討を行う。

g. その他

話題のひとつとして管路の自己診断機能を付与する技術があるが、将来の研究に待つこととして本研究では検討しない。

2) 管路種別、応急復旧段階別の探査方法

① 管路種別ごとの特徴

ここでは管路種別、応急復旧段階別の各探査方法の適用性についてまとめるが、これに先立ち主に配水管を念頭に管路種別（幹線、支線、ブロック、給水管）ごとの物理的、機能面他に関わる特徴を表3.2.9～12にまとめる。

尚、以下の管路種別の項目にある付属設備とは消火栓、空気弁、排水設備等をいう。

また、用語の定義は影響度予測システム研究と同様であるが、それら以外に幹線と被災時探査ブロックについて以下のように定義した。

幹線 : 導水管、送水管、配水幹線の総称

被災時探査ブロック : 幹線、支線を「線」ととらえているのに対して、ここでいうブロックは配管網（通常は支線の集合体）をひとつの「群」や「塊」ととらえるものである。

施設管理を行うためのブロックや平常時の漏水探査を行うためのブロックとは必ずしも一致しない、あくまで震災時被害探査を念頭においた、被災時に流量を把握できる最小単位を被災時探査ブロックと定義し、被災規模等により異なったものとなる。

表3.2.9 幹線の特徴

項目	特徴	備考
管径	相対的に大	
流量・流速	大（流速にして概ね1.0m/sec程度以上）	
埋設深	大きい場合もある	
分岐数	少	
付属設備	少	
給水取出し	なし	
布設箇所	一般に公道であり、主要道であることが多い。	
重要度	大	
減・断水による影響	大	
他幹線への融通性	幹線間は離れていることが多く、融通性に乏しいことが多い。	
被災した場合の二次災害の危険性	大	
被災した場合の復旧の難易	幅員の広い公道内に布設されることが多いが、交通量も多いため一般に難。	

表3.2.10 支線の特徴

項目	特徴	備考
管径	中～小	
流量・流速	中～小 (流速にして概ね1.0m/sec未満)	
埋設深	中	
分岐数	多	
付属設備	多	
給水取出し	多	
布設箇所	一般に公道であり、主要道の場合もあるが幅員の狭い場合が多い。	
重要度	相対的に中～小	
減・断水による影響	相対的に中～小	
隣接する支線、ブロックとの連絡	支線が隣接することが多く、一般に連絡し易い。	
被災した場合の二次災害の危険性	中～小	
被災した場合の復旧の難易	幅員の狭い公道内に布設されることが多いが、倒壊家屋の有無により異なる。	

注) 支線にあっても重要度、減・断水による影響が一概に低いとはいえないが、ここでは幹線との比較において相対的に中～小とした。
 上表中のブロックは被災時探査ブロックとは限らない。

ブロックは支線の集合体であり、個々に見れば支線と同様の特徴を有する。

表3.2.11 ブロックの特徴

項目	特徴	備考
重要度	中～小	
減・断水による影響	中～小	
隣接する支線、ブロックへの融通性	支線が隣接することが多く、一般に連絡し易く融通性に富む。	
被災した場合の二次災害の危険性	中～小	
被災した場合の復旧の難易	幅員の狭い公道内に布設されることが多いが、倒壊家屋の有無により異なる。	

注) 管径～布設箇所の項目は支線と同じであるので省略した。
 ブロックにあっても支線と同様、重要度、減・断水による影響が一概に低い訳ではないが、ブロック内支管の一部が機能しなくなったとしても対策を講じ易いことを勘案して中～小とした。
 上表中のブロックは被災時探査ブロックとは限らない。

表3.2.12 給水管の特徴

項目	特徴	備考
管径	小（概ねφ50以下）	
流量・流速	小（流速にして概ね 0.5m/sec内外）	
埋設深	小	
分岐数	一般になし	
付属設備	一般になし	
給水取出し	—	
布設箇所	一般に民地部分が多い。	
重要度	小	
減・断水による影響	一般に小	
隣接する支線、ブロックとの連絡	—	
被災した場合の二次災害の危険性	小	
被災した場合の復旧の難易	障害物がなければ一般に容易。	

注) 上表中のブロックは被災時探査ブロックとは限らない。

②管路種別、応急復旧段階別の探査方法

ここでは、表3.2.1に示した以外の探査方法も対象として、管路種別、応急復旧段階ごとの適用性について検討する。

3.3 効率的被害探査技術の検討

前節までにおいて、平常時の漏水探査方法の整理と震災時の被害探査に求められる技術や適用性の検討を行ってきたが、ここでは特に被災時の被害探査・監視体制の理想像を描くとともに来年度以降の基礎研究内容について示す。

3.3.1 ケーススタディ

震災時において効率的な探査・復旧を行うために理想的と思われる探査・監視体制を図3.3.1に示す。

また、3.2.3に掲げた探査・監視体制が可能となった場合に期待できる効果を復旧工程表の比較により示す。

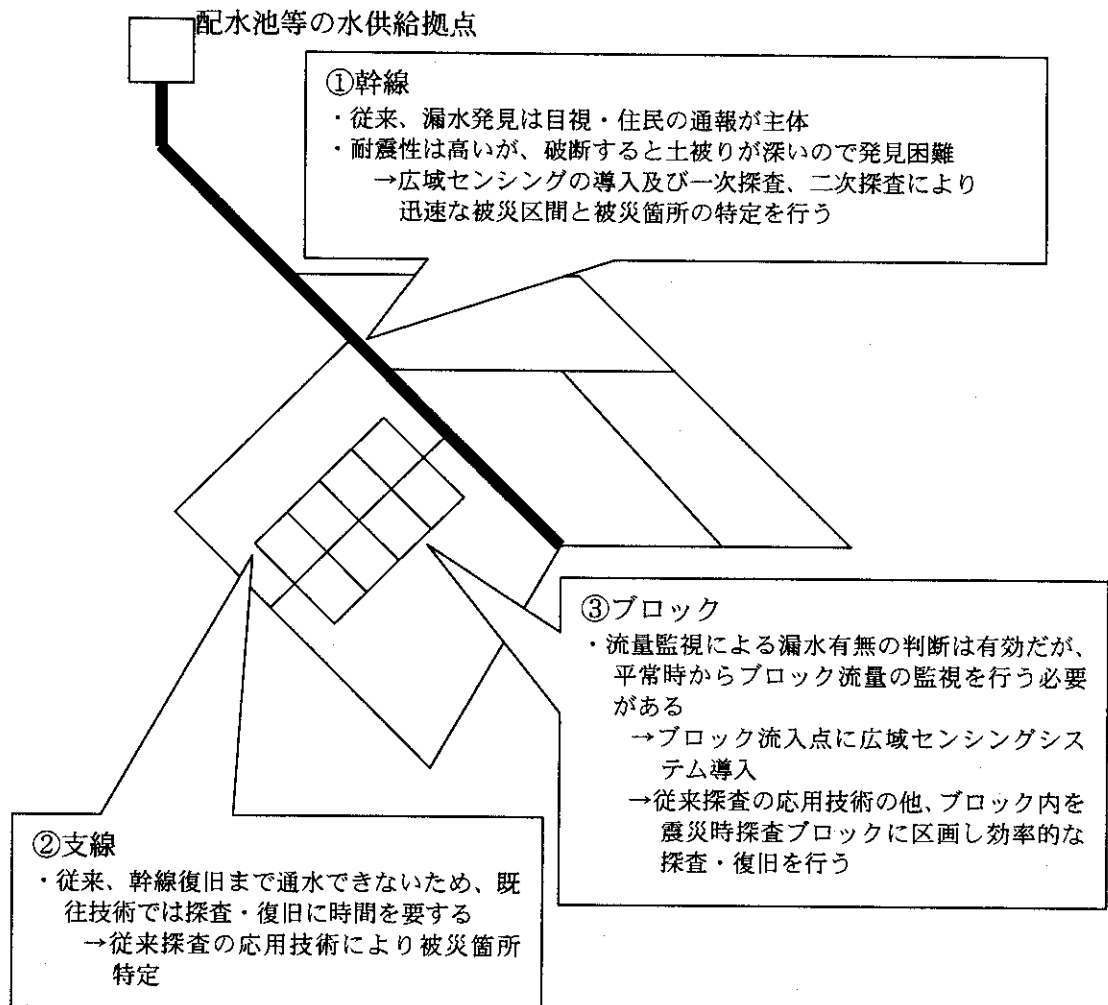


図3.3.1 管種別の震災被災時対応

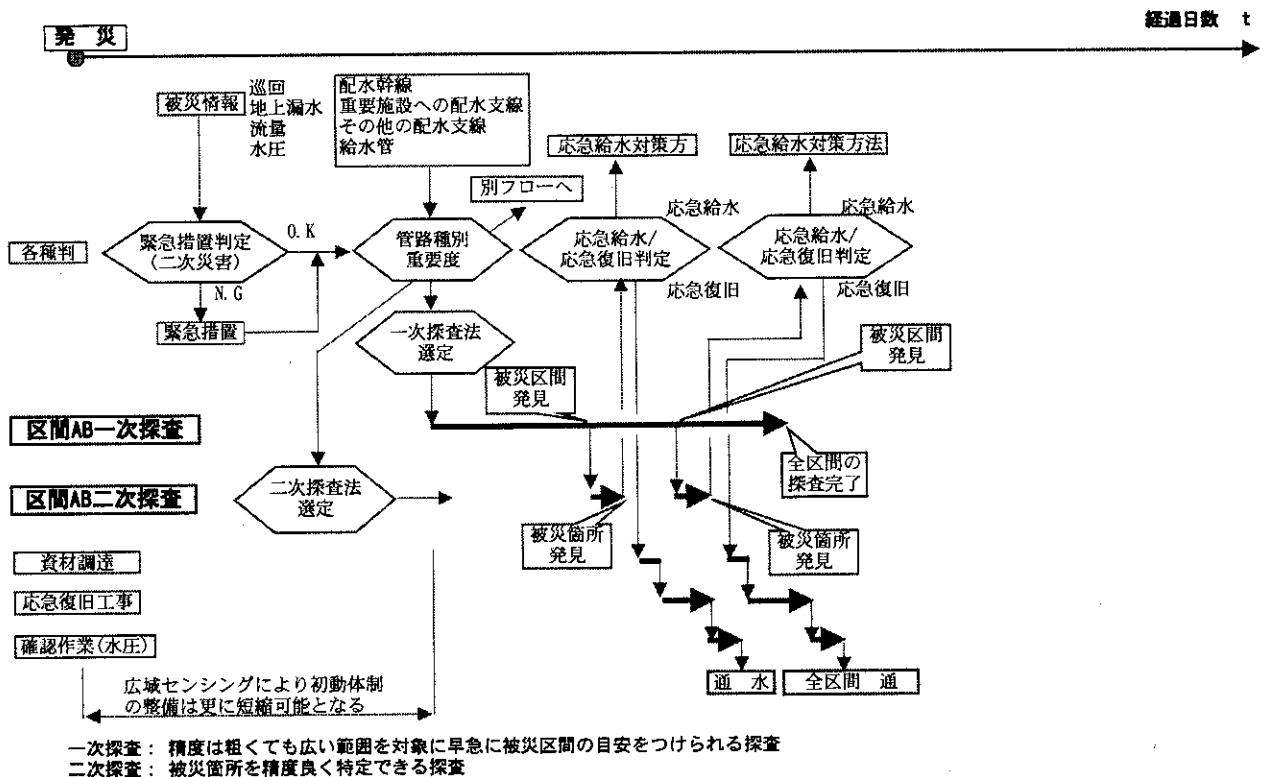
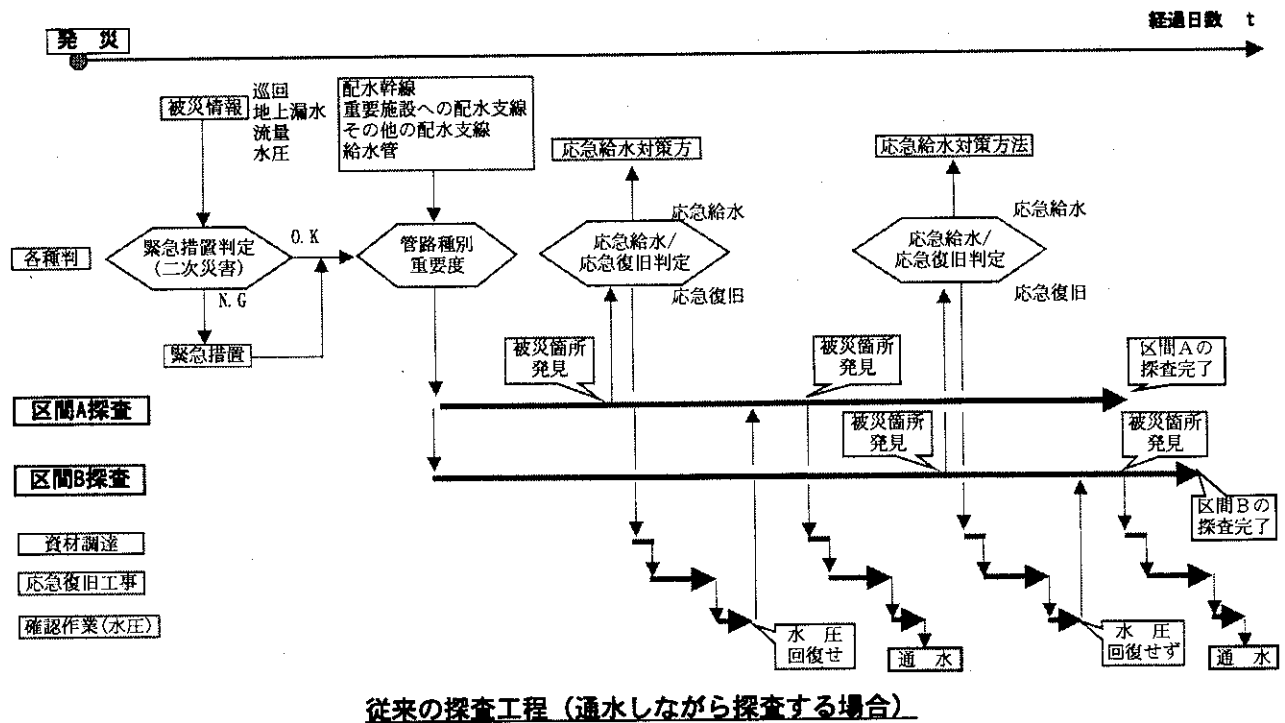


図 3.3.2 震災時における従来及び提案した探査・監視体制による復旧工程の比較

3.3.2 基礎実験研究

1)音響探査

(1)目的

空管を対象とした音響探査技術が満水時に対しても適用可能にする上での要素技術を開発することを目的とする。今年度は来年度のフィールド試験に向けての基礎実験を行い、課題を整理した。

(2)原理

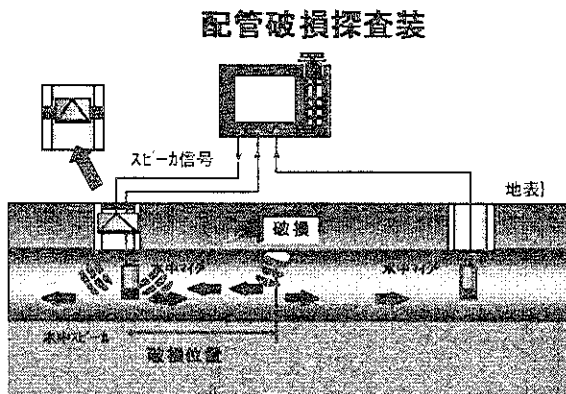


図 3.3.3 音響探査システム概要図

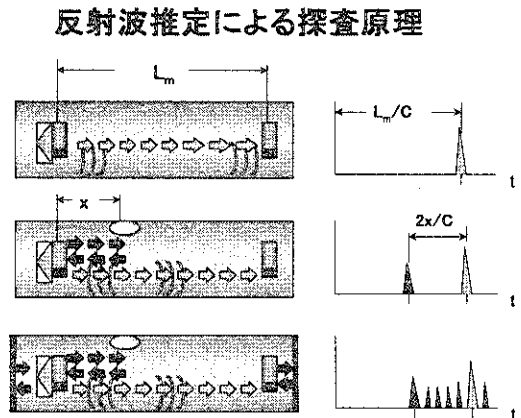


図 3.3.4 探査原理

破損箇所では局所的に流速変化が起こると、音響インピーダンスが変化し、水中マイクで発生させた音波が反射する。破損箇所を挟む形で離間配置した2本の水中マイクで反射波の到達時間を検出し、水中音速を乗じることで、破損位置を推定する。

(3)実験スケジュール

表 3.3.1 に示すように 2000 年（今年度）にフィールド試験を行い、課題を整理し、2001 年にプロトタイプ試作・評価までを計画する。

表 3.3.1 計画内容

99下	00上	00下	01上	01下
川井浄水場施設	アルゴリズム検討	アルゴリズム検証	プロトタイプ製造	プロトタイプ評価
満水試験実施準備	フィールド試験	フィールド		フィールド
	アルゴリズム適用検討	確認実験		プロトタイプ
	シミュレーション	プロトタイプ作成	助成検討	適用評価実験

(4)今年度の実施項目

今期行った内容は以下である。

- ①音響探査による破損箇所予測シミュレーション
- ②音響探査による簡易水中実験（アクティブ音波注入法）
- ①音響探査による破損箇所予測シミュレーション

■目的

音響解析ツールを用いて、破損を有する配管における音波管内伝搬状況を解析し、配管内部任意の受信点における音波到達時間を算出する。これをもとに破損箇所推定に役立てることを目的とする。

■方法

解析ツール：SYSNOISE（音響解析）による境界要素法解析（内部モデル）
サイバネット株式会社
解析内容：配管内部音圧分布・粒子速度分布・インパルス応答

■対象モデル

シミュレーションの目的は実験では補えない現象把握の考察である。計算時間の短縮を考慮し、下のような簡単なモデルで実施した。

- ・モデル配管：全長3 m、50cm角の矩形ダクト

■考察ポイント（検討パラメータ）

具体的には以下の項目を検討し、来年度実施するフィールド試験の妥当性を評価するための参考データとする。

- ・境界条件の違い（両端の状態：開放端／閉端）
- ・音波発生箇所の違い（スピーカ位置）
- ・音波受信箇所の違い（マイク位置）
- ・発生周波数
- ・配管仕様（全長・形状（曲がり・直管））
- ・破損箇所（形状・破損断面比・周囲状況（空洞率））

応用： ・分岐モデル ・模擬空洞モデル ・断面変化配管モデル

■解析結果

昨年度まで実施していた空管探査の場合も計算し、水中探査の場合と比較した。インパルス応答結果で卓越したピーク時間は、それぞれの到達径路からの時間に相当し、このピークから破損箇所が推定できることがわかった。

今回のモデルは基礎モデル配管であるが、本手法の有効性が確認できたことから、今後は上記考察ポイントを実施し、破損推定精度向上のためのシステム最適化を行なう。今期実施する水中探査においても本シミュレーションを実験の検証ツールとして有効利用する。

空管探査の場合及び水中探査の場合の詳細結果を以下に示す。

空管探査の場合 (図 3.3.6~図 3.3.7 参照)

図 3.3.5 に示す計算モデルを作成し、上面の一部に模擬破損を設けた。これ以外の全表面はすべて剛体(完全反射)とした。管内部の媒質は空気であり、破損周囲は開放状態を仮定し、破損モデルの境界条件は大気中の音響インピーダンスを用いた。

- ・媒質：空気 → 音速 340m/s 密度 1.25(kg/m³)
- ・破損モデル → 境界条件 音響インピーダンス 400 (N・s/m³)

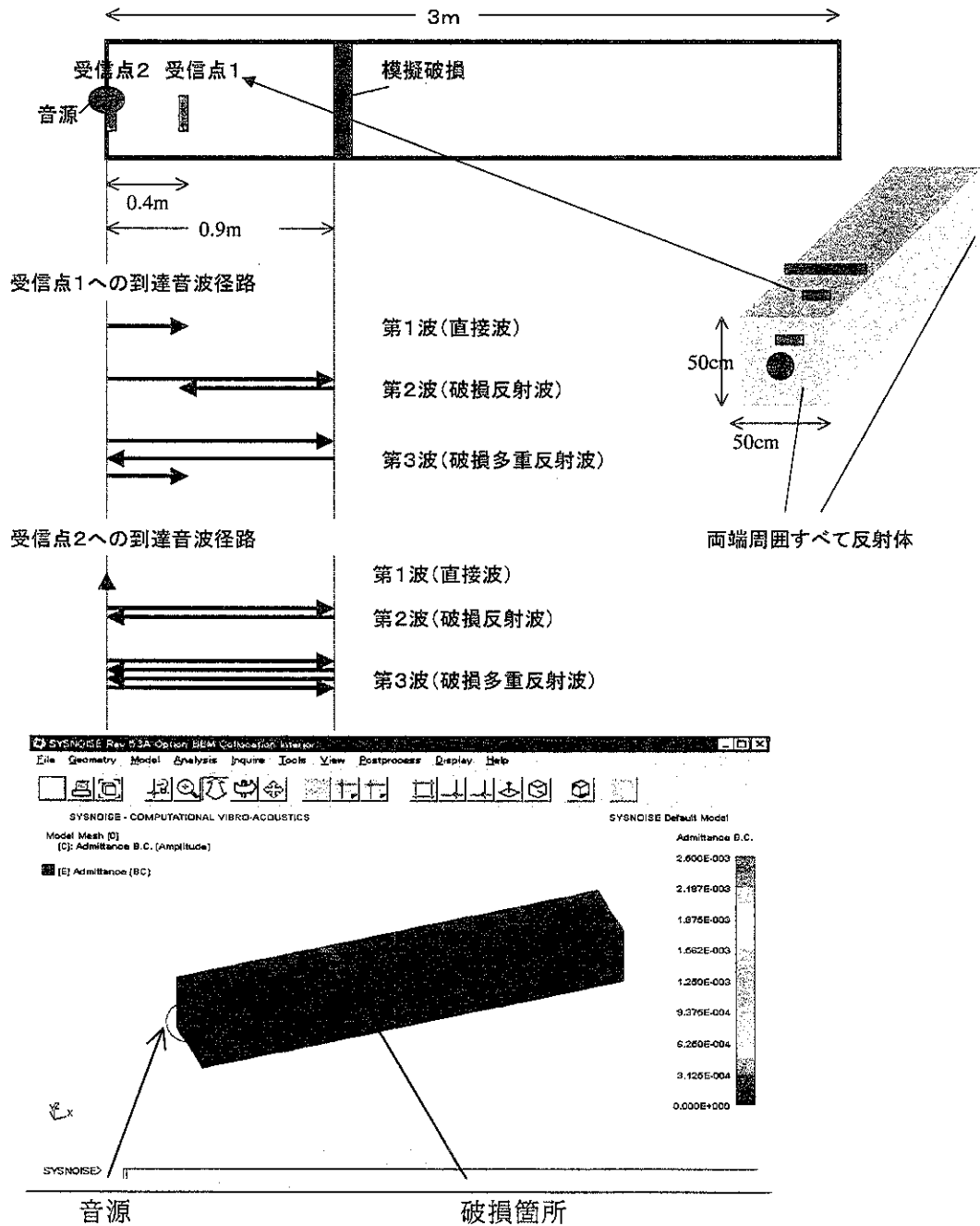


図 3.3.5 管内伝播経路と配管計算モデル

図 3.3.6 は受信点 1 (左端から 40cm の上面中央点) でのインパルス応答関数である。
 図 3.3.5 の伝播経路について計算すると以下となり、計算結果とほぼ一致した。

第 1 波(直接波)・・・ $0.4/340=0.00117(\text{sec})$

第 2 波(破損反射波)・・・ $(0.9+0.5)/340=0.00411(\text{sec})$

第 3 波(破損多重反射波)・・・ $(0.9 \times 2+0.4)/340=0.00647(\text{sec})$

右端反射波・・・ $(3+2.6)/340=0.0164(\text{sec})$

第 1 波 (直接波) 第 2 波 (破損反射波) 第 3 波 (多重反射波) 配管右端反射波

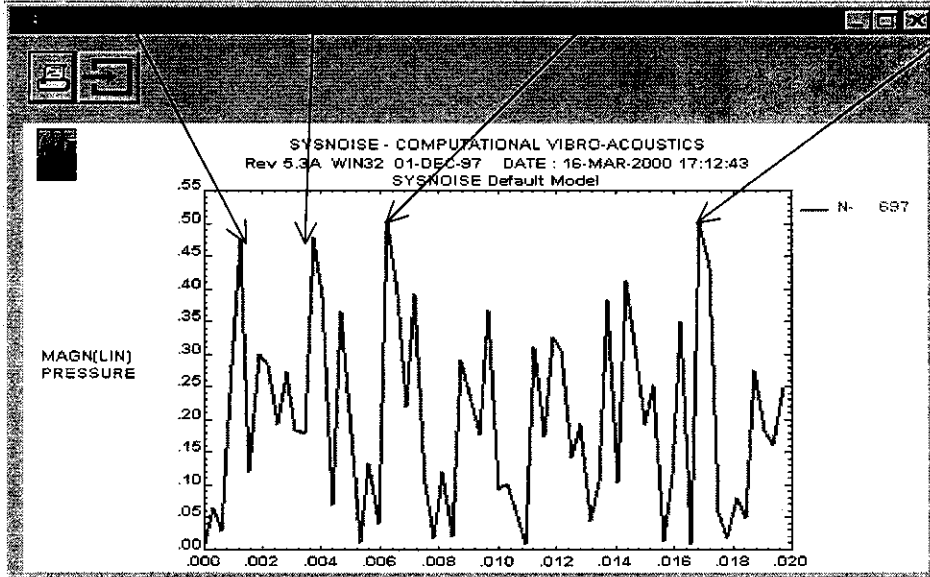


図 3.3.6 受信点 1 におけるインパルス応答(横軸:音波到達時間(sec))

図 3.3.7 も同様に一致した。

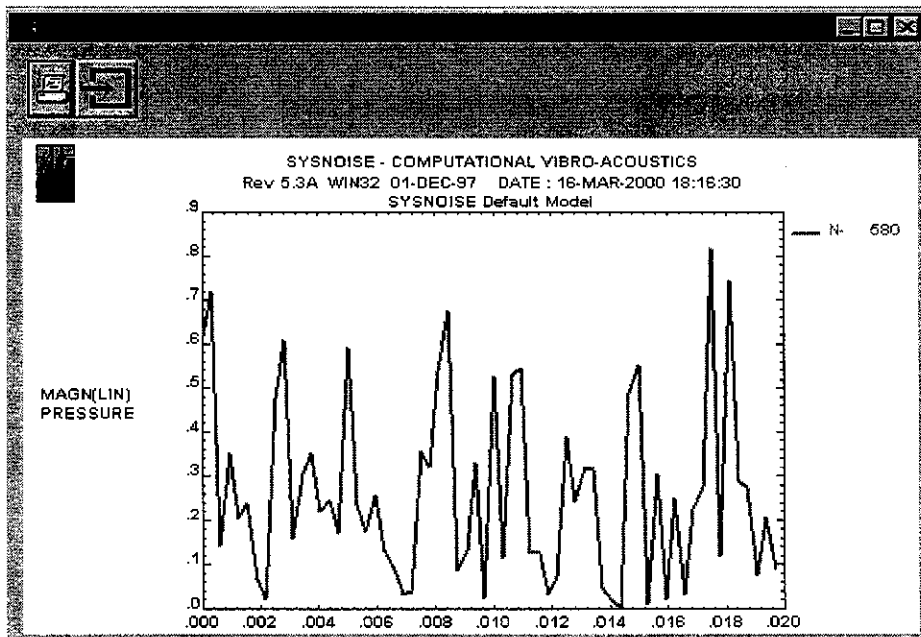


図 3.3.7 受信点 2 におけるインパルス応答(横軸:音波到達時間(sec))

図 3.3.8 及び図 3.3.9 はそれぞれ音波発生周波数の違いによる配管内部表面の粒子速度分布、音圧分布である。直接この結果からは破損箇所は推定できないが、破損箇所での音響インピーダンスは音圧／粒子速度で表されることから、これらの分布は観測する必要がある。先の考察ポイントで示したように破損形状などの違いにより、これらの分布がどのように変化するかで推定精度が決まり、また、音波送受信位置の最適化が図れると考えている。

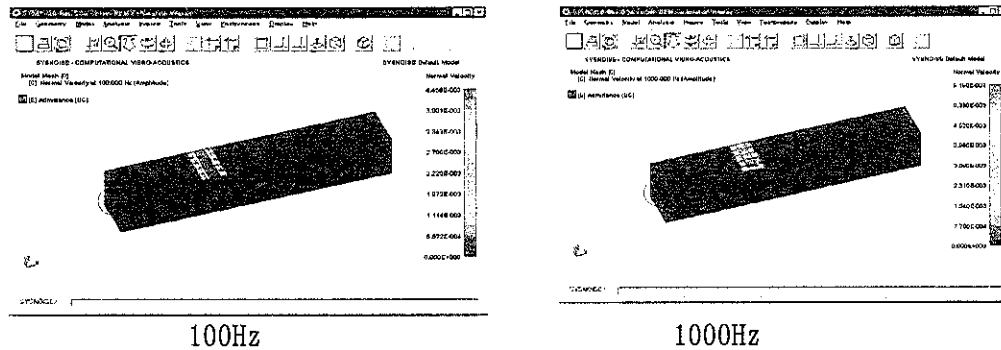


図 3.3.8 配管表面粒子速度分布

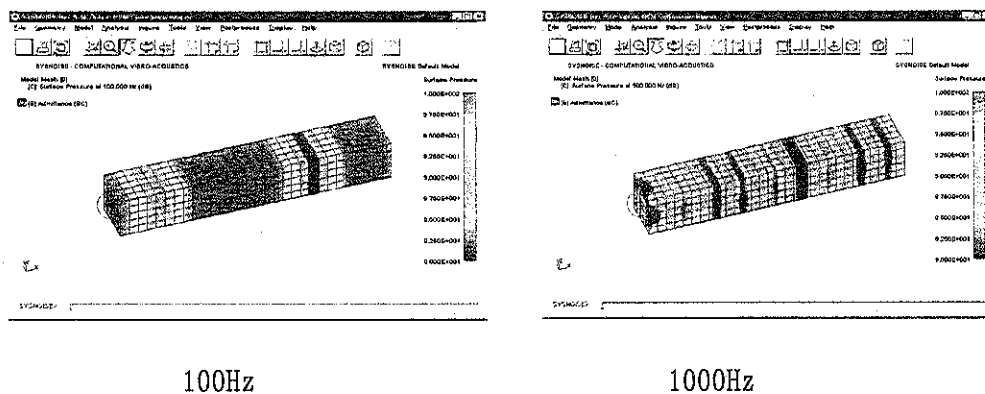


図 3.3.9 配管表面音圧分布