

図 5-2-7 配水管・修理件数に関する要因関連図 (S市)

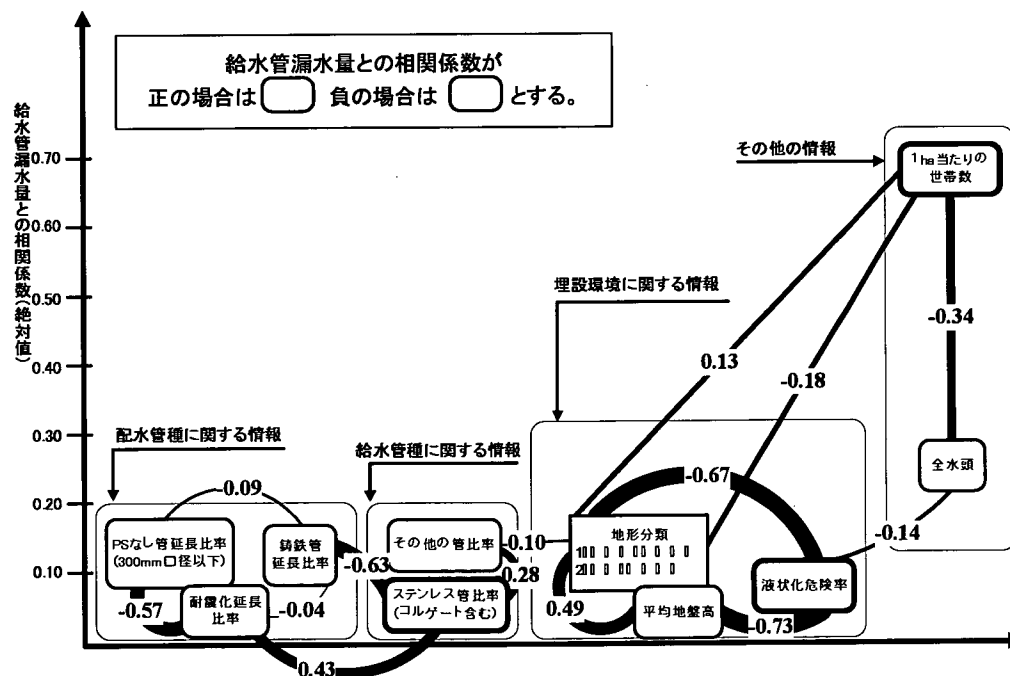


図 5-2-8 給水管・漏水量に関する要因関連図 (S市)

表 5-2-1 相関マトリックス (S市, 19項目)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1 配水管修理事件数	1.00																			
2 給水管修理事件数	0.31	1.00																		
3 漏水量	0.31	0.97	1.00																	
4 傾斜管延長比率	0.09	0.08	0.08	1.00																
5 PSなし管延長比率 (300mm口径以下)	0.08	-0.04	-0.04	0.09	1.00															
6 PSなし管延長比率(全体)	0.09	-0.02	-0.02	0.10	0.98	1.00														
7 耐震化管延長比率	-0.05	-0.02	-0.02	-0.04	-0.57	-0.58	1.00													
8 1ha当たりの世帯数	0.23	0.69	0.65	0.07	-0.07	-0.06	0.04	1.00												
9 全水頭	-0.04	-0.23	-0.22	0.12	0.07	0.11	-0.06	-0.34	1.00											
10 圧力水頭	-0.02	-0.18	-0.17	0.10	0.14	0.17	-0.15	-0.35	0.75	1.00										
11 平均地盤高	-0.01	0.00	-0.02	-0.01	-0.11	-0.12	0.17	0.11	0.09	-0.59	1.00									
12 地形分類-3分類	0.00	0.08	0.07	-0.03	-0.09	-0.09	0.01	0.08	-0.02	-0.15	0.20	1.00								
13 地形分類-2分類	0.01	0.07	0.05	0.00	-0.08	-0.08	0.08	0.13	0.07	-0.27	0.49	0.86	1.00							
14 液状化危険率	-0.03	-0.06	-0.03	-0.01	0.06	0.07	-0.14	-0.18	-0.14	0.37	-0.73	-0.25	-0.67	1.00						
15 ステンレス管比率 (コールゲート含む)	-0.08	-0.02	-0.02	-0.10	-0.63	-0.62	0.43	0.06	-0.12	-0.16	0.10	0.10	0.07	-0.01	1.00					
16 ポリエチレン管比率	0.08	0.06	0.05	0.06	0.63	0.62	-0.44	-0.05	0.13	0.16	-0.09	-0.08	-0.04	-0.02	-0.95	1.00				
17 その他の管比率	0.00	-0.11	-0.09	0.15	0.08	0.07	-0.02	-0.05	-0.02	0.02	-0.05	-0.10	-0.10	0.08	-0.28	-0.04	1.00			
18 鉛管比率	0.09	0.10	0.09	0.05	0.08	0.08	-0.05	0.11	-0.05	-0.06	0.03	0.02	0.02	-0.01	-0.14	0.08	0.20	1.00		
19 ポリエチレン管+ ステンレス管比率	0.00	0.11	0.09	-0.15	-0.08	-0.07	0.02	0.05	0.02	-0.02	0.05	0.10	0.10	-0.08	0.28	0.04	-1.00	-0.20	1.00	

以上の要因関連図から、項目間の関係性等を考慮し、数量化理論によるリスク評価モデルの説明変数の候補として、①鑄鉄管延長比率、②ポリスリーブ（PS）無し管延長比率、③耐震化管延長比率、④1ha 当り世帯数、⑤全水頭、⑥平均地盤高、⑦地形分類、⑧液状化危険率、⑨ステンレス管比率、⑩その他の管比率の計 10 項目を取り上げることとする。本研究では、表 5-2-2 に示すアイテム・カテゴリーの下で、配水管修理件数の有無を外的基準にした数量化理論第Ⅱ類の適用を、給水管漏水量を外的基準にした数量化理論第Ⅰ類の適用をそれぞれ試みる。ただし、配水管及び給水管に関するアイテムについては、例えば配水管修理件数の有無を外的基準にした分析では、配水管の情報を用いて給水管のそれは対象外とする等のように、外的基準に対応する一方のみを採用して分析することとした。

表 5-2-2 アイテム・カテゴリー表（S市）

アイテム名	k	カテゴリー	データ数
鑄鉄管延長比率	1	なし	650
	2	あり	228
PSなし管延長比率 (300mm口径以下)	1	～30%	222
	2	～60%	445
	3	60%より大	211
耐震化管延長比率	1	～30%	488
	2	30%より大	390
1ha当たりの世帯数	1	～10【世帯/ha】	219
	2	～30【世帯/ha】	216
	3	～60【世帯/ha】	316
	4	60より大【世帯/ha】	127
全水頭	1	～40m	182
	2	～45m	548
	3	45mより大	148
平均地盤高	1	～10m	448
	2	10mより大	430
地形分類	1	三角州,谷底平野, 河・湖沼,埋立地	195
	2	台地,自然堤防, 扇状地,山地	683
液状化危険率	1	0	238
	2	～50%	360
	3	50%より大	280
ステンレス管比率 (コールゲート含む)	1	～50%	163
	2	～75%	437
	3	75%より大	278
その他の管比率	1	なし	249
	2	あり	629

(2) 数量化理論の適用結果

配水管修理件数の有無を外的基準にした数量化理論第Ⅱ類の適用について、該当する 8 アイテムから 3 アイテムまで、レンジの小さいアイテムを段階的に除外した時（アイテム減少法）の結果を表 5-2-3 に示す。なお、数量化理論における「レンジ」とは、各アイテムのカテゴリスコアの最大値と最小値の差（絶対値）であり、このアイテムが大きいほど、外的基準に与える影響が大きいと考える。同様に、給水管漏水量を外的基準にした数量化理論第Ⅰ類の適用についての結果を表 5-2-4 に示す。

表 5-2-3 配水管・事故リスク評価モデル（数量化理論第Ⅱ類）のアイテム減少法

レンジ順位	アイテム数					
	8	7	6	5	4	3
1	1ha当たりの世帯数 2.17	1ha当たりの世帯数 2.18	1ha当たりの世帯数 2.18	1ha当たりの世帯数 2.19	1ha当たりの世帯数 2.26	1ha当たりの世帯数 2.25
2	PSなし管延長比率 (300mm口径以下) 1.07	PSなし管延長比率 (300mm口径以下) 1.11	PSなし管延長比率 (300mm口径以下) 1.12	PSなし管延長比率 (300mm口径以下) 1.13	PSなし管延長比率 (300mm口径以下) 1.13	PSなし管延長比率 (300mm口径以下) 1.17
3	鑄鉄管延長比率 0.73	鑄鉄管延長比率 0.73	鑄鉄管延長比率 0.73	鑄鉄管延長比率 0.73	鑄鉄管延長比率 0.72	鑄鉄管延長比率 0.71
4	平均地盤高 0.26	平均地盤高 0.27	平均地盤高 0.26	平均地盤高 0.24	平均地盤高 0.24	
5	液状化危険率 0.18	液状化危険率 0.17	全水頭 0.17	全水頭 0.16		
6	全水頭 0.17	全水頭 0.17	液状化危険率 0.06			
7	地形分類 0.17	地形分類 0.16				
8	耐震化管延長比率 0.08					
判別的中率	84.7%	63.1%	63.2%	63.2%	63.2%	63.6%

表 5-2-4 給水管・漏水リスク評価モデル（数量化理論第Ⅰ類）のアイテム減少法

レンジ順位	アイテム数					
	7	6	5	4	3	2
1	1ha当たりの世帯数 651.11	1ha当たりの世帯数 643.08	1ha当たりの世帯数 644.51	1ha当たりの世帯数 671.34	1ha当たりの世帯数 671.22	1ha当たりの世帯数 673.41
2	液状化危険率 97.62	液状化危険率 95.57	液状化危険率 134.64	液状化危険率 136.26	液状化危険率 97.02	液状化危険率 93.72
3	ステンレス管比率 (コールゲート含む) 67.02	ステンレス管比率 (コールゲート含む) 68.59	ステンレス管比率 (コールゲート含む) 73.47	ステンレス管比率 (コールゲート含む) 83.63	ステンレス管比率 (コールゲート含む) 81.04	
4	地形分類 53.36	地形分類 53.62	地形分類 56.78	地形分類 57.06		
5	その他の管比率 48.55	その他の管比率 47.86	平均地盤高 45.61			
6	平均地盤高 44.56	平均地盤高 48.22				
7	全水頭 27.26					
自由度調整済み 重相関係数R ² *	0.654	0.654	0.652	0.651	0.650	0.644

アイテム減少法の結果から、配水管事故リスク評価モデルは「1ha 当り世帯数」, 「PS 無し管延長比率 (300mm 口径以下)」, 「铸铁管延長比率」及び「平均地盤高」の計4アイテム、給水管漏水リスク評価モデルでは「1ha 当り世帯数」, 「液状化危険率」及び「ステンレス管比率 (コールゲート管含む)」の計3アイテムをモデルの説明変数として各々に採用することとした。

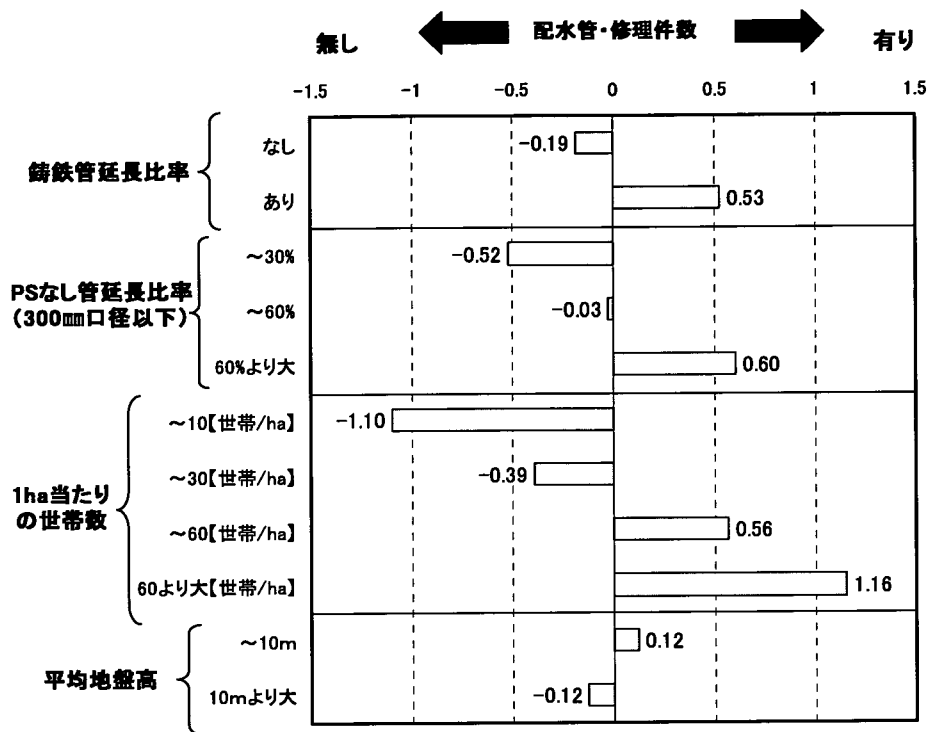


図 5-2-9 配水管・事故リスク評価モデルのカテゴリースコア・グラフ (数量化Ⅱ類)

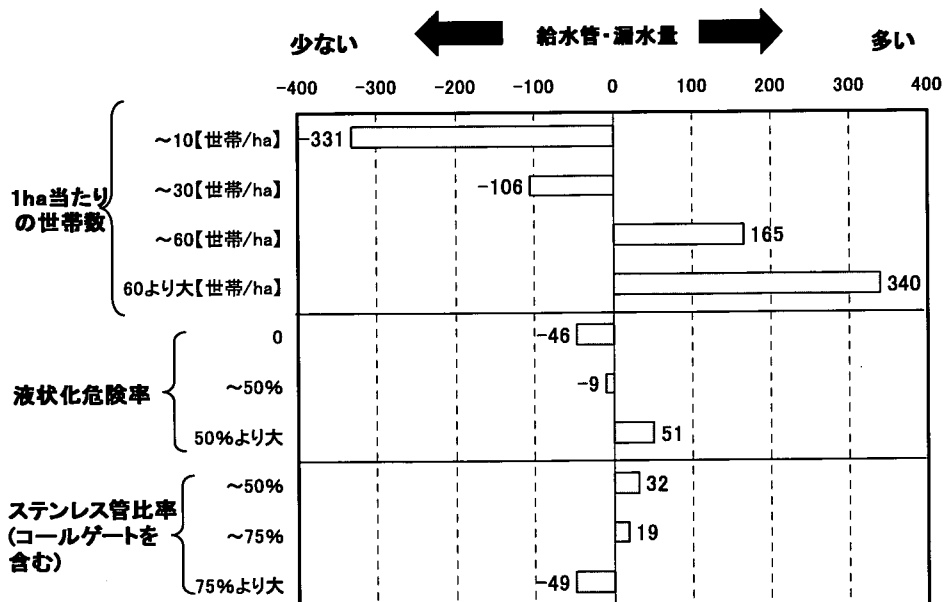


図 5-2-10 給水管・漏水リスク評価モデルのカテゴリースコア・グラフ (数量化Ⅰ類)

図 5-2-9 及び図 5-2-10 に S 市の各リスク評価モデルの 카테고리・スコアグラフを示す。いずれのグラフからも、修理件数や漏水に影響を及ぼすと考えられる管種を多く含むメッシュほど、事故や漏水のリスクが高まる傾向を示していることがわかる。また、各モデルに採用されている「1ha 当り世帯数」は、共通してレンジの最も大きなアイテムであり、人口の密集する箇所に多くの配水・給水管が埋設される結果、修理件数や漏水も多くなることを示唆している。

(3) S 市モデルと F 市モデルとの比較

本研究で新たに作成した S 市モデルと、過去に筆者らが作成した F 市モデルとの比較をし、両者の構造的な共通点や相違点を考察することにする。両市の事故リスク及び漏水リスク評価モデルについて、採用されたアイテムをレンジ順に並べると表 5-2-5 及び表 5-2-6 のようになる。なお、S 市の配水管・修理件数及び給水管・漏水量を外的基準にしたモデルを、それぞれ事故リスク評価モデル及び漏水リスク評価モデルと定義する。

表 5-2-5 事故リスク評価モデルの比較

	S市モデル	F市モデル
1	1ha当り世帯数 (2.26)	铸铁管延長比率 (2.46)
2	PS無し管延長比率 (1.13)	1ha当り世帯数 (0.74)
3	铸铁管延長比率 (0.72)	被覆無し・小口径延長比率 (0.38)
4	平均地盤高 (0.24)	地形分類 (0.28)

表 5-2-6 漏水リスク評価モデルの比較

	S市モデル	F市モデル
1	1ha当り世帯数 (671.2)	1ha当り世帯数 (0.61)
2	液状化危険率 (97.0)	铸铁管延長比率 (0.40)
3	ステンレス管比率 (81.0)	残存鉛管延長比率 (0.22)
4		地形分類 (0.12)

まず、事故リスク評価モデルについて、それぞれのアイテム (表 5-2-5) を比較すると、モデルの構造的な枠組みとして、管路材質と世帯数の差異を基軸にしなが、埋設環境の情報を加味することで表現されていることがわかる。ただし、F 市モデルにおいて、「铸铁管延長比率」が最も大きなレンジであるのに対し、S 市モデルでは第 3 位のアイテムに位置付けられている。「PS (被覆) 無し管延長比率」についても、S 市では F 市に比べて相対的にレンジ順位の大きなアイテムとなっている。これらの違いは、S 市と F 市の管路整備の状況が異なることが影響していることが推察される。すなわち、铸铁管延長比率に関するデータを精査すると、S 市では铸铁管延長比率が「10%より大」のメッシュが 3.0% (26 個) であるのに対し、F 市では 14.6% (443 個) と延長比率の高いメッシュがより多く存在し、このことが F 市モデルにおいて铸铁管延長比率の影響度を高める結果となったと関

連付けられる。同様に、PS（被覆）無し管延長比率を見ると、S市では「20%より大」のメッシュが87.0%（764個）であるのに対し、F市では57.5%（1745個）といった関係になっており、PS（被覆）無し管延長比率に関してはF市モデルよりもS市モデルにおいて影響の大きなアイテムとなっていると考えられる。埋設環境に関する情報として、S市モデルでは「平均地盤高」が採用される一方、F市モデルでは「地形分類」が選択されている。この違いについて考察すると、両市ともに「地形分類」と「平均地盤高」との相関係数は比較的高く、相互に関連性を有することが確認できる（前掲の要因関連図を参照のこと）。しかし、S市が全域的に均一な地形・地質であるのに対し、F市では埋立地等の箇所も含んでいるといった特徴を有するため、採用されるアイテムに若干の差異が生じたものと判断される。

一方、漏水リスク評価モデルのアイテム（表5-2-6）を比較すると、S市モデルでは配水管に関する情報を説明変数の候補に含めずに作成したため、F市モデルとの単純な比較はできない点を断った上で、事故リスク評価モデルについて行った考察と概ね同様の対応関係になっていると言える。すなわち、S市の漏水リスク評価モデルでは「1ha当り世帯数」の影響が卓越するといった差異はあるものの、事故リスク評価モデルで示された基本的な構造が共通して認められる。ただし、給水管に関する情報では、F市モデルでは「残存鉛管延長比率」が採用されているのに対し、S市モデルは「ステンレス管比率」を説明変数として用いる結果になっている。これは、S市の鉛管比率のデータを精査すると、「0%」に該当するメッシュが81.5%（716個）を占め、数量化理論の適用に必要となるデータの「カテゴリー化」を考えた場合、データの分布に偏りがある鉛管比率を説明変数として用いることは不適切と判断したことによる。埋設環境に関する情報については、S市モデルは「液状化危険率」であるのに対し、F市モデルでは事故リスク評価モデルと同様に「地形分類」であった。しかし、S市においても4アイテムのリスク評価モデルでは「地形分類」がレンジの小さいアイテムとして組み込まれる点（前掲表5-2-4を参照）や、「平均地盤高」、「液状化危険率」及び「地形分類」の相互の相関関係が強い点から、S市においてこれらアイテムの差異は大きくないと考えられる。

以上の考察を踏まえ、提案された数量化理論に基づく診断モデルを、より効果的に活用して行く上での留意点等を以下にまとめることにする。まず、管路材質と世帯数の差異に重点を置きながら、埋設環境に関する情報を付加するといった基本フレームは、S市とF市の異なる地域のデータを用いて作成した場合に共通して認められた特徴であることから妥当なものであり、一般性を有するモデル構造と言える。ただし、診断地域（提案モデルの適用先となる地域）によっては、管路整備に対する取り組みが異なる可能性も十分にあり得る。そこで、実用に耐え得るモデルを得るためには、使用できるデータを精査した上で、カテゴリー区分の統合・再編や、アイテムの取捨選択等を検討し、地域の実情に応じたチューニングを行うことが望ましいと判断される。

5. S市モデルによる統合評価方法の検証

小泉・荒井らは、事故リスク、漏水リスクの双方の視点から多角的に診断する必要性を主張し、統合評価方法についても提案している。具体的には、事故リスク評価モデル（配水管の修理件数を外的基準にしたモデル）を主軸に置きながら、漏水リスク評価モデル（給水管の漏水量を外的基準にしたモデル）の結果を付加し、より効果的な管路更新の実現を目指そうとするものである。こうした統合評価の実用性を検証すべく、以下ではS市を対象とした診断内容を具体的に示しながら、F市モデル（S市を診断するためにチューニングが必要なモデル）を適用した場合には一体どのような情報が得られるのか考察することとする。

2つのリスク評価モデルのサンプルスコア³⁾を以下の式(1)及び(2)から求め、これらを各々のリスクの大きさとして捉えたと、S市モデルによる事故リスク及び漏水リスクの評価区分は表5-2-7及び表5-2-8のように決定される。

$$\begin{aligned}
 Y_i = & -0.1858 \times A_1 + 0.5297 \times A_2 - 0.5219 \times B_1 - 0.0263 \times B_2 + 0.6046 \times B_3 \\
 & - 1.0977 \times C_1 - 0.3936 \times C_2 + 0.5642 \times C_3 + 1.1583 \times C_4 \quad \dots\dots\dots (1) \\
 & + 0.1198 \times D_1 - 0.1248 \times D_2
 \end{aligned}$$

ただし、 Y_i ：事故リスクのサンプルスコア（合成変量）、 A_k ：鑄鉄管延長比率、 B_k ：PSなし管延長比率（300mm口径以下）、 C_k ：1ha当たりの世帯数、 D_k ：平均地盤高は、各アイテムのカテゴリー k に対応したダミー変数（該当する場合は「1」、しない場合は「0」）であり、カテゴリーの詳細は前掲の表5-2-2に対応している。以下も同様とする。

$$\begin{aligned}
 Y_i = & -331.4 \times H_1 - 105.6 \times H_2 + 165.3 \times H_3 + 339.8 \times H_4 \\
 & - 46.0 \times I_1 - 9.2 \times I_2 + 51.0 \times I_3 \quad \dots\dots\dots (2) \\
 & + 32.4 \times J_1 + 18.9 \times J_2 - 48.7 \times J_3 + 410.3 \text{ [定数項]}
 \end{aligned}$$

ただし、 Y_i ：漏水量のサンプルスコア（合成変量）、 H_k ：1ha当たりの世帯数、 I_k ：液状化危険率、 J_k ：ステンレス管比率（コルゲートを含む）とする。

表 5-2-7 事故リスク評価区分 (4 段階)

事故リスク	対応する サンプルスコア	データ数
90%以上	2.4125～ 1.6970	51
80%以上	1.5378～ 1.1875	70
60%以上	1.1029～ 0.8582	98
60%未満	0.8213～ -1.9302	659

注:ここでの「事故リスク」は、事故の発生確率を意味するものではなく、外的基準の群1(修理あり)の累積度数の百分率を基に定めた指標であることに留意する必要がある。

表 5-2-8 漏水リスク評価区分 (4 段階)

漏水リスク	対応する サンプルスコア	データ数
D	833.5～ 723.0	111
C	692.2～ 585.2	154
B	577.9～ 480.9	178
A	388.1～ -15.8	435

注:「漏水リスク」は、Aが最も安全で、Dが最も危険を表わす。

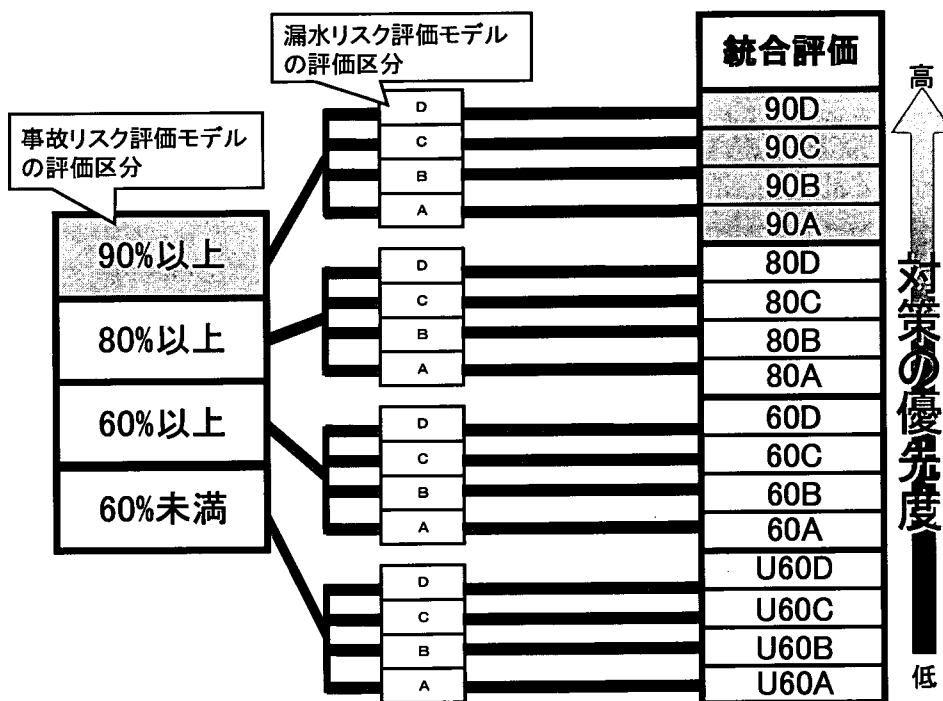


図 5-2-11 統合評価の方法

各リスク評価区分 (表 5-2-7 及び表 5-2-8) に基づき、本研究では図 5-2-11 に示す統合評価により S 市の診断を試みた。この統合評価の結果を実際に図示すると図 5-2-12 のようになる。

提案モデルによる統合評価の妥当性を確認するため、各評価区分 (16 段階) に該当するメッシュ数を集計し、2つのリスク評価モデルを併用させた本研究の評価方法の利点等を明らかにする。

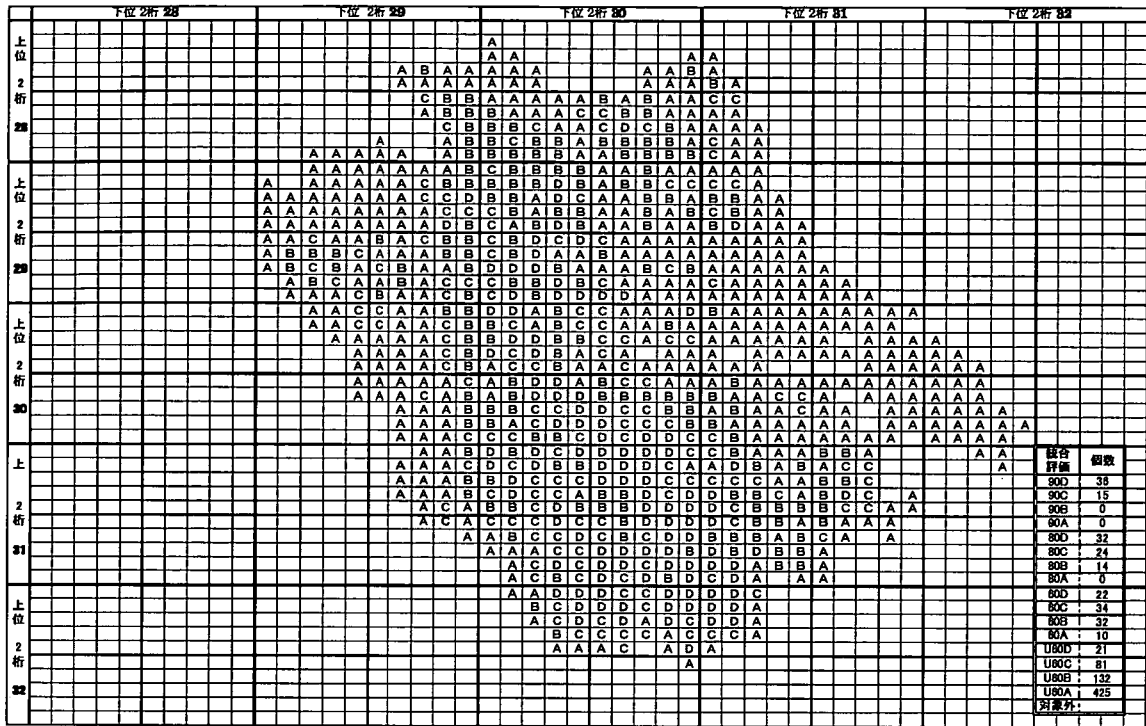


図 5-2-12 S市モデルによる統合評価の結果

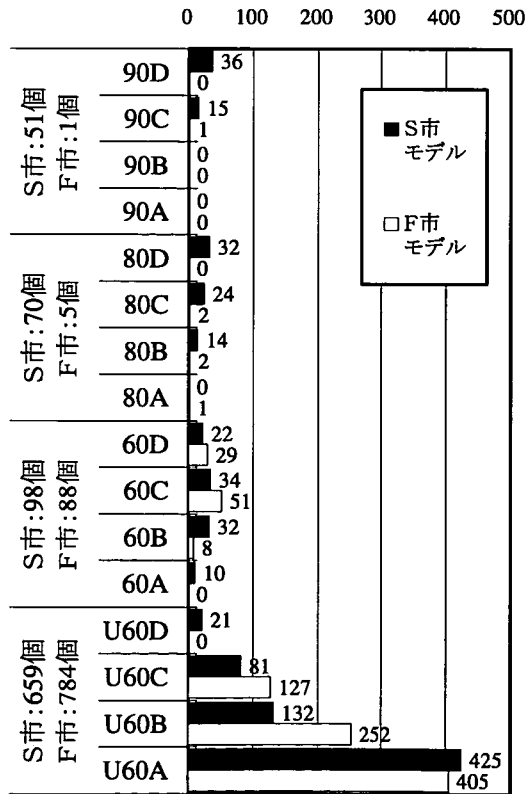


図 5-2-13 統合評価に関するS市モデルとF市モデルとの比較

図 5-2-13 に統合評価の各区分に該当するメッシュ数を集計した結果を示す。なお、同図には、F市モデルを用いて同様の統合評価をした場合の結果も並べて図示する。まず、S市モデルによる統合評価の結果を見ると、「90D」から「90A」までの4区分では、「90A」及び「90B」に該当するメッシュが共に0個であるのに対し、評価区分の下位に移行するのに従ってA及びBの区分に該当するメッシュの割合を徐々に強めながら、「U60D」から「U60A」までの4区分では、「U60A」が425個と最も多く、次いで「U60B」が132個となっていることがわかる。言い換えれば、事故リスクの観点から危険性が高いと診断されるメッシュには、漏水リスクの観点からも同様に危険視されるメッシュも多く、その逆の関係も確認できたと言える。一方、F市モデルを見ると、「U60D」から「U60A」までの評価区分では、DよりもAに区分されるメッシュの方が多いといった傾向が見られ、S市モデルとほぼ同様の結果を示しているが、評価区分の上位になるのに伴い、両モデルの結果に大きな差異が生じていることがわかる。特に、評価区分の90及び80に該当するメッシュの個数が1個及び5個と極めて少なく、S市モデルの方がより現実を厳格に評価していると言える。本研究で主題とした評価モデルに、安全な箇所を「リスク無し」と診断する役割と、危険な箇所を「リスク有り」と見抜く役割の2つがあるとすれば、F市モデルは前者の要件は十分に満たしていると言える。ただし、現時点でリスク無しのメッシュであっても、今後それらの中から適切な対応が必要となる箇所が現れるので、それらを予見的に把握し、合理的な優先順位の下で詳細な調査等を計画することも求められる。こうした場面においては、前章4.の考察で述べたとおり、モデルの共通構造を基礎にしながらも、対象地域の既存データベースを十分に活用した高感度の評価モデルを検討することが必要と考える⁴⁾。

6. おわりに

本研究では、数量化理論を用いて提案された配水管の安全性評価モデルに対する検証を行い、異なる地域における汎用性を論じた。S市を対象とした検証の結果、提案モデルの構造に一般性があることを確認した上で、より効果的なモデルを得るためには、地域の実情に応じた微調整が必要となることについて述べた。

本研究を遂行するに当たり、貴重なメッシュデータを提供して下さったさいたま市水道局の有吉寛記課長をはじめ、ご協力をいただいた関係各位に心より感謝致します。また、本研究に際し協力を得た首都大学東京大学院の稲員とよの准教授、荒井康裕助教に謝意を表するとともに、当研究室の卒研究生である馬野仁史君の助力に感謝します。

【参考文献】

- 1) 荒井康裕・小泉明・稲員とよの・國實誉治・新谷政秋・中野直樹：数量化理論を用いた配水管事故のリスク評価モデル，第 58 回全国水道研究発表会講演集，pp. 668-669 (2007)
- 2) 小泉明・荒井康裕・稲員とよの・新谷政秋・中野直樹：数量化理論を用いた水道管路システムの安全性評価に関する研究，環境システム研究論文集，Vol. 35，pp. 163-171 (2007)
- 3) 荒井康裕・小泉明・稲員とよの・國實誉治・新谷政秋・中野直樹：数量化理論第 I 類による漏水リスクの評価モデル，土木学会第 62 回年次学術講演会講演集，pp. 219-220 (2007)
- 4) 小泉明・荒井康裕・馬野仁史・國實誉治・稲員とよの・有吉寛記：配水管事故リスク評価モデルの適用性に関する一考察，第 59 回全国水道研究発表会講演集，投稿中 (2008)

5.3 音響エコーを用いた水道管路の劣化検出（音響法）

研究担当委員／横浜国立大学 朝倉 祝治

(1) 水で満たされている模擬水道管路についての音響エコー法の結果と内部腐食状態の対応

1) 試験目的

平成 17 年度において、模擬付着物を用いた実験から本方法により、配管内部の付着物の検出が可能であることを確証した。そこで、平成 18 年度において、実際の堀上管について本方法が適用できるか否かの検討を行い、適用できる可能性が示された。

平成 19 年度では、平成 18 年度に得られた試験結果が実際の管内の状態と対応しているか、検討を行った。

2) 試験方法

試験は福井市企業局より提供された $\phi 100\text{mm}$ 、長さ 2m の铸铁管（埋設年度：大正 13 年、図 5.3.1、以下試験体 1 と言う）、及びさいたま市水道局より提供された $\phi 75\text{mm}$ 、長さ 1m の铸铁管（埋設年度：昭和 49 年、図 5.3.2、以下試験体 2 と言う）を使用した。切断前の試験体の内面の状態を図 5.3.3 及び図 5.3.4 に示す。



図 5.3.1 試験体 1 ($\phi 100\text{mm}$ 、長さ 2m)



図 5.3.2 試験体 2 ($\phi 75\text{mm}$ 、長さ 1m)

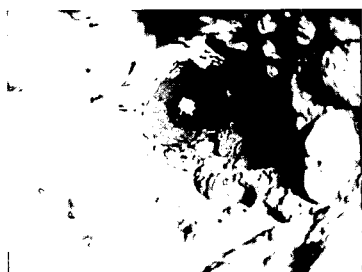


図 5.3.3 切断前の試験体 1 の内面状態

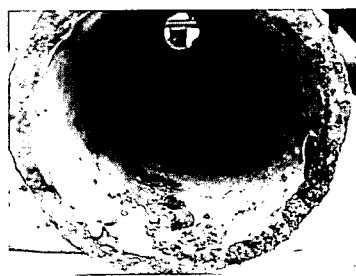


図 5.3.4 切断前の試験体 2 の内面状態

それぞれの試験体を図 5.3.5 及び図 5.3.6 に示すように、試験体 1 は 10 個、試験体 2 は 6 個に切断し、それぞれ管内面の状態を目視観察した。切断した試験体の長さを表 5.3.1 及び表 5.3.2 示す。また、特に大きな腐食生成物はその大きさを測定した。

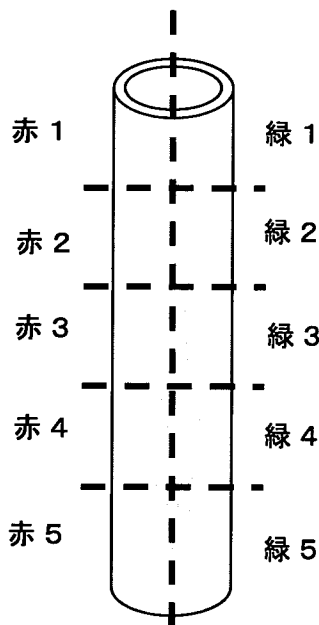


図 5.3.5 試験体 1 の切断模式図

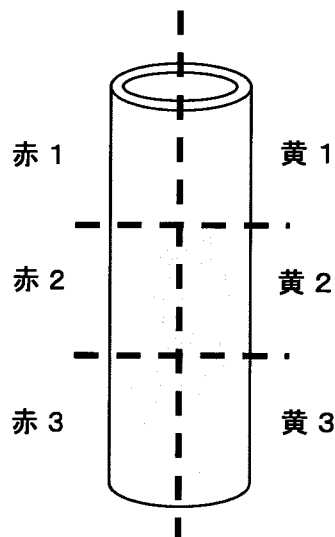


図 5.3.6 試験体 2 の切断模式図

表 5.3.1 試験体 1 の切断試験体長さ

管番号	赤1	赤2	赤3	赤4	赤5
管長/cm	39.8	41.0	40.0	39.3	39.6
管番号	緑1	緑2	緑3	緑4	緑5
管長/cm	39.6	39.9	40.1	39.3	40.0

表 5.3.2 試験体 2 の切断試験体長さ

管番号	赤1	赤2	赤3
管長/cm	32.3	35.5	32.5
管番号	緑1	緑2	緑3
管長/cm	32.0	35.7	32.8

3) 試験結果と考察

試験体 1 の結果を図 5.3.7～図 5.3.16 に示す。管内面には一部腐食生成物として錆こぶが堆積していることが確認できる。

番号	錆こぶの大きさ
1	幅11.4mm×高さ6.15mm
2	幅9.5mm×高さ5.40mm
3	幅12.5mm×高さ6.15mm

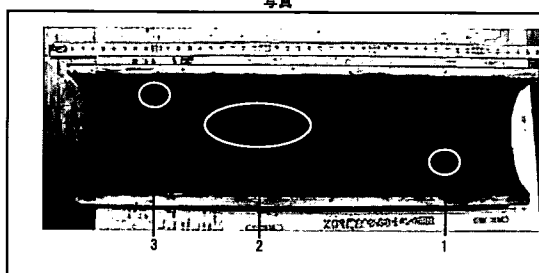


図 5.3.7 試験体 1、赤 1 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅25.3mm×高さ6.05mm
2	幅14.2mm×高さ7.45mm
3	幅13.2mm×高さ5.40mm

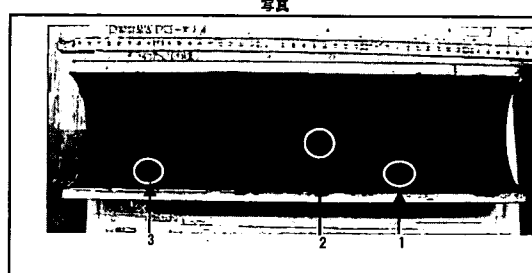
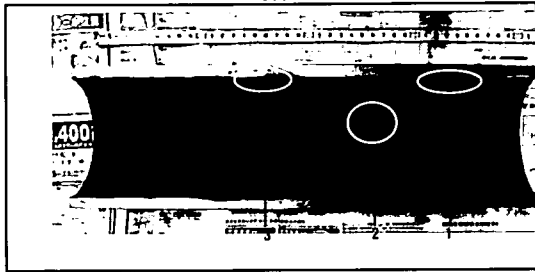


図 5.3.8 試験体 1、赤 2 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅28.1mm × 高さ1.15mm
2	幅23.4mm × 高さ7.40mm
3	幅18.5mm × 高さ1.35mm

写真

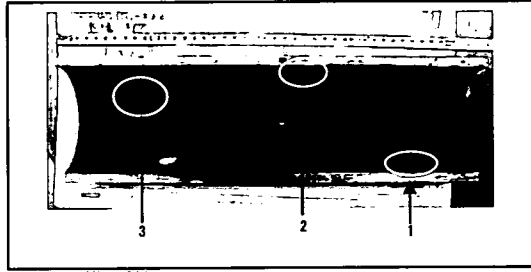


※右側が管上端側

図 5.3.9 試験体 1、赤 3 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅32.1mm × 高さ3.60mm
2	幅21.0mm × 高さ8.15mm
3	幅29.1mm × 高さ3.15mm

写真

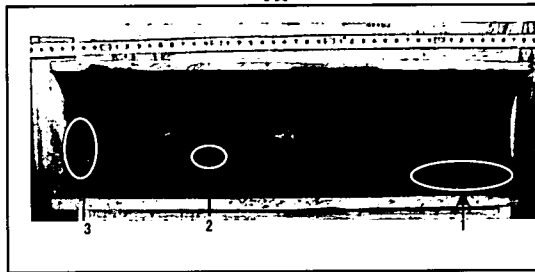


※右側が管上端側

図 5.3.10 試験体 1、赤 4 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅38.5mm × 高さ1.30mm
2	幅29.1mm × 高さ3.60mm
3	幅28.1mm × 高さ3.20mm

写真

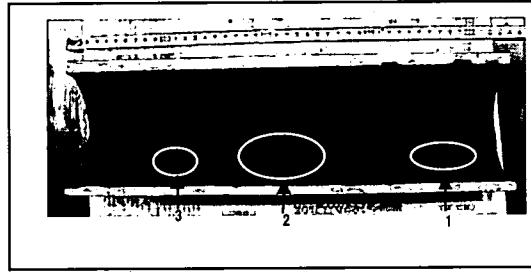


※右側が管上端側

図 5.3.11 試験体 1、赤 5 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅40.1mm × 高さ4.00mm
2	幅53.1mm × 高さ4.60mm
3	幅16.0mm × 高さ5.20mm

写真

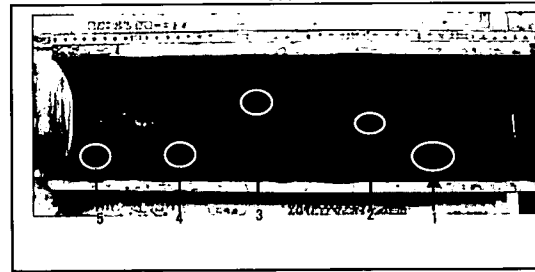


※右側が管上端側

図 5.3.12 試験体 1、緑 1 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅21.1mm × 高さ2.20mm
2	幅14.2mm × 高さ3.00mm
3	幅8.0mm × 高さ2.15mm
4	幅10.3mm × 高さ1.15mm
5	幅14.2mm × 高さ0.10mm

写真

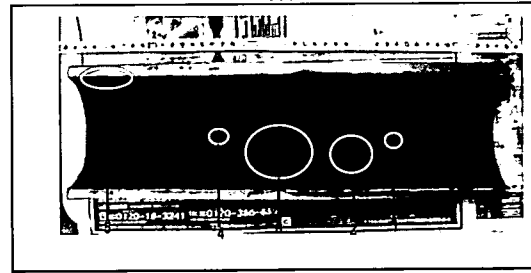


※右側が管上端側

図 5.3.13 試験体 1、緑 2 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅13.8mm × 高さ2.35mm
2	幅38.5mm × 高さ4.10mm
3	幅37.2mm × 高さ7.30mm
4	幅12.3mm × 高さ2.15mm
5	幅27.4mm × 高さ3.60mm

写真

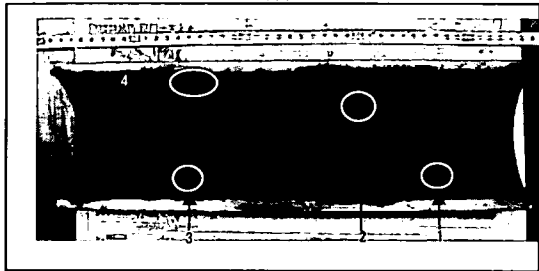


※右側が管上端側

図 5.3.14 試験体 1、緑 3 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅32.1mm × 高さ7.30mm
2	幅23.8mm × 高さ5.45mm
3	幅51.8mm × 高さ8.00mm
4	幅33.2mm × 高さ4.20mm

写真

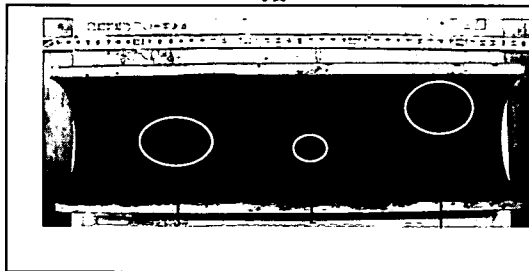


※右側が管上端側

図 5.3.15 試験体 1、緑 4 の目視観察結果

番号	錆こぶの大きさ
1	幅20.7mm × 高さ3.20mm
2	幅10.1mm × 高さ2.40mm
3	幅49.0mm × 高さ2.20mm

写真



※右側が管上端側

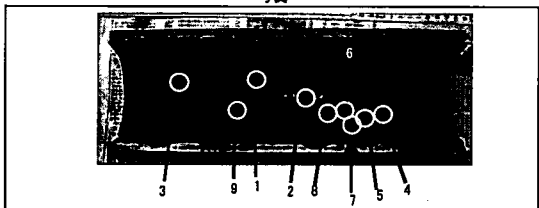
図 5.3.16 試験体 1、緑 5 の目視観察結果

試験体 2 の結果と図 5.3.17～図 5.3.22 に示す。図より管内面は塗装が施されているが、その塗装に膨れが生じていることが確認できる。

番号	1	2	3	4	5
膨れ/mm	7.10	5.50	7.15	5.05	4.80

番号	6	7	8	9
膨れ/mm	6.55	4.10	5.90	6.45

写真



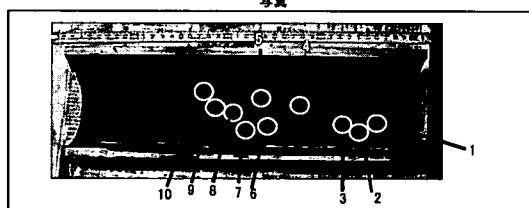
※右側が管上端側

図 5.3.17 試験体 2、赤 1 の目視観察結果

番号	1	2	3	4	5
膨れ/mm	4.45	6.15	6.90	6.20	4.65

番号	6	7	8	9	10
膨れ/mm	5.50	5.20	5.00	5.05	6.80

写真



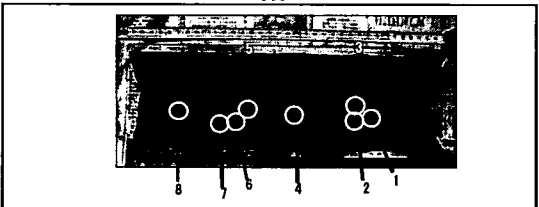
※右側が管上端側

図 5.3.18 試験体 2、赤 2 の目視観察結果

番号	1	2	3	4	5
膨れ/mm	5.25	4.20	5.40	4.25	6.15

番号	6	7	8
膨れ/mm	6.80	4.80	4.35

写真



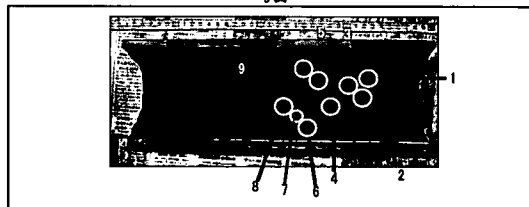
※右側が管上端側

図 5.3.19 試験体 2、赤 3 の目視観察結果

番号	1	2	3	4	5
膨れ/mm	4.45	3.80	4.70	3.60	4.00

番号	6	7	8	9
膨れ/mm	4.65	5.75	5.90	5.50

写真

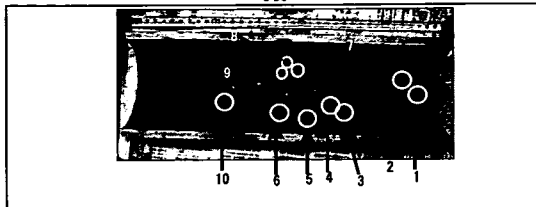


※右側が管上端側

図 5.3.20 試験体 2、黄 1 の目視観察結果

番号	1	2	3	4	5
膨れ/mm	6.15	6.90	2.75	3.90	6.20
番号	6	7	8	9	10
膨れ/mm	4.70	3.60	3.90	5.20	4.50

写真

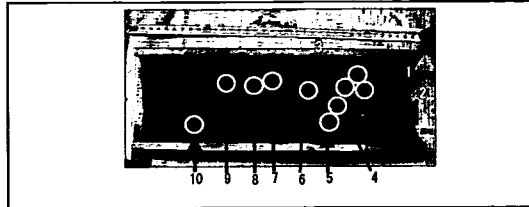


※右側が管上端側

図 5.3.21 試験体 2、黄 2 の目視観察結果

番号	1	2	3	4	5
膨れ/mm	7.60	4.15	4.15	7.20	7.45
番号	6	7	8	9	10
膨れ/mm	6.75	7.65	7.70	6.75	5.90

写真



※右側が管上端側

図 5.3.22 試験体 2、黄 3 の目視観察結果

図 5.3.23、図 5.3.24 に各試験体のピーク強度を示す。試験体 1 では 50cm 前後に腐食生成物の存在を示すピークが確認される。配管の内部を確認すると、内部に大きな錆こぶがあることが確認された。従って、これらの錆こぶがピーク強度として検出されたと考えられる。しかし、100cm 以降の箇所において、錆こぶが存在するにもかかわらず、応答波形は得られていない。これは図 5.3.3 より、試験体 1 は内面に激しい堆積物の存在が認められている。0~100cm の間に存在する様々な堆積物の影響により、エコーに減衰が生じ、100cm 以降に存在する錆こぶが検出されなかったと考えられる。従って、音響エコーにより管内面に存在する堆積物を測定することは可能であるが、管内面に付着している錆こぶを堆積物と分離して検出することは現時点で困難であると考えられる。また、試験体内面に存在する堆積物の高さを図 5.3.23、図 5.3.24 に示しているが、応答エコーと相関は特に見られない。このことから、現状では堆積物の高さの特定に関しても難しいと考えられる。なお、図 5.3.23、図 5.3.24 に示した出力エコーは図 5.3.25 に示した補正曲線を用いて補正を行っている。

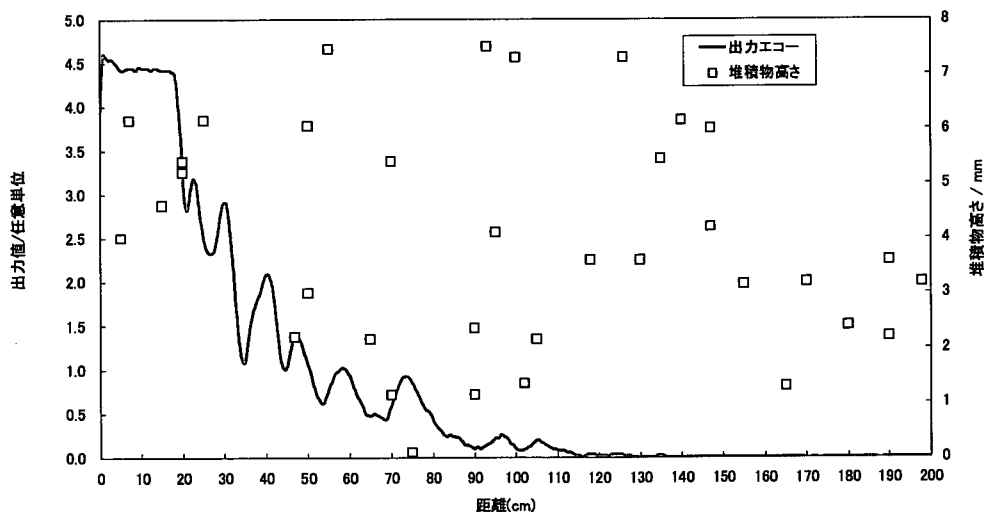


図 5.3.23 試験体 1 の出力エコー

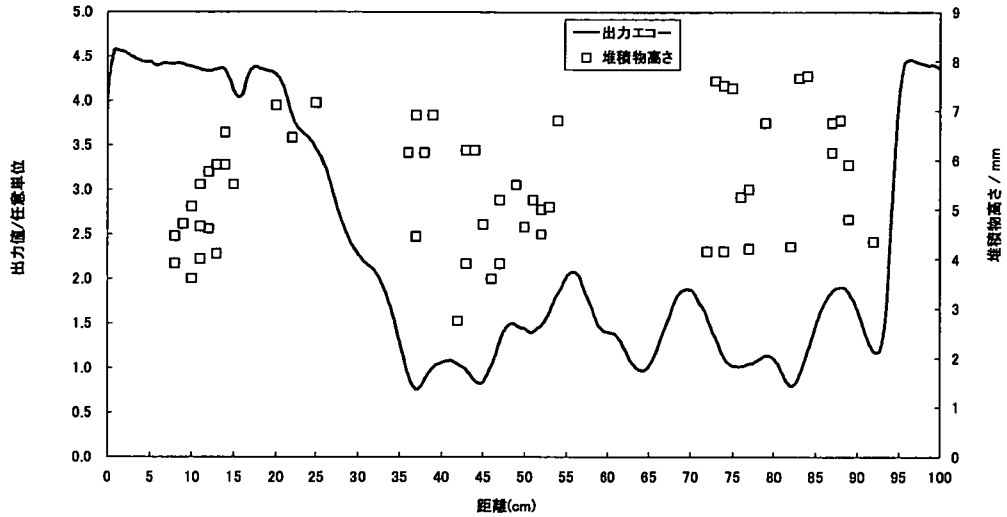


図 5.3.24 試験体 2 の出力エコー

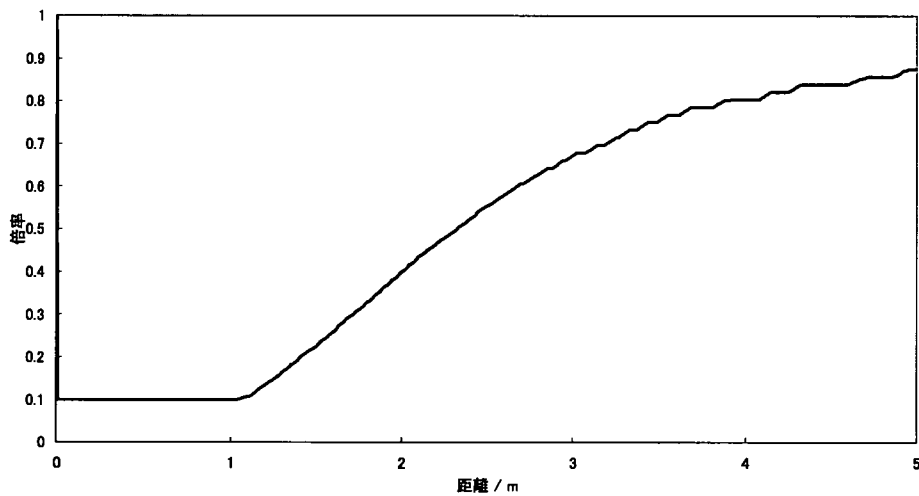


図 5.3.25 補正曲線

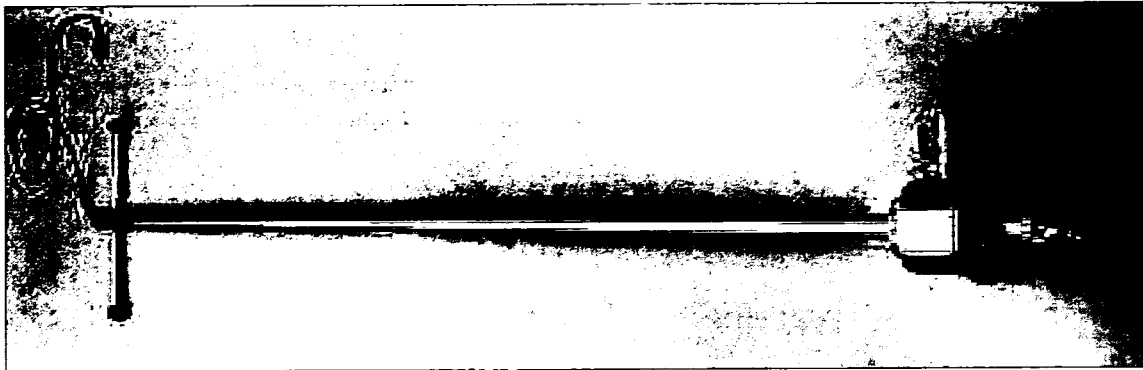
(2) 音響エコー法の実用機の試作

1) 目的

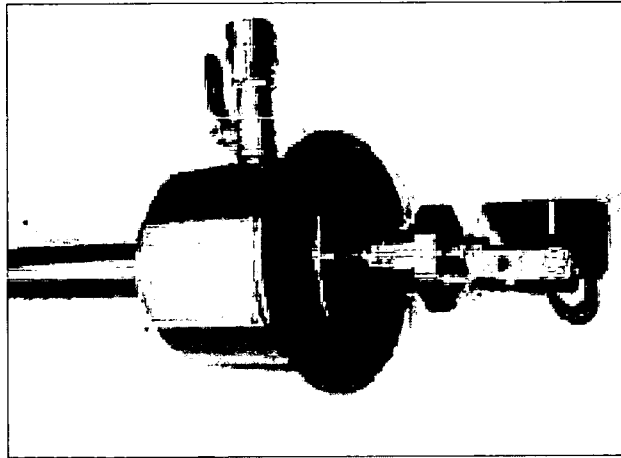
従来までの試験は掘上管、模擬水道管を用いて試験を行ってきた。しかし、本研究の目的は実際の埋設管路において本方法を適用することである。そのために、実環境で使用可能な測定機を作製が必要である。ここでは、本方法の実用機の試作を行った。

2) 製作された試作機

製作された試作機外観を図 5.2.1.26 に示す。図 5.3.26 (a)左端側に超音波送受信機を設置し (図 5.3.26 (b)参照)、管内をコードが通り、左端側にあるコードを測定器に接続し、エコーを出力する。試作機は測定中に水が漏洩しないよう、ゴムパッキン等で覆っている。実際に試作機は図 5.3.27 に示すように消火栓より送受信部を管路に挿入し、使用する。

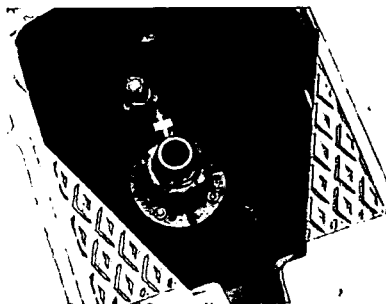


(a) 全体写真



(b) 送受信部写真

図 5.3.26 超音波送受信機



(a) 設置前



(b) 設置後

図 5.3.27 模擬消火栓に設置した超音波送受信機

(3) 試作機を用いた模擬埋設管路での適用試験

1) 試験目的

今までの試験において、水道配管中に存在する付着物を検出できる可能性が示された。本試験では作製された試作機を用いて、模擬埋設管路を用いて、適用試験を実施した。

2) 試験方法

試験はフジテコム株式会社技術開発センターに設置されている試験用埋設配管を使用して実施した。埋設配置図を図 5.3.28 に示す。

試験装置は作製した試作機を用いて、超音波送受信部を消火栓より管内に挿入した。得られた応答エコーをオシロスコープで測定した。

実験で使用した埋設配管は铸铁管（埋設約 35 年、 $\phi 75\text{mm}$ 、長さ 20m）及び VP 管（埋設約 25 年、 $\phi 75\text{mm}$ 、長さ 20m）である。

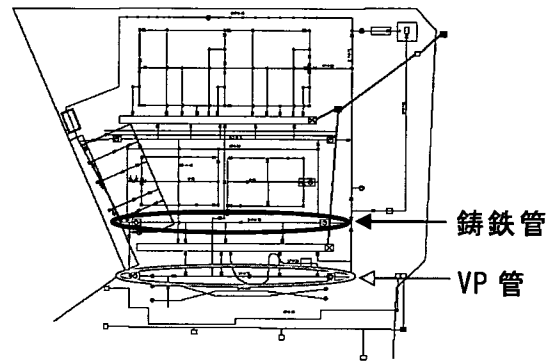


図 5.3.28 埋設管路配置図

3) 試験結果と考察

試験結果を図 5.3.29 及び図 5.2.1.30 に示す。铸铁管においては 5m~10m 付近にかけて大きなピークが得られた。本試験では内部の状況は確認できなかったが、従来の試験の結果から铸铁管内部に大きな付着物があると推測される。

一方、VP 管では特に大きなピークは発見されなかった。1m 付近に一部ピークが見られるが、この部分は消火栓と VP 管との接合部付近であり、周囲に突起が存在し、それがエコーとして出力された可能性がある。しかし、それ以降 5m~10m 付近では铸铁管と異なり、大きなピークは出ていないことから、内面に大きな付着物は特に存在しないと推測される。

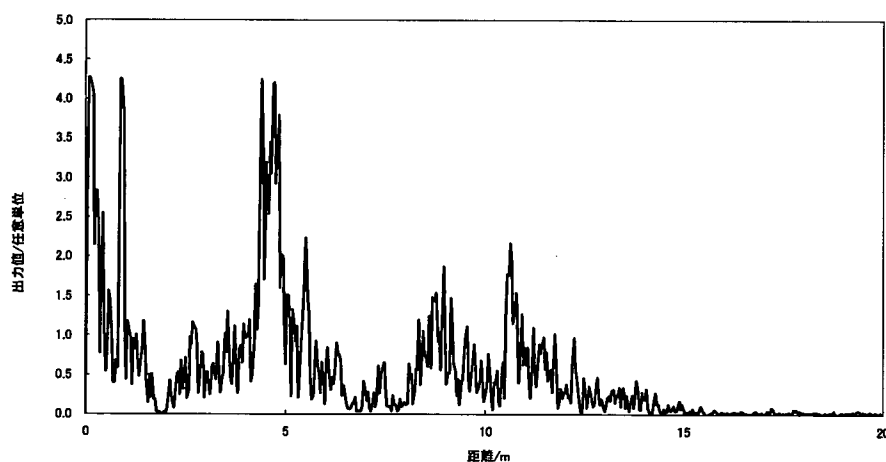


図 5.3.29 埋設铸铁管で得られた出力エコー
(埋設約 35 年、 $\phi 75\text{mm}$ 、長さ 20m)