

第4章 管厚、管径および管長とピーク周波数の関係

4.1 はじめに

既往の研究において、外面腐食を模擬して管を外面から全面的に切削した管長1m管径150mmのダクタイル鋳鉄管においては老朽度を定量的に評価することができることが明らかになっている。しかしながら、管長および管径の変化が本手法の評価パラメータであるピーク周波数に与える影響、また管長および管径が既往の研究を異なる条件下での管厚とピーク周波数の関係については確認されていない。

そこで本章では管厚、管径および管長とピーク周波数の関係を確認するところを目的とした。確認にあたっては実験および衝撃応答解析を用いた。管厚、管径および管長の異なる供試管を作成し実験において確認することは非常に多くのパターンの供試管を必要とし効率的ではない。そのため、まず(I)管厚のことなる供試管における実験値と供試管を模擬したモデルにおける解析値の比較を行うことで解析値の妥当性を検証した。その後、解析において、(II)管径および管長とピーク周波数の関係と(III)管径および管長の異なる管における管厚とピーク周波数の関係を確認した。

4.2 管厚とピーク周波数の関係

4.2.1 実験概要

実験状況を図5.5.6に示す。

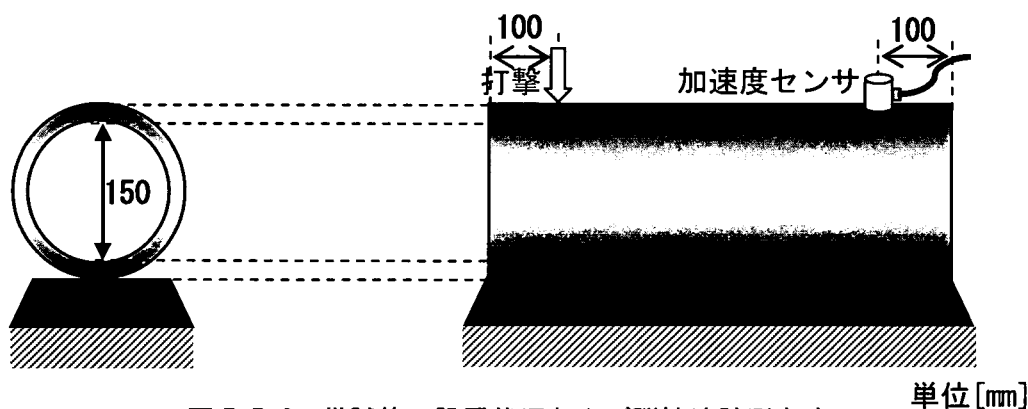


図 5.5.6 供試管の設置状況および弾性波計測方法

(1) 供試管

本実験では、3.2.1 供試管で示した、4mm 切削エポキシ粉体塗装管、2mm 切削エポキシ粉体塗装管、健全エポキシ粉体塗装管を用いた。詳細は表 5.5.3 に示す。

(2) 弾性波計測方法

供試管の設置状況、打撃位置および加速度センサ設置位置についてはさきに図 5.5.6 に示した通り、打撃は管の端部から 100mm の位置で行い、もう一方の端部から 100mm の位置に加速度センサを設置した。弾性波の受振には、0.003~10kHz に応答感度を有す

表 5.5.3 供試管詳細

	管厚 (mm)	管長 (mm)	管径 (mm)
健全エポキシ粉体塗装管	7.5	1000	150
2mm 切削エポキシ粉体塗装管	5.5	1000	150
4mm 切削エポキシ粉体塗装管	3.5	1000	150

る加速度センサを用いた。受振した波形は、アンプを介し、高速波形収集システムによりパソコンに記録した。以上の方法で得られた受振波形から、最大振幅値および波形減衰時間を求め、高速フーリエ変換 (FFT) により周波数分布を求めた。また、サンプリング周期 1μ 秒、サンプリング数 32768、トリガーレベル 0.500V に設定し計測を行った。高速フーリエ変換 (FFT) は図 5.5.7 に示すように最新部分の 16384 を対象とした。

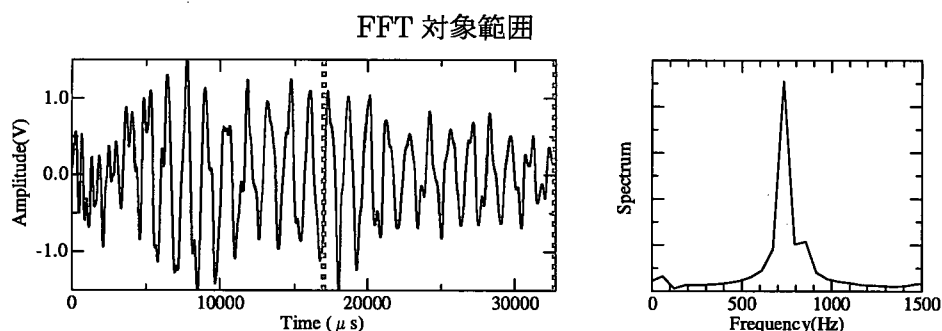


図 5.5.7 FFT 対象範囲および周波数分布の例

4. 2. 2 解析概要

解析は衝撃応答解析を用いた。実験供試管を模擬したモデルにおける解析値と実験値の比較を行い、解析の妥当性を検証する。

(1) 解析モデル

実験供試管を模擬して作成したモデルの詳細を表 5.5.4 に示す。

表 5.5.4 解析モデル詳細

	管厚 (mm)	管長 (mm)	管径 (mm)
健全管	7.5	1000	150
1mm 切削管	6.5	1000	150
2mm 切削管	5.5	1000	150
3mm 切削管	4.5	1000	150
4mm 切削管	3.5	1000	150
5mm 切削管	2.5	1000	150

(2) 解析条件

解析モデルの画像の一例を図 5.5.8, 図 5.5.9 に示す。

材料係数は弾性係数 150GPa, 密度 7.15g/cm, ポアソン比 0.28 である。支持条件は図 5.5.8 において矢印の指している管下の一線で XYZ 方向の変位を固定している。打撃は実験と同様の条件である管の端部から 100mm の図 5.5.9 において矢印で指している点に与えている。打撃は 0.001 秒間で図 5.5.10 に示す荷重条件により入力している。

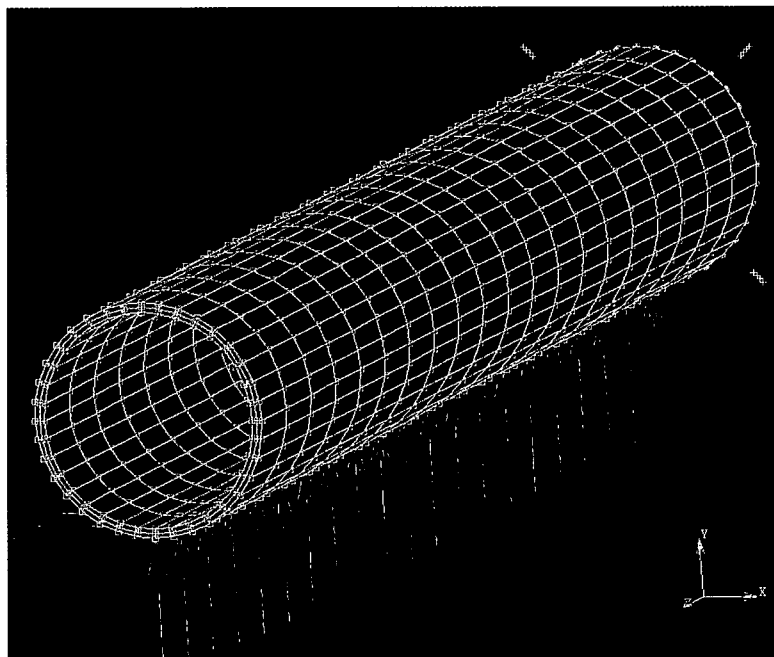


図 5.5.8 解析モデル(支持条件)

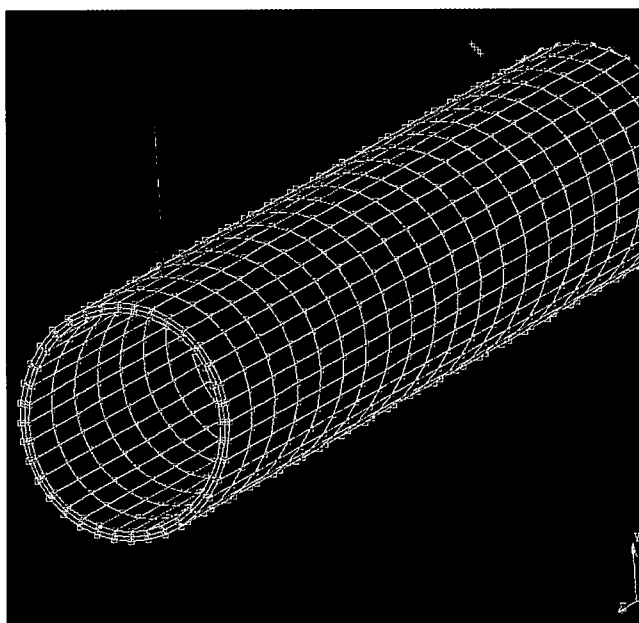


図 5.5.9 解析モデル(打撃位置)

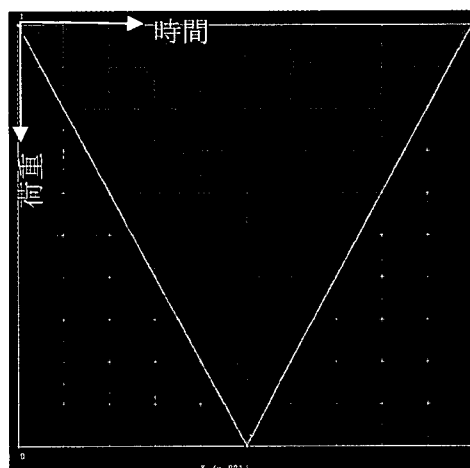


図 5.5.10 打撃詳細

4. 2. 3 実験および解析結果

実験および解析結果を表 5. 5. 5 に示す。またその詳細な比較を図 5. 5. 11 に示す。

表 5. 5. 5 実験および解析結果

管厚(mm)	7.5	6.5	5.5	4.5	3.5	2.5
実験値(Hz)	732	—	573	—	512	—
解析値(Hz)	693	556	527	507	478	468

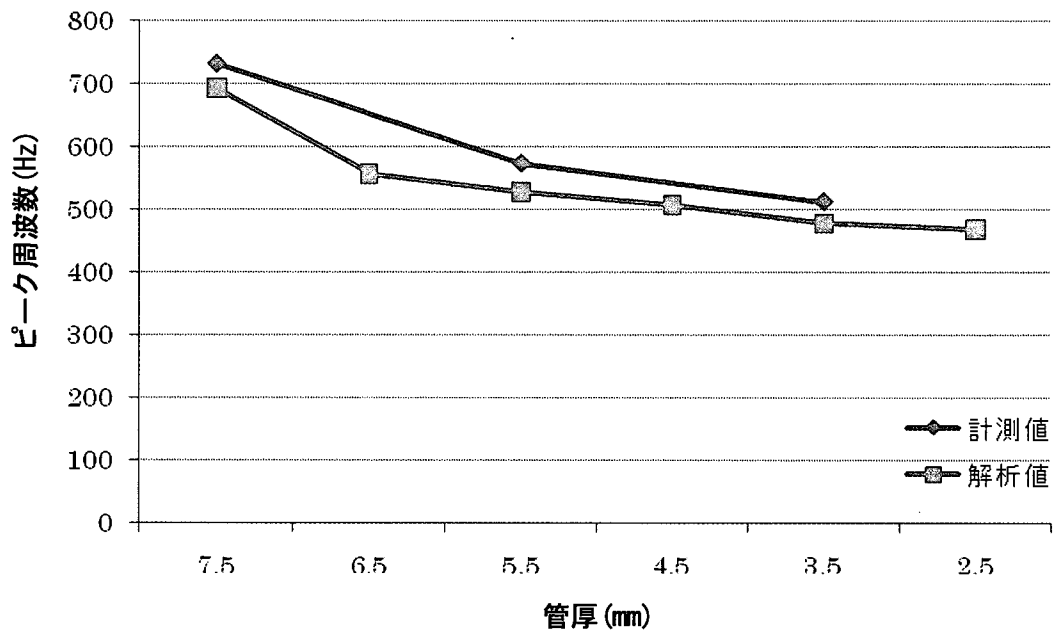


図 5. 5. 11 実験および解析結果の比較

4. 2. 4 考察

実験値は管厚が減少すると下がるという昨年度と同様の傾向が得られた。それに対し解析値も同じく管厚が減少すると下がるという傾向が得られた。さらに実験値と解析値は値も近く 50Hz 以内の誤差に収まっている。

以上のようなことから、昨年度の研究結果と同様に管厚が減少すると本手法の評価パラメータであるピーク周波数も減少することがわかった。また衝撃応答解析による解析値は妥当性の高いものであると考えられる。

4. 3 管径および管長とピーク周波数の関係

4. 3. 1 解析モデル

既往の研究における管径 150mm, 管長 1000mm の供試管をベースに表 5. 5. 6 に示す複数のモデルにおいて解析を行った。管径を 300mm, 600mm と変化させたモデル, 管長を 150mm, 2000mm, 3000mm, 4000mm, 5000mm と変化させたモデルおよび管径 300mm, 600mm で直管の長さにあたる管長 6000mm のモデルを用いた。

表 5. 5. 6 解析実施モデル

		管長 (mm)						
		150	1000	2000	3000	4000	5000	6000
管径 (mm)	150	○	○	○	○	○	○	
	300	—	○	—	—	—	—	○
	600	—	○	—	—	—	—	○

※○：解析行ったモデル —：解析を行わなかったモデル

4. 3. 2 解析条件

4. 2. 2 解析概要の(2)解析条件と同様の条件で行った。

4. 3. 3 解析結果および考察

(1) 解析結果

解析により求められたピーク周波数を表 5. 5. 7 にまとめた。また管長および管径がピーク周波数に与える影響を確認するために管長および管径とピーク周波数の関係をそれぞれ図 5. 5. 12, 図 5. 5. 13 に示す。

表 5. 5. 7 解析結果

		管長 (mm)						
		150	1000	2000	3000	4000	5000	6000
管径 (mm)	150	595Hz	693Hz	625Hz	595Hz	605Hz	615Hz	
	300	—	546Hz	—	—	—	—	527Hz
	600	—	468Hz	—	—	—	—	429Hz

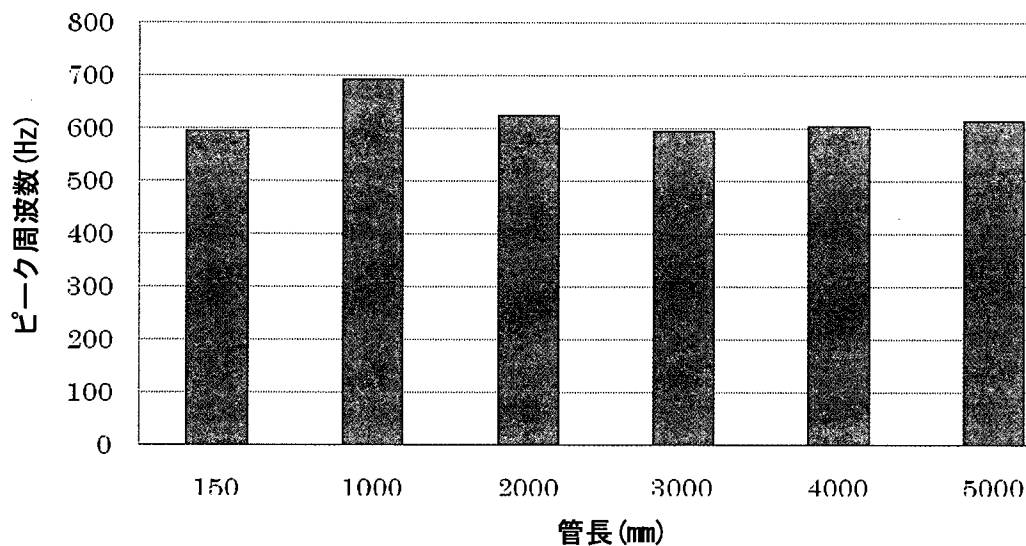


図 5.5.12 管長とピーク周波数の関係

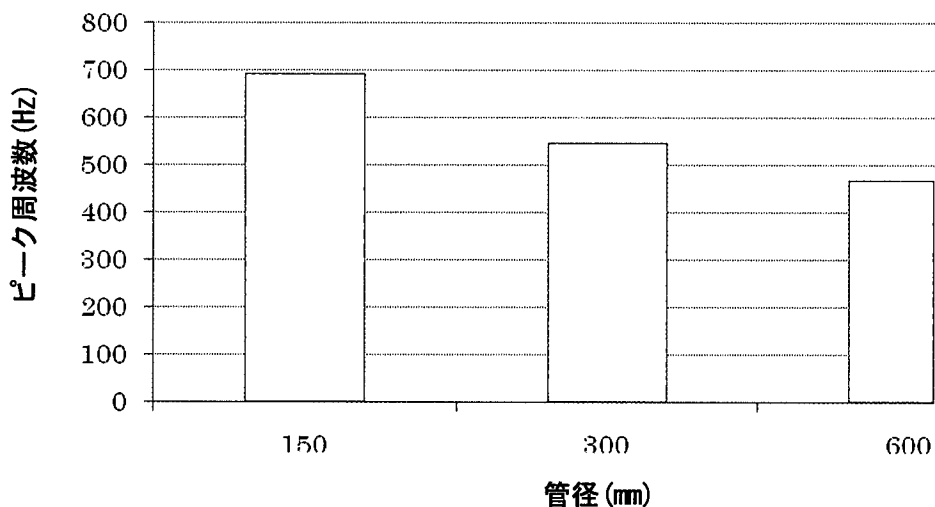


図 5.5.13 管径とピーク周波数の関係

(2) 考察

まず管長とピーク周波数の関係については管長が変化してもピーク周波数は大きく変わらないと言える。このことは本手法において注目しているピーク周波数が円周方向の振動の影響を強く受けている固有振動から導かれているものであるからだと考えられる。また管長を著しく短くすることで円周方向の振動のみの特性をとらえようとした管長 150mm のモデルにおいても管長の異なるモデルと比較してピーク周波数に差がないことも、以上のように考えられる要因である。

次に管径とピーク周波数の関係については管径が大きくなるとピーク周波数は小さくなるという傾向をとらえることができた。

4. 4 管径および管長の異なる管における管厚とピーク周波数の関係

4. 4. 1 解析モデル

既往の研究において管径 150mm, 管長 1000mm の管では管厚とピーク周波数の関係は明らかにされている。しかし, 管径および管長が異なる管においての管厚とピーク周波数の関係については検討されていない。そのため解析によって管径および管長の異なる管における管厚とピーク周波数の関係を確認する。

4. 3 管径および管長とピーク周波数の関係の確認で用いたモデルの一部を 1mm, 2mm, 3mm および 4mm 切削したモデルにおいてそれぞれ解析を行った。詳細は表 5. 5. 8 示す。

表 5. 5. 8 解析実施モデル

		管長 (mm)						
		150	1000	2000	3000	4000	5000	6000
管径 (mm)	150	—	○	—	—	—	○	
	300	—	○	—	—	—	—	—
	600	—	○	—	—	—	—	—

※○：解析行ったモデル —：解析を行わなかったモデル

4. 4. 2 解析条件

4. 2. 2 解析概要の(2)解析条件と同様の条件で行った。

4. 4. 3 解析結果および考察

(1) 解析結果

解析結果を表 5. 5. 9 に示す。またそれぞれの影響を確認しやすくするために関係を図 5. 5. 14 に示す。

表 5. 5. 9 解析結果

	管厚 (mm)				
	7. 5mm	6. 5mm	5. 5mm	4. 5mm	3. 5mm
管径 150mm, 管長 1000mm	693Hz	556Hz	527Hz	507Hz	478Hz
管径 150mm, 管長 5000mm	620Hz	595Hz	566Hz	546Hz	498Hz
管径 300mm, 管長 1000mm	546Hz	517Hz	488Hz	468Hz	449Hz
管径 600mm, 管長 1000mm	468Hz	458Hz	449Hz	439Hz	439Hz

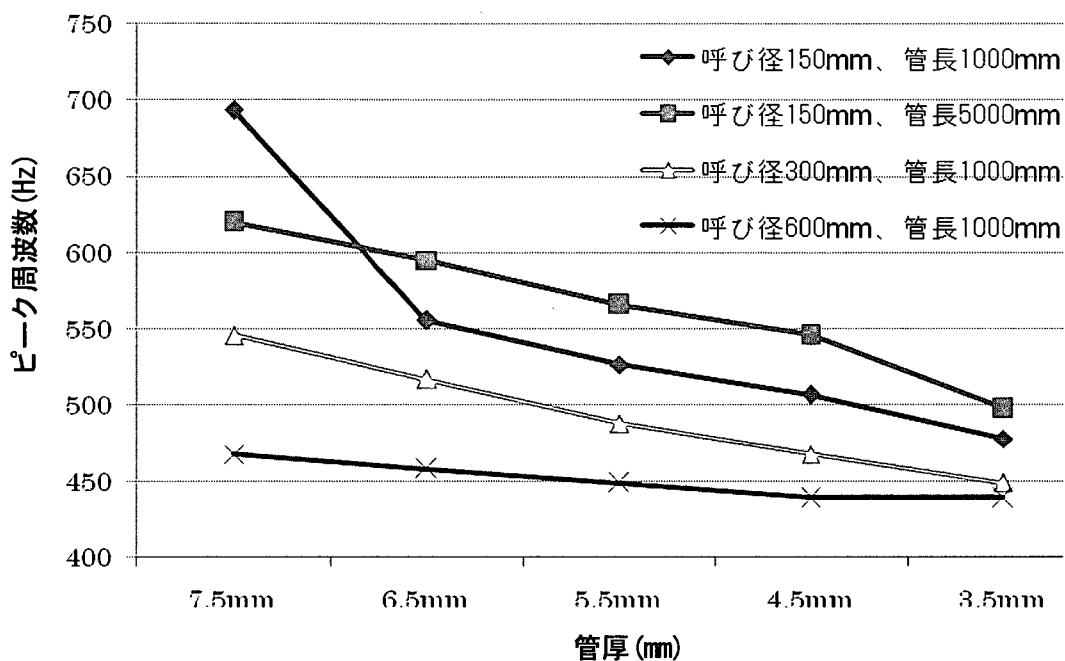


図 5.5.14 管径および管長の異なる管ごとの管厚とピーク周波数の関係

(2) 考察

いずれのモデルにおいても管厚が減少するとピーク周波数が下がるという昨年度と同様の傾向がつかめた。また管径が大きくなった場合および管長が長くなった場合には管厚の減少によるピーク周波数の低下は小さくなることが確認できた。

4.5 まとめ

管厚とピーク周波数の関係については管径および管長によらず、管厚が減少するとピーク周波数は下がるという結果が得られた。また管長については、健全状態の管におけるピーク周波数の値に与える影響は小さいと言えるが、管長が長くなると管厚の減少によるピーク周波数の低下の程度は小さくなることがわかった。管径については大きくなると健全状態の管におけるピーク周波数の値は小さくなり、さらに管厚の減少によるピーク周波数の低下の程度も小さくなることが確認できた。

第5章 部分的な減肉がピーク周波数に与える影響

5.1 はじめに

既往の研究において老朽度が定量的に評価できるとされているのは管を外面から全面的に切削した供試管においてのみである。しかし実際に外面腐食を生じた管では管厚が全面的に均一に減少しているとは考えにくい。

そのため本章では部分的な減肉がピーク周波数に与える影響を確認することで、外面腐食を生じた管における本手法の適用性を検討する。まず実際に供用されていた掘上管における実験から外面腐食を生じた管におけるピーク周波数とその腐食状況を比較する。さらに部分的な減肉がピーク周波数に与える影響をより詳しく確認するために様々なモデルにおける解析において関係を確認した。

5.2 掘上管における実験

本手法において求められるピーク周波数と既往の研究で示した管体調査における管厚調査で得られた結果の比較を行った。また管体調査におけるケレン作業の前後で計測を行うことにより管外面に付着した腐食生成物が本手法に与える影響も併せて確認した。

5.2.1 掘上管

本実験では実際に供用されていた布設時期のことなる管長 1000mm、管径 150mm のモルタルライニングの掘上管を用いた。モルタルライニングの厚みはいずれも 4mm 程度であったためにライニング厚のちがいによる影響はないものと考えた。掘上管の詳細を表 5.5.10 示す。

表 5.5.10 掘上管詳細

管の種類	掘上管①	掘上管②	掘上管③
採取地	X市水道局	X市水道局	Y県水道局
布設時期 (供用年数)	1980年 (27年)	1972年 (35年)	1973年 (34年)
布設土壌	赤土	赤土	赤土/水なし
管長(mm)	1000	1000	1000
管径(mm)	150	150	150



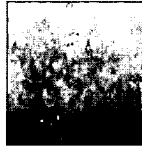
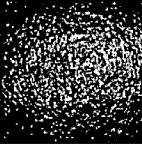
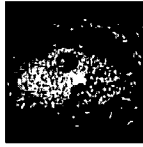
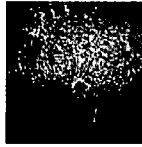
5.2.2 弾性波計測方法

4.2.1 実験概要の(2)弾性波計測方法と同様の条件において行った。

5. 2. 3 管厚計測方法

既往の研究で示した管体調査における管厚調査を用いた。計測は管端部から長さ方向250mm 間隔(5カ所)の各位置において管円周方向に4点の計20点で行った。このようにして得られた20点の計測値の平均値をもって管厚とした。管厚およびケレン前後の各掘上管の外面の状況を表5.5.11に示す。

表 5.5.11 掘上管の管厚および外面状況

管の種類	掘上管①	掘上管②	掘上管③
管厚 (mm)	9.8	9.1	8.6
管体調査実施前 (除錆前)			
管体調査実施後 (除錆後)			

5. 2. 4 実験結果

除錆の前後におけるピーク周波数および周波数スペクトルの変化を図5.5.15に示す。

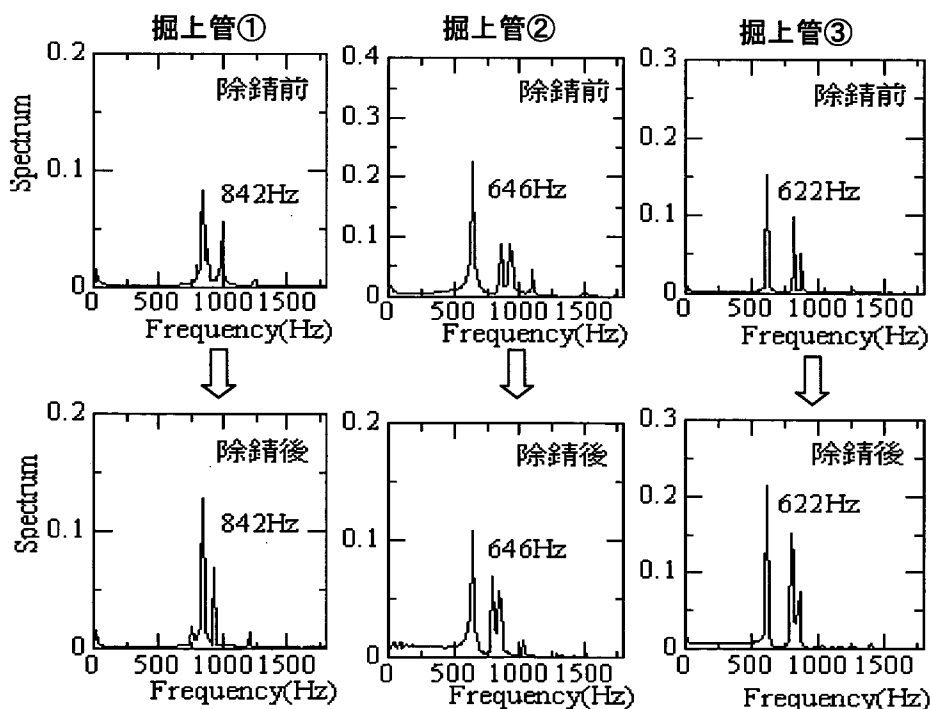


図 5.5.15 除錆前後の周波数スペクトルの比較

また管厚とピーク周波数の関係を図 5.5.16 に示す。

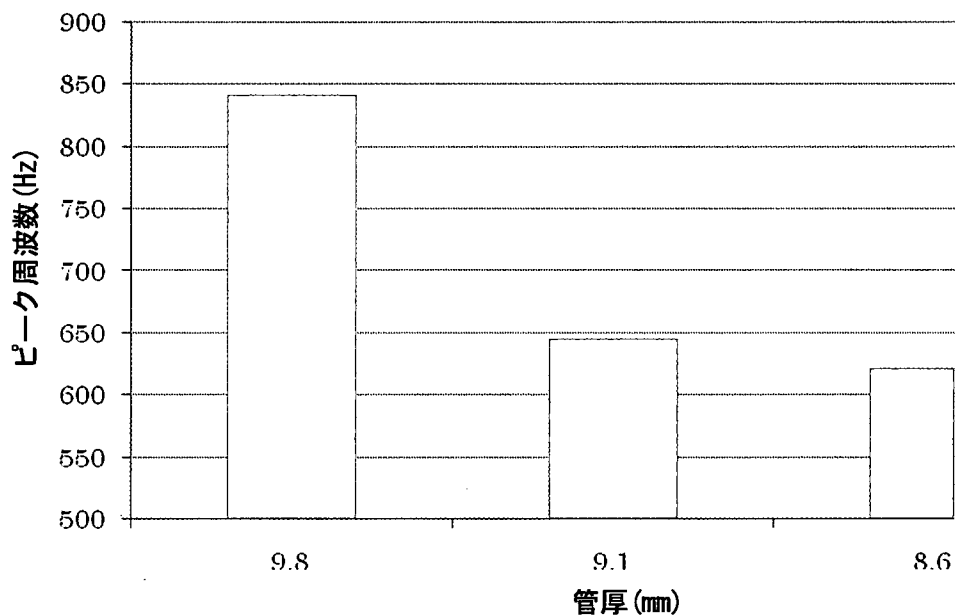


図 5.5.16 管厚とピーク周波数の関係

5. 2. 5 考察

まず除錆の前後におけるピーク周波数および周波数スペクトルの比較から、除錆の前後におけるピーク周波数の変化は小さく、周波数スペクトルにおいてもその形状は大きく変化はない。

次に管厚とピーク周波数の関係は、実際に外面腐食を生じた管においても管厚が薄くなるとピーク周波数は小さくなるという既往の研究と同様の結果を得ることができた。

5.3 部分的に管厚を薄くしていく解析

5.3.1 解析モデル

詳細を図 5.5.17 および表 5.5.12 に示す。

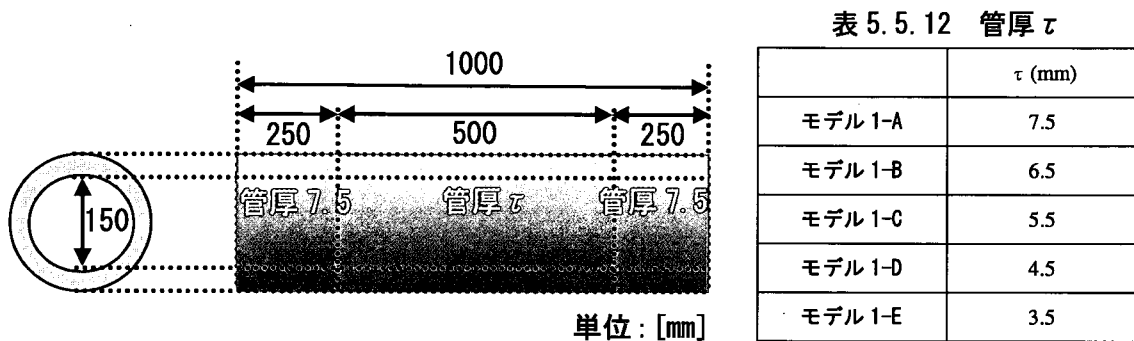


図 5.5.17 解析モデル詳細

5.3.2 解析結果および考察

(1) 解析結果

解析結果を図 5.5.18 に示す。

(2) 考察

減肉させた部分の管厚 τ が 7.5mm から 6.5mm に減少するとピーク周波数は下がるが、それ以降は 3.5mm まで減少しても変化していない。このことから管全長の半分の長さにおいてでも管厚が 1mm 減少すればピーク周波数が下がると言える。しかしそれ以後ピーク周波数に変化がないことから、部分的減肉が管全長の半分程度までの腐食状況の管においては健全であるかどうかの判別はできるが、部分的な管厚の減少程度までを推定することは容易ではないことがわかった。

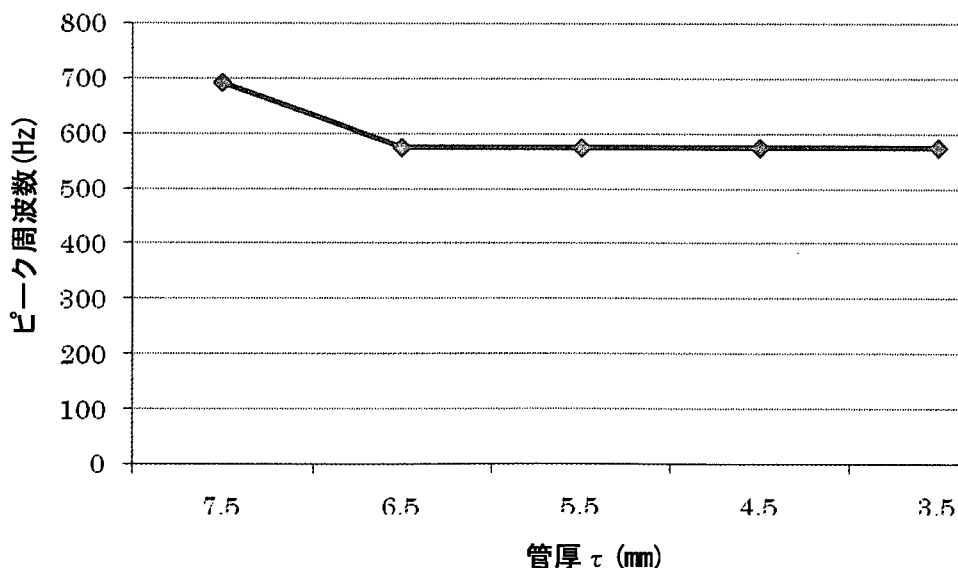


図 5.5.18 管厚 τ とピーク周波数の関係

5. 4 部分的に減肉させた管の管厚を全面的に薄くしていく解析

5. 4. 1 解析モデル

詳細を図 5. 5. 19 および表 5. 5. 13 に示す。

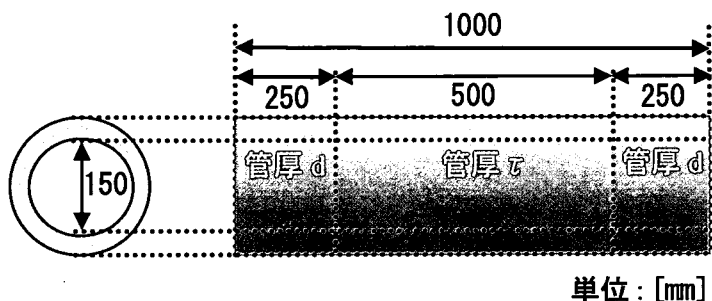


表 5. 5. 13 管厚 τ および管厚 d

	τ (mm)	d (mm)
モデル 2-A	5.5	7.5
モデル 2-B	4.5	6.5
モデル 2-C	3.5	5.5
モデル 2-D	2.5	4.5

図 5. 5. 19 解析モデル詳細

5. 4. 2 解析結果および考察

(1) 解析結果

解析結果を図 5. 5. 20 に示す。

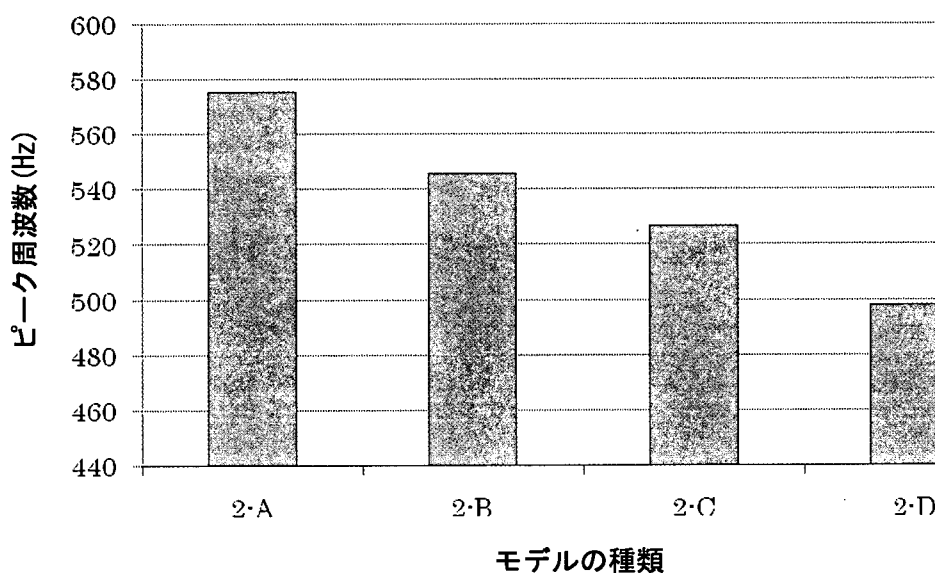


図 5. 5. 20 それぞれのモデルにおけるピーク周波数

(2) 考察

管厚 τ および管厚 d を 1mm ずつ減少させたモデル 2-A, 2-B, 2-C, 2-D においては管厚が薄くなる 2-A→2-B→2-C→2-D の順にピーク周波数が減少することが確認できた。そのためこのような減肉パターンであれば、管厚の減少程度を推定できる可能性があることがわかった。

5.5 管厚の薄い部分の位置を変化させる解析

5.5.1 解析モデル

詳細を図 5.5.21 および表 5.5.14 に示す。打撃は図-5.7 のモデルの右端から 100mm の位置で行い、センサは左端から 100mm に設置した。

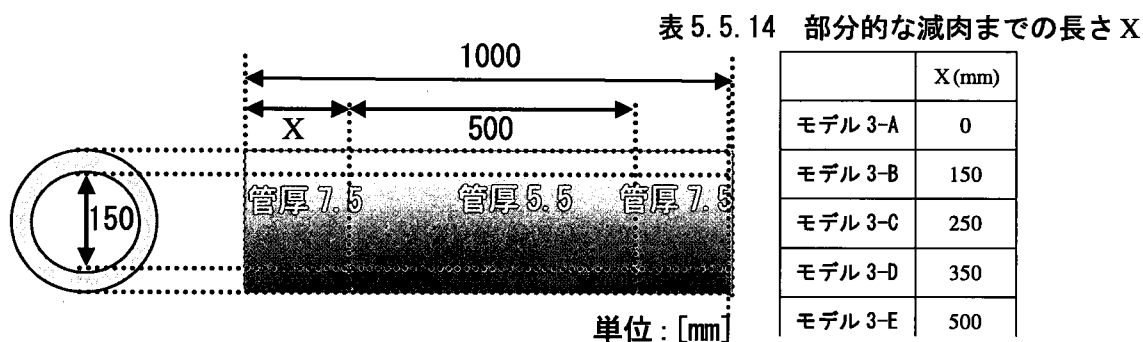


図 5.5.21 解析モデル詳細

5.5.2 解析結果および考察

(1) 解析結果

解析結果を図 5.5.22 に示す。

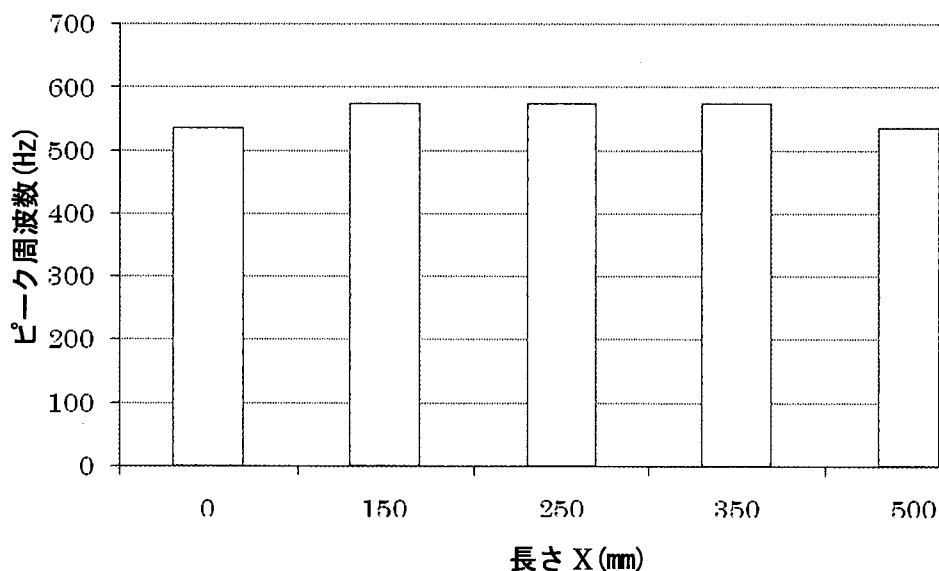


図 5.5.22 部分的な減肉の位置とピーク周波数の関係

(2) 考察

部分的な減肉までの長さ X が 0mm および 500mm のような管の端部に部分的な減肉がかかっているモデルを除けばピーク周波数は全く変化しなかった。また長さ X が 0mm および 500mm のモデルにおいてもピーク周波数は大きく変化せず、部分的な減肉の位置がピーク周波数に与える影響は小さいことが確認できた。

5. 6 管厚の薄い部分の長手方向の長さを短くしていく解析

5. 6. 1 解析モデル

管厚の薄い部分はいずれのモデルにおいても管中央に配置し、その管厚の薄い部分の長さを短くしたモデルを用いて解析を行った。詳細を図 5. 5. 23 および表 5. 5. 15 に示す。

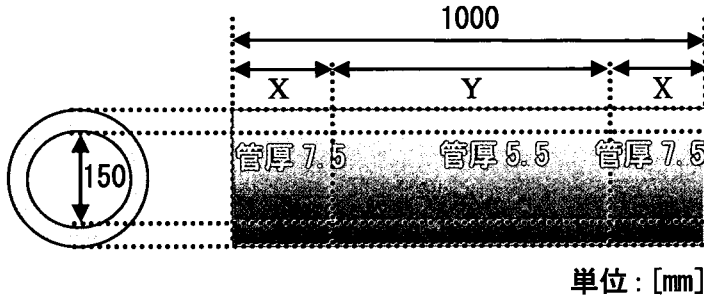


表 5. 5. 15 長さ X および長さ Y

	X(mm)	Y(mm)
モデル 4-A	0	1000
モデル 4-B	250	500
モデル 4-C	300	400
モデル 4-D	350	300
モデル 4-E	400	200

図 5. 5. 23 解析モデル詳細

5. 6. 2 解析結果および考察

(1) 解析結果

解析結果を図 5. 5. 24 に示す。

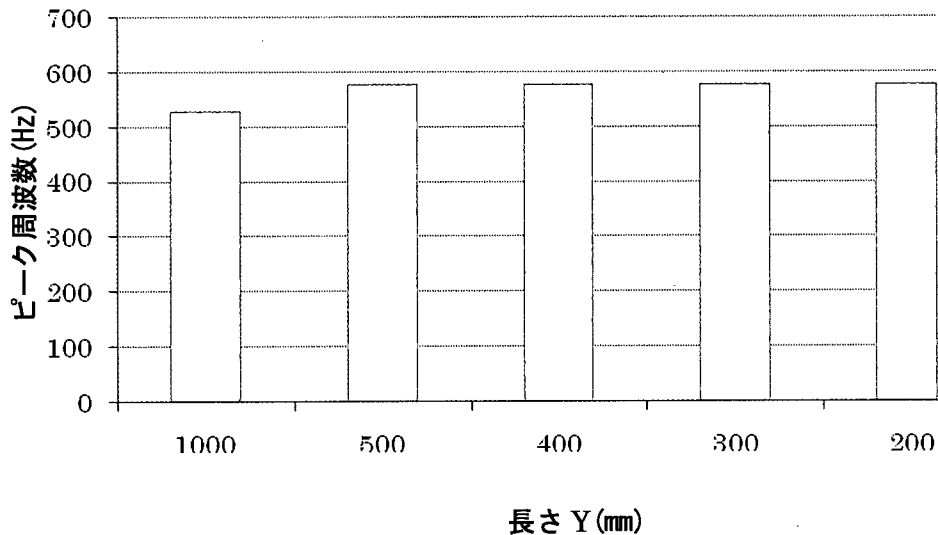


図 5. 5. 24 部分的な減肉の長さとピーク周波数の関係

(2) 考察

管の全長に対して 20%~50%程度の部分的な減肉であれば、長さを変化してもピーク周波数は変化しないことが確認できた。そのためピーク周波数から減肉している長さを推定することは難しいと言えるが、全面的に減肉させた管と比較するとピーク周波数が高いことから、減肉した部分が長いとピーク周波数が下がると考えられる。また管の全長の 20%の部分的な減肉においても健全管と比較した場合ピーク周波数の低下がみられ

ることから、管全長の 20%程度の部分的な減肉も検出できる可能性がある。

5.7 まとめ

実験において外面腐食を生じた管においても、管厚が減少するとピーク周波数が下がるという既往の研究を同様の傾向をつかめた。また管外面に付着した腐食生成物が本手法に与える影響は小さいことも確認できた。

さらに解析においても部分的な減肉によりピーク周波数が下がるという結果が得られた。このような結果は部分的な減肉が管の全長の 20%のモデルにおいても同様であった。また部分的な減肉の位置がピーク周波数に与える影響は小さく、本手法は減肉の位置によらずに管の減肉の程度を評価できる可能性があると言える。部分的な減肉の長さおよび深さによる影響に関しては、長くなるとピーク周波数は下がる傾向がみられたが、深さは変化させても管の全長の 50%の部分的な減肉においてはピーク周波数が変化しなかった。しかし、部分的に減肉させた管の管厚を全面的に薄くした場合においては管厚が減少するとピーク周波数が下がるということが確認できた。

ここで一例として、管径 150mm 管長 1000mm の管の健全度ランクと衝撃弾性波法により得られるピーク周波数との関係を、日本水道協会の水道施設更新指針²⁾を参考にに基づき整理したものを表 5.5.16 に示す。この表に示すように、種々のモデルのピーク周波数と健全度とに対応関係がみられることから、部分的に減肉した管においても健全度ランクを判別できる可能性が示唆されたものと考えている。

表 5.5.16 健全度定義詳細およびモデルの関係

	健全度 A	健全度 B	健全度 C
管厚 (mm)	7.5~5.6	5.5~3.6	3.5~
モデル名および [最小管厚 (mm) — ピーク周波数 (Hz)]	健全管 [7.5—693] 1mm 切削管 [6.5—556]	2-A [5.5—576] 2mm 切削管 [5.5—527] 2-B [4.5—546] 3mm 切削管 [4.5—507]	2-C [3.5—527] 4mm 切削管 [3.5—478] 2-D [2.5—498] 5mm 切削管 [2.5—468]
ピーク周波数 (Hz)	~550	549~500	499~

第6章 結論

本研究は、外面腐食を生じたダクタイル鋳鉄管においての衝撃弾性波法の適用性の検討にあたっての基礎的な研究を行った。まず、外面腐食によって管外面に凹凸を生じた管においても安定性に優れた計測を行えるように支持条件および打撃方法の改良を行った。(第3章)その後、実験と解析の比較から解析の妥当性と示したうえで、管厚、管径および管長とピーク周波数の関係を解析によって確認した。(第4章)最後に実験および解析から外面腐食を生じることにより起こる部分的な減肉がピーク周波数に与える影響の確認を行った。(第5章)

以下に本研究によって得られた結果をまとめる。

- 1) 減肉が部分的なものであっても管厚が減少するとピーク周波数が低下するという傾向がつかめた。さらに部分的に減肉した管であっても、ピーク周波数を用いて、たとえば健全度ランク A, B, C 程度の識別ができる可能性があると考えられる。
- 2) 管径が一定の場合は、管長の違いがピーク周波数に与える影響は小さい。一方、管径が大きくなるとピーク周波数が低くなる傾向が把握できた。また管長が長くなるほど、および管径が大きくなるほど管厚の減少によるピーク周波数の低下の程度が小さくなることが明らかになった。
- 3) 部分的な減肉区間が管の全長の 20%程度であっても、ピーク周波数は低下することが確認できた。
- 4) また部分的な減肉の位置がピーク周波数に与える影響は小さいことが示された。
- 5) 実際に外面腐食を生じたダクタイル鋳鉄管においても管厚が減少するとピーク周波数が下がるという結果が得られた。また管外面に付着した腐食生成物が本手法に与える影響は小さいと言える。

参考文献

- 1) 田中 聡, 鎌田敏郎:ダクタイル鋳鉄管の老朽度評価における衝撃弾性波法の適用に関する研究, 第 58 回全国水道研究発表会講演集, pp. 340-341, 2006.5
- 2) 社団法人 日本水道協会:水道施設更新指針, p.70, 2005.5

6. 研究成果のまとめ

6. 研究結果のまとめ

6.1 研究成果

昭和 30 年代から 40 年代にかけての拡張期に整備された管路施設の多くが老朽化してきている。将来にわたって施設の機能を維持・向上し、市民へのサービスレベルを保持するためには、施設の適切な維持管理や更新が必要不可欠となっている。

このため、本研究においては、施設の適切な維持管理や更新に必要とされる新しい水道技術を開発するために、「老朽管路における水質劣化とその防止策等に関する研究」と「管路の老朽度診断技術に関する研究」の 2 つの研究テーマに取り組んだ。

本研究の成果である個々の評価・診断手法の詳細については、3 章および 4 章のそれぞれの研究結果で述べたとおりだが、ここでは、それらの評価・診断手法を統合し、水道事業者が将来を踏まえて、管路施設の老朽度や更新の必要性を総合的に評価し、効率的かつ計画的に管路施設の維持管理や更新を支援するために構築した「管路診断プロセス」の内容について以下に説明する。

この管路診断プロセスは、複数の要素技術の確立の上に成り立っているものであり、3 カ年の研究活動を通じて、様々なラボ実験およびフィールド実験から得られたデータを基に積み上げられた、新たな知見を包含している。したがって、産・官・学の互いの協力なしでは成しえなかった成果であるといえる。

本研究の成果である個々の評価・診断手法を、人間の健康診断と対応付けながら、体系化すると図 6.1.1 のようになる。

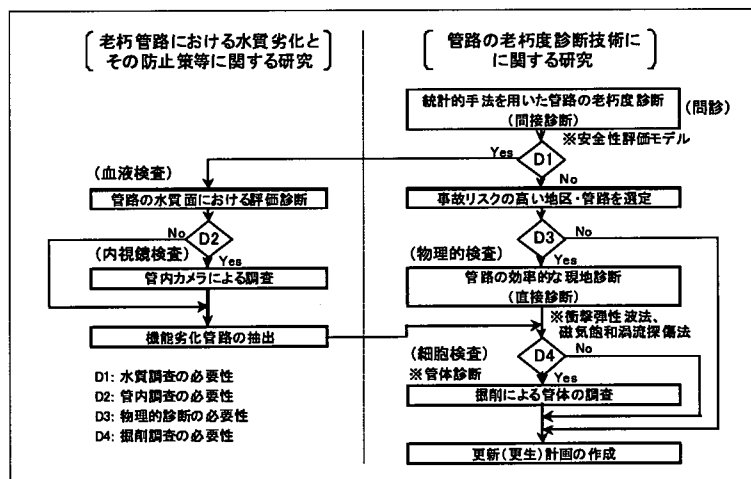


図 6.1.1 管路診断プロセス

(問診)

本格的な健康診断に入る前の「問診」に当たるものとして、メッシュデータを基礎にした配水管路の安全性評価や統計分析による管路事故リスク評価がそれに対応している。この診断技術により、広範な面的広がりをもつ管路施設に対する事故リスクを定量化し、詳細な診断が必要なリスクの高い地域を抽出することができる。

また、「既存施設データを用いた管路の老朽度評価手法の開発」に関する成果では、塩化ビニル管の旧規格の TS 継手 (S54 年以前) の更新指標化や使用後 30 年以上になるバルブ類の不具合増加傾向等の新しい知見を提示でき、これらの成果は管路全体を総合的にカバーする診断プロセスの確立に寄与している。

(物理的検査)

患者の呼吸音・心音などを聞き取り、異常の有無を確認するための「聴診・打診」には、非開削による管路の物理的検査である「衝撃弾性波法」や「磁気飽和渦流探傷法による配管検査シス

テム」等が相当する。これらの診断手法については、ラボ実験およびフィールド実験を通してその有用性や有効性が確認できた。現時点では実用化には至っていないが、次期プロジェクトを含めた今後の研究活動により、診断対象管路を効率的かつ定量的に診断を可能とする有望技術であるといえる。

なお、上述した各技術を含めた既存技術の体系化として「管路診断技術の到達レベルマップ」を作成した。このレベルマップにより、水道事業者等が診断を実施する際に、現在どのような調査・診断方法が実用化又は研究されているかを俯瞰することができ、また、どの部分の診断技術が充実していて、どの診断技術を用いることが可能かを容易に判断することが可能となった。

（血液検査）

管内水質の変化に着目したアプローチは、人間で言うところの「血液検査」に当たる。管路機能を水質面から評価すると、赤水の発生や残留塩素の消失等、潜在的な問題を抱えた管路が存在することがわかる。老朽管路における水質劣化とその防止策等に関する研究で取り組んだ、「管路の水質面における評価診断」では、水質面で問題を抱えた管路を抽出するための管種や流速等の属性を用いた得点化による間接診断と、残留塩素濃度の現地計測や懸濁物質の捕捉調査等の直接診断を組み合わせた評価・診断手法を開発し、水質面で更新が必要な管路を選定することが可能となった。

（細胞検査）

人間の健康診断では「内視鏡検査」や、体の一部を切り取って細胞を調べる「細胞検査（病理組織診断）」も必要に応じて行われるが、これらは管内カメラによる調査や最小掘削断面による管体調査に含まれる内容である。

以上のプロセスを踏まえ、管路の更新・更生（人間の健康診断で言えば「手術等の処置」）が必要か否かを最終的に判断することになる。膨大なコストと労力を投じて実施しなくてはならない管路更新においては、管路診断プロセスで構築された科学的アプローチに基づいた判断が極めて有効である。