

土 木 研 究 所 資 料

樋門樋管周辺の空洞探査 補修技術に関する調査

平成7年3月

建設省土木研究所
材料施工部施工研究室

Copyright © (1995) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

樋門樋管周辺の空洞探査 補修技術に関する調査

施工研究室 室 長 苗 村 正 三
研究員 市 村 靖 光
森 芳 徳

要 旨

樋門樋管の底版下に発生した空洞や水みちの非破壊的探査方法を確立するために、電磁波レーダによる空洞探査実験を行った。その結果、探査精度は配筋状態に大きく影響を受け、二重鉄筋の場合には現状のレーダではほとんど探査不能であることがわかった。また、これらの空洞を補修する方法としてジェットグラウト工法の適用性について検討を行った。現場実験の結果から、排泥処理を完全に行えばジェットグラウトの噴射圧が周辺に影響を及ぼす可能性は少ないことや、底版と改良体の付着性は良好であることなどを明らかにした。

キーワード：樋門樋管，空洞探査，電磁波レーダ，ジェットグラウト

は じ め に

樋門樋管など河川構造物が杭基礎で支持されている場合には、周辺地盤の圧密沈下に伴い底版下に発生した空洞や水みちにより、堤体の健全性が脅かされている場合がある。このような場合には、早期に構造物周辺地盤の調査を行い空洞などの形状や規模を把握し適切な補修を施す必要がある。しかしながら、樋門樋管の場合、一般にかなり厚いコンクリート部材で造られているため、その表面から構造物下の状況を直接観測することはできない。このため、これまでは目視やテレビカメラなどで表面を観察し、コンクリートの亀裂や剥離の状況から周辺地盤の変状を間接的に推定する方法が用いられてきた。しかし、このような方法では構造物自体の健全性はある程度判断できるものの、周辺地盤の状態を正確に推定することは困難で、確実な補修を行うためにはより精度の高い方法を用いる必要がある。以上から、非破壊的な手段で樋門樋管周辺の空洞や水みちを精度よく探査する方法の確立が望まれており、本調査では主に電磁波レーダによる空洞探査の適用性について検討を行った。

また、現状ではこのような空洞などの補修方法として信頼性の高いものは見当たらず、現場で用いられているグラウト充填工法についても、空洞の形状が複雑で規模も大きい場合には、空洞の細部まで充填されず、不確実さが残ることが考えられる。したがって、空洞の規模や形状に左右されず、改良体により水みちを完全に遮断することが可能なジェットグラウト工法の適用を提案した。樋門の底版下にジェットグラウトにより改良体を造成する場合には、噴射圧による構造物への影響、底版部との付着性、樋門本体へ改良体重量が付加されることの影響など不明な点が多く、現場実験に基づき実用化への問題点を検討した。

施工研究室	室 長	苗 村 正 三
	研究員	市 村 靖 光
		森 芳 徳

目 次

はじめに

1. 調査概要	1
1.1 調査目的	1
1.2 調査方法	1
2. 空洞探査	2
2.1 空洞探査技術の現状	2
2.1.1 探査技術の概要	2
2.1.2 電磁波レーダによる測定法	5
2.2 電磁波レーダの適用性試験	9
2.2.1 試験条件	9
2.2.2 試験結果	9
2.2.3 電磁波レーダの適用性	13
2.3 現場での調査事例	14
3. 空洞補修	27
3.1 空洞補修技術の現状	27
3.1.1 補修技術の現状	27
3.1.2 ジェットグラウト工法による補修方法	28
3.2 注入材料の特性試験	33
3.2.1 試験概要	33
3.2.2 試験結果	35
3.3 現場での施工事例	37
3.3.1 施工内容	37
3.3.2 施工結果	40
3.3.3 結論	48
3.3.4 施工管理方法の提案	48
4. 今後の課題	54

1. 調査概要

1.1 調査目的

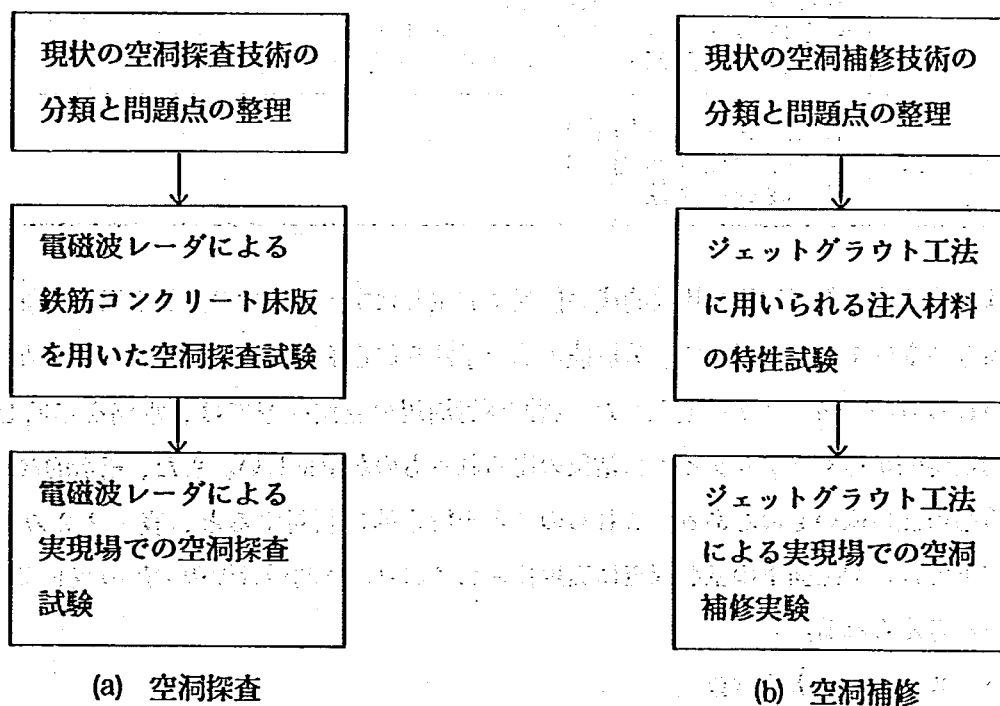
本調査は、樋門樋管周辺地盤に生じている空洞や水みちなどを非破壊的に探査する手法について検討し、その適用性を明らかにすることを目的としている。また、それらの変状箇所を確実に補修することのできる施工法の確立を目指すものである。

1.2 調査方法

調査の全体フローを図－1.1に示している。

空洞探査技術に関しては、まず適用可能と考えられる非破壊的な調査方法について、その問題点を整理した。その結果、電磁波レーダが最も適用性が高いと考えられ、鉄筋コンクリート床版を用いた室内試験により探査性能を検証した。また、実現場においても電磁波レーダによる空洞探査試験を行い、破壊検査との比較を行った。

一方、空洞補修技術に関しても各種工法の適用性を検討し、最も確実性の高いと考えられるジェットグラウト工法に関して注入材料の特性試験を行った後、現場実験により実用性を検討した。



図－1.1 調査フロー

2. 空洞探査

2.1 空洞探査技術の現状

2.1.1 探査技術の概要¹⁾

非破壊的に空洞を調査する方法としては、その目的、空洞及びその周辺の物性などにより様々な方法が考えられる。楠²⁾は、既往の調査事例に基づき、空洞調査の目的と調査方法を表-2.1のように整理している。

表-2.1 空洞調査一覧表(原文に加筆・修正)

基本調査	既存資料調査 現地踏査 ボーリング、試掘 ハンマー打診
物理探査	重力探査法(採掘跡) 電気探査比抵抗法(採掘跡、自然空洞、法面、埋設管など) 電磁波レーダ法(遺跡、トンネルライニング裏、舗装道路下) 弾性波探査(トンネル経過予定地の事前調査など) 磁気探査(窯跡) 放射能探査(石灰岩空洞) 超音波センサー(空洞内) 熱赤外線映像(コンクリート表面) 打撃音の波形解析(コンクリート裏の空洞)
埋設管探査	電磁誘導法(金属管) 音波探知機(水道管) 電磁波レーダ法

本調査では、樋門樋管周辺地盤の比較的浅い位置に発生した中・小規模の空洞を探査対象としていることから、探査深度は1~2 m程度で、分解能の高い手法を選定する必要がある。このため、適用可能であると思われる方法を表-2.2に整理した。樋門樋管周辺の空洞探査では、水路を遮断して実施することから測定時間が短くリアルタイムに結果の得られるものが望ましい。また、構造的な制限や自然条件などから適用性の低いものもある。これらのことを総合的に判断すると、表-2.2の中では電磁波レーダが地下埋設物や路面下の空洞探査に実用化されており、樋門樋管周辺地盤の空洞探査への適用性が最も高いと考えられる。

(1) ファイバースコープによる調査

ファイバースコープによる調査は完全な非破壊的方法ではないが、探査対象となる構造物の壁面がそれほど厚くない場合には、容易に小径の探査孔を設けることができる。この方法では直接肉眼で探査箇所を見ることができるため、樋管底版下の比較的小さな空洞まで確認することが可能である。写真-2.1は、ファイバースコープによる写真の例である。但し、一つの検査孔では点的な観察しか行うことができず、面的な調査を行うためには複数の検査孔を設ける必要があり、多くの労力と作業時間を要する。

表－2.2 橋門樋管周辺の空洞探査に適用可能な方法

方 法	探 査 原 理	適 用 性
ファイバースコープによる調査	底版に削孔して設けた検査孔からファイバースコープを挿入し、目視で空洞を観察する。	検査孔周辺の情報しか得ることができない。
電磁波レーダによる探査	地中に放射された電磁波が誘電率の異なる境界で反射することを利用して空洞を探査する。	最も適用性が高いと思われるが、周波数範囲などの検討が必要である。
弾性波探査	構造物の表面加振に対する応答をインピーダンスとして測定し、構造的強さを推定する。	打撃により探査に必要な周波数成分を発生させることが難しい。
表面温度差法	空洞の熱伝達率が周辺地盤と異なることから、構造物の表面温度の分布を測定して構造物下の状況を推定する。	部材が厚い場合には、定量的で精度の高い結果を得ることは難しい。また、構造物の表面が湿潤状態のときには適用性が低い。
音 響 分 析	構造物を打撃した場合、構造物下に空洞がある場合とない場合では音響放射が異なることから、発生した音の周波数を分析し空洞の有無を判定する。	部材が厚いコンクリート構造物には適用性が低い。



写真－2.1 ファイバースコープによる観察写真

(2) 弾性波探査

浅層での弾性波探査の概念を図－2.1に示している。表面をインパルスハンマのようなパルス幅の狭い加振力を発生するハンマで加振し、弾性波が地層の境界で反射してくるのを測定する方法である。パルス幅が十分に狭い場合には、図－2.1のような波形が得られる。反射波の発生時間、反射の強さ、方向から地層の境界の位置、境界での弾性係数の違いを推定する。ただし、この方法を適用する場合、ハンマにより発生する弾性波の波長が、探査しようとする地層の厚さよりも小さくなければ

ばならない。したがって、非常に浅い層での探査を行う場合、非常に短い波長の弾性波を発生させる必要がある（例えば、コンクリート厚が40cmのときには、20kHz以上の振動数の弾性波が必要）。しかしながら、一般にこのような高い周波数をハンマ打撃により発生させることは非常に困難で、また周波数が高くなるほど減衰も大きくなるため、実際の適用には一層の技術開発が必要である。

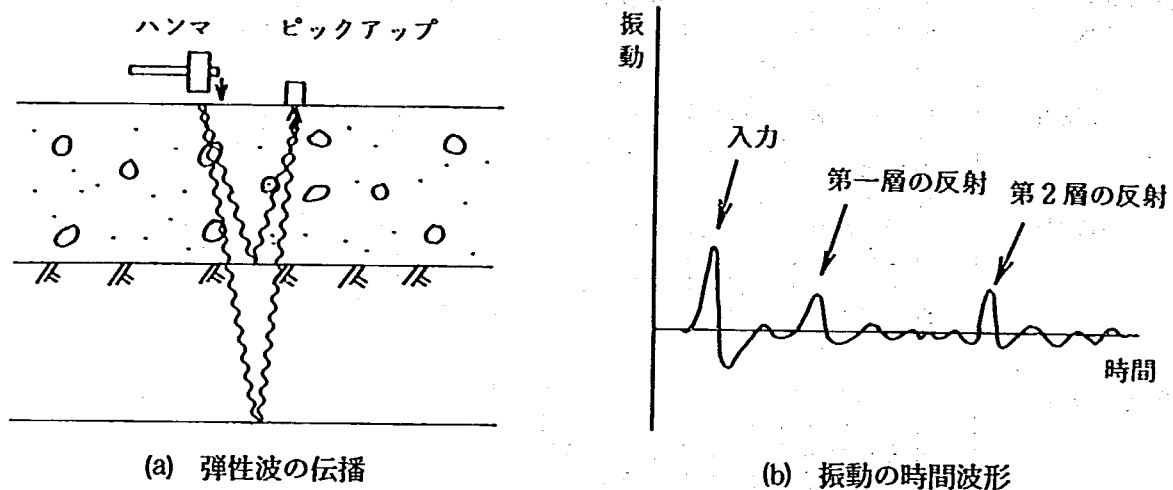


図-2.1 弾性波による浅層探査の概念

(3) インピーダンスヘッドを用いた弾性波探査

図-2.2は、インピーダンスヘッドを用いた弾性波探査の概念を示したものである。インピーダンスヘッドは、加振機のヘッドに取り付け加振力と加振位置の加速度を同時に測定する装置である。得られた加速度は積分して速度に変換する。力と速度から加振点での接触インピーダンス（力/速度）を計算する。この値の大小から加えた力に対する変形の大きさがわかり、測定対象物の剛性が判断できる。ただし、この方法でコンクリート構造物下の地盤状況を判定しようとする場合、コンクリートがかなり厚い条件のときには、入力した衝撃力では地盤の影響まで反映されないため適用できない。

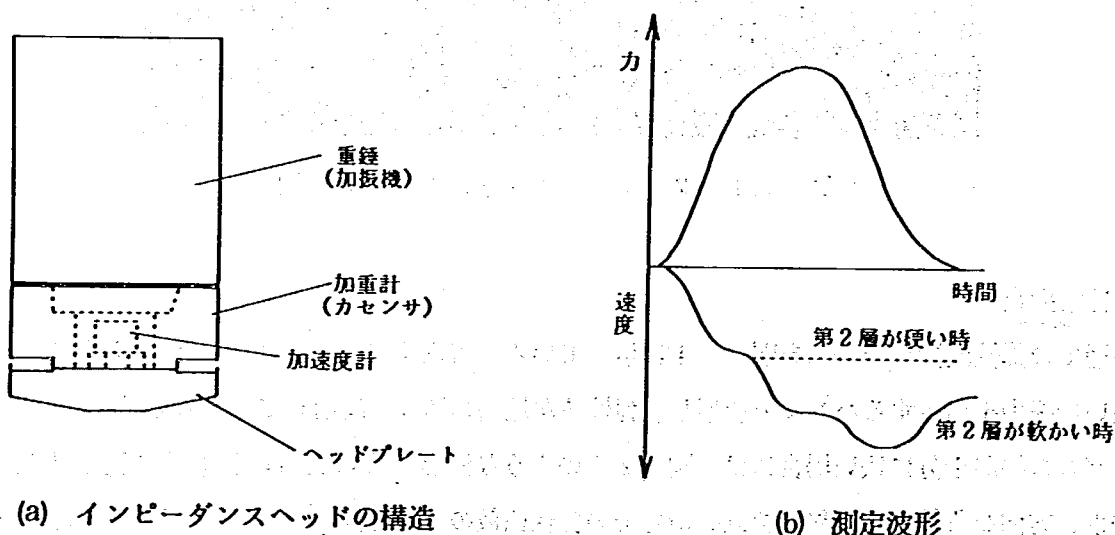


図-2.2 インピーダンスヘッドによる弾性波探査の概念

(4) 電磁波レーダ

地上から地中に向けてパルス波を発射すると、一部は地表面で反射し、その他は減衰しながら地中を進んでいく。また、パルス波は均質な物質中を通過しているときは減衰はするものの反射は生じない。しかし、異なった物質の境界面に達したときには物質の誘電率の違いに比例して反射する。電磁波レーダは、このような性質を利用したもので、1秒間に約50,000～100,000のパルス電波を発射し、反射波の強さと時間遅れを測定するものである。測定は短時間かつリアルタイムで行うことができ、境界面の誘電率に大きく差がある場合には簡単に探査が可能である。

2.1.2 電磁波レーダによる測定法

(1) 探査原理^{3),4)}

電波の電搬速度は、誘電率と透磁率の積の平方根に逆比例する。一般に、透磁率は空気、水、土ともに1に近く、従って伝搬速度は誘電率にのみ関係し次式で表される。

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (2.1)$$

ここで、 v ：媒質中の電波の速度、 c ：空気中の電波の速度、 ϵ ：媒質の誘電率である。空気の誘電率はほぼ1であるが、水は81、土は2～30程度とされており、空気中に比べて水中では1/9、地中では1/2～1/7程度電波の伝搬速度が遅くなる。表-2.3は、一般的な物質の誘電率、導電率及び電波の伝播速度を示したものである。レーダ探査では、反射波の到達時間を測定し、 ϵ から式(2.1)により算出した伝播速度を用いて、次式から深度を知ることができる。

$$D = v \cdot t / 2 \quad (2.2)$$

ここで、 D ：境界面までの深度、 v ：媒質中の電波の速度、 t ：反射波の到達時間である。

表-2.3 誘電率、導電率、伝播速度一覧表

物 質 名	誘電率 ϵ	導電率 σ (mho/m)	伝播速度 v (cm/ns)
空 気	1	0	30
粘性土 (乾燥) (湿潤)	2.4 15	2.7×10^{-4} 5.0×10^{-2}	19 7.7
砂質土 (乾燥) (湿潤)	4～6 30	1.4×10^{-4} 6.9×10^{-3}	15～12 5.4
鉄	1	10^6	30
コンクリート (乾燥) (湿潤)	6 11	1.2×10^{-3} 7.1×10^{-3}	12 9
淡 水	81	$10^{-4} \sim 3 \times 10^{-2}$	3.3
海 水	81	4	3.3

但し、 ϵ の値は表-2.3のように含水比により大きく変わるため、十分な検討が必要である。保国ら⁵⁾は、図-2.3のような土質ごとに含水比と単位体積重量から誘電率を求める図を作成している。

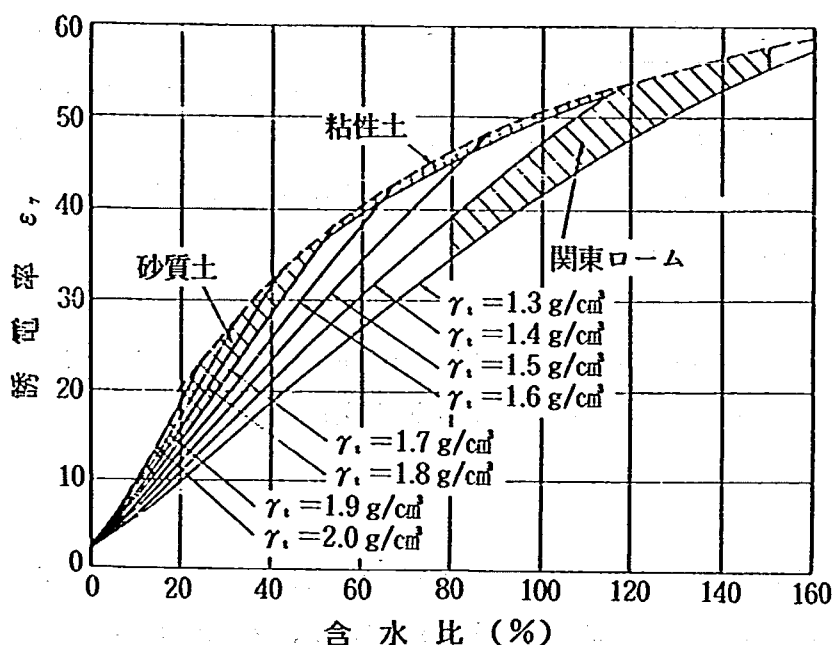


図-2.3 含水比と単位体積重量から誘電率を求める図

また、図-2.4に示すように2つのアンテナを使用することにより、次式から直接伝播速度を求める方法もある。

$$v = \frac{X}{\sqrt{t_x^2 - t_d^2}} \quad (2.3)$$

ここで、 X ：2つのアンテナ間の距離、 t_d ：反射面までの伝播の往復時間、 t_x ：送信アンテナから受信アンテナまでの電波の伝播時間である。

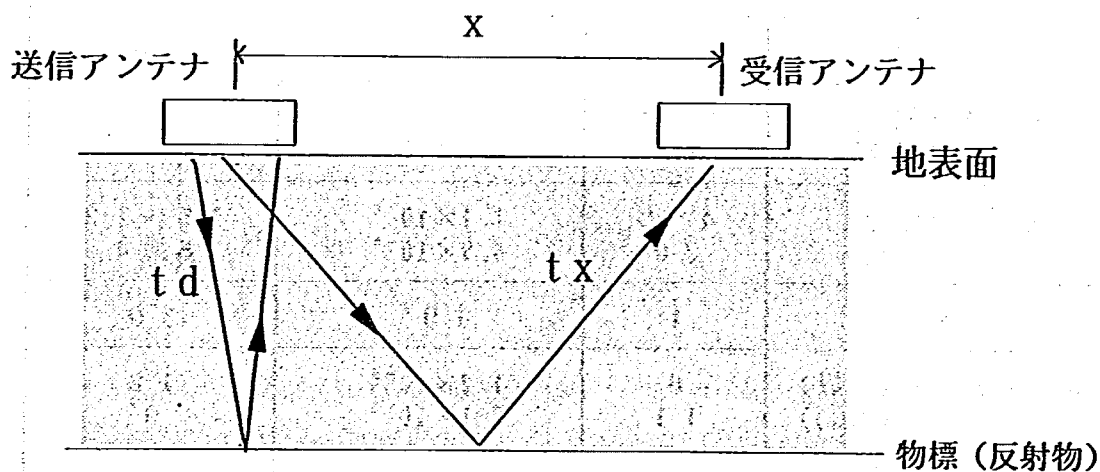


図-2.4 2つのアンテナを用いた伝播時間の測定

図-2.5は、電磁波レーダによる探査の方法を示したものである。探査は、アンテナを探査方向に走行させながら行い、反射波の強さを数段階に色変換して画面上に表示するのが一般的である。図-2.6は、電磁波レーダにより得られた典型的な空洞パターンの例である。このとき縦軸が深度、横軸が走行距離に対応している。一般に、空洞部は上に凸の形状となる。これは、図-2.7のようにアンテナを移動させているために空洞との距離が放物線状に変化するためである。但し、空洞部が円筒状ではなく細長く広がっている場合などには明確な映像が得られないこともある。

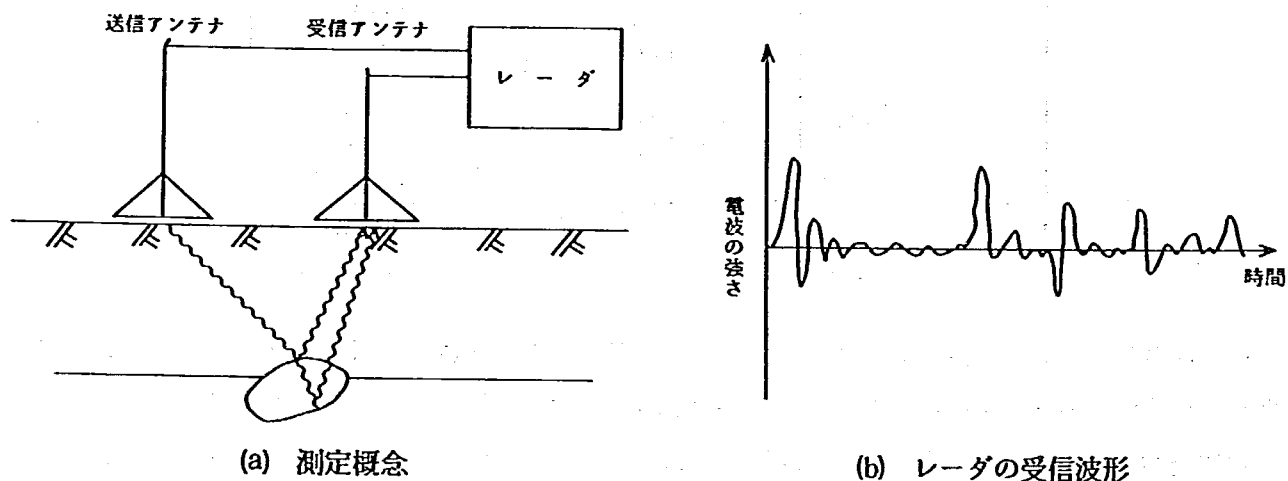


図-2.5 電磁波レーダによる探査

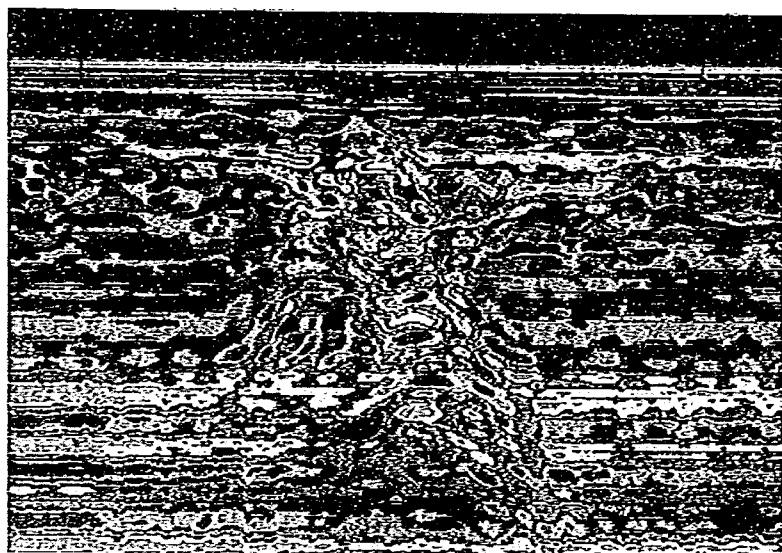


図-2.6 レーダにより得られた空洞パターン

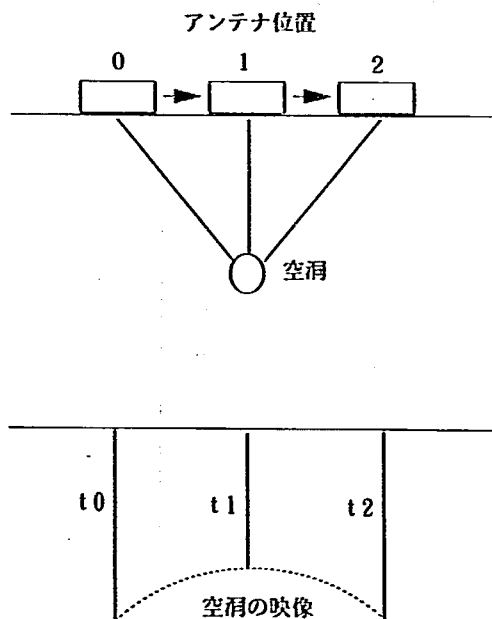


図-2.7 反射映像が放物線状になる理由

また、レーダの探査深度はアンテナの周波数に依存する。一般に、周波数が低いと減衰が少なく探査深度が大きくなるが、分解能は低下する。一方、周波数が高いと分解能が増し精細な画像を得ることができるが、減衰が大きく深い位置の探査ができない。表-2.4に探査物標と埋設深度によるアンテナ選択の目安を示す。

表-2.4 アンテナ選択の目安

探査物標	埋設深度	適合アンテナ
地中埋設管	0.5~2 m 2 ~10m	300~500MHz 80~120MHz
路面下空洞	舗装直下 1~2 m	500~900MHz 300~500MHz
地盤、岩盤	1~2 m 2~5 m 5~10m	500MHz 300MHz 80MHz
コンクリート内鉄筋	5~30cm 10~50cm	1000MHz 900MHz
舗装厚	5~30cm 10~50cm	1000MHz 900MHz

探査深度は、普通の地盤では80MHzで9m、720MHzで1.5m程度と言われている。このため、樋門などの底版下の空洞を探索する場合には、底版や捨てコンの厚さを考えると探査深度は1m程度で十分な場合が多く、指向性、分解能のよい高周波数のアンテナが用いられる。さらに、減衰に関して言えば、媒質の含水率が増えると導電率が大きくなり、探査深度が減少する。これらの関係を模式的に表したものが図-2.8である。

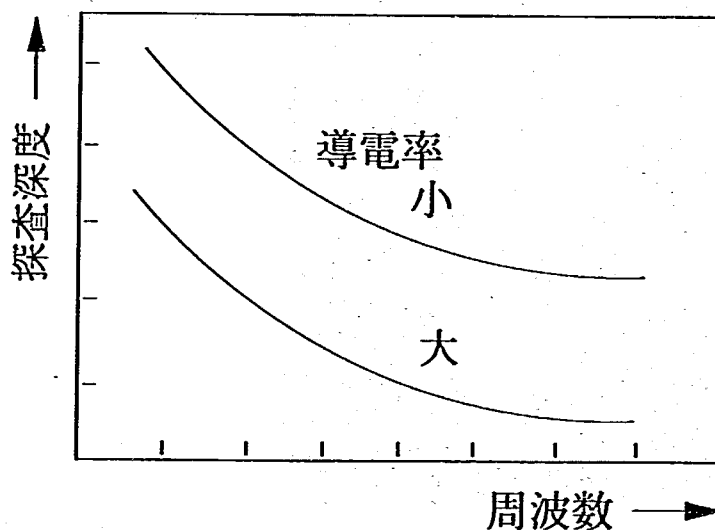
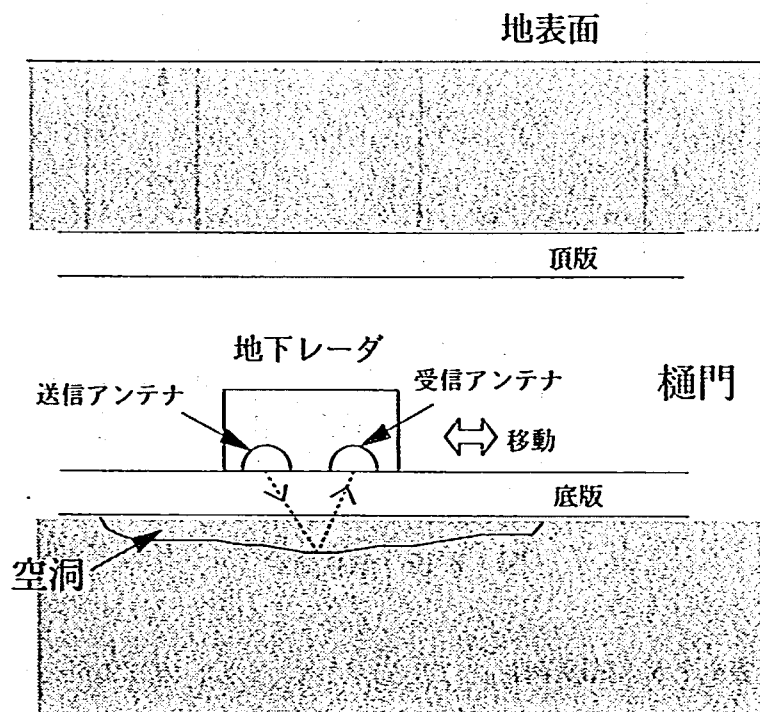


図-2.8 導電率、周波数、探査深度の関係

(2) 樋門底版下の空洞探査への適用

既往資料によると、樋門、樋管などの河川構造物は、軟弱地盤上に設置されており、杭基礎で支持されているため、周辺地盤の圧密沈下に伴い底版下に空洞や水みちが発生していることが多い。また、空洞の大きさは概ね深さ5~10cm程度としている報告例が多い。

したがって、電磁波レーダによる探査は、図－2.9のように底板上面を走査して行うことになる。この場合、レーダの探査性能に影響を及ぼす外的要因は床版厚、鉄筋間隔であり、特に鉄筋の影響が大きいことがわかっている。



図－2.9 電磁波レーダによる床版下の空洞探査

2.2 電磁波レーダの適用性試験

2.2.1 試験条件

非破壊的探査手法のうち電磁波レーダの樋門樋管周辺地盤の空洞探査への適用性を明らかにするために、鉄筋コンクリート床版を対象に、

①アンテナの周波数

②鉄筋間隔、配筋方法

の影響を室内試験の結果をもとに整理した。試験方法は以下の通りである。

図－2.10に示すように湿潤地盤中に鉄筋コンクリート床版を埋設し、その下方に模擬的に空気空洞を設置した。地盤は川砂に散水し、含水比30%程度に調整したものである。また、空洞は幅20cm、深さ20cmで、床版中央に設けている。

試験に用いた床版の配筋を表－2.5に示す。鉄筋はD16を用い、被り厚は5cmである。また、使用したアンテナは、表－2.6に示す通りである。

2.2.2 試験結果

(1) 鉄筋間隔の影響

図－2.11に1GHzのアンテナによる探査結果を示す。同図から、鉄筋間隔が5cmの場合、全面にわたり強い反射波が見られ、鉄筋の存在を推察することはできる。鉄筋間隔が20cmでは、鉄筋の一つ

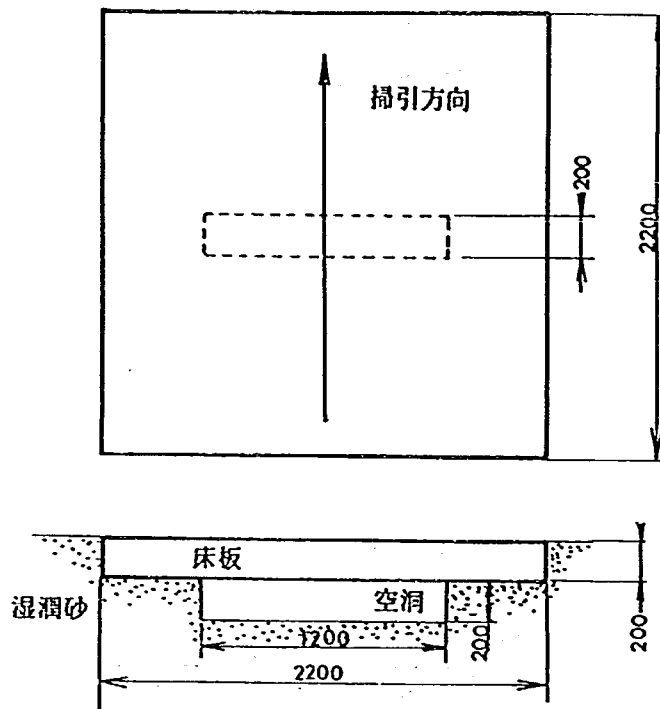


図- 2.10 試験地盤

表- 2.5 試験条件

NO	鉄筋間隔 (mm)	配筋方法	床版厚さ (cm)
1	100 × 100	シングル	10
2	50 × 100	〃	20
3	200 × 200	〃	20
4	300 × 300	〃	20
5	400 × 400	〃	20
6	200 × 200 400 × 400	ダブル	40
7	200 × 200 300 × 300	〃	40

表- 2.6 アンテナの中心周波数

NO	中心周波数
1	500 MHz
2	900 MHz
3	1 GHz

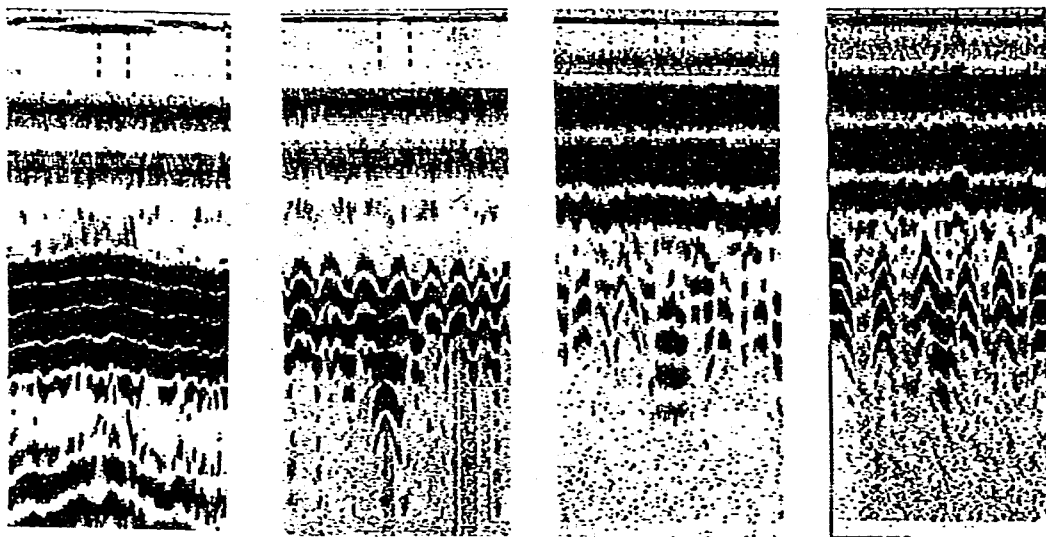
一つの映像が分離して観測されている。また、鉄筋によると思われる映像の下部には、空気空洞によると推察される放物線状の像が見られる。実際、この位置は模擬空洞の位置と一致している。鉄筋間隔30cmでは、明確に鉄筋の位置が示されていない（ゲイン調整不足と思われる）が、画面中央には空洞によると推察される放物線状の像を確認することができる。鉄筋間隔40cmでは、鉄筋の位置が個々に独立して表示されるとともに、空洞の像も明確に表示されている。以上から、鉄筋間隔が20cm以上

であれば、1 GHz のアンテナを用いて鉄筋コンクリート床版下の空洞探査が可能であることがわかる。

(2) アンテナ中心周波数の影響

図- 2. 12 は、鉄筋間隔20cmの場合の周波数900MHz 及び500MHz のレーダによる探査結果を示したものである。図- 2. 11 (b) と併せて比較することにより、周波数による探査結果の違いがわかる。いずれの周波数においても、鉄筋の像は明確に捉えられ、また床版下の空洞の存在も示されている。特に、500MHz のアンテナでは、空洞の像がはっきりと観測されているが、回折効果により表現されたものであり、一般的には鉄筋の影響を受ける。

図- 2. 13 に500MHz のアンテナによる各鉄筋間隔での探査結果を示すが、鉄筋間隔20cmで観測された床版下の空洞が鉄筋間隔30cmと40cmでは明確に観測されない。



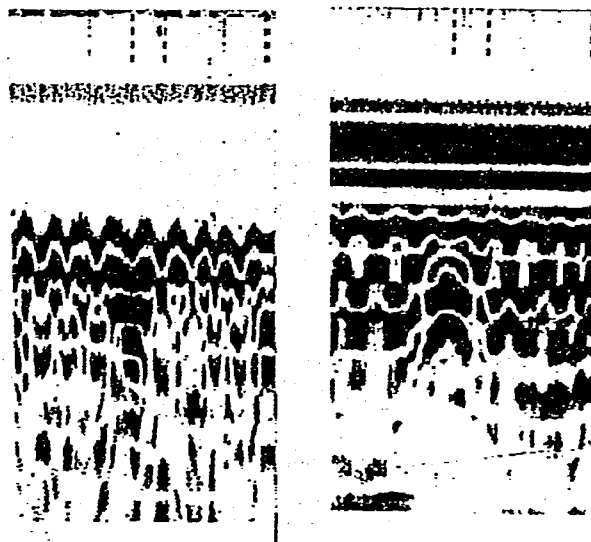
(a) 鉄筋間隔 5 cm

(b) 20 cm

(c) 30 cm

(d) 40 cm

図- 2. 11 1 GHz アンテナによる探査結果（鉄筋間隔の影響）



(a) 900 MHz

(b) 500 MHz

図- 2. 12 周波数の影響

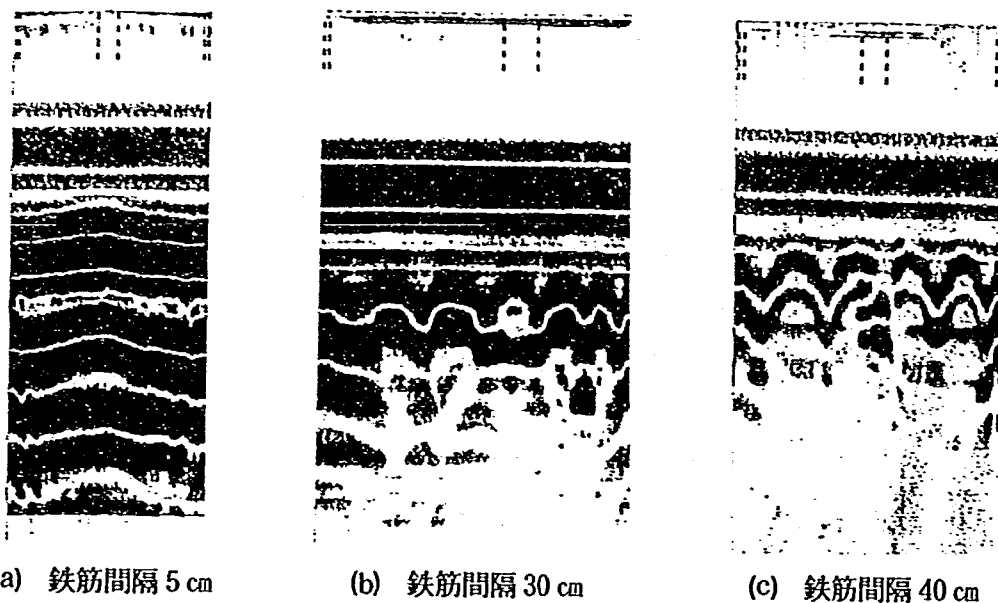


図- 2.13 500 MHz アンテナによる探査結果

(3) 二重鉄筋の場合

二重鉄筋では、上部の鉄筋を通過しても下部の鉄筋により電磁波が散乱し、探査できない可能性が高い。図- 2.14 は、上部が20cm、下部が40cmの鉄筋間隔の場合の探査結果を示したものである。いずれの場合も床版下の空洞の像は観測されない。また、シングル鉄筋の場合には探査性能に優れていた1 GHz のアンテナでは、下部鉄筋を通過できていないことがわかる。また、900MHz、500MHzでは、上下の鉄筋の位置が表示されているが、その下の空洞は確認できない。以上から、鉄筋間隔が40cm以下の二重鉄筋では、電磁波レーダの適用性は低いことがわかる。

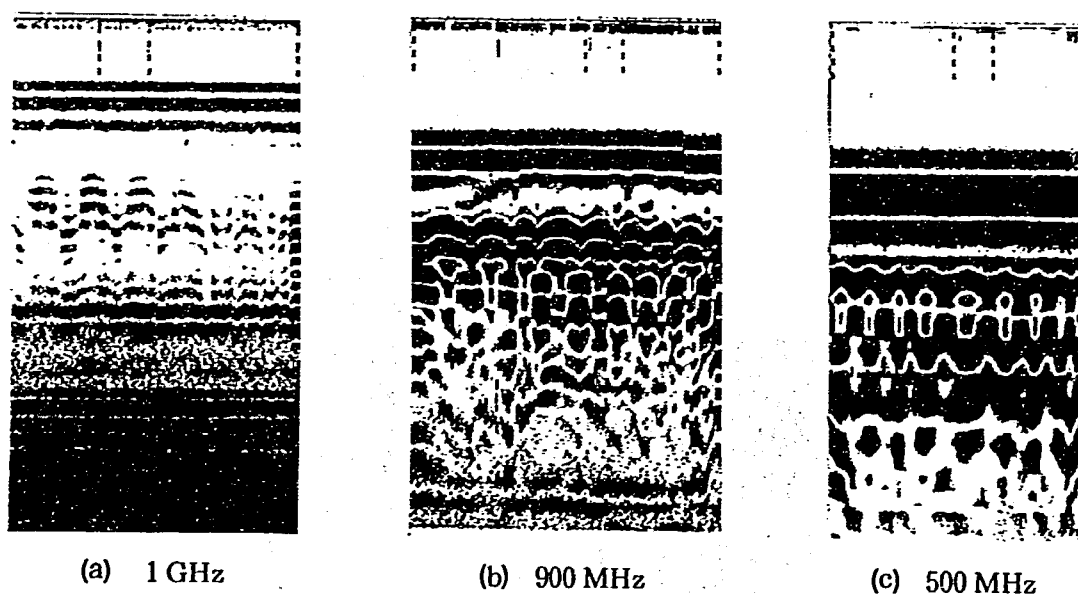


図- 2.14 二重鉄筋に対する探査結果

表－2.7 探査結果（空洞の推定状況）

アンテナの種類	シングル鉄筋		ダブル鉄筋
	鉄筋間隔20cm以上	鉄筋間隔20cm未満	
1GHz	推定可	推定不明	推定不明
900MHz	推定可（不可の場合有）	〃	〃
500MHz	〃	推定不可	推定不可

(4) 結論

探査の結果から、以下のことがわかった。

- ① 鉄筋間隔の広い場合（20cm以上）には、1GHzのアンテナにより鉄筋コンクリート床版下の空洞探査の可能性がある。但し、このときの電磁波は鉄筋をすり抜けてその下に達するものであり、アンテナと鉄筋の距離によっては、適用に限界があると思われる。
- ② 周波数の低いアンテナでは、鉄筋を回折により通過しており、鉄筋間隔と周波数の組み合わせで適用できない場合がある。
- ③ 二重鉄筋の場合には、既存の電磁波レーダでは探査の可能性は低い。

2.2.3 電磁波レーダの適用性

以上の試験結果から、電磁波レーダを用いた樋門樋管周辺地盤の空洞探査の適用性を整理すると表－2.8及び2.9に示す通りとなる。

鉄筋コンクリート床版の場合、シングル鉄筋で鉄筋間隔が20cm以上の場合には、1GHzのアンテナにより床版下の空洞の存在がある程度確認できることがわかった。しかしながら、実際の樋門の床版では、二重に配筋されており主鉄筋の間隔も20cm以下であることから、既存の電磁波レーダの適用性は低いと判断される。今後、電磁波レーダによる空洞探査を実用化するためには、以下の技術開発が必要である。

表－2.8 電磁波レーダの空洞探査への適用性（構造条件）

対 象	構 造 条 件		
	シングル鉄筋		ダブル鉄筋
	20cmピッチ以上	20cmピッチ未満	
鉄筋コンクリート床版	適用可	適用不明	適用不明

※この表は、1GHzのアンテナを用いた場合である

表－2.9 電磁波レーダの空洞探査への適用性（地盤条件）

対 象	地盤、空洞条件			
	乾燥地盤		湿潤地盤	
	空気空洞	水空洞	空気空洞	水空洞
シングル鉄筋 20cmピッチ以上	適用可	適用可	適用可	適用不明

① アンテナ形状

鉄筋コンクリート床版下の空洞探査時には、送信、受信アンテナの向きにより鉄筋の共振の影響を大きく受けるため、アンテナの配置方法、レーダの走査方向などに工夫が必要である。

② 受信増幅率

一般に、反射波を受信する際には深度方向に増幅率を増加させているが、鉄筋コンクリート床版を対象とした場合には、鉄筋の反射波まで増幅され探査精度が逆に低下する。このため、鉄筋位置を避けた増幅方法を取る必要がある。

③ 画像処理

電磁波レーダにより得られたデータは、縦軸を反射波の到達時間（探査深度）、横軸をレーダの走査距離とし、反射の強さを数色調に変換して表示される。このような画像から対象物を識別するには、ある程度の経験が必要で素人には判断が付きにくい場合が多い。したがって、反射波の波形解析から対象物を自動的に認識する処理システムの開発が望まれる。

2.3 現場での調査事例¹⁾

(1) 調査対象の概要

- ① 名 称 久座仁樋門
- ② 河川名 江の川（建設省中国地方建設局浜田工事事務所）
- ③ 設置年 昭和49年
- ④ 本体構造 RC 2.0×2.0×43.6m
- ⑤ 調査方法 インピーダンスヘッド落下法、電磁波レーダ

(2) 現場の状況

久座仁樋門の構造は現況調査により確認したもので、製作図面は残されていない。このため、調査の段階ではコンクリートの厚さや配筋状況などはわかっていなかった。樋門内部には、図－2.15に示すように至るところにクラックが発生しており、特に中央部分のクラックの幅は10mm以上あり、その深さは少なくとも50cm以上であることが確認されている。一般に、このような構造物では、鉄筋がコンクリートの両面に配置され、しかも間隔は15cm以内であるのが普通であり、鉄筋が腐食している可能性が考えられた。

樋門点検調査図表 (No. 3) 調査写真 (久保川樋門)

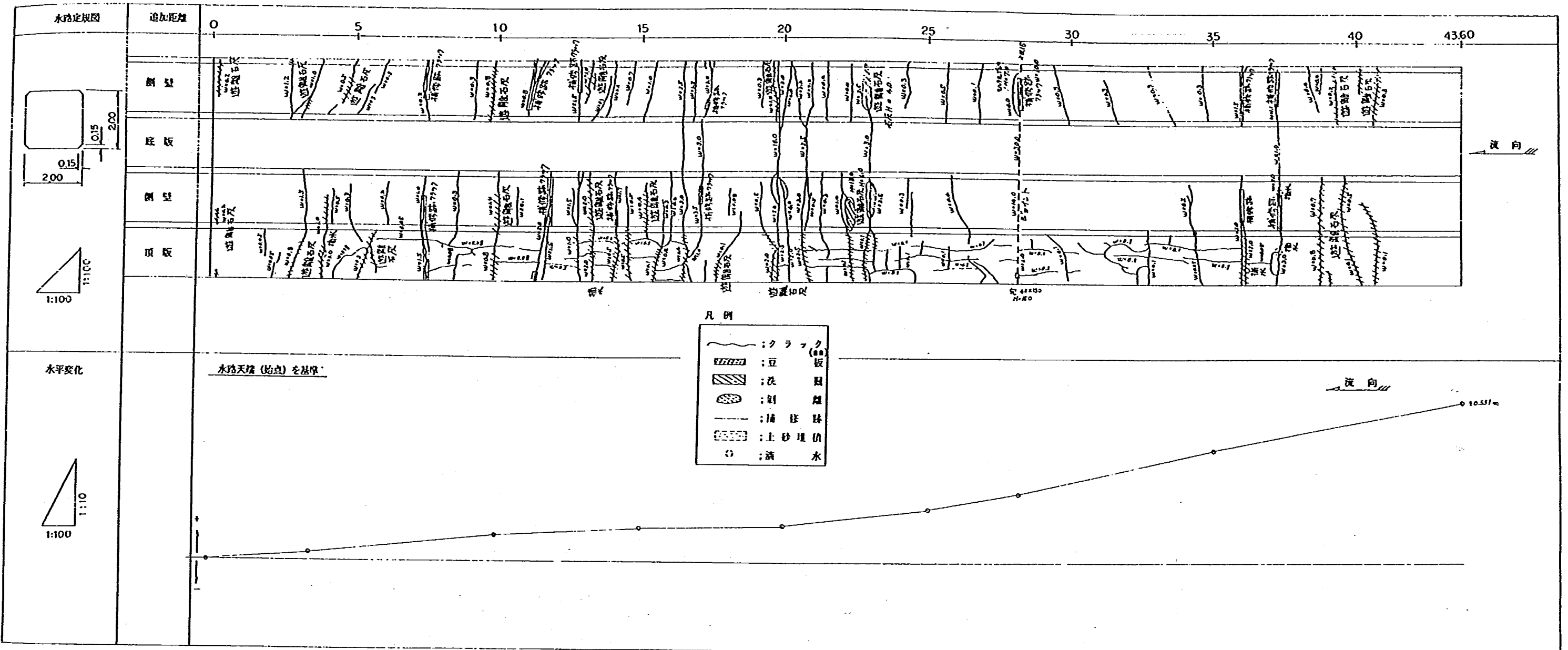


図-2.15 樋門内の点検結果

Figure 1 is a schematic representation of the experimental design. It shows a sequence of events: a subject is presented with a stimulus (a face), then a response is recorded (a button press), and finally a feedback is provided (a light or sound). The sequence is repeated for multiple trials. The design is divided into two main sections: 'Stimulus' and 'Response'.

(3) インピーダンスヘッド法による調査

a) 調査方法

図-2.16に示すように樋管の中心（江の川から21.8m）の両側±10mの20m区間を測定対象とした。測定は、10cmピッチ、合計201点で行った。

質量20kgの重錘を高さ10cmから落下させ、この時の衝撃荷重及び加速度を測定した。測定データはデータレコーダに記録し、FFTアナライザにより波形処理を施した。振動速度は、測定された加速度の時間波形を積分して求めている。測定により得られる信号波形は、図-2.17に示すものとなる。また、測定尺度として接触インピーダンスを用いている。これは、衝撃力の最大値を速度の最大値で除したものである。コンクリート構造物の基礎部分に空洞がある場合には、その部分の強さが損なわれているため、インピーダンスの変化から空洞を推定することができる。ただし、コンクリートが厚い場合には、与えた衝撃力では基礎の影響を反映できないことがあり、適用の限界がある。図-2.17に示す t_1 、 t_2 は衝撃力の最大値から95%減衰した時間で、この間を衝撃の作用時間 t としている。

b) 調査結果

図-2.18に測定点とインピーダンス値を示している。同図では、インピーダンスの大きさにより3段階の区分を行っている。この結果は、後述する電磁波レーダによる調査及び破壊調査の結果とは一致しておらず、本手法の空洞探査への適用性は低いことがわかった。

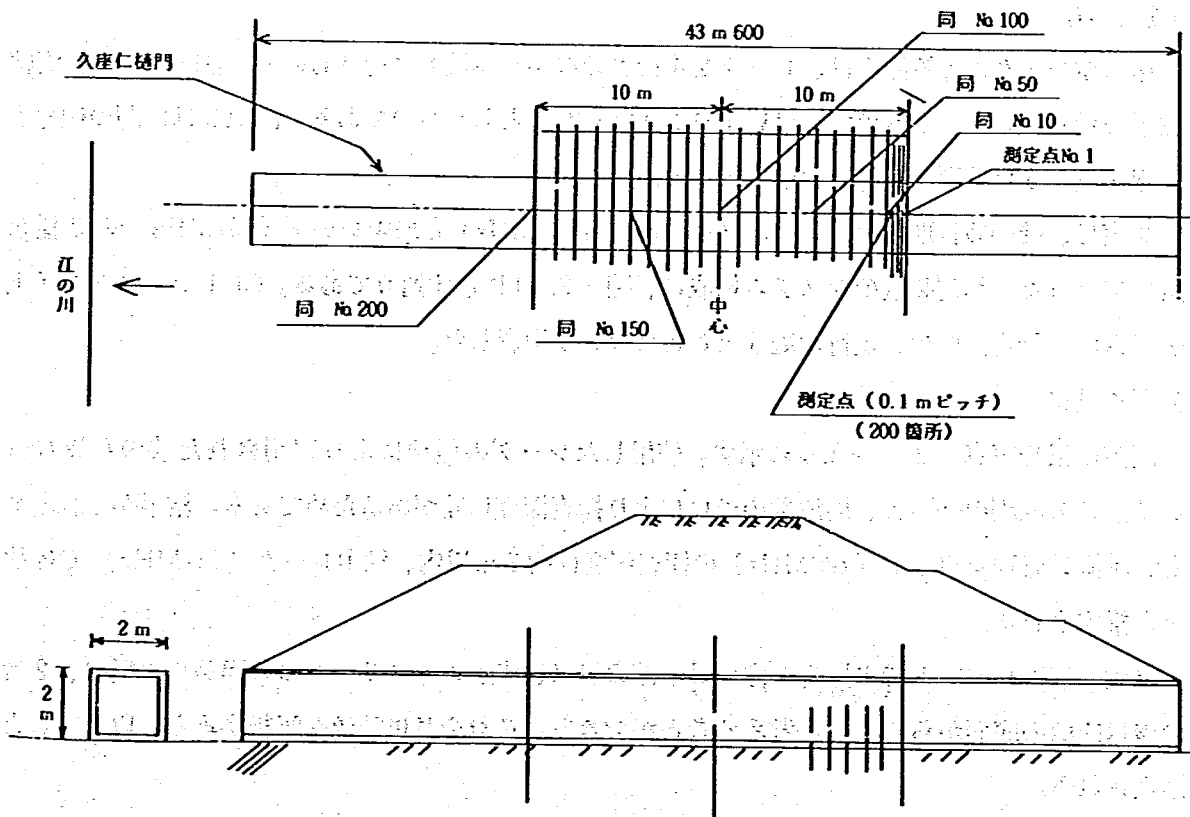


図-2.16 測定点の配置

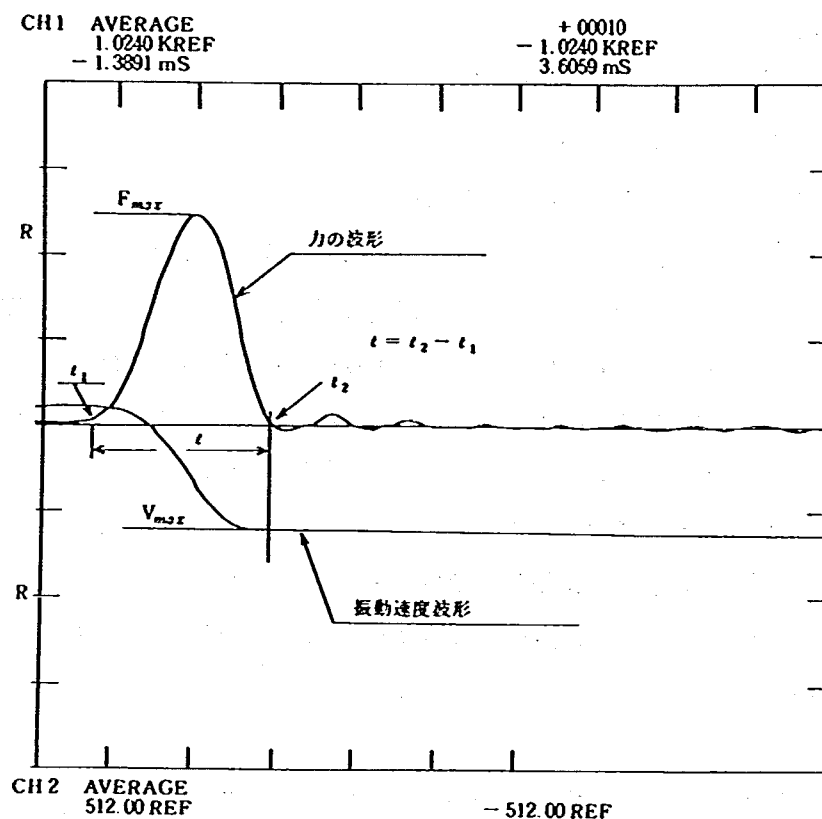


図-2.17 測定波形

(4) 電磁波レーダによる調査

a) 調査方法

電磁波レーダによる測定は、レーダを走行させながら連続的に行うもので、図-2.19に測線の位置を示している。3本の測線はいずれも底版を対象としたものである。測線2は樋門の軸線上で、測線1及び3は壁面から50cmの位置である。

測定は、締固め管理用の探査装置（中心周波数720MHz）と地中レーダ（167MHz）の2種類を用いて行った。測定装置のシステム構成は、図-2.20に示す通りである。CRTディスプレイ上に表示された測定画像は、走行距離5mごとにカメラ撮影した。

b) 調査結果

測定結果を写真-2.2～2.4に示す。使用したレーダの種類により観測された映像が異なっている。この原因の一つは、周波数の違いにより探査深度に差があるためである。結果から判断すると、締固め管理ロボット（720MHz）の探査深度は約2m以内、地中レーダ（167MHz）では約6mと推定される。

締固め管理ロボットでの探査映像の最上部の線は、床版コンクリートの表面からの反射、2番目の線は床版の底面からの反射と考えることができる。これを基に映像を解釈すると、以下のことが推定される。

- ①A部はコンクリートが厚いか、床版と棄コンの間には間隙が生じている。
- ②B部のコンクリートは乾燥しているか、もしくは薄い。

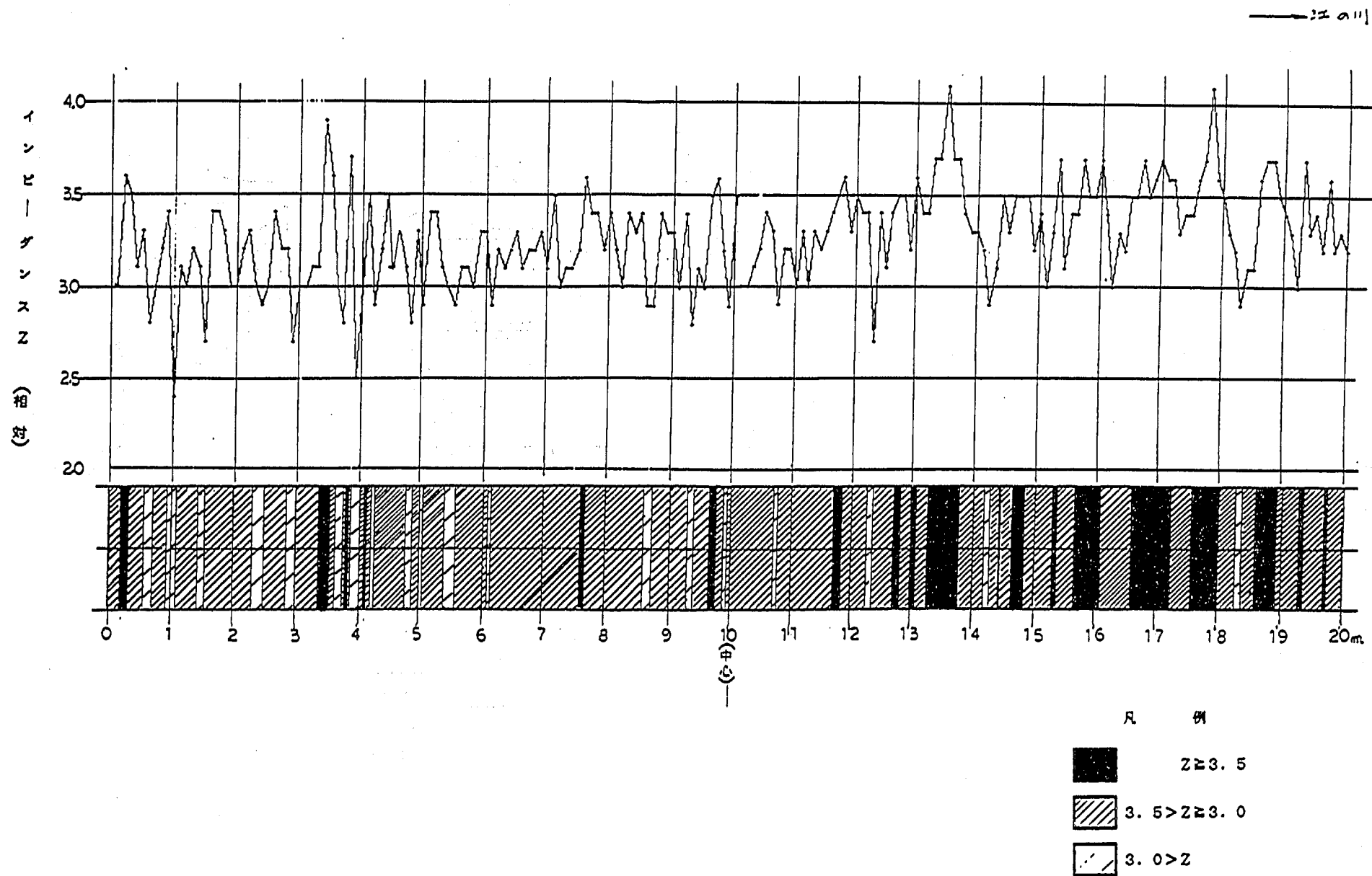


図-2.18 インピーダンス値の分布

③B部4 m程度の深さには、電波を反射するものが平面的にある。

また、床版表面の観察結果から、C部はコンクリートのジョイント部である。ジョイントのためコンクリートの見かけの厚さが大きく、従って、床版下面からの反射波が捕らえられていない。

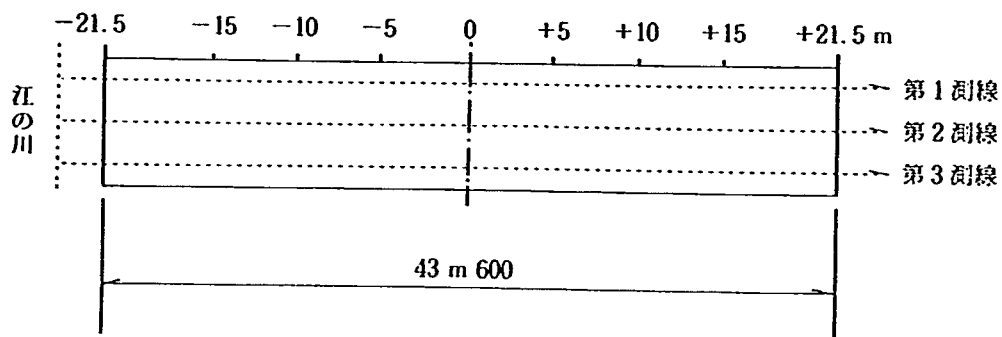


図- 2.19 レーダによる測定線の配置

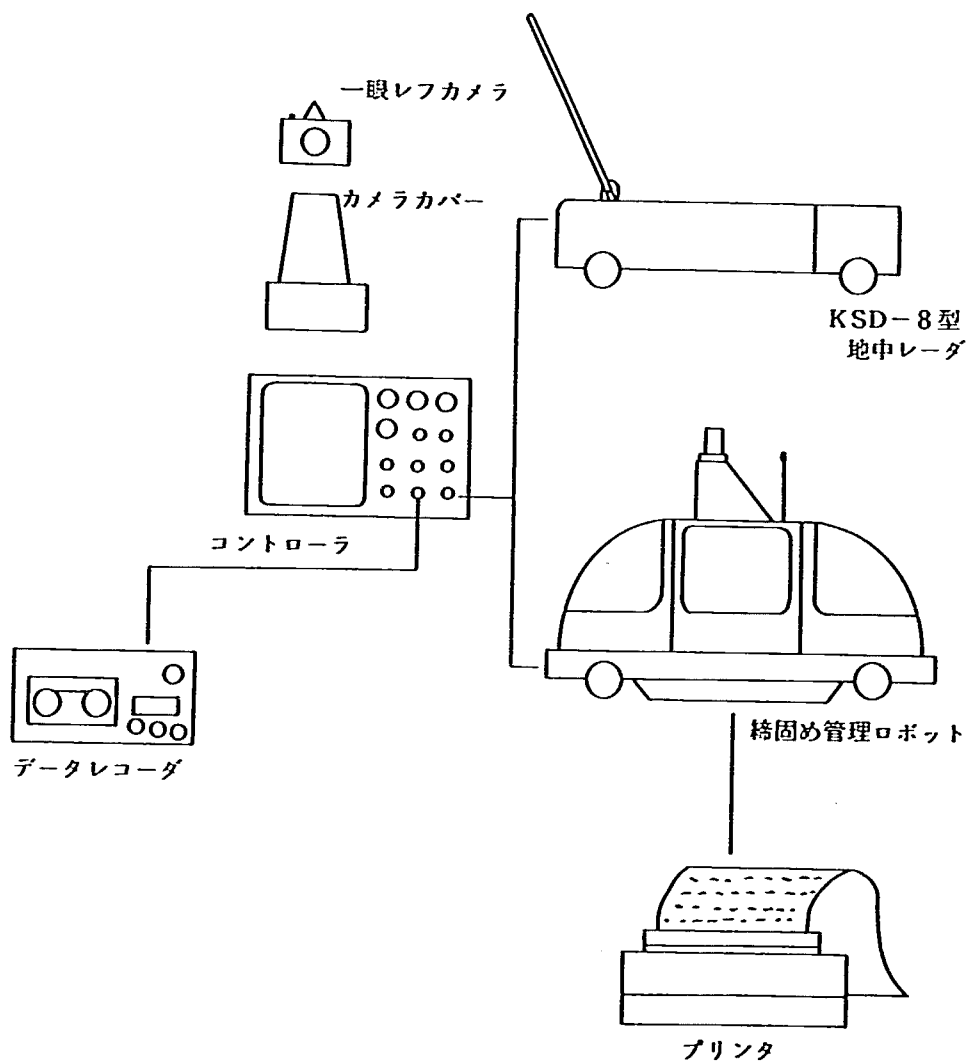


図- 2.20 システムの構成

下流 D E A B C 上流

てんとう虫

江の川に向かって右

- 21.5 m - 15 m - 10 m - 5 m 0 m + 5 m + 10 m + 15 m + 21.5 m

KSD-8

江の川に向かって右

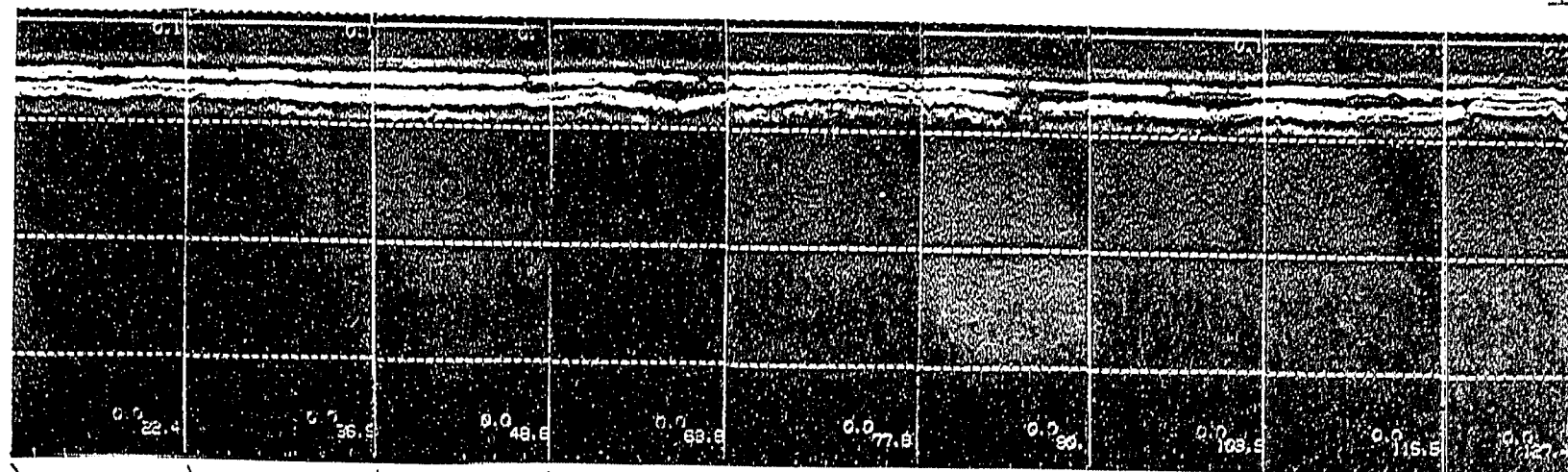
写真-2.2 レーダによる探査結果 (第1測線)

下 74E

上 74E

てんとう虫

センター



- 21.5 m - 15 m - 10 m - 5 m 0 m + 5 m + 10 m + 15 m + 21.5 m

KSD-8

センター

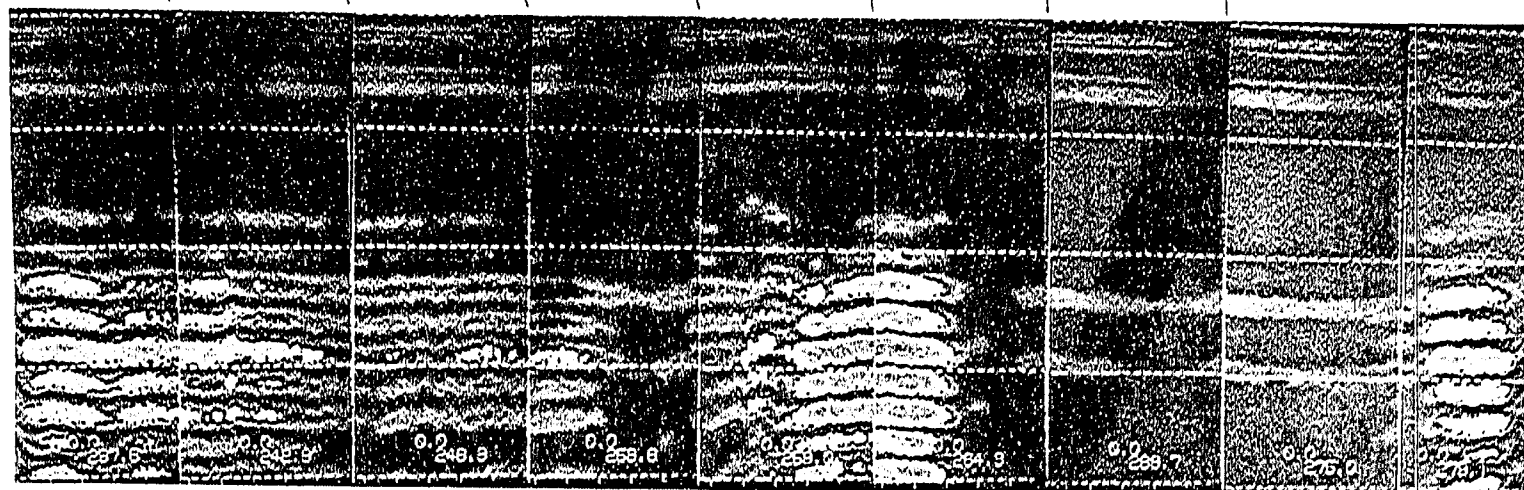
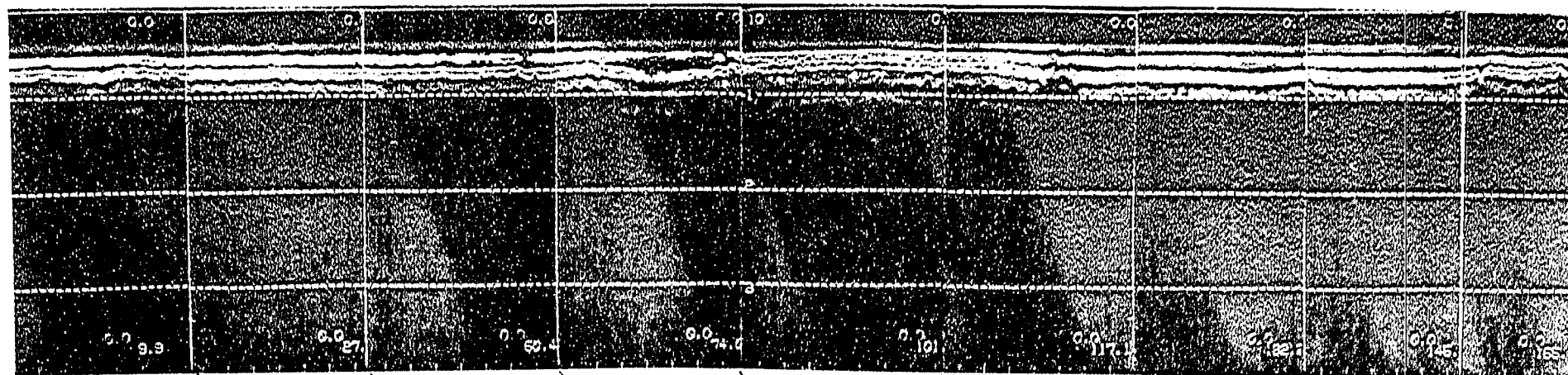


写真-2.3 レーダによる探査結果（第2測線）

江の川に向かって左

下流

上流



- 21.5 m

- 15 m

- 10 m

- 5 m

0 m

+ 5 m

+ 10 m

+ 15 m

+ 21.5 m

KSD-8

江の川に向かって左

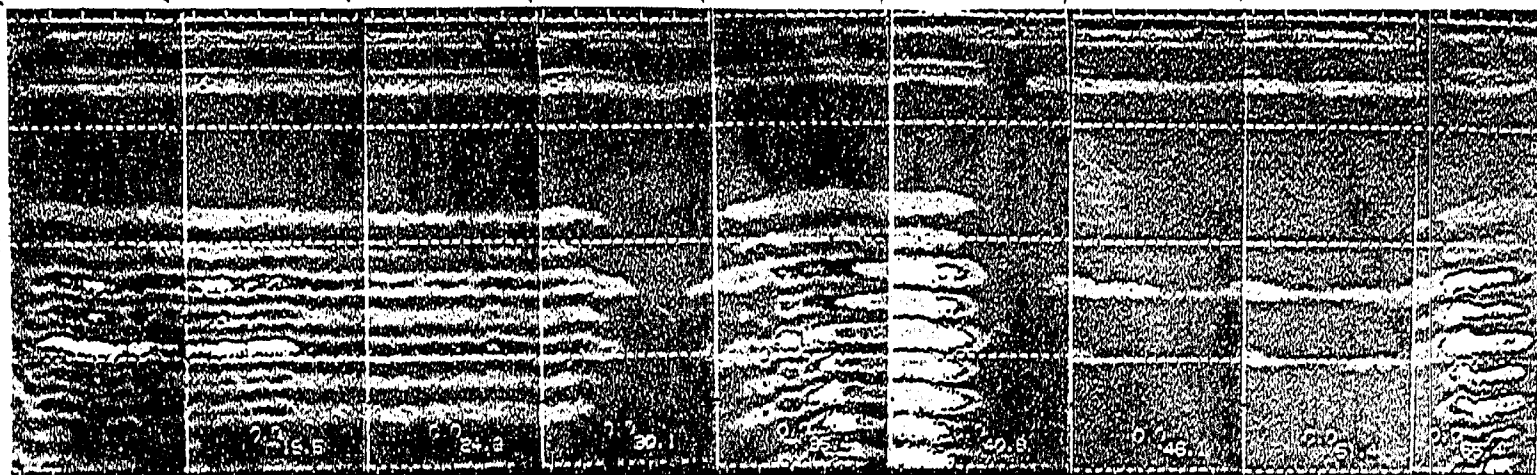


写真-2.4 レーダによる探査結果（第3測線）

c) 考察

レーダによる探査結果から、樋門床版下面の空洞の有無を明確に指摘することは困難であった。写真-2.2のA部が空洞と判定することもできるが、この判定の前提条件に樋門のどの位置でもコンクリートの厚さが同じであるということがある。樋門の製作図面が与えられる場合には、図面を参照しながらレーダの結果をよりよく解釈することもできる。いずれにしても、今回対象とした樋門では、コンクリート底版からの電波の反射が明確に観測されており、また空洞と考えられるようなパターンが見られないことから、空洞があるにしても非常に小規模なものと思われる。

(5) 破壊検査との比較

a) 破壊検査

調査対象とした樋門は、改築工事の対象となっており、非破壊検査の結果を検証するために、以下に示す破壊検査を実施した。

- ① 検査孔を用いたコーン貫入試験
- ② 検査孔からカラーモルタルを注入し、注入量から空洞の大きさを推定する
- ③ 床版を取り壊し、目視により空洞を観察する

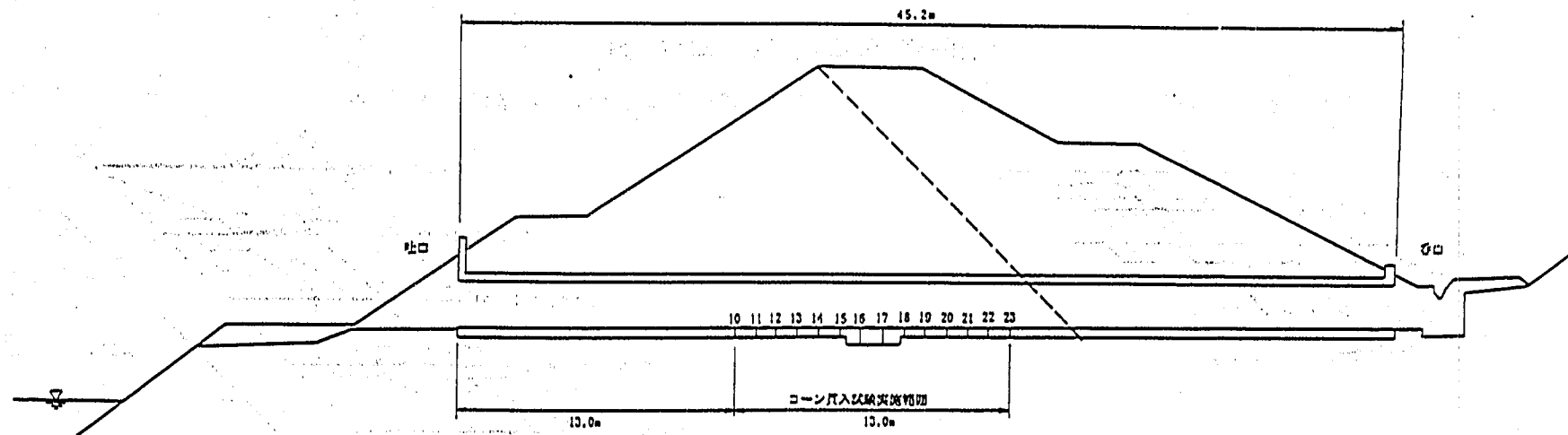
破壊検査は、レーダによる探査結果を基に、+3～-10mの区間で行った。検査位置及び①、②検査の結果を図-2.21に示す。写真-2.2で指摘したA部(図-2.21ではNo.16、17付近)は、空洞ではなく止水壁の部分で特別にコンクリートの厚さが大きかったものであることがわかる。実測から、床版のコンクリート厚は、棄コンを含めて約0.9mあり、止水壁部では1.3mに及んでいる。止水壁より呑口側では棄コンの下に数cm～10cm程度(No.18では44cm)の柔らかい層があるが、吐口側ではそのような層は観察されていない。

モルタル注入後の破壊検査の結果を図-2.22に示す。カラーモルタルは広範囲に分布しているが、層厚は比較的薄く、また特に厚く分布している部分は見られない。これから判断して、樋門下には大きな空洞はないことがわかる。また、止水壁の呑口側では、一部湧水が観察されるなど水みちの存在が推定されるが、止水壁で遮断された堤体を貫通する状況ではなかったと思われる。

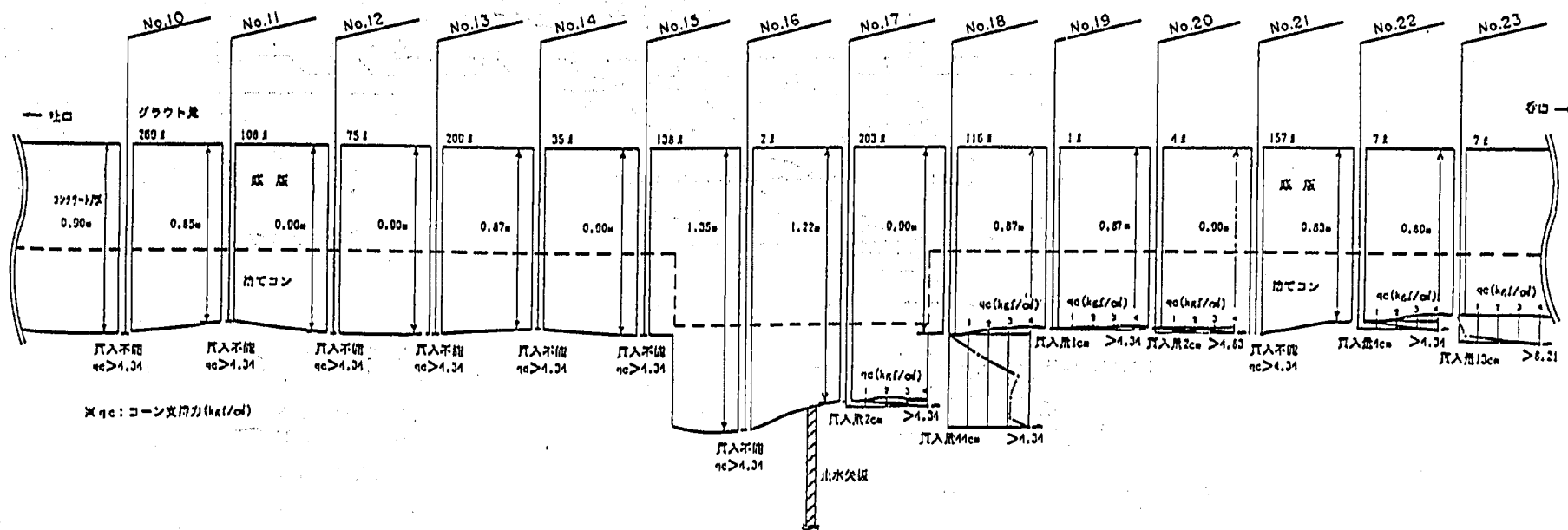
b) 探査結果の比較

破壊検査の結果を基にレーダの映像を再度解釈すると、以下のことがわかる。

- ① 写真-2.2のA部は止水壁でコンクリートが厚かったため、床版からの反射波が下に垂れ下がるパターンとして観測されている。
- ② B、D、E部に見られる強い反射波は、コンクリート下部の空隙の影響と思われる。
- ③ 止水矢板(鋼矢板)の存在は探査できていない。



(a) 試験実施位置図 (S = 1 : 200)



(b) 試験結果概略図

図-2.21 コーン貫入試験結果図

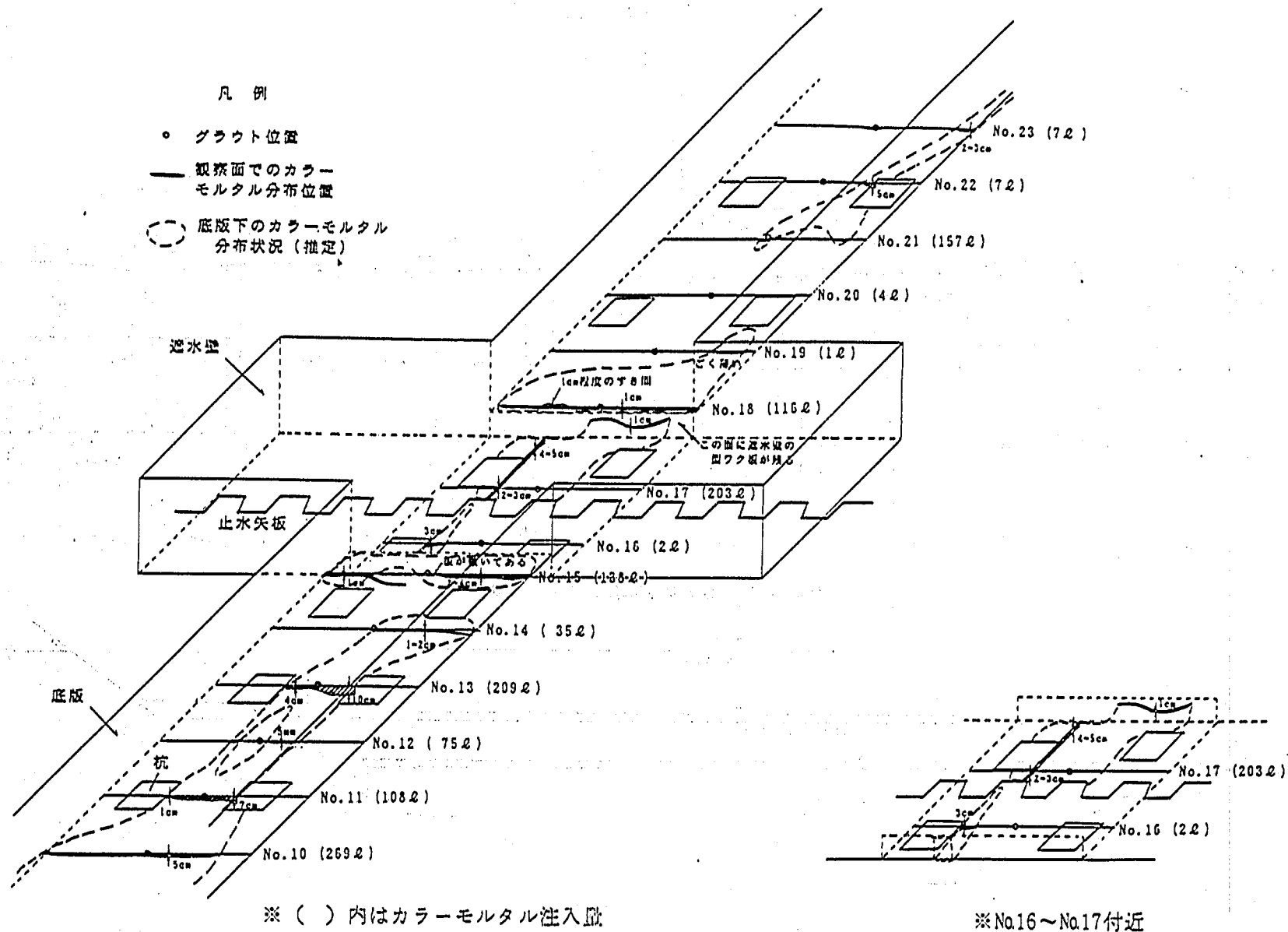


図-2.22 底版下観察結果一覧図

3. 空洞補修

3.1 空洞補修技術の現状

3.1.1 補修技術の概要

樋門樋管周辺地盤の空洞や水みちを補修する工法としては、セメントミルク、粘土などの注入材料を用いたグラウト充填工法が一般的に用いられているが、空洞の規模が大きく形状も複雑な場合は、確実な補修効果が得られない場合がある。また、表－3.1に示すような施工上の問題点も残されている。

表－3.1 グラウト充填工法の問題点

項 目	問 題 点
信頼性	グラウトの浸透範囲を特定できないため、信頼性に乏しい
施工中の影響	補修箇所以外の堤体からグラウトが噴出する場合がある
施工管理	圧力上昇時に注入完了の判断を下すが、圧力変動のない場合もある
効果の確認	通水試験により効果確認を行うが、検査孔の配置に結果が左右される

このため、代替工法として薬液注入工法とジェットグラウト工法の適用が考えられる。両者とも地盤改良工法として実績があり、特に止水、支持力強化の目的で用いられているものである。

(1) 薬液注入工法⁶⁾

薬液注入工法とは、凝固する性質を有する化学材料（いわゆる薬液）を地盤中の所定の箇所に注入管を通じて注入し、地盤の止水性または強度を増大させることなどを目的とする工法である。注入材は懸濁液型のセメント系から水ガラス系懸濁液型、溶液型及び高分子系薬液などがあるが、建設省暫定指針（昭和49年）によって使用できる注入材は、セメント系のものと、薬液としては水ガラス系のものだけに限っている。表－3.2は、現在使用されている注入方式をまとめたもので、図－3.1は各方式の注入先端部の概要を示したものである。

表－3.2 注入方式の種類

注 入 方 式		混 合 方 法	使用されている ゲルタイム
二重管ストレーナー	単相型	2 ショット	数秒～数十秒
	複相型	1、1.5、2 ショット	全 域
二重管ダブルバッカー		1 ショット	十数分以上

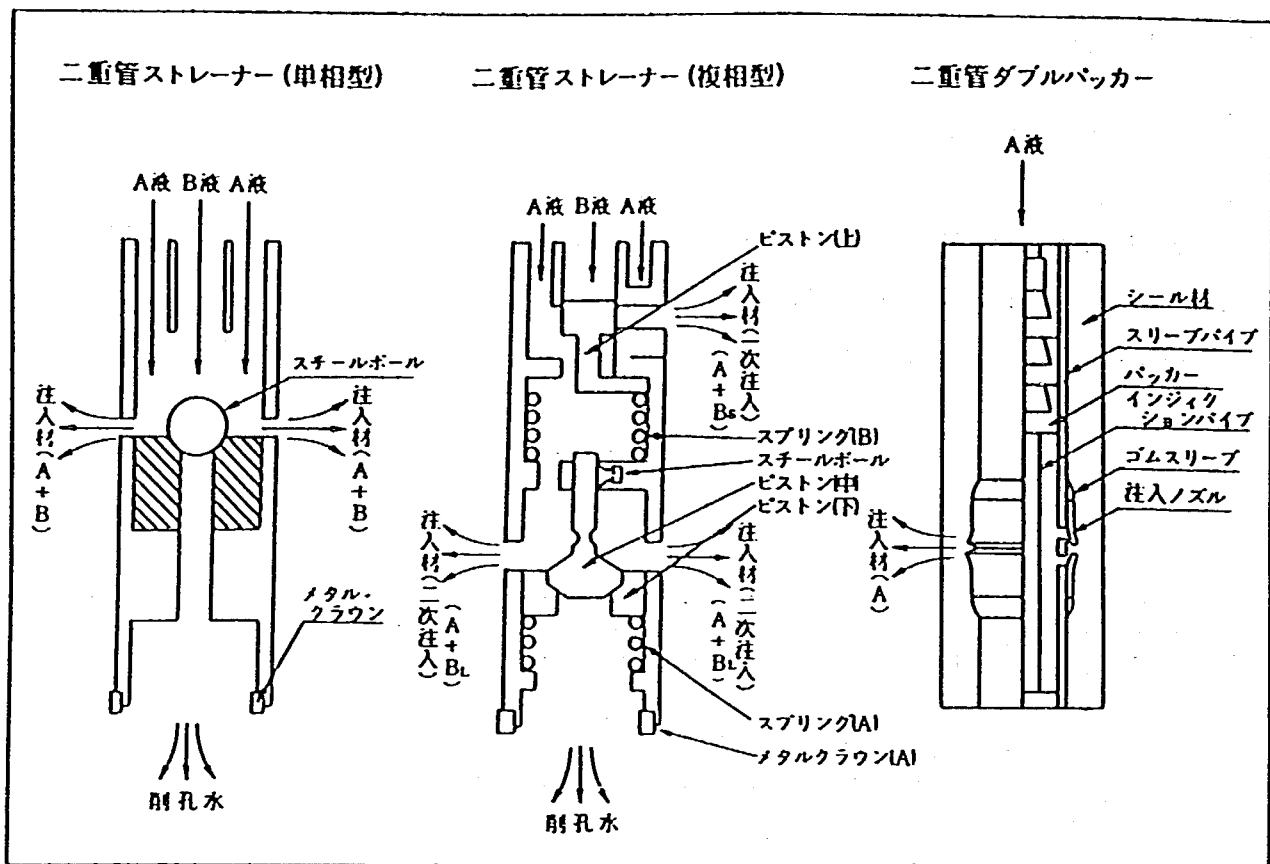


図-3.1 注入先端部の概要

(2) ジェットグラウト工法^{1), 3), 9)}

ジェットグラウト工法は、水力採炭に用いられている超高圧噴射による掘削技術を土木の分野に導入したもので、ボーリングマシンによって目標深度まで削孔した後、ロッド下端から改良材（グラウト）を超高圧で噴射し、地盤を切削すると同時に土粒子とグラウトを混合攪拌するか、もしくは置換により円柱状の固結体を造成する工法である。この工法は、単管ロッドでセメントスラリーを噴射し攪拌混合する工法その他、2重管または3重管のロッドを用いて水と空気とで切削排土し、その後に改良材を噴射して置換する工法など各種の工法が開発されている。表-3.3は、現在主に使用されている工法の概要を示したものである。

薬液注入工法とジェットグラウト工法の特長を表-3.4に整理しており、総合的な評価からジェットグラウト工法の方が適用性が高いと判断される。

3.1.2 ジェットグラウト工法による補修方法

(1) 基本原理¹⁾

土を切削して、改良剤を混合するメカニズムは、噴流すなわち、高圧ジェットの持つ運動エネルギーによって形成される。具体的な運動エネルギーの形は図-3.2のような現象の集合と考えられる。ジェット噴流を空中で噴射したときのジェットの構造は図-3.3ようになる。噴流がノズルから吐出された直後の部分は、ノズル中心軸上の動水圧力が減衰しない噴流の核となる部分であり、この領域を初期区とよぶ。噴流が発達する部分を主要区とよび中間の段階に相当する。終期区は噴流が不

連続となって水滴上の様相を形成しキャビテーション作用を起こす領域で、この区間では軸上の動水圧力は急激に低下する。

図-3.4はノズル径2mm、噴射圧力200kgf/cm²で空气中、水中、ならびに空気を併用した水中噴射の3つの状態についての、噴流軸上の動水圧力とノズルからの距離の関係を図示したものである。これによると、水中噴射の場合の圧力の減衰の程度は空中噴射と比較すると著しく大きいが空気と同時に噴射することによってかなり改善されている。

表-3.3 ジェットグラウト工法の概要

	JSG工法	コラムジェットグラウト工法
切削法	超高压硬化材液と空気	超高压水と空気
使用ノズル	二重管	三重管
工法概要	空気を伴った超高压硬化材液を地盤中に回転して噴射させ地盤を切削し、スライムを地表に排出させると同時に、円柱状の固結体を造成する。	空気を伴った超高压水を地盤中に回転して噴射させて地盤を切削し、そのスライムを地表に排出させるとともに硬化材を同時填充させ円柱状の固結体を造成する。
既設図		
諸元	切削圧力：200kgf/cm ² 硬化材噴射吐出量：60ℓ/分	切削圧力：400kgf/cm ² 水噴射吐出量：70ℓ/分 硬化材吐出量：180ℓ/分

表- 3.4 代替工法の特長

項 目	ジェットグラウト工法	薬液注入工法
適用範囲	多くの土質条件に対応できる	土質により改良範囲が大きく左右される
周辺への影響	エア-抜きが不完全だと危険性が高い	地盤変位が生じやすい
信頼性	安定した改良体を造成できる	現場条件により細部まで充填されない
施工管理	施工管理方法が確立されている	施工管理方法が確立されていない
効果の確認	改良径の確認方法が確立していない	補修効果の確認が難しい
改良範囲	大規模な範囲を改良できる	部分的補修に適している
施工性	比較的大きなプラントが必要である	設備が小規模で狭い空間でも施工可能
騒音・振動	低騒音・低振動である	低騒音・低振動である
環境への影響	水質汚濁がほとんどない	地下水などの水質監視が必要

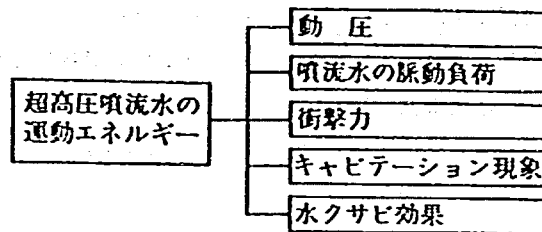


図- 3.2 超高压噴流水の運動エネルギー

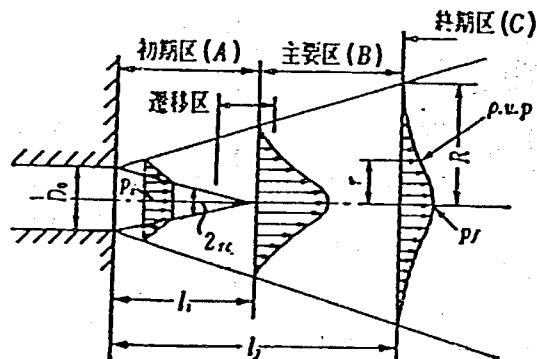


図- 3.3 ジェットの基礎構造

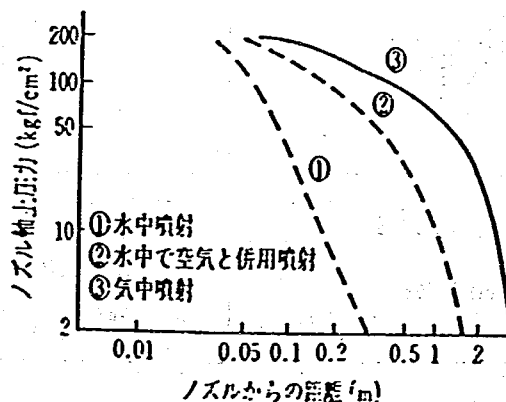


図- 3.4 高压ジェット噴流の圧力分布

実際の施工は地下水位以深の深度が大半であることからほぼ水中に近い状態とみなされ、グラウトだけの噴射に比べて空気を併用したり、さらには水と空気をあわせてグラウトと併用することにより切削・改良範囲が大きくなるようにしている。グラウトと空気もしくは、グラウトに空気、水を併用して用いることによる実際面の効果は次のような点にある。

- ① 軸上動水圧力の減衰を防ぐことにより噴流の到達距離が大幅に伸びる。
 - ② キャビテーション効果を増大させて地盤の切削作用を強化するとともにエアリフト効果により切削土砂の地上への排出を促進する。
 - ③ 空気圧により崩壊性の地盤の切削部の崩壊を防止する効果がある。
- (2) ジェットグラウト工法による樋門底版下の空洞補修

ジェットグラウトの基本原理は、水に高圧力を加えて得られる強力なエネルギーにより地盤の組織を破壊し、それを地表に排出することにより地中に人為的空間を作り、改めてそこに硬化材を充填して強固な固結体を造成するものである⁹⁾。したがって、注入範囲に対する信頼性が高いことから十分な止水効果を期待できる工法と言える。

ジェットグラウト工法による空洞補修のイメージ図を図-3.5に示している。この図のように、非破壊で施工するために樋門の両側面から1本ずつ改良体を造成し、中央でラップさせて遮水壁とする。JSG工法を例として樋門の片側に改良体を造成する施工手順を図-3.6に示す。

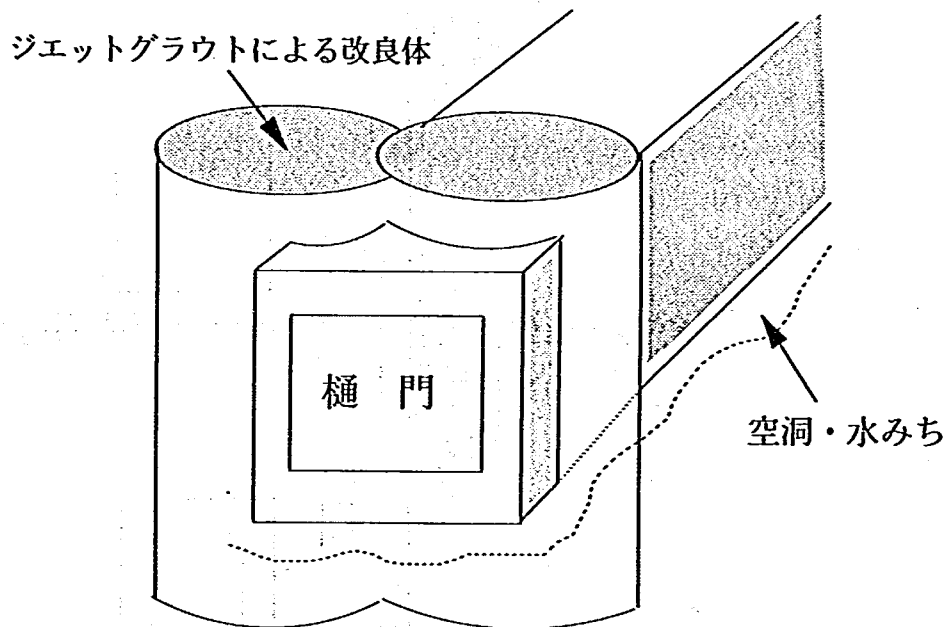


図-3.5 ジェットグラウト工法による空洞補修

① 掘付

JSG改良型マシンを所定の施工位置に掘付ける。

② 削孔

地質条件に応じたロッド回転とストローク速度で計画深度まで削孔する。

③ 噴射テスト工

削孔後、スチールボール投入、回転速度、引き上げ速度を設定し、噴射テストする。

④ JSG施工

所定の引き上げ速度及びノズルの回転により、パイルを造成する。

⑤ ロッド引き抜き洗浄

造成完了後、二重管ロッドを地上まで引き抜き、管内を清水により洗浄する。

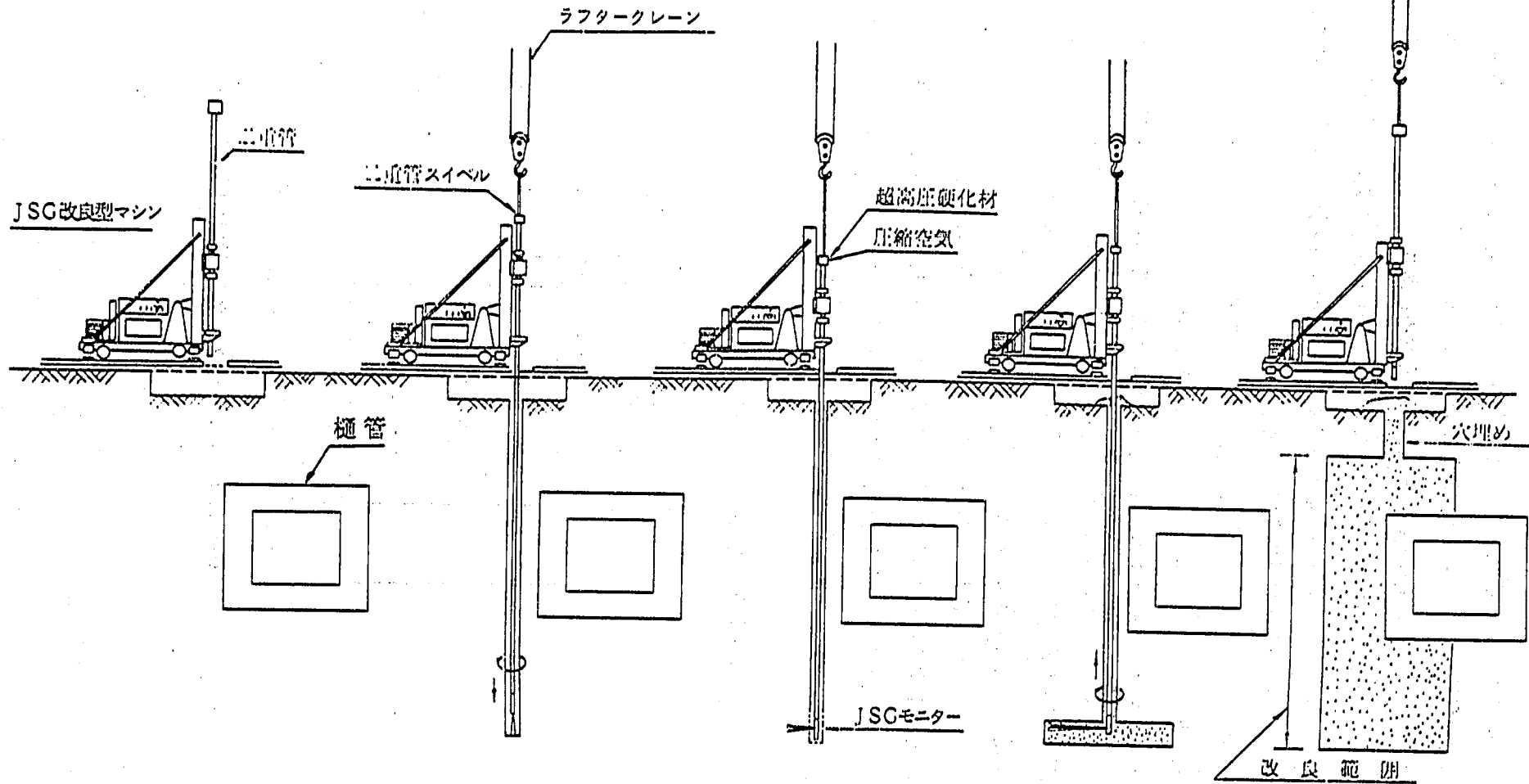


図-3.6 JSG工法の施工手順

3.2 注入材料の特性試験

3.2.1 試験概要

(1) 試験内容

一般にジェットグラウトに用いられている材料は、セメントと混和剤により構成されており、材料の硬化過程においてブリージングが避けられない。ブリージングが大きいと底版と改良体頭部が一部付着しないことも考えられ、止水効果に影響を及ぼす。また、ジェットグラウトは、超高圧流体で地盤を切削し、切削土を地表に排出して造られた空間に硬化材を充填するもので、可能な限り土と硬化材を置き換えるものである。したがって、材料の流動性が悪いと混合土がエアリフトされにくく、過大な残圧が底版にかかる可能性がある。このように、ジェットグラウトを底版下の空洞補修に適用するためには、

① 固結体の収縮、シネリウス（離漿）の少ないもの

② 粘性が低く、流動性に富んだもの

という相反する特性を満足する材料を用いる必要がある。

このため、材料分離を可能な限り抑制するための混和剤の配合を検討し、そのときの流動性、強度に及ぼす影響を把握するために、表－3.5に示す室内試験を行った。

表－3.5 室内試験の内容

試験名	試験規準	測定項目
流動性試験	プレバックドコンクリートの注入モルタルの流動性試験方法（Pロートによる方法）（JSCE-1986）	Pロートの流下時間の経時変化（直後、2、3時間後）
ブリージング試験	プレバックドコンクリートの注入モルタルのブリージング率及び膨張率試験方法（JSCE-1986）	3時間後及び最終（硬化後）のブリージング率
強度試験	プレバックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法（JSCE-1986）	材令7日及び28日の圧縮強度

混和剤は、表－3.6のように、①ナフタリンスルホン酸系混和剤、②ブリージング改良剤、③ベントナイトの3種類を用いた。ここで、ナフタリンスルホン酸系混和剤は、ジェットグラウト工法の実現場で一般的に使用されているものである。また、試験配合は表－3.7に示すように現場条件を考慮して砂質粘性土、及び粘性土を想定している。混和剤の種類、混入量、試験配合の組合せにより、合計16水準について試験を行った。

(2) 試験方法

試験に用いる混合土は、実際の施工手順に従って図－3.7に示すフローで作製した。

また、各試験は以下の手順で実施した。

① 流動化試験

混合攪拌された混合土を、その直後、2時間後、3時間後にPロートに一定量注ぎ、流下物が完

全に流下した時間を計測した。なお、粘性が著しく高く、全く流下しない場合は測定不能と判断した。

② ブリージング試験

混合攪拌された混合土をφ5cm×30cmのブリージング袋に充填し、初期体積を測定した後、3時間後及び最終硬化後（20時間以上）に浮き水量を測定した。

③ 強度試験

混合土をブリージング袋に充填し、1日後に高さ10cmで切断し、所定の材令まで水中養生した。圧縮強度試験は、アムスラー型耐圧試験機を用いて行った。

表-3.6 混和剤の配合

ケース	混和剤の種類	混入量 (%) (セメント重量に対して)	備考
従来配合	ナフタリンスルホン酸系	1.58	標準配合
材料分離改善 ①	ブリージング改良剤	3、5、6、7	
材料分離改善 ②	ベントナイト添加	1、2、3	

表-3.7 試験配合

(単位: g)

	セメント	水	砂	粘土	混和剤
配合A 砂質粘性土想定	1,000	1,000	1,000	1,000	表-3.6の通り
配合B 粘性土想定	800	800	800	1,600	〃

セメント: 普通ポルトランドセメント

砂: 標準砂 (含水比 10%に調整)

粘土: カオリン (含水比 80%に調整)

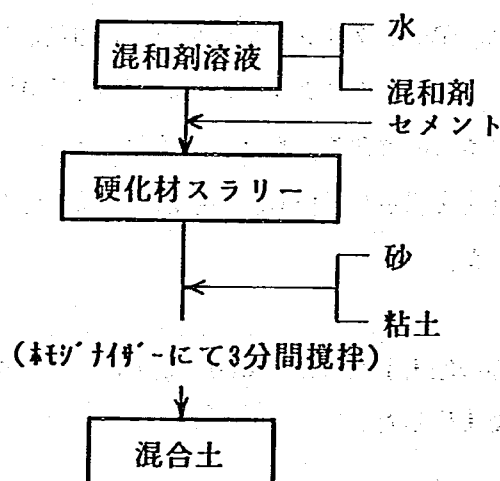


図-3.7 混合土の作製方法

3.2.2 試験結果

(1) 流動性試験

砂質粘性土（配合A）及び粘性土（配合B）におけるPロート流下時間を図-3.8及び3.9に示す。混和剤別の流動特性は以下の通りである。

- ① ナフタリンスルホン酸系を用いた従来配合では、配合A、Bともに、他の混和剤に比べて流動性が良い。
- ② ブリージング改良剤を混入したケースでは、従来配合に比較して流動性がやや劣り、混入量が増えると増粘する傾向にある。また、配合Bの場合には経過時間が長くなると著しく粘性が増加している。
- ③ ベントナイト添加のケースは、配合Aでは2%以上、Bでは1%以上の混入で高粘性となる。また、経過時間が2時間以上になると全く流下せず測定不能となった。

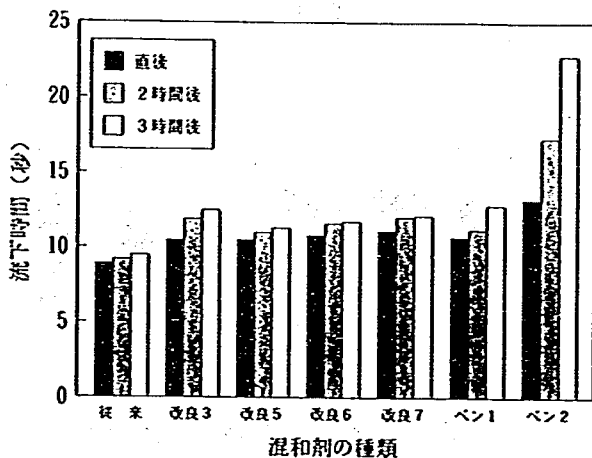


図-3.8 Pロート流下時間（配合A）

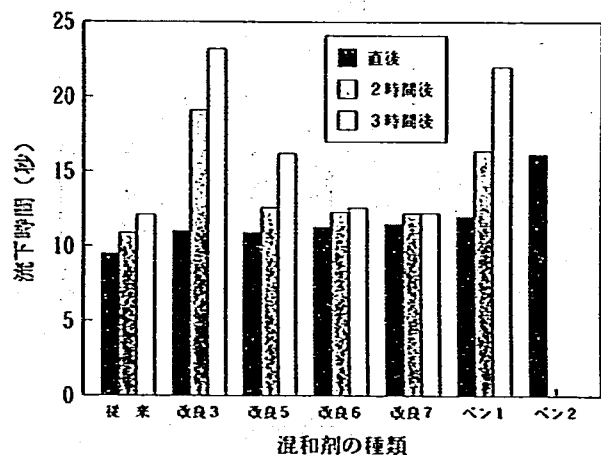


図-3.9 Pロート流下時間（配合B）

(2) ブリージング試験

各配合のブリージング率を図-3.10及び3.11に示している。

- ① 従来配合では、配合Aで3時間後に6.8%、20時間後に5.7%のブリージングが生じた。また、配合BではAに比較して少ないものの同様に1.8%、0.8%であり、この配合では材料分離に問題があると言える。
- ② ブリージング改良剤を混入した場合には、配合Aにおいて混入量3%で最終ブリージング率が0.4%まで改善されている。しかし、これ以上の混入率では逆にブリージング率を大きくする結果になっている。また、配合Bでは混入量3~5%で、ブリージング率0.2%まで改善されている。
- ③ ベントナイトを添加した場合には、配合A、Bともに非常にブリージング率が小さい。これは、浮き水が吸収されたものと推定される。

(3) 強度試験

各配合の圧縮強度を図-3.12及び3.13に示す。今回の試験では、全てのケースが十分な圧縮強度を有していたことがわかる。

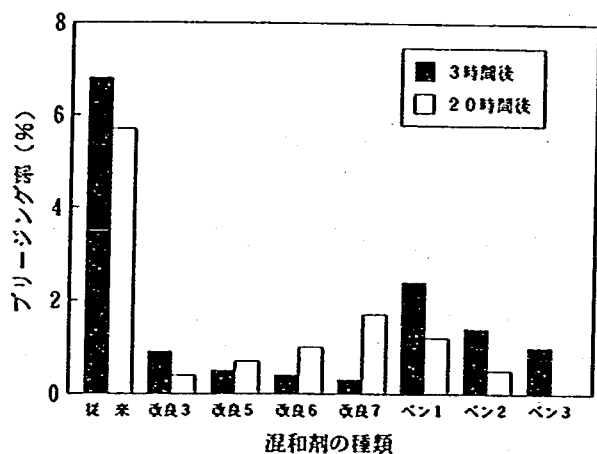


図-3.10 プリージング率 (配合A)

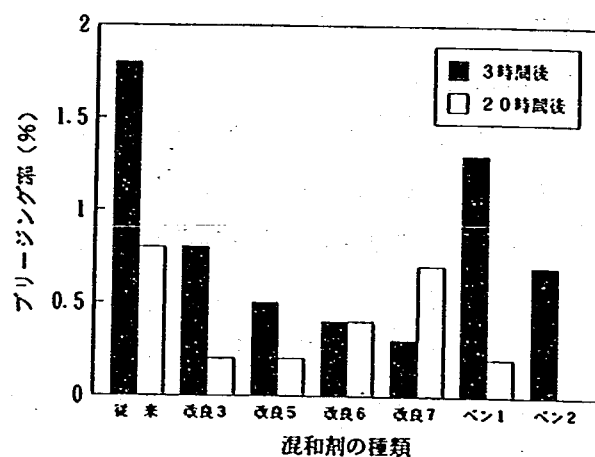


図-3.11 プリージング率 (配合B)

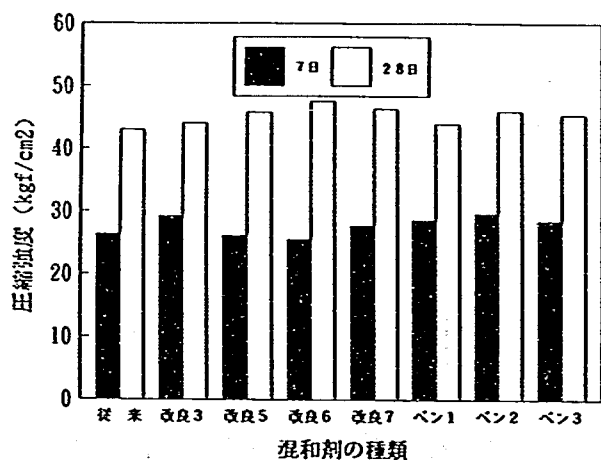


図-3.12 圧縮強度 (配合A)

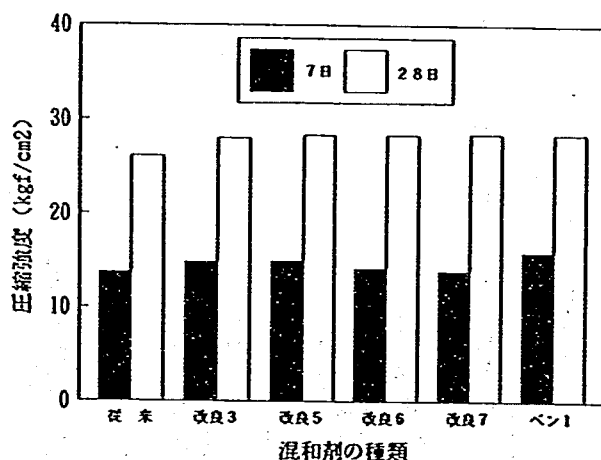


図-3.13 圧縮強度 (配合B)

(4) 総合評価

以上の特性試験の結果から、以下のことがわかった。

- ① 従来配合では混合土の流動性に関しては非常に良いが、砂質系粘性土に適用する場合には大きなプリージングを生じることが考えられる。
- ② プリージング改良剤を混入した場合には、従来配合に比べて流動性が劣り、時間の経過とともに、粘性が高くなるが、実施工の場合には混合直後に排泥されるために問題とはならない。プリージングは、本配合において3～5%の混入でほとんど抑制することができる。
- ③ ベントナイトを添加した場合は、プリージングを抑えることが可能であるが、混入量1%程度でも流動性が著しく悪くなり、施工性の面から実用的に用いるのは難しい。

3.3 現場での施工事例

3.3.1 施工内容

(1) 施工対象

- ① 名称 上山川樋管
- ② 河川名 鬼怒川（建設省関東地方建設局下館工事事務所）
- ③ 設置年 昭和27年
- ④ 本体構造 RC1.5×0.9×22.0m（2連）

(2) 現場の状況

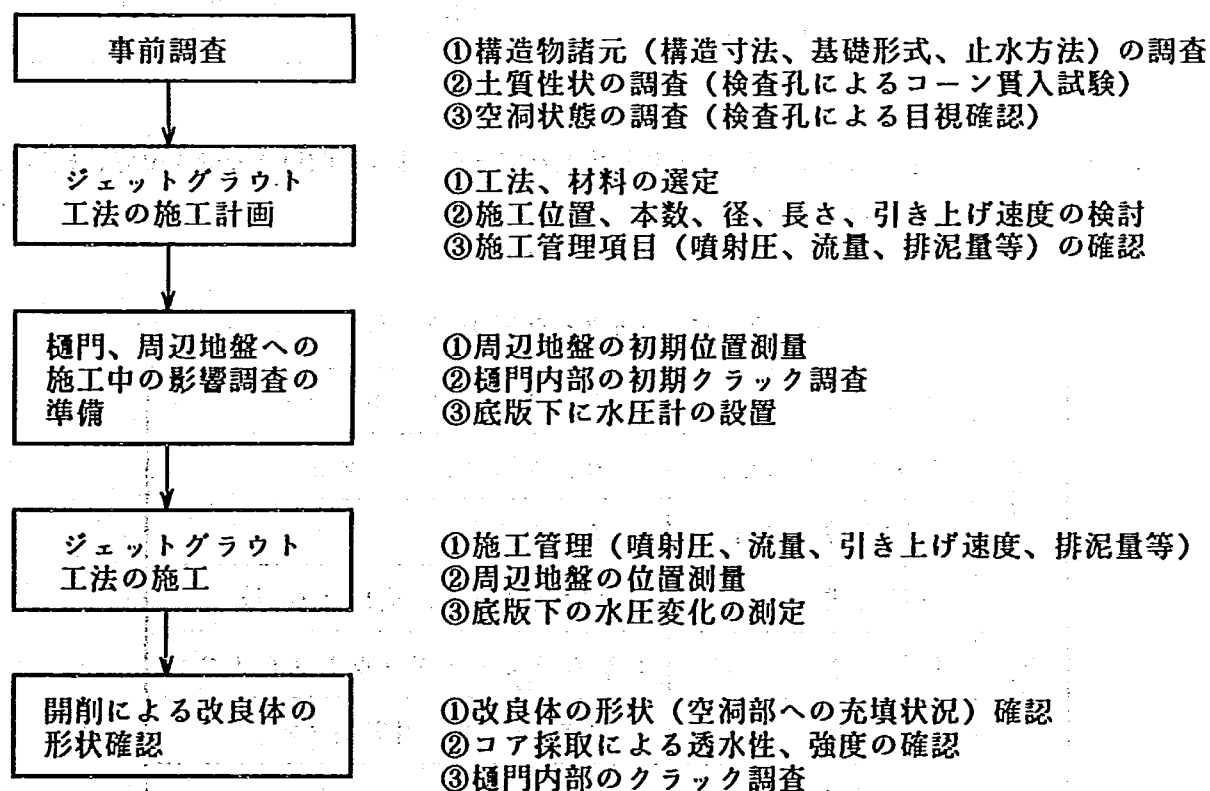
設置年がかなり古いため、配筋や基礎杭の配列などは不明であった。また、樋門内壁には多数のクラックがあり、老朽化が進んでいた。

(3) 施工概要

本現場実験は、ジェットグラウト工法の樋管底版下の空洞補修への適用性を確認するために行ったもので、

- ① 噴射圧による構造物、地盤への影響
- ② 材料の特性試験で検討した配合によるブリージングの有無
- ③ 改良体の造成状況（改良径、改良体間の結合状況等）

を明らかにすることを主目的としているが、図－3.14に示すように事前の調査方法や効果確認方法についても検討している。これらの詳細な方法については、表－3.8にまとめている。



図－3.14 実験フロー

表-3.8 調査内容

調査時期	調査項目	調査方法	調査内容
事前調査	構造諸元 地盤条件	資料調査	構造、基礎形式、漏水履歴、補修履歴、 地盤条件等を施設台帳、既往の調査資料 等から調査する。
	樋管の現況	目視観察、スケッチ	管体軸線の曲がり、壁面のクラック・ジ ャンカ、継手の開き等を観察し、スケ ッチを行う。
	樋管・堤体の 初期位置	水準測量	C J G施工前の樋管底版と堤体上面の位 置を把握するため、各10点で水準測量 を行う。
	底版下の空洞 ・水みちの確認	目視観察 コーン貫入試験	底版を穿孔し、空洞の有無を目視確認す る。またコーン貫入試験により底版下の 空洞状態を調査する。
C J G 施工中	C J G施工管理	排泥の管理	C J G施工中に過大な圧力が地盤中に滞 留しないように、確実に排泥がされてい るかを確認する。
C J G 施工後	樋管・堤体の変位	水準測量	C J G施工による樋管及び堤体の変位量 を把握するため、事前調査と同じ位置で 水準測量を行う。
	樋管の内部状況	目視観察、スケッチ	C J G施工により管内に発生したクラッ ク等の変状を目視観察し、スケッチを行 う。
	空洞・水みちの 充填状況	目視観察	底版下の空洞への改良体の充填状況を把 握するため、事前調査で設けた検査孔を 用いて、目視観察を行う。
	改良体の形状	目視観察、スケッチ	地盤を掘削し、改良径、長さ、改良体間 の接合状況等を目視観察、計測し、スケ ッチを行う。

ジェットグラウトの施工条件は、表-3.9に示す通りである。また、改良体の造成位置、検査孔、変位測量測点などは図-3.15の通りである。

表-3.9 ジェットグラウトの施工条件

対象 樋管	構造形式	二連ボックスカルバート
	B × H × L (m)	0.9 × 1.5 × 2.2
	平均土被り (m)	3.5
	支持形式	摩擦杭 (杭径、杭長は不明)
補修 工法	補修工法	コラムジェットグラウト (C J G)
	改良本数	川表側2本、川裏側2本
	改良径 (m)	2.0

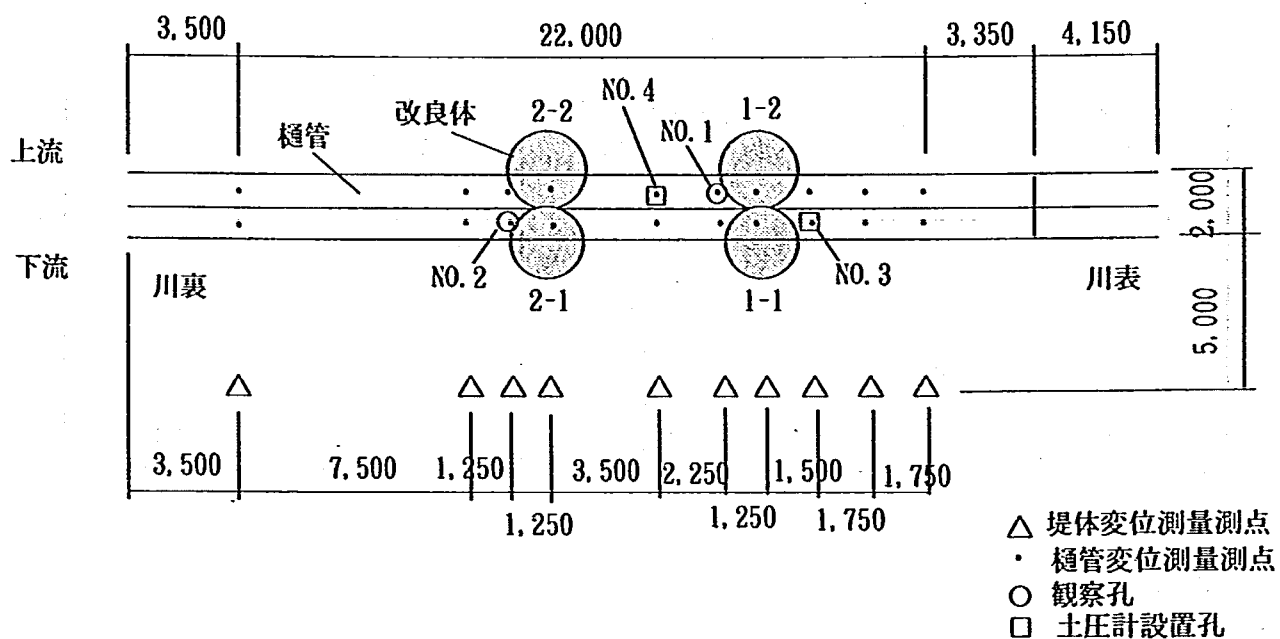


図- 3.15 改良体造成位置等

使用した材料は表- 3.10 及び 3.11 に示すように、混和剤としてナフタリンスルホン酸系を用いた従来配合のものと、フリージング改良剤を用いたものの2種類とした。また、表- 3.12 には実験ケースを示している。

表- 3.10 JG- 1号の現場配合 (従来配合)

	重量 (k g)	セメントに対する重量比 (%)	容量 (L)
普通セメント	7 6 0	1 0 0	2 4 0
混和剤 (ナフタリンスルホン酸系)	1 2	1 . 5 8	1 0
水	7 5 0	9 9	7 5 0
計	1 5 2 2	—	1 0 0 0

表- 3.11 改良剤を用いた現場配合

	重量 (k g)	セメントに対する重量比 (%)	容量 (L)
普通セメント	7 3 0	1 0 0	2 3 0
混和剤 (フリージング改良剤)	2 2	3	1 0
水	7 6 0	1 0 4	7 6 0
計	1 5 1 2	—	1 0 0 0

表-3.12 実験ケース

改良体 NO	材 料	引き上げ速度 (分/m)	引き上げピッチ (mm)	施工順序
1-1	従来配合	30	25	3
1-2	〃	20	50	2
2-1	ブリージング 改良剤混入	30	50	4
2-2	〃	20	25	1

3.3.2 施工結果

(1) 事前調査

a) 管内観察

樋管内を目視観察したところ、壁面はコンクリートが顕著な豆板上を呈しており、局部的なジャンカ状態と水のしみ出しがみられた。また、クラックからは酸化鉄汚染が観察された。

b) 空洞調査

底版下の空洞・水みちの有無を調べるため、図-3.15に示す4ヶ所においてコアカッターにより底版穿孔を行った。その結果、底版厚は検査孔No.1及び4で30cm、No.2で35cm、捨てコン厚はすべての検査孔で15cmあることがわかった。すべての検査孔に関して、底版と捨てコンの間で最大5～10mm程度の隙間があることが確認された。但し、この隙間は連続して広がっているものではなく、検査孔の周囲5cm程度のものであった。また、捨てコンと原地盤（粘土層）との接触面には砂質土が間詰めされていた。以上のことから、樋管底版下のいずれの部分にも空洞は存在していないと判断した。このことは、コーン貫入試験の結果からも裏付けられている（図-3.16参照）。

(2) 樋管・周辺地盤への影響

a) 樋管・周辺地盤の変位

ジェットグラウト施工前後の水準測定の結果から、樋管底版、堤体上面ともにほとんど変位が認められず、ジェットグラウトによる周辺への影響は実用上考慮する必要はないと判断できる。測定の結果は、表-3.13～3.18に示す通りである。

b) 樋管の損傷状況

改良体の造成1本ごとに樋管内の損傷状況を目視観察した。その結果は表-3.19の通りで、すべての改良体の施工により従来から生じていたクラックから水のしみ出しが観察されている。但し、これは施工による一時的なものである。

また、改良体2-1の施工により、側壁、頂版に新たなクラックが生じている。この原因は、施工中の排泥がリフトアップされなくなり過大な圧力が地盤中に蓄積されたことによると思われる。

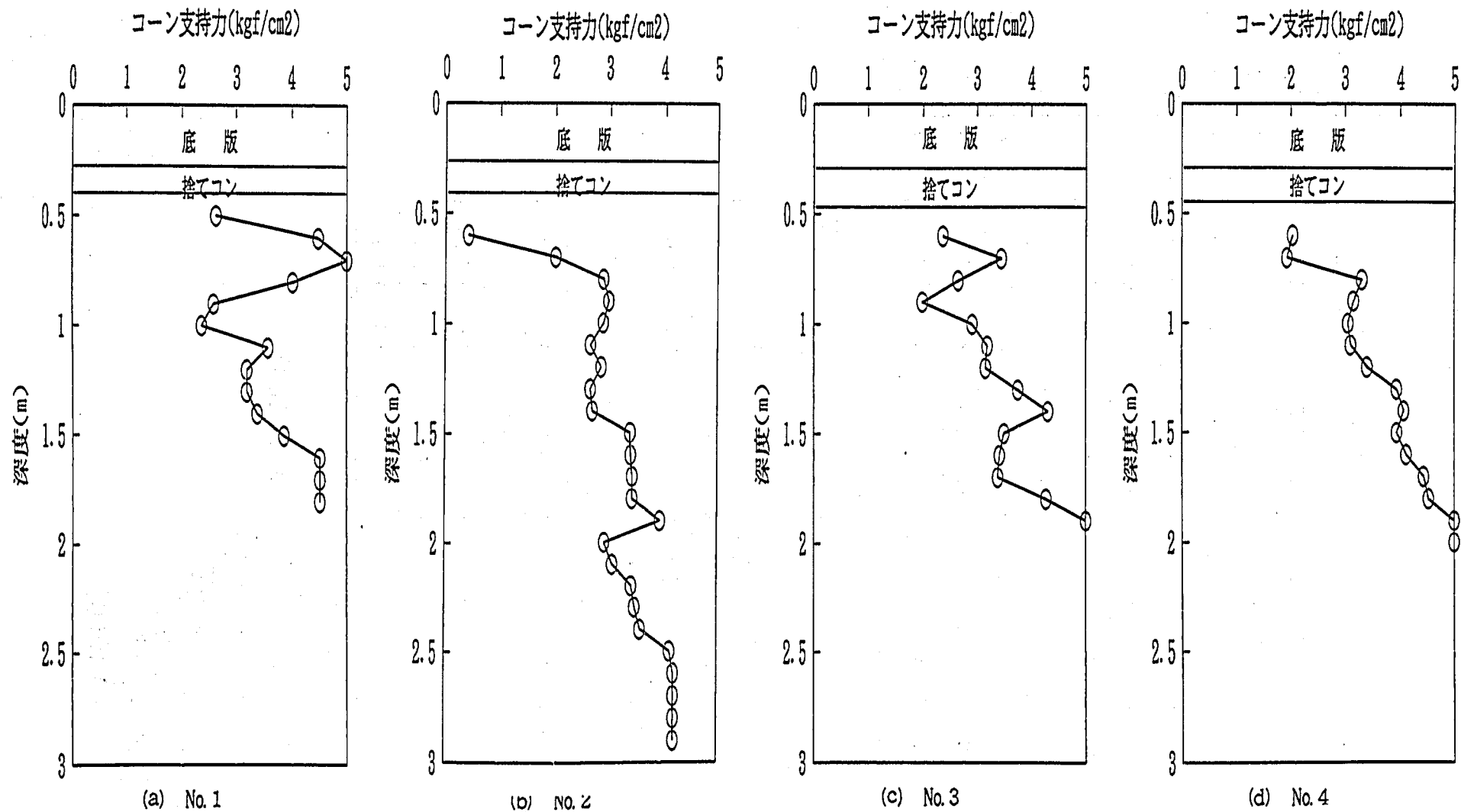


図-3.16 コーン貫入試験結果

表-3.13 変位測量結果(施工基面造成後)

上流側管体					堤体(下流側)※	
測点 NO	川裏からの距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均値 (L+R)/2 YP+ (m)	測点 NO	木杭 YP+ (m)
1	0.000	25.097	25.105	25.101	1	30.661
2	7.500	25.076	25.083	25.080	2	30.779
3	8.750	25.065	25.073	25.069	3	30.684
4	10.000	25.067	25.068	25.068	4	30.759
5	13.500	25.048	25.049	25.049	5	30.768
6	15.750	25.033	25.051	25.042	6	30.781
7	17.000	25.034	25.047	25.041	7	30.715
8	18.500	25.033	25.039	25.036	8	30.811
9	20.250	25.043	25.046	25.045	9	30.714
10	22.000	25.025	25.024	25.025	10	29.976

※初期値

下流側管体				
測点 NO	川裏からの距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均値 (L+R)/2 YP+ (m)
1	0.000	25.113	25.122	25.118
2	7.500	25.091	25.103	25.097
3	8.750	25.096	25.103	25.100
4	10.000	25.090	25.101	25.096
5	13.500	25.069	25.078	25.074
6	15.750	25.052	25.059	25.056
7	17.000	25.038	25.053	25.046
8	18.500	25.026	25.036	25.031
9	20.250	25.028	25.039	25.034
10	22.000	25.018	25.019	25.019

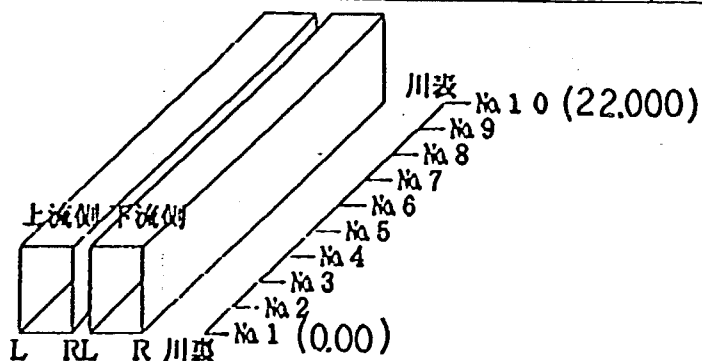


表-3.14 変位測量結果(改良体1本目施工後)

上流側管体					堤体(下流側)	
測点 NO	川裏の距離 (m)	上流側底版L YP+(m)	下流側底版R YP+(m)	平均值 (L+R)/2 YP+(m)	測点 NO	木杭 YP+(m)
1	0.000	25.097	25.103	25.100	1	30.662
2	7.500	25.076	25.084	25.080	2	30.780
3	8.750	25.067	25.070	25.069	3	30.685
4	10.000	25.066	25.067	25.067	4	30.761
5	13.500	25.048	25.048	25.048	5	30.770
6	15.750	25.034	25.050	25.042	6	30.782
7	17.000	25.033	25.046	25.040	7	30.717
8	18.500	25.031	25.036	25.034	8	30.812
9	20.250	25.045	25.046	25.046	9	30.714
10	22.000	25.023	25.023	25.023	10	29.978

下流側管体				
測点 NO	川裏の距離 (m)	上流側底版L YP+(m)	下流側底版R YP+(m)	平均值 (L+R)/2 YP+(m)
1	0.000	25.115	25.124	25.120
2	7.500	25.092	25.104	25.098
3	8.750	25.097	25.106	25.102
4	10.000	25.090	25.104	25.097
5	13.500	25.070	25.077	25.074
6	15.750	25.053	25.062	25.058
7	17.000	25.039	25.054	25.047
8	18.500	25.027	25.032	25.030
9	20.250	25.030	25.038	25.034
10	22.000	25.017	25.017	25.017

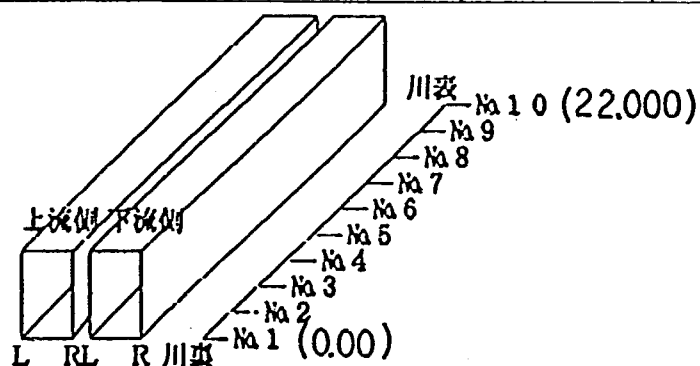


表-3.15 変位測量結果 (改良体2本目施工後)

上流側管体					堤体 (下流側)	
測点 NO	川裏側の距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均値 (L+R)/2 YP+ (m)	測点 NO	木杭 YP+ (m)
1	0.000	25.097	25.107	25.102	1	30.661
2	7.500	25.076	25.085	25.081	2	30.779
3	8.750	25.066	25.072	25.069	3	30.685
4	10.000	25.071	25.069	25.070	4	30.760
5	13.500	25.049	25.049	25.049	5	30.769
6	15.750	25.037	25.050	25.044	6	30.782
7	17.000	25.035	25.046	25.041	7	30.716
8	18.500	25.032	25.040	25.036	8	30.812
9	20.250	25.045	25.045	25.045	9	30.714
10	22.000	25.024	25.022	25.023	10	29.977

下流側管体				
測点 NO	川裏側の距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均値 (L+R)/2 YP+ (m)
1	0.000	25.115	25.130	25.123
2	7.500	25.097	25.103	25.100
3	8.750	25.108	25.105	25.107
4	10.000	25.093	25.103	25.098
5	13.500	25.072	25.080	25.076
6	15.750	25.055	25.062	25.059
7	17.000	25.037	25.056	25.047
8	18.500	25.027	25.037	25.032
9	20.250	25.032	25.040	25.036
10	22.000	25.019	25.020	25.020

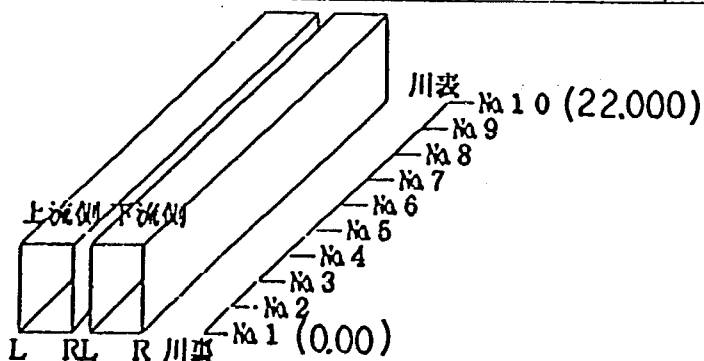


表-3.16 変位測量結果(改良体3本目施工後)

上流側管体					堤体(下流側)	
測点 NO	川裏の距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均值 (L+R)/2 YP+ (m)	測点 NO	木杭 YP+ (m)
1	0.000	25.096	25.110	25.103	1	30.661
2	7.500	25.076	25.085	25.081	2	30.780
3	8.750	25.065	25.071	25.068	3	30.685
4	10.000	25.068	25.070	25.069	4	30.760
5	13.500	25.050	25.049	25.050	5	30.769
6	15.750	25.036	25.050	25.043	6	30.782
7	17.000	25.035	25.047	25.041	7	30.716
8	18.500	25.034	25.041	25.038	8	30.812
9	20.250	25.042	25.050	25.046	9	30.715
10	22.000	25.025	25.022	25.024	10	29.977

下流側管体				
測点 NO	川裏の距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均值 (L+R)/2 YP+ (m)
1	0.000	25.116	25.129	25.123
2	7.500	25.096	25.104	25.100
3	8.750	25.096	25.106	25.101
4	10.000	25.090	25.101	25.096
5	13.500	25.069	25.067	25.068
6	15.750	25.051	25.061	25.056
7	17.000	25.037	25.055	25.046
8	18.500	25.027	25.032	25.030
9	20.250	25.030	25.037	25.034
10	22.000	25.019	25.019	25.019

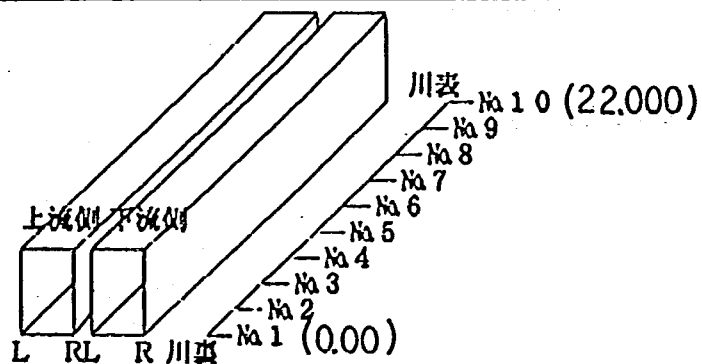


表-3.17 変位測量結果(改良体4本目施工後)

上流側管体					堤体(下流側)	
測点 NO	川裏からの距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均値 (L+R)/2 YP+ (m)	測点 NO	木杭 YP+ (m)
1	0.000	25.097	25.105	25.101	1	30.662
2	7.500	25.079	25.085	25.082	2	30.781
3	8.750	25.066	25.071	25.069	3	30.687
4	10.000	25.075	25.071	25.073	4	30.761
5	13.500	25.049	25.049	25.049	5	30.772
6	15.750	25.038	25.050	25.044	6	30.784
7	17.000	25.036	25.050	25.043	7	30.717
8	18.500	25.034	25.041	25.038	8	30.813
9	20.250	25.042	25.046	25.044	9	30.715
10	22.000	25.026	25.023	25.025	10	29.977

下流側管体				
測点 NO	川裏からの距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均値 (L+R)/2 YP+ (m)
1	0.000	25.118	25.131	25.125
2	7.500	25.101	25.106	25.104
3	8.750	25.101	25.110	25.106
4	10.000	25.095	25.106	25.101
5	13.500	25.075	25.081	25.078
6	15.750	25.056	25.064	25.060
7	17.000	25.039	25.055	25.047
8	18.500	25.028	25.034	25.031
9	20.250	25.031	25.040	25.036
10	22.000	25.019	25.019	25.019

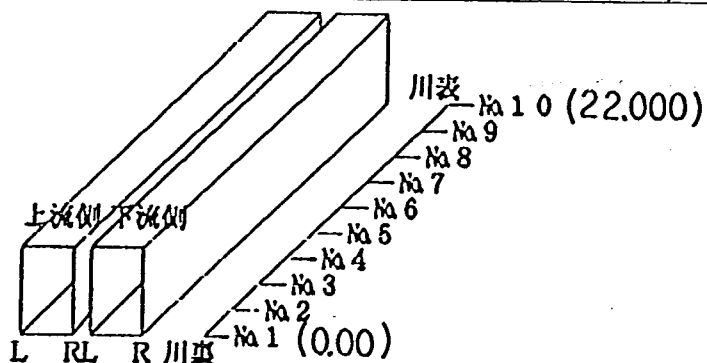
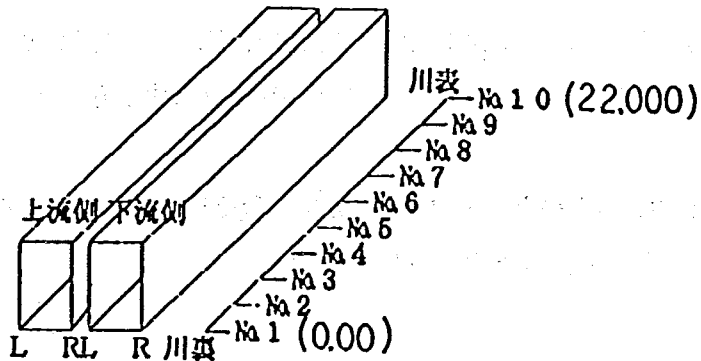


表-3.18 変位測量結果(改良体4本目施工翌日)

上流側管体				
測点 NO	川裏からの距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均値 (L+R)/2 YP+ (m)
1	0.000	25.093	25.104	25.099
2	7.500	25.077	25.084	25.081
3	8.750	25.067	25.075	25.071
4	10.000	25.073	25.071	25.072
5	13.500	25.052	25.050	25.051
6	15.750	25.040	25.052	25.046
7	17.000	25.042	25.048	25.045
8	18.500	25.031	25.038	25.035
9	20.250	25.040	25.047	25.044
10	22.000	25.030	25.023	25.027

下流側管体				
測点 NO	川裏からの距離 (m)	上流側底版L YP+ (m)	下流側底版R YP+ (m)	平均値 (L+R)/2 YP+ (m)
1	0.000	25.113	25.142	25.128
2	7.500	25.102	25.109	25.106
3	8.750	25.100	25.114	25.107
4	10.000	25.099	25.107	25.103
5	13.500	25.075	25.081	25.078
6	15.750	25.060	25.066	25.063
7	17.000	25.039	25.057	25.048
8	18.500	25.031	25.038	25.035
9	20.250	25.039	25.040	25.040
10	22.000	25.017	25.032	25.025



(3) 改良体と底版の付着状況

事前調査で設けた検査孔を利用してコアを採取し、改良体と底版の付着状況を調査した。その結果、改良体№2-1及び2-2では、捨てコンの下に改良体が隙間なく充填されているのが観察された。しかしながら、№1-1及び1-2では、松杭が設置されているためにその裏側で改良体が造成されていないのが確認された。また、開削調査によると、捨てコンと原地盤との接触面はきちんと間詰されており、空洞らしきものは存在していなかった。

(4) 改良体の造成状況

ジェットグラウト施工後、地盤を掘削し改良体の造成状況を目視確認した。目視により作成したスケッチを図-3.17に示す。設計では直径2m、長さ2mの円柱体を造成する計画であったが、実際には、どの改良体もこれ以上の大きさを有していた。但し、深度方向には一様ではなく凹凸ができており、矢板や杭の裏側はこれらに遮られて造成されていない部分も残っており、完全な円柱体とはなっていない。

3.3.3 結論

現場実験から以下のことがわかった。

- ① ジェットグラウトの施工により樋管、周辺地盤が変位する可能性は極めて少ないことがわかった。
- ② ジェットグラウト施工中の排泥が不完全であると、過大な圧力が地盤中に蓄積し、樋管に損傷を与えることが明らかとなった。このため、エアーリフト作用を妨げる要因を分析し排泥の安定化を図るとともに、常に排泥状況をチェックし、異常時には迅速に対応できるよう施工管理体制を強化することが必要である。
- ③ 造成された改良体と底版との付着性は良好で、当初懸念されていたブリージングの影響も見られなかった。
- ④ 樋管底版下に杭や矢板が設置されている場合には、その裏側まで改良体が造成されない。

3.3.4 施工管理方法の提案

現場実験の結果を踏まえて、ジェットグラウトによる樋門底版下の空洞充填工法の施工管理方法を提案する。基本的な施工仕様は、ジェットグラウト工法技術資料（日本ジェットグラウト協会）を参照されたい。

(1) 工法の選定

JSG工法を用いることを基本とするが、粘性土地盤で圧縮空気だけでは排泥がリフトアップされにくいと考えられる場合は、コラムジェットグラウト工法の採用を検討するものとする。

(2) 材料の配合

表-3.20に示す従来配合を用いるものとするが、砂分が50%程度以上含まれている場合には、表-3.21のブリージング改良剤を添加した配合とするのが望ましい。

(3) 土質条件と有効径

JSG工法における土質条件と標準有効径の関係は、表-3.22、3.23に示す通りである。

表-3.19 ジェットグラウト工法による樋門の変状概要

改良体NO (施工順)	川裏から改良 体中心までの 距離 (m)	変状箇所		川裏から変状 箇所までの 距離 (m)	変 状 の 概 要
		管体	位 置		
2-2 (1本目)	上流側 10m	上流	上流側側壁	11	施工前より生じていたクラックから常時水滴
				11~12	豆板状コンクリートから水のしみ出し
			頂 版	11.5	施工前より生じていたクラックから水のしみ出し
			下流側側壁	11	豆板状コンクリートから水のしみ出し
		下流	下流側側壁	8	豆板状コンクリートから泥水のしみ出し
			底 版	0	エアー及び泡の流出
1-2 (2本目)	上流側 17m	上流	上流側側壁	16	施工前より生じていたクラックから水のしみ出し
				16~17	豆板状コンクリートからエアー及び泥水の流出
				20	施工前より生じていたクラックから水のしみ出し
			底 版	16~17	泥水のしみ出し
				19	泥水のしみ出し
1-1 (3本目)	下流側 17m	下流	上流側側壁	16	側壁と頂版の接合部から水のしみ出し
			下流側側壁	15	施工前より生じていたクラックから水のしみ出し
				17~18	豆板状コンクリートから泥水のしみ出し
				17~18	施工前より生じていたクラックから水のしみ出し
				18~19	施工前より生じていたクラックから泥水の噴出し
2-1 (4本目)	下流側 10m	上流	上流側側壁	9~10	幅3mmのクラックが生じ、1周する 施工中、側壁のクラックから多量の泥水が流出
			頂 版		
			下流側側壁		
		下流	底 版	0	施工直後、エアー及び気泡、後に泥水の流出
			上流側側壁	9~10	施工直後クラックが生じ、管内を1周する 下流側側壁下部から連続的な水のしみ出し
			頂 版		
			下流側側壁		
			頂 版	11~12	施工前より生じていたクラックから水のしみ出し が多くなり、水滴がたれる。後に連続的な水のし み出しとなる。
			下流側側壁		
			下流側側壁	8	豆板状コンクリートから泥水の噴出し、エアーの発生
				9	施工前より生じていたクラックから泥水の噴出し
			底 版	0	施工直後、エアー及び気泡、後に泥水の流出

※) 2連ボックスのうち、上流側か下流側かを示す

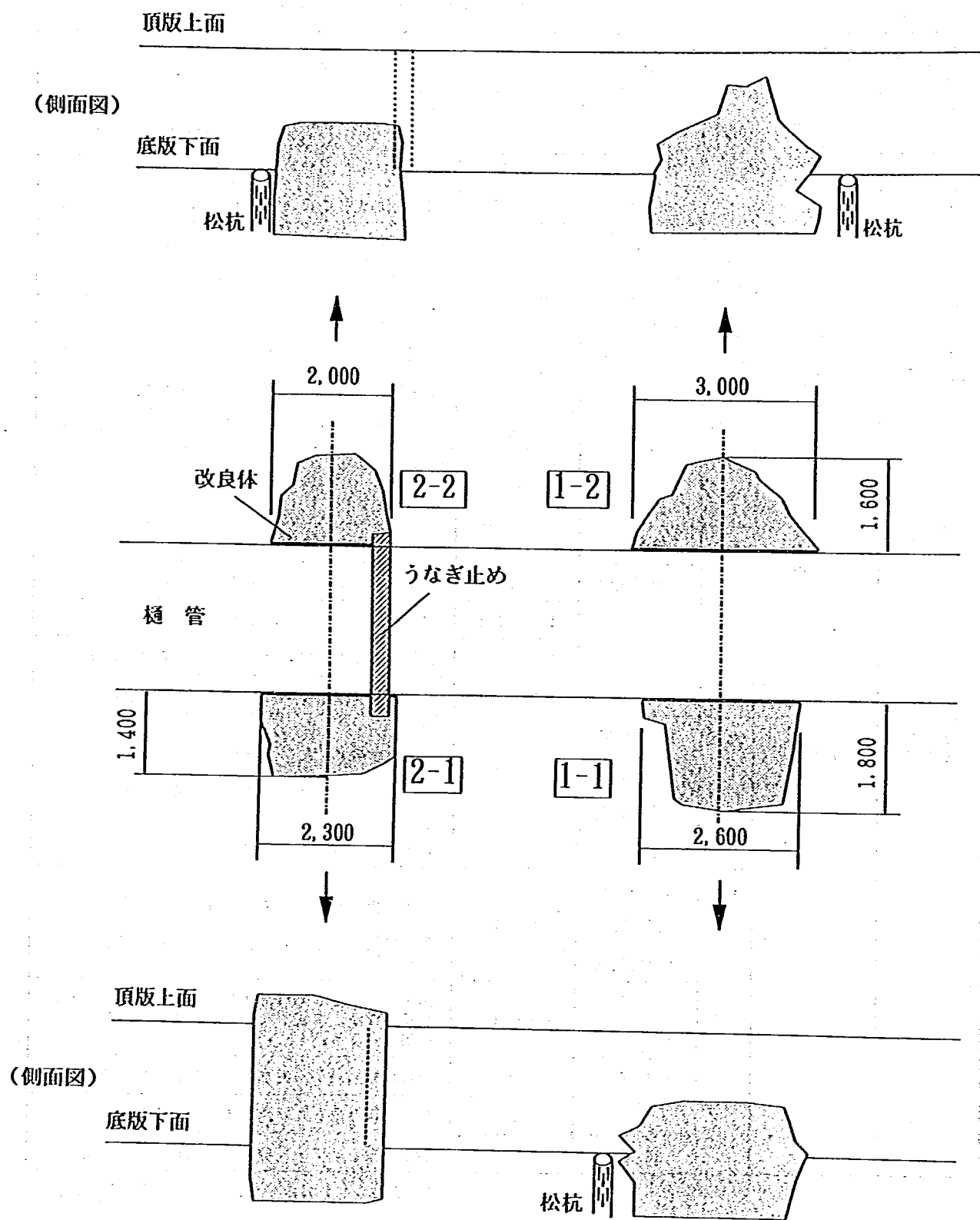


図- 3.17 開削時の改良体観察スケッチ

表- 3.20 従来配合

	重量 (k g)	セメントに対する重量比 (%)	容量 (L)
普通セメント	7 6 0	1 0 0	2 4 0
混和剤 (フタル酸系)	1 2	1 . 5 8	1 0
水	7 5 0	9 9	7 5 0
計	1 5 2 2	—	1 0 0 0

表- 3.21 改良剤を添加した配合

	重量 (k g)	セメントに対する重量比 (%)	容量 (L)
普通セメント	7 3 0	1 0 0	2 3 0
混和剤 (フリーズン改良剤)	2 2	3	1 0
水	7 6 0	1 0 4	7 6 0
計	1 5 1 2	—	1 0 0 0

表- 3.22 砂質土での標準設計数値

土質名 項目 N 値	砂 質 土						砂礫土 ※
	$N \leq 10$	$10 < N \leq 20$	$20 < N \leq 30$	$30 < N \leq 35$	$35 < N \leq 40$	$40 < N \leq 50$	
標準有効径 (m) 深度 (0 m < Z ≤ 25 m)	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	—
引き上げ速度 (分/m)	40	35	30	26	21	17	—
硬化材単位吐出量 (m ³ /分)	0.06						

※ 砂礫土については、十分検討の上決定する必要がある。

表-3.23 粘性土での標準設計数値

項目	土質名	粘性土					腐植土 ※
	N 値	N < 1	N = 1	N = 2	N = 3	N = 4	
標準有効径 (m) 深度 (0 m < Z ≤ 25 m)		2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	—
引き上げ速度 (分/m)		30	27	23	20	16	—
硬化材単位吐出量 (m ³ /分)		0.06					

※腐植土については、十分検討の上決定する必要がある。

(4) 材料管理

- ① 硬化材の配合は、配合責任者を定め、配合表を明示し正確に行う。
- ② 硬化材スラリーの濃度は、比重計にてチェックし必ず記録する。

(5) 施工管理

表-3.24 は、プロセスチャートに沿って管理項目、管理基準及び管理方法を示したものである。

また、本工法を確実に施工し、所定の品質を確保するためには、以下の項目について特に注意する必要がある。

a) 土質調査

適切な材料の配合、標準有効径、引き上げ速度を決定するためには、土質調査により原地盤の性状を把握しておく必要がある。

b) 施工中の動態観測

施工中に一時的にロッド周辺に土塊が詰まってスライムが出にくくなると、樋門や堤体に変位を生ずる恐れがあるので、施工中は堤体の隆起等に十分注意する必要がある。

c) 排泥処理

排泥が不完全であると樋門や堤体に過大な圧力が作用するので、常にその排出状況を監視しておく必要がある。万が一、排泥がリフトアップされなくなった場合は、直ちに作業を中止し、ケーシングにて孔内を再削孔する等の措置を講ずる。また、地盤条件により排泥が円滑に行われないと予測された場合は、口径の大きいケーシングを建て込み、完全に排泥されるようにする。

表- 3.24 施工管理基準

プロセスチャート	管理項目	管理基準	管理方法	頻度
JSG←→コラムジェット 抗芯出し	位置 埋設物	±10cm以内 管理者立会	スケール(マーキング) 目視(マーキング)	各孔 —
←GH設置	削孔角度 " 深度	±0.5°以内 設計値以上	水準計, スラントルール ケーシング長・テープ	各孔 "
←三重管挿入	深 度	設計値以上	ロッド長・テープ	各孔
←ケーシング引抜	深 度	設計値以上	ケーシング長・テープ	各孔
マシン設置	角 度	±0.5°以内	水準計, スラントルール	各孔
削孔→	削孔角度 " 深度	±0.5°以内 設計値以上	水準計, スラントルール ロッド長・テープ	各孔 "
噴射テスト	回 転 数 引上速度	JSG 5~15rpm コラムジェット 6rpm以内 設 定 値	ストップウォッチ "	各孔 "
←超高圧水	圧 力 流 量	350kgf/cd以上 70ℓ/分	圧 力 計	常 時
圧縮空気	圧 力 流 量	6~7kgf/cd 1.5m³/分以上	圧 力 計	常 時
硬化材	配 合 力 流 量	比重±0.05以内 JSG 180kgf/cd以上 コラムジェット 20kgf/cd以上 JSG 60ℓ/分以上 コラムジェット 140, 180ℓ/分以上	比 重 計 圧 力 計 流 量 計	1回/日 常 時
回転引上	回 転 数 引上速度	JSG 5~15rpm コラムジェット 6rpm以内 設 定 値	ストップウォッチ "	各孔 "
排泥処理	スライム状況 処 分 地	常時噴泥 許可車輛・処分地	目 視 許 可 証	常 時 随 時
引抜き	ロッド本数		ロッド本数・テープ	各孔
穴埋め, 洗浄	点検確認		目 視	各孔

共通 JSG コラムジェット

4. 今後の課題

電磁波レーダによる鉄筋コンクリート床版下の空洞探査の適用性を、室内試験により検討し、二重鉄筋の場合には適用性が低いことを明らかにした。従って、一般的に樋門樋管底版の配筋は二重鉄筋であるため、電磁波レーダにより空洞を探査できる可能性は極めて少ないと判断される。今後、探査能力を向上させるためには、鉄筋の影響を回避するためのアンテナ、測定技術、データ処理技術を総合的に開発していく必要がある。加えて、湿潤地盤中の水空洞を探査対象とした場合には、周辺地盤と空洞との誘電率に差がないために探査不能となる。この点に関しても、新たな技術開発で克服していかなければ実用化は難しい。

また、ジェットグラウト工法の樋門樋管下の空洞補修への適用性を現場実験により検討したが、今後の実用化に際しては、以下の問題点を解決していかなければならない。

(1) 既設杭・矢板に対する施工位置など詳細な施工法の確立

既設杭・矢板の周辺に改良体を造成する場合には、杭・矢板の裏側が死角となり未改良の部分が生じる。従って、止水効果の向上のためには、死角部分をフォローする方法を確立しなければならない。

(2) 大断面の樋門に対する施工法の検討

ジェットグラウトの改良径は、土質条件により制限を受ける。また、樋門本体を非破壊で補修するためには、側壁の両脇から施工しなければならない。樋門の幅が改良径以上の場合には、改良体をラップさせることができない。したがって、大断面の樋門を対象とした場合の施工法を、別途検討する必要がある。

(3) 改良径の確認を含めた施工管理方法の確立

確実に補修が行われたかどうかを判断するためには、改良径の確認を行わなければならないが、現状ではその方法が確立されていない。また、施工中のエアリフトの状況、構造物への影響などをモニターすることも十分に行われているとはいえず、総合的な施工管理方法の確立が必要である。

(4) 施工規模が小さいことから効率的な施工法の検討

樋門樋管底版下の空洞補修の場合には、一つの補修現場で2～4本程度の改良体の造成にとどまるため、プラントの解体・組立の不必要な車上プラントの開発など効率的な施工法の確立が望まれる。

(5) 改良体の軽量化の検討

改良体が既設樋門に与える構造的な影響については不明な点が多いが、できるだけ軽量化することが沈下や偏過重の防止につながると考えられる。改良体の軽量化には発泡材の混入等が考えられるが、高圧圧送という工法上の制限もあり検討が必要である。

参考文献

- 1) 長健次、苗村正三、境友昭 (1989) : 堤体の非破壊調査機器に関する調査、土木研究所資料第2762号
- 2) 楠建一郎 (1993) : 空洞調査の手法、地質と調査、No 2、pp. 2~11
- 3) C. Peter, F. Ulriksen (1982) : Application of Impulse Radar to Civil Engineering, Lund University of Technology Doctoral Thesis
- 4) フジテコム : 地中探査レーダ (SIR システム)
- 5) 保国光敏、阿部裕、土弘道夫、五十嵐寛昌 (1985) : 電波探査技術を利用した浅層地盤調査法、土と基礎、Vol. 33、No 7、pp. 33~36
- 6) 日本薬液注入協会 (1989) : 薬液注入工法の設計・施工指針
- 7) 千田昌平 (1982) : 軟弱地盤改良工法、鹿島出版会
- 8) 久楽勝行、苗村正三 : 地盤改良工法の最近の動向、土木技術、Vol. 46, No12, pp. 34~41
- 9) 日本ジェットグラウト協会 (1992) : ジェットグラウト工法技術資料

樋門樋管周辺の空洞探査
補修技術に関する調査

I S S N 0386-5878
土木研究所資料第333号
平成7年3月(1995)

苗村 正三, 市村 靖光
森 芳徳

要 旨

樋門樋管の底板下に発生した空洞や水みちの非破壊的探査方法を確立するために、電磁波レーダによる空洞探査実験を行った。その結果、探査精度は配筋状態に大きく影響を受け、二重鉄筋の場合には現状のレーダではほとんど探査不能であることがわかった。また、これらの空洞を補修する方法としてジェットグラウト工法の適用性について検討を行った。現場実験の結果から、排泥処理を完全に行えばジェットグラウトの噴射圧が周辺に影響を及ぼす可能性は少ないことや、底板と改良体の付着性は良好であることなどを明らかにした。

キーワード：樋門樋管、空洞探査、電磁波レーダ、ジェットグラウト

郵便はがき

3 0 5 - □ □

五十円切手
をはって下
さい。

建設省土木研究所

材料施工部施工研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 003

No. 003

配布先住所

配布先氏名

土木研究所資料 第 3333 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印