

樋門構造物周辺の空洞の調査

Investigation of Cavitation Around a Sluice Structure

佐藤 厚子* 西本 聡**

Atsuko SATO , and Satoshi NISHIMOTO

堤防を横過する樋門・樋管などの構造物箇所は従来から堤防の弱点箇所として重視されている。全国的には樋門・樋管構造物に対して昭和50年から応急対策事業が実施されてきた。北海道開発局では、昭和59年1月「漏水対策工設計施工指針(案)」を作成し、これに基づいた設計施工が実施されてきている。「指針(案)」では、堤防の漏水として、堤体漏水、基礎地盤漏水、複合漏水、構造物周辺の漏水をあげ、それらに対して、調査方法、評価方法、対策方法、維持管理方法が系統立ててまとめられている。しかし、空洞対策の1つであるグラウト工に関しては、対策後の樋門・樋管周辺の状態を把握することが困難であることから、施工後の維持管理手法が明確ではないのが実情である。そこで、樋門に関する資料調査、外観調査、連通試験を行い樋門周辺の状態の把握を試みた。

その結果、グラウト対策後の樋門では、既存資料だけから空洞化を予測することは困難であるが、函体周辺の変状を調査すると空洞の有無を推定できることがわかった。

《キーワード：樋門；外観調査；連通試験；空洞；圧密沈下》

Sluices, conduit pipes and other structures that transverse levees have been considered to be important as the weak points of levees. Emergency measures for sluices and conduit pipe structures have been taken nationwide since 1975. The Hokkaido Development Bureau developed the Guidelines for Design and Construction of Leakage Control Works (draft) in January 1984. Design and construction have been conducted in accordance with the Guidelines (draft), which list leakage from levee bodies, leakage from foundation subgrade, compound leakage and leakage around structures as leakage from levees, as well as systematically summarize research, evaluation, countermeasure and maintenance/management methods. However, regarding the ground improvement method by grouting, which is one of the measures against cavitation, the methods for maintenance and management after the employment of grouting have not actually been established due to the difficulty involved in the presumption of cavitation around sluices and conduit pipes. The prediction of cavitation around sluice was therefore attempted by conducting material research, visual inspections and communicating tests.

As a result, it was found that cavitation could be predicted by investigating deformation around sluices, although it was difficult to predict cavitation around sluices after the employment of grouting with the use of existing data only.

《Keywords:sluice; visual inspection; communicating test; cavity; Consolidation Settlement》

1. はじめに

河川堤防を通過する樋管・樋門は、それ自身が堤防の機能を果たしているものである。平成11年度より、樋門・樋管の基礎は柔構造基礎が採用されているが、これ以前に建設されたものは、杭で函体を支持している形式である。周辺地盤が軟弱である場合には、時間の経過とともに、樋門・樋管は、施工時の計画高さのままであるのに対し、周辺地盤は沈下し、樋門・樋管の周辺に空洞が生じる例が少なくない。この空洞は、水みちとなり、洪水時には破堤を引き起こし、大きな災害を発生する要因になる。

これに対し、北海道開発局では、漏水対策工設計施工指針（案）¹⁾にしたがい、資料調査、現地踏査を行い、状況に応じた対策を実施している。さらに、対策を講じた箇所に関しては、管理方法が記載されている。また、最近北海道河川防災研究センターから発刊された「河川堤防の漏水対策技術²⁾」でも詳細な方法が提案されている。しかし、構造物周辺の空洞対策であるグラウト工に関しては、いずれの資料にも事後の管理方法が明記されていない。

そこで、グラウト対策後の樋門・樋管周辺の空洞の有無を推定することを目的として、資料調査、外観調査、空洞調査、漏水調査を行った。

2. 調査内容

各調査の対象は、石狩川水系の堤防を横断する樋門・樋管である。これらに対して以下の調査を行った。

(1) 資料調査

資料調査は、グラウト対策を実施した樋門・樋管より任意に96箇所を選定し、石狩川開発建設部所有の河川カルテ、調査報告書などから、樋門・樋管の形状、杭形式、建設年次、グラウト実施年次、堤体および基盤土質などの基本的な値を拾い上げ整理した。

(2) 外観調査

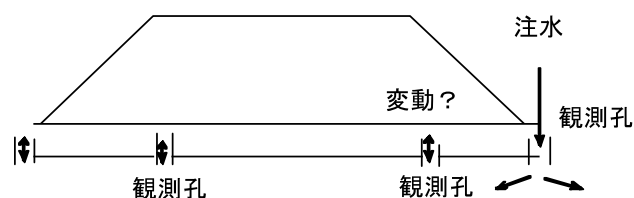
資料調査を実施したほとんどの樋門・樋管について函体の変状、これらに付随する門柱・護岸などの変状、堤防のゆるみなどについて、現地で肉眼で観察し、必要に応じて測量を実施した。

(3) 空洞調査、漏水調査

資料調査、外観調査を実施した樋門・樋管より、地盤条件、変状の程度などを勘案し、函中の水位や函内の高さなど実際に人が入って作業できる樋門を28箇所選定した。これらについて、観測孔を掘削し、空洞の

有無および大きさを測定し、これらの空洞に連通性が有ると思われる場合、連通試験を実施して漏水の状態を確認した。

なお、連通試験は、図－1に示すように、堤防の横断方向に4、5箇所、直径5 cm程度の水位観測孔を設置する。次に、観測孔の1孔に注水し、この時の他孔の水位の変化を求める。注水する孔を順次移して同



図－1 連通試験

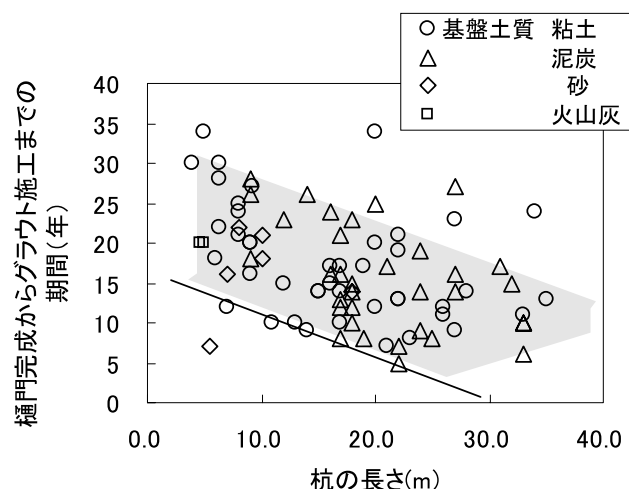
様な測定を行い、水位の上昇量や注水量の違いから、構造物周辺の空洞範囲を推定するものである。

3. 結果と考察

3. 1 資料調査

同じ圧密沈下特性を示す地盤であれば、軟弱地盤が厚いほど時間経過による圧密沈下量が大きくなる。樋門・樋管の杭の長さは、支持層までの厚さを示しており、杭の長さが大きいほど函体周辺に空洞が存在する可能性が高いと考えた。資料調査では、軟弱地盤の厚さが明確でない場合もあったので、軟弱地盤の厚さを杭の長さとはほぼ同じと仮定して、杭の長さと樋門完成からグラウト施工までの期間との関係を求めた。この関係を図－2に示す。

全体の傾向として杭が長くなると樋門完成からグラ



図－2 杭の長さと樋門完成からグラウトまでの期間

ウト施工までの時間は短くなっていく。基盤土質による違いはなく、軟弱地盤の厚さが樋門・樋管下の空洞の発生に関係しているといえる。この図から、樋門・樋管完成からグラウト施工までの期間は、10m 程度の杭の長さでは1箇所を除き10年以上、それ以上の杭の長さでは5年以上経過後となっている。これらの期間を過ぎると空洞化が発生している可能性があるの
で、詳細な調査を行う必要がある。

3. 2 樋門周辺の空洞

漏水調査を実施した樋門は、表－1 に示す28箇所である。樋門完成年、グラウト施工年、基盤土質、杭の長さなどの条件が異なっている樋門である。これらの樋門について資料整理および外観調査を実施し、空洞化の推定を試みた。

(1) 既往の空洞化判定方法と空洞

樋門周辺の空洞化判定方法はいくつか紹介されているが、これらはグラウト対策前の樋門を対象としたもので、現在のところグラウト対策後の樋門を対象とし

た空洞の有無を推定する方法は提案されていない。そこで既往の判定方法の一つである河川局が提案している「応急対策事業調査点検判定基準³⁾」により、空洞有無の判定を行い、実際の空洞調査および漏水調査結果と比較した。この判定方法は、堤防構造物周辺の不等沈下に起因する構造物や堤体の変状により、判断するもので、a.杭基礎形式、b.災害履歴、c.堤体、樋門、その周辺構造物の損傷度の3項目により、対策実施、調査実施、対策不要かを判断するものである。

実際の空洞調査では、連通試験の結果により空洞の状態を4つに分類した。すなわち、観測孔設置時に空洞がみられず周辺地盤とのつながりがなかった場合は「空洞無し」、観測孔設置時にいくつかの空洞があったが、連通試験の結果、空洞間につながりがみられなかった場合を「部分的な空洞有り」とした。また、連通試験の結果、観測孔周辺のいくつかの空洞はつながっていてもすべての空洞がつながっていない場合を「一部連通性有り」とした。ただし、一部連通性有りの中には、目視では空洞が観測されなかったが、連通

表－1 漏水調査を実施した樋門

樋門・樋管 No.	完成 年次	グラウト 実施年	樋門寸法				基礎 地盤	堤体	堤防 勾配	基礎 形式	杭長 (m)	軟弱層厚 (m)
			幅(m)	縦(m)	長(m)	連						
1	1988	1997	1.2	1.5	25.0	1	火山灰	粘性土	2	PC	14.0	7.0
2	1958	1980 1990	2.0	2.0	48.0	1	シルト	砂質土	2	杭	?	9m以上
3	1972	1985 1992	1.5	2.0	50.0	1	シルト	砂質土	2	PC	12.0	6.0
4	1983	1996	1.5	1.5	38.0	1	シルト	砂質土	2	鋼管	31.0	27.5
5	1971	1985	1.2	1.2	42.5	1	シルト	砂質土	2	PC	18.0	13.0
6	1987	1995	1.2	1.5	42.0	1	シルト	砂質土	2.5	PC	19.0	16.0
7	1985	1994	1.2	1.5	43.0	1	シルト	粘性土	2	鋼管	22.0	16.3
8	1987	1997	1.2	1.5	44.0	1	シルト	粘性土	2	PC	13.0	11.0
9	1983	1994	1.5	1.5	40.0	1	シルト	粘性土	2	鋼管	33.0	24.5
10	1971	1992	2.0	1.5	37.0	1	シルト	粘性土	2	PC	17.0	15.0
11	1987	1995	2.0	2.5	48.0	1	シルト	粘性土	2.5	PC	25.0	6.5
12	1988	1989	2.0	2.0	39.0	1	シルト	粘性土	2	PC	20.0	17.0
13	1988	1996	1.2	1.5	43.5	1	シルト	粘性土	2	鋼管	20.0	18.0
14	1993	?	1.2	1.5	27.0	1	砂	砂質土	2	直接基礎	—	3.0
15	1987	1997	1.5	1.5	41.0	1	砂	粘性土	2	PC	11.0	5.5
16	1967	1985	1.2	1.2	15.0	1	砂質土	粘性土	2	杭	10.0	
17	1983	1994	1.5	2.0	26.0	1	泥炭	砂質土	2	鋼管	18.0	?
18	1976	1986	1.2	1.2	53.0	1	泥炭	砂	2.5	鋼管	33.0	15.0
19	1975	1985	1.8	2.0	31.0	1	泥炭	粘土	2	鋼管	32.0	20m以上
20	1967	1988	1.5	2.0	40.0	1	粘性土	砂質土	3	鋼管	22.0	
21	1963	1981	2.0	2.5	30.0	1	粘性土	砂質土	2	RC	7.0	?
22	1964	1985	2.0	2.5	34.0	1	粘性土	砂質土	2	RC	8.0	7.0
23	1969	1985	1.5	2.0	32.1	1	粘土	砂質土	2	鋼管	27.0	13.0
24	1964	?	0.6		31.7	1	粘性土	砂	2	RC	?	5.0
25	1984	1989	1.2	1.5	36.0	1	粘性土	粘性土	2	鋼管	22.0	12.5
26	1964	1986	2.2	3.0	22.0	1	粘性土	粘性土	2	木	6.4	?
27	1987	1997	1.5	1.5	40.0	1	粘性土	粘性土	2	PC	17.0	?
28	1983	1997	2.0	2.0	47.0	2	粘土と砂	粘性土	2.5	PC	33.0	13.0

試験では周辺地盤とのつながりがみられたものも含まれている。さらに、連通試験の結果すべての空洞がつながっている場合を「全体に連通性有り」とした。「空洞無し」、「部分的な空洞有り」、「一部連通性有り」、「全体に連通性有り」の順に空洞は大きくなり洪水時に問題となる可能性が高くなる。

なお、この調査で「全体に連通性有り」、「一部連通性有り」と判断された樋門であっても止水板がよく機能しており、堤外地から堤内地へと河川水が通り抜けている樋門はなかった。

河川局提案の方法により推定した空洞化の判定と実際の空洞状態を図-3に示す。対策を実施する必要があると判断された樋門のうち2/3は、連通性の有る樋門である。また、調査を実施すると判断された樋門は、空洞が有る樋門と判断され、この判定法に従えば、おおむね樋門の空洞が推定できる。しかし、対策実施の必要があると判断された樋門のうち1箇所の樋門で空洞が無く、この判定法は若干安全側であるといえる。

そこで、資料調査、外観調査からの空洞の有無を推定することとした。

(2) 資料調査と空洞

グラウト対策を実施した樋門であっても、対策後も地盤の圧密沈下が継続し、さらに空洞化が進むことが考えられる。そこで、グラウト対策後から今回の調査までの時間経過により空洞化が進んでいるかどうか調べた。図-4は、この関係を杭の長さごとに示したものである。グラウト対策から調査までの時間が短くても一部連通性が有る場合や、グラウト対策からの時間が長くても部分的な空洞である場合もあり、グラウト対策からの時間と空洞の状態には明確な関係はないといえる。一般的には、杭が長ければ軟弱地盤の圧密沈下量が大きくなり、空洞化が促進されると考えられるが、今回調査した箇所では、杭が長くても部分的な空洞である場合や杭が短くても一部連通性の有る場合もあり、杭の長さやグラウト対策からの時間経過と空洞の状態には関係が見られない。すなわち、いったんグラウト対策を実施した場合には、資料調査のみでは、空洞の状態を把握することはできないといえる。そこで、外観調査の結果と空洞の関係を調べた。

(3) 外観調査と空洞

函体の外観上の変状、堤防の変状と空洞の状態を比較した。参考として樋門の全体構造は図-5のとおりである。

図-6、図-7、図-8、図-9は、函体および堤防の変状と空洞状態を示したものである。

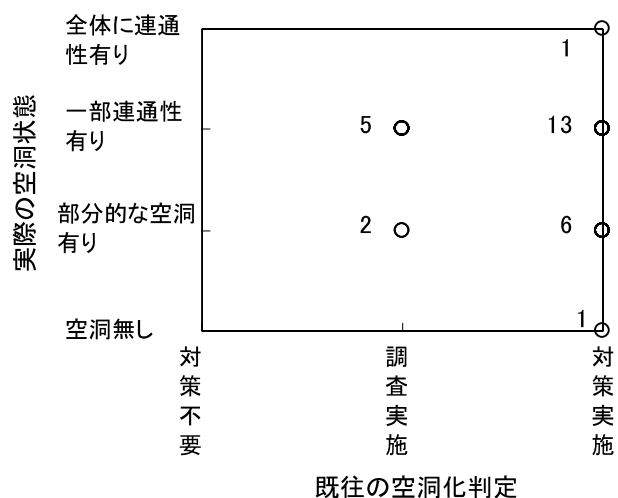


図-3 既往の空洞化判定と実際の空洞状況

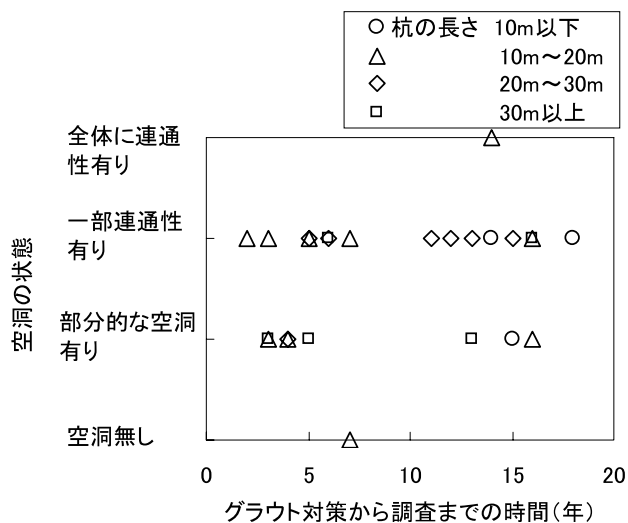
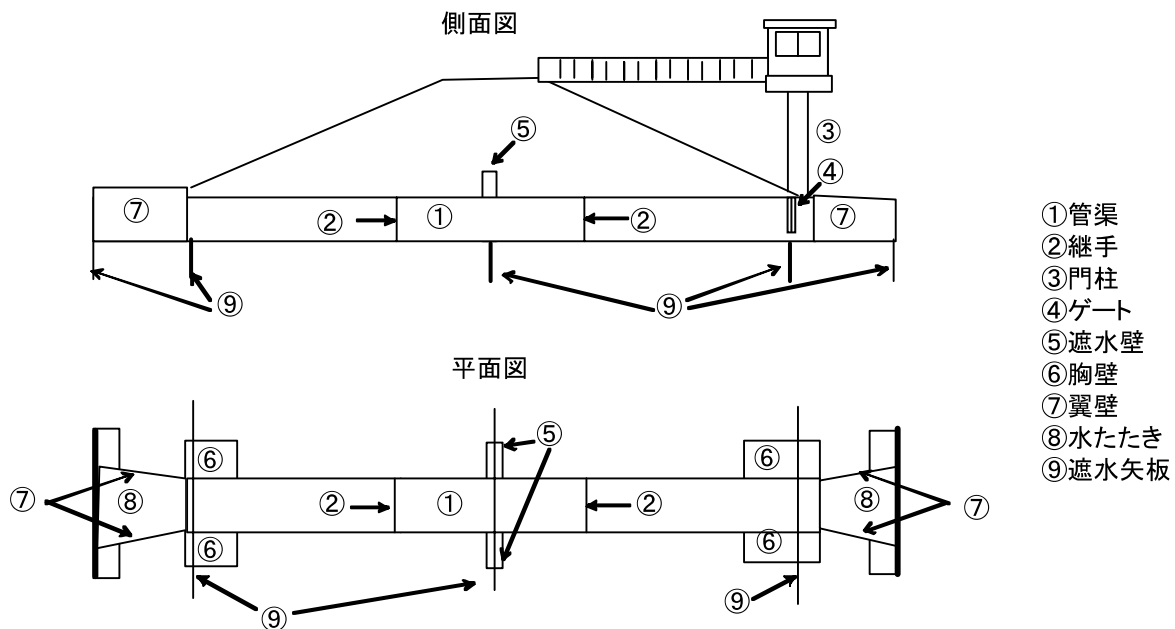


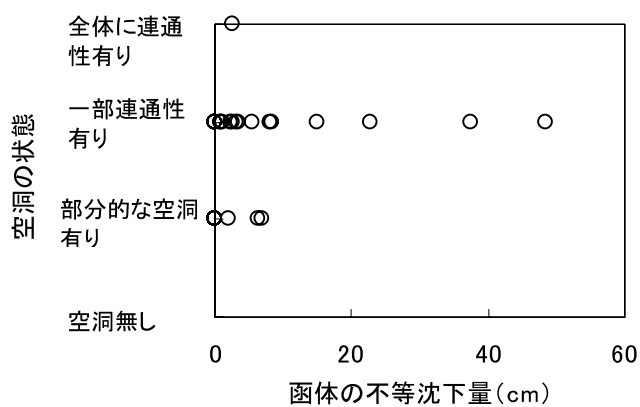
図-4 グラウト対策後の経過時間と空洞の状態

図-6は、函体の縦断、横断方向で最も大きな不等沈下量と空洞の状態を示したものである。函体の不等沈下量が少なくても、空洞が連通している場合もあるが、函体の不等沈下量が、10cmを超えると、一部連通している空洞が存在している。このことから、函体の不等沈下量が空洞の有無を推定する方法の1つとなりうる。

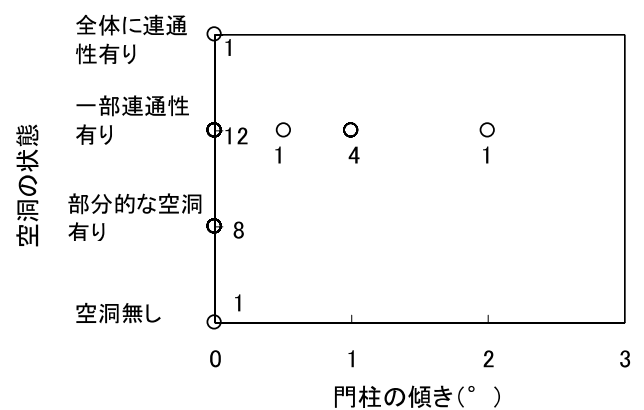
図-7は、函体に接続している施設である門柱の傾きと空洞の状態を示したものである。門柱が傾いていなくても一部連通している空洞が存在する場合もあるが、門柱に傾きがある場合には一部連通している空洞が必ず存在しており、注意が必要である。



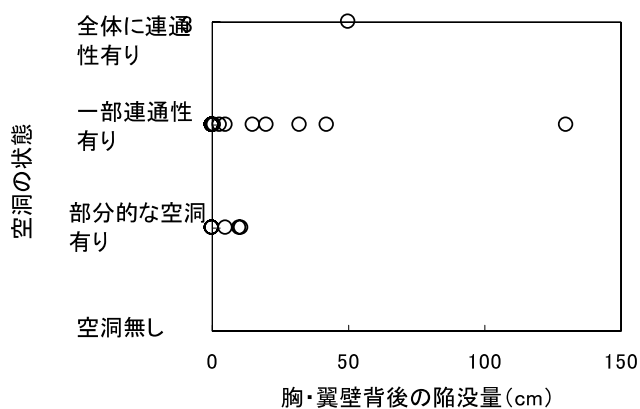
図－5 樋門の全体構造



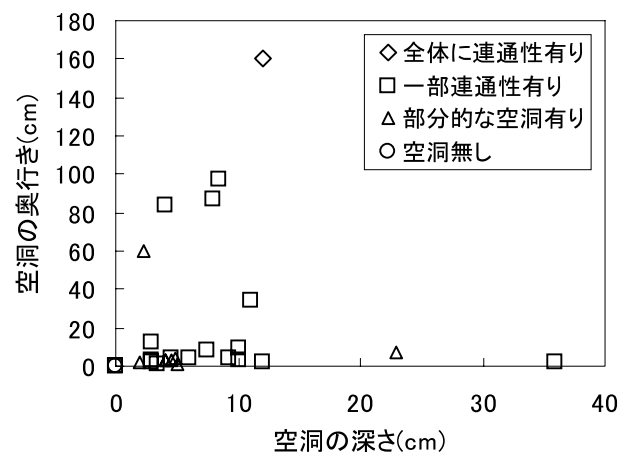
図－6 函体の不等沈下量と空洞の状態



図－7 門柱の傾きと空洞の状態



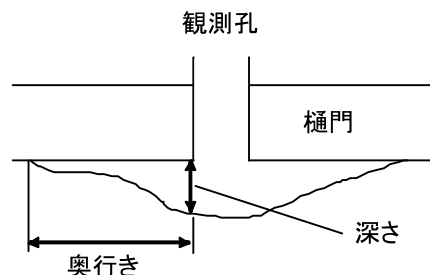
図－8 胸・翼壁背後の陥没量と空洞の状態



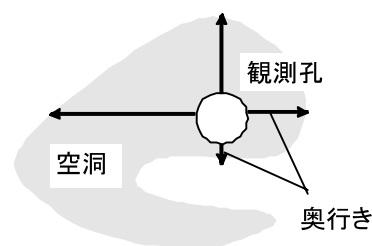
図－9 樋門下の空洞の大きさと空洞のつながり程度

図－8は、胸・翼壁背後の陥没量と空洞の状態を示したものである。胸・翼壁背後の陥没量が、20cm を超える周辺地盤と連通性がある。

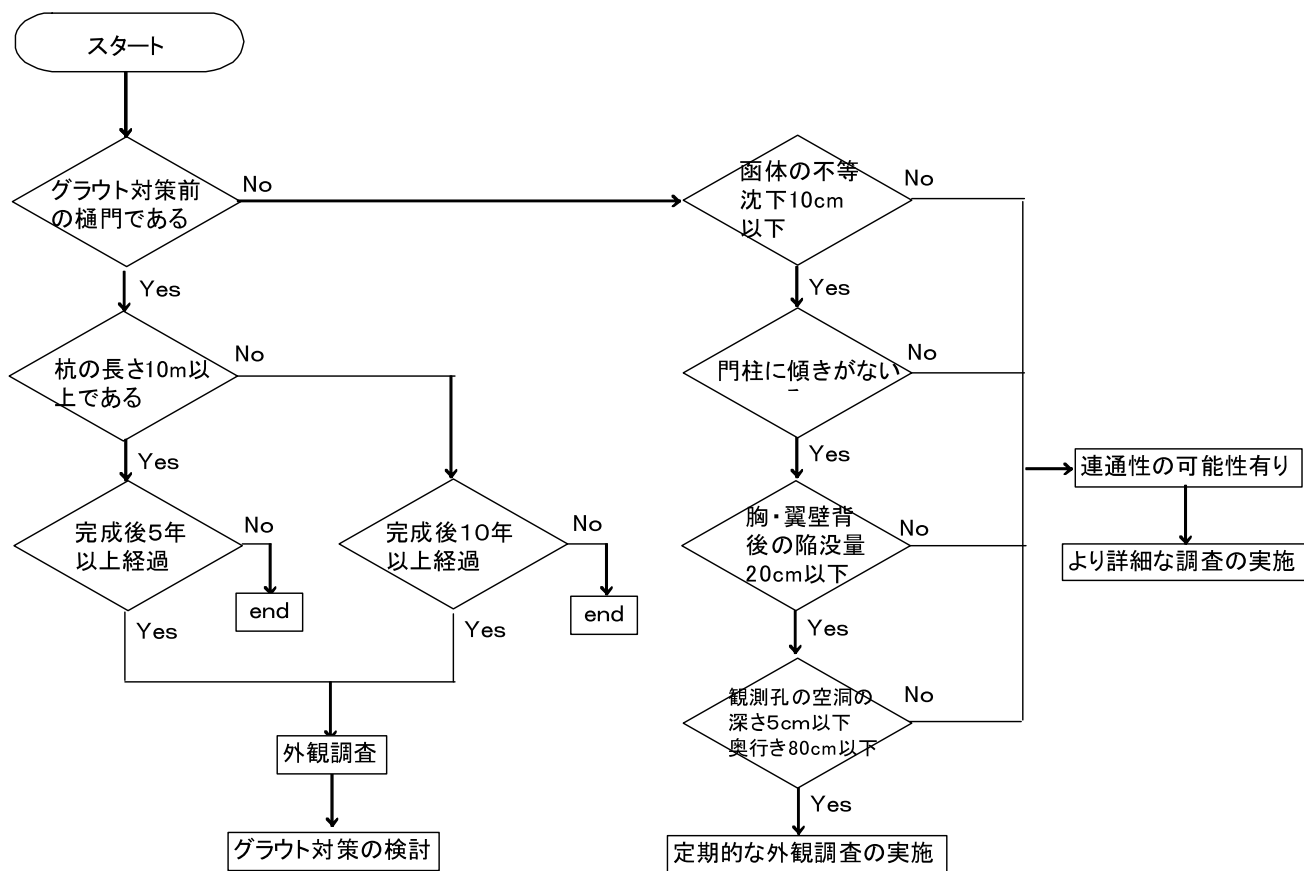
図－9は、樋門の漏水調査のために実施した調査孔周辺の空洞の大きさと漏水調査結果を示したものである。空洞の深さが、5 cm 以上、または空洞の奥行きが80cm を越えると連通性の有る空洞が存在している。なお、空洞の大きさは深さと奥行きで表しているが、図－10に示すように、空洞の深さとは、樋門の底版に対して垂直方向の長さであり、空洞の奥行きとは、底版と水平方向の長さである。また、空洞の大きさは1つの観測孔で樋門の縦断、横断の4方向をメジャーを使用して測定したので、直線の長さで示されている。このため、図－11に示すように湾曲した空洞では、実際の長さよりも短く測定される場合があるので注意が必要である。



図－10 空洞の深さと奥行き



図－11 空洞の大きさ



図－12 グラウト対策の調査フロー

4. 樋門・樋管周辺の空洞の推定

樋門・樋管周辺の空洞の推定について、これまでの検討の結果を図-12のフローにまとめた。グラウト対策前の樋門・樋管であれば、杭の長さにより外観調査の実施時期が決まる。この時期に行った外観調査の結果より、既往の空洞化判断基準方法で第1回目のグラウト対策に関する判断を行う。グラウト対策を実施した樋門・樋管では、樋門の形状や杭の長さ、基盤土質などの既往の資料だけでは、構造物周辺の空洞の有無を推定することは困難である。また、堤防周辺の変状は、逐次補修されることが多いため、樋門・樋管周辺に発生する空洞を外観の様子から判断することは、容易なことではない。しかし、定期的な外観調査を実施し、フローに示す項目についてチェックを行い、空洞の存在の可能性を早めに推定し、対策を実施することが必要である。

5. まとめ

今回の堤防の樋門に関する調査により、グラウト対策後の樋門周辺における空洞の有無を推定する方法について、資料調査、外観調査、空洞調査等に基づき考察した結果、以下のことがわかった。

- ①グラウト対策後の樋門周辺の空洞の有無を推定する方法として、樋門周辺の不等沈下や堤体の変状などを考慮した既往の判定方法を適応すると、おおむね、空洞の有無を推定できるが、若干安全側の判定となる。
- ②連通試験は、目視の状態では観測できない空洞が存

在しても、試験を実施することにより、周辺地盤との連通性を判断できるので有効な方法である。

③樋門周辺の空洞が連通しているか否かは、堤体、護岸の変状よりは、樋門そのものの変状が大きく影響しており、特に、樋門の不等沈下、門柱の傾き、胸・翼壁の陥没量、実際の空洞の大きさが関係する。

④グラウト対策後の樋門周辺の連通性を推定する方法として「グラウト対策の調査フロー」を提案した。

6. おわりに

今回の検討により、外観の状況から、空洞の可能性となりうる項目をいくつか提示することができた。今現在、樋門・樋管は柔構造樋門となり、杭基礎形式の樋門・樋管が新たに設置されることはない。しかし、杭基礎形式の樋門・樋管については、堤防の安全を守るための維持管理を行っていかねばならず、その際、この小文がその一助となれば幸いである。

最後になりましたが、今回の検討に対して樋門・樋管に関する資料を提供していただきました北海道開発局石狩川開発建設部維持課のみなさまに対し、心から感謝を表します。

参考文献

- 1) 北海道開発局：漏水対策工設計施工指針（案）、1984年1月
- 2) 北海道河川防災研究センター：河川堤防の漏水対策技術、2003年6月
- 3) 河川局：応急対策事業調査点検判定基準、1993



佐藤 厚子*
Atsuko SATO

北海道開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
主任研究員



西本 聡**
Satoshi NISHIMOTO

北海道開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
室長