

既設砂防堰堤砂礫層の堤体基礎としての一考察

住鉦コンサルタント(株) ○北健二・佐渡耕一郎

1. はじめに

砂礫層を基礎とし、堤高が15m以上と堤体規模の大きな既設砂防堰堤の補強対策の検討を行った。砂礫層は、強度や浸透水に対する抵抗性など堤体基礎としての特性が岩盤に比べて劣っている。それらの砂礫層基礎について、その性状把握を目的とせず地質・土質調査を行い、堤体基礎としての評価を行った上で、補強対策の検討を行った。

そのうち浸透水に関わる課題についての検討を行った事例を報告する。

A堰堤(堤高22m)の場合、調査の結果、砂礫層は層厚18m程度で分布し、その透水性は 1.3×10^{-1} cm/sの透水係数と想定された。U堰堤(堤高16m)の場合には砂礫層の層厚は約2m、透水係数は 9×10^{-4} cm/sと想定された。

2. 基礎処理と止水効果、揚圧力の大きさについて

砂防堰堤等の設計技術基準類において、「適切な基礎処理を行った場合の揚圧力の分布」としての揚圧力係数の値が提示されている^{1), 2)}。

他方、砂礫層や軟岩あるいは亀裂の多い岩盤を堤体基礎とする場合には、一般にまず、揚圧力の低減とパイピングに対する抵抗性の向上とを目的として、基礎の止水性の改善のため、止水処理工が検討される。止水処理を目的とした代表的な基礎処理の方法として、カーテングラウチングが挙げられるが、堤体基礎に対しては耐久性の観点から、唯一、セメントグラウチングが採用される^{3), 4)}。

しかし、セメントグラウチングはその浸透性に起因して、砂礫や軟岩の基礎の場合には、所要の改良効果(カーテングラウチングの一般的な改良目標 $1 \sim 10$ ルジオン $\equiv 1 \times 10^{-5} \sim 10 \times 10^{-5}$ cm/sの透水係数)が容易には得難いことも少なくない^{5), 6)}。

堤体基礎の砂礫層へのセメント注入(狭義の「注入」、すなわち土粒子間空隙への浸透注入)の適用性について次のように検討した。

セメントなどの懸濁液型グラウトの浸透性は、次式で求まるグラウタピリティ比(GR)が適用性判定の目安となる^{4), 7)};

$$GR = D15 / G85 < 11 : \text{浸透不可}, \quad GR = D15 / G85 > 15 \sim 25 : \text{浸透可能}$$

(D15: 対象地盤材料の15%粒径、G85: 注入材の85%粒径)

A堰堤基礎の砂礫層の場合、調査結果から $D15=160 \sim 330 \mu\text{m}$ であった。一般にセメント注入材料として使用される普通ポルトランドセメントの粒径は $G85=45 \mu\text{m}$ 、また、現在もっとも粒径の小さな注入用セメントの超微粒子セメントでは、その粒径は $G85=6 \mu\text{m}$ である⁸⁾。普通セメントの場合には $GR=4 \sim 7$ で浸透不可、超微粒子セメントの場合には $GR=27 \sim 55$ と浸透可と期待できる。

しかし、調査結果より当砂礫層の細粒分は6~13%程度であった。他方、ダムサイトのシラスやマサ地盤に対するセメントグラウチングに関する検討実績から、細粒分を5%程度以上含む堤体基礎においては、超微粒子セメントであってもその浸透注入は極めて困難である⁶⁾など。したがって、当堰堤の砂礫層基礎については超微粒子セメントによっても、十分な注入効果が得られるのかどうか懸念された。

U堰堤の砂礫層基礎については細粒分含有率が22%と多く、また、 $D15 < 1 \mu\text{m}$ であり、したがって超微粒子セメントであってもグラウタピリティ比は $GR < 0.2$ と極小のため浸透注入による改良はほぼ不可能であると判断された。

このような特性を持つこれら砂礫層基礎上の既設砂防堰堤の補強検討において、グラウチングによる基礎の止水処理によって達成可能な改良値、その結果として得られるパイピングに対する抵抗性、さらに設計荷重として設定すべき妥当な揚圧力の大きさについて、浸透流解析などを基に考察を行った。

3. 砂礫層基礎の浸透流速や揚圧力についての考察

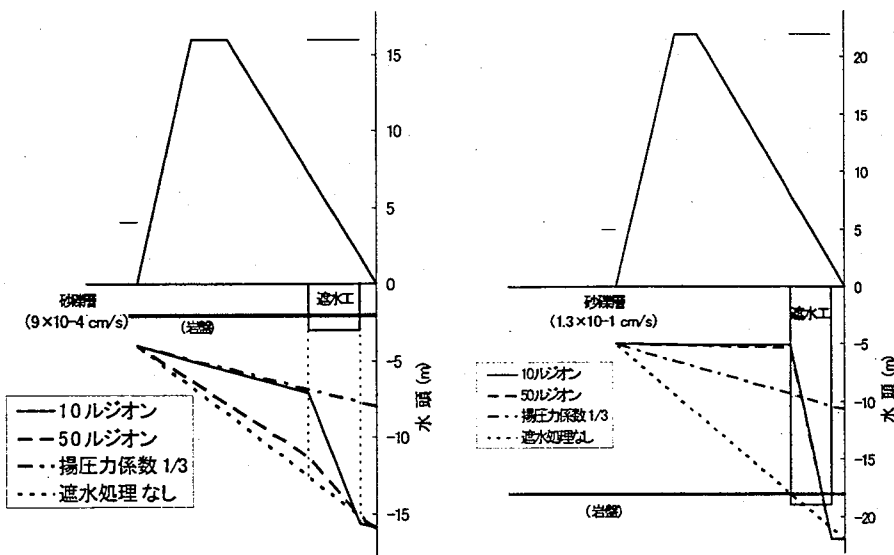
地質調査結果データから把握された基礎砂礫層の分布及びその力学的特性(透水性)を基に、2次元FEM及び1次元浸透流解析を行い、遮水工の有無、その位置や幅などの諸元、およびその改良効果すなわち遮水工により得られる遮水性の大きさ、などによる堤体基礎の浸透特性への影響を分析・評価した。

U堰堤及びA堰堤を対象とした解析の結果から、遮水工の止水性の大きさの違いによる堤底に作用する揚圧力の分布の変化を図に示す。これらの図には、比較のため、遮水処理を行わない場合すなわち揚圧力係数を1とした場合、及び前述のような揚圧力係数を1/3とした場合の揚圧力の分布も合わせて示した。

さらに、これら解析結果に基づく基礎砂礫層内の浸透流速について、砂礫層の有効空隙率を20%として算定した砂礫層の間隙内流速を、また、堤底に作用する全揚圧力の大きさについても、遮水効果の大きさと比較して表に示す。

A 堰堤の砂礫層基礎については 1.3×10^{-1} cm/s と大きな透水性のため、遮水処理を行わない場合、その間隙内流速は 0.65cm/s であり、10 μ m 径の粒子に対する Justin の限界流速 1.02 cm/s の 1/1.6 とパイピングに対する抵抗性が小さい。また、遮水工の下流側では、地山の透水性が高いため揚圧力は小さい。さらに、50 ルジオン程度の改良値であっても 10 ルジオンの遮水効果に比べてほとんど差は認められない。

U 堰堤の砂礫層ではその透水性が 9×10^{-4} cm/s と小さいため、遮水処理を行わなくても浸透流速は限界流速に比べて十分小さくパイピングに対しては安全である。しかし、50 ルジオン程度の遮水改良効果では遮水処理を行わない場合と比べて揚圧力の低減はほとんど期待できない。U 堰堤基礎の場合、解析結果からは、上流側の狭い遮水幅での 10 ルジオン程度の改良効果が得られれば、揚圧力係数 1/3 に相当する揚圧力低減効果が期待される。しかし、前述のように、このような透水性の小さな地山砂礫層に対するグラウチングによる改良効果は期待できない。したがって、U 堰堤のような基礎処理を行わないことを前提とした設計での対応の検討を行う必要がある。



(U 堰堤) (A 堰堤)
(図) 遮水工止水性の大きさと揚圧力の分布

(表) 全揚圧力の大きさ及び浸透流速

堰堤名、砂礫層の透水性 (cm/s)	カーテングラウチングによる改良値 ($\times 10^{-4}$ cm/s)	全堤底幅に作用する揚圧力(「遮水処理なし」に対する比)	砂礫層の間隙内流速 ※ (cm/s)
U 堰堤 9×10^{-4}	1 (約 10 ルジオン)	0.76	0.0014 (安全)
	5 (約 50 ルジオン)	0.94	0.0033 (安全)
	揚圧力係数 1/3 の場合	0.60	
	遮水処理なしの場合	1.00	0.0039 (安全)
A 堰堤 1.3×10^{-1}	1 (約 10 ルジオン)	0.56	0.0028 (安全)
	5 (約 50 ルジオン)	0.57	0.0139 (安全)
	揚圧力係数 1/3 の場合	0.58	
	遮水処理なしの場合	1.00	0.65 (危険)

※有効空隙率 20%。Justin の限界流速は、粒径 10 μ m に対し 1.02 cm/s¹⁰⁾

4. 結論

- ① 砂礫層の堰堤基礎に対しては、セメントグラウチングによる止水性の改良が困難な場合もある。
- ② このような場合、揚圧力係数 $\mu = 1/3$ とする分布に比べて、より大きな揚圧力の分布となる可能性もある。
- ③ 浸透流解析などに基づき合理的な揚圧力の設定が可能である。
- ④ また、浸透流解析により算定される流速に基づき、パイピングに対する安全性の見積もりも可能である。
- ⑤ 地質・土質調査に基づき基礎の性状や特性の把握を行った上で、テストグラウチング実施の必要性なども含め、基礎処理工の適用性についての検討が重要である。

(参考文献) ;

- 1) 改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説(平成 9 年 10 月)、設計編〔Ⅱ〕pp.5 ~ 6, 8、設計編〔Ⅰ〕pp.163 ~ 164
- 2) 第 2 次改訂 ダム設計基準、(社)日本大ダム会議、1978 年
- 3) 太田：薬液注入工法、基礎工、Vol.24 (1996 年) No.7
- 4) 千田・塚田：講座/軟弱地盤改良工法—薬液注入工法—、土木技術資料 26-10、1984 年
- 5) 柴田：軟岩の透水性と止水設計法に関する研究、土木研究所報告第 153 号、1980 年
- 6) Takebayashi, Takahi, Yokotsuka, Horiya, Kita : DRY GROUTING METHOD AND TESTS FOR PRACTICAL USE, ICOLD (国際大ダム会議)、1991、C.5
同上日本語抄訳;「ドライグラウチング工法とその実用化試験」、大ダム No.139、1992 年
- 7) 樋口：注入工法、コンクリートブック No.19、(社)セメント協会、1971 年
- 8) グラウチング技術指針・同解説、建設省河川局開発課監修、S58 年 11 月
- 9) 同上、(財)国土技術研究センター編集、2003 年 7 月
- 10) 土質工学ハンドブック (1982)、p.1222、(社)土質工学会(地盤工学会)