

河川堤防の盤膨れ

Heaving of River Levee

増山 博之 (ますやま ひろゆき)

国土土木研究所 土質・振動チーム 交流研究員

佐々木 哲也 (ささき てつや)

国土土木研究所 土質・振動チーム 上席研究員

1. 河川堤防の盤膨れ

河川堤防の浸透現象によって生じる問題は、堤体の問題と基礎地盤の問題に大別される。一般に洪水時に発生する問題は堤体材料の不良、施工の欠陥などから堤体に起因する問題が多いのではないかと考えられがちであるが、実際に苦慮するのはむしろ基礎地盤に起因する問題である場合が多い¹⁾。

洪水時に河川水位が上昇すると、河川水が透水層内の水圧を高め、表層を膨らむように変形（盤膨れ）させ、表層の最も抵抗の小さい箇所を突き破って土粒子を含む水を噴出させる。我が国の河川の沿川では、古くから矢作川、阿賀野川、阿武隈川、長良川、淀川、吉野川^{1)~3)}などを代表に全国各地で毎年のように盤膨れが生じている。これらの被災では、地域の水防団による懸命な水防活動等によって決壊等の重大な被害に至ってはいないものの、堤内側に漏水・噴砂を発生させ、付近の住民に不安感を与えている。平成13年9月に発生した台風15号による利根川右岸堤防⁴⁾の盤膨れ被害は、江戸川右岸・利根川上流右岸の首都圏氾濫区域堤防強化対策事業が実施される契機にもなっている。また、盤膨れが破堤要因と思われる被災事例も過去には見受けられている¹⁾。

盤膨れは堤防の基礎地盤に砂礫等で構成される透水層が堆積し、透水層の上層が細粒土等による薄い不透水性の層で覆われている河川の沿川で発生しやすい。我が国の国土面積の1/2、総資産の3/4は、河川からの流出土砂によって形成された沖積層（完新統）に集中しており、河川沿川の沖積層の堆積土砂は透水性が高い。特に、旧河道は粒径の大きい砂礫や粗砂がゆるい状態で満たされていることが多く、盤膨れが生じやすくなっている。

盤膨れの発生シナリオは、河川水位の上昇に追従して進行する表-1に示すフェーズ1~4の順と考えられる。洪水によって河川水位が上昇すると、透水層内の自由水面が移動する非定常流が生じ、堤防付近の透水層内の飽和度が増加する（フェーズ1）。また、透水層内の飽和度の上昇とともに空気圧が被覆土層下面に作用することもあると考えられる。堤防付近の透水層が完全に飽和すると理論上は流速がゼロになり、河川水による水圧がすべて被覆土層下面に伝播される。平常時から地下水位の高い集水地形や、裏のり尻下に粘性土等の難透水層が分布する行止り地盤では透水層の貯留量が周辺より小さいため注意が必要である。

表-1 盤膨れの発生シナリオ（フェーズ1~4）

Phase	横断形状	被覆土層 下面の水圧	被覆土層 表面の変位
1	堤体 被覆土層 透水層 飽和度が上昇	殆どなし	なし
2	堤体 水および土粒子 被覆土層 透水層 P	河川水位に 追従し増加	殆ど 変化なし
3	堤体 水および土粒子 被覆土層 透水層 P	殆ど 変化なし	河川水位に 追従し増加
4	堤体 水および土粒子 被覆土層 透水層 P	開放	開放とともに 低減

被覆土層下面の水圧が小さい段階では、堤防付近の飽和度が高まっても被覆土層に膨れ上がりは生じない（フェーズ2）。その後、河川水位の上昇の継続、透水層の貯留量の満杯などにより被覆土層下面の水圧が増加すると、被覆土層が膨れ上がり始める（フェーズ2と3の境界）。その後は、被覆土層と透水層の間に水や土粒子が入り込み、被覆土層の変形が顕著になる（フェーズ3）。最終的には、被覆土層が破れて、圧力開放とともに漏水や噴砂が発生し、断面の欠損につながる（フェーズ4）。

2. 盤膨れに対する安全性照査

河川堤防の基礎地盤の盤膨れに対する安全性照査は、『河川堤防の構造検討の手引き』⁵⁾に基づき、堤内地盤の表層が粘性土（層厚3m未満）の箇所について行う。盤膨れに対する安全性は、図-1及び式(1)に示される被覆土層の重量と被覆土層底面に作用する揚圧力の比（荷重バランス）で照査される。

$$G/W = (\rho_t \cdot H) / (\rho_w \cdot P) > 1.0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 G ：被覆土層の重量（ kN/m^2 ），

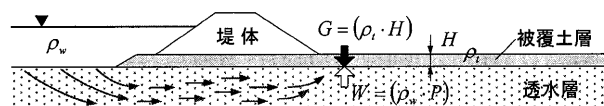
W ：被覆土層底面に作用する揚圧力（ kN/m^2 ），

H ：被覆土層の厚さ（ m ），

P ：被覆土層底面の圧力水頭（全水頭－位置水頭）（ m ）

ρ_t ：被覆土層の密度（ kN/m^3 ）， ρ_w ：水の密度

式(1)において、被覆土層底面の圧力水頭 P は飽和・不飽和・非定常の浸透流解析から得られる洪水時の圧力水頭の最大値を与える。また、掘削土留め工の仮設工事における盤膨れ照査^{6)~8)}では、掘削深さや土質構成等の現地状況に応じて、揚圧力の抑止力として、被覆土層の自



図一 河川堤防における盤膨れの安全性照査のイメージ
(浸透流解析による荷重バランス法)

重に加えて、土留め工壁面との摩擦強さや被覆土層の粘着力を見込んだ照査が行われることもある。

3. 河川堤防における盤膨れ対策

盤膨れに対する堤防強化対策として、これまでに川表側から堤体直下の基礎地盤への浸透水を抑制する対策⁵⁾が実施されている。川表側の対策工法としては、川表側の堤防のり尻付近から基礎地盤に向けて遮水矢板を打設して、地中の連続壁として浸透水の流入を軽減する川表遮水工法や、川表側の高水敷の表面を難透水性の材料に置き換えることで透水層への浸透経路長を長くして、漏水量を低減するブランケット工法¹⁾に施工実績がある。これらは、対策工の規模が所要の安全性を満足するよう、飽和・不飽和非常の浸透流解析によって水圧低減効果を確認し、設計・施工されてきたものである。

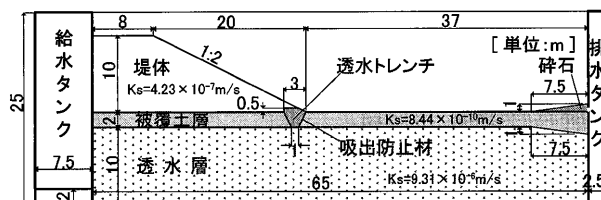
一方、アメリカ工兵隊の技術基準⁹⁾においては、盤膨れ対策として、ブランケット (Waterside Blankets) 工法、押え盛土 (Landside Berms) 工法に加えて、川裏側で基礎地盤から流出する浸透水を抜く透水トレンチ (Drainage Trench) 工法について、定常流に対しての設計例が明示されている。川裏側の対策工法としては、図一2に示す碎石による透水トレンチ工法や排水機能付き矢板工法¹⁰⁾、有孔管工法など様々なものが考えられ、土木研究所においても、実物大の模型実験や大型遠心実験 (口絵写真一4～9) などにより対策工の効果を検証しているところである^{11), 12)}。これらの対策は、河川の洪水特性や被覆土層の特性、沿川の土地利用等の現地条件に鑑み、総合的な観点から選定される必要がある。

これまでの研究から、川裏の対策工の排水能力に応じて盤膨れ抑制効果が異なる傾向が把握されている (図一3～4)。図一4からは、対策工の有無にかかわらず、被覆土層下面の水圧が19 kPa程度に到達すると勾配が緩くなることが確認される。これは、水圧が19 kPa程度 (この実験では上載荷重の1.5倍程度) に到達時にフェーズ3に入ったことを意味している。このため、洪水時に被覆土層がフェーズ3にならないように対策工の排水能力・規模を最適化することが重要と考えられる。

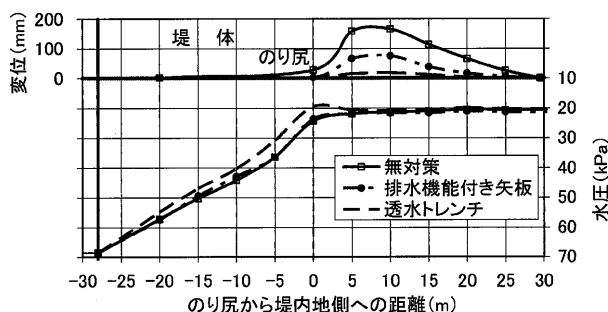
今後は、様々な条件による川裏対策工の模型実験や要素試験の実施とともに、対策工の排水能力に応じた設計法の確立が必要である。加えて、川裏対策工の実施・維持管理の段階では、堤体内水位等の現地観測¹³⁾を併せて実施し、効果を確認するとともに、データを蓄積していくことが望ましいと考える。

参考文献

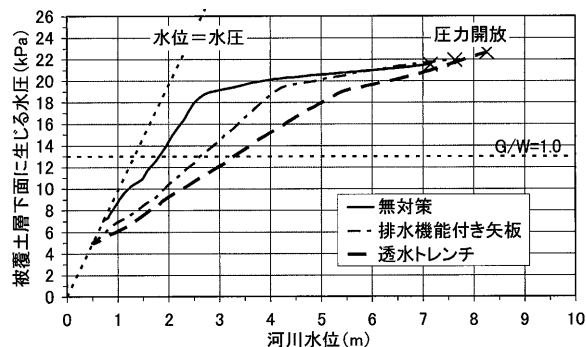
- 1) 山村和也・久楽勝行：堤防の基盤漏水に関する研究，土



図一2 遠心模型実験の横断形状 (透水トレンチ工法)¹²⁾



図一3 河川水位と被覆土層表面との内外水位差が7mの時点でののり尻からの距離と水圧・変位の関係¹²⁾



図一4 対策工の種類に応じた河川水位と水圧の関係¹²⁾

- 木研究所報告，第145号，pp. 1, 4, 18～19, 22, 6～11, 1974.
2) 建設省直轄技術研究会：堤防の漏水対策工法，1954.
3) 奥田秋夫：漏水地帯における築堤の調査，建設省直轄工事第9回技術研究会報告書，pp. 63～64, 1955.
4) 国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所ホームページ：http://www.ktr.mlit.go.jp/tonejo/
5) 財国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，pp. 65～68, pp. 71～72, 2002.
6) 財鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説一開削トンネル，pp. 208～211, 2001.
7) 財日本道路協会：道路土工一仮設構造物工指針，pp. 85～87, 1999.
8) 土質工学会：根切り工事と地下水一調査・設計から施工まで一，pp. 153～155, 1991.
9) US Army Corps of Engineers: *Design and Construction of Levees*, pp. 5～1～5～5, 2000.
10) 土木研究所共同研究報告書186号：液状化対策工法設計・施工マニュアル (案)，pp. 404～405, 1999.
11) 増山博之・齋藤由紀子・森 啓年・佐々木哲也：河川堤防の盤膨れ・揚圧力対策に関する模型実験，土木技術資料，Vol. 53, No. 7, pp. 32～37, 2011.
12) 増山博之・齋藤由紀子・石原雅規・佐々木哲也：河川堤防の盤膨れ・揚圧力対策工の水圧低減効果と耐震性能に関する遠心模型実験，第56回地盤工学シンポジウム，平成23年度論文集，pp. 29～36, 2011.
13) 土木研究所共同研究報告書377号：河川堤防における堤体内水位観測マニュアル (案)，2008.

(原稿受理 2012.1.20)