

1. はじめに

1986年8月台風10号がもたらした集中豪雨による河川堤防の被害箇所は数多かった。阿武隈川に流入する支川広瀬川（福島県伊達郡梁川町）の堤防の破堤、阿武隈川本川の梁川地区、鳩原地区、宮城県下鳴瀬川水系の1級河川吉田川でも破堤が生じその被害は大きなものであった。

本研究は現地調査で堤防の被害の程度を数通りに分類し、それを基に破堤の条件の解明を目的として行ったものである。破堤の原因として越流、浸透水、水衝部洗掘等が考えられるであろうが、ここでは主として越流による破堤を取り上げた。

2. 調査内容及び方法

調査箇所は、福島市より下流の阿武隈川とその支川、北上川の支川、吉田川を含む鳴瀬川の支川、宮城県北部の気仙沼市から東部の石巻市にかけての2級河川、宮城県南部の名取市から福島県北部の相馬市にかけての2級河川である。調査箇所総数は75ヶ所で、その内訳は表-1の通りである。

主に堤防断面、被害形態とその発生箇所、堤体の材質、越流水深、越流時間について調査を行った。その中で重要な因子である越流時間については実測が困難であったため判断することはできなかった。越流水深については間込みや周辺のゴミ等の痕跡から判断した。堤体の材質については現場におけるコーン貫入試験、天端法面被覆の状態を調査した。

コーン貫入試験の方法はコーンを先端に取り付け1 cm/sの速度で5cm貫入する。これを1つの堤防断面で数カ所行いその平均値を堤防の強度とした。

粒度試験は現場から代表的な箇所の土を採取し持ち帰って行った。

3. 堤防の被害の特徴

75調査箇所中で越流によって被害を受けた堤防のうち、42ヶ所を対象とした。無被害の堤防16ヶ所、表法は洗掘されたが堤防は残ったもの5ヶ所、裏法は洗掘されたが堤防は残ったもの8ヶ所、表法裏法共に洗掘されたが堤防は残ったもの1ヶ所、破堤に及んだもの12ヶ所である。ここで、鶴田川右岸のように、吉田川からの氾濫水が堤内側から堤防を乗り越えて表法を洗掘したものがあがるが、これは裏法洗掘とした。

洗掘の形態を分類すると図-1に示すようになる。裏法洗掘のうち天端の崩壊を伴ったものは4例でその中で2例は天端がアスファルト、1例は土のみ、1例は石の混じった土であった。特に石の混じった土は大きな崩壊を受けていた。また、表法洗掘のうち天端の崩壊を伴ったものは1例のみでこれは橋の直前で溢れた水が表法を削ったもので

表-1 被害状況と箇所数

被害状況	箇所数
越水による破堤	16
〃 表法洗掘	6
〃 裏法洗掘	8
〃 無被害	18
水衝部洗掘破堤	8
〃 洗掘	14
堤体滑り	5
計	75

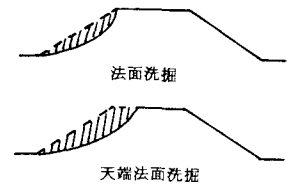


図-1 洗掘の形態

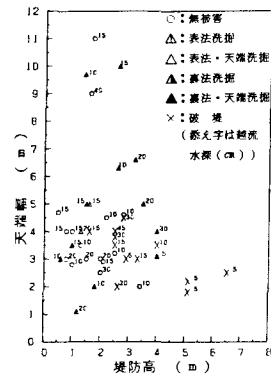


図-2 天端幅と堤防高による分類

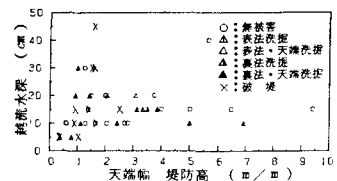


図-3 越流水深と天端幅堤防高比による分類

ある。

4. 調査結果

洗掘の程度は堤体の断面、越流水深、越流時間、被覆状態、堤体の強さ、堤体の材質に大きく影響すると思われる。調査した箇所の堤防高（裏法高）は0.5～6.5m、天端幅は1.1～11m、天端幅堤防高比は0.35～9.4の範囲であった。ここでは数通りのパラメータを用いて堤防被害の関係をみる。

図-2は、天端幅 L （m）、堤防高 H （m）、越流水深 h （cm）によって分類したものである。Hが大きいものほど破堤した例が多く、Lが大きいほど破堤しにくくなると言えよう。また、Hが1.5m以下のとき破堤した例はなかった。

図-3は、越流水深 h （cm）と天端幅堤防高比により分類したものである。hによる影響はこのグラフでは明確に表せないが、天端幅堤防高比が2.5以下のとき破堤しやすくなるのがわかる。

図-4は、堤防の強度の代表としてコーン貫入抵抗 F （kgf）を考えたものである。堤防を乗り越える水の洗掘力は天端から落下してきた流速 v の自乗に比例するとし、 $v \propto \sqrt{gH}$ と仮定する。この時、HとFの比は相対的な掃流力に対応する。図中のA線はこれより相対的掃流力大きいと堤防は破堤し、B線はこれより小さいと破堤しないという条件を与えると考えられる。

図-5は、破壊力によるパワーを取り入れたものである。堤防面上の水の厚さは越流水深 h に等しいと仮定し、単位幅当たり ρgh の水塊が流速 $v \propto \sqrt{gH}$ で移動すれば、結局 $h\sqrt{H}$ を破壊を代表するものとして選ぶことができる。これをFで除すと相対的な破壊力のパワーの様な指標が得られる。更に、草丈 l （m）が高い程水流による破壊力を和らげると考え、草が生えていない場合を0.01m、コンクリートで被覆されている場合を100mとし、相対的破壊力のパワーを縦軸に選んだ。図中A線より上では破堤し、B線より下では被害を受けたにしても破堤に至らないと考えられる。

図-6は、粒度試験の結果得られた砂（0.074～2.0mm）の割合を縦軸に選び分類したものである。図中A線より上では破堤に及ぶ例が多い。砂の増加により破堤しやすくなる傾向がある。

5. おわりに

今回の調査から、堤防高が1.5m以下では破堤せず、天端幅堤防高比が2.5以下になると破堤しやすくなることがわかった。法面に生えた草の高さは水流による洗掘作用を和らげ、堤防の被害程度を分類する上での1つの指標となると思われる。草丈のみでなく、根のはり具合や植生密度を考えるのが更に望ましいであろう。草丈やコーン貫入抵抗を使って、破堤の有無を分類出来るようである。また、堤防材料の粒度の面から見ると、砂の占める割合が多いと水の浸透を促進し間隙水圧の増加を生じ、堤防被害の程度に大きく影響していると考えられる。

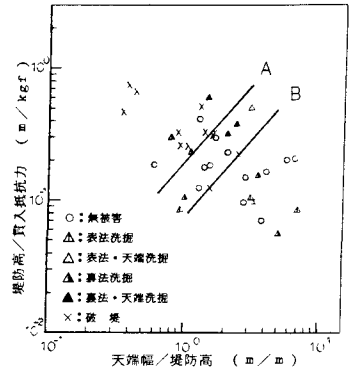


図-4 相対的掃流力と天端幅堤防高比による分類

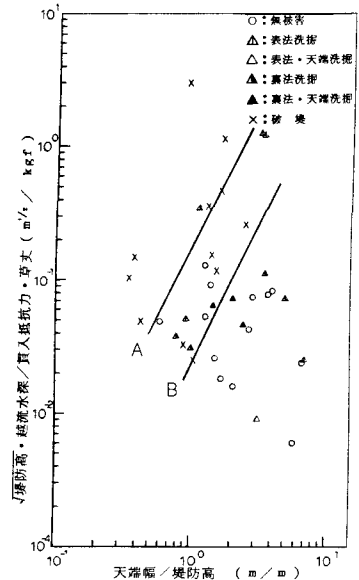


図-5 相対的破壊力パワーと天端幅堤防高比による分類

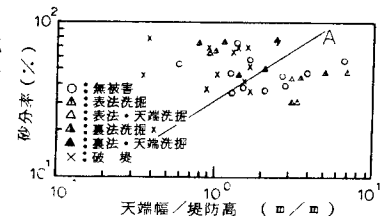


図-6 砂分率と天端幅堤防高比による分類