

# 河川堤防の洪水被害特性及び氾濫現象に関する実験研究

## INVESTIGATION ON FLOOD DAMAGE OF RIVER LEVEE AND EXPERIMENTAL STUDY ON INUNDATION CHARACTERISTICS

河川・海岸研究室 責任研究員 尹光錫

本研究では堤防崩壊事例の類型を調べると共に、堤防崩壊による堤内地氾濫の危険性について水理実験を行って推定した。また、越流による堤防崩壊を防止、遅延するための技術方策について考察した。1987年から2006年まで発生した堤防崩壊事例835件を分析したところ、約8割が越流と侵食によるものであった。また、2006年7月に南江流域で発生した堤防崩壊19件も越流によるものであった。堤防崩壊によって堤内地へ氾濫した洪水波の挙動実験を行い、河川水位が高いほど堤防崩壊時の氾濫の危険性が高まることを明らかにした。毎年増加しつつある越流崩壊への対策として越流保護工の必要性が提起されているため、本研究では、堤防裏法面の洗掘を防止する保護工について検討し、施工性、経済性、環境調和性が確保された有孔ブロックと急勾配の水路を製作して水理実験を行うことで、有孔ブロックの安定性を調べた。また、保護工の設計手法の適用性について検討した。

*Key Words:*洪水被害、河川堤防、越流崩壊、裏法面保護工、有孔ブロック

### 1. 序論

近年に入り、気象異変による洪水被害が急増している。このため、洪水被害が及ぼす影響に関する分析と対策樹立が強く求められている。気象異変に洪水の代表的な例は、2006年7月に全国各地で発生した洪水であり、河川堤防が崩壊し堤内地が浸水した。毎年繰り返される堤防崩壊は、ほとんどが越流や侵食により発生している。特に近年に入り、越流による堤防崩壊が増加する傾向にある。本研究では堤防崩壊事例の類型を調べると共に、堤防崩壊による堤内地氾濫の危険性について水理実験を行った。また、越流による堤防崩壊を防止、遅延するための技術方策について考察した。

### 2. 堤防崩壊事例類型と原因分析

#### (1) 堤防崩壊類型の分析

堤防崩壊の類型は大きく越流、侵食、堤体不安定、構造物による破壊に分けられる。1987年から2006年の堤防崩壊事例835件を原因別に分類して図-1に示した。越流と侵食による堤防崩壊が全体の約80%を占めており、約20%が堤体不安定と構造物による崩壊であった。2006年7月に全国各地で発生した堤防崩壊の類型を図-2にまとめた。越流や侵食による堤防崩壊が調査期間の平均値

より高いことが分かる。この他にも、洪水被害に関する最近の多くの調査結果から、降雨量や降雨強度が増加したことで計画規模を超える洪水発生頻度が増えていることが分かる。

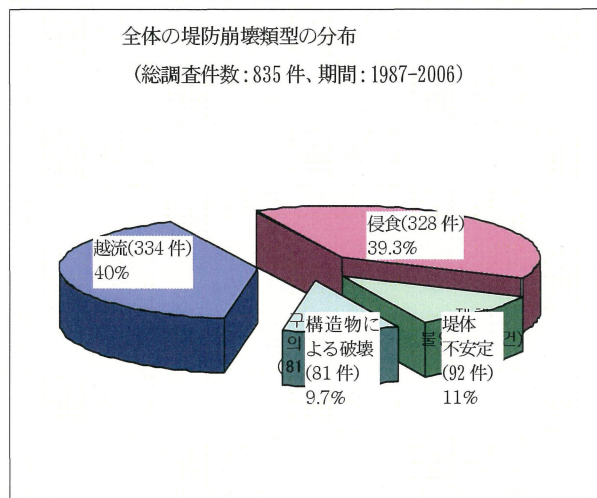


図-1 河川堤防崩壊の類型 (1987 年~2006 年)



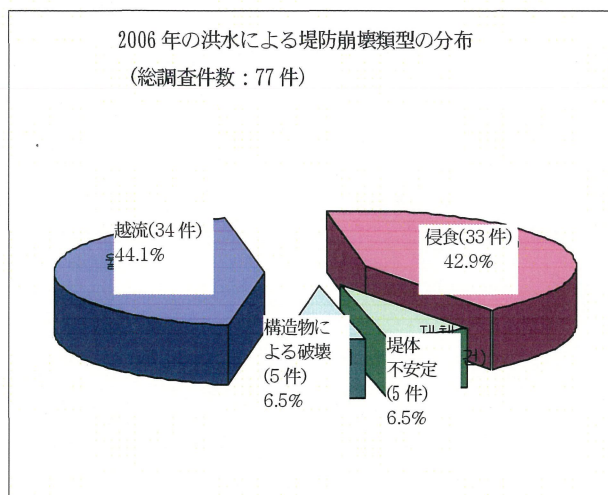


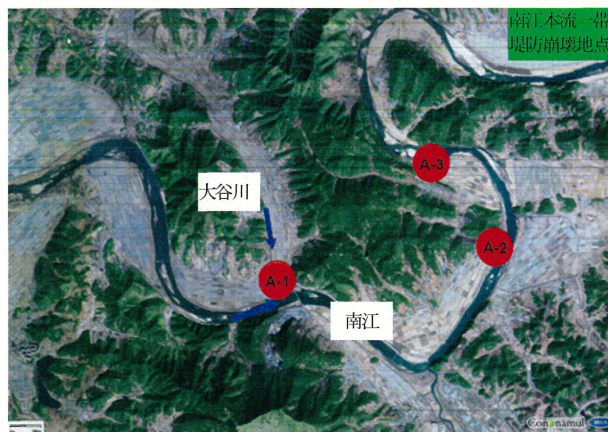
図-2 河川堤防崩壊の類型 (2006 年)

## (2) 堤防崩壊の原因分析

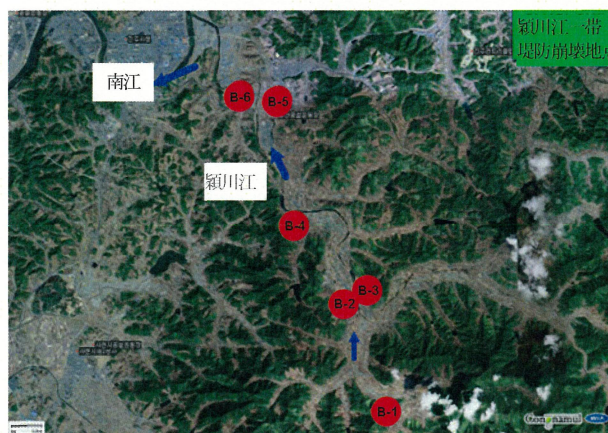
2006 年 7 月 8 日から 7 月 29 日まで、台風や集中豪雨などの影響で南江流域、安養川、安城川等で堤防崩壊が発生した。表-1 にその代表的な例をまとめた。安養川 1 ヶ所と安城川 3 ヶ所でそれぞれ漏水と侵食が原因の堤防崩壊が発生している。洛東江水系の南江流域 15 ヶ所は計画規模を超える洪水により堤防越流が発生している。1996 年・1999 年の臨津江の洪水、2002 年台風ルサ・2003 年台風マエミーによって発生した洪水当時にも越流による堤防崩壊が多く発生した。近年に入り、計画規模を超える洪水頻度が増えており、これに対する分析と対策が急がれている。本研究では、越流による堤防崩壊で大きな被害を被った南江本流・支流の大谷川・潁川江の被害事例を中心に被害の原因について分析した。南江流域の堤防崩壊地点は図-3 のとおりである。

表-1 2006 年 7 月の洪水による堤防崩壊状況

| 水系  | 河川名 | 豪雨期間           | 崩壊ヶ所 | 崩壊原因 | 備考      |
|-----|-----|----------------|------|------|---------|
| 漢 江 | 安養川 | 2006. 7. 12~18 | 1    | 漏水   | 構造物周辺   |
| 洛東江 | 南 江 | 2006. 7. 8~11  | 4    | 越流   | 計画規模超過  |
|     | 大谷川 |                | 5    |      |         |
|     | 潁川江 |                | 6    |      |         |
| 安城川 | 鳥嶺川 | 2006. 7. 27~29 | 2    | 侵食   | 余裕高区間侵食 |
|     | 月洞川 |                | 1    |      |         |
| 合 計 |     | -              | 19   | -    |         |



(a) 南江本流



(b) 潁川江流域

図-3 南江流域の堤防崩壊地点

## a) 水理・水文解析を通じた原因の分析

南江流域に洪水被害をもたらした台風イーウィニャ (Ewinia) は朝鮮半島に上陸する直前の 2006 年 7 月 9 日と 10 日に集中豪雨を降らせた。晋州市管内の約 160 ヶ所で大小の洪水被害が発生しているが、特に、晋州市大谷面と潁川江流域の文山邑、金谷面、永縣面で堤防越流・崩壊により、大きな浸水被害が発生した。図-4 は台風イーウィニャ上陸時の台風進路であり、2002 年台風ルサ・2003 年マエミーのような進路で南海岸に上陸し、東海に抜けている。

洪水被害地域の降雨を分析するため、気象庁の晋州観測所と自治体の測定資料を収集した。一般的に、降雨分析には気象庁の資料が多く使われているが、局地性豪雨の特性をも検討するため、同研究では自治体の降雨資料も分析に用いた。表-2 と表-3 は各持続時間における最大累加雨量と頻度を分析した結果である。



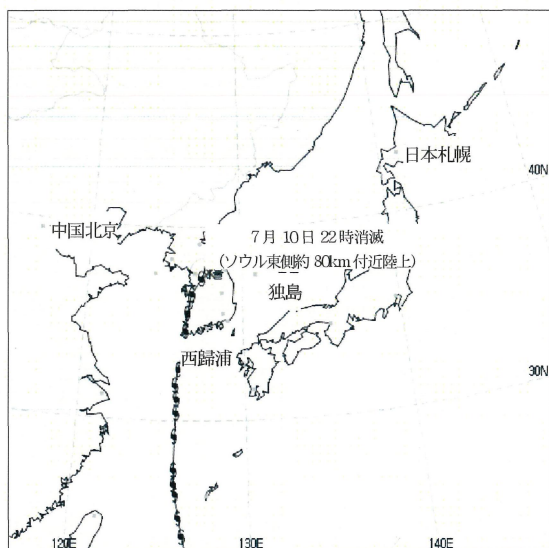


図-4 台風イーウィニャ進路(気象庁資料)

表-2 各地点における持続時間別の最大累加雨量

| 地点  | 持続時間別の最大累加雨量 (mm) |      |      |       |       |       | 備考  |
|-----|-------------------|------|------|-------|-------|-------|-----|
|     | 1 時間              | 2 時間 | 3 時間 | 6 時間  | 12 時間 | 24 時間 |     |
| 晋 州 | 43.5              | 84   | 107  | 155.5 | 203   | 203   | 気象庁 |
| 大谷面 | 51                | 85   | 120  | 169   | 221   | 222   | 自治体 |
| 文山邑 | 52                | 96   | 132  | 184   | 232   | 233   |     |
| 鎭面  | 56                | 96   | 126  | 175   | 200   | 200   |     |
| 永縣面 | 63                | 116  | 162  | 256   | 324   | 326   |     |
| 永吾面 | 56                | 99   | 142  | 222   | 271   | 272   |     |
| 介川面 | 60                | 117  | 165  | 264   | 322   | 324   |     |
| 大可面 | 46                | 92   | 121  | 195   | 251   | 252   |     |

表-3 各持続時間における確率頻度

| 地点  | 持続期間別の頻度 (年) |      |       |       |       |       | 備考  |
|-----|--------------|------|-------|-------|-------|-------|-----|
|     | 1 時間         | 2 時間 | 3 時間  | 6 時間  | 12 時間 | 24 時間 |     |
| 晋 州 | < 5          | < 10 | < 20  | < 20  | < 20  | < 10  | 気象庁 |
| 大谷面 | < 5          | < 10 | < 20  | < 20  | < 50  | < 10  | 自治体 |
| 文山邑 | < 5          | < 20 | < 50  | < 50  | < 50  | < 10  |     |
| 鎭面  | < 10         | < 20 | < 50  | < 50  | < 20  | < 10  |     |
| 永縣面 | < 10         | < 50 | < 200 | > 200 | > 200 | < 100 |     |
| 永吾面 | < 10         | < 10 | < 50  | < 200 | < 100 | < 20  |     |
| 介川面 | < 10         | < 50 | < 200 | > 200 | > 200 | < 100 |     |
| 大可面 | < 5          | < 20 | < 20  | < 100 | < 50  | < 20  |     |

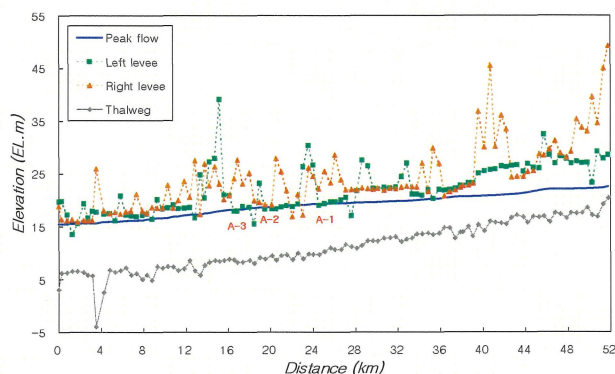
表-2 と表-3 のとおり、気象庁の晋州観測所のデータだけで分析した場合は各持続時間で 20 年頻度以下の確率頻度であることが推定できるが、自治体データまで入れて分析すると 200 年頻度を上回っており、局地的な集

中豪雨によって計画規模を超える洪水が発生していることが分かる。

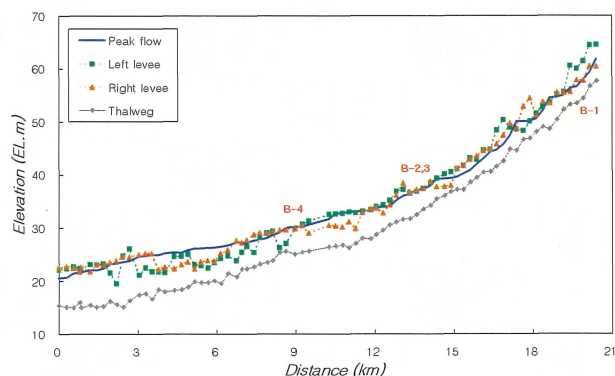
収集した降雨量を用いて南江流域の流出量とピーク洪水水位を算定した。流出量の算定においては図-5 の南江ダム流域を除いた流域を 5 つの小流域に分け、Clark 単位図を用いた。算定された流出量を入力条件とした 1 次元数値モデルを用いて洪水水位を計算した結果が図-6 と図-7 である。



図-5 南江流域の模式図



(a) 南江本流



(b) 穎川江

図-6 1次元数値解析による水位算定の結果  
図-6 のように、堤防が崩壊していないと仮定して計算

された洪水水位は、実際の堤防崩壊地点の堤防高より高かった。このことから越流によって堤防が崩壊したことを推定できる。

#### b) 洪水被害の特徴と対策

台風イーウィニャにより南江流域で7月10日に発生した洪水被害の特徴は次のとおりである。南江流域の被害のほとんどは洪水水位の上昇による堤防越流・崩壊が原因で発生しており、農耕地、ビニールハウス、住宅、道路が浸水したが、幸いに人命被害はなかった。林野地域である穎川江流域は、河道の屈曲が激しく不安定な上、左右に細長く広がる平地を農耕地として利用するために堤防が築造されている地域であった。そのため、氾濫のほとんどは、貯留池の役割をする氾濫源を農耕地に利用するため人工的に堤防を築造した部分で起こっていた。文山川では、旧河道部分で越流が発生して堤防が流失され、農耕地など文山邑の1/3が浸水した。穎川江と文山川の合流地点は地形が激しい湾曲部であるため、通水能を確保しようと河幅の拡張や堤体補強計画が策定されている中で発生した洪水被害であった。

堤防崩壊の主な原因は洪水水位の上昇による越流であるが、一部地域においては上下流水系を全体的に考慮した整備が行われておらず、河幅が相対的に狭い区間や堤防高が低い区間で越流が発生していた。

麻津堤と大谷堤は南江本流に位置しており、7月10日洪水時に南江ダム放流によって堤防が崩壊し越流被害が発生したが、当時の放流量は制限放流量  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  の半分である約  $350 \text{ m}^3/\text{s}$  に過ぎなかった。以上のことから、南江ダム下流部の洪水疎通能を見直すと共に、狭窄部の拡張、河道整備、堤体補強などの対策が必要であることが分かる。

### 3. 堤防崩壊で発生した堤内地氾濫の影響

堤防が崩壊するとダム崩壊時のような流れで洪水波が発生し堤内地に広がる。越流による堤防崩壊の場合、河川の水位がかなり高い状態で発生するため、堤内地へ氾濫する洪水波はさらに危険である。堤防が越流によって堤内地の標高まで崩壊すると仮定し、水理実験の結果を用いて越流崩壊の危険性について考察した。水理実験に使われた水槽は河道と堤内地に区分されており、河道の長さは30m、幅5m、堤内地の長さは28m、幅24mである。堤防崩壊現象をシミュレーションするために両側に開放する水門を設置した。水門の開放速度は最大  $0.18 \text{ m/s}$  である。図-7に堤内地氾濫実験施設の概要を示した。越流水深  $h_0$  を  $0.30 \sim 0.55 \text{ m}$  として実験を行った。

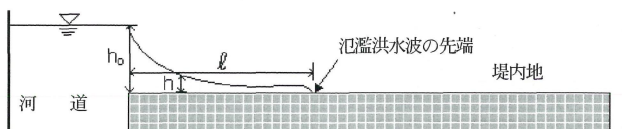


図-7 水理実験施設の概要

#### (1) 洪水波先端の移動速度

洪水波先端の移動速度を無次元時間  $T (=t(g/h_0)^{1/2})$  と無次元移動距離  $L (=l/h_0)$  の関係で表した。(図-8) 越流水深が上昇するに従って洪水波先端の移動速度も上昇している。

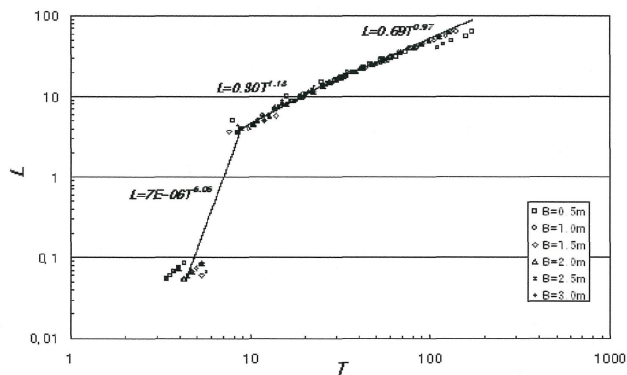


図-8 無次元時間  $T$  と無次元移動距離  $L$  の関係

#### (2) 堤内地における洪水波形の変化

越流水深による堤内地洪水波形の変化を調べるために、堤防崩壊の底幅が同一という条件 ( $B=1.0 \text{ m}$ ) の下、初期越流水深別の洪水波形の特性について調べ、図-9に示した。堤防崩壊部から  $0.03 \text{ m}$  で、洪水波形の無次元ピーク水深は越流水深が浅いほど減少していることが分かる。

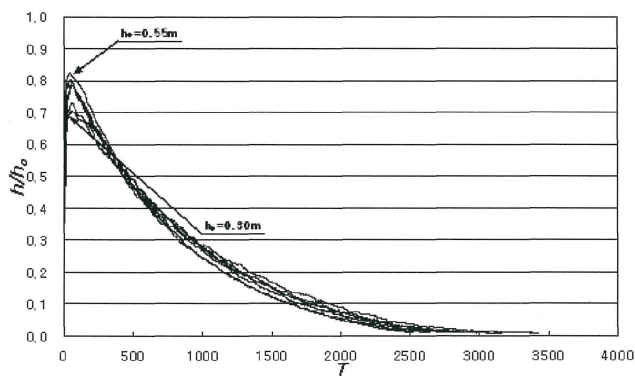


図-9 無次元時間  $T$  と無次元水深  $h/h_0$  の関係

この実験結果から河川の水位が高いほど堤内地氾濫の危険性が高まることが分かった。越流による堤防崩壊は洪水被害をさらに増大するため適切な対応策が必要である。



#### 4. 河川堤防の越流崩壊に対する対策

最近、越流による堤防崩壊が全体洪水被害に占める割合が増えている。実験の結果や経験的な事実から、水位が高い時の崩壊がさらに危ないということが分かり、越流に対応した堤防の必要性が強調されている。越流対応堤防は高い治水安全度を要する地域に選択的に適用される手段であり、被害潜在性と費用などを考慮して政策や事業計画に採用する必要がある。技術的な側面においても最小費用で最大効果が得られる設計手法の開発が先行されなければならない。

##### (1) 越流保護工の開発方向

越流保護工は堤防が越流時に天端、裏法面、裏法尻の洗掘を防止する目的で行われるものである。工学的な目的や経済性、市場性を考えると、既存の堤防形状をそのまま活用すると共に、広く販売されている保護工材料を採用する必要がある。本研究では既存堤防に大きな変更を加えずに容易に施工できる上、割安で環境にやさしい有孔ブロックの安定性について検討した。

##### (2) 裏法面保護工の安定性実験

裏法面保護工に使われる有孔ブロックの越流の流れに対する安定性について検討するため、水理実験を行った。図-10は勾配 1V:3Hの実験水路である。図-11は安定性実験に使われたブロックであり、有孔率や経済性などを考慮して製作し、急勾配水路に設置して限界状態を測定した。限界状態は、流れの影響でブロック厚さの 1/2 以上に浮く状態とした。

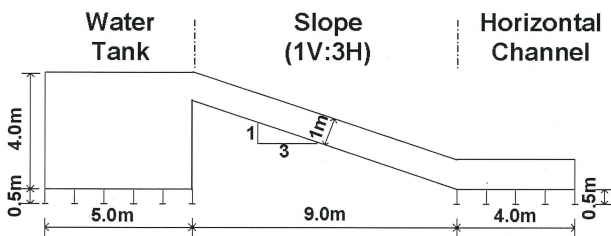
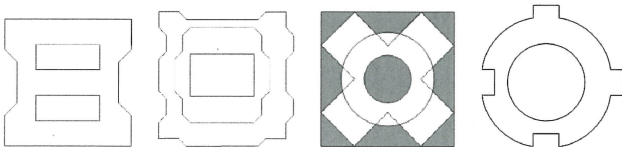


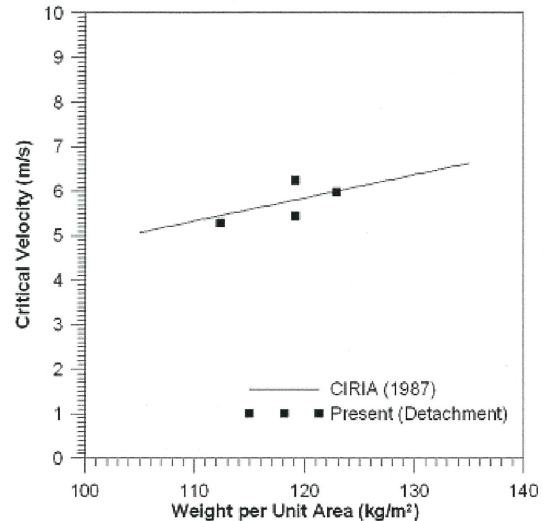
図-10 急勾配実験水路



(a) 1案 (b) 2案 (c) 3案 (d) 4案

図-11 裏法面保護工（有孔ブロック）

図-12 は本実験で使われたブロックの単位面積当たり重量に対する限界流速であり、CIRIA (1987) の実験結果と比較したものである。図に示したとおり、法面保護工の限界流速は単位面積当たりブロック重量の関数で表すことができる。



#### 5. 結論

本研究では堤防被害事例の類型を分類すると共に、2006 年に南江流域で発生した堤防崩壊について水理水文分析を行い、その原因が越流であることを明らかにした。また、河川水位が高いほど堤内地氾濫の危険性が高まるという実験結果から、越流に対する選択的な防御対策が必要であることが分かった。越流崩壊を低減する裏法面保護工の材料として有孔ブロックを製作し、実験を行って、その安定性について検討した。

##### 参考文献

- 1) 韓国建設技術研究院：異常洪水に対応した水工構造物設計手法の開発及び基準改善に関する研究報告書、国土海洋部/韓国建設交通技術評価院、2008。
- 2) 韓国建設技術研究院：堤防崩壊と堤内地氾濫実験及び解析、国土海洋部/韓国建設交通技術評価院、2004-2007。
- 3) CIRIA: Design of reinforced grass waterways, Report 116, 1987。