

津波来襲時の河川堤防の被災の程度を分けた要因

福島雅紀* 佐野岳生** 成田秋義*** 服部 敦****

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波による激甚かつ広域の被害を受けて、「河川への津波遡上対策に関する緊急提言」が取りまとめられ（河川津波対策検討会、平成23年8月）、河川管理における津波外力の扱い、施設計画における堤防高の考え方等について提言された。これに基づいて、海岸堤防と一連の堤防システムとして河川堤防も所定の機能を果たすことが求められることとなった。

そのような堤防システムを具体化する上で、河川堤防は、その構造から越流に対して極めて脆弱であることを考慮する必要がある。例えば、施設計画上の津波をやや越える規模の津波が作用した場合には河川堤防区間でも一時的な越流の発生が想定されるが、それに対する河川堤防の挙動を知ることが重要である。

前報²⁾では、阿武隈川など直轄4河川を対象に発災直後に実施した現地踏査や痕跡調査結果、遡上津波の水位記録や映像等から、河川堤防周辺における津波水位や流況、及びそれらと関連付けて堤防等の被災の形態や程度に関して整理した。津波水位が上流に向かい部分的に増加することがあるものの、全体としては徐々に減衰するのに対して、堤防の被災の程度は単純に減少する状況ではなく、被災がほとんど生じていない区間の上流に大きな被災を確認できる場合があった。

本報では、区間ごとの被災の程度の違いが顕著に見られた阿武隈川の越流による被災を対象として、その程度を分けた要因について考察する。津波遡上時の越流に対する河川堤防の挙動とその機構について実態に基づいて整理・分析することで、堤防システムについて考えを深めるものである。

2. 踏査結果から見た河川堤防の被災状況

写真-1は、被災直後に撮影された阿武隈川河口付近の航空写真に、痕跡水位と堤防天端高との関係、河川堤防裏のりの被災状況について、以下に従ってそれぞれの区間を示す。痕跡水位と堤防天端高との関係については、現地踏査や津波痕跡調査結果を参考にして、水没区間、越流区間、堤防高以下遡上区間の3区間に分けた。水没区間は、河川側水位と堤内側水位が両方とも堤防天端高より高くなった区間である。越流区間は、河川側水位のみが堤防天端高よりも高く、堤内側への越流が生じた区間である。その上流では、河川側水位もさらに減衰し堤防天端高以下で遡上した区間である。被災状況については、表-1の通り4つの被災レベルに分類した。被災レベルが記入されていない区間は特筆すべき被災が生じていない。なお、裏のり面はコンクリート等で覆われておらず、草本植物が繁茂していた。

水没区間は河口部周辺に限られ、上流に向かうに従って、越流区間、堤防高以下遡上区間が現れることから、遡上に伴い津波水位が減衰したことを確認できる。ただし、越流区間の延長は左右岸で大きく異なり、左岸では0.5km程度の延長であるのに対して、右岸では2km程度と長い。河口部右岸を除くと、亘理大橋右岸で堤防高を5m近く超える津波痕跡水位が確認されており、津波の遡上に対して湾曲部外岸側となった右岸側で津波水位が高かったことを推定できる。

河口部付近の水没区間では、河川堤防と海岸堤防との接続部において左右岸とも堤防が決壊している。その地点を除くと、左岸では0.55km地点の水門周辺で被災レベルⅢとなったが、大半が被災レベルⅠであるのに対して、右岸ではⅢ～Ⅳと被災レベルが高くなっていた。

越流区間でも同様に、左右岸の被災の程度が大きく異なり、左岸側では被災レベルⅠであるのに対して、右岸側では約2kmにわたる広い範囲で被災レベルⅡやⅢとなっていた。



写真-1 津波痕跡水位と堤防高との関係及び被災状況

表-1 被災状況の分類

被災レベル	裏のり面
I	草本植物が流れの作用で倒伏しているが、剥離はほとんど見られない。
II	ガリ状の部分的なり面植生の剥離・堤体の侵食が生じた状態。落堀の形成はない、または軽微。
III	全面的にのり面が侵食・崩壊し、鉛直に切り立った状態。落堀の形成を伴う場合がある。
IV	のり面が流失し、さらに天端まで侵食・崩壊が及んだ状態。落堀の形成を伴う場合がある。

さらに、越流区間の右岸では、被災レベル I であった 0.8~1.2km 区間の上流で被災レベル II や III の区間が生じている。

亘理大橋右岸側において、その下流に比較して高い痕跡水位が確認されていたことを踏まえると、被災レベルは越流水深とある程度対応していると推察されるが、そのみで左右岸での被災レベルの差異を全て説明できるとは考えにくい。この点について前報²⁾では、堤内地が河川側からの越流に先んじて湛水することで、もしくは越流後短時間で堤内地が湛水することで、ウォータークッションの効果が働き、裏のり面及び法尻の侵食が抑制されたとする考え方を提示した。以下では、今次津波を対象とした津波遡上シミュレーション結果³⁾ (以下、再現計算) から、被災の程度を分けた要因を定量的に検討する。

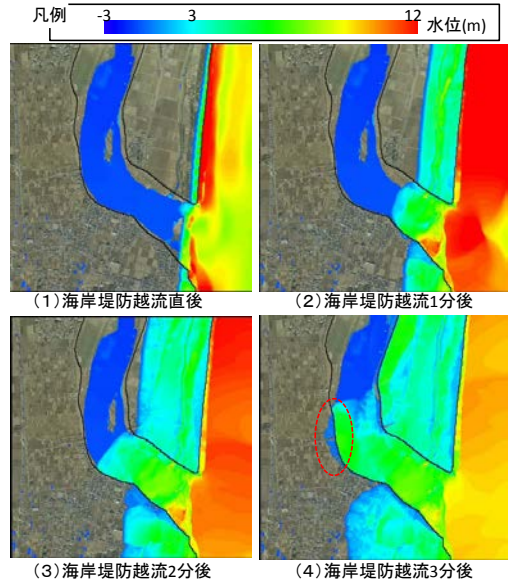


図-1 津波の伝播状況の関係

3. 津波の伝播状況と堤内地の湛水状況

再現計算から得た津波の伝播状況を図-1に示す。海岸堤防を越えた津波は、左右岸とも同程度の伝播速度で遡上し、海岸堤防越流3分後には左岸側河川堤防によって津波の遡上が止まり、右岸側ではさらに遡上を続けている。左岸側堤防際では、津波が河川を遡上するのとはほぼ同時に、水位が 6m 程度 (凡例の緑系) まで上昇している。一方、右岸側堤防際では、津波が河川を遡上した後に水位 3m 以下 (凡例が青系) の低水位領域が確認される。この堤防法線が津波遡上に対して離れていく配置となっていた右岸側では、区間によって継続時間に差があるものの、堤内地の湛水深が小さい状態で越流が生じていたこととなる。その顕著な例が、海岸堤防越流3分後の状況であり、赤い点線で囲んだ箇所では、堤内地を遡上する津波が堤防際に到達する数分前に越流が生じている。

この状況を詳細に確認するため、写真-1の地点 A~F で河川側水位と堤内側水位の時間変化を再現計算から抽出し、越流時間や被災レベルと合わせて図-2に示した。越流時間等に付した括弧内の数字は、単位を秒とする越流時間及び初期越流時間である。ここで、越流時間は河川側水位が堤防高を超えている時間であり、地点 E のように堤内側水位が河川側水位を上回った場合には、その時間までを越流時間とした。初期越流時間は、河川側水位が堤防高を超えた時点から、越流量と堤防高から堤防のり尻における共役水深を算定し、そ

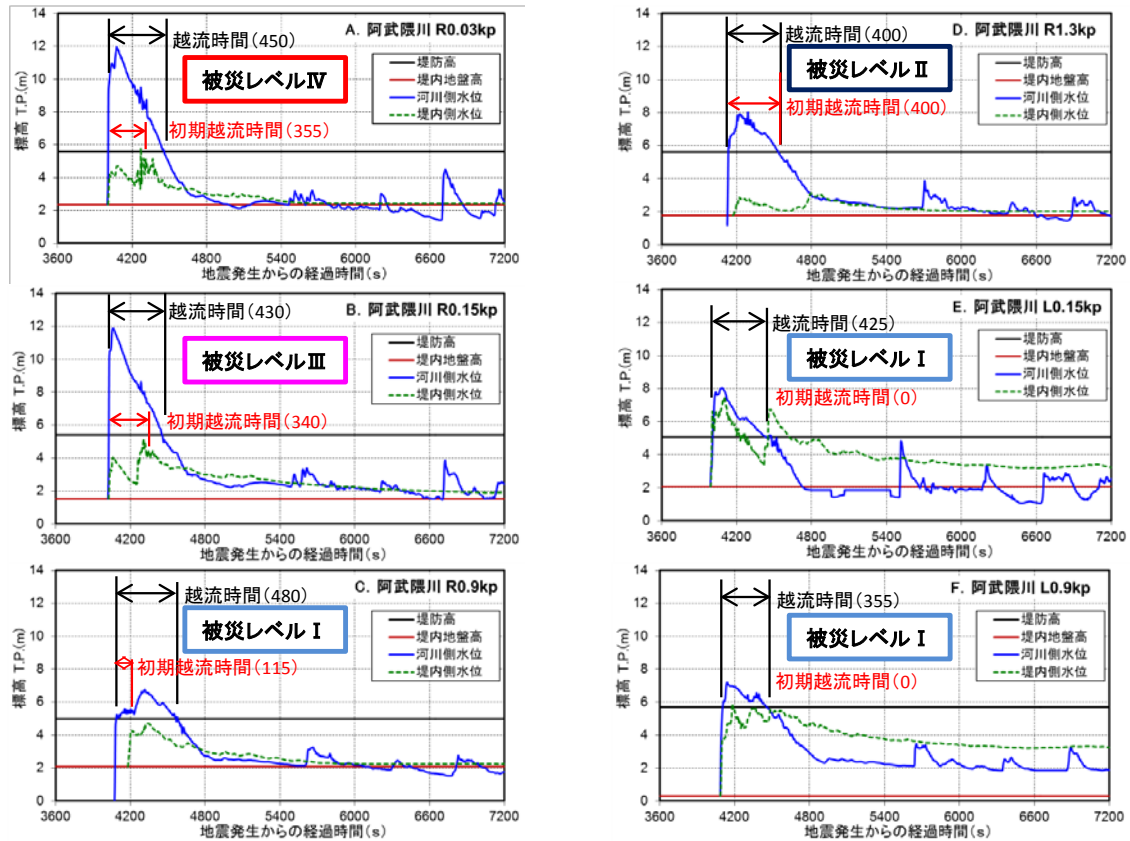


図-2 堤防のり尻における河川側水位及び堤内側水位の時間変化

の水深以上に堤防際が湛水するまでの時間とした。なお、これをウォータークッションの効果が働く湛水位と考えた。

水没区間の地点Aと地点Eでは、被災レベルがそれぞれIV、Iと大きく異なり、河川堤防の越流に対する脆弱性を考えると、数十cm程度を超える越流水深はともに大きく、越流時間も同程度である。しかしながら、初期越流時間は地点Aが6分程度に対して、地点Eではゼロである。地点Dを見ると、越流水深が最大で2m程度であるにもかかわらず、初期越流時間が7分程度と長く、被災レベルがIIとなっている。これらのことから、地点Eの被災の程度はウォータークッションによって低減されたと考えられる。

越流区間の左右岸で比較すると、右岸側の地点B、C、Dでは最大の越流水深が左岸側の地点Fに比べ大きめであるが、越流時間は6～8分程度と左右岸で大きな差はない。初期越流時間で比較すると、地点Fでゼロであるのに対して、地点B、C、Dでは2～7分程度と差がある。これらの越流区間の4断面の結果を見ると、初期越流時間が長いほど、またその間の越流水深が大きいほど、被災レベルが大きくなる。右岸で見られた区間ごとの被災レベルの違いは、地点B、C、Dの3断面で

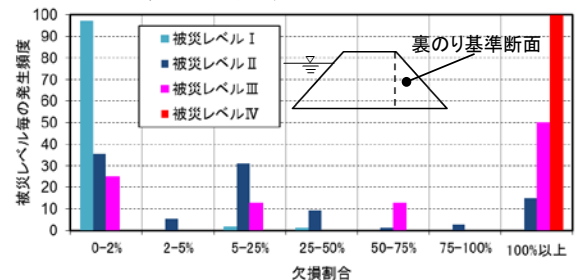


図-3 堤防の欠損割合と被災レベルの関係

見たように、堤内地の湛水状況によって説明できるようである。

4. 越流条件と堤防欠損状況との比較

前節で6断面について確認した結果を水没区間及び越流区間の全断面で比較し、堤防の被災の程度を分けた要因として初期越流時間が重要であることを示す。

被災の程度を評価するにあたって、現地調査から大まかに分けた区間設定でなく、より客観的な指標で堤防の被災の程度を表現することを考える。堤防を堤内地盤も含めて10m間隔で輪切りにした断面を作成し、裏のり面及び堤内地盤について侵食された面積を欠損面積とする。欠損面積を、図-3の中央付近に示す裏のり基準断面積で割り、欠損割合とする。堤防の欠損割合を算定するにあたり、地震の影響で生じた地盤の水平・鉛直変位を

補正した、地震発生前後の航空測量データ及び定期横断測量成果を用いた。堤防欠損量を踏査結果に代えて用いるにあたり、両者の関係と比較した(図-3参照)。被災レベルⅠのほとんどが欠損割合0-2%であり、被災レベルⅣは全て欠損割合100%以上となっている。被災レベルⅡとⅢは異なる欠損割合に分散しているが、Ⅱは小さい欠損割合に多く、Ⅲは大きい欠損割合に多くなっており、欠損割合は被災の程度と整合する。

図-4は、越流時間を横軸に、平均越流水深を縦軸とし、欠損割合ごとにプロットの形状を変え、越流条件に応じてプロットした結果である。また、プロットの色を分けている。ここで、平均越流水深は越流時間で生じた越流水深の平均値である。図では右上に行くほど越流条件が激しくなり堤防の欠損割合も大きくなると考えられるが、欠損割合ごとのプロットの境界が曖昧である。図-5は、図-4の縦軸を初期越流時間における越流水深の平均値とし、横軸も初期越流時間で整理し直した結果である。赤い点線で囲んだ一部の範囲を除き、欠損割合ごとの境界が明確となる。

以上の結果から、同程度の越流条件でありながら被災の程度が異なった理由は堤内地の湛水状況であり、湛水せずに越流を受けていた時間が長い断面ほど、大きな侵食を受けたと考えられた。

5. おわりに

ウォータークッションとして機能する堤内湛水の水深が小さくなると、ある一定時間以上越流が継続する場合には、より小さな越流水深に対して破堤に繋がる、程度の大きな被災が生じる可能性があることが示唆された。このことを堤防システムに引き寄せて考えると、堤防整備状況や来襲する津波の波高や継続時間等の組み合わせによって

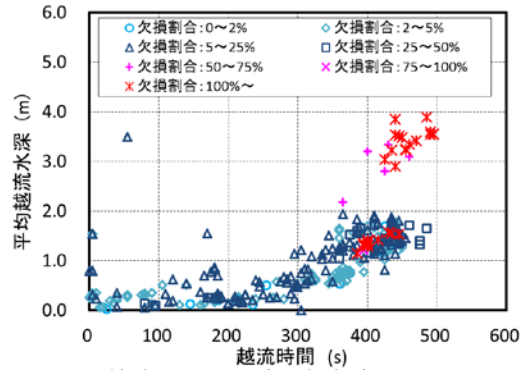


図-4 越流状況と堤防欠損割合との関係

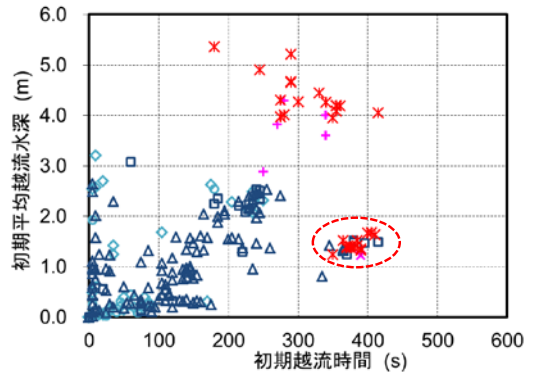


図-5 越流状況と堤防欠損割合との関係
(堤内地の湛水状況を考慮)

は、規模の小さな津波でも河川堤防区間において被災の程度が大きくなることが予想された。

謝 辞

検討に際し、宮城県の「宮城県沿岸部航空計測データ」を使用した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 河川津波対策検討会：河川への遡上津波対策に関する緊急提言、
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kasentsumamitaisaku/teigen/teigen.pdf、2011.
- 2) 服部敦、福島雅紀：津波による堤防等河川管理施設の被害、土木技術資料、第53巻、第8号、pp.22～27、2011.
- 3) 河川津波対策検討会：河川遡上津波のシミュレーション結果、第2回配布資料、
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kasentsumamitaisaku/index.html、2011.

福島雅紀*



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部河
川研究室 主任研究官、
博(工)
Dr.Masaki FUKUSHIMA

佐野岳生**



共和コンクリート工業
株式会社 (前国土交通
省国土技術政策総合研
究所河川研究部河川研
究室部外研究員)
Takeo SANO

成田秋義***



国土交通省東北地方整
備局河川部河川計画課
課長補佐
Akiyoshi NARITA

服部 敦****



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部河
川研究室長、博(工)
Dr.Atsushi HATTORI