

それぞれの川の形状に適した堤防

—流速と波高を計測して—

宮城県仙台第一高等学校 2年 高野航大 千葉彩花 松塚悠希
要旨

巨大地震が発生し、それが原因となって起こる津波が川を遡上し、堤防を乗り越え、周辺地域に大きな損害を与えるというケースがある。これについて、川の形状、主に曲がり方の度合と川を遡上する津波の波高や流速にはどのような関係性があるのかという点に着目し、川の形状ごとに、適した堤防の特徴を明らかにしようと考え、研究に取り組んだ。研究の結果、急に曲がる川であるほど波高が高く、流速が遅くなるという関係性を発見することができた。また、このことから、急に曲がる川には越流を防ぐための十分な高さのある堤防が、緩やかに曲がる川には流速の変化に耐えうる高い強度を持った堤防が適しているということがわかった。

序論

東北地方太平洋沖地震が発生した際、津波が新北上川を遡上し、川の両岸に設置されていた護岸堤防を越流したことによって、宮城県石巻市北上地区は甚大な被害を受けた。そこで、なぜ津波は堤防を越流したのかということについて、川の形状と津波の関係に着目し、急に曲がる川と緩やかに曲がる川の、津波の遡上の仕方の違いを調べた。曲がり方の度合が異なる2つの川のモデルを用いて対照実験を行い、川の形状ごとに、適した堤防の特徴を調べるために波高と流速の関係性について検証した。

仮説

川を遡上した津波は、川の曲部に差し掛かると外側の堤防付近で水圧が高まる。その結果、水位が高まり、水圧差で流速が遅くなる。また、緩やかに曲がる川のほうが急に曲がる川より波高が低く、流速が速くなる。

研究方法

川の形状ごとの津波の遡上の仕方の差異を検証するために、円弧型(急なカーブ)、クロソイド型(緩やかなカーブ)の川の模型を製作し、図-1, 2のように津波発生装置に設置して模型に波を流し、波高と流速を調査した。波高は川の模型を前方と後方に分け、それぞれ最も波高が高い所を計測し、平均値を算出した。また、模型の河口付近にBB弾を置き、それが模型の河口から最奥部まで移動する際に要した時間と移動距離を計測し、流速の平均値を算出した。また、この実験を行う前に、予備実験として、川が直線の場合の、水流に対する川の角度による津波の遡上の仕方の差異を検証した。その結果、表-1のように、角度が大きいくほど、波高が高く、流速は遅くなった。

表-1 予備実験の結果

水流に対する川の角度(°)	5	10	15	20	25
波高(cm)	0.5	0.9	1.0	1.1	1.3
流速(cm/s)	78	71	64	56	34

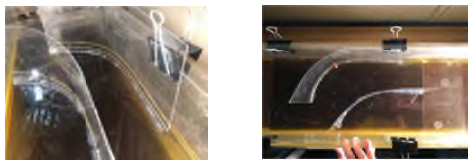


図-1， 2 実験の様子

結果

表-2 模型の形状ごとの波高・流速の比較

	円弧型	クロソイド型
波高[前方](cm)	0.85	0.75
波高[後方](cm)	1.35	0.85
流速(cm/s)	6.16	7.30

実験結果は,表-2のようになった.模型の形状に関わらず,前方から後方に波が遡上していくほど波高が高まった.波高はクロソイド型よりも円弧型のほうが高くなり,その差は前方よりも後方で顕著に表れた.流速は円弧型よりもクロソイド型のほうが速くなった.

考察

実験結果は,次に示すベルヌーイの定理によるものであると考えられる.

$$\frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh + P = const$$

ρ :流体密度 V :流速 g :重力加速度 h :波高 P :水圧

水圧と波高は同時に増減する.円弧型の場合は,直線から円弧に急激に曲率が変わるため,川の外側の水圧が大きくなり,それに伴って波高も高くなるが,流速は逆に遅くなる.クロソイド型の場合は緩やかに曲率が変わるため,円弧型の場合ほど水圧は大きくならず,波高も高くないが,流速は逆に速くなる.

結論

円弧に代表される,急に曲がる川は,波高が高く流速の遅い津波が遡上する.クロソイド曲線に代表される,緩やかに曲がる川は,波高が低く流速の速い津波が遡上する.このことから,急に曲がる川には水位が上昇しても越流することのない十分な高さのある堤防が適しており,緩やかに曲がる川には流速の速い波に耐えることのできる高い強度を持った堤防が適しているという事がわかる.また,急に曲がる川の外側の堤防付近は遡上する津波が越流する可能性が高い.よって,事前に地域に知らせ,対策を講じる必要がある.

謝辞

HOLITON 波力研究所の堀込智之所長には,津波発生装置等,実験器具の提供及び研究の助言を頂いた.東京工業大学の高木泰士教授や,防災科学技術研究所の연구원の方々にも,研究の助言を頂いた.



図-3 津波発生装置(前から)



図-4 津波発生装置(斜め上から)