

東北地方太平洋沖地震津波による 貞山運河の復旧断面を踏まえた津波減衰効果*

東北学院大学工学部 橋本 潔
東北大学大学院工学研究科 田中 仁

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震津波（以下、「今次津波」という）によって、宮城県仙台湾沿岸地域は、かつてない甚大な被害を受け、多くの人命が失われた。そこで、宮城県においては、今次津波のような巨大津波への新たな対策として、越流に対して粘り強い海岸堤防、海岸防災林や運河群といった減勢効果を有する施設、二線堤となる盛土道路、避難施設等の整備など、多重防御を基本とし進めることとした。

図-1に示したとおり、仙台湾沿岸には、貞山運河（南から木曳堀、新堀、御船入堀）、東名運河、北上運河が、阿武隈川から旧北上川まで約 49 kmにわたり日本一の運河群として、今なお存在し続けている。この運河群は、今次津波の襲来により全川に亘り被災したが、貞山運河が津波遡上の遅延や浸水深の低減等に一定の効果があったと言われている^{1),2),3),4),5)}。

そこで、本研究においては、仙台湾沿岸において運河群を考慮した多重防御システムを整備するために、運河群のうち貞山運河の被災形態を把握し災害復旧計画を示すとともに、その断面をベースとして、今次津波を対象に、幅員や堤防高を変更した場合の平面二次元津波解析を行い、貞山運河における押し波時の津波減衰効果について検証することとした。

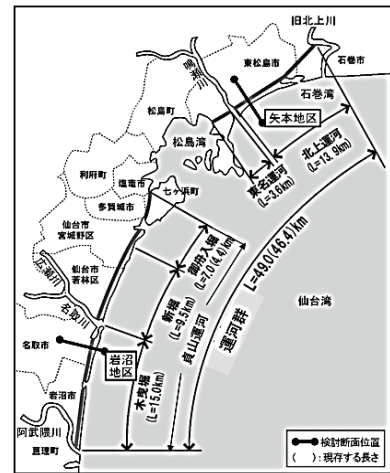


図-1 仙台湾沿岸の運河群

2. 貞山運河の被災形態と災害復旧断面

(1) 貞山運河の被災形態

貞山運河をはじめとする運河群は、強烈な地震動による被害に加えて、その後に来襲した大津波により甚大な被災を受けたが、その被災状況は、周辺の地形や防潮林の有無、海岸からの距離などによって様々である。

貞山運河の被災状況は、御船入堀（旧砂押川・砂押貞山運河）の区間では、掘込形状のため決壊が主な被災であったが、新堀の区間（北貞山運河）では、小さいながらも堤形状であるため、陸側では裏法が被災しており、海側では表法が被災している。また、木曳堀（南貞山運河・五間堀川）の区間は、左右岸とも矢板護岸の変位、流出の被害が多かった。

*Tsunami damping effect of Teizan Canal with restoration cross-section against 2011 Tohoku Earthquake Tsunami by Kiyoshi Hashimoto and Hitoshi Tanaka

以上のことを踏まえ、図-2 に貞山運河の主な被災形態を整理した。貞山運河の被災形態は、堤防の沈下とともに、海側の堤防では表法面（運河側の斜面）で護岸や土羽が流出し、陸側の堤防では逆に裏法面（運河背後の斜面）で被害を受けている。これは、大津波が運河堤防を越流する際に、激しい流れとなって堤防法面を流下したことにより生じたものである。

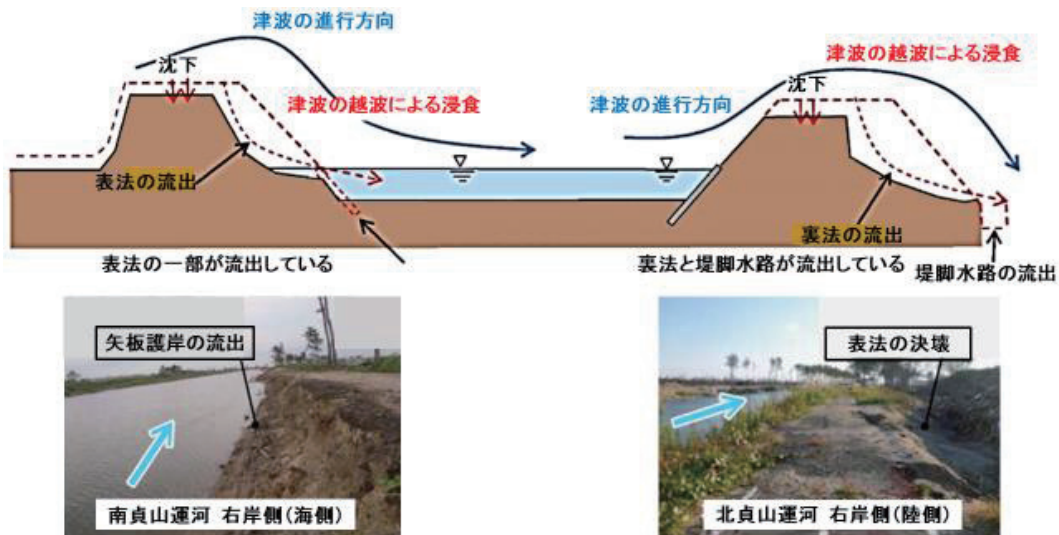


図-2 貞山運河の被災形態

(2) 貞山運河の災害復旧断面

貞山運河の木曳堀（南貞山運河・五間堀川）の区間は、津波対策区間である。図-3 に貞山運河の災害復旧断面を示した。計画堤防高は T.P.+3.70m である。

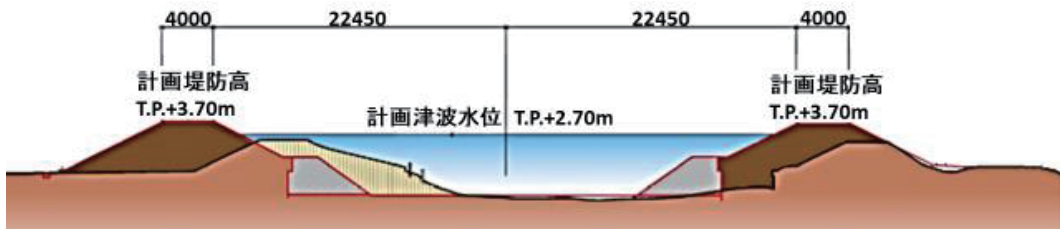


図-3 貞山運河の災害復旧断面

3. 運河諸元を反映した平面二次元津波解析

仙台湾沿岸における貞山運河の木曳堀（南貞山運河・五間堀川）の岩沼地区で、運河諸元を反映して平面二次元津波解析を行うことにより、運河による津波減衰効果を検証した。

(1) 基本方程式と計算条件

津波解析は、基本方程式に非線形長波理論（浅水理論）、数値解析に Leap-frog による有限差分法を用いた平面二次元モデルであり、津波の発生・伝播から遡上まで一連で計算するものである。計算は、450m 領域（三陸沖）から 10m 領域（宮城県周辺沿岸、詳細領域）に至るまで

の4領域について、順次メッシュサイズを小さくして実施した。全領域で遡上を考慮した非線形計算を実施し、海岸堤防や運河堤防は津波により破壊されない条件で計算を行った。また、検討潮位には仙台湾沿岸で設定されている平均潮位 (T.P.+0.023m) を採用した。

(2)運河諸元と検討ケース、時系列波

形出力点

表-1 に検討ケース一覧を示した。このうち、計画①は堤防嵩上、計画②は運河拡幅、計画③は運河拡幅と堤防嵩上の組合せのケースとなっている。また、図-4 に検討ケースの運河形状、図-5 に対象運河の運河形状、図-6 に岩沼地区仙台空港周辺の時系列波形出力点を示したが、運河前面 (Point 1)、運河内 (Point 2)、運河背後 (Point 3)、運河より内陸 150m (Point 4)、運河より内陸 650m (Point 5) とした。

表-1 検討ケース一覧

対象箇所	検討ケース	運河幅員 (m)	堤防高 (T.P.m)
岩沼地区	運河なし	—	—
	現況	36	+2.5
	計画①	36	+3.7
	計画②	60	+2.5
	計画③	60	+3.7

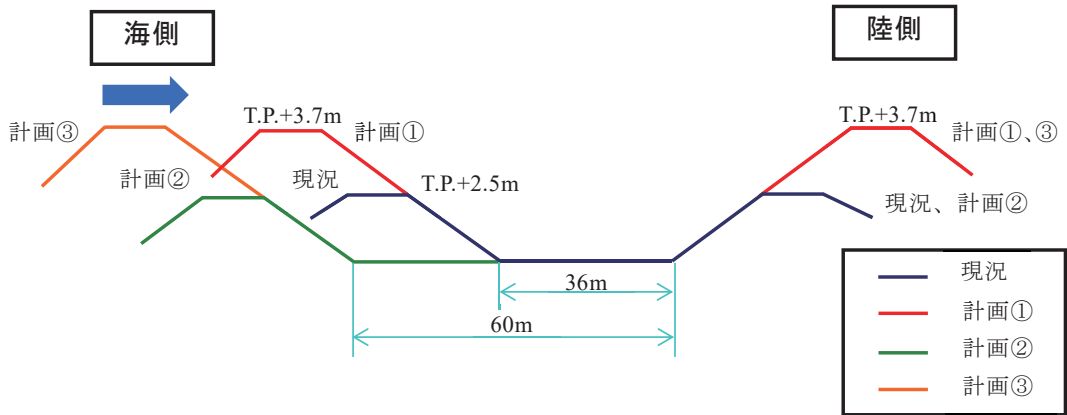


図-4 検討ケースの運河形状 (岩沼地区)

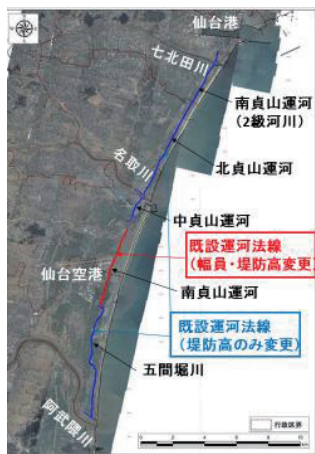


図-5 対象運河 (岩沼地区)



図-6 時系列波形出力点 (岩沼地区仙台空港周辺)

(3)計算結果

①津波到達時間に対する効果

図-7に示したように、津波の到達遅延時間は、運河の整備によって、運河から離れるほど大きくなった。また、その効果は、運河拡幅よりも堤防嵩上の方が大きかった。

運河なしと比較して、Point 5（運河より650m内陸地点）において、運河拡幅・堤防嵩上の組み合わせにより44秒津波到達が遅れる効果が得られた。

②津波水位に対する効果

図-8に示したように、津波水位は、運河の整備によって、Point 1（運河前面）では増大したが、Point 4～Point 5（運河背後）では減少した。運河より海側では、堤防を高くした場合に堰上りが大きくなり、津波水位が大きくなっている。また、津波水位の減少効果については、到達時間と同様に、運河拡幅よりも堤防嵩上の方が大きかった。

運河なしと比較して、Point 1（運河前面）で、堤防嵩上により1.78m、運河拡幅により1.46m、運河拡幅・堤防嵩上の組み合わせにより1.82m水位は上昇したが、Point 4～Point 5（運河背後）で、堤防嵩上で0.85m～0.37m、運河拡幅で0.62m～0.18m、運河拡幅・堤防嵩上の組み合わせにより0.84m～0.38m水位が減少した。

③津波流速に対する効果

図-9に示したように、津波流速は、運河の整備によって、Point 2（運河内）、Point 4～Point 5（運河背後）について、流速が減少した。これは、運河により、津波が堰き止められるため、運河の整備によって、流速が大きくなり低下するものと考えられる。また、津波流速の減少効果については、運河内では運河拡幅が、運河背後では堤防嵩上の方が大きかった。

運河なしと比較して、Point 2（運河内）で、堤防嵩上により1.13m/s、運河拡幅により2.69m/s、運河拡幅・堤防嵩上の組み合わせにより3.51m/s流速が減少した。Point 5（運河背後）で、堤防嵩上により0.75m/s、運河拡幅により

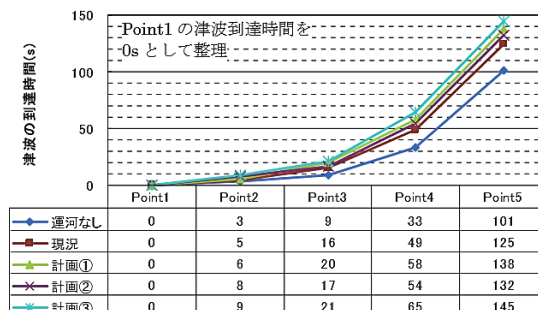


図-7 津波到達時間（岩沼地区）

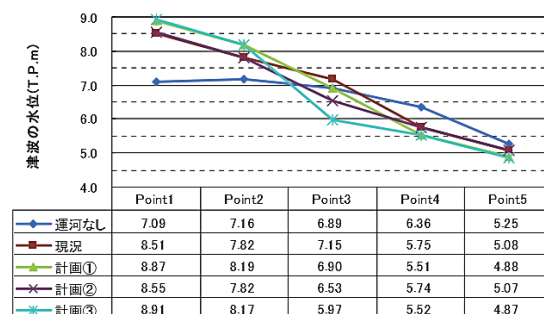


図-8 津波水位（岩沼地区）

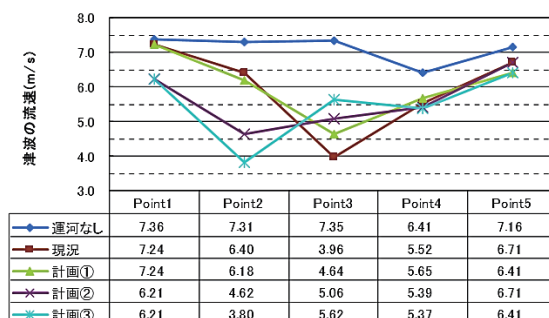


図-9 津波流速（岩沼地区）

0.45m/s, 運河拡幅・堤防嵩上の組み合わせにより 0.75m/s 流速が減少した。

④津波遡上速度に対する効果

図-10 に示したように, 津波遡上速度は, 運河の整備によって, Point 3 (運河直背後) まで顕著に減少し, その背後においても減少した。また, 津波遡上速度の減少効果についても, 運河拡幅よりも堤防嵩上の方が大きかった。

運河なしと比較して, Point 3 (運河直背後) で, 堤防嵩上により 3.44m/s, 運河拡幅により 2.01m/s, 運河拡幅・堤防嵩上の組み合わせにより 3.01m/s 遡上速度が減少した。

Point 5 (運河背後) で, 堤防嵩上により 1.09m/s, 運河拡幅により 0.93m/s, 運河拡幅・堤防嵩上の組み合わせにより 1.09m/s 遡上速度が減少した。

⑤浸水面積及び浸水ボリュームに対する効果

表-2 に各ケースにおける浸水面積及び浸水ボリュームを示した。浸水面積及び浸水ボリュームは, ほとんどのケースにおいて, 運河の整備により減少した。その減少効果についても, 運河拡幅よりも堤防嵩上の方が大きかった。

運河なしと比較して, 浸水面積は, 堤防嵩上により 1.23km², 運河拡幅により 0.34km², 運河拡幅・堤防嵩上の組み合わせにより 1.26km² 減少した。なお, 運河なしのケースよりも浸水ボリュームが増加するケースがあるが, これは運河前面での水位上昇分のボリュームが運河背後への流入減少分のボリュームを上回ったためと考えられる。

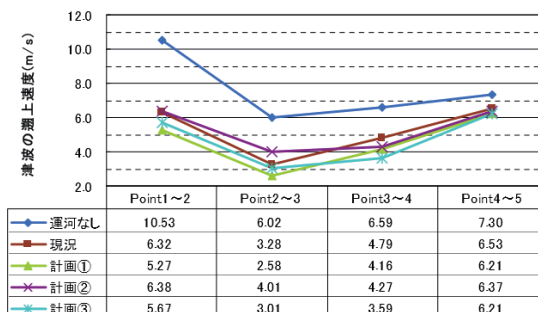


図-10 津波遡上速度 (岩沼地区)

表-2 浸水面積及び浸水ボリューム一覧

対象箇所	検討ケース	浸水面積 (km ²)	浸水ボリューム (百万 m ³)
岩沼地区	運河なし	50.34(-)	161.9(-)
	現況	50.05(-0.29)	164.1(+2.2)
	計画①	49.11(-1.23)	158.8(-3.1)
	計画②	50.00(-0.34)	163.9(+2.0)
	計画③	49.08(-1.26)	158.8(-3.1)

(注) 括弧内の数字は, 運河なしの検討ケースに対する増減分

4. おわりに

今次津波を対象に, 仙台湾沿岸の貞山運河 (岩沼地区) において, 運河幅員や堤防高を変更した場合の平面二次元津波解析により, 津波の到達時間, 水位, 流速, 遡上速度, 津波による浸水面積及び浸水ボリュームに対する効果について検証を実施した。その結果, 貞山運河には津波に対して減衰効果があることがわかった。これらの効果のうちでは, 運河拡幅よりも堤防嵩上の方が顕著であった。

今後、本論文に示した押し波時による運河の効果のみならず、引き波時における戻り流れの排水効果について定量的に解析することにより、運河の多重防御機能を解明していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 馬淵幸雄・江島敬三・堀合孝博・松田和人・長山恒紀: 貞山運河の津波減衰効果に関する実験的研究, 土木学会第 68 回年次学術講演会, II-176, 2013.
- 2) 渡邊 峻・三上貴仁・柴山知也: 貞山運河の津波減衰効果に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I_301-I_306, 2015.
- 3) 大城 匠・仲座栄三・稲垣賢人・Mostafizur Rahman・江頭翔太: 運河及び植生帯の津波防災効果に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I_187-I_192, 2015.
- 4) Mostafizur Rahman・仲座栄三・稲垣賢人・田中 聡・Carolyn Schaab: 運河の津波防災効果に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.1, pp.I_62-I_70, 2016.
- 5) 新美達也・川崎浩司・馬淵幸雄・長山恒紀・辻 貴仁・大家隆行・松田和人: 貞山運河による津波減災効果に関する数値的検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_211-I_215, 2013.