

津波防災施設計画への高精度地形モデルの利用と必要精度

Application of High-Resolution Topographic Model for Design and Planning of Tsunami Countermeasure and its Required Condition

村嶋陽¹・今村文彦²・越村俊一³・中村 茂⁴・北沢良之⁴・並川和敬⁴

Yoichi MURASHIMA, Fumihiko IMAMURA, Syunichi KOSHIMURA, Shigeru NAKAMURA,
Yoshiyuki KITAZAWA and Kazutaka NAMIKAWA

In this study, run-up tsunami simulation with high-resolution topographic model is applied for design of tsunami countermeasure such as sea wall and breakwater in the case of coastal area in Sanriku. The topographic model of 10 m grid DEM (Digital Elevation Model) is made by LiDAR (Light Detection and Ranging) data. The resolution of the altitude of LiDAR data is 15 cm. The behaviors of tsunami on the land with three plans of the countermeasure in the coast are carried out using tsunami simulation and compared. The effect to reduce the inundation area and damage, and the coast to construct them for each plan are discussed.

1. はじめに

我が国の津波対策はソフト対策を含めた総合防災が推進されているが、依然として防災施設の重要性は変わりなく、その効果や機能を十分評価した施設整備が求められている。

このような中、航空機に搭載したレーザプロファイラー (Light Detection and Ranging) (以下 LiDAR) による計測データが、津波数値計算の地形モデル作成に用いられるようになってきている (村嶋ら, 2006; 今村ら, 2004; 岩手県, 2004 など)。LiDAR データは、高さ精度 15 cm, 水平精度 30 cm, 計測密度 1 点 / m²程度と、従来方法にくらべ格段に高い精度・密度を有し、また、広域での同時取得が可能であることから、様々な災害予測などへの利用が広がりつつある。

この LiDAR データを用いた数 m 格子程度の高精度地形モデルにより、地形や構造物の形状を、より詳細に取り込んだ津波数値解析が可能となり、津波防災施設の計画などへの適用が期待されている。

本研究は、岩手県野田海岸において 10 m 格子の地形モデルを用いた津波数値解析を行うことで、津波氾濫水の挙動を考慮した効果的な津波対策を検討し、堤防の配置・嵩上げ、面的な津波防護対策について、浸水範囲や推定被害から評価したものである。また、10-40 m の格子サイズを変えた津波数値解析および被害想定を行うこ

とで、検討に必要な地形モデルの地形近似精度についても考察を行った。

2. 対象地域

対象とした岩手県野田海岸では、図-1 に示す堤防などによる津波防護対策がなされてきた。しかし、明治三陸津波が再来した場合には、堤防背後の市街地が大きく浸水することが指摘されている (岩手県, 2004)。防護ラインである堤防 B は、国道および鉄道として併用されており、その前面の保安林内には貴重な動植物の生息が確認されている。このため、堤防 B の数 m の嵩上げは多大な費用が必要となる上、環境への影響が大きいため、より効率的、効果的な津波防災施設計画が求められる。

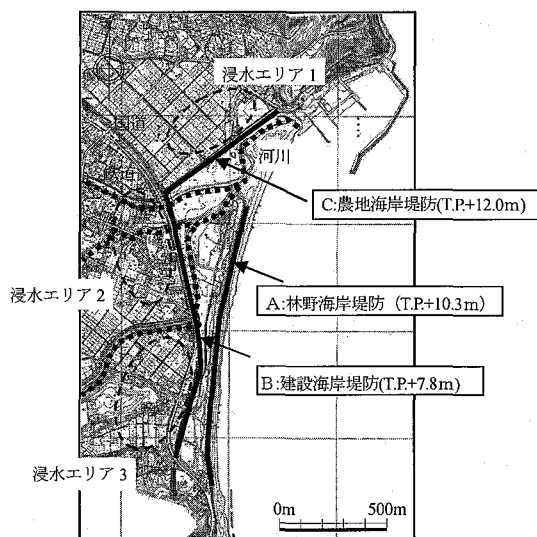


図-1 対象地 (野田海岸)

1 正 会 員 修(水) 国際航業株式会社
2 正 会 員 工博 東北大学教授 大学院附属災害制御研究センター
3 正 会 員 博(工) 東北大学准教授 大学院附属災害制御研究センター
4 国際航業株式会社

ている。

3. 津波数値解析および被害想定の手法

(1) 高精度地形モデルの作成

本研究で用いた地形モデルは、村嶋ら (2006) と同じ手法を用い、計測密度 1 点 / 2 m² 程度の LiDAR (図-2) の計測データから作成した。

LiDAR データから堤防・盛土等を含む地盤高データを抽出し、以下の手順で 10 ~ 40 m 格子の DEM (Digital Elevation Model) を作成した (図-3)。

① DEM の作成

建物や樹木などの地物の表層面上のデータを削除した地盤高データを作成。

② 堤防・盛土の抽出

堤防などの津波防災効果のある施設や盛土などの連続した地物は、写真画像を GIS 上で平面投影し、マニュアル処理によって再抽出。

③ グリッド化

地形モデルは① DEM と②再抽出した堤防・盛土等のデータを合わせ、TIN (Triangulated Irregular Network) を作成し、三角形平面から内挿して格子上の値を算出した。

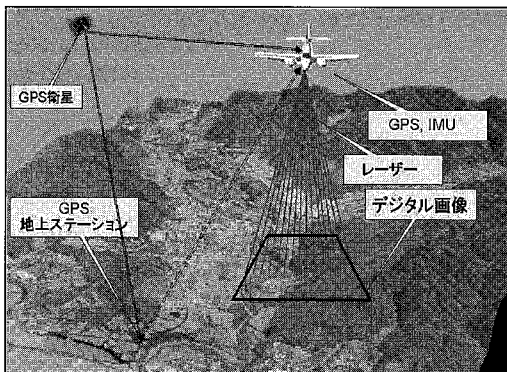


図-2 航空機搭載型レーザ計測イメージ

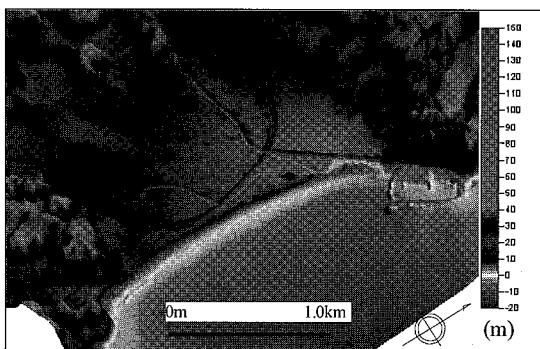


図-3 詳細地形モデル (10m 格子)

(2) 津波数値解析

津波数値解析は、Staggered 格子による Leap-frog 差分法を用い、非線形長波理論を用いて遡上計算を行った。越流計算は本間公式 (水理公式集, 1999) を用いた。波源から遡上域までの計算領域を接続させ、計算格子間隔は波源から沿岸にかけて 3240 m, 1080 m, 360 m, 120 m, 40 m, 20 m, 10 m とした。計算時間は全てのケースで 0.1 秒ピッチとした。

(3) 津波波源設定

岩手県の防護対象としている波源は、図-4 に示した岩手県 (2004) による明治三陸地震津波 (波源 1, 以下岩手県明治三陸地震津波) である。本研究では前述の高精度な地形モデルを用いることで、対象地にある二重の堤防間のエリアの容量や津波氾濫水の挙動を考慮した面的な津波防護対策について検討するため、津波高だけでなく津波の周期・方向の影響を考慮する必要がある。そこで、図-4 に示す中央防災会議により提示された明治三陸タイプの地震津波、三陸沖北部の地震津波についても検討を行った。

10 m 格子の詳細地形モデルを用いた津波解析による現況条件 (ケース 1; 表-1 参照) での予測結果を図-5 に、モニター地点での水位変化を図-6 示す。

中央防災会議の提示した明治三陸タイプ地震による津波 (以下、明治三陸タイプ地震津波) で、防波堤背後の市街地の浸水範囲が最も大きくなった。これは、沿岸での最大水位には岩手県明治三陸地震津波と差がないものの、5 m を越える水位の継続時間が長いこと、浅水変形による水位上昇が大きくなるとともに、開口部からの浸入する水量が多くなるためである。

三陸沖北部地震の津波 3 は市街地まで浸水しなかったため、対象海岸の津波対策施設の検討は、岩手県明治三陸地震津波と明治三陸タイプ地震津波を対象にした。

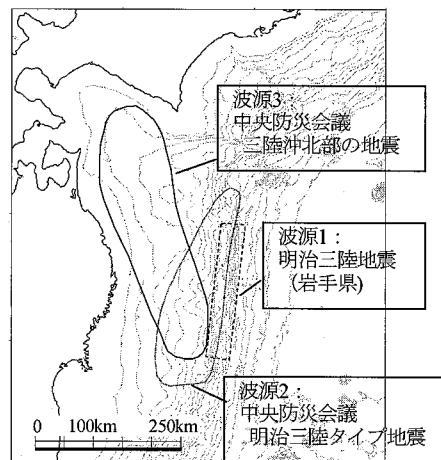


図-4 津波波源位置図

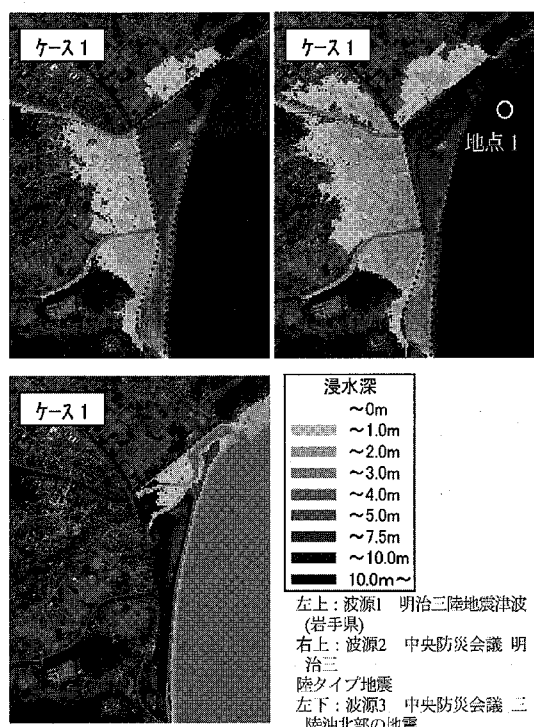
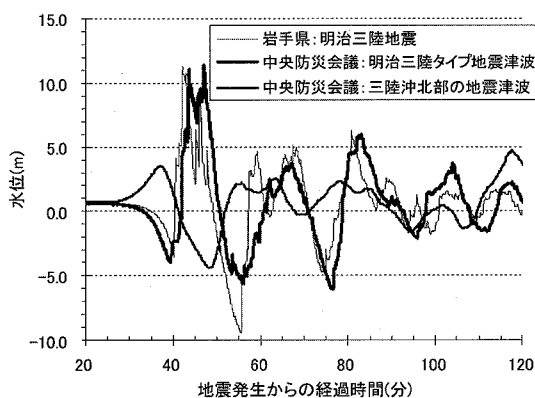


図-5 現況条件（ケース1）の最大浸水深分布



※地点1の位置は図-5に示す

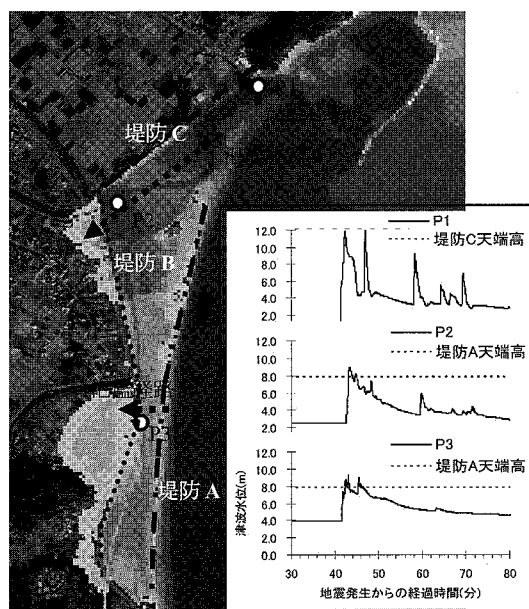
図-6 津波水位変化（地点1）

4. 津波対策の検討

(1) 津波氾濫水の挙動

図-7に岩手県明治三陸地震の津波について、現況条件での津波氾濫水の挙動について示す。10 m 格子の数値解析により津波氾濫水の市街地へ浸水は、以下の3経路があることが明らかとなった。

氾濫経路1：堤防Aを越流し、そのまま連続して堤防Bを越流。



※津波発生後43分後の浸水範囲

図-7 津波氾濫水の挙動

氾濫経路2：堤防Aの開口部（河口）から侵入した氾濫水が河川に沿って遡上し、堤防Aの越流水と合流してさらに水位が上昇し、堤防Bを越流。

氾濫経路3：堤防Aの開口部（河口）からの侵入した氾濫水が、漁港などの地形の影響による収斂や、第1波の引き波と第2波の押し波が重なり合うことで水位が上昇し、堤防Cの北側から越流。

以上のように津波の流入は、堤防Aからの越流と開口部からとがあり、それらが直接または重なり合うことで堤防B、Cを越流して市街地に侵入する。津波氾濫水は堤防B、Cと堤防Aの間のエリア（以下、堤防間エリア）に一時的に滞留するものの、侵入する氾濫水に対し堤防間エリアの空間的な容量や堤防Bの天端高が不足し、市街地まで浸水している。

(2) 津波対策の設定

この津波氾濫水の挙動を考慮し、以下の津波対策を設定した（表-1）。

ケース2：堤防Bの嵩上げ（T.P. + 7.8 m → T.P. + 12.0 m）

ケース3：堤防Aの嵩上げ（T.P. + 10.3 m → T.P. + 12.0 m）、堤防Aの延伸（T.P. + 12.0 m）

ケース4：ケース3に加え、パラベット等で対応可能な堤防Bの0.5 mの嵩上げ（T.P. + 7.8 m → T.P. + 8.3 m）

(3) 津波対策の検証結果

各津波対策ケースの数値解析の結果を図-8に示す。

ケース2では、津波氾濫経路1, 2からの堤防Bの背後の市街地(浸水エリア2, 3)への浸水は、岩手県明治三陸地震津波に対してほぼ防護でき、明治三陸タイプ地震津波に対しても浸水範囲を大きく減少させることができる。一方、津波氾濫経路3による堤防C背後(浸水エリア1)への浸水は、明治三陸タイプ地震津波の場合、現況より浸水範囲が大きくなる結果となった。これは、堤防Bの嵩上げの効果により、河口部でも第1波の浸入水による水位が高くなり、そこに第2波が来襲することで堤防Cからの越流量が多くなるためである。

ケース3では、堤防Aの嵩上げと延伸により、津波氾濫経路1, 2からの浸入する水量を減少させることで、堤防B背後の浸水エリア2, 3の浸水範囲を小さくさせる結果となった。また、津波氾濫経路3についても堤防Aの延伸の効果から浸入する氾濫水量が減少し、浸水エリア1の浸水範囲を大きく減少できる結果となった。ケース3の対策では、岩手県明治三陸地震津波への効果は大きいものの、明治三陸タイプ地震津波では市街地への浸水が広がり、浸水深が0.5m以上となるエリアも多い。

ケース4は、ケース3で防護しきれない明治三陸タイプ地震津波対策として検討した。堤防Bの0.5mの嵩上げにより、ケース3よりさらに堤防Bからの越流量が減少し、浸水範囲を大きく減少させることができた。

(4) 津波対策の比較

以上の各津波対策の被害推定と概算工費の推定を行い、費用対効果(B/C)を算出した(表-1)。

被害推定は海岸事業の費用便益分析指針(改訂版)(農林水産省・国土交通省, 2004)の手法を用い、10m格子の数値解析による浸水深分布と航空写真による土地利用区分から算定した。

この結果、ケース2, 3, 4とも津波対策の効果が得られたが、費用が大きく抑制されるケース3で費用対効果が高くなる結果となった。

ケース2のような従来の連続した堤防による防護では、水門の改修など多大な工事費が必要となるうえ、工事完成までの期間が長期にわたる。また、対象地では鉄道・道路への工事支障、保安林の希少生物への影響、さらに市街地からの景観など様々な影響が大きいことが懸念される。

ケース3は、従来の防潮堤を一定の高さで連続させる対策ではなく、津波氾濫水の挙動の考慮し、対象地にある2段構えの堤防を活用したものである。堤防Aを12mに嵩上げし、さらに河口部側に延伸させることで、堤防間エリアを津波遊水池のように機能させている。この津波対策は、水門等の新設や国道・鉄道が兼用されている堤防Bの改修を行わないため、ケース2と比較して費用は1/3程度と少なく大幅な工期短縮も可能とな

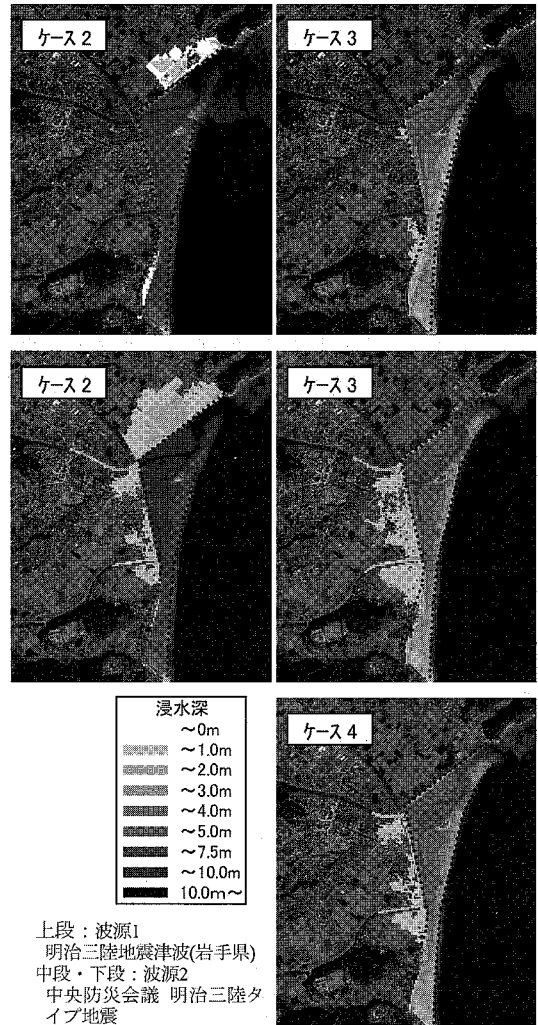


図-8 対策ケース毎の最大浸水深分布

表-1 対策ケースの比較

対 策	天端高 (T. P.)				浸水面積 (ha)	被害額 (億円)	概算 工事費 (億円)	費用対 効果 B/C
	A		B	C				
	既存 部分	延伸 部分						
ケース 1 (現況)	10.3 m	×	12.0 m	7.8 m	42	9.0	—	—
ケース 2 (嵩上げ)	10.3 m	×	12.0 m	12.0 m	7	1.9	5.2	1.3
ケース 3 (面的防護)	12.0 m	12.0 m	12.0 m	7.8 m	4	2.1	1.6	4.5
ケース 4 (面的防護 + 嵩上げ)	12.0 m	12.0 m	12.0 m	8.3 m	2	1.7	1.7	4.4

る。このため、費用対効果(B/C)が高い上、景観や環境面への工事の影響も小さくなる。

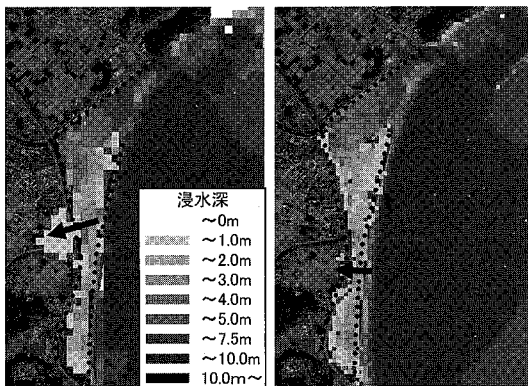
5. 地形モデルの必要精度

津波対策の比較検討において、津波氾濫水の挙動を考慮するために必要な地形モデルの精度について検討するため、ケース3で20m、40mに格子サイズを変えて同様の数値計算結果を行った。

グリッドサイズの津波遡上計算結果への影響について、村嶋ら(2006)は、市街地での浸水範囲について10mグリッド以下がより正確に予測できる事例を示している。

図-9に20m、40m格子での図-7と同時刻での浸水深分布について示す。20m格子では10m格子での数値解析での市街地への3つの浸水経路のうち、浸水経路3のみから浸水する。また、40m格子では堤防間の狭いエリアより北側で堤防Bを越流する結果となった。

図-10に堤防間のエリアを2分割した領域での平均水



左図：40mグリッド 右図：20mグリッド

※津波発生後43分後の浸水範囲

※矢印は浸水経路

図-9 20m 格子での氾濫経路

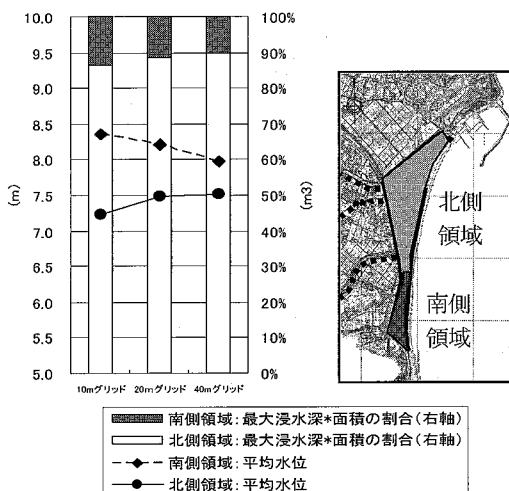


図-10 格子サイズによる領域の差異

位と、津波氾濫水の容量の指標として最大浸水深×面積の値を示す。10mグリッドの北側の平均水位が7.2mなのに対し、20m以上のグリッドでは7.5mと高い。北側と南側の間の狭部(幅100m程度)で、20m、40mグリッドでは10mグリッドのように氾濫水の挙動を再現できず、北側の氾濫水量が多く、水位分布も高くなり、堤防からの越流箇所が異なる結果となっていると考えられる。

6. ま と め

LiDAR データを使用した高精度地形モデルによる数値解析を海岸の津波対策施設計画に用いた本研究の結果は、以下のようにまとめられる。

- ・詳細な地形モデルを用いることにより、従来の堤防や防潮堤を一定の高さで連続させる線的な防護ではなく、津波氾濫水の挙動を考慮した面的な防護方法の効果検証が可能であることが示された。

- ・本研究にて示した面的防護の課題として、従来の最大波高だけでなく津波の周期・来襲方向も考慮する必要がある。最大波高が同程度であっても、高水位の継続時間が長い津波の場合、市街地への浸水範囲が拡大した。この対策としては堤防Bの0.5m程度の嵩上げという実現可能で効果的な対策を示すことができた。

- ・グリッドサイズを変えて行った数値計算では、面的防護の効果や津波氾濫水の挙動は、20mより大きな計算格子と、10m未満の詳細地形モデルでは異なる結果となった。これは、堤防間の幅の小さいエリア(100m)で氾濫水の挙動が再現できていない影響であり、同様の検討を行うには対象地の状況に応じて、適切なグリッドサイズを用いる必要がある。

謝辞：本研究は、岩手県久慈振興局土木部の測量・設計業務委託のデータをもとに行っています。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 今村文彦・藤原 誠・進藤一弥・市村 強(2004)：臨海都市域に襲撃する津波の統合シミュレーション開発，海岸工学論文集，第51巻，pp. 291-295。
- 岩手県(2004)：岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書(概要版)，164p。
- 農林水産省・国土交通省(2004)：海岸事業の費用便益分析指針(改訂版)，103p。
- 航空レーザ測量WG・(株)コクサイクリエティブセンター(2004)：航空レーザ測量ハンドブック，(財)日本測量調査技術協会，p. 119。
- 土木学会編(1999)：水理公式集，p. 133
- 村嶋陽一・今村文彦・竹内 仁・鈴木崇之・吉田健一・山崎正幸・松田健也(2006)：津波浸水予測における航空機搭載型レーザデータの適応性，海岸工学論文集，第53巻，pp. 1336-1340。