

〔農工研技報 213〕
105～116, 2012〕

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震における 海岸堤防の後背農地による津波減勢

－減災農地の考え方と提案－

毛利栄征*・丹治 肇**

目 次

I 緒 言	105	IV 農地を利用した津波被害軽減	111
II 過去の津波による被害	105	1 粘り強い堤防	111
III 東北地方太平洋沖地震津波による被害と対策	106	2 津波減勢を高めた農地	112
1 被害の概要	106	3 減災農地を導入した地域デザイン	113
2 被害の特徴	107	V 結 言	113
3 線の防御から面的防御へ	109	参考文献	114
		Summary	116

I 緒 言

2011 年 3 月 11 日、東北地方太平洋沖地震によって発生した津波は、北海道から九州までの広範囲の地域に達するものであった。特に東北地方から関東地方にかけての海岸域は、海岸堤防を越流した津波が堤防後背地の陸域にも遡上し、住居や道路、ライフラインなどのあらゆる社会基盤施設に直接的な被害がおよび、多くの人命が犠牲となった。海岸線に來襲する津波の規模については、地域の地形的な特性が大きく影響し、入り組んだ海岸線や海底地形を持った三陸地域では津波遡上高さが最大 40m にも達している。直線的な海岸線で平坦な地形が続く宮城県の仙台平野では内陸部へ 5km 離れた地域まで津波氾濫が達しており（国土地理院，2011）、地盤沈下の発生とも相まって長期間の湛水が続き、2011 年 11 月の段階でも農地などの本格的な復旧の目処は立っていない。津波による浸水面積は、全国で 56,100ha に達し、宮城県の浸水面積は 32,700ha、で全体の 58% である。そのうち、農地の浸水面積が実に 15,002ha（26.7%）におよび、海岸域の農業生産基盤が広い範囲で消失したことがわかる（農林水産省 2011b）。

本報告では、海岸堤防とその後背地の被害の状況を記述し、農業用施設と農地の被害を軽減し合理的な津波対策を実現するための考え方と地域の安全性を確保する具

体的な減災技術を提示する。海岸に隣接する地域全体の安全・安心を実現するために効果的な減災の実現の観点から、津波に対する海岸堤防による一次防御と後背地を利用した二次防御を導入する必要性とその効果についても触れる。報告する内容は現地の調査結果に基づく復旧のための技術開発や被災地住民との話し合い、住民活動の側面的な支援で明らかとなった課題を実現するための一つの考え方を示す。ここで提示する考え方を実現するための技術的な裏付け研究については、別途 2 つの報告がなされているので参照いただきたい。これらの成果は、農村工学研究所災害対策本部に設置された「復興支援プロジェクトチーム」による被害状況の把握と被災地の復旧・復興支援活動の一部をとりまとめたものである。

II 過去の津波による被害

東北地方は、明治三陸地震（明治 29 年，1896 年）や昭和三陸地震（昭和 8 年，1933 年）による大津波、さらにチリ地震（昭和 35 年，1960 年）による津波によって甚大な被害を経験している。今回の東北地方太平洋沖地震（平成 23 年，2011 年）によって発生した津波は、東北から関東に至る海岸線に甚大な被害をもたらした。これらの大津波の発生間隔は 37 年，27 年，51 年と短く、歴史的に見れば三陸沿岸では絶えず津波による災害を受けていることになる。それぞれの津波での死者数と流出家屋を比較してみると、明治三陸津波が 26,360 人，9,879 戸に達し、昭和三陸津波は 2,995 人，4,885 戸であった（吉村昭，2011a）。チリ地震津波では 105 人，1,474 戸，東日本大震災津波では，5 月時点で死者 15,840 人，行方不明者 3,611 人，全壊家屋 121,656 戸（警察庁緊急災害警

* 施設工学研究領域 領域長

** 水利工学研究領域 沿岸域水理担当

平成 23 年 12 月 14 日受理

キーワード：東日本大震災，津波，海岸堤防，粘り強い堤防，減災農地

備本部, 2011)である。

「津波」という用語は、津（港や海岸）で大きな被害をもたらす波に由来しているが、地震やプレートの移動などによって引き起こされる自然現象であることを考えると、地球的な規模での地殻変動が続く限り今後も津波は何度も来襲することを意味している。特に地殻変動の活発なプレート境界部に位置している日本は、世界で発生する地震の20.8%（内閣府, 2006）が日本近海で発生しており、常に地震と津波の両面に対する防災対策を前提としなければならない。

このような三陸地方を襲った津波による被害の状況やその原因の分析から地域の復興と防災計画を見直すことは非常に重要な手順で、地域全体の安全性を確保するための重要な課題や改善策を抽出する基本となり、施設構造物の計画や設計にも重要な視点を提示するものと思われる。過去に東北地方に来襲した特に大規模な津波の状況と被害の規模を以下に示す。

（1）貞観11年の津波

869年7月13日（貞観11年5月26日）、三陸はるか沖を震源とするマグニチュード8.3（力武常次, 2010）の地震が発生し、陸奥で城郭、倉庫が崩れ落ち、民家の倒壊が多数あった。地震の発生は夜間であったが津波の来襲によって多賀城下まで浸水し、溺死者約1,000人の被害を出した（山下文男, 2005a）。この津波災害については平安時代に編纂された『日本三代実録』に記述が残されている。最近、貞観の津波の来襲によって堆積したとされる砂層が、仙台平野の海岸部で発見され江戸時代の慶長津波と貞観津波の浸水域が比較されている（澤井祐紀, 2006）。

（2）慶長16年の津波

1611年12月2日（慶長16年10月28日）、マグニチュード8.1の地震が発生し、岩手県から福島県にかけての震度は4～5の強震であった（山下文男, 2005b）。午後2時頃に津波が来襲し、大波が押し寄せて川を遡上した津波の引き波時には家屋や多くの物が波にさらわれた。津波の高さは岩手県田老、船越、小谷島で15～20m、宮古市で6～8mとなっている。田老では全滅に近い村もあったとされている。また、外洋に面している船越湾の小谷島から半島を越えた山田湾側の大浦まで津波が遡上したとも伝えられている。津波被害は、仙台藩の領内で死者1,783人、大槌で800人、船越で50人、山田・津軽石・宮古で330人の計2,963人（内閣府, 2004）、南部・津軽地方で人馬死3,000余（山下文男, 2005b）であった。宮城県岩沼市の海岸線から約1里（約4km）にある千貫山の麓に津波によって船が運ばれたとされている。

（3）明治三陸津波

1896年6月15日、マグニチュード8.5の地震が発生し、青森県から岩手県、宮城県にわたる太平洋の三陸海岸は、津波の来襲によって大きな被害を受けた。津波は約6分の間隔で来襲し、その規模は第1、2、3波を頂点として

翌日の16日まで合計数十回に及んだとされている（吉村昭, 2005b）。津波の高さは10～15mとされているが、津波の遡上高さは40mを超えるとも記されている。宮城県下の被害は、死者3,452名、流失家屋3,121戸、青森県下では死者343名、岩手県では22,565名、負傷者6,779名、流失家屋6,156戸に及んでいる。吉浜村では人口1,075名中、982名が死亡しほぼ全滅に近い被害であった。岩手県北部の普代村太名部では、全村42戸中、41戸が流失し、生存者はわずか11名であった（吉村昭, 2005c）。

（4）昭和三陸津波

1933年3月3日、マグニチュード8.1の地震が発生し、三陸沿岸は大きな津波に襲われた。地震の発生は2時32分で、津波は地震発生から約30分後に三陸海岸に到達している。第1波の到達前には、海岸線の海水が沖へ退き、その数分後に最初の高波が襲来し、10分前後の間隔で大きな波が5波ほど来襲したとされている。第2波の津波が最大で高さは10mを超え、綾里では29mに達している。死者数は2,995人、流失・倒壊家屋は7,141である（吉村昭, 2005d）。

田老町田老の津波波高は約10mに達し、全戸数362のうち358戸が流失・倒壊し、地区人口1,798人の44%にあたる792人が亡くなった。唐丹村本郷の波高は14mで、全戸101が流失・倒壊し死者数は326人、死者率は53%であった。船越村船越、唐桑村大沢などでは、明治の津波後に高地への集団移転をおこなっており、昭和三陸津波では原地に復帰した者が被災した。一方で唐丹村小白浜は、明治三陸津波を経験して高地へ集団移転したものの、山火事による家屋の焼失などの被害に遭ったことから集落の多くが低地の原地へ復帰していた。このため、波高17mの津波を受けて全160戸中98戸が流失・倒壊した。その後、この津波がきっかけとなって、岩手・宮城両県で98集落、8,000戸が集団あるいは個別に高地移転を行っている（独立行政法人防災科学技術研究所, 2011）。

Ⅲ 東北地方太平洋沖地震津波による被害と対策

1 被害の概要

平成23年東北地方太平洋沖地震は、日本の地震史上最大のマグニチュード9.0を記録し、地震に伴って発生した津波は北海道から九州の広範囲に及ぶなど、明治29年、昭和8年の三陸津波、昭和35年のチリ地震津波を遥かに凌ぐ大規模なものとなった。東北3県（岩手県、宮城県、福島県）の海岸堤防の総延長300kmのうち190kmの堤防が全半壊した（国土交通省, 2011）。

岩手県の津波対策は、過去の明治三陸、昭和三陸、チリ地震津波による被害状況を踏まえ、各地域で確認されている最大津波高を計画津波高として防潮堤等の防災施設の整備を進め、平成22年度末の整備率は約73%となっ

ていた。今回の津波では岩手県の国土交通省が所管する防潮堤の整備済延長約 25km の 5 割を超える約 14km 区間において被害が発生し、その約 2 割にあたる 5km の防潮堤は全壊に至っている（岩手県, 2011b）。特に、臨海部に市街地が集積している沿岸南部の陸前高田市や大槌町、山田町、宮古市（田老地区）では、計画津波高を上回る津波が防潮堤を越えたことにより、壊滅的な被害を受けた。また、大船渡市や釜石市では、臨海部の市街地に大きな被害が出ているものの後背地の市街地の被害は小さく、湾口防波堤の整備効果が指摘されている。沿岸北部の洋野町や普代村などでも、防潮堤等の防災施設により、被害が比較的小さく抑えられたと考えられる。

津波は波長の非常に長い波で、海底から海面までの海水全体が動き大きな力となって海岸施設に襲来する。このため、海面が数分以上に亘って高く盛り上がった状態が継続するので、堤防を越流した海水は大量に陸地に流入する。津波の高さが数 m に達すると、堤防後背地の低い集落では家屋の流失・倒壊率が 100% 近くになる（国土交通省, 2011b）。

これらの地区の津波による被害の特徴を下記に示す。

①地形特性

岩手県沿岸北部に比べて南部では壊滅的な被害を受けている。地域によって被害に差が生じているのは、震源に対する向きの違い、すなわち津波の入射方向によると考えられる。また、リアス式の湾は津波が収斂して波高が増大するとともに形状によっては共振により増幅も発生するため、地域の地形的な特性が津波の遡上高さに大きく影響した。

②海岸後背地の地形

壊滅的な被害を受けた地区でも漁港加工施設や鉄筋コンクリート構造物等の背後にある建物は被害が小さく、鉄筋コンクリート構造の建物による津波減衰効果が認められる。また、海岸後背地の地盤高が低い箇所は津波の侵入量も大きく、防潮堤や背後施設の被害規模が大きく、地盤高が高い箇所は被害が小さい傾向にある。

③越流高さ

計画津波高に対して来襲した津波高が小さく防潮堤の越流水深が小さい場合には、壊滅的な被害を受けていないが、越流水深が大きかった沿岸南部では、防潮堤が倒壊、流失するなどの壊滅的な被害を受けた。

④被災メカニズム

壊滅的な被害を受けた宮古市等では防潮堤や防潮林は全壊、消失しているが、被害規模の小さな地区や湾口防波堤のあった釜石港では防潮堤は残っており、防潮堤などの海岸施設の健全性が後背地の被害に大きな影響を及ぼした。防潮堤は天端と裏法面をコンクリートなどで被覆した堤防構造が多いが、被災箇所では天端のコンクリート被覆工や裏法面の被覆パネルなどが破損、あるいは流失して堤体盛土が大きく侵食している。津波高が大きく壊滅的な被害を受けた宮古市の田老海岸や野田村の

野田海岸は、海岸線から 2 重の防潮堤が設けられている。両地区ともに海岸の第 1 線堤防（防潮堤）は壊滅的な損傷を受けているが、陸側の第 2 線堤防には大きな損傷は発生していない。

2 被害の特徴

2.1 全体的な特徴

東北地方太平洋沖地震による津波災害の状況調査から防潮堤だけでは、その後背地を必ずしも守りきれないことがより明確になった。その象徴的事例となったのが、岩手県宮古市田老地区の総延長 2.4km にわたる防潮堤である。田老地区は、明治三陸津波（1896 年）では地区の 345 戸が全滅、死者 1,867 人（被災地人口の 83.1%）、昭和三陸津波（1933 年）では流失・倒壊家屋 500 戸、死者・行方不明者 911 人（被災地人口の 32%）という壊滅的な被害を繰り返し受けてきた（山下文男, 2005）。田老地区は 3 度にわたり津波によって全滅の被害を被ったが、背後の山が近く海岸域に平地がないなどの地理的な制約から高台移転も十分に実施することができず、海岸近くの低地を再開発することが繰り返し行われていた。このため、昭和三陸津波の被害後には防潮堤の建設を始め、高さ 7.7m（海拔高 10m）、延長 1,350m の 2 重の防潮堤が昭和 33 年に完成した。1960 年（昭和 35 年）のチリ地震津波の来襲時には防潮堤が完全に津波を防御することができ、死者も家屋の被害も回避することができた（吉村昭, 2005d）。

しかしながら、今回の津波では津波は 2 重の防潮堤を越え、死者 96 人、行方不明者 50 人という大きな被害が発生した（毎日新聞, 2011）。

a 三陸海岸北部の被災パターン

宮古市田老は、Fig.1 に示すように東に太平洋に広く開口した入り江の奥に位置しており、防波堤、防潮堤が多重に配置されている。漁港では津波の遡上高が 30 m を超え、乙部野では 34.7 m、重津部では 27.5m、小堀内では 37.3 m であった（渡辺満久, 2011）。

北向きに山田湾に面する山田町大浦では津波の遡上高は 10 m 程度である。しかしながら、大浦の南にある外海に開いた湾に面した小谷島では約 27 m に達し、集落の被害も甚大であった。大浦の東の白崎北の谷では、海岸から約 450 m 内陸まで津波が遡上した。以上のように、津波の遡上高は、近接している湾であっても湾ごとに異なることが明らかになった（岩手県, 2011b）。

b 三陸海岸南部から仙台平野の被災パターン

仙台平野の荒浜周辺は、Fig.2 に示すように、海岸線の後背地にある住居は完全に焼失し、その背後の農地も津波の浸入によって海水が湛水しており、海岸線から約 5 km の内陸部まで浸水している。荒浜から仙台東部道路にかけての浸水高は海岸堤防付近で 10 m 前後でその後背地では 5 ～ 6 m 程度である（森 信人, 2011）。浸水高はその内陸側の遡上限界辺りになる仙台東部道路付



Fig. 1 宮古市田老地区周辺の被災前後の状況
Air view after and before the earthquake around Taro in Miyako
(<http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyo-ok/hikaku/tarou.pdf>) 国土地理院

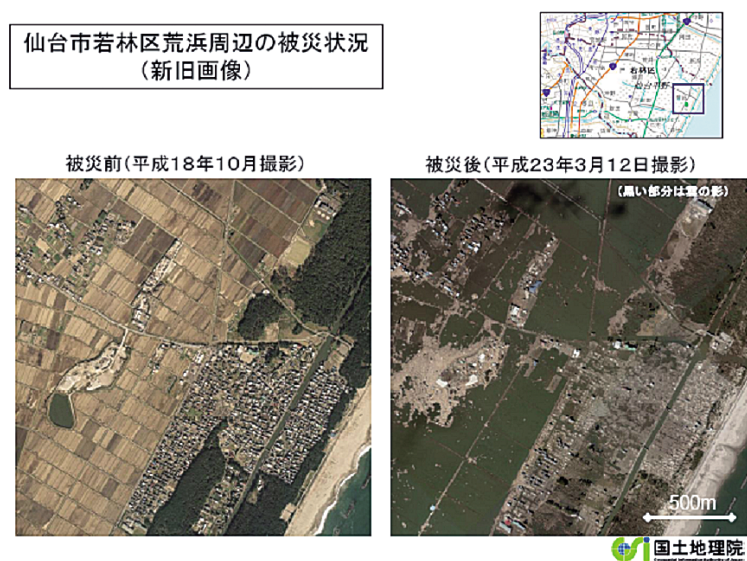


Fig. 2 仙台市若林区荒浜周辺の被災前後の状況
Air view after and before the earthquake around Arahama in Sendai
(<http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyo-ok/hikaku/arabama.pdf>) 国土地理院

近での浸水深は 1m 程度である。津波被害では、木造家屋は水深 2m を超える地区の倒壊率が急増すると報告されているが(首藤伸夫, 1992), 日和山東部の堤防の陸側では浸水深が 3 m を超える地域でも家屋が流亡を免れており, 家屋などの施設の倒壊, 流亡には浸水深の大きさだけでなく, 流速や密度, 津波とともに流れてくる瓦礫等の存在も大きく寄与することが示唆される(日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム, 2011)。

2.2 農地の被災状況

海岸堤防後背地に広がる農地も甚大な被害を受けた。農林水産省による農林水産関係被害状況のとりまとめ(農林水産省, 2011a)によると農地の損壊は 17,456 カ所, 4,012 億円に達し, 東北 6 県での農地の冠水は, **Table 1**(農林水産省, 2011b)に示すように 23,600ha(水田 2 万 ha, 畑 3 千 4 百 ha)であった。特に宮城県は 15,002ha が冠水するとともに, 海岸域の地盤沈下も大きく排水不良地域が広域となり, 抜本的な農地復旧を要する状況となった。また, 後背地の農地や水路には, **Fig.3**に示すよう

に流木やがれきなどが堆積しており、完全に機能損失している。津波遡上は、宮城県岩沼地区では Fig.4（国土地理院，2011）に示すように海岸線から 5km に達しているが、比較的高位部の農地においても津波の遡上による塩害が発生している。



Fig. 3 宮城県農地のがれき堆積状況
View of farmland after the earthquake

Table 1 東北 6 県の耕地面積と被害
Damaged farm area in Tohoku

県名	耕地面積 (平成22年)	流失・ 冠水等 被害推定 面積	被害 面積率 (%)	田畑別内訳試算	
				田	畑
青森県	156,800	79	0.1	76	3
岩手県	153,900	1,838	1.2	1,172	666
宮城県	136,300	15,002	11.0	12,685	2,317
福島県	149,900	5,923	4.0	5,588	335
茨城県	175,200	531	0.3	525	6
千葉県	128,800	227	0.2	105	122
合 計	900,900	23,600	2.6	20,151	3,449

a 三陸の農地海岸と農地の被災

リアス式海岸を形成する三陸沿岸は、地形が急峻で海岸域には平坦部は少なく、河川が流れ込む湾の一部の平野に都市が集積している。リアス式海岸が弱い岩手県北部から青森県にかかる地域では、防潮堤の後背部に比較的大きな農地が広がっている（丹治 肇，2012）。このような農地が広がる地域で津波被災が大きかった地区に野田村がある。野田村は三陸では最も大きな背後農地をもつ農地海岸である。野田村の海岸堤防は、国土交通省所管の防潮堤と、林野庁所管、農林水産省所管の防潮堤からなる。野田村では、堤防高さが低かった国土交通省と林野庁所管の堤防は破損したが、農地海岸堤防（堤高 13m）は一部の越流はあったものの津波防災効果を発揮している。

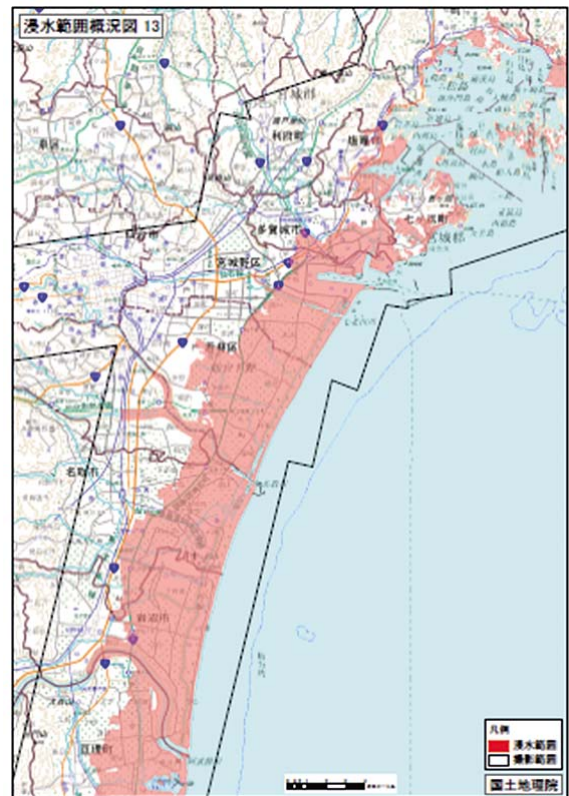


Fig. 4 岩沼地区の浸水域（国土地理院）
Inundated area around Iwanuma district

b 仙台湾沿岸の農地被災

仙台湾沿岸は 4 つの河川（北上川，鳴瀬川，名取川，阿武隈川）による沖積平野が広がっており，北上川と阿武隈川の間には，防潮堤背後に海岸線に沿って貞山堀運河が建設され，その後背地は農地が広がっている。これらの低平地（農地）は今回の津波の被災を受けて，海岸線から 5km の内陸部までが津波の遡上域になり，標高の低い部分や地盤沈下した地域には湛水が残った。亘理町の農地海岸も含めてこの辺りの海岸堤防は全て津波の越流と遡上を許し，沿岸農地と散在する住宅が津波の被害をうけた。Table 2 に特に被害面積の大きかった国営の灌漑排水事業地区の概要を示す。被災は，南よりの地区の方が大きく，亘理山元地区では，77% を超える農地が被災している。

3 線の防御から面的防御へ

従来の防潮堤についても地区ごとに確認されている歴史的な津波の痕跡を参考にして計画津波高さを設定しているが，今回の津波ではその設定以上の津波の来襲を受けた地区で大きな被害となっている。このことは，津波が自然現象として繰り返される以上，その設定を超える津波が来襲する可能性があることを意味しており，海岸線に構築される防潮堤だけでは津波を防ぎきれないことが，改めてはっきりとした。津波が防潮堤を越えることがあることを前提とした津波減災システムの構築が急務

である。

このことは、地域の安全性を考えるときに、防潮堤を越流する津波によって後背地にある程度の浸水被害が及ぶことを受け入れることを意味しており、従来の災害を発生させない「防災」の考え方から一歩進んだ「減災」の概念に基づく地域創りを前提としている。すなわち、津波が防潮堤を越えた場合にも、人命と生活の拠点である住居を守り、社会基盤施設の被害を最小限にとどめるとともに迅速な地域復興が可能となる防潮堤や津波シェルター、避難施設、さらには漁港施設の配置などの地域計画も含めた「減災対策」を進めることを意味している。

「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策

に関する専門調査会」の中間とりまとめ（中央防災会議、2011）では、基本的に2つのレベルの津波を想定する必要があるとしている。一つは、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で設定する津波である。もう一つは超長期にわたる津波堆積物調査や地殻変動の観測等をもとにして設定され、発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波である。この提言を受けて、農林水産省と国土交通省（国土交通省、2011c）は、「最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波であり、構造物によって津波の内陸への侵入を防ぐ海岸保全施設等の建設を行う上で想定する津波」を「設計

Table 2 岩手県・宮城県農地保全海岸の被害面積
Damaged farm area rate

（単位：ヘクタール）

県名	市町村名	耕地面積 (平成22年)	農地の流失・ 冠水等の 被害推定面積	指定面積の田畑別内訳の試算		
				被害面積率(%)	田耕地面積	畑耕地面積
岩手県	岩手県計	79	0.1		76	3
	太平洋岸市町村計	1,838	1.2		1,172	666
	洋野町	3,220	10	0.3	3	7
	久慈市	2,920	34	1.2	13	21
	野田村	425	94	22.1	89	5
	普代村	253	0	0.0	0	0
	田野畑村	721	12	1.7	12	0
	岩泉町	2,070	92	4.4	83	9
	宮古市	2,260	243	10.8	195	48
	山田町	547	93	17.0	72	21
	大槌町	416	50	12.0	44	6
	釜石市	804	79	9.8	58	21
	大船渡市	933	460	49.3	170	290
	陸前高田市	1,080	671	62.1	433	238
宮城県	宮城県計	136,300	15,002	11.0	12,685	2,317
	太平洋岸市町村計	35,777	15,002	41.9	12,685	2,317
	気仙沼市	2,220	1,032	46.5	583	449
	南三陸町	1,210	262	21.7	163	99
	石巻市	10,200	2,107	20.7	2,010	97
	女川町	25	10	40.0	4	6
	東松島市	3,060	1,495	48.9	1,314	181
	松島町	1,030	91	8.8	89	2
	利府町	471	0	0.0	0	0
	塩竈市	73	27	37.0	8	19
	多賀城市	365	53	14.5	53	0
	七ヶ浜町	183	171	93.4	102	69
	仙台市	6,580	2,681	40.7	2,539	142
	名取市	2,990	1,561	52.2	1,367	194
	岩沼市	1,870	1,206	64.5	1,049	157
	亘理町	3,450	2,711	78.6	2,281	430
	山元町	2,050	1,595	77.8	1,123	472

津波」とすることとしている。

さらに、中央防災会議（2011）では、「最大クラスの津波に対しては今般の巨大な津波の発生とその被害から、海岸保全施設等に過度に依存した防災対策には問題があった」として、「住民の避難を軸に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、ソフト・ハードのとりうる手段を尽くした総合的な津波対策の確立が必要である。」と提言している。また、「被害抑止策」を超えて被害が発生したことから、できるだけ被害が拡大しないような「被害軽減策」の必要性についても触れている。

a 面的防御による津波減勢

農村工学研究所が実施した防潮堤の被害調査や後背農地の被災状況調査の結果から、復興支援チームは今回のような最大クラスの津波に対しては海岸線の防潮堤だけでは地域の安全性を十分に確保することは困難であるとして、後背地による津波減勢効果や津波シェルターなどの基盤整備とともに、避難路の整備も含めたソフト的な面からの減災対策が必要であることを提示している（たとえば、農村工学研究所 HP 東日本大震災復興支援特設サイト、岩手県津波復興専門委員会，2011）。特に防潮堤の後背地に農地が広がる場合には、農地の地形的な特性を生かした津波減勢が可能であることを示し、地域の復興に向けたランドデザインに導入することが、「被害軽減策」に大きく貢献することを提言している。津波減勢機能を防潮堤以外に求める提案として、林野庁は高さ 10 ～ 20m の人工丘と植樹による「海岸林を活用した津波被害の軽減策」（河北新報，2011）を、（社）日本造園学会ではガレキの分別と適正な素材の活用による「防災人工丘公園」（日本造園学会，2011）の建設を提案している。

農工研・復興支援チームが提示している防潮堤後背農地を利用した「被害軽減策」については、農地そのものを減勢施設としてだけに利用するのではなく、常時には通常の農地としての生産活動の場としての役割を担いつつ、防潮堤を越流する最大クラスの津波に対しては、地域全体に氾濫する津波遡上を抑制・制御する効果を発揮するもので、まさに有事に「減災農地」としての機能を発揮する施設と考えられる。

IV 農地を利用した津波被害軽減

防潮堤は背後農地保全を目的とする場合と、海岸の侵食防止を目的とする場合に分かれる。岩手県三陸の農地海岸堤防は前者であり、宮城県の農地海岸堤防は後者の役割に重点が置かれている。しかしながら、後者の海岸堤防であっても、設計津波を前提として構築される防潮堤の場合には、最大クラスの津波の場合にも決壊することなく、後背地への津波を減勢し第 2、3 波と続く津波の来襲に対しても被害軽減のための機能を発揮し続けな

ければならない。避難施設の構築や避難行動、災害に強い地域計画などのソフト的な対策との関係を確認なものとするためには、設定した防潮堤の機能は維持し続けることが重要である。

農工研が提示している「減災農地」については、農地を地域全体の安全と安心を確保するために積極的に活用することを意味しているが、一部に被害を集中させることにもなりかねないことから、地域全体としての防災・減災に対する取り組みが重要であり、住民活動の場での地域の安全対策や方針に対する合意、制度の創設などの多面的な検討を進める必要がある。本報文では、ハード面の特性に着目した工学的見地からの提案に限定して農地という施設の利用の可能性を提示することにとどめる。

「減災農地」としての後背地を利用する場合、下記のような機能を確保した防潮堤と農地の設計、地域全体の計画が必要である。

- ①防潮堤は、津波によって崩壊しないこと
- ②後背地には、津波減勢と避難場所の確保も兼ねた第 2 線堤防の設置を検討すること
- ③防潮堤と第 2 線堤防との間には、減災農地や避難施設などを配置すること
- ④常時は、減災農地として整備する農地は、営農面での利用価値の高いこと
- ⑤津波減勢効果の高い農地、および配置であること
- ⑥津波の侵入によっても農地の侵食が最小限であること
- ⑦海水の侵入と湛水を速やかに排除できる排水施設が整備されること
- ⑧営農再開のための灌漑施設が適切に配備され津波被害が及ばないこと
- ⑨避難路が適切に整備され、5 分以内に所定の避難施設に到達することができること

防潮堤背後の農地については新たな津波減災機能が付加されるが、避難などのソフト対策と一体的に検討することが重要であることから、地域の防災・減災計画におけるランドデザインに導入することが合理的で実効性が高い。

1 粘り強い堤防

農林水産省と国土交通省（2011）は、海岸堤防の復旧に関する基本的な考え方として、設計対象の津波高を超えた場合でも粘り強く効果を発揮する海岸堤防等の構造と耐震対策を挙げている。

土構造物の耐震性については、補強土工法を用いた盛土の安全性が数々の耐震実験による検証とともに、兵庫県南部地震（1995 年）の JR 関西の東海道本線の補強盛土によって実証されている。その後、新潟県中越地震（2004 年）や能登半島地震（2007 年）の道路や高速道路の復旧に採用され、その耐震性能については一定の評価

が得られている（龍岡文夫，2011）。また，越流侵食に対する抵抗性については，ため池などの貯水の越水に伴う堤体裏法面の侵食抵抗性が確認されており，特殊な大型土嚢を積層した補強土工法による堤体は，通常の越流侵食による崩壊は発生せず，大きな落下流を受けた場合でも堤体の侵食は非常に緩慢で，堤体の安全性を維持することが可能であることが明らかになっている（Mohri, 2009）。数 m に達する越流水深を有する落下流に対する安全性については検証の域にないが，堤体表面を流れる越流水に対しては侵食スピードを低減する効果は大きく，急激な損傷を回避することができる。

海岸施設に補強土工法が採用された事例として，Fig.5 に示す西湘バイパスの復旧工事がある。本地区は台風によって海岸が大きく洗掘され，堤防が崩壊したため，補強土工法（RRR 工法）を用いて復旧したものである（石河雅典，2010）。

Fig.6 に最も単純な補強土工法の断面構造のイメージを示す。盛土を構築する地盤材料に高分子材料でできたジオシンセティックス（シート，あるいはネット）を水平に積層して，盛土の強度を向上し高耐震性を実現している。海岸堤防に用いる場合には，波浪防護のための海側の全面防護工や法面の被覆工が必要となるが，次のような特徴がある。

- ①耐震性に優れる
- ②軟弱地盤でも大きな基礎を必要としない
- ③地盤の不同沈下にも追従する
- ④堤体断面を縮小することができる
- ⑤一般的な地盤材料を用いることができる
- ⑥数十 m の高さの堤防も同様の工法で施工可能

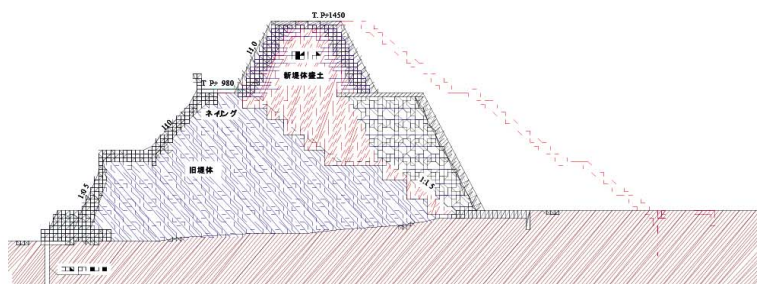
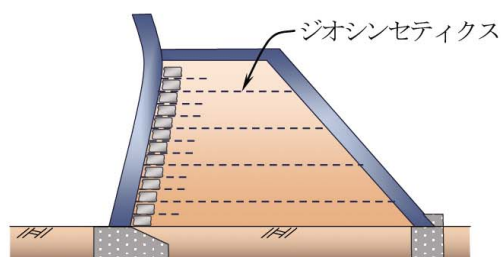


Fig.6 補強土工法を用いた海岸堤防
Tide embankment with reinforced technology

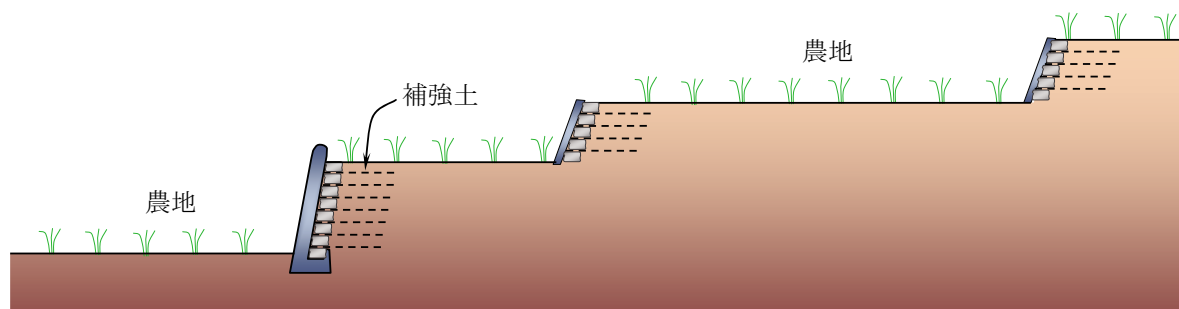


Fig.7 減災農地の断面形状
Cross sectional view image for Tsunami mitigation farmland

このような，補強土工法を用いた盛土の構築技術は，第2線堤防や避難路などの緊急時には100%機能することが要求される施設にも適用することができ，経済的に環境負荷の軽減と景観に配慮した防災施設の構築が可能である。

2 津波減勢を高めた農地

過去の津波被害の歴史の中で，岩手県宮古市姉吉や唐丹本郷，大船渡市吉浜地区では，津波被害を受けて集落を高台に移転し，堤防後背地は主として農地として利用してきた。このように，防潮堤の後背地を農地として利用し，住居は比較的標高の高い位置に移転することが実現できれば，地域の安全性は格段に高まり，公共施設やライフラインなどの整備を受けて地域の復興の基盤整備が進むと思われる。



Fig.5 補強土工法によって復旧された海岸堤防（西湘バイパス，
(<http://nisishoReconstructed> tide embankment with reinforced technology)

堤防後背地の農地を棚田のように段差を設けた圃区として整備し、堤防を越流する津波の勢力をその段差と農地面で減勢するのが、提案する「減災農地」である。従来の農地の土地区画整理の基本的な考え方に加えて、次のような観点で整備することによって、津波減勢効果のある農地としての機能を見込む。

- ① 津波の侵入によっても侵食や崩壊しない
- ② 津波の勢力を効率的に減勢する圃区ごとの段差や配置とする
- ③ 地震によっても農地が崩壊しない
- ④ 津波の湛水を排除する排水施設を配置する
- ⑤ 海水の除塩に不可欠な灌漑施設を高い位置に配置する
- ⑥ 瓦礫が農地や水路に氾濫・集積しないような、圃区配置とする

農地の縦断構造のイメージは、**Fig.7** のようである。圃区の広がりや段差は見込まれる津波の規模に応じて津波遡上シミュレーションを行って設定するのが合理的である。

3 減災農地を導入した地域デザイン

海岸線に近い地域の地震と津波に対する安全性を確保するためには、先に示したように「粘り強い防潮堤」と「減災農地」の活用とともに、第2線堤防や避難道路の整備などの施設面での多重防護を進めることが有効である。このためには、被災地にあっては可能な範囲で高い位置に住居を移すことが安全対策としては最も有効で、最大級の津波や地震に対する安全性を確保するために地域全体のランドデザインを実施することが期待される。**Fig.8** は津波の遡上によって大きな被害のあった三陸地域の面的なデザインの例を示している。海岸線には粘り強い防潮堤を築造し、その後背地には土地区画整理等によって減災農地と必要な灌漑排水施設を構築する。農地から居住区へは避難路も兼ねた農道などのライフラインを整備するとともに、津波の遡上を防護する第2線堤防を設ける。この堤防も地域の幹線道路として利用す

ることによって集落から海岸部へのアクセスも軽減化される。

Fig.8 では、集団的な移転地を確保できない場合を想定して被災した低位部の集落は、コミュニティが維持できる範囲での小集落ごとに高地へ移転するパターンを示している。このため、比較的小規模の造成が必要となるが、土地区画整理や道路の再整備、鉄道やライフラインの整備などと合わせて考える地域デザインを進めることによって地域の被災状況やコミュニティなどの特性に応じた復興計画が策定できる。**Fig.9** は防潮堤から高地の集落に至る断面での施設の配置を示し、粘り強い防潮堤と減災農地による津波減勢のイメージを示している。仙台市若林区では東部道路が津波の遡上を抑制し、その高位部の被害が少なかったように、堤防、道路、農地を有効に配置することで、津波の内陸部への影響を抑制することが可能である。

V 結 言

東北地方が幾度となく経験してきた津波災害でも明らかに、津波に対する安全性を確保する最も基本的

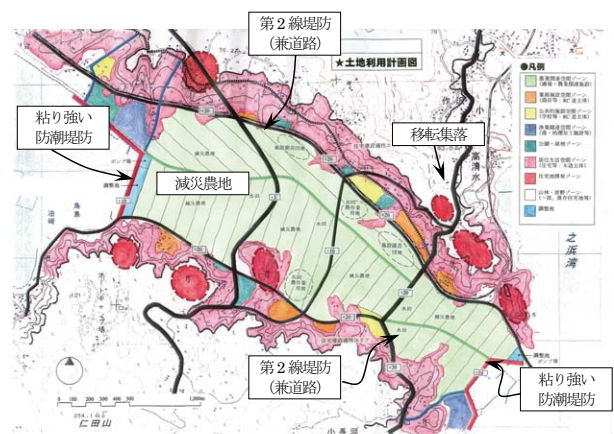


Fig. 8 減災農地を導入した地域デザインの事例案
Landscape design with Tsunami mitigation farmland area
for damaged area

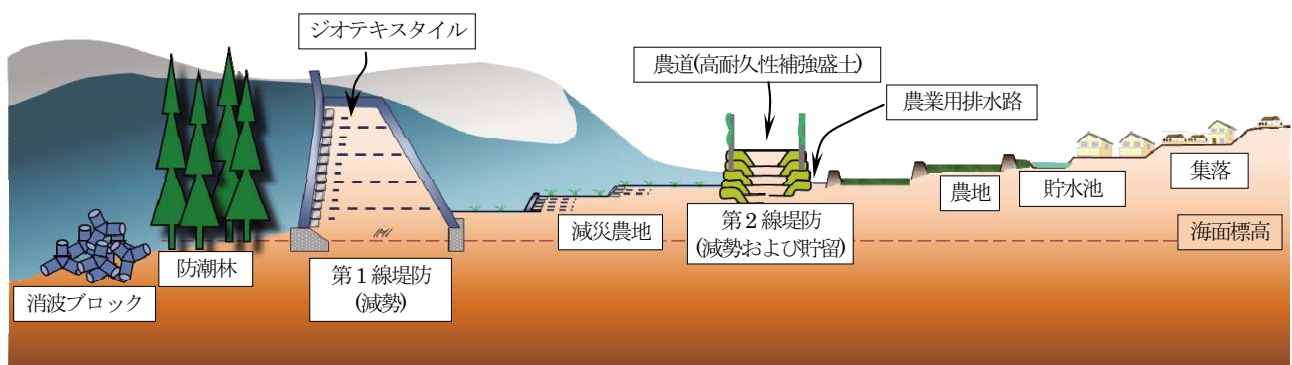


Fig. 9 粘り強い防潮堤と減災農地による津波減勢
Tsunami dissipator system with high performance tide embankment and farmland

な方法は、高台に住居を配置することである。しかしながら、生活と生産活動を考えると漁業や農業生産にとって海岸域の平坦な低平地を有効に活用することも必要不可欠なことで、海岸堤防や後背地の土地利用、避難路、警報システム、などの防災施設を適切に配置、運用することが重要である。自然現象として発生する地震と津波に対して、完全に被害を封じ込めるような大規模で強靱な防災対策は、現実的には不可能であることが改めて示された。防潮堤の設計で考慮している以上の津波が来襲することも考慮して、地域全体の安全性を確保する方法が多方面で検討されてきている。施設の構造面では粘り強い防潮堤を構築する技術や後背地での津波減勢を高める技術、避難・防浪ビルなどの適切な配置と避難システムなど個々の減災技術を組み合わせた、まさにハードとソフトによる「多重防御」の思想による地域の安全性確保が重要であることが認識された。粘り強い堤防や減災農地は、津波の遡上を意識した上で津波に対して2重3重の防御施設を一体的に配置するもので、さらに避難システムや警報システムなどのソフト対策との連携によって地域の安全と安心が実現できるものと考ええる。

想定されている東海・東南海・南海地震と連動する津波に対する地域の被災を最小限に抑え、速やかに復興するためには、地震と津波に対する様々な減災の技術を個々に高めながら、総合的な運用を進めることが重要である。

参考文献

- 1) 国土地理院 (2011) : 10 万分 1 浸水範囲概況図 (<http://www.gsi.go.jp/common/000060133.pdf>)
- 2) 農林水産省 (2011,a) : 東日本大震災について～東北地方太平洋沖地震の被害と対応～, 平成 23 年 11 月 25 日農林水産省 (<http://www.maff.go.jp/j/press/keiei/saigai/111125.html>)
- 3) 農林水産省 (2011b) : 東日本大震災 (津波) による農地の推定被害面積, 平成 23 年 3 月 29 日, 統計部, 農村振興局 (<http://www.maff.go.jp/j/tokei/saigai/pdf/shinsai.pdf>)
- 4) 吉村昭 (2011a) : 三陸海岸大津波, 171
- 5) 警察庁緊急災害警備本部 (2011) : 被害状況と警察措置, (<http://www.npa.go.jp/archieve/keibi/biki/higaijyokyo.pdf>)
- 6) 内閣府 (2006) : 平成 18 年防災白書, 第 1 章 我が国の災害の状況 (http://www.bousai.go.jp/hakusho/h18/BOUSAI_2006/html/honmon/index.htm)
- 7) 力武常次 (2010) : 日本の自然災害, 54
- 8) 山下文男 (2005a) : 『津波の恐怖－三陸津波伝承録』東北大学出版会, 10-20.
- 9) 澤井祐紀 (2006) : 仙台平野の堆積物に記録された歴
- 史時代の巨大津波 -1611 年慶長津波と 869 年貞観津波の浸水域, 地質ニュース, 624, 36-41.
- 10) 内閣府 (2004) : 中央防災会議, 災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 (平成 17 年 3 月), 第 1 期報告書, 1896 明治三陸地震津波, 第 1 章, (<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/kyoukun/rep/1896-meiji-sanrikuJISHINTSUNAMI/index.html>)
- 11) 山下文男 (2005b) : 『津波の恐怖－三陸津波伝承録』東北大学出版会, 13.
- 12) 吉村昭 (2011b) : 三陸海岸大津波, 25
- 13) 吉村昭 (2011c) : 三陸海岸大津波, 45
- 14) 吉村昭 (2011d) : 三陸海岸大津波, 78
- 15) 独立行政法人防災科学技術研究所 (2011) : 昭和三陸津波の被害と避難・高地移転, 防災基礎講座 災害事例編～災害はどのように起きているか～
- 16) 国土交通省 (2011a) : 第 1 回 海岸における津波対策検討委員会資料
- 17) 岩手県 (2011a) : 第 1 回岩手県津波復興専門委員会資料 1
- 18) 岩手県 (2011b) : 第 2 回岩手県津波復興専門委員会資料
- 19) 渡辺満久 (2011) : 変動地形学からみた防災対策－2011 年東北地方太平洋沖地震から学ぶこと－ (http://www.kenkocho.co.jp/pdf/150_09wm.pdf)
- 20) 山下文男 (2005c) : 『津波の恐怖－三陸津波伝承録』東北大学出版会, 121-138.
- 21) 毎日新聞 (2011) : 2011 年 5 月 15 日朝刊 14 面
- 22) 日本地理学会 (2011) : 2011 年東北地方太平洋沖地震の縮尺 1:25,000 広域津波被災マップ, 空中写真実体視判読による検討
- 23) 首藤伸夫 (1992) : 津波強度と被害, 津波工学研究報告, 第 9 号, 土木学会, 101-136
- 24) 国土交通省 (2011b) : 東日本大震災の津波被災現況調査結果 (第 2 次報告)
- 25) 森 信人 (2011) : 東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会 予稿集, 津波合同調査の全体概要とその解析結果
- 26) 丹治 肇・毛利栄征 (2012) : 減災対策と農村地域の復興, 農業および園芸 212-217, 87 (1)
- 27) 中央防災会議 (2011) : 「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」, 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会中間とりまとめ～今後の津波防災対策の基本的考え方について～
- 28) 国土交通省 (2011c) : 「設計津波の水位の設定方法等」について ～復興計画策定の基礎となる海岸堤防の高さ決定の基準～ (http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000361.html)
- 29) 河北新報 (2011) : 2011 年 5 月 8 日朝刊

- 30) (社) 日本造園学会 (2011) : 「ランドスケープ再生を通じた震災復興」(提言), 日本造園学会大会資料
- 31) 国土交通省 (2011) : 海岸における津波対策検討委員会提言「平成 23 年東北地方太平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方」について, (http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000429.html)
- 32) 龍岡文夫 (2011) : 信頼されるジオシンセティックス補強土と地盤防災への適用—現状と展望—, ジオシンセティックス技術情報, 2011 年 3 月号, 1-20.
- 33) Y.Mohri, K.Matsushima, et al. (2009) : New direction for earth reinforcement -disaster prevention for earth fill dams., *Geosynthetics International*, 16, No.4, 246-273.
- 34) 石河雅典, 他 (2010) : 台風により被災した道路護岸における補強土壁工法, 基礎工, 38 (2), 93-95.

Tsunami Mitigation by Farmland Behind Tide Embankment

– Proposal and Image for Tsunami Mitigation System with Farmland –

MOHRI Yoshiyuki and TANJI Hajime

Summary

A magnitude 9.0 earthquake occurred off the coast of northeast Japan at 14:46 local time on March 11, 2011, this earthquake caused a tsunami which attacked Japan as well as a wide range of localities around the Pacific Ocean, from Hokkaido to Kyusyu. Tohoku area around Pacific Ocean, Iwate and Miyagi prefecture, have a few times Tsunami disaster in about 40 years interval. At this time, the degree and extent of damage caused by the earthquake and resulting tsunami were enormous, with most of the damage being caused by the tsunami around Pacific Ocean site. Anti-tsunami seawalls and tide embankment which line at least 190km of its 300 km in Iwate, Miyagi and Fukushima prefecture, were washed out by tsunami and over the top of some seawalls, collapsing the farmland behind the tide embankment.

In this paper, earthquake and tsunami resistant tide embankment which was constructed by using the reinforced earth technology was proposed. In Based on the consideration of damage investigation results for the farmland and tide embankment, tsunami mitigation system by using high performance farm land, making step like field behind the tide embankment area were proposed.

Keywords : 2011 Tohoku earthquake, tsunami, tide embankment, tsunami mitigation farmland