

連続被災した福島県北海老海岸の緊急対策と評価

Evaluation of Emergency Countermeasure to Continuously Damaged Kitaebi Coast in Fukushima Prefecture

丹治 肇¹・桐 博英²・中矢哲郎³

Hajime TANJI, Hirohide KIRI and Tetsuo NAKAYA

Kitaebi Coast is attacked by the 12th Typhoon on the 5th of September and an extraordinary low pressure zone on the 6th of October in 2006. The first attack destroyed bank-filled concrete and the second attack destroyed whole coastal banks. Emergency countermeasure was done after the second attack. On the 13th of October, the next typhoon arose and approached to Japan. Then the emergency countermeasure level was increased as the previous permanent facility level, because officers considered resident fear of the third attack on the assumption that main cause of the disaster is the change of submerged topography. Detailed survey was done after November. Additional causes are waves and broken-down banks. Fear by residence was surveyed by questionnaire to common people and emergency countermeasure was evaluated. The study suggests that strong emergency countermeasure after the continuous damage should be reasonable.

1. はじめに

福島県北海老海岸は 2006 年 9 月 5 日と 10 月 6 日に連続被災した。10 月中旬には南太平洋上に発生した台風が接近し、緊急に災害査定と対策が進められた。ここでは前例のない連続被災の実態を報告し、その後の調査結果を踏まえた被災原因の解明と緊急対策の評価を行う。特に、今回は問題となった仮締切堤防の高さも検討する。

2. 検討対象地区と被災の経緯

(1) 対象地区

北海老海岸は図-1 の福島県北部に位置する延長 1,400 m の農地海岸で、約 12 km 北に相馬港がある。

(2) 1 回目の被災

2006 年 9 月 5～6 日に台風 12 号が通過し、消波工が飛散沈下し、傾斜堤防 272 m の裏法に吸出しが生じたため、裏法のコンクリート補填に着手した。

(3) 2 回目の被災

10 月 6～7 日には発達した低気圧が通過し、暴風、高波、高潮が発生した。写真-1 の傾斜堤防 730 m が崩落し、海水 400 万 m³が越波した。背後地 53 ha と床上 3 戸・床下 6 戸の浸水被害が発生した。そこで応急仮工事で崩落部分を囲む仮締切堤防（以下仮堤防と略す）の建設を開始した。図-2 の*は 9 月の、**は 10 月の被災箇所である。図-3 に傾斜堤防の標準断面を示す。

3. 緊急対策

10 月 9 日に台風 18 号が発生した。12 日には、台風の

中心気圧は 975 hPa に達した。このため 13 日に災害査定官を含めて、応急工事など災害復旧方針に対する打ち合わせを行った。仮堤防は、本堤防ができるまでの役割なので高さの明確な基準はない。建設省河川局治水課（1999）の仮締切堤防設置基準（案）は「工事施工期間の

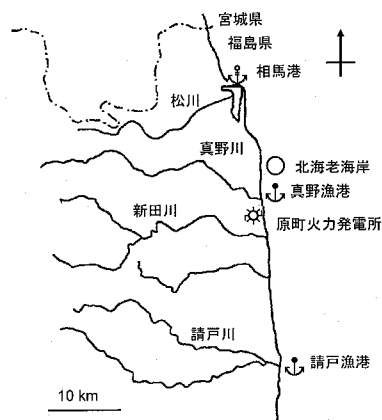


図-1 対象地区の位置

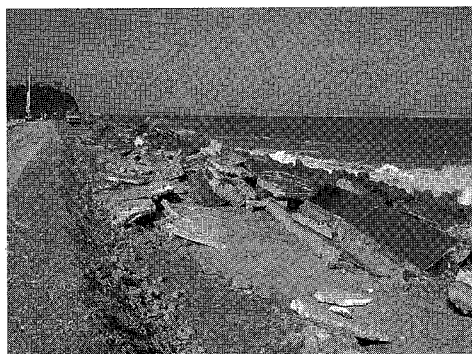


写真-1 被災の様子

1 正会員 農博 (独法)農業食品産業技術総合研究機構
2 正会員 (独法)農業食品産業技術総合研究機構
3 正会員 農博 (独法)農業食品産業技術総合研究機構

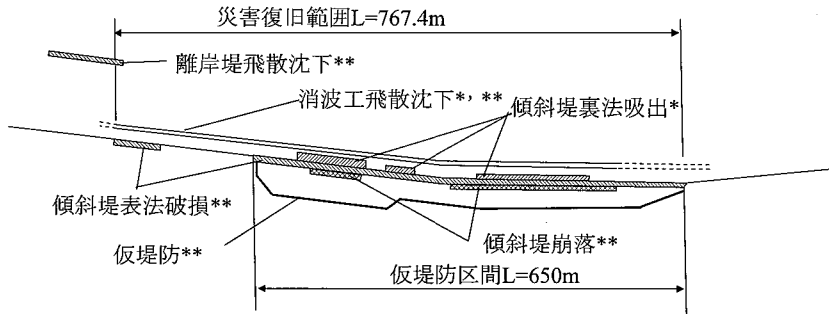


図-2 被災の状況

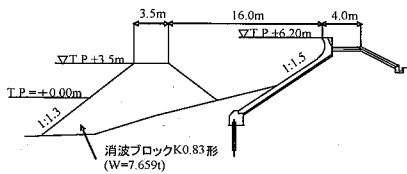


図-3 傾斜堤防の断面

過去5カ年の時刻最大水位」を目安としている。これによると仮堤防の高さは、崩落前よりも1m以上低くなった。しかし、連続被災の結果、仮堤防は崩落前以上の高さがなければ地元の同意は得られないと思われた。この時点で得られた情報は、①相馬港、小名浜港の潮汐・波浪データ、②被災後の測量で堤防前面の海底が-1mから、-2mに低下した事実、③堤防が連続被災して崩落した事実である。

ここでは、破堤の原因を海底地形の変化と考え、危険は継続していると判断して、堤防高 T.P.+5.1m の上に、1.0m の矢板を加えた被災前の堤防高 T.P.+6.1m の仮堤防にした。

4. 被災原因の解明

10月6～7日に東北地方では波浪による船の遭難が多発した。最大有義波観測時の相馬港の潮位は T.P.+1.37m で、計画高潮位 T.P.+1.52m より低く、潮位は被災原因ではない。9月5～6日も同様なのでその他の原因を考える。

(1) 沖波の変化

想定外の波浪の可能性を検討する。

a) 波浪の変化

図-4 は相馬港の年最大有義波高である。最大有義波高は1982～2006年の値を使った。

この値を(1)式で表される一般化極値分布で解析した。

$$G(x) = \exp \left[- \left\{ 1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}^{-\frac{1}{\xi}} \right] \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

ここで、 $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$, $-\infty < \xi < \infty$ である。Fréchet 分布は $\xi > 0$ に、Weibull 分布は $\xi < 0$ になる。

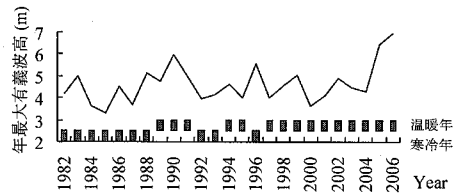


図-4 相馬港の年最大有義波高と温暖寒冷年の別

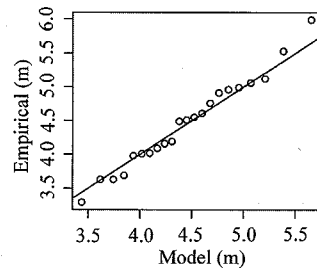


図-5 Quantile Plot

$\xi=0$ のときは、

$\lim_{\xi \rightarrow 0} (1 + \xi x)^{-\frac{1}{\xi}} = e^{-x}$ で、次の Gumbel 分布に一致する。

$$G(x) = \exp \left[- \left\{ 1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\} \right] \quad -\infty < x < \infty \quad (2)$$

一般化極値分布は、分散、平均、分布の形状に対応する σ , μ , ξ の3パラメータで表される。パラメータは Gilleland (2006) プログラムを用い最尤法で推定した。モデルの妥当性を、図-5の Quantile Plot で判断すると概ね良好である。Return Level Plot の幅は $\pm 5\%$ の信頼区間である。図-6が Return Level Plot で次図と区別して全データと呼ぶ。表-1に示す台風12号と低気圧時の相馬港の日最大有義波高は、5.12m と 6.93m で、10年、50年確率に相当する。福島県 (2005) は最近の海岸整備で50年確率を目標に計画しているが、2回目の波浪条件はその計画に匹敵する。

b) 温暖化影響の検討

次に、温暖化により波浪が増大している可能性を検討

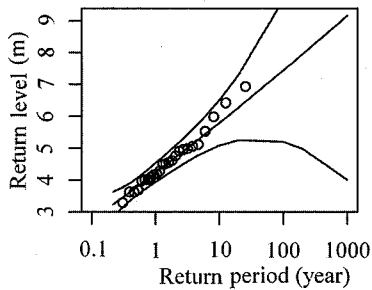


図-6 全データの Return Level Plot

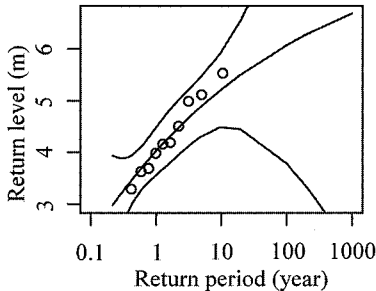


図-7 寒冷年の Return Level Plot

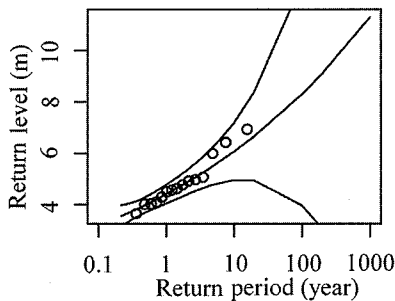


図-8 温暖年の Return Level Plot

表-1 モデル・パラメータ

係 数	全データ	寒冷年	温暖年
μ	4.233	4.026	4.402
σ	0.663	0.610	0.622
ξ	0.021	-0.145	0.128
10年確率波高(m)	5.76	5.20	6.03
50年確率波高(m)	6.93	5.84	7.55

する。ここでは気温の変化と気温が波浪に与える影響を Jegger et al. (2006) を参考に分離する。まず、相馬の 1977～2006 年の年平均気温の平均値を求め、これから各年を図-4 に示す温暖年と寒冷年に分けた。次に年平均気温を 1992 年前後で分けて Welch の t 検定を行った結果 $p=0.009<0.01$ になり 1% 水準で 1992 年以降がそれ以前より温暖化していた。年平均気温の区間平均は前半が 11.8℃ で後半が 12.5℃ であった。

次に、気温が波浪に与える影響を寒冷年と温暖年に分けて解析した。図-7 と 8 に Return Level Plot を示す。

表-1 に 3 つのモデルのパラメータを示す。データ数は全体が 25、寒冷年は 10、温暖年は 15 である。 ξ の符号は、寒冷年が負、全データと温暖年が正で、それぞれ、Fréchet 分布、Weibull 分布になる。

表-1 で全データと比べると、 μ は、寒冷年が -0.208 m、温暖年が $+0.168$ m となった。10 年確率の最大有義波高は寒冷年が -0.565 m、温暖年が $+0.264$ m となった。つまり、温暖年には波浪が大きくなっている。よって、気温の上昇が認められ、それに伴い波浪は増大している。

次に外挿部分も含め温暖化と被災の関係を考える。計画レベルの 50 年確率の有義波高は寒冷年では 5.84 m、温暖化年では 7.55 m になる。有義波高 6.93 m は寒冷年で 3250 年確率、温暖年で 27 年確率になる。図-4 の 1992 年以降の温暖年の割合を 12/15 とすれば、重み付き平均で、34 年確率が求まる。したがって温暖化により、2 回目の被災時の波高は、50 年確率が 34 年確率に変化している。ただし、外挿は ξ の符号の影響を強く受けるので、追跡調査が必要である。

(2) 海底地形の変化

応急工事の時点で、干潮になれば見える前浜の海底地形は、元の -1 m から -2 m に低下していたため、海底地形の変化が堤防崩落の主要因と考えた。図-9 のようにその後の測量では海底は 1995 年の 1/50 の勾配が、2006 年には 1/100 に変化して深くなっていた。海底地形を変化させて被災時の条件で打上高を計算すると、TP+5.13 m が TP+12.43 m に増加する。したがって、海底地形の変化は大きな被災原因である。

過去の北海道老海岸の侵食調査を見ると、豊島ら (1972) は 1947～1971 年は侵食なし、宇多 (1997) は 1969～1971、1975、1988 年の間はいずれも侵食という。特に、宇多 (1997) は北海道老海岸を含む福島県北部から宮城県南部を重点調査し、この地域の侵食の原因を「港湾や漁港の防波堤による北向きの沿岸漂砂の阻止」と「海岸崖の侵食防止工事に伴う海岸崖から海岸への供給土砂の減少」としている。図-1 に示す北海道老地区の南 4 km に真野川 (流域面積 170 km²)、8 km に新田川 (255 km²)、25 km に請戸川 (428 km²) がある。最近では 1996 年に東北電力原町火力発電所が竣工した。これは南の請戸川の土砂供給を阻害した可能性が高い。また、発電所は海岸崖に位置するため、崖侵食による土砂供給も減ったと思われる。

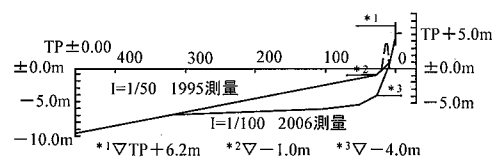


図-9 海底地形の変化

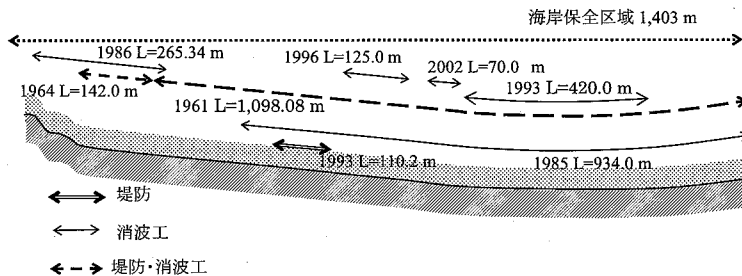


図-10 北海老海岸の被災箇所

(3) 堤防の老朽化

堤防の老朽化の影響を考える。海岸被災履歴を表-2と図-10に示す。表-2の空白欄のデータは特定できず、1993年の堤防崩落時は波高データがなかった。1959年の堤防建設後、1961年と1964年に、堤防と消波工を補修している。その後、消波工の異常沈下が1985、1986、1993、1996、2002年に発生している。1993年には112mの堤防崩落が発生した。一般に、海岸堤防の耐用年数は30～50年なので1993年には堤防は耐用年数を迎えていたと思われる。

こうした被災を受けて海岸保全事業が1994年に開始され2015年までに、消波堤1,422m、離岸堤200m×10基、潮止樋門改修3門、防潮樋門巻上機2門を建設する計画であった。

以上のように老朽化は堤防の崩落の原因であるが、堤防は直接的には越波により崩落しているので、2次的な原因に位置づけられる。

(4) 1回目の被災の影響

以上の検討は2回目の被災に対して堤防が無傷であると仮定しているが、実際には1回目の被災で、裏法の補修を行っている。1回目の被災は、越波に対する脆弱性を増加させたので、仮に、2回目の被災がより小さな波浪でも被災した可能性がある。1回目の想定被災時の相馬港の潮位は、T.P.+0.68m、有義波高は5.12mであ

り、2回目は、T.P.+1.37m、6.93mなので、1回目の被災は2回目以上に波浪が原因ではなく、海底地形が原因と認められる。後追いの反省ではあるが、堤防崩落がなかったとはいえ、小さな波浪で被災したことに注目すれば、1回目の被災で早急に原因究明ができなかった点が悔やまれる。

5. 事業評価と計画変更

実は、北海老海岸は被災の2年前に計画変更がなされていた。海岸保全事業を開始後、福島県は積極的に県債を発行したため、図-11のプライマリーバランスが悪化した。その後は緊縮財政に転じ以降工事は進まなくなった。2004年には福島県(2004)の事業評価が行われ、消波堤1,422mを922mに、離岸堤200m×10基を200m×2基に、竣工時期を2015年から2008年に見直した。つまり、図-2の離岸堤に直面する海岸は当初計画どおりで、それ以外の計画は縮小した。評価書の「計画変更の理由及び内容」には今までに整備した堤防と離岸堤が「事業効果が発現している状況を踏まえ、残事業のうち消波工と離岸堤の実施延長の見直しを行う。」という。

しかし、本質は財政悪化に伴う事業進捗遅れの追認であろう。県は事業の妥当性をみなし進捗率(投資事業費合計/みなし執行額、みなし執行額=全体事業費/全体工期×経過年数)で判断している。変更前の事業は1994年から2017年の22年間に全体事業費2,536百万円を使う。10年経過時点の2004年の投資事業費合計は674百万円でみなし進捗率58%と見直し基準の70%未満に該当していた。計画変更後の事業費は1,084百万円

表-2 北海老海岸の被災履歴

年	月日	種類	風速 m/s	波高 m	被害	長 m	Flux Nm/ma
1961					堤防	1098	
1961					消波	1098	
1964					堤防	142	
1964					消波	142	
1985	2/9-10	低気圧	16.6	6.60	消波	934	
1986	3/23-24	低気圧	20.0	8.85	消波	266	
1993	5/2-3	風波	17.8		堤防	112	
1993	8/27-28	台風11	16.3	6.17	消波	420	121
1996	9/22-23	台風17	18.4	6.57	消波	125	153
2002	10/1-2	台風21	18.1	6.35	消波	70	144
2006	9/5-6	台風12	15.4	5.12	堤防	272	187
2006	10/6-7	低気圧	13.2	6.93	堤防	730	326

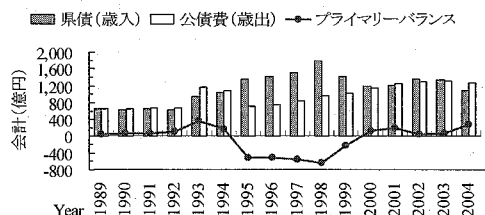


図-11 福島県のプライマリーバランス

で竣工時期が15年経過した2008年になり、2004年のみなし進捗率は93%で基準を満たす。このように計画変更の理由が財政悪化のため福島県(2005)の福島沿岸海岸保全基本計画には削除された8基の離岸堤が残っている。要するに、計画変更では施工の遅れによる災害リスクは残された。

6. 仮堤防高さと住民のプロスペクト

緊急対策では、即時の災害査定と対策を求められた。そこでは被災原因の継続の可能性と住民感情から、仮堤防高を決めた。その後、色々な文献を当たったが、仮堤防高は、被災のリスクのみからは決定することはできないことが判った。つまり、仮堤防の緊急対策は、5年確率で考えるか、地元の受け入れ可能を元に高さを決めるか選ばなければならない。今回は特に連続被災による住民のリスク意識の変化に対応する必要がある。

そこで、一般市民を対象に連続被災に対する意識の変化を調査した。なお、この調査は住民が意識するリスクの期待値、すなわち、友野(2006)のいうプロスペクトが対象であり物理的被災リスクが対象ではない。調査は、2006年の11月に、(独法)農業食品産業技術総合研究機構の主催する数理統計研修応用コースの研修生を対象に、研修の一環として行った。研修生は、国及び県の若手農業関係研究者で海岸防災に関する知識は一般住民レベルである。調査は、他の設問と合わせて2週間の研修の完了1日前に行った。ここでは①被災リスクは一定、②被災リスクは増加、③被災リスクは減少の3つの住民意識の変化を考えた。①～③は、友野(2006)を参考に表-3の設問によりアンケートを行った。

図-12に回答を示す。リスク増大という回答が多かった。連続被災では、単独被災より高い安全度が求められる。

7. 結 論

まとめれば、潮位は被災原因から排除できる。波浪は計画上限に一致し、他の被災要因を増幅した。堤防は老朽化しており2次的な原因になった。直接的な被災原因は、海底地形の変化で、状況から侵食原因には原町火力発電所の建設の影響が疑われる。また、温暖化による波

浪の増加傾向がみられた。

一方、事業評価によって海岸保全事業は縮小され、被災を受けた堤防は更新されなかった。これが無ければ被災は免れた可能性もあるが、筆者らは財政面から変更がなくとも事業進展の遅れによる被災は免れなかったと考える。ただし、事業評価が安全とは別の側面で行われている点は問題である。

また、1回目の被災は波浪が小さいのに被害が出たので、このとき原因究明がされていればと悔やまれる。

緊急対策は、幸い被災原因を正しく推定していた。しかし、連続被災の場合には仮堤防の整備水準は、5年確率では住民感情から見て不十分である。この点は、今後ここで試みたプロスペクトと被災リスクのギャップをつめる必要がある。

本研究のデータについては、福島県の協力を得た。また、波浪データは、NOWPHASを使った。深謝する。

表-3 設問の内容(添付写真は写真-1に同じ)

写真は、10月6日に決壊した海岸堤防である。この堤防は、昭和30年代に建設後、40年間に補修を受けながら、決壊することなく、利用されてきた。9月に台風に見舞われ堤防の内側が浸食を受け補修中であった。その直後、6日の低気圧で越波により崩壊した。この堤防を現状復帰した場合について、今後の波浪による崩壊リスクは昨年度までの過去40年間と比べてどうなるか。

- 1) 昨年までの過去40年と変わらない。
- 2) 今年は2度の被災を受けたのであるから、リスクは過去40年平均より増加している。
- 3) 今年2回の被災を受けたのであるから、引き続き災害の起こる可能性は少なく、当面の被災リスクは、過去40年平均より小さくなっている。

参 考 文 献

- 宇多高明(1997):日本の海岸侵食,山海堂,442p.
 建設省河川局治水課(1999):仮締切堤防設置基準(案)
 豊島 修・奥田光彦・武藤徳一(1973):福島県海岸の侵食と海岸特性について,海岸工学論文集,20巻,pp.507-511
 友野典男(2006):行動経済学,光文社,399p.
 福島県(2004):平成16年度公共事業評価対象事業に係わる県の対応方針について,平成16年度事業別評価書,整理番号203,海岸保全施設整備事業北海老地区,pp.1-4
<http://www.pref.fukushima.jp/hyoka/system/checklist/H16/203.pdf>,参照2007-5-15.
 福島県(2005):福島沿岸海岸保全基本計画,44p.
 Gilleland E.・R.W. Katz(2006):Analyzing Seasonal to Inter Annual Extreme Weather and Climate Variability with the Extremes Toolkit,18th Conference on Climate Variability and Change,2.15 p. <http://www.isse.ucar.edu/extremevalues/evtk.html>,参照2007-5-10.
 Jagger, T.H.・J.B.Elsner(2006):Climatology Models for Extreme Hurricane Winds Near United States, Journal of Climate, vol. 19, pp. 3220-3236.

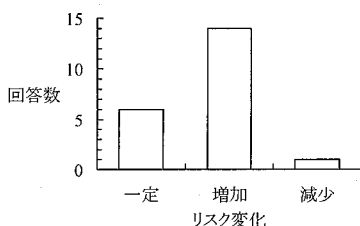


図-12 アンケートの結果