

## 野蒜港港口突堤の崩壊過程に関する研究

A Study on the Process of the Collapse of the Jetties in the Nobiru Port

宮地 豊\*\*、島崎 武雄\*\*\*、西山 三朗\*\*\*\*

By Yutaka MIYAZI, Takeo SIMAZAKI, Saburō NISYAMA

### Abstract

ŌKUBO Tosimiti, the Secretary of the State for Home Affairs of the Japanese Government in Meiji Era, proposed the seven development projects in the northeastern area of Japan in March 1878. The construction of the Nobiru Port was the core project among these development projects and the first port construction works that introduced the modern western port engineering technology in Japan.

The master planning and engineering designing was formulated in charge of C. J. Van Doorn, the chief engineer of the Dutch civil engineering team employed by the Japanese Government. Nobiru Port construction project started in July 1878.

The construction works of the inner port, the first stage of the total plan, was completed in 1882. But the two jetties in the mouth of the inner port were destroyed by the high waves through the typhoon in September 15, 1884, which caused the abandonment of the Nobiru Port.

This study revealed the following points from the standpoint of port engineering technology that were not clarified until now:

1. We estimated the wave height that caused the collapse of the jetties.
2. We revealed the structure of the jetties through the decipherment of the old documents.
3. We revealed the process of the collapse of the jetties.

### 1. 研究の背景と目的

近代築港の先駆けとされる野蒜築港は、時の内務卿：大久保利通が不平士族の不満を解消しつつ開発が遅れていた東北日本に七つの大事業の一つとして提言したプロジェクトであった。<sup>1)</sup>

東北日本の一大港湾都市開発の中核となることを目的とした野蒜港は、当時のお雇い外国人であるオランダ人技術者の指導のもとに第1期工事を運河開削を含む内港部の建設、第2期工事を外港部の建設として計画された。

第1期工事は明治11年(1878)に着工され、明治15年(1882)10月に北上運河を含む内港部は完成した。

しかし、明治17年(1884)9月の台風によって、内港部の入り口である鳴瀬川河口部の東西突堤が被災を受け、大型汽船が停泊する沖合錨地と内港係船場の航路が利用できなくなった。このため、早期に第2期工事である外港防波堤の建設が望まれたが、当時の国家予算との関係で外港防波堤の建設は断念され、巨費をかけて建設された野蒜港は放棄されるに至り、それ以降の東北経済の停滞の一因となってしまった。

このような築港に係わる数々の史実の掘り起こしのため、今までもいろいろな調査や研究がなされてきた。<sup>2)</sup>

しかしながら、これら調査、研究の中には土木技術的視点でおこなわれたものが少ない。

\*keyword：野蒜築港、突堤、波浪推算

\*\* 正会員 国土交通省 東北地方整備局

塩釜港湾空港工事事務所 所長

\*\*\*フェロー会員 工博 (株) 地域開発研究所 代表取締役

\*\*\*\* 正会員 (株) 地域開発研究所 主任研究員

そこで野蒜港の史実を土木技術的視点から捉え直し、内港部の最も重要な港湾施設であった東西突堤の建設に係わる築港技術や被災時の自然条件などを整理し、来襲波の推算を行い、港口の東西突堤の崩壊過程を明らかにしようとする目的で調査研究を行った。

### 2. 野蒜築港から突堤被災までの経緯

明治8年(1875)8月、第1回地方官会議に参集した東北6県の県令は、大久保に対して東北産業振興のため運輸交通の利便促進を一致して具申した。このため、同会議は内陸物資輸送の一大動脈として北上川改修と北上川河口周辺の築港を建議した。

明治9年(1876)7月、大久保は東北より帰京すると、内務省土木局長：石井省一郎を仙台湾に派遣して現地調査を行わせ、さらに同年9月に内務省御雇長工師ファン・ドールン(C.J. Van Doorn, 1837~1906, 明治5年(1872)2月雇入)に現地踏査、調査、計画を命じた。

ドールンは約半年間の調査の結果、築港位置として石巻(石巻市)、女川(牡鹿郡女川町)、萩ノ浜(石巻市)、野蒜(桃生郡鳴瀬町)、石浜(塩釜市)、寒風沢(塩釜市)などの各港案の中から、次の理由により鳴瀬川河口に位置する野蒜を新港の適地とした。<sup>3)</sup>

①野蒜の位置は石巻湾の西隅にあり、南は宮戸島が半ば外洋を遮断し、西隣の松島湾を通じ三里にして塩釜に至り、東は石巻へ五里に過ぎない。また、背後は鳴瀬川を改修して水運の便を計ることができる。

②石巻中心の地方民の希望する北上川河口に深水港を築造する案は、同川の流下する土砂が多量にして不

可である。

- ③女川、萩ノ浜両港はともに良港であるが、前者は狭隘、後者は陸上交通に不便である。
- ④その他、石浜、寒風沢は島嶼の間にあつて陸地との連絡不便、かつ、水深が不足である。

ドールンの計画した築港計画は第1期、第2期工事からなり、第1期が内港建設、運河開削、第2期が外港建設とされていた。

第1期工事は明治11年(1878)7月に着工され、同15年(1882)に竣工し、同年10月30日に野蒜で盛大な落成式が行われた。

新市街地の造成もすすみ、明治14年(1881)には総戸数200戸をこす新しい町ができており、民間への土地の払い下げが押し進められていた。<sup>4)</sup>

係船場では潜ヶ浦に停泊する大型汽船と連絡する艀船や運河を航行する艀船が係留して貨物や人の乗降が頻繁に行われた。

当時の野蒜、潜ヶ浦の貨物取扱金額は図-1に示すとおりである。

図-1から野蒜築港を行っている時期の宮城県全体の取扱貨物金額と野蒜、潜ヶ浦の野蒜港の取扱貨物金額の比率をみると、工事着手時の明治11、12年では移出、移入全体で1%内外の金額であったものが、明治13、14

年の内港部波止場2ヶ所完成や運河の完成を受け、取扱貨物金額全体の40%弱、移入部門では50%を超える数字となっている。

港口部の東西突堤が完成する明治15年には取扱貨物金額全体の60%を超え、移入部門をみると82.8%もの取扱金額になっている。翌年は石巻港の貨物取扱金額が増え、明治13、14年当時と同じ傾向となっている。

しかし、明治17年(1884)9月15日に来襲した台風によって内港部の波止場にとって重要な施設であった港口部の東・西突堤の大半が被災を受け、この結果、港口部が閉鎖され、潜ヶ浦に停泊する大型汽船と連絡する艀船が航行できなくなった。明治17年の取扱貨物金額は前年比5%程度の低減となっている。明治18年では突堤の被災によって航路が確保できず、潜ヶ浦港と野蒜港の艀船の航行に支障をきたしたため、潜ヶ浦港の取扱貨物金額は激減し全体の取扱貨物金額の5%弱となってしまい、翌19年には潜ヶ浦港での貨物取扱機能は失われた。

第1期工事の費用をみると、当初の設計予算は第1期工事25万円余りで着工したが、物価および賃金の高騰や途中の工事手直しなどで明治13年(1880)には50万円に変更され、これ以降も多少の変更によって総額が68万3,132円に達していた。現在の金額に換算して約22億円<sup>5)</sup>であった。これらの資金調達には明治政府最初の国債によるものであった。<sup>6)</sup>

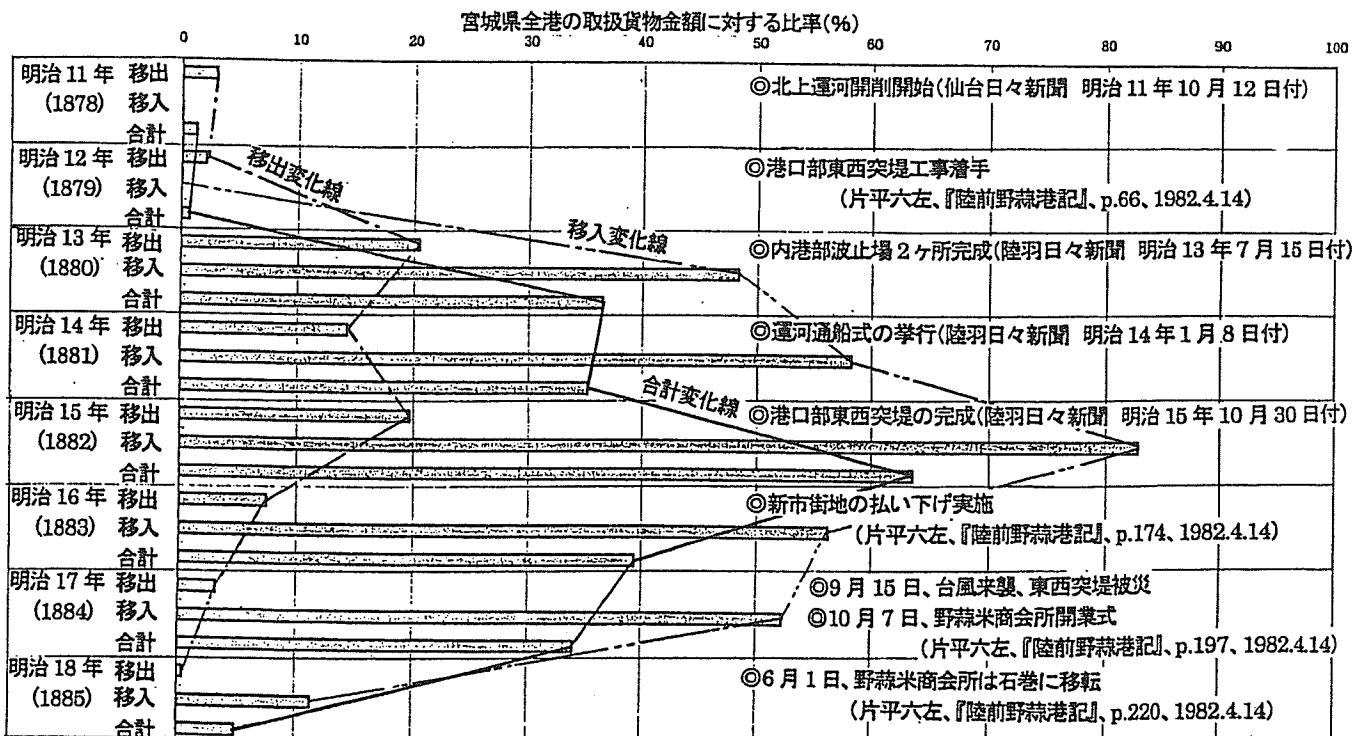
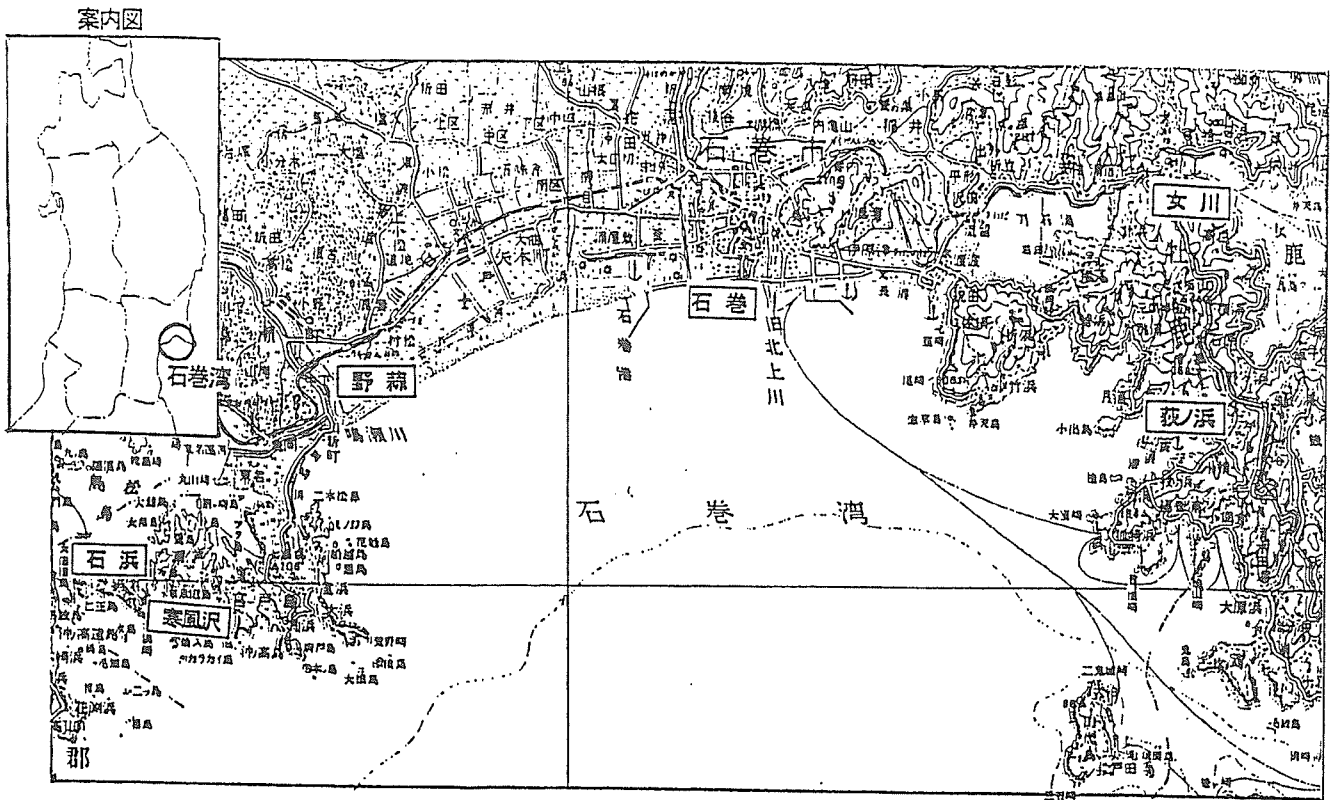


図-1 野蒜・潜ヶ浦両港の取扱貨物金額比率の時系列変化図 (作成 西山三朗)

\*明治11~15年資料は『宮城県統計書 明治15年』、第136、著名港津輸出入物品の元價より引用

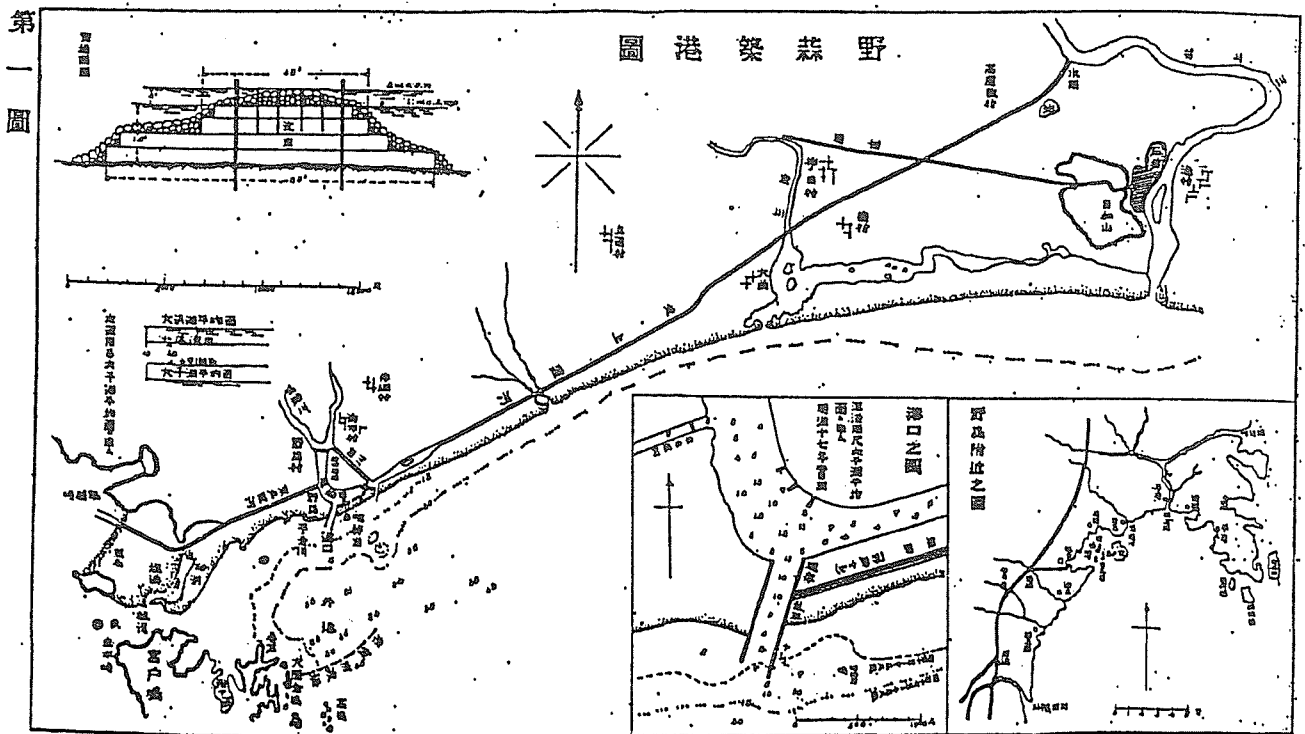
\*明治16~17年資料は『宮城県統計書 明治16~17年』第86、著名港津輸出入物品の元價より引用

\*明治18年資料は『宮城県統計書 明治20年』第115、著名港津輸出入物品の元價より引用



[資料] 国土地理院 20 万分の 1 地形図「石巻」より作成。(作成 西山三朗)

図-2 仙台湾築港の候補地



[資料] 廣井勇；『日本築港史』、昭和 2 年(1927)、丸善(株)

図-3 野蒜築港図

3. 明治17年9月15日の台風記録の収集

近代の気象観測は明治8年(1875)6月、東京気象台に始まり、これ以降、全国に測候所が設置されるようになった。

野蒜には、仙台に設置が予定されていた測候所を野蒜港築港計画の一環として設置することが決められ、下野信之が創設に携わり、明治14年(1881)4月1日に野蒜測候所が開設された。<sup>8)</sup>

当時は天候、気温、風力、風向、雨量、気圧の6項目を京都時<sup>9)</sup>午前6時、午後2時、午後9時の1日3回の観測を行っていた。

明治17年9月15日前後の気象記録については、当時の『陸羽日々新聞』の9月25日付けに次のように記載されている。

「去る15日の暴風は猛烈なものであって、東京近傍の被害がすこぶる多く、詳細な調べはまだ明らかになっていない。

第1回の暴風は、当地においても最も強かったのは15日午後2時~3時の間で、南南東の方向で107.8km/h(風速29.9m/s)を記録し、晴雨計の最低気圧は午後3時で731mm(975hPa)を記録した。

第2回目の暴風は、18日において午前9時半に晴雨計の最低気圧が741.7mm(988hPa)を示し、最大風速は午前9時~10時までの間に北北西の方向で56.5km/h(15.7m/s)を記録した。」(現代文に書き換え)

上記のように9月15日と18日に台風が来襲したことが記されている。本研究においては、突堤の崩壊過程を把握することが目的であるため、風速、気圧ともに大きい値を示す9月15日に来襲した台風について資料を収集した。

明治17年(1884)9月14日午後9時から台風が過ぎ去った16日午前6時までの当時の天気図を図-5~図-9に示す。

例言前二行ノ内ニ行ノ前ノ東京後ノ野蒜ナリ

種類	野蒜		東京		種類	野蒜		東京	
	野蒜	東京	野蒜	東京		野蒜	東京	野蒜	東京
天候	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
温度	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
雨量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
風力	0	0	0	0	0	0	0	0	0
風向	北	北	北	北	北	北	北	北	北
時速	0	0	0	0	0	0	0	0	0
気圧	731	731	731	731	731	731	731	731	731

○東京野蒜毎週気象比較表(午前六時)

[資料] 陸羽新聞社；明治17年9月25日付『陸羽日々新聞』  
図-4 東京・野蒜毎週気象比較表(午前6時)

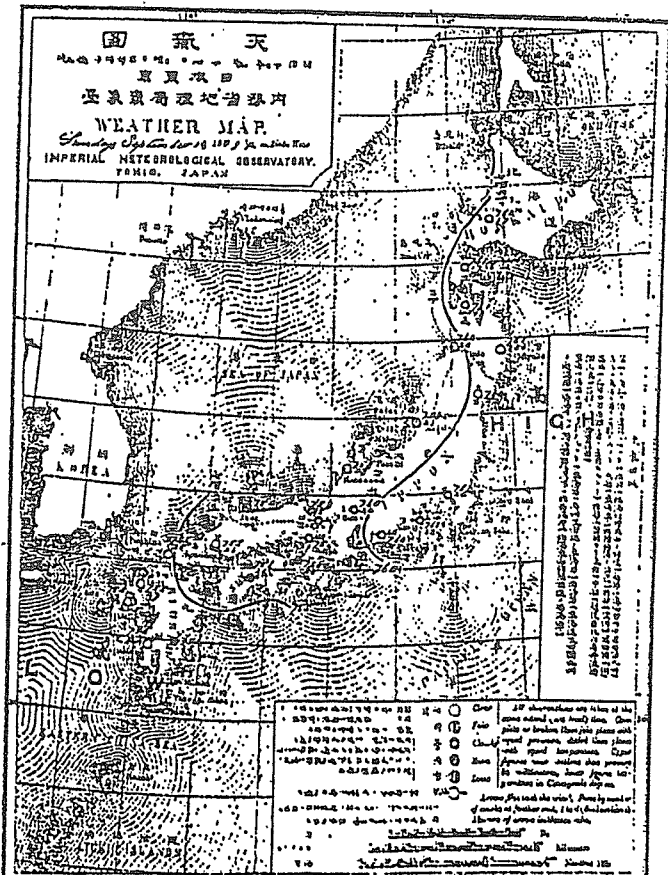


図-5 明治17年9月14日午後9時天気図  
(資料：内務省地理局気象臺 明治17年9月天気圖)

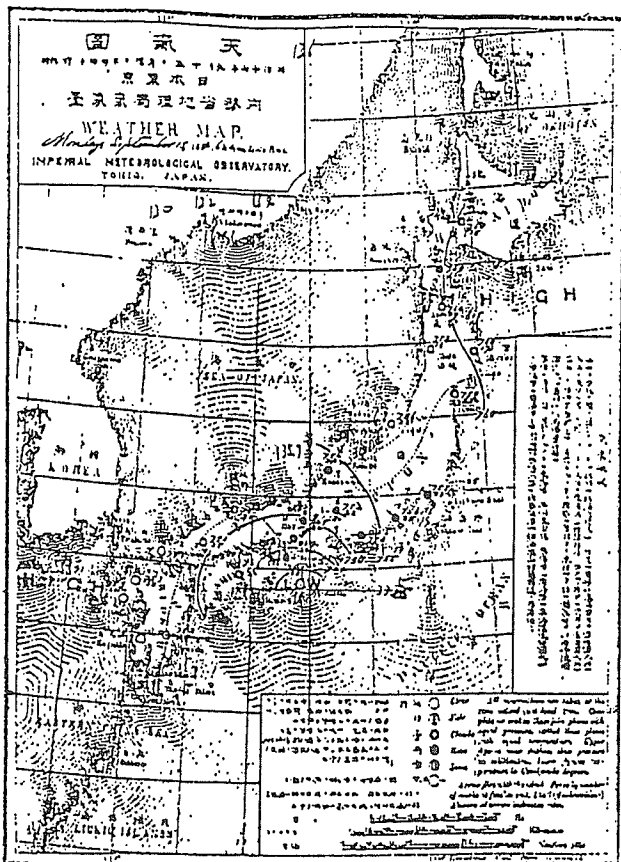


図6 明治17年9月15日 午前6時天気図  
 (資料：内務省地理局氣象臺 明治17年9月天気圖)

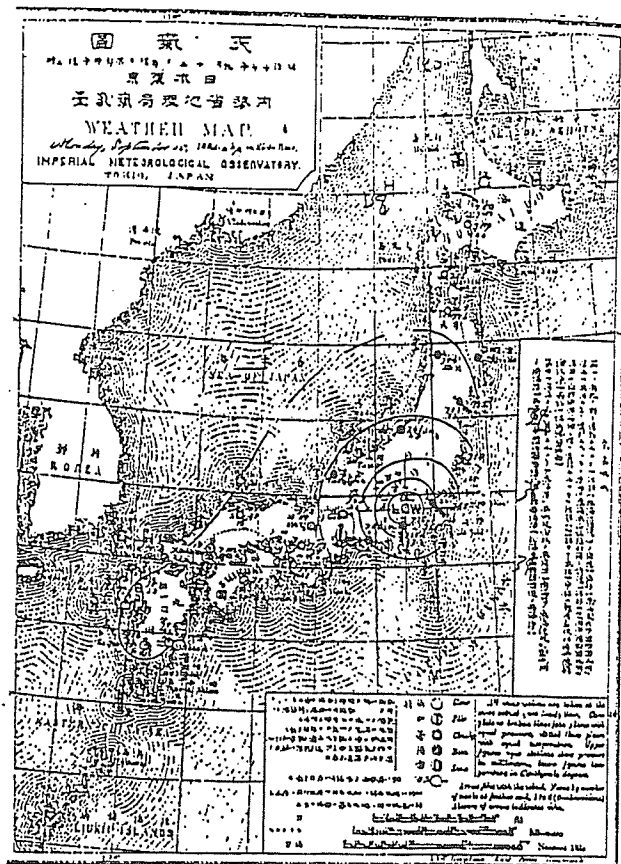


図7 明治17年9月15日 午後2時天気圖  
 (資料：内務省地理局氣象臺 明治17年9月天気圖)

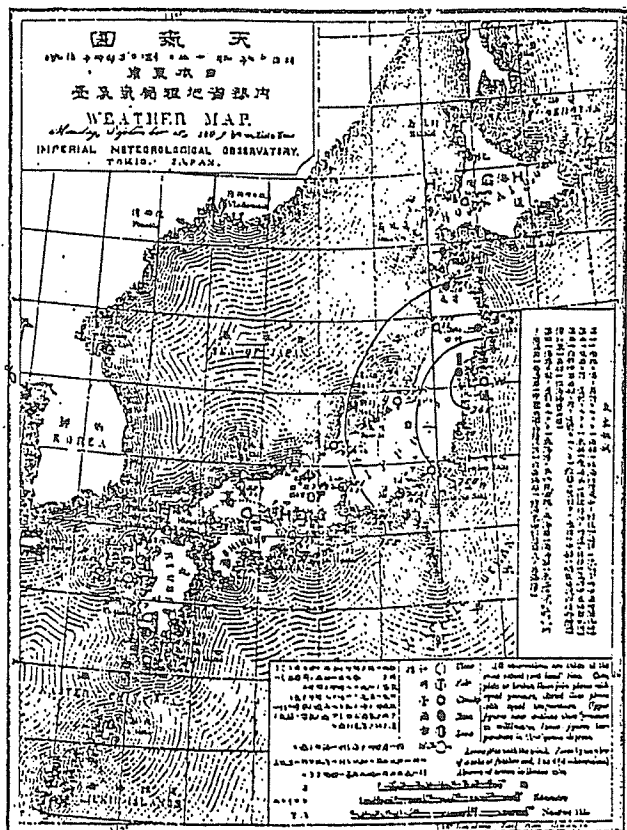


図8 明治17年9月15日 午後9時天気圖  
 (資料：内務省地理局氣象臺 明治17年9月天気圖)

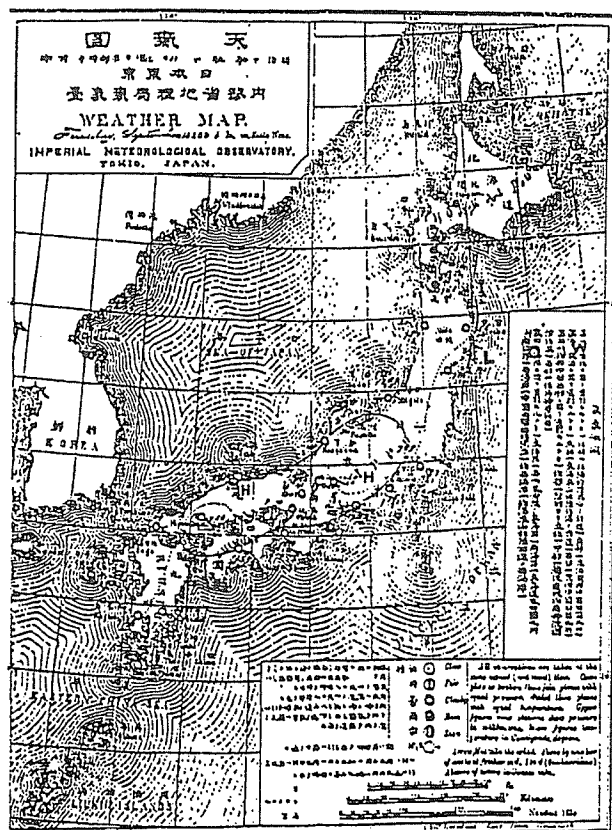


図9 明治17年9月16日 午前6時天気圖  
 (資料：内務省地理局氣象臺 明治17年9月天気圖)

4. 来襲波高の推算

まず、明治17年9月15日に来襲した台風による野蒜測候所によって測得された風向・風速を用いて波浪(波高・周期・波向)を推定する必要がある。しかし、

明治初期という気象記録が乏しい中、このような周辺のデータがないため、過去の既往の類似台風を用いて、相関性を見出して当時の波浪の推算を行った。

図-10に来襲波の推算フローを示す。

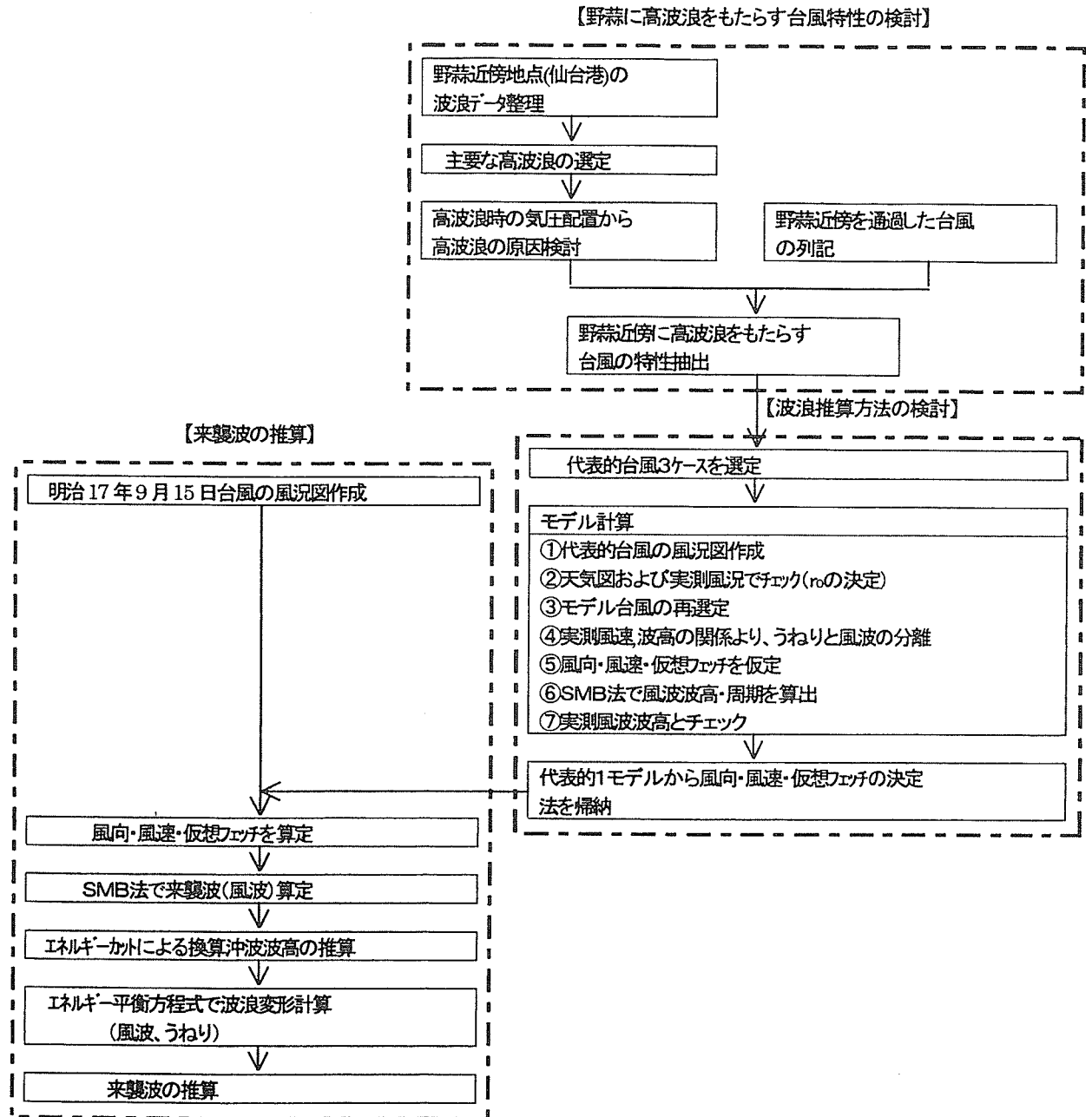


図-10 来襲波の推算フロー図

(作成：西山 三朗)

推算の手順は次のようである。

- ①気象庁が記録する1951年以降観測したすべての台風から野蒜近傍を通過した22個の台風を抽出した。
- ②野蒜に最も近い塩釜港の波浪観測データと①の台風、天気図を相対させ、観測波高4.0m以上の高波高を記

録する四つの台風と五つの低気圧を抽出した。

表-1 4m以上の高波浪

発生年月日	原因	摘要
1986/10/8,9	台風18号	
1988/3/22,23	低気圧	
1988/9/12	低気圧	
1989/8/6	台風13号	
1990/11/5	低気圧	
1993/8/28	台風11号	類似台風
1993/11/14,15	低気圧	
1995/9/17	台風12号	類似台風
1996/9/22,23	台風17号	類似台風

[資料] 台風の辞典編集委員会、『CD-ROM 台風の事典』

1998.5.25, 丸善(株)より作成。(作成: 西山 三朗)

③この代表的な高波浪をもたらす台風と低気圧から当時の台風経路に類似する三つの台風を選んだ。三つの台風からマイヤーズの式を用いて風況図を作成した。

[マイヤーズの式]<sup>10)</sup>

$$p = p_c - \Delta p \exp(-r_0 / r)$$

p: 台風中心からの距離の点で気圧 (hPa)

r: 台風中心からの距離 (km)

p<sub>c</sub>: 台風中心の気圧 (hPa)

r<sub>0</sub>: 台風中心からほぼ最大風速の点までの距離 (km)

Δp: 台風中心の深さ (hPa)

但し、式中で台風中心から最大風速の点迄の距離 r<sub>0</sub> (km) は天気図をもとに 50km とした。この結果、周辺のアメダスより得られた実況風況と比較的合致した。

④アメダスの風況と塩釜港波高計記録と相関が見られる 1993 年 8 月 27 日の台風をもって、SMB 法を用いて沖波波高を求めた。ただし、SMB 法で波高を算出する場合にフェッチと風速が必要になり、フェッチは台風

中心と波高計位置の距離、風速は試行錯誤して沖合約 70 km 付近の風速を用いると、「表-2 風速と波高の実測値」、「図-11 風速と波高の相関図」が得られた。

⑤この結果から風速と波高の相関が求められることから、当時の台風にも同様のフェッチ、沖合約 70km の風速を用いれば、SMB 法で再現できるものと想定した。

⑥明治 17 年 9 月 15 日の台風は和歌山—東京—野蒜と太平洋沿岸を足早に通過している。このため波浪計算ケースは 14 時と 21 時の天気図から 1 時間ごとの台風的位置、中心気圧を直線補間で求め、最も野蒜に高波浪を及ぼすであろう時刻を 3 ケース選択した。(表-3 参照)

⑦高波浪を及ぼす 18 時~20 時について、SMB 法を用いて換算沖波波高を求めた。(表-4 参照)

⑧エネルギー平衡方程式により、求められた沖波波高 (風波、うねり) を用いて屈折変形計算を行い、仙台港、石巻港、鳴瀬川 (野蒜) の 3 地点の最大有義波高 H<sub>1/3</sub> を求めた。波浪推算時の潮位は、当時の観測記録がないことから、現在仙台湾で用いられている H.W.L = K.P + 1.70m を用いた。(K.P ± 0.00; 北上川基準面) また、台風による気圧低下による海面上昇分は考慮していない。

以上の手順によって求められた当時の突堤付近に生じた波は風波とうねり成分を合成して有義波高 H<sub>s</sub> = 2.51m と求められた。(表-5 参照)

なお、推算された沖波波高はうねりと風波を合成すると H<sub>0</sub> = 3.08m となり、現在この海域で使用されている再現期間 50 年の沖波波高 8.1m の約 1/3 程度の波高であった。

表-2 風速と波高の実測値

年	月	日	時	仙台新港			石巻		江ノ島		仙台	
				H <sub>1/3</sub> (m)	T <sub>1/3</sub> (s)	波向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向
1993	8	27	10	2.13	10.5	SE	5	ENE	3	NE	5	E
			12	2.53	11.3	SE	7	ENE	8	NE	7	NE
			14	2.59	10.7	SE	8	ENE	8	NE	8	NE
			18	3.11	11.5	SE	11	ENE	10	NE	7	NE
			18	3.04	10.2	SE	12	ENE	10	NNE	9	NE
			20	4.43	11.5	SE	12	ENE	5	NNE	7	NNE
			22	3.91	10.9	SE	13	NE	12	NNE	7	NNE

[資料] 塩釜港湾空港工事事務所「波浪観測データ」および各地区アメダス観測データより作成。

(作成: 西山 三朗)

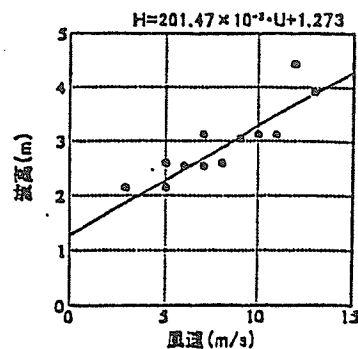


図-11 風速と波高の相関図

(表-3 より作成: 西山 三朗)

表-3 高波浪を及ぼす台風の位置及び気圧の推測値

日	時	台風中心位置		気圧 (Hpa)	備考
		緯度	経度		
明治 17 年 9 月 15 日	18:00	36.97	140.49	980	直線補間値
同 上	19:00	37.32	140.86	982	直線補間値
同 上	20:00	37.66	141.23	984	直線補間値
同 上	21:00	38.00	141.60	986	既値、気圧、風況計算のみ

図-7, 8 を用いて直線補間で台風中心位置を求めた。(作成: 西山 三朗)

表-4 SMB法による波浪推算結果

日 時	風速 (m/s)	フェッチ (km)	換算沖波波高 (m)	周期 (s)	波向	Smax
明治17年9月15日 18:00	13	140	2.48	6.0	SE	25
同 上 19:00	16	91	2.81	6.1	SE	25
同 上 20:00	20	44	2.80	5.7	SE	25

\*うねりは風波と別に計算するものとして、 $H_0=1.28m$ 、 $T_0=11sec$ とした。(作成：西山 三朗)

表-5 各地点における有義波高  $H_{1/3}$  の計算結果

日 時	仙 台 港 (m)	石 巻 港 (m)	鳴瀬川河口 (m)
明治17年9月15日 18:00	2.35	2.02	1.96
同 上 19:00	2.65	2.28	2.22
同 上 20:00	2.67	2.30	2.19
うねり	1.05	0.95	1.18

(作成：西山 三朗)

### 5. 新たな突堤断面の発見

従来、野蒜港の内港の2本の東・西突堤は『日本築港史』の「野蒜港」の項で紹介されている断面図(図-12,13参照)が唯一のものであった。しかし、この断面図では用いられている石の大きさなどが不明のため、土木技術的視点からの突堤の崩壊過程について検討されることはなかった。

ところが、今回、国立公文書館に保存されている『直轄土木取調書 第二輯』(内務省土木局)<sup>11)</sup>から、実際の突堤断面を推定することができた。同書の「野蒜築港」の項に次のような記述があり、この記述から断面図(図-14)を作成した。

「その沈床は3層から5層下し、大きいものは、長さ55尺(16.67m)幅は120尺(36.36m)、小さいものは、長さ33尺(10m)、幅は40尺(12.12m)、としている。東突堤では、逆浪が衝突して、真心に当たるので、既に填了したところの、沈床を一層持ち去られることが少なくなく、その損害を防ぐことは、甚だ難事であった。西突堤もまたこの損害を免れることはなかったが、東突堤に比べれば、やや少ないと思えた。

ここにおいて、その被害の状態を熟察すると、零点以下、7尺(2.12m)以上の沈床は、良く保つことが出来ないことを知り、明治14年12月、築法を改正した。

結合構造である沈床を零点以下の7尺(2.12m)の位置に止め、縦4尺(1.21m)の間隔に、長さ平均21尺(6.36m)の材を、3列ないし5列に打ち入れ、これに梁木を載せ、材及び梁木ともに、銅板を被せ、その腐敗を防ぎ、かつ材毎にねじくぎを用いて、付着し、又縦に尺角の行桁を施して枠をつくり、内に割栗石を充填し、堤頂は15才以上30才の石で、半月形に築造し、その左右は、水底より、堤頂まで、3割ないし、3割5分勾配で捨石を投じた。その最下の捨石の大きさは、60~70才にして堤頂に近くなるに従い、200才より350才の巨石を用い、その間隙には、大割石や割栗石を充填した。この工法を施工するようになってから小損害はあったが、とうとう功を奏することが出来、明治15

年10月竣成の式典を挙行了。」(現代文に書き換え)

図-14に図化した断面図を示す。

また、この内容の裏付けともなる記述が、野蒜築港を題材にした小説<sup>12)</sup>のあとがきに書かれている。翁崎から築港跡を眺めて暮らす古老のヒアリング結果が次のような文章で記載されている。

「ガキの頃はよく泳いで行き、その突堤にはい登ったものさ。残骸後には一抱えもある檜に銅板を巻いた杭が無数に残っていてな、その銅板をはずしてよく鉄くず屋に売ったもんだ」

この回想は、『直轄土木取調書 第二輯』の記述の「材及び梁木ともに、銅板を被せ、その腐敗を防ぎ、かつ材毎にねじくぎを用いて、」のくだりと一致するものである。したがって、『直轄土木取調書 第二輯』の内容は信頼できるものであることが分かった。

『直轄土木取調書 第二輯』の記述で重要な点は次の通りである。

- ①従来の工法は、沈床が零点以下、7尺(2.12m)以上は良く保つことが出来なかった。このため、明治14年(1881)12月に工法を変更した。
- ②零点から水深7尺までは木枠で枠組みを設け、中に割石を充填した。
- ③堤頂、頂側、捨石の各々の石の大きさ、勾配が判明した。

石の大きさについては1才の取扱いによって大きな差違が生じる。

現在、石材の1切(さい)は1立方尺(30cm立方)とされているが、これを記述の石の大きさとする350才では $350 \times 0.3^3 = 9.45m^3$ となり、重量は約25t/個という大重量になる。

当時の使用された機械器具では25t/個を取り扱うには非常に困難であったと想像できるし、そのような石を用いていたならば、突堤が被災を受けても現地に残置されていると思われるが、周辺ではそのような大

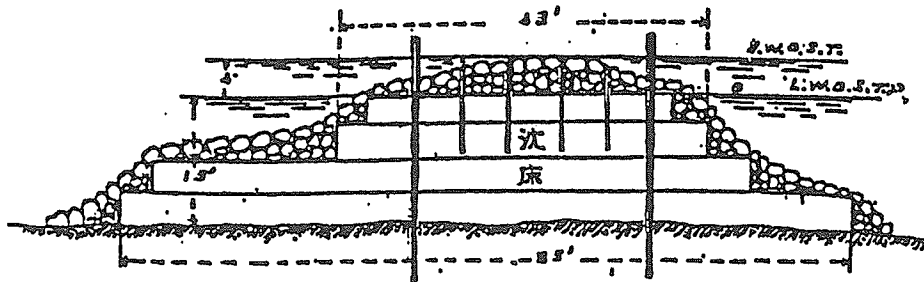


石は見つかってはいない。

容量の単位に木材を取り扱う場合に1才という単位  
 を使っており、この単位では1才が1寸×1寸×12尺  
 となっている。これを用いると1才が $3.34 \times 10^{-3} \text{m}^3$ で、

350才の石は $1.17 \text{m}^3$ 、約3t/個となり、当時の技術で  
 十分取り扱えるものである。

これは当時、木材の利用が多かったため、石の容積  
 も木材の容積単位で記述したものであると思われる。



〔資料〕 廣井勇；『日本築港史』、昭和2年5月25日、丸善（株）

図-12 日本築港史「野蒜港」にかかっている突堤断面図

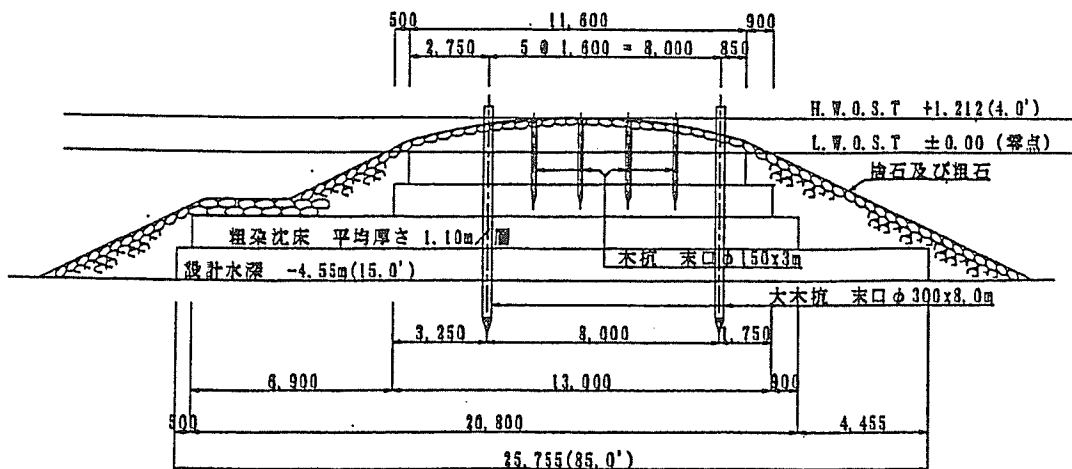


図-13 日本築港史「野蒜港」にかかっている突堤断面図のCAD化

(数値をm単位に書き換えた。 作図：西山 三朗)

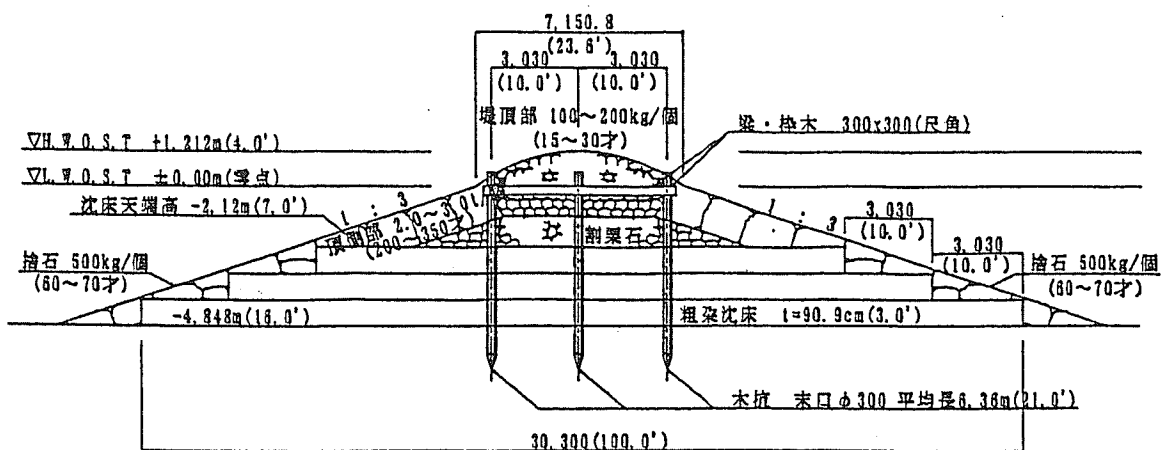


図-14 『直轄土木取調書 第二輯』記述より再現した突堤断面

(作成：西山 三朗)

6. 当時の突堤断面の考え方

突堤断面を当初計画したファン・ドールンは、自分が得意とする河川水工を応用して粗朶、石材を用いた突堤を提案したと考えられる。

この考え方の流れとしては次のようである。

- ① 鳴瀬川河口の流積断面を常に確保するため（言い換えれば河口閉塞を防ぐため）に突堤2本を左・右岸に設ける。
- ② 突堤は海に向かって（波の進行方向に平行）出すので、断面はそれほど大きくなくても安定できる。
- ③ 粗朶を用いるため、海底の起伏に合わせることができ、海底の動きに連動できる。
- ④ 粗朶の材料の入手が容易で、施工に大きな船舶や機械が必要とならない。
- ⑤ 港外側は砂が堆積して突堤を保護してくれる。
- ⑥ 港内側（港口部）は鳴瀬川の流出力によって水深が維持される。

これら①～⑥を根拠にして突堤断面が考えられ、施工を行いながら、手戻りを繰り返して、改良して完成断面へと変化させていったと想像できる。

7. ハドソン式による考察

来襲波浪の推算において求められた突堤位置の再現波高は有義波高  $H_{1/3} = 2.51\text{m}$  である。

ハドソンが 1959 年に発表した次式を用いて図-14 突堤断面の被災限界波高および被害率によって決まる  $K_0$  値を計算する。<sup>10)</sup>

基本式

$$W = \gamma_r \cdot H^3 / \{K_0 \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha\} \dots (1) \text{式}$$

限界波高を求める式への変換

$$W \cdot K_0 \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha = \gamma_r \cdot H^3$$

$$H = \{W \cdot K_0 \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha / \gamma_r\}^{1/3} \dots (2) \text{式}$$

$K_0$  値を求める式への変換

$$W \cdot K_0 \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha = \gamma_r \cdot H^3$$

$$K_0 = \gamma_r \cdot H^3 / \{W \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha\} \dots (3) \text{式}$$

ここに  $W$  ; 石材の最小重量(t)

$\gamma_r$  ; 石材の空中単位体積重量( $\text{t}/\text{m}^3$ ) = 2.65

$S_r$  ; 石材の海水に対する比重

$$= 2.65 / 1.03 = 2.57$$

$\cot \alpha$  ; 斜面ののり面勾配 = 3.0

$H$  ; 波高(m) (突堤設置水深での有義波高)

$K_0$  ; 石材及び被害率によって決まる定数

来襲波浪による石の必要重量を(1)式で求める。

$$W = \gamma_r \cdot H^3 / \{K_0 \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha\}$$

$$= 2.65 \times 2.51^3 / \{3.2 \sim 2.4 \times (2.57 - 1)^3 \times 3\}$$

$$= 1.13 \sim 1.50\text{t/個}$$

1) 限界波高の計算結果

(2)式を用いて各石材の限界波高を求める。

計算結果は表-6に示す。

表-6 限界波高の計算結果

使用ヶ所	石材の重量	限界波高
堤頂部	100kg/個	1.12m < 2.51m
	200kg/個	1.41m < 2.51m
捨石部	500kg/個	1.91m < 2.51m
頂側部	2.0t/個	3.00m > 2.51m
	3.0t/個	3.48m > 2.51m

(作成: 西山 三朗)

表-6 に示すように堤頂部および捨石部に使用されていた石材の重量から求められる限界波高は来襲時の有義波高  $H_{1/3} = 2.51\text{m}$  より小さな値となっている。また、1.5H 以下の水深では重量が軽減できるが、潮位を考慮してもほぼ設計水深と同等程度なので、この配慮は省いた。

2)  $K_0$  値の算出結果

(3)式を用いて  $K_0$  値を求めた結果を表-8に示す。

表-7  $K_0$  値の算出結果

使用ヶ所	石材の重量	$K_0$ 値
堤頂部	100kg/個	36.1 > 3.2
	200kg/個	18.0 > 3.2
捨石部	500kg/個	7.2 > 3.2
頂側部	2.0t/個	1.8 < 2.4
	3.0t/個	1.2 < 2.4

(作成: 西山 三朗)

石の  $K_0$  値 (被害率が 5%以下) は 3 層以上の堤頂・捨石部は 3.2、2 層以下の頂側部は 2.4 の値を基準に考えると、表-7 のように、頂側部以外の石材は  $K_0$  値が大きな値となって、被災率で 5%以上に高くなっていることを示している。

3) 考察

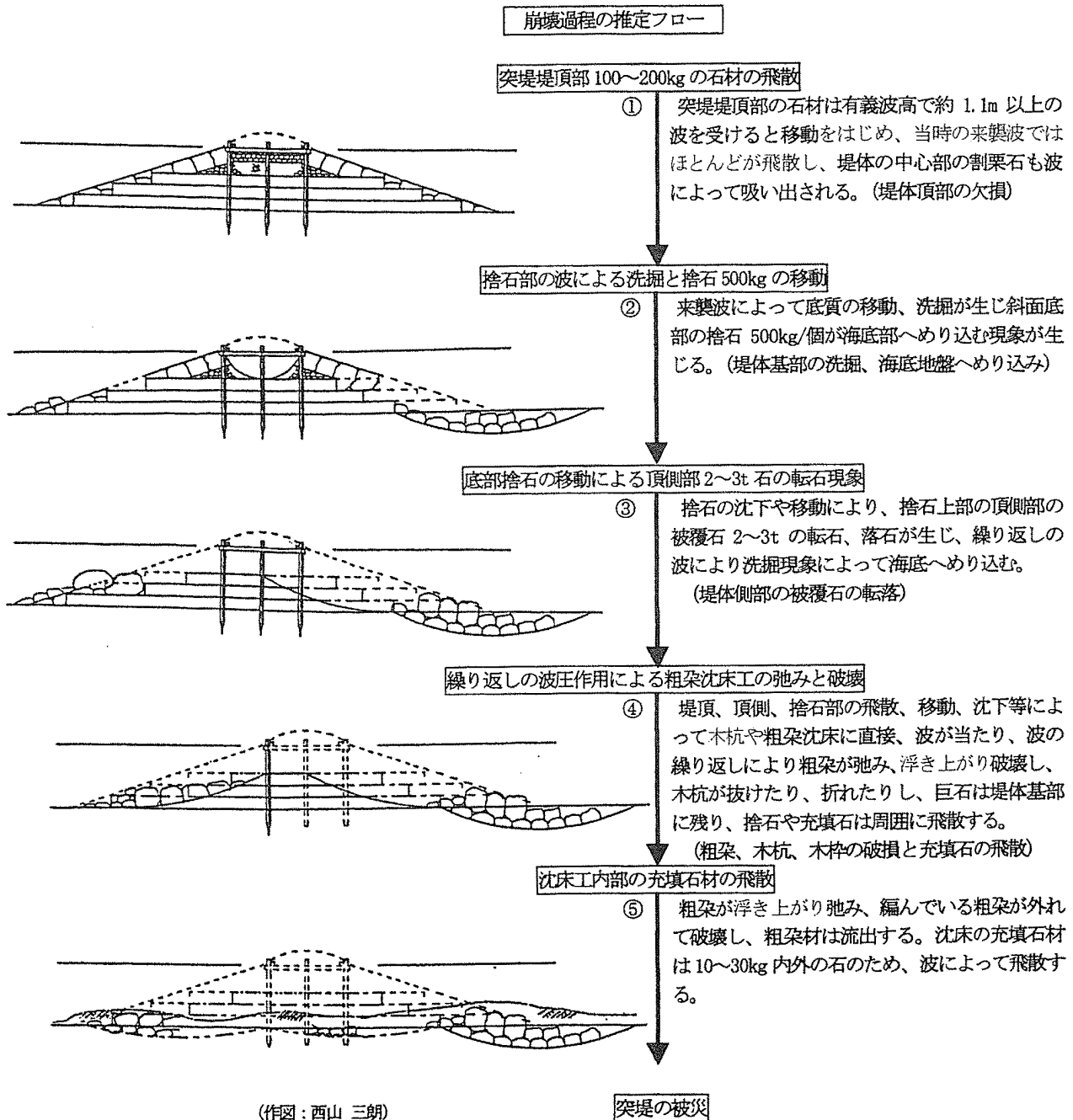
以上の結果、頂側部以外に使用されている石の重量は、来襲した波浪に対して抵抗できるものではなかったと判断できる。一方、波の不規則性を考慮したり、設計基準で防波堤などの堤頭部は 50%の重量割増を考えていることから、突堤先端部の被災は計算以上の被災を受けたものと想像できる。

8. 崩壊過程の想定

港口の東西突堤の崩壊は、次に示すフローのような過程を経て生じたと推定される。

フローの①～③については、推算された波と新たに

判った石材の重量を元に推定した結果であり、④～⑤については崩壊の過程を想定したものである。



9. むすび

今回の調査研究において、鳴瀬川河口の東西突堤の被災時の来襲波浪や崩壊の課程について、従来では想像で語られていた事柄を、土木技術の視点に立って当時の天気図から来襲波浪を推算するとともに、新たに発見された文献から突堤断面を作成して崩壊過程を想定することができた。

この結果、台風によって突堤に来襲した波は、有義波で  $H_{1/3}=2.51\text{m}$  であり、太平洋岸の波浪としては特異な高波浪でもなかったことが分かった。また、使用していた石材の大きさ、重量を特定することができ、突堤の断面構造を推定することができた。

今回の調査で明らかになったことは次のようである。

- ① 明治17年(1884)9月15日の台風による来襲波は、有義波高で  $H_{1/3}=2.51\text{m}$  と推算した。
- ② 『直轄土木取調書 第二輯』の記述より、港口の突堤断面が求められ、使用した石材の大きさ、重量が明らかになった。
- ③ ①、②の事項から、突堤の崩壊過程を推察することができた。

<謝 辞>

本調査研究を行うに当たって、東北大学 後藤・武山 両助教、日本大学 知野講師、鳴瀬町「野蒜ファンクラブ」松川女史をはじめとする鳴瀬町の方々からご意見、貴重な資料を閲覧させていただいた。また、当時の来襲波の推算に際し、(株)地域開発研究所、曾我部副社長、三洋テクノマリン(株)佐藤部長、立石技師のご指導、ご協力を受けた。ここに厚く謝意を表する。

<註および参考文献>

- 1) 大久保利通、「一般殖産及華土族授産ノ儀ニ付伺」、明治11年(1878)3月6日
- 2) 例えば
  - ・佐藤昭典、「野蒜築港と安積疎水による東北構想」土木学会誌、1994. 5. 25
  - ・片平六左、「陸前 野蒜港記」東北港運協会広報委員会、1982. 4
- 3) 寺中啓一郎、田辺俊郎、島崎武雄  
「廣井勇の見た野蒜築港」、港湾経済研究、No. 33  
p. 91、1995. 3
- 4) 鳴瀬町誌編纂委員会、『鳴瀬町誌』、鳴瀬町  
p. 484、1973. 3
- 5) 現在の金額への換算は、現在と当時の総合物価指数の変化による倍率によって求めた。  
参考資料として『河川便覧』、  
(有)国土開発調査会、p. 12、1992. 10. 1

当時の工事費に明治11年～15年までの倍率の平均値 約3,200倍を乗じて、約22億円とした。

- 6) 廣井勇、『日本築港史』、丸善(株)、p. 30、1927. 5
- 7) 寺谷武昭、『日本港湾史論序説』、時潮社  
p. 28、1972. 4. 15

- 第2-1表から野蒜、潜ヶ浦を野蒜港として、宮城県全体の取扱貨物金額の比較表を作成した。
- 8) 気象庁、『気象百年史』、気象庁、p. 55、1975.
- 9) 「京都時」というのは日本標準時が定まる以前に使われていた標準時
- 10) (社)日本港湾協会、『港湾の施設の技術上の基準・同解説』(上巻)、p. 25、1989. 2.
- 11) 平成11年6月11日に開催された土木学会東北支部 野蒜築港120年委員会主催の「野蒜築港120年シンポジウム」において配布された報告書で、日本大学工学部 土木学科 知野泰明の「明治初頭の河川施工技術について」中で「このため14年12月には……中略……3割から3割5分の勾配で投げられました」の記述を見つけた。急ぎ同氏に記述根拠を尋ねたところ国立公文書館に保存されている『直轄土木取調書 第二輯』(内務省土木局)からの引用と言うことが判明した。
- 12) 伊藤 仁、『海神よ眠れ(野蒜築港始末記)』、(株)筑摩書房、p. 293、1996. 4
- 13) (社)日本港湾協会、『港湾の施設の技術上の基準・同解説』(上巻)、p. 132、1989. 2.