

參考資料

土木學會誌 第六卷第二號 大正九年四月

波力ノ推定法ニ就キテ

本論文ハ工學博士廣井勇氏カ東京帝國大學工學部紀要第十册第一號ニ發表セラレタルモノニシテ土木工學上有益ナル資料タルヲ以テ著者ノ好意ニ依リ茲ニ譯載スルモノナリ

波浪ノ力ニ關スル知識ハ其港灣工學上關係スルトコロ甚タ大ナルニ拘ラス未タ頗ル幼稚ナル狀態ニアリテ防波堤其他波ノ進行ヲ遮ルヲ以テ唯一ノ目的トスル工作物ノ設計築造ニ當リテモ尙何等嚴密ナル計算ヲ行ハス先例等ニ依ルコト多シ
すてぶんそん氏カ彼ノ著書ニ記述セル觀測ヲ行ヒテ以來太洋ノ波浪ノ作用ヲ研究セル者ハ著者ノ記憶スルトコロニヨレ
ハ比較的少數ナルカ如シ著者カ二十餘年間築港事業ニ從ヒ此間ニナシタル波壓力ノ觀測ハ海中工事ニ從事スル諸賢ニ多
少ノ興味ヲ與フルモノアルヘシ

防波堤其他此種ノ工作物ヲ設計スルニハ先ツ之ヲ襲フヘキ最大波浪ノ力ヲ求メサルヘカラス此ノ如キ波浪ノ高サ長サ等
ハ長期間ノ觀測ニヨリテノミ得ラルヘキモノニシテ多クノ場合之ヲ缺ケリ從ツテ僅カニ實驗公式ヲ用ヒテ對岸距離水深
地形等ヨリ或推定ヲ下スカ然ラスンハ信賴スヘキ資料ヲ有スル類似ノ地點トノ比較ニヨリ推測ヲナスノ外ナカラン
最大波高ヲ與フル Stevenson 氏ノ著名ナル公式

$$H = 1.5 \sqrt{D}$$

D = 對岸距離(哩)

H = 波ノ高サ(尺)

參考資料 波力ノ推定法ニ就キテ

ハ概シテ觀測ノ結果ト一致スルモノト認メラル此公式ニ於テハ風速ヲ毎時七十哩内外ニ取リタルモノニシテ式ヲ適用シ得ル最大對岸距離ハ三百哩ナリ然レトモ風カ斯クノ如キ長距離ヲ同一方向ニ吹ク事ハ稀ナルカ故ニ場合ニヨリ低氣壓ノ中心迄ノ距離ヲ對岸距離ニ代用スルヲ適當トセンカ

風速ニ因リテ起ル波ノ高サトノ關係ハ障礙物ナキ場所ニ於ケル觀測ニヨレハ大約次ノ式ニテ表ハサル

$$h = \frac{v^2}{150}$$

v = 風速 (哩/時)

h = 波ノ高サ (呎)

次表ハ此式ニヨリ求メタル波高ト觀測ヨリ得タル波高トノ比較ヲ示ス

風速 (哩/時)	觀測セル波高 (呎) (標數)	公式ニテ算ハラル波高 (呎)
23	3.0	3.5
27	4.5	4.8
29	5.0	5.6
33	7.0	7.2
36	8.0	8.6
38	11.0	9.2
45	13.5	13.5
50	16.0	16.7
60	26.0	24.0

海岸ニ於テハ深サノ不充分ナルコト、其他ノ原因ニテ三十呎ヲ超過スル高浪ヲ見ルコト稀ナリ次ニ示セル表モ亦此公式ノ相當信賴シ得ヘキコトヲ證ス

観測サレタル波高 (尺)

公式 = ヨル波高

風ノ種類	観測サレタル波高 (尺)			公式 = ヨル波高	
	Desbois 氏 = 依ル	Paris 氏 = 依ル	Wilson 氏 = 依ル	推定サレタル風速 (哩/時)	$h = \frac{v^2}{150}$
Hurricane (?)	28.5	25.4	28	65	28.1
Strong Gale	20.6	16.6	23	55	20.2
Gale	15.4	—	14	45	13.5
Strong Breeze	10.8	—	8	35	8.2

今日迄ニ大洋中ニテ觀ラレタル最高ノ波浪ハ四十五呎ニシテ上式ニヨレハ風速毎時八十哩以上ノ颶風カ曠大ナル深海上ヲ吹キ荒レテ起リ得ヘキモノト思考セララル

今若シテ以テHナル高サノ波ヲ起スヘキ風速トセハ波浪ノ高サハ風速ノ平方ニ比例スルカ故ニ任意ノ風速ニ對シテ

すてぶんそん氏ノ公式ハ次ノ形ヲ取ル

$$h = 1.5 \frac{v^2}{V^2} \sqrt{D}$$

hハ風速ニヨリテ起ル波ノ高サナリ

波ノ長サハ波高ト同様ニ甚タシク不同ニシテ波高トノ間ニ何等定マレル關係ナキカ如シ迫波 (Forced wave) 及初生ノ波ハ波高ノ十倍乃至二十倍ノ波長ヲ有シラぬリ (Long swell) ハ之ニ比シ遙カニ大ナル波長ヲ有ス

波浪ノ進行ハ明白ナル障碍物ナキ場合ト雖モ水ノ粘着力表面張力又底面ノ抵抗等ニ妨ケラレ表面ニテハ空氣ノ抵抗ノ爲波ノ高サ長サ及速力ノ減少ヲ生ス

深海ノ波カ海濱ニ近ツキ其波長以下ノ深サニ達スルヤ水分子ノ軌道運動ニ變動ヲ生ス此變動ハ明白ニ認め得ヘク殊ニ海底ニ突起アル場合ニ明カニシテ波頂ニ白波ヲ見ル更ニ岸ニ近クヤ波高ト水深トノ關係ヨリ數度ノ碎波ヲ起ス各碎波毎ニ著シキニ現象アリ一ツハ其瞬間ニ於ケル波高ノ増大ニシテ主トシテ靜水面以上ノ部ニ限リ谷 (Trough) ノ深サニハ變化

ヲ起サス(第一圖參照)他ノ一ツハ碎波後ニ於ケル波高ノ甚ダシキ減少ナリ

斯クノ如キ波ノ高マリハ波長ノ減少ニヨリテ生シ又碎波ト共ニ少ナカラサルえねるぎノ消失アルコト明ナレトモ未タ其量ニ關シテハ何等ノ研究ナキカ如シ波ハ碎波後低下セル波高ヲ以テ進行ヲ續ケ波高ニ殆ント等シキ水深ニ至リテ再ヒ碎クルヲ見ル

碎波ノ瞬間ニ於ケル波高ノ増大ヲ究ムル爲ニ水槽内及海中ニテ行ヒタル多數ノ觀測ノ結果ニヨルニ碎波前後ノ波高ノ比即チ $\frac{H_1}{H}$ ハ波長ト碎波ノ起レル海底ノ性質トニヨリ一・五ヨリ二・〇ノ間ニアリ斯クノ如キ比ハ各所ニ於テ適當ノ距離ニ標尺ヲ設置シ觀測スレハ何人ニモ檢スルコトヲ得

波ノ碎クルヤ水分子ノ軌道運動ハ止ミ波頂ハ軌道運動ノ速度ヲ以テ落下ヲ始メ漸次速度ヲ増ス落下距離ハ碎波ノ前面ノ水面高ニテ異ルモ此水面ハ反覆施行セル實驗ニヨルニ靜水面ニ甚タ近キモノ、如シ而シテ波頂ノ靜水面上ノ高サハ

$$H \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi H}{4L} \right) \quad L = \text{波長}$$

ナルヲ知ルカ故ニ碎波ノ落下距離ハ大約次ノ如シ

$$H_1 - H \left(\frac{1}{2} - \frac{\pi H}{4L} \right)$$

之ニ前記ノ H_1 ノ最大値 $\frac{3}{2}H$ ヲ代入スルトキハ

$$H \left(1.5 + \frac{\pi H}{4L} \right)$$

碎波ノ落下始メノ速度ハ高 H ナル深海波ノ軌道速度ニ等シキモノト假定セハ碎波ノ最終落下速度 c ハ

$$c^2 = \frac{\pi g H^2}{2L} + 2gH \left(1.5 + \frac{\pi H}{4L}\right) = 2gH \left(1.5 + \frac{\pi H}{2L}\right)$$

ノ値トナル

cナル速度ヲ以テ運動セル水ハ次ノ如キ壓力ヲ呈ス

$$p = \rho \frac{c^2 \omega}{2g}$$

p = 壓力強度

ω = 水ノ單位容積重量

φ = 波ノ作用サルハ表面ニヨリテ變化スルキ係數

此φノ値ヲ決定スル爲ニ多クノ實驗ヲ行ヒタリ即チ水ヲ漕ヘテ急ニ落下セシメ得ヘキ裝置ヲ設ケ水量及ヒ其高サヲ變化セシメ各種ノ位置ニ据エラレタル波力計上ニ水ヲ落下セシメテ次ノ結果ヲ得タリ

落下距離 L 呎	壓力 #/sq"		p = φ $\frac{c^2 \omega}{2g}$ = φ ω h (φ = 2 及 ω = 64 トシ算出セルモノヲ 144 = 7 除ス)
	平均	最大	
6	1.98	3.0	5.3
12	4.40	10.0	10.6
18	13.57	16.3	16.0
36	20.23	33.5	32.0

以上ノ結果ハ波力計ヲ面積九平方呎ノ水平ナル面ニ取リツケタルモノナリ此他水ヲ開箱ヘ落下セシメ箱ノ底面及ヒ側面ヘ波力計ヲ据エテ觀測スルニ各面略々同一ナルヲ見ル即チ落下水體ハ凡テノ方向ニ同一ノ力ヲ及ホスモノ、如シ以上ノ結果ニヨレハハナル高サヲ落チテ最終速度ヒ有スル水體ノ最大壓力ハφ = 2トセハ算出スルコトヲ得

礮ツテ碎波ノ場合ヲ考フルニ碎波ノ起レル海底カ斜面ニシテ此斜面カ高水位以上迄達セル時ニハ波ハ斜面上ヲ沿ヒテ進ミ波力ハ大面積ニ消散シテ其影響頗ル少ナリ

然レ共第二圖ノ如ク斜面上ニ直立セル構造物ノ存スル場合ニハ碎波ノ全力ハ之ニ向ツテ作用シ引波ハ及フ限リノ物ヲ引キ去ラントス

前記ノ結果ヨリ斯クノ如キ力ノ最大ナル値ハ概略次ノ式ニヨリテ示サルヘシ

$$P_{max} = \frac{\rho \omega}{g} = 2\rho H \left(1.5 + \frac{\pi H}{2L} \right)$$

而シテ碎波カ強風ヲ受クル場合ニハ壓力強度ハ此値以上トナル

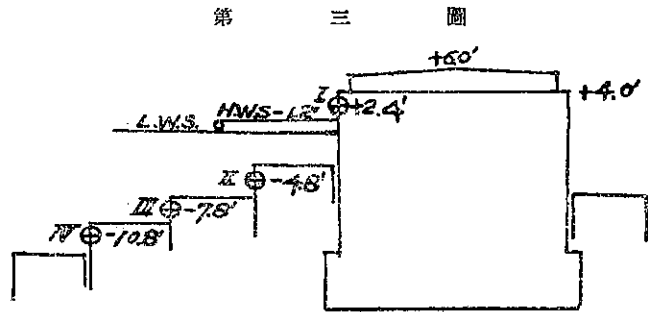
著者ノ行ヒタル波力ノ實測ハ主トシテ小樽港及太東岬ニ於テ行ヒタルモノニシテ之カ爲ニ次ノ如キ諸機械ヲ使用セリ

附圖第一圖ニ示セル器械ハ最モ多ク使用セルモノナリ其構造ハ隔膜波力計ト彈條波力計トヲ組合セル型ニシテ鋼製彈條以外ハ眞鍮製ナリ波ノ打撃ヲ受クヘキ部分ハ直徑三吋ノ圓板ニシテ内部ニ相當力アル彈條ヲ取り付ケ彈條ノ壓縮ハ圓板ニ取り付ケタル小軸ニヨリ擴大積杆ニ傳ヘラレ目盛板ノ指針ヲ動カス而シテ指針ハ其最大動程ノ位置ニ止ル様作ラレタリ此等ノ全裝置ハ眞鍮製ノ箱ニ收メラレ上部ノ蓋下ニハ護謨填料ヲ用ヒ又圓板ハ螺旋ニテ緊着セル強固ナル護膜板ニテ覆ヒ水密トセリ機械ノ取り付ケハ附圖第二圖ノ如ク壁面ニ凹處ヲ設ケ周圍ニ鎮釵ヲ用フルカ稀ニハ附圖第三圖ノ如ク表面ニ鎮着ス (附圖ハ印刷ノ都合上次號ニ掲載ス)

機械ニ目盛ヲナスニハ附圖第四圖ノ示ス如ク圓板ニ水壓ヲ加ヘテ行ヒタリ

附圖第五圖ニ示セルハ異型ノ波力計ニシテ寧ロ自記波力計ト稱スヘク使用ノ結果ハ良好ナリ波ノ打撃毎ニ之ヲ時計仕掛ニテ回轉セル圓筒上ニ記録セシムル裝置ヲ有シ其圖表ノ一例ヲ第五圖ノ下ニ掲ケタリ

上記ノ波力計ノ數個ヲ一組トナシテ小樽北防波堤ノ處々ニ配置シタリ第三圖ハ防波堤ノ起點ヨリ二千七百九十呎ノ點ニ裝置セル一群ヲ示ス次表ハ此等ノ波力計ニテ觀測サレタル結果ナリ



前表ニ於ケル最大壓力ハ觀測值ヨリ平均水面以下ノ水深ニヨル靜壓力ヲ減シタルモノナリ此等最大値ハ同時ニ求メラレタル記錄ニ非スシテ次ノ如キ觀測ヨリ抽出サレタルモノナリ

波力計	壓力 (#/sq")		
	一九〇五年十二月	一九〇七年十一月	一九〇八年三月
I	50.0	17.0	36.0
II	4.6	13.7	17.6
III	6.3	9.3	14.3
IV	4.0	10.0	8.0

此表ニヨレハ大體ニ於テ表面ニ近ツクニツレ壓力ヲ増スモノ、如シ然レトモ場合ニヨリテハ次ノ如キ反對ノ結果ヲ示セリ

波力計	一九〇六年十二月	一九〇七年三月	一九〇七年七月
I	1.0	0	5.0

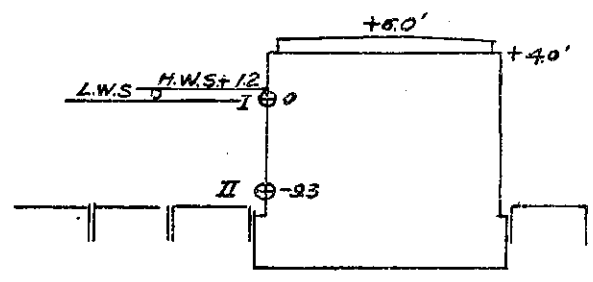
參考資料 波力ノ推定法ニ就キテ

參考資料 波力ノ推定法ニ就キテ

波力計	一九〇六年十二月	一九〇七年三月	一九〇七年七月
II	7.6	1.6	2.6
III	4.3	6.3	6.3
IV	3.0	9.0	4.0

此處ニ注意スヘキニツノ點アリ第一ハ波壓ノ作用ハ局部的ニシテ等壓強度ヲ有スル部分ハ比較的小面積ナルコトナリ如何トナレハ第三圖ニ示セル防波堤ハ波力計(I)ノ上下四呎ノ直立面ニ働ク毎平方呎四十封度以上ノ力ニハ對抗シ得サル構造ナルニカノハラス前表及次表ニ示スカ如ク遙カニ大ナル力ヲ記録セルヲ見ルカ故ナリ而シテ次表ハ防波堤ノ起點ヨリ三千三百十五呎水深四十五呎ノ點ニ配置セル一群ノ波力計ノ記録ナリ

第四圖



年	月	日	最大壓力 (#/sq")	
			I	II
一九〇五年	十一月	十二日	1.8	0
同	年十一月	廿八日	4.8	3.7
同	年十二月	十七日	44.0	8.2
一九〇六年	一月	二日	32.0	5.8
同	年一月	十一日	13.8	4.0
同	年一月	廿一日	1.0	3.5
同	年二月	五日	0	2.3
同	年二月	十七日	50.0	3.0
同	年三月	七日	50.0	9.0
同	年四月	卅一日	50.0	12.0
同	年九月	一日	14.0	0

四	年九月十二日	18.8	1.0
四	年十月七日	34.0	17.8
四	年十二月十日	25.0	20.7

此場合ニ於テハ波力計(I)ノ上下各五呎ノ直立面ニ働ク毎平方吋三十封度ノ等布壓力又ハ全直立面ニ働ク毎平方吋二十五封度ノ等布壓力ハ此防波堤ヲ滑動セシムルニ充分ナリ故ニ最高記録ノ毎平方吋五十封度ノ壓力ハ波力計附近ノ小面積ニ働キシニ過サルヘシ

尙第二ニ注意スヘキハ波力計ノ記録カ一見不合理ニ見ユル點ナリ吾人ハ波動ノ理及ヒ實驗上ヨリ波力ハ表面ヨリ底ニ向ヒ急激ニ減少スルヲ知レリ而シテ前記ノ記録ノ多クハ此理論ニ一致セルモ或場合ニハ下部ノ波力計カ上部ノ波力計ヨリモ一暴風中ニ大ナル記録ヲ示セリ此矛盾ハ波カ物體ニ衝擊ノ際往々其全力ヲ發揮シ得サルコトアルニヨル附圖第六圖ニ示セル波力圖計ノ記録ヲ見ルニ約二十七時間ニ波力計ノ圓板カ波ノ打撃ヲ受クルコト一萬回以上ナルニ拘ラス最大壓ハ僅カニ一回記録セラレタルノミナリ從ツテ小期間ノ暴風ニ於テハ波力計カ最大壓ヲ記録シ得サルコト多カルヘシ

此波カ最大壓ヲ發揮シ得サル事ハ前記ノ落下水ノ實驗ニ於テ毎回顯ハル、處ニシテ衝擊スル水體ノ一般性質ニ歸スルモノ、如シ實驗ニ於テ落下スル水體カ外觀上全ク同一ナル状態ニテ波力計ノ圓板ヲ打ツニ拘ハラス其壓力ハ殆ント認め得サル小ナルモノヨリ最大ノモノ迄變化シ九十回ヲ越ユル良打撃ノ中ニテ最大ヲ示スモノ一回ニ過キサレハ水體ノ衝擊カ全力ヲ發揮シ得ルコト稀ナルヲ示ス之ニヨツテ見ルニ一般ニ破碎時ノ運動不規則ナル多數ノ波浪カ障礙物ニ向ヒテ全壓カヲ現ハシ得サルコトアルハ當然ト云フヘク波力計カ屢々矛盾セルカ如キ記録ヲ示ス所以モ亦茲ニ存ス尙上記ノ記録ニ於テ同一日附ニテ掲ケラレタルモノモ必スシモ同一波浪ノナセル結果ニ非ス從ツテ其數値カ正確ニ水深ニ對スル波壓力ノ變化ヲ示スモノト稱シ難シ

著者ノ得タル波浪ノ最大壓力ハ留前港ニ於ケル毎平方吋六十封度ニシテ之ニ次クヲ小樽ノ毎平方吋五十封度トス波浪ニ

ヨル構造物細部ノ被害ハ多ク此クノ如キ小面積ニ働ク大壓力ノ爲ニシテ防波堤ノ如キ構造物ノ安定ヲ犯ス力ハ全暴露面ニ働ク最大平均壓力ナルヘシ此平均壓力ノ觀測ハ種々ノ水深ニ設置サレタル波力計ノ記録ノ多數ヲ要スルカ故ニ最大強度ヲ求ムルニ比シ遙カニ困難ナリ從ツテ僅少ナル觀測ノ結果ヨリ或地方ニ於ケル此種ノ波力ヲ正當ニ判斷セントスルハ不可能ナルヘシ

第二圖ノ如キ粗石積ノ上ニ直立壁ヲ有スル防波堤ニテハ之ニ襲來スル波ハ粗石ノ法先又ハ斜面上ニテ碎クルカ故ニ其最大壓力ハ已ニ論セシ如ク

$$P_{max} = 2\omega H \left(1.5 + \frac{\pi H}{2L} \right)$$

ナリ此式中 $\frac{L}{H}$ ナル比ハ海洋ニテハ普通約二十ナルヲ以テ上式ハ概略次ノ如ク變スルヲ得

$$P_{max} = 3.2\omega H$$

此式ノ與フル波壓力ハ偶波浪衝擊ノ狀態モ方向モ共ニ都合ヨキ時ニノミ生シ且已ニ論セシ如ク比較的小面積ニノミ働クモノト考フヘシ

碎波頂部ノ落下最終速度ハ初速度即軌道運動ノ速度ヨリモ寧ろ落下ノ高サニ歸スル處多ク且直立面ヲ打ツ方向ハ水平面ニ對シ普通四十五度以上ノ傾キヲ有スルカ故ニ落下スル波頂ノ大部分ニヨリ働カル、水平壓力ハ次ノ値ヲ越ヘサルヘシ

$$p = 1.5\omega H$$

波ノ高サハ水深ヲ越スコトナキカ故ニ構造物ヲ襲フ最大波高ヲ其點ノ水深ニ等シトスルモ可ナルヘシ但シ對岸距離小ニシテ此ノ如キ高浪ヲ生スルコトナキ場合ハ此限リニ非ス此假定ノ下ニ全ク暴露セル場所ニ於テ碎波ノ最大壓力強度ヲ求ムレハ概略次ノ如シ

$$p = 1.5\omega d \quad d = \text{其點ニ於ケル水深}$$

落下水體ノ働キハ可ナリノ深サニ於テモ減少スルコトナキカ故ニ波ノ場合ニ於テモ ρ ヲ以テ波高ニ比シ左程高カラサル構造物ノ暴露面ニ働ク平均壓力トスルモ大差ナカルヘシ

波ノ方向カ構造物ノ面ニ於ケル垂線トナル水平角ヲナス場合ニハ垂直壓力強度ハ $\rho \cos^2 \alpha$ トナル

若シ以上ノ如キ演繹カ真ナリトセハ或地ノ最大平均壓力ノ推定ハ容易ナルヘシ而シテ此式ノ信賴スヘキヤ否ヤハ甚ダ疑問ナリト雖モ次ニ掲ケタル記錄(此等ノ記錄ハ著者ノ知ル範圍ニテハ信スヘキ資料ヲ有スル唯一ノ記錄ナリ)ハ此式ノ稍信スヘキヲ證ス

(一) 一八七二年 Wick Breakwater ノ部分的破壊ハ顯著ナル一例ナリ Stevenson 氏ニ依レハ二萬四千五百七十立方呎ノ凝土塊ハ暴風中ニ粗石積ノ基礎ヨリ滑リ去リタリト云フ凝土塊ノ底ハ底水面下三十呎ニシテ五百四十六平方呎ノ暴露面ヲ有セルカ故ニ摩擦係數ヲ〇・七ト假定セハ此塊ヲ移動セシムルニ要スル力ハ

$$\frac{24,570 \times 80 \times 0.7}{546} = 2,520\#/\square$$

公式ニヨレハ低水時ニテモ次ノ如シ

$$p = 1.5 \times 64 \times 30 = 2,880\#/\square$$

(二) 一八七八年 Colombo Breakwater 築造中ニ其地方ニテ最大波浪ヲ起ス南西季候風ニヨリテ興味アル事故惹起サレタリ主任技師 J. Kyle 氏ノ言ニヨレハ工程千二百呎ニ達セル時堤ノ外側ヲ形成スヘキ直立壁ノ一端カ端ヨリ百五十呎ノ點ヲ中心トシ粗石上ヲ十五吋移動セリト云フ壁ノ斷面ハ幅二十四呎高二十二呎暴露面長一呎ニ付キ約十八平方呎ナリ摩擦係數ヲ〇・七トセハ直立面ニ働ケル力ハ次ノ値ヲ超過スルヲ要ス

$$24 \times 23 \times 80 \times 0.7 \times \frac{1}{18} = 1,717\#/\square$$

其點ノ水深ハ約二十五呎ニシテ浪ノ方向ハ防波堤ト五十八度ノ角ヲナセリト稱セラル、故ニ公式ノ與フル最大水平壓

カハ

參考資料 波力ノ推定法ニ就キテ

一一

$$p = 1.5 \times 64 \times 25 \times 0.848 = 2,035 \#/\text{sq}$$

其後防波堤ノ斷面ハ幅三十四呎高二十六呎暴露面長一呎ニ付約十八呎ニ改メラレタルカ故ニ次ノ水平壓力ニ抗シ得ルニ至レリ

$$34 \times 26 \times 80 \times 0.7 \times \frac{1}{18} = 2,750 \#/\text{sq}$$

又四十呎ノ水深ニ對シテハ幅三十五呎高三十呎暴露面十七呎ナリ從ツテ滑動ニ對スル抵抗ハ少クモ

$$35 \times 30 \times 80 \times 0.7 \times \frac{1}{17} = 3,460 \#/\text{sq}$$

ヲ有ス公式ノ與フル値ハ此水深ニテハ

$$p = 1.5 \times 64 \times 40 \times 0.848 = 3,253 \#/\text{sq}$$

然ルニ觀測サレタル最大波高ハ十五呎——此地方トシテハ過小ナルモ——ナルカ故ニ公式ハ稍々過大ノ値ヲ與フルモノノ如シ

(三) 一八九八年 Peterhead Breakwater ノ蒙リタル暴風被害ニ關シテ Wm. Shield 氏カ雜誌 Eng'g. VOL. LXVII ニ記述スルトコロニヨレハ防波堤ノ低水面下一〇・六呎迄ノ部分其重量約三千三百噸カ一體ニ二吋動カサレタリト云フ波力ノ働ケル表面積ハ千二百二十二平方呎ニシテ之ヲ動カスニ要スル力ハ Shield 氏ニヨレハ暴露面每平方呎四千四百八十封度ナリ然トモ此計算ニ於テハ水中ニ於ケル重量ノ減少ヲ省略セルカ故ニ實際ニテハ四千封度ヲ超エサルヘシ防波堤ハ低水時ニテモ尙五十四呎ノ水深ヲ有スル深海ニ築造サレ居ルモ大洋ノ波高カ四十五呎ヲ起スコト稀ナルカ故ニ此値ヲ公式ニ

代入スル時ハ次ノ平均壓ヲ得

$$p = 1.5 \times 64 \times 45 = 4,320 \#/\text{sq}$$

(四) 一八九八年函館港ノ防波堤築造中水深七呎ノ場所ニ積ミ重ネタル七十二立方呎ノ三混凝土塊カ暴風中ニ約六吋水平移動ヲナセリ最低ノ塊ハ背後ニ粗石積ヲ有シ抵抗係數一・三ヲ算ス暴露面三十六平方呎ナルカ故ニ移動ヲ生セシムル壓力強度ハ

$$3 \times 72 \times 80 \times 1.3 \times \frac{1}{36} = 624 \#/\text{sq}$$

以上ナルヘク公式ハ此場所ニ對シテ

$$p = 1.5 \times 64 \times 7 = 693 \#/\text{sq}$$

ヲ與フ

(五) 一九一三年留萌港ニ於テ體積一萬六千八百立方呎暴露面四百二十呎ノ函塊カ暴風ノ際約三吋移動セリ混凝土ト混凝土トノ摩擦係數ハ約〇・六ナルカ故ニ作用セル力ハ次ノ如シ

$$\frac{16,800 \times 80 \times 0.6}{420} = 1,920 \#/\text{sq}$$

此場所ノ水深ハ二十二呎ナルカ故ニ公式ハ次ノ値ヲ與フ

$$p = 1.5 \times 64 \times 22 = 2,112 \#/\text{sq}$$

次ニ掲クル四例(六―九)ハ Gaillard's "Wave Action in Relative to Engineering Structure" ヨリ拔萃セルモノナリ

(六) 一八九一年 Milwaukee ニ於テ幅二十四呎高二十二呎半長百呎ノ石樞カ水深三十二呎ノ點ニテ波ノ爲ニ覆サレタリ樞ハ十二呎ノ粗石積上ニ据エラレ樞ノ重サハ水中ニテ長一呎ニ付二萬六千三百封度ト推定サル之ヲ覆サン爲ニハ每平方呎千百封度ノ力ヲ要ス而シテ此地方ニテ認メラレタル最大波高ハ十二呎ニシテ公式ハ次ノ値ヲ與フ

$$p=1.5 \times 62 \times 12 = 1,116 \#/\text{sq}$$

(七) Buffalo ニ於ケル防波堤ハ石框造ニシテ一八九九年暴風ノ爲ニ破壞サレタリ此災害ヲ起スニ要セシ波力ハ本工事技師ノ計算ニヨレハ每平方呎千四百四十五封度乃至千七百十八封度ナリト云フ此附近ニ於テ水深ハ二十五呎ナルモ最大對岸距離二百哩ニ達セス波高ハ二十呎ヲ越スコト稀ナリ今此値ヲ用フル時ハ公式ノ與フル水平壓力ハ次ノ如シ

$$p=1.5 \times 62 \times 20 = 1,860 \#/\text{sq}$$

(八) 一八九〇年 North Beach ニ於テ粗石積上ニアリシ百五十立方呎ノ混凝土塊カ押シ舉ケラレタリ之ヲナスニ要セシ力ハ底面六十平方呎ニ對シ

$$\frac{150 \times 80}{60} = 200 \#/\text{sq}$$

以上ナルヘキナリ水深ハ六呎ナルカ故ニ粗石積ヲ通過スル時ノ抵抗ヲ五割ト假定スル時ハ最大壓力ハ公式ニヨリ

$$p=1.5 \times 64 \times 6 \times \frac{1}{2} = 288 \#/\text{sq}$$

ナリ

(九) 一九〇一年 Superior 湖 Portage 水路入口ノ防波堤ハ波浪ノ爲ニ破壞サレタリ當時ノ波壓力ハ每平方呎二千六百七十七封度ヲ越スモノト推定サレタリ其場所ノ對岸距離ヨリ考フルニ風ハ稀ニ見ル強度ナリシカ如シ水深三十呎ニシテ公式ニヨレハ次ノ値ヲ得

$$p=1.5 \times 62 \times 30 = 2,790 \#/\text{sq}$$

(十) 一九一七年九月ノ暴風ニ際シ當時着手サレテ間モナカリシ鶴見埋築會社ノ防波堤ハ大ナル被害ヲ受ケタリ防波堤ハ基礎粗石積ニシテ上部混凝土工ヨリ成リ混凝土工ハ一様ニ高六呎上幅八呎ノ梯形ナレトモ斷面積ハ二種ニ區別サル其內斷面六十六平方呎ヲ有スル部分ハ波力ニ堪ヘタルモ五十七平方呎ノ部分ハ移動セリ之ニ依リテ察スルニ當時ノ波浪最大壓

カハ長一呎ニ對シ三千百九十封度乃至三千七百封度ナリシカ如シ而シテ其點ニ於ケル水深ハ低水位ニ於テ二十二呎ナルモ對岸距離僅カニ十六哩ニシテ Stevenson 氏ノ公式ニヨレハ波高ハ

$$H = 1.5\sqrt{16} = 6'$$

之ヲ $p = 1.5\omega H$ ニ代入スル時ハ

$$p = 1.5 \times 64 \times 6 \times 6 = 3,456$$

長一呎ニツキ封度

ナリ

波浪ニ關スル記錄ハ多數ニ存スレ共其壓力ヲ計算スルニ充分ナル資料ヲ備ヘタルモノ少シサレハ好機ニ際シ適當ナル觀測ヲ行ヒ波力推定ノ根據タルヘキ資料ヲ求ムルヲ得ハ斯界ニ貢獻スルトコロ大ナルヘシ
 決論 以上ノ論議ハ吾人ニ次ノ斷案ヲ與フ

- 一 波ノ最大壓力強度ハ水面近クニ存シ比較的小面積ニ作用ス
 - 二 一波力計カ一暴風中ニ起レル波ノ最大壓力ヲ記錄シ得ルモノトハ限ラス
 - 三 大面積ニ働ク波ノ平均壓力強度ヲ直接觀測スルハ至難ナリ
 - 四 一地方ニ於ケル波ノ平均壓力強度ヲ適當ニ推定スルニハ現今吾人ノ知識ニテハ信賴スヘキ公式ニ依ルノ外ナシ
- 本論文ニ引用セル多クノ觀測ニ就テハ小樽築港主任技師伊藤長右衛門氏ノ有益ナル援助ニ待ツ處多シ摺筆スルニ當リ深キ謝意ヲ表スルモノナリ

(完)