

15. 横濱港の埋立地及岸壁に於ける地震動

地震研究所 齋田 時太郎

内務省土木試験所 松 尾 春 雄

(昭和14年9月21日發表 — 昭和16年3月20日受理)

本文にのせた地震動の観測は、日本學術振興會第14小委員會に於ける、私の擔當の一事業として、昭和13年12月より昭和15年3月まで、横濱港外國貿易岸壁に於て、内務技師松尾春雄氏の助力に依りなされたものであるが、偶々私が昭和14年4月アメリカ合衆國及チリ國へ出張を命ぜられ不在であつたため、同技師が観測を繼續し、その成果の一部分を土木試験所報告第53號に「港灣の埋立地に於ける地震動の加速度及周期に關する調査」と題して發表された。こゝに同技師の調査に基き、私見をのべ責任を分擔する次第である。(齋田時太郎記す)

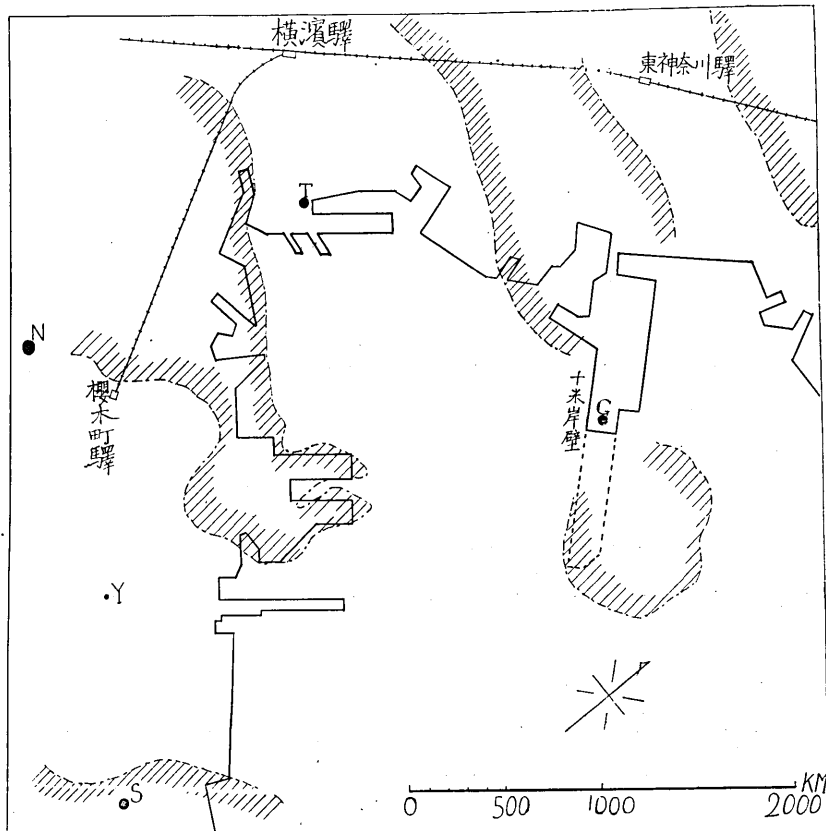
1. 緒 言

大正12年の關東大地震による横濱港岸壁の被害、及昭和5年11月の北伊豆地震、と昭和10年7月の静岡地震による再度の清水港岸壁の被害は、港灣工作物に於ける災害の中で、最も著しいものであつた。これ等は我國在來の岸壁の設計に、地震動に對する處置が餘り考へられてゐなかつた事が、大きな原因であるが、岸壁は多く埋立地に設けられ、且つ10米乃至15米程度の高さに切立つてゐるので、地震動が一般に考へられてゐるものと著しく異なることに因るのではないかと言ふ疑がある。因て、この方面の調査研究を進め、地震動による埋立地及岸壁の振動の性質を解明することは、我が國の如き地震國に於ては重要なことである。

2. 地震動觀測の場所

地震計を設置した場所は、第1圖に示す通り横濱港の東北部に當り、省線東神奈川驛の東南に突出する、外國貿易用岸壁である。その幅員150米にして、一方は水深10米、他方は3米である。岸壁の構造は昭和2年に在來約4米の水深の場所に、岸壁構造物の基礎のところは13.6米まで浚渫し、そこに割栗石を厚さ約3米、幅15米を敷いた上に、底幅9.15米、上幅6.00米、高さ13.20米、1個の重量約1000噸の鐵筋コンクリート潜函を据え、中結後上部場所結を施し岸壁とした。この重量1米當り約220噸(浮力を差引かない値)あり、潜函1個の長さ18.75米毎に目地を設け岸壁背後は浚渫から生じた土丹岩を以て裏込を施し、その背後の埋立地

は、ポンプ浚渫により生ずる土砂を多量に含んだ水を、汲入れ沈澱せしめて出来たものである。物揚場は海面下 4 米に均し、厚さ 1 米の基礎割栗を施し、更にその上に底



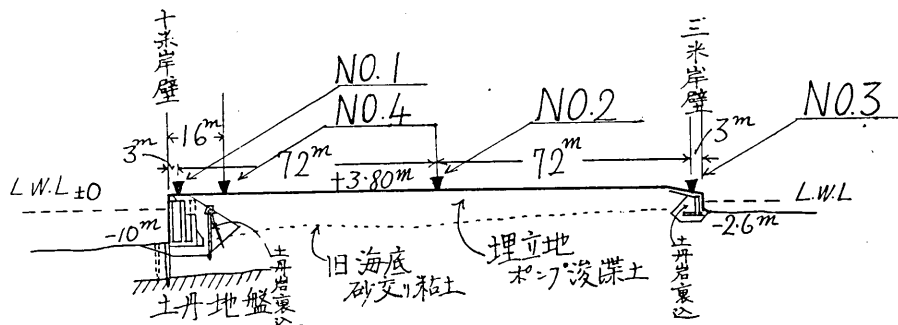
第1圖 地震計設置位置、N は野毛山震災紀念館、T は表高島町、G は今回調査のため新に設置した十米岸壁、Y は横濱公園（嘗て地震計が置かれた）S は横濱測候所、斜線を施した地域は第三紀層海面下 10 米以内を示す。

幅 3.5 米、高さ 5.05 米、長さ 4.90 米、1 個の重量約 46 噸の異型擁壁を置き、上部には場所結コンクリートを打ち、土丹岩の裏込を施した上に、断面に於て延長約 10 米の斜路を設けた構造であつて、壁體延長 1 米當り重量は裏込共約 37 噸である。

岸壁及物揚場壁體は昭和 3 年頃の施工になり、埋立竣工は昭和 5 年であるが、其の後岸壁の耐震度を増すため、昭和 8 年に岸壁背後及前面に杭を打ち補強工事を行った。

今回調査のため地震計を設置した場所は、第 2 圖に示す通り 4 箇所であるが、最初 No. 1, No. 2, No. 3 に於て同時に観測を開始し、後に No. 3 のものを No. 4 に移

し No. 1, No. 2, No. 4 に於て同時観測を行つた。それは No. 1 と No. 2 とで地震動に著しい差が認められたから、潜函より後方約 16 米に於て、直接潜函への土壓を



第2圖 十米及三米岸壁断面及地震計設置位置。

支配すると思はれる位置の地震動の性質を知るためであつた。この外第1圖に示す表高島町の在來の観測と、野毛山公園内震災記念館に据付けたものと合計 6 個所で観測を行つた。

岸壁及物揚場附近の基盤の地質は、第三紀層の軟質砂岩である土丹盤が海面下 15 米位に在り、それと海底との間は粘土質砂である。表高島町の地震計は昭和 6 年頃埋立てられた、幅 20 米の狭い埋立地で明治年間の埋立地との境界線から 7 米の距離の所に設置してある。この附近の基盤である第三紀層は、深さ 40 米位に在り、その上の地表層は軟弱な粘土質砂である。野毛山公園の地質は第三紀層の基盤を覆ふ、洪積層の粘土砂互層のローム層であつて、表高島町附近の地盤より著しく硬い地盤である。なほ、後に引用する横濱測候所の地盤も亦野毛山と同様であるが、横濱公園は軟弱な沖積層の厚さ 30 米以上に及び表高島町附近と大差はない。

3. 地 震 計

今回観測に使用した地震計は、石本式⁽¹⁾水平加速度地震計で、岸壁に平行と直角との震動加速度成分を測定し得るやうに据付けた。在來の地動観測は變位地震計を用ひてゐるのが常であるが、震動の最大加速度及びその週期が重要視される土木建築の工學に於ては、加速度地震計を用ふるのが適當である。なほ、この地震計の要素は下の通りであつた。

幾何倍率	213
振子の振動周期	0.1 秒
制振器	ピストン型空氣制振にして臨界制振状態にある。

1) M. ISHIMOTO, Bull. Earthq. Res. Inst., 10 (1931), 171.

記象紙速さ	約1分間に6種
感度	記象紙上1耗が1.7 gal
記象紙同轉原動機	同調電動機

4. 観測の結果

今回の観測は昭和13年12月開始され、同15年3月末日に終了したが、その間頗る多数の有感無感の地震動を記録することが出来た。その中第1表に示す31回の地震動について調査を進めて見た。これ等31回の震度を、岸壁観測所の南方約3杆に在る横濱測候所について見ると、弱震(震度III)が2回、輕震(震度II)が3回、他は皆微震と言ふ程度であつた。今回岸壁で観測した最も強い震動である、上記の2回の弱震を加速度地震計の値と比較するため、横濱測候所に於ける變位地震計より求めた、最大振幅とその周期とを示すならば、昭和14年3月10日3時12分頃の茨城県下結城附近の地震は、關東地方の大部分から東北地方の南東部及び中部地方の一部に亘り有感であつて、横濱測候所では弱震震度III、その振幅及び周期は次の通りである。

最大動振幅(μ)			周 期 (S)		
N	E	Z	N	E	Z
-1900	+1260	-263	1.2	0.7	0.8

次に昭和14年12月31日15時53分頃の銚子附近の地震は、震央は銚子の南西約10杆の沖合に當り、關東地方の大部分から福島、山梨及び静岡等の諸縣にかけて有感であつて、横濱測候所では弱震震度III、その振幅及び周期は次の通りである。

最大動振幅(μ)			周 期 (S)		
N	E	Z	N	E	Z
-2490	-1400	-355	0.8	0.6	3.5

さて、これ等31回の地震動記象について工學的立場から最も重要な最大加速度、及其の周期を読みとつて見ると、第1表に示す通りである。それ等の數値から推定される事項を擧げるならば次の如くである。なほ、最後に二つの地震動の記象を添付しておいた。

(1) 岸壁に垂直な方向と、平行な方向とで最大加速度は著しく異なる。例へば、No. 1 即ち10米岸壁潜函上に於ては、垂直方向のものは平行な方向のものゝ3.5倍にも達することがある。この關係はNo. 3 即ち3米物揚場に於ても同じ數値を示した。なほ、これ等の比をNo. 2の地震の強さを標準として見ると、第3圖の(a)(b)の

第 1 表 各 観 測 點 に 於 け る 最 大 加 速 度

加速度の単位は gal, () 内の数字は最大加速度に於ける周期を秒にて示す。
 加速度の方向にて表高島町, 野毛山は EW, NS は自然の方向なるも, No. 1~No. 4. にありては EW
 は岸壁面に直角, NS は岸壁面に平行の方向を示せり。震央, 震央距離及震度は氣象要覽による。

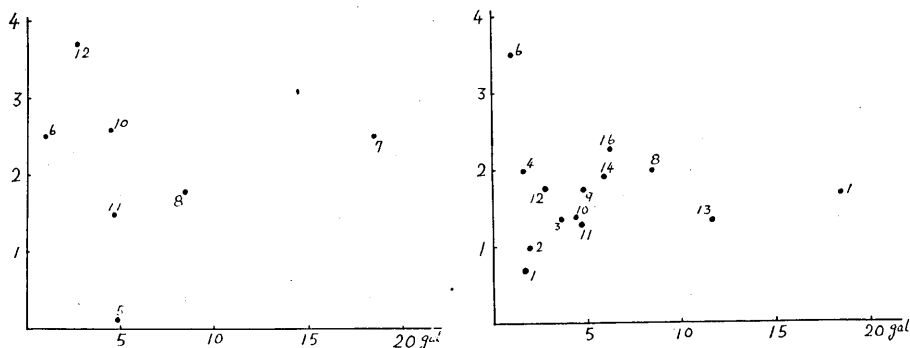
地震 番号	発 震 日 時			表高島町	野毛山	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	震 央	震 央 距 離 KM	横濱測候 所に於ける震度
	年	月	日 時 分									
1	14	1	9 10 2	EW NS			1.96 1.61	0.94 1.36			65	
2		1	10 21 9	EW NS			2.21 1.91	0.98 0.94		伊豆神子 元島沖	130	
3		1	24 13 2	EW NS	2.16 0.45		3.23 4.00	1.78 1.23		福島縣鹽屋 崎東方沖	250	微震, I
4		1	25 3 8	EW NS	1.06		1.70 1.53	1.02 0.51		同上	200	
5		2	1 14 25	EW NS	1.06 0.90	0.17 1.28	5.28 4.50			結城附近	90	微震, I
6		2	9 0 16	EW NS		1.28 0.51	0.94 1.10	0.60 0.17		鹿島灘	160	
7		3	10 3 12	EW NS	7.73(0.40) 3.60(0.25)	16.00(0.50) 6.46(0.50)	20.10(0.25) 16.60(0.25)	13.10(0.25) 7.40(0.37)		下結城附 近	90	弱震, III
8		3	25 10 40	EW NS	3.29 0.45	3.10 1.70	9.17 7.56	6.63 3.31		入王子附 近	32	
9		3	26 9 51	EW NS			5.52 4.03	2.55 1.53		九十九里 濱南部	80	微震, I
10		4	26 10 42	EW NS	1.62 0.45	1.87 0.72	4.69 4.08	2.12 1.45		勝浦南方 沖	95	
11		5	1 14 58	EW NS	1.06 0.45	0.26 0.17	0.51 0.43	0.21 0.13		男鹿半島	510	
12		5	8 17 4	ES NS	2.70 0.90	3.14 0.85	2.38 3.06	1.53 0.85		犬吠岬東 南東沖	130	
13		5	18 18 31	EW NS	3.02(0.32) 3.00(0.35)	8.68(0.40)	9.87(0.20) 13.60(0.25)	6.75(0.25) 4.50		東京灣北 東部	40	微震, I
14		5	19 21 10	EW NS	2.92(0.35) 4.30(0.35)	3.40(0.40)	6.63(0.22) 5.27(0.32)	4.50(0.25) 2.30(0.21)		野島崎南 東沖	135	微震, I

(次頁へ續く)

第 1 表 (續)

地震 番号	發 震 日 時			加速度 ノ方向	表高島町	野毛山	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	震 央	震 距 KM	横濱測候 所に於ける 震度
	年	月	日 時 分										
15		6	14 20 9	E W N S			0.85	2.55 1.36	1.36		筑波山附 近	110	
16		7	30 21 55	E W N S			0.51	8.50 3.74	5.10 2.21		同上	100	
17		8	22 9 6	E W N S			2.89(0.62) 1.02(0.50)	2.04(0.23) 2.55(0.33)		2.21(0.38) 2.04(0.33)	福島縣東 方沖	332	微震, I
18		9	12 14 5	E W N S	2.04 3.06	3.57 4.08		6.80 6.88	1.12 2.55	1.12 2.55	水海道附 近	78	輕震, II
19		9	14 15 25	E W N S		3.31 2.21	0.94(0.30)	5.45(0.20) 3.57(0.23)	0.43(0.20) 0.43(0.22)	0.43(0.20) 0.43(0.22)	千葉縣久 留里附近	45	
20		9	30 23 37	E W N S	0.94(0.23) 1.45(0.33)	5.52(0.23) 3.57(0.25)	2.64(0.43)	3.74(0.20) 5.52(0.20)	2.04(0.23) 0.43	2.04(0.23) 2.55(0.20)	勝浦南方 沖	81	微震, I
21		10	2 6 50	E W N S	0.68 0.34	3.06 1.96	1.87 0.34	3.83 3.66		2.21(0.43) 1.53(0.25)	結城附近	88	
22		10	6 6 17	E W N S	2.87(0.38) 3.40(0.30)	7.65(0.25) 6.97(0.30)	9.35(0.50) 3.06(0.38)	19.80(0.23) 18.60(0.28)		8.68(0.45) 10.20(0.40)	成東附近	75	微震, I
23		10	6 15 21	E W N S	1.02(0.28) 1.19(0.33)	3.83 3.06	2.97 2.12	6.80 10.30		1.00 5.27	東京灣北 東部	35	
24		12	31 15 53	E W N S	9.10 8.42	17.17(0.30) 26.52(0.33)	16.32(0.50) 2.89(0.53)			9.69(0.50) 5.78(0.50)	銚子附近	108	弱震, II
25	15	1 15 15	1 15 15	E W N S	1.17(0.23) 0.43(0.23)	12.15(0.23) 12.41(0.23)	6.12 0.23 0.94(0.20)			5.44(0.20) 9.69(0.18)	千葉市附 近	50	微震, II
26		1 18 0	1 18 0	E W N S	2.04(0.15) 0.26(0.13)	5.95 6.29	4.59 0.34			6.55 5.95	野島崎沖	94	輕震, II
27		1 19 23	32 32	E W N S		5.78 5.78	6.80(0.35) 0.94			9.86 9.44	東京灣北 部	33	輕震, II
28		2 25 3	50 50	E W N S		6.88(0.25) 5.10(0.23)	9.18(0.28) 1.53(0.38)	7.31(0.23) 6.97(0.30)		6.80(0.23) 5.44(0.25)	九十九里 濱南部	67	
29		3 9 12	33 33	E W N S		1.19(0.30) 1.87(0.23)	1.62(0.43) 0.77(0.50)	3.74(0.20) 2.97(0.23)		1.70(0.28) 2.04(0.15)	埼玉縣杉 戸附近	65	
30		3 9 19	48 48	E W N S		0.77 0.85	0.85 0.34	0.68 0.68		0.85 0.60	父島西北 西沖	750	
31		3 15 21	34 34	E W N S			1.79 0.85			1.53 1.87	茨城縣南 西部	71	

如くである。その図表によれば、地震動が弱いときは No. 1 も No. 3 も、その比の

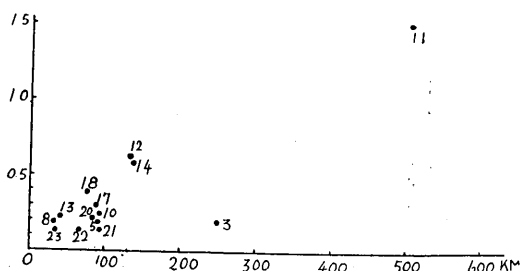


(a) No. 1 に於て岸壁面に垂直方向加速度に對する平行方向の比

(b) No. 3 に於て岸壁面に垂直方向加速度に對する平行方向の比

第 3 圖 地震の強さより見たる岸壁潜函上に於ける最大速度比

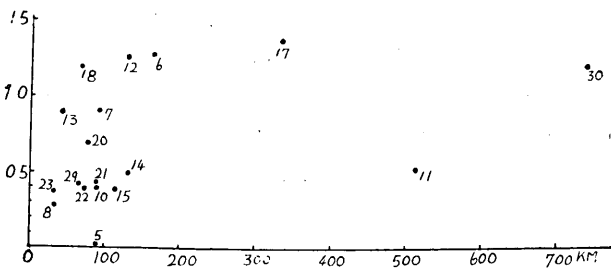
(横軸は No. 2 の平均最大加速度)



(a) 表高島町の平均最大加速度に對する No. 2 の平均最大加速度の比

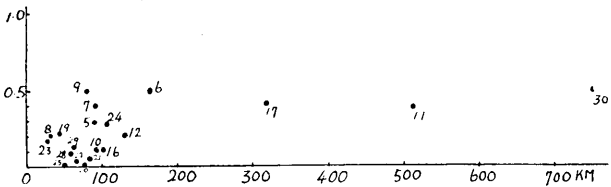
値が極大極小の間に著しく隔たつて散在するが、地震が強くなるに従ひ、大體 2 倍前後の値に接近するかの如き傾向が疑はれる。

(2) 埋立地の中央, No. 2, の最大加速度の値は方向に於て著しい相異がない、且つその周



(b) 岸壁に垂直方向の最大加速度比, No. 1 對 No. 2.

期も亦震央距離には殆ど關係なく、大體 0.2 乃至 0.3 秒の間に在るらしい。

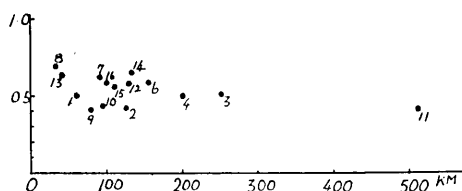


(c) 岸壁に平行方向の最大加速度比, No. 1 對 No. 2.

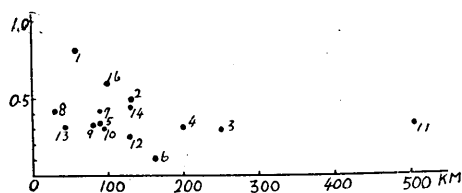
(3) 岸壁に垂直方向の最大加速度を, No. 2 のものを標準として比較すると, 第 4 圖 (b) に示す如く大部分の地震 (震央距離 100 軒内外のもの) に於て No. 2 のものより小さく、少數のものが 1.4

第 4 圖 各場所に於ける最大加速度比 (横軸は震央距離)

倍近くの値をとつた。震央距離小なるものには、概して短周期の波動が卓越し、震央距離大なるものは、長周期の波動が卓越すると言へるから、震央距離の大小より觀察することは、地震動周期の長短に基いて觀察することとなる。No. 3 即ち 3 米岸壁に於て、垂直方向の最大加速度を比較すると、第 5 圖 (a) の如くで、この場合に於



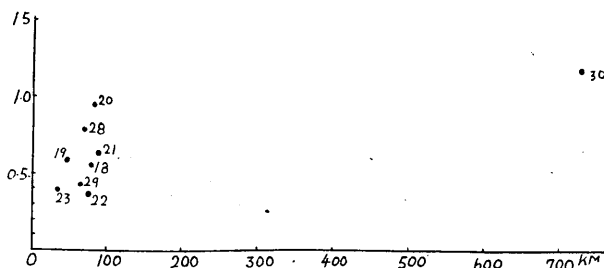
(a) 岸壁に垂直方向の最大加速度比, No. 3 對 No. 2.



(b) 岸壁に平行方向の最大加速度比, No. 3 對 No. 2.

ては略 0.5 と言ふ一定の値をとり震央距離には無關係の傾向を示してゐる。

(4) 岸壁に平行方向の最大加速度を、No. 2 のものと比較すると、第 4 圖 (c) 及び第 5 圖 (b) に示す如くである。No. 1 では常に No. 2 より小さく、震央距離に關係なく No. 2 の



(c) 野毛山の平均最大加速度に對する No. 2 の平均最大加速度の比

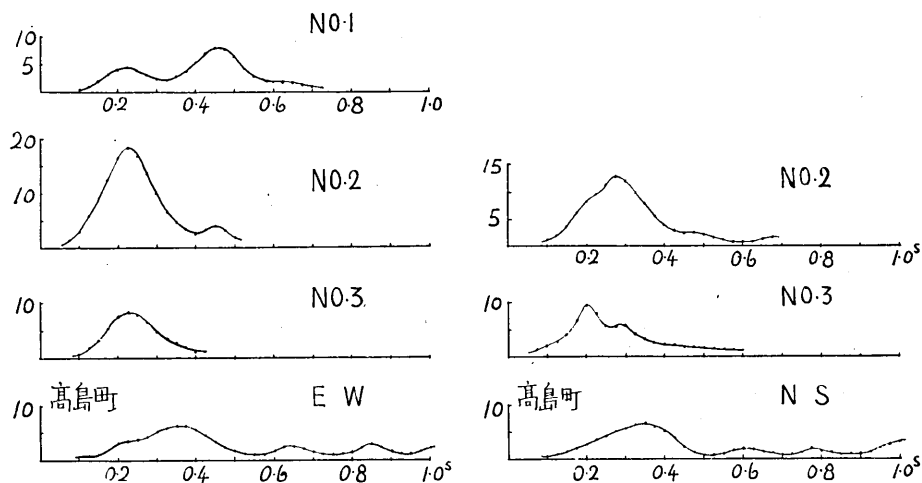
半分以下である。No. 3 に於ては平均して、No. 2 の半分であるが、震央距離 100 軒以下の地震で稍大なる値をとるも 1 倍に達するものはない。

(5) 岸壁埋立地の中央、No. 2 の平均最大加速度を表高島町及野毛山の平均最大加速度と比較すると、第 4 圖 (a) 第 5 圖 (c) に示す通りである。即ち震央距離 300 軒以内の地震に對して、表高島町は No. 2 の半分以下であつて、唯一つ昭和 14 年 5 月 1 日の男鹿半島の地震で 1.5 倍に達した。次に、野毛山で於ける値に就て比較すると、No. 2 は野毛山と同等か、或はそれ以下である。これを要するに、これ等 3 個所の最大平均加速度を比較すると、No. 2 が最も大きく次が野毛山で、表高島町が最も小なる値であつた。

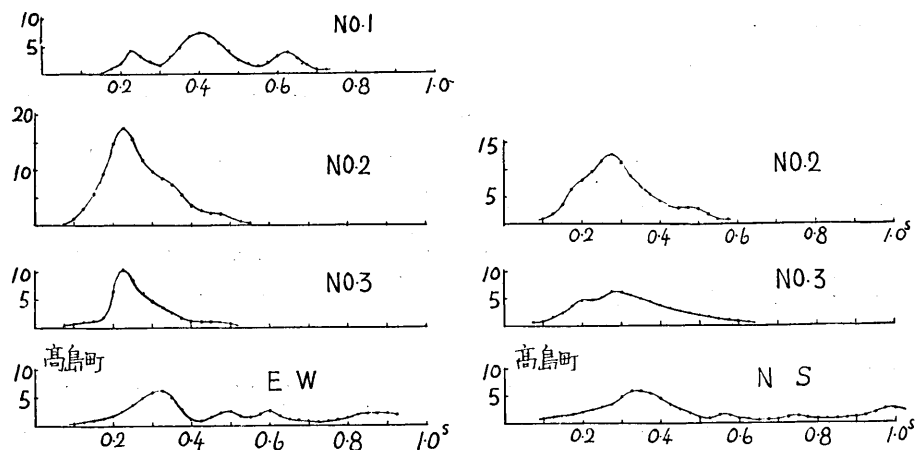
(6) 10 米岸壁の背後の No. 4 に於て、岸壁に垂直及平行の二方向について、前記の如く比較すると、それ等の値は大體 No. 1 のものと大差なく、No. 2 のものより小さい値を示してゐるのを、第 1 表から窺はれる。

第 5 圖 各場所に於ける最大加速度比 (横軸は震央距離)

(7) 各場所に於ける地震動の卓越振動周期を見るために、二、三の地震動について、各波の周期を読みとり、之を 0.025 秒毎の群に別け、各群の波数を図表に示すと、第6圖～第10圖の如くである。それ等の図表によると、各場所の卓越振動周期



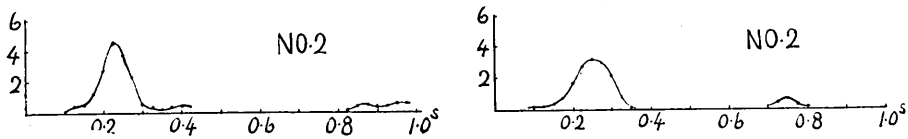
第6圖 昭和14年5月19日野島崎南東沖地震による各場所に於ける地震動中の卓越振動周期左方は岸壁面に垂直、右方は岸壁面に平行のものを示す(縦軸は波数)



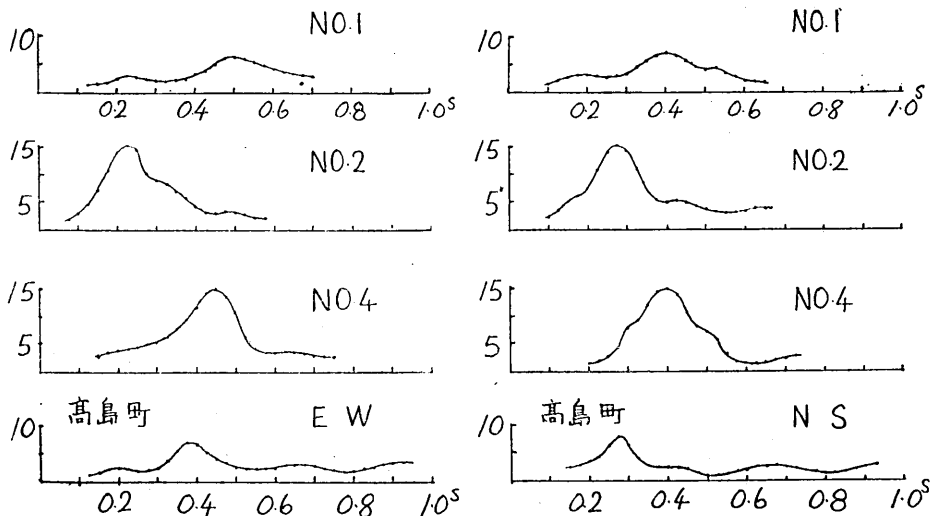
第7圖 昭和14年5月18日東京灣北東部地震による各場所に於ける地震動中の卓越振動周期左方は岸壁面に垂直、右方は岸壁面の平行のものを示す(縦軸は波数)

は第1表に示す最大加速度を與へる周期と、略同等であるのが觸る。圖表には示さなかつたが、No. 4 に於ける卓越振動周期は、震度が小さい地震に對しては No. 2 と略同等(0.25 秒内)外であるが、震度の大きい地震に對しては、No. 1 と略同等(0.5

秒内外)であるのが窺はれる。即ち 10 米岸壁の直背後の No. 4 は、小地震では埋立地中央部と大差ない運動をするが、少くして強い地震では岸壁潜函の運動に支配されるやうに考へられる。



第 8 圖 附近海底に於て約 8 kg 爆薬 3 個の同時爆薬による No. の卓越振動周期



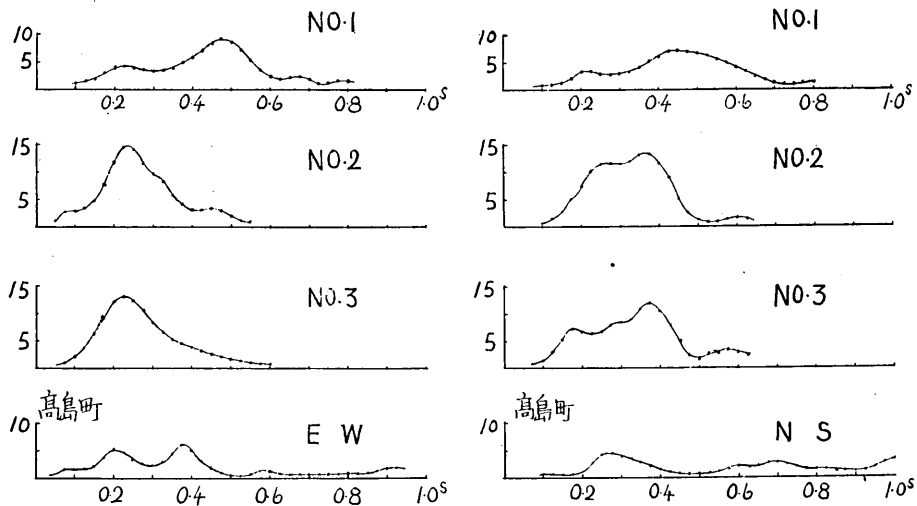
第 9 圖 昭和 14 年 10 月 6 日千葉縣成東附近地震による各場所に於ける地震動中の卓越振動周期左方は岸壁面に垂直、右方は岸壁面に平行のものを示す (縦軸は波数)

(8) 嘗て石本博士⁽²⁾⁽³⁾が東京横濱の各所に於て、観測したものによると、野毛山の平均最大加速度は常に横濱公園及び高島町より大きく、震央距離の遠近に無関係である。東京本郷と神田、丸の内と比較すると、震央距離 50 杆を境として近い場合は本郷の方が大きく、遠い場合には神田の方が大となつた。今回の観測に於て、No. 2 のものが野毛山の値より常に大きく現はれたのは、所謂地盤の硬軟或は沖積層の厚薄から判断すると、一見不可思議に思はれる、即ち洪積層ローム層の如き硬き地盤に於ては、近き地震で大なる加速度を與へるのに、No. 2 が前記の如く野毛山のものより常に大きいのである。多分、No. 2 は本郷と神田丸の内との關係に類似してゐるの

2) 石本巳四雄，地震研究所彙報 12 (1934)，234.

3) " " 13 (1935)，592.

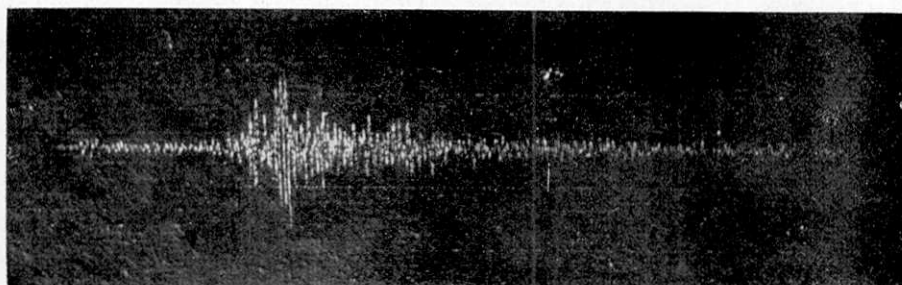
ではないかと考へられる。それは既に述べた通り No. 2 の沖積層の厚さが、12~15 米で神田、丸の内と略同等であるによらし。東京市内での観測によれば、向島・深川・赤羽の如き沖積層の厚さ 30~40 米に及ぶ場所は、概して加速度が山手方面より大であつたのに、横濱公園・高島町の如く沖積層の厚さ、それ等と大差ない場所で



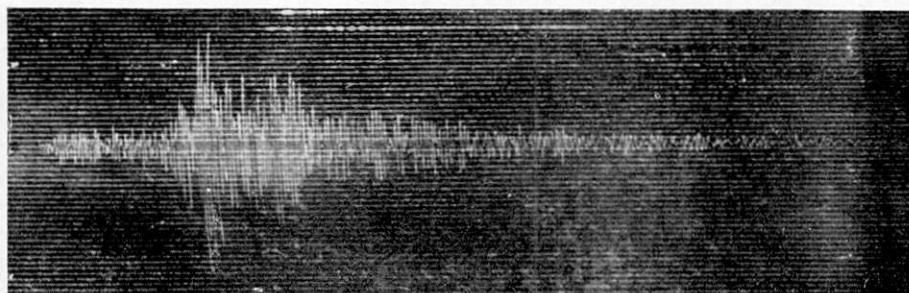
第10圖 昭和14年3月10日の下結域附近の地震による各場所に於ける地震動中の卓越振動周期，左方は岸壁面に垂直，右方は岸壁面に平行のものを示す（縦軸は波數）

ありながら、野毛山の如き堅い地盤のものより、常に小さい加速度であるのは、理解に苦しむことであるが、それは短周期の波動について比較した場合であつて、1秒前後の長い周期の波動に於ける加速度を比較すれば、横濱公園及び高島町の方が野毛山の10倍にも達することがあるのは、厚い軟弱地層には基本振動の外に各種の倍振動が誘發されるのに依ると考へられる。

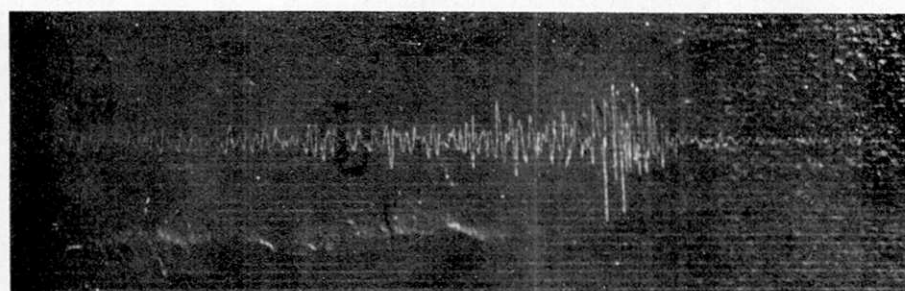
これを要するに、土地の卓越振動周期及び最大加速度は震央距離並に層の厚さ、地層を構成する土砂の性質或は埋立に使用せる材料の性質、その厚さ、埋立經過年月等によるのであらうと想像されるが、これ等の真相の解明には、更に研究を進める必要がある。



No. 3



No. 2

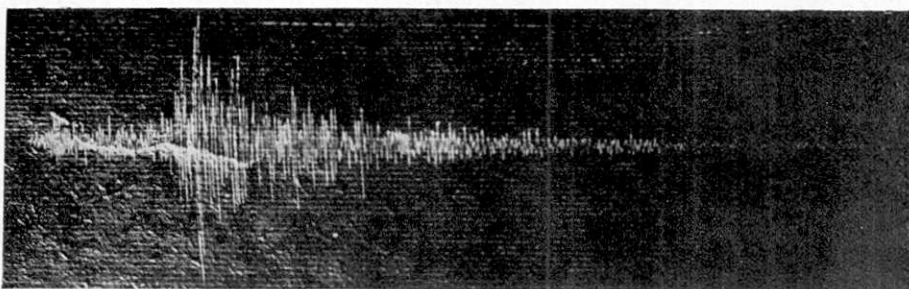


No. 1

第 11 圖 昭和 14 年 3 月 10 日茨城縣下結城附近の地震
何れも岸壁面に平行方向の加速度記象を示す



No. 3

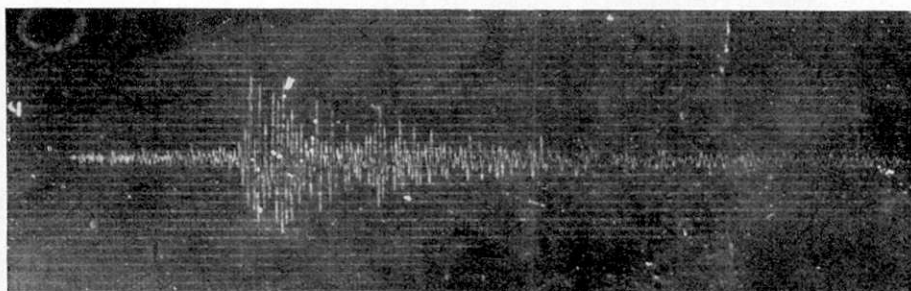


No. 2

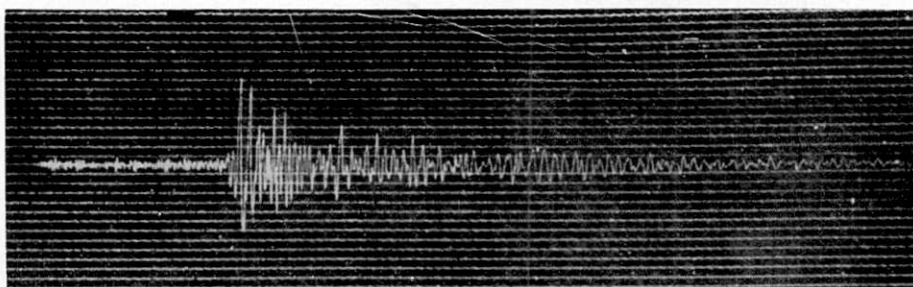


No. 1

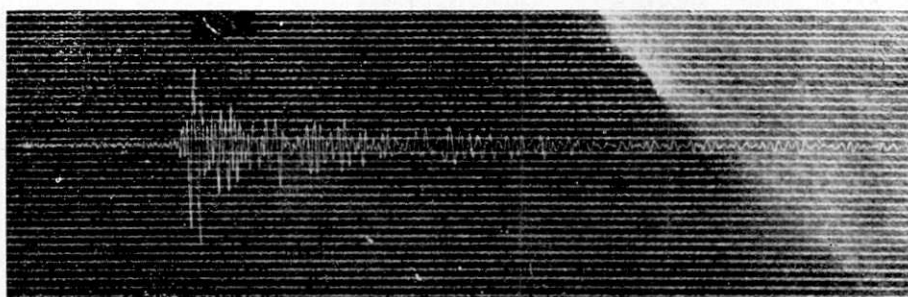
第 12 圖 昭和 14 年 3 月 10 日茨城縣下結城附近の地震
何れも岸壁面に垂直方向の加速度記録象を示す



No. 2



No. 4



No. 1

第13圖 昭和1年2月25日3時50分頃の九十九里濱南部地震
何れも岸壁面に垂直方向の加速度記録象を示す

15. *Earthquake Vibrations on Quays and on Reclaimed
Ground in the Harbour of Yokohama.*

By Tokitaro SAITA,

Earthquake Research Institute,

and

Haruo MATUO,

Research Office of Public Works, Department
of Home Affairs,

Notwithstanding that the damage to quays in the harbour of Yokohama, after the great earthquake of 1923 and also in those of Simizu harbour, Sizuoka prefecture, after the violent earthquake of 1935, was extremely heavy, no marked progress has since been made in the study of earthquake damage to quays. The authors investigated the effects of a number of earthquakes on quays and on reclaimed ground in the harbour of Yokohama during the period from January 1939 to March 1940, with the following conclusion:

1. Earthquake acceleration in the case of quays are always smaller to that on reclaimed ground in their neighbourhood.
 2. The earthquake accelerations of the perpendicular component in the case of quays are always greater than those of the parallel component in the case of quays.
 3. The predominant periods of the ground due to earthquakes depend on the thickness of the ground that has been reclaimed over alluvium, etc.
-