

松代群発地震における
擁壁にかかる土圧加速度の
観測結果

昭和 41 年 10 月

目 次

	ページ
1 はじめに	1
2 実験用擁壁	1
3 土圧計、加速度計	5
4 土圧計の記録	6
a 平時土圧	6
b 地震時土圧	10
5 地震時の加速度	18
6 加速度と土圧の関係	30
7 むすび	34

土木研究所 施工研究室

1. はじめに

松代群発地震の調査の一環として地震時に擁壁にかかる土圧及び加速度について調査した。観測場所は犀川と千曲川の合流点の落合橋付近で、昭和41年8月26日より9月1日の間にこれらの観測を行った。この観測期間中には微少な地震は非常に数多く発生した。その内大ききものとして8月27日22時30分、28日13時9分、29日0時36分の3回があり、観測地附近にあるSMAG-BC型の加速度計によれば、それぞれ65gal、73gal、45galを示した。又気象庁の発表による震度では27日のものについては発表は行われなかったが28日については震度V、29日については震度Nと発表されている。

この報告書においては主として以上の3回の地震についての擁壁にかかる土圧について述べている。

2. 実験用擁壁

地震時の土圧及び加速度を測定するために、図-1に示す実験用擁壁、高さ1.5m巾2.0mの3種類のブロック形のもをを設置した。この擁壁の裏込めに使用した砂については内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ 、単位体積重 $\gamma=1.7\text{ t/m}^3$ 、壁背面と砂の摩擦角 $\delta=\phi/2=15^\circ$ と仮定し、それぞれ水平震度0, 0.1, 0.2とした場合に転倒力とそれに対する抵抗力の合力が擁壁の前趾にかかるように設計された。この場合に採用した土圧公式はランキン公式である。

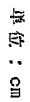
図-1及び図-2において K_{E0} 、 $K_{E0.1}$ 、 $K_{E0.2}$ で示しか擁壁は以上の水平震度0.0, 0.1, 0.2,を仮定したものであることを示す。図-2において、擁壁は基礎において製作されたものではなく別位置においてブロックとして製作され、予めコンクリートを打設しておいた基礎上にクレーンによって据付けベースと擁壁は継ぎ合わされていない。又基礎上の擁壁の前趾にあたる部分に押え鉄筋を設けて、擁壁の滑動をさまたげ、押え鉄筋の位置を支点として転倒をおとすようにしてある。裏込めに用いた砂は千曲川産のもので、この性質は表-1に示した。この含水比は6%で湿潤状態である。

表-1 裏込め砂の性質

含 水 比	4.02 (%)	比 重	2.58
湿 潤 密 度	1.369 (g/cm ³)	(吸水率 2.6%)	2.51
乾 燥 密 度	1.292 (g/cm ³)	水 体 積 率	7.8 (%)
間 げ き 比	0.994	土 粒 子 体 積 率	50.2 (%)
飽 和 度	15.7 (%)	空 気 間 げ き 率	42.0 (%)

裏込めの築立に際して砂はいっさい締固めを行わず、ほぼ擁壁の高さと同じ 1.5 m よりベルトコンベヤーで自然落下させた。したがって裏込め砂はルーズな状態にある。盛土は上巾 3 m、法勾配は 1 : 2 で実験用擁壁の両袖には盛土の押え用として巾 1.5 m の擁壁を設けてある。

一、内務

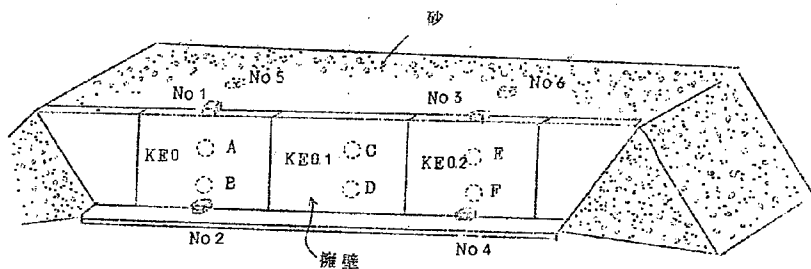


8 土圧計、加速度計

平時及び地震時の土圧を観測する土圧計は K_{E0} , $K_{E0.1}$, $K_{E0.2}$ の3種の擁壁に、それぞれ擁壁巾の中央の上端より深さ50cm, 100cm の所に計6個とりつけた。土圧計は差動トランス型、直径150mmで、最大測定範囲 0.2 kg/cm^2 のもので、平時においては直読式、地震時にはオシログラフに記録した。

地震時の加速度を記録する加速度計は最大測定範囲は $2g$ のもので、擁壁の基礎、天端及び盛土表面より30cmの深さで擁壁背面より60cm離れた所にそれぞれとりつけられた。測定方向はいずれも擁壁背面の法線方向である。土圧計と加速度計の設置位置及びその名称は図-3に示す。

図-3 土圧計及び加速度計の設置位置及びその名称



A ~ F 土圧計設置位置

No1~No6 加速度計設置位置

4. 土圧計の記録

a 平時土圧

観測期間中の昭和 41 年 8 月 26 日より 9 月 1 日までの平時における土圧計にあらわれた土圧を表-2 に示す。

表-2 平時土圧の測定値

(単位 g/cm^2)

土圧計 \ 測定日	8月26日 21:00	27日 10:50	28日 16:00	29日 14:30	30日 21:00	31日 11:00	10月5日 10:00
A K ₂₀ 上	42	36	32	30	40	34	44
B K ₂₀ 下	58	55	56	52	57	53	59
C K _{20.1} 上	37	36	48	46	50	54	60
D K _{20.1} 下	58	52	47	48	58	55	84
E K _{20.2} 上	28	22	22	22	30	27	43
F K _{20.2} 下	46	48	56	58	68	68	123

これを図示したものが図-4 である。この期間中微少な地震震動はかなりの多いが、その内図-4 の横座標に示した3回の地震が大きかった。図-4 において示すように期間中でも平時土圧の指示に変化があり一定ではない。又震度Ⅳ以上の地震のあった後の平時土圧は、地震によって明らかに影響を受けたというまでには至っていない。又観測期間中は全然降雨がなかったことを附記しておく。

図-4 平時土圧の推移

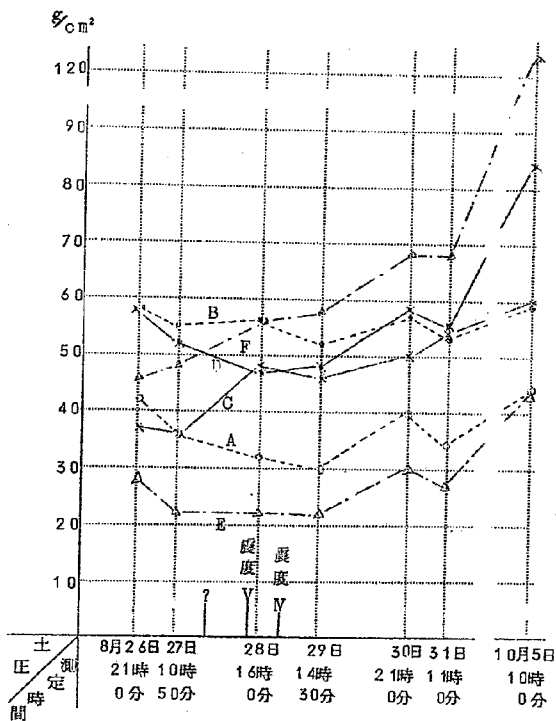


表-2に示された平時土圧の記録から、上下2個の土圧計の測定値を結び図-5のようなA, B, Cの3種の土圧分布の形を想定して、これの検討のために土圧係数は $K = \frac{P}{\frac{1}{2} \gamma \cdot Z^2}$ よりもとまるとして、それぞれの形の場合の土圧係数を求めた結果を図-6に示す。図-5においてA, B, Cの土圧分布を仮定したが、それより求めた土圧係数をそれぞれ、 K_A, K_B, K_C とした。

図-5 仮定した土圧分布の形

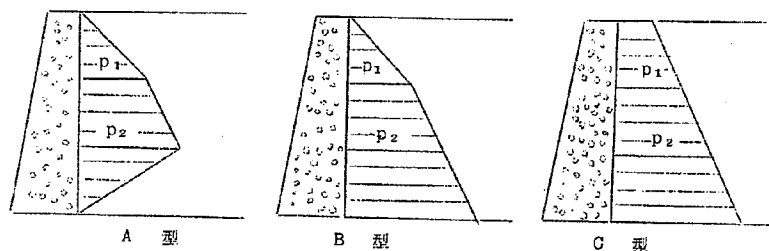


図-6において土圧分布形Aと仮定した土圧分布より求めた土圧係数は、土圧分布B, Cと仮定したものよりも小で、それらは0.35~0.22の間にあった。

ただ10月5日測定のは過大すぎる測定値が得られたことを附記しておかなければならない。

図-4 平時土圧の推移

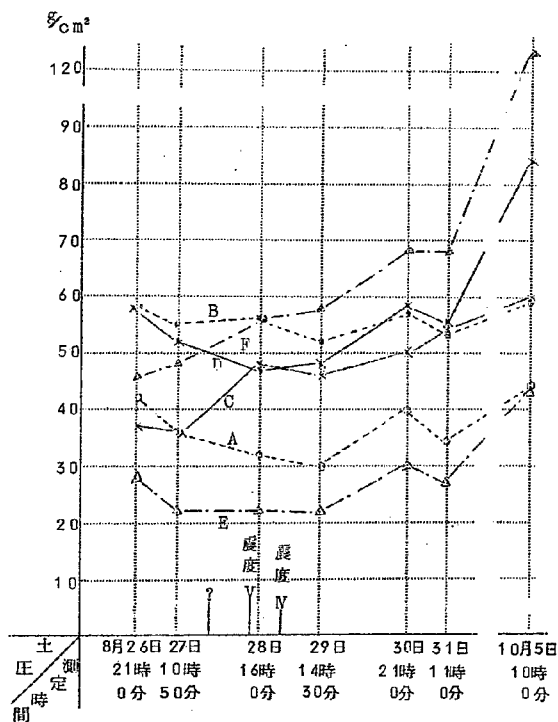


表-2に示された平時土圧の記録から、上下2個の土圧計の測定値を結び図-5のようなA, B, Cの3種の土圧分布の形を想定して、これの検討のために土圧係数は $K = \frac{p}{\frac{1}{2} \gamma \cdot Z^2}$ よりもとまるとして、それぞれの形の場合の土圧係数を求めた結果を図-6に示す。図-5においてA, B, Cの土圧分布を仮定したが、それより求めた土圧係数をそれぞれ、 K_A, K_B, K_C とした。

図-5 仮定した土圧分布の形

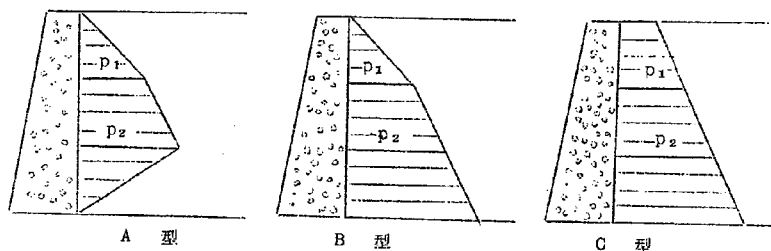
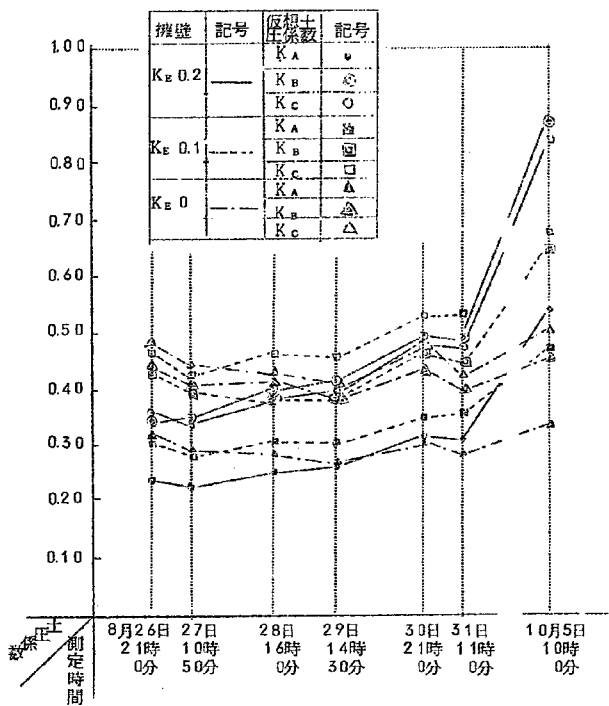


図-6において土圧分布形Aと仮定した土圧分布より求めた土圧係数は、土圧分布B, Cと仮定したものよりも小で、それらは0.35~0.22の間にあった。

ただ10月5日測定のは過大すぎる測定値が得られたことを附記しておかなければならない。

図-6 土圧観測値より算出した土圧係数の推移



b 地震時土圧

地震時の土圧は、オシログラフに記録された。図-7、図-8、図-9に観測期間中の主たる地震による土圧計の記録を示す。これらの図から地震は殆んど3秒の間に終る。表-3及び図-10に平時土圧に対する地震時の土圧の増加及び減少の値を示した。表-3において平時土圧と地震時の最も大きい値を比較すると40%が最大、減少の場合は23%であった。又土圧の増減の量は、わずかに10g/cm²以下である。

表-3 平時土圧に対する地震時の土圧増減

土 圧 計	27日22時30分 65gal			28日13時19分 73gal			29日0時36分 45gal		
	平時 土圧 g/cm ²	土圧の 増 減 g/cm ²	増減の 百分率 %	平時 土圧 g/cm ²	土圧の 増 減 g/cm ²	増減の 百分率 %	平時 土圧 g/cm ²	土圧の 増 減 g/cm ²	増減の 百分率 %
A K _{E0} 上	36	+ 1.5	4.2	36	+1.5	4.2	32	+1.5	4.7
		- 5.0	14.0		-1.2	5.3		-4.0	12.5
B K _{E0} 下	55	+ 3.0	5.5	55	+3.0	5.5	56	+1.0	1.8
		- 3.2	5.8		-2.5	4.6		-7.5	13.4
C K _{E01} 上	36	+14.3	40.0	36	+5.5	15.3	48	+4.0	8.3
		- 1.6	4.5		-1.5	4.2		-7.0	14.6
D K _{E02} 下	52	+ 1.8	3.5	52	+5.7	10.9	47	+5.0	10.6
		- 3.3	6.3		-1.0	1.9		-3.0	6.4
E K _{E02} 上	22	+ 4.0	18.0	22	0.0	0.0	22	+3.0	13.6
		- 5.0	23.0		-1.0	4.6		-3.0	13.6
F K _{E02} 下	48	+10.8	23.0	48	+2.0	18.8	56	+8.0	14.3
		- 2.5	5.2		-1.0	2.1		-7.0	12.5

圖-7 地震時土圧 41-6/27 22:30'

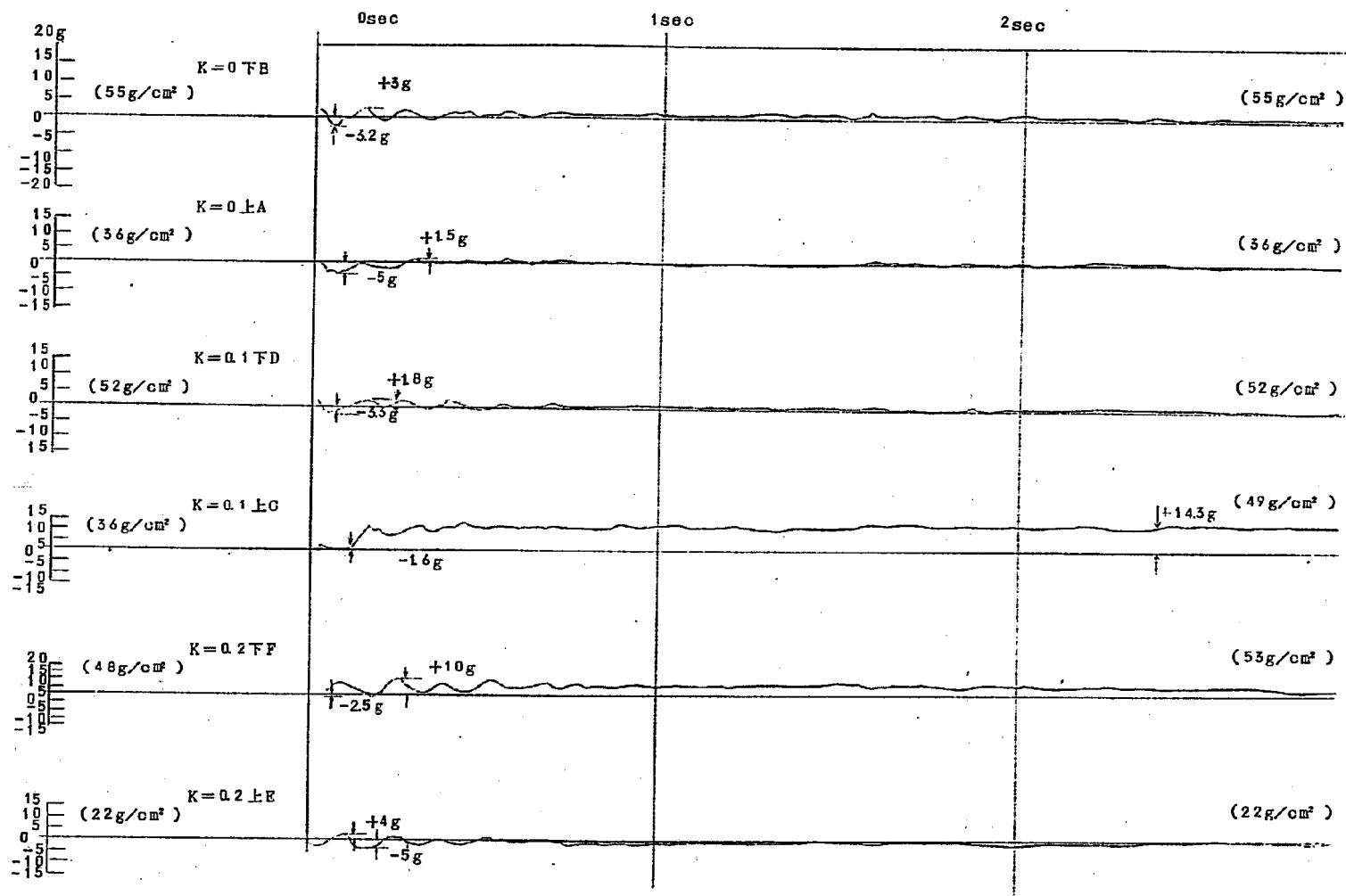


圖-8 地震時土圧 41-8/28 13:19'

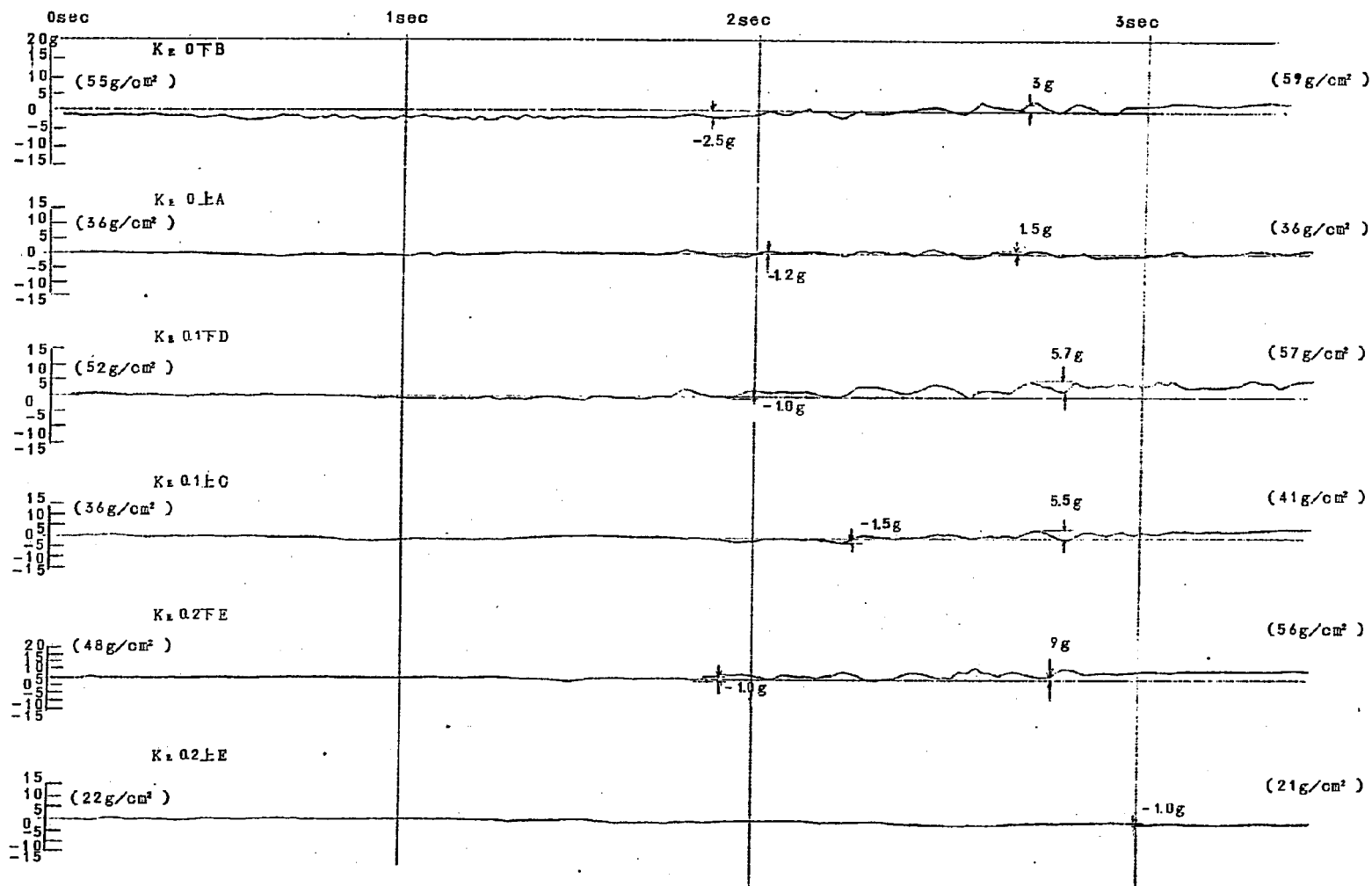


圖-9 地震時土圧 41-8/29 0:36

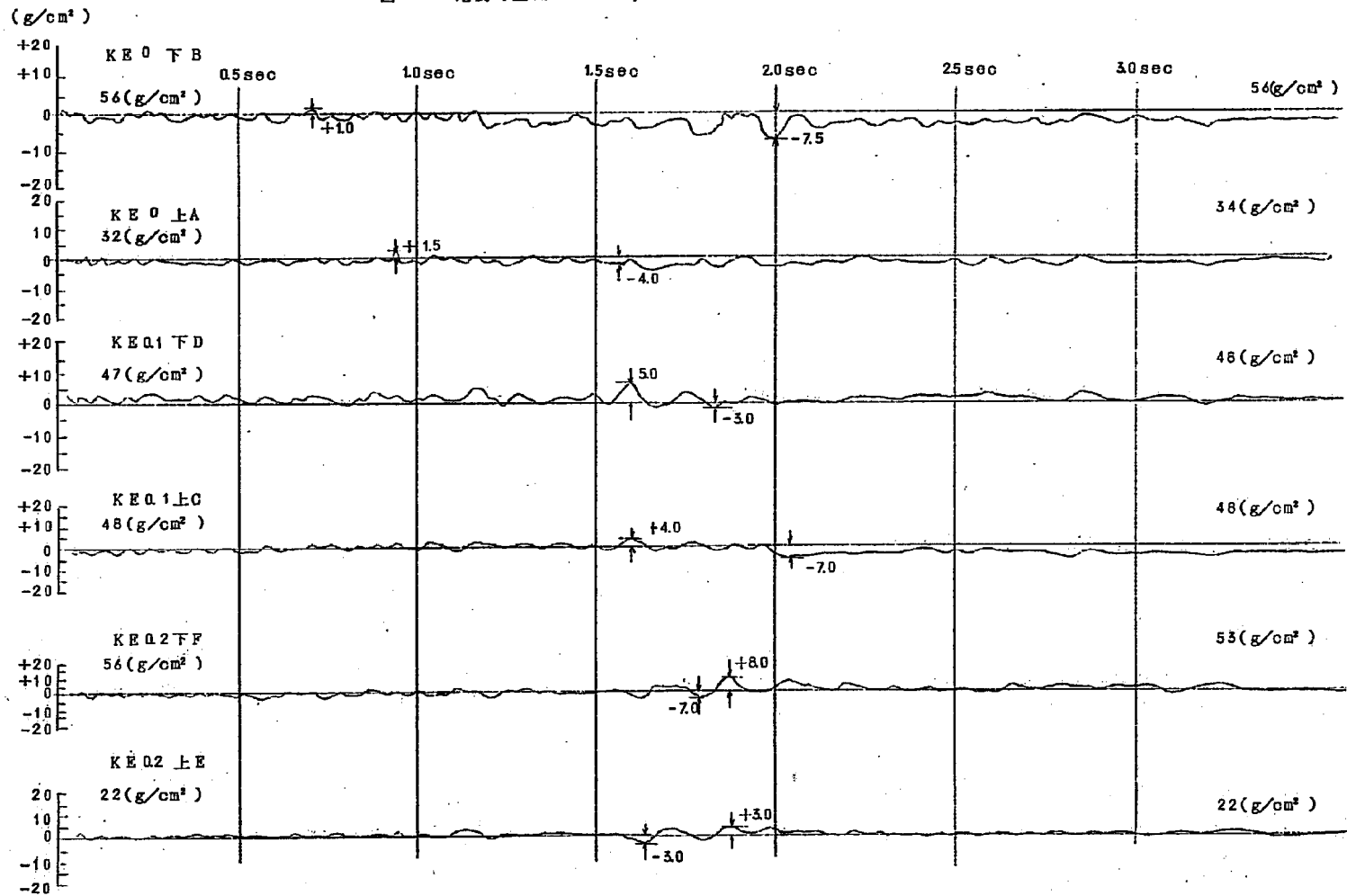
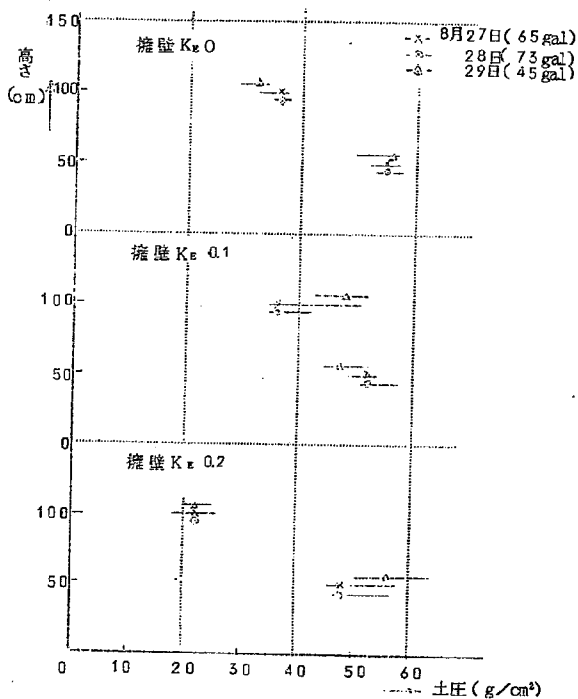


図-10 地震による土圧の最大と最少値



5 地震時の加速度

地震時の加速度は図-3に示す基礎、擁壁天端及び擁壁背面より60cm後方で、地表面より30cmのそれぞれの位置にて2個ずつ計6個取付けられた加速度計で測定を行った。図-11、図-12、図-13は記録のとれたものの中から比較的大きな加速度を示したものを掲げた。

図-11は土圧計の記録図-8に対応するものであり、図-12は図-9の土圧計の記録に対応するものである。ただ図-7に対する加速度計の記録は機械の都合でとれなかった。又図-13は41年8月31日の加速度計の記録で振巾は比較的大きかったにもかかわらず土圧計には、殆んど地震による波が見られなかったので参考のために掲げた。

図-11において基礎に設けたNo.2、No.4の加速度は最も小さく、砂中のNo.5、No.6がこれにつき、擁壁天端にあるNo.1、No.3が最も大であるといえる。

図-14、図-15に基礎につけた加速度計の読みと、擁壁天端及び砂中にとりつけた加速度計の読みとの関係を図示した。これらの値はオシログラフに表われた記録の0.5秒毎の中で最も大と見られる加速度をプラス側及びマイナス側でそれぞれ読みとり、同じ時間に対応する基礎と天端及び基礎と砂中の相関を示したものである。

即ち図-14において○は天端のプラス及びマイナス側の加速度を、×は砂のそれを示したものである。

又、これらの関係を直線と仮定し最小自乗法で求めたものが図示されている。

図-14において、y No.1プラスの関係直線に比して、y No.1のマイナスの線は下にあらが、これはマイナス側にオーバースケールがあり、大きい加速度が計測されなかったのも原因の一つである。(図-12 No.3のマイナス側参照)

同じく図-14において砂中に入れた加速度の関係式 y No.5 マイナス及び y No.5 プラスの線は、ほぼかさなり合っている。図示した直線がそれぞれの関係を示しているとすれば、例えば基礎の加速度が60 gal の時天端では160 gal (プラス側) 砂中では70 gal で基礎の加速度に比べて約2.7倍、1.1倍となった。

図-15においても基礎と砂中の加速度(加速度計No.4とNo.3, No.6)の関係を直線となると仮定して最小自乗法で求めたものを図示しているが、 $y_{No.3}$ プラスの線は $y_{No.3}$ マイナスに比して小なる傾向を示しているが図-14と同様にプラス側においてスケールオーバーしたものがその原因の一つである。 $y_{No.6}$ マイナス、 $y_{No.6}$ プラスで示される砂中の加速度の直線式は既略同じ位置を示している。

図-16、図-17において図-14、図-15と同様な関係を求めたが小さい加速度しか得られず一般的な傾向を示すまでに至っていないのでここでは参考までにとどめる。

図-11 地震加速度 41-8/28 10:19

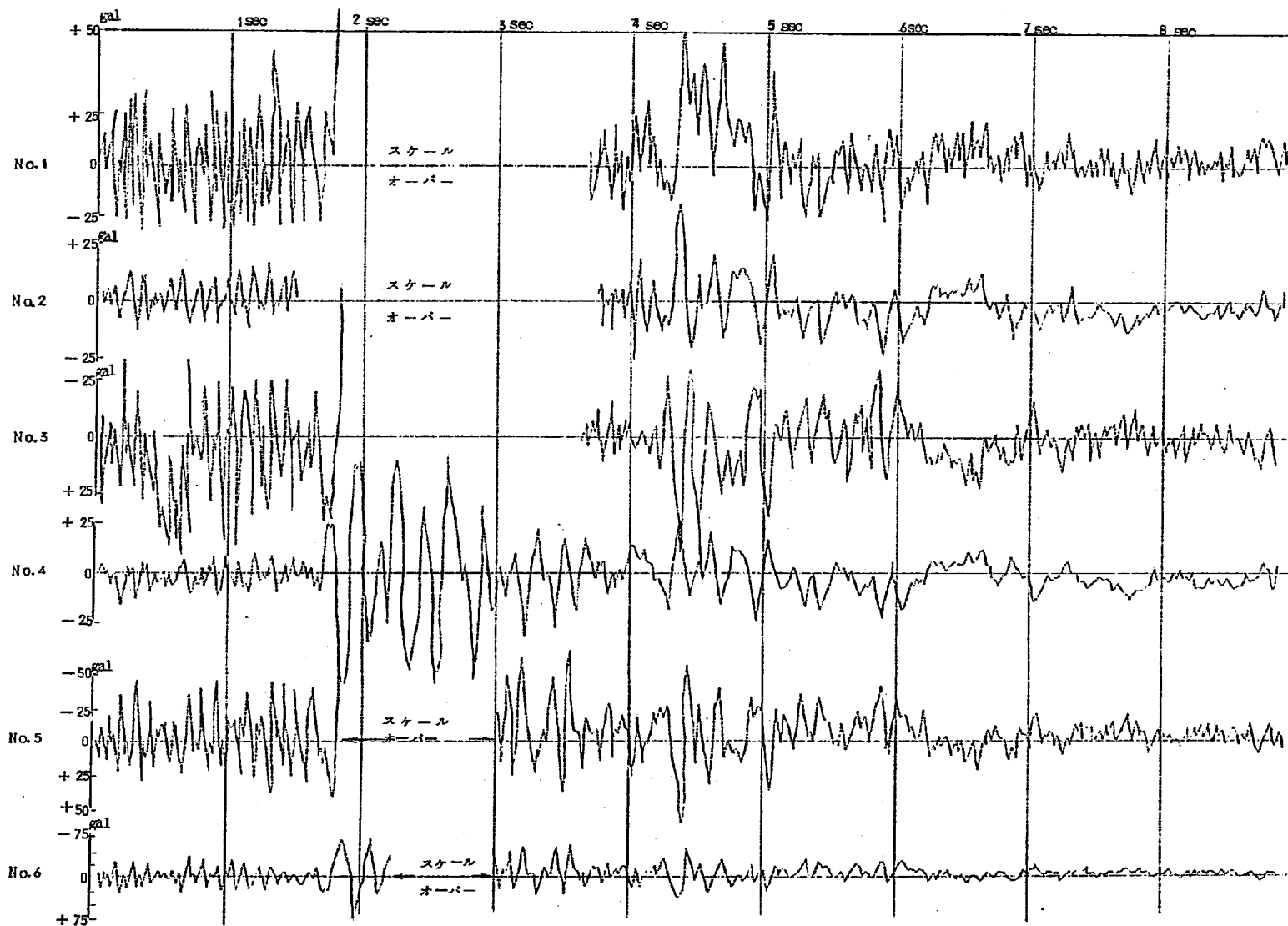


圖-12 地震加速度 41-8/29 0-36

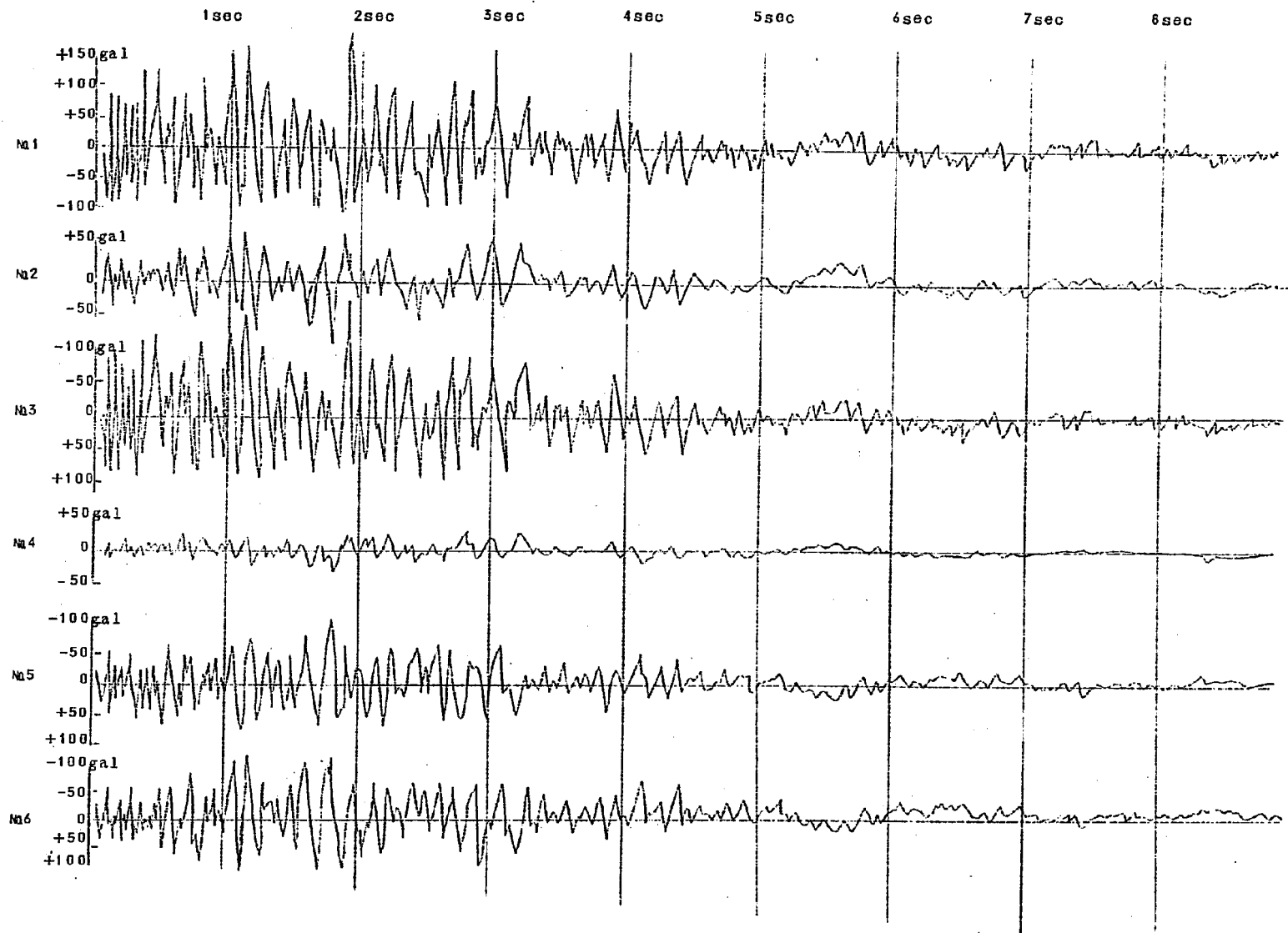


圖-13 地震加速度 41-8/31 13-36

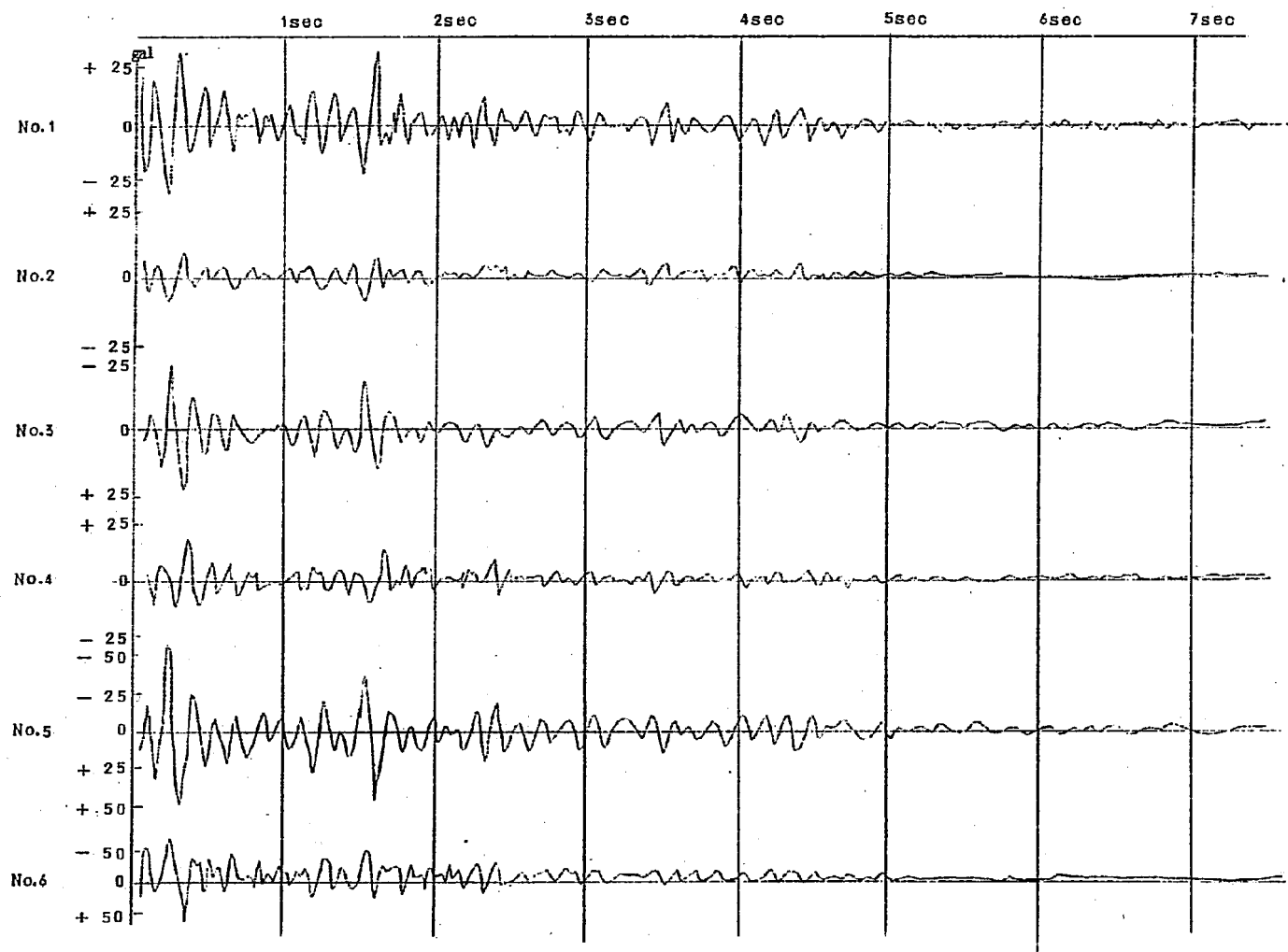


図 - 1 4

№ 2 の加速度に対する № 1、№ 5 の加速度の関係

符号	№ 2	
	+	-
№ 1	○ y№1 プラス	⊖ y№1 マイナス
№ 5	× y№5 プラス	× y№5 マイナス

8月29日 0時36分

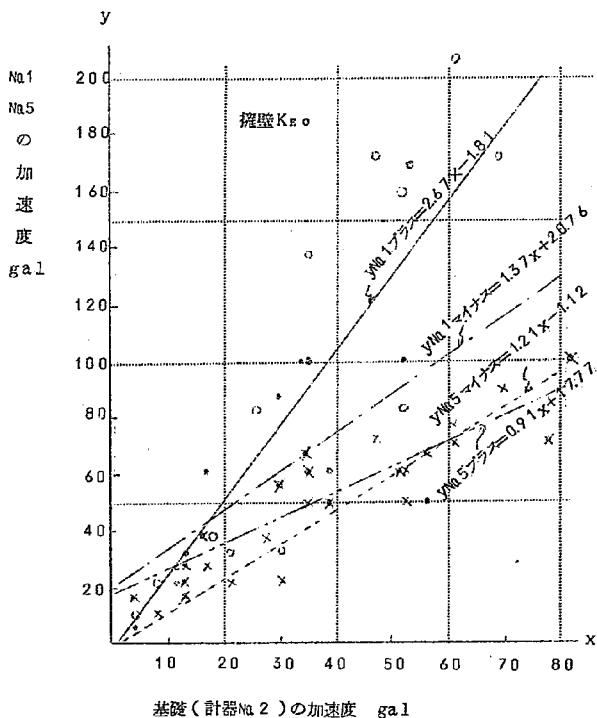
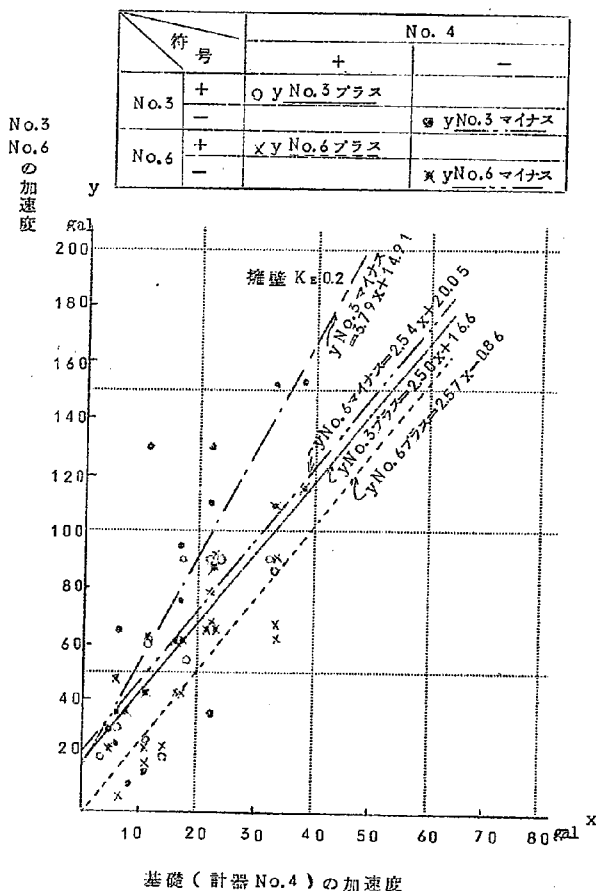
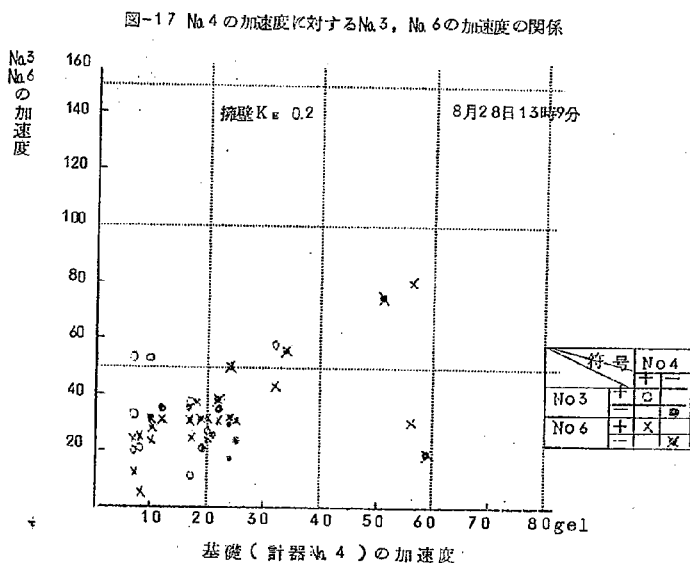
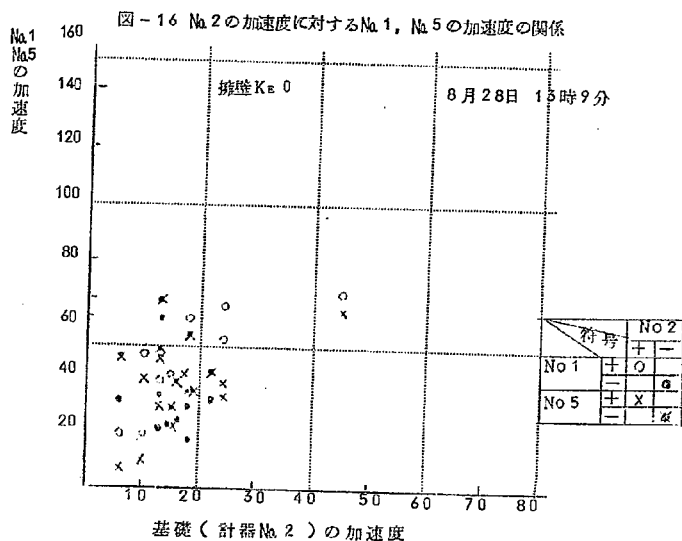


図-15 No.4の加速度に対するNo.3, No.6の加速度の関係

8月29日0時36分





6 加速度と土圧の関係

図 18 ~ 23 は、昭和 41 年 8 月 29 日 0 時 36 分に発生した地震の記録をもとにして、基礎、天端、砂中の加速度計の値と K_{e0} , K_{e02} に付けた上下の土圧計の値との関係を求めようとしたものである。図示した値は記録しはじめてより 0.5 sec 間隔にくぎり、その間の最大（プラス側）最小（マイナス側）のよみをそれぞれ対応させたものである。図 18 ~ 23 の中である加速度計の値と土圧計の値とに何らかの相関があると思われるものもあるが、これらの整理は今後行う予定である。

図-18 天端加速度と擁壁(K_{E0})の土圧の関係 41-8/29-0:36

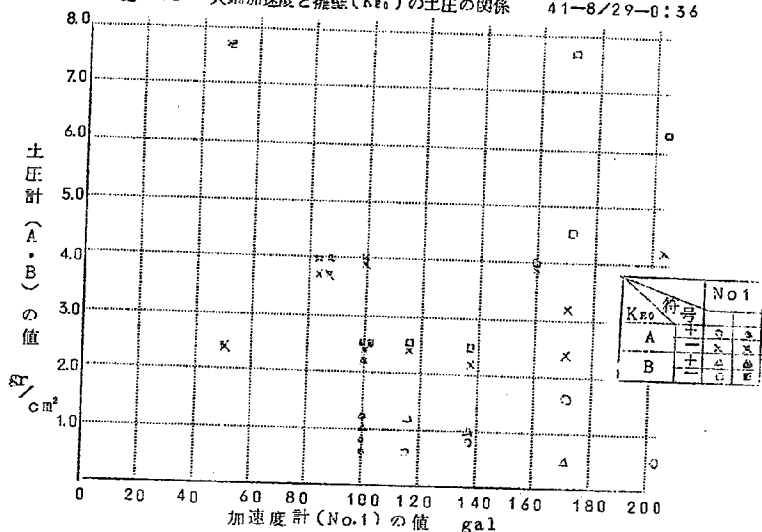


図-19 基礎加速度と擁壁(K_{E0})の土圧関係 41-8/29-0:36

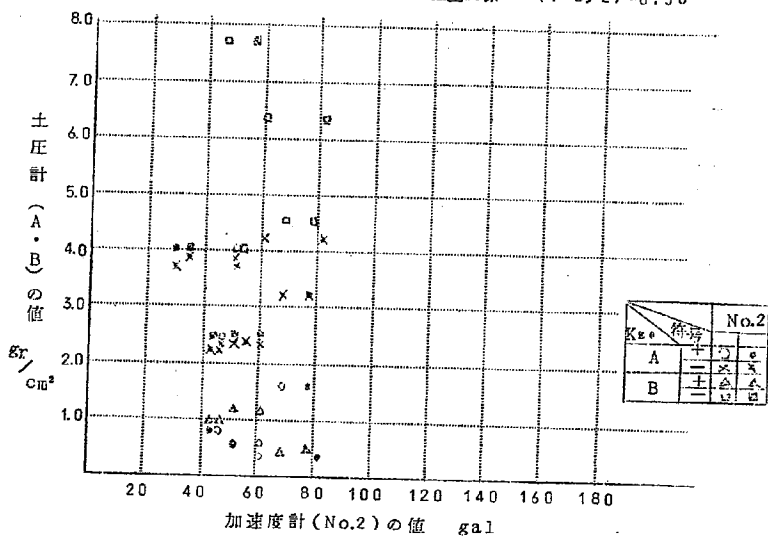


図-20 盛土中の加速度と擁壁(KE0)の土圧の関係 41-8/29-0:36

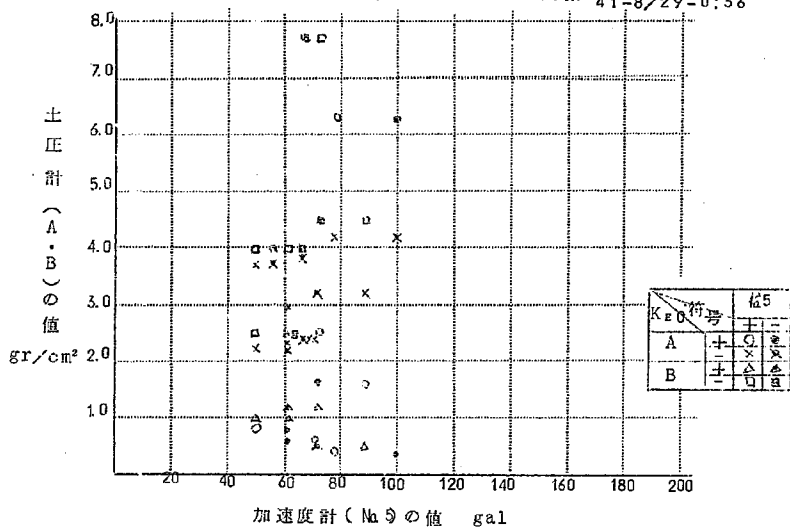
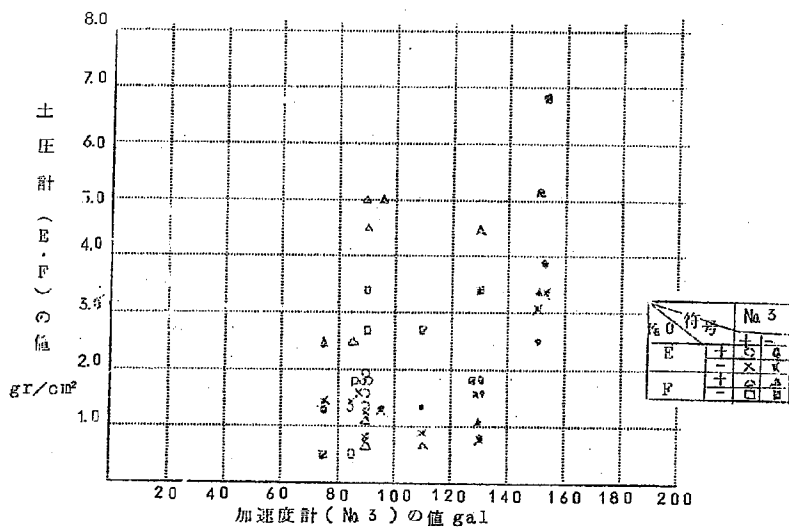
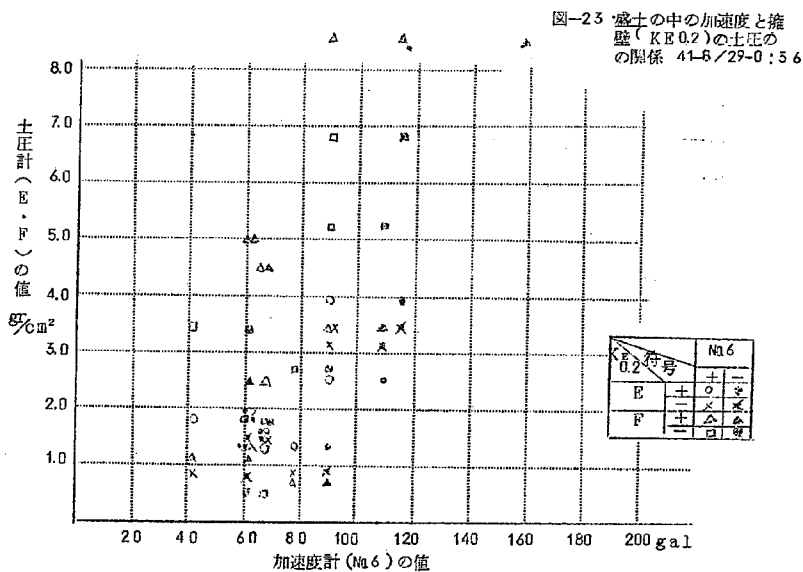
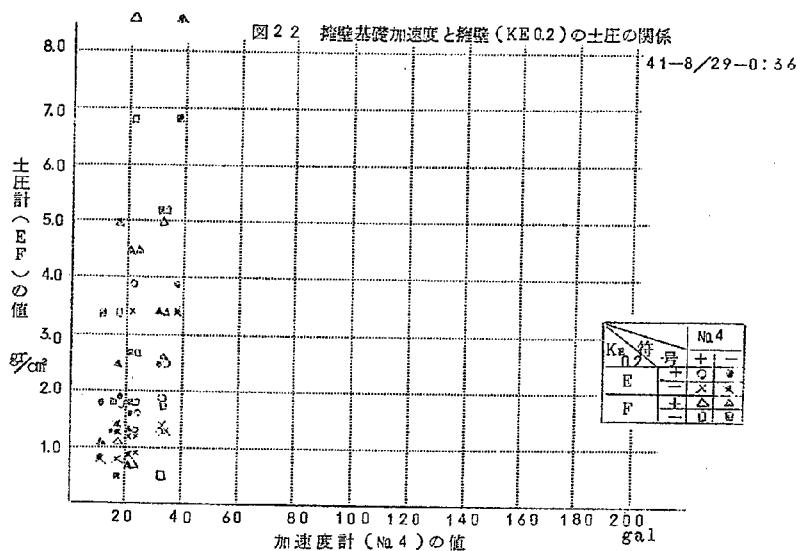


図-21 擁壁天端加速度と擁壁(KE.02)の土圧の関係 41-8/29-0:36





7 むすび

松代群発地震に伴う擁壁にかかる土圧及び加速度の測定を行ったがこれらは短期間でもあり、又土圧計の精度は完全に信頼に足る値とはいえず、室内実験等で補足しなければならぬ事も多い。この報告書に述べている事例を要約すれば下記のようにになる。

- 1 この地震は非常に短時間（約3秒）で終り、震動のサイクルは非常に速いことが特徴である。
- 2 この程度の地震の場合は土圧計に感ずる土圧は小さく 10 g/cm^2 の増減がある程度で、これは平時土圧と比較すれば3~20%に当る。
- 3 土圧計で計測された土圧より転倒モーメントによって検討すると、表面及び底面で土圧0と考える山形分布と見なした方がよいようである。
- 4 下表に平時と地震時の最大の土圧の比率及び岡部公式（ $\phi 30^\circ$ 仮定）による計算結果とを示す。この表から平時土圧を1.0とすれば岡部式が大となる。

擁 壁	土 圧 計	平 時	8/29	8/27	8/28
			45gal	65gal	73gal
K _{E0}	A	1.00	1.137	1.184	1.000
	B	1.00	1.142	1.209	1.189
K _{E0.1}	C	1.00	1.083	1.359	1.152
	D	1.00	1.108	1.034	1.108
K _{E0.2}	E	1.00	1.047	1.046	1.040
	F	1.00	1.017	1.055	1.075

表-4 地震時の土圧増加

内部摩擦角 ϕ	壁面摩擦角 δ	平 時	45gal	65gal	73gal
30°	$\frac{1}{3} \phi = 10^\circ$	1.00	1.091	1.128	1.153
	$\frac{1}{2} \phi = 15^\circ$		1.096	1.141	1.160
	$\frac{2}{3} \phi = 20^\circ$		1.098	1.146	1.165

表-5 45, 65, 73galとしたときの岡部公式による地震時土圧

- 5 地震による加速度の大きさは、基礎<盛土<天端の順になった。
- 6 地震時の加速度と土圧の関係相関はこの実験においては明確でない。

施工研究室

伊勢田 哲 也

山 下 宏