

ペルー国チンボテ地域

サイスミック・マイクロゾーニング報告書

1971年3月

海外技術協力事業団

ペルー国チンボテ地域

サイスミック・マイクロゾーニング報告書

1971年3月

海外技術協力事業団

国際協力事業団		
受入 月日	'84. 3. 15	709
		55.3
登録No.	00325	KE

は し が き

1970年5月31日ペルー国アンカシ地方を襲った地震は史上稀に見る激震であった。ペルー国政府は世界的な地震国として多くの経験をもつ日本国政府に対し、震災復興計画策定のための援助を要請した。

日本国政府はその要請に応じて、直ちに技術協力調査団を派遣することとし、その実施を海外技術協力事業団（OTCA）に委託した。

OTCAはペルー国における震災復興計画策定の緊要性に鑑み、東京大学地震研究所々長森本良平博士を団長とする5名の調査団を編成し、7月19日現地に派遣した。調査団はペルー国政府関係機関の協力のもとに50日間に亘る現地調査並に技術指導を行って9月6日帰国した。

本報告書は調査団が現地滞在中に行った各種の調査並に研究の結果をまとめたものである。この報告書が激震地チンボテ市の耐震都市としての復興対策樹立に役立つばかりでなく、ペルー国における他の都市の地震対策樹立にも役立つならば、この上ない喜びである。

終りに私は調査団の現地滞在中、ペルー国政府関係機関、大学、研究所の各位が調査団に与えられた多大の御協力に対し、心からの謝意を表するものであります。

1971年3月

海外技術協力事業団

理事長 田 付 景 一

（印）

伝 達 状

昭和46年3月31日

東京都新宿区市ヶ谷

海外技術協力事業団

理事長 田 付 景 一 殿

1970年ペルー地震災害復興調査団々長森本良平は茲にペルー国の最重要産業都市、チンボテ市のサイスミック・マイクロゾーニングに関する報告書を提出致します。

ペルー並びに日本は、ひとしく環太平洋地震帯に属する活動的地震国であります。両国の国民は度々大地震に見舞われる共通の宿命を持っております。従って1970年5月31日に発生したThe Department de Ancash of Peru を揺り動かした大地震による被害が報道された時あたかも日本に於ける出来事の様に感じた訳であります。両国国民は、常に地震に対しその生命財産を守り、地震による被害を最少限度にとどめる方法を考えておかなければなりません。震災予防は両国政府に課せられた大きな課題であります。一般に地震による地盤変動並びに構造物の破損は実質的には震度並びに震源からの距離によって定まるものであります。然し乍ら、一定地区に於ける被害分布の局地的相違は主として局地的微地形によって大別される地盤条件の地域的相違に因るものであります。「適切な土地に適切な構造物を」ということは、震災防止の簡単にして重要な原則であります。従って、ペルー国政府が国家経済の見地からも甚大な被害を受けたチンボテ市の復興を目的とするサイスミック・マイクロゾーニング・マップ作製のための調査団派遣を日本国政府に要請してきた事はまことに当を得たものというべきであります。

調査団は1970年7月20日にリマ市に到着、その後直ちに現地政府のMinistro de Vivienda (住宅大臣)とPresidente de Comision de Reconstruccion y Rehabilitacion de la Zona Afectada por El Terremoto del 31 de Mayo de 1970 (救済委員会委員長)に連絡を取りました。ペルーに於ける最初の十日間は前述の政府機関の職員と行動を共にして、調査日程に関する討議並びにペルー政府の好意によって手配された海岸沿い地域(7月25日~28日)並びに、Callejon de Huaylas(7月30日~31日)の被害地全般にわたる予備的調査を行いました。チンボテ市のサイスミック・マイクロゾーニング・マップ作製実施班は日本側調査団全員とペルー側の人員とで編成致しました。かつて来日して地震研究所並びに国際地震工学研修所で研究したペルーの科学者並びに技術者はこの実施班に於いて大きな役目を果しました。チンボテに於ける調査は、ペルー人並びに日本人による国際技術協力の代表的な例であり、この協力は、リマから東京に初めて研

修生が派遣された10年前の1961年にさかのぼると言っても過言ではありません。この大地震に関してペルーを訪れた各国調査団の中で、われわれ太平洋を越えた二つの地震国の間に於ける地震学並びに地震工学に通じての長い協力は、誇りとすべきものとするものであると考へております。

地震時におけるチンボテの地盤の挙動並びに構造物の反応に対する地盤の影響を解明するため、地表地質の現地調査、航空写真の地質学的解釈、既存のボーリング資料の蒐集、標準貫入試験を併用した18ヶ所のボーリング、常時微動並びに余震の観測、地変の調査等あらゆる方法手段を実施計画に導入致しました。チンボテの地盤は主に白亜紀の火山岩・頁岩・砂岩およびそれに貫入している花崗岩からなる硬い岩盤を基盤とし、その上にある厚い砂質堆積物からできています。このような地盤は地震に対して比較的安定したものと云えます。軟弱な沖積層上に発達している日本の大都市に比較すればチンボテの地盤条件は耐震的にみて全般に好条件にあると云えます。然し局部的に見た場合、これら堆積物の性質は場所によって相違があり、従って地震による構造物に対する被害の性質も異なっています。地下水位の局地的差異もまた地盤条件を支配する重要な要素であります。上記の各種方法を用い、チンボテ地区を四つの区域に分割致しました。

ゾーンⅠに於いては地盤は緻密な砂礫或は岩盤から成り、地下水位は地表から最低10mの深さにあります。このゾーンに属する地域の大部分は標高10m以上であり、そこでは建物並びに地盤の沈下は考えられませんが、建物に対する地震力他は他のゾーンよりもいくらか強いかも知れません。従って、このゾーン内の構造物に関しては土質と構造物間の相互作用の問題を考慮しなければなりません。ゾーンⅡに於いては土質は厚さ数メートルのゆるく或は中程度に緻密な砂層から成り、その下部に緻密な砂或は固結した緻密な砂層があり、地下水位は地表下5mにあります。砂丘の外輪部を除いては二階以下の通常の住宅用建物の大きな沈下は考えられません。二階以上の階層を持つ建物に就いては緻密な砂層に迄達するパイルで支持する事が望ましいと考えられます。砂丘上の構造物に関しては、バイプロフローテーションによる地盤の改良が必要であります。ゾーンⅢでは、地盤は主に薄い耕土に覆われた砂質の土壌から成っています。礫層は10m以下の所にあり、地下水位は地下数米の所にあります。二三の深さの所にある、ゆるい細い砂層は地震時に流砂現象を起こすかも知れません。地表下或る深さに存在する砂層の局部的流砂現象により構造物が損害を受ける可能性があります。僅かの例を除いては建物の大きな沈下はないと思われれます。然し乍ら、二階以上の階層を持つ建物の基礎設計に就いては注意深い考慮を払うべきものと考えます。ゾーンⅣは地表と地下水面が殆んど同一水準にあるのが特長で、土地の大部分は水で覆われています。ゾーンⅣ内の土地の平均標高は5m以下になっています。土質は主に非常に薄い有機質シルトに覆われた砂層から成っています。このゾーン内の建物に対する被害は主として沈下によるものですが、部分的には地震力によるものであります。地表までの噴砂現象が強い地震の際に起るものと思われれます。このゾーンに於いては

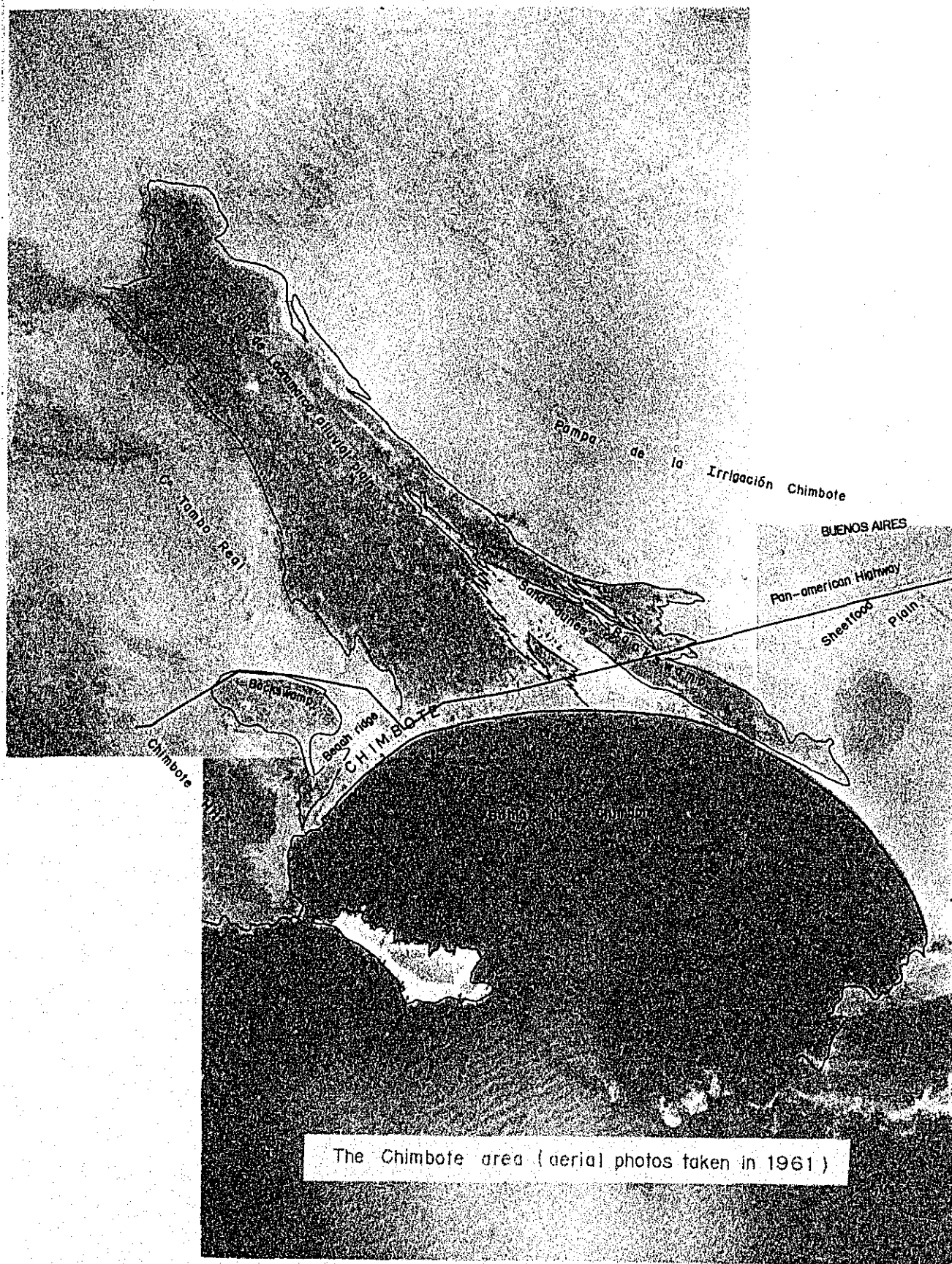
建物の杭打ちと基礎を或る深さ迄改良することが必要であります。チンボテ湾の湾口（南側の広い湾口）直面している標高5 m以下の地域は津波におそわれる可能性があります。津波の可能性に関する調査は時間的制約により本調査から削除しなければなりませんでした。

上記のサイスミック・ゾーニング・マップはチンボテ市を耐震都市として復興するのに役立ち、かつ本調査団が用いた方法は他の都市に対しても適用できるものと信じて居ります。最近 Huaras に対してペルー人自身による同様な調査が行われた事を聞いて心強く感ずるものであります。地震による災害を防止するか、或は少なくとも最少限度に押える為の方法は数多くあります。この為には、地震予知の研究及び山地氷河の崩壊による泥流の予知研究を含む他の関連諸科学部門と関連した地震学並びに地震工学の研究を促進すべきものと考えます。アイスフォールによる泥流と、地震力で倒壊したアドベ構造物が今度の地震の死傷者の実質的な増大をもたらしたものであります。アドベ自体の質の向上とアドベ建築の耐震構造の研究が最も緊急重要な課題であります。以上の勧告を実施するには長期間と莫大な費用を必要とするので、この計画を早急に実施する為に中央政府によるイニシアチブが必要と思われます。上記の研究部門を網羅する総合的防災研究所の様な施設の設立並びに両国間に於ける学者、学生の交流によりかかる計画は一層促進されるものと考えます。

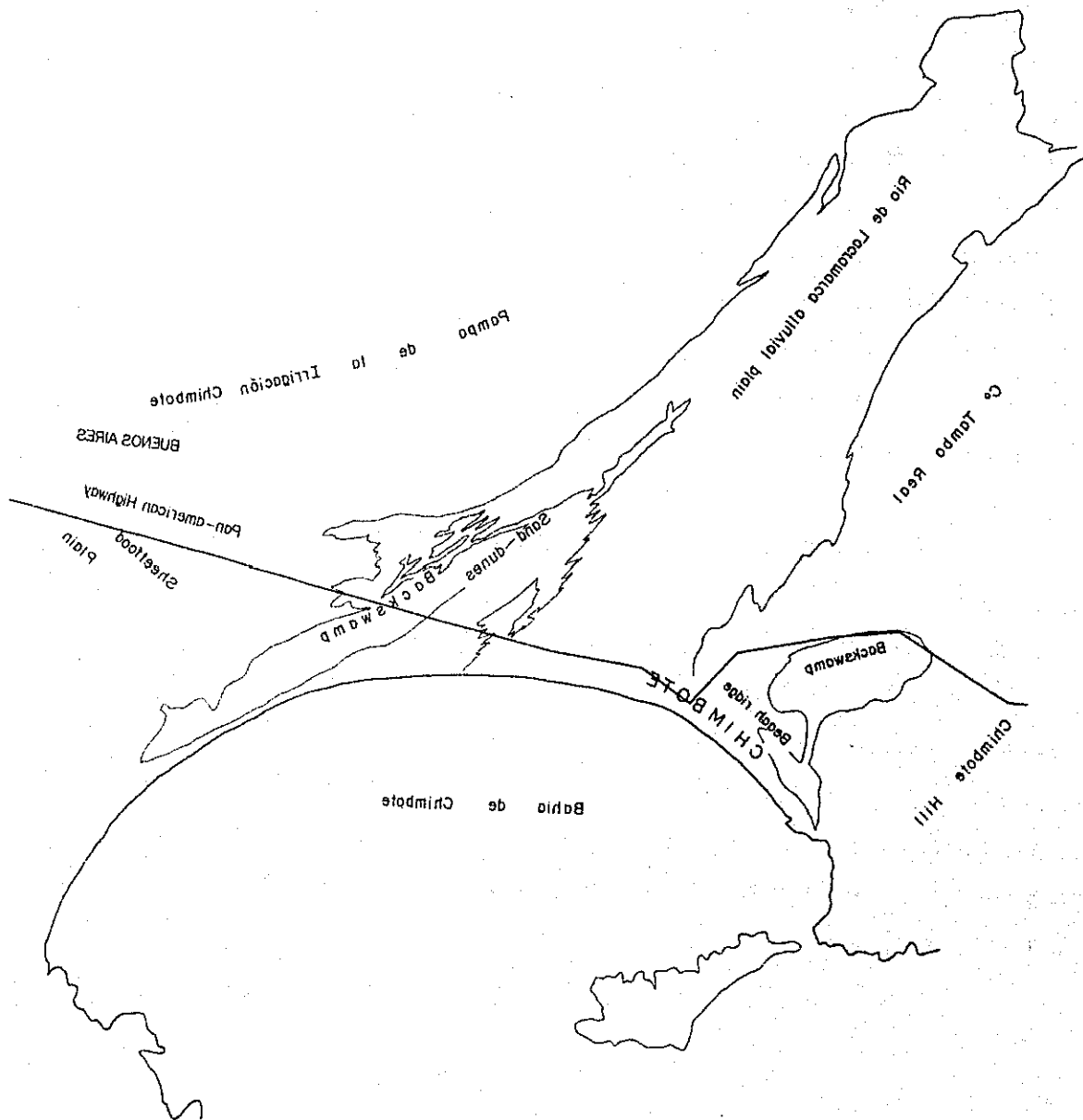
終りに際して、非常時にも拘わらず調査団長並びに団員一同に対し心からの協力と援助を惜しまなかったペルー国政府の Sr. Contralmirante Luis Vargas Caballero, Ministro de Vivienda 並びに Sir General de Brigada EP, Carlos Villa Pazos, Presidente de la Comision de Reconstruccion y Rehabilitacion de la Zona Afectada に対して心からの感謝を述べたいと思います。今回の調査がペルー国民と日本国民の間に於ける科学的並びに技術的協力のみならず、地震国である両国間の親善の里程標とならんことを望むものであります。なお、調査団編成について御尽力を賜った関係当局並びに和達清夫埼玉大学々長、萩原尊礼東大名誉教授、南和夫早大教授、梅村魁東大教授、川越邦雄建築研究所長、表俊一郎九大教授に感謝の意を表する次第であります。

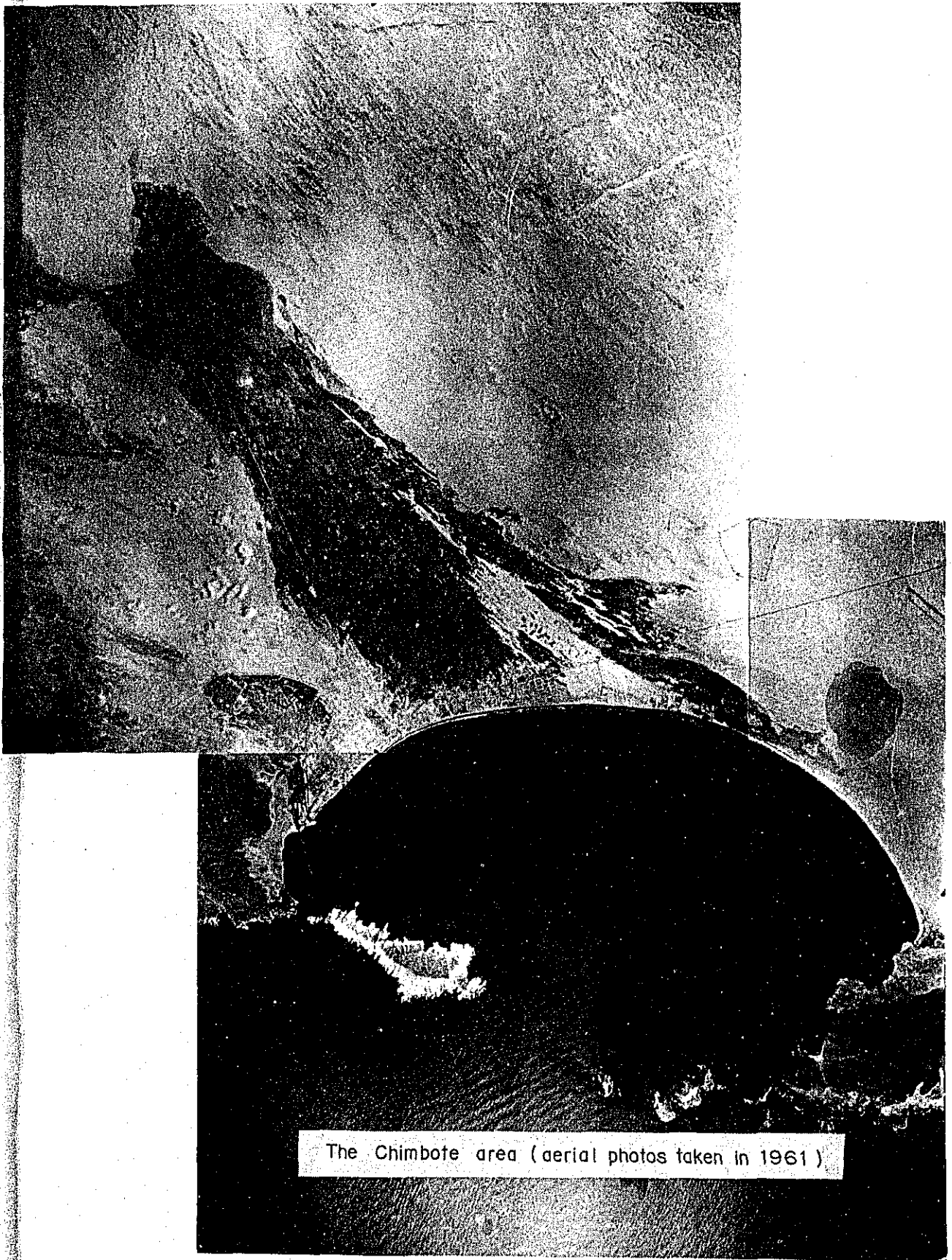
1970年ペルー国地震災害

復興調査団長 森 本 良 平



The Chimbote area (aerial photos taken in 1961)





The Chimbote area (aerial photos taken in 1961)

目 次

第 1 章 緒 言	1
2 // チンボテ地域の地質	6
3 // 土質条件	21
4 // 地表面の常時微動測定	27
5 // 余震観測	31
6 // 地表地震動の計算	40
7 // 建物の被害調査	52
8 // 被害の地質学的観察	55
9 // チンボテ地方のマイクロゾーニング	76
10 // 一般的勧告	79

Appendix

1 Comparison of the two penetration tests - - - - -	A- 1
2 Field records of borings and penetration tests - - - - -	A- 3
3 Results of Grain size analysis - - - - -	A-16
4 Pre-existing of water-wells and borings - - - - -	A-25
5 Micro-tremor records in Chimbote area - - - - -	A-32
6 Frequency-periods curve of micro-tremor records in Chimbote area - - -	A-35

第 1 章 緒 言

1970年5月31日、ペルー国アンカッシュ地方を襲った地震は、世界の歴史上でも稀な程大きな被害を出した。

USCGS の発表によれば、この地震のマグニチュード 7.8、震央位置 9.2°S , 78.8°W 、深さ 43 km と言われる。

この地震によりアンカッシュ地方の多くの都市が壊滅し、数万にのぼる人命が失われた。特に震源近くに位置するチンボテ市は、ペルー国首都のリマから北方約 380 km、同国最大の港、最も重要な工業都市として急成長しつつある都市である。

世界第一の漁獲量を誇る同国の水産物はかなりの部分が、この都市の魚粉工場で加工され世界各国に輸出されている。また唯一の国立製鉄所も同市にあり、今後の発展が待ち望まれている。

今回の地震により、同市の一般住居、道路などの公共施設が手痛い損害を受けただけでなく、前述の魚粉工場、製鉄所にもかなりの被害を生じている。

同市の復興に当り、都市計画作製上地震地盤図の必要性が叫ばれ、以下述べるような調査団が日本国政府から派遣され各種調査を行い、同市の地盤図を作製した。

調査団団長	森	本	良	平
" 団員	小	泉	安	則
" "	松	田	時	彦
" "	伯	野	元	彦
" "	山	口		功

さて、地震地盤図の作製は、将来、都市を地震の災害から守るため何故に必要なのか、その方法は如何なるものかを以下述べてみよう。

都市を地震災害から守るためには、そこに建築される構造物ならびに土構造物が地震時に壊れないようにすることが第 1 であることは言うまでもないことである。

そのためには、i) その地域の地震活動を調べること。 ii) その地域の地表地盤を調べること。の二者が重要なことであると言われている。

地震活動についてはペルー国の過去の地震活動状況を調べれば将来の予測も可能であるが、現在、ペルーでは全国三つの地域に分けそれぞれ異った地震強度を考えている。

過去の震害を調べると比較的狭い区域、たとえば一つの都市の中でも震害の程度に軽重があって、これは主として地盤と構造物の種別ならびにその組合わせによって定まるとされている。そして特に地盤の土質条件と微地形によるものが大きいようである。

いま、構造物に対する地震強度を左右する地盤条件を将来の構造物建築に考慮するとするならば、より細かい地盤条件を示した地盤図が必要である。

では次に、それら地震地盤図を作るにはどのような方法が現に行われており、我々は具体的にどのような方法をチンボテ市に適用したかを述べてみたい。

A) 地質調査

これは、その地域全体の地盤の成り立ち、組成を現地踏査ならびに航空写真から知ろうとするもので、マクロ的な情報を間違いなく与える。

チンボテ市においても航空写真ならびに現地踏査を行い、B)項で述べるボーリング結果と相補って地盤図作製に大いに貢献した。

B) ボーリングならびに貫入試験

これは、その地域の土質条件の異った数ヶ所に標本点を取り、その地点の深さ方向の土質を詳細に調べ、さらに貫入試験によって力学的特性をも或る程度調べようとするものである。

チンボテ市では、Fig 3-2 に示したような18ヶ所でボーリングならびに貫入試験を行った。この結果、各地点の柱状図、N値分布を作ることができ、地質調査とも相まって地盤図作製に大いに役立った。

C) 被害調査

これは、これから耐震性を考えて都市計画しようとする都市がたまたま震害を蒙っている場合に、非常に有効な情報を与えるものであって、将来の地震においても同一の地域に同一の構造物があれば同様な被害を生じるであろうという思想に基づいている。

チンボテ市では、アドベ建物はほとんど全滅していたので、骨組のある練瓦造を全域にわたって調査し、またダウンタウンではあらゆる種類の構造物を地盤の破壊との関連において調査した。

この調査は、地盤条件と構造物種別の組合せが被害に及ぼす影響を見る上に大いに役立ち、地震地盤図を作る際に主役を演じた。

D) 余震観測

これは、地盤が破壊して構造物に被害が生じることの無い場合であっても、地表層の種別によって襲って来る地震の強さ、性質が異り、その結果として、狭い地域内の構造物被害に差異が出るのであるという考えに基づき、それを直接余震観測によって確かめようとするものである。

チンボテ市においては同一種類の地震計二台を一台は基準用に露頭岩盤上に常時設置し、他の一台は既に述べたボーリング地点の1, 2, 3, 4, 5, 7の6個所を余震が記録されるたびに移動しながら観測した。

この結果、岩盤上では沖積層上より地震の強さは大きいこと等被害の性質を説明する情報が得られた。

E) 常時微動観測

これは、主として前述の余震観測が行えない場合に地盤の動特性を知るための方法であるが、交通荷重その他の原因で常時揺れている地表面の微小振動から地盤の動特性の一つである卓越周期をピックアップしようとするものである。

チンボテ市では Fig.4-5 に示すような 20 数ヶ所で測定を行ったが、その結果は、チンボテ市は砂地盤が大部分を占めているにしても動的には極めて固いよく締まった地盤であることが知られた。

F) 弾性波試験

これは、地表層の動的性質は層内を伝播する波動の速度から推定しようとするもので、ダイナマイトその他により波動を発生させ、その走時曲線から波動伝播速度を求めるのである。

チンボテ市では、この試験は行わなかった。

G) 地表面振動の電算機による計算

余震観測で行ったように、地盤々々によっての地震の強さ、性質の差異を計算によって導こうとするものである。

チンボテ市においては、ボーリングによって得られた N 値から地表各層の S 波速度を推定しそれを「多重反射理論」によって地表地震動を計算した。

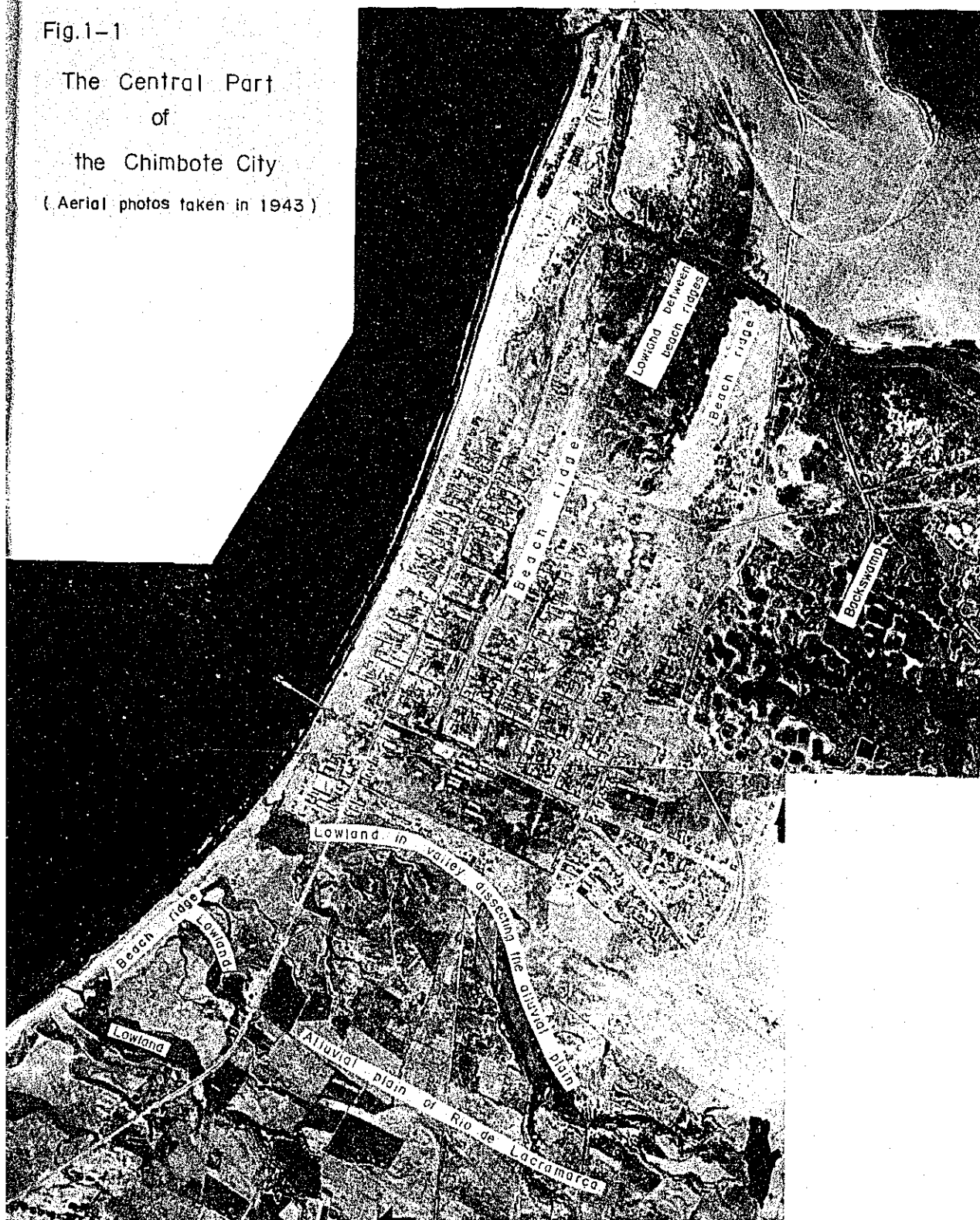
以上の種々の試験調査の結果を総合してチンボテ市地震地盤図は作製されたわけである。なお、それら調査を行うにあたり、ペルー政府ならびに各機関の協力は大変なものであり、ここに深謝する次第である。

以下の各章において、各種試験調査の詳細を述べて行きたい。

Fig.1-1

The Central Part
of
the Chimbote City

(Aerial photos taken in 1943)



第 2 章 チンボテ地域の地質

チンボテ市は、主にチンボテ湾沿いの Rio de Lacramarca の沖積面上に位置している。同市の北方および南東方には、一部分風成砂に被われた岩石性の山地や丘がある。チンボテ市の表層地質は、次のように分類される。(Fig 2-1をも参照のこと)

A. 基盤岩類

A' : 古期風成砂層に被われた部分

B. 沖積層

B₁ : Rio de Lacramarca の沖積層

B₂ : Rio de Lacramarca 古期沖積層の残存層

B₃ : シートフラッドの堆積物

C. 浜堤

C₁ : 現在の浜堤

C₂, C₃, C₄ : 古期の浜堤

D. 風成砂

D₁ : 現在の風成砂

D₂ : 古期の風成砂

E. 後背湿地

F. 沖積面を開析している谷の中の低地

以下、各々について簡単に説明する。

2-1 基盤岩類

基盤岩類は、主に、頁岩・砂岩を伴った白亜紀の安山岩質の火山岩類と、それを買ぬいている花崗岩質岩石である。火山岩類は、Casma層とよばれているが、それは花崗岩の貫入のために多少変成作用をうけている。これらの火山岩類は大部分、市の北にある丘陵に露出している (Chimbote Hill や C°Tambo Real など, Fig 2-3 参照)。

しかし、花崗岩類は、市の南東の丘陵 (Pampa de la Irrigación Chimbote) を構成している。これは多分アンデスの底盤の一部である。

2-2 沖積平野

二・三の沖積扇状地が、チンボテ市のある低地にむかって発達している。そのうち最も重要なものは、Rio de Lacramarca の沖積平野 (B₁) である。他の2つは、Chimbote Hill と Pampa de la Irrigación Chimbote のふもとに発達するシートフラッド性の沖積扇状地 (B₃) である。(Fig 2-4, Fig 2-7)

Rio de Lacramarca の沖積平野 この沖積平野は、海岸部で幅 5 km、長さは約 10 km の、Rio de Lacramarca の谷を埋積して発達したものである。Rio de Lacramarca

の河の水は、この沖積扇状地の頂部付近で、伏流してしまう。明瞭な流路はこの沖積平野の表面には認められない。この沖積平野の海側の縁では、その北部では海岸線の波蝕作用によって斜めに切られていて、そこでは海拔3～5 mの高さであり、浜堤がそれを縁どっている。一方、この沖積扇状地の南部では、徐々に低くなって後背湿地あるいはラグーンにつづいている。

この沖積平野の表面には、農耕に適した土壌の層がある。Fig 2-2とFig 2-11は、この平野の海岸に近い部分、海岸線とPan American Highwayとの間の表層地質を示したものである。この沖積平野の地下の地質は、今回行なったボーリングおよび既存ボーリングの資料Appendix 2と4にもとづいて、Fig 3-2に示してある。概括的にいえば、この沖積層は主に各種の砂からなり、うすい粘土層と礫層を伴っている。一番浅い礫層は調査地域のうちの内陸部では深さ10 mと20 mの間にある。そしてそれは海の方へむかって厚さがうすくなり、深さは深くなっている。(ボーリング#3, 4, 7および3, を参照のこと)。海岸にごく近い地点では、地表から20 mの深さまでには、顕著な礫層は見出されていない。そのかわり、厚さ5～7 mの、貝殻片をふくんだ海成の砂層が地表から7～15 mの深さの所に存在している。粘土やシルトは深さ25 mまでの範囲の地質の中ではごくわずかであるが、厚さ3 m以下の数枚の層があることはある。次の2つの事実は、subground liquefactionをおこすのに好都合な性質である。すなわち、この沖積層の上部の砂は、風成砂から二次的に由来したと思われる非常に分級のよい砂であること、地下水面がかなり浅く(深さ1～2 m)、かつしばしば被圧されていることである。

海岸近くのFabrica Pescamarで行われたボーリングの結果によると、この沖積層の基底は地表から90 mより浅い。ボーリングのコアの標本の観察によると、多分河成の花崗岩質の粗砂ないし極細礫が52 m以深にあり、それは約90 mで、確実な花崗岩の基盤になる。この沖積層と花崗岩との境界は、後者の風化物が多分存在するために、確実な深さは明らかでない。

Rio de Lacramaraの古期沖積層の残存物(B₂): 段丘状のほそいベンチ状の地形が、Rio de Lacramarの沖積面の北縁部の丘陵斜面の基部に沿って存在する。この段丘は巾10—50 mで、現在の沖積平野からの比高は約20 mである。段丘の内側(山側)の隅は、風成砂に被われている。外側の縁は、明確な崖をなしていて、そこには約2 mの厚さのやや固結した灰色の砂質泥と、不純な極細砂の層が、その崖の最上部に露出している。この堆積物中には無数の植物遺体がふくまれているが、海成であることを示す証拠は何もない。これらは、Rio de Lacramarの古い沖積面で、その後の河の侵蝕作用をのがれた残存物であると考えられる。

Chimbote HillsとPampa de la Irrigacion Chimbote付近のシートフラッド平野(B₃): この地域の岩石山地は、そのまわりのふもとの部分に極めて傾斜のゆるい広

い平坦地を伴っている。これらの平坦地は、かなり厚い粗い砂と礫からなり、そのほか亜角礫状の大きな礫を伴う。最も典型的で大規模なものは、Buenos Aires がある、Pampa de la Irrigación Chimboteから西方、海岸までのびている平坦地である(Fig 2-7) この沖積平野は、その表面にはっきりした谷がないのでシートフラッドで形成されたものであると考えられる。これと似た沖積面は、チンボテの製鉄所のある、Chimbote Hillの南のものである。以前に行なわれたボーリング資料や製鉄所内の切割でわかるように、この平坦面の地質は後背山地から運ばれてきた角ばった岩屑と、多分風成砂から由来する分級のよい砂との互層からなりたっている。(Fig 2-8) 製鉄所の港の北方にある沖積扇状地は岩屑と互層した二次的な風成層からなる。(Fig 2-9) このシートフラッドの平野では地下水面はかなりふかい。たとえば、Buenos Aires のボーリング地点5では地下水面の深さは16 mである。

2-3 浜 堤

チンボテ市内とその周辺地域には海岸にそって現在の浜堤と、古期の浜堤とがある。(Fig 2-5)

現在の浜堤 C₁ : 現在の浜堤は、チンボテ湾の海岸沿いに発達している。浜堤は一般に20-200 mの幅をもち、高さは海拔3-5 mで、粗粒の葉理のある浜砂からなり、その中に貝殻の破片もある。Fig 2-2に示すように、チンボテの中央部ではこの浜砂は、浜堤の内陸側で粘土層と指交している。

古期浜堤 C₂, C₃, C₄ : チンボテ市の北部は3つの浜堤のあつまったもので、そのうちの2つは、海岸線が今の海岸線より東側にあった当時にできた古い浜堤である。最も内側(北東部)にある浜堤がもっとも明瞭なもので、現在の海面上約7 mの高さがある。Avenida José Olaya はちょうどこの浜堤の頂部を走っている。もう1つの古い浜堤(C₄)はチンボテ市の南部のラグーン地域の中央部にある。それはちょうどBarrio " Villa Maria "の東縁にあたっている。この古い浜堤は、まわりのラグーン地域よりわずか1 m高いだけである。

2-4 風 成 砂

太平洋側からの卓越風は、NNE 方向へ内陸にむかって細かい砂を運んでおり、それが砂丘をつくっている。砂の主な供給地はチンボテ湾の南岸とSamanco湾の北岸である。この現在動きつゝある砂丘のほかに、古い風成砂がチンボテ地域の北側に分布している。

現在の風成砂 D₁ : 最も厚い風成砂層は、Rio de Lacramarcaの沖積面の南部を被覆しているものである。砂丘は沖積面上高さ10-20 mで、卓越風の方角に長くのびて配列している。この砂丘はよく分級され石英粒の多い砂からなり、ごくふつうに葉理が発達している。

古期風成砂 D₂ : チンボテ北方の丘(C° Tambo Real)の南斜面は砂に被われている。Barrio San Pedro, Cementario, Reservorioはこの砂の丘の上に位置している。

(Fig 2-12) 砂は、細粒ないし粗粒で貝殻の小片をふくんでいる。厚さは不明だが、数m以下であると推定される。このルーズな砂の下には、やゝ固結した砂層があり、急な斜面や崖に露出している。それは斜交層理をもっていて数m以上の厚さがある。この砂層は細～粗砂であり、貝殻片をふくむ。その石灰分がセメントになっている。表層のルーズな砂と、その下のこのやゝ固まった砂層はお互によく似ている。両方とも古期の風成砂（風で動かされた浜砂）であると考えられる。多分海岸線が現在の位置よりもずっとこの丘に近い所にあった頃できたものであろう。このことは、保存のよい浜堤がこの砂の丘と現在の海岸線との間に発達していることや、粗粒の砂や貝殻片がこの堆積物の中にふつうにふくまれていること、などから十分に考えられることである。

2-5 後背湿地

いくつかの後背湿地が、沖積平野上の閉じられた低地に発達している（Fig 2-3, Fig 2-5 および Fig 2-6）。これらは、地下水の湧昇があり、かつ周囲に砂丘があつて高く、排水が妨げられている地域にできたものである。

最も大きな後背湿地は、チンボテ南部にあり、Rio de Lacramarcaの沖積扇状地の南縁部（最も低い場所）にある。この背後湿地は、Pan-American Highwayの近くにある古期の浜堤（C₄）によって不完全に、外側の部分と内部とに分けられている。この後背湿地の水は、内部にある無数の自噴泉から供給されている。そして砂丘と浜堤との高まりの所を通過して海へ流れ出ている。この水の起源はRio de Lacramarcaであつて、扇頂部で地下にもぐってしまった水である。この後背湿地の地質は主に深さ25 mまで中粒～粗粒の砂からなるが、礫質や粘土質の地層も2・3の層準にはさまれている。（ボーリングNo 4のデータ参照）。この湿地の底には泥質の堆積物がないことは注目にあたいすることである。

もう1つの後背湿地は北部チンボテの低地にある。それは、その北側（Chimbote Hill）と東側（C^o Tambo Real）を丘陵で囲まれ、南側はRio de Lacramarcaの沖積扇状地でさえぎられ、西側には浜堤がある（Fig 2-3）。排水路は西方へ浜堤を横切つて海岸へのびている。この後背湿地は海拔5 m以下で、その内部には多数の不規則なあるいは線状にのびた砂丘がある。いくつかの湧泉がこの後背湿地に水を供給している。この後背湿地は本来、浜堤の生長によって生じたラグーンであつた。最も古い浜堤は、Fig 2-1 のC₃であるが、これらの浜堤の間の低地は現在の浜堤が発達するにつれて後背湿地の一部になっていった。この後背湿地の下流の部分には黒色の有機質の土壌が、表面近くにある。それは排水路の壁に露出している。しかし、この後背湿地の堆積物は主に、河成や風成あるいは海浜性の砂質の堆積物である。（ボーリングNo 1の資料参照）。概してこの後背湿地の北部では、北側の丘からのびてきている沖積扇状地の粗粒の堆積物をふくんでいる。しかし、南部では主にRio de Lacramarcaの沖積扇状地の河成の砂や礫から主になる。多量の貝殻片をふくむ1枚の海成層が地表面4 mの所にある。これ

は南部チンボテの後背湿地での海成層の水準とほぼ同じ高さにある（ボーリング№1と№4を参照）。

このようにチンボテ地域の後背湿地の下には、粘土あるいは泥質の軟弱地層がそのごく表面近くの部分にも存在していないことは、注目すべきことである。

2-6 沖積平野を開析している谷の中の低地

地質図（Fig 2-1）に示されているように、Rio de Lacramarcaの沖積平野は、その北部において小さな若い谷によって開析されている。これらの谷は、海岸の2～3 mの高さの崖から内陸へむかって谷頭浸蝕により発達しつつあるものである。谷の頭は海岸線から概して1 km またはそれ以下であるが、チンボテ市の中心部のすぐ南にある最大の谷は長さ約2 km に達している。

谷の底は、河口部で巾約100 mの平坦地で、Rio de Lacramarcaの沖積面より約3 m低い。谷は河口から内陸にむかってせまく浅くなっている。この低地には流水がある。その水は河口部で浜堤のためにせきとめられる傾向にあり、浜堤の後側（陸側）には小さな沼地ができている。この低地の表面土壌は、軟弱な湿ったシルト質の細砂または砂質泥であって、植物片をふくむことがある。谷をうめているこの堆積物の厚さは正確にはわからないが、ボーリング資料から判断すると数米よりうすいように思われる。

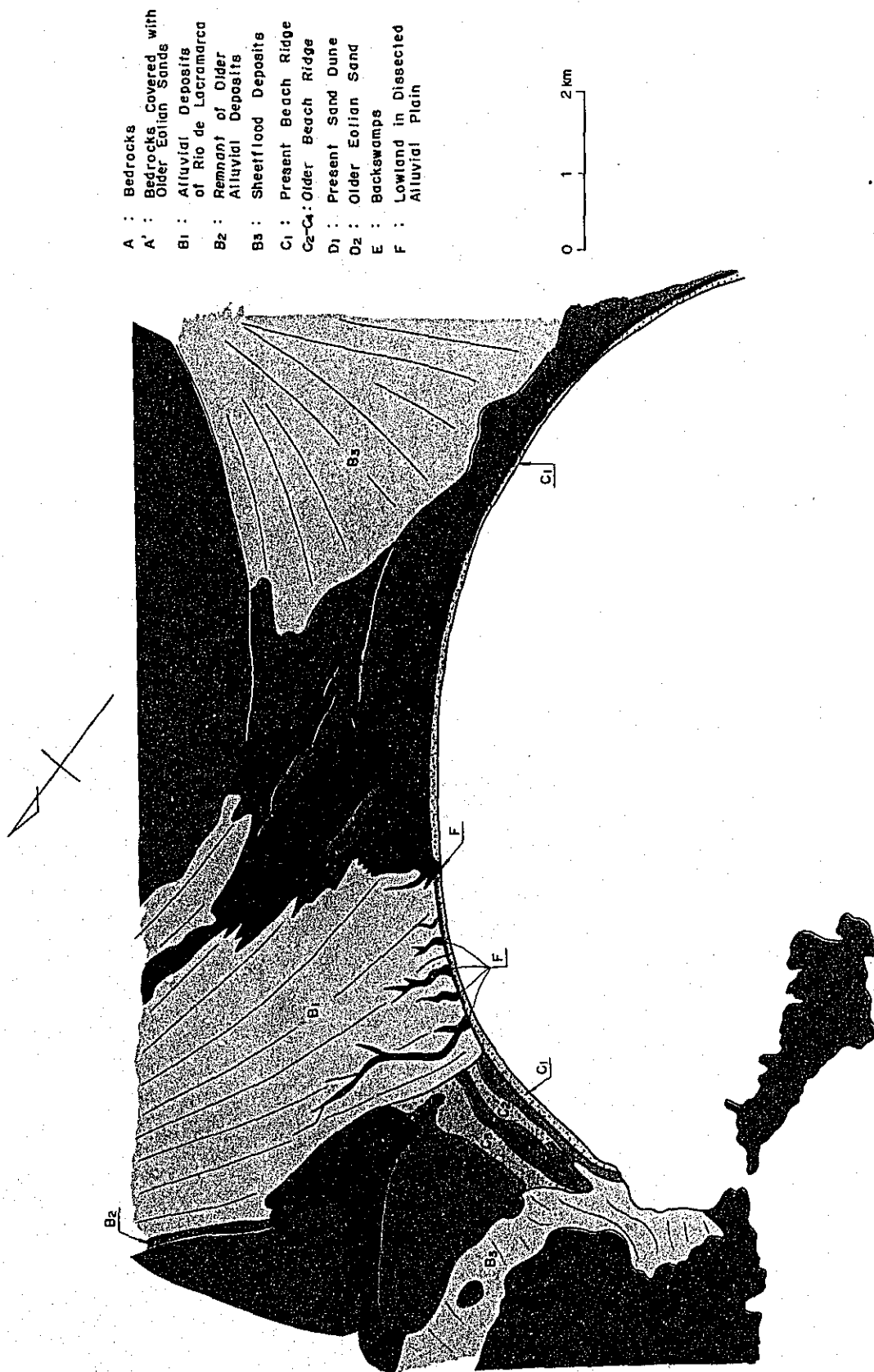


Fig. 2-1 GEOLOGIC MAP OF THE CHIMBOTE AREA

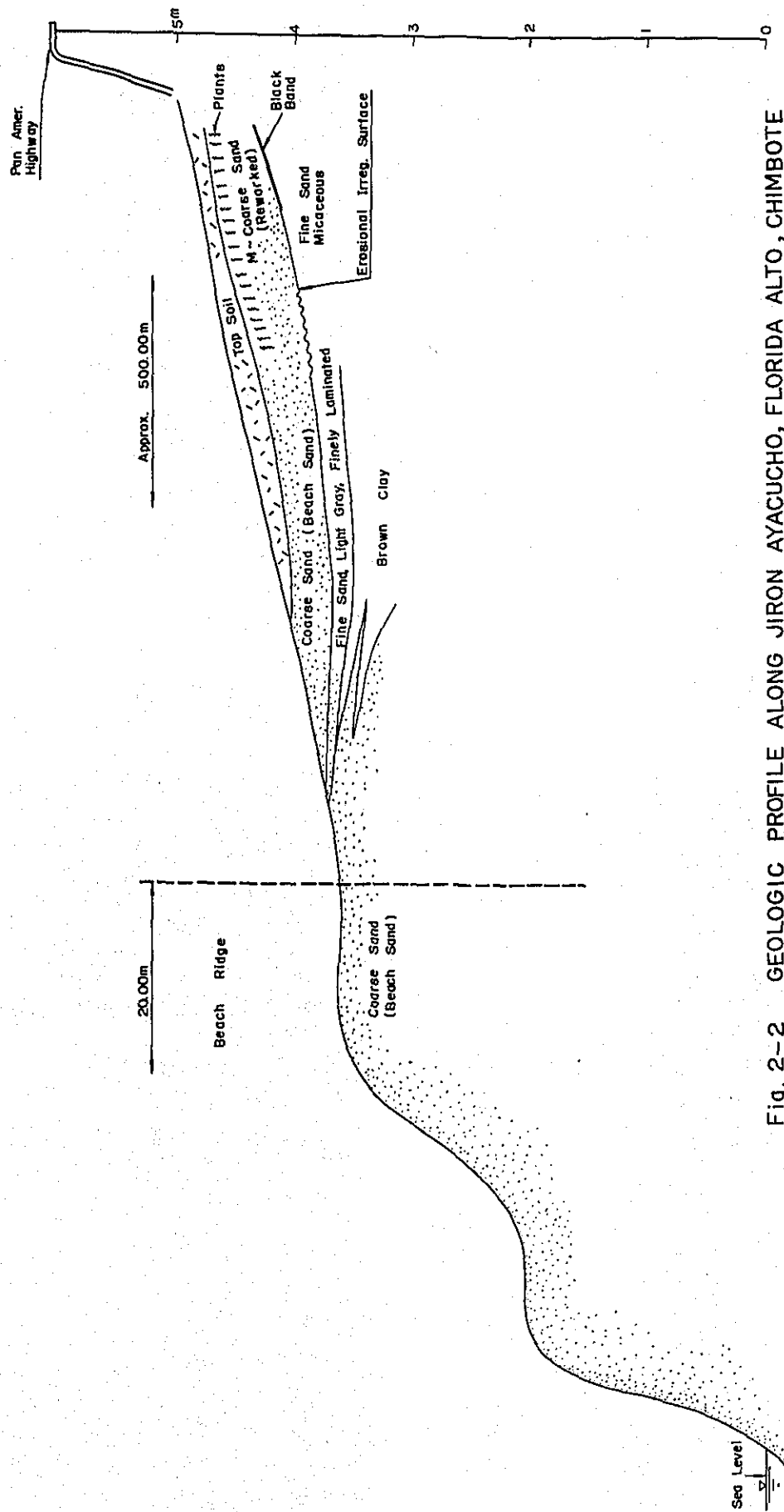


Fig. 2-2 GEOLOGIC PROFILE ALONG JIRON AYACUCHO, FLORIDA ALTO, CHIMBOTE

Fig. 2-3
Chimbote Hill and
backswamp
(looking from
San Pedro)

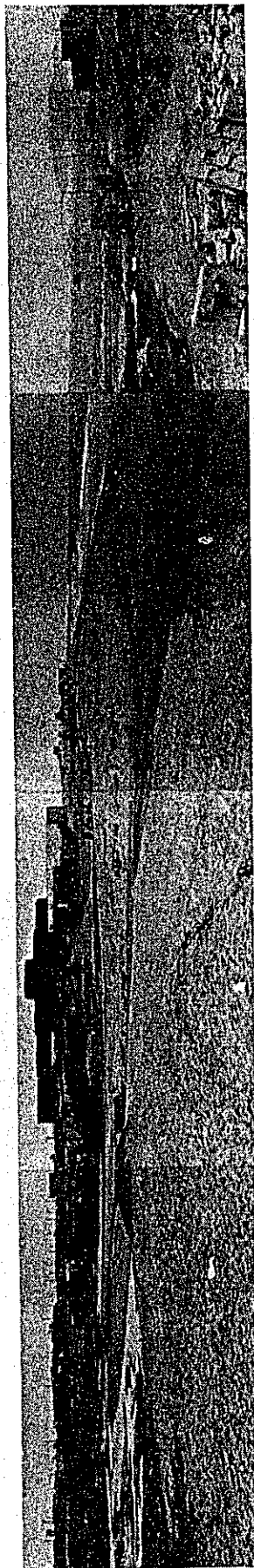


Fig. 2-4
Sand dunes and the
Rio de Lacramarca
alluvial plain
(southern Chimbote)



Fig. 2-5
Beach ridge and
lagoonal swamp
at the estuary
(Miramar Baja)

(a)



(b)

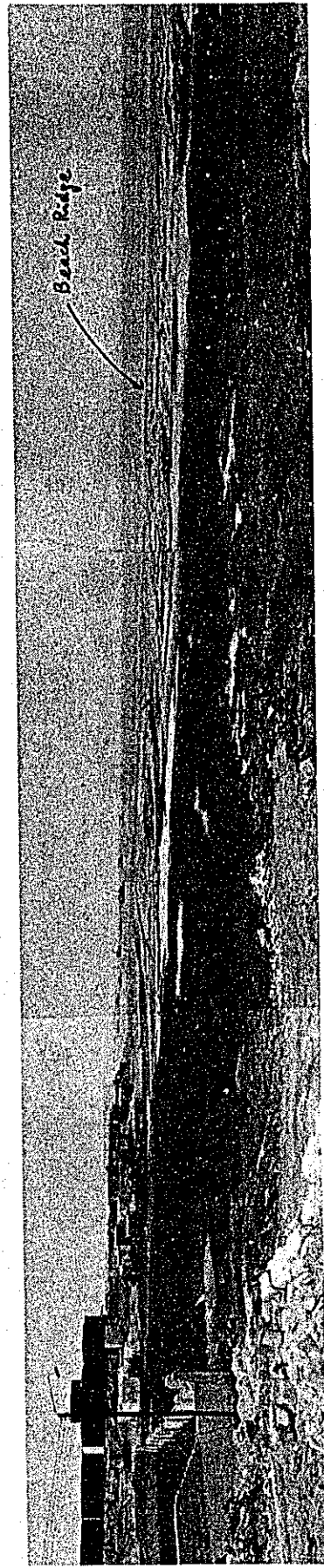


Fig. 2-6
Backswamp and sand
dunes
(southern Chimbote)



(a)



(b)

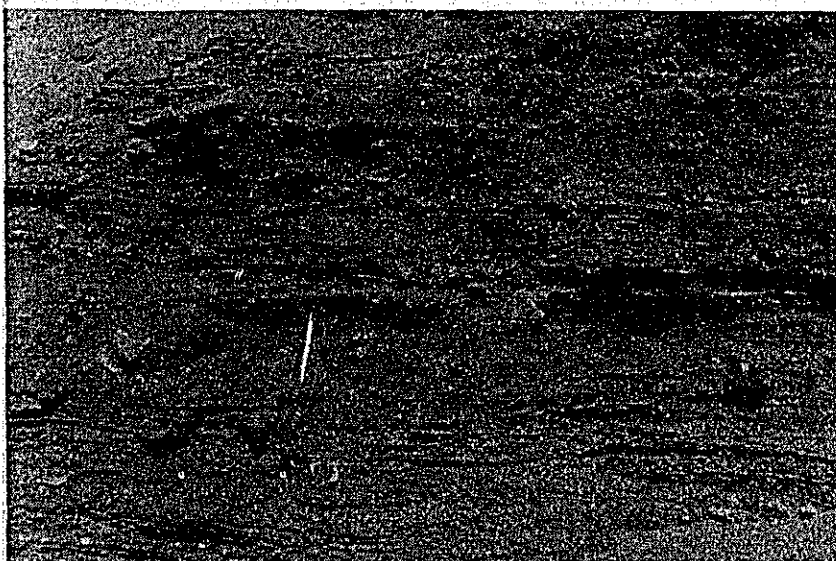
Fig. 2-7
Sheetflood deposits,
west of Buenos Aires.



(a)



(b)

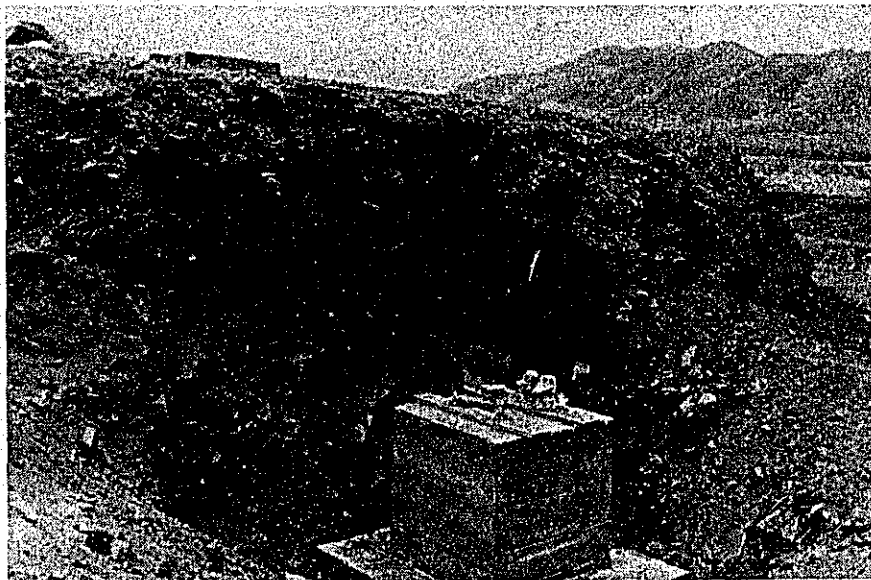


(c)

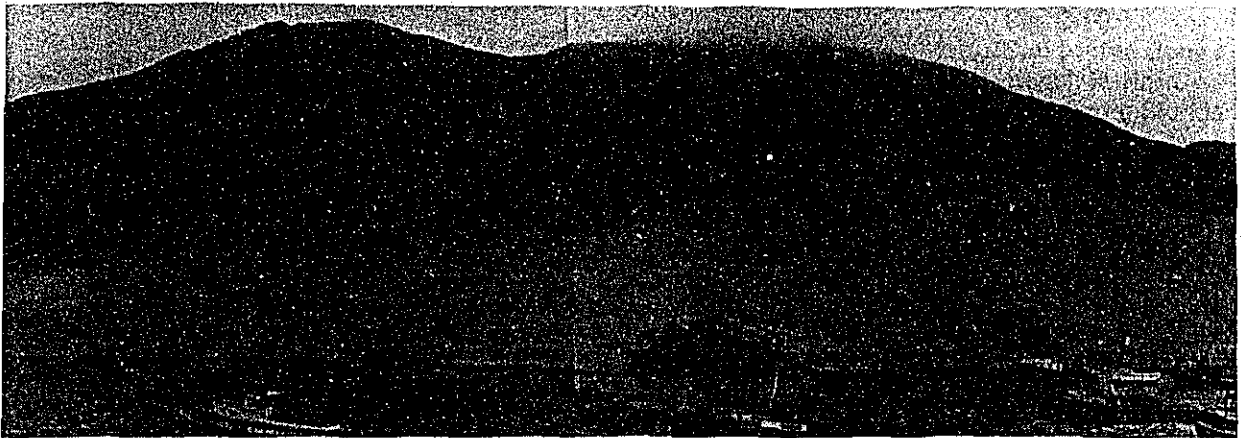
Fig. 2-8
Sheetflood deposits
and reworked eolian
sands of the alluvial
fan (B 3), south of
Chimbote Hill.
(Steel plant of
Chimbote)



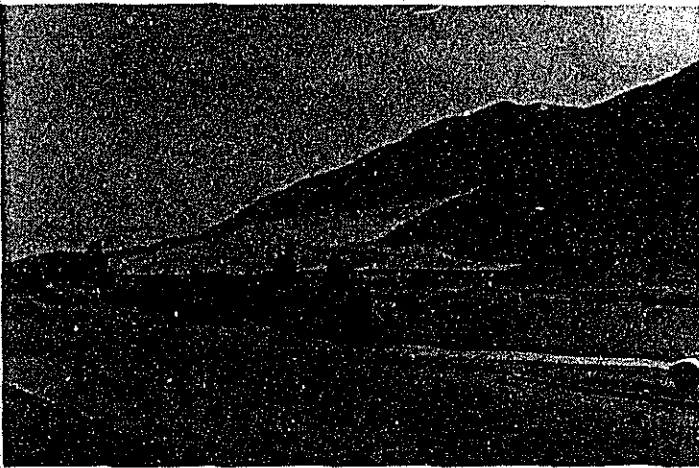
(a)



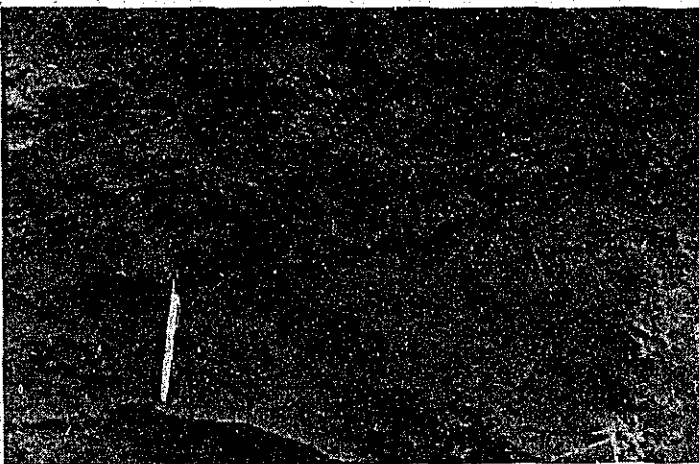
(b)



(a)

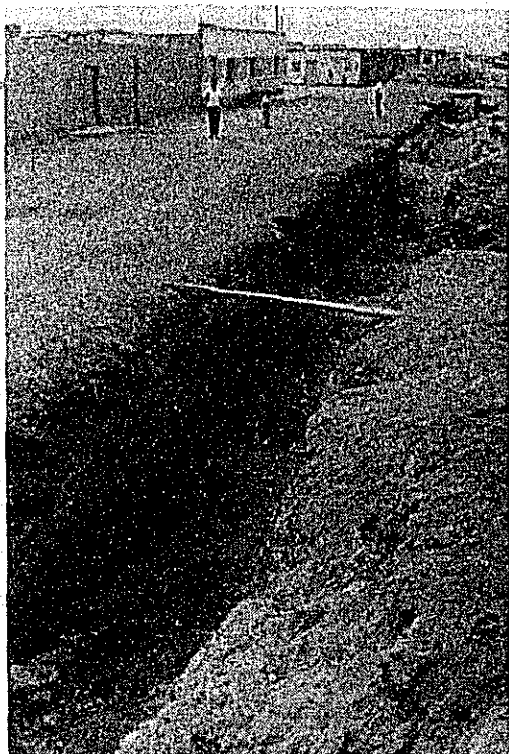


(b)



(c)

Fig. 2-9
Alluvial fan, north
of the Chimbote
harbour, consisting
of reworked eolian
sands and debris
derived from steep
mountain-slopes
behind.



(a)

Fig. 2-10
Soil profile along a
trench in Jiron
Ayacucho, Florida
Alto. Darker layers
are brown clay, light
coloured layers are
sand.



(b)



(c)

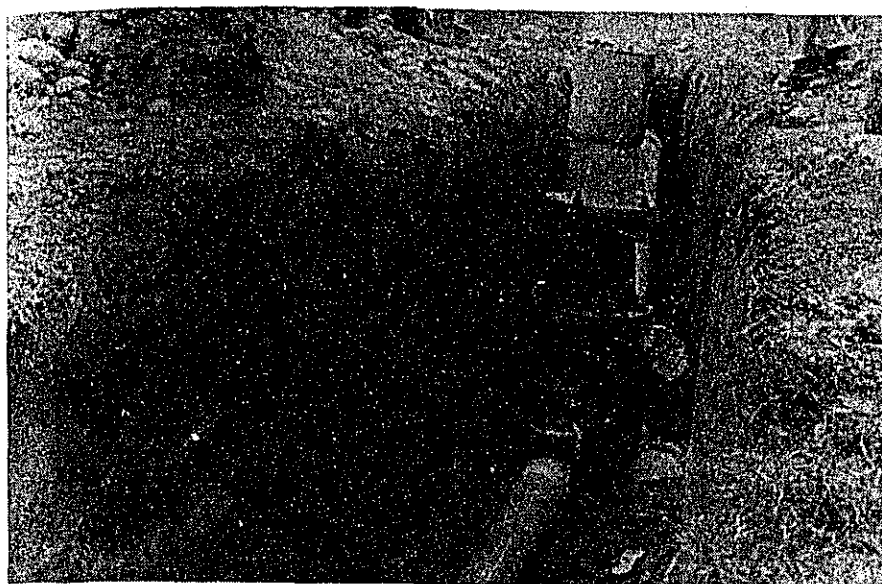


Fig. 2-11
Soil profile at
Servopesca on the
Rio de Lacramarca
alluvial plain.

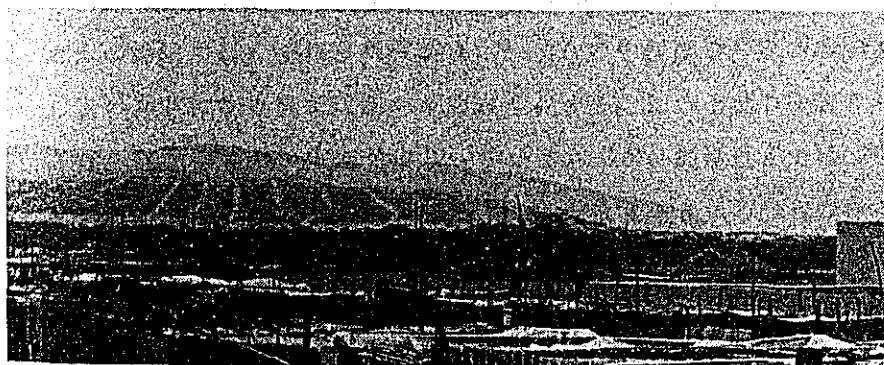


Fig. 2-12
Southern slope of
Co Tambo Real,
covered largely
by old eolian sand.
Houses on the slope
are Barrio San Pedro.

第 3 章 土 質 条 件

この地方の地盤条件を調べるために、先ず既存のボーリング及びさく井の資料が出来るだけ集められ、検討された(App. 4)。ついで、これらの資料及び地質踏査の結果に基づいて Fig 3-1 に示す 13 地点が選定され、ボーリング調査が行なわれた。ボーリングの深さは、大部分が地表面下 25 m である。このボーリングでは、各孔とも深さ 1 m 毎にスプーンサンブラーによる貫入試験を実施し、貫入抵抗の測定と試料採取が行なわれた。この貫入試験は、標準貫入試験と類似のものであるが、スプーンサンブラーの外径は 2.5" で、重錘の重量は 21016, 落高は 20" で、約 10 cm の予備貫入の後、30 cm 貫入に要する打撃回数 N' を記録する。この貫入試験と標準貫入試験との関係は、後に比較試験が行なわれ、標準貫入試験の N 値との間に $N = 0.88 N'$ なる関係が存在することが確かめられた。この他に、表層の土質や地下水位の調査のために、数地点において、深さ約 3 m までのハンドオーガーによるボーリングも実施された。スプーンサンブラーで採取された試料の中、合計 51 ケの試料については、実験室内での粒度試験が行なわれた(App. 3)。

ボーリング柱状図は N 値と共に図 3.2 (a) 及び (b) に示してある。なお、ボーリングの詳細な記録は App. 2 に収めてある。

チンボテ市の地盤は、前章に述べてある様に、主として厚い砂質土から成っている。大部分の地域では、上部に N 値が 10 ~ 30 の中程度の密度の砂があり、その下部に N 値 50 以上の非常に密な砂又は砂レキ層が存在する。この上部の砂層の厚さは海の方に向かって厚くなる傾向があり、内陸では 0 ~ 5 m であるが、海岸近くでは 10 ~ 20 m の厚さをもっている。F 部の密な砂層は、場所によっては 2 ~ 3 m の厚さのゆるい細砂層や堅い粘土層を挟んでいる。市の北及び南東で露出している基盤層は海の方に向かって急傾配で傾斜して居り、海岸近くのボーリング No. 11 付近では約 60 m の深さにある。

北部の港の一部ではゆるい砂で埋立てられた部分がある。又、市街地の中でも古い砂丘(図 2-1 の C_1, C_2, C_3)の間や、低地に接した一部の部分は、砂で埋立てられたものと思われるこれらの埋立て砂の密度は、自然の砂に較べるとかなりゆるい状態にあると考えられる。

地下水位の等深線は図 3.3 に示してある。地下水の深さは、一般に海岸に向かって減くなる傾向があり、海岸地帯や低地では地表に近く、1 ~ 2 m の深さにある。

一般に、砂は振動を受けると体積が圧縮される性質がある。この度の地震においても、砂の圧縮のために、広範囲の地域で地盤沈下が生じた。その詳細は 8 章に詳しく述べられているが、砂層の厚い程、又砂の密度が小さい地域程、地盤沈下は大きかった。地下水面下の砂が圧縮されると、間隙水がしぼり出され、地下水面の上昇や、上向きの水流を生ずることになる。このため、この地方の低地部では地震によって浸水し、又あるところでは

水が噴出するのが見られた。

ゆるい飽和砂では 地震中に相当量の圧縮が、非排水状態で生ずるので、間隙水の圧力上昇が起り、砂のせん断抵抗が減少し、時には液状になってしまう。この現象は砂の液状化として知られている。ボーリング No. 3 及び 11 において介在する約 2 m の厚さのゆるい細砂層は、この度の地震で液状化したものと思われる。この液状化した砂は地震中に、地下水と共に地上に吹き出した。しかしながら、この型の液状化は、地表面下数 m の安定した層の下の一部の砂に限られていたので、この上に存在していた建物には顕著な沈下は生じなかった。一方、先に述べたゆるい砂で埋められた地域では、液状化は地表近くにまで達した。このため、この地域では多くの建物が大きな沈下を生じた。この型の液状化は深い層から発生する上向きの地下水流も関係するものと思われる。たとえば、非常に密な砂でも深いところにあるものは、地震中に粒子が破砕して圧縮するので、地下水流を発生する可能性がある。従って、この型の液状化は表層にゆるい砂層がある場合に生ずるのであるが、砂層（不透水層を挟まない）が厚い地域程生じ易い。



Fig. 3-1 LOCATION OF BORINGS

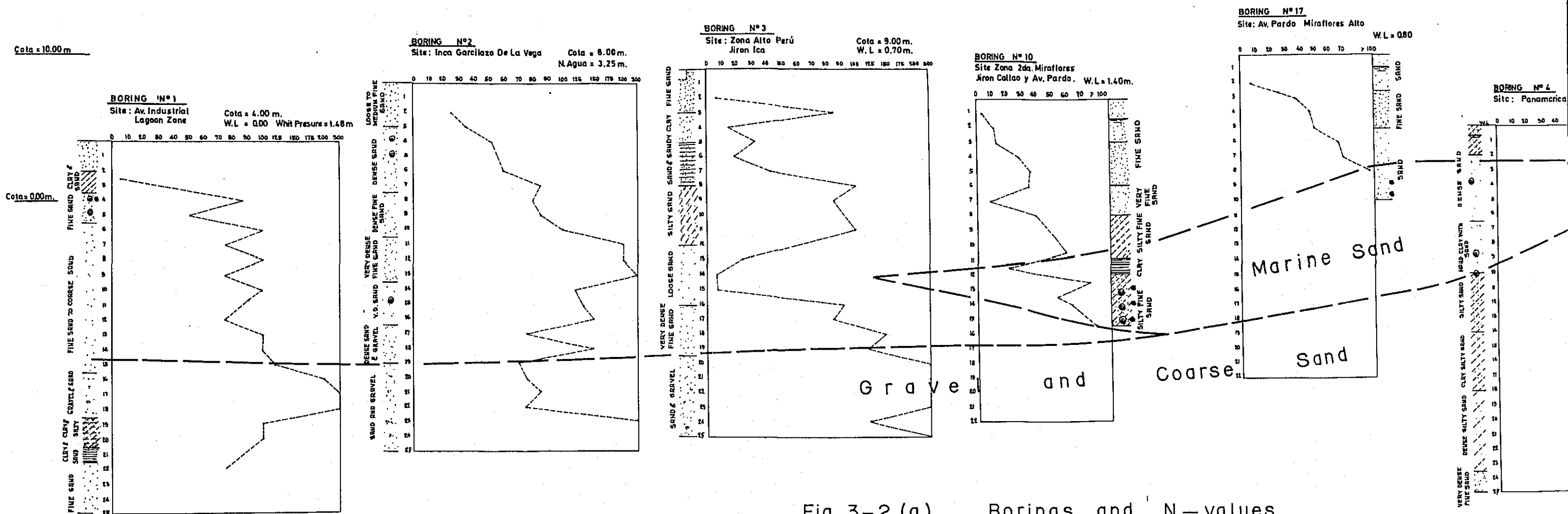
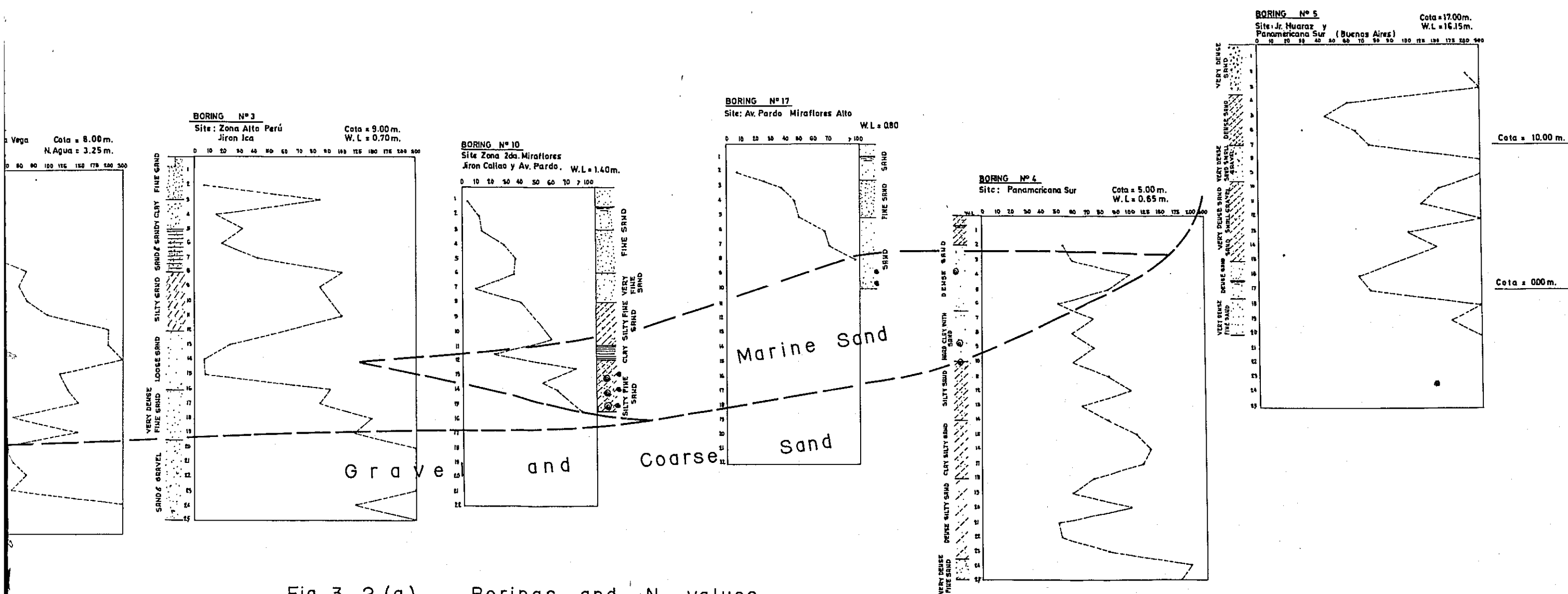


Fig. 3-2 (a) Borings and N-values



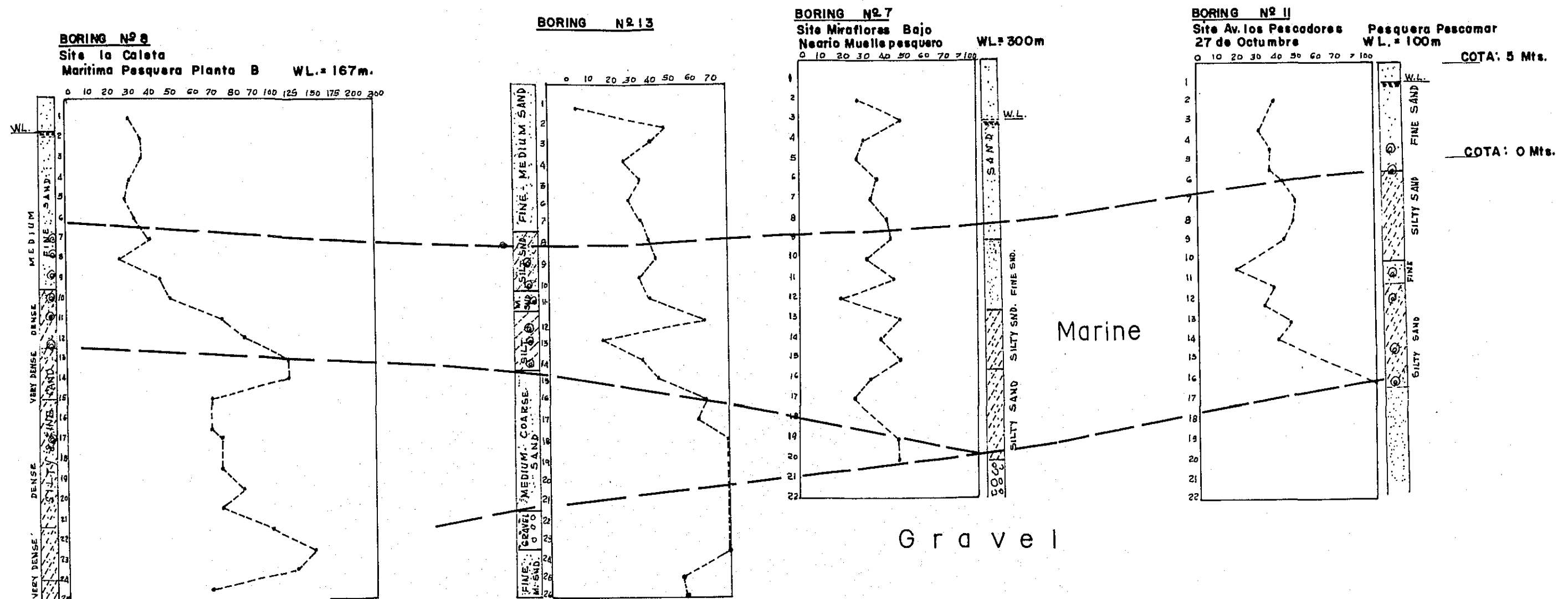


Fig. 3-2(b) Boring logs and N-values

MINISTERIO DE FOMENTO Y O. P.
 Direccion de O. Sanitarios
 Comision de Estudios y Proyectos de
 Agua Potable y Alcantarillado de Chimbote
 SISTEMA DE CAPTACION CON
 CURVAS A NIVEL DE LA NAPA
 FREATICA

Pozo Nº	Cota Napa
5	9.00 m
8	16.00 "
9	14.00 "
10	15.00 "
11	16.00 "
12	17.00 "
13	19.00 "
14	13.00 "
15	15.00 "
16	16.00 "
17	17.00 "

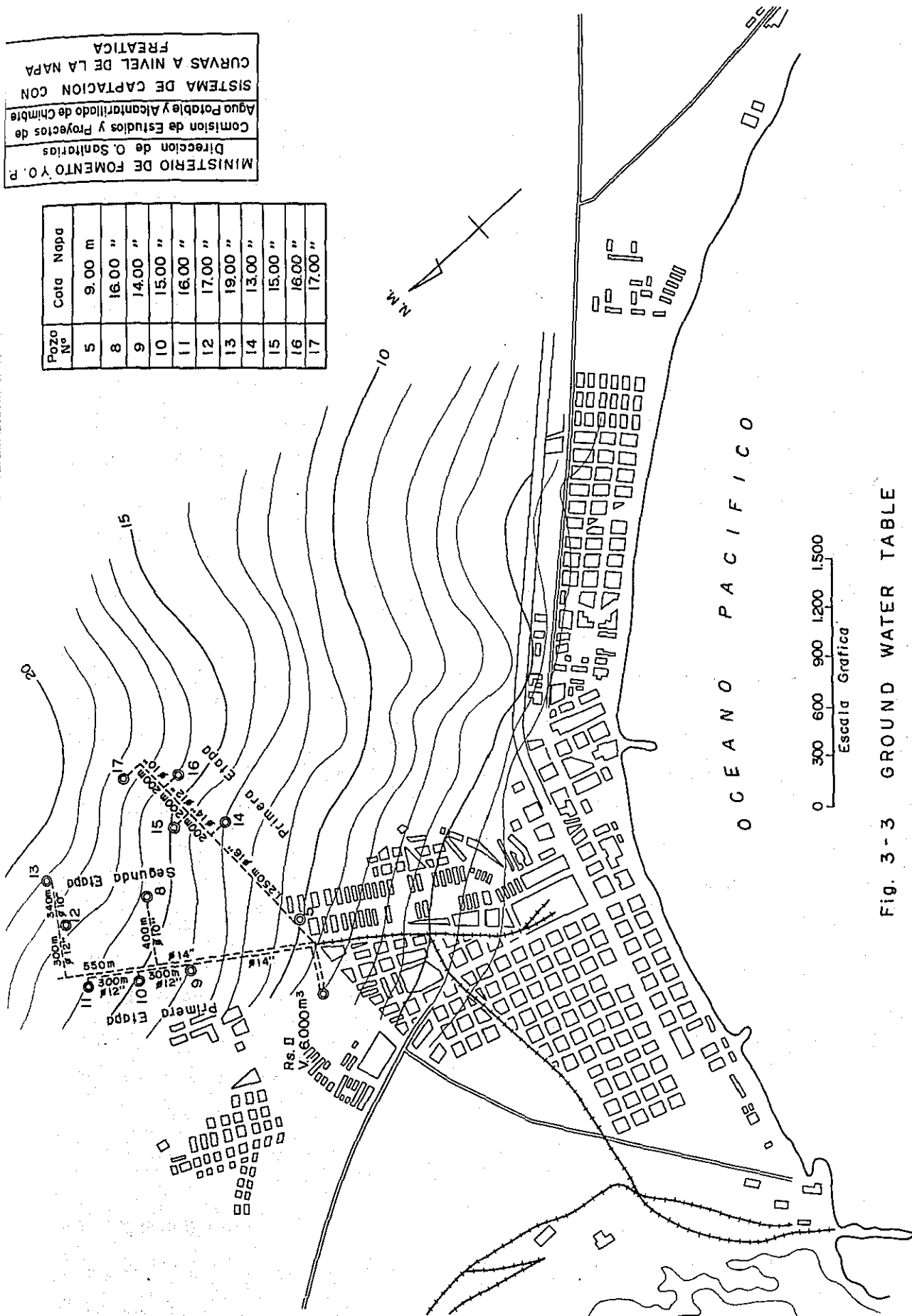


Fig. 3-3 GROUND WATER TABLE

第 4 章 地表面の常時微動測定

4-1 測定の目的

一般に、我々が構造物を建設する地表面付近は、地表面に近い程軟らかい土質でできており、地下深くは硬い岩盤となっている。地震の波動が震源を発して構造物を襲う場合、地盤が地表面程軟らかく波の伝播速度が小さいことのため、地表面に到達する時にはほぼ鉛直下方からやって来る。(Fig 4-1 参照)

地震波動がそのように完全に真下から来襲する場合には、地震は地表付近の軟弱層の中で反射をくりかえす所謂「多重反射」を起こし、地表面層は一種の共振振動を誘起されることになる。

地表面層が共振を起こす周期は、勿論その地盤固有のものである筈で、日本では古くから各種地盤上で多くの地震観測を行った結果、同一の地震であっても、異種地盤上で観測された地震動は異なった性質を持っていることが確認されており、しかも大体においてある特定の地盤で観測された地震には常に卓越した周期の振動成分が存在することが確認されている。

では、以上述べたようにある卓越した振動周期を持った地震が構造物に作用した場合どのようなことに注意しなければならないだろうか。

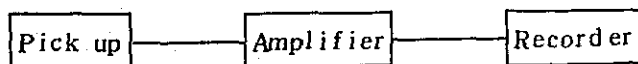
それは構造物の共振周期が地盤の卓越周期と一致しないようにしなければならないということである。

そして現在のところ地盤の卓越周期を求めるための方法として地表面の常時微動を測定することが一般に行われている。

これは、交通荷重、風、波、その他の原因で地盤は常に小さく揺れ動いているが、その地表面の常時微動の中にも地震時と同じようにその地表面固有の卓越周期が含まれているであろうとの観点から、この常時微動を測定し、その記録の適当な解析によってその地盤の卓越周期を得ようというものである。

4-2 測定装置

地表面の常時微動はその名の通り非常に振幅が小さく数ミクロンの程度なので、高感度の振動感振器を使い。その測定系は下図のようである。



4-3 測定結果と考察

常時微動の測定は、交通騒音などを避けるため主として午後 11 時より午前 5 時位までの深夜行われた。

測定器類は自動車につみ込まれ、一つの測定点を終ると他へ移動した。こうして観測された常時微動記録の若干は App. Fig. A-5 に示してある。

この微動記録の中に卓越している振動周期を見出すために、周期～頻度曲線を求めた。App. Fig. A-6 に頻度曲線の数例を示してある。

これらの周期頻度曲線の特長からチンボテ市の地表面の動特性は次に述べるような3地域に分類することができる。

1) チンボテ市北部地域

この地域にはサンペドロ部落、国立製鉄所などが含まれるのだが、この地域における地盤の卓越周期は、ほぼ 0.1 秒であって、地盤が非常に硬く締まっていることを示している。

2) チンボテ市中央部

この地域は、ラクラマルカ河の范濫原でかなり厚い沖積層があるが、常時微動の周期頻度曲線は北部地域のそれよりやや平坦となって卓越周期も 0.2～0.3 秒と多少長めとなっている。

地盤の動力学的考察からすれば、北部地域より地表層が軟らかいと言えよう。

3) チンボテ市南部

この地域は、ブエノス・アイレス地区ならびにパンアメリカン・ハイウェイを隔て海岸まで砂の平原になっている。この地域の常時微動頻度曲線の特長としては、卓越周期が1個ではなく複数現れていることであって、これは地表層が動的に一層またはそれに近いような単純な層と見なせず、かなり複雑な層の構成となっていることを示していると言えよう。

4-4 結 語

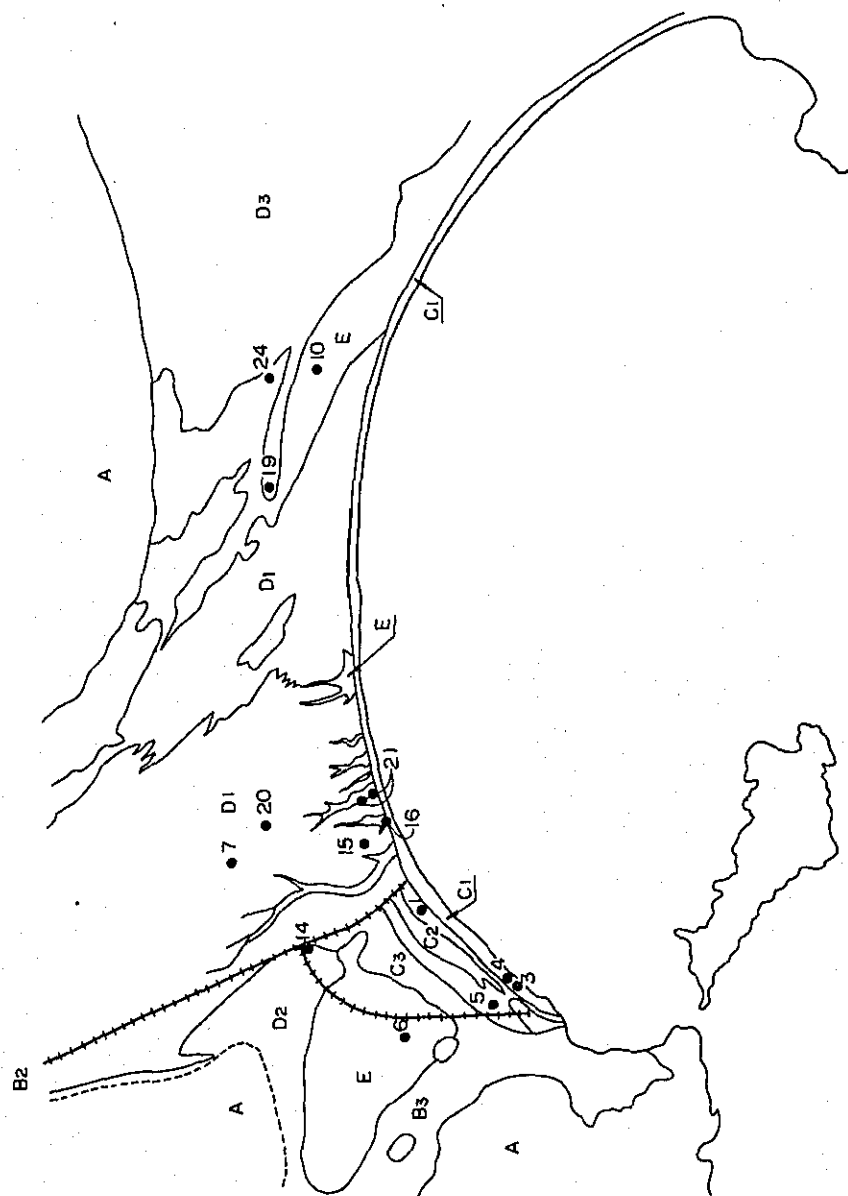
常時微動測定結果によって次のようなことが言えよう。考察においても述べたように、チンボテ市の地表層は動的に見た場合、3つの地域に分けられよう。

しかしながら、その卓越周期は大体において 0.3 秒以下であり、東京の 0.3～0.6 秒と比べるとはるかに短かく、沖積層とは言いながら固く締った表面層であることを示している。

この常時微動測定ならびに資料整理はペルー国住宅省監督官ビクトル・今野氏の指導のもとに国立工科大学学生の協力を得て行ったものである。

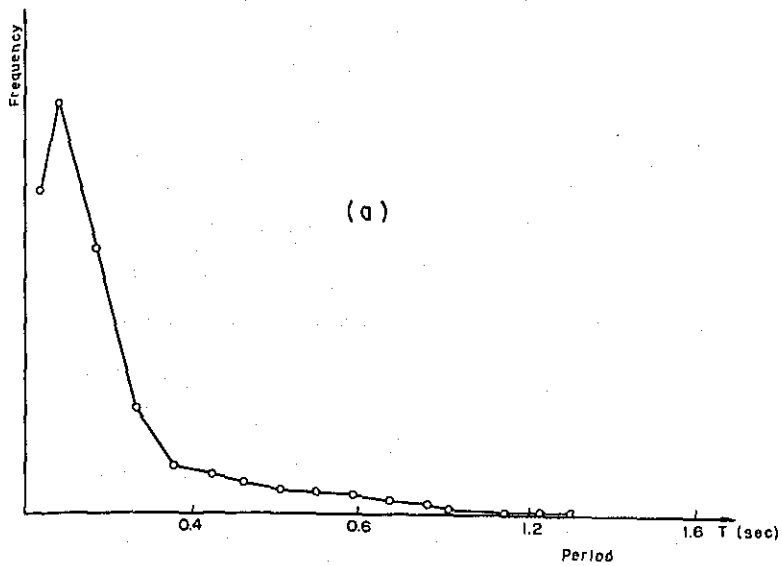


Fig. 4-1 RUNNING PATH OF EARTHQUAKE WAVE Fig. 4-2 MODEL OF GROUND SURFACE

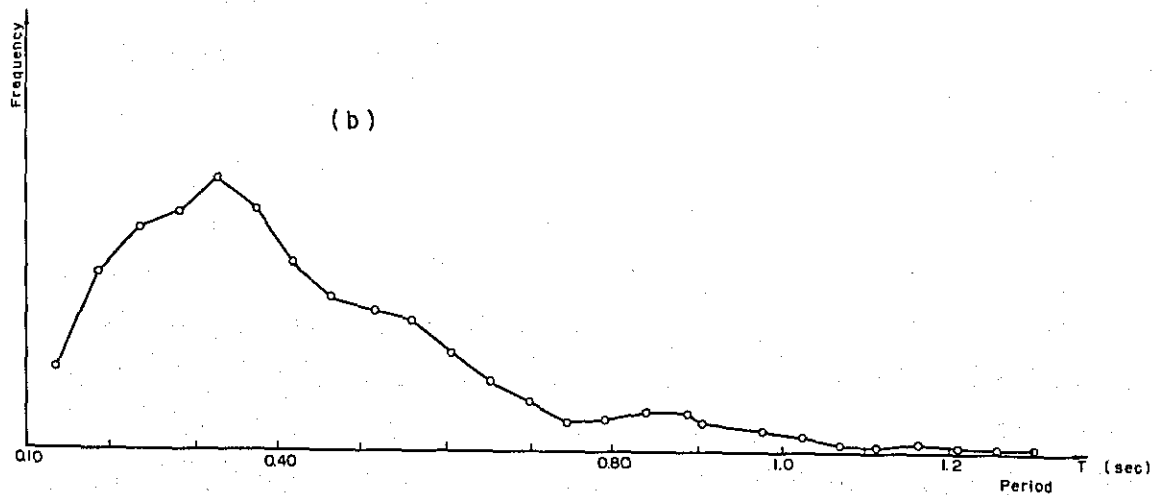


• Observation Point

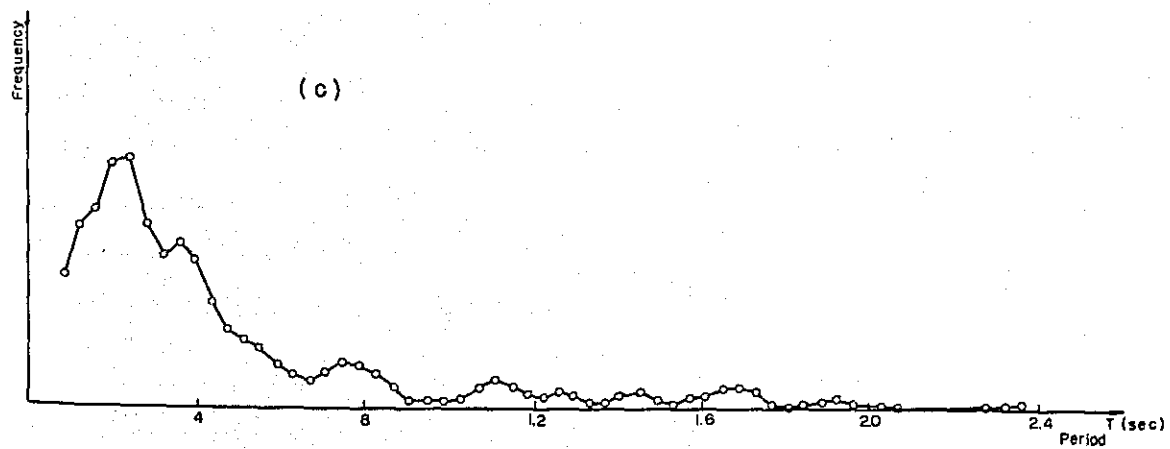
Fig. 4-3 OBSERVATION POINTS OF MICRO TREMOR



POINT No. 13 San Pedro
Pick No. 2



POINT No. 15
Jr. Union-Cuadro 6
Pick No. 1



POINT No. 24 (Barrio Villa Maria)
Pick No. 2

Fig. 4-4 PERIOD-FREQUENCY CURVES FOR MICRO-TREMORS

第 5 章 余 震 観 測

大地震が起った後は、しばらくの間余震が続くものであるが、この余震を利用してチンボテ市の地表における地震動特性を調べようと計画した。

第 4 章で述べた常時微動測定によって地表層の地震時動特性が調べられると言われているものの、矢張り直接地震動を測定しその周期特性を得るという方法の方が、数段優れていると思われる。

もっとも、平時にあっては、余震もなく仕方なしに微動測定を行うわけであるから、微動測定は次善の策であるが、間違った結果を与えるというものではない。

まず基準となる地震動を得るためにチンボテ市の北 10 km Koisko 村の露出した岩の上に地震計を一台据えた。そしてもう一台は、ボーリング掘削地点（ $\#1$ より $\#7$ まで）に据え、良好な記録が得られると次のボーリング地点に移動した。

こうして、ボーリング地点 $\#1$ から $\#7$ の測点で合計 8 個の余震が観測できた。ただし、 $\#6$ 地点では、地震計を安全に保護する装置が見付からなかったため観測できなかった。

これらの余震記録を周期頻度解析して測定地点での卓越周期を求めた。その結果では 0.2 秒以下、主として 0.1 秒程度の非常に短周期の振動が卓越していた。

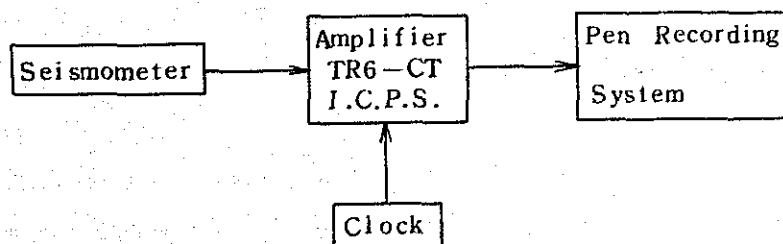
また、Koisko 村の岩盤上の標準同時記録と比べることにより、各ボーリング地点での加速度振幅の比を求めることができた。Koisko 記録は岩盤上加速度を示しており、各ボーリング地点記録は砂の沖積層上での加速度を示しておりその結果は非常に興味深いものであるが、後に詳しく述べるように、沖積層上の加速度は岩盤上に比べて振幅は半分程度であり、卓越周期も伸びていた。

この観測は主として、ペルー国地球物理研究所の協力で行なわれ、デサ氏の指揮する班がその任に当たった。

5-1 観測機器

本観測に用いた地震計は上下動速度計であり、増幅器を通して加速度出力としている。同一の性能を持った地震計 2 台のうち一台は基準として Koisko 村に設置し、他の一台を各ボーリング地点に置いた。

地震計を含む観測系の配置は下図のようである。



こゝに用いた TR6-CT 増幅器は周波数帯域濾波器を備えており、0.5, 1.5, 3, 6, 20 Hz 以上をそれぞれカットするようになっている。本観測においては 1.5 Hz 以上だけをカットした。

増幅率も選択できるようになっているが、今回の観測では、雑音振幅が 2 mm 以下になるように 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 2.5 および 5.0 それぞれの増幅率を用いた。一方、検定用電圧も 100, 200, 500, 1000 μ V が加えられるようになっている。

この地震計の振動減衰は通常の地震計に比べてかなり小さいので、記録された地震動に地震計の固有振動もかなり含まれている危険はかなりある。

記録の時間刻みは外部から時計によって印加した。余震がとれて記録紙を交換する度に、地震計出力を検定するために 1.5 ボルトのパルスを加え記録した。

5-2 観測と記録の解析

一つのボーリング地点で一乃至二の余震が記録された後、地震計を移動して観測を続けたわけであるが、全観測期間は 20 日間であった。余震観測を行った地点は Fig 5-1 に示してある。

余震が記録された後の解析は次に述べる二方法で行った。第一は地震主要動の 20 秒間の周期頻度分析であって、Tabl 5-1 に示してある 8 個の余震記録について行った。

これらの周期頻度曲線には通常一個のピークが認められたが、稀には二個のピークがあった。表 5-2 に示したように、製鉄所近くのボーリング点 1 地点が 0.22 と 0.28 秒、ボーリング点 2 地点が P 波について 0.072, 0.088 秒、S 波について 0.084 秒と非常な短周期であったのを除けば、他の観測点 3 から 7 の余震では Koisko 村の基準地震動とほとんど等しい 0.1~0.2 秒の卓越周期であった。

第二の解析としては、沖積層上の記録 SH 波の最大値と基準岩盤上の最大値との比を求めるということを行った。

基準岩盤上と沖積層上、両方の記録が良好な状態で得られたのは 4 組に過ぎなかったが、それ等について前述の比を求めた。その結果 Table 5-3 に示すように常に沖積層上の地震動は岩盤上より小さく、その比は 1.80~2.80 の範囲にあった。このように岩盤上の地震加速度が大きいということは、沖積層の内部摩擦によって地震波の高振動数成分が減衰するためではないかと思われる。

5-3 考 察

被害状況を見ると一般的に言って沖積層上にある構造物では、短かい固有周期の剛いものの方が柔らかいものより被害が少なく、岩盤上では逆に一階建の剛い構造がひどい被害を受けていたが、このことは本章で述べた余震観測結果で或る程度説明できるのではなかろうか。

つまり、沖積層上では地震加速度が岩盤上より小さくなるので、共振ということを考えなければ沖積層上では岩盤上より被害が軽くなってよいわけである。

勿論、沖積層上の構造物に被害がなかったわけではなく、全く別の地盤の破壊に起因する被害が生じていたことは他の章で述べる通りである。

何れにせよ、この余震観測結果からチンボテ市の地表面層は、岩盤とも大して動的には変わらないような硬い地盤であると思われる。

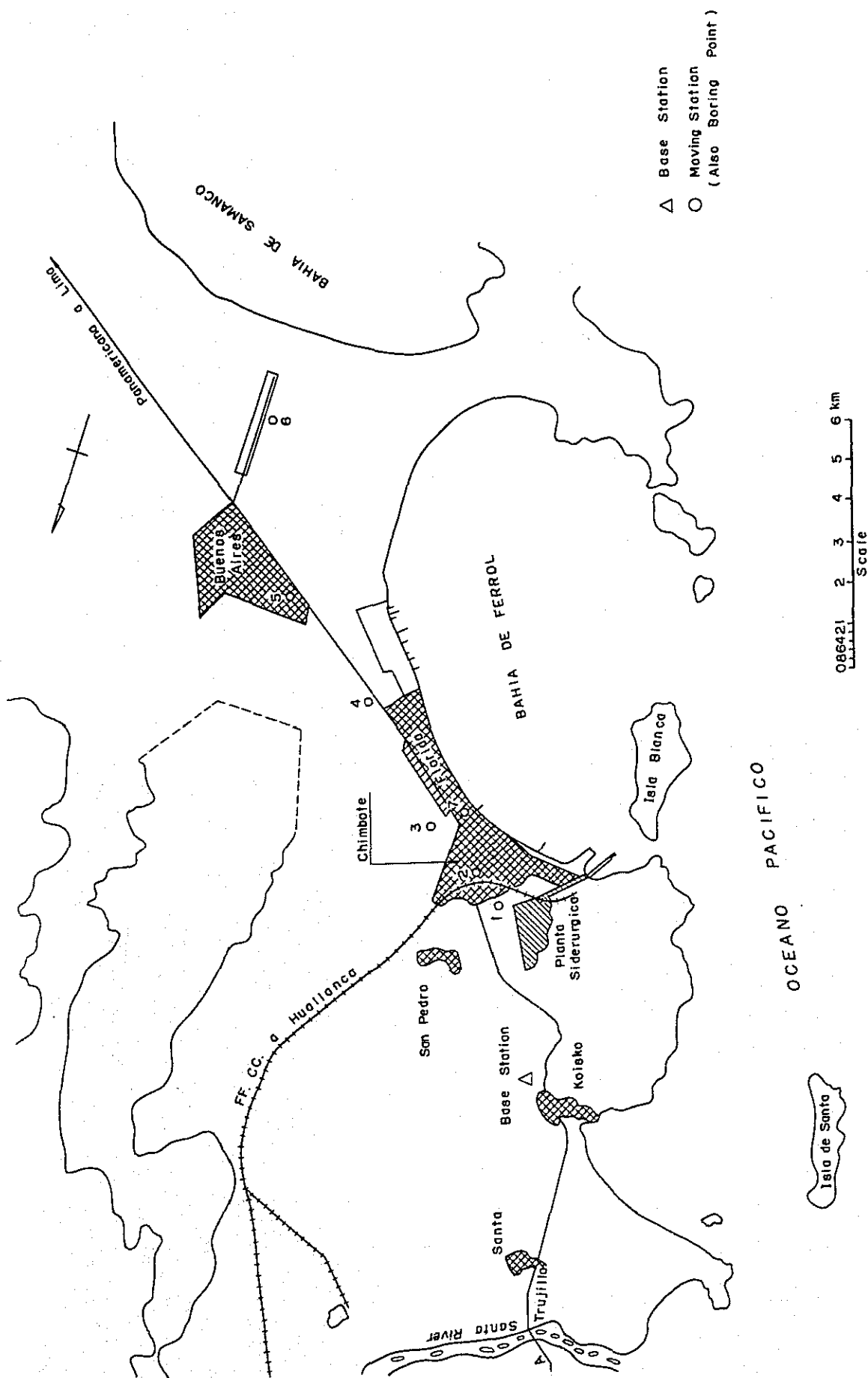
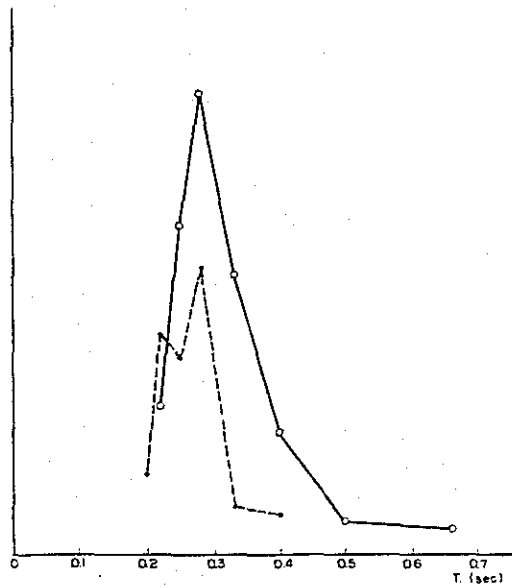


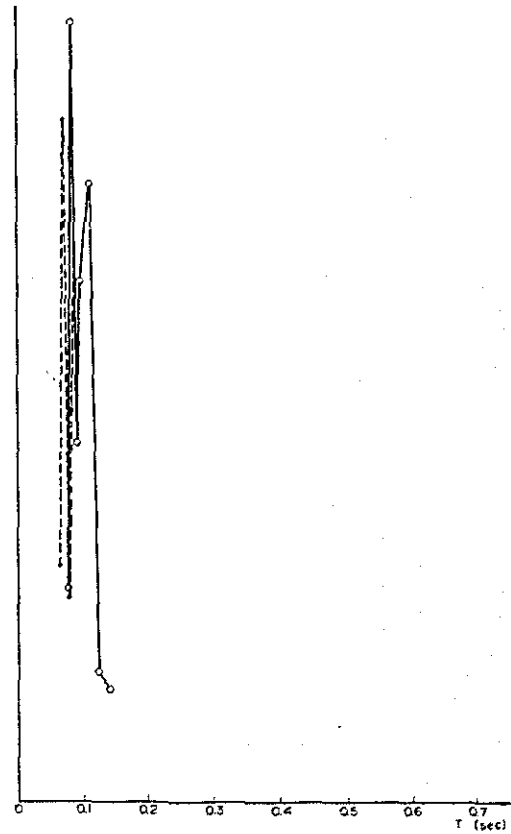
Fig. 5-1 OBSERVATION OF AFTERSHOCKS
LOCATION OF THE SEISMIC
STATIONS IN CHIMBOTE AREA



--- P Waves
 — SW Waves

POINT No. 1
 Aftershock No. 1
 Date GMT.
 August 07-1970 IP=042854.3
 Chimbo IS= 2907.3
 Near to Steel Factory

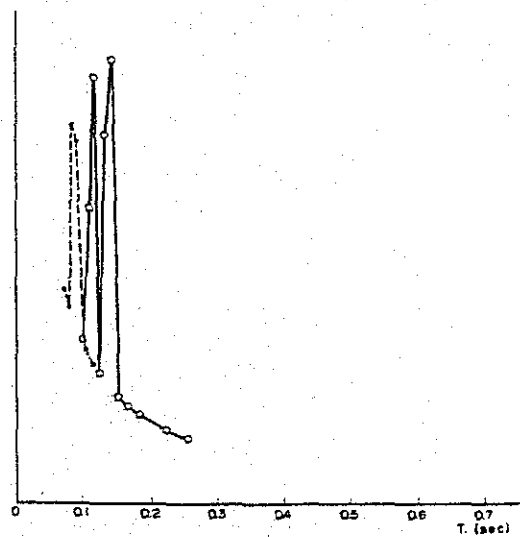
Fig. 5-2 (a) PERIOD - FREQUENCY CURVE



--- P Waves
 — SW Waves

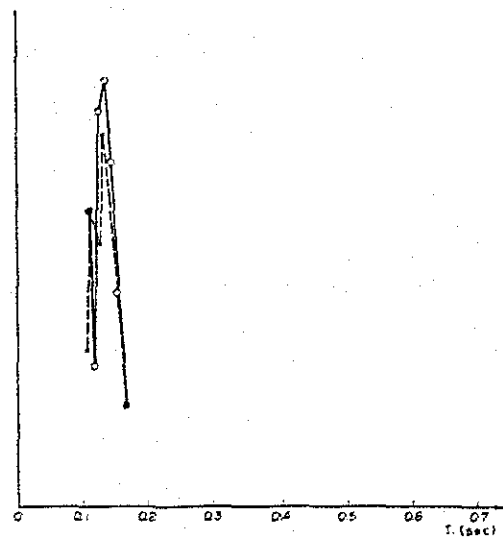
POINT No. 2
 Aftershock No. 2
 Date GMT.
 August 08-1970 IP=022140.9
 Chimbo IS= 2161.7
 Calle: Garcilaso de la Vega

Fig. 5-2-(b)



POINT No. 3
 Alto Peru - Chimbo
 Aftershock No. 3
 GMT.
 IP=064116.7
 IS= 4126.7

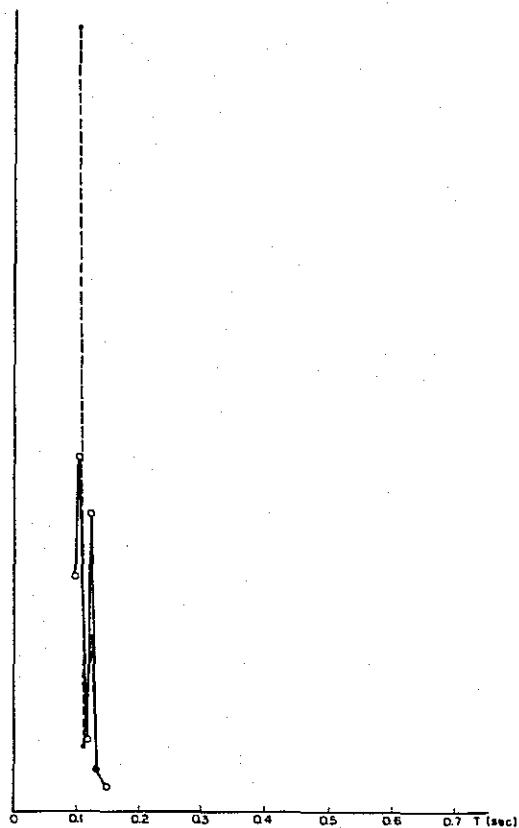
Fig. 5-2-(c)



--- P Waves
 — SW Waves

POINT No. 3A
 Alto Peru - Chimbo
 Aftershock No. 3A
 GMT.
 IP= 221151.4
 IS= 3204.2

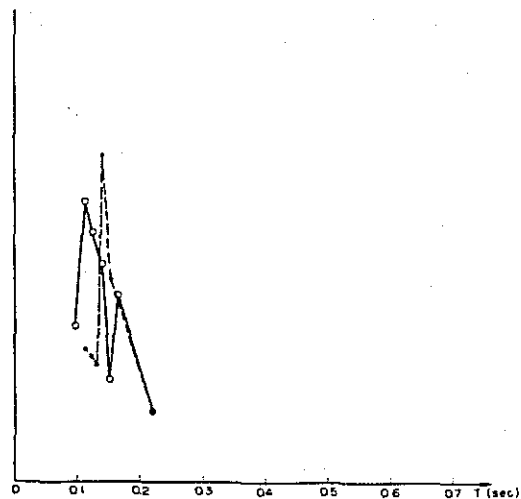
Fig. 5-2 (d)



POINT No. 34
 Kolsko - Chimbote
 Aftershock No. 3A
 GMT.
 IP = 221153.4
 IS = 1206.9

--- P Waves
 --- SW Waves

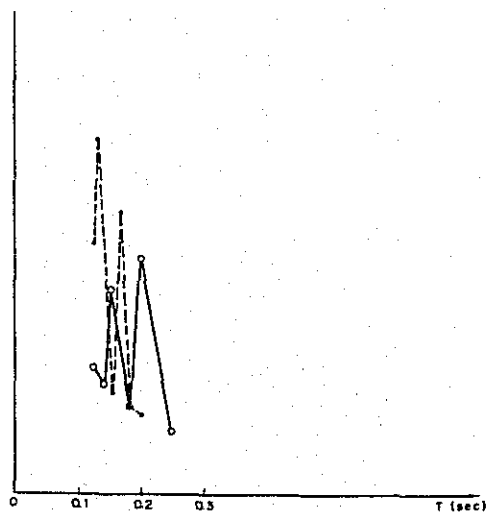
Fig. 5-2-(e)



POINT No. 4
 Panamericano - Chimbote
 Aftershock
 GMT.
 IP = 025927.6
 IS = 5937.3

--- P Waves
 --- SW Waves

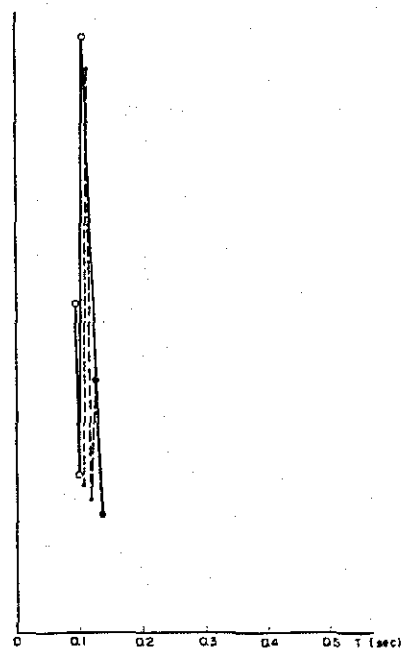
Fig. 5-2-(f)



POINT No. 4
 Kolsko - Chimbote
 Aftershock No. 4
 GMT.
 IP = 025927.5
 IS = 5937.0

--- P Waves
 --- SW Waves

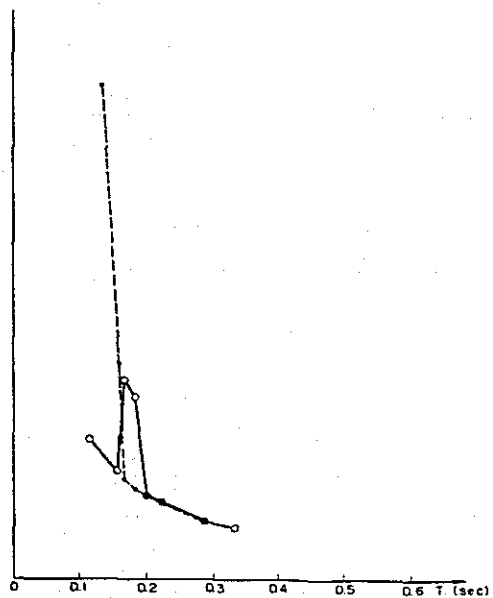
Fig. 5-2-(g)



POINT No. 5
 Buenos Aires - Chimbote
 Aftershock No. 5
 GMT.
 IP = 000832.35
 IS = 0841.4

--- P Waves
 --- SW Waves

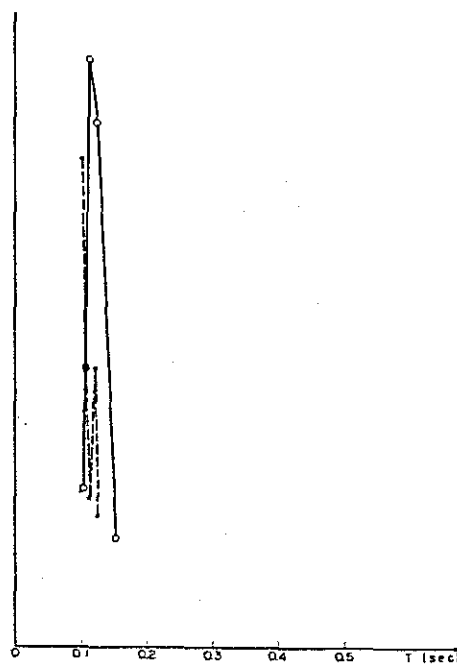
Fig. 5-2-(h)



POINT No. 5
Kaisko - Chimbote
Aftershock No. 5
GMT.
IP = 000831.1
IS = 0639.4

--- P Waves
— SW Waves

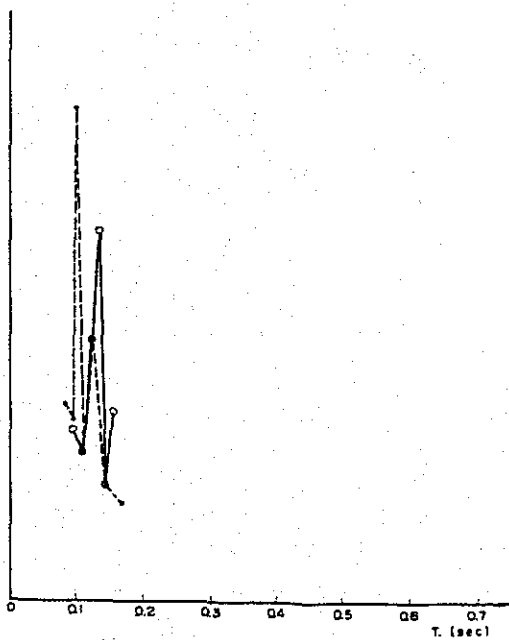
Fig. 5-2-(i)



POINT No. 5A
Buenos Aires - Chimbote
Aftershock No. 5A
GMT.
IP = 003708.8
IS = 3717.8

--- P Waves
— SW Waves

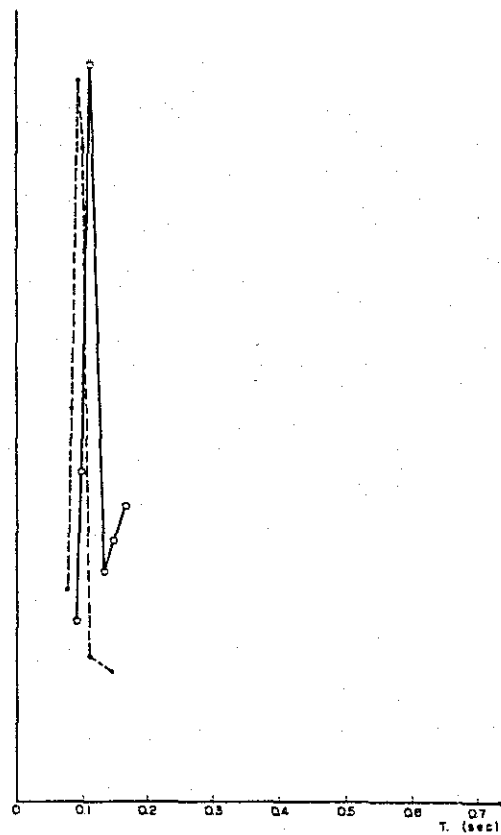
Fig. 5-2-(j)



POINT No. 7
Miramar - Chimbote
Aftershock No. 7
GMT.
IP = 212321.0
IS = 2332.3

--- P Waves
— SW Waves

Fig. 5-2-(k)



POINT No. 7A
Kaisko - Chimbote
Aftershock No. 7A
GMT.
IP = 212323.5
IS = 2336.2

--- P Waves
— SW Waves

Fig. 5-2-(l)

Table No. 5-1 Aftershocks Recorded in Chimbote Area

Boring points No.	Movil Station Place	Date	Phase and time time GM	S-P SEC	KM.	Base Station Koisko Phase and Tj-ME GMT	S-P	KM.
1	Cerca Sogesa	06-08-70	iP 042854.3 iS 2907.3	13.0	111			
2	Calle Garcila so de la Vega	08-08-70	iP 922140.9 iS 2151.7	10.8	88			
3	Alto Peru	10-08-70	iP 964116.7 iS 4126.7	10.7	87			
4	Panamericana	15-08-70	iP 020123.5 iS 0131.3	07.8	64			
3-A	Alto Peru	11-08-70	iP 221151.4 iS 1204.2	12.8	108	iP 221153.4 iS 1206.9	13.5	116
4	Panamericana	15-08-70	iP 025927.6 iS 5937.3	09.7	84	iP 025927.5 iS 5937.0	09.5	83
5	Buenos Aires	17-08-70	iP 000832.3 iS 0841.4	09.1	79	iP 000831.1 iS 0839.4	08.3	70
7	Miramar	20-08-70	iP 212321.0 iS 2332.3	11.3	93	iP 212323.5 iS 2336.2	12.7	107
5-A	Buenos Aires	17-08-70	iP 003708.8 iS 3719.9	09.1	79	iP 003708.8 iS 3720.0	09.2	80

Table No. 5-2 Predominant Period of Aftershocks in Chimbote Area

Boring point and After-shock No.	Place	Predominant Periods in seconds				Predominant Periods Nase Rock - Koisko			
		P-waves		SV-waves		P-waves		SV-waves	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	near Sogesa	0.22	0.28	0.28	-	-	-	-	-
2	Garcia de la Vega	0.072	0.088	0.084	0.111	-	-	-	-
3-A	Alto Peru	0.111	0.133	0.111	0.133	0.105	0.125	0.125	0.125
4	Panamericana	0.144	-	0.118	0.168	0.132	0.168	0.154	0.200
5	Buenos Aires	0.111	0.125	0.105	-	-	-	-	-
5-A	" "	0.100	0.118	0.111	-	0.134	-	0.168	-
7	Miramar	0.100	0.125	0.132	-	0.142	-	0.162	-

Table No. 5-3 Ratio of Amplitudes of SV waves

Boring point No.	Mobile Station place	Mobile Station maximum amplitude in uV : A	Base Station Koisko amplitude in uV : Ao	Ratio $\frac{Ao}{A}$	Mangification	
					A	Ao
3-A	Alto Peru	1042	1875	1.80	2.5	2.5
4	Panamericana	2185	4650	2.12	1.0	1.0
5-A	Buenos Aires	2105	5680	2.80	0.5	1.0
7	Miramar	1724	4645	2.70	0.5	1.0

第 6 章 地表地震動の計算

6-1 計算の目的

既に述べたように、地震は地表に殆んど真下からやって来るので、地表層の振動は「多重反射理論」で説明できる。

一方、過去の震害調査から、地震が一つの町を襲った場合、町の中に被害の軽重の分布があることが見出され、それが地表層の違いに原因するとの説がある。

この説と「多重反射理論」を結びつけ、同一市街地であっても、地表の振動を計算することによって、各地点の地震動の強さを推定することができるわけである。

日本では現在こういう考え方で地表の振動を計算する場合、仮定する基盤層への入力地震波の違いで二種の方法が使われている。

一つは基盤に定常白色雑音を入力地震として仮定するもので、他の一つは過去の実際に記録された地震をその記録地点の基盤層まで戻して、それを計算しようとする地盤の基盤に入れてやり地表振動を「多重反射理論」で計算してやろうとするものである。

前者は東大地震研究所嶋悦三教授により行われている方法であり、後者は東京工業大学小林啓美教授が計算方法を簡便にして主として工学者の間で用いられている。

6-2 地表層の白色雑音地震に対する応答

Fig 6-1 に示したように地表層をモデル化し、各層中の減衰をも考慮して次のように計算方法を導く。

いま、層の剪断剛性率を次のような複素形式で与える。

$$G^* = G + iG' = G \left(1 - \frac{i}{Q} \right)$$

$$\text{よって } G'/G = Q^{-1}$$

Q の値が定数とすれば、地表一層の場合の周波数応答スペクトル A は次式のように表わされる。

$$A = \frac{2}{\left| \cos \frac{\omega H}{V_1^*} + i \frac{\delta_1 V_1}{\delta_2 V_2^*} \sin \frac{\omega H}{V_2^*} \right|} \dots\dots\dots (6-1)$$

よって V_i^* は次の V_i, Q_i との関係式によって求められる。

$$V_i \Rightarrow V_i \left(1 - i \frac{1}{2Q_i} \right)$$

(6-1) 式から地表面の振幅は地震振動数 ω 、層厚 H 等の関数であることが知られる。そして、 ω のみを変数として (6-1) 式を求めると、通常 A の値は或る ω の値のところで極大値をとり、このことは地表層の共振を示すものである。

(6-1) 式は地表層が一層の場合を示しているが、多層の場合にもほとんど同様の表

示式を得る。

計算結果

チンボテ市では、10 数ヶ所のボーリングならびに貫入試験をしたので各地点での N 値が求められた。しかし、我々は弾性波試験は行わなかったので、次のように N 値から近似的な弾性波速度を求めなければならなかった。

N 値から S 波速度を求めるための実験公式は日本だけでも多く提案されているが、それらの一つである次式を採用した。

$$V = 76 N^{0.36} \quad (\text{m/sec})$$

上式を用いて、(6-1) 式中の V を求め地表面の周波数応答関数を求めたが、その数例を Fig 6-2 に示す。それぞれのピークが地盤の卓越振動数を示している。

計算結果の考察

Fig 6-2 の横軸は入射地震波の振動数を示しており、縦軸は地表面における振動の増幅率である。

すなわち、地下の基盤にきた地震の何倍地表では揺れるかを示す値である。

参考のためにこの増幅率は、地表に層がなく岩盤が地上に露出している場合には理論的には 2.0 という値をとる筈である。

今、仮に入射地震波が白色雑音ならば、Fig 6-2 で与えられた応答スペクトルは地表の地震動の持っている振動数成分を示すこととなる。

Fig 6-2 から知られるように各点の卓越振動数すなわちピークはほぼ 3 ~ 7 Hz であって常時微動測定結果ならびに余震観測結果とほぼ一致していることがわかる。

また、応答スペクトルのピークが高く鋭い程、地表面振動には地盤の卓越周期が現れ易くなる。

6-3 過去の地震記録を入力とする方法

この方法は、過去に世界各地で得られた強震記録を適当に処理して入力地震波とするわけである。

強震記録をそのまま使えない理由は、既に何回も述べたように地震動は観測点の地表層の動的性質の影響を非常に受けるため、地表面で観測された強震記録はその観測点の地表層の下に基礎岩盤に入射して来た地震波とは大いに異なっているわけである。

従って「多重反射理論」に基づいて、一旦観測点の基礎岩盤への入射地震波に戻してやって、それを計算入力地震波としなければならない。

地表層は何れも地表に平行な水平層であると仮定し、下から水平方向剪断波が上昇して来ると仮定する。

その場合剪断波の運動方程式は (6-2) のように与えられる。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (6-2)$$

ここに μ : 層の剪断弾性係数

ρ : 層の単位体積当り質量

(6-2) 式の解は次のように (6-3) 式で与えられるが, これは F_1 , F_2 , 二種の波動の伝播を示している。

$$U = F_1 \left(t - \frac{x}{v} \right) + F_2 \left(t + \frac{x}{v} \right) \quad \dots\dots\dots (6-3)$$

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

多層地盤内ではこの波は, 各層の境界で反射, 屈折を繰り返すが, その反射波, 屈折波の定量的関係は (6-4) 式の通りである。

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{2}{1+\alpha} F_1 + \frac{\alpha-1}{1+\alpha} G_2 \\ G_1 &= \frac{1-\alpha}{1+\alpha} F_1 + \frac{2\alpha}{1+\alpha} G_2 \\ \alpha &= \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} \quad \dots\dots\dots (6-4) \end{aligned}$$

最初の二式を変形して,

$$\begin{aligned} F_2 &= r F_1 + \beta' G_2 \\ G_1 &= \beta F_1 + r' G_2 \quad \dots\dots\dots (6-5) \end{aligned}$$

ここに, $U_1 = F_1 + G_1$, $U_2 = F_2 + G_2$ F_k は, K層における上昇波, G_k はK層における下降波である。 r は屈折係数, β は反射係数である。

Fig 6-3 に示したような多層地盤のモデルに (6-4) 式を適用すれば次に示すような (6-6) 式が得られる。

この式で添字 K は K 層中の諸量を示し, F_0 は基盤に加えられた入射地震波である。

$$\begin{aligned} G_1(t) &= F_1 \left(t - \frac{H_1}{V_1} \right) \\ F_1(t) &= r_1 F_2 \left(t - \frac{H_2}{V_2} \right) + \beta'_1 G_1 \left(t - \frac{H_1}{V_1} \right) \\ G_2(t) &= \beta_1 F_2 \left(t - \frac{H_2}{V_2} \right) + r'_1 G_1 \left(t - \frac{H_1}{V_1} \right) \\ F_2(t) &= r_2 F_3 \left(t - \frac{H_3}{V_3} \right) + \beta'_2 G_2 \left(t - \frac{H_2}{V_2} \right) \\ G_k(t) &= \beta_{k-1} F_k \left(t - \frac{H_k}{V_k} \right) + r'_{k-1} G_{k-1} \left(t - \frac{H_{k-1}}{V_{k-1}} \right) \end{aligned}$$

$$F_k(t) = r_k F_{k+1}(t - \frac{H_{k+1}}{V_{k+1}}) + \beta_k G_k(t - \frac{H_k}{V_k})$$

$$G_n(t) = \beta_{n-1} F_n(t - \frac{H_n}{V_n}) + r'_{n-1} G_{n-1}(t - \frac{H_{n-1}}{V_{n-1}}) \quad \dots\dots (6-6)$$

$$F_n(t) = r_n F_0(t) + \beta'_n G_n(t - \frac{H_n}{V_n})$$

(6-6)式によってすべての F_k, G_k はその前の時刻の F_k, G_k から計算されることになる。従って地表層の振動は(6-6)式を使って Step by Step に計算できることになる。

(6-6)式において波動の次元に関する制約はないから、入力地震波は加速度であろうと速度、変位であろうと関係なく(6-6)式により計算される。勿論計算された地表層振動は入力地震波の次元と同一の次元を持つことになる。

入射地震波

既に述べたように、(6-6)式の F_0 すなわち基盤にやって来る入射地震波としては、過去の強震記録からその観測地点の基礎岩盤への入射地震波を「多重反射理論」で計算してやりそれを用いた。

実際に使った強震記録としては i) El Centro地震 ii) Taft地震の二種を用いた。それぞれの地震動を基盤層に戻す作業は既に数年前に東大地震研究所大沢胖教授、田中貞二講師が済ませていたので、その結果を借用させて頂いた。

N値からS波速度の推定

既に述べたように地表層の剪断波速度を求めるためには、各種弾性波試験が必要なことは言うまでもない。

しかし、チンボテ市においては試験装置が手に入れ難かったことのためその種の試験が行えなかったので、ボーリング貫入試験より得られたN値から間接的にではあるがS波速度を推定することを試みた。

その結果、次に示すような実験式を用いた。

$$V_s = 76 \times N^{0.36}$$

なお、(6-6)式によって地表振動を計算する際に、電子計算機の記憶容量との関係から、地表層の数としては4層とすることにし、N値の分布を考え4層にモデル化して、層内ではN値の平均をとりその平均値からS波速度を計算した。

計算結果

計算結果の一例をFig 6-4に示すが、図には基盤に加わる入射地震波 F_0 、各層の振動ならびに地表振動の様子が描かれているが、我々は図から入射地震波が各層を上昇して行くにつれて変形し増幅されて行く様子をはっきり認めることができる。

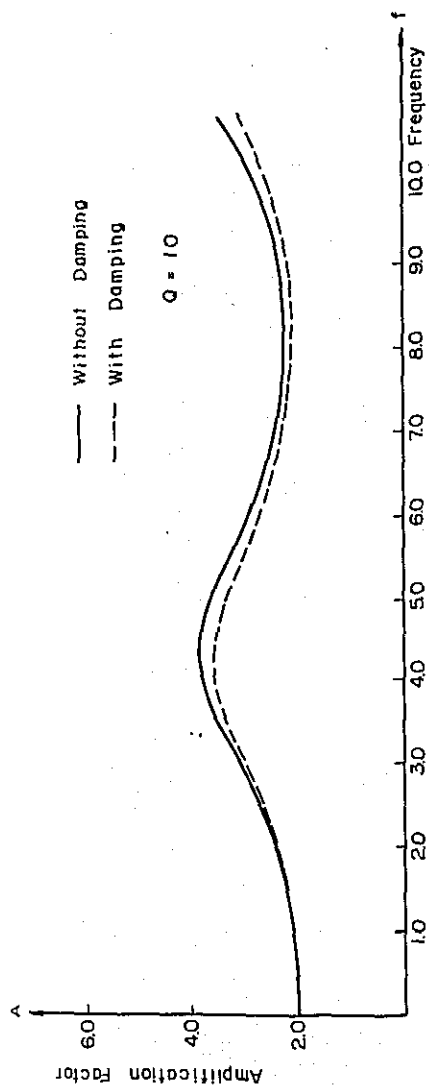
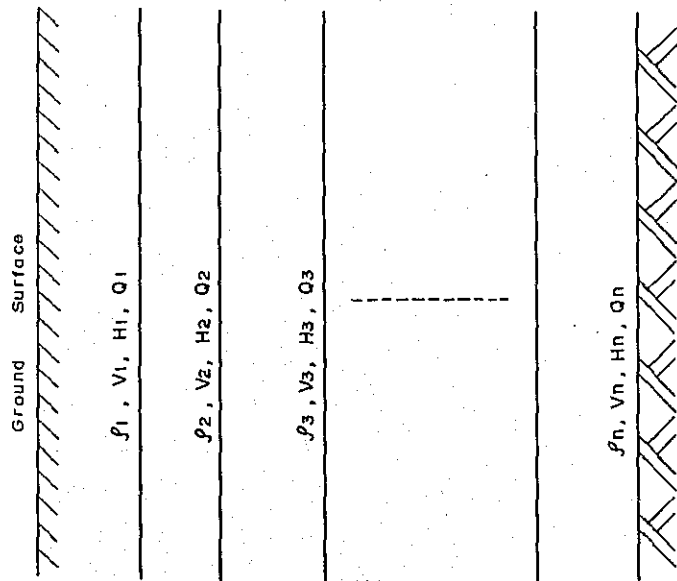
次に、各ボーリング地点で地下25mの基盤の入射地震波の最大値と、地表面地震波の最大値の比をとり、それを一覧表にしたのがTable 6-2である。

6-4 考 察

入射地震波の最大値と各地点の地表地震の最大値の比は、計算地点が同一であっても入射地震波によって多少の差異はあるが、大体において2.0 ～ 3.0の範囲に収まっている。

ボーリングNo 1 地点と No 17 地点の振幅比は多少、他の地点に比べて値が大きい、これは両地点の地表極く近くの土質がN値から判断して軟弱なためと思われる。

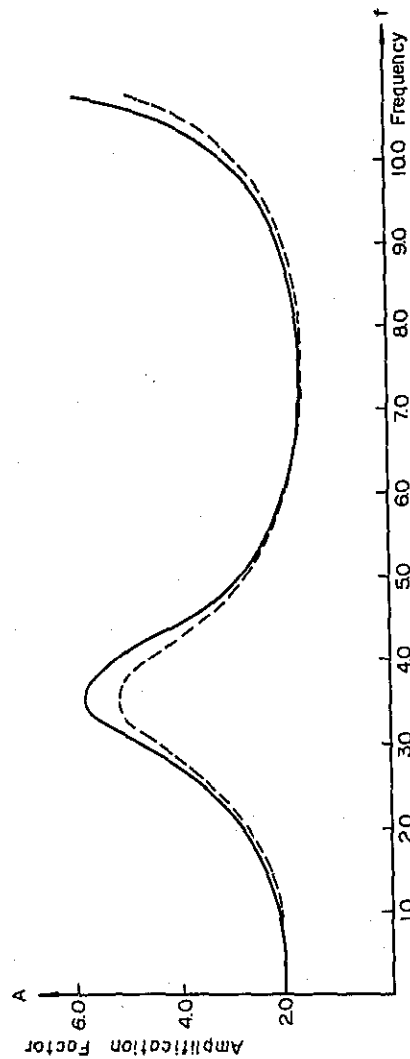
この計算結果から一般的に言えることは、チンボテ市の地盤は日本の都市に比べて非常に硬いということである。たとえば、N値が 23 なり 35 なりというように値そのものは違っていても、このような 20 を越えた領域での差異は、地表層の地震動にはほとんど何の影響も持たないということなのである。



Boring No. 2

Fig. 6-2 (a)

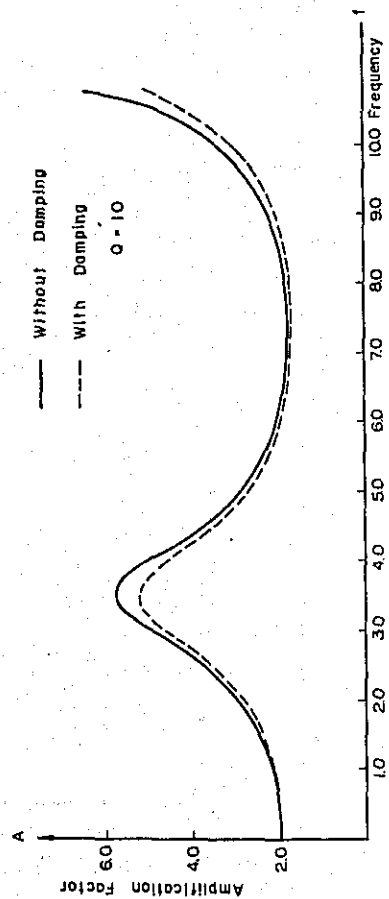
SPECTRAL RESPONSE WITH DAMPING



Boring No. 3 Case 1, 2

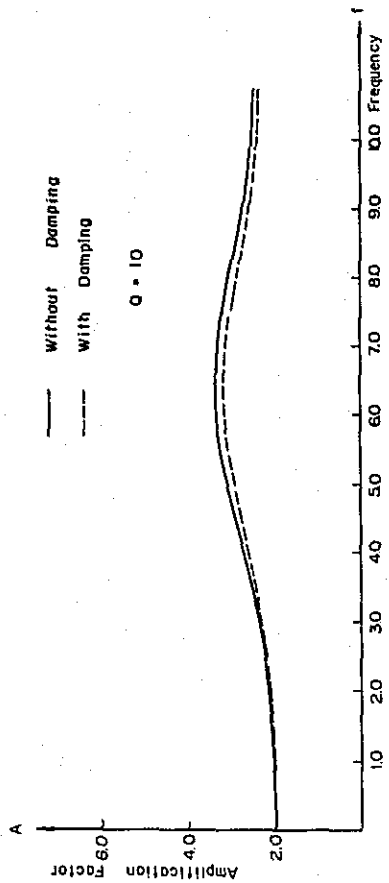
Fig. 6-2 (b)

Fig. 6-1 MULTI-LAYERED GROUND SURFACE



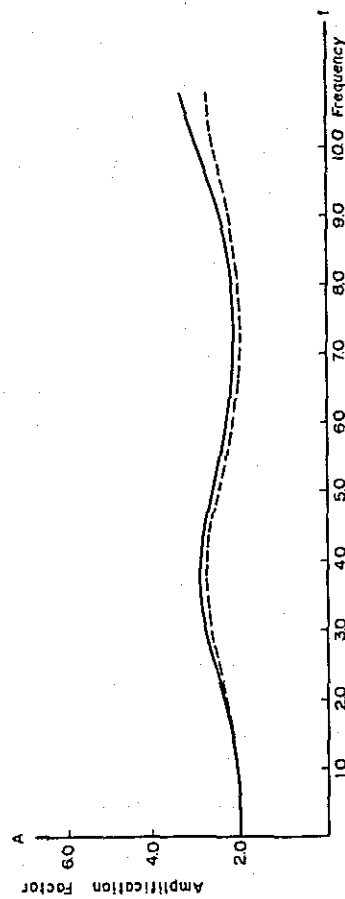
Boring No. 3 Case 3.4

Fig. 6-2 (c)



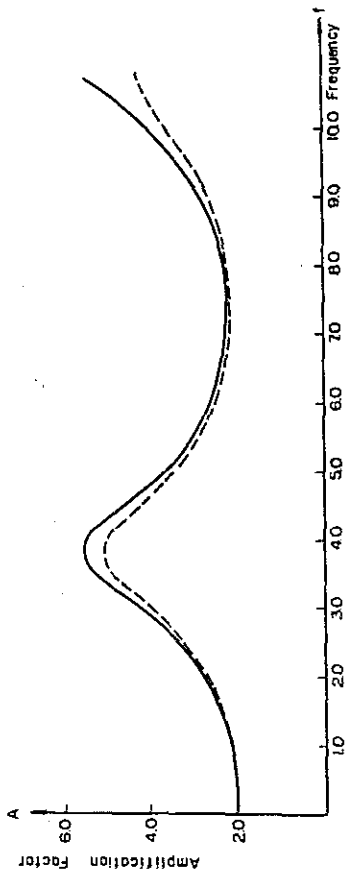
Boring No. 5

Fig. 6-2 (e)



Boring No. 4

Fig. 6-2 (d)



Boring No. 7

Fig. 6-2 (f)

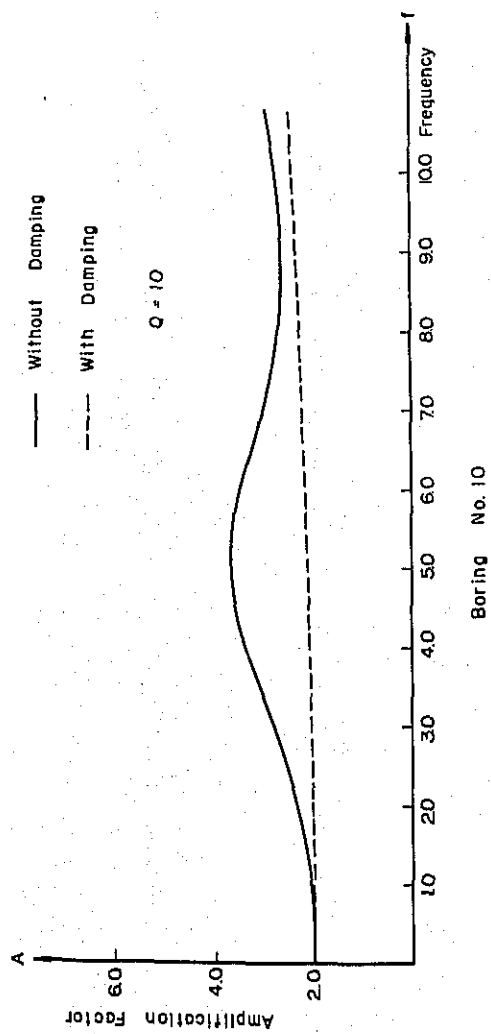


Fig. 6-2 (g)

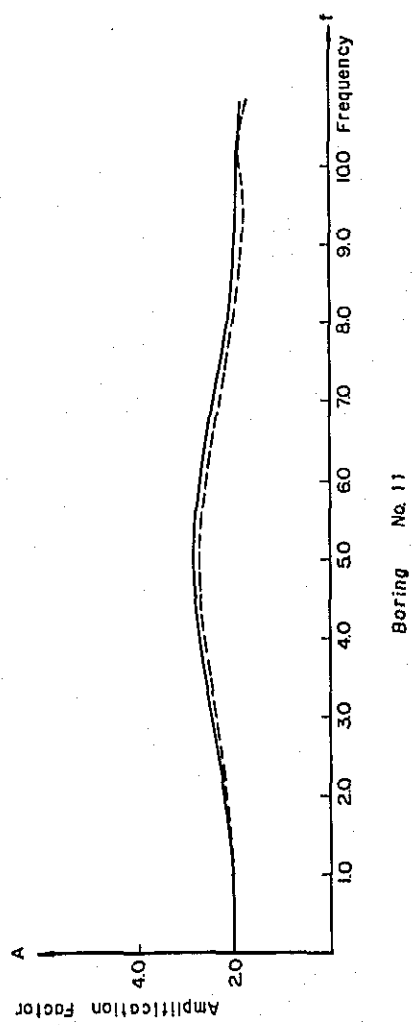


Fig. 6-2 (h)

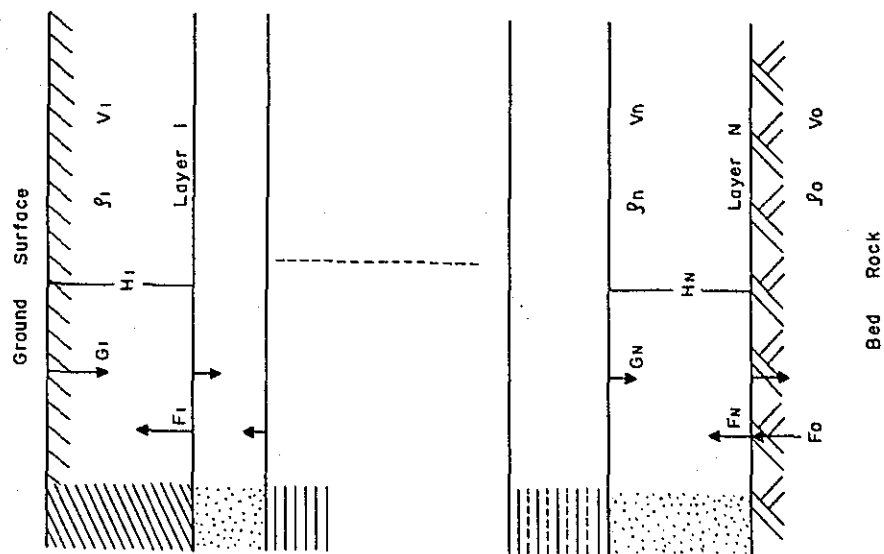


Fig. 6-3 REFLECTION IN MULTI-LAYERED SURFACE

Point : Boring Number 3, INCIDENT WAVE : TAFT, REDUCED TO ON THE BASE ROCK

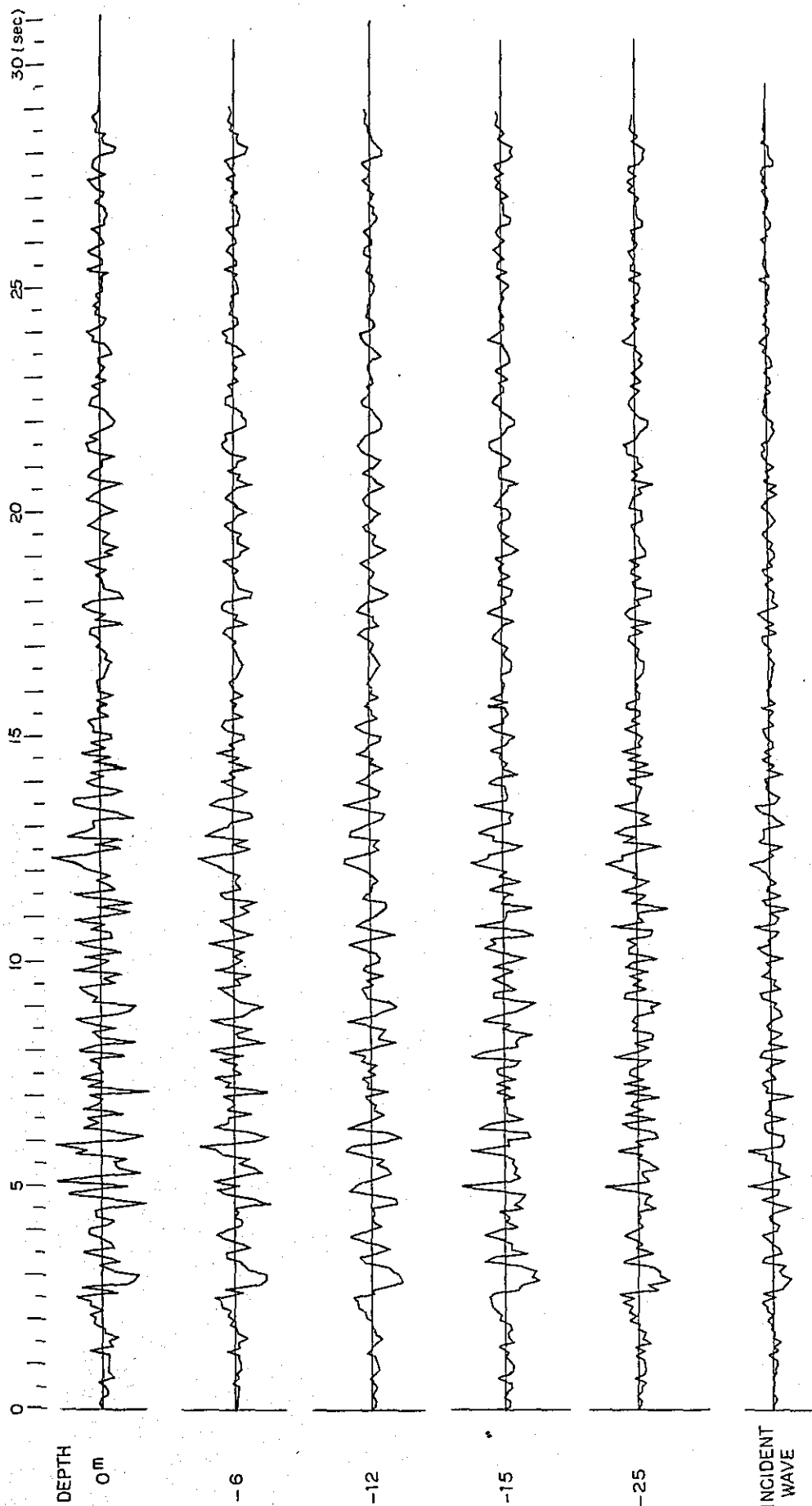
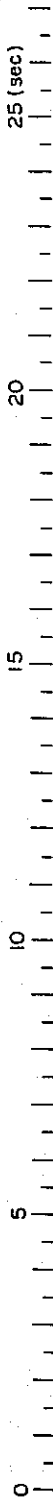


Fig. 6-4 (a) Response of Ground Surface Layers to Earthquake Input

Point : Boring Number 3 INCIDENT WAVE : EL CENTRO NS, REDUCED TO ON THE BASE ROCK



N-VALUE DEPTH

0^m

24

-6

50

-12

13

-15

50

-25

70

INCIDENT
WAVE

Fig. 6-4 (b) Response of Ground Surface Layers
to Earthquake Input

Table 6-1 Adopted Parameters for Computation

Boring number	Density of soil ton/m ³	Thickness of layer m	Averaged N-value
1	{ 2.0 2.0 2.2	3.5	6
1		21.5	50
		Base Rock	70
2	{ 2.0 2.0 2.2	3.5	30
		21.5	50
		Base Rock	70
3	{ 2.0 2.2 2.0 2.2 2.2	6.0	24
		6.5	50
		2.5	13
		10.0	50
		Base Rock	70
4	{ 2.2 2.2	25.0	50
		Base Rock	70
5	{ 2.2 2.2 2.2	5.0	50
		20.0	50
		Base Rock	70
7	{ 2.0 2.0 2.0 2.2 2.2	9.5	37
		4.0	38
		5.0	38
		6.5	50
		Base Rock	70
8	{ 2.0 2.0 2.2 2.2 2.2	6.0	32
		4.23	37
		6.22	55
		8.55	70
		Base Rock	70
11	{ 2.0 2.2 2.0 2.2 2.2	5.5	36
		4.5	47
		2.3	31
		12.7	46
		Base Rock	70
17	{ 2.0 2.2 2.2 2.2	2.0	5
		3.0	44
		20.0	70
		Base Rock	70

Table 6-2 Ratio of Max. Acceleration of Ground Surface to Max.
Acceleration of Incidental Wave

	Max Acc.	Ratio of Max. Acc. of Ground Surface to Max. Acc. of Incidental Wave
El Centro Incident Wave	-55.77	
Boring No. 1	-187.15	3.35
2	-128.58	2.31
3	-138.73	2.49
4	-118.91	2.13
5	-119.14	2.14
7	-135.76	2.43
8	-142.76	2.56
11	120.13	2.15
17	-156.91	2.80
Taft Incident Wave	-33.46	
Boring No. 1	-85.81	2.57
2	-70.88	2.12
3	-69.17	2.07
4	-68.89	2.06
5	-68.86	2.06
7	-73.69	2.21
8	-79.54	2.38
11	-70.51	2.11
17	-71.95	2.15

第 7 章 建物の被害調査

建物の被害調査は 1970 年 8 月 (5 日から 23 日まで) に Julio Kuroiwa 教授の指導のもとに行われた。その結果は、同教授によれば次のようである。

Casco Urbano (42 ブロックあるチンボテ市の下町) にある建物について、各々カード式で事項をかき入れる形式の調査を詳細に行なった。資料は計算機を用いて分類した。

時間の制約のため、その他の地域を詳細に行なうのは不可能であったので、沈下と次の 3 つの形式の建物の被害についてとくに注意して調査した。即ち、アドベの家、レンガ造で Frame のあるもの、同じくないもの、その結果は Table 7-1 と Fig 7-1 にあるが、それは各地区でランダムに選ばれたブロックの被害の平均から統計的に推定した。Fig 7-2 には市の中央部での建物の沈下の分布が示されている。

Table 7-1 から、アドベ造の破壊は著るしく、San Pedro の 100 % から Pensacola での約 80 % まで色々である。Pensacola では土地は平らでアドベ造は “よい” コンクリートの基礎をもっていたということを指摘したい。

Frame 付のレンガ造は中程度の被害を受けた。Antonio de Mayo その他での 10 % から、Los Pinos や Buenos Aires での約 30 % まで。(Fig 7-1) この型の建物で二階建の建物は La Caleta (10 %) よりも Los Pinos (30 %) でずっとひどい被害を受けていたことが明らかになった。

Antonio de Mayo では一階建のレンガ造がほとんど無被害であったが、沈下はある程度あった。

Frame なしのレンガ造はひどく損害を受けた。この種建物の 70 % が修繕不可能なほどの被害であった。Buenos Aires ではこの種の建物はいずれも完全に破壊された。

Laderas del Norte では、次のような 2 種類の一階建レンガ造があった (それぞれ 50 % ずつ)、1 つは柱が Facade をよくとめていたが、他の 1 つは Facade は柱と同じ面になく、柱はかべの片方をつないでなかった。後者はほとんど完全に破壊されたが、前者の被害は中位であった。

Laderas del Norte, Los Pinos および Buenos Aires では Cantiliver Wall が、他の地区よりもひどく被害を受けた。

チンボテ地域の被害観察によって、正しく設計され注意して施工された建物はほとんど被害をうけなかったことが明らかになった。もし、今後建物が地震工学の原理を考慮に入れて設計施工されるならば、生命・財産の損害は確実に低減されるであろう。

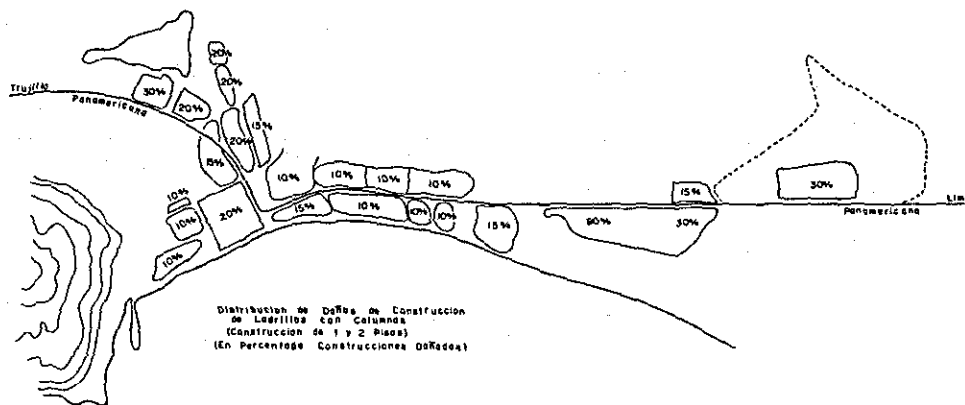


Fig. 7-1 DAMAGE DISTRIBUTION OF BRICK CONSTRUCTION WITH FRAME (1 & 2 STORIES HOUSES, IN PERCENTAGE OF DAMAGED BUILDINGS)

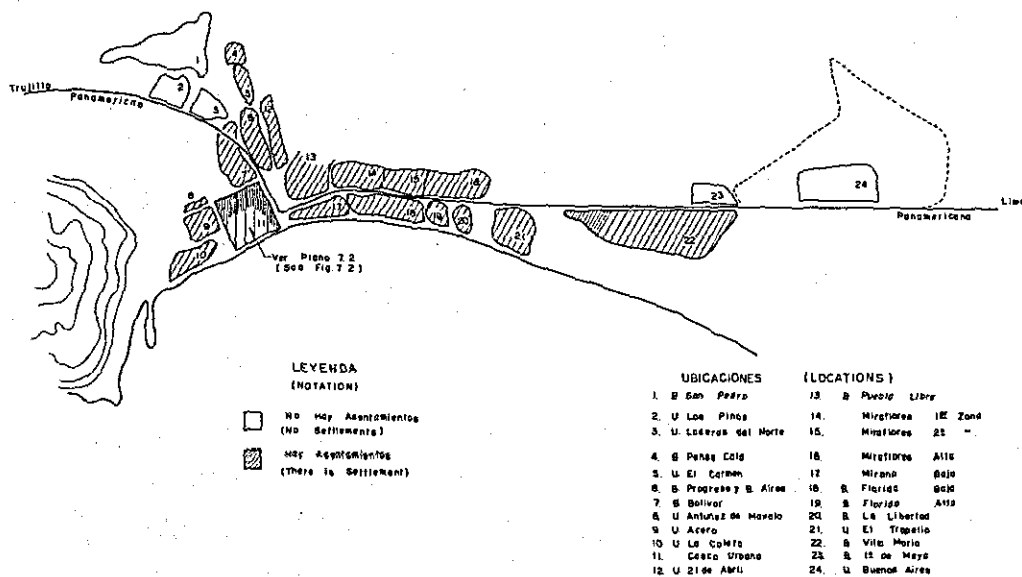


Fig. 7-2 DISTRIBUTION OF PERCENTAGES OF SETTLED BUILDINGS

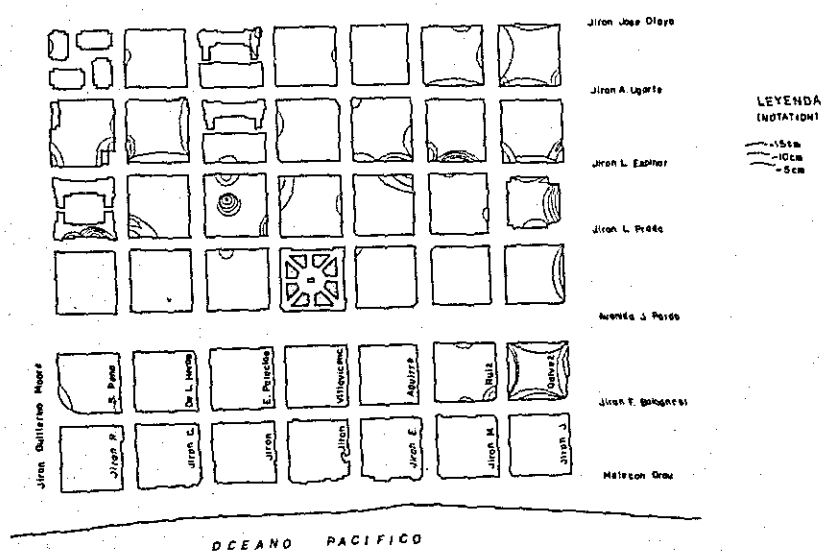


Fig. 7-3 DISTRIBUTION AND AMOUNT OF SETTLEMENT AT THE CENTER (DOWNTOWN) OF THE CHIMBOTE CITY

Table 7-1 Damage to Constructions

Ubication (Location)	Asent. (Settl)	Tipo de Construcción (Construction type)			Comentarios (Comments)
		Adobe	LCC	LSC	
1	No	100%	-	-	L.S.C. - Pano confinado en un solo lado (Ver foto) (span confined only at one side)
2	No	-	30%	-	
3	No	-	20%	70%	
4	Si(Yes)	80%	20%	-	
5	Si(Yes)	-	20%	-	
6	Si(Yes)	80%	20%	-	Casas de 1 piso construidas masivamente (one story houses of the same type) Casas del mismo tipo que el area 2 Casco Urbano (Down town)
7	Si(Yes)	90%	15%	-	
8	Si(Yes)	-	10%	-	
9	Si(Yes)	100%	10%	-	
10	Si(Yes)	-	10%	-	
11	Si(Yes)	90%	20%	-	
12	Si(Yes)	-	15%	-	
13	Si(Yes)	90%	20%	70%	
14	Si(Yes)	90%	10%	70%	
15	Si(Yes)	90%	10%	70%	
16	Si(Yes)	90%	10%	70%	30% en el extremo sur y 90% en el extremo norte (30% at the south end and 90% at the north end)
17	Si(Yes)	95%	10%	60%	
18	Si(Yes)	100%	10%	60%	
19	Si(Yes)	-	10%	70%	
20	Si(Yes)	-	10%	60%	
21	Si(Yes)	-	15%	-	
22	Si(Yes)	-	30%-90%	-	
23	No	-	15%	60%	
24	No	-	30%	85%	

L.C.C. = Ladrillo con columna (Brick with frame)

L.S.C. = Ladrillo sin columna (Brick without frame)

第 8 章 被害の地質学的観察

8-1 Rio de Lacramarca の沖積平野での被害

Rio de Lacramarca での最も顕著な地震の影響は砂や水の噴出を伴った地面の亀裂であった (Figs. 8-2, 3, 4, 5)。とくに噴砂現象は、この沖積平野中部の Hda San Jose および Hda Clementia 間の耕地や Camino Peru 南東部 (Cucarda) 付近で顕著であった (亀裂および噴砂の分布は Fig 8-1 参照)

これらの地域ではいくつかの水井戸が破壊された。井戸のコンクリート管は傾むきあるいは 1 m 以上も沈下した (Fig 8-6 (b)(c))。揚水井戸 (Servopesca など) はパイプが曲がり、あるいは折損し揚水不能となった。San Jose 付近では鉄道線路が地盤の波状変形により上下左右に曲った (Fig 8-6 (a))。

沖積平野の平地に生じた亀裂は開口性であり、その両側で地盤の上下変位は一般に認められなかった。しかし、平野の縁のゆるい斜面上に生じた亀裂は常に地形的に低い方 (沖積平野側) が落下していた。しかしこの縁辺部の亀裂は、極めてゆるい斜面上に生じていること、付近の沖積面上の平地に地入り末端隆起部が認められず代りに開口性の亀裂や噴砂が伴うこと、噴砂形成に伴ない、付近一帯の地表が 1 時水没する程、多量の水が噴出したこと、などから、この縁辺部の亀裂は沖積層の脱水を伴った、圧密に伴うひっぱり割れ目であると考えられる。建物の沈下や傾斜は一般にみられなかった。

8-2 浜堤と砂丘地域での被害

地震動による砂丘の崩壊 (Fig 8-7 (a)) または周囲地域の沈下に伴う亀裂などが生じた (Fig 8-7 (b)(c), 8-8 (b))。

後者の例としては、Tres Cabezas 付近の砂丘で後背湿地の縁の部分に生じた亀裂がある。ここでは、ほぼ後背湿地を囲むように亀裂が生じ、後背湿地側が低下した。このため、これらの亀裂の上につくられていた建物は不等沈下および横へひばられて全壊した (Fig 8-10)。またチンボテ海岸の Urbanizacion la Caleta では浜堤とその内側の低地との境にほぼそって亀裂が生じ、後者側が沈下し、(Fig 8-12 (c))、このために建物は不等沈下をおこして破壊された (Fig 8-13 (a)(b))。

また、Hotel Chimu 付近では海岸側の地盤が下る亀裂がほぼ海岸に平行して生じた (Fig 8-10)。これは、震動によって砂丘の海側の部分が下方へslumping したために生じたものと考えられる。San Pedro 地域の丘陵斜面では、半ば固結した古期風成砂 (Chapter 2 参照) の岩盤が地震動によって斜面にそって下方へずり下り、Fig 8-9 に示すような開口亀裂が多数生じた。

8-3 後背湿地と谷の中の低地での被害

これらの地域での被害の特徴は、建物の沈下・脱水・圧密による地盤の沈下、および地下水面上昇による浸水である。たとえばMiramar Bajo, Miraflores Baja の, Rio de Lacramarca の沖積平野をきざむ谷の中の低地では地震後地下水が上昇して浸水し、水深は最高時(地震直後)には0.5 m程度まで達し、また建物自体も最高0.5 m沈下した(Fig 8-14)。チンボテ市南部の後背湿地でも地盤および建物の沈下(Barrio villa Maria など)と後背湿地の水位上昇(約1 m)があった(Fig 8-15)。後背湿地の水域は著しく拡大した。このような水域の拡大は地下水の湧水量の増加(土地の人の話)によるだけでなく、後背湿地の地盤そのものの沈下(多分圧密による)をも伴っていた。(このことは排水のためにあらたに水路をつくったことから推定される。Fig 8-15(c))。そのような水位の上昇はチンボテ北部の後背湿地でも知られている(約1 m)。また, Miraflores Altoの砂丘に囲まれた低地でも水位が上昇し、新たに湖が生じた(Fig 8-16)。いずれの場合も水位は地震直後に急激に上昇し、その後徐々に低下しているが、調査終了時(8月下旬)においても、なお旧に復していない。

チンボテ市中心部でも著しい建物(基礎だけ)の沈下が生じた所がある(Fig 7-2, Fig 8-17)。また不等沈下による建物被害(Fig 8-18)や路面沈下(Fig 8-12(a)(b))も生じた。このような沈下の被害が生じた所は浜堤の間の低地あるいはもとの後背湿地地域である(空中写真で暗色調を示している)。Pan-American Highwayなど道路の被害の大部分は、地盤の沈下によるものであり、このような低湿地を横断する部分に生じている。

8-4 シートフラッド平野での被害

Buenos Aires などシートフラッドの堆積物で被われた地域では亀裂も、浸水も、地盤や建物の沈下もいずれも生じなかった。建物の被害は著しいがそれはみな地震動によるものであった。

8-5 盛土地域その他の被害

チンボテ市北部のチンボテ港では栈橋の一部(ロックフィルの部分)が沈下した。また阜頭に隣接して設けた盛土して造成された地域では全面的に、はげしい多数の砂・水の噴出がおこり、無数の亀裂を伴って2 mも沈下し、一部は水没(海面下)した(Fig 8-20(b))。

上述のように土地および建物の被害の性質の地域性からチンボテ市はTable 8-1 に示すような4つの地区に分けられる。即ち、地盤自体には被害のみられないシートフラッド平野基盤岩地域(Zone I)、地盤の亀裂を伴った地盤の不同沈下で特徴づけられる浜堤と砂丘の地域(Zone II)、噴砂を伴う亀裂の生成と井戸の被害で特徴づけられるRio de Lacramarca の沖積平野(Zone III)、ルーズな含水堆積物の圧密による地盤沈下と地下水面上昇で特徴づけられる後背湿地と沖積平野の中の低地(Zone IV)である。

建物の被害も上述のそれぞれの地域わけに対応した特徴を示すので、次章に述べるように上述の Zone I-IV の地域別は、定性的ではあるがサイスミック・マイクロゾーニングの基礎資料となる。

地 質 区 分	構造物基礎の沈下	地盤の沈下		地下水面の 上昇・浸水	噴砂・水井戸の被害	地盤の亀裂 の 性 質	地域区分	地盤被害の 主 な 原 因	建 物 被 害 の 種 類
		スランピング	圧密性						
A (基盤岩地域) B ₃ (シートフラッド平野)	○	○	○	○	○	亀 裂	Zone I		震動による
C (浜 堤) D (砂 丘)	△	●	○	○	○	重力性のスランピングによる亀裂	Zone II	砂丘の崩壊	基礎の不等沈下・崩壊
B ₁ (Rio de Lacramarca の沖積平野)	△	○	○	○	●	噴砂を伴う亀裂	Zone III	地下だけの流動化現象	地下構造物(井戸など)の被害
E (後背湿地) F (沖積平野中の低地)	●	○	●	●	○	緑辺部での不同沈下に伴う亀裂	Zone IV	地表までの流動化現象	基礎の沈下と浸水

● 顕著 △ 軽微または稀 ○ なし

Table 8-1 チンボテ地区の地質区分と被害の性質との関係

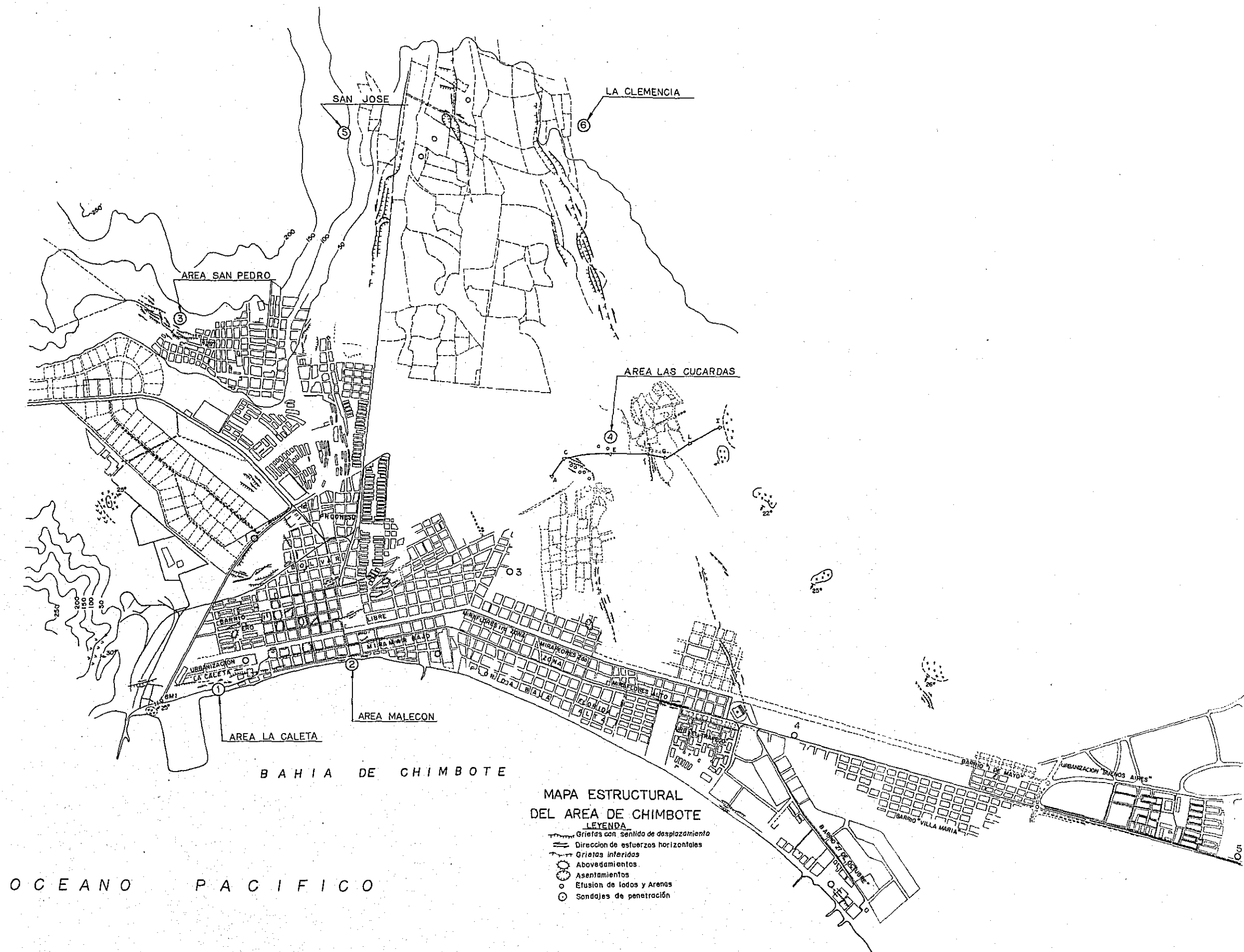


Fig. 8-1 DISTRIBUTION MAP OF GROUND CRACKS AND SAND VOLCANOES IN THE CHIMBOTE AREA ,
FORMED DURING MAY 31, 1970 EARTHQUAKE (See Appendix 7)



(a)

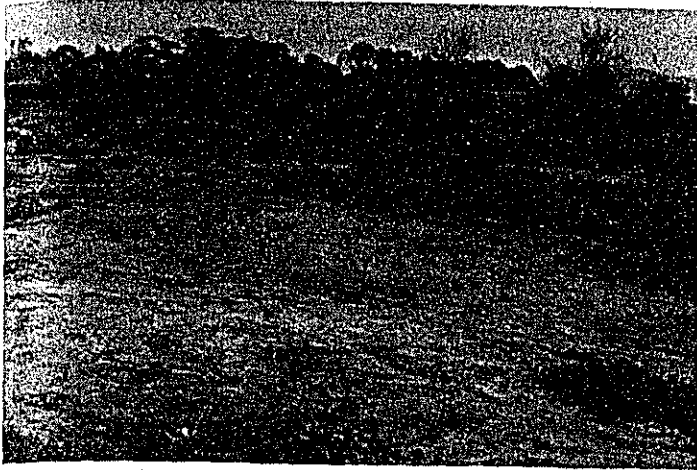


(b)



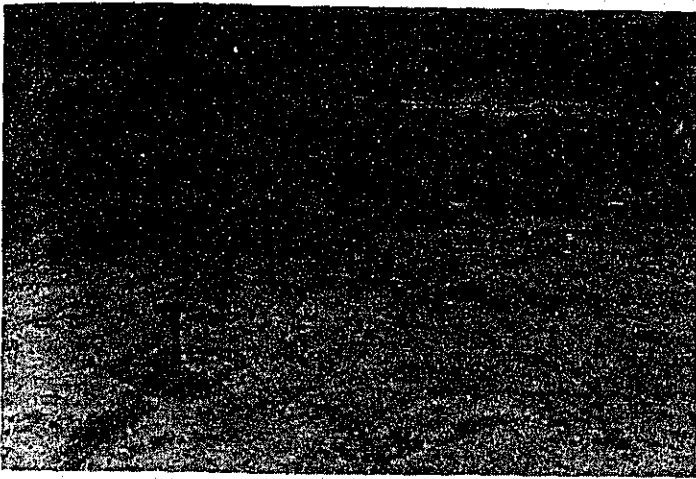
(c)

Fig. 8-2
Sand volcanoes with
open fissures on the
Rio de Lacramarca
alluvial plain (East
of Hda. San Jose)



(a)

Fig. 8-3
Sand volcanoes on the
Rio de Lacramarca
alluvial plain (Near
Camino Peru)



(b)



Fig. 8-4
Open cracks associ-
ated with Sand
volcanoes (Loc.
same as Fig. 2)



(a)



(b)



(c)

Fig. 8-5
Ground cracks on the
Rio de Lacramarca
alluvial plain.
(Hda. San Jose)



Fig. 8-6

Damage due to sub-surface liquefaction on the Rio de Lacramarca alluvial plain.

a) damage to
Chimbote—Huallanca
railway near Hda. San Jose

(a) b) and c)
damage to wells
(subsidence and
tilting)

(b: near Hda.
San Jose

c: a restaurant
along Camino Peru)



(b)

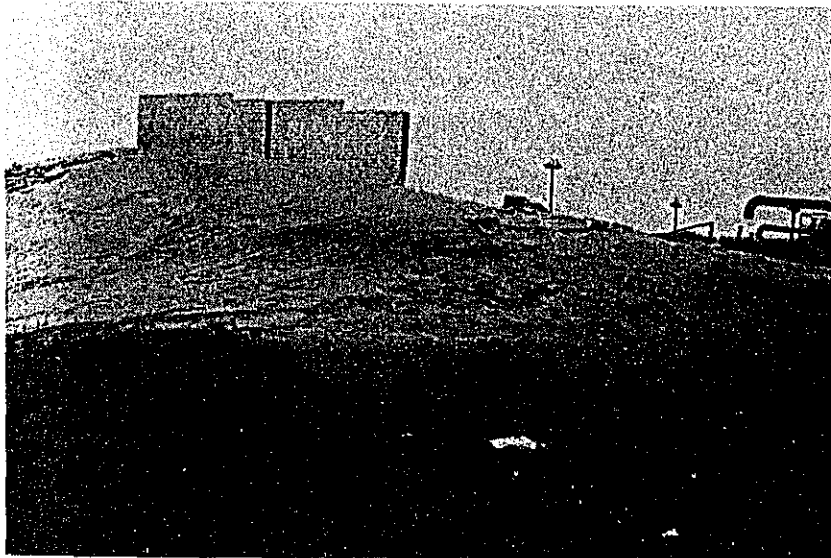


(c)



Fig. 8-7
Cracks in sand dunes
a: Cucardas
b.c: north of Estadio
Pensacola

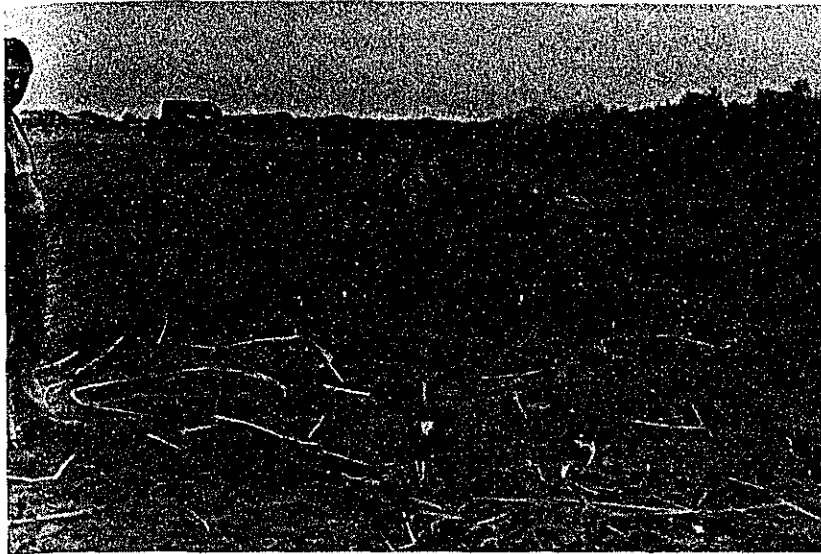
(a)



(b)

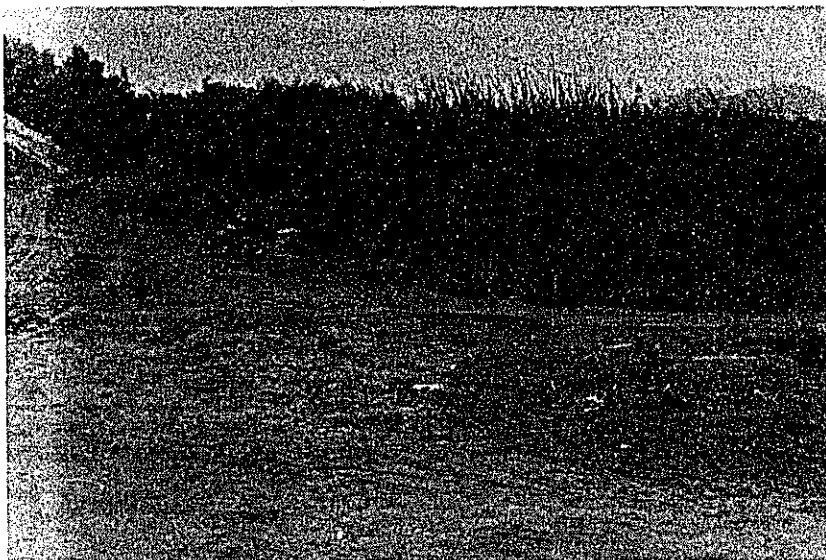


(c)



(a)

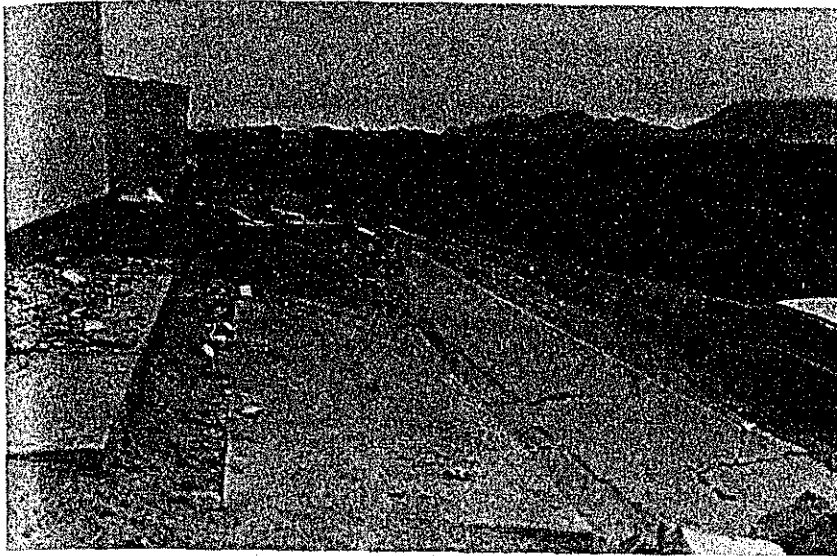
Fig. 8-8
Cracks near the
boundary between
sand dune and
backswamp
(Tres Cabezas)



(b)



Fig. 8-9
Cracks in the crust
of semi-consolidated
sand layers on the
hill slope of San
Pedro



(a)



(b)



(c)

Fig. 8-10
Damage due to
differential subsidence
and to
opening of foun-
dation at the
edge of sand dune.
(Tres Cabezas)



(a)



(b)



(c)

Fig. 8-11
Differential sub-
sidence of ground
on beach ridge.
(Coast near
Hotel Chimu)



(a)

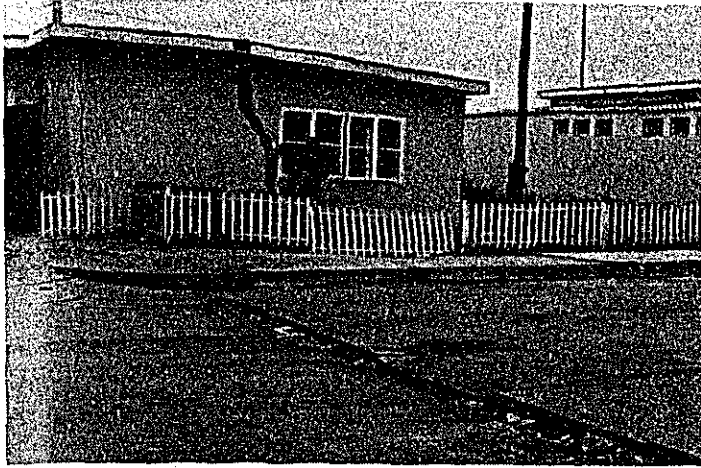


(b)



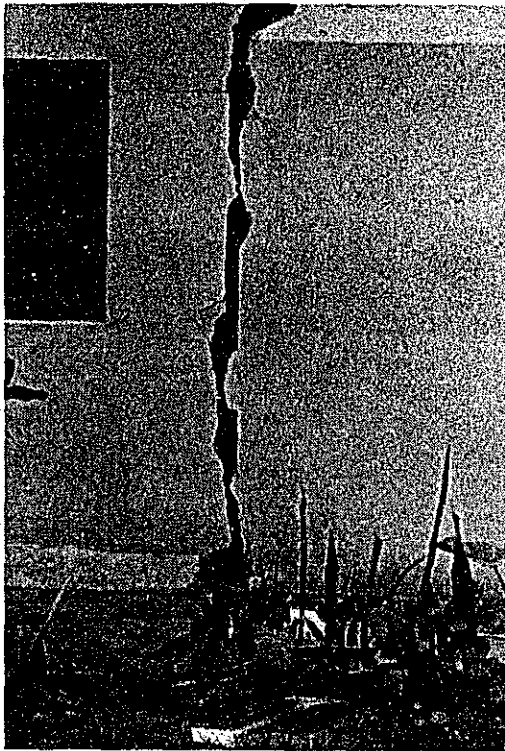
(c)

Fig. 8-12
Differential sub-
sidence of ground
due to compaction.
(Urbanizacion la
Caleta)

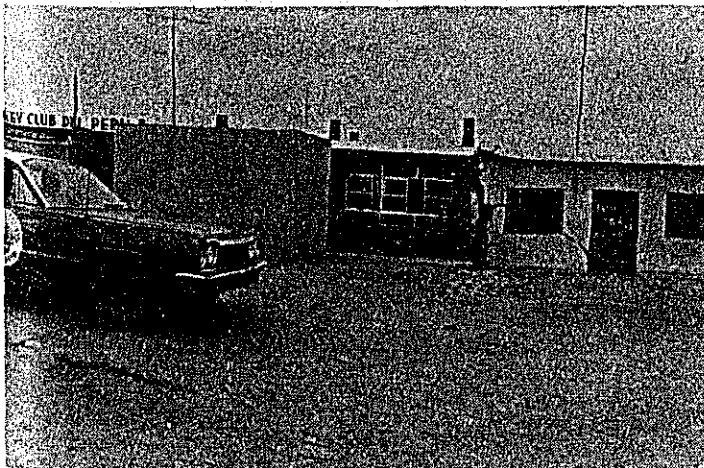


(a)

Fig. 8-13
Damage to houses
due to differential
subsidence of the
ground at the edge
of beach ridge.
(a, b: Urbanizacion
la Caleta,
c: Urb el Trapecio)

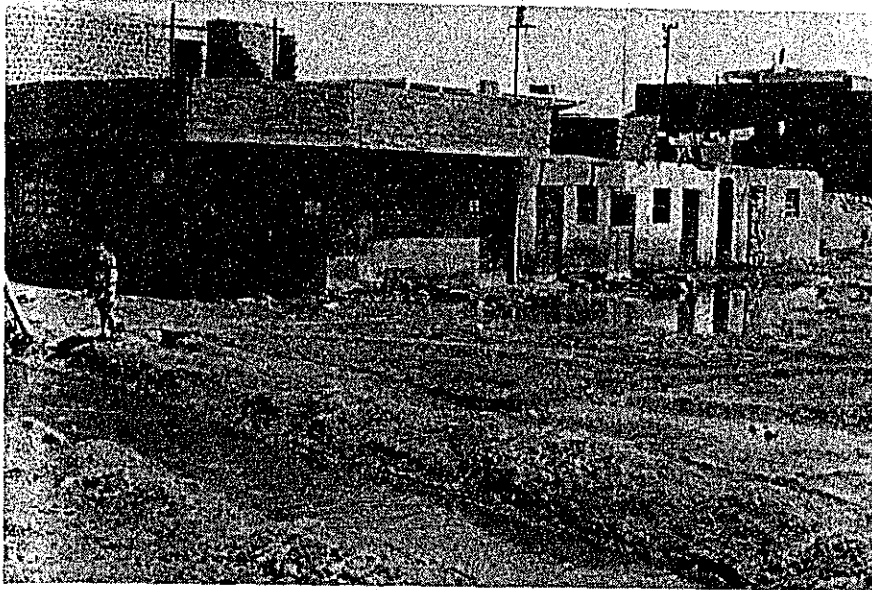


(b)



(c)

Fig. 8-14.
Ground settlement
and rise of water table
in the lowland along
the valley dissecting
the Rio de Lacramarca
alluvial plain.
(Lowland between
Miramar Bajo and
Miraflores Baja)



(a)



(b)



(a)



(b)



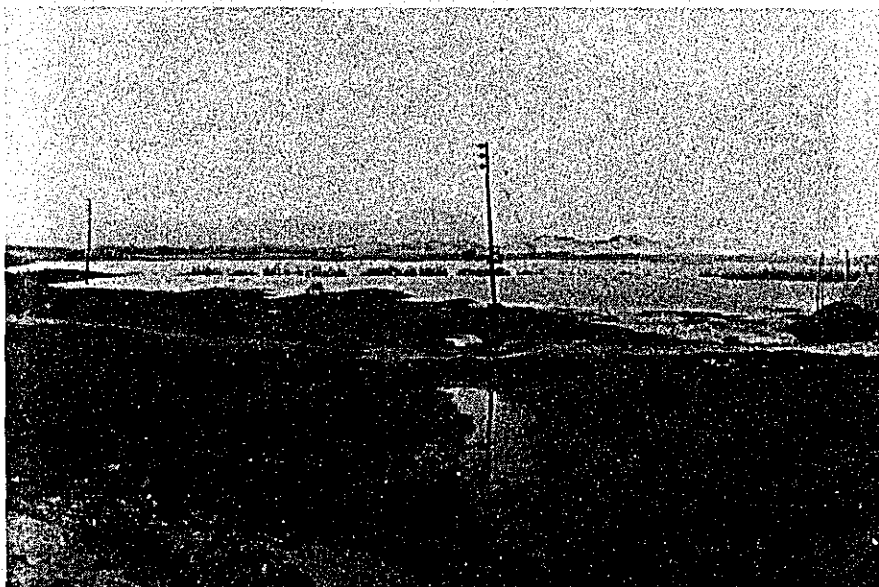
(c)

Fig. 8-15
Flooded area
due to ground
settlement and
uprise of water
table.
(Backswamp in
southern Chimbote)

Fig. 8-16
Flooded area due to
ground settlement
and rise of water
table.
(East of
Miraflores Alto)



(a)



(b)



(a)



(b)



(c)

Fig. 8-17
Damage due to
differential sub-
sidence of foun-
dation of build-
ing
(Casco Uabano)

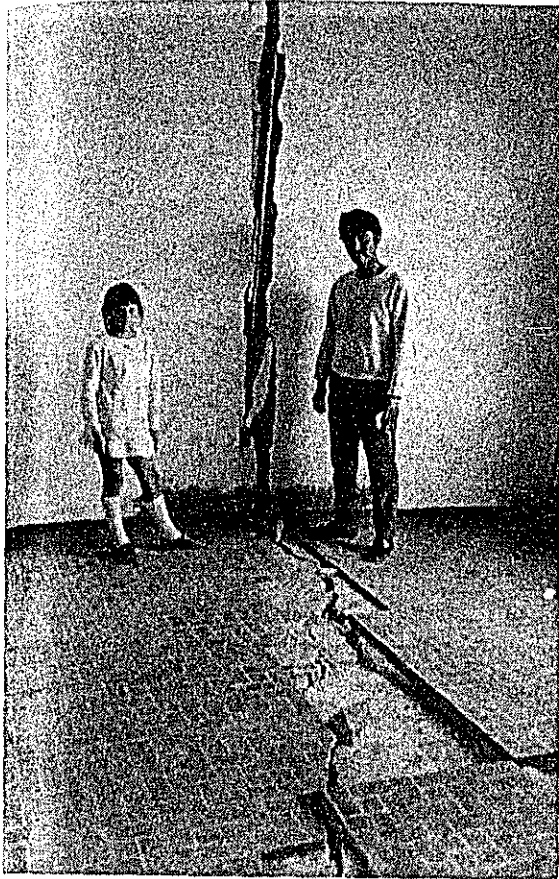
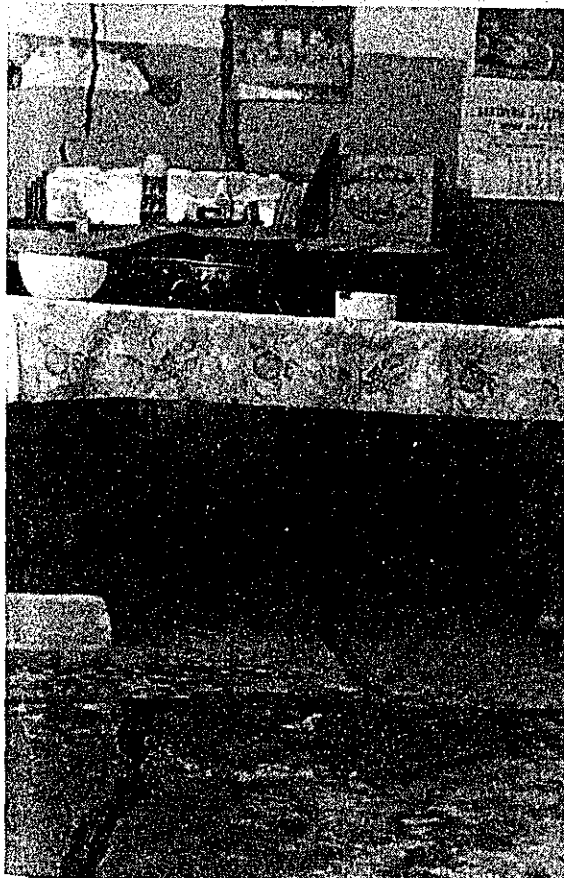
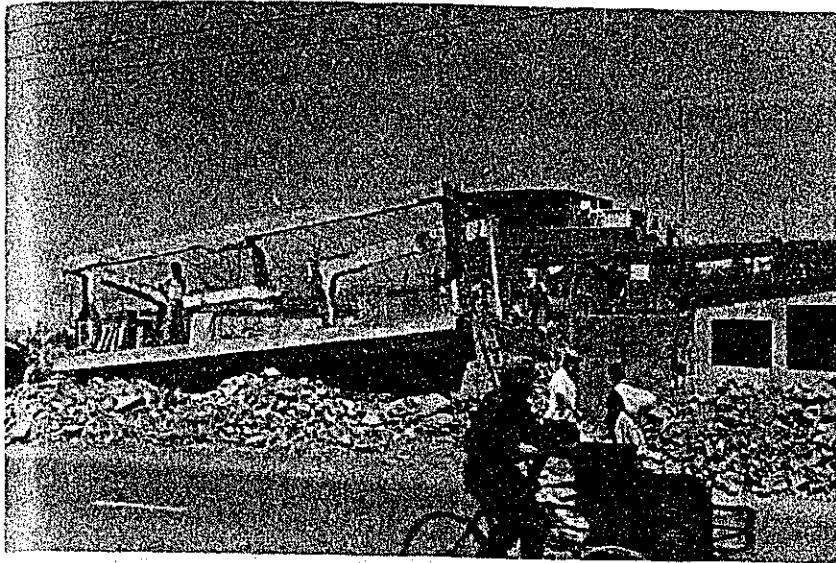


Fig. 8-18
Damage to house
due to differential
subsidence.
(Casco Uabano)

(a)



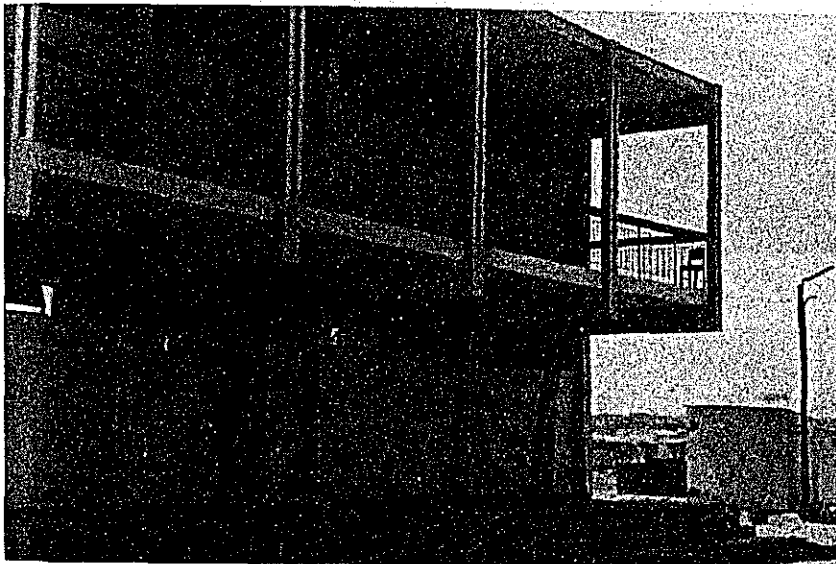
(b)



(a)

Fig. 8-19
Damage to building
due to earthquake
shocks.

(a: Miraflores,
b: School
building of G.U.E.
Inmaculada de la
Merced,
c: San Pedro)



(b)

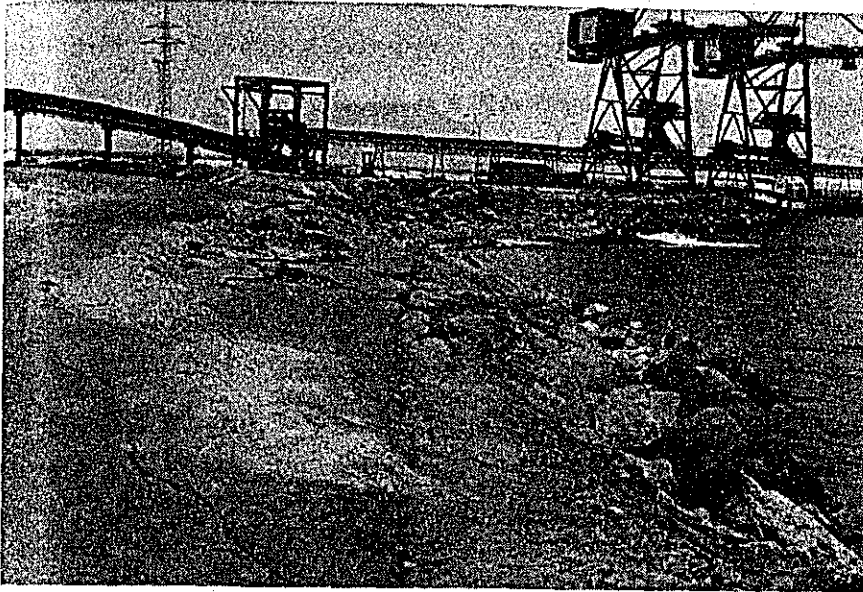


(c)

Fig. 8-20
Damage to Chimbote
harbour

a: slumping of paved
road.

b: ground settlement
with cracks and sand
volcanoes, due to
liquefaction on the
filled earth.



(a)



(b)

第9章 チンボテ地方のマイクロゾーニング

一般に、地震による地表の動きや構造物の破壊は、本質的には、地震の大きさと震央距離に支配される。しかし、ある限られた地域について見ると、被害は局部的にかなり違っている。それは、その地質の地形や地盤条件の相違に基因するものである。

チンボテ地方の地盤は、基本的にはラクラマルカ河の堆積した砂質土から成って居り、その表層はゆるい砂あるいは中位の密度の砂又は砂質シルトからなっている。この表層は、海の方に向って層厚を増し、粒径も細かくなっている。地下水位の深さは、地形によって異なり、内陸部では、10 m以上であるが、海岸及び低地では、非常に浅い。

地震の際の構造物の応答は、表層の厚さ、その土性及び地下水の深さに大きく影響される。

震害に対する地盤の効果は2つの形に分類される。その1つは、地盤の破壊であり、他はその振動的性質である。砂質地盤では、その破壊は地下水位の深さと密接な関係がある。また、構造物に作用する地震力は、地盤の性質だけでなく、その構造物の剛性などにも影響される。

前章までに述べた研究に基づいて、土地利用の観点でとくに、構造物の耐震設計の見地から、チンボテ地方はFig 9-1 に示す様に4つの地域に区分される。

これらの各地域の一般的な特徴と構造物建設上必要な注意を述べると次の通りである。

地域Ⅰ

地域Ⅰは、大部分が標高10 m以上のところにあり、その地盤は、密な礫又は岩盤から成っている。地下水位は少くとも深さ10 m以上である。この地域では、地震中、通常の建物の沈下や地盤沈下はほとんど生じないと考えられる。しかし、2・3階程度の建物に関しては、地震力は他の地域に較べて多少大きいものと思われる。

地域Ⅱ

地域Ⅱは、地表の数mがゆるい砂又は中位の密度の砂が存在し、その下に、非常に密な砂が続いている。地下水位は5 m前後である。砂丘の縁部を除けば、2階又はそれ以下の住宅は、地震によって有害な沈下は生じないものと思われる。2階以上の建物に対しては、杭によって密な砂層に支持させることが望ましい。また砂丘地帯を平坦にして建設工事をおこなう際には、埋立て部分の砂をバイプロフローテーション工法などによってしめ固めることが必要である。

地域Ⅲ

地域Ⅲは、薄い畑土の下に砂質土があり、礫層までの深さは10 m以上である。地下水位は地表面下数mの深さにある。

深さ5～10 m には、厚さ1～2 mの非常にゆるい細砂層があり、この砂層は地震中に

液状化する可能性がある。液状化現象は地表にまで達することはないので、一般に、通常の住宅程度の建物では沈下のおそれはない。しかしながら、2階建て以上の建物の基礎の設計に当たっては、この層の存在について考慮を払う必要がある。

地域Ⅳ

地域Ⅳは、地下水位が高く地表に近い地域である。その大部分は、標高5 m以下で、砂で埋立てられたところや湿地帯である。表層は有機質シルトで覆われている。この地域の建物は、地震により沈下や振動によって被害を受ける可能性が大きい。とくに埋立地では地表面まで砂が液状化するものと思われる。したがって、この地域に建てられる建物は、密な砂層まで打ち込まれた杭で支持させるが、適当な方法で地盤をしめ固めることが必要である。

第 10 章 一般勸告

ペルーは、地震活動地域に位置するために、将来も度々大地震に見舞われるものと思われる。これに対処するために、地震学や地震工学の研究を促進することが必要であると考えられる。これらの研究は次の様なものである。

- 1) 地震活動の正確な観測
- 2) 地殻変動の研究
- 3) 地磁気観測
- 4) 活断層の研究を含むサイスモテクトニクス
- 5) 地震活動地域の地形及び地質の研究
- 6) アドベ構造物の材料学的及び構造力学的研究
- 7) 構造物や土構造物の耐震性の研究
- 8) 土の動力学的研究
- 9) 構造物基礎の動的変動の研究

この中、1) ～ 5) は地震予知に寄与するであろうし、6) ～ 9) は構造物の耐震設計の基礎となるものである。これらの研究は大きな費用と長い年月を要するものであるから、政府は国策として取り上げ、出来るだけ早く実施することが望まれる。

総合防災研究所を設立することは、これらの研究を大いに促進することになると思われる。また、この方面の学者・技術者の日本及び他の地震及び地震工学の先進国との交流を計ることも重要であると考えられる。

Appendix 1

Comparison of the Two Penetration Tests

Appendix

Appendix 1. Comparison of the two penetration tests.

The two types of the penetration tests were performed in the two boreholes two meters far from each other, respectively. The test site is located at Inage City, Chiba Prefecture of Japan, where a thick sand deposit exists.

One of the penetration tests (type A) was as the same as adopted in the investigation in the Chimbote area. Drilling was advanced by jetting fresh water from a bit attached to the lower end of the drilling rod of 2 in. in diameter, lowering casing of 3 in. in an inner diameter to support the walls of the hole. The penetration test was performed at the bottom of the cased hole. An outer diameter of a spoon sampler of 2.5 in., a weight of 220 lb and a height of fall of 20 in. were used.

The another borehole was made by rotary drilling without casing, using the circulating mud water. The penetration test consisted of a 2 in. spoon sampler, a weight of 140 lb, and a falling height of 30 in. as used commonly as a standard (type B). The drilling rod was 1.6 in. in diameter.

The results of the two tests are shown in Figs. A-1 and A-2. It is found that the fairly good linear relationship exist as follow,

$$N = 0.88 N'$$

where N and N' represent number of blows per foot for the test B and A, respectively,

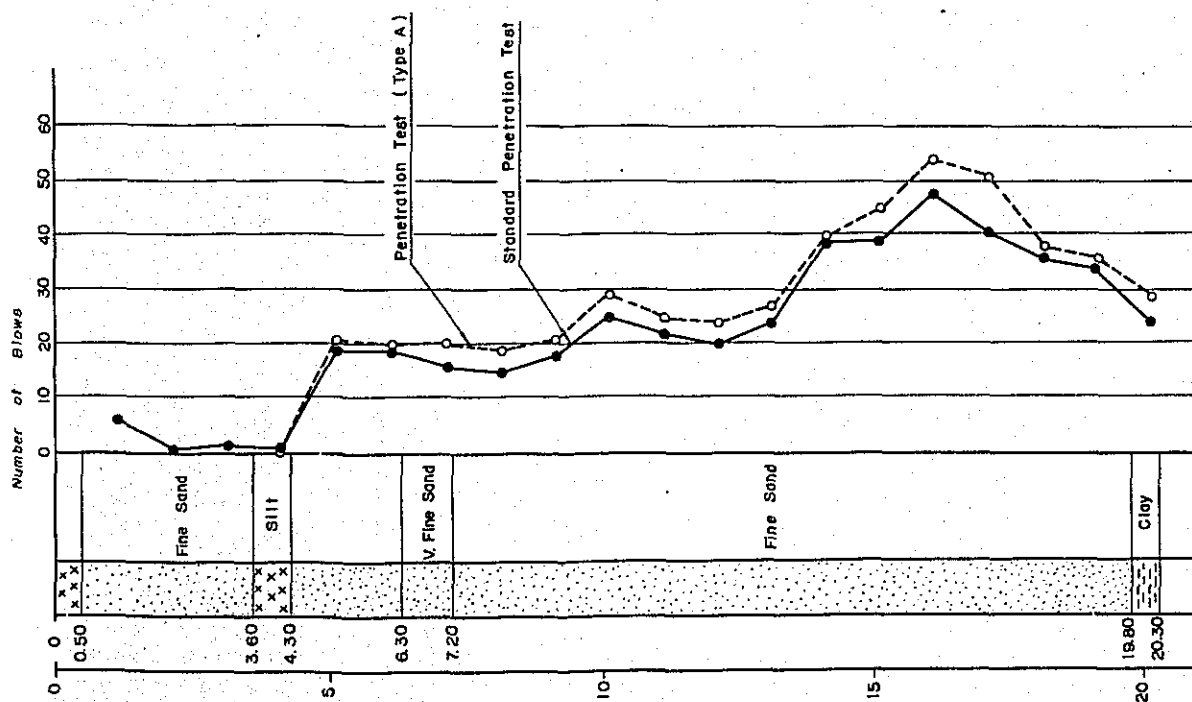


Fig. A-1-1 RESULT OF THE TWO PENETRATION TESTS

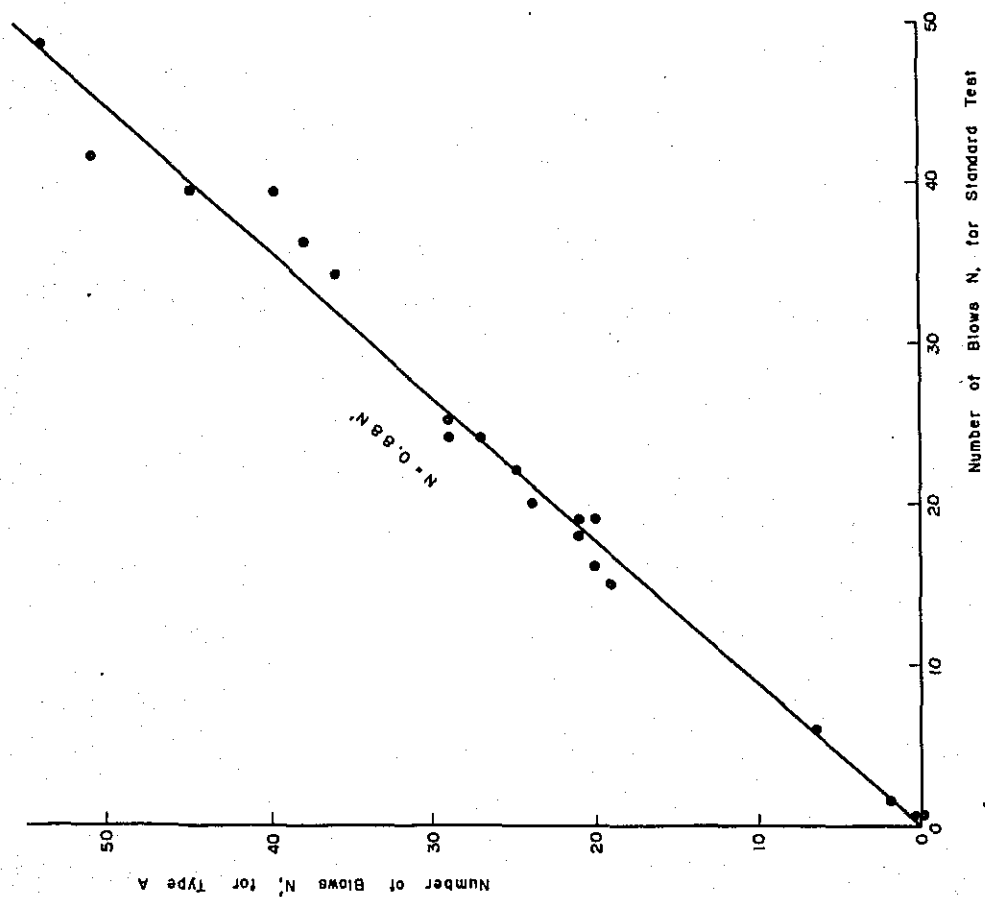


Fig. A-1-2 COMPARISON OF PENETRATION RESISTANCE VALUES

Appendix 2

Field Record of Borings and Penetration Tests

Fig. A-2-1

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: ... AV. Industrial

COTA: ...

NIVEL DE AGUA: Superficial

SONDAJE N°... 1

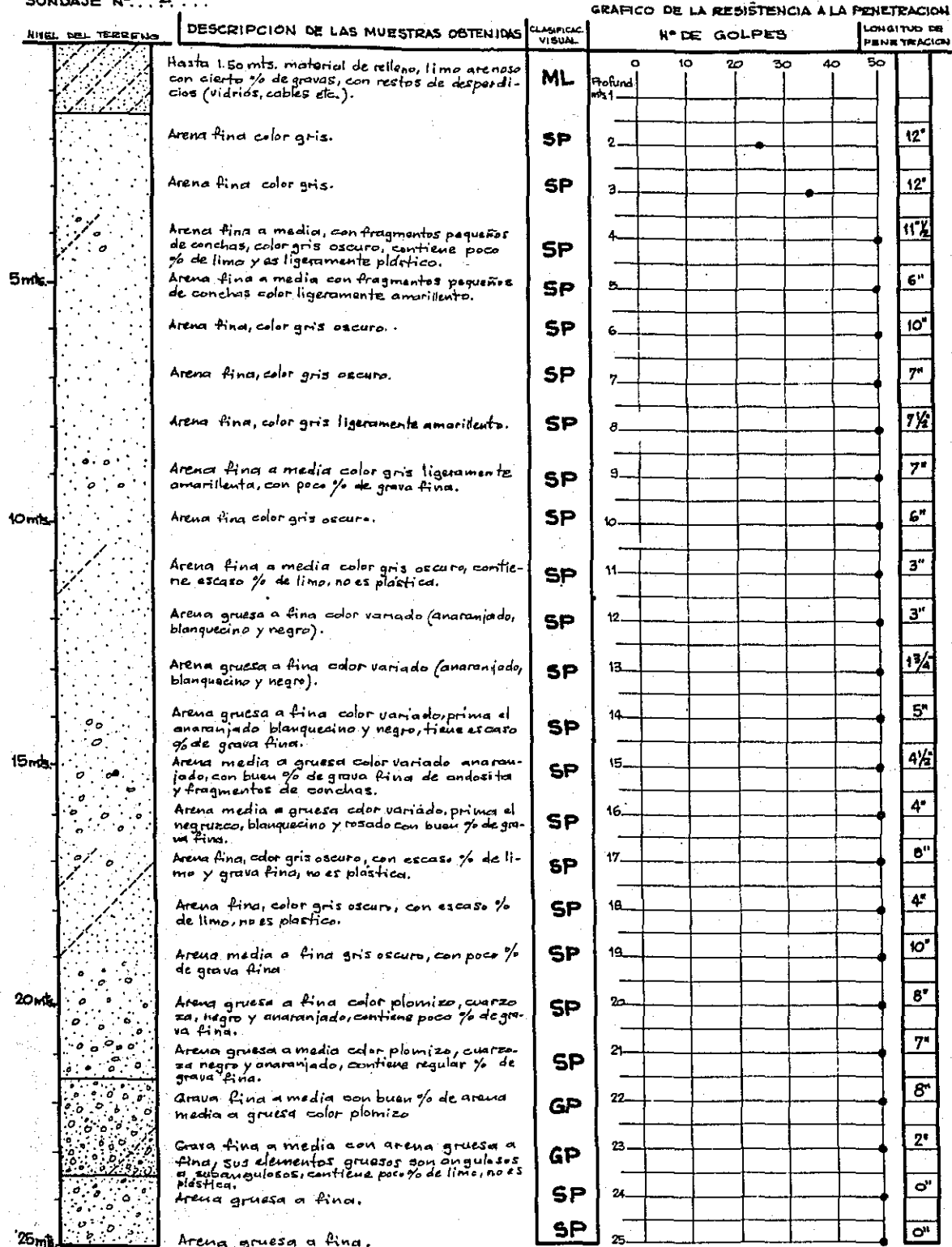
SONDAJE N°.....		DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS		CLASIFICACION VISUAL	GRAFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION						LONGITUD DE PENETRACION	
NIVEL DEL TERRENO						N° DE GOLPES						
						0	10	20	30	40	50	
MI		Suelo limo arenoso (arena fina) de color oscuro con buen % de arcillas (material de relleno).			ML	Profund. mts						
		Arena fina a media color pardusco con poco % de limo.			SP	1						
		Arcilla arenosa, arena fina a media color verdusco, sus elementos gruesos son angulosos a subangulosos, plastica.			CL	2						12"
		Arena fina a media amarillenta con pequeños fragmentos de conchas aislados.			SP	3						
		Arena fina a media amarillenta, no hay fragmentos de conchas (material idéntico al anterior).			SP	4						7"
	5mts	Arena fina a gruesa color gris verdusco claro tiene regular % de limo, es algo plástico.			SMó ML	5						12"
		Arena fina a media color gris verdusco (idem al anterior) no contiene limo.			SP	6						6"
		Arena fina a media color gris (idem al anterior).			SP	7						8"
		Arena fina color gris amarillento (idem al anterior) tiene poco % de limo, poco plástico.			SP	8						6"
		Arena fina color gris, granos subangulosos a subredondeados.			SP	9						8"
10mts		Arena fina color gris verdusco, con buen % de limo, tiene cierta plasticidad.			SP	10						6"
		Arena fina a gruesa color variado con poco % de limo y grava fina.			SMó ML	11						7"
		Arena media a gruesa color gris algo amarillento con poco % de grava fina.			SP	12						7"
		No se recupero muestra.			SP	13						6"
		Arena fina a gruesa color gris verdusco poco % de grava fina.			SP	14						
		Grava fina a media con arena fina a gruesa color variado (gris verdusco amarillento).			SP	15						5"
		Arena gruesa a fina color variado, sus elementos gruesos son angulosos a subangulosos.			GP	16						3"
		Arcilla con arena fina color marrón claro, bien plástica.			SP	17						0"
		Limo con arena fina a media color amarillento ligeramente plástico.			CL	18						0"
		Arcilla con arena fina a media, color marrón claro plástico.			CL	19						6"
20mts		Arena fina a media color gris amarillento			ML	20						6"
		Arena fina gris amarillento, materiales idéntico al anterior.			CL	21						5"
		Arena fina beige oscuro.			SP	22						6"
		Arena fina color variado, beige			SP	23						0"
		Arena fina color beige con escaso % de limo.			SP	24						0"
		Arena fina a media, color gris verdusco.			SP	25						0"
					SP	26						0"
					SP	27						0"
25mts												
27mts												

Fig. A-2-2

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Calle Inca Garcilaso de la Vega (6ta cuadra) COTA: NIVEL DE AGUA: .. 3.25 mts.
 SONDAGE N° .. 2



NOTA: Los elementos gruesos de las arenas son angulares y subangulares, existiendo en la mayoría de las muestras en mayor porcentaje, cuarzo, plagioclasas, ortoclasa y básicos (ferromagnesianos, hematitas, andositas etc.).

Fig. A-2-3

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona Alto Perú

COTA:

NIVEL DE AGUA: 0.70 mts.

SONDAJE Nº 3

GRÁFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION

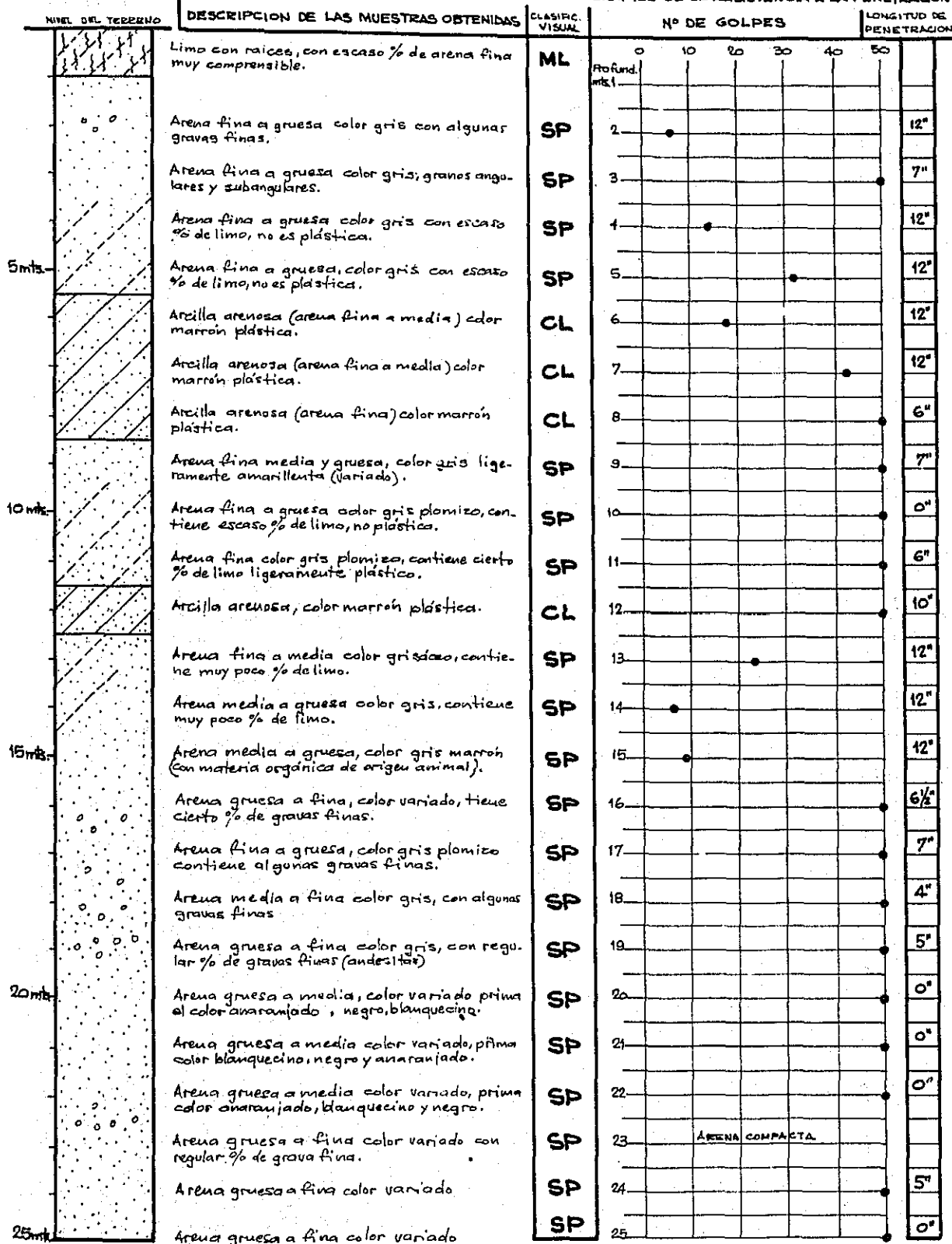


Fig. A-2-4

PROYECTO CHIMBOTE INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Carretera Panamericana Sur

COTA

NIVEL DE AGUA: Superficial 1.45

SONDAJE No. 4

ONDARJE N.º 3...		GRAFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION	
NIVEL DEL TERRENO	DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS	CLASIFICACION VISUAL	REFUND. DE PENETRACION
			Nº DE GOLPES
0.70	Limo arenoso con grava fina a gruesa, material de relleno, talud de la carretera.	ML	0 10 20 30 40 50
	Arena fina a media, color oscuro.	SP	11"
	Arena fina a media, color ligeramente verdusco.	SP	10"
	Arena gruesa a fina, color amarillento, con regular % de grava media a gruesa, los gruesos son angulosos a planos, tiene buen % de fragmentos de conchas, tiene regular % de arcilla, es ligeramente plastica.	SP	6"
5m	Arena fina a gruesa color ligeramente verdusco con escaso % de limo, no es plastica.	SP	7"
	Arena fina a gruesa, color ligeramente verdusco con escaso % de limo, no es plastica.	SP	12"
	Arena fina color verde oscuro con escaso % de limo, no es plastica.	SP	8"
	Arcilla con arena fina, color verde amarillento bien plastica.	CL	10"
	Arcilla con arena fina, color verde amarillento bien plastica.	CL	8"
10m	Arena fina limosa, color verde amarillento ligeramente plastica.	SM	10"
	Arena fina a media, color verde, amarillento con tiene escaso % de limo, no es plastica.	SP	8"
	Arena gruesa a fina, color verdusco con escaso % de arcilla, no es plastica, sus elementos gruesos son angulosos a subangulosos (cuarcas, ortosa, mica, basalto) se recupera grava gruesa.	SP	6"
	Arena gruesa a fina, con regular % de grava fina con regular % de arcilla, es ligeramente plastica.	SCo SP	9"
	Arena gruesa a fina, con regular % de grava media color verdusco amarillento, con regular % de arcilla es ligeramente plastica.	SCo SP	7"
15m	Arena fina color verde amarillento con escaso % de arcilla no plastica, con grava fina y gruesa.	SP	5 1/2"
	Arena fina color verde oscuro, con escaso % de limo no es plastica.	SP	4 1/2"
	Arena fina a media color verde amarillento con escaso % de limo, no es plastica.	SP	5"
	Arena fina a media color amarillento con escaso % de arcilla, contiene grava fina, no es plastica.	SP	8"
	Arena fina a media, color amarillento, con escaso % de arcilla, no es plastica.	SP	10"
20m	Arena fina a media color verdusco, con escaso % de arcilla, no es plastica.	SP	6"
	Arena fina a media color verdusco amarillento, con regular % de arcilla ligeramente plastica.	SCo CL	12"
	Arena fina color verde amarillento con escaso % de arcilla, no es plastica.	SP	11 1/2"
	Arena fina a gruesa color verde amarillento con escaso % de arcilla, con cierto % de grava fina, no es plastica.	SP	7"
	Arcilla con arena fina color marron, plastica.	CL	3"
25m	Arena fina a gruesa, color café oscuro con escaso % de limo, no es plastica.	SP	3 1/2"
26m	Arena fina color café oscuro, con escaso % de limo, no es plastica.	SP	no se hizo prueba

Fig. A-2-5

PROYECTO CHIMBOTE INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona Buenos Aires - frente calle Huayra, COTA:

NIVEL DE AGUA: 16.15 mts.

SONDAJE N°...5....

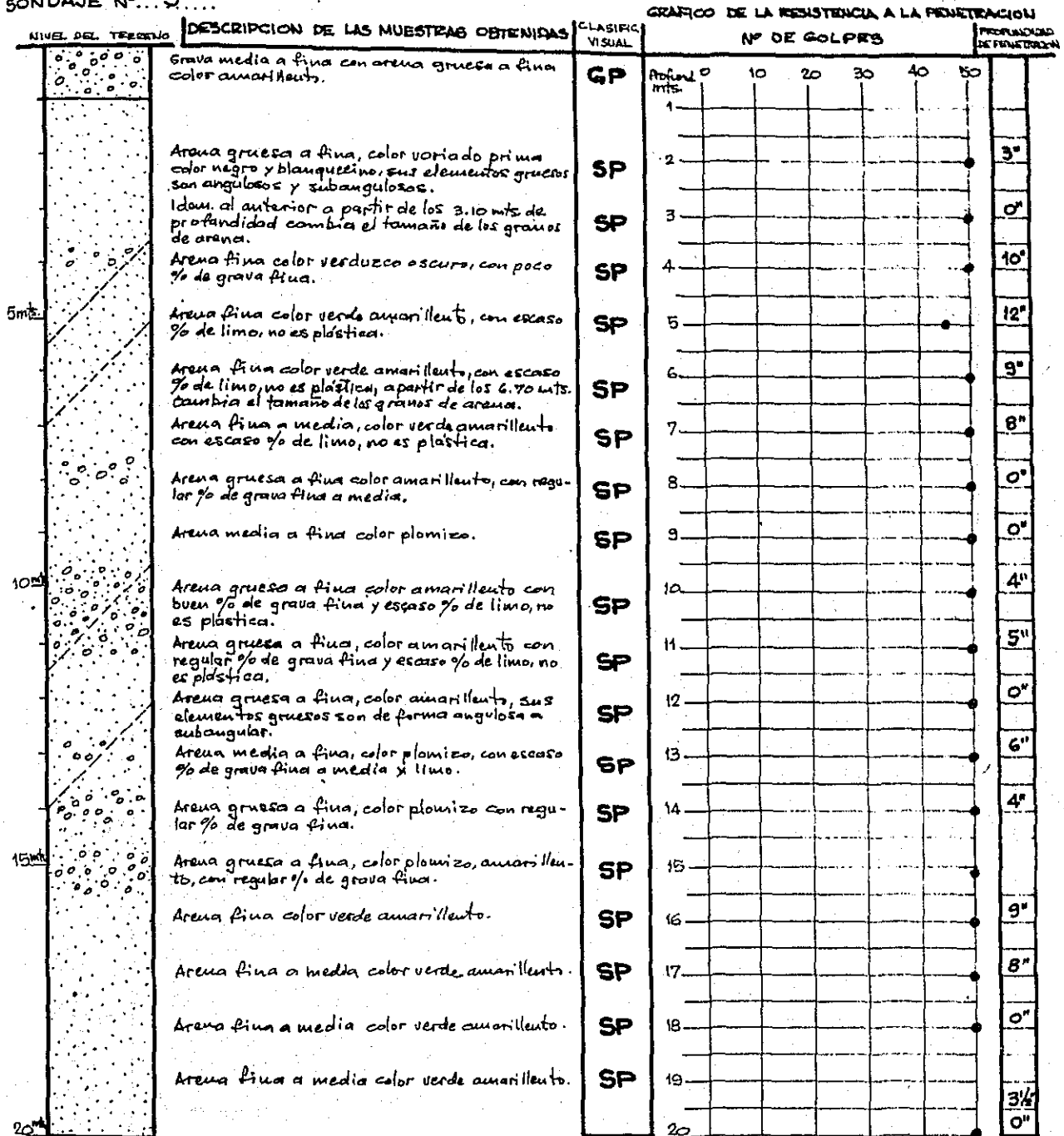


Fig. A-2-6

PROYECTO CHIMBOTE INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona Miramar Bajo-frente al Instituto Industrial COTA:

NIVEL DE AGUA: ± 4.25 mts.

SONDAJE N° 7

GRÁFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN
N° DE GOLPES

NIVEL DEL TERRENO	DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS	CLASIFIC. VISUAL	Profund. mts.	10	20	30	40	50	PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN
5 mts.	Arena fina a media con regular % de limo ligeramente plástico.	SM	1						
	Arena fina a media, color variado, sus elementos gruesos son angulosos a planos.	SP	2						12"
	Arena fina a media, color gris oscuro de olor pestilente.	SP	3						12"
	Arena fina a media color gris amarillento.	SP	4						12"
	Arena fina a gruesa, color gris amarillento con escaso % de limo, no es plastica.	SP	5						12"
	Arena fina, color gris amarillento con escaso % de limo, no es plastica.	SP	6						12"
	Arena fina a gruesa, color gris amarillento con escaso % de limo, no es plastica.	SP	7						12"
	Arena fina color verdusco con escaso % de limo, no es plastica.	SP	8						12"
	Arena fina color verdusco con olor pestilente a depositos marinos.	SP	9						12"
10 mts.	Arena fina con limo, color verdusco no es plastica.	SM	10						12"
	Arena fina a media, color verde oscuro	SP	11						12"
	Arena fina a media color verde oscuro, con escaso % de limo, no es plastica.	SP	12						12"
	Arena fina a gruesa, color gris oscuro.	SP	13						9"
15 mts.	limo con arena fina en poco %, color negruzco, tiene plasticidad.	ML	14						12"
	limo con arena fina en regular % color negruzco, es ligeramente plástico.	ML	15						10"
	limo con arena fina en poco %, color negruzco, tiene plasticidad.	ML	16						12"
	limo con arena fina en poco % color negruzco, tiene plasticidad.	ML	17						12"
	limo con arena fina en regular %, color café oscuro, tiene plasticidad.	ML	18						12"
20 mts.	Arena fina color variado, gris oscuro	SP	19						9"
	Arena fina a media color gris amarillento el material cambia a partir de los 20 mts.	SP	20						0"
22 mts.	Grava media a gruesa con arena fina color gris amarillento.	GP	21						
	Grava gruesa con arena fina a media.	GP	22						
24.5 mts.	Grava gruesa con arena fina a media con algunas piedras.	GP							

Fig. A-2-7

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona La Caleta, Marítima Pequeña, Alameda B.

COTA:

NIVEL DE AGUA: 1.67 mts.

SONDA: E N° 8

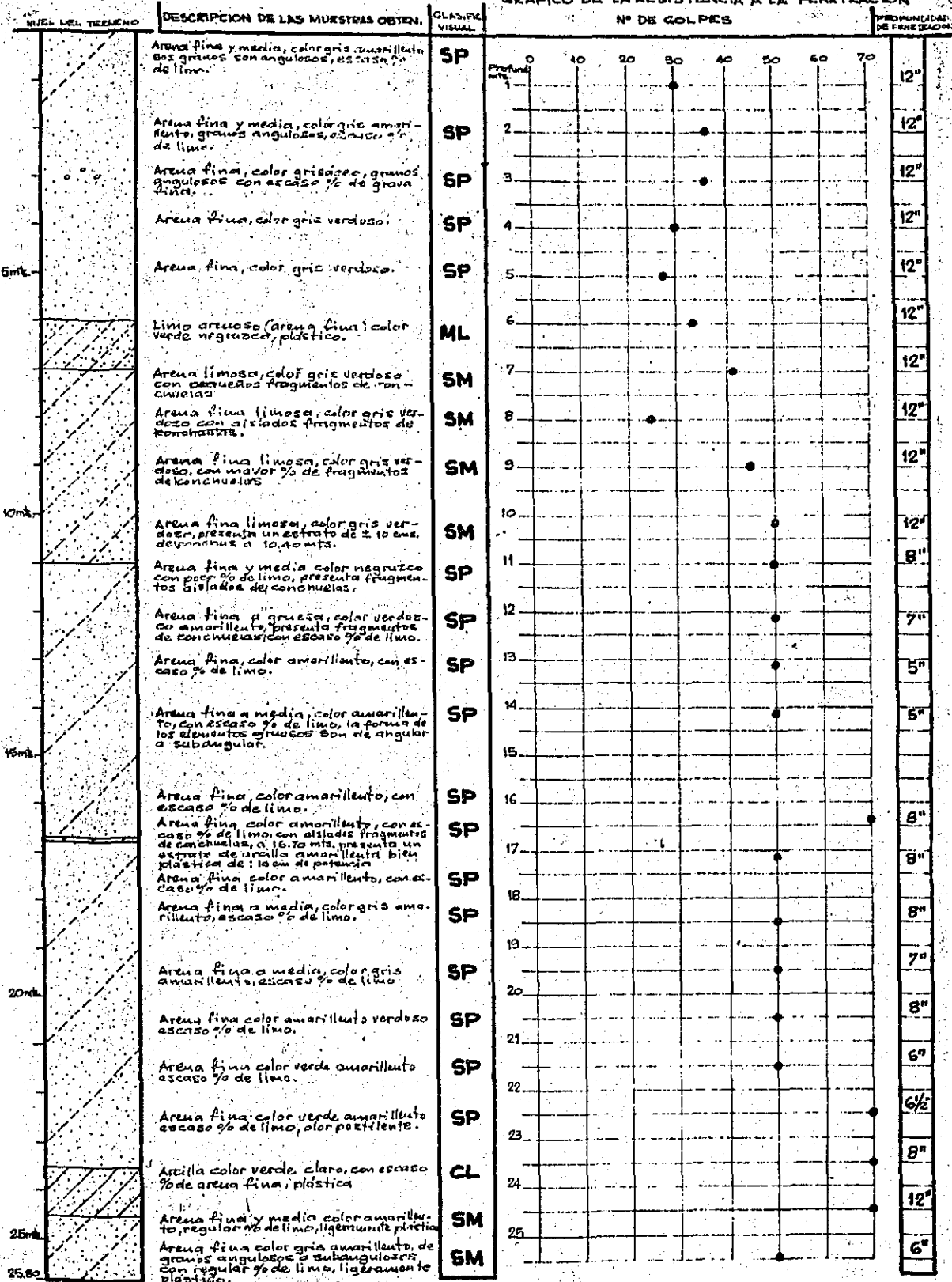
GRAFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION
N° DE GOLPES

Fig. A-2-8

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona 2da Miraflores, Esq. Jr. Callao y Av. Pardo.

COTA: NIVEL DE AGUA: 1.40 mts.

SONDAJE N° 10

GRAFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION

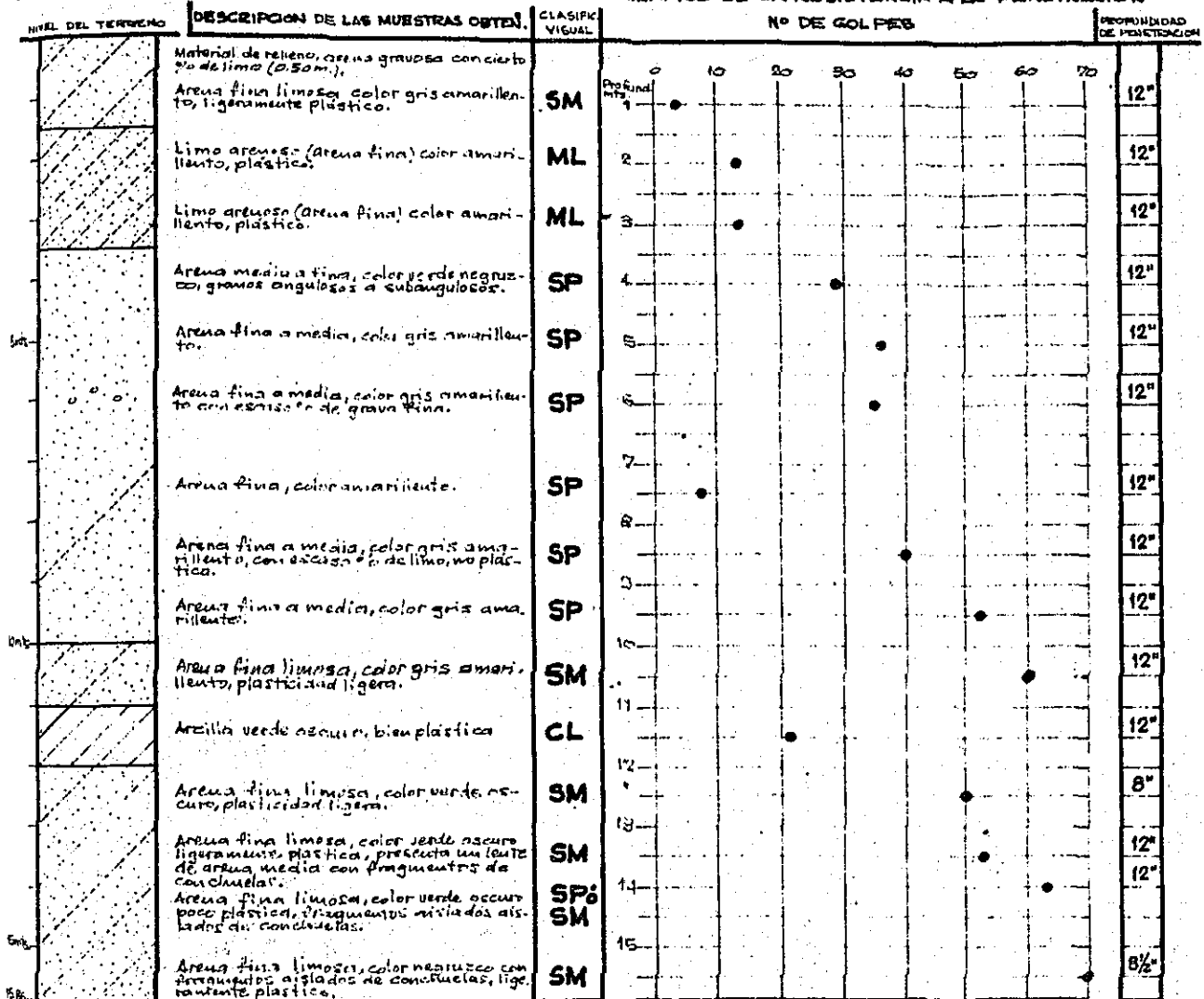


Fig. A-2-9

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona 27 de Octubre, Av. Los Hérodes (frente al mar) Cota: NIVEL DE AGUA: ± 1.00 mts.

SONDAJE N° 11

GRAFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION

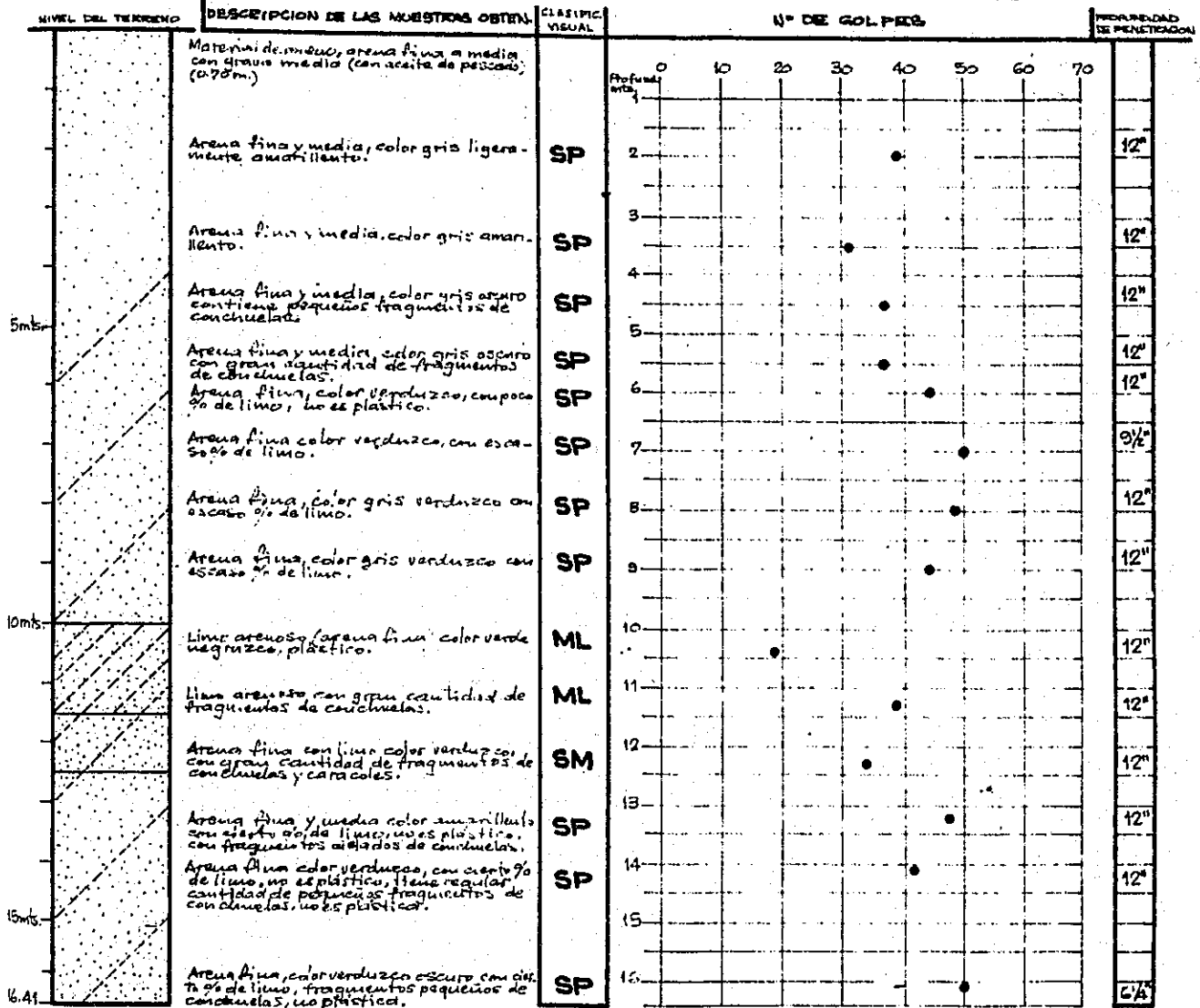


Fig. A-2-10

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona Alta "Buenos Aires"

COTA:

NIVEL DE AGUA: No se encontró

SONDAJE N° 12

GRAFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION

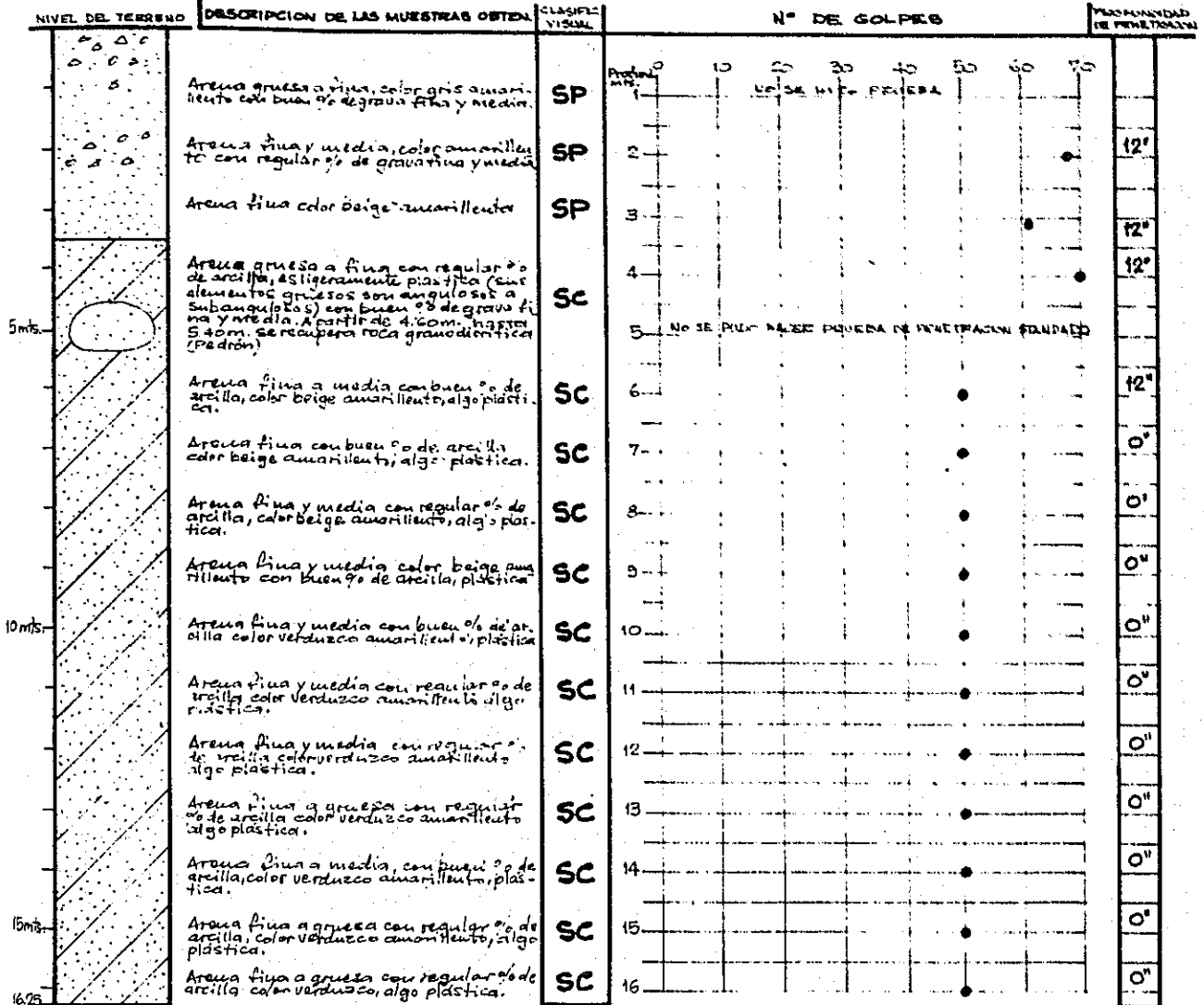


Fig. A-2-11

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona Militar B-1 - Escuela, República de Panamá

CORTAL

NIVEL DE AGUA: 2: 0.70 mts.

SONDAJE N° 13

GRABCO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION

NIVEL DEL TRAZADO	DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS OBTEN.	CASIFICACION	N° DE GOLPES							PENETRACION DE PENETRACION
			1	2	3	4	5	6	7	
5mts.	Areua fina y mediana, color gris oscuro, con grava fina.	SP	1							12"
	Areua fina y mediana, color gris oscuro.	SP	2							12"
	Areua fina y mediana, color gris verdoso.	SP	3							12"
	Areua fina y mediana, color gris claro.	SP	4							12"
	Areua fina, color gris verdoso.	SP	5							12"
	Areua fina y mediana, color gris oscuro, brillante.	SP	6							12"
	Areua fina y mediana, color gris oscuro, brillante.	SP	7							12"
	Areua fina limosa, color gris oscuro, poco plástica.	SM	8							12"
	Areua fina y mediana, color gris oscuro, con escaso % de limo, tiene fragmentos de conchuelos.	SP, SM	9							12"
10mts.	Areua fina y mediana, color gris oscuro, con escaso % de limo, con fragmentos de conchuelos, escaso % de grava fina.	SP, SM	10							12"
	Areua media a gruesa, color gris oscuro, con fragmentos de conchuelos, sus elementos gruesos son angulosos a sub angulosos.	SP	11							12"
	Limo con poco % de areua fina, tiene un estrato de 8 cms. de potencia con gran cantidad de grava fina y fragmentos de conchuelos, plástica.	ML	12							12"
	Limo con escaso % de areua fina, tiene fragmentos aislados de conchuelos plásticos.	ML	13							12"
	Limo gris negruzco, con escaso % de areua fina, regular cantidad de fragmentos de conchuelos, plásticos.	ML	14							12"
15mts.	Areua fina y mediana, color gris oscuro, brillante, con grava fina aislada.	SP	15							12"
	Areua media y gruesa, color gris amarillento, con grava fina y gruesa a poco %.	SP	16							12"
	Areua media y gruesa, color gris amarillento, con regular % de grava fina y mediana.	SP	17							12"
	Areua media y gruesa, color gris amarillento, con buen % de grava fina a gruesa, escaso % de limo.	SP	18							7 1/2"
	Areua media, color gris oscuro.	SP	19							1 1/2"
20mts.	Areua fina, color gris amarillento.	SP	20							3"
	Areua gruesa a fina, color gris oscuro.	SP	21							0"
	Grava fina a gruesa con buen % de arena fina y mediana, color gris amarillento.	GP	22							7 1/4"
	Grava fina y mediana con regular % de arena fina a gruesa, color gris oscuro.	GP	23							8 3/4"
	Areua fina y mediana color gris verdoso claro.	SP	24							12"
25mts. 2545	Areua fina y mediana color gris verdoso claro, con escaso % de grava gruesa.	SP	25							12"

Fig. A-2-12

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Urbaniz. "Pensacola" Calle. Pol. 14-101

COTA: NIV. DE AGUA: ± 4.60 mts.

SONDAJE N° 15

GRAFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION

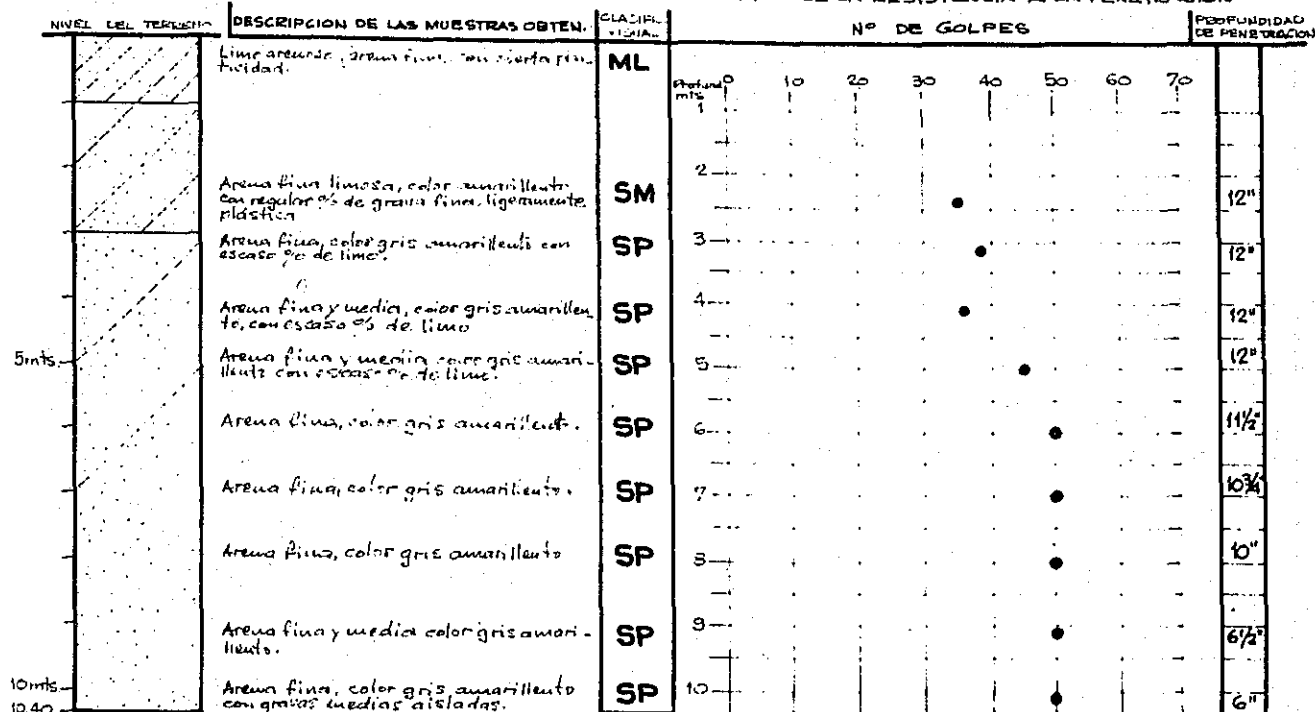


Fig. A-2-13

PROYECTO CHIMBOTE

INVESTIGACIONES DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE

UBICACION: Zona "Miraflores Alto" Av. Pardo

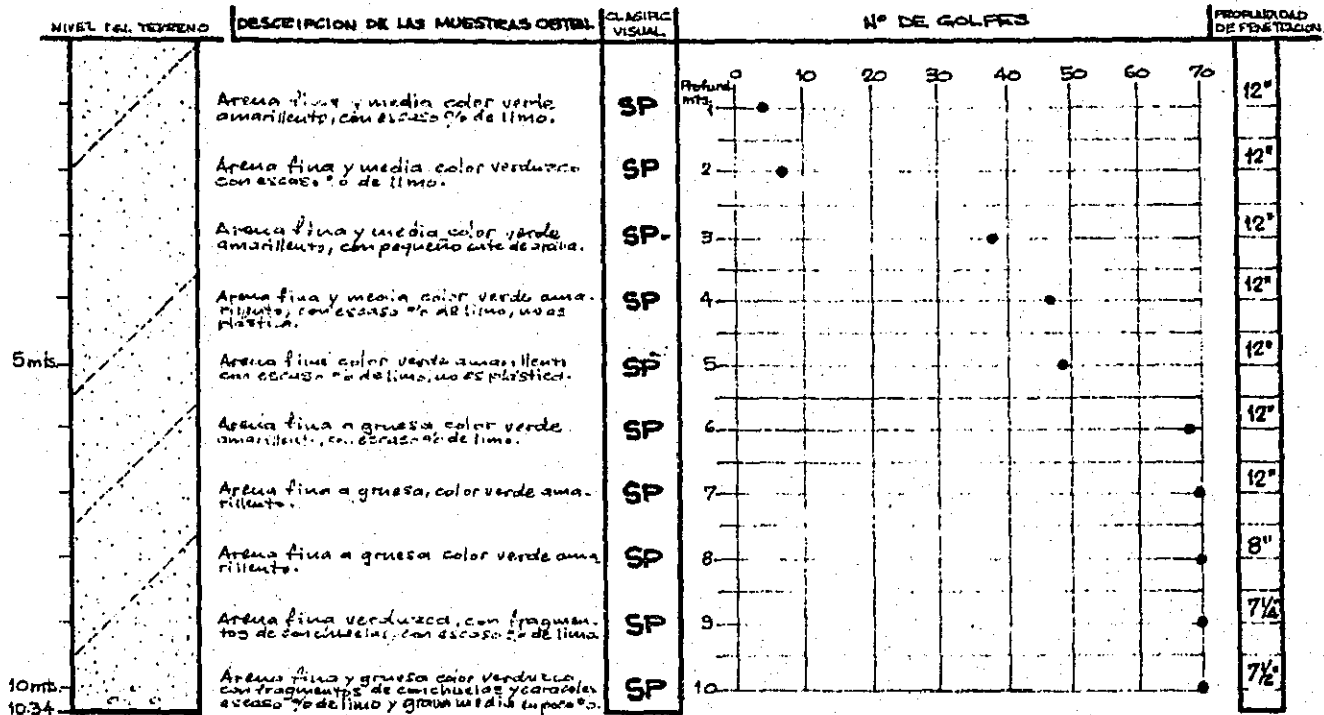
COTA:..... NIVEL DE AGUA:..... 0.80 mts.

SONDAJE N° 17

GRAFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION

N° DE GOLPES

PROFUNDIDAD DE PENETRACION



Appendix 3

Results of Grain Size Analysis

Fig. A-3-1

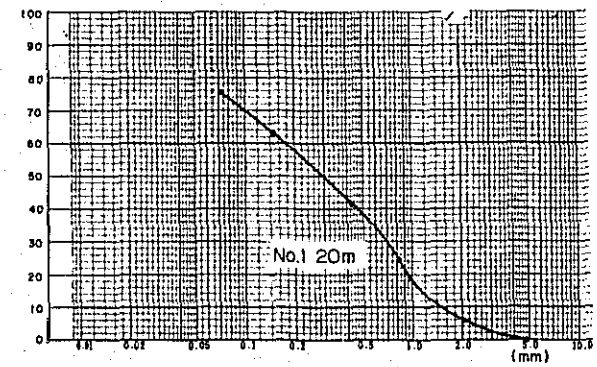
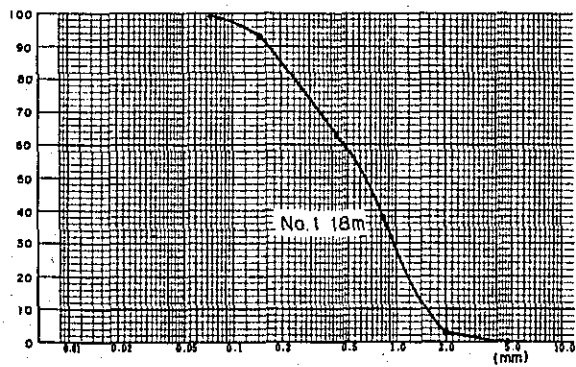
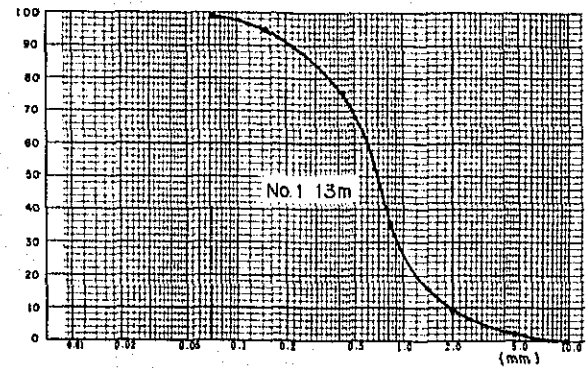
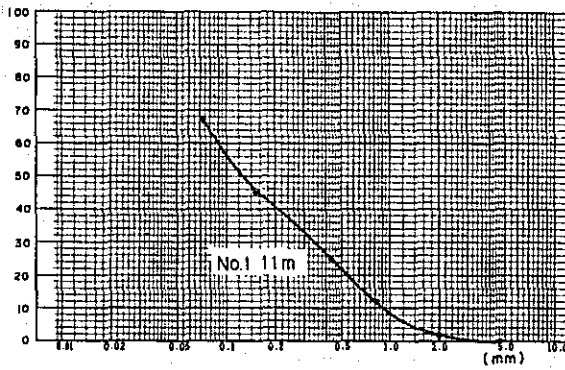
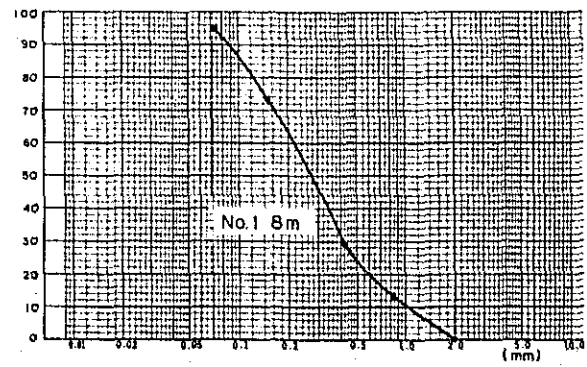
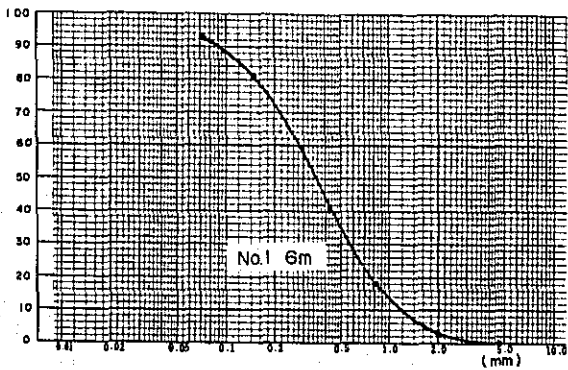
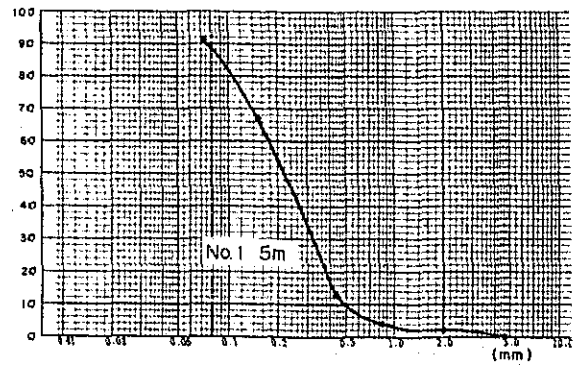
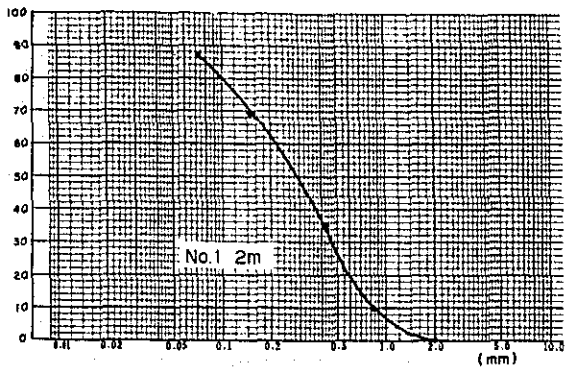


Fig. A-3-2

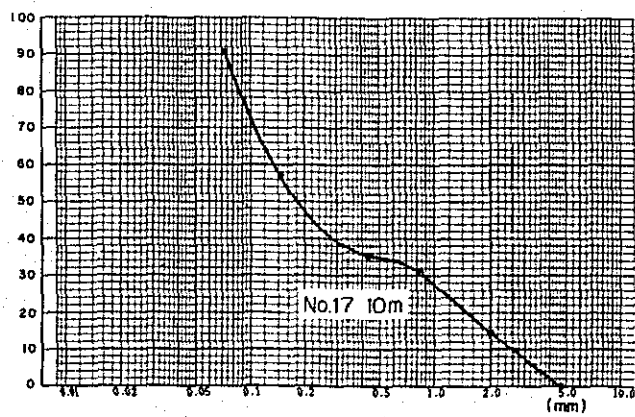
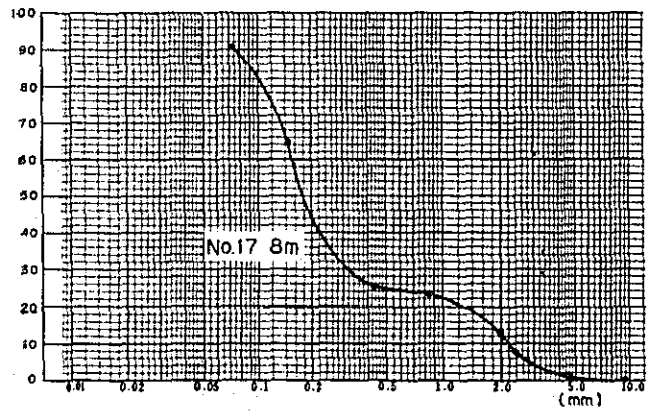
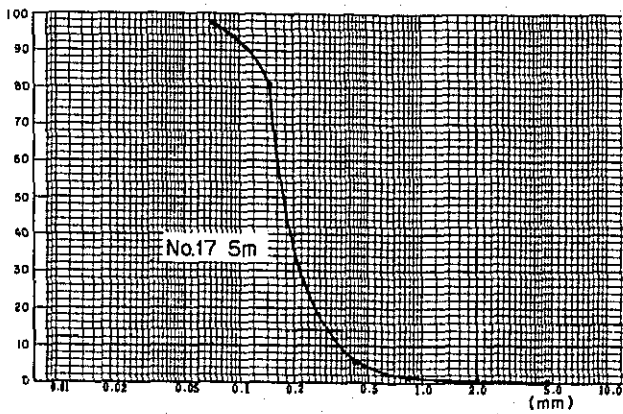
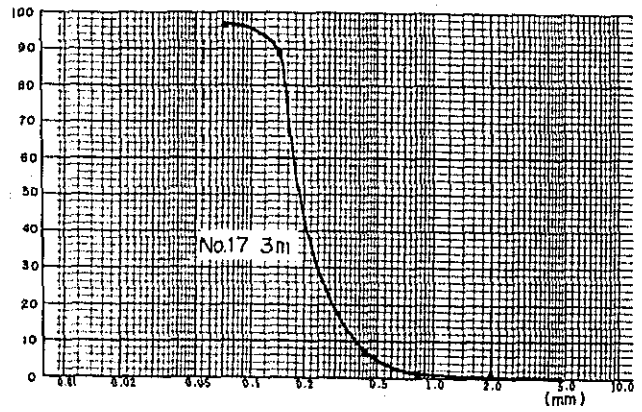
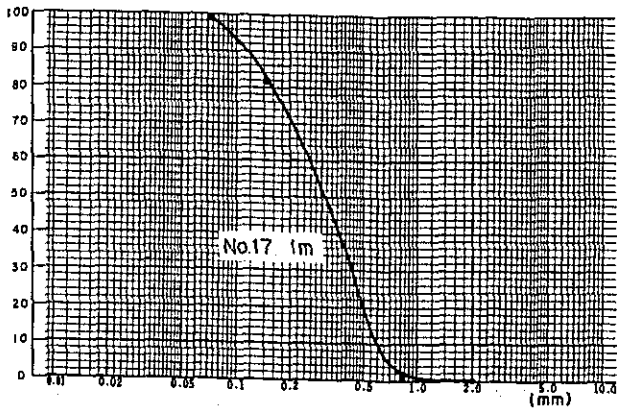


Fig. A-3-3

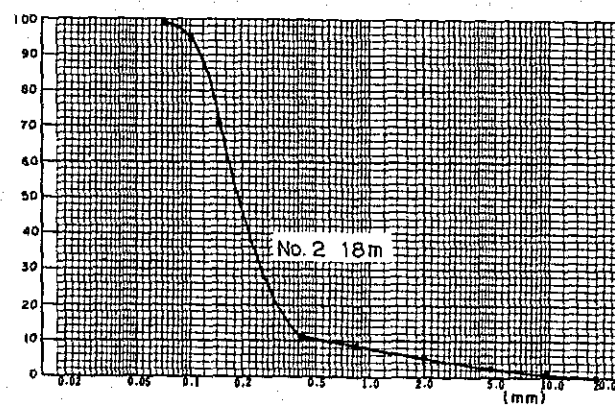
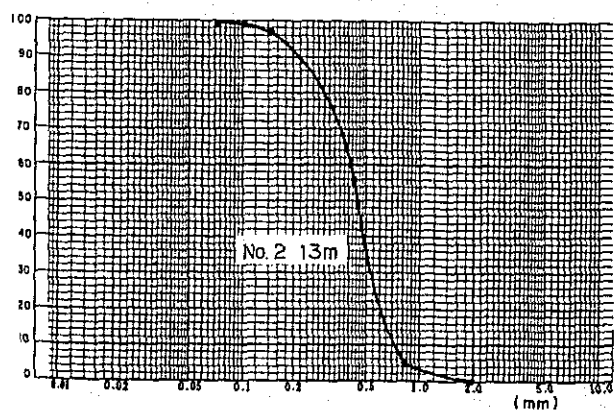
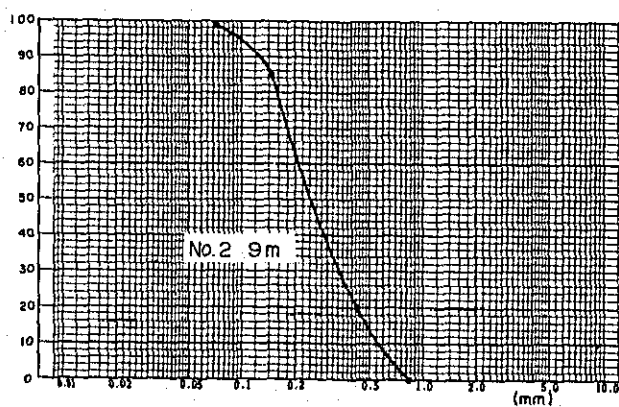
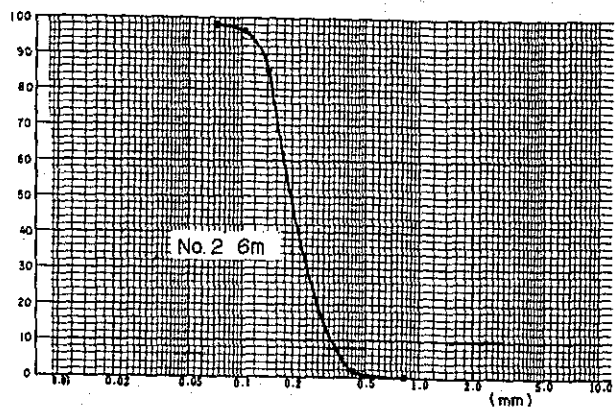
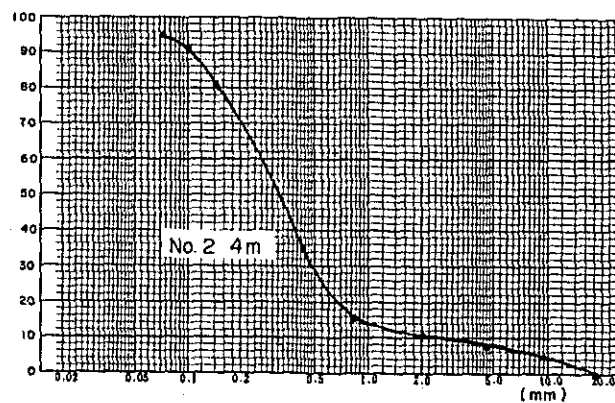
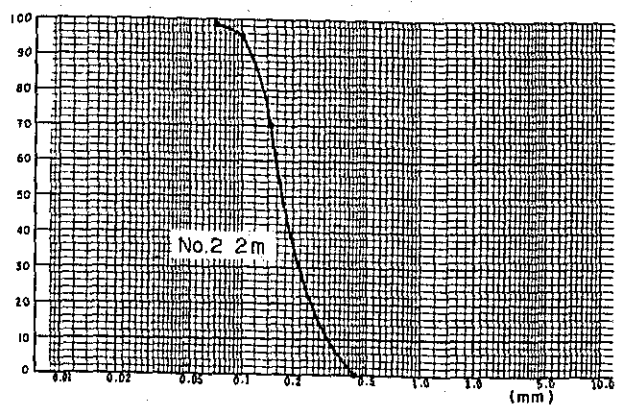


Fig. A-3-4

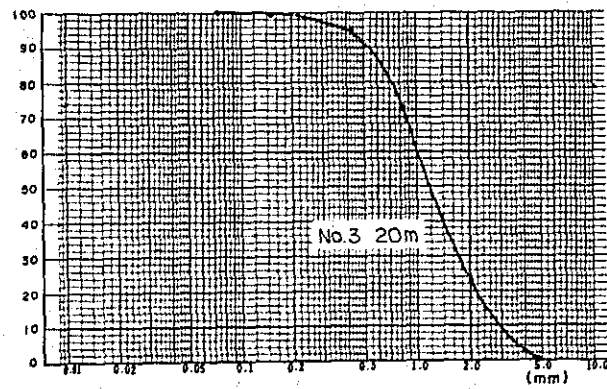
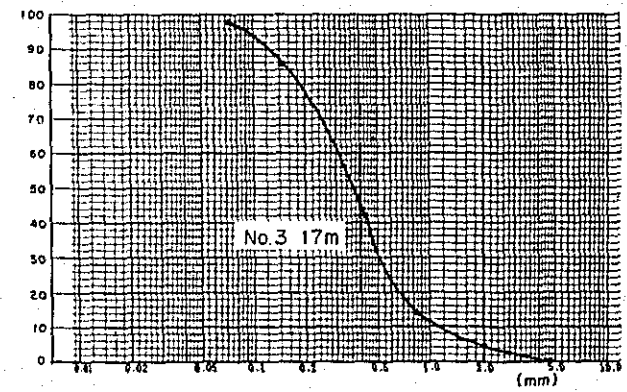
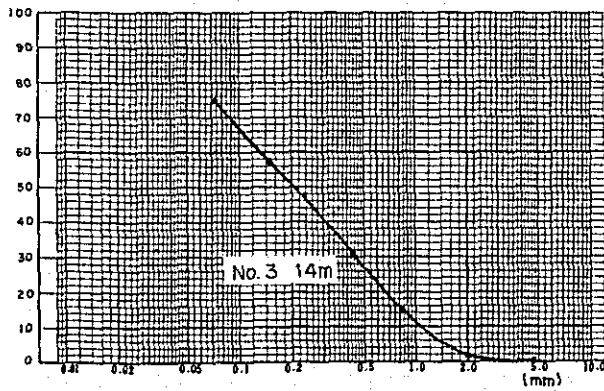
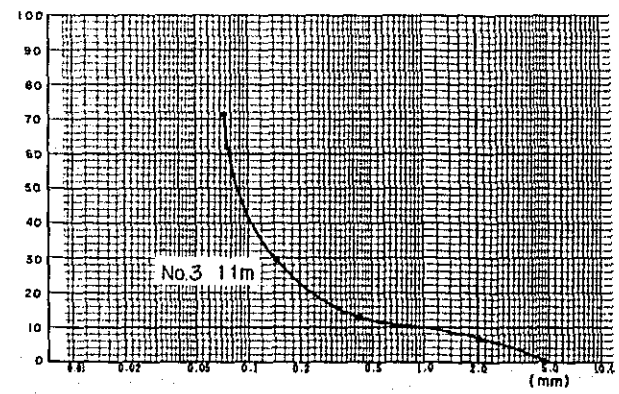
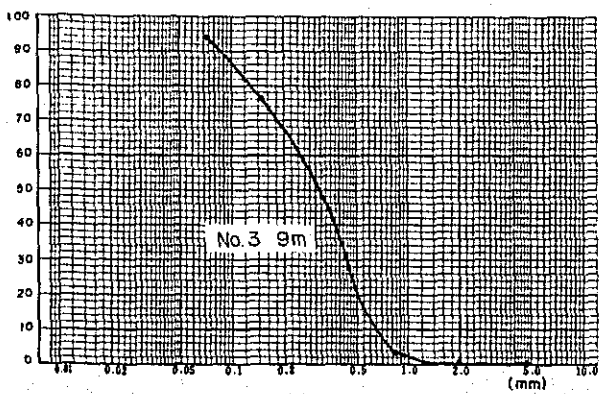
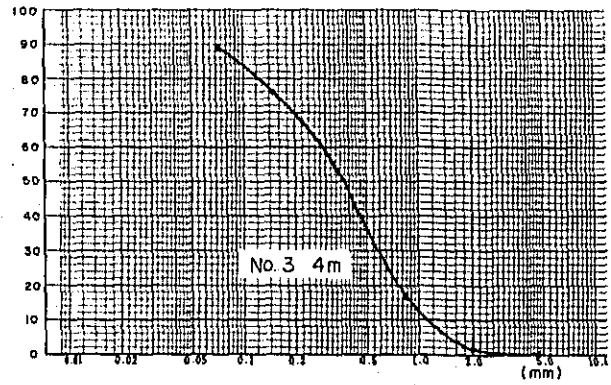
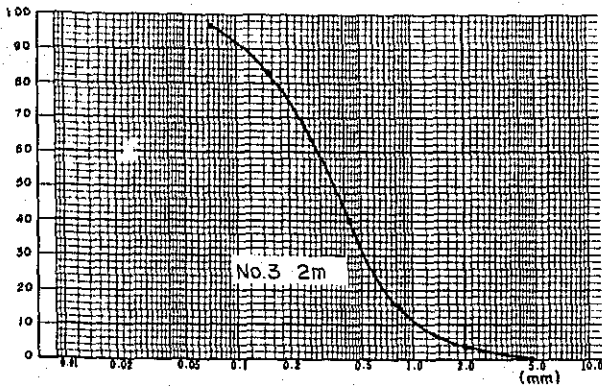


Fig. A-3-5

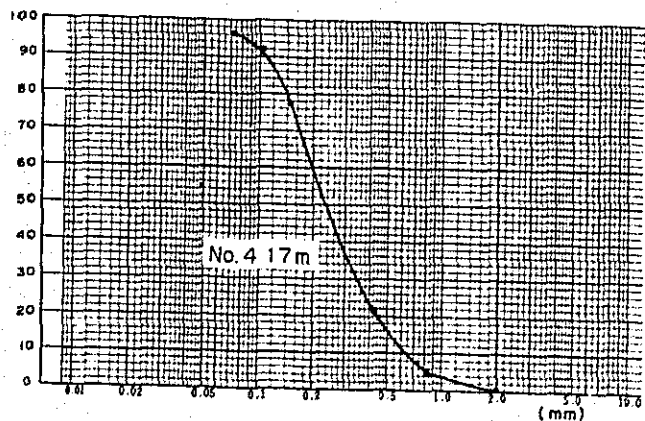
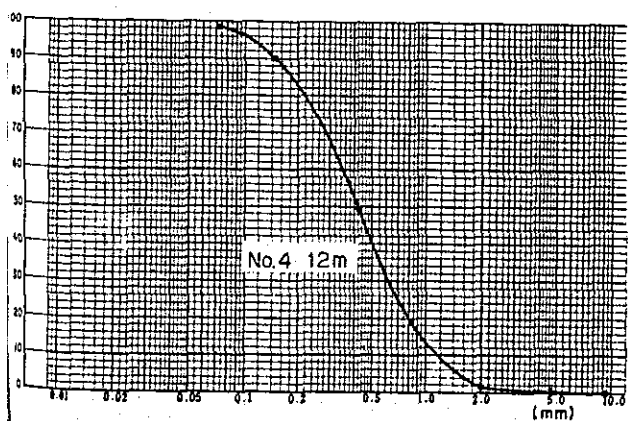
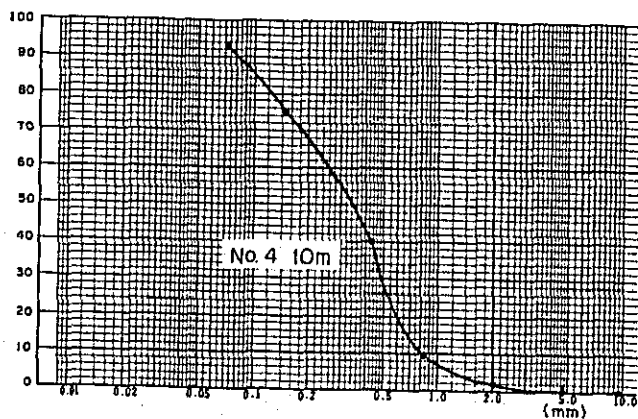
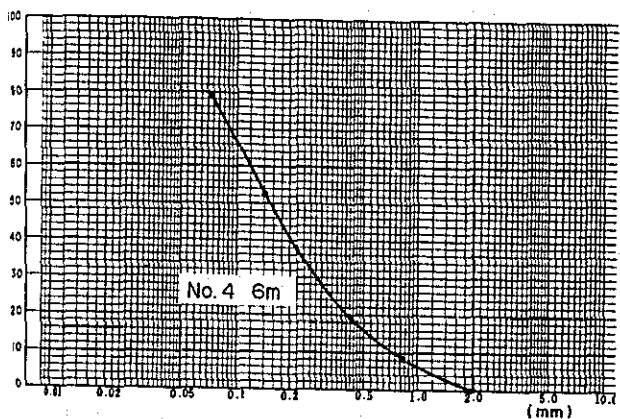
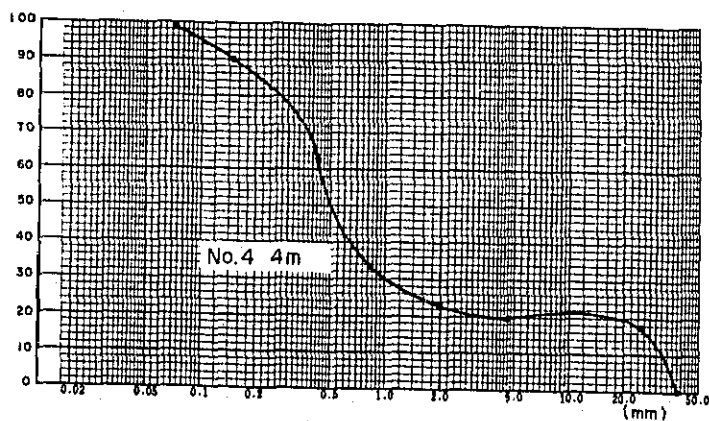
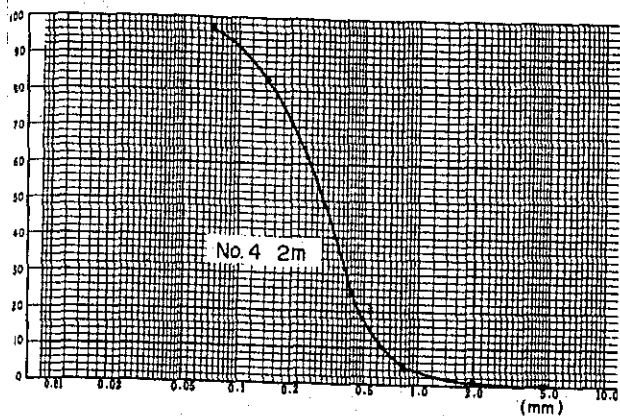


Fig. A-3-6

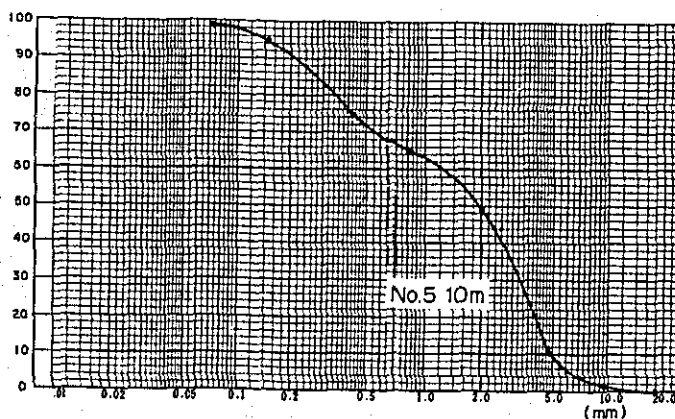
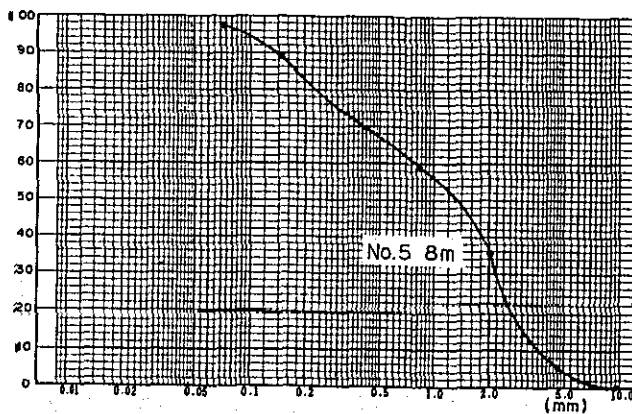
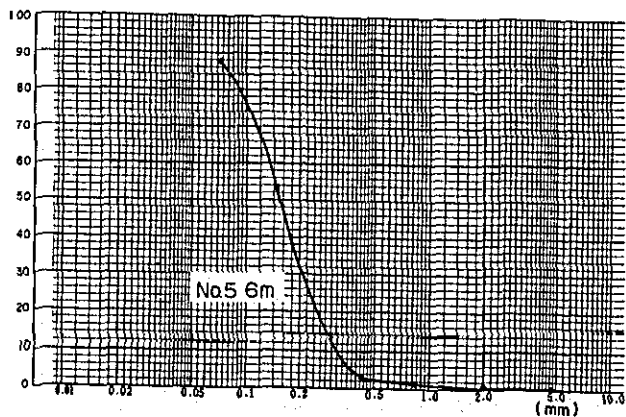
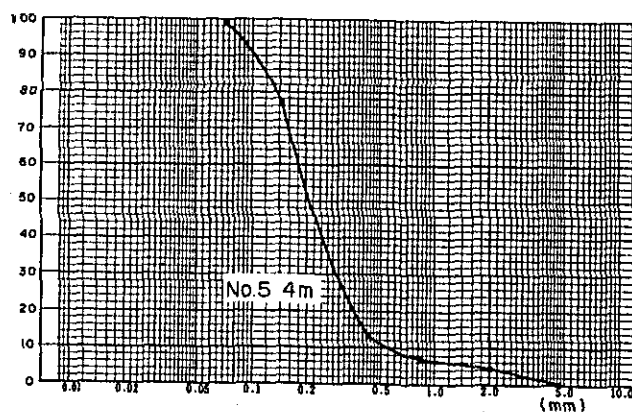
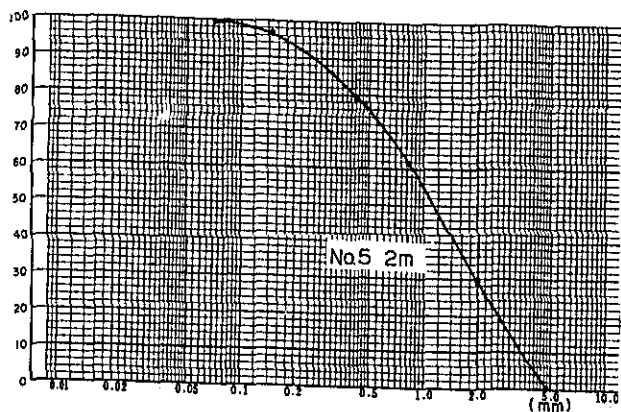


Fig. A-3-7

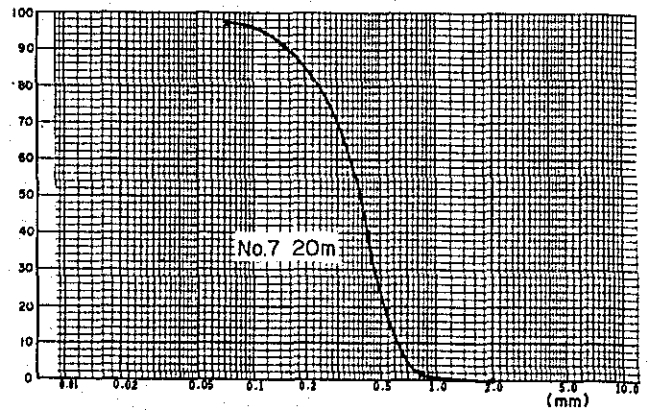
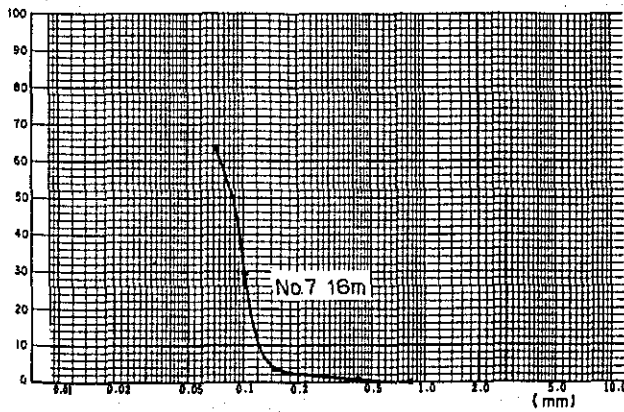
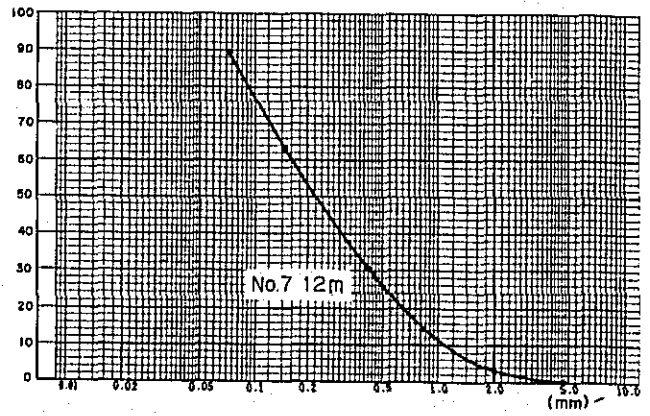
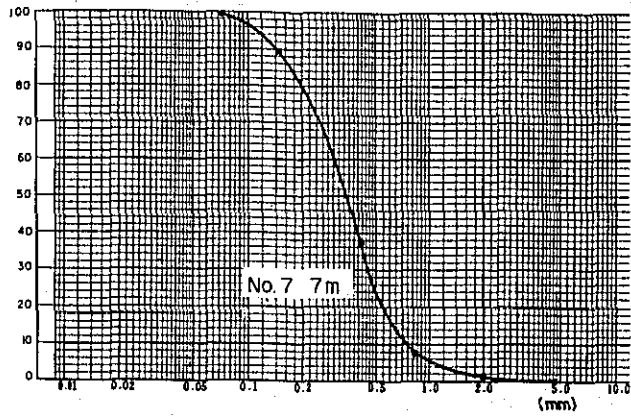
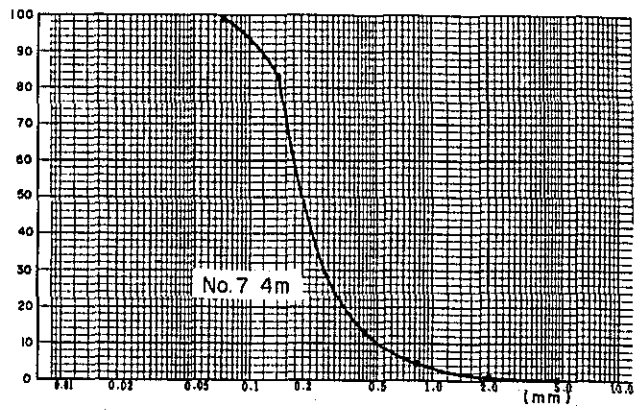
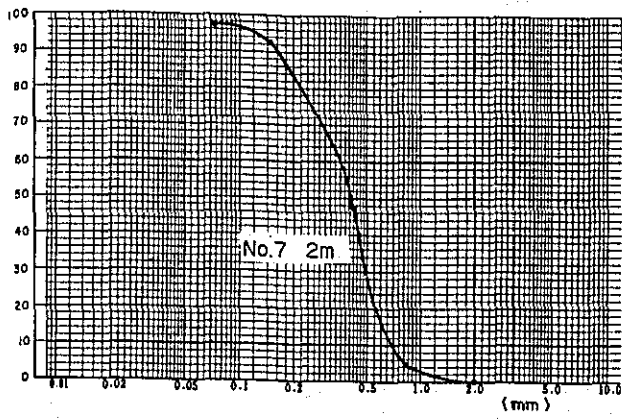


Fig. A-3-8

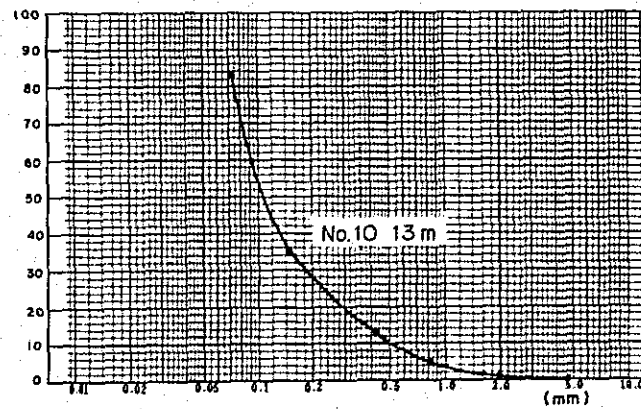
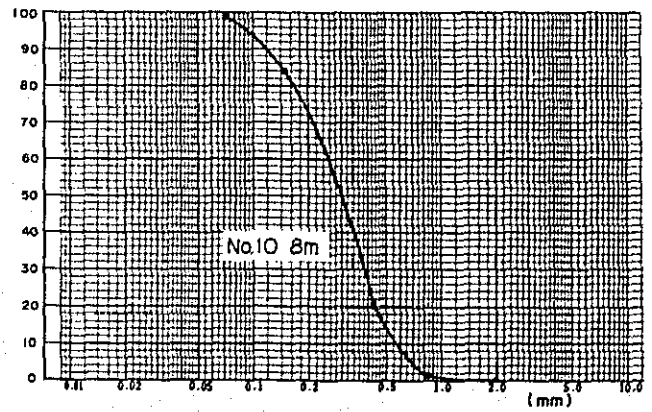
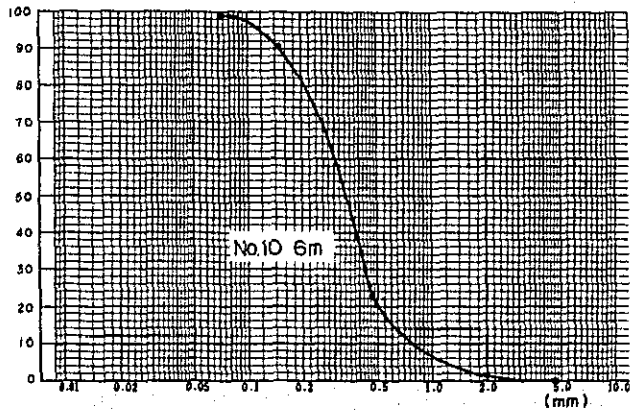
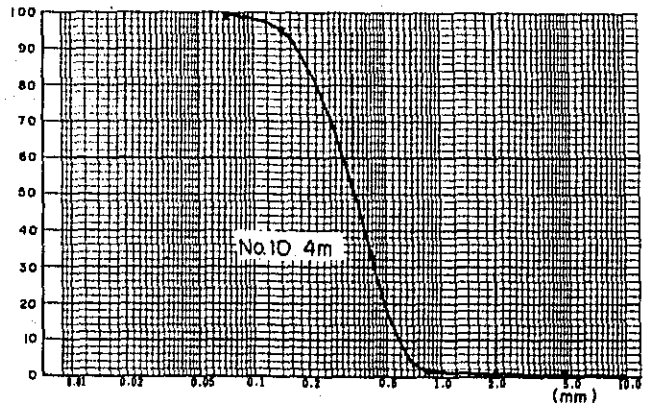
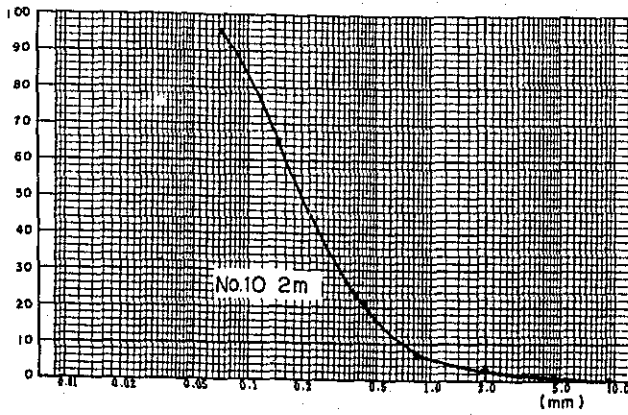
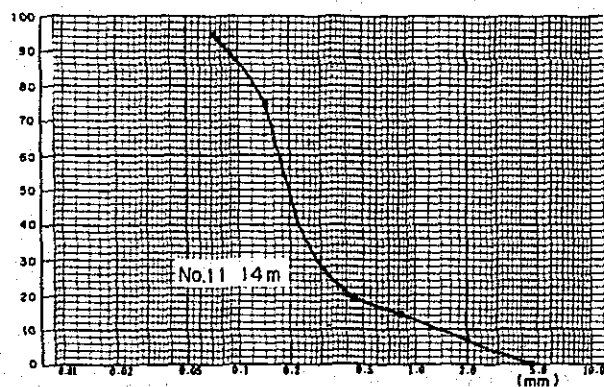
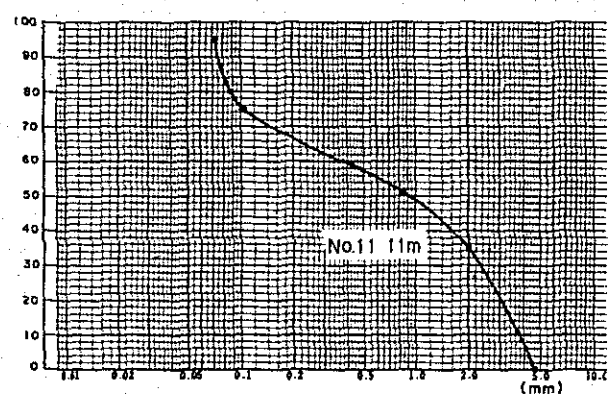
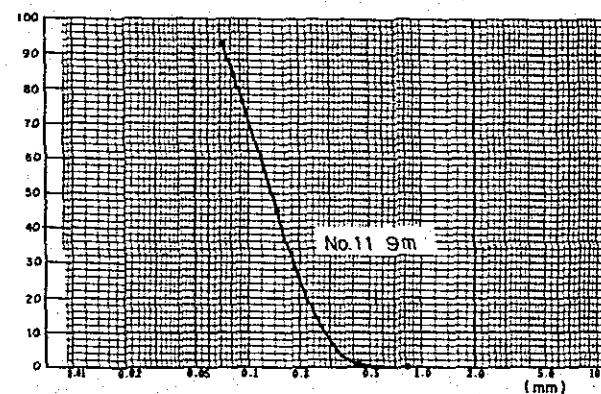
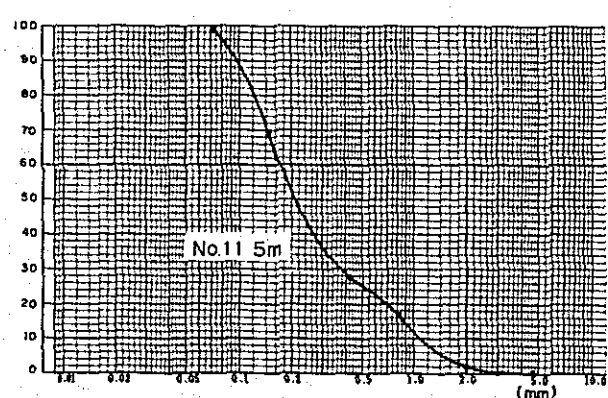
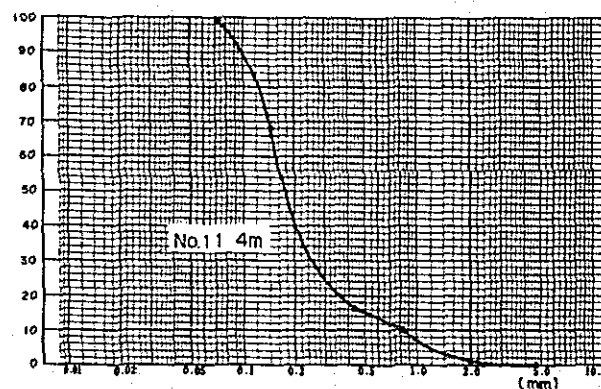
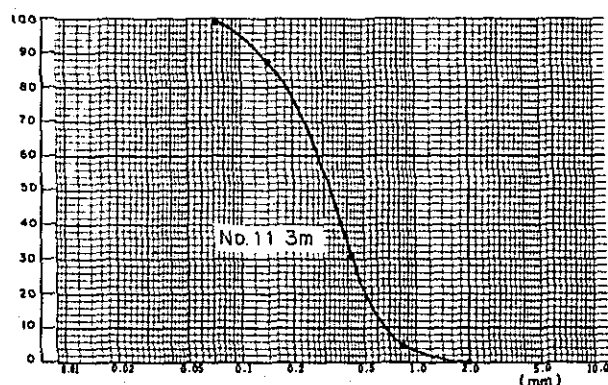
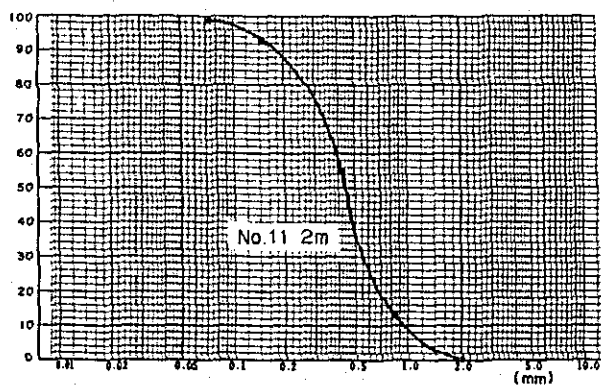


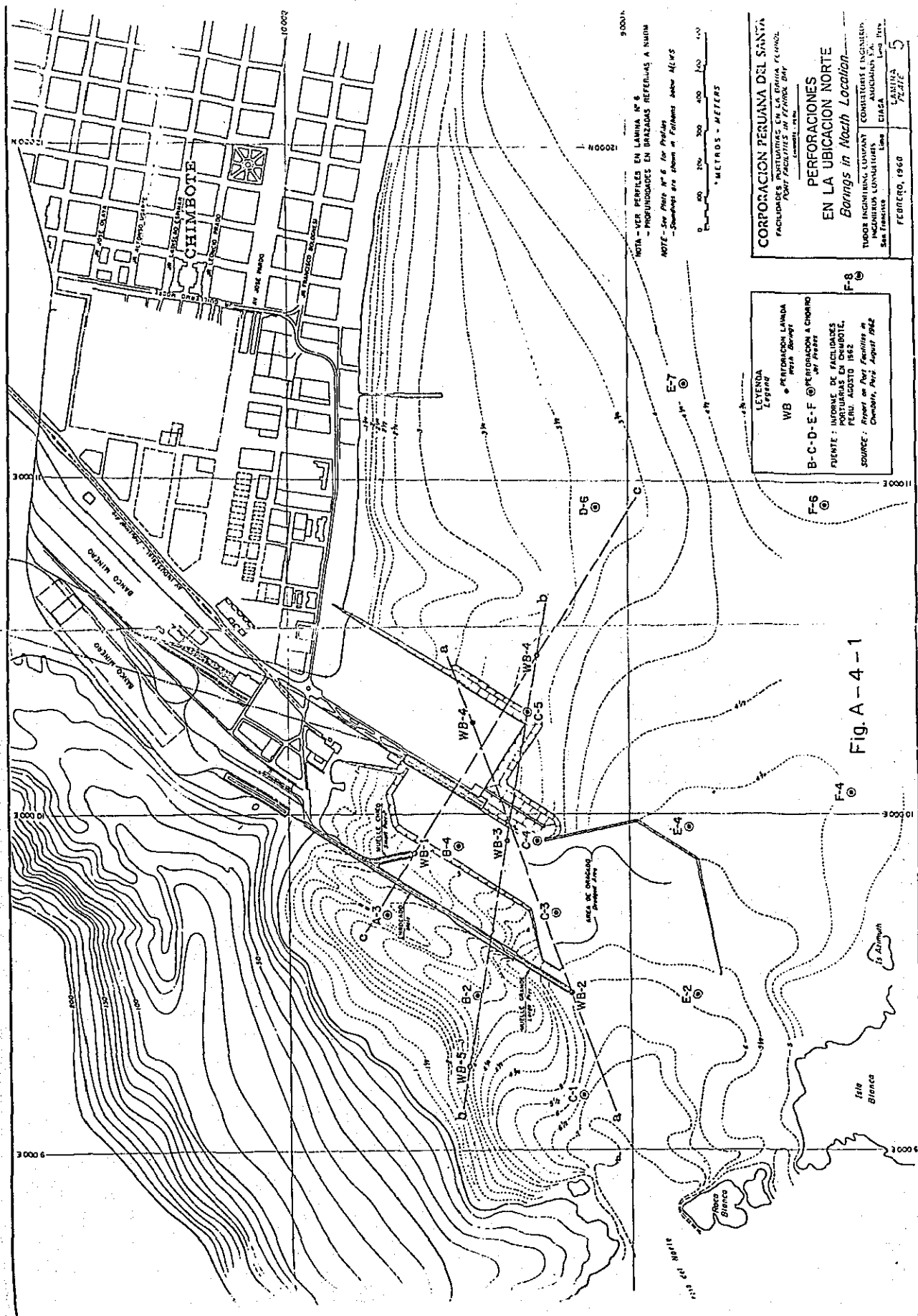
Fig. A-3-9

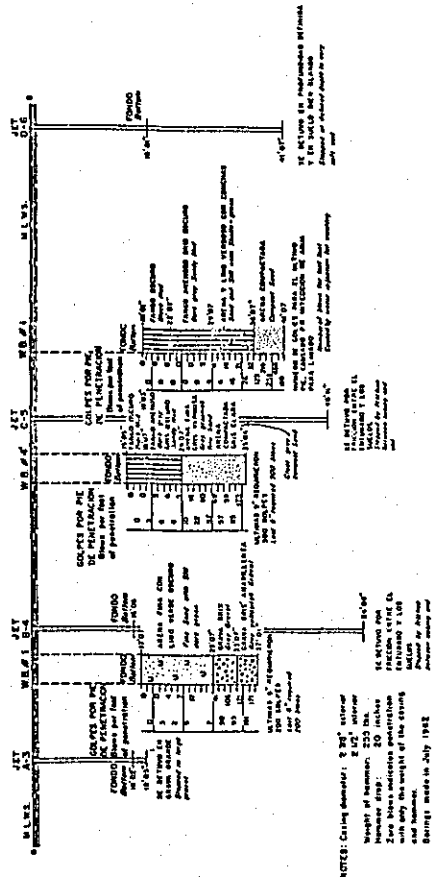
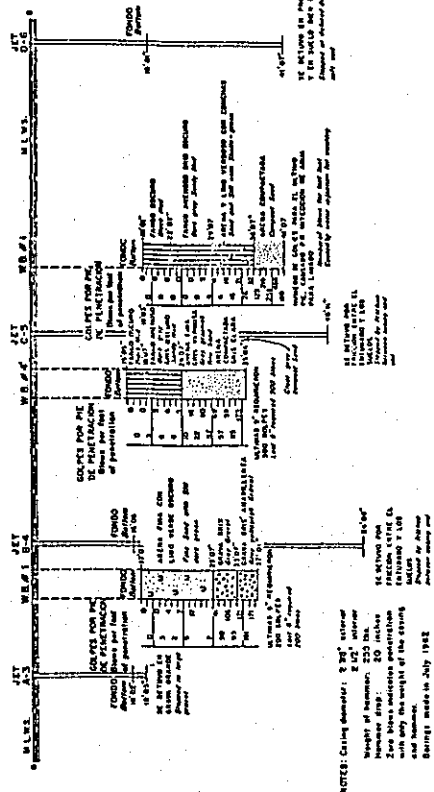
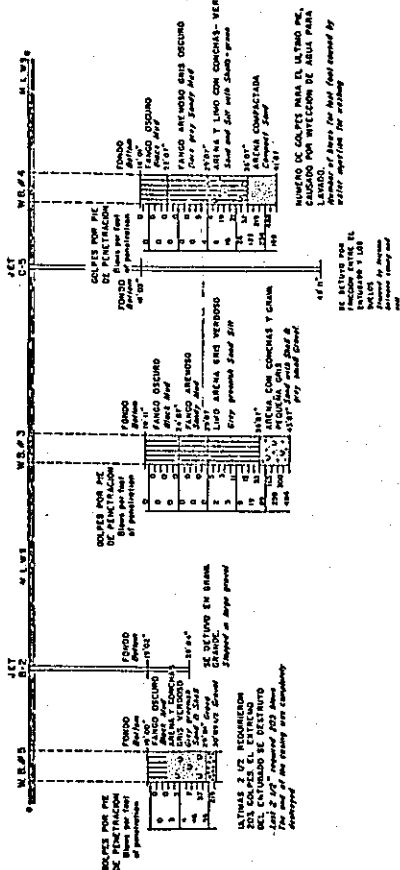
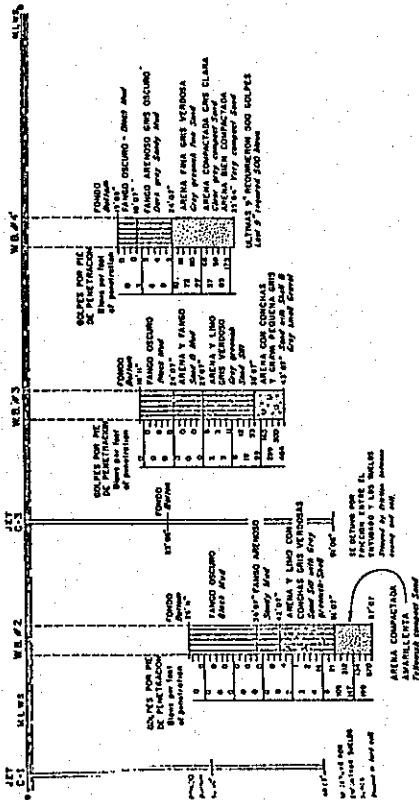


Appendix 4

Pre-existing Data of Water-wells and Borings

- I. From Report on Port Facilities in Chimbote
Chimbote, Perú August 1962**
- II. From Report of Ministerio de Fomento
y Obras Publicas Sub Direccion de Obres
Obras Sanitaris**





SIMBOLIS

ARENA Sand	LEAD, D LIMO ACHILLOSO Silt or clayey silt
GRAB Gravel	ARCILLA LIMOSA Silty clay
CHOCAS	FANGO

NOTE: VER UBICACIÓN EN LAMINA N° 3
NOTE: For Location See Plate No. 3

CORPORACION PERUANA DEL SANTA
FACILIDADES PORTUARIAS EN LA BAHIA FERROL
PORT FACILITIES IN FERROL BAY
— CONSULTING — PERU
PERFILES DE PERFORACIONES
UBICACION NORTE

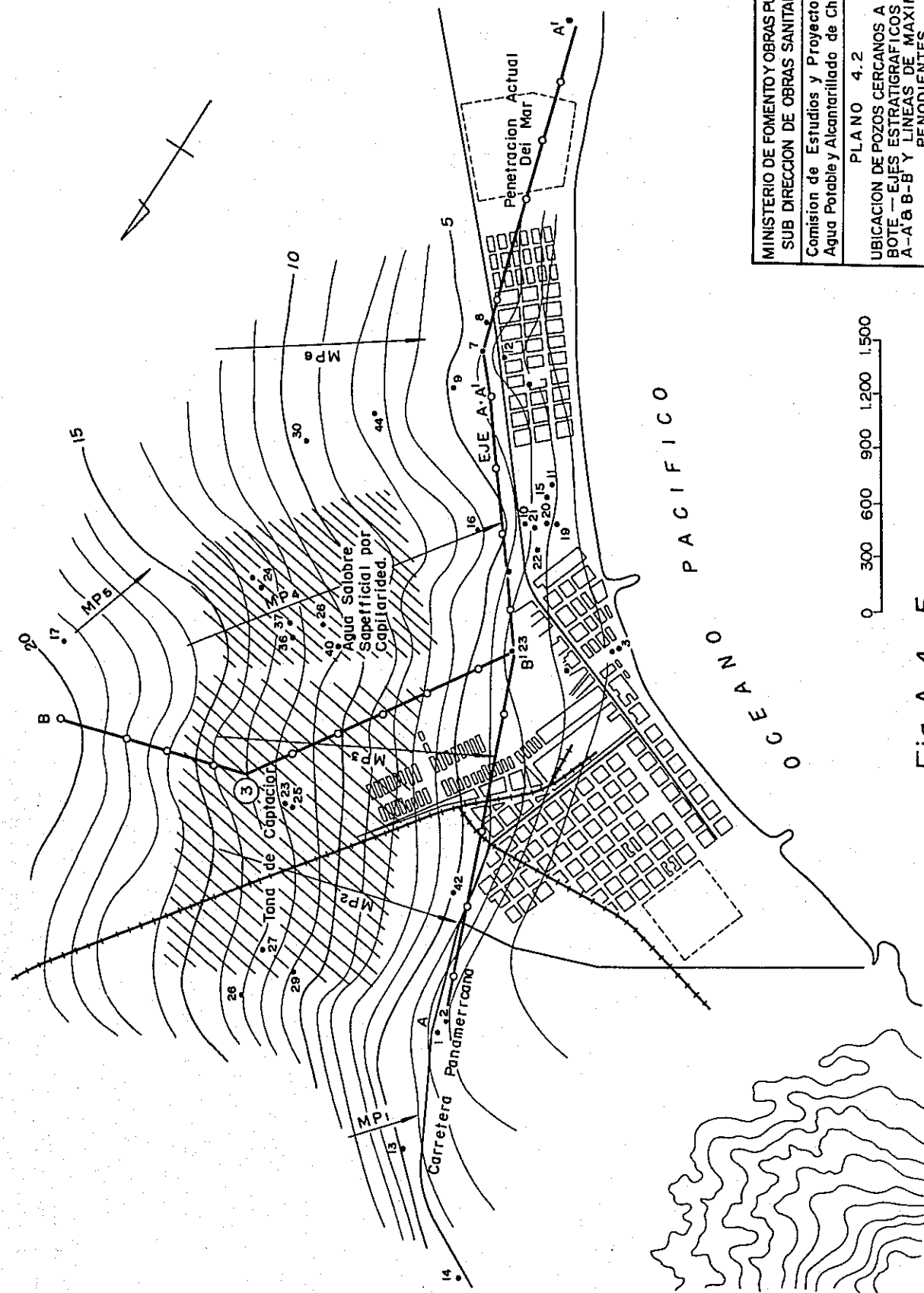
Borings Profiles in North Location

FLU-EPD, 1990	Li2SiF6	6
---------------	---------	---

6

FUENTE: INFORME FACILIDADES PORTUARIAS EN CHIMBOTE, PERU, AGO 1962
SOURCE: Report on Port Facilities at Chimbote, Peru August 1962

Fig. A-4-2



MINISTERIO DE FOMENTO Y OBRAS PUBLICAS
SUB DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS
Comision de Estudios y Proyectos de
Agua Potable y Alcantarillado de Chimbote
PLAN NO 4.2
UBICACION DE POZOS CERCANOS A CHIM-
BOTE - EJES ESTRATEGICOS
A-A' B-B' Y LINEAS DE MAXIMA
PENODIENTES

Fig. A-4 - 5

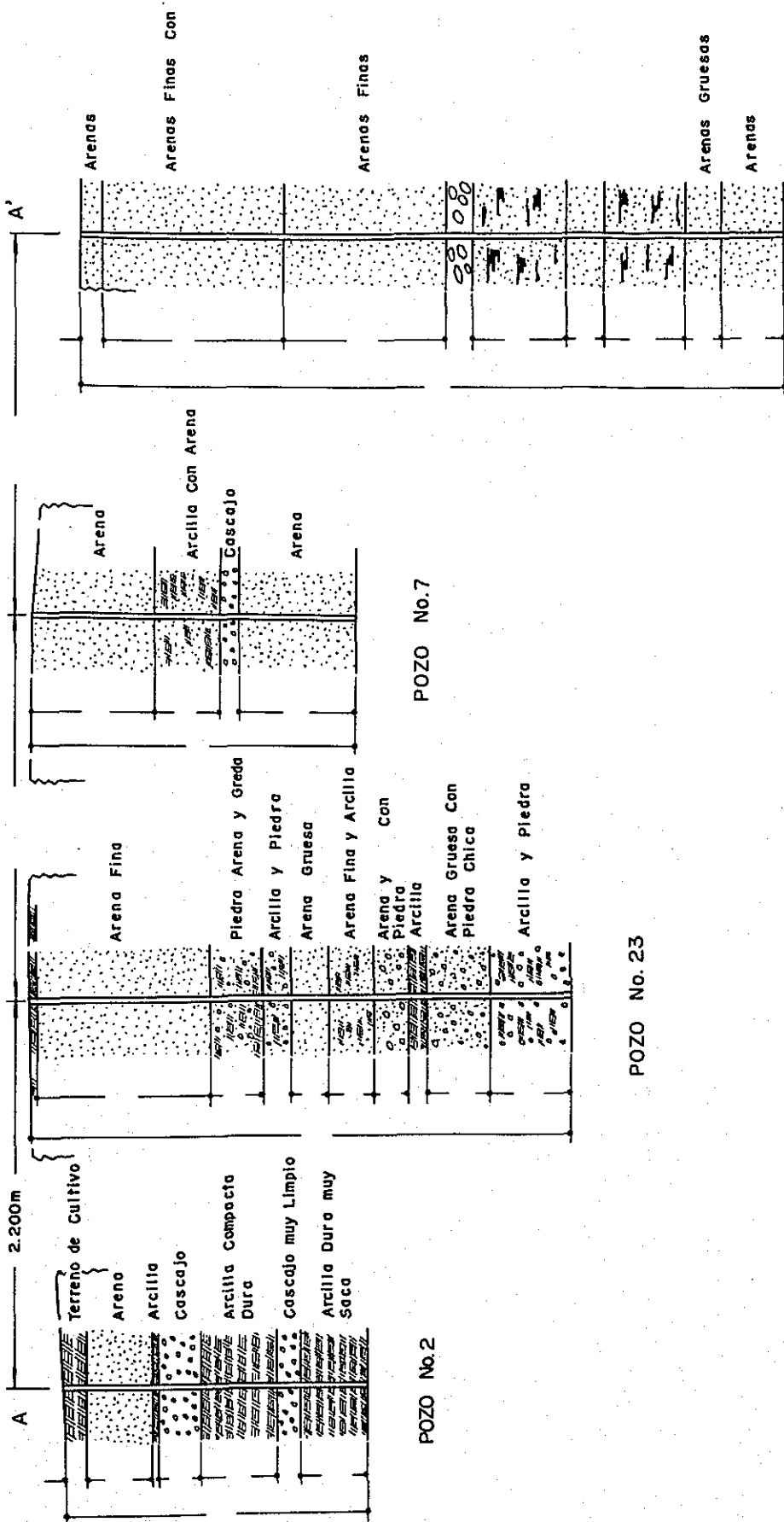
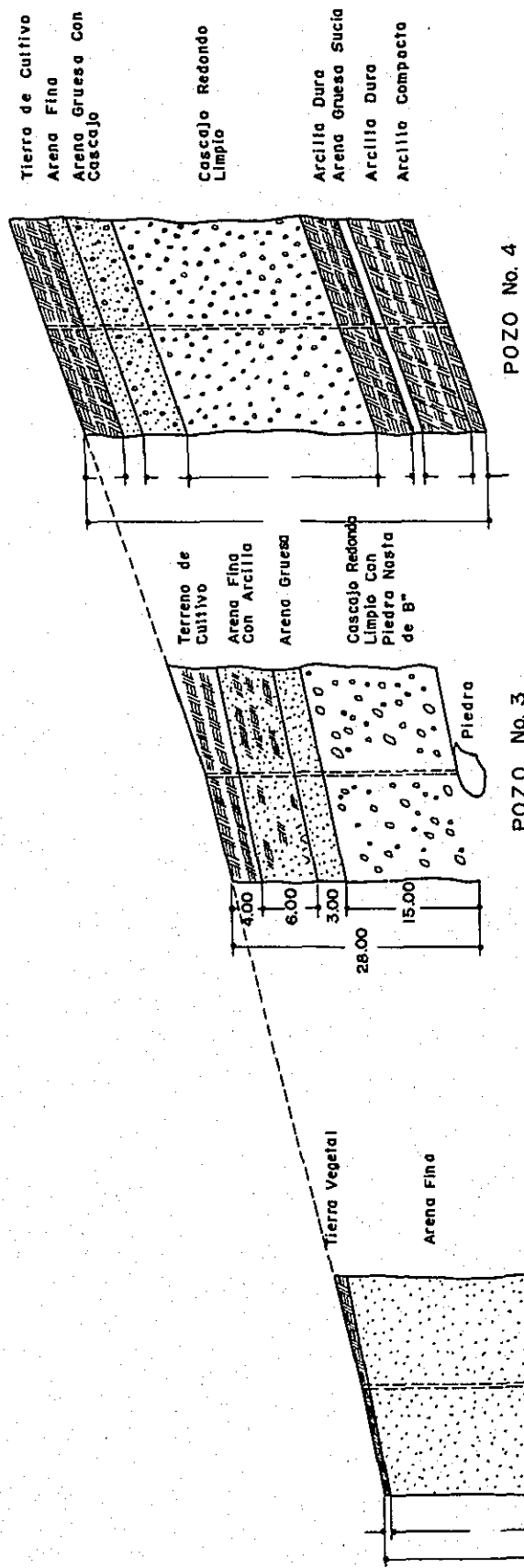


Fig. A-4-6

MINISTERIO DE FOMENTO Y OBRAS PUBLICAS
SUB DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS
Comision de Estudios y Proyectos de
Agua Potable y Alcantarillado de Chimbote
GRAFICO 4.2
CORTES ESTRATIGRAFICOS DEL
SUB-SUELO DE CHIMBOTE SECON
EL CORTE A-A'



MINISTERIO DE FOMENTO Y OBRAS PUBLICAS
SUB DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS
Comision de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado de Chimbote
GRAFICO 4.3
CORTES ESTRATIGRAFICOS DEL SUB-SUELO DE CHIMBOTE SECON EL EJE B-B'

Fig. A-4 - 7

Appendix 5

Micro—Tremor Records in Chimbote Area

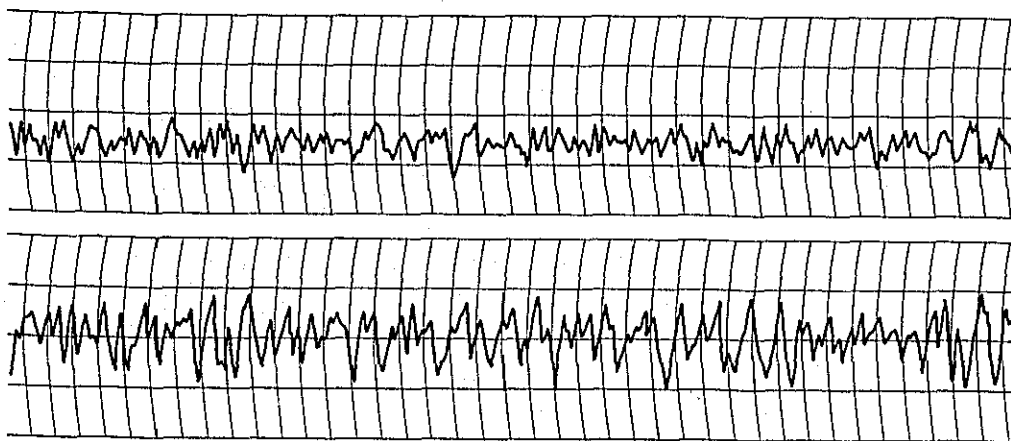


Fig. A-5-1 No.1 PLAZA DE ARMAS

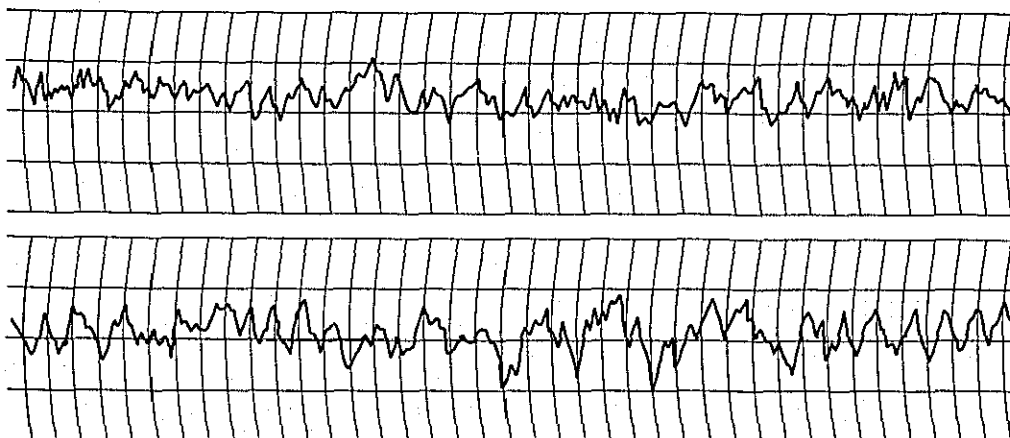


Fig. A-5-2 No.5 URBANIZACION LA CALERA

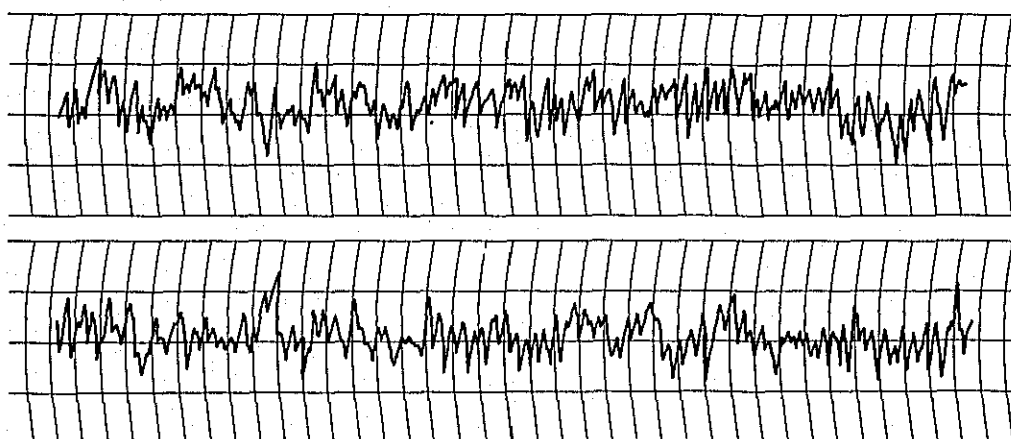


Fig. A-5-3 No.13 SAN PEDRO

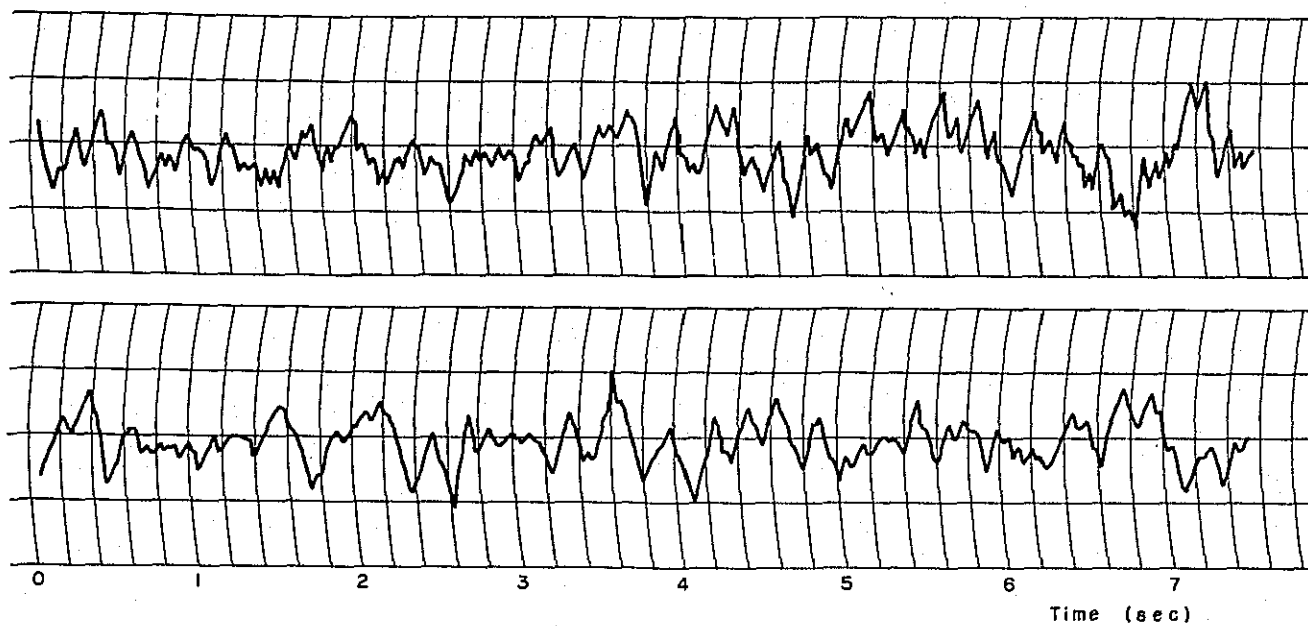


Fig. A - 5 - 4 No.7 NEAR T. V. ANTENNA

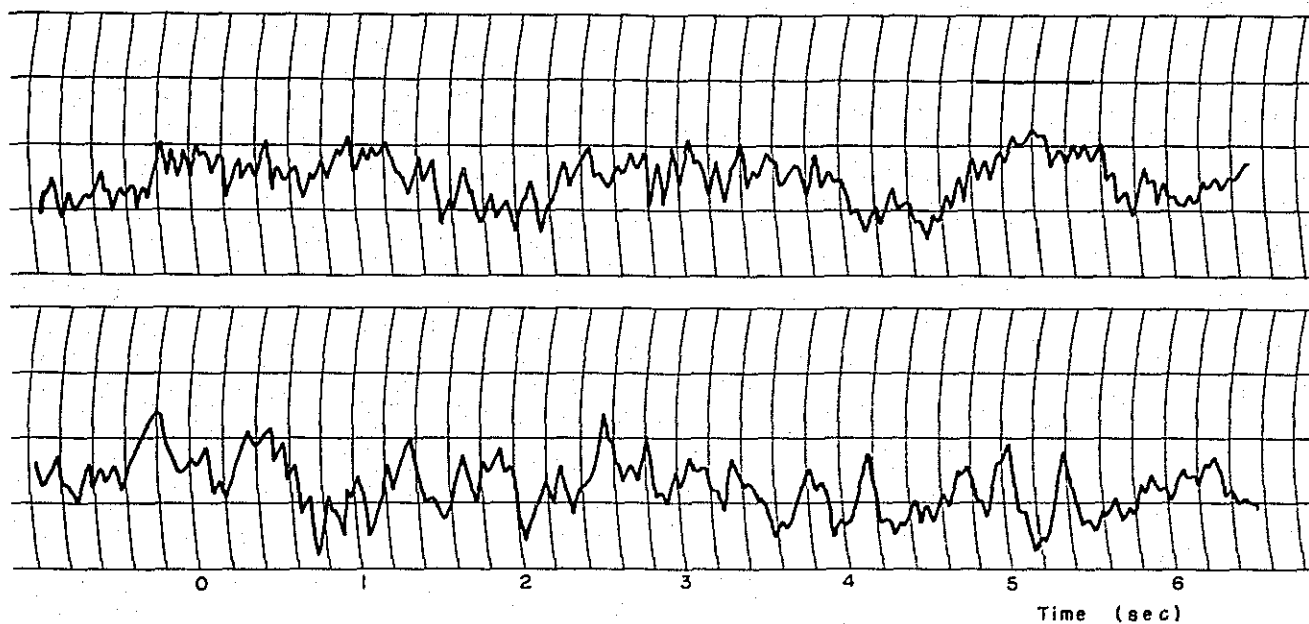


Fig. A - 5 - 5 No.14 URB. 21 DE ABRIL

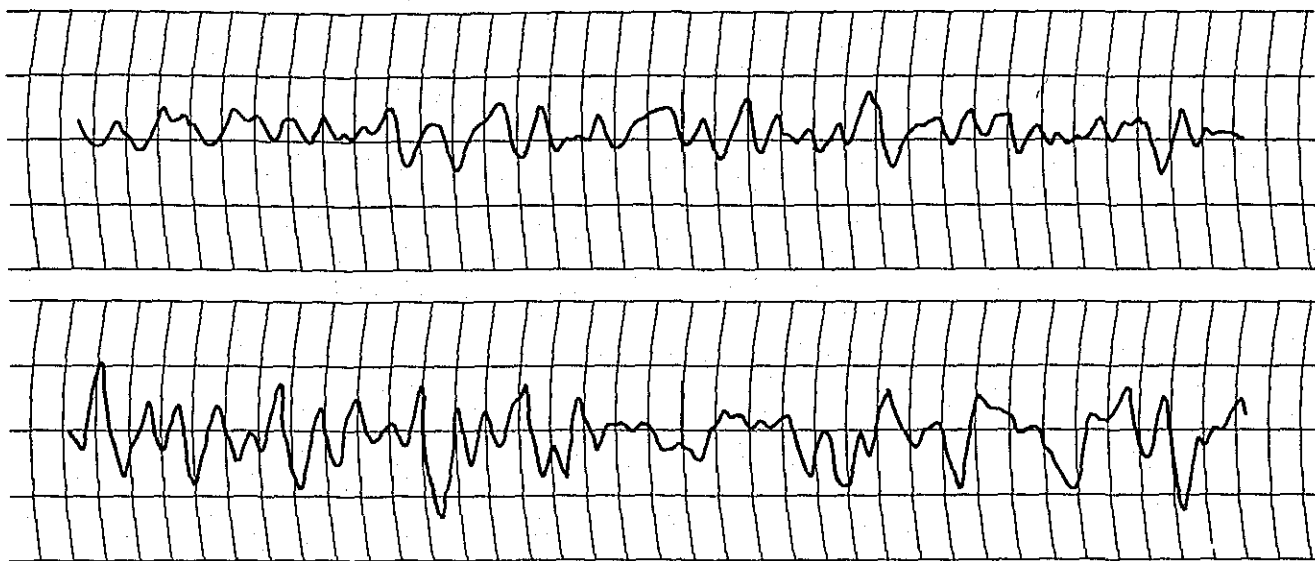


Fig. A-5-6 No.15 JIRON UNION-CUADRA 6 FINAL

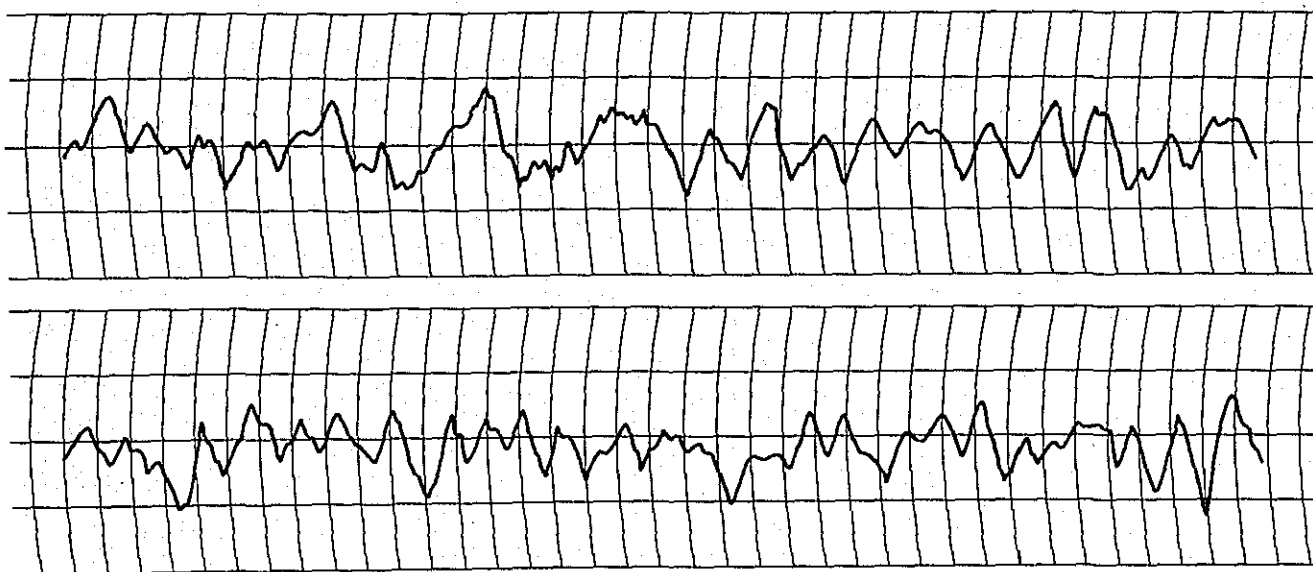


Fig. A-5-7 No.20 PERFORACION JIRON ICA

Appendix 6

Frequency—Periods Curve of Micro— Tremor Records in Chimbote Area

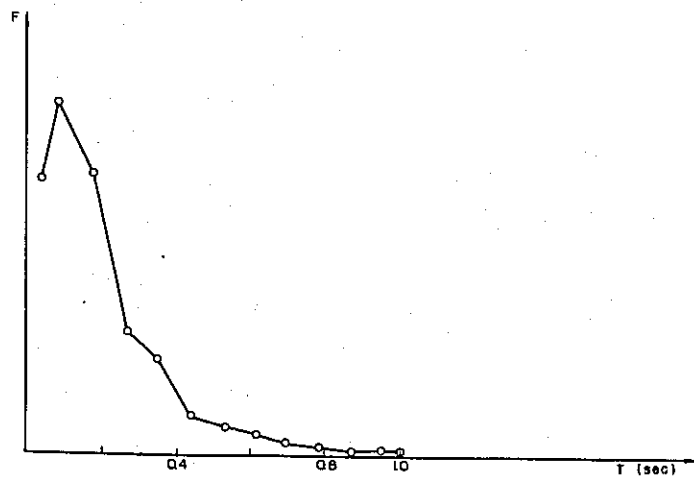


Fig. A-6-1
MULTI-LAYERED GROUND SURFACE

POINT No. 13 San Pedro
Pick No. 1

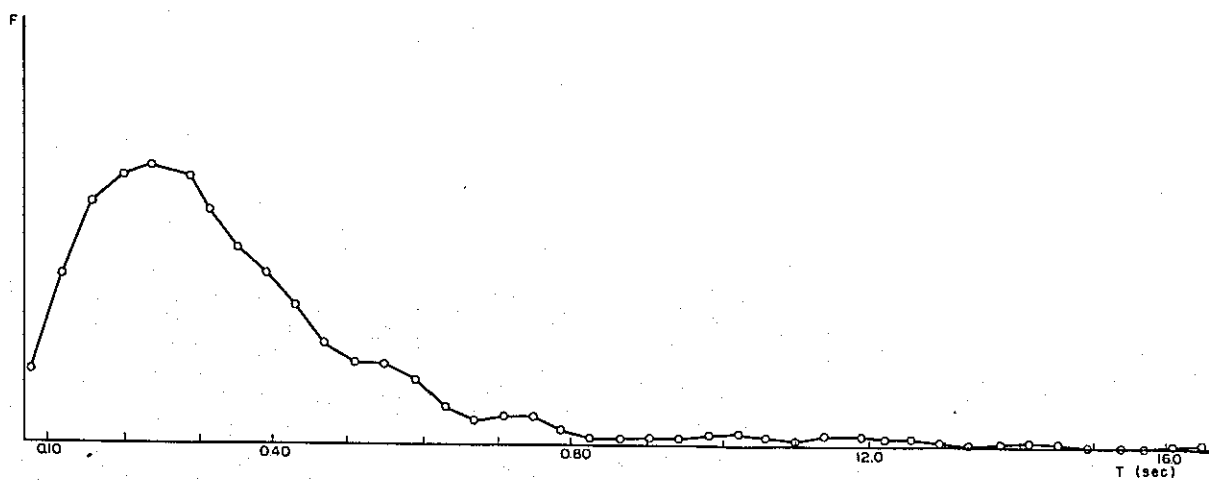


Fig. A-6-2

POINT No. 16
Jr. Union Cuadra 1
Pick No. 1 (1 A. La. Calle)
Tp = 0.23 F = 40
Fp = 372
T Mayor = 1.64

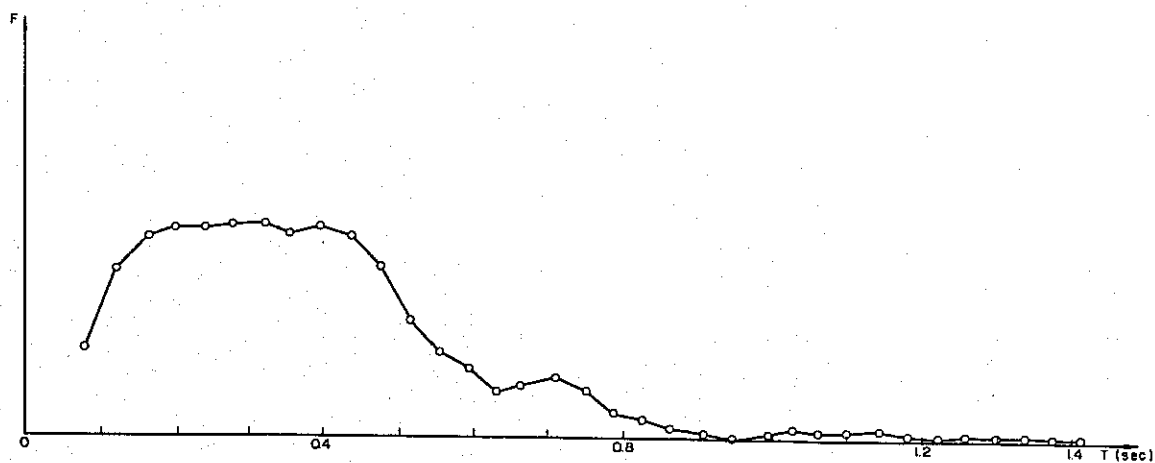


Fig. A-6-3

POINT No. 16
Jr. Union Cuadra 1
Pick No. 2 (En. El. Sueta)
T Mayor = 1.4

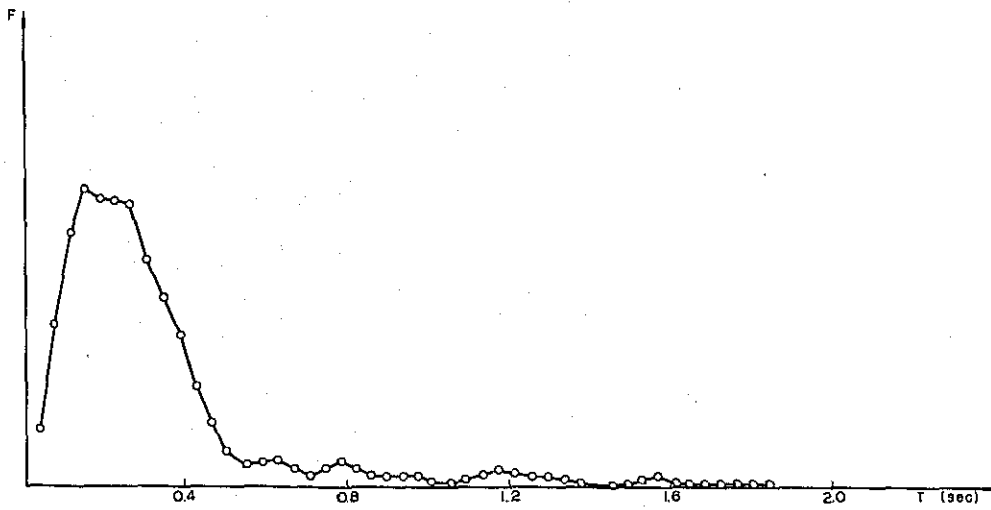
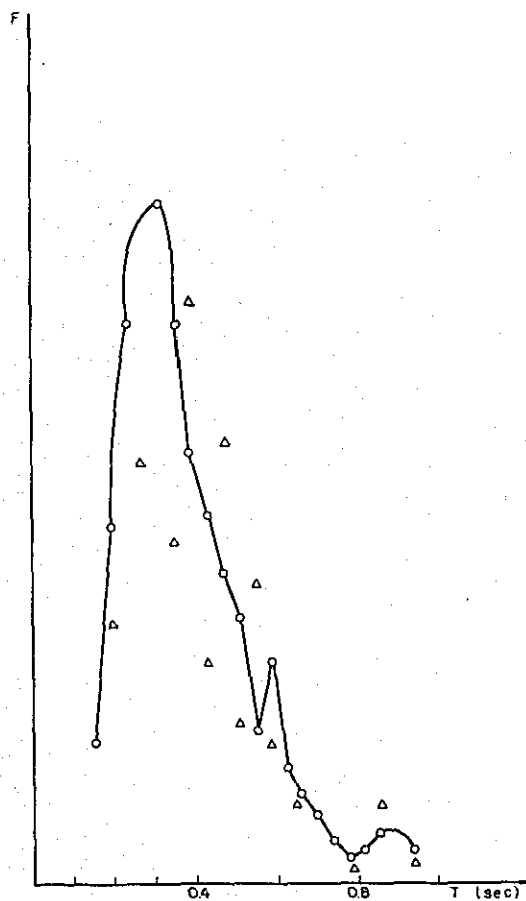


Fig. A-6-4

POINT No. 24
Barrio Villa Maria
Pick No. 1



POINT No.

Δ Point de F
O Point de F'
Pick No. 2

Fig. A-6-5

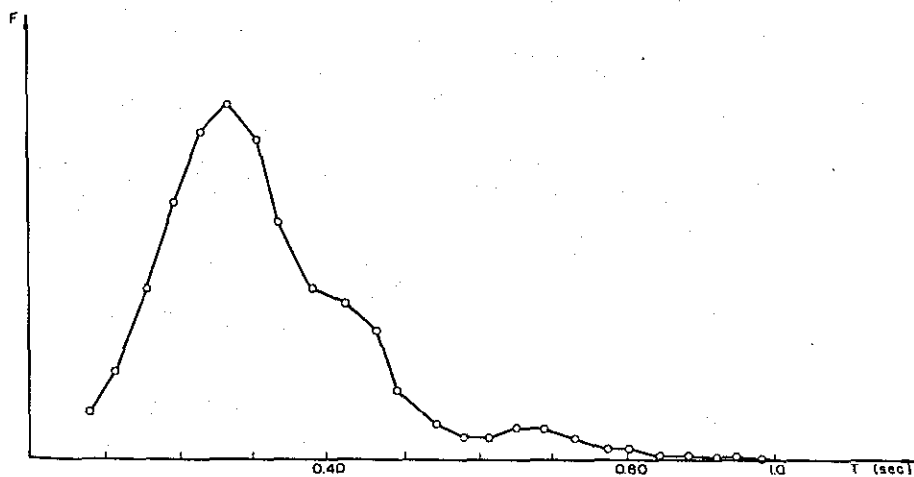


Fig. A-6-6

POINT No. 19
 Pozo No. 4
 Pick No. 2 (En. El. Suelo)
 $T_{\text{Mayor}} = 0.27$ $F_p = 1$
 $R_p = 0.5$

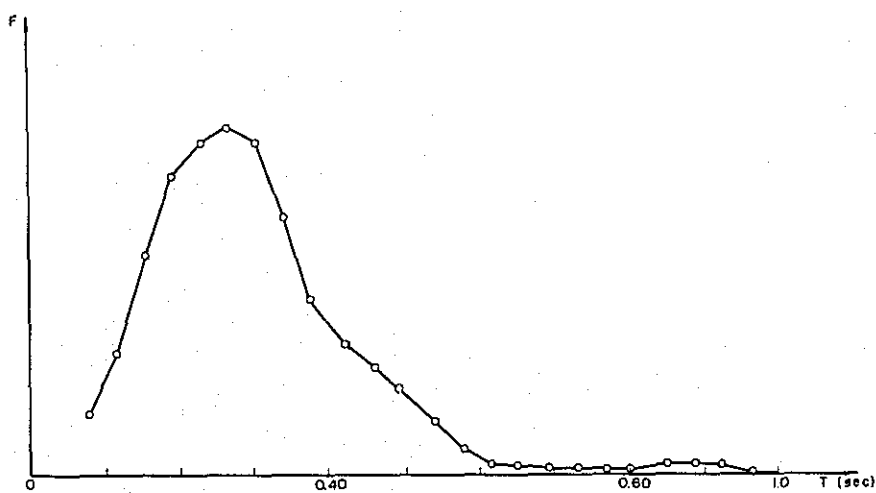


Fig. A-6-7

POINT No. 19
 Pozo No. 4
 Pick No. 1 (En. El. Suelo)
 $T_{\text{Mayor}} = 1.15$ $F_p = 1$
 $R_p = 0.5$

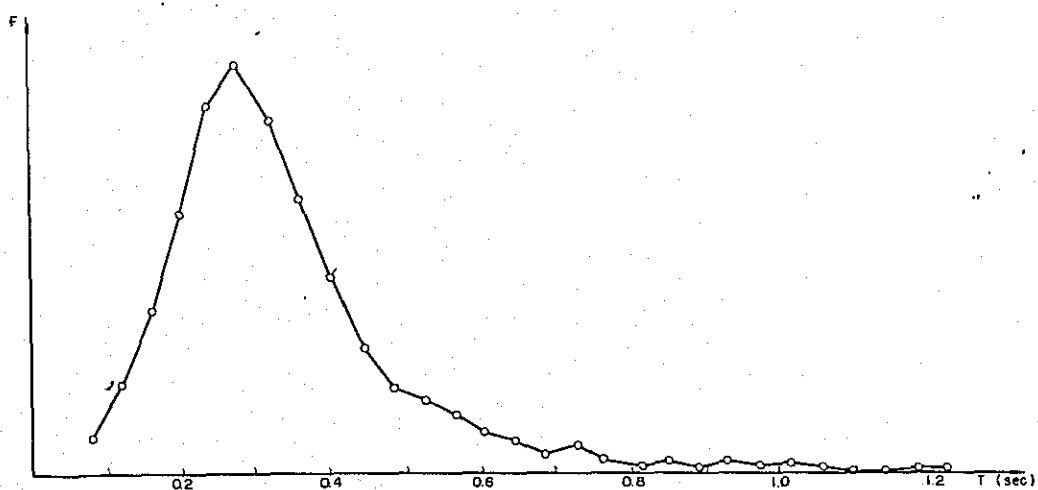


Fig. A-6-8

POINT No. 20
 Pozo No. 3 (Jr. lco)
 Pick No. 2 (En. El. Suelo)
 $T_{\text{Mayor}} = 1.22 \text{ sec}$

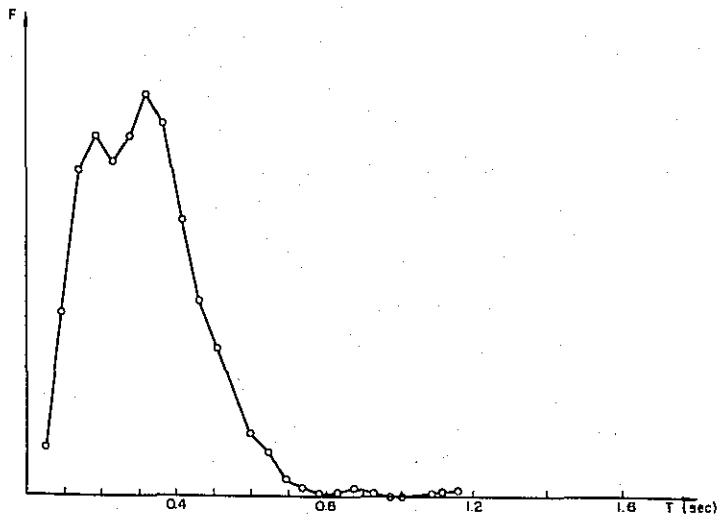


Fig. A-6-9

POINT No. 21

G.U.E. San Pedro (Jr. San Pedro Cuadra 1)
Pick No. 2
(Carco Drillo de Maz)

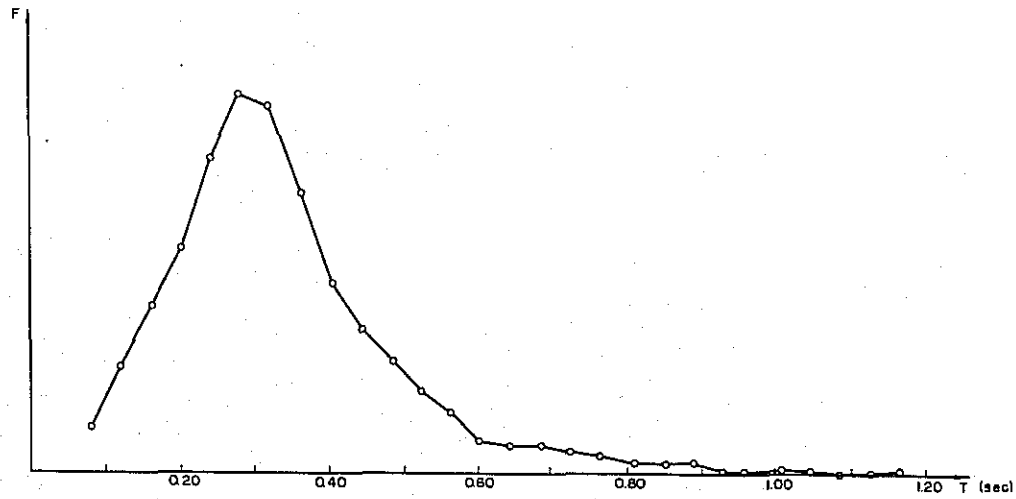


Fig. A-6-10

POINT No. 20

Pozo No. 3 (Jr. Ico)
Pick No. 1 (En. El Suelo)
Tp = 0.28 F = 50
F = 5076

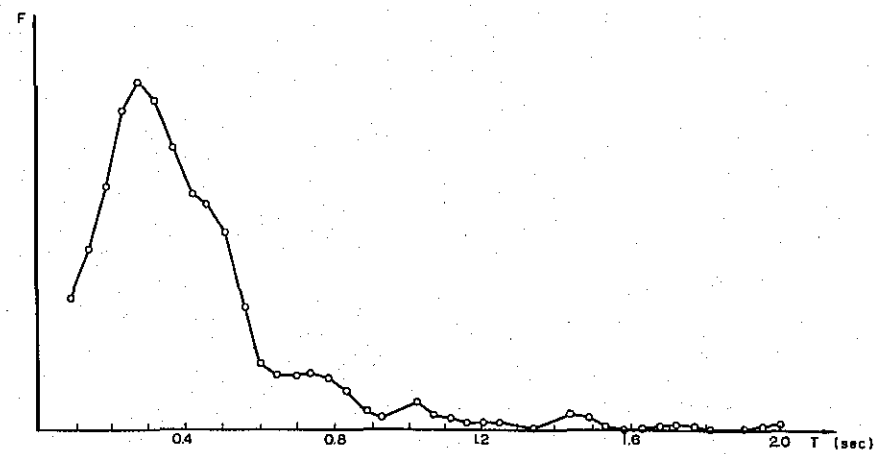
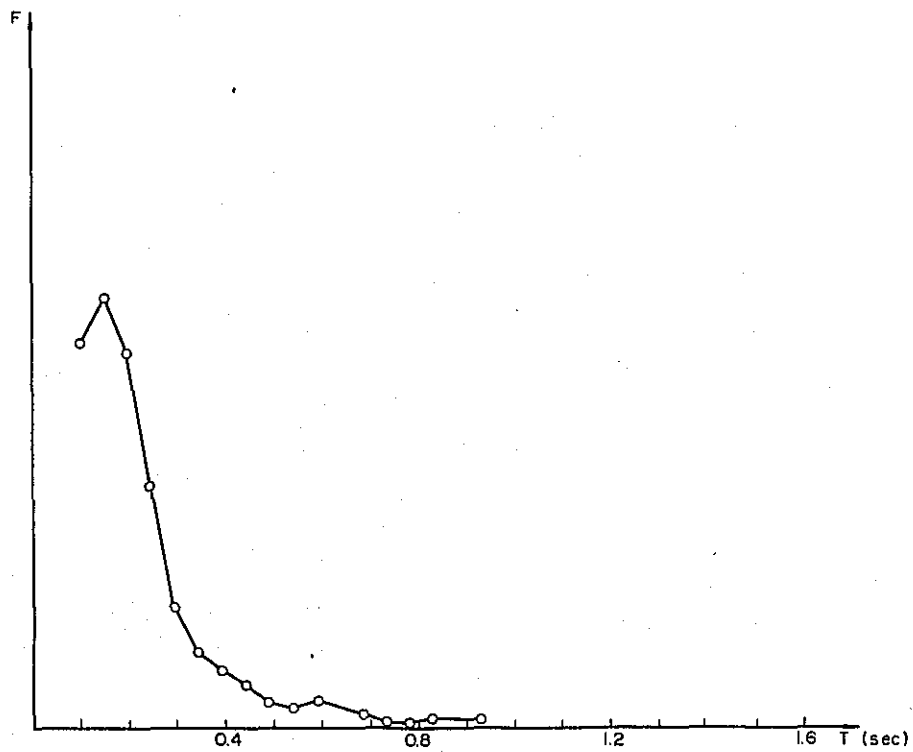


Fig. A-6-11

POINT No. 21

G.U.E. San Pedro
(Jr. San Pedro Cuadra 1)
Pick No. 1 (Campo de Colegio)



POINT No. 6

Pick No. 1
Cerro de Sogesa

Fig. A-6-12

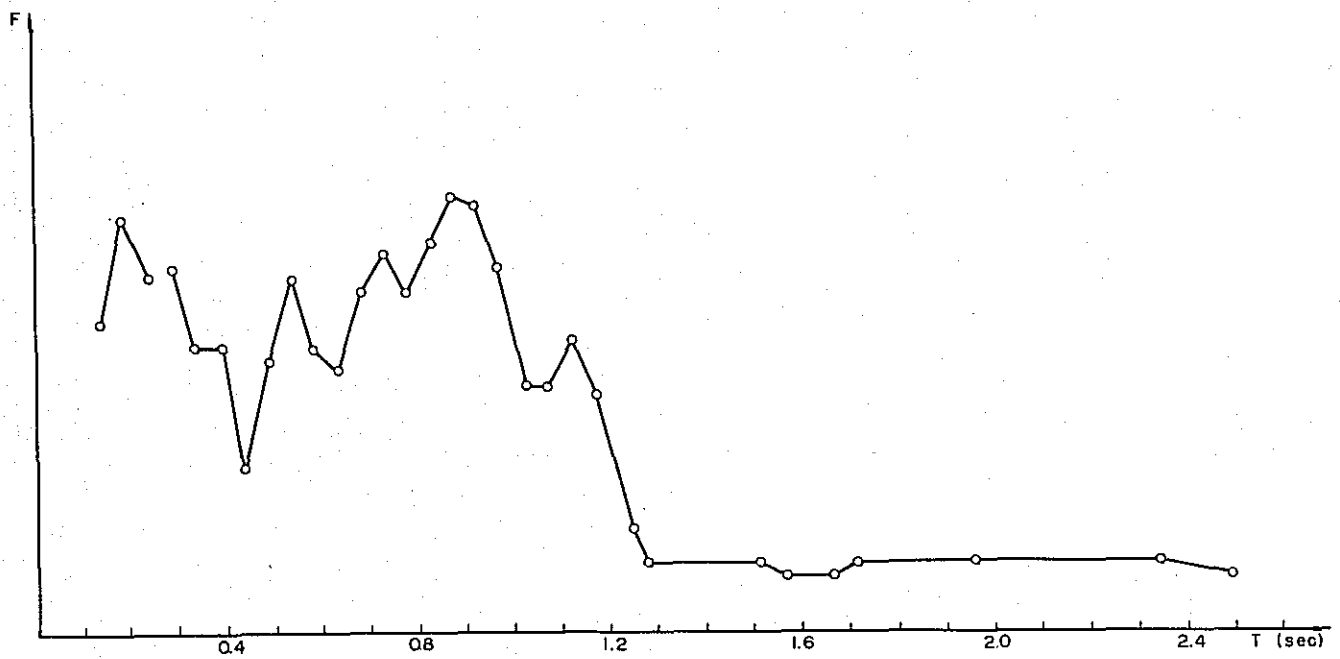


Fig. A-6-13

POINT No. 9

Pick No. 2

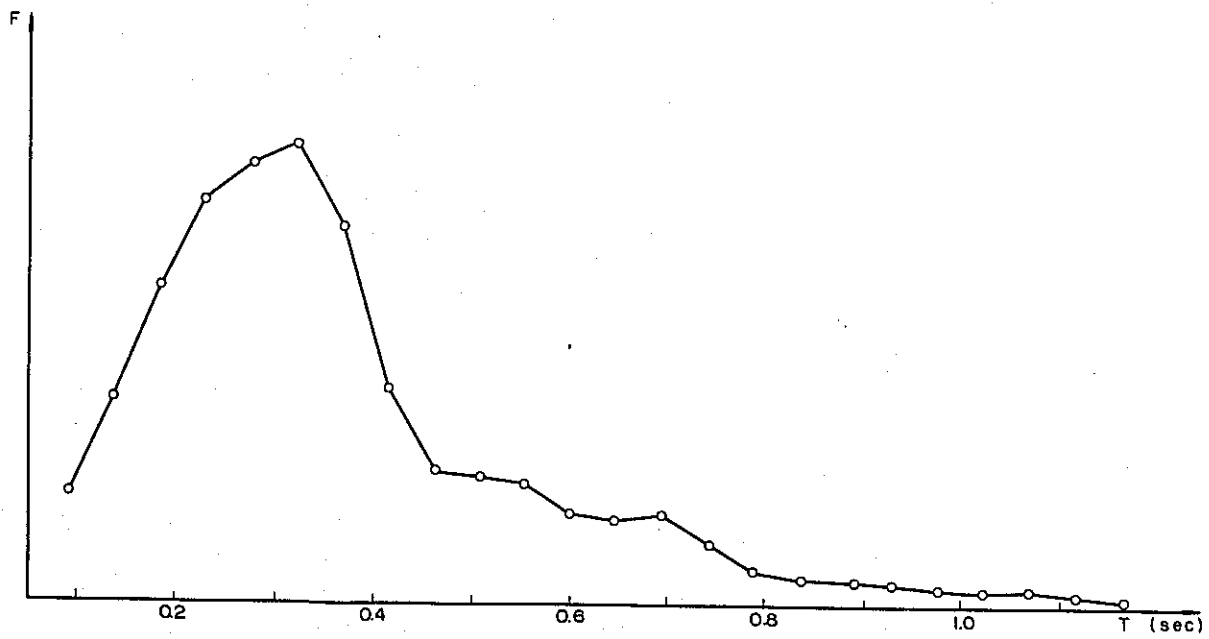


Fig. A-6-14

POINT No. 15
 Jr. Union Cuadra 8
 Pick No. 2 (En. El. Suelo)

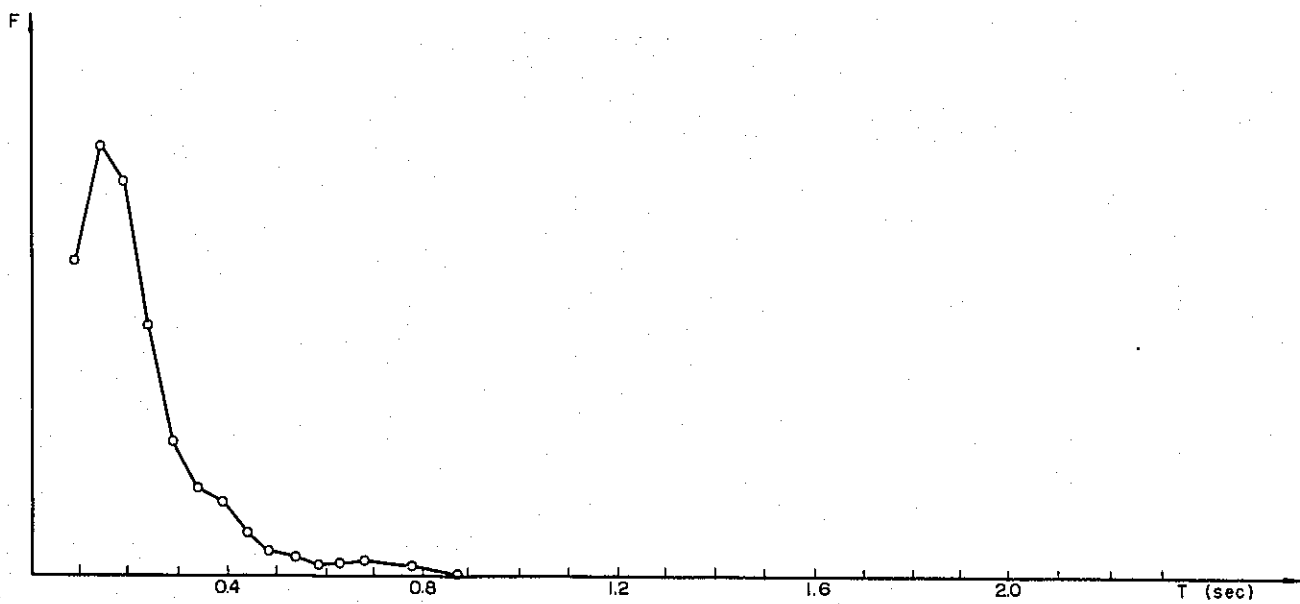


Fig. A-6-15

POINT No. 6
 Pick No. 1
 Cerco de Sogesa

