

福山市の地盤特性について

鎌田 輝 男*

Ground Characteristics of Fukuyama City

Teruo KAMADA

ABSTRACT

Fukuyama, a local city in the Chugoku district, locates in the so-called Fukuyama plain, which consists of the delta of the River Ashida and the lands reclaimed by drainage since the Edo period. The ground of the city is supposed to be so weak that the considerations on the soil ground will be necessary for the safety of the city against the future severe earthquakes.

Based on the data on the composition of the soil layers and N-values of the standard penetration tests obtained from the boring tests in the city, the distribution of the weak soil layers such as clays and silts is discussed. From the observation of micro tremors of the surface ground at 34 primary and junior high schools in the city, the predominant periods or frequencies of the ground are detected and the dynamic characteristics of the ground are also discussed.

1. まえがき

中国地方の地震危険度は、一般に、それ程高いものではないと考えられている。これは、中国地方の内陸部を震源とする地震発生の頻度が少く、また、太平洋沖に発生する巨大地震に対しても震源距離が大であるために、到達する地震動が比較的小さいためである。しかしながら、建築物の高層化や人口の集中化によって、様相を一変した現在の都市においては、その果すべき機能は複雑かつ多岐に互り、その機能が地震によって阻害される危険性や、あるいは、地震による火災やパニックなどの2次災害の発生の可能性が高いので、都市の耐震安全性は、相対的に減少していると考えられる。そこで、たとえ、これまでに大地震の経験に乏しく、また、地震活動度の低い地域であっても、都市の耐震安全性を検討することは、極めて重要な課題となっている。

本研究は、中国地方の一都市である福山市を対象に、同市の地盤形成の歴史の変遷と、市街中心部における地盤ボーリング資料に基いて、地盤の地層構成やN値の分布などから、地盤の状況を把握する一方、市内小中学校で実施した地盤の微動計測に基いた地盤の卓越周期の分布状況から、福山市の地盤特性を検討することによって同市の耐震安全性を検討する上での基礎的資料の収集を目指したものである。

2. 福山市の地盤形成の過程と現状

福山市は、人口30万余を有する、瀬戸内海に面した中国地方の一地方都市である。福山市中心部は、いわゆる福山平野と呼ばれる平野部に位置している。しかし、福山平野の形成は歴史的に極めて新しいものであり、特に、福山市中心部より南側は、江戸期以降近年に到るまでの間の干拓あるいは造成によって陸化した部分である。

図1は、福山市主要部分の現在の地形を示すものであり、点線は、標高20mの等高線を示している。これは、丘陵部と平野部を区分するものと考えられる。また、破線は、沖積層基底面の深度を表わしており、旧芦田川の河谷底を示すものである¹⁾。芦田川の流路は、現在のそれと大幅に異り、福山市中央部を南東に向かって流れていたことを示している。

現在の地形が得られるまでの歴史的な変遷を眺めてみると、縄文期頃の海岸線は、現在よりもはるかに内陸部まで入りこんでおり、現在農業地帯とされる神辺平野さえも「穴の海」と呼ばれる海であり、福山の主要部分は殆んど海面下にあった²⁾。芦田川などの河川によって運ばれる中国山系の土砂の堆積作用によって、まず、神辺平野が形成され、こゝに農耕文化が栄え、芦田川の河口は、現在の福山市本庄附近に移動した。奈良期頃になると、奈良津、深津など現在に地名の残るように、山陽路の海

* 建築学科

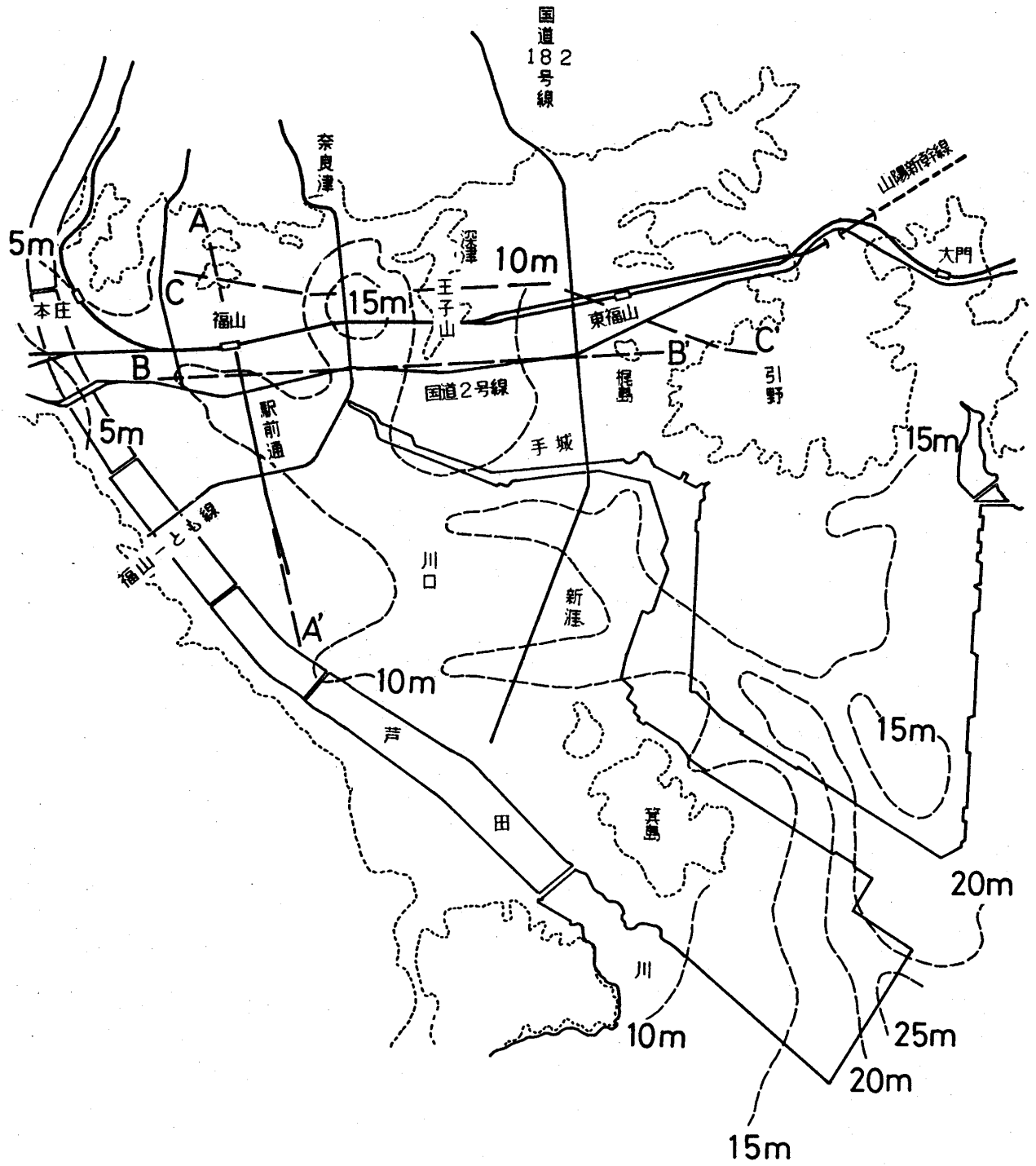


図1 福山平野の現在地形と旧芦田川河谷底深度分布

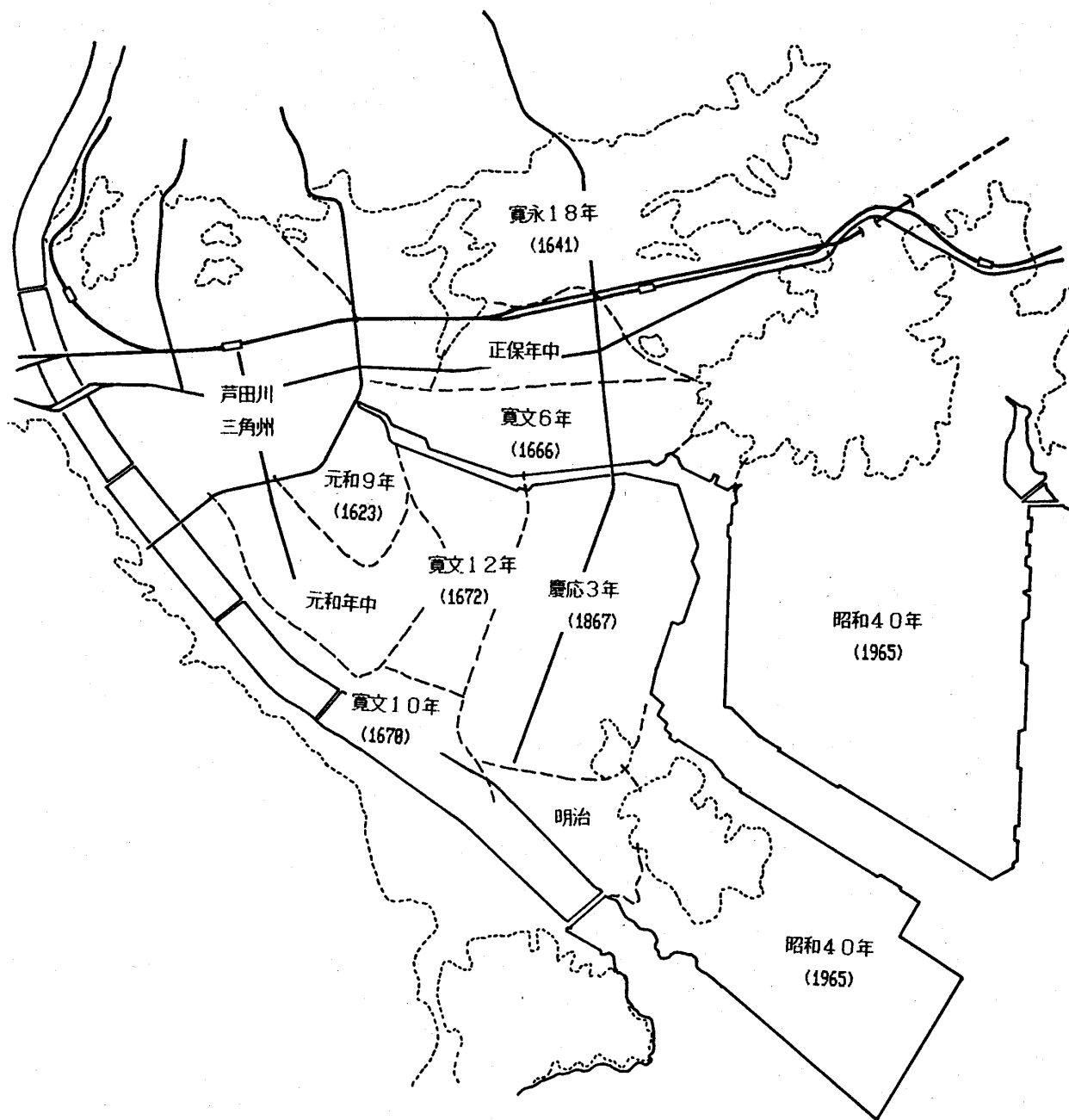


図2 福山平野の成立過程

岸都市として栄えることになる。当時の海岸線は、現在の地形からみて、標高15m程度の等高線にはほぼ等しいものと思われる。芦田川の三角州はますます発達し、鎌倉期頃には、これらの地域も陸化し、当時の福山湾は遠浅の海であった。江戸期に入って、福山が城下町として発展を始めた頃には、芦田川の三角州は、現在の県道福山一輛線のあたりまで広がっていた。福山城築城後、

1600年代には大規模な新田開発あるいは干拓事業が行われ、また、芦田川の改修工事が行われ、市域は著しく拡大した。干拓は1800年代にも行われ、また、最近の工業用地のための埋立によって、現在の地形が得られた。図2は、江戸期以降の干拓ないし造成の経過を示すものである。このように、福山市の中心部は芦田川三角州の上に位置しており、さらに、南側の部分は江戸期以降の干拓によるものである。

この福山平野の一般的構成は、上部砂層、上部泥層、中部砂泥層、基盤砂礫層からなり、いわゆる下部沖積層を欠いている。¹⁾これは、福山湾が瀬戸内海最奥部にあって、海面が最も高いときにおいても高々25m程度の水深にすぎなかったためである。上部砂層は、芦田川の三角州堆積物で、平野のほぼ全域に5~7mの厚さを有して分布し、標準貫入試験のN値は10以下の「ゆるい」砂層である。上部砂泥層は、貝殻を多量に含むシルト、粘土層で5~12mの深さに福山平野のほぼ全域に分布する。海進の最も進んだときの堆積物で、N値0~3の非常に軟い泥層は、福山平野中央を南東に流れる芦田川の旧河谷の中に分布し、地層は全体としてシルト質であり、地域的に層の変化は著しい。N値は10前後であるが、砂質あるいは硬質の粘土層では、20以上のN値を持ち、地下17~25mに分布する。また、N値25以上の基盤砂礫層は、茶褐色の粘土層をはさむ砂礫層および灰褐色の凝灰質粘土混り砂礫層で、特に後者は、平野北東部の台地の基部を構成する第三紀福山累層に相当し、福山駅周辺や埋立地など数点に島状の高まりとなって分布している。

3. 福山平野の地盤特性

福山市中心部で実施されているボーリングによる地盤調査資料に基づいて、地層構成および標準貫入試験のN値の分布より、福山平野の地盤特性について調査した。得られた資料は300地点以上であるが、その多くは、福山駅を中心としてその南側の市街地およびその周辺のものであり、資料がやゝ古いために、新しく南側に埋立てられた新涯、川口地区などの資料に乏しいきらいがある。福山平野の中心部に当る地盤の数点について、地盤柱状

図の例を図3に示す。これは、微動計測を実施した市内小中学校の敷地地盤あるいはその近隣で得られたボーリング資料であって、地層構成の変化する深度および標準貫入試験のN値が合せて示されている。なお、6. 旭小学校、9. 東中学校、17. 手城小学校の柱状図は、深度が他と較べて $\frac{1}{2}$ に縮小されている。

こういったボーリング資料に基づいて、福山駅から市街中心部を南に向う駅前通りに沿って芦田川に到るA-A'、国道2号線に沿って芦田川一引野に到るB-B'とそれにほぼ平行に丘陵部沿いに木之庄一引野に到るC-C'についての地盤断面図を図4~図6に示した。

市街中心部では、南北方向に見ると、福山駅を境にその南北で地盤性状は大きく異なり、北側では軟弱層の厚さは5m程度であるが、南側では10数mの軟弱層が続き下部の砂礫層は、ほぼ平坦である。また、南消防署近辺まで、厚さ10m前後の粘土層を挟んでいる。

東西方向に、国道2号線に沿って見ると、地層構成の変化はかなり複雑で、東に向かって砂礫層の傾きは大きく、福山駅近辺までは砂層が卓越するか、その東では粘土層が卓越し、国道2号線と県道福山一輛線が交差する旭小学校あるいは東中学校の辺りでは粘土あるいはシルトなどの軟弱な地層厚さは20m以上となる。しかし、さらにその東は王子山の突出部となり岩盤が現われる。さらに、その東は、さらに厚い軟弱層が続き、地層構成は非常に複雑となっている。

それより北側のC-C'面では、福山駅の北側から東にかけて、砂礫層の傾きはB-B'面よりも著しく、県道福山一府中線と交差する付近では粘土層の厚さは25m以上にもなっている。王子山の東側では、B-B'と同様に地層の変化は大きく、また、粘土、シルト層の厚さは大である。

地盤の軟弱度を示す一つの指標として、標準貫入試験のN値を用いて、N値が始めて20を超える深度の分布を図7に、また、N値が始めて40を超える深度の分布を図8に示した。前者は、軟弱な地盤の層厚を示し、また、後者は砂礫層などの基盤層の深度を示すものと考えることが可能である。両図より、福山平野の平均的な軟弱地盤の層厚は、福山城、木之庄町、王子山といった山裾の部分を除くと平均的に10~15mであり、東福山駅の東側や、手城町、新浜町の辺りでは15~20mになっている。N値40以上の堅固な地盤層の深さは、南東に向って漸増しているが、王子山の西側や東福山駅を中心とした一帯などでは20m以上となっている。このようにN値の分布によってみた基盤層の深さは、図1に示された、旧芦田川の河谷底の深度分布とよく対応してい

ることが判る。

さらに、N値5以下の粘性土あるいは、N値10以下の砂・礫質土およびシルトを極めて軟弱な地盤として捉え、その層厚の分布を示したものが図9である。等高線の間隔は2mである。福山平野の基盤は平坦ではなく、地中においてもいくつかの基盤の突出部があり、その様な突出部の周辺では、等高線を描くのに十分な資料が得られている訳ではなく、また、N値の性格として地盤の局所性に大きく影響されることから、等高線を描く際に、かなりの平均化を行っているが、福山平野の地盤の良否を判断するのに本図は有効であると思われる。

基盤層が地表に近づいている福山城附近やその北部の丘陵地あるいは王子山の突出部などでは軟弱層厚は4m程度であるが、王子山の西側あるいは東側の部分での軟弱層厚は14~16mに達する。福山駅周辺では8m前後であるが、それから南東にかけて徐々にその厚さを増し、川口、新涯といった江戸末期の干拓地では12~14mに達する。なお、この軟弱層厚の分布も、図7と同様に、旧芦田川の河谷底の深度分布と強い相関があることが判る。

このように、福山市は芦田川三角州の上に発祥し、その南部に干拓および埋立することによって市域を拡大し発展してきた都市であって、地盤は決して良好なものとは言えず、特に、市街中心部である福山駅前からその南側にかけては、10m前後の厚い粘土層を含む軟弱な地盤であることに注意しなければならない。

4. 微動計測からみた福山市の地盤の振動特性

福山市の地盤の振動特性を考察するために、福山平野をほぼ平均的に網羅し得る様に、図10および表1に示される市内34小、中学校の運動場などの露出地盤地表面上で、微動の計測を実施した。計測は、図11のブロック線図に示される様に、固有周期2秒の動コイル型地震計を用いて、南北(NS)、東西(EW)上下(UD)の各方向の速度波形および変位波形を計測し、データ、レコーダに収録した。微動計測の観点からは、雑信号を避けるために計測は深夜に行うのが望ましいが、計測対象が小中学校であることや、福山市中心部を国道2号線が貫通しており、静穏な時間帯が得がたいことなどから、日中実施せざるを得なかった。解析は、FFTによるスペクトル解析を行い、地盤の卓越振動数を評価した。

微動波形とそのスペクトル解析の結果の数例を図12および図13に示す。

西小学校は、福山駅より西側にあって、8~10mの

厚さのN値10以上の砂または粘土層を有し、その下部はN値30以上の砂礫層となっている。東中学校は、国道2号線の南側で県道福山線と交差する附近にあって、この付近は旧芦田川の河谷底の深い部分に相当し、地盤は、図3の地盤柱状図に見られるようにシルトおよび粘土層が厚く堆積しており、砂礫層の深さは26m以下となっている。深津小学校も図3の地盤柱状図に見られるように、粘土層が主体であるが、地下9.1mまではN値5以下の極めて軟弱な粘土層であるが、その下部は14.5mまでN値20~30の硬質粘土層となっている。緑丘小学校は、上記の3例と異り、丘陵地に建つ小学校であって、堅固な地盤である。

図12に示された微動波形は、NSおよびEW方向の変位波形を示している。地盤の相違によって振幅および卓越振動数の変化として良く捉えられていることが判る。特に、平野部では卓越振動数は2~4Hzの中に微妙に変化している。一方、緑丘小学校に見られるように、福山市東部の丘陵地の微動は振幅は小さくなり、同期2~4秒の極めて長い周期の微動が顕著に現われ、平野部に対するものとは極端に異なる。

スペクトル解析は、マイクロ・コンピュータによって、100Hzのサンプリングで1024個のAD変換値に対して、即ち10.24秒間の波形に対する、FFTによるスペクトルの評価と、フーリエ解析器を用いて、約5分間の微動波形の平均スペクトルの評価の2法で行った。図13は、前者の例である。

このようなスペクトル解析に基いて評価された、各小中学校の地盤の微動の卓越振動数の分布を図14に示す。緑丘小学校の例に見られたように、丘陵地の小学校では微動の振幅が小さく、極端に長周期成分のみが強調されるので、()で参考値を示している。

地盤の卓越振動数あるいは卓越周期によって地盤の良否を動的に判断することは、定性的には妥当であろうが、個々の地盤に対しては、やゝ困難を伴う。それは、微動の計測やその解析に伴う種々の不確定性によって、卓越振動数という単一の指標を決定する際のばらつきとして現われるためである。しかしながら、図14をみると、福山平野の地盤の卓越振動に関して、その地域的な特徴が明らかである。すなわち、福山駅前から、国道2号線、さらに県道福山線にかけてのいわゆる市街中心部では、2.7Hz近傍の卓越振動数を有しているが、それより南側の川口、新涯といった江戸期以降の干拓地域では卓越振動数は2Hz以下になって地盤が軟弱であることを示している。王子山の東西両側には、旧芦田川河谷の深度

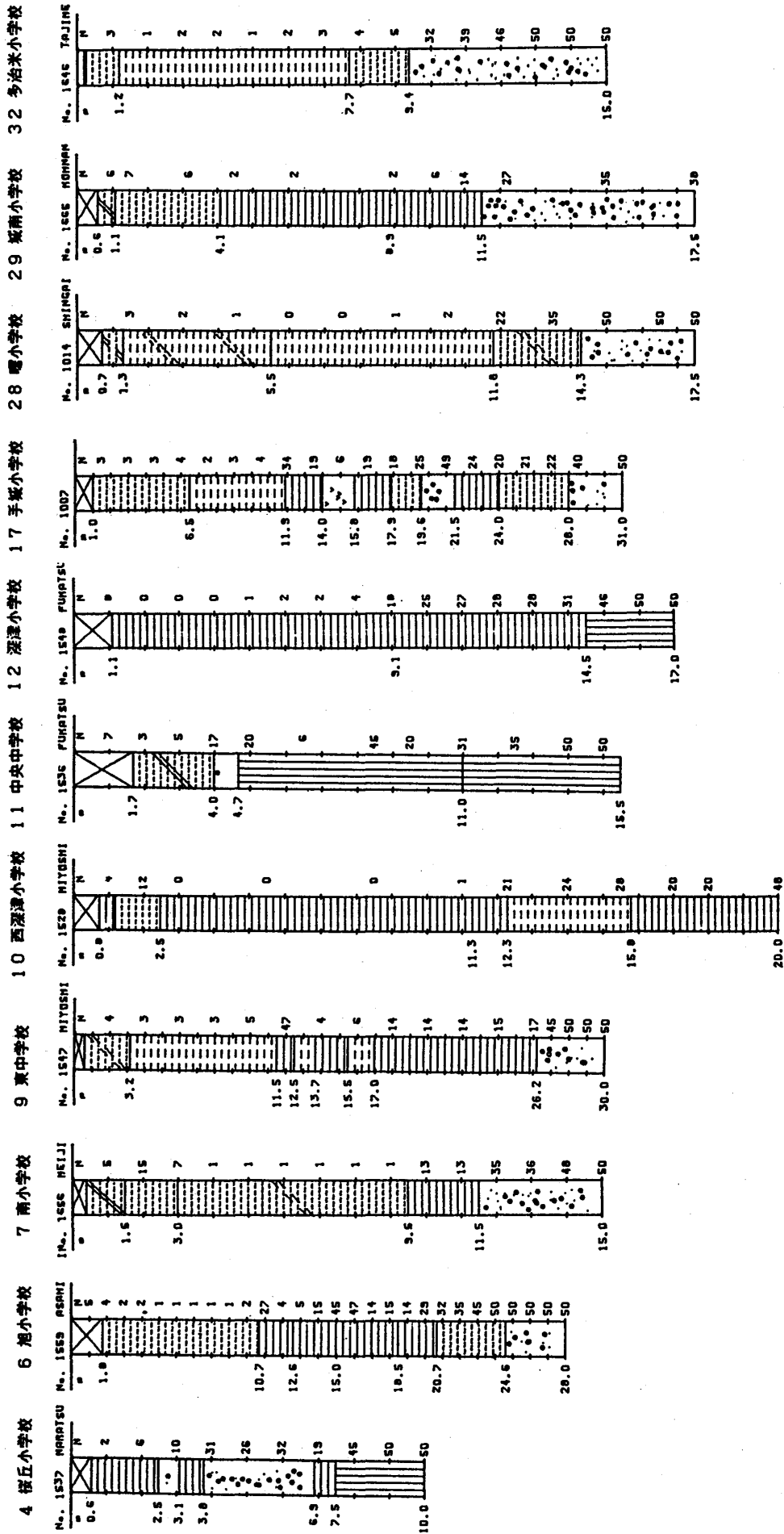


図3 地盤柱状図

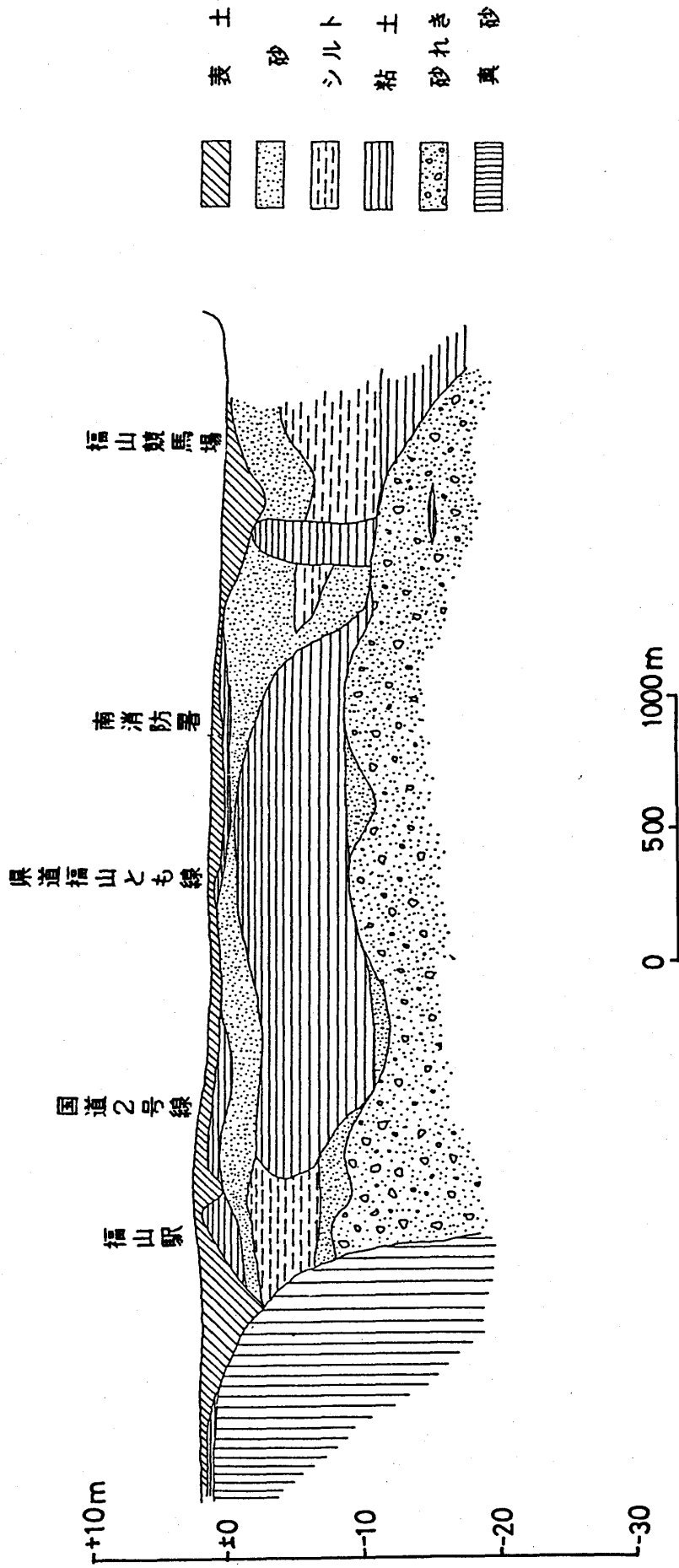


図4 地盤断面図(福山駅一駅前通一競馬場, A-A')

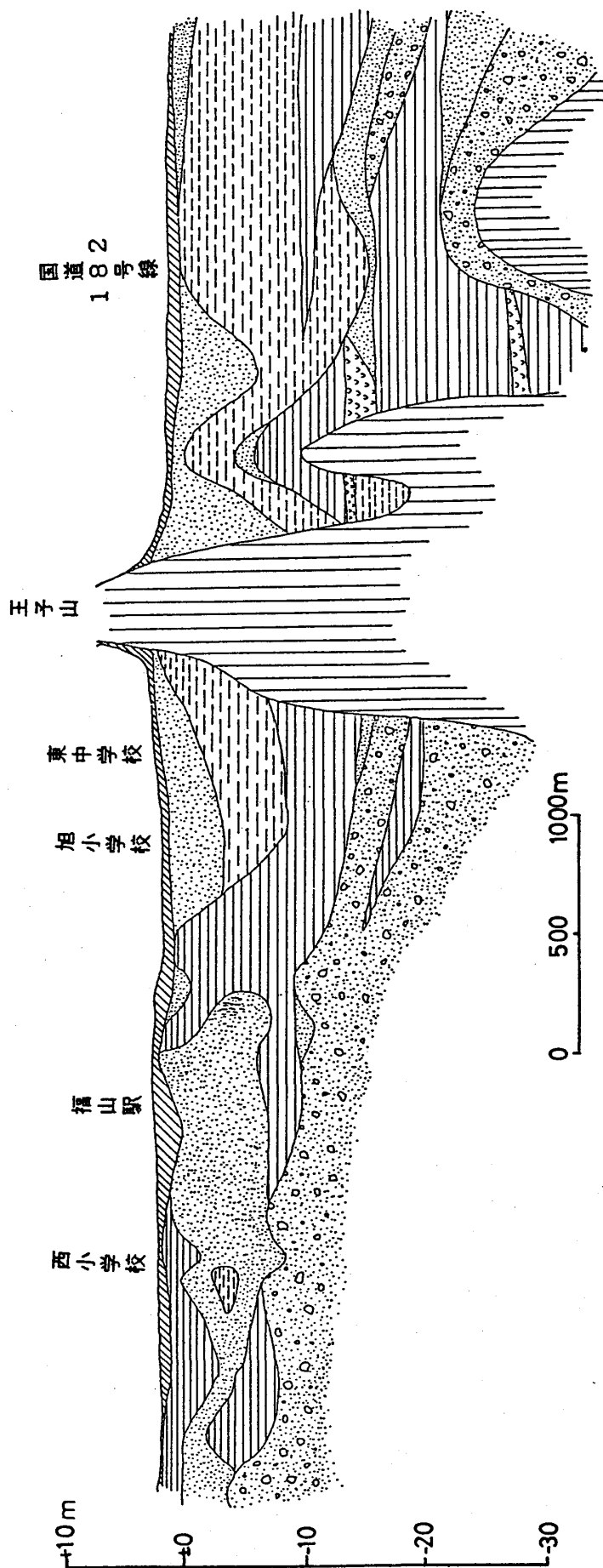


図5 地盤断面図(芦田川-国道2号線-引野 B-B')

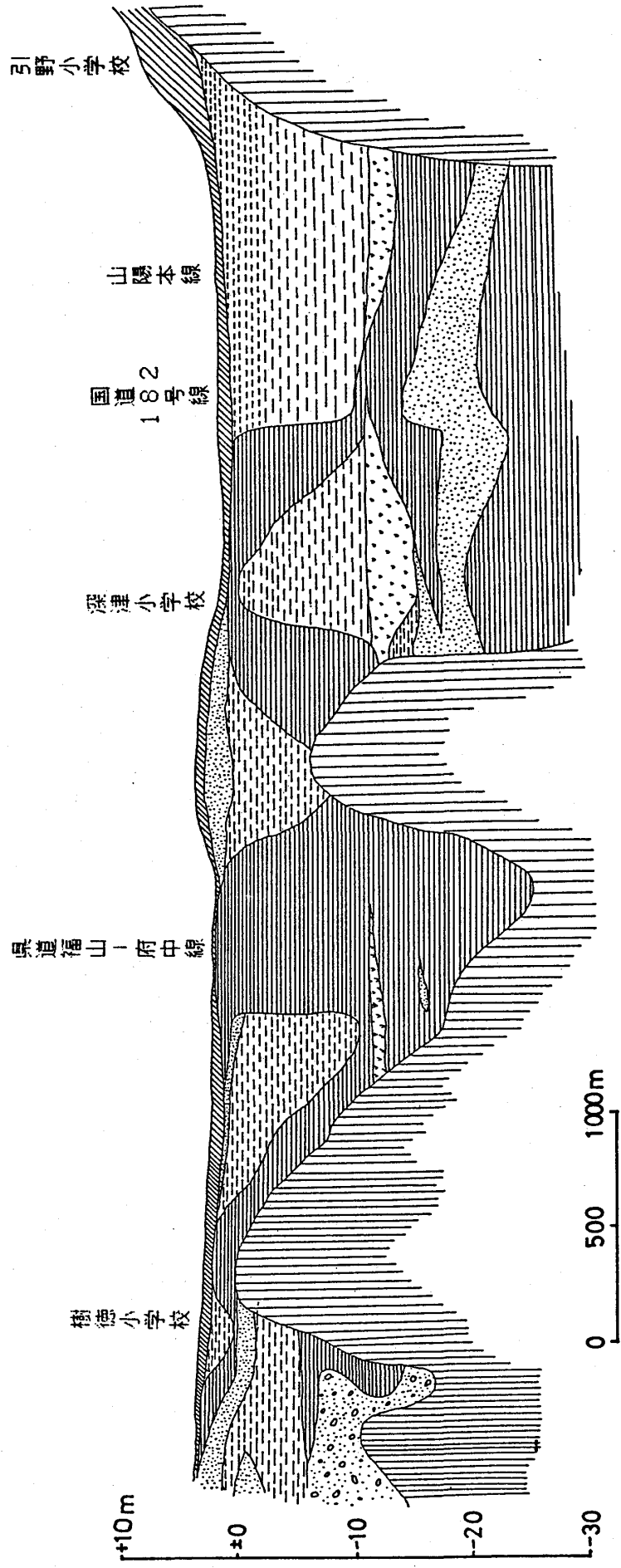


図6 地盤断面図(木之庄町→深津→引野, C-C)

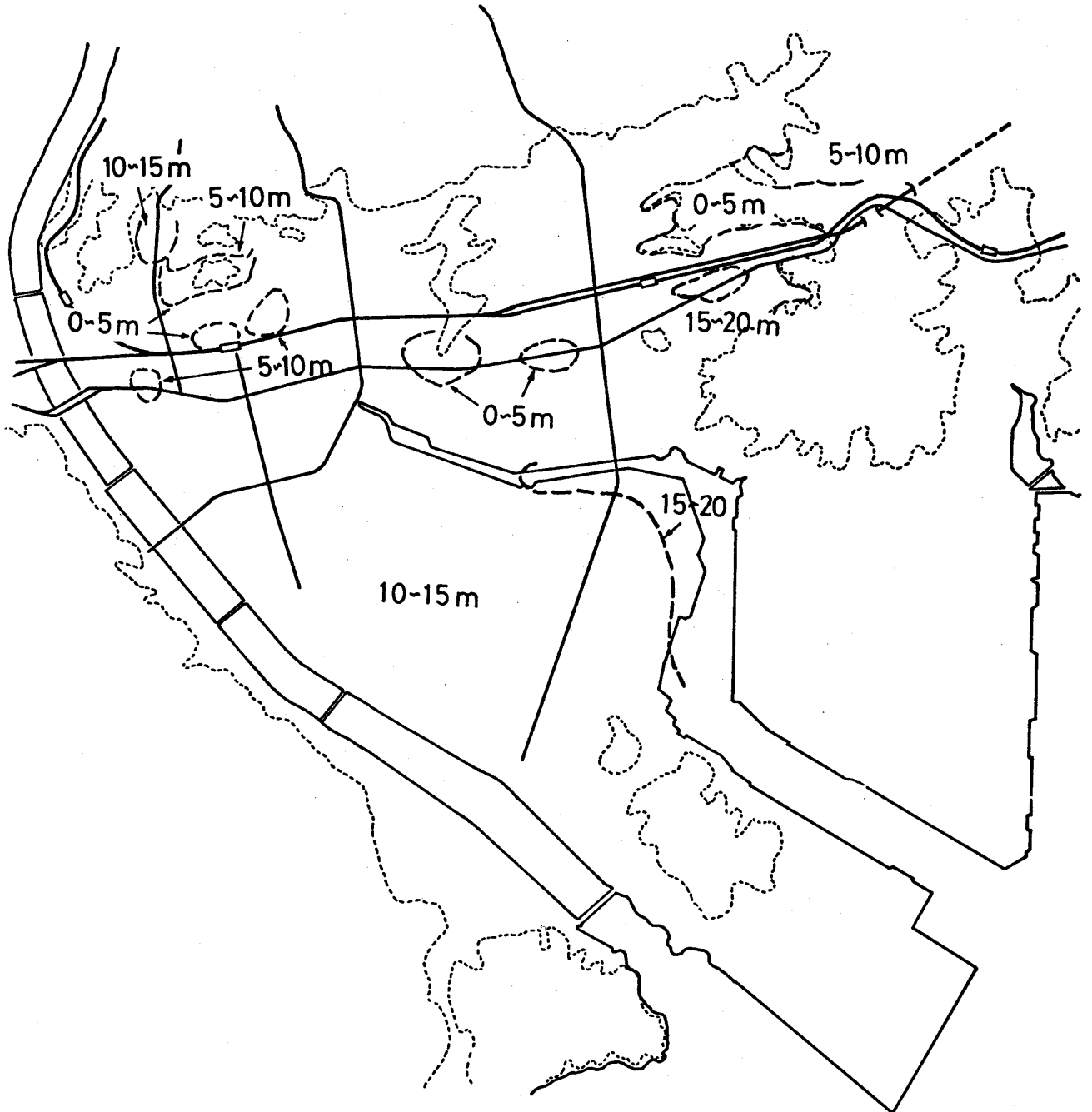


図7 標準買入試験N値が始めて20を超える深さ(m)

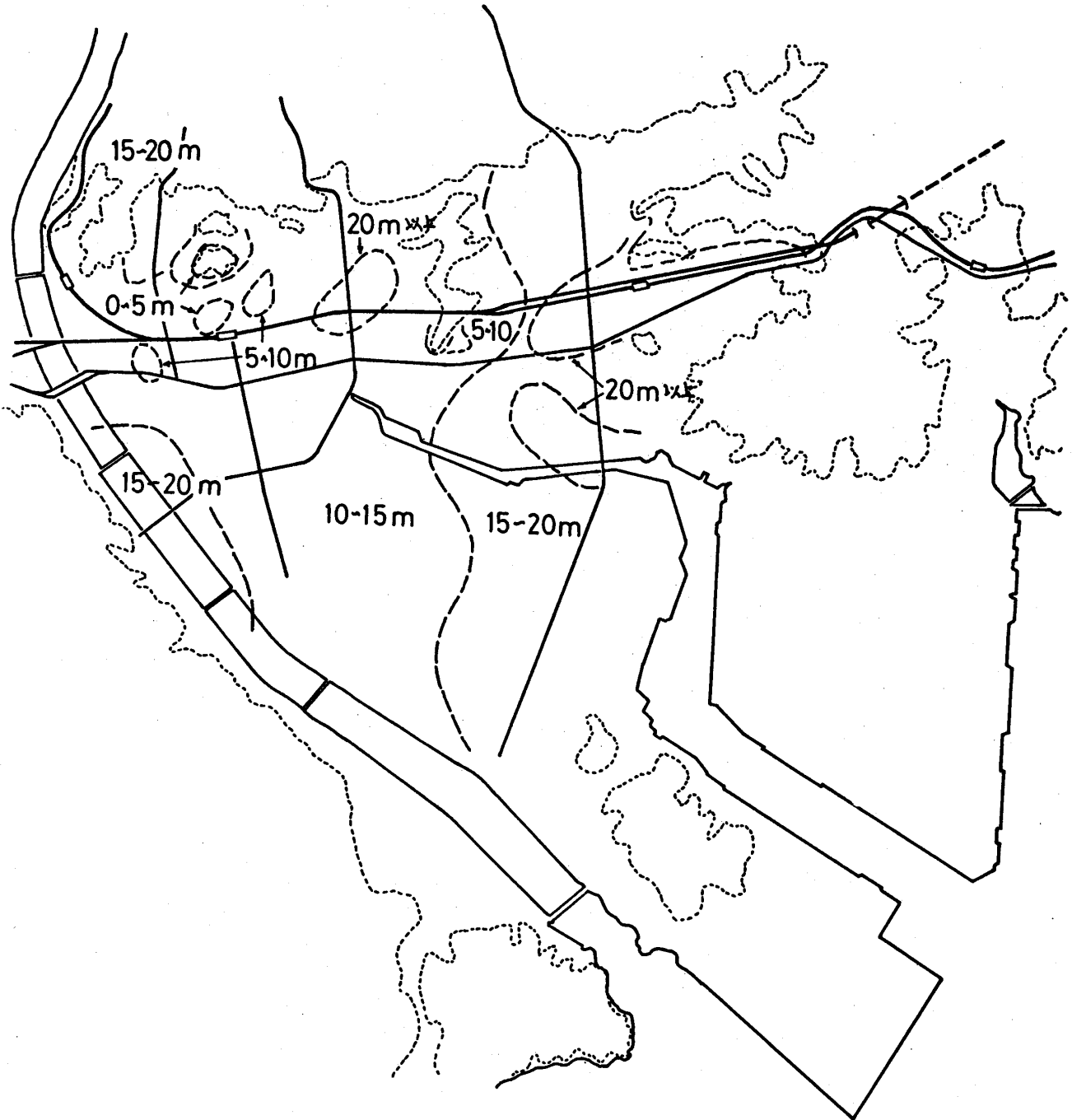


図8 標準貫入試験N値が始めて40を超える深さ(m)

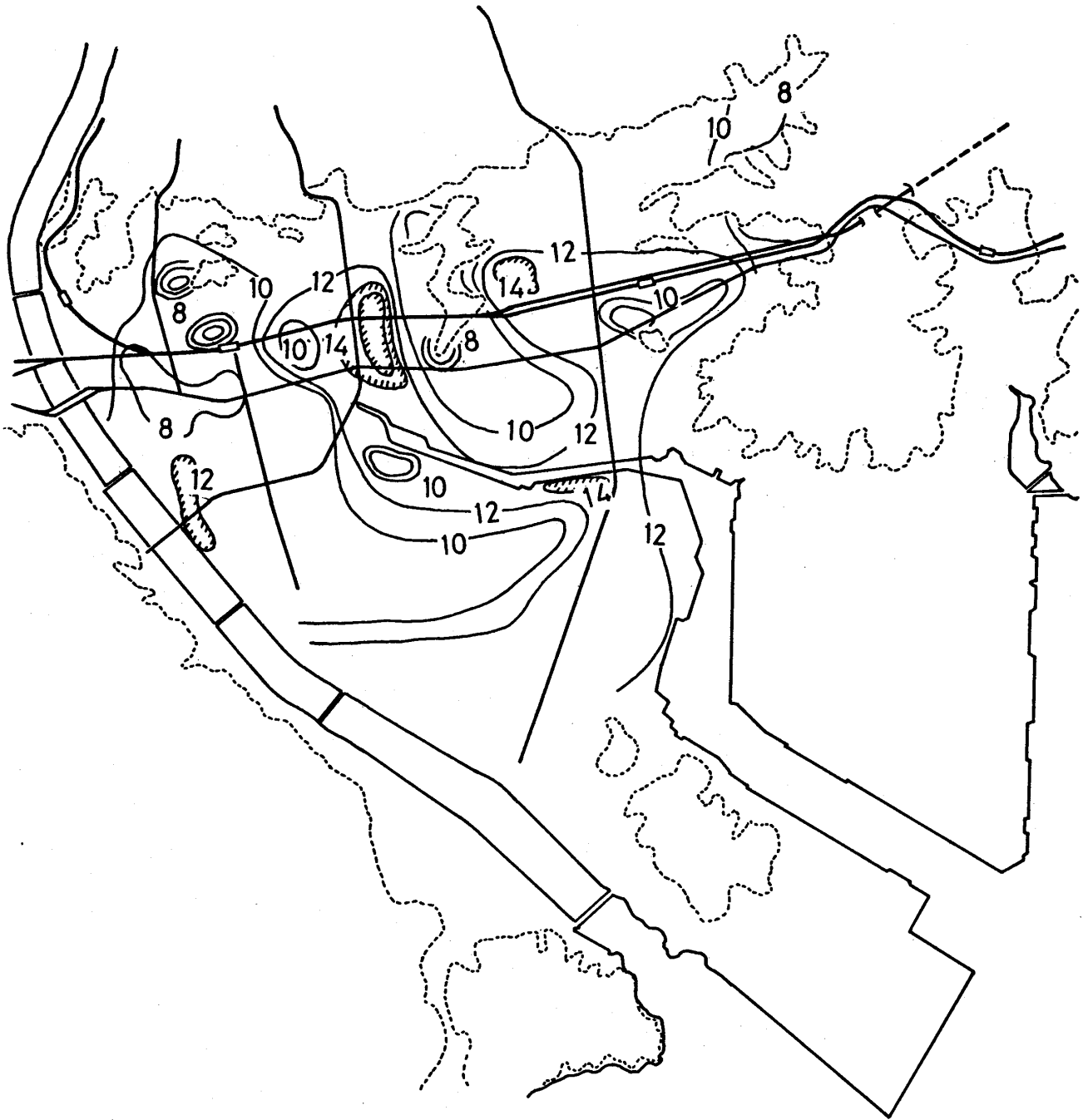


図9 軟弱地盤層厚の分布

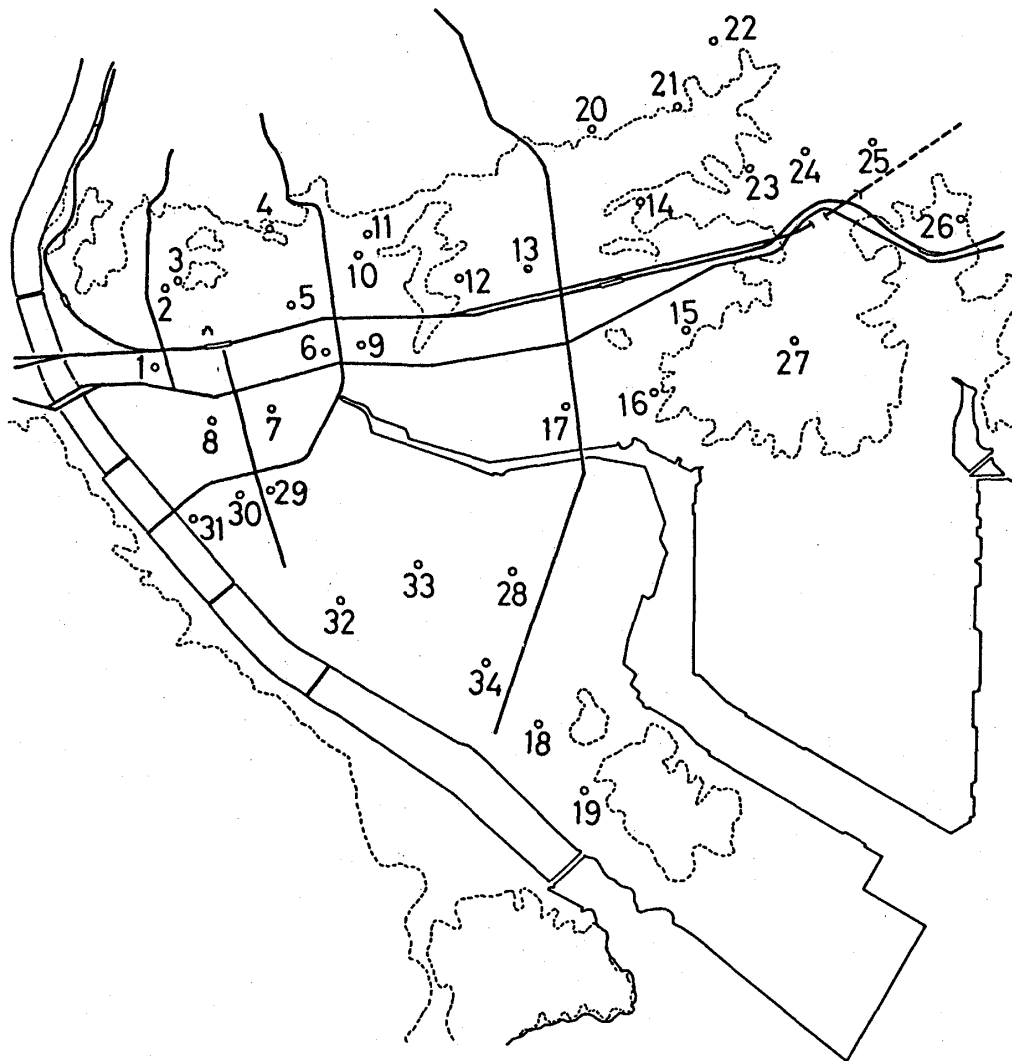


図10 微動計測小中学校所在地

表1 微動計測学校名

1 西小学校	18 誠之中学校
2 樹徳小学校	19 箕島小学校
3 城北中学校	20 日吉台小学校
4 桜丘小学校	21 培遠中学校
5 東小学校	22 春日小学校
6 旭小学校	23 伊勢ヶ丘小学校
7 南小学校	24 鳳中学校
8 霞小学校	25 幕山小学校
9 東中学校	26 大津野小学校
10 西深津小学校	27 旭ヶ丘小学校
11 中央中学校	28 曙小学校
12 深津小学校	29 城南中学校
13 城東中学校	30 鷹取中学校
14 緑ヶ丘小学校	31 光小学校
15 引野小学校	32 多治米小学校
16 長浜小学校	33 川口小学校
17 手城小学校	34 新涯小学校

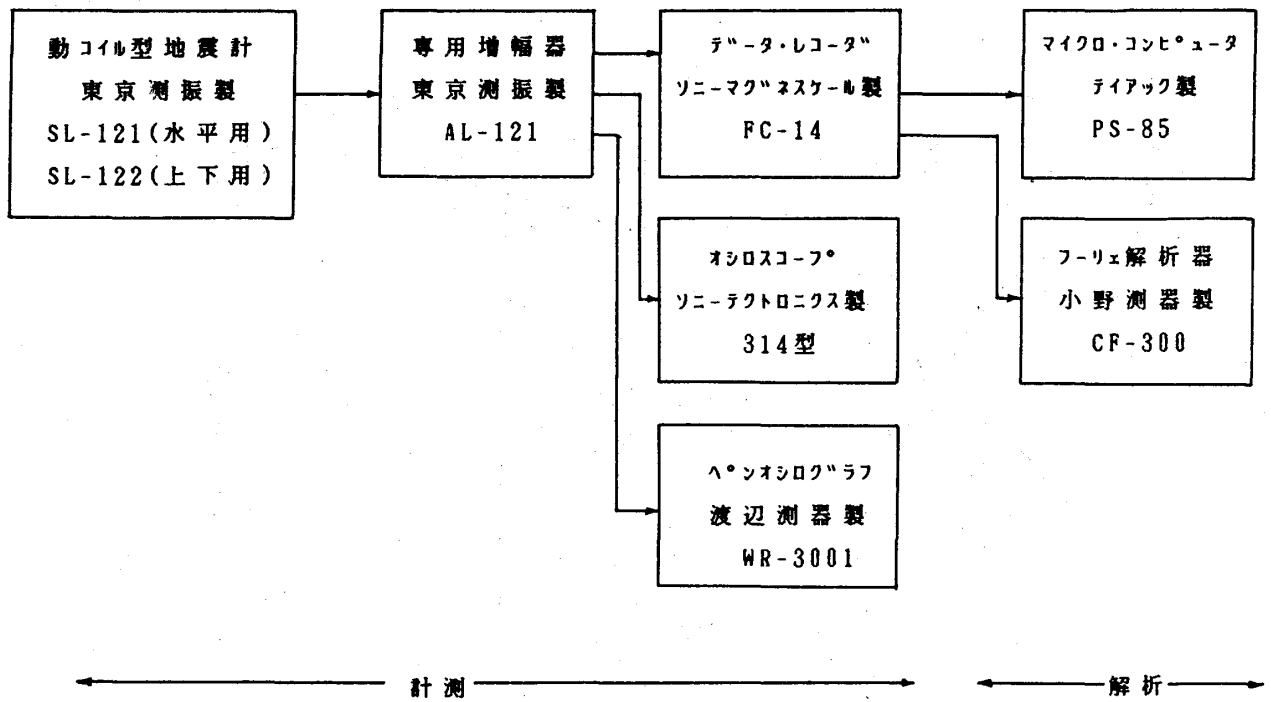
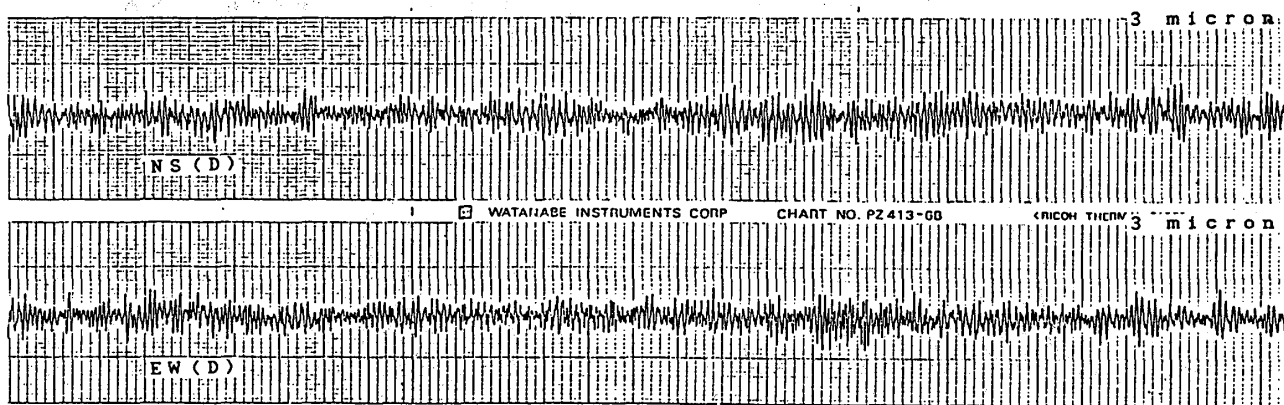


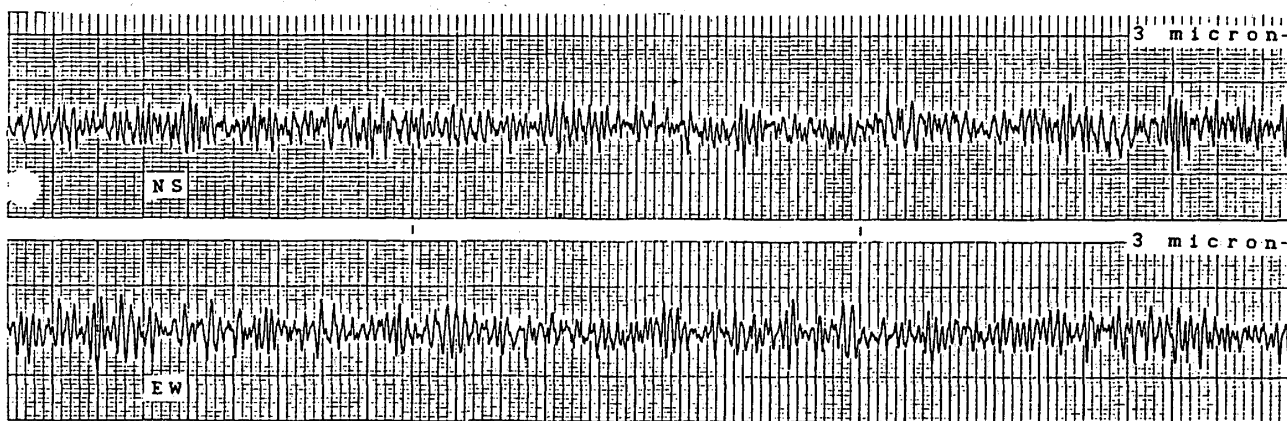
図11 微動計測および解析システム

が大きくなっている地域であるが、こゝでも卓越振動数は2Hz近傍に低下している。一方、丘陵地では、微動の波形は一変して、振幅は減少し、2～3秒の長周期成分が著しく卓越して来るが、このような長周期成分のみの微動は、地盤の軟弱性を示すものではない。

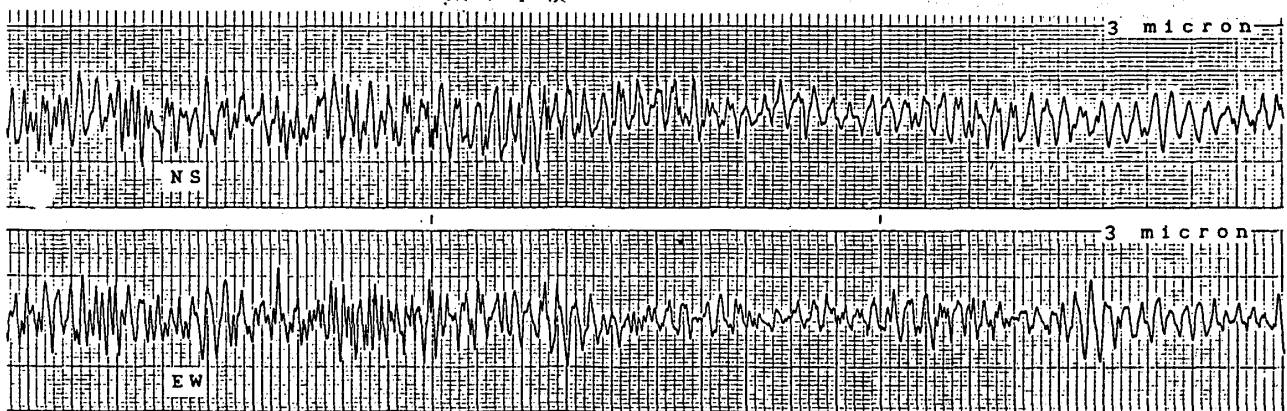
平野部の卓越振動数に関しては、地盤の性状をかなり忠実に反映しているものと考えられるが、平野部の卓越振動数の分布を微動計測の結果から求めるには、やゝ、計測点数に不足しているように思わせる。今後は、さらに計測点数を増すとともに、ボーリング資料から得られる地層構成から、地盤の卓越振動数を解析的に推定することが必要であろう。



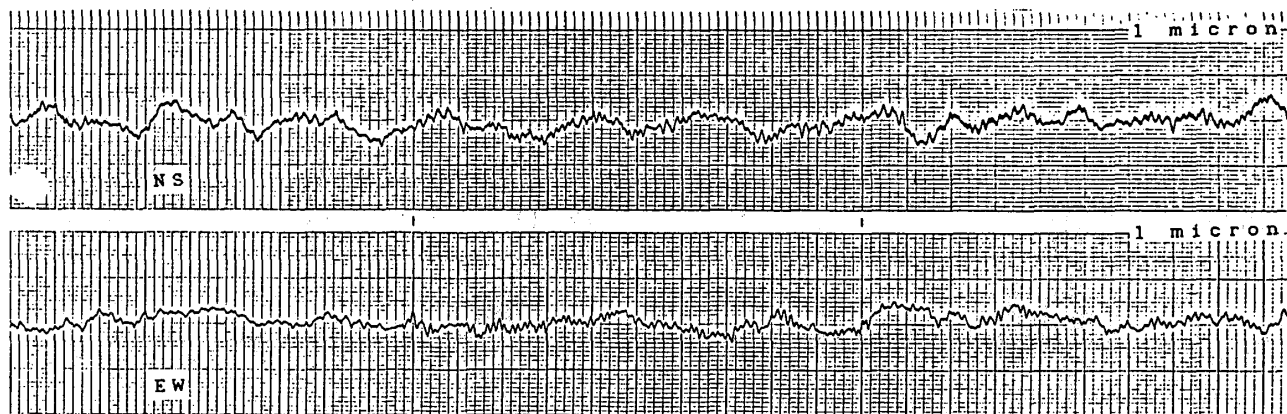
1.西小学校



9.東中学校



12.深津小学校



14.緑ヶ丘小学校

図12 微動波形例 (NS, EW変位成分)

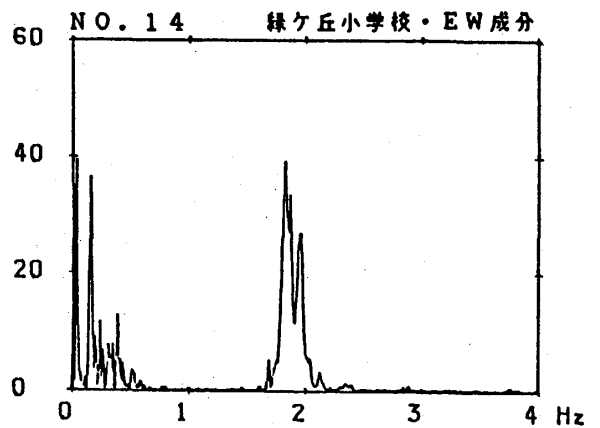
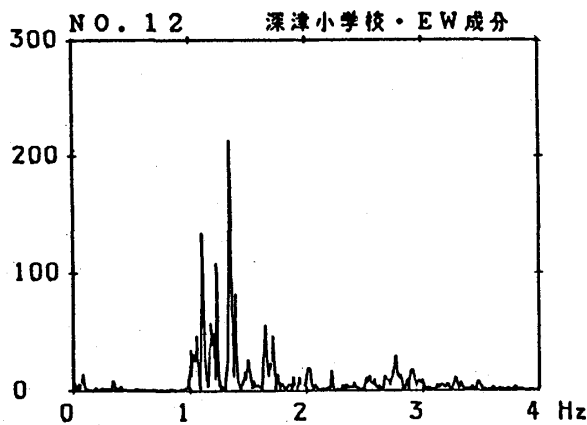
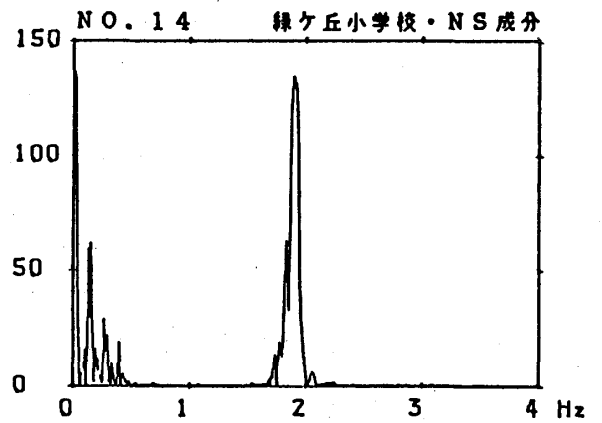
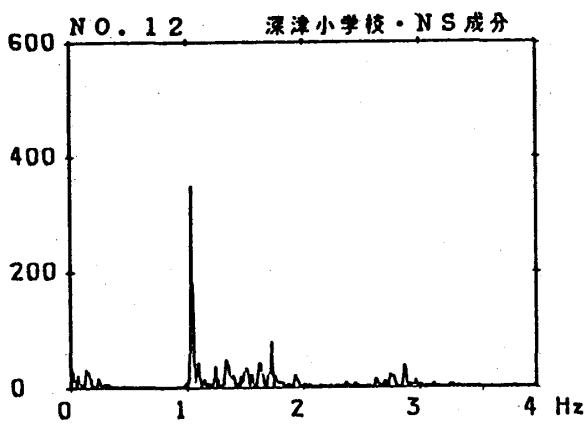
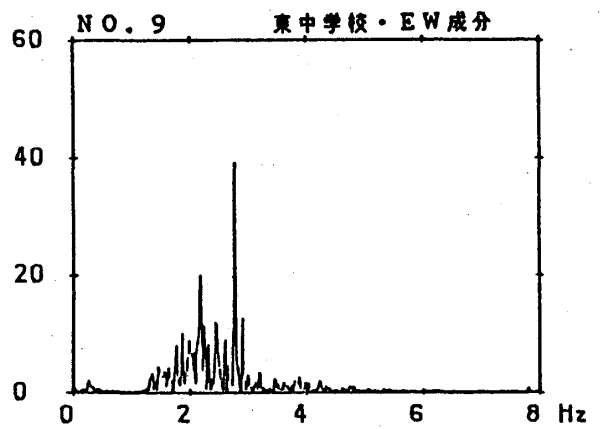
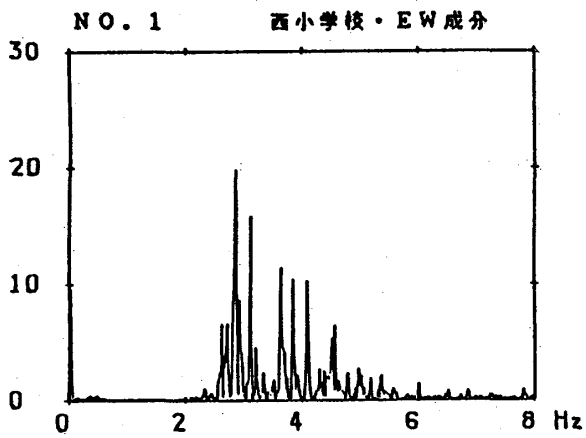
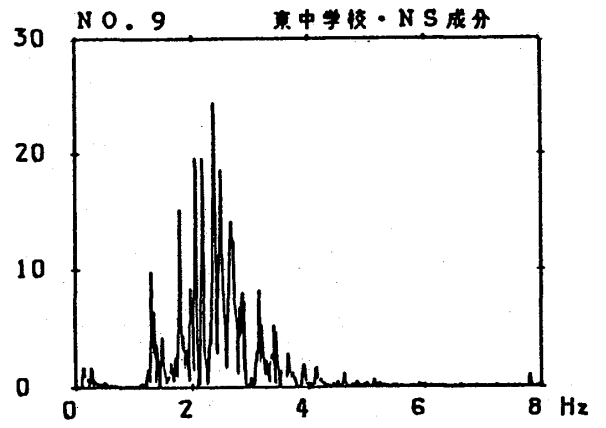
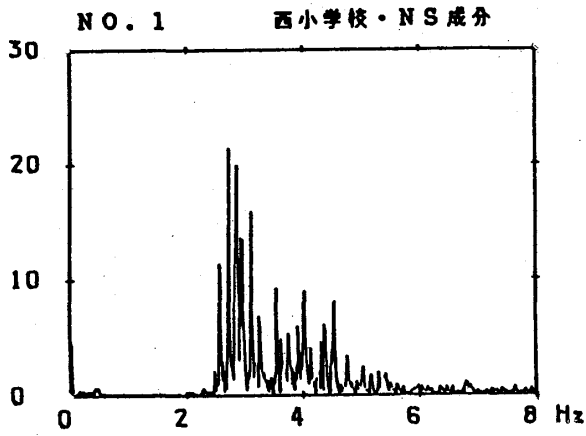


図13 微動スペクトル解析例

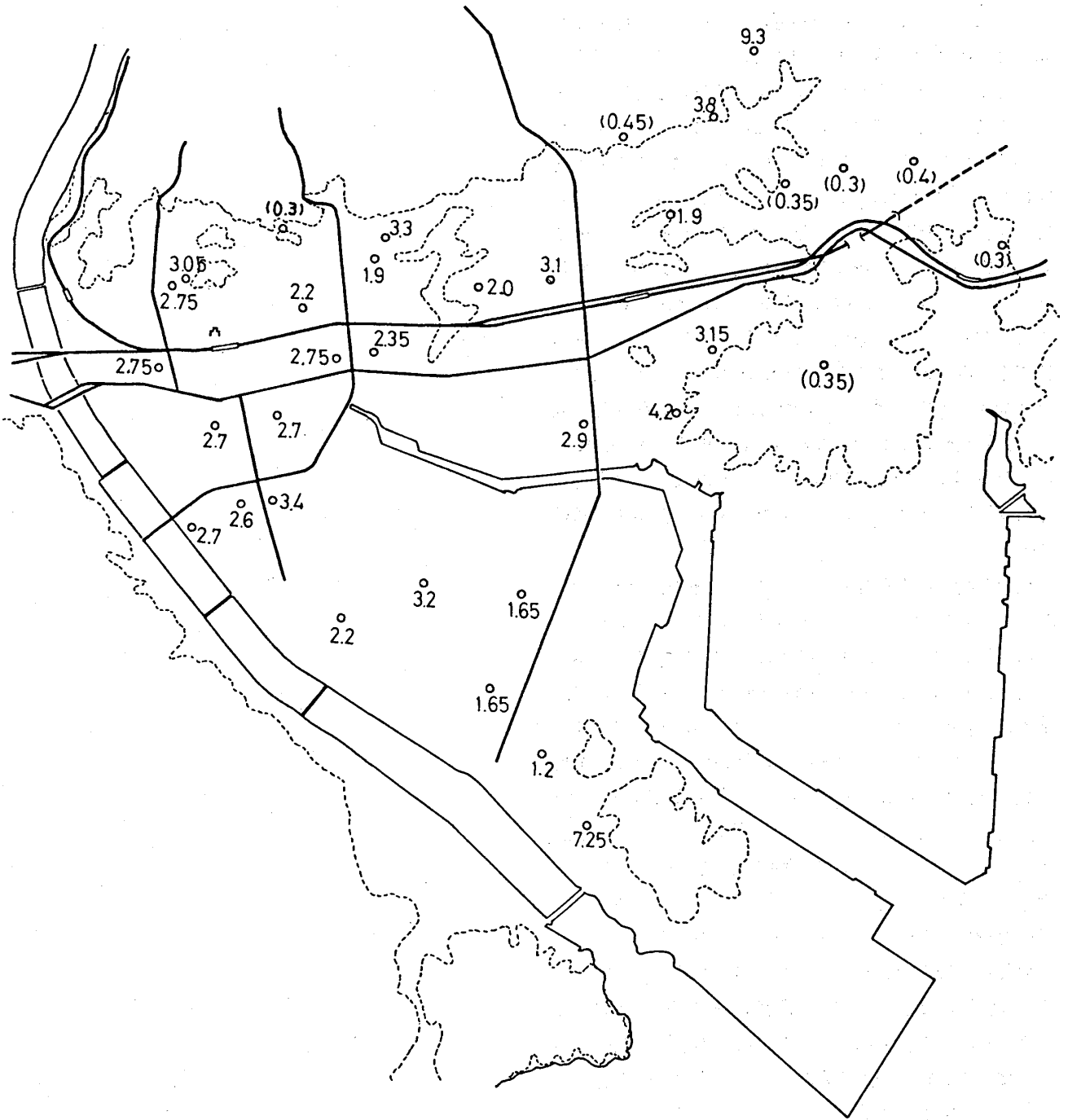


図 1 4 地盤卓越振動数

5. まとめ

福山市中心部の、地盤は、芦田川三角州と近年の干拓、埋立によって陸化したものであり、地盤として軟弱であろうことは当初から予想されていたことである。ボーリング資料に基く地盤調査によって、軟弱地盤の分布状況をかかなりの程度定量化し得たものと考えられる。市街中心部には、ひいては、福山平野はゞ全域には、厚さ10m前後の軟弱な地盤が平均的に分布しているが、場所によっては、15～20mの厚さを有する。さらに、ボーリング資料によって局所的に見るならば、20mを超える場所も珍しくない。福山平野の殆んどは、もともと海中にあった部分であって、各所に島々が散在していたので、海底の地形はかなり複雑であったと想像され、堆積層の地質や厚さに複雑な影響を与えているものと思われる。ボーリング資料が得られた地点は、市街中心部に集中しており、その周辺部ではそれ程多くはないので地層構成を明確に把握することは幾分困難であった。また、地層構成とN値の深さ方向の変化は、局所的な変化が大きく、同一敷地地盤内でも著しく異なる場所もあり、こういった資料に基いて、福山平野という地域での平均的な地盤特性を見出すには、資料の解析手法や表現法を考慮する必要がある。

地盤の動特性を把握するために、市内の小中学校で、微動の計測を行い、スペクトル解析に基いて、地盤の卓越振動数を検出した。平野部と丘陵部では、微動の性状が著しく異なるので、単に卓越振動数という指標のみで、地盤の良否を判定することはできないが、平野部では、軟弱地盤層の厚さと卓越振動数は強い相関がある。微動計測は、地盤の動特性を実験的に検出するための、比較的簡便な手法であるといっても、例えば、平野の卓越振動数の分布を定めるために、微動計測を広範囲に亘って稠密に実施することは、やはり困難であり、地層構成に基いた解析的手法による推定が必要であろう。

最後に、福山市のボーリング資料を提供して戴いた福山市建築課の関係者の方々、微動計測に格別の配慮をして戴いた同市教育委員会ならびに各小中学校の関係者の方々に、深い感謝の意を表わします。また、微動計測には、本学助手桑田裕次氏にご助力を仰ぎました。合せて感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) 福山市史編纂会、「福山市史、上、中、下」昭和53年
- 2) 広島県、「広島県史」昭和55年
- 3) 建設省、「芦田川改修史」