

土木研究所資料

土木研究所における新しい高密度強震観測施設

平成10年3月

建設省土木研究所
耐震技術研究センター
振動研究室・防災技術課

Copyright © (1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



土木研究所資料
第3567号1998年3月

土木研究所における新しい高密度強震観測施設

耐震技術研究センター	センター長	横山 功一
同 振動研究室	室 長	田村 敬一
	研 究 員	本田 利器*
		千葉 光
同 防災技術課	課 長	杉田 秀樹

要 旨

建設省土木研究所では、地震動に及ぼす地形・地盤条件の影響の解明等を目的として特定地域に多数の強震計を系統的に配置する高密度強震観測を行っている。

本資料は、平成7～8年度に更新・新設された9地区の高密度強震観測場について、その地形・地盤条件、観測点配置、観測システム等を取りまとめたものである。

キーワード：高密度強震観測，地震動，耐震設計

*現 京都大学 防災研究所 助手（平成9年10月より）

まえがき

既往の強震記録の解析結果によれば、構造物の耐震設計に重要な0.1～2秒程度の周期範囲の地震特性は、地震の発生機構、震源から観測地点までの伝播経路の特性及び観測地点付近の局地的な（10m～1km程度の範囲）地形・地盤条件の3者に強く影響されることが明らかになっている。このうち、地震動に及ぼす局地的な地形・地盤条件の影響の解明は、既往の地震被害が地形・地盤条件の変化部に多く発生している事実から、工学的には最も重要な研究課題の1つである。しかしながら、上記諸要因と地震動特性との関係を把握するためには、これまでのように散在する観測点による観測では、不十分であり、特定地域に多数の強震計を系統的に配置する高密度強震観測が必要とされている。これにより、今後建設予定の吊橋、沈埋トンネル等の長大構造物の設計地震力の評価を適切に行うとともに、道路施設、ライフライン施設等の耐震設計及び耐震性評価手法の開発、マイクロゾーニング手法の開発等に大きく貢献すると考えられる。

このような背景のもとに、建設省土木研究所では、地震動におよぼす地形・地盤条件の影響の解明等を目的として、昭和54年度に土木研究所構内に高密度強震観測施設を設置した。また、昭和56～59年度には静岡県の駿河湾に沿った相良地区、焼津地区、沼津地区及び松崎地区の4地区に高密度強震観測施設を設置し、観測を行ってきた。そして、平成7～8年度には、駿河湾沿岸の4地区の高密度強震観測施設を新システムに更新するとともに、新たに神戸西地区、神戸東地区、小田原地区、幕張・習志野地区及び館山地区の5地区に高密度強震観測施設を設置した。

本資料は、平成7～8年度に新システムに更新した駿河湾岸4地区（相良、焼津、沼津、松崎）と新たに設置を完了した5地区（神戸西、神戸東、小田原、幕張・習志野、館山）における高密度強震観測施設の概要を紹介するものである。

平成10年3月

建設省土木研究所	耐震技術研究センター	センター長	横山 功一
同	振動研究室	室 長	田村 敬一
		研 究 員	本田 利器*
			千葉 光
同	防災技術課	課 長	杉田 秀樹

* 現 京都大学 防災研究所 助手（平成9年10月より）

目 次

まえがき

1. 高密度強震観測	1
1. 1 高密度強震観測施設の背景	1
1. 2 土木研究所における高密度強震観測	2
2. 相良地区高密度強震観測場	4
2. 1 地形・地盤条件	4
2. 2 観測網	4
2. 3 観測施設の設置箇所	5
3. 焼津地区高密度強震観測場	19
3. 1 地形・地盤条件	19
3. 2 観測網	19
3. 3 観測施設の設置箇所	20
4. 沼津地区高密度強震観測場	33
4. 1 地形・地盤条件	33
4. 2 観測網	33
4. 3 観測施設の設置箇所	33
5. 松崎地区高密度強震観測場	49
5. 1 地形・地盤条件	49
5. 2 観測網	49
5. 3 観測施設の設置箇所	50
6. 神戸地区高密度強震観測場（西地区及び東地区）	64
6. 1 地形・地盤条件	64
6. 2 観測網	65
6. 3 観測施設の設置箇所	65
7. 小田原地区高密度強震観測場	95
7. 1 地形・地盤条件	95
7. 2 観測網	95
7. 3 観測施設の設置箇所	96
8. 幕張・習志野地区高密度強震観測場	119
8. 1 地形・地盤条件	119
8. 2 観測網	119

8. 3 観測施設の設置箇所	120
9. 館山地区高密度強震観測場	137
9. 1 地形・地盤条件	137
9. 2 観測網	137
9. 3 観測施設の設置箇所	138
10. 観測システム	152
10. 1 基本構成	152
10. 2 観測施設及び観測機器	152
謝辞	164
参考文献	168

1. 高密度強震観測

1.1 高密度強震観測の背景^{1)~8)}

各種公共施設を合理的に耐震設計したり、既存施設の耐震性評価や各種防災上の措置を講じるに際しては、当該地域で想定される地震動の強度及び特性を正しく知ることが重要である。既往の被害事例によると、同一地震で震源から同程度の距離にある2地点間でも、地盤条件が違えば揺れ方に非常に大きな差が生じること、また、公共施設の被害は地形・地盤条件の変化部で著しいことがわかっている。さらに、既往の強震観測の解析結果からも、地震動特性が地盤条件により異なること、特に工学的に重要な短周期地震動の特性は、地震の発生機構、震源から観測地点までの伝播経路の特性及び観測地点付近の局地的条件に強く影響されることが明らかになってきた。しかしながら、従来の強震観測は、各種構造物とその周辺地盤上に強震計を設置し、地震時におけるこれらの動的な振動応答を直接測定するための強震観測が中心であり、地震の発生機構、伝播経路、局地的条件が地震動特性に及ぼす影響を観測することを目的としたものは少なく、これらの諸要因と地震動特性との関係は、ほとんどわかっていないのが実情である。そのため、従来のような強震観測とは別に、特定地域に多数の強震計を系統的に配置する高密度強震観測の必要性が求められるようになった。

以上の背景の下に、1977年1月インドで開催された国際地震工学会（IAEE）主催の第6回世界地震工学会議の実行委員会において、ユネスコその他の機関の支援のもとに、高密度強震観測に関する国際作業部会の設置が決議された。その後この決議が国際地震学地球内部物理学協会（IASPEI）に伝わり、IASPEIも国際作業部会の主催者に加わることとなった。

高密度強震観測に関する国際作業部会は、世界16箇国からの参加者を得て、1978年5月米国ハワイ州のホノルルで開催されたが、これに先立って我が国でも、日本学術会議地震工学研究連絡委員会に高密度強震観測作業部会が設けられた。国際作業部会においては、今後10年間に大地震発生の可能性が高い地域として、世界中から28箇所を選び出した。この中には、我が国の東北地方東部、駿河湾伊豆半島地区、中部地方西部の3地域が含まれており、中でも駿河湾伊豆半島地区は上記28箇所の中でも大地震発生の可能性が最も高い6地域に入っている。また、国際作業部会は横ずれ断層（Strike Slip Fault）、逆断層（Subduction Thrust Fault）及び縦ずれ断層（Dip Slip Fault）のそれぞれごとに地震発生機構、伝播経路の影響を観測するための代表的計器配置計画と、局地的条件の影響を観測するための各種の代表的計器配置計画の推進と調整のため、IAEEとIASPEIの協力のもとに、国際高密度観測評議会（ISMAG）を設置するよう求めた。

我が国では、日本学術会議地震工学研究連絡委員会の高密度強震観測作業部会が中心となって、観測計画がまとめられた。この計画は、1) 高密度強震観測システムの開発、2) 地震発生機構と伝播機構の影響解明のための高密度強震観測及び解析、3) 局地的な地形・地盤条件の影響解明のための高密度強震観測及び解析の3者からなり、1)の課題は理学、工学両分野で、2)の課題は理学分野で、3)の課題は工学分野で担当することとされた。また、この計画には、北海道大学工学部、東京大学地震研究所、東北大学・名古屋大学の各理工学部、京都大学防災研究所、北海道開発局土木試験所、気象庁気象研究所、科学技術庁国立防災

科学技術センター、建設省土木研究所及び建築研究所、運輸省港湾技術研究所が、それぞれ分担を定めて参加した。また、昭和55年4月24日に日本学術会議第79総会において「高密度強震観測の推進について」の勧告が提案・可決され、昭和55年5月12日に内閣総理大臣へ勧告が出されている。

また、近年では平成7年兵庫県南部地震の後に出された土木学会の「土木構造物の耐振基準等に関する提言（第一提言）」や、日本学術会議の阪神・淡路大震災調査特別委員会第一次報告等において、高密度強震観測施設の重要性がうたわれている。

1.2 土木研究所における高密度強震観測

上記のような背景のもとに、建設省土木研究所では地震動に及ぼす地形・地盤条件の影響の解明等を目的として、昭和54年度に土木研究所構内に高密度強震観測施設を設置した。また、昭和56～59年度には静岡県駿河湾に沿った相良地区、焼津地区、沼津地区及び松崎地区の4地区に高密度強震観測施設を設置し、観測を行ってきた。

そして、平成7年1月の兵庫県南部地震を契機として、強震観測体制の強化が求められ、平成7～8年度に、駿河湾沿岸の4地区の高密度強震観測施設を新システムに更新するとともに、新たに神戸西地区、神戸東地区、小田原地区、幕張・習志野地区及び館山地区の5地区に高密度強震観測施設を設置した。このうち駿河湾沿岸4地区は、平成8年10月から新システムでの観測を開始し、新設の5地区については、平成9年3月から観測を開始している。図1.1に駿河湾沿岸4地区及び新設5地区（ただし、神戸西地区及び神戸東地区は隣接しているため図1.1では1つの地区としている）の高密度強震観測場の位置を示す。

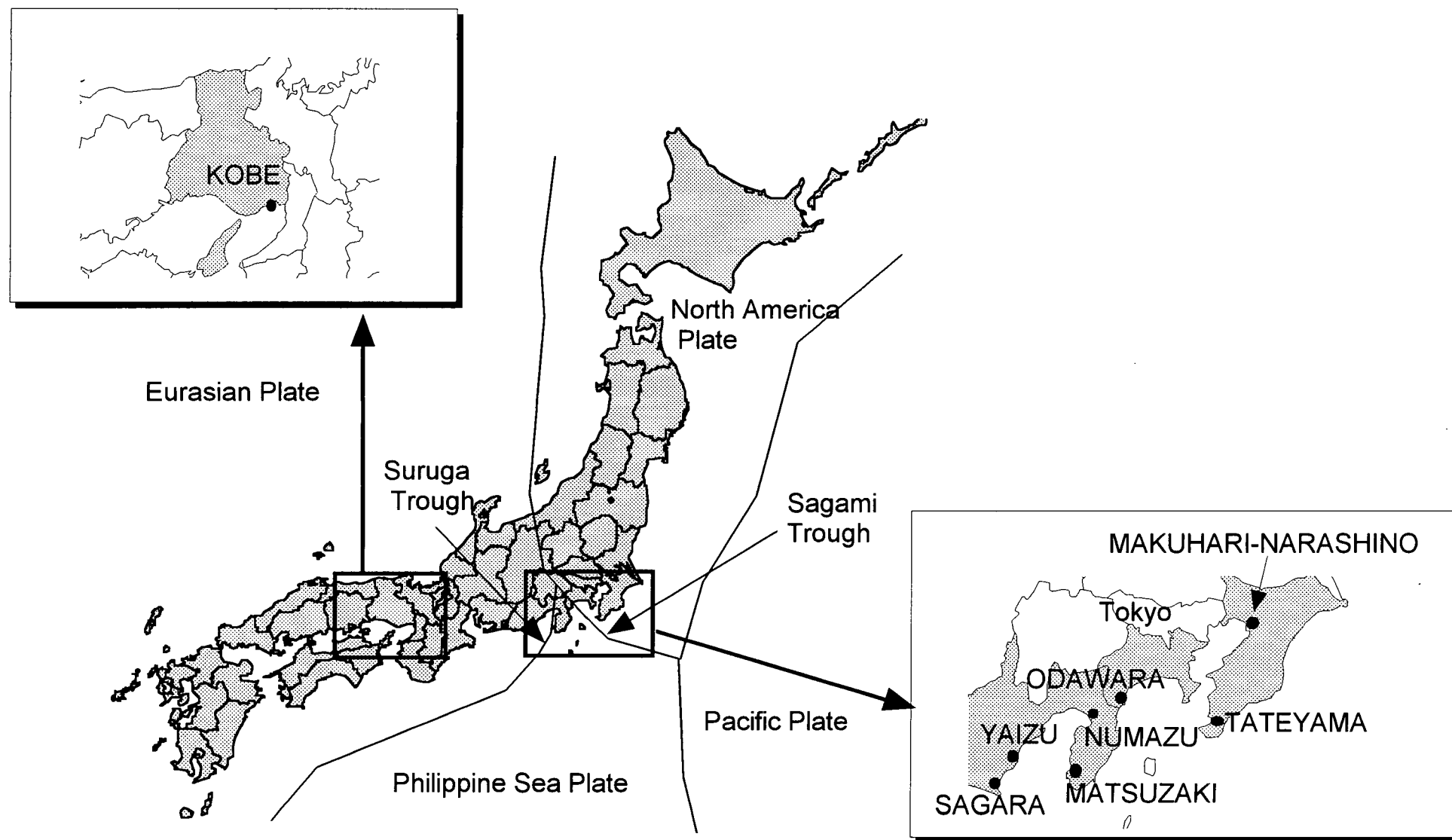


図 1.1 土木研究所における高密度強震観測場

2. 相 良 地 区 高 密 度 強 震 観 測 場

2.1 地形・地盤条件^{9), 10)}

相良地区における高密度強震観測場（図2.1及び写真2.1参照）は、静岡県榛原郡相良町に位置し、駿河湾に面した大井川河口と御前崎とのほぼ中間に当たる。観測地点周辺の地形は、駿河湾沿いの砂丘、萩間川沿いの後背低地及び周辺丘陵（最大比高100m程度）とに区分できる。海岸沿いには、比高5～7m、幅400～500mの砂丘が存在する。その内陸側は、萩間川の後背低地となっており、相良町の中心部は砂丘上及びその内陸側の縁から後背低地に位置している。萩間川は、相良町付近では南西方向に流れ、駿河湾に流入しているが、河口部では砂丘の発達に伴い、河口が閉じられ、流路が北へ移動している。

相良町一帯の基盤岩は、新第三紀中新世相良層群の下層部に相当する相良層より構成されている。相良層は、泥質岩を主体とし、一部に礫層や砂層をはさんでいる。相良層の上には、小さい礫とシルトの互層（石原田角礫層）があり、さらにその上には、円いクルミ大の海浜性の礫（和田礫層）が存在する。和田礫層の上には、切山層と呼ばれる泥質層があり、これが地表まで達している。また、周辺丘陵部では、洪積世の段丘堆積物（牧ノ原礫層）及び貝沢層が相良群層を不整合に覆い、段丘面（標高100m前後）を形成している。萩間川によって形成された沖積低地では、砂丘の発達により、萩間川河口が塞がれ、溺れ谷あるいは後背低地となったために、軟質粘土及びゆるい砂を主体とする軟弱地盤が形成されたと考えられている。

相良地区では、換振器の設置に伴って、No.2地点で深度30m、No.4地点で深度30m、No.5地点で深度32m、No.8地点で深度36m、No.10地点で深度30mの合計5本のボーリング調査を行った。

これらのボーリング調査結果は図2.2に示すとおりである。また、今回のボーリング調査結果及び既存のボーリング資料より、相良地区の代表断面（図2.1のA-A'断面）の地盤構成を示すと、図2.3のようになる。ボーリングは各地点とも基盤岩である相良層まで達しており、No.2地点では深度23m、No.4地点では深度16m、No.5地点では深度31m、No.8地点では深度31m、No.10地点では深度29mでそれぞれ相良層が確認された。

2.2 観測網

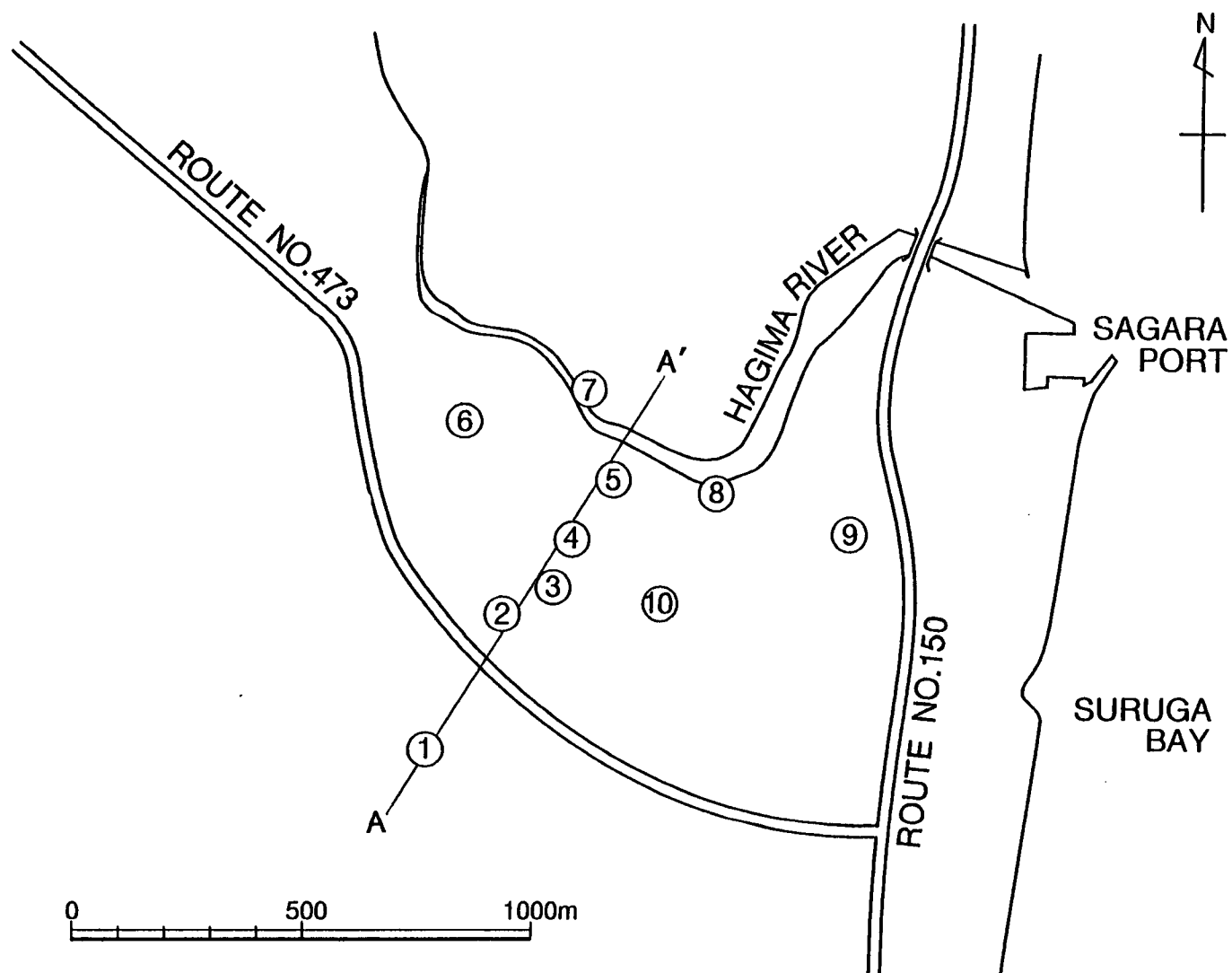
相良地区における高密度強震観測施設の配置は、図2.1に示したとおりである。丘陵地（No.1地点）から萩間川の沖積低地に至るNo.1-No.2-No.3-No.4-No.5-No.7地点の測線及び萩間川の沖積低地から駿河湾沿いの砂丘に至るNo.6-No.7-No.5-No.8-No.9地点の測線を中心とし、これにNo.10地点を加えた合計10箇所計16台の強震計を設置した。ここで、No.4、No.5、No.8及びNo.10地点の4箇所では地表面下2mの他に、相良層中に約5m貫入する位置（深度30～36m）に換振器を配した。測線の1辺の長さは約900mであり、それぞれの観測地点間距離は約100～350mである。

相良地区は種々の地盤条件を有するとともに、基盤の深さが地点によって変化しており、これらの影響による地震動の変化を観測することを目的とするものである。

2.3 観測施設の設置箇所

強震計を設置したのは、以下に示す10箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図2.4に示す。

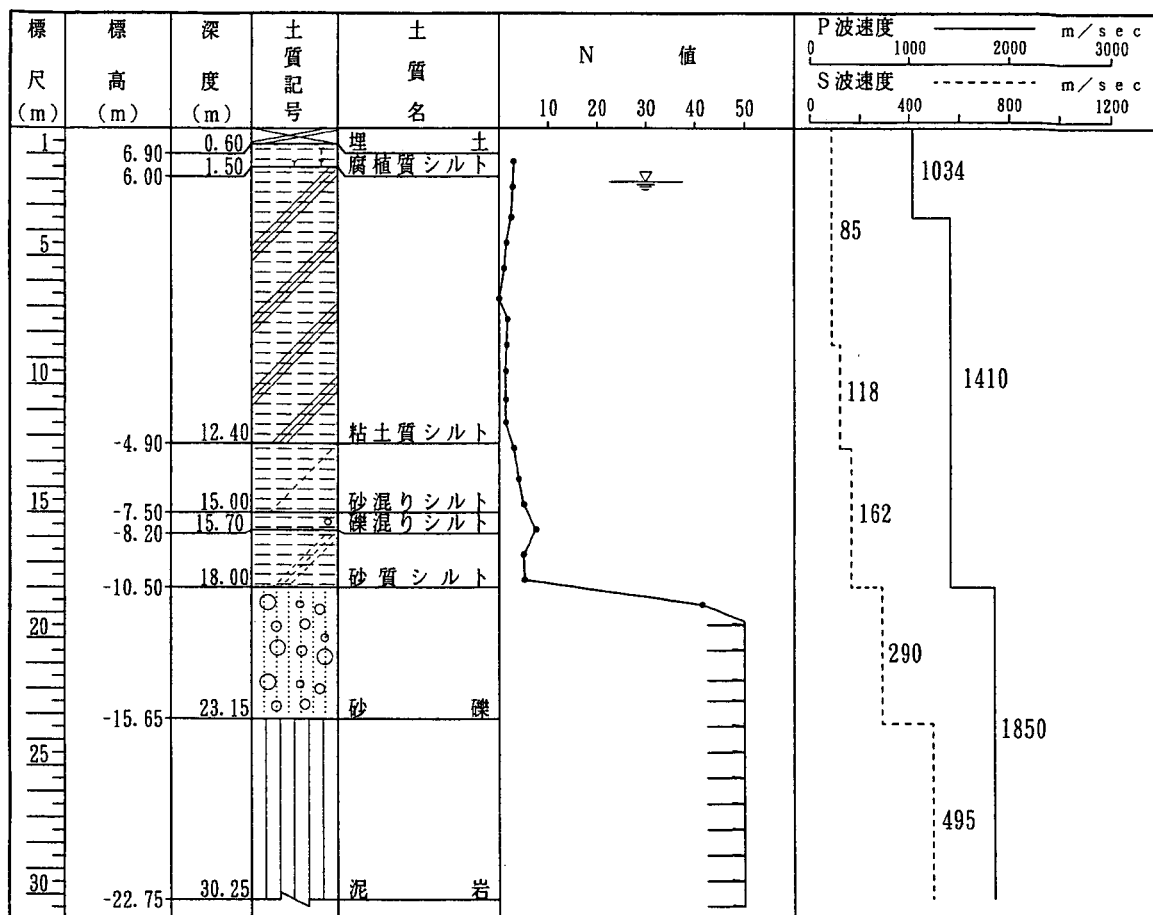
- No.1地点 : 相良町上水道の波津配水池の敷地内に設置。
- No.2地点 : 相良町営住宅内の西側に設置。
- No.3地点 : 静岡県立相良高等学校の校庭北西端に設置。
- No.4地点 : 相良町立相良小学校敷地内の北西端に設置。
- No.5地点 : 相良町立相良中学校の北東端の倉庫横に設置。
- No.6地点 : 相良町立大沢保育園敷地内の北西端に設置。
- No.7地点 : 相良町立相良中学校のサブグラウンドの南西端に設置。
- No.8地点 : 相良町立相良中学校のプールのポンプ小屋前に設置。
- No.9地点 : 相良町児童館の南東側の電話ボックス横に設置。
- No.10地点 : 相良町立相良小学校のプールと体育倉庫の間に設置。



**Accelerometer Installation
Depth of Sagara Array**

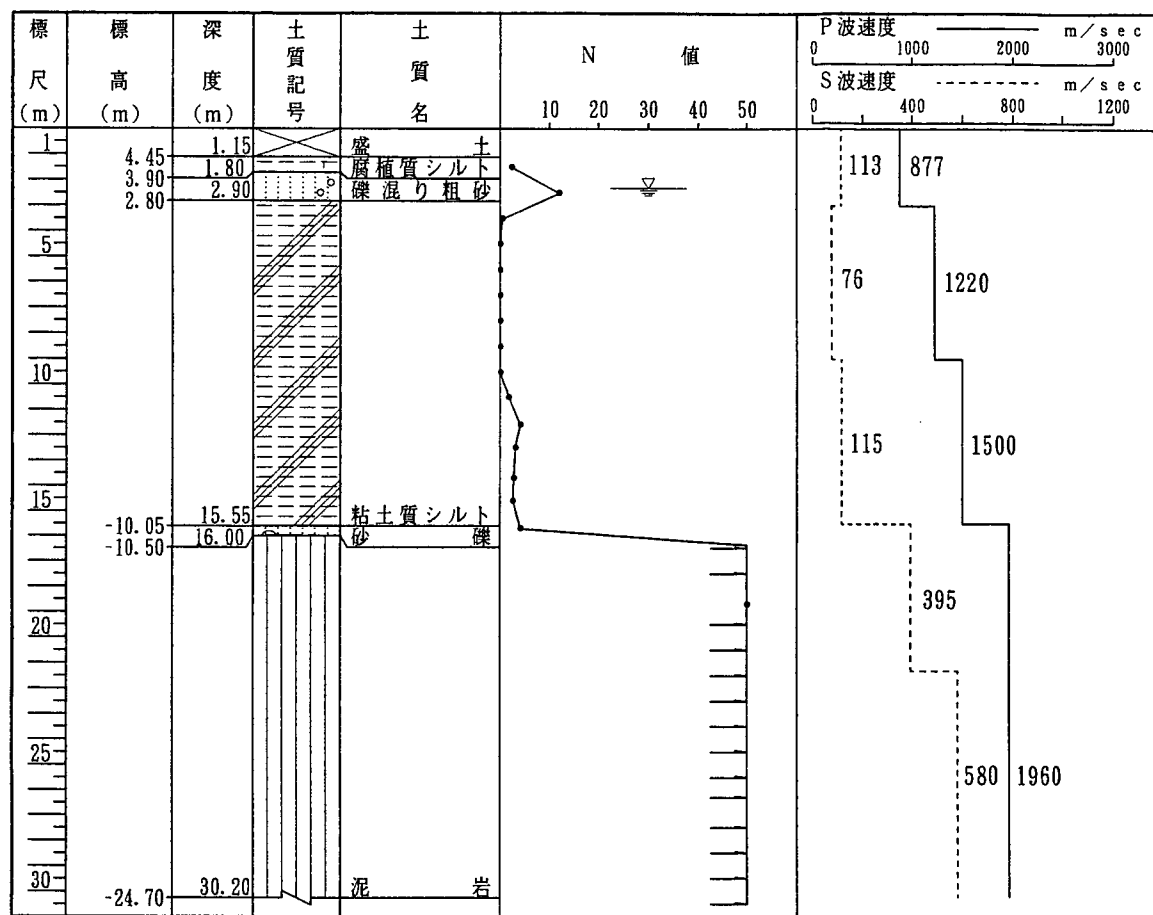
Observation Point No.	Accelerometer Installation Depth [m]
1	2
2	2
3	2
4	2, 30
5	2, 8, 12, 32
6	2
7	2
8	2, 36
9	2
10	2, 30

図 2.1 相良地区高密度強震観測場



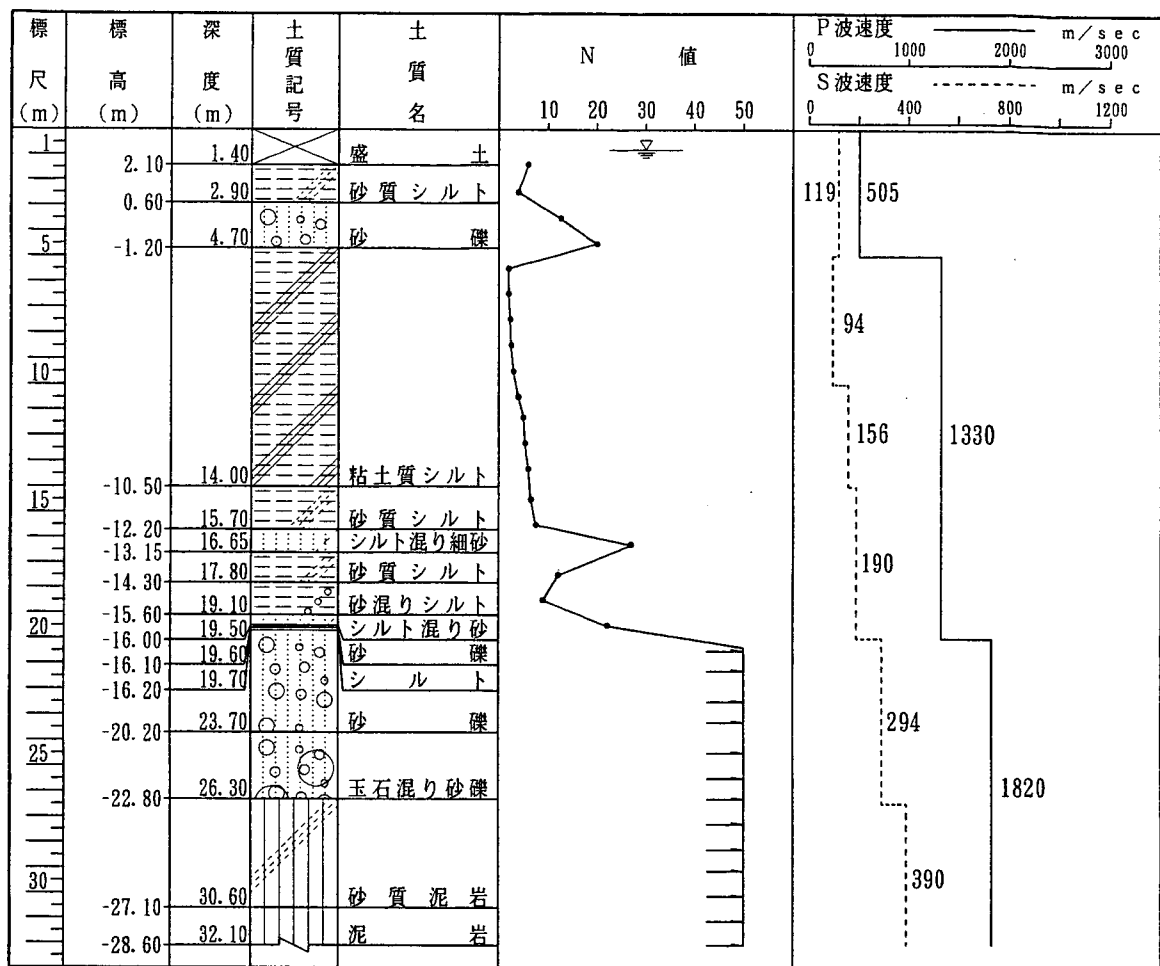
(a) 相良町営住宅 (No.2 地点)

図 2.2 (1) 総合土質柱状図



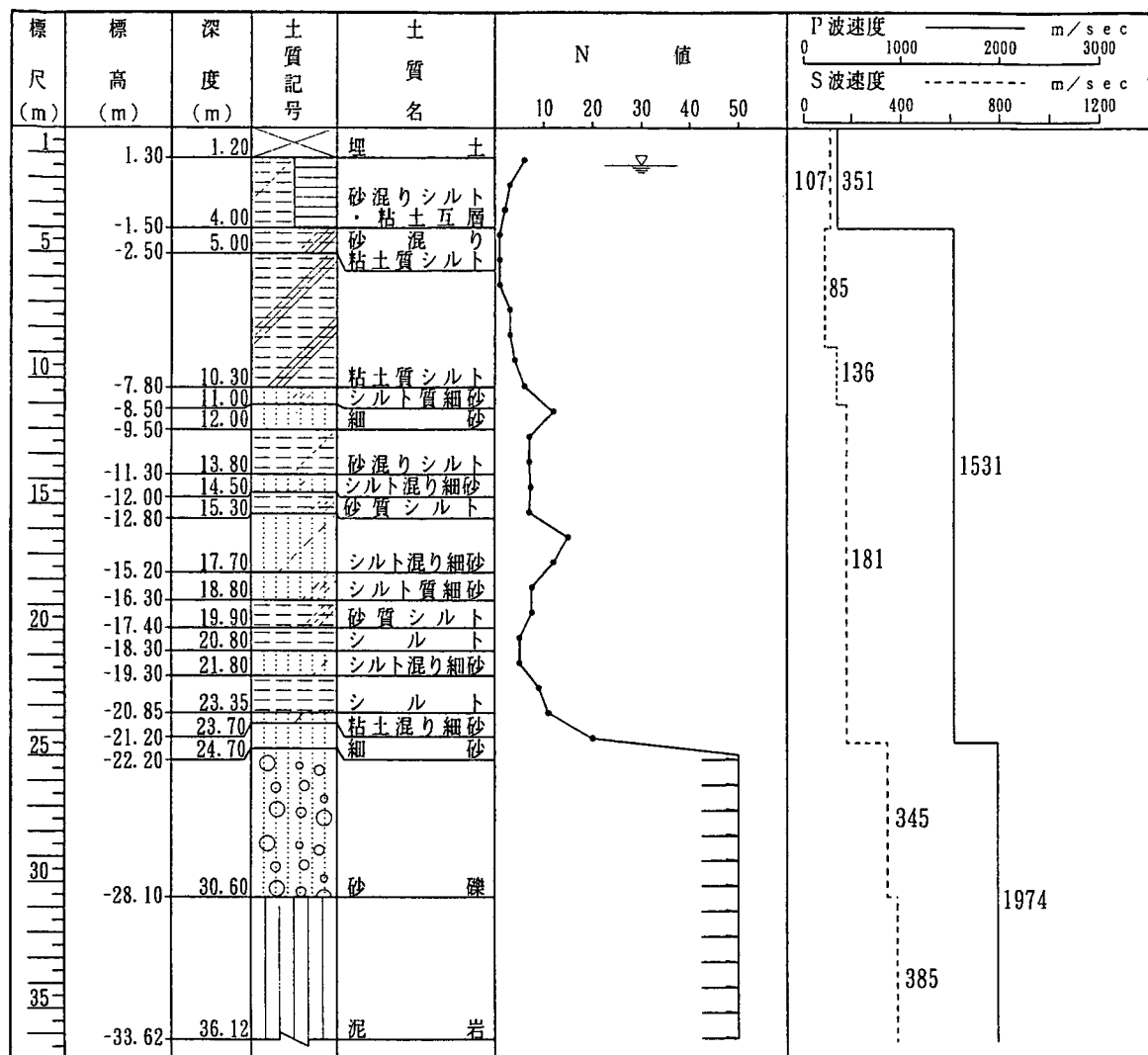
(b) 相良小学校 (No.4 地点)

図 2.2 (2) 総合土質柱状図



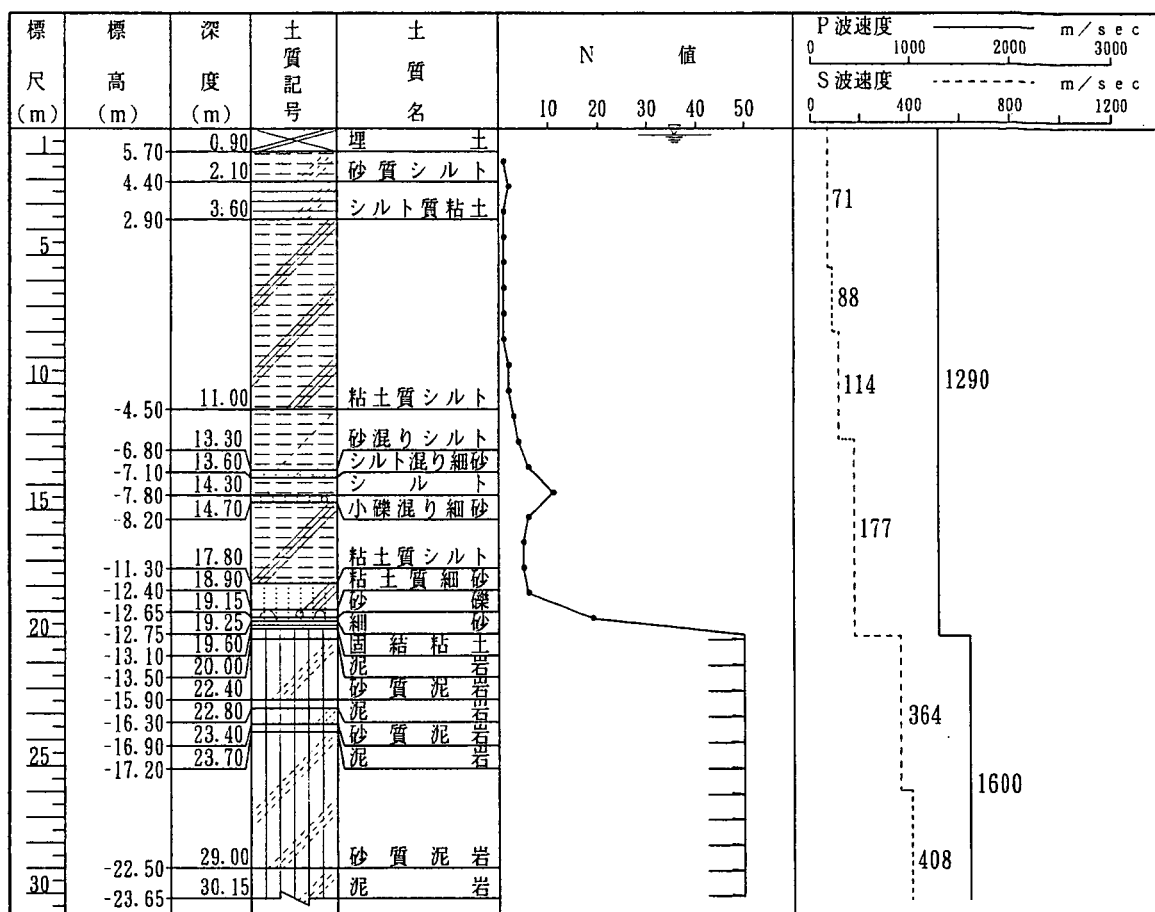
(c) 相良中学校 (No.5 地点)

図 2.2 (3) 総合土質柱状図



(d) 相良中学校プール (No.8地点)

図 2.2 (4) 総合土質柱状図



(e) 相良小学校プール (No.10 地点)

図 2.2 (5) 総合土質柱状図

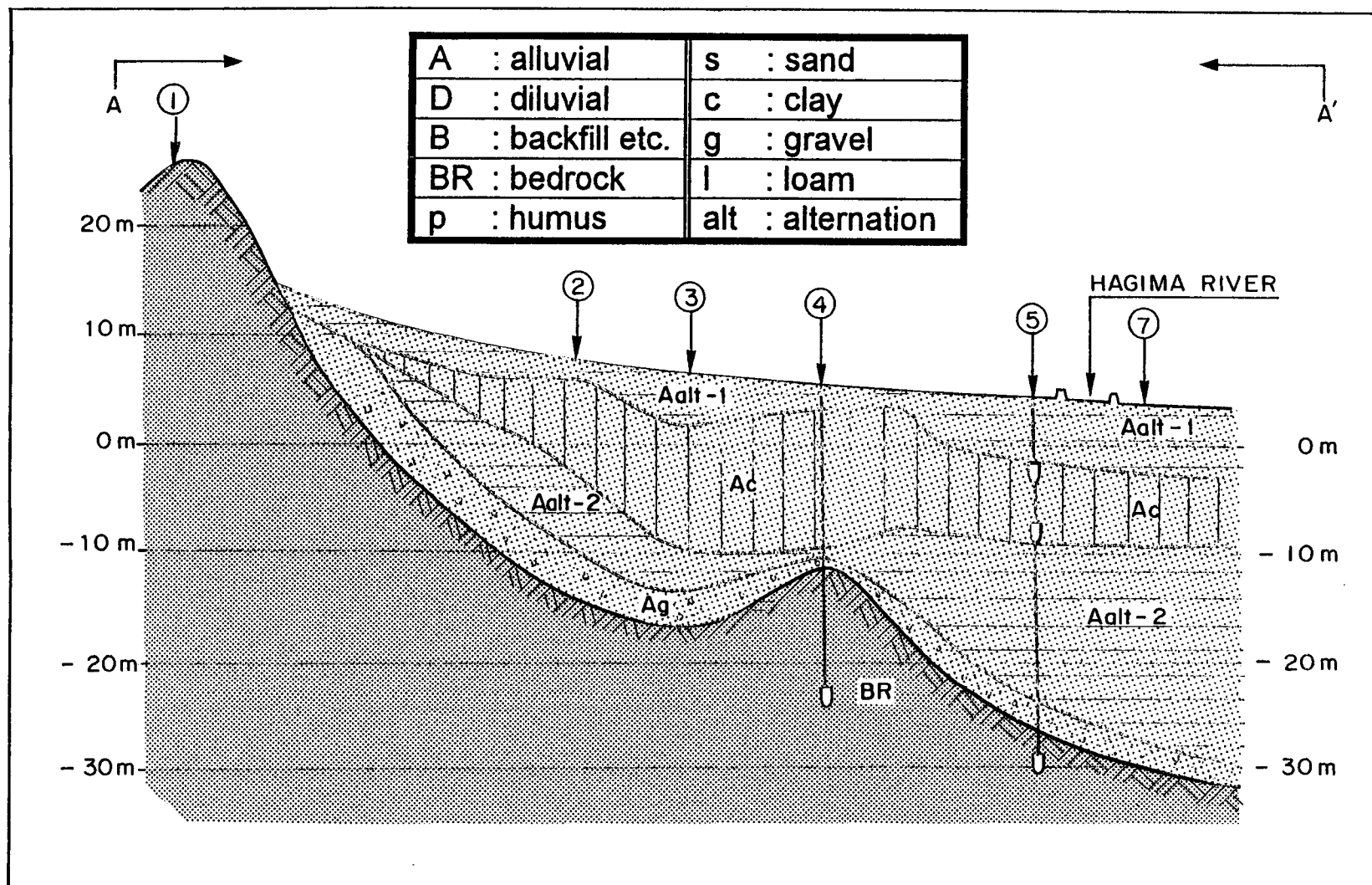
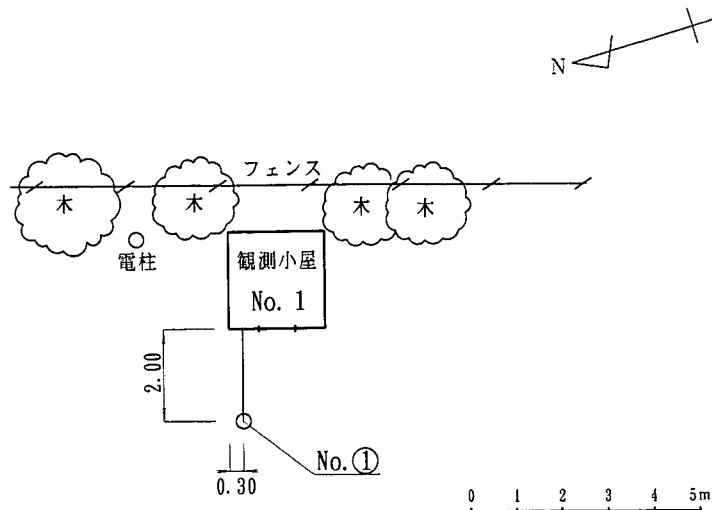
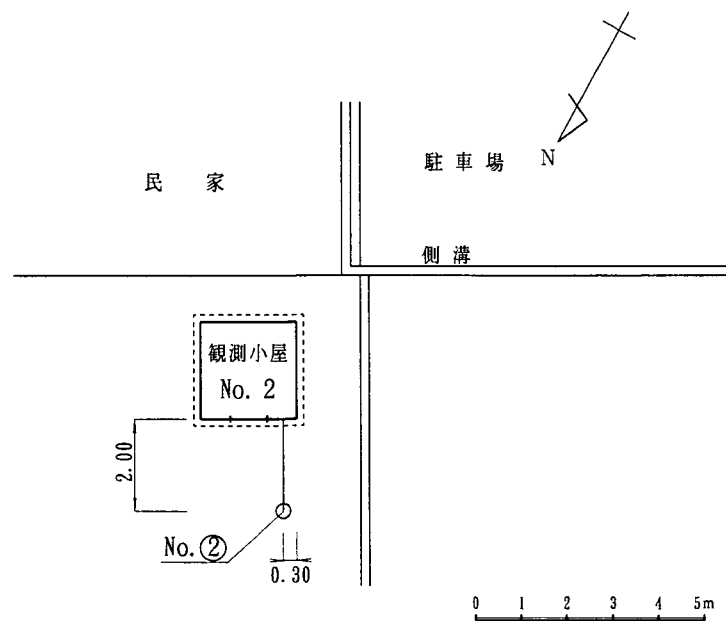


図 2.3 相良地区代表断面の地盤構成

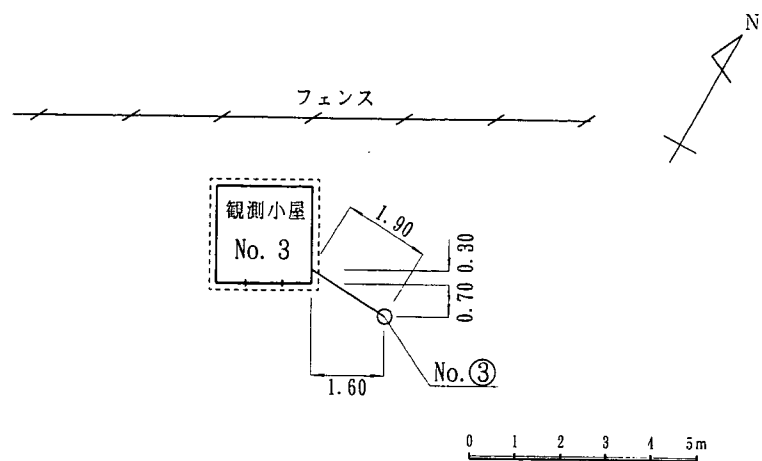


(a) 波津配水池 (No.1 地点)

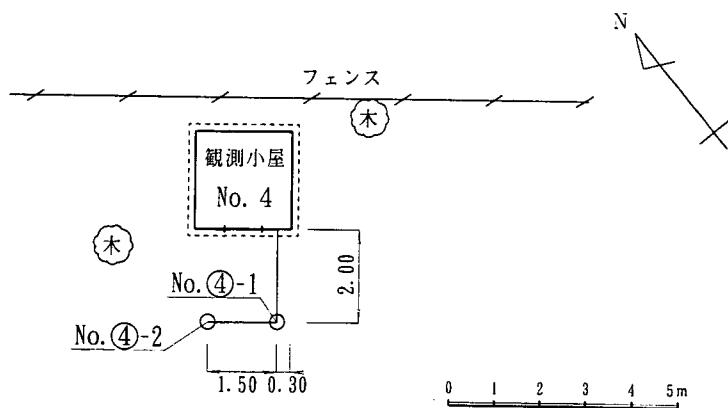


(b) 相良町営住宅 (No.2 地点)

図 2.4 (1) 観測小屋周辺図

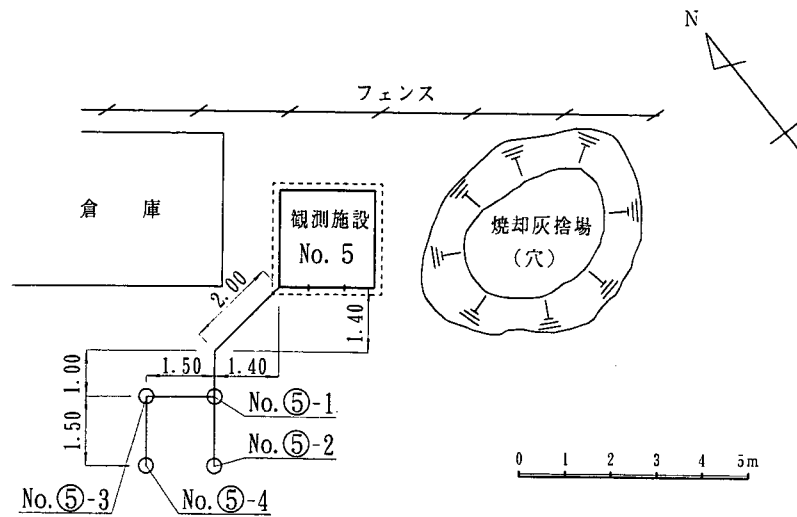


(c) 相良高等学校 (No.3 地点)

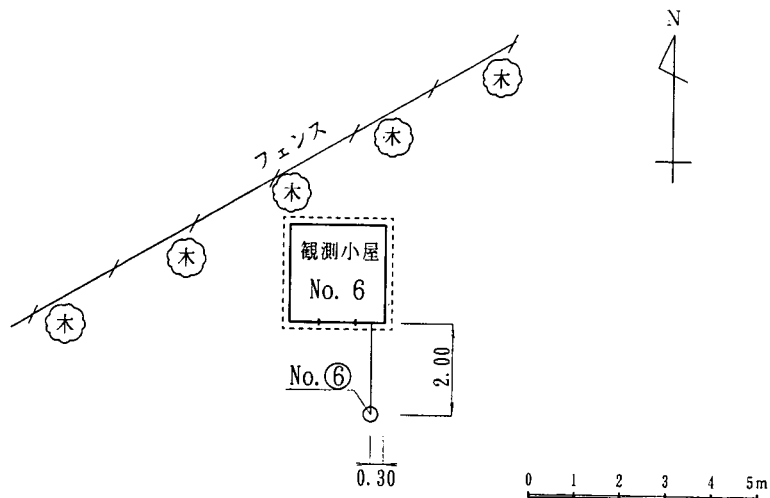


(d) 相良小学校 (No.4 地点)

図 2.4 (2) 観測小屋周辺図

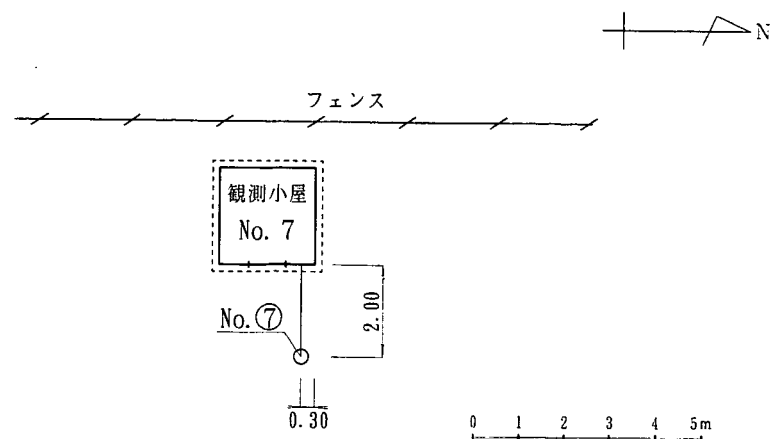


(e) 相良中学校 (No.5 地点)

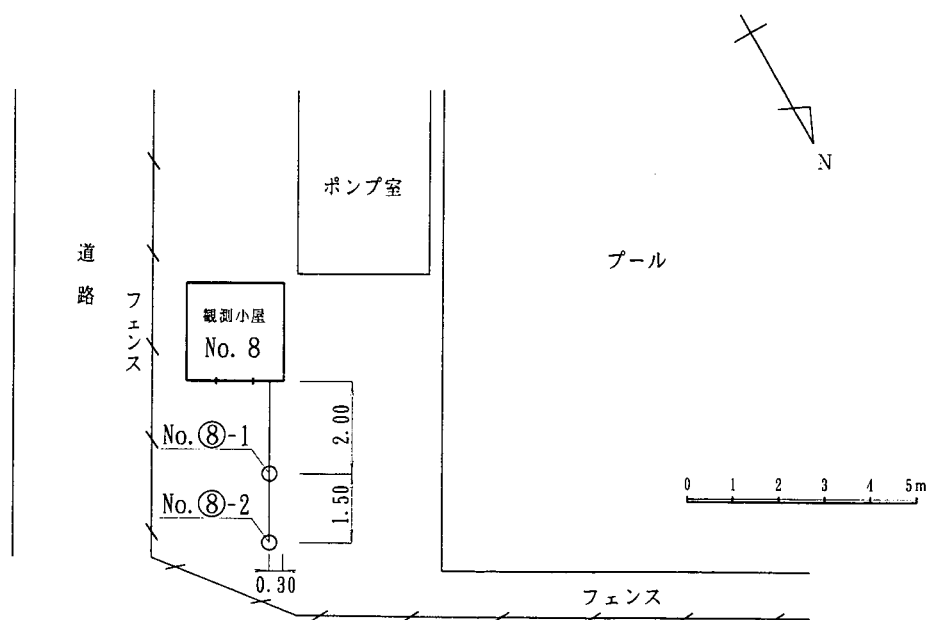


(f) 大沢保育園 (No.6 地点)

図 2.4 (3) 観測小屋周辺図

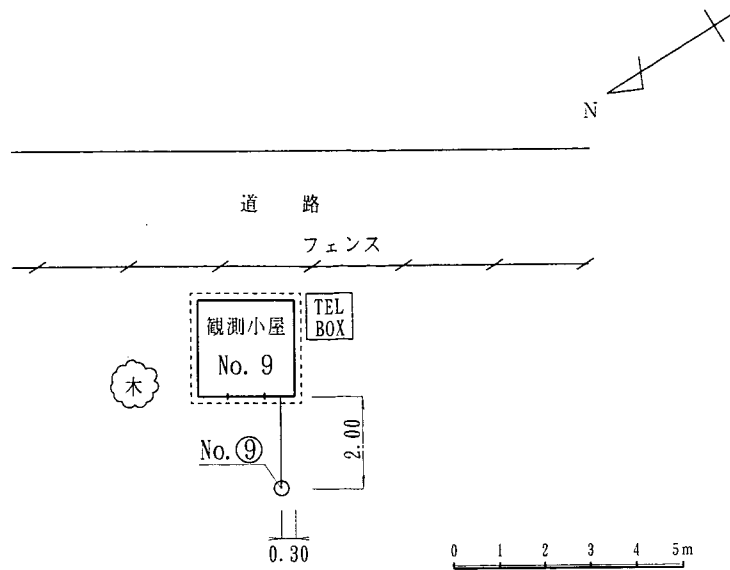


(g) 相良中学校サブグラウンド (No.7 地点)

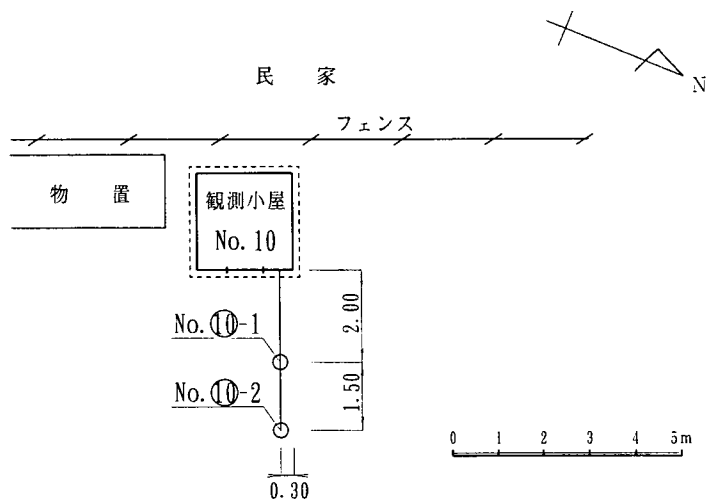


(h) 相良中学校プール (No.8 地点)

図 2.4 (4) 観測小屋周辺図



(i) 相良町児童館 (No.9 地点)



(j) 相良小学校プール (No.10 地点)

図 2.4 (5) 観測小屋周辺図

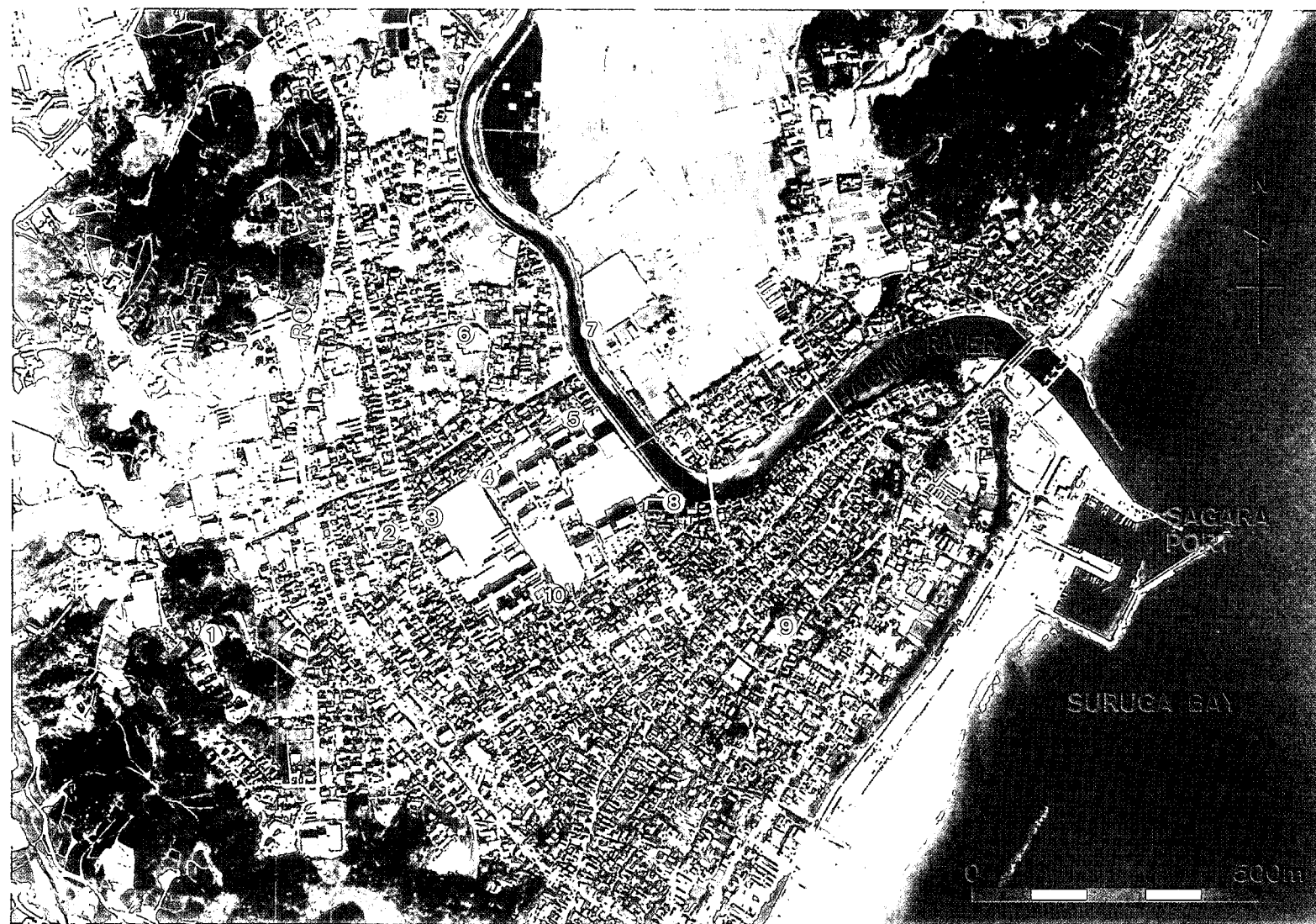


写真 2.1 相良地区高密度強震観測場

3. 焼津地区高密度強震観測場

3.1 地形・地盤条件^{11)~13)}

焼津地区における高密度強震観測場（図3.1及び写真3.1参照）は、焼津市中里～石脇を中心とし、東名高速道路日本坂トンネルの焼津側出口一帯に展開されている。本地区は、瀬戸川及び朝比奈川の三角州堆積物と後背湿地堆積物により形成され、海成砂層、シルト層が厚く（約100m）堆積した我が国でも有数の軟質地盤地域を含んでいる。なお、砂礫層を主体とする大井川の扇状堆積物により形成された焼津市の中心部とは、瀬戸川を境として地盤条件を異にしている。

本地区の基盤は、新第三紀中新世高草山層群の上層部の大崩累層より構成されており、アルカリ質玄武岩及び粗面安山溶岩を主体としている。また、観測地点周辺における大崩累層は、高草山の山裾から焼津市内に向かって深くなり、焼津駅付近では地下約170mに存在するとされている。大崩累層の上層は、大井川の扇状地堆積物であり、主として砂礫層によって構成されている。砂礫層の最大層厚は200m以上に達するとされているが、砂礫層の発達は、ほぼ現在の瀬戸川の流路が北限とされており、それより北側では表層部を除いて泥質層が発達している。

焼津地区では、換振器の設置に伴って、No.1地点で深度10m、No.5地点で深度15.5m、No.9地点で深度112mの合計3本のボーリング調査を行った。

これらのボーリング調査結果は図3.2に示すとおりである。また、今回のボーリング調査結果及び既存のボーリング資料より、焼津地区の代表断面（図3.1のA-A'断面）の地盤構成を示すと、図3.3のようになる。No.1及びNo.9地点では、それぞれ、4m及び110mの深度で基盤岩が確認されている。

3.2 観測網

焼津地区における高密度強震観測施設の配置は、図3.1に示したとおりである。高草山の山裾から朝比奈川・瀬戸川の左岸（北側の地区）に至る地盤変化部に、地盤条件の変化する方向（No.1－No.4－No.7－No.8－No.9－No.10－No.12地点）と、これに直交する方向（No.2－No.3－No.4－No.5－No.6地点）の2方向の測線を中心とし、これにNo.11地点を加えた合計12箇所に計17台の強震計を設置した。朝比奈川・瀬戸川の左岸は、海底砂層、シルト層が厚く堆積した軟質地盤地域であり、朝比奈川橋近くのNo.9地点では、地表面下2mの他に、深度30m、63m及び112mの3箇所にも換振器を配している。また、瀬戸川の右岸（南側）は左岸（北側）に比べ地盤条件が比較的良好であり、No.12地点は、このような地盤の良否による地震動の特性を比較するために配置したものである。焼津地区のそれぞれの観測地点間距離は、約150～1200mである。

焼津地区は、地盤条件の変化が地震動特性に及ぼす影響、厚い軟質地盤における地震動の増幅特性を観測することを目的とするものである。

3.3 観測施設の設置箇所

強震計を設置したのは、以下に示す12箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図3.4に示す。

No.1地点 : 焼津市第15自治会の石脇下区有地内の防災倉庫横に設置。

No.2地点 : サッポロビール(株)の静岡工場敷地内の北側の角に設置。

No.3地点 : 焼津市立東益津幼稚園の北東端に設置。

No.4地点 : 焼津市立東益津小学校の校庭北東端にある交通安全施設の西端に設置。

No.5地点 : 焼津市立東益津小学校の体育館とプールの間の北端に設置。

No.6地点 : 焼津市東益津公民館のグラウンド南西端の植込みの中に設置。

No.7地点 : 焼津市立東益津中学校校庭の南東端のバックネット裏に設置。

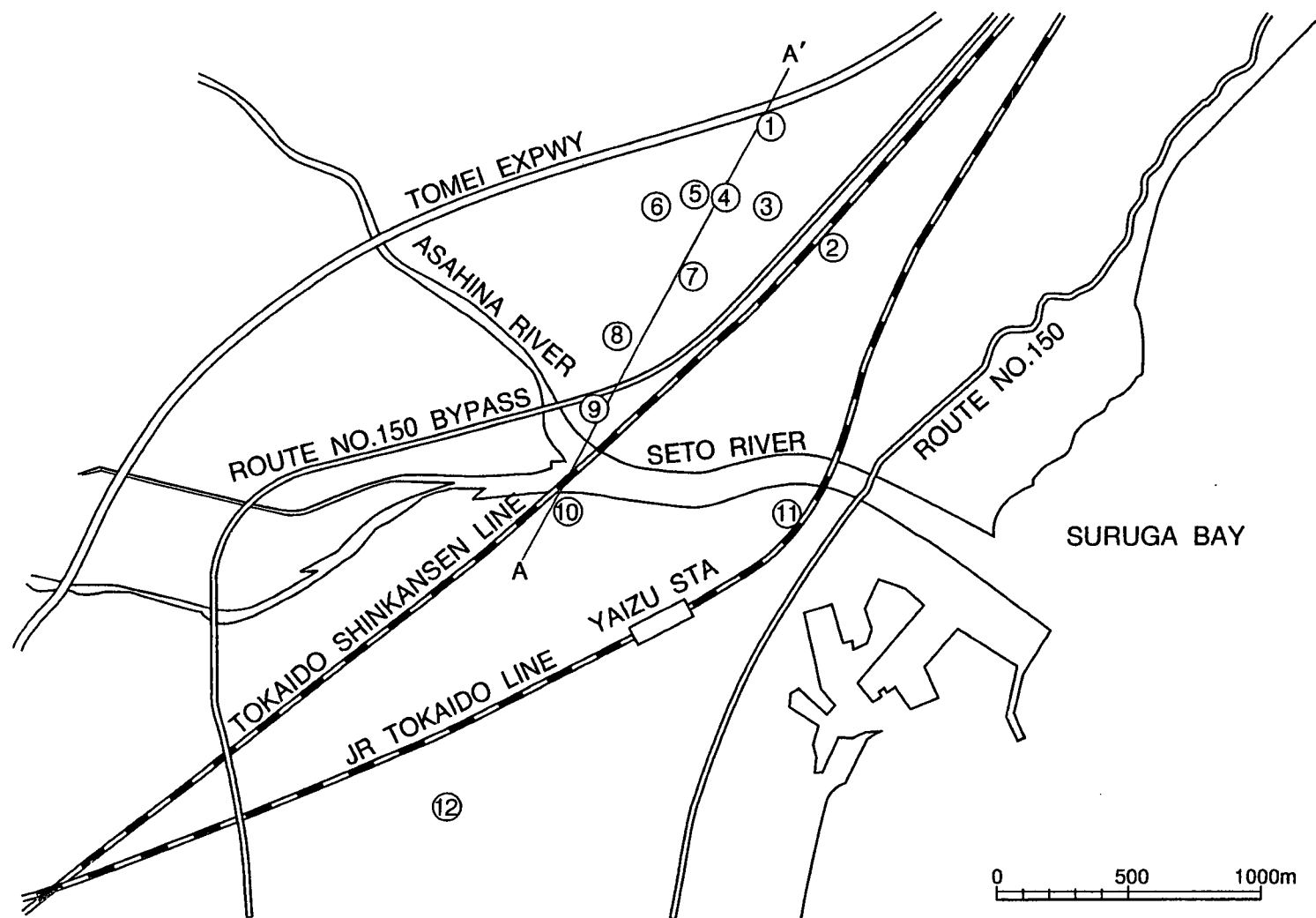
No.8地点 : 焼津市立中里ちびっこ広場の南東端に設置。

No.9地点 : 国道150号バイパスの朝比奈川橋から、左岸側へ約50m離れた交差点近くに設置。

No.10地点 : 焼津市水道局の牛田資材置場の南西端に設置。

No.11地点 : 焼津市中公園の西側の公衆便所横に設置。

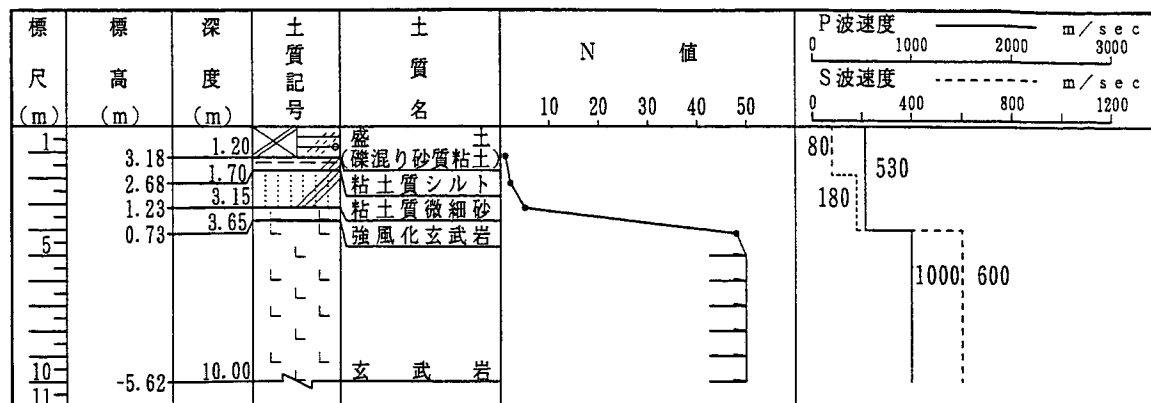
No.12地点 : 焼津市立焼津西小学校の校庭南西端に設置。



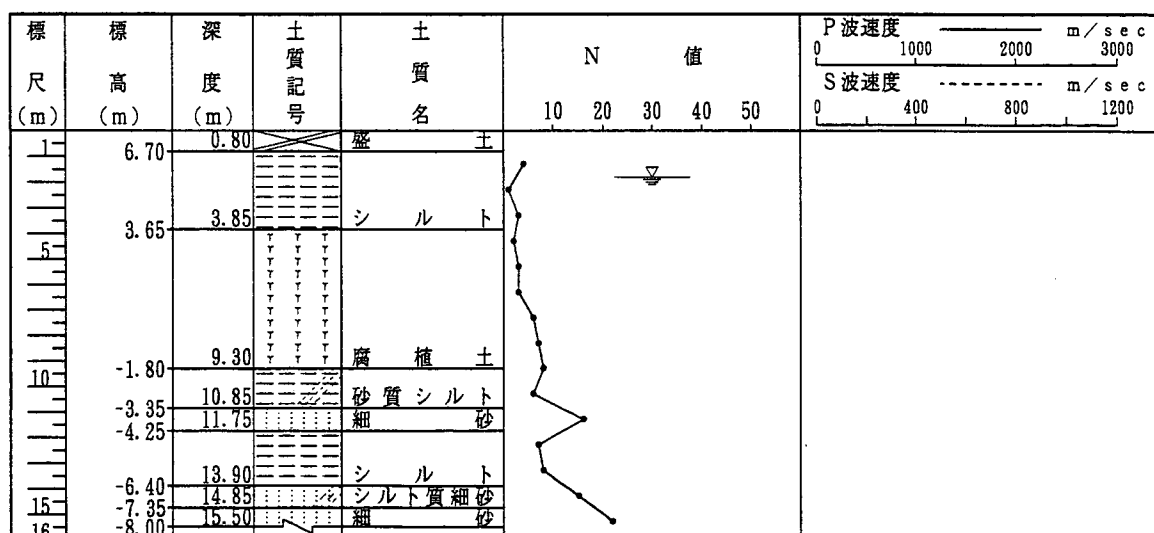
Accelerometer Installation
Depth of Yaizu Array

Observation Point No.	Accelerometer Installation Depth [m]
1	10
2	2
3	2
4	2
5	2, 15.5
6	2
7	2
8	2
9	2, 20, 30, 63, 112
10	2
11	2
12	2

図 3.1 焼津地区高密度強震観測場

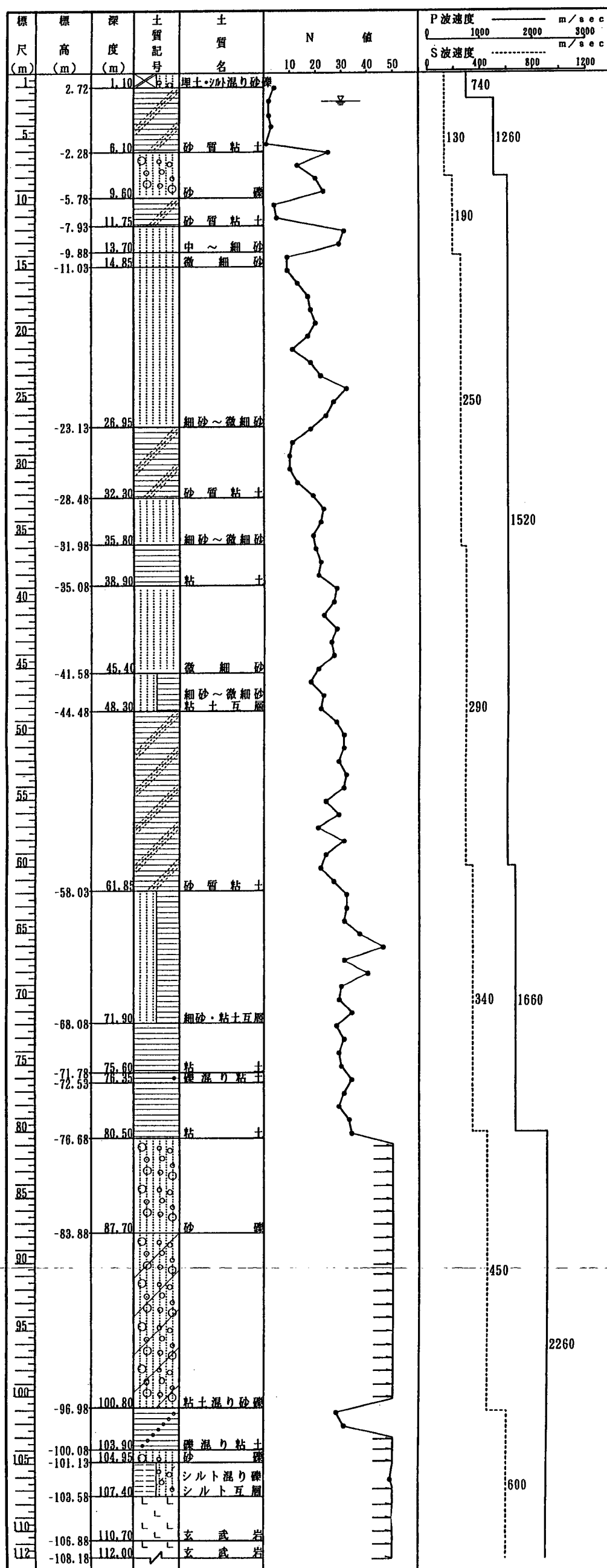


(a) 石脇下区有地 (No.1 地点)



(b) 東益津小学校体育館 (No.5 地点)

図 3.2 (1) 総合土質柱状図



(c) 朝比奈川橋 (No.9 地点)

図 3.2 (2) 総合土質柱状図

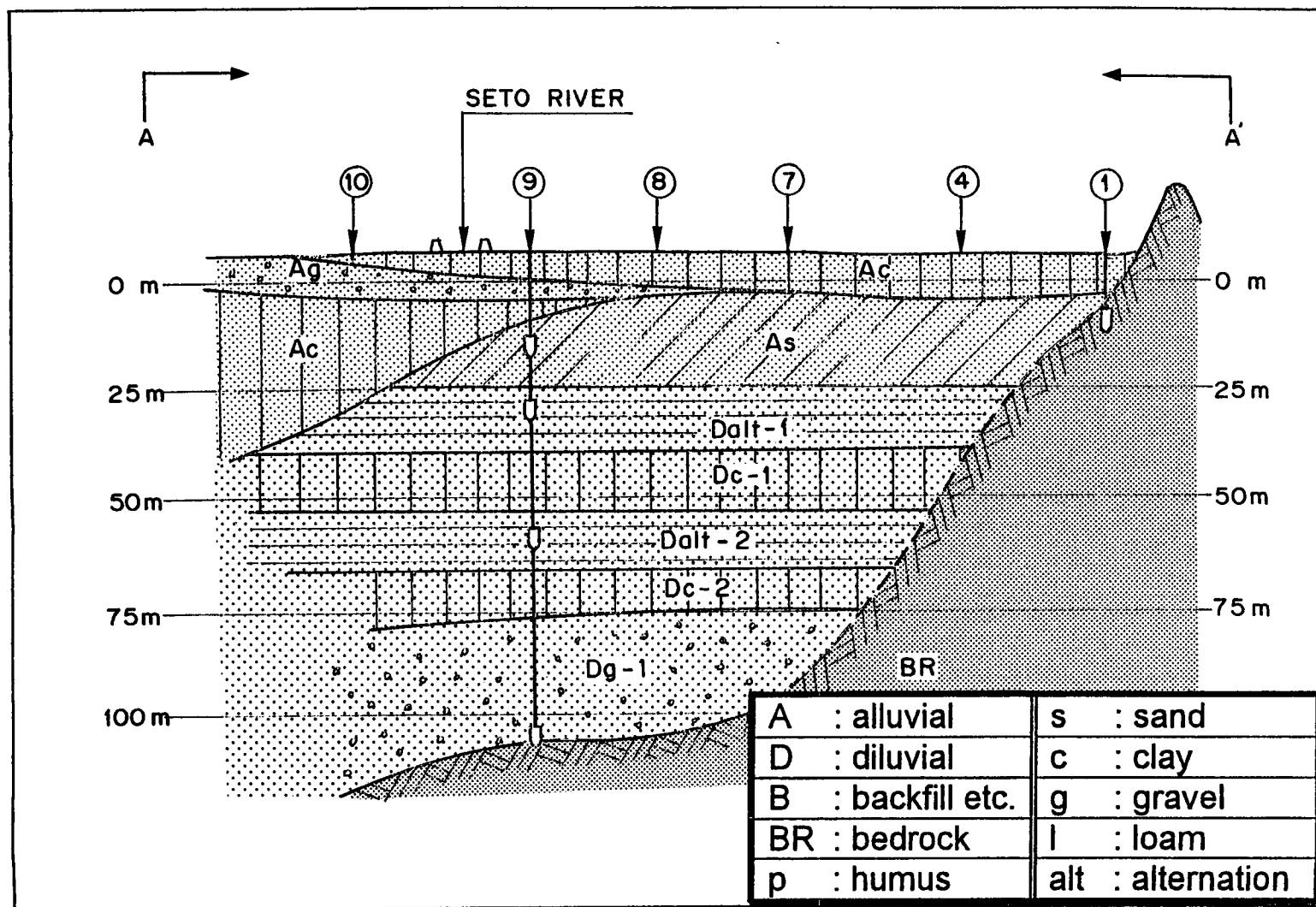
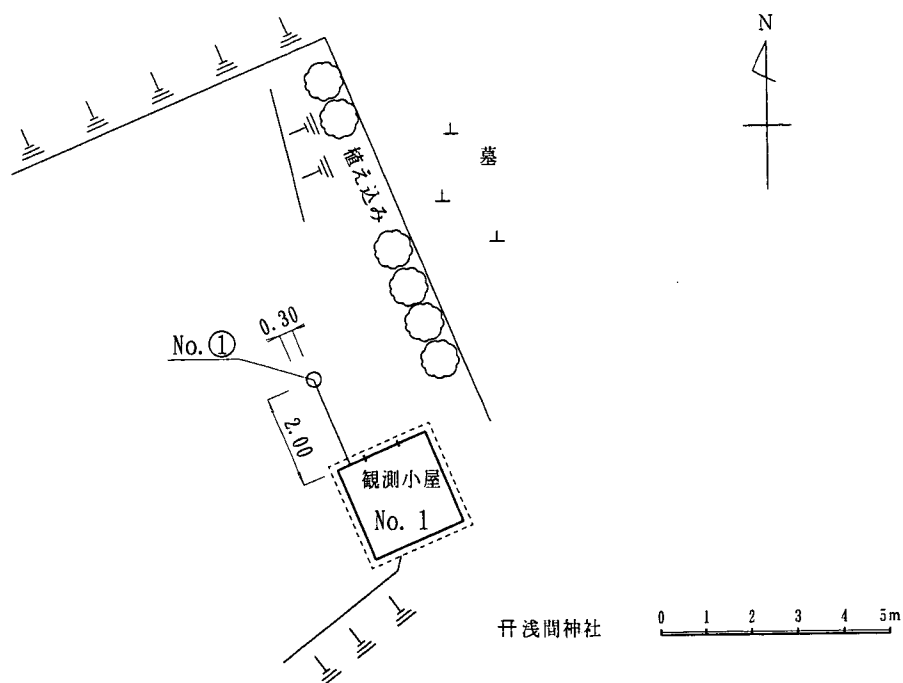
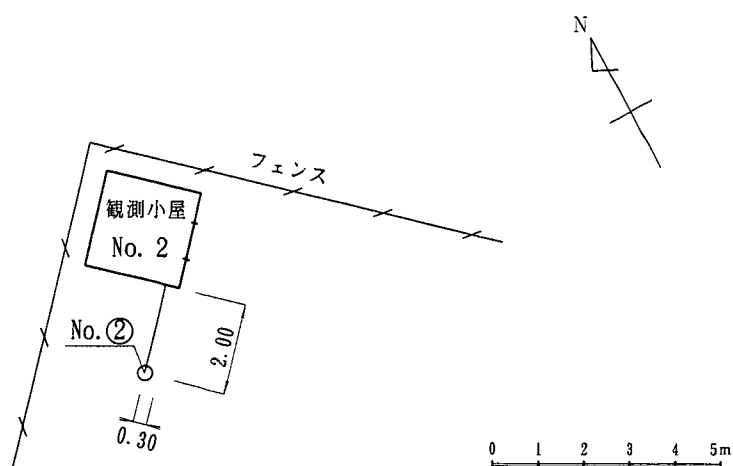


図 3.3 焼津地区代表断面の地盤構成

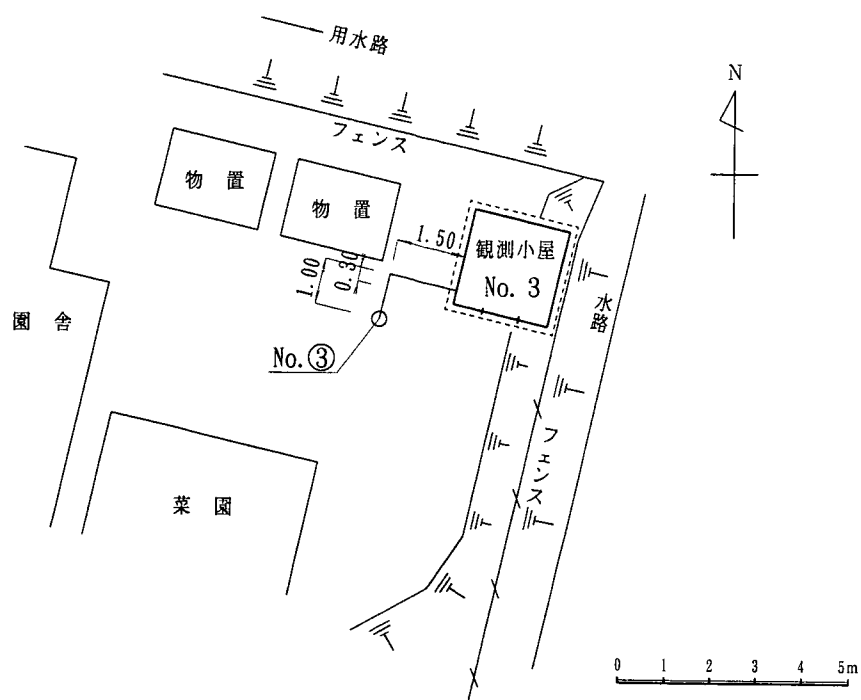


(a) 石脇下区有地 (No.1 地点)

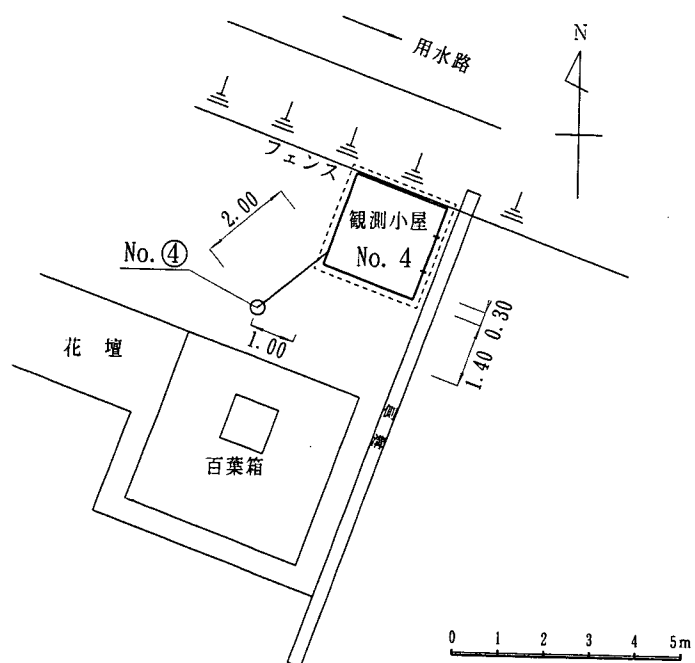


(b) サッポロビール静岡工場 (No.2 地点)

図 3.4 (1) 観測小屋周辺図

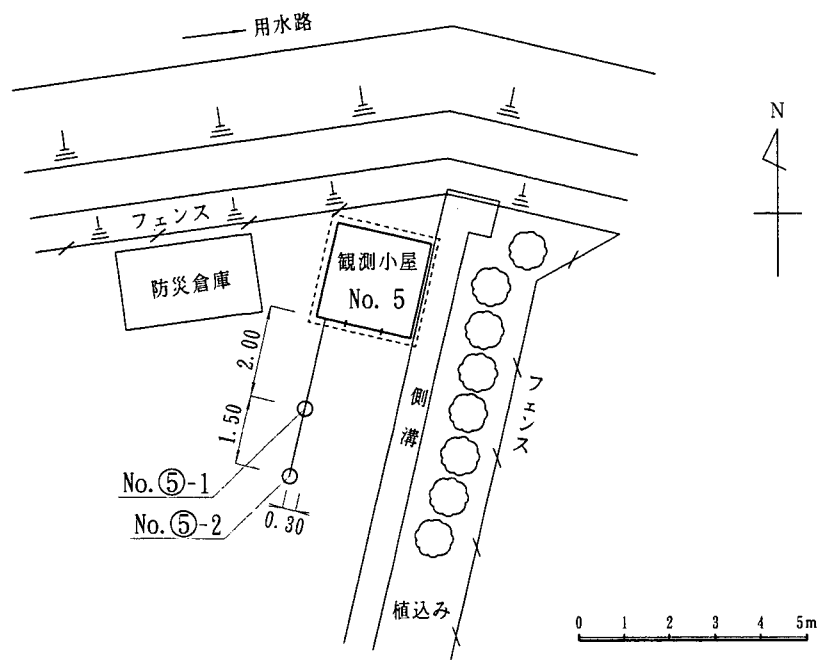


(c) 東益津幼稚園 (No.3 地点)

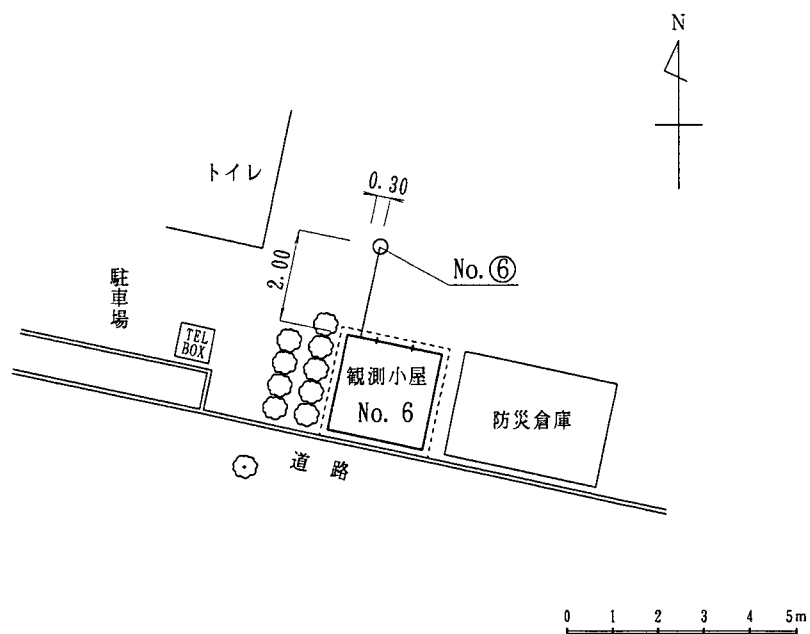


(d) 東益津小学校 (No.4 地点)

図 3.4 (2) 観測小屋周辺図

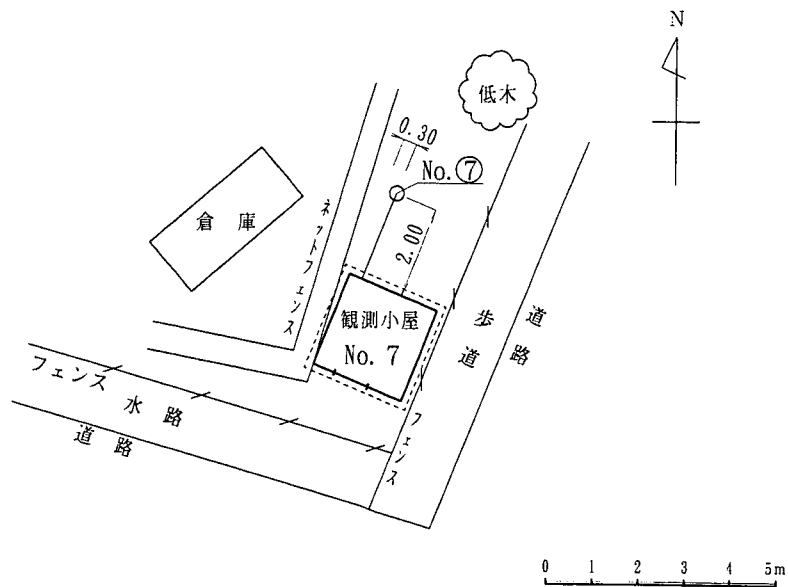


(e) 東益津小学校体育館 (No.5 地点)

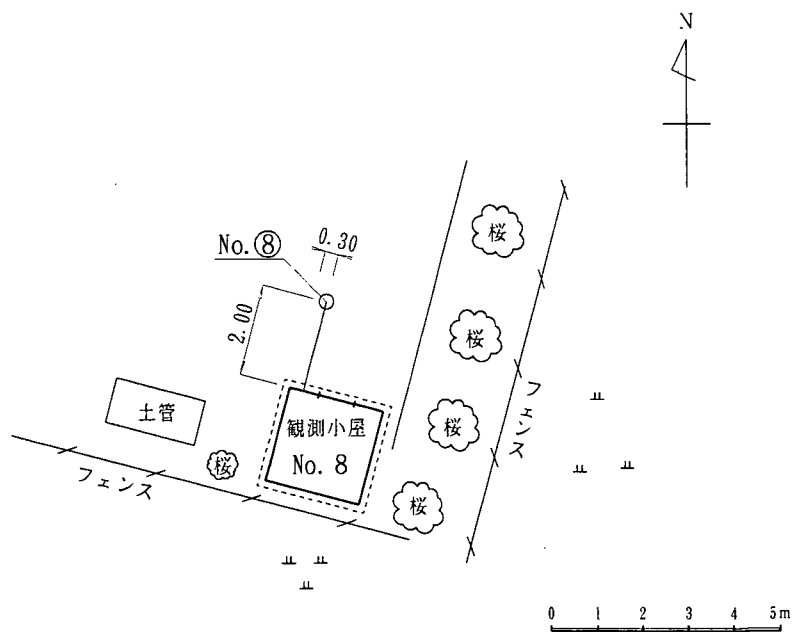


(f) 東益津公民館 (No.6 地点)

図 3.4 (3) 観測小屋周辺図

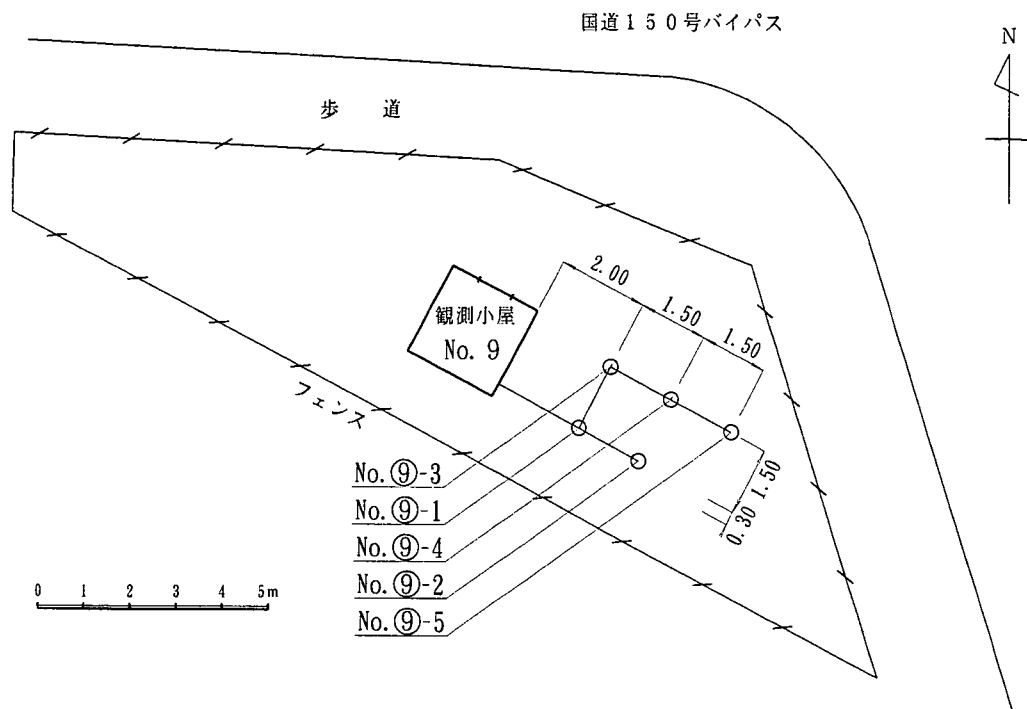


(g) 東益津中学校 (No.7 地点)

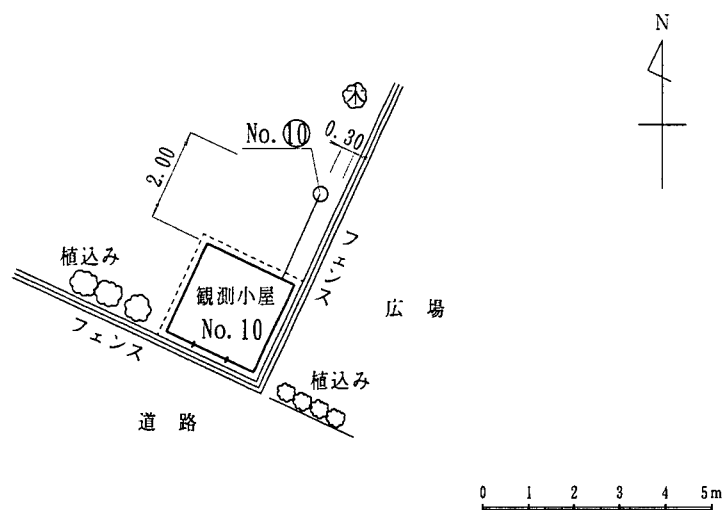


(h) 中里ちびっ子広場 (No.8 地点)

図 3.4 (4) 観測小屋周辺図

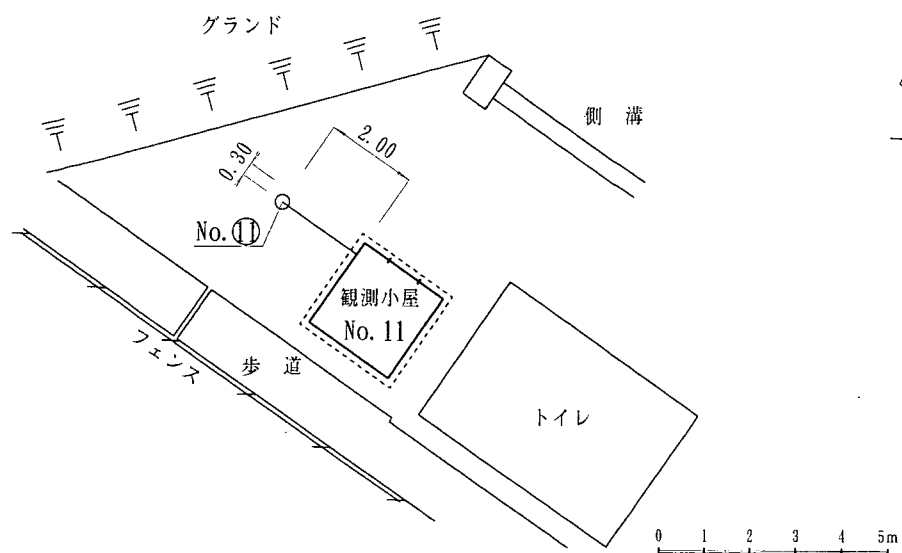


(i) 朝比奈川橋 (No.9 地点)

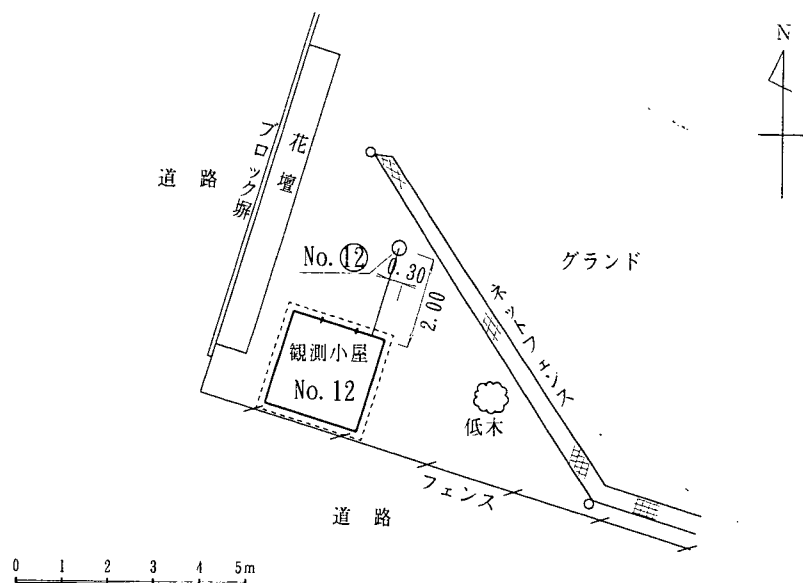


(j) 牛田資材置場 (No.10 地点)

図 3.4 (5) 観測小屋周辺図



(k) 中公園 (No.11 地点)



(l) 焼津西小学校 (No.12 地点)

図 3.4 (6) 観測小屋周辺図



写真3.1 焼津地区高密度強震観測場

4. 沼津地区高密度強震観測場

4.1 地形・地盤条件^{14)~17)}

沼津地区の高密度強震観測場（図4.1及び写真4.1参照）は、沼津市の西部に位置し、愛鷹山の山裾から浮島ヶ原の低地を横断し、千本松原の砂丘に至る地区に展開されている。浮島ヶ原は北を富士山及び愛鷹山麓、また、南を海岸砂州に挟まれた沼津から吉原に至る東西方向約15km、南北方向1.5～2.5kmの細長い沖積低地である。浮島ヶ原の標高はほとんど海拔2.5m以下であり、特に、東田子の浦駅付近では海拔1m以下となっている。浮島ヶ原は海岸砂州の背後に閉じこめられた入海の跡であるとされており、近年に至るまで沼沢地が残存していた。浮島ヶ原の表層部は10～15mの厚さで有機質土で覆われており、その下には砂礫、海成砂及びシルトの互層、さらにその下には海成砂層が厚く堆積している。基盤は愛鷹山麓をつくる凝灰角礫岩であり、東田子の浦付近では地表面下160m付近に存在するとされている。

沼津地区では、換振器の設置に伴って、No.3地点で深度60m、No.10地点で深度33m、No.11地点で深度32m、No.13地点で深度27m、No.14地点で深度11mの合計5本のボーリング調査を行った。

これらのボーリング調査結果は図4.2に示すとおりである。また、今回のボーリング調査結果及び既存のボーリング資料より、沼津地区の代表断面（図4.1のA-A'断面）の地盤構成を示すと、図4.3のようになる。No.3、No.10、No.11及びNo.13地点では、有機質土、粘土及び狭在する砂から成る軟弱層が6～7m続き、それ以深は、主としてよく締った砂層及び砂礫層となっている。なお、No.3及びNo.11地点では30m付近に比較的軟らかいシルト層が存在する。また、No.14地点では、地表面下10m付近までローム層が続き、それ以深は砂礫層となっている。この砂礫層は愛鷹山の岩盤線に連なると考えられる。

4.2 観測網

沼津地区における高密度強震観測施設の配置は、図4.1に示したとおりである。愛鷹山の山裾から海岸砂丘に至る地盤条件の変化する方向のNo.5－No.14－No.4－No.13－No.3－No.10－No.2－No.6及びNo.1地点の測線とこれに直交するNo.7－No.8－No.9地点を中心とし、さらにNo.11及びNo.12地点を加えた合計14箇所に計20台の強震計を設置した。このうち、No.14地点では愛鷹山の岩盤線に連なると考えられる深度11mの砂礫層中に換振器を設置した。また、No.3地点では地表面下2mの他に深度10m及び32mの2箇所に、No.10及びNo.11地点では地表面下2mの他に深度32mに換振器を配している。沼津地区のそれぞれの観測地点間距離は、約60～900mである。

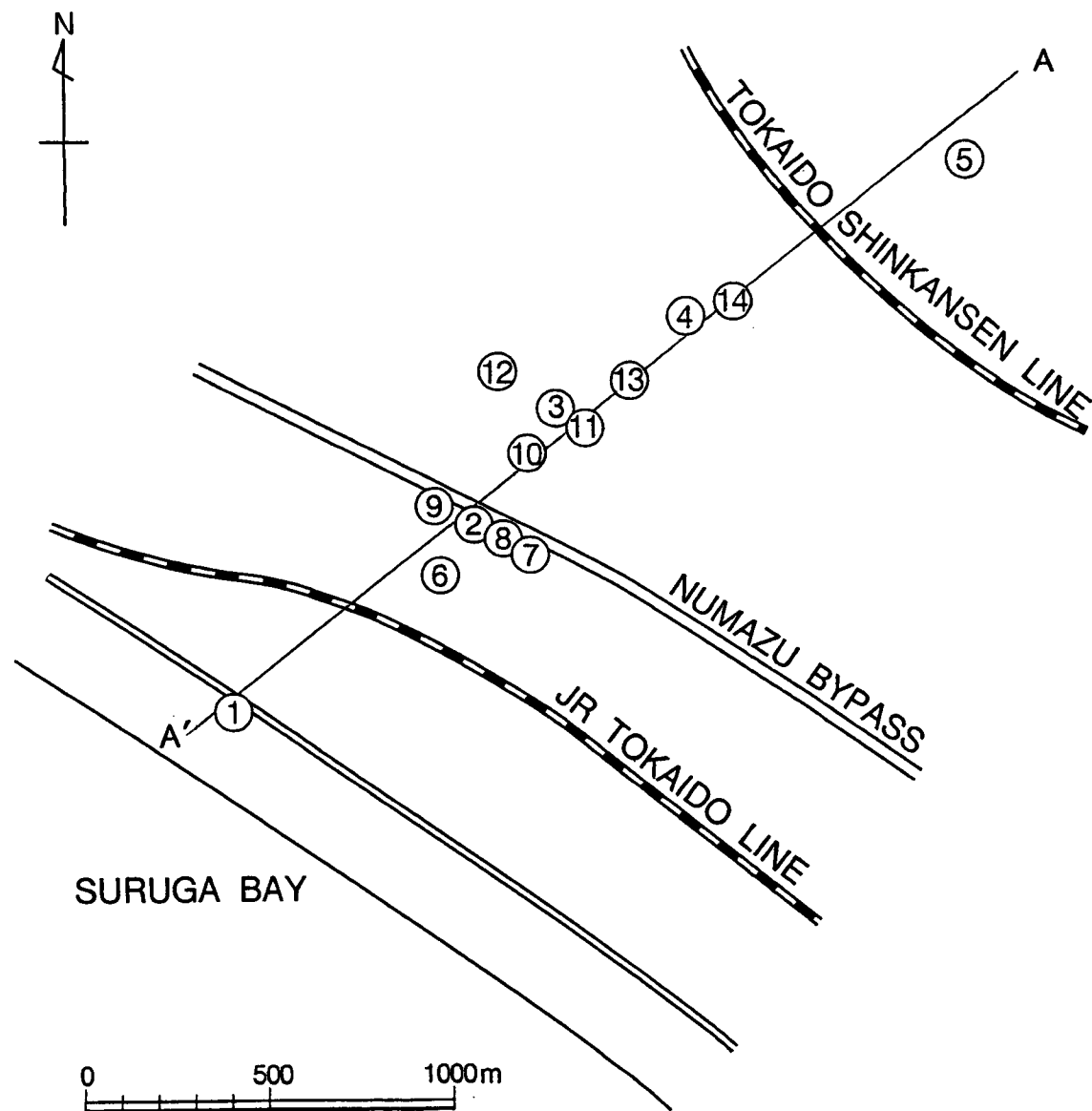
沼津地区は、軟弱な地盤における地震動特性、地盤条件の変化が地震動特性に及ぼす影響を観測することを目的とするものである。

4.3 観測施設の設置箇所

強震計を設置したのは、以下に示す14箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図4.4に示す。

No.1地点：千本県営林の中の国道1号寄りに設置。

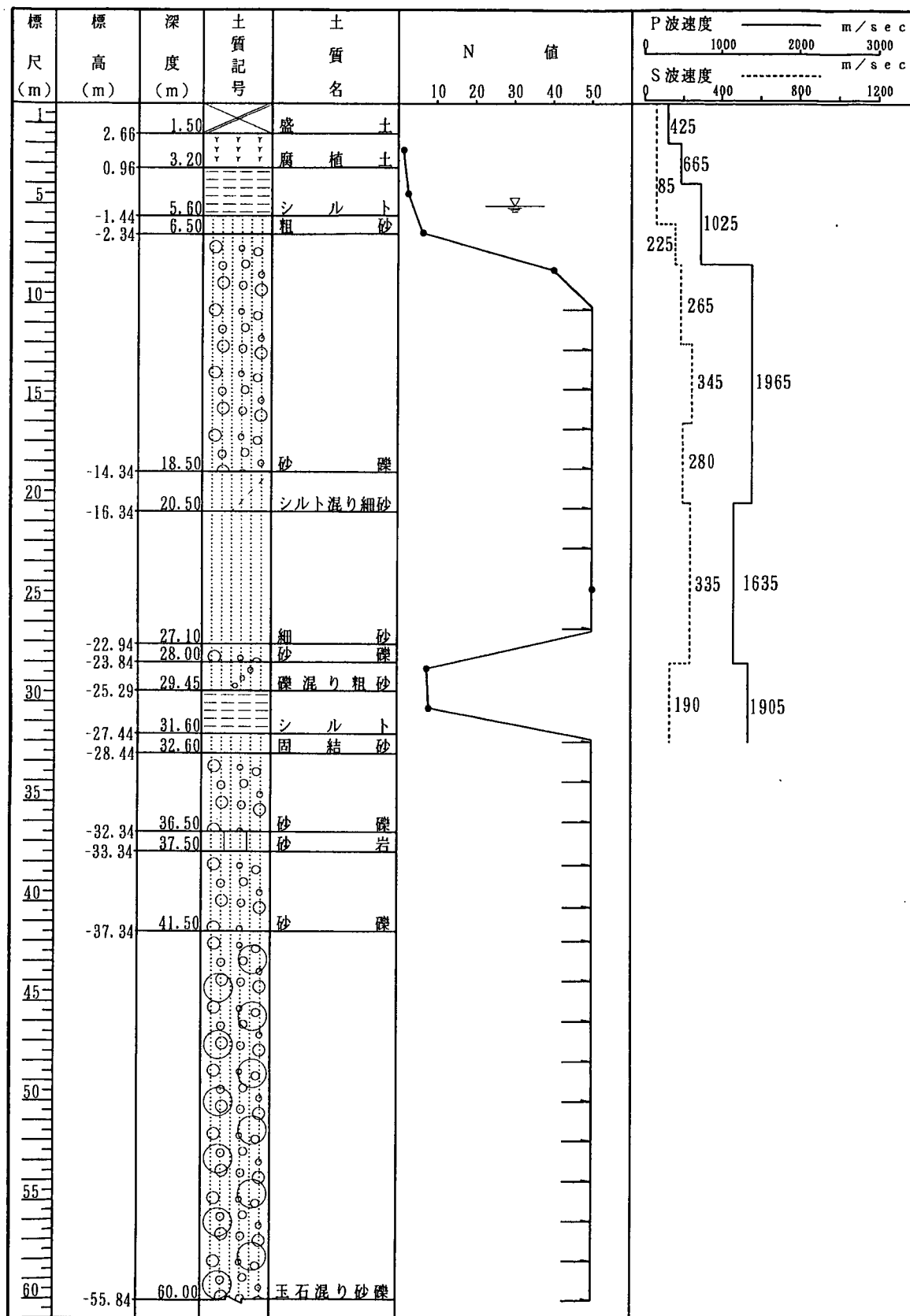
- No.2地点 : 国道1号沼津バイパスの今沢交差点近くに設置。(沼津バイパスNo.3)
- No.3地点 : 沼津市立今沢小学校のグラウンドの北西端に設置。
- No.4地点 : 沼津農協愛鷹支所の倉庫の西側に設置。
- No.5地点 : 沼津市立愛鷹中学校の敷地の北端に設置。
- No.6地点 : 沼津市今沢中央公園の東側の植込みの中に設置。
- No.7地点 : 沼津バイパスNo.3より約140m三島寄りのバイパス沿いに設置。(沼津バイパスNo.1)
- No.8地点 : 沼津バイパスNo.3より約80m三島寄りのバイパス沿いに設置。(沼津バイパスNo.2)
- No.9地点 : 沼津バイパスNo.3より約100m静岡寄りのバイパス沿いに設置。(沼津バイパスNo.4)
- No.10地点 : 沼津市立今沢小学校の体育館の南側に設置。
- No.11地点 : 沼津市立今沢小学校のグラウンド北側にある北門近くに設置。
- No.12地点 : 沼津市立今沢中学校のグラウンドの北西端に設置。
- No.13地点 : 今沢小学校の北側の農道に換振器を設置し、データを収録及び通信するための観測装置は、約120m離れたNo.11地点の観測小屋内に設置。換振器と観測装置の間は、農道沿いの電柱に共架したケーブルで接続。
- No.14地点 : 沼津市愛鷹地区センターの西側出入り口付近に換振器を設置し、観測装置は同センターの合併処理機械室内に設置。



Accelerometer Installation
Depth of Numazu Array

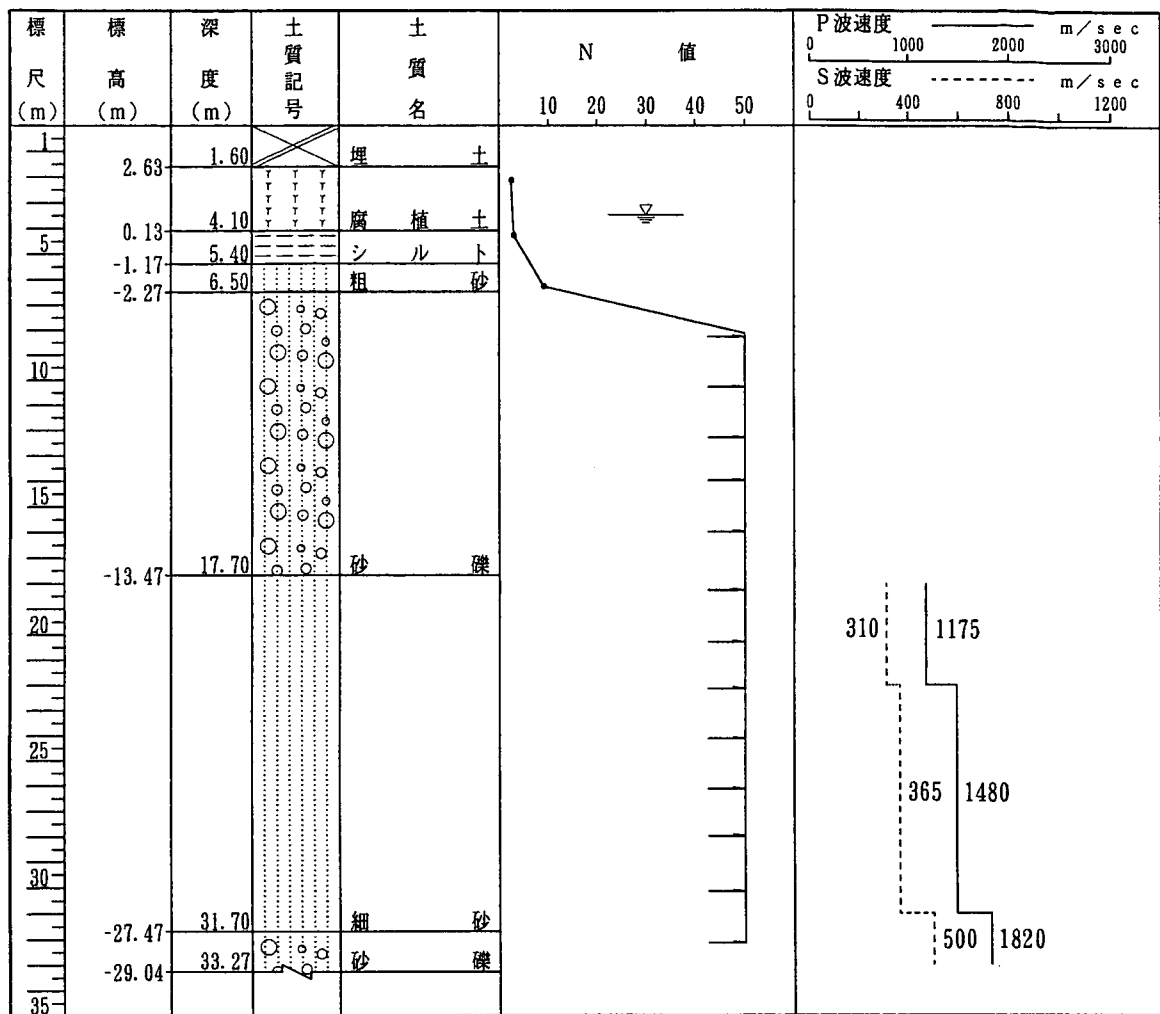
Observation Point No.	Accelerometer Installation Depth [m]
1	2
2	2
3	2, 10, 32
4	2
5	2
6	2
7	2
8	2
9	2
10	2, 33
11	2, 32
12	2
13	2, 9, 27
14	11

图 4.1 沼津地区高密度強震観測場



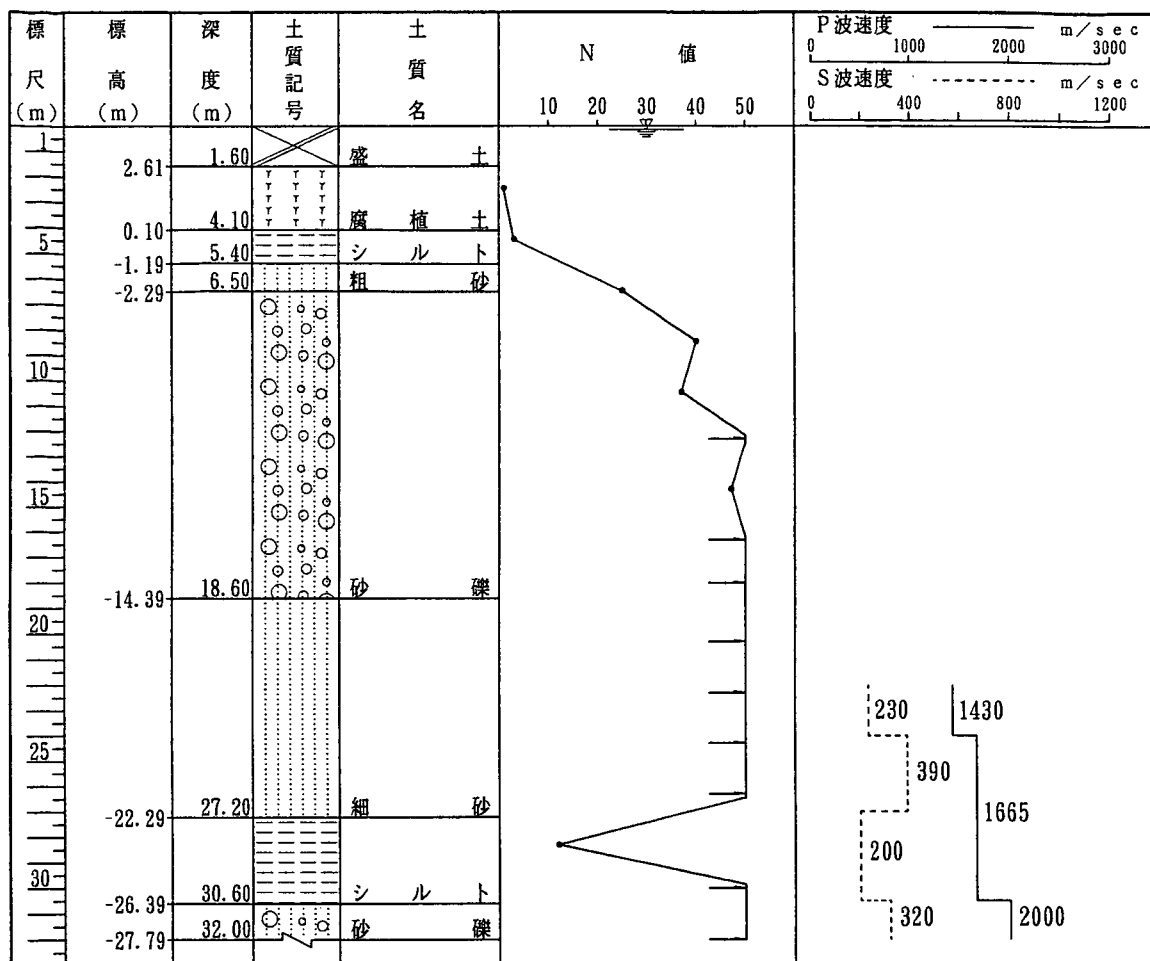
(a) 今沢小学校グラウンド (No.3 地点)

図 4.2 (1) 総合土質柱状図



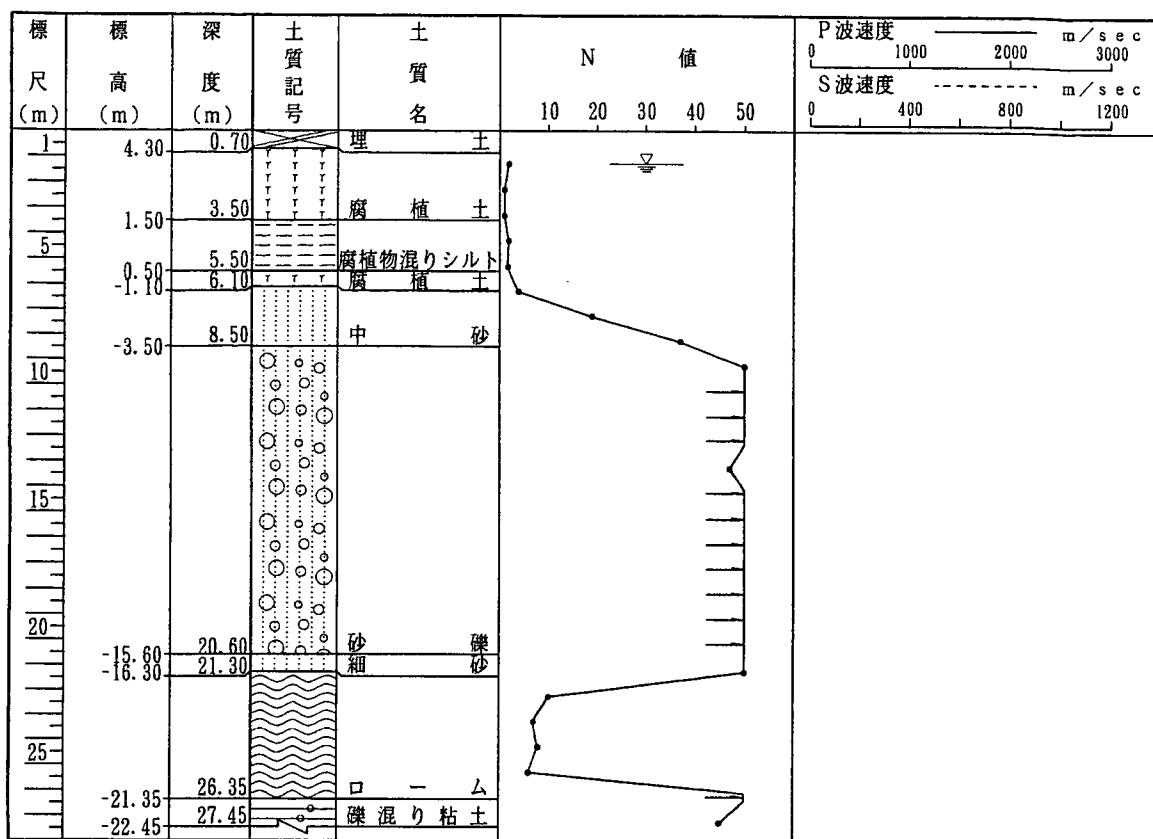
(b) 今沢小学校体育館 (No.10 地点)

図 4.2 (2) 総合土質柱状図

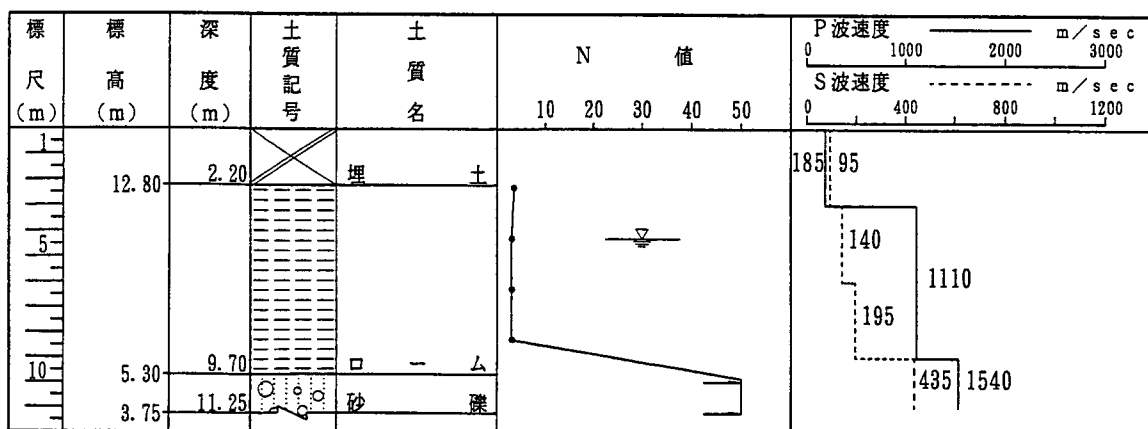


(c) 今沢小学校北門 (No.11 地点)

図 4.2 (3) 総合土質柱状図



(d) 今沢小学校北農道 (No.13 地点)



(e) 愛鷹地区センター (No.14 地点)

図 4.2 (4) 総合土質柱状図

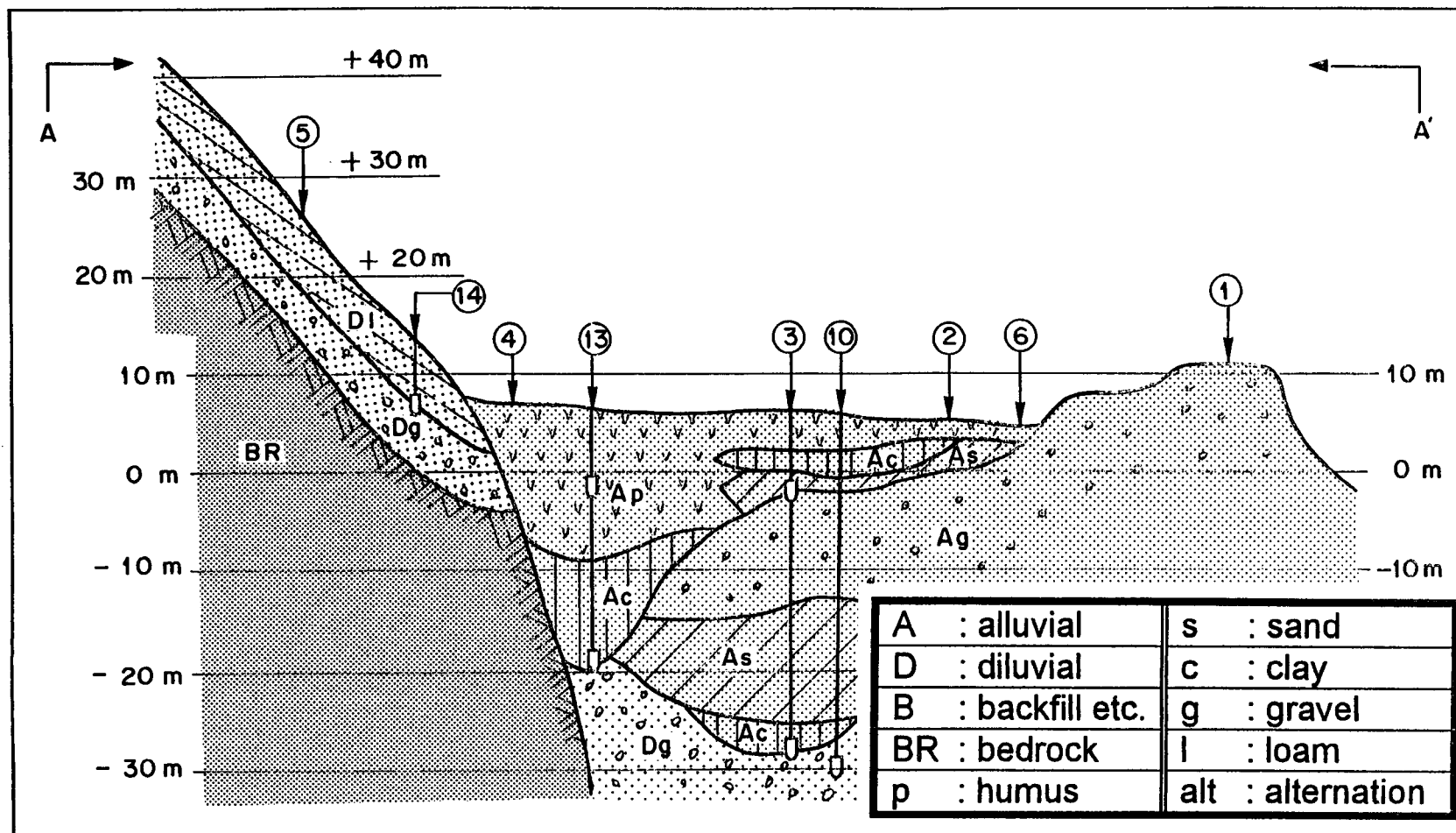
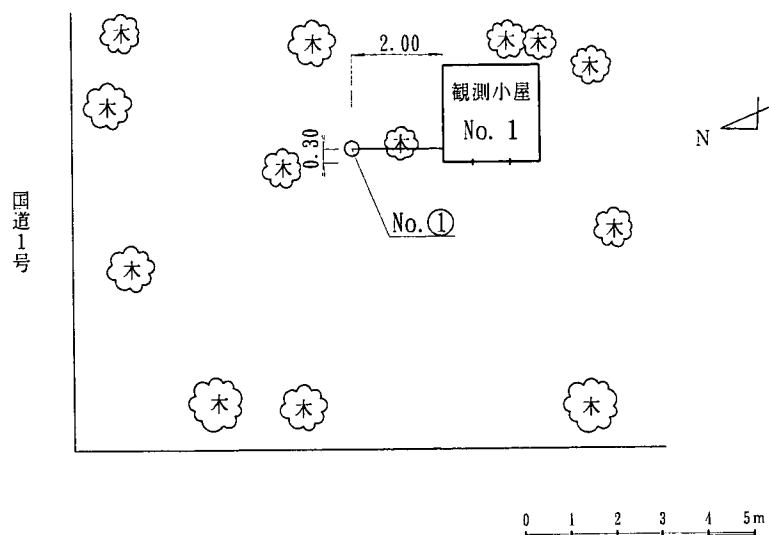
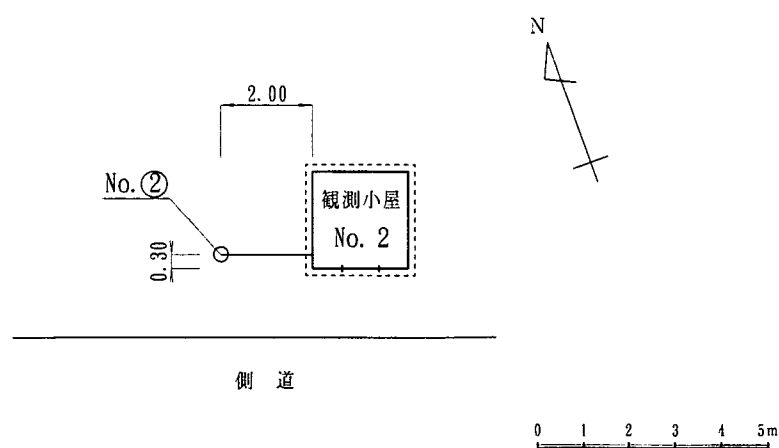


図 4.3 沼津地区代表断面の地盤構成

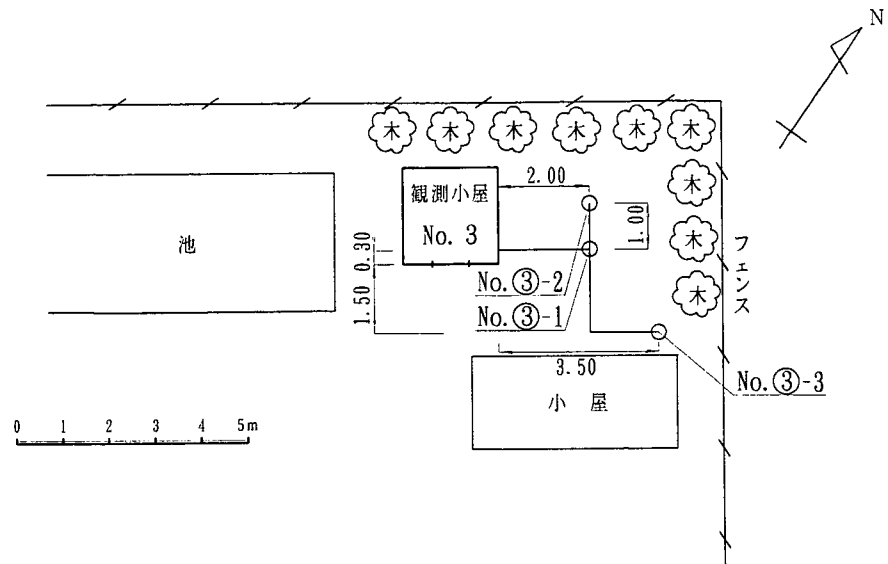


(a) 千本松原 (No.1 地点)

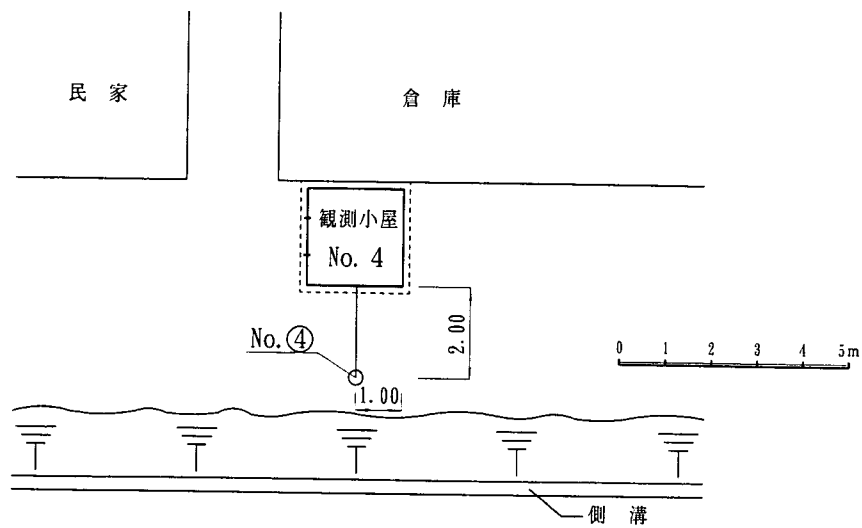


(b) 沼津バイパス No.3 (No.2 地点)

図 4.4 (1) 観測小屋周辺図

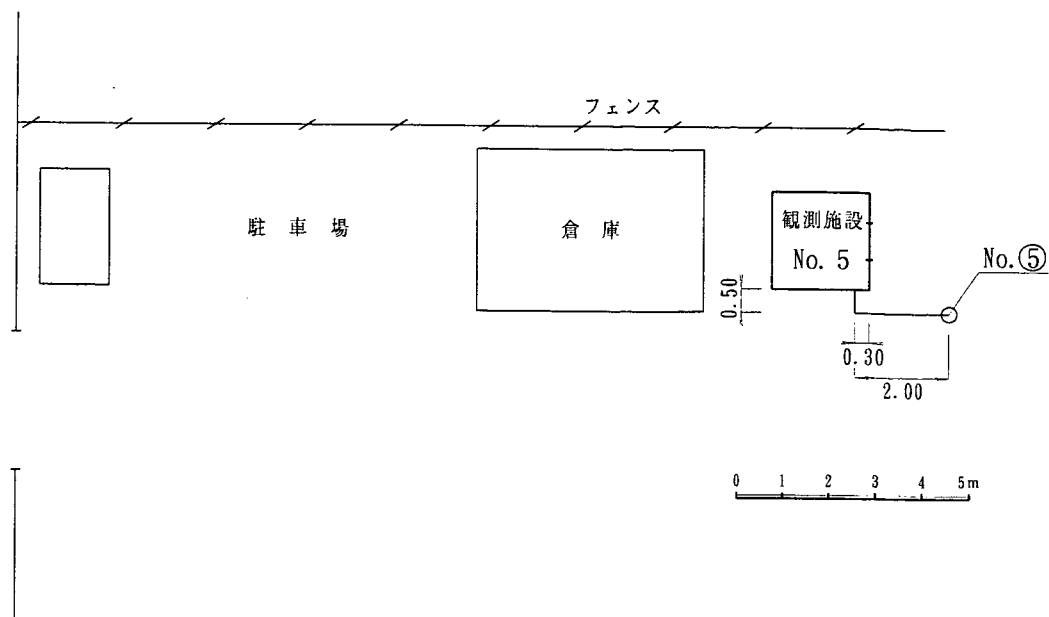


(c) 今沢小学校グラウンド (No.3 地点)

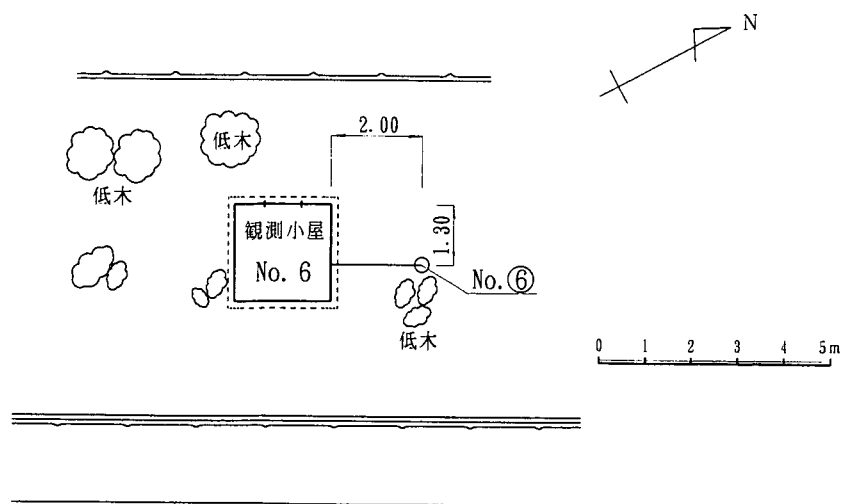


(d) 沼津農協愛鷹支所 (No.4 地点)

図 4.4 (2) 観測小屋周辺図

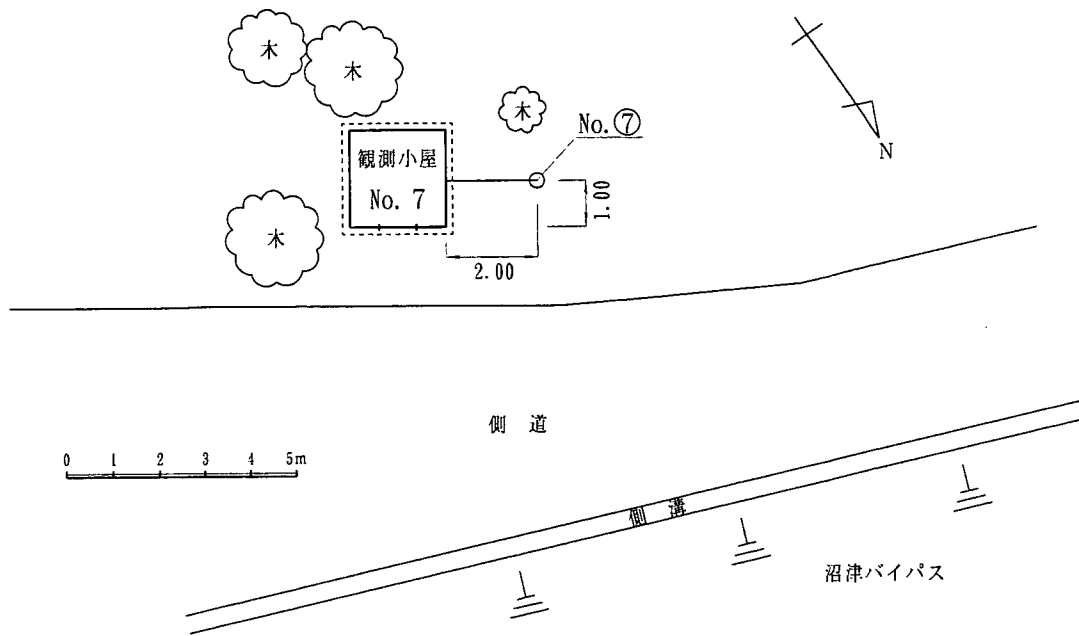


(e) 愛鷹中学校 (No.5 地点)

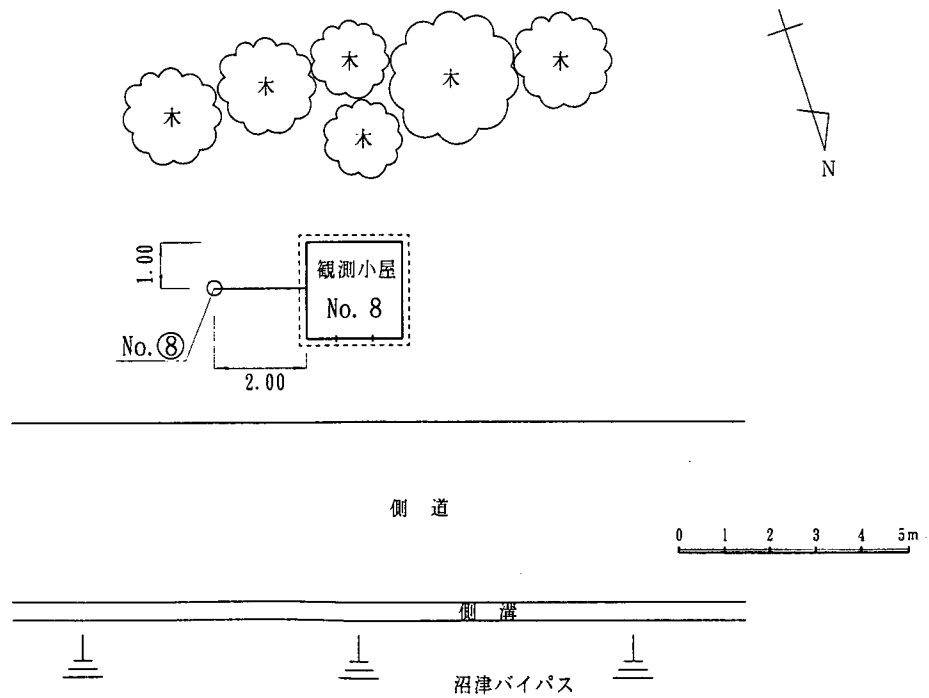


(f) 今沢中央公園 (No.6 地点)

図 4.4 (3) 観測小屋周辺図

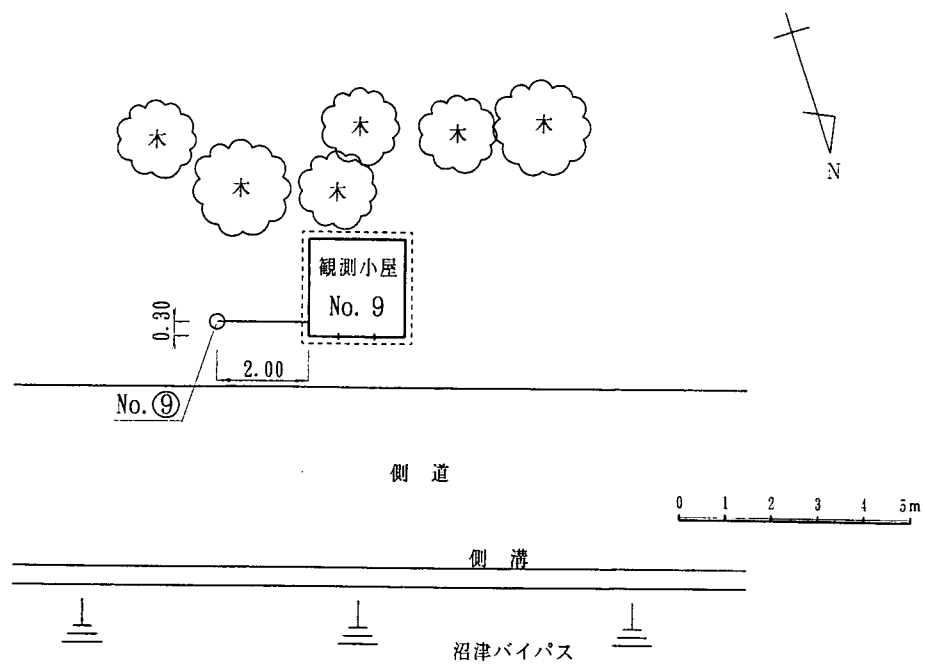


(g) 沼津バイパス No.1 (No.7 地点)

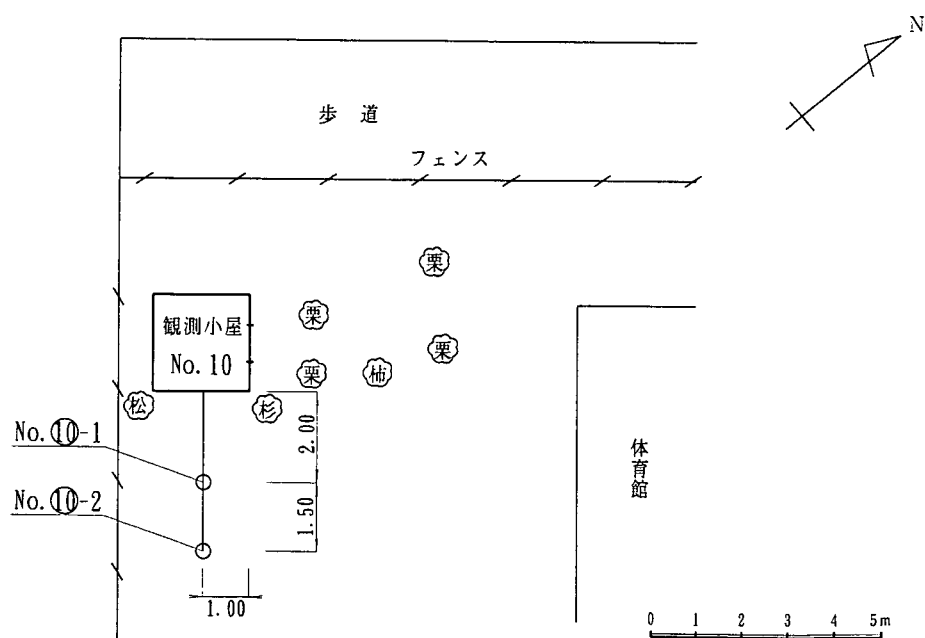


(h) 沼津バイパス No.2 (No.8 地点)

図 4.4 (4) 観測小屋周辺図

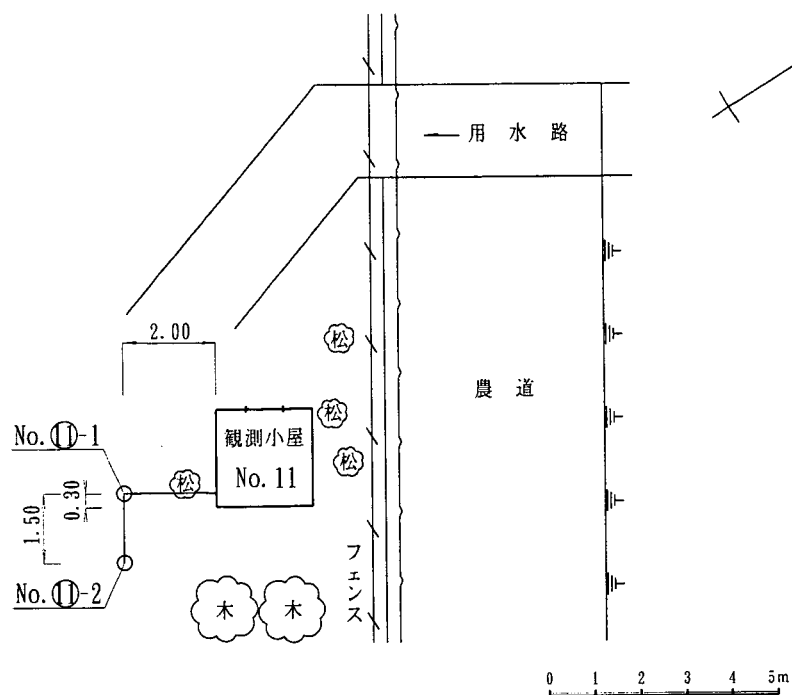


(i) 沼津バイパス No.4 (No.9 地点)

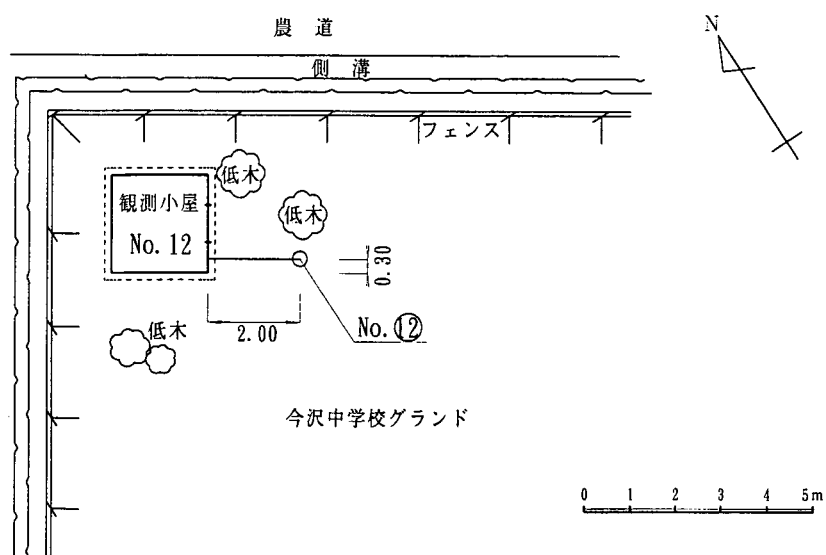


(j) 今沢小学校体育館 (No.10 地点)

図 4.4 (5) 観測小屋周辺図

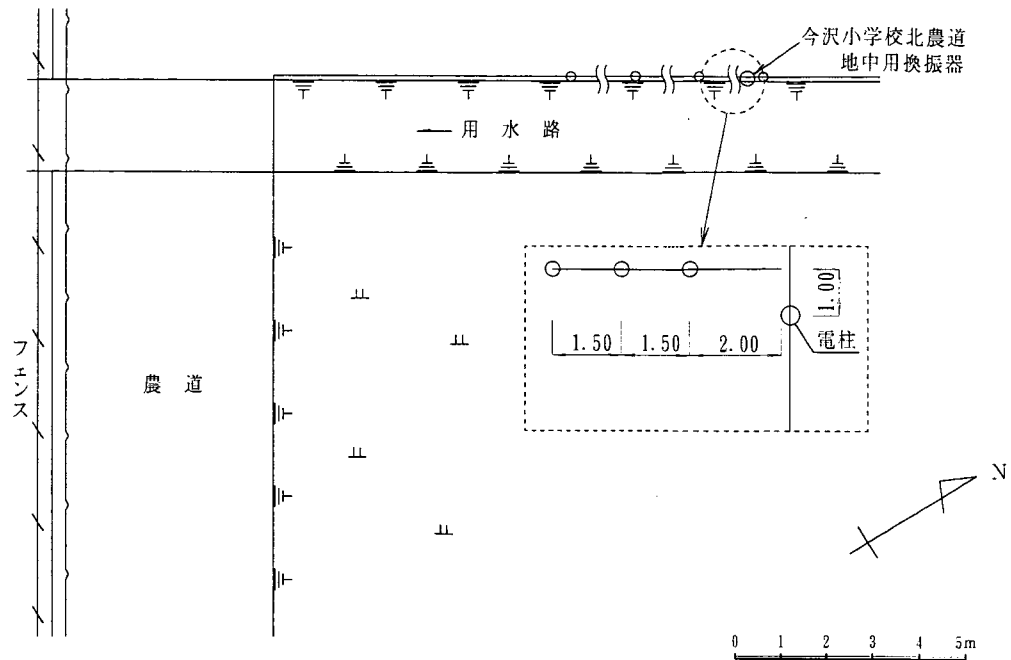


(k) 今沢小学校北門 (No.11 地点)

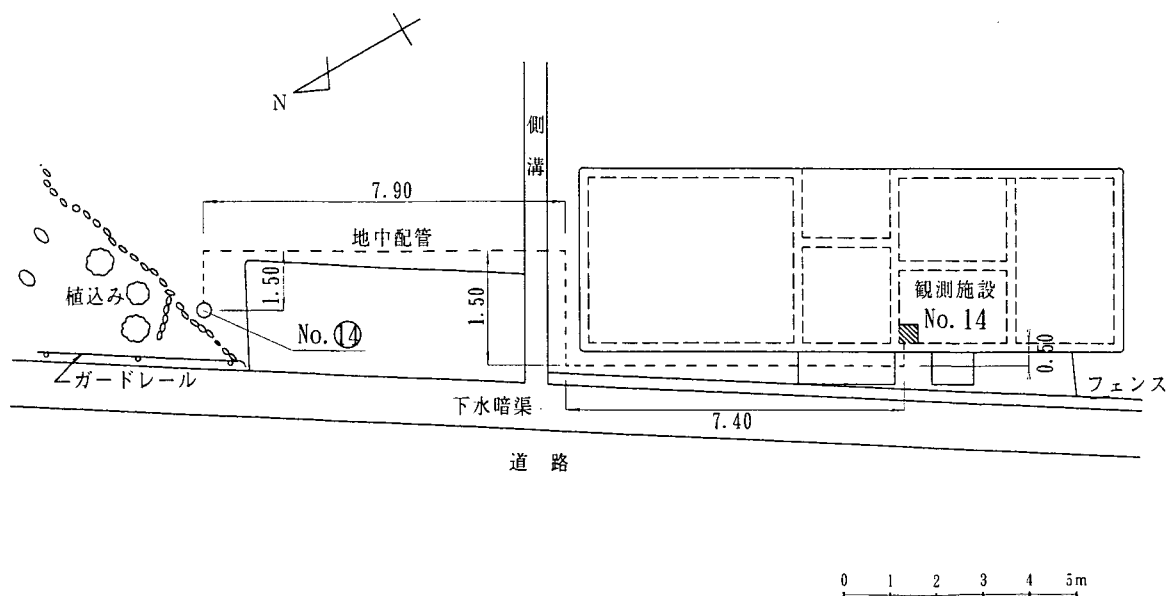


(l) 今沢中学校 (No.12 地点)

図 4.4 (6) 観測小屋周辺図



(m) 今沢小学校北農道 (No.13 地点)



(n) 愛鷹地区センター (No.14 地点)

図 4.4 (7) 観測小屋周辺図

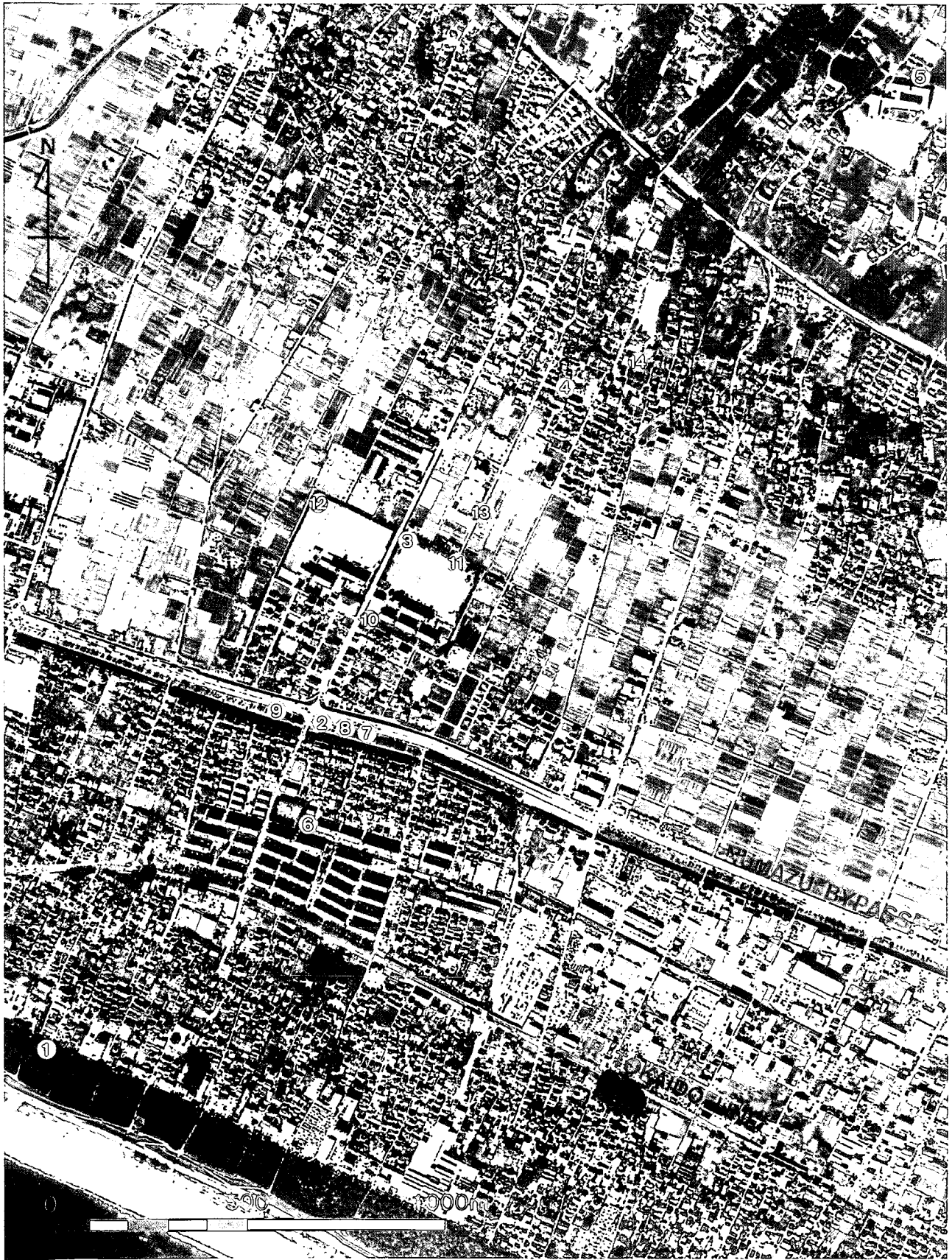


写真 4.1 沼津地区高密度強震観測場

5. 松崎地区高密度強震観測場

5.1 地形・地盤条件^{16)、18)、19)}

松崎地区における高密度強震観測場（図5.1及び写真5.1参照）は、静岡県賀茂郡松崎町南部の牛原山の山腹から松崎町の中心部に至る地区に展開されている。松崎は、伊豆半島西海岸沿いの地域の中では、数少ない平地の開けた地域の一つであり、那賀川沿いに東西約3km、南北約1kmの広がりを持つ扇状地性堆積物及び海性堆積物から成る沖積平野が発達している。また、沖積平野の周囲には、標高200m前後の山地が急迫している。松崎町の中心部は、この沖積平野の海岸沿いの地域に発達し、平野の他の部分は、大部分、水田として利用されている。

松崎地区の基盤を構成する地質は、第三紀中新世の湯ヶ島層群の凝灰質砂岩類及びこれを不整合に覆う白浜層群最上位置の輝石安山岩類である。これらの地質はいずれも火山性のものであり、その層序は複雑である。また、松崎地区に分布する輝石安山岩類の層厚は200m程度であるとされている。

松崎地区では、換振器の設置に伴って、No.1地点で深度24m、No.2地点で深度13m、No.3地点で深度11m、No.4地点で深度9m、No.5地点で深度4.5m、No.6地点で40m、No.8地点で52m、No.9地点で38mの合計8本のボーリング調査を行った。

これらのボーリング調査結果は図5.2に示すとおりである。また、今回のボーリング調査結果及び既存のボーリング資料より、松崎地区の代表断面（図5.1のA-A'断面）の地盤構成を示すと、図5.3のようになる。松崎地区の基盤は南北に谷状に分布し、そのほぼ中央に位置するNo.7～No.8地点付近での基盤深度は80～100m程度であると推定される。また、地表面下20m付近に分布する粘性土層は、本地区全域にわたりほぼ水平に分布し、その層厚は最大20m程度に達する。この粘性土層の上位には、所々に粘性土をレンズ状に挟む砂質土層が分布しており、また、下位には砂礫土層が分布している。このように、松崎地区の沖積層は、上層部、中層部及び下層部の3層に大別できる。ここで、各層は、それぞれ、砂質土層（層厚5～20m）、軟質粘性土層（同10～20m）及び砂礫土～砂質土層（同20m以上）である。

5.2 観測網

松崎地区における高密度強震観測施設の配置は、図5.1に示したとおりである。松崎町南部の牛原山の山腹から松崎町中心部に至る地形条件の変化する方向の観測点（No.1地点～No.10地点）を中心とし、これにNo.11地点を加えた合計11箇所に計20台の強震計を配置した。このうち、長八記念道沿いのNo.2、No.3及びNo.4地点では換振器のみを設置し、観測装置は、架空配線の接続ケーブルを介して、No.5地点の観測小屋内に設置した。なお、No.1、No.2、No.3、No.4、No.5及びNo.6地点では、地表面下2mの他に、牛原山の岩盤線に連なると考えられる、それぞれ、深度24m、13m、11m、9m、5m及び40mの岩盤中に換振器を設置した。また、No.9地点においても、地表面下2mの他に、深度38mの基盤岩と考えられる集塊岩中に換振器を設置した。松崎地区のそれぞれの観測地点間距離は、約150～600mである。

駿河湾沿岸の他の3地区（相良、焼津及び沼津地区）では地盤条件の変化部または軟弱地盤における高密

度強震観測を目的としているのに対し、松崎地区では地形条件の変化部における観測を主たる目的としているところに特徴がある。

5.3 観測施設の設置箇所

強震計を設置したのは、以下に示す11箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図5.4に示す。

No.1地点 : 牛原山県営林内の長八記念道入り口付近（標高約170m）に設置。

No.2地点 : 牛原山県営林と伊那下神社を結ぶ長八記念道沿いの標高150m付近に換振器を設置し、観測装置は、架空ケーブルを介してNo.5地点の観測小屋内に設置。（長八記念道No.1）

No.3地点 : 長八記念道沿いの標高100m付近の地点に換振器を設置し、観測装置はNo.5地点の観測小屋内に設置。（長八記念道No.2）

No.4地点 : 長八記念道沿いの標高50m付近の地点に換振器を設置し、観測装置はNo.5地点の観測小屋内に設置。（長八記念道No.3）

No.5地点 : 伊那下神社境内の防災倉庫横に設置。

No.6地点 : 静岡地方法務局松崎宿舎の敷地の南西端に設置。

No.7地点 : 松崎町役場旧庁舎西側の植込みの中に換振器を設置し、観測装置は、旧庁舎の雑用室内に設置。

No.8地点 : 松崎町立松崎小学校の体育館東側に設置。

No.9地点 : 伊豆太陽農業協同組合敷地内の北西端に設置。

No.10地点 : 静岡県下田土木事務所松崎支所の入口付近の植込みに換振器を設置し、記録部は庁舎1階倉庫に設置。

No.11地点 : 松崎町立松崎中学校内の町営水道施設敷地の西端に設置。

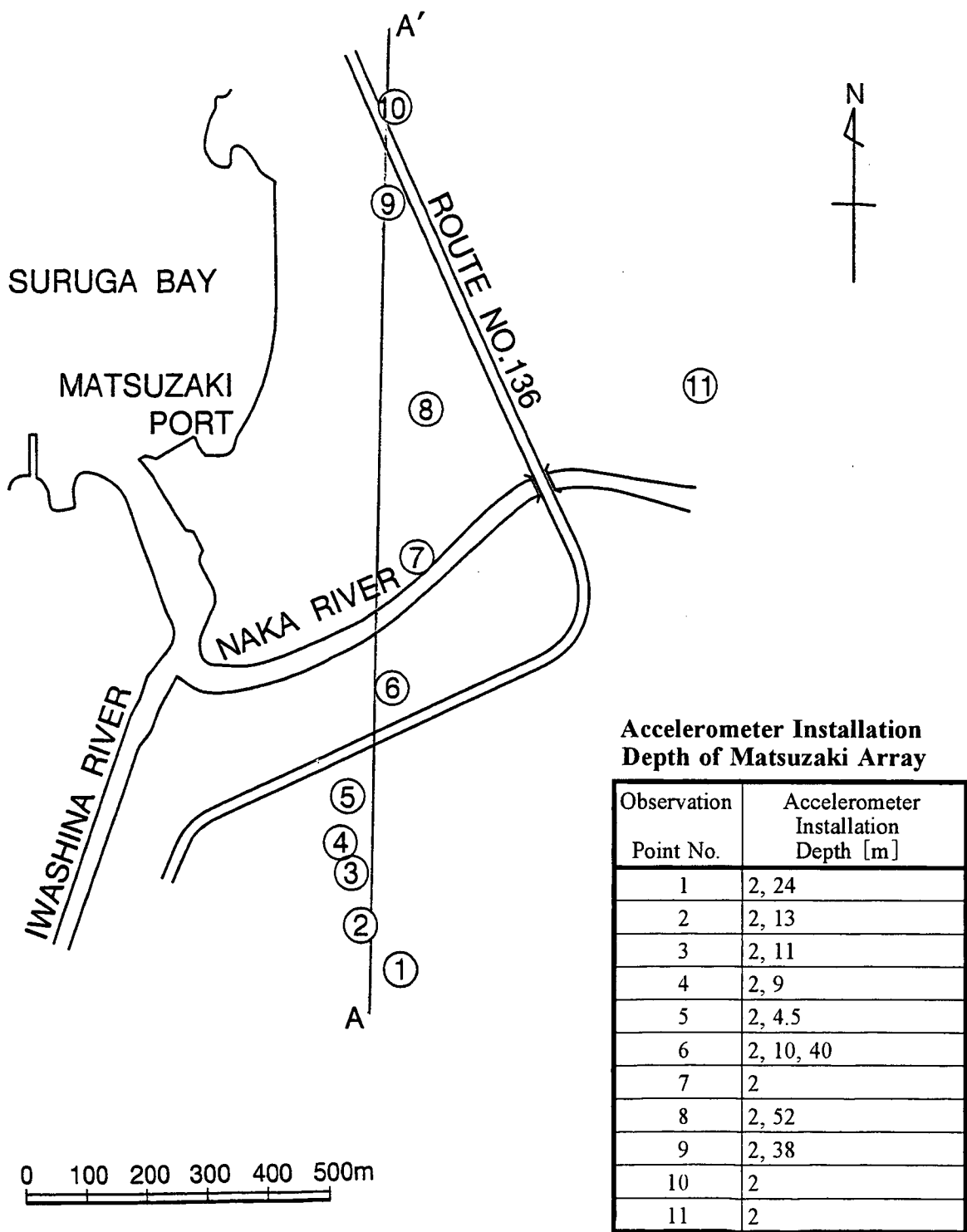
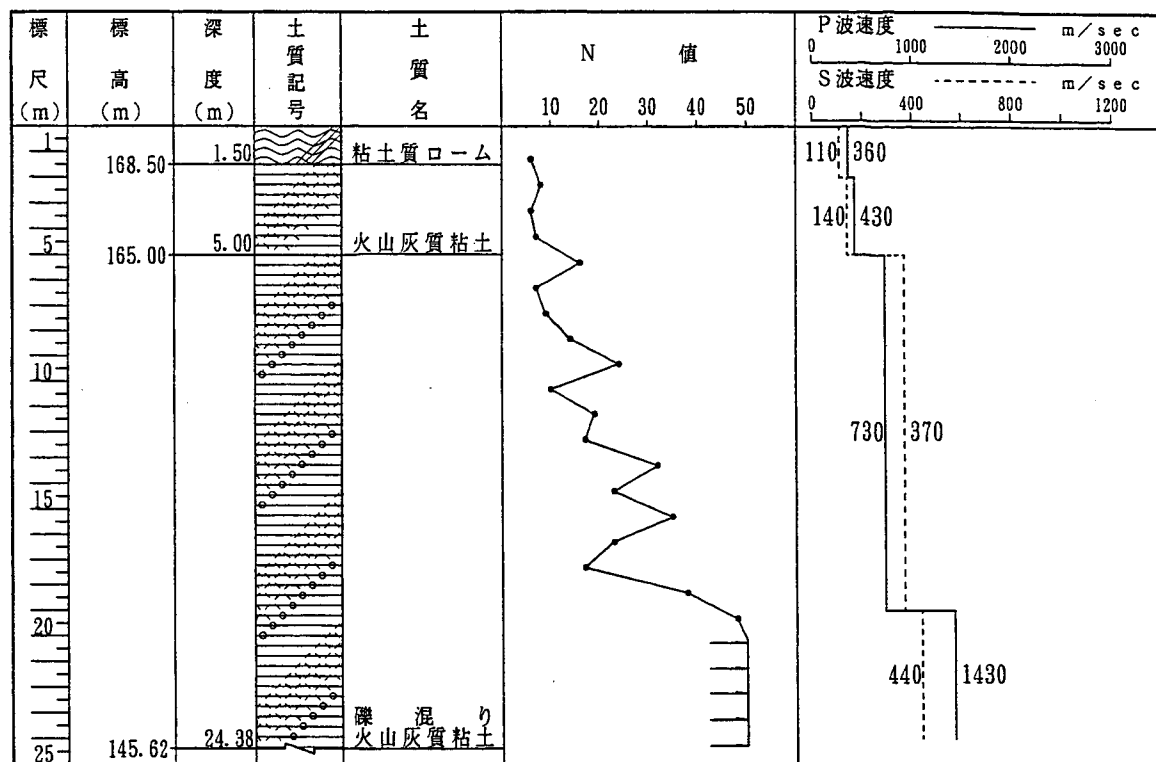
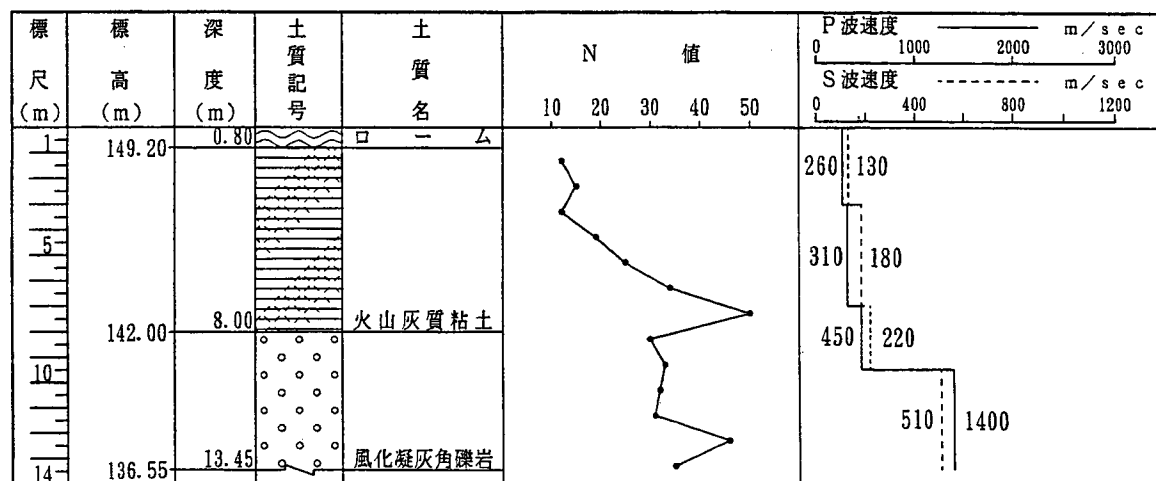


図 5.1 松崎地区高密度強震観測場

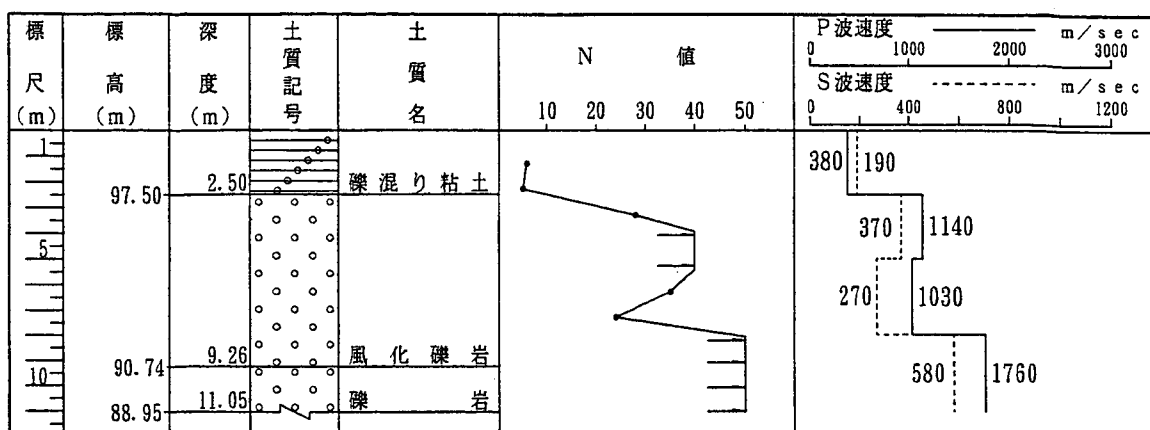


(a) 牛原山 (No.1 地点)

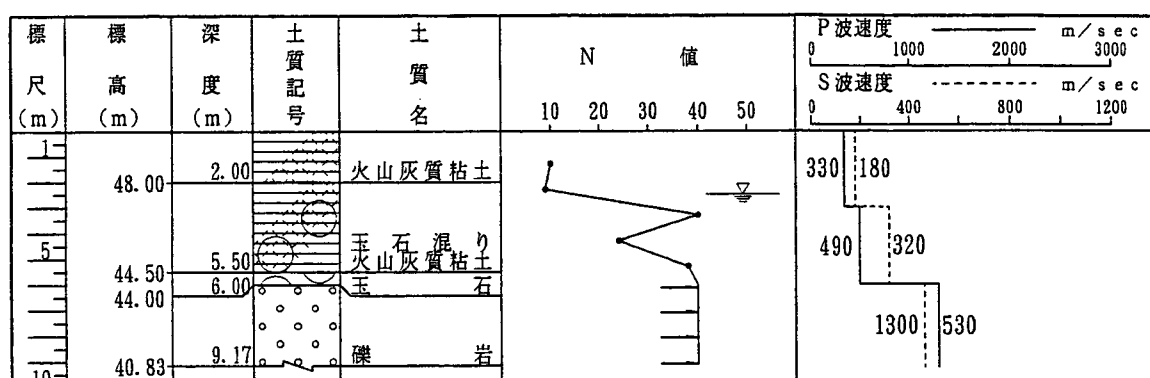


(b) 長八記念道 No.1 (No.2 地点)

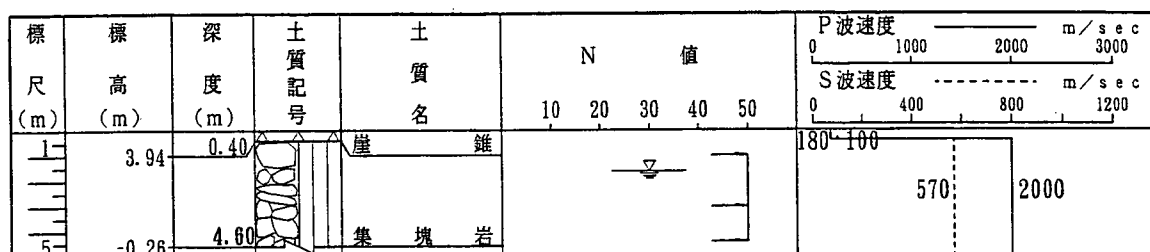
図 5.2 (1) 総合土質柱状図



(c) 長八記念道 No.2 (No.3 地点)

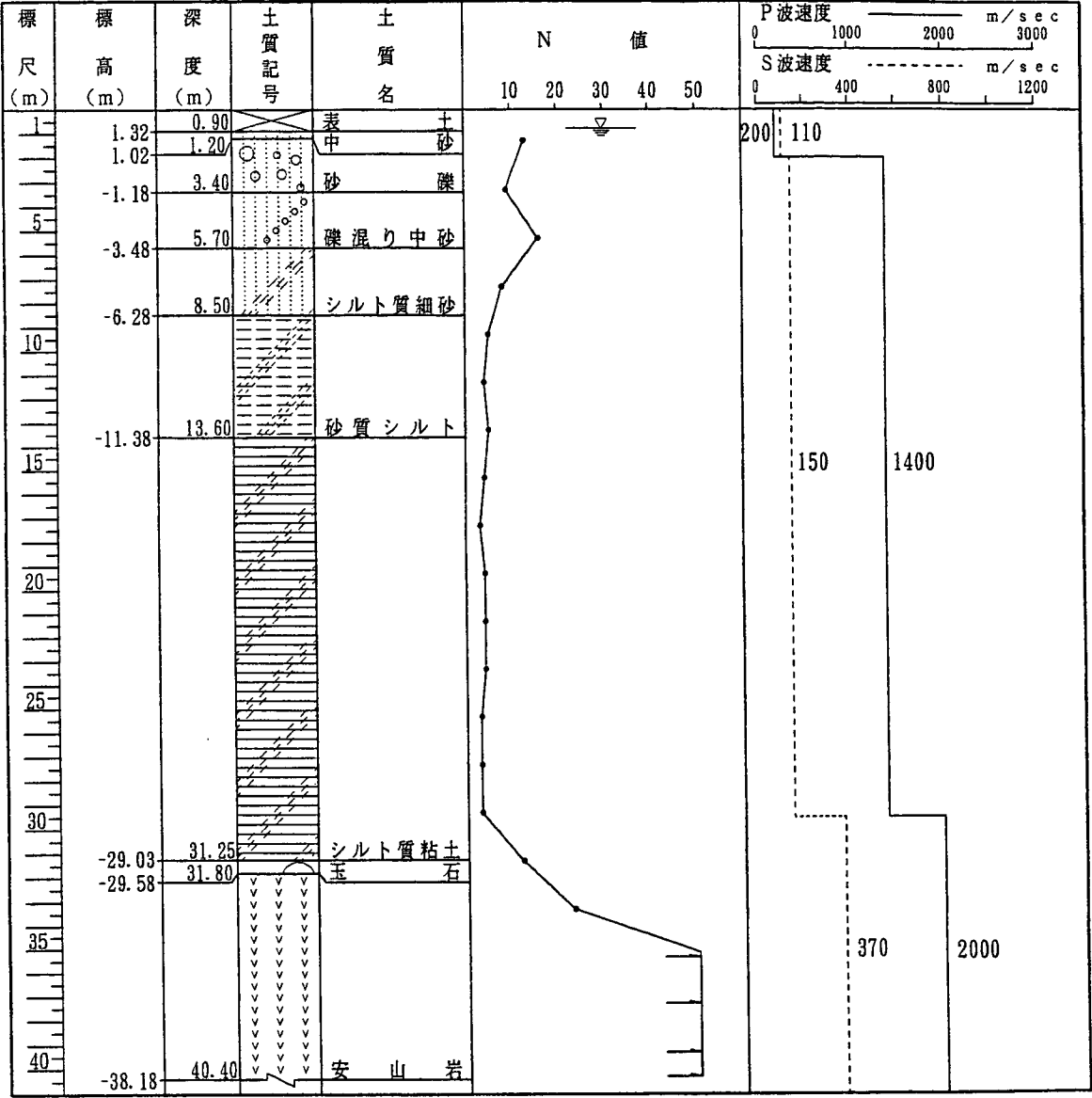


(d) 長八記念道 No.3 (No.4 地点)



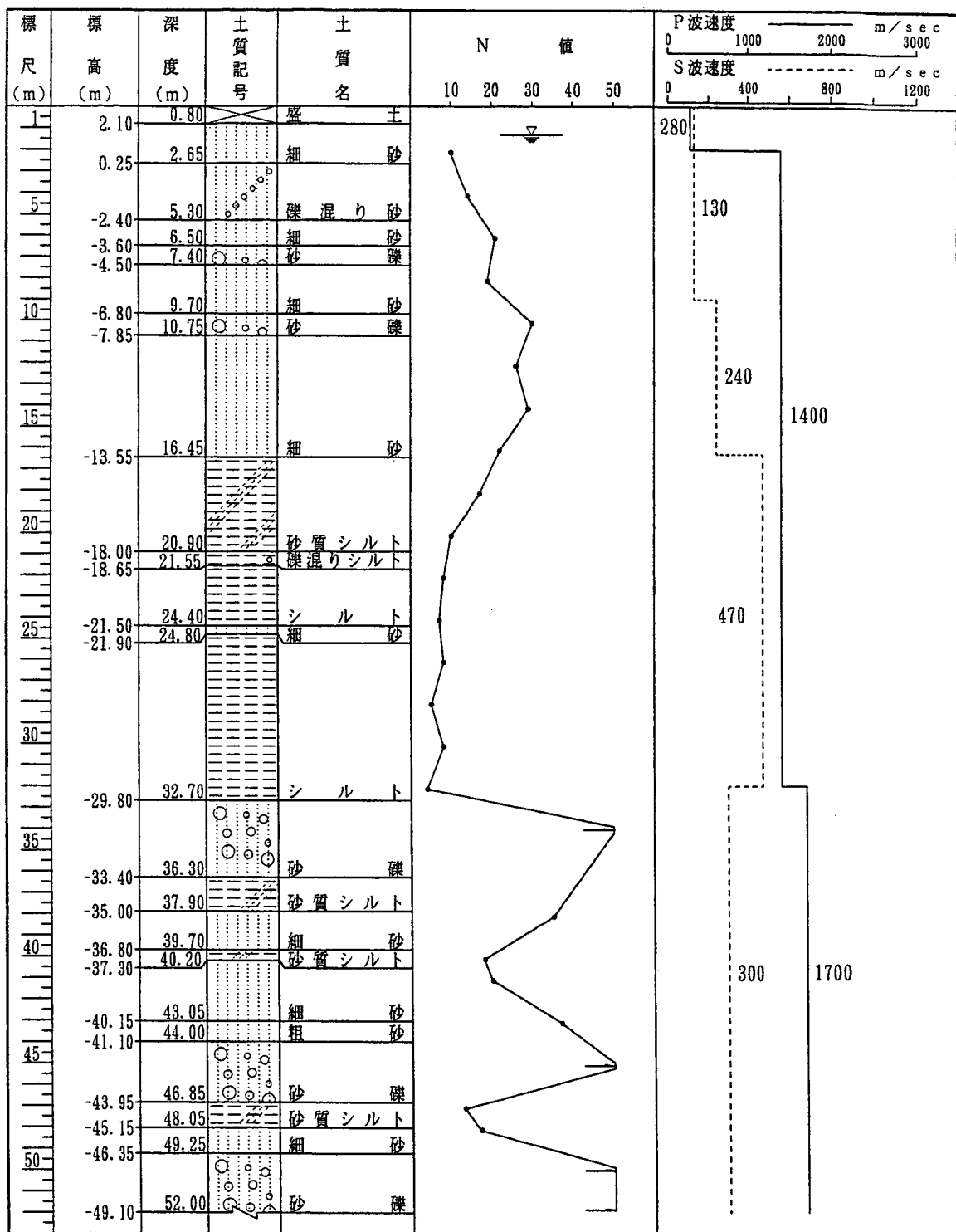
(e) 伊那下神社 (No.5 地点)

図 5.2 (2) 総合土質柱状図



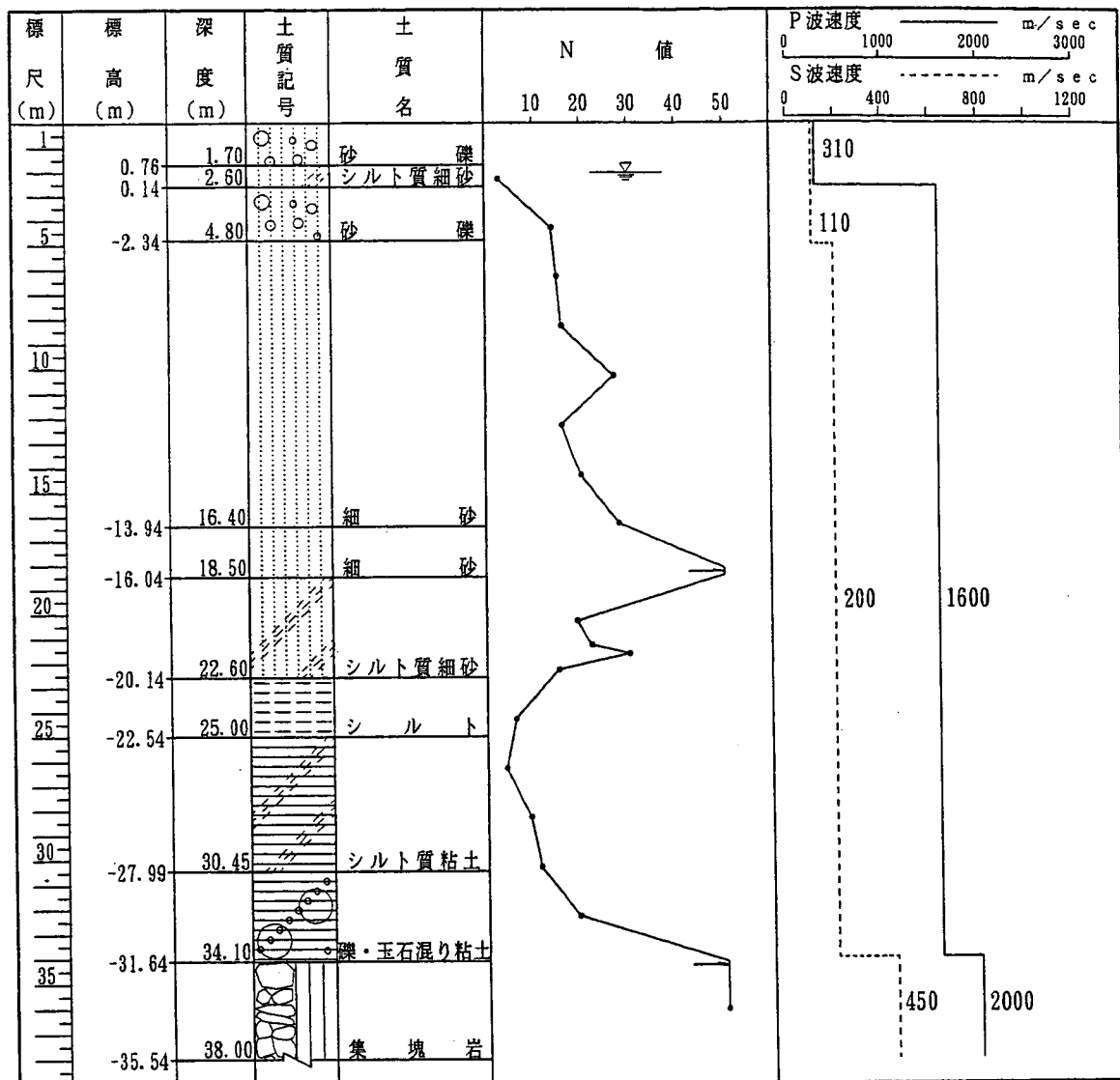
(f) 法務局松崎宿舎 (No.6 地点)

図 5.2 (3) 総合土質柱状図



(g) 松崎小学校 (No.8 地点)

図 5.2 (4) 総合土質柱状図



(h) 伊豆太陽農業協同組合 (No.9 地点)

図 5.2 (5) 総合土質柱状図

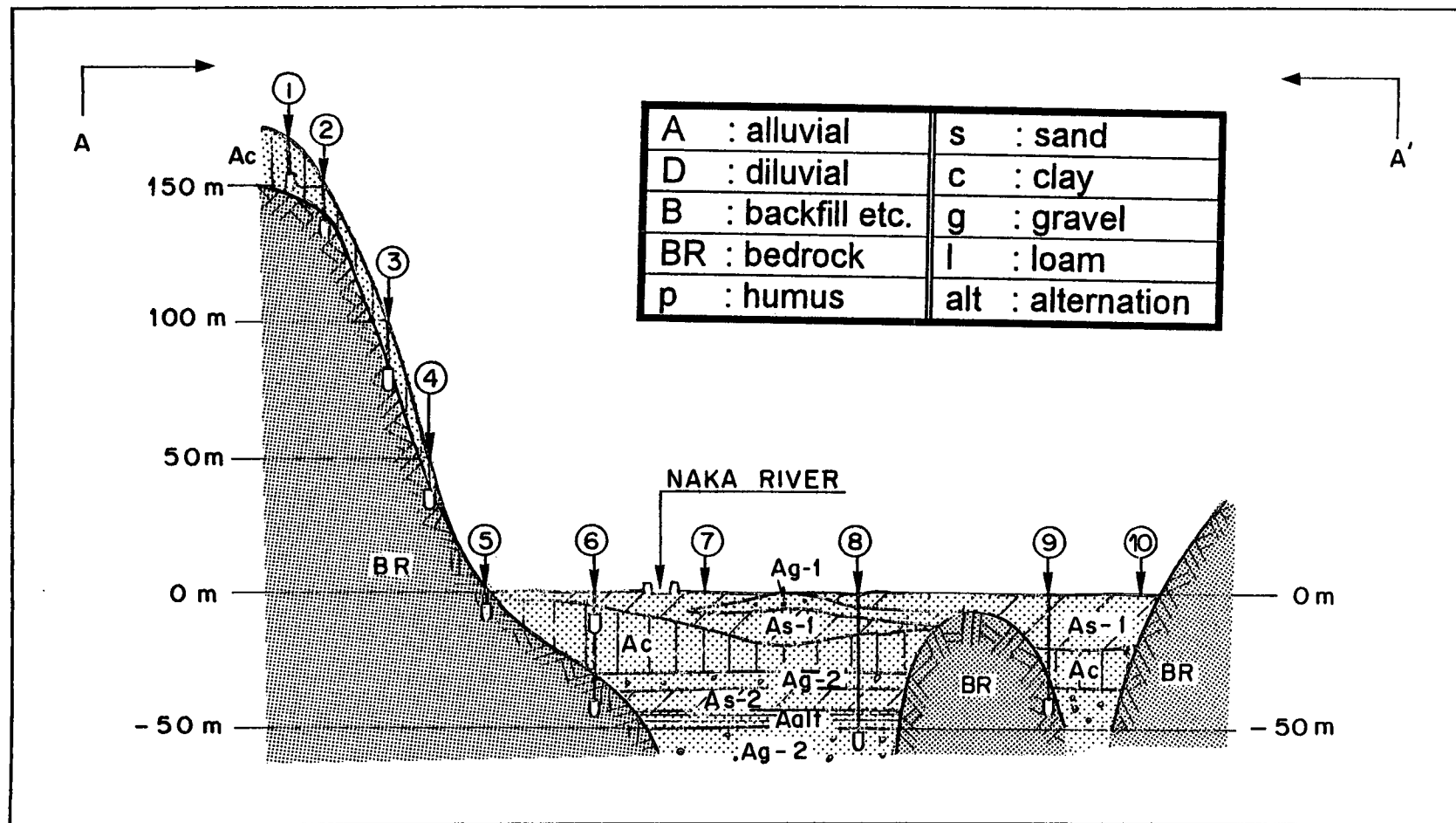
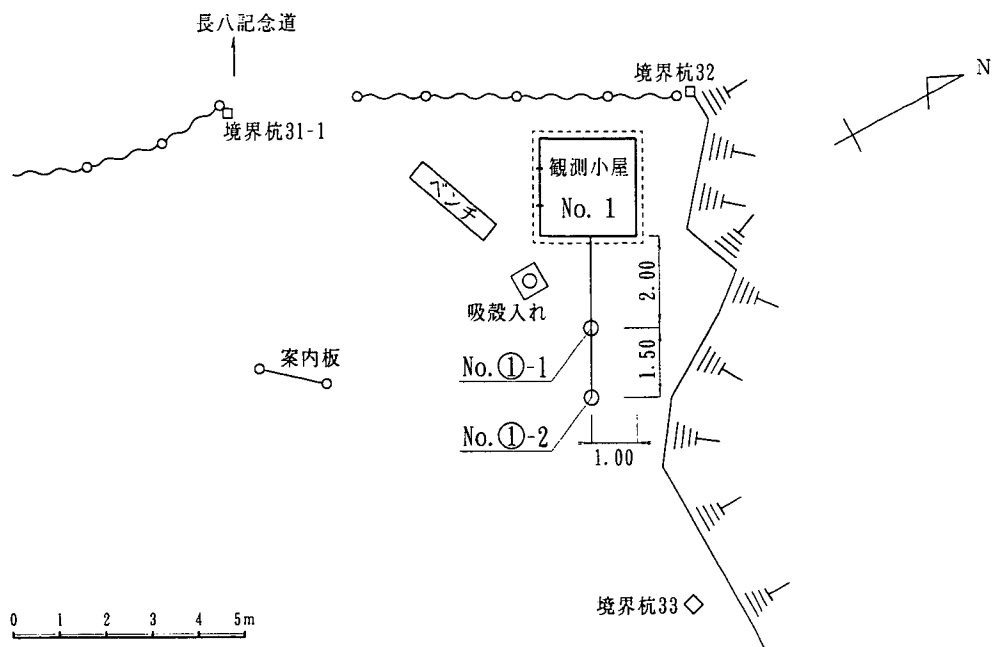
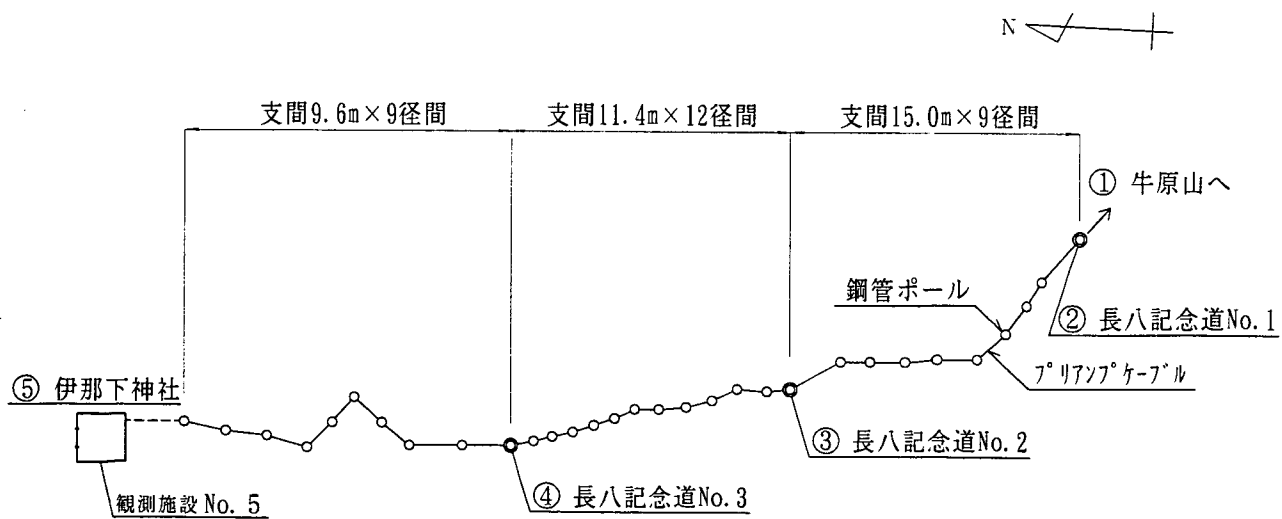


図 5.3 松崎地区代表断面の地盤構成

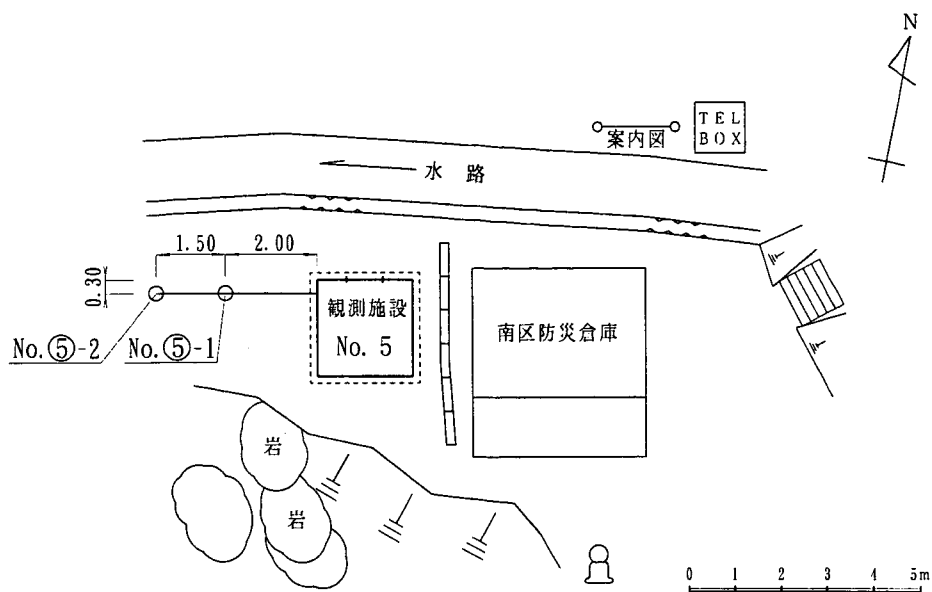


(a) 牛原山 (No.1 地点)

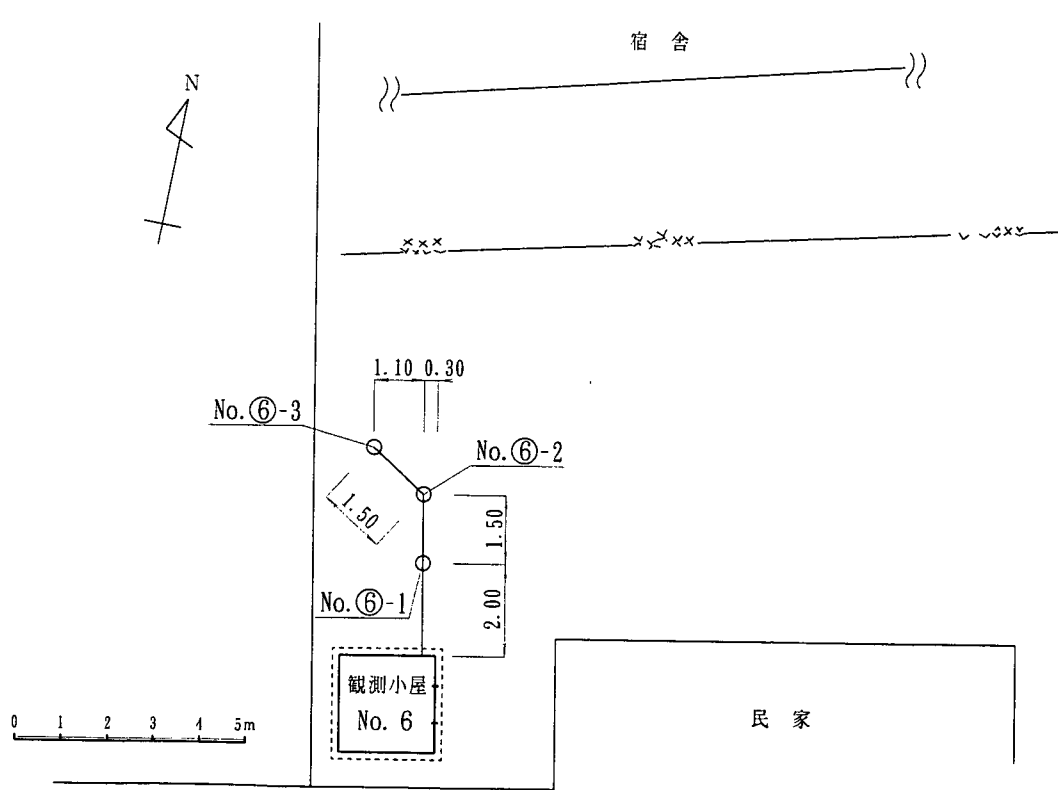


(b) 長八記念道 (No.2、No.3、No.4 地点)

図 5.4 (1) 観測小屋周辺図

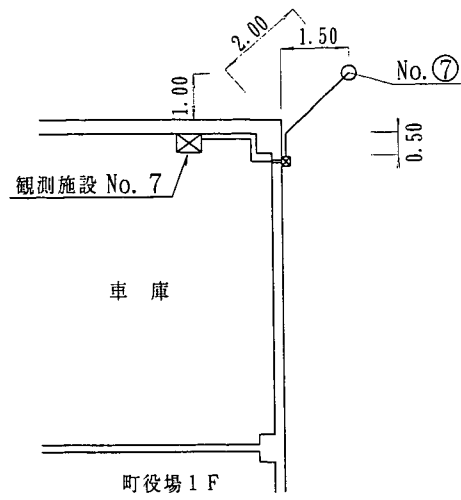


(c) 伊那下神社 (No.5 地点)

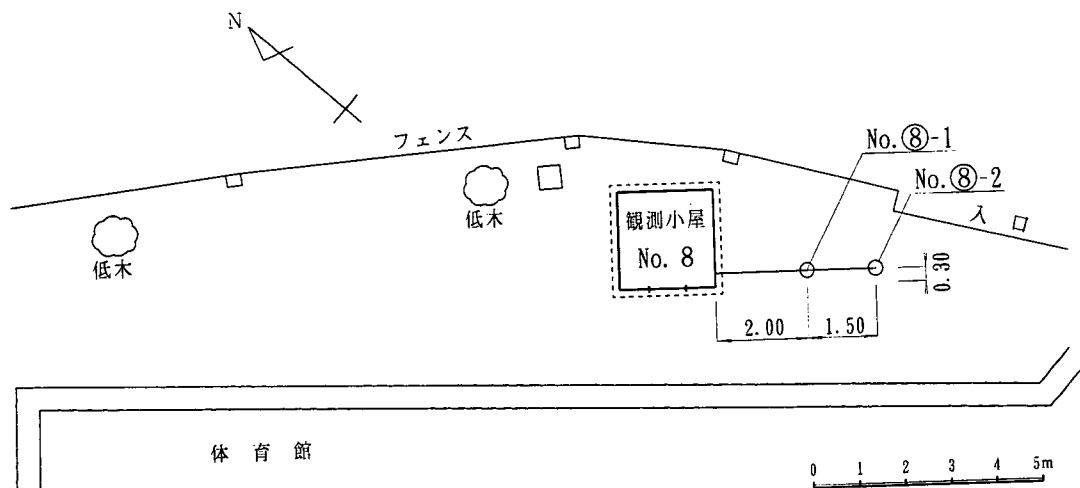


(d) 法務局松崎宿舎 (No.6 地点)

図 5.4 (2) 観測小屋周辺図

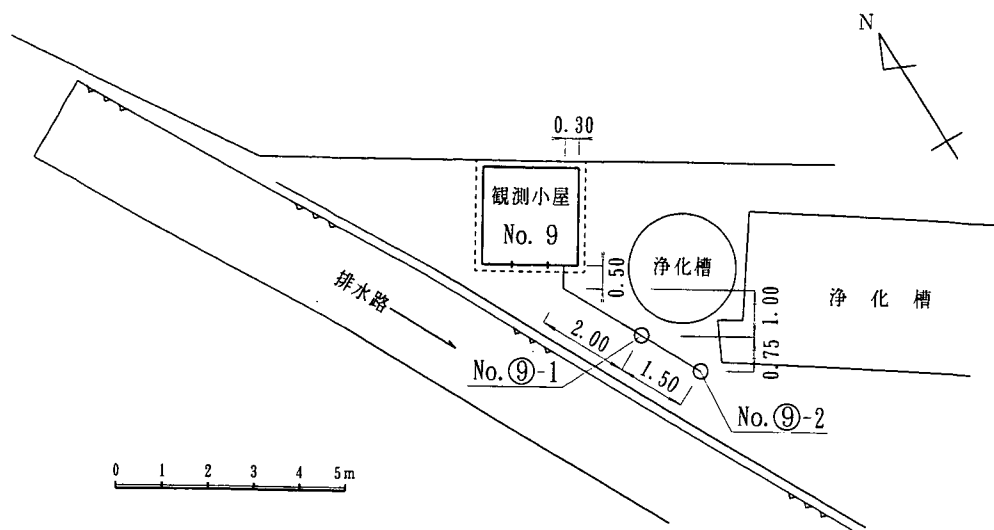


(e) 松崎町役場 (No.7 地点)

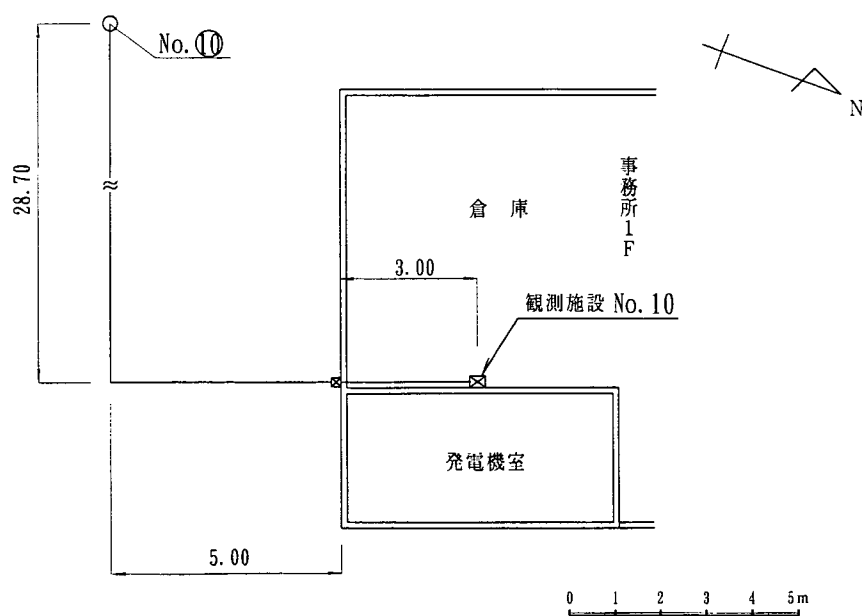


(f) 松崎小学校 (No.8 地点)

図 5.4 (3) 観測小屋周辺図

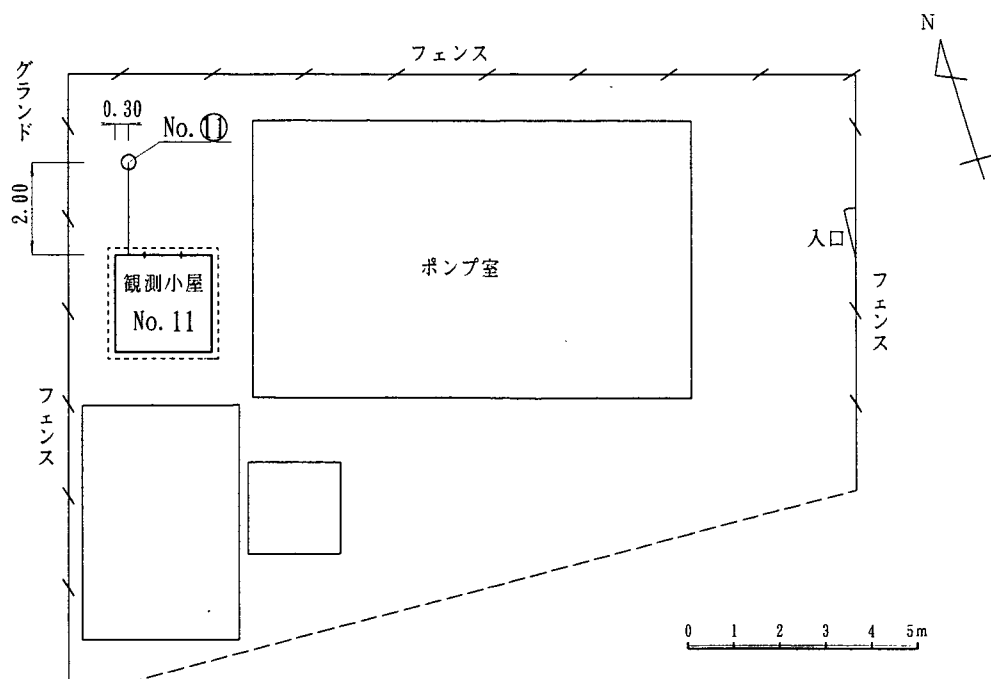


(g) 伊豆太陽農業協同組合 (No.9 地点)



(h) 下田土木事務所松崎支所 (No.10 地点)

図 5.4 (4) 観測小屋周辺図



(i) 松崎中学校 (No.11 地点)

図 5.4 (5) 観測小屋周辺図



写真 5.1 松崎地区高密度強震観測場

6. 神戸地区高密度強震観測場（西地区及び東地区）

6.1 地形・地盤条件^{20)、21)}

神戸には、神戸西地区及び神戸東地区の隣接する2地区の高密度強震観測場を設置している（図6.1及び写真6.1参照）。神戸西地区における高密度強震観測場は、神戸市東灘区西部の渦が森から六甲アイランドに至る地域に展開され、神戸東地区における高密度強震観測場は、神戸市東灘区東部の本山から深江浜に至る地域に展開されている。両地区は、六甲山地南麓、その南側に広がる幅約3kmの扇状地性の平野、及び海岸部の比較的新しい埋立地から成る。六甲山地南麓には部分的に丘陵地が認められる他は、山麓扇状地が広く発達している。山麓扇状地は扇状地段丘と呼ばれ、扇状地と段丘の複合したものである。なお、六甲山地南麓には五助橋断層や芦屋断層などの活断層の存在が知られている。

本地区の基盤は、六甲山地を構成する白亜紀の花崗岩、花崗閃緑岩が主体であり、これを第三紀の神戸層群と鮮新世～洪積世の大阪層群が覆う。さらにこれらの上位に段丘層や沖積層が分布している。神戸層群は六甲山地の南側ではごく一部にしか見られない。六甲山地を構成する花崗岩類は、山地部と平野部を画する断層によって平野下に伏設する。その深度は神戸港付近で約1km以上といわれ、その上位に大阪層群の地層が分布している。大阪層群は砂質土と粘性土との互層から成っており、その上位の段丘層は主に砂礫層で構成されている。埋立地では海成沖積層の上位に花崗岩の礫を多量に含む埋立土砂が分布している。

換振器の設置に伴って、神戸西地区ではNo.2地点で深度102m、No.4地点で深度80m、No.6地点で深度50m、No.7地点で深度10m、No.8地点で深度10m、No.11地点で深度20mの合計6本のボーリング調査を行った。神戸東地区では、No.2地点で深度100m、No.3地点で深度40m、No.6地点で深度15.5m、No.7地点で深度32m、No.8地点で深度15m、No.9地点で深度12mの合計6本のボーリング調査を行った。

これらのボーリング調査結果は、神戸西地区については図6.2に、神戸東地区については図6.3に示すとおりである。また、今回のボーリング調査結果及び既存のボーリング資料より、神戸西地区の代表断面（図6.1のA-A'断面）の地盤構成を示すと、図6.4のようになる。

神戸西地区のNo.2及びNo.4地点は埋立地に位置し、表層20m前後が埋立土で覆われ、その下に軟質なシルト層を主体とした沖積層が7～15m程度続き、それ以深はやや硬質なシルト、砂質土から成る洪積層が分布している。No.6地点では表層2mが玉石混じりの埋土、続いて礫混じりの砂質土から成る沖積層が深度12mまで分布し、それ以深は砂～礫質土を主体とした洪積層となっている。No.11地点では表層6mが盛土で、続いて礫混じりの粘土が16m付近まであり、それ以深は花崗岩となっている。

神戸東地区のNo.2地点は埋立地に位置し、表層16mまでが埋立土で覆われ、続いて深度25mまでが軟質なシルトで、それ以深は洪積のやや硬質なシルト、砂質土となっている。No.3、No.6及びNo.7地点では、表層1.5mが埋土で、続いて深度10m付近までが沖積の互層で、それ以深はやや硬質な粘土、砂で構成される洪積層となっている。No.9地点では深度11mで基盤岩が出現している。

6.2 観測網

神戸西地区及び神戸東地区における高密度強震観測施設の配置は、図6.1に示したとおりである。神戸西地区では、標高約240mの低位段丘面上に位置する渦が森台から湾岸に至るNo.12－No.11－No.8－No.6－No.5－No.4地点の測線と、これに並行するNo.10－No.9－No.7地点の測線に、六甲アイランドのNo.3、No.2及びNo.1地点を加えた合計12箇所に計26台の強震計を設置した。このうちNo.11地点では、深度20mの位置で花崗岩から成る基盤岩中に換振器を設置した。六甲アイランドのNo.2地点では、深度102mを最深として6箇所に、また、魚崎浜のNo.4地点では深度80mを最深として5箇所に換振器を配している。

神戸東地区では、標高約80mの低位段丘面上に位置する東灘区本山町から湾岸に至るNo.8－No.6－No.5－No.3－No.2－No.1地点の測線に、No.9、No.7及びNo.4地点を加えた合計9箇所に計20台の強震計を設置した。このうちNo.9地点では、深度12mの基盤岩中に換振器を設置した。また、深江浜のNo.2地点では深度100mから2mまでの間の5箇所に換振器を設置した。

神戸両地区では地形の変化による地震動の変化を把握するため、比較的広い範囲に観測地点が配置されている。神戸西地区では最も離れた観測地点間の距離が約6.5kmあり、それぞれの観測地点間距離は約400～1300mである。また、神戸東地区のそれぞれの観測地点間距離は、約300～900mである。

神戸西地区及び神戸東地区は、急峻な六甲山地から埋立地に至る地形・地盤条件の変化が地震動特性に及ぼす影響、若齢の埋立地における地中地震動特性等を観測することを目的とするものである。

6.3 観測施設の設置箇所

(1)神戸西地区

強震計を設置したのは、以下に示す12箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図6.5に示す。

No.1地点：神戸新交通六甲アイランド線のマリンパーク駅から六甲島検車場へ向かう支線沿いに設置。

No.2地点：神戸市立六甲アイランド小学校の校庭南西端に設置。

No.3地点：向洋ポンプ場内の南西端に設置。

No.4地点：魚崎浜の阪神高速道路公団変電施設敷地内に設置。

No.5地点：住吉川沿いの住吉川左岸公園内に設置。

No.6地点：建設省六甲砂防工事事務所の駐車場内の植込みに換振器を設置し、庁舎内1階蓄電池室に観測装置を設置。

No.7地点：神戸市立神戸商業高等学校の校舎北側のクラブハウス横に設置。

No.8地点：神戸市立住吉中学校の西門から北側へ20m程度離れた所に設置。

No.9地点：東灘低層配水場敷地内の北西端に設置。

No.10地点：住吉台公園の北側斜面部に設置。

No.11地点：神戸市立赤塚山高等学校の食堂東側に設置。

No.12地点：神戸市立渦が森小学校の南側校庭の北西端に設置。

(2)神戸東地区

強震計を設置したのは、以下に示す9箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図6.6に示す。

No.1地点 : 兵庫県立東灘高等学校敷地内の南西端に設置。

No.2地点 : 阪神高速道路公団深江浜基地の高架下に設置。

No.3地点 : 本庄中央公園敷地内の北東端に設置。

No.4地点 : 神戸市立東灘小学校の東門の横に設置。

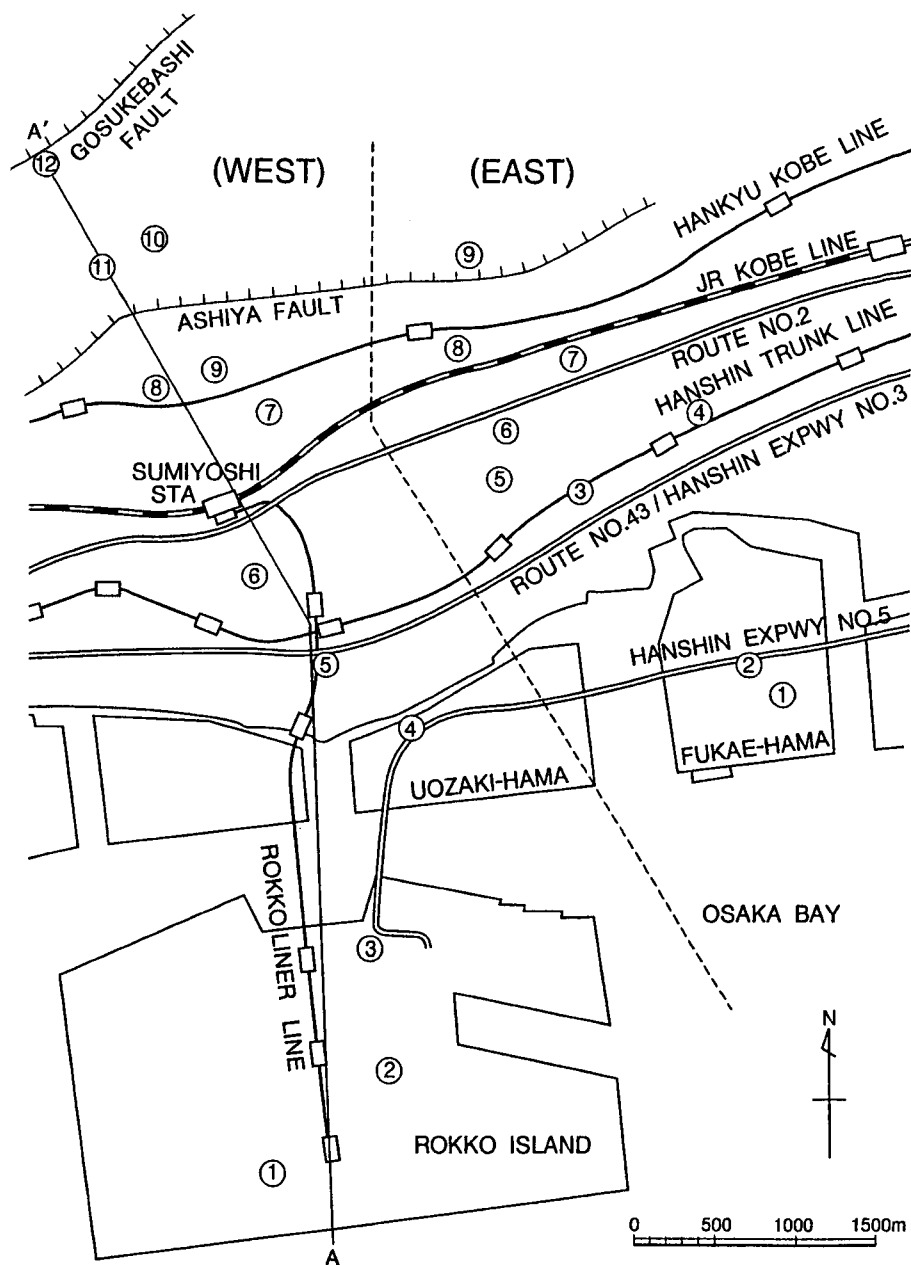
No.5地点 : 建設省兵庫国道工事事務所神戸維持出張所の駐車場植込みの南端に換振器を設置し、庁舎内1階通信機械室に観測装置を設置。

No.6地点 : 神戸市立本山南小学校敷地内の北西端に設置。

No.7地点 : 神戸市立本山第三小学校の変電設備横に設置。

No.8地点 : 神戸市立本山第一小学校敷地内の南端に設置。

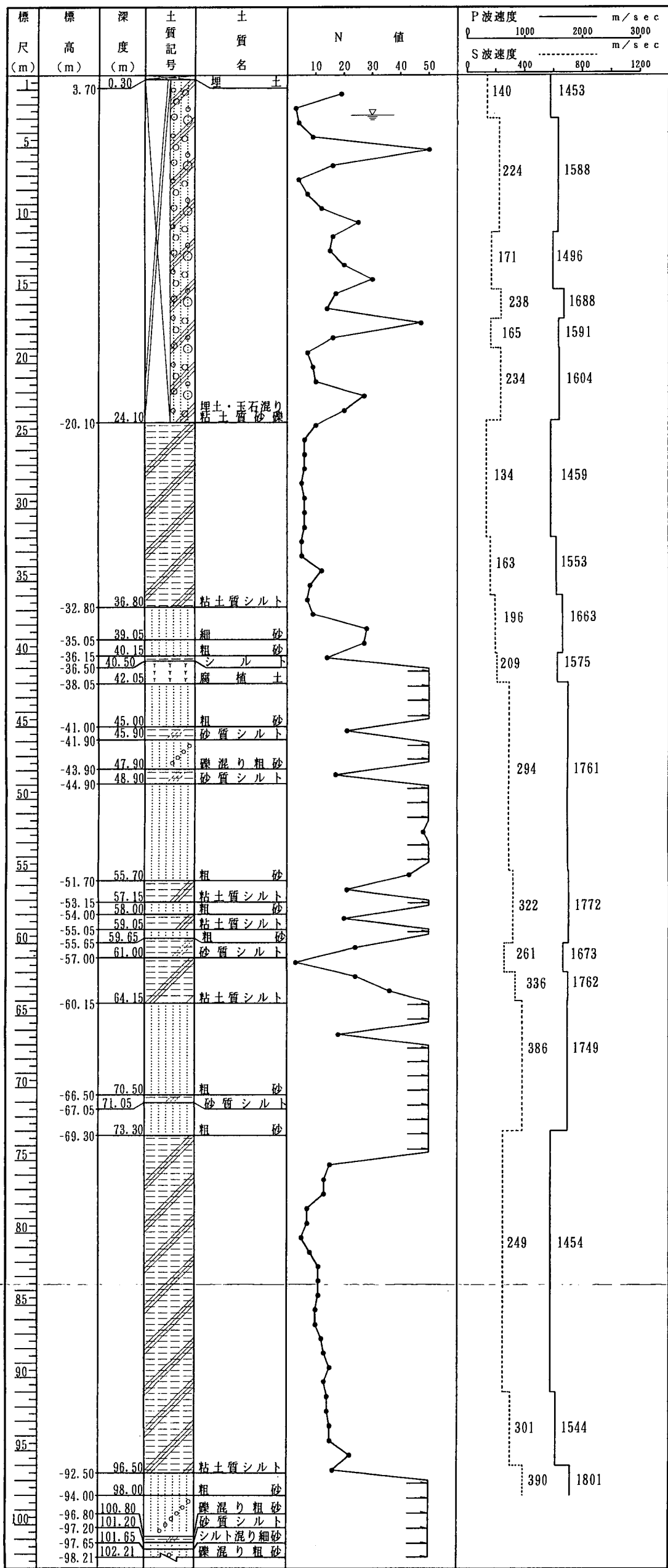
No.9地点 : 本山配水池入口の西側斜面に設置。



Accelerometer Installation Depth of Kobe Arrays

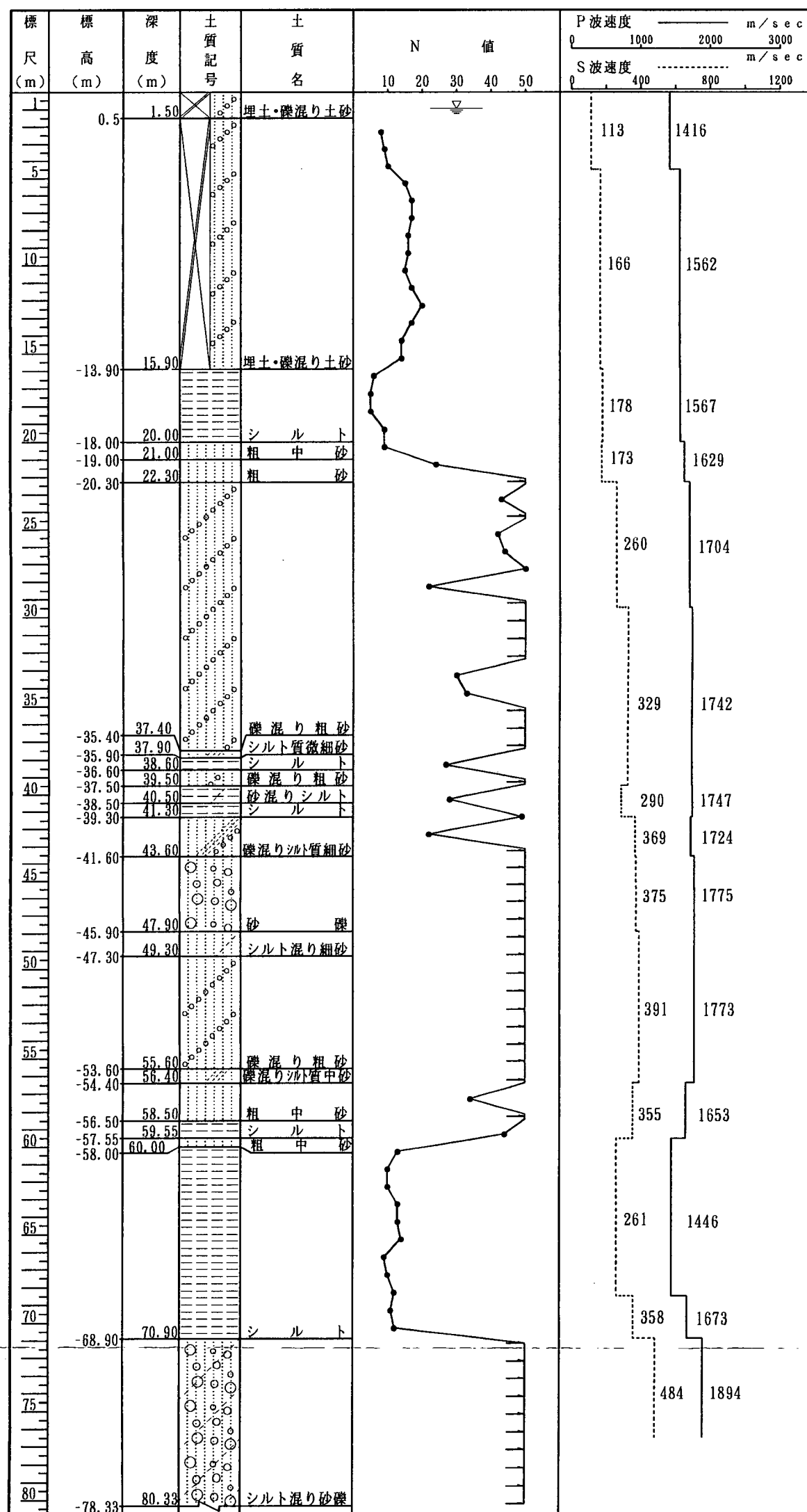
(West)		(East)	
Observation Point No.	Accelerometer Installation Depth [m]	Observation Point No.	Accelerometer Installation Depth [m]
1	2	1	2
2	2, 10, 25, 43, 75, 102	2	2, 8, 26, 54, 100
3	2	3	2, 14, 40
4	2, 10, 23, 61, 80	4	2
5	2	5	2
6	2, 7, 50	6	2, 15.5
7	2, 10	7	2, 13, 32
8	2, 10	8	2, 15
9	2	9	2, 12
10	2		
11	2, 20		
12	2		

図 6.1 神戸西・東地区高密度強震観測場



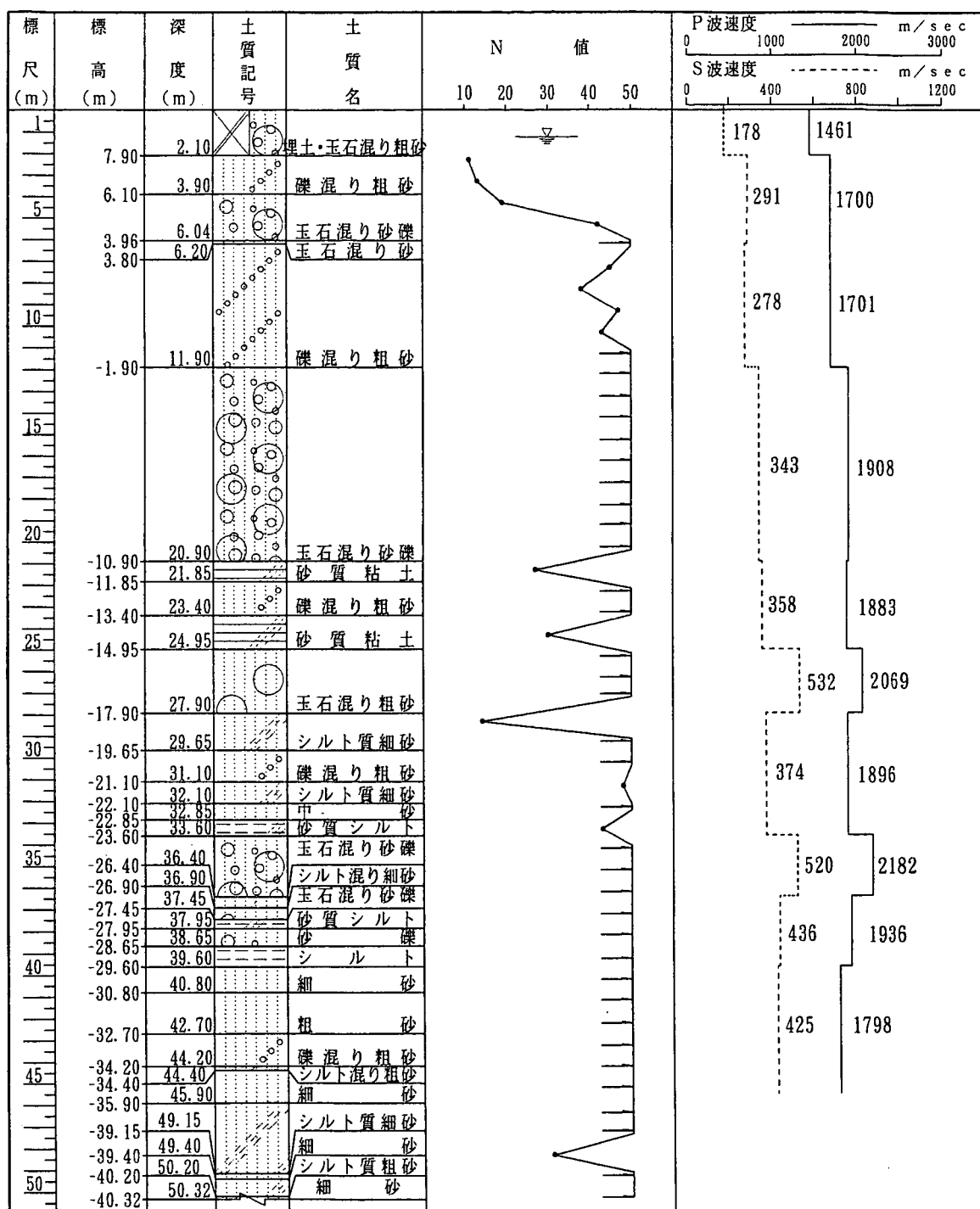
(a) 六甲アイランド小学校 (No.2 地点)

図 6.2 (1) 総合土質柱状図



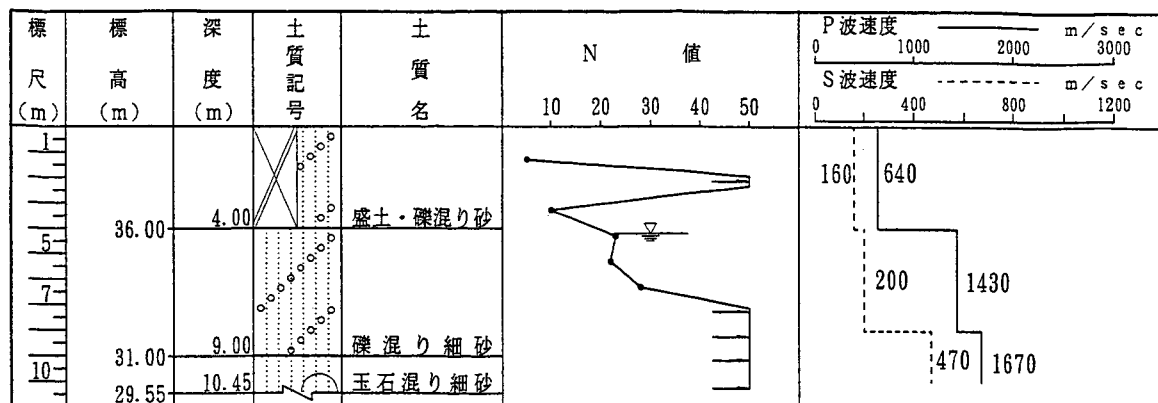
(b) 阪神高速道路公団魚崎浜変電施設 (No.4 地点)

図 6.2 (2) 総合土質柱状図

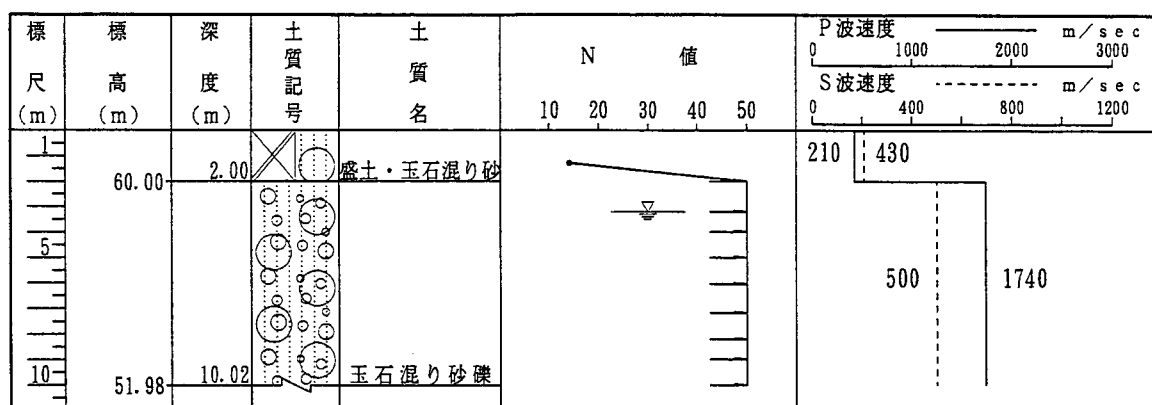


(c) 六甲砂防工事事務所 (No.6 地点)

図 6.2 (3) 総合土質柱状図

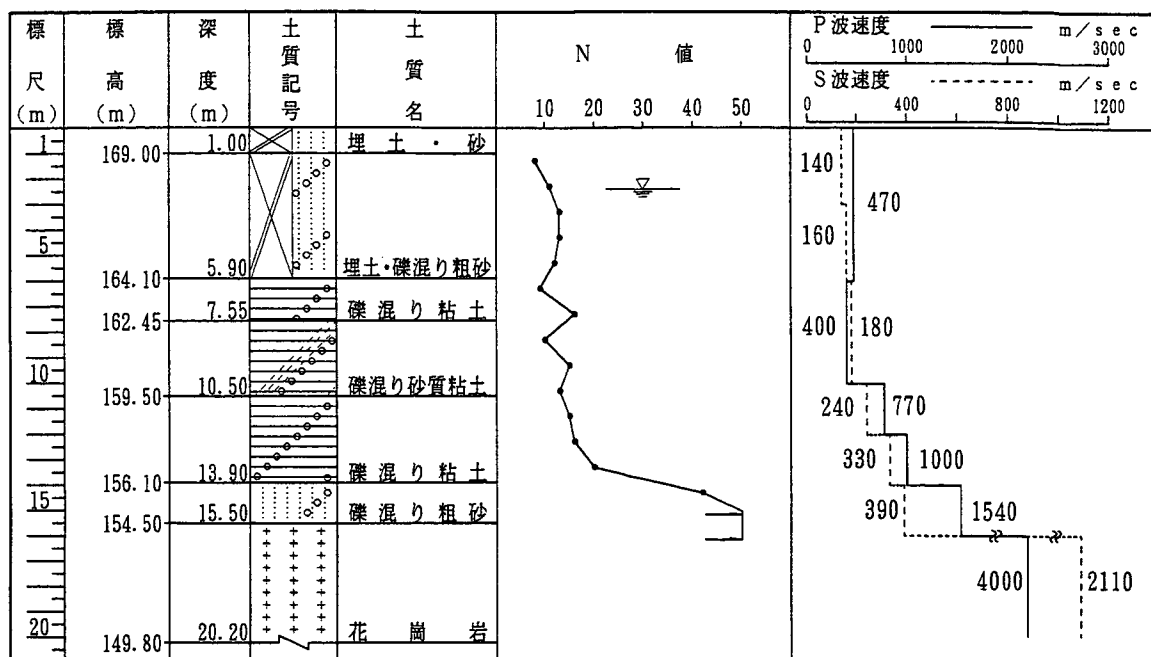


(d) 神戸商業高等学校 (No.7 地点)



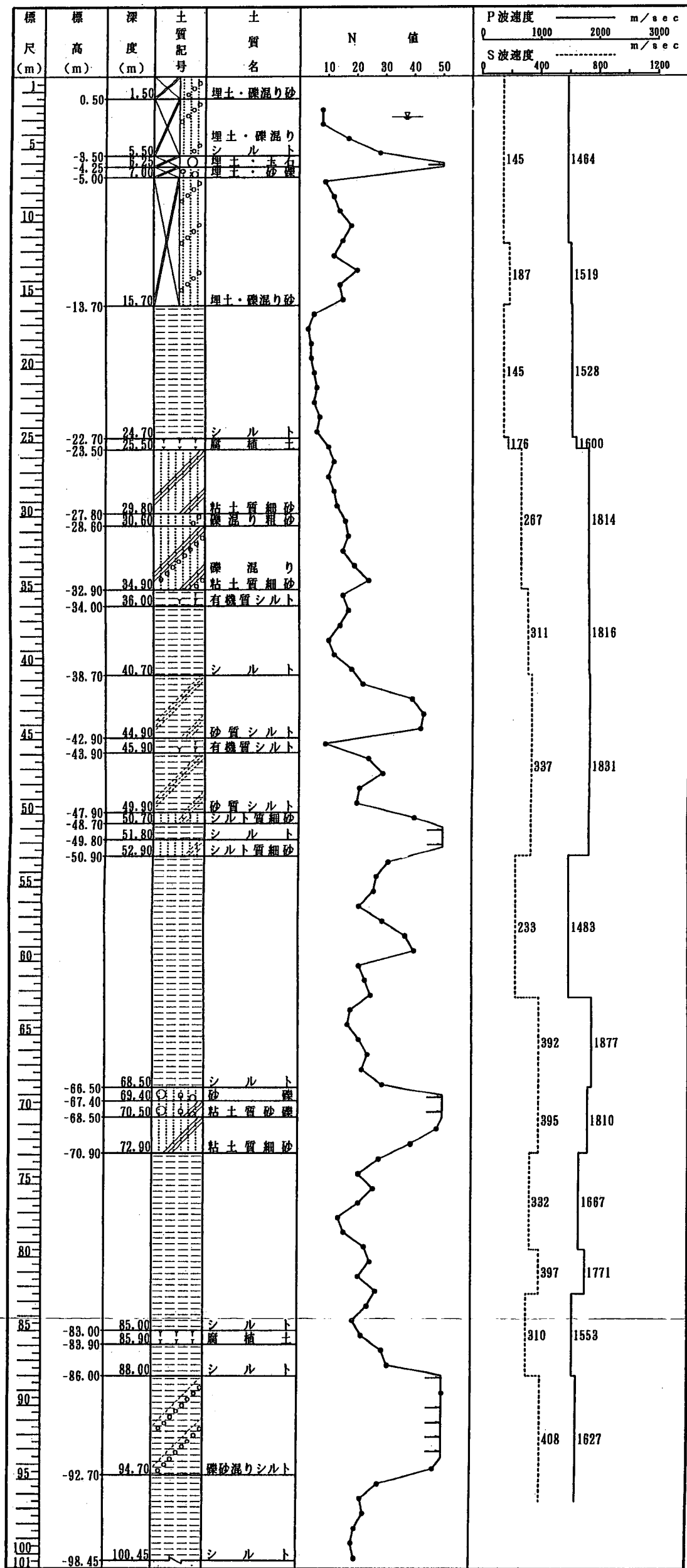
(e) 住吉中学校 (No.8 地点)

図 6.2 (4) 総合土質柱状図



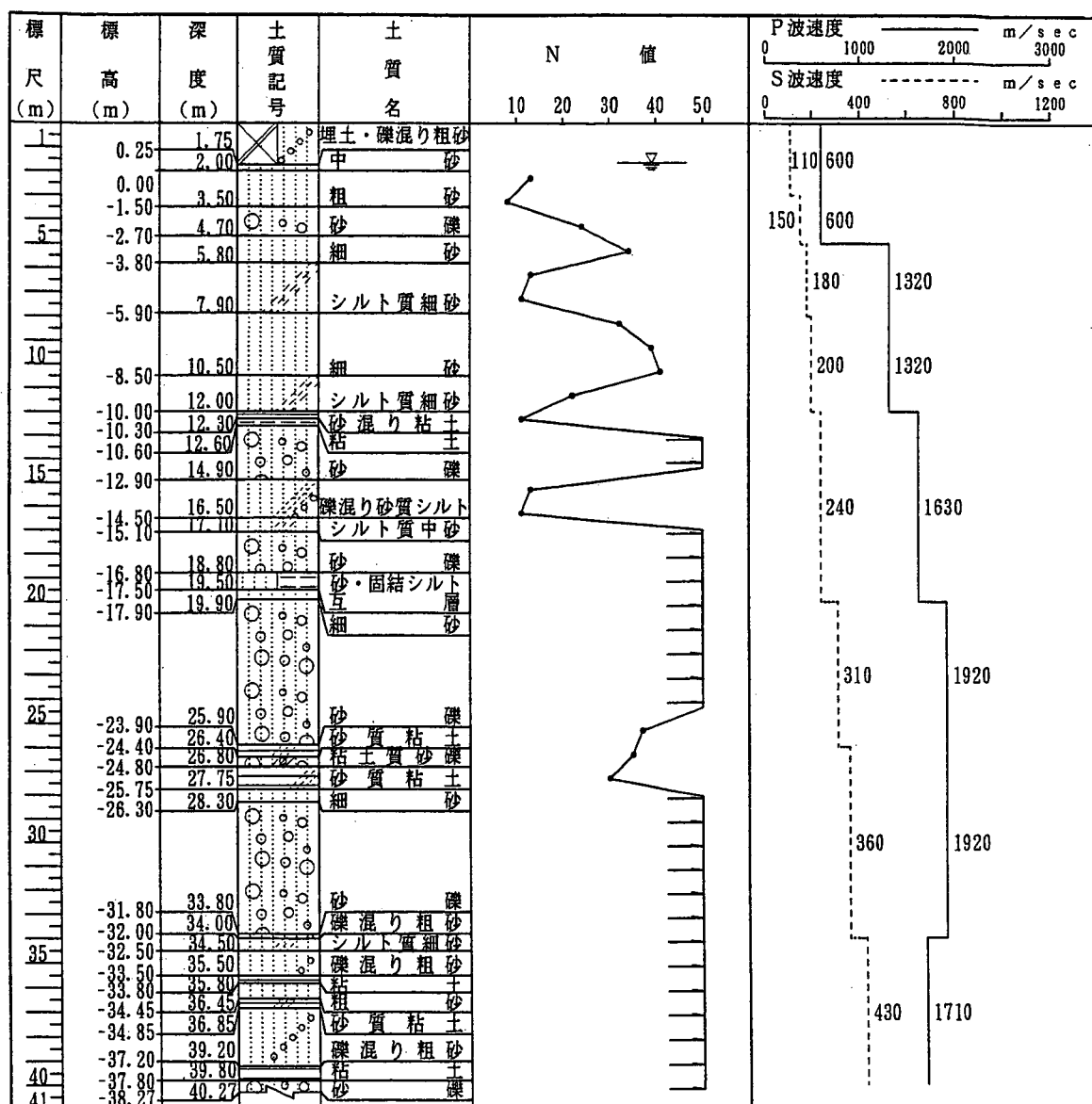
(f) 赤塚山高等学校 (No.11 地点)

図 6.2 (5) 総合土質柱状図



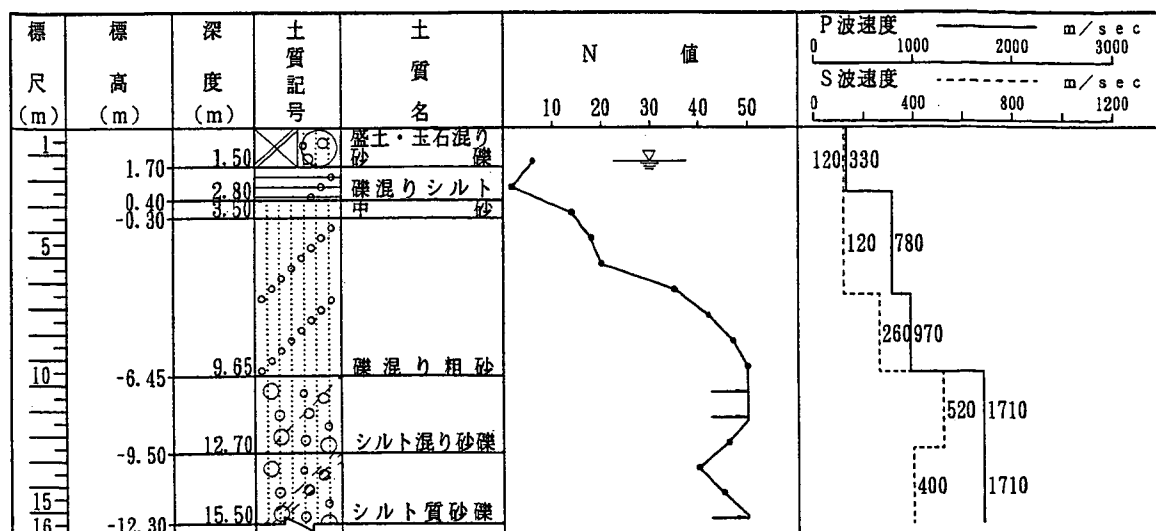
(a) 阪神高速道路公団深江浜基地 (No.2 地点)

図 6.3 (1) 総合土質柱状図

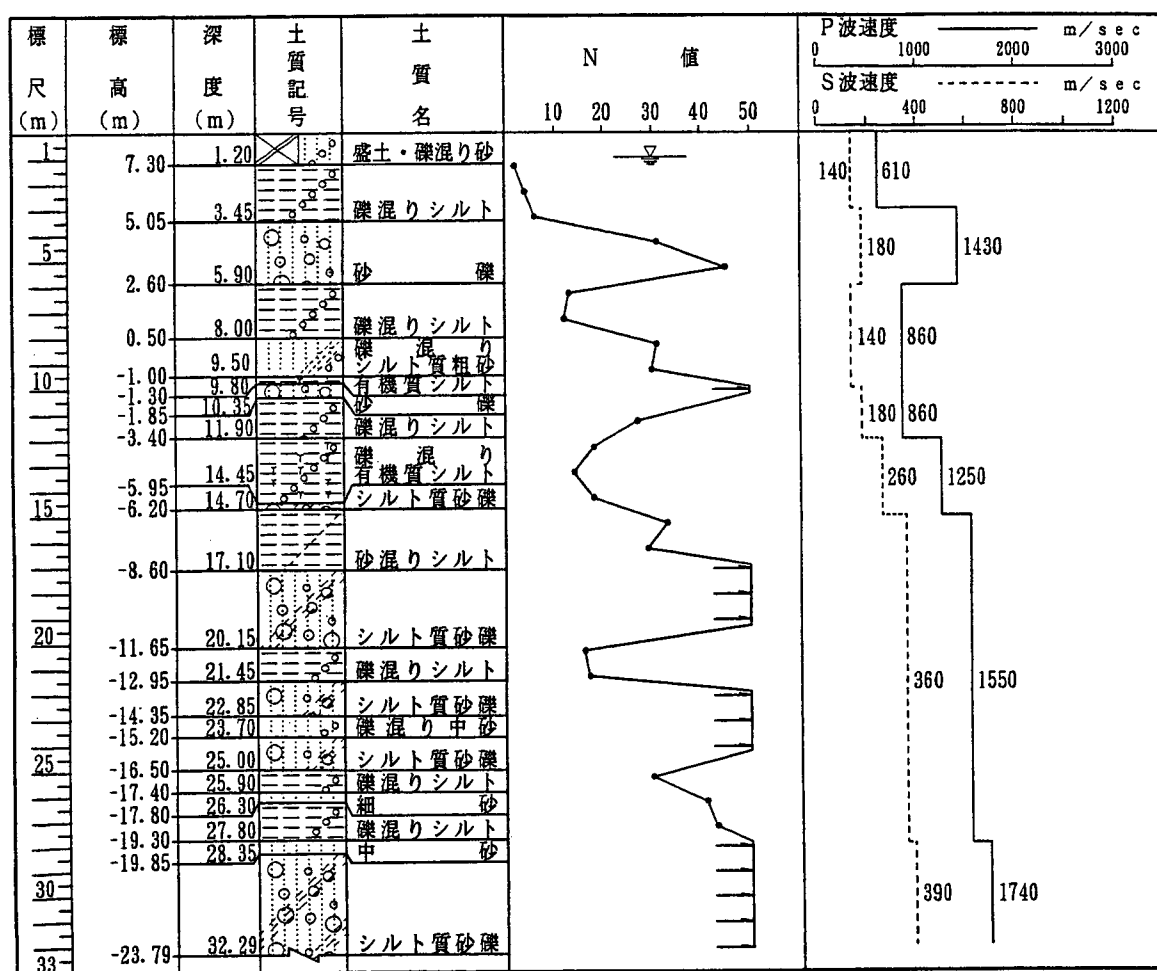


(b) 本庄中央公園 (No.3 地点)

図 6.3 (2) 総合土質柱状図

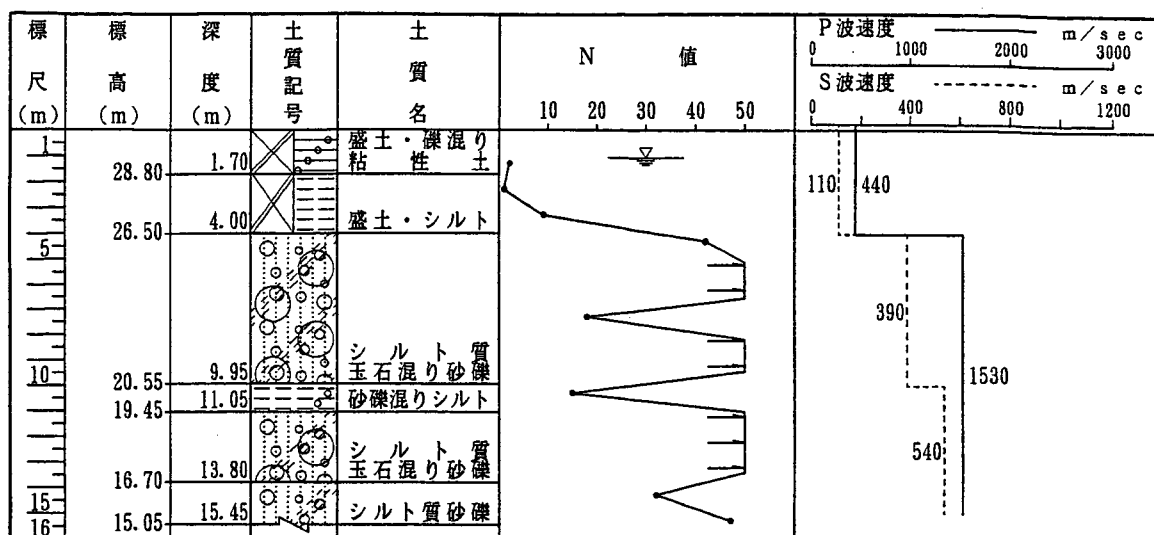


(c) 本山南小学校 (No.6 地点)

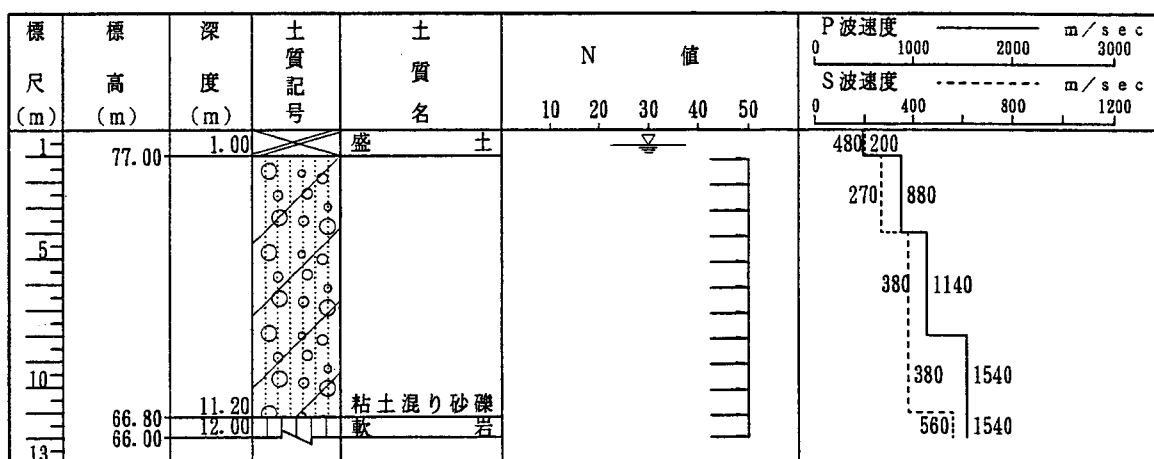


(d) 本山第三小学校 (No.7 地点)

図 6.3 (3) 総合土質柱状図



(e) 本山第一小学校 (No.8 地点)



(f) 本山配水池 (No.9 地点)

図 6.3 (4) 総合土質柱状図

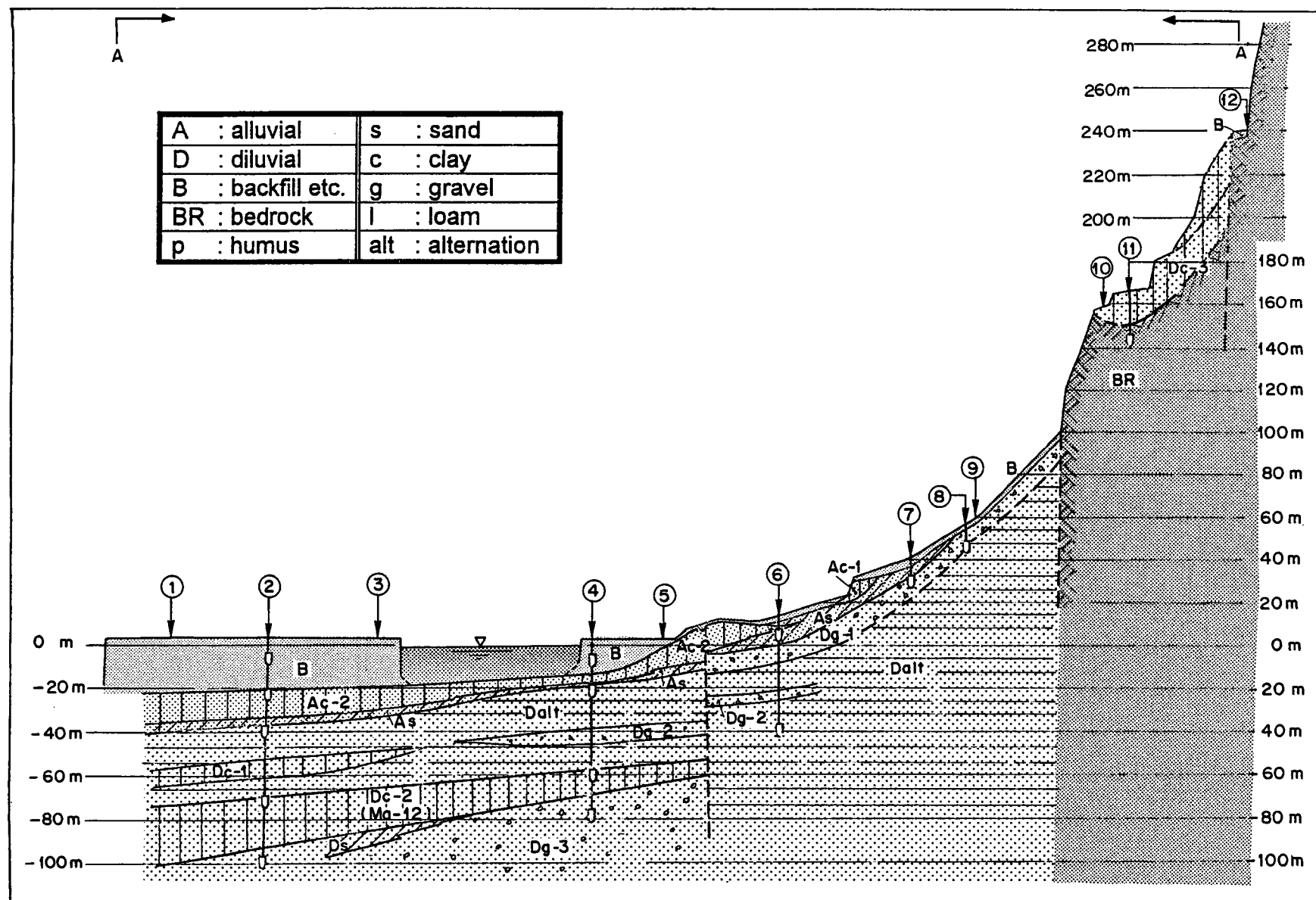
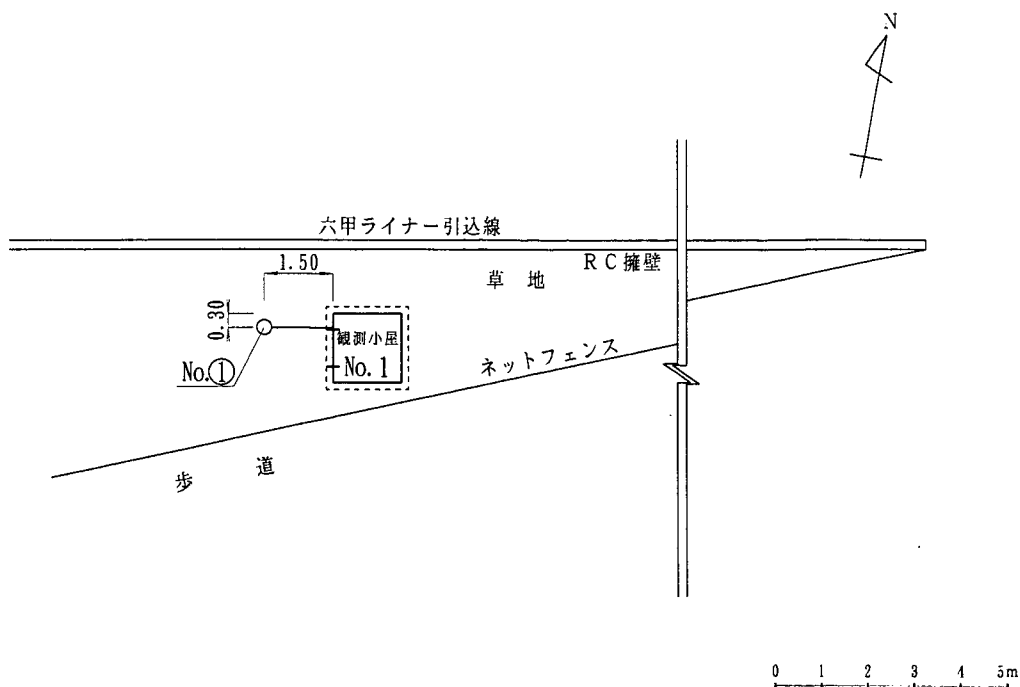
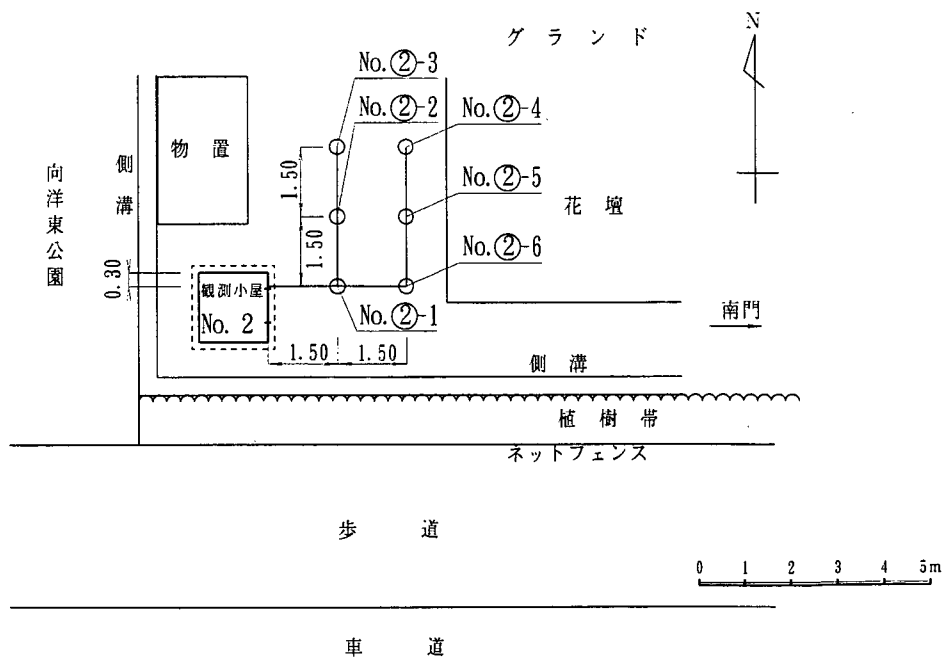


図 6.4 神戸西・東地区代表断面の地盤構成

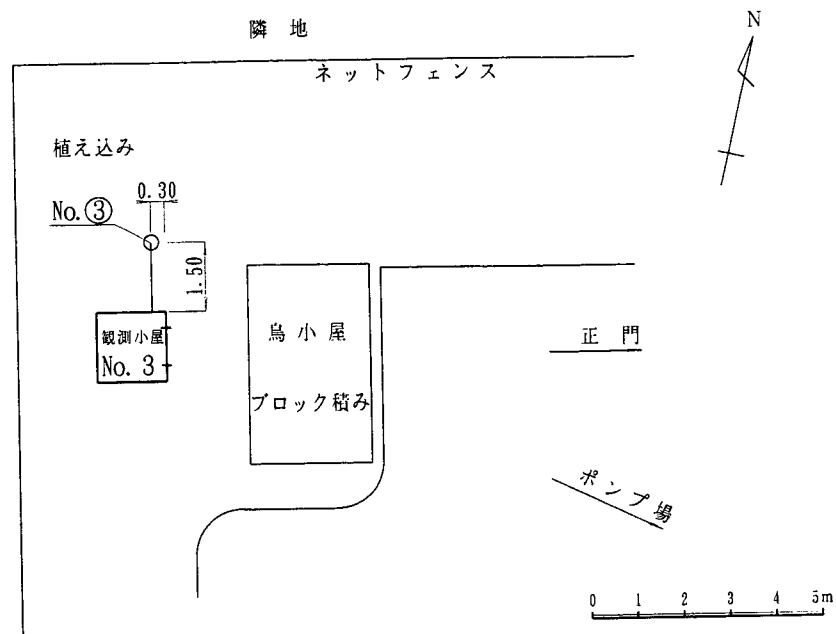


(a) 新交通六甲アイランド線 (No.1 地点)

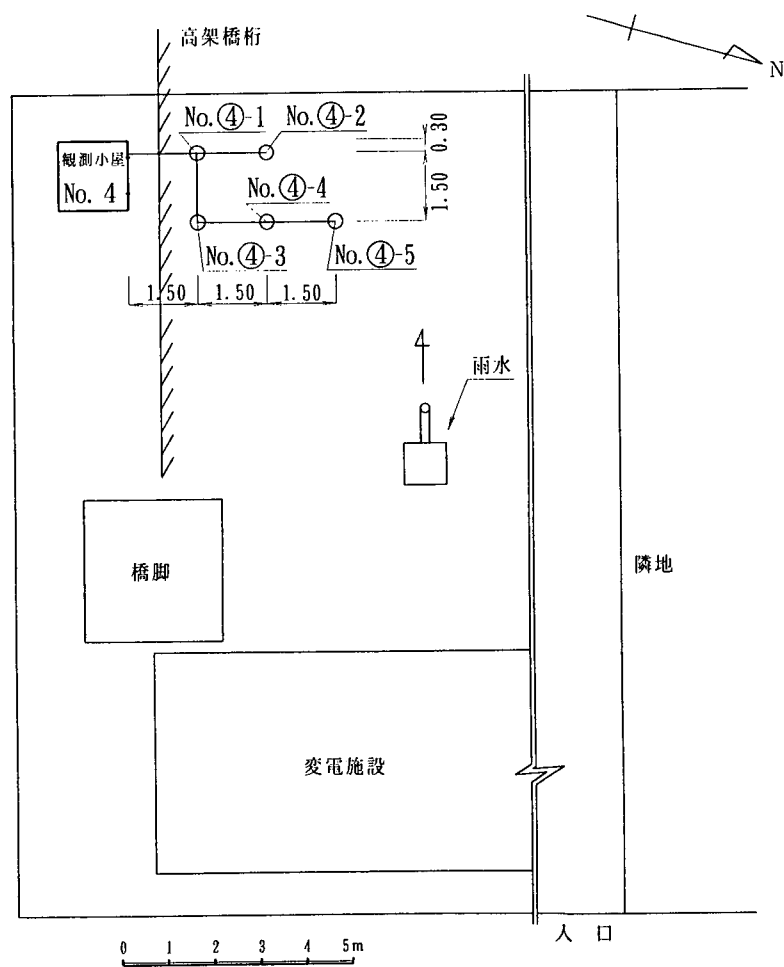


(b) 六甲アイランド小学校 (No.2 地点)

図 6.5 (1) 観測小屋周辺図

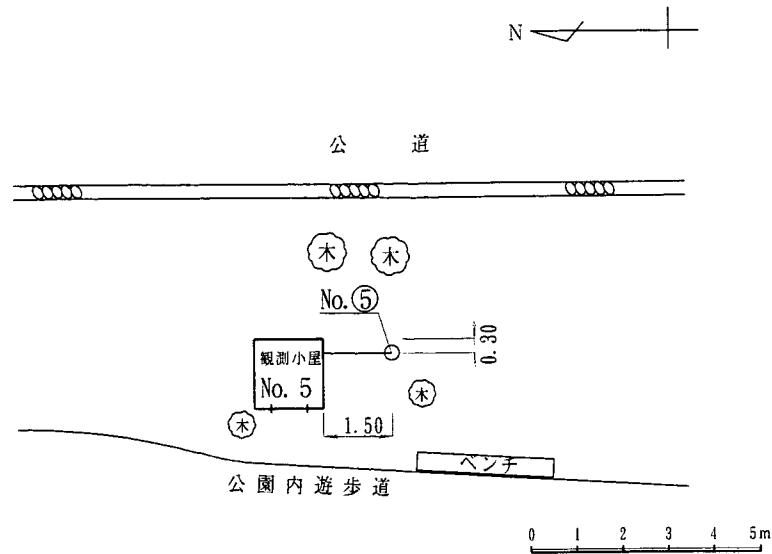


(c) 向洋ポンプ場 (No.3 地点)

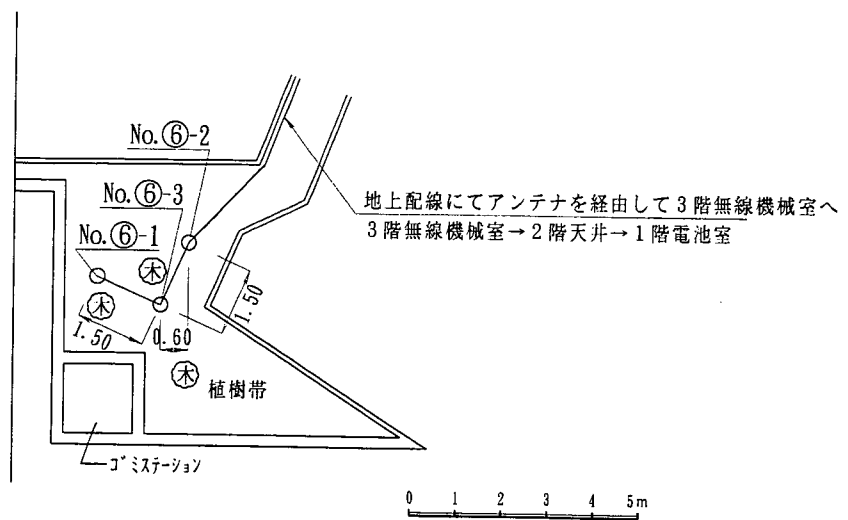


(d) 阪神高速道路公団魚崎浜変電施設 (No.4 地点)

図 6.5 (2) 観測小屋周辺図

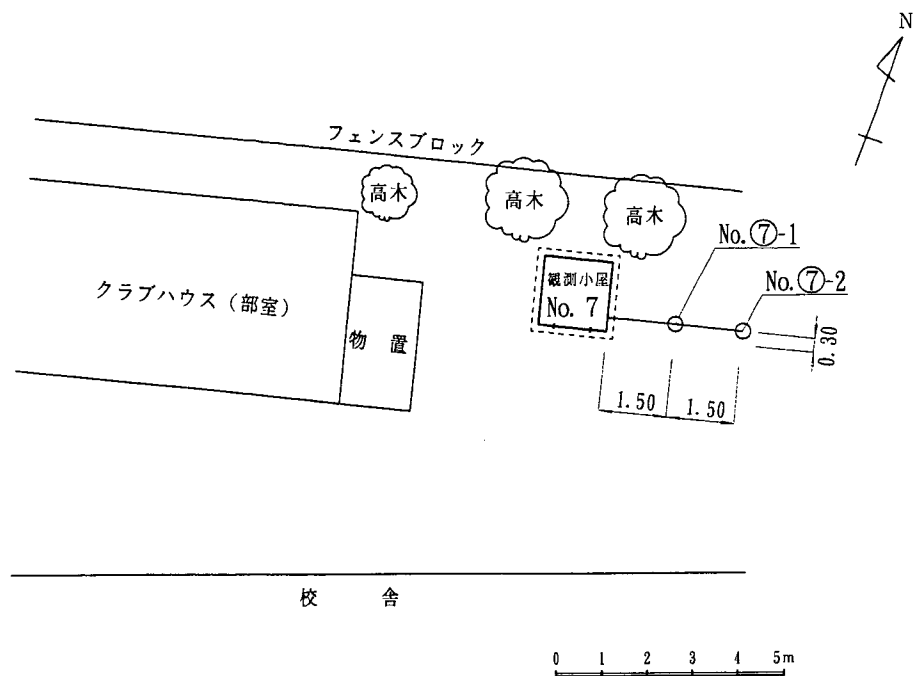


(e) 住吉川左岸公園 (No.5 地点)

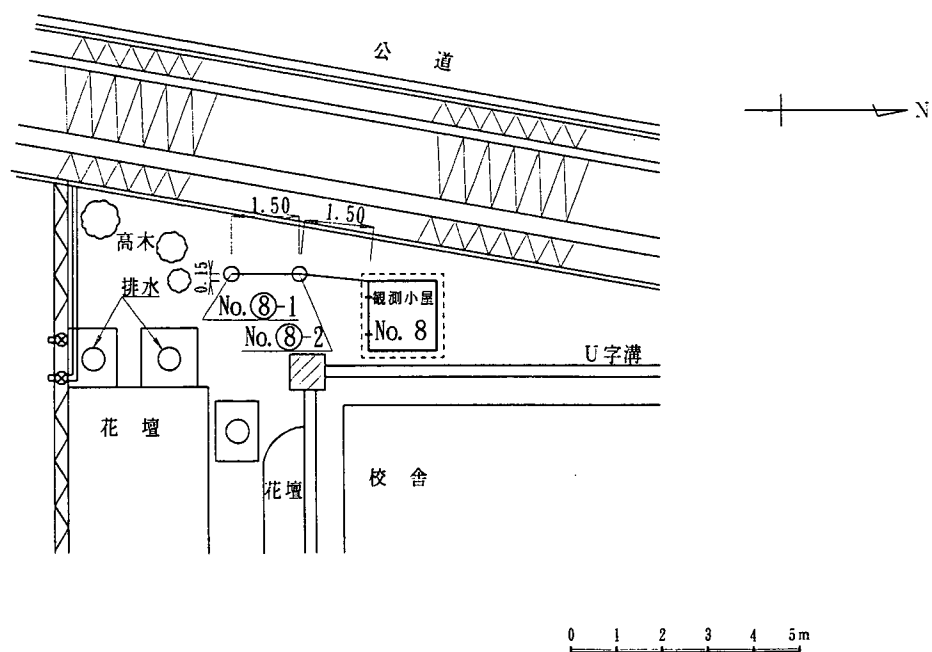


(f) 六甲砂防工事事務所 (No.6 地点)

図 6.5 (3) 観測小屋周辺図

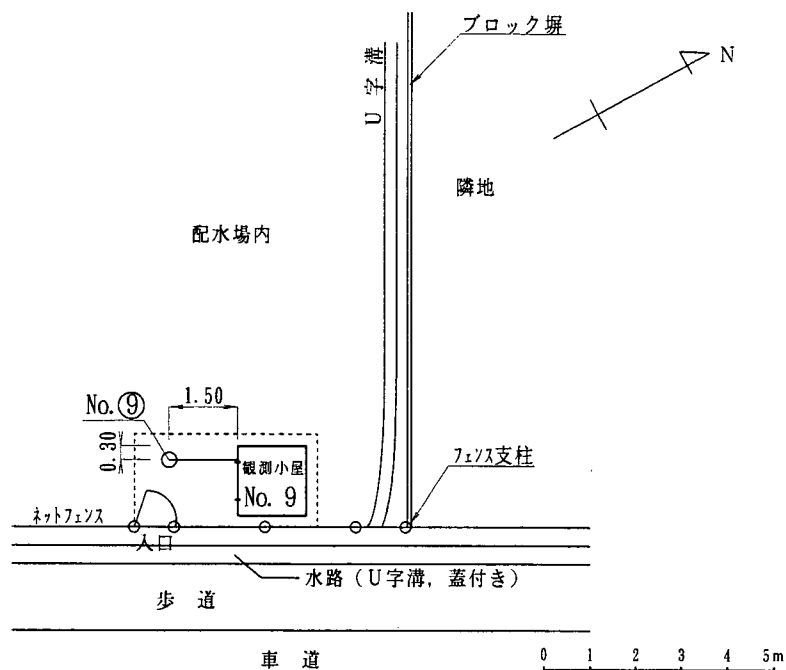


(g) 神戸商業高等学校 (No.7 地点)

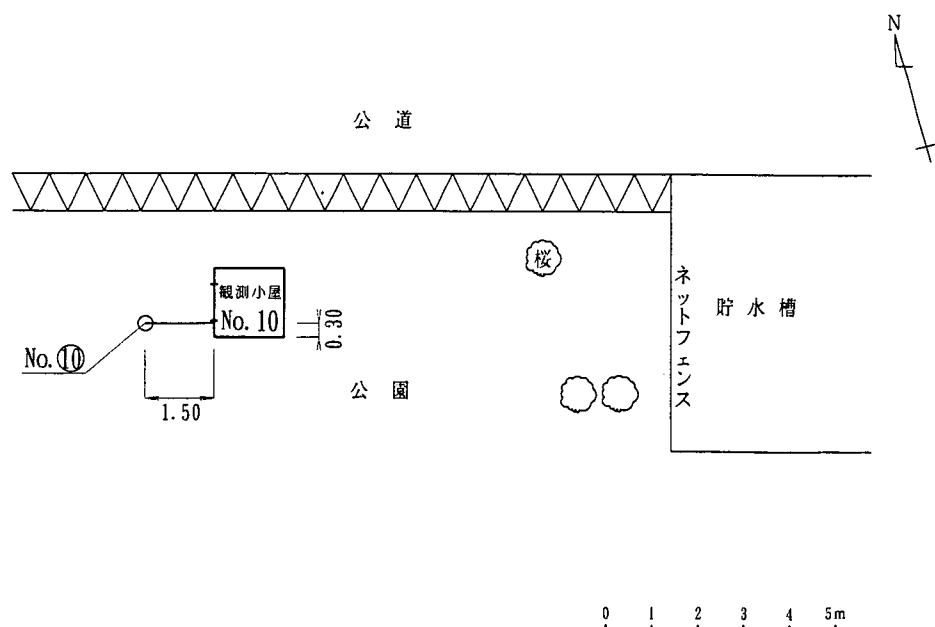


(h) 住吉中学校 (No.8 地点)

図 6.5 (4) 観測小屋周辺図

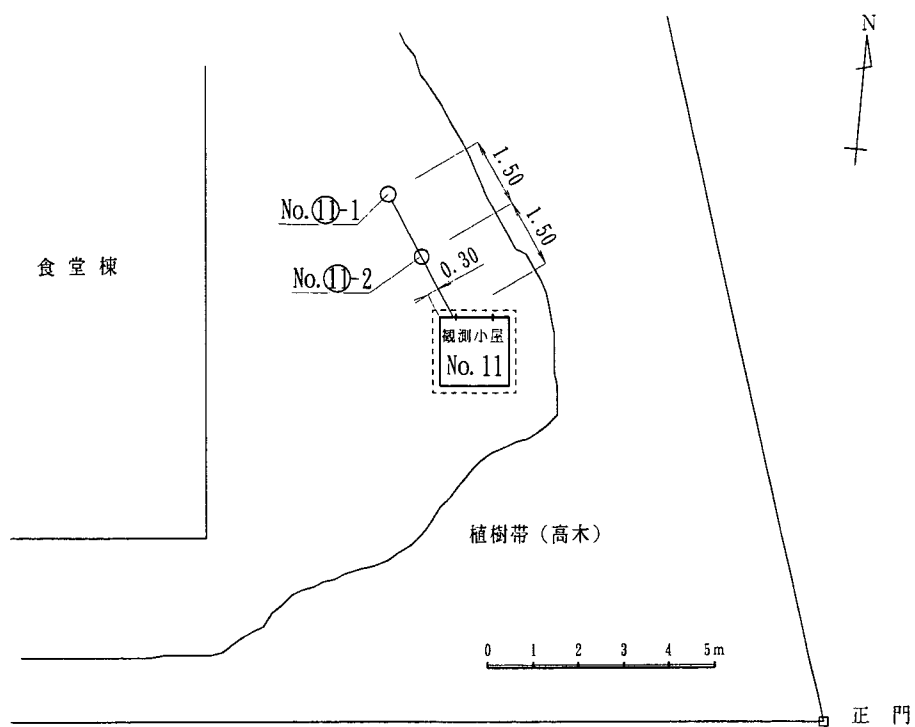


(i) 東灘低層配水場 (No.9 地点)

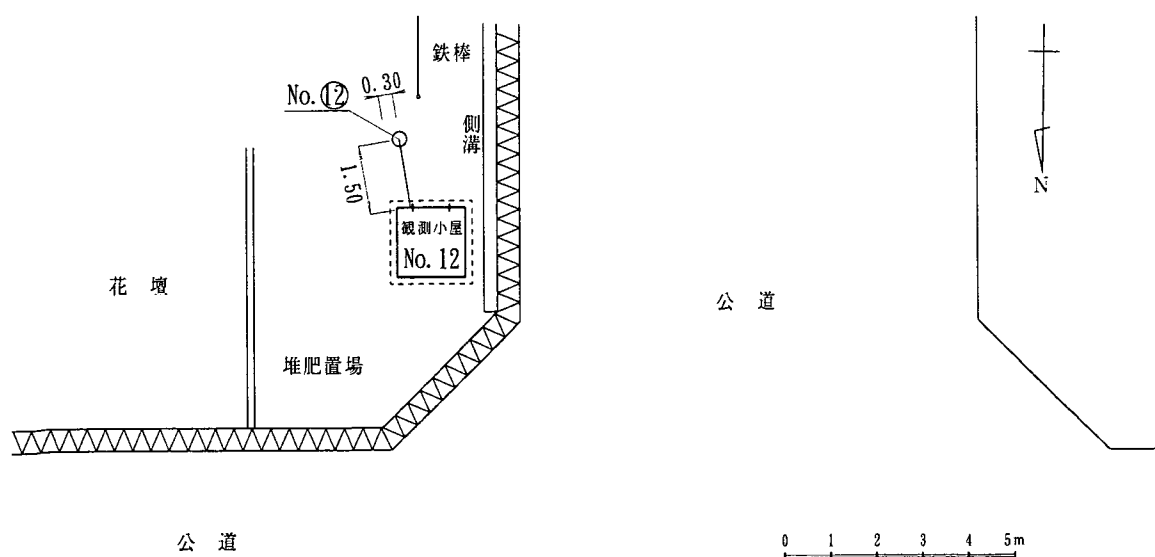


(j) 住吉台公園 (No.10 地点)

図 6.5 (5) 観測小屋周辺図

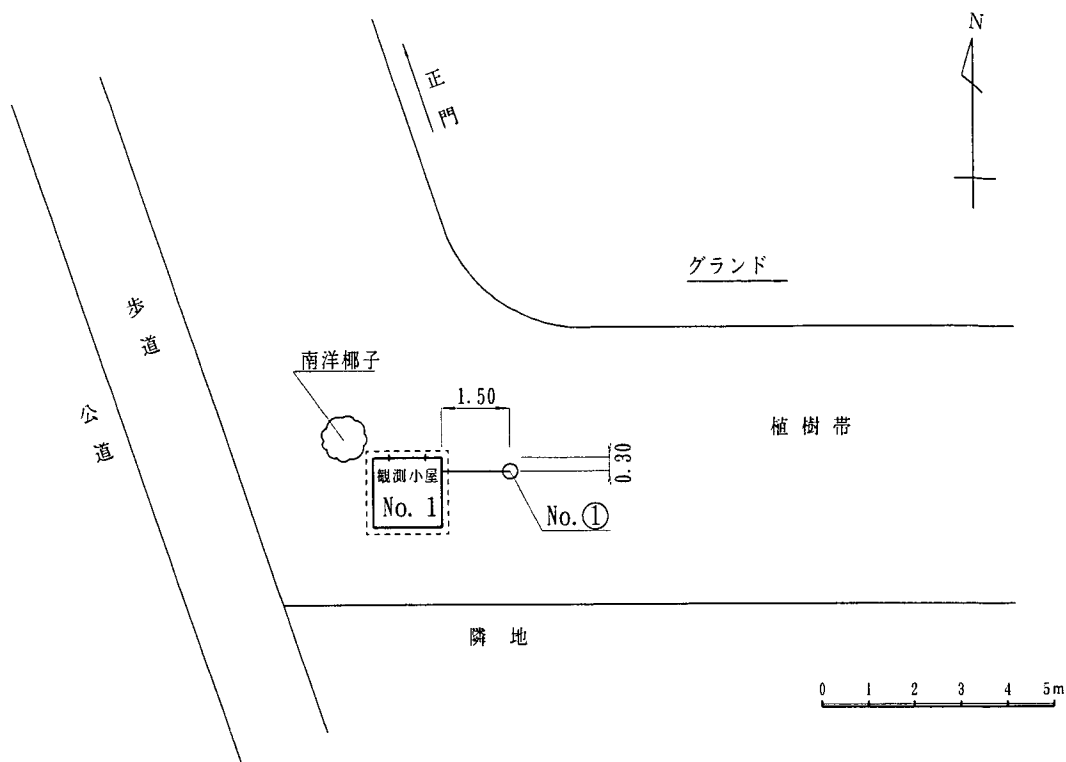


(k) 赤塚山高等学校 (No.11 地点)

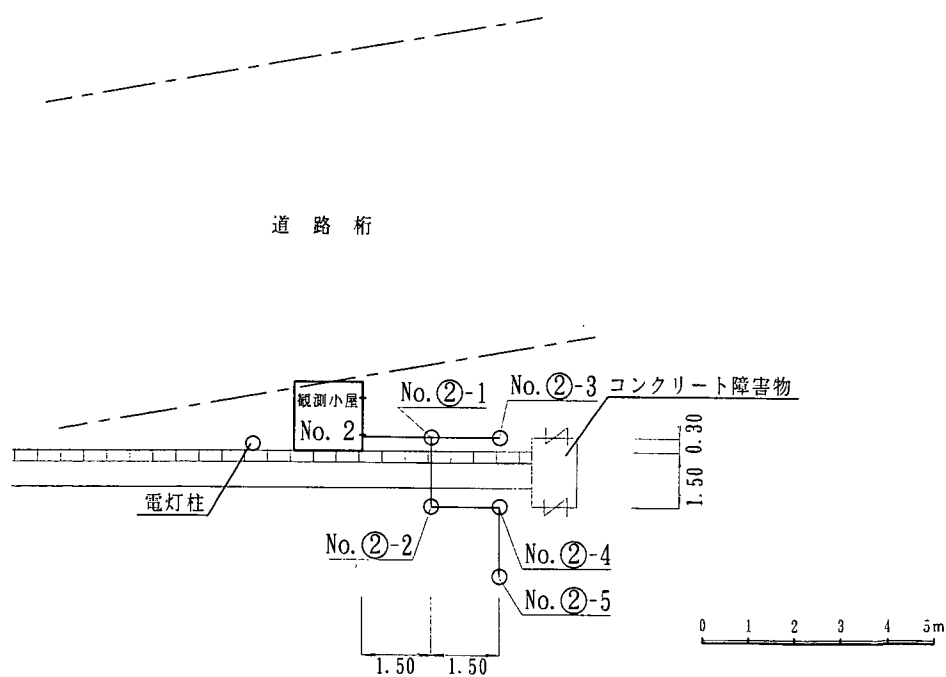


(l) 渦が森小学校 (No.12 地点)

図 6.5 (6) 観測小屋周辺図

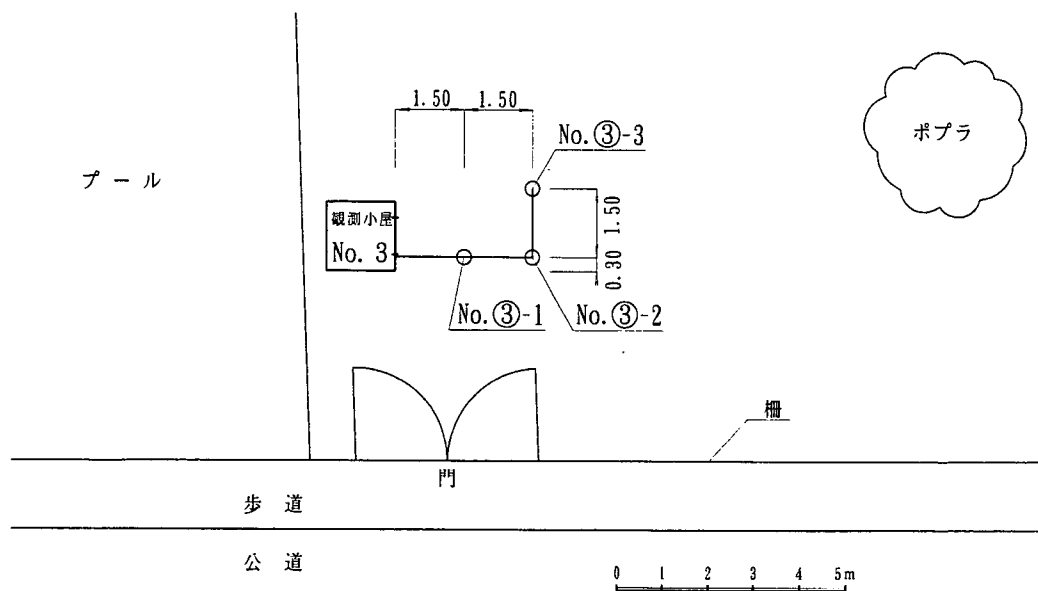


(a) 東灘高等学校 (No.1 地点)

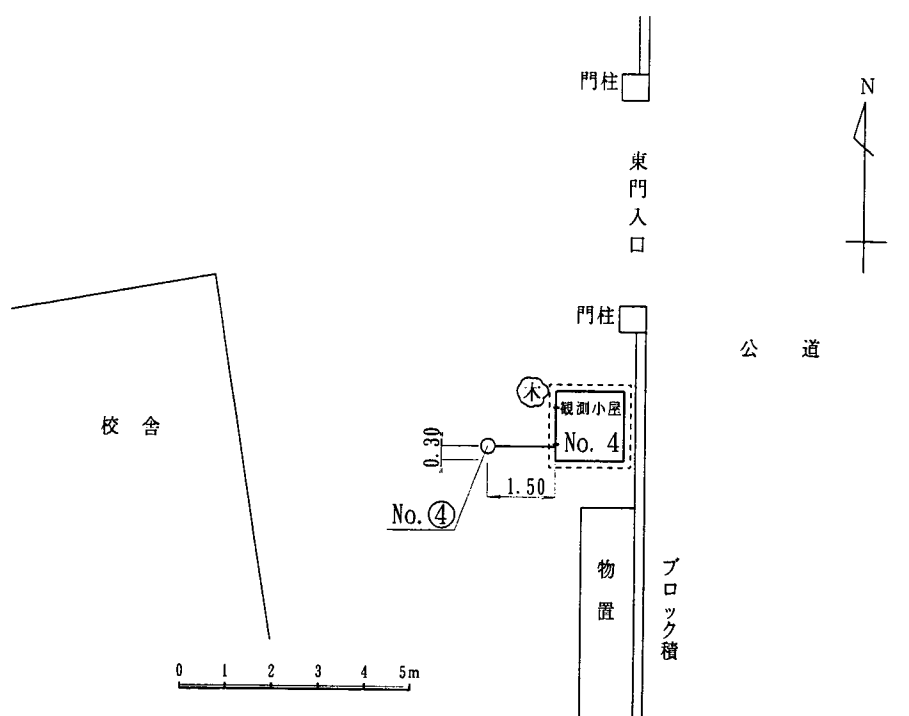


(b) 阪神高速道路公団深江浜基地 (No.2 地点)

図 6.6 (1) 観測小屋周辺図

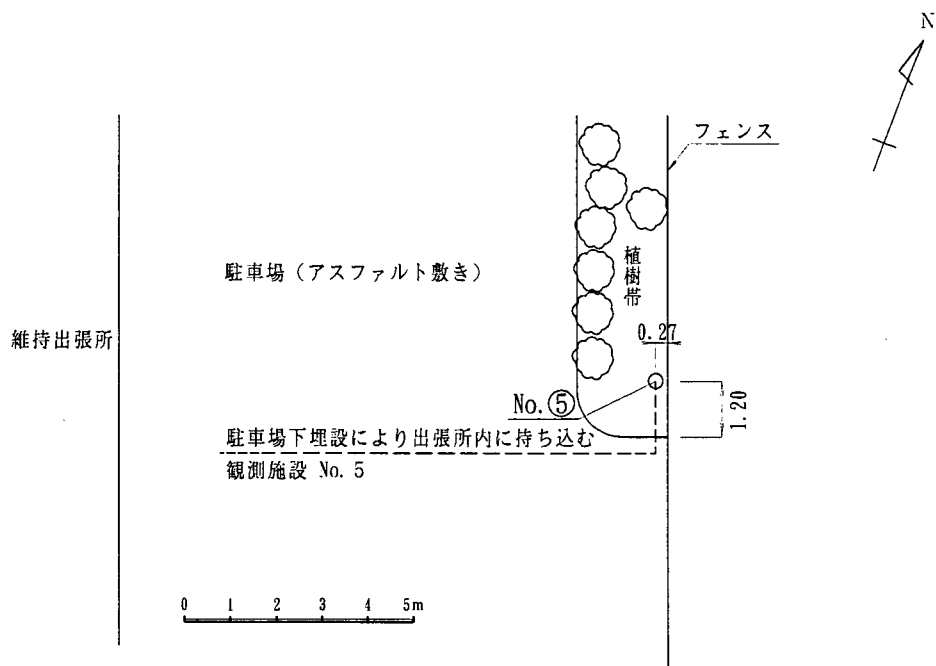


(c) 本庄中央公園 (No.3 地点)

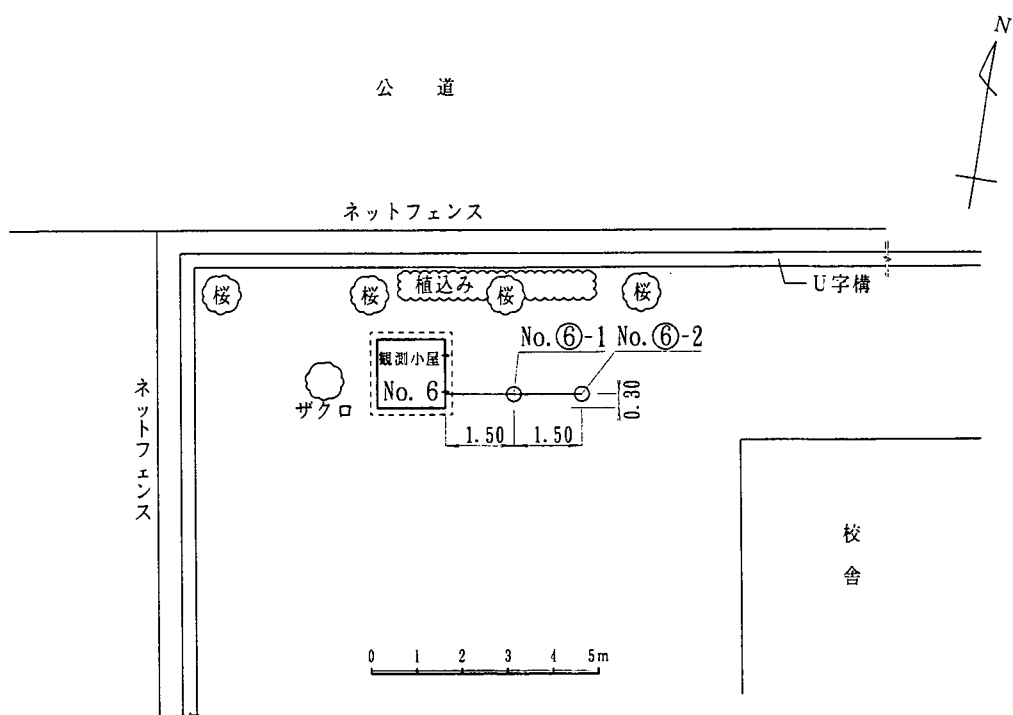


(d) 東灘小学校 (No.4 地点)

図 6.6 (2) 観測小屋周辺図

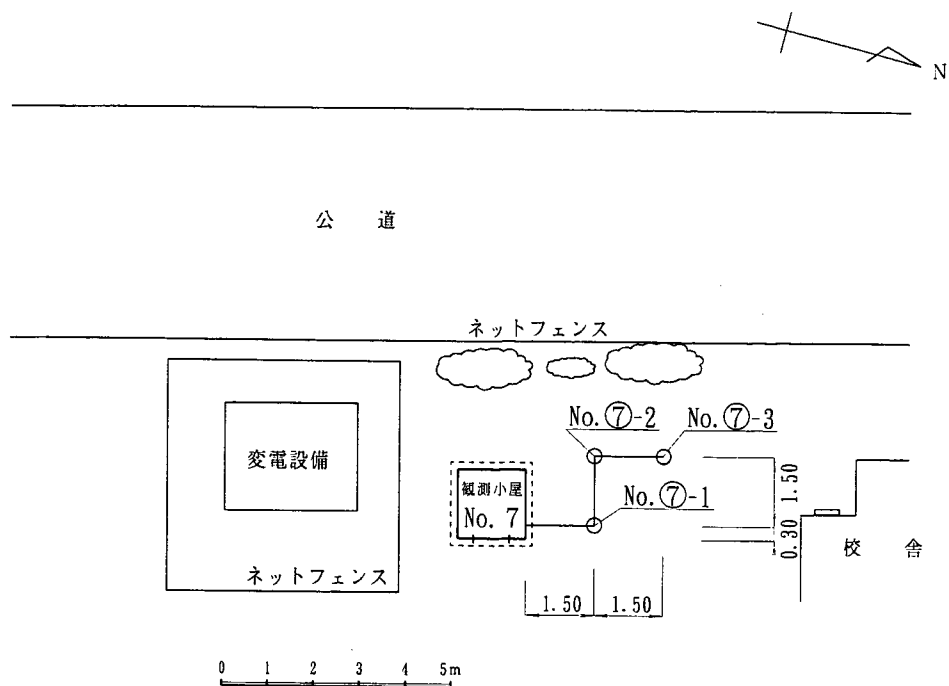


(e) 兵庫国道工事事務所神戸維持出張所 (No.5 地点)

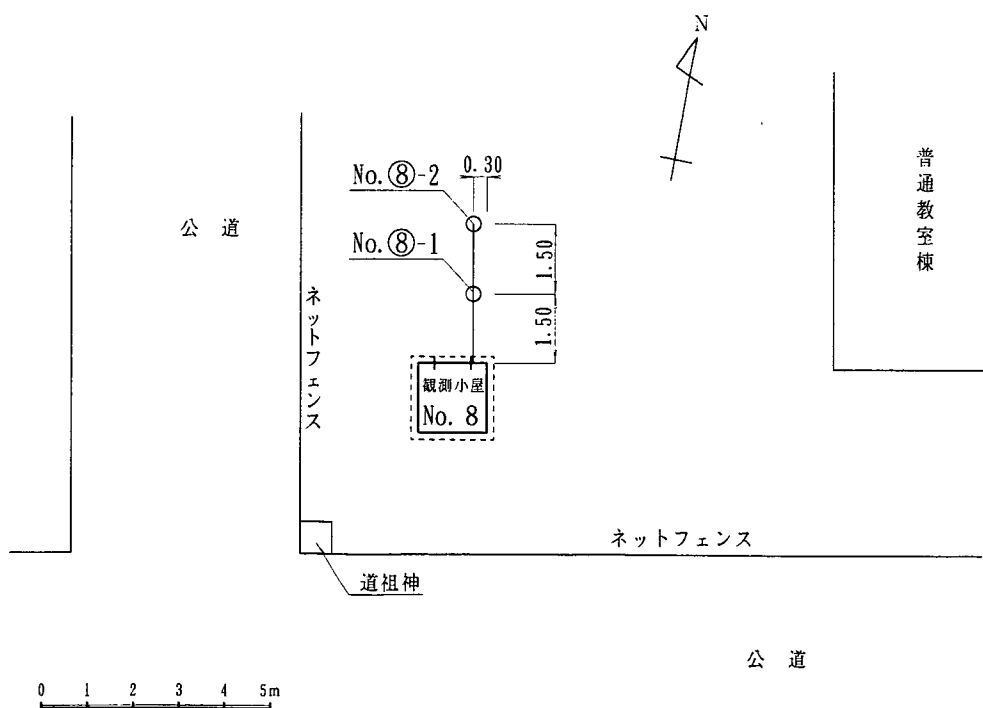


(f) 本山南小学校 (No.6 地点)

図 6.6 (3) 観測小屋周辺図

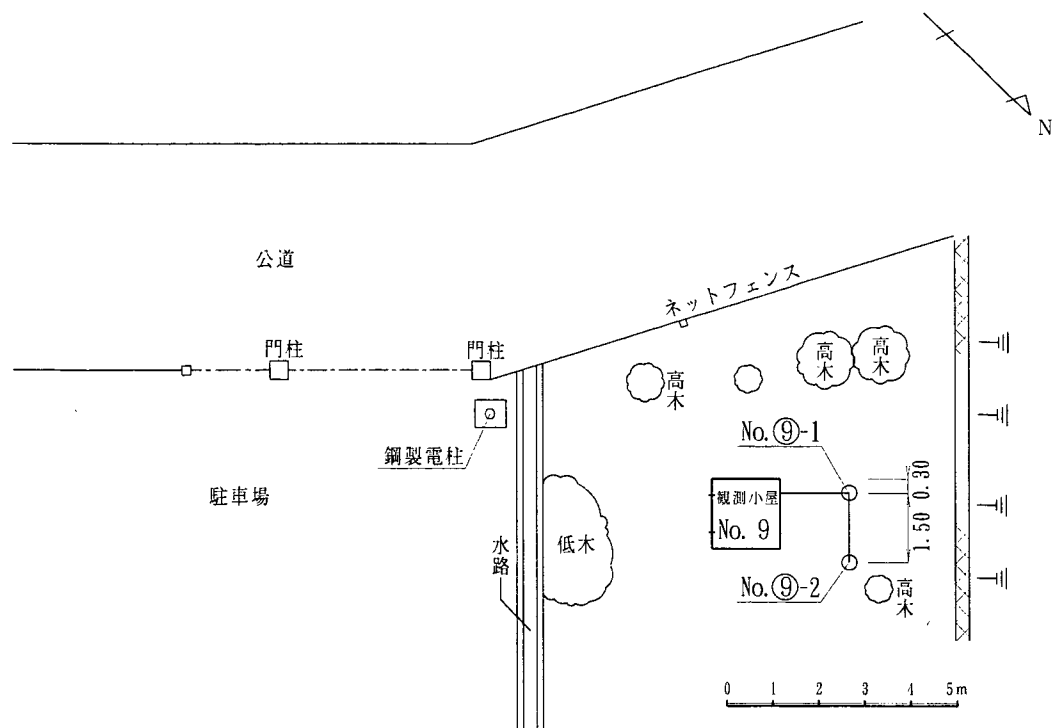


(g) 本山第三小学校 (No.7 地点)



(h) 本山第一小学校 (No.8 地点)

図 6.6 (4) 観測小屋周辺図



(i) 本山配水池 (No.9 地点)

図 6.6 (5) 観測小屋周辺図

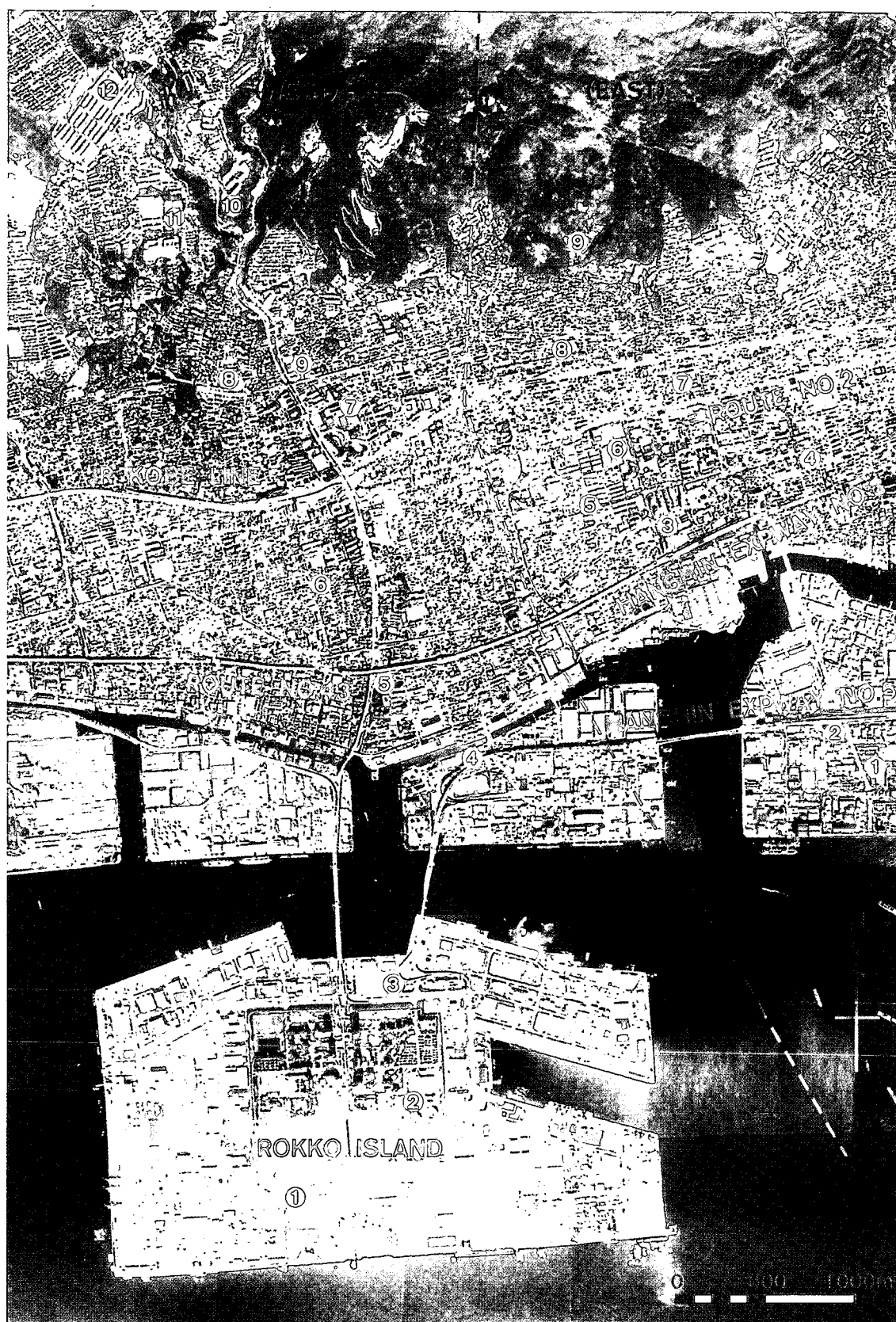


写真 6.1 神戸西・東地区高密度強震観測場

7. 小田原地区高密度強震観測場

7.1 地形・地盤条件^{22)~25)}

小田原地区における高密度強震観測場（図7.1及び写真7.1参照）は、小田原市東部の酒匂川から国府津にかけての足柄平野東南部に展開されている。足柄平野は酒匂川低地とも呼ばれ、酒匂川中・下流部に発達した沖積平野であり、北東側を大磯丘陵に、北側を丹沢山地に、西側を箱根火山にそれぞれ囲まれている。酒匂川は河床勾配が大きく、また、背後の丹沢山地からの土砂供給量が多いために、足柄平野は北西部を扇頂とする扇状地として発達している。さらに、低地中には中小の河川が流入しており、それぞれが小扇状地を形成しているため、複合扇状地の非常に複雑な地形を呈している。

本地区は、大磯丘陵と足柄平野との境界に位置し、大磯丘陵の西縁部に沿って国府津－松田断層があり、東側の大磯丘陵が隆起している。国府津－松田断層は、相模トラフの延長上に位置する活断層である。相模トラフはフィリピン海プレートが北米プレート（オホーツクプレート）に潜り込む境界であり、地震活動が活発なところである。断層東側の大磯丘陵では、基盤岩である新第三紀鮮新世～第四紀洪積世の足柄層群や洪積層が分布している。断層西側の足柄平野では、酒匂川の河川堆積物や箱根火山の火砕流堆積物が伏在している。これらの堆積層の厚さは酒匂川河口付近で80mに達すると推定されている。

小田原地区では、換振器の設置に伴って、No.1地点で深度73m、No.2地点で深度10m、No.3地点で深度30m、No.4地点で深度30m、No.5地点で深度51m、No.7地点で深度60m、No.8地点で深度90m、No.9地点で深度88m、No.10地点で深度90mの合計9本のボーリング調査を行った。

これらのボーリング調査結果は図7.2に示すとおりである。また、今回のボーリング調査結果及び既存のボーリング資料より、小田原地区の代表断面（図7.1のA-A'断面）の地盤構成を示すと、図7.3のようになる。No.1、No.7及びNo.9地点では表層2m～5mが玉石混じり埋土で、深度55m～65m付近までは砂質土、シルトから構成された沖積層が続き、それ以深は洪積の砂質土、粘性土、礫質土の互層となっている。なお、No.9地点では深度83mで基盤岩が確認された。No.4地点は国府津－松田断層が走っていると推定される位置にあり、表層から26mまでが洪積世の礫質土で、それ以深は基盤岩となっている。No.4地点から酒匂川に向かうNo.5及びNo.10地点では、それぞれ、47m及び67m以深で洪積の砂礫層が確認されている。No.8地点では表層5mが軟弱なローム層、それ以深は礫質土、砂質土、粘性土から構成された洪積層と考えられる。

7.2 観測網

小田原地区における高密度強震観測施設の配置は図7.1に示したとおりである。本地区では、国道1号に沿ったNo.3－No.2－No.1－No.7－No.8－No.9地点の測線と、No.4－No.5－No.10地点の測線にNo.6及びNo.11地点を加えた合計11箇所に計36台の強震計を設置した。本地区では、他地区に比較して種々の深度に多数の換振器を設置している。このうちNo.2地点及びNo.3地点では、それぞれ、深度10m及び深度30mの基盤層中に換振器を設置している。また、No.4地点においては深度30mの基盤岩中に換振器を設置してい

る。小田原地区のそれぞれの観測地点間距離は、約300m～1100mである。

小田原地区は、相模トラフの延長上に位置し地震活動が活発な地域であり、また、南北に国府津－松田断層が走っている。本地区では、国府津－松田断層を境にして深度が異なる基盤層をはじめ、種々の深度における地震動特性の把握を主たる目的としている。

7.3 観測施設の設置個所

強震計を設置したのは、以下に示す11箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図7.4に示す。

- No.1地点 : 建設省横浜国道工事事務所小田原出張所の駐車場入口左手に換振器を設置し、庁舎内無線機室に観測装置を設置。
- No.2地点 : 前羽公園入口正面の花壇の中に設置。
- No.3地点 : 小田原市立前羽小学校のプール機械室前にある防災倉庫横に設置。
- No.4地点 : (株)富士電気能力開発センター経営研修所敷地内の北側丘陵部中腹斜面に設置。
- No.5地点 : 小田原市立国府津中学校の校庭北東端に設置。
- No.6地点 : 小田原市立国府津小学校の学級花壇の横に設置。
- No.7地点 : 森戸公園の東側入口近くに設置。
- No.8地点 : 小田原市立酒匂小学校の校舎北側に設置。
- No.9地点 : 小田原市立酒匂中学校の校庭南西端の体育館倉庫横に設置。
- No.10地点 : 神奈川県立西湘高等学校の変電施設北側に設置。
- No.11地点 : 小田原市立下府中小学校の体育用具倉庫北側に設置。

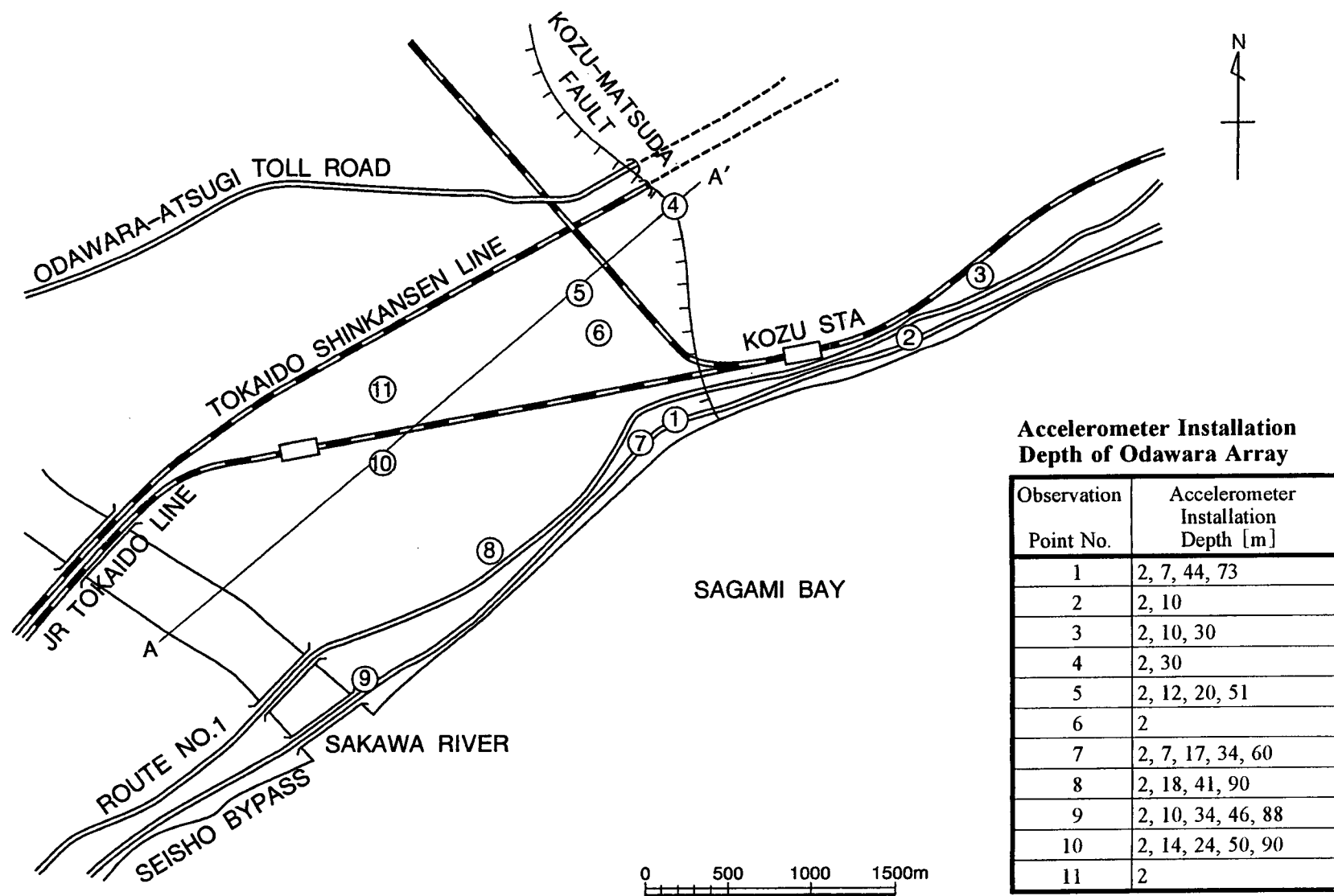
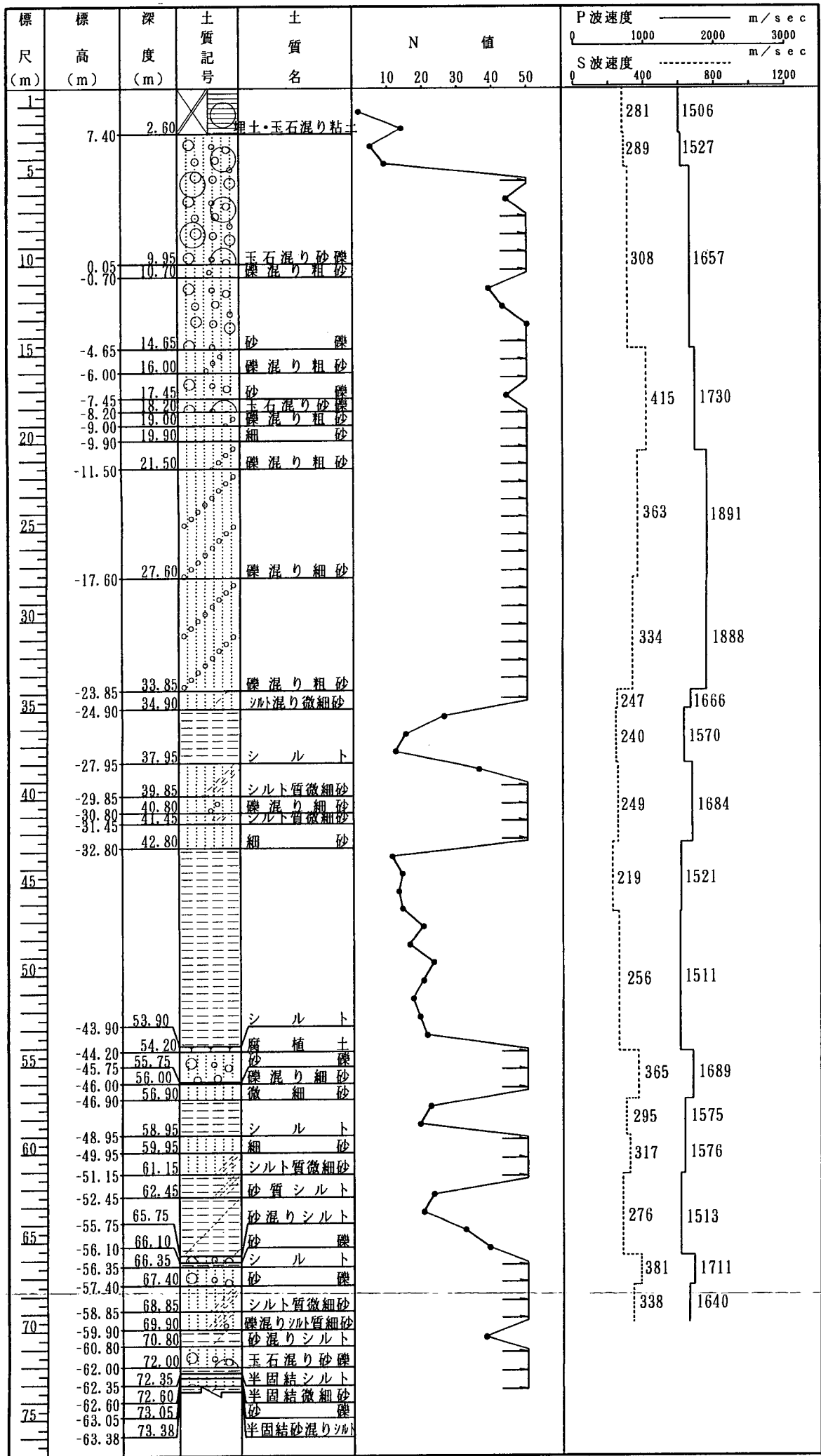
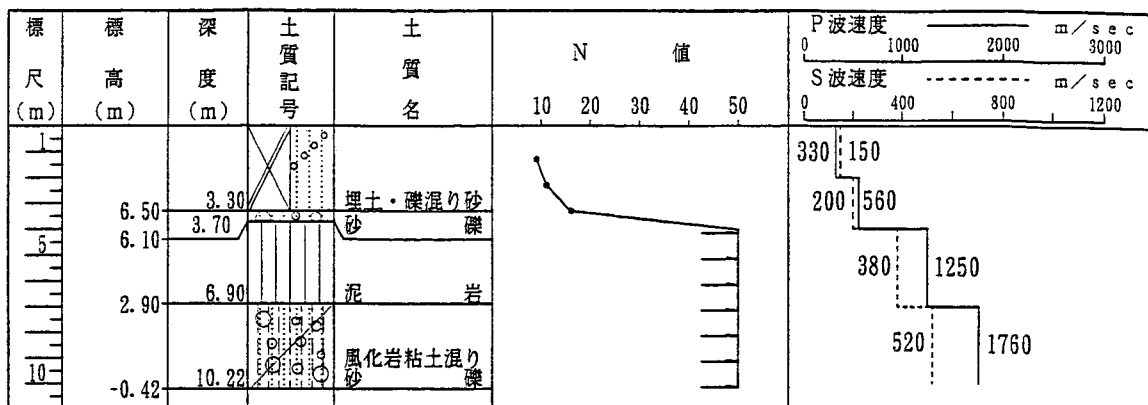


図 7.1 小田原地区高密度強震観測場

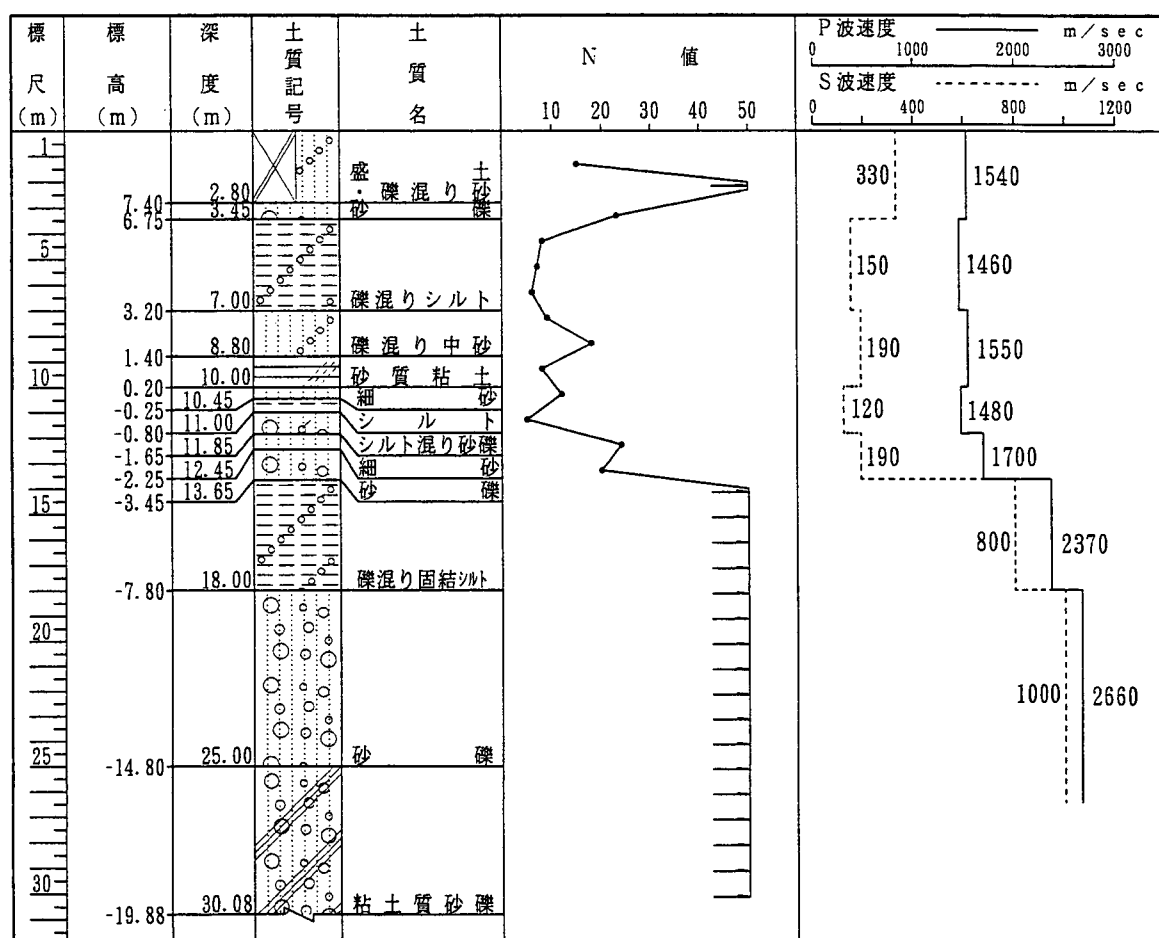


(a) 横浜国道工事事務所小田原出張所 (No.1 地点)

図 7.2 (1) 総合土質柱状図

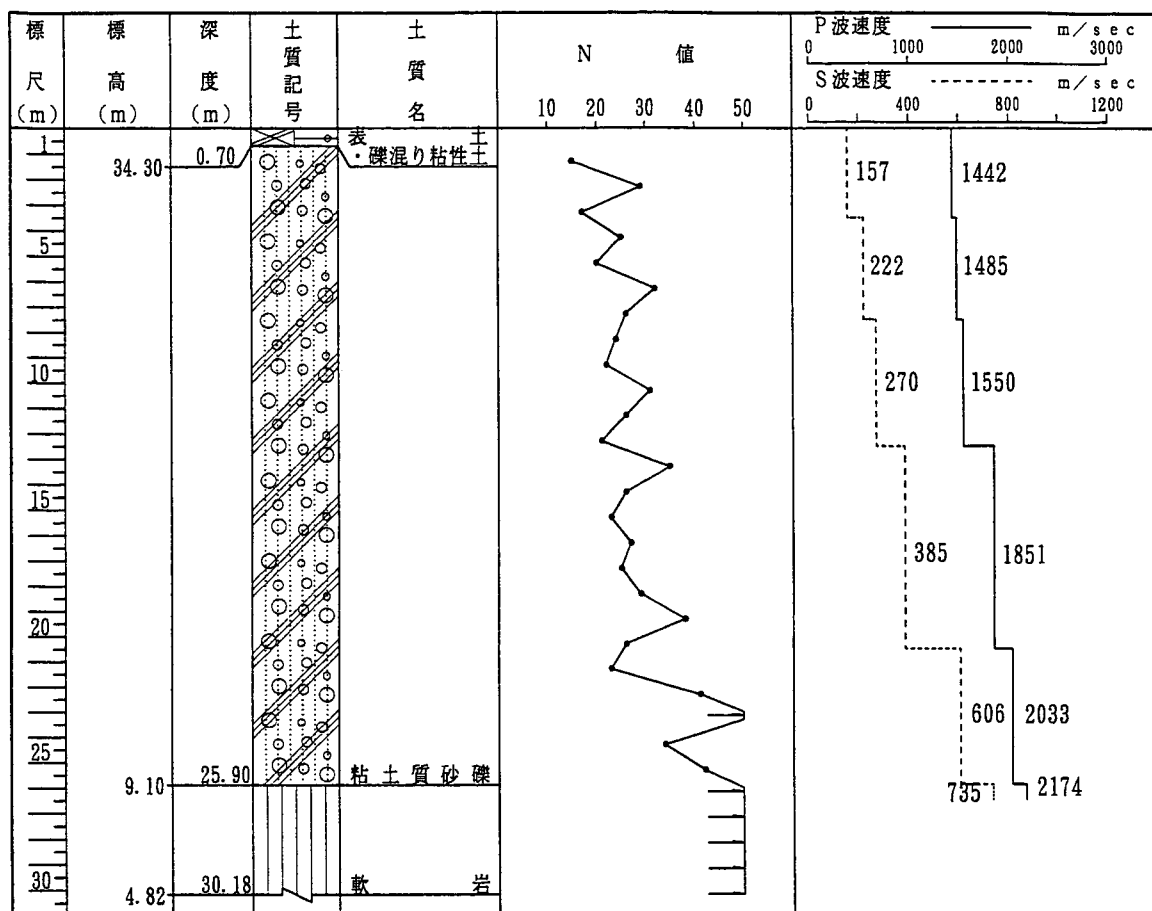


(b) 前羽公園 (No.2 地点)



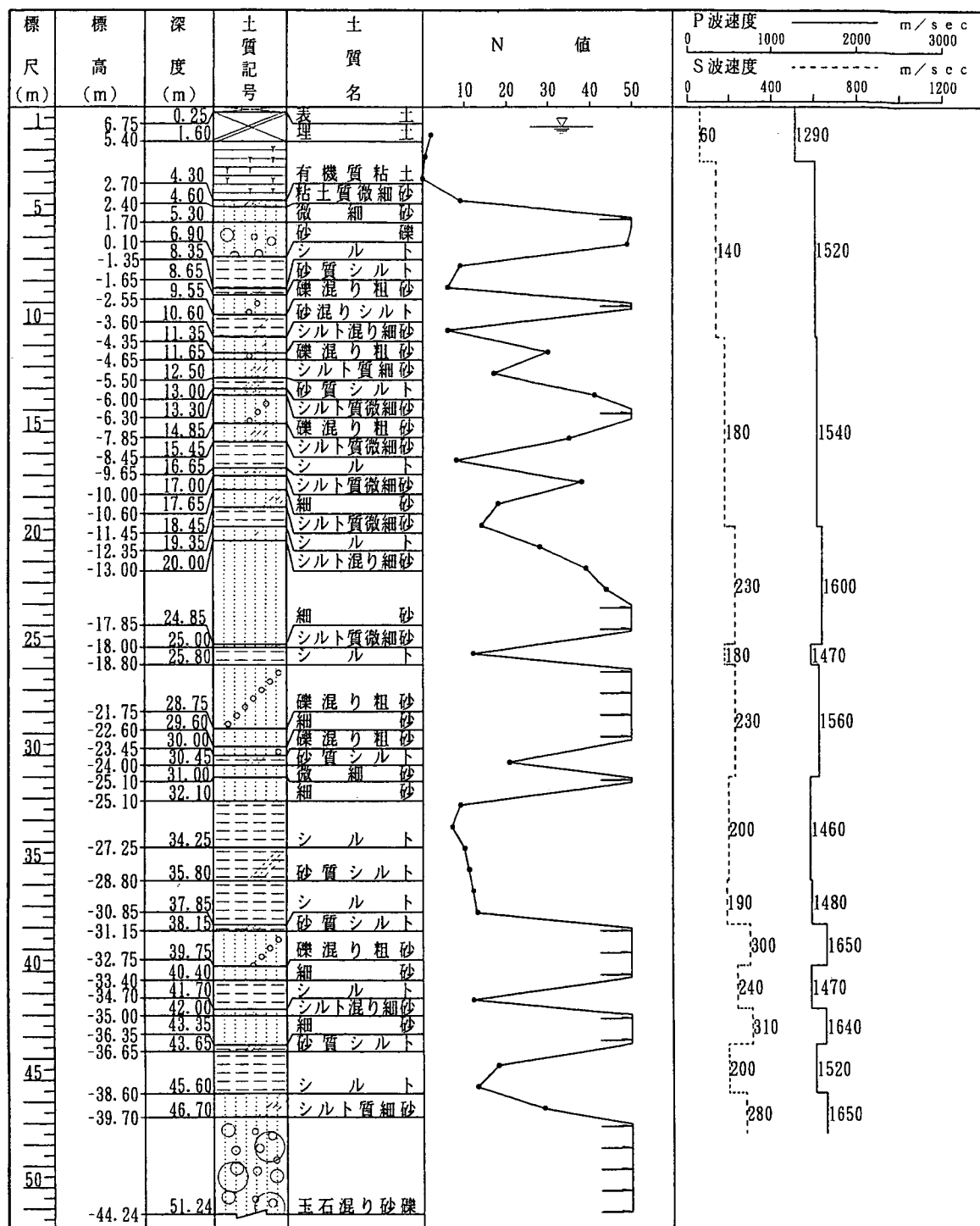
(c) 前羽小学校 (No.3 地点)

図 7.2 (2) 総合土質柱状図



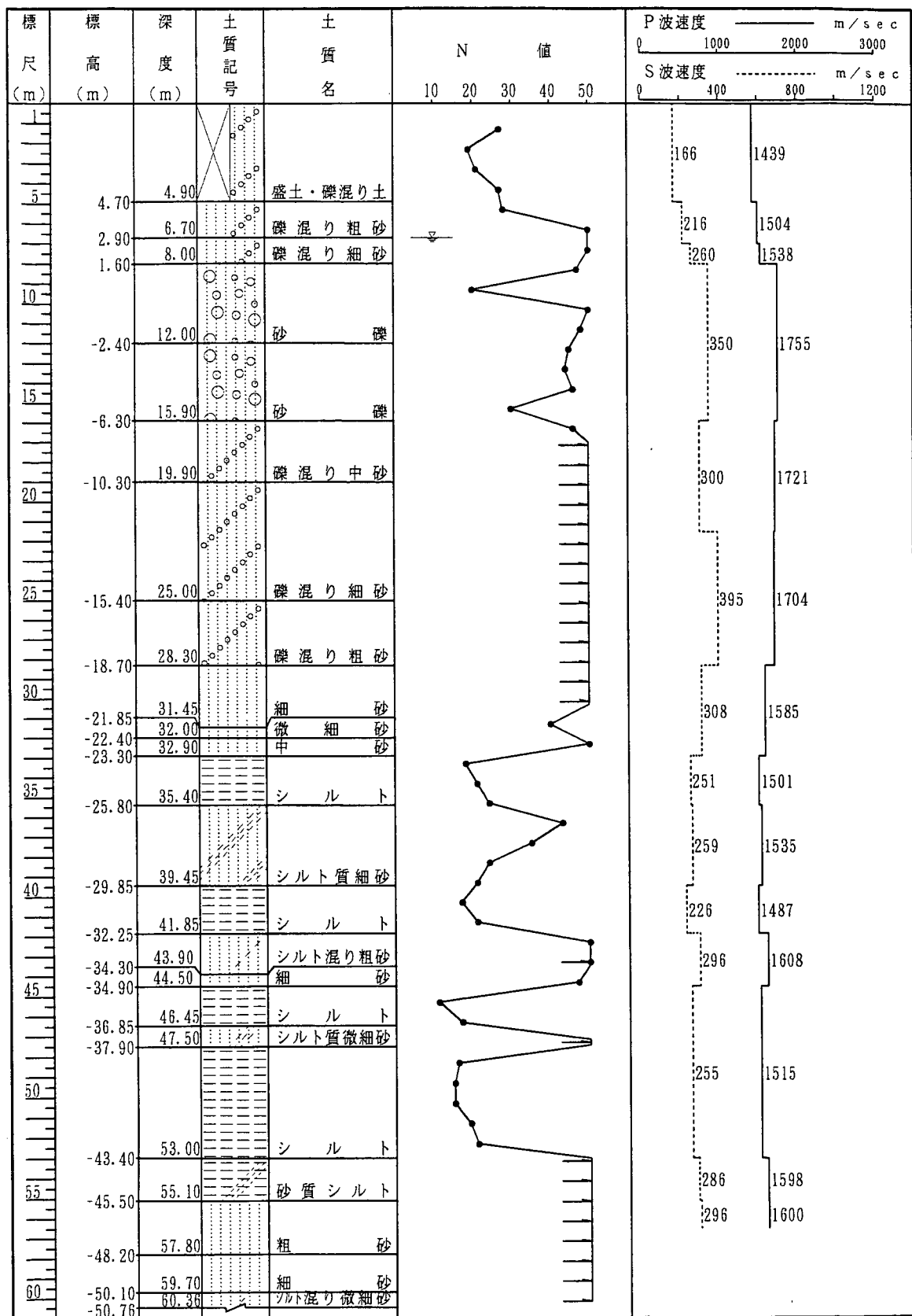
(d) 富士電機能力開発センター経営研修所 (No.4 地点)

図 7.2 (3) 総合土質柱状図



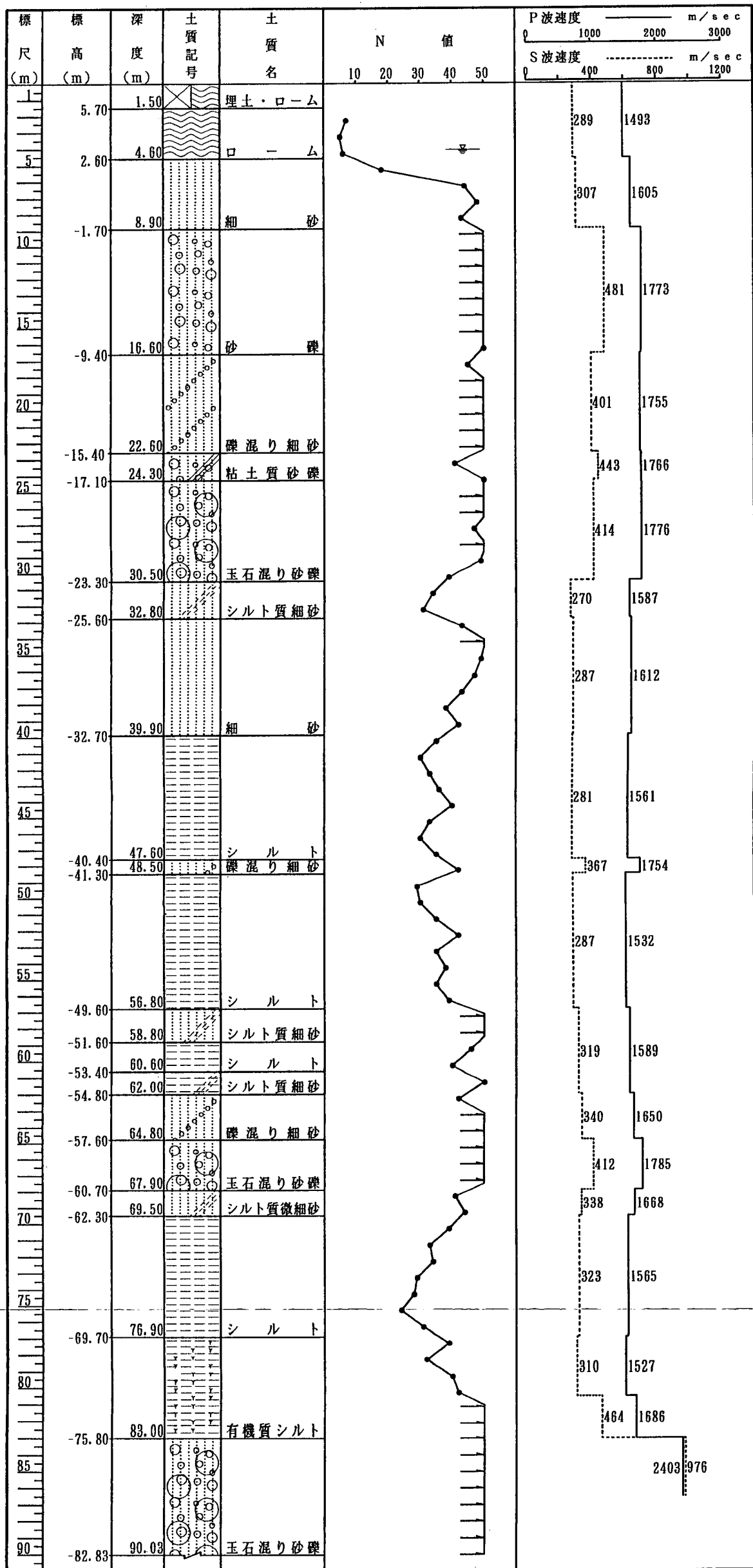
(e) 国府津中学校 (No.5 地点)

図 7.2 (4) 総合土質柱状図



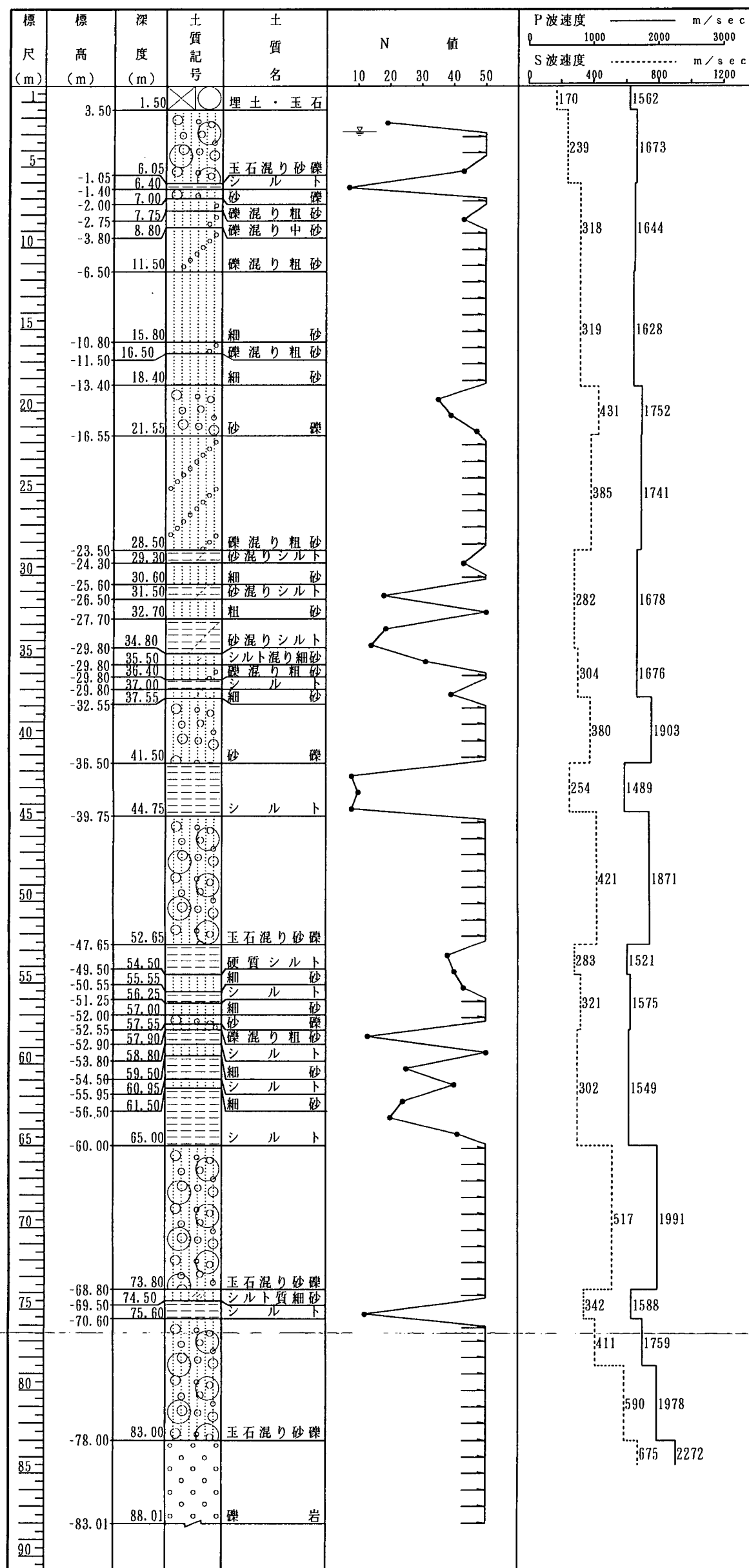
(f) 森戸公園 (No.7 地点)

図 7.2 (5) 総合土質柱状図



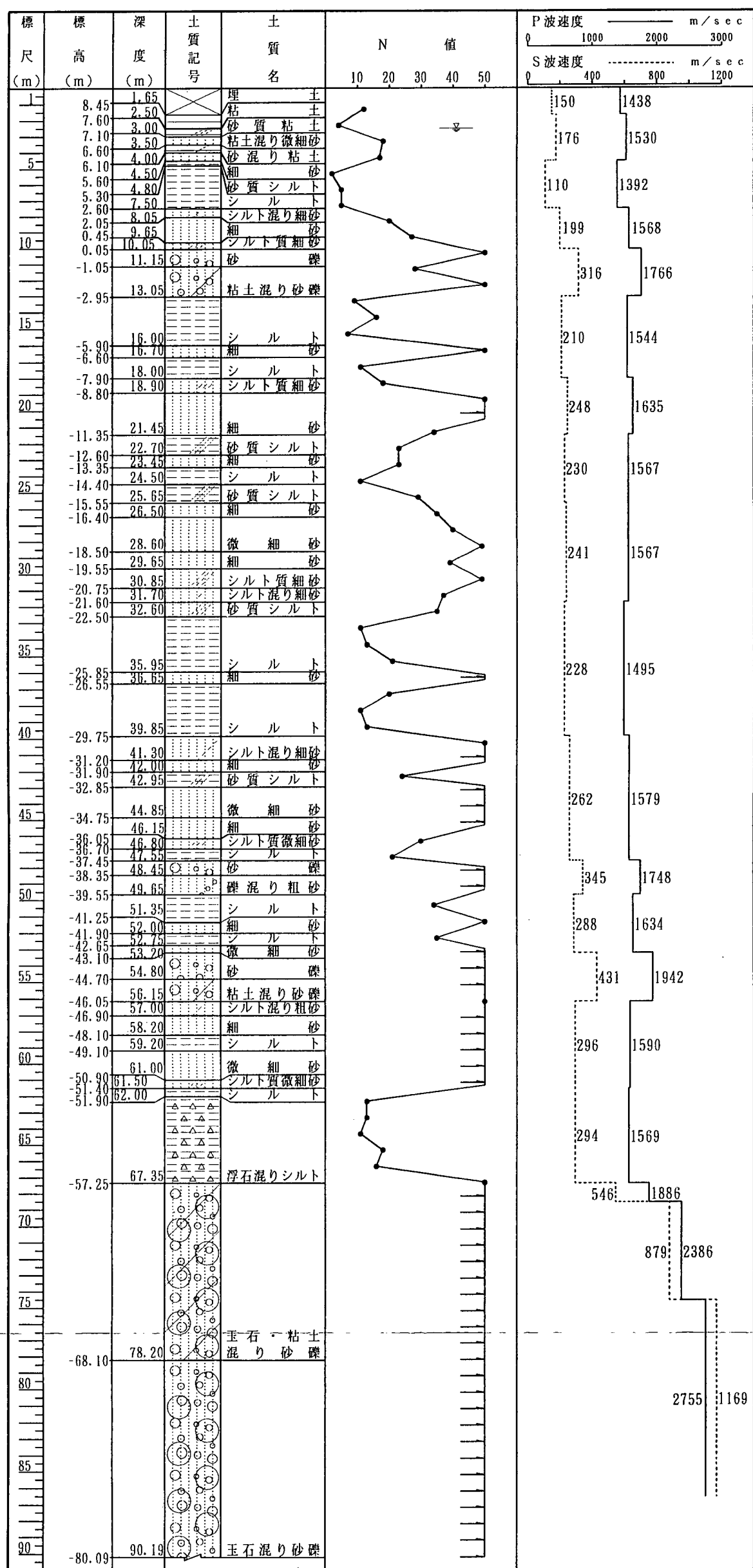
(g) 酒匂小学校 (No.8 地点)

図 7.2 (6) 総合土質柱状図



(h) 酒匂中学校 (No.9 地点)

図 7.2 (7) 総合土質柱状図



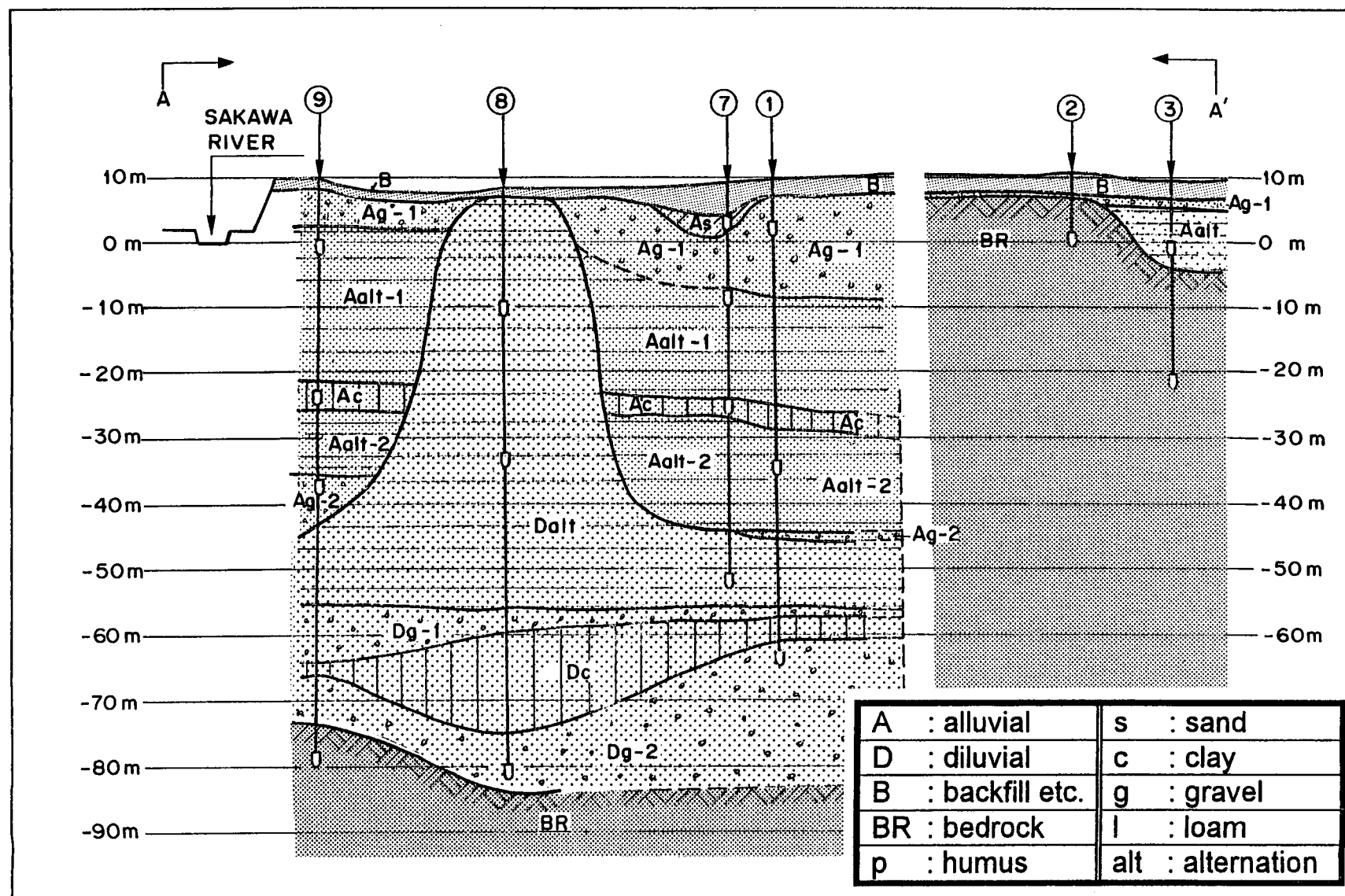
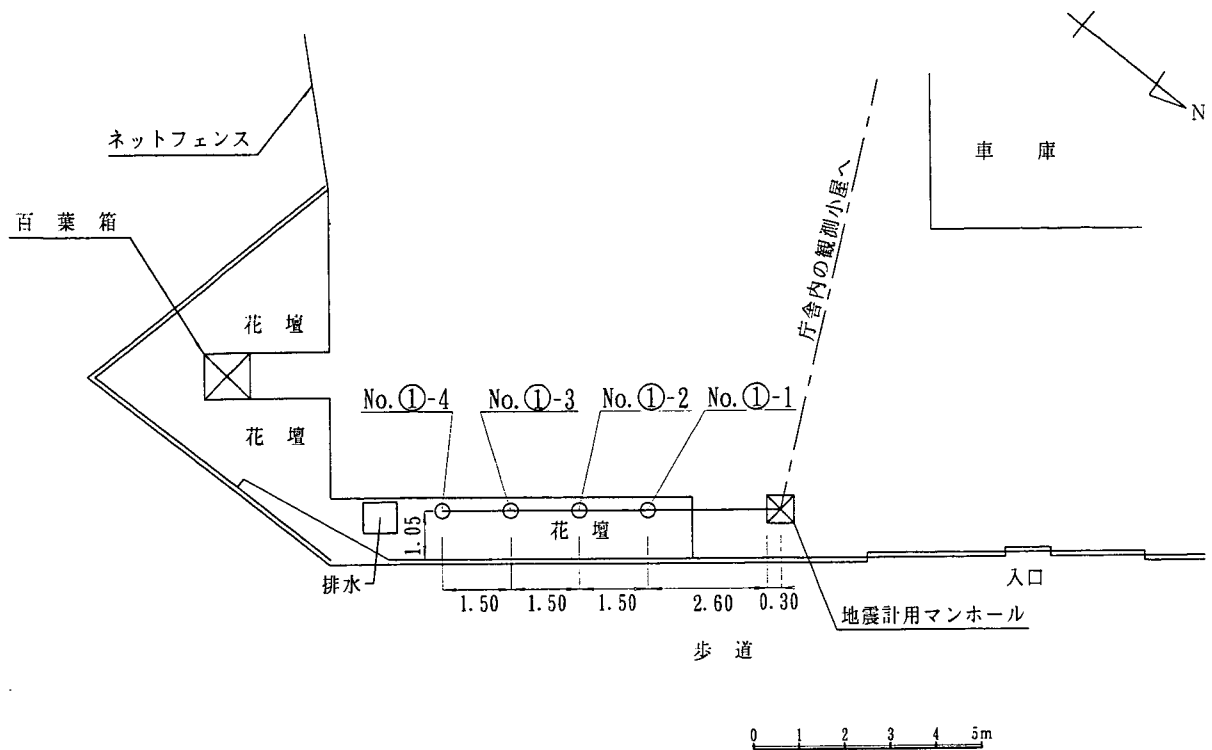
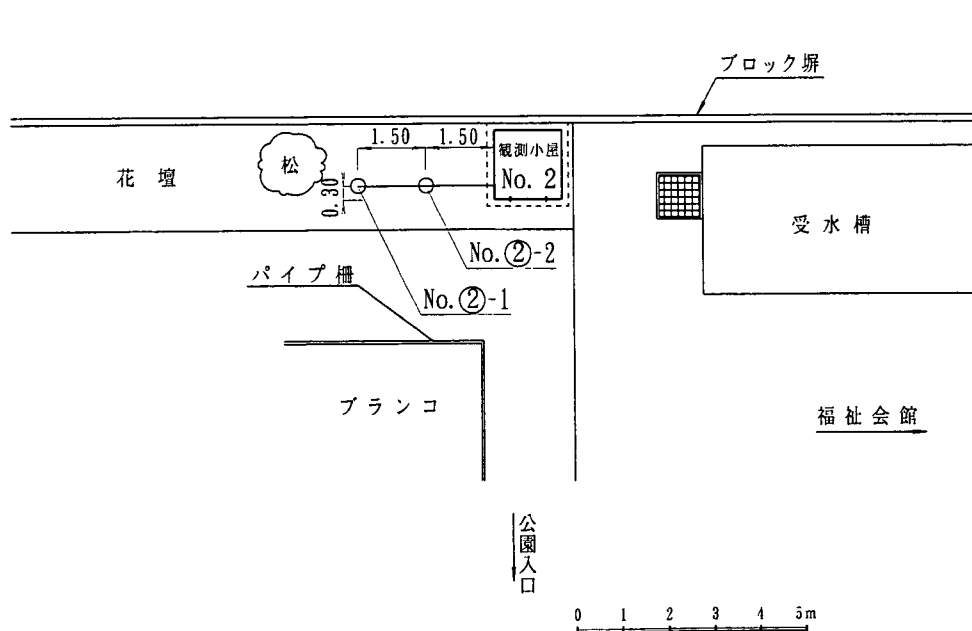


図 7.3 小田原地区代表断面の地盤構成

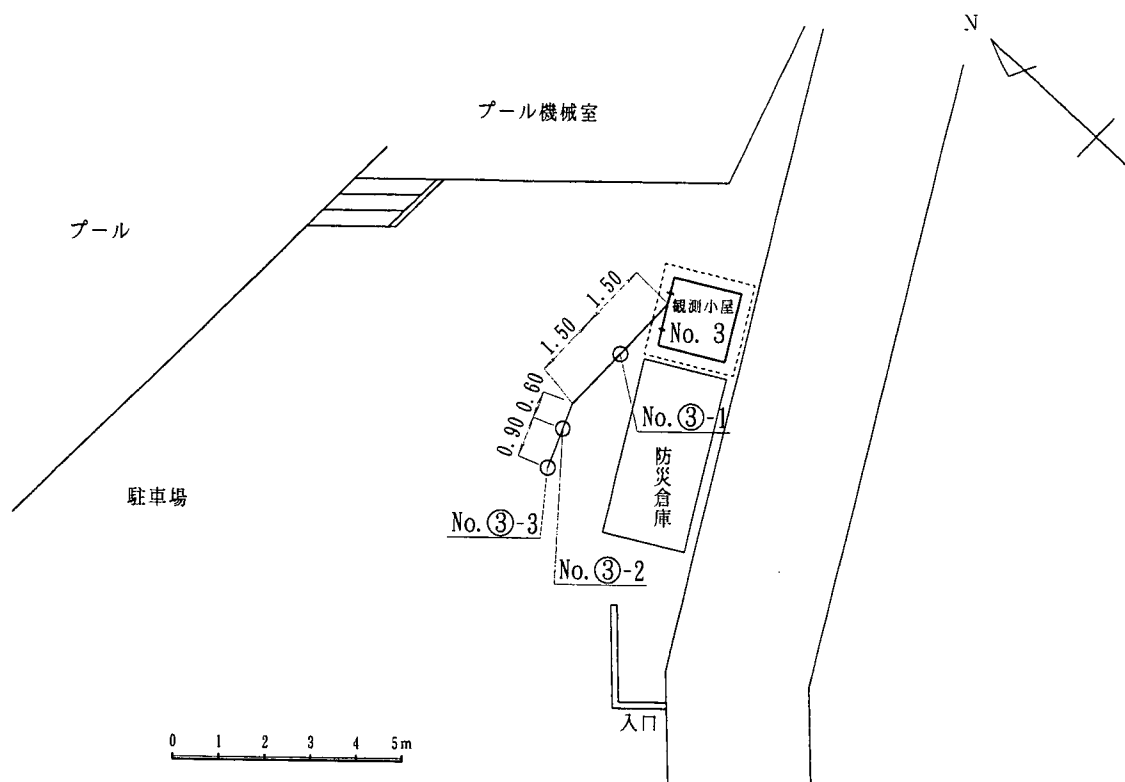


(a) 横浜国道工事事務所小田原出張所 (No.1 地点)

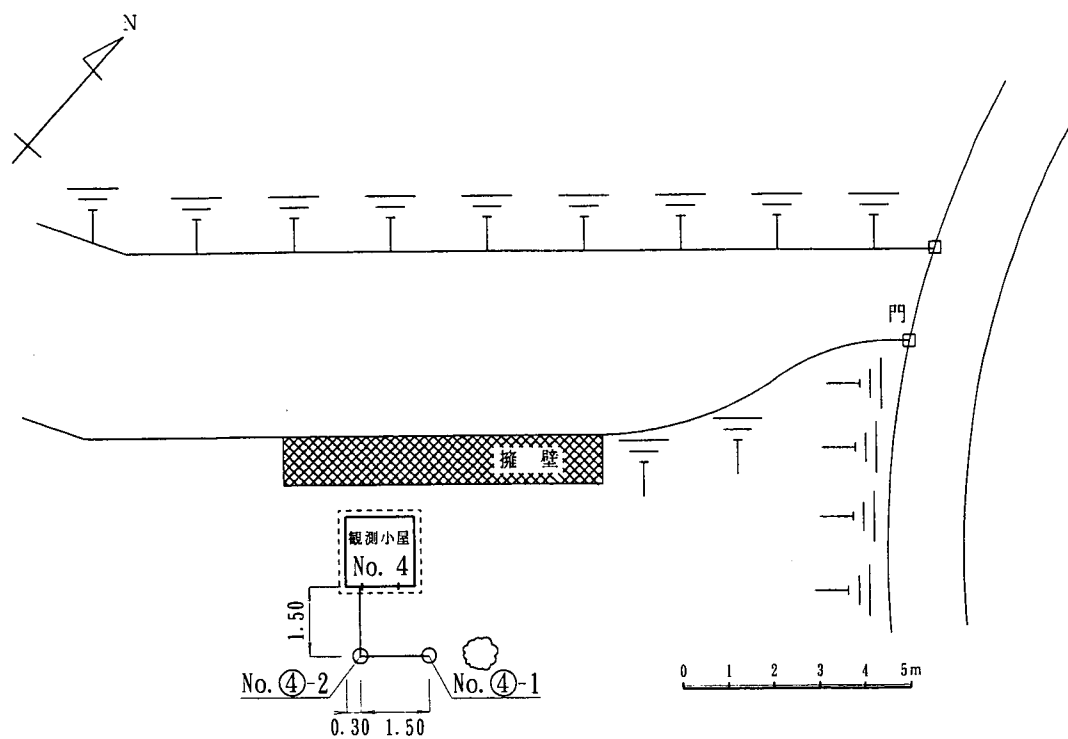


(b) 前羽公園 (No.2 地点)

図 7.4 (1) 観測小屋周辺図

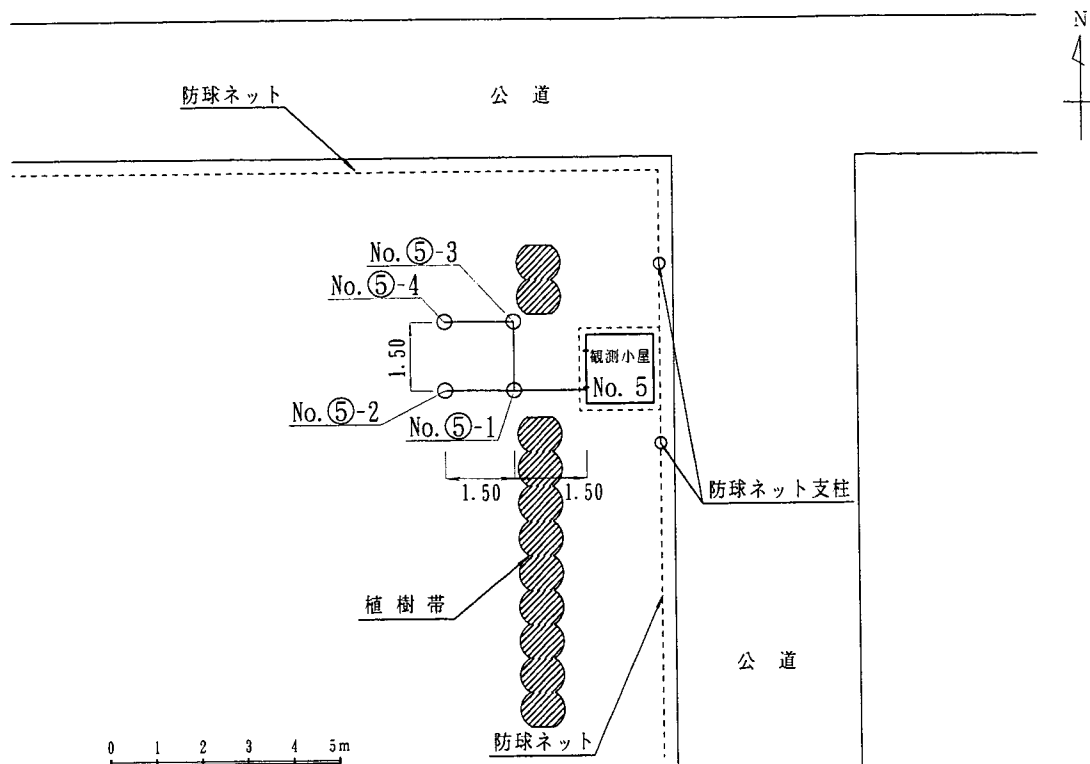


(c) 前羽小学校 (No.3 地点)

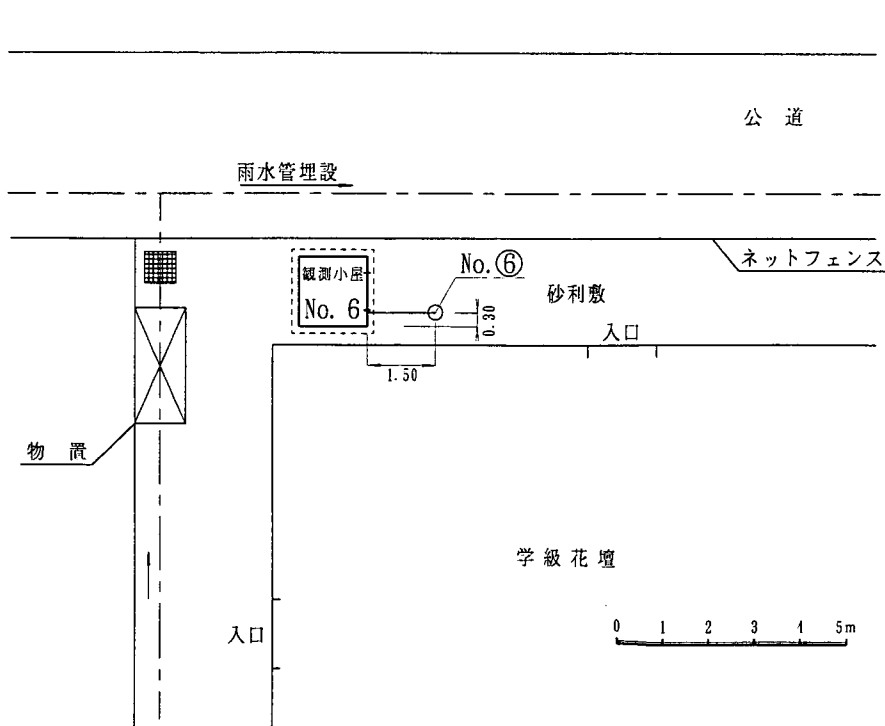


(d) 富士電機能力開発センター経営研修所 (No.4 地点)

図 7.4 (2) 観測小屋周辺図

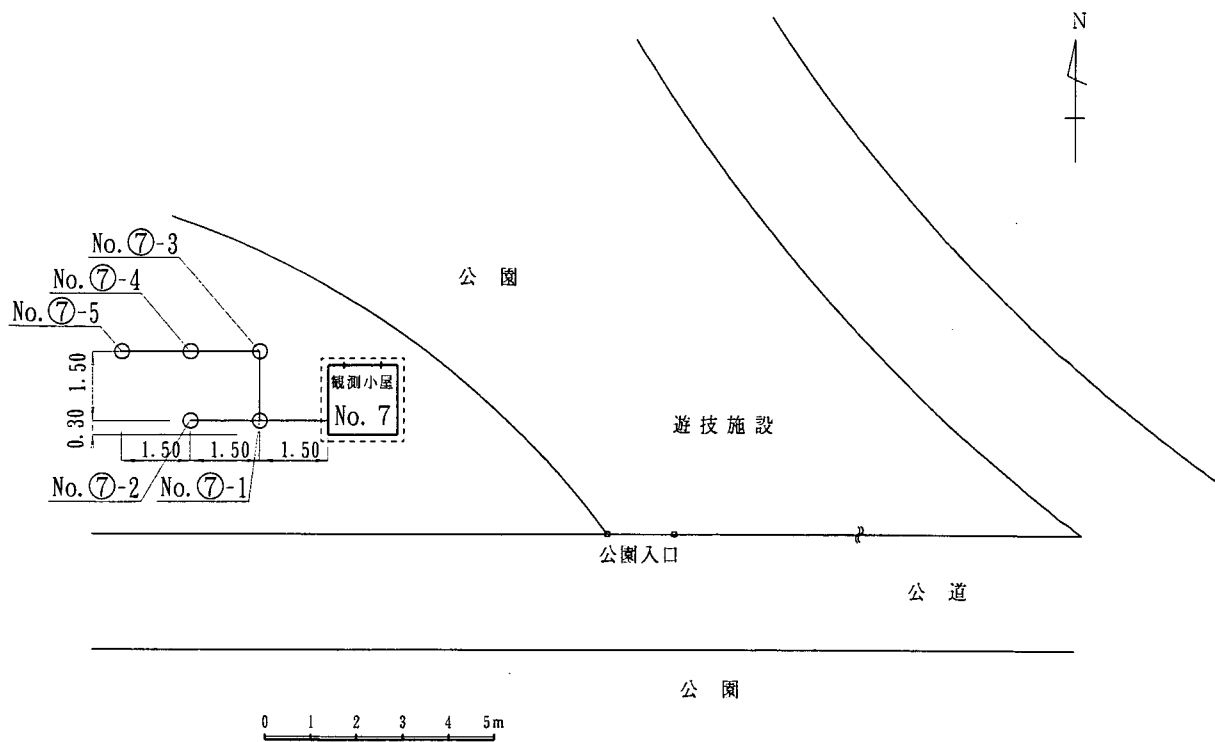


(e) 国府津中学校 (No.5 地点)

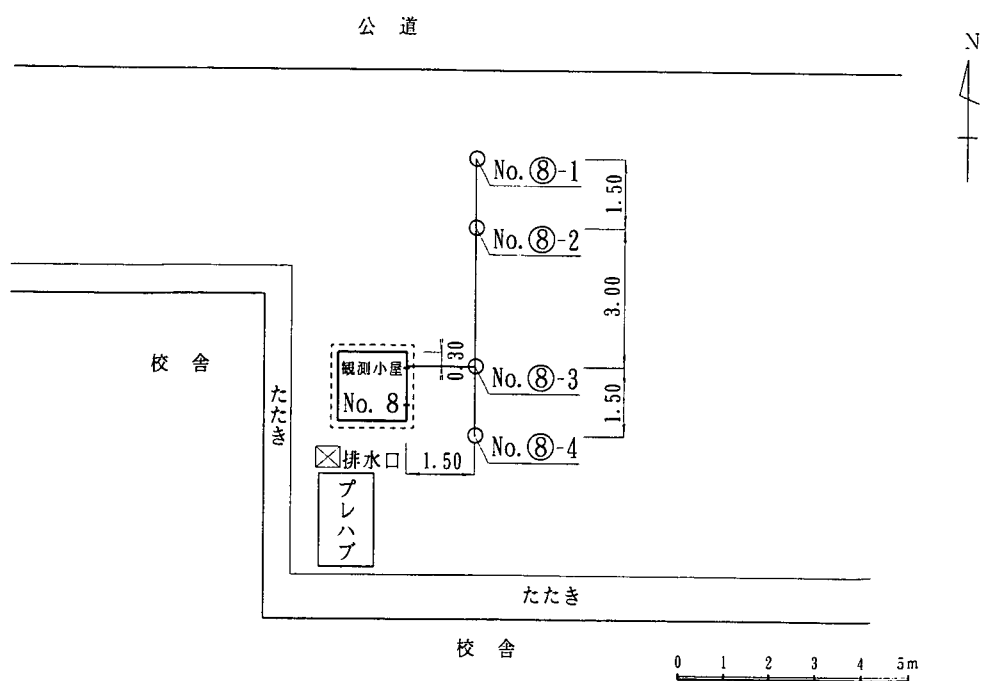


(f) 国府津小学校 (No.6 地点)

図 7.4 (3) 観測小屋周辺図

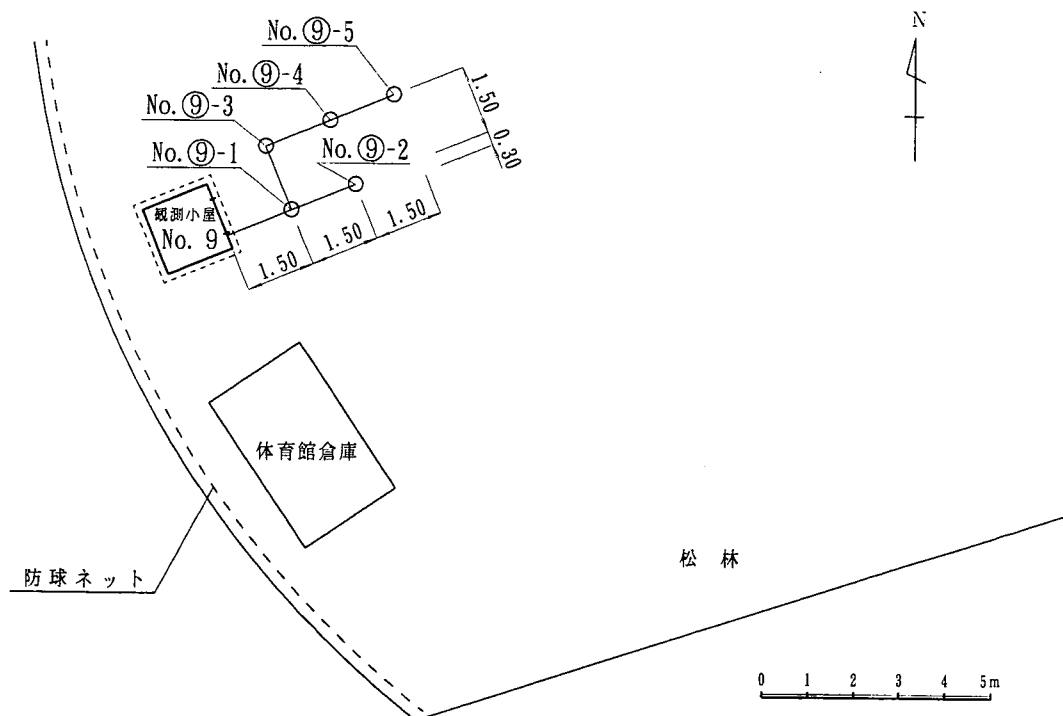


(g) 森戸公園 (No.7 地点)

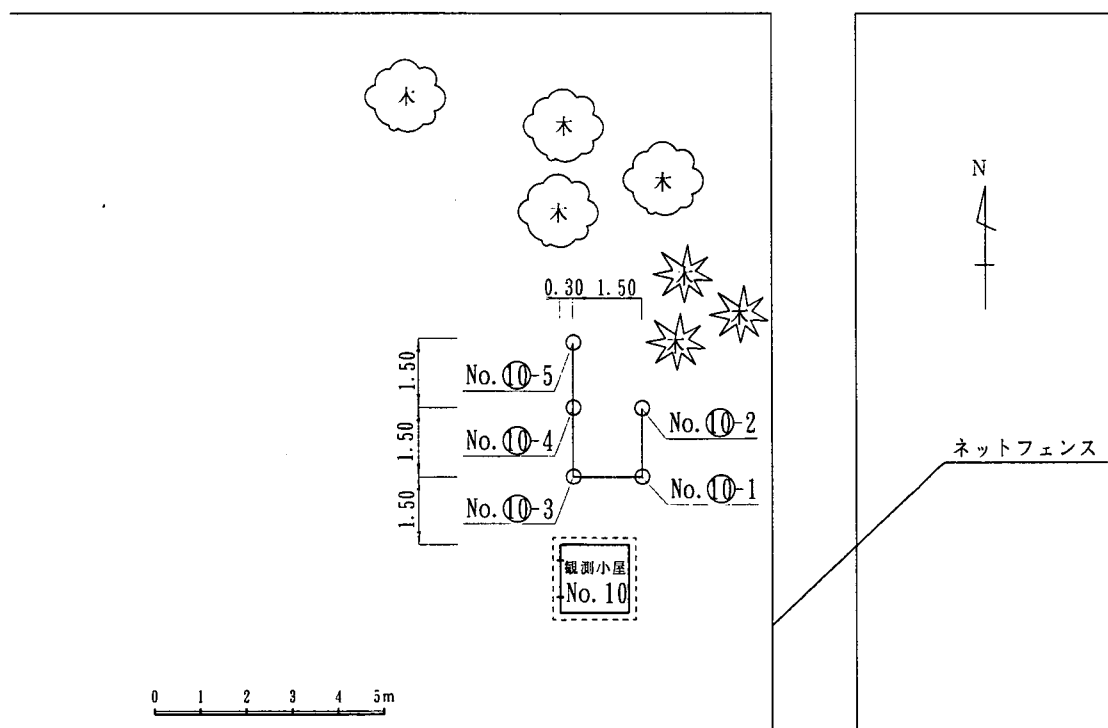


(h) 酒匂小学校 (No.8 地点)

図 7.4 (4) 観測小屋周辺図

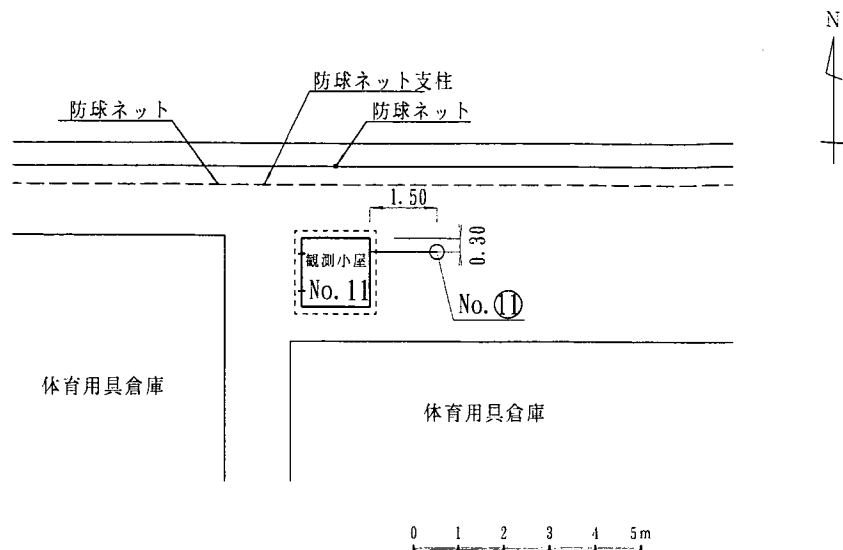


(i) 酒匂中学校 (No.9 地点)



(j) 西湘高等学校 (No.10 地点)

図 7.4 (5) 観測小屋周辺図



(k) 下府中小学校 (No.11 地点)

図 7.4 (6) 観測小屋周辺図

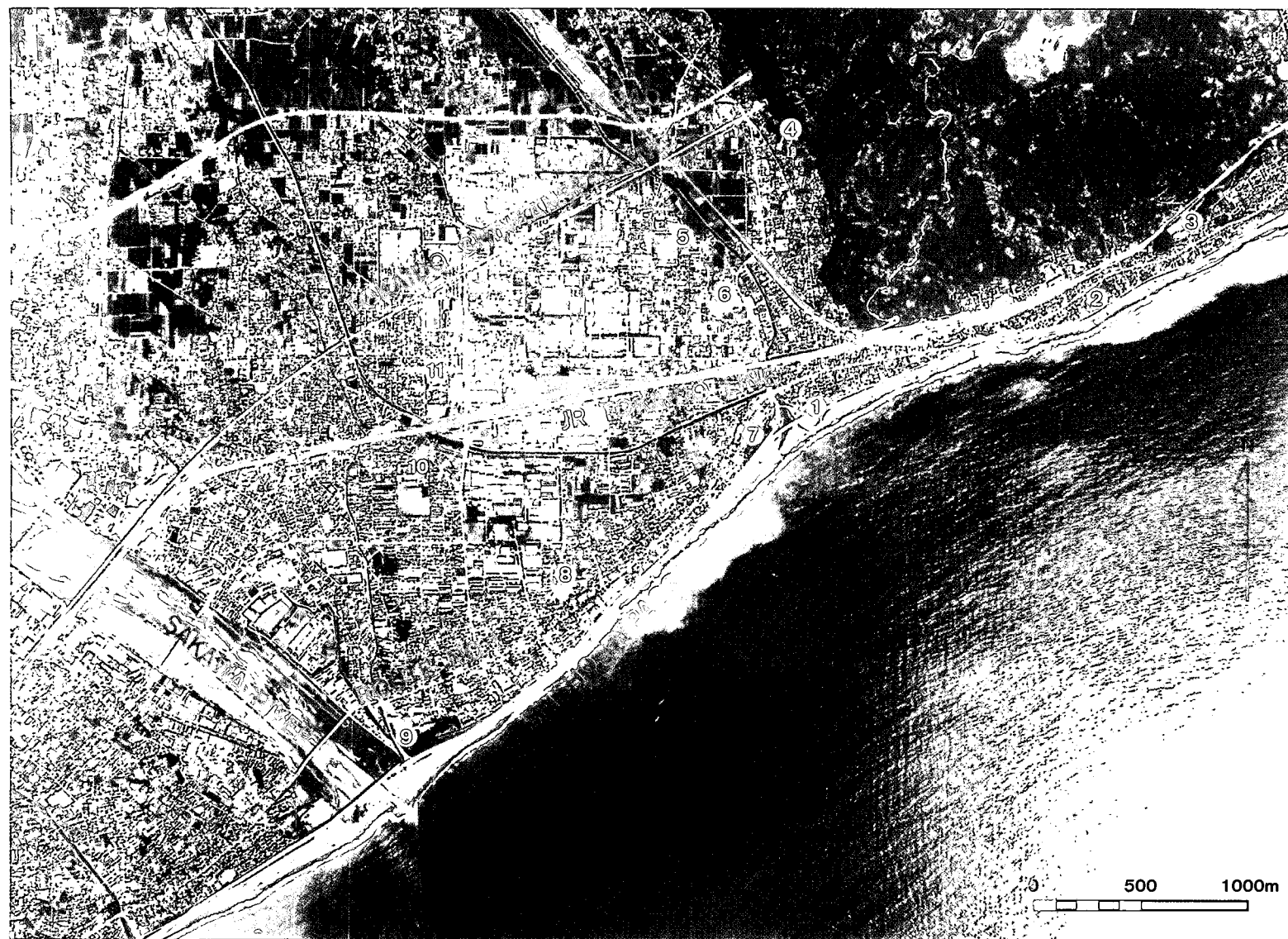


写真 7.1 小田原地区高密度強震観測場

8. 幕張・習志野地区高密度強震観測場

8.1 地形・地盤条件^{24), 26) ~28)}

幕張・習志野地区における高密度強震観測場（図8.1及び写真8.1参照）は、千葉市花見川区の西部から習志野市東部に至る地域に展開されている。本地区は、北側の台地部分と南側（海側）の低地部分に大別される。なお、海側低地部のほとんどが埋立地となっている。幕張から習志野市の北東部にかけては、下総台地と呼ばれる台地が広がっている。台地部は低地面に対して10m程度の比高を有している。

本地区の地質は地形に相応して、台地部と低地部の地質に大別することができる。台地部では本地区の基盤層とされる下総層群の上部を立川・武蔵野ローム層（洪積世）が覆っているのに対して、低地部では基盤の上位に七号地層（洪積世）や有楽町層（沖積世）が厚く堆積し、さらに埋立地ではローム質粘土主体の埋立層が分布している。

幕張・習志野地区では、換振器の設置に伴って、No.1地点で深度22m、No.3地点で深度30m、No.5地点で深度30m、No.8地点で深度100m、No.10地点で深度22m、No.11地点で深度44mの合計6本のボーリング調査を行った。

これらのボーリング調査結果は図8.2に示すとおりである。また、今回のボーリング調査結果及び既存のボーリング資料より、幕張・習志野地区の代表断面（図8.1のA-A'断面）の地盤構成を示すと、図8.3のようになる。No.1地点では表層4mまでが砂主体の埋土で、続いて深度13mまでが軟質な有楽町層、それ以深は洪積の砂層となっている。No.3及びNo.5地点では表層1mがローム主体の埋土で覆われ、続いて深度4～7mまでが関東ローム層、それ以深は洪積の砂層となっている。No.8及びNo.10地点は埋立地に位置し、表層5～6mがローム質粘土及び砂の埋立土、続いて深度12～13mまでが細砂を主体とした有楽町層、それ以深は硬質な洪積砂層となっている。No.11地点も埋立地に位置し、表層8mがローム主体の埋土で覆われ、続いて深度33mまでが砂とシルトの互層から成る有楽町層、それ以深は硬質な洪積砂層である。

8.2 観測網

幕張・習志野地区における高密度強震観測施設の配置は図8.1に示したとおりである。本地区では、軟質な有楽町層が堆積している習志野市東部から東京湾岸の埋立地にかけてNo.1-No.2-No.3-No.4-No.5-No.6-No.8-No.10地点の測線を中心に、No.7、No.9及びNo.11地点を加えた合計11箇所に計26台の強震計を設置した。本地区では、これらのうちNo.8及びNo.11地点の深度30～40m以深で工学的な基盤層と見なせるN値 ≥ 50 の砂層が確認されており、No.8地点では、深度30m及び100m、No.11地点では深度45mの位置に換振器を設置した。幕張・習志野地区のそれぞれの観測地点間距離は、No.11地点を除いて、約100～600mである。

幕張・習志野地区は、台地から東京湾岸の中でも比較的新しい埋立地までの種々の地盤条件を有する観測地点を含み、地盤条件の違いによる地震動特性の差異の観測を目的とするものである。

8.3 観測施設の設置箇所

強震計を設置したのは、以下に示す11箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図8.4に示す。

No.1地点 : 習志野市立第六中学校の校庭北西端に設置。

No.2地点 : 習志野市立屋敷小学校の校庭南東端に設置。

No.3地点 : 幕張台公園北側に設置。

No.4地点 : 千葉市立幕張本郷中学校敷地内の北端に設置。

No.5地点 : 一本松公園南側の貯水槽近傍に設置。

No.6地点 : 千葉市立幕張西中学校敷地内の南東端に設置。

No.7地点 : 幕張西第三公園東側の公道沿いに設置。

No.8地点 : 日本道路公団総合研修所のプール西側に設置。

No.9地点 : 石油公団石油開発技術センター南側の危険物倉庫横に設置。

No.10地点 : 浜田公園北東端の植込み内に設置。

No.11地点 : 花見川緑地の公道に面する植込み内に設置。

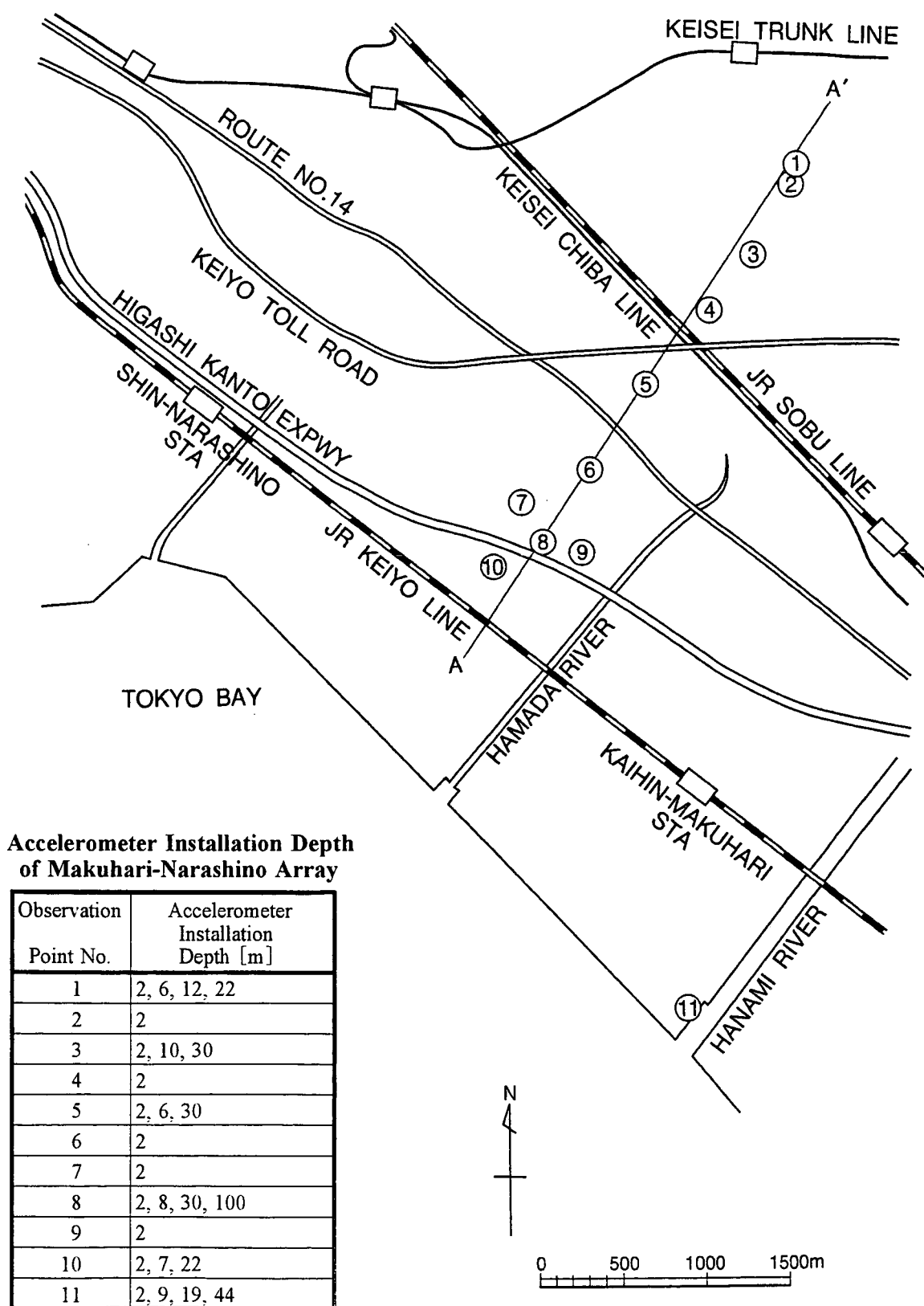
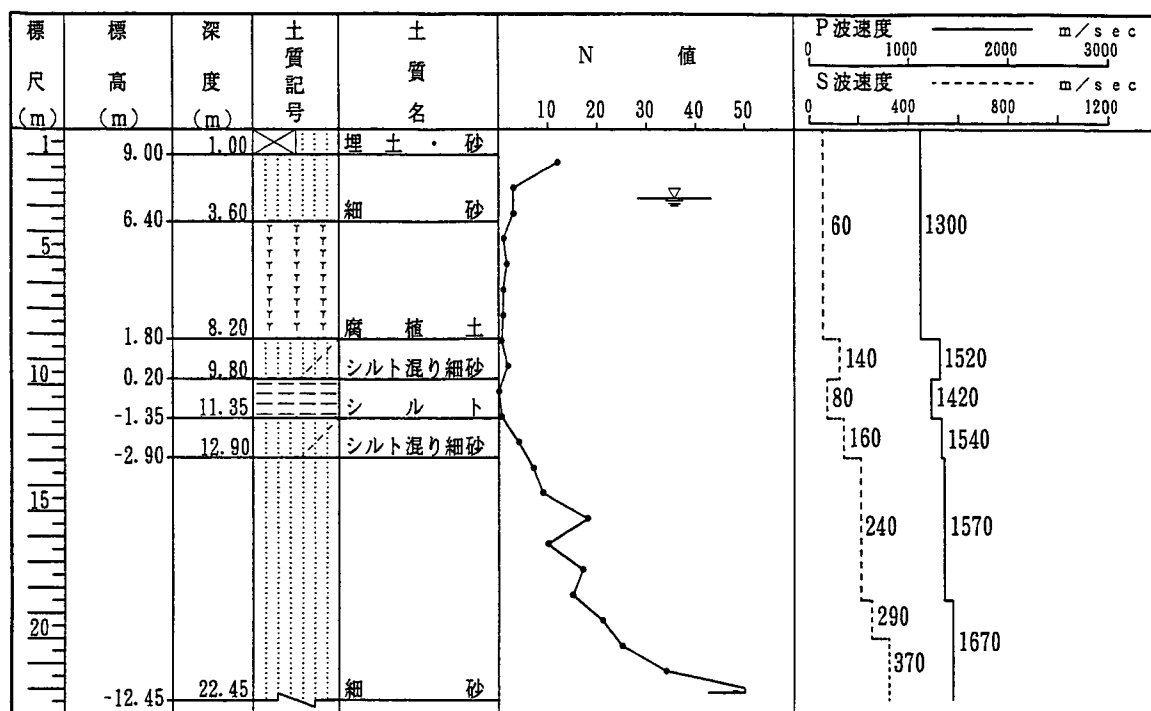
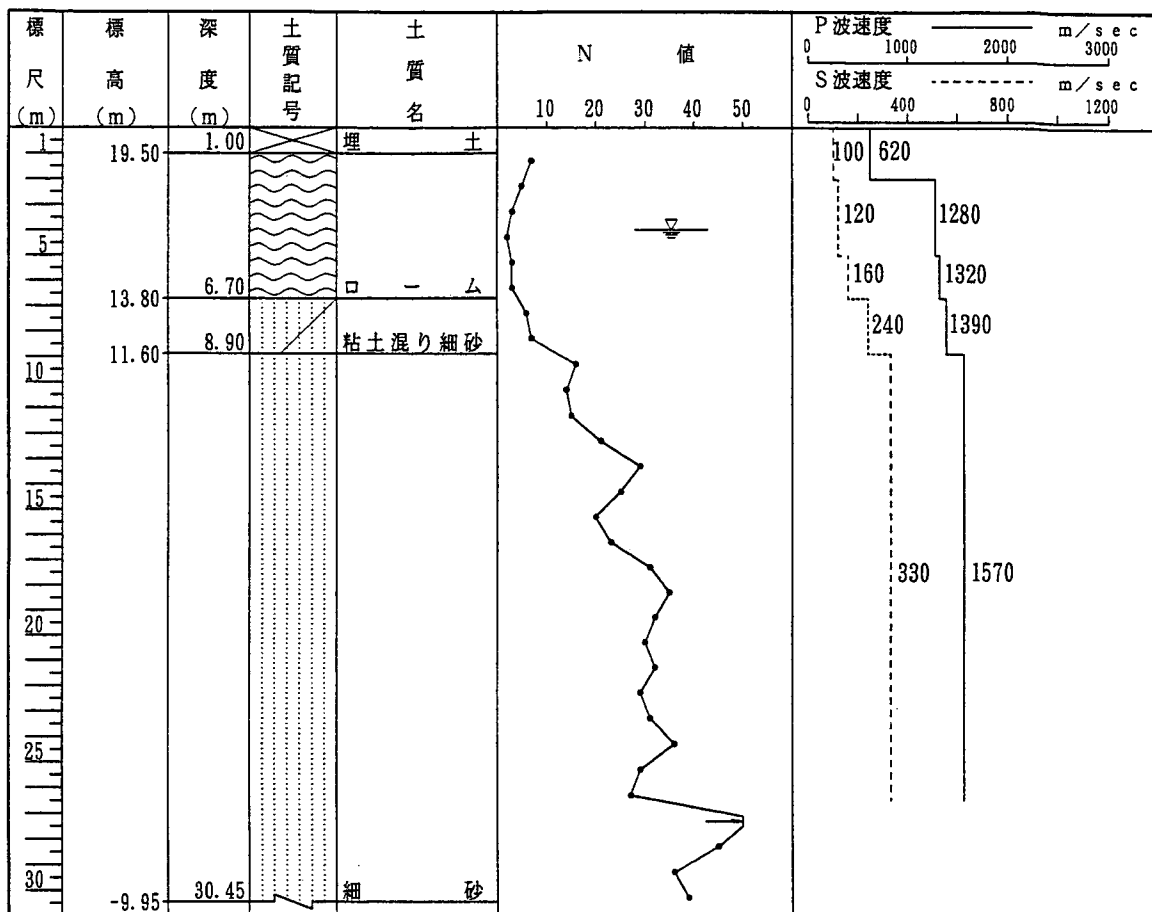


図 8.1 幕張・習志野地区高密度強震観測場



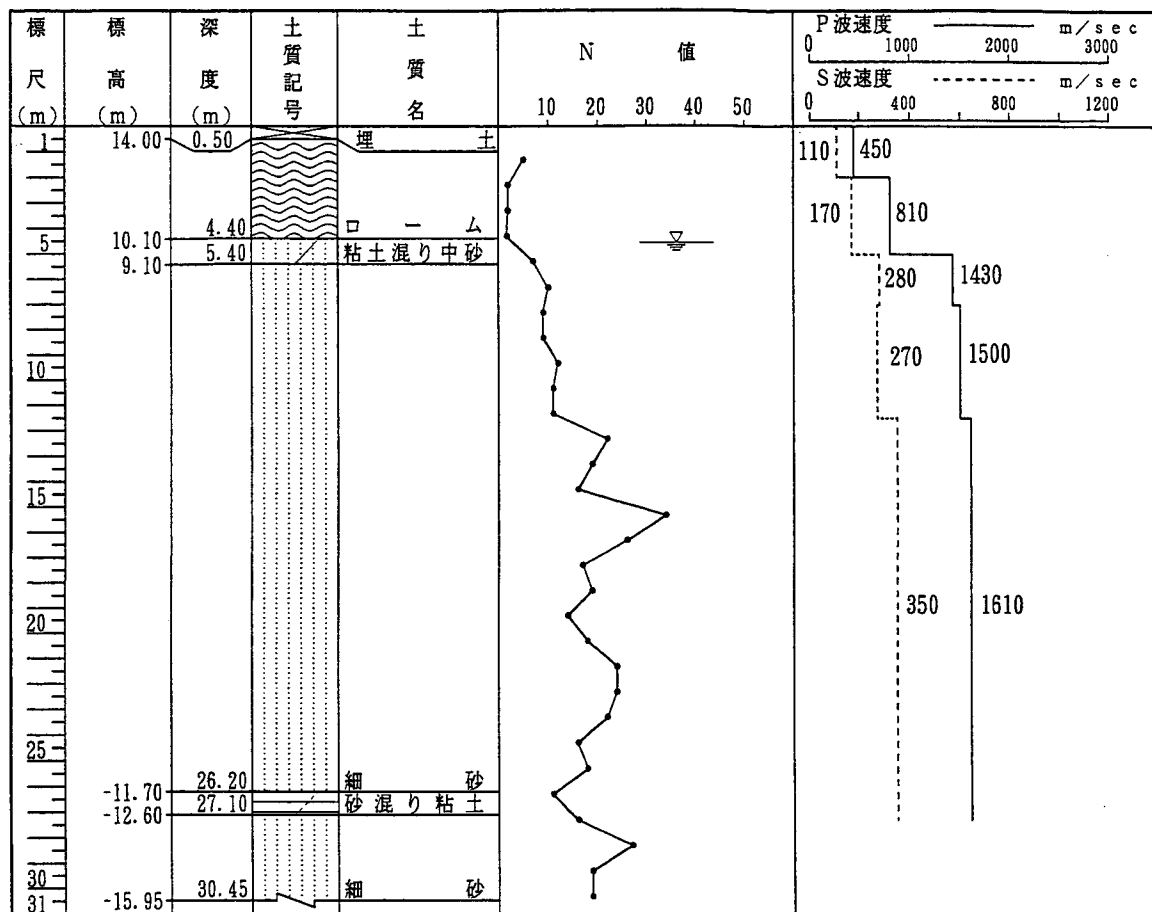
(a) 第六中学校 (No.1 地点)

図 8.2 (1) 総合土質柱状図



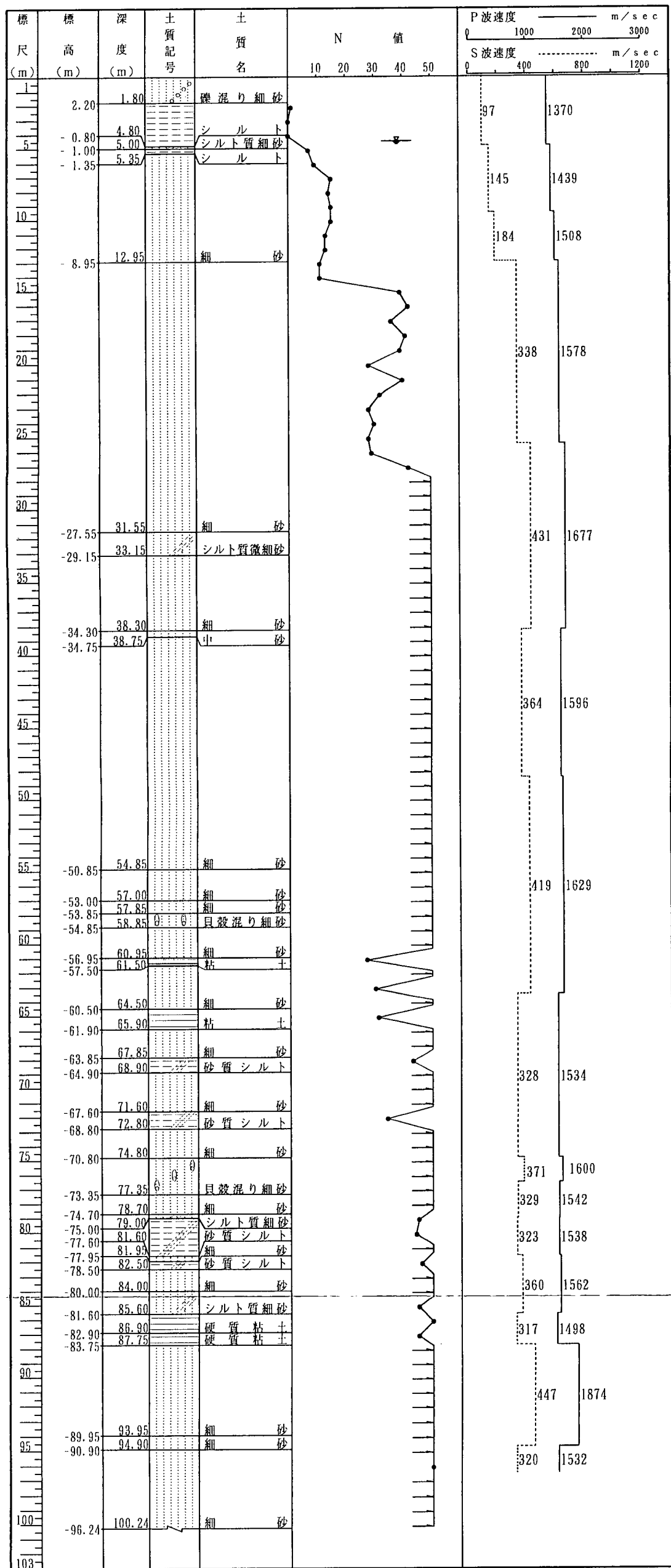
(b) 幕張台公園 (No.3 地点)

図 8.2 (2) 総合土質柱状図



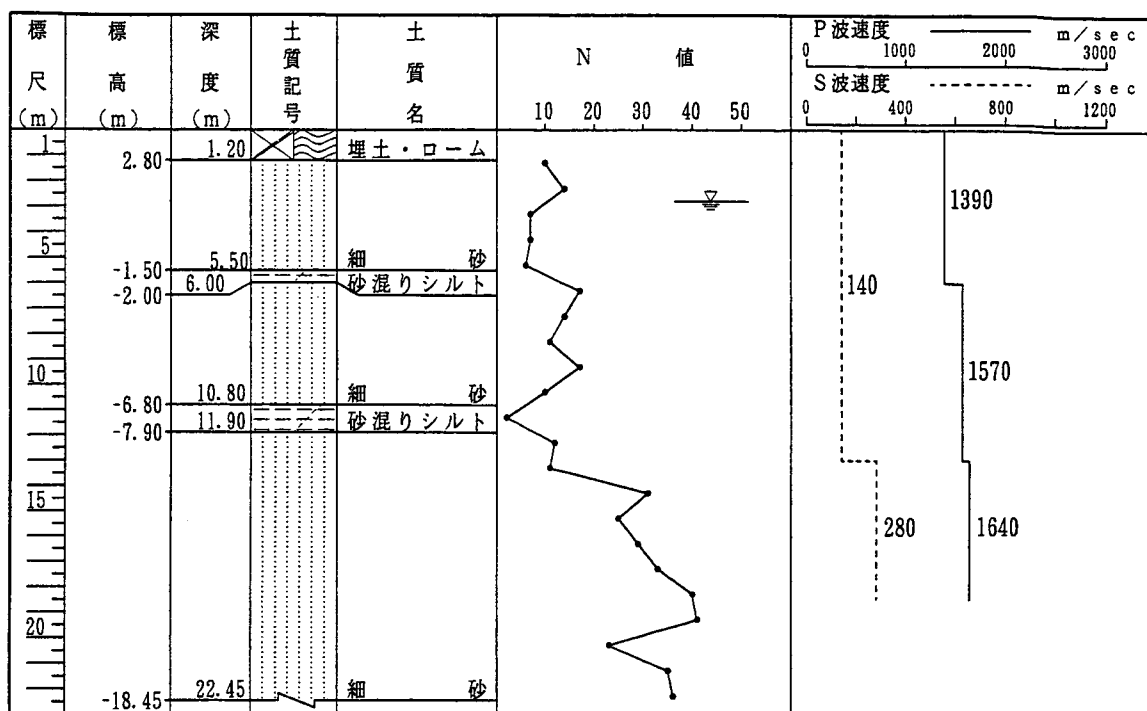
(c) 一本松公園 (No.5 地点)

図 8.2 (3) 総合土質柱状図



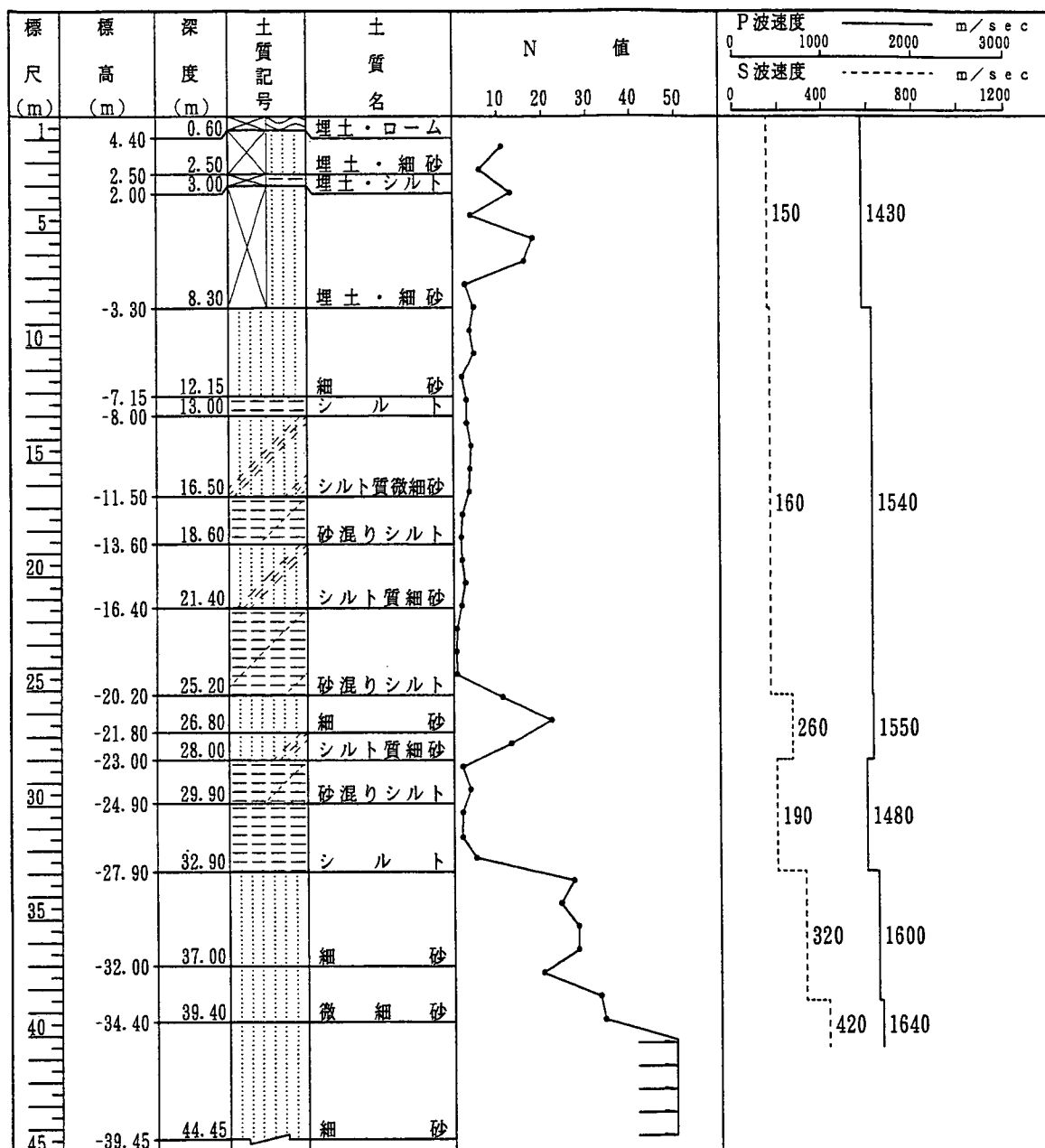
(d) 日本道路公団総合研修所 (No.8 地点)

図 8.2 (4) 総合土質柱状図



(e) 浜田公園 (No.10 地点)

図 8.2 (5) 総合土質柱状図



(f) 花見川緑地 (No.11 地点)

図 8.2 (6) 総合土質柱状図

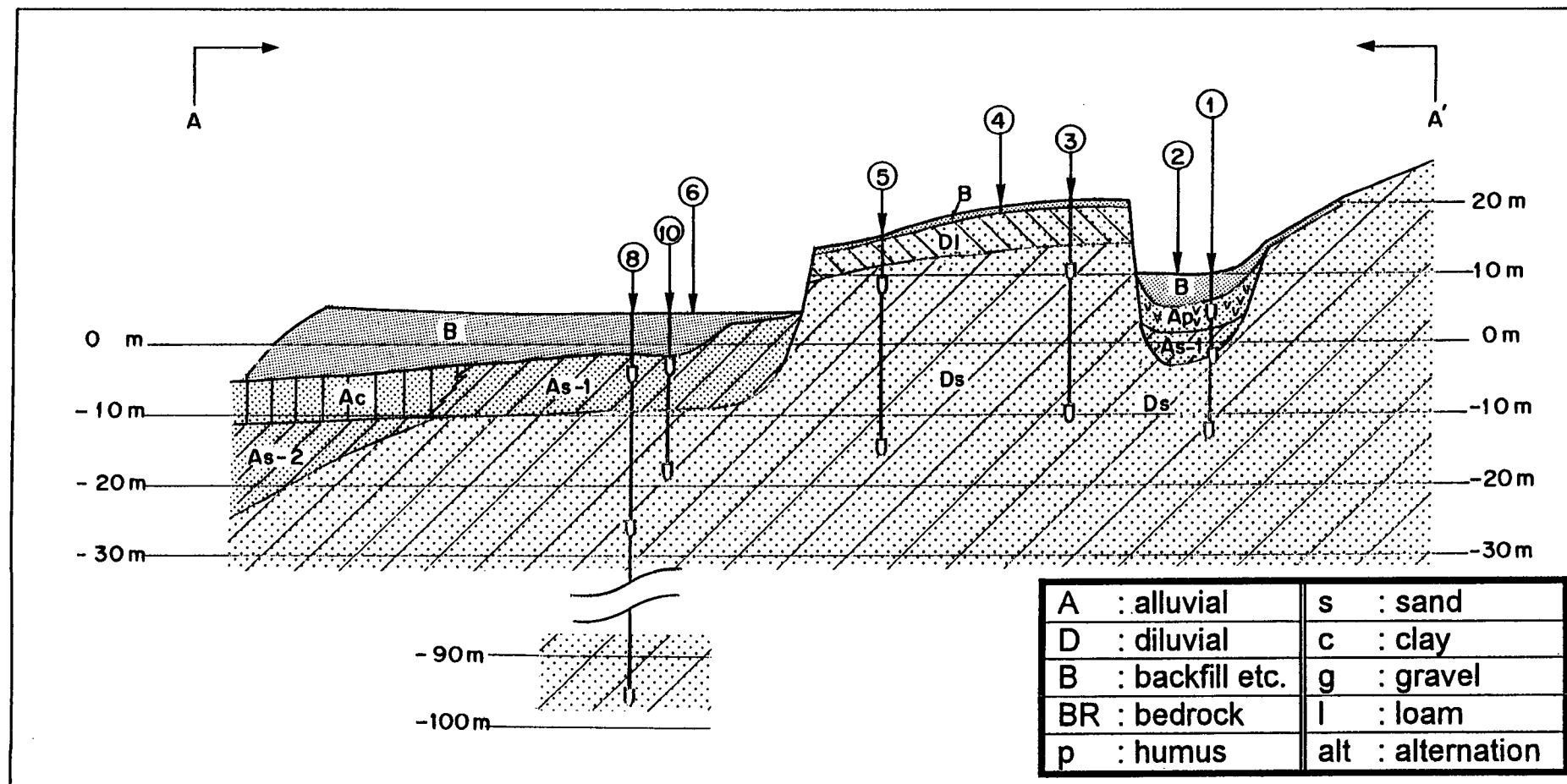
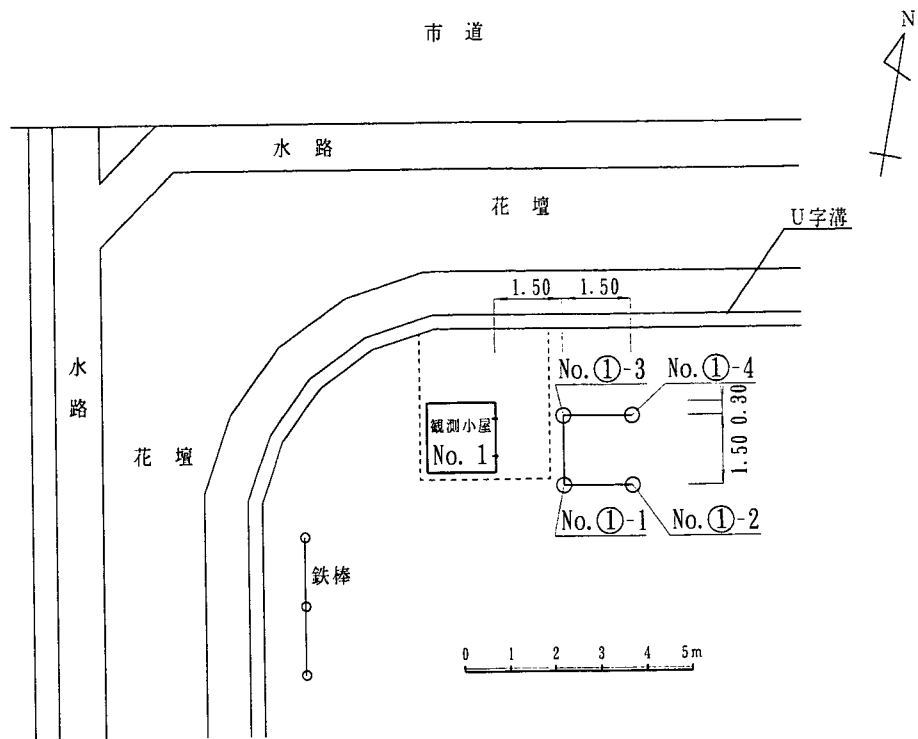
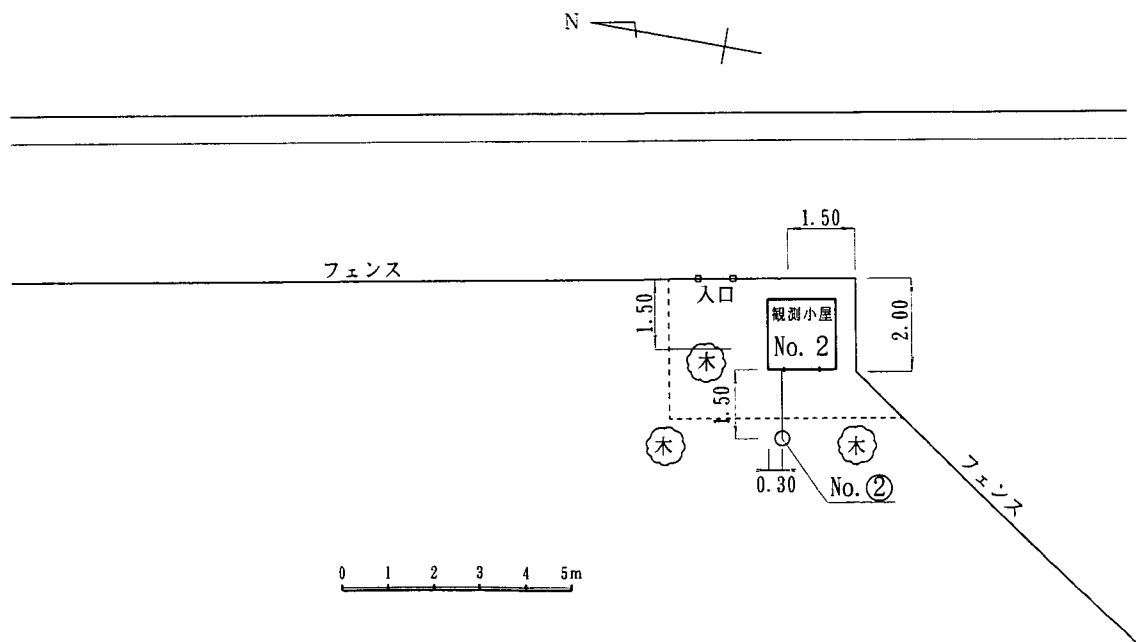


図 8.3 幕張・習志野地区代表断面の地盤構成

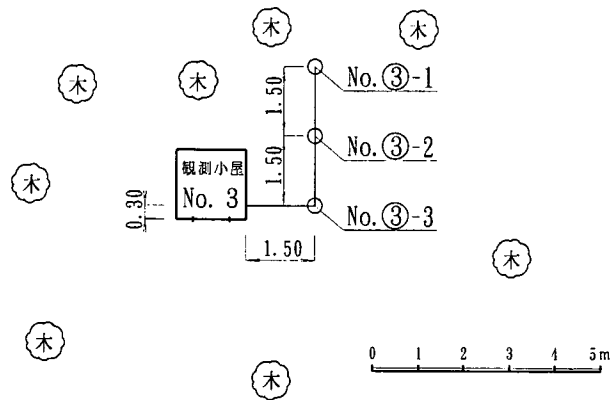
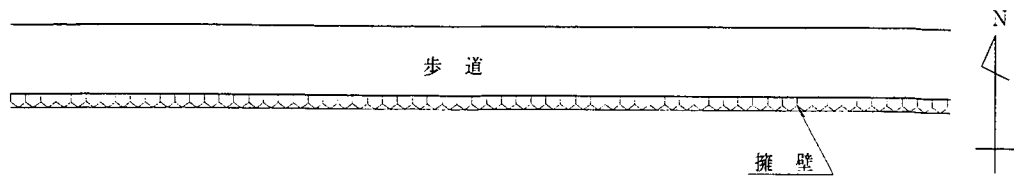


(a) 第六中学校 (No.1 地点)

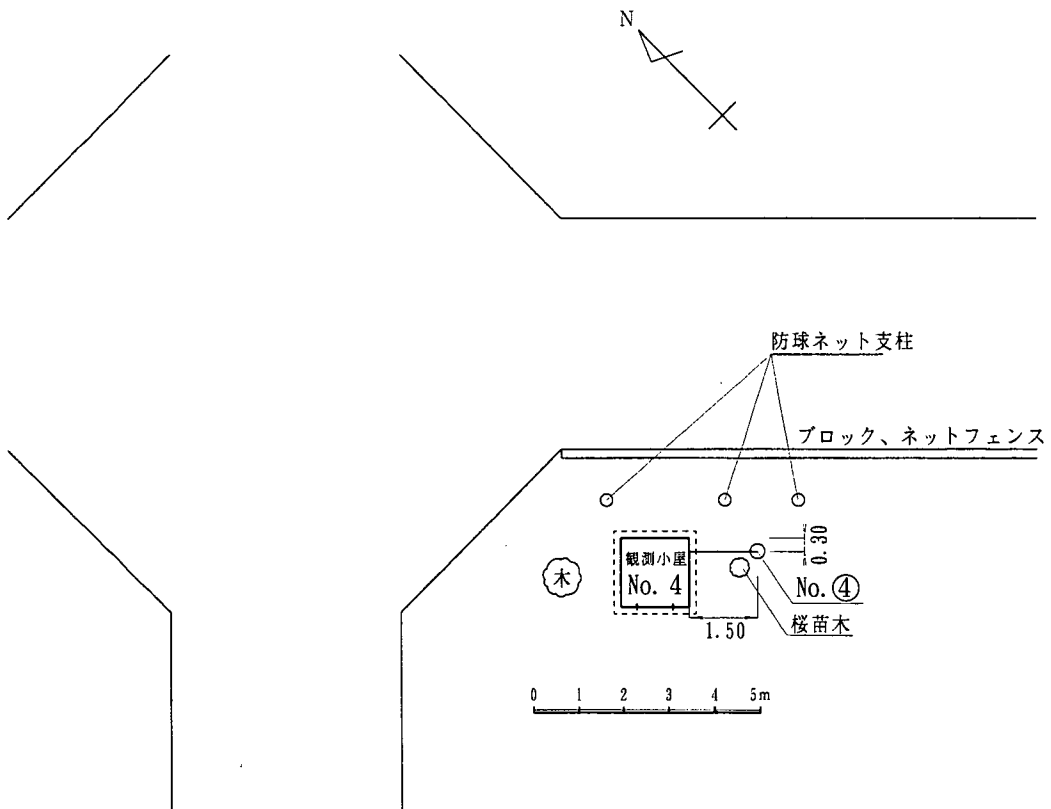


(b) 屋敷小学校 (No.2 地点)

図 8.4 (1) 観測小屋周辺図

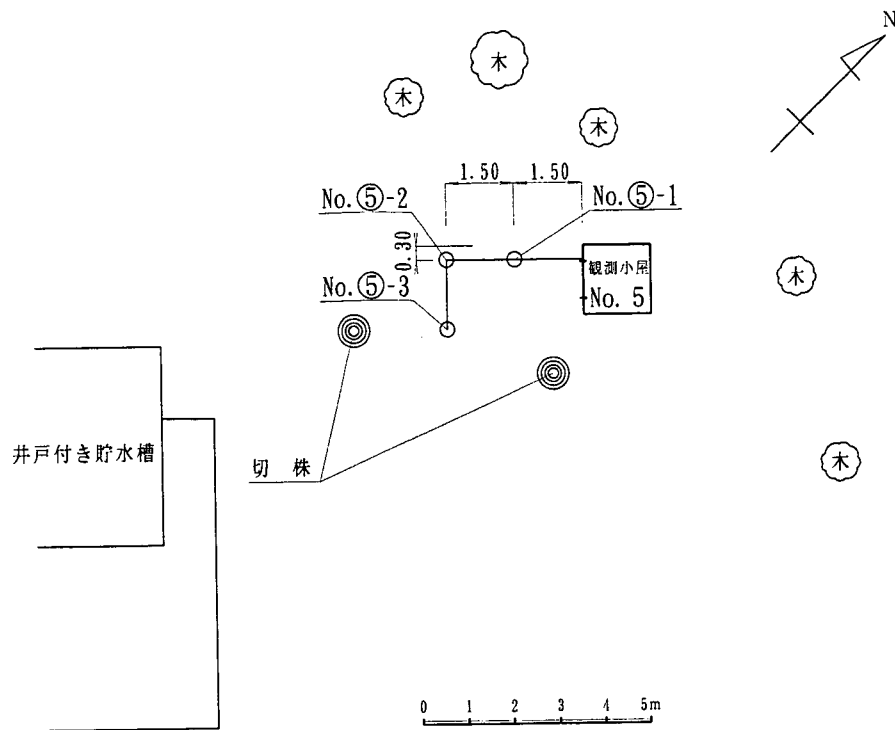


(c) 幕張台公園 (No.3 地点)

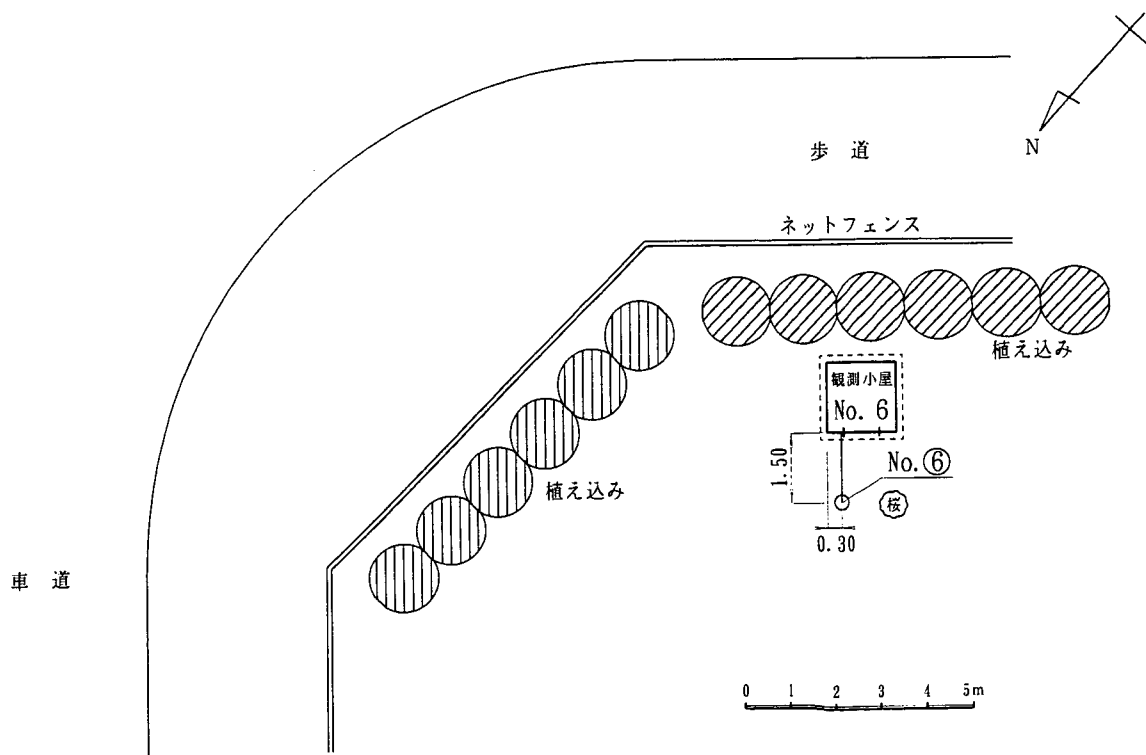


(d) 幕張本郷中学校 (No.4 地点)

図 8.4 (2) 観測小屋周辺図

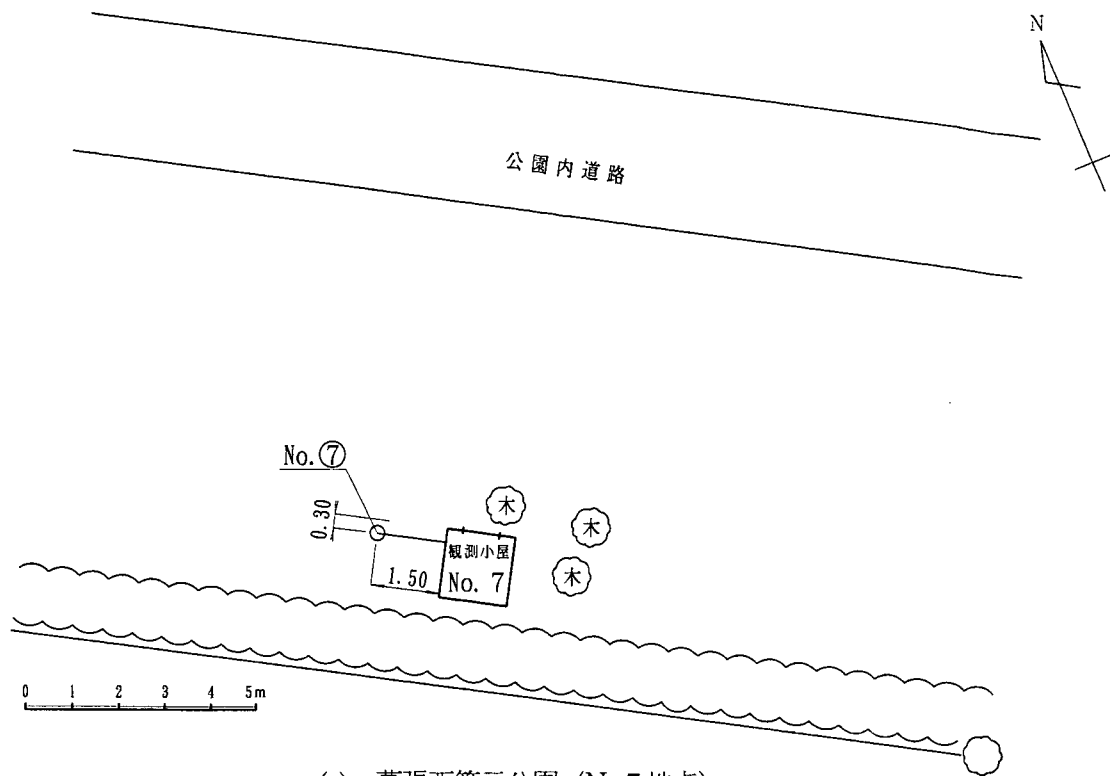


(e) 一本松公園 (No.5 地点)

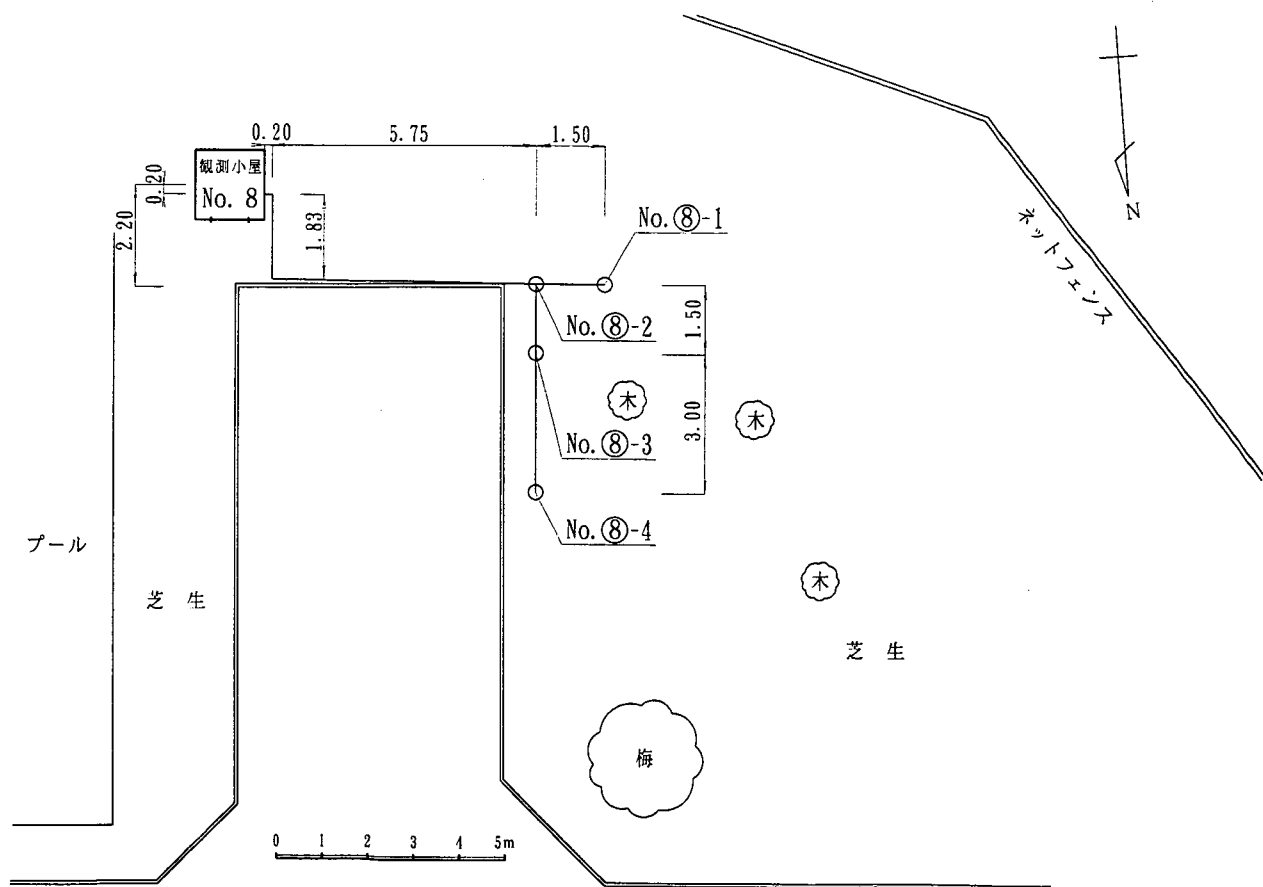


(f) 幕張西中学校 (No.6 地点)

図 8.4 (3) 観測小屋周辺図

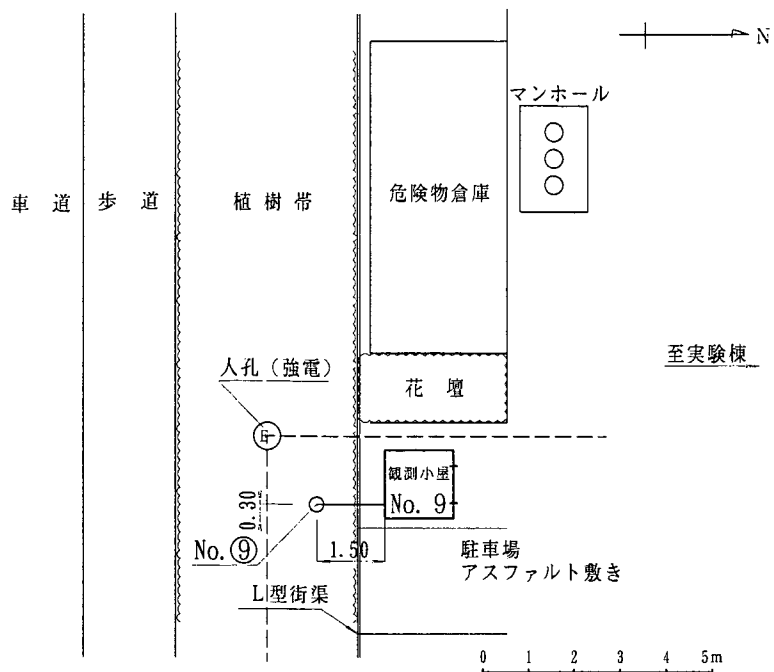


(g) 幕張西第三公園 (No.7 地点)

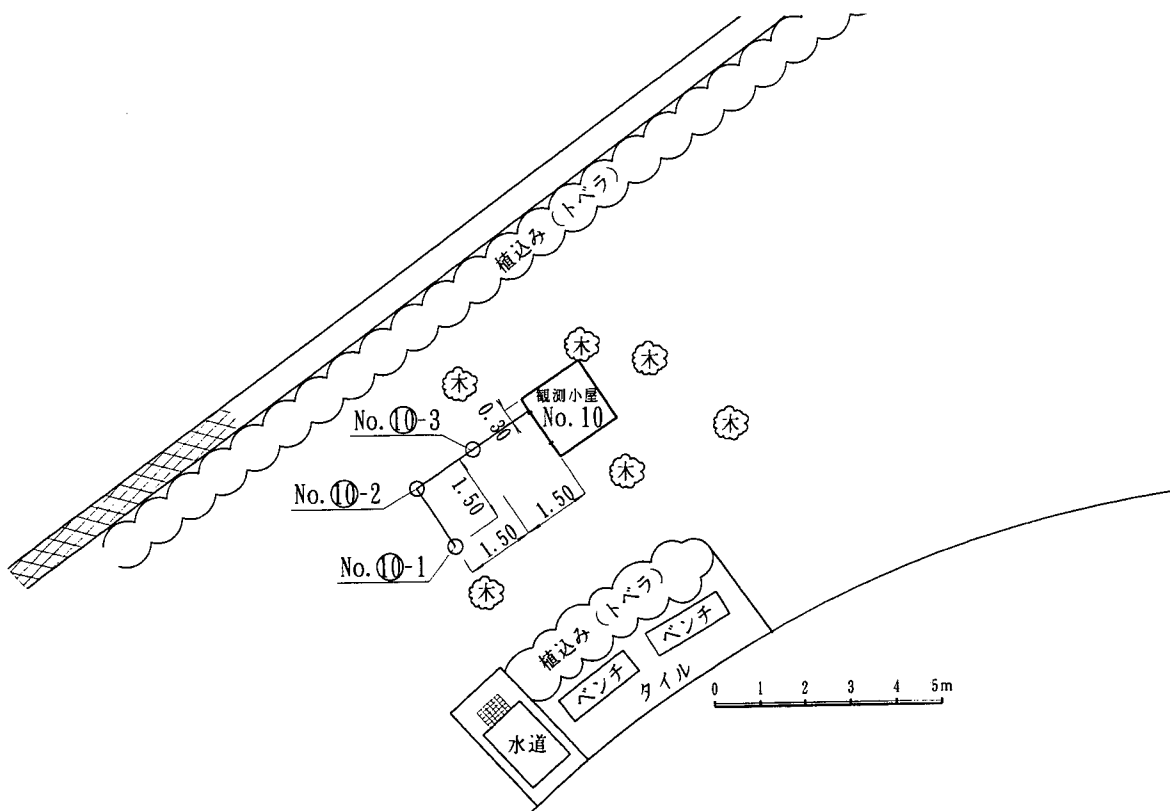


(h) 日本道路公団総合研修所 (No.8 地点)

図 8.4 (4) 観測小屋周辺図

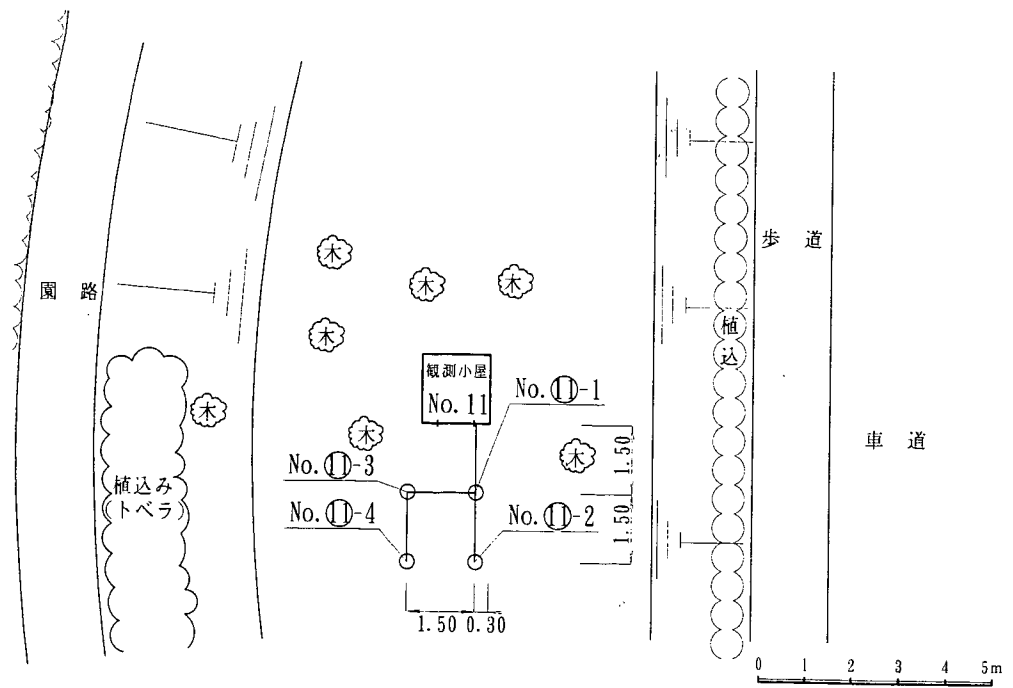


(i) 石油公団石油開発技術センター (No.9 地点)



(j) 浜田公園 (No.10 地点)

図 8.4 (5) 観測小屋周辺図



(k) 花見川緑地 (No.11 地点)

図 8.4 (6) 観測小屋周辺図



写真 8.1 幕張・習志野地区高密度強震観測場

9. 館 山 地 区 高 密 度 強 震 観 測 場

9.1 地形・地盤条件^{24)、27)、29)}

館山地区における高密度強震観測場（図9.1及び写真9.1参照）は、館山市の中心部に位置し、館山町から八幡町にかけての館山湾岸一帯に展開されている。本地区は、南部の安房丘陵と北部の海岸段丘上の低地に区分される。館山低地の地表面では浜堤列が見られ、低地の中央部以北では、海岸線にほぼ並行して数列の砂州が分布している。

本地区の基盤岩は、中新世後期に形成された西岬層で、白色シルト岩を主体とし、砂岩、凝灰岩等を挟在している。丘陵部においては西岬層の露頭が見られるが、西岬層は北部の低地部に向かうほど深度を増し、深度が40mに達する箇所もある。なお、低地部では、西岬層の上位に海成の沖積層が分布している。本地区周辺は地殻変動が激しく、この沖積低地の地形面は古墳時代以降に形成された非常に新しいものである。さらに、本地区は相模トラフ近傍に位置しており、地震活動が活発である。

館山地区では、換振器の設置に伴って、No.4地点で深度21m、No.6地点で深度47m、No.10地点で深度41m、No.11地点で深度13m、No.12地点で深度29mの合計5本のボーリング調査を行った。

これらのボーリング調査結果は図9.2に示すとおりである。また、今回のボーリング調査結果及び既存のボーリング資料より、館山地区の代表断面（図9.1のA-A'断面）の地盤構成を示すと、図9.3のようになる。No.4地点では表層1mが粘性土の埋土で、それ以深は基盤岩となっている。No.6地点では表層から深度42mまでが沖積の砂とシルトの互層で、それ以深は基盤岩となっている。No.10及びNo.11地点では表層1mが埋土で、それ以深はNo.6地点と同様に砂とシルトの互層となっている。なお、No.10地点では深度37mの位置で固結した砂層が確認された。No.12地点では表層4.5mが埋土、続いて深度23.5mまでが砂及びシルトを主体とした沖積層で、それ以深は基盤岩となっている。

9.2 観測網

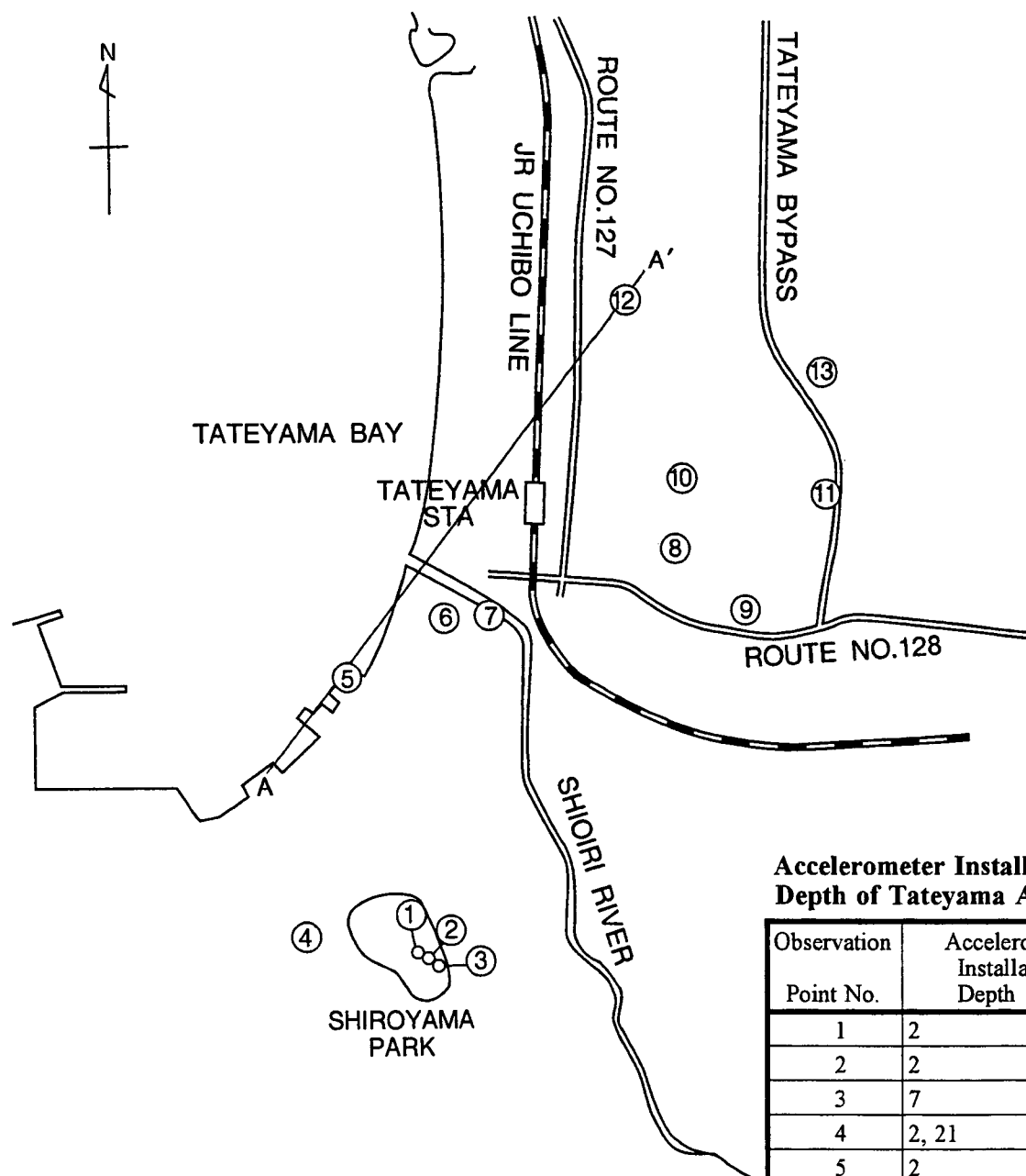
館山地区における高密度観測施設の配置は図9.1に示したとおりである。本地区では、JR内房線東側の低地部から館山湾に向うNo.11-No.8-No.7-No.6-No.5地点の測線と直交するNo.12-No.10-No.9地点の測線に、No.13地点と館山市南部の丘陵地のNo.1、No.2、No.3及びNo.4地点を加えた合計13箇所に計22台の強震計を設置した。これらのうち、基盤岩に換振器を設置しているのは、No.1、No.2、No.3、No.4、No.6、及びNo.12地点の6箇所であり、No.1及びNo.2地点では深度2m、No.3地点では深度7m、No.4地点では深度21m、No.6地点では深度47m、No.12地点では深度29mの位置に、それぞれ、換振器を設置している。また、No.10地点では工学的な基盤層と見なせる深度41mの固結した砂層中に換振器を設置した。館山地区のそれぞれの観測地点間距離は、数10～約1000mである。

館山地区では、地形・地盤条件が変化に富んでおり、これらの影響による地震動の変化を観測することを目的とするものである。

9.3 観測施設の設置箇所

強震計を設置したのは、以下に示す13箇所である。観測小屋及び換振器の設置位置を図9.4に示す。

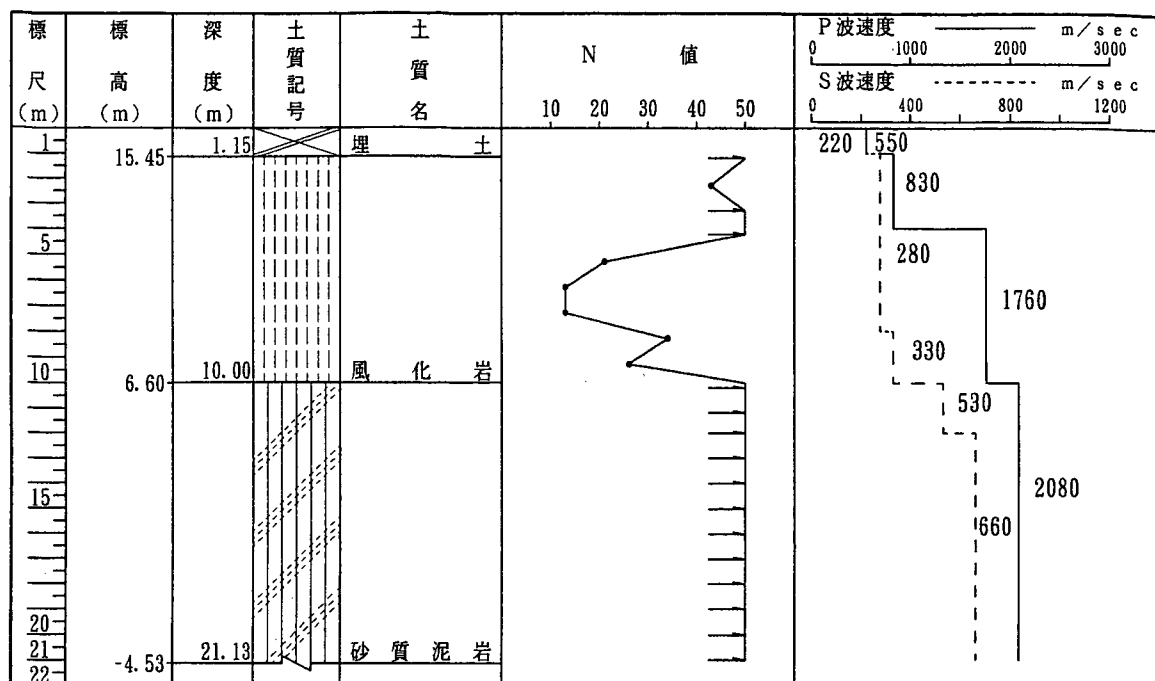
- No.1地点 : 城山公園の丘陵斜面頂上付近に換振器を設置。観測装置はNo.3地点の強震観測キャビネット内に設置。
- No.2地点 : 城山公園の丘陵斜面中腹付近に換振器を設置。観測装置はNo.3地点の強震観測キャビネット内に設置。
- No.3地点 : 城山公園の丘陵斜面ふもとに設置。本地点では観測小屋ではなく、観測キャビネットを設置し、No.1及びNo.2地点の観測装置を合わせて収用。
- No.4地点 : 館山市立館山小学校の校庭西側の非常用飲料水供給装置横に設置。
- No.5地点 : 千葉県水産共同実習所の採水施設北側に換振器を設置し、採水施設内に観測装置を設置。
- No.6地点 : 千葉県立安房水産高等学校正門の西側の植込みに設置。
- No.7地点 : 館山市立第二中学校の柔剣道場北側に設置。
- No.8地点 : 北条中央公園の北側入口付近に設置。
- No.9地点 : 千葉県立安房南高等学校西側のクラブハウス横に設置。
- No.10地点 : 館山市立第三中学校のテニスコート西側に設置。
- No.11地点 : 館山市立北条幼稚園の北東端に設置。
- No.12地点 : 千葉県立安房高等学校敷地内の北西端に設置。
- No.13地点 : 千葉県立館山高等学校の駐輪場横に設置。



**Accelerometer Installation
Depth of Tateyama Array**

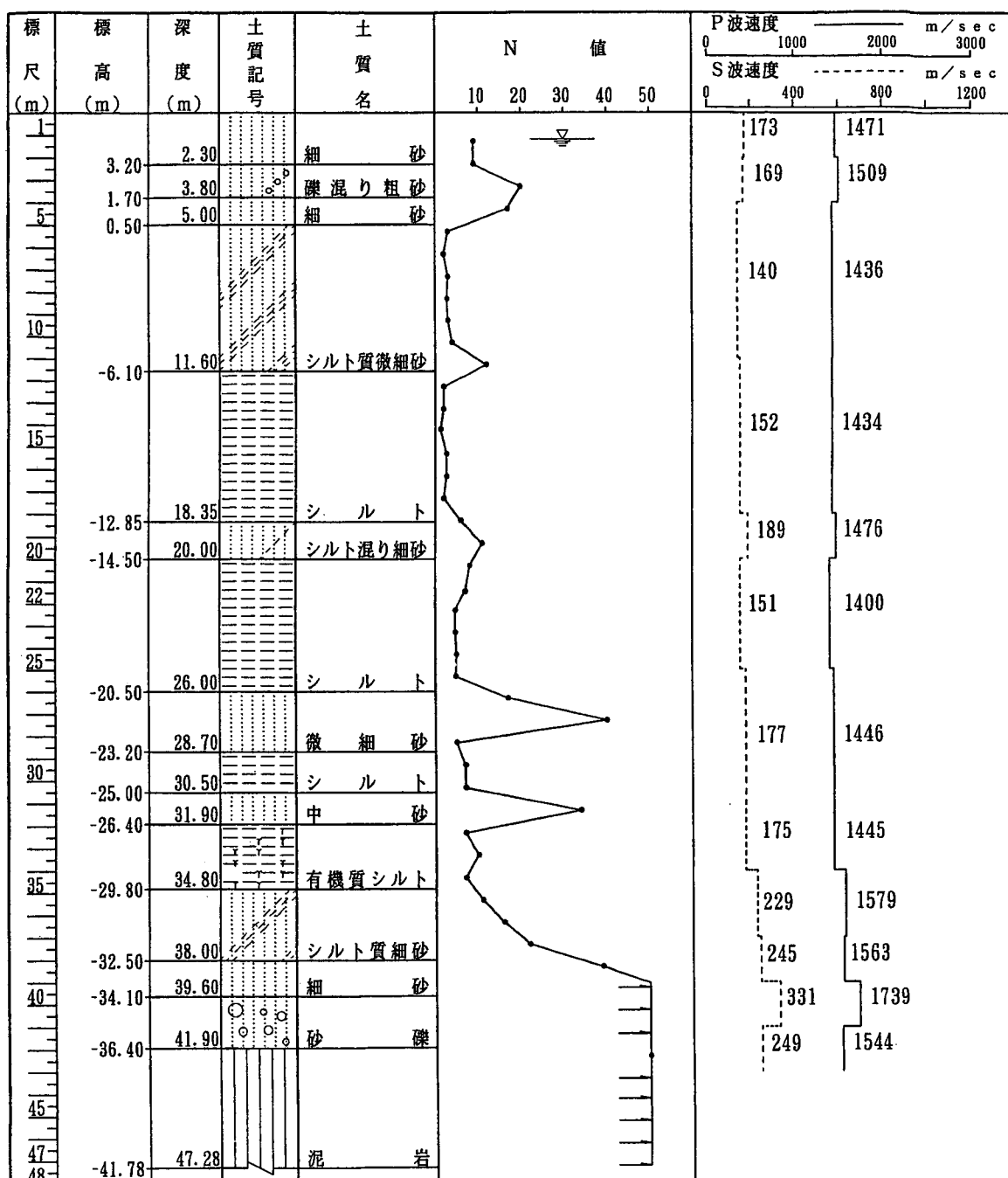
Observation Point No.	Accelerometer Installation Depth [m]
1	2
2	2
3	7
4	2, 21
5	2
6	2, 13, 47
7	2
8	2
9	2
10	2, 8, 41
11	2, 13
12	2, 9, 15, 29
13	2

図 9.1 館山地区高密度強震観測場



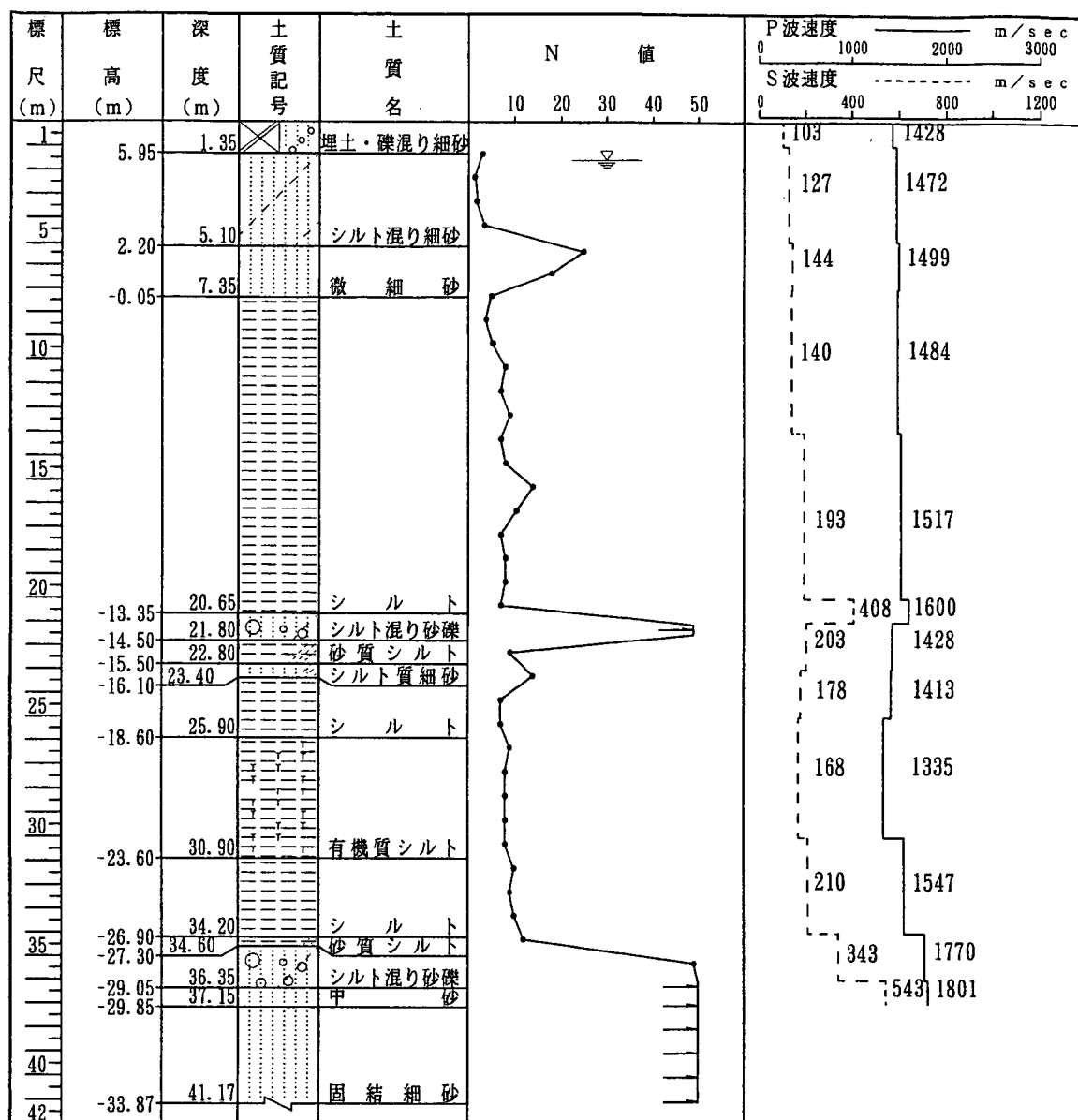
(a) 館山小学校 (No.4 地点)

図 9.2 (1) 総合土質柱状図



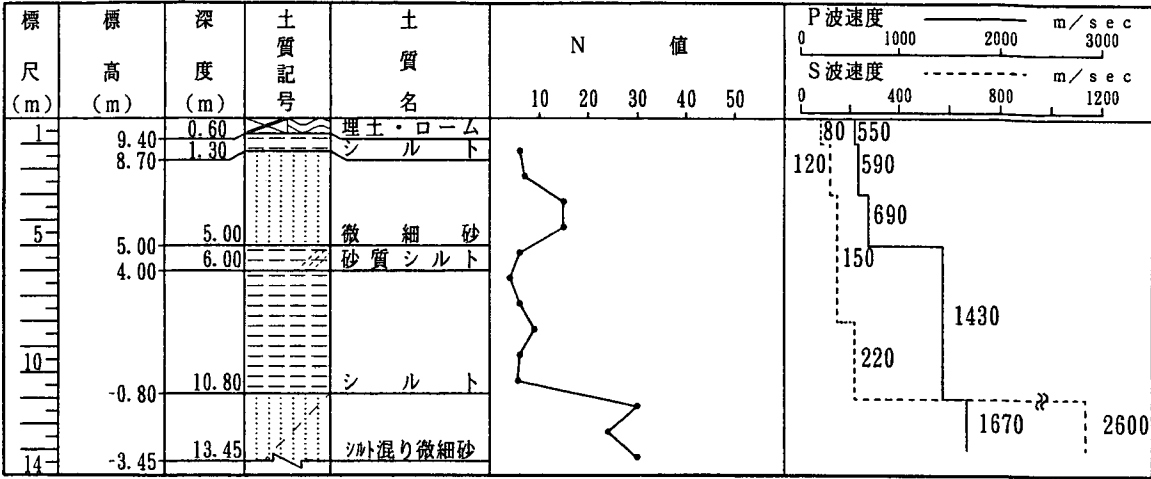
(b) 安房水産高等学校 (No.6 地点)

図 9.2 (2) 総合土質柱状図

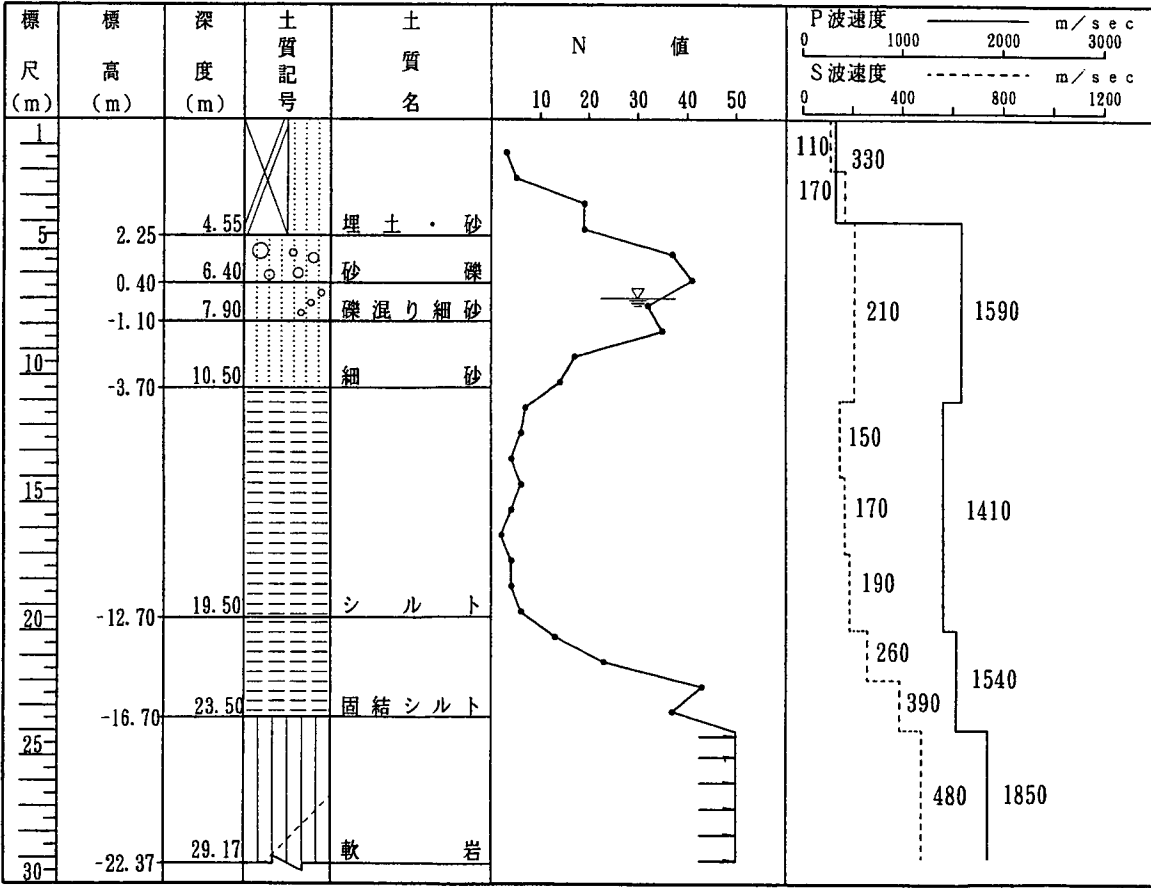


(c) 第三中学校 (No.10 地点)

図 9.2 (3) 総合土質柱状図



(d) 北条幼稚園 (No.11 地点)



(e) 安房高等学校 (No.12 地点)

図 9.2 (4) 総合土質柱状図

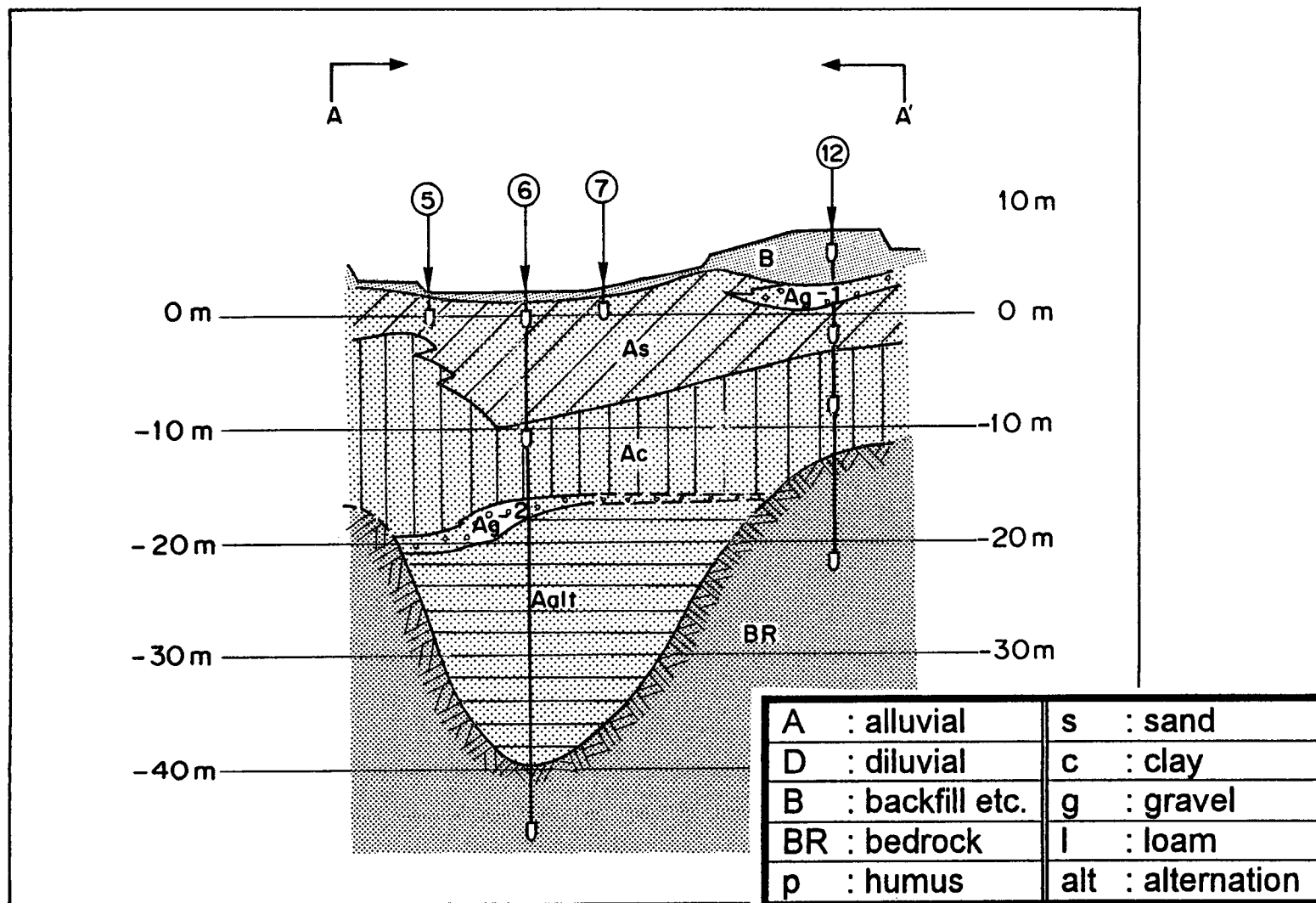
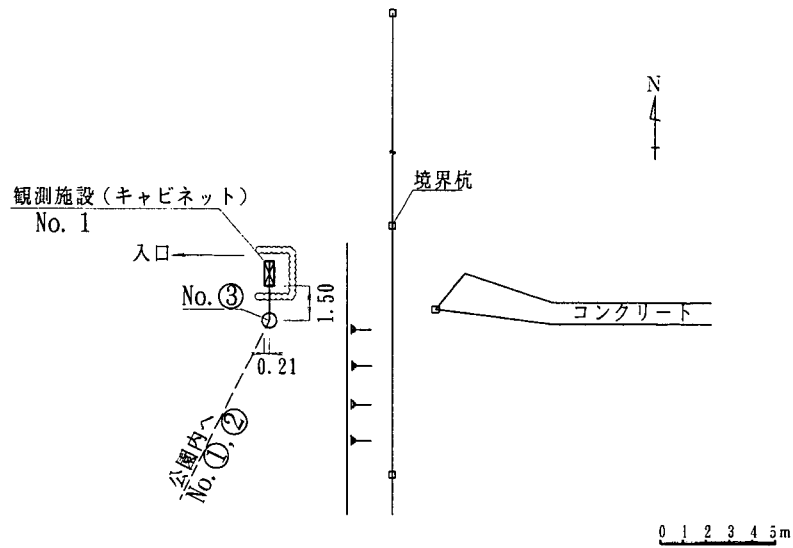
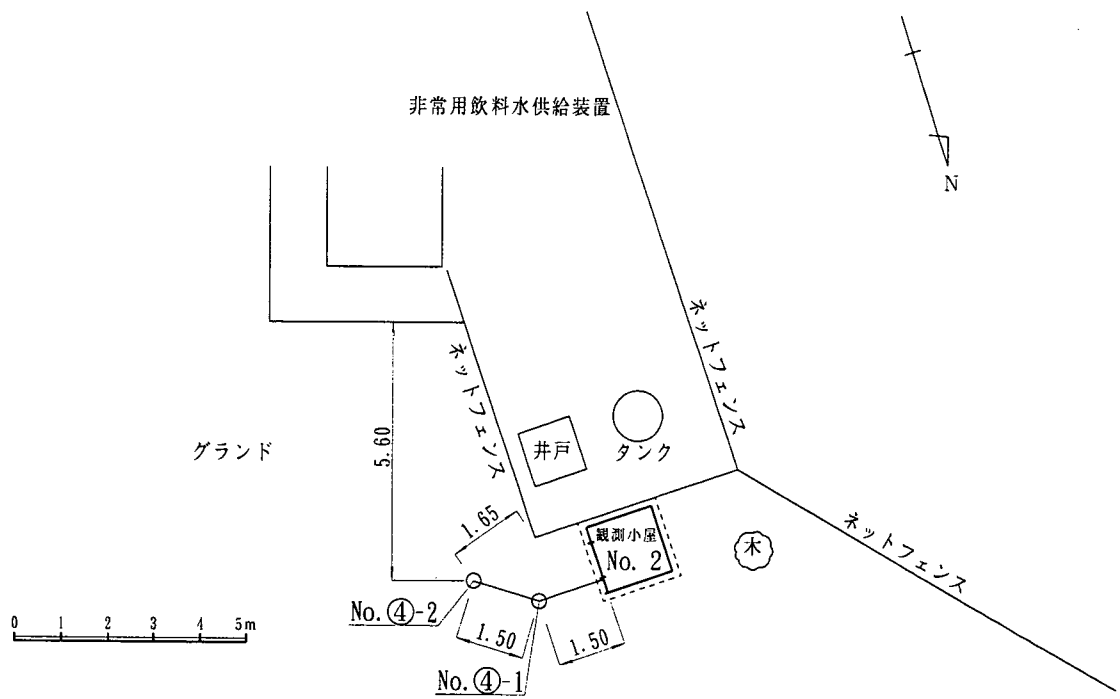


図 9.3 館山地区代表断面の地盤構成

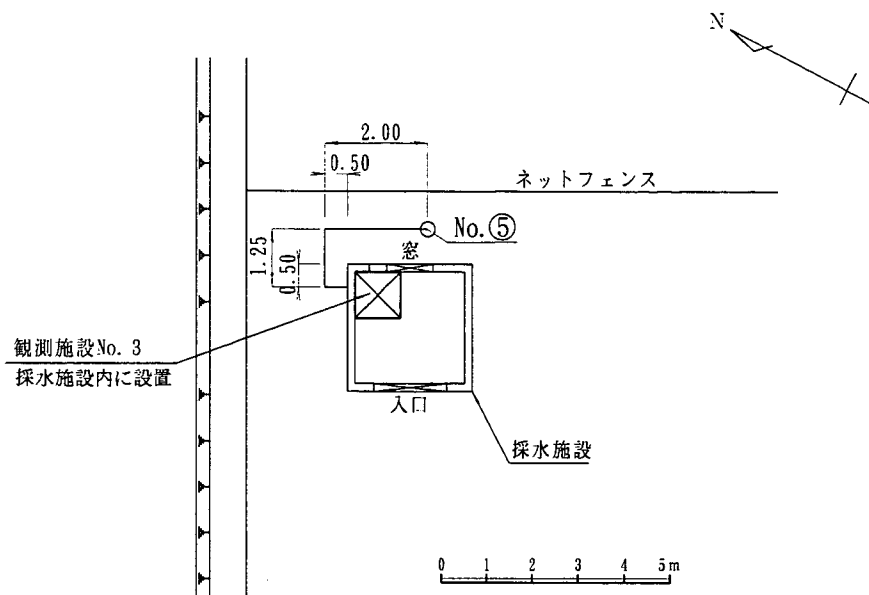


(a) 城山公園 (No.3 地点)

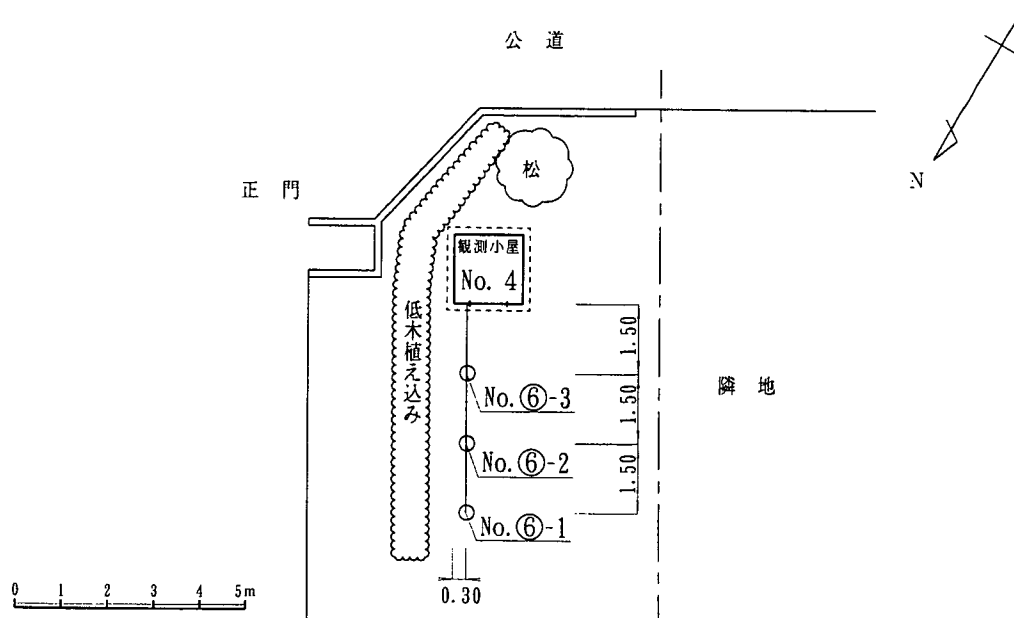


(b) 館山小学校 (No.4 地点)

図 9.4 (1) 観測小屋周辺図

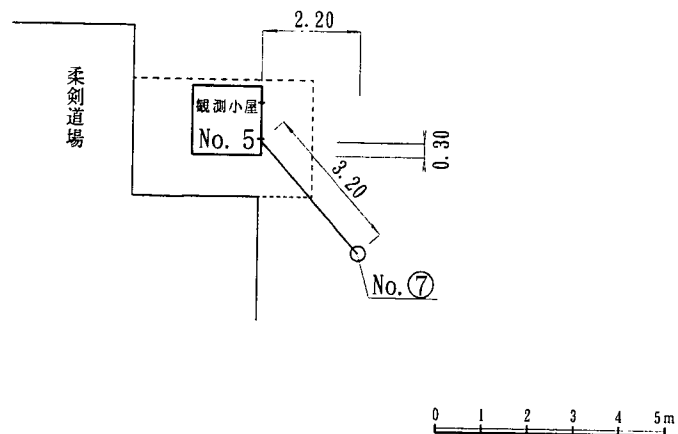


(c) 水産共同実習所 (No.5 地点)

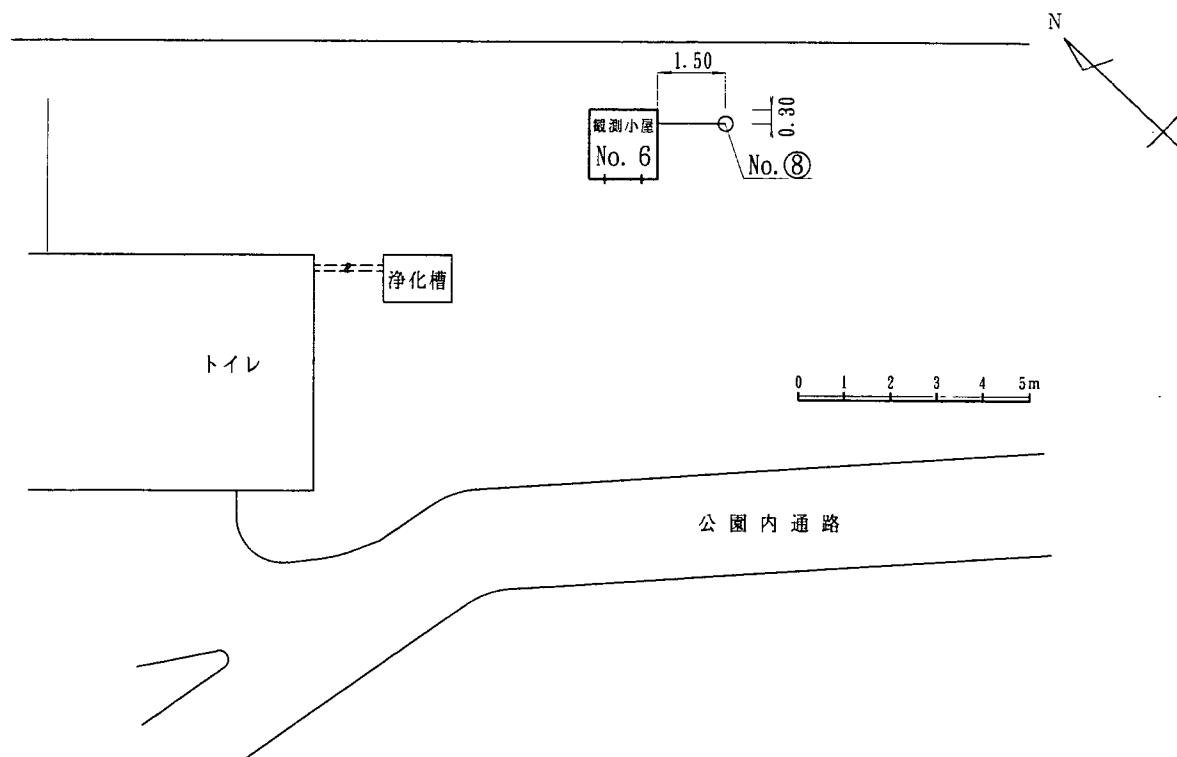


(d) 安房水産高等学校 (No.6 地点)

図 9.4 (2) 観測小屋周辺図

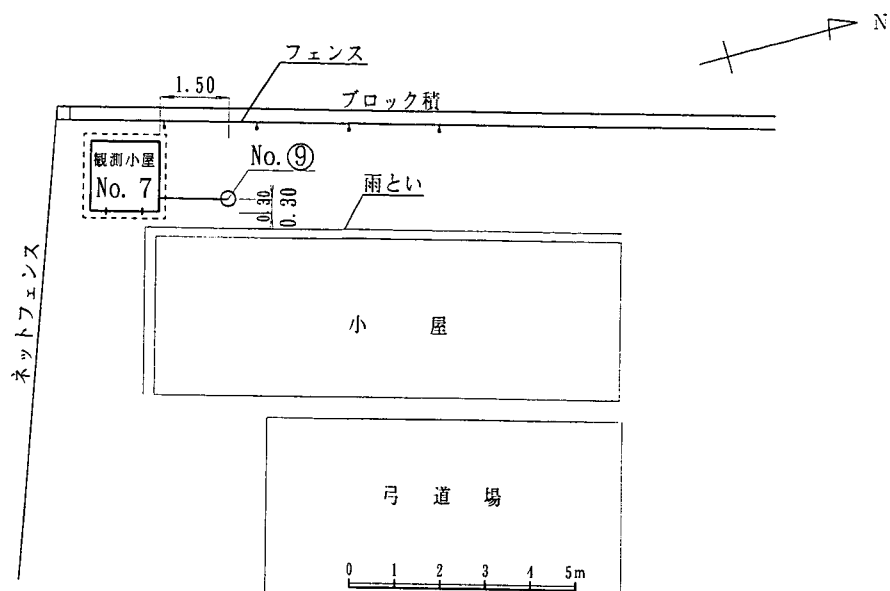


(e) 第二中学校 (No.7 地点)

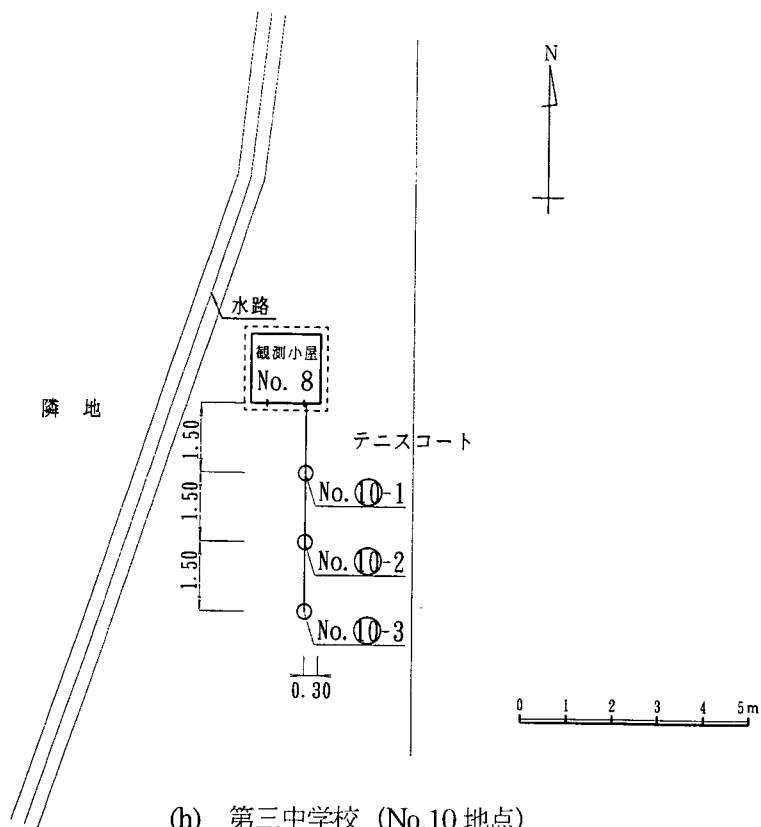


(f) 北条中央公園 (No.8 地点)

図 9.4 (3) 観測小屋周辺図

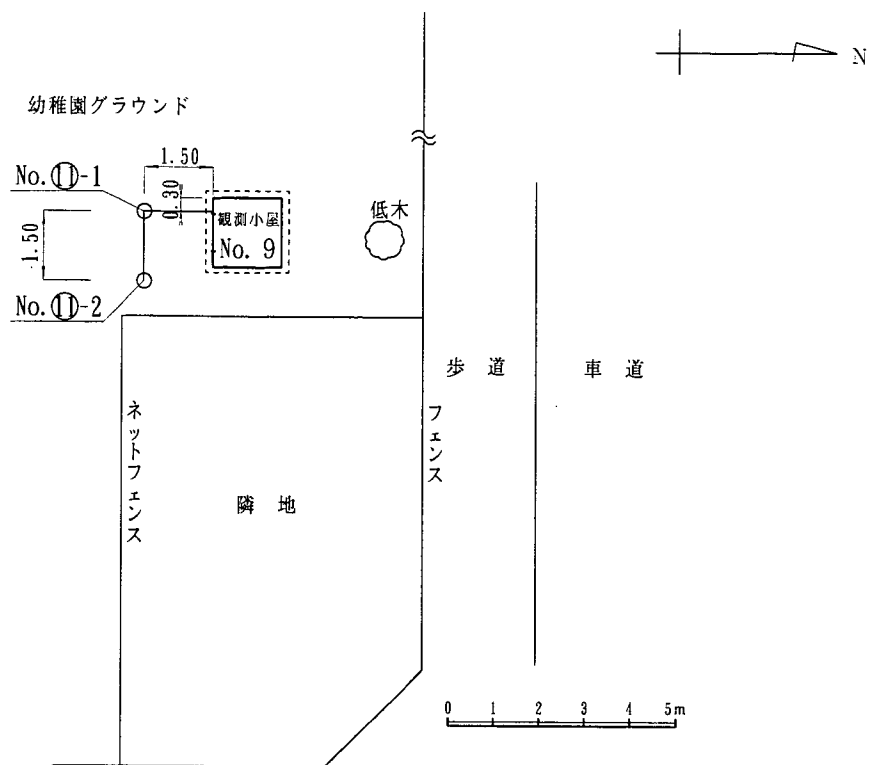


(g) 安房南高等学校 (No.9 地点)

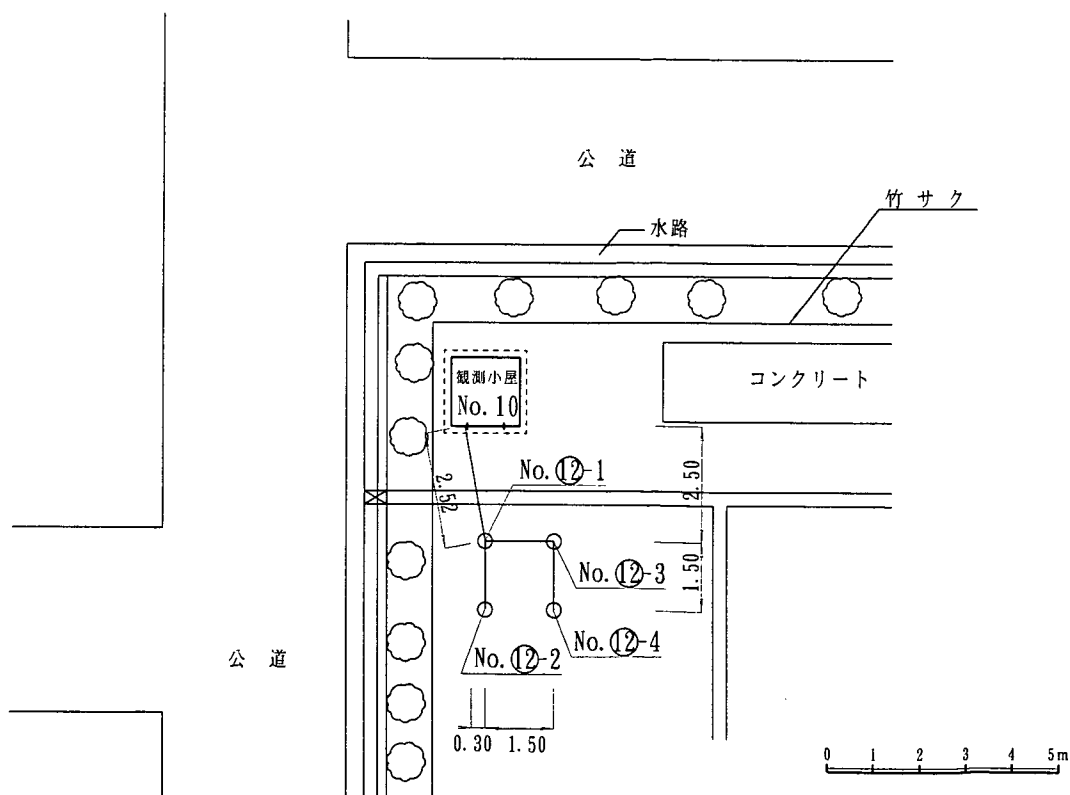


(h) 第三中学校 (No.10 地点)

図 9.4 (4) 観測小屋周辺図

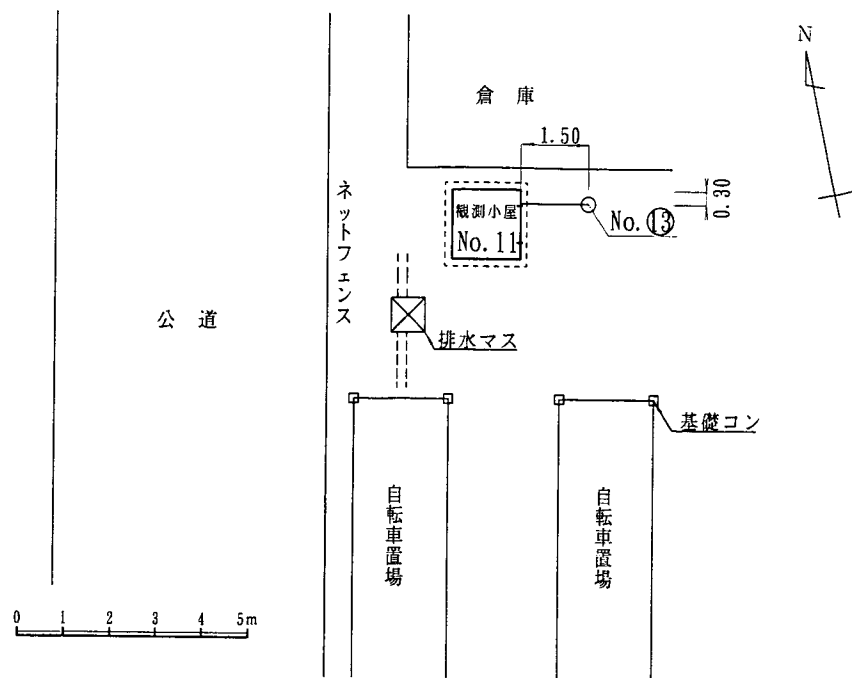


(i) 北条幼稚園 (No.11 地点)



(j) 安房高等学校 (No.12 地点)

図 9.4 (5) 観測小屋周辺図



(k) 館山高等学校 (No.13 地点)

図 9.4 (6) 観測小屋周辺図



写真 8.1 館山地区高密度強震観測場

10. 観測システム

10.1 基本構成

高密度強震観測施設の更新・新設にあたっては、①強震記録の迅速な収集・処理、及び、②遠隔操作による観測施設の操作・維持管理、を可能とすることを基本とした。本システムは、システム全体を統括するキーステーション、及びキーステーションとオンラインで接続される観測施設から構成される。

キーステーションは、土木研究所構内に設置されており、各観測施設（観測装置）とはデジタル電話回線により接続されている。キーステーションは、高密度強震観測システム全体の維持管理を担い、遠隔操作による観測装置の点検、強震記録の収集、保存等を行うものである。なお、観測地点において地震動が感知されたときには、データの収集は自動的に行われる。また、観測システムの維持点検も、あらかじめ設定されたスケジュールに従って自動的に行われるほか、観測地点において停電等の異常が検出された場合にも、自動的にキーステーションに通報される。

観測地点は、各観測地区に、数10～数100m程度の間隔で9～14地点設けられており、各地区の観測網を形成している。各観測地点の施設は、原則として、図10.1に示されるように、観測小屋、観測装置、換振器等から構成されている。

観測小屋は、1G程度の地震力が作用したときにも破壊しないRC構造となっている。観測小屋の内部には観測装置一式が収納されている。観測装置は、記録部、GPSアンテナ、避雷器、DSU等により構成される。観測装置は、GPSアンテナにより取得する時刻情報に基づく正確な時刻情報の保持、観測データの保存及びキーステーションへの送信等を担っている。

換振器は、全て地中に埋設されており、各観測地点には1～6台の換振器が設置されている。原則として、そのうち1台は地表面下2mに設置されている。これは、地震動の地表面に沿う面的な分布を把握するために統一的に設けたものであり、従来の高密度強震観測施設において地表に設置された強震計に相当する。2台目以降は、それぞれの観測地点における地盤条件等を考慮して種々の深度に設置されている。また、表層地盤の影響を受けていない地震動も観測するために、いずれの観測地区においても、それぞれの地区の工学的な基盤と見なされる層に1台以上の換振器が設置されている。

10.2 観測施設及び観測機器

(1) キーステーション

キーステーションは、デジタル電話回線により各観測装置に接続されており、その回線を用いて、強震記録の収集、観測施設の機能及び性能診断等を行うとともに、収集した記録の一次解析、解析結果の図化等を行う。主な機能は、以下のとおりである。

1) データの確認及び収集

観測装置に収録されている任意の観測記録の収集及び消去を行う。

2) 機能及び性能の点検

観測体制の維持に必要な次のa)～f)について、あらかじめ設定されたスケジュールに従い自動的に点検する。

a)時刻の確認

b)設定値（サンプリング周波数、トリガー条件、遅延時間等）の確認

c)記録状況の確認

d)メモリ残量の確認

e)換振器にテスト信号を発生させることによる換振器及び観測装置の感度動作試験

f)バッテリーの確認

3)設定値の変更

観測装置で設定されているトリガー条件、遅延時間、記録収集条件等を変更する。

4)強震記録の図化・整理等

収集した強震記録についてa)～d)を実施する。

a)時刻歴波形の図化

b)地震応答スペクトル、フーリエスペクトル等の算出及び図化

c)最大加速度等の地図上へのプロット

d)データベースへの登録

(2)観測小屋

観測小屋は周囲の状況等に鑑み、規模や外観等が若干異なる複数の形式があるが、一部の例外を除き、高さ2.3～2.5m、幅1.5～2.1m、奥行1.5～2.1mのRC構造となっている。代表的な観測小屋の例を写真10.1に示す。

(3)観測装置

観測装置（写真10.2(a)参照）は、通信制御部（ラジオ、DSU等含む）、記録部、GPSアンテナ、避雷器等から構成され、強震記録及び時刻データの記録、それらのキーステーションへの送信、換振器の状態の診断等を行う。観測装置の主要仕様は表10.1に示すとおりである。データの記録は主に記録部で、また、データの送信、換振器の診断等は通信制御部で行う。

記録部は、換振器からの信号を正確な時刻とともに記録するものである。信号はAD変換され、22ビット、200Hzのデジタル値として記録される。1台の観測装置には、最大3台の換振器が接続され、最大9成分の信号を処理する。記録は、トリガー条件を満たす信号が入力された時点より、あらかじめ設定された遅延時間（10秒。ただし、可変。）だけさかのぼって正秒より開始され、トリガー値を連続して30秒間（可変。）下回った段階で終了する。データの記録媒体は不揮発性のFLASHメモリである。

通信制御部は、強震記録や時刻データをデジタル電話回線（ISDN）を通じて土木研究所構内に設置されているキーステーションに送信する。データの送信は、地震動を観測した直後、または、キーステーションからのデータ送信命令を受信した時に行う。停電等の異常が生じた場合には、自動的にキーステーションに

通報する機能も有する。また、正確な観測時刻を記録するためにGPSアンテナにより取得する時刻情報に基づき、内部時計の時刻較正を1秒ごとに行っている。ただし、何らかの事由によりGPSの時刻信号が受信できない場合には、NHKの時報による時刻較正に自動的に変更する。

換振器の診断としては、換振器に両振幅100galに相当する信号を送信し、換振器が正常な値を検出するかを診断することにより、感度を確認するセンサーテストを行う。

観測装置は、商用電源の切断にも備え、電源切断後24時間は正常に動作できるだけのバッテリーを有している。なお、データは不揮発性のFLASHメモリに収録されるため、電源の供給停止後に、既収録の記録が消失することはない。

(4) 換振器

換振器（写真10.2(b)参照）は、地盤の振動を検出し、電気信号として送信するものであり、地中に埋設できる構造となっている。換振器の主要仕様は表10.2に示すとおりである。

(5) 換振器及び観測装置の振幅及び位相特性

1) 換振器

換振器は、サーボ型加速度計であり、その基本的な構造は図10.2のようになっている。地震動が振子に作用すると、その速度 $\dot{x}$ により、検定コイルで

$$E_s = G \dot{x} \quad (10.1)$$

という電圧が生じ、これが増幅器でA倍されることにより、抵抗Rを有する制動コイル側の回路を流れる帰還電流 i は

$$i = \frac{E_0}{R} = \frac{AG \dot{x}}{R} \quad (10.2)$$

となる。したがって、制動コイルより振り子には次式で表させる力 F が作用する。

$$F = -B \ell i = -\frac{B \ell A G}{R} \dot{x} \quad (10.3)$$

ただし、B：磁束密度

ℓ ：コイル長

以上より、地震動 y が作用したときの運動方程式は、振子の質量を m として、

$$m \ddot{x} + \frac{B \ell A G}{R} \dot{x} + k x = -m \ddot{y} \quad (10.4)$$

と与えられる。

ここで、

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (10.5a)$$

$$h = \frac{B \ell A G}{2 m \omega_0 R} \quad (10.5b)$$

とおくと、(10.4)式は

$$\ddot{x} + 2h\omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = -\ddot{y} \quad (10.6)$$

となる。いま、地震動として

$$\ddot{y} = Y \cos(\omega t) \quad (10.7)$$

を考える。本換振器では $h \gg 1$ であることを考慮すると、(10.6)式の解は、

$$x = \frac{Y}{\omega_0^2} \cdot \frac{1}{2hu} \cdot A(u) \cdot \sin(\omega t - \varphi) + C \exp\left\{-h + \sqrt{h^2 - 1}\right\} \omega_0 t + D \exp\left\{-h - \sqrt{h^2 - 1}\right\} \omega_0 t \quad (10.8)$$

$$\text{ただし、} u = \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{2hu}{1-u^2} \right) - \frac{\pi}{2}$$

$$A(u) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1-u^2}{2hu} \right)^2}}$$

と表される。ここで、C、Dは定数である。 $h \gg 1$ であるとき、(10.8)式の第2,3項は急速に減衰するため、換振器においては第1項のみを考慮すればよい。したがって、振り子の変位は

$$x = \frac{1}{\omega_0^2} \cdot \frac{1}{2hu} \cdot A(u) \cdot Y \sin(\omega t - \varphi) \quad (10.9)$$

と与えられ、時間で微分することにより、その速度は

$$\dot{x} = \frac{1}{2h\omega_0} \cdot A(u) \cdot Y \cos(\omega t - \varphi) \quad (10.10)$$

と与えられる。(10.10)式を(10.2)式に代入して、(10.5)式の関係を考慮すると、

$$i = \frac{A G}{R} \cdot \frac{1}{2h\omega_0} \cdot A(u) \cdot Y \cos(\omega t - \varphi) = \frac{m}{B \ell} \cdot A(u) \cdot Y \cos(\omega t - \varphi) \quad (10.11)$$

となる。入力された地震動が(10.7)式で示されることより、帰還電流*i*を検出することにより、換振器に作用した加速度が計測できること、また、 $A(u)$ 及び φ がそれぞれ換振器の振幅及び位相特性に相当することがわかる。なお、本システムで用いている換振器では、 $m/B\ell = 15 [\mu A/gal]$ と設定されている。また、振り子の固有振動数は $f_0 = 5 \text{ Hz}$ 、減衰定数は $h = 300$ と設定されている。

以上より、換振器の振幅及び位相特性は、次のように表される。

i) 周波数特性

$$A_S(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1 - (f/f_0)^2}{2h(f/f_0)} \right)^2}} \quad (10.12)$$

ただし、 $f_0 = 5$ [Hz]、減衰定数 $h = 300$

ii)位相特性

$$\varphi_S(f) = \tan^{-1} \left(\frac{2h(f/f_0)}{1 - (f/f_0)^2} \right) - \frac{\pi}{2} \quad (10.13)$$

2)観測装置

観測装置では、換振器から入力されるアナログ信号をAD変換し、デジタル信号として記録する。デジタル記録ではナイキスト(Nyquist)周波数 (200Hzサンプリングの場合100Hz) を超える高周波成分は記録できないため、そのような高周波成分は、AD変換の過程でノイズを生じさせる可能性がある。この現象は、エリアジング(aliasing)といわれる。エリアジングを防ぐためには、アンチエリアスフィルター (ローパスフィルター) による処理により、アナログデータから、あらかじめそのような高周波成分をカットしておく必要がある。従来の高密度強震観測装置では、電気回路によるアナログフィルタにより高周波成分を除去する方式をとっていた。

新しい高密度強震観測装置では、まず、アナログデータを最終的に収録するデジタルデータのサンプリング周波数よりも高い周波数でオーバーサンプリングすることによりエリアジングに対処している。具体的には、まず、換振器から入力されるデータを $200\text{Hz} \times 1,024 = 20\text{kHz}$ でサンプリングする。この場合、ナイキスト周波数は 10kHz となり、換振器の測定可能周波数が 30Hz までであることを考慮すれば、AD変換過程におけるエリアジングの影響は事実上無視できることになる。(なお、この場合でも非常に高周波の成分は除去する必要があるため、デジタルフィルターによるハイカット処理を施している。) このようにして得られたデータを一旦 800Hz サンプリングで収録し、これを $1/4$ 平均化することにより、 200Hz サンプリングのデータを作成する。

この一連の処理過程により振幅及び位相に与えられる影響は、周波数の関数として次のように与えられる。

まず、ADコンバータによる影響は次式で与えられる。

i)周波数特性

$$A_r^1(f) = \left\{ \frac{1}{N} \cdot \frac{\sin\left(\frac{N\pi f}{f_s}\right)}{\sin\left(\frac{\pi f}{f_s}\right)} \right\}^3 \quad (10.14)$$

ii)位相特性

$$\phi_r^1(f) = \frac{5.4\pi f}{1,000} \quad (10.15)$$

ただし、 N ：オーバーサンプリング比。ここでは、1,024。

f_s ：変調器サンプリング[Hz]

次に、800Hzサンプリングを1/4平均化することによる周波数及び位相特性は、以下のように与えられる。
今、簡単のため、1/2平均化を行う場合を示す。

1/2平均化した後のデータ列を $\{y_n\}$ 、もとのデータ列を $\{x_m\}$ として、1/2平均化を

$$y_n = \frac{x_{2n-1} + x_{2n}}{2} \quad (10.16)$$

で与えるとする。(10.16)式をフーリエ変換すれば、

$$Y(\omega) = \frac{1}{2} \cdot \{X^e(\omega) + X^o(\omega)\} \quad (10.17)$$

ただし、 $X^e(\omega), X^o(\omega)$ ：それぞれ、 x_m の偶数項及び奇数項から成る数列のフーリエスペクトル

が得られる。 $\{x_m\}$ のデータ列のサンプリング間隔を Δt とすれば、 $\{x_{2n-1}\}$ は、 $\{x_{2n}\}$ と時間差 Δt を有すること以外は概ね一致することを考慮して

$$X^e(\omega) = X^o(\omega) \cdot \exp(-i\omega \cdot \Delta t) \quad (10.18)$$

と表すことができ、(10.17)式及び(10.18)式より、 $X^o(\omega)$ を $X(\omega)$ と表記すれば、

$$Y(\omega) = \frac{1 + \exp(-i\omega \Delta t)}{2} \cdot X(\omega) = \exp\left(-i\frac{\omega \Delta t}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega \Delta t}{2}\right) \cdot X(\omega) \quad (10.19)$$

が得られる。したがって、 Δt サンプリングを $2\Delta t$ サンプリングに変換する場合、

$$1/\Delta t = 800[\text{Hz}]$$

$$\omega = 2\pi f$$

であることを考慮して、

i)周波数特性

$$A_{r, 800 \rightarrow 400}(f) = \cos\left(\frac{\pi f}{800}\right) \quad (10.20)$$

ii)位相特性

$$\phi_{r, 800 \rightarrow 400}(f) = \frac{\pi f}{800} \quad (10.21)$$

が得られる。同様にして、400Hzサンプリングデータを200Hzサンプリングデータに変換する場合の周波数及び位相特性が求められる。

観測装置の周波数及び位相特性は、(10.14)、(10.15)、(10.20) 及び(10.21)式より、次のように与えられる。

i)周波数特性

$$A_r(f) = \left[\frac{1}{1024} \cdot \frac{\sin\left(\frac{1024\pi f}{285 \times 10^3}\right)}{\sin\left(\frac{\pi f}{285 \times 10^3}\right)} \right]^3 \cdot \cos\left(\frac{\pi f}{800}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi f}{400}\right) \quad (10.22)$$

ii)位相特性

$$\phi_r(f) = \frac{5.4\pi f}{1,000} + \frac{\pi f}{800} + \frac{\pi f}{400} \quad (10.23)$$

なお、(10.23)式で与えられる位相特性は、全ての周波数成分が一様に

$$\Delta\tau = \frac{1}{2} \left(\frac{5.4}{1,000} + \frac{1}{800} + \frac{1}{400} \right) = 4.57 \text{ [m sec]} \quad (10.24)$$

だけ遅れることと同値である。

3)換振器及び観測装置

換振器及び観測装置の両者の影響を考慮した周波数特性は、(10.12)、(10.13)、(10.22)及び(10.23)式より、

i)周波数特性

$$A(f) = A_r(f) \cdot A_s(f) \quad (10.25)$$

ii)位相特性

$$\phi(f) = \phi_r(f) + \phi_s(f) \quad (10.26)$$

と表される。(10.25)式及び (10.26)式より、 $A(f)$ 及び $\phi(f)$ を示すと、図10.3のようになる。

表10.1 観測装置の主要仕様

記録部名称	SAMTAC-500
記録加速度範囲	$\pm 2,000$ gal
周波数特性	1Hzを基準とし、30Hzにて+10%、-20%以内
サンプリング周波数	200 Hz
分解能	15 mgal以下
AD変換	22 bit
遅延時間	10秒 (0～30秒の範囲で可変)
起動及び停止レベル	0.1～30 galの範囲で0.1 galごとに設定可能
時刻校正	GPS電波に基づく校正。ただし、受信不能時はNHK時報による校正。
記録媒体	FLASHメモリカード(20 MB)
記録容量	45分(9成分収録時)、135分(3成分収録時)
メモリ管理	大きな記録を優先的に残す記録方式
蓄電池	電源切断後、連続24時間動作可能
耐水性	3気圧以上

表10.2 換振器の主要仕様

形式及び名称	サーボ型加速度計 SA-355CT
測定成分	3成分 (水平2成分、上下1成分)
固有振動数	5 Hz
減衰定数	300
測定加速度範囲	$\pm 2,000$ gal
測定周波数範囲	0.1～30 Hz
分解能	5 mgal以下
測定精度	1Gにおいて誤差0.5%以下
直線性	$\pm 1G$ の範囲で非直線性0.1%以下
耐水性	30気圧に対して1時間以上の耐水性

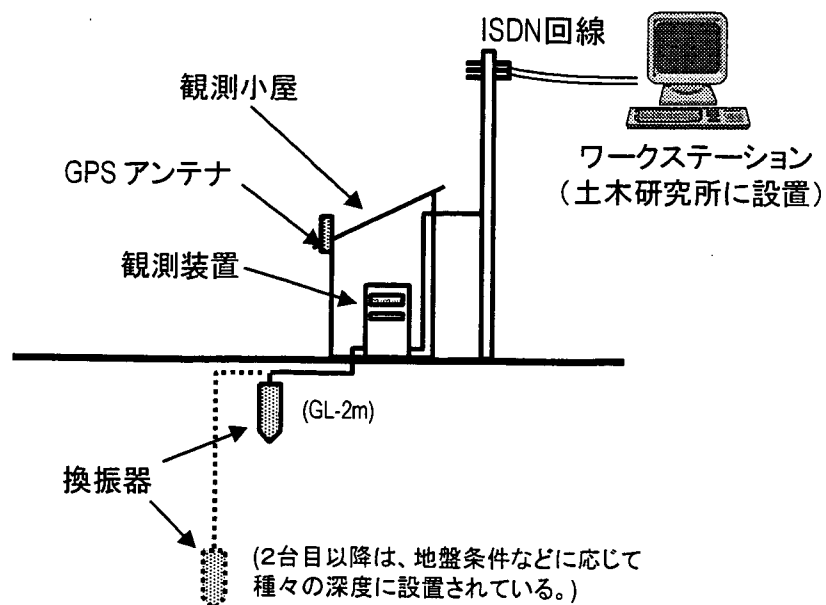


図 10.1 観測地点の機器構成

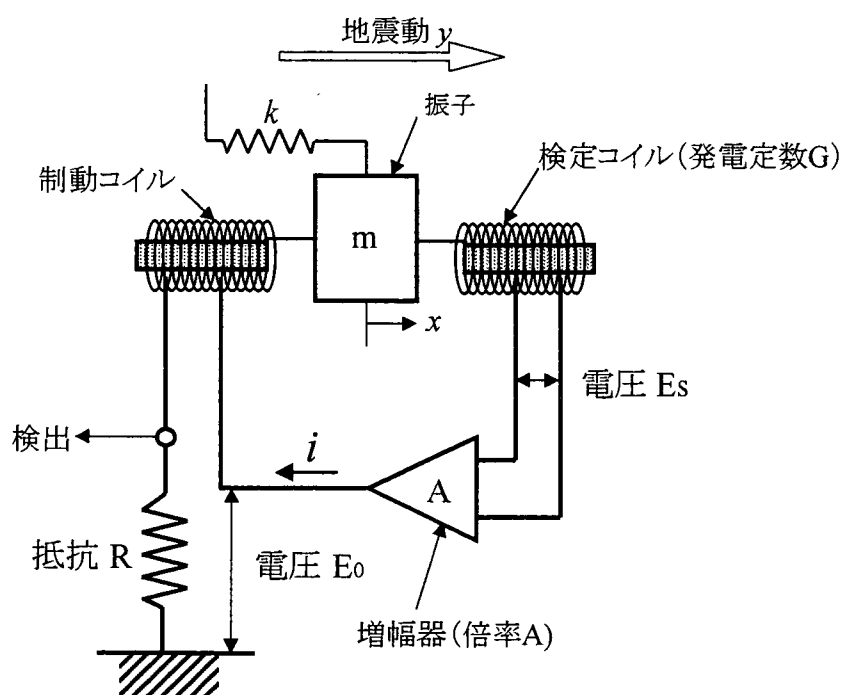
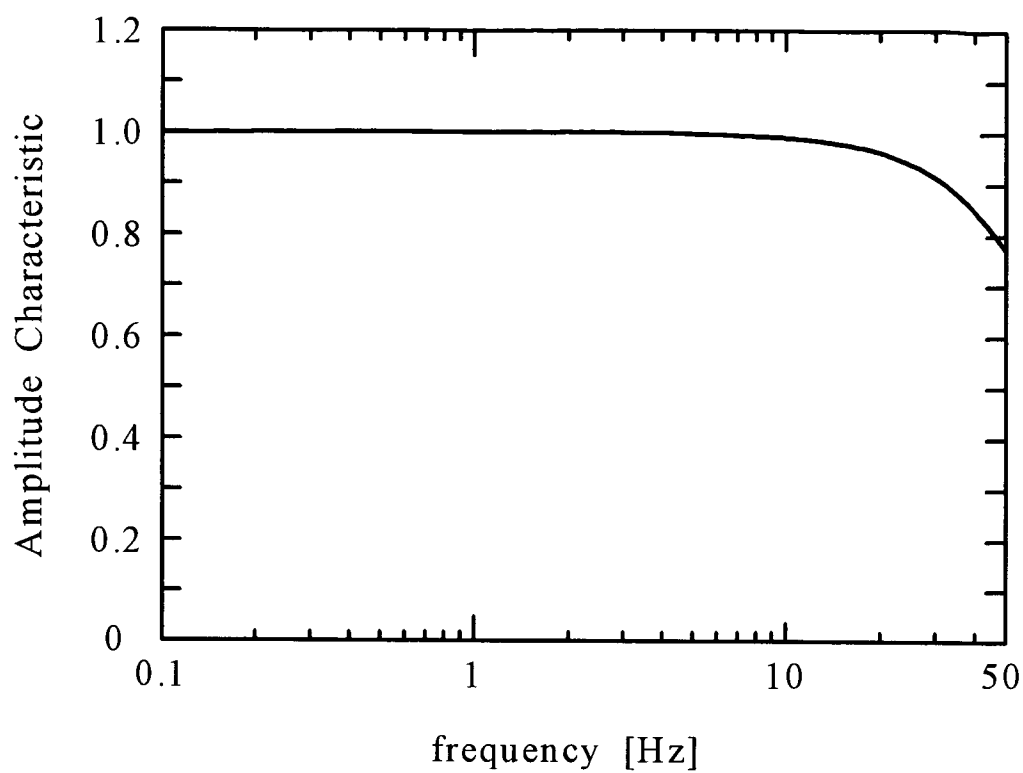
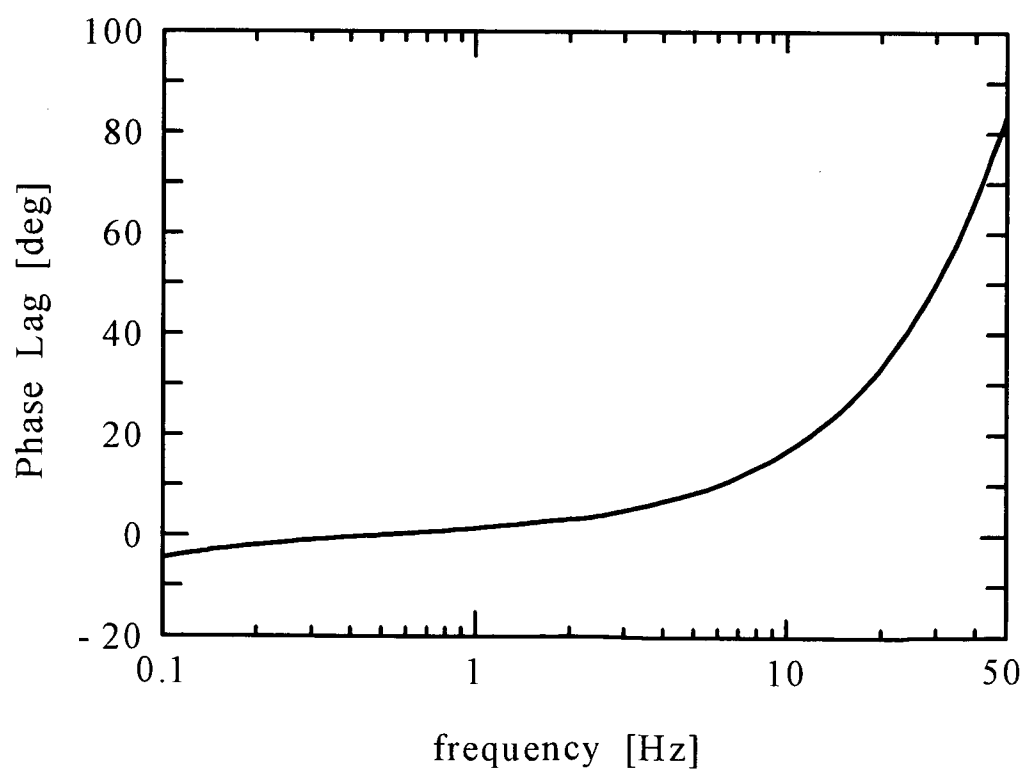


図 10.2 換振器の基本構造



(a) 振幅特性 $A(f)$

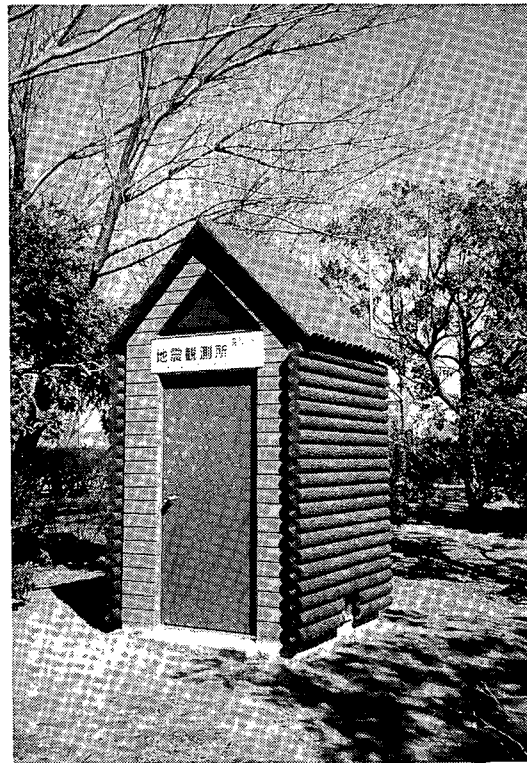


(b) 位相特性 $\phi(f)$

図10.3 強震計の振幅及び位相特性

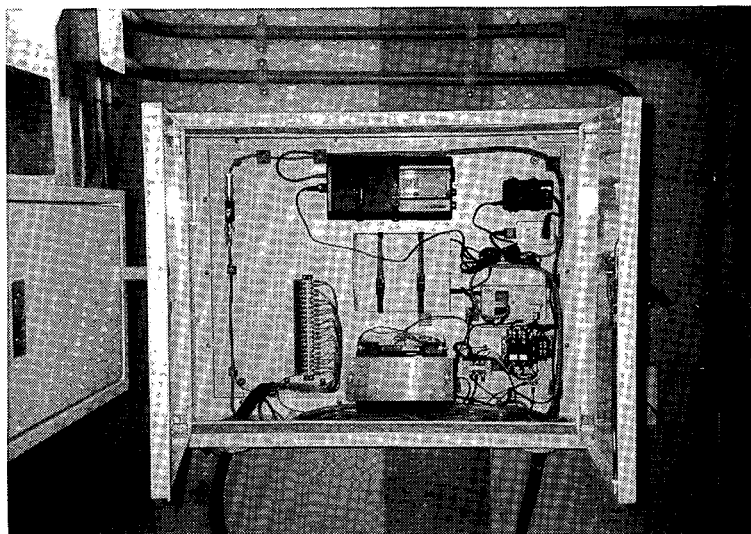


(a) 標準タイプ



(b) 丸太小屋タイプ

写真 10.1 観測小屋の外観



(a) 観測装置



(b) 換振器

写真 10.2 観測機器の外観

謝 辞

高密度強震観測施設の設置に関しては、各方面からの多大な御支援をいただきました。以下にお世話になりました機関名を示し、厚く御礼申し上げます。

建設大臣官房技術調査室

建設省河川局

〃 道路局

〃 関東地方建設局

〃 〃 千葉国道工事事務所

〃 〃 横浜国道工事事務所

〃 中部地方建設局

〃 〃 静岡国道工事事務所

〃 〃 沼津工事事務所

〃 近畿地方建設局

〃 〃 六甲砂防工事事務所

〃 〃 兵庫国道工事事務所

静岡県

〃 御前崎土木事務所

〃 藤枝土木事務所

〃 下田土木事務所

〃 下田土木事務所松崎支所

〃 伊豆農林事務所

静岡地方法務局

〃 西伊豆出張所

静岡県立相良高等学校

静岡県松崎警察署

相良町

相良町立相良中学校

相良町立相良小学校

相良児童館

大沢保育園

焼津市

焼津市立東益津中学校

〃 東益津小学校

〃 焼津西小学校

〃 東益津幼稚園

焼津市第15自治会

焼津市第16自治会

サッポロビール(株)静岡工場

沼津市

沼津市立愛鷹中学校

〃 今沢中学校

〃 今沢小学校

愛鷹公民館

沼津農業協同組合愛鷹支所

松崎町

松崎町立松崎中学校

〃 松崎小学校

伊豆太陽農業協同組合

伊那下神社

土屋守氏

兵庫県

兵庫県立東灘高等学校

神戸市

神戸市立神戸商業高等学校

〃 赤塚山高等学校

〃 住吉中学校

〃 六甲アイランド小学校

〃 渦が森小学校

〃 東灘小学校

〃 本山南小学校

〃 本山第三小学校

神戸市立本山第一小学校

阪神高速道路公団

〃 神戸管理部

阪神水道企業団

(財)神戸市下水道公社向洋管理事務所

神戸新交通(株)

神奈川県

神奈川県立西湘高等学校

小田原市

小田原市立国府津中学校

〃 酒匂中学校

〃 前羽小学校

〃 国府津小学校

〃 酒匂小学校

〃 下府中小学校

(株)富士電機

(株)富士電機能力開発センター

千葉県

〃 水産共同実習所

大蔵省関東財務局千葉財務事務所

千葉県立安房水産高等学校

〃 安房南高等学校

〃 安房高等学校

〃 館山高等学校

千葉市

千葉市立幕張本郷中学校

〃 幕張西中学校

習志野市

習志野市立第六中学校

〃 屋敷小学校

日本道路公団

日本道路公団総合研修所

石油公団

〃 石油開発技術センター

館山市

館山市立第二中学校

〃 第三中学校

〃 館山小学校

〃 北条幼稚園

参考文献

- 1) 日本学術会議：高密度強震観測の推進について（内閣総理大臣あて）、昭和55年5月12日
- 2) 大久保忠良：高密度強震観測計画について、土木技術資料、第22巻、第4号、昭和55年4月
- 3) 大久保忠良、岩崎敏男、川島一彦：土木研究所における高密度強震観測計画及び記録の解析、天然資源の開発利用に関する日米会議、耐風耐震構造専門部会、第13回合同部会、昭和56年5月
- 4) 大久保忠良、荒川直士、川島一彦：土木研究所における高密度強震観測及び記録の解析、天然資源の開発利用に関する日米会議、耐風耐震構造専門部会、第14回合同部会、昭和57年5月
- 5) International Association for Earthquake Engineering : Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays, Proc. of the International Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays, Edited by Iwan ,W.D., Honolulu, Hawai, U.S.A., May, 1978
- 6) 建設省土木研究所：土木構造物に対する強震観測、土木研究所資料、第1734号、昭和57年6月
- 7) 土木学会：土木学会耐震基準に等に関する提言集、平成8年5月
- 8) 日本学術会議：阪神・淡路大震災調査特別委員会報告、平成9年4月
- 9) 横山次郎、森下晶、糸魚川淳二：日本地方地質誌、中部地方、朝倉書店、昭和50年
- 10) 建設省土木研究所：土木研究所における高密度強震観測システム ― (1)相良地区の観測システム ―、土木研究所資料、第1847号、昭和57年7月
- 11) 杉山雄一、下川浩一、坂本亨、秦光男：静岡地域の地質、地域地質研究報告、東京(8)第98号、昭和57年3月
- 12) 静岡県地震対策室：静岡県地震対策基礎調査報告書（地質断面図）、地震対策資料（地盤－1）No.5-1978、昭和53年3月
- 13) 建設省土木研究所：土木研究所における高密度強震観測システム ― (2)焼津地区の観測システム ―、土木研究所資料、第1994号、昭和58年3月
- 14) 池田俊雄：地盤と構造物、鹿島出版会、昭和50年7月
- 15) 土隆一編：静岡県の地質、昭和49年3月
- 16) 静岡県地震対策課：静岡県地震対策基礎調査報告書 ― ボーリング柱状図集(東) ―、昭和58年3月
- 17) 建設省土木研究所：土木研究所における高密度強震観測システム ― (3)沼津地区の観測システム ―、土木研究所資料、第2140号、昭和59年9月
- 18) 工業技術院地質調査所：下田地域の地質、地域地質研究報告、東京(8)第105号、昭和45年7月
- 19) 建設省土木研究所：土木研究所における高密度強震観測システム ― (4)松崎地区の観測システム ―、土木研究所資料、第2238号、昭和60年5月
- 20) 石川浩次：「阪神大震災」中間報告会予稿集、日本応用地質学会、平成7年5月
- 21) 活断層研究会：新編日本の活断層、東京大学出版会、平成3年3月
- 22) 奥村清：神奈川 自然の歴史、コロナ社、昭和56年12月

- 23) 神奈川県企画部企画調整室：土地分類基本調査・小田原・熱海・御殿場、国土調査、昭和60年3月
- 24) 日本の地質関東地方編集委員会：日本の地質3・関東地方、共立出版、昭和61年10月
- 25) 建設省国土地理院：都市圏活断層図・V首都圏南西部地区小田原、(財)日本地図センター、平成8年9月
- 26) 清水恵助：東京湾における埋立地について、地質学論集23号、日本地質学会、昭和58年12月
- 27) 国土庁土地局国土調査課：土地分類図（千葉県）、昭和47年
- 28) 貝塚爽平：東京湾の地形・地質と水、築地書店、平成5年5月
- 29) 中田高 他：房総半島南部の完新世海成段丘と地殻変動、地理学評論53-1、昭和55年1月

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3567号
平成10年3月(1998)

キーワード：高密度強震観測，地震動，耐震設計

50円切手を
はって下さ
い

3 0 5 0 8 0 4

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
耐震技術研究センター
振動研究室 御中

No.

No.

配布先住所



土木研究所資料第3567号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印