

日本応用地質学会 東北支部

第 10 回研究発表会講演集

2003年1月24日

日本応用地質学会  
東北支部



## 日本応用地質学会東北支部 第10回研究発表会

○日 時：平成15年1月24日（金）10：00～17：00

○場 所：ハーネル仙台 2F 会議室

〒980-0014 仙台市青葉区本町2-12-7 TEL：022-222-1121

○参加費：3,000円

○協 賛：東北地質調査業協会

○座 長：《午前》 森 一司（東北農政局）

《午後》 橋本 修一（東北電力株）

### ○プログラム概要

開 会（10：00）

・開会挨拶 田野 久貴（東北支部支部長）

[午前の部]（10：10～11：50）

・一般発表 ①～⑤編

・昼 食（11：50～13：00）

[午後の部]

・一般発表 ⑥～⑩編（13：00～14：40）

・休 憩（14：40～15：00）

・特別講演（15：00～16：30）

「仙台地域の地盤環境と地震防災」

もとさか  
源 栄

正人（東北大学大学院工学研究科・災害制御研究センター

センター長・教授）

・総合討論（16：30～16：50）

・閉会挨拶 太田 保（東北支部副支部長）

○懇親会（17：30～）

場 所：ハーネル仙台 2F

参加費：4,000円



○プログラム

10:00～10:10 開会挨拶 田野 久貴（東北支部支部長）

午前の部

【 地下水および温泉水 】

10:10～10:30 ①水質からみた福島県の温泉の湧出機構に関する研究（3）  
—中～高鹹度温泉水の堆積環境—

○村上 智昭（株）三本杉ジオテック）

齋藤 公紀（ 同 上 ）

藤島 泰隆（ 同 上 ）

10:30～10:50 ②福島県中通り南部地域主要帯水層の地下水位低下の現状  
○谷藤 允彦（新協地水株）

10:50～11:10 ③仙台市街地の地下水流動に関する研究

○尾崎 充弘（東北電力株）

加藤 彰（株）テクノ長谷）

橋本 修一（東北電力株）

【 調査事例 その1 】

11:10～11:30 ④ボーリングコアの直感的観察から岩盤の地すべりの大構造を考える  
—岩盤地すべりのアバウトな見方—

○塚原 光（応用地質株）

野溝 昌宏（ 同 上 ）

細野 哲久（ 同 上 ）

11:30～11:50 ⑤道路建設中に発生した地すべり調査事例

○進藤 陽介（株）ダイヤコンサルタント）

釜台 和則（ 秋田県農林水産部 ）

高野 邦夫（株）ダイヤコンサルタント）

11:50～13:00 昼 食



午後の部

【 調査事例 その 2 】

- 13:00～13:20 ⑥花崗岩の風化度調査手法について  
○前田 修吾 (株)テクノ長谷  
荒川 雅樹 ( 同 上 )  
椎名 義徳 ( 東北農政局 )  
森 一司 ( 同 上 )
- 13:20～13:40 ⑦亀裂性岩盤の大型ブロックサンプリング手法  
○内海 実 (基礎地盤コンサルタンツ(株))  
鈴木 健一郎 (株)大林組 技術研究所)

【 地 震 他 】

- 13:40～14:00 ⑧トルコ・チャイアベール地震災害報告  
○田野 久貴 (日本大学工学部)  
オメル・アイダン (東海大学海洋学部)
- 14:00～14:20 ⑨GISを用いた宅地防災への提言 (宮城県沖地震に備えて)  
○栗谷 将晴 (株)復建技術コンサルタント)  
小林 俊樹 ( 同 上 )  
佐藤 真吾 ( 同 上 )
- 14:20～14:40 ⑩プレート発電計画  
○中川 久夫 (元・東北大学教授)
- 14:40～15:00 休 憩
- 15:00～16:30 《 特別講演 》  
「仙台地域の地盤環境と地震防災」  
東北大学大学院工学研究科・災害制御研究センター  
センター長・教授  
もとさか 源栄 正人 氏
- 16:30～16:50 総合討論
- 16:50～17:00 閉会挨拶 太田 保 (東北支部副支部長)
- 17:30～ 懇 親 会

# 目 次

## [発表講演]

- ①水質からみた福島県の温泉の湧出機構に関する研究 (3)  
—中～高鹹度温泉水の堆積環境— ..... 1  
(株)三本杉ジオテック      ○村上 智昭  
齋藤 公紀  
藤島 泰隆
- ②福島県中通り南部地域主要帯水層の地下水位低下の現状 ..... 7  
新協地水(株)      ○谷藤 允彦
- ③仙台市街地の地下水流動に関する研究 ..... 13  
東北電力(株)      ○尾崎 充弘  
(株)テクノ長谷      加藤 彰  
東北電力(株)      橋本 修一
- ④ボーリングコアの直感的観察から岩盤の地すべりの大構造を考える  
—岩盤地すべりのアバウトな見方— ..... 19  
応用地質(株)      ○塚原 光  
野溝 昌宏  
細野 哲久
- ⑤道路建設中に発生した地すべり調査事例 ..... 25  
(株)ダイヤコンサルタント      ○進藤 陽介  
秋田県農林水産部      釜台 和則  
(株)ダイヤコンサルタント      高野 邦夫
- ⑥花崗岩の風化度調査手法について ..... 31  
(株)テクノ長谷      ○前田 修吾  
荒川 雅樹  
東北農政局      椎名 義徳  
森 一司
- ⑦亀裂性岩盤の大型ブロックサンプリング手法 ..... 37  
基礎地盤コンサルタンツ(株)      ○内海 実  
(株)大林組 技術研究所      鈴木 健一郎



|                           |          |
|---------------------------|----------|
| ⑧トルコ・チャイーアベール地震災害報告 ..... | 39       |
| 日本大学工学部                   | ○田野 久貴   |
| 東海大学海洋学部                  | オメル・アイダン |

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| ⑨GISを用いた宅地防災への提言（宮城県沖地震に備えて） ..... | 45     |
| (株)復建技術コンサルタント                     | ○栗谷 将晴 |
|                                    | 小林 俊樹  |
|                                    | 佐藤 真吾  |

|                 |        |
|-----------------|--------|
| ⑩プレート発電計画 ..... | 49     |
| 元・東北大学教授        | ○中川 久夫 |

## [特別講演]

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| 「仙台地域の地盤環境と地震防災」 .....  | 51                    |
| 東北大学大学院工学研究科・災害制御研究センター | <sup>もとさか</sup> 源栄 正人 |

# 水質からみた福島県の温泉の湧出機構に関する研究 (3)

## — 中～高鹹度温泉水の堆積環境 —

①

(株)三本杉ジオテック

○村上 智昭・齋藤 公紀・藤島 泰隆

### 1. はじめに

福島県内の温泉は、火山熱を利用した温泉が大半を占める。しかし、一部の地域では、火山の熱源が利用できなく、地下増温率をもとに深部から温泉水を汲み上げているもの、あるいは、熱源はあるが地下水に恵まれず、1000m以上の深部の地下水脈を探り当て温泉水を求めているものがあり、このような場合、溶存成分が極めて高くなるのが特徴である。

本発表は温泉水中の溶存成分の根源を究明するために、水質より、揚湯深度付近の地層の堆積環境をもとに考察したものである。

### 2. 地下水の特性

地下水には、地表水型（天水・河川・湖沼・海水 etc.）、層内水型（化石水・地層水とも呼称）、旧坑水（古洞水）および混合水型（上記の混合水）がある。一般に温泉水といわれているものは、上記のいずれかに属し、それぞれの水質特性は次のようである。

地表水型地下水は、降雨・融雪水・河川水・湖沼水・海水等の地表水が、粗鬆な土砂あるいは岩石亀裂（断層破碎帯・造構造運動時に生成された亀裂・岩石固有の節理等）を水路として浸透した地下水である。火山熱の恩恵を受けていない鉱泉の場合は、地盤温度よりも湧水温が幾分低く、口に含んでも殆ど味がなく、特異な場合を除いて臭気や沈殿物を伴わないのが特徴である。これら地表からの浸透水は、水路周辺の土砂・岩石より諸成分を溶解してくるため、この水の組成分析をすると雨水や河川水に較べて、水に比較的溶けやすい炭酸類あるいは珪酸等に差異が認められることが多く、溶解に要した流路の長さ、閉塞された土砂・亀裂中に貯溜した時間等により、溶解している成分・含有量に変化が認められる。なお、浸透過程で、未固結状の火山灰あるいは軟質な凝灰岩と地下水が接触した場合、硫化水素の臭気あるいは白色の沈殿物を伴うことが多い。

一方、層内水は、ある程度の地質年代（ $>0.1\text{Ma}$ ）の間、地層中に滞溜・閉塞していた地下水をいい、堆積当時（火成岩の場合は、噴出あるいは貫入時）の水圏に一次的に由来したもの、造構造運動に伴い二次的に上下の地層より移動して地層中に貯溜されたもの、あるいは、上部の地層の堆積にかかわった水圏（河川等の淡水あるいは海底堆積時の海水）から二次的に浸透し、地層中に貯溜されたものがある。したがって、地層の堆積あるいは産出する化石とは必ずしも地質年代が一致しないと想定されるため、化石水という呼称を使用しないことにする。



このような層内水型の地下水が、岩石中の粒子間に貯溜している場合は殆んどなく、大半の地下水は、岩石中の節理・亀裂、時には大規模な裂罅および断層に付随する破碎帯に閉じこめられている場合が多い（地下水が岩石中の粒子間に貯溜している場合、岩石の孔隙率は5～40%前後であるため、実際に地下深部の掘削切羽から湧出が起きても、岩石粒子間より滲み出てくる程度であり、災害を招くようなことは全くない。トンネル掘削で切羽面が湿潤してきた場合は、湧水の前兆と見ることができる）。

層内水型の湧出水は長期に亘って地層中に閉塞されているため、その湧水温は、ほぼ地温に等しい。溶存成分は、岩石中からの溶解あるいは還元作用により、ある特定の成分（ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{I}^-$  etc.）はイオン交換により増加傾向を示すが、減少する成分（ $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Br}^-$  etc.）もある。また、バクテリアの作用により減少あるいは皆無（ $\text{SO}_4^{--}$ ）となる成分もあり、初生水に比較して水質を大きく変化させている。

| 地 下 水                                                   |                                                        | 地 表 水                                                 |                                                         |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 地表水型                                                    | 層内水型                                                   | 海水                                                    | 河川・湖沼水                                                  |
| $\text{HCO}_3^- \gg \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$     | $\text{Cl}^- \gg \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--}$    | $\text{Cl}^- \gg \text{SO}_4^{--} \gg \text{HCO}_3^-$ | $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$       |
| $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} \geq \text{Mg}^{++}$      | $\text{Na}^+ \gg \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$      | $\text{Na}^+ \gg \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$     | $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} \geq \text{Mg}^{++}$      |
| $\text{SO}_4^{--} > \text{Ca}^{++} \geq \text{Mg}^{++}$ | $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} \gg \text{SO}_4^{--}$ | $\text{SO}_4^{--} > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$  | $\text{SO}_4^{--} > \text{Ca}^{++} \geq \text{Mg}^{++}$ |
| $\text{I}^- = \text{Br}^- = 0$                          | $\text{I}^- > \text{Br}^-$                             | $\text{Br}^- \gg \text{I}^-$                          | $\text{I}^- = \text{Br}^- = 0$                          |

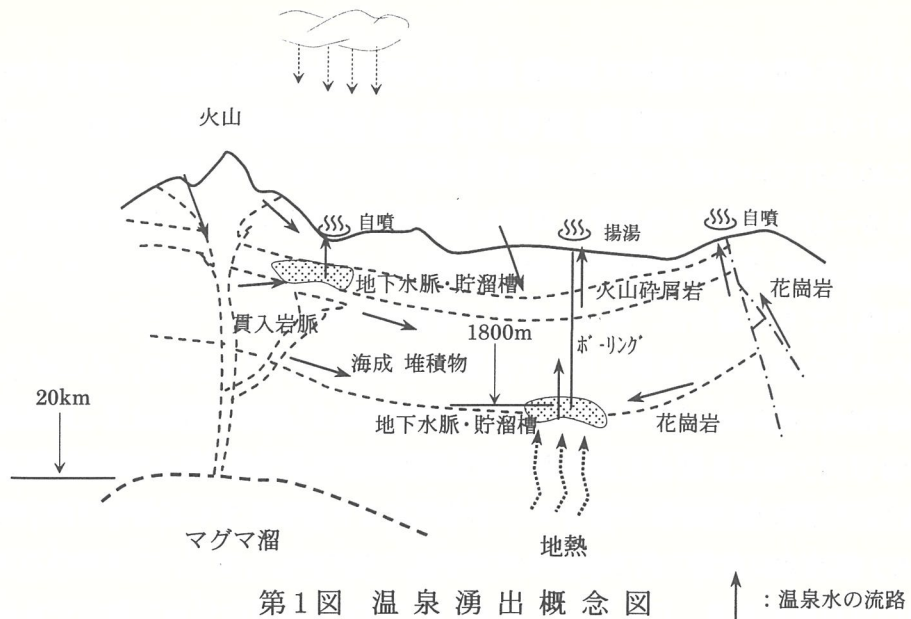
岩盤に閉塞された海水中の  $\text{SO}_4^{--}$  は、硫酸バクテリアに喰われ殆んど0になるため、温泉泉質として検出される硫酸イオンの多くは、湧出過程で二次的に溶解してきたものである。そのため、鉱山等の地下深部（坑口排水準下300m以深）の閉塞状態から採取した地下水では、硫酸イオンは殆んど検出されない。

また、海水では  $\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$  の関係を示すが、地下水では  $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$  の関係を示している。中～高鹹度の温泉もこの傾向を示しており、堆積当時の海水が周辺の岩盤とイオン交換したことが判る。。

温泉水が地下深部に貯溜する過程は次のように推測される。

- ・地層が堆積当時（火成岩の場合は、噴出あるいは貫入時）の水圏に一次的に由来したもの
- ・造構造運動に伴い二次的に上下の地層より移動して地層中に貯溜したもの
- ・火成岩の貫入により周辺の岩盤が破碎され移動・貯溜したもの、
- ・上部の地層の堆積にかかわる水圏（河川等の淡水あるいは海底堆積時の海水）から二次的に浸透し、ある程度の地質年代（ $>0.1 \sim 1\text{Ma}$ ）の間、地層中に滞溜したもの

第1図に福島県における温泉湧出状況を概念図で示す。

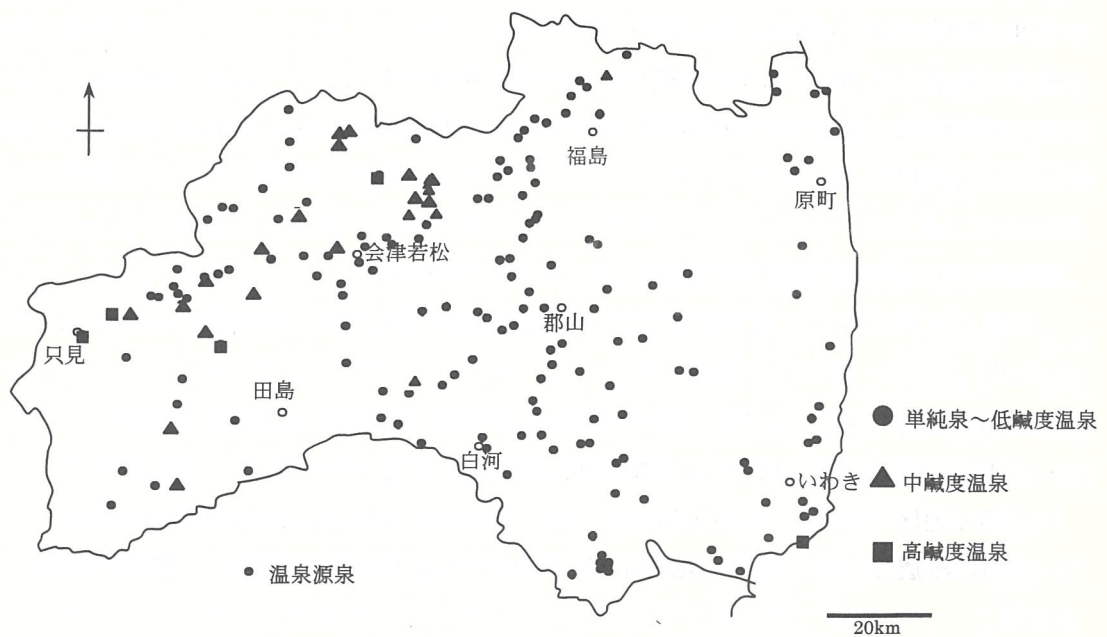


### 3. 中～高鹹度温泉水の分布状況

地下水の塩分濃度による分類は、Gessener(1940) : Merr und Strand の「水域の塩分濃度による分類」により、湊正雄(1953) : 「地層学」で以下のように分類している。

|     |        |        |        |    |
|-----|--------|--------|--------|----|
| 淡水  | 低(貧)鹹水 | 中鹹水    | 高(多)鹹水 | 海水 |
| 100 | 1,000  | 10,000 | 18,880 |    |

これら中～高鹹度温泉の分布は下図のように示される。





福島県内の約 400 の温泉水質を塩分濃度で分類すると、次の様にまとめられる。

中鹹度温泉 43

高鹹度温泉 7

第2図に示すように、いわき地区の1源泉を除くと、すべてが、会津地区に集中している。これらの温泉源はいずれも、ふるさと創生あるいは、リゾート開発に関連した温泉開発の場合が多く、自噴あるいは浅所から温泉を求められなかった温泉源ばかりである。

代表的な中～高鹹度温泉の温泉泉質を「第1表 主要な温泉泉質」に示す。下表に示すように、5温泉を除くと、他の温泉源はすべて 1000m以上の深部に源泉を求めており、地表水からの稀釈の比較的少ない地層に包蔵する地下水を利用していることが判る。

第1表 主要な温泉泉質

| 鹹度    | 源泉名  | 所在地   | 掘削深度(m) | 水温(℃) | 孔底深度(m) | pH  | HC03 <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | SO4 <sup>-</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | 全固形物     |
|-------|------|-------|---------|-------|---------|-----|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|----------|
| (ppm) |      |       |         |       |         |     |                   |                 |                 |                |                  |                  |                  |          |
| 高鹹度   | 只見   | 只見町   | 1300    | 39.0  |         |     | 63.2              | 23959.0         | 10665.0         | 6959.0         | 925.3            | 303.0            | 582.5            |          |
|       | 国民年金 | いわき市  | 1200    | 37.0  | 44.0    | 7.4 | 116.5             | 17830.0         | 10390.0         | 73.6           | 0.0              | 984.3            | 0.0              | 28,690.0 |
|       | 大塩   | 北塩原村  | 150     | 35.0  |         | 6.4 | 1988.5            | 11772.7         | 7550.4          | 172.7          | 445.8            | 616.2            | 0.3              | 22,718.8 |
|       | 滝沢   | 金山町   | 120     | 58.0  |         | 7.0 | 2836.4            | 10921.3         | 6904.2          | 1363.9         | 981.2            | 378.5            | 231.8            | 23,377.7 |
|       | 佐倉   | 昭和村   | 1500    | 42.2  |         | 7.2 | 425.7             | 10420.0         | 5793.0          | 32.8           | 561.9            | 978.6            | 31.8             | 17,630.0 |
| 中鹹度   | 磐梯山  | 北塩原村  | 1500    | 85.8  |         | 7.5 | 1795.0            | 8539.0          | 6652.0          | 479.0          | 1964.0           | 122.0            | 73.3             | 18,830.0 |
|       | 猪苗代  | 猪苗代町  | 1500    | 47.8  | 100.0   | 6.7 | 1557.0            | 4663.0          | 2688.0          | 719.1          | 5.3              | 164.8            | 40.3             | 8,590.0  |
|       | 一の木  | 山都町   | 1300    | 59.6  |         | 7.1 | 317.0             | 2843.0          | 2751.0          | 74.4           | 2729.0           | 232.9            | 91.5             | 9,267.0  |
|       | 早戸   | 三島町   | 60      | 50.0  |         | 6.6 | 644.8             | 2411.3          | 1616.7          | 123.2          | 580.5            | 226.5            | 65.6             | 5,427.3  |
|       | 西山   | 柳津町   | 自噴      | 67.0  |         | 7.8 | 1084.9            | 2297.0          | 1679.2          | 432.8          | 337.7            | 58.1             | 29.7             | 5,814.2  |
|       | サンビア | 会津若松市 | 1300    | 50.9  | 69.9    | 7.8 | 94.5              | 2258.0          | 1388.0          | 100.1          | 18.2             | 47.2             | 0.5              | 4,356.0  |
|       | 昭和   | 昭和村   | 1304    | 52.0  | 86.5    | 7.6 | 249.1             | 1851.0          | 1229.0          | 300.8          | 378.8            | 52.5             | 2.5              | 3,660.0  |
|       | 橋立   | 金山町   | 200     | 49.0  |         | 7.7 | 2419.7            | 1671.8          | 1521.1          | 150.9          | 414.4            | 360.1            | 85.9             | 5,999.6  |
|       | こおり  | 桑折町   | 1280    | 30.8  | 59.1    | 8.4 | 252.3             | 1593.0          | 1358.0          | 14.0           | 867.4            | 25.5             | 0.0              | 4,253.0  |
| 海水    | 太平洋  | 苦小牧市  | 海面      |       |         | 7.4 | 63.0              | 18881.9         | 10533.0         | 353.0          | 2314.3           | 495.5            | 1,137.3          | 32,497.0 |

すなわち、温泉泉質には次のような特徴がみられる。

地層中に包蔵され、閉塞状態におかれると、初生水の水質が大きく変化する成分として、SO<sub>4</sub><sup>-</sup>、Mg<sup>++</sup> が挙げられるが、極めて多量に検出している場合が見受けられる。これは、揚水対象とした地層が、海成層の火山砕屑岩である場合が多く、かつ、火成岩の貫入や溶岩流が被覆していることが多いため、湧出過程で二次的に汚染されたと想定される。

なお、特異な源泉としては、海水より鹹度の高いものとして只見の源泉があり、Na<sup>+</sup> イオンの溶存量は海水と差異が認められないが、K<sup>+</sup> イオンが海水の 20 倍近く溶解している。この源泉は熱水変質の影響を受けている可能性があり、重金属の溶解されている可能性の大きな源泉である。

#### 4. 温泉水の湧出層序

中～高鹹度温泉の温泉源の地質層序を示すと次のようである。

第2表 温泉湧出層序表

| 源泉名  |     | 只見 | 国民年金 | 大塩 | 滝沢  | 佐倉  | 磐梯山  | 裏磐梯 | 猪苗代  | 一の木   | 早戸 | 西山   | サンビア | 昭和 | 橋立   | こおり  |     |
|------|-----|----|------|----|-----|-----|------|-----|------|-------|----|------|------|----|------|------|-----|
| 地質時代 |     |    |      |    |     |     |      |     |      |       |    |      |      |    |      |      |     |
| 新第三紀 | 鮮新世 |    |      |    |     |     |      |     |      |       |    |      |      |    |      |      |     |
|      | 中新世 | 後期 |      |    |     |     |      |     |      |       |    | 布沢層  |      |    |      |      |     |
|      |     | 中期 |      |    |     |     | 二の沢層 |     | 二の沢層 | 五枚川沢層 |    |      | 藤峠層  |    |      |      |     |
|      |     | 前期 | 滝沢川層 |    | 面川層 | 大塩層 | 小川沢層 |     | 松原層  |       |    | 滝沢川層 |      |    | 小川沢層 | 滝沢川層 | 霊山層 |
| 古第三紀 | 始新世 |    | 白水層群 |    |     |     |      |     |      |       |    |      |      |    |      |      |     |
| 白亜紀  |     |    |      |    |     |     |      |     |      |       |    |      |      |    |      |      |     |

揚水個所付近の地層は、上記の「第2表 温泉湧出層序表」で示すように、大半が海成層か、あるいは、前後に海成層が広く発達している地層に相当し、各地層の堆積当初の水圏に大きく左右されているようである。

なお、深度 1000mクラスの温泉でも、火成岩の貫入により岩盤が破碎され、亀裂の発達している箇所の地下水を温泉源としているところでは、地表からの浸透水により稀釈され、低鹹度～単純泉の様相を呈するものがある（11 源泉）。

## 5. まとめ

福島県内の温泉について、水質の根源を、揚水している対象の地層から想定すると次のようである

- 1) 大半の温泉は、地表からの浸透水が、火山熱あるいは、地熱により温められて湧出している（金属事業団による調査で極めて新しい地下水）単純泉である
- 2) 温泉に恵まれない地域およびリゾート開発の一環として開発された 1000mクラスの温泉は、地表からの浸透水による稀釈が少なく、地層が堆積した当時の水圏あるいは、その後の造構造運動により、上下地層から移動して、岩盤亀裂帯に滞留・閉塞された地下水を利用しているため、溶存成分が極めて多量である
- 3) 中～高鹹度を示す温泉は、すべてが、揚水対象としている地層が海成層であり、堆積当時の水圏が、水質に影響を与えており、貯溜・閉塞当時の海水水質より、イオン交換等により、大きく変質している
- 4) 海成層からの揚水でありながら、単純泉の水質を示すものは、広範囲にわたり岩盤亀裂（貫入岩・断層帯等）が発達し、地表からの浸透水により稀釈されている

## 6. 参考文献

- 北村 信 編（1986）新生代東北本州弧地質資料集
- 佐藤公紀・村上智昭・鈴木正臣・金子真由美・藤島泰隆（2001）水質から見た福島県の温泉の湧出機構に関する研究 日本応用地質学会東北支部第9回研究発表会 pp.19～24
- 新エネルギー総合開発機構 NEDO（1985）地熱開発促進調査，No.8，奥会津地域地質調査所（1992）日本地質図大系（東北地方）
- 福島県厚生部薬務課（1960）福島県の温泉
- 福島県生活環境部（1978）福島県の温泉
- 藤島泰隆（1994）水質から見た深層地下水の特性 日本応用地質学会東北支部第3回研究発表会 pp.28～41
- 湊 正雄（1953）地層学 p.10
- 村上智昭・佐藤公紀・鈴木正臣・藤島泰隆（2001）水質から見た福島県の温泉の湧出機構に関する研究（その2）日本応用地質学会 平成13年度研究発表会 講演論文集 pp.363～366
- 室住正世・渡辺寛人・我孫子勤（1965）温泉水溶存成分の起源に関して 地層水の化学成分の夾炭層内における変質 温泉工学会誌 Vol.3, No.2, pp.9～18
- 本島公司・益子 安・甘露寺保雄（1973）地下水・温泉の分析 講談社



## 福島県中通り南部地域主要帯水層の地下水位低下の現状

②

谷藤允彦    新協地水(株)

**要旨**……福島県中通り南部では深度 100m～200m 付近に良好な地下水の帯水層が分布することが知られ、1970 年以降、水道用水・工業用水として多数の深井戸が掘削され、地下水の汲み上げ量が急激に増大している。

それに伴って 1980 年代頃から既設の井戸から得られる地下水量が減少をはじめ、その原因を明らかにすることが求められるようになった。当初は水質とスクリーン材質に関連した目詰まりが原因ではないかと考えられ、材質の改善・井戸洗浄などの対応が行われていた。この地域における主要地下水帯水層となっているのは、白河層や郡山層などの更新統の下に分布する「仁公儀層」であることが明らかになってきた。「仁公儀層」は鮮新統の湖成層と考えられている。

地下水量の減少は、過剰揚水により、仁公儀層の地下水位が低下しているためではないかという推測がなされていたが、この地域には仁公儀層を対象とした地下水位の変動を長期間にわたって観測している観測井戸がないため、地下水位低下の実態は明らかにされていない。

本研究では、仁公儀層の地下水位変動を明らかにするため、仁公儀層を採水対象とした水道水源深井戸を中心に、掘削された時期と掘削時に測定された自然水位の関係から仁公儀層の地下水位変動を求めた。

掘削時のデーターを使用したのは、掘削時にかなりしっかりした揚水試験が行われ、長期継続的な揚水の影響を受けない自然水位が測定できるからである。

本研究の結果、福島県中通り南部においては、仁公儀層の水位低下が年間 1m 以上に達する実情が明らかになり、地下水汲み上げ制限などの対策が緊急の課題として浮上している。

### 参考資料

- ・福島県矢吹町、大信村・泉崎村の水道水源深井戸のデーター
- ・新協地水(株)の深井戸施工記録
- ・新生代東北本州弧地質資料集 (1986 年) 北村信編
- ・東北地方土木地質図解説書 (1988 年) 東北地方土木地質図編纂委員会



## 福島県中通南部地質図

東北地方土木地質図より





表---① 中通南部の地質と地下水

| 時 代         |             | 年代    | 地 層 名  | 地 質                              | 地 下 水 の 状 況                           |                           |
|-------------|-------------|-------|--------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 第<br>四<br>紀 | 完 新 世       |       | 1万年    | 沖積層<br>低位段丘堆積層<br>火山灰<br>高位段丘堆積層 | 黒ボク、粘土、<br>砂、礫<br><br>火山灰、粘土、砂、礫      |                           |
|             | 更<br>新<br>世 | 後 期   | 20万年   | 郡山層                              | 泥炭、粘土、砂、礫                             | 層厚30～40m 水量多い             |
|             |             | 中 期   | 70万年   |                                  |                                       |                           |
|             |             | 前 期   | 200万年  | 白河層                              | 石英安山岩質熔結凝灰岩<br>微粒砂質凝灰岩、砂岩<br>礫岩、亜炭を挟む | 層厚60～100m<br>砂岩、礫岩に地下水を含む |
|             |             | 鮮 新 世 | 500万年  | 仁公儀層                             | 泥岩、凝灰岩、礫岩を<br>挟む砂岩                    | 層厚100～150m<br>優れた帯水層      |
| 第<br>三<br>紀 | 中<br>新<br>世 | 後 期   | 900万年  |                                  |                                       |                           |
|             |             | 中 期   | 1600万年 | 久保田層                             | 泥岩を主とし、砂岩を挟む                          | 砂岩は多少地下水を含む               |
|             |             |       |        | 赤坂層                              | 細粒砂岩を主とし泥岩を挟む                         |                           |
|             |             | 前 期   |        |                                  |                                       |                           |
| 先 第 三 期     |             |       |        | 阿武隈山系<br>花崗岩類<br>竹貫式結晶片岩類        |                                       | 一般に地下水を含まない               |



表---① 深井戸のリスト

| 名称 | 所在地         | 天端標高      | 井戸深    | 自然水位  | 水位標高  | 揚水量    | 水位低下  | 動水標高  | 比湧出量   | 掘削年月     | 主な帯水層   |
|----|-------------|-----------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|----------|---------|
| 01 | 三城目簡易水道第3水源 | 矢吹町三城目    | 260.00 | 65.0  | 10.36 | 249.64 | 250.0 | 15.91 | 233.73 | 1968年1月  | 白河+仁公義層 |
| 02 | 三城目簡易水道第1水源 | 矢吹町神田西    | 280.00 | 92.0  | 7.80  | 272.20 | 462   | 30    | 242.20 | 1971年3月  | 白河+仁公義層 |
| 03 | 矢吹町立中畑小学校   | 矢吹町中畑     | 292.00 | 150.0 | 14.64 | 277.36 | 1044  | 14.62 | 262.74 | 1973年3月  | 仁公義層    |
| 04 | 日本道路公団矢吹IC  | 矢吹町赤沢     | 280.00 | 65.0  | 9.70  | 270.30 | 295   | 5.37  | 264.93 | 1973年7月  | 白河+仁公義層 |
| 05 | 矢吹町上水道第4水源  | 矢吹町五本松    | 300.00 | 207.0 | 14.45 | 285.55 | 1323  | 24.13 | 261.42 | 1973年11月 | 仁公義層    |
| 06 | 矢吹町田内地区揚水機場 | 矢吹町強清水    | 280.00 | 150.0 | 0.25  | 279.75 | 1226  | 22.8  | 256.95 | 1974年1月  | 仁公義層    |
| 07 | 矢吹町上水道第5水源  | 矢吹町善郷内    | 286.00 | 243.0 | 11.93 | 274.07 | 2268  | 19.07 | 255.00 | 1974年8月  | 仁公義層    |
| 08 | 圃場整備備前地区開拓  | 矢吹町中畑     | 290.00 | 230.0 | 3.00  | 287.00 | 2160  | 9.71  | 277.29 | 1974年11月 | 仁公義層    |
| 09 | 永光化成(株)矢吹工場 | 矢吹町中畑     | 298.00 | 150.0 | 21.41 | 276.59 | 1260  | 25.37 | 251.22 | 1977年11月 | 仁公義層    |
| 10 | 矢吹町上水道第6水源  | 矢吹町大池     | 285.00 | 260.0 | 14.12 | 270.88 | 1257  | 12.97 | 257.91 | 1977年12月 | 仁公義層    |
| 11 | 矢吹町上水道第7水源  | 矢吹町大池     | 285.00 | 210.7 | 16.18 | 268.82 | 1092  | 16.47 | 252.35 | 1977年12月 | 仁公義層    |
| 12 | 矢吹町上水道第8水源  | 矢吹町善郷内    | 280.00 | 220.0 | 14.25 | 265.75 | 1862  | 24.38 | 241.37 | 1978年6月  | 仁公義層    |
| 13 | 矢吹町上水道第9水源  | 矢吹町新町     | 290.00 | 224.0 | 20.48 | 269.52 | 2194  | 9.17  | 260.35 | 1978年6月  | 仁公義層    |
| 14 | 矢吹町西部簡易水道水源 | 矢吹町柿ノ内字田内 | 278.00 | 221.0 | 5.10  | 272.90 | 766   | 6.3   | 266.60 | 1980年3月  | 仁公義層    |
| 15 | 福島県農業経営大学校  | 矢吹町一本木    | 285.00 | 150.0 | 16.00 | 269.00 | 939   | 7.73  | 261.27 | 1980年3月  | 仁公義層    |
| 16 | 三神地区簡易水道水源  | 矢吹町幸内     | 285.00 | 221.0 | 14.93 | 270.07 | 1164  | 4.82  | 265.25 | 1980年12月 | 仁公義層    |
| 17 | 農村総合整備モデル事業 | 矢吹町根宿     | 285.00 | 200.0 | 10.88 | 274.12 | 1467  | 4.75  | 269.37 | 1983年3月  | 仁公義層    |
| 18 | 矢吹町上水道第10水源 | 矢吹町大和内    | 285.00 | 221.0 | 20.02 | 264.98 | 1716  | 8.18  | 256.80 | 1984年10月 | 仁公義層    |
| 19 | 三城目簡易水道第4水源 | 矢吹町沢尻     | 280.00 | 135.0 | 8.85  | 271.15 | 898   | 9.79  | 261.36 | 1984年11月 | 仁公義層    |
| 20 | 共栄プリント工業(株) | 矢吹町堰ノ上    | 300.00 | 220.0 | 32.18 | 267.82 | 691   | 14.01 | 253.81 | 1985年2月  | 仁公義層    |
| 21 | 矢吹町予備第11水源  | 矢吹町文京町    | 295.00 | 221.0 | 25.97 | 269.03 | 655   | 2.63  | 266.40 | 1987年11月 | 仁公義層    |
| 22 | 矢吹町予備第12水源  | 矢吹町大和内    | 294.00 | 220.0 | 35.87 | 258.13 | 1080  | 7.27  | 250.86 | 1990年1月  | 仁公義層    |
| 23 | 矢吹町予備第13水源  | 矢吹町大池     | 287.00 | 321.0 | 34.54 | 252.46 | 1008  | 6.59  | 245.87 | 1990年11月 | 仁公義層    |
| 24 | 矢吹町予備第14水源  | 矢吹町新町     | 290.00 | 252.0 | 33.10 | 256.90 | 1733  | 11.00 | 245.90 | 1991年12月 | 仁公義層    |
| 25 | 三城目簡易水道第5水源 | 矢吹町三城目字中野 | 261.00 | 100.0 | 8.34  | 252.66 | 1162  | 11.49 | 241.17 | 1992年9月  | 仁公義層    |
| 26 | マルビシ加工(株)   | 大信村愛宕山    | 300.00 | 190.0 | 9.41  | 290.59 | 333   | 1.40  | 289.19 | 1976年10月 | 仁公義層    |
| 27 | 大信村水源試験S-58 | 大信村弥平田    | 287.00 | 200.0 | 5.70  | 281.30 | 173   | 15.80 | 285.50 | 1984年3月  | 白河+破砕帯  |
| 28 | 大信村水源試験C地点  | 大信村上新城    | 291.50 | 91.0  | 2.00  | 289.50 | 720   | 2.90  | 286.60 | 1984年9月  | 沖積土+白河  |
| 29 | 大信村水源試験E地点  | 大信村町屋     | 291.00 | 61.0  | 2.50  | 288.50 | 288   | 30.00 | 258.50 | 1984年9月  | 白河+破砕帯  |
| 30 | 大信村水源試験J地点  | 大信村下新城    | 277.00 | 100.0 | 0.85  | 276.15 | 382   | 7.65  | 268.50 | 1984年9月  | 白河+仁公義層 |
| 31 | 大信村簡易水道水源試験 | 大信村増見堂山   | 290.00 | 32.0  | 2.55  | 287.45 | 972   | 9.21  | 278.24 | 1988年7月  | 沖積土+白河  |
| 32 | 大信村簡水第一水源   | 大信村上新城    | 287.00 | 50.0  | 2.20  | 284.80 | 1440  | 7.88  | 276.92 | 1989年9月  | 沖積土+白河  |
| 33 | 泉崎第一工業団地    | 泉崎村澁瀬五本松  | 300.00 | 200.0 | 18.45 | 281.55 | 2592  | 36.32 | 245.23 | 1990年3月  | 仁公義層    |
| 34 | 泉崎村簡易水道第2水源 | 泉崎村関和久柴田  | 300.00 | 190.0 | 41.55 | 258.45 | 2520  | 12.83 | 245.62 | 1992年3月  | 仁公義層    |
| 35 | 泉崎村簡易水道第3水源 | 泉崎村屠胴原    | 300.00 | 200.0 | 17.16 | 282.84 | 2500  | 25.02 | 257.82 | 1982年4月  | 仁公義層    |



図...② 経過時間と自然水位変動

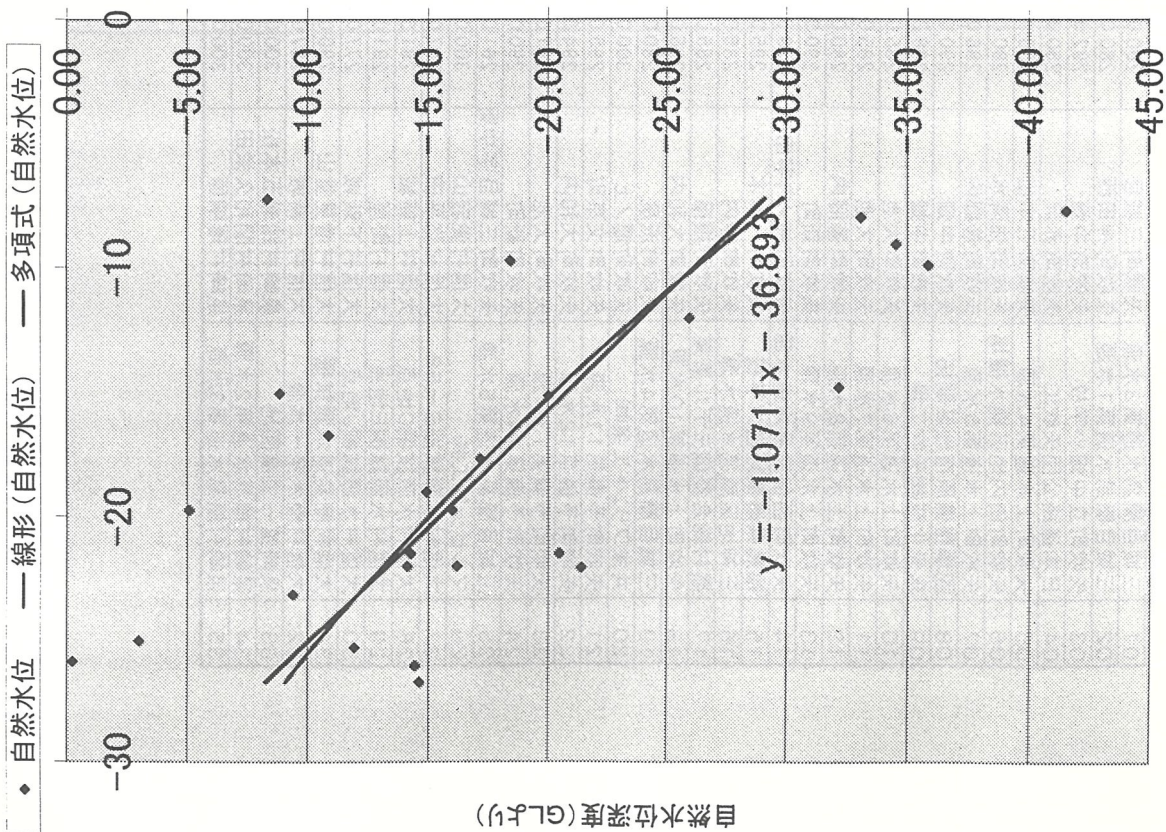
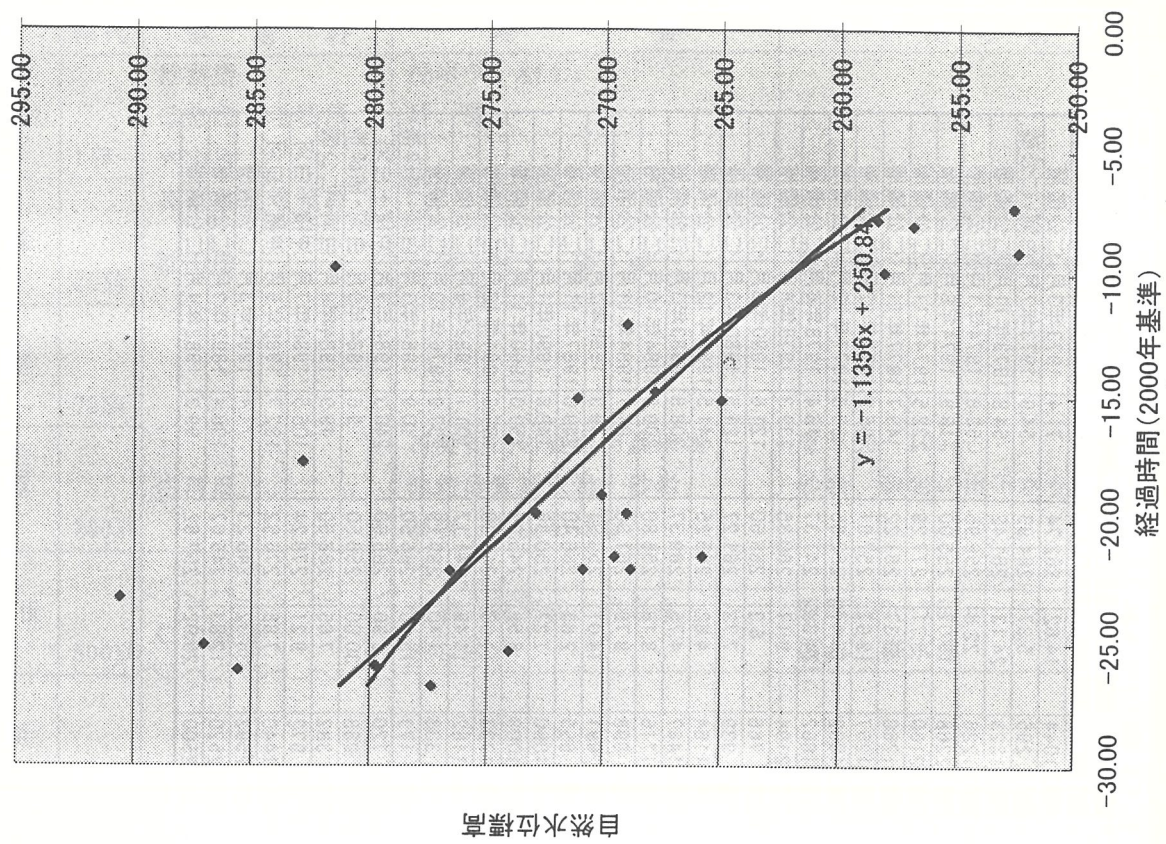


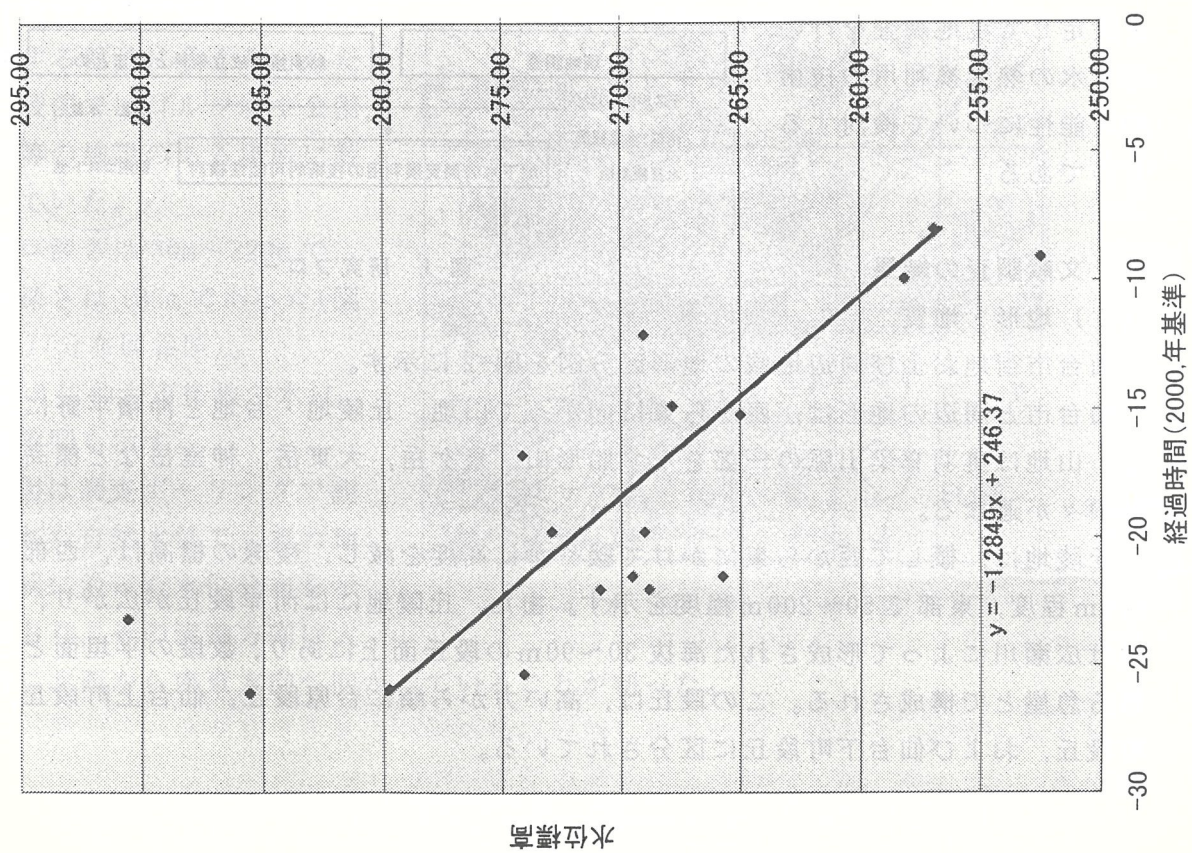
図...③ 時間経過と自然水位変化

◆ 水位標高 — 多項式 (水位標高) — 線形 (水位標高)

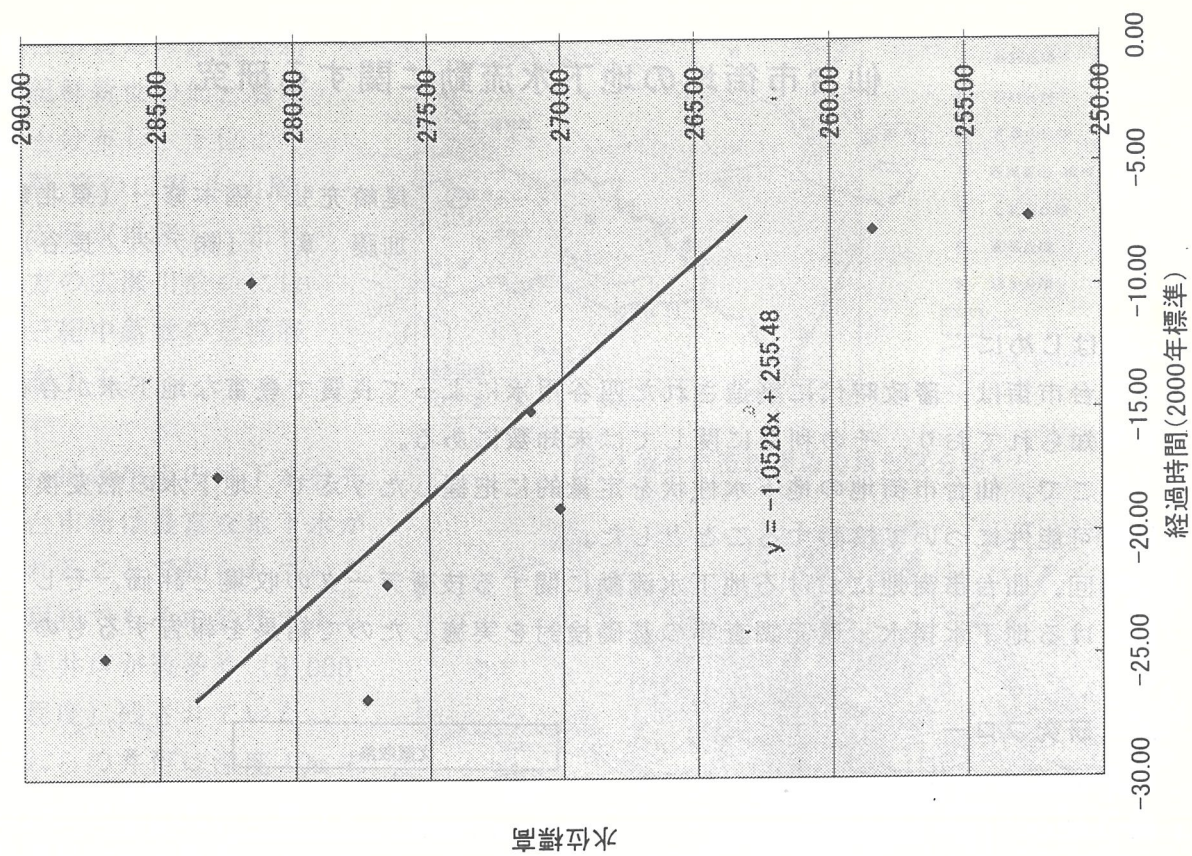




※...④ 中部地区水位変動



※...⑤ 南東部地区





# 仙台市街地の地下水流動に関する研究

③

○ 尾崎充弘・橋本修一 (東北電力㈱)  
加藤 彰 (㈱テクノ長谷)

## 1. はじめに

仙台市街は、藩政時代に築造された四谷用水によって良質で豊富な地下水が存在することで知られており、その利用に関しては未知数にある。

そこで、仙台市街地の地下水性状を定量的に把握したうえで、地下水の熱変換利用の技術的可能性について検討することとした。

今回、仙台市街地における地下水流動に関する技術データの収集と評価、そして、現地における地下水揚水・還元調査等の基礎検討を実施したので結果を報告するものである。

## 2. 研究フロー

本研究の全体フローを図-1に示す。

その内容は、仙台市街およびその周辺部の基礎データを収集整理したうえで、水理情報に主眼を置いたデータベースを作成し、その結果に基づき、モデル地区を設定して現地調査を行い、地下水の熱変換利用の技術的可能性について検討するものである。

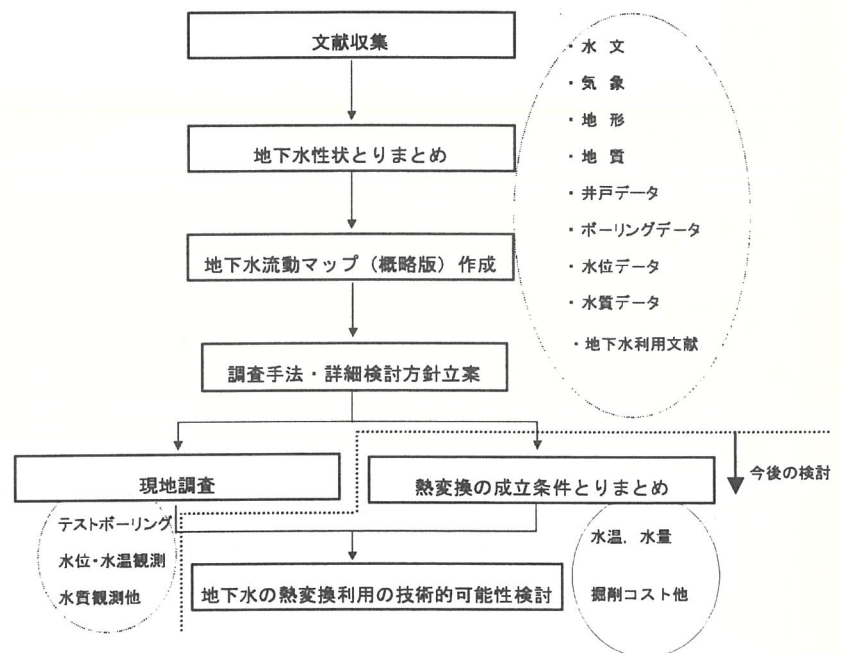


図-1 研究フロー

## 3. 文献調査の結果

### (1) 地形・地質

仙台市街地および周辺地域の地形区分図を図-2に示す。

仙台市と周辺の地形は、西から東に向かって山地、丘陵地・台地と沖積平野に大別される。山地は奥羽脊梁山脈の一部をなす船形山、泉ヶ岳、大東岳、神室岳など標高千m以上の山々が連なる。

丘陵地は、概して西から東にかけて緩やかに高度を減じ、稜線の標高は、西部で400～600m程度、東部で50～200m程度を示す。また、丘陵地には河岸段丘が広がり、仙台市街地は広瀬川によって形成された海拔30～90mの段丘面上にあり、数段の平坦面とこれを縁取る急崖とで構成される。この段丘は、高い方から順に台原段丘、仙台上町段丘、仙台中町段丘、および仙台下町段丘に区分されている。



仙台市街地の基盤は新第三紀鮮新世の仙台層群が広く分布し、下位より亀岡層、竜の口層、向山層、大年寺層が堆積し、市街地西方の広瀬川沿いには新第三紀中新世の三滝層が分布する。

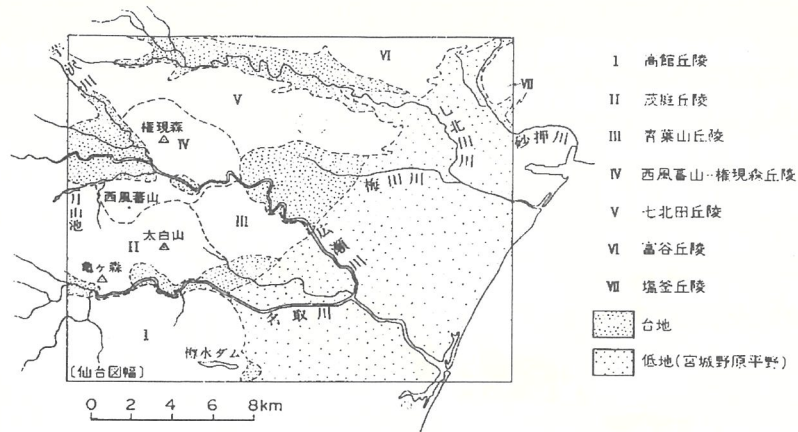


図-2 仙台市街地周辺の地形区分図※-1)

## (2) 仙台市街の地下水分布

仙台市街は豊富な地下水が得られることで知られているが、現在でもその名残である掘抜き井戸が数多く(8,000箇所程度)残されていた。

これらの井戸は深度 10m 未満の浅井戸で、その大部分が段丘礫層内から取水していた。

一方深井戸の分布には地形的な特徴は認められず、その用途が工場や病院、ガソリンスタンド、ゴルフ場等で、利用者側の立地状況に支配されており仙台市街では集合建物が密集する部分に多くみられた。

丘陵部ではゴルフ場や公園、病院等の施設のある場所に散在していた。

井戸深さは 30m~320m で、平均深さは 135m であった(図-3 井戸分布図参照)。

図-4 に仙台市街地の水位等高線図を示す。

同図は調査ボーリングで観測された自然水位で、概ね地形形状に沿った水位分布を示しており、その流動方向は大局的に北西から南東方向へ向かっていることが判った。



図-3 井戸分布図※-2)

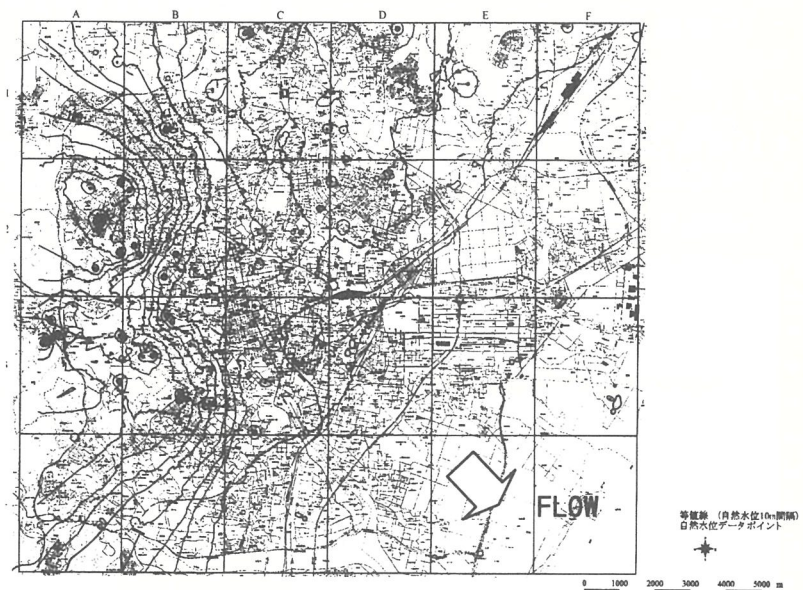


図-4 水位等高線図



#### 4. 現地調査の結果

##### (1) モデル地区の選定と水位分布

仙台市街地が発達する段丘面は、大局的に背後（北西部）に丘陵地や山地を背負い、理想的な集水域となっている。段丘を潤す地下水は、背後の山地、丘陵に限らず段丘面自体が降雨による直接的な供給を受けている。このような環境の下で、モデル地区を選定する上で、以下の点に着目した。



図-5 八幡地区周辺の水位等高線図

段丘を対象とした透水試験結果をみれば、概ね  $k=1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$  オーダーにあり、段丘面ごとの大きな違いはみられない。この事実は、現存する井戸の分布にも現れている。また、水位、水質の面からも既設井戸が使用されていることを考えれば大きな違いはないことと理解される。

以上の観点から、浅井戸が地域的にまとまっており現在でもその多くが利用されている八幡地区をモデル地区として選定した。八幡地区には古くからの造り酒屋があり、現在でも仕込み水として浅井戸が利用されている。その水質は鉄分が少ないことに特徴があり、良質な水質を現在でも維持している地域である。

図-5 に八幡地区周辺の水位等高線図、図-6 に地質断面を示す。八幡地区は段丘区分に従えば、台原段丘・仙台上町段丘・仙台中町段丘・仙台下町段丘の4面がみられる広瀬川の左岸部に相当し、井戸は中町段丘に特徴的に多く分布している。

段丘礫層を流動する地下水は段丘面の分布すなわち地形形状と調和した流れを示し、大局的に北西側から南東側および南側への流れを示している。

##### (2) モデル地区の水位変動

八幡地区にある2箇所の井戸の水位変動曲線を図-7に示す。図に示すように経年的な水位変動は小さく、降雨と調和的な変動を示しながら安定した地下水が供給されていることが判った。

聞き込み調査によれば、掘削以来（昭和以前の井戸が大半を占める）井戸涸れはなく、渇水期にごく一部に濁りが認められる程度であった。



### (3) モデル地区の水温・水質

図-8 に八幡地区井戸の水温変動曲線，図-9 に PH 値の変動曲線を示す。

水温は最低 8℃ 最高 21℃ を示し，年間平均水温は 14℃ 前後で推移していた。

一般に，地下水温は気温に対する変動幅が小さく，体感的には夏に冷たく冬に暖かい特徴があるが，八幡地区も同様に，季節的には 10 月前後に高くなり，4 月前後に低下する特徴を示していた。

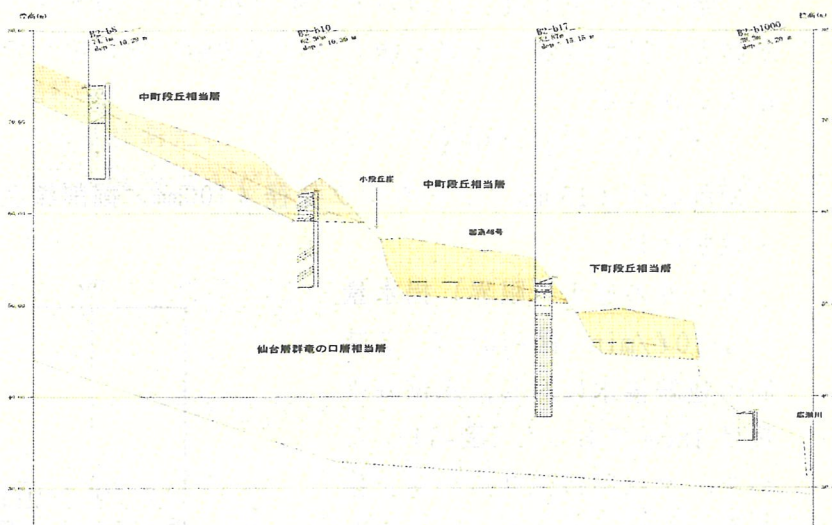


図-6 地質断面図

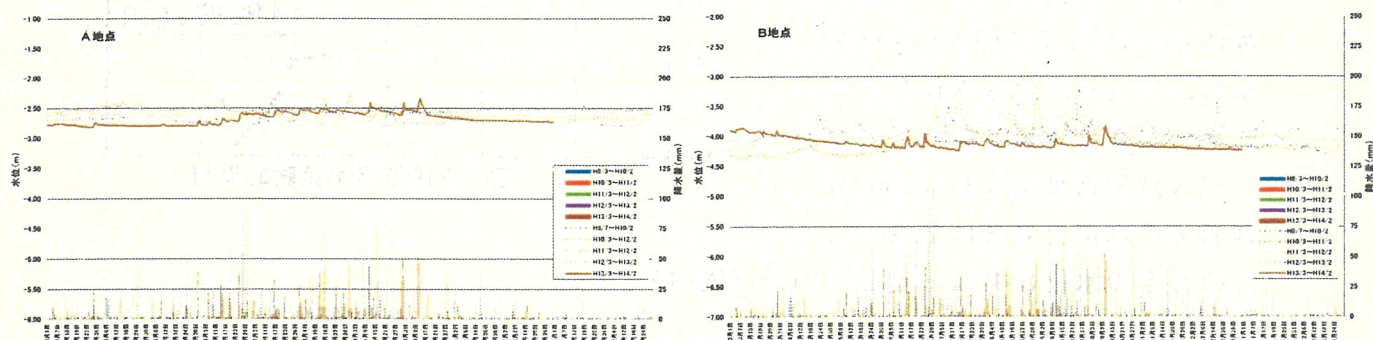


図-7 モデル地区の水位変動曲線

水質は，PH が 6～8 の中性域にあり，酸化による配管施設等への影響はきわめて小さいものと評価した。また，鉄分の含有量も 1mg/ℓ 未満を示しており，腐食に対する問題はきわめて小さいものと判断した。

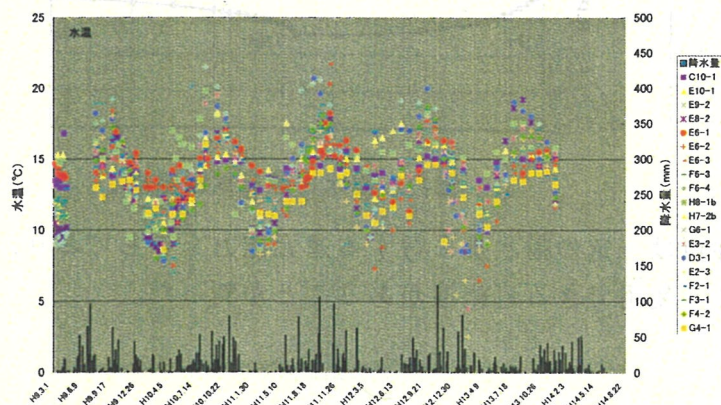


図-8 モデル地区の水温変動

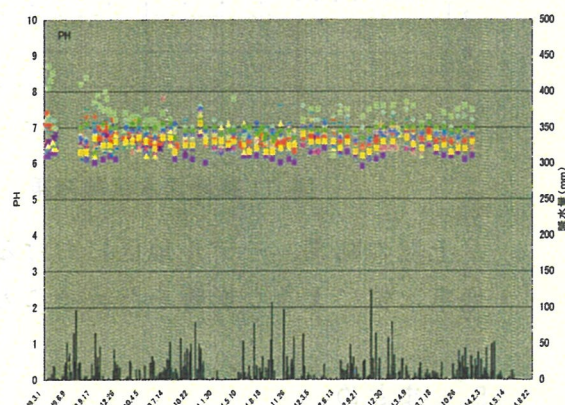


図-9 モデル地区の PH 変動曲線



#### (4) モデル地区の井戸能力

八幡地区の中町段丘において2本（揚水井と還元井）のテストボーリングを実施し、揚水能力（揚水試験）と還元能力（注入試験）を把握した。テストボーリングの仕様と試験結果を述べる。

##### ・テストボーリング仕様

掘削孔径  $\phi 150\text{mm}$  / ケーシング孔径  $\phi 100\text{mm}$  / 掘削深度  $L = 10.0\text{m}$

##### ・試験結果

揚水井の適正（限界）揚水量は  $Q=10\text{l/min}$ （図-10）で、3時間の連続揚水に対し、水位降下量は  $18\text{cm}$  であった（図-11）。このデータは周辺浅井戸の適正揚水量（ $Q=10\sim 20\text{l/min}$ ）と概ね一致していた。

揚水井戸、還元井戸の透水係数は  $k=2.5\sim 4.5\times 10^{-4}\text{cm/sec}$  を示し、周辺井戸の透水係数のオーダーと等しい値となっていた。

注入試験結果によれば 30 分経過後の水位上昇量は  $2.0\text{m}$  で、このときの水位は概ね一定していた（図-12）。

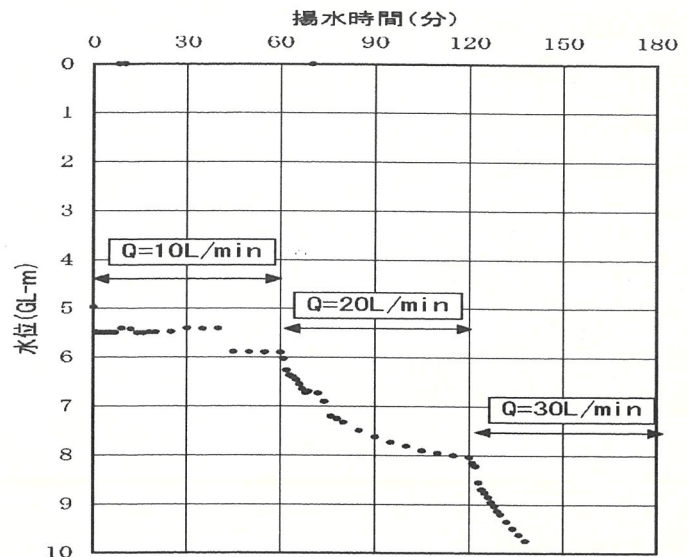


図-10 段階揚水試験結果図

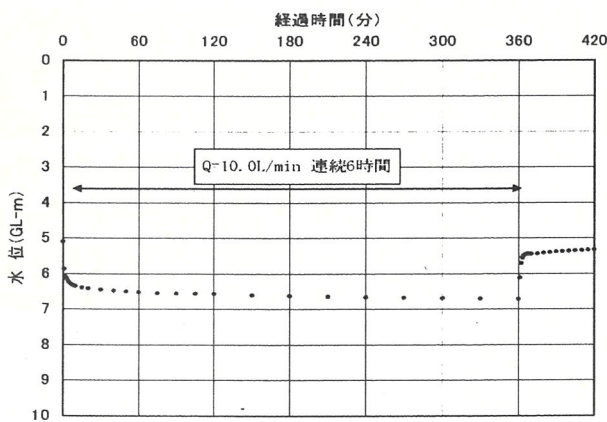


図-11 連続揚水試験結果

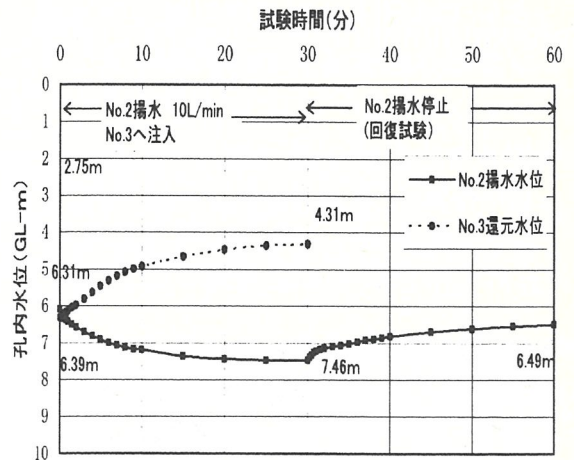


図-12 揚水・還元試験結果

上記の結果、モデル地区における井戸は一定の揚水量に対する還元能力を有しており、地下水位に大きな影響を与えることなく使用できる可能性があることが判った。

#### 5. まとめ

以上の研究結果をまとめると以下のとおりとなる。

- ・ 仙台市街地の浅層地下水は市街地全域に広がりをもつ。
- ・ モデル地区における地下水位および水質は概ね安定した推移を示している。
- ・ モデル地区における井戸は一定の揚水量に対する還元能力を有している。



## 6. おわりに

今後は、冬季における井戸能力の試験を行い、年間を通じた揚水能力・還元能力・水温・水質の確認整理し、熱変換利用の成立条件をとりまとめたうえで、仙台市街地における地下水の熱変換利用の技術的可能性について検討する予定である。

しかし、地下水の熱変換利用の普及にあたっては、既存の熱変換システムに対して、熱変換を実施する機器等を含めたトータルコストが安価であることが条件であり、将来の機器開発ならびに発展が必要である。

以 上

## [ 参考文献 ]

- 1) 地質調査所編・地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅・仙台地域の地質
- 2) 加藤彰他, 市街地における段丘礫層のみずみち (日本応用地質学会平成 13 年度研究発表会講演論文集 P.351~354)

# ボーリングコアの直感的観察から岩盤の地すべりの大構造を考える ④

## — 岩盤地すべりのアバウトな見方 —

応用地質株式会社東北支社 ○塚原 光、野溝昌宏、細野哲久

### 1.はじめに

東北地方にはkmオーダーの巨大なものから、数10m規模のきわめて小規模なものまで「地すべり」と称される地殻表層の変動がいたるところに見られる。ところで、複雑な要素からなる重力変形・移動現象である地すべりの定義や分類については着眼点によりさまざまに分けることが可能であり、人々に誤った解釈を与えている面もある。同様に、「すべり面」や「変動している範囲＝移動体」の名称も定まっていない。本論でいう「岩盤地すべり」は、「移動体を構成する主材料が岩盤であるもの」として用い、変動している領域を「移動体」、また、厚みを持ったすべり変形部分を「すべり層」と呼ぶこととする。

ところで、地すべり規模の見誤りや機構の誤解などで対策工が不十分となる事例や、存在・潜在するものを見逃して多大な損害をもたらす事例は数多い。特に岩盤地すべりで移動体内部に変形や破壊の少ない岩盤を含む場合は、地質調査において変動していない、と判断を誤りやすい。岩盤地すべりは、封圧の低い領域での岩盤の破壊・変形現象であるため、岩盤地すべりの調査解析は、この視点に立った地質的なアプローチが軸となるべきであると考ええる。本論では、詳細な地質調査に先立つ段階で、岩盤地すべりが存在する可能性を直感的に感覚し、その後のさまざまな計画、考察を行うときの参考となるようなボーリングコアの見方を紹介する。ただし、あくまで「アバウトな観察による直感的理解」であり、正しい理解には詳細な調査が必要であることをお断りしておく。

### 2.岩盤地すべりの発達の概念と着目点①：ボーリングコアから判定する岩盤の連続性

#### 2-1.岩盤地すべりの発達過程と概念的な岩盤の状態

岩盤地すべりの発達過程は、地質の性質や構造、地形、構造運動などにより異なると考えられるが、概念的には図.1のように示される。また、ある深さにせん断破壊面が連続し、すべり面が形成されて岩盤地すべりとなったあとの発達過程は、申潤植(2001)が示したものが判りやすい(図.2)。

ここで、図.2の岩盤地すべりに当てはめると、移動体内部の岩盤状況とボーリングコアの状況は大雑把に表.1のような概念で推定される。ボーリングコアで岩盤の連続性は、岩盤地すべりの内部構造を反映する指標となり得る可能性があり、主断面方向の適切な位置に配置した少ないボーリング調査から岩盤地すべりの存在の推定や、内部構造や機構の大まかな推定が可能と考えられる。

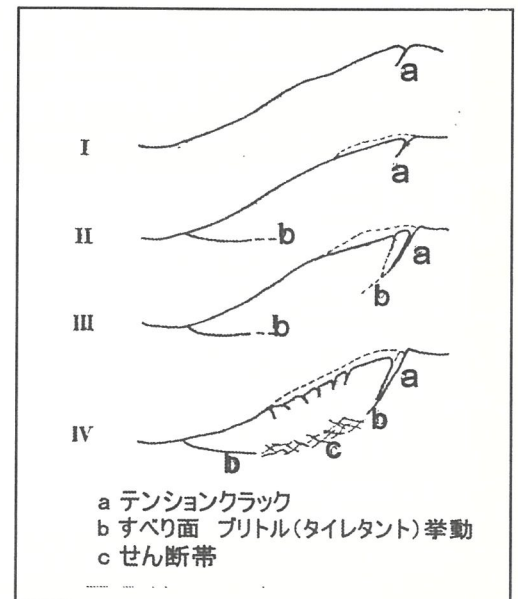


図.1 斜面破壊メカニズム (Fada,1973) (社)地盤工学会編(1985); 土砂災害の予知と対策,土質工学ライブラリー27, 地盤工学会, p.50)



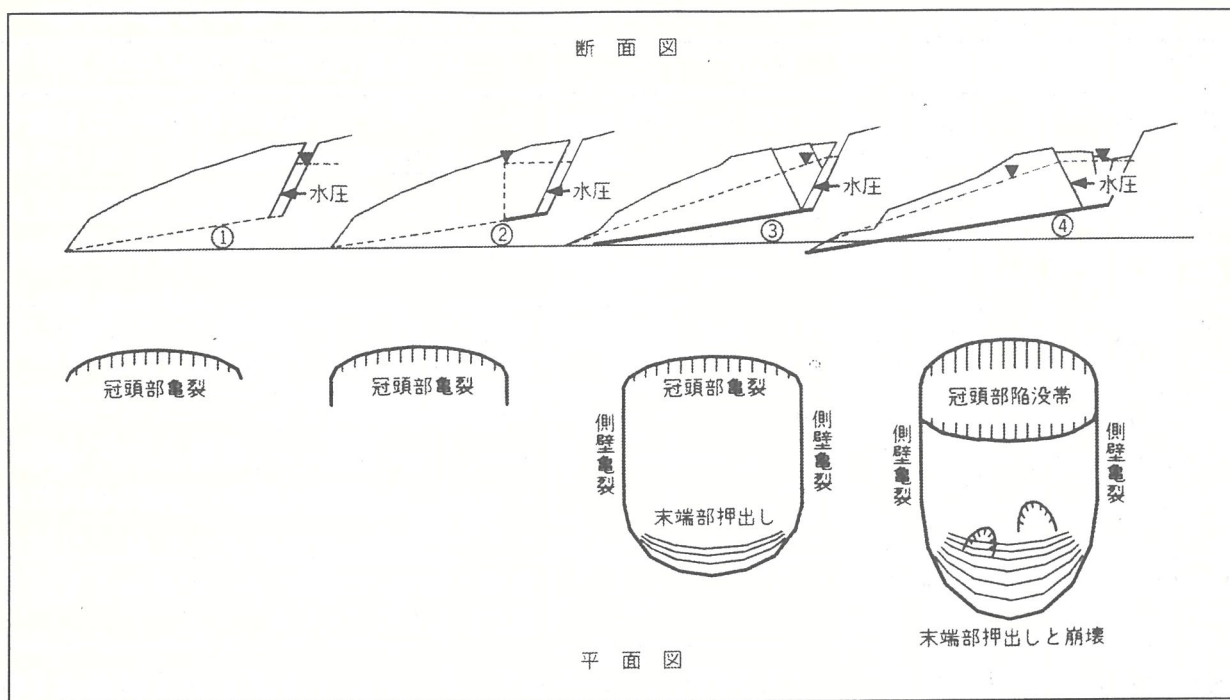


図.2 地すべりの発達過程

(申潤植 (2001)；新版地すべり工学—最新のトピックス—,近代図書, p.186)

表.1 岩盤地すべり内部の岩盤とボーリングコアの状況（概念）

| 岩盤地すべりでの位置   | 岩盤の状況                                                 | ボーリングコアの状況                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 頭部域の陥没帯      | 陥没に伴う破壊が激しく、緩みも大きい。                                   | コアの連続性に乏しく、礫状～土砂状の部分が多い。<br>いたるところに流入粘土が見られる。                                      |
| 陥没帯前面の移動体主体部 | 移動をしているものの比較的原構造を保った岩盤である。                            | コアはところどころ激しく破壊されているが、岩片状～礫状であっても大部分が柱状に復元可能あるいは連続していた跡が見られる。<br>分離面に流入粘土が見られることもある |
| 移動体の先端部      | 比較的原構造を保っているが、ところどころに著しく開口した割れ目がみられるなど岩盤の緩みや変形が進んでいる。 | 移動体主部に類似しているがコアの連続性はやや悪い、または、空洞、開口亀裂が発達する。<br>分離面に流入粘土が見られることが多い。                  |

## 2-2. 岩盤の連続性判断の一手法

広く知られている岩盤の良好性をボーリングコアから判断する方法として、**RQD** がある。**RQD** は、「ボーリングコアの 1m 当たりにおける新鮮堅硬な長さ 10 cm 以上の棒状コアの総長 (%)」で表されるが、コア形状と硬さが指標となっており、必ずしも岩盤の連続性を示さない。したがって、岩盤の連続性をこれに変わるものとして、柱状（棒状）に復元可能かどうかの直感的判断を指標にした見方を試みた。ボーリングコアから直感的かつ大胆に、連続していると判断した部分を、仮に「だんご（団子）」と呼んでみると、**RQD** との比較は概ね表.2 のようになる。この「だんご」が大きな部分はブロック化した岩盤であり、小さな部分は細かく砕けた転石状・角礫状の岩塊であると思われる。

表.2 岩盤地すべりのボーリングコアの直感的判断における一連の岩盤の評価

|                         | RQD                                       | 一連の連続したコア；仮称「だんご」                                           |
|-------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 用語の定義                   | ボーリングコアの1m当たりにおける新鮮堅硬な長さ10cm以上の棒状コアの総長(%) | ボーリングコアで地中では連続した岩盤であると思われる一連の部分                             |
| コアの新鮮さ、硬さ               | 新鮮・堅硬な部分のみカウントする                          | 風化・未風化や硬質・軟質にこだわらない                                         |
| コアの形状                   | 長さ10cm以上の棒状(柱状)コアのみカウントする                 | 形状にこだわらず、組み合わせれば棒状(柱状)に復元できそうな部分は入れる                        |
| 断層・破碎帯<br>(いわゆる断層ガウジなど) | カウントしない                                   | 一般的にカウントしない<br>ただし、強く固結しているものなど、地すべり以前の古い構造と思われる場合は入れることもある |
| 開口亀裂                    | 考慮にいれない                                   | 亀裂の両側の岩盤のズレが激しくないと <u>思われるものは入れる</u>                        |

断面図やボーリング柱状における「だんご」の分布を、ボーリング位置を示す直線を「串」に見立てた「串だんご」として表現した例を図.3に示す。あわせてRQDをグラフで示したが、見方の相違がわかる。風化部、破碎部、後述する「凝固体」などの特徴で分ける必要がある場合は、色分けや記号分けなどの工夫が必要である。

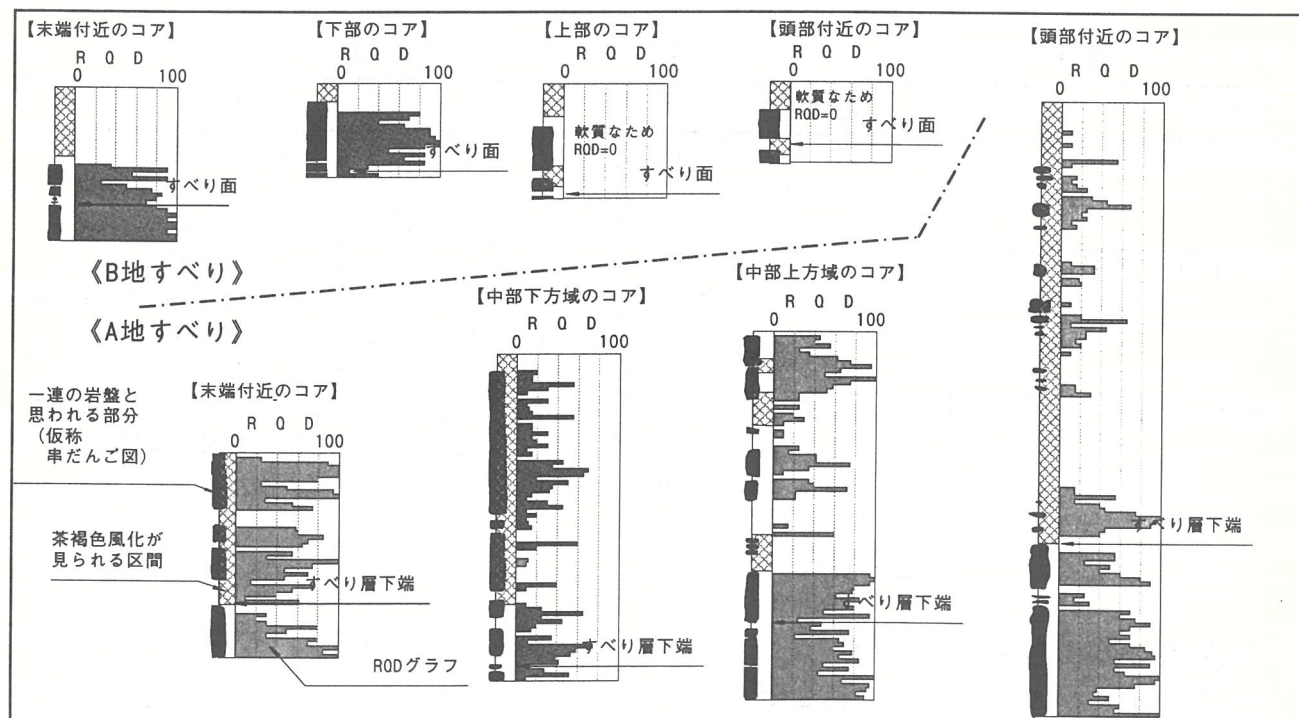


図.3 ボーリングコアの直感的判断による岩盤の連続性を表した仮称「串だんご」図とRQDグラフの例  
(東北地方の岩盤地すべりの一例；すべり面やすべり層の位置と、風化深度やRQDの分布と必ずしも一致しないことに注意)

### 3. 岩盤地すべりの内部構造研究の事例（文献から）と着目点②：凝固体

岩盤地すべりの移動体内部のボーリングコアでは、原岩の大小の岩片～角礫と、それを埋める小岩片～粘土からなるマトリックスで構成される区間が見られることがある。マトリックスに流入粘土を含んでいる。

このような岩相を大八木規夫(1994)は「岩片と粘土の凝固体」からなる岩屑層と呼んだ。



大八木規夫（1994）で詳述された和歌山県西谷地すべりでは、この「岩片と粘土の凝固体」からなる岩屑層は地すべり移動体の基底部に連続して分布しており、ある程度原岩の構造を保持していることが特徴であるとされている（図.4）。これは、岩盤が移動、変形してゆく過程で、分化したブロック間やすべり層の破碎部に、地下水に含まれる流入粘土が揉み込まれながら形成された、と考えられるが、地下深部では流入粘土が混入していないものもあると思われる。

石川県甚ノ助谷地すべりのすべり面付近の露頭では同様な岩相を示すと思われる岩屑層が報告されている（図.5）。凝固体は、岩盤の移動に伴う

一種の破碎岩またはクラスティックダイク（破碎岩脈）であり、地すべり以外には、火成岩の貫入・流動・冷却収縮などの移動や体積変化、地すべり以外の変動でもできると考え

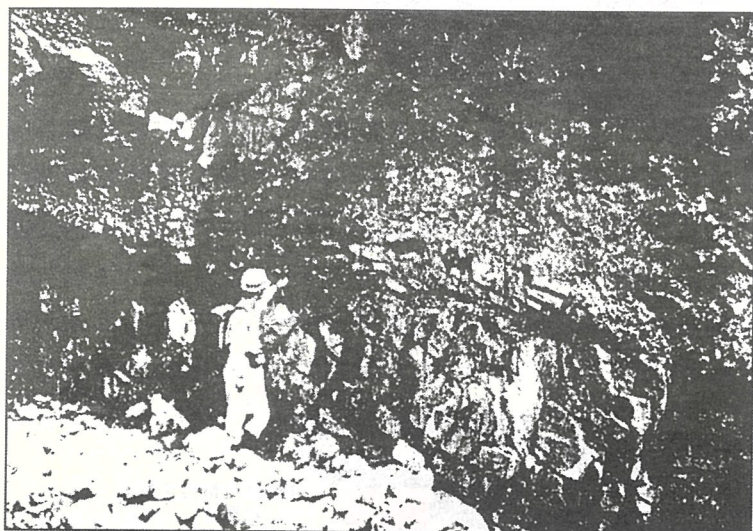


図.5 石川県甚ノ助谷地すべりにおけるすべり面付近の露頭（図.4 と同文献, p.33）

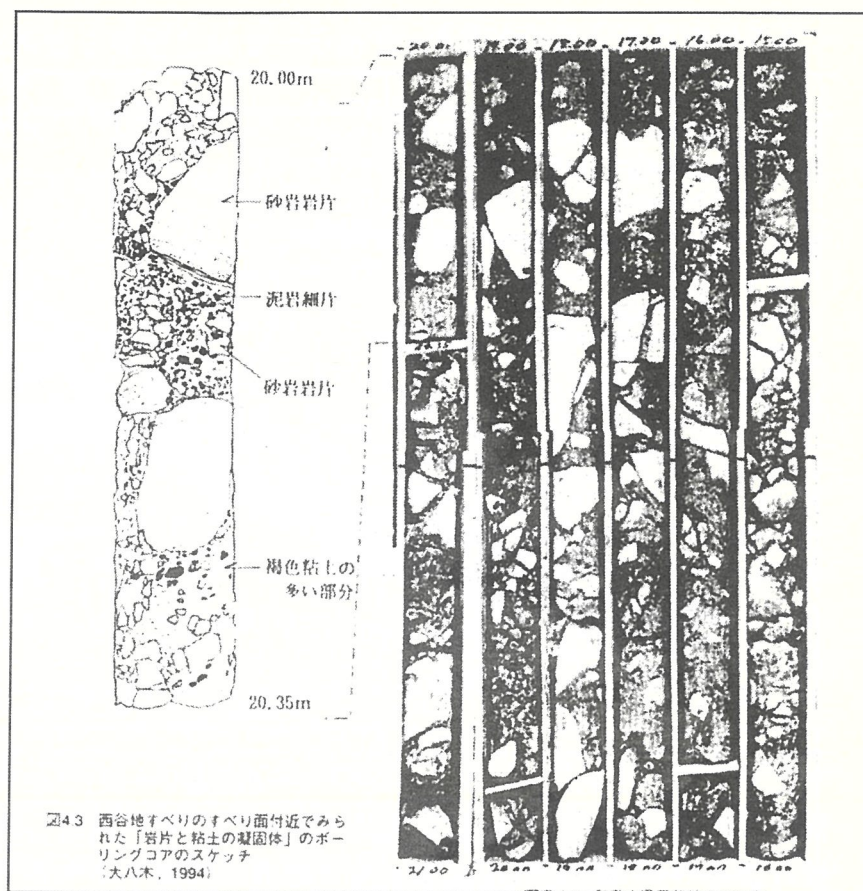


図.4 和歌山県西谷地すべりにおける「岩片と粘土の凝固体」のコアの状況（大八木（1998）;地すべりの『そとみ』と『なかみ』,深田研ライブラリー14, 財）深田地質研究所, p.31）

られるので、正しく成因を知るためには詳細な地質調査を積み上げる必要がある。しかし、ボーリングコアにおいて凝固体に類似した岩相が存在する場合は、先ず、調査箇所に岩盤地すべりが存在する可能性があることを示している。

#### 4.東北地方での岩盤地すべりの概略内部構造を着目点から推定した例

表.3 に示す東北地方の岩盤地すべりにおいて、ボーリングコアから直感的に判断した岩盤の連続性および凝固体の存在、という 2 つの着眼点で岩盤地すべりの内部構造を大まかに推定した例を図.6 に示した。



# 《和歌山県西谷地すべり》

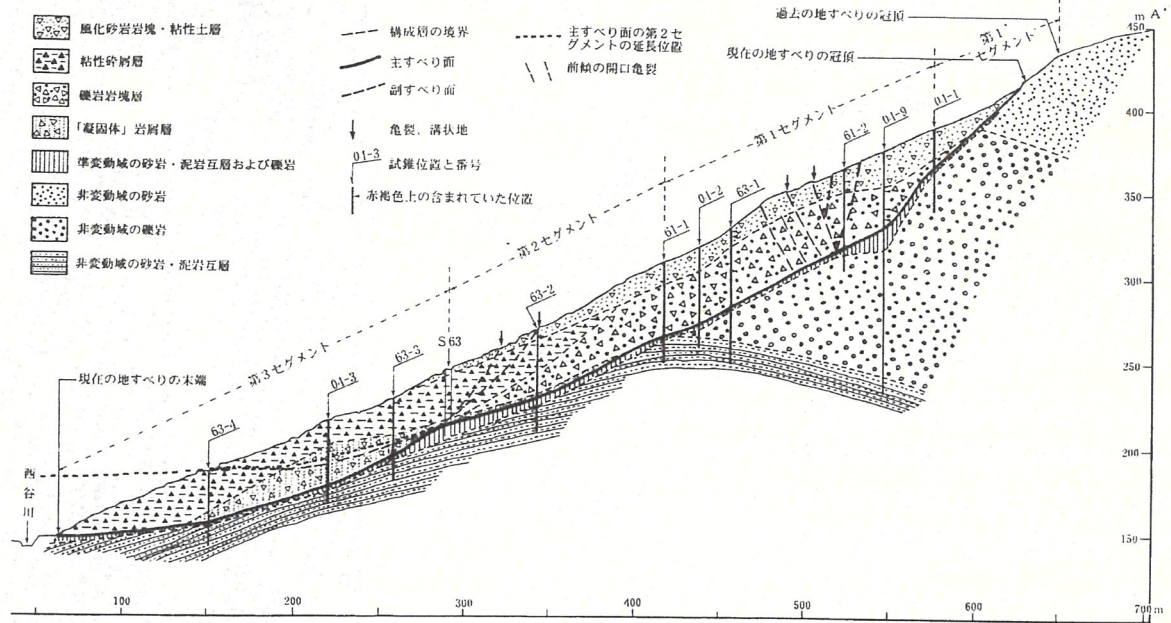


図-18 西谷地すべりのA-A' 断面に沿った地質断面図

## 《A 地すべり》

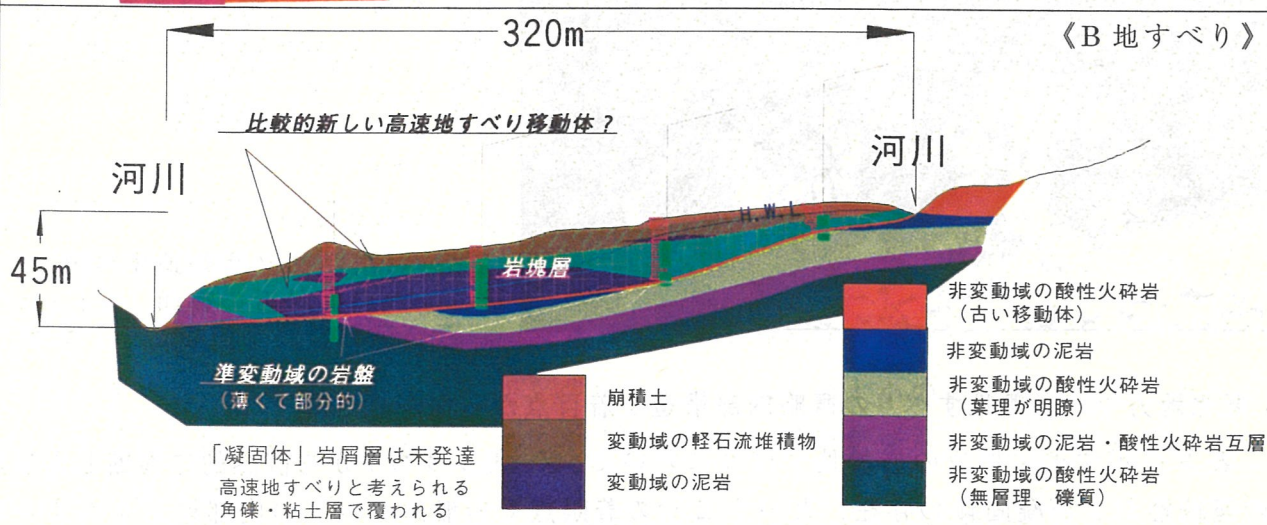
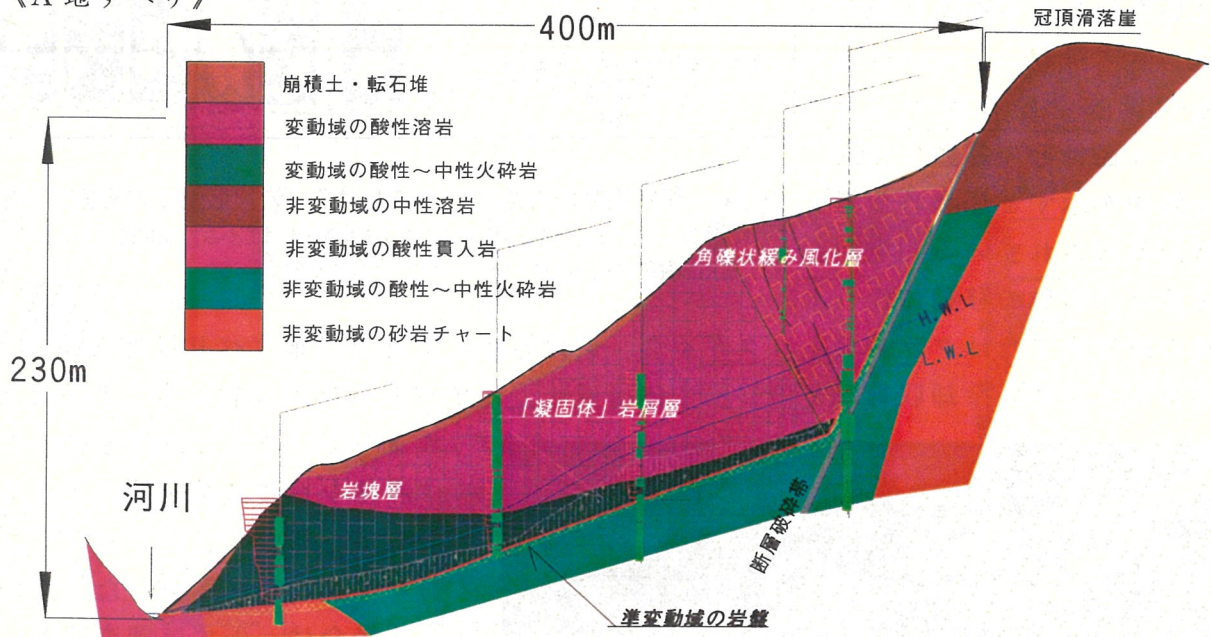
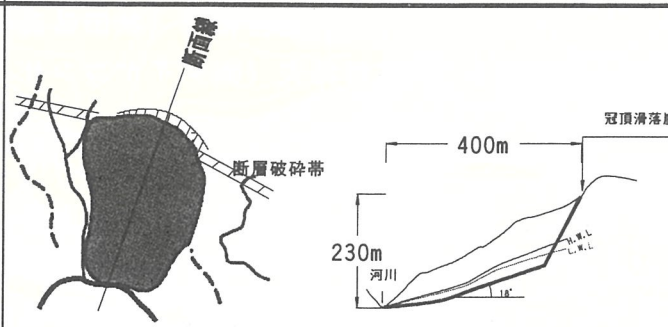
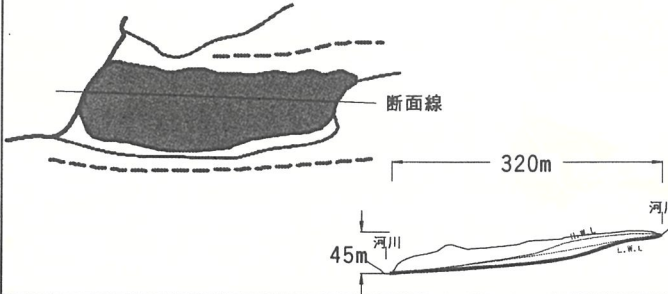


図.6 和歌山県西谷地すべりの内部構造と東北地方における2つの地すべりで推定した内部構造



表.3 内部構造を推定した2つの地すべりの概要

|        | 模 式 形 状                                                                           | 地質の概要                                                                                                                                            |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A 地すべり |  | <p>地質は中生代の砂岩を不整合、断層関係で覆う新第三紀の酸性～中性火砕岩とこれに貫入または噴出した酸性火山岩からなり、全般に分布のブロック化や地質の破碎を受けている。移動体は基底部付近が火砕岩で、これを厚い酸性火山岩が覆う構造。地すべり頭部は高角度の断層・破碎帯を境としている。</p> |
| B 地すべり |  | <p>基岩は新第三紀の泥岩および酸性凝灰岩からなり、地すべり下部を褶曲軸とするゆるやかな向斜構造を呈する。移動体の浅い部分は、粉碎し軟質化した軽石質凝灰岩からなり、基底部付近および中央より下方に泥岩の岩盤ブロックがある。</p>                               |

A 地すべりの移動体の主体部は、変形の少ない岩盤からなる岩隗層であり、頭部に明瞭な陥没帯が推定できる。急傾斜を有する平面的な頭部クラックおよびすべり面の移動体側に凝固体岩屑層が発達し、すべり面の下位は確認した厚さ 2m～5m 程度の準変動域があるものと推定される。B 地すべりは、移動体の上部は軽石凝灰岩の角礫および同質の粘土からなる堆積物で覆われており、地すべり本体の滑動に先立って高速地すべりで形成されたものと考えている。その下位は岩盤の原型をほぼ保った岩塊層からなっていて凝固体は僅かに認められるのみである。また、準変動域も部分的で 1m 程度以下と薄い。これらのことから移動距離が比較的短い履歴の新しい地すべりである可能性がある。

## 5. おわりに

岩盤地すべりの内部構造を正しく知ることは、機構解析と将来の変動予測、それに基づく適切な対策工のために不可欠である。そのためには、岩盤地すべりを、岩盤の変形・破壊現象のひとつの現れとして捉える視点が本質として大切である。地すべり対策においては、得てして地形上の判断や地すべりの一般的な概念が優先され、地質調査を軽視する傾向がある。基礎的で地味な地質調査や変形計測の役割はたいへん大きく、今後の社会において、有効で経済的な対策を行うために不可欠である。紹介したアバウトな見方が、より詳細な実態把握の調査に役立つことを期待する。

## 《参考文献》

斜面変動や地すべりの定義などに関する文献等

- ・藤田崇 (2002) ; 地すべりと地質学, 古今書院
- ・岩松暉; 地すべり学入門, 右記ホームページ <http://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/~oyo/landslide/index.html>
- ・日本応用地質学会編(2000) ; 山地の地形工学, 古今書院

岩盤地すべりの内部構造に関する文献

- ・大八木 (1998) ; 地すべりの『そとみ』と『なかみ』, 深田研ライブラリー-14, 財) 深田地質研究所
- ・大八木 (1996) ; 紀州四万十帯の地すべり—西谷川周辺の地すべり地形と西谷地すべりの構造—, 深田地質研究所報告No1, 財) 深田地質研究所

## 道路建設中に発生した地すべり調査事例

⑤

釜台和則 (秋田県農林水産部)

○ 進藤陽介\*・高野邦夫 (株)ダイヤコンサルタント)

### 1. まえがき

秋田県南部, 横手盆地西側の出羽丘陵は, 主に新第三系中新統より構成され, 泥岩, 凝灰岩類の分布する斜面に地すべりが多発している. 本地すべりの位置する雄勝郡羽後町には農村振興局所管の地すべりが多数分布する他, 丘陵部の道路建設工事, 農地造成工事中に地すべりが発生している. 本稿では, 農道建設中の盛土工に起因して発生した地すべりの調査, 対策工の設計及び対策工施工中の動態観測結果について紹介する.

### 2. 地すべりの概要

本地すべりは, 沢部を横断する盛土区間において, 平成10年6月下旬に高さ約7.4mまで盛土した段階で発生した. 地すべり発生直後の動態観測 (定点測量) により, 盛土の沈下が約1mm/日の速度で進行していることが確認されたことから, 応急対策工として, 平成10年7月上旬に盛土上部を約3.0m排土し, 地すべりを小康化させた.

本地すべりは, 最大幅約60m, 延長約80mの規模を有し, 道路盛土部を頭部として南南東に向かって僅かに滑動したものであり, 地すべりの発生は, 次に述べる盛土部周辺の変状から確認された.

- ① 道路盛土に幅10~30mm, 延長2~5mの開口亀裂が発生.
- ② 盛土を横断するボックスカルバートが最大約250mm沈下, 目地部が開口 (最大約150mm), 連結部のPC鋼線が破断.
- ③ 縦排水路工 (ベンチフリューム) の継ぎ目が開口 (最大20mm).
- ④ 盛土谷側の自然斜面に開口亀裂発生, 立木が傾倒し, 地すべり末端付近が隆起.

### 3. 地すべり発生機構

#### (1) 地すべりの素因

本地すべりは, ①すべり面が凝灰岩強風化部と下位の弱風化部の境界部に形成されている, ②強風化部と弱風化部の境界が斜面に対して流れ盤状となっている, ③地すべり移動層下部を構成する強風化凝灰岩に地すべりによる擾乱が認められない (地層, 岩石の組織が残っている), ④地すべりが段丘面に発生している等の特徴を有している.

以上の特徴から, 素因として①地すべり箇所の段丘化により地下水位が低下し, 段丘堆積物下位の凝灰岩類の風化 (粘土化) が進行したこと, ②凝灰岩類が風化により粘土化しやすい岩質であったこと, ③風化部の基底面が斜面に対して流れ盤状となっていたこと等が考えられる.







## (2) 地すべりの誘因

本地すべり発生直前の平成10年6月26日～6月27日の2日間に合計103mmの降水が記録されており、裸地となっていた道路盛土面から短時間に多量の降水が地下に浸透し、地下水位が急激に上昇したことが、地すべり発生の誘因として考えられる。

平成9年度の暫定盛土の状態では、地下水位が最高位に達したであろう融雪期にも、地すべりの徴候は確認されていなかった。これに対して、平成10年度暫定盛土完了時(前年度に比較して約2.6m高い)に地すべりが発生しており、応急対策として、平成9年度暫定盛土高まで排土した後は、地すべりの活動は一時的に停止している。

以上の路体工の施工過程と地すべりの発生状況から、前述した地下水位の上昇も誘因の一部ではあるものの、本地すべりの主たる誘因は、盛土の施工にあるものと結論された。

表-1 施工過程と地すべり活動

| 年 度   | 施工状況                 | 盛土標高<br>(m) | 盛土高<br>(m) | 地すべりの活動状況               |
|-------|----------------------|-------------|------------|-------------------------|
| 平成9年  | 施 工 前                | 276.0       | 0          | な し                     |
|       | 路体暫定盛土工              | 280.8       | 4.8        | な し                     |
| 平成10年 | 路体暫定盛土工              | 283.4       | 7.4        | 地 す べ り 発 生<br>沈下等変形が継続 |
|       | 地 す べ り<br>応急対策工(排土) | 280.4       | 4.4        | 概 ね 活 動 停 止             |
| 平成11年 | 地 す べ り<br>恒 久 対 策 工 | 280.4       | 4.4        | 活 動 停 止                 |
| 平成12年 | 路 体 工 ( 盛 土 )        | 284.9       | 8.9        | —                       |

## 4. 対策工法の検討

### (1) 安定解析

地すべり発生時の暫定盛土段階での安全率を  $F_s = 0.95$  ( $C = 10.0 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi = 11.29^\circ$ ) として算定した各施工段階の斜面の安全率を表-2、図-2に示す。

道路盛土施工前の自然斜面の安全率は、 $F_s = 1.52$  と算定され、古い地すべりが存在したと仮定しても、盛土工事施工以前は安定した斜面であったと考えられる。また、道路完成後の計画盛土高(地すべり発生時の盛土高より約1.5m高い状態)での斜面の安全率は、 $F_s = 0.91$  まで低下するものと予測された。

以上の検討から、盛土工を再開するにあたっては、事前に地すべり防止対策工を施工する必要があるものと判断された。

### (2) 対策工法の検討

本地すべりは、主たる保全対象が公共性の高い道路であることから、目標安全率は  $F_s = 1.20$  が妥当と判断された。したがって、地すべり防止対策工の検討を行うにあたっては、道路の計画盛土高の状態 ( $F_s = 0.91$ ) において計画安全率 ( $F_s = 1.20$ ) を満足する対策工を選定することとした。



本地すべりの対策工としては、地下水排除工（集水井工，集水ボーリング工）では安全率を  $F_s=0.97$  までしか上昇させることができないことから、これに杭工を併用して計画安全率（ $F_s=1.20$ ）を満足する「杭工＋地下水排除工」が最適と判断された。また、破損したボックスカルバート布設替え，地表水排除工，地すべり末端の侵食防止工（排水路工）等を計画した。

表-2 各施工段階の斜面の安全率

| 検討条件         | 移動層の断面積 (m <sup>2</sup> ) | 地すべり抵抗力 (kN/m <sup>2</sup> ) | 地すべり滑動力 (kN/m <sup>2</sup> ) | 安全率  |
|--------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------|
| 地すべり発生時の斜面   | 684.32                    | 2,606.6                      | 2,743.8                      | 0.95 |
| 盛土施工前の自然斜面   | 481.93                    | 1,884.5                      | 1,238.9                      | 1.52 |
| 応急対策工施工後の斜面  | 640.15                    | 2,450.8                      | 2,252.1                      | 1.09 |
| 道路完成後（計画）の斜面 | 697.32                    | 2,644.0                      | 2,893.4                      | 0.91 |

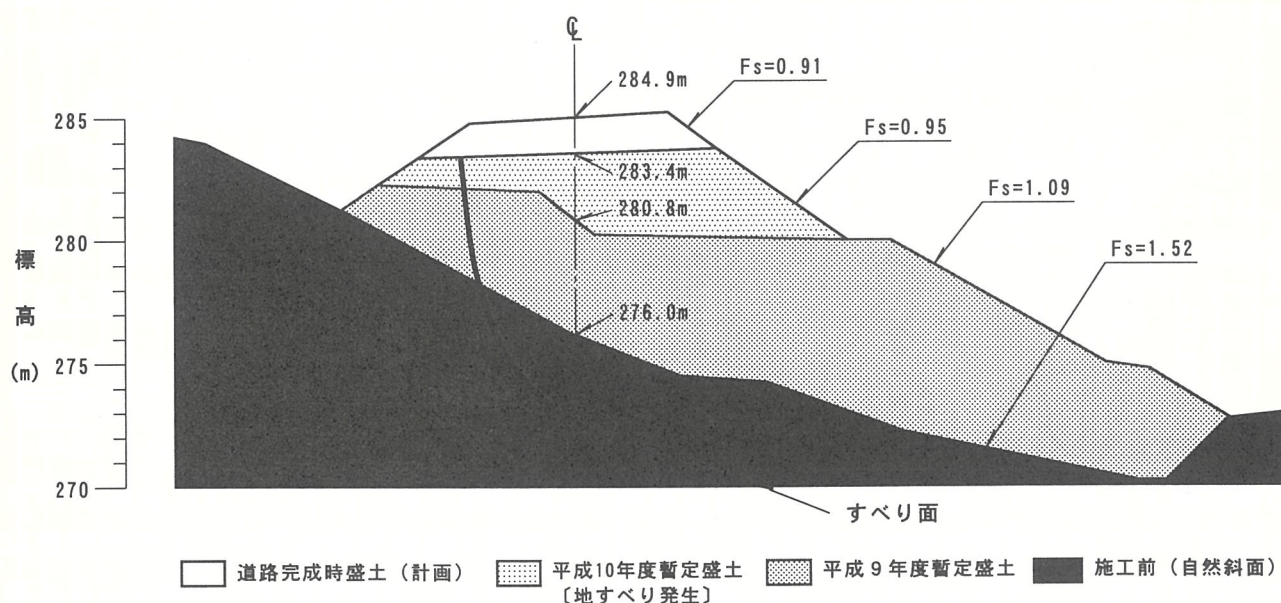


図-2 各施工段階の横断図及び安全率

## 5. 対策工施工中の地すべりの挙動

地すべり防止対策工は、平成11年7月15日～同年11月23日の期間に施工された。対策工施工中の安全管理及び施工後の効果判定を目的として、パイプ歪計・地下水位観測を実施した（図-3）。

### （1）施工前（応急排土後）の地すべりの挙動

施工前にあたる平成11年6月25日～7月14日の期間のパイプ歪計観測では、すべり面付近の日平均変動量が  $0\sim3\mu$  ストレインであったことから、地すべりは安定した状態にあったものと判断された。

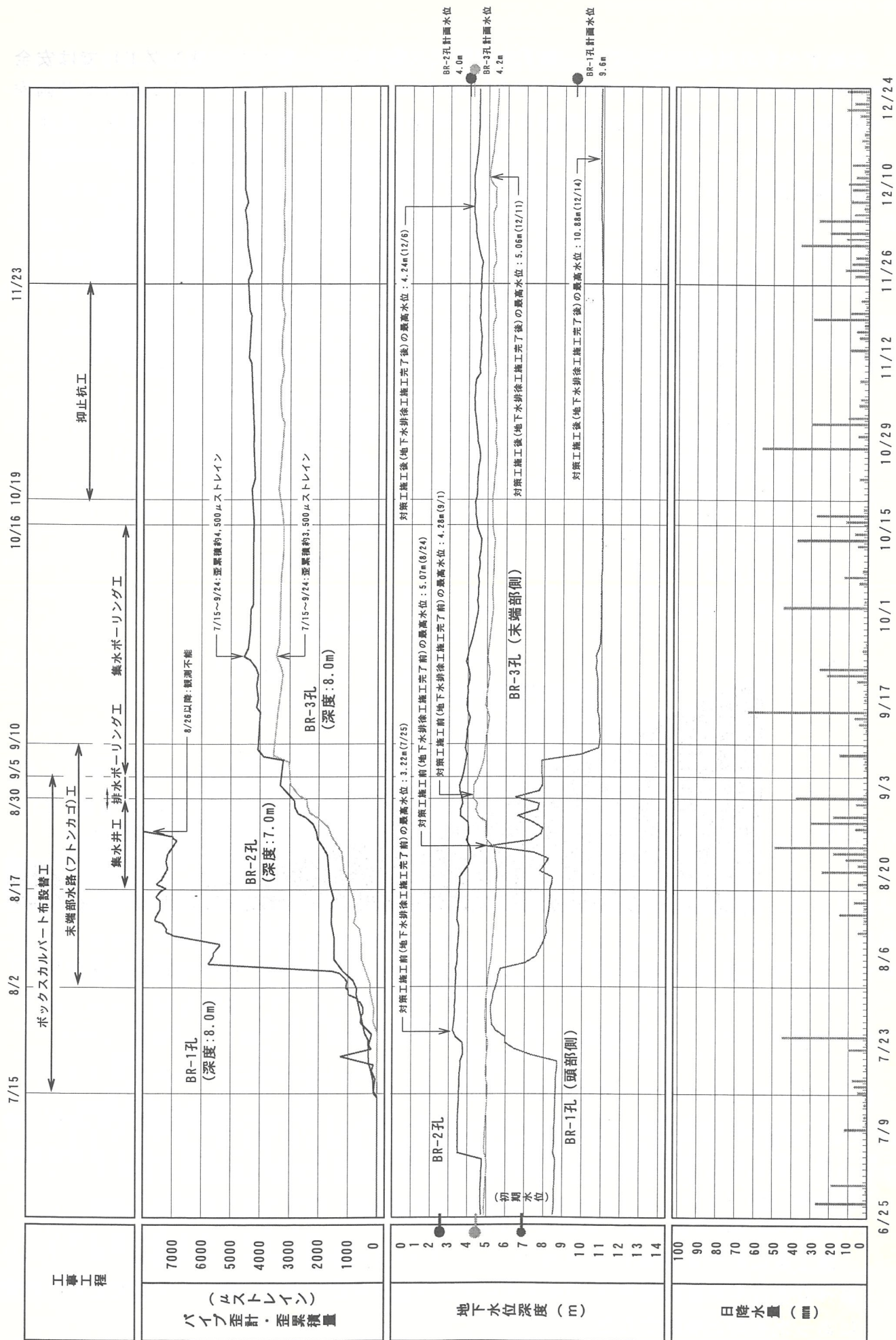


図-3 対策工施工過程と動態観測結果



## (2) 施工中の地すべりの挙動

ボックスカルバート布設替えを着工した平成 11 年 7 月 15 日から地下水位低下工法の効果によって地下水位が急低下した 9 月 9 日までの期間のパイプ歪計観測では、すべり面付近に約 3,500~7,100 $\mu$  ストレインの歪累積が観測され、地すべりが不安定化しつつあるものと判断された。このため、地すべり頭部の盛土を平成 10 年の応急対策として実施した排土面よりさらに厚さ約 1.5m を排土することによって地すべりを安定化させ、工事を続行した。なお、施工中に地すべりがやや不安定化した理由として、以下に述べる原因が考えられた。

- ① ボックスカルバート布設替え施工中の沢水の浸透による地下水位の上昇に起因するすべり面の間隙水圧の増加。
- ② 建設機械、資材仮置き等による地すべり中部～頭部の荷重の増加。
- ③ 集水井工、抑止杭工、排水路工等の施工に伴う地すべり地内の掘削、掘削土の仮置き等の地すべり地内の地形改変に伴う荷重バランスの変化。
- ④ 排水路工に伴う工事用道路として末端部が切土されたことによる末端部の荷重の減少。

地下水排除工の施工により急激な地下水位の低下が観測された平成 11 年 9 月 9 日から 11 月 23 日までの期間のパイプ歪計観測では、すべり面付近の日平均変動量が約 1~5 $\mu$  ストレインであったことから、地すべりは安定化したものと判断された。

## (3) 施工後の地すべりの挙動

対策工事竣工後の地下水位観測によれば、最高水位が計画地下水位以深まで低下し、地下水排除工が計画通りに機能したことが確認された。また、パイプ歪計観測によれば、すべり面付近の日平均変動量が約 3~5 $\mu$  ストレインであったことから、地すべりは安定化したものと判断された。

## 6. あとがき

平成 11 年 11 月 23 日に地すべり防止対策工事が完了し、竣工後の斜面の安全率は  $F_s = 1.51$  と算定された。また、地下水排除工の効果により地下水位が低下した 9 月 9 日以降には累積傾向を示す歪変動が観測されていないこと、地表面に変状が確認されなかったこと等より、本地すべりは安定化したものと評価された。平成 12 年 6 月中旬より再開された道路工施工中には、累積歪量 2,700~12,000 $\mu$  の歪変動が観測されたが、道路工竣工後には、地すべり変動は観測されず、地すべり対策工の効果が確認された。

## 花崗岩の風化度調査手法について

○ 前田修吾・荒川雅樹 (㈱テクノ長谷)  
椎名義徳・森一司 (東北農政局)

本論文は、花崗岩の風化度を調査する手法として、土壌硬度計, ピック貫入試験, 簡易貫入試験, 表面波探査, 電磁波探査および放射能探査等を同一露頭において実施し、各種調査結果の相関から、風化度調査の有効な手法を探ろうとしたものである。

## 1. 調査手順

風化度調査は図-1 に示すフローに基づいて実施した。

## 2. 調査地概要

調査地は北上山地の南部に位置し、行政区画上、岩手県東磐井郡内の約 720km<sup>2</sup>の地域である。

地質は、中・古生層の砂岩・泥岩などの堆積岩類を基盤とし、調査地中央に中生代白亜紀の花崗岩類が広く楕円状に分布している

(図-2)。中・古生層は、花崗岩

質岩体の貫入時に接触変成を受け、硬化してホルンフェルスと化し、花崗岩類は風化作用が進み、いわゆる”マサ化”している。このため、地形上、花崗岩類分布域は低平な小起伏面を形成する (図-3)。

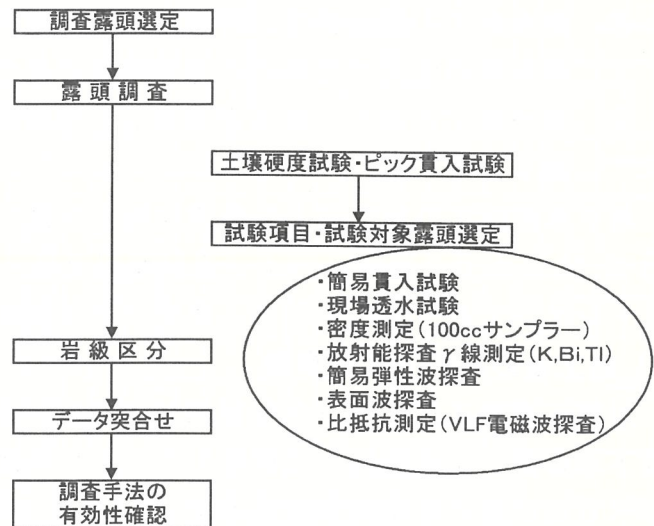


図-1 調査フロー

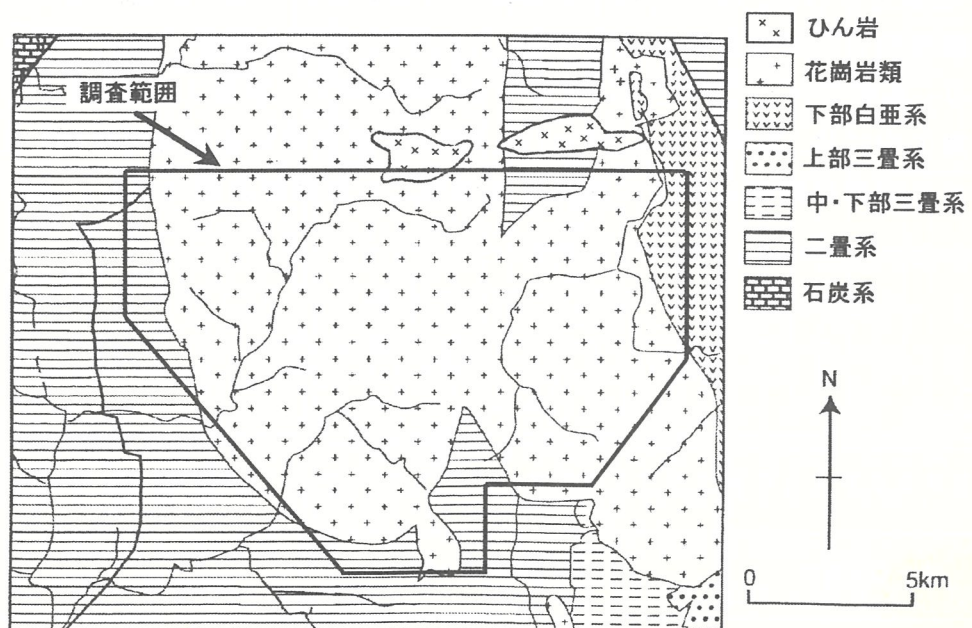


図-2 調査地周辺の地質略図 文献 1)



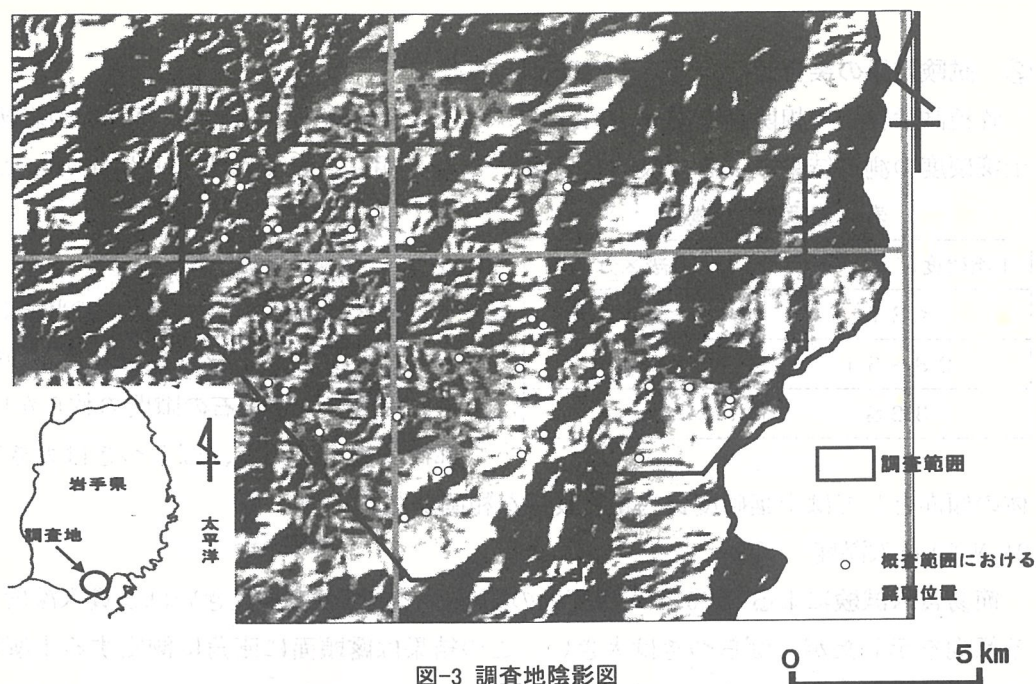


図-3 調査地陰影図

国土数値情報 50mDEM を基に作成

### 3. 調査結果

風化度調査は、調査地全体で 80 箇所の代表露頭を選定し実施した。これら全 80 箇所の露頭のうち、75 箇所は風化花崗岩（マサ）であり、新鮮部は 5 箇所に過ぎない。

調査の数量は表-1 に示すとおりで、土壌硬度試験およびピック貫入試験の測定結果をもとに、各岩質を網羅できるよう、それぞれの試験時間を考慮して項目を設定した。

表-1 風化度調査実施数量一覧表

| 試験項目              | 数量 | 試験項目           | 数量 |
|-------------------|----|----------------|----|
| 土壌硬度試験(山中式)       | 80 | 比抵抗測定(VLF)     | 32 |
| ピック貫入試験           | 75 | 現場透水試験(定水位法)   | 10 |
| 簡易貫入試験            | 49 | 弾性波探査(スタッピング法) | 10 |
| 密度試験(100cc サンプラー) | 45 | 表面波探査(スタッピング法) | 27 |
| 放射能探査(K・Tl・Bi)    | 54 | —              | —  |

#### ① 測定結果

各試験で求められた測定結果は表-2 に示すとおりである。

表-2 露頭調査測定結果一覧表

| 区分   | 土壌硬度<br>貫入量<br>mm | ピック貫<br>入抵抗<br>kg/cm | 簡易貫入<br>試験Nc20<br>貫入深度<br>m | 乾燥密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 透水係数<br>cm/sec | 弾性波<br>速度Vp<br>km/sec | 比抵抗<br>Ωm | γ線Bi<br>epm | γ線K<br>epm | 風化層厚<br>m |
|------|-------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| 最小値  | 18.3              | 0.7                  | 0.0                         | 1.2                       | 1.63E-04       | 0.4                   | 44.0      | 17.0        | 162.0      | 3.0       |
| 最大値  | 34.0              | 290.3                | 0.5                         | 2.0                       | 6.19E-03       | 4.5                   | 1112.0    | 89.0        | 3615.0     | 25.0      |
| 平均値  | 25.6              | 26.8                 | 0.3                         | 1.6                       | 1.45E-03       | 0.9                   | 323.1     | 36.9        | 1314.3     | 10.7      |
| 標準偏差 | 3.8               | 43.6                 | 0.2                         | 0.2                       | 2.03E-03       | 1.2                   | 227.1     | 15.6        | 638.0      | 5.3       |

## ② 試験結果の突合せ

各種試験結果の相関図を図-4 に示した。ここで図中に示された DL, DH, CL の岩級区分は、土壌硬度の測定結果による一般的な分類<sup>文献 2)</sup>を採用し、表-3 のとおりに設定した。

表-3 岩級区分一覧表

| 土壌硬度貫入量(mm) | 岩級区分 |
|-------------|------|
| < 27        | DL   |
| 28 ~ 31     | DH   |
| 32 ≤        | CL   |

### 1) ピック貫入試験

ピック貫入試験は対象露頭の状況により、DH にランクされる露頭では、長石の硬質部を貫入する場合と長石の隙間の軟らかい部分に逃げる場合があり、ばらつきは大きい、全

体の傾向としては土壌硬度貫入量と良好な相関がある。

### 2) Nc20 貫入深度

簡易貫入試験による Nc20 貫入深度との関係は、土壌硬度が大きいほど貫入深度が浅くなる傾向を示したが、ばらつきは大きい。この結果は露頭面に直角に測定する土壌硬度と垂直に貫入する簡易貫入試験のポイントの違いが現れている。

### 3) 乾燥密度

100cc サンプラーにて採取した試料の乾燥密度とは 1 次相関的に良好な関係が認められた。

### 4) 透水係数

透水係数との相関は、土壌硬度が大きいほど透水係数が小さくなる傾向を示した。

### 5) 弾性波速度 $V_p$

露頭の弾性波速度  $V_p$  は、土壌硬度が大きくなると速度を増す 1 次相関的な傾向が示された。

### 6) 比抵抗

不飽和状態による花崗岩の比抵抗は、風化の程度が増すほど小さくなる傾向を示した。VLF による比抵抗測定値は、高比抵抗を示す 2 点を除けば土壌硬度貫入量と良好な相関を示している。

### 7) Bi カウント数

$\gamma$  線測定器による Bi (ビスマス) カウント数は、新鮮になるほど大きくなる傾向を示すが、DH 級岩盤にランクされたものは、新鮮部ほど小さくなる傾向がみられた。

### 8) K カウント数

$\gamma$  線測定器による K (カリウム) カウント数は、花崗岩の場合風化が進むほど K が溶脱され、カウント数が減少する傾向がある。土壌硬度貫入量との相関からは僅かにこの特徴が認められる。



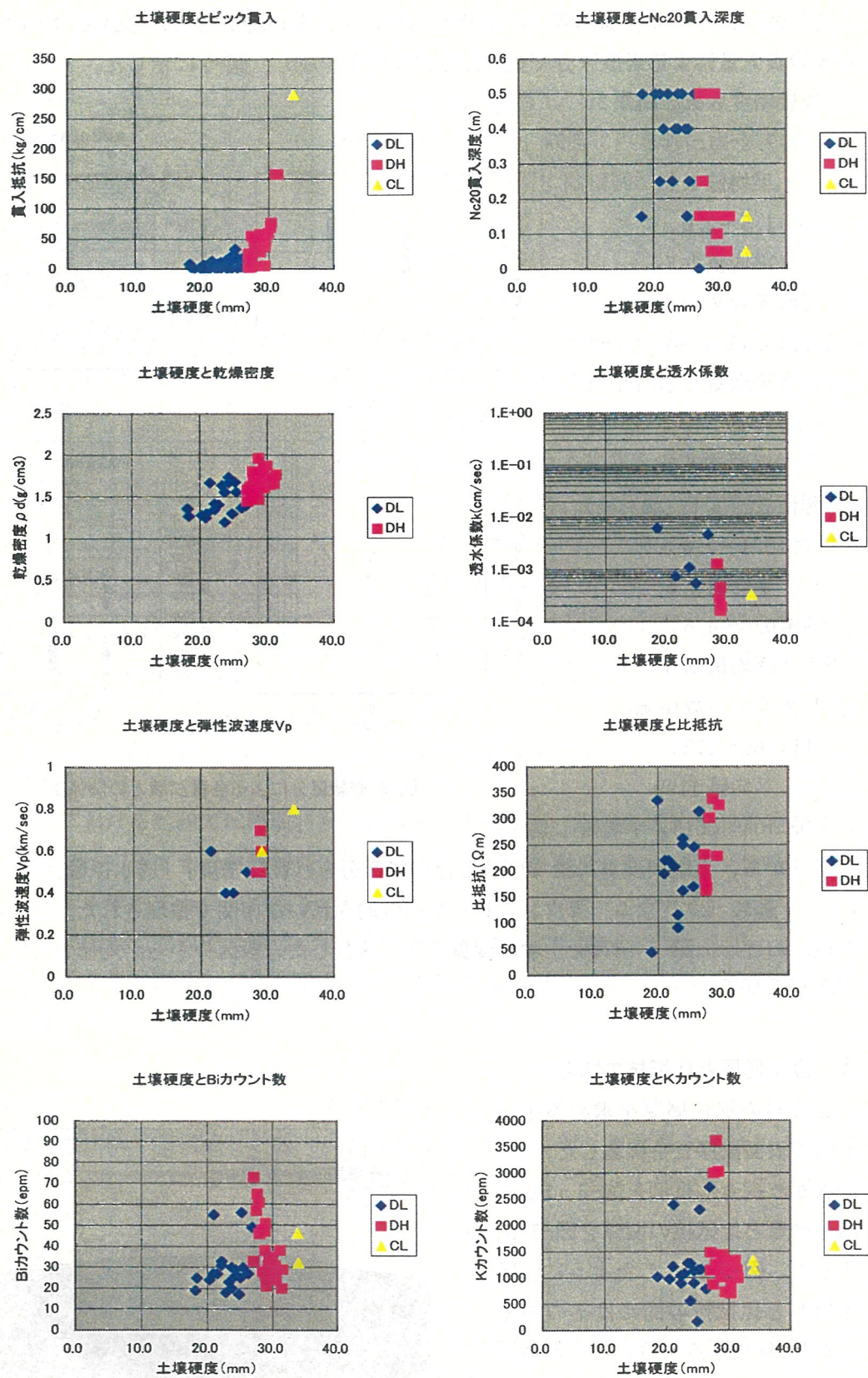


図-4 土壌硬度貫入量と各種試験の相関図



### ③ 岩級区分で整理した各種試験との関係

先に述べた土壌硬度貫入量との関係から特に良好な相関がみられる試験項目に対し、土壌硬度貫入量による岩級区分で整理したグラフを作成し、図-5 に示した。

#### 1) 乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm<sup>3</sup>)

• DL: 1.2~1.7

平均値 1.5

• DH: 1.5~2.0

平均値 1.7

#### 2) 透水係数 $k$ (cm/sec)

• DL: 5.4E-04~6.2E-03

平均値 2.6E-03

• DH: 1.6E-04~1.3E-03

平均値 4.7E-04

#### 3) 弾性波速度 $V_p$ (km/sec)

• DL: 0.4~0.6

平均値 0.5

• DH: 0.5~4.5

平均値 0.6

#### 4) K カウント数 (cpm)

• DL: 162~2725

平均値 1199

• DH: 704~3615 / 平均値 1391

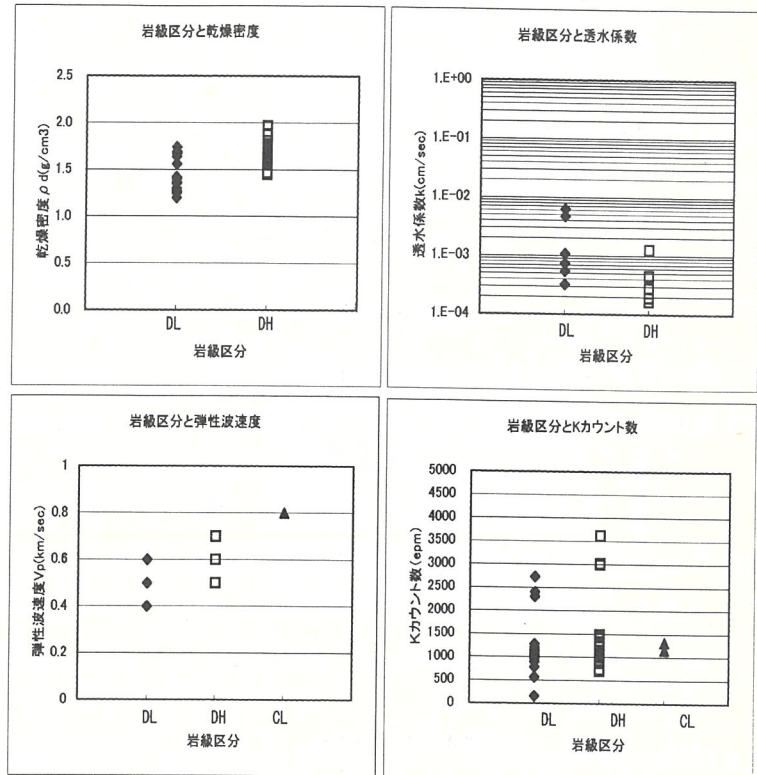


図-5 岩級区分による各種試験との関係図

以上から、土壌硬度貫入量で区分した岩級区分と「乾燥密度」「透水係数」「弾性波速度  $V_p$ 」「 $\gamma$ 線K (カリウム) カウント数」は比較的良好な相関で整理された。この結果は調査地における上記 4 項目を土壌硬度貫入量で区分した岩級区分から平均値として推定可能と考えられる。

### ④ 風化層厚と比抵抗の関係

花崗岩の風化層厚を求める手法として表面波探査を実施した。

表面波探査解析例を図-6 に示し、風化層厚と比抵抗の関係を図-7 に示した。図-7 に示したように、風化層厚と比抵抗の間には不の相関があり、風化層厚が厚いほど比抵抗が小さくなる傾向がみられた。

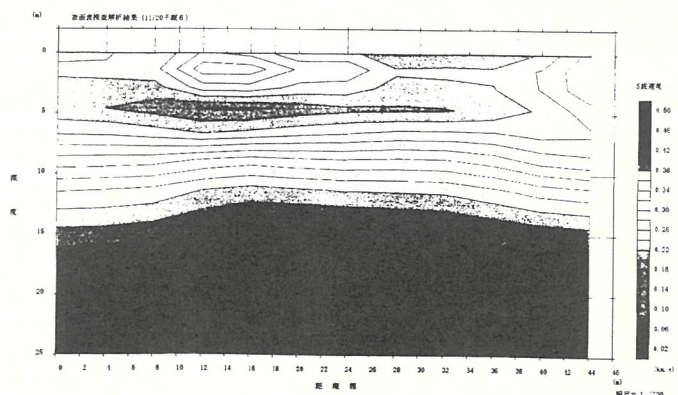


図-6 表面波探査解析例



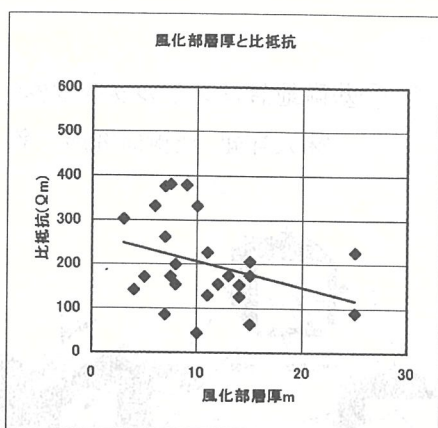


図-7 風化層厚と比抵抗の関係

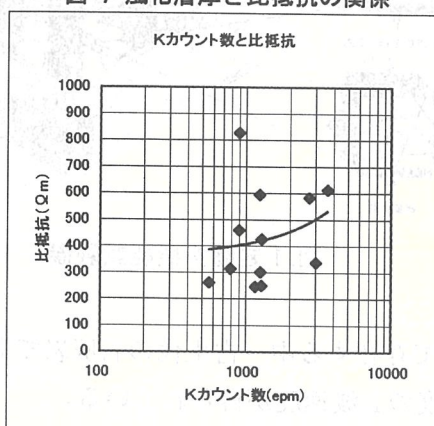


図-8 Kカウント数と比抵抗の関係

#### ⑤ 比抵抗とKカウント数の関係

先に述べたように花崗岩中におけるK (カリウム) カウント数は、風化が進むほど減少する傾向がある。この特徴に着目し、比抵抗とKカウント数の関係を図-8に示した。同図にみられるように、Kカウント数と比抵抗の間には相関が認められた。

#### 4. まとめ

以上、花崗岩の風化度調査について種々の調査結果を突き合わせて考察した結果、以下が整理された。

- ・ 山中式土壤硬度計による土壤硬度貫入量は、各種調査結果と概ね良好な相関を示した。
- ・ 土壤硬度による岩級区分で整理したデータのうち、乾燥密度、透水係数、弾性波速度  $V_p$ 、 $\gamma$  線K (カリウム) カウント数との組み合わせに最も良好な相関を示した。
- ・ VLF による比抵抗の測定は、風化層の厚さを目安として推定することができる有効な調査手法である。

#### 5. 今後の課題

- ・ 野外における試験では露頭状況 (侵食面・人口斜面・崩壊斜面) や測定時の含水状態あるいは内在する風化残留核の影響が生じる場合があり、これらを十分吟味して岩盤性状を再確認する必要がある。
- ・ 広大な調査範囲の中で80箇所の露頭を選定して各種試験を実施したが、今後においてはデータサンプリング数を増やし、各試験ごとの相関についてその信頼性を確認する必要がある。

#### おわりに

本論文を作成するに当たり、種々の測定とそのデータに対し東北農政局および独立行政法人農業工学研究所の今泉氏、石田氏、中里氏には甚大なるご協力を頂いた。ここに厚く御礼申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 竹内誠・御子柴 (氏家) 真澄：千厩地域の地質 (2002) 独立行政法人産業技術総合研究所
- 2) 本州四国連絡橋基礎地盤の総合的検討委員会 (1972)：風化花崗岩の分類法

# 亀裂性岩盤の大型ブロックサンプリング手法

⑦

○基礎地盤コンサルタンツ(株) 内海 実  
(株)大林組 技術研究所 鈴木 健一郎

## 1. はじめに

亀裂を含む岩盤について、その工学的挙動を把握することを目的とした岩盤多機能試験機 (70×70×70cm までの岩盤に対応) が(株)大林組技術研究所に導入された。この試験機は三軸圧縮試験や透水試験をおこなうことが可能で、(株)大林組技術研究所、その供試体採取については基礎地盤コンサルタンツ(株)が担当した共同研究である。

ここでは亀裂性岩盤のブロックサンプリング手法について報告する。採取した試料は、68×68×70cm の供試体を 20 個である。

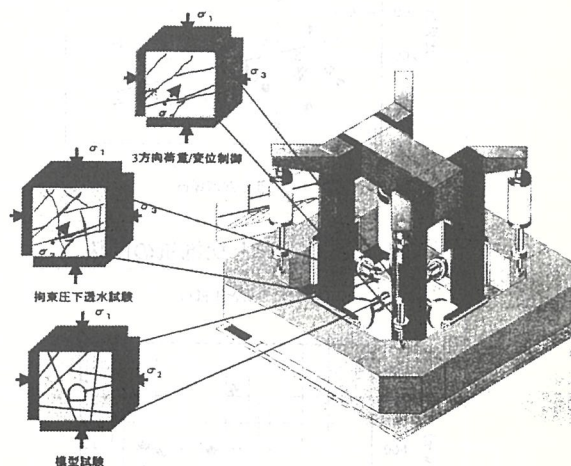


図.1 岩盤多機能試験機

## 2. 対象岩盤

対象岩盤は、層理面および不連続な亀裂が5~10cm 間隔で存在する中~古生代の石灰岩である。サンプリングに先立ち実施された弾性波探査では、5km/sec 程度のP波速度が得られている。

## 3. 採取方法

作業のながれを図.2 に示す。作業スペースは試料を含む 25×20m程度、主な使用機械は岩盤切断機として大型道路カッターおよびワイヤーソー、岩盤引出しのためレバーブロック、地盤の掘削や整地のため掘削重機、コンクリート打設機材、ユニック車などを用いた。その他の材料として、作業5の供試体周辺の岩盤を除去する際に供試体が重機の振動で乱されるのを防ぐために静的破碎材を用いた。

作業6・7の際には、底面に鋼矢板を用い、供試体側面の岩片剥落防止のため、ギブスのように繊維シートに石膏を含ませ貼りつけた。また運搬に際しては試料を鉄製箱に収め、隙間は石膏で充填した。

### 1. 地盤の面出し

↓ ※表層の土砂や風化部の除去

### 2. 採取位置の選定

↓ ※亀裂観察・採取方向の検討

### 3. 上面整形

↓ ※岩盤凹凸の除去

### 4. 垂直カッター入れ

↓ ※カッター機で樹目状に切断

### 5. 供試体周囲の除去

↓ ※供試体周囲の盤下げ掘削

### 6. 底面切断 (根切)

↓ ※ワイヤーソーで底面の切断・鋼矢板の挿入

### 7. 引出し

↓ ※レバーブロックで供試体の引き出し・吊り上げ

### 8. 運搬

※運搬用箱に収納・梱包

### 9. 供試体整形

※室内試験場所にてワイヤーソー使用

図.2 採取方法フロー



#### 4. 作業状況



写真.1 採取位置



写真.2 供試体整形・作業ヤード掘削



写真.3 上面整形準備



写真.4 垂直カット後、周囲の掘削

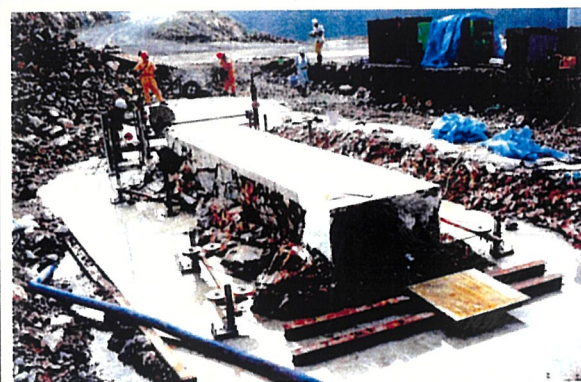


写真.5 底面切断作業



写真.6 供試体引出し (19 個目)

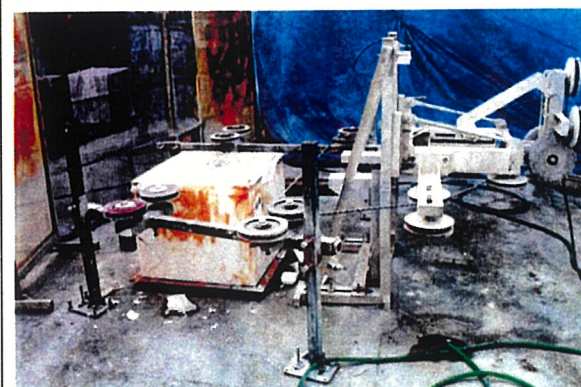


写真.7 運搬後、供試体整形

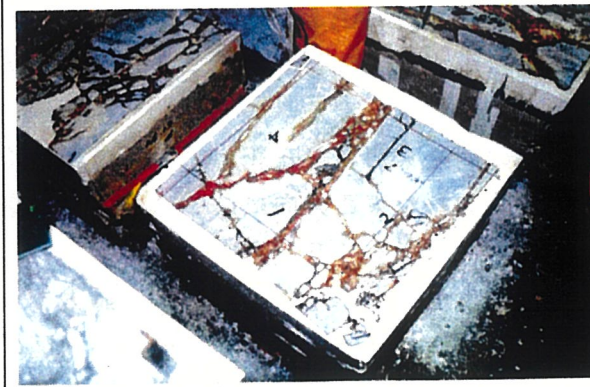


写真.8 供試体切断面 (周囲は石膏)



## トルコ・チャイ・エベール地震災害報告

⑧

日大工・土木      ○田野久貴  
 東海大・海洋土木    オムル・アイトン

## まえがき

昨年 (2002) 2月3日にトルコ・アフィヨンの近くで震度6の地震が発生した。その約3週間後に現地周辺を訪れる機会があり、その際に見聞したことや、その後のいくつかの報告を参考にその概要を述べる。トルコはアフリカプレートにより南から北方へ押され、発生する地震の多くが内陸の直下型であるため被害が大きくなる傾向がある。

表1 チャイ・エベール地震の諸元

## 1. チャイ・エベール (Cay-Eber) 地震

地震は2002年2月3日午前9時11分 (現地時間) に、アフィヨンの東側の町チャイ (Cay) やエベール (Eber) 湖を含む一帯で発生した。地震の諸元を表1に示す。日本においてもまず報じられたのは「アフィオン (Afyon) で地震が発生した」という記事であったが、上記のように同市はの被害そのものは小さかった。しかしこの付近では大きな町であり、西にあるトルコ第二の工業都市であるデニズリー (Denizli) 市と首都アンカラを結ぶ幹線道路上にある。現在実施中の地滑り計測地 Babadag へはこのデニズリーを拠点にしている。トルコにおけるアフィヨンの位置を図1に示す。その周辺の鳥瞰図を図2に示す。写真1にこの地震による地震断層の状況を示した。落差はおよそ40～50 cmであった。表1はこの地震諸元と被害の概要である。

|         |                                             |
|---------|---------------------------------------------|
| マグニチュード | 6.1                                         |
| 気象庁震度階  | 震度6                                         |
| 死者      | 42人                                         |
| 負傷者     | 325人                                        |
| 建物の全半壊  | 600戸                                        |
| 主な被害地域  | Cay, Eber, Bolvadin<br>Sultandagi, Cobanlar |
| 地震発生機構  | 左横ずれ成分を持つ正断層型                               |
| 震源深さ    | 10～15 km                                    |
| 推定断層長   | 20～25 km                                    |
| 位置      | 緯度 北緯 38.460°<br>経度 東経 31.300°              |

## 2. 周辺の地質分布と地震活動状況の概要

アフィオン (Afyon) の東方、チャイ (Cay) およびエベール (Eber) 周辺の地質分布を図3に示す。図2と図3では南北が逆であることに注意されたい。エベール湖の南に古生代の変成岩よりなるスルタン山 (Sultandag) が、その北側には中生代の石灰岩が分布する。この間を東西に第三紀と第四紀が細長く分布している。この第四紀層の南北の境界付近にはおおむね東西方向にのびる多くの断層が分布するが、東のエベール湖周辺では北東および北西およそ45°方向に変化している。図4に本震 (星印) とM5を越える数回の余震の発生位置を示す。同図には、過去100年間のM3以上の地震の活動状況を示している。全体にわたって分布しているが同図の左上方と左下方に比較的密集している。時々M5からM6未満の地震が発生している。今回の本震地域は重なって詳細はよくわからな







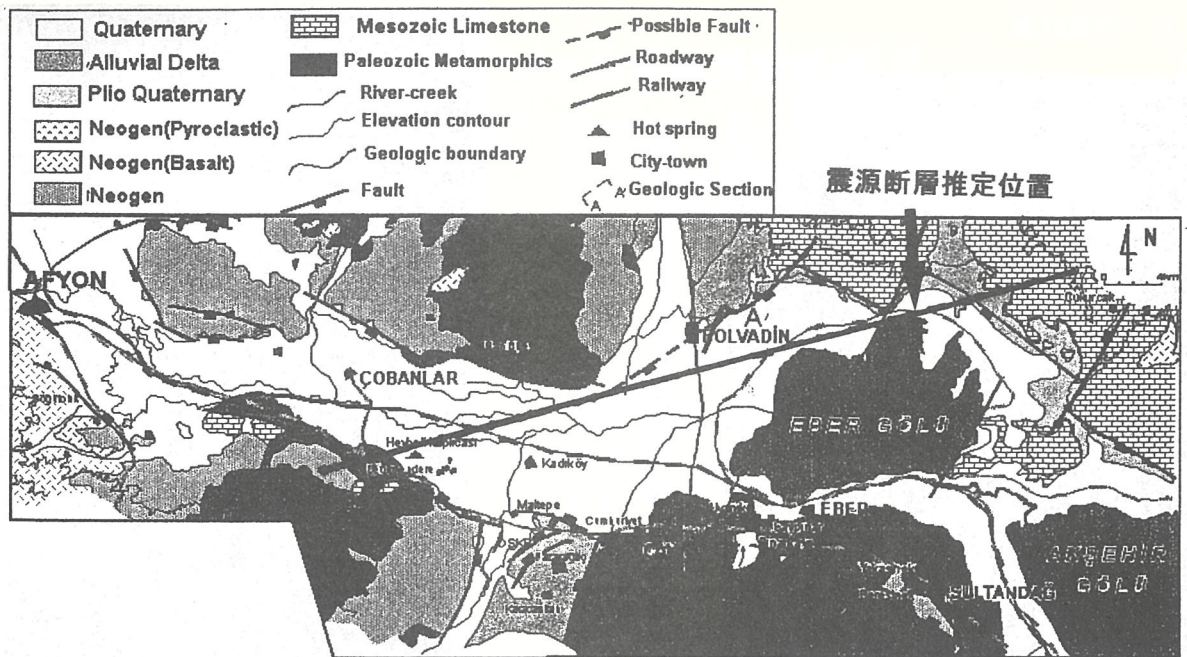


図3 震源断層推定位置と周辺の地質分布

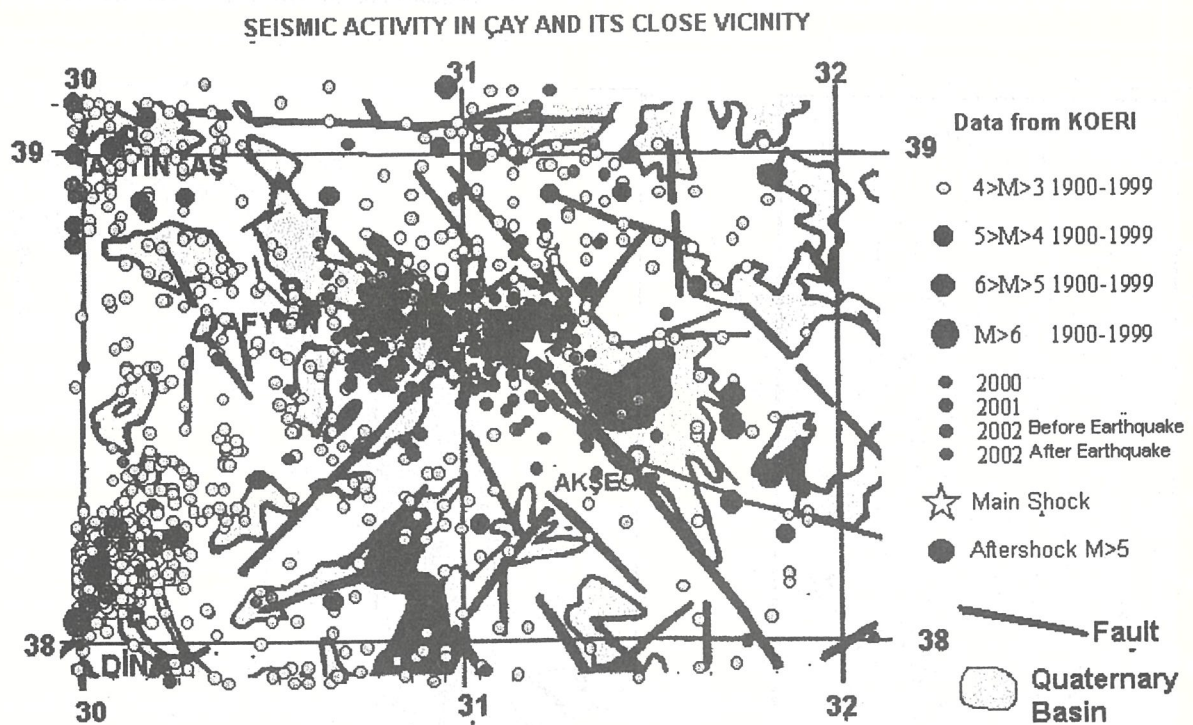


図4 チャイ (Çay) 周辺の過去100年間の地震分布と本震・余震の位置



いが、どちらかというところまでそれほど集中していない地域であったが、今回の地震直前から頻発していた傾向が認められる。余震は本震の西で発生しその後の小地震も西方を中心として多発している。

### 3. 各地震観測機関による震源位置と地震発生機構

図5に世界各地の観測機関が求めた推定震源位置とその発生機構を示す。ほとんどの機関が左横ずれ成分をもつ正断層であることを示している。また、震源位置もほとんどがチャイの東方と計算している。本震の2時間15分後に別の断層に沿ってM5.8の地震がチョンバラで発生している。図2にはチャイ周辺に配置されている地震計の位置を示しているが、これらのうち、アフイオン（震央から距離約60 km）で得られた地震波形とそのスペクトルを図6に示す。アフイオンでの最大加速度は約110 gal が記録されている。

### 4. 被害の概要

表1に示したように、死傷者約370名、全半壊戸数600個に及んだ。被害の状況を写真を写真2～写真5に示す。写真2はいずれも一階がつぶれた建物を示している。同写真上段の高層建築は何ら被害を被っていないようであるが、一階がつぶれてそのまま高さが低くなっている例である。中段と下段に示した建物はいずれも同様に一階がつぶれている。これまでの過去の被害調査によれば、3階～8階建て以上の建物に被害が多いというが、これを裏付ける結果となっている。倒壊あるいはこのような一階が座屈状破壊を示す被害は、この国における典型的な破壊形式である。先のコジャイリ大地震では、高層建物において、まず一階がつぶれ、その後その上の階もつぶれる被害が多く発生したため、これがパンケーキ破壊と呼ばれたことは記憶に新しい。これらの現象は壁が少なく特に一階の剛性が不足していることが原因とされている。地方では、煉瓦や石を積み重ねた民家も多く、これらにも多くの倒壊が生じている。地割れはチャイの町で何カ所も見られたが、地震断層の様子は写真1に示した。一方、今回はイスラム寺院のミナレット（尖塔）に多くの被害が生じている。写真3はその一例であるが、いずれも円塔の付け根のところから折れていることがわかる。図6に示すスペクトルから、約0.7秒付近の卓越周期が認められる。この周期がミナレットの固有周期に近いことがその大きな理由と考えられている。

道路、鉄道および橋梁には大きな被害は見受けられていない。また、部分的に斜面崩壊、液状化による噴砂が認められたがこれによる大きな被害は発生していない。地下のライフラインはチャイを除くとほとんど被害が出ていない。

先の大地震後、建物の柱のみによる剛性の不足が指摘され、建築基準はすでに改訂されているが、新築中の建物を見てもそれらの多くはこれに従っているとは思えない状況下にあるように見受けられる。国情によるものであろうが、改訂以前の建物が大部分であるから、地震のたびに建物に多くの被害の発生が懸念される。

謝辞：本調査にあたっては、ハジェテッペ大学のウルサイ教授、パムッカレ大学のクムッサー助教授の同行を得た。ここに謝意を表す。なお、本文をまとめるに当たり、トルコ地震財団等の報告を参考にさせて頂いた。

BÜTÜN ŞEKİLLER YENİDEN ÇİZİLMİŞTİR

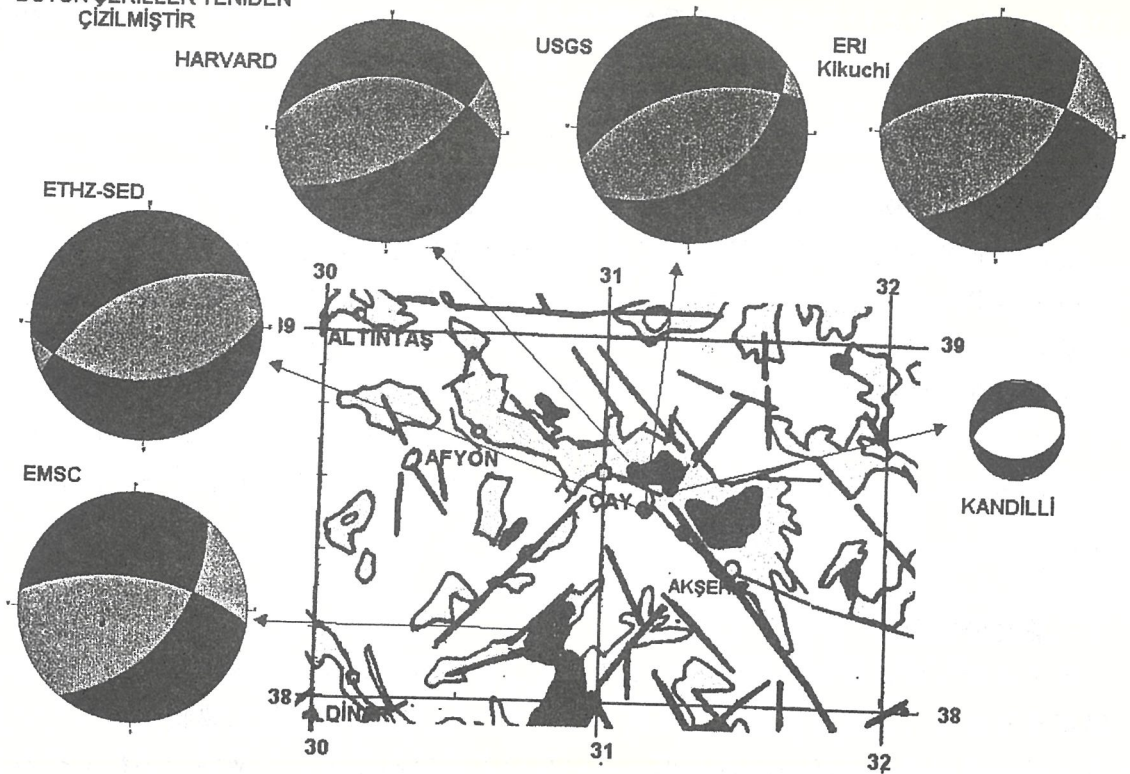


図5 各地震観測機関が求めた震源位置と発生機構の比較

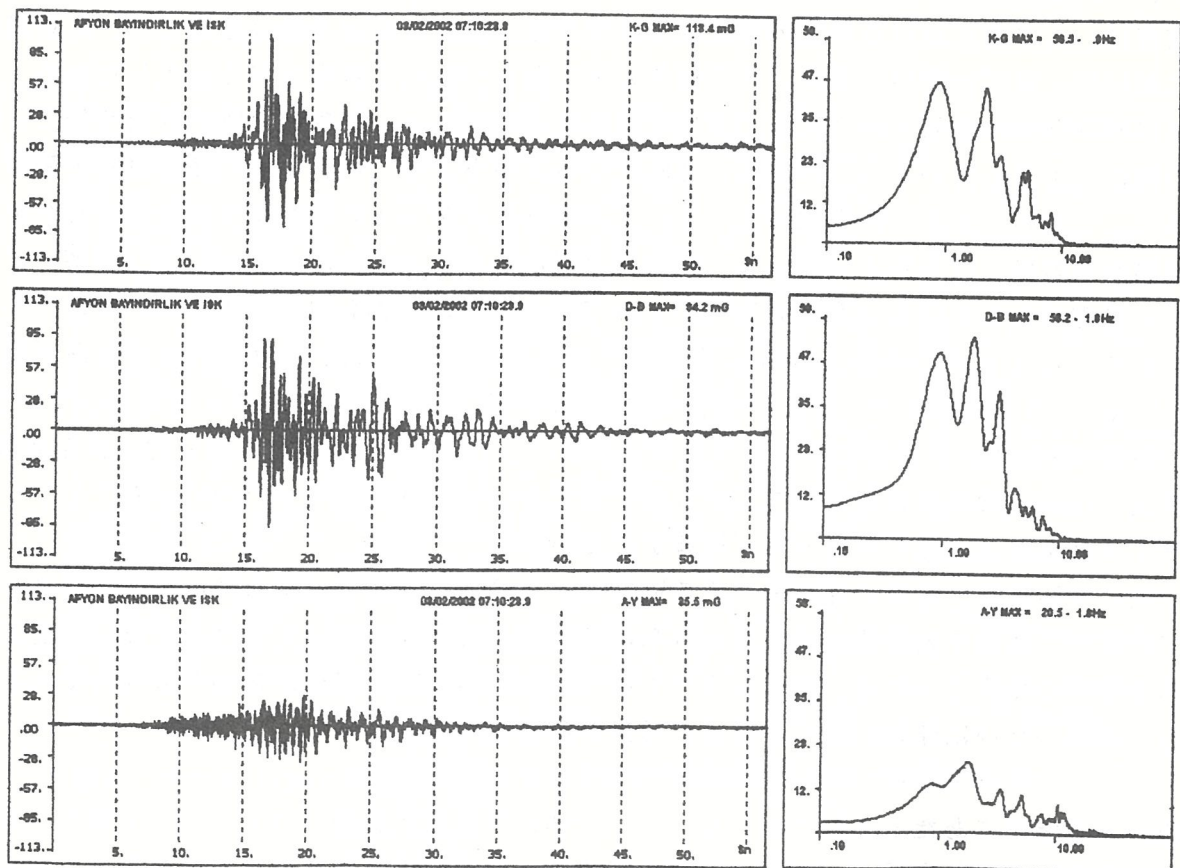


図6 アフヨン (Afyon) における地震波形とそのスペクトル



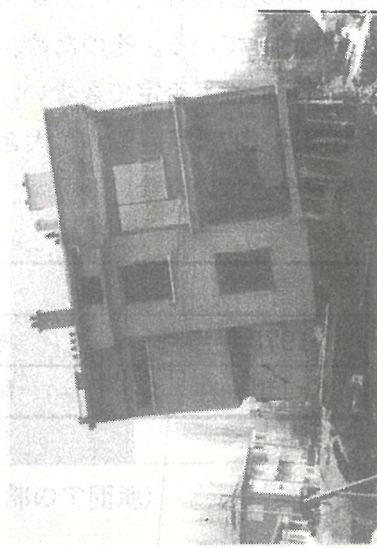
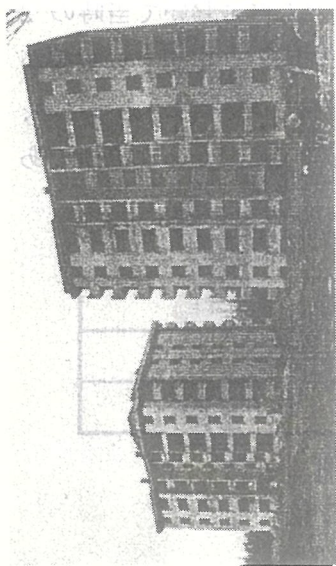


写真2 一階が破壊した建物（高層アパートと3階建て）の例

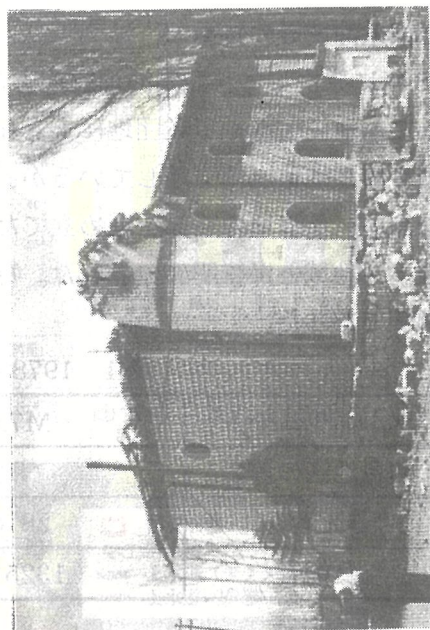
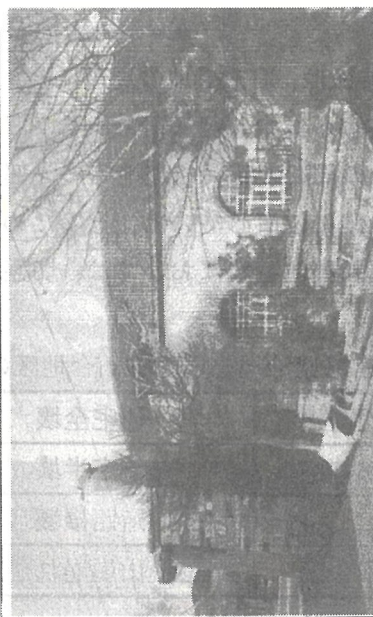
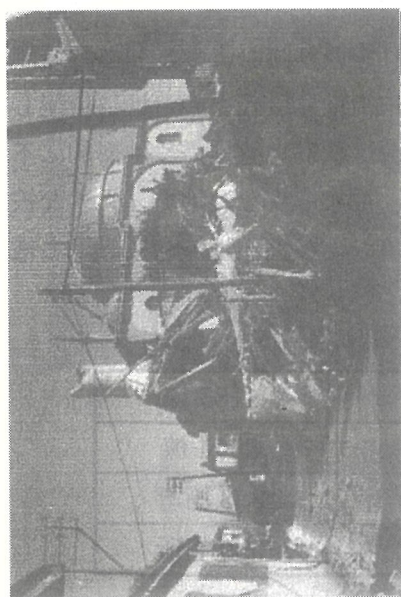


写真3 途中で折れたイスラム寺院のミナレットの例

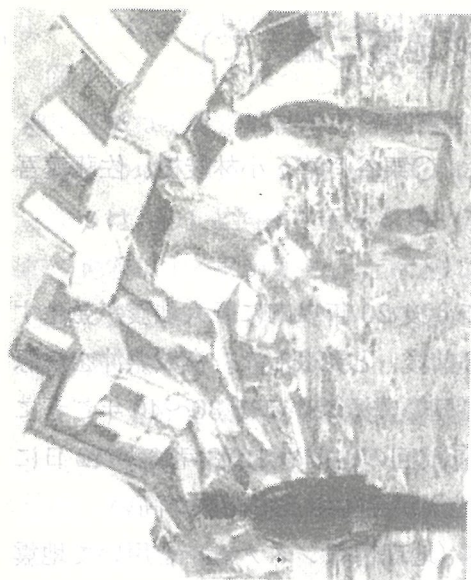


写真4 完全に倒壊した建物の例

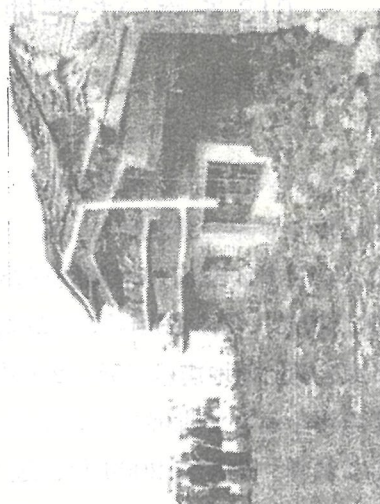


写真5 煉瓦づくりの家屋の破壊例



## GIS を用いた宅地防災への提言（宮城県沖地震に備えて）

⑨

(株) 復建技術コンサルタント ○栗谷将晴、小林俊樹、佐藤真吾

## 1. はじめに

2000 年 11 月、政府の地震調査委員会は、宮城県の牡鹿半島沖で今後 20 年以内に巨大地震が発生する確率は 80%、今後 30 年以内には発生確率 98%、地震規模は M8 前後、と発表した。宮城県沖を震源とする M7 以上の地震は 26~42 (平均 37) 年間隔で発生しており、同じ震源域がほぼ 30~40 年ごとに壊れて地震を起こす世界でも珍しい地域として位置付けられている。前回の地震は 1978 年 6 月 12 日に発生しており、早くても 2004 年、遅くても 2020 年には M8 前後の地震が発生する可能性が高い。

本発表は、丘陵地を切り開いて宅地造成した箇所を対象に、GIS (地理情報システム) を用いて地震災害予防のための具体的対策箇所の抽出例と、地域防災対策への提言を行うものである。

## 2. 宮城県沖地震の特徴

1978 年に発生した宮城県沖地震被害の特徴は、旧市街地の周辺に、それを取り囲むようにして戦後開発された新興住宅地や工業団地に大きな被害が集中したことである。旧市街地は段丘上の台地に位置し比較的良質な地盤上に立地しているが、その周辺の新興住宅地等の大部分は軟弱地盤地帯や地形的に不安定な箇所、丘陵地の谷部を埋め立てた土地に位置していた。そのため、被害の少ない地域と大きな被害を被った地域とが鮮明に分かれた。特に新興住宅地においては、切盛境および埋土地域内における被害が顕著であった。

表-1 1978 年宮城県沖地震による仙台地区の被害

|         |        |      |        |
|---------|--------|------|--------|
| マグニチュード | M7.4   | 住宅全壊 | 1183 棟 |
| 仙台地区の震度 | 5      | 住宅半壊 | 5574 棟 |
| 死者      | 28 名   | 道路損壊 | 888 箇所 |
| 負傷者     | 1325 名 | 山崖崩れ | 529 箇所 |

## 3. 仙台圏における住宅地分布の現状

1978 年の地震以降、仙台圏の新興住宅地は更に拡大し、現在は面積・戸数・人口において当時の 2 倍以上に増えている。そのため、このままでは前回の地震と同規模の地震でも前回の 2 倍以上の被害が発生する可能性も否定できない。また過去には M8.2 程度の地震が発生した記録(1793 年)があるため、次の地震は 1978 年時よりも大きな震災が発生する懸念があり、前回の地震で被災しなかった箇所であっても安全とはいえない。

表-2 仙台圏の新興住宅地の推移

|          | 面 積                  | 戸 数         | 人 口     |
|----------|----------------------|-------------|---------|
| 1978 年当時 | 約 41km <sup>2</sup>  | 約 95,000 戸  | 約 32 万人 |
| 現 在      | 約 100km <sup>2</sup> | 約 201,000 戸 | 約 69 万人 |



#### 4. GISによる現状把握と被災地域の想定

図-1 は、GIS を使って 1978 年の地震による宅地造成地の被害状況を表示したものである。ここに、埋土区域は宅地造成前後の等高線図を電子化し、その差分から求めた。図-1 より、家屋の損壊は、切土と埋土の境界付近に卓越（全体の 42%）し、埋土（盛土）全体では 8 割を超えている。

図-2 は、図-1 と同様の手法を用いた切盛区分図の上に、消防設備と上水道網を示したものである。1978 年の地震による教訓から、上水道に用いられる塩化ビニール管（VP 管）は地震動に弱いとされ、耐震性能の高いダクタイル管等への交換が進められているものの、主要路線以外の上水道は依然として VP 管を使用している箇所が多い。これらに直結する消火栓は、災害発生時には使用できない可能性がある。

また、指定避難場所、病院、警察署（交番）、消防署（出張所）のいずれも旧沢地形部の埋土または切土との境界部に位置しており、大規模地震の際には被災により機能を果たせない場合が十分考えられる。また、病院へ至る道路も複数の旧沢地形部を横断しており、大きな地震動により道路が寸断される可能性も想定される。

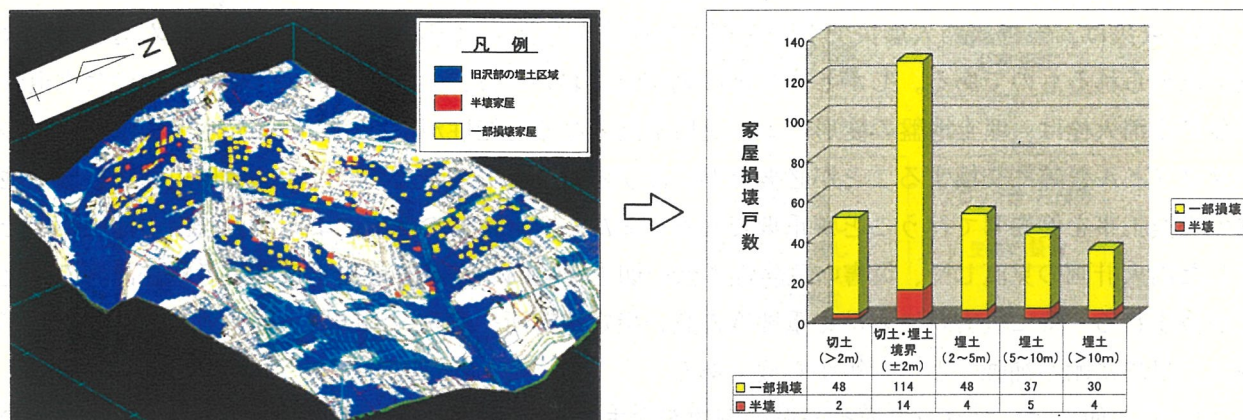


図-1 宅地造成地の被害状況（1978年の宮城県沖地震、仙台市北部のT団地）

※5

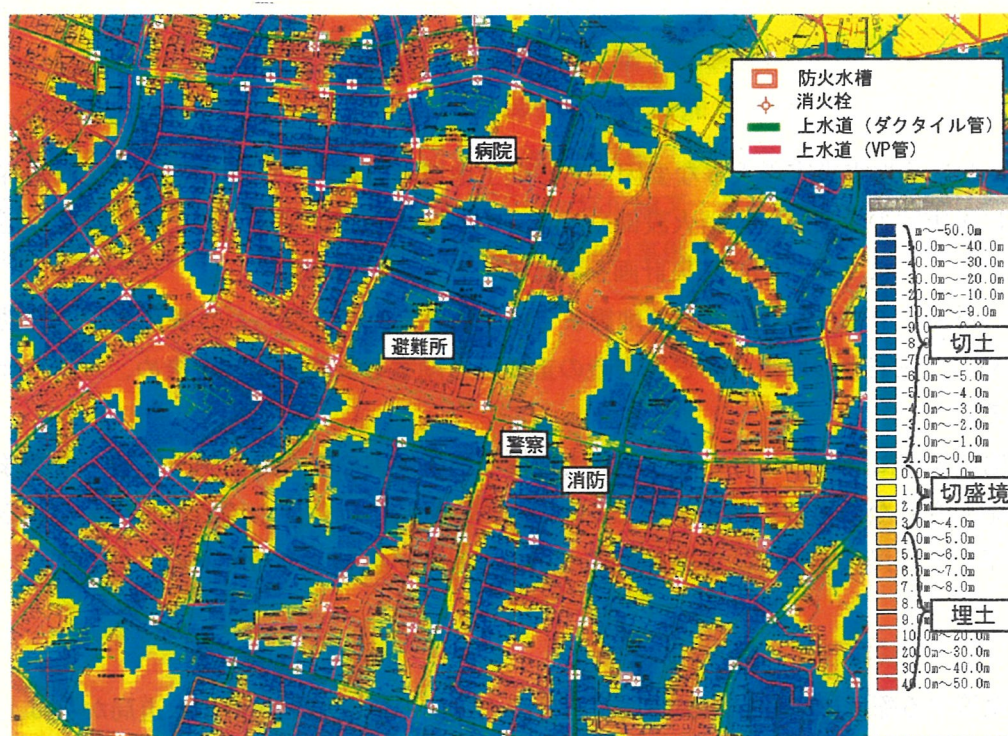


図-2 切盛区分・上水道網・消火設備（仙台市北部のT団地）



## 5. 地域防災対策への提言

宮城県沖地震を想定した宅地地盤における災害の形態は(1)大規模土砂災害、(2)中小規模土砂災害、(3)火災、(4)その他に分類される。

(1)大規模土砂災害は、斜面の土砂崩れや埋土地盤の大規模な崩壊により人命に関わるほどの土砂災害を指す。宅地においてこのような災害が想定される地域は、埋土の分布状況とその形態・地盤状態を調査することにより、推定が可能である。地盤改良工や補強工などによる対策が必要である。

(2)中小規模土砂災害は、地震動による亀裂の発生や地盤の不同沈下等により、住宅の損壊や道路の通行の障害、水道・ガス・電気等のライフラインの寸断などで、住民生活や災害時の消火作業を阻害する災害のことを指す。住宅地においては、切盛境や埋土地盤においてこのような災害が発生する可能性が高いため、該当地に位置する住宅の耐震補強やライフラインの耐震補強が望まれる。しかし、既設の住宅の耐震補強は補助制度があるとはいえ高価であり、住宅の建て直し時以外では難しい。そのため住民の地震保険の加入を勧めることや、地震災害を想定した防災教育の実施などが重要となろう。

(3)火災は、阪神淡路大震災でも甚大な人的被害を与え、地震直後から発生するため迅速な消火作業が求められるものである。しかし住宅地の地震時においては、耐震性の弱いVP管を用いた水道管につながる消火栓は、埋土地盤の変形により使用不能となる可能性が高い。そのため水道管は耐震性の高いダクタイル管等に交換することが必要だが、より効果的な工事のためには切盛境周辺および埋土地盤内の交換工事を優先して行うことが重要である。また、埋土地盤の変位による消火設備の使用不能を想定した消火計画の見直しや、災害の危険性の低い切土地盤内の道路を使用する被災者輸送計画の策定などが望まれる。特に災害時における重要度の高い指定避難所や病院・消防署・警察署等の施設を結ぶ路線は、早急に耐震補強などの対策が必要である。

(4)その他には、ブロック塀や石塀の倒壊が含まれる。1978年の地震の際にブロック塀や石塀の倒壊によつての被害が多発したことに対する教訓を生かし、ブロック塀の撤去と生垣への転換が進められてきている。

## 6. まとめ

宅地地盤における地震災害の大きな要因である埋土地域の分布は、GISによって比較的容易に判別できる。さらに災害時の重要施設、消火設備やライフラインの分布を加えることで、詳細な地震時の被災予測が可能となり、より具体的な防災計画を考えることが可能である。

また、近い将来に予想される宮城県沖地震までの限られた時間と限られた費用の中で、効果的な対策を講ずるために、住宅地の埋土分布と災害時の重要度を勘案した優先順位を決め、対策を計画することが肝要である。

すべての地震災害に通ずることであるが、大規模な地震災害の場合は消防・警察・自衛隊等の公の組織力では対応しきれない場合があり、特に災害対応の初動時には住民の協力が不可欠である。詳細な被災予測を提示して官民共同での防災訓練等による災害対策が必要となるであろう。

## 7. 謝辞

本論文を執筆する際には、仙台市消防局からは消火設備の資料を、仙台市水道局からは上水道管網図を提供していただいた。ここに記して深く謝意を表します。



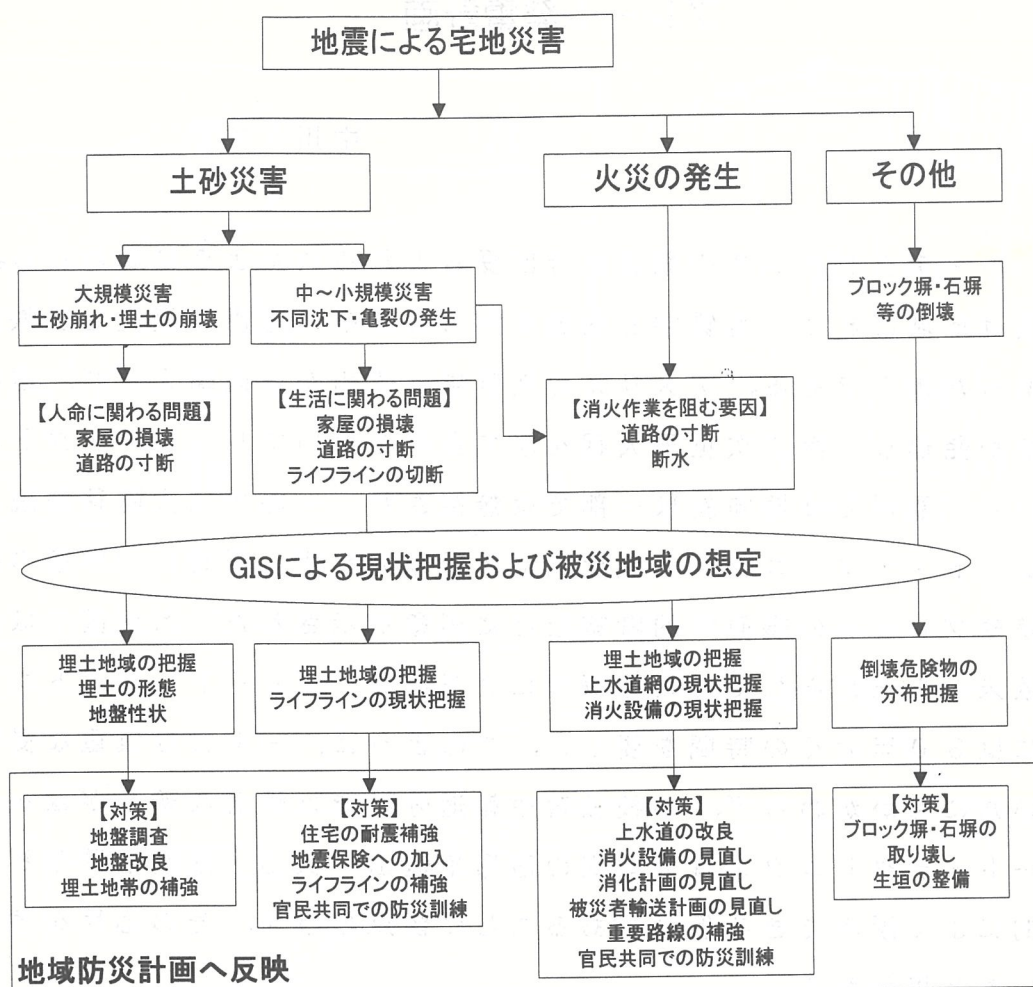


図-3 地震による宅地災害の分類と対策

#### 【参考文献】

- ※1 仙台市地域防災計画（地震災害対策編）、仙台市防災会議、1997年4月
- ※2 宮城県沖地震—1978年宮城科学シンポジウム報告集一、1979年4月
- ※3 1978年宮城県沖地震調査報告書、（社）土木学会東北支部、1980年4月
- ※4 吉川謙造；宅地造成地盤の震害予測法と対策工法、学位論文・東北工業大学、2001年3月
- ※5 佐藤真吾；宅地造成地における地震防災対策箇所の抽出事例、地盤工学会、2002年7月

## プレート発電計画

⑩

中川久夫

プレート・テクトニクス概念はほぼ受け入れられたように思われる。その普及は地域ごとに、地質学と関連科学およびその応用の歴史を反映した経過があったようである。アメリカの地質学は欧州から直輸入され、地向斜・造山の概念が発達し、第二次世界大戦を経て資料が整いプレート・テクトニクスが創成された。欧州では地向斜は一部では無視され、一部では大陸移動説が提唱され、プレート・テクトニクスも無比判には受け入れず、同時に大洋底の磁気異常帯の解説やプレートの幾何学的考察などに創意が示された。わが国では長年にわたって欧米から伝えられてきた諸概念にこだわり、プレート・テクトニクスの受け容れには30年近くの時間を要した。このように、一般には慎重な受容条件が整っていたにもかかわらず、学校教育や報道分野では性急な普及がはかられた。

プレート・テクトニクスは大洋底の地形や造山・火山・地震活動などの緒現象を総合的によく説明できる仮説であることに留意のうえ、その応用を考える時期にきていると思われる。

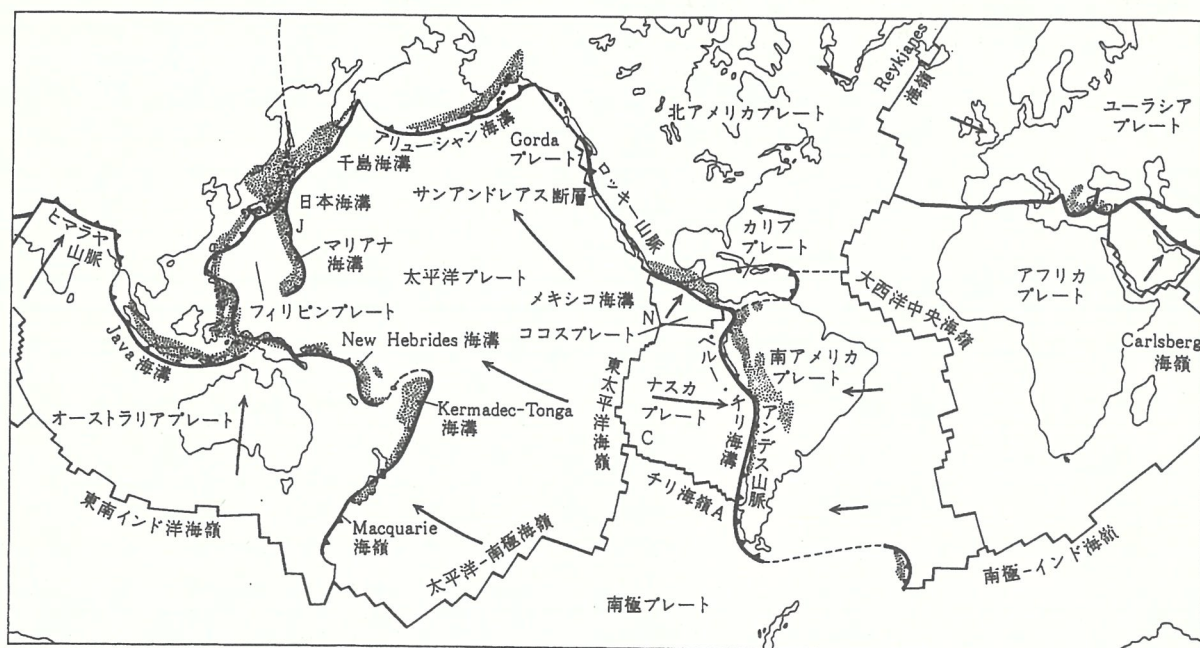
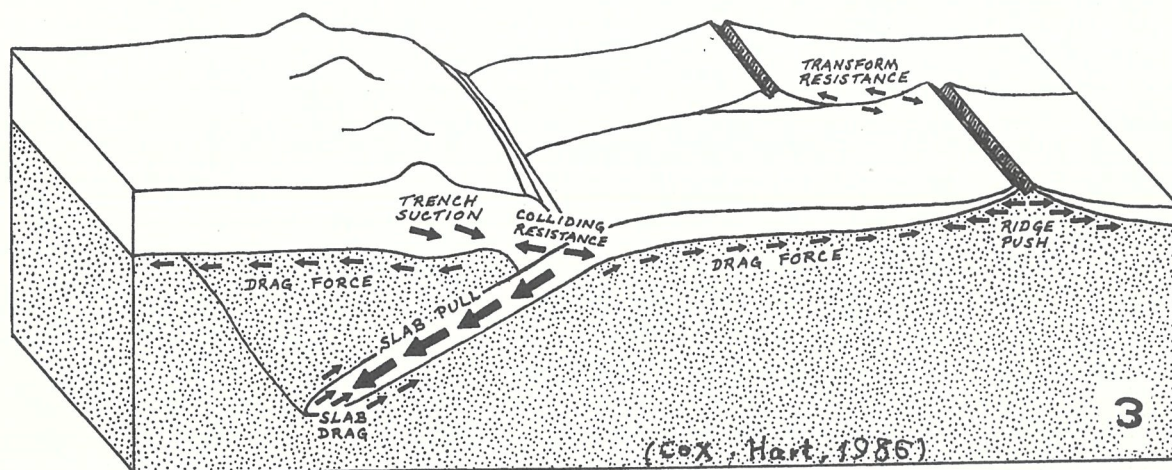
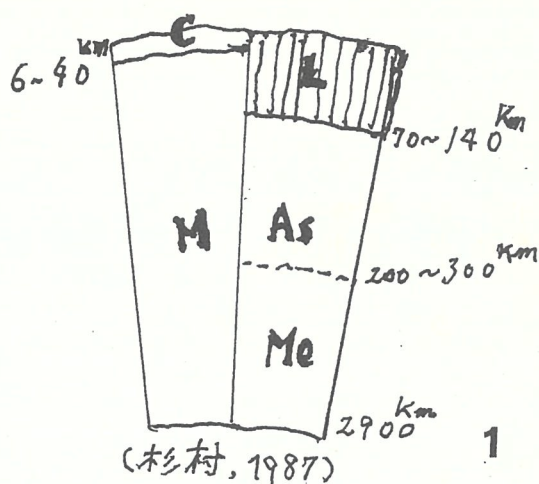
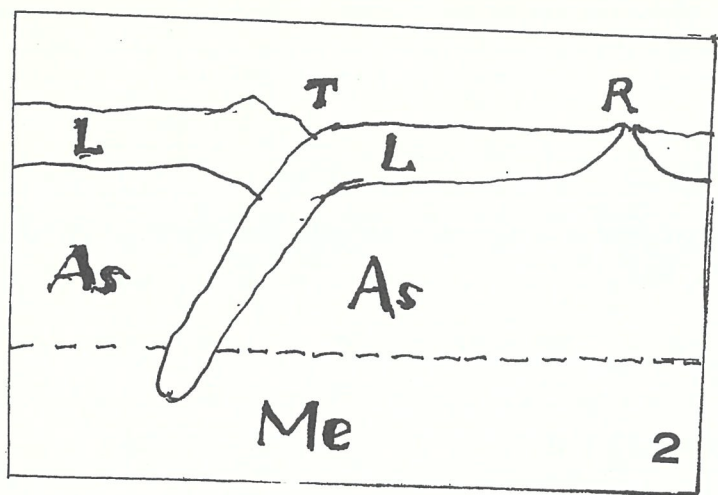
自然現象は、これを利用しようとする、一時的なもののほかに循環型現象と永続消耗型現象がある。すでによく利用され効果をあげている例は水力・風力・太陽（熱）・原子力の発電などがある。石炭・石油も形成過程から見れば自然現象にわずかの人工を加えたものであろう。プレートは東太平洋海膨・大西洋中央海嶺などで現れ、海溝で消滅する。日本列島東方の海底にはジュラ紀のものがあるというので、1億年以上にわたる永続的自然現象である。

プレートの運動を発電に利用しようとする時には次のような準備が必要であろう。

- 1) プレート同士の間での相対的運動量の測定。
- 2) 固定点の選定。
- 3) 器材の準備。
- 4) 発電機の設計。
- 5) 実行機関。
- 6) 一般の理解と支持。

これが実現すれば、火山活動・地震の予知・予報の具体策をたてることも可能となろう。





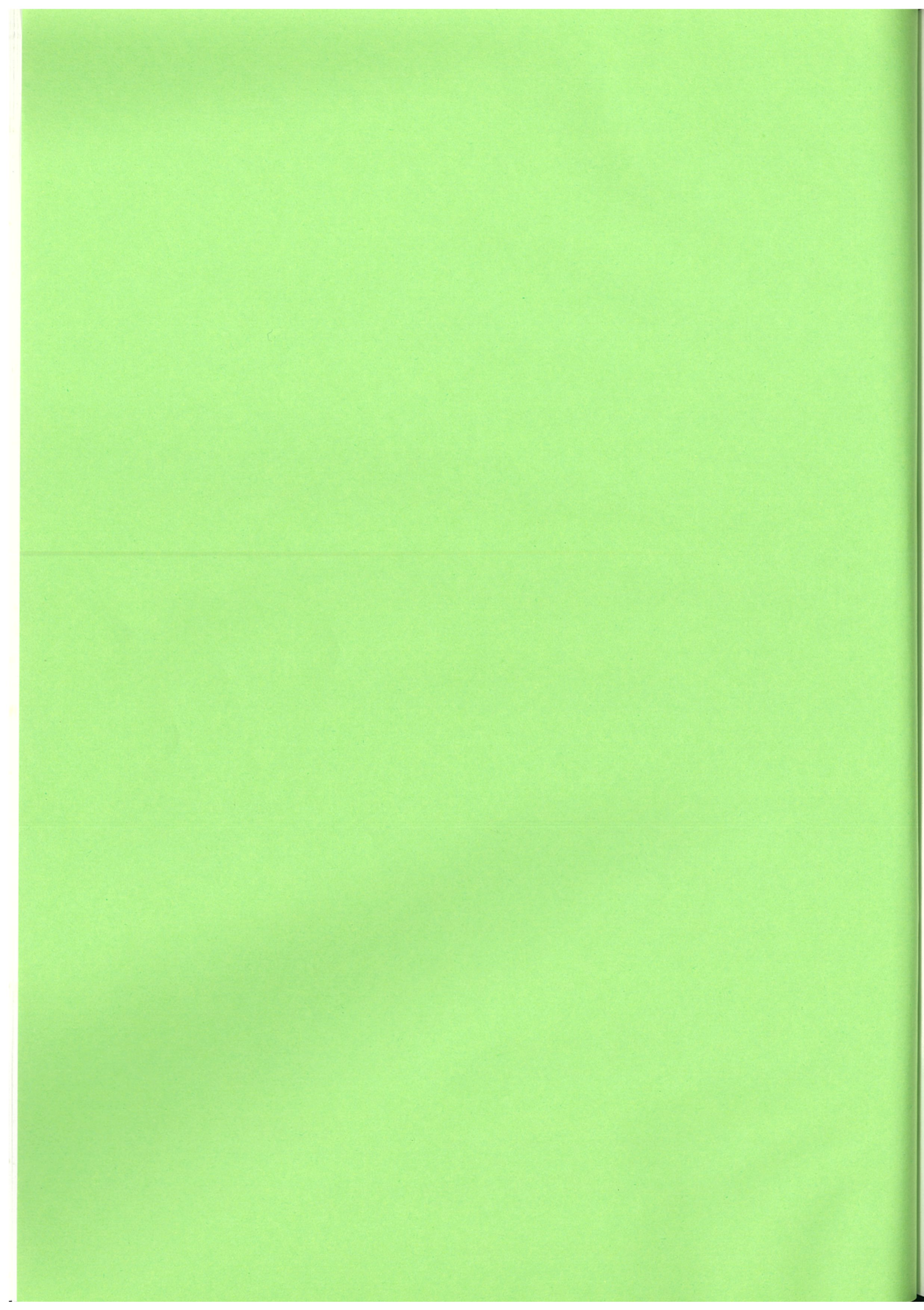
- サブダクション帯(海溝)      - - - - - 不明瞭なプレート境界
- トランスフォーム断層      → プレート運動の向き
- 海嶺      ■ 深発地震帯

(上田, 1989)

4

世界のプレート分布。アフリカ・プレートを不動としたときの各プレートの運動の概略を矢印で示してある。J, N, Cは3重会合点







## 仙台地域の地盤環境と地震防災

源 栄 正人\*

\* 東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター、教授、工学博士

URL: <http://www.disaster.archi.tohoku.ac.jp>

E-mail: [motosaka@struct.archi.tohoku.ac.jp](mailto:motosaka@struct.archi.tohoku.ac.jp)

### 概 要

地震時における揺れの大きさは地盤特性によってかなり異なることは過去の地震被害から明らかである。地域の地震防災問題を考える上で、このような地盤特性の地域内格差を考慮した都市構造物の耐震設計や地域の地震災害対策を講じることは重要である。ここでは、仙台地域を対象に、地盤環境としての表層地質・地形と深部地盤構造について示すとともに、近い将来高い発生確率で予測される宮城県沖の地震に対する地面の揺れの分布を推定した結果を紹介する。地域内における地面の揺れの地域内格差と、これによる建物被害等の地震被災危険度にかんがりの格差があることを示す。また、市民を対象とした防災意識アンケート調査により、地盤条件の違いに対応した地域住民の防災意識の違いが存在していることを示す。地域防災計画を考える上でこの格差の解消にどう取り組むか、地域の自然環境（地震・地盤）と社会環境を考慮した最適な地震防災対策を考える上の基礎資料としたい。

### 1. はじめに

断層のすべりによって発生する地震波は岩盤を伝わって私たちの住む町の直下の岩盤に到達します。この場合、震源から発生する地震波の性質は地震の規模、滑りかたによって異なった性質を持っていること（震源特性）、地震波は伝播距離が長くなるほど振幅が小さくなる性質があり、地震波に含まれる振動数成分ごとに距離による振幅の減少の仕方が違う（伝播経路特性）。この地震波が岩盤の上に堆積している地層を揺らすことになる。この揺れは地盤の固さによってかなり異なり、一般に、古い地層ほど揺れは小さくなる（サイト特性）。これらは、地面の揺れを決定する要素、いわゆる「地震動の3要素」と呼ばれている（図1参照）。

さらに、地面の揺れによって建物が揺すられることになる。建物の揺れの大きさ、特に建物がどれくらい変形するのは建物の損傷度評価の目安となる。また、建物の高さや位置によってその揺れ方が違う。その揺れの大きさ（加速度）や揺れの周期は建物内にある家具の転倒の問題や病院などでは重要な医療機器類の機能障害の問題などに関係する。

したがって、地盤条件によって異なる地面の揺れや高さの異なる建物の中間階や最上階の揺れを体験し、その違いを体で覚えることが地震防災を考える上で最も大切であると私は思っている。最近お披露目した仙台市消防局の防災指導車、愛称「ぐらら」（6自由度の揺れを起こせる振動台を載せた起震車、写真1）では私の意図を反映していただき、これらの体験ができるようになっている。

地震防災を考える上で考慮していかなければならないのは地面の揺れは地盤の性質によってかなり異なる点である。地質学的にいうと年代の新しい方から沖積層、洪積層がありこれを表層地質構造と呼んでいます。場所により異なるが、地下せいぜい数十メートルまでの地層である。最近ではそのデータベースが整っており、自治体の地震被害想定において地面の揺れの評価に使っている。その下は第3紀に堆積した地層以下の地盤構造で深部地盤構造と呼んでいる。やはり場所により異なるが、地下1km～2km 程度までの地下構造で、その把握が工学的に重

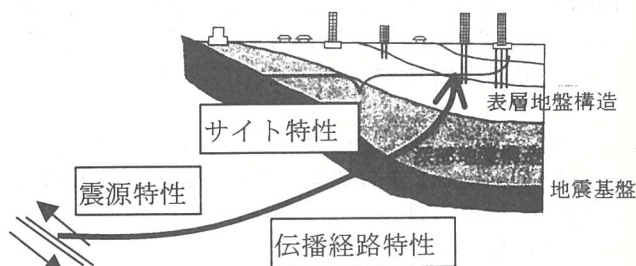


図1 地震動の3要素

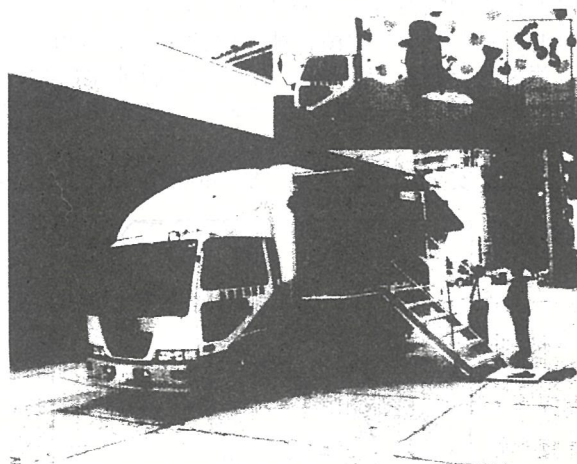


写真1 仙台市の防災指導車「ぐらら」



要であることが、兵庫県南部地震を機にあらためて指摘されてきている。

地域の地震防災計画は将来想定される地震に対してどの場所がどの程度揺れるのかを推定することから始まる。ここでは、仙台市の地震被害想定において想定している宮城県沖の地震による地面の揺れの分布の検討例を紹介し、地域内における地面の揺れの分布を示すとともに、これにより想定される建物被害の地域内格差を示します。これらは地震被災危険度が場所によって異なることを示しており、地域の自然環境（地震環境と地盤環境）と建物現況など社会環境がもたらす不公平さと解釈することもできる。また、住民の防災意識にも格差があることが、仙台市が行った防災アンケートにより分かっている。都市構造物の耐震設計や地域防災計画を考える場合、このような地域内格差にどう対処していくべきかを議論するための基礎資料を示す。

## 2. 地域の地盤環境

### (1) 表層地質・地形と地震動の増幅特性

仙台地域の地質は図2に示すように、長町-利府断層線を挟んで北西側の市街地中心部の位置する洪積台地と南東側の沖積平野部に分けられ、洪積台地の周辺には向山・八木山・青葉山などの丘陵地が存在している。仙台地域のサイスミック・マイクロゾーニングにおいては洪積台地、沖積平野、丘陵地の3つに大きく分類して考えるのが妥当であろう。

図3は沖積平野部における表層地盤の厚さを示すとともに、1978年の宮城県沖地震における建物被害分布を示したものである。表層地盤の厚さは最も深いところで75m程度である。仙台地域の表層地質のデータについては、1978年の地震の後、5年間かけて作成した「宮城県地震地盤図」<sup>1)</sup>に基づいて、地震被害想定のために、250mメッシュ毎に表層地盤をモデル化したデータベースができて<sup>2)</sup>いる。

地盤構造と建物の耐震設計との関わりを考えると、特に、沖積平野では表層地盤による増幅特性、丘陵地では崖地形の不整形性による地震動の増幅特性を考慮することが必要となる。

2000年6月建築基準法の改正により、一般建築構造物の耐震設計においても工学基盤からの表層地盤による地震動の増幅特性を考慮するようになった<sup>3)</sup>。ここでは、図4に示すような洪積台地に位置する仙台市役所付近から荒浜小学校を結ぶ線に沿った表層地盤における地震動の増幅特性を前述のデータベースを用いて検討した例を示す。

図5は安全限界地震動 ( $V_s=400\text{m/s}$  以上の工学基盤で

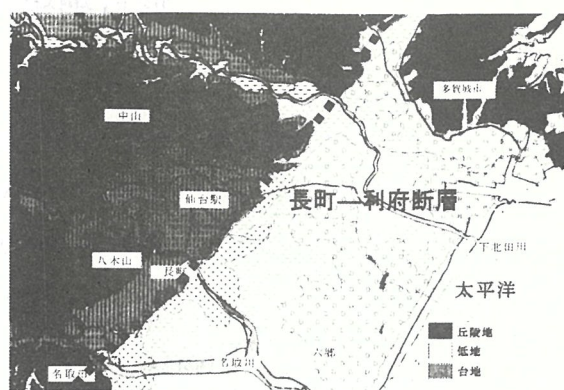


図2 仙台地域の表層地質概要

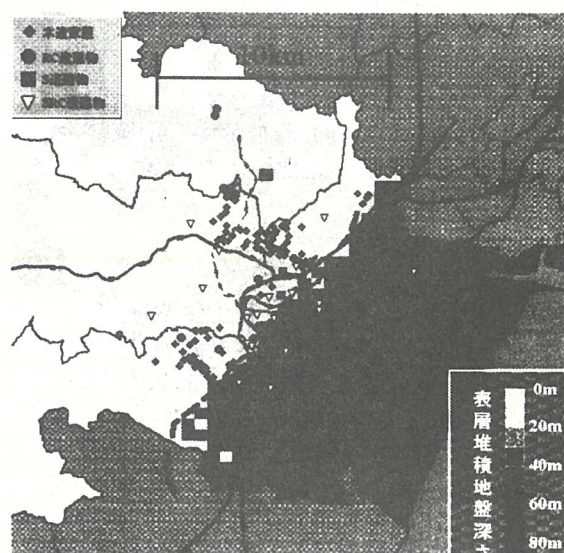


図3 表層地盤の深さと1978年宮城県沖地震における建物被害分布

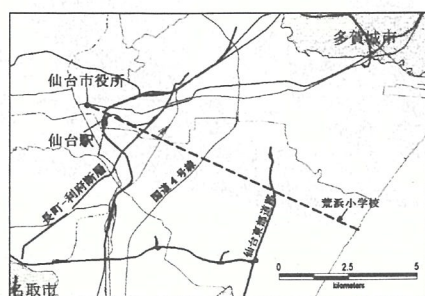


図4 表層地盤増幅係数の検討対象ライン

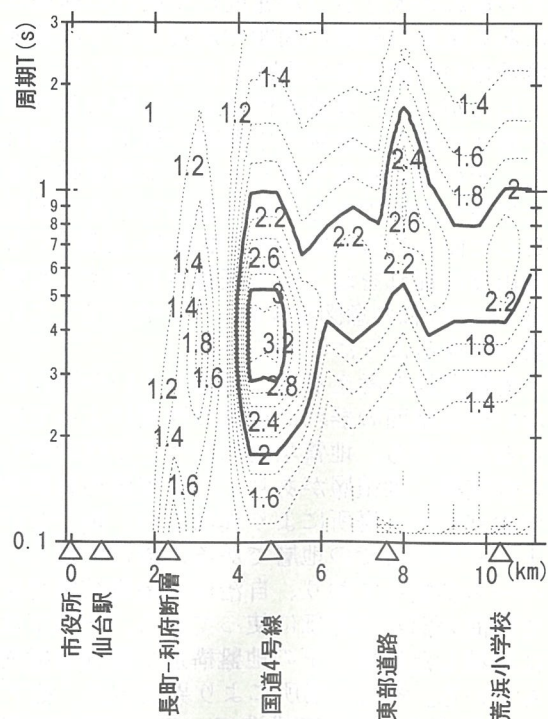


図5 各地点・各周期成分に対する表層地盤増幅係数



最大加速度 300ガル程度) に対する建物周期に対する地震動の増幅特性を国土交通省告示<sup>3)</sup>に基づいて算定して示したものである。卓越周期は断層の南東側で 8.5km 地点まで徐々に長くなっているが、9km の荒浜付近では沖積層厚が薄くなっていることに起因してやや短くなっている。増幅率は大きいところで 3 倍程度である。

丘陵地における地震動増幅特性を建築構造物の耐震設計や耐震診断に取り入れるために、例えば横浜市で提案している評価式などがある。仙台地域においても向山、八木山、青葉山などの丘陵地における地震動の増幅特性の評価は重要であると判断し、地震観測データに基づく増幅特性の検討を行ってきている。ここでは、仙台北城跡における検討例を示す。

図 6 には青葉山の仙台北城本丸跡を通る東西断面を示す<sup>4)</sup>。仙台北城本丸跡付近は崖地形になっており崖下の追廻住宅とのレベル差は約 80m である。筆者らはこの崖地形において地震観測と微動観測を行ってきている<sup>5)</sup>。図 7 には地震観測に基づく仙台北城本丸跡崖地形の上 (伊達政宗騎馬像付近) と下 (追廻バレーボールコート付近) の水平 2 方向のフーリエ・スペクトル比について 14 地震の平均と標準偏差を示す。図中には微動観測に基づくスペクトル比を合わせて示してある。この地形における増幅は崖に直交する方向の成分が大きく、2Hz 付近で最大となり 3.5 倍程度のスペクトル比となっている。この増幅特性に対する解析的検討も行っているので参照されたい<sup>5)</sup>。

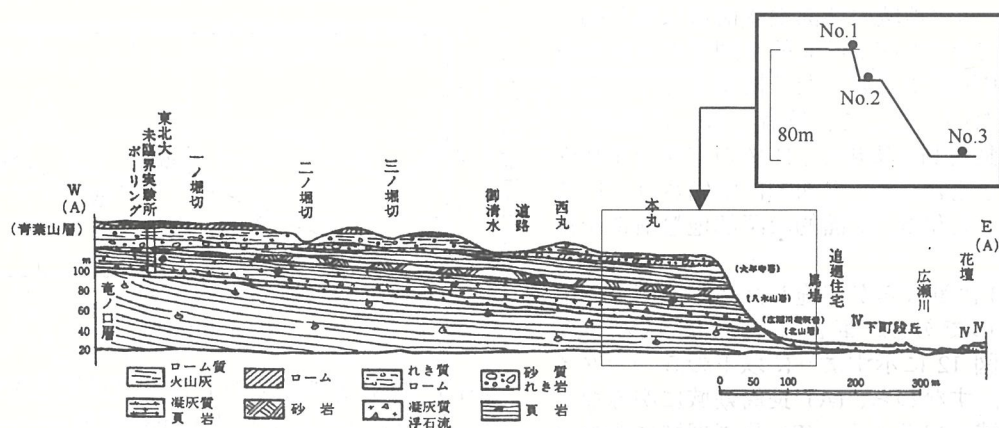


図 6 青葉山丘陵地の東西断面

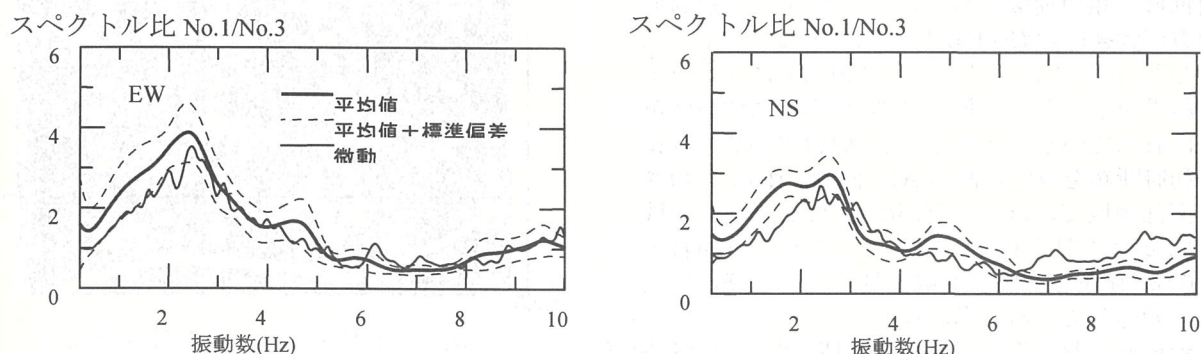


図 7 地震観測に基づく仙台北城跡崖地形における地震動増幅特性

## (2) 深部地盤構造

一方、深部地盤構造については必ずしもよくわかっていないが急速に解明されつつあり、現在も宮城県プロジェクト「仙台平野南部地域地下構造調査」が進行中である。最近の深部構造に関する情報としては宮城県により実施された長町一利府断層帯における反射法探査<sup>6)</sup>の結果や仙台市太白区の愛宕神社付近における温泉ボーリングのデータ<sup>7)</sup>が報告されている。

宮城県による反射法探査は長町一利府構造線を跨ぐ 3 測線 (北部、中央部、南部) で行われ、中生代の利府層までの深さとそれ以浅の P 波速度構造が推定されている<sup>6)</sup>。この反射法探査で得られている深部構造は断層線上では北から南に向かって基盤深度が深くなっていること、また、中央部では海岸線に近づくにつれて基盤深度が浅くなっている。図 8 には仙台市中央部の片平から卸町に至る反射法探査測線 (測線 1) における P 波速度構造とこの測線に沿って筆者らの微動観測による H/V スペクトル比 (以下、H/V と略す) から得られる卓越周期を示す。基盤深度と H/V の卓越周期との関連性について調べてみると、両者の変化には良い対応が見られ、基盤深度が深いところでは卓越周期が長く、基盤深度が浅いところでは卓越周期が短く



なっている。140.9° 付近の長町—利府断層による不整形構造についても良く対応している。なお、図中の番号は筆者らが微動観測を実施した位置<sup>8)</sup>を示している(図10参照)。

仙台駅付近における利府層上面までの深さは750m程度である。仙台駅とそれほど距離のない愛宕神社付近における温泉ボーリング(コア・サンプルが仙台市科学館に展示されている)は1200m地点まで掘られており、古生層(割山層)までの深さは約800mと報告されている<sup>7)</sup>。

図9には南部の鉤取付近の測線(測線3)におけるP波速度構造を示す。ここでの深部構造は神戸の地盤構造のような地震動を増幅させる構造となっていることに留意する必要がある。この地盤構造が面的にどのようにつながっているのか今後調査を進めていく必要がある。

一方、仙台高密度強震観測アレーなどの観測点におけるアレー微動観測<sup>9)</sup>や仙台高密度強震観測アレー観測記録のP S変換波<sup>10)</sup>やH/V<sup>11)</sup>を用いた基盤深さの検討結果が報告されている。

このように、仙台地域の深部地盤構造は部分的には良くわかってきているが、面的な調査の実施が難しく、地震被害想定で必要となる情報としては必ずしも十分ではない。そこで、筆者らは、市域約70点における微動観測を実施し、H/Vの空間分布特性を把握するとともに、データ面的に整備されている重力異常データと併せて、面的な深部地盤構造を推定した<sup>12),13)</sup>。

図10と図11は筆者らが実施した微動観測点の位置を示したものである。筆者らは仙台地域のH/Vの形状を見て図12に示すように以下の5つのタイプに分類した。すなわち、(A)長周期域に明瞭なピーク、短周期域はフラット、(B)長周期域に明瞭なピーク、明瞭ではないが1Hz周辺に小さなピーク、(C)長周期域・短周期域ともに明瞭なピーク、(D)長周期域・短周期域ともにピークが小さい(短周期側の方が大きい)、(E)1Hz付近に明瞭なピーク、に分類した。図13はタイプごとに地図上にプロットした結果を示すものであり、H/Vの形状に地域性が顕著に表れていることが分かる。仙台中心部では長町—利府断層を境に東側が(A)、西側が(B)に分類され、南部地域ではほとんどが(C)、東部の平野地域では(E)が多く見られる。そして、これらを囲むように(D)が存在し、仙台地域に見られる丘陵地形と良く対応していると思われる。

仙台地域における長周期域と沖積平野における短周期域でのH/V卓越周期分布を図14に示す。タイプ(D)のようにピークが緩やかなものも評価の対象としている。前述の卓越周期と基盤深度の関係から、青葉山周辺から東側に行くにつれて浅くなっていることが推測される。また、基盤深度が深い南部地域では、深部地盤と表層地盤の卓越周期を反映し、H/Vはタイプ(C)のように長周期・短周期で2つのピークを持っているが、東側に行くにつれて、基盤深度が浅くなるために深部地盤の卓越周期が短くなるのに対し、表層地盤の卓越周期は長くなり長周期・短周期2つのピークが近づくので、タイプ(E)のように0.8~1secで1つのピークを持っていると考えられる。

図15は仙台市域の重力異常データから広域的重力異常(地殻の厚さやプレート形状など基盤面より深い構造の影響)分を差し引いた局所的重力異常(堆積層に覆

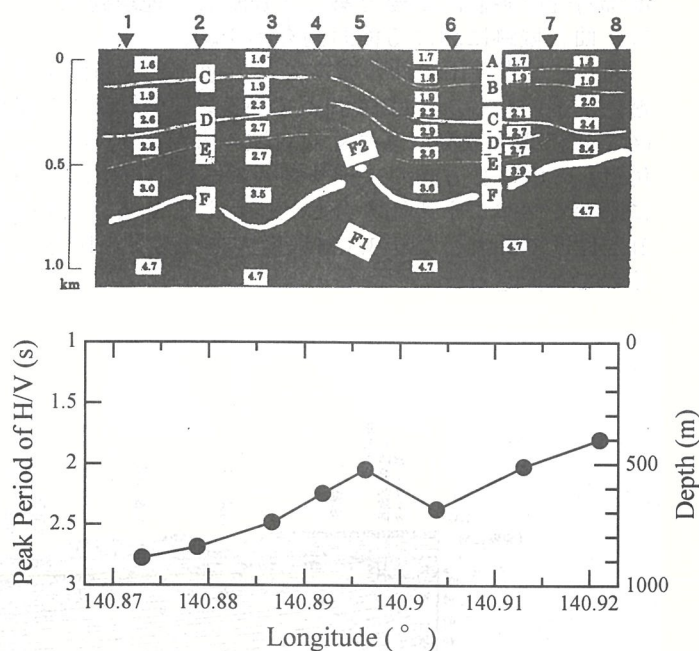


図8 反射法測線1のP波速度構造と微動観測によるH/Vスペクトル比の卓越周期

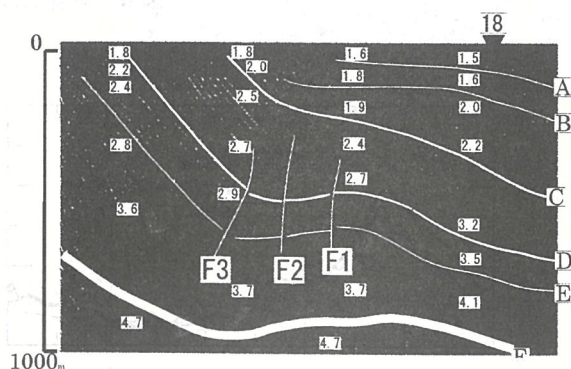


図9 反射法測線3のP波速度構造

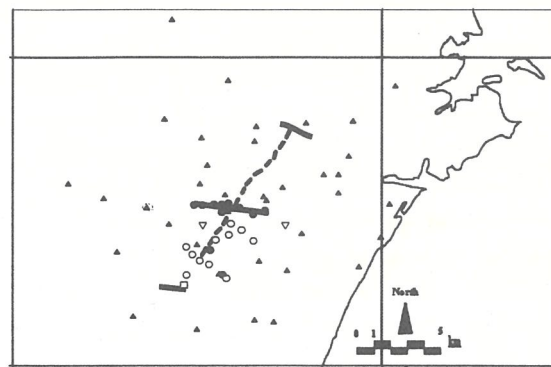


図10 断層直交・平行線上の微動観測点



われた基盤構造の影響)の分布を示したものである。図16は市内11点における基盤震度とその点における局所重力異常値との関係を示したものである。

図17は仙台地域の深部地盤構造を示したものである。図16の直線近似による関係式と図15よりまず、基盤震度図が得られる。中間の層構造は層数(ここでは、3層とした)とそのS波速度を仮定し、層厚を未知としてH/Vの卓越周期が理論から得られるH/Vの卓越周期と一致するように逆解析により地盤構造の推定を行った。この図からも分かるように、基盤深度は海に向かって浅くなっている。基盤深度が一番深いのは仙台市西部の熊ヶ根付近で1.5km程度である。仙台駅付近では800m程度である。



●○ 断層直交・平行線上 ▲ 強震観測点 ▽ 温泉ボーリング

図11 強震観測点・温泉ボーリング地点を対象とした微動観測点

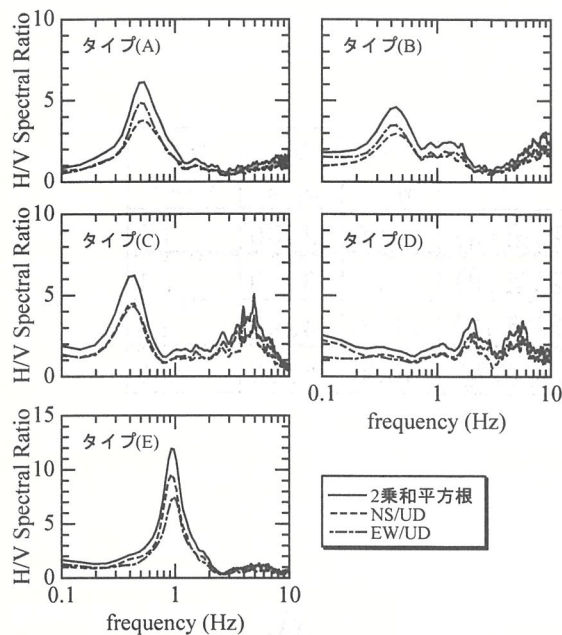


図12 H/Vスペクトル形状のタイプ分類

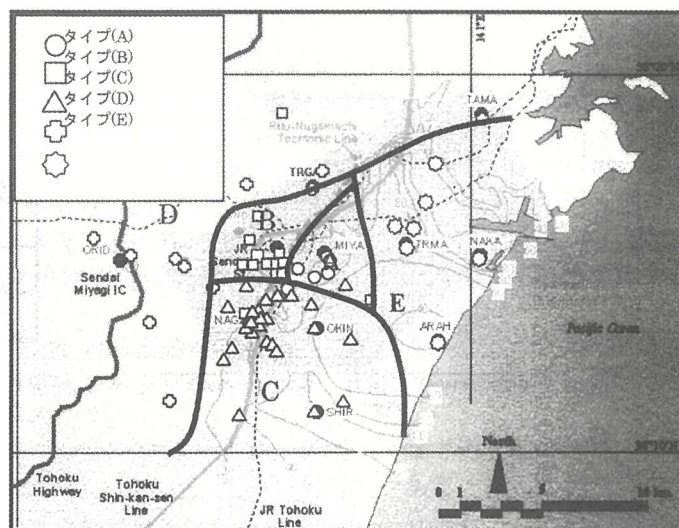


図13 H/Vスペクトル形状に基づくタイプの分布

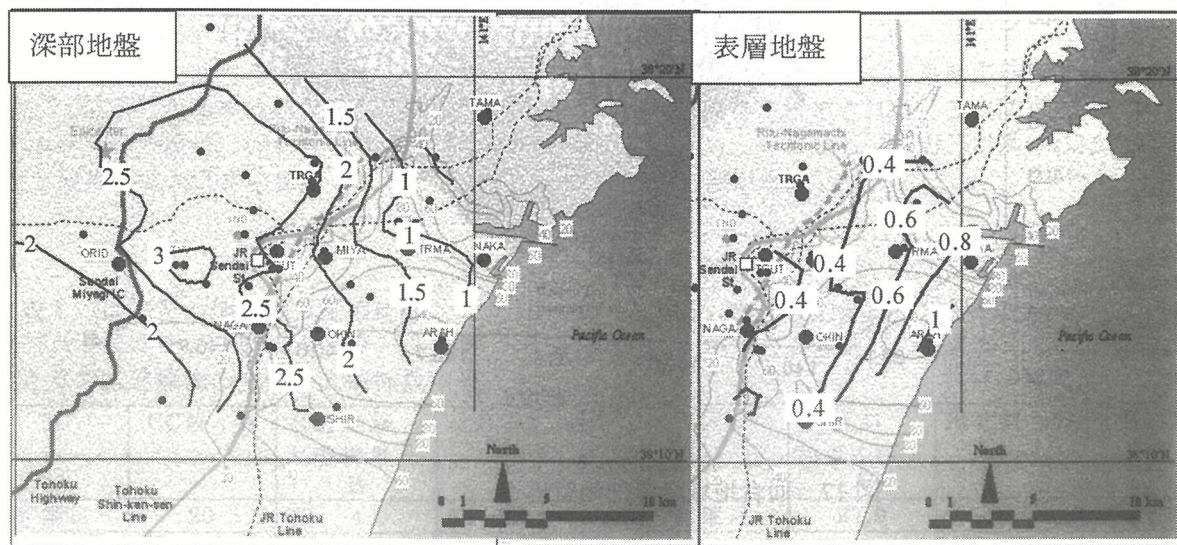


図14 微動観測により推定される深部地盤構造と表層地盤の卓越周期

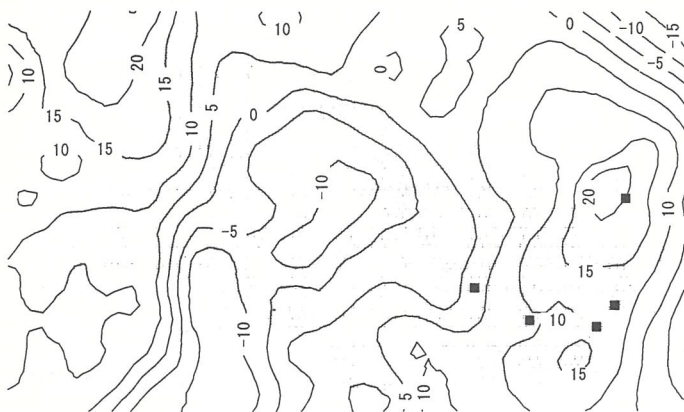


図15 局所重力異常分布(mgal)

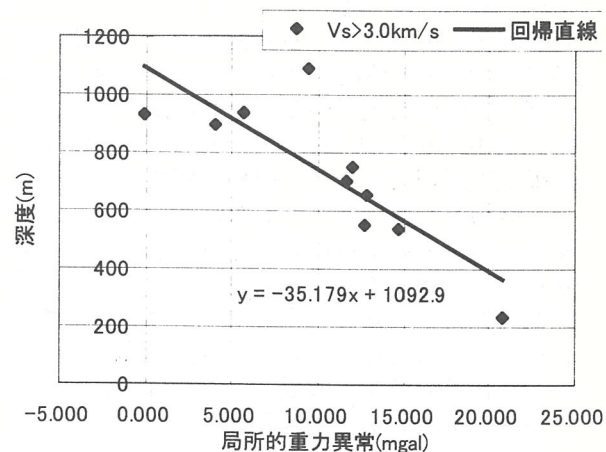
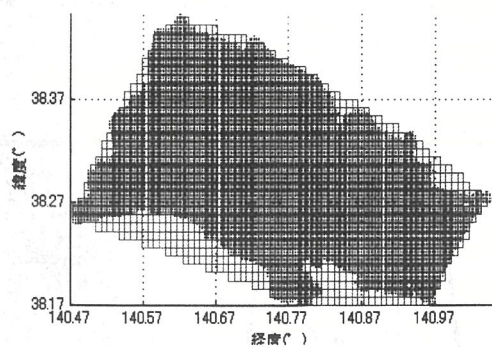


図16 局所重力異常分布と基盤深度の関係



|       | $V_s$<br>(m/s) | $V_p$<br>(m/s) | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------|----------------|----------------|----------------------------|
| 深部第1層 | 700            | 2000           | 1.8                        |
| 深部第2層 | 1300           | 3180           | 2.1                        |
| 深部第3層 | 2000           | 4290           | 2.5                        |
| 地震基盤  | 3000           | 5350           | 2.63                       |

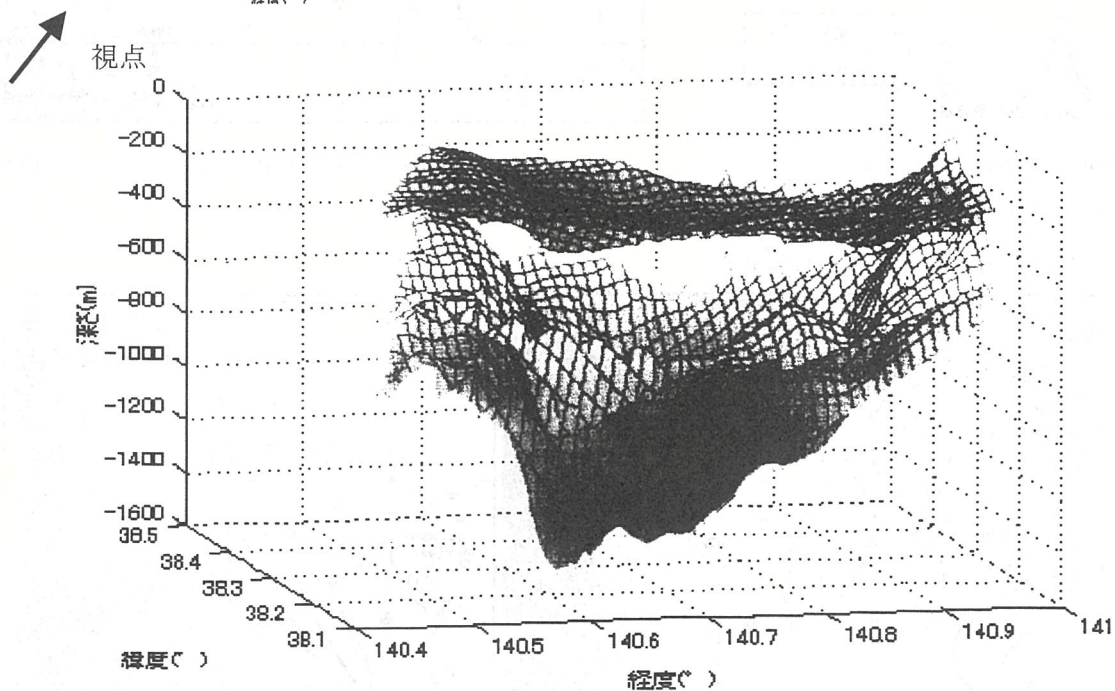


図17 仙台地域の深部地盤構造



### 3. 想定宮城県沖地震に対する地震動分布の検討

地域の地盤構造が分かると、将来想定される地震に対する断層モデルを決めることにより、地震動分布を推定することができる。

ここでは、近い将来高い確率で発生が予測られる宮城県沖地震に対する検討例を示す<sup>14)</sup>。図18は現在、政府の地震調査研究推進本部で推定している次の宮城県沖地震<sup>15)</sup>の断層面の一つで、マグニチュード7.5の地震を発生させる断層面を示したもので40km x 80kmの大きさである。

この断層による仙台市の地震動分布は断層の滑りかたによって変化するが、アスペリティの面積と位置を図18に示すようにして、北東の隅が破壊開始点とした場合に対する仙台市内における揺れの大きさの分布を最近の地震学・地震工学の知見を反映した手法を用いて推定した<sup>16)</sup>。

図19は最大加速度分布、図20は計測震度分布である。最大加速度は洪積台地の市街地中心部では250ガル~300ガル程度であるが、沖積平野部では卸町付近を中心に500ガルを超え、場所によっては600ガルを超えところもある。このように、同じ市街地でも2倍程度の揺れの違いが生じる。江戸時代の市街地は洪積台地にあったから、伊達政宗は揺れの小さいところに町づくりをしたわけである。断層の東側の沖積平野部でも開発の早かった三百人町や六十人町などは比較的揺れが小さいところに位置している。1978年の宮城県沖地震後にも市街地がどんどん拡大し、揺れの大きい場所に宅地が開発されている点は注意したいところである。断層の西側では七北田川沿いの沖積平野が比較的揺れが大きくなる。

計測震度は洪積台地の市街地中心部で震度5強、沖積平野部は震度6弱で一部震度6強となっている。

### 4. 建物被害と人的被害の地域内格差

建物被害を論じる場合にはどこにどれくらい数の建物があるのか、現況を把握しておく必要がある。図21は250m平方メッシュごとの木造建物の現況棟数(全体で約236,000)を示したものである(ここでは示さないが、建設年代区分ごとの図もある)。地震被害想定では建設年代による建物の強さの違いを考慮している。一般的に新しい建物の方が、建築基準法の改正により性能の良い建物となっている。兵庫県南部地震の木造建物の被害と地面の揺れの強さとの関係から推定される年代ごとの建物の強さは1982年以降に建設された建物の強さを基準として1.0とすると、1971年~1981年の建物では0.85、1951年~1970年の建物では0.70、1950年以前の建物では0.58と推定している<sup>17)</sup>。

図19の揺れの分布(地動最大加速度分布)と図21の木造建物現況棟数分布を比較すると、地震時にどこが危険かが分かる。昔は揺れの大きいところには建物があまりなかったが、市街地の拡大により揺れの大きいところにも建物が多く存在していることが分かる。

図22(a)は全壊・大破建物の棟数分布(振動被害と液状化被害合わせた数で、全体で約2,400)を、図22(b)は半壊・中破棟数分布(同じく振動と液状化で全体で約10,300)を示したものである。被害が大きいのは断層の東側に位置する若林区全域と宮城野区と太白区の東部に集中していることが分かる。これらの図より、建物の被災危険度は場所によってかなり異なることが分かる。

表1と表2は区ごとの地震被災危険度を比較したものである。表1はコミュニティ防災センター一つあたりの木造建物の全壊・大破棟数を区ごとにまとめ比較したものである。明らかに若林区を筆頭に、宮城野区、太白区で高い値を示している。同様に、表2は人口一人あたりの死者数を区ごとにまとめ比較したものである。死者数は建物被害から冬の夜を想定して推定したものである。やはり若林区が高いことが分かる。青葉区が高い値を示しているのは火災の延焼によるものである。

このような数値で区ごとに地震被災危険度を見てみると、若林区が最も高く、泉区が低いというように差がある。このような数字は防災を考える上では自然条件と社会条件で規定されている、防災システムというシステムを考えた場合、いわゆる‘入力’である。地域の防災力、いわゆる‘耐力’が高ければ実際に起こる被害と被害の拡大は食い止められるということに留意する必要がある。

表1 区ごとの地震被災度の比較

(コミュニティ防災センター(CC)一つあたりの木造建物の全壊・大破棟数)

| 区    | CC数 : A | 木造全壊・大破棟数 : B | B/A  |
|------|---------|---------------|------|
| 青葉区  | 20      | 4             | 0.2  |
| 宮城野区 | 14      | 799           | 57.1 |
| 若林区  | 12      | 1073          | 89.4 |
| 太白区  | 20      | 461           | 23.1 |
| 泉区   | 12      | 33            | 2.8  |

表2 区ごとの地震被災度の比較

(人口1万人あたりの死者数：冬の夜想定)

| 区    | 人口(万人) : A | 死者数 : B | B/A  |
|------|------------|---------|------|
| 青葉区  | 27.9       | 327     | 11.7 |
| 宮城野区 | 17.9       | 192     | 10.7 |
| 若林区  | 13         | 570     | 43.8 |
| 太白区  | 22.3       | 2       | 0.09 |
| 泉区   | 20.3       | 1       | 0.05 |



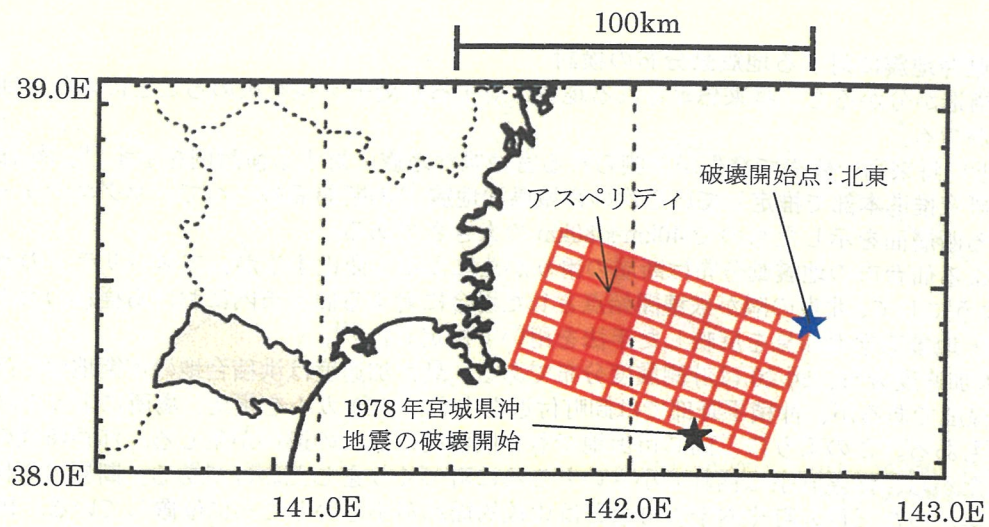


図 18 宮城県沖の想定地震の断層面

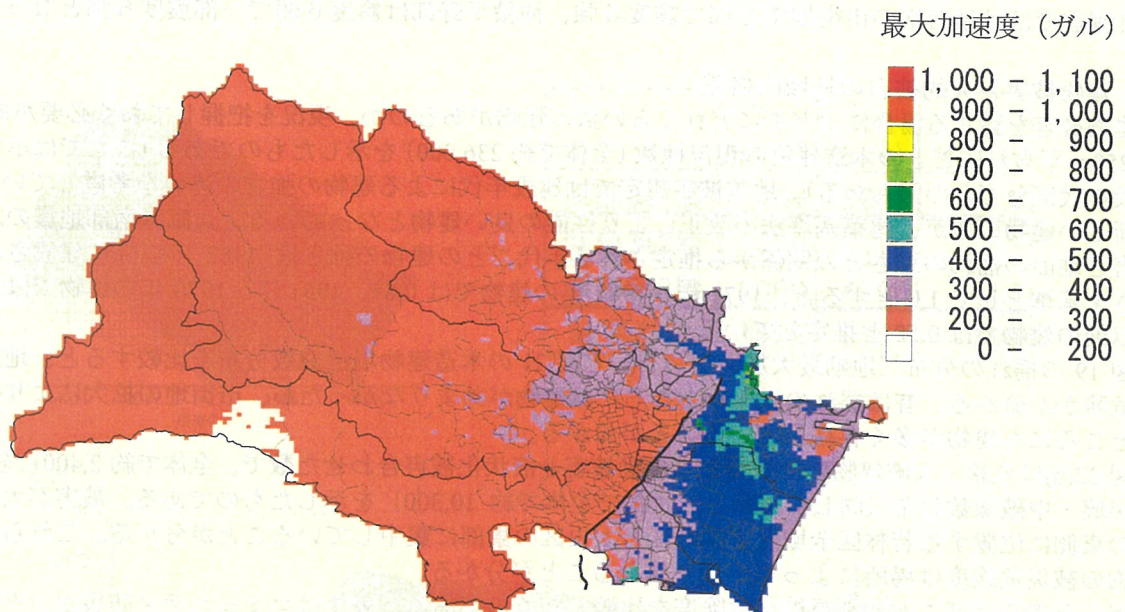


図 19 地動最大加速度分布

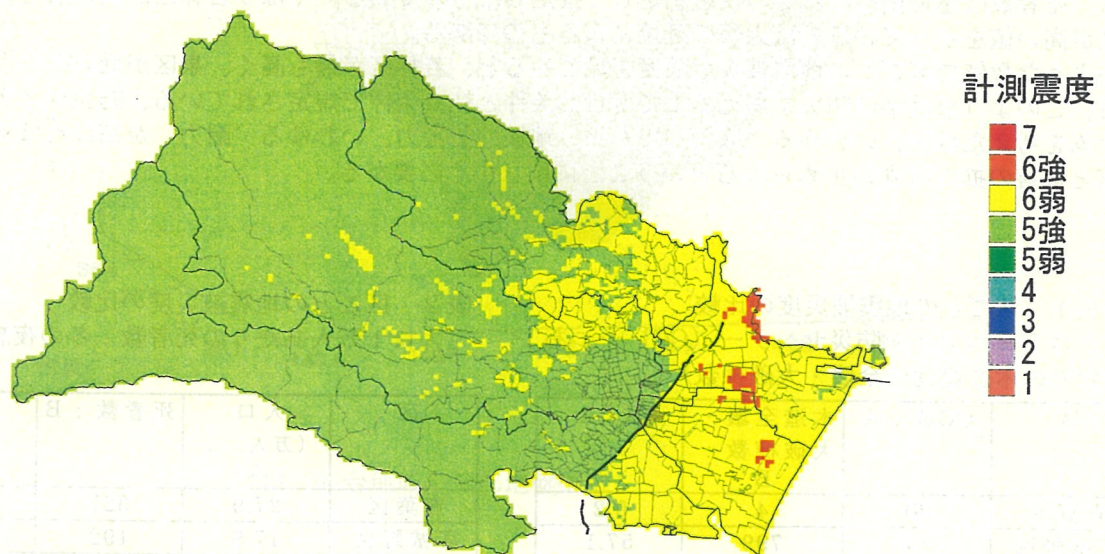


図 20 計測震度分布



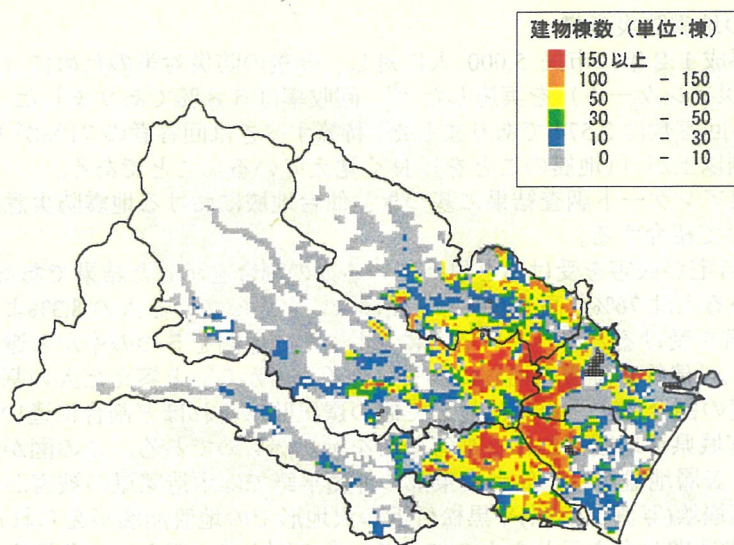
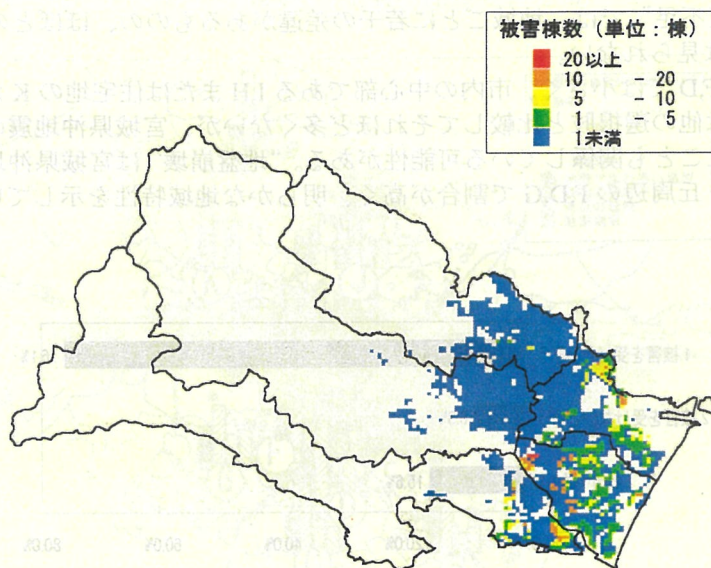
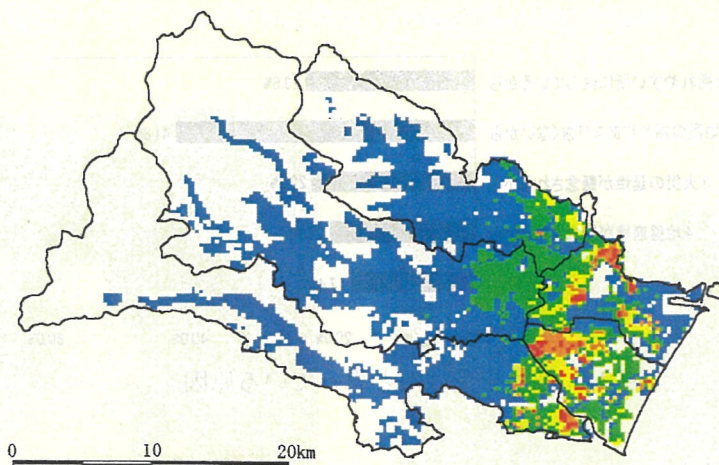


図 21 現況の木造建物棟数 (全体で 235,746)



(a) 全壊・大破棟数 (振動と液状化による被害、2,371)



(b) 半壊・中大破棟数 (振動と液状化による被害、10,329)

図 22 建物被害分布



## 5. 地盤条件と住民の地震防災意識

仙台市消防局では平成12年に市民5,000人に対し、今後の防災対策のために「消防・防災に関する市民意識調査」(以下、防災アンケート)を実施した<sup>18)</sup>。回収率は58%でありました、そのうち、年代、性別、行政区の区分をできる回答数は2,574でありました。特筆すべきは回答者の71%が1978年の宮城県沖地震を県内で経験しその9割以上が「(地震のことを)良く覚えている」ことである。

ここでは、この防災アンケート調査結果に基づき、仙台地域における地震防災意識の地域内格差について分析した結果<sup>19)</sup>について紹介する。

図23は大地震時に自宅が被害を受けると思っている人の割合を示した結果である。仙台市全体でみると被害を受けると思っている人は76%と高く、被害を受けないと思っている人の8.3%より明らかに割合が高くなっている。図24は被害を受けると思っている人に対し、その原因を5つの中から選択させた結果を示したものである。この図より、「建物が地震の揺れにあまり強くないから」と答えた人の割合が42%と高く、他の選択肢に比較して倍程度の割合です。それに対して他の選択肢はそれほど割合に違いが見られない。

図25は1978年の宮城県沖地震における被害分布を示したものである。この図が示すように、被害の地域内格差は顕著であり、表層地盤が厚い仙台市東部の沖積平野では木造家屋の被害が多く、緑ヶ丘に代表される丘陵地における斜面崩壊(写真2参照)や黒松付近の沢地形での地盤崩壊が見られた。

図26は、危機意識の空間分布を示したものである。この図より、明らかに危機意識は地域により異なる様相を示しており、図25に示す宮城県沖地震の被害分布を考慮すると、特に以下のことが見て取れる。

- 1) 木造家屋の被害が大きかったA,B,D,E地区では“地震で揺れやすい場所”であると認識している割合が高く、逆にK,M地区では非常に小さい結果となっている等、明らかに回答結果に地域特性がある。
- 2) 逆に“建物の強度不足”では、地域ごとに若干の差があるものの、ほぼどの地域でも割合は40%前後であり地域特性は見られない。
- 3) “火災の延焼”はF,Dでは小さく、市内の中心部であるI,Hまたは住宅地のKが大きい。火災の延焼を懸念している割合は他の選択肢と比較してそれほど多くないが、宮城県沖地震の際は仙台地域では出火がほとんど無かったことも関係している可能性がある。“地盤崩壊”は宮城県沖地震の際に大規模な斜面崩壊を起こした緑ヶ丘周辺のF,D,Gで割合が高く、明らかな地域特性を示している。

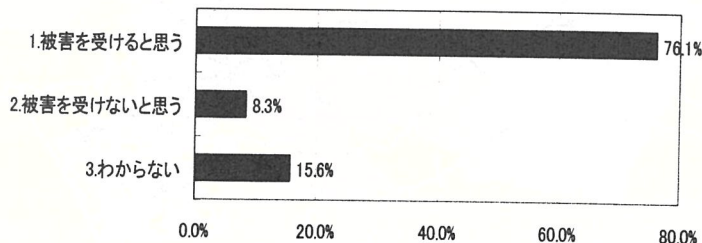


図23 大地震時に自宅が被害を受けると思っている人の割合

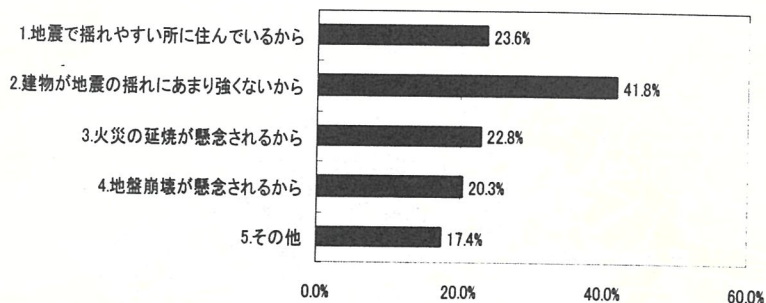


図24 被害を受けると思っている原因



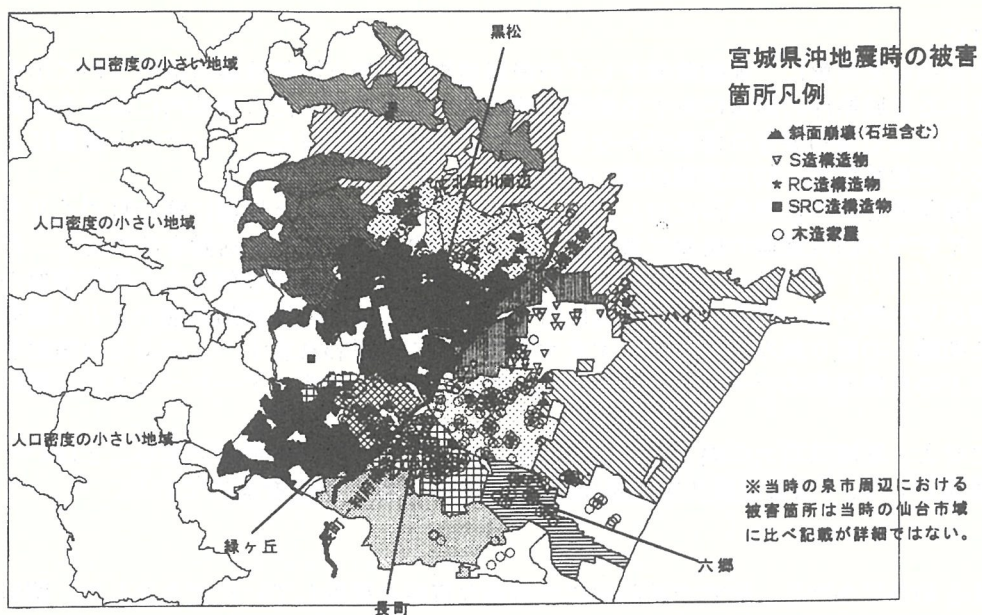


図 25 1978 年宮城県沖地震の際の被害分布

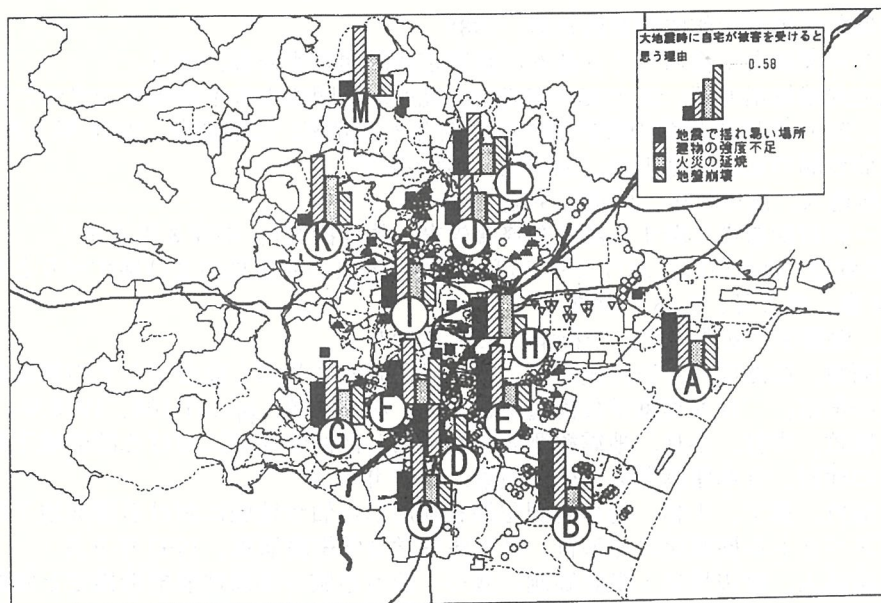
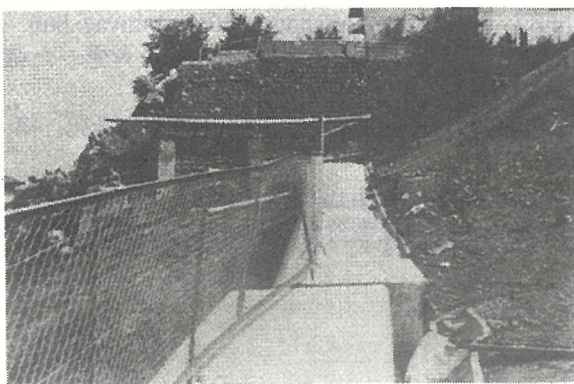
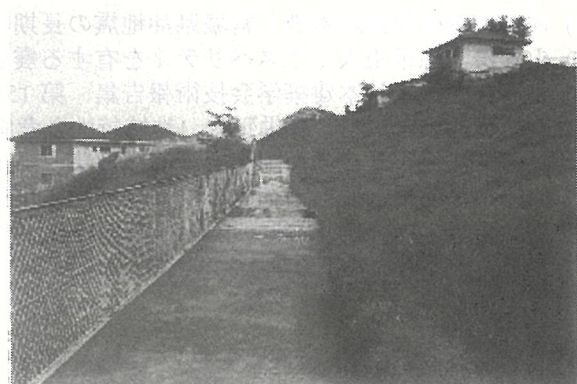


図 26 アンケート調査に基づく危機意識の空間分布



(a) 地震直後



(b) 現在

写真 2 1978 年宮城県沖地震で被害を受けた緑ヶ丘における造成宅地の被災直後と現在



## 6. おわりに

以上、仙台地域を対象に、地盤環境としての表層地質・地形と深部地盤構造について示すとともに、近い将来予測される宮城県沖の地震に対する地面の揺れの分布を推定した。地域内における地面の揺れの地域内格差と、これによる建物被害の格差がかなりあることを示した。また、アンケート調査により、地盤条件の違いに対応した地域住民の防災意識の違いが存在していることも示した。

地震・地盤環境という自然条件に対し、現状の社会環境を考慮した地震に強い町づくりをしていく必要がある。特に、地域内の防災意識の格差に着目し、NPOや自主防災組織の活動を活性化し、自然の力（外力）による防災力（耐力）のバランスを良くすることが重要である。適切な防災力の評価指標の検討が必要であり、地震被災危険度の低い建物の建設行為に対する優遇策の問題や地震動の違いをどう地震防災に反映するかといった問題への取り組みも、今後ますます重要となると思われます。このような検討を行うためには地盤データなどの自然情報のデータベースや防災に関連する社会情報のデータベースの公開による有効活用が大切である。

いずれにせよ、地域防災力の向上のためには産・学・官の連携が不可欠であることはいうまでもない。そのための組織として、「仙台地震防災連絡協議会(仮称)」の設立準備を進めている。

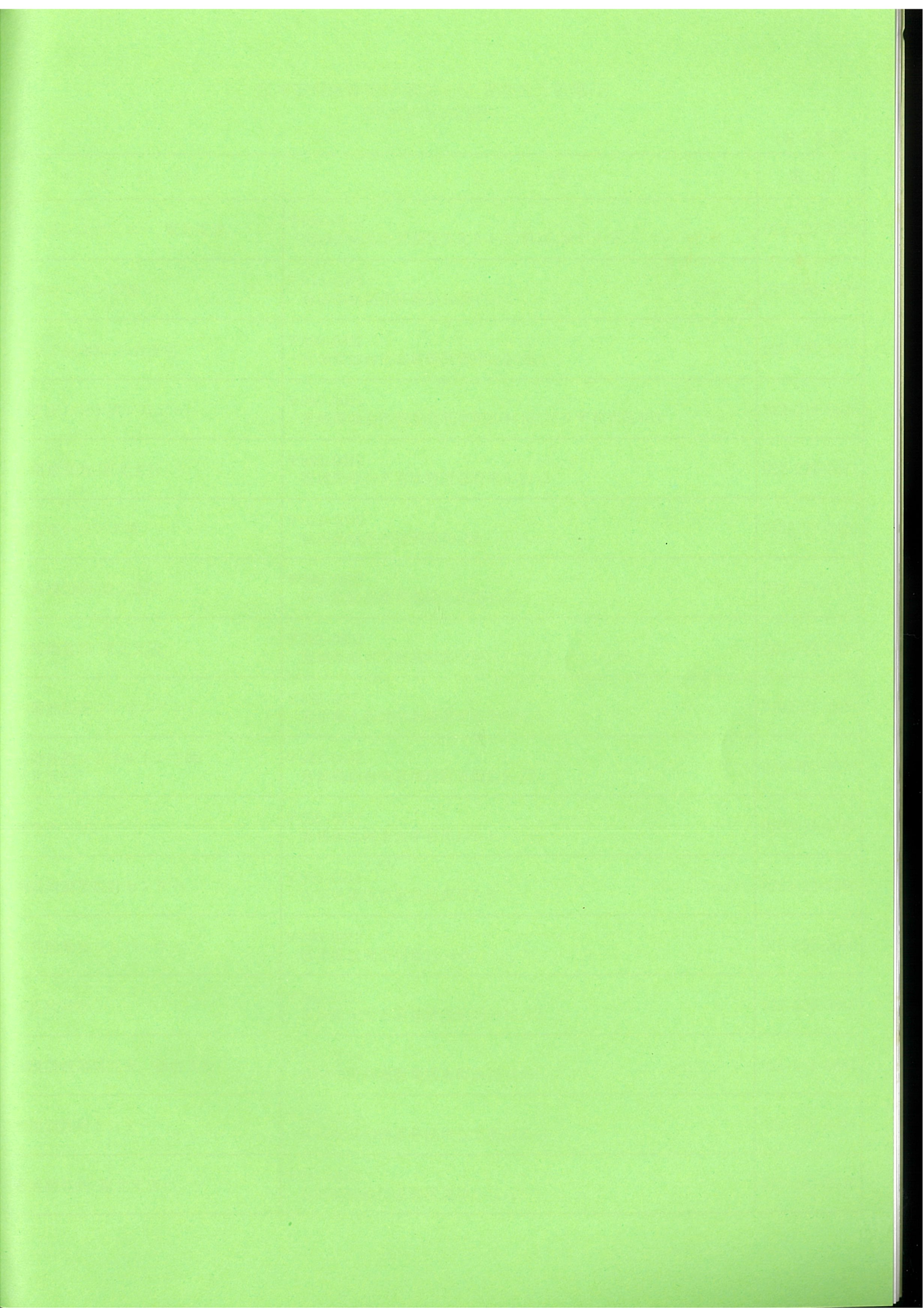
## 謝辞

本資料をまとめるにあたり、仙台市消防局には貴重な資料を提供していただきました。関係各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 宮城県：宮城県地震地盤図作成調査報告書、1985
- 2) 仙台市：平成7年度仙台市都市づくり基本計画策定基礎調査報告書、H8.3.
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課、国土交通省建築研究所、財団法人日本建築センター、社団法人建築研究振興協会編集、2001年版限界耐力設計法の計算例とその解説、工学図書、2001年3月
- 4) 奥津春男、大仙台圏の地盤・地下水、宝文堂、昭和48年
- 5) 源栄正人、戸越逸人、渡辺哲史、構造工学論文集
- 6) 宮城県：長町一利府断層帯に関する調査業務報告書（物理探査）、平成8年3月
- 7) 盛合禧夫、上野春雄：仙台市内における先デボン紀層と温泉の新発見および地すべりとの関連について、地すべり第34巻、第3号、9-16、1997年
- 8) 源栄正人・他、地震学会秋季大会 予稿集、B50、1997
- 9) 佐藤智美、川瀬博、松島信一、杉村義広、アレー微動観測に基づく仙台市とその周辺地域での地下深部S波速度構造の推定、日本建築学会構造系論文集、第503号、pp.101-108、1998年
- 10) 佐藤、小林、植竹、中村、小林、地震観測記録を利用した仙台地域における深部地下構造の推定—その1 P S変換波の検討、日本建築学会学術講演集、1997年9月
- 11) 小林、佐藤、植竹、真下、小林、地震観測記録を利用した仙台地域における深部地下構造の推定—その2 水平/上下スペクトル振幅比の逆解析、日本建築学会学術講演集、1997年9月
- 12) 源栄正人、戸越逸人、渡辺哲史：微動観測に基づく仙台地域の深部地盤構造推定と強震動予測、日本建築学会技術報告集、第13号、pp.53-56、2001.7.
- 13) 渡辺哲史、源栄正人：微動観測に基づく仙台地域の深部地盤構造推定と地震動評価に関する研究、日本建築学会東北支部研究報告集、構造系、第65号、133-136、平成14年6月
- 14) 仙台市：平成14年度仙台市地震被害想定業務報告書（概要）、平成14年11月
- 15) 地震調査研究推進本部：宮城県沖地震の長期評価、<http://www.jisin.go.jp/chousa/00nov4/miyagi.htm>.
- 16) 山本優、源栄正人：アスペリティを有する震源断層に対するランダムな不均質すべりを考慮した統計的波形合成法、日本建築学会技術報告集、第15号、平成14年12月
- 17) 岩崎智哉、水越熏、源栄正人、地域特性を考慮した木造建物の地震被害推定手法に関する研究、第1回日本自然災害学会学術講演会講演概要集、63-64、2002年9月
- 18) 仙台市消防局、仙台市消防・防災に関する市民意識調査報告書、平成13年3月
- 19) 岩崎智哉、山内寿明、源栄正人、八木伸善、1978年宮城県沖地震の被害分布と現在の危機意識空間分布、AIJ東北支部研究報告集、第64号、31-34、2001







日本応用地質学会 東北支部 賛助会芳名簿(1)  
(平成15年1月現在)

(五十音順)

| 会 社 名                  | 住 所                                       | 電 話          |
|------------------------|-------------------------------------------|--------------|
| (株)アイ・エヌ・エー 東北支店       | 〒980-0014<br>宮城県仙台市青葉区本町2-1-8 第1広瀬ビル5F    | 022-227-7394 |
| 秋田ボーリング(株)             | 〒010-0065<br>秋田県秋田市茨島2-1-27               | 0188-62-4691 |
| アジア航測(株) 仙台支店          | 〒980-0852<br>宮城県仙台市宮城野区榴岡5-1-35           | 022-291-3111 |
| (有)アドバンテクノロジー          | 〒980-0013<br>宮城県仙台市青葉区花京院2-1-18 プラザ花京院403 | 022-214-5625 |
| 応用地質(株) 東北支社           | 〒983-0043<br>宮城県仙台市宮城野区萩野町3-21-2          | 022-237-0471 |
| 奥山ボーリング(株)             | 〒013-0046<br>秋田県横手市神明町10-39               | 0182-32-3475 |
| 鹿島建設(株) 東北支店           | 〒980-0802<br>宮城県仙台市青葉区二日町1-27             | 022-261-7111 |
| 川崎地質(株) 東北支店           | 〒983-0852<br>宮城県仙台市宮城野区榴岡3-4-16 ビレッジ106   | 022-792-6330 |
| (株)菊池技研コンサルタント         | 〒022-0007<br>岩手県大船渡市赤崎町字石橋前6-8            | 0192-27-0835 |
| 基礎地盤コンサルタンツ(株)<br>東北支社 | 〒983-0842<br>宮城県仙台市宮城野区五輪2-9-23           | 022-291-4191 |
| (株)キタコン                | 〒036-8051<br>青森県弘前市大字宮川1-1-1              | 0172-34-1758 |
| (株)協同測量設計センター          | 〒996-0011<br>山形県新庄市東谷地田町7-5               | 0233-22-6280 |
| (株)共同地質コンパニオン          | 〒020-0812<br>岩手県盛岡市川目11-4-2               | 019-653-2050 |
| (株)近代設計                | 〒983-0852<br>宮城県仙台市宮城野区榴岡4-12-12          | 022-256-3660 |
| (株)建設技術研究所 仙台支社        | 〒980-0014<br>宮城県仙台市青葉区本町2-15-1            | 022-261-6861 |
| (株)建設技術センター            | 〒984-0038<br>宮城県仙台市若林区伊在字前通25-1           | 022-287-4011 |
| 興亜開発(株) 東北支店           | 〒984-0052<br>宮城県仙台市若林区連坊1-12-23           | 022-295-2176 |



日本応用地質学会 東北支部 賛助会芳名簿(2)  
(平成15年1月現在)

(五十音順)

| 会 社 名                  | 住 所                                           | 電 話          |
|------------------------|-----------------------------------------------|--------------|
| (株)光生エンジニアリング          | 〒983-0038<br>宮城県仙台市宮城野区新田3-19-12              | 022-236-9491 |
| 国際航業(株) 東北事業本部         | 〒983-0852<br>宮城県仙台市宮城野区榴岡5-1-23               | 022-299-2801 |
| 国土防災技術(株)              | 〒981-3133<br>宮城県泉区泉中央3-2-1 ルーセント21            | 022-374-6211 |
| (株)コサカ技研               | 〒039-1103<br>青森県八戸市大字長苗代字上碓田56-2              | 0178-27-3444 |
| 佐藤技術(株)                | 〒031-0072<br>青森県八戸市城下2-9-10                   | 0178-22-1222 |
| サンコーコンサルタント(株)<br>東北支店 | 〒981-0933<br>宮城県仙台市青葉区柏木1-2-38 柏木ビル           | 022-273-4448 |
| (株)三本杉ジオテック            | 〒960-0112<br>福島県福島市南矢野目字徳元田北4                 | 024-553-6138 |
| 三祐(株) 仙台支店             | 〒980-0821<br>宮城県仙台市青葉区春日町7-19                 | 022-222-2160 |
| ジェイアール東日本コンサルタンツ(株)    | 〒983-9853<br>宮城県仙台市宮城野区東六番丁31-2               | 022-211-0872 |
| ジオテクノ中里技術士事務所          | 〒986-0821<br>宮城県石巻市住吉町2-6-23                  | 0225-94-9367 |
| (有)ジオプランニング            | 〒981-3304<br>宮城県黒川郡富谷町ひより台2-11-3              | 022-348-6923 |
| (株)自然科学調査事務所           | 〒014-0044<br>秋田県大曲市戸蔭字谷地添102-1                | 0187-63-3424 |
| 新協地水(株)                | 〒963-0204<br>福島県郡山市土瓜1-13-6                   | 024-951-4180 |
| (株)仙台技術サービス            | 〒983-0842<br>宮城県仙台市宮城野区五輪1-8-3                | 022-298-9113 |
| セントラルボーリング(株)          | 〒983-0045<br>宮城県仙台市宮城野区宮城野1-2-5               | 022-256-8803 |
| (株)ダイヤコンサルタント<br>仙台支店  | 〒980-0802<br>宮城県仙台市青葉区二日町12-30 日本生命仙台勾当台西ビル8F | 022-263-5121 |
| 太陽コンサルタンツ(株)<br>東北支社   | 〒981-3133<br>宮城県仙台市泉区泉中央4-15-7                | 022-218-0785 |



日本応用地質学会 東北支部 賛助会芳名簿(3)  
(平成15年1月現在)

(五十音順)

| 会 社 名                 | 住 所                                       | 電 話          |
|-----------------------|-------------------------------------------|--------------|
| (株)大和地質研究所            | 〒960-8043<br>福島県福島市中町4-20 ユナイテッド福島中町ビル404 | 024-528-5735 |
| (株)竹中土木 東北支店          | 〒980-0803<br>宮城県仙台市青葉区国分町3-4-33           | 022-221-7681 |
| 地質基礎工業(株)             | 〒973-8402<br>福島県いわき市内郷御厩町3-163-1          | 024-627-4880 |
| 中央開発(株) 東北支店          | 〒984-8402<br>宮城県仙台市若林区大和町3-2-34           | 022-235-4374 |
| (株)テクノ長谷              | 〒980-0824<br>宮城県仙台市青葉区支倉町2-10             | 022-222-6457 |
| (株)東開基礎コンサルタント        | 〒981-3117<br>宮城県仙台市泉区市名坂字御釜田145-2         | 022-372-7656 |
| (株)東北開発コンサルタント        | 〒980-0804<br>宮城県仙台市青葉区大町2-15-33           | 022-225-5661 |
| 東北電力(株)               | 〒980-8550<br>宮城県仙台市青葉区本町1-7-1             | 022-225-2111 |
| 東北ボーリング(株)            | 〒984-0014<br>宮城県仙台市若林区六町の目元町6-8           | 022-288-0321 |
| 土木地質(株)               | 〒981-3107<br>宮城県仙台市泉区本田町13-31             | 022-375-2626 |
| (株)日さく 仙台支店           | 〒981-1104<br>宮城県仙台市太白区中田5-4-20            | 022-306-7311 |
| 日鉄鉱コンサルタント(株)<br>東北支店 | 〒020-0851<br>岩手県盛岡市向中野2-3-1               | 019-635-1178 |
| 日本基礎技術(株) 東北支店        | 〒984-0011<br>宮城県仙台市若林区六町の目西町8-1 斉喜センタービル  | 022-287-5221 |
| 日本工営(株) 仙台支店          | 〒980-0803<br>仙台市青葉区国分町3-1-11 仙台ナショナルビル    | 022-227-3527 |
| 日本重化学工業(株)            | 〒020-0024<br>岩手県盛岡市菜園1-3-6 農林会館7F         | 019-654-9351 |
| (株)日本総合地質             | 〒981-3352<br>宮城県黒川郡富谷町富ヶ丘2-41-24          | 022-358-8688 |
| (株)日本パブリック 東北支社       | 〒982-0032<br>仙台市太白区富沢南1-18-8              | 022-244-4121 |



日本応用地質学会 東北支部 賛助会芳名簿(4)  
(平成15年1月現在)

(五十音順)

| 会 社 名                  | 住 所                                   | 電 話          |
|------------------------|---------------------------------------|--------------|
| (株)ニュージェック 仙台支店        | 〒980-0912<br>宮城県仙台市青葉区堤町1-1-2 エムズ北仙台  | 022-262-1591 |
| (株)フジタ 東北支店            | 〒980-0803<br>宮城県仙台市青葉区国分町2-14-18      | 022-262-1601 |
| (株)復建技術コンサルタント         | 〒980-0012<br>宮城県仙台市青葉区錦町1-7-25        | 022-262-1234 |
| 北海道地図(株) 仙台支店          | 〒980-0014<br>宮城県仙台市青葉区本町1-12-12 山万ビル  | 022-261-0157 |
| 北光ジオリサーチ(株)            | 〒981-3212<br>宮城県仙台市泉区長命ヶ丘6-15-37      | 022-377-3744 |
| 明治コンサルタント(株)<br>仙台支店   | 〒981-3133<br>宮城県仙台市泉区泉中央2-16-3        | 022-374-1191 |
| 八千代エンジニアリング(株)<br>東北支店 | 〒980-0021<br>宮城県仙台市青葉区中央1-6-18 日石東急ビル | 022-261-8344 |
| 山北調査設計(株)              | 〒963-0204<br>福島県郡山市土瓜1-209            | 024-951-7293 |



---

日本応用地質学会東北支部  
第 10 回 研究発表会講演集

平成 15 年 1 月 24 日発行

編集 日本応用地質学会東北支部事務局

応用地質株式会社 東北支社 内  
仙台市宮城野区萩野町 3-21-2  
TEL:022-237-0471

---