

京都岩倉における地殻変動観測 (Ⅳ)

高田 理夫・古沢 保・竹本 修三・山田 勝

THE OBSERVATIONS OF CRUSTAL DEFORMATIONS AT IWAKURA, KYOTO (IV)

By *Michio* TAKADA, *Tamotsu* FURUZAWA, *Shuzo* TAKEMOTO
and *Masaru* YAMADA

Synopsis

Observations of linear strains and ground tilts have been carried out since April 1965 at Iwakura, Kyoto. Remarkable strain changes of the order of 10^{-6} , observed with extensometers during the period from April 1965 to March 1974, were examined and these changes were found to be caused by the precipitation and the variation of the room temperature.

The maximum amplitude of the annual variation of the room temperature in this period was found to be $0.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$, and apparent coefficients of linear thermal expansion of surface rock were obtained to be $(6 \sim 5) \times 10^{-8}/0.01^\circ\text{C}$ [E-3], $(5 \sim 4) \times 10^{-8}/0.01^\circ\text{C}$ [E-2], $1 \times 10^{-8}/0.01^\circ\text{C}$ [E-1], respectively.

1. は じ め に

岩倉地殻変動観測所 ($35^\circ 05' 01''\text{N}$, $135^\circ 48' 11''\text{E}$) ではローラー型スーパーインヴァール棒伸縮計 3 成分, 水平振子型傾斜計 2 成分による観測が 1965 年 4 月以来続けられている。Fig. 1 に坑道の内部及び計器の配置が示されているが, 入口から計器の設置されている観測室までは 1 本のまっすぐな坑道であり, しかもその奥行き

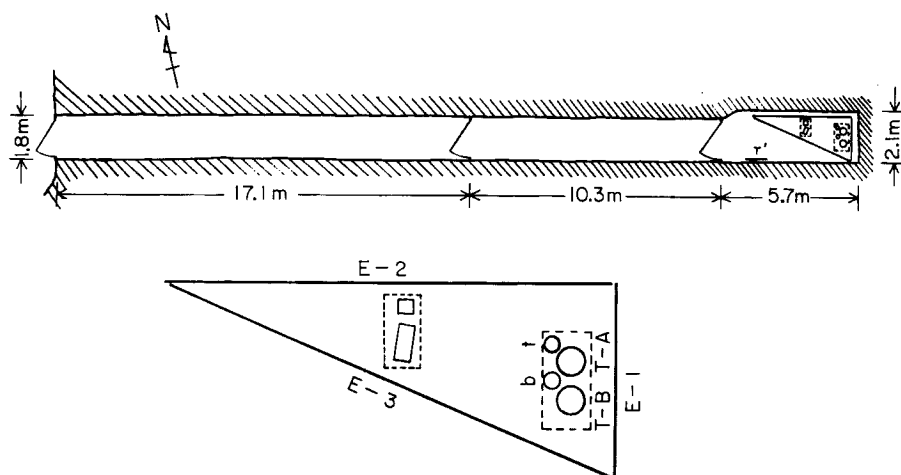


Fig. 1. Arrangement of instruments

E-1, 2, 3...extensometers, T-A, B...tiltmeters, b...barometer,
t...thermometer, T'...max. & min. thermometer.

が約 30 m しかない浅いものである。このために降雨、坑内温度の変化等によってひきおこされる伸縮、傾斜変化が記録の上に著るしくあらわれる。

今回1965年4月から1974年3月までの約9年間の観測結果から、特に伸縮計で得られた記録で短期間に 10^{-6} オーダーに達する伸縮変化が生じた場合について調べて見ると、記録の不連続、いわゆる“トビ”，を除いてそれらの伸縮変化が降雨或いは坑内温度変化のいずれかと密接に関連づけられることがわかった。このうち今回は坑内温度—伸縮変化の量的な関係を明らかにするためにまず2種類の温度計の読取値から坑内温度の年変化、日変化の量を求め、次に長期にわたって降雨のない期間でしかも坑内温度変化の大きな時期の記録を用

Table 1

	Azimuth	Length	Sensitivity
E—1	N 15° E	1.87 m	$9.5 \times 10^{-8}/\text{mm}$
E—2	E 15° S	4.50 "	4.6 "
E—3	E 37° S	4.76 "	2.9 "

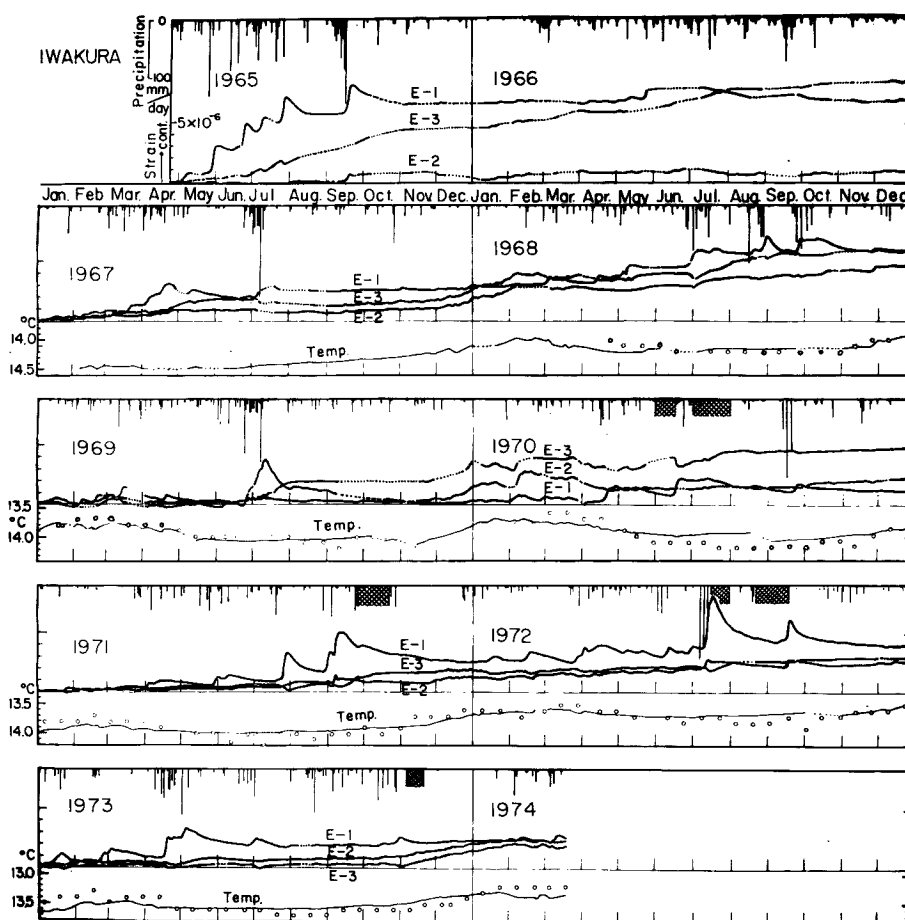


Fig. 2. Secular strains and meteorological data(April 23, '65–Mar. 20 '74).

いて坑内温度の変化に対する伸縮変化の量を伸縮計の各成分毎に求めた。この結果 0.01°C の坑内温度の上昇により伸縮計の記録の上で見かけ上 $(6\sim5)\times 10^{-8}(\text{E}-3)$, $(5\sim4)\times 10^{-8}(\text{E}-2)$, $1\times 10^{-8}(\text{E}-1)$ の“伸び”を生ずることがわかった。

なお岩倉観測所における伸縮計の各成分の方向について、これまで用いてきた値はいずれも間違っていたのでここに訂正し、正しい値を計器感度と共に **Table 1** に示した。

2. 1965年-1974年の伸縮変化及び坑内温度変化の特徴

Fig. 2 は1965年4月23日～1974年3月20日の伸縮計各成分の観測値と降雨量、坑内温度を示す。secular な伸縮変化は3成分共“縮み”であり、その量は最初の1年を除くと $(5\sim2)\times 10^{-6}/\text{year}$ である。またここで用いた雨量のデータは1968年9月までは岩倉地殻変動観測所から約4 km 離れた京都大学理学部附属気象学特別研究所における値であり、それ以後は天ヶ瀬地殻変動観測所のものである。ハッチの部分は欠測を示す。なお、現在のところ岩倉地殻変動観測所では雨量の測定を行っていない。図で1965年5月～9月の期間に典型的に見られるように、降雨の伸縮変化に及ぼす影響は極めて大きく、30 mm/day 以上の降雨によって 10^{-6} オーダーの伸縮変化があらわれる。降雨による影響は坑道が一番奥にあって坑道と直交する方向におかれている E-1 成分について特に著しくあらわれる。降雨に伴う伸縮変化については近い将来、岩倉地殻変動観測所に雨量計、流量計を設置した上で定量的な吟味を行なう予定である。

降雨による影響があまりないと考えられる期間で 10^{-6} オーダーの伸縮変化が見られるのは1967年11月～1968年4月、1969年11月～1970年4月、1973年11月～1974年3月などの期間であるが、この間は坑内温度変化も同様に大きくなっている。**Fig. 2** に示されている温度変化で○印は、観測室の壁にかけられている最高最低温度計のうちの最低温度計の読取値であり、これは記録取換え時(通常2週間に一度)に 0.1°C の桁まで読みとっている。ここで最高温度計の読取値を使わなかったのは、最高温度は記録取換えのために入坑した人間の数及び坑内に留った時間の長さ等によって影響されて seasonal な変化をあらわさないからであり、この点最低温度は入坑による人為的な影響からはまぬがれ得て、後述のように最低温度計の読取値をつないだものが坑内温度の seasonal な変化をあらわす。また **Fig. 2** の実線はバイメタル温度計の光学自記記録である。

光学自記記録に見られる坑内温度変化の特徴は、坑外の平均気温が坑内温度よりも低くなる寒い時期には日変化の振幅が大きくなり、逆に坑外の平均気温が坑内温度より高くなる時期には日変化は極めて小さく、その

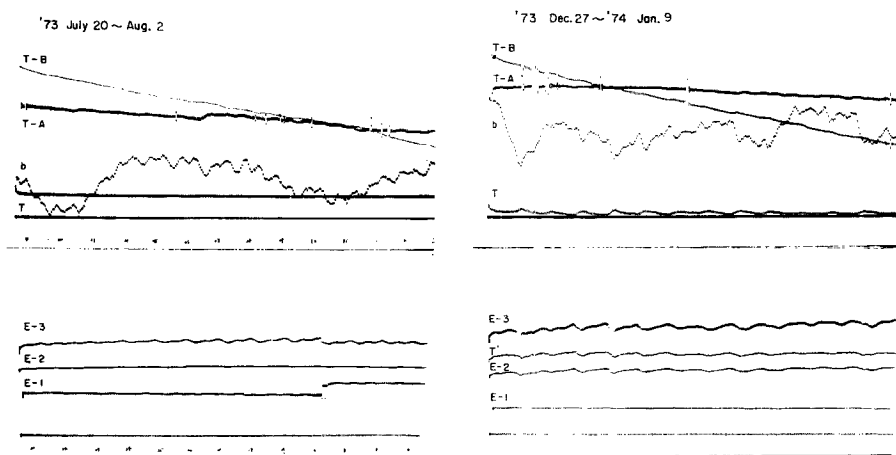


Fig. 3. Examples of records obtained at Iwakura, Kyoto, during periods when temperature change in the gallery were large (right) and small (left).

差は1桁以上ある。Fig. 3 にそれぞれの場合の記録の例を示す。図で **T** と記してあるのが温度計成分である。左側が日変化の振幅の小さい夏の場合で、記録のはじめに半日程度、人間が入坑したことにより観測室の温度が上昇したための影響が見られるがその後はほぼ直線であり、日変化の振幅の大きさは読取精度以下である。これに対して右側は冬の場合のもので坑内温度が大きく変っている。これに伴って伸縮計（特に E-2, E-3）の記録にも大きな変化が見られる。

ところで日変化等短周期の坑内温度変化は夏には極めて小さいことから、この間の最低温度計の読取値は、人為的な影響を除いた坑内温度の平均値にほぼ等しいと考えてもさしつかえない。また冬はこれが最低温度そのものをあらわす。従って最低温度計の読取値をプロットしたものから坑内温度の年変化の幅の max. を求めることが可能である。このようにして求めた年変化の振幅は、 $0.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$ でありその極大値は8～9月、極小値は2～3月にあらわれ、外気の年変化との phase のずれはあまりない。またその絶対値は1969年～1970年では $14.2^\circ\text{C} \sim 13.7^\circ\text{C}$ の間であったものが1973年～1974年には $13.7^\circ\text{C} \sim 13.2^\circ\text{C}$ と徐々に下がって来ている。またバイメタル温度計の光学日記録も同じ傾向にある。これが温度計自体の経年変化による見かけだけの変化でなく坑内温度が実際に低くなりつつあるのだとすれば、伸縮計の記録に見られる secular な変化が全ての方向に“縮み”ということと関連あるかもしれない。

なお岩倉観測所では電灯線を引いておらず、時計・記録計ドラムはゼンマイ動力で駆動しており、また光学系は空気湿電池を用いて1時間に3分間だけ点灯するようになっているため観測システムからの熱の供給は殆んどない。従って観測室の温度は低くなることはあっても高くなってゆくことはあり得ないと思われる。

3. 坑内温度変化と伸縮変化の関係

雨の影響がなくとも温度変化の大きい期間の記録を選んで坑内温度変化に対応する伸縮変化の量を求めた。Fig. 1 であきらかなように1973年11月から1974年3月にかけては坑内温度変化の大きな期間である。しかも1973年10月27・28日に約 70 mm の雨が降った後、京都地方では1月21日まで降雨はなかった。この期間中

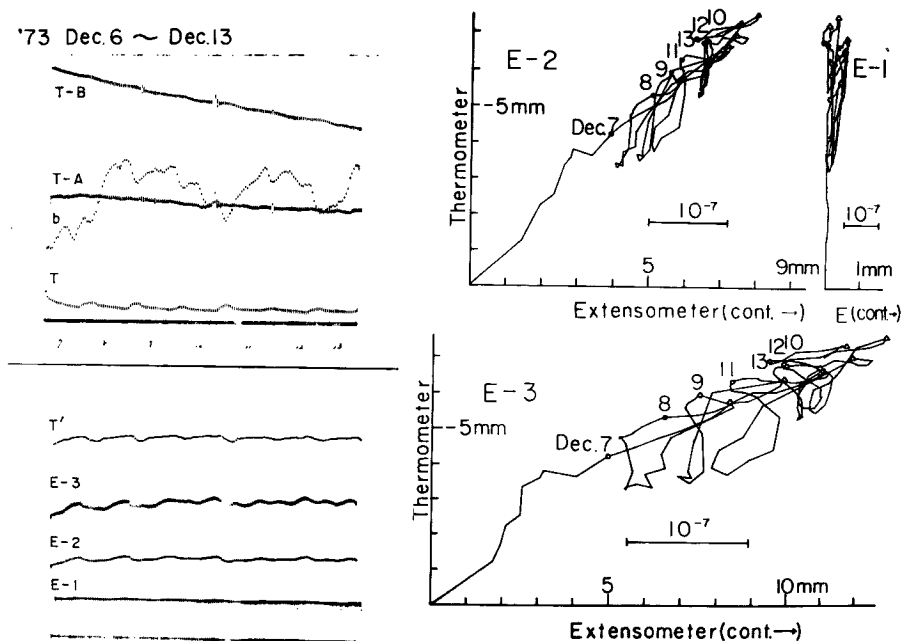


Fig. 4. Relation between room temperature and strains.

にはいる1973年12月6日～13日の1週間の観測記録を Fig. 4 (左側) に示す。図で T' は温度計の記録 (T) の sense を逆にして伸縮計記録の上に重ねたものであり、 T' と E-3, E-2 は細部に至るまで良く似た変化を示している。そこで伸縮計3成分及び温度計の記録を1時間毎にコンパレーターで読みとり、各成分の伸縮変化と坑内温度変化の関係を示したものが Fig. 4 の右側である。図で横軸は伸縮変化で“縮み”の方向を正、縦軸は温度変化で温度の上昇を下向きにとってある。これを見ると伸縮変化のみに半日潮成分がめだってきて全体として直線からのずれが大きくなっている。しかしそれぞれの日の0時の値 (○), あるいは温度の daily min. の (△)を追って行くとこれはかなりきれいに直線に乗る。最小二乗法で求めたその勾配から記録上 1mm の温度変化に対応する伸縮変化を求めて見ると各0時を追った場合 1.87 ± 0.11 mm (E-3), 0.95 ± 0.04 mm (E-2), 0.00 ± 0.04 mm (E-1) であり, daily min. を追った場合 2.29 ± 0.18 mm (E-3), 1.06 ± 0.08 mm (E-2), -0.04 ± 0.09 mm (E-1) となる。

ところで各0時の値を1日毎に追った場合の温度—伸縮変化の関係がほぼ linear であることが確かめられた

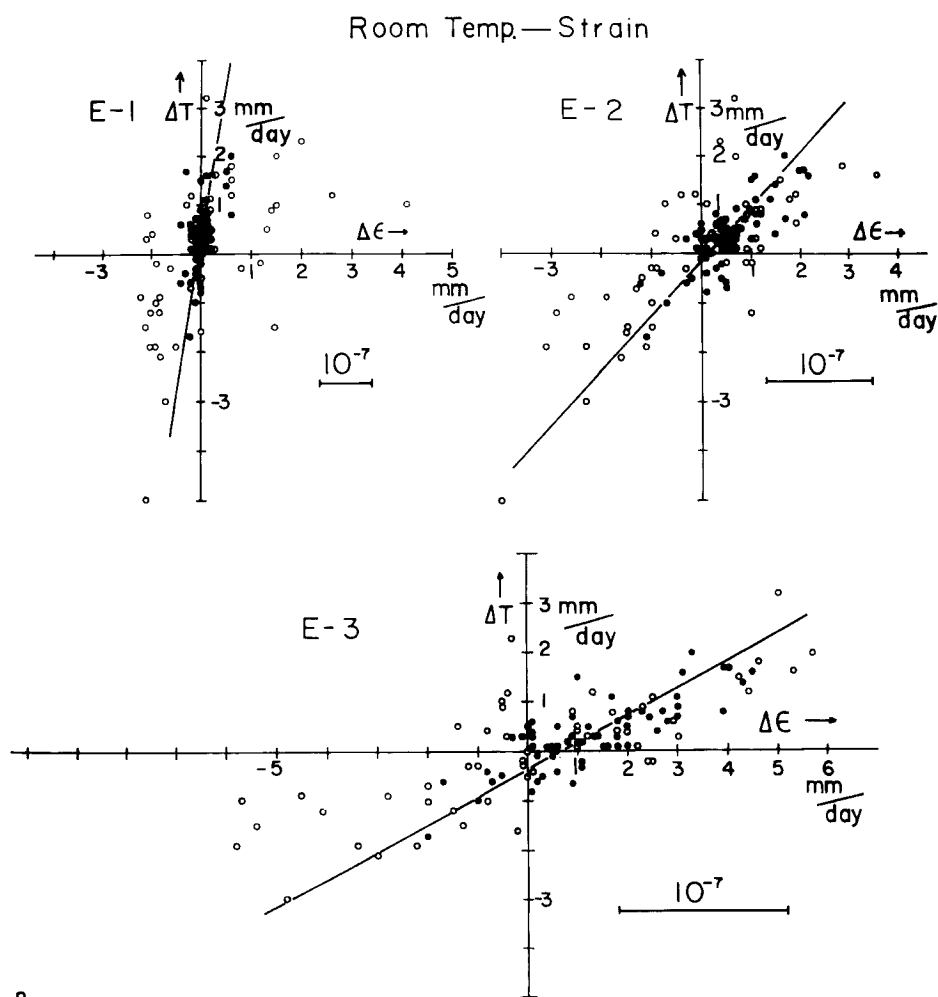


Fig. 5. Relation between daily variation of room temperature and that of strains.

から次に routine で行なっている 1 日毎 (各 0 時) のこれらの成分の読取値を用いてもっと長い期間での温度—伸縮変化の関係を求めて見た。Fig. 5 に 1973 年 11 月 9 日から 1974 年 3 月 20 日までのこれらの間の関係が示されている。なお現在行なわれている routine の読取りは、記録に 1 mm 毎の scale のはいった透明なアクリル板を乗せて 0.1 mm の桁までの値を出している。Fig. 5 では、記録をつなぐ際の誤差、zero 線のとり方による誤差が累積されるのを避けるために全期間の記録をつなぐことをせずに伸縮、温度変化の 1 日毎の割合をとって比較してある。図で●印は 1973 年 11 月 9 日～1974 年 1 月 20 日の観測値で降雨による影響が含まれていない期間であり、○印は 1974 年 1 月 21 日～3 月 20 日の観測値で降雨による影響を含んでいる期間である。前者のみの場合と後者まで加えた場合の差は明瞭であり、後者まで加えたものはバラツキが大きくなる。●印のみについて Fig. 4 の場合と同様に最小二乗法で最適の直線を求めその勾配から 1 mm の温度変化に対応する伸縮変化の量を求めると、1.68 mm (E-3), 0.80 mm (E-2), 0.13 mm (E-1) となる。直線が原点を通るようにした場合にはそれぞれ 2.05 mm (E-3), 0.95 mm (E-2), 0.12 mm (E-1) となり、Fig. 4 で 1 週間の記録について求めた結果とほぼ同じである。即ち温度計の記録の 1 mm の変化に対して伸縮計の記録上で 2 mm (E-3), 1 mm (E-2), 0.1 mm (E-1) の変化があらわれる。また最低温度計の年変化の振幅で normalize したバイメタル温度計の感度は $0.01^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ であり、Table 1 の伸縮計の感度と合わせて考えると 0.01°C の坑内温度の上昇に伴うひずみ変化は見かけ上 $(6\sim5)\times 10^{-8}$ (E-3), $(5\sim4)\times 10^{-8}$ (E-2), 1×10^{-8} (E-1) の“伸び”を示す。この“伸び”のなかには坑道の土地のひずみと基準尺自体の熱的ひずみが含まれている。

降雨については観測室の一番奥にある E-1 成分にその影響が最も大きくあらわれたが、坑内温度についてはこの成分が最も影響が小さい。

4. 傾 斜 変 化

Fig. 5 に 1965 年 5 月から 1974 年 3 月までの傾斜変化のベクトル図を示す。1968 年 6 月と 1971 年 2 月に傾斜の方向が変わっており、また傾斜速度が次第に大きくなっているが、現在までのところ水平振子型傾斜計自身の経年変化の性質もわかっておらず、図の変化が全て地盤の傾斜をあらわす量であるとは考えにくい。

また傾斜計には降雨による影響は大きくあらわれるが坑内温度の影響は伸縮計の場合ほど顕著でない。

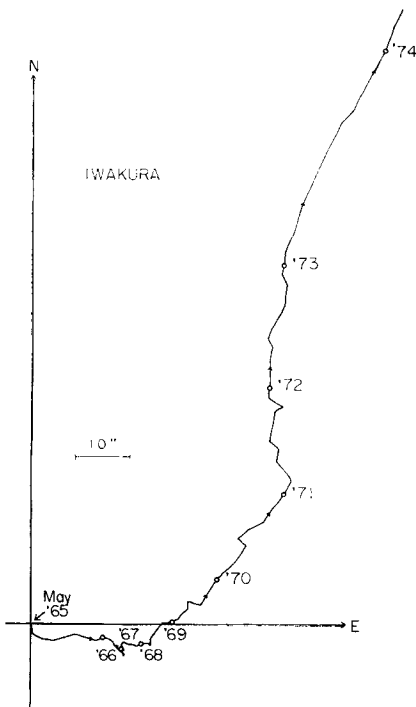


Fig. 6. Vector diagram of ground tilt for secular variation.