

71. 1968年十勝沖地震による東北・北海道地方の 墓石の移動

地震研究所 恒石 幸正

(昭和43年5月28日発表—昭和43年9月30日受理)

1. 緒言

昭和43年(1968)5月16日北海道・東北地方に被害を与える強い地震が起こり、「1968年十勝沖地震」と命名された。気象庁発表(速報)による発震時、震源、規模はつぎのとおりである。

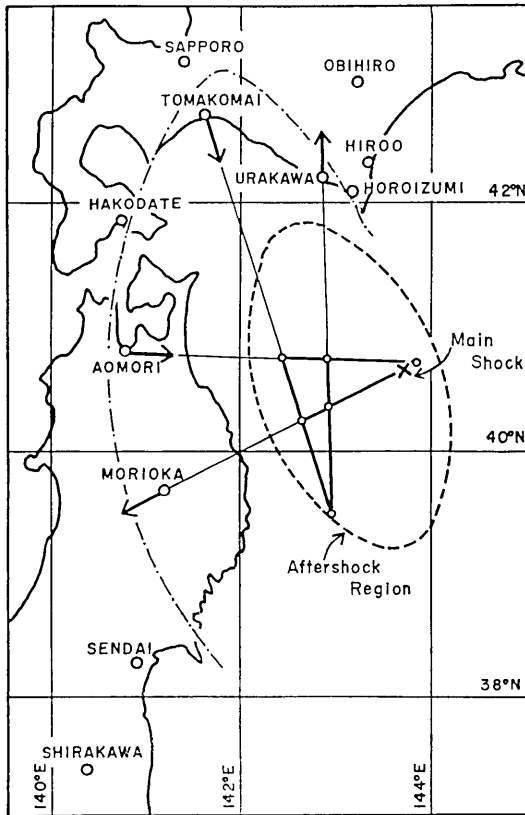
発震日時 5月16日 09h 48m 55s
震 央 40.7°N, 143.7°E
深 さ 20 km
規 模 $M=7.8$

筆者はこの地震による各地の墓石の動き方を調査するため地震発生の翌17日より8日間東北・北海道地方の各地の墓地を巡回した。本稿はその報告である。

大地震の野外調査に墓石を用いて主要動の強さや方向を知ることは古くより行なわれているが、これは墓石が日本中どこにでもあり、しかもほぼ同一の規格をもっているためであろう。また墓石の転倒条件を考える理論や振動台による実験もすでにいくつか発表されている。

墓石が地震動によつて変動した結果は転倒、回転、移動に大別されている。ここに移動というのは墓石の棹が台石上で回らずに、平行に滑つて移動したものをいう。転倒は文字通り倒れたものであるが、台石上で滑動することなくいきなり倒れたものと、移動の量が大きくなりすぎ、ついに台石からはずれて落下転倒したものとを含んでいる。しかし墓石の棹も台石も角柱状であるため、棹が台石上で滑らずに倒れる場合転倒方向は棹の底面の稜の方向に左右される。また墓が台石上で滑動し台石の縁から転落する際にも台石の上面の稜の方向は転落の方向を支配しやすい。一方墓石の移動のときには棹の台石上における滑動のしやすさは方向によつて変わることはない。したがつて主要動の方向を知るためには墓石の転倒方向よりも移動方向を用いた方が望ましいと考えられる。

筆者は4月1日に起つた1968年日向灘地震の調査に際して土佐中村市(震度IV)の墓地において、表面を平滑にされた花崗岩製の墓石がよく移動していることに気づき、移動方向を測つてみたところ震央と反対方向に移動したものの多いことに関心をもつた(第3図、第8図)。当時すでに地震発生より一週間以上経過していたために、復旧されたものも多かつたので、そのときにはこの点を深く追究することはできなかつた。それから一月



第1図 調査地点、墓石の移動方向と震央・余震域との関係、20% 変動率線（鎖線）。

地にあるものはさげ、洪積台地あるいは山地にある墓地を選んだ。また一ヶ所に多数の、しかも比較的同一規格の墓石が集まっていることが好ましいため、個人所有や小さな寺院に付属した墓地はさげ、共同墓地あるいは大きな寺院の墓地を調査した。調査のおこなわれた墓地の所在地、種類、立地条件は第1表にまとめられている。各地点において調査された墓石の数は500から1000個の範囲である。

調査の方法はまず墓地全体を概観したのち墓地内の二、三ヶ所で一隅より順に百個の墓石を選らび、何らの変動もうけていないもの（不動）、目地だけが破損しているもの（目地破損）、移動しているもの（移動）、回転しているもの（回転）、転倒しているもの（転倒）に区別し、それぞれの比率を求めた。この際回転については回転の向きと回転角を、転倒については転倒方向を、移動については方向と量を測定する。転倒の場合、必ずしも最初の着地点と横たわっている位置とは同じではないが、全ての墓石について最初の着地点を知ることは困難であるので、残っている台石の中心から倒れている棹の中心を見込んだ方

余りたつた5月16日に今回の1968年十勝沖地震が起つたため早速翌17日から調査に出発することになった。したがって今回の調査は墓石の移動が転倒、回転にくらべてどの程度起りやすいか、また移動方向と震央の位置との関係はどうかに主目的をおいた。

短期間になるべく多くの、しかも震央を見込んだ方向が多様になるような地点を巡検するために、出発に当り白河、仙台、盛岡、青森、函館、札幌、帯広、根室、苫小牧の都市を選んだが、途中予定を変更し、根室の代りに広尾、幌泉、浦河を加えた11地点を調査した（第1図）。

さらに墓石が移動するか転倒するかを決定する条件を考察するために棹と岩石間の摩擦係数を室内実験により求めた。

2. 調査の方法

調査する墓地としては、なるべく地盤の影響を除去するため沖積

第1表 墓石の調査が行なわれた墓地

地名	本震の震度	墓地の種類	立地条件	位置
白河	IV	寺院	段丘	白河駅南西 700 m
仙台	III	寺院	段丘	仙台駅南東 800 m
盛岡	V	寺院	山地	盛岡駅北東 2200 m
青森	V	共同	丘陵	青森駅西南西 4000 m
函館	V	共同	山地	函館駅南南西 2900 m
札幌	IV	共同	丘陵	札幌駅南南東 5400 m
帯広	IV	共同	丘陵	帯広駅南西 2600 m
広尾	V	共同	山地	広尾駅南西 1400 m
幌泉	I	共同	山地	幌泉村役場北東 800 m
浦河	V	共同	山地	浦河駅東 1400 m
苫小牧	VI	共同	丘陵	苫小牧駅北 2200 m

向をもつて転倒方向とした。移動方向、転倒方向はコンパスにより10°単位で測定し、のち地磁気の偏角補正を行なった。また地震後人為的に動かされていることが明らかなものは、目地破損の数に加えてある。百個抽出を行なった残りの数百の墓石については移動墓石だけを拾って測定した。ただし苫小牧と浦河では移動墓石の他に転倒墓石も調べられた。同時に各地の墓地で代表的な墓石の棹の底辺の長ささと高ささが測られた。

調査に要する時間は各墓地で2~3時間であり他の時間は次の地点への行動に費された。

3. 結果とその考察

各地の墓地で行なわれた抽出調査による墓石の変動率は第2表に示されている。ここでいう変動率とは100から表中の不動率を引いたものであり、地震動により何らかの形で動

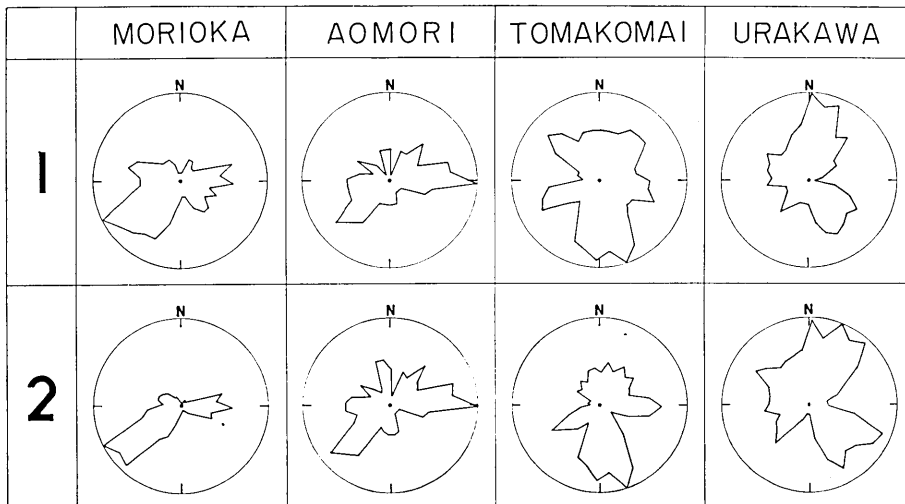
第2表 各地の墓石の変動率(%)

地名	不動	目地破損	回転	転倒	移動	変動率
白河	100	0	0	0	0	0
仙台	100	0	0	0	0	0
盛岡	66	0	25	2	7	34
青森	71	9	6	1	13	29
函館	94	0	2	0	4	6
札幌	100	0	0	0	0	0
帯広	95	1	1	1	2	5
広尾	83	3	4	1	9	17
幌泉	95	3	1	0	1	5
浦河	53	9	11	12	15	47
苫小牧	39	27	11	9	14	61

かされたもの（目地破損，回転，転倒，移動）の比率である。それぞれ震度ⅢとⅣであつた仙台，白河では変動率0%であつた。震度Ⅴ以上の各地区の中で20%をこえたのは，盛岡，青森，浦河，苫小牧であつた。墓石の20%変動率線は第1図に鎖線で示されているが，これは震度Ⅴの等震度線とはほぼ相似的な曲線であり，墓石の変動率が地震動の強さの簡単な基準として使えることを示している。墓石の変動率でみるかぎり，震度Ⅵの苫小牧は61%で最も高い。一方函館港周辺にかなりの被害を出した函館市では変動率6%にすぎない。しかし市内全般には被害が軽微であつたことを考えれば墓石の変動率と震動の強さとは必ずしも矛盾しない。

変動率の内訳をみると移動が大きな比率をしめていることがわかる。今回の調査地は八戸周辺の激震地は除かれており，比較的地震動が弱かつたこと，新しい墓地が多く，墓石の作りが強固であつたこと，墓石の表面が滑らかにみがかれたものが多かつたことなどが移動率を大きくした原因であろう。盛岡での回転率が異常に大きい値を示しているのは，調査された墓石の約半数は南部家の巨大な墓石群であつたことによるのかも知れない。これらの墓石は第9図にみるように幅45cm，奥行42cm，高さ135cmもあり標準的な墓石（それぞれの長さ30，29，80cm）と比して約1.5倍の大きさを持ち，かつ表面が平滑でない。したがつて地震動に対し転倒，移動が容易にできず，ロッキングをしながら回転したものとおもわれる。

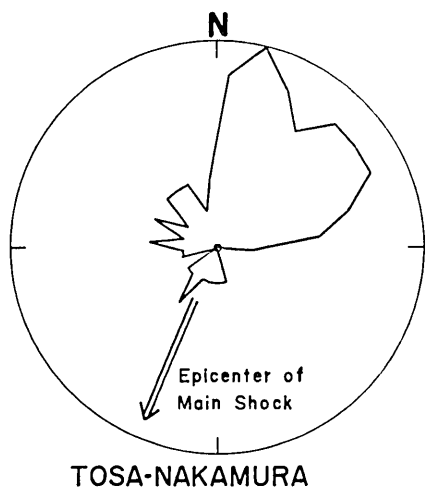
各調査地での墓石の移動方向は，第2図に示されている。一地点で50個以上の移動墓石を計るよう努めたが，盛岡，青森，苫小牧，浦河の4地区以外では全体の変動率が低いために十分な資料が得られなかつた。4地区で集められた移動墓石の数はそれぞれ55個，66個，83個，81個である。第2図(1)は方向別の移動墓石の数を $\pm 10^\circ$ の幅で移



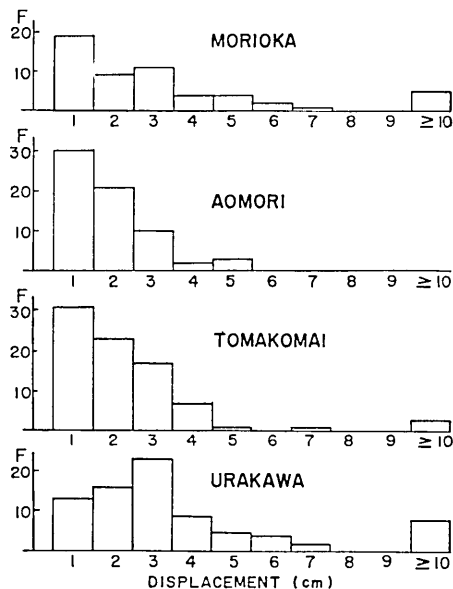
第2図 墓石の移動方向(1)と移動量の方向別分布(2).

動平均をとり、最大のもので規格化した結果である。また方向別に移動墓石の移動量の和を求め、それをさらに $\pm 10^\circ$ の幅で移動平均をとり、最大のもので規格化したのが第2図(2)である。両者ともかなり顕著なピークがあらわれており、両者のパターンがよく似ていることは移動墓石の平均的移動量は方向によらないことを示している。移動方向のピークを地図上で延長してみると第1図のように大局的には本震の震央の近傍で交っている。したがって墓石を移動させた主要動の振動方向は震央に対し、接線方向ではなくほぼ放射状に分布していることがこれより結論される。さらにくわしくみると交角が小さいため、誤差が大きく効いてくると考えられる青森—盛岡、苫小牧—浦河間の交点をのぞくとほぼ余震域の中心近くで交っていることになる。この延長線の交点为本震の震央よりもむしろ余震域の中心に一致しているということは、わずか4地点での資料から断定することはできないが、主要動が出た場所と初動の出た場所がずれていることを示しているのかも知れない。また盛岡と浦河の墓石は震央からはなれるように、青森と苫小牧のものは逆に震央に向って移動していることは主要動の方向性に関して注目されよう。この主要動の向きの分布は津波の初動の押し引き分布と大きくは矛盾しない。

4月1日に起つた1968年日向灘地震に際して土佐中村市の墓地で調べた結果(第3図)では、23個の移動墓石の大部分は北東方向に移動している。図中に本震の震央の方向が示されているが、土佐中村では墓石は震央から遠ざかる方向に移動したことになる。



第3図 1968年日向灘地震における墓石の移動方向。

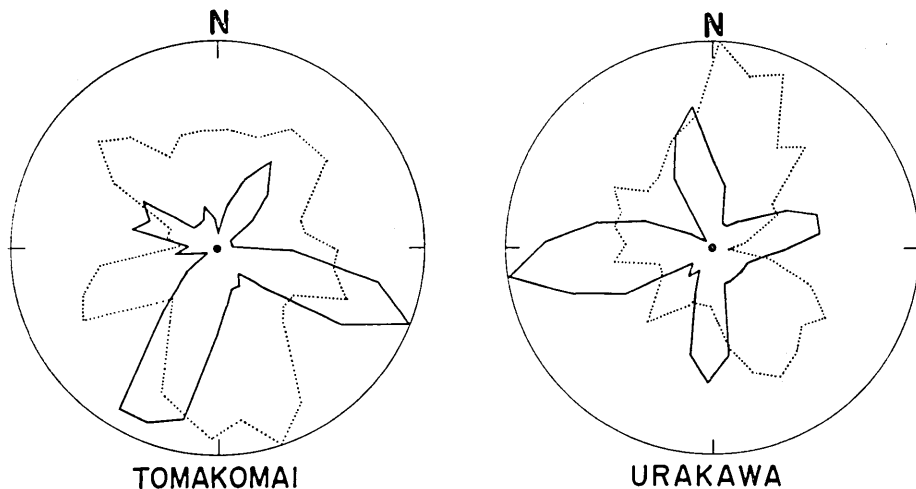


第4図 墓石の移動量分布。

1) 梶浦欣二郎・羽鳥徳太郎・相田 勇・小山盛雄「1968年十勝沖地震にともなう津波の調査」地震研究所集報 46 (1968), 1369.

第4図に盛岡、青森、苫小牧、浦河における移動墓石の移動量頻度分布が示される。盛岡、青森、苫小牧の移動墓石の数は移動量の増大につれ減少しており、大部分は3cm以下の移動を示すが、浦河では移動量3cmのところピークがある。浦河の墓石の作りがとくに他の地区のもの異つて滑りやすい構造をもつていたわけではない。変動率の最高であつた苫小牧と異つていることは、苫小牧の墓石は降下軽石層におおわれた丘陵上に立地しているのに対し浦河の墓地は古期岩類よりなる山地の斜面に設けられている。このような立地条件のちがいが、移動量の分布に影響したのかも知れないが、墓石を移動させた主要動の水平加速度が浦河では大きかつたことを示しているのであろう。一般に移動量の頻度分布図におけるピークの位置は加速度が増すほど、右方に移動していき、台石の大きさによつてきまる限界の移動量に達したとき、移動墓石は移動しすぎによる転倒墓石となつていくのであろう。八戸の転倒墓石の中にはこのようなものが多く含まれているようである²⁾。浦河においても転落寸前の移動を示した墓石が二、三みられた(第11図)。

墓石の転倒方向については苫小牧、浦河の二点ではかられた。第5図は移動方向図の場合と同じ処理をした結果であり、標本の数は苫小牧57個、浦河72個である。転倒方向図は移動方向図と全く異つたパターンを示し、苫小牧、浦河ともにほぼ直交するピークが現れている。苫小牧の墓地は北東に下る斜面に、浦河の墓地は西南西に下る斜面上にあり、墓石の向きは等高線の方に支配されているため転倒方向図のピークの方は四角柱の墓石の四つの面の方向に一致している。この事実は墓石の転倒方向が棹および台石の稜の方向に非常に支配されることの証明であらう。しかし今回の調査地では移動量頻度分布から分るように、すべりすぎて転落した墓石の数は少ないと推定され、転倒墓石の大部分は台



第5図 墓石の転倒方向(点線は移動方向)。

2) 松田時彦「1968年十勝沖地震による青森県東南部での墓石の被害」地震研究所彙報 46 (1968), 1425.

石上ですべらずに倒れたものであろう。

4. 墓石の棹と台石間の摩擦係数

墓石の棹が台石上で滑ることなく倒れる場合の力学的条件は West の式として

$$\alpha = \frac{B}{H} \cdot g$$

と与えられる³⁾。ここで α は地震動の水平加速度、 g は重力加速度、 B は棹の底辺の長さ、 H は棹の高さである。

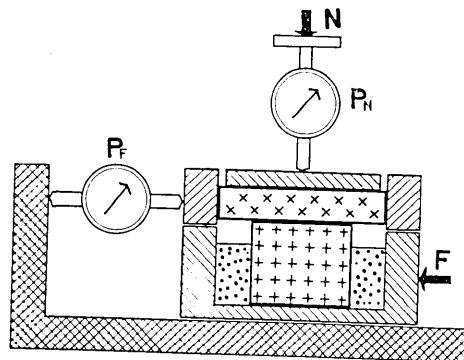
一方棹が台石上を滑りながら移動する条件は

$$\alpha = \mu g$$

と与えられる。 μ は棹と台石間の摩擦係数である。これらの式は地震動に上下成分があるとき、または地震動の周期が短くて、十分な力積が墓石に与えられないときには成立しないが、大ざっぱな目安としては使えるであろう。ともかく墓石の棹が倒れるか滑動するかは棹の形を表わす B/H の値と棹と台石間の接触面の性質を表わす μ との大小関係によつてきまり、 μ が B/H よりも小さい墓石は水平加速度がある値を越えたとき滑り、逆に μ が B/H よりも大きい墓石は台石上で滑らずに倒れるであろう。各地の墓地で代表的と思われる棹の B/H を計つてみた結果は 0.31~0.51 で平均 0.37 の値をえた。一方 μ の値は現地で直接測定することは困難であるので、花崗岩の 30 mm 角のサンプルを用いて室内実験により求めた。

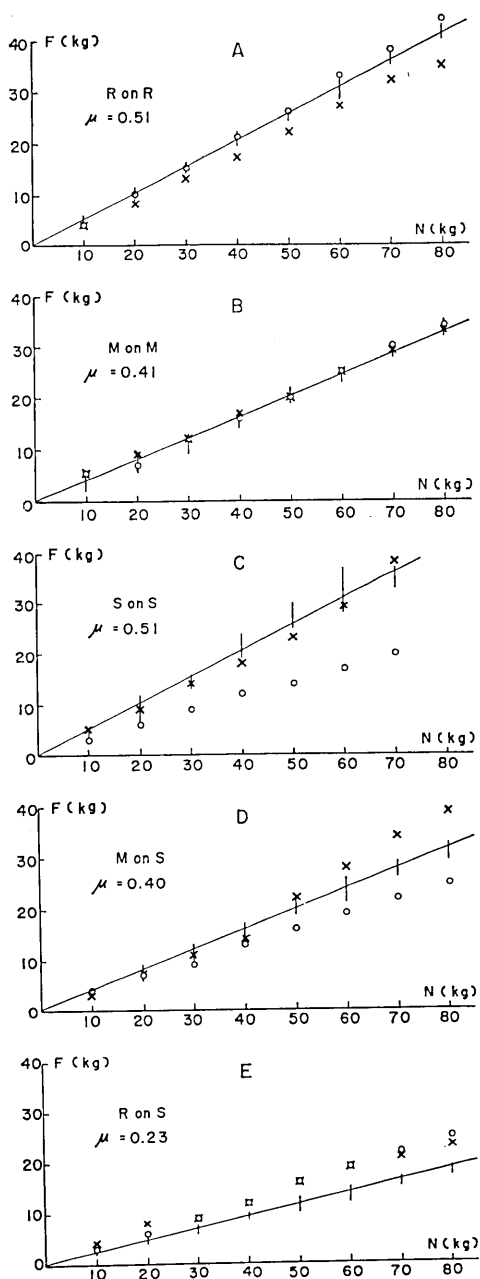
摩擦係数の測定は一般に土質試験で用いられる携帯型一面剪断試験器（丸東製作所）を使つて行なわれた。原理は第6図に示されるように、資料の接触面に上方より一定の垂直荷重 N をかけておき、下部剪断箱にかける水平力を増加させ上部剪断箱との相対変位が生ずる瞬間の摩擦力 F を力計で読みとる方法である。

二つの花崗岩塊の接触面の仕上げは粗面 (R)、中粗面 (M)、滑面 (S) の三種類とし、R と R、M と M、S と S、M と S、R と S の五種類の組合せについて実験を行なつた。さらにその各々について乾燥した面同士の場合、面を水でぬらした場合、面と面との間に水でぬつた砂ぼこりをはさんだ場合の μ の変化を調べた。砂ぼこりは戸棚の上から採集したものを用いた。この泥をはさむ理由は盛岡で移動墓石の台石上に移動方向を示す泥の帯が残されていた事



第6図 摩擦係数を求める装置。

3) 大森房吉「物体の転倒及び移動に就きて」震災予防調査会報告 32 (1900), 19.



第7図 摩擦力 (F) と垂直抗力 (N) との関係。
R: 粗面, M: 中粗面, S: 滑面。

実により、泥の存在による摩擦係数の変化を知るためである(第10図)。この泥は風によつてはこぼれた砂ぼこりと雨水によつてつくられたものであろう。サンプルの粗面はカーボランダム 80 番で仕上げたもので、指の腹でなでてみてざらざら感じる程度、中粗面はカーボランダム 800 番で仕上げたもので、指の感触はなめらかであるが、光沢はない程度、滑面はアランダム1000番のみがき、酸化クロム粉末によりラシャ布で光沢が出るまで仕上げたものである。垂直荷重は 10 kg きざみで 80 kg までかけた。標準的な棹の重量は 200 kg 位であるが、実験に用いたサンプルの接触面積は 30 mm 平方と実物のそれよりはるかに小さいのでこの程度で十分であると判断した。

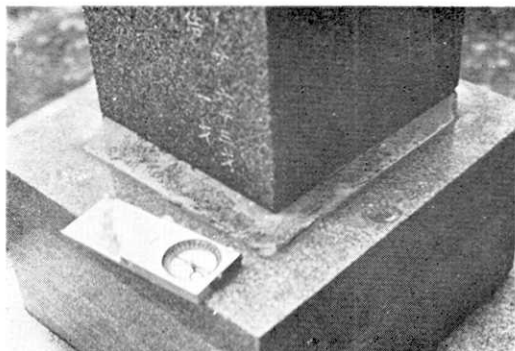
実験結果は第7図に示される。Aは粗面と粗面、Bは中粗面と中粗面、Cは滑面と滑面、Dは中粗面と滑面、Eは粗面と滑面についての結果である。乾燥面間については各々5回くりかえしたばらつき範囲が縦線で示され、水でぬらした場合、泥をはさんだ場合は各々1回ずつ行ない、前者は×印、後者は○印で示してある。いずれもほぼ直線上に並んでおり、容易に摩擦係数 F/N が求められる。図に示されている μ の値は乾燥面間について測定されたものであり、0.23~0.51の範囲となつている。粗面と粗面(A)の μ が大きいのは当然としても、滑面と滑面(B)の場合も 0.51 と同様に大きいことは意外であつた。この場合水でぬらしてもほとんど影響はないが泥をはさむと 0.28 まで低下する。粗面と滑面の組合せでは 0.23 と最も低い値が得られている。このことより滑りやすさのためには



第8図 1968年日向灘地震によつて北東へ移動した土佐中村市の墓石.



第9図 一斉に右回りに回転した盛岡市における南部家の巨大な墓石群 (左より二番目の墓石に立かけられたスケールは1m).



第10図 南西方向への移動の様子を示す泥の膜 (盛岡市).



第11図 転倒寸前までに移動した墓石 (浦河).

ある程度の凹凸が接触面に必要であろうことが推量される。

実際の墓石の接触面は種々の型式があろうが今回の調査に際して代表的であつた墓石はみがきのかかつた花崗岩製であり、台石と棹はつや出しが行なわれているが、棹の下底面は粗面のままである。すなわち実験における E に相当し、乾燥面間の場合の $\mu = 0.23$ および雨水や泥がつまつたときの $\mu = 0.32$ の値を実際の墓石の摩擦係数と考えることができよう。この μ の値と前に述べた B/H の平均値 0.37 を比較すればみがきのかかつた花崗岩墓石は倒れるよりも移動する方がより起りやすいという結論がえられる。このことにより第2表の変動率の中で移動の比率が大きいことが説明される。なお台石と棹との間につめてあるしつくい目地はただ外周にぬりつけてあるだけで耐震的な効果はほとんど期待できないようであつた。

謝 辞： この研究を進めるにあつて、森本良平教授、木村敏雄教授、松田時彦助教授、中村一明助教授、太田裕助教授には内容の検討と原稿の校閲をしていただいた。摩擦係数を求める実験材料の成型、接触面の仕上げは渡辺佐枝官におねがひした。記してここに深い感謝の意をあらわす。この研究は文部省科学研究費によつておこなわれた。

71. Translation of Grave-stones in Northeast Honshu and Hokkaido by the 1968 Off-Tokachi Earthquake.

By Yukimasa TSUNEISHI,
Earthquake Research Institute.

After the 1968 Off-Tokachi Earthquake of May 16, 1968, its effect on grave-stones, especially the direction of translation (sliding) of grave-stones, was examined in Northeast Honshu and Hokkaido, Japan, in order to clarify the direction of maximum acceleration of the ground vibration. The results are shown in Fig. 2 as to the directions of translation in each location and in Fig. 1 as to their relation to the epicenter of the main shock and its aftershock region. In Fig. 1 the directions of translation indicated by arrow marks are distributed in radial pattern and two different regions, centrifugal and centripetal in the direction of translation, are recognized. Field evidence reveals that Japanese standard granite grave-stones easily slide on their base-stones (Figs. 10-11, Table 2). This is also supported by the experimental result on the coefficient of friction between two granite cakes (Fig. 7) carried out by the author.