

丘陵地における木造家屋の地震被害

—被害タイプおよび被害発生に関与する地盤条件の時代による変化—

田村俊和*

要 約

大規模宅地造成開始前と後とで、丘陵地における木造家屋の地震被害にどのような変化があったかをみるため、1923年関東地震時の東京都多摩丘陵、1968年十勝沖地震時の札幌近郊、および1978年宮城県沖地震時の仙台周辺の各例について、被害率、被害タイプ、およびそれらに関連する地盤条件を検討し、それを相互に比較した。その結果、在来型土地利用の場合の丘陵地での木造家屋被害はほとんどが谷底の軟弱地盤による振動被害であること、近年の大規模宅造地での被害は、切土地と盛土地の境界部に集中する場合と厚い盛土地の中心部に集中する場合とがあり、前者の被害は地震断層上での被害に類似すること、等が明らかになった。また宅造地に出現する2通りの被害分布タイプは造成様式と関連していることが推測された。これらの知見は、従来資料が不足していた丘陵地（のどくに宅地造成地）を含む地域での、今後の被害予測やサイズミック・マイクロゾーニング等にも活用できる。

1 はしがき

木造家屋の地震被害と地盤との関係は、従来主として海岸平野・三角州や広い谷底低地および一部の台地の開析谷底などで発生した被害について検討されてきた（例えば北沢，1925；大庭，1957；松田ほか，1978など）。そこで対象にされていた被害タイプは、強い振動（一部液状化の影響を含む）による倒壊であり、それに関与する地盤条件として注目されたのは、結局のところ軟弱層の厚さであった。これに対して近年のいわゆる内陸直下型の地震では、地震断層あるいはこれに付随する雁行亀裂の直上の家屋のみが基礎をセン断され、倒壊には至らないが実質的に全壊に等しい被害をうけるが、そこからわずかに離れるとほとんど無被害であることが確認された（例えば望月ほか，1974，1978など）。この場合、被害タイプは上記の振動被害とは明らかに異なり、被害発生に関与する地盤条件も、軟弱層ではなく地震断層（になり得る活断層）の存在である。

1978年宮城県沖地震による木造家屋被害としては、沖積低地ののどくに軟弱な粘土層・泥炭層の厚い地域に生じた振動被害と並んで（あるいはそれ以上に）、丘陵地の地形を大規模に改変して造成された宅地で発生した被害が注目された（例えば田村ほか，1978）。その際に問題に

された地盤条件は、言うまでもなく人工的な盛土であり、さらに切土地と盛土地との境界部が各種被害の集中個所として指摘された。それに類似した被害は、規模は小さいながらも、既に1968年十勝沖地震の際に札幌東郊丘陵地の宅地造成地で発生していた。しかしそのような所での被害率、被害タイプや関連する地盤条件の検討は、広い沖積低地の場合にくらべて立ち遅れており、これが今後の被害予測や防災施策の立案にも障害になっている。

都市近郊の丘陵地の地形を大規模に改変してそこを居住地とすることがわが国で一般化したのは1960年頃以後であり、それは地形条件からみた居住地分布傾向を大きく転換させた（Tamura, 1976；田村，1977；田村ほか1978）。このことが一般住家の地震被害の発生にどのように影響したかをみるために、小論では、大規模宅地造成開始前と後の丘陵地における比較的顕著な地震被害の事例について、木造家屋被害率、被害のタイプ、および被害発生に関与した地盤条件などを検討し、その結果を相互に比較する。ここで得られるであろう結果は、前述の障害を取り除く一助ともなることが期待される。

検討の対象としたのは、比較的詳細な資料を利用することのできた、1923年関東地震の際の多摩丘陵北西部、1968年十勝沖地震の際の札幌市清田、および1978年宮城県沖地震の際の仙台市緑ヶ丘と泉市南光台である。言うまでもなく関東地震時の多摩丘陵での被害は、丘陵地の

* 東京都立大学都市研究センター・理学部

利用が丘頂・丘腹斜面の雑木林、小段丘面の畑地(一部宅地)および谷底面の水田・宅地で代表されていた時代の典型的被害例であり、十勝沖地震時の札幌市清田と宮城県沖地震時の仙台周辺は、それぞれ、丘陵地の宅地造成地における先駆的被害例および最初の本格的被害例とみなせる。

2 丘陵地の在来の土地利用傾向下での木造家屋被害-1923年関東地震時の東京都多摩丘陵の例-

日本の在来の土地利用傾向では、丘陵地には都市的集落がきわめて少なかった。そこでは、あまり大規模でない農業集落が谷底面(とくに丘麓部)やそれに接する小段丘面に立地するのが一般的であった(Tamura, 1976)。

そのような傾向に従っていた多摩丘陵の諸村(田村, 1977)のうちには、1923年関東地震による木造家屋被害率が東京下町を上回ったところがある。ここで被害率は、松沢(1925)に記されている当時の市町村別(東京市内は町別)全戸数、全壊戸数、半壊戸数から

$$\text{被害率} = \frac{\text{全壊戸数} + (\text{半壊戸数}/2)}{\text{全戸数}}$$

として算出した。多摩丘陵およびその周辺の町村では、鶴川村73.5%、南村49.0%、塚村48.3%、町田町46.8%、忠生村41.1%等、現町田市域の諸町村の被害率が高く、稲城村46.0%、由木村31.1%、多摩村23.3%等、同丘陵北端部の諸村の被害率もかなり高かった。なおこの地域はM7.9の震源断層から40km前後の距離にある。

ところでこの被害家屋の過半が非住家であったことが、内務省社会局(1926)に記されている住家・非住家別全・半壊戸数からわかる。すなわち数十戸以上の全壊家屋を出した10町村についてみると、全壊戸数のうちに占める住家の割合は町田町(48%)を除いていずれも30%以下(平均21%)であり、半壊戸数のうちの住家の割合も町田町(62%)を除いていずれも40%以下(平均25%)である。また南多摩郡役所(1923)による1920年末現在の同郡内各町村の戸数および構造別建物数からみると、当時この地域では1戸平均2棟前後(町村別平均では最高2.6棟/戸、最低1.4棟/戸)の建物があり、全建物の90%程度が木造(町村別では最高96%、最低84%)であったことになる。後者の調査から地震発生まで3年足らずの間に、この地域の建物数が大きく変化したとはとうてい考えられない。ちなみに町村別全戸数(棟数ではない)の変化は、南多摩郡役所(1923)と松沢(1925)とを比較すると、小宮村(多摩丘陵の範囲からはずれ、主として日野台地、一部加住丘陵に立地する)を除き7%以下で、平均約3%である。したがって前記の松沢(1925)から算出した被害率は、真の木造家屋被害率、すなわち

木造家屋被害率

$$= \frac{\text{全壊木造家屋棟数} + (\text{半壊木造家屋棟数}/2)}{\text{木造家屋全棟数}}$$

の約2倍の値を示し、真の木造住家被害率、すなわち

木造住家被害率

$$= \frac{\text{全壊木造住家棟数} + (\text{半壊木造住家棟数}/2)}{\text{木造住家全棟数}}$$

の約4倍の値を示すものと推定される。同じ地震による他地域の被害との比較および他の地震による被害との比較をおこなう際には、上述の点を十分に考慮する必要がある。しかし以下ではこの地震によるこの地域内での被害についてのみ考察するため、松沢(1925)から算出した被害率をそのまま用いる。

一般に地震被害と地盤との関係を地域的に検討するには、分類された各地盤型の分布の精度に見合った小地域ごとの被害の様相がわかっている必要がある。しかし多摩丘陵地域では、地盤については後述のように丘陵地の谷底を数通りに分ける程度のことまで解明されているのに対して、被害はごく一部を除いて上述のように当時の町村単位でしかわかっていない。そこで当時の地形図(陸地測量部1917~21年測量、縮尺25000分の1)に表現されている各集落がどの地盤型のところに立地しているかを、地盤分類図(一部を図1に示す)と比較対照して判定し、それに基づいて各町村の地盤型別面積比を概測して、それと前述の被害率との関係を考察した。

この地域を含む地域の既存の地盤図(例えば貝塚・田村, 1976)では、1923年当時の集落の大半が立地していた谷底面の地盤は、主として資料の制約で一括されている。そこで今回新たに多摩丘陵(一部加住丘陵)の谷底面について約100本の試錐資料を収集し、その地盤の細分を試みた。それによると6種類の地盤型が識別できるが、そのうち集落のある部分に広く分布するのは図2に示すA₂・B₁・B₂の3型である。このほか、西方の固結した基盤岩から成る山地から流下する中小河川沿いの谷底面、および多摩川・浅川などこの地域では比較的大きな河川沿いの低地の地盤として、A₁が認定される。丘陵地周辺の広い台地(相模野台地・日野台地等)および丘陵地内の谷沿いの小段丘の地盤は、地表を構成する関東ローム層の厚さに数m~十数mの違いがあるものの、C₁・C₂でほぼ代表される。丘頂・丘腹斜面には当時の集落はきわめて少なかったが、そのような部分の地盤はC₂(風化礫層をもつ丘頂緩斜面)・C₃(丘腹斜面および風化礫層をもたない丘頂緩斜面)のようなものである。これら地盤型の地域的分布の一例は図1に示した。

上記7種類の地盤型は、木造家屋倒壊への寄与という観点から、図2のA~Cの3種類に統合することができよう。このように統合するにあたって、全国各地の(とくに沖積低地における)木造家屋地震被害と地盤との関係の解析例が参考になることは言うまでもない。そのように統合した上で当時の市町村別に集落部分の地盤型(A, B, C)別面積比を概測すると、図3のような三角ダイ

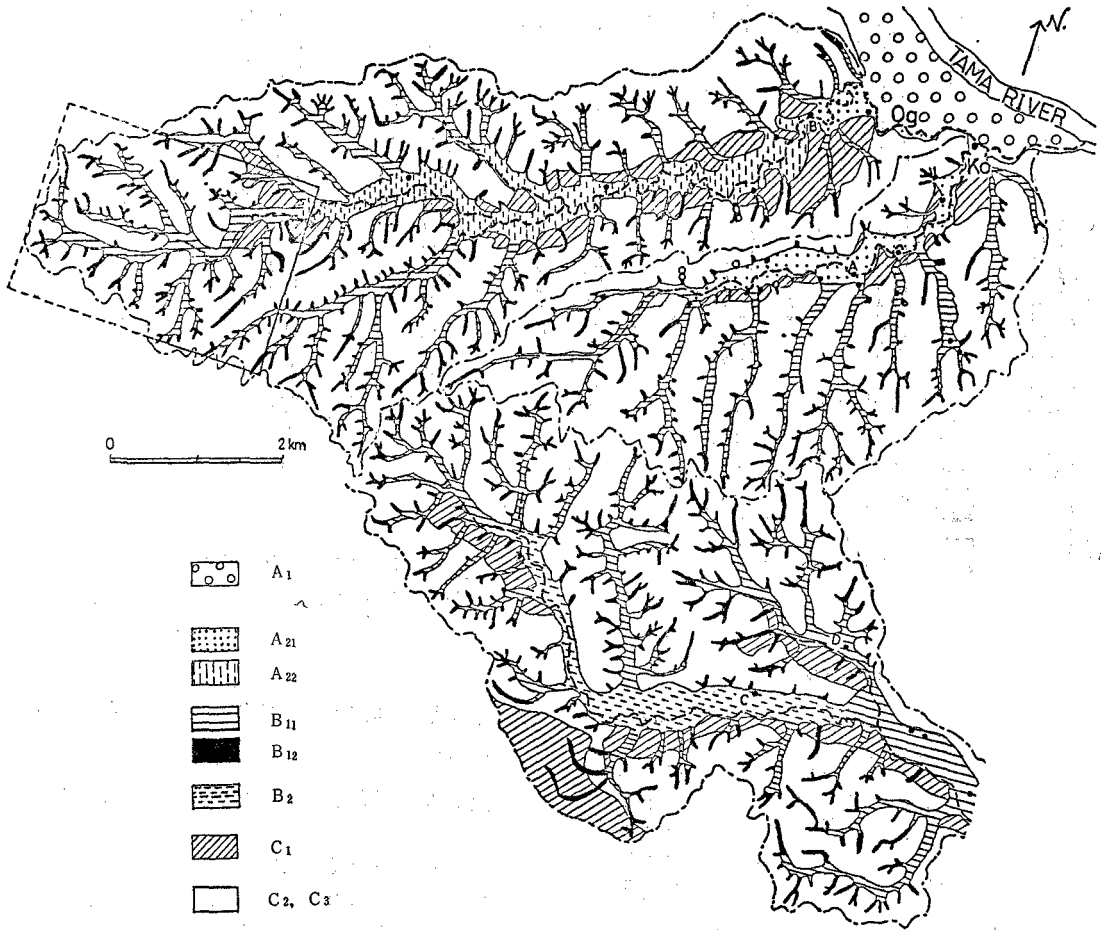


図1 丘陵地の谷底面を中心とした地盤分類図の例（多摩丘陵の一部）。

Og：大栗川，Ko：乞田川，Ts：鶴見川。一点鎖線は流域界。A₁～C₃：地盤型（図2および本文参照）。

アグラムに表現できる。各市町村の家屋被害率（前述のように真の意味の木造家屋被害率および木造住家被害率とほぼ直線的な関係にあるとみなせる）を適当に階級区分し、この地盤型別面積比に重ねて図示すると、図3のように、地盤と被害率との比較的明瞭な関係が認められる。すなわちA型地盤が被害を軽減する方向に寄与し、B型地盤が被害を増大する方向に寄与するとみて良い。図中の曲線は、稲城村などを例外とみなし、A・B・C3種の地盤型の面積比が被害率を決定するとして大胆にひいた傾向線である。

稲城村は地盤型別面積比から推定される一般的傾向よりも著しく高い被害率を示し、その西隣の多摩村の被害率も一般的傾向よりやや高い。今回入手した地質柱状図を田治米ほか（1977）、龍岡ほか（1979）などの液状化

発生限界に照らして検討すると、これらの村の多摩川沿いの低地の一部には小規模な液状化を起こす可能性のある地盤が分布する。しかし1923年関東地震の際にこれらの地域で液状化現象が発生したことを確認する資料は知られていない。多摩町（1970）の記載から算出した当時の多摩村の地区別住家被害率によると、丘腹斜面（一部丘頂緩斜面—礫層なし）に立地する船ヶ台が51%と群を抜いて高い（他は10%程度以下。平均8%）ので、斜面崩壊による家屋被害が被害率を高めている可能性も十分考えられるが、その確認は得られていない。堺村、由木村、恩方村、浅川村では斜面崩壊による家屋被害があったことが、町田市（1976）、東京府（1925）、内務省社会局（1926）などの記述から明らかである。

それらを除けば、この地震で多摩丘陵北西部およびそ

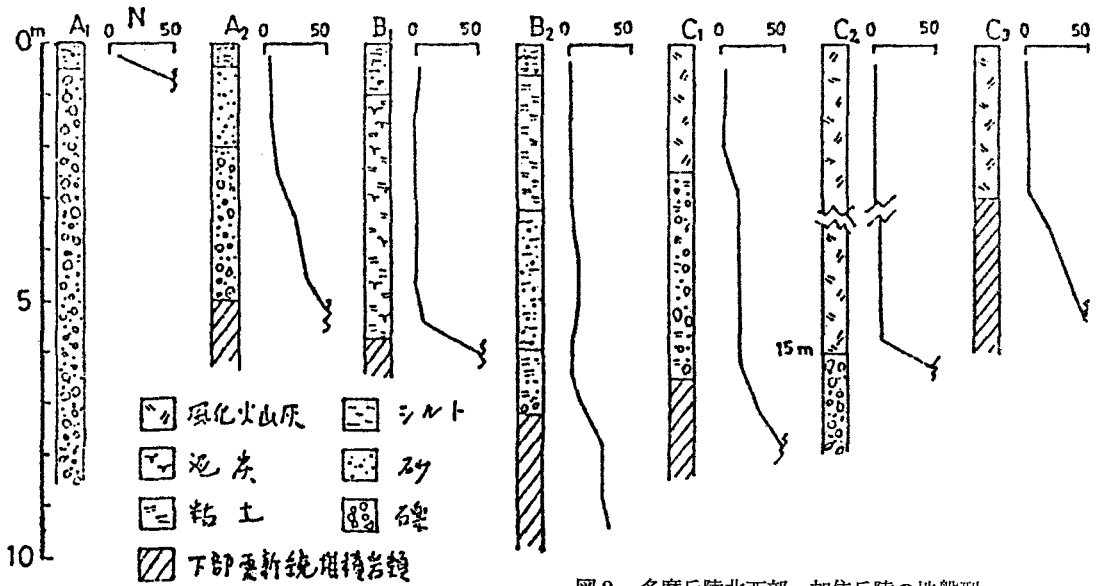


図2 多摩丘陵北西部，加住丘陵の地盤型
(地盤型分類・分布については本文および図1参照)

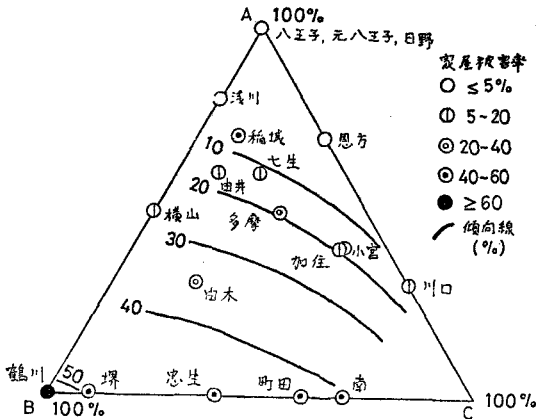


図3 多摩丘陵およびその周辺の市町村（1923年当時）の地盤型別面積比と関東地震時の木造家屋被害率との関係。

A, B, C：地盤型（図2および本文参照）。

の周辺の諸町村に発生した木造家屋被害の大半は、純粹の振動被害であったことが、図3に示した軟弱地盤／硬質地盤の面積比と被害率との間の顕著な正の相関関係から推定でき、さらに町田市（1976）に採録されている経験者の談話や東京府（1925）、内務省社会局（1926）等に断片的に記載されているやや具体的な被害状況描写で裏付けられる。

3 丘陵地の地形を大規模に改変した宅地造成地での被害

3-1 1978年宮城県沖地震時の仙台市周辺の例

発生順序からすれば後述の1968年十勝沖地震による札幌市清田団地の被害例について先に述べるべきであるが、丘陵地の宅地造成地の典型的な地震被害例がより豊富に、しかも筆者自身によって観察された仙台の例を先に検討するほうが、解析の手順として好つごうである。被害状況の具体的な記載は田村ほか（1978）その他多数の報告に譲るが、M7.4の震央から約120km隔たった仙台市とその周辺では、東郊の沖積低地での被害のほか北郊の黒松、南光台、鶴ヶ谷および南郊の緑ヶ丘各団地を中心とする丘陵地の宅地造成地で、最近ほぼ10年以内に建築された木造住宅を主とする約1000戸が被害をうけた。ほかに宅地・擁壁等のみの被害をうけた世帯が多数ある。また白石市の寿山第4団地では、小谷を完全に埋め尽した $8 \times 10^4 \text{ m}^2$ に達する盛土が大崩壊を起こしたが、崩壊した宅地には住宅がまだ建設されていなかった。

いずれの地域の被害も、人工的地形改変の様式と密接な関連をもって発生していることがうかがわれた（田村ほか、1978）が、地形改変状況（最も単純化すれば切土地・盛土地の分布）を統一的に示す資料は一般には用意されていない。またそれと対応させて被害の様相を検討するには、行政機関が町丁別に集計した被害統計は役に

立たない。しかし南光台・緑ヶ丘両団地については、丘陵地の宅地造成地の典型的とみられる被害が大量に発生し、また後述の理由で被害家屋の分布が1棟ずつ詳細に地図上に表現され、切土地、盛土地の分布も一応把握された資料が利用できるため、この両地区においてやや詳細な解析を試みた。

(1) 泉市南光台団地

ここは仙台市域から連続する丘陵地に1962年以後造成された、1戸建て木造住宅を主とする面積約300haの住宅地で、現在も拡大され続けている。鮮新統および中新統から成る比高50m程度の尾根は10m以上削り取られ、厚さ数mの軟弱な谷底堆積物をもつ幅数十m～100mの谷および隣接する丘腹斜面下部は、最大30mに達する盛土で埋め立てられて、著しく起伏の小さな住宅地が形成されていた。地震発生当時の木造家屋数は4千数百棟とみられ、後述の村山・菅沼の調査によると、そのうち300棟あまりが被災し、75棟の被害はとくに著しかった。被害家屋の多くは、地盤の亀裂が建物の基礎をセン断して壁に亀裂を生じ、一部ではこれに地盤の不等沈下・側方移動等が加わって建物を傾けるというような型のものであった。同様の被害タイプは、南光台に隣接する仙台市黒松・鶴ヶ谷両団地でも広くみられた。これはいわゆる内陸直下型地震の際に地震断層あるいはそれに伴う雁行亀裂の直上でみられる被害タイプ（望月ほか，1974，1978など）とよく似ている。

村山良之・菅沼健らは被災直後のしっ皆調査によって全被害家屋の分布図を作成し、また新旧地形図（縮尺3000分の1，5000分の1および1万分の1）の比較から切土地・盛土地分布図を描いた。両者を重ねると、切土地・盛土地の境界付近にきわめて多数の被害が発生していることがよくわかる（田村ほか（1978）の図8）。地面の亀裂や埋設管の破損等の発生地点も上述の家屋被害と同様の分布傾向を示す（同上図）。

そこで切土地・盛土地境界からの等距離帯ごとに家屋被害率と地面亀裂頻度を計測してみた。村山・菅沼が作成した図（田村ほか（1978）の図8）から、切土地・盛土地境界上、そこから切土地側および盛土地側にそれぞれ20m，50m，100mの線でそれぞれはさまれる地帯ごとに、同図から被害家屋数（被害家屋全数および“大被害”の数）を数え、別に1977年版住宅地図に上記の各境界線を移写したものから各地帯内の全家屋数*を数えて前者を後者で除し、家屋被害率およびそのうち“大被害”の率を求めた。地面亀裂については、田村ほか（1978）

*住宅地図調査後の住宅数の増加は、今回の調査地区内ではあまり著しくない。そのような新しい住宅が被害家屋にあたっている場合は、その数を加えて、各地帯の全家屋数とした。

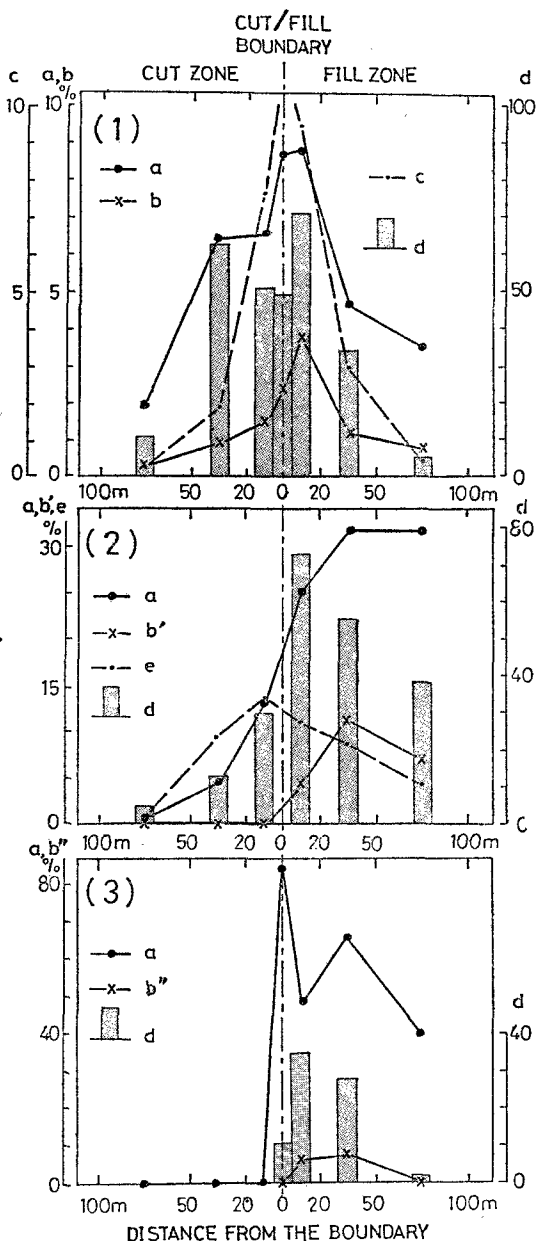


図4 丘陵地の宅地造成地における木造家屋の地震被害（切土地・盛土地境界からの距離帯別被害率分布）
 (1) 泉市南光台(1978年宮城県沖地震), (2) 仙台市緑ヶ丘(同上), (3) 札幌市清田(1968年十勝沖地震).
 a : 家屋被害率, b : aのうち“大被害” (全壊を含む) の率, b' : aのうち“大破” (倒壊または取り壊し) の率, b'' : aのうち“居住に耐えない家屋”の率, c : 宅地・路面等の亀裂の頻度, d : 被害家屋棟数, e : 宅地・擁壁, 塀等のみに被害をうけた家の率。

の図8に描き加えた上記の各地帯内の発生個所数を各地帯の幅で除して頻度とした。

その結果を図4(1)に示す。切土地・盛土地境界およびそのすぐ盛土地側で被害率が高い傾向がきわめて良く現れている。切土地・盛土地境界への被害集中傾向はとくに地面の亀裂において著しい。

(2) 仙台市緑ヶ丘

ここは、青葉山丘陵南東端の比高30~60m、傾斜15°~35°の南東~北東向き丘腹斜面(一部は撓曲崖に一致)およびその上方に連なる丘頂緩斜面に、1960~65年に造成された多数のヒナ段(主として1戸建て住宅用)から成る約50haの住宅地で、最大盛土厚は20mを越える。盛土材料は、この丘陵地を構成する鮮新統砂岩・頁岩・凝灰岩および更新統の風化礫層・風化火山灰(ローム)層等から削り取ったもので、概して粘土質で、N値は4以下である。また盛土地の一部には、おそらく基盤岩の鮮新統中に原因をもつと思われる地すべり地が含まれている。地震時の全家屋数は1400棟余りであったとみられ、このうち300戸近くが宅地・建物の被害をうけた。

この地区で今回の地震による家屋被害が多発したのは緑ヶ丘1丁目、3丁目および4丁目である。1丁目と3丁目には、主な谷壁斜面・撓曲崖に直交する小谷(3丁目の場合はその小谷が地すべり地)を埋め尽した盛土地が含まれる。その盛土地内に、切土地との境界とほぼ平行に生じた亀裂が、(1)で述べたのと同様建物の基礎をセン断して壁に亀裂を与え、また盛土地盤の不等沈下・側方移動(一部小崩壊をともなう)により建物が傾き、はなはだしい場合は下段に転落するような型の家屋被害、および擁壁の破壊・転倒が目立った。4丁目では、1つの支谷の谷底面および右岸谷壁斜面(傾斜10°前後、傾斜方向の水平の長さ100m前後、地すべり地を含む)に厚さ数m以下の盛土がおこなわれていたため、1丁目、3丁目の場合と異なり、盛土地のうち切土地との境界から最も遠い部分が造成地の一方の端にあっている。

この地区の被害については、緑ヶ丘町内会連絡協議会のアンケート結果を阿部隆が図化した、被災家屋1戸ずつの分布図が利用できる。住宅地図に示された1977年1月現在の住宅分布から算定した戸数と比較すると、アンケート配布世帯は全戸数の約70%、またアンケートの回収率は約85%なので、単純に計算すれば全体の60%程度しか調査されていないことになるが、この種のアンケートの性質上被災世帯の回答率は非被災世帯のそれに比べて著しく高いと考えられ、また回答世帯の地域的分布に著しい偏りは認められないので、上記の図が被災世帯の分布傾向をそのまま示すものとして、南光台の場合と同様の作業をおこなった。

すなわち阿部が新旧地形図(縮尺1万分の1)の比較

などで求めた切土地・盛土地分布図と上記の被災世帯分布図とを重ね(田村ほか(1978)の図6)、切土地・盛土地境界から両側にそれぞれ20m、50m、100mの線をひき、それらにはさまれた各地帯の被害戸数を数える。また住宅地図に上記の線を移写し、1977年1月現在の各地帯の全戸数*を数える。両者の比を各地帯の被害率とする。家屋に被害をうけた全戸、そのうちとくに大きな被害(アンケートで“大破”―倒壊、取り壊し、あるいは使用不能―)をうけた家屋、および家屋は無被害だったが宅地・擁壁等に被害をうけた世帯のそれぞれを分子とする被害率を上記の方法で算出した。ただし原資料の精度の関係でまさに切土地・盛土地境界上にある建物を確認しかねたため、同境界付近の家は切土地・盛土地のどちらかに含めて集計した。

その結果を図4(2)に示す。家屋被害率については、南光台の場合(同図(1))とは対照的に、盛土地の内部で高くなる傾向が明瞭である。“大破”家屋の割合も、全被害家屋率の分布曲線と平行している。切土地には“大破”家屋は皆無である。しかし宅地・擁壁等のみが被害をうけた家の全戸数に対する割合は、切土地・盛土地境界付近で高くなる傾向が認められる。

図4(2)の傾向をみた上で被害家屋分布図(田村ほか(1978)の図6)を改めて検討すると、切土地・盛土地境界付近で被害が多いのは1丁目および3丁目、盛土地の内部で被害が多いのは4丁目であることが注目される。とくに切土地・盛土地境界から50m~100mの地帯にある“大破”家屋8戸は、すべて4丁目で発生したものである。

3-2 1968年十勝沖地震時の札幌市清田団地の例

1968年十勝沖地震(M7.9)による主な被災地は青森県東部で、震央から約320km離れた札幌での被害は一般に軽微であったが、市の南東郊に広がる更新統軽石流堆積物から成る丘陵地の内部および周辺部では、軽石および粘土質火山灰を盛土して造成した住宅地(清田、厚別)に、宅地・建物の被害が発生した(洪, 1969)。清田団地のうち被害をうけた部分は、谷底面の幅が50m~150mの数条の谷沿いに、1959年頃から隣接斜面の切土と谷底面の盛土によって造成された約40haの1戸建て用住宅地で、地震当時331戸が居住していた。盛土の厚さは最大約10mで、そのN値は最表層部を除き2~4程度、その下の谷底堆積物(一部崖錐堆積物)は泥炭を含み最大層厚8m程度で、N値2~10である(洪, 1969)。

被害家屋は76戸で、その大半は、地面の亀裂をともな

* 1977年1月以後のこの地区の住宅の増減は、南光台の場合よりさらに著しくない。

う盛土地盤の不等沈下・側方移動により、基礎が切断され、不等沈下し、壁に亀裂が入って建物が傾くというものであった(洪, 1969)。これは前述の泉市南光台や仙台市緑ヶ丘1・3丁目の被害と同一タイプのものでみさせる。被害の分布は札幌市住宅指導課(1968)によって調査され、1戸ごとの被害程度(無被害を含め4段階に区分)と盛土地の分布(推定)とが、縮尺2000分の1で図化されている(盛土地分布を除き、洪(1969, 図2)に引用)。その図に基き、前記南光台・緑ヶ丘と同様、切土地・盛土地境界からの等距離帯別に被害率を計測した。

その結果を図4(3)に示す。切土地・盛土地境界から両側100mまでの間に当時建っていた家屋は269戸で、そのうち74戸が被災し、居住に耐えないものは7戸であった。地帯別被害率分布は、切土地・盛土地境界で最も高いが、盛土地側では上記境界から遠ざかっても被害率はあまり低下せず、ちょうど南光台(同図(1))と緑ヶ丘(同図(2))との両タイプが合成されたようなパターンをとる。“居住に耐えない被害”の率は、全般的被害率と同様の傾向を示す。切土地では全く被害が出ていないのが、仙台周辺2地区の場合と異なる点である。

3-3 南光台、緑ヶ丘、清田 3例の比較

3地区の被害調査方法、被害程度の区分等が全く同一ではないため、被害率を直接比較することには問題が多い。また例数もきわめて少なく、施工状態の比較・検討もおこなわれていないので、丘陵地に造成された宅地の木造家屋被害率を地震規模・震央距離や震度との関係で一般化することはまだできない。しかし図に示した、切土地・盛土地境界からの等距離帯による被害率分布パターンのように相対化されたものや、建物の被害の様式等については、比較・考察がある程度可能であろう。

3-1, 3-2に述べた3地区の被害率分布パターンを、各地区の宅地造成様式とあわせて典型的に示すと、図5のようになる。造成様式の違いが被害率分布パターンの違いをもたらしているとは明言できないが、両者の間に密接な関連がある可能性は低くない。切土地・盛土地境界で被害率が著しく高くなる傾向は、図5の(1)型の南光台(や緑ヶ丘1・3丁目)および同(3)型の清田で顕著である。家屋被害率のピークが同境界部と全く一致しない緑ヶ丘(とくに4丁目)の場合ですら、宅地面の亀裂、擁壁・塀等の被害をうけた(が建物はほとんど被災しなかった)家の、全家屋数に対する比は、切土地・盛土地境界で最大値をとる(図4(2)e)。

これらを考えあわせれば、丘陵地の宅地造成地で生じる木造家屋被害として最も主要なものは、切土地・盛土地境界(およびそれに近接する盛土地)に集中する地盤-基礎-壁の亀裂を中心とする被害であると言えよう。

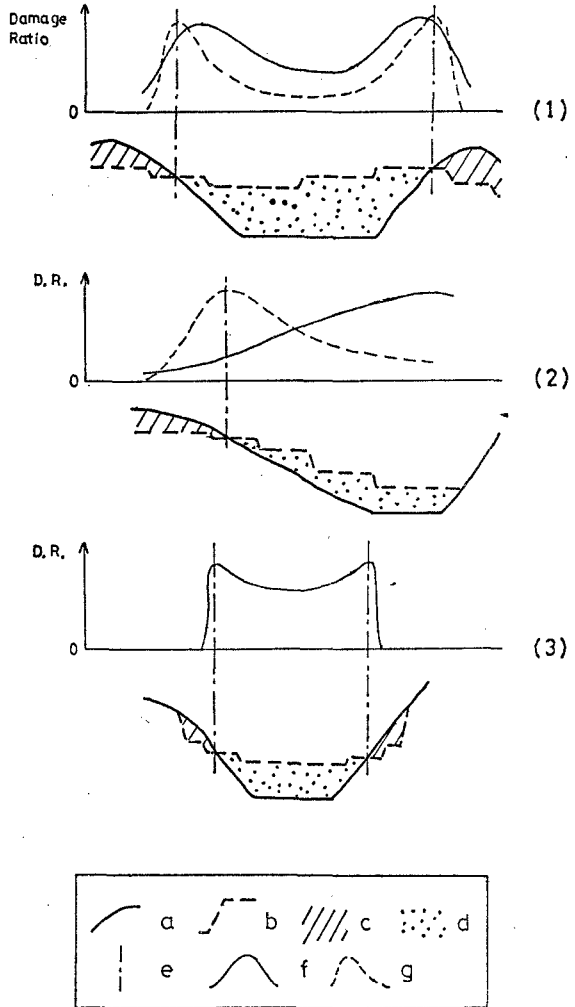


図5 丘陵地の宅地造成地における被害率分布パターンと地形改変様式との関係(模式図)

- (1) 南光台, (2) 緑ヶ丘(とくに4丁目), (3) 清田。
 a: 改変前の地表面, b: 改変後の地表面, c: 切土, d: 盛土, e: 切土地・盛土地境界, f: 木造家屋被害率, g: 地盤亀裂発生率。

これはおそらく切土地と盛土地との震動性状の違いおよび差別的な移動によるものであろうが、両者の境界にあたかも地震断層が生じたかのような被害タイプおよび被害(率)分布パターンである。これとは別の被害率分布パターン(図5(2))をとる緑ヶ丘4丁目での家屋被害タイプが上記とどのように異なっているか、詳しく検討する必要がある。

清田では切土地での家屋被害が皆無なのに対して、南光台・緑ヶ丘では切土地でも、盛土地より低率ながら、

家屋被害が生じている。この原因についても明確にはわからないが、それを検討する際に、今回の計測の基図作成における切土地・盛土地分布の推定法に注意する必要がある。3つの調査地区のうち緑ヶ丘・清田両地区の全域と南光台の過半は宅地造成等規制法適用前に造成されたものであり、かつ3地区とも公的機関による造成地ではないため、大縮尺の造成計画図等、切土地・盛土地の分布を知るために最も有効な基礎資料が得られなかった。止むを得ず、既述のように南光台・緑ヶ丘については造成前と後の3000分の1～1万分の1地形図を比較して、造成前より地盤高の低下したところを切土地、同じく上昇したところを盛土地とみなしたが、ここで切土地としたところの地表に薄い(通常2～3m以内の)盛土がのっていることは少なくない。この“切土地にある薄い盛土”が、純然たる盛土地と同様の効果を建物に与える可能性は、厚い軟弱地盤地帯と同様の被害率が表層に泥炭等をもつ薄い谷底堆積物から成る地帯で記録されていることをみれば、大いに考えられる。切土地でもある程度の被害が生じていることの主因が上述のとおりとすれば、造成地の木造家屋被害はあくまでも盛土にともなった現象ということになる。

1978年宮城県沖地震時の仙台での気象庁震度階は、気象庁発表によれば5であるが、緑ヶ丘1丁目の宅地に隣接する墓地での墓石転倒状況から推定した地表加速度は約350gal(震度6相当)であり(国井・荏本, 1978), 家具転倒率から推定した南光台の加速度(中田・村山, 1979)は緑ヶ丘より高いもようである。そのような地震動による緑ヶ丘・南光台両地区の被害とくらべて、1968年十勝沖地震(気象庁発表震度階は札幌で4)による清田での被害は、同地区の地盤条件を考えたとしても高過ぎる。この説明には、上記の解析で言及しなかった施工状態の差を考慮に入れる必要があるかも知れない。清田団地の盛土地の排水施設がきわめて不備であったことは、洪(1968)の報告からも明らかに読みとれる。盛土内部の排水状態が、盛土の転圧状況と並んで、そこでの地盤・建物の地震被害と密接に関連していることは、宮城県沖地震時の被害例にもよく現れている(例えば田村ほか, 1978)。

4 結論

丘陵地における木造家屋の地震被害は、沖積低地(のうちとくに表層部が軟弱な堆積物から成る地域)の被害より著しく軽微であるとは決して言えない。大規模宅地造成のおこなわれていない丘陵地にある集落では、谷底面のうち主として粘土質堆積物から成る地域の家屋が、振動型の被害をうける。これは本質的に沖積低地での被害率分布傾向および被害タイプと同じであり、地盤分布

に基づく被害率の予測が可能である。これに対して大規模な人工的地形改変がおこなわれた丘陵地の住宅地では、切土地・盛土地境界にあたかも地震断層が生じたかのような、被害率分布傾向(同境界あるいはそれに接する盛土地で最大となる)および被害タイプ(地盤-基礎-壁の一連の亀裂を中心とする)が特徴的に出現する。通常これに盛土の不等沈下や側方移動(さらには小崩壊)の影響が重なって現れるが、さらにこれとは異なる、切土地・盛土地境界から数十mも隔たった盛土地内部で高くなる被害率分布パターンが現れる地域もあり、それに対応した別の家屋被害タイプの存在も考えられる。盛土地の大崩壊による家屋の大量倒壊・転落・埋没例はまだないが、住宅未建設の宅地造成地ではそのような大崩壊が既に発生している。

このように丘陵地での土地利用傾向の変化にともない、そこで発生する被害のタイプおよび被害分布傾向には顕著な転換がみられる。今後発生する地震により丘陵地では、そこが人工的地形改変のほとんどない地域であるか大規模宅地造成地であるかにより、それぞれ上記2つの型の木造家屋被害が、それぞれの分布様式で、発生するであろう。地震規模-震央距離等の関係でより広域における被害率の概数が設定されれば、その地域的配分に上記の被害率分布パターンを利用することができる。そのためには通常的地盤地質調査に加えて、地形改変様式・改変規模等を調べておく必要がある。このような調査に先立ち、宅地造成等の計画・設計・施工にかかわる資料を、造成主体の如何にかかわらず地域ごとに一元的に収集・整理しておくことが、きわめて重要である。

貴重な資料を貸与され、あるいは御教示くださった、東北大学村山良紀、菅沼 健、中田 高、宮城豊彦、宮城学院女子大学阿部 隆、および北海道大学門村 浩の諸氏に深く感謝する。

文献一覽

大庭正八

1957 「1944年12月7日東南海地震にみられた遠江地方の家屋被害と地盤との関係」『地震研究所集報』35巻, pp. 201-295。

貝塚爽平・田村俊和

1976 『東京都地盤地質図(三多摩地区)』, 東京都総務局災害対策部。

北沢五郎

1925 「木造被害調査報告」『震災予防調査会報告』100号丙上, pp. 1-54。

国井隆弘・荏本孝久

1978 「1978年6月宮城県沖地震における墓石調査に

- よる最大加速度の推定』『総合都市研究』5号 pp. 103~114。
- 洪悦郎
1969 「札幌市内の火山灰地帯における住宅地の地震災害」『1968年十勝沖地震災害調査報告』, pp. 799~814。
- 札幌市住宅指導課
1968 『1968年十勝沖地震清田団地被災地周辺家屋調査・同盛土敷地内被災家屋調査』(手記)。
- 田治米辰雄・望月利男・松田馨余
1977 『地盤と震害—地域防災からのアプローチ』, 槇書店。
- 龍岡文夫・岩崎敏男・宮田浩通
1979 「N値による簡易流動化判定手法について」『土木学会第32回学術講演会講演概要集』第3部, pp. 297~298。
- 多摩町誌編さん委員会(編)
1970 『多摩町誌』
- 田村俊和
1977 「山・丘陵—丘陵地の地形とその利用・改変の問題を中心に—」『地域開発論(I)地形と国土利用(土木工学大系19)』, 彰国社, pp. 1~73
- 田村俊和・阿部隆・宮城豊彦
1978 「丘陵地の宅地造成と地震被害—1978年宮城県沖地震の被害を例として—」『総合都市研究』5号, pp. 115~131。
- 東京府(編)
1925 『東京府大正震災誌』
- 内務省社会局(編)
1926 『大正震災誌』
- 中田高・村山良紀
1979 「宮城県沖地震からみた仙台周辺の地形と地盤条件」『第16回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集』, pp. 461~464。
- 日本住宅地図出版
1977 『住宅地図 仙台市東部』『同北部』『同南部』
- 町田市史編纂委員会(編)
1976 『町田市史』下巻。
- 松沢武雄
1925 「木造建築物に依る震害分布調査報告」『震災予防調査会報告』100号甲, pp. 163~260。
- 松田馨余・和田論・宮野道雄
1978 「関東大地震による旧横浜市内の木造家屋全壊率と地盤との関係」『地学雑誌』87巻, pp. 241~259。
- 南多摩郡役所(編)
1923 『南多摩郡史』
- 望月利男・国井隆弘・松田馨余・田村俊和
1974 「1974年伊豆半島沖地震調査報告(主として地震断層, 加速度分布および地盤と家屋被害の関係)」『土と基礎』22巻7号, pp. 53~61。
- 望月利男・田村俊和・松田馨余・宮野道雄
1978 「1978年伊豆大島近海地震に伴う地震断層, 加速度分布と被害」『総合都市研究』5号, pp. 9~37。
- Tamura, T.
1976 "A preliminary study of historical anthropogeomorphology in the hill-lands of Japan" Geographical Reports of Tokyo Metropolitan Univ. No. 11 : 163-176.

EARTHQUAKE DAMAGE DONE TO WOODEN STRUCTURES IN THE HILLS BEFORE AND AFTER LARGE-SCALE RESIDENTIAL DEVELOPMENT

Toshikazu Tamura *

Comprehensive Urban Studies, No. 8, 1979, pp. 121~130

The landuse pattern in the hills of Japan was drastically changed by the initiation of large-scale residential development in the 1960's. Its suspected influence in the occurrence of earthquake damage of wooden houses in the hills is the subject in question. Damage in relation to ground conditions in the hills has not been as intensively analysed as in the alluvial lowlands.

Four studies of earthquake damage in Japan — the Tama Hills in the 1923 Kanto Earthquake, Kiyota in Sapporo in the 1968 Tokachi Oki Earthquake, Nankodai and Midorigaoka in Sendai in the 1978 Miyagi-ken Oki Earthquake — were analysed and compared with one another, and the following

results were obtained.

- (1) Damage done to wooden structures in the hills under customary rural use results from the collapse of houses due to strong vibrations of soft ground in valley floors.
- (2) Following are two types of wooden structure damage-ratio distribution patterns in recently developed residential districts constructed upon hill-lands after intense artificial modification of landform:
(a) the highest damage ratio is recorded near the boundary of cut-zones and fill-zones, and (b) the damage ratio is higher in the center of fill-zones than at cut/fill boundaries.
- (3) Damaged houses of the (a) type mentioned above are sheared at their foundations and walls by cracks in the ground.

Such features resemble damage of houses just upon surface faults or echelon fissures along the faults.

- (4) Differentiation of the two types of damage mentioned in (2) seems to depend on the mode of artificial landform modification.

The information as described in the above is applicable to the estimation of damage and devices for effectual countermeasures.

* Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University