Institute of Social Safety Science

年代別地形図を用いた宅地被害の分析

Damage Analysis of Residential Lands Using Old Edition Topographical Maps

宮島昌克[1]、橋本隆雄[2]

Masakatsu MIYAJIMA[1] and Takao HASHIMOTO[2]

[1] 金沢大学工学部土木建設工学科
Department of Civil Engineering, Kanazawa University
[2] 千代田コンサルタント(株) 東京支店技術3部
Tokyo Branch, Chiyoda Engineering Consultants Co., Ltd.

The present paper deals with earthquake damage to residential lands. Althogh a failure of residential lands induced damage to houses and buildings extensively, it has not been paid attention well so far. The authors have investigated the damage to residential lands after the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake. The analysis of damage to residential lands in the 2001 Geiyo and the 1995 Hyogoken-Nambu earthquakes in Japan and the 1999 Quindio earthquake in Colombia was conducted by using old edition topographical maps in various eras.

Key Words : *Damage to residential land, topographical map, the 2001 Geiyo earthquake, the 1999 Quindio earthquake in Colombia, the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake*

1.はじめに

地震に伴う建築物の被害は多くの文献に記録されているが、地震に伴う宅地地盤そのものの被害や宅地と一体化した擁壁などの施設の被害については、建築物被害に含まれて記録され、統計処理などされることが多く、宅地の被害として個別に記録されている例は少ない。しかしながら、近年の地震災害では造成された宅地において、宅地の被害が建築物等の被害を大きくしたり、宅地の崩壊が造成区域の周辺部にも影響を与えるなど、宅地被害が引き起こす災害が顕著になってきている。したがって、宅地被害そのものを個別に記録し、その被害原因を検討するとともに、事前に健全度評価を行い、必要な場合には対策を行っておくことが望まれている。宅地被害を分類すると以下の3つに大別される。すなわち、宅地擁壁の被害、宅地のり面の被害、宅地地盤の被害である。被害は宅地の有する抵抗強度を超える地震力が作用した場合に発生するので、抵抗強度の小さい箇所と地震動増幅の大きい箇所の双方を明らかにしておく必要がある。

著者らは1995年兵庫県南部地震以降、宅地に注目した地震災害調査を行い、その分析を行ってきた[1)~4)]。その中で、過去の地形図と現在のそれを比較することが宅地被害の原因を検討するのに有用であることを明らかにしてきた。同様の研究は、1978年宮城県沖地震以降精力的に行われてきており[5)]、小野里らは、過去の地形図と地震時のそれとを比較し、1993年釧路沖地震の宅地造成地の家屋被害の分析を行っている[6)]。

本論文では、まず2001年芸予地震における宅地擁壁被害箇所を年代別地形図にプロットし、被害原因を考察する。さらに、1999年コロンビア・キンディオ地震、1995年兵庫県南部地震についても同様の検討を行い、宅地の地震被害ポテンシャルを明らかにするために、年代別地形図の利用が有効であることを示す。なお本論文では、上述したように抵抗強度の小さい箇所と地震動増幅の大きい箇所の両方に注目し、それらの箇所が宅地開発の過程で増大している様子を明らかにするとともに、それらを簡易に把握し、健全度評価のための地震被害ポテンシャルを大局的に明らかにすることを目的している。

2.2001年芸予地震における宅地被害の分析

2001年(平成13年)3月24日に起こった芸予地震は、広島県を中心として広い範囲にわたり、人的・物的被害を及ぼした。特に広島県呉市では、急斜面における宅地擁壁に多くの被害が生じた。

呉市はもとは静かな漁村であったが、1889年(明治22年)海軍鎮守府が設置されて以来、日本一の工廠の街として1945年(昭和20年)の終戦に至るまで容貌を一変した。その間、海軍関係者の集中による飛躍的な人口増加があり、図-1に示すように最盛期の1943年(昭和18年)には40万人を超える有数の都市に発展した[7)]。ただし、軍事関係者の詳細な数は軍事機密として発表されていないので、同図にはその数は含まれていない。人口の増加に伴い宅地開発が大正末期から昭和初期にかけて行われたが、この時期の宅地開発は現在のように一気に山を崩してしまうのではなく、自然の地形に沿って段々畑のように住宅が建てられていった[8)]。また、宅地開発の進行度合を標高で見ると、1899年(明治32年)までは概ね40mまで、それが1925年(大正14年)となると約53m、1950年(昭和25年)になると約65m、それ以降現在では約150mまで進んだ。その結果、今では建築基準法により建てることのできないような家々が危険

NII-Electronic Library Service

Institute of Social Safety Science

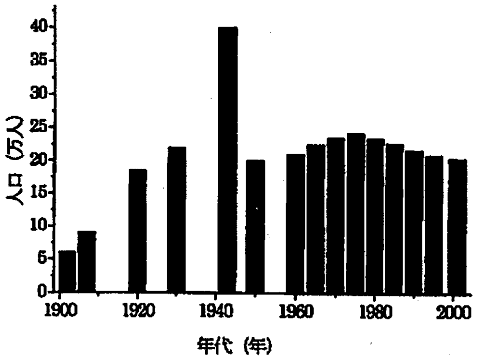

図-1　呉市の人口の推移

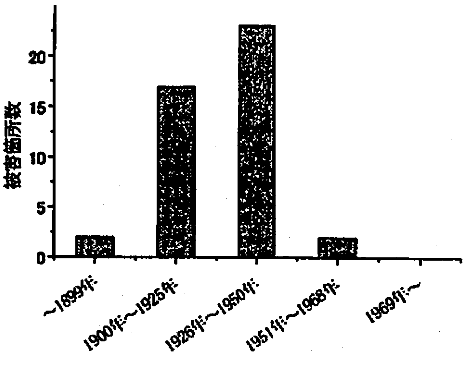

図-6　造成年代と被害宅地箇所の関係（44箇所）

急傾斜地に重なり合うようにひしめき、生活通路が神社やお寺の参道のような石段である市街地が多く見られるようになった[9]。

呉市において擁壁被害が報告されている全 48 箇所のうち、中心市街地より離れた焼山 2 地区、阿賀南 1 地区、広町田 1 地区の 4 箇所を除く 44 箇所において宅地擁壁の被害分析を行なった。今回の擁壁被害は地形によって分類すると、主に 2 つの地域、すなわち急斜面または山麓地（低地が山の斜面と直接接している地域）と平地に集中していることが分かる。図-2～5 に、それぞれ 1899 年（明治 32 年）、1925 年（大正 14 年）、1947 年（昭和 22 年）、1992 年（平成 4 年）発行の地形図に、中心市街地より外れた焼山地区等の 4 箇所を外した 44 箇所の被害箇所を点と数字で、市街地の広がりを太線で、それぞれ示した。なお、現在の地形図は図-5 の 1992 年（平成 4 年）の地形図と大きく異なっていないので、紙面の制約からここでは現在の地形図を示さずに、図-5 を用いて現在の地形と被害の関係を述べる。

まず、斜面または山麓地での被害に注目する。図-5 より、現在の市街地の平野部と山麓部の斜面の境目に被害が多く見られることがわかる。この付近は、段丘の発達が悪く平野部は直接山の斜面に接しており、急な崖が周辺に迫っている。平野部の宅地開発が行なわれる前の崖は直角に切り立って造られているので、現在の基準によって防災工事をすると宅地がなくなってしまうことになる。宅地被害 1、26、27、28、33、40 は崖の直下で生じていた。

これらの被害は図-2 より、1899 年（明治 32 年）には中心部の平地よりかなり離れた山の斜面であったことが分かる。急斜面での被害の多くは、主に原地形が尾根地形と谷地形である地域に集中していた。例えば、図-5 において 28、30、34～38 が尾根地形、1、4、5、24、25、27、29、31～33、39～41 が谷地形での被害である。また、図-2～5 を見ると現在は急斜面であるが、以前は沢地形であったり田として利用されている所もあった。例えば、図-5 の 24～28 に被害が集中しているが、この付近は 1899 年（明治 32 年）には急傾斜の山に囲まれた沢地形となっており、田として利用されていた。

つぎに、平地での被害に注目する。既に市街地となっている平地であっても宅地被害が生じていた。この付近は早い段階で宅地開発が進んだ地域である。しかし図-3 より、以前は急斜面や、田や果樹園として利用されており、もともとは宅地としては不向きな土地を人工的に改変していたことが分かる。

図-2～5 に示した以外の地形図も含めて被害宅地の造成年代を調査した結果を図-6 に示す。同図を見ると、1900 年（明治 33 年）～1925 年（大正 14 年）と 1926 年（昭和元年）～1950 年（昭和 25 年）に造成された宅地に被害が多いことが分かる。すなわち、これらは 1962 年（昭和 37 年）に施行された宅地造成等規制法（以後、宅造法と略する）よりも以前に造られた宅地であり、既存不適格な宅地であったことが考えられる。

本研究では被害が発生した宅地についてのみ分析を行なったものであり、無被害宅地を含めた呉市内の各宅地の造成年代は不明である。しかし、1968 年（昭和 43 年）発行の地形図と 1992 年（平成 4 年）発行の地形図を比べると、市街地の広がりや等高線形状がほとんど変化していないことから、呉市内の多くの宅地は 1968 年（昭和 43 年）以前に造成されたものと考えられる。すなわち、図-6 において 1950 年（昭和 25）年以前の宅地被害が多かったのは、宅地数が多かったためであるとも考えられる。これらの宅造法の基準に基づいて造成されていない古い宅地は、締め固め方法や地下水の処理に対する施工基準が不十分であった可能性が高く、擁壁は転倒及び滑動に対して十分な安定性を有していないと考えられる。宅造法が施行された 1962 年（昭和 37 年）を含む造成年代、またそれ以降の造成年代において、宅地擁壁被害箇所数は激減している。

以上のように、年代別の地形図に被害箇所をプロットし、宅地開発の変遷とともに検討することにより、宅地の被害原因を探ることができた。旧地形が宅地被害と相関の高いことも知れた。

3.1999年コロンビア・キンディオ地震における宅地被害

1999 年 1 月 25 日にコロンビアのキンディオ県をマグニチュード 6.2 の直下型地震が襲った。この地震による死者は 1,000 名以上に上る。被害の最も大きかった人口約 28 万人のアルメニア市に注目して、建物の被害分布を市街地の変遷との関係で整理し、宅地被害について考察する。図-7 は、地震により被害が最も大きかったアルメニア市中心部の地形、および市街地の動向について 1948 年～1998 年までを比較検討したものである。1948 年の市街地は小高い台地上に造られ、被害が非常に少なかった地域と対応していることがわかる。1957 年と 1985 年の地図を見ると、1998 年に至る中間でスプロールが発生している。中でも 1957 年の市街地は、急速なスプロール

NII-Electronic Library Service

Institute of Social Safety Science

図-2　1899 年の呉市中心部と被害宅地箇所

図-3　1925 年の呉市中心部と被害宅地箇所

図-4　1947 年呉市中心部と被害宅地箇所

図-5　1992 年呉市中心部と被害宅地箇所

NII-Electronic Library Service

Institute of Social Safety Science

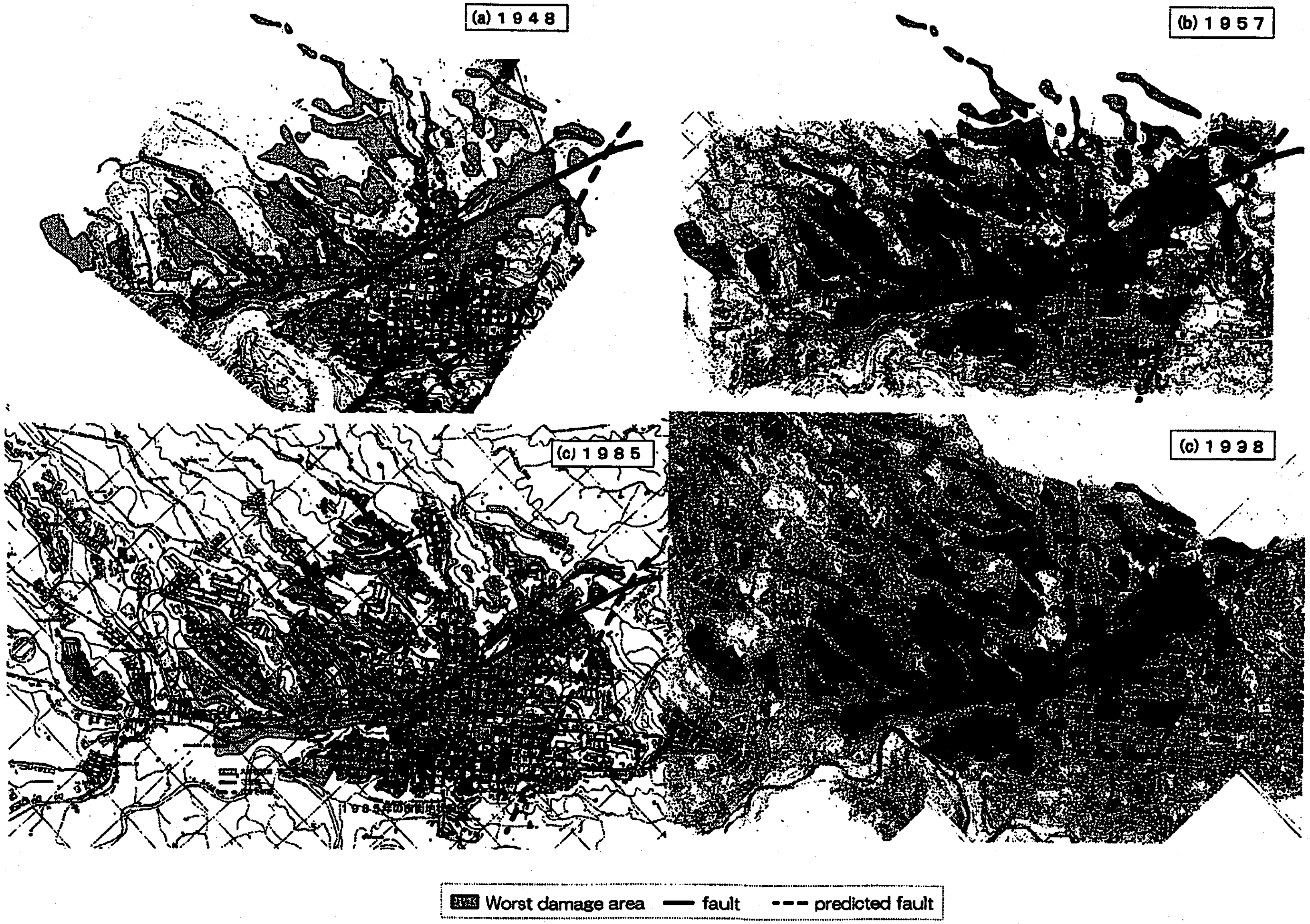

図-7　1948年から1998年までのアルメニア市の地形図と地震被害集中地域

NII-Electronic Library Service

Institute of Social Safety Science

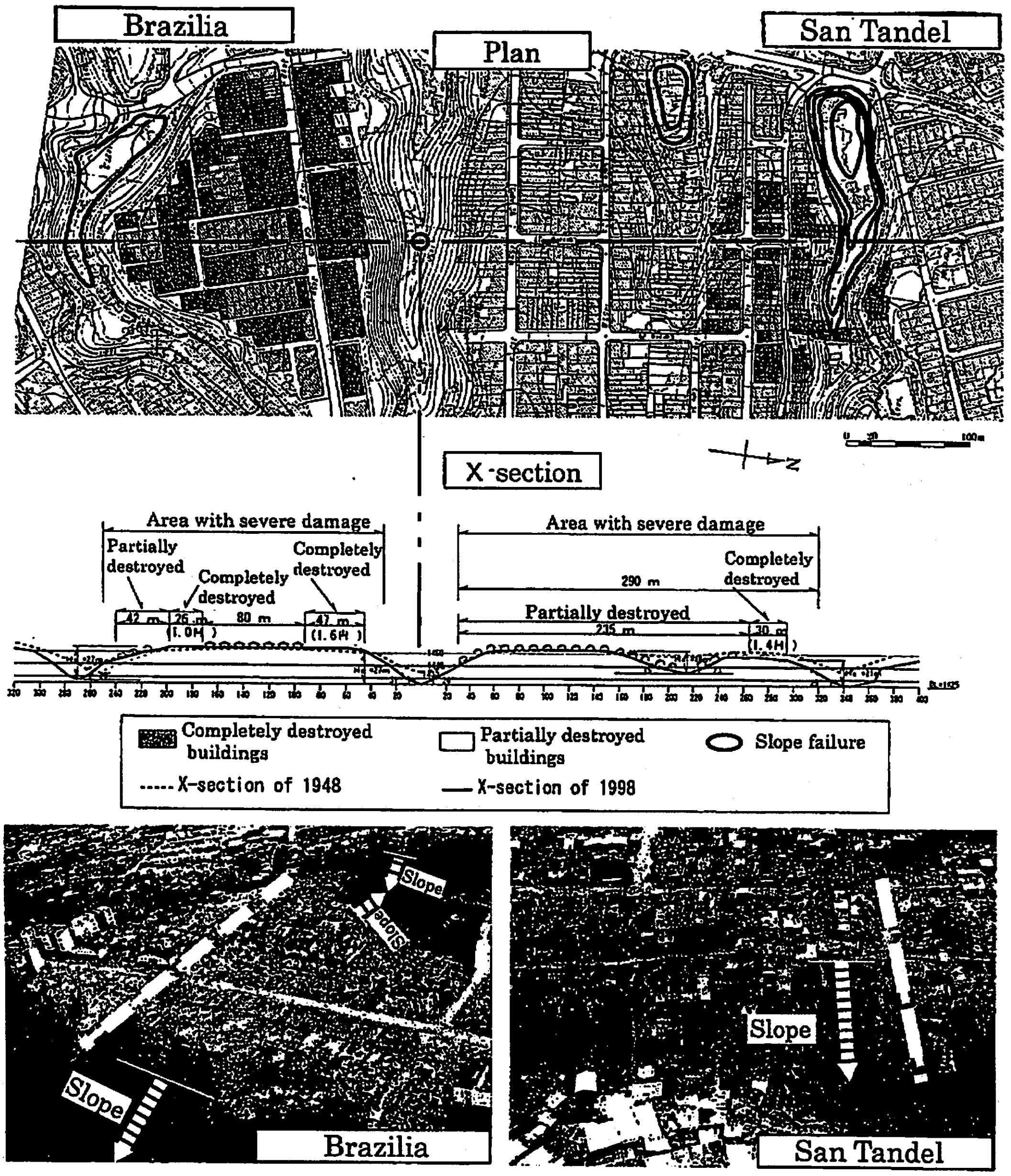

図-8 ブラジリア地区とサンタンデル地区における地形断面図と宅地被害状況

化に伴って崖斜面や軟弱地盤帯にまで広がってきている。また、1985 年の市街地は、1957 年とほぼ同様であるが、枝葉状にスプロールしている。この間にスプロールした市街地が、今回の地震で特に被害が集中している地域と一致している。その後、市街地は南西方向の丘に広がったため、ここでの被害はむしろ少なかった。

以上のように、当初の市街地は安全な丘の上に造られたが、その後のスプロールで無計画に広がったがけ斜面およびその上下部で宅地被害が大きく、さらにその後、南西方向に広がった新市街地は、安全な丘の上のみに留まっていたため、被害は少なかった。今後、南西方向の新市街地がスプロールする可能性があるとすれば、再び同様の被害を生じることが考えられるので注意を要する。

図-8 は、被害が甚大であったブラジリア地区とサンタンデル地区の地形断面図を地形図より描き、建物被害の分布を示したものである。また、航空写真により同地区の建物の被害状況を示した。同図より、ブラジリア地区およびサンタンデル地区の建物は、がけ上端から高さの 1.0〜1.5 倍程度離れた所まで全壊していることがわかる。特にブラジリア地区では、斜面部の建物が崩壊し、中高層の建物および堅固な戸建て住宅を除き、中心部だけしか建物が残っていない。また、写真に示した斜面部では斜面崩壊が生じていた。1948 年と 1998 年の市街化状況図によれば、谷部における火山灰および火山性堆積物が

NII-Electronic Library Service

厚くなっていることから、雨水による侵食を受け、幾重もの斜面崩壊が過去にも生じていることも明らかとなった。

以上示したように、コロンビア・アルメニア市においても過去の地形図を収集し、都市化の変遷を探ることにより、宅地被害および建物被害分布を解釈することができた。さらに、年代別地形図をもとに各年代の地形断面図を描くことにより、地形改変の変遷も知ることができ、宅地の地震被害ポテンシャルを探る上で、大変有効であることが知れた。

4. 1995年兵庫県南部地震における宅地被害の分析

1995年（平成7年）1月17日に発生した兵庫県南部地震においても多くの宅地被害が発生し、造成宅地の被害実態は、その後の宅地擁壁や宅地地盤の耐震設計のあり方に多くの教訓を残した。ここでは、被害資料が収集できた西宮地区を対象として、年代別地形図と被害分布との関係を整理した。

西宮市は江戸時代から西国街道と中国街道が出会う宿場町として栄えた。図-9に示すように、1950年代から70年代の高度成長期には、大阪、三宮のベッドタウンとして人口が急増した。それに伴い急速に都市開発が進み、傾斜地に宅地が造成されていった。図-10～12にそれぞれ1927年（昭和2年）、1951年（昭和26年）、1971年（昭和46年）発行の地形図に宅地地盤の被害箇所をプロットしたものを示す。また、市街地の広がりを太線で記した。同図より、1951年（昭和26年）までは開発されずに丘陵地であったところが1971年（昭和46年）までに開発され市街地となったところで、宅地の被害が集中して起こっていることがわかる。1951年（昭和26年）から1971年（昭和46年）までの間の変化は読み取れないが、宅造法が制定された1961年（昭和36年）以前に造成された、既存不適格な宅地で被害が生じているものと予想される。兵庫県南部地震については、災害後の混乱から資料が散逸していたので、さらに資料を収集し、定量的に分析を進めたいと考えている。

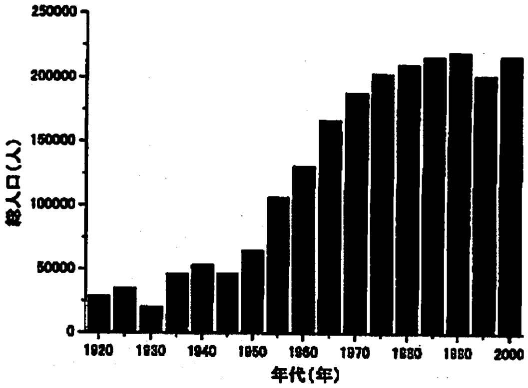

図-9 西宮市の人口の推移

5. 結論

本研究は、宅地被害に注目し、年代別地形図を用いて市街地化の変遷を把握しながら宅地および建物の被害原因を考察したものである。2001年芸予地震、1999年コロンビア・キンディオ地震、1995年兵庫県南部地震における宅地被害の分析から以下のことが明らかとなった。

1) 呉市内の宅地の多くは、各年代における地形図より、1968年（昭和43年）以前に造成されたものと考えられる。被害を受けた宅地擁壁は、1962年（昭和37年）に施行された宅造法以前に造られたものが多く、被害を受けた擁壁はいわゆる既存不適格のものが多かった。また、年代別地形図を辿っていくことによって、もともとは宅地としては不向きな土地を人工的に改変していたところで被害が生じていることが分かった。
2) コロンビア・アルメニア市においても過去の地形図を収集し、都市化の変遷を探ることにより、宅地被害および建物被害分布を解釈することができた。さらに、年代別地形図をもとに各年代の地形断面図を描くことにより、地形改変の変遷も知ることができ、宅地の地震被害ポテンシャルを探る上で、大変有効であることが知れた。
3) 兵庫県南部地震における西宮市の宅地被害についても、1951年（昭和26年）までは開発されずに丘陵地であったところが1971年（昭和46年）までに開発され市街地となったところで宅地の被害が集中して起こっていることが、年代別地形図から明らかとなった。

以上より、年代別地形図を利用することにより旧地形と宅地被害の関係を容易に明確にすることができることを示した。宅造法制定前後で宅地の強度が異なっており、これを境に被害の様相が異なることは以前から指摘されていたが[6]、年代別地形図を辿っていくことにより、地盤増幅の大きくなる箇所や地盤変状の生じやすい箇所などの、地盤条件の悪い地域に宅地開発が進められた過程を知ることができ、地震被害ポテンシャルの把握に役立つことが明らかとなった。近年、地形図がディジタル化されてきているが、旧版地形図もディジタル化されると、本研究で行ったことがコンピュータ上で容易に行うことができるようになり、宅地の地震被害ポテンシャルマップの作成に大いに威力を発揮するものと期待される。

謝辞

本研究における現地調査が（社）土木学会・1999年コロンビア・キンディオ地震被害調査団（橋本隆雄、宮島昌克）および（社）土木学会・2001年芸予地震被害調査団（団長：野田茂香川大学教授）によって行われたものであることを記し、ご支援いただきました関係各位に深謝いたします。

参考文献

1) 橋本隆雄、宮島昌克：1999年コロンビア・キンディオ地震による道路及び宅地・建物被害、第25回地震工学研究発表会発表論文集、pp. 17-20、1999.
2) 橋本隆雄、宮島昌克、吉田雅穂、安田　衛、村田　晶、北浦　勝：1999年台湾・集集地震における断層運動に伴う建

NII-Electronic Library Service

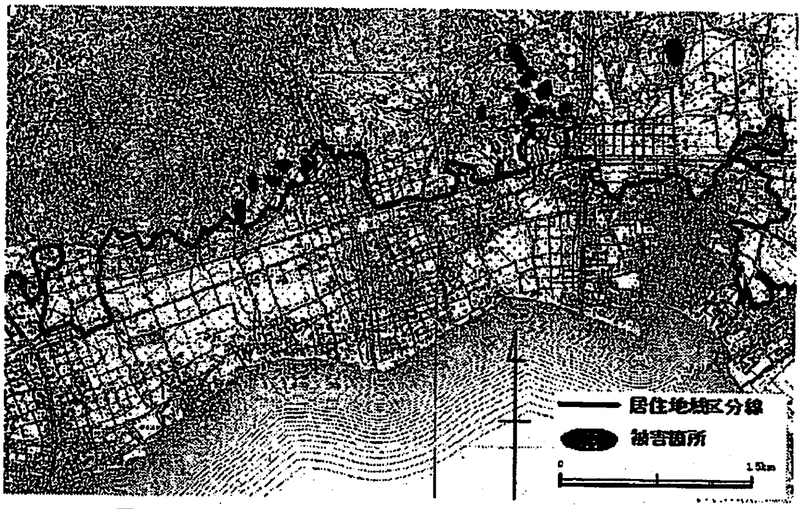

図-10　1927年の西宮市の地形図と宅地被害箇所

図-11　1951年の西宮市の地形図と宅地被害箇所

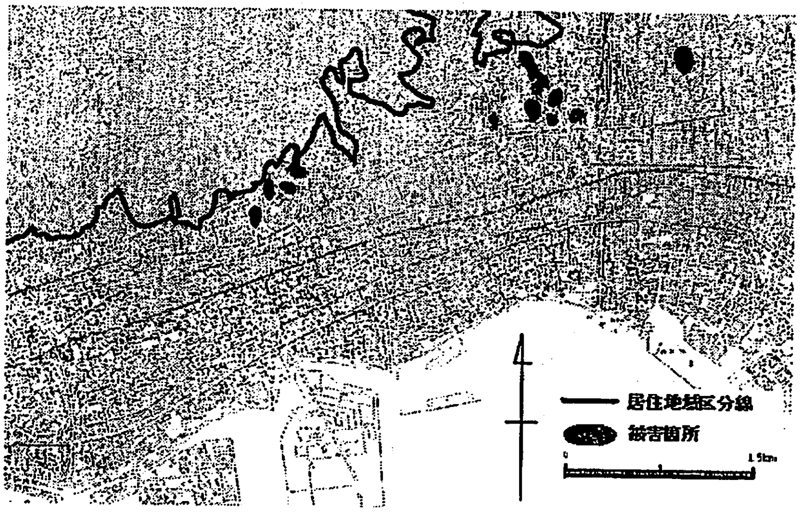

図-12　1971年の西宮市の地形図と宅地被害箇所

NII-Electronic Library Service

Institute of Social Safety Science

物被害分布（その２）地形・地盤条件、断層変位と建物被害の関係、第 35 回地盤工学研究発表会平成 12 年度発表講演集、pp. 237-238、2000.

3) 橋本隆雄、宮島昌克、清野純史、木村智博：神津島近海地震被害調査―斜面崩壊と土木構造物被害―、第 19 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集、pp. 81-82、2000.

4) 小池朋子、橋本隆雄、宮島昌克、北浦　勝：2001 年芸予地震における呉市の宅地被害分析、土木学会中部支部平成１３年度研究発表会講演概要集、pp. 271-272、2002.

5) 例えば、浅田秋江：1978 年宮城県沖地震による宅地造成地被害の考察、第 14 回土質工学研究発表会講演概要集、pp. 1281-1284、1979.

6) 小野里啓、杉村義広、菅野英幸：GIS を用いた 1993 年釧路沖地震による宅地造成地の家屋被害の要因分析、日本建築学会構造系論文集、No. 504、pp. 57-64、1998.

7) 広島県ホームページ：
http://dbl.pref.hiroshima.jp/data/FigureOfTown/toshi/html/toshi02-a/toshi02-a.html

8) 呉市ホームページ：
http://www.hiroshimadas.or.jp/kure/mitekure/mite07_01.html

9) 小笠原臣也：特集 自然災害の現状と対策 斜面のまちに生きる、建設オピニオン、pp. 32～35、2001. 10.

(原稿受付　2002. 6. 4)

NII-Electronic Library Service