

## 2001 年芸予地震における宅地被害の分析

宮島昌克<sup>1</sup>, 橋本隆雄<sup>2</sup>, 小池朋子<sup>3</sup>

Masakatsu MIYAJIMA<sup>1</sup>, Takao HASHIMOTO<sup>2</sup> and Tomoko KOIKE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学工学科土木建設工学科

<sup>2</sup> (株)千代田コンサルタント東京支店技術 3 部

<sup>3</sup> 川崎市港湾局 (元金沢大学学生)

2001 (平成13年) 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。本研究では2001年芸予地震における呉市の宅地擁壁被害を対象に、被害分析を行った。まず地震および被害の概要、呉市の地震被害状況、地形、宅地開発の歴史などを述べた後、さまざまな角度から宅地擁壁被害の分析を行い、被害発生の原因について考察した。本研究では、旧版地形図により地形の改変と宅地被害との関係を考察したが、既存不適格宅地を明らかにするために旧版地形図を利用することが有効であることが示唆された。

### 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・統計処理されていることが多く、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、地震動による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。

2001 (平成13年) 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。呉市は大正末期から昭和初期にかけての早い段階に宅地造成が行なわれた地域である。すなわち、1962年 (昭和37年) に施行された宅地造成等規制法 (以下、宅造法と略記する) の技術基準に基づいて宅地造成が行なわれたものは少ない。このような地域は呉市以外にも日本各地に見られるので、この地震による被害原因を分析することは大変重要であると考えられる。

このような観点から本研究では、2001年 (平成13年) 芸予地震における呉市の宅地擁壁被害を対象に、被害分析を行なう。まず地震および被害の概要、呉市の地震被害状況、地形、宅地開発の歴史を述べた後で、様々な角度から宅地被害擁壁の分析を行ない、被害発生の原因について考察する。

### 2. 地震および被害の概要

2001年 (平成13年) 3月24日15時28分頃、広島県南部を震源とするマグニチュード6.7 ( $M_j = 6.4$ ) を上

修正) の地震が発生し、広島県の熊野町、大野町、河内町、大崎町で震度6弱の揺れを記録したほか、中国、四国地方の広い範囲で震度5や4の揺れを記録した。気象庁による震源情報では、震央位置は34.1°N, 132.7°E、深さが約60kmである。この地震により、死者2名、負傷者183名の人的被害、全半壊57棟 (3月26日消防庁の発表による) 等の建物被害を始め、道路、港湾、電気、ガス・水道などのライフラインにも被害が生じた。震源付近では、1905年 (明治38年) にもマグニチュード7.25の芸予地震が起こっており、広島、愛媛両県の沿岸、特に広島市、呉市、江田島町、宇品 (広島市)、松山市、三津浜 (松山市)、伊予市などで強い揺れを記録し、その震度は5~6相当であった。この被害は、広島県で死者11名、家屋全壊56棟、愛媛県で家屋全壊8棟などであった。この1905年 (明治38年) の地震と今回起きた2001年 (平成13年) 芸予地震とは震度分布が類似しており、同じ発生メカニズムを持つ可能性がある。

図-1に広島県内の市・郡別の家屋の全半壊を示す<sup>1)</sup>。図中の全半壊率とは全世帯に対する全半壊の割合を示している。同図より今回の地震において広島県内では、特に呉市と廿日市市の全半壊率が大きいことが分かる。そこで、本研究ではこのうち呉市の宅地被害について取り上げる。

### 3. 呉市における宅地被害

#### (1) 被害の概要

芸予地震で震度5強を記録した広島県呉市では、住宅被害が深刻であった。広島県全体で屋根の破損などを含めた破損家屋約18,000棟のうち、4,000棟近くが呉市に集中している。特にすり鉢状の斜面に造られた木造住宅の被害が目立ち、宅地擁壁の損壊がその周辺住民にも大きな損害を与えた。また降雨による2次災害防止のため、

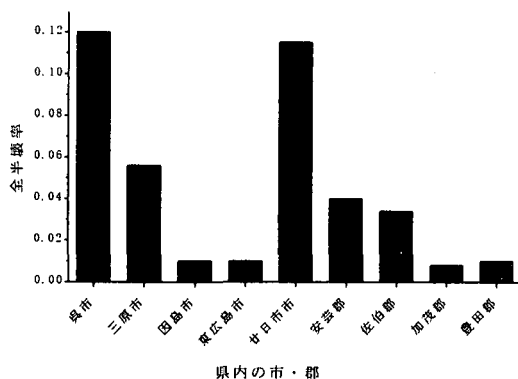


図-1 家屋の全半壊率<sup>1)</sup>

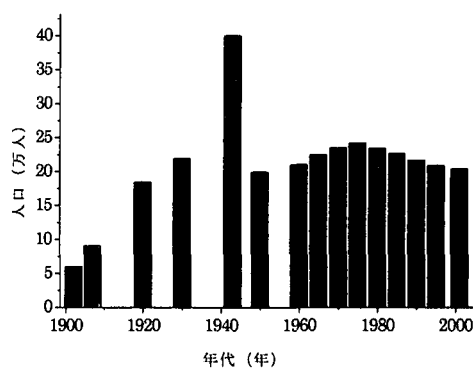


図-2 呉市の人口の推移<sup>4)</sup>

217 世帯 507 人に避難勧告が行なわれた（平成 13 年 3 月 30 日現在）<sup>2)</sup>。

市内は全て宅地造成等規制区域であり、県の指定する急傾斜地崩壊危険区域は 500 箇所以上、指定を含めた崖地危険区域は約 900 箇所以上。また、区域内に約 14,600 世帯が暮らしており、これは市全体の約 20% を占めている。斜面における宅地造成には、石組による擁壁が使われ、その上に赤いレンガ塀を載せており、これが呉市独特の景観を創出している。今回の地震では、この急傾斜地における擁壁や斜面崩壊は 218 箇所にも上った<sup>2)</sup>。

## (2) 呉市の地形と地質<sup>3)</sup>

呉市の地形は、前面を海に背後三方を山に囲まれたすり鉢状になっている。急傾斜山地が海岸線まで張り出しており、平野が少ない街である。このため呉市は、「坂のまち」や「斜面のまち」と呼ばれている。

平野部は、呉市街地と二河川、境川に沿った地域に見られる。呉市中心部の市街地の平野（呉平野）はやや大きく、灰ヶ峰など 400～700m の山塊に囲まれ、山麓緩斜面、扇状地、三角州からなっている。この平野は、明治以降の急速な開発により、干拓あるいは埋め立てによって、人工的に造られた土地であり、自然の平野は極めて僅かである。呉市街地では、山麓緩斜面が尾根状に残存し、谷底平野が二河川に沿った地域に樹枝状に入り込む分布パターンが認められている。これらの谷底平野は、比較的傾斜が急であり、3°～8° 程度の傾斜を持ち、花崗岩地域特有の浅い盆状の横断形を呈する場合が多い。また、この地域の干拓地は他の地域の干拓地と比較してやや標高が高い。これより、山地から搬出した土砂による盛土が相当であると推測される。

山麓部は呉市街地北側の灰ヶ峰（737m）、東側の休山（500m）などに見られる。前者は主に流紋岩よりなり、後者は主に花崗岩よりなる中起伏山地である。また灰ヶ峰の南東側は、呉市街地に面した山麓緩斜面が発達している。同様に、休山西麓にも開析の進んだ山麓緩斜面が発達している。また東麓にも小規模ながら山麓緩斜面が発達している。この辺りは、1945 年（昭和 20 年）の枕崎台風や 1967 年（昭和 42 年）の梅雨末期の集中豪雨の際に斜面崩壊・土石流が多発し、数多くの被害を出した地域である。

## (3) 宅地開発の歴史

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-2 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<sup>4)</sup>。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代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<sup>5)</sup>。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）になると約 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<sup>2)</sup>。

また呉市は、過去において斜面崩壊・土石流などの山地災害を頻繁に被ってきた。前述した、1945 年（昭和 20 年）9 月の枕崎台風、1967 年（昭和 42 年）7 月の梅雨末期の集中豪雨の際には斜面崩壊、土石流が発生し、それぞれ 1,154 名、88 名の犠牲者を出している。また地震被害としては、1905 年（明治 38 年）に安芸灘地震が発生しているが、軍事的拠点であったため被害の詳細は不明である。

## 4. 宅地被害の分析

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。主な検討項目は、被害宅地の地形、宅地地盤の土工（切土・盛土）、傾斜角、表層土質、造成年代である。

### (1) 被害宅地の地形

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）、平地、に集中していることが分かる。図-3～6 は、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（縮尺 1：25,000）に、中心

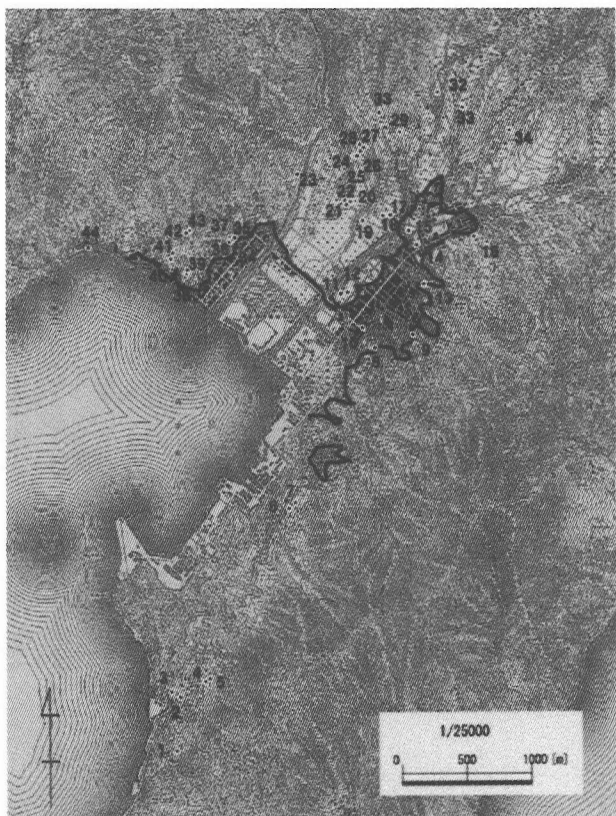


図-3 1899年の呉市中心部と被害宅地箇所



図-4 1925年の呉市中心部と被害宅地箇所



図-5 1947年呉市中心部と被害宅地箇所

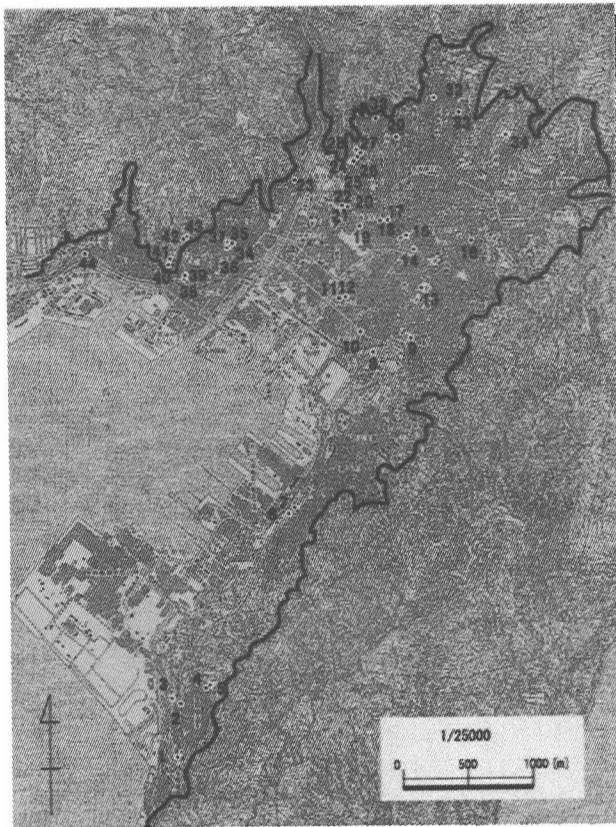


図-6 1992年呉市中心部と被害宅地箇所

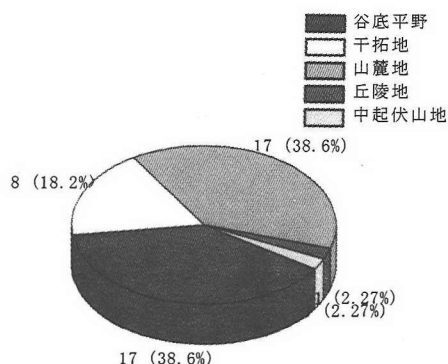


図-7 擁壁被害箇所の現在の地形 (44箇所)

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、市街地の広がりを見せる太線で示したものである。なお、現在の地形図は図-6の1992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-6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-6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-3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-6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-3~6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-6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、田として土地利用されていた。

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地盤改良していたことが分かる。

さらに44箇所の各被害箇所の現在の地形を、地形分類図を用いて、もう少し詳細に調べる。図-7は、44箇所について地形分類図によって分類したものである。同図によると、最も多かったのが谷底平野と山麓地でそれぞれ17箇所であり、約4割ずつであった。つぎに多かったのが8箇所の干拓地であった。谷底平野に被害が多かった理由としては、谷地形に崖層が堆積したことにより、安定上好ましくなかったことや、谷地形に盛土して平坦地にしたためと考えられる。山麓地に関しては、17箇所のうち10箇所は現在の地形が尾根地形である地域に建てられている宅地擁壁の被害であった。山麓地の中には谷での被害は見られなかった。この原因として尾根地形ではその地形効果により地震動が増幅し、表層での揺れが

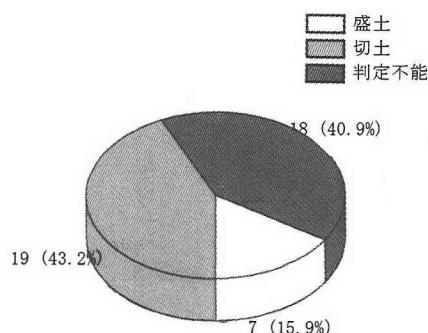


図-8 切土・盛土地盤ごとの擁壁被害発生箇所数 (44箇所)

大きかったことが考えられる。1993年(平成5年)釧路沖地震における北海道奥尻島奥尻地区での被害や、1995(平成7年)年兵庫県南部地震における六甲山での被害でも同様な地形において被害が生じている<sup>6)</sup>。

干拓地で被害が生じた理由としては、この地域には比較的軟弱な層が堆積しており、表層付近で地震波が増幅した事が考えられる。この付近は主に中心市街地であるが、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、田や果樹園であり、もとは宅地としては不向きな土地であったことが分かる。そのような土地に人工的な地盤改良を繰り返し、宅地開発されたことが考えられる。

## (2) 被害宅地と切土・盛土の関係

被害宅地地盤が切土・盛土のいずれによるものであるかを図-8に示す。切土地盤であるか盛土地盤であるかが判定できなかった箇所が17箇所あるが、擁壁被害44箇所中40%を超える19箇所の擁壁被害が切土地盤で発生していることがわかる。一方、盛土地盤での擁壁被害箇所数は10箇所であり、今回の地震では盛土地盤よりも切土地盤における被害が多かった。これに対して、1978年(昭和53年)宮城県沖地震や1995年(平成7年)兵庫県南部地震では、盛土地盤の被害が圧倒的に多かったことが報告されている<sup>7)</sup>。切土地盤と判定したところに関して、原地形との関係について見ると、原地形が尾根地形であった8箇所のうち7箇所において、1899年(明治32年)に比べると1992年(平成4年)では標高が低くなっていた。すなわち、原地形が尾根地形であった所を切土したため地表面の花崗岩が風化した斜面に被害が多かったと考えられる。また盛土地盤の被害は、原地形が谷地形あるいは田であり、現在の地形が山麓部または谷地形であった。なお、地図上の標高の高低差が見られない地点については、この様な観点からの現地調査を行っていないため、考察することができなかった。

## (3) 被害宅地の傾斜角

つぎに、擁壁被害と傾斜角の関係について述べる。図-9は、傾斜区分図を用いて擁壁被害44箇所を傾斜角によって分類したものである。平均傾斜角8°以上を斜面部と定義すると、同図より8°以上の斜面部における被害が全体の3割に上った。すなわち、宅地被害の多くは地形の急峻な難段造成の急傾斜地に生じていたことを示している。既に述べたように、呉市は斜面のまちである。中央地区の斜面部人口の全人口に占める割合は、1943年



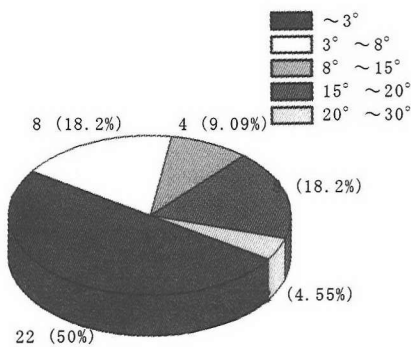


図-9 傾斜角と被害宅地箇所の関係 (44箇所)

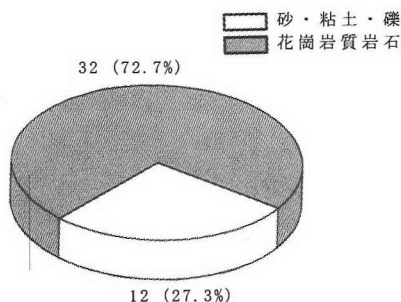


図-10 表層地質と被害宅地箇所との関係 (44箇所)

(昭和 18 年) 以降 2000 年 (平成 12 年) に至るまで、42%で推移している<sup>2)</sup>。このことより、今回急傾斜地に被害が多かったのは、急傾斜地に宅地そのものが多かったためとも考えられる。

#### (4) 被害宅地との地質

図-10 は表層地質区分図から表層地質と宅地被害との関係を示したものである。同図によると、7 割以上が広島花崗岩と呼ばれる花崗岩質岩石で被害が発生している。また、図-11 はこの 32 箇所の表層地質である花崗岩質岩石の風化深度を表している。同図によると、全て風化深度が 3m 以上でありこの地域の風化層は比較的厚いことが分かる。この広島型花崗岩は、呉市を中心とする地域、特に灰が峰、休山などの周辺の山に広く分布している。この広島型花崗岩は深層風化が著しく、斜面にその風化土であるマサ土が厚く分布している。

また残り 3 割の砂・礫・粘土は、中心市街地の干拓地や谷底平野に見られる。この辺りの地質はところによって玉石交じりの砂が卓越する地域も見られる。また、沖積層の厚さは約 20~23m である<sup>3)</sup>。呉市中心部は比較的軟弱な層が堆積しているが、山腹に近づくほどその軟弱な層は急激に減少していく。この軟弱層が薄くなっていく地域は、前述した斜面または山麓地域に相当しており、擁壁被害が多く見られた。

#### (5) 被害宅地の造成年代

図-3~6 に示した地形図より被害宅地の造成年代を調査した結果を図-12 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

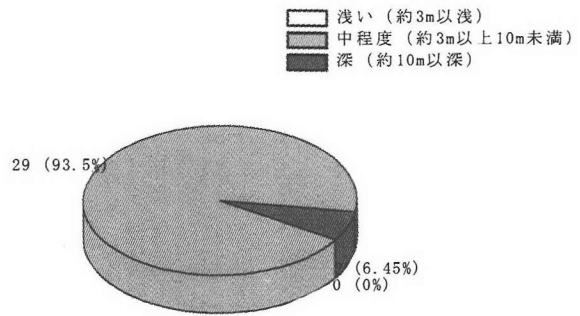


図-11 風化深度と被害宅地箇所の関係 (32箇所)

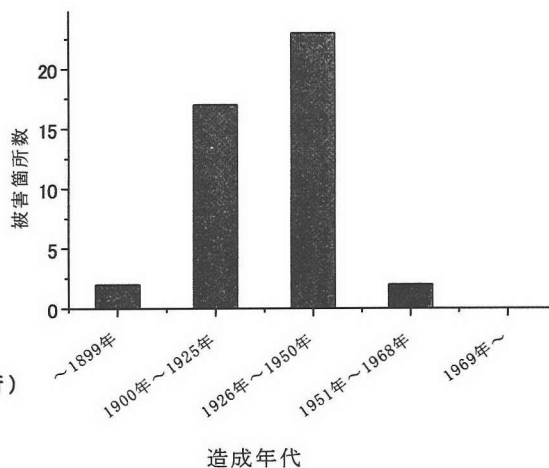


図-12 造成年代と被害宅地箇所の関係 (44箇所)

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) に施行された宅造法よりも以前に造られた宅地である。

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-12 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が激減している。

#### (6) 被害擁壁の高さと勾配の関係

図-13 は被害 14 箇所のうち資料が得られている 9 箇所の空石積み擁壁について、その勾配を横軸に高さを縦軸にとり、その関係を図示したものである。同図の丸印は、1962 年 (昭和 37 年) に制定された宅造法における練り

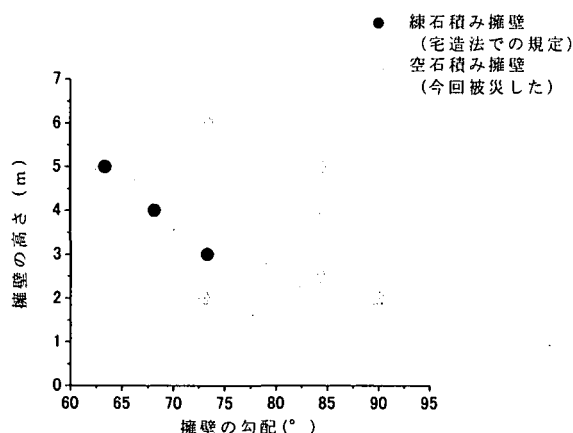


図 - 13 擁壁の勾配と高さの関係 (9箇所)

石積み擁壁の基準である。宅造法では、原則として 5m 以下の練り石積み擁壁の設置は認められているが、空石積み擁壁の設置は認められておらず、今回被災した擁壁は技術基準<sup>8)</sup>を満たしていない。また同図より、今回被災した擁壁の中には 5m を超える高い空石積み擁壁の被害も見られた。また同図において、練り石積み擁壁の勾配の限度は、5m では約 63°、4m では約 68°、3m では約 73°であるが、被災したものの多くはそれよりもかなり急な勾配である空石積み擁壁であった。すなわち、被災した空石積み擁壁は宅造法以前にできた既存不適格なものであったことが明らかとなった。また、宅造法の技術基準に基づいて設置されていない宅地擁壁は、転倒及び滑動に対して十分な安定性を有しておらず、宅地の危険性が高いことも確認できた。

## 5. まとめ

本研究では、2001 年 (平成 13 年) 芸予地震における呉市の宅地擁壁被害の概要を述べ、被害宅地の分布とその立地条件を様々な角度から検討を行ってきた。この結果、擁壁被害発生について以下のようなことが分かった。

呉市内の宅地の多くは、各年代における地形図より、1972 年 (昭和 47 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、この技術基準を満足していないと考えられる。また、被害を受けた擁壁は既存不適格の老朽化した空石積み擁壁に多かった。

擁壁被害は 1992 年 (平成 4 年) 発行の地形図より主に「急斜面または山麓地」と「平地」に生じていた。

「急斜面または山麓地」における被害箇所の原地形は、主に尾根地形と谷地形であった。現在よりも標高が高く

急斜面の尾根地形を切土し、宅地造成が行なわれたと考えられる。また急斜面には広島型花崗岩が広く分布しており、擁壁に水抜き工が設置されていないことが相まって風化が進行し、地盤支持力が低下したと考えられる。

「平地」は早い段階に宅地造成が行なわれた干拓地と谷底平野に被害が多く見られた。この地域の原地形は、田や果樹園などに利用されており、宅地として不向きな土地を人工的に地盤改変していた。また既存不適格な老朽化した擁壁に被害が生じていたと考えられる。

以上より、宅地被害においても建物と同様に既存不適格なものに対する補修、補強が早急に必要であることが明らかとなった。また、既存不適格宅地を明らかにするために、旧版地形図を活用することが有効であることが示唆された。

## 謝辞

調査にご協力いただきました呉市役所の関係各位、呉市民の皆様には厚くお礼申し上げます。また、本調査が (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) 西範大：呉市の地震動特性に関する研究，神戸大学，2001. 12.
- 2) 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.
- 3) 国土調査 広島県：土地分類基本調査 呉 5 万分の 1，pp. 19～37，1986.
- 4) 広島県ホームページ：  
<http://db1.pref.hiroshima.jp/data/FigureOfTown/toshi/html/toshi02-a/toshi02-a.html>
- 5) 呉市ホームページ：  
[http://www.hiroshimadas.or.jp/kure/mitokure/mito07\\_01.html](http://www.hiroshimadas.or.jp/kure/mitokure/mito07_01.html)
- 6) 落合広貴，三森利昭，北原曜：兵庫県南部地震による斜面崩壊事例と地形効果の検討，地震時の斜面の不安定化メカニズムと設計法に関するシンポジウム，(社) 地盤工学会，p. 19，1999. 4.
- 7) 中山学，西勝，吉田信之，藤村等，南部光弘：盛土斜面の地震時挙動に関する一考察，地震時の斜面の不安定化メカニズムと設計法に関するシンポジウム，(社) 地盤工学会，p. 57，1999. 4.
- 8) 宅地防災研究会：「宅地防災マニュアル」(改定)，p. 322，p. 349，1998. 2.