

2009 年 8 月 11 日駿河湾地震の被害分布の特徴と地形・地質との関連¹⁾

柴 正博²⁾・増田 祐輝³⁾・柴 博志³⁾・駿河湾地震被害調査グループ⁴⁾

The Characteristic of the Damage Distribution of August 11, 2009 Suruga Bay Earthquake and the Relation to Topography and Geology¹⁾

Masahiro SHIBA, Yuki MASUDA, Hiroshi SHIBA
and the Research Group of the Damage of Suruga Bay Earthquake

Abstract

This paper presents the result the investigation of the locations of the damage, roofs tile and graveyards, and slope failures caused to by the August 11, 2009 Suruga Bay Earthquake, in the area from Shizuoka City to Makinohara City.

In Shizuoka City, the damage was mostly concentrated in the southwest foot of the Udo Hill and along the old load of Highway 150 from Ago to Nishijima, and was also scattered in the city area. In Yaizu City, the damage was distributed along the coast from Hon-Machi to Ogawa-Shinmachi and from Ishizu to Tajiri-Kita, and was observed along the Tochiyama River and in Munetaka, Fujimori, Nakajima, Riuemon. In Yoshida Town and Shimada City, the damage was observed in the area along the Oi River, specifically from the mouth of the river to the hill foot. In Makinohara City, the damage was concentrated along the old road of Highway 150 and the hill foot.

Although the affected region mostly continued in the direction of northeast-southwest along the western coast of the Suruga Bay, the damage distribution was concentrated in many small zones in this area. The damage, which was distributed along the seashore and on the fan of the Abe and Oi River, overlaps with distribution of the old sand dunes and the old levees of river. Other damage was concentrated on the hill foot.

The distribution of the aftershock of this earthquake is closely connected with the geological structure of the western coast of Suruga Bay, especially the basal deep fault system of the NE-SW and NW-SE strikes.

¹⁾ 東海大学自然史博物館研究業績 No. 69

Contributions from the Natural History Museum, Tokai University, No. 69

²⁾ 東海大学社会教育センター, 424-8620, 静岡県静岡市清水区三保 2389

Social Education Center, Tokai University, 2389, Miho, Shimizu-ku, Shizuoka, Shizuoka, 424-8620, Japan

³⁾ 東海大学海洋学部, 424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1

School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1, Orido, Shimizu-ku, Shizuoka, Shizuoka, 424-8610, Japan

⁴⁾ 市川翔大・伊東麦穂・大迫崇史・岡田陽介・高木克将・東 武宏・吉本正教

東海大学海洋学部, 424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1

Syota ICHIKAWA, Mugiho ITO, Takashi OHSAKO, Yosuke OKADA, Katsumasa TAKAGI, Takehiro HIGASHI and Masanori YOSHIMOTO

School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1, Orido, Shimizu-ku, Shizuoka, Shizuoka, 424-8610, Japan

はじめに

2009年8月11日、午前5時7分に静岡市の南側の駿河湾北西部を震源とする地震が起こった。この地震の震央は、北緯34度47.1分 東経138度29.9分で、深さ23km、地震の規模はマグニチュード6.5であった（気象庁、2009a）。この地震の最大震度は6弱で、静岡県伊豆市、焼津市、牧之原市、御前崎市で記録され、震源に最も近い静岡市では震度5強であった。また、この地震により津波が観測され、観測された津波の最大の高さは御前崎で36cmであった（東京管区气象台、2009）。この地震の発震機構解（初動解、暫定）は、北北東-南南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型とされた（気象庁地震津波監視課、2009）。

静岡県中部、特に静岡市周辺地域では日常感じる地震はほとんどなく、静岡市に住む私たちにとって年に数回、伊豆半島やより遠方での地震で震度3以下の揺れを感じることはあるが、今回のような大きな地震動を感じたことはこれまでになかった。総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会（1999）によれば、静岡県内での震度6の地震動の記録はこれまでなく、1944年に起こった東南海地震で静岡県南西部に震度6が推定されているという。この推定値が正しいとすれば、今回の地震は静岡県民が65年ぶりに体験した震度6の大地震だったといえる。

2009年8月11日の地震は、静岡市内で体験した筆者らには、ドンという突き上げの直後に短い振幅のほぼ東西方向の横揺れが5～7秒ほど続いたように感じた。この地震では、震源に最も近い静岡市よりも、震源から遠い伊豆市、焼津市、牧之原市、御前崎市で震度が大きく、それらの地域では被害も大きかった。しかし、今回の地震では、死者が1名だけで、幸いにも家屋倒壊や火災などの被害が全くなかった。

家屋の被害については、家具の転倒やガラスの破損、壁や瓦屋根の損傷などが多く、それらは最大震度6弱を記録した各市の特に限られた地域に集中した。それ以外の地域では、瓦屋根の損傷がところにより見られたが家具の転倒などほとんどなく、被害の程度はそれほど大きくなかった。

筆者らは、おもに地震が起こった2週間後の8月25日～9月8日まで間に、静岡市と焼津市、藤枝市、島田市、吉田町、牧之原市で地震被害について

の調査を行った。調査では、今回の地震被害の特徴だった瓦屋根が損傷した被害を主体に、墓石などの破損や転倒、山の崖崩れなどについて、それら被害箇所の位置を記載した。本稿では、筆者らの調査によって明らかになった、被害分布を報告し、今回の地震による被害と地形・地質との関係について考察する。

なお、この地震の名称については、地震の規模が気象庁の定める命名基準を満たさなかったため、正式名称がなく、「静岡沖地震」、「静岡地震」、「駿河湾地震」などさまざまな名称で呼ばれたが、本稿では東京管区气象台（2009）にしたがい、この地震を「2009年8月11日駿河湾地震」と称する。

2009年8月11日駿河湾地震の震源と余震域

この地震の震源分布を Fig. 1 に示す。震源のデータは防災科学研究所から入手した気象庁一元化データで、8月11日5時7分～8月13日までの地震の震央を地形図にプロファイルした。海底地形については、100m 等深線を入れてある。

本震の震央の位置は駿河湾石花海北堆の北西麓にあり、余震域は藤枝市付近の小規模なものを除いて、焼津市高草山（大崩海岸）の南東から石花海北堆の北端との間の、北西-南東方向の長辺と北東-南東方向の短辺によって囲まれたほぼ長方形の範囲に限られる。この範囲は、海底で見ると石花海海盆の北部にあたり、駿河湾中央水道（駿河トラフ）への水道入口から大崩海岸または安倍川河口へ向かう大陸斜面にあたる。

Fig. 2 は震源分布を東西断面に投影したもので、Fig. 3 は震源分布を北西方向から伏角30度で見たものである。Fig. 2 と Fig. 3 の震源データはやはり気象庁一元化データで、8月11日5時7分～24日までのものである。Figs. 1～3の作成には、山形大学地域教育文化学部の川辺孝幸教授による Scat3D プログラムを使用した。

この地震の余震を含めた震源は深さ18～24kmの間に集中し、それから離れて西側に深さ8kmまで垂直に分布する小規模なものもある。また、震源分布には北西-南東方向で東に傾く面とほぼ東西方向で南に傾く2つの面が認められる。この2つの面については、8月21日の地震予知連絡会で後者が北東-南西方向と報告され、気象庁地震予知情報課

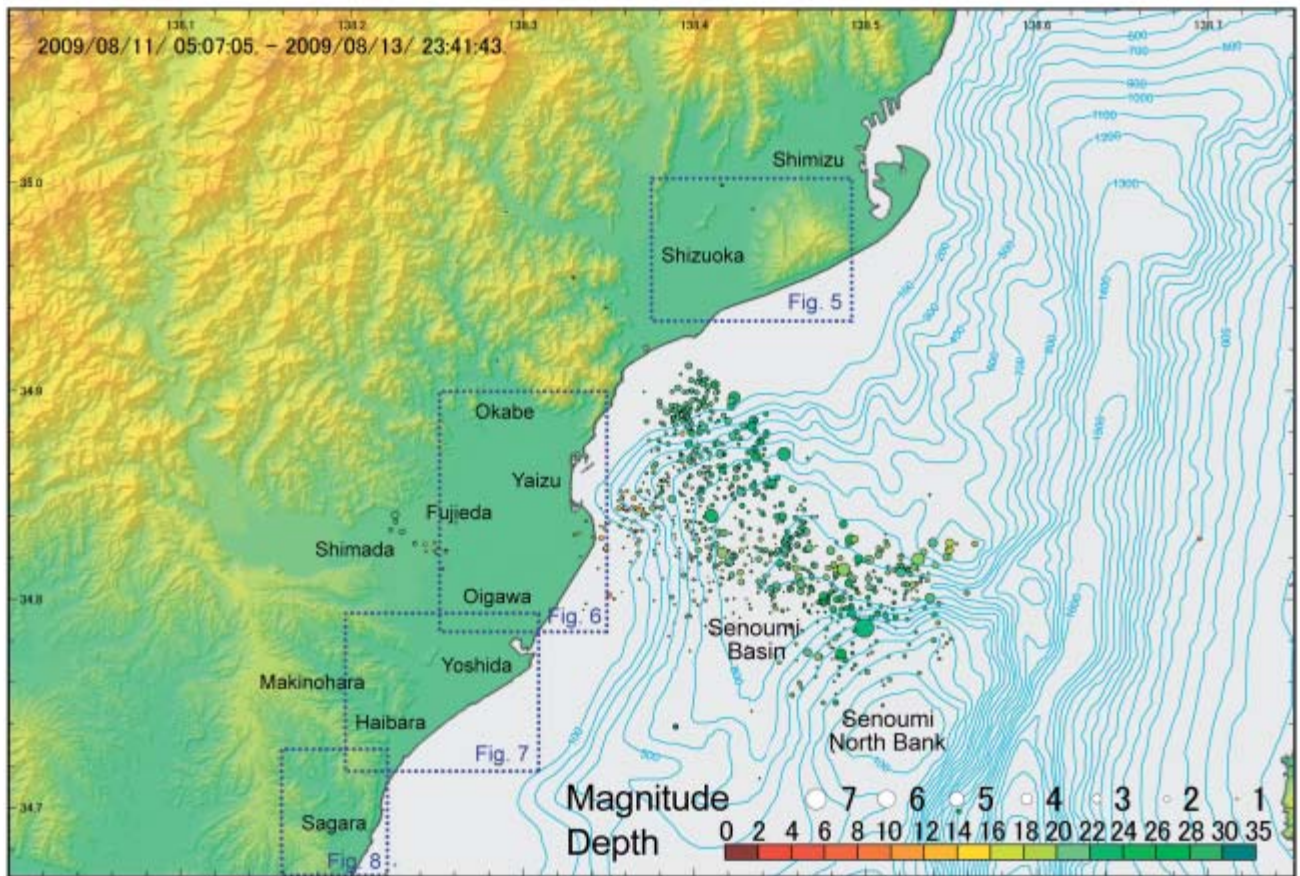


Fig. 1 The epicenter distribution of the main shock and its aftershocks of August 11, 2009 Suruga Bay earthquake. The areas bound by dotted blue lines represent the location of Figs. 5, 6, 7, and 8.

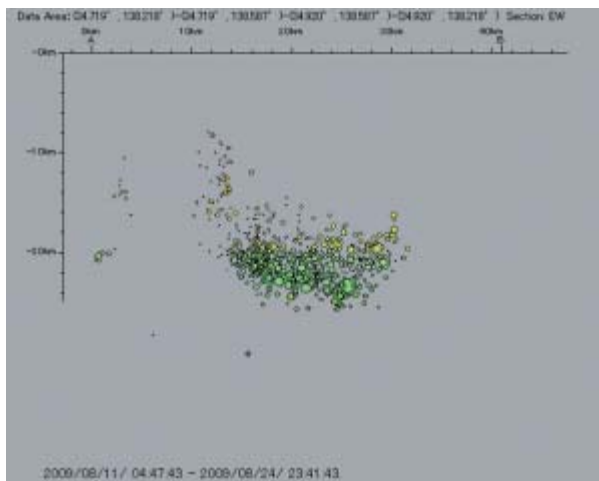


Fig. 2 The projection of hypocenters of Fig. 1 on the east-west cross section.

によれば「2つの断層面は同時に動き、マグニチュード6.5というひとつのエネルギーになった」とした（静岡新聞，2009年8月22日）。

しかし、国土地理院（2009a）は、東西走向で南に傾く断層面Ⅰが左横ずれ成分を伴って逆断層的に動き（すべり量約39cm）、北西-南東走向で北東に傾く断層面Ⅱが右横ずれ成分を伴って逆断層的に動

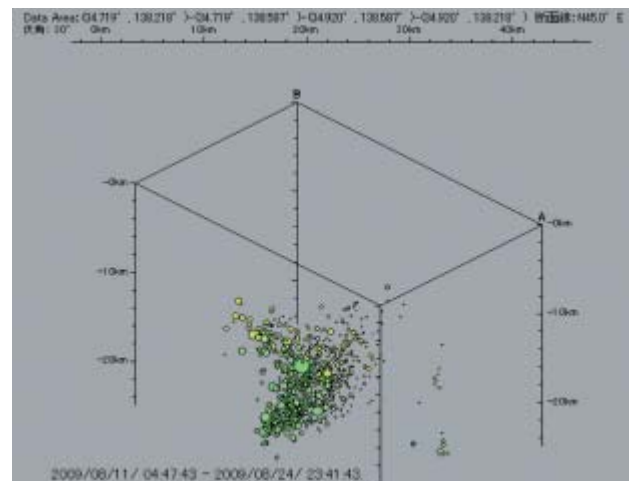


Fig. 3 The projection of hypocenters of Fig. 1 on the northwest cross section above 30 degrees.

いた（すべり量約62cm）と推定した。また、国土地理院（2009b）は、断層の形状を長方形とみなして、断層の向きをほぼ北西-南東方向で長さ約17km、幅約6km、上端部の深さが約18kmの南西から北東に傾く逆断層（傾斜角約 38° ）とし、北東側の地塊が南西側に対してやや南東向きの横ずれ成分をもってすべり量約0.8mで乗り上げたと推定した。

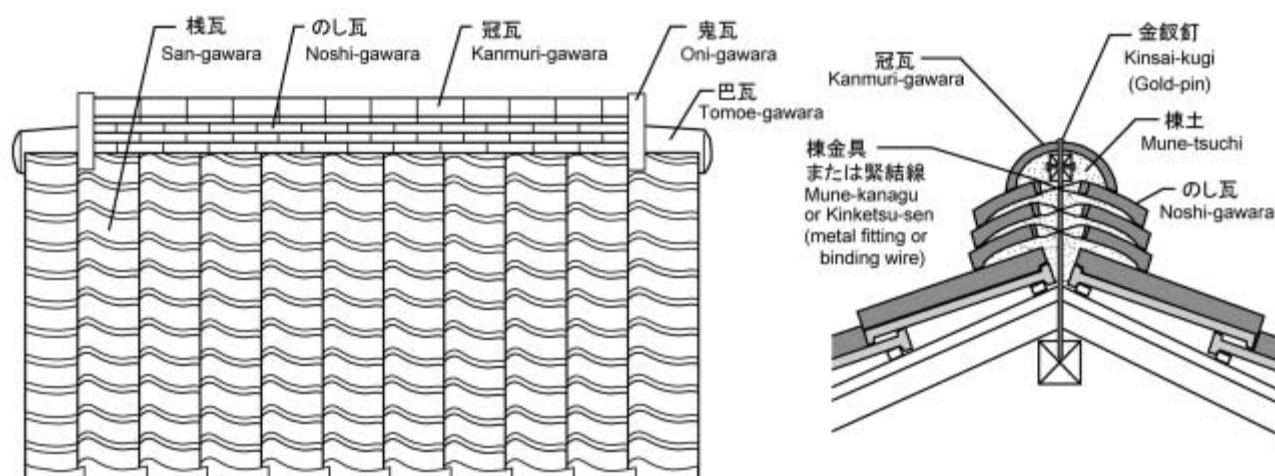


Fig. 4 The structure of a tiled roof and the name of each tile.

今回の地震は東海地震の予想震源域の中で発生したため、当初より東海地震との関連性が取り沙汰された。しかし、2009年8月11日に招集された気象庁の地震防災対策強化地域判定会委員打ち合わせ会では、東海地震がユーラシアプレートとフィリピン海プレートとの境界で発生するプレート間地震である一方、今回の駿河湾地震の震源はフィリピン海プレートの内部であり、駿河湾に沈み込む同プレートで起きたスラブ内地震と推定されること、地震の規模が推定される東海地震はM8.0前後であり大きく異なることなどから、東海地震とは異なるものと判断された（気象庁，2009b）。

なお、国土地理院（2009c）は、電子基準点（GPS連続観測点）の水平変動が、電子基準点「焼津 A」（焼津市）で西方向へ約 2cm、「P 焼津」（焼津市）で西北西方向へ約 1cm、「M 高洲」（藤枝市）で西北西方向へ約 1cm だったと報告している。また、地震波の特徴と被害の関係について、東大総合防災情報センターは、この地震の地表での波形が 0.3 ～ 0.5 秒の短い周期であったために、周期が 1 ～ 2 秒の「キラーパルス」と異なり家屋全壊などの大きな被害に至らなかったと発表している（静岡新聞，2009 年 8 月 15 日）。

被害調査期間と調査方法

本稿で述べる地震被害調査は、8 月 25 日から 9 月 8 日までの 17 日間のうち各地域で数日～10 日間行った。調査開始が地震発生後 2 週間経過したために、地震直後の被害の様子など詳細な情報を収集することが困難だった。そのため、本被害調査はどの

ような被害がどのような場所に起こったかを、広域にわたってその概要を調べることとした。特に、今回の地震被害の特徴だった家屋の瓦屋根の被害については、2 週間後であっても修復されたところは少なく、ほとんどの被害家屋の屋根がブルーシートなどで覆われていた。そのため、屋根瓦の破損の程度についての詳細な被害状況を知ることが困難な場合もあったが、被害を受けた家屋を発見することは、ブルーシートなどで覆われた屋根を目印にすることで容易にできた。

調査は、実際に被害地域を隈なく巡回して、家屋の瓦屋根の被害または建物や墓石などの構造物の破損などがあった箇所を発見し、その位置を 25,000 分の 1 地形図にプロットし、その被害状況を写真撮影した。瓦屋根の被害のほとんどは、屋根の頂部にあたる棟部の「冠瓦」や「のし瓦」（Fig. 4）の破損や落下であり、ときに「鬼瓦」や「巴瓦」もそれに含まれた。

静岡市内については、筆者のうち柴 博志が自転車と徒歩で巡回して調査を行った。焼津市と藤枝市、島田市、吉田町については、増田祐輝が自転車と徒歩で巡回して調査を行った。牧之原市については、柴 正博と駿河湾地震被害調査グループによって、自動車と徒歩で巡回して調査を行った。

地震の被害

この地震での被害は、最大震度 6 弱だった伊豆市、焼津市、牧之原市、御前崎市で大きかったが、本稿では調査範囲とした静岡市、焼津市、藤枝市、島田市、吉田町、牧之原市について報告する。

Figs. 5, 6, 7, 8 は、25,000 分の 1 地形図に、各調査地域での瓦屋根と墓石などの被害および崖崩れの位置を示し、さらに海拔 0～50m までを 1m または 2m でそれ以上の海拔は 10m のコンタで描いた等高線図を重ねてある。Fig. 5 は静岡市地域、Fig. 6 は焼津市と藤枝市地域、Fig. 7 は吉田町と牧之原市の旧榛原町地域および島田市の一部、Fig. 8 は牧之原市の旧相良町地域にあたる。25,000 分の 1 地形図は国土地理院発行の「静岡東部」、「焼津」、「島田」、「住吉」、「相良」を使用した。等高線は、国土地理院の基盤地図情報 10m メッシュ（標高）「相良」、「島田」、「住吉」、「向谷」、「焼津」、「伊久美」、「静岡西部」、「静岡東部」、「牛妻」、「清水」および「興津」を使用し、Golden Software 社の Surfer 9 によって平均化して描画したものを使用した。Fig. 8 の旧相良町地域は 2m コンタの等高線図を示したが、他は 1m コンタの等高線図で示した。

1. 静岡市

静岡市では死者が 1 名あったが、家屋には大きな被害がほとんどなく、調査の主体となった瓦屋根の被害は、以下の地域で見られた (Fig. 5)。有度丘陵南西麓の海岸沿いの安居から西平松にかけての国道 150 線の旧道沿い、その西側の延長にあたる高松から西島にかけて、有度丘陵西麓の大谷付近と大谷街道沿い、有度丘陵北麓では草薙から船越にかけて、静岡市街地域では富士見台から有東付近と静岡地方気象台のある曲金、その北側の谷津山周辺の柚木や長沼、八幡山の北側の黒と八幡、市街地では駿府城周辺の鷹匠と西草深、その北側の賤機山東麓の大岩、市街地南部では大浜街道沿いの馬淵。

崖崩れは、静岡市の有度丘陵南西麓の中平松から久能山北側の根古屋の奥にかけて (Fig. 9-1) と用宗の南側の大崩海岸で見られた。有度丘陵南西麓では、中平松から根古屋の奥にかけて北東-南西方向に連続し、それより東側では見られなかった。また、墓石の転倒など構造物の損傷被害は有度丘陵南西麓の西平松怡泉寺 (Fig. 9-2) と谷津山周辺の柚木や長沼の寺と沓谷の愛宕霊園で見られた。市街地の中心にある駿府城跡では、城壁の石垣が 3 箇所で崩れた (Fig. 9-3)。この石垣の崩落箇所について、小長井ほか (2009) は事前に石垣のはらみ出しが特に目立った箇所だったことを指摘している。

2. 焼津市と藤枝市

焼津市における瓦屋根の被害は、海岸沿いの本町から小川新町 (Fig. 9-4) と石津から田尻北の地域に集中し、田尻から栃山川沿いに点在し、南部の旧大井川町では海岸に沿って吉永などに点在し、その北から西側の藤守から宗高と中島から利右衛門にかけての広い範囲で被害が集中する島状の分布がみられた (Fig. 6)。また、山地側の藤枝市藤枝や天王町、岡部町などでも多くはないが被害が見られた。

瓦屋根の被害以外のものとして、田尻北では墓石が、焼津の焼津神社では灯籠が転倒し、藤守にある大井川八幡では鳥居の上部の「島木」と「笠木」および「貫」が破損し落下した (Fig. 9-5)。崖崩れは大崩海岸の小浜と花沢で見られた。また、アイデンほか (2009) は、焼津港では岸壁が傾斜し沈下および水平移動する被害があり、焼津港埋立地では液状化にともなう被害があったことを報告している。

3. 吉田町と島田市

吉田町の瓦屋根の被害は、大井川河口西側の川尻と住吉に集中域が見られ、その北側の丘陵麓にあたる片岡とその北側の神戸から大幡、島田市南原、井口、中河にかけて被害が点在した (Fig. 7)。それ以外の被害として、安田 (2009) は、住吉で液状化のために下水道のマンホールの浮き上がりや地盤沈下などを報告している。

4. 牧之原市

牧之原市では、瓦屋根の被害だけでなく、家屋の被害も大きく、家具の転倒、壁の損傷なども見られた。被害の分布は、海岸沿いの国道 150 線の旧道沿いと、坂口谷川と勝間田川、萩間川流域の丘陵麓部縁辺で被害が集中した (Fig. 7 と Fig. 8)。

国道 150 線の旧道沿いでは、細江から静波にかけてと、その南の片浜から相良、須々木にかけて多数の家屋および瓦屋根被害があり、特に旧相良町では、海岸線に平行する国道 150 線の旧道沿いに萩間川河口から相良、波津、須々木と南南西方向に連続して被害が集中した (Fig. 8)。なお、片浜から萩間川の河口まで国道の西側の丘陵麓部縁辺と河口の左岸に特に被害が見られた。旧榛原町では、それ以外に坂口谷川流域では坂部地域、勝間田川流域左岸である高根山の南麓の仁田から中、勝間にかけて特に大きな被害が集中した。それに対して、右岸の静谷と



Fig. 6 Damage distribution in Yaizu City. The base map is used the 1/25,000 geographical map of Yaizu and Sumiyoshi published by Geographical Survey Institute of Japan. Contour lines are drawn by 1m under 50m high and 10m over 50m, and from the Digital Map 10m Grid (Elevation) of Yaizu, Sumiyoshi, Shimada and Mukuya published by Geographical Survey Institute of Japan.

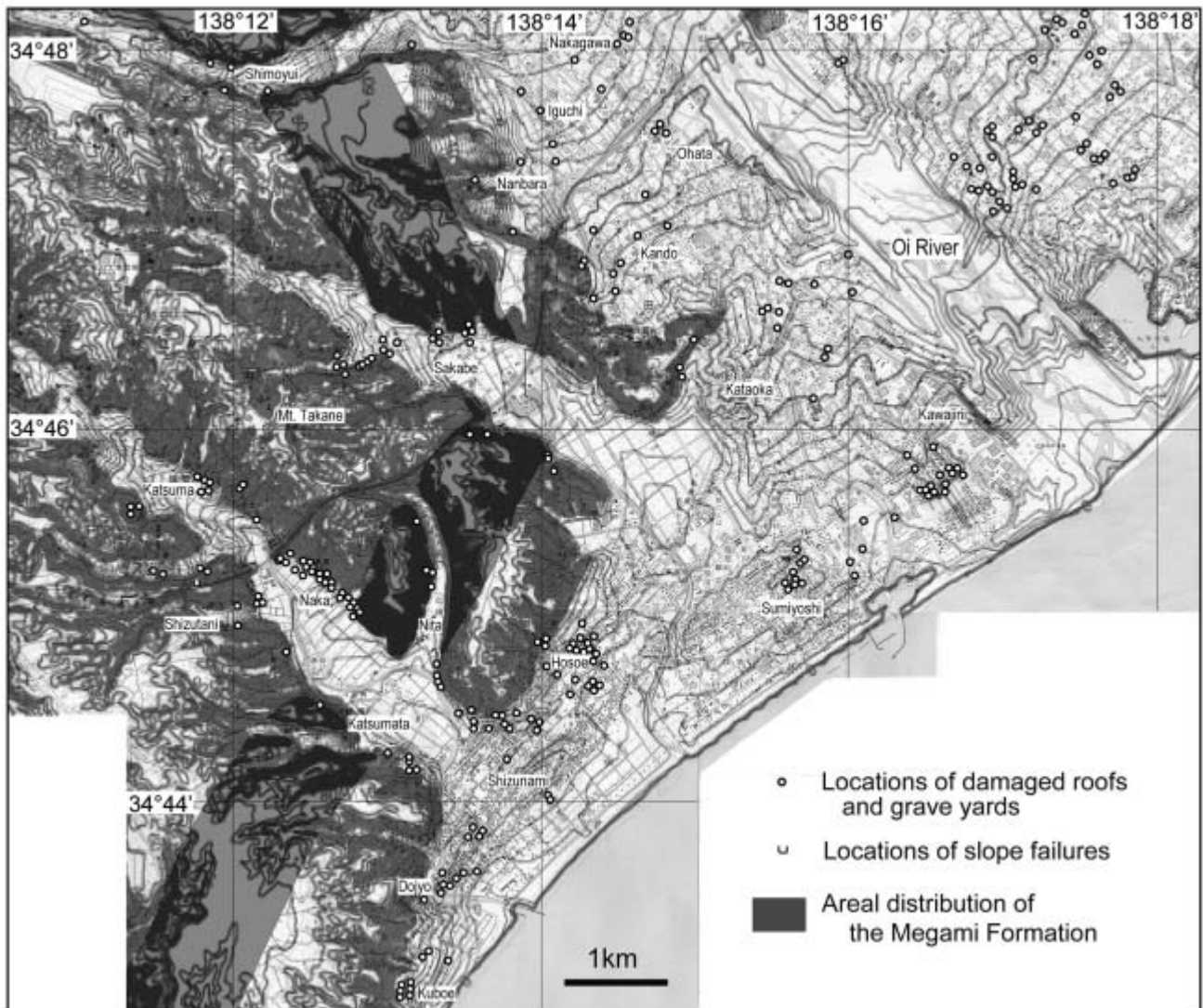


Fig. 7 Damage distribution in Haibara area of Makinohara City, the south of Shimada City and Yoshida Town. The base map is used the 1/25,000 geographical map of Sumiyoshi, Sagara and Shimada published by Geographical Survey Institute of Japan. Contour lines are drawn by 1m under 50m and 10m high over 50m, and from the Digital Map 10m Grid (Elevation) of Sagara, Shimada and Sumiyosi published by Geographical Survey Institute of Japan.

勝俣では被害はあったものの、左岸ほどではなかった。ただし、静谷では東名高速道路ののり面崩落が起った。

旧相良町では、前述した海岸に面した旧国道沿いの被害 (Fig. 9-6) のほかに、旧榛原町と同様に河川流域の丘陵麓部縁辺でも被害が見られた。萩間川河口北側から海老江にかけて (Fig. 9-7) と、相良町中心市街、萩間川流域の男神と女神周辺、菅ヶ谷川流域の西山寺、大寄、白井などでも被害が見られた。大江の平田寺では、瓦屋根の破損以外に建物壁面などに亀裂が入り、墓石の転倒もあった。また、女神では崖崩れがあった (Fig. 9-8)。

安田 (2009) は、相良港で南側岸壁が「く」の字型に変形し、背後の地盤が沈下したことを報告

した。また、青島 (2009) は、須々木で現世砂丘と国道 150 線の間に造成された埋土からなる人工地層の畑で液状化による噴砂が観察されたことを報告している。

地震被害と地形および地質との関係

これまで、今回の地震による静岡市から牧之原市にかけての地域における被害とその分布を述べた。今回の地震による被害には、家具の転倒や瓦屋根などの損傷を含む家屋被害と、墓石や灯籠、鳥居などの破損、崖崩れ、液状化による地盤変形などがあった。家屋被害では、瓦屋根の損傷が特に多く見られた。



Fig. 8 Damage distribution of Sagara area in Makinohara City. The base map is used the 1/25,000 geographical map of Sagara published by Geographical Survey Institute of Japan. Contour lines are drawn by 2m under 50m high and 10m over 50m, and from the Digital Map 10m Grid (Elevation) of Sagara published by Geographical Survey Institute of Japan.

被害の多数を占めた瓦屋根の被害については、屋根棟部の「冠瓦」や「のし瓦」の破損や落下によるものであった。棟部を構成する「冠瓦」や「のし瓦」は「金釵釘」と「棟金具」または「緊結線」によって固定されている（Fig. 4）。瓦屋根の被害は、これらの固定具がはずれまたは切断されたために起こったことから、被害家屋はこれらが破損するほど地震による衝撃を強く受けたと考えられる。

被害を受けた家屋には老朽化したものも含まれるが、被害を受けた家屋がある範囲に集中して分布する傾向が見られることから、被害を受けた範囲が地震のときにより強い地震動に見舞われたと考えられる。

今回の地震被害地域は、駿河湾西岸の海岸線沿いに北東-南西方向にほぼ連続して分布する。しかし、被害集中域を地形的に見ると、それらは大きく分けて、海岸沿いと安倍川および大井川の扇状地平野、

さらに丘陵麓部縁辺の地域に発生した。このような地形と対応して被害集中域が生じる原因、すなわち被害集中域が他と異なって特に強い地震動を受けた原因については、その場所の地形や地質の特徴に関係していると考えられる。したがって、これらの被害集中域とその地形および地質との関連、および駿河湾奥部から西岸地域の広域な地質構造との関連について、1. 海岸沿い、2. 扇状地平野、3. 丘陵麓部縁辺、4. 静谷の東名高速路のり面崩落、5. 余震域と駿河湾の地質構造との関連の5項目に分けて以下に検討する。

1. 海岸沿いの被害

海岸沿いに被害が直線的に集中したのは、静岡市では大谷から西島にかけて国道150号線の旧道沿いに見られた。焼津市では、本町から小川新町までの地域と石津から浜にいたる地域、それと田尻地域と吉永地域に見られた。吉田町では、川尻と住吉に被害の集中する地域が見られ、牧之原市の旧榛原町では細江から静波、道場、久保柄へと国道150号線の旧道沿いに被害集中域が連続した。その南西側の旧相良町の地域では、片浜から須々木にかけて多数の被害家屋が連続的に分布した。

静岡市において、被害が連続した国道150号線の旧道沿いは、海拔5mの等高線で囲まれた東北東-西南西方向の直線的な地形の高まり（Fig. 5）にあたり、この微高地は海岸に沿った古砂礫州およびその上に形成された古砂丘の分布にあたる。焼津市でも同様に、本町から小川新町までの地域と石津から浜にいたる地域、それと田尻地域と吉永地域の被害分布は古砂礫州またはその上の古砂丘の分布と一致する（Fig. 6）。牧之原市の旧榛原町の細江から静波、道場、久保柄へと国道150号線の旧道沿いに連続する被害地域は、一部は丘陵麓部縁辺に含まれるが、北東-南西方向の古砂丘の分布と一致する（Fig. 7）。

牧之原市旧相良町地域でも被害は国道150号線の旧道沿いに連続した。片浜から萩間川河口までは丘陵麓部縁辺に沿って被害が集中し、その南西の相良から須々木にかけての被害地域は古砂丘の分布と一致する（Fig. 8）。Fig. 10に旧相良町地域の海岸から萩間川に至る北西-南東方向（Fig. 8のA-B）の地形断面図を示す。被害は最も海側の現在の砂丘列ではなく、その西側に2列ある古砂丘の、特にそれらの麓部に建つ家屋に集中した。



Fig. 9 Photographs of damage. 1: Slope failures of the Udo Hill at Furuyado in Shizuoka City, 2: Broken grave-stone at Nishihiramatsu in Shizuoka City, 3: Collapse of the masonry wall at Sunpu Castle in Shizuoka City, 4: Damage to roofs at Jonokoshi in Yaizu City, 5: Breakage of a stone gate at the Oigawa Hachiman Shrine in Yaizu City, 6: Damage to roofs in front of Sagara branch office in Makinohara City, 7: Damage to roofs at hill foot along the Hagima river in Makinohara City, 8: Slop failures in Mt. Megami in Makinohara City.

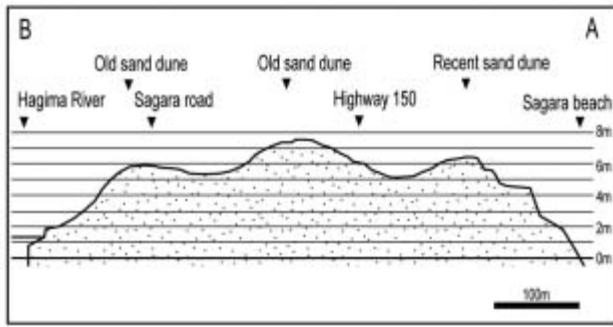


Fig. 10 Geographical section of Sagara area in Makinohara City. Locality of the section is shown in Fig. 8.

これまでの多くの地震被害では、一般に強く締まった古砂丘の地盤よりその内側の軟弱な沖積低地に大きな被害が発生した。しかし、今回の地震ではその反対の現象が見られ、軟弱な沖積低地には被害がほとんど見られなかった。これは、東大総合防災情報センターが発表したように、今回の地震が軟弱な沖積低地を大きく揺らす1～2秒の周期の地震動ではなく、0.3～0.5秒の短い周期であったために、家屋が大きくゆっくりと揺り動かされることがほとんどなく、家屋の倒壊や大きな損傷がなかったと思われる。そのかわり、むしろ強く締まった古砂礫州または古砂丘のような地盤の方が地震動の減衰がなく、家屋に短い周期の強い衝撃を与えたと考えられる。

2000年鳥取県西部地震の木造家屋被害を調査した松波ほか(2003)によれば、被害を受けた木造家屋の一次固有振動数はおおむね3～5Hzの範囲にあり、その固有振動数にほぼ一致する2～5Hz帯域の地震動増幅度の違いにより被害レベルの地域差が生じたとした。2～5Hzとは、地震動の周期が0.2～0.5秒であり、本地震における地震動の周期と同様で、この周期は一般の木造家屋の固有振動数にほぼ一致する。したがって、本地震の地震動は強く締まった古砂丘の地盤では減衰が少なく伝播し、被害集中域ではさらに2～5Hz帯域の地震動増幅度がなんらかの原因で他よりも大きくなったために、木造家屋を強く揺らして瓦屋根などに大きな損傷を与えたと考えられる。

なお、焼津港や相良港、また御前崎港などの埋立地(アイダンほか, 2009; 安田ほか, 2009)や現世砂丘内側の造成地(青島, 2009)などでは液状化現象が観察された。本地震における液状化現象は、海岸付近の埋立地と造成地でのみ観察され、これは埋立や土壌改良により不均質で水分を含む埋立砂層

が強振動を受けて剪断応力が減少して発生したものと考えられる。

2. 扇状地平野の被害

静岡市では、海岸地域と丘陵麓部縁辺以外の平野部でも被害がみられた。また、焼津市でも旧大井川町に相当する南部の藤守から宗高と中島から利右衛門にかけての広い範囲で、被害が島状に集中する分布がみられた。

静岡平野は、駿府城の北西にある賤機山の南端付近を要として東から南東に開いて発達した安倍川の扇状地であり、縄文海進後の今から約5,000年前以降から現在に至る海退期に形成されたものである。大塚(1996)によれば、静岡市の中心部から放射状に伸びる大浜街道、石田街道、北街道、東海道などの道路の多くは、安倍川分流沿いに形成された旧自然堤防上の微高地に当たるといふ。このような旧自然堤防は、縄文海進後の今から約5,000年前から3,000年前ころに形成された(大塚, 1996)もので、海岸に沿う古砂礫州またはその上に発達した古砂丘も扇状地の発達とともに同様の時代に形成されたと考えられる。

静岡平野での今回の地震の海岸地域と丘陵麓部縁辺以外の被害分布の多くは、扇状地の安倍川分流沿いに形成された旧自然堤防上の微高地の上に発生したと考えられる。具体的には、有東付近と曲金、八幡山の北側の黒と八幡、市街地では駿府城とその周辺の鷹匠と西草深、市街地南部では大浜街道沿いの馬淵などにあたる(Fig. 5)。

焼津平野は島田市街の北西部を要として東から南東に開いて形成された大井川の扇状地であり、静岡平野と同様に、今回の地震の海岸地域と丘陵麓部縁辺以外の被害分布の多くは、扇状地の大井川分流沿いに形成された旧自然堤防上の微高地にあると考えられる。具体的には中島から飯^{いひぶら}淵、利右衛門、宗高から藤守にかけて島状に点在する被害集中域、析山川沿いの点在被害、それと大きな被害があった石津から下小田にかけての地域がそれにあたる(Fig. 6)。

吉田町から島田市の被害分布の多くは、Fig. 7の1mコンタが南側にせり出している部分に分布し、これは大井川分流沿いにかつて形成された旧自然堤防上の微高地にあたると考えられる。海岸付近に被害集中が見られる川尻と住吉も、南側にせり出した微高地に分布することから、大井川扇状地の河口付

近に形成された旧自然堤防と考えられる。

扇状地平野の旧自然堤防上の被害も、海岸に沿った古砂丘上の被害同様に、今回の地震では強く締まった地盤のために地震動が減衰せずに伝わり、その中でも地震動増幅度の大きかった地域の家屋に大きな被害を与えたと考えられる。

3. 丘陵麓部縁辺の被害

今回の地震被害分布におけるもうひとつの特徴は、丘陵麓部縁辺での被害である。静岡市では有度丘陵南西麓から西麓の中平松から大谷付近と大谷街道沿い、有度丘陵北麓では草薙から船越にかけて、八幡山周辺の柚木から沓谷、賤機山麓部縁辺の大岩などに被害が見られた。焼津市では花沢や岡部、藤枝市では山麓部縁辺に点在した。島田市から牧之原市にかけては、海岸から、坂口谷川と勝間田川、萩間川など流域の丘陵麓部縁辺で大きな被害があった。

静岡市の有度丘陵には更新統の根古屋層や久能山層、草薙層が分布し、北側の山地や平野に分布する八幡山や谷津山は新第三系の静岡層群、賤機山には新第三系の竜爪層群が分布する（柴・駿河湾団体研究グループ, 1988 ; 柴, 1988）。焼津市の高草山には竜爪層群が分布し、その南西側の藤枝市から島田市にかけての市街地北側には新第三系または古第三系とされる大井川層群が分布し、その北西側の山地には古第三系の瀬戸川層群が分布する。島田市から牧之原市地域の丘陵は、新第三系である女神層と相良層群、掛川層群からなり（柴ほか, 1996 ; 柴, 2005）、丘陵上部から頂部には更新統の古谷層と牧之原層が分布する（柴ほか, 2008）。

丘陵を構成する堅い新第三系の岩盤では、前述した強く締まった古砂丘や扇状地の旧自然堤防と同様に地震動があまり減衰せずに伝わり、丘陵麓部縁辺ではさらに地震動増幅度が大きかったために多くの被害が発生したと考えられる。松波ほか（2003）によれば、丘陵麓部の同じ河岸段丘上の木造建築の被害は場所により被害の程度が異なり、この被害レベルの場所による違いは、木造建築の固有振動数にほぼ一致する 2-5Hz 帯域の地震動の増幅度の違いによるとしている。今回の地震において、被害は丘陵の岩盤地域よりも丘陵麓部縁辺に多く見られたが、これは麓部縁辺と沖積低地との境界部における地震動特性や岩盤からの距離、さらに縁辺部の地盤を構成する扇状地性または崖錐性の堆積物などにより、

丘陵麓部縁辺部において 2-5Hz 帯域の地震動の増幅度がより大きかったためと考えられる。

これらの被害の大きさを決定する条件は場所によって異なることから、被害の大きさは丘陵麓部縁辺でも場所によって異なる結果となった。これは、上述の古砂丘や扇状地の旧自然堤防の場合でも同様で、木造家屋の被害の大きさは、その場所の地震動の大きさと 2-5Hz 帯域の地震動の増幅度、さらに家屋の老朽度など個別的な特性などにより決定される。

また、牧之原市では、坂部から女神へ続く女神層の分布域（女神背斜軸部）周辺で特に大きな被害が見られた。Fig. 7 と Fig. 8 では女神層の分布域を網部で示したが、女神では崖崩が見られ、女神層の分布域周辺の丘陵麓部縁辺では他の地域よりも被害が顕著に見られた。これは相良層よりも硬質な女神層の岩盤が、より強い振動を伝播したことによる影響ではないかと考えられる。被害分布の詳細を見ると、女神周辺では女神を中心に被害が点在し、勝間田川流域では北側の丘陵麓部縁辺に北西-南東方向に直線的に被害が集中し、坂口谷川流域では川を横断する東北東-西南西方向に直線的に被害が集中した。坂口谷川流域の東北東-西南西方向の被害分布については、相良層群の地質構造に関連するものか、旧河川に沿った地形的なものかなど、原因については現在のところ特定できない。

なお、女神層の西側、相良層群の西側に重なる掛川層群分布地域では、勝間以外被害がほとんど見られなかった。このことは、地震の強振動域が牧之原市では海岸線から女神層分布域周辺までの間に限られ、それよりも西側では急激に地震動の大きさが減衰した可能性がある。

4. 静谷の東名高速道路のり面崩落

今回の地震では、牧之原市静谷で東名高速道路のり面が長さ約 40m にわたり崩落した。のり面崩落が起きたのは、東名高速道路の上り線 191.6KP (km post) 付近で、牧之原サービスエリアから東京方面に下ったところにあたる。東名高速道路は、このり面崩落のために袋井-焼津インターチェンジ間が全面通行止めとなり、8 月 13 日には下り線が開通したものの全面復旧は 16 日午前 0 時までの 5 日間続いた。

静谷の東名高速道路のり面崩落地点は、勝間田川南側丘陵の北東端の狭い尾根部に位置し、この狭

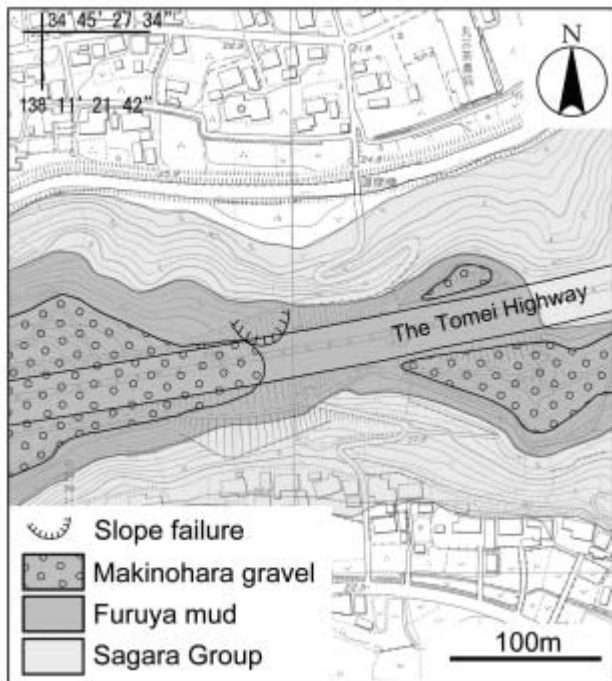


Fig. 11 Location and the geology of the slope failure of an embankment of the Tomei Highway at Shizutani in Makinohara City. An embankment on the natural geology is removed in the geological map.

い尾根部は相良層群の砂岩泥岩互層の上に、更新統の古谷層と牧之原層が重なる (Fig. 11)。古谷層はおもに内湾泥底の泥層からなり、牧之原層は河川礫層からなる (柴ほか, 2008)。崩落地点は、西側の尾根を覆う牧之原層の礫層のちょうど末端部で、牧之原層とその下位の古谷層の泥層が接する部分にあたる。崩落部には牧之原層の礫層はなく、下位の古谷層の泥層が分布するが、東名高速道路牧之原地区地震災害検討委員会 (2009) によれば崩落は道路造成のために泥層の頂部に埋積された盛土内で発生したとした。

牧之原台地において、古谷層の上位に牧之原層が重なる地域では、一般に降水は透水性のよい牧之原層の礫層中を下り、透水性の悪い古谷層の泥層の直上で流出する。ちょうど、崩落地点は牧之原層の礫層の分布末端部であることから、そこは浸透水の流出地点にあたっていたと思われる。また、地震の前日の 8 月 10 日は大雨であり、崩落地点の道路の基礎となる泥層頂上や盛土などが多量の流出水のために水を含み軟弱化していた可能性がある。

東名高速道路牧之原地区地震災害検討委員会 (2009) は、こののり面崩落原因を盛土下部に使用された泥岩が長年の水の作用により強度低下するとともに、透水性が低下し、その結果盛土内の地下水

位が上昇して、今回の地震が誘因となり崩落が発生したとした。

のり面崩落のあった静谷は、勝間田川流域の女神層分布地域の北側にあたり、東側の被害集中ほどではないが、崩落箇所周囲にも多少の被害が認められ、強い振動を受けた地域と考えられる。こののり面崩落は、この地点のこのような地質条件と道路建設の工法、前日までの降雨による流出水、さらに地震の強振動などの原因が重なり発生したものと考えられる。

5. 余震域と駿河湾の地質構造

Fig. 12 に駿河湾とその周辺の地質図と、余震域および被害域の分布を示した。海底の地質については、岡村ほか (1999) の駿河湾海底地形図を参考にした。

駿河湾西岸の地質構造から見ると、長方形をした余震域の長い 2 辺にあたる北西-南東方向の境界の北西側延長は、白亜系から古第三系の基盤、すなわち四万十帯主部 (狩野, 1988) や瀬戸川層群を横切る北西-南東方向の推定断層に重なる可能性がある。また、長方形の余震域の短い 2 辺にあたる北東-南西方向の境界の北東方向への延長は、その北側にあるいわゆる十枚山構造線や葦崎-静岡構造線などのフォッサマグナの西縁を縁取る南北方向の大断層とは斜交する。この北東-南西方向のトレンドは、南部フォッサマグナ地域に推定される北東-南西方向の基盤断裂 (柴, 1991) に一致し、静岡平野や焼津平野の山地末端縁をつないだ方向や駿河湾西岸の海岸線の方向、女神背斜や地頭方背斜など相良層群の褶曲軸の方向、安倍川から大井川までの地域の四万十帯と瀬戸川層群の走向または褶曲軸の方向、それと今回の地震で発生した被害地域の分布方向と一致する。

柴 (1991) は、駿河湾地域を含む南部フォッサマグナ地域の地質と地質構造を議論した中で、この地域の基盤構造は北東-南西方向と北北西-南南東方向の深部断層によって境された基盤ブロックによって構成され、中期中新世以降にそれまでの北東-南西方向に北北西-南南東方向が重なりながら隆起運動が行われて、現在の地質構造と地形が形成されたと述べた。今回の余震分布は、北西-南東方向の長辺と北東-南西方向の短辺によって囲まれたほぼ長方形の範囲に限られ、これは駿河湾西岸から南部フォッサマグナ地域の基盤構造に推定されるひとつの複

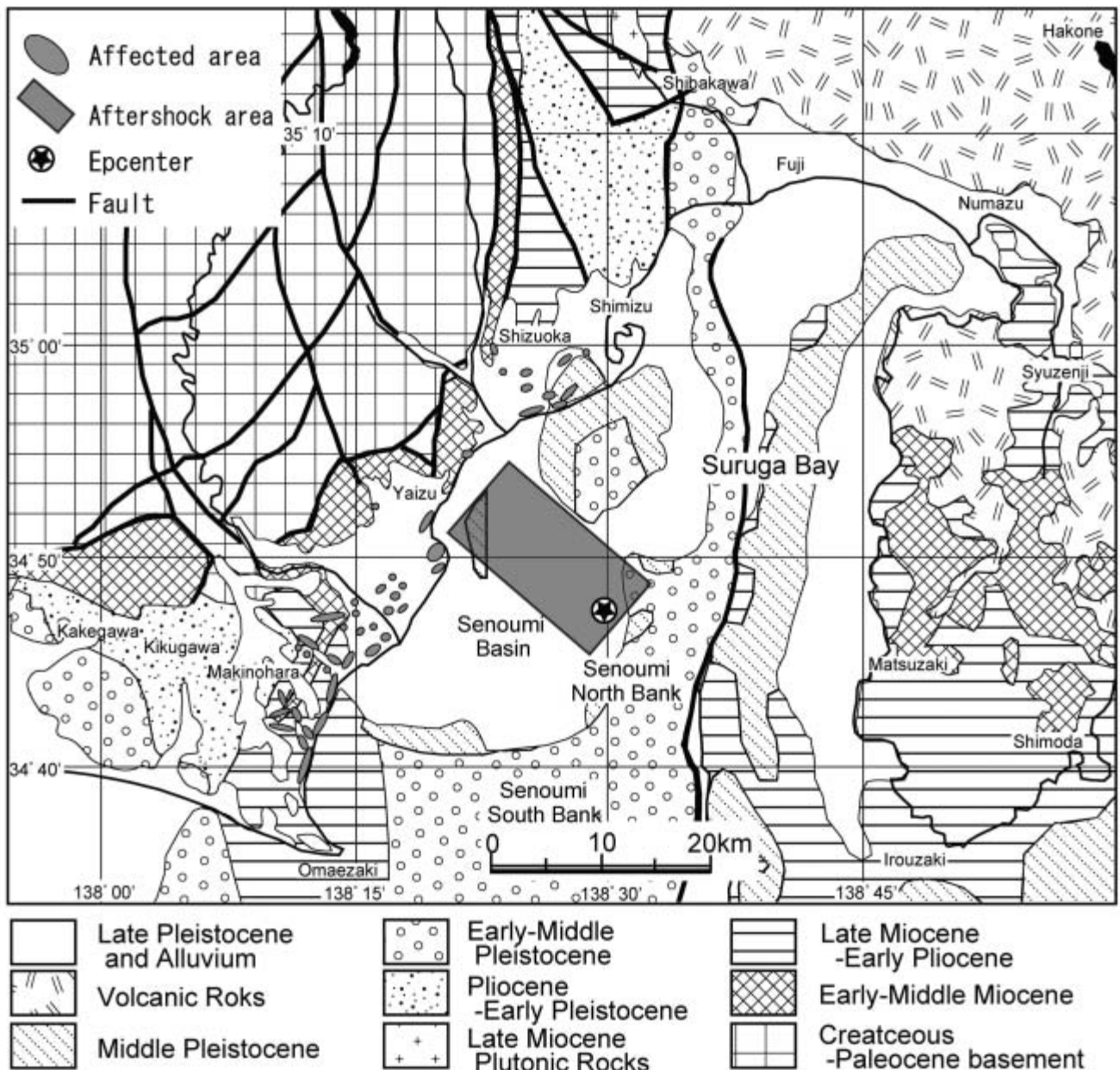


Fig. 12 Geological map around Suruga Bay with the damage distribution and the epicenter distribution of the main shock and its aftershocks of August 11, 2009 Suruga Bay earthquake.

合した基盤ブロックに相当する可能性がある。また、今回の地震は、駿河湾西岸から南部フォッサマグナ地域の地質構造、特に四万十帯や新第三系に推定される北西-南東方向と北東-南西方向の断層で境される深部基盤構造とその構造運動に密接に関連していると思われる。

国土地理院（2009b）の推定では、この地震の地震断層はほぼ北西-南東方向で、北東側の地塊が南西側に対してやや南東向きの横ずれ成分をもって乗り上げたとした。駿河湾西岸における地震被害は、北東-南西の方向性を持ち、余震域よりも南西側がより大きな被害を受けている。そして、各地で西側

へ水平変動を起こした（国土地理院，2009c）。これらのことから、この地震は北東側から南西側へ強く押し出したような変動を起こしたことが推定される。また、海岸線に沿った北東-南西方向の被害分布から推定される強振動域の発生は、駿河湾西岸から南部フォッサマグナ地域に推定される北東-南西方向の基盤断層の方向と何らかの関連があると考えられる。

なお、2009年8月11日に起こった静岡地震の2日前にあたる8月9日19時56分には、東海道南方沖の深さ340kmでM6.9の地震（最大震度4）の地震があり、またその2日後の13日午前7時49分に

は八丈島東方沖の深さ 57km で M6.6 の地震（最大震度 5 弱）が発生した。これらの地震と 8 月 11 日の静岡地震との関連については不明だが、合い前後して発生したこれらの地震と今回の地震の関連も検討する必要があると思われる。

ま と め

本稿では、2009 年 8 月 11 日の静岡地震で発生した家屋の瓦屋根や墓石、崖崩などの被害の位置を、静岡市から牧之原市にかけての地域で調査した結果を報告した。

静岡市では、このような被害はおもに有度丘陵南西麓の安居から国道 150 線旧道沿いの西島にかけて集中し、市街地にも点在した。焼津市では、海岸沿いの本町から小川新町と石津から田尻北の地域に集中し、田尻から栃山川沿いに点在した。また、旧大井川町の宗高から藤守と中島から利右衛門にかけて島状に被害集中域が点在した。吉田町と島田市では、大井川河口の川尻と住吉、片岡、神戸、井口、中河に被害が見られた。牧之原市では、海岸沿いの国道 150 線の旧道沿いと、坂口谷川と勝間田川、萩間川流域の丘陵麓部縁辺に大きな被害があった。

被害地域は、駿河湾西岸の海岸線沿いに北東-南西方向にほぼ連続して分布するが、被害分布は集中して現れた。被害のうち海岸に沿うものは古砂礫州やその上の古砂丘の分布に一致し、安倍川と大井川の扇状地平野に点在するものは分流河川の旧自然堤防の分布と一致する。それ以外の被害は丘陵麓部縁辺に集中した。被害の原因として、今回の地震による地震動は軟弱な沖積低地を大きく揺らす周期が 1 ～ 2 秒のものと異なり、0.3 ～ 0.5 秒の短い周期であったために、むしろ強く締まった古砂丘や旧自然堤防、丘陵を構成する新第三系では減衰が少なく強い振動が伝わったためと考えられる。また、そのような強く締まった地盤地域の上や丘陵麓部縁辺では地震動の増幅度の違いにより、被害集中域が発生したと考えられる。

駿河湾西岸の海岸線に沿った北東-南西方向に認められる今回の地震被害分布と余震域の分布は、南部フォッサマグナ地域から駿河湾西岸の地質構造、特に四万十帯や新第三系に推定される北西-南東方向と北東-南西方向の基盤断裂の方向とその構造運動と密接に関連していると考えられる。

謝 辞

本研究に関して、山形大学地域教育文化学部の川辺孝幸教授には震源分布プログラム Scat3D プログラムと 10m メッシュで 1m または 2m コンタの地形等高線図の提供を受け、地震被害調査の方法や被害の原因についての議論に関してさまざまな貴重な意見をいただいた。また、元埼玉大学教授の角田史雄氏には余震域と地質構造に関するご意見をいただいた。平田寺の竹中玄鼎氏には被害状況を詳しく教えていただいた。牧之原市静谷の地質図については、山下 真氏と高橋孝行氏の地質調査データを参考にさせていただいた。これらの方々に感謝する。

引用文献

- アイダン オメル・三輪 滋・太田良巳（2009）2009 年 8 月 11 日駿河湾地震速報-2. 日本地震工学会 web site:2009 年 8 月駿河湾の地震に関する情報, <http://www.jsce.or.jp/committee/eec2/files/090811suruga2.pdf>.
- 青島 晃（2009）2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震により牧之原市須々木で発生した液状化について（速報）. 日本地震工学会 web site:2009 年 8 月駿河湾の地震に関する情報, <http://www.jsce.or.jp/committee/eec2/files/090811suruga6.pdf>.
- 岡村行信・湯浅真人・倉本真一（1999）駿河湾海底地質図説明書. 海洋地質図 52, 地質調査所, p.44.
- 狩野謙一（1988）2.9 四万十帯. 46-51, 日本の地質『中部地方 I』編集委員会編：日本の地質 4 中部地方 I, 共立出版, 東京. p.332.
- 気象庁（2009a）平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震. http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2009_08_11_suruga-wan/index.html.
- 気象庁（2009b）東海地震に関する情報第 3 号. <http://www.jma.go.jp/jma/press/0908/11d/200908111120.html>.
- 気象庁地震津波監視課（2009）2009 年 8 月 11 日 05 時 07 分ころの駿河湾の地震について. 気象庁平成 21 年報道発表資料, 2009 年 8 月 11 日, 気象庁.
- 国土地理院（2009a）2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震活動の評価. 平成 21 年 9 月 10 日第 201 回地震調査委員会資料, 地震調査研究推進本部地震調査

- 委員会, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09sep_suruga-wan/p07.htm.
- 国土地理院 (2009b) 推定される震源断層モデルは、横ずれ成分を持つ逆断層型. 国土地理院 web site: 平成 21 年 8 月 11 日 5 時 7 分頃の駿河湾の地震の震源断層モデルを推定, <http://www.gsi.go.jp/kenkyukanri/kenkyukanri60003.html>.
- 国土地理院 (2009c) 平成 21 年 (2009 年) 8 月 11 日 5 時 7 分頃の駿河湾を震源とする地震に伴う地殻変動 (速報). <http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40004.html>.
- 小長井一男・松村有見子・有田 毅 (2009) 2009 年 8 月 11 日駿河地震の被害調査メモ (2009/08/20 Ver. 1.0). 日本地震工学会 web site: 2009 年 8 月駿河湾の地震に関する情報, <http://www.jsce.or.jp/committee/eec2/files/090811suruga5.pdf>.
- 松波孝治・森井雄史・藤原悌三・岡本祐果 (2003) 4.3 日野町下榎地区の木造建物被害と地震動. 自然災害科学, **22**, 1, 24-30.
- 大塚謙一 (1996) 12. 静岡平野を巡って. 104-115, 静岡県地学会編: 駿遠豆大地見てあるき, 291p., 静岡県地学会.
- 柴 正博 (1991) 南部フォッサマグナ地域南西部の地質構造 - 静岡県清水市および庵原郡地域の地質 -. 地団研専報, **40**, 98p.
- 柴 正博 (1988) 5. 竜爪山地-高草山地域-竜爪層群. 104, 日本の地質『中部地方 I』編集委員会編: 日本の地質 4 中部地方, 共立出版, 332p.
- 柴 正博 (2005) 2.2 静岡, 掛川地域の新第三系・下部更新統. 132-136, 日本の地質増補版編集委員会編: 日本の地質増補版, 共立出版, 374p.
- 柴 正博・駿河湾団体研究グループ (1988) 4. 富士川谷. 97-104, 日本の地質『中部地方 I』編集委員会編: 日本の地質 4 中部地方 I, 共立出版, 332p.
- 柴 正博・十河寿寛・川辺匡功・竹島 寛・村上靖・横山謙二・駿河湾団体研究グループ (1996) 静岡県榛原郡地域の相良層群と掛川層群の層序. 地球科学, **50**, 441-455.
- 柴 正博・高橋孝行・谷 あかり・山下 真 (2008) 静岡県牧ノ原台地の更新統古谷層の有孔虫化石群集と堆積環境. 「海・人・自然」東海大学博物館研究報告, **9**, 45-68.
- 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会 (1999) 日本の地震活動 - 被害地震から見た地域別の特徴. 財団法人地震予知総合研究振興会地震調査研究センター, 395p.
- 東京管区気象台 (2009) 災害時地震・津波速報平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震. 東京管区気象台災害時自然現象報告書 2009 年第 1 号, http://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/bosai/saigaiji/2009/saigaiji_20090811.pdf.
- 東名高速道路牧之原地区地震災害検討委員会 (2009) 第三回委員会資料. 中日本高速道路株式会社, http://www.c-nexco.co.jp/corp/construction/maintenance/pdf/makinohara3_02.pdf.
- 安田 進 (2009) 2009 年静岡県沖の地震の現地被災調査メモ. 日本地震工学会 web site: 2009 年 8 月駿河湾の地震に関する情報, <http://www.jsce.or.jp/committee/eec2/files/090811suruga4.pdf>.