

2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界

Inland-limit of the tsunami deposit associated with the 2011 Off-Tohoku Earthquake in the Sendai and Ishinomaki Plains, Northeastern Japan

大倉正展¹・藤原 治¹・澤井祐紀¹・行谷佑一¹・谷川晃一郎¹

Masanobu Shishikura¹, Osamu Fujiwara¹, Yuki Sawai¹, Yuichi Namegaya¹ and Koichiro Tanigawa¹

¹ 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault and Earthquake Research Center, m.shishikura@aist.go.jp)

Abstract: To clarify the relationship between inland-limits of tsunami deposit and tsunami inundation area, we surveyed tsunami deposit derived from the 2011 Off-Tohoku Earthquake in the Sendai and Ishinomaki Plains. Tsunami deposit can be distinguished into sand and mud layers by litho-facies. Mud was transported wider than sand, and actual tsunami water inundation reached to furthermore inland. The difference of distance from shoreline between the limit of sand and the inundation limit was 0.68-1.91 km. This means that the distribution of sand layer indicates 62.2-82.9 % of actual inundation area. This result provides useful data for more precise reconstruction of past tsunami inundation area.

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 仙台平野, 石巻平野, 津波堆積物, 浸水限界

Keywords: 2011 Off-Tohoku Earthquake, Sendai Plain, Ishinomaki Plain, tsunami deposit, tsunami inundation limit

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) では, 東日本の太平洋沿岸各地を大きな津波が襲ったが, その高さについて, 国内の津波に関わる多くの専門家が各地で緊急調査を行った. その調査結果は東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2011) によってとりまとめられている. また津波高以外に, 平面的な浸水域を把握することも行われ, 現地調査だけでなく, 国土地理院 (2011) によって青森県から千葉県までの沿岸各地の空中写真の解析結果が示されている. このほか津波の浸水のあった平野部では, 津波堆積物が観察され, その記載が行われた (Goto *et al.*, 2011, Abe *et al.*, 2012 など).

2011年の津波で確認された津波堆積物について, 分布域を正確に把握し, 津波浸水域と比較することは, 非常に重要である. その理由は, 過去の津波の規模の復元において, 津波堆積物は非常に有効な指標の一つであり, その指標としての精度を検証する上では, 実際の津波によって生じた現象を注意深く観察することが必要だからである.

一般に津波堆積物の分布域から復元される過去の津波の浸水域は, あくまでミニマムの浸水域を示し, 実際の津波の浸水限界はさらに広範囲におよぶと考えられる. その実態に基づいて検討すれば, 平野域での浸水域をより正確に復元することができ, 将来の津波リスクを測り, 津波ハザードマップなど防災に活かされることが想定される.

従来, 実際の津波で形成された津波堆積物と浸水域との関係は Nishimura and Miyaji (1995), Hori *et al.* (2007) などによって報告例がある. しかし2011年の津波のように広域で正確に浸水域が解明され, かつ過去の津波堆積物に関する報告がある地域において, 現世の津波堆積物の分布限界を調査することは, 過去の津波浸水域の復元手法を検討できる情報を得られる貴重な機会である. そこで2011年の津波堆積物が広く観察でき, かつ過去の津波堆積物の情報のある石巻平野と仙台平野において, 津波堆積物の分布限界位置に関する調査を行った (第1図). その結果の一部は Sawai *et al.* (2012) によって報告しているが, 本稿では未報告の地点も含め, 各調査地点の観察結果について記載した.

2. 調査方法

筆者らは仙台・石巻平野における津波堆積物調査を2011年4月から6月にかけて行った. 調査は, 海岸線から直交方向に海側から陸側に向かって測線を設け, 測線沿いに表層を数~数10 cm 掘削して堆積物の観察を行っていった. 調査内容は, おもに海寄りの地点を中心に堆積物の詳しい観察, 記載を行った調査と, 堆積物の分布限界に着目して, 津波浸水域内の陸寄りの地点を重点的に観察した調査に分けられる. 本稿ではそれらのうち後者について報告する. なお一部では海岸線に直交方向とはならなかった測線もある.

本調査で観察された津波堆積物は、極細粒～中粒砂からなる砂質堆積物（以下、砂層と呼ぶ）とそれを覆う均質なシルト～粘土からなる泥質堆積物（以下、泥層と呼ぶ）に明瞭に分かれ（第2図）、一部ではそれらが複数枚のセットで互層となっている。それらの分布状況を海側から陸側に向かって測線沿いに確認していった。津波堆積物は、限られた狭い範囲内であっても層厚などは多様に変化することから、なるべく多数の掘削を行って観察する必要がある。本調査では測線沿いに数10 m おきに津波堆積物を確認していき、代表的な層相が観察できる地点で記載した（おおよそ50～500 m おき）。特に分布限界位置の認定においては、場所により砂層および泥層の有無について測線を往復しながら数 m 程度の間隔で確認した。なお本報告で観察結果を示した地点は必ずしも等間隔にならず、また局所的な記載になってしまった測線もある。

各観察地点の位置はおもにハンディ GPS（GARMIN 社製 GPSmap60CSx）を用いて誤差 3 m 以内で緯度経度を測定した。位置データは Google Earth 上にプロットし、各地点の海岸線からの距離について定規ツールを用いて 10 m の桁まで計測した。Google Earth の撮影日時はなるべく地震直後でかつ解像度の高いもの（2011 年 3 月 14 日、3 月 30 日）を使用しているが、津波による砂浜海岸の侵食後の回復や潮位による汀線の変化なども考慮すると、厳密には海岸線の位置は津波襲来時とは若干異なると思われる。このため津波堆積物の分布限界の海岸線からの距離の誤差は数 10 m 程度あると見込まれる。

以下の章では石巻平野と仙台平野に分けて、それぞれ測線毎に調査結果について述べる。

3. 調査結果

3.1 石巻平野

石巻平野では石巻 a～f の 6 測線で分布限界に関する調査を行った（第3図）。これらのうち石巻 a と e の 2 測線は、宍倉ほか（2007）における WA 測線および Y 測線とほぼ一致し、Sawai *et al.*（2012）においても報告している。以下に合計 24 地点の観察結果を記す。

[石巻 a 測線]

石巻 a 測線は石巻市渡波地区に設定した測線である（第3図）。渡波地区は奥行き約 2 km 余りの小規模な低地となっているが、国土地理院（2011）によればこの低地のほぼ全域が浸水している。869 年貞観地震の津波堆積物もこの低地の奥まで分布が確認されている（宍倉ほか、2007；Sawai *et al.*, 2012）。調査範囲は海岸線から 1.0～2.1 km の区間で、Ia1 から Ia4 の 4 地点である。しかし、この区間では明確な津波堆積物は観察されなかった。なお、海岸線に近い市街地周辺ではアスファルトなどを薄く覆う砂

層の堆積が 0.86 km あたりまで確認された。また現海岸線付近では、津波堆積物の供給源となるような砂浜の大規模な侵食は生じていなかった。また本測線では津波の浸水深を計測しており、Ia1 地点付近で 1.65 m、以下、Ia2：1.25 m、Ia3：0.73 m、Ia4 でほぼ 0 m である。

[石巻 b 測線]

石巻 b 測線は石巻市蛇田における海岸線（石巻港の水域）から 2.09 km の Ib1 地点と 2.38 km の Ib2 地点の 2 地点で（第3図、第6図）、砂層とそれを覆う泥層が 2.38 km（Ib2 地点）まで確認され、この測線延長上での津波浸水限界は 3.15 km である。

層相は Ib1、Ib2 の両地点とも、それぞれ中粒砂からなる砂層とそれを覆う泥層が薄く分布している。層厚は Ib1 地点で砂層が 0.2 cm、泥層が 0.2 cm、Ib2 地点で砂層が 0.3 cm、泥層が 0.3 cm である。

[石巻 c 測線]

石巻 c 測線は東松島市赤井周辺で海岸線（石巻港の水域）から 2.35～3.00 km の範囲の 4 地点である（第3図、第6図）。この区間における津波堆積物の分布は、砂層、泥層とも 2.75 km（Ic3 地点）まで確認され、この測線延長上での津波浸水限界は 3.77 km である。

Ic1 地点（2.35 km）では耕作土の直上に層厚 1 cm の泥が分布し、その上位に層厚 1 cm の極細粒砂からなる砂層が分布する。それを覆って泥層が層厚 8 cm で分布している。Ic2 地点（2.38 km）では層厚 0.5 cm の泥質砂からなる砂層を層厚 1 cm の泥層が覆い、その上位に層厚 0.5 cm の極細粒砂が分布する。そしてそれを層厚 1.5 cm の泥層が覆っている。Ic3 地点（2.75 km）では層厚 1 cm の細～中粒砂からなる砂層を層厚 1 cm の泥層が覆う。Ic4 地点（3.00 km）では津波堆積物は観察されなかった。

[石巻 d 測線]

石巻 d 測線は、東松島市矢本周辺の海岸線から 2.27～3.62 km の間の 3 地点である（第3図、第6図）。砂層および泥層は 2.27 km（Id1 地点）まで確認された。この測線は観察地点が一直線上になく、Id1 地点の延長上の津波浸水限界は 3.02 km である。一方、Id2、Id3 の 2 地点の延長上の津波浸水限界は 3.91 km まで達する。

Id1 地点（2.27 km）は耕作土を覆う層厚 0.5 cm の中粒砂からなる砂層とそれを覆う層厚 1 cm の泥層が観察された。Id2（3.27 km）と Id3 地点（3.62 km）では津波堆積物は観察されなかった。

[石巻 e 測線]

石巻 e 測線は東松島市矢本周辺の海岸線から 0.71～2.55 km の間の 7 地点である（第3図、第6図）。この区間で砂層は 1.87 km（Ie5 地点）まで、泥層は 2.20 km（Ie6 地点）まで確認された。この測線での津波浸水限界は 2.55 km である。

最も海側の Ie1 地点（0.71 km）では耕作土の上を中～粗砂からなる層厚 7 cm の砂層が観察された。こ

の地点では表層を覆う泥層は0.1 cm程度で非常に薄い。Ie2 (0.91 km), Ie3 (1.11 km), Ie4 (1.30 km)の各地点は、中粒砂からなる砂層がそれぞれ層厚4 cm, 3 cm, 2 cmで分布し、内陸へ向かって薄層化する。これらを覆う泥層は、Ie2, Ie3地点では層厚0.5 cmだが、Ie4地点では層厚2 cmである。Ie5地点(1.87 km)では、砂層は層厚0.2 cmの細粒砂からなる。それを覆う泥層は2.5 cmである。海岸線からIe6地点(2.20 km)では砂層は認められず、層厚1 cmの泥層のみが観察された。Ie7地点(2.55 km)のはほぼ津波浸水限界に位置し、津波堆積物は観察されなかった。

[石巻 f 測線]

石巻 f 測線は東松島市牛網付近の海岸線から1.46~2.33 kmの範囲の4地点である(第3図, 第6図)。砂層は1.72 km (If2地点)まで、泥層は1.75 km (If3地点)まで確認された。この測線も観察地点が一直線上になく、If1, If2地点の延長上の津波浸水限界は2.00 kmであるが、If3, If4地点の延長上の津波浸水限界は2.64 kmまで達する。

If1地点(1.46 km)では耕作土の上に層厚4 cmの中粒砂からなる砂層が分布し、うすく平行葉理をなしているように見える。その上位に層厚0.5 cmの植物細片の密集層を挟んで層厚1 cmの泥層が覆う。If2地点(1.72 km)ではうすく平行葉理をなした中粒砂からなる砂層が層厚5 cmで分布し、それを層厚0.5 cmの植物細片の密集層を挟んで層厚2 cmの泥層が覆う。これらの地点のすぐ陸側は丘陵斜面になるが、西側へ0.6 kmシフトし、浜堤を挟んで陸側のIf3地点(1.75 km)では砂層はなく、層厚1 cmの泥層のみが観察された。さらにIf3地点からもう1列浜堤を陸側へ超えたIf4地点(2.33 km)では、砂層も泥層も確認されなかった。

3.2 仙台平野

仙台平野では、海岸線から直交方向に仙台 a~i の9本の測線を設定して津波堆積物の観察を行った(第4図, 第5図)。仙台 a~e 測線は仙台市、仙台 f~g 測線は名取市、仙台 h 測線は亶理町、仙台 i 測線は山元町にそれぞれ位置する。これらの測線のうち仙台 a, c, g, h, i の各測線は、澤井ほか(2007, 2008)およびSawai *et al.* (2012)で報告されている測線と同じである。

[仙台 a 測線]

仙台 a 測線は仙台平野で最も北に設定した測線で、仙台市若林区の海岸線から2.78~4.10 kmの間の9地点で観察を行った(第4図, 第7図)。この区間で砂層は3.40 km (Sa6地点)まで、泥層は3.93 km (Sa8地点)まで確認された。この測線での津波浸水限界は4.10 kmである。

Sa1地点(2.78 km)では層厚0.5 cmの細粒砂からなる砂層を層厚2 cmの泥層が覆っている。一方、

Sa2地点(2.94 km)とSa3地点(3.00 km)では中粒砂からなる砂層と泥層が互層をなしている様子が観察された。層厚は全体としてSa2地点で0.7 cm, Sa3地点で1.5 cmであるが、その中に、下位から砂層、泥層の順に少なくとも3層ずつのくり返しが確認された。1層当たりの層厚は0.1~0.5 cm程度で非常に薄い。Sa4地点(3.03 km)では砂泥のくり返しは見られず、層厚0.5 cmの中粒砂からなる砂層を層厚3 cmの泥層が覆う。Sa5地点(3.14 km)で再び3セットの砂泥の互層が認められるが、全体で層厚2 cmの中で、最上位の泥層のみが層厚1 cmと相対的に厚い。Sa6地点(3.40 km)は2セットの砂泥の互層が認められたが、Sa5地点と同様に、全体で層厚2.5 cmの中で最上位の泥層のみが層厚2 cmと相対的に厚く、下位の層厚はそれぞれ0.1~0.5 cmである。砂層が観察されたのはSa6地点までで、Sa7地点(3.47 km)とSa8地点(3.93 km)では砂層は確認できず、泥層がそれぞれ層厚2 cmおよび0.5 cmで分布している様子が観察された。そしてほぼ浸水限界に位置するSa9地点(4.10 km)では津波堆積物は観察されなかった。

[仙台 b 測線]

仙台 b 測線は仙台市若林区の海岸線から2.65~3.86 kmの間の4地点である(第4図, 第7図)。この区間で砂層は3.02 km (Sb2地点)まで、泥層は3.50 km (Sb3地点)まで確認された。この測線での津波浸水限界は3.9 kmである。

Sb1地点(2.65 km)では下位から層厚0.5 cmの砂層、層厚1 cmの泥層、層厚0.5 cmの砂層、層厚0.5 cmの泥層の順に重なり、2セットの砂泥の互層が全体として層厚2.5 cmで分布する。Sb2地点(3.02 km)では層厚0.1 cmの中粒砂からなるごく薄い砂層とそれを覆う層厚4 cmの泥層が観察された。Sb3地点(3.50 km)では砂層は確認されず、層厚2 cmの泥層のみが観察された。ほぼ浸水限界に位置するSb4地点(3.86 km)では津波堆積物は認められなかった。

[仙台 c 測線]

仙台 c 測線は仙台市若林区の海岸線から2.41~4.00 kmの間の9地点である(第4図, 第7図)。この区間で砂層は3.11 km (Sc5地点)まで、泥層は3.68 km (Sc8地点)まで確認された。この測線での津波浸水限界は4.55 kmである。

Sc1地点(2.41 km)は2セットの砂泥の互層となっており、層厚1 cmずつで砂層、泥層、砂層と重なり、最上部の泥層は層厚3 cmと下位より相対的に厚い。Sc2地点(2.64 km)では一時的に砂層が欠落し、層厚3 cmの泥層が覆うのみである。Sc3地点(3.02 km)では層厚2.5 cmの細~中粒砂からなる砂層が級化構造をなし、それを層厚2 cmの泥層が覆う様子が観察された。砂層の厚さはSc4地点(3.08 km)で0.2 cm, Sc5地点(3.11 km)で0.1 cmと薄く、それを覆う泥層は層厚2 cmと相対的に厚い。Sc5地点は砂層が確

認できるほぼ限界である。Sc6 (3.45 km), Sc7 (3.58 km), Sc8 (3.68 km) の各地点とも砂層は確認できず、泥層が表層を 0.2~0.5 cm 程度で薄く覆う程度である。Sc9 地点 (4.00 km) では津波堆積物は確認されなかった。

[仙台 d 測線]

仙台 d 測線は仙台市若林区の海岸線から 2.20~3.60 km の 9 地点で調査を行った (第 4 図, 第 8 図)。この区間で砂層は 3.40 km (Sd7 地点) まで、泥層は 3.64 km (Sd8 地点) まで確認された。この測線での津波浸水限界は 5.14 km である。

Sd1 地点 (2.20 km) と Sd2 地点 (2.40 km) は、2 セットの砂泥の互層からなる。Sd1 地点は層厚 3 cm の中粒砂からなる砂層中に層厚 0.2 cm の泥層が挟まり、それを層厚 7 cm の泥層が覆う。Sd2 地点は層厚 1.5 cm の中粒砂からなる砂層、層厚 1 cm の泥層、層厚 1.5 cm の中粒砂の砂層の順に重なり、最上位の泥層は層厚 4 cm である。Sd3 (2.57 km), Sd4 (2.75 km), Sd5 (2.87 km) の各地点は互層をなさず、中粒砂からなる砂層とそれを覆う泥層からなり、層厚は各地点でそれぞれ Sd3 地点: 砂層 2.5 cm, 泥層 2 cm, Sd4 地点: 砂層 1 cm, 泥層 7 cm, Sd5 地点: 砂層 0.5 cm, 泥層 2.5 cm である。Sd6 地点 (2.96 km) では再び砂泥の互層が観察された。この地点では 3 セット認められ、層厚 0.5 cm の細~中粒砂からなる砂層、0.2 cm の泥層、0.1 cm の細粒砂からなる砂層、0.2 cm の泥層、0.1 cm の細粒砂からなる砂層、1 cm の泥層の順に重なる。Sd7 地点 (3.40 km) は層厚 0.1 cm の細粒砂からなる砂層を 1 cm の泥層が覆う様子が観察された。Sd7 地点より内陸では砂層は認められず、Sd8 地点 (3.64 km) では層厚 1 cm の泥層のみが観察された。さらに Sd9 地点 (3.70 km) では、砂層も泥層も観察されなかった。

[仙台 e 測線]

仙台 e 測線は仙台市若林区の海岸線から 2.35~3.00 km の間の 6 地点で調査を行った (第 4 図, 第 8 図)。この区間で砂層は 2.71 km (Se4 地点) まで、泥層は 2.88 km (Se5 地点) まで確認された。この測線での津波浸水限界は 3.8 km である。

Se1 地点 (2.35 km) では層厚 0.1~1 cm の中~粗粒砂からなる砂層が分布し、砂層上部には植物細片の濃集が見られた。それを覆って層厚 7 cm の泥層が分布する。なお、この地点では津波浸水深が同時に計測され、2.4 m であった。Se2 地点 (2.58 km) は層厚 0.1 cm の細粒砂からなる砂層が確認され、それを覆って層厚 5 cm の泥層が分布する。Se3 地点 (2.66 km) では層厚 0.1 cm の細粒砂からなる砂層を覆って層厚 3 cm の泥層があり、層厚 0.5 cm の植物細片の濃集層を挟んで最上位に層厚 3 cm の泥層が分布する。同様に Se4 地点 (2.71 km) も層厚 0.1 cm の細粒砂からなる砂層を覆って層厚 2 cm の泥層があり、層厚 0.5 cm の極細粒砂を含む植物細片の濃集層

を挟んで最上位に層厚 2 cm の泥層が分布する。砂層が認められたのは Se4 地点までで、Se5 地点 (2.88 km) は砂層を欠き、層厚 0.5 cm の植物細片の濃集層を覆う層厚 2.5 cm の泥層が観察される。Se6 地点 (3.10 km) では津波堆積物は認められなかった。

[仙台 f 測線]

仙台 f 測線は名取市小塚原の海岸線から 2.67~3.31 km の間の 5 地点で調査を行った (第 4 図, 第 8 図)。ただし、海岸線に近い場所に広浦と呼ばれるラグーンがあり、その水域から見た各地点の距離は 0.86 km 短くなって、1.81~2.45 km となる。この区間で砂層は 3.11 km (Sf4 地点) まで、泥層は 3.31 km (Sf5 地点) まで確認された。この測線での津波浸水限界は 3.83 km である。Sf1 地点 (2.67 km), Sf2 地点 (2.77 km) とともに層厚 0.5 cm のやや泥質の細粒砂からなる砂層が分布し、それを覆って層厚 4.5 cm の泥層が覆うが、Sf1 地点のみ、砂層と泥層との間に植物細片の濃集が見られた。Sf3 地点 (2.95 km) は層厚 0.5 cm の極細粒砂を層厚 4 cm の泥層が覆う。Sf4 地点 (3.13 km) は層厚 0.1 cm の極細粒砂からなる砂層を層厚 4 cm の泥層が覆う。この地点がほぼ砂層の分布限界である。Sf5 地点 (3.31 km) では、層厚 2.5 cm の泥層のみが分布する。

[仙台 g 測線]

仙台 g 測線は名取市杉ヶ袋の海岸線から 3.00~4.70 km の間の 7 地点で調査を行った (第 4 図, 第 9 図)。この区間で砂層は 3.14 km (Sg2 地点) まで、泥層は 4.54 km (Sg6 地点) まで確認された。この測線での津波浸水限界は 5.05 km である。

Sg1 地点 (3.00 km) は層厚 0.5 cm の細粒砂からなる砂層を層厚 2 cm の泥層が覆う。Sg2 地点 (3.14 km) は層厚 0.1 cm の細粒砂からなる砂層を層厚 5 cm の泥層が覆う。Sg3 地点 (3.70 km) は他の地点よりやや北東へ離れており、層厚 0.1 cm の極細粒砂からなる砂層を層厚 1 cm の泥層が覆う様子が観察された。Sg3 地点は Sg2 地点よりも内陸にあるが、測線の連続性を考慮して Sg2 地点を本測線における砂層の分布限界とする。Sg2 および Sg3 地点より陸側は砂層が分布せず、Sg4 地点 (3.80 km) では層厚 3.5 cm の泥層、Sg5 地点 (4.28 km) と Sg6 地点 (4.54 km) では層厚 2.5 cm の泥層がそれぞれ分布する。Sg7 地点 (4.70 km) では津波堆積物は観察されない。この測線延長上での津波浸水限界は海岸線から 5.05 km である。

[仙台 h 測線]

仙台 h 測線は亘理町長瀨の海岸線から 2.62~3.05 km の間の 4 地点で調査を行った (第 5 図, 第 9 図)。この区間で砂層は 2.89 km (Sh2 地点) まで、泥層は 3.05 km (Sh3 地点) まで確認された。この測線での津波浸水限界は 3.72 km である。

Sh1 地点 (2.62 km) は層厚 1.5 cm の中粒砂からなる砂層を層厚 1 cm の泥層が覆う。Sh2 地点 (2.89 km)

は層厚 0.5 cm の中粒砂からなる砂層を層厚 4.5 cm の泥層が覆う。砂層は Sh2 地点まで確認され、Sh3 地点 (3.05 km) では分布せず、層厚 3 cm の泥層のみが分布する。この地点における浸水深は 71 cm であった。

[仙台 i 測線]

仙台 i 測線は山元町山寺の海岸線から 3.27 km の Si1 地点のみで調査を行い (第 5 図, 第 9 図), 層厚 0.2 cm の中粒砂を層厚 2 cm の泥層が覆う。この測線延長上での津波浸水限界は海岸線から 3.40 km である。

4. 津波堆積物の分布限界と津波浸水限界

2011 年の津波による堆積物は、前章での記載のとおり、砂層と泥層に大別され、両者は明瞭に識別される。特に砂層は、下位にある耕作土と上位の泥層に挟まれる形で、層厚 0.1 cm 程度まで認識可能である (第 2 図)。泥層は下位にある元の耕作土と似ている場合もあるが、おおよそ均質で塊状であることから、多くの地点で耕作土との識別が可能である。これらの分布を確認できた最も陸側の地点と津波浸水限界の位置について、海岸線からの距離を第 1 表にまとめた。これらのうち後述するように津波堆積物の分布限界を議論する上で相対的に信頼性が低い測線については括弧を付けて区別し、信頼性の高い測線については、津波浸水限界との関係を第 10 図に示した。

石巻平野では、東部の石巻 a 測線で市街地内を覆う砂層が 0.86 km 辺りまで見られたが、掘削で密に調べていないことから信頼性は低い。石巻 b, c の 2 測線では、それぞれ海岸線から 2.38 km および 2.75 km まで砂層が分布するのに対し、浸水限界は 3.15 km および 3.77 km まで達する。しかしこれらの測線の堆積物は南西側の定川の方から運ばれた可能性があり、海岸線からの距離で正確に比較することは難しい。

石巻平野西部では、石巻 d 測線で砂層が海岸線から 2.27 km まで確認されたが、それより陸側は市街地となっており、分布限界位置は正確には認定できていない。一方、石巻 e 測線は浸水限界までの間でほぼ連続的に津波堆積物の分布の確認ができ、石巻平野における他の測線と比べ信頼性の高いデータが取得できている。砂層の分布限界の海岸線からの距離は 1.87 km、泥層は 2.20 km で、これに対して浸水限界は 2.55 km である。したがって津波は砂層の分布限界よりさらに 0.68 km 内陸まで、泥層に対しては 0.35 km 内陸まで到達したことになる。浸水域に対する割合で示すと、砂層は実際の浸水の距離に対して 73.3% まで、泥層は同様に 86.3% まで運ばれている。石巻 f 測線は浜堤列ごとに堆積物の分布限界が確認されたが、背後に丘陵が迫っており、浸水

限界がこれに規定されていることから、両者の正確な比較は難しい。

仙台平野では、仙台市内にある仙台 a~e の 5 測線は、いずれも浸水限界までの間でほぼ連続的に観察しており、背後に丘陵もないことから、津波堆積物の分布限界と浸水限界との関係を比較的正確に捉えることができた。これら 5 測線での砂層の分布限界は海岸線から 2.71~3.40 km で、泥層は 2.88~3.93 km である。一方、浸水限界は 3.80~5.14 km であった。すなわち津波は砂層の分布限界からさらに 0.70~1.74 km 内陸、泥層の分布限界からは 0.17~1.50 km 内陸まで浸水したことになる。浸水域に対する割合では、砂層は実際の浸水の距離に対して 66.1~82.9% まで、泥層は同様に 70.8~95.9% まで運ばれたことになる。

名取市内にある仙台 f, g の 2 測線も仙台市内の測線と同様に比較的正確に津波堆積物の分布限界を捉えることができている。しかし仙台 f 測線に関しては、海岸沿いにラグーンがあることから、浸水限界に対する海岸線からの距離の議論においては、他の測線と同様に扱うことはできない。そこで仙台 g 測線についてのみ見ると、津波堆積物の分布限界は、砂層が海岸線から 3.14 km、泥層が 4.54 km で、津波の浸水限界は 5.05 km である。すなわち砂層よりも 1.91 km、泥層よりも 0.51 km 内陸まで津波は浸水し、浸水域に対する分布の割合は砂層が 62.2%、泥層が 89.9% である。

仙台平野南部では、仙台 h 測線で津波堆積物の分布限界と浸水限界との関係を比較的正確に捉えることができた。砂層が海岸線から 2.89 km、泥層が 3.05 km までそれぞれ分布し、津波の浸水限界は 3.72 km である。すなわち砂層よりも 0.83 km、泥層よりも 0.67 km 内陸まで津波は浸水し、浸水域に対する分布の割合は砂層が 77.7%、泥層が 82.0% である。一方、仙台 i 測線の場合、砂層の分布限界 (3.27 km) に対し、浸水限界が 3.40 km と比較的近く、浸水域に対する分布の割合は 96.2% と高い。これは背後の丘陵の海岸線からの距離が比較的近く、浸水限界が地盤の標高に影響されているためと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本報告では、仙台・石巻平野における 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物について、特に分布限界と津波の浸水限界との関係を検討するため、現地調査を行った結果をまとめた。

津波堆積物は砂層と泥層に区分され、その分布域は泥層が砂層よりも広く、さらに津波自体の浸水限界はさらに広い。今回調査した石巻 a~f, 仙台 a~i の 15 測線のうち、比較的信頼性の高い石巻 e, 仙台 a~e および g~h の 8 測線について、海岸線からの距離について比べると、砂層の分布限界に対し、津

波の浸水限界はさらに 0.68~1.91 km 内陸まで達している。また泥層に対しては同様に 0.17~1.50 km 内陸まで達する。浸水域に対する砂層、泥層の分布域の割合は、砂層が 62.2~82.9%, 泥層が 70.8~95.9% である。ただし仙台平野内の測線における浸水限界については、仙台東部道路が堤防のような形で影響していた可能性が高く、もっと内陸奥まで延びうることに留意する必要があるだろう。

従来、869 年貞観地震など仙台・石巻平野における過去の津波の浸水域の復元では、おもに砂層からなる津波堆積物の分布域で推定してきた(佐竹ほか, 2008; 行谷ほか, 2010 など)。しかし本報告の結果に基づけば、砂層の分布は、実際の津波浸水域の 6~8 割程度であり、津波は砂層の分布限界からさらに最大 2 km 程度内陸まで達していたことから、過去の津波においても同様であった可能性が高い。したがって今後、過去の津波浸水域の復元においては、これらの知見を参考にして精度を高めていく必要がある。また、今後の津波堆積物の調査においても、砂層の分布限界よりさらに内陸において、正確に津波の浸水域を検出する手法を検討していかなければならない。

謝辞 岡村行信氏には本稿の査読をしていただいただけでなく、2011 年東北地方太平洋沖地震における緊急調査全般においてご助言とご指導を賜りました。記して謝意を表します。

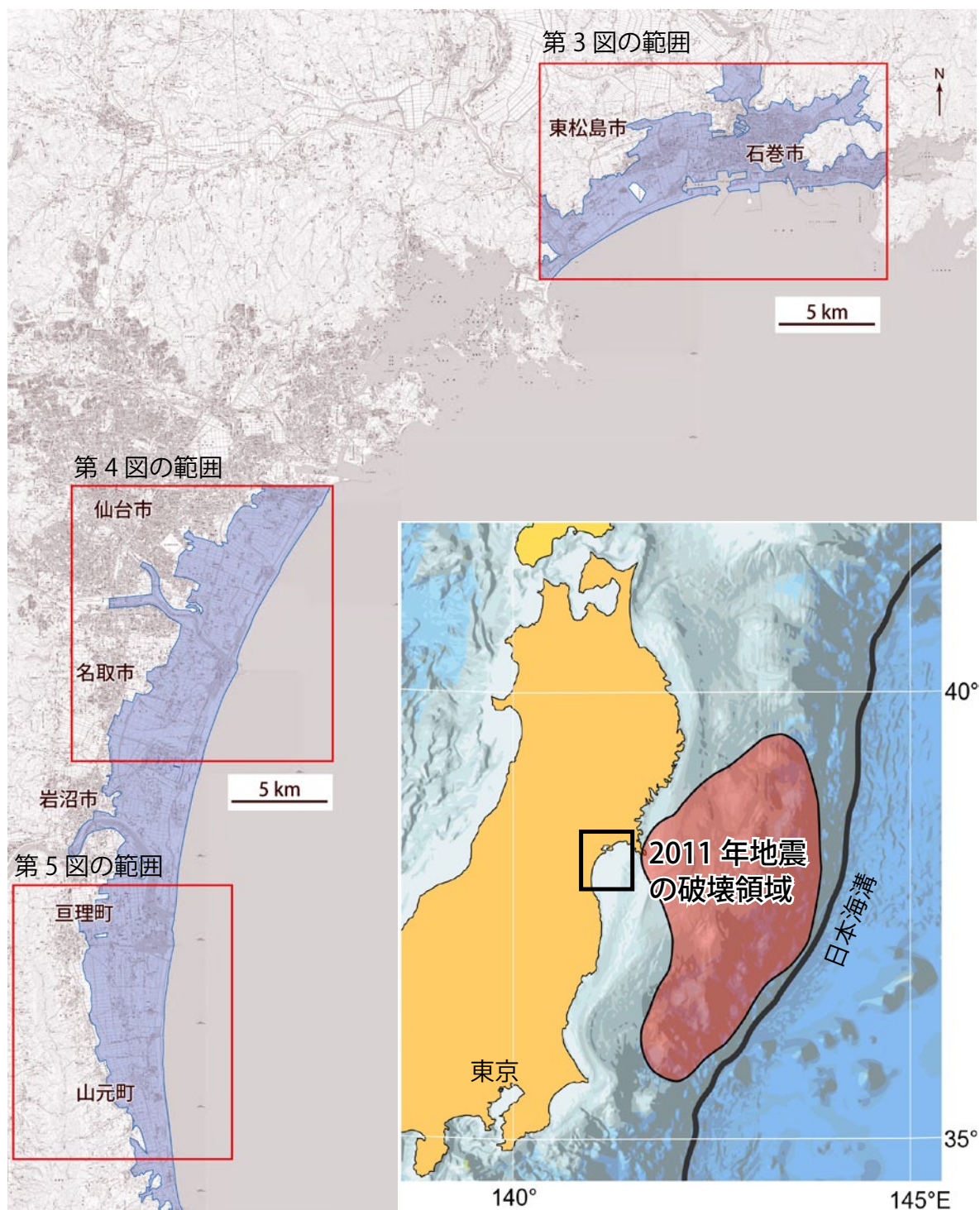
文 献

- Abe, T., Goto, K. and Sugawara, D. (2012) Relationship between the maximum extent of tsunami sand and the inundation limit of the 2011 Tohoku-oki tsunami on the Sendai Plain, Japan. *Sedimentary Geology*, 282, 142-150.
- Goto, K., Chagué-Goff, C., Fujino, S., Goff, J., Jaffe, B., Nishimura, Y., Richmond, B., Sugawara, D., Szczuciński, W., Tappin, D.R., Witter, R.C. and Yulianto, E. (2011) New insights of tsunami hazard from the 2011 Tohoku-oki event. *Marine Geology*, 290, 46-50.
- Hori, K., Kuzumoto, R., Hirouchi, D., Umitsu, M., Janjirawuttikul, N. and Patanakanog, B. (2007) Horizontal and vertical variation of 2004 Indian tsunami deposits: An example of two transects along the western coast of Thailand. *Marine Geology*, 239, 163-172.
- 国土地理院 (2011) 10 万分 1 浸水範囲概況図. <http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003.html>
- 行谷佑一・佐竹健治・山木 滋 (2010) 宮城県石巻・仙台平野および福島県請戸川河口低地における 869 年貞観津波の数値シミュレーション. 活断層・古地震研究報告, No.10, 1-21.
- Nishimura, Y. and Miyaji, N. (1995) Tsunami deposits from the 1993 southwest Hokkaido earthquake and the 1640 Hokkaido Komagatake eruption, northern Japan. *Pure and Applied Geophysics*, 144, 719-733.
- Ozawa, S., Nishimura, T., Suito, H., Kobayashi, T., Tobita, M. and Imakiire, T. (2011) Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake. *Nature*, 475, 373-377.
- 佐竹健治・行谷佑一・山木 滋 (2008) 石巻・仙台平野における 869 年貞観津波の数値シミュレーション. 活断層・古地震研究報告, No.8, 71-89.
- 澤井祐紀・宍倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤原雄士郎・藤原 治・佐竹健治・鎌滝孝信・佐藤伸枝 (2007) ハンディジオスライサーを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査. 活断層・古地震研究報告, No.7, 47-80.
- 澤井祐紀・宍倉正展・小松原純子 (2008) ハンドコアラを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査. 活断層・古地震研究報告, No.8, 17-70.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Okamura, Y., Satake, K. and Shishikura, M. (2012) Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geophysical Research Letters*, 39, L21309, doi:10.1029/2012GL053692
- 宍倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・Than Tin Aung・石山達也・藤原 治・藤野滋弘 (2007) 石巻平野における津波堆積物の分布と年代. 活断層・古地震研究報告, No.7, 31-46.
- 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2011) Nationwide Field Survey of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami. 土木学会論文集, B2, 海岸工学, 67, 63-66.

(受付: 2012 年 11 月 9 日, 受理: 2012 年 11 月 24 日)

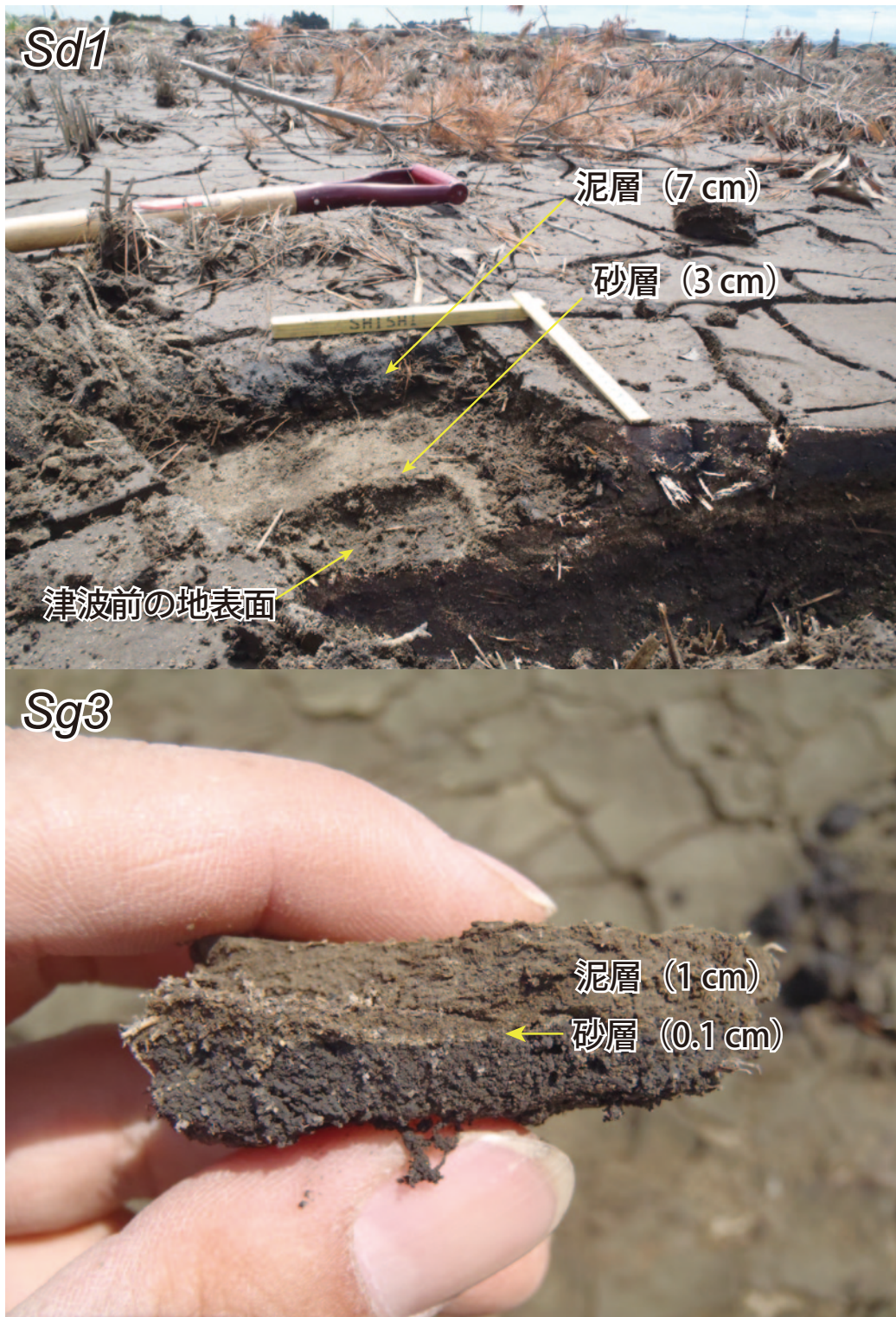
第1表、津波堆積物の分布限界と津波浸水限界の海岸線からの距離、相対的に信頼性が低いデータを括弧付きの数字で示した。
 Table 1. Distances from shoreline to the landward limits of tsunami deposit and tsunami inundation. Numerals in parentheses represent relatively low reliability data.

	砂層の分布限界 (km)	泥層の分布限界 (km)	津波浸水限界 (km)	浸水限界と砂層の 分布限界との差 (km)	浸水限界と泥層の 分布限界との差 (km)	砂層の分布域/ 浸水域 (%)	泥層の分布域/ 浸水域 (%)
石巻a	(0.86)	-	1.61	(0.75)	-	(53.4)	-
石巻b	(2.38)	-	3.15	(0.77)	-	(75.6)	-
石巻c	(2.75)	-	3.77	(1.02)	-	(72.9)	-
石巻d	(2.27)	-	3.02	(0.75)	-	(75.2)	-
石巻e	1.87	2.20	2.55	0.68	0.35	73.3	86.3
石巻f	(1.72)	(2.00)	2.64	(0.92)	(0.64)	(65.2)	(75.8)
仙台a	3.40	3.93	4.10	0.70	0.17	82.9	95.9
仙台b	3.02	3.5	3.9	0.88	0.40	77.4	89.7
仙台c	3.11	3.68	4.55	1.44	0.87	68.4	80.9
仙台d	3.40	3.64	5.14	1.74	1.50	66.1	70.8
仙台e	2.71	2.88	3.8	1.09	0.92	71.3	75.8
仙台f	(3.11)	(3.31)	3.83	(0.72)	(0.52)	(81.2)	(86.4)
仙台g	3.14	4.54	5.05	1.91	0.51	62.2	89.9
仙台h	2.89	3.05	3.72	0.83	0.67	77.7	82
仙台i	(3.27)	-	3.4	(0.13)	-	(96.2)	-



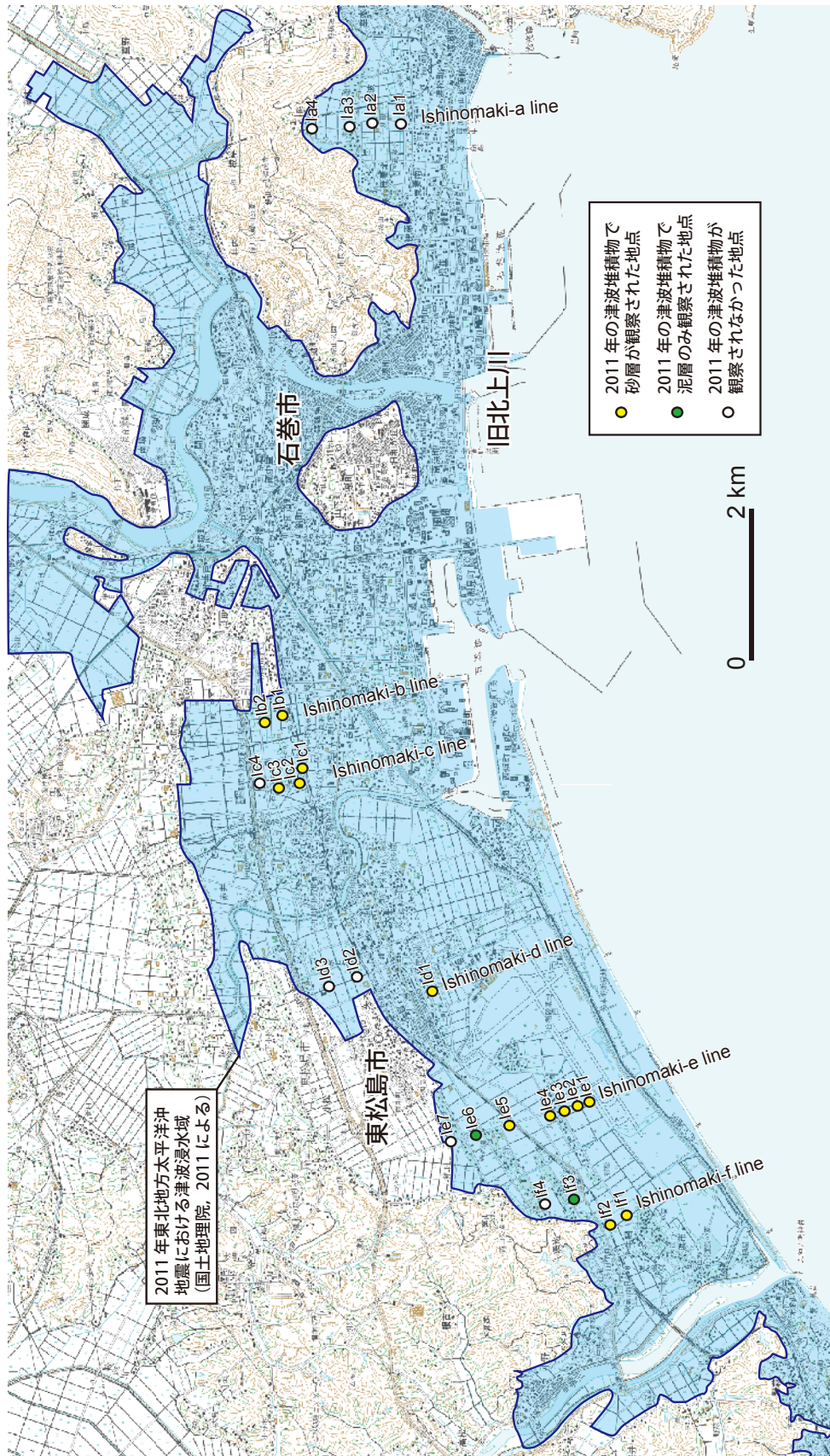
第1図. 調査地域の範囲. 2011年東北地方太平洋沖地震の破壊領域は Ozawa *et al.* (2011), 津波浸水域は国土地理院 (2011) による. 基図は国土地理院発行 1/50,000 地形図「石巻」「松島」「塩竈」「吉岡」「仙台」「岩沼」「角田」使用.

Fig. 1. Location map of the surveyed area. Rupture area of the 2011 Off-Tohoku Earthquake is after Ozawa *et al.* (2011). Tsunami inundation area is after GSI (2011). Base maps are 1/50,000 topographic map of Ishinomaki, Shiogama, Yoshioka, Sendai, Iwanuma and Kakuda.

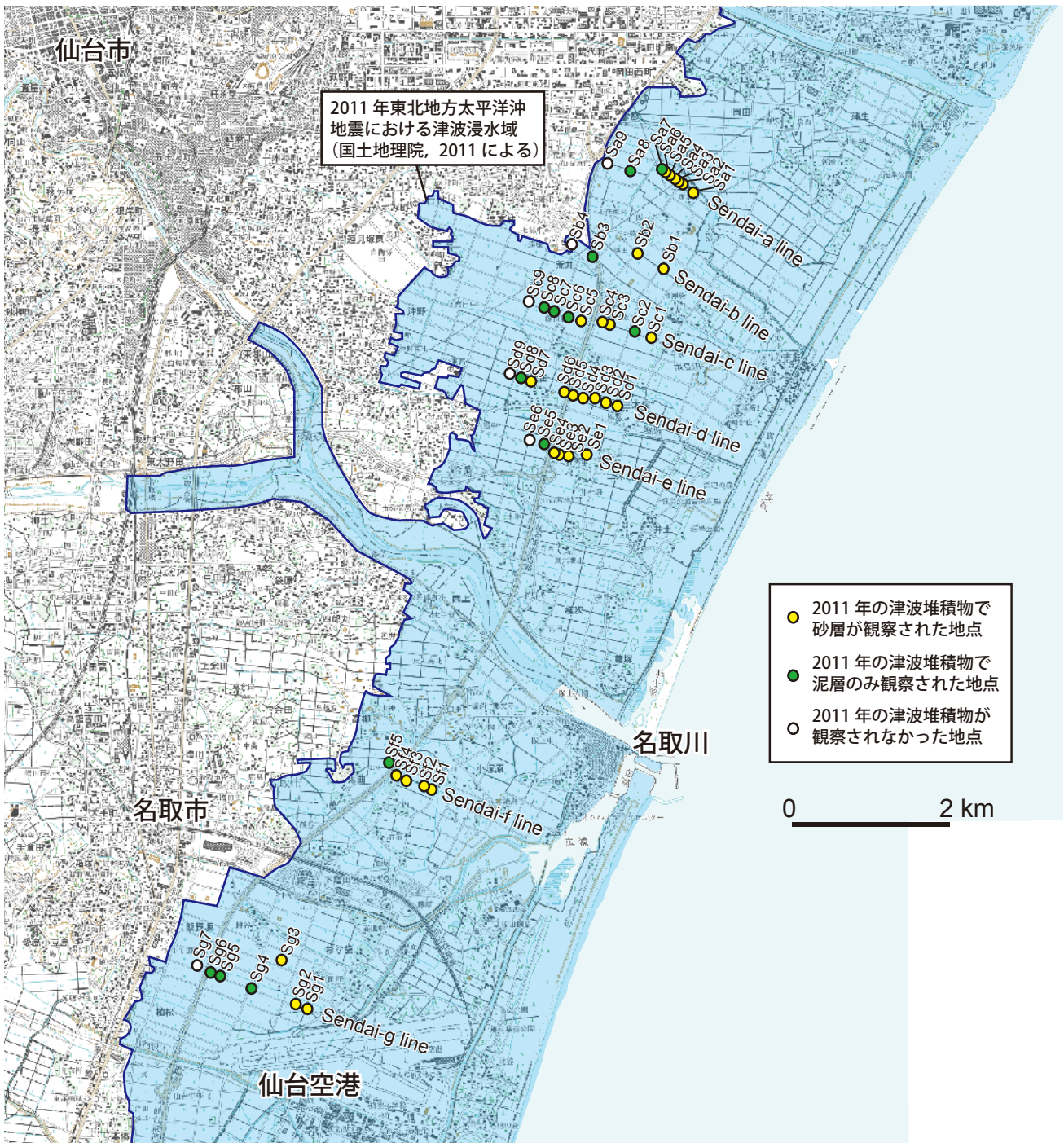


第2図. 観察された津波堆積物の写真. 上の写真は Sd1 地点, 下の写真は Sg3 地点で, 括弧内の数値は層厚を示す. 各地点の位置は第4図に示し, 柱状図は第7図および第8図に示す.

Fig. 2. Photos of observed tsunami deposit at Sd1 and Sg3 sites. Upper photo shows Sd1. Lower photo shows Sg3. Numeral in parentheses represents thickness of layer. Location of each surveyed point and its columnar section are shown in Fig. 4, 7 and 8, respectively.

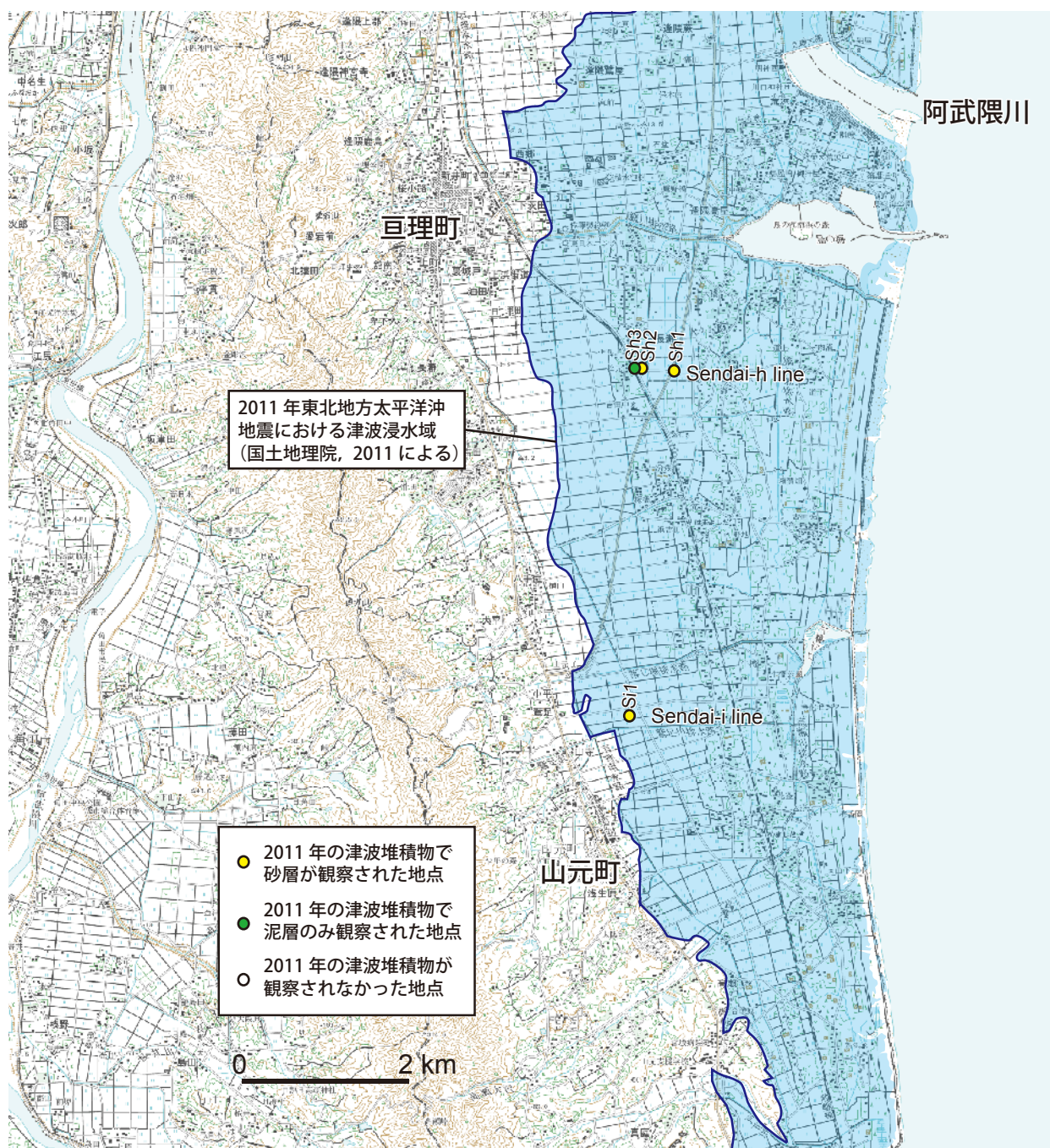


第3図. 石巻平野における調査地点と津波浸水域. 津波浸水域は国土地理院 (2011) による. 基図は国土地理院発行 1/50,000 地形図「石巻」使用.
 Fig. 3. Survey sites and inundation area in the Ishinomaki Plain. Tsunami inundation area is after GSI (2011). Base maps are 1/50,000 topographic map of Ishinomaki.



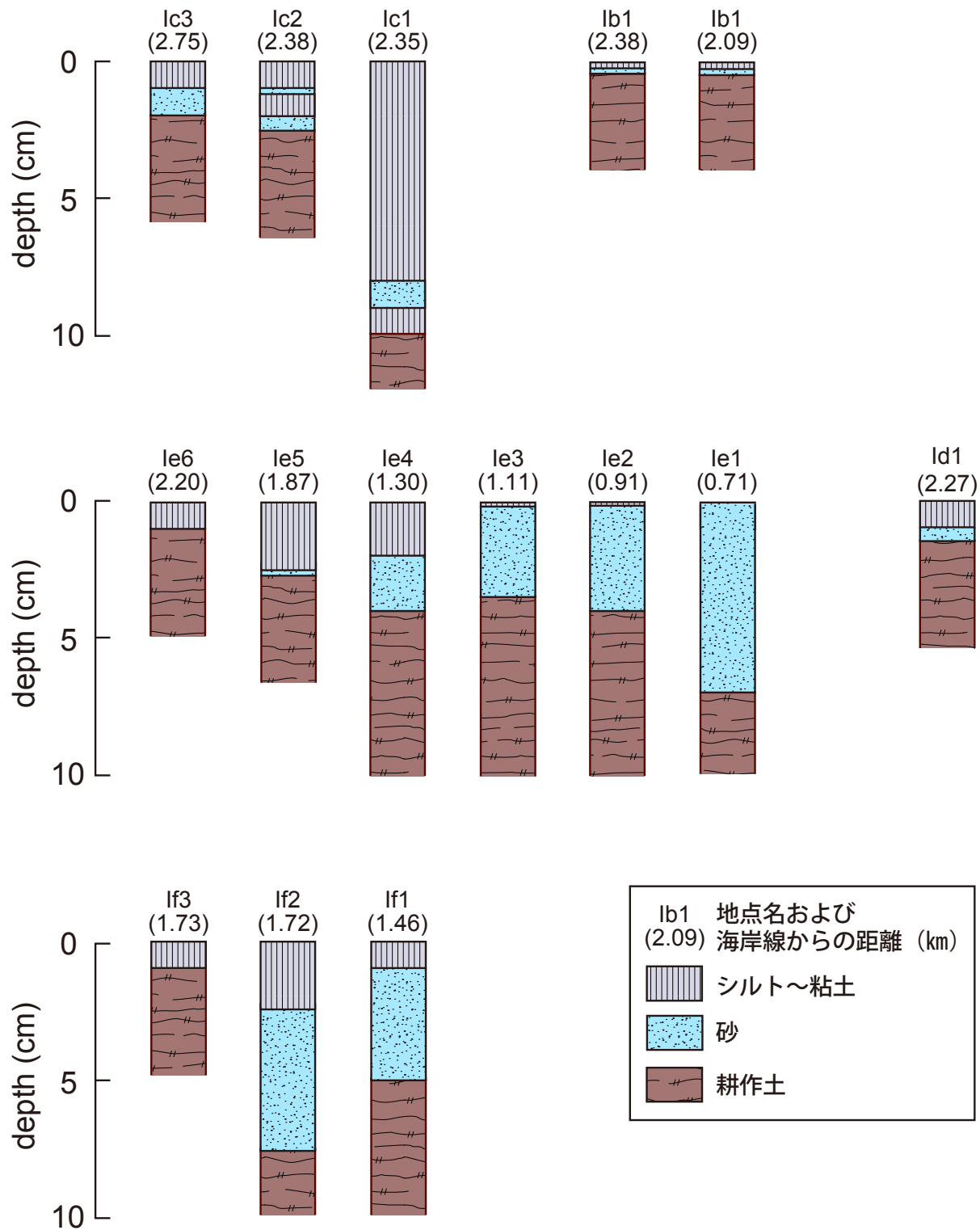
第4図. 仙台平野中北部における調査地点と津波浸水域. 津波浸水域は国土地理院 (2011) による. 基図は国土地理院発行 1/50,000 地形図「仙台」「岩沼」使用.

Fig. 4. Survey sites and inundation area in the northern-middle part of the Sendai Plain. Tsunami inundation area is after GSI (2011). Base maps are 1/50,000 topographic map of Sendai and Iwanuma.

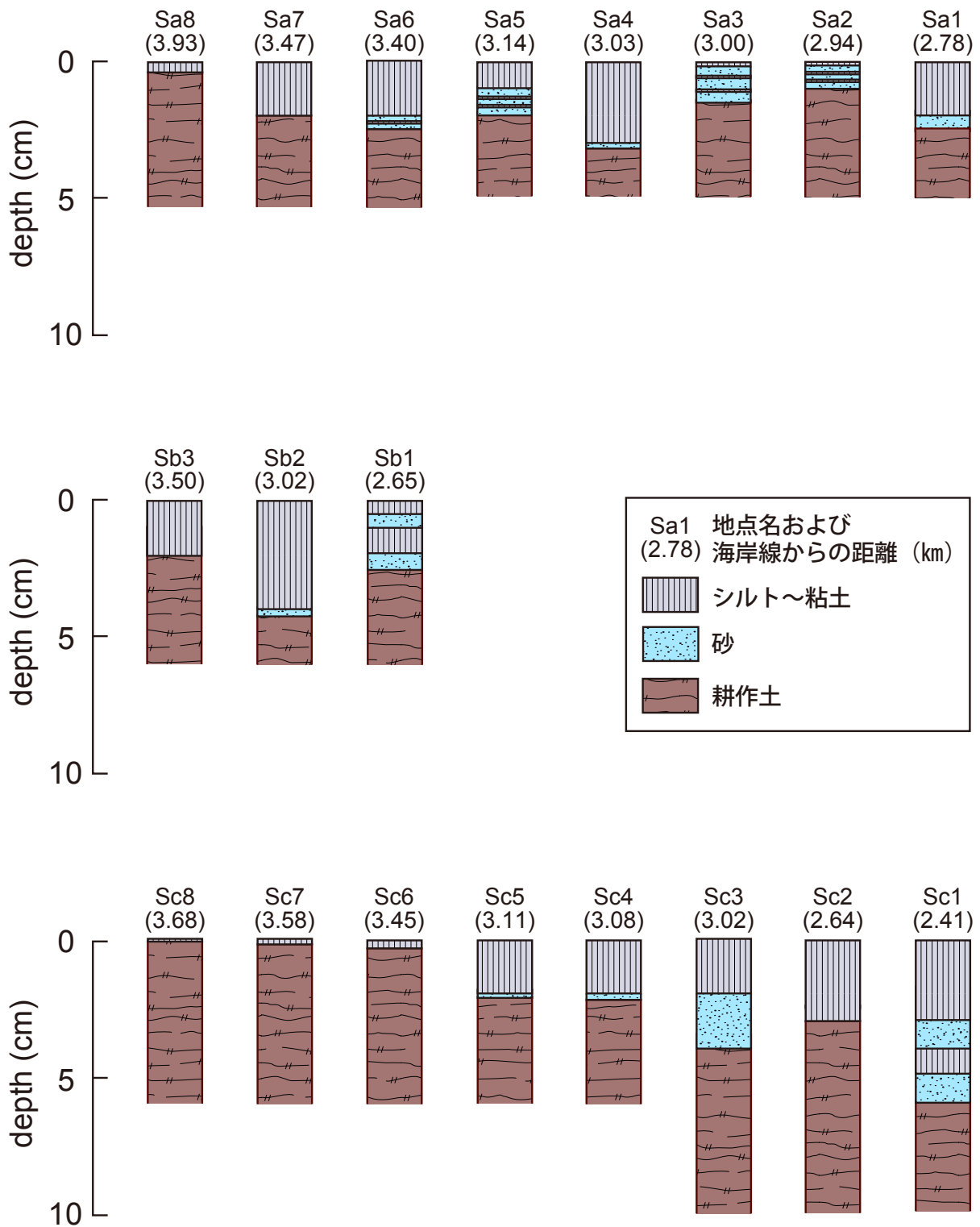


第5図. 仙台平野南部における調査地点と津波浸水域. 津波浸水域は国土地理院(2011)による. 基図は国土地理院発行1/50,000地形図「角田」使用.

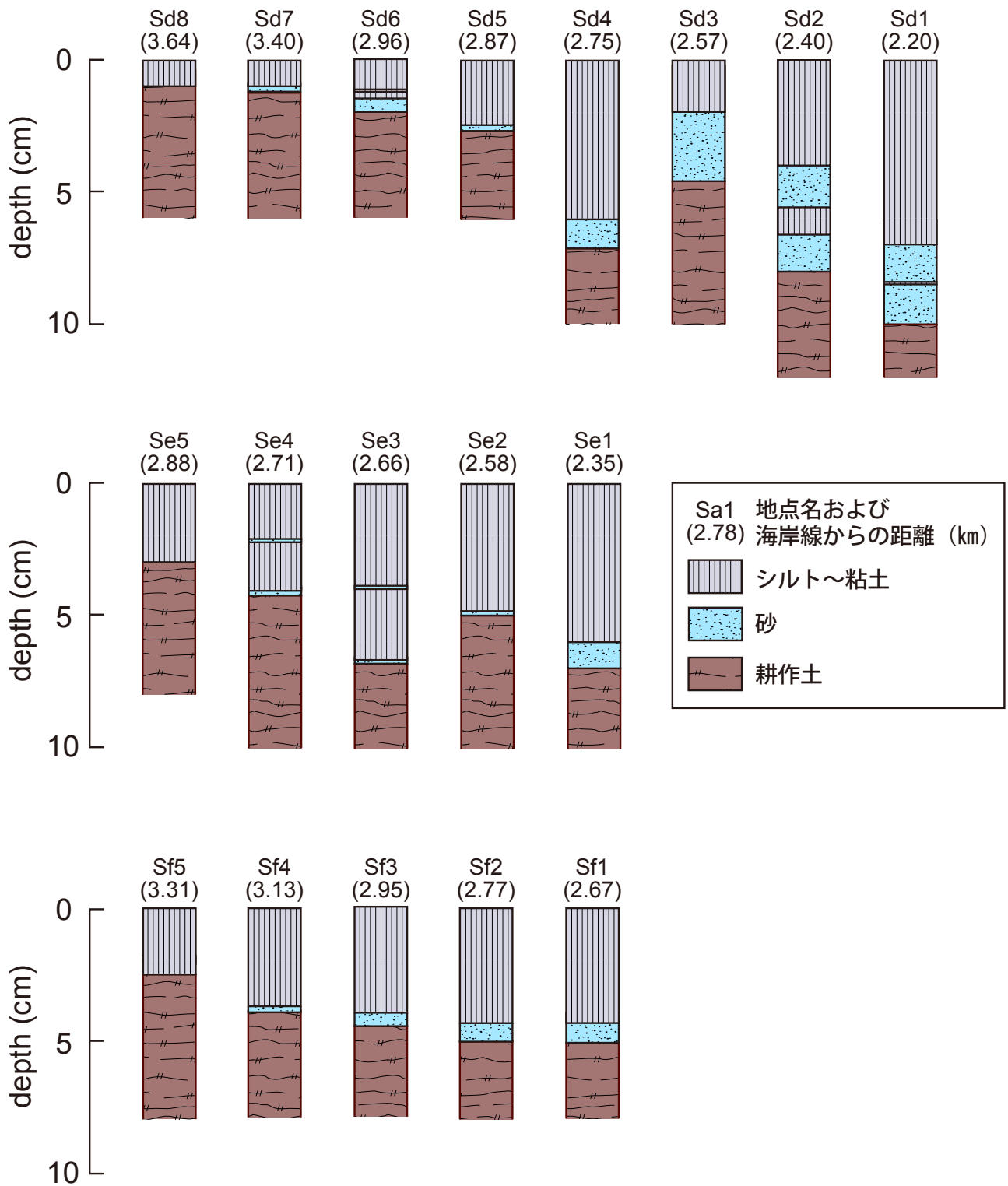
Fig. 5. Survey sites and inundation area in the southern part of the Sendai Plain. Tsunami inundation area is after GSI (2011). Base maps are 1/50,000 topographic map of Kakuda.



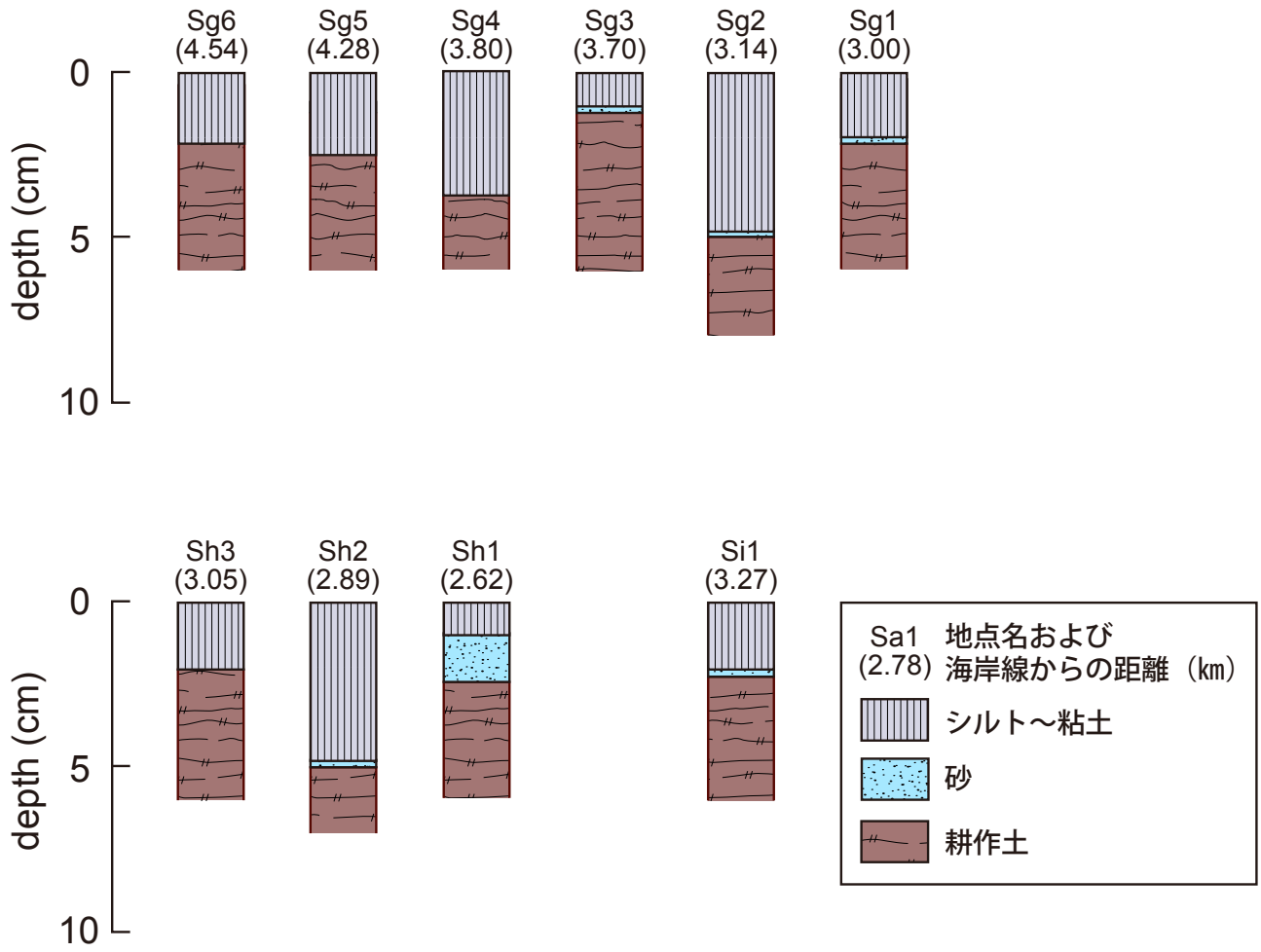
第6図. 石巻平野における地質柱状図.
Fig. 6. Columnar sections in the Ishinomaki Plain.



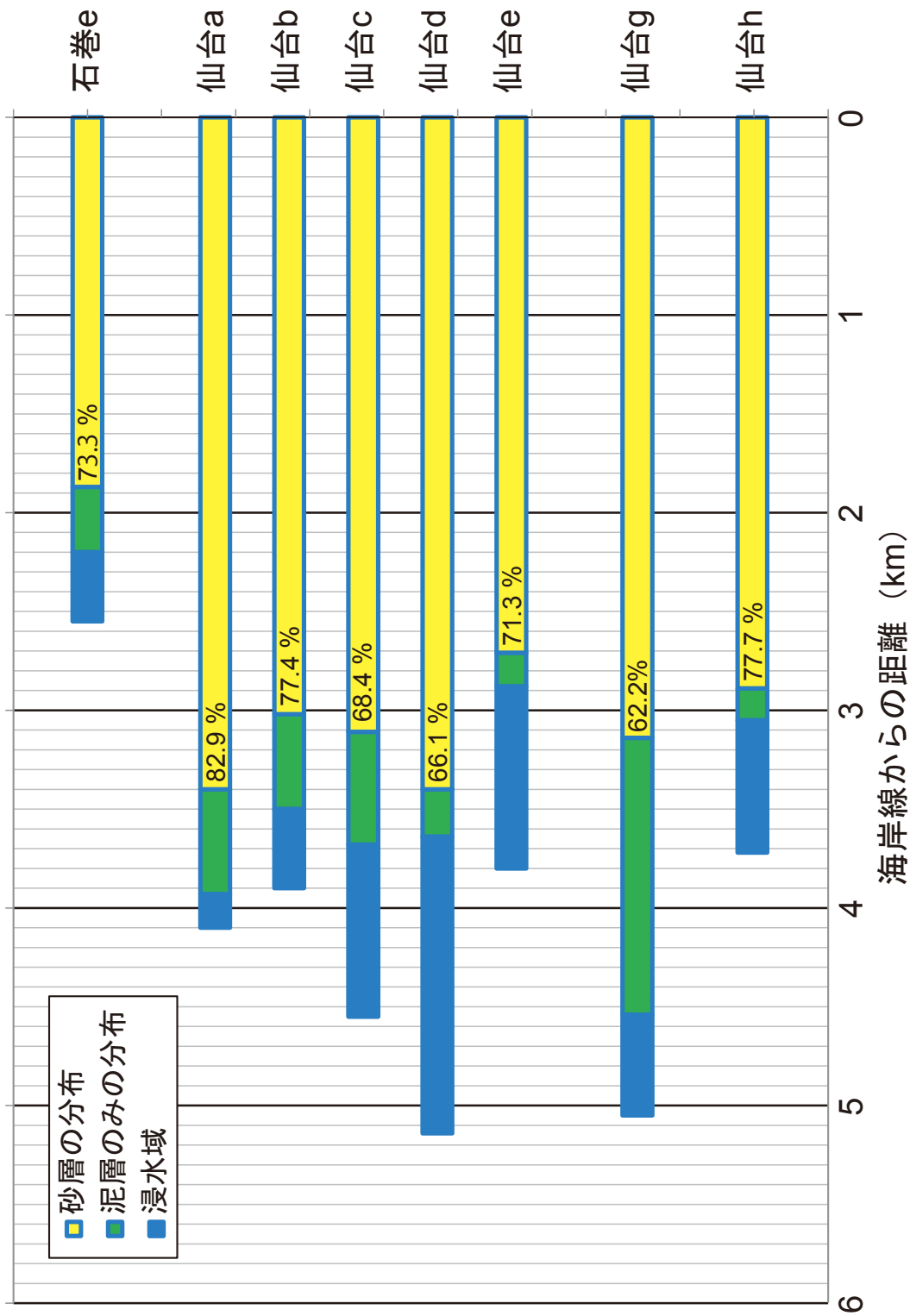
第7図. 仙台平野における地質柱状図 (仙台 a, b, c 測線).
 Fig. 7. Columnar sections in the Sendai Plain (Sendai a, b, c lines).



第8図. 仙台平野における地質柱状図 (仙台 d, e, f 測線).
 Fig. 8. Columnar sections in the Sendai Plain (Sendai d, e, f lines).



第9図. 仙台平野における地質柱状図 (仙台 g, h, i 測線).
 Fig. 9. Columnar sections in the Sendai Plain (Sendai g, h, i lines).



第10図. 津波堆積物の分布限界と津波浸水限界との海岸線からの距離と比。
 Fig. 10. Distances from shoreline to the landward limits of tsunami deposit and tsunami inundation and the ratio of them.