

2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震による土木構造物被害と地震動特性

—7 月 26 日宮城県北部の地震被害の速報も含めて—

神山 眞¹⁾、風間基樹²⁾、中村 晋³⁾

1) 正会員 東北工業大学工学部環境情報工学科、教授 工博

e-mail: mkamiyam@tohtech.ac.jp

2) 正会員 東北大学大学院工学研究科、教授 工博

e-mail: m-kazama@civil.tohoku.ac.jp

3) 正会員 日本大学工学部、助教授 工博

e-mail: s-nak@civil.ce.nihon-u.ac.jp

要 約

2003 年 5 月 26 日に宮城県沖で発生した M7.0 の地震による土木構造物の被害概要と地震動の関連が述べられる。この地震は規模が M7.0 と大きく、かつ震源の近くで 1000 ガルを越える大きな加速度が得られているにも拘らず被害が比較的軽微であったことを特徴としている。この報告では、このような被害程度と地震動特性との関係分析の結果が簡単に紹介される。また、5.26 地震のあと 2 ヶ月が経過した奇しくも同じ日の 7 月 26 日に最大規模 M6.2 の連続型の地震が宮城県北部地方に発生して、大きな被害が宮城県北部の五町を中心にもたらされた。本報ではこの被害概要も速報した。

キーワード： 地震、被害、土木構造物、宮城県沖、直下型地震

1. はじめに

2003 年 5 月 26 日午後 6 時 24 分頃、宮城県沖を震源とする気象庁マグニチュード M7.0 の地震が発生して、震源に近い宮城県、岩手県を中心に被害が発生した（以下では 7.26 宮城県沖地震と略称）。この地震により、JR 新幹線高架橋の一部が被害を受けた他、地すべりや港湾施設の被害などが生じた。また、これらのハード面での被害に加え、高架橋の被害による東北新幹線一部区間の運転休止、自治体における情報伝達の遅れ、携帯電話の通信不能などのソフト面での影響も発生した。本報告では、この地震による土木構造物を中心とした被害概要と強震動特性について述べる。また、この報告を取りまとめた 2 ヶ月後、奇しくも上記の地震発生と同じ日の 2003 年 7 月 26 日の午前 0 時 13 分頃に M5.5、午前 7 時 13 分頃に M6.2、午後 4 時 56 分頃に M5.3 の地震が連続して宮城県北部（同県の鳴瀬町から河南町にかけて）を震源として発生した（以下 7.26 地震と略称）。これらの地震により主に宮城県鳴瀬町、矢本町、鹿島台町、南郷町、河南町の五町に 5.26 地震を大幅に上回る被害が生じている。5.26 地震との比較

の意味から補足的にこれらの地震の被害状況についても速報として報告する。

2. 土木構造物の被害概要

5.26地震では震源に近い岩手県、宮城県沿岸部で震度6弱を記録して、道路亀裂、斜面崩壊（剥離、落石、すべりなど）、地盤の液状化、民家を始めとする建築物の被害など多様な被害が発生したが、特筆すべき被災は東北新幹線の盛岡～水沢江刺間にある高架橋の損傷、宮城県築館町館下における緩斜面のすべり崩壊、大船渡港を中心とする港湾施設の被害に要約される。

東北新幹線は盛岡～水沢江刺間にある高架橋のうちの1層ラーメン橋脚の一部(22箇所)が損傷した。地震による損傷直後から橋脚に無収縮モルタル、エポキシ樹脂注入、鋼板巻きによる補強・復旧作業が行われ、翌日の5月27日(火)夕方の列車より徐行しながらの営業運転が再開された。被災した岩手県内の高架橋は1985年兵庫県南部地震の被災経験による耐震補強対策措置の対象外であり、1978年宮城県沖地震以前に設計されたものである。このため現在の規準よりもせん断補強鉄筋量の少ない構造となっていた。損傷はラーメン高架橋の端部に位置する橋脚に集中している点が特徴であり、写真1に示すように橋脚における被災後のひび割れは明瞭な斜めひび割れ面が形成されていた。これに対して、曲げひび割れはほとんど生じていないことが土木学会コンクリート委員会の調査団による調査で確認された¹⁾。その他、かぶりコンクリートの剥落が生じた橋脚も存在したものの、帯鉄筋のフックのはずれや鉄筋の破断など重大な損傷は認められず、比較的軽微な損傷と推察された。ラーメン高架橋の端部以外の中間位置の橋脚には被害はほとんど生じておらず、わずかに斜めひび割れが観察される程度であった。このようにラーメン高架橋の端部の橋脚に被害が集中した原因として、端部に位置する橋脚は中間位置にある橋脚に比べ、せん断スパン比が小さく、曲げせん断耐力比が小さいこと、中間位置にある橋脚に比べ作用水平力が大きいこと、などが原因と考えられる。このような高架橋の構造自体の問題に加え、後述するように損傷区間は北上川に沿った相対的に震度の大きい地域にあり、入力地震動との関係からもその損傷メカニズムの解明が必要と考えられる。

岩手県や宮城県内の道路や宅地などに地割れや斜面崩壊が発生しているものの、宮城県築館町館下で発生した斜面崩壊は秒速6-7m程度と高速で厚さ3-4m、幅40m、長さ80m程度の領域の土砂が斜面(勾配約7度)を滑り落ちるというものであった。すべり崩壊の航空写真は写真2に示す。その高速なすべりの崩壊土砂は近接宅地の一部を巻き込んだが、幸いにも死者は発生していない。写真2からもわかるように、水田に堆積した土砂は粘性の高い流体が流れ出したような形態となっている。この斜面崩壊地は、造成前に沢部であり、崩壊斜面部分の下端付近にはため池があったことがわかっている。しかし、崩壊面近傍の土層は地下水脈が存在しているというより、雨がしみ込んで保水されていた程度のもと考えられる。地下水の関与は今後の調査によって明らかにされるべき事柄であると考えられる。採取した土砂の粒度構成は、レキ20%弱、砂50%強、シルト20%強、粘土10%弱であ

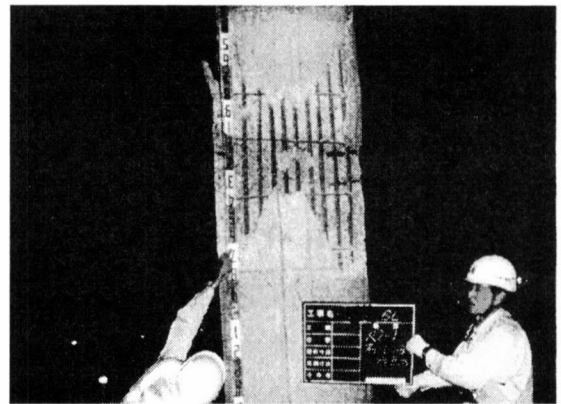


写真1 東北新幹線の橋脚損傷（土木学会提供）



写真2 築館町のすべり崩壊（国際航業（株）提供）

り、含まれるレキ分のほとんどは軽石である。土粒子自身が多孔質で吸水性があるため含水比は 26-56%程度と砂質土としては非常に高い値を示している。この土は土質分類上、「軽石混じり火山灰質シルト質砂」といえるものである。これまでの情報から、土砂が泥流化した一つのメカニズムとして次のようなものが考えられる。すなわち、地震前の斜面地山の土質が不飽和であるものの保水性が高く、サクシオンやセメンテーションによってせん断抵抗を発揮していたが、地震による地盤の揺れによりセメンテーションが切られると同時に、土粒子に保水されていた束縛水が自由水化してメニスカスがなくなったために土は一気にそのせん断抵抗を失い、自由水化した水と混じって斜面を泥流状に流下したものと推定される。このような泥流化のメカニズムは、粒径のそろったきれいな飽和砂質土が、非排水繰返しせん断を受けて負のダイレイタンスによって液状化を生じるというメカニズムと明らかに異なるものであると考えられる。このように細粒分を多く含む軽石混じり火山灰質土が、不飽和状態であっても泥流状になるという事例は新たな研究課題を提起したものといえよう。国土の約 40% が火山灰質土に被われた日本の地質状況下では一概に特殊な事例であると片付けられず、今後土質力学的観点からメカニズムが解明される必要がある。事実、後述するように 7.26 宮城県北部地震でも同じような形態の斜面崩壊が起きている。さらに、1978 年宮城県沖地震（宮城県白石市の斜面崩壊）、1984 年長野県西部地震（御岳崩壊による土石流）など軽石混じり火山灰質土が関係していると考えられる斜面災害を今後、再調査する必要がある。

港湾施設の被害は大船渡港野々田地区に液状化現象、および軽微な損傷がみられた。同地区では比較的規模の大きな液状化現象が見られたものの栈橋法線の出入りはほとんど無く、地震後においても船の接岸・係留は可能であった。また、コンクリート舗装の不同沈下も無かったため、地震の翌日には埠頭用地内における作業が行われていた。その他、気仙沼港のコの字岸壁などでも沈下、はらみ出しなどの損傷が認められたが、従来の同程度の規模と震央距離での地震被災に比べて軽微であった。

3. 5.26 地震による強震動特性

5.26 地震の気象庁発表による暫定的な本震の震源要素は、発震時刻が 2003 年 5 月 26 日 18 時 24 分頃、震央位置が北緯 38.8°、東経 141.8°、震源深さが 71km、地震規模が M7.0 となっている。また、国土地理院により公表されている断層モデルパラメータは、走向角度が 192°、傾斜角度が 68°、幅、長さがそれぞれ 19km、17km、滑り量が 2.1m、モーメントマグニチュード Mw が 7.0 となっている。これらから、この地震は地震調査委員会により発生が予測されている X 年宮城県沖地震とは異なるとの見解が同委員会により発表されている。5.26 地震により（独）防災科学技術研究所の強震ネットワーク K-NET、基盤強震観測網 KiK-net、気象庁強震ネットワーク、（独）港湾空港技術研究所の港湾地域強震観測ネットワーク、国土交通省河川・道路等施設強震計ネットワーク、東北工業大学強震観測網 Small-Titan などの多くの強震観測網により強震記録が得られている。これらのうち、K-NET の牡鹿観測点で水平最大加

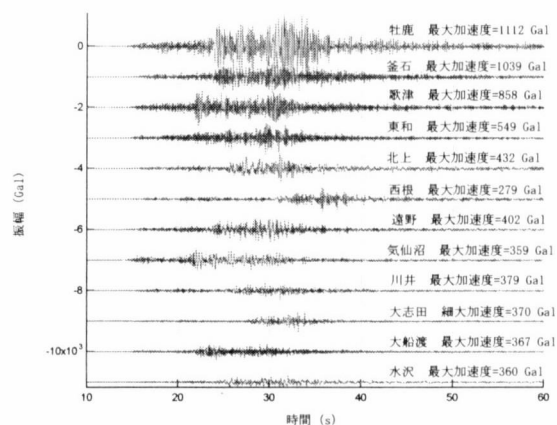


図 1 K-NET による代表的観測点の強震記録

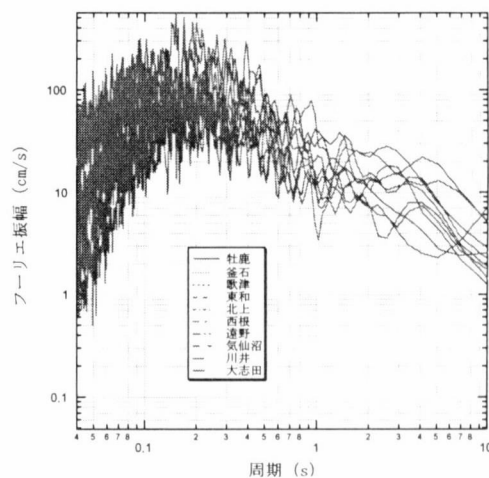


図 2 K-NET 代表的観測点のスペクトル

速度値 1112 ガル(cm/sec^2)、KiK-net の住田観測点で鉛直最大加速度値 1280 ガル、気象庁強震ネットワークの大船渡大船渡町観測点で水平最大加速度値 1106 ガル、国土交通省強震計ネットワークの歌津観測点で水平最大加速度値 1003 ガルなど、重力加速度を越える大きな最大加速度が記録された。このように大きな加速度が各所で観測されていること、地震の規模の大きさを考えても被害が比較的軽微であったことが 5.26 地震の一つの特徴といえよう。この原因の一つとして震源に近い岩手県、宮城県沿岸部地方がリアス式海岸に代表される堅い地盤であることが考えられる。これに加え、5.26 地震による地震動そのものの特徴が関与している可能性もある。以下では、5.26 地震における地震動の特徴を簡単に分析してみる。図 1 は K-NET により得られた強震記録のうち大きな最大加速度を得た 10 観測点における水平動記録を並べて示したものである。また、図 2 はこれらの記録の主要動スペクトルを重ねて描いたものある。周知のように地震動は大別して震源特性、伝播経路特性および観測点近傍の局所的な地盤条件（ローカルサイト特性）の三要因の影響をうけ、とりわけローカルサイト特性の影響は極めて大きいので、異なる地盤条件で得られたこれらの結果にはその影響が混入していると考えられるが、図 2 には極めて相似性の高いスペクトル特性が観察される。特に、短周期成分が相対的に卓越するスペクトル特性が顕著である。このような短周期成分が卓越して、長周期成分の振幅が相対的に小さいことが 5.26 地震による地震動の特徴と考えられる。そこで、5.26 地震による地震動と過去に東北地方で発生した被害地震による代表的な強震記録、および著しい被害が生じた 1995 年兵庫県南部地震での神戸海洋気象台での強震記録とを比較してみる。図 3 はその比較を加速度記録から示したものであり、図 4 はそれらの主要動部スペクトルを比較してプロットしたものである。これらの図で 5.26 地震による強震記録は代表として最も大きな加速度値が得られている牡鹿(oshika)観測点のみが示されている。図 3 から加速度記録に限って言えば、5.26 地震の地震動は過去の地震によるそれと比較して極めて大きいことが指摘できる。一方、スペクトル特性では 5.26 地震の地震動は周期 0.3 秒以下の短周期のスペクトル振幅は大きいものの、これより長周期では神戸海洋気象台での強震動はもとより過去の東北地方で発生した被害地震の強震動より小さいことが指摘できる。とりわけ、周期 1 秒より長周期でのスペクトル振幅が相対的に小さいことが注目される。このことは、今回の地震の地震動は加速度振幅では異常に大きいものの、速度、変位振幅では必ずしも特筆すべき大きな値を与えたものでないことを意味する。このことが、5.26 地震では地震規模や最大加速度値の割には地震被害が軽微であった原因の一つと考えられる。

4. 7. 26 地震による被害概要と強震動特性(速報)

2003 年 7 月 26 日の午前 0 時 13 分頃に M5.5、午前 7 時 13 分頃に M6.2、午後 4 時 56 分頃に M5.3 の地

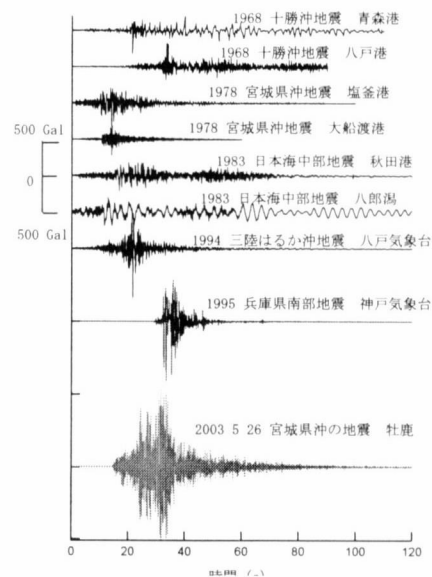


図 3 5.26 地震の記録と過去の被害地震による記録比

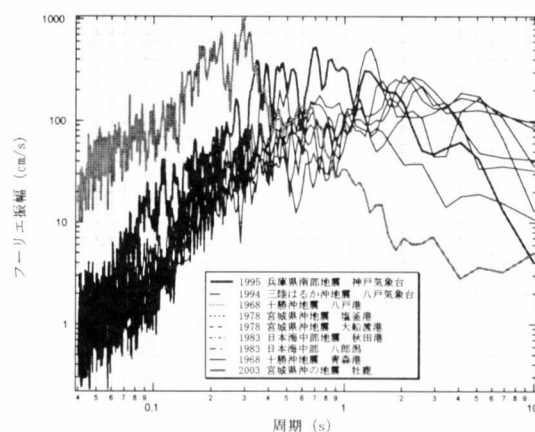


図 4 5.26 地震と過去の被害地震のスペクトル比較

震が連続して宮城県北部（同県の鳴瀬町から河南町にかけて）を震源として発生した（以下 7.26 宮城県北部地震と略称）。これらの地震により主に宮城県鳴瀬町、矢本町、鹿島台町、南郷町、河南町の五町に 5 月 26 日に宮城県沖で発生した地震（5.26 宮城県沖地震と略称）を大幅に上回る被害が生じた。この地震は旭山撓曲といわれる地表面に顔を出していない地下に潜った断層を震源とする内陸における典型的な直下型地震と考えられており、三つのほぼ同じ規模の地震が 24 時間以内に連続して発生した極めて珍しい地震である。2 番目に発生した最も大きな規模 M6.2 の地震により震源に近い上述の宮城県北部 5 町に大きな被害が発生している。

2 番目に発生した地震により震源に近い矢本町、南郷町、鳴瀬町で震度 6 強を観測したほか、1 番目、3 番目の地震によっても震源に近い観測点で震度 6 弱を観測されている。特に、1 番目の地震により鳴瀬町役場に設置された計測震度計により東西方向の最大加速度 2005 ガルが記録されたほか、2 番目の地震により矢本町役場に設置の計測震度計の 3 成分合成加速度で最大 1609 ガルなど、これまでの我が国における最高の加速度が記録されている。ただし、これらの自治体により設置されている計測震度計の設置状況には問題もあり、ここでの最大加速度値は今後十分検討する必要がある。また、この地震の発生する前の 5 日間にわたり宮城県北部地方は降雨に見舞われ（100～150mm 程度）、悪条件下の地震被害としても特筆される。この地震による死者の報告はない。

気象庁発表による暫定的な本震の震源要素は以下の通りである。

1 番目の地震

発震時刻：2003 年 7 月 26 日 00 時 13 分頃、震央：北緯 38.43°，東経 141.17°

震源深さ：11km、規模：M5.5

2 番目の地震

発震時刻：2003 年 7 月 26 日 07 時 13 分頃、震央：北緯 38.40°，東経 141.20°

震源深さ：12km、規模：M6.2

3 番目の地震

発震時刻：2003 年 7 月 26 日 16 時 56 分頃、震央：北緯 38.50°，東経 141.20°

震源深さ：12km、規模：M5.3

また、気象庁、国土地理院、(独)防災科学技術研究所、東京大学地震研究所などによりメカニズム解、断層パラメータが求められているが、東京大学地震研究所により公表されている断層モデルパラメータ（暫定）は以下の通りである。

走向角度：201°、傾斜角度：42°、すべり角度：102°、幅：9km、長さ：12km

最大食い違い量：0.5m、平均食い違い量：0.4m、モーメントマグニチュード：Mw6.0

東北大学地震火山噴火予知センターによる震源分布を図 5 に示す。余震分布は河南町旭山から約 10km 程の長さで南下する線にそって発生しており、若干西側に深くなる傾向が見られる。気象庁によるメカニズム解と上記東大地震研究所による断層パラメータによる模式図を図 6 に示す。これまで明らかにされている震源分布、断層モデル形状は従来から存在が知られている旭山撓曲の位置と形状に調和的である。これまでの調査では旭山撓曲に関係する断層の地表面への出現は発見されていないが、図 6 の断層模式図の力源モデルのうちの共役面に相当すると考えられる変状が既知の旭山撓曲の南北線にそう形でその若干西側に河南町北村地区から矢本町大塩地区、鳴瀬町小野地区に至る直線上に認められる。

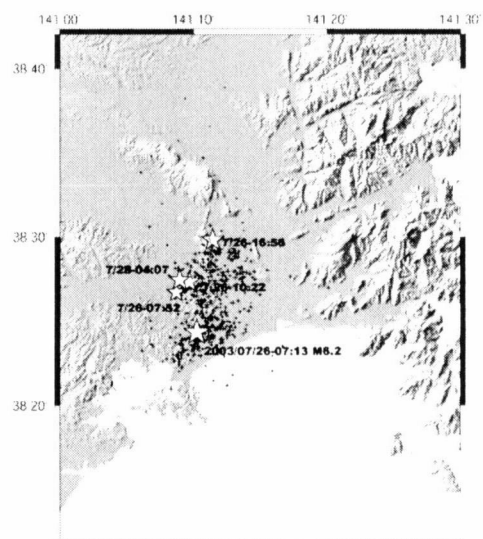


図 5 震源分布（東北大学）

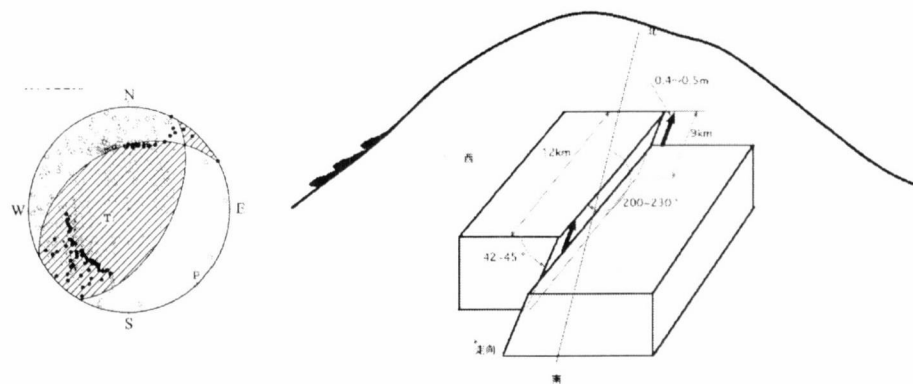
この一連の地震により
 気象庁計測震度計ネットワーク、宮城県独自の計測震度計ネットワーク、(独)防災科学技術研究所の強震ネットワーク K-NET、基盤強震観測網 KiK-net、
 (独)港湾空港技術研究所の港湾地域強震観測ネットワーク、国土交通省河川・道路等施設強震計ネットワーク、東北工業大学強震観測網 Small-Titan などの
 多くの強震観測網によ

り強震記録が得られている。なお、これらのうち、気象庁計測震度計ネットワーク、宮城県独自の計測震度計ネットワークは計測震度、最大加速度知のみが公開されており、数値化記録は公表されていない。気象庁計測震度計ネットワーク、宮城県独自の計測震度計ネットワーク、
 (独)防災科学技術研究所の強震ネットワーク K-NET、基盤強震観測網 KiK-net による計測震度を上記二つ目の地震についてプロットした計測震度分布図を図 7 に示す。図 7 では旭山撓曲の南北線より西側で震度の大きいことが認められ、旭山撓曲の断層タイプである逆断層の上盤側で大きくなっている特徴がある。この分布特徴は以下の各種構造物の被害程度と矛盾しない。

図8は今回の7.26地震による大きな被害を受けた地点をこの原稿執筆時点での概略として整理したものである。被害分布は上述のように旭山撓曲の上盤に相当する西側で広く、かつ大きい傾向が認められる。現時点での著者らが解釈する被害特徴は以下の5項目にまとめられる。

(1) 大きな被害は宮城県鳴瀬町、矢本町、鹿島台町、南郷町、河南町の五町に集中する。

(2) 一般住宅からライフラインまで多くの種類の構造物が被害を受けている。(3) 河南町旭山(標高約 173m)から矢本町大塩地区、鳴瀬町小野地区にいたる南北に伸びる小高い山(丘陵地帯)の比較的堅い地盤(一部岩盤)において斜面崩壊、構造物被害が顕著である。



Strike:201°, H=5km, Dip:42°, Rake:102°, Mw=6.0
 S:12km*9km, Do=0.4m, Dmax=0.5m, $\Delta\sigma=3.1$ MPa

図 6 気象庁メカニズム解、断層模式図

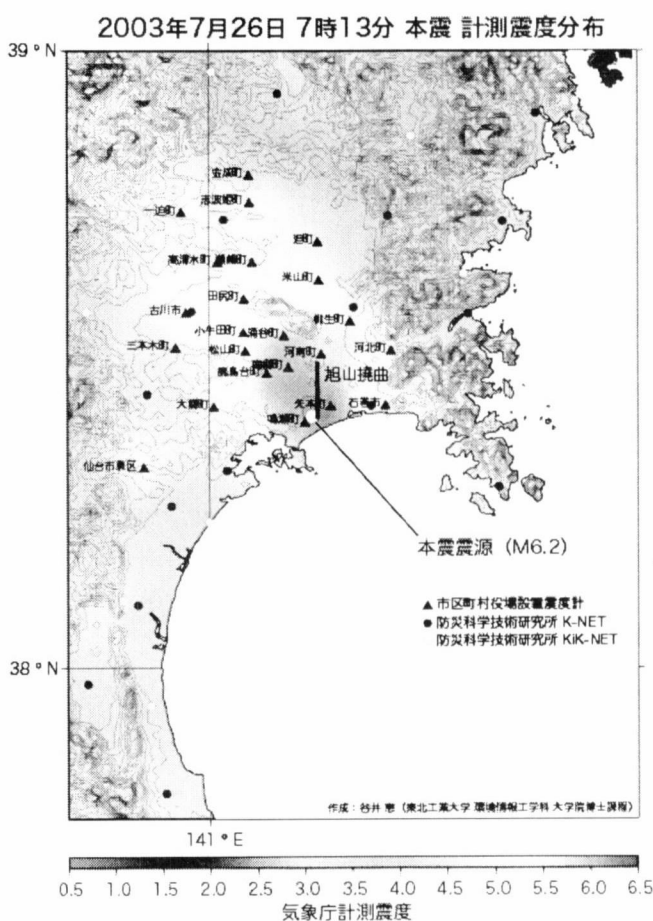


図 7 震度分布

(4)(3)に加え、河南町広瀬地区、前谷地地区、南郷町二郷地区、木間塚地区に代表される軟弱地盤地帯での被害も著しい。

(5) 前記の河南町旭山（標高約173m）から矢本町大塩地区、鳴瀬町小野地区にいたる南北に伸びる小高い山（丘陵地帯）より西側においてその東側より被害が相対的に卓越する（鳴瀬川と旧北上川の堤防被害の差異にこの傾向は顕著）。

また、その他の特徴を以下に列記する。被害個所の代表的な写真は写真3～7に示されている。

○典型的な直下地震で被害は局部的であるが、被害の数と量において、5/26の宮城県沖の地震より格段に大きい。

○被害形態は道路亀裂、急斜面崩壊（落石、剥離など各種）、緩斜面の地すべり流れ、堤防破壊、家屋損壊、民家の瓦の被害、ブロック塀の倒壊、ライフライン（上水道、電力）被害、など多彩。

○道路被害は上記各町に多数発生している。

○大きな急斜面崩壊は鳴瀬町役場付近（小野地区）から北へ矢本町大塩地区、河南町北村地区（旭山一体）にかけての直線上に顕著な様相が認められる。これは言われている旭山撓曲（断層）の推定位置と重なる。

○緩斜面の地すべり被害も上記直線上に発生している。特に、河南町北村の旭山周辺の西猿田（沢）地区には旧地形25～15度が地すべりを起こして約100～200メートル流動した被害があり、5/26の宮城県沖の地震における築館のすべりと酷似している（写真7参照）。

○これらの急斜面と緩斜面の被害、特に緩斜面の被害は地震前5日間わたって降り続いた雨（100-150mm程度）が関与している。なお、上記の西猿田地区は過去に雨による斜面すべりを何回か起こしているとの住民の情報がある。

○堤防破壊は主に鳴瀬川の南郷町から鳴瀬町にかけて多く点在するが、南北方向に流れる堤防において東西方向に流れる堤防より被害が顕著である。

○家屋被害は上記5町の沖積部に多い様相がある。瓦の飛散も多く、上記5町に集中している。

○ブロック塀の倒壊が非常に多い。これも上記5町に集中している。特に、大型の大谷石による補強筋なしの塀の倒壊が顕著。1978年のブロック塀の被害経験が活かされていないことを痛感させる。発生時刻が土曜日の朝7時ということから人的被害が少ないがこれは奇跡に近い。

○ライフラインの被害も多く、上記5町でのそれぞれにおいて数日間にわたり断水を余儀なくされた。

○ライフラインのうち電力の被害は多様な被害がみられる（例えば、電柱の倒壊、傾き、電柱トランスからの油の流出など）。

○地震動について、上記5町で設置している計測震度計による加速度で非常に大きい最大加速度が報告されている。このうち、7月26日0時13分の地震において鳴瀬町役場の計測震度計によりEW方向で2005.1ガルを記録している（7時13分の地震では755.8ガル）。この卓越振動数は2hz。ただし、この設置位置は約1mの高さを持つ人口法面の法肩にあり、不整形地形の影響が混入している恐れがある。今後の検討が必要と考えられる。さらに、震源近くの他の町役場に設置されていて大きな加速度を記録した計測振動計の設置形態にも問題が多い。

○上記5町の震源近傍の墓所（例：鳴瀬町小野地区）で墓石の転倒、飛び跳ね、回転が顕著であり、特に転倒方向に同一性がみられる。これは震源メカニズムに関与する現象であることが推定される。

○地盤の液状化については鳴瀬町牛網地区で、5/26の宮城県沖の地震に続いて再液状化が認められる。

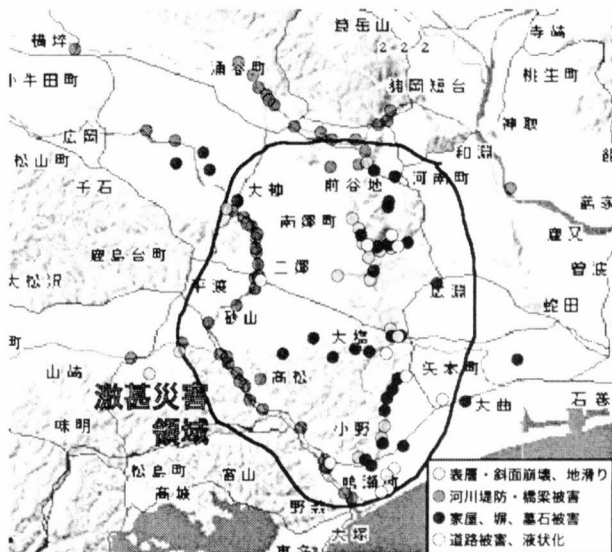


図8 大きな被害領域の範囲（概略図）

謝辞

この報告作成にあたり、(社)土木学会と(社)地盤工学会により合同で設置された 5.26 宮城県沖地震と 7.26 宮城県北部地震の被害調査団各位のご協力をいただいた。また、強震記録は K-NET、Kik-NET によるウェブ公開記録を利用させていただいた。記して、関係各位にお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 2003 年 5 月 26 日に発生した宮城県沖の地震被害調査速報、土木学会誌、Vol. 88、8、2003、pp. 54-57
- 2) (独) 防災科学技術研究所ホームページ：
<http://www.k-net.bosai.go.jp>
- 3) 平成 15 年 5 月 26 日の宮城県沖で発生した地震災害緊急調査速報、土と基礎、Vol. 51、No. 8、2003、pp. 44-48

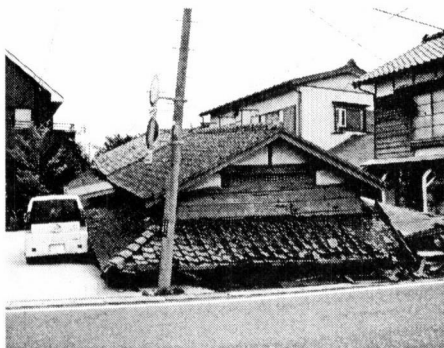


写真 3



写真 4

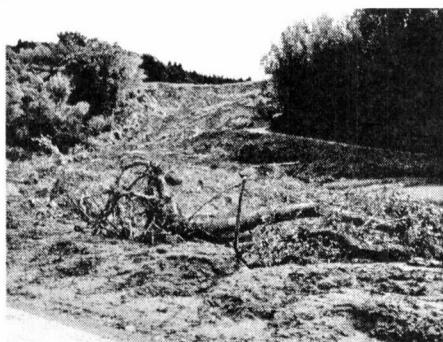


写真 5

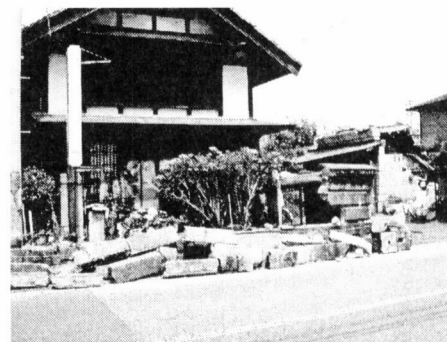


写真 6



写真 7 地すべり被害の酷似性 (左: 5.26 地震の築館町、右: 7.26 地震の河南町) —国際航業(株)提供

原稿記載 (2003 年 8 月 4 日)