

2003年三陸南地震の特徴と課題

神山 眞¹
Makoto KAMIYAMA¹

¹ 東北工業大学工学部環境情報工学科

2003年5月26日に宮城県沖で発生したM7.1の地震（通称，三陸南地震）による土木構造物の被害概要と地震動の関連を中心として，同地震による被害の特徴と課題が述べられる．この地震は規模がM7.1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．

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M7.1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5.26宮城県沖地震もしくは5.26地震と略称）．この地震は気象庁により正式に命名されていないが，地元ではマスコミを中心として，三陸南地震と通称された．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とともに，同地震の全般的な特徴と課題について報告する．

2．土木構造物の被害概要

この地震は1994年北海道東方沖地震と同様に太平洋プレート内で発生した地震であり，後述するように最大加速度が1Gを越える記録が岩手・宮城県沿岸部で観測され，震度6弱の地域が岩手・宮城県の沿岸部のみならず内陸地域にも生じている．しかし，それにもかかわらず，被害や揺れの大きな地域が局在するという特徴を有している．また，液状化や斜面崩壊などに起因する地盤災害も局部的であり，その変状も一部を除いて比較的小さい．一方，地震発生後の情報伝達手段として重要な携帯電話は使用を制限され，重要な災害情報などの伝達手段となりえなかったことや，地震直後の津波などへの十分な避難行動がみられないなどの重大な課題も残した．

5.26宮城県沖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)を滑り落ちるといったものであった²⁾。すべり崩壊の航空写真を写真 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の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%弱であり、含まれるレキ分のほとんどは軽石である²⁾。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。地震後の情報から、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發揮していたが、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²⁾。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、土質力学的観点からメカニズムの解明が進められる必要がある。事実、この地震の 2 ヶ月後に発生し、5.26 地震と同じく宮城県に被害をもたらした 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



写真 2 築館町のすべり崩壊(国際航業(株)提供)

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改めて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棧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. 地震の特性

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⁵⁾。

発震時刻: 2003 年 5 月 26 日 18 時 24 分頃

震央: 北緯 38.8°, 東経 141.8°

震源深さ: 71km

規模: M7.1

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、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以下の通りある⁸⁾。

走向角度: 192°

傾斜角度: 68°

幅: 19km, 長さ: 17km

滑り量: 2.1m

モーメントマグニチュード: Mw7.0

一方、東京大学地震研究所により求められている断層パラメータは以下の通りである(EIC 地震学ノートによる速報解)³⁾。

走向, 傾斜, すべり角 = (190, 72, 101)/(338, 21, 60)

地震モーメント $M_0 = 3.8 \times 10^{19}$ Nm (Mw = 7.0)

破壊継続時間(主破壊) T = 10 s

深さ H = 75 km

主破壊の断層長 L = about 15 km

断層面積 S = 15 km x 15 km

食い違い $D_{max} = 2.7$ m

応力降下 = 28 MPa

それぞれほぼ同じ断層モデル値が算定されているが、地震研究所により算定されている応力降下量がかなり大きいことが注目される。

図-1 に気象庁発表の本震の震源位置を 2003 年 1 月 1 日から記録されている地震震源の位置とともに示す⁵⁾。図-1 にみられるように東北地方の太平洋側で存在する二重深発断面の上面と下面の間に発生していることがわかる。

図-2 は気象庁が今回の地震と 1978 年宮城県沖地震との関係を震源位置からまとめたものである⁵⁾。図-2 では 1975 年からの地震震源もプロットされているが、平面的には今回の地震は 1978 年宮城県沖本震の震源とは離れていることがわかる。

先に述べたように幾つかの機関でメカニズム解が求められているが、その内、防災科研による初動メカニズム

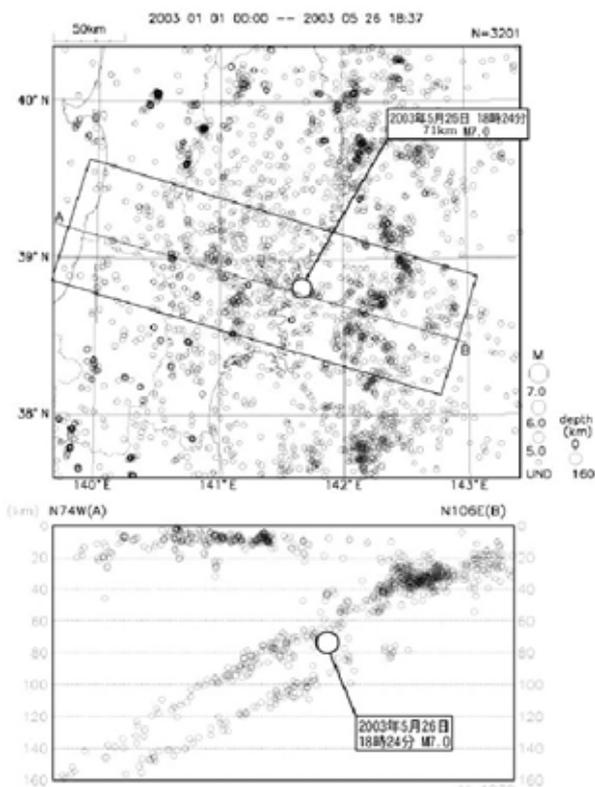


図-1 気象庁による震源分布

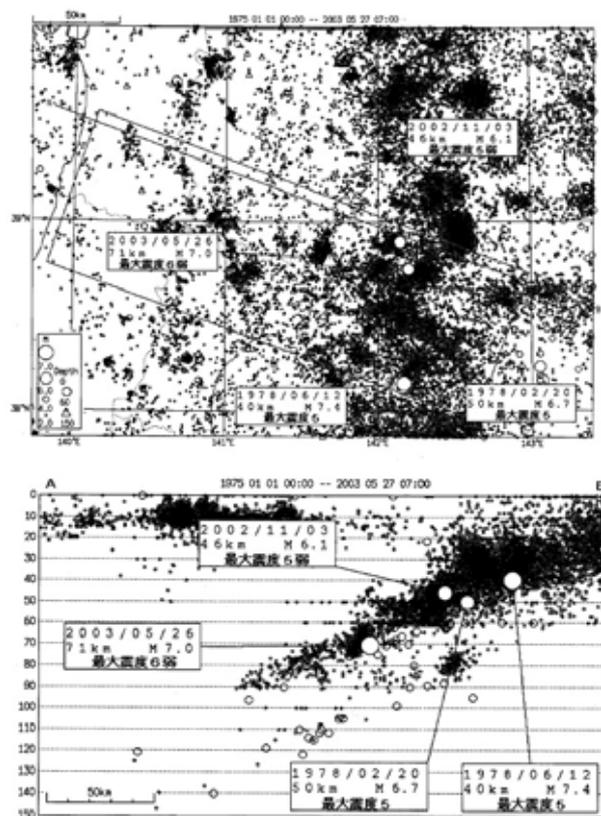


図-2 過去の地震震源と今回の震源（気象庁）

解, CMT 解は参考になる⁴⁾ (図省略). これらのデータおよび余震分布から 5.26 宮城県沖地震はプレート内の西落ち約 70 度の傾斜角をもつ逆断層タイプであることがわかる.

一方, 5.26 地震の断層破壊過程も幾つかの機関, 研究者で求められている. これら解析から大局的に破壊は北側に進展したことが推定される. 南側セグメントの破壊開始点付近と, 北側セグメントの深いところにすべり量の大きな領域が存在する. これらの領域は後述の強震記録にみられる特徴的なパルスの原因と考えられる. それぞれの破壊領域における最大のすべり量は 7.9 m, 8.9 m で, モーメント $M_0=7.6 \times 10^{19}$ Nm ($M_w = 7.2$) と算定されている⁴⁾.

4. 地震動の特性

この地震により (独) 防災科学技術研究所の強震ネットワーク K-NET⁴⁾, 基盤強震観測網 KiK-net⁴⁾, 気象庁強震ネットワーク⁵⁾, (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⁶⁾, 国土交通省河川・道路等施設強震計ネットワーク⁹⁾, 東北工業大学強震観測網 Small-Titan¹⁰⁾ 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得られている.

この地震により宮城県石巻市, 岩手県大船渡市などで震度 6 弱の最高震度が記録されたほか, 東京で震度 3 の地震動を感じるなど広域的に影響がでた. 気象庁震度情

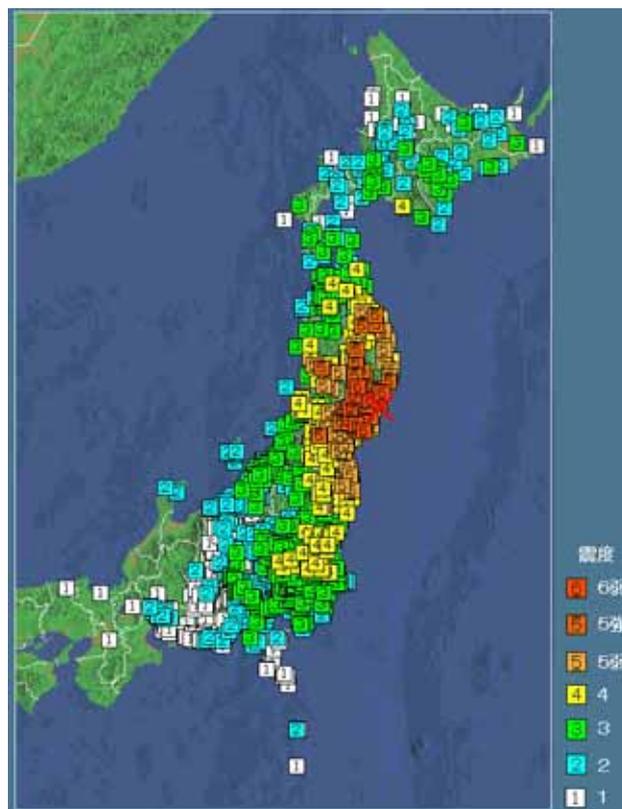


図-3 震度階分布 (気象庁)

報により最高震度の震度 6 弱を記録した地点は以下の通りである.

宮城県 石巻市, 涌谷町, 栗駒町, 高清水町, 金成町, 桃生町

K-net & KiK-net Surface

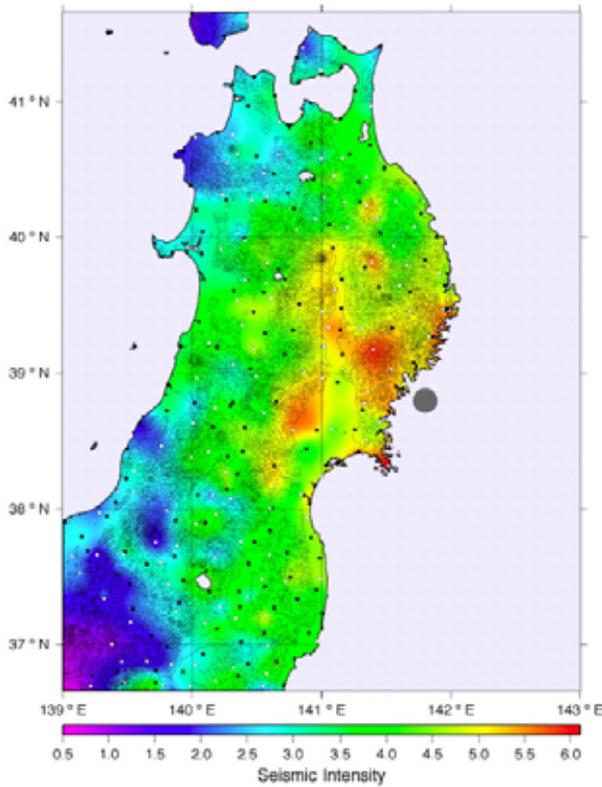


図-4 K-NET、Kik-netの強震記録処理による計測震度分布（は震央、実線は標高コンター）

岩手県 大船渡市，江刺市，衣川町，平泉町，室根村
 図-3 に気象庁発表の震度分布図を示す⁵⁾。震度分布の特徴をみるため防災科研 K-NET および KiK-net の加速度強震記録を処理して得た計測震度分布を図-4 に示す。図-4 では震央が大きな でプロットされている。計測震度の大きさはカラー色調で示されており、震度の大きさと地形との関係を見るため標高が実線コンターで表示されている。図-4 から震央に近い宮城県，岩手県の多くの地域で震度 5 強以上の揺れが生じていることがわかる。同時に，強い揺れは震央距離には必ずしも比例しないで，特異に大きな震度を示す地域が散在することも図-4 からわかる。特に，標高の低い平野部および平野部と丘陵部との境界付近の地域で震度が大きくなる傾向がみとれる。平野部の例では北上川に沿った地域で震度が大きくなる様相がみられ，これは被害があった JR 東北新幹線の高架橋地域とおおよそ重なるものであり，地震動と被害との関係から興味深い。また，図-4 は震央に対して南側より北側に位置する岩手県，青森県において相対的に大きな震度地域が分布するようにみえると同時に，震度分布のコンターは震源断層の走向（ほぼ N190E）に平行な分布傾向を呈しているとの解釈も成り立つ。この震度分布の特徴は，先に述べた震源断層の破壊過程が震源から主に北側に伝播したことおよび震源断層形状と密接に関係があると考えられる。

一方，5.26 宮城県沖地震による最大加速度のアテニュエーション特性をみるため K-NET，Kik-net による強震記録の水平最大加速度を震央距離に対してプロットしたのが図-5 である。ここで，水平最大加速度は 2 成分水平加速度記録の最大値を採用している。また，図-5 では比較のため，既往の最大加速度アテニュエーションとして

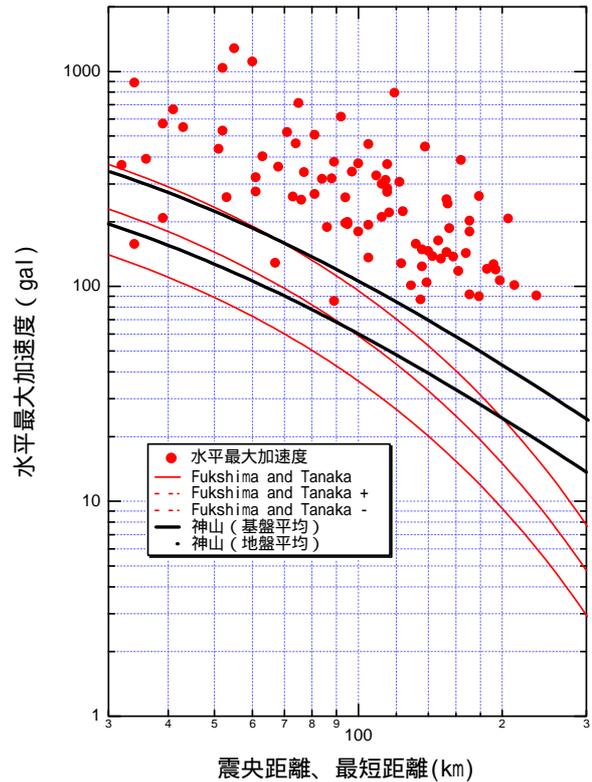


図-5 最大加速度のアテニュエーション
 (: 実測の水平最大加速度、震央距離で表示)
 (Fukushima and Tanaaka : 平均、平均± を断層からの最短距離で表示)
 (神山 : 基盤における平均、堆積層地盤の平均を断層からの最短距離で表示)

Fukushima and Tanaka¹¹⁾ および神山¹²⁾ の経験式による算定値もプロットされている。ただし，既往の算定式はいずれも距離として断層からの最短距離を採用しているが，5.26 宮城県沖地震の断層面に検討の余地があることから，ここでは暫定的に 5.26 宮城県沖地震による最大加速度の距離として単純に震央距離を用いている。図-5 をみると距離尺度の違いを考慮しても 5.26 宮城県沖地震による最大加速度が既往の地震の最大加速度アテニュエーションに対して大きな値を示していることが指摘できる。

地震動の大きさは周知のように，大別して震源特性，伝播経路，ローカルサイト効果の 3 条件によって決定されるが，図-5 の最大加速度は多種多様な伝播経路，ローカルサイト効果をもつと考えられる観測点で得られたものであること，それにも関わらず最大加速度値が全般に大きいことなどを考えれば，3 条件のうちの後者 2 条件の影響というよりも第 1 条件の震源特性が大きく寄与していると推定される。

地震動の振幅，とりわけ加速度振幅は震源断層における応力降下量の大きさに正の関係があることが地震断層のクラックモデルなどから知られている。既に述べたように，東大地震研究所による今回の地震の断層モデルパラメータで応力降下量が = 28 Mpa と過去の同規模の地震モーメントをもつ地震に比較して非常に大きな値が算定されており，これが今回の地震による最大加速が大きな値を示していることと深く関係していると考えられる。このことは換言すれば，震源断層の応力降下量は

表-1 K-NET 代表的観測点の一覧

観測点	震央距離(km)	最大加速度(gal)
牡鹿(Oshika)	62	1111.6
釜石(kamaishi)	52	1038.5
歌津(Utatsu)	26	858.1
東和(Touwa)	43	549.5
北上(Kitakami)	81	506.6
西根(Nishine)	138	446.4
遠野(Toono)	63	402.2
気仙沼(Kesennuma)	23	391.2
川井(Kawai)	89	379.5
大志田(Ooshida)	115	369.7
大船渡(Ohfunato)	32	366.9
水沢(Mizusawa)	68	360.3

断層のくい違い量に比例して、かつ断層寸法に反比例するので、今回の地震の特徴として、小さい領域が大きくくい違った地震というように表現できよう。

次に、具体的な強震記録の加速度波形をみるため、K-NET の大きい最大加速度を得た代表的な 12 観測点の強震記録を代表として NS 成分水平動記録を例に図-6 に示す。これらの観測点の一覧は震央距離、最大加速度のデータを付して表-1 に示されている。図-6 の各観測点の記録は伝播経路、ローカルサイトが異なる条件で得られたものであり、一律の検討は出来ないが、それらの振幅包絡は幾つかのパルス状を呈しているように見える。これは震源における断層破壊過程の大きな破壊領域が最低でも二つ存在するという断層破壊パターンに密接に関係していると考えられる。これらの記録のスペクトル特性をみるため、代表例として EW 水平動記録の主要動におけるフーリエスペクトルを求め、それらを重ね書きしたものが図-7 である。上述のように、これらの記録は伝播経路、ローカルサイト効果が異なる条件で得られたものであるが、それにも関わらず周期 0.1~0.2 秒の短周期の帯域にピークをもつ極めて相似なスペクトル形状を有することがわかる。従って、このスペクトルの特徴は多分に震源特性を反映したものと考えられ、先に述べた最大加速度が相対的に大きいという特徴と軌を一にするとともに推定される。

以上のように、5.26 宮城県沖地震は応力降下量が大きいプレート内地震という特徴を有しているが、これに関連する形で得られた強震動記録は最大加速度が大きく、短周期に卓越するスペクトル特性を有する。このような 5.26 宮城県沖地震の地震および地震動の特徴をこれまで東北地方で生起して大きな被害を伴った被害地震と比較することは地震動と地震被害との関係进行分析する観点から意義が深いと考えられる。そこで、5.26 宮城県沖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-8 はその比較を加速度記録から示したものであり、図-9 は主要動部のフーリエスペクトルで比較したものである。これらの図で 5.26 宮城県沖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。また、図-8 の時間軸の起点時刻は記録ごとに任意で取られている。さらに、各地震の記録は代表的な観測点の一つの水平動記録を表示している。

K-NET NS Components

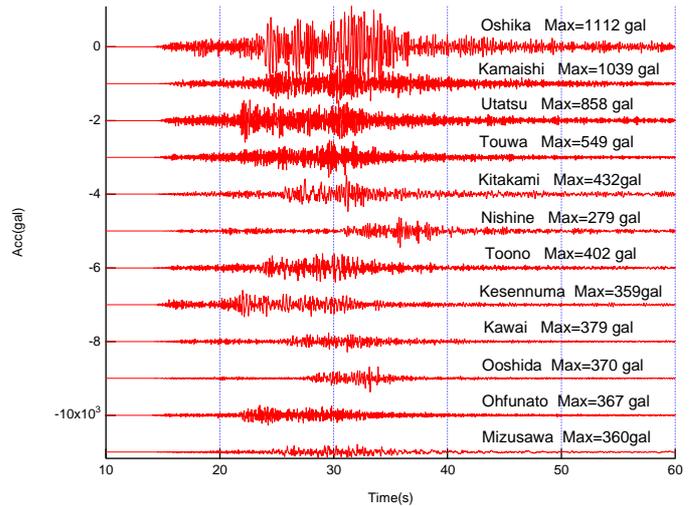


図-6 K-NET による代表的観測点での強震加速度記録 (NS 成分)

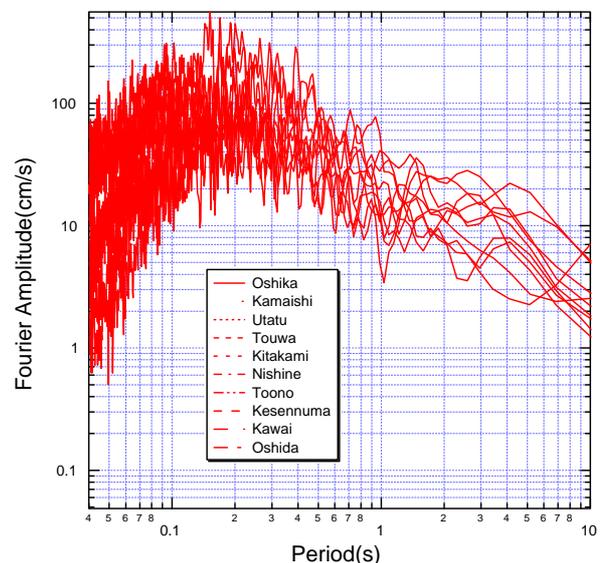


図-7 K-NET による代表的観測点での強震加速度記録のフーリエスペクトル (EW 成分)

まず、図-8 から、加速度記録に限っていえば、5.26 宮城県沖地震の地震動は過去の地震による加速度記録と比較しても、振幅、振動継続時間ともに極めて大きいことが指摘できる。図-8 の各記録はそれぞれ異なる規模の地震、異なる震央距離、異なるローカルサイト条件の観測点で得られたものであり、単純な比較はできないが、それでも 5.26 宮城県沖地震の牡鹿 (Oshika) 観測点の強震記録は振幅、継続時間ともに他の記録を凌駕するものであることがわかる。特に、同じく震源近傍の記録である 1995 年兵庫県南部地震での神戸海洋気象台の記録との比較から牡鹿 (Oshika) 観測点での記録の振幅、震動継続時間の甚大性が顕著である。一方、スペクトル特性では 5.26 宮城県沖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図-9 から指摘できる、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、

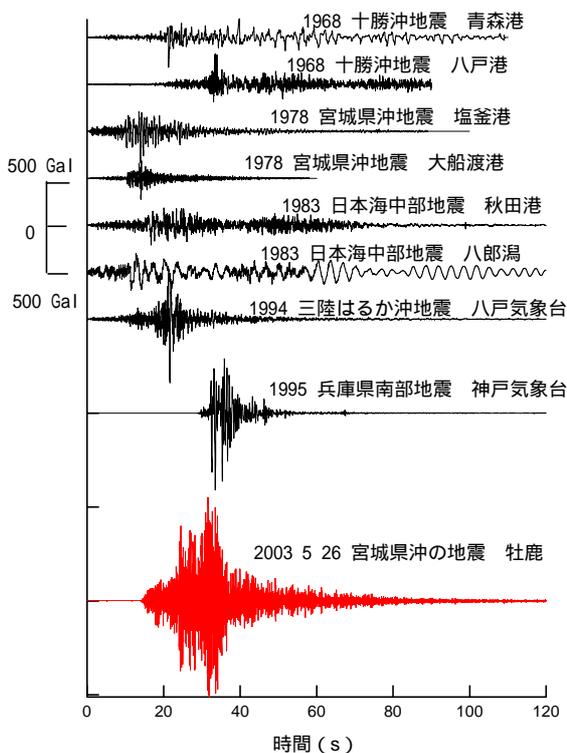


図-8 東北地方の被害地震強震記録および兵庫県南部地震の強震記録と今回の地震による強震記録

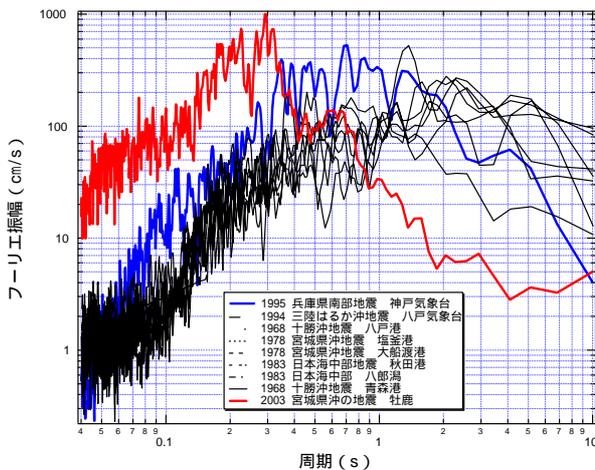


図-9 東北地方の被害地震強震記録および兵庫県南部地震の強震記録と今回の地震による強震記録のスペクトル

5.26 宮城県沖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値を与えたものでないことを意味する。

5. まとめ

2003年5.26宮城県沖の地震(三陸南地震)の最大特徴は地震の規模や得られた強震記録の最大加速度の割に

は被害が少なかったことがあげられる。これは震源断層運動の応力降下量が特別に大きかったために短周期の地震波の発生は顕著であったが、被害に直結する周期帯域での地震動が小さかったことが原因と考えられる。

この中でJR東北新幹線高架橋の被害、築館館下における地すべり、大船渡港を主とした港湾施設被害が今回の地震被害の特筆すべきものといえよう。JR東北新幹線高架橋の被害については被害が軽微であったと言え、運転休止など社会生活への影響の大きさを考えれば、被災地点での入力地震動の大きさ、構造・材料の態様、施工状況などを総合的に勘案した十分な対策を今後進める必要がある。築館町の地すべりについては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り、地すべり被害がもたらされる事実を新たに提起したものである。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今回の被害は一概に特殊事例と片付けられない。今後、メカニズム解明と同時に、過去の地震による同様な斜面被害の再調査を進める必要がある。

以上のようなハード面での課題に加え、5.26宮城県沖地震ではソフト面での課題も多く残した。地震発生後の情報伝達手段として重要な携帯電話は使用を制限され、重要な災害情報などの伝達手段となりえなかったことや、地震直後の津波などへの十分な避難行動がみられないなどは軽視できない。また、5.26宮城県沖地震での初動対応における自治体の混乱問題も反省すべき点を多く残した。上記ハード面での課題に加え、これらのソフト面での課題を再点検して、今後の地震への対策に万全を期す必要がある。

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) 地盤工学会：2003年三陸南地震・宮城県北部地震災害調査報告書
- 3) 東京大学地震研究所ホームページ：<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/Jhome.html>
- 4) (独)防災科学技術研究所ホームページ：<http://www.bosai.go.jp/jindex.html>
- 5) 気象庁ホームページ：<http://www.jma.go.jp/>
- 6) (独)港湾空港技術研究所ホームページ：<http://www.eq.ysk.nilim.go.jp/>
- 7) 地震調査研究推進本部ホームページ：<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- 8) 国土地理院ホームページ：<http://www.gsi.go.jp/>
- 9) 国土交通省河川・道路等施設強震計ネットワークホームページ：<http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb/index.htm>
- 10) 東北工業大学ハイテクリサーチセンターリアルタイム強震観測センターホームページ：<http://smweb.tohtech.ac.jp/smalltitan/>
- 11) Fukushima, Y. and T. Tanaka: A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong ground motion in Japan, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.89, p315-328, 1998.
- 12) 神山 眞：1995年兵庫県南部地震で得られた強震記録の最大地動ならびに波動特性，土木学会論文集，No.568/III-39，p.49-66，1997.