

2003年宮城県北部地震の特徴と課題

中村 晋

Susumu NAKAMURA

日本大学工学部土木工学科

ここでは、宮城県北部地震による被害の特徴を1978年宮城県沖地震による被害との比較をふまえて整理するとともに、この地震による被害形態を踏まえた今後の課題を示した。主要な課題は、地域防災拠点の耐震化の遅れ、主要道路網の被災による救急・救援活動への影響、ブロック塀の耐震対策の遅れ、地震後の大規模斜面崩壊の発生機構の解明、河川堤防の崩壊に及ぼす降雨や地盤条件の影響の解明、震度計の維持管理とその情報の戦略的な活用を含む8項目であると考えられる。これら課題のうち、河川堤防の振動性状と被害形態との関係について、観測された強震記録に基づき検討を行った結果、堤防内での地震動増幅や支持地盤の特性との関係が明らかとなった。

1. はじめに

2003年7月26日に発生した宮城県北部地震は表-1に示す気象庁マグニチュードが6前後の3つの地震により構成され、宮城県鳴瀬町、矢本町、鹿島台町、南町、河南町の5町を中心として5月26日に宮城県沖で発生した地震を大幅に上回る被害をもたらした。典型的な内陸の直下型地震であり、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と言える。地震による被害は震源に近い前記の5町で大きく、それらは主に本震により生じた。また、被災地域は地震の発生する前の5日間にわたり100-150mm程度の降雨に見舞われおり、悪条件下の地震被害としても特筆される。

ここでは、まず、宮城県北部地震による被害の特徴を1978年宮城県沖地震による被害との比較をふまえて整理するとともに、この地震による被害形態を踏まえた今後の課題を示す。さらに、課題のうち、河川堤防の振動性状と被害形態との関係について検討を行った結果について報告する。

2. 被害の特徴と課題¹⁾

最も震源に近い震動を記録した宮城県震度情報ネットワークによる最大加速度、計測震度の代表値を表-2に示す。震度は、本震、また余震の震源に近い鳴瀬町、矢本町で本震で震度6強、余震で震度6弱と2つの地震による震度が6以上を超えている。また、河南町では、本震の震源位置に近い2つの余震で震度6弱が観測されている。この様に、強い揺れを1日に2回も続けて受けるという事例は最近の地震にみられない特徴である。この一連の地震による被害総額は約350億円(住宅被害を除く)

表-1 震度階6以上を記録した3つの地震の震源要素

震度6以上を記録した地震	1番目の地震 (前震)	2番目の地震 (本震)	3番目の地震 (余震)
発震時刻	00時13分頃	07時13分頃	16時56分頃
震央	北緯	38.43°	38.40°
	東経	141.17°	141.20°
震源深さ	11km,	12km	12km
規模	M5.5	M6.2	M5.3

表-2 代表観測点の最大加速度、計測震度

観測点	震央距離 (km)	最大加速度(Gal)			計測震度	震度階
		南北	東西	上下		
鳴瀬町 役場	3.5	603.2	2005.1	584.1	6	6弱
	1	635.5	755.8	923.3	6	6強
	-	-	-	-	-	-
矢本町 役場	4.5	366.2	476.4	360.3	5.5	6弱
	4.2	667.1	489.5	1241.7	6.2	6強
	-	-	-	-	-	-
南郷町 役場	6.5	267.5	228.9	226.4	5.1	5強
	9.9	366.1	491.3	192.8	6	6強
	4.9	275.9	165.7	126	4.9	5強
鹿島台 町役場	10.1	516.2	489.2	182.9	5.4	5強
	10.5	1605.5	910.3	497.2	5.9	6弱
	-	-	-	-	-	-
石巻市 泉町	11.6	301.7	402.6	107	4.8	5弱
	11.2	390.5	488.7	236.9	5.2	5強
	-	-	-	-	-	-
河南町 役場	8.1	100.2	91.4	100.6	4.5	5弱
	11.3	336.5	325.3	332	5.7	6弱
	1.1	649.2	255.9	499	5.7	6弱
	11.7	138.8	173	73.9	4.6	5弱
涌谷町 新町	15.2	555	513.4	284.7	5.8	6弱
	6.9	254.5	341.9	129.5	5.2	5弱
桃生町 役場	-	-	-	-	-	-
	8.4	174.8	162.1	149.9	4.7	5弱

表-3 1978年宮城県沖地震との人的・住宅被害の比較²³⁾

		2003年	1978年
		宮城県 北部地震	宮城県沖 地震
死者(人)		0	27
負傷者(人)		675	10,962
住宅 (棟)	全壊	1,115	1,377
	半壊	3,078	6,123
	一部破損	9,267	125,370
	合計	13,460	132,870

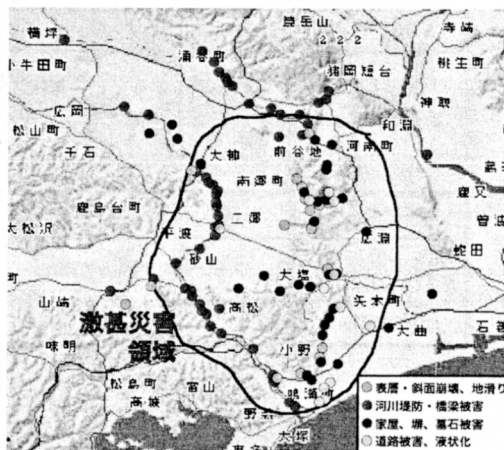


図-1 全体被害の概要

であり、1978年宮城県沖地震による被害総額約2700億円に比べると少ない。しかし、表-3に示す人的被害と住宅被害の比較より、この地震による人的被害は負傷者も含めてかなり少ないものの、この地震による住宅の全壊棟数は1978年宮城県沖地震の81%程度、全壊と半壊を合わせても56%と宮城県沖震に近い被害を受けている。また、全壊は震源に近い8町で生じ、その多くは鳴瀬町、矢本町、河南町に生じている。これら3町は、前述のように震度6以上の揺れを2回受けている地域である。また、負傷者の多くは矢本町で生じている。さらに、10月10日時点で、まだ13人が避難所生活を送っている。

この地震による被害の分布の概要を図-1に示す。これより、被害地域はかなり限られた地域に限定されていることが分かる。被害は、旭山の南北に広がる丘陵地帯、その地域と周辺平地との境界部、さらに、その丘陵地帯の西方に多くみられる。その被害の地域性を把握するため、まず、その丘陵地の東西の地形をマクロにみる。西側が三角州低地、東側が扇状地低地であり、

表層地盤の特性自体に大きな差異はみられない。すると、震源位置の西方に被害の多い理由の一つとして、前震、本震の震源機構が逆断層であることから、断層上盤に相当する震源位置の西方にて地盤の揺れが大きいことを挙げる事ができる。他に、住宅や道路などの被害が丘陵地域内で多くみられるが、それは、震源に近く地盤の揺れ自体が大きいことのみならず、地盤の揺れをより大きくする盛土などの人工地盤が多く存在していることを挙げる事ができる。

施設毎の被害状況を表-4に示す。それらの被害の額は、土木施設(道路、河川、橋梁、港湾、地滑り、下水道他)が約150億円、農業関連(農地他、農作物他)が約50億円であり、被害総額(一般住宅を除く)の70%以上を占めている。表-4および表-3より、特徴的な被害形態を抽出し、以下に示す。

(1)防災拠点として重要な学校、病院、さらに社会基盤としての国道や三陸自動車道に被害が生じていた。

表-4 各施設の被害状況⁴⁾

施設	数計	形態	位置	備考
道路(箇所)	277	路面亀裂、路面陥没、路面隆起、法面崩壊	国道(4,45号)、三陸自動車道、仙台松島自動車道、県道等	
橋梁(箇所)	11			
河川(箇所)	77	天端クラック、法面崩壊	3水系(鳴瀬川、北上川、定川)	
港湾(箇所)	4	岸壁背後のエプロン段差、沈下など	石巻港、松島港内	(他、漁港関係9)
地滑り・急傾斜地(箇所)	87			
病院(箇所)	11	柱のせん断破壊他	鹿島台病院、深谷病院他	
文教(箇所)	268	柱のせん断破壊他	北村小学校他	
水道(戸)	13925	断水	7月30日4時全戸復旧(宮城県)	宮城県(13721)、岩手県(204)
下水道(管理者)	6	マンホールの破損、周辺沈下・陥没	北上川下流流域下水道他	
電気(戸)	115000	停電	7月26日23時15分全線復旧	
農地、農行用施設(箇所)	575		北村猿田地区の盛土斜面崩壊など	
農作物(ha)	54			



図-2 地震観測が実施されている河川堤防位置

- (2) 住宅全壊・半壊が多い
- (3) 大規模な斜面崩壊が発生していた
- (4) 河川堤防が著しい被害を受けた
- (5) 農地が液状化による被害を受けた

これに以下の点を加えることができる。

- (6) 1978 年宮城県沖地震の際に死傷を出し、注目された被害形態であるブロック塀の倒壊が多くみられた

(1)のうち、主要道路の被害は被災地を完全に孤立化するものではないものの、救急・救援対応といった点で課題を残し、地域としての重要な防災拠点である学校・病院の被害は入院患者の安全性を含み、地域の安全を損なうものとして見逃せない被害であろう。また、この地震では幸い死者がなく、負傷者も重傷者が 50 人と比較的すくなかったため、重大な問題となっていないと考えられる。(2)と(6)については、(1)と合わせて来るべき宮城県沖地震に対する耐震対策が進んでいないこと、さらに 1978 年宮城県沖地震による被害に対する反省がなされていないことを示している。これら建物の被害原因として、地震動の強さと構造物の耐力不足が挙げられる。

他の被害は、いずれも盛土や斜面などの土構造物自体の崩壊、また構造物を支える地盤の液状化による構造物の沈下、また構造物周辺地盤の沈下、さらに地盤の変状による埋設管などの損傷など、地盤災害と呼ばれる被害である。これら地盤災害より、工学的な課題を抽出すると以下の 4 点を挙げる事ができる

- (I) 地震後に生じた北村地区猿田大規模斜面崩壊

課題: (a) 大規模な斜面崩壊発生機構 (5 月 26 日宮城県沖地震による築館の大規模斜面崩壊との差異)

- (b) 地震後に滑りが発生した機構

- (II) 河川堤防の被害機構と地盤条件の関係

- (III) 農地における液状化

課題: 再液状化(2003 年 5 月 26 日宮城沖震, 1978 年宮城沖震)

- (IV) (I) から (III) と降雨の関係

さらに、逆断層を震源機構とする内陸地震は東北地域で多く発生する⁹⁾ことから、東北地域における地震防災上、地震動特性と被害機構の関係を明らかにすることが重要である。さらに、その検討を行う上で震源近傍の被災域での強震記録が必要とな

る。しかし、この地震では震源近傍での地震観測網として宮城県震度情報ネットワークがあるが、残念ながら本震から余震までの主要な記録がその後の地震記録の上書きにより失われた。さらに、他に震源近傍の情報が無いにもかかわらず、その震度計の設置位置が建物内にあるなど震度計の設置と精度に関する課題をもたらしている。

3. 河川堤防の被害と震動性状⁶⁾

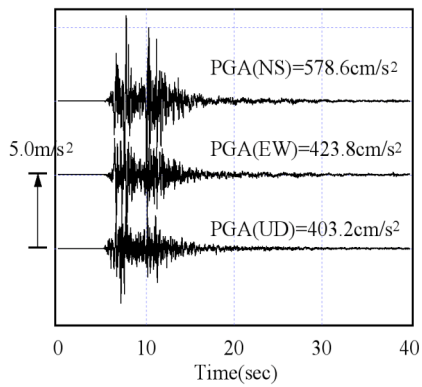
(1) 河川堤防被害の概要

河川堤防の被害の多くは、本震(Mj=6.2)によって発生し、法面崩壊および盛土すべり破壊を形態とする被害が多くみられた⁷⁾。この地域の河川堤防は、5 月 26 日に発生した宮城県沖の地震では無被災であった。しかし、1978 年宮城県沖地震においては、鳴瀬川流域の河口部や支流の江合川、さらに旧北上川流域にも被害が多く発生し、宮城県北部地震による被害位置と異なっている^{7b)}。1978 年宮城県沖地震による河川堤防の被害と地盤構造との関係の分析により、堤防支持地盤の特性が被害と密接な関係にあることが指摘⁹⁾されている。

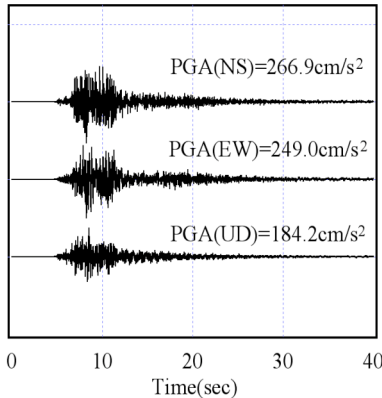
(2) 堤防で観測された強震記録の特性

図-2 に示す 3 地点の河川堤防で強震記録の得られた。中下(Nakashita; 本震の震央距離 2.3km)は鳴瀬川河口に近く、本震震源の極近傍、小塚(Kozuka; 本震の震央距離 13.3km)、河南(Kanan; 本震の震央距離 13.9km)は旧北上川沿いに位置している。その 3 観測点では、いずれも基盤位置(中下; GL-13m, 河南; GL-77m, 小塚; GL-13m)および堤防頂部位置での鉛直アレー観測が実施され、宮城県北部地震による 3 つの地震、さらに 5 月 26 日に発生した宮城県沖の地震による加速度記録が観測された。

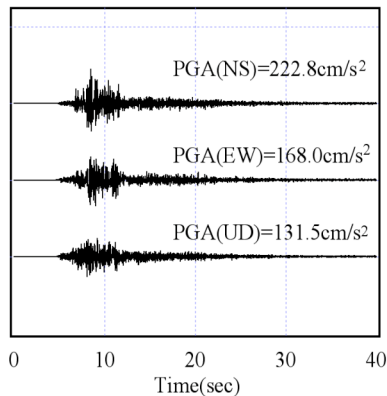
図-3 に本震 (Mj=6.4; 2003 年 7 月 26 日午前 7 月 13 分頃発生)の際に、3 地点の基盤位置で観測された記録の水平 2 成分および鉛直成分の加速度時刻歴を示す。また、図-4 にそれら水平 2 成分に基づいて得られるベクトルフーリエスペクトル¹⁰⁾の比較を示す。図には、開北橋で得られた橋軸および橋軸直交方向の水平 2 成分より得られたベクトルフーリエスペクトルも合わせて示している。ここで、開北橋は図-2 中の小塚観測点の近傍に位置している。震央距離の近い中下における加速度振幅はいずれの成分も 400cm/s^2 以上と大きく、他の 2 地点の加速度振幅はその 50% 程度の値となっている。周波数特性についてみると、中下では 1.5 から 3.0Hz にて振幅が卓越し、河南、小塚の 4 倍近い振幅となっている。河南、小塚では 5Hz 近傍および 0.3 から 1.2Hz のやや長周期帯域に振幅の卓越が認められる。開北橋波では、2 から 3Hz および 4Hz 近傍に振幅の卓越が認められ、中下における振幅の 50% 程度、河南、小塚の 2 倍程度となっている。



a) Nakashita



b) Kanan



c) Kozuka

図-3 3地点で観測された本震の加速度時刻歴

(3) 観測記録に基づく堤防の振動性状と地盤特性の関係

まず、最も地中での加速度振幅の大きな中下について、堤防頂部、堤防小段および基盤位置 (GL-13m) で観測された本震の加速度時刻歴のうち NS 成分について図-5 に示す。堤防頂部の水平成分の記録は地中に比べ、いずれも振幅が小さく、短周期成分の混入が少ないことや、震動周期の長周期化などの地盤材料の非線形化の影響が顕著に認められる。次に、本震および最大余震に対して、基盤位置と堤防頂部位置における水平成分のベクトルスペクトル比を図-6 に示す。このスペクトル比は、堤防-支持地盤内を伝播する地震動の増幅率を表している。これより、堤防-支持地盤系の本震の1次固有周波数は1.3Hz 近

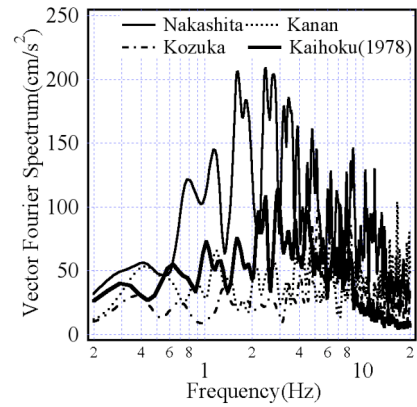


図-4 本震で観測された3地点の基盤位置の記録および1978年宮城県沖地震の際に開北橋で観測された記録のベクトルスペクトルの比較

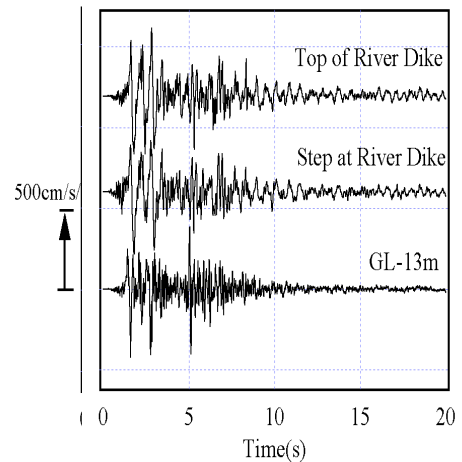


図-5 中下で観測された本震の加速度時刻歴 (EW)

傍にあり、3Hz 近傍にみられる最大余震の1次固有周波数に比べ長周期化し、増幅率も低下している、図-5 に示した基盤と堤防位置における加速度時刻歴の変化と合わせて、明らかに地盤の非線形化による影響であることを示している。図-8 に示した盛土-支持地盤の地盤モデルの基づく基盤と堤防天端間の周波数応答関数を、著者の提案する盛土と支持地盤系に関する1次元地震応答解析法¹¹⁾ (以後提案手法と呼ぶ) を用いて算出し、図-7 に示す。図-7 には、盛土も支持地盤と同様水平成層地盤とみなした地盤モデル (以後、成層地盤モデルと呼ぶ) の周波数応答関数も比較のために示している。提案手法は、Kausel¹²⁾ により提案された剛性マトリックス法を用いて水平成層構造と仮定した盛土とその直下の支持地盤モデル、さらに盛土側方の地盤モデルとの動的相互作用を考慮し、盛土と支持地盤の地震応答を求める手法である。ここで、盛土は水平に分割された薄い台形形状の層要素で構成している。剛性マトリックス法における盛土の変位とせん断力の関係は、その層要素に作用する力の釣合いより得られる変位とせん断応力の定常解を用いて求めている。また、盛土と支持地盤における各層境界における変位とせん断力の連続条件、さらに盛土とその直下の支持地盤系とその側方の地盤モデルとの層境界位置における変位の適合

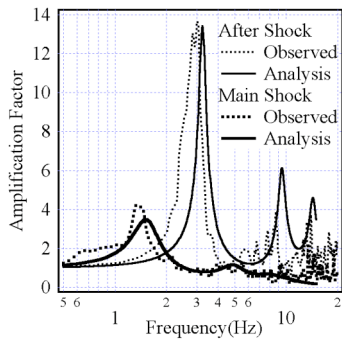


図-6 堤防頂部と基盤位置の水平成分に関するベクトルスペクトル比

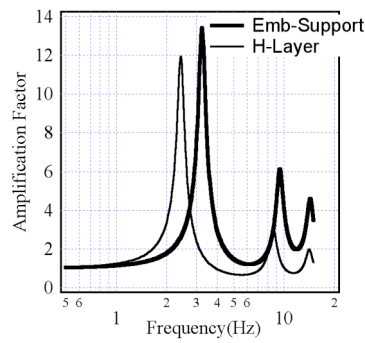


図-7 盛土—支持地盤系と水平成層地盤における周波数応答関数の比較

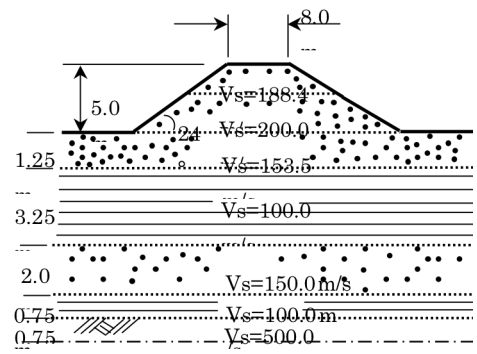


図-8 中下の地盤構造および地盤定数

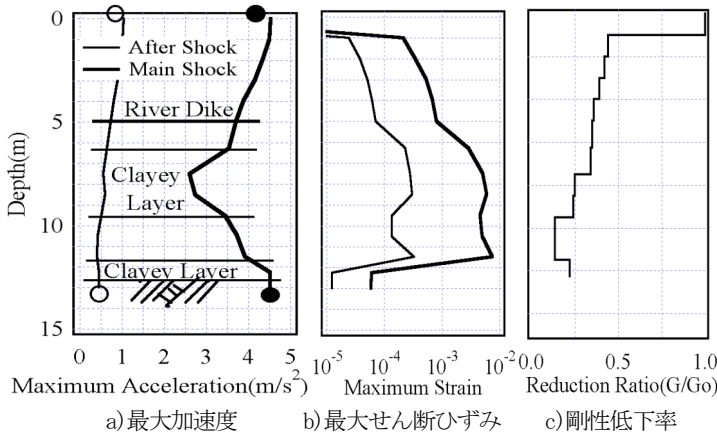
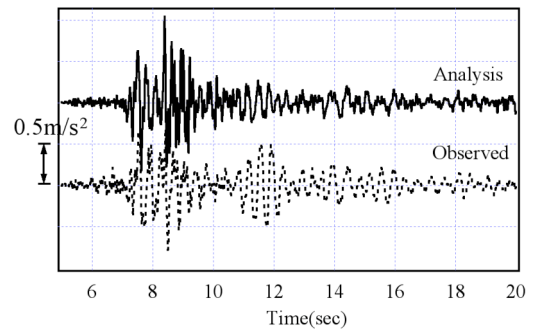


図-9 最大応答値、剛性低下率の深度分布の比較

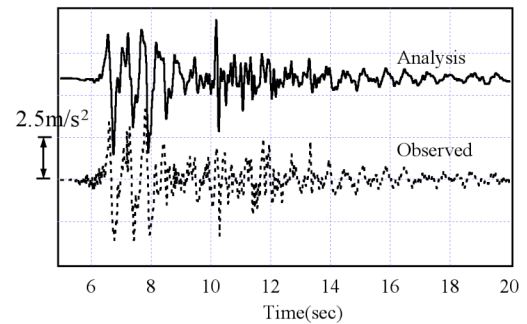
条件に基づき、盛土と支持地盤および盛土の側方地盤との相互作用を考慮している。堤防高さは5m程度であるものの、固有周期は明らかに盛土の影響を考慮した際の値が成層地盤モデルより小さく、その周波数の増幅率は成層地盤モデルより大きいことがわかる。このように、堤防の応答には堤防の震動およびそれと支持地盤との動的相互作用が影響していることがわかる。

次に、中下に着目し、提案手法を用いた盛土—支持地盤の地震応答解析の結果と観測記録の比較を行う。解析に必要な地盤構造や定数として、中下の堤防—支持地盤の地盤構造や地盤定数モデルを図-8に示す。図に示すように支持地盤は軟弱な粘性土と砂層の互層構造となっている。この地盤構造は地震計設置時の地盤調査資料に基づいて設定した。各層の地盤定数のうち、密度およびQ値はそれぞれ1.8t/m³、10と仮定した。そのQ値は、福島ら¹³⁾による弱震時における砂地盤と粘性土地盤に対する周波数とQ値の関係を用い、図-6に示した地震動の増幅率の大きな周波数帯(2—3Hz)にて得られる値に基づき設定した。せん断波速度は地盤調査資料中のN値による推定値を初期値とし、図-6に示した最大余震による水平成分の増幅率と著者の提案手法を用いて算出される盛土—支持地盤系の周波数応答関数との残差自乗和が最小となるように、試行錯誤的に推定した値である。

図-8に示した地盤構造、定数モデルを用い、本震記録(EW成分)に対する非線形地震応答解析を実施した。非線形地震応答



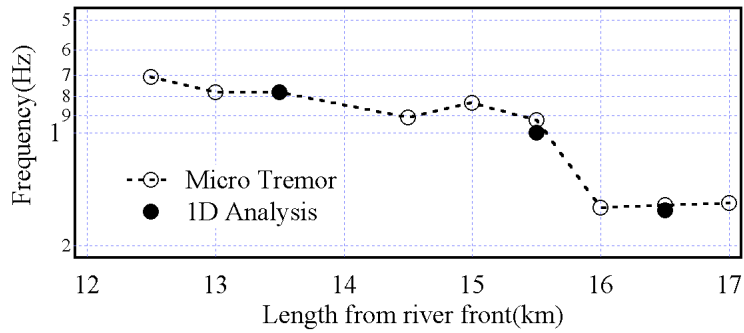
a)最大余震



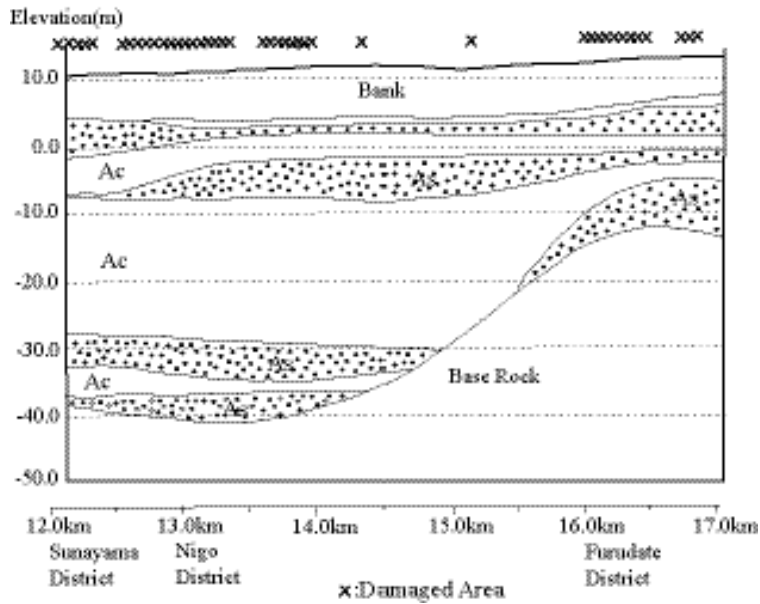
b)本震

図-10 1次元地震応答解析による堤防頂部の応答加速度時刻歴と観測記録(EW)との比較

解析は、沖積砂・粘土に対する動的変形特性¹⁴⁾を用い、最大応答ひずみに応じてせん断剛性の低下や減衰定数の増加を考慮した解析により得られた最大応答せん断ひずみと1つ前の解析により得られた最大応答ひずみとの差異が5%以下になるまで繰返し計算を行うことにより実施した。その際、減衰定数の最小値として、前述のQ値を用いた。図-6に余震および本震記録に対する水平成分のスペクトル比と提案手法による周波数応答関数との比較を示す。また、図-9に余震と本震による基盤位置での観測記録(EW成分)を用い、提案手法による地震応答解析より得られた最大加速度、最大せん断ひずみの深度分布、および本震に対する各地盤層のせん断剛性低下率の深度分布を示す。さらに、図-10には余震、本震に対する解析より得られた堤防頂部の応答加速度時刻歴と観測記録の比較を示す。余震の



a) 盛土—支持地盤系の1次固有周波数の比較



b) 地盤構造と盛土の被害位置との関係

図-11 鳴瀬川左岸(12- 17km)の地盤構造および地震被害位置と盛土-支持地盤系の常時微動および1次元震動解析法により得られた1次固有周波数の比較

みならず本震に関するスペクトル比は提案手法による周波数応答関数と良く一致している。また、余震に対する最大応答ひずみは 3×10^{-4} 以下と非線形化の影響は小さいと考えられ、余震により推定された地盤モデルは初期モデルとして適当であることが分かる。さらに、最大加速度、時刻歴とも解析値と観測記録はよく一致している。これらのことは、対象としている堤防—支持地盤系の地震応答を評価する上で提案手法が十分な精度を有していることを示している。

(4) 木間塚周辺の堤防支持地盤の構造と堤防の震動特性

まず、著しい被害を受けた鳴瀬川沿いの木間塚周辺における堤防—支持地盤系の振動性状を把握するため、左岸5km(河口から12.0kmから17.0km)を対象とし、ほぼ0.5km間隔で堤頂部の常時微動を測定した。測定は速度成分を対象とし、水平2成分(堤体横断方向と縦断方向)と鉛直成分の3成分を0.01秒間隔で3分間実施した。

堤体縦断方向と鉛直方向のフーリエスペクトル比(以後、H/Vスペクトルと呼ぶ)の卓越周波数より得られる地盤の1次固有

周波数と測定位置の関係を図-11 a)に○で示す。図には提案手法を用いて算出した堤防—支持地盤系の周波数応答関数より得られる1次固有周波数もあわせて●で示している。提案手法による周波数応答関数は、被害の大きな砂山地域(13.5km)と古館地域(16.5km)およびその中間位置(15.5km)の3地点で算出した。3地点の地盤定数のうち、支持地盤各層のせん断波速度は宮城県地盤図¹⁵⁾を参照し、堤体のせん断波速度は対象とする堤体の平均的なN値(5程度)に基づき150m/s、基盤岩のせん断波速度は500m/s、密度は全て1.8t/m³と仮定した。また、図-11 b)には、測定対象区間における堤防から基盤層までの地盤構造を示す。図-29a)に示した常時微動による堤防—支持地盤系の卓越周波数は、河口側(12km)より上流側(17km)へ0.77Hzから1.54Hz秒まで変化している。特に、15kmから16kmにおける常時微動の卓越周波数の変化は基盤岩までの深度の変化とよく対応している。以上より、常時微動によるH/Vスペクトルの卓越周波数は、提案手法による1次固有周波数と良く一致し、基盤層上の盛土と支持地盤の1次固有周波数に対応しているといえる。

図-11b)に示した木間塚周辺にて堤防被害の著しい二郷、砂

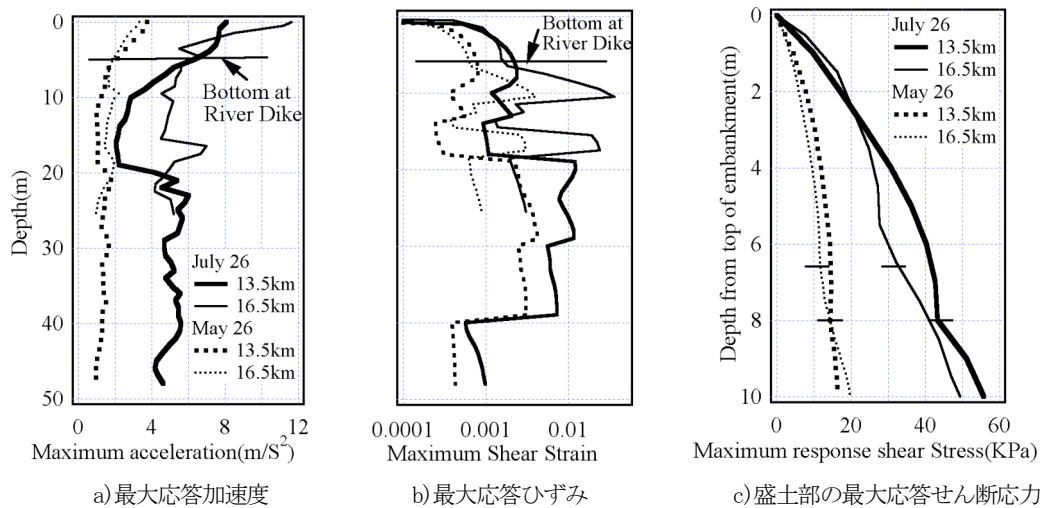


図-12 2地点における最大応答値の比較

山地域と古館地域を対象として2地点(13.5km位置, 16.5km位置)における堤体-支持地盤系の応答解析を提案手法により実施する。二郷, 砂山地域と古館地域における堤防の被害機構は異なり, 砂山地域は支持地盤の液状化, 古館地域は堤防内での地盤の強度と発生応力とのバランスの変化に起因した法面崩壊である。ここで, 支持地盤の地盤定数は地盤材料の非線形化の影響を考慮するため, 吉田・末富による解析コード¹⁶⁾を用いた非線形地震応答解析より得られた収束せん断剛性と減衰定数を用いた。その際, 地盤材料の動的変形特性には, 中下における非線形地震応答解析と同じ特性¹⁴⁾を用いた。

入力地震動には, 中下観測点で得られた基盤位置におけるNS成分の観測記録を用いる。さらに, 被害のみられなかった2003年5月26日に発生した宮城沖の地震に対する挙動も把握するため, 同じ観測点で測定された記録のNS成分も入力波として用いる。

堤防-支持地盤内の最大応答加速度, 最大応答ひずみおよび堤防内の最大応答せん断応力の深度分布を図-30に示す。二郷, 砂山地域(13.5km)では, 地震によらず支持地盤中の粘性土層における最大応答ひずみが大きく, 加速度の増幅もみられない。それより上の砂層や堤防の応答は, 入力地震動の振幅レベルの差異に応じて異なっている。堤防下の砂層における応答ひずみと動的変形特性に基づく剛性低下率は, それぞれ本震で 3×10^{-3} , 15%, 5月26日の地震で 8×10^{-4} , 40%程度と大きく異なっている。また, 古館地域(16.5km)では, 堤体の本震に対する加速度応答は二郷, 砂山地域に比べて大きいものの, 5月26日の地震では二郷, 砂山地域と同程度となっている。最大応答ひずみは, 堤防下および基盤上の砂層にて, 本震が 3×10^{-2} , 5月26日の地震が 3×10^{-3} 程度といずれもかなり大きな値となっている。特に, 本震に対する値は液状化の発生する可能性が高いことを示しており, 古館地域で液状化に起因する噴砂が生じていたことと良く対応している。さらに, 最大応答せん断応力は, 二郷, 砂山地域(13.5km)における値が堤体頂部から3m以深にて古館地域(16.5km)より大きく, 木間塚周辺の中で最も大

きな法面崩壊が生じ, 堤頂部の亀裂なども多いことも調和している。

以上より, 宮城県北部地震における被害状況がその地盤構造に起因する応答の差異により生じ, 過去の地震に対する被害状況との差異は, 堤防-支持地盤系の震動の卓越する周波数帯において作用する地震動の大きさの差異に起因していると考えられる。ただし, ここで示した要因は地盤震動という視点での考察より得られたものであることに留意する必要がある。

5. まとめ

ここでは, まず, 宮城県北部地震による被害の特徴を1978年宮城県沖地震による被害との比較をふまえ整理するとともに, この地震による被害形態を踏まえた今後の課題を示した。今後の課題をまとめると以下の8項目である。

- I) 地域防災拠点の耐震化の遅れ
- II) 主要道路網の被災による救急・救援活動への影響
- III) ブロック塀の耐震対策の遅れ
- IV) 地震後の大規模斜面崩壊の発生機構の解明
- V) 河川堤防の崩壊に及ぼす降雨や地盤条件の影響の解明
- VI) 震度計の維持管理とその情報の戦略的な活用
- VII) 東北地域特有の逆断層を震源機構とする地震への対応
- VIII) 農地の被災への対応

これらの課題のうち, 堤防の支持地盤の特性を考慮した堤防と振動性状と被害形態との関係について検討を行った。検討は強震記録の得られた中下の河川堤防の強震時における震動挙動, さらに著しい被害を受けた鳴瀬川木間塚周辺の堤防の被害要因の分析について実施した。その結果, 以下のことが明らかとなった。

- (I) 震央距離の近い中下における加速度振幅はいずれの成分も 400 cm/s^2 以上と大きく, 1.5から3.0Hzにて振幅が卓越している。開橋波は, 卓越が認められる2-3Hzおよび4Hz近傍の振幅が, 中下の50%程度となっている。

- (2) 中下で観測された宮城県北部地震の本震記録の水平成分、および鉛直成分には、最大余震のスペクトル比より得られる固有周波数に対して低周波数化し、増幅率も低下していることなどの堤防-支持地盤の顕著な非線形性の影響が認められた。さらに、1978年宮城沖地震の加速度振幅は2003年宮城県北部地震の本震の50%程度であるものの、両地震に対する堤防-支持地盤系の1次元地震応答解析により得られた地盤内の剛性低下率は同程度となっている。特に、支持地盤における砂層中での剛性は低下率が10%と顕著であり、地盤改良が実施される以前の1978年宮城沖地震の際に液化化に起因して生じたと考えられる被害の状況と調和する結果となっている。
- (5) 鳴瀬川木間塚周辺の堤防上で得られた常時微動のH/Vスペクトルが卓越する周波数は、堤防-支持地盤系の1次元地震応答解析により得られた1次固有周波数と良く一致し、その変化は基盤岩の深度変化とよく対応している。
- (6) 2003年宮城県北部地震と過去の地震に対して、鳴瀬川の木間塚周辺における被害程度に差異が生じた要因として、震動が卓越する周波数とその低周波数側において、宮城県北部地震による本震の地震動強さが過去の地震より大きいということがあげられる。
- 4) 国土交通省 HP, 宮城県北部地震を震源とする地震による被害について(最終版)/www.mlit.go.jp/bosai/disaster/saigaiyouhou/h15/hokubu_last.pdf
- 5) 例えば中村晋他, 岩手県内陸北部地震(1998.9.3)で観測された地震記録の特性とそのシミュレーション解析, 構造工学論文集, Vol.48A, pp.555-566, 2002.3.
- 6) 中村晋, 河川堤防で観測された2003年宮城県北部地震の強震記録に基づく堤防の震動性状と地盤特性および地震動の関係, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 5号, pp.5-18, 2004
- 7) 地盤工学会災害連絡会議・土木学会合同緊急調査団, 平成15年7月26日に発生した宮城県北部連続地震災害緊急調査速報, 土と基礎, Vol.51, No.10, Ser.No.549, pp.35-39, 2003
- 8) 建設省土木研究所, 1978年6月宮城沖地震被害調査概報, 土研資料第1422号, pp.43-76, 1978
- 9) 佐々木康: 河川堤防の地震被害, 土と基礎, 28-8(271), pp.25-30, 1980
- 10) 中村晋: ベクトルベクトルによる地震動の増幅特性評価とその適用, 土木学会論文集, No.519/I-32, pp.161-173, 1995
- 11) 中村晋, 風間基樹, 側方地盤との動的相互作用を考慮した盛土-支持地盤系の1次元震動解析法, 応用力学論文集, Vol.6, pp.723-730, 2003

謝辞

ここでは国土技術政策総合研究所より提供を受けた国土交通省東北地方整備局北上川下流事務所の中下, 河南および小塚観測所で観測された記録, さらにそれら地点の地盤調査資料を使用させていただきました。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)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, pp.75-77, 2003.10.14
- 2) 消防庁 HP, 宮城県北部を震源とする地震(第39報), [/www.fdma.go.jp/html/infor/030726MiyagiJishin38.PDF](http://www.fdma.go.jp/html/infor/030726MiyagiJishin38.PDF)
- 3) 宮城県 HP, 昭和53年6月12日の「宮城県沖地震」はどんな地震だったの? <http://www.pref.miyagi.jp/kikitaisaku/chouki/miyagioki.htm>
- 12) Kausel, E. and Roesset, J. M., Stiffness Matrices for Layered Soils, B. S. S. A., Vol. 71, No. 6, pp. 1743-1761, 1981
- 13) 福島美光, 緑川三郎, 周波数依存性を考慮した表層地盤の平均的な Q-1 値とそれに基づく地盤増幅率の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第460号, pp.37-46, 1994
- 14) 建設省土木研究所, 地盤地震応答解析法-SHAKE:DESRA-, 土研資料第1778号, 1982
- 15) 宮城県編, 宮城県地震地盤図, 1985
- 16) 吉田望, 末富岩雄: DYNEQ-等価線形化法に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム, 佐藤工業(株)技術研究所報, pp.61-70, 1996.