# 東北地方太平洋沖地震2次調査報告(宮城県中部・北部)

Investigation report on the damage of river embankments due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Central and north area of Miyagi prefecture )

- 岡 二 三 生 (おか ふさお) 京都大学大学院 教授
- 木 元 小百合 (きもと さゆり) 京都大学大学院 准教授

### 1. 調査概要

下のような行程で宮城県中部・北部の道路,堤防を 中心に2次調査を行った。調査メンバーは,岡二三生 (京都大学),中西典明(復建調査設計(株)),木元 小百合(京都大学),加藤亮輔(日建設計シビル)で ある。

[調査日時] 2011 年 4 月 29 日~5 月 1 日 (4/28 夕刻空路山形市へ,5/1 朝陸路仙台より大阪へ) [調査箇所] 全体位置図を図-1 に示す。 宮城県仙台市若林区仙台東部道路付近(地点1) 宮城県名取市閖上(地点2) 吉田川・鳴瀬川堤防(地点3) 江合川堤防(宮城県大崎市古川)(地点4) 北上川堤防(宮城県登米市),道路斜面(地点5) 北上川河口(宮城県石巻市)(地点6)



図-1 調査箇所全体図 (Google map を使用)

# 2. 仙台市若林区仙台東部道路付近 2.1 津波による浸水状況

調査地点を図-2に示す。図-3にほぼ同じ地点の浸水 範囲概況図を示す(国土地理院浸水範囲概況<sup>1)</sup>)。これに

- 中 西 典 明 (なかにし のりあき) 復建調査設計 (株)
- 加藤亮輔(かとう りょうすけ)
  日建設計シビル

よると、この付近は海岸線に平行に約4~5kmの範囲が 津波により浸水している。若林区と宮城野区の境界付近 で国道6号線(仙台東部有料道路)が浸水境界と一致し ており、この区間では道路盛土が津波による浸水を防い だとみられる.県道10号線は海岸線から1-2km内陸を ほぼ海岸線に沿って走っており、調査地点は浸水域内で ある。

#### 2.2 道路の被害

海岸から仙台東部道路まで約6mの高さの海岸堤防を 乗り越えた津波による浸水被害,家屋,建物,農地の倒 壊がみられた。県道10号線道路は浸水裏方向(写真-1(a))の歩道部分が洗堀被害を受け50~60cmの深堀状 態で,道路基礎部が露出していた。反対に道路の浜側(写 真-1(b))は草地も残り洗堀量も小さく,道路面は不露 出である。種次(たなつぎ)集落付近の墓地も被害があ り,墓の倒壊は30%くらいであった。



(a) 西側(陸地側)の法面



(b)東側(浜側)の法面 写真-1 県道10号線の被害(仙台市宮城野区岡田新浜中通)



図-2 調査位置(仙台市若林区,名取市) (Google map の写真使用)



図-3 浸水範囲概況(国土地理院提供<sup>1)</sup>に加筆)

#### 3. 宮城県名取市閑上(ゆりあげ)

#### 3.1 津波による浸水状況

名取市閑上付近の建物は,津波により鉄骨構造物や比較的新しい住宅,盛土上に建てられた家屋などを除き, 大部分は流出し,基礎部のみが残っている状態であった。 閑上浜調査地点近くにある標高 6.3 mの日和山富士と呼 ばれる小山上の石碑は無事であったが,中央の階段手す りと中段付近にあったとされる鳥居が流出していた(写 真-2)。なお,土木学会海洋開発委員会早稲田大学隊の 調査<sup>1)</sup>では,名取市閑上の浸水高は9.09 m(津波到達時 刻での潮位補正後の高さ)とされている<sup>2)</sup>。

#### 3.2 閑上浜岸壁の被害

関上浜の岸壁の被害状況については,**写真-3**,**写真-4** のように岸壁が約15 cm はらみ出すことにより,エプロ ン部のコンクリート盤が約30 m にわたり折れて損傷し ている。また,噴砂も見られ(**写真-5**)地震による液状 化の跡と思われる。津波によりエプロン部のアスファル ト舗装が流出していた。



写真-2 岸壁からみる日和山富士



写真-3 港湾構造物の被害(名取市閑上)



写真-4 港湾構造物の被害(名取市閑上)



写真-5 岸壁での墳砂跡

4. 吉田川, 鳴瀬川堤防

#### 4.1 調査地点

当該地点の調査地点を図-4に示す。



図-4 調査地点(吉田川,鳴瀬川) (Google map の写真使用)

# 4.2 吉田川右岸 13.4k (宮城県松島町 品井沼大橋付 近)

吉田川と鳴瀬川の間は,品井沼遊水地と呼ばれ,元禄 9-11年に品井沼(しないぬま)の水を排水するため、潜 穴が掘られ,明治 39-43 年に改修が行われた<sup>3)</sup>。さらに 昭和6年から昭和15年にかけて、吉田川サイフォンによ って品井沼の水を鶴田川から人工河川の高城川によって 松島湾へ流している。品井沼干拓事業は土木学会の土木 遺産に指定されており,明治潜穴公園には鎌田三之助に 関する石碑がある。高城トンネルは1978年の宮城沖地震 で被害を受けたため、1979-80年に修復されている。現 在もこのトンネルは使われており, 見たところ鶴田川と 高城川が吉田川で途切れているように見える(写真-6)。 この辺りは排水の悪い湿地帯であり、たびたび豪雨で冠 水している。吉田川の堤防は1978年の宮城沖地震でも被 害を受けている。その特徴は,複数の縦断亀裂が発生し, 内側の天端部が陥没するもので、円弧滑り状とは異なる ものである。この原因として、図-5に示すような堤体下 部の軟弱地盤層の側方への変形が考えられる (例えば, 佐々木康,20094)。つまり盛土全体が軟弱化するとの考 えとは異なっている。

県道 241 号線の山崎地区で道路の大きな変形,沈下が あり,復旧工事中であった。山崎地区は,先に述べた 1978 年の宮城沖地震でも多くの被害が堤防に発生した地区で あり,基礎地盤が特に軟弱な場所である。山崎(未明川) 堤防の 1978 年宮城県沖地震の被災報告では,堤体直下に 2~3mの軟弱な粘土層(N値4~5)があり,その下部が 最大N値10の5mくらいの小礫混じりの砂層,さらに 約6mのN値5くらいのシルトであり,その下部はN値 40~50の砂礫層となっており,築堤時にも堤防の陥没が 起こっている。

写真-7 に吉田川右岸 13.4k 付近の被害状況を示す。地 震により天端中央部縦断方向にクラックが生じていた。 天端に亀裂が見られた箇所の川裏側小段付近にほぼ直線 状にモグラ塚と思われる砂山が多数見られた(写真-8)。 モグラ穴は直径 6~7cm 程度で,堤体法面の浅い部分に 張り巡らされているとみられる。今回の調査では堤体に クラックやすべりなどの変状がみられた箇所の多くで同 様のモグラ塚が多数発見されており,堤体に変状が生じ た後,穴を修復した際に形成されたと考えられる。



図-5 河川堤防の変状模式図



写真-6 高城川への吉田川サイフォンの出口



写真-7 吉田川右岸堤防 13.4k 付近



写真-8 モグラによる排土跡

#### 4.3 吉田川 (宮城県黒川郡大郷町大郷大橋付近)

**写真-9**に示すように三段構えの堤防である。周囲は水田が広がっており、小段付近には水溜まりが見られたことから細粒分を含み含水率の高い地盤であると考えられる。川表側はコンクリートブロックが約15 cm 分離して

いる。川裏側は三段構造のすべての段ですべりを生じている(写真-9)。



(a) 川表側法面



(b) 川裏川法面の三段構造 写真-9 吉田川右岸堤防(大郷大橋付近)

#### 4.4 鳴瀬川堤防(大崎市鹿島台付近)

鎌巻と二子屋の間での堤防約200 mで、天端の亀裂と 川裏と川表の法面に亀裂がみられた。特に天端では、幅 約80 cm, 深さ約50 cmの地割れが生じ, 中央部で約30 cm 沈下しており,4.2節で述べた左右の堤防が側方へ移動す るパターンであった(写真-10)。川表側護岸では、堤体 の側方流動で、ブロックが折れており、一部では30mく らいにわたって上部のコンクリートブロックが先端部の ブロックの下にもぐりこむ形になっていた(写真-11)。 ここでも、モグラの穴の排土跡が多数あり深さは50 cm になるものもあった。川表側の側溝付近の道路工事部で は液状化が見られた。このすぐ1-2km上流の右岸(木間 塚下流地区13k付近),左岸(砂山地区)とも平成15年の 宮城県北部地震で変状が発生している。木間塚右岸での 地盤構成は、堤体直下に1-2mにN値5以下の粘性土、その 下に薄い砂層,また1-2mの軟弱粘性土層,その下にN値 10以下の3-4mの砂層であったが、復旧時にパワーブレン ダー工法で直下の地盤改良がなされている。



写真-10 鳴瀬川右岸堤防天端の亀裂



写真-11 川表の護岸のコンクリートブロック覆工の押し上げ

#### 5 江合川堤防

#### 5.1 調査地点

調査地点は図-6 に示す宮城県大崎市古川の江合橋下 流の江合川左岸 27.2-27.8k 付近(渕尻上流地区)の堤防 である。



図-6 調査地点 (江合川) (Google map使用)

#### 5.2 堤防の被害

この地点は地震動によって約400mにわたり堤体が大きく崩壊した箇所である。被災直後は天端縦断方向に数本の割れ目が生じ,天端が上下方向に数メートル波打っている(写真12(a))。変状は,川裏が埋立て盛土であるため,約11のブロック状に川表側へ9.37mはらみだし, 沈下は平均0.83mであった。地盤構成は堤防盛土下部は約1m緩い砂層,その下に約1mの砂・シルトの互層(N 値約 5-10) が あり,その下部は約 12m の沖積粘性土層 これらの層の N 値は 10 以下 5 程度の軟弱土であり,そ の下部は N 値 10 以上の砂層,粘土,砂礫層へと続いて いる。法尻付近に液状化跡があり,地震後の地下水位は 堤防直下の緩い砂層まであるため,この層とその下の砂 ーシルト互層の液状化と変形が変状の原因と考えられる。

江合橋下流から東北新幹線高架橋まで(左岸 27.6k)に ついては地震後3月16日に復旧工事が着手され,4月2 日には緊急復旧が完了している。写真-12(b)は調査日に 撮影された同地点の緊急復旧の状況である。地盤構成は

東北新幹線高架橋より下流側(左岸 27.2-27.4k)はま だブルーシートが掛けられている状態であった。天端中 央縦断方向で3筋の亀裂を生じ,特に天端中央より川裏 側が数十センチ沈下して陥没し,川裏側にすべりを生じ ていた(写真-13)。堤防川裏側下部の小道には堤体に垂 直方向に幅10cm程度のクラックが確認された。また, 周囲の水田には5-10メートルのクラックと噴砂が数箇 所生じていた(写真-14)。近隣には比較的新しい民家が あったが,住宅は無事で地面にクラックが生じる被害が



江合川左岸27.6k付近(堤防亀裂·沈下)

見られた。

**写真 12(a)** 江合川左岸江合橋堤防被害 (北上川下流河川事務所 地震災害情報第 16 報 <sup>5)</sup>)



写真 12(b) 江合川左岸江合橋堤防復旧状況



写真-13 江合川左岸 27.2-27.4 k(川裏側)



写真-14 水田のクラック(左岸天端より撮影) また,対岸右岸近くの龍洞院では,墓石が倒れ,門に 被害が出ていた。左岸対面の右岸では、堤防に横断亀裂 と川表側に縦断クラックと沈下が見られた(写真-15)。 ここには、長瀬排水樋官ゲートがありある。川表の法尻 は、クラックが発生し、川側が最大 60 cm の沈下してい た(写真-16)。クラックは2条で、長さは約15mであ った。水際近くにはクラックからの噴砂がみられた。ま た,モグラの穴からの排土跡がいくつもあった。この先 27.0kmの古川福沼地区,古川市民プール前では,最大ク ラック幅 0.84m 程度の大規模な法面崩壊が起こった場所 であり、6 つのブロック状に崩壊した。ここの被害は、 北上川下流河川事務所の報告では、はらみ出しは川表側 に 5.21m であり、川裏のはらみ出しはなく、最大沈下は 川表法肩で1.35mであった。調査の時点では、大型連節 ブロック張り復旧がなされていた。地盤は、堤防下部に 飽和した緩い砂層があり、その下部に軟弱な 2-3m の粘 土層がある。変状は緩い砂層の液状化が原因と考えられ る。



写真-15 江合川右岸天端の道路のクラック



図-7 調査位置(北上川上流)(Google map の写真使用)



写真-16 江合川堤防右岸江合橋下流の川表側亀裂段差と噴砂

# 6 北上川上流堤防(宮城県登米市)

### 6.1 調査地点

調査地点は宮城県登米市中田町の北上川上流の錦桜橋 より約 2km 上流の左岸堤防,および対岸の登米市東和町 の道路斜面である(図-7)。

#### 6.2 堤防の被害

天端にはクラックが 2~3 本生じ,川裏側法面には半円 状のすべり跡が見られた(写真-17)。すべりによるクラ ックは段差は最大で約 30 cm,幅は最大 20 cm,弧の長さ は約 30 m であった。近所の方によると、このクラック は余震により徐々に大きくなったとのことである。近隣 に冠木(かぶき)沼と呼ばれる沼と遊歩道があり、遊歩 道付近にマンホールの浮き上がり(約 20 cm,写真-18) と噴砂跡が見られ、地盤が液状化したことが確認された。 また、冠木沼周辺は地割れや地盤の流動が見られた(写 真-19)。この一帯は沼が多い湿地帯であり、地盤は軟弱 である。



写真-17 法面の円弧状クラック(北上川錦桜橋上流右岸)



写真-18 マンホールの浮き上がり(冠木沼)



写真-19 冠木沼付近の農地の地割れ

#### 6.3 道路斜面の被害(登米市東和町錦織)

崩壊箇所は岩石が露出した道路斜面である(**写真-20**)。 復旧工事に入っておられた現場の方によると,この崩壊 は余震で崩壊が進んだものである。調査時点で斜面上部 に縦方向の亀裂が確認され,落石の危険がある状態であ った。



写真-20 岩盤斜面崩壞

#### 7 北上川下流堤防(宮城県石巻市)

### 7.1 津波による浸水状況

国土地理院による浸水範囲概況(図-8)によると,津 波は北上川を12km以上遡上している。また遡上した津波 は堤防を越流して,あるいは破堤とともに堤内地へ浸水 している。浸水範囲は山地境界にほぼ一致している。津 波発生時に石巻市河北総合支所職員によって新北上大橋 付近で撮影された動画では,大橋付近では北上川に平行 して流れる富士川を遡上する流速が大きく,富士沼方向 に流れ込み右岸堤防や周辺の民家を飲み込んでいる様子 が記録されている。また,動画では水位は新北上大橋の 桁まで達し,右岸堤防がほぼ水没している。新北上大橋 のトラスの橋桁は右岸寄りの2スパンが上流へ流出して いた。



図-8 浸水範囲概況(国土地理院提供<sup>1)</sup>に加筆)



図-9 調査位置(北上川下流)(Google map の写真使用)

7.2 護岸の被害(北上川左岸,石巻市北上町愛宕神社 付近)

川表法面で幅約20 cmのクラックと25 cmの段差が10 m程度発生している(写真-21)。また川裏側をみると, 津波によるとおもわれるごみが散乱しており,北上川の 津波の遡上最高点として国土地理院による浸水状況とも 一致している。さらに下り,馬鞍を過ぎると堤防道路面 の変状が大きく,路面のアスファルトがない部分が多い 。沈下と左右への側方への移動が大きく,水面が近くに 感じられる。愛宕神社前の堤防では,天端のクラックは 最大で幅約30 cm,段差約80 cmもある(写真-22)。また 明らかに津波による越水による堤防の法面の侵食が見ら れる(写真-23)。愛宕神社の鳥居に水位が達した形跡が 残されており,地面から2.5 m近くまでに達していた。



写真-21 相野田バス停付近での川表の法面 亀裂と段差



写真-22 津波による護岸の被害(石巻市北上町愛宕神社付近)



写真-23 左岸堤防の越流による侵食状況

## 7.3堤防の被害(右岸4.0k,新北上大橋付近)

新北上大橋の上流は津波越流により右岸堤防が 1,100mにわたり,決壊した箇所である。津波高は月浜第 1地水門で推定津波高は8.0mであり,11k付近まで越流 したと考えられる。調査日には堤防の川側に大橋までの 緊急道路が確保されていた。新北上大橋の下流側は**写真** -24のように北上川と富士川の間の堤防が決壊し,天端 のアスファルトは流出し法面,砂礫の堤体は侵食されて いる。



写真-24 新北上大橋から下流側の様子 (→は常時の流れ)



写真-25 堤防の決壊(北上川右岸,新北上大橋下流)

#### 8 まとめ

宮城県中部・北部の2次調査から得られた知見を以下 にまとめる。

- 1)堤防の崩壊、変状のパターンとして、天端に大きな 亀裂クラックが発生し、天端が沈下し、左右の法面に 亀裂が発生、法尻が側方へ移動する形態が多くみられ た。また、江合川、鳴瀬川、吉田川では、堤体直下に 薄いが緩い砂層があり、その下にやや厚い軟弱粘土層 が堆積している地層構成が多い。変状のパターンは、 基礎地盤が軟弱な堤防に 1978 年の宮城沖地震でもよ く見られた形態である。
- 2)堤防のクラック亀裂や沈下量は時間ともに大きくなっているが、これには余震の影響が大きいと考えられる。
- 3)変状の大きかった法面には、土の堤防でもモグラの 穴からの排土の跡がみられた。これは、地中のモグラ の穴が地震時崩壊し、モグラが修復、排土した跡、モ グラ塚と思われる。
- 4)北上川下流では津波の越流による堤防の侵食がみられた。右岸、左岸とも川裏に洗掘がみられる。川表側は相対的に変状は小さいが、場所によって川表の変状にも大きいところがみられた。これらは、津波による 越波と引き波、内水や周辺水路からの流れによる変状であると考えられる。
  - 謝辞 調査時以外での江合川,吉田川,鳴瀬川・北上 川被害状況,地盤構成や復旧での技術情報について は、参考文献記載の資料によった。ご教示いただい た国土交通省東北地方整備局及び北上川下流河川 事務所の方々に感謝いたします。

#### 参考文献

- 国 土 交 通 省 国 土 地 理 院, 浸 水 範 囲 概 況 図, http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003.html.
- 早稲田大学理工学術院津波調査隊,柴山知也, Miguel Estaban, 三上貴仁, 松丸亮, 高木康士, 2011年東北地方 太平洋沖地震による津波災害の現地調査, http://www. sci.waseda.ac.jp/eq0/shibayama.pdf.
- 3) 宮城県公文書館, http://www.pref.miyagi.jp/koubun/
- 佐々木康,次世代型堤防技術への期待,国土技術研究センター,堤防委員会基調講演録,http://www.jice. or.jp/jishu/t1/201102030.html, 2009.
- 5)国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所,平成 23年東北地方太平洋沖地震鳴瀬川・北上川被害状況(速報 第16報版).
- 6) 土木学会東北支部, 1980, 1978年宮城県沖地震調査報告 書.
- 7)国土交通省東北地方整備局,北上川等復旧技術検討会, 第1回,第2回資料,被災要因の考え方について,平成23年5 月6日.

(原稿 2011.6.17)