

5. 道路構造物の被害

5.1 道路橋の被害

宮城県北部地震（2003 年）は珍しい 3 連続地震で、それによる道路や道路橋への被害はマグニチュードの大きさ（M5.5 震度 6 弱，M6.2 震度 6 強，M5.3 震度 6 弱）や内陸型地震の短い震央距離の割には損傷程度が軽いか、限定されていた。

その中で注目されるのは隣接する鳴瀬川と吉田川に架かる、県道河南鳴瀬線の小野橋（図 5.1）の被災である。小野橋（本橋）は昭和 11 年に完成した。鳴瀬川側（247.8m）は 13 径間の単純鋼板桁で、下部工はケーソン基礎上の R C のラーメン橋脚である。吉田川側（67.27m）は 6 径間の R C 単純桁で、岩盤上に直接基礎としている。幅員は共に 5.5m である。

小野橋には昭和 44 年に歩道橋が併設されている。鳴瀬川側（247.75m）が 7 径間単純鋼板桁で、基礎は杭基礎と直接基礎である。吉田川側（68.1m）は 3 径間単純鋼板桁の直接基礎で、幅員は共に 2m である。

被災は主に鳴瀬川の本橋に集中している。支沓の破損、伸縮装置での段差、桁の移動、橋脚コンクリートの亀裂、橋脚の傾斜などである。吉田川の本橋ではほとんど被害は見られなかった。歩道橋では支沓モルタルの損傷、一部橋脚での微少な亀裂、取付け盛土の沈下などである。

なお、鳴瀬川の本橋部分では 1978 年の宮城県沖地震でも支沓が破損し、桁が横断方向に 65cm 移動したが、落橋は免れた。

ここで問題になるのが架橋地点の地盤構成と基礎の実態である。小野橋では岩盤が南から北に（右岸から左岸に）傾斜している。その上に沖積粘土層が北に向かって 5~10 数 m で分布し、さらに、その上に砂礫層が 1~15m で北側に厚く堆積している。

そのために吉田川に架かる南側の本橋部分と歩道橋の基礎は岩盤上に直接基礎となっている。鳴瀬川に架かる歩道橋では右岸（南側）の 2 基は岩盤上の直接基礎で、他の 4 基と橋台基礎は鋼管杭基礎で、先端は岩盤に達している。

しかし、本橋の基礎はケーソン基礎で、右岸（南側）4 基の橋脚は岩盤上に床付けされているが、残り 8 基の橋脚基礎の先端は沖積粘土層に留まっている。その理由を調べると、当時は数少ない地盤調査の結果からケーソン基礎の寸法を統一化していたために、現場は設計図通りの根入れ長で施工していたことが判明した。

すなわち、岩盤に着底したケーソンの長さを標準に一律に 9.65m としたので、左岸側のケーソン先端は粘土地盤の中に留まる結果となったのである。それでも常時の上部工の荷重を支えるのに十分な支持力が得られ、実用上の支障を生じることはなかった。

以上の実態を考慮した上で、改めて地盤調査を行い、L1 地震に対するケーソンの安定計算をすると粘土層に根入れしているケーソンでは鉛直支持力度、水平変位、表層地盤の水平地盤反力度が許容値を超過している。さらに、ケーソンの傾斜角の実測値が計算値よりも大きくなっている橋脚も見られた（図 5.2）。すなわち、軟弱な粘土地盤に床付けしているために大きな回転を生じたことになる。この現象は 1978 年の宮城県沖地震における本橋の支沓の破損や桁の移動の原因でもある。

しかし、今回の地震では落橋防止装置を施工していたために被災を最小限に留めることができた。写真 5.1 は鳴瀬川の右岸側の橋台と端桁を示す。桁は橋座に 10cm の掛かり長で、辛うじて落橋を免れたのは下側に設置されている P C ストランドのおかげである。橋脚上でも、このような状況が桁同士の間で見られた（写真 5.2）。

上部工の移動は橋軸方向に卓越し、左岸側に最大で

小 野 橋 側 面 図

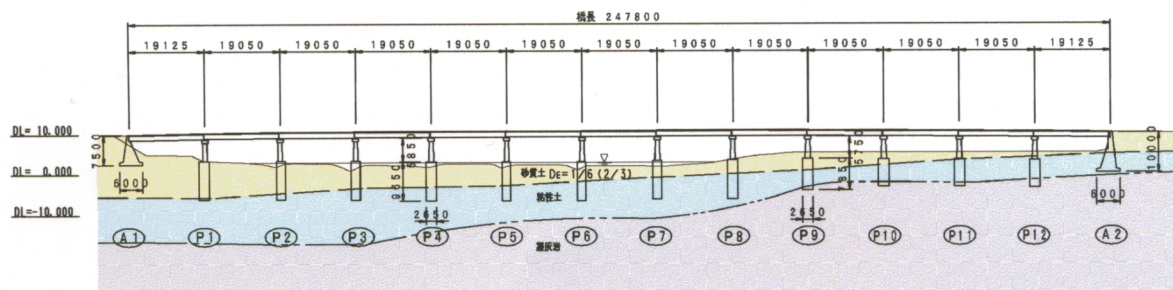


図 5.1 小野橋側面図

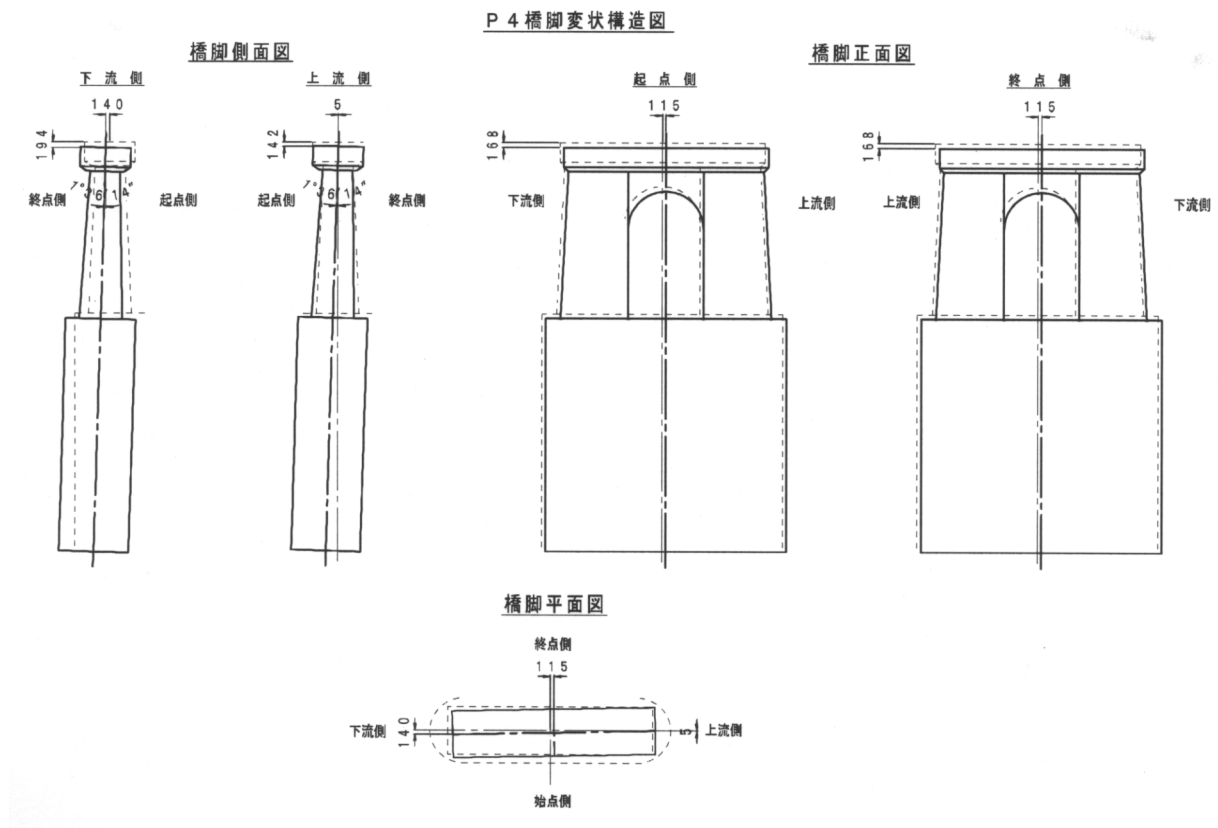


図 5.2 P 4 橋脚の変状



写真 5.1 小野橋南側橋台の桁掛かり



写真 5.2 橋脚上の被災例

約 20cm となり、橋全体に落橋防止装置が有効に働いた。しかし、支笈の破損とそれに伴う伸縮装置での段差は避けられなかったが、それによる通行人の被害は報告されていない。

小野橋は大きな被害となったが、近隣の道路橋では比較的軽微な被災に止まっている。下流 1.5km の国道 45 号の鳴瀬大橋では右岸側橋台の可動笈の移動制限のための突起が破損した程度である。宮城県沖地震（1978 年）に旧橋が落橋寸前の被害のあった、上流約 6km の県道

の木間塚橋でも背面盛土の沈下程度であった。

今回の地震では震度 VI の地震が 1 日に 3 回連続し、場所によっては 1000gal を超える加速度が記録されているが、永久構造物の被害はあまり見られなかった。橋梁の被害も小野橋を除くと県道、市町村道を含めて支笈の損傷や背面盛土の沈下等の軽微なものに終わっている。小野橋も震源から北西約 4km の位置にあるが、加速度というよりも速度ないしは変位による被災であった。主たる原因はケーソン基礎が支持層に達していないために



写真 5.3 国道 108 号河南町前谷地の被災地¹⁾

変形が大きく出たことである。現在、堆積地盤の地震応答を検討中で、基盤へ種々の地震波を入力して算定しても地表面の最大加速度は 500gal に達するものはないが、せん断歪みの最大値は $10^{-3} \sim 10^{-2}$ レベルとなるので液状化現象が生じてよい程度の地表面変形であったと想定される。実際の液状化現象は堤内地の一部に小さな噴砂が見つかっている程度であった。

5.2 道路斜面等の被害

道路の被害も大きな震度に対して比較的少なかった。主な被災は通常の地震で見られる舗装面や路肩の縦亀裂、構造物に隣接する盛土の沈下や路面の陥没、ブロック擁壁の亀裂、はらみだし、斜面の崩落等であったが、その被災箇所数は限られている。

高速道路は近くに三陸縦貫道、少し離れて東北縦貫道がある。三陸縦貫道では路面の亀裂、段差、橋梁の伸縮装置の破損等で、徐行すれば通行できない訳ではないが、通信施設や標識等の被災があり、鳴瀬奥松島～石巻河南間で3度にわたり通行止めがなされた。そのうちの本震による通行止めは約 24 時間に渡った。東北道でも約 2 時間弱の通行止めがなされた。

国道で交通規制を要した被災は 4 箇所、4 号 1 箇所、45 号 2 箇所、108 号 1 箇所、路面沈下、落石の危険性、路肩ブロック崩壊の危険性等によるものである。写真 5.3 に国道 108 号河南町前谷地の被災現場を示す。一般的に被災事例の多いのは写真のような岩盤と堆積地盤の境界や切土と盛土の境界付近に集中する傾向がある。

県道、市町村道の被災も小規模なものが多い。県道の被災箇所は 70 箇所、市町村道では 187 箇所であるが、被害の総額は 40 億円弱で、平均しても 15 百万円/箇所である。これらの被災では道路本体の損害額は小さいが、写真 5.4、5 に見るように道路敷地外からの法面崩



写真 5.4 道路に流出した法面崩壊¹⁾



写真 5.5 道路への落石の事例¹⁾

壊や落石による比較的大きな被害が散見された。

宮城県北部地震は震度 VI の連続 3 回の地震とそれに付随する比較的强大い余震が連続した割には道路の被災は少ないのが特徴である。過去に大地震を経験し、田園地帯と丘陵地が主体の地形で高盛土が少なく、年数の経った道路が多いことにもよると考えられる。

一方では、本地震は災害時の交通管理のあり方を検討するのに適当な地震と位置づけることができる。今回の地震では三陸縦貫道が被災日に通行止めになったために国道 45 号が大渋滞となり、緊急車の通行にも支障が生じた。

しかし、国土交通省が平成 15 年 6 月から始めたロード・セーフティ・ステーション (RSS) が有効に機能して道路利用者への情報提供が円滑に行われ、混乱を最小限に留めることが出来たことが注目される。この施策は国道沿いに点在するコンビニエンスストアを道路管理情報支援の拠点として活用するものである。また、この RSS は災害復旧体制を整える上でも大いに役立った。

他の県道などの幹線道路も通行止めになった箇所でも迂回路の確保ができ、救援や復旧活動に支障をきたさなかったことが特筆される。

これらの経験に基づいて国土交通省では更にガソリンスタンドを対象に“ドライブ・インフォメーション”を組織して道路利用者との間で情報の提供、交換を行うこ

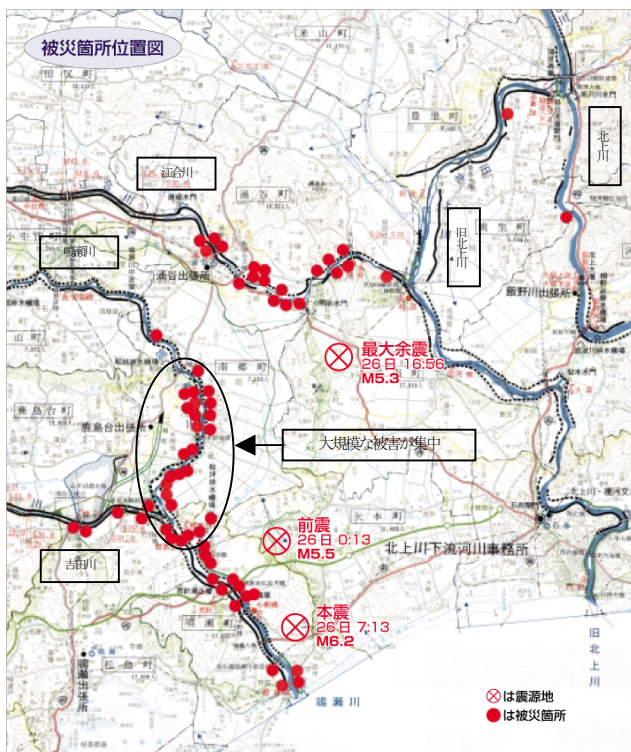


図-6.1 被害箇所位置図 1)に加筆

とを進めている。さらに、道路管理者間、すなわち国土交通省、東北6県、仙台市、日本道路公団の間で“5.26三陸南地震、7.26宮城県北部地震の教訓を踏まえた道路管理者間の情報共有に関する緊急行動計画(案)”を実施に動き出している³⁾。

このように、今後の地震対策では二次災害といわれる震災直後の交通や、通信手段の途絶や混乱をいかに回避するかが重要になっている。そのために、道路等の社会基盤施設の損傷を防ぐだけでなく、被災時、被災後に各機能を円滑に回復、補完できるようにすることを真剣に考えていく必要がある。

調査報告を取りまとめるのにあたり、国土交通省東北地方整備局道路部、宮城県県土整備部道路課、復建技術コンサルタント(株)の関係各位のご協力をいただいたことを記し、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 2003年三陸南地震・宮城県北部地震災害調査報告書、2003年三陸南地震および宮城県北部地震災害調査委員会、地盤工学会、2003年10月



堤防天端の縦断クラック

写真-6.1 鳴瀬川木間塚橋下流側堤防右岸 12.7k～13.5k (二郷地区)



堤防崩壊

写真-6.2 鳴瀬川木間塚橋下流側堤防右岸 12.9～13.5k (木間塚その1地区)

- 2) 2003年7月26日宮城県北部の地震緊急調査速報、国土技術政策総合研究所・土木研究所合同緊急調査団、土木技術資料45-9、2003年9月
- 3) 地震に備えた道路の情報化——安全・安心・快適な生活を送るための災害に強い道路を目指して——、国土交通省東北地方整備局、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、仙台市、日本道路公団東北支社、平成15年11月

6 河川構造物の被害(河川堤防などの被害)

6.1 概要

今回の地震で大規模な被害が生じた河川は、震源地の近傍を流れる鳴瀬川で、被害は河口から概ね8km～17km地点にある低地部の堤防に集中している。

被害は、主に堤防本体にみられ、被害形態としては堤防の崩壊および沈下、堤防天端およびり面の縦横断亀裂、はらみ出しを伴うすべり破壊等であった。また、堤外側のコンクリートのり枠工(護岸工)についても、一部に亀裂や目地の開き等がみられた。

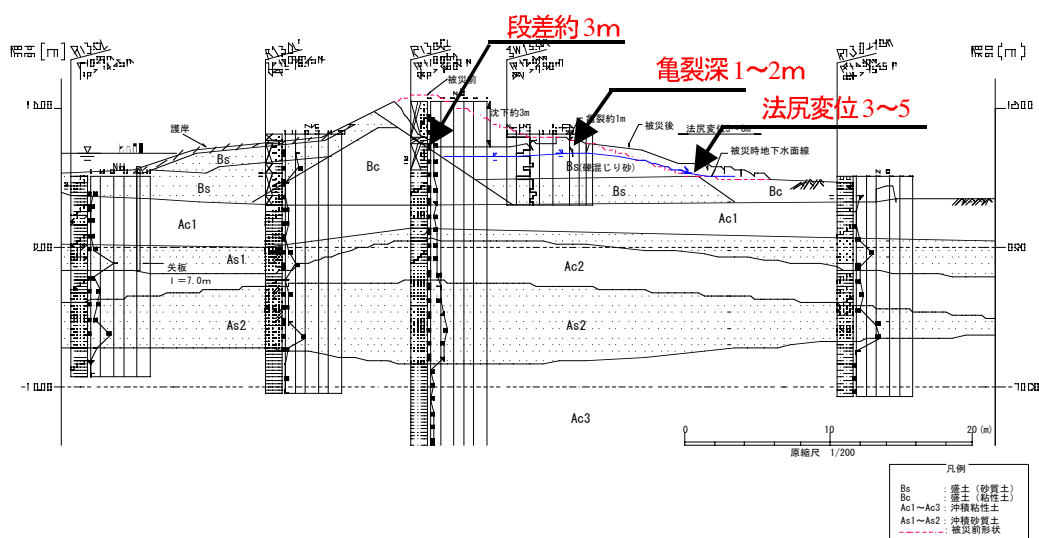


図 6.2 被害状況と地層構成（木間塚その 1 地区）

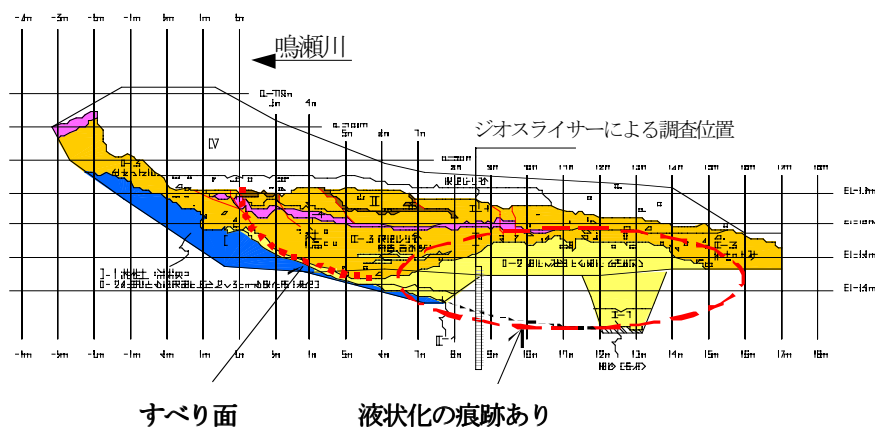


図 6.3 堤体の開削断面(木間塚その 1 地区)

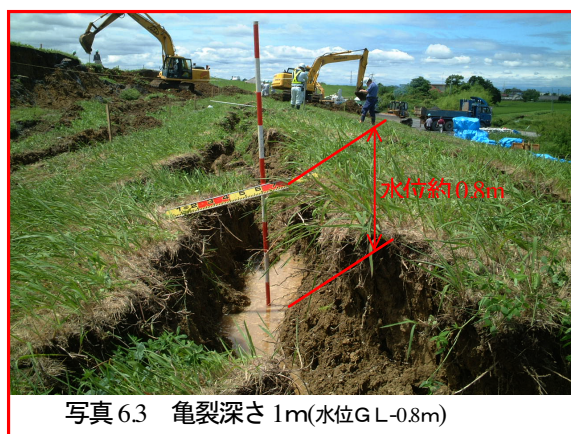


図 6.1 に被災箇所的位置を示す。また、鳴瀬川の木間塚橋の下流に生じた河川堤防の被害を写真 6.1, 6.2 に示す。これらの図および写真はいずれも国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所より提供を受けたものである。

6. 2 降雨と河川水位

被害地近傍では、7月上旬～中旬にかけて日雨量 20mm 程度の降雨が数日みられ、さらに地震発生前 1 週



間の間に連続雨量が 150mm を越える降雨が記録され、7月に入ってから累計雨量は、300mm に達している。この影響で、鳴瀬川の河川水位は地震発生前後で指定水位（1年で 5 から 10 回起こる程度の水位）を越えたことが明らかにされている。

6. 3 代表的な地点の被害状況

図 6.1 に示した鳴瀬川堤防における被害箇所のうち、特に被害の大きかった①木間塚その 1 地区 ②二郷地区

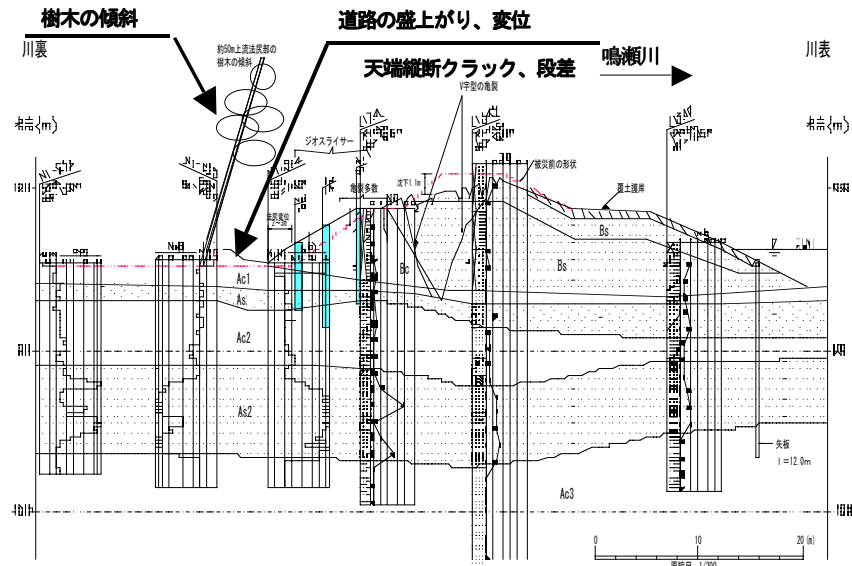


図 6.4 被害状況と地層構成（二郷地区）

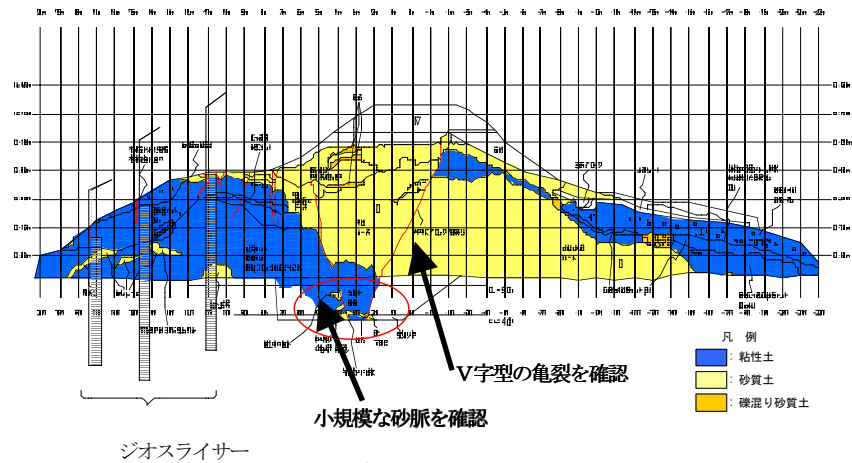


図 6.5 堤体の開削断面(二郷地区)



写真 6.5 法尻変位 3~5m

についての被害状況について以下に示す。

(1) 木間塚その1地区（鳴瀬川右岸 12.9k+60m~13.5k）

① 被害状況

図 6.2 に被害状況と地層構成について示す。

当該地区における被害の特徴は、以下の通りである。

- ・堤防天端および堤内外のり面に約 500m に亘って縦断亀裂（幅 20~70cm, 深さ 60~100cm, 段差 40~60cm）が発生している(写真 6.3)。
- ・堤体には、旧堤と新堤の境界に沿って 2~3m の段落

ちが見られる(写真 6.4)。

- ・盛土はのり尻付近の道路を覆うようにはらみ出している（変位量 3~5m）(写真 6.5)。

②堤防開削調査

堤防開削調査より得られた堤体の開削断面を図 6.3 に示す。これより、以下のことが明らかにされた。

- ・堤防構造は、粘性土主体の旧堤に砂質土主体の新堤が裏腹付けされている。
- ・基礎地盤は、堤体直下に粘性土、その下方に砂質土が分布している。
- ・旧地盤（粘性土）と盛土（砂質土）との境界付近にすべり破壊面が確認された。
- ・堤体下部の細砂から成る領域に液状化の痕跡が確認された。

2) 二郷地区（鳴瀬川左岸 12.7k+270m~13.5k）

① 被害状況

図 6.4 に被害状況と地層構成について示す。

当該地区における被害の特徴は、以下の通りである。

- ・堤防天端および堤内、堤外側のり面に約 700mに亘って縦断亀裂（幅 40~80cm, 深さ 40~180cm, 段差 40~80cm）が発生している。（写真 6.6）。



写真 6.6 堤防天端縦断クラックおよび段差



写真 6.7 道路の盛上がりおよび水平変位



写真 6.8 法尻付近の樹木の傾斜

堤内側のり面のすべりに伴い道路が盛上がり民家近くにまで及んでいる。(写真 6.7)。

- ・堤防のり面のはらみ出しが見られた堤防天端は、全体的に大きく沈下している。
- ・川裏側の樹木が川方向に傾斜している (写真 6.8)。

②堤防開削調査

堤防開削調査より得られた堤体の開削断面を図 6.5 に示す。これより、以下のことが明らかにされた。

- ・堤防構造は、砂質シルトの旧堤に砂質土主体の新堤が表腹付けされている。
- ・基礎地盤は、堤体直下に粘性土が薄く堆積し、その下方に緩い砂質土が分布している。
- ・堤体天端直下に V 字型の亀裂が確認された。
- ・堤体内には、円弧すべり面等は確認されなかった。
- ・堤体下部および基礎地盤で小規模な砂脈が確認された。

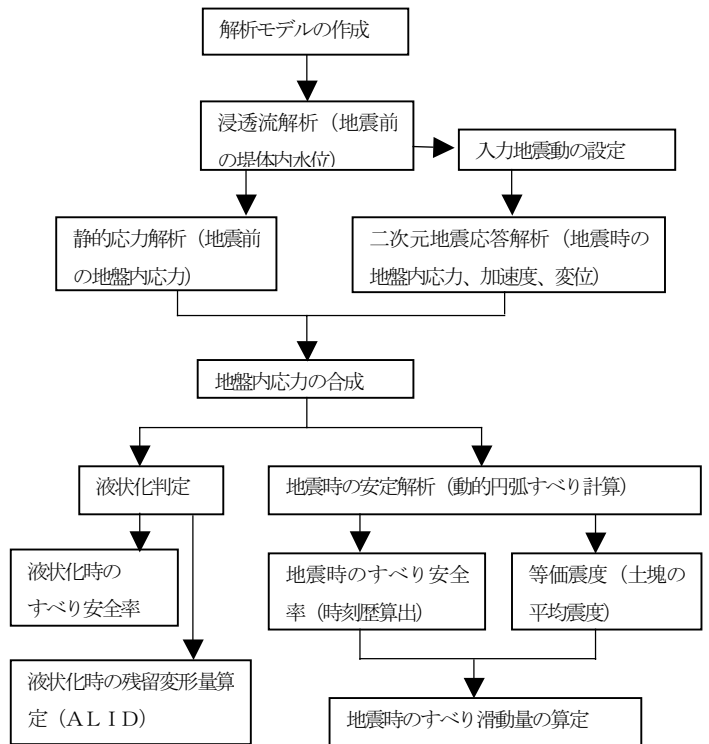


図 6.6 地震被害メカニズムの検討手順

6. 4 被害メカニズムの推定

被害メカニズムを明らかにするために、土質調査、土質試験の結果をもとに、浸透流解析、地震応答解析および残留変形解析等を実施した²⁾。

検討手順について図 6.6 に示す。これらの結果より、各地点についての地震前、地震時の状況および被害要因について推定した。

①木間塚その 1 地区

地震前の状況

降雨により河川水は上昇していたが、矢板、護岸により河川水の堤体内への浸透はなかった。しかしながら、降雨浸透により堤体内の水位は上昇し、浸潤面以深の砂質土は飽和状態となって自重が増加するとともに、強度低下を引き起こしたものと考えられる。なお、堤体内の砂質土を用いたねじりせん断試験（単調載荷）の結果、強度特性に関しては、自然含水状態（ $w=25\%$ ）にある試料に対して、飽和状態では、内部摩擦角が 5 度程度小さくなるが示された。

地震時の状況

地震により、As 1 層の一部および地下水位以深にある堤体内の砂質土に液状化が発生し、間隙水圧の上昇や堤体強度の低下が生じたものと考えられる。

被害要因の推定

飽和度が高い状態にある堤体に、本震による強い地震力が作用したことにより、堤体は強度低下を引き起こし、安定を失い、旧堤体（粘性土）の境界に沿って堤内側（川裏側）へのすべり破壊が生じたものと考えられる。一方、川表側には、遮水矢板や護岸の設置により変状しなかつ

たものと思われる。

これらの状況を模式図として図 6.7 に示す。

② 二郷地区

地震前の状況

降雨により河川水は上昇していたが、矢板、護岸により河川水の堤体内への浸透はなかった。しかしながら、降雨浸透により堤体内の水位は上昇し、浸潤面以深の砂質土は飽和状態となって自重が増加するとともに、強度低下を引き起こしたものと考えられる。

地震時の状況

地震により、As 1 層の一部および水位以深にある堤体内の砂質土に液状化が発生し、間隙水圧の上昇や堤体強度の低下が生じたものと考えられる。

被害要因の推定

飽和度が高い状態にある堤体に、本震による強い地震力が作用したことにより、堤体の強度は大きく低下し、天端直下ではV字型に盛土塊が沈下した。これにより、堤体の旧堤部は盛土直下の緩い地盤とともに川裏側に押し出されたものと推定される。また、地盤の水平移動に伴い、盛土法尻部では盛り上がり、樹木は傾斜したことが伺える。一方、川表側は、遮水矢板や護岸の設置により変状しなかったものと思われる。

これらの状況を模式図として図 6.8 に示す。

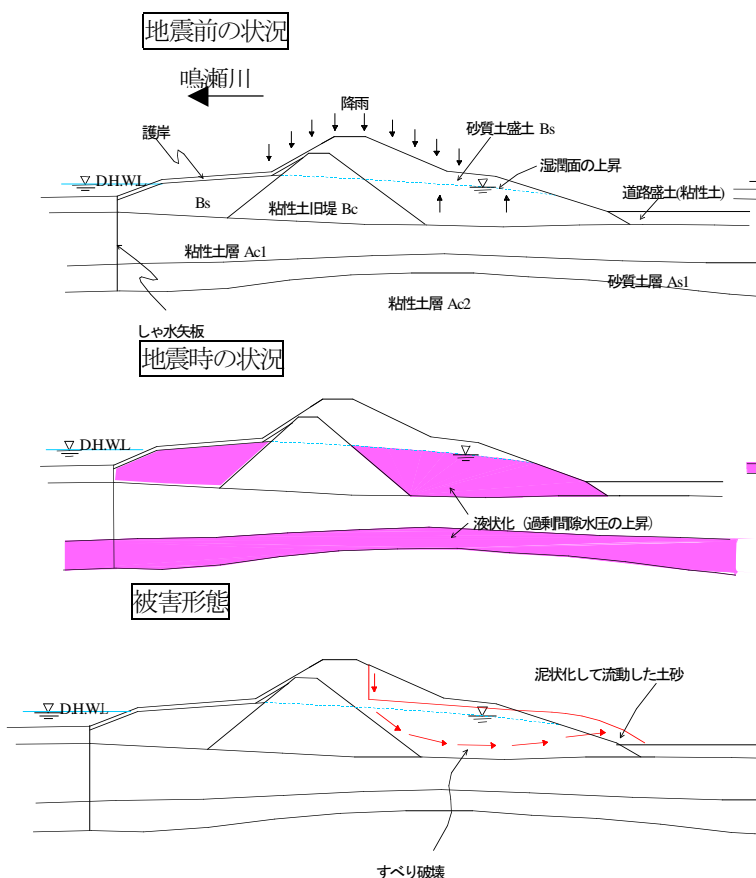


図 6.7 被害要因の推定模式図 (木間塚その 1 地区)

6. 5 被害の特徴と堤防強化に関する今後の課題

今回の地震被害の特徴は、震源に近く地震力が大きかったこと、降雨により堤体内の水位が上昇し、飽和度が高い状態で地震外力を受けたことにある。そして、特に大規模な被害の生じた区間では、堤体は緩い砂質土やシルト質砂で盛られていたこと、降雨による浸透水が抜けにくい堤防構造にあったことが明らかにされた。

これらのことから、堤防の強化を図る上で重要なことは、堤防の構造や堤体および基礎地盤の土質特性を調査し、その健全性を把握すること、降雨や河川水の浸透が懸念される堤防では、耐浸透機能や排水機能を向上させた対策を講じること等が考えられる。また、堤防高さ、幅の不足している堤防の強化も併せて実施することが望まれる。

さらに、堤防強化を実施した後も継続的に堤体内の水位測定や堤防の変状調査等のモニタリングを進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所
: <http://www.thr.mlit.go.jp/kayuu/>
- 2) 平成 15 年度鳴瀬川堤防検討会、第 1 回～第 4 回委員会資料(委員長：山村和也)、国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所、(財)国土技術センター

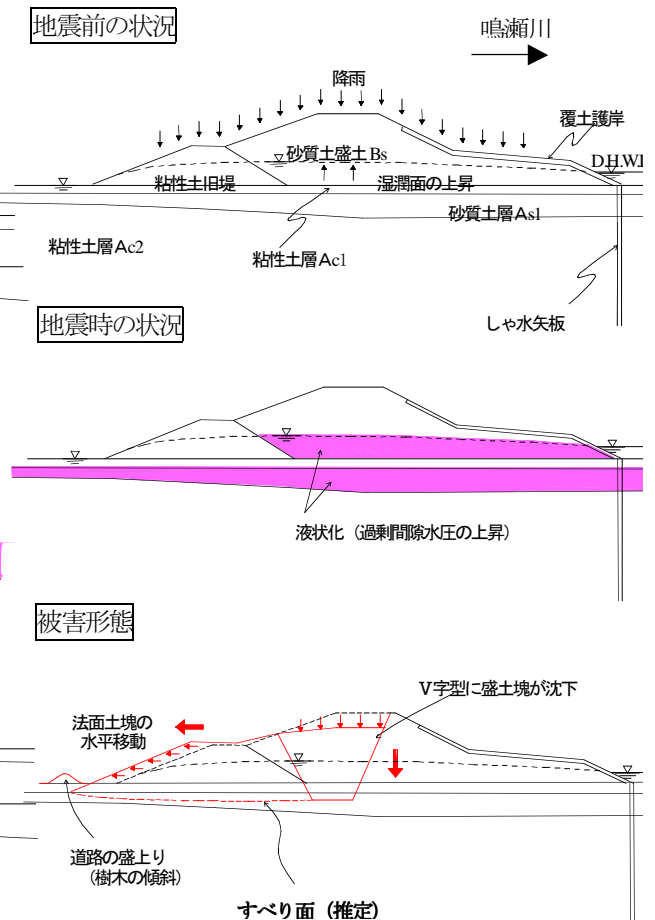


図 6.8 被害要因の推定模式図 (二郷地区)