

2004年新潟県中越地震で被災した鉄道盛土の概要と降雨浸透解析

松丸貴樹¹・石塚真記子²・舘山勝¹・小島謙一¹・渡辺健治¹・篠田昌弘²

2004年新潟県中越地震は，多くの盛土構造物に被害をもたらした．この地震では，台風に伴う降雨により盛土の強度低下が指摘されているため，地震と降雨の影響を考慮した被害の評価を行った．本報告では，解析による評価を行うため，被災盛土および復旧に用いた盛土材料による各種室内試験，浸透流と地震時動的応答を考慮した解析手法，ならびに浸透流解析について報告する．対象盛土はJR上越線220km300m付近および221km000m付近の鉄道盛土であり，いずれの盛土も地震によって大崩壊し，補強土壁により復旧がなされた．室内試験については，被災盛土および復旧盛土の盛土材料について，物理試験，透水試験および三軸圧縮試験を実施し，透水性や強度変形特性を求めた．解析は，浸透流解析・動的応答解析・Newmark法による変形解析から成る．浸透流解析により，被災盛土の地震直前における含水状態を把握するとともに，復旧盛土の降雨に対する排水性の検討を行った．

キーワード：新潟県中越地震，室内試験，数値解析，浸透流解析

1. はじめに

2004年新潟県中越地震は，多くの土構造物に被害をもたらした．鉄道の土構造物の被害は，JR上越線，信越線を中心に，盛土崩壊，路盤陥没，道床流出，橋台背面の沈下などが発生し，その数は4線区86箇所であった^{1),2)}．その多くは，信濃川の河岸段丘部分で発生しており，過去にたびたび降雨による土砂崩壊などの災害が発生した箇所と重なっている．今回の地震発生直前においても台風23号の影響によって降雨の影響を受けている．このため，降雨浸透により盛土内の飽和度が上昇し，強度が低下した状態で地震を受けたことにより，大きな被害が生じたことが想定されているが，詳細な検討はなされていない．

ここでは，上越線220km300m付近および221km000m付近の鉄道盛土を対象として，一連の解析手法を用いて被災盛土が崩壊した要因を検討するとともに，復旧後の補強盛土が十分な耐震性を有していることを示す．本報告ではまず，盛土の被災状況と補強土壁を用いた復旧方法について詳述し，被災盛土ならびに復旧盛土の盛土材料の室内試験結果について示す．次に，検討で用いる浸透流解析・動的応答解析およびNewmark法の概要と，解析に用いる降雨データや地震動について述べる．最後に被災盛土の浸透流解析結果について示す．なお，動的解析ならびにNewmark法による変形解析の詳細については文献3)，4)に示す．

2. 被災盛土の概要

上越線220km300m付近および221km000m付近の鉄道盛土の被害状況，ならびに補強土壁による復旧方法の概要について述べる．

(1) 上越線220km300m付近

a) 在来鉄道盛土の被害状況

上越線220km300m付近の下り線盛土が，延長約55m，高さ約2～7mにわたって崩壊（土量約9,900m³）した．崩壊斜面長は推定で90mに及び，崩壊土はのり尻にあたる信濃川まで達していたことが確認されている．盛土の崩壊略図を図-1に，また実際の崩壊状況を写真-1に示す．現場付近は急崖地であり，信濃川に面する攻撃斜面となっている．地質は，基盤が泥岩であり，上層に段丘堆積物（礫，砂およびシルト）が堆積し，その上部の盛土（軟質

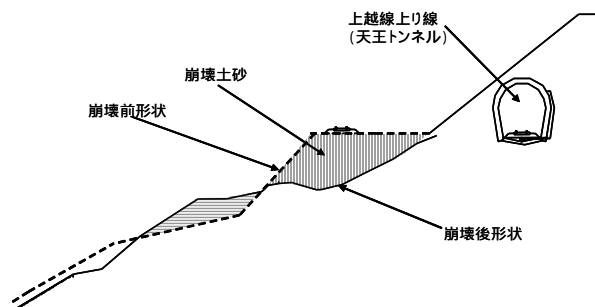


図-1 上越線220k300m付近盛土崩壊略図

¹正会員，（財）鉄道総合技術研究所，構造物技術研究部（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

²正会員，（株）複合技術研究所，技術部（〒190-0001 東京都千代田区飯田橋4-6-9ロックフィールドビル6F）



(a)崩壊状況 1



(b)崩壊状況 2

写真-1 上越線 220km300m 付近盛土崩壊状況

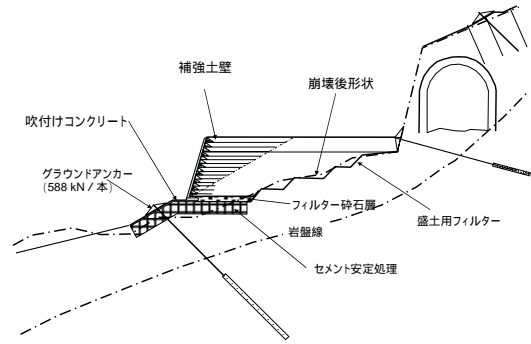


図-2 上越線 220km300m 付近復旧略図



写真-2 上越線 220km300m 付近復旧状況

粘性土)が崩壊した。

b)盛土被害の復旧状況

復旧構造は、斜面のすべり対策とトンネルの安定対策のために、グラウンドアンカーを施工し、盛土部は復旧盛土量を最小にすること、恒久構造で耐震性能の向上が図れることなどの条件を考慮し、面状補強材を使用した剛壁面補強土壁工法が採用された。盛土の復旧略図を図-2に示す。

盛土の基礎は、基盤が泥岩で崩壊土も良質な第三紀砂岩及び泥岩であったことから、崩壊土をセメント安定処理 ($h=1.0\text{m}$, 150kg/m^3 の添加) して使用することとした。施工手順としては、セメント安定処理を行った後、のり面にモルタル吹付け、グラウンドアンカーの打設を行った。グラウンドアンカーの設計緊張力は 588kN/本 とした。また当該箇所が集水地形であると判断したことから、盛土支持地盤の排水処理として排水フィルタおよび暗渠排水管 ($\phi 65$) を盛土と支持地盤の境界に敷設した後、1層 30cm ごとに所定の高さまで順次面状補強材を敷きこみながら盛土 (堤体最大高さ 6.9m) の構築が行われた。盛土材料には粒度調整砕石が用いられていた。型枠支保工を設置後、壁面コンクリートが打設された。本工事における数量は盛土が $1,800\text{m}^3$ 、壁面工が 80m^3 である。盛土の復旧状況を写真-2に示す。

(2)上越線 221km000m 付近

a)在来鉄道盛土の被害状況

天王トンネルの終点方約 500m の信濃川の河岸段丘上部の $221\text{km}000\text{m}$ 付近において、上下線の盛土が延長約 65m 、高さ約 $4\sim 12\text{m}$ にわたって崩壊 (土

量約 $13,000\text{m}^3$) した。崩壊の最上部は、上越線に並行して走る国道 17 号線の路面であり、車道中央の舗装面が陥没し、国道と上越線の間にあった土留擁壁 ($h=2.0\text{m}$) も倒壊し、同様に崩壊した。盛土の崩壊略図を図-3に、また実際の崩壊状況を写真-3に示す。当該箇所は信濃川右岸に位置する崖状に攻撃侵食された谷地形であり、信濃川へと注ぐ石田川の溜まり池をのり尻とした比高約 40m の谷渡り盛土区間であった。地質は、基盤が中粒砂岩であり、上層に割れ目の多いシルト岩が堆積し、その上部の盛土 (礫混じり砂質土) が崩壊した。

b)盛土被害の復旧状況

復旧構造及び工法の検討に当たり、崩壊土量と同程度の材料を安定勾配で復旧することは困難であることから、盛土量を最小にすること、可能な限り恒久構造とすること、耐震性能の向上が図れること、などの条件を考慮した結果、剛壁面補強土壁が採用された。また、ロックボルトを壁面基礎に配置することにより、斜面上の安定性が向上している。この箇所は、道路に近接して盛土を構築することから、道路に作用する荷重についても設計に盛り込まれている。盛土の復旧略図を図-4に示す。

施工手順としては、支持地盤となる軟岩まで崩壊土、表土を掘削、撤去し、軟岩に自穿工ロックボルト ($L=2.0\text{m}$, 2.0m ピッチ) を打ちこみ、補強擁壁壁面工の基礎が打設された。また、集水地形と想定され、崩壊時にも湧水が見られたことから、壁面基礎付近の排水性をよくするために基礎背面にはフィルタ層を設け、基礎前面側に暗渠により導水する構造となっている。盛土は面状補強材を 30cm 毎に敷

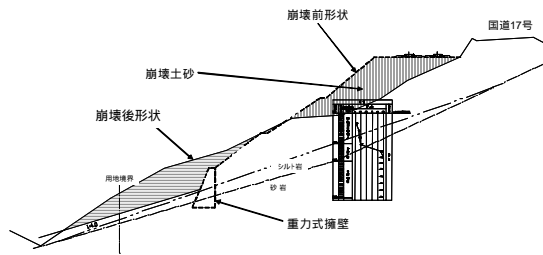


図-3 上越線 221km000m 付近盛土崩壊略図

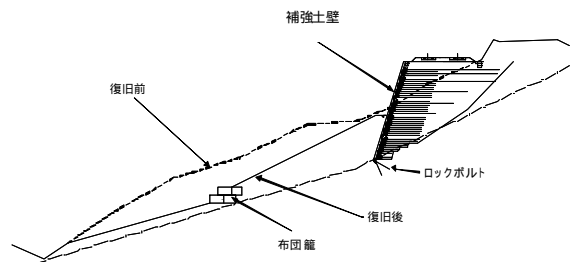


図-4 上越線 221km000m 付近復旧略図



(a)崩壊状況 1



(b)崩壊状況 2

写真-3 上越線 221km000m 付近盛土崩壊状況



写真-4 上越線 221km000m 付近復旧状況



(a)上越線 220km300m の盛土材料



(b)上越線 221km000m の盛土材料

写真-5 被災盛土の盛土材

き詰めながら所定の高さ（堤体最大高さ 13m）まで順次盛り立てを行った。工事の総施工数量は盛土が 4,600m³、壁面コンクリートは 300m³であった。盛土の復旧状況を写真-4 に示す。

3. 被災・復旧盛土の室内土質試験

対策前後の盛土の性能評価を精緻に行うために、被災盛土ならびに復旧盛土材の特性を把握する必要がある。それぞれの材料の各種室内試験を実施した。以下ではその概要について述べる。

(1)被災盛土

上越線 220km300m および 221km000m において、コアサンプラーにより被災盛土から盛土材料を採取し、盛土材料の密度および含水比を求めた。また、別途盛土材料を採取し、「土粒子の密度試験」および「土の粒度試験」を行い、土質材料の工学的分類を行った。盛土材料を写真-5 に、試験結果を表-1 に示す。いずれの盛土材料も「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）」⁵⁾における土質（粒度配合の悪い砂）に相当することがわかった。

盛土材料の変形特性を把握するため、三軸圧縮試

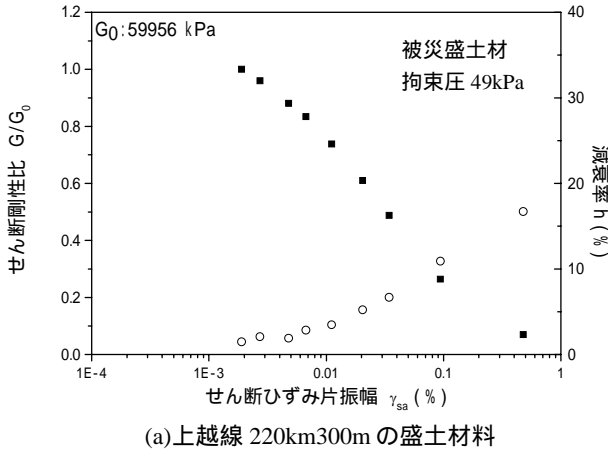
表-1 被災盛土のコアサンプラー結果・物理試験結果

| | 220km300m | 221km000m |
|-------------------------------|-----------|-----------|
| 乾燥密度 d (g/cm ³) | 1.56 | 1.42 |
| 含水比 w (%) | 21.3 | 28.8 |
| 土粒子密度 G_s | 2.684 | 2.705 |
| 分類記号 | SFG | SF-G |

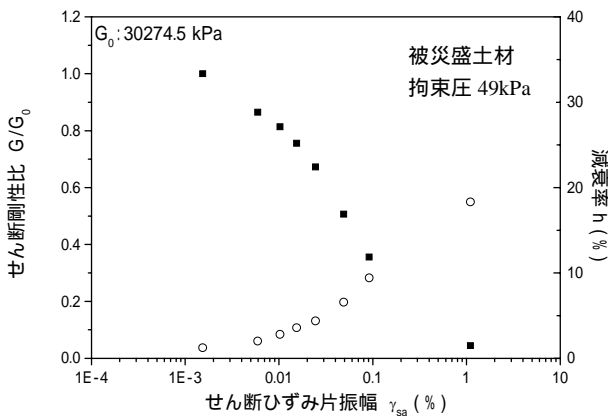
表-2 復旧盛土の盛土材料の三軸圧縮試験結果

| | peak (°) | res (°) | c _{peak} (kPa) | c _{res} (kPa) |
|-----------|----------|---------|-------------------------|------------------------|
| 220km300m | 32.1 | 11.1 | 34.5 | 0 |
| 221km000m | 33.5 | 1.25 | 33.5 | 1.25 |

「peak」はピーク時、「res」は残留時（15%軸ひずみ発生時）を表す。221km000mの盛土材料については、明確なピークが発現しなかった。



(a)上越線 220km300m の盛土材料



(b)上越線 221km000m の盛土材料

図-5 被災盛土盛土材料の $G \sim h$ 関係

験を実施した。供試体の寸法は材料の粒径等に応じて上越線 220km300m で $50 \times h100$ (mm), 221km000m で $75 \times h133$ (mm) とした。試験は排水条件のもと、三種類の拘束圧 (29kPa, 49kPa および 98kPa) での単調載荷試験によって、ピーク時および 15%の軸ひずみに到達したときの内部摩擦角と粘着力を求めた。また、非排水条件のもと、繰返し載荷試験を行い、 $G \sim$ 関係および $h \sim$ 関係を把握した。単調載荷試験の試験結果を表-2 に、繰返し載荷試験によって得られた $G \sim$ 関係および $h \sim$ 関係を図-5 に示す。

上越線 221km000m で採取した盛土材料については、「土の透水試験 (変水位)」も実施し、透水係数は $k=1.06 \times 10^{-5}$ cm/s である。

(2)復旧盛土

復旧盛土の材料はクラッシュランを用いた。被災盛土と同様に「土の粒度試験」を実施するとともに、「突き固め試験」を行い、最大乾燥密度および最適

表-3 復旧盛土の盛土材料の物理試験結果

| | |
|---------------------------------------|-------|
| 土粒子密度 G_s | 2.765 |
| 最大乾燥密度 d_{max} (g/cm ³) | 2.249 |
| 最適含水比 w_{opt} (%) | 5.2 |

表-4 復旧盛土の盛土材料の三軸圧縮試験結果

| peak (°) | res (°) | c _{peak} (kPa) | c _{res} (kPa) |
|----------|---------|-------------------------|------------------------|
| 47.1 | 44.4 | 81.7 | 0 |

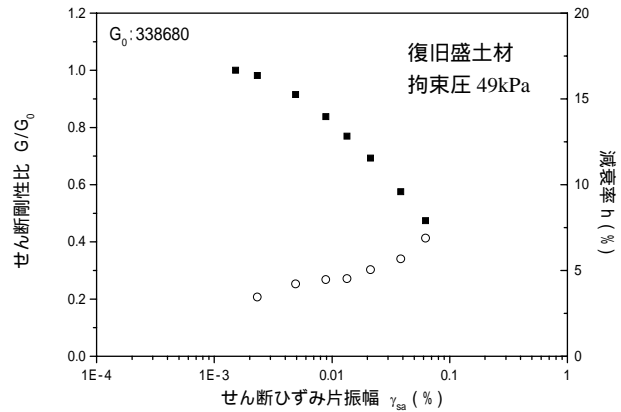


図-6 復旧盛土材料の $G \sim h$ 関係

含水比を求めた。試験結果を表-3 に示す。

被災盛土と同様に盛土材料の強度・変形特性を把握するため、三軸圧縮試験を実施した。試験は排水条件のもと、三種類の拘束圧での単調載荷試験と、非排水条件下における繰返し載荷試験を実施している。ただし、被災盛土とは異なり復旧盛土の盛土材料は粒径が大きいことから、供試体の寸法は $200 \times h400$ (mm) とし、載荷装置もより大型のものを用いた。単調載荷の試験結果を表-4 に、繰返し載荷試験から得られた $G \sim$ 関係および $h \sim$ 関係を図-6 に示す。

4. 解析の全体の流れ

本章では被災盛土の崩壊要因と、復旧盛土の耐震性評価を行うための解析手法について述べる。なお、解析による全体フローを図-7 に示す。それぞれの解析の概要を以降に示すが、本稿ではこの内、浸透流解析を中心に報告する。動的解析や Newmark 法による変形解析は別稿 3), 4) で報告する。

(1)浸透流解析

浸透流解析は、被災盛土において地震発生直前における盛土や地盤の飽和度分布を求めることと、復旧盛土での含水状態を検討することを目的としている。地震発生直前における台風による降雨のために、盛土内の飽和度が上昇しサクシヨンの低下を招いたことが懸念されたことや、復旧後の降雨に対する安定性の確保が重要であるためである。

本検討において、浸透流解析は phase1, phase2 の

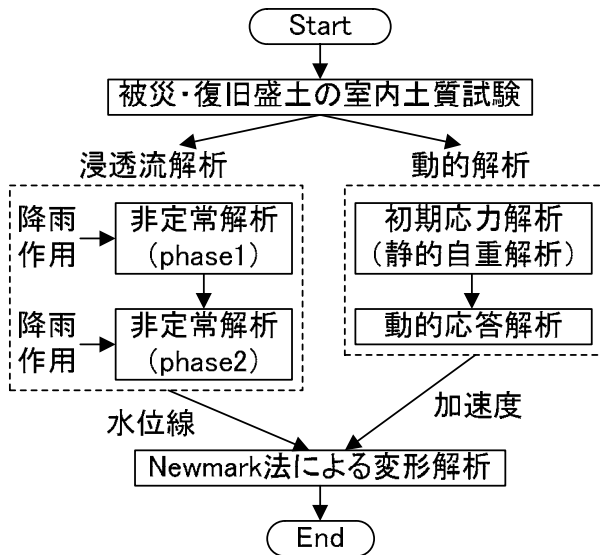


図-7 解析のフロー図

2段階の解析を行う。phase1では年平均降水量相当の降雨を長時間与えて盛土内の浸透を定常状態とし、phase2では地震直前の長雨を用いた降雨浸透を求めた。なお、解析の詳細については次章に示す。

(2)動的解析

動的解析では、地震時における盛土内の応答を求めることを目的として実施した。解析は静的自重解析によって盛土内の初期応力状態を求め、その応力状態の下で地震が作用したときの盛土の応答を求めた。なお、詳細については文献3)を参照されたい。

(3)Newmark法による盛土の変形量の検討

盛土の変形量はNewmark法により求めた。ここで用いたNewmark法はより地震時の挙動を詳細に評価するため、(2)で得られた盛土の応答加速度を考慮した手法を用いた。また、(1)の浸透流解析で得られた飽和度の分布をもとに、土の強度定数や水位線を考慮するものとする。なお、詳細については文献4)を参照されたい。

5. 浸透流解析

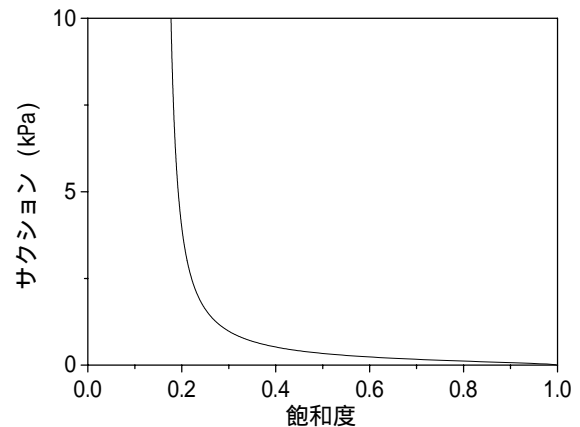
本章では、地震直前の降雨の浸透に伴う盛土内の飽和度の変化について、浸透流解析により検討した結果を示す。復旧後についても、221km000mの断面においてのみ、同様の降雨浸透があった場合の排水性について検討を行った。

(1)土の不飽和浸透特性のモデル化

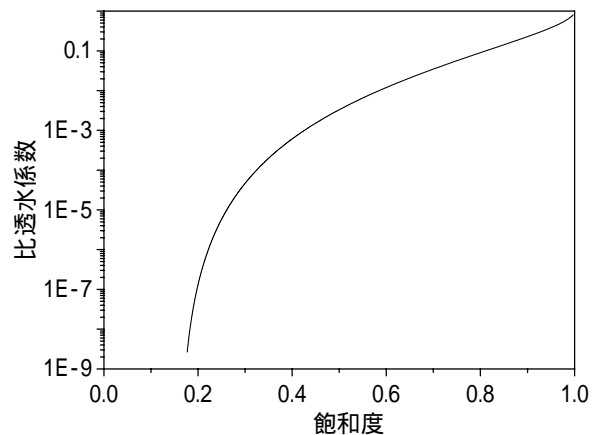
飽和 - 不飽和浸透解析では土の不飽和浸透特性をモデル化する必要がある。本検討においては、水分特性曲線としてVan Genuchtenモデル⁶⁾を用いた。本モデルは以下の式で与えられる。

表-5 パラメータの一覧

| θ_r | θ_s | (1/cm) | m | n |
|------------|------------|--------|-------|-----|
| 0.065 | 0.41 | 0.075 | 0.471 | 0.5 |



(a)サクシオンと飽和度の関係



(b)サクシオンと比透水係数の関係

図-8 解析に用いる水分特性

$$\Theta = \left[\frac{1}{1 + (ah)^n} \right]^m \quad (1)$$

ここに、 Θ は相対含水率、 h はサクシオン、 a 、 n 、 m は実験的に求めるパラメータである。また、相対含水率は体積含水率 θ を用いて次式で表される。

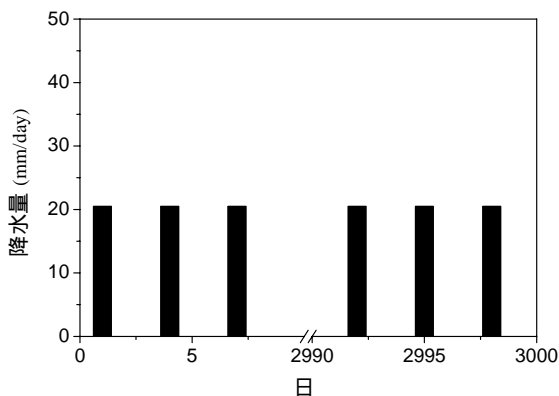
$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2)$$

ここに、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は体積含水率の下限値である。(1)式の水分特性曲線より、不飽和透水係数は次式で与えられる。

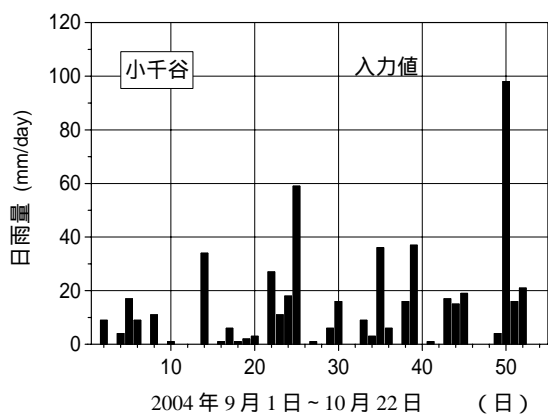
$$K_r(\Theta) = \Theta^{1/2} \left\{ 1 - (1 - \Theta^{1/m})^m \right\}^2 \quad (3)$$

ここに、 $K_r(\Theta)$ は比透水係数であり、不飽和透水係数を飽和透水係数で除したものである。

(1)式におけるパラメータは通常、実際に測定し



(a) phase1 の解析で用いる降雨



(b) phase2 の解析で用いる降雨

図-9 浸透流解析で用いる降雨データ

た水分特性曲線に対して、フィッティングを行うことによって定めるものである。しかし、本解析で対象とする盛土材料の水分特性に関する試験は行っていないため、今回は USDA (米国農務省) 基準の土性分類に対応した文献値⁷⁾を採用した。現地調査より、本解析で用いる材料はいずれも sandy loam であったため、対応する値を用いて解析を行った。sandy loam のパラメータを表-5 に、サクシオンと飽和度の関係および、比透水係数と飽和度の関係を図-8 に示す。

(2) 解析に用いる降雨データ

本検討では、浸透流解析は phase1, phase2 の 2 段階の解析を行う。phase1 では年平均降水量相当の降雨を長時間与えて盛土内の浸透を定常状態とし、phase2 では地震直前の長雨を用いた降雨浸透を求めた。phase1 および phase2 で用いる降雨データを図-9 に示す。phase1 に適用した降雨は、現地に近い長岡で観測された年平均降雨量 2500mm に基づき、3 日に 1 度の降雨 (0 mm/day, 0 mm/day, 20.5 mm/day) を繰返し 3000 日間与えた。これにより、盛土内は概ね定常状態に達している。phase2 では 10 月 23 日の地震発生直前までの長雨として、2004 年 9 月 1 日 ~ 10 月 22 日の間の 52 日間の降雨を与えた。

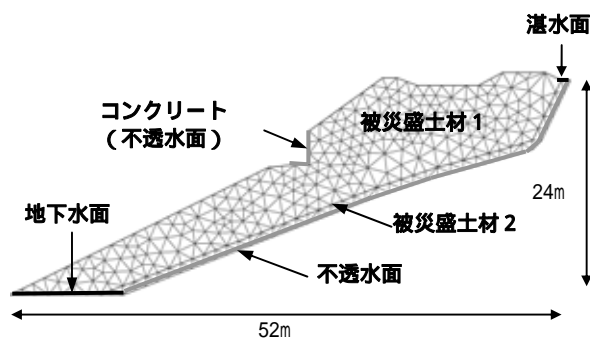


図-10 220km300m 被災盛土の解析モデル

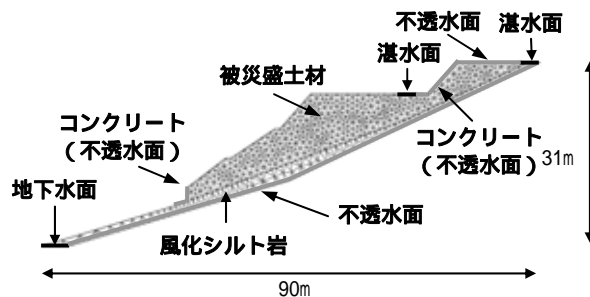


図-11 221km000m 被災盛土の解析モデル

(1) 解析条件

a) 220km300m 被災盛土

解析モデルを図-10 に示す。崩壊前の対象盛土モデル断面は、水平方向が 52m、天端方向が 24m である。有限要素は 3 節点三角形要素を用いた。物性はコンクリート、被災盛土材 1、被災盛土材 2 の 3 種類とし、砂岩に該当する被災盛土材 2 の下端は不透水境界とした。ただし、ここではコンクリート壁は設置位置の境界条件を不透水として模擬する。現場では図中右端にトンネルが存在するが、地震直前の降雨が盛土の排水能力を越えていた可能性が考えられるため、図中位置において湛水条件の有無の違いを考慮した解析を行う。盛土材料の透水係数は透水試験を実施していないため、被災盛土材 1 については 221km000m の盛土材と同定度と想定されるため 1.06×10^{-5} cm/s、被災盛土材 2 は盛土材 1 よりも透水性が良いと考えられるため 1.00×10^{-3} cm/s としている。

b) 221km000m 被災盛土

解析モデルを図-11 に示す。崩壊前の対象盛土モデル断面外形は、水平方向が 90m、天端高 31m である。有限要素は 3 節点を有する三角形要素を用いた。物性はコンクリート、対策前盛土材、風化シルトの 3 種類とし、風化シルトの下端を不透水境界とした。a) と同様にコンクリート壁は物性値等を設定せず、設置位置の境界条件を不透水とした。また、地震直前の降雨が盛土の排水能力を越えていた可能性が考えられるため、a) と同様に国道盛土および鉄道盛土の右端部において図中箇所での湛水条件の有無の違いによる検討を行う。盛土材料の透水係数は、被災盛土材については現場採取された試料から求め

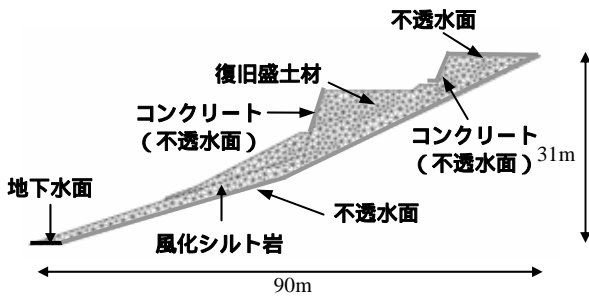
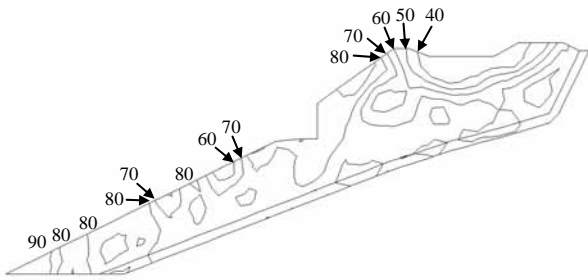
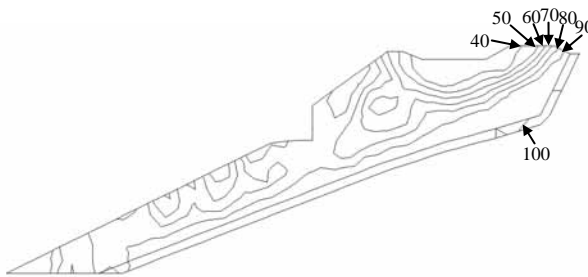


図-12 221km000m 復旧盛土の解析モデル



(a) 湛水条件なし



(b) 湛水条件あり

図-13 220km300m 被災盛土の解析結果

た透水係数に基づき 1.06×10^{-5} cm/s とし、風化シルト岩については盛土材よりも透水性がよいものと想定されたため 1.00×10^{-3} cm/s としている。

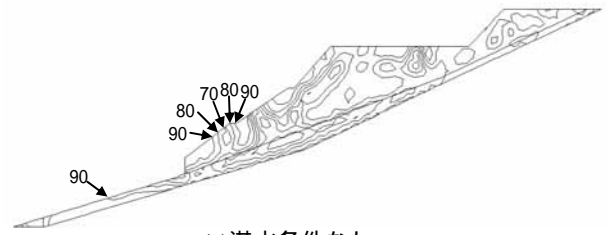
c) 221km000m 復旧盛土

b) の被災盛土において、クラッシュランにより復旧を行った場合に被災解析と同様の条件での検討を行った。解析モデルを図-12 に示す。復旧の際には盛土の排水が十分向上されていることから、解析において湛水条件は考慮していない。復旧盛土の盛土材の透水係数は 1.00×10^{-2} cm/s としている。

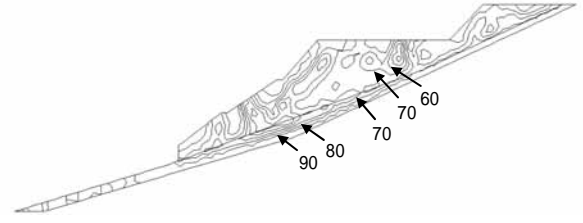
(2) 解析結果

a) 220km300m 被災盛土

phase2 (地震直前の降雨浸透解析) の解析後の飽和度の分布を図-13 に示す。湛水条件を与えない場合は降雨を与えた後も盛土内の飽和度はさほど高まっていない。一方、湛水条件を与えた場合は飽和度上昇が顕著に見られ、対策前盛土材 2 に沿って部分流が発生し、地下水面に到達していることがわかる。被災前の盛土の排水能力がどの程度であったかは明らかではないが、地震直前の降雨が盛土の排水能力を上回っていたとすると、飽和度の上昇が認められ、地震時の挙動に影響した可能性が考えられる。



(a) 湛水条件なし



(b) 湛水条件あり

図-14 221km000m 被災盛土の解析結果

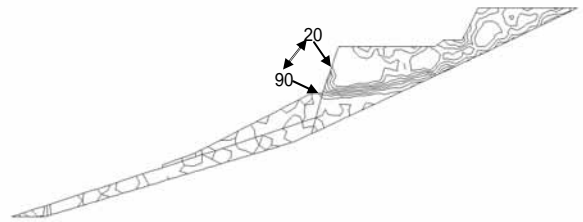


図-15 221km000m 復旧盛土の解析結果

b) 221km000m 被災盛土

phase2 (地震直前の降雨浸透解析) の解析後の飽和度の分布を図-14 に示す。a) の解析と同様に、湛水条件を与えない場合は飽和度の上昇は認められないが、湛水条件を与えた場合は風化シルト岩の飽和度が上昇し、地下水面が到達しているものと考えられる。

c) 221km000m 復旧盛土

phase2 解析後の飽和度の分布を図-15 に示す。図-14(a) の湛水条件を与えない場合と比較しても、盛土内の飽和度は十分に低いものであり、盛土の排水性が十分に向上されているものと考えられる。

6. 結論

中越地震により被災し、補強土壁による復旧がなされた 2 箇所の鉄道盛土について、その概要を示し、併せて室内試験結果について示した。被災解析については浸透流解析・動的応答解析・Newmark 法による変形量の算定を組み合わせたものとした。

浸透流解析による被災盛土の地震直前の飽和度の再現、ならびに復旧盛土に同様の降雨を与えた場合の解析の結果、以下の知見を得た。

被災盛土については 2 箇所のいずれの盛土においても、降雨量が盛土の排水能力を越えたとして湛水条件を与えた場合において、地震直前の

降雨によって盛土底部で飽和度の上昇が認められ、地下水面が形成されているものと考えられる。

復旧後の盛土については、同様の降雨を与えた場合においてもほとんど飽和度が上昇することがなく、十分な排水がなされていることが検証された。

浸透流解析の結果を受け、その後盛土の動的応答解析ならびに Newmark 法による変形量の算定を行っている。その詳細は文献 3)および 4)に示すので参照されたい。

参考文献

- 1) 館山勝，加藤正二：新潟県中越地震における鉄道構造物の被害と教訓，基礎工，Vol.33，No.10，pp43-47，2005.
- 2) 森島啓行，猿谷賢三，相沢文也：在来線鉄道の土構造区間における被害と復旧，基礎工，Vol.33，No.10，

pp78-83，2005.

- 3) 石塚真記子，松丸貴樹，渡辺健治，小島謙一，館山勝，篠田昌弘：2004年新潟県中越地震で被災した鉄道盛土の動的応答解析，ジオシンセティックス論文集，第21巻，2006（投稿中）。
- 4) 堀井克己，館山勝，小島謙一，渡辺健治，篠田昌弘：2004年新潟県中越地震で被災した鉄道盛土の滑動変位量にもとづく復旧性能の評価，ジオシンセティックス論文集，第21巻，2006（投稿中）。
- 5) 鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，1998.
- 6) Van Genuchten, M. Th.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., No.44, pp. 892-898, 1980.
- 7) R. F. Carsel and R. S. Parrish: Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics, Water Resources Research, No.24, pp. 755-769, 1988.

OUTLINE OF DAMAGES AND RAINFALL INFILTRATION ANALYSIS FOR THE RAILWAY EMBANKMENT SERIOUSLY DAMAGED IN THE 2004 NIGATA-KEN CHYUETSU EARTHQUAKE

Takaki MATSUMARU¹ · Makiko ISHIZUKA² · Masaru TATEYAMA¹ ·
Kenichi KOJIMA¹ · Kenji WATANABE¹ and Masahiro SHINODA²

Due to the 2004 Nigata-ken Chyuetsu earthquake, a lot of fill structures collapsed. It seems that strength of fill structures was loosed because of rainfall induced by typhoon before this earthquake. So, using a set of numerical analyses, we evaluated correlation between rainfall and earthquake in the damages of a lot of fill structures. In this paper, we introduce the outline of collapsed fills, laboratory tests of fill materials, methods of numerical analyses, and the results of infiltration analysis. We choose the fills in the vicinity Jouetsu Line 220k300m and 221k000m. Both of these fills were damaged severely and re-constructed with reinforced soil. A set of methods of numerical analyses consists of infiltration analysis, dynamic analysis and Newmark's method. Using infiltration analysis, we evaluated moisture-content state of the collapsed embankments and rainwater drainage of the reconstructed embankment.