

土木学会 トンネル工学委員会
新潟県中越沖地震調査特別小委員会
報 告 書

2008 年 1 月

ま え が き

2007年7月16日10時13分頃、新潟県上中越沖を震源とするM6.8の地震が発生した。気象庁は、この地震を「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震」（英語名：The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007）と命名した。この地震により、住宅全壊993棟、住宅半壊3,286棟などの被害（8月27日16時00分現在：総務省消防庁調べ）に加え、柏崎刈羽原子力発電所をはじめ、道路・鉄道構造物等にも大きな被害を生じた。

2004年新潟県中越地震（M6.8）¹⁾では、内陸部の山岳地帯が震源域であったことから、道路や鉄道、発電用水路といった多くの山岳トンネルで被害が発生した。一方、上中越沖を震源とする2007年新潟県中越沖地震では、海岸線に並行した地震断層と並行して位置する北陸自動車道およびJR信越本線の一部の山岳トンネルで被害が発生した。これらは、地質的要因や構造的要因等の特殊条件が重なり、ひび割れや剥落等の被害が発生したものであるが、速やかな応急対策によって早急の復旧がなされるとともに、恒久対策が検討・実施されている。

このようにトンネル構造物にも被害が発生したことを受け、トンネル工学委員会では今後の地震対策を検討する上で有効かつ貴重なトンネルの被害および復旧方法等の情報を調査する目的で、新潟県中越沖地震調査特別小委員会を時限特別委員会として設立した。本特別小委員会は、震災後の調査・復旧に直接携わった事業者を中心として委員を構成し、現地における情報を調査可能な期間内で震災地域内のトンネルの代表的な被害事例や復旧方法の整理等を行った。

本報告書は、このような小委員会の活動成果をとりまとめたものである。今後、トンネル構造物の地震に対する取り組みにおいて、本成果が資することとなれば幸いである。

トンネル工学委員会 新潟県中越沖地震調査特別小委員会
委員長 朝倉 俊弘

トンネル工学委員会
新潟県中越沖地震調査特別小委員会 委員構成

委員長

朝倉 俊弘 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻

委 員

田中 直樹 東日本高速道路(株) 技術部 技術企画課

向山 路一 東日本旅客鉄道(株) 設備部 土木グループ

城間 博通 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 トンネル研究担当

委員兼幹事

松長 剛 パシフィックコンサルタンツ(株) 交通技術本部 トンネル部 マネジメントチーム

前委員

山田 隆昭 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 トンネル研究担当

(※所属は部会所属当時)

オブザーバー

田中 潤一 東日本高速道路(株) 技術部 技術企画課

齋藤 貴 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事部 構造技術センター 地下・トンネル構造グループ

海瀬 忍 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 トンネル研究室

竹内 友章 東京電力(株) 建設部 土木・建築技術センター

目 次

まえがき

委員構成

1. 調査の概要	1
1.1. 調査対象トンネル	1
1.2. 震災によるトンネル被害の概要	1
1.3. トンネルと震源との位置関係	1
2. 高速道路トンネルの被害	5
2.1. 概要	5
2.2. 米山トンネルの概要	5
2.3. 被害状況	6
2.4. 復旧方法	7
3. 鉄道トンネルの被害	8
3.1. 概要	8
3.2. 被害状況	9
3.2.1. 第一米山トンネル	9
3.2.2. 第二米山トンネル	11
3.2.3. 第三笠島トンネル	13
3.2.4. その他のトンネルについて	13
3.3. 各種調査	15
3.3.1. 覆工巻厚および背面空洞調査	15
3.3.2. ボーリング調査	15
3.4. 復旧方法	16
3.4.1. 第一米山トンネル	17
3.4.2. 第二米山トンネル	19
3.4.3. 第三笠島トンネル	20
4. その他のトンネルの被害	23
4.1. 概要	23
4.2. 小断面ボックスカルバートの被害	23
4.2.1. 取・放水路トンネル	23
4.2.2. 電力ケーブル、配管用ダクト	23
5. まとめ	24
5.1. トンネルにおける地震被害の概要	24
5.2. 被害要因に関する考察	24
5.3. 今後に向けた提言	25
謝辞	25
参考文献	25

1. 調査の概要

1.1. 調査対象トンネル

2007年新潟県中越沖地震(M6.8:7/16, 10:13発生)の被災地域には、国道(国土交通省)、県道(新潟県)、発電用水路(東京電力、東北電力)等が存在するが、地震によって被害のあったトンネルは少なかった。土木学会トンネル工学委員会では、全委員を対象としてトンネルの地震被害情報を収集し、概略状況を把握した。その結果、被害件数が少なく、すでに復旧工事が進められていたため、調査団の派遣は行わず、当該事業者の協力を得て被害報告書を作成することとした。調査においては、山岳トンネルの被害が発生した北陸自動車道の高速道路トンネル、JR 信越本線の鉄道トンネルを対象として、被害状況の把握を行った。表1-1に調査対象トンネルの基本データと主な被害等の調査結果を示す。

調査の対象としたトンネル数は、高速道路トンネルが上下線合わせて12トンネル、鉄道トンネルが8トンネルの合計20トンネル(調査全延長:約16km)である。調査対象トンネルは、すべて矢板工法が採用されており、高速道路トンネルは1980年代前半、鉄道トンネルは1960年代後半に竣工している。なお、調査の結果、覆工構造は全20トンネルすべてが場所打ちコンクリートであった。また、天端部の崩落が発生し、参考データとして収集した廃線となっている旧第一米山トンネルは、れんが積み覆工であった。

1.2. 震災によるトンネル被害の概要

全20トンネルのうち、何らかの被害が発生したトンネルは、高速道路トンネルが3トンネル、鉄道トンネルが3トンネルの合計6トンネルであった。表1-1では、被害の程度を以下のように分類して整理を行っている。

- ・A1:大規模な補強・補修を必要とした被害
- ・A2:A1以外で補修・補強を必要とした被害
- ・B:補修・補強を必要としなかった軽微な被害

このうち補修・補強を必要としたトンネルの主な被害は、覆工コンクリートの剥落、圧ざ、せん断ひび割れ、引張りひび割れ、側壁コンクリートの損傷、打継ぎ目の食違いや目開き等である。これらの被害のメカニズムについては、各機関で検討中であるが、震源断層

面からの距離、不良地山や地すべり等の地形・地質的要因、インバートなし、覆工背面の空洞やコールドジョイント等の構造的要因が原因と考えられる。

また、廃線となった鉄道の旧第一米山トンネル(現在は遊歩道として利用)では、坑口付近の天端部が崩壊し、坑内が土砂で埋もれてしまった。このトンネルは、れんが積み覆工と吹付けコンクリートによる内巻工の構造となっており、トンネル直上の斜面崩壊によってトンネル構造が不安定化したものと考えられる。

1.3. トンネルと震源との位置関係

調査を行った全20トンネルと推定震源断層モデル(国土地理院7月26日16時00分発表)の位置関係を図1-1(国土地理院HPのデータに加筆)のように整理した。図に示すように、調査の対象とした北陸自動車道とJR 信越本線は震源断層と並行して位置している。また、図中赤線で示した被害のあったトンネルは、震源断層の想定すべり面を地表に投影した線から約7km以内に位置している。しかしながら、7km以内に位置するトンネルのすべてが被害を受けているわけではない。

また、調査の結果、被害が確認されたトンネルの近傍を拡大した位置図を図1-2(国土地理院HPのデータに加筆)に示す。図に示すように、被害のあったトンネルは、震源断層面の延長線上に位置している。

以上、地震断層面と被害のあったトンネルの位置関係を整理すると以下ようになる。

- ・被害のあったトンネルは、震源断層面から平面的に7km以内に位置している。
- ・震源断層面からの距離が近いトンネルがすべて被災しているわけではなく、地質的な要因や構造的な要因が複合的に寄与していることが考えられる。
- ・内陸部で発生した2004年新潟県中越地震¹⁾と比較すると、海底下で発生した2007年新潟県中越沖地震ではトンネルの被害が少なかった。また、前者は被害の発生エリアが10km以上の広範囲に及んでいたが、後者については非常に狭いエリアに被害が限定された。
- ・被害のあったトンネルが震源断層面のほぼ延長線方向に位置するという特徴があった。

表 1-1 調査対象トンネル一覧表

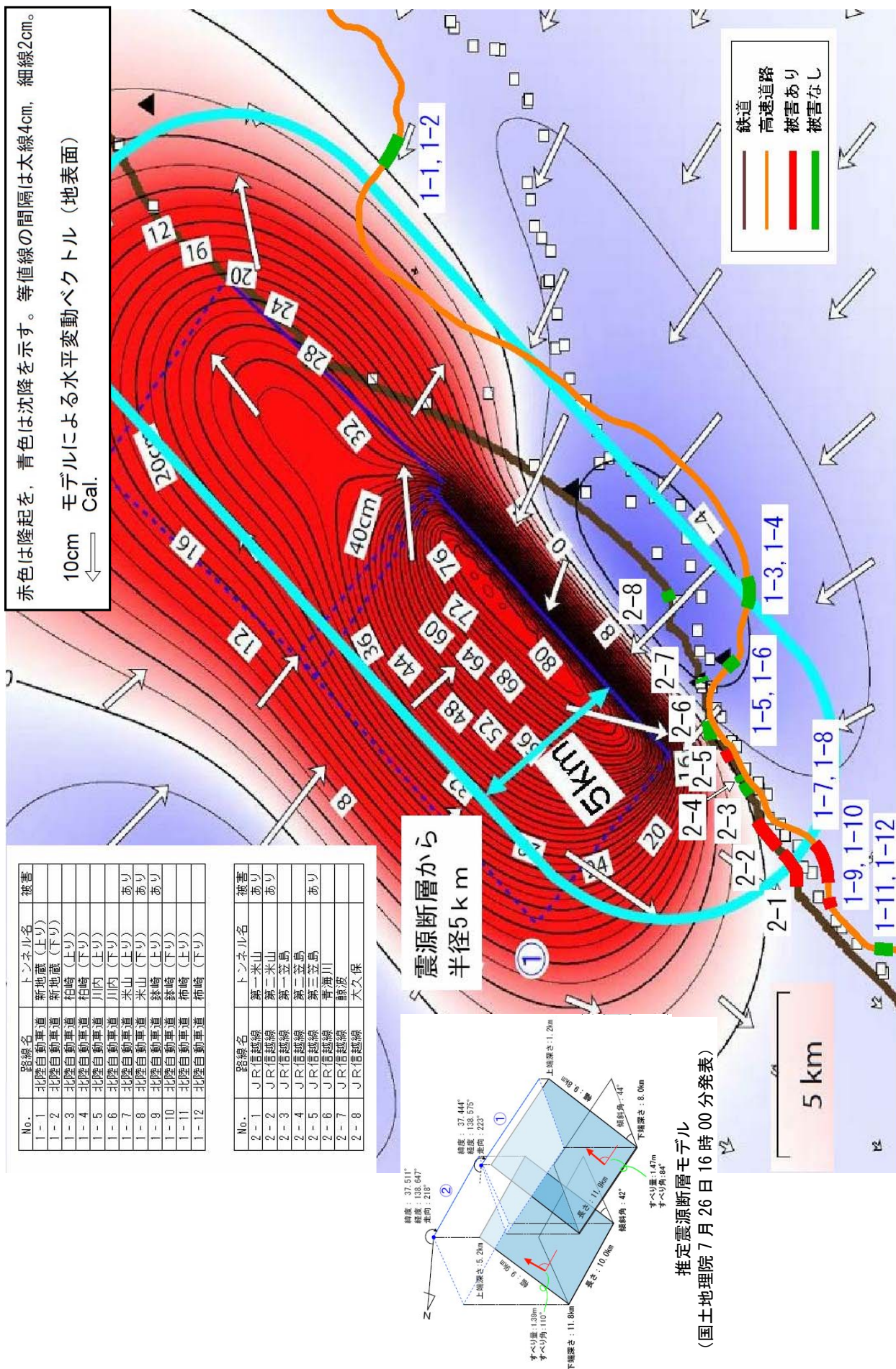
No.	施工法	被害程度	トンネル名	事業者	種別	路線名	竣工 (年)	断面 規模	延長 (m)	土張り(m)		覆工 (巻厚:cm)	幅 (m)	高さ (m)	地形・地質 (著名断層)	被害状況
										最大	代表					
1・1	矢板		新地蔵(上り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1980	2車線	1,519	145		C(70~90)	10.0	7.7	砂質シルト岩、シルト岩、 泥岩、砂岩	部分的に覆工コンクリートの既存のひび割れより 漏水
1・2	矢板		新地蔵(下り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1980	2車線	1,481	145		C(70~90)	10.0	7.7	砂質シルト岩、シルト岩、 泥岩、砂岩	被害報告なし
1・3	矢板		柏崎(上り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1982	2車線	892	55		C(70~80)	10.0	7.7	角礫凝灰岩、安山岩溶岩	部分的に覆工コンクリートの既存のひび割れより 漏水
1・4	矢板		柏崎(下り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1982	2車線	800	57		C(70~80)	10.0	7.7	角礫凝灰岩、安山岩溶岩	被害報告なし
1・5	矢板		川内(上り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1982	2車線	604	52		C(60)	10.0	7.7	砂岩、凝灰質凝岩、 凝灰質砂岩	被害報告なし
1・6	矢板		川内(下り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1982	2車線	585	40		C(60)	10.0	7.7	砂岩、凝灰質凝岩、 凝灰質砂岩	被害報告なし
1・7	矢板	A1	米山(上り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1983	2車線	1,593	280	190	C(45)	10.0	7.7	砂岩、泥岩	覆工コンクリート(天端部)の一部剥落、 側壁部のはらみだし、円形水路の変状
1・8	矢板	A2	米山(下り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1983	2車線	1,616	280	190	C(45)	10.0	7.7	砂岩、泥岩	覆工コンクリート(側壁部)の一部剥落・ はらみだし、円形水路の変状
1・9	矢板	B	鉢崎(上り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1983	2車線	319	53		C(45~60)	10.0	7.7	砂岩、泥岩	部分的に覆工コンクリート(側壁部)に ひび割れ、漏水
1・10	矢板		鉢崎(下り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1983	2車線	334	55		C(45~60)	10.0	7.7	砂岩、泥岩	被害報告なし
1・11	矢板		柿崎(上り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1983	2車線	707	78		C(70~80)	10.0	7.7	泥岩	被害報告なし
1・12	矢板		柿崎(下り)	NEXCO東日本	高速道	北陸自動車道	1983	2車線	746	65		C(60~70)	10.0	7.7	泥岩	被害報告なし
2・1	矢板	A1	第一米山	JR東日本	鉄道	信越線	1968	複線	1,263	66	31	C(60)	8.7	6.3	泥岩、軟質砂岩	天端はらみ、せん断ひびわれ、側壁部損傷
2・2	矢板	A1	第二米山	JR東日本	鉄道	信越線	1967	複線	1,397	60	22	C(60)	8.6	6.3	泥岩	アーチ肩部ひびわれ、側壁上部損傷
2・3	矢板		第一笠島	JR東日本	鉄道	信越線	1965	複線	382	27		C(60)	8.6	6.4	安山岩	被害報告なし
2・4	矢板		第二笠島	JR東日本	鉄道	信越線	1965	複線	233	24		C(60)	8.6	6.3	安山岩	被害報告なし
2・5	矢板	A1	第三笠島	JR東日本	鉄道	信越線	1966	単線	375	38		C(45)	4.8	5.1	集塊岩	坑口部ひびわれ開口、掘きコンクリート部ずれ、 アーチ部剥離
2・6	矢板		青海川	JR東日本	鉄道	信越線	1969	複線	610	55		C(60)	8.8	6.4	安山岩	被害報告なし
2・7	矢板		鯉波	JR東日本	鉄道	信越線	1969	複線	140	3		C(60)	8.7	6.3	シルト岩	被害報告なし
2・8	矢板		大久保	JR東日本	鉄道	信越線	1969	複線	180	8		C(60)	8.8	6.4	シルト岩	被害報告なし

被害程度

覆工

A1：大規模な補強・補修を必要とした被害
A2：A1 以外で補修・補強を必要とした被害
B：補修・補強を必要としなかった軽微な被害

C：場所打ちコンクリート



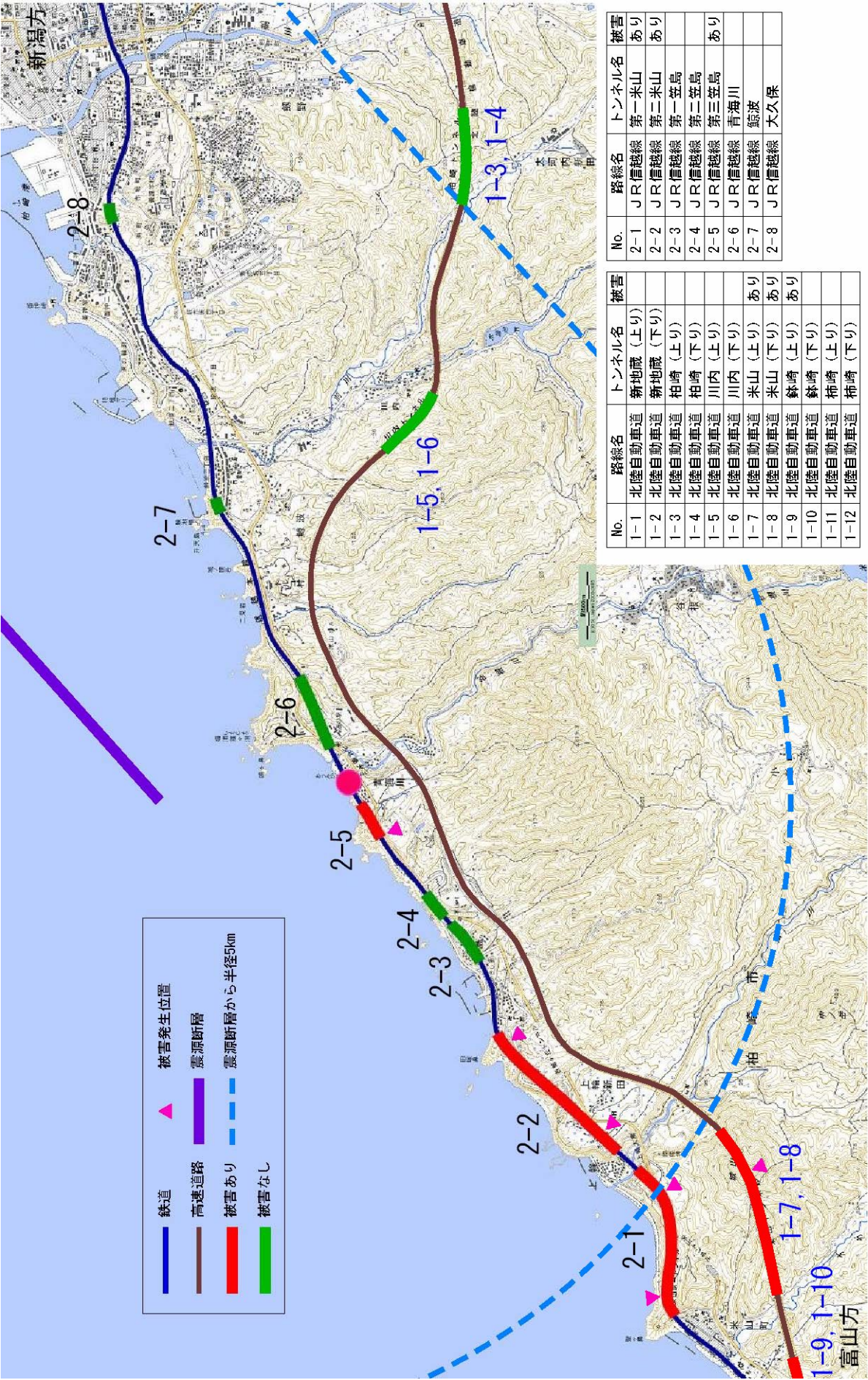


図 1-2 被害トンネル近傍の位置図 (国土地理院HPに加筆)

2. 高速道路トンネルの被害

2.1. 概要

北陸自動車道米山 IC～柿崎 IC 間に位置する米山トンネル（図 2-1）の上下線において被害が発生した。上り線（山側）では天端部の覆工コンクリートの剥落が生じ、下り線（海側）では天端部および側壁部の覆工コンクリートの剥落に加え、一部舗装面の隆起が見られた（写真 2-1）。

2.2. 米山トンネルの概要

トンネルの延長は 1.6 km で、地質は泥岩、砂岩の互層で一部凝灰岩を含んでいる。このトンネルは昭和 58 年に供用され、約 24 年経過しており、矢板工法による底設導坑先進上部半断面掘削工法で施工された。被害があった区間の覆工巻厚は 45cm の無筋コンクリートでインバートは設置されていない。また、矢板背面への裏込め注入はなされていない。覆工巻厚 60cm でインバートを設置している区間もあるが、被害は生じていない。このトンネルの土被りは最大で 280m あり、被害が大きかった箇所は土被りが約 190m であった。



(a) 上り線 天端部の覆工コンクリート損傷状況



(b) 下り線 側壁部の覆工コンクリート損傷状況

写真2-1 米山トンネル被害状況

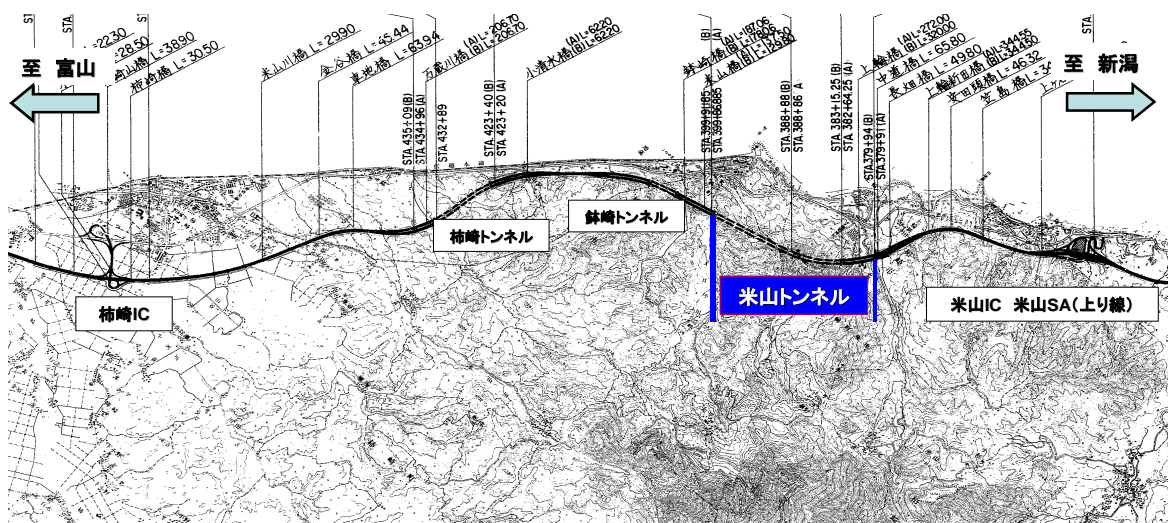


図2-1 北陸自動車道位置図

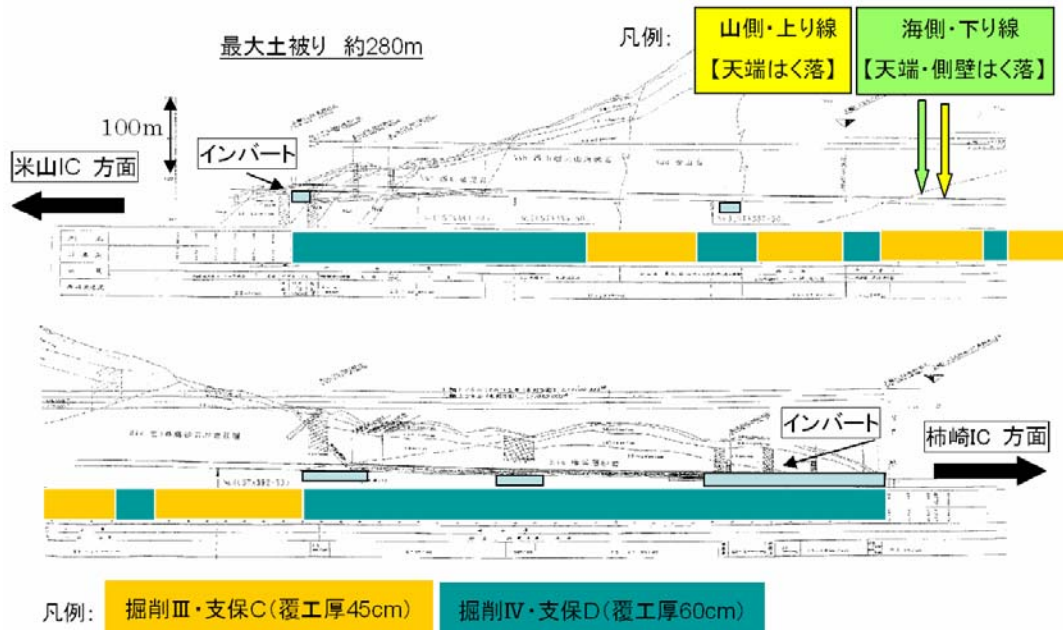


図2-2 米山トンネル被害状況

2.3. 被害状況

上り線では、延長 45m 程度の範囲 (KP381.8 付近) に集中して天端部の覆工コンクリート表面の剥落が生じた。剥落部の横断方向幅は最大で 1m 程度、最大厚さ 15~20cm でコンクリートの打ち継目部であった。

また、下り線は、延長 200m の区間で天端部のコンクリートに最大厚さ 5 cm 程の表面剥落

が数箇所で見られた。また、壁部のコンクリートについても、延長 10m 区間でアーチコンクリートの打ち継目付近から高さ 0.7m、厚さ 10cm の剥落が生じた。その他にも、円形水路の開口部が閉じ、舗装面との段差が生じている箇所もあった。

上下線とも覆工コンクリート表面の剥落に留まっており被害は軽微であった。

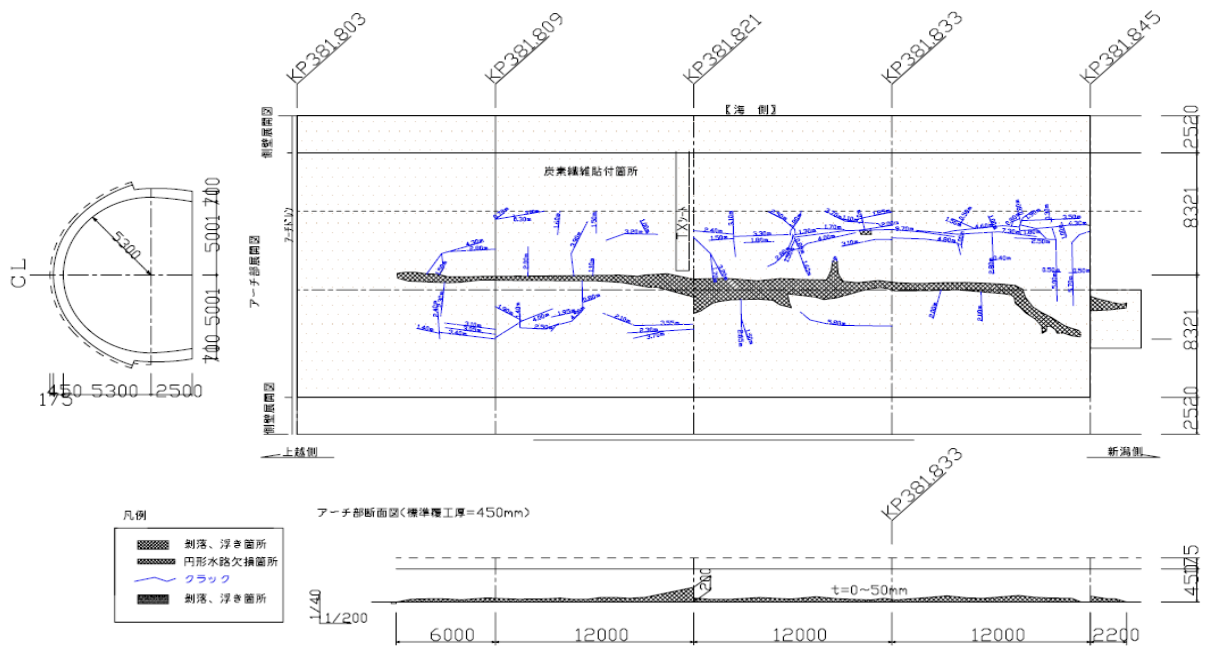


図2-3 米山トンネル（上り線）剥落箇所

2.4. 復旧方法

緊急復旧対策として、下り線天端部および側壁部のコンクリート浮き部分を除去し、仮設シートを貼ることによって通行の安全性を確保して、震災2日後の7月18日から対面通行で供用した。

上り線では、天端部のコンクリート浮き部分と脆弱部を除去し、クラック注入を行った後、断面欠損部を吹付けコンクリート等で充填した。また、剥落対策として炭素繊維シートによる補強を行って応急復旧を終え、8月2日から下り

線の対面通行を上り線の対面通行に切り替えた。その後、下り線の側壁部のコンクリート脆弱部を除去し、断面欠損部を吹付けコンクリート等で充填した。また、天端周辺のクラック注入および水路の一部を補修して応急復旧を終え、夏期繁忙期の8月10日から20日の間、応急的に上下線の4車線運用を図った（図2-4）。

現在、詳細な調査・検討を行っており、その結果に基づき、本復旧工事を実施していく予定である。

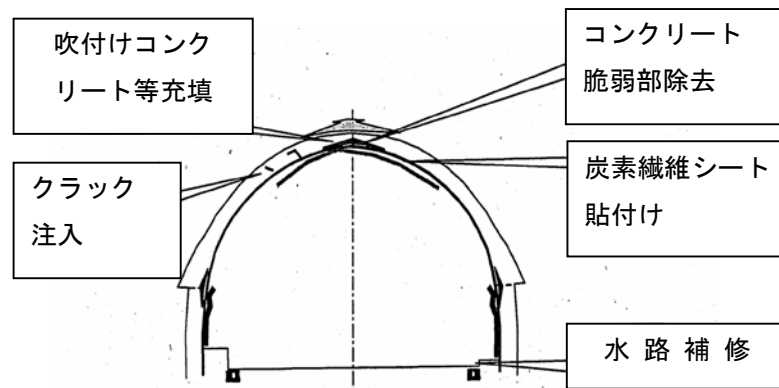


図2-4 米山トンネル（上り線）応急復旧概要

3. 鉄道トンネルの被害

3.1. 概要

地震の発生を受け、JR 信越本線米山・柏崎間の 8 トンネルについて被害状況調査^{2),3)}を行った(表 3-1)。調査を行った 8 トンネルのうち、地震によって比較的顕著な被害を受けたトンネルは、本震震央(北緯 37 度 33.4 分、東経 138 度 36.5 分)から約 30km 圏内の第一米山トンネル、第二米山トンネル、第三笠島トンネル(上下線)の 3 トンネルであった(図 3-1)。また、被害を受けた 3 トンネルは、推定された震源断層モデル(国土地理院, 7 月 26 日 16 時 00 分発表)のすべり面を地表に投影した線から 5km 以内に位置し、断層面の延長線上に位置している(図 3-1, 図 3-2)。

主な損傷状況は、トンネル軸方向に連続的な圧ざ、覆工コンクリートのせん断ひび割れに伴う一部覆工コンクリートの剥落、側壁コンクリートの損傷、坑門コンクリート既変状箇所目開き等であった(表 3-2)。なお、3 トンネルに共通の軽微な損傷として、アーチと側壁迫め部の後埋めモルタルや覆工打継ぎ目の剥落が見受けられた。また、地震発生前には確認されなかった迫め部、覆工打継ぎ目からの新たな漏水も一部で発生していた。

以下に、比較的顕著な損傷を受けた 3 トンネルについて、各トンネルの損傷状況を述べる。なお、各トンネルの諸元等は財産図に基づく情報を示す。

表 3-1 被害状況調査トンネル一覧

No.	トンネル名称	駅 間	線別	延長
1	第一米山トンネル	米山 笠島	上下	1263m
2	第二米山トンネル	米山 笠島	上下	1397m
3	第一笠島トンネル	笠島 青梅川	上下	382m
4	第二笠島トンネル	笠島 青梅川	上下	232m
5	第三笠島トンネル	笠島 青梅川	上	375m
			下	375m
6	青海川トンネル	青梅川 鯨波	上下	610m
7	鯨波トンネル	青梅川 鯨波	上下	140m
8	大久保トンネル	鯨波 柏崎	上下	180m

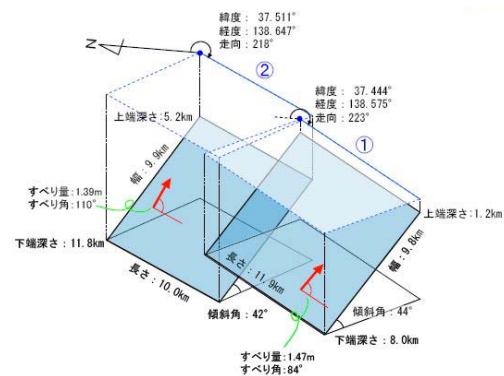


図 3-2 推定震源断層モデル
(国土地理院 HP より抜粋)

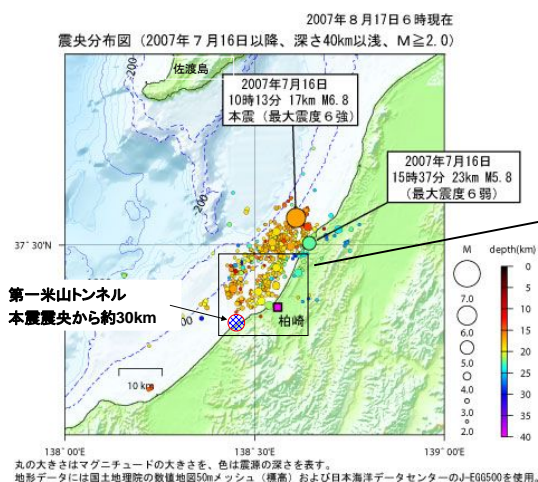


図 3-1 2007 年新潟県中越沖地震震央分布図および被害トンネルと震源断層モデル
(出展: 気象庁 HP, 国土地理院 HP に加筆)

3.2. 被害状況

3.2.1. 第一米山トンネル

第一米山トンネルは、米山駅～笠島駅間において、代表地質が軟質砂岩、土被り約 66m、導坑先進上部半断面工法で施工され、1968 年に竣工した延長 1,263m の在来線複線断面トンネルである。第一米山トンネル付近の航空写真に損傷区間を表したものを図 3-3、第一米山トンネル縦断面図を図 3-4 に示す。なお、第一米山トンネルでは、以下の 2 区間について顕著な損傷が見られた。

①24K569m～24K686m（延長 117m）

当該区間は、天端部に連続的に圧が発生し、覆工コンクリートの一部（落下片：幅約 30～60cm×厚さ約 20cm 程度）が剥落した。また、24k600m 付近では、特に損傷が激しく、天端部の圧さ、アーチ肩部での覆工コンクリートのせん断ひび割れに伴う損傷、側壁部の損傷等が発生した（写真 3-1～写真 3-3）。

損傷を生じた区間のトンネル上方においては、大規模な斜面崩壊が発生した。斜面の露頭部から地層構造を確認すると、海側への流れ盤構造となっていた（写真 3-4）。

【当該区間トンネル諸元】

- ・掘削工法：導坑先進上部半断面
- ・覆工巻厚：60cm（無筋）
- ・インバート：なし

- ・支保工：175H，etc1.2m
- ・地質：直江津方より玉石混泥岩，砂利混砂岩の境界部を含む
- ・土被り：約 31m

②25K316m～25K327m（延長 11m）

当該区間は、軟質砂岩と破碎状安山岩の地質境界付近であり、既変状（アーチ部に複雑なひび割れ）が生じているとともに、漏水箇所でもある。損傷状況は、下り線側天端部で圧さが発生し、覆工コンクリートの一部が剥落した（写真 3-5）。

【当該区間トンネル諸元】

- ・掘削工法：導坑先進上部半断面
- ・覆工巻厚：60cm（無筋）
- ・インバート：なし
- ・支保工：直江津方より
175H，etc1.2m，
200H，etc0.90m
- ・地質：直江津方より軟質砂岩，破碎状安山岩の境界部を含む
- ・土被り：約 58m

なお、第一米山トンネルの海側に位置する旧トンネル（遊歩道利用：れんが+吹付けコンクリート）では、直江津方坑口より 150m 付近で天端部が崩落し、トンネル内に土砂が流入し、新潟方坑口は崩壊した土砂により埋まっていた（写真 3-6，写真 3-7）。

表 3-2 トンネル損傷状況

No.	トンネル名称		キロ程		主な損傷状況
1	第一米山トンネル		24k569m	24k686m	天端部の圧ざ、アーチ肩部せん断ひび割れ、側壁コンクリート損傷等
			25k316m	25k327m	アーチ肩部圧ざ等
2	第二米山トンネル		26k183m	26k193m	アーチ両肩部軸方向ひび割れ
			27k163m	27k178m	側壁コンクリート上部剥落等
5	第三笠島トンネル	上	28k930m 付近		坑門コンクリート既補修箇所目開き等
			28k930m	28k938m	食違い、目開き
			28k938m	28k949m	側壁折れ込み
		下	29k060m 付近		天端山側に一部浮きおよびひび割れ



図 3-3 第一米山トンネル付近航空写真（地震発生後に撮影したものを加工）



写真 3-5 第一米山トンネル（下り線）（圧ぎ状況）



写真 3-6 旧第一米山トンネル
（天端崩落状況）



写真 3-7 旧第一米山トンネル新潟方坑口
（斜面崩壊に伴う坑口閉塞状況）

3.2.2. 第二米山トンネル

第二米山トンネルは、米山駅～笠島駅間において、代表地質が泥岩、土被り約 60m、導坑先進上部半断面工法で施工され、1967 年に竣工した延長 1,397m の在来線複線断面トンネルである。第二米山トンネル付近の航空写真に損傷区間を表したものを図 3-5、第一米山トンネル縦断面図を図 3-6 に示す。なお、第一米山トンネルでは、以下の 2 区間について顕著な損傷が見られた。

①26K183m～26K193m（延長 10m）

当該区間は、砂混り泥岩と礫岩の地質境界付近であり、両アーチ肩部に軸方向ひび割れが発生し、施工基面上からの目視では、約 5mm 程度の開口が生じた（写真 3-8、写真 3-9）。

【当該区間トンネル諸元】

- ・掘削工法：導坑先進上部半断面
- ・覆工巻厚：60cm（無筋）
- ・インバート：なし
- ・支保工：150H，etc1.5m
- ・地質：直江津方より砂混り泥岩と礫岩の境界付近
- ・土被り：約 55m

②27K163m～27K178m（延長 15m）

当該区間は、両側壁上部のコンクリートが損傷し、迫め部とともに剥落した。特に、上り線側の側壁の損傷が大きかった（写真 3-10、写真 3-11）。ただし、アーチ部の覆工コンクリートは健全であった。

導坑先進上部半断面工法による施工であったため、逆巻き（アーチ部の覆工コンクリートを打設し、側壁部の足付けコンクリートを施工し、足付けコンクリート間の側壁コンクリートを施工する方法）で覆工コンクリート打設が行われている。足付けコンクリート間の側壁コンクリートの打設は、打込み口を設置（打込み後に撤去し、後埋めモルタルを充填）し打設するため、アーチ部下端は斜めになっている。このため、今回のような損傷を生じたものと推定される。

【当該区間トンネル諸元】

- ・掘削工法：導坑先進上部半断面
- ・覆工巻厚：60cm（無筋）
- ・インバート：なし
- ・支保工：150H，etc1.2m
- ・地質：泥岩
- ・土被り：約 30m

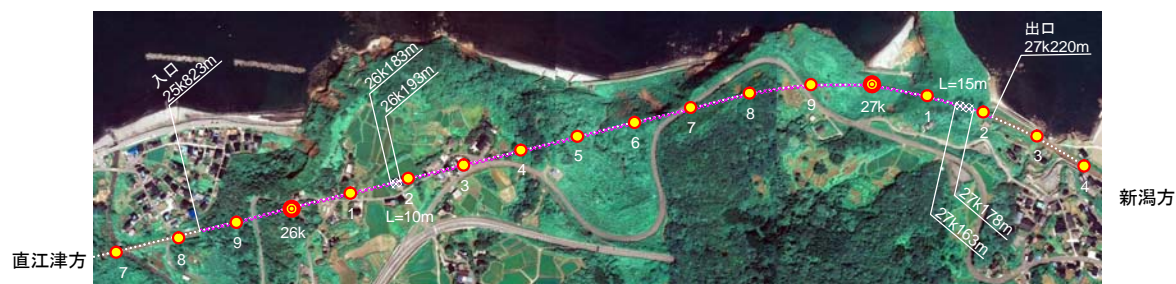


図 3-5 第二米山トンネル付近航空写真（地震発生後に撮影したものを加工）

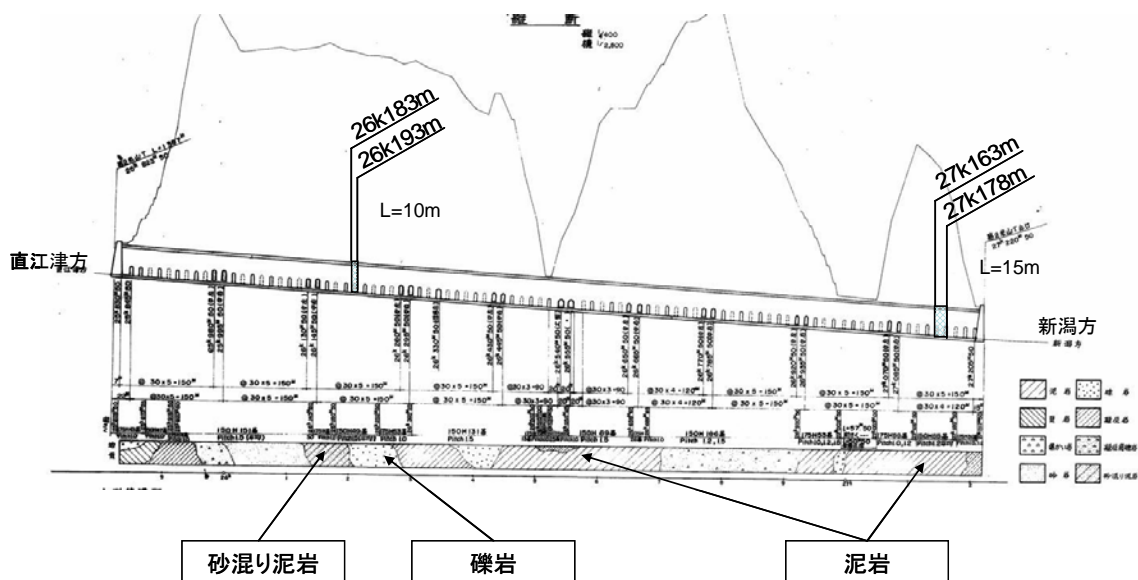


図 3-6 第二米山トンネル縦断面図



写真 3-8 第二米山トンネル（下り線）
（アーチ肩部軸方向ひび割れ）



写真 3-9 第二米山トンネル（上り線）
（アーチ肩部軸方向ひび割れ）

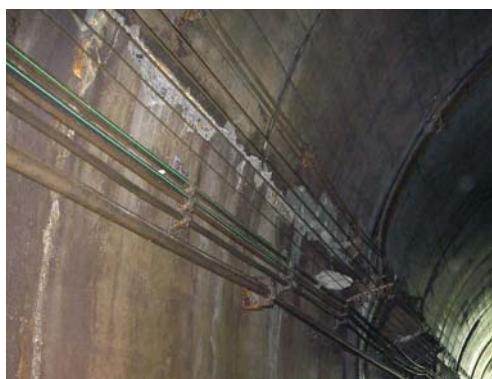


写真 3-10 第二米山トンネル（下り線側）
（迫め部剥落状況）



写真 3-11 第二米山トンネル（上り線側）
（側壁コンクリート上部剥落状況）

3.2.3. 第三笠島トンネル

第三笠島トンネルは、笠島駅～青海川駅間における上下別線の在来線単線断面トンネルである。下り線は、第七米山トンネルとして 1897 年に竣工した。その後、線増工事による上り線建設に伴い、1967 年に改築工事（甲型煉瓦造から単線 1 号型コンクリート造に改築）が竣工し、第三笠島トンネル（下）と名称変更した延長約 347m のトンネルである。上り線については、代表地質が集塊岩、土被り約 40m、導坑先進上部半断面および全断面工法、一部開削工法により施工され、1966 年に竣工した延長約 375m のトンネルである。第三笠島トンネル付近の航空写真を図 3-7 に示す。

①上り線 28K930m（坑門コンクリート）

第三笠島トンネルは、線増工事に伴い、海側のトンネル（下り線）と国道 8 号線の間に建設されたトンネルである。直江津方坑口の坑門コンクリート（擁壁コンクリート）は、地震発生前の既変状（ひび割れ）部分にアングル補強を行っていた箇所であった。地震によって、補強材（アングル）の変形、ボルトの破断が生じ、更なるひび割れの開口を生じた（写真 3-12, 写真 3-13）。

地震発生後に坑門コンクリートのひび割れ状況および財産図に図示されていた古レールを確認することができたが、すでに腐食し、付着が切れている状況であった。

【坑門諸元】

- ・上 部：古レール入り
- ・下 部：無筋コンクリート

②上り線 28K930m～938m

この区間は、坑口部の 1 スパン分が海側に 170mm ずれ（食違い）、トンネル軸方向には、2 スパン目との開口幅が 70mm（海側側壁部での測定結果）であったため、建築限界を支障しているおそれがあった（写真 3-14）。

第三笠島トンネル（上り線）の開削部分と国道 8 号線の間の盛土では、この盛土を含む斜面が崩壊している（写真 3-15）。地震によりトンネル側部の盛土部が押されることにより、当該区間に食違いを生じたものと推定される。

【当該区間トンネル諸元】

- ・施工方法：開削トンネル（側壁直）
- ・覆工巻厚：45cm
（アーチ部 RC、複鉄筋 D22）
- ・インバート：なし
- ・地 質：安山岩および集塊岩

③上り線 28K938m～949m

当該区間は、海側側壁下部にひび割れが発生し、目視では側壁が内空側に折れ込んでいるような状況であった（写真 3-16）。

被害を生じた原因には、山側斜面の側方土圧に対し、側壁と擁壁コンクリート間の埋戻しが十分でなかったこと、側壁と擁壁コンクリートを一体打ちとして抱きコンクリート化しなかったこと等がある。これにより、アーチ部が海側に変形した際に、偏圧に耐えられず側壁部が折れ込み、ひび割れを生じたものと推定される。

【当該区間トンネル諸元】

- ・施工方法：開削トンネル
- ・覆工巻厚：45cm（アーチ部：RC、複鉄筋 D22、側壁部：無筋）
- ・インバート：なし
- ・地 質：安山岩および集塊岩

④上り線抱きコンクリート、擁壁コンクリート
上り線海側の抱きコンクリートの上段および中段付近の打継ぎ目では、抱きコンクリートの一部がブロック状にずれ、上部の擁壁コンクリートにひび割れを生じた（写真 3-17）。

開口部界面の状況から既変状として目開きが生じていたものが、今回の地震により、さらに大きく開口したものと推定される。なお財産図には、鋼材として古レールが図示されていたが、開口部からの目視では確認できなかった。

【抱きコンクリート諸元】

- ・古レール入り（上部：10kg レール、下部：30kg レール）、etc1.0m
- ・基礎杭：古レール（L≒7m、etc1.0m）

⑤下り線 29k060m 付近

山側天端部付近に浮きおよびひび割れが確認された。施工基面上からの目視では、施工時のコールドジョイントに沿って生じたひび割れが、剥離しているような状況であった。

【当該区間トンネル諸元】

- ・施工方法：全断面
- ・覆工巻厚：40cm
- ・インバート：なし
- ・支保工：125H、etc1.5m
- ・地 質：集塊岩

3.2.4. その他のトンネルについて

第一米山トンネル、第二米山トンネル、第三笠島トンネル以外の 5 トンネルについても、損傷状況の調査を行った。調査の結果、目視で確認できる顕著な損傷はなかった。

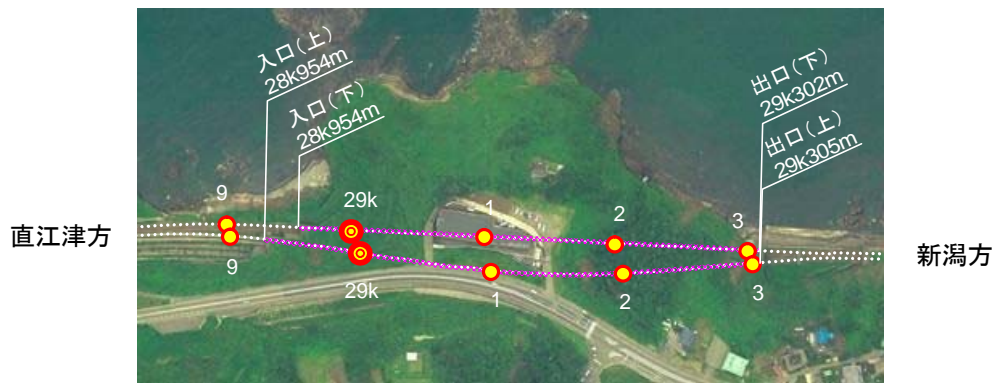


図 3-7 第三笠島トンネル付近航空写真（地震発生後に撮影したものを加工）



写真 3-12 第三笠島トンネル（上り線）
（坑門コンクリート目開き状況）



写真 3-13 第三笠島トンネル（上り線）
（補強材変形状況）



写真 3-14 第三笠島トンネル（上り線）
（海側食違い状況）



写真 3-15 第三笠島トンネル（上り線）
（坑口上部斜面崩壊状況（伐採後））



写真 3-16 第三笠島トンネル（上り線）
（ひび割れおよび側壁折れ込み状況）



写真 3-17 第三笠島トンネル（上り線）
（抱きコンクリート、擁壁コンクリートずれ状況）

3.3. 各種調査

トンネルの復旧は、地震発生時に第一米山トンネルに取り残された貨物列車の引出し作業直後から、被害原因および詳細な損傷状況の把握等を目的に表 3-3 に示す事前調査および検査を実施した。

3.3.1. 覆工巻厚および背面空洞調査

在来工法によるトンネル施工であるため、被害原因に関係する天端の巻厚不足、背面空洞の存在が懸念された。事前調査として被害の大きかった第一米山および第二米山トンネルについて、覆工巻厚および背面空洞調査をトンネル全線で実施した。調査は、地中レーダー（電磁波反射法）により、アーチ部 5 測点/断面を基本とし、側壁損傷箇所では側壁部にさらに 2 測点追加し、7 測点/断面として連続的に行った。

調査の結果、第一米山トンネルの被害の大きかった区間（24k569m～24k686m）では、天端部で設計巻厚 60cm に対して平均約 40cm 弱程度であり、覆工背面には平均約 30cm 程度の空洞がトンネル軸方向に連続的に存在していた。なお、アーチ肩部から側壁に関しては、巻厚は十分あり、背面空洞もアーチ肩部の一部に存在する程度であった。

表 3-3 事前調査および検査内容

分 類	内 容
調 査	中心線・縦断測量
	トンネル断面測定
	覆工表面撮影
	覆工巻厚調査
	覆工背面空洞調査
検 査	ひび割れ調査
	打音検査（浮き落とし含む）

地質区分凡例		
地質時代	記号	地質名
新 紀 世	盛土	盛土
	崖地堆積層	崖地堆積層
	段丘堆積層	段丘堆積層
	凝灰角礫岩	凝灰角礫岩
中生代	泥 岩	泥 岩
	砂 岩	砂 岩
	安 山 岩	安 山 岩
	泥岩・砂岩互層	泥岩・砂岩互層

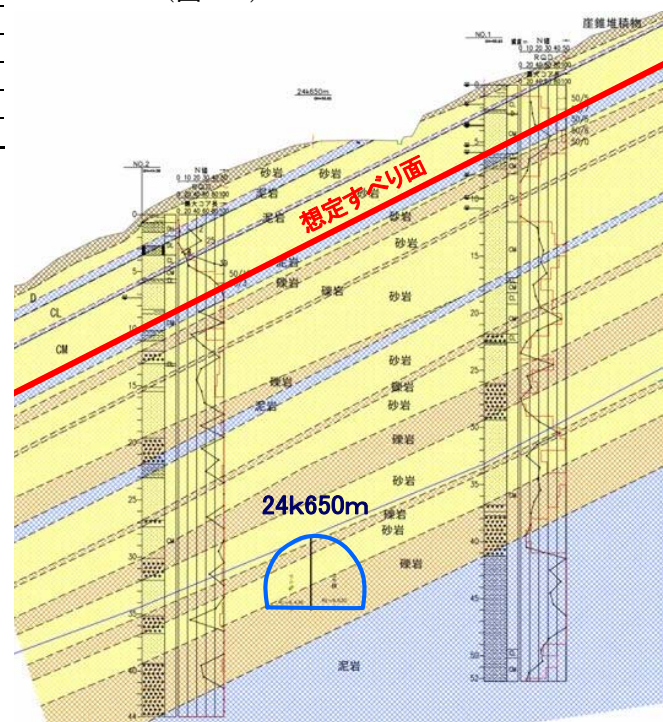


図3-8 24k650m付近ボーリング調査位置図および柱状図

3.3.2. ボーリング調査

今回大きな被害を生じた第一米山トンネル 24k600m 付近のトンネル上部では、大規模な斜面崩壊が発生した。被災したトンネル直上部の露頭状況から、砂岩と礫岩の互層に薄層の泥岩を介在した典型的な流れ盤構造となっていた。そのすべりは、いわゆる層すべりであり、層理面に沿って上位の層状岩盤が大きく滑落・流出し、すべり面が広く露出している。平面的な規模は最大幅 100m、延長 200m 程度、標高差約 100m と推定される。

本来であれば大きな被害を受けた 24k600m 付近の上部からボーリング調査を行いたかったが、作業の安全性を考慮し新潟方に 50m 離れた 24k650m 付近において、トンネル側壁から約 5m 離れた山側（No.1, L=52.0m）、海側（No.2, L=44.0m）にて、それぞれ 1 本ずつの鉛直ボーリングを実施した。

ボーリング調査の結果、トンネル天端より上部は、比較的固結度の高い（一軸圧縮強度：10MPa 以上）砂岩と礫岩の互層であり、部分的に泥岩の薄い層を挟在していた。トンネル直上の砂岩及び礫岩の RQD（1m あたりのコア採取率）は、40（山側）～100（海側）%であった。地震により発生したすべり面は、地表から 3～6m 付近であり、それより深部では、風化も弱く亀裂も少ない硬質な岩盤が連続している。

（図 3-8）。

3.4. 復旧方法

復旧では、第一米山トンネル直江津方坑口～第二米山トンネル新潟方坑口間（延長約2,837m）を米山工区、第二米山トンネル新潟方坑口～第三笠島トンネル新潟方坑口間（延長約2,089m）を笠島工区とした。復旧工事の作業ヤードには、被害の顕著な第一米山トンネル直江津方坑口付近の既存駐車場を利用し、進入路を設置して、主な資機材等の搬出入ルートとした。また、第一米山トンネル、第二米山トンネル間の既存保守用斜路を軌陸車等の小規模運搬用の進入口とし、2系統の進入路を確保した。

トンネル復旧に際しては、第一米山トンネル、第二米山トンネルについて、それぞれ区間1～4に区間分けを行い、各トンネルの損傷状況に応じて復旧方法をパターンA～Gに分類した。なお、区間分けした前後1スパンについては、地震による顕著な被害が生じなかったが、被害箇所隣接区間（パターンD、G）として、一部対策を追加して行うこととした（表3-4、表3-5）。現地では損傷状況、既変状状況に応じて、ロックボルト打設位置、剥落防止工の施工範囲等を適宜変更し、早期復旧を目指した。

表 3-4 第一米山トンネル復旧パターン

		第一米山トンネル 起点方坑口 24k383m										第一米山トンネル 終点方坑口 25k646m	
区間	分類	区間1 139m										区間2 32m	
	延長												
復旧	パターン	D C A B C B D D B D											
	延長	11m 21m 21m 11m 11m 53m 11m 10m 11m 11m											
総延長		1,263m											

<p>パターン A (圧ざ、せん断ひび割れ、軸方向ひび割れ、側壁損傷)</p>		<p>パターン B (圧ざ、軸方向ひび割れ)</p>	
<p>パターン C (圧ざ)</p>		<p>パターン D (被害箇所隣接区間)</p>	

表 3-5 第二米山トンネル復旧パターン

		第二米山トンネル 起点方坑口 25k823m		26k183m	26k193m			27k156m	27k184m	第二米山トンネル 終点方坑口 27k220m	
区間	分類			区間3			区間4				
	延長			10m			28m				
復旧	パターン			E			G	F	G		
	延長			10m			7m	15m	6m		
総延長								1,397m			

パターンE
(軸方向ひび割れ)

パターンF
(側壁せん断破壊箇所)

パターンG
(被害箇所隣接区間)

3.4.1 第一米山トンネル

①区間 1 (24k558m～697m)

当該区間は、地震によって圧ざ、せん断ひび割れ等が発生し、最も被害が大きく、被害が広範囲にわたる区間であった。復旧方法のパターンとして、A～Dの4パターンを使用した。

復旧作業は、まず作業の安全性を確保するため、ロックボルトを天端部に2～4本/断面程度、トンネル延長方向に1.2m間隔(既設鋼製支保工間隔)で先行して打設した。使用したロックボルトは自穿孔タイプのΦ32mm、L=4.0mであり、2ブーム1デッキのホイールジャンボ(90kg級)を台車に乗せて打設した。なお、インバートの代替として、側壁部にロックボルト

を打設し、トンネル全周に12～19本/断面、トンネル延長方向に1.2m間隔で打設した(写真3-18)。内空側に露出するボルト頭部には、防錆処理(めっきJIS H8641 2種HDZ35以上)および塩害対策、脱着防止を目的として接着剤を塗布した。

断面修復の事前作業として油圧ブレイカ(0.4m³級)による浮き落としを行ったが、一部天端の覆工コンクリートが塊として抜け落ちる状況があった(写真3-19)。その際に覆工背面の状況を目視で確認したところ、施工時か地震時に崩落したかは不明であるが、覆工背面に多少の土砂が堆積していた。しかし、空洞自体

はしっかり残されており、ロックボルトの穿孔状況からも地山の自立性には問題がないものと判断した。また、ロックボルトによる縫付け、断面修復、ひび割れ注入等の補修を行うことで既設覆工を再利用する観点から、軸力を伝達するための断面修復箇所の端部処理として、コンクリートカッターでトンネル断面に直角に切断し、断面修復を行うこととした（写真 3-20）。

修復された覆工コンクリート内面は、アーチ部 120° の範囲において、既変状あるいは補修状況に応じて AAA 工法（AKM-10/10）による剥落防止工を行った。

また、地山との一体化を目的として、覆工背面空洞に対して裏込注入を行った。なお、注入孔は、天端にトンネル延長方向 3.0m 間隔に配置した。最終的な仕上がりとして、FRP バンドをトンネル断面、軸方向に配置し、ロックボルトプレートと共締めした（写真-21）。

②区間 2（25k306m～338m）

当該区間の復旧方法としては、パターン B を採用したが、漏水が多く、剥落防止工の AAA 工法の施工が困難であった。そこで、当該区間の剥落防止工は、ステンレスメッシュ（20mm メッシュ、線径 2.6mm）を施工した（写真 3-22）。



写真 3-18 第一米山トンネル（区間 1）
（ロックボルト打設状況）



写真 3-19 第一米山トンネル（区間 1）
（コンクリートはつり状況）



写真 3-20 第一米山トンネル（区間 1）
（断面修復状況）



写真 3-21 第一米山トンネル（区間 1）
（補修完了状況）



写真 3-22 第一米山トンネル（区間 2）
（ステンレスメッシュ施工完了状況）

3.4.2. 第二米山トンネル

①区間 3 (26K183m～193m)

当該区間の復旧方法には、パターン E を採用した。ひび割れ注入後に、ひび割れを挟み 1.0m 程度離れた位置に自穿孔タイプのロックボルト ($\Phi 32\text{mm}$, $L=4.0\text{m}$) を 4 本/断面、トンネル延長方向に 1.5m 間隔 (既設鋼製支保工間隔) で打設した (写真 3-23)。また、地山との一体化を目的として、覆工背面空洞に裏込注入を行った。なお、注入孔は、天端にトンネル延長方向 3.0m 間隔で配置した。

②区間 4 (27K156m～184m)

当該区間の復旧方法には、パターン F, G を

採用した。断面修復箇所の端部は、コンクリートカッタで切断し、浮き落としを行い、一体化を目的としてロックボルト ($D22$, $L=2.0\text{m}$, $\text{etc}1.2\text{m}$) を打設した。さらに、アンカーボルト+金網を設置し、無収縮コンクリートで断面修復した (写真 3-24～写真 3-26)。浮き落としでは、叩き落したコンクリート片が 150mm 以下の場合は、断面修復に変えて、表面処理のみで対処した。なお、復旧作業に先立ち、側壁背面の空洞確認を目的としてコア削孔を行った。コア削孔の結果、側壁コンクリートと地山が密着していることを確認された (写真 3-27)。



写真 3-23 第二米山トンネル (区間 3)
(補修完了状況)



写真 3-24 第二米山トンネル (区間 4)
(側壁部浮き落とし後状況)



写真 3-25 第二米山トンネル (区間 4)
(側壁部浮き落とし後状況)



写真 3-26 第二米山トンネル (区間 4)
(断面修復後状況)



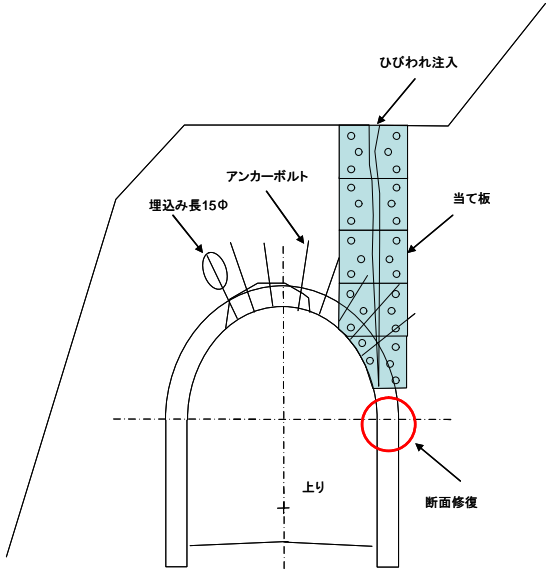
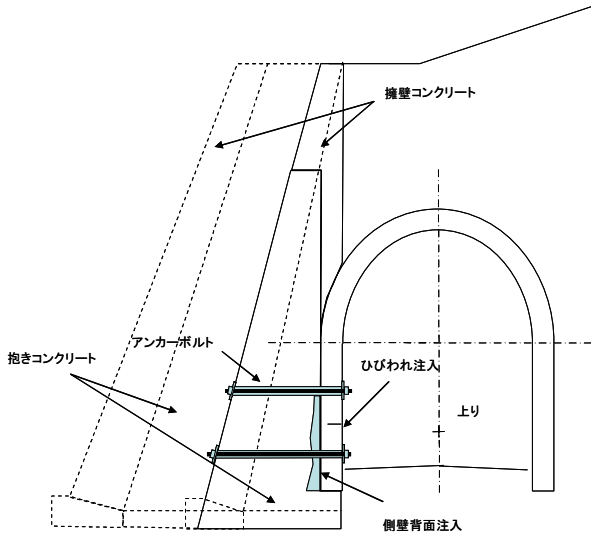
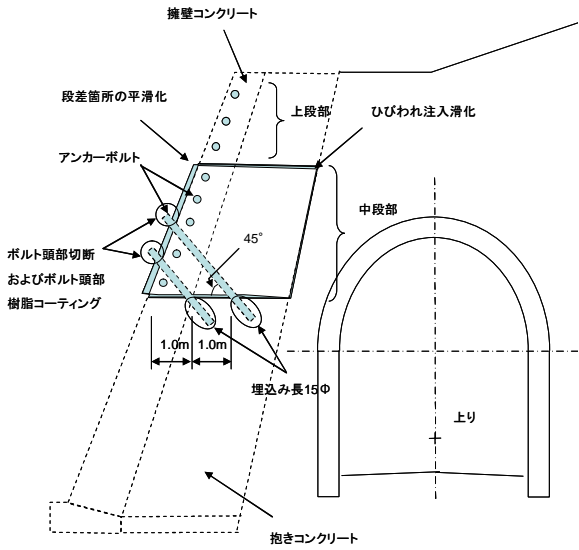
写真 3-27 第二米山トンネル (区間 4)
(側壁コア: 側壁コンクリート約 60cm+地山 (泥岩) 約 15cm)

3.4.3. 第三笠島トンネル

第三笠島トンネル上り線の坑口部の被害については、第一米山、第二米山トンネルのように復旧方法をパターン化して適用することができないため、個別に復旧方法を決定した(表 3-6)。

また、上り線は、山側の斜面崩壊が要因であったため、斜面自体の対策を行う必要があった。そこで、トンネル自体の被害については応急復旧との位置付けとし、斜面对策は恒久復旧として別途行うこととした。

表 3-6 第三笠島トンネル復旧方法

上り線 28K930m(坑門コンクリート) 既変状(坑門コンクリート目開き)箇所	上り線 28K938m～949m (側壁折れ込み)
	
上り線抱きコンクリートおよび擁壁コンクリート (抱きコンクリートおよび擁壁コンクリートのずれ)	
	

①上り線 28K930m (坑門コンクリート)

当該箇所の復旧方法は、当て板(1.0m×0.5m, t=9.0mm, SUS304)、ひび割れ注入、一部断面修復により行うこととした。天端に生じていたひび割れについては、アンカーボルト(M16×8本, 埋込み長 15Φ, SUS304)で健全部に縫い付けることとした(写真 3-28, 写真 3-29)。

②上り線 28K930m～938m

当該箇所の復旧方法は、開口部からの土砂等の流入を防止するため、鋼板(SUS304)およびアンカーボルト(M16, 埋込み長 15Φ, SUS304)で開口部の閉塞を行った(写真 3-30)。

③上り線 28K938m～949m

当該箇所の復旧方法は、ひび割れ注入および側壁背面の裏込注入を行い、側壁と抱きコンクリートをアンカーボルト(D25, 6本×2段, めっき JIS H8641 2種 HDZ35 以上)で縫い付け

ることとした。なお、ボルト頭部は、塩害対策と脱落防止を目的として接着剤の塗布を行った。また、抱きコンクリート最下段に水抜き孔を設置した。

④上り線抱きコンクリート、擁壁コンクリート

当該箇所の復旧方法は、ずれた抱きコンクリートおよび上部の擁壁コンクリートをアンカーボルト(D22, D38, etc1.0m)で健全部に定着し、ひび割れ注入を行い、生じた段差の平滑化を図ることとした(写真 3-31)。

⑤下り線 29k060m 付近

当該箇所の復旧方法は、コンクリートカッタで断面修復箇所の端部を切断し、浮き落とし後に断面修復を行い、AAA 工法(AKM-10/10)による剥落防止工を行った(写真 3-32, 写真 3-33)。



写真 3-28 第三笠島トンネル（上り線）
（当て板施工状況）



写真 3-29 第三笠島トンネル（上り線）
（当て板完了状況）



写真 3-30 第三笠島トンネル（上り線）
（覆工目開き箇所補修状況）



写真 3-31 第三笠島トンネル（下り線）
（抱きコンクリート補修完了状況）



写真 3-32 第三笠島トンネル（下り線）
（アーチ部浮き落とし状況）



写真 3-33 第三笠島トンネル（下り線）
（剥落防止工施工状況）

表 3-7 復旧工事における当初想定数量と実施工数量の比較

トンネル名	区間 分類	主な工種	単位	当初計画	実施工	備 考
第一米山	区間1	先行ボルト	本	227	223	186本は、本ボルトと兼用
		断面修復工	m ³	71	74	
		剥落防止工	m ²	1,521	886	既変状および補修範囲に併せて施工範囲見直し
		ロックボルト	本	1,365	1,884	損傷状況に応じて打設、先行ボルト含まず
		裏込注入	m ³	153	358	
	区間2	先行ボルト	本	22	8	1本は、本ボルトと兼用
		断面修復工	m ³	5	13	
		剥落防止工	m ²	137	60	ステンレスメッシュ
		ロックボルト	本	315	470	損傷状況に応じて打設
		裏込注入	m ³	44	28	
第二米山	区間3	剥落防止工	m ²	137	0	損傷状況より不要とした
		ロックボルト	本	44	28	損傷状況に応じて打設
		裏込注入	m ³	11	25	
	区間4	ロックボルト	本	106	106	レッグドリルによる人力打設
		断面修復工	m ³	30	41	

3.4.4. 復旧状況のまとめ

2007年新潟県中越沖地震では、2004年新潟県中越地震におけるトンネル被害と異なり、1つのトンネル内で被害範囲が広範囲かつ点在していた。その損傷状況については、上越新幹線魚沼トンネルのような巻厚全体に及ぶ覆工崩落ではなかったが、復旧が困難な損傷形態であった。また、復旧に際しては、ロックボルト打設位置や本数、剥落防止工の施工範囲等が、既変状あるいは損傷状況に応じて変更が必要である

ことも、復旧作業を難航させる要因の一つとなった。

したがって、作業の段取り替え等のロスを防ぐことが、早期の復旧に向けた鍵であった。現場における昼夜を厭わぬ体制での復旧作業の結果、地震発生から59日という短期間にて復旧工事を無事故で完成することができた。復旧工事における当初想定数量と実施工数量の比較を表3-7に示す。

4. その他のトンネルの被害

4.1. 概要

高速道路トンネルや鉄道トンネル以外の被害として、新潟県が管理する一般国道 352 号刈羽トンネル（刈羽村十日町）において、覆工コンクリートの亀裂、既設の炭素繊維シートの剥離、側溝の破損、舗装版の破損等の被害が発生した。

また、東京電力 柏崎刈羽原子力発電所構内にある小断面のボックスカルバートでは、一部の打継ぎ目において目違い、目開き、段差、ひび割れ等が発生した。この発電所構内の小断面トンネルの被害については、次節で詳述する。

4.2. 小断面ボックスカルバートの被害

東京電力 柏崎刈羽原子力発電所構内には、主に以下のトンネル構造物が存在する。

- ・取・放水路
- ・電力ケーブルまたは配管用ダクト

これらは、すべて開削工法で施工されたボックスカルバートである。以下、2007 年新潟県中越沖地震による上記構造物の被災状況を述べる。

4.2.1. 取・放水路トンネル

取・放水路内部は、現状も海水で満たされていることから、詳細な点検は今後実施する予定である。これまでのダイバーによる水中点検の結果、以下の点が明らかになっているが、いずれも通水機能は満足している。

- ・耐震重要度の高い

取水路には大きな損傷は認められていない。

- ・放水路については、構造打ち継ぎ目での目違い、目開き、段差およびひび割れが確認されている。

このうち、6・7 号機放水路の中間部では、延長 90m の範囲で最大約 7mm の連続したひび割れの発生が確認されている（写真 4-1、図 4-1 参照）。

当該放水路は、内空幅 5.9m×高さ 6.5m の鉄筋コンクリート造 2 連ボックスカルバートで、洪積粘土層上に建設され、周囲は基本的に砂質土で埋め戻されている。また、近傍には変状が確認されている法面（標高差 9m）が存在する。

4.2.2. 電力ケーブル、配管用ダクト

電力ケーブル、配管用ダクトの被災状況としては、躯体への大きな被害がなく、比較的軽微な被害として、以下のような特徴が見られる。

- ・周辺構造物との地震応答の特性の違いや埋め戻し部の不等沈下等により、建屋との接続部で目違い、目開き、段差およびひび割れが発生している。
- ・建設時の残土を埋め立てた盛土内に設置された部分では、ダクトの周辺地盤の沈下による目違い、目開き、段差が発生している。

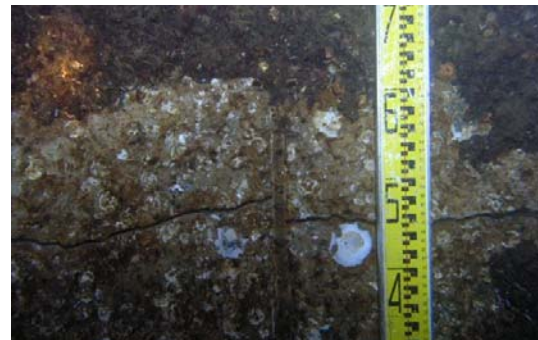


写真 4-1 側壁部のひび割れの状況



図 4-1 放水路トンネルの損傷位置

5. まとめ

5.1. トンネルにおける地震被害の概要

2007 年新潟県中越沖地震でトンネルが受けた被害には、次のようなものがあった。

高速道路トンネルとしては、北陸自動車道米山トンネル上り線において、延長 45m 程度にわたって天端部の圧ぎによる覆工コンクリート表面の剥落が生じた。その規模は、横断方向幅が最大 1m 程度、最大厚さが 15~20cm であった。

鉄道トンネルとしては、上記米山トンネルと並行する JR 信越本線第一米山トンネルにおいて、天端部の圧ぎ・アーチ肩部のせん断ひび割れ・側壁部の損傷等が発生し、やはり天端部の覆工コンクリートが連続して剥落した。また、第二米山トンネルでは逆巻き施工された側壁迫め部が損傷し、第三笠島トンネルでは坑門工のひび割れや食い違い、目開き等が発生した。また、第一米山トンネルの海側に位置する廃線となった旧第一米山トンネルでは、坑口付近で天端部が崩落し、トンネル内が土砂で埋まった。

過去の被害調査に基づく被害形態を分類すると、①斜面災害に伴う坑口部のもらい災害、②小土被りの坑口付近の被害、③地質不良箇所の被害、④断層のずれに伴う被害のように整理することができる⁴⁾。2007 年新潟県中越沖地震で確認されたトンネルの被害を上記分類と整合させると、高速道路の米山トンネルや鉄道の第一米山トンネルは③地質不良箇所の被害、第三笠島トンネルや廃線の第一米山トンネルは①斜面災害に伴う坑口部のもらい災害および②小土被りの坑口付近の被害と分類することができる。

また、2007 年新潟県中越沖地震における被害トンネルの発生位置に関しては、想定震源断層の延長方向の比較的狭い範囲に被害が集中していることが最も大きな特徴である。

5.2. 被害要因に関する考察

トンネルは、従来から耐震性に富む構造物といわれているが、過去の震災事例の調査結果に基づく分析結果から、①地震規模が大きく、②地震断層面からの距離が近く、③特殊条件が介在すれば、トンネルも地震の被害を受けることが報告されている⁴⁾。なお、ここでの特殊条件は、坑口部での斜面災害や地震断層といった地形・地質条件とトンネルの構造的欠陥といった構造条件に大別される。

ここで、2007 年新潟県中越沖地震は海底下で発生した地震 (M6.8) であり、地震断層面から平面的に 7km 以内の近傍で、地震断層面の延長線方向に位置するトンネルで被害が発生していることが特徴である。しかしながら、同様の位置においても被害の発生していないトンネルも多数存在している。

震源からの距離が同等でありながら、被害の有無およびその程度に差が生じている点については、地表部におけるすべり挙動や不良地山等の地形・地質的要因およびインバートなしの構造、背面空洞やコールドジョイント等の構造的要因が影響していることが考えられる。これらの特殊条件については、建設時における設計・施工や日常の維持管理において対応できるものもあるため、建設時の耐震性を考慮した設計・施工および既変状箇所に対する常時の維持管理の重要性を再認識することとなった。

5.3. 今後に向けた提言

本特別小委員会における活動を通じ、今後のトンネルの計画・設計、施工、維持管理に向けて、以下のような提言をとりまとめた。

トンネルの計画・設計においては、地すべり地形や不良地山を回避したルート選定、掘削時だけでなく、将来的な構造安定性の観点に基づくインバートのより積極的な採用が望まれる。

トンネルの施工においては、覆工コンクリート施工時における構造欠陥（巻厚不足、空隙、コールドジョイント、鉄筋被りの確保等）の排除、さらに坑口部、坑門工の設計における斜面不安定化に対する配慮の徹底が必要である。また、側壁迫め部に代表されるコンクリート接合部の丁寧な施工による一体化を、今後も徹底していく必要がある。

トンネルの維持管理においては、既変状や構造欠陥が大規模地震時の被害を拡大する恐れがあることを踏まえ、継続的かつ確実な対応が望まれる。また、大規模地震時におけるトンネルの被害を軽減するためには、日常の維持管理を確実に遂行することが、最も重要かつ合理的であることを提言したい。

謝辞

本報告書の作成においては、被災地内におけるトンネルの被害状況の調査を進めるにあたり、土木研究所 真下英人氏、新潟県 沼屋賢一氏、東日本旅客鉄道 露木 寿氏、神谷弘志氏、鉄道・運輸機構 野々村政一氏、東北電力 佐藤雅之氏、にご協力を頂きました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会トンネル工学委員会新潟県中越地震特別小委員会：同小委員会報告書，2005年6月。
- 2) 東日本旅客鉄道 構造技術センター：SED (STRUCTURAL ENGINEERING DATA) No.29, pp.17-34,66-76, 2007年11月。
- 3) 齋藤貴，向山路一，田口芳範：新潟県中越沖地震における鉄道トンネルの被害 信越本線 米山～柏崎間，トンネルと地下 Vol.38 No.12, pp.47-56, 2007年12月。
- 4) 朝倉俊弘，志波由紀夫，松岡茂，大矢敏雄，野城一栄：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム，土木学会論文集 No.659/III-52, pp.27-38, 2000年9月。