

兵庫県南部地震(1995), 新潟県中越地震(2004) におけるトンネルの被害の傾向

A Study of Damage of Mountain Tunnels caused by 1995 South Hyogo Prefecture Earthquake and 2004 Mid Niigata Prefecture Earthquake

橘 直毅¹・小島芳之²・野城一栄³・朝倉俊弘⁴・野々村政一⁵
Naoki Tachibana, Yoshiyuki Kojima, Kazuhide Yashiro,
Toshihiro Asakura and Masaichi Nonomura

¹正会員 工修 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)
E-mail:tachibana@rtri.or.jp

²正会員 工博 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)

³正会員 工修 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)

⁴正会員 工博 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8246 京都市西京区京都大学桂)

⁵正会員 工修 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部 (〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町6-50-1)

Generally mountain tunnels are earthquake-proof structures as compared with ground-based structures because they are constructed in the steady ground such as rock. However, it is report that a huge earthquake inflicts heavy damage on the tunnel lining when the magnitude of earthquake is large or the distance from the earthquake center to the tunnel is approximate. In addition, it is the present condition that evaluation about the earthquake-damage of a tunnel lining is not performed systematically for The South Hyogo Prefecture Earthquake (1995) and The Mid Niigata Prefecture Earthquake (2004).

Because of the situation, for two huge earthquakes, it arranged about the tendency of the earthquake damage of mountain tunnels.

Key Words : Mountain Tunnels, Earthquake-proof performance, Earthquake Damage

1. 序論

近年, 1995年兵庫県南部地震 (M=7.2), 2004年新潟県中越地震 (M=6.8) に見られるような大規模地震の発生により, 交通施設でも多大な被害を受け, 耐震性能の向上が急務となっている。

構造物の耐震性能の向上は, 兵庫県南部地震における地表構造物の倒壊事例を受け, 多くの研究がなされ, 地表構造物は耐震性能, 設計地震動の設定, 地震時の耐震性能照査型の設計手法が基準化されている。

一方, 山岳トンネルは, 地表面に比して地震動が小さく, 安定した地山内にあることより耐震性に富む構造物とされ, 兵庫県南部地震においても, 地山がトンネル内に崩落するような大被害はなく, 覆工

コンクリートのクラック, はく落などの発生にとどまり, トンネル自体が内包する弱点 (地滑り, 材料不良等) に配慮すれば問題はないとされている。



図-1 新潟県中越地震による地震被害状況

しかしながら、地震の規模や震源域からの距離によつては覆工コンクリートの崩落等の被害を受けることがある^{1),2)}。

既往の事例研究^{1),2)}では、山岳トンネルの地震被害の形態は以下のように分類できる。

- I. 小土被り区間の被害（坑口部等）
- II. 地質不良区間の被害（断層・破砕帯等）
- III. 断層の変位による被害（断層との交差区間等）

また、地震による被害を受ける条件としては以下のようなものがある。

- A：地震の規模が大きい
- B：トンネルが震源もしくは地震断層の近傍に存在している
- C：特殊条件（低土被り、地質不良区間、断層のずれ）

一方、その後発生した1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震においては、断層・破砕帯、固結度の低い地山等において、特徴的な被害が多数発生しており^{3)~5)}、これらの地震に対しては、過去の地震被害との傾向を比較させた整理が行われていない。

また、図-1に示すような新潟県中越地震の上越新幹線魚沼トンネルの覆工コンクリートの崩落の例に

見られるように、一旦被害を受けるとその閉鎖性から復旧に多大な時間を必要とし、運転再開まで2ヶ月以上を要したように、社会的・経済的に大きな影響を与えることとなる。特に、多くの長大トンネルを高速で通過する新幹線については、大規模地震に対する安全性の確保がより一層要求される社会情勢になっており、山岳トンネルの耐震性能評価・品質の向上を図る技術の開発が急務となっている。

このような背景から、耐震検討の前段として、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震に対し、山岳トンネル覆工コンクリートの地震被害の整理・分析を実施し、その被害の傾向についてまとめた。

2. 調査対象トンネル

本報において対象とした山岳トンネルの被害事例として、兵庫県南部地震は110トンネル⁶⁾、新潟県中越地震では139トンネル^{4), 5)}の計249トンネルである。

図-2に兵庫県南部地震、図-3に新潟県中越地震における被災地内に存在するトンネルの分布を示す。

以下に分析方法および分析結果を示す。

3. 被害事例分析方法

1995年兵庫県南部地震および2004年新潟県中越地震で被害を受けた山岳トンネルに対し、下記の①～⑤について項目別に分けて、整理することとした。

①対象地震

兵庫県南部地震(1995)、新潟県中越地震(2004)

②用途

鉄道トンネル、またはその他

③トンネル施工法

矢板工法(在来工法)、NATM工法

④想定断層からトンネルまでの距離

想定断層からトンネルまでの距離については、文献^{1), 2)}によると、震源からの距離とトンネルの被害レベルを比較する場合、狭義の震源(初動点)からの距離ではなく、広義の震源(断層面)からの距離で比較する必要があるとされており、本文においても断層面からの最短距離により整理することとした(図-4(a)参照)。

ここで、兵庫県南部地震に関しては、断層面からの距離の算出に用いる断層は、余震域分布(京都大学防災研究所作成)を参考にして仮定した。図-4(b)に断層面からの距離の算出の考え方を示す。断層は、鉛直になっているものとし、断層の上端は、余震の数が増加するのが深度5km程度⁷⁾であることから

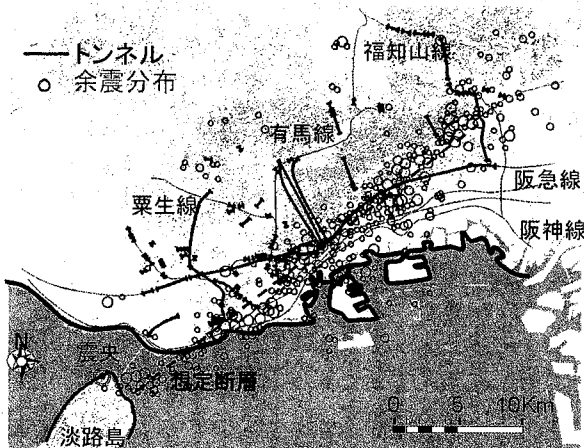


図-2 兵庫県南部地震被災地のトンネル分布

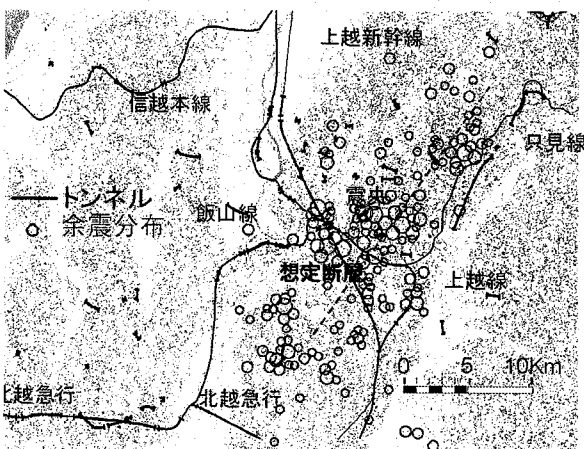


図-3 新潟県南部地震被災地のトンネル分布

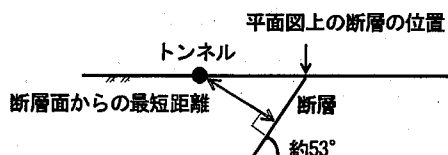
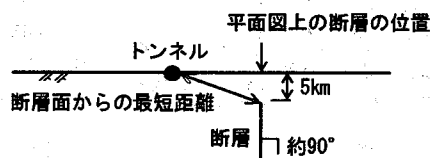
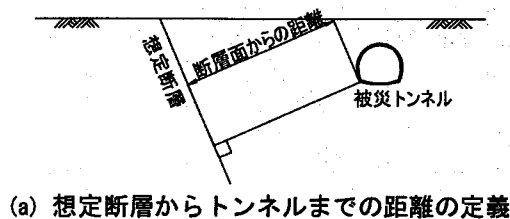


図-4 想定断層からトンネルまでの距離

5kmと仮定して、そこからの距離を断層面からの最短距離とみなして算出している。

また、新潟県中越地震に関しては、断層面からの距離の算出に用いる断層は、文献⁶⁾で示されている推定断層モデルを参考にして仮定し、地震断層面からの最短距離として算出した。図-4(c)に断層面からの距離の算出の考え方を示す。

⑤被害レベル

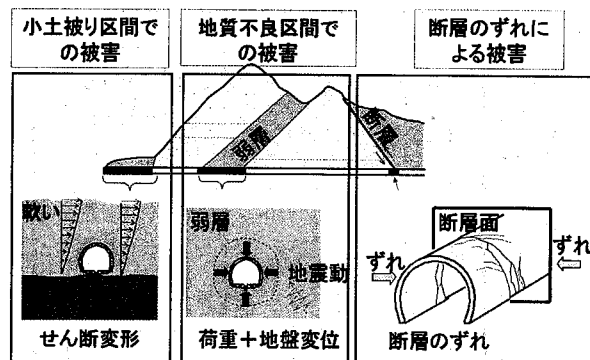
被害レベルは、地震時のトンネルの被害の程度を示すものであり、文献^{3),6)}に従い、表-1に示すように、補強・補修の必要性に応じて、被害レベルA, B, Cの大きく3段階に分類することとした。なお、被害レベルCは被害無しである。

表-1 地震時のトンネルの被害レベル^{3),6)}

兵庫県南部地震		新潟県中越地震	
A	補強、補修を必要とした被害	A1	大規模な補強・補修を必要とするもの
		A2	A1以外で補強・補修を必要とするもの
B	補強、補修を必要としなかった被害	補強・補修を必要としない軽微なもの	
C	被害無し	被害無し	

⑥被害のパターン

被害の形態は図-5に示すように、坑口部などの小土被り区間に生じやすいせん断変形に伴う被害、地質不良区間における地震前から作用している地圧に



地震により生じる地盤変位が加わることに伴う被害、断層のずれによる被害の3パターンに分ける。

4. 分析結果

(1) 地震の被害レベルの傾向

図-6および図-7において、調査対象トンネルを被害レベル別にトンネル数を整理した。

兵庫県南部地震、新潟県中越地震ともに被害を受

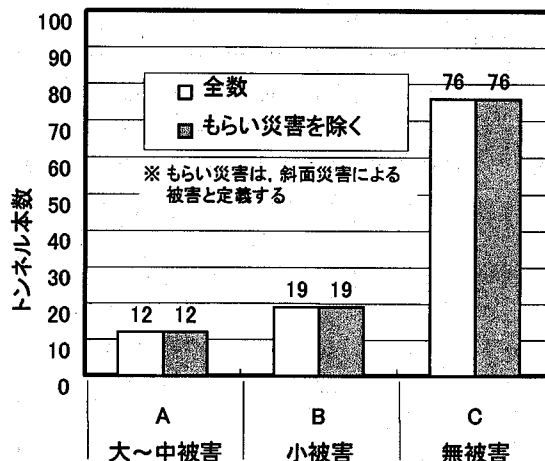


図-6 兵庫県南部地震の被害レベルの傾向

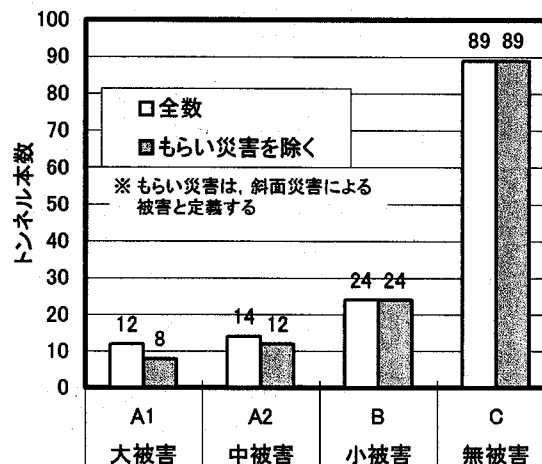


図-7 新潟県南部地震の被害レベルの傾向

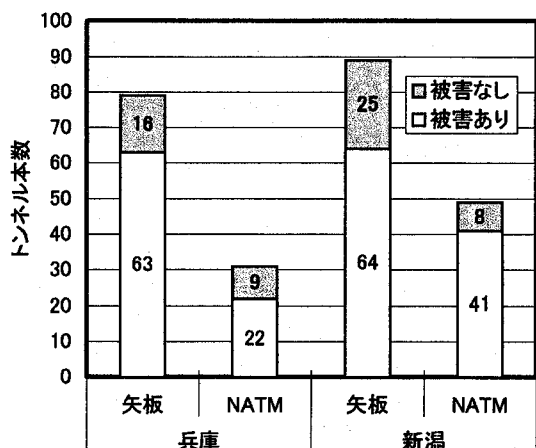


図-8 トンネル施工法による地震被害の違い

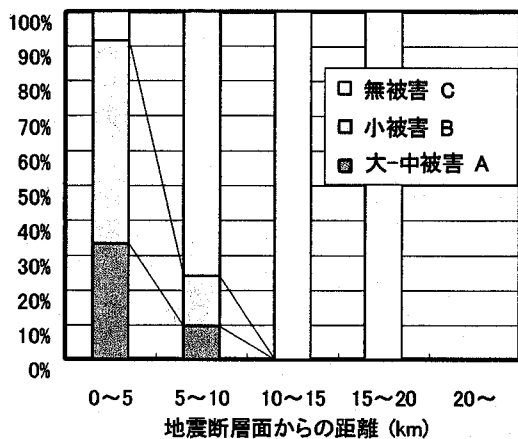


図-9 地震断層面からの距離と被害レベル(兵庫)

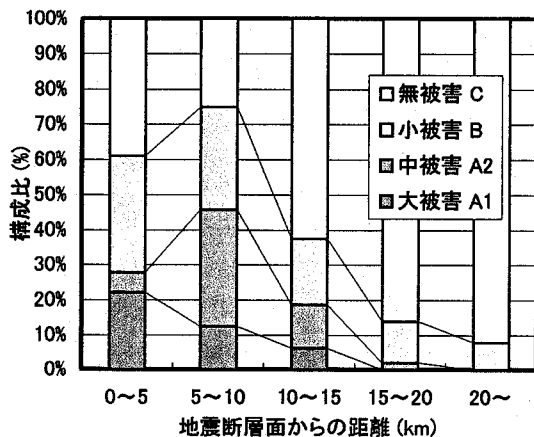


図-10 地震断層面からの距離と被害レベル(新潟)

けたトンネルの数は比較的少ないが、被害事例の中で、兵庫県南部地震では約10%、新潟県中越地震では約15%のトンネルが被害レベルAであり、地震後、補強・補修を要していることがわかった。

(2) 施工法(矢板工法、NATM工法)による違い

対象トンネルにおいて、施工法別にトンネル数を整理したものを図-8に示す。

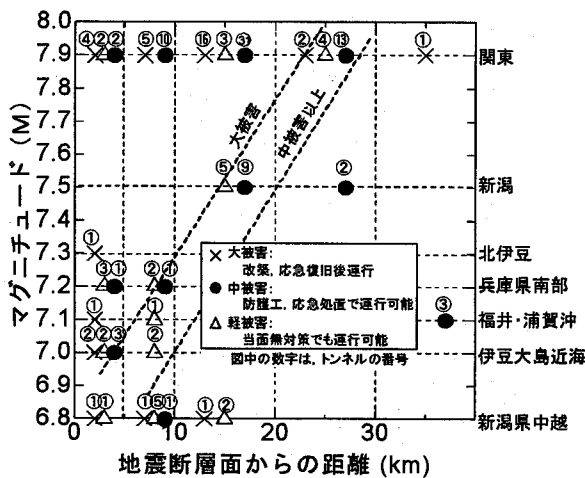


図-11 過去の地震被害との比較

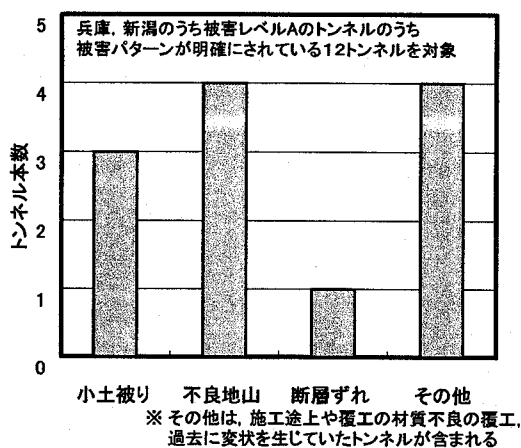


図-12 地震時の被害のパターン

兵庫県南部地震および新潟県中越地震のいずれも、7割近くのトンネルが矢板工法により建設されていることがわかった。なお、地震による被害の割合は、NATM工法および在来工法は同程度であり、施工法による被害傾向の明確な違いは見られなかった。

(3) 断層面からの距離と被害レベル

震源からの距離と被害の程度に関して整理を行った。図-9および図-10に兵庫県南部地震および新潟県中越地震のそれぞれの地震断層面からの距離と被害レベルとの関係を示す。

図より、既存の事例と同様に、地震断層面からの距離が10km以内の場合に被害を生じる可能性が高く、20km以上離れた位置でのトンネルには、大きな被害がほとんどなかったことが明らかになった。

また、新潟県中越地震(M6.8)での被害は、地震規模の大きい兵庫県南部地震(M7.4)と比較して、広範囲に広がっていることがわかった。これは、新潟地方の地質は、グリーンタフ地域内の活構造帯中の新第三紀~第四紀初期の堆積軟岩が主体であり、一方、

兵庫地方は花崗岩あるいは安定した地質性状を有する新第三紀軟岩(神戸層群)が主体であり、両者の地質的な違いによるものと推測される。

図-11に地震の規模(マグニチュード)と断層面からの距離について整理し、過去の7地震の被害状況と比較した。過去の事例において、地震の規模(マグニチュード)が大きくなれば、広範囲にわたって被害が大きくなる傾向を示しており、兵庫県南部地震および新潟県中越地震においても、おおよそ同様の傾向が見られることが確認できた。

(4) 地震時の被害のパターンの傾向

図-12に兵庫県南部地震および新潟県中越地震における被害レベルAのトンネルの被害形態を整理した。図より、トンネルにおける被害状況は被害レベルAのトンネル全本数の約7割が小土被り区間の被害、地山不良部の区間におおよそ分類できることがわかった。したがって、これらの箇所は地震被害を受けやすいものと認識できる結果となった。

一方、その他に含まれるのは、施工途上や覆工の材質不良の覆工、過去に変状を生じていたトンネル、斜面崩壊によるものが大半である。

(5) 地震時被害の規模と復旧・対策工の傾向

図-13に地震時被害の規模に対する復旧・対策工の実施件数について整理した。地震時の被害が大規模になると、打ち替え等の大規模な復旧・対策工を実施する割合が大きくなる傾向が見られた。

5. 結論

兵庫県南部地震および新潟県中越地震を対象とした山岳トンネル覆工の地震被害の傾向について以下にまとめる。

- ① 地震時に大規模な被害(被害レベルA)を生じる割合が多いのは、断層面からの距離が10km以内のトンネルである。
- ② 新潟県中越沖地震の被害範囲は、兵庫県南部地震よりも広い傾向が見られる。
- ③ 山岳トンネルの地震被害は、小土被り区間だけでなく、地山不良区間に生じやすいことが確認できた。
- ④ 被害が大きいくほど、大規模な復旧・対策工が必要となり、復旧に多くの時間を要していることがわかった。

以上より、断層から10km以内の小土被り、地山不良区間のトンネルは、地震時に覆工に大きな変状を

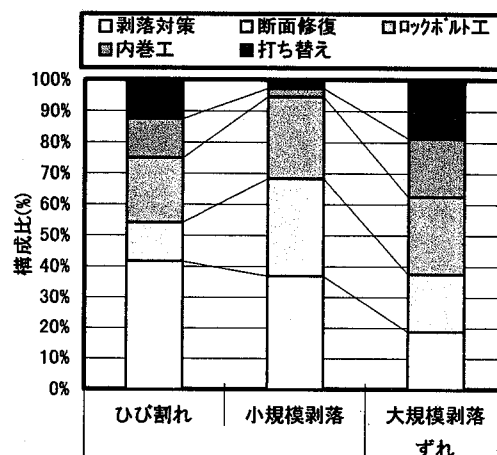


図-13 地震後のトンネル対策工の傾向

被る可能性が高く、それらの条件の下、地震によって想定される作用力に対するトンネルの被害形態や被害発生メカニズムを解明することが課題であることがわかった。

これらの課題に対して、模型実験および数値解析による地震被害の再現、実トンネルに対する地震時挙動の計測・分析を行い、覆工の耐震性能の明確化、耐震設計法、効果的な対策工の提案を行いたいと考えている。

また、既往の研究によれば、上記要因に加えてトンネルに生じている変状や構造欠陥等の特殊条件の存在が被害の発生に強く関わっていることが知られている。その要因分析についても今後実施する予定である。

謝辞：本研究の一部は、独立行政法人鉄道・運輸機構の「運輸分野における基礎的研究推進制度」によるものである。

参考文献

- 1) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査，鉄道技術研究報告，No.1123，1979.9
- 2) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災と地震対策，トンネルと地下，1984.8
- 3) 小山幸則，朝倉俊弘，佐藤豊：兵庫県南部地震による山岳トンネルの被害と復旧，トンネルと地下，1996.3
- 4) 清水満，栗栖基彰，加藤正二：新潟県中越地震における鉄道トンネルの被害，トンネルと地下，2005.5
- 5) 真下英人：新潟県中越地震における道路トンネルの被害，トンネルと地下，2005.11
- 6) 土木学会トンネル工学委員会新潟県中越地震特別委員会報告書，2005.6
- 7) 土木学会：阪神大震災震害調査緊急報告会資料