

山岳トンネルの地盤変形による被害

2014/3/19

鉄道総合技術研究所  
野城 一栄

1

山岳トンネルの耐震性

<p>一般の構造物</p> <p>軟らかい地盤</p> <p>地震動</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・慣性力: 大</li> <li>・変位: 大</li> </ul> <p>⇒ 被害: 大</p>
<p>山岳トンネル</p> <p>軟らかい地盤</p> <p>硬い地盤</p> <p>地震動</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・慣性力: 小</li> <li>・変位: 小</li> <li>・アーチ構造</li> </ul> <p>⇒ 被害: 小</p>

2

被害事例・上越新幹線魚沼トンネル  
(2004年新潟県中越地震)

⇒ 山岳トンネルの耐震性が問題に

3

山岳トンネルの地震被害事例

4

代表的なトンネルの地震被害(1/2)

地震名	マグニチュード	震源地	被災中心地	最大震度	トンネルの被害状況
★ 1923 関東地震	7.9	相模湾 (深さ不明)	神奈川 東京	6	南関東の広範囲で100本以上のトンネルに被害・甚大な被害も多数
1927 北丹後地震	7.3	宮津の西北西7km (深さ不明)	丹後半島 付け根部	6	震央域での2本の鉄道トンネルに極軽微な被害
★ 1930 北伊豆地震	7.3	熱海の西7km (深さ1km)	伊豆半島 北部	6	地震断層の横切りにより1本の鉄道トンネルに激甚な被害
1948 福井地震	7.1	福井市の北12km (深さ30km)	福井平野	6	地震断層から8km以内の2本の鉄道トンネルに大きな被害
1952 十勝沖地震	8.2	襟裳岬の東南東 沖73km (深さ52km)	北海道南部	6	北海道内の広範囲にわたり鉄道トンネル10本に軽微な被害
1964 新潟地震	7.5	新潟市の北北東 沖50km (深さ40km)	新潟市	6	日本海岸を中心に鉄道トンネル約20本と道路トンネル1本に被害
1968 十勝沖地震	7.9	襟裳岬の東南東 沖140km (深さ0km)	青森県	5	北海道内の広範囲にわたり鉄道トンネル23本に軽微な被害

5

代表的なトンネルの地震被害(2/2)

地震名	マグニチュード	震源地	被災中心地	最大震度	トンネルの被害状況
★ 1978 伊豆大島近海地震	7.0	伊豆大島・稲取間の海域 (深さ15km)	伊豆半島 南東部	5	被災中心地で鉄道トンネル9本と道路トンネル4本に甚大な被害
1978 宮城県沖地震	7.4	仙台の東方沖112km (深さ40km)	仙台市 および近郊	6	宮城県を中心に鉄道トンネル6本に軽微な被害
1983 日本海中部地震	7.7	能代市の西方沖90km (深さ14km)	能代市 男鹿市	6	秋田県を中心に鉄道トンネル8本に軽微な被害
1983 北海道南西沖地震	7.8	寿都の西方沖86km (深さ35km)	奥尻島 北海道南西部	6	島牧村で落石の直撃により道路トンネル1本に甚大な被害
★ 1985 兵庫県南部地震	7.3	淡路町沖の明石海峡 (深さ18km)	神戸市 淡路島北部	7	20余本のトンネルに被害、うち補強・補修を要するもの10本前後
★ 2004 新潟県中越地震	6.8	小千谷市、川口町 (深さ13km)	小千谷市 川口町	7	約50本のトンネルに被害、うち補強・補修を要するもの25本前後
★ 2007 新潟県中越沖地震	6.8	新潟市の南西約60km (深さ17km)	新潟県 中越地方	6強	6本のトンネルに被害、うち補強・補修を要するもの5本

6

1923年 関東地震

7

地震概要 1923年関東地震

- 発生年月日 : 1923年9月1日
- マグニチュード : M7.9
- 震源 : 神奈川県相模湾北西沖80km

148本のうち93本が被災(鉄道のみ) 20km 40km 60km

8

被害事例・中央本線 與瀬トンネル

1923年関東地震



トンネル坑口の崩壊 (土木学会HPより)  
(中央本線 與瀬トンネル)

9

被害事例・内房線 南無谷トンネル

1923年関東地震

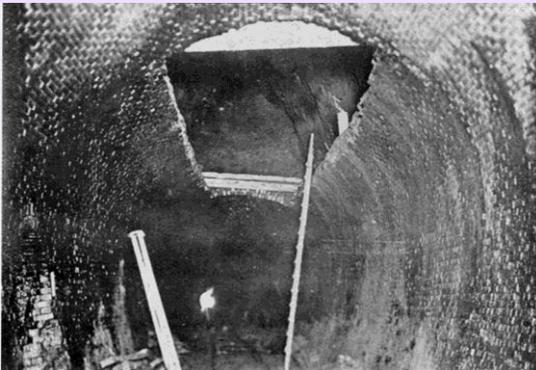


(土木学会HPより)  
地すべりによる地塊移動, 偏圧による  
トンネル崩壊(内房線 南無谷トンネル)

10

被害事例・外房線 土気トンネル

1923年関東地震



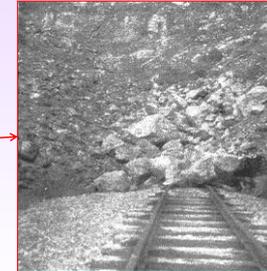
(土木学会HPより)  
土荷重によるトンネルアーチの破壊, 地山陥没  
(外房線 土気トンネル)

11

被害事例・熱海線 寒ノ目トンネル

1923年関東地震

- 坑口で発生した地すべりによりトンネルが土砂に埋没
- 1923年関東地震では, 地すべりによる被害が多発



斜面崩壊によるトンネル崩壊 (土木学会HPより)  
(熱海線 寒ノ目トンネル)

12

1930年 北伊豆地震

13

地震概要 1930年北伊豆地震

1. 発生年月日 : 1930年11月26日
2. マグニチュード : M7.3
3. 震源 : 伊豆半島北部・函南町丹那盆地付近

14

被害事例・・丹那トンネル(建設中) 1930年北伊豆地震

本坑の中心線検測図

2.4m

地表に現れた断層

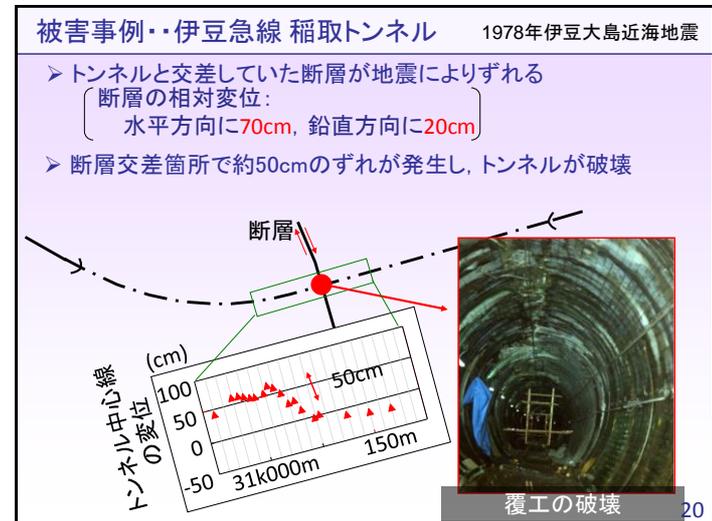
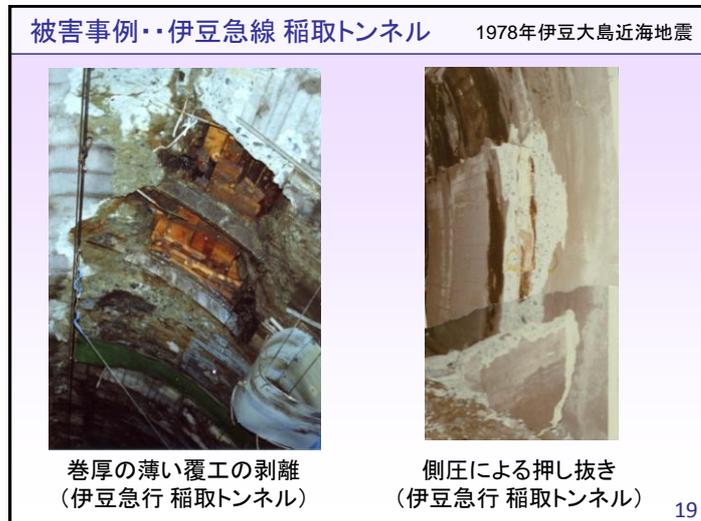
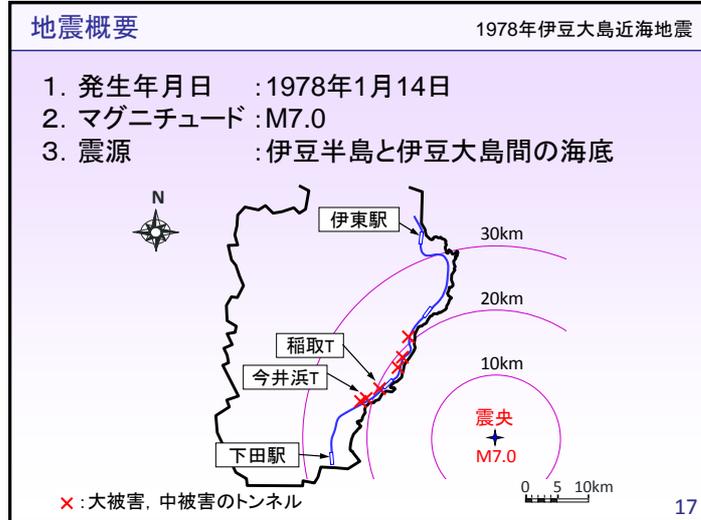
地震によって生じた断層

(水抜き導坑内)

16

1978年 伊豆大島近海地震

16



被害事例・伊豆急線 今井浜トンネル 1978年伊豆大島近海地震



坑門の目違い亀裂と打継目部からの欠落  
(伊豆急行 今井浜トンネル)

21

1995年 兵庫県南部地震

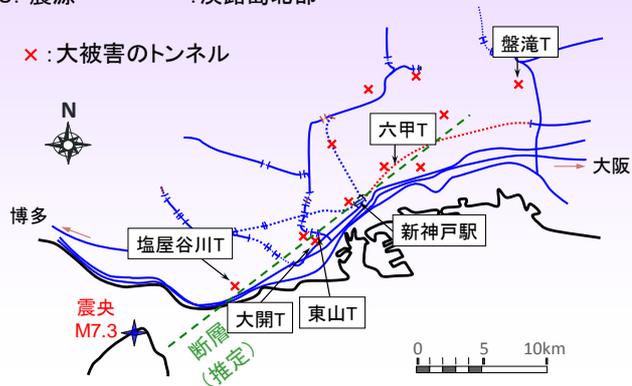
22

地震概要

1995年兵庫県南部地震

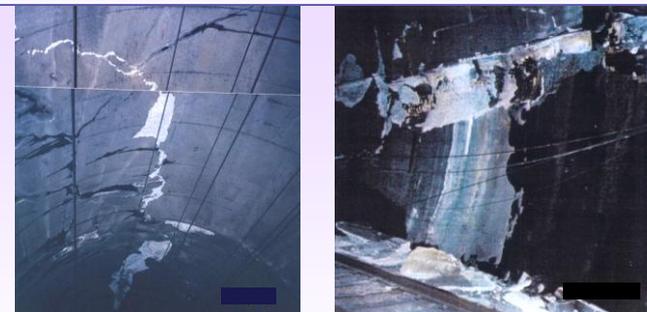
1. 発生年月日 : 1995年1月17日
2. マグニチュード : M7.3
3. 震源 : 淡路島北部

× : 大被害のトンネル

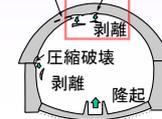


23

被害事例・山陽新幹線 六甲トンネル 1995年兵庫県南部地震

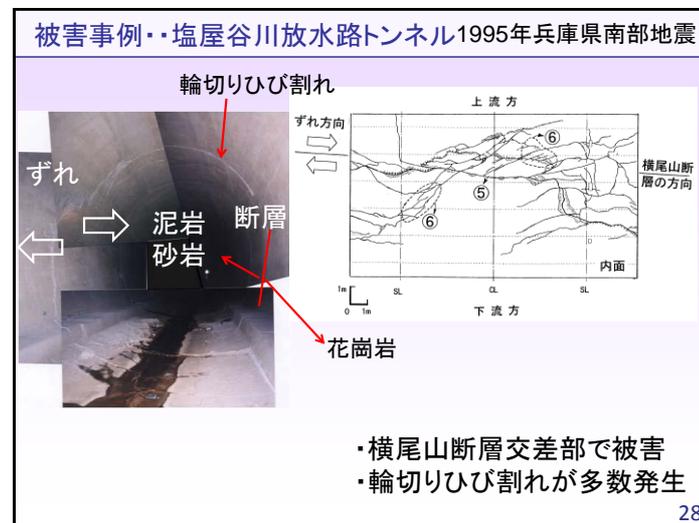
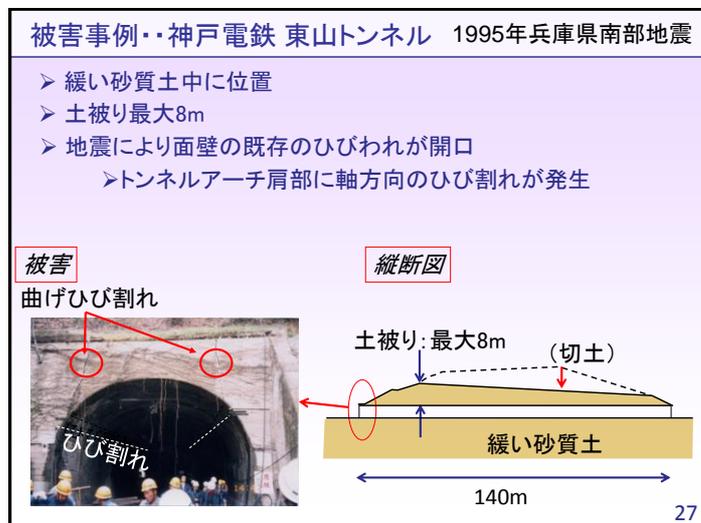
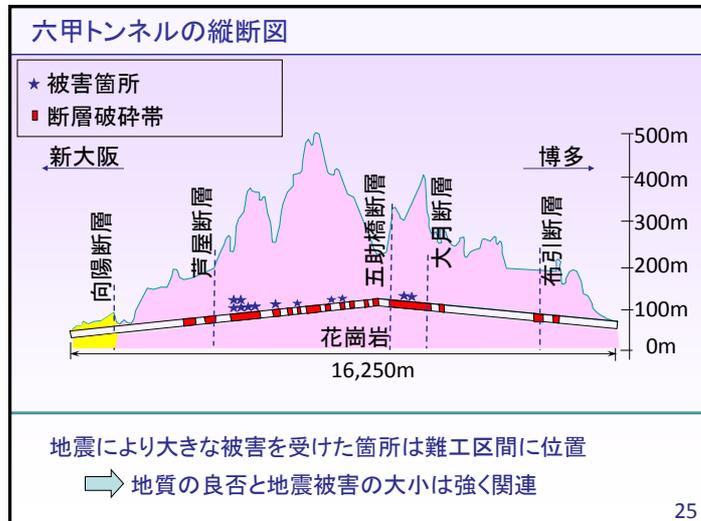


せん断ひび割れ 圧縮破壊



復旧期間: 約3ヶ月

24



**被害事例・盤滝トンネル** 1995年兵庫県南部地震

覆工コンクリートの落下

- ・アーチ～側壁にかけて3mの幅で覆工コンクリートの落下
- ・断層粘土箇所での破壊



(トンネルと地下より)

29

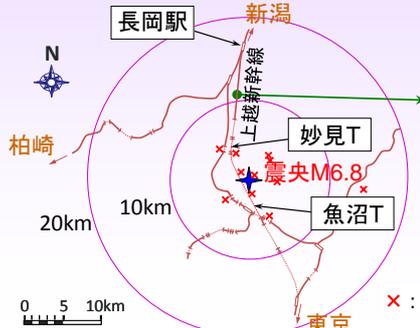
2004年 新潟県中越地震

30

**地震概要** 2004年 中越沖地震

・走行中の新幹線が脱線

1. 発生年月日 : 2004年10月23日
2. マグニチュード : M6.8
3. 震源 : 新潟県中越地方

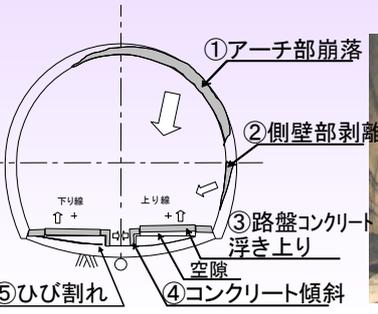



× : 大被害のトンネル

31

**2004年新潟県中越地震 山岳トンネル地震被害**

**上越新幹線 魚沼トンネル**




(JR東日本 SED より)

32

2004年新潟県中越地震 山岳トンネル地震被害

上越新幹線 妙見トンネル

②アーチ部ひび割れ ①クラウン部圧ざ  
③側溝部損傷  
④路盤コンクリート浮き上り  
⑤側壁コンクリート傾斜

下り線 上り線

(JR東日本 SED より)

33

2004年新潟県中越地震 山岳トンネル地震被害

小千谷川口大和線 木沢トンネル

34

(土木学会トンネル工学委員会報告書より)

2007年 新潟県中越沖地震

35

地震概要 2007年 中越沖地震

・柏崎刈羽原子力発電所や、道路・鉄道構造物等に大きな被害。

1. 発生日月日 : 2007年7月16日
2. マグニチュード : M6.8
3. 震源 : 新潟県上中越沖(新潟市の南西約60km)

36

### 2007年新潟県中越沖地震 山岳トンネル地震被害



信越本線 第一米山トンネル

- ・天端部に連続的に圧ぎが発生
- ・覆工コンクリートの一部が剥落
- ・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
- ・地層構造は海側への流れ盤構造



信越本線 第二米山トンネル

- ・両側壁上部のコンクリートが迫め部とともに剥落

復旧期間: 約2ヶ月

(土木学会トンネル工学委員会報告書より)

37

## 2. 地震被害の傾向

38

### 整理対象と整理事項

➢ 1923年関東地震以降に山岳トンネルに大きな被害を与えた19地震の中から、特に大きな被害を与えた下記5地震を詳しく分析

調査対象

- ・1923年関東地震
- ・1978年伊豆大島近海地震
- ・1995年兵庫県南部地震
- ・2004年新潟県中越地震
- ・2007年新潟県中越沖地震

吉川による調査結果

今回新たに追加調査

整理事項

- ①被害レベル
- ②施工法
- ③地震被害の形態(小土被り, 地質不良, 断層ずれ等)
- ④震源からの距離, 地震の規模, 被害レベル
- ⑤特殊条件と被害レベルとの関係

➡ 被害の形態, 被害を受けやすい条件

39

### ①被害レベル

- 無被害: 被害のないもの
- 小被害: 補強・補修を必要としない軽微なもの
- 中被害: 補強・補修を必要とするもの
- 大被害: 大規模な補強・補修を必要とするもの

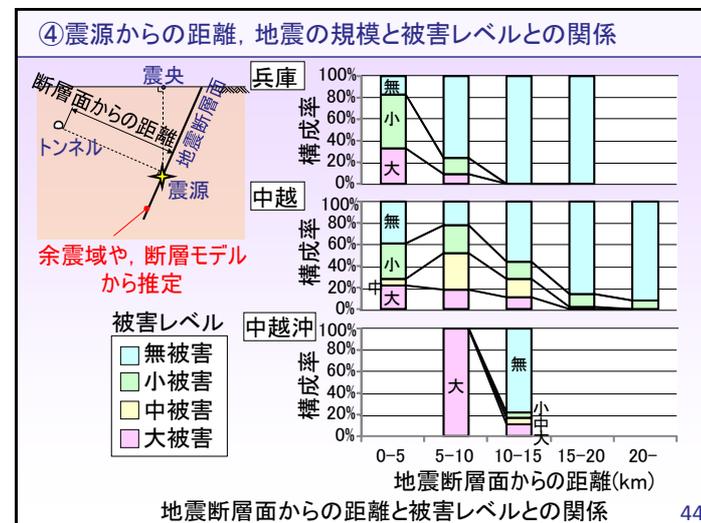
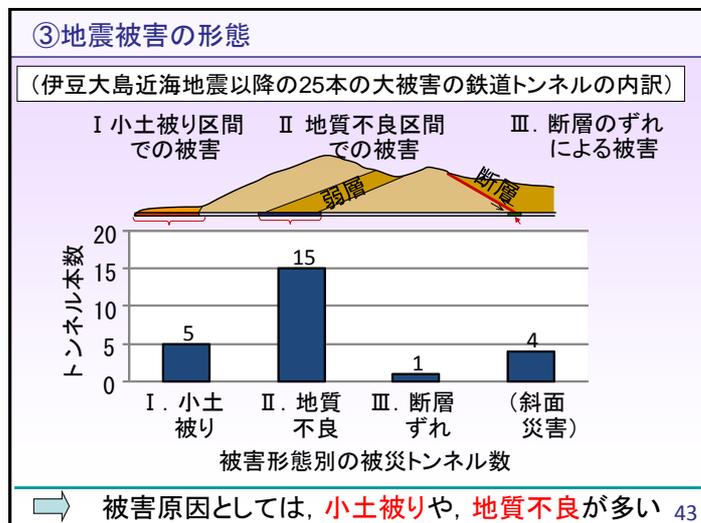
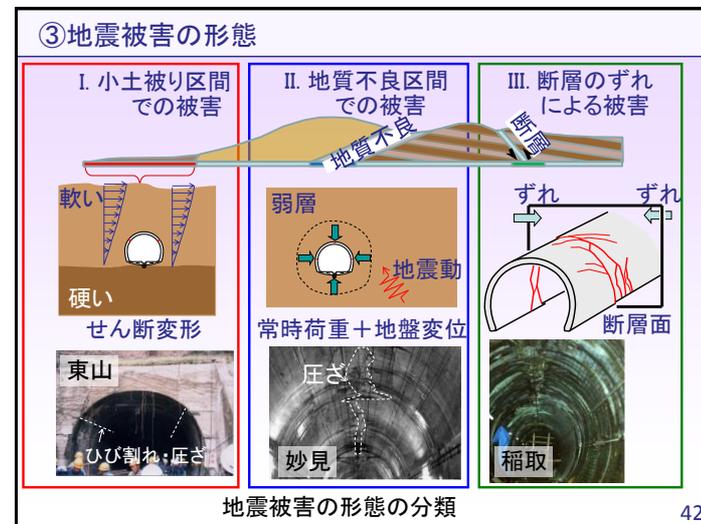
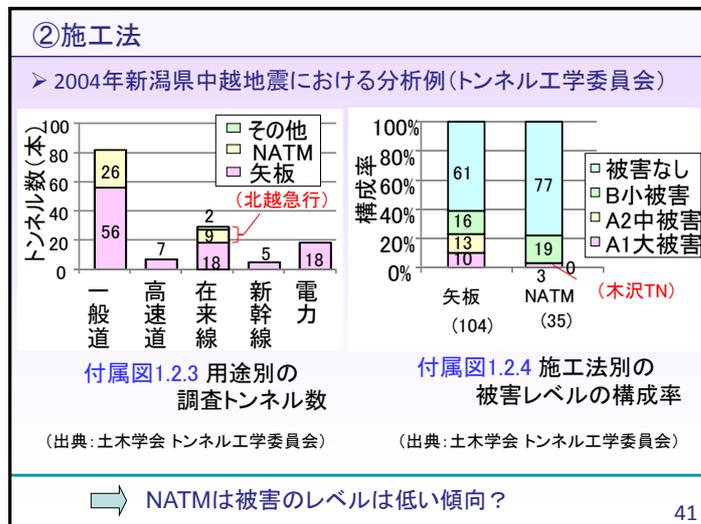
地震別	無被害	小被害	中被害	大被害	合計
関東	37	8	17	86	148
伊豆	71	10	13	6	31
兵庫	73	16	11	10	110
中越	64	17	10	8	138
中越沖	70	5	6	20	20
全体	58	23	7	12	447

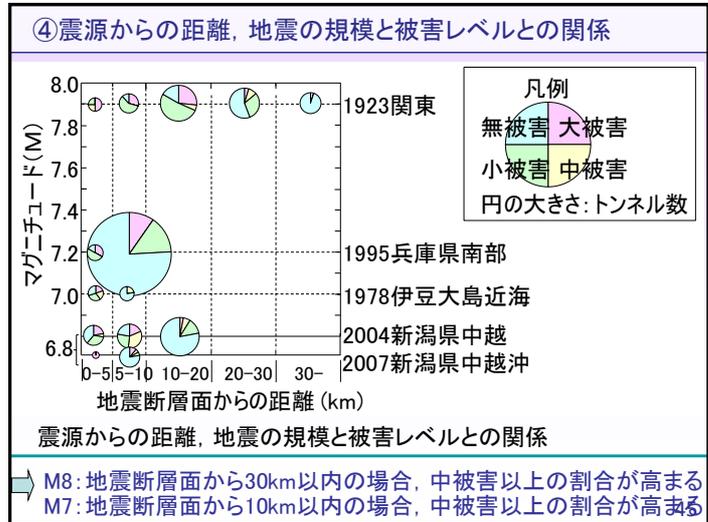
地震別の被害レベルの構成比

➡

平均約20%のトンネルが「大被害」「中被害」

40





### 既設トンネルの震災事例調査 まとめ

地震被害事例調査の結果明らかとなった傾向

以下の3つの条件が揃えば地震被害を受ける可能性が高い

- ①地震の規模が大
- ②トンネルが地震断層の近く
- ③特殊条件が介在

特殊条件: 斜面災害・斜面変状  
 既変状  
 地質不良 (膨圧, 破碎帯, 小土被り)  
 施工途上  
 覆工材料の不良・劣化 等

46

### 3. 地震対策の例

(JR東日本の新幹線の地震対策の例)

47

### (1) 対策の基本的な考え方

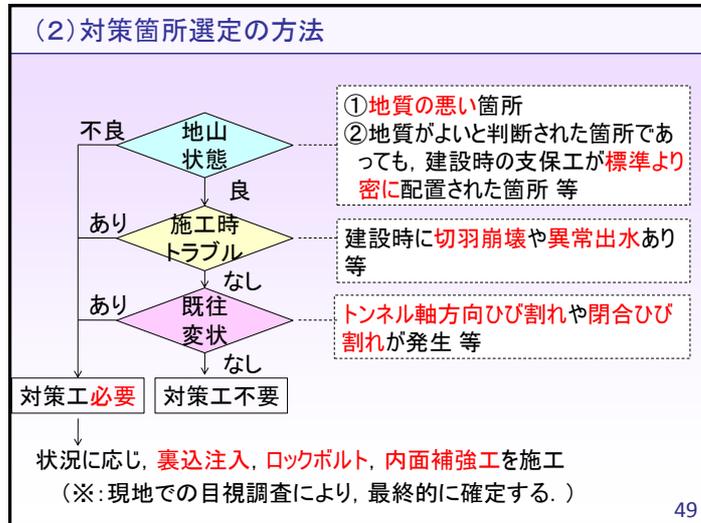
対象線区  
 ・新幹線を優先的に実施

対象活断層  
 ・確実度 I, 活動度 B 以上

対象箇所  
 ・対象活断層から  
 水平距離 5km 以内 (22T)  
 +  
 ・トンネルごとの個別の条件により対象箇所を絞り込む

トンネル耐震対策範囲と活断層  
 (出典: トンネルと地下)

48



### (3) 対策工の概要

①裏込注入工

- 変状がある ・土被りが30m未満
- 覆工厚が設計厚の2/3未満
- 地山対応覆工厚が小さい

②ロックボルト工

- 覆工全体でひび割れが多数発生
- ブロック全長にわたり、幅1mm以上の軸方向ひび割れが発生
- 大きな閉合ひび割れが発生

パターンの例 (出典:トンネルと地下)

【全周剥落対策】 【アーチ剥落対策】 【部分剥落対策】

ロックボルト設置方法のイメージ

50

### (3) 対策工の概要

③内面補強工

- アーチ部より覆工片が剥落しそうな箇所
- 設計値より覆工厚が小さい箇所 など

【当て板】・・形鋼75×75×6以上、アンカーボルトM16以上、SUS304  
【繊維シート】・・繊維シート接着工法(AAA工法)

### (4) 施工状況

- 2008年度から本格的に実施

裏込注入施工状況

ロックボルト施工状況  
(出典:JR東日本 SED)

51

### おわりに

- 構造欠陥がなく、地質に問題がなければ、山岳トンネルは地震に強い。
- ⇔ 地震の規模が大きくて特殊条件が重なると被害を受けることがある。
- 既変状や構造欠陥が大規模地震時の被害を拡大する。

↓

- ◎ 日常の維持管理を確実に遂行が大切である。  
⇒ 大規模地震時の被害の軽減に繋がる。

52