

その他の作用の影響

【目的】

アンカーボルト作用力に影響を及ぼした可能性が
考えられるその他の作用について考察したもの

平成25年 5月28日 (火)

1. 可能性がある作用

作用	既往の知見	笹子トンネルに関する観察・解析
持続荷重	ポリエステル系の接着系アンカーに関する載荷期間200日程度の実験結果によれば、静的耐力の50%以上の持続荷重が作用すると、最終的に抜け出してしまう可能性がある。	2006年7月ボストンにて発生した天井板落下事故において、事故区間以外で多数見られたような接着系ボルトの目に見えるほどの引き抜き変位は、事故後に実施された笹子トンネルの緊急点検では観察されなかった。
繰返し荷重	200万回引張疲労耐力は、静的耐力の約65%である。	所定の定着長をもつ供試体に対する試験結果であり、笹子トンネルのような定着長が短くなった場合の特性は明らかでない。
車両通過による風圧	長大トンネルの換気制御、火災時のトンネル内風速ゼロ化制御等の検討において、車両走行を再現したトンネル換気用シミュレーターが使用されている。	シミュレーションにより車両通過により天井板に作用する風圧およびサイクルタイムを試算。
地震の影響	山岳トンネルは地山と一体で挙動すると考えられており、一般に地震の影響を考慮していない。天井板も覆工と一体で挙動すると考えられ、同様に地震の影響は考慮していない。	東北地方太平洋沖地震によるボルト作用力増分を震度法にて算出。

2. 持続荷重の影響 (第4回委員会 参考資料2から再掲)

【経年劣化に与える影響】

クリープに影響を及ぼす一般的な因子:

- ・作用する応力や載荷時間など
- ・材料特性
- ・構造(部材断面の形状・寸法など)
- ・環境(温度、湿度など)

(出典:各種合成構造設計指針・同解説 2010年(平成22年)日本建築学会)

「接着系アンカーボルトに引張荷重が長時間連続的に作用する場合の耐力は静的に作用する荷重(一時的なものでその後ゼロになる荷重)に対する最大耐力に比べて明らかに低下することが知られている。

図4.39はポリエステル系の接着系アンカーボルトに関する実験結果であり、静的荷重に対する耐力の50%以上の荷重が作用すると最終的に抜け出してしまふことがわかる。」

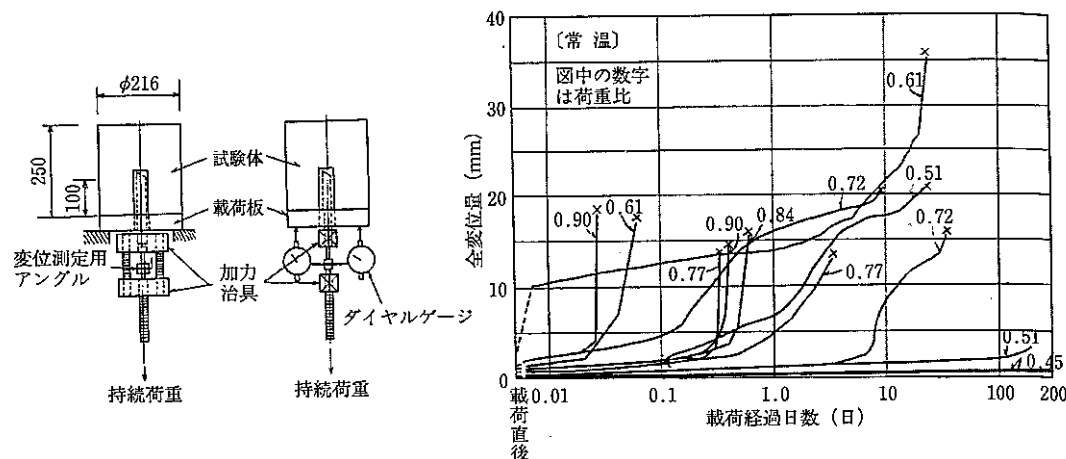


図4.39 長期載荷日数と抜出し量

出典元: 矢野明義他5名

「機器配管用支持構造物(埋込金物)の耐力に関する実験研究(その8 樹脂アンカーの長期持続引張荷重による限界耐力)」

日本建築学会学術講演梗概集 1981年9月

凡例: 黒字 文献の記載をそのまま引用
 青字 文献を要約したもの

3-1. 繰返し作用する荷重の影響 (第4回委員会 参考資料2から再掲)

疲労強度に影響を及ぼす一般的な因子:

- ・繰返し作用する応力の範囲(最大応力と最小応力の差)、残留応力、平均応力
- ・繰返し数
- ・構造詳細(応力集中箇所など)
- ・使用環境(高温、低温、腐食など)

(出典: 各種合成構造設計指針・同解説 2010年(平成22年)日本建築学会
 松崎育弘他: 樹脂アンカーの引張疲労耐力に関する実験研究 昭和56年度日本建築学会関東支部研究報告集
 主剤、硬化剤及び骨材がカプセル状のガラス管内にプレミックスされたポリエステル系樹脂アンカーについて、多数回の繰返し荷重が作用した場合の引張疲労耐力に関する実験研究をまとめたもので、

① 樹脂アンカー1本の200万回引張疲労耐力と埋込み長さの関係は次式で与えられる。

$$P_{200} = 0.022L^2 + 1.21 \text{ (ton)}$$

P_{200} : 200万回引張疲労耐力 (ton)
 L : 埋込み長さ (cm)

② 200万回引張疲労耐力は、1本組及び4本組とも静的耐力の約65%である。」

表-2 200万回引張疲労耐力

埋込長さ l (cm)	界面面積 (cm^2)	静的耐力 P_s (ton)	静的付着 耐力 a_f (kg/cm ²)	200万回疲労 耐力 P_{200} (ton)	静的耐力に 対する比 sR	付着疲労耐力 $a_f 200$ (kg/cm ²)
8.0	60.3	4.0	66.3	2.44	0.61	40.5
12.0	90.47	5.4	59.7	4.03	0.74	44.6
16.0	120.63	10.4	86.2	6.67	0.65	55.3
平均			70.7		0.66	46.8
ボルト破断	断面積 2.45 cm^2	12.5	静的耐力 5.1 (t/cm ²)	3.72	0.32	

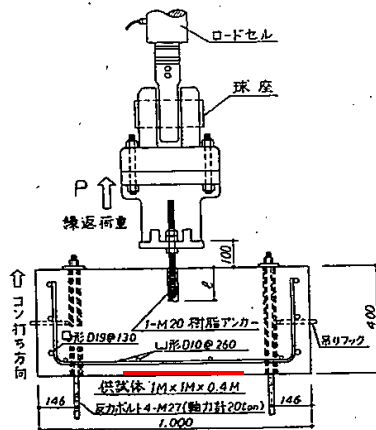


図-1 BFT-1 供試体と載荷方法

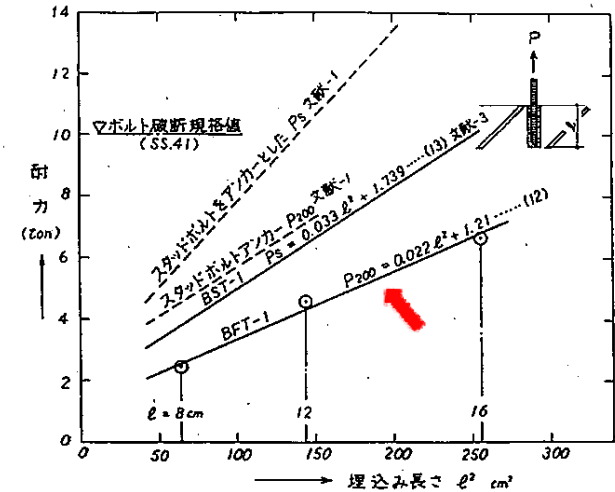
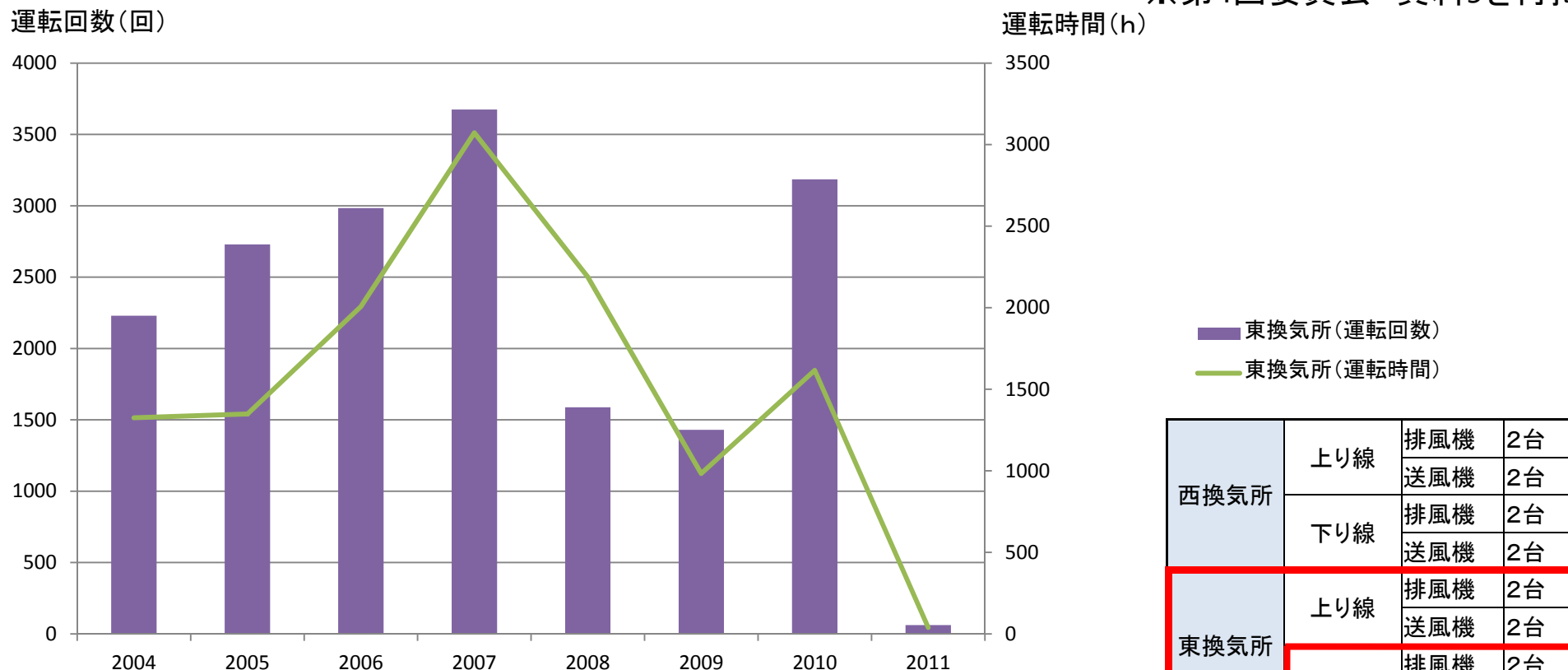


図-6 埋込長さ と 耐力 と の 関係

凡例: 黒字 文献の記載をそのまま引用
 青字 文献を要約したもの

3-2. 笹子トンネル換気運転状況（東換気所上り線）

※第4回委員会 資料9を再掲



西換気所	上り線	排風機	2台
		送風機	2台
	下り線	排風機	2台
		送風機	2台
東換気所	上り線	排風機	2台
		送風機	2台
	下り線	排風機	2台
		送風機	2台

上り線

	2004年 (H16年)	2005年 (H17年)	2006年 (H18年)	2007年 (H19年)	2008年 (H20年)	2009年 (H21年)	2010年 (H22年)	2011年 (H23年)
東換気所（運転時間）	1,325	1,348	2,007	3,073	2,188	984	1,616	39
東換気所（運転回数）	2230	2729	2984	3675	1588	1430	3185	62
平均運転時間（分）	36	30	40	50	83	41	30	38

※運転回数は2006年(H18年)が1ヶ月、2008年(H20年)が4ヶ月分のデータ欠損あり

3-3. 笹子トンネル換気運転回数の推測(東換気所上り線)

1. 1990(H2)年から(21年間)の換気運転時間

	1990 (H2)	1991 (H3)	1992 (H4)	1993 (H5)	1994 (H6)	1995 (H7)	1996 (H8)	1997 (H9)	1998 (H10)	1999 (H11)	2000 (H12)	2001 (H13)	2002 (H14)	2003 (H15)	2004 (H16)	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	平均
東換気所 運転時間(h)	2,784	3,882	4,887	8,147	7,918	8,411	5,522	6,197	5,295	4,274	4,504	4,718	4,160	1,777	1,325	1,348	2,007	3,073	2,188	984	1,616	4,048

年平均運転時間 **4,048**時間

2. 2004年から(7年間)の換気運転時間と運転回数の関係

	2004 (H16)	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	平均	運転1時間当たり の運転回数
東換気所運転時間(h)	1325	1348	2007 (1858)	3073	2188 (1631)	983.5	1615.9	1,691	1.51※
東換気所運転回数(回)	2230	2729	2984	3675	1588	1430	3185	2,546	
平均運転時間(分)	36	30	37	50	62	41	30	41	

※運転回数にデータ欠損のある2006(H18)年の1か月分、2008(H20)年の4か月分については、年間の運転時間から欠損月分を補正した、下段のカッコ書きの運転時間を用いて計算

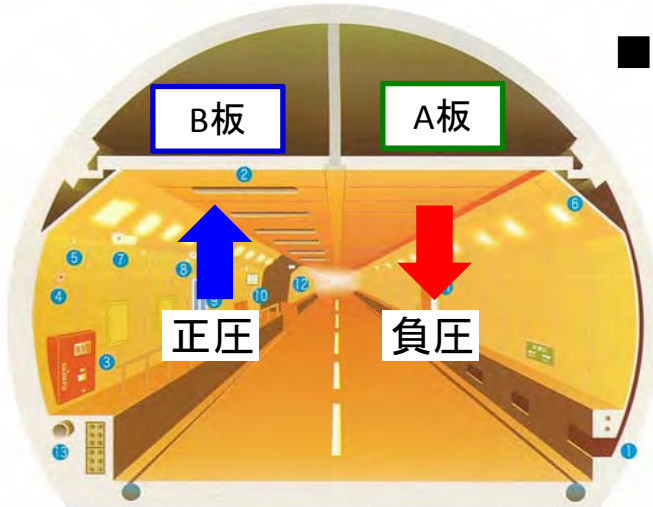
3. 開通(1977(S52)年)からの換気運転回数の推測

経過年数(年) × 年平均運転時間(h/年) × 運転1時間当たりの運転回数(回/h)

$$35 \times 4,048 \times 1.51 \doteq \underline{\underline{214,000 \text{ 回}}}$$

4. 車両通過で発生する風圧による作用荷重に対する照査

トンネルの換気設計における長大トンネルの換気制御、火災時の風速ゼロ化制御、排気ガスの漏れ出し制御等の検討において、十分な実績を持つ換気用シミュレーター※1を用いて、車両通過で発生する風圧を計算

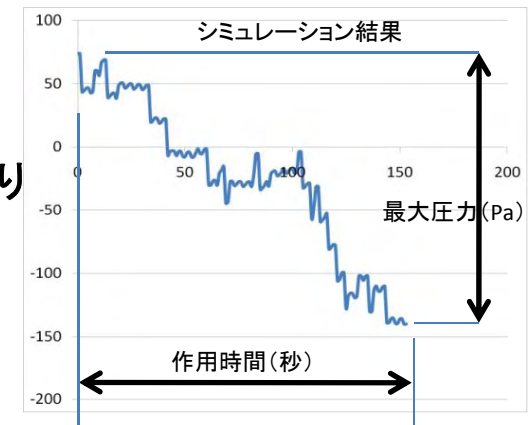


正圧:天井板を押し上げる風圧
負圧:天井板を押し下げる風圧

■シミュレーション結果による車両通過で発生する事故地点の風圧

ケース※2	最大圧力(Pa)※3	作用時間(秒)※4
大型車が多い時の交通量	106.6	140
平日平均昼間交通量	213.7	153
平日平均夜間交通量	146.5	66
休日平均昼間交通量	158.8	44
休日平均夜間交通量	145.9	78

- ※1 大型・小型を区別して車両1台ずつの走行の影響を再現するマイクロ交通モデルを採用したトンネル換気用シミュレーター。
- ※2 中央道(大月～勝沼)の2008(H20)12月の実測交通量
- ※3 実績交通流からシミュレーションした際に生じた最大圧力差
- ※4 最大圧力から最小圧力までの経過時間



- 平日平均昼間交通量が継続して通過すると仮定した場合の試算は以下のとおり
- ◇ 車両通過で発生する風圧による天井板への作用荷重の試算

風圧が天井板全面に均一に作用すると想定する。

一枚当たり作用荷重: $214 \times 10^{-9} (\text{kN}/\text{mm}^2) \times 5010\text{mm} \times 1200\text{mm} \doteq 1.29\text{kN}$

CT鋼1本(6m)当たり作用荷重: $1.29\text{kN}/\text{枚} \times 10\text{枚}(A\text{板} \cdot B\text{板}5\text{枚ずつ}) = 12.9\text{kN}$

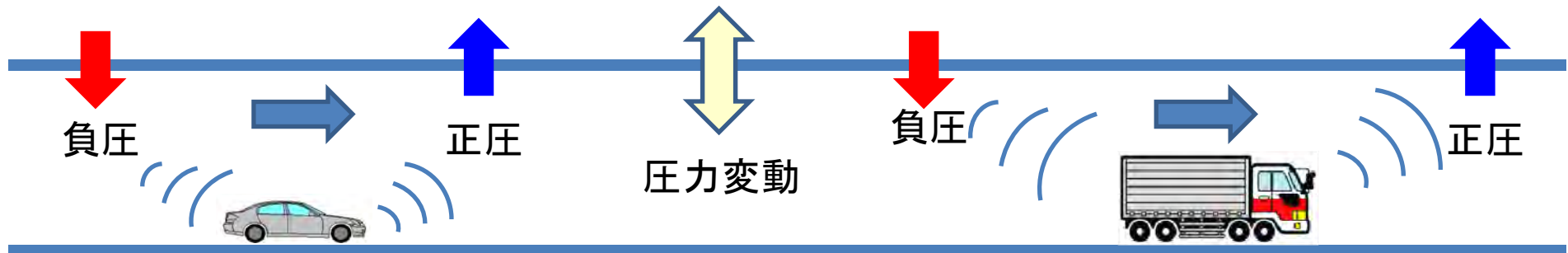
アンカーボルト1本当たり作用荷重: $12.9\text{kN} \div 16\text{本} \doteq 0.81\text{kN}$

⇒ 車両通過の風圧を考慮しない場合の作用荷重12.2kNに対して約6.6%の増加。

- ◇ 繰り返し回数の試算

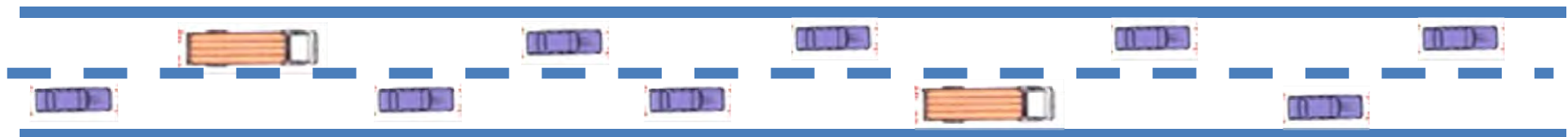
⇒ $35\text{年} \times 365\text{日} \times 24\text{h} \times 60\text{min} \times 60\text{秒} / 153\text{秒} \doteq 7,220,000\text{回}$

< 4. 参考 > 換気用シミュレーションの概要

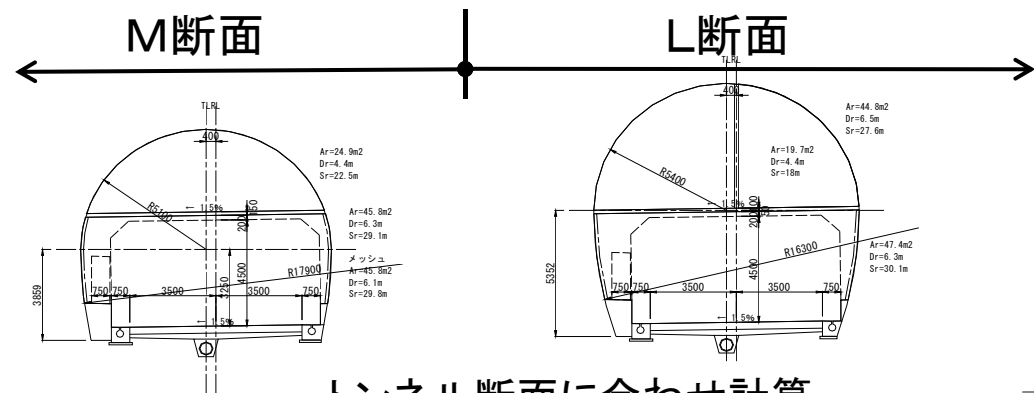


トンネル空間に交通量に応じた間隔で車両(小型車・大型車)移動させ風速・風圧・CO濃度などをシミュレートするもの。

1時間当たりの小型、大型自動車の台数、速度を考慮した1台1台の走行を再現した上で、個々の車両の走行による圧力上昇をトンネル内の車両の位置(断面別)及び時刻毎に求めて、その影響を全て加味して事故地点の圧力変動を計算。



- ・大型車混入率により大型車を配置し車種別の前面投影面積を用いて計算
- ・壁面摩擦損失係数、トンネル入口係数、交通換気力算定式などの計算に必要な諸数値はNEXCOの設計要領を使用

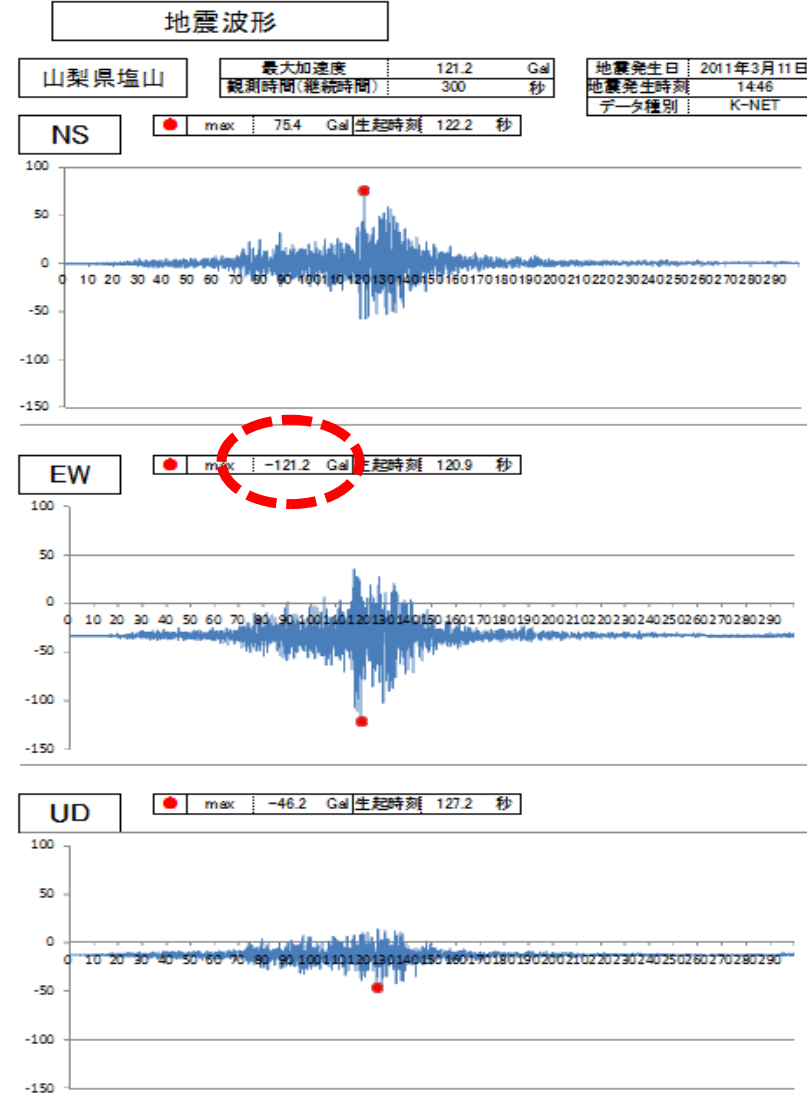
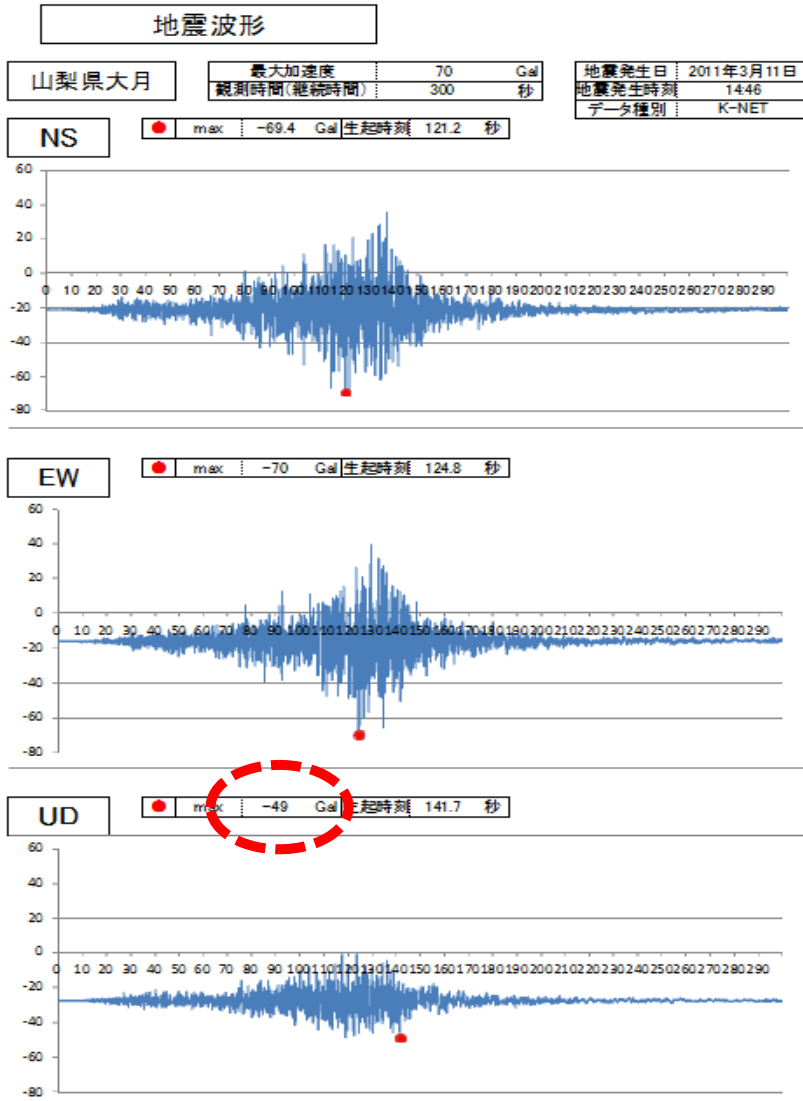


トンネル断面に合わせ計算

5-1. 東北地方太平洋沖地震における笹子トンネル付近の地震動

- ・発生日時：平成23年3月11日(金) 14:46頃
- ・震源：三陸沖(北緯38度06.2分、東経142度51.6分、深さ24km)
- ・地震規模：M9.0
- ・最大震度：7.0(宮城県栗原市)

◇防災科学技術研究所K-NET データより算出

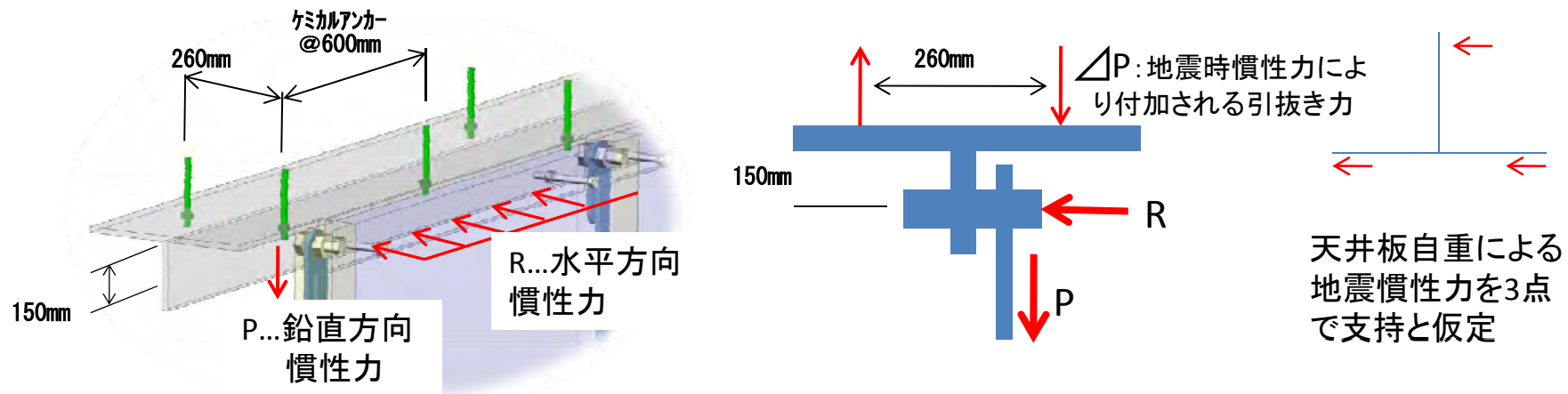


NS:
南北

EW:
東西

UD:
上下

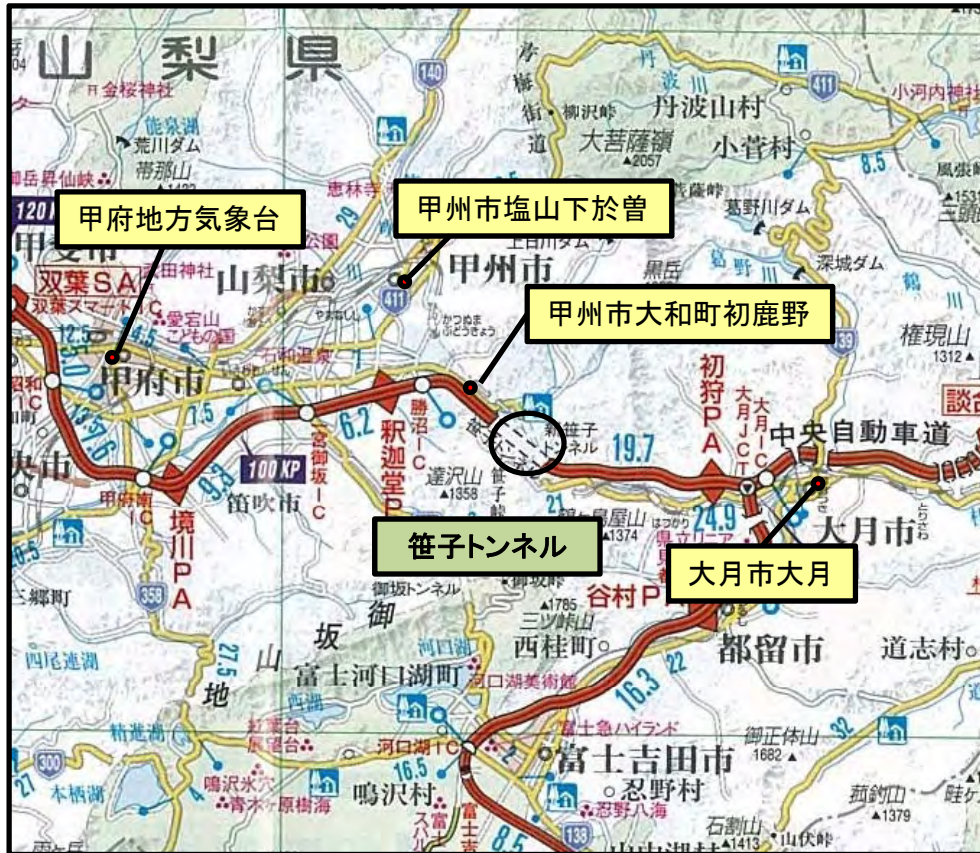
5-2. 地震時慣性力に基づくアンカーボルト増加作用力の試算



東北地方太平洋沖地震 震度4(大月) 最大加速度(EW:東西):121Gal(塩山)
 最大加速度(UD:上下): 49Gal(大月)

- ①設計震度: K_h (水平) $=121/980=0.12$, K_v (鉛直) $=49/980=0.05$ と仮定
- ②天井板自重(w) 34kN/m の水平および鉛直慣性力の $1/3$ を受け持つと仮定
 水平... $R=w \times K_h/3=34 \times 0.12/3=1.36\text{kN/m}$
 鉛直... $P=w \times K_v/3=34 \times 0.05/3=0.57\text{kN/m}$
- ③水平慣性力による偶力の作用をボルトに与えたとき付加される引抜き力 ΔP_h は,
 $\Delta P_h=1.36 \times 6 \times 0.15/0.26/8=0.59\text{kN/本}$
- ④鉛直慣性力によりボルトに付加される引抜き力 ΔP_v は,
 $\Delta P_v=0.57 \times 6/16=0.21\text{kN/本}$
- ⑤ $\Delta P_h + \Delta P_v=0.80\text{kN/本} \Rightarrow$ 自重時のボルト作用力 9.3kN の 8.6%

5-3. これまで経験した地震動（1977.1～2012.12）

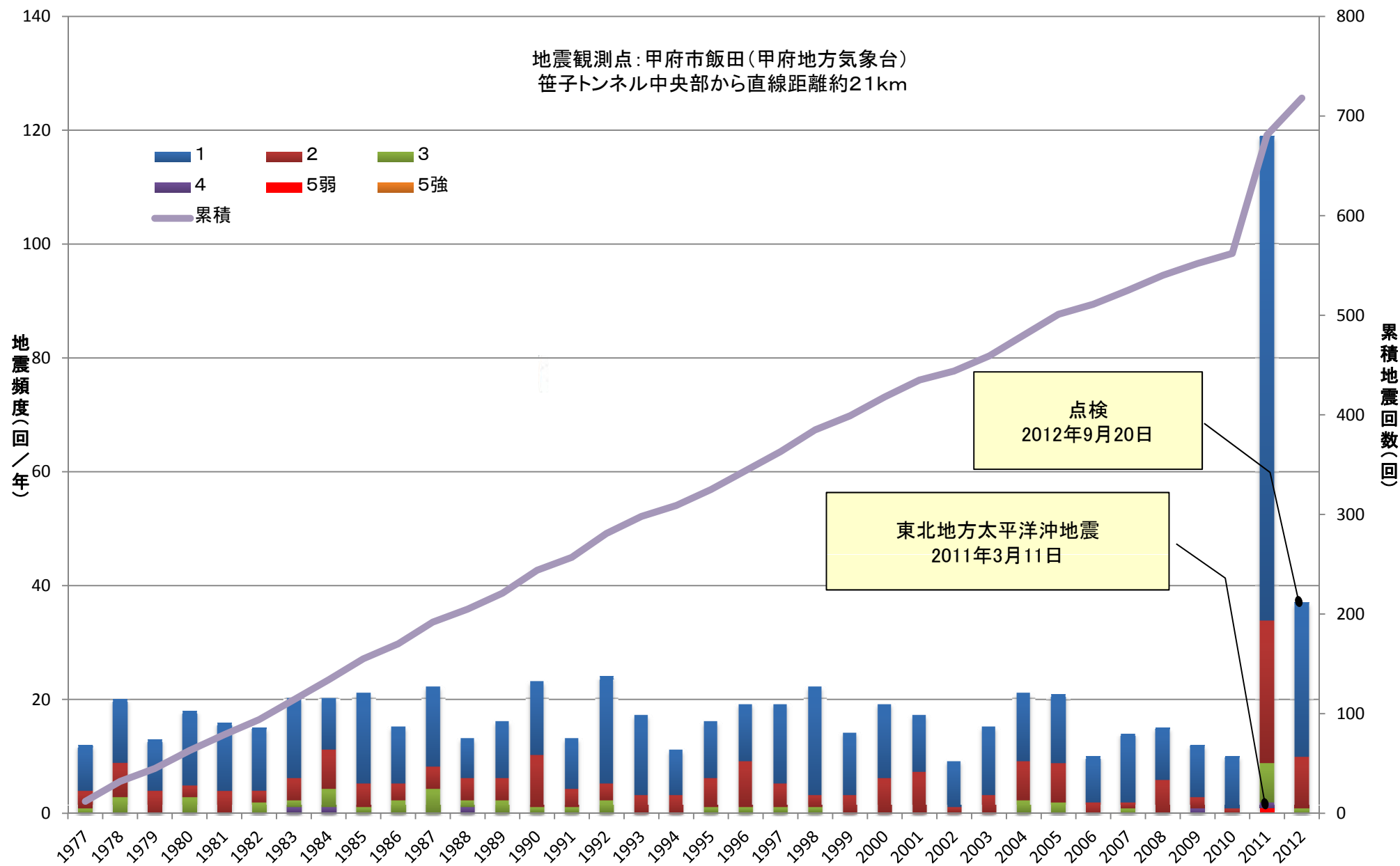


甲府市飯田(1977.04～2012.12)										
震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	計
回数	497	171	44	5	1	0	0	0	0	718
甲州市塩山下於曾(1996.10～2012.12)										
震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	計
回数	239	65	8	2	1	0	0	0	0	315
大月市大月(1996.10～2012.12)										
震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	計
回数	119	72	14	4	0	0	0	0	0	209
甲州市大和町初鹿野(2001.06～2012.12)										
震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	計
回数	101	38	6	1	0	0	0	0	0	146

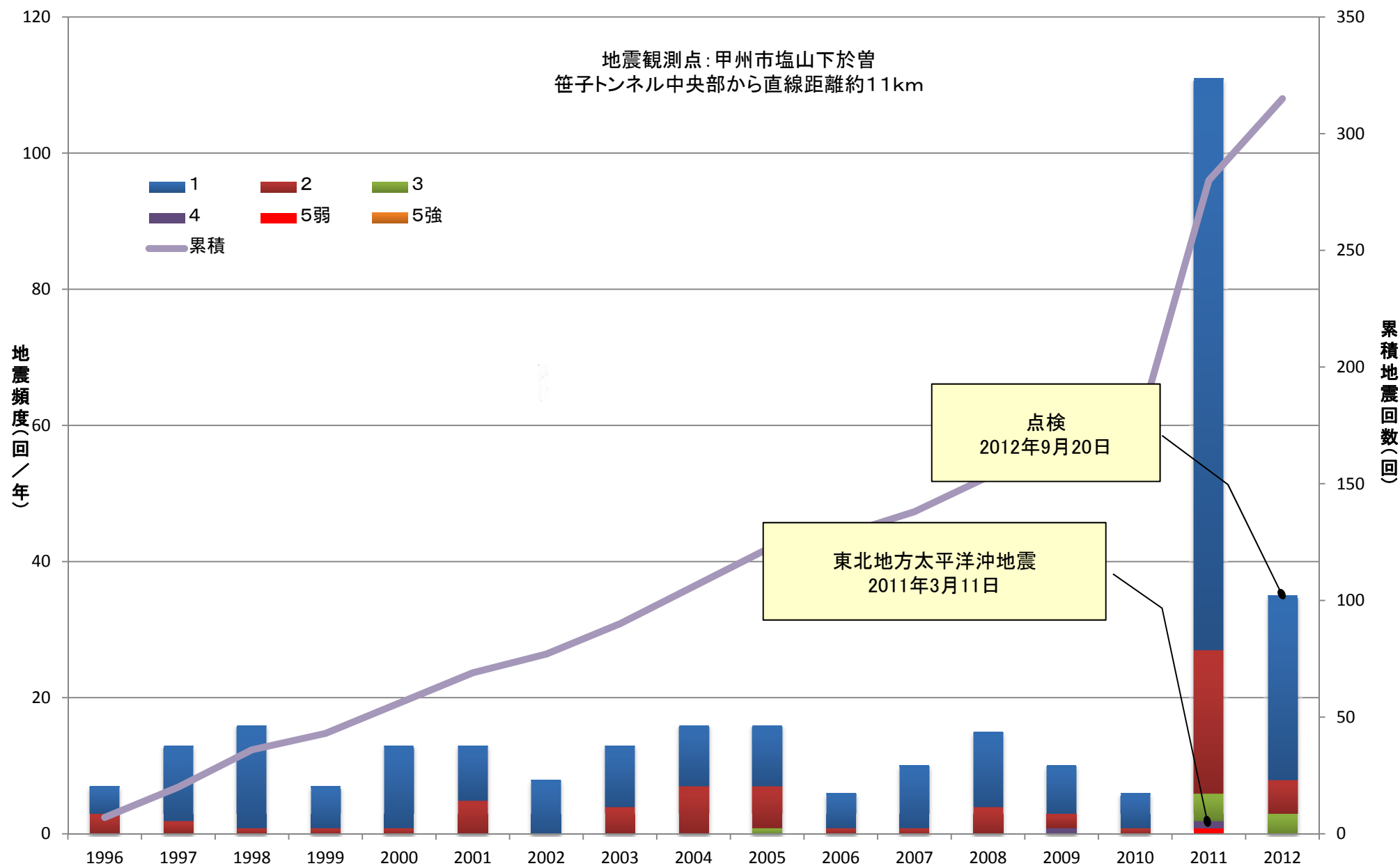
記録上の最大震度は、東北地方太平洋沖地震であり、

- ・甲府市飯田および甲州市塩山で震度5弱
- ・大月市大月および甲州市大和町で震度4であった。

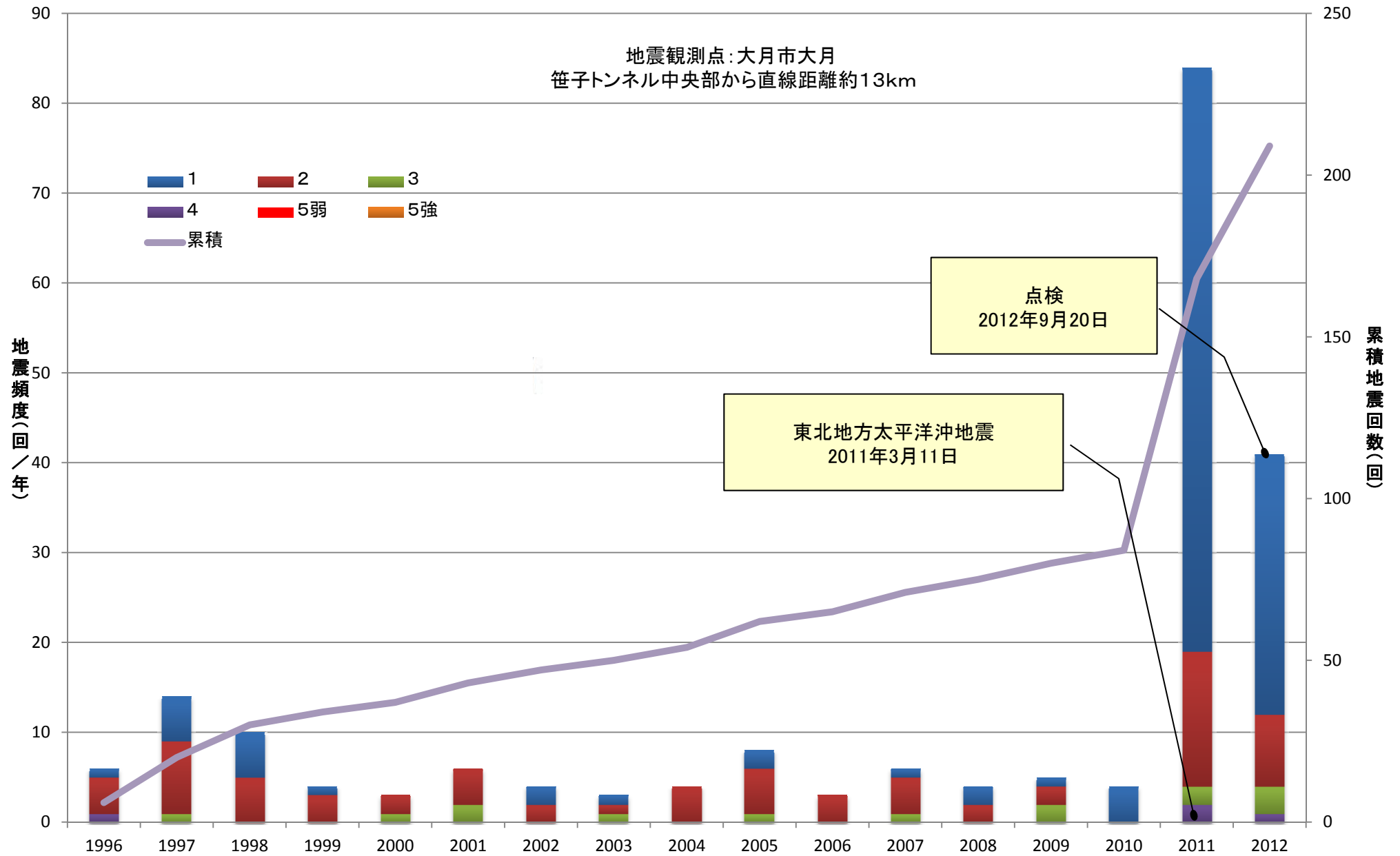
5-4. 甲府市飯田（甲府地方気象台）（1977.1～2012.12）



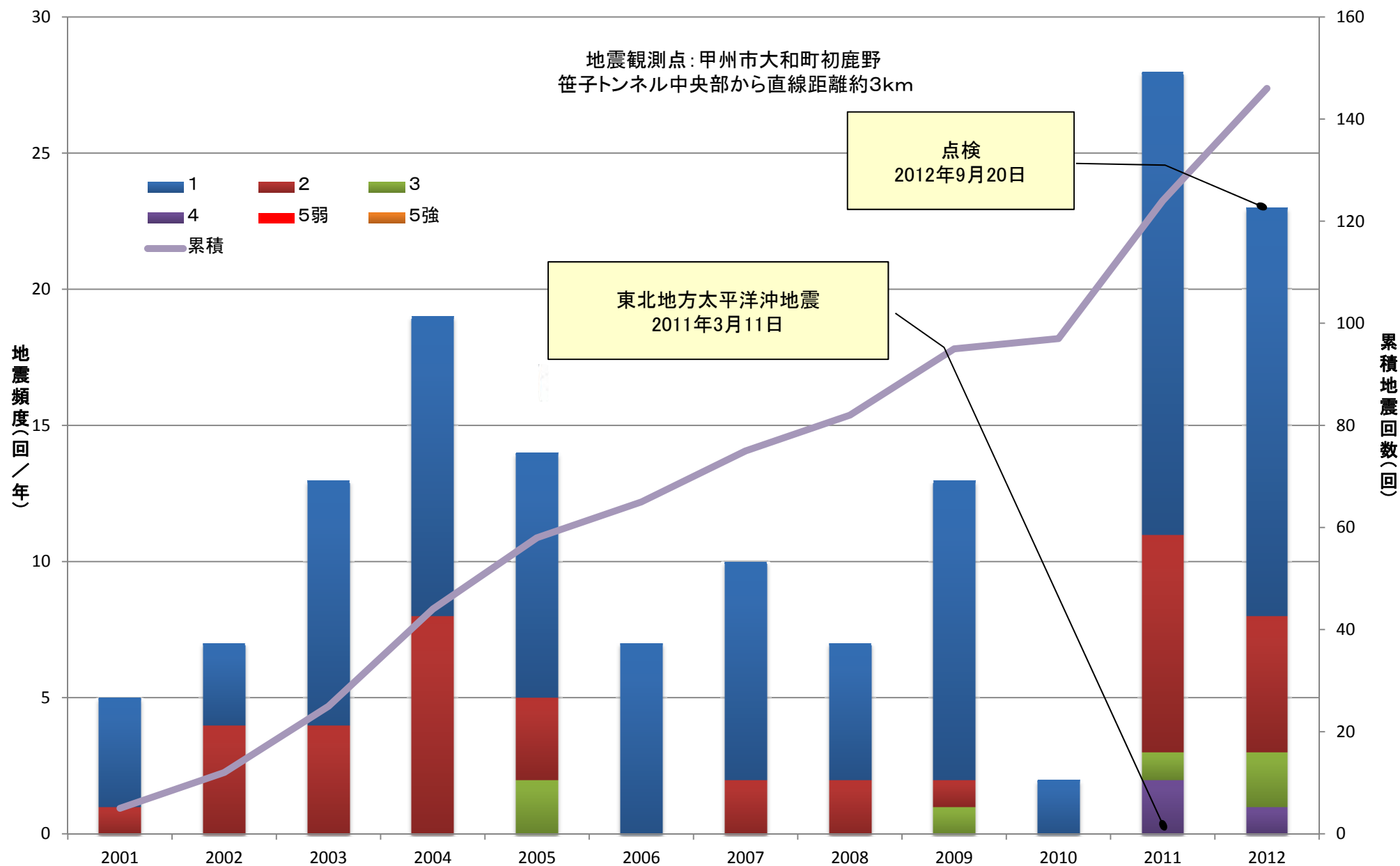
5-5. 甲州市塩山下於曾 (1996. 10～2012. 12)



5-6. 大月市大月 (1996. 10~2012. 12)



5-7. 甲州市大和町初鹿野 (2001.06~2012.12)



5-8. 東日本大震災発生時の緊急点検

1. 東日本大震災が発生した際、近隣の震度は

- ①大月ICに設置された地震計で震度4.3
- ②勝沼ICに設置された地震計で震度4.1

2. 緊急点検は、どのような判断で実施したのか

「災害点検要領」(平成17年12月、本社保全・サービス事業部長通達)に基づき状況把握点検を実施

中央自動車道 上野原IC～勝沼IC間の状況把握点検を実施、異常なし
(点検時間:平成23年3月11日 15時42分～16時10分)

■震災点検の種類、方法、目的

(「災害点検要領」平成17年12月)

種類	計測震度	方法	目的
一次状況把握点検	5.0以上	車上点検を原則	概括的な被害状況を迅速に把握し、点検、復旧の体制を早期に確立することを目的とする。
二次状況把握点検		車上点検を原則	走行に支障となる被害を詳細に把握し、道路通行規制の継続・解除の判断及び災害応急対策の基本方針を策定することを目的とする。
状況把握点検	4.0以上 5.0未満	車上点検を原則※	走行に支障となる被害を把握し、道路通行規制等の継続・解除の判断及び災害応急対策の基本方針を策定することを目的とする。
応急復旧点検	必要に応じて	降車点検を原則	状況把握点検(二次状況把握点検も含む)によって走行に支障となる被害が確認された場合に、応急復旧の計画等を策定するため、必要となる情報を収集することを目的とする。
補足点検	4.0以上	降車点検を原則	走行に支障がなく、道路通行規制を解除した場合においても、軽微な被害の有無及び被害状況を把握することを目的とする。

※本線上(車上点検)で被害又は変状を発見した場合は、その周辺の降車点検を実施