

## 3.10 その他の調査結果

### — 目 次 —

3.10.1. 覆エコンクリートに関する調査.....	417
3.10.2. アンカーボルトの腐食状況確認試験.....	421
3.10.3. アンカーボルト本体の引張り破断試験.....	422
3.10.4. トンネル内空の状態観測.....	424
3.10.5. 米国での事例整理.....	430
3.10.6. 地震による影響.....	439
3.10.7. 接着系アンカーボルトの強度発現原理等に関する既往の知見.....	447

### 3.10.1. 覆工コンクリートに関する調査

#### 3.10.1.1 シュミットハンマーによる強度推定調査

##### (1)調査方法

土木学会規準「コンクリート標準示方書(平成 11 年制定)規準編 硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(JSCE-G504-1999)」に準拠した。ただし、シュミットハンマーによる強度推定調査は、土木学会規準には含まれていないため、強度推定の方法は、材料学会式「シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針(案)1958(昭和 33)年」に準拠した。

##### (2)実施時期

2012(平成 24)年 12 月 25 日～2012(平成 24)年 12 月 30 日

#### 3.10.1.2 現場から採取したコアの圧縮強度試験

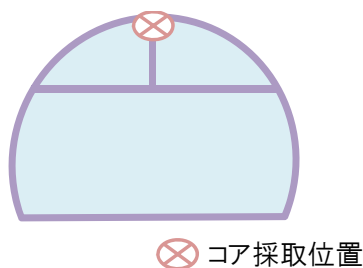
##### (1)調査方法

コアの圧縮強度試験は、JISA1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に準拠した。

##### (2)実施時期

2012(平成 24)年 12 月 27 日～2013(平成 25)年 1 月 18 日

##### (3)調査箇所



実施状況



##### (4)調査内容

- ・コアの大きさ: 直径 125mm、高さ 250mm(最大骨材径 40mm を考慮)
- ・「一般財団法人建材試験センター」で試験を実施
- ・コア採取箇所(合計 15 本)の選定方法
  - #接着系ボルト打音点検(3.9 参照)で良・不良の箇所: 各 2 本
  - #接着系ボルト引抜試験結果(3.6 参照)で C 判定の箇所: 2 本
  - #シュミットハンマー推定値の上位・下位で 2 番目までの箇所: 各 2 本
  - #天井板落下区間で覆工コンクリートの変状が著しい箇所: 5 本

### 3.10.1.3 現場から採取したコアの割裂強度試験

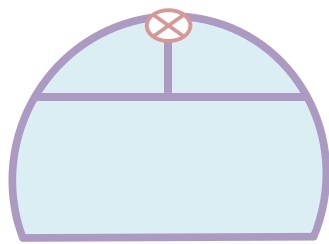
#### (1)調査方法

JISA1113「コンクリートの割裂引張強度試験」に準拠した。

#### (2)実施時期

2012(平成 24)年 12 月 27 日～2013(平成 25)年 1 月 18 日

#### (3)調査箇所



⊗ コア採取位置

実施状況



#### (4)調査内容

- ・コアの大きさ: 直径 125mm、高さ 125mm
- ・「一般財団法人建材試験センター」で試験を実施
- ・コア採取箇所(合計 5 本)の選定方法
  - #接着系ボルト打音点検(3.9 参照)で良・不良の箇所: 各 1 本
  - #接着系ボルト引抜試験結果(3.6 参照)で C 判定の箇所: 1 本
  - #シュミットハンマー推定値の最上位・最下位の箇所: 各 1 本

# 現場から採取したコアの圧縮強度・割裂引張試験結果

## 至名古屋

引抜試験番号	シユミットハンマー 推定強度(N/mm <sup>2</sup> )	引抜試験番号	シユミットハンマー 推定強度(N/mm <sup>2</sup> )	引抜試験番号	シユミットハンマー 推定強度(N/mm <sup>2</sup> )	引抜試験番号	シユミットハンマー 推定強度(N/mm <sup>2</sup> )	引抜試験番号	シユミットハンマー 推定強度(N/mm <sup>2</sup> )
kp 8382	85.76	kp 8432	84.26	kp 8408	83.84	kp 8402	83.96	kp 8426	84.26
NO.141	50.1	NO.141	48.8	NO.129	52.7	NO.129	46.5	NO.88	50.7
NO.142	49.8	NO.142	44.5	NO.130	42.1	NO.130	38.3	NO.89	47.3
NO.143	50.4	NO.143	44.3	NO.131	42.8	NO.131	40.7	NO.90	48.8
NO.144	48.5	NO.144	43.7	NO.132	42.8	NO.132	40.5	NO.91	47.5
NO.145	51.9	NO.145	43.7	NO.133	40.5	NO.133	39.6	NO.92	49.7
NO.146	53.2	NO.146	43.7	NO.134	49.6	NO.134	50.3	NO.93	50.1
NO.147	47.8	NO.147	43.7	NO.135	47.5	NO.135	47.5	NO.94	48.8
NO.148	47.8	NO.148	43.7	NO.136	47.5	NO.136	47.5	NO.95	49.7
NO.149	51.2	NO.149	43.7	NO.137	47.5	NO.137	47.5	NO.96	49.7
NO.150	40.5	NO.150	43.7	NO.138	49.7	NO.138	50.1	NO.97	50.7
NO.151	40.5	NO.151	43.7	NO.139	49.7	NO.139	50.1	NO.98	48.8
NO.152	40.9	NO.152	43.7	NO.140	49.7	NO.140	50.1	NO.99	48.8
NO.153	48.8	NO.153	43.7	NO.141	49.7	NO.141	50.1	NO.100	48.8
NO.154	48.8	NO.154	43.7	NO.142	49.7	NO.142	50.1	NO.101	48.8
NO.155	47.8	NO.155	43.7	NO.143	49.7	NO.143	50.1	NO.102	48.8
NO.156	47.8	NO.156	43.7	NO.144	49.7	NO.144	50.1	NO.103	48.8
NO.157	48.5	NO.157	43.7	NO.145	49.7	NO.145	50.1	NO.104	48.8
NO.158	48.5	NO.158	43.7	NO.146	49.7	NO.146	50.1	NO.105	48.8
NO.159	48.5	NO.159	43.7	NO.147	49.7	NO.147	50.1	NO.106	48.8
NO.160	53.2	NO.160	43.7	NO.148	49.7	NO.148	50.1	NO.107	48.8
NO.161	51.9	NO.161	43.7	NO.149	49.7	NO.149	50.1	NO.108	48.8
NO.162	46.0	NO.162	43.7	NO.150	49.7	NO.150	50.1	NO.109	48.8
NO.163	48.5	NO.163	43.7	NO.151	49.7	NO.151	50.1	NO.110	48.8
NO.164	48.5	NO.164	43.7	NO.152	49.7	NO.152	50.1	NO.111	48.8
NO.165	48.5	NO.165	43.7	NO.153	49.7	NO.153	50.1	NO.112	48.8
NO.166	48.5	NO.166	43.7	NO.154	49.7	NO.154	50.1	NO.113	48.8
NO.167	49.5	NO.167	43.7	NO.155	49.7	NO.155	50.1	NO.114	48.8
NO.168	49.5	NO.168	43.7	NO.156	49.7	NO.156	50.1	NO.115	48.8
NO.169	48.6	NO.169	43.7	NO.157	49.7	NO.157	50.1	NO.116	48.8
NO.170	48.6	NO.170	43.7	NO.158	49.7	NO.158	50.1	NO.117	48.8
NO.171	44.2	NO.171	43.7	NO.159	49.7	NO.159	50.1	NO.118	48.8
NO.172	48.9	NO.172	43.7	NO.160	49.7	NO.160	50.1	NO.119	48.8
NO.173	48.9	NO.173	43.7	NO.161	49.7	NO.161	50.1	NO.120	48.8
NO.174	48.9	NO.174	43.7	NO.162	49.7	NO.162	50.1	NO.121	48.8
NO.175	40.3	NO.175	43.7	NO.163	49.7	NO.163	50.1	NO.122	48.8
NO.176	44.7	NO.176	43.7	NO.164	49.7	NO.164	50.1	NO.123	48.8
NO.177	44.7	NO.177	43.7	NO.165	49.7	NO.165	50.1	NO.124	48.8
NO.178	41.8	NO.178	43.7	NO.166	49.7	NO.166	50.1	NO.125	48.8
NO.179	45.8	NO.179	43.7	NO.167	49.7	NO.167	50.1	NO.126	48.8
NO.180	47.3	NO.180	43.7	NO.168	49.7	NO.168	50.1	NO.127	48.8
NO.181	49.0	NO.181	43.7	NO.169	49.7	NO.169	50.1	NO.128	48.8
NO.182	44.5	NO.182	43.7	NO.170	49.7	NO.170	50.1	NO.129	48.8
NO.183	44.5	NO.183	43.7	NO.171	49.7	NO.171	50.1	NO.130	48.8
NO.184	44.3	NO.184	43.7	NO.172	49.7	NO.172	50.1	NO.131	48.8
NO.185	43.7	NO.185	43.7	NO.173	49.7	NO.173	50.1	NO.132	48.8
NO.186	43.7	NO.186	43.7	NO.174	49.7	NO.174	50.1	NO.133	48.8
NO.187	43.7	NO.187	43.7	NO.175	49.7	NO.175	50.1	NO.134	48.8
NO.188	43.7	NO.188	43.7	NO.176	49.7	NO.176	50.1	NO.135	48.8
NO.189	43.7	NO.189	43.7	NO.177	49.7	NO.177	50.1	NO.136	48.8
NO.190	43.7	NO.190	43.7	NO.178	49.7	NO.178	50.1	NO.137	48.8
NO.191	43.7	NO.191	43.7	NO.179	49.7	NO.179	50.1	NO.138	48.8
NO.192	43.7	NO.192	43.7	NO.180	49.7	NO.180	50.1	NO.139	48.8
NO.193	43.7	NO.193	43.7	NO.181	49.7	NO.181	50.1	NO.140	48.8
NO.194	43.7	NO.194	43.7	NO.182	49.7	NO.182	50.1	NO.87	48.8
NO.195	43.7	NO.195	43.7	NO.183	49.7	NO.183	50.1	NO.88	48.8
NO.196	43.7	NO.196	43.7	NO.184	49.7	NO.184	50.1	NO.89	48.8
NO.197	43.7	NO.197	43.7	NO.185	49.7	NO.185	50.1	NO.90	48.8
NO.198	43.7	NO.198	43.7	NO.186	49.7	NO.186	50.1	NO.91	48.8
NO.199	43.7	NO.199	43.7	NO.187	49.7	NO.187	50.1	NO.92	48.8
NO.200	43.7	NO.200	43.7	NO.188	49.7	NO.188	50.1	NO.93	48.8
NO.201	43.7	NO.201	43.7	NO.189	49.7	NO.189	50.1	NO.94	48.8
NO.202	43.7	NO.202	43.7	NO.190	49.7	NO.190	50.1	NO.95	48.8
NO.203	43.7	NO.203	43.7	NO.191	49.7	NO.191	50.1	NO.96	48.8
NO.204	43.7	NO.204	43.7	NO.192	49.7	NO.192	50.1	NO.97	48.8
NO.205	43.7	NO.205	43.7	NO.193	49.7	NO.193	50.1	NO.98	48.8
NO.206	43.7	NO.206	43.7	NO.194	49.7	NO.194	50.1	NO.99	48.8
NO.207	43.7	NO.207	43.7	NO.195	49.7	NO.195	50.1	NO.100	48.8
NO.208	43.7	NO.208	43.7	NO.196	49.7	NO.196	50.1	NO.101	48.8
NO.209	43.7	NO.209	43.7	NO.197	49.7	NO.197	50.1	NO.102	48.8
NO.210	43.7	NO.210	43.7	NO.198	49.7	NO.198	50.1	NO.103	48.8
NO.211	43.7	NO.211	43.7	NO.199	49.7	NO.199	50.1	NO.104	48.8
NO.212	43.7	NO.212	43.7	NO.200	49.7	NO.200	50.1	NO.105	48.8
NO.213	43.7	NO.213	43.7	NO.201	49.7	NO.201	50.1	NO.106	48.8
NO.214	43.7	NO.214	43.7	NO.202	49.7	NO.202	50.1	NO.107	48.8
NO.215	43.7	NO.215	43.7	NO.203	49.7	NO.203	50.1	NO.108	48.8
NO.216	43.7	NO.216	43.7	NO.204	49.7	NO.204	50.1	NO.109	48.8
NO.217	43.7	NO.217	43.7	NO.205	49.7	NO.205	50.1	NO.110	48.8
NO.218	43.7	NO.218	43.7	NO.206	49.7	NO.206	50.1	NO.111	48.8
NO.219	43.7	NO.219	43.7	NO.207	49.7	NO.207	50.1	NO.112	48.8
NO.220	43.7	NO.220	43.7	NO.208	49.7	NO.208	50.1	NO.113	48.8
NO.221	43.7	NO.221	43.7	NO.209	49.7	NO.209	50.1	NO.114	48.8
NO.222	43.7	NO.222	43.7	NO.210	49.7	NO.210	50.1	NO.115	48.8
NO.223	43.7	NO.223	43.7	NO.211	49.7	NO.211	50.1	NO.116	48.8
NO.224	43.7	NO.224	43.7	NO.212	49.7	NO.212	50.1	NO.117	48.8
NO.225	43.7	NO.225	43.7	NO.213	49.7	NO.213	50.1	NO.118	48.8
NO.226	43.7	NO.226	43.7	NO.214	49.7	NO.214	50.1	NO.119	48.8
NO.227	43.7	NO.227	43.7	NO.215	49.7	NO.215	50.1	NO.120	48.8
NO.228	43.7	NO.228	43.7	NO.216	49.7	NO.216	50.1	NO.121	48.8
NO.229	43.7	NO.229	43.7	NO.217	49.7	NO.217	50.1	NO.122	48.8
NO.230	43.7	NO.230	43.7	NO.218	49.7	NO.218	50.1	NO.123	48.8
NO.231	43.7	NO.231	43.7	NO.219	49.7	NO.219	50.1	NO.124	48.8
NO.232	43.7	NO.232	43.7	NO.220	49.7	NO.220	50.1	NO.125	48.8
NO.233	43.7	NO.233	43.7	NO.221	49.7	NO.221	50.1	NO.126	48.8
NO.234	43.7	NO.234	43.7	NO.222	49.7	NO.222	50.1	NO.127	48.8
NO.235	43.7	NO.235	43.7	NO.223	49.7	NO.223	50.1	NO.128	48.8
NO.236	43.7	NO.236	43.7	NO.224	49.7	NO.224	50.1	NO.129	48.8
NO.237	43.7	NO.237	43.7	NO.225	49.7	NO.225	50.1	NO.130	48.8
NO.238	43.7	NO.238	43.7	NO.226	49.7	NO.226	50.1	NO.131	48.8
NO.239	43.7	NO.239	43.7	NO.227	49.7	NO.227	50.1	NO.132	48.8
NO.240	43.7	NO.240	43.7	NO.228	49.7	NO.228	50.1	NO.133	48.8
NO.241	43.7	NO.241	43.7	NO.229	49.7	NO.229	50.1	NO.134	48.8
NO.242	43.7	NO.242	43.7	NO.230	49.7	NO.230	50.1	NO.135	48.8
NO.243	43.7	NO.243	43.7	NO.231	49.7	NO.231	50.1	NO.136	48.8
NO.244	43.7	NO.244	43.7	NO.232	49.7	NO.232	50.1	NO.137	48.8
NO.245	43.7	NO.245	43.7	NO.233	49.7	NO.233	50.1	NO.138	48.8
NO.246	43.7	NO.246	43.7	NO.234	49.7	NO.234	50.1	NO.139	48.8
NO.247	43.7	NO.247	43.7	NO.235	49.7	NO.235	50.1	NO.140	48.8
NO.248	43.7	NO.248	43.7	NO.236	49.7	NO.236	50.1	NO.87	48.8
NO.249	43.7	NO.249	43.7	NO.237	49.7	NO.237	50.1	NO.88	48.8
NO.250	43.7	NO.250	43.7	NO.238	49.7	NO.238	50.1	NO.89	48.8
NO.251	43.7	NO.251	43.7	NO.239	49.7	NO.239	50.1	NO.90	48.8
NO.252	43.7	NO.252	43.7	NO.240	49.7	NO.240	50.1	NO.91	48.8
NO.253	43.7	NO.253	43.7	NO.241	49.7	NO.241	50.1	NO.92	48.8
NO.254	43.7	NO.254	43.7	NO.242	49.7	NO.242	50.1	NO.93	48.8
NO.255	43.7	NO.255	43.7	NO.243	49.7	NO.243	50.1	NO.94	48.8
NO.256	43.7	NO.256	43.7	NO.244	49.7	NO.244	50.1	NO.95	48.8
NO.257	43.7	NO.257	43.7	NO.245	49.7	NO.245	50.1	NO.96	48.8
NO.258	43.7	NO.258	43.7	NO.246	49.7	NO.246	50.1	NO.97	48.8
NO.259	43.7	NO.259	43.7	NO.247	49.7	NO.247	50.1	NO.98	48.8
NO.260	43.7	NO.260	43.7	NO.248	49.7	NO.248	50.1	NO.99	48.8
NO.261	43.7	NO.261	43.7	NO.249	49.7	NO.249	50.1	NO.100	48.8
NO.262	43.7	NO.26							

# 筈トンネル上り線 覆工コンクリート 状況調査

## 至名古屋

試験番号	82.76	85.76	85.84	85.58	85.52	85.46	85.4	85.34	85.28	85.22	85.16	85.1	85.04	84.98	84.92	84.86	84.8	84.74	84.68	84.62	84.56	84.5	84.44	84.38	
引抜強度判定 (kN)																									
シュミットハンマー推定強度(N/mm <sup>2</sup> )		43.7	44.4	42.1			48.2	45.6		41.8	44.7	40.3	46.0	46.6	43.9	48.1	47.7	46.9	44.7	44.6	42.7	42.9	50.3	50.1	
クラック密度 (cm/m <sup>2</sup> )	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
漏水(箇所)	7	6	12	27	49	42	41	44	62	40	30	22	50	10	23	13	8	11	21	27	31	33	50	60	
スパン番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	

## 引抜強度判定 (kN)

試験番号	84.0	84.09	84.18	84.27	84.36	84.45	84.54	84.63	84.72	84.81	84.90	84.99	85.08	85.17	85.26	85.35	85.44	85.53	85.62	85.71	85.80	85.89	85.98	86.07	
引抜強度判定 (kN)																									
シュミットハンマー推定強度(N/mm <sup>2</sup> )	49.8	49.1	46.8	39.9	47.1	46.3	41.0	48.8	42.3	44.8	42.3	44.4	45.2	42.5	42.6	45.1	46.0	41.9	35.4	40.1	43.1	40.8	33.2	40.8	
クラック密度 (cm/m <sup>2</sup> )	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.9	1.3	0.0	
漏水(箇所)	34	19	18	16	17	9	14	4	17	3	12	14	12	8	18	26	5	3	2	5	8	8	2	7	
スパン番号	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	

## 引抜強度判定 (kN)

試験番号	86.0	86.09	86.18	86.27	86.36	86.45	86.54	86.63	86.72	86.81	86.90	86.99	87.08	87.17	87.26	87.35	87.44	87.53	87.62	87.71	87.80	87.89	87.98	88.07	
引抜強度判定 (kN)																									
シュミットハンマー推定強度(N/mm <sup>2</sup> )	45.8	45.3	37.8	33.8	33.2	42.0	40.3	43.7	46.9	46.8	44.7	43.7	46.5	41.9	39.4	43.8	54.9	51.7	55.4	50.4	52.3	51.5	47.1	47.1	
クラック密度 (cm/m <sup>2</sup> )	0.0	0.5	0.9	0.0	3.7	1.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
漏水(箇所)	24	21	10	9	8	8	6	19	31	25	27	34	13	13	16	3	4	9	3	0	0	2	5	0	
スパン番号	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	

- ※1 スパンの延長は60mとする  
 ※2 コンクリートの設計基準強度: 20N/mm<sup>2</sup>  
 ※3 クラックは3mm以上の開きのあるものを対象とする  
 ※4 クラック密度: クラック延長 (cm) / 60m × 17mの範囲に対して算出 (60m:算出延長、17m:トンネルアーチ部覆工の弧長)

引抜強度判定基準	推定強度	クラック密度	漏水
A 40kN~(試験上脱荷重以上)	0	0	10未満
B 12.2~40kN(設計荷重以上)	40N/mm <sup>2</sup> 未満	0~0.5	10~20
C ~12.2kN(設計荷重未満)	1.0以上	0.5~1.0	20~30

## 至東京

### 3.10.2. アンカーボルトの腐食状況確認試験

#### 3.10.2.1 試験概要

##### (1)調査方法

試験方法は、JCI-SC1「コンクリートの中の鋼材の腐食評価方法」に準拠した。

##### (2)実施時期

2013（平成25）年1月24日～2013（平成25）年1月25日

##### (3)実施場所

一般財団法人建材試験センター

##### (4)試験内容

- ・ 引抜試験で採取したボルトを切り出し、加熱・ブラシ洗浄後、10%クエン酸ニアンモニウム溶液に浸漬して腐食生成物を除去。
- ・ 加熱・ブラシ洗浄後と腐食生成物除去後の試験体重量を比較。

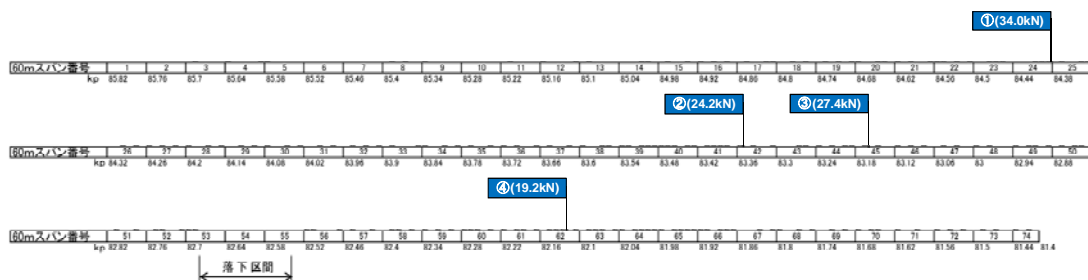


凡例

浸漬状況

上:浸漬前 下:浸漬後

#### 3.10.2.2 試験体採取箇所



丸数字は腐食状況確認試験番号を示す

#### 3.10.2.3 試験結果

腐食状況確認試験番号	重量減少率 (%)
①	(1) 1.98
	(2) 2.46
	(3) 1.05
②	(1) 1.54
	(2) 1.82
	(3) 1.73

腐食状況確認試験番号	重量減少率 (%)
①	(1) 1.98
	(2) 2.46
	(3) 1.05
②	(1) 1.54
	(2) 1.82
	(3) 1.73

### 3.10.3. アンカーボルト本体の引張り破断試験

#### 3.10.3.1 試験概要

##### (1)試験方法

試験方法は、JIS Z 2241（金属材料引張試験方法）に準拠した。

##### (2)実施時期

2013（平成 25）年 1 月 11 日～2013（平成 25）年 1 月 25 日

##### (3)実施場所

一般財団法人 建材試験センター

##### (4)試験内容

試験 A：アンカーボルト本体を直接引張り試験機に挟む

試験 B：アンカーボルト本体を治具を用いて引張り試験機にかける



引張り試験機

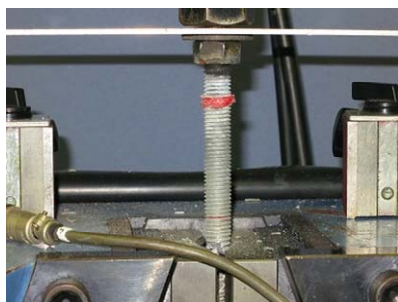
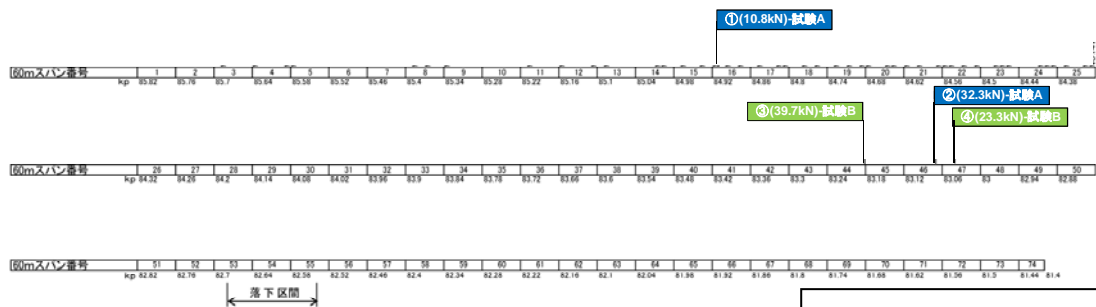


試験状況(試験A)



試験状況(試験B)

#### 3.10.3.2 試験体採取箇所



試験A



試験B

### 3.10.3.3 試験体の接着系ボルト

引張破断試験番号	引張試験方法	引抜試験結果 (kN)
①	試験 A	10.8
②	試験 A	32.3
③	試験 B	39.7
④	試験 B	23.3

### 3.10.3.4 規格値

M16 鋼材	破断荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )
SS400	62.8	38.4	245

### 3.10.3.5 試験結果

引張破断試験番号	破断荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )
①	80.0	64.8	413
②	79.1	62.9	401
③	81.2	64.4	410
④	78.5	64.4	410



### 3.10.4. トンネル内空の状態観測

#### 3.10.4.1 連続断面計測概要

##### (1)調査方法

車両に搭載した高感度レーザースキャナにより、トンネル壁面の断面形状の計測を行い、「測定結果」と「測定平均値」からの出入りを比較することで覆工展開図の着色表示を行う。

##### (2)実施時期

2013（平成 25）年 2 月 7 日

##### (3)調査内容

###### ■調査の手順

①専用計測車両を用いて、レーザー計測を実施する。

車両の搭載した高感度レーザースキャナにより、トンネル断面形状の計測を実施し、3次元の位置情報を持つレーザー点群を作成し、断面の測定を行う。

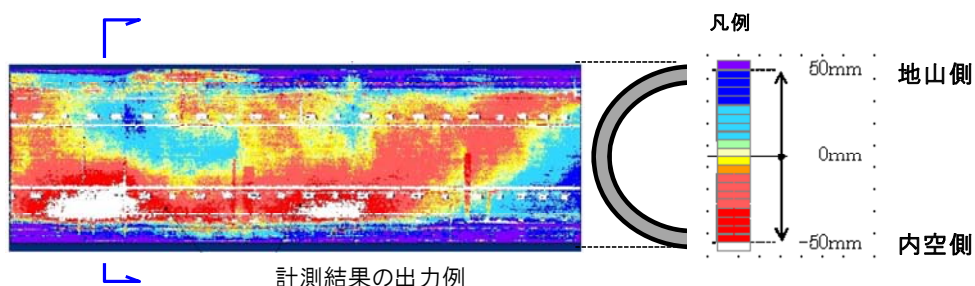
トンネル断面の変形モード、段差の検知、並びに外力に起因した変状の有無の推定等を行うため、1m<sup>2</sup>当たり 1,000 点以上の能力を有する高感度レーザースキャナを使用する。

②計測された値を基に、測定平均値との比較を実施して差分量を算出する。

③内空側：赤表示、地山側：青表示として、差分量のコンター図を作成する。

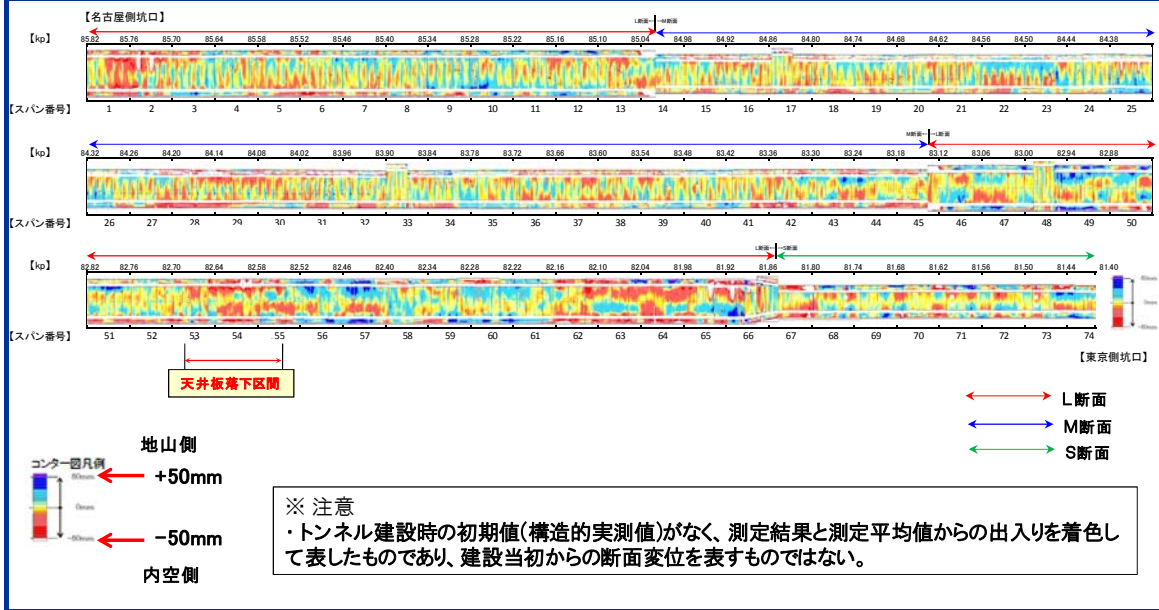


計測状況写真



### 3.10.4.2 連続断面計測結果

#### 解析結果(全長)

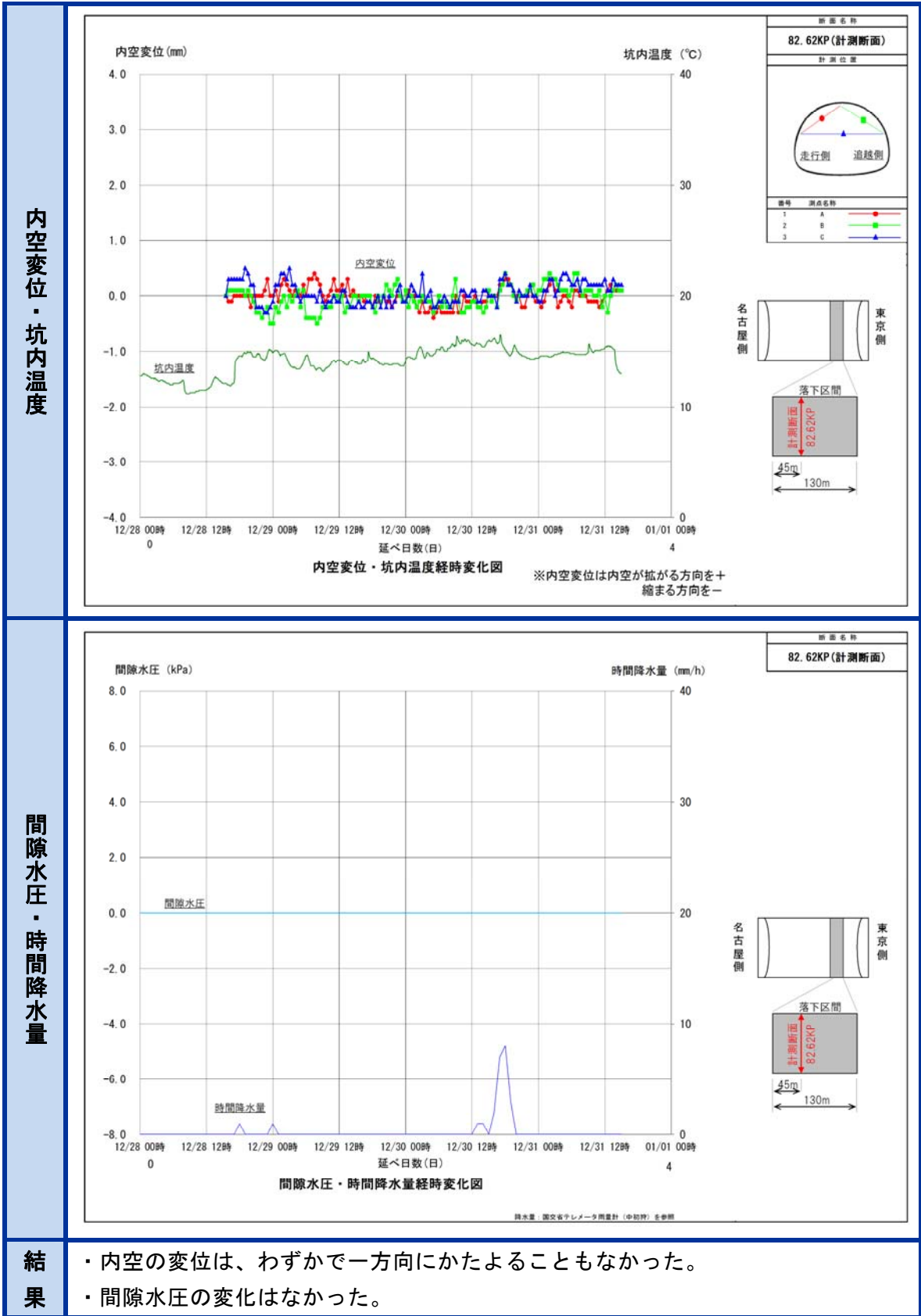


### 3.10.4.3 経時変位計測概要

調査方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆工コンクリート天端、側壁にターゲットシールを貼り付け、30分間隔でトータルステーションにて各測点間距離(内空変位)を計測</li> </ul>
実施時期	2012(平成24)年12月28日～2012(平成24)年12月31日
調査箇所	<p>調査位置図</p> <p>調査位置図</p> <p>天井板落下区間 138m</p> <p>49m 40m 49m</p> <p>名古屋 ← → 東京</p> <p>断面① 断面②</p> <p>計測断面図</p> <p>計測断面図</p> <p>A B C</p> <p>ターゲットシール</p> <p>トータルステーション</p>
調査内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>①②の各断面でのA,B,Cの距離</li> <li>間隙水圧</li> <li>坑内気温</li> </ul> <p>状況写真</p> <p>ターゲットシール</p> <p>トータルステーション</p>

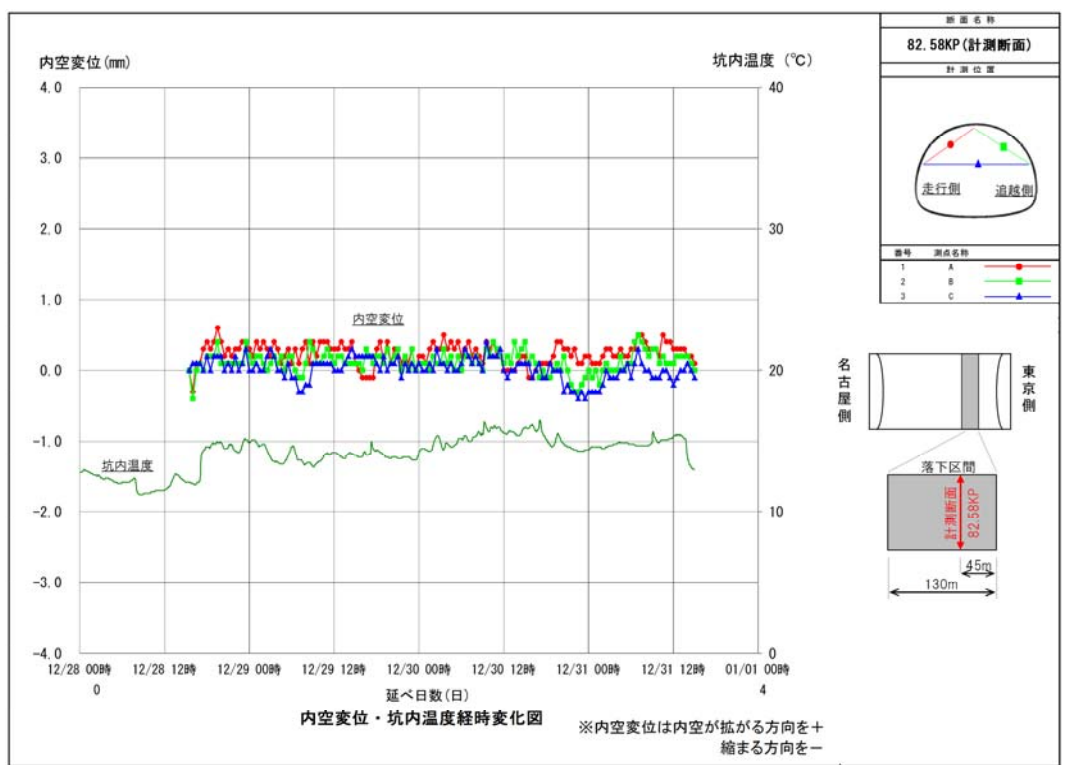
### 3.10.4.4 継時変位等の計測結果

#### (1)断面① (82.62KP)

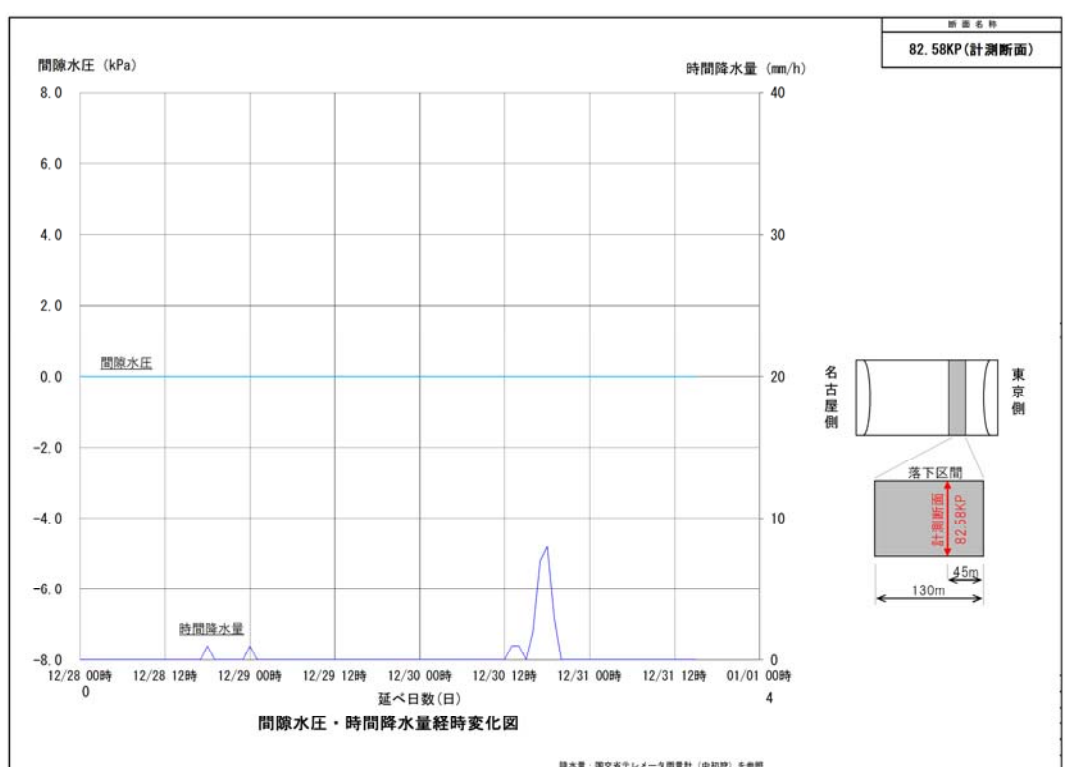


(2)断面② (82.58KP)

内空変位・坑内温度



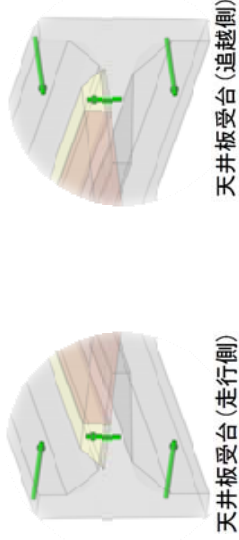
間隙水圧・時間降水量



結果

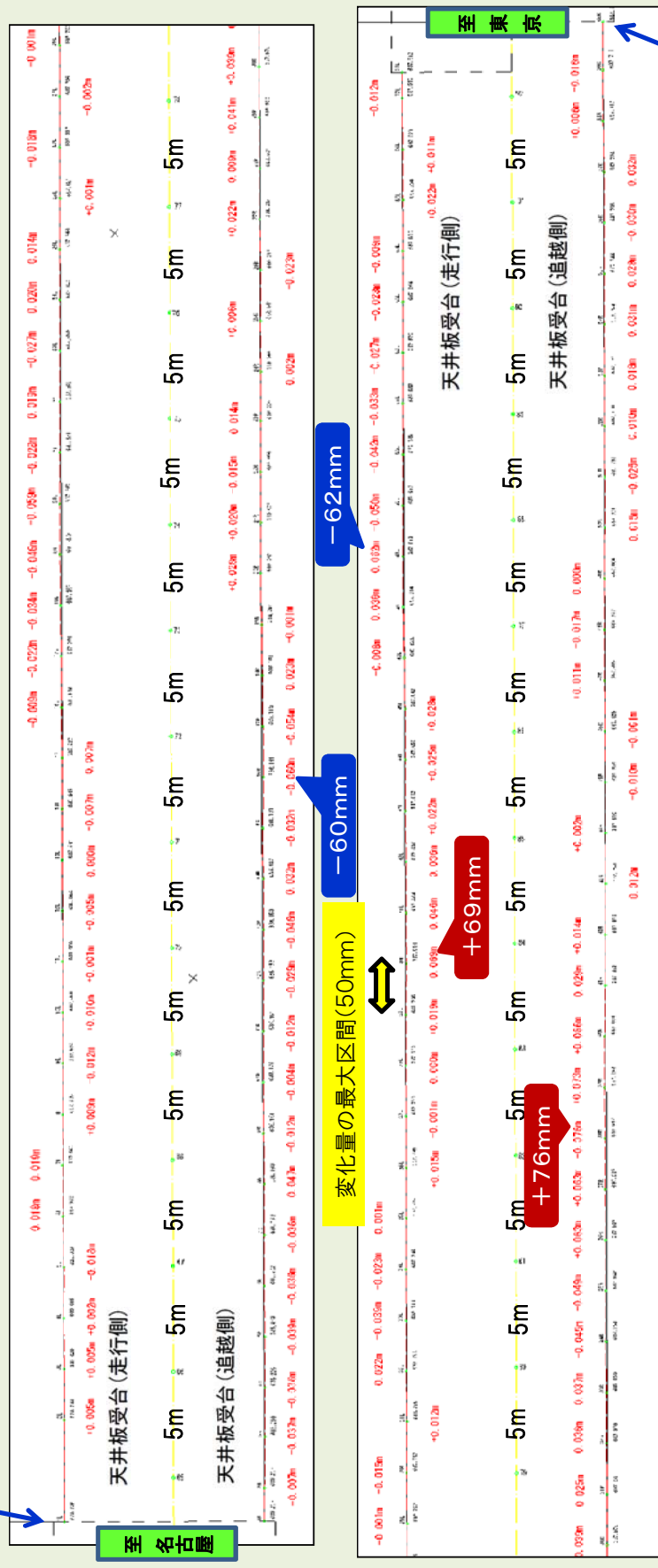
- ・内空の変位は、わずかで一方向にかたよることもなかった。
- ・間隙水圧の変化はなかった。

### 3.10.4.5 落下区間 天井板受台の出入り計測結果



- 赤表示の数値が、基線(計測区間の起終点を結んだ線)からの出入りを示す。(単位:m)
- ・内側の+表示が、基線から内空側へ出ている寸法
- ・外側の-表示が、基線から地山側へ引いている寸法

82.682KP



82.541KP

- ・82.682KP~82.541KPの落下区間を含む141mの受け台の出入りを計測した。
- ・道路中心線のドットピッチは、5mとなっている。(目安)
- ・受台1本の長さは2.4m



### 3.10.4.6 落下区間 円形水路のゆがみの観察状況



円形水路のゆがみはない



円形水路のゆがみはない

### 3.10.5. 米国での事例整理

#### 3.10.5.1 米国マサチューセッツ州ボストンの事例と笹子トンネルの比較



州際道路 90 号トンネル（ボストン）におけるアンカーボルトの変状

出典：「Ceiling Collapse in the Interstate 90 Connector Tunnel Boston Massachusetts July 10, 2006」



笹子トンネル（上り）における天頂部接着系アンカーボルトの固定状況

撮影日：2012（平成 24）年 12 月 20 日

### 3.10.5.2 ボストンでのトンネル天井板落下事故後の対応の流れ

日付	事象・対応	原文
2006（平成18）年 7月10日	ボストンの州際道路90号線でトンネル天井板落下事故発生。	
2007（平成19）年 7月10日	国家安全運輸委員会（NTSB）が事故の報告書を公表し、連邦道路庁等の道路管理機関や技術基準制定組織等に対して安全勧告を実施。その中で、現場での対応方法や新たな基準の制定等を提言。	
2007（平成19）年 10月17日	連邦道路庁（FHWA）が技術的勧告（T5140.26）を発出して、事故の原因となった速硬性エポキシ樹脂の製品リストを公表し、連邦政府助成事業での対応方法を提示。	添付1
2008（平成20）年 3月21日	速硬性エポキシ樹脂の製品リストを増強するために、FHWA が T5140.26 を無効にして新たな技術的勧告（TA5140.30）を発出。	添付2
2009（平成21）年 8月12日	交通運輸会議（TRB）が持続荷重下での接着系アンカーについて研究報告書を出版。その中で、米国全州道路交通運輸行政官協会（AASHTO）の持続荷重下での接着系アンカーの性能試験基準の案を作成。	
2010（平成22）年	AASHTO が持続荷重下での接着系アンカーの性能試験基準を制定。	



### 3.10.5.3 速硬性エポキシ樹脂の使用制限

■事故の主原因は持続引張荷重に対して抵抗性能の無い速硬型エポキシ樹脂「Sikadur AnchorFix-3」を接着剤として使用していたことであつたとされ、下記に該当する接着剤の製品のリストを公開し、これらの製品を接着系アンカーに使用しないよう注意喚起している。(TA5140.30)

- ① Sika 社により製造された速硬型エポキシ樹脂「Sikadur AnchorFix-3」
- ② OEMにより「Sikadur AnchorFix-3」を別名で販売している製品
- ③ Sika 社が製造するエポキシ樹脂用速硬性硬化剤を使用している製品

■当時の接着系アンカーの性能確認試験に関する基準は、道路構造物の供用期間(75年～100年)に渡ってその安全性能を保証するようなものではなかった。(TA5140.26)

### 3.10.5.4 接着系アンカーの取扱い

連邦政府の助成事業における接着系アンカーの取扱いが設定された。(TA5140.26)

#### ■新規事業

- ① 接着系アンカーに速硬型エポキシ樹脂は使用しないことを強く推奨する。
- ② 長期持続引張荷重が作用する箇所或いは懸垂構造となる箇所には、長期間のクリープ性能を保証し、また懸垂構造の影響を認識した条件での、改良された認証過程を FHWA が認めるまで、接着系アンカーを使用しないことを強く推奨する。

#### ■既存事業(既設構造物)

- ① 持続引張荷重が作用する箇所に速硬型エポキシ樹脂の接着系アンカーが使用されている場合には、そのアンカーを改造するか信頼性のある適切な金属系アンカーに取替えること、かつ取替えが行われるまでは厳密な点検を定期的に行うことが強く推奨される。
- ② 持続引張荷重が作用する箇所に速硬性エポキシ樹脂以外の接着剤又は製造元が不明の接着剤を使用したアンカーが使われている場合には、アンカーの長期間の性能に関する信頼性を適切なレベルに維持するために、重要性や代替性を考慮した厳密な定期点検の体制を確立することが強く推奨される。そのためには、現場毎に異なる接着剤の強度及び構造物の期待される供用期間に渡るクリープ特性を定めるための試験方法を開発する必要があると考えられる。

### 3.10.5.5 その他

TA5120.26 および TA5120.30 は、エポキシ樹脂だけについて使用しないように言われたものであり、それ以外の樹脂(ポリエステル系樹脂等)については言及されなかった。

- ① 使用制限リストは更新が続けられ現時点※での最終更新は2011(平成23)年6月4日
- ② 標準硬化型エポキシ樹脂を接着剤として用いた接着系アンカーの使用については、「TA5140.30 後に出される規定」に拠るとされているが、現時点※で追加の規定は確認できない。

※2013(平成25)年5月28日現在

This directive was  **canceled**  March 21, 2008



U.S. Department  
of Transportation  
**Federal Highway  
Administration**

## Technical Advisory

Subject

**Use and Inspection of Adhesive Anchors in Federal-Aid Projects**

Classification Code  
**T 5140.26**

Date  
**October 17, 2007**

Office of Primary Interest  
**HIBT-10**

Par.

1. What is the purpose of this Technical Advisory?
  2. Does this Technical Advisory supersede another Technical Advisory?
  3. What is the definition of "Fast Set epoxy"?
  4. What is this background of this Technical Advisory?
  5. What are the recommendations for new Federal-aid projects and existing projects?
1. **What is the purpose of this Technical Advisory?** The purpose of this Technical Advisory is to provide guidance and recommendations regarding the use and in-service inspection of adhesive anchors, including those utilizing "Fast Set epoxy" (see definition in paragraph 3), in sustained tension applications on all Federal-aid highway projects.
  2. **Does this Technical Advisory supersede another Technical Advisory?** No. This is a new Technical Advisory.
  3. **What is the definition of "Fast Set epoxy"?** "Fast Set epoxy" refers to an epoxy produced by the Sika Corporation called Sikadur AnchorFix-3. This epoxy is also repackaged and distributed by the following names/companies:
    - a. Power-Fast+ Epoxy Injection Gel Fast Set Formula by Powers Fasteners, Inc.
    - b. NRC 1000 Gold Premier Epoxy Fast Set Formula by Newman Renner Colony, LLC.
    - c. Foil-Fast Epoxy Injection Gel Fast Set Formula by the Rawplug Company, Inc.
  4. **What is this background of this Technical Advisory?**

1 / 3

- a. On July 10, 2006, a portion of the suspended ceiling system of the I-90 connector tunnel in Boston, Massachusetts, collapsed onto a passing car killing the passenger and injuring the driver. The suspended ceiling in the collapsed section was comprised of concrete panels connected to steel hangers suspended from the tunnel concrete ceiling by an adhesive anchor system consisting of stainless steel anchor rods embedded in epoxy. Immediately after the accident, the Federal Highway Administration (FHWA) launched an independent study and testing plan to determine the probable cause of failure of the suspended ceiling system.
  - b. The testing plan consisted of short-term strength and long-term performance testing of the adhesive anchor system installed in the I-90 connector tunnel, as well as an experimental parametric study and a limited sustained load characterization study on the adhesive anchor system supplied for use in the I-90 connector tunnel conducted at the FHWA's Turner-Fairbank Highway Research Center (TFHRC). The testing program identified several installation factors that affect the short-term strength of adhesive anchors. However, while these factors may have contributed to the timing of the failure, the results clearly show that the primary cause of the collapse was the use of Fast Set epoxy which is incapable of resisting sustained tension loads without excessive creep.
  - c. In addition to the testing conducted on the adhesive used in the I-90 tunnel, data produced at TFHRC show that some anchor systems utilizing adhesives other than Fast Set epoxy that have passed the International Code Council (ICC) creep certification process are still vulnerable to creep under typical bridge and tunnel exposure conditions. The results indicate that the current American Society for Testing and Materials (ASTM) and the ICC creep prediction methodology do not appear to guarantee safe performance of adhesive anchors over the entire expected service life (75 to 100 years) of transportation structures. In addition, the ICC does not address issues related to overhead installation of anchors nor the effect that vibration could have on their long-term performance and integrity.
  - d. Therefore, as a result of the investigation of the collapsed suspended ceiling support system, and in concurrence with the National Transportation Safety Board's findings, the FHWA is now implementing these safety recommendations to ensure that similar incidents will not occur in the future. This Technical Advisory applies to new and existing Federal-aid highway projects.
5. **What are the recommendations for new Federal-aid projects and existing projects?**
    - a. **New Federal-aid projects**
      - (1) This Technical Advisory strongly discourages the use of Fast Set epoxy for adhesive anchor applications.
      - (2) This Technical Advisory also strongly discourages anchor systems utilizing adhesives other than Fast Set epoxy for permanent sustained tension applications or overhead applications until the FHWA is satisfied that an improved certification process has been developed to ensure long-term creep performance and that recognizes the effect of overhead installation.
    - b. **Existing projects**
      - (1) Where applications are those specific to the use of Fast Set epoxy adhesive in sustained tension, it is strongly recommended the anchors be retrofitted and/or replaced with a reliable and appropriate mechanical anchor system and that rigorous and regular inspections are performed in the interim.

2 / 3

(2) Where applications of anchor systems in sustained tension using adhesives other than Fast Set epoxy or from an unknown source have been identified, instituting a rigorous and regular inspection program that considers importance and redundancy is strongly recommended to maintain an appropriate level of confidence in their long-term performance. This may require developing a testing protocol and program to determine the site specific ultimate capacities and creep characteristics of the adhesive over the expected life of the structure.



King W. Gee  
Associate Administrator  
for Infrastructure

## Technical Advisory

### *Use and Inspection of Adhesive Anchors in Federal-Aid Projects*

March 21, 2008

Technical Advisory 5140.30

#### What is the purpose of this Technical Advisory?

The purpose of this Technical Advisory is to provide guidance and recommendations regarding the use and in-service inspection of adhesive anchors, including those utilizing "Fast Set epoxy" (see definition in paragraph 3), in sustained tension applications on all Federal-aid highway projects.

#### Does this Technical Advisory supersede another Technical Advisory?

Yes. This Technical Advisory supersedes Technical Advisory T 5140.26, dated October 17, 2007, by updating the list of "Fast Set epoxies" identified in paragraph 3. Technical Advisory T 5140.26 is herein cancelled.

#### What is the definition of "Fast Set epoxy"?

"Fast Set epoxy" refers to an epoxy produced by the Sika Corporation called Sikadur AnchorFix-3. This epoxy is also repackaged and distributed by the names/companies presented in a list of adhesives available from the Federal Highway Administration (FHWA) Web site at the following Web link: <http://www.fhwa.dot.gov/Bridge/adhesives.cfm>. FHWA will update this list as new information becomes available and encourages visitation to this Web site for the latest updates.

#### What is the background of this Technical Advisory?

1. On July 10, 2006, a portion of the suspended ceiling system of the I-90 connector tunnel in Boston, Massachusetts, collapsed onto a passing car, killing the passenger and injuring the driver. The suspended ceiling in the collapsed section was comprised of concrete panels connected to steel hangers suspended from the tunnel concrete ceiling by an adhesive anchor system consisting of stainless steel anchor rods embedded in epoxy. Immediately after the accident, the FHWA launched an independent study and testing plan to determine the probable cause of failure of the suspended ceiling system.
2. The testing plan consisted of short-term strength and long-term performance testing of the adhesive anchor system installed in the I-90 connector tunnel, as well as an experimental parametric study and a limited sustained load characterization study on the adhesive anchor system supplied for use in the I-90 connector tunnel conducted at the FHWA's Turner-Fairbank Highway Research Center (TFHRC). The testing program identified several installation factors that affect the short-term strength of adhesive anchors. However, while these factors may have contributed to the timing of the failure, the results clearly

1 / 3

show that the primary cause of the collapse was the use of "Fast Set epoxy" which is incapable of resisting sustained tension loads without excessive creep.

3. In addition to the testing conducted on the adhesive used in the I-90 tunnel, data produced at TFHRC show that some anchor systems utilizing adhesives other than "Fast Set epoxy" that have passed the International Code Council (ICC) creep certification process are still vulnerable to creep under typical bridge and tunnel exposure conditions. The results indicate that the current American Society for Testing and Materials (ASTM) and the ICC creep prediction methodology do not appear to guarantee safe performance of adhesive anchors over the entire expected service life (75 to 100 years) of transportation structures. In addition, the ICC does not address issues related to overhead installation of anchors nor the effect that vibration could have on their long-term performance and integrity.
4. Therefore, as a result of the investigation of the collapsed suspended ceiling support system, and in concurrence with the National Transportation Safety Board's findings, the FHWA is now implementing these safety recommendations to ensure that similar incidents will not occur in the future.
5. At the time T 5140.26 was issued, the FHWA was aware of the four products originally listed in paragraph 3 as being inadequate. Since that time, the investigation has continued to identify adhesives that are repackaged Sika products that include the fast set hardener (part B of the epoxy). These repackaged adhesives have been added to the original list so that structure's owners are aware of the potential for creep issues associated with these products.

#### What are the recommendations for new Federal-aid projects and existing projects?

##### a. New Federal-aid projects

(1) This Technical Advisory strongly discourages the use of "Fast Set epoxy" for adhesive anchor applications.

(2) This Technical Advisory also strongly discourages the applications of anchor systems utilizing adhesives other than "Fast Set epoxy" for permanent sustained tension applications or overhead applications until the FHWA is satisfied with an improved certification process that is developed to ensure long-term creep performance and that recognizes the effect of overhead installation.

##### b. Existing projects

(1) Where applications are those specific to the use of "Fast Set epoxy" adhesive in sustained tension, it is strongly recommended the anchors be retrofitted and/or replaced with a reliable and appropriate mechanical anchor system and that rigorous and regular inspections are performed in the interim.

(2) Where applications of anchor systems in sustained tension using adhesives other than "Fast Set epoxy" or from an unknown source have been

2 / 3

identified, instituting a rigorous and regular inspection program that considers importance and redundancy is strongly recommended to maintain an appropriate level of confidence in their long-term performance. This may require developing a testing protocol and program to determine the site specific ultimate capacities and creep characteristics of the adhesive over the expected life of the structure.

King W. Gee  
Associate Administrator for Infrastructure

---

## Structures

FHWA > Bridge > Tunnels > TA 5140.30 > List of Adhesives

Accelerated Bridge Construction

Fiber Reinforced Polymer Composites

High Performance Steel

High Strength Bolts

Integrated Bridge Project Delivery and  
Life Cycle Management

Load and Resistance Factor Design

Prefabricated Bridge Elements and  
Systems

Segmental Concrete Bridge  
Technology

Seismic

Steel Fabrication

Tunnels

### TA 5140.30

#### List of Adhesives

On July 10, 2006, a portion of the suspended ceiling system of the I-90 connector tunnel in Boston, MA collapsed onto a passing car killing the passenger and injuring the driver. The suspended ceiling in the collapsed section was comprised of concrete panels connected to steel hangers suspended from the tunnel concrete ceiling by an adhesive anchor system consisting of stainless steel anchor rods embedded in epoxy. The probable cause of failure of the suspended ceiling system was determined to be the use of an adhesive without adequate resistance to creep.

As a result of this determination the FHWA issued Technical Advisory TA 5140.26, Use and Inspection of Adhesive Anchors in Federal-Aid Projects, to implement safety recommendations to ensure that similar incidents will not occur in the future. At the time TA 5140.26 was issued, it identified the four adhesives products that FHWA was aware were inadequate. Since that time, the investigation has continued to identify adhesives that are re-packaged Sika products that include the fast set hardener (part B of the epoxy). To insure that the best, most up to date information is widely available on these inadequate adhesives, FHWA cancelled TA 5140.26 and issued [TA 5140.30](#). UPDATE: Use and Inspection of Adhesive Anchors in Federal-Aid Projects. Paragraph 3 of [TA 5140.30](#) directs readers to this webpage for a list of adhesives that are defined as "Fast Set epoxy".

The products listed below were manufactured or distributed with both Fast Set and Standard Set epoxies prior to January 2008. All manufacturers have reportedly discontinued the use of Fast Set epoxy in their products since January 2008. The FHWA is not, however, involved in overseeing the manufacture of epoxies and does not certify any epoxy's properties.

#### Contacts

**Jesus Rohena**  
[Office of Bridges and Structures](#)  
202-366-4593  
[E-mail Jesus](#)

**Joey Hartmann**  
[Office of Bridges and Structures](#)  
202-366-4599  
[E-mail Joey](#)

1 / 4

For new projects, a State is advised to ascertain that any adhesive it uses does not contain the Fast Set epoxy. For existing projects, if a State cannot determine if Fast Set or Standard Set epoxy was used (for example, an old invoice or inventory list does not say which formula was used in the epoxy), the State should follow the advice of Part 5 of the Technical Advisory TA 5140.30.

The use of adhesive anchors with Standard Set epoxy is subject to further recommendations of Technical Advisory TA 5140.30.

These additional adhesives are listed below separated by distributor. As this is a living inventory of Fast Set epoxy "also known as" (AKAs), it will be updated as new information is developed.

- Last Review: October 16, 2008
- Last Addition: October 16, 2008

#### Sika Corporation

- Sikadur AnchorFix-3
- Sika/Rawl FoilFast
- Sika/Rawl FoilFast (fast set)
- Sika/Rawl FoilFast FS
- Sikadur 881 DBA
- Sikadur DOT-SP3
- Sikadur Injection Gel AnchorFix 3
- Sikadur Injection Gel Fast set

#### Powers Fasteners, Inc.

- Power-Fast+ Epoxy Injection Gel Fast Set Formula
- Power-Fast + (Fast Set)
- Power-Fast Injection Gel (Fast Set)
- Power-Fast+ Quick Shot (Fast Set)
- Powers Quick Shot (Fast Set)
- Powers Rawl Injection Gel Fast Set

2 / 4

**Newman Renner Colony, LLC. (Private Labeling of Power Fast Epoxy)**

- NRC 1000 Gold Premier Epoxy Fast Set Formula
- NRC - FS Epoxy
- NRC-1000 Gold (Fast Set)

**Rawlplug Company, Inc.**

- Foil-Fast Epoxy Injection Gel Fast Set Formula
- Foil Fast Epoxy Injection Gel
- Rawl/Sika Foil Fast Set

**Action Bolt & Supply, Inc. or Wurth Action Bolt & Tool Co. (Private Labeling of Power Fast Epoxy)**

- Action Bolt A1000 FS
- Action Bolt A1000 QS (Fast Set)
- Action Bolt A1000 Quick Shot (Fast Set)

**Allied Tool and Fastener (Private Labeling of Power Fast Epoxy)**

- Allied A-1000 (Fast Set)
- Allied Gold (A-1000) (Fast Set)
- A-1000 (Fast Set)
- Allied Gold A-100 (Fast Set)

**All Construction Fastening Systems, FL (Private label of Power Fast Epoxy)**

- ACFS A-1000 (Fast Set)

**Additional Private Labelings of Power Fast Epoxy**

- Hillman Power Fast + Quick Shot (Fast Set)
- R-Kex FS (Rawl UK)

3 / 4

**Private labeling by Sika of AnchorFix 3**

- Tamms Anchor Gel
- Tamms Rapid Set Epoxy Gel

**Also the following foreign sold adhesives are suspected:**

- Sika Scellement Epoxy (Europe)
- PowerFast PLUS (Australia)

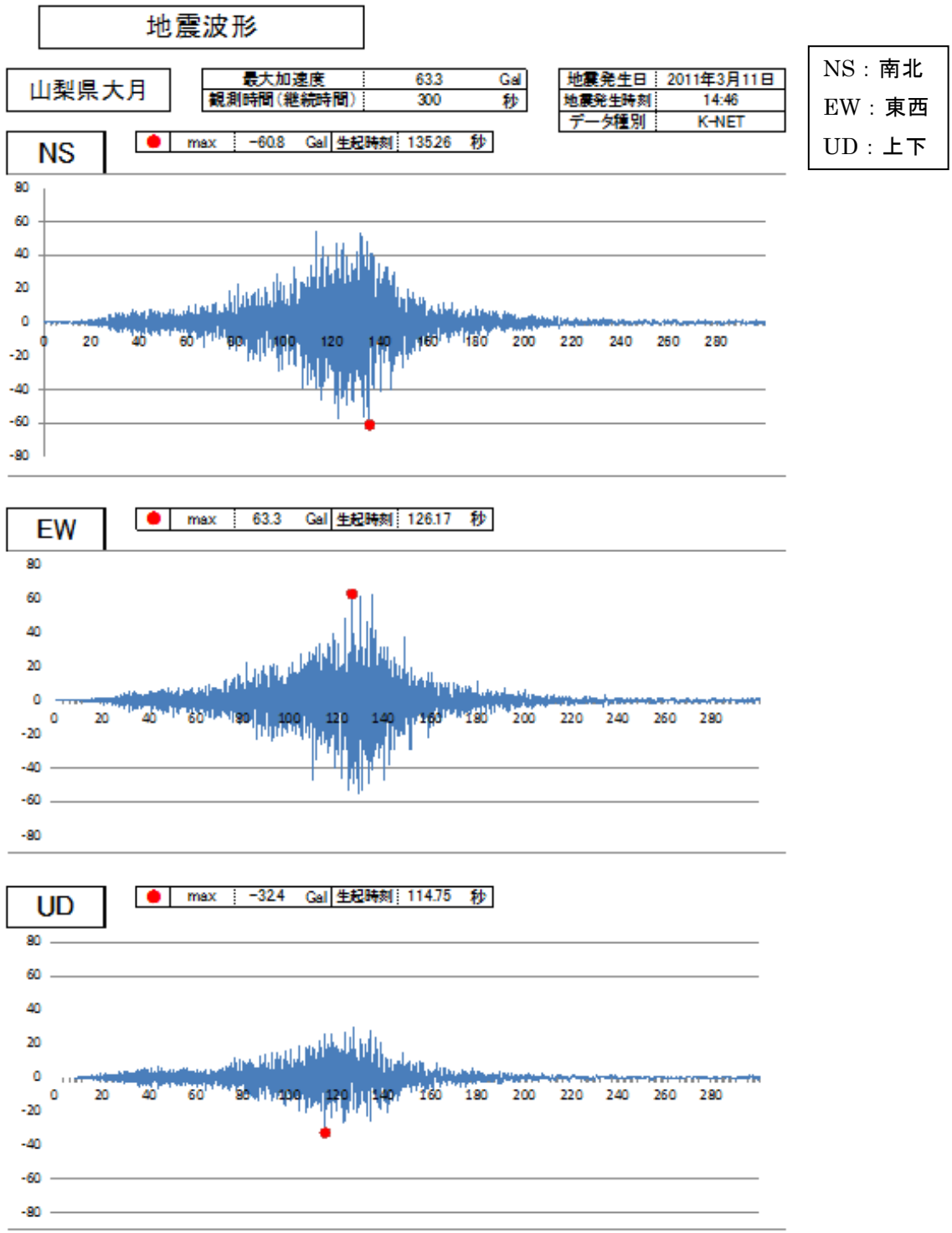
Updated: 04/06/2011

[FHWA Home](#) | [Bridge](#) | [Feedback](#)

### 3.10.6. 地震による影響

#### 3.10.6.1 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：2011（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）
  - ・震源規模：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





# 地震波形

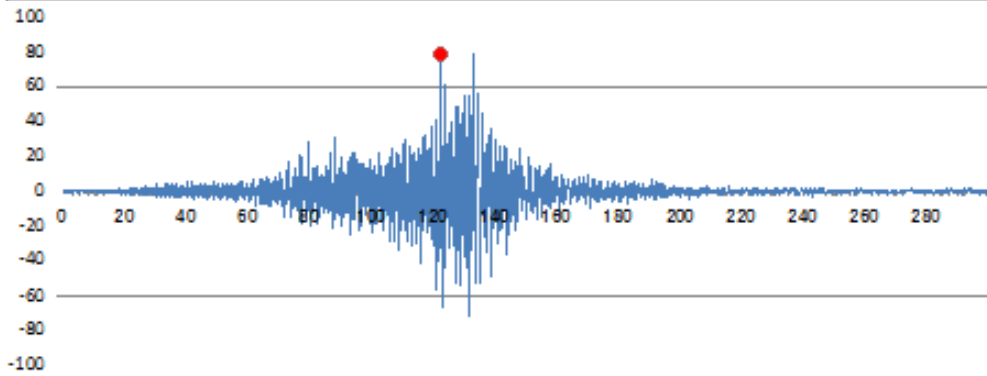
山梨県塩山

最大加速度 88.8 Gal  
観測時間(継続時間) 300 秒

地震発生日 2011年3月11日  
地震発生時刻 14:46  
データ種別 K-NET

NS

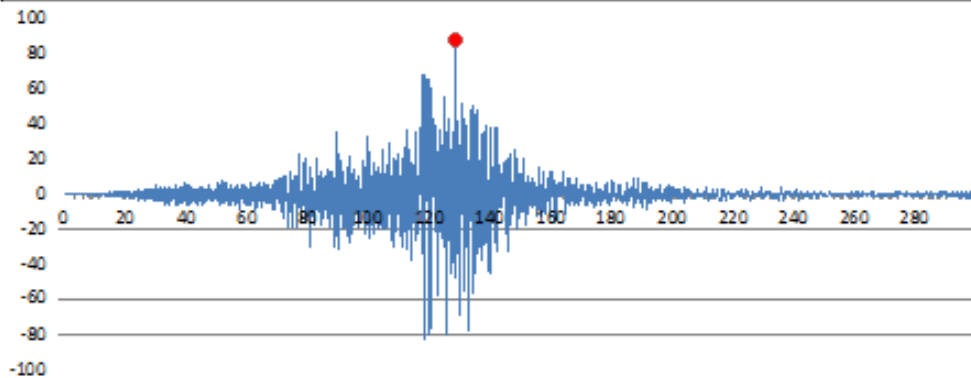
● max 79.1 Gal 発起時刻 122.01 秒



NS : 南北  
EW : 東西  
UD : 上下

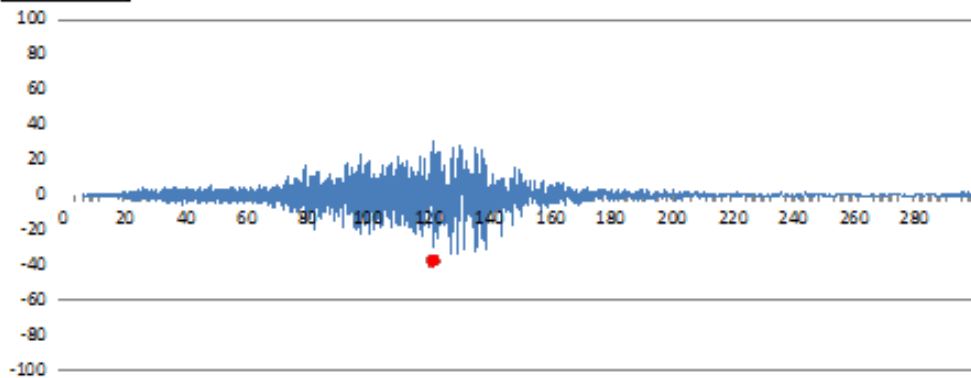
EW

● max 88.8 Gal 発起時刻 128.24 秒

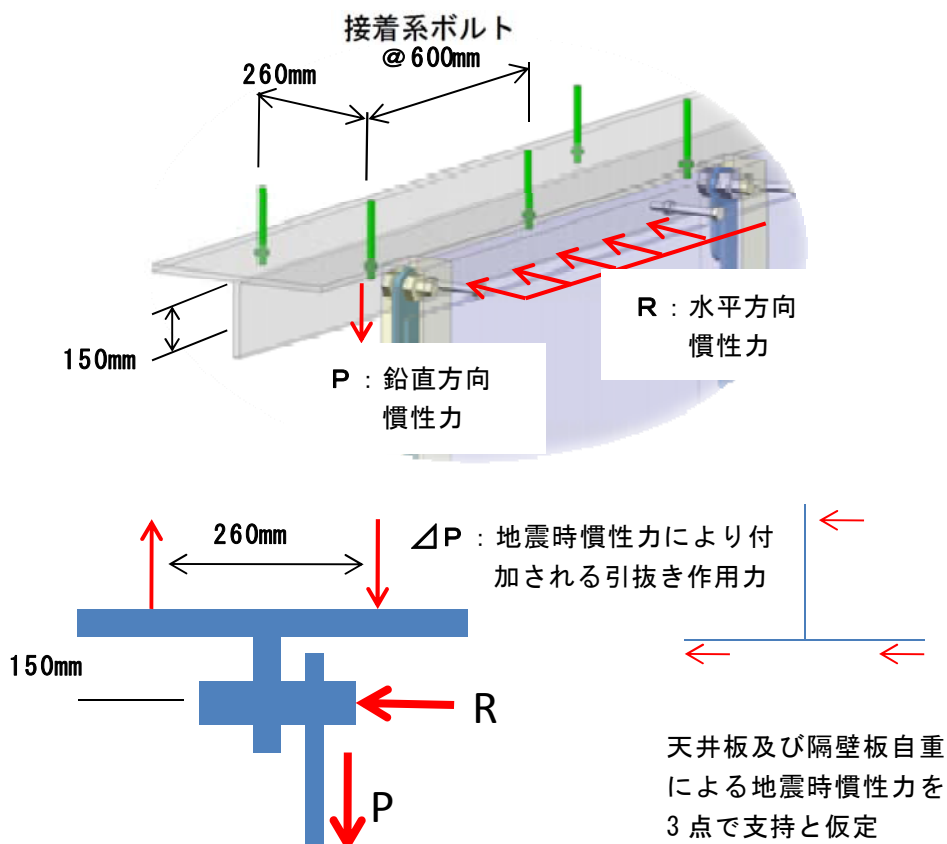


UD

● max -37.1 Gal 発起時刻 120.88 秒



### 3.10.6.2 地震時慣性力に基づく天頂部接着系ボルトの増加作用力の試算



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上部 CT 鋼は、天井板及び隔壁板の自重 ( $w = 34\text{kN/m}$ )<sup>※1</sup> の水平および鉛直慣性力の 1/3 を受け持つと仮定

$$\text{水平} \cdots R = w \times K_h / 3 = 34 \times 0.12 / 3 = 1.36\text{kN/m}$$

$$\text{鉛直} \cdots P = w \times K_v / 3 = 34 \times 0.05 / 3 = 0.57\text{kN/m}$$

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作用力  $\Delta P_h$  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作用力  $\Delta P_v$  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%

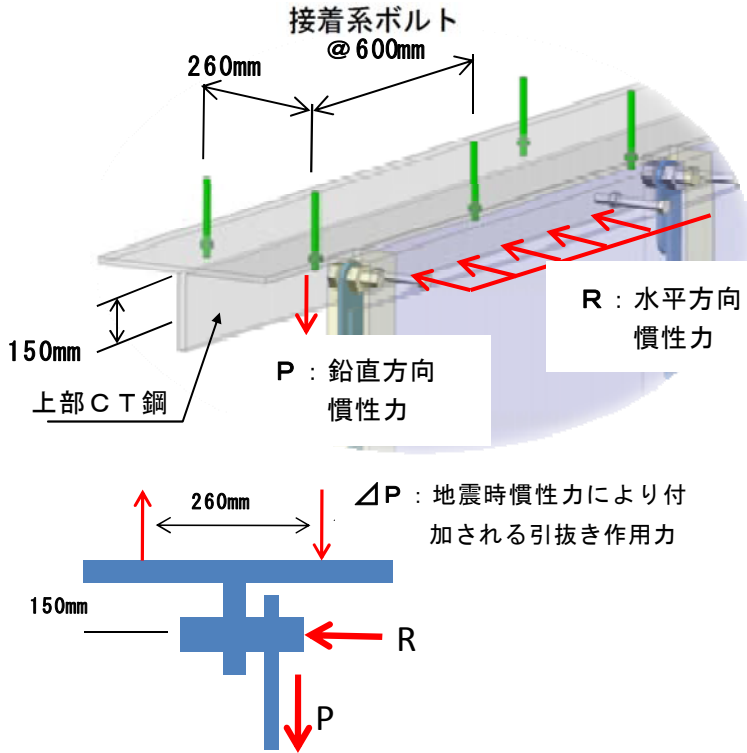
※1 天井板 (送気側) 自重 = 9.82 kN/m

天井板 (排気側) 自重 = 11.05 kN/m

隔壁板自重 = 12.99 kN/m

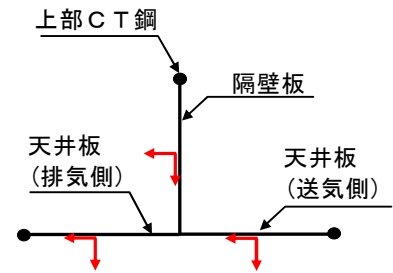
合計 = 33.86 kN/m  $\rightarrow$  34 kN/m とした。

ちなみに、上部CT鋼への分担を天井板及び隔壁板の重心で考えた場合、以下のような増加作用力となる。



最大加速度 (EW : 東西) : 121Gal (塩山)

最大加速度 (UD : 上下) : 49Gal (大月)



天井板及び隔壁板自重による地震時慣性力を各部材の重心を考慮し分担すると仮定。

- 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上部CT鋼は、天井板及び隔壁板の自重 ( $w=34\text{kN/m}$ ) の水平および鉛直慣性力を各板の重心に見合う値を受け持つと仮定
  - 上部CT鋼の水平方向分担率  $(12.99 \times 1/2) / 33.86 = 0.192$
  - 上部CT鋼の鉛直方向分担率  $((11.05+9.82) \times 1/2 + 12.99) / 33.86 = 0.692$
  - 水平方向の作用力  $R=34 \times 0.12 \times 0.192=0.78 \text{ kN/m}$
  - 鉛直方向の作用力  $P=34 \times 0.05 \times 0.692=1.18 \text{ kN/m}$
- 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作用力  $\Delta P_h$  は、  
 $\Delta P_h=0.78 \times 6 \times 0.15 / 0.26 / 8=0.34 \text{ kN/本}$
- ④鉛直慣性力によりボルトに付加される引抜き作用力  $\Delta P_v$  は、  
 $\Delta P_v=1.18 \times 6 / 16=0.44 \text{ kN/本}$
- ⑤  $\Delta P_h + \Delta P_v=0.78\text{kN/本} \Rightarrow$  自重時のボルト作用力  $9.3\text{kN}$  の  $8.4\%$

### 3.10.6.3 これまで経験した地震動（1977(昭和 52)年 1 月～2012(平成 24)年 12 月)

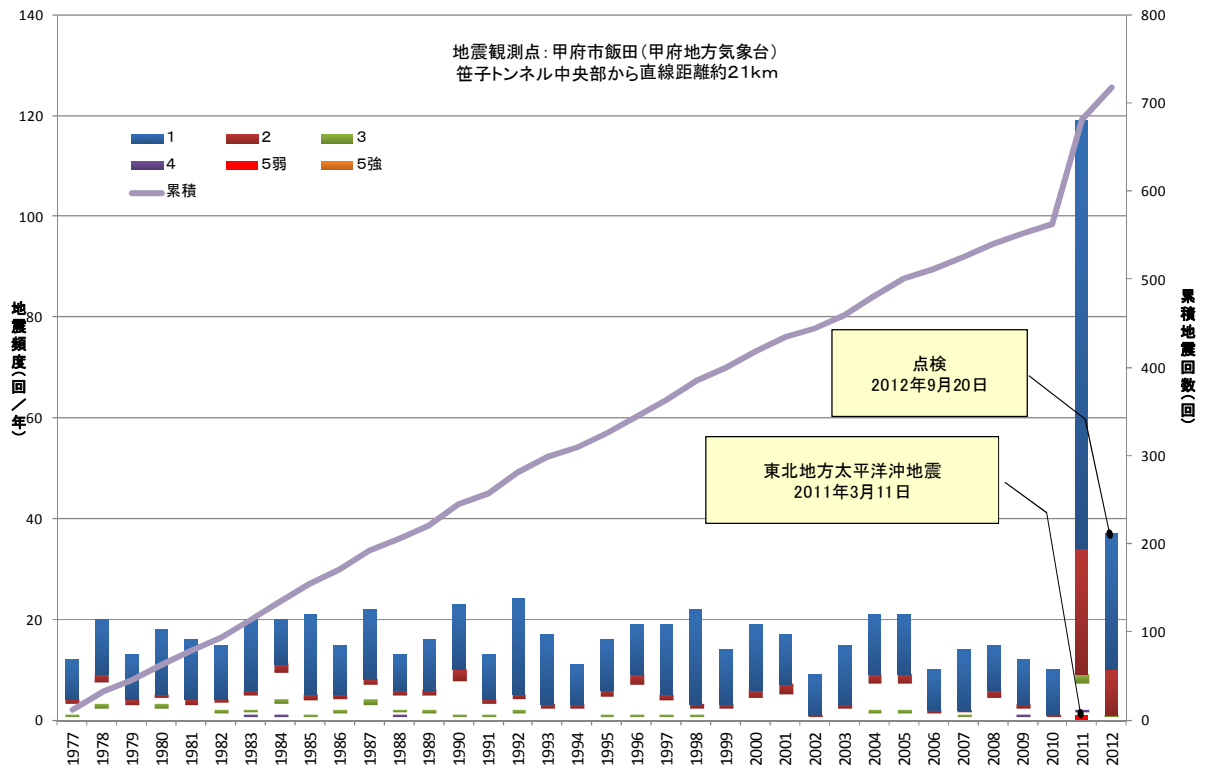


甲府市飯田(1977.04～2012.12)										
震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	計
回数	497	171	44	5	1	0	0	0	0	718
甲州市塩山下於曾(1996.10～2012.12)										
震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	計
回数	239	65	8	2	1	0	0	0	0	315
大月市大月(1996.10～2012.12)										
震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	計
回数	119	72	14	4	0	0	0	0	0	209
甲州市大和町初鹿野(2001.06～2012.12)				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

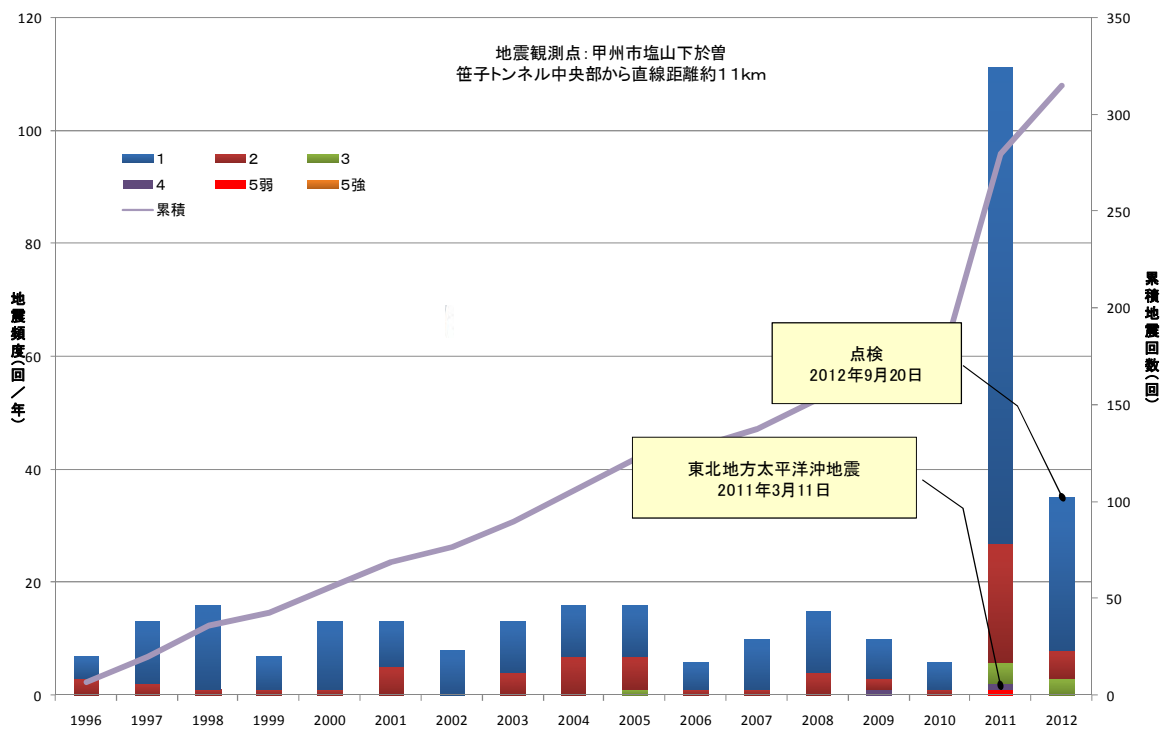
記録上の最大震度は、東北地方太平洋沖地震であり、

- ・ 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。

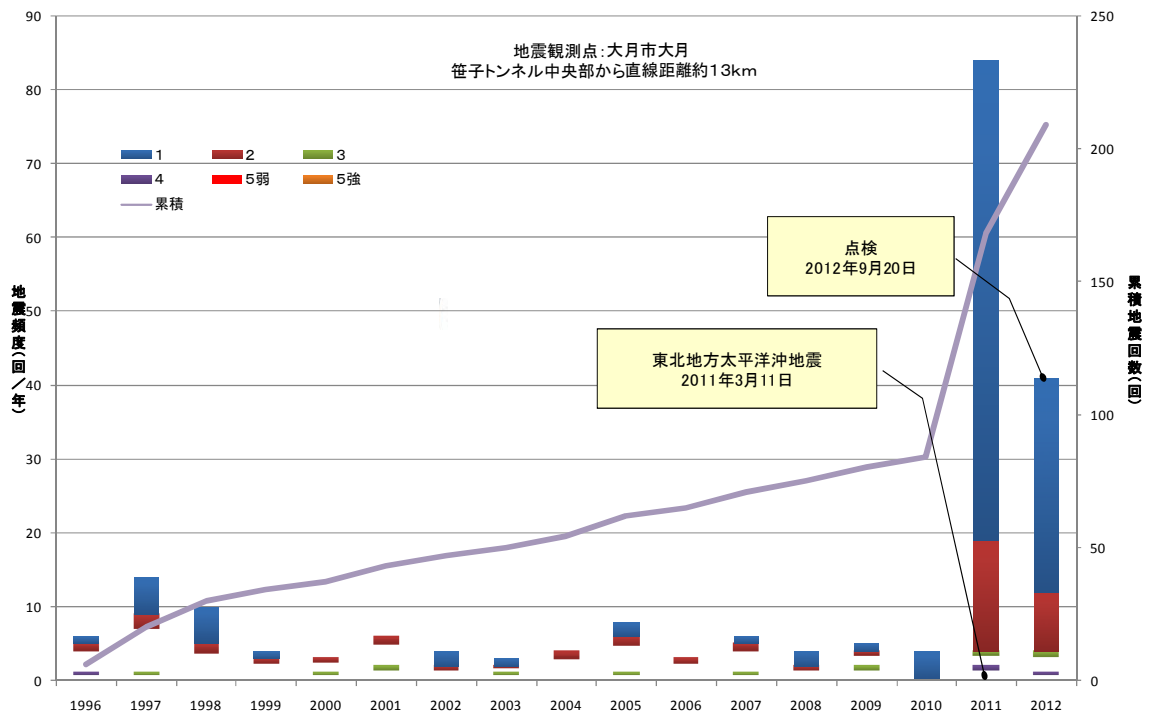
(1) 甲府市飯田(甲府地方気象台) (1977(昭和 52)年 1 月～2012(平成 24)年 12 月)



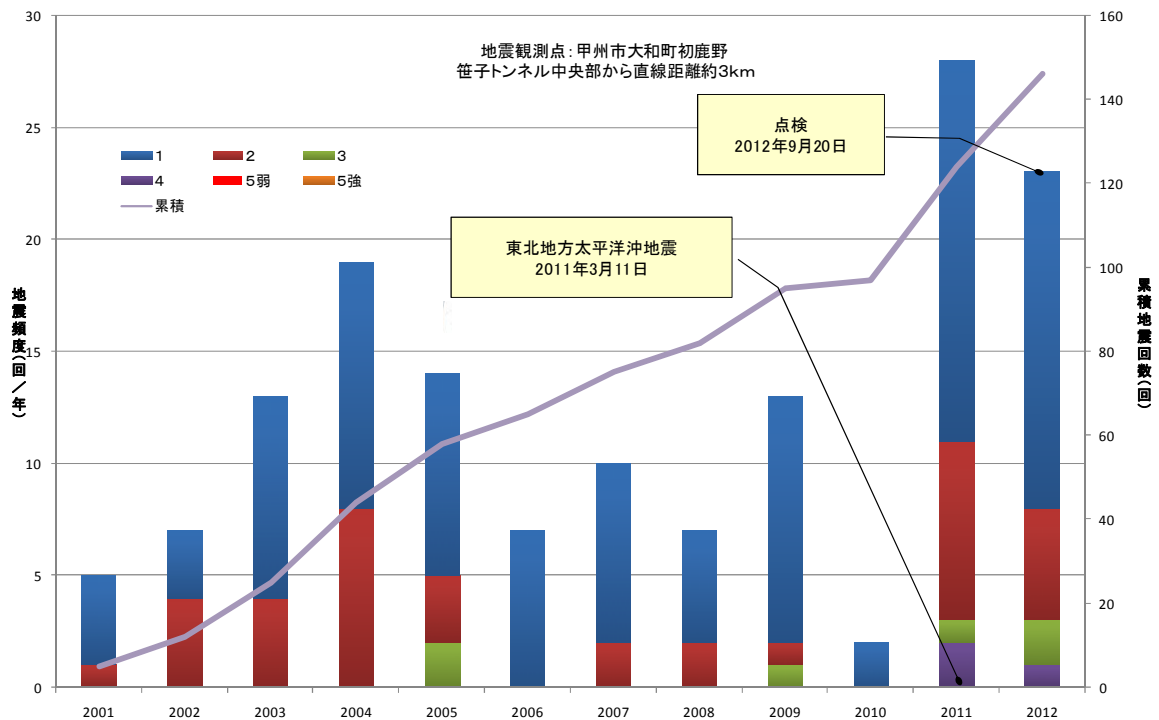
(2) 甲州市塩山下於曾(1996(平成 8)年 10 月～2012(平成 24)年 12 月)



(3) 大月市大月(1996(平成8)年10月～2012(平成24)年12月)



(4) 甲州市大和町初鹿野(2001(平成13)年6月～2012(平成24)年12月)



### 3.10.6.4 東日本大震災発生時の緊急点検(中日本高速道路(株) 報告資料)

#### (1)東日本大震災発生時の近隣の震度(中日本高速道路(株) 計測)

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

#### (2)緊急点検結果

「災害点検要領」(2005(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(下表)を実施

中央自動車道 上野原 I C～勝沼 I C間の状況把握点検を実施、異常なし

(点検時間：2011(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	車上天検を原則	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		車上天検を原則	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	車上天検を原則※	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(車上天検)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



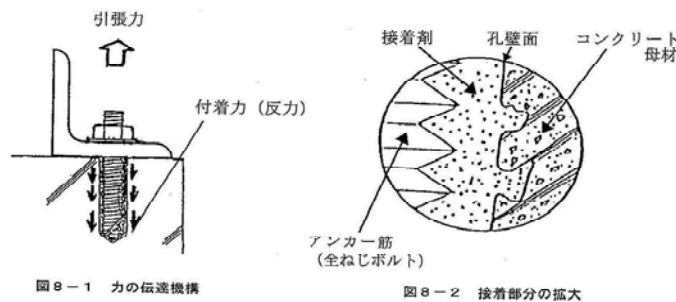
### 3.10.7. 接着系アンカーボルトの強度発現原理等に関する既往の知見

#### 3.10.7.1 接着系アンカーボルト 付着強度の発現メカニズム

「接着系アンカーは、アンカー筋の凹凸部とコンクリート母材孔壁の凹凸部に接着剤を充填し硬化させることで固着する。

接着系アンカーの固着力の強さはアンカー筋の凸凹部またはコンクリート孔壁の凸凹部と硬化した接着剤のせん断抵抗力に依存するので、これをアンカー筋とコンクリートとの「付着力」として取り扱うことができる。

引張力に対する力の伝達機構を図 8-1 に示し、アンカー筋とコンクリート孔壁の凸凹部に接着剤が充填された状態を拡大し、図 8-2 に示す。」

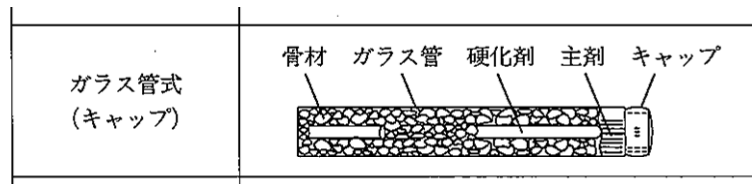


出典：あと施工アンカー技術講習テキスト（社）日本建築あと施工アンカー協会

#### カプセル方式の内容物と主な役割

- ①主剤 接着剤の主成分（ポリエステル系、エポキシ系など）
- ②硬化剤 接着剤を硬化させる促進剤（有機過酸化物、アミンなど）
- ③骨材 天然骨材（けい石など）人工骨材（マグネシアクリンカーなど）施工時に粉々に碎かれ細骨材になるが、その過程において穿孔したコンクリート壁面に樹脂がより食い込むように目荒らしをする作用、樹脂をコンクリート壁面に塗りつける作用等の役割を果たしている。
- ④キャップ 上向き施工時にカプセルを挿入しても落下しない等の役割を果たしている。
- ⑤カプセル 樹脂の長期保全安定性を確保するとともに、施工時には粉々に粉碎され骨材の一部になる。

#### カプセルの形状例

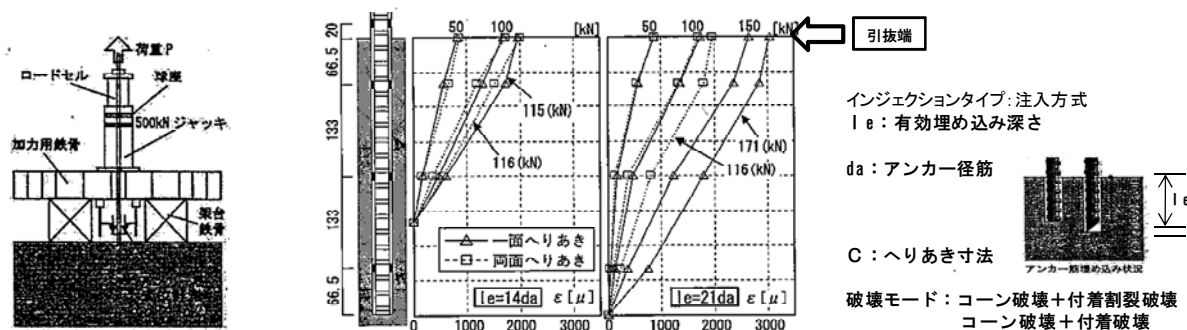


出典：各種合成構造設計指針・同解説 2010（平成 22）年 日本建築学会  
製品パンフレットなど

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



### 3.10.7.2 接着系アンカーボルト 荷重変位曲線 埋込み長さ断面における付着応力度

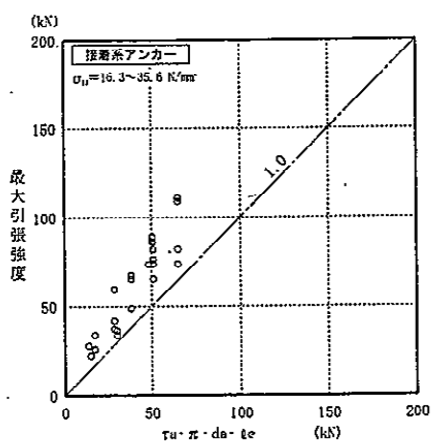


- 「・荷重初期の引抜端歪み勾配は、 $l_e=14d_a$ ,  $21d_a$ の両者ともほぼ等しく、同様の付着応力が生じている。
- ・荷重が増大するにつれて、コーン状破壊が生じる引き抜き端区間の歪み勾配が緩やかになり、付着力が失われている。
  - ・ $l_e=21d_a$ においても、最大耐力時の歪み分布は、引抜端の付着劣化部分を除いて直線的な性状であり、埋め込み長さ全長で平均的に付着抵抗している。」

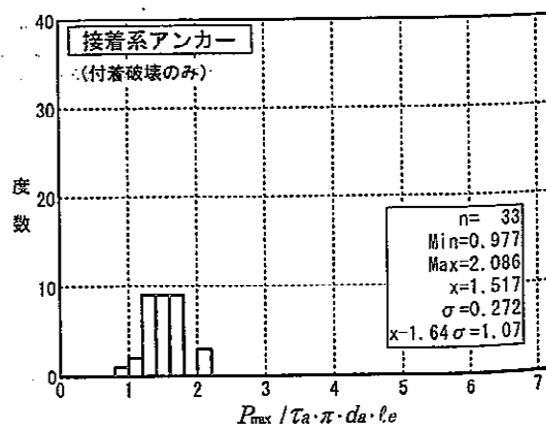
出典：各種合成構造設計指針・同解説 2010（平成 22）年 日本建築学会  
 杉山 智昭 他：埋め込み長さとしりあき寸法が接着系あと施工アンカーの支持耐力へ及ぼす影響に関する実験的研究（その 2 結果の考察と支持耐力評価）、日本建築学会学術講演梗概集、C2、pp87～488、2006（平成 18）年 9 月

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

### 3.10.7.3 接着系アンカーボルト 平均付着応力度のばらつきと下限



解図 3.1.16(a) (解 3.1.15) 式による計算値と実験値の比較



解図 3.1.16(b) (実験値/計算値) の比の

計算値 =  $10\sqrt{(F_c/21)}(N/mm^2)$  ここに  $F_c$ : コンクリートの設計基準強度 ( $N/mm^2$ )  
 $\cdot 18 < F_c < 48 (N/mm^2)$  の普通コンクリートの場合  
 $\cdot$  アンカー接着部の接着剤がカプセル方式で有機系の場合

- 付着強度の(実験値/計算値)比は、平均1.517である。  
 頻度分布を正規分布と仮定した場合、平均値と標準偏差0.272から計算すると、95%以上の信頼強度を有していると考えられる。

出典：あと施工アンカー設計指針（案）・同解説 2005(平成17)年5月  
 (社)日本建築あと施工アンカー協会  
 各種合成構造設計指針・同解説 2010(平成22)年 日本建築学会

### 3.10.7.4 接着系アンカーボルトの初期強度に与える影響

#### (1) 覆工コンクリートの強度

接着系アンカーボルトが引張力やせん断力を受ける場合、母材コンクリートの強度によって、以下の影響を受ける。

接着系アンカーボルトが引張力やせん断力を受ける場合、母材コンクリートの強度によって、以下の影響を受ける。

1)  $\tau_{bavg}$  (基本平均付着強度) =  $10\sqrt{F_c/21}$  (普通コンクリート、カプセル式有機系の場合)  
 $F_c$ : コンクリートの設計基準強度 ( $N/mm^2$ )

2) (コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度) =  $0.31\sqrt{F_c}$   
 $F_c$ : コンクリートの設計基準強度 ( $N/mm^2$ )

出典：各種合成構造設計指針・同解説 2010(平成22)年 日本建築学会

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

## (2) ひび割れの影響

「図 4.12 および図 4.13 は、母材コンクリートのひび割れ幅が接着系あと施工アンカーボルトの引張支持力に及ぼす影響を示した例（有効埋込み長さ  $l_e=8d_a$  の場合の結果）である。図 4.13 によると、ひび割れ幅が 0.3mm 程度の場合、引張力は平均的には約 50% に低下している。これらの実験結果を参考に、アンカー筋の埋込み長さが  $10d_a$  未満と短い場合には、ひび割れが生じている母材コンクリートにアンカーボルトを施工する場合には、平均付着強度  $\tau_a$  を適切に低減して、引張支持力を評価することも必要と考えられる。」

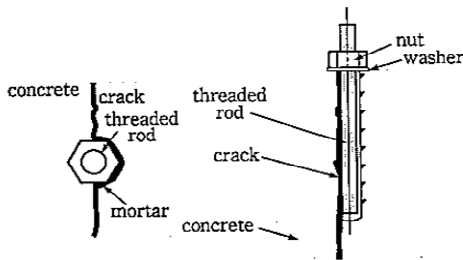


図 4.12 ひび割れが接着系アンカーボルトに及ぼす影響<sup>18)</sup>

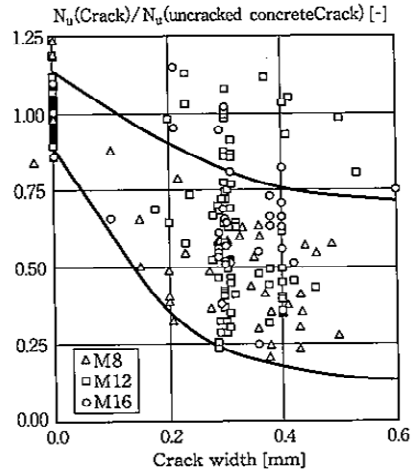


図 4.13 ひび割れ幅と引張支持力の関係<sup>18)</sup>

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

## (3) 削孔長に対する埋め込み深さの不足

接着系あと施工アンカー評価認証内容のなかで、「項目 8 穿孔深さと許容値」について、「施工方法及びアンカー筋の埋め込み深さを所定の方法により施工要領書により明示する。」こととしている。（製品毎に穿孔深さ及び許容差の基準が定められている。※）

出典：あと施工アンカー認証製品一覧(社)日本建築あと施工アンカー協会 2003（平成15）年

※：ケミカルアンカー  
レジンカプセルR16の穿孔深さ →

110mm 以上  
コンクリートの場合の最適深さ 130mm  
(材料承諾書に添付されていたカタログ(P51 参照)より)

現在は、  
130mm 許容差 -0 ~ +3.0mm  
(あと施工アンカー協会の認証製品一覧(P53 参照)より)

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

#### **(4)攪拌不足**

「穿孔機器と埋め込み機器は、穿孔深さやアンカー筋の長さにより用いる能力が異なる。従って、能力が少なすぎても（攪拌不足）大きすぎても（過剰攪拌）施工不良となるので注意が必要である。」

出典：あと施工アンカー技術講習テキスト（社）日本建築あと施工アンカー協会  
2007（平成 22）年

#### **(5)施工の向き**

「基本付着強度は、下向き施工の結果を基にしている。横向き、上向きといった施工方向による要因が基本値に影響を与える可能性があるため、確実な施工を行う必要がある。」

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

### 3.10.7.5 接着系アンカーボルトの長期強度に与える影響

#### (1) 持続荷重の影響

- クリープに影響を及ぼす一般的な因子：
- ・ 作用する応力や载荷時間など
  - ・ 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）

「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うことがわかる。」

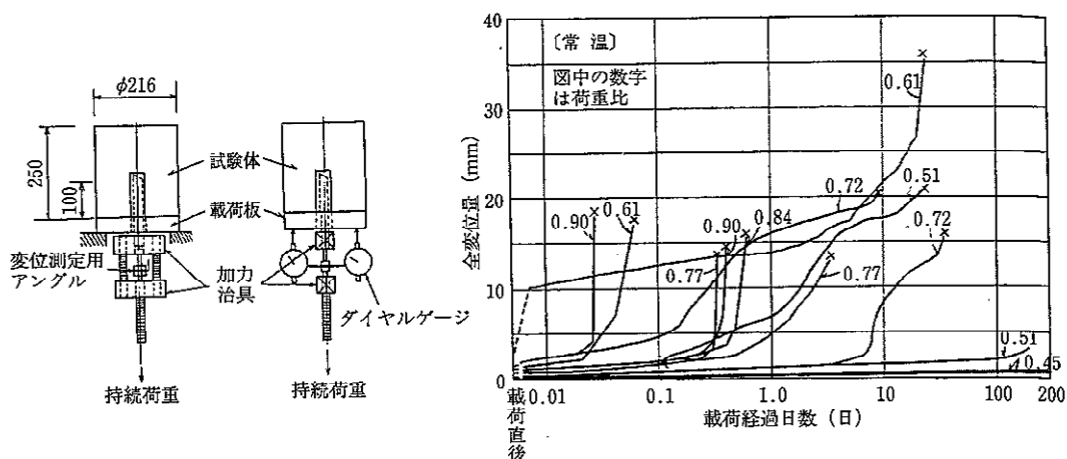


図 4.39 長期载荷日数と拔出し量

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  
 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(昭和56)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

## (2)多数回繰返し作用する荷重の影響

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）

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。

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

$P_{200}$  : 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。」

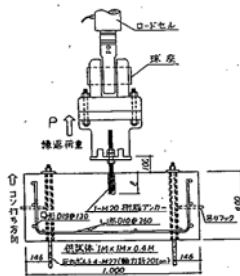


図-1 BFT-1 供試体と載荷方法

表-2 200万回引張疲労耐力

BFT-1						
埋込長さ $L$ (cm)	断面面積 ( $\text{cm}^2$ )	静的耐力 $P_s$ (ton)	静的耐力 対比 (%)	200万回疲労 耐力 $P_{200}$ (ton)	静的耐力: 対比 (%)	付着疲労耐力 $\alpha f_{200}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
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
√ 引張破断	断面積 2.45 $\text{cm}^2$	12.5	静的耐力 5.1 (46%)	3.72	0.32	

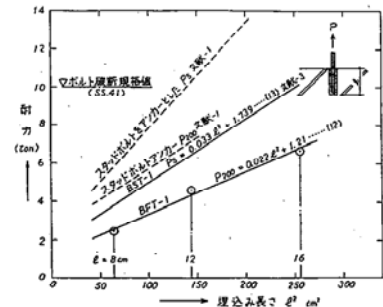


図-6 埋込長さとの関係

出典：各種合成構造設計指針・同解説 2010(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

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

### 3.10.7.6 接着系アンカーボルトの強度に与える影響(まとめ)

対象	項目	主な内容	引用文献
初期強度	覆工コンクリートの強度	引張力やせん断力を受ける場合、母材コンクリートの強度の影響を受ける。	各種合成構造設計指針・同解説 2010(平成 22)年 日本建築学会
初期強度	ひび割れの影響	ひび割れ幅が 0.3mm 程度の場合、引張力は平均的には約 50%低下する。	各種合成構造設計指針・同解説 2010(平成 22)年 日本建築学会
初期強度	削孔長に対する埋め込み深さの不足	製品ごとに穿孔深さおよび許容差の基準が定められている。	あと施工アンカー認証製品一覧 (社)日本建築あと施工アンカー協会 2003(平成 15)年
初期強度	攪拌不足	攪拌不足でも過剰攪拌でも施工不良になるので注意が必要である。	あと施工アンカー技術講習テキスト (社)日本建築あと施工アンカー協会 2007(平成 19)年
初期強度	施工の向き	基本付着強度は、下向き施工の結果を基にしている。横向き、上向きでは、確実な施工を行う必要がある。	各種合成構造設計指針・同解説 2010(平成 22)年 日本建築学会
長期強度	持続荷重の影響	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うことがわかる。	(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(昭和 56)年 9 月 各種合成構造設計指針・同解説 2010(平成 22)年 日本建築学会
長期強度	多数繰返し作用する荷重の影響	200 万回引張疲労耐力は、静的耐力の約 65%である。	(出典元) 松崎育弘他 2 名 「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書 1981(昭和 56)年 各種合成構造設計指針・同解説 2010(平成 22)年 日本建築学会

### 3.10.7.7 【参考】接着系アンカーの 我が国への導入時期

#### ●カプセル型接着系アンカー

- 1959 (昭和 34 年) . . . . . ドイツ ベルク・ウエルクス・フェアバンド社が特許出願。
- 1963 (昭和 38 年) . . . . . 同社が日本国内で特許出願。(日本国特許 NO. 4153841)
- 1969 (昭和 44 年) . . . . . 日本デコラックス(株)が技術導入し製造販売開始。
- 1970 年代前半 . . . . . 新幹線防音壁の取付け金物の支持アンカーに採用。  
(昭和 40 年代後半) 原子力発電所の配管ブラケットの支持金物の取付けアンカーとして採用。
- 1970 年代後半 . . . . . 旧日本電信電話公社の認定資材として認められる。  
(昭和 50 年代前半)
- 1981 (昭和 56) 年 3 月 . . . . 日本内燃力発電設備協会「自家用発電設備耐震設計ガイドライン」
- 1982 (昭和 57) 年 1 月 . . . . 日本建築センター「建築設備耐震設計・施工指針」等に  
設計施工に関するデータが記載される。
- 1982 (昭和 57) 年頃 . . . . 複数社が、市場参入。  
出典：建築防災 (1991(平成 3)年 10 月 (財) 日本建築防災協会)

### 3.10.7.8 接着系アンカーボルト 技術資料の整備の歴史

年代	出版物
1977 (昭和52)年	「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 付解説」(財 日本建築防災協会)
1981 (昭和56)年	「自家用発電設備耐震設計のガイドライン」(・日本内燃力発電設備協会)
1985 (昭和60)年	「各種合成構造設計指針・同解説」制定(日本建築学会)
1990 (平成2)年	「あと施工アンカー設計と施工」発刊(技術書院)
	「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 同解説」改訂版(財 日本建築防災協会)
1991 (平成3)年	「あと施工アンカー設計読本」発刊(建築技術)
2001 (平成13)年	「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 同解説」2001年改訂版(財 日本建築防災協会)
2006 (平成18)年	「あと施工アンカー設計指針(案)・同解説」(・日本建築あと施工アンカー協会)
	「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針」(国土交通省住宅局建築指導課)
2010 (平成22)年	「各種合成構造設計指針・同解説」改定(日本建築学会)

### 3.10.7.9 (社)日本建築あと施工アンカー協会の沿革

#### (1) 設立目的など

「日本コンクリートアンカー工業協会」を前身とし、1993（平成5）年12月に建設大臣の許可を得て設立された。

安全で良質な「あと施工アンカー」の供給に貢献し、国民生活の向上に寄与することを目指している。

#### (2) 沿革

沿革	
1984年(昭和59)年	日本コンクリートアンカー工業協会設立
1992年(平成4)年	日本建築学会に、あと施工アンカーの各種技術基準等の作成に関する研究委託
1993年(平成5)年	(社)日本建築あと施工アンカー協会発足
1995年(平成7)年	阪神・淡路大震災災害調査実施
1996年(平成8)年	第2種施工士試験 実施
1997年(平成9)年	第2鹿児島県北西部地震被害調査実施
1997年(平成9)年	第2種施工士、第1種施工士、技術管理士試験 実施
2001年(平成13)年	第1回更新講習・登録更新開始(第2種施工士、第1種施工士、主任技士)
2003年(平成15)年	製品認証制度スタート
2004年(平成16)年	宮城県北部地震あと施工アンカー被害調査報告
2010年(平成22)年	国土交通省建築基準整備促進事業 「あと施工アンカーの長期許容応力度に関する検討講座」の最終報告書提出
2011年(平成23)年	東日本大震災調査実施

出典：協会案内パンフレット