

## あと施工アンカーの臨時点検から設計・施工・ 維持管理要領(案)の作成

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 阪神高速技研(株)技術部設計課     | 吉原 聡  |
| 阪神高速道路(株)保全交通部保全企画課 | 足立 幸郎 |
| 阪神高速道路(株)大阪管理部保全技術課 | 甲元 克明 |
| 阪神高速道路(株)大阪管理部保全技術課 | 上田 勝久 |

### 要 旨

平成 24 年 12 月に実施したトンネル天井板の臨時点検時に複数のあと施工アンカーが脱落したことから、原因調査を進めた結果、過剰な施工時荷重や品質に対する施工鋭敏性などの複数の要因を推定した。また調査結果を踏まえて確実なアンカー構造等を目指し、吊り構造においては鋼材降伏先行の考え方や拡底式アンカーを基本とするなどの内容を盛り込んだ設計・施工・維持管理要領(案)を作成した。

**キーワード:**あと施工アンカー、脱落、施工時荷重、拡底式アンカー、要領

### はじめに

平成 24 年 12 月に中央自動車道笹子トンネルにおいて発生した天井板崩落事故をうけて、吊り構造を有する天井板の臨時点検を実施した。神戸長田トンネルにおいて吊り材を固定するあと施工アンカー(以後アンカーと記す)のボルト部が脱落する不具合が生じたことから社内検討会を設置し、

原因調査を目的とした既設アンカーの調査や、供試体による各種試験等を行った。また、得られた結果から、施工時のナット締付力や無機(セメント)系接着アンカーの施工品質に対する鋭敏性などの複数の要因を推定するとともに、再発防止を目的とした設計・施工・維持管理要領(案)の基本的な考え方について審議した。本稿は、これらの検討ならびに要領(案)の概要について報告するものである。

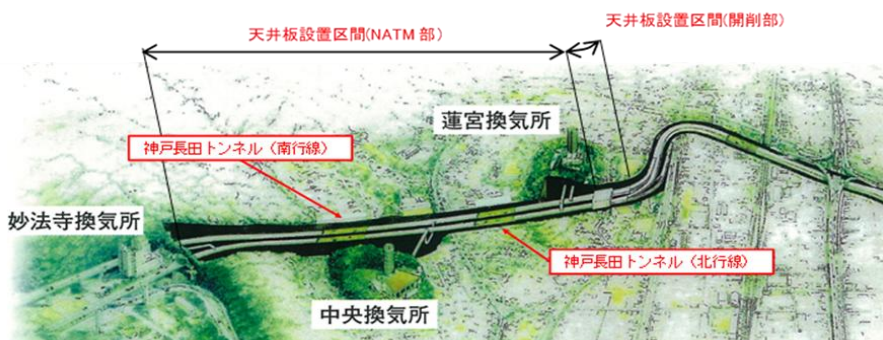


図-1 神戸長田トンネル概要図



写真-1 天井板設置状況

関する損傷は発見されていない。

## 1. 調査対象アンカーの概要

### 1-1 天井板の吊り構造について

平成 15 年 8 月に供用を開始した神戸長田トンネルは図-1 に示すように北行、南行の 2.1～2.2km の区間に天井板が設置されている。天井板は写真-1、図-2 に示す吊り構造が標準となっており、鋼材をコンクリートに固定するため、図-3 に示す無機系の接着アンカーを使用している。また、天井板落下防止ワイヤーの定着も同様で、これらはすべて削孔径 19mm、削孔深さ 90mm、M16 ステンレスボルトを採用している。

### 1-2 臨時点検結果・過年度の点検結果について

吊り金具を固定するアンカーについては、臨時点検時に、近接目視、たたき点検および触診を約 3 万本(落下防止ワイヤー部を含む全数)について実施し、その結果 4 本の脱落が生じた。いずれも写真-2 に示すアンカーとコンクリートの付着が破壊したものであった。

過年度の点検では当時の点検要領に基づく 5 年毎の定期点検が平成 19～20 年度に実施(目視+必要に応じてたたき点検)されていたが、漏水などの報告がなされているものの天井板やアンカーに

### 1-3 設計に関する調査

設計に関して、資料や新たに実施した試算等により以下の内容が明らかとなった。

#### (1) 短定着アンカーの選定

建設時の設計においては、アンカーと覆工コンクリートの鉄筋との干渉を回避するために特注の短定着アンカーを採用することとし、また、耐火性の観点より無機系を選定していた。

#### (2) 建設時の許容力評価式

メーカー基準を参照してボルト 1 本あたりの長期許容値については、コーン状破壊により定まる値(P1)、鋼材の降伏により定まる値(P2)、付着力により定まる値(P3)を算出し、最も小さな 800kg(7.8kN)を採用していた。

$$P1 = \phi 1 \cdot A_c \cdot 10 \cdot \sqrt{F_c / 210} \quad (\text{kg})$$

$$P2 = \phi 2 \cdot \sigma_y \cdot A_{se} \quad (\text{kg})$$

$$P3 = \phi 3 \cdot 100 \cdot \sqrt{F_c / 210} \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (\text{kg})$$

$A_c$  : コーン状破壊面の有効水平投影面積  
( $\pi \cdot l_e \cdot (l_e + D_a)$ )

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$\sigma_y$  : 鋼材の規格降伏点強度

(または 0.2%耐力) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

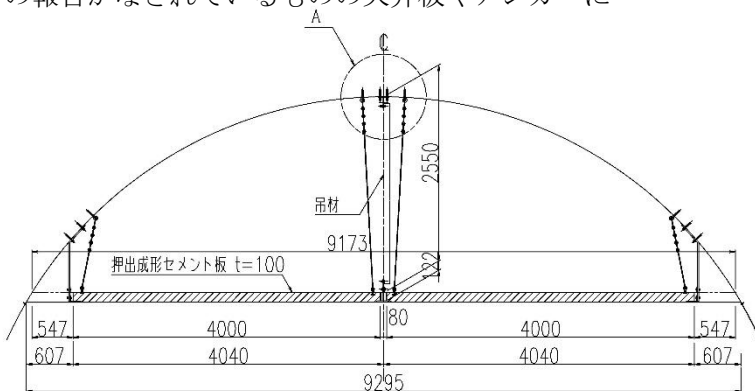


図-2 天井板吊り構造図 (NATM 区間標準)

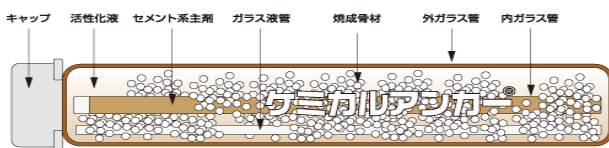
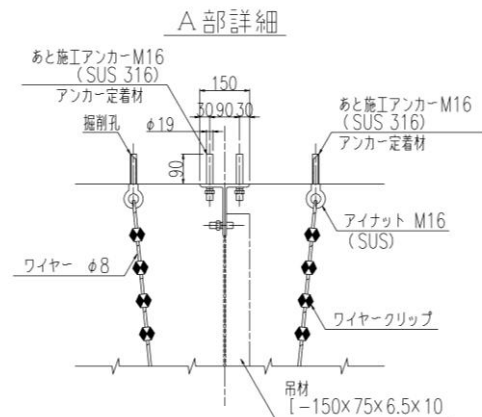


図-3 無機系ケミカルアンカー



写真-2 臨時点検時脱落ボルト例

- $A_{se}$  : 鋼材の有効断面積 ( $\text{cm}^2$ )  
 $d_a$  : アンカーボルトの径 ( $\text{cm}$ )  
 $l_e$  : 有効埋め込み長さ ( $1 - d_a$ )  
 $l$  : アンカーボルトの長さ ( $\text{cm}$ )  
 $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  : 荷重種別係数  
 長期荷重用 (0.4, 2/3, 0.4)  
 短期荷重用 (0.6, 1, 0.6)

### (3) 建設後の新たな許容値評価方法

2010年に制定された日本建築学会による設計指針<sup>1)</sup>においては、埋め込み長について  $7d_a$  以上と規定したうえで、コンクリート表面付近 ( $2d_a$ ) の付着力を評価せず、無機系接着アンカーの付着力を有機系の 1/2 と評価している。

### (4) 作用荷重

アンカーへの作用荷重については、最も厳しい断面について照査すると、774.5kg (7.6kN) と計算されて上記の許容値以下となった。

### (5) まとめ

前述の各設計値について、表-1 にまとめると引張耐力と作用力の比は 2.5~5.3 となり、付着破壊による脱落を示す結果にはならなかった。

## 1-4 施工に関する調査

施工に関する調査として当時のしゅん工図書の調査や関係者ヒアリング結果、新たに実施した調査等により以下の内容が明らかになった。

### (1) アンカーの付着力

表-1 アンカーの設計まとめ

|        | 引張耐力   | 許容値  | 作用力 | 引張耐力 | 備考  |
|--------|--------|------|-----|------|---|
|        | (kN/本) |      |     | 作用力  |   |
| コーン状破壊 | 19.6   | 7.8  | 7.6 | 2.5  | 引張耐力、許容値:<br>当初設計値<br>作用力:見直し(隔壁<br>曲げ考慮) |
| ボルト降伏  | 26.9   | 18.0 |     | 3.5  |   |
| 付着破壊   | 40.1   | 16.0 |     | 5.3  |   |

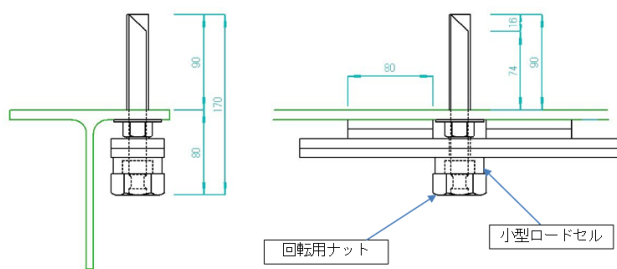


図-4 引張試験実施状況

付着力の施工管理には、鋼材の降伏により定まる短期許容値 2747.5kg (26.9kN) を考慮した 25kN を管理値とした全数の引張試験が実施され、全数が合格となっていた。

### (2) ナット締付力

今回対象としている吊金具の定着に使用された M16 アンカーについて 700kg・cm (68.6N・m) を管理値とした全数試験がなされており、同じく全数合格となっていた。SUS316 のトルク係数から上記管理値のナット締付けによる導入軸力を試算したところ 26.8kN となり、前述の引張耐力以下ではあるものの長期許容荷重 16.0kN を上回る結果であった。

## 2. 既設アンカーの調査

### 2-1 引張試験

天井板吊金具に使用された既設アンカーについて、建設時の施工管理値に相当する 25kN の载荷を行う引張試験を 200 本に 1 本以上の抽出により実施した(図-4)。当初は 125 本を、臨時点検から約 1 年後には改めて重複しない 142 本について試験を行った。供用中のトンネル天井板を支えていることから、鋼材やナットをセットしたままの状態ロードセル、载荷用ナットを設置し、载荷を行った際の回転量を記録するとともに、目視、たたき点検を行った。その結果、全数に異常は認められず、試験時の実作用荷重は不明なもの少なくとも 25kN の荷重に対してアンカーは弾性範囲にあると考えられた。

### 2-2 引抜試験

本線と同様の天井板吊り構造となっている妙法寺換気所ダクトトンネルにおいて、最大荷重を超えるまで载荷する引抜試験を 9 本実施した。コーン破壊や付着破壊が生じており、最大荷重は 43~77kN であった。試験本数は少ないものの、長

表-2 引抜試験結果

| 引抜試験 | 最大荷重(kN) |    |    |    | 付着破壊<br>コーン破壊 |
|------|----------|----|----|----|---------------|
|      | 43       | 49 | 72 | 77 |               |
|      | 47       | 50 | 59 | 62 | 74            |



写真-3 引抜試験結果(破壊状況)

期許容値(7.8kN)と比較すると十分に大きい結果が得られた(表-2, 写真-3)。

### 2-3 トルク調査・締付け調査

既設アンカーのナット締付け力について抽出により調査を実施した。その結果、図-5 に示すように施工管理値を超えるものから小さなものまでバラツキが大きくなっていった。

一方、ダクトトンネルを除く全数のアンカー(約3万本)に対して簡易的な引張試験としてトルク調査、締付け調査を実施した。トルク調査では吊金具のアンカーを対象に設計上の最大作用力(7.6kN)を上回る軸力が導入されるまでナットを締め込み(トルク=25N・m)、締付け調査では落下防止ワイヤーのアンカーを対象にナットの締め付けを実施したところ、脱落や抜けだしの生じたアンカーが8本生じた。脱落孔の壁面観察を実施したが、付着不良を示す痕跡(例えば排気ガスによる孔壁の汚れ)等の原因特定に結びつく結果は得られなかった(写真-4)。一方、本調査は簡易なもの

表-3 組成、成分情報

| 成分                 | 含有率 <sup>※1</sup> (Wt%) | 化学式              | CAS No.  | 官報公示整理番号(化審法、労安衛法)  |
|--------------------|-------------------------|------------------|--|---------------------|
| 主剤 <sup>※2</sup>   | 16~27                   | けい酸カルシウム         | Ca <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>               | 12168-85-3 (1)-194  |
|                    |                         | アルミン酸カルシウム       | Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub> | 12042-78-3 (9)-2408 |
|                    |                         | 鉄アルミン酸カルシウム      | -  | -                   |
|                    |                         | 硫酸カルシウム          | CaSO <sub>4</sub>                              | 7778-18-9 (1)-193   |
| 活性化液               | 18~28                   | ケイ酸ナトリウム         | Na <sub>2</sub> O・nSiO <sub>2</sub>            | 1344-09-8 (1)-508   |
|                    |                         | 水                | H <sub>2</sub> O                               | 7732-18-5 -         |
| セラミックボール(主に二酸化ケイ素) | 28~55                   | SiO <sub>2</sub> | 7631-86-9                                      | 天然物                 |
|                    | ガラス                     | -                | -  | -                   |
| キャップ(ポリエチレン又はナイロン) | 0.8~3                   | -                | -  | -                   |

※1 含有率:カプセル重量に対しての各成分の重量パーセント

※2 主剤:ポルトランドセメント(CAS No.65997-15-1)

本製品には、主剤(ポルトランドセメント)に含まれる酸化カルシウムが、カプセル重量パーセントとして、最大0.5%含有する可能性がある。

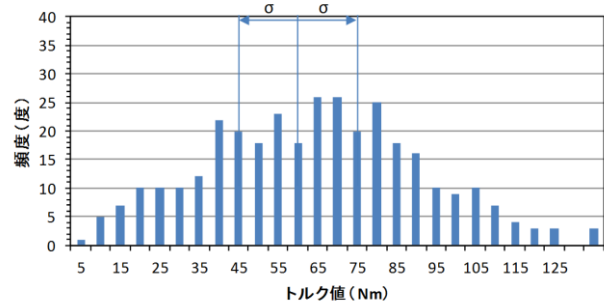


図-5 トンネル(NATM 部北行)天頂部トルク分布



写真-4 トルク調査時抜けだしボルトと孔壁

で精度に課題はあるが、異常のあったアンカー以外については設計上の耐力を有していたと考えられる。

### 2-4 成分分析

神戸長田トンネルで使用された接着系アンカーの成分については、現行品についての組成、成分情報がメーカーの製品安全データシートに記載されており(表-3)、早期強度の発現に影響の高いセメント組成化合物を主体とした材料であることがわかる。製品を化学分析した結果からも同様の結果が得られた。また、脱落ボルト付着物について覆工コンクリート表面に近い部位、中間、遠い部位のサンプルより、粉末 X 線回折分析(XRD)により結晶質成分を同定したが(表-4)、炭酸カルシウムの含有量に差がみられたものの今回の分析では

表-4 結晶質成分の同定結果

| 試料名          | C <sub>3</sub> S/C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF | CaCO <sub>3</sub> | Quartz | その他 |
|--------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------|-----|
| 7 B-①(最深部付近) | -                                 | -                | -                 | +                 | +      | あり  |
| 7 B-②(中間部付近) | -                                 | -                | -                 | +++               | ++     | あり  |
| 7 B-③(表層部付近) | +                                 | +                | +                 | ++++              | ++     | あり  |
| 9 B-①(最深部付近) | -                                 | -                | -                 | +                 | ++     | あり  |
| 9 B-②(中間部付近) | -                                 | -                | -                 | +++               | ++     | あり  |
| 9 B-③(表層部付近) | +                                 | +                | +                 | ++++              | +++    | あり  |

注) 当該物質回折線における、メインピークの大きさを次に示す記号で表示した。  
 記号                      ピークの大きさ  
 +++++                    : 大 ( 4000 counts 以上 )  
 ++++                      : 中 ( 3000~4000 counts )  
 ++                         : 小 ( 2000~3000 counts )  
 +                          : 微小 ( 検出限界以上~2000 counts )  
 -                          : 検出限界以下



耐力低下に結びつくデータは得られなかった。

### 3. 供試体による試験

#### 3-1 引抜試験

既設アンカーの特性値の把握を目的として供試体を新たに作製して引抜試験を実施した。供試体はコンクリートの状態が神戸長田トンネル本線に近いと考えられる中央換気所ならびにダクトトンネルの壁面等を利用し、同メーカー同サイズの無機系接着アンカーを使用して試験をおこなった(表-5)。その結果、上向き、横向きといった施工方向に限らずメーカー基準相当もしくはそれ以上の引張耐力が得られたことから、建設時においても適切な施工を行ったアンカーは設計上想定している引張耐力を有していたと考えられる。

また、各種耐力低下要因に関する評価を行うため、付着面積、締め付けトルク、清掃程度、削孔内水分、攪拌程度、養生状態、台直しについて各

表-5 引抜試験(耐力特性値)試験一覧

|   | 施工方向     | 破壊モード | 供試体数(本) | 最大荷重平均(kN) | 標準偏差 | 備考 |
|---|----------|-------|---------|------------|------|----|
| 1 | 横向き(開削部) | 付着破壊  | 34      | 62.0       | 9.3  | ※  |
| 2 | ”(開削部)   | コーン破壊 | 4       | 50.2       | 11.1 |    |
| 3 | ”(NATM部) | 付着破壊  | 12      | 64.2       | 8.7  | ※  |
| 4 | 下向き(開削部) | ”     | 12      | 54.2       | 9.0  | ※  |
| 5 | ”(NATM部) | ”     | 12      | 60.0       | 6.6  | ※  |
| 6 | 上向き(開削部) | ”     | 11      | 74.7       | 9.4  | ※  |

※…コーン破壊抑制

注…開削部=中央換気所、NATM部=ダクトトンネル

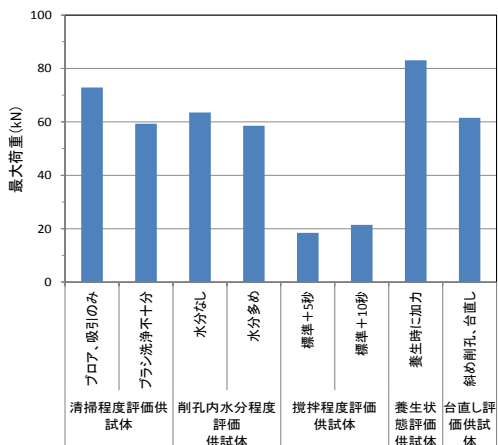


図-6 耐力低下要因評価試験結果

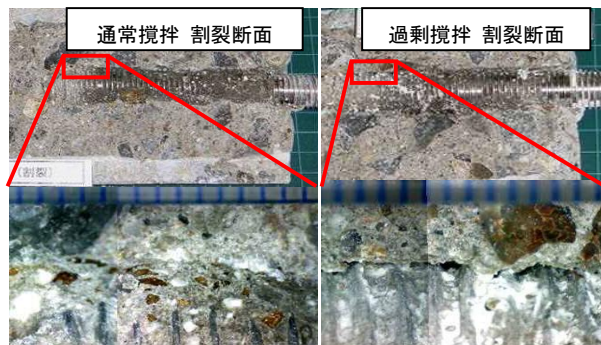


写真-5 付着部断面写真

ケースにつき3本の引抜試験を実施した。試験方法の再検討が望まれる項目もあったが、過剰な攪拌を行ったアンカーについては大きな耐力の低下が確認され、施工品質によって引張耐力に大きな影響があることが判明した(図-6)。

また、アンカー定着部をコア採取して破面の観察を行ったところ、過剰な攪拌による供試体では定着部の不良が確認された(写真-5)ことや、当時の施工管理に攪拌時間の記述がされていないことも考え合わせると一部のアンカーにおいては施工当時から本来の耐力を有しないものが混在していたことを伺わせる結果となった。

一方、併せて行ったたたき検査では、試験後の損傷したアンカーについて残存引張耐力が5kN程度まで低下した場合においては異常を確認できるが、15kN程度の残存があれば、音、指触感覚ともに異常を確認できず、たたき検査では設計上必要な引張抵抗力を有するかは把握できないことがわかった。

#### 3-2 簡易クリープ試験

作製した供試体を用いて簡易なクリープ試験を行った。引抜試験実施前の健全なアンカー1本と試験実施後の損傷した3本(引抜試験の最終荷重15kN, 20kN, 30kN)の合計4本を対象とし、アンカーにロードセルと変位計を設置して死荷重の約3倍の荷重(10kN)をナットの締め付けにより導入した。荷重については概ね1週間毎に調整し、試験開始より7ヶ月が経過した時点では健全な供試体に比べて損傷した供試体の変位量がより大きく

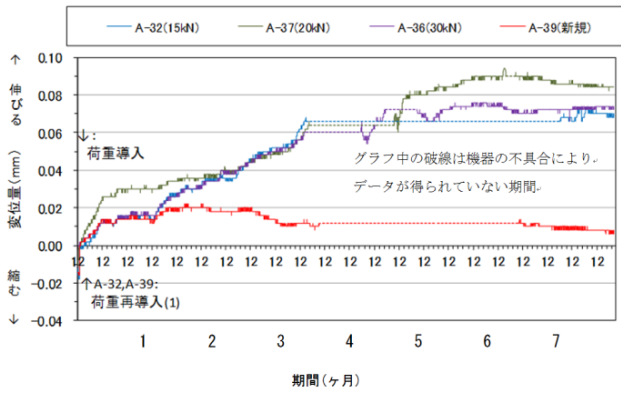


図-7 簡易クリープ試験結果

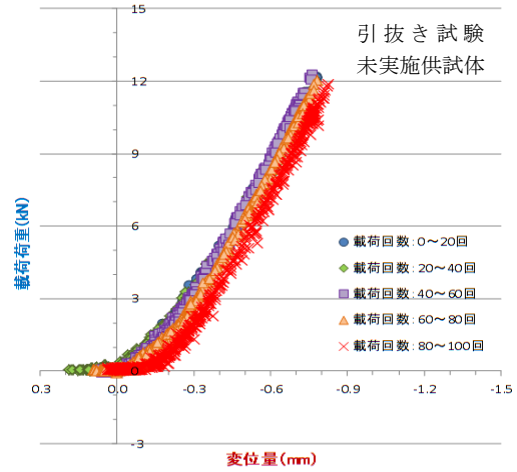
なっていた。この結果は耐力の低下を示すものではないが、微少な破壊が進行していることを伺わせる結果であった(図-7)。

### 3-3 繰返し载荷試験

簡易クリープ試験と同様の試験機器により 100 回の繰返し载荷試験を実施した。引抜試験実施前の健全な供試体と試験実施後の損傷した供試体を用いてナットの締め付けと解放により 10kN の载荷を繰り返した結果、前者は 100 回の载荷後も残留変位の増加が見られなかったが、後者では累計 1mm の残留変位(抜けだし)が計測された(図-8)。試験時に実施したたたき検査においても音の変化が認められており、载荷を繰り返すことにより脱落に至ると推定される。なお、臨時点検におけるアンカー脱落箇所は換気の運転・停止の影響が少なく荷重変動が小さいので、脱落原因の直接的な要因である可能性は低い、換気影響の大きい箇所については引張耐力低下への影響が懸念される。

## 4. 異常の原因推定

これまでの調査結果を引張方向の耐力に着目して図-9 にまとめた。前述の引抜試験やメーカーへの問い合わせから推定した無機系短定着アンカーの付着抵抗力分布に対して当時の設計による耐力評価は妥当と考えられるが、日本建築学会による耐力評価は低く、さらに許容値の算定は設計上の作用力を下回る結果となった。一方、付着抵抗



※グラフは 20 回毎に変位をリセットしている

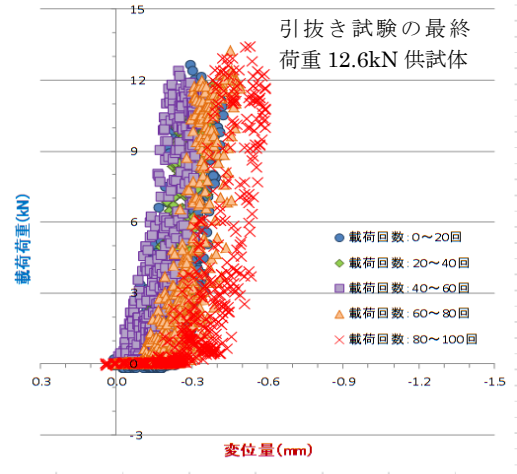


図-8 繰返し载荷試験結果

力分布の抵抗力が低い側と、施工時の軸力導入分布の高い側が重なっており、施工段階で一部には異常が発生していたことも考えられる。以下に、アンカーが脱落や抜けだしに至った原因として推定された要因をまとめる。

- 1) 試験により施工時の過剰攪拌による耐力の低

| セメント系接着アンカー引張方向の耐力階層 |               |      |              |      |      |      |                   |
|----------------------|---------------|------|--------------|------|------|------|-------------------|
| 引抜き力                 | 耐力(設計当時 協会基準) |      | 耐力(最新建築学会基準) |      | 作用力  |      | 施工管理値<br>(設計で未考慮) |
|                      | 付着抵抗力分布       | 耐力   | 許容値          | 耐力   | 許容値  | 設計力  |                   |
| 80kN                 |               | 80kN | 80kN         | 80kN | 80kN | 80kN |                   |
| 40kN                 |               | 40kN | 40kN         | 40kN | 40kN |      |                   |
| 20kN                 |               | 20kN | 20kN         | 20kN | 20kN |      |                   |
| 0kN                  |               | 0kN  | 0kN          | 0kN  | 0kN  |      |                   |

図-9 引張方向耐力階層の推定

下が認められ、使用された無機系接着アンカーの特性と設置時の施工品質の影響により、一部には当初より引張耐力の低下があったと推定される。

2) 建設当時においては、定着長の短いアンカーに対する施工上の配慮が不十分であったため、ナットの締付けによって定着部に長期許容荷重を上回る過大な応力が発生していた。

3) これらの複合的な作用により一部のアンカーについては建設時より定着部に微少な破壊などの異常が発生していたと推定される。

4) アンカーは破壊時に音の発生等の明確な異常が生じないこと、また残留耐力を有することから、建設時や点検時（目視、たたき点検）には把握が難しかったと考えられる。

5) 簡易なクリープ試験の結果において、健全な供試体と引抜試験により最大荷重を経た供試体には7ヶ月間の挙動に差がみられたことから、定着部に異常の発生したアンカーは、経年の影響により微少な破壊が進行していた可能性が考えられる。

## 5. あと施工アンカーの設計・施工・維持管理要領について

### 5-1 設計編

得られた知見を元に要領の作成検討を行った。吊り構造(常時、下向きの引張力が作用する重量構造)には確実なアンカー構造、長期的な安全性確保、施工非鋭敏性といった性能を求めるとし、原則として鋼材降伏先行で設計するとともに、信頼性が高く破壊モードのコントロールが容易な拡底式アンカーを標準とした。また、使用する製品についても長期効果(クリープ等)に対する安全性において基準が進化している欧州ないし米国での認証を受けた商品を採用することとした。なお、前述に拠りがたい場合は安全率を15(ジェットファン基準<sup>2)</sup>相当)確保したうえで金属拡張アンカーの使用も認めた。

取付構造(主に小構造物の取付構造)には金属拡張アンカーを採用して標準設計(径、配置ピッチ等)に従うこととし、特殊構造(主に耐震構造)は

従来基準によるとの整理を行った。また、要領に規定のない事項については新しい公的な基準と考えられる日本建築学会基準を準用することとした。

なお、従来の設計法では未評価であった施工時荷重(ナット締付けにより導入される軸力)について緩み防止の観点と長期の安全性の双方に配慮して長期許容値相当で設計することとし、一方、短期荷重が前述の導入軸力を超過することは部材固定の観点から望ましくないと考え、短期許容値についても導入軸力相当が妥当と考えた(図-10)。

### 5-2 施工編

施工時荷重の残留や攪拌時間が品質に鋭敏に影響していることに配慮し、かつ設計で期待している性能を確保するために、設計内容やアンカー特性を理解した施工管理、品質管理が必要であることを要領に明記するとともに、以下に示す項目について適正な管理を実施することを明記した。

- 1) 削孔深さ、径、方向
- 2) 定着部のコンクリートの状態確認  
へりあき、亀裂等
- 3) 施工管理軸力  
破壊モードに応じた軸力(施工段階を考慮)
- 4) 留意事項の遵守  
接着系アンカーの攪拌時間等
- 5) 引張試験  
吊り構造は全数、取付構造は1/200

### 5-3 維持管理編

アンカーに着目した維持管理について検討した結果、改めて1)~4)に示すPDCAサイクルを遵守することを基本とし、特に吊り構造については詳

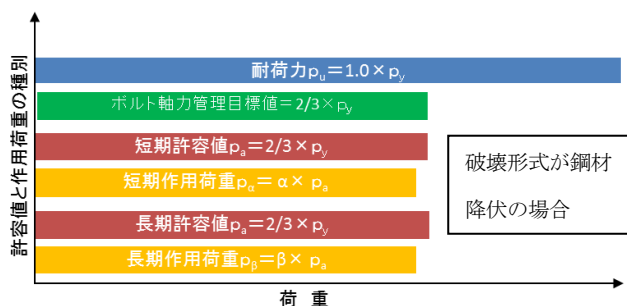


図-10 許容値と作用力との関係

細な点検を実施することとした。

- 1) 維持管理計画の策定, 見直し
- 2) 点検, 調査, 記録

吊り構造: 定期点検時に全数の接近目視, 触診, たたき点検, トルク調査, 抜き取りによる引張試験

取付構造: 定期点検時にアンカーの目視+必要に応じてたたき点検

- 3) 評価, 原因調査, 対策検討, 記録

損傷ボルトに対しては原因を調査し, 当該ボルト固有事象か判断のうえ点検頻度の見直しやボルトの更新も考慮して対応

- 4) 補修, 補強, 記録

## 6. まとめ

アンカーは付属構造物等に多数利用されており,

特に吊り構造については異常発生時に第三者に与える影響が懸念される。本検討で得られた成果の一部は既に学会等に説明しており, 設計・施工指針(案)<sup>3)</sup>にも取り込まれた。一方, 異常時におけるバックアップの考え方は別途検討中で, これらの成果や新たな知見等を取り込んで, さらなる安全性の確保に努めてゆく必要がある。

**謝辞:** 社内検討会では京都大学の宮川先生をはじめ委員の方々や多数の関係者のご協力を頂きました。改めて皆様に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会編: 各種合成構造設計施工指針・同解説, 2010.
- 2) 日本道路協会: 道路トンネル技術基準(換気編)・同解説, 2008
- 3) 土木学会編: コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(案), 2014.

## INTENSIVE INSPECTION AND INVESTIGATION OF POST INSTALLED ANCHOR SYSTEMS AND PROPOSED MANUAL FOR DESIGN, INSTALLATION AND MAINTENANCE

Satoshi YOSHIHARA, Yukio ADACHI, Katsuaki KOMOTO and Katsuhisa UEDA

Some cement-based adhesive anchor systems in a tunnel ceiling were found to have lost their load carrying capacity during an intensive inspection in December 2012. The results of investigation on the damage indicated several factors responsible for the loss of load carrying capacity, including 1) excessive drilling during installation and 2) excessive fastening torques. Using the findings from the investigation, the authors developed a reliable anchor system based on two major design principles: consideration of capacity hierarchy, and application of undercut anchors. Furthermore, a proposed manual for design, installation and maintenance of post installed anchor systems was created.

吉原 聡



阪神高速技研株式会社  
技術部 設計課  
Satoshi Yoshihara

足立 幸郎



阪神高速道路株式会社  
保全交通部保全企画課  
Yukio Adachi

甲元 克明



阪神高速道路株式会社  
大阪管理部保全技術課  
Katsuaki Komoto

上田 勝久



阪神高速道路株式会社  
大阪管理部保全技術課  
Katsuhisa Ueda