

## (19) 破碎帯におけるアンカ一定着力確認試験

阪神高速道路公団	神戸建設部	上田芳夫
同	上	幸左賢二
同	上	斉田浩一
応用地質(株)		平田啓一

### 1. はじめに

阪神高速道路公団北神戸線の山田開削トンネルは、上方に急傾斜の厚い崖錐堆積物が存在するうえに断層破碎帯上に位置する。この地形に対応するためには、非常に大きな抑止力が必要であることから二段抑止深礎とアンカーを併用した構造を検討している。このときアンカーには、設計上100tの抑止力が期待されるが破碎帯上に位置することから7本の実構造物アンカーを用い定着岩盤の1)定着力2)クリープ3)付着応力分布を試験した。

### 2. 地質概要

図-1に地形図、図-2に代表的地質断面図を示す。以下に地盤上の特徴を述べる。

- 1) 崖錐堆積物は、10~18mと非常に厚く、砂礫層であるにもかかわらず、N値は10~30であり、緩い堆積層である。
- 2) 山田断層の山側に分布する有馬群層は、断層より山側において20~30mの中で、破碎されて粘土化している所が多い。
- 3) さらに山側の有馬群層も、20~30mの中で、破碎されボーリングコアがサイコロ状に採られるような割れ目の密集した岩盤状況となっている。
- 4) 山田断層より谷側に分布する神戸層群では、砂岩・礫岩・凝灰岩は硬質であるが、泥岩は粘土化を受けている。
- 5) 神戸層群の変形係数(D)は、 $D = 5800 \sim 11000 \text{ kgf/cm}^2$ 、有馬群層断層破碎帯の変形係数(D)は、 $D = 1500 \sim 3500 \text{ kgf/cm}^2$ が得られている。しかしながら有馬群層断層破碎帯では載荷実施不可能な所が多くさらに変形係数が低い劣悪な部分の存在が考えられる。

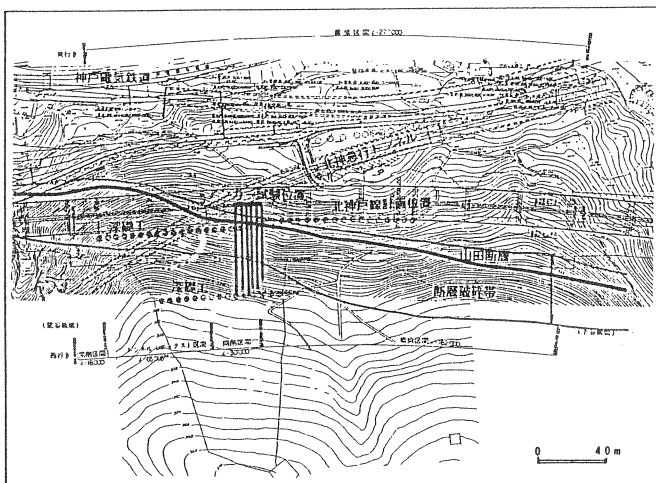


図-1 地質平面図、周辺地形図

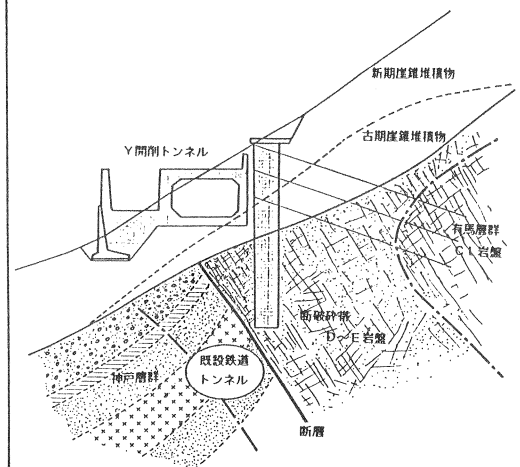


図-2 地質横断面図

### 3. 地滑り対策設計

検討手順の地滑り対策設計のフローチャートを図-3に示す。各解析手法を略述する。

#### 1) 逆解析 (現況地滑り地の評価)

滑り面とその形状を決定し、現状での地滑りに対する安全率を0.95と仮定し、逆解析により地質の強度定数を推定した。

#### 2) 順解析

逆解析により得られた地盤定数を用いて、施工時、完成時の斜面安定性を検討し地滑り対策工の必要抵抗力の算定を行った。地滑り発生のもっとも大きな要因として、集中豪雨等による地下水位の上昇を考慮し、崖錐層厚の1/4高さまでの地下水位を設定し、地滑り対策に対する安全率を1.2とした。その結果地滑り必要抵抗力は開削トンネル部(L=65m, 390t/m)、高架部(L=182m, 360t/m)となった。

図-2に示すように開削トンネル部においては、トンネルが近接するため杭根入れ長が十分確保できないことから2段深礎杭とし地滑り力を分担させた。上方杭は杭径3.5m、杭長23.0m杭間隔6.0mとなる。これに対して下方杭は杭径3.0m、杭長26.0m、杭間隔6.0mとしアンカーを3段配置した。この場合、掘削時安全率1.2を確保するためにはアンカー定着力は1本あたり100t程度必要となる。

検討手順のフローチャート

逆解析のフローチャート

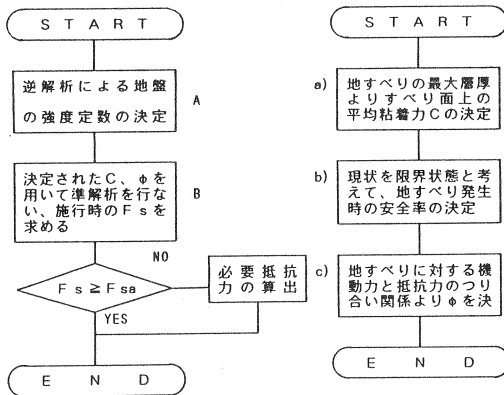


図-3 地すべり対策フローチャート

表-1 アンカー引抜き試験の項目

試験孔番号	定着地別摩擦応力度の確認	定着長さによる設計周面摩擦応力度の確認	クレーン試験	定着地盤
①	○			D~C <sub>u</sub> 岩盤
②	○			C <sub>u</sub> 岩盤
③	○			C <sub>u</sub> 岩盤
④			○	C <sub>u</sub> 岩盤
⑤		○		C <sub>u</sub> 岩盤
⑥		○		C <sub>u</sub> 岩盤
⑦		○		C <sub>u</sub> 岩盤

表-2 アンカータイプおよび試験結果

番号	アカー長 (m)	定着長 (m)	アカータイプ	削孔径 (mm)	最大緊張荷重 (t)	引抜き可否	確認周面摩擦応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
①	46.5	3.0	E5-7	115	120	×	10.2
②	51.0	3.0	E5-7	115	120	×	10.2
③	56.0	3.0	E5-7	115	120	×	10.2
④	51.0	3.0	E5-7	115	105	×	8.9
⑤	53.0	5.0	E5-7	115	120	×	6.1
⑥	49.5	1.5	E5-10	135	85	○	11.4
⑦	55.0	7.0	E5-12	135	185	×	6.0

#### 4. アンカー引抜き試験

##### 4-1. 試験項目

アンカー計画地盤を対象に、7本のアンカー引抜き試験を実施した。実施目的は次の4つに区分される。

- 1) 定着地盤別周面摩擦応力度の確認
- 2) 定着長さを変えた場合の地盤周面摩擦応力度の確認
- 3) 一定緊張力を作用させた場合の定着部変位
- 4) アンカー定着地盤の歪測定

表-1にアンカー孔別の試験項目を、表-2にアンカータイプ及び引抜き試験結果一覧表を示す。

##### 4-2 試験方法

掘削方法としては、対象地盤が、砂礫、破砕帯であることから、ロータリーパーカッションによる二重管方式により掘削した。掘削においては深度43m程度までは軟らかいものの、深度43~50mは硬軟岩が互層となっている。50m以深においては、堅硬な岩となっている。歪ゲージは図-10の如くE5-7より線の各1本ごとに5ヶ所、計35ヶ所に取り付けた。載荷速度を10t/min、除荷速度を20t/minとし、10t毎に10分間荷重を一定保持した。また、試験地はN値20程度の崖錐層であるため3,0x6,0x0,6mの支圧版を施工し、反力を受け持つようにした。

表-2の試験番号4(E5-7タイプ定着長さ $L_a=3.0m$ )において定着部のクリープ試験を実施した。これは引抜き試験の際、アンカー頭部の変位が自由長部のPC鋼線の伸びも含むことから、変位鋼線を定着部に設置することによって、定着部の変形を実測した。測定は、図-4に示す如く、マンガン線を利用し、一端をアンカー定着部に固定した。約100tの緊張後、ロードセルにより約7日間アンカー頭部において変位鋼線の変位量を測定した。同時に相当量の荷重が支圧版にも作用することから、変位計を支圧版外の鋼製枠に取り付け支圧版の変位も測定した。

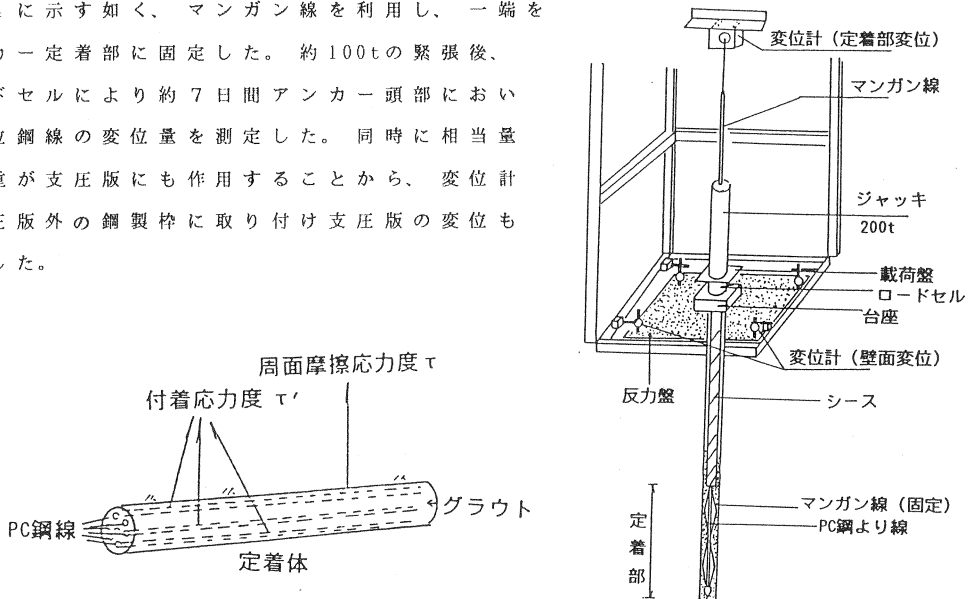


図-4 クリープ試験および定着部拡大図

4 - 3 試験結果

1) 定着地盤別周面摩擦応力度

図-5に、定着地盤別(No.1: 破砕帯境界、No.2破砕帯、No.3定着地盤)荷重-歪曲線を示す。歪量はいずれもPCより線頭部での変位(PCより線および定着岩盤の変位)をPCより線長で割った値とした。いずれの曲線においても見かけ弾性係数は $2.02 \sim 2.25 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ とPCより線の出荷時値( $1.95 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ )とほぼ近い値となった。また100t付近まではいずれの岩盤も弾性挙動を示しており、支持岩盤として十分な付着力を有している。

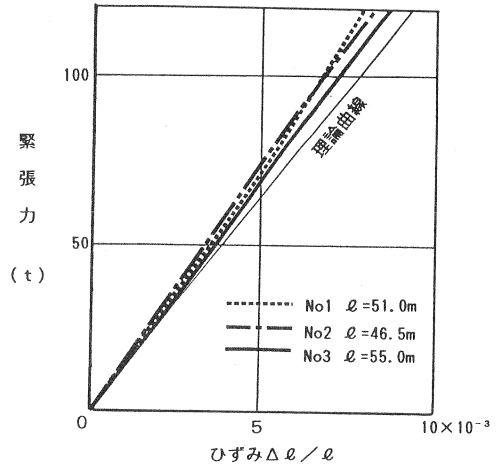


図-5 定着岩盤別、荷重-歪量の比較

2) 定着長を変えた場合の周面摩擦応力度確認

図-6、図-7に定着長を変えた場合の荷重-変位曲線を示す。荷重除去後の残留変形(自由長及び定着長の変形)は20~40mmである。

なお、この変形はクリープ試験結果によれば、定着部の残留変形はほぼ無視できるので自由長部の残留変形の可能性が高い。

また、図-6において荷重除去直後、変位が変わらないのは除荷スピードが早く、定着部周辺の地盤の変位が追従しないためと考えられる。図-7において、限界弾性変形荷重は $T_{max}=75t$ ( $\tau=11.4 \text{ kgf/cm}^2$ )であり、引き抜き荷重(終局時)は $T=85t$ ( $\tau=12.9 \text{ kgf/cm}^2$ )が得られる。平均周面摩擦応力度が、定着長5.0m程度までは一定であると考えると、限界弾性摩擦応力度は $\tau=11 \text{ kgf/cm}^2$ 程度であると推定される。

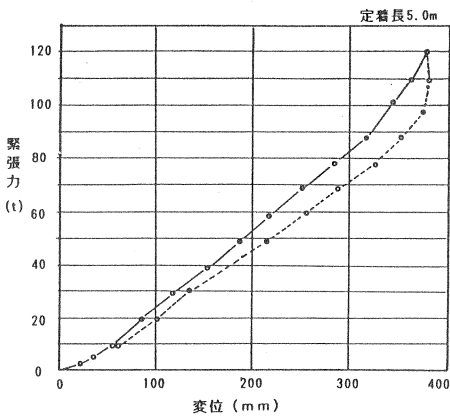


図-6 荷重-変位曲線(定着長5.0m)

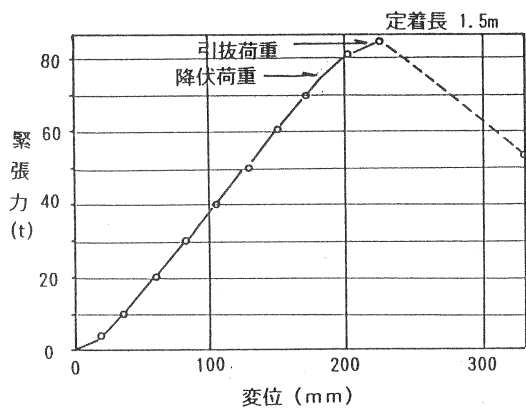


図-7 荷重-変位曲線(定着長1.5m)

### 3) アンカー定着地盤のクリープ特性

クリープ試験結果を図-8、図-9に示す。図-8(右図)では載荷時において、約80tで約30mm前後の定着部変位が認められる。しかしながら、この変位量は初期におけるマンガ鋼線のたわみ量(10t時9.7mm)を含んでおり、実質の変位量は20mm程度と考えられる。また、除荷時における定着部の残留変位は、初期荷重10tにおいて約1~2mm程度しか認められないことから地盤は弾性的な挙動を示していると考えられる。このことから、図-8(左図)におけるPCより線の残留変形はPCより線自身による可能性が高い。また、図-9に示すように、97.5tで緊張後、1週間の継続測定において有意な定着部の変位、緊張力の低下は認められない。これらのことから、定着岩盤のクリープ変形の影響は少ないと考えられる。

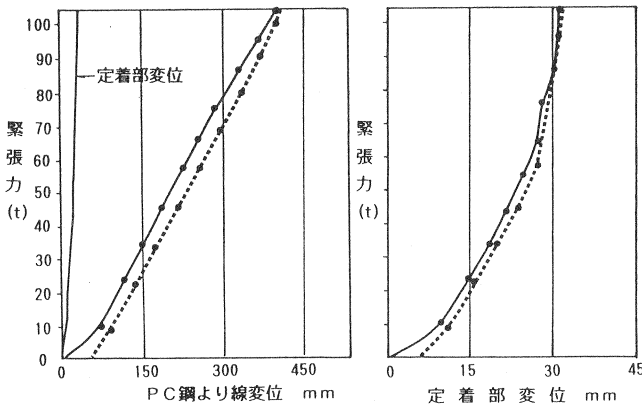


図-8 クリープ試験による荷重-変位曲線

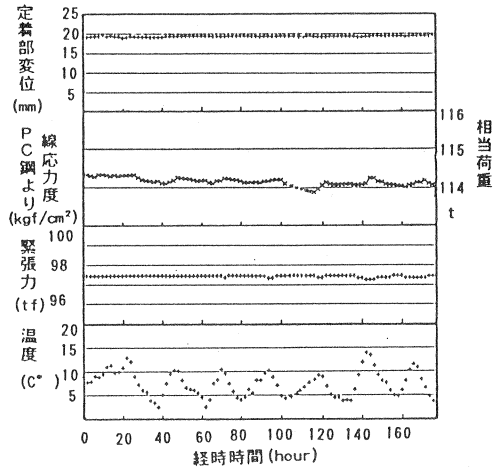


図-9 経過時間に伴う緊張力-変位曲線

### 4) アンカー定着部の歪測定

表-2の試験番号4、6、7において各5断面についてPC鋼より線に歪ゲージを取り付け、緊張時の各PC鋼より線の応力度を測定した。ゲージ位置は自由長部1ヶ所、定着長部4ヶ所とし、定着部内はほぼ均等に配置した。また、付着応力度( $\tau'$ )は次式により算出した。

$$\tau' = \frac{A(\sigma_n - \sigma_{n-1})}{\pi \cdot R \cdot L_{n-(n-1)}}$$

- $\tau'$  ; 付着応力度  
 A ; PC鋼より線断面積  
 $\sigma_n - \sigma_{n-1}$  ; 測定区間応力差  
 R ; PC鋼より線周面長  
 $L_{n-(n-1)}$  ; 歪測定区間長

図-10に付着応力度分布を示すが、付着応力度は載荷の初期においては、定着頭部より1/4付近にピークを有し、応力の増加と共に応力が定着部後方へ伝達することがわか

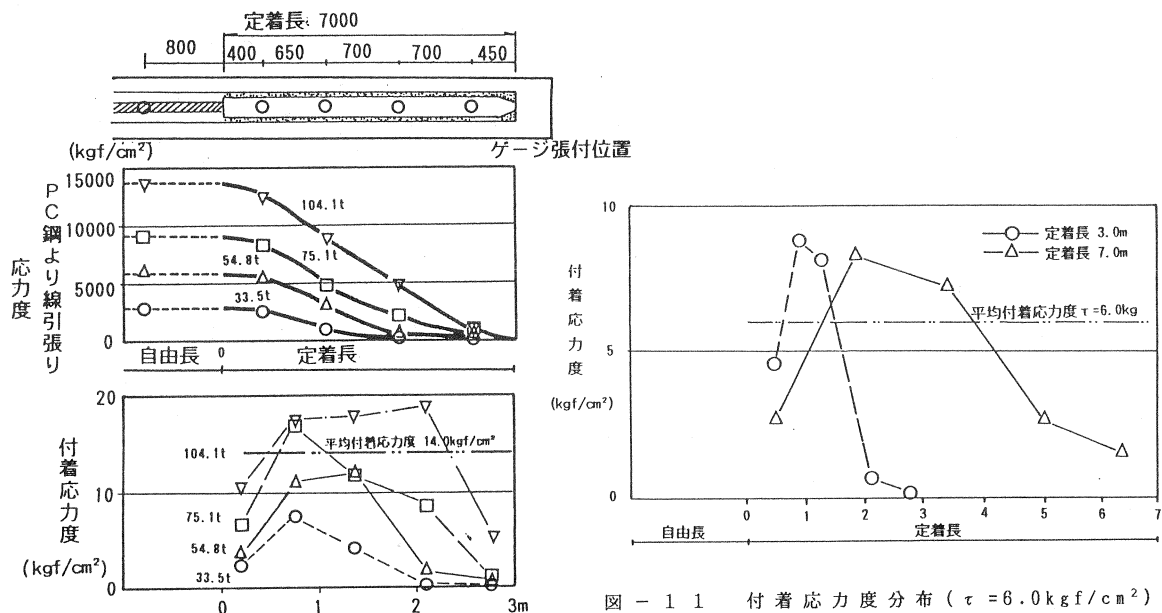


図 - 1 1 付着応力度分布 ( $\tau = 6.0 \text{ kgf/cm}^2$ )

図 - 1 0 アンカー-定着体の応力分布と摩擦応力度 (定着長 3.0m)

る。図 - 1 1 に平均付着応力度の対比を示す。定着長 3.0m の場合においても頭部より 1/4 付近に応力のピークが存在する。定着長 7m における応力分布をみると、定着長 5m 付近においても摩擦応力の伝達が認められ、定着部として有効に働いていることがわかる。

## 5. 結論

7 本の実物大アンカーによる引抜き試験により得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 定着岩盤別、引抜き試験によると、いずれの岩盤も平均付着応力度  $\tau = 10 \text{ kgf/cm}^2$  程度は期待することができる。
- 2) 定着長 1.5m の場合引き抜けが発生した。この場合限界弾性変形荷重は  $T_{\max} = 75 \text{ t}$  ( $\tau = 11.4 \text{ kgf/cm}^2$ ) であり、引き抜き荷重 (終局時) は  $T = 85 \text{ t}$  ( $\tau = 12.9 \text{ kgf/cm}^2$ ) が得られた。
- 3) 長期クリープ試験結果によると、定着岩盤のクリープ変形の影響は少なく、残留変形は PC より線による可能性が高い。
- 4) 付着応力度は載荷初期においては、定着頭部より 1/4 付近にピークを有し、応力の増加と共に応力が定着部後方へ伝達していく。また、定着長 7m における応力分布曲線によると、定着長 5m 付近においても応力の伝達が認められる。

## 参考文献

- 1) グラウンドアンカー設計・施工基準, 土質工学会
- 2) グラウンドアンカー工法, プレストコンクリート, Vol.31 No.4, 1989.7