

# グラウンドアンカーにおける急速載荷試験 のための載荷装置

末吉 達郎<sup>1</sup>・谷 和夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 ライト工業株式会社 法面技術部 (〒102-8236 東京都千代田区九段北4-2-35)  
E-mail:t-sueyoshi@raitto.co.jp

<sup>2</sup> 横浜国立大学大学院 工学研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

グラウンドアンカーにおける引抜き試験や品質保証試験において、低コストで短時間に施工・解析が行え、アンカー体に与える損傷が少ない試験法として急速載荷試験を提案した。この試験方法の適用性を比較実証試験において明かにし、模型実験を行って、皿ばねを使用した専用の載荷装置が十分な性能を有し、考案したモデルにより解析が可能である事を示してきた。しかし、この載荷装置の問題点として、載荷速度のコントロール、載荷後の除荷ができない等の課題が判明した。そこで、これらを解決し、さらに現場における大荷重においても適用可能な載荷装置の検討を行った。その結果、載荷速度、載荷荷重、載荷時の変位量をコントロール可能で、多くのグラウンドアンカーに適用できる載荷装置を考案することができた。

**Key Words :** ground anchor, rapid load test, load test, equipment

## 1. はじめに

グラウンドアンカーにおける引抜き試験や品質保証試験においては、繰り返しの静的載荷試験が用いられている。しかし、現在の試験法では時間とコストがかかり、最大試験荷重時にはアンカー体に損傷を与える恐れもある。そのため、低コストで短時間に施工・解析が行え、アンカー体に与える損傷が少ない試験法の開発が急務である。これまで、この試験方法の適用性を、現場比較実証試験<sup>1)</sup>において明かにし、室内模型実験<sup>2)</sup>を行って皿ばねを使用した専用の載荷装置が十分な載荷速度を有し、考案したモデルにより解析が可能である事を示してきた。

急速載荷試験をグラウンドアンカーに採用するためには、専用の載荷装置が必要となる。現場比較実証試験においては、油圧ジャッキと高吐出型油圧ユニットおよび電磁バルブによる除荷システムを組み合わせたものを考案したが<sup>1)</sup>、この装置は大型で十分な載荷速度が得られない等の問題点が判明した。一方、室内模型実験において使用した皿ばねを使用した載荷装置は<sup>3)</sup>、十分な載荷速度は得られるものの、載荷速度のコントロール、除荷ができない等の検討課題があることが判明した。

本稿は、皿ばねを使用した載荷装置における問題点を

抽出するとともに、グラウンドアンカーにおける急速載荷試験装置として必要な性能を有し、現場における多種多様なグラウンドアンカーにおいても適用可能な載荷装置の構造および試験における施工手順を検討したものである。

## 2. 考案した載荷装置の問題点

室内模型実験に使用した皿ばねを用いた載荷装置の構造を図-1に示す。この装置の特徴は、皿ばねに蓄えられた弾性エネルギーをグラウンドアンカーの載荷に利用することである。圧縮された皿ばねは固定用治具の内部にある剛球により固定され、載荷時には固定用治具を下方に移動させることで解放することができる。しかし、実験結果より、現場において使用する載荷装置については、次の問題点があることが判明した。

### (1) 載荷荷重

現場においては複数の荷重のグラウンドアンカーが混在し、試験における載荷荷重も多種多様となる。グラウンドアンカーに与える荷重を変更するには、装填する皿ばねの剛性を変えるか、図-2のように並列重ね合わせ枚

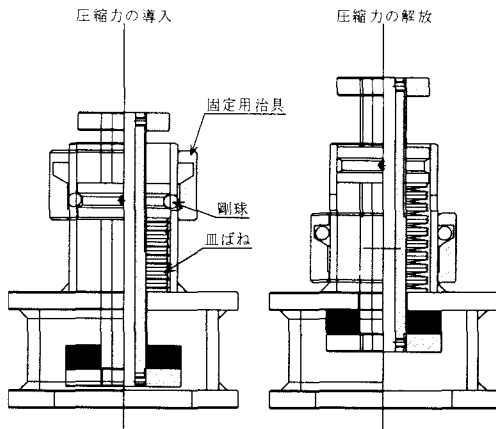


図-1 皿ばねを利用した急速載荷装置

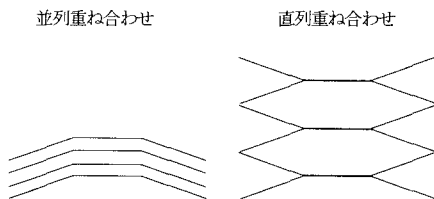


図-2 皿ばね重ね合わせの方法

数を増やすことで対応することが可能である。しかし、現場において多くの種類の皿ばねを準備、交換して使用することは、経費や施工時間の点から問題がある。

## (2) 変位量

グラウンドアンカーの変位量の大半は、アンカー自由長の伸び量が占めるのが一般的である。このアンカー自由長は推定すべり線までの長さやアンカー体の設置地盤の深度により異なることから、1現場においても複数の長さが存在することが一般的である。この変位量の違いに対応するためには、皿ばねの直列重ね合わせ枚数を増やすことが必要となる。しかし、荷重と同様に長さごとに複数枚の皿ばねを準備、交換することは、経費や施工時間の点から問題がある。

## (3) 載荷時間

載荷時間は、皿ばねの圧縮力が解放される速度およびアンカー自由長の伸び速度、地盤の変形速度等に依存する。実験における載荷時間は1サイクル約 0.05 秒であり、これは急速載荷として十分な速さ<sup>9)</sup>を有している。しかし、載荷速度が速くなりすぎると、載荷荷重に占める速度依存性抵抗の割合が大きくなり、実際に計測を行いたい静的な荷重の割合が小さくなるという問題がある。

## (4) 除荷のシステム

現場比較実証試験で用いた載荷システムには電磁バルブを用いた除荷装置を装填することが可能であったが、皿ばねを使用した載荷装置においては、除荷のシステムを有していない。そのため、載荷後に荷重の釣り合う位置で静止することになる。これでは、載荷後の装置に荷重が残っていることから装置の取り外しが困難になる。

## 3. 載荷装置に必要な性能

判明した問題点より、載荷装置に必要な性能として、載荷荷重、変位量、載荷速度、除荷のシステムの4つを抽出し検討を行った。

### (1) 載荷荷重

グラウンドアンカーにおける設計アンカー力は、数十kNから数千kNまで多種多様なタイプが存在する。当然すべてのタイプのグラウンドアンカーに対応できる載荷装置が望ましいが、製作コストや装置の大型化という点から対象とするグラウンドアンカーを絞り込む必要がある。2004年度のライト工業(株)における施工実績(7625本)における荷重別の使用実績を図-3に示す。これより、80%以上のグラウンドアンカーが500kN以下であることがわかる。また、斜面崩壊等の対策工事に使用されるグラウンドアンカーは吹付のり枠を反力とすることが多く、最大となるのり枠断面500×500mmにおいては約300kNが限界となる。そのため、最も使用実績が多い設計アンカー力は300kNとなっている。よって、目標荷重を300kNとする。

### (2) 変位量

載荷装置に必要な変位量は、アンカー自由長の変位量、地盤のクリープ変位やアンカー体の抜け出し、反力の沈下等の合計となる。

#### a) アンカー自由長の変位量

アンカー自由長の変位量( $\delta_e$ )は、設計アンカー力( $T_d$ )、アンカー自由長( $l_f$ )、使用するテンドンの断面積( $A_s$ )、テンドンのヤング率( $E_s$ )によって、式(3a)により算出することが可能である。

$$\delta_e = \frac{T_d \cdot l_f}{E_s \cdot A_s} \quad (3a)$$

アンカー自由長は想定されるすべり線やアンカー体設置地盤の深度に左右される。図-4にアンカー全長別の使用実績を示す。これより、80%以上のグラウンドアンカーが全長20.0m以下であることがわかる。アンカー体

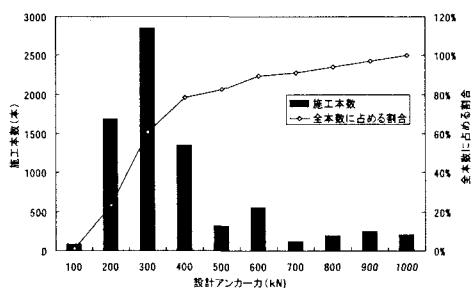


図-3 設計アンカー力別の使用実績

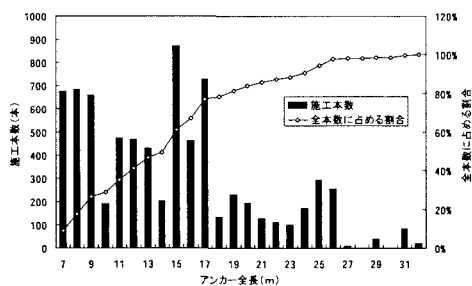


図-4 アンカー全長別の使用実績

長は地盤工学会基準<sup>9)</sup>により  $l_a=3.0\sim 10.0\text{m}$  であることから、平均的なアンカー体長を  $l_a=5.0\text{m}$  とすると、アンカー自由長  $l_f=15.0\text{m}$  まで考慮すれば 80%以上のグラウンドアンカーに対応できると考えられる。

図-5 に最も使用頻度の高い PC 鋼より線  $\phi 12.7\text{mm}$  における、設計アンカー力別のアンカー自由長と変位量の関係を示す。載荷荷重が大きくなっても使用する鋼材の断面積が大きくなるため変位量に違いはない。よって、アンカー自由長  $l_f=15.0\text{m}$  における最大変位量は  $79\text{mm}$  とする。

#### b) 地盤のクリープ変位、アンカー体に抜けだし

地盤のクリープ変位やアンカー体の抜けだし量はアンカー体の設置地盤の状況により大きく異なる。そのため、地盤工学会基準<sup>9)</sup>における試験結果の判定手法を用いて仮定することとした。基準では、アンカー自由長の理論伸び量の  $\pm 10\%$  が地盤のクリープやアンカー体の抜け出しによる許容値となっている。よって、アンカー自由長  $l_f=15.0\text{m}$  における最大変位量  $79\text{mm}$  より、 $7.9\text{mm}$  と仮定する。

#### c) 反力の沈下

反力の沈下は設置した地盤の種類や風化度により異なると考えられる。しかし、反力となる受圧構造物や吹付のり枠においては、反力の沈下が大きい場合、破損やクラック等の発生が考えられることから、設計においては十分な地耐力の得られる地盤に設置されることになって

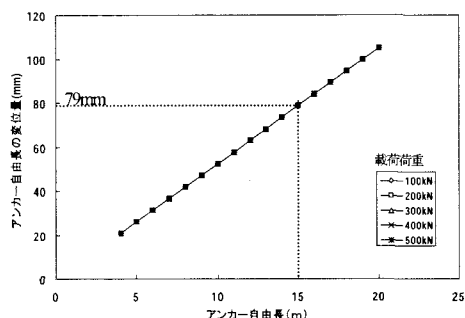


図-5 アンカー自由長と変位量の関係

表-1 急速載荷試験における  
載荷時間の目安

| 標準的な<br>アンカー体長( $l_a$ ) | 相対載荷時間 $T_r=5$<br>の場合の載荷時間 | 相対載荷時間 $T_r=500$<br>の場合の載荷時間 |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 3.0~10.0 m              | 0.025~0.75 s               | 0.75~2.5 s                   |

いる。ただし、実績においては  $2\text{mm}$  程度の沈下が発生していることが多い。

#### d) 必要変位量

アンカー自由長の変位量、地盤のクリープ、反力の沈下を総合し、載荷装置には  $79\text{mm}+7.9\text{mm}+2.0\text{mm} \doteq 90\text{mm}$  の変位量が必要となる。

#### (3) 載荷速度

地盤工学会基準<sup>9)</sup>では杭基礎の載荷試験における載荷時間による杭体の波動現象を評価する指標として、式(3b)に示す相対載荷時間  $T_r$  を採用し、急速載荷における載荷時間の目安を  $5 \leq T_r \leq 500$ 、衝撃載荷を  $T_r < 5$ 、静的載荷を  $T_r > 500$  としている。グラウンドアンカーにおけるアンカー体に伝搬する波動現象も載荷方向が異なるのみで同様と考えられる。これを標準的なアンカー体長( $l_a$ )である  $l_a=3.0\sim 10.0\text{m}$ <sup>9)</sup>に当てはめた場合、アンカー体の 90%以上を占めるセメントミルクの縦波伝搬速度( $c$ )を  $4000\text{m/s}$ <sup>9)</sup>とすると、必要とされる載荷時間( $t_L$ )は表-1 のようになる。これより、満足する載荷時間は最短( $l_a=3.0\text{m}$ )で  $0.025\sim 0.75\text{sec}$ 、最長( $l_a=10.0\text{m}$ )でも  $0.75\sim 2.5\text{sec}$  となる。

$$T_r = \frac{t_L}{2l_a / c} \quad (3b)$$

よって、これらの載荷時間をアンカー自由長に応じて満足する必要がある。

#### (4) 除荷のシステム

急速載荷試験を実施する場合、載荷時にダメージを与えないように、設定された最大試験荷重において除荷する必要がある。除荷の速度は、静的載荷においては載荷

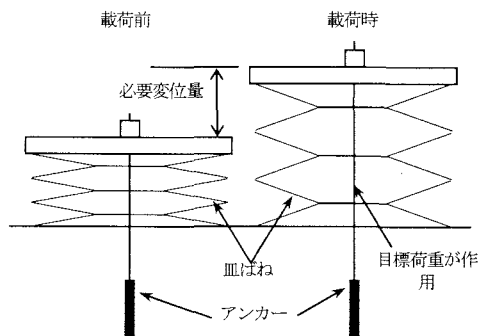


図-6 必要変位量の概念

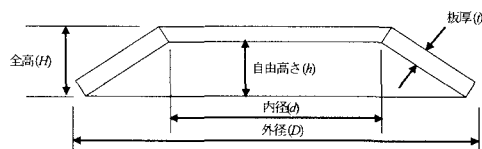


図-7 血ばねの模式図および名称

速度の2倍程度とされているが<sup>6)</sup>、急速載荷においては特に基準は設けられていない。そのため、載荷速度に対して著しく大きくならないように、調整できるシステムとする。

#### 4. 血ばねの選定

載荷装置における要求事項の荷重および変位量を満足できる血ばねの検討を行う。載荷装置は血ばねを圧縮しておき、解放される弾性エネルギーを利用していることから、図-6に示すように、目標荷重時に必要な変位量が得られている必要がある。

##### (1) 外径および内径

血ばねの模式図を図-7に示す。血ばねの外径(D)は、載荷装置を小型・軽量化するためには小さくする必要があり、血ばねの内径(d)はアンカーテンドンが貫通するために80mm以上必要である。この外径と内径の比(D/d)は板厚と自由高さの比(h/t)を1.0とすると、疲労寿命の点より3.0～4.0が適切とされている<sup>7)</sup>。また、支圧板のサイズ、横幅250～300mmより小さくする必要があることから、血ばねの外径はD=240mmとする。

##### (2) 板厚・自由高さ

載荷装置は血ばねに蓄えられた弾性エネルギーを利用しているため、目的とする載荷荷重を得るためには血ばねの剛性を変える必要がある。血ばねの剛性は板厚、外径、内径、高さおよび並列重ね合わせ枚数により決まり、板厚の影響が最も大きい。血ばねの荷重－変位関係は板

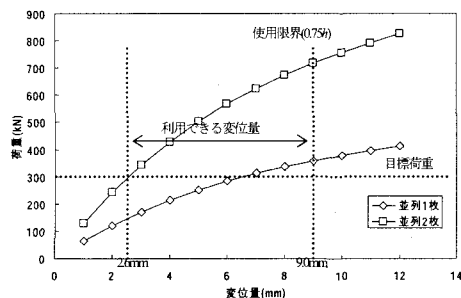


図-8 血ばねの荷重－変位関係

表-2 ダンパー材の特性

|        | 油 | 水 | 空気 | 備考             |
|--------|---|---|----|----------------|
| 取り扱い   | △ | ○ | ◎  | オイルは回収が不可欠     |
| 施工性    | ○ | △ | △  | 水や空気はバルブ凍結     |
| 体積変化   | ○ | △ | ×  | 変化が大きいと荷重保持が困難 |
| 圧縮装置   | ◎ | △ | ×  | 空気は圧縮装置が大型化    |
| 装置のシール | ◎ | ○ | △  | 粘性の大きな方がシールは容易 |
| 総合評価   | ◎ | ○ | ×  |                |

厚と自由高さの比により大きく異なり、 $h/t$ が1.4を超えると変位量が増しても荷重が増加しないため、一般に $h/t=1.0$ 程度で使用されている<sup>7)</sup>。また、板厚は厚くなるほど剛性は増すが、連続使用による血ばねの劣化が著しくなると言われ、通常12mm程度が最大とされている。そのため、板厚は12mmとし、載荷荷重を満足できない場合は、血ばねを並列に重ね合わせて対応することとした。

必要な変位量を得るためには、自由高さが高いほどよい。ただし、自由高さ $h$ は $h/t=1.0$ より、 $h=12\text{mm}$ となる。また、血ばねの圧縮できる変位量は自由高さの75%であることから<sup>7)</sup>、載荷装置に求められる変位量を確保するためには、直列に複数枚重ね合わせる必要がある。

##### (3) 血ばねの決定

選定された外径 ( $D=240\text{mm}$ )、内径 ( $d=100\text{mm}$ )、板厚 ( $t=12\text{mm}$ )、自由高さ ( $h=12\text{mm}$ ) による荷重－変位関係を図-8に示す。目標荷重に対しては、血ばね1枚では圧縮できる量がほとんどないため、血ばねは並列に2枚重ねて使用する。この場合、使用できる変位量は血ばねの最大変位量( $0.75h$ )から目標荷重時の変位量を引いたものとなり、1枚当たり $9.0\text{mm}-2.6\text{mm}=6.4\text{mm}$ となる。これより、目標変位量( $90\text{mm}$ )を得るためには直列に14段、計28枚の血ばねを使用する。

#### 5. 載荷装置の構造

要求される載荷速度および除荷のシステムを満足できる構造を検討する。

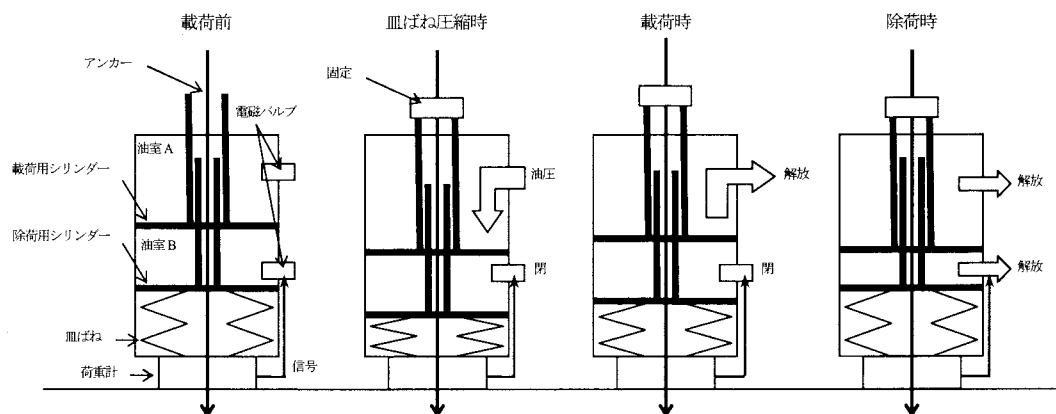


図-9 載荷装置の概略

### (1) 載荷のシステム

模型実験で使用した載荷装置は、油圧ジャッキにより圧縮力を与えた皿ばねをトリガーによって一気に解放するシステムであるため、載荷速度のコントロールが不可能である。そのため速度遅延のためのダンパー的な装置が必要となる。ダンパー材としては油・水・空気等が考えられるが、表-2に示す項目を総合すると油が最も適している。そのため、圧縮用ジャッキの油圧を兼用して利用する手法を提案した。圧縮用ジャッキで圧縮された皿ばねを解放するトリガーとして、ジャッキの弁を使用し、その解放量により速度をコントロールすることが可能となる。

### (2) 除荷のシステム

除荷装置は設定された荷重で除荷が可能で、載荷速度と著しく除荷速度が異ならないように、載荷と同様に油圧を使用した。装置は載荷による変位量と同等の変位量を与えられ、除荷荷重に達したのを荷重計で関知し、電磁バルブを自動的に解放する構造である。

### (3) 装置の構造

載荷および除荷の装置を個別にすると装置が大型化するため、装置は載荷・除荷のための油圧シリンダーを2つ備えたダブルシリンダー方式とし、載荷用シリンダーで皿ばねの圧縮・解放、除荷用シリンダーで初期荷重の導入・除荷を行う。図-9に載荷装置の概要および載荷前から載荷終了までの各シリンダーの動きを示す。皿ばね圧縮時は油室Bの電磁バルブを閉じ、油室Aに油を入れることで皿ばねに圧縮力がかかる。圧縮された力は油室Aのバルブを閉じることで保持でき、載荷時は油室Aのバルブを解放する。載荷荷重は荷重計で関知し、設定された荷重で油室Bのバルブを解放することで除荷を行える。

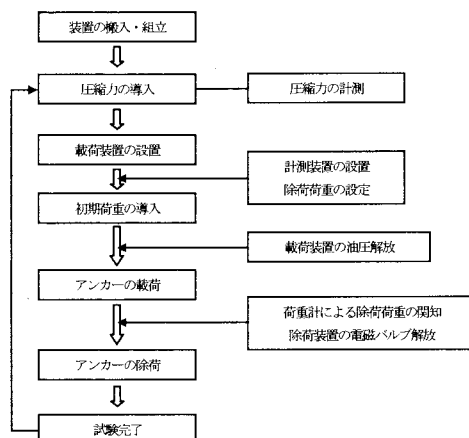


図-10 急速載荷試験の手順

## 6. 急速載荷試験の試験手順

考案した急速載荷試験装置を使用した場合の試験手順を図-10に示す。搬入された載荷装置に所定の圧縮力を与え、試験位置に設置する。荷重計、変位計等の計測器を設置し、除荷荷重を設定し、アンカー自由長の弛みを取り、装置の密着性を高めるために初期荷重を与える。載荷装置のバルブを解放することで載荷を開始し、設定した荷重で除荷装置のバルブが解放し、試験完了となる。

## 7. まとめ

現場における大荷重においても適用可能な載荷装置の構造および適用可能範囲等の検討を行い、載荷速度、載荷荷重、載荷時の変位量をコントロール可能で、目的とする荷重で瞬時に除荷できる載荷装置を考案することが

できた。実際に現場で使用するための装置は、検討した皿ばねに最も近い性能を有する市販されている皿ばねを使用し、載荷・除荷のための油圧システムも油圧ジャッキを代用して製作している。

今後は考案した装置で数多くの急速載荷試験を現場において実施し、データを蓄積することで、グラウンドアンカーにおける急速載荷試験の性能判定手法を確立していく予定である。

#### 参考文献

- 1)末吉達郎・谷和夫：グラウンドアンカーにおける急速載荷試験適用性を検討するための現場実験，第48回地盤工学シンポジウム，pp.351-358，2003.
- 2)末吉達郎・谷和夫：グラウンドアンカーにおける急速載荷試験適用性検討のための現場実験，第39回地盤工学研究発表会，pp.1603-1604，2004.
- 3)末吉達郎，谷和夫：グラウンドアンカーにおける急速載荷試験の適用性を検討するための模型実験，第34回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.333-338，2005.
- 4)末吉達郎：グラウンドアンカーにおける急速載荷試験適用性検討のための模型実験，第40回地盤工学研究発表会，pp.1603-1604，2005.
- 5)地盤工学会：杭の急速載荷試験方法・同解説，2002.
- 6)地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説，2000.
- 7) [http://www.tokaibane.com/tech/tech\\_info\\_disc.html](http://www.tokaibane.com/tech/tech_info_disc.html)：ばね技術情報（皿ばね）

## LOADING APPARATUS OF RAPID LOAD TEST FOR GROUND ANCHOR

Tatsuro SUEYOSHI and Kazuo TANI

The rapid load test was proposed as an effective measuring method for evaluation of pull-out resistance of ground anchors. This test has several advantages such that time for testing is very short compared to the static load test, and that analysis is simpler compared to the dynamic load test.

In this study, a new rapid load test for ground anchors was examined. The following results are obtained that; 1) Specifications of a rapid loading device are investigated, and 2) This device designed as to control loading rate and unloading rate, and 3) The testing procedure in a rapid load test has been proposed.